

弘前大学農学生命科学部学術報告

第4号

BULLETIN
OF THE
FACULTY OF AGRICULTURE AND
LIFE SCIENCE
HIROSAKI UNIVERSITY

No.4

付 研究業績目録

2000年10月—2001年9月

Lists of Published Research Works of the Faculty of
Agriculture and Life Science
Hirosaki University
2000(October)–2001(September)

弘前大学農学生命科学部

2002年3月

FACULTY OF AGRICULTURE AND LIFE SCIENCE
HIROSAKI UNIVERSITY
HIROSAKI, 036-8561, JAPAN

March, 2002

弘前大学農学生命科学部学術報告

第4号

2002年3月

目 次

浅沼 剛・松岡教理：ニシン目魚類の分子系統学的研究	1
吉田 渉・玉井敦司・谷中俊広・石田幸子： 陸奥湾産マナマコの発生と人工飼育	16
KUMPOUN Wilawan・元村佳恵：多種類の果実細胞壁から水または熱水 で抽出したペクチン性多糖類の比較（英文）	24
KUMPOUN Wilawan・元村佳恵： <i>Aspergillus niger</i> のペクチナーゼに よる各種果実細胞壁のペクチン性多糖類の分解（英文）	31
中村信吾・長田恭一：雪冷房方式低温貯蔵システムを使用した農産物貯蔵の 基礎調査	37
高橋照夫：リンゴ収穫の機械化に必要なステレオ視システムの開発に関する 研究	42
秋元健治・神田健策：むつ小川原開発と六ヶ所村漁業～港湾建設漁業補償と 核燃サイクル海域調査をめぐって～	109
泉谷眞実：青森県における食肉と畜場経営の特質と経営問題	124
研究業績目録（2000年10月－2001年9月）	131

ニシン目魚類の分子系統学的研究

浅沼 剛^{*1}・松岡 教理^{*2}

^{*1} 弘前大学理学部生物学科

^{*2} 弘前大学農学生命科学部生物機能科学科生命理学講座

(2001年9月10日受付)

序 論

ニシン目は、現在約 80 属 330 種を含む真骨魚類の原始的な一群である。これらの種はほとんどが熱帯、亜熱帯の比較的温暖な海域に生息し、世界中に広い分布域を有している。ニシン目の中には、ニシンやイワシなどをはじめとし、食用として一般に広く知られたものが多い。これらは、大衆魚ともいわれ、古くから世界各地で食用にされており、水産資源として大変重要なものである。世界的に見て、漁獲量の上位を占める種を多く含む。しかしながら近年では、これらの種の漁獲量は減少傾向にあり、水産資源の世界的な枯渇が見え始めている。これに対して、1996 年 7 月には国連海洋法条約が発効し、水産資源を長期的視点から確保することが求められた。これに基づき、日本では 1997 年から水産庁がイワシなどの漁獲量の制限を定めるなど、保護政策が行われ始めている。このような水産資源としての重要性から、ニシン目については、数多くの研究が古くから行われている。しかしながら、解明は十分に進んでおらず、更なる研究が必要とされている。

系統分類学上、ニシン目は、条鰭類の進化においても最も進化した真骨魚類に属する。真骨魚類は原生魚類の中で圧倒的多数を占めており、およそ 2 万種に達するといわれている。また、これら真骨魚類は原生脊椎動物全体のおよそ半分にあたる程種類が多い。この真骨魚類の中でも、ニシン目は最古の分類群に入ると考えられており、ジュラ紀にフォリドフォルス型の祖先から出現したとされ (GREENWOOD *et al.*, 1966), 原始的な形質を多く有している。系統分類学は、主に形態学的な面から、BERG (1940), BERTIN and ARAMBOURG (1958), GOSLINE (1960), WHITEHEAD (1963) などをはじめとし、数多くの報告がなされている。しかしながら、ニシン目魚類内での種間の系統類縁関係には不明な点が多く存在している。そのため、研究者間で分類体系が異なっており、未だ一致した分類体系は示されていない。これは、研究者がどの形質をどのように取り上げ、重みづけ

を行うかにより、結論が大きく変化してしまうことにも起因している。また、同じ形質に基づく議論であっても、形質変化の方向についての考え方が異なっていれば、異なった結論に達する。高次の分類群における系統分類であるため、比較する形質の選択が難しいこともそれを増長している。これらを防ぐためには、より多くの多面的なデータの解析が必要とされる。

一方、近年発達してきた分子系統学では、DNA や RNA、また、その遺伝子の直接産物であるタンパク質を解析することにより、系統類縁関係を明らかにすることができる。これは、現存する生物の遺伝的組成をもとに、その生物がたどってきた進化の道筋を明らかにすることである。この手法の優れた点は、分析の対象とするデータを客観的に定量化し数値化するため、系統類縁関係を一定の尺度で比較することができる点である。また、遺伝子の置換が時間の経過とともに一定の速度で起こることを利用して、相違の程度から 2 つの集団が分化した後の経過時間 (分岐年代) を推定することが可能である。つまり、この遺伝子置換速度を分子時計として分岐年代を推定する方法が ZUCKERKANDL and PAULING (1962) によって示されている。このため化石資料の乏しい生物種や分類に混乱が生じている生物群にも有効な手法となる。なかでも、酵素タンパク質のアイソザイムを分析する手法は、簡便で費用もあまりかからず、広く用いられている。そのため様々な生物における知見が蓄積されており、これらのデータが客観的な一定尺度の数値であるため、様々な面から互いのデータの比較検討も可能となっている。その他、よく用いられる手法としてミトコンドリア DNA の解析があるが、進化速度が速いこと、核 DNA とは独立した存在であること、調査できる塩基サイト数はアイソザイム分析と比較して少ないことなどから、種間以上での系統類縁関係はアイソザイム分析の方がはるかに優れていると思われる。アイソザイム分析では、核 DNA 上にある多数の遺伝子座を同時に分析することが可能である。

これらのことから、本研究では、以前の知見では行わ

^{*2} 別刷請求先 (住所: 〒036-8561 青森県弘前市文京町 3 弘前大学農学生命科学部生命理学講座)

れていなかった生化学的な手法であるアイソザイム分析を用いて、新たな面からニシン目魚類における諸群間の系統縁縁関係を調査した。

調査した種は、日本近海に生息する代表的なニシン目魚類の 7 種である、ニシン科のウルメイワシ属ウルメイワシ *Etrumeus teres*, キビナゴ属キビナゴ *Spratelloides gracilis*, マイワシ属マイワシ *Sardinops melanostictus*, サッパ属サッパ *Sardinella zunasi*, ニシン属ニシン *Clupea pallasii*, コノシロ属コノシロ *Konosirus punctatus*, カタクチイワシ科のカタクチイワシ属カタクチイワシ *Engraulis japonicus* の合計 2 科 7 属 7 種である。

これらの種は、全て食用とされており、古くから人々の生活と深い係わりを持って来た。ウルメイワシ、マイワシ、カタクチイワシは一般的に“イワシ”と呼ばれるが、正式には別科および別属の属に属する。ウルメイワシは、その名の通り、眼が潤んで見えることから名付けられた。これは、ウルメイワシが脂腺と呼ばれる膜を眼の表面に持つためである。マイワシは、幼魚をシラスと呼ぶこともある。近年、漁獲量の減少が大きい。カタクチイワシは、俗称セグロイワシ、ヒコとも呼ばれることがある。英名は、anchovy でヨーロッパでも古くから食用とされている。サッパは、俗称ママカリとも呼ばれ、山陽地方で好んで食される。ニシンは、俗称カドイワシとも呼ばれる。日本では北海道が主な漁場であったが、1897 年をピークとして漁獲量は激減した。そのまま食することもあるが、日本ではカズノコとして食されることが多い。コノシロは、関東においては、小型のものをシンコ、10cm 程のものをコハダ、大型のものをコノシロと呼ぶ。関西では、小中型のものをツナシ、大型のものをコノシロと呼ぶ。以上のように、俗称や成長に従い呼び名の変わる出生魚が多く、人々の生活に密着した様子が伺える。

本研究では、それらのニシン目魚類の 2 科 7 属 7 種の

系統進化学的關係を分子系統学的に調査し、新たな手法による知見として、諸群間での系統進化学的位置づけを明らかにすることを目的とした。

実験材料及び実験方法

実験材料

本研究に用いたのは、ウルメイワシ属ウルメイワシ *Etrumeus teres*, キビナゴ属キビナゴ *Spratelloides gracilis*, マイワシ属マイワシ *Sardinops melanostictus*, サッパ属サッパ *Sardinella zunasi*, ニシン属ニシン *Clupea pallasii*, コノシロ属コノシロ *Konosirus punctatus*, カタクチイワシ属カタクチイワシ *Engraulis japonicus* の計 7 種である (Table 1)。これらは、すべて市販の新鮮なものを購入し、実験に使用するまでフリーザー内で -45°C にて冷凍保存しておいた。分析には、各々の種につき 12 個体ずつ用いた。なお、本文中の和名、学名、および分類体系は益田ら (1984) に従った。

電気泳動試料の作成法

-45°C で冷凍保存しておいた個体を 0°C 前後で解凍した後、筋肉・肝臓・腸を取り出す。そして、それぞれに各サンプル重量の 3～5 倍量にあたる 20 mM リン酸バッファー (0.1 M KCL, 20 mM EDTA) pH 7.0 を加える。これを冷水下でホモジナイザーを用いてホモジナイズする。その後、10,000 rpm で 5 分間、遠心分離機にかけ、これによって分離した上清を取り出し、それを電気泳動試料とした。

タンパク電気泳動法

各個体につき、0.07 ml の電気泳動試料を用い、Davis (1964) の方法に従い、7.5 %ポリアクリルアミドゲルを支持体とする DISC 電気泳動にかけ、各タンパク質を分

Table 1. Taxonomic position (Masuda *et al.*, 1984) of seven species used in this study

Order	Family	Subfamily	Genus	Species
Clupeiformes ニシン目	Clupeidae ニシン科	Dussumieriinae ウルメイワシ亜科	<i>Etrumeus</i> ウルメイワシ属	<i>E. teres</i> ウルメイワシ
		Spratelloidinae キビナゴ亜科	<i>Spratelloides</i> キビナゴ属	<i>S. gracilis</i> キビナゴ
		Clupeinae ニシン亜科	<i>Sardinops</i> マイワシ属	<i>S. melanostictus</i> マイワシ
			<i>Sardinella</i> サッパ属	<i>S. zunasi</i> サッパ
			<i>Clupea</i> ニシン属	<i>C. pallasii</i> ニシン
		Dorosomatinae コノシロ亜科	<i>Konosirus</i> コノシロ属	<i>K. punctatus</i> コノシロ
	Engraulididae カタクチイワシ科		<i>Engraulis</i> カタクチイワシ属	<i>E. japonicus</i> カタクチイワシ

離する。緩衝液には0.38 M Glycine-Tris, pH 8.3を用いて、カラムあたり 3mA の直流定電流を流す。泳動はマーカーである BPB (Bromophenol blue) が分離ゲルを約 3cm 移動するまで泳動した。電気泳動終了後、カラムからゲルを取り出して、各種の酵素活性染色を施し、各種酵素タンパクをゲル上にバンドとして検出した。それより、バンドの移動度を測定した。測定後、マーカーを指標として、各ゲルの全長が 3cm になるようにバンドの移動度を換算し、他のゲルとの比較を行った。

実験に使用した酵素

活性染色に用いるための酵素は、Table 2 の 30 種類の酵素の中から発色実験を行い、活性バンドが出た酵素を選択した。発色実験は、ニシンの筋肉、肝臓、腸を各々使用した。発色実験の結果は Table 3 に示してある。この発色実験の結果、バンドが示されず、活性が見られなかった酵素は除外し、分析に用いるのに適した酵素及び組織を選択した。これより、筋肉において 7 酵素、肝臓において 6 酵素、腸において 1 酵素が検出され、これらを分析に用いた (Table 4)。

対立遺伝子頻度の決定

1 個体につき 3 回以上の電気泳動を行い、安定したバンドパターンの再現性が確認されたうえで、各酵素の電気泳動パターンを決定した。これより、各酵素の遺伝子座 (Locus) と対立遺伝子 (Allele) を決定した。ただし、以後分析に用いる遺伝子座は、7 種すべての種において、対立遺伝子が検出されたものだけを用いた。

遺伝的多型の指標

対立遺伝子頻度から各々の種ごとに、遺伝的多型を表すパラメーターである 1 遺伝子座あたりの対立遺伝子数 (A)、多型的遺伝子座の割合 (P)、平均ヘテロ接合体率の期待値 (H) を求めた。なお、ここにおいては、最も頻度が高い対立遺伝子頻度が 0.95 以下のものを多型的な遺伝子とした。 H は、各遺伝子座におけるヘテロ接合体の頻度の期待値を平均化したものである。ある遺伝子座の、ある対立遺伝子 i の頻度を x_i としたとき、

$$H = 1 - \sum x_i^2$$

として与えられる。

Table 2. Enzymes assayed in the present allozyme study

Enzyme	E. C. No.	Abbreviation	Stain reference
Alcohol dehydrogenase	1. 1. 1. 1	ADH	Ayala <i>et al.</i> (1972)
α -glycerophosphate dehydrogenase	1. 1. 1. 8	α -GPDH	Ayala <i>et al.</i> (1972)
Formaldehyde dehydrogenase	1. 2. 1. 1	FDH	Murphy <i>et al.</i> (1990)
Glucose-6-phosphate dehydrogenase	1. 1. 1. 49	G6PD	Ayala <i>et al.</i> (1974)
Hexose-6-phosphate dehydrogenase	1. 1. 1. 49	H6PD	Matsuoka and Suzuki (1987)
Hexanol dehydrogenase	1. 1. 1. 1	HexDH	Ayala <i>et al.</i> (1972)
Hydroxybutyrate dehydrogenase	1. 1. 1. 30	HBDH	Ayala <i>et al.</i> (1974)
Isocitrate dehydrogenase	1. 1. 1. 42	ICDH	Ayala <i>et al.</i> (1972)
Lactate dehydrogenase	1. 1. 1. 27	LDH	Shaw and Prasad (1970)
Malate dehydrogenase	1. 1. 1. 37	MDH	Shaw and Prasad (1970)
Malic enzyme	1. 1. 1. 40	ME	Ayala <i>et al.</i> (1972)
Nothing dehydrogenase	—	NDH	Matsuoka <i>et al.</i> (1984)
Octanol dehydrogenase	1. 1. 1. 73	ODH	Ayala <i>et al.</i> (1972)
6-phosphogluconate dehydrogenase	1. 1. 1. 44	6-PGD	Shaw and Prasad (1970)
Shikimate dehydrogenase	1. 1. 1. 25	SKDH	Murphy <i>et al.</i> (1990)
Sorbitol dehydrogenase	1. 1. 1. 14	SDH	Shaw and Prasad (1970)
Succinate dehydrogenase	1. 3. 99. 1	SUDH	Murphy <i>et al.</i> (1990)
Xanthine dehydrogenase	1. 2. 1. 37	XDH	Shaw and Prasad (1970)
Superoxide dismutase	1. 15. 1. 1	SOD	Ayala <i>et al.</i> (1972)
Fumarase	4. 2. 1. 2	FUM	Shaw and Prasad (1970)
Glucose phosphatase isomerase	5. 3. 1. 9	GPI	Shaw and Prasad (1970)
Hexokinase	2. 7. 1. 1	HK	Shaw and Prasad (1970)
Phosphoglucomutase	2. 7. 5. 1	PGM	Shaw and Prasad (1970)
Aspartate aminotransferase	2. 6. 1. 1	AAT	Marcus (1977)
Acid phosphatase	3. 1. 3. 2	ACPH	Ayala <i>et al.</i> (1972)
Alkaline phosphatase	3. 1. 3. 1	ALK	Ayala <i>et al.</i> (1972)
Peroxidase	1. 11. 1. 7	PO	Shaw and Prasad (1970)
Esterase	3. 1. 1. ~6	EST	Shaw and Prasad (1970)
Amylase	3. 2. 1. 1	AMY	Marcus (1977)
Leucine aminopeptidase	3. 4. 11. 1	LAP	Ayala <i>et al.</i> (1972)

Table 3. Electrophoretically detectable enzymes in *Clupea pallasii*

Enzyme	Muscle	Liver	Intestine	Enzyme	Muscle	Liver	Intestine
G6PD	—	+	—	ADH	—	—	—
HBDH	—	+	—	FDH	—	—	—
LDH	+	—	—	α -GPDH	—	—	—
NDH	++	+	—	H6PD	—	—	—
ODH	+	—	—	HexDH	—	—	—
6-PGD	+	++	—	ICDH	—	—	—
SOD	++	+	—	SKDH	—	—	—
AAT	+	—	—	SDH	—	—	—
ACPH	—	++	—	SUDH	—	—	—
ALK	—	+	—	MDH	—	—	—
EST	+	—	—	AMY	—	—	—
FUM	+	++	—	HK	—	—	—
LAP	—	—	+	PO	—	—	—
ME	+	—	—	PGI	—	—	—
PGM	+	++	—				

++ : Enzymes which showed high activity.

+ : Enzymes which were detected on the gel.

— : Enzymes which did not exhibit the active band.

Table 4. Enzymes and tissues examined in the present allozyme study

Enzyme	Abbreviation	Tissues
Lactate dehydrogenase	LDH	M
Nothing dehydrogenase	NDH	M
Octanol dehydrogenase	ODH	M
Superoxide dismutase	SOD	M
Aspartate aminotransferase	AAT	M
Esterase	EST	M
Malic enzyme	ME	M
Glucose-6-phosphate dehydrogenase	G6PD	L
Hydroxybutyrate dehydrogenase	HBDH	L
6-phosphogluconate dehydrogenase	6-PGD	L
Acid phosphatase	ACPH	L
Fumarase	FUM	L
Phosphoglucomutase	PGM	L
Leucine aminopeptidase	LAP	I

M = Muscle, L = Liver, I = Intestine

遺伝的類似度(I)及び遺伝的距離(D)の算出

種間の遺伝的分化の程度を示すために、先に求めた対立遺伝子の頻度から Nei (1972) に基づき、遺伝的類似度 (Genetic identity : I) 及び遺伝的距離 (Genetic distance : D) を算出した。このパラメーターは、進化の研究に用いるのに適したものであり、種間または集団間における遺伝子の違いの程度を定量化するものである。 I は、遺伝的にどれほど類似しているかを示しており、0 ~ 1 の値を取り、大きいほど遺伝的類似度が高い事を示す。 D は遺伝的にどれだけ離れた関係にあるかを示しており、

$$D = -\ln I$$

で求められる。この値は 0 ~ ∞ の値を取り、大きいほど

遺伝的な距離が離れており、遠縁の関係であることを示す。

この遺伝的類似度及び遺伝的距離は、ROYCHOUDHURY *et al.* (1991) の program GD3 (MS-DOS 版) を用いて算出した。

Group I および Group II 酵素の多型の比較

今回、分析した酵素を 2 つの大きなグループに分け、各々の平均ヘテロ接合体率 (H) を調査した。分類は、エネルギー代謝に関与する解糖系の酵素を Group I、それ以外の酵素を Group II とした。本研究で用いた酵素のうち Group I に属するのは、FUM, G6PD, LDH, ME, PGM の 5 酵素である。Group II に属するのは、AAT,

ACPH, EST, HBDH, LAP, NDH, ODH, 6-PGD, SOD の 9 酵素である。

分子系統樹の作成法

遺伝的距離 (D) からクラスター分析を行うため、SNEATH and SOKAL (1973) の遺伝的距離平均化法 (UPGMA 法) 及び SAITOU and NEI (1987) の近隣結合法 (NJ 法) の 2 つのアルゴリズムにより分子系統樹を作成した。

遺伝的距離平均化法では、すべての OTU (operational taxonomic unit; 操作上の分類単位) 間において求められた進化距離を用いる。その中で最小の距離を持つ OTU 間においてその中心で結合し、新しいクラスターとする。これはつまり、OTU 間の距離は算術平均によって求められるということである。これにより、クラスタリングを続け、系統樹を作成する。また、これは遺伝子置換速度の期待値が一定であるという仮定に基づいた結果ともいえる。さらにこれにより、Nei (1975) の方法に従い、それぞれの種の分岐年代 (T) を算出した。

近隣結合法は、SAITOU (1995) の NJ-package (Mac 版) によって作成した。この近隣結合法は、比較的簡単な計算により、多量の労力を有する最小進化法に非常に似た系統樹を得る方法である。ここでは、最も近隣にある OTU 間を結合させる。次にその結合させた OTU と、最も近隣にある別の OTU をさらに結合させる。このように、近隣にあるものを次々に結合させて、系統樹を作成する。この近隣結合法によって得られる系統樹は無根系統樹であるが、UPGMA による系統樹との比較のため、OTU を結ぶ樹長のうち最も長いものの中央を樹根として有根系統樹を作成した。この方法は、無根系統樹を作成する距離 Wagner 法 (FARRIS, 1972) で用いられたものであるが、近隣結合法やその他の無根系統樹に対してもしばしば適用されている。

結 果

電気泳動結果

Table 4 に示した 14 酵素により、ニシン目 7 種についての分析を行ったところ、29 遺伝子座が検出された。そのうち、7 種すべてが共有している 19 遺伝子座を分析に用いた。電気泳動の方向は、陰極である上方から陽極である下方へと定直流電流を流した。G6PD, HBDH, LDH, NDH, ODH, SOD, AAT, PGM, では集団内変異が認められた。特に、EST, 6-PGD においては、多くの集団内変異が検出された。

対立遺伝子頻度

電気泳動パターンから対立遺伝子の頻度を求めたものが、Table 5 である。合計 14 酵素、19 遺伝子座が示され

ている。本研究で用いた 14 酵素のうち、G6PD, HBDH, LDH, NDH, ODH, SOD, AAT, PGM の 8 酵素では単型のな遺伝子座であった。6-PGD, ACPH, EST, FUM, LAP, ME の 6 酵素では多型のな遺伝子座であった。7 種すべてにおいて、同じ対立遺伝子が固定されている遺伝子座は検出されなかった。

集団内の遺伝的変異

対立遺伝子頻度の遺伝的多型を表すパラメーターである、1 遺伝子座あたりの対立遺伝子数、多型の遺伝子座の割合 (P)、平均ヘテロ接合体率の期待値 (H) を求めた結果が Table 6 である。1 遺伝子座あたりの対立遺伝子数、 P とともに結果の数値から二つのグループに分けられた。キビナゴ、マイワシ、サッパ、コノシロが低い値を示し、1 遺伝子座あたりの対立遺伝子数は 1.11, $P = 10.5\%$ となった。ウルメイワシ、ニシン、カタクチイワシは、1 遺伝子座あたりの対立遺伝子数 = 1.16, $P = 15.8\%$ となった。平均値は、1 遺伝子座あたりの対立遺伝子数 = 1.13, $P = 12.8\%$ であり、種による違いに大きな差は無かった。

H は、マイワシとコノシロで最小値の $H = 4.8\%$ を示し、カタクチイワシで最大値 $H = 8.6\%$ を示した。7 種の平均は、 $H = 6.1\%$ となった。

Group I・Group II 酵素における遺伝的多型の比較

Group I, Group II 酵素ごとに H を比較したものが、Table 7 である。Group I 酵素では、 $H = 0 \sim 10.0\%$ 、平均 $H = 2.9\%$ であったのに対し、Group II 酵素では、 $H = 4.2 \sim 15.9\%$ 、平均 $H = 10.8\%$ を示し、Group II 酵素の方が高い遺伝的多型を示した。Group I 酵素よりも Group II 酵素において、より多くの遺伝的多型が見られたのは、コノシロだけであった。この結果において、 H の値は Group I 酵素と Group II 酵素間で有意な差が存在する否かを分析するために、両グループ間で H の値についての t 検定を行った。その結果、5% の有意水準で有意差が示され、Group I 酵素の H の値と Group II 酵素の H の値が有意に異なるといえる。これより、Group I 酵素よりも Group II 酵素での方が、より多くの遺伝的多型が観察されたという結果を示している。

遺伝的類似度 (I) 及び遺伝的距離 (D)

Table 8 に、ニシン目 7 種間についての I と D を示した。 I は、マイワシとニシン間で最小値 $I = 0.169$ となり、遺伝的に最も遠縁の関係を示した。最大値は、マイワシとカタクチイワシ間の $I = 0.591$ となり、最も近縁な関係を示した。また、 $I = 0.3 \sim 0.4$ の値を示すものが 12 箇所と集中しており、この間の値が最頻度値 (モード) となっている。

D でも同様に、マイワシとカタクチイワシ間で最小値 $D = 0.525$ となり、最も近縁な関係を示した。最大値は、

Table 5. Allele frequencies at 19 genetic loci in the seven species of the order Clupeiformes

Locus	Allele	<i>Et</i>	<i>Sg</i>	<i>Sm</i>	<i>Sz</i>	<i>Cp</i>	<i>Kp</i>	<i>Ej</i>	Locus	Allele	<i>Et</i>	<i>Sg</i>	<i>Sm</i>	<i>Sz</i>	<i>Cp</i>	<i>Kp</i>	<i>Ej</i>
LDH	a	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	AAT	a	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	b	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00		b	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
	c	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00		c	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
	d	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	ACPH	a	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.54
NDH-1	a	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00		b	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.46
	b	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	EST-1	a	0.46	0.00	0.75	1.00	0.00	1.00	0.54
NDH-2	a	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00		b	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	b	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	EST-2	c	0.54	0.00	0.25	0.00	1.00	0.00	0.46
	c	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		a	1.00	1.00	0.00	0.00	0.58	0.00	1.00
NDH-3	a	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		b	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
	b	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	EST-3	c	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
ODH	a	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00		d	0.00	0.00	1.00	0.00	0.42	0.00	0.00
	b	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00		a	0.50	0.50	0.50	0.00	0.67	0.00	0.00
	c	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	FUM	b	0.00	0.00	0.00	0.67	0.33	1.00	0.00
SOD	a	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00		c	0.50	0.50	0.50	0.33	0.00	0.00	1.00
	b	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00		a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
EST-4	a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	PGM	b	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50
	b	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		c	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
	c	0.00	0.00	0.00	1.00	0.50	0.00	0.00		d	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.50	0.00
	d	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00		e	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ME	a	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	LAP	a	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	b	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		b	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	c	0.08	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00		c	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
G6PD	a	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00		d	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	b	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00		e	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
HBDH	a	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00		a	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
	b	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00		b	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00
6-PGD	a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00		c	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.96
	b	0.00	0.00	1.00	0.67	1.00	0.00	1.00									
	c	1.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00									
	d	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00									
	e	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00									

Alleles are correspondingly letters from “a”, this being the allele of the lowest mobility. *Et* = *Etrumeus teres*, *Sg* = *Spratelloides gracilis*, *Sm* = *Sardinops melanostictus*, *Sz* = *Sardinella zunasi*, *Cp* = *Clupea pallasii*, *Kp* = *Konosirus punctatus*, *Ej* = *Engraulis japonicus*

Table 6. Genetic variation in the seven species of the order Clupeiformes

Parameter	<i>Et</i>	<i>Sg</i>	<i>Sm</i>	<i>Sz</i>	<i>Cp</i>	<i>Kp</i>	<i>Ej</i>	Mean
No. of individuals examined	12	12	12	12	12	12	12	12
No. of alleles per locus	1.16	1.11	1.11	1.11	1.16	1.11	1.16	1.13
Proportion of polymorphic loci : <i>P</i> (%)	15.8	10.5	10.5	10.5	15.8	10.5	15.8	12.8
Expected average heterozygosity : <i>H_{exp}</i> (%)	6.3	5.5	4.8	4.9	7.9	4.8	8.6	6.1

Et = *Etrumeus teres*, *Sg* = *Spratelloides gracilis*, *Sm* = *Sardinops melanostictus*, *Sz* = *Sardinella zunasi*, *Cp* = *Clupea pallasii*, *Kp* = *Konosirus punctatus*, *Ej* = *Engraulis japonicus*

Table 7. Average heterozygosity for glucose metabolizing enzymes (Group I) and non-glucose metabolizing enzymes (Group II) in the allozyme study

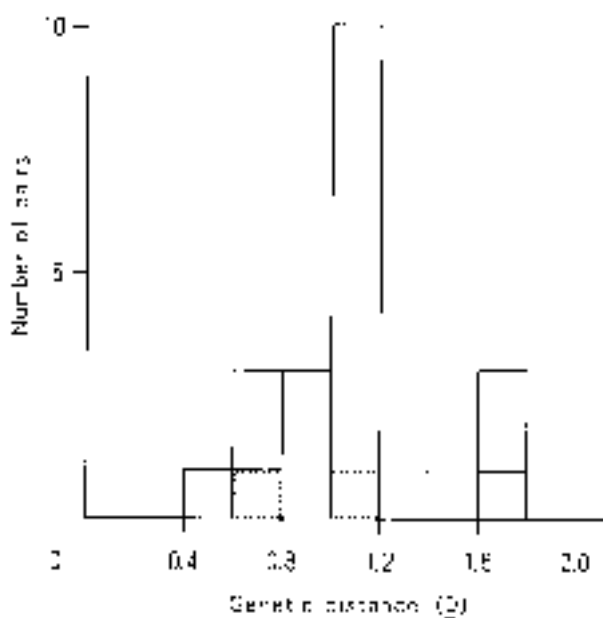
Species	Average heterozygosity (%)	
	Group I	Group II
<i>Etrumeus teres</i>	0	12.8
<i>Spratelloides gracilis</i>	0	11.1
<i>Sardinops melanostictus</i>	0	9.8
<i>Sardinella zunasi</i>	0	9.8
<i>Clupea pallasii</i>	0	15.9
<i>Konosirus punctatus</i>	10.0	4.2
<i>Engraulis japonicus</i>	10.0	12.0
Mean	2.9	10.8

Group I : FUM, G6PD, LDH, ME, PGM

Group II : AAT, ACPH, EST, HBDH, LAP, NDH, ODH, 6-PGD, SOD

Table 8. Genetic identities (above diagonal) and genetic distances (below diagonal) between seven species of the order Clupeiformes

Species	1	2	3	4	5	6	7
1. <i>Etrumeus teres</i> ウルメイワシ	—	0.510	0.338	0.374	0.309	0.318	0.365
2. <i>Spratelloides gracilis</i> キビナゴ	0.673	—	0.194	0.342	0.334	0.174	0.285
3. <i>Sardinops melanostictus</i> マイワシ	1.086	1.639	—	0.475	0.169	0.428	0.591
4. <i>Sardinella zunasi</i> サッパ	0.984	1.073	0.745	—	0.359	0.535	0.339
5. <i>Clupea pallasii</i> ニシン	1.175	1.098	1.779	1.024	—	0.356	0.375
6. <i>Konosirus punctatus</i> コノシロ	1.145	1.749	0.848	0.626	1.034	—	0.353
7. <i>Engraulis japonicus</i> カタクチイワシ	1.008	1.254	0.525	1.083	0.981	1.042	—

Genetic identities (I) and genetic distances (D) were calculated by the method of Nei (1972).Fig. 1. Distribution of Nei's D values in this study. The sources of data are quoted from the D values in Table 8. The shaded portions are the D values between the two families, Clupeidae and Engraulididae.

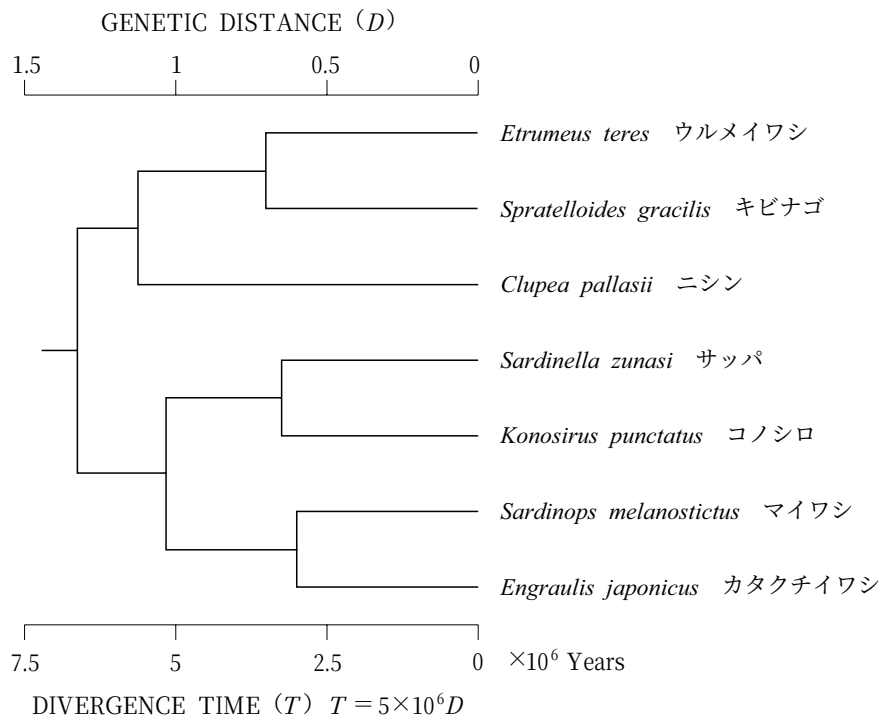


Fig. 2. Molecular phylogenetic tree for the seven species of the order Clupeiformes. It was constructed from the Nei's genetic distance (Nei, 1972) by using the UPGMA clustering method. The divergence time estimated from the Nei's equation (Nei, 1975) using the genetic distance is also given in the phylogenetic tree.

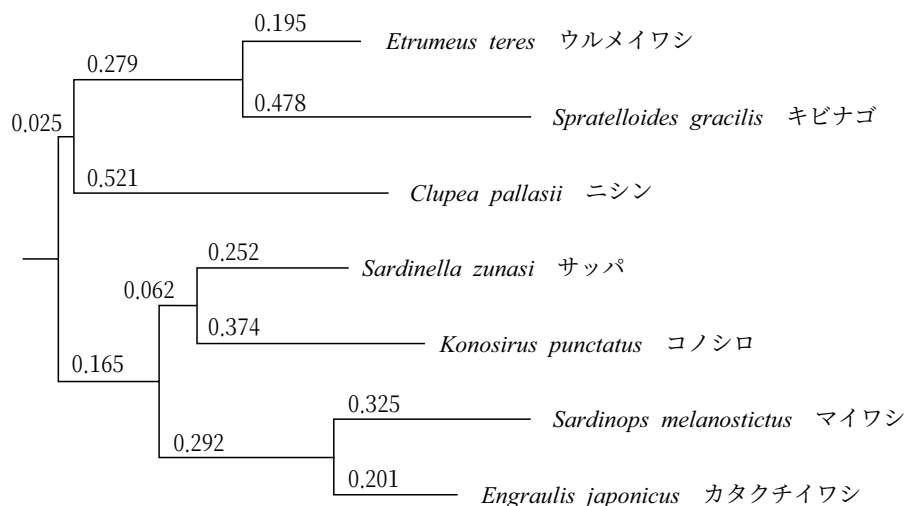


Fig. 3. Molecular phylogenetic tree for seven species of the order Clupeiformes. This tree was constructed from Nei's (1972) genetic distance (D) by using NJ method. The tree was rooted at the midpoint of longest branch. The values given to each branch are the estimate of branch length.

マイワシとニシン間で、 $D = 1.779$ となり、最も遠縁な関係を示した。 $D = 1.0 \sim 1.2$ の値を示すものが 10 箇所みられ、この間の値がモードとなっている。

分子系統樹

Table 8 の遺伝的距離 (D) より UPGMA 法を用いて作成した分子系統樹が Fig. 2 である。上目盛りに遺伝距離 (D)、下目盛りに分岐年代 (T) が示してある。こ

れより、マイワシとカタクチイワシが最初にクラスターを形成し、次に、サッパとコノシロ、ウルメイワシとキビナゴが、それぞれクラスターを形成した。その後、サッパとコノシロのクラスターとマイワシとカタクチイワシのクラスターが、1 つにクラスターリングされた。一方、ニシンは最後に、ウルメイワシとキビナゴにクラスターリングされた。よって、Fig. 2 の分子系統樹の結果では、まず (ウルメイワシ・キビナゴ・ニシン) の系統と、

(サッパ・コノシロ・マイワシ・カタクチイワシ)の系統に2分され、さらに、(ウルメイワシ・キビナゴ)(ニシン)(サッパ・コノシロ)(マイワシ・カタクチイワシ)の4系統に分けられた。また、ニシンがこれら7種の内でもっと古い時期に分岐したという結果が明確に示された。

前と同じ値であるTable 8の遺伝距離(D)より、NJ法を用いて作成した分子系統樹がFig. 3である。本来、NJ法により作成した系統樹は無根系統樹である。そのため、UPGMA法を用いて作成した系統樹と比較するために、先に方法で述べた通りの手法により、樹長の最大値の中心に仮の樹根を設けてある。この系統樹の結果においても、Fig. 2のUPGMA法を用いて作成した分子系統樹と相同的な樹形が得られ、同様の系統類縁関係が示された。

考 察

分析した遺伝子座数および個体数

アイソザイム分析を行う際に用いる遺伝子座は、その遺伝子座を検出する染色法が確立されていることが必要である。その遺伝子座を用いるかどうかは、酵素活性染色法が存在するか否かに依存しており、ゲノムから無作為に抽出された遺伝子のデータであると見なすことができると考えられている(HUBBY and LEWONTIN, 1966)。遺伝的多型の程度や遺伝子の進化速度は、遺伝子座により差がある。そのため、先の無作為抽出のデータであるという仮定は、これらの遺伝子座から各種パラメーターを求め、分析する際の確立論的誤差を十分に減少させることを可能とする。具体的には、サンプルとして遺伝子座を抽出する過程と、調査に用いる個体を集団から抽出する過程の2つからなる。これら2つの過程から誤差が生じると考えられる。そのため、前者は調査する遺伝子座を増やすことにより、その誤差を減少させることができる。一方、後者は調査する個体数を増やすことにより、その誤差を減少させることができる。よって、電気泳動法で調査すべき遺伝子座数、個体数は重要なファクターである。これについては、NEI and ROYCHOUDHURY (1974)やNEI (1978a)などによって数学的に研究されている。これによると、各推定値の誤差は、より多くの遺伝子座を調査することによって減少し、遺伝子座あたりの個体数にはあまり依存しないことが確かめられている。つまり、遺伝子抽出の誤差は、その多くがゲノムから遺伝子座を抽出する際に生じており、調査個体数による誤差はそれに比較すると極めて小さいとされている。そのため、仮に調査個体数が少なくても、調査遺伝子座数を増やすことにより、十分に正確なデータを得ることができる。

よって、できるかぎり多くの遺伝子座を調査することが求められるが、酵素活性染色法や分離法など実験技術的な問題からその調査数には制限がある。これは、アイ

ソザイム分析で用いる酵素には、生物が生存するうえで必須の酵素も多く存在するが、その酵素が必ずしも検出されるとは限らないためである。検出されないのは、その酵素が存在しないのではなく、その酵素についての染色法が十分に確立されていないか、適切な泳動条件でないか、酵素の絶対量が不足しているかなどの技術的制約のためである。よって、検出されるということは、その酵素が存在することの十分条件であるが、検出されないということは、その酵素が存在しないということの十分条件とはなり得ない。

アイソザイム分析において最低限必要とされる遺伝子座数については、研究者により意見が異なるが、WARD (1977)、GRAUR (1985)は15遺伝子座を基準としてさまざまな生物の平均ヘテロ接合体率を比較するなどの調査をしており、最低でも15酵素が必要であるということが一般的である。

本研究では、調査個体はすべての種において12個体ずつ用いた。分析酵素は、筋肉で7酵素、肝臓で6酵素、腸で1酵素の計14酵素、19遺伝子座について調査している。また、その19遺伝子座は、すべての個体でその対立遺伝子が検出されたもののみを用いている。これより、上記の2つの過程にもとづく確率論的誤差を十分に減少させており、分析に用いるのに十分なデータであると見なすことができる。

また、調査した酵素は、Group I酵素と呼ばれる糖代謝系に関与する酵素と、Group II酵素と呼ばれる糖代謝に関与せず、体液や組織中に比較的高濃度でみられる酵素の両者を含んでいる。Group IとGroup IIでは遺伝的多型の割合が異なるという報告(GILLESPIE and LAUGLEY, 1974)もあり、より正確な分析を行うには、両者のGroupの酵素を分析に加えるべきである。本研究では、Group I酵素から5酵素、Group II酵素から9酵素を調査に用いた。

遺伝的変異

遺伝子の多型現象の程度は、多型的遺伝子座の割合(P)および平均ヘテロ接合体率(H)で示すことができる。 P は、一般的にはその多型の尺度として、ある遺伝子座の、最も頻度の高い対立遺伝子の頻度が99%または95%以下であるときにその遺伝子座を多型的遺伝子座とみなしている。この数値には特に理論的な根拠は無い。むしろ調査個体数の大小により任意に決められていることが多い。ちなみに、本研究では、95%以下の基準を用いた。また、この値は調査個体数に左右されやすい値であるため、あまり正確な尺度ではないとされる(藤尾, 1985)。

一方、平均ヘテロ接合体率(H)は集団内の遺伝的変異の量を表すことができ、定義もはっきりしていることから、さまざまな研究で用いられてきた。また、この値はその集団のおかれた遺伝的な環境を反映しているた

め、集団遺伝学的にも有用である。本研究結果における P は、最小値 $P = 10.5\%$ 、最大値 $P = 15.8\%$ 、平均値 $P = 12.8\%$ となった。 H においては、最小値 $H = 4.8\%$ 、最大値 $H = 8.6\%$ 、平均値 $H = 6.1\%$ となった (Table 6)。一般に魚類においては、過去に蓄積されたデータから $P = 5 \sim 20\%$ 、 $H = 5\%$ となることが報告されている (藤尾, 1985)。これより、本研究の結果は、それらの一般的魚類の値と一致しており、特に変異的な値はみられなかった。一般にヘテロ接合体率は、その集団サイズが小さく、gene flow が十分でない程、小さな値をとる傾向がある。また、GYLLENSTEN (1985) は、さまざまな魚類を海産魚、回遊魚、淡水魚の 3 つのグループに分け、それぞれの H を分析した。それによると、海産魚で平均 $H = 6.3\%$ 、回遊魚で平均 $H = 4.1\%$ 、淡水魚で平均 $H = 4.3\%$ であった。これらの H は、それらの集団構造に相関しているとされる。つまり、海産魚、淡水魚、回遊魚の順に gene flow の割合が小さくなっているためと考えられる。

本研究に用いた種は、すべて沿岸部に生息する海産魚である。その中で回遊を行うとされている種は、マイワシ、ニシン、コノシロ、カタクチイワシである。マイワシ、コノシロでは、ともに $H = 4.8\%$ と比較的低い値が示された。しかし、ニシン、カタクチイワシでは $H = 7.9\%$ 、 $H = 8.6\%$ と高い値を示した。これは、ニシンとカタクチイワシの回遊が、完全に他の集団と隔離されたものではないためではないかと予測される。これについては、再度より多くの個体数と遺伝子座を用いて、詳細な調査を必要とするであろう。

また、 H を Group I と Group II の酵素ごとに分けて比較すると、Group II 酵素の方が Group I 酵素よりも有意に H が大きいことが、Table 7 で示された。これは、Group II 酵素の方が Group I 酵素よりも遺伝的な多型が多いということを示している。方法でも述べたように、Group I 酵素はエネルギー代謝に関与する解糖系の酵素であり、生物が生存上欠かすことのできない酵素である。そのため、これらの酵素の機能的制約はかなり大きいと予想される。一方、Group II 酵素においては、そのようなエネルギー代謝には関与せず、機能的制約は前者に比べてかなり小さいと予想される。本研究の結果における遺伝的変異の相違は、以上のような機能的制約の違いによるものと考えられる。つまり、Group I 酵素の方が機能的制約が大きいため、遺伝的変異が小さいという結果が得られたと考えられる。これは、機能的制約の小さなものほど遺伝的変異が多いとする木村資生博士が提唱した分子進化の中立説 (KIMURA, 1983) を支持する結果である。

遺伝的分化の程度

遺伝的分化の程度を示す NEI (1972) による遺伝的類似度 I に注目してみる。THORPE (1982) は、さまざま

な生物種間の I を調査し、その結果、同属別種間においては、 $I = 0.35 \sim 0.85$ の値をとり、同科別属間では $I \leq 0.35$ になると報告している。本研究結果では (Table 8)、ニシン科に属する同科別属であるウルメイワシ、キビナゴ、マイワシ、サッパ、ニシン、コノシロ間では、 $I = 0.169 \sim 0.535$ の値をとり、平均 $I = 0.347$ 、 $SD = 0.108$ を示した。一方、カタクチイワシ科のカタクチイワシと先のニシン科 6 種との間の I は、 $I = 0.285 \sim 0.591$ の値をとり、平均 $I = 0.385$ 、 $SD = 0.097$ を示した。

本研究結果のニシン科内の比較における D の値は、THORPE (1982) の報告よりも多少大きな値をとっている箇所もあるが、ほぼこれに沿った結果となっている (Fig. 1)。一方、同目別科の関係であるカタクチイワシ科とニシン科の 6 種では (Fig. 1 の斜線部)、先のニシン科内の比較における D の値とほぼ等しく、従来の分類に沿った値ではなかった。カタクチイワシがニシンと別科であれば、より小さな I が示されるはずである。現在、カタクチイワシはカタクチイワシ科に属しているが、この結果はカタクチイワシがよりニシン科に違い遺伝的形質を有していることを強く示唆している。

同様に、NEI (1972) による遺伝的距離 (D) についても分類体系との相関関係が示されている。藤尾 (1985) によると、一般に魚類においては、同科別属間で平均 $D = 2.067$ 、 $SD = 0.709$ であると報告している。本研究結果においては、Table 8 に示すようにニシン科内では、平均 $D = 1.112$ 、 $SD = 0.346$ を示している。この結果は、藤尾 (1985) の示した同科別属間での値と、5 %の有意水準で有意差は認められず、同じ結果が得られたといえる。

一方、カタクチイワシ科 1 種とニシン科 6 種との関係においては、平均 $D = 0.982$ 、 $SD = 0.222$ となった。この値は藤尾 (1985) の示した同目別科間の値とは大きく外れ、むしろ同科別属間の値と考えられる。本研究結果の中で比較した場合においても、カタクチイワシとニシン科 6 種における遺伝距離 (D) (Fig. 1 の斜線部) は、ニシン科内で同科別属における D とほとんど等しい値をとっている (Fig. 1)。カタクチイワシとニシン科 6 種の同目別科関係における D と、ニシン科内で同科別属における D との間で t 検定を行ったところ、5 %の有意水準で有意差は認められず、両者の値は等しいという結果が示された。このことから、分類学上、カタクチイワシはニシン科と別科ではなく、同科に含めるべきである。

分子系統樹が示す系統類縁関係

本研究においては、クラスター分析を行うために、遺伝的距離 (D) から、SNEATH and SOKAL (1973) の遺伝距離平均化法 (UPGMA 法) 及び SAITOU and NEI (1987) の近隣結合法 (NJ 法) の 2 つのアルゴリズムを

用いて系統樹を作成した。この2つの系統樹は、同じ値である D から作成したものであるが、その作成は異なった過程に基づくアルゴリズムにより行っている。現在までにさまざまな系統樹作成法が考案されているが、系統樹を復元する能力は異なっており、また、確率論的誤差が含まれることは避けがたい。そのため、コンピュータシミュレーションなどを用いて、系統樹作成法についての各種研究も行われている (Nei *et al.*, 1983)。それらより UPGMA 法は塩基置換速度がほぼ一定であるとき、種の系統樹を作成するのに有効であること、また、NJ 法は一般に真の樹形を復元する上で有効であることなどが報告されている (根井, 1990)。このような二つの異なった性質はかなり信頼性が高いといえる。本研究結果においては、UPGMA 法による系統樹と NJ 法による系統樹は、一致した樹形を示した (Fig. 2 および Fig. 3)。よって、本研究で求められた系統樹は、高い信頼性を持つと考えられる。

Fig. 2 および Fig. 3 に示された、それぞれのクラスターに注目すると、ウルメイワシとキビナゴが一つにクラスタリングされている。Masuda *et al.* (1984) の分類によると、ウルメイワシはウルメイワシ亜科に属し、キビナゴはキビナゴ亜科に属するとし、両種は同科別亜科の関係であるとしている (Table 1)。しかし、Whitehead (1985) の分類では、ウルメイワシとキビナゴは、ともにウルメイワシ亜科 (the subfamily Dussumieriinae) に属し、同亜科別属であるとしている。本研究の結果は、この Whitehead (1985) が提唱した分類体系を強く支持する結果となった。

また、Fig. 2 から、これら7種の内、ニシンが最も古

い時期に分岐したことが判明した。形態学的知見だけでなく化石資料などからみても、ニシンは、ニシン目の中でも非常に原始的で、初期の型に比べてそれほど特殊化していないとする説が一般的である (Romer, 1933)。ニシン目の祖先種は、化石知見などからみても、現在のニシン様形態を有している。本研究結果はこれらの知見と一致し、ニシンはニシン目の祖先種の形質を最も多く有し、原始的な種であると考えられる。さらに、このニシン目は、真骨魚類の中でも最も原始的な真骨魚類の低位群に属し、フォリドフォルス型の祖先型から、ジュラ紀に出現したとされている (上野・沖山, 1988)。真骨魚類としても、ニシンは祖先的形質を多く有した種であるといえる。

形態学的分類と分子系統学の比較

本研究の結果では、それまでに行われた形態学的知見に基づいた分類とほぼ同様の結果が得られた。しかしながら、先にも述べたように、カタクチイワシについての位置付けには、大きな相違が見られた。

形態学的には、カタクチイワシ科とニシン科においては、口の形態に大きな差が認められる (Fig. 4の a, c)。ニシン科では、口が小さく、その後端は眼の後縁を越えない。カタクチイワシ科では、口は大きく、その後端は眼の後縁を大きく越える。この形質の違いが、ニシン科とカタクチイワシ科を分ける大きな分類基準である。

本実験結果によると、カタクチイワシは、ニシン科のマイワシと極めて近縁関係にあり、形態レベルでの分類体系を支持しない。この2種の形態を比較すると、口と鰓蓋の形態の違いが明確である (Fig. 4の b, d)。しかし

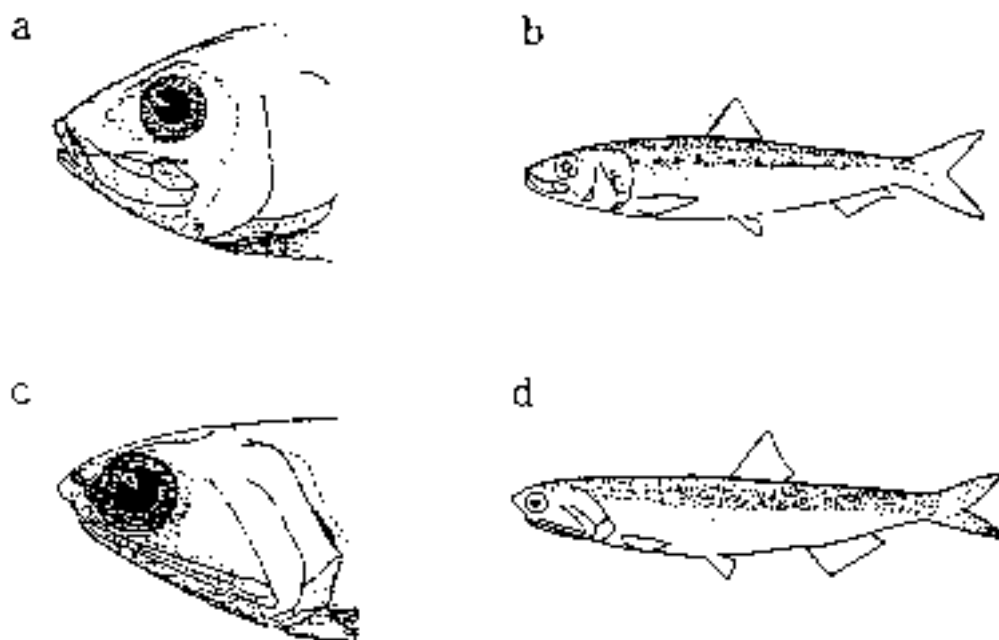


Fig. 4. Mouth shapes in the two families, Clupeidae and Engraulidae. a = typical Clupeidae, b = *Sardinops melanostictus*, c = typical Engraulidae, d = *Engraulis japonicus*.

ながら、その他の形態は、よく類似している。和名での名称が、カタクチイワシとマイワシであり、『カタクチ』という口の違いを省けば、イワシになるということに似ているのは興味深い。2種は、食料として古くから人々の生活に密着している。その中において、味や性質、形態などの総同性に基づき名をつけ、このような分類を行ったのであろう。ある意味では、古い分類体系ともいえるのではないだろうか。本研究結果におけるカタクチイワシとマイワシの類縁関係は、それに近い結果を示した。

形態学的知見に基づく系統分類では、そこで用いる形質にどのような重みづけを行うかにより、大きな差が生じる場合がある。また、その形質に存在するであろう、相同、相似、平行現象、収斂、などの関係から、相同形質のみを分類形質として選択する際にも、慎重な分析が必要とする。このような分析を行う中で、ニシン目については、カタクチイワシ科を設ける際における口の形態の特徴について、その形質に対し重みをつけ過ぎていると断言できる。

特に、口の形状は、食性を大きく反映している。ニシン目魚類は、おもに浮遊性の生物、プランクトンを食しており、鰓耙を発達させている。カタクチイワシ群は、ニシン科から派生し、その中でもより大きな口を持つことによって、その食性に適応した、特殊化した群ではないだろうかと予測される。

また、Fig. 2およびFig. 3に示された結果では、そのクラスタリングは、大まかな外部形態の輪郭における類似性をよく反映している。ニシンを標準型としたとき、キビナゴとウルメイワシに見られる細長い輪郭のタイプと、コノシロとサッパに見られる両側から押し潰したような太くて短い輪郭のタイプは、それぞれ同じクラスターを形成している。また、そのどちらにも属さず、標準型に近い輪郭を持つマイワシとカタクチイワシが1つのクラスターを形成している。このように、今回の分子レベルでの研究は、外部形態の分類と極めてよく一致している。

ニシン目魚類の種分化

上野ら(1988)とGREENMOOD *et al.* (1966)によると、ニシン目魚類はジュラ紀にフォリドフォルス目(Pholidphoriformes 全骨魚類に属し白亜紀に絶滅)から出現したとされている。本研究結果より求められた分岐年代によると(Fig. 2)、ニシン目からこれら7種が分岐したのは、ジュラ紀から約1億3000万年後に相当する、今から約260～650万年前の新世代第三紀であると推定される。この時期は、現代生物群の発展期で、現在のものに著しく類似したもの、あるいは、その直接の祖先などが見られる。気候は、比較的温暖であり各地に独特の種が増加したとされる(日本古生物学会, 1991)。その他の属は約260～340万年前に分岐した。これは新世代

第三紀の新第三紀鮮新世に相当する。この時期は、それまでの温暖な気候から、徐々に気温が低下し、次の第四紀での大氷河期へとつながったとされる。

このように、ニシンは他の属と比べてかなり古く、他の属とは異なった時代に分岐している。ニシンがニシン目の中でも祖先的形質を多く有する原始的な種であることは、先にも述べたように形態学的にも明らかにされており、今回のアロザイムの分子的な結果は、この結果とよく一致する。ではなぜ、ニシンはそのような古い時期に分岐し、現在まで原始的な形質を残しているにもかかわらず、繁栄しているのだろうか。ニシン目魚類は、そのほとんどが熱帯・亜熱帯・温帯の比較的温暖な海域に生息している。その中で、ニシン属は他の属とは異なり、寒帯の寒冷な海域に生息している。これについては、次のようなことが予測される。ニシン属は中新世に派生して繁栄したが、その後、温暖な海域では、鮮新世に派生した他のニシン目の種などに取って代わられた。しかし、寒冷な海域までは、それらの新しい種は侵入することができず、寒冷な海域に生息するニシンのみが現在まで生き残ったのではないだろうか。それらを明らかにするには、さらにニシン科の他の属を詳細に調査し、ニシン属との系統類縁関係を分析することに加え、古生物学や動物地理学に基づいた調査も必要であろう。

要 約

ニシン目魚類は、真骨魚類の原始的な一群である。それらの種は、多くが熱帯、亜熱帯の比較的温暖な海域に生息し、世界中に広く分布している。ニシン目の中には、ニシンやイワシなどをはじめとし、食用として一般に広く知られたものが多く、水産資源として大変有用なものが多い。このような水産資源としての重要性から、ニシン目魚類については、さまざまな研究が古くからなされており、系統分類は、主に形態学的な面から、数多くの報告がなされてきた。しかしながら、ニシン目内での諸群間の系統類縁関係については、不明な点が極めて多い。

本研究では、ニシン目内での諸群間における系統類縁関係を明らかにするため、それまでニシン目については行われてこなかった。分子系統学的手法であるアイソザイム分析を用いて、ニシン目魚類の2科7属7種について分子系統学的解析を行った。この分子系統学は、遺伝子の産物であるタンパク質を解析することにより、系統類縁関係を明らかにするものである。本研究では、タンパク電気泳動法により、酵素タンパク質の多型現象を検出し、アイソザイム分析を行った。

調査した種は、ニシン科のウルメイワシ属、ウルメイワシ(*Etrumeus teres*)、キビナゴ属、キビナゴ(*Spratelloides gracilis*)、マイワシ属、マイワシ(*Sardinops melanostictus*)、サッパ属、サッパ

(*Sardinella zunasi*), ニシン属, ニシン (*Clupea pallasii*), コノシロ属, コノシロ (*Konosirus punctatus*), カタクチイワシ科のカタクチイワシ属, カタクチイワシ (*Engraulis japonicus*) の合計 2 科 7 属 7 種である。

アイソザイム分析では, 14 酵素 19 遺伝子座を用いた。その結果, 平均ヘテロ接合体率 (H) の期待値は, $H = 4.8 \sim 8.6\%$ となり, 平均 $H = 6.1\%$ であった。この値は, 魚類における一般的な平均ヘテロ接合体率に相当するものであった。

また, Nei (1972) の遺伝的類似度 (I) および遺伝距離 (D) を求め, 遺伝距離から遺伝距離平均化法 (UPGMA 法) と近隣結合法 (NJ 法) を用いて, 2 つの分子系統樹を作成した。得られた 2 つの分子系統樹は, 相同な樹形を示し, 高い信頼性を持つものであった。その結果, (ウルメイワシ・キビナゴ) 群, ニシン群, (サッパ・コノシロ) 群, (マイワシ・カタクチイワシ) 群, の 4 つの分類群に分かれることが判明した。これらは形態学的研究では得られない, 全く新しい知見であり, 分子系統学の有力性を示すものである。特に, カタクチイワシは, 従来の分類体系とは異なり, ニシン科に属するという有益な結果も得られた。

分岐年代を算出した結果, ニシン以外の 6 種は, 約 260 ~ 340 万年前の新第三紀鮮新世に分岐したと推定された。一方, ニシンはそれら 6 種より古く, 約 650 万年前の新第三紀中新世に分岐したと推定された。形態学的知見だけでなく化石資料などからみても, ニシンはニシン目の中で非常に原始的な種であるとされており, 本研究の分子系統学的研究はこれを強く支持するものである。

参 考 文 献

- AYALA, F. J., POWELL, J. R., TRACEY, M. L., MOURAO, C. A. and PEREZSALAS S. (1972) Enzyme variability in the *Drosophila willistoni* group. IV. Genetic variation in natural populations of *Drosophila willistoni*. *Genetics*, 70 : 113-139.
- AYALA, F. J., TRACEY, M. L., BARR, L. G., McDONALD, J. F. and PEREZSALAS, S. (1974) Genetic variation in natural populations of five *Drosophila* species and the hypothesis of the selective neutrality of protein polymorphisms. *Genetics*, 77 : 343-384.
- BERG, L. S. (1940) Classification of fishes, both recent and fossil. *Tran. Inst. Zool. Acad. Sci. URSS, Leningrad*, 5 : 87-517.
- BERTIN, L. and ARAMBOURG, C. (1958) *Super-ordre des teleosteens (Teleostei)*, in *Traite de Zoologie*, 13 : 2204-2500.
- BLAXTER, J. H. S. (1985) The herring : A successful species? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42 : 21-30.
- DAVIS, B. J. (1964) Disc electrophoresis-II. Method and application to Human serum proteins. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 121 : 404-427.
- FARRIS, J. S. (1972) Estimating phylogenetic trees from distance matrices. *Am. Nat.*, 106 : 645-668.
- 藤尾芳久 (1985) アイソザイム分析手法による魚分類の遺伝的特性の解明に関する研究. 昭和 59 年度農林水産業特別試験研究費補助金による研究報告書, 水産庁. 1-58.
- GILLESPIE, J. H. and LANGLEY, C. H. (1974) A general model to account for enzyme variation in natural populations. *Genetics*, 76 : 837-848.
- GOSLINE, W. A. (1960) Contributions toward a classification of modern isospondylous fishes. *Bull. Brit. Mus. Nat. Hist. (Zool.)*, 6 : 325-365.
- GRANDE, L. (1982) A revision of the fossil genus *Knightia*, with a description of a new genus from the green river formation (Teleostei, Clupeidae). *Amer. Mus. Novit.*, 2728 : 1-34.
- GRAUR, D. (1985) Gene diversity in hymenoptera. *Evolution*, 39 : 190-199.
- GREENWOOD, P. H., ROSEN, D. E., WEITZMAN, S. H. and MYERS, G. S. (1966) Phyletic studies of teleostean fishes, with a provisional classification of living forms. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.*, 131 : 339-456.
- GYLLENSTEN, U. (1985) The genetic structure of fish : difference in the intraspecific distribution of biochemical genetic variation between marine, anadromous, and freshwater species. *J. fish. Biol.*, 26 : 691-699.
- HATL, D. L. (1987) 集団遺伝学入門. 培風館, 東京.
- KIMURA, M. (1983) *The Neutral Theory of Molecular Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge.
- 益田一・尼岡邦夫・荒賀忠一・上野輝彌・吉野哲夫 (1988) 日本産魚類大図鑑. 東海大学出版会, 東京.
- MATSUOKA, N., CHIBA, Y. and SAITOH, K. (1984) Biochemical evidence for the genetic differentiation between two morphologically very similar species of *Neope* (Lepidoptera, Satyridae) from Japan. *Proc. Japan Acad.*, 60(B) : 245-248.
- MURCUS, N. H. (1977) Genetic variation within and between geographically separated populations of the sea-urchin, *Arbacia punctulata*. *Biol. Bull.*, 153 : 560-567.
- MURPHY, R. W., SITES, J. W., BUTH, D. G. and HAUFLE, C. H. (1990) Protein I : Isozyme electrophoresis. In *Molecular Systematics* (Ed. by Hillis, D. M. and Moritz, C.), pp. 45-126.
- 中坊徹次 (1993) 日本産魚類検索図鑑. 東海大学出版会, 東京.
- NEI, M. (1972) Genetic distance between populations. *Amer. Natur.*, 106 : 283-292.
- NEI, M. and ROYCHOUDHURY, A. K. (1974) Sampling variances of heterozygosity and genetic distance. *Genetics*, 76 : 379-390.
- NEI, M. (1975) *Molecular Population Genetics and Evolution*. North-Holland, Amsterdam.
- NEI, M. (1978a) Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics*, 89 : 583-590.
- NEI, M. (1978b) The theory of genetic distance and evolution of human races. *Jap. J. Human Genet.*, 23 : 341-369.
- 根井正利 (1990) 分子進化遺伝学, 培風館, 東京.
- 日本古生物学会 (1981) 古生物学辞典, 浅倉書店, 東京.
- ROMER, A. S. (1981) The Vertebrate Story. どうぶつ社, 東京. (in Japanese)
- ROYCHOUDHURY, A. K., TATENO, Y., GRAUR, D., TAJIMA,

- F. and SAITOU, N. (1991) Program for computing average heterozygosity and Nei's genetic distance. Program GD3.
- SAITOU, N. (1995) Nj-package. A Macintosh program package for the neighbor-joining method.
- SAITOU, N. and NEI, M. (1987) The neighbor-joining method : A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Mol. Biol. Evol.*, 4 : 406-425.
- SHAW, C. R. and PRASAD, R. (1970) Starch gel electrophoresis of enzymes. A compilation of recipes. *Biochem. Genet.*, 4 : 297-320.
- SNEATH, P. H. and SOKAL, R. R. (1973) Numerical Taxonomy. Freeman, San Francisco.
- THORPE, J. P. (1982) The molecular clock hypothesis : Biochemical evolution, genetic differentiation and systematics. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 13 : 139-168.
- 上野輝彌・沖山宗雄 (1988) 現代の魚類学. 浅倉書店, 東京.
- WARD, R. D. (1977) Relationship between enzyme heterozygosity and quaternary structure. *Biochem. Genet.*, 15 : 123-135.
- WHITEHEAD, P. J. P. (1963) A contribution to the classification of Clupeoid fishes. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, 13-th Ser., 5 : 737-750.
- WHITEHEAD, P. J. P. (1985) Kong herring : his place amongst the Clupeoids. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42 : 3-20.
- ZUCKERKANDL, E. and PAULING, L. (1962) Molecular disease, evolution and genetic heterogeneity. In *Horizons in Geochemistry* (Ed. by Kasha, M. and Pullman, B.), pp. 189-225. Academic Press, New York.

Phylogenetic relationships among seven fish species of the order Clupeiformes inferred from allozyme variation

Tsuyoshi ASANUMA¹ and Norimasa MATSUOKA²

¹ Department of Biology, Faculty of Science, Hirosaki University,
3 Bunkyo-cho, Hirosaki, Aomori 036-8561, Japan

² Department of Biofunctional Science, Faculty of Agriculture & Life Science,
Hirosaki University, 3 Bunkyo-cho, Hirosaki, Aomori 036-8561, Japan

SUMMARY

The order Clupeiformes includes the seven common fish species in Japanese waters : *Etrumens teres*, *Spratelloides gracilis*, *Sardinops melanostictus*, *Sardinella zunasi*, *Clupea pallasii*, *Konosirus punctatus* and *Engraulis japonicus*. The phylogenetic relationships and allozyme variation were studied in these seven species from Japanese waters by electrophoretic analysis of 14 different enzymes. From the allozyme variation observed in 19 genetic loci scored, it was calculated that the average heterozygosities (H values) are in the range of 4.8-8.6%, with a mean of 6.1%. These H values were comparable to those of many other fishes. The molecular phylogenetic tree for the seven species which was constructed from Nei's genetic distances indicated the following : (1) Among seven species of the order Clupeiformes, the seven species were divided into the two large clusters : one is the group of *E. teres*, *S. gracilis* and *C. pallasii*, the other is the group of *S. zunasi*, *K. punctatus*, *S. melanostictus* and *E. japonicus*. (2) In the first cluster, *E. teres* and *S. gracilis* are closely related to each other. (3) In the second cluster, *S. melanostictus* is most closely related to *E. japonicus*, and further the present molecular study also showed the close relationship between *S. zunasi* and *K. punctatus*. (4) *Clupea pallasii* of the subfamily Clupeinae is the most primitive and ancestral type of the seven species. These molecular results were discussed through the comparison with other non-molecular evidence.

Bull. Fac. Agric. & Life Sci., Hirosaki Univ. No. 4 : 1 — 15, 2001

陸奥湾産マナマコの発生と人工飼育

吉田 涉^{*1}・玉井 敦司^{*2}・谷中 俊広^{*1}・石田 幸子^{*1}

^{*1} 遺伝情報科学講座

^{*2} 青森市産業部 水産業課 水産指導センター

(2001年10月5日受付)

諸 言

日本に生息するマナコ類は数十種類あるが、普通食用となるのはマナコである。マナコは生鮮食料品として用いられる以外に、近年、中華料理の高級食材として注目を集め、特に乾燥品のイリコ（海参）は輸出品としての需要が増えている。資源確保の観点から、青森県では、早くから水産資源の一つとして、マナコの増殖や種苗生産に力を入れている。

マナコの発生は、稲葉（7,8）、今井ら（6）により報告されているが、同報告以降、本種の発生学的研究は乏しい。効率的な採卵方法を考案したり、稚マナコまでの飼育を効率良く行うことができれば、増殖技術の向上に大きく貢献できるものと考えられる。

筆者らは、青森県のマナコの種苗生産の技術を基に人工的な産卵誘発を行うと共に、これまでの報告データ（1～4, 11, 12）を解析することで、陸奥湾産マナコにおける効率的な産卵誘発時期を検討した。また、誘発処理により採取された卵と精子を用いて受精を行い、飼育が難しいとされる auricularia 幼生以降の飼育を検討した。その結果、小規模な実験室内でも doliolaria 幼生や pentactula 幼生を経て稚マナコまで飼育することが可能となったので、その飼育方法並びに本種の正常発生段階表を報告する。

材 料 と 方 法

用いたマナコ *Stichopus japonicus* Selenka は陸奥湾から採集した 20～30 cm の成体で、誘発まで 10℃ の海水で飼育し、誘発時に温海水（20℃）に移し、放精及び放卵を促した。誘発は暗所で行い、放精または放卵した個体は懐中電灯を用いて確認した。放卵を開始した雌個体は、直ぐに、10 狩の濾過海水の入った水槽に移し、放卵が完了するまで隔離した。誘発処理における放卵及び放精の頻度（反応率）と誘発処理で採取された卵数は青森県水産増殖センター事業報告（1～4, 11, 12）を基に算出した。

受精は、放精中の雄個体の生殖口から放出されている精子をピペットで採取し、卵の入っている水槽に 2 m 狩加えてかき混ぜることにより行った。その後、濾過海水で、過剰な精子を洗い流し、エアーを入れた濾過海水中で受精卵を飼育した（室温 20℃）。

受精後 3 日目に浮遊幼生を飼育水に移した。幼生には餌として *Chaetoceros gracilis* を 1×10^7 個/狩の密度で、乳鉢で細かくすりつぶしたテトラミン ベビーを 1 狩当たり 1 mg 与えた。餌は 2 日に一度の割合で与え、底に沈んでいる餌をサイホンで取り除いた後に新しい濾過海水に交換した。

結 果 と 考 察

1) 加温による放卵と放精の誘発

2000 年 5 月 15 日（試験 1）では誘発処理後、30 分すると雄 2 匹が放精を開始し、その 30 分後の間に計 11 匹が順次、放卵した。6 月 13 日（試験 2）の誘発では、放卵が確認された個体は 2 匹で、そのうちの 1 匹が 280 万個の卵を放卵した。また、2001 年 5 月 1 日（試験 3）では処理後 45～55 分に 3 匹が放卵した。また放精が確認できた個体は 10 匹であった。5 月 23 日（試験 4）では処理後 45 分に 1 匹の放卵が確認できた。また、放精した雄は 5 匹であった。今回の加温による誘発試験では放精の後に、放卵が起こること、また放卵個体は放精個体より少ない（試験 3 では 3/10、試験 4 では 1/5）ことがわかった。

青森県水産増殖センター事業報告（1～4, 11, 12）を基に、加温誘発試験のデータを解析した。その結果、放卵と放精の頻度即ち反応率は 0%～25% であった。雌の反応率は 0～20% で平均すると 1.8%、雄の反応率は 0～19%、平均で 5.4% であった（Fig. 1）。マナコは雌雄異体であり、外見上雌雄の区別は困難なため、試験に使用した雌雄の比率は知り得ないが、反応率は雌より雄の方が 3 倍程度高いと思われる。今回の試験結果も同様な傾向が見られた。

次に最も効率的な放卵が行われる時期並びに採卵数を

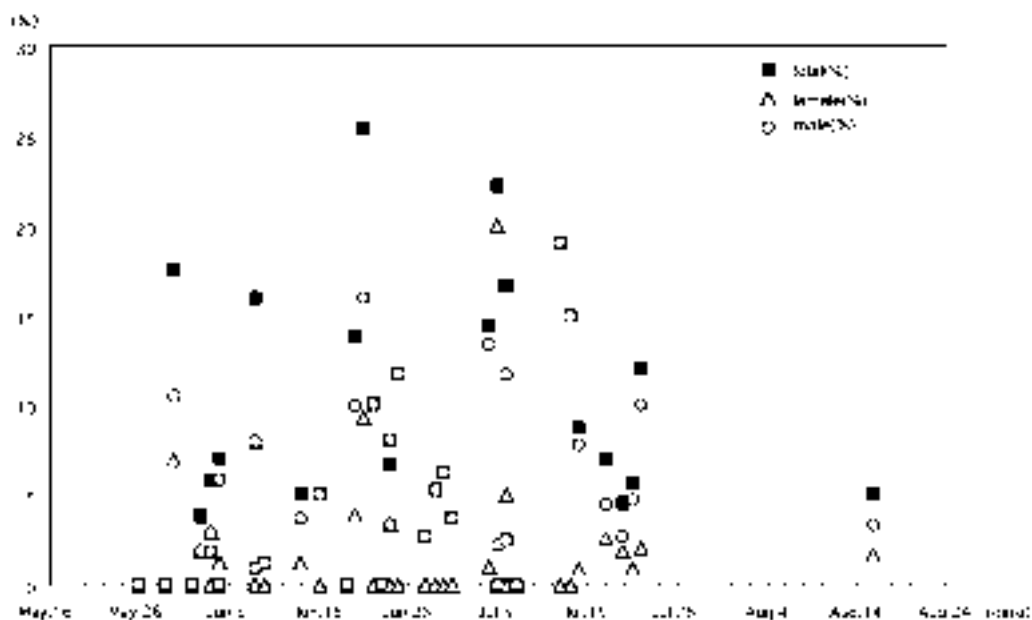


Fig. 1 Frequency of spawning and ejaculation in artificial induction

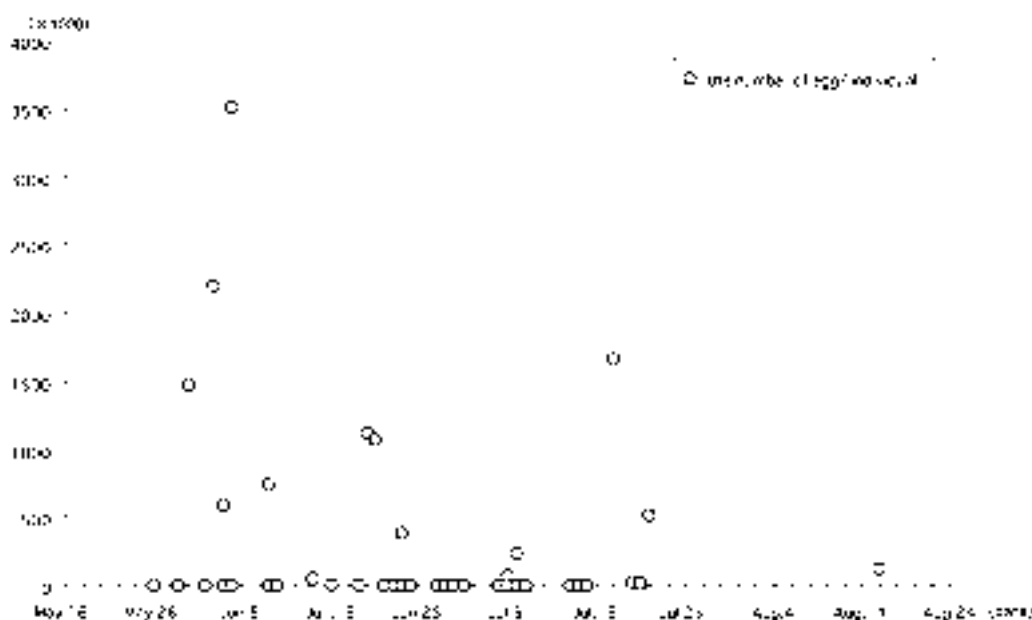


Fig. 2 The number of eggs collected from adult female sea cucumber

青森県水産増殖センター事業報告（1～4, 11, 12）を基に調べた。試験期間は5/26～8/16の80日間に及んでいる。雌の反応率は全期間を通して変わらないようであるが、1個体当たりの採卵数をみると5月末から6月中旬が多いようである（Fig. 2）。今回、我々の行った試験では、1個体当たりの採卵数のデータは持ち合わせていないが、6月13日（試験2）では1個体から280万個の卵を採取できた。

自然産卵の場合、産卵の時期は海水温と密接な関係があると考えられる。例えば汽水性内湾の宮城県牡鹿群石浦で採集されたマナマコでは、成熟卵は6月中旬（水温

20℃）で50%位、6月下旬から7月上旬にかけてが自然産卵の盛期で、7月中旬には大部分が放卵済みである。一方、外洋性の女川湾では7月中旬から下旬に産卵の盛期があり、50～60%の成熟卵をもった個体が採集されたとある（6）。陸奥湾の調査では早川がマナコの成熟状況から水温が12～16℃になる5～6月が産卵盛期であると報告している（5）。また調査期間中の水温12～15.7℃で5月30日には生殖巣指数が高く、6月20日には殆どが、放精放卵している個体であったとの報告もある（11）。このことから海水温の上昇が、マナコの卵成熟並びに放卵や放精に影響を与えることが推測され

る。人工的に 10 °C の海水から 20 °C の温海水へ移すことで産卵誘発はある程度制御可能であるが、海水温が 20 °C より低い 12 ~ 16 °C でも自然産卵が行われているので、より効率的な産卵誘発には使用する親ナマコの生息環境を調べ、人工的な海水温度制御による卵成熟の度合い、加温による放卵や放精のメカニズムを調べる必要があると考える。また、人工授精等の導入も必要となるであろう。

2) 受精と発生

放卵直後の卵は卵核胞が崩壊しているが、まれに、卵核胞 (germinal vesicle) を有し、濾胞上皮 (follicular epithelium) に包まれた未成熟卵が観察される。しかし、その頻度はかなり低く、殆どが卵核胞が崩壊した成熟卵である。卵の直径は 160 ~ 165 μm で楕円形をしている。放卵後、30 分後に卵門突起 (micropyle process) とよばれる細胞質突起が観察される。卵門突起から第一極体 (1st polar body) が放出され、次いで第二極体 (2nd polar body) が現れる。ニセクロナマコの人工授精では減数分裂第一分裂中期以降のステージの卵が受精可能であり (10), 第一極体が放出する前の中期に受精させると正常な二細胞の割合が高いが、減数分裂第二分裂以降で受精させると、その割合は時間とともに低くなるようである。今回の受精は放卵 30 分後に行ったので、卵は減数分裂第一分裂中期に受精されたこととなる。

受精 2 時間後に第一卵割がはじまり、極体のある動物極からくびれはじめる。第一卵割の 40 分後には第二卵割をはじめ 4 細胞となる。その後、32 細胞期までおよそ 40 分に一度分裂を繰り返し、受精後 5 時間 40 分で 64 細胞となる。卵割は完全な全等割である。初期胞胚 (128 細胞)、中期胞胚 (256 細胞) を経て、受精後 13 時間で後期胞胚となる。受精後 15 時間すると、受精膜内で胚が回転をはじめ、約 1 時間後に受精膜が破れ、孵化する。受精後、19 時間すると原口が観察される初期囊胚となる。原腸 (archenteron) が形成され、間充細胞が観察されるようになる。マナマコの囊胚期では、ウニ類でみられるような幼生骨片 (larval spicule) はまだ観察されない。囊胚後期には正中線のやや左側に背孔 (dorsal pore) が形成される。受精後、2 日目には初期アウリクラリア幼生 (early auricularia) の様相を呈するようになる。口陥 (stomodaeum) が形成され腸と肛門ができ、体長は 340 μm になる。3 日目には体長 430 ~ 450 μm になる。4 日目には食道と胃の区別がつくようになり、胃は袋状になり食道と連動して蠕動運動を行う。その後、成長を続け、典型的な中期アウリクラリア幼生 (mid auricularia) まで成長し、5 日目には 500 ~ 530 μm になり、左後側突起の部分に幼生骨片を一つ形成する。6 日目には 650 μm に達し、左背側の水腔 (hydrocoel) が顕著となる。また中背突起と後背突起の間にもう一つの彎曲部が生じはじめる。この彎曲部は更に発達し、内

後側突起となる。その後、発生が進み後期アウリクラリア幼生 (late auricularia) になると後側突起と後背突起部分に球状体 (elastic ball) がみられ、次いで額域の上部復側と前背、中背の突起部位に全部で 5 対の球状体が形成される。また、左腸体腔 (left enterocoel) は胃の左側に形成され後方に延び、右腸体腔 (right enterocoel) は胃の中央の下側から生じてくる。この頃になると幼生の体長は最大に達し、大きいものでは 1 mm に達する。受精後 10 日目には、体は縮小し始め、doliolaria へと変態をはじめめる。各突起は小さくなり、次第に丸くなり、doliolaria の様相を表す。このころになると球状体が目立つようになる。口は丸く、小さくなり、体の縮小に伴って、胃が萎縮する。auricularia 幼生時に顕著であった繊毛帯 (ciliary band) は部分的に分断し始める。受精後、15 日目には樽型の形をした doliolaria 幼生となる。球状体を取り巻くように 5 本の繊毛環 (transverse ciliary band) ができ、内部には口触手 (buccal tentacle) が形成される。16 日目には底棲生活に入り、18 日目には pentactula 幼生となる。5 本の第一触手 (primary tentacle) ができる。22 日目には体表が多数の櫛状の骨片で覆われ、尾部に管足 (tube foot) ができる。この管足を用いて壁面に吸着し、流水で流されるのを防ぎ、体を支える。

マナマコの発生は既に、今井ら (6) が宮城県産のマナマコの人工授精により、観察しているが、受精から変態までの一連の発生段階表はない。今回、我々は陸奥湾産マナマコを用いて発生過程を追跡し、発生段階表を作成した (Table 1, Fig. 3)。第一卵割後は第五卵割まで 40 分毎に分裂し、受精後、15 時間で孵化するのを観察した。また、今井らが記述している Gastrula は本段階表の mid gastrula にあたると考えられ、受精後、25 時間にあたる。初期 auricularia 幼生は受精後 2 日目に観察され、ここまでの初期発生は稲葉や今井らの報告とほぼ一致する。また、auricularia 幼生の変態期間は 7 ~ 8 日間で、後期 auricularia 幼生は 5 対の球状体を有する形態を持つこととした。後期 auricularia から doliolaria への変態中の幼生 (Fig. 3, 29 ~ 32) は 5 日間観察された。doliolaria は 5 本の繊毛環を持ち、樽型の形を呈するものとした。また、doliolaria から pentactula の変態には 3 日を要し、第一触手の形成をもって pentactula、骨片と管足の形成をもって late pentactula とした。今井らによれば auricularia から doliolaria の変態は 30 ~ 36 時間を有し、doliolaria の変態後、3 日目には pentactula になるという。今回の観察では auricularia から doliolaria 変態期間は 5 日になっている。これは同一飼育条件下の別の個体を観察したために生育の遅い個体と早い個体が混在し、変態期間が延びたか、あるいは、飼育条件や水換え等の物理的ダメージにより、変態が遅れた可能性も考えられる。餌を与えなかった場合には通常、中期 auricularia 幼生までは飼育できるが、その後の発生は進

Table 1. The stages in the normal development of sea cucumber, *Stichopus japonicus* at 20°C

Table 1. The stages in the normal development of sea cucumber, <i>Stichopus japonicus</i> at 20°C				No. in Fig. 3
Stage number	Time after insemination		Morphological events in development	
Stage	Day	Hr. Min		
- immature egg			明瞭に二を有する卵核と透明な液がみられる、 $165\mu\text{m}$	1
0 insemination		0	卵卵殻を破り、受精する。	
1 1st polar body	(	30)	卵卵殻を破り、約30分で第一極体を放出する。	2
2 2nd polar body	(1	40)	第一極体放出後、約30分で第二極体を放出する。	3
3 2-cell	2	0	第一卵割が始まる。等割で動物極からくびれる縦割である。	4
4 4-cell	2	40	第二卵割が始まる。等割で卵割腔がみられる。	5
5 8-cell	3	20	第三卵割が始まる。等割である。	6
6 16-cell	4	0	第四卵割が始まる。	7
7 32-cell	4	40	第五卵割が始まる。	8
8 64-cell (morula)	5	40	第六卵割が始まる。	9
9 128-cell (early blastula)	7		第七卵割が始まる。	10
10 256-cell (mid blastula)	10		第八卵割が始まる。	11
11 late blastula	13		細胞が増加し、卵割腔が大きくなる。	12
12 hatching blastula	15		受精囊の中で卵が回転し始める。回転は徐々に早くなる。	13
hatching	16		回転開始後、約1時間で腹のところに、ろが通くなり消化する。	
13 early gastrula	19		腹口が形成される。	14
14 mid gastrula	1	1	腹口が形成され、間充細胞が観察される。	15
15 late gastrula	1	6	腹口はさらに中央部まで陥入し、間充細胞がさらに増える。	16
			正中線よりやや左に背孔が形成される。	17
16 early auricularia	2	3	口陥が形成され、腸、肛門が形成される。	18
			背孔と孔管がみられる。	19, 20
17 mid auricularia	4		口陥は口になり、腸と胃の区別がつくようになる。	21, 22
			食道が形成され餌を飲み込む蠕動運動を行うようになる。	20
			幼生骨片が後側突起の左下端に1個見られる。	24, 25
			左後背方に水腔が形成される。受精後6日目には $650\mu\text{m}$ 、	26
			7日目には $700\mu\text{m}$ になる。	27
18 late auricularia	9		球状体(elastic ball)が5対、後背、後背、中背、前背の各突起	
			翼状部と腹域の上を背中に認められる。	
			左側腸体腔は発達し、胃の上側方から下方へと伸びる。	
			右側腸体腔は胃の中央部から下方へと伸びる。	
			受精後9日目には $900\mu\text{m}$ に達する。	28
	11		水腔は更に発達し、彎曲する。	
			体長は $700\mu\text{m}$ になり、体が縮小し始める。	29
	14		口は円型になり、球状体を中心に各突起は小さくなる。	30
			突起は見られなくなり、球状体が目立つ。縦帯(ciliary band)	31
			は部分的に分断し始める。体が更に縮小し、 $500\mu\text{m}$ になる。	32
19 didiolaria	15		樽型の形になり、各突起体を取り替えるように5本の縦帯	
			(transverse ciliary band)を生じる。体の中央部に口触子	
			(buccal tentacle)ができる。	33
	16		浮遊生活から底棲生活に入る。	34
20 pentactula	18		前方が平たくなり、5本の第一触手(primary tentacle)を有する。	
			第一触手は活発に動き、口の中を出入りする。	35
21 late pentactula	22		後方に管足(tube foot)を有する。管足で壁面に吸着することが	
			できるようになる。体表は楕円の骨片に覆われる。	36

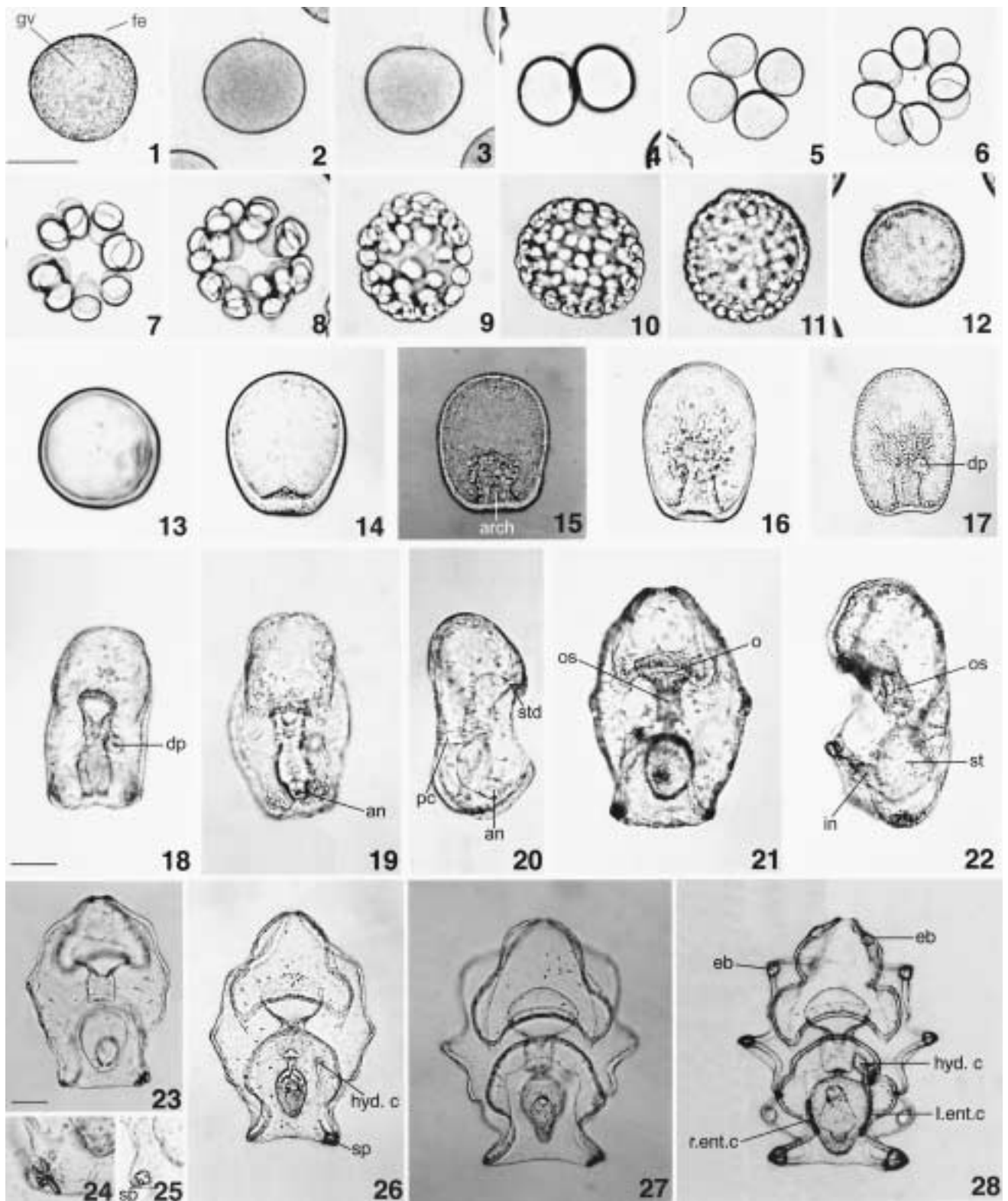


Fig. 3

まない。後期 auricularia 幼生に特徴的な球状体形成は、その後の幼生変態が可能かどうかの重要な指標となり、球状体が doliolaria 幼生への変態に重要な役割を果たしているものと考えられる。

3) 幼生飼育

2001年5月1日と5月21日の計2回、受精させたマナマコの卵を実験室(室温 20℃)内で3日間通常濾過海水で発生を進め、各種の飼育条件に移した(Table 2)。2001年5月1日に受精させた卵を3種類の条件で飼育し

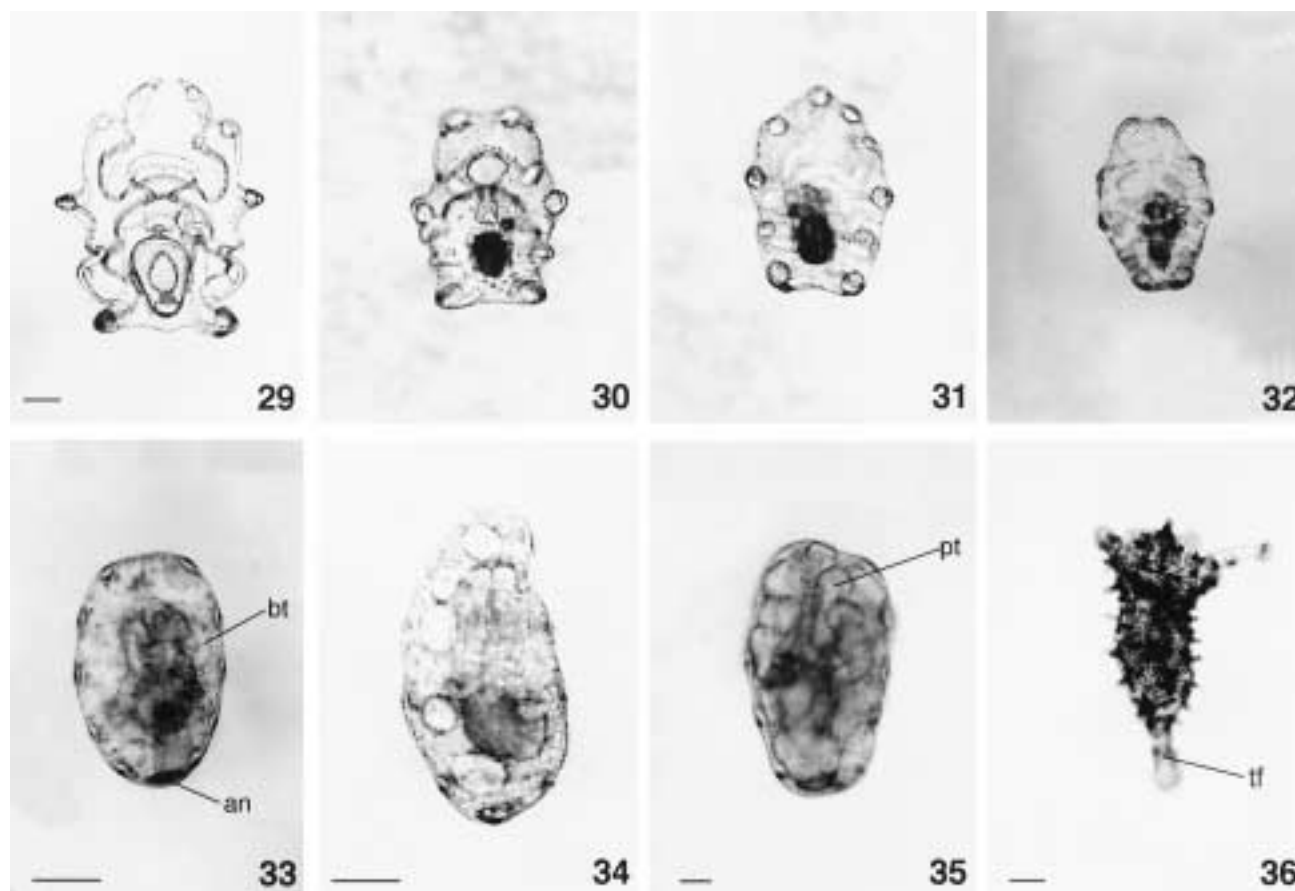


Fig. 3 Normal development of sea cucumber (*Stichopus japonicus* Selenka)

1, immature egg. 2, 1-cell (1st polar body). 3, 1-cell (2nd polar body). 4, 2-cell. 5, 4-cell. 6, 8-cell. 7, 16-cell. 8, 32-cell. 9, 64-cell. 10, 128-cell. 11, 256-cell. 12, late blastula. 13, hatching blastula. 14, early gastrula. 15, 16, mid gastrula. 17, late gastrula. 18~20, early auricularia. 18, 2-day. 19, 20, 3-day. 21~27, mid auricularia. 21, 22, 4-day. 23, 5-day. 24, 25, enlargement of larval spicule. 26, 6-day. 27, 7-day. 28, 29, late auricularia. 28, 9-day. 29, 11-day. 29~32, late auricularia during metamorphosis. 33, doliolaria. 34, doliolaria during metamorphosis. 35, pentactula. 36, late pentactula. an: anus. arch: archenteron. bt: buccal tentacle. dp: dorsal pore. eb: elastic ball. fe: follicular epithelium. gv: germinal vesicle. hyd.c: hydrocoel. in: intestine. l.ent.c: left enterocoel. o: mouth. os: oesophagus. pc: pore canal. pt: primary tentacle. r.ent.c: right enterocoel. st: stomach. std: stomodaeum. sp: larval spicule. tf: tube foot. 18, 19, 21, 23, 26~30, ventral view. 20, 22, lateral view. 24, 25, dorsal view. scale bar, 100 μ m; 1~17, 18~22, 23 & 26~28, 29~32, same size.

た(①~③)。浮遊している幼生をスポイトでとり、ホールスライドガラスにのせ顕微鏡を用いて検鏡し、外部形態並びに胃の内容物等の有無を観察した。①の条件では受精後5日目には大多数の個体が中期アウリクラリア幼生に進んだが、②では中期アウリクラリア幼生になっているもの(3匹/10匹)もあるが、残りは初期アウリクラリア幼生で発生が止まっていた。③は初期アウリクラリア幼生で死亡した。6日目の観察では①、②ともに浮遊幼生はなく、水槽の底に沈んでいた。以上、5月1日に受精した幼生の飼育ではいずれの条件下でも後期アウリクラリア幼生まで飼育することはできなかった。これは、餌を与える時期や幼生の飼育密度、餌が不適当である為と考えられた。そこで、餌の種類や与える量、幼生飼育密度を改良し、実験を行った(④~⑨)。

受精後5日目に④では中期アウリクラリア幼生以降の個体は観察されず、また⑤と⑥では初期アウリクラリア幼生であった。6日目には④、⑤、⑥のいずれの飼育条件でも、浮遊幼生は確認できなかった。⑦、⑧、⑨の条件では6日目で中期アウリクラリア幼生を観察できた。⑦、⑧ではこれら幼生の胃に内容物が観察されたが、⑨では胃の内容物は観察されなかった。⑧の条件では更に生育を続け、7日目には幼生の後側突起の部位に球状体が1対観察され、9日目には5対の球状体をもつ、後期アウリクラリア幼生に成長した。⑧の条件ではその後、変態を遂げ、ドリオラリア(doliolaria)幼生、そしてペンタクツラ(pentactula)幼生を観察することができた。

今回、抗生物質を入れた抗海水では中期アウリクラリア幼生で発生が停止したことから、マナマコの幼生の飼

Table 2. The breeding conditions of sea cucumber larvae

breeding condition	antibiotic usage (Nagata & Asada)	food	larval density (cm ²)	larval stage
1	streptomycin, penicillin	<i>Chaetoceros gracilis</i>	30	mid-budding
2	streptomycin	<i>Chaetoceros gracilis</i>	30	early budding mid-budding
3	(-)	<i>Chaetoceros gracilis</i>	30	early budding
4	streptomycin, penicillin	<i>Chaetoceros gracilis</i> only	-	mid-budding
5	streptomycin, penicillin	<i>Chaetoceros gracilis</i> TetraMin + baby	-	early budding
6	streptomycin, penicillin	TetraMin + baby only	-	early budding
7	(-)	<i>Chaetoceros gracilis</i> only	-	mid-budding
8	(-)	<i>Chaetoceros gracilis</i> TetraMin + baby	-	penetration
9	(-)	TetraMin + baby only	-	mid-budding

(-) no antibiotic in seawater

育には抗海水は適さないことがわかる。ある種の海産生物では、他の生物の繁殖を防ぐために抗生物質を入れた海水で飼育することがあるが、変態過程が複雑なマナマコでは変態途中に与えられた抗生物質はむしろ変態に影響を及ぼすと考えられる。

飼料として珪藻類の *Chaetoceros gracilis* 単独で飼育した場合では、ドリオラリアへと変態させることはできなかった。また、TetraMin[®] baby 単独の場合も同様に発生を進めることができなかった。一方、*Chaetoceros gracilis* と TetraMin[®] baby の混合飼料を用いた場合には、ペンタクツラ幼生まで生育を進めることができた。飼育に用いた市販の熱帯魚・金魚用の餌（テトラミンベビー）は稚魚期の発育に必要な栄養素が強化されており、この主原料はフィッシュミール、穀物、イースト等である。今井らは無色鞭毛虫 *Monas* sp. を用いてマナコの人工飼育に成功している（6）が、これらの無色鞭毛虫は入手しにくい。今回、市販の餌と *Chaetoceros gracilis* を用いた混合飼料を使うことで、マナコの幼生飼育を可能にした。今後、マナコのみならず海産生物（棘皮動物、二枚貝類等）の幼生飼育に混合飼料が応用できるものとする。

摘 要

これまでの報告データを基に、陸奥湾のマナマコの産卵時期は5月から8月の長期にわたること、人工的産卵誘発に適する時期は5月末から6月上旬であることを示した。餌として珪藻類の *Chaetoceros gracilis* と市販の熱帯魚の餌（テトラミンベビー）を用い、低密度（1m²当たり1匹）で飼育することにより、小規模な実

験室でも稚マナコまで発生を進めることを可能とした。マナマコの採卵、受精、初期発生、幼生変態までの一連の発生過程を追跡し、発生段階表を作成した。

引 用 文 献

1. 蛭名政仁，鹿内満春：マナコ増殖試験．青森県水産増殖センター事業報告 18：167-174，1989.
2. 蛭名政仁，鹿内満春：マナコ増殖試験．青森県水産増殖センター事業報告 19：174-176，1990.
3. 蛭名政仁，鹿内満春：マナコ増殖試験．青森県水産増殖センター事業報告 20：141-146，1991.
4. 蛭名政仁，田中俊輔，永峰文洋，佐藤恭成，相坂幸二，佐藤敦，沢田満，松宮隆志，武石守，長谷川清治，安田明弘，山口甚幸，金沢保：マナコ放流技術開発試験．青森県水産増殖センター事業報告 22：208-221，1993.
5. 早川豊：マナコ増殖試験．青森県水産増殖センター事業概要 6：142-153，1977.
6. 今井丈夫，稲葉傳三郎，佐藤隆平，畑中正吉：無色鞭毛虫に依るマナコ（*Stichopus japonicus* Selenka）の人工飼育，東北大学農学研究所彙報 2：269-277，1950.
7. 稲葉傳三郎：マナコの発生に就いて（第1報）．動物学雑誌 49：118-119，1937.
8. 稲葉傳三郎：マナコの発生に就いて（第2報）．動物学雑誌 55：79，1943.
9. 泉田哲志，伊藤秀明：マナコ増殖管理技術開発試験．青森県水産増殖センター事業報告 24：179-182，1995.
10. 丸山好彦：棘皮動物(5) マナコ類．団勝磨監修 石川優・沼宮内隆晴共編：現代発生生物学シリーズ 3 海産無脊椎動物の発生実験 167-174頁，培風館，1988.
11. 松坂洋，須川人志：マナコ増殖試験．青森県水産増殖センター事業報告 16：216-227，1987.
12. 松坂洋，須川人志，川村要，荒田茂：マナコ増殖試験．青森県水産増殖センター事業報告 17：190-201，1988.

Normal development and artificial breeding of sea cucumber (*Stichopus japonicus* Selenka) from Mutsu Bay

Wataru YOSHIDA¹, Atsushi TAMAI², Toshihiro YANAKA¹ and Sachiko ISHIDA¹

¹ Department of Biofunctional Science, Faculty of Agriculture and Life Science,
Hirosaki University, Hirosaki 036-8561, Japan

² Aomori Fisheries Technology Center, Aomori 038-0052, Japan

SUMMARY

We indicated that the breeding season of *Stichopus japonicus* Selenka living in Mutsu Bay is from May to August based on the analysis of several reports. The adult sea cucumbers transferred from cool sea water (10°C) to warm sea water (20°C) started ejaculation and spawning within an hour. In the artificial induction, the best season may be during the end of May to the first ten days of June, because of the large number of mature eggs were collected from an adult sea cucumber. The number is about 3,000,000 eggs per individual. The normal development was as follows: (1) blastula: (13 hrs after fertilization), (2) gastrula: (19-30 hrs), (3) auricularia: (2-9 days), (4) doliolaria: (15-16 days), (5) pentactula: (18-22 days). When sea cucumber larvae were bred in the condition added *Chaetoceros gracilis* and commercial tropical fish food (TetraMin[®] baby) at low density (a larva/ml) in filtration sea water, they grew up into juvenile sea cucumbers. In this paper we reported the table of the stages in the normal development of sea cucumber, *Stichopus japonicus* Selenka under such conditions at 20°C.

Bull. Fac. Agric. & Life Sci., Hirosaki Univ. No. 4 : 16 – 23, 2001

Comparison of cell wall pectic polysaccharides in flesh extracted with water and hot water from various fruits.

Wilawan KUMPOUN and Yoshie MOTOMURA

Laboratory of Phytoenergy

(Received for publication October 17, 2001)

Introduction

The cell walls of fruit flesh are composed of a mixture of polysaccharides, e.g. pectic, hemicellulosic and cellulosic polymers. It is important for cell wall structural studies that the cell wall components isolated by enzymatic degradation and chemical extraction reflect the composition of the wall (6). In our laboratory, alcohol insoluble solid (AIS) obtained from fruit flesh have been used extensively to investigate the structures and functions of the polysaccharides from the cell walls. Pectic fractions are normally extracted with water, chelating reagent and hydrochloric acid, successively (7). Recently, as the chelating reagent, CDTA (10, 11, 4) or EDTA (7, 9) have been used for the extraction of pectic polymers, followed by Na₂CO₃. For the extraction of hemicellulose, KOH was used (10, 11, 1, 7, 4, 9) in many studies.

In the investigation of the enzymatic degradation and the function of cell wall pectic polymers, the chelating reagent, hydrochloric acid or Na₂CO₃ remaining in the extracted solutions affected the following reactions, even though dialysis had been carried out to remove them. To avoid such effects, in this study, we attempted to compare the effect of the extraction with water and hot water, followed by the extraction with EDTA and HCl, successively.

Pectins consist of uronic acids and neutral sugars. In fruit flesh, pentose (arabinose, xylose, rhamnose and fucose) and hexose (galactose, glucose and mannose) are included as the components of pectic and hemicellulosic fractions (5). Because in pome fruits, stone fruits, and berries, the total amount of pentoses is higher than that of hexoses (5), in this study, uronic acid and pentose content was measured in pectic fractions.

In addition, in this study, we attempted to determine if the amount and/or type of pectic polymers solubilized from AIS were affected by the extraction temperature with water prior to the extraction with EDTA and HCl.

Materials and Methods

Fruit materials

Mature fruits grown at Fujisaki Farm, Hirosaki University; apple (*Malus pumila* Mill. Var. domestica Schneid), Japanese apricot (*Prunus mume* Seib. E. Zucc.), red raspberry (*Rubus idaeus* L.), gooseberry (*Ribes grossularia* L.), blackcurrant (*Rubus nigrum* L.) and redcurrant (*Rubus vulgare* Lam.); were harvested during the commercial harvest period.

Kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch.), pineapple (*Ananas comosus* Merr.), papaya (*Carica papaya* L.), melon (*Cucumis melo* L.), water melon (*Citrullus lanatus* Matsum. et Nakai) avocado (*Persea americana* Mill.), cherry (*Prunus avium* L.), loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.), peach (*Prunus persica* Batsch var. *vulgalis*

Table 1. Uronic acid and pentose contents in water and hot water soluble fractions Extracted from alcohol insoluble solid in flesh (mg/g AIS)

Family	Fruit	Water fraction				Hot water fraction			
		Uronic	Pentose	Total	P/U+P (%)	Uronic	Pentose	Total	P/U+P (%)
Actinidiaceae	Kiwifruit	117.8	41.0	158.8	25.8	155.6	60.7	216.4	28.1
Anacardiaceae	Mango	225.8	64.1	289.9	22.1	263.7	57.5	321.2	17.9
Bromeliaceae	Pineapple	14.2	10.8	25.0	43.2	37.6	48.4	86.0	56.3
Bombacaceae	Durain	74.6	37.7	112.3	33.6	125.8	36.1	161.9	22.3
Caricaceae	Papaya	233.9	77.9	311.8	25.0	272.6	70.9	343.5	20.6
Cucurbitaceae	Melon	107	54.8	161.8	33.9	175.5	79.1	254.6	31.1
	Watermelon	48.2	69.0	117.2	58.9	97.4	62.5	159.9	39.1
Cuttiferae	Mangosteen	86.5	34.5	121.0	28.5	177.2	68.1	245.4	27.8
Lauraceae	Avocado	61.6	53.6	115.2	46.5	76.3	54.7	131.0	41.8
Rosaceae	Apple (Fuji)	86.1	60.8	146.9	41.4	210.7	105.1	315.9	33.3
	Cherry	105.1	68.0	173.1	39.3	169.0	107.2	276.2	38.8
	Japanese apricot	77.9	47.1	125.0	37.7	220.4	122.8	343.2	35.8
	Loquat	80.1	42.7	122.8	34.8	128.6	57.7	186.3	31.0
	Peach	145.8	49.9	195.7	25.5	234.1	74.1	308.3	24.0
	Plum	101.5	64.73	166.3	38.9	247.6	111.9	359.5	31.1
	Raspberry	38.6	17.0	55.6	30.6	60.6	27.2	87.8	31.0
	Strawberry	114.6	61.8	176.3	35.0	252.5	90.0	342.5	26.3
Rutaceae	Orange	156.7	50.1	206.8	24.2	276.0	74.2	350.2	21.2
Sapindaceae	Lychee	92.1	30.8	123.0	25.1	197.9	67.1	265.0	25.3
	Rambutan	59.0	41.5	100.4	41.3	128.4	66.2	194.5	34.0
Saxifragaceae	Blackcurrant	90.6	22.7	113.3	20.1	118.8	33.6	152.5	22.1
	Gooseberry	140.2	64.1	204.3	31.4	252.7	85.4	338.1	25.3
	Redcurrant	100.6	30.5	131.2	23.3	202.6	52.6	255.1	20.6
Vitaceae	Grape (Kyoho)	65.5	24.8	90.3	27.5	113.1	31.6	144.8	21.9
	Grape (Delawar)	84.6	30.9	115.5	26.8	136.5	37.0	173.5	21.3

$$P/P+U=(\text{Pentose/Uronic acid}+\text{Pentose})\times 100$$

Maxim.), plum (*Prunus salicina* Lindl.), strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.), orange (*Citrus sinensis* osbeck), lychee (*Litchi chinensis* Sonn.), and garpes (*Vitis labrusca* L.×*Vitis vinifera* L. cv. Delaware and Kyoho) were purchased through a market.

Mango (*Mangifera indica* L.), durian (*Durio zibethinus* Murr.), papaya (*Carica papaya* L.), mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) and rambutan (*Nephelium lappaceum* L.), were collected and extarcted in Chiang Mai University of Thailand. These fruits were classified into thirteen families depending on plant taxonomy (Table 1). Five replicates of each fruit were sampled and analysed individually, except small fruits, for which about 30 g of flesh were collected as one sample and five replicates were prepared.

Extraction and analysis of pectic substances

Peel, seeds and core of the fruit were removed and flesh was stored -20°C until the extraction was carried out. Frozen flesh was extracted several times with 80% methanol at 70°C . Alcohol extract and residue was separated by filtration. In avocado and durian, the residue were extracted with acetone to remove lipid (2). The residue was lyophilized and pulverized after the dry weight (alcohol insoluble solid: AIS) was weighed. The cell wall pectic substances in AIS of flesh were extracted with water (20°C , $2\text{H}\times 3$ times) or hot water (100°C , $2\text{h}\times 3$ times). Uronic acid and pentose contents in water and hot water fractions were determined with the m-hydroxydiphenyl method (3), and orcinol method (8), respectively.

Six kinds of fruit (mango, durian, papaya, apple, Japanese apricot, and strawberry) were selected from these 25 fruits and the residues of water or hot water fractions were extracted successively with EDTA

(20°C, 2 h×3 times) and 0.05 M HCl (85°C, 1 h×3 times). Uronic acid and pentose contents in these fractions were determined as above.

Gel permeation chromatography

Water or hot water fractions from AIS was applied to a Cellulofine GCL-2000-m column (18×400 mm) equilibrated with 0.1% NaCl. Elution was carried out with 0.1% NaCl, at the flow rate of 0.3 ml/min. The eluate was fractionated every 3 ml. Uronic acid and pentose contents in each eluted fraction were determined as above.

Results and Discussions

1 . Uronic acid and pentose contents in water and hot water soluble fractions.

Uronic acid content in hot water fractions were higher than those in water fraction in all 24 kinds of fruits (Table 1). The differences in the uronic acid content between water and hot water fractions were apparently bigger in apple, Japanese apricot, plum, strawberry, lychee and gooseberry.

Pentose contents in the hot water fractions were comparatively higher than those in the water fractions in most fruits, with the exception of kiwifruit, pineapple and blackcurrant. The differences in the pentose contents between water and hot water fractions were comparatively bigger in pineapple, mangosteen, apple, Japanese apricot, plum and gooseberry. No relationship was found between the taxonomical classification and uronic or pentoses contents in water and hot water fractions.

These results showed that hot water was more effective than water insolubilizing pectic polysaccharides.

2 . Uronic acid and pentose contents in water or hot water, EDTA and HCl fractions.

As hot water fraction included much more pectic polymers than water fraction (Table 1), uronic acid and pentoses contents in EDTA and HCl fractions were determined, using six kinds of fruit (Table 2). The data of uronic acid and pentose contents in water (C-WSP) and hot water (H-WSP) fractions in Table 2 were same as those in Table 1.

In EDTA fraction after the extraction with water (C-ESP), uronic acid content in most fruits except Japanese apricot was higher than after the extraction with hot water (H-ESP). But pentose content in

Table 2. Uronic acid and pentose contents in water or hot water, EDTA and HCl soluble fractions from alcohol insoluble solid (mg/g AIS)

Content	Fruit	Water fraction				Hot water fraction			
		C-WSP	C-ESP	C-HCP	Total	H-WSP	H-ESP	H-HCP	Total
Uronic acid	Mango	225.8	42.2	30.7	298.6	263.7	24.7	7.4	295.8
	Durian	74.6	17.7	33.1	125.4	125.8	13.6	11.1	150.5
	Papaya	233.9	103.8	20.6	358.4	272.6	71.5	5.0	349.2
	Avocado	61.6	10.8	6.7	79.1	76.3	8.7	2.7	87.7
	Apple	86.1	57.3	84.0	227.5	210.7	44.4	30.7	285.9
	Japanese apricot	77.9	24.4	179.3	281.6	220.4	40.0	23.3	283.7
	Strawberry	114.6	81.6	68.4	264.6	252.5	58.6	20.6	331.7
Pentose	Mango	64.1	13.2	17.0	84.3	57.5	6.2	7.2	70.9
	Durian	37.7	1.5	14.7	53.9	36.1	1.7	6.1	44.0
	Papaya	77.9	8.5	9.8	96.2	70.9	9.3	4.1	84.2
	Avocado	53.6	5.9	33.4	92.9	54.7	7.9	16.1	78.8
	Apple	60.8	4.0	92.8	157.7	105.1	7.4	21.0	133.6
	Japanese apricot	47.1	9.5	129.4	186.0	122.8	19.4	17.7	159.9
	Strawberry	61.8	11.5	35.7	109.1	90.0	6.0	11.6	107.6

Table 3. Percent distribution of uronic acid and pentoses to water or hot water, EDTA and HCl soluble fractions (%)

Component	Fruit	Water fraction			Hot water fraction		
		C-WSP	C-ESP	C-HCP	H-WSP	H-ESP	H-HCP
Uronic acid	Mango	75.6	14.1	10.3	89.1	8.4	2.5
	Durian	59.5	14.1	26.4	83.6	9.0	7.4
	Papaya	65.3	29.0	5.8	78.1	20.5	1.4
	Apple	37.8	25.2	36.9	73.7	15.5	10.7
	Japanese apricot	27.7	8.7	63.7	77.7	14.1	8.2
	Strawberry	43.3	30.9	25.9	76.1	17.7	6.2
Pentose	Mango	68.0	14.0	18.0	81.1	8.8	10.1
	Durian	70.0	2.8	27.2	82.1	3.9	14.0
	Papaya	81.0	8.8	10.2	84.2	11.0	4.8
	Apple	38.6	2.5	58.9	78.7	5.6	15.7
	Japanese apricot	25.3	5.1	69.6	76.8	12.1	11.1
	Strawberry	56.7	10.6	32.8	83.6	5.6	10.8

C-ESP was higher than in H-ESP only in strawberry and mango.

In hydrochloric acid soluble fraction after the extraction with hot water and EDTA (H-HCP), both uronic acid and pentose contents were remarkably lower than in the fraction after the extraction with water and EDTA (C-HCP).

Total amounts of uronic acid (H-Total) in hot water (H-WSP), EDTA (H-ESP) and HCl (H-HCP) fractions were distinctly higher than the total amount (C-Total) of water (C-WSP), EDTA (C-ESP) and HCl (C-HCP) soluble fractions, in all 6 fruits. Similarly, total amount of pentoses (H-Total) in hot water (H-WSP), EDTA (H-ESP) and HCl (HCP) fractions were lower than the total amount of them (C-Total) in water, (C-WSP), EDTA (C-ECP) and HCl (C-HCP) fractions.

These results showed that by the extraction with water at high temperature, the polymers including more uronate in C-HCP could be solubilized, resulting in the increase of pectic polymers in hot water fraction (H-WSP).

3 . Percent distributions of uronic acid and pentose in each extracted fraction.

Among the extracted components, percentages of uronic acid and pentoses in H-WSP were remarkably higher than in C-WSP, while the percentage of hydrochloric acid soluble component in H-HCP was lower than that in C-HCP (Table 3).

In usual procedures for the extraction of pectic substances, polymers soluble in hydrochloric acid are extracted by heating at 85°C, after the extraction with water and EDTA. From the results shown in Tables 2 and 3, it is conceivable that the polymers in HCl fraction (C-HCP) could include two groups of polymers, which are hot water soluble fraction and hot HCl soluble fraction.

4 . Relative ratio of uronic acid and pentose in each fraction.

Pectic compounds were constituted with uronate polymers as the main chain, rhamnose are inserted in the uronate polymers, and neutral sugars attached to the rhamnose residue, forming the side chain in the pectin molecules. Every pectic polymer includes uronic acid (and/or its derivatives) and neutral sugars in different ratio, by fruit species, stage of growth, maturation and ripening. The ratio of uronic acid and neutral sugars in each pectic fraction could be a clue to investigate the type of pectic polymers. Based on this idea, the percentage of pentose in the amount of uronic acid and pentose was calculated and expressed as the pentose ratio (Table 4).

Table 4. Relative ratio of pentose to the amount of uronic acid and pentose in each fraction (%)

Fruit	Water fraction				Hot water fraction			
	C-WSP	C-ESP	C-HCP	Total	H-WSP	H-ESP	H-HCP	Total
Mango	22.1	23.8	35.7	24.0	17.9	20.1	49.3	19.3
Durian	33.6	7.9	30.7	30.1	22.3	11.3	35.7	22.6
Papaya	25.0	7.6	32.1	21.2	20.6	11.5	44.8	19.4
Apple	41.4	6.5	52.5	40.9	33.3	14.3	40.6	31.8
Japanese apricot	37.7	28.0	41.9	39.8	35.8	32.7	43.1	36.0
Strawberry	35.0	12.4	34.3	29.2	26.3	9.3	36.1	24.5

Pentose ratio in C-WSP and H-HCP were higher than in H-WSP and in C-HCP, respectively, in most fruits. Among C-ESP and H-ESP, no difference was detected.

Compared to Table 1, pentose ratios of C-WSP and H-WSP from 24 kinds of fruits showed similar tendencies. Between the pentose ratio in C-WSP and H-WSP, significant (0.01%) difference in the statistical analysis was detected (Table 1).

It is conceivable that by heating water with AIS at the first step of the extraction, pectic polymers with comparatively higher amount of uronate can be solubilized.

5 . Distribution of molecular size in water and hot water soluble fractions.

The profile of gel permeation chromatography constructed by uronic acid content (Fig. 1) was roughly similar. One peak was detected in both of C-WSP and H-WSP, in all fruit. In both of C-WSP and H-WSP soluble fractions, most of the polymers were eluted in the fractions 12-30, but the elution profile of H-WSP seemed to shift to low molecules compared with C-WSP.

In pentose, the elution profiles were different shape by fruits species. This result showed that the neutral sugar side chains of pectic polymers were different by fruit. The elution profiles of H-WSP indicated that the polymers with smaller size were included compared with those in C-WSP. In all fruits, the profiles seemed to include two peaks more or less, and the retention volume of the former peak was corresponded to that of uronic acid. However, we could not know whether the pentoses were linked to the uronate polymer or not.

From these results, H-WSP can be used for the investigation on the enzymatic degradation and on the function of the pectic polymers from plant cell wall, because it has the advantage of not requiring removal of the chelating reagent and HCl from the extracted solutions.

Summary

Using 24 kinds of fruits, in the procedure for the extraction of pectic polymers from alcohol insoluble solid (AIS) in fruit flesh, amount and type of pectic substances in water and hot water extracts were compared. Amount of uronate and pentose contents in hot water fraction were apparently higher than those in water fraction, in all fruits analyzed in this study. Using six kinds of fruit, after the extraction with water or hot water, pectic polymers were extracted with EDTA and HCl successively. In HCl fraction after hot water extraction, amounts of uronate and pentose contents were apparently lower than in the fraction after the extraction with water. The percentage of pentose in the amount of uronic acid and pentose were higher in the water fractions than in the hot water fractions. From these results, by heating with water in the first step of extraction, polymers included much more uronate were solubilized compared with water extraction. A part of pectic polymers in HCl fraction (after the extraction with water and EDTA), seems to be solubilized by heating during extraction. Hot water fraction from AIS can be used for the investigations

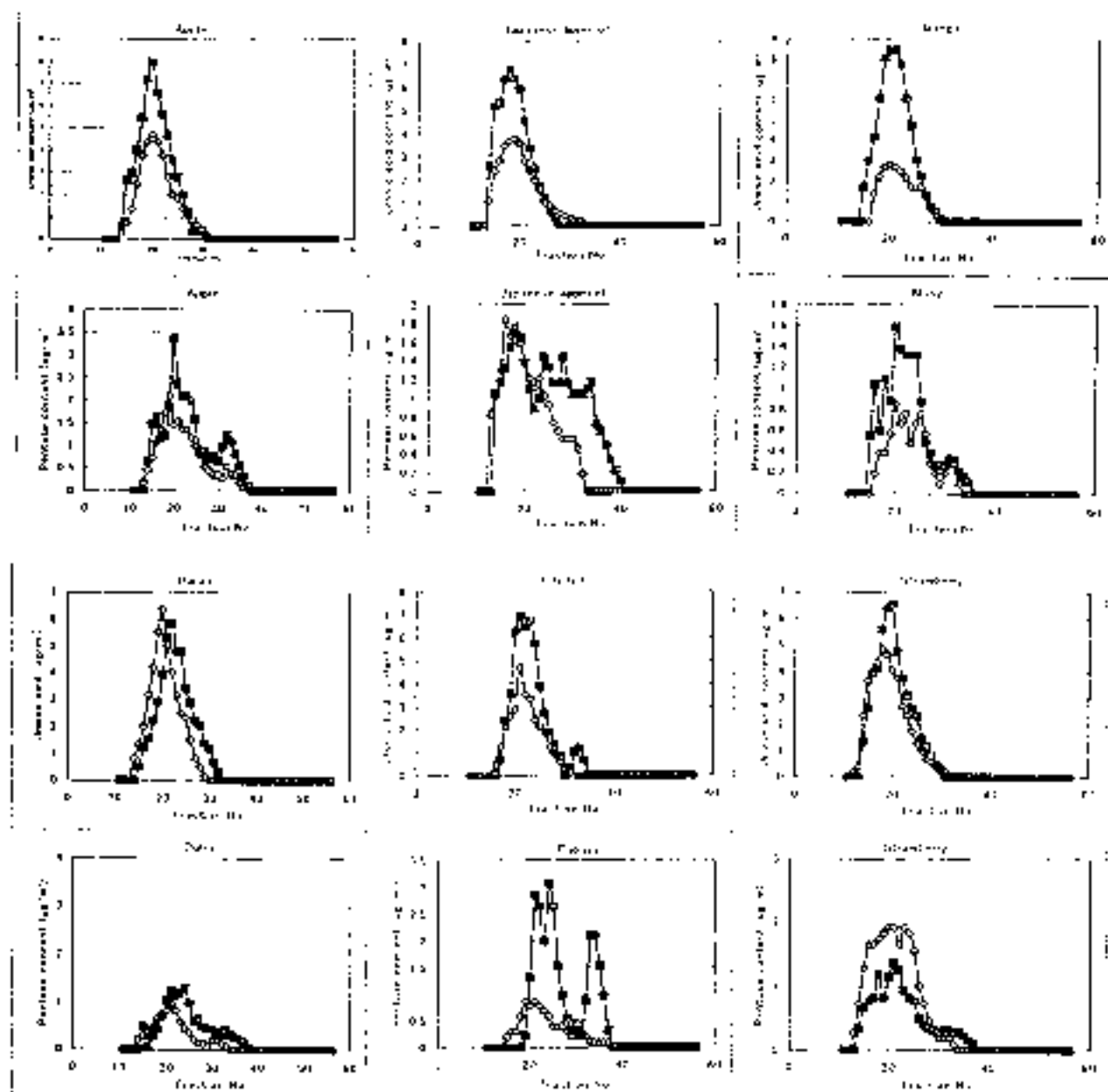


Fig. 1 Profiles gel permeation chromatography of water and hot water fractions, determined by uronic acid and pentose contents.

—◇— Water fraction, —□— Hot water fraction.

of the enzymatic degradation and the function of the pectic polymers with the advantage of not requiring to removal of the chelating reagent and HCl from the extracted solutions.

Acknowledgement

The authors wish to express their sincere gratitude to Prof. O. Arakawa for his helpful advice and encouragement and to Prof. Y. Shiozaki for supplying apple fruit and helpful advice. We also gratitude to the staff of Laboratory of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University, Thailand, for their help for collection of fruit samples.

References

1. Bagatharia, S. B., and S. V. Chandam, Modification of cell wall polysaccharides during cell elongation in *Phaseolus vulgaris* hypocotyls. *Acta Physiol. Plant.*, 20(1) : 15-18, 1998.
2. Barron, E. J., and Hanahan, D. J., Observations on the silicic acid chromatography of the neutral lipides of rat liver, beef liver, and yeast. *J. Biol. Chem.*, 231 : 493-503, 1958.
3. Blumenkrantz, N. and G. Asboe-Hansen, New method for quantitative determination of uronic acid. *Anal. Biochem.*, 54 : 484-489, 1973.
4. Edashige, Y., and T. Ishii, Hemicellulosic polysaccharides from bamboo shoot cell walls. *Phytochem.*, 49(6) : 1675-1682, 1998.
5. Gross, K. C., and C. E. Sams, Changes in cell wall neutral sugar composition during fruit ripening. A species survey. *Phytochem.*, 23(11) : 2457-2461, 1984.
6. Koller, A., M. A. O'neil, A. G. Darvill and P. Albersheim, A comparison of the polysaccharides extracted from dried and non-dried walls of suspension-cultured sycamore cells, *Phytochem.* 30(12) : 3903-3908, 1991.
7. Makabe, T., H. Yoshioka, A. Miki and M. Fukumoto, Changes in cell wall polysaccharides in Kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch. Cv. Yellow Koshin) during softening on the vine. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 67(1) : 59-65, 1998.
8. Mejbaum, W. Z., Über die bestimmung kleiner pentosemengen, insbesondere in Derivaten der Adenylsäure. *Hoppe-Aeyler's Zeitsch. Physiol. Chem.* 258 : 117-120, 1939.
9. Ozawa, T., T. Ueno, O. Negishi, and S. Masaki, Chemical characteristics of hemicellulose in the fibrous residue of Sago palm. *Japan. J. Trop. Agr.* 42(3) : 162-178, 1998.
10. Paull, R. E., K. Gross and Y. Qiu, Changes in papaya cell walls during fruit ripening. *Postharv. Biol. Technol.*, 16 : 79-89, 1999.
11. Seymour, G. B., I. J. Colqhoun, M. S. Dupont, K. R. Parsley, R. R. Selvendran, Composition and structural features of cell wall polysaccharides from tomato fruits. *Phytochem.*, 29 : 725-731, 1990.

多種類の果実細胞壁から水または熱水で抽出した ペクチン性多糖類の比較

KUMPOUN Wilawan・元村 佳恵

植物エネルギー工学講座

果肉からペクチン性多糖類を水で抽出するにあたって、抽出温度の違いが抽出される多糖類の構成に及ぼす影響の有無を検索することを目的として、植物分類上、13科に属する24種の果実の果肉を用いて、アルコール不溶性固形物を水または熱水で抽出し、得られた多糖の量、それぞれの画分に含まれるウロン酸およびペントースの量的な比率の比較を行った。用いたすべての果実で、熱水画分のウロン酸含量は水画分のウロン酸よりも明らかに多く、両画分の差が特に大きかったのは、リンゴ、ウメ、スモモ、イチゴ、オレンジ、レイシ、およびグズベリーであった。熱水画分のペントース含量は水画分よりやや多く、両画分の差が比較的大きかったのはパイナップル、マンゴスチン、リンゴ、ウメ、スモモ、およびレ

イシであった。

水または熱水抽出後の不溶性残さをEDTA, HClで順次抽出したところ、水抽出後の塩酸画分に比べて、熱水抽出後の塩酸可溶性画分が著しく少なかった。水抽出後に塩酸で抽出される画分の一部が熱水で抽出されることから、水抽出後の塩酸画分には、熱水可溶性画分と熱塩酸可溶性画分が含まれていると推定された。熱水で抽出される多糖類は水で抽出される多糖類よりもペントースに対するウロン酸の割合が高かった。また、ゲルろ過の結果から、熱水で抽出される多糖類と、水で抽出される多糖類とは、中性糖の分子量分布に違いがあることが明らかにされた。

Degradation of pectic polysaccharides in various fruits by pectinase derived from *Aspergillus niger*

Wilawan KUMPOUN and Yoshie MOTOMURA

Laboratory of Phytoenergy

(Received for publication October 22, 2001)

Introduction

Aspergillus spp. are widely spread plant pathogens. In several kinds of fruit, especially in apple and peach, aspergillus rot is one of the postharvest disease in fruit, but the infection mechanism is not known. The degradation of cell walls by pathogens is significant in primary infection and afterinfection, and plays an important role in the advancement of mycelium into the host plant and the appearance of symptoms (11). Studies on the fruit softening in this field often have dealt with the enzymological and molecular biological investigations.

Plant cell walls are mainly composed of polysaccharides, e. g. pectic and hemicellulosic polymers, cellulose and phenolic polymers such as lignin. Phytopathogens can infect the host plant by degrading the cell wall components and invading the tissues and cells. Concerning the relationship between the pathogenicity of fungus and cell degrading enzymes, reports have been made on pectinases (3), cellulases (11), and some glycosidases (3, 11), which can degrade cell wall polysaccharides. But the results showed that the pathogenicity was not always proportional to the enzyme activity. Although cell wall polysaccharides include different components and their linkages are also various, there have been few studies from the viewpoint of the variation of polysaccharides.

For the extraction of pectic polymers in plant cell walls, water, EDTA or CDTA, HCl or Na₂CO₃ were used generally (6). In a previous paper (4), we analysed the pectic components in water and hot water extracts of cell wall pectic polysaccharides with the objection to obtain the substrate, which does not include chemical reagents as above, for the enzyme reaction. It was found that the hot water extract included most of the pectic components (except pectic polymers soluble in chelating reagents) of cell wall polysaccharides in fruit flesh, which consists mainly of primary cell wall.

Several reports suggested that the pectinase, cellulase and some β -glycosidase could be involved in the pathogenicity of this fungus. Practically, pectinase produced by this fungus have been separated and used for the clarification of fruit juice industrially. It is one of the important enzymes to develop the aspergillus rot on some fruits, resulting in the fruit softening and collapse of the flesh tissue by degrading cell wall pectic polymers.

In this report, we compared the degrading activity of pectinase from *Aspergillus niger* on the hot water extract from various fruits. The objection of this study was to show that the difference in pathogenicity by pectinase could be caused by the components of host plant, from the viewpoint of the difference in the substrate polysaccharides.

Materials and Methods

Fruit materials

Mature fruits grown at Fujisaki Farm, Hirosaki University; apple, Japanese apricot, raspberry, gooseberry, blackcurrant, and redcurrant; were harvested during the commercial harvest period.

Kiwifruit, pineapple, melon watermelon avocado, cherry, loquat, peach plum, strawberry, orange, lychee, and two cultivars of grapes were purchased through market.

Mango (immature and mature), durian, papaya (immature and mature), mangosteen, and rambutan were collected and extracted with 80% methanol at Chiang Mai University, Thailand.

Five replications of fruits were sampled and analysed individually. For the sampling of small fruits, about 30 g of flesh were collected as one sample and five replicates were prepared.

Enzyme

Pectinase SS, separated from the culture broth of the incubation of *Aspergillus niger*, and partially purified enzyme was supplied by Yakult Reagent Industry Co. Ltd. This enzyme is for the clarification of fruit juice in the industrial production. It included mainly pectinase, but some glycosidases were also included.

Extraction and analysis of pectic substances

Peel, seeds and core of the fruit were removed and flesh was stored -20°C until the extraction was carried out. Frozen flesh was extracted several times with 80% methanol at 70°C , alcohol insoluble residue was collected. The alcohol insoluble residues of the fruits collected in Thailand were carried to Hirosaki University, and analysed thereafter. In avocado and durian, the residue was then extracted with acetone to remove lipids. The residue was lyophilized and pulverized after dry weight was measured (alcohol insoluble solid: AIS). The cell wall pectic substances in AIS of flesh were extracted with hot water (100°C , $2\text{h} \times 3$ times). Uronic acid and pentose contents were determined with the m-hydroxydiphenyl method (1), and orcinol method (5), respectively.

Enzyme reaction

A part of hot water extract of AIS, acetate buffer (pH 4.5) and 0.01% Pectinase SS (dissolved in the same buffer) were mixed and incubated at 30°C for 2 hrs. Reaction was terminated by heating at 100°C for 10 min, the mixture was centrifuged and the supernatant was used for the analysis. Acetate buffer was added instead of Pectinase SS solution to the control mixture.

Gel permeation chromatography

After uronic acid contents of the reaction mixture with or without pectinase SS were determined, a part of the reaction mixture including about 150-200 mg of uronic acid was applied to a Cellulofine GCL-2000-m (Seilalaglu Corporation, Tokyo, Japan) column ($18 \times 400\text{ mm}$) equilibrated with 0.1% NaCl (7). Elution was carried out with 0.1% NaCl isocratically, at a flow rate of 0.3 ml/min. The eluate was fractionated every 3 ml. Uronic acid and pentose contents in each eluted fraction were determined as above.

Results and Discussion

1. Uronic acid and pentose contents in hot water extract

In the previous paper, the results of the determination of uronic acid and pentose in AIS base were reported (4). In this experiment, similar results were obtained (data are not shown).

2. Degradation of pectic polymers estimated by molecular size in each fruit

Total recoveries of uronic acid and pentose eluted from the cellulofine column were various by fruits, between 31-93% in uronic acid, and between 19-63% in pentose. In comparison of uronic acid and pentose in each fruit, total recoveries were always higher in uronic acid than pentose. This result may suggest that acidic sugars can be eluted comparatively easily.

In many fruits, decrease in molecular size of pectic and/or hemicellulosic polymers during ripening has been reported (8, 10). From the profiles of gel permeation chromatography, molecular size of the pectic polymers shifted to the comparatively smaller molecules by the incubation with Pectinase SS in most fruits, in both determinations by uronic acid and pentose (Table 1). Great shifts by enzyme treatment were observed in apple (Fig. 1(a)), Japanese apricot (Fig. 1(b)), and mango (immature and mature). Little shift was shown in avocado, durian, grape, kiwifruit, loquat, lychee, melon (Fig. 1(d)), papaya

Table 1. Classification of fruits by degree of shift of peaks in profiles by gel permeation chromatography

Shifted over 5 fractions	Shifted 2-4 fractions	Not shifted
Apple	Blackcurrant	Avocado
Japanese apricot	Gooseberry	Durian
Mango	Cherry	Grapes
	Mangosteen	Kiwifruit
	Peach	Loquat
	Pineapple	Lychee
	Plum	Melon
	Raspberry	Papaya
	Redcurrant	Rambutan
	Strauberry	
	Watermelon	

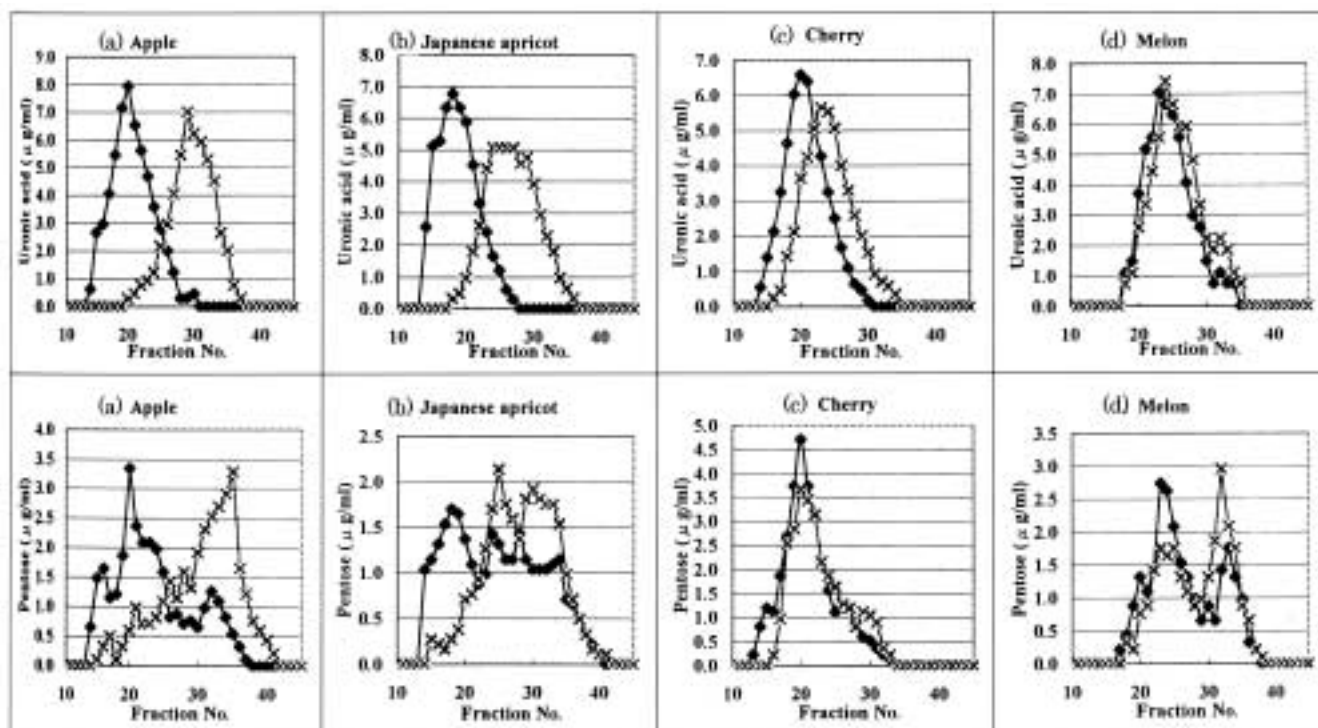


Fig. 1 Profiles of gel permeation chromatography of apple, Japanese apricot, cherry and melon. Uronic acid and pentose were measured in each fraction.

◆ : Incubated without pectinase, × : Incubated with pectinase

(immature and mature) and rambutan. The other shift were between those two groups (Profiles of cherry were shown in Fig. 1(c)). In Fig. 1, the profiles of the examples in these three groups; apple, Japanese apricot, cherry and melon were shown.

The various degree of degradation of pectic polymers by the incubation with Pectinase SS in different fruits suggest that the different rate of decrease in the molecular size could be caused by the difference in substrate polymers.

It is known that apple and peach were damaged easily through the infection of *Aspergillus spp.*, showing the symptoms of aspergillus rot. In peach, however, the rate of degradation by treatment with this enzyme was not so severe. Cell wall components may affect on the enzyme activity, or the other factors could be involved in the development of the symptoms.

3. Effect of maturity of fruit on the degradation of pectic polysaccharides

The possible factors affecting to the degradation of cell wall polysaccharides include species (2), cultivar, maturity, ripening (9, 13, 14), texture, and cell wall components and their composition (2, 6, 12). To check the differences in maturity, the profiles of immature and mature fruits of mango and papaya were compared (Fig. 2). Profiles of both immature and mature mangoes shifted greatly to the low molecular side (Fig. 2a, 2b), while in papayas both showed little shift. The results suggested that the easiness of the degradation of pectic components soluble in hot water seemed to be affected very little by maturity. Components, composition (12) and linkages of them in fruit flesh (7) were considered to be specific by plant species. In our experiment with apple fruit, however, the maturity was an important factors affecting the softening of flesh by this enzyme (unpublished). On the difference between apple and these fruits, we presumed that the changes in the texture of the flesh during maturation and ripening could be important.

For the investigation of the susceptibility of fruits to fungus, both of the enzymes derived from the fungus and characteristics of cell wall polysaccharides specific in each fruit species should be involved.

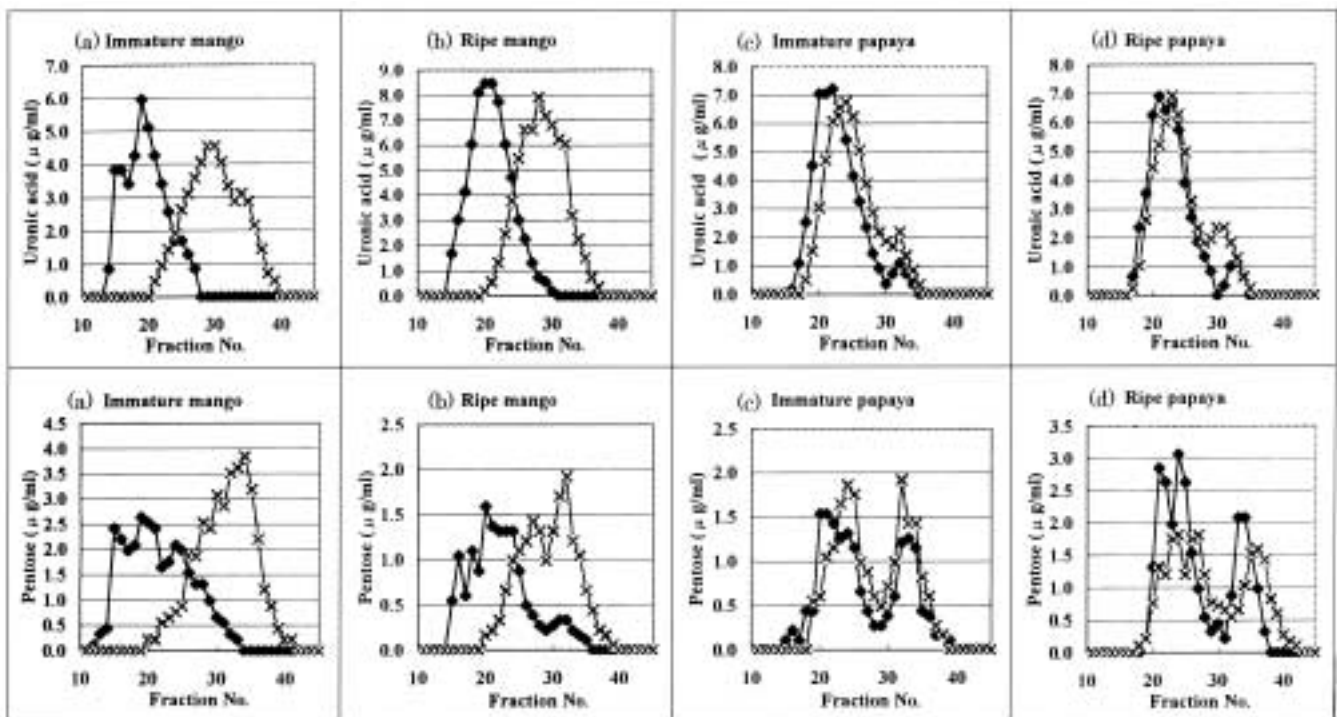


Fig. 2 Profiles of gel permeation chromatography of immature and mature fruits of mango and papaya. Uronic acid and pentose were measured in each fraction.

◆ : Incubated without pectinase, × : Incubated with pectinase

Summary

Aspergillus rot is one of the postharvest diseases caused by infection of *Aspergillus spp.* Susceptibility of the cell wall pectic compounds soluble in hot water to the pectinase derived from *Aspergillus niger* was surveyed using 24 kinds of fruits. Degree of the degradation of cell wall pectic polymers was estimated by the shift of the peaks in the profiles of gel permeation chromatography. In apple, Japanese apricot and mango, pectic polysaccharides were degraded greatly with great shifts of the peaks, while in avocado, durian, grapes, kiwifruit, loquat, lychee, melon, papaya and rambutan, little shift was detected. The shift in other fruits were between those. In mango and papaya, the effect of pectinase treatment in immature and mature fruits were compared. Regardless of maturity, peaks in the profiles of mango shifted greatly, while in papaya the shift were small. The relationship between specificity of structure of cell wall polysaccharides by fruit species and susceptibility to pectinase was discussed with the reference to the factors affecting it.

Acknowledgement

The authors wish to express their sincere gratitude to Prof. O. Arakawa for his helpful advice and encouragement and to Prof. Y. Shiozaki for supplying apple fruit and helpful advice. We also gratitude to the staff of Laboratory of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University, Thailand, for their help for collection of fruit samples.

References

1. Blumenklanz, N. and G. Asboe-Hansen. New method for quantitative determination of uronic acid. *Anal. Biochem.*, 54 : 484-489, 1973
2. Gross, K. C., and Sams, C. E., Changes in cell wall neutral sugar composition during fruit ripening. A species survey. *Phytochem.* 23(11) : 2457-2461, 1984
3. Kesta, S., S. Chidtragool, J. D. Klein, and S. Lurie. Effect of heat treatment of changes in softening, pectic substances and activities of polygalacturonase, pectinase and β -galactosidase of ripening mango. *J. Plant Physiol.*, 153 : 457-461, 1998
4. Kumpoun W., and Y. Motomura. Comparison of cell wall polysaccharides in flesh extracted with water and hot water in various fruits. *Bull. Fac. Agric. Life Sci., Hirosaki Univ.*, 4 : 24-31, 2001
5. Majbaum, W. Z. Über die bestimmung kleiner pentosemengen, insbesondere in Derivaten der Adenylsäure. *Hoppe-Seyler's Zeitsch. Physiol. Chem.*, 258 : 117-120, 1939
6. Makabe, T., H. Yoshioka, A. Miki, and M. Fukumoto. Changes in cell wall polysaccharides in kiwifruit (*Actinidia chinensis* planch. Cv. Yellow Koshin) during softening. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, 67(1) : 59-65, 1998
7. Nara, K., Y. Kato and Y. Motomura, Involvement of terminal-arabinose and -galactose pectic compounds in mealiness of apple fruit during storage. *Postharv. Biol. Technol.*, 22 : 141-150, 2001
8. Nogata, Y., K. Yoza, K. Kusumoto, and H. Ohta. Changes in molecular weight and carbohydrate composition of cell wall polyuronide and hemicellulose during ripening in strawberry fruit. *Pectins and pectinases*, ed. J. Visser, and A. D. J. Viragen, Elsevier Sci., B. V., 591-596, 1996
9. Paull, R. E., K. Gross, and Y. Qiu. Changes in papaya cell walls during ripening. *Postharv. Biol. Technol.*, 16 : 79-89, 1999
10. Sakurai, N., and D. J. Navis. Relationship between softening and wall polysaccharides in avocado (*Persa americana* Mill.) mesocarp tissue. *Plant cell Physiol.*, 38(5) : 603-610, 1997
11. Sasaki, I., and H. Nagayama. β -glucosidase of *Botrytis cinerea*: Its involvement in the pathogenicity of this fungus. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 59(1) : 100-101, 1995
12. Smith, B. G., and P. J. Harris. Polysaccharide composition of unignified cell walls of pineapple (*Ananasa comosus* L., Mer.) fruit. *Plant Physiol.* 107 : 1399-1409, 1995
13. Wang, Y., S. G. Wyllie, and D. N. Leach. Chemical changes during development and ripening of fruit of *Cucumis melo* (cv. Makdimon). *J. Agric. Food Chem.*, 44 : 210-216, 1996
14. Wechsler, D. E., G. R. Strasser, and R. Amado. Structural feature of pectic substances during growth and ripening of apple. *Pectins and Pectinases*. Ed. J. Visser, and A. G. J. Voragen, Elsevier Sci., Progress in Biotechnology, 14 : 651-656, 1996

Aspergillus niger のペクチナーゼによる各種果実細胞壁の ペクチン性多糖類の分解

クンポウン・ウィラワン・元村 佳恵

植物エネルギー工学講座

リンゴやモモの貯蔵病害の一つとして、*Aspergillus* 菌によるコウジカビ病が知られている。本報では、24種類の果実の果肉から熱水で抽出したペクチン性多糖類に、*Aspergillus niger* 由来のペクチナーゼを作用させ、その前後の多糖類の分子量分布をゲル濾過によって分析した。得られた溶出パターンの中でピークの変化の程度によって、ペクチン分子のペクチナーゼによる分解の難易を比較した。リンゴ、ウメ、マンゴーではピークの低分子側への変化が大きかったが、アボカド、ドリアン、ブ

ドウ、キーウィー、ビワ、メロン、ライチー、パパイヤ及びランブータンでは変化が小さかった。マンゴーとパパイヤの未熟果と成熟果のペクチン性多糖類のこの酵素による分解性を見たところ、成熟段階に関わらず、マンゴーでは分子量の減少が大きかったが、パパイヤではほとんど変化が見られなかった。ペクチン性多糖類の同一酵素による分解性に差異が生じる原因について、細胞壁多糖の組成や構造の種特異性などの可能性を考察した。

弘大農生報 No. 4 : 31 - 36, 2001

雪冷房方式低温貯蔵システムを使用した農産物貯蔵の基礎調査

中村 信吾・長田 恭一

生体機能工学講座

(2001年10月22日受付)

緒 論

豪雪地域において、雪は年間の降水量の一部として考えた場合には必要不可欠であるが、莫大な除雪費用等の降雪によるマイナス経済効果のが大である。しかし、雪が有している冷熱エネルギーを利用することができれば、現在の冷蔵システムに要する冷媒や電源に代わり、非常にコストの低い冷蔵システムを備えることが可能である。最近になって、各地域で実際に利雪型冷蔵システムを利用した雪室による食品素材や加工食品類の貯蔵あるいは付加価値を高めた食品の開発が盛んに試行されてきている(1, 2)。しかし、農産物の低温貯蔵について、室温と比べた場合は別として、一般的に使用されている冷蔵システムと比較した場合の雪室の有効性や欠点は完全に解明されていない。また、上記2種類の冷蔵システムで長期間、農産物を貯蔵して、その物性や栄養成分を詳しく比較している例もまだ少ない状況にある。さらに、各地域の雪室構造やシステムが異なるために、それぞれの試験測定値を比較することは不可能である。本研究では、青森県内で生産される6種類の農産物を雪室と一般的に使用されている大型冷蔵室でそれぞれ貯蔵し、各々の試料の物性や栄養成分の変動を比較することで、青森県における利雪型農産物貯蔵システム確立に結びつく基礎知見を収集した。

材 料 と 方 法

1. 貯蔵農産物

試料は、青森県平賀町で同場かつ同日に採取した同じロットのハクサイ、キャベツ、ダイコン、ニンジン、トマトおよびハウレンソウを平賀町農協より購入して貯蔵した。

2. 貯蔵方法

試料は青森県平賀町のエコ農産みちのく雪室およびJA 平賀集出荷所の低温冷蔵室でそれぞれ貯蔵した。各試料の入庫は平成11年10月28日に行い、以後、平成12年1月24日まで経時的に貯蔵した試料の物性と栄養

成分を分析した。雪室での野菜類保存は、各試料を別々にケースに入れた後に、それぞれを分別して3段の保存台上で保蔵した。なお、貯蔵環境を調べるために、温湿度測定計(おんどとり RH, ティアンドデイ社製)を用いて冷蔵室内の温湿度を常時モニターした。

3. 分析方法

各試料の硬度はレオメーター(FUDOH NRM-1003A)を使用し、No. 5-50の突き刺し型針を用いて3Kgで加圧して、突き刺す時の負荷力から算出した。測定した試料については、ニンジンと大根は中心部から2cm厚に輪切りにしたものを上部より、キャベツは半分に切断したものを外側と内側の両者から、トマトは上下部から突き刺すことで測定した。

水分は105℃で3時間乾燥加熱する常圧加熱乾燥法(3)で経時的に追跡した。

ビタミンC濃度はHPLC分析法(4)で行った。すなわち、試料50gより還元型ビタミンCを抽出し、日立高速液体クロマトグラフ装置655型を用い、分析カラムとしてIntertsil ODS-2(ジールサイエンス社、4mm×150mm)、移動相は30mM KH₂PO₄ (0.1mM Na₂EDTAを含む、流速、0.5ml/min)、カラム温度は50℃、検出は254nm(日立638-41型)の分析条件下で分離定量した。

糖度は各試料から搾汁液を作成し、手持屈折計(アタゴ500型)を使用して測定した(5)。なお、測定値は室温20℃で補正した。

トマトおよびニンジンの色素に関して、β-カロテンは試料よりメタノールで抽出後、トマトのリコペン濃度はメタノールでβ-カロテンを除去後、ベンゼンで抽出し、それぞれメタノールあるいはベンゼン10mlに溶解させた後に、分光光度計(β-カロテン:451nm, リコペン:487nm)を用いて測定し、各色素の吸光係数を用いて算出した(6)。

貯蔵中の色の変動は色彩色差計(ミノルタ CR-300)を用いて測定した。

結果と考察

1. 貯蔵温度と湿度の変動

図1に示すように、温度変化は両システムともに比較的小さかった。しかし、湿度変動は局所的ではあったが、電気冷蔵システムの方が比較的大きいことを確認した。以上の結果から、温度と湿度に関しては、貯蔵システムとして雪室は電気冷蔵システムと比較して何ら条件的に問題がないものと思われる。

2. 貯蔵物質の硬度変化

各試料の固さは、図2に示すように個体差が大きかったために正確な見解を述べることは不可能であるが、トマトを除く各試料は、貯蔵期間が長くなるに従って硬度が減少する傾向にあった。また、貯蔵の一時期ではあるが、トマトとダイコン貯蔵の中期、キャベツ貯蔵の後期には、電気冷蔵と比べて雪室で保存した場合の方が固さが保持されやすい現象を認めた。この原因は、雪室の湿度変動が比較的小さかったことが影響したのではないかと考えられるが、冷蔵システムの違いと植物代謝に何らかの関係がある可能性もある。

3. 貯蔵物質の栄養成分の変動

各試料の水分濃度の変動を追跡した結果、水分濃度変動に大きな差がなかった(図3)。しかし、ダイコンとトマトを除く3種類の野菜類は、電気冷蔵よりも雪室で貯蔵した方が水分の減少がわずかに抑えられる傾向に

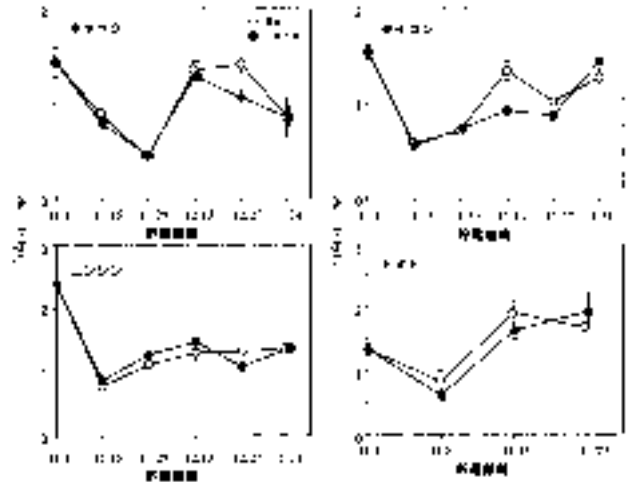


図2 貯蔵野菜の硬度変化
測定値=6分析値の平均値±S.E.M.

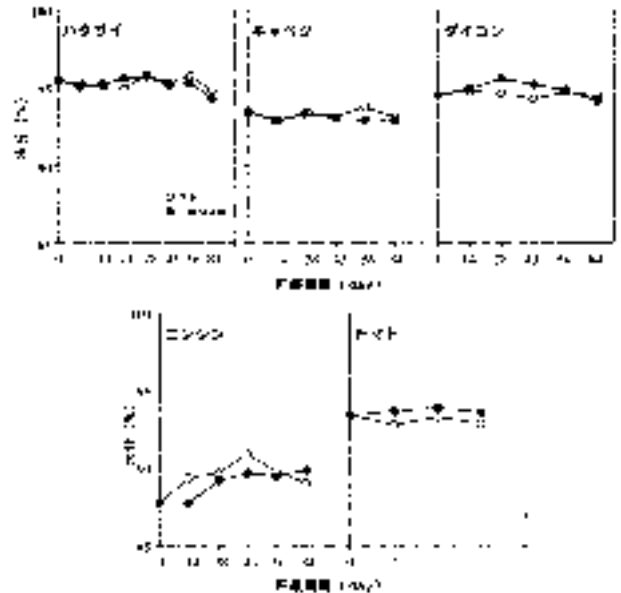


図3 貯蔵野菜の水分変動
測定値=3分析値の平均値±S.E.M.

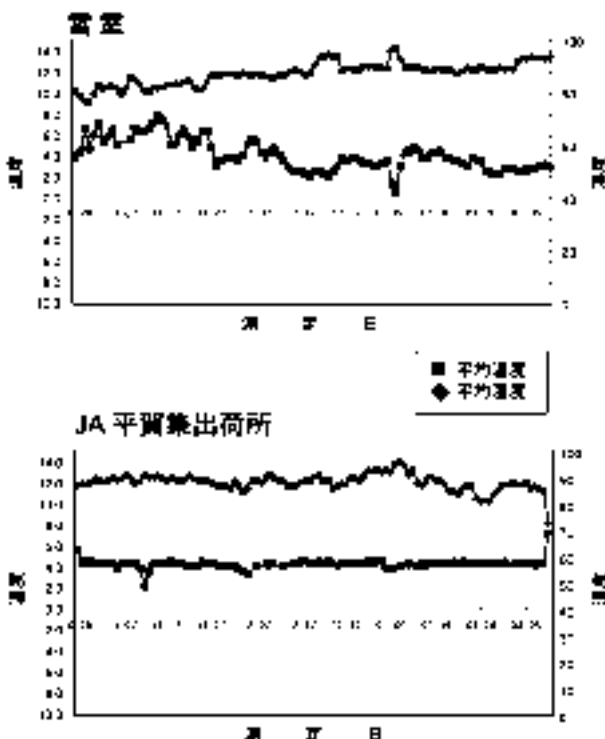


図1 雪室と電気冷蔵室の温湿度の変化

あった。この現象も湿度変動の違いと何らかの関係があるのかもしれない。

各試料のビタミンC濃度変動はそれぞれ異なった(図4)。ハクサイは2種類の冷蔵貯蔵で大きな差は生じなかったが、キャベツは電気冷蔵よりも雪室で貯蔵するとビタミンCは減少し易い傾向にあった。一方、ダイコンとトマトは貯蔵最終日を除いて、電気冷蔵と比べて雪室で貯蔵すると、ビタミンC濃度が保持され易い傾向にあった。冷蔵方法の違いによって生じた各試料のビタミンC濃度変動の違いを生じさせた原因は不明であるが、植物組織内の酸化還元系に及ぼす影響がそれぞれの冷蔵システムによって変化するのではないかと予測される。

糖度は、ニンジンとトマトの場合は両冷蔵法でも、わ

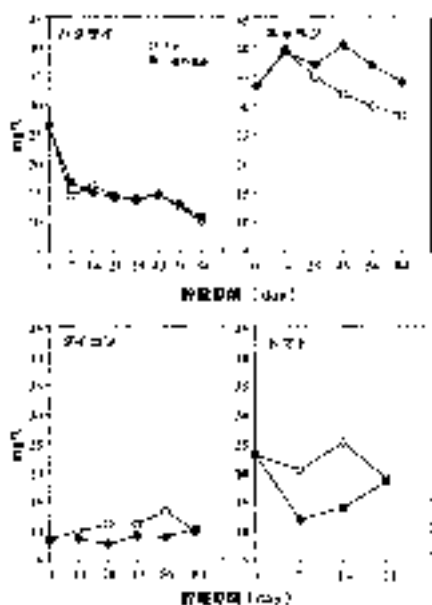


図4 貯蔵野菜のビタミンC濃度変動
測定値 = 2 分析値の平均値

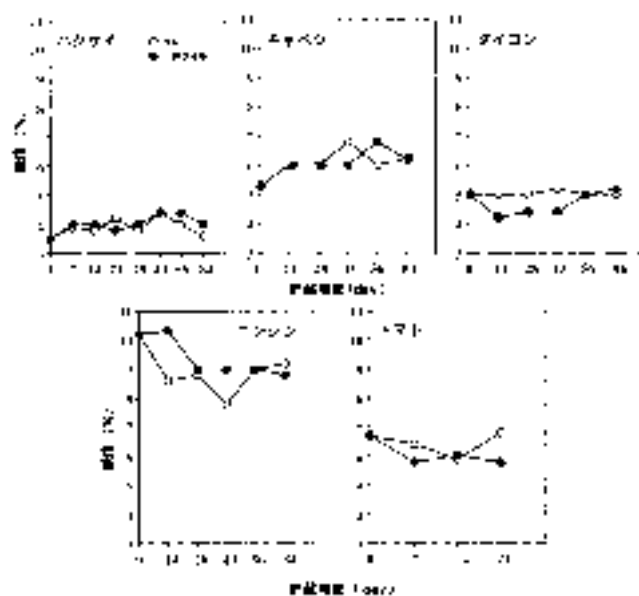


図5 貯蔵野菜の糖度変動
測定値 = 2 分析値の平均値

ずかに減少する傾向にあったが、他の3種類の野菜類はほぼ同じ濃度を保持した(図5)。ニンジンの糖度保持効果は電気冷蔵と比べて雪室で貯蔵した方が劣ったが、ダイコンとトマトは雪室で貯蔵すると、糖度減少が抑えられる傾向にあった。ハクサイとキャベツは両冷蔵貯蔵間で差はなかった。一般的に、でんぷん質の少ない農産物の糖度は貯蔵中に減少していくことが知られているが、本実験で使用された試料では、糖度減少が比較的小さかった。リンゴやバナナ等の様にでんぷん質の高いものを試料として調べることで、糖度変動と冷蔵システムとの関係をさらに調べていく必要があると思われる。

トマトとニンジンのリコペンおよびβ-カロテンの両濃度を調べたところ、トマトの両色素濃度は電気冷蔵よりも雪室で貯蔵すると高くなる傾向にあった(図6)。しかし、ニンジンのβ-カロテン濃度は電気冷蔵よりも雪室で貯蔵すると低くなった。

3種類の野菜類の色彩変動は、図7に示すように、トマトの場合、貯蔵中に明度(L値)が減少し、赤色度の増加(a値が+へ増大)が両冷蔵貯蔵で認められた。とくに、この2つの指標の変動は電気冷蔵と比べて雪室で若干大きかった。b値(+方向は黄色の増大を、一方向は青色の増大傾向を示す指標)の変動は両冷蔵貯蔵ともに小さかったが、電気冷蔵の場合は初期に減少し、一定レベルを保持したが、雪室保存の場合は貯蔵中期から減少した。L値とa値の両変動とリコペンおよびβ-カロテンの両濃度の変動との間には相関する傾向があったが、b値との関連については不明であった。

ニンジンの場合、L値は雪室よりも電気冷蔵で貯蔵すると低くなり、a値およびb値は雪室で貯蔵すると電気冷蔵よりも明らかに高くなった。この結果は雪室と比べ

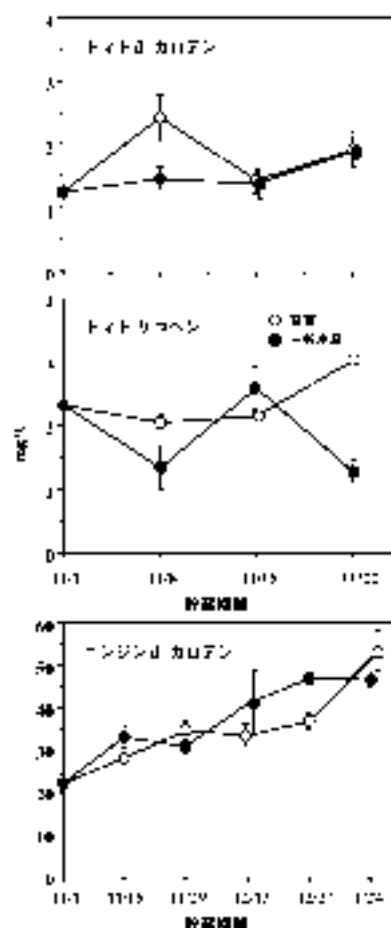


図6 貯蔵トマトおよびニンジンの lycopene と β-carotene 濃度の変化
測定値 = 6 分析値の平均値 ± S.E.M.

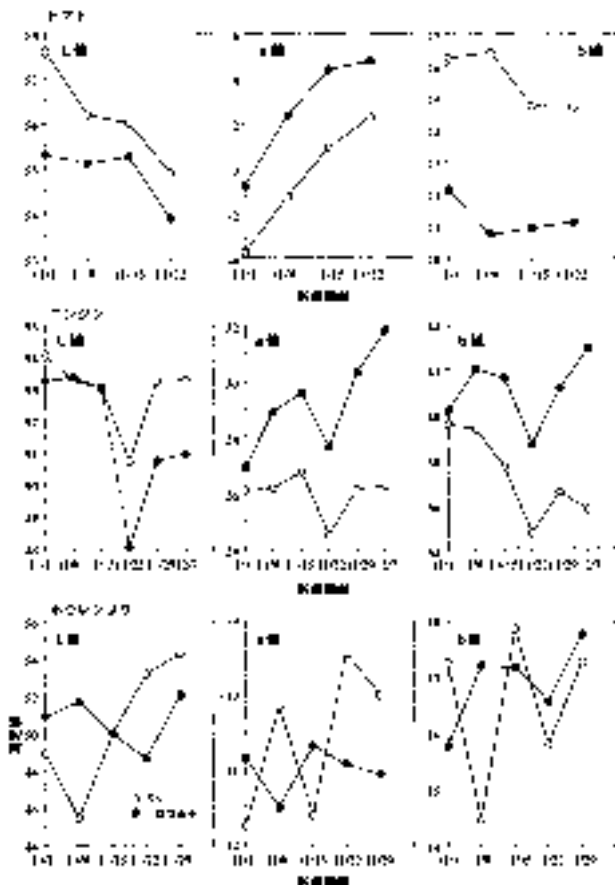


図7 貯蔵野菜の色彩変化

で電気冷蔵庫で貯蔵すると赤色および黄色度が強くなって、明度が低下することを意味するが、 β -カロテン濃度の変動と相関していなかった。この点についてはさらなる検討が必要である。

一方、ホウレンソウのL値は雪室で貯蔵した場合、初期は電気冷蔵の場合よりも低くなったが、後期には逆に雪室よりも電気冷蔵で貯蔵した場合の方が高くなった。a値は電気冷蔵の場合はほぼ同じレベルで推移したが、雪室貯蔵では上昇する傾向にあり、電気冷蔵の場合よりも高くなった。b値はa値で観察された現象の逆の傾向にあった。これらの結果はホウレンソウを雪室で貯蔵すると電気冷蔵と比べてやや鮮やかな色彩になる傾向にあるのではないかと予想される。この結果の原因として、クロロフィル等の色素の代謝と消長に対して冷蔵システムの違いが何らかの影響を及ぼしたのではないかと考えられる。

平成11年度の弘前地域は記録的猛暑かつ暖冬の影響で年度内は例年よりも気温が高い状況にあった。とくに、貯蔵試験開始から終了期にかけては降雪量も異常に低く、最高気温が10℃を越える日も多かった。他の地域に存在する利雪型貯蔵システムに比べると完成度が比較的高い雪室ではあったため、外気温が高かったにも関わらず、電気冷蔵とほとんど変わらないか、あるいはそ

れ以上の物性と栄養成分の保持効果が確認できた。すなわち、青森県においても、電気消費が少なく、冷媒を用いない環境に配慮した利雪型貯蔵システムによる農産物の貯蔵が有効であることが本研究の測定値から十分に予測できる。

摘 要

農産物の雪冷房方式貯蔵システムを確立するために、ハクサイ、キャベツ、ダイコン、ニンジン、トマトおよびホウレンソウを雪室と電気冷蔵庫で貯蔵し、各野菜類の物性と栄養成分に与える影響を比較した。雪室と電気冷蔵庫の温湿度に大きな差はなかった。電気冷蔵と比べて雪室貯蔵では、キャベツおよびダイコンの硬度は保持され易い傾向にあった。ハクサイ、キャベツ、およびニンジンの水分減少がわずかに抑えられた。ダイコンとトマトのビタミンC濃度は電気冷蔵と比べて雪室貯蔵で保持され易かった。ハクサイ、キャベツおよびダイコンの糖度は雪室貯蔵でほぼ同じ濃度に保たれた。トマトのリコペンおよび β -カロテン濃度は電気冷蔵と比べて雪室貯蔵で高く、ニンジン β -カロテン濃度は雪室貯蔵で低くなった。以上のように6種類の農産物を電気冷蔵と雪室で貯蔵したところ、若干の物性や栄養成分の貯蔵変動があるが、農産物の雪冷房方式貯蔵システムを使用した貯蔵は可能であることが明らかとなった。

謝 辞

本研究は青森県雪エネ研究会との共同研究かつ、文部科学省地域先導研究として行われたものである。また、各種分析においてお世話になった青森県工業試験所、奈良岡馨氏、青森県つがる農産物加工センター、山本忠志氏に深く感謝致します。

引 用 文 献

1. 佐藤利美, 伊藤美和, 鈴木武, 高橋亨, 渡辺朋恵: 雪むろの農業への利用に関する研究. 山形農試研法. 28: 81-98. 1994.
2. 福島忠昭: 雪資源を利用した野菜の貯蔵, 東北の園芸資源—その特徴と新技術. 園芸学会東北支部編, 秋田. 165-167. 1994.
3. 前田安彦: 1979. 水分の定量 p. 21-27 前田安彦編. 初学者のための食品分析法. 弘学出版. 東京.
4. 倉田忠男, 大塚恵: 1997. ビタミンCの定量 p. 439-454 日本食品科学工学会編. 新, 食品分析法. 光琳. 東京.
5. 安藤達彦: 2001. 野菜や果実をはかる: p. 60-65 安藤達彦, 吉田宗弘編. 身のまわりの食品化学実験. 三共出版. 東京.
6. 木村進: 1996. カロチノイド成分と変色: p. 187-290 木村進, 中林敏郎, 加藤博通編. 食品の変色の化学. 光琳. 東京.

Basic Studies on Storage of Agricultural Products Using Storage Room Cooled by Snow

Shingo NAKAMURA and Kyoichi OSADA

Laboratory of Food Science

SUMMARY

The aim of this study is to establish the storage room of agricultural products cooled by snow. The changes of physical properties and nutrition ingredient of stored vegetables in each storage room were compared after Chinese cabbages, cabbages, Japanese radishes, carrots, tomatoes, and spinets were stored in the storage room of cooled by snow or the electric refrigerator. Significant differences in moisture and temperature between the two storage systems were not observed. The hardness of cabbages and Japanese radish among examined vegetables tended to be held in the storage room cooled by snow. The decrease of the moisture level of Japanese cabbages, cabbages and carrot was slightly inhibited in the storage room of cooled by snow. The vitamin C level of Japanese radishes and tomatoes tended to be held in the storage room cooled by snow compared to the electric refrigerator. The sugar levels of Japanese cabbages, cabbages, and Japanese radishes was same in the two storage systems. Lycopene and β -carotene levels were higher in tomatoes stored in the storage room of cooled by snow than in those stored in electric refrigerator, however, β -carotene level of carrots stored in the storage room cooled by snow was lower than that stored in the electric refrigerator. Thus, the uncommon problem was not observed in storage of vegetables using the storage room cooled by snow, although the changes of physical properties and nutrition ingredient in vegetables stored in each storage systems were slightly different. Therefore, the storage room of agricultural products cooled by snow may be available in an area of high snowfall.

Bull. Fac. Agric. & Life Sci., Hirosaki Univ. No. 4 : 37 – 41, 2001

リンゴ収穫の機械化に必要なステレオ視システムの開発に関する研究

高 橋 照 夫

地域環境計画学講座

(2001年10月5日受付)

目 次

第1章 緒 論	42	5. 要 約	77
1. 研究の背景	42	第5章 試作ステレオ視システムにおける画像	
2. 既往研究の概要	44	入力条件の影響	77
3. 本研究の目的と構成	45	1. 緒 言	77
第2章 ステレオ視システムの試作	45	2. 本手法による距離測定の実験要因	78
1. 緒 言	45	3. リンゴ園果実画像における RGB 濃度	
2. 構成と機能	46	分散の特徴	78
3. 試作システムのカメラ制御	49	4. 距離精度に及ぼす画像入力条件の影響	83
4. キャリブレーション	50	5. 要 約	86
5. 要 約	57	第6章 立体形状計測と位置制御へのステレオ視	
第3章 左右画像合成によるステレオ視計測法の開発	57	法の応用	86
1. 緒 言	57	1. 緒 言	86
2. 左右画像合成による距離測定法	58	2. 果実形状のステレオ視計測に関する実験	87
3. 本手法の基礎的性質に関する実験	61	3. 線要素パターン方式による輪郭形状	
4. リンゴ園果実画像に対する適用	65	の取得	90
5. 要 約	67	4. 収穫マニピュレータの位置制御への応用	93
第4章 ステレオ対応問題画像の分析と対策	68	5. 要 約	97
1. 緒 言	68	第7章 総 括	98
2. 偽像の発生とその抑制対策	68	謝 辞	100
3. 対応問題画像の処理例	72	参考文献	101
4. リンゴ園果実画像への適用	76	Summary	104

第1章 緒 論

1. 研究の背景

果実は、わが国で古来より嗜好品としてのほか健康食品としての価値が認識され、食生活の中に確固たる地位を築いてきた。近年の国内消費量は生食用と加工用合せて年間 800 ～ 900 万トンで推移し、主食の米に迫る量となっている。このうち、国内生産量は約 400 万トンであり、種目別にみるとりんご約 120 万トンとリンゴ約 100 万トンの占める割合が高く、以下ナシ、ブドウ、カキがそれぞれ約 40, 25, 25 万トンである (48)。

一方、現在わが国の果樹農業は、栽培従事者の高齢化、後継者不足、生産農家の減少等により労働力の確保

が困難となりつつあるのに加え、輸入自由化や消費動向の変化等による販売競争などで、極めて厳しい環境におかれている。果樹生産費調査 (47) によると、果樹栽培の 10a 当たり労働時間は 250 ～ 280 時間で、生産費合計に占める労働費の割合はミカンが約 65 %、リンゴが 68 %となっていて、水稲作などに比べ非常に高く、労働時間及び労働費を削減することが、経営改善のみならず地域の生産基盤を強化する上で重要な課題になっている。

国内のリンゴ生産量の約半分を占める青森県ではこうした状況を踏まえ、高品質を維持しながら省力、低コスト生産と軽労化を図るための方策として、園地整備やわい化樹栽培の普及とともに、剪定や摘果、防除、着色管

表 1.1 果実収穫の機械化の段階（予想）

Table 1.1 Some stages of mechanization for fruit harvesting (prediction).

方 式	形 態	オペレータの作業・操作
1. ハシゴ	ハシゴ	昇り降り，手収穫
2. 高所作業台車	作業台	台上移動，手収穫
3. アームボックス作業車	作業用アームボックス＋台車	アームボックスの接近操作，手収穫，台車運転
4. 視覚センサー・アーム作業車	視聴覚センサ＋収穫アーム＋台車	アームの接近・収穫時の補助操作，台車運転
5. 視覚センサー・アーム自律作業車	視覚センサ＋収穫アーム＋自律走行車	アーム自動接近・収穫・台車移動の遠隔管理・指示

表 1.2 リンゴ収穫用視覚センサシステムの使用条件と所要性能の例

Table 1.2 An example of use conditions and required performance on visual sensing system for apple harvesting.

(1) 使用条件	内 容
ほ場環境	屋外リンゴ園，緑色葉繁茂，地面：草地，裸地
栽植様式	普通栽培，わい化栽培
樹冠寸法	普通樹（幅×奥行き×高さ）：8m×8m×4m わい化樹（同上）：4m×4m×3m
果実条件	果実色：赤色系，黄緑色系 寸法（径×高さ）：約70×70mm～90×90mm
作業期間	収穫期：9月～11月
日光条件	天候：快晴～雲，時間：午前8時～日没前
(2) 所要性能	内 容
測定範囲	距離5m，高さ0.5～4m
距離精度	収穫範囲（2m以内）2%，探索範囲（2～5m）5%
距離分解能	収穫範囲（同上）1%，探索範囲（同上）2%
識別能力	果実，枝葉，支柱，背景，人工物
画面表示	三次元画像（または，カラー画像と距離画像）
処理速度	実時間処理

理，収穫などの作業について，多目的管理機，無人スピードスプレーヤ，高所作業台の導入が奨励され，機械化による生産性の向上が推進されている（1）。しかし，労働時間の40%前後を占める収穫作業では，機械化がほとんど進んでいないため，大幅な労働時間の削減は困難な状況にある。

収穫作業の機械化が進展しない主な理由は，一般に軟質で傷つきやすい果実を，生食用としての外観や品質を確保しつつ，枝葉等の障害物を避けて収穫するための柔軟かつ高度な構造と機能を備えたシステムの開発が極めて難しいことにある。また栽培農家の経営的制約を考慮した経済性も要求される。それらの条件を満たす機械の開発はこれまで全く不可能であった。しかし，近年電子・コンピュータ技術の発達を基礎とした各方面での機械化やロボット化技術の発展・普及に伴い，種々の果実について収穫作業の自動化・ロボット化を試みる研究が急速に増加している（22，51）。

リンゴ果実収穫における機械化の発展段階は，表 1.1 に示すように，作業者の操作をかなりの部分で必要とする半自動化から自律的な収穫が可能な全自動化まで種々

予想される（21，52，74）。自動化を前提とした開発に当たっては，そうした段階のいずれにおいても，前述の条件に加え，a）自然光環境下で広い果樹園の中から多数の果実を識別し，それらの位置を特定する能力，b）作業者と機械との協調及び役割分担の明確化，c）収穫作業に付随又は関連する作業との連携，及びd）収穫作業以外にも利用可能な多用途性，などに留意することが必要になる。

例えば，やや将来的な機械化の段階として，視覚センサと関節アーム型の収穫装置を備え，リンゴ園内をガイド等を検出しながら移動し，自動的に果実の収穫を行う状況を想定すると，収穫機械には，樹冠内の果実を探索・識別し，それらの三次元位置を計測する能力と，収穫アームを果実に接近させて把持・収穫を行い収納する能力が要求される（30，65）。作業者は1台又は複数台の収穫機械について作業状況を監視し，動作不安定時や緊急時に適宜指令を出すなど，全体の統括的な役割を担うことが考えられる（25）。その場合，視覚センサによる識別・計測機能が生育期全般の果実等にも適用できれば，エンドエフェクタの交換で，収穫だけでなく摘果や

防除の管理作業にも利用することが可能になるであろう。

本研究は、そのような機械化において重要な役割を担う視覚センサシステムの開発と利用法の確立を主眼にしている。果実の機械収穫で視覚センサシステムが満たすべき要件は表 1.2 のようになると思われる。すなわち、自然環境下での果実の識別・認識と位置・距離の計測とともに、果実周囲の枝葉等の状況把握、及び各部の動作制御のための視覚情報を作業者と共有可能なことが求められる。そこで本研究の目標を、人間の視覚系と同様、視覚センサによる画像入力がカラーでなされ、かつ三次元情報の取得が可能なことを要件として、ステレオ視法(14, 72, 95, 99, 100)に基づく計測システムの開発においた。その基本的な考え方については、これまで果実収穫用機械の開発等で研究された識別と位置計測に関する種々の手法を概観しながら以下に述べる。

2. 既往研究の概要

(1) 果実の識別と認識に関する研究

TV カメラを視覚センサとして用いた入力画像において、果実と枝葉や背景等を識別する画像処理は、一般に明度や色特徴を指標に選定し、そのしきい値を決めて全画素の 2 値化を行うことにより、対象物のみを抽出する手順で行われる(90, 91)。さらに、その特徴把握のため、領域分割によってラベル付けを行い、面積や重心位置などの形状と色の各特徴量を算出する。また、対象物を類似物と区別して認識するため、種々の特徴量をカテゴリ別に分類し比較判定する処理が行われる(43, 60)。

このような 2 値化による識別の処理では、その指標としきい値が識別の精度を左右するため、それらの決定をどのように行うかが重要になる。これまでの果実や野菜などを対象にした研究によると、モノクロ画像では輝度や明度(28, 29, 34, 46, 57, 67, 92, 93, 94)、カラー画像では三原色 RGB の中で優勢な成分、それらの差または比(28, 68, 75)、あるいは HSI 表色系の成分(45, 69, 70, 71, 87)などが指標として用いられ、それぞれヒストグラムからしきい値を決定する方法(90)が広く採用されている。

しかし、リンゴ園で収穫作業時、果実の周囲には通常枝葉や支柱など作業の障害になるものが多く存在するので、識別処理ではそれら周囲の物体や背景も個別に識別する必要があり、果実だけを対象にする上述の方法は十分でない。

そのような識別は、輝度や明度を指標に用いるモノクロ画像では一般に難しいが、果実と周囲物体の色調が異なるカラー画像については、それぞれの色特徴に関する 2 値化を多段階に行う手法(76)や、それらの色特徴をニューラルネットワークで学習させて利用する手法(77)などが研究されている。しかし、識別すべき物体が多数存在する場合には操作が複雑で処理時間が長くな

るなど、カラー画像処理の手法としてはまだ十分確立されていない。

また、色特徴によらず、近赤外線に対する果実と枝葉等のスペクトル吸収特性の相違や形状特徴の違いを利用して識別する手法も研究され、有効性が報告されている(3, 8, 9)。ただし、作業者が目視で赤外線画像から果実とその周囲の状況を認識することは難しく、作業者と機械との視覚情報の共有という点で問題があるため、利用範囲が限定される。

カラー画像では、一般に物体の輪郭や境界において RGB 濃度が急激に変化するので、その性質を利用して領域に分割し、HSI 表色系の色特徴や形状特徴によってカテゴリに分類する識別手法も考えられる。その方法では、2 値化処理のしきい値の代わりに、輪郭や境界を検出する値の決定が必要になるが、計算処理としては 2 値化のしきい値を用いて多段に行うよりも簡単になる場合が多い。

以上より、本研究では、カラー画像内の対象物の識別に際して、2 値化処理手法の代わりに、色相と RGB 濃度の変化を検出して領域に分割する方法を主に採用する。

(2) 果実の位置・距離の計測に関する研究

リンゴ園で果実を収穫するためには、対象とする果実を周囲の物体から識別するとともに、その位置に関する情報を得ることが必要である。その内容としては、収穫機を基点とする三次元座標のほか、その周囲の物体(他の果実や枝葉など)との相対的な位置関係が挙げられる。すなわち、収穫機から対象果実までを範囲とする三次元空間内の物体の状況を把握しなければならない。

物体の三次元位置を求める計測法には、光、レーザー、超音波などを対象物に投射し、それらの反射状態を測定して距離や位置を知る能動的方法と、そのような特別な措置を講じないで、カメラ等で撮影された画像から距離や位置を測定する受動的方法がある(26, 96)。

工業関係の三次元計測では、精密な測定が可能なレーザーを用いた能動的方法が利用されている(2, 5, 17, 18, 24, 49, 66, 80, 105, 104, 106)。果実収穫の分野では湯川ら(107)やスプラタラ(73)によるミニトマトを対象にした研究などがある。しかし、屋外の自然光環境の条件下で光やレーザー光を投射する方式は一般に外乱の影響を受けやすく、広い空間にランダムに存在する多数の果実と周囲物体との識別を自動処理で確実に行うことは困難である。

一方、TV カメラなどの視覚センサを用いる受動的方法は、近年のカメラ技術の向上で盛んに研究されるようになった。果実の位置計測への利用では、単眼カメラを用いた近藤ら(27)の研究などがあるが、対象物の三次元情報を得る方法としては、2 台のカメラを用いる両眼ステレオ視(立体視)法があり、工業分野をはじめ種々の分野でその利用が試みられている(95, 100)。果実収穫の分野では、川村ら(22, 23)、藤浦ら(13)、張

ら(10)がステレオ視による距離計測の研究を行い、1m前後の撮影距離で1%内外の精度であることを報告している。しかし、それ以上の距離では精度が急激に低下することや、果実の個数が多くなると左右画像で同一果実の対応づけが難しくなることが指摘されている。

両眼ステレオ視における左右画像の対応づけの問題(33)は、ステレオ対応問題と呼ばれ、工学分野(54, 97)をはじめ、情報科学(4, 36, 37, 79)、視覚神経生理学(16)、心理学(35)などの分野で数多く研究されてきたものの、未だ一般的な解決法が見出されていない困難な問題である。それが、両眼ステレオ視法を利用した自動化技術が待望されているにも関わらず、開発の妨げになっている大きな理由である。

その解決策として研究されている代表的な画像処理手法には、局所相関法(20, 32, 39, 101)、弛緩法(15, 63)、伸縮法(50)、動的プログラムマッチング法(58)、線構造法(6)、領域法(53)などがある。さらに最近では、幾何学的拘束に基づく数学的手法(12, 19, 108)や、遺伝的アルゴリズムを利用したパターンマッチング法(78)などが試みられている。

これらの研究のほとんどは、左右画像内の物体の対応関係を個別に調べ、三角測量の原理によって三次元座標を取得して立体構造を求める考え方に立脚している。直線や平面で構成される人工的な世界シーンへの適用において有効な場合が多い。収穫時の果実画像についても、対象果実の特定が容易な画像に対しては有効なもの(51)、類似した果実が水平方向に多数並んでいる場合や重なり合った場合などには対応づけが困難になる。さらに、周囲の物体の位置計測に適用するに際しても、それらの色や形状が多様で予測できないため、従来の手法では不可能か又は処理時間が膨大になるなどの欠点を抱えている。

ステレオ視法の利用には、このような未解決の課題があるものの、前述した視覚センサの所要条件、すなわち、収穫時の果実とその周囲環境に関する三次元情報の把握、作業者と情報の共有、収穫以外の作業にも利用できる多用途性等の条件、を満たすために必要になる三次元空間内のカラー情報と位置・距離情報の取得が、人間の視覚系と類似した構造によって、同時に一つの観測視点から行えるという特徴があるので、今後最も有望な手法と考えられる。

ところで、人間の視覚系に関する研究(56, 61, 62, 64)によると、両眼視によって三次元情報を知覚する過程には、「注視」などの能動的な意識活動が密接に機能していることが知られており(35)、それらが対応問題の軽減にも寄与していることが予想される。そこで、両眼ステレオ視法を利用する場合には、従来のような受動的な面からだけでなく、能動的な面を考慮した検討が必要と思われる。しかし、そうした研究はこれまで大森(55)や滝沢ら(89)などの数例にとどまっている。本

研究ではその点に着目して、両眼ステレオ視に関する新たな測定原理と対応問題の対策について検討を行った。

3. 本研究の目的と構成

本研究の目的は、果実の自動収穫を前提にした機械化を図るため、果実とその周囲の環境に関する三次元視覚情報を入力する手段として、両眼ステレオ視による計測手法を開発し、その計測システムを確立することにある。そのため、次の4課題に的を絞って検討を行うことにした。すなわち、(a)ステレオ視システムの機械的距離特性の究明、(b)両眼ステレオ視に関する新たな測定原理と手法の考案、(c)ステレオ対応問題の分析と解決策の立案、(d)諸因子の因果関係と距離精度に及ぼす影響の究明、である。さらに、本研究の手法を果実の立体形状計測と収穫マニピュレータの位置制御に応用する場合について、その可能性と問題点を考察した。

本研究の意義と効果に関しては、(a)距離画像とカラー画像を同時に取得することにより、果実とその周囲の環境に関する情報を人間の視覚と同様に収集でき、(b)位置計測が三次元で行われるので、果実を採取するためのハンドの接近動作や収納動作などの収穫機の制御を視覚情報と連動させて行うことが可能になり、(c)収穫機の走行用視覚システムとして走行経路に関する三次元情報の取得と自律的な操向制御にも利用し得る、等が挙げられる。

本論文の内容と構成は次の通りである。第2章で、本研究に供試したステレオ視システムのハードウェア面を中心に、構成と機能及びカメラ制御の方法を述べ、キャリブレーションにより距離精度を検討した。第3章で、左右画像合成によるステレオ視計測法の開発にあたり新たに考案した測定原理について述べ、その手法の基礎的性質に関する実験とリンゴ園果実画像への適用実験によって、その有用性を検討した。第4章で、ステレオ対応問題画像について、偽像の発生状況を分析して抑制策を立て、その効果を典型的な対応問題画像の処理とリンゴ園果実画像への適用によって検証した。第5章で、画像入力条件が計測精度に及ぼす影響について実験的に調べ、測定誤差の要因別に実験結果を分析して、試作システムの実用的な利用条件を考察した。第6章では、本研究のステレオ視法の応用として、果実等に関する形状計測の実験と、収穫マニピュレータの位置制御への利用に関する数値シミュレーションを行い、それらへの適用について検討した。

第2章 ステレオ視システムの試作

1. 緒言

両眼ステレオ視法は、図2.1に示すように、2台のカメラで撮影された一対の画像をもとに、三角測量の原理に基づいて三次元位置を計測する方法である。その測定精度は、各カメラレンズ系の撮像特性及び距離特性と、

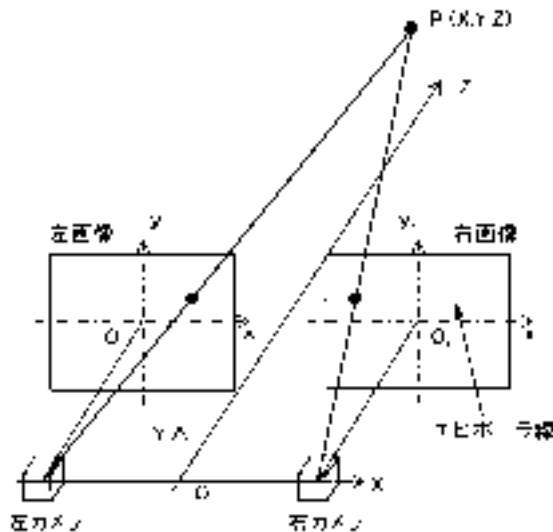


図2.1 両眼ステレオ視法による計測

Fig. 2.1 Measurement method by binocular stereo vision.

ステレオ光学系の構成状態により大きな影響を受ける。特に、リンゴ園での測定では、対象にする果実が広い樹冠の内外に存在するため、ステレオ光学系のわずかな誤差で測定精度が急激に低下し、遠距離にあるものほどその影響が著しく現れる。

また、リンゴ園で機械によって自動収穫を行うためには、撮影した画像の処理によって果実を探索し、的確に識別する必要がある。そこで、計測システムには、対象果実が左右カメラの共通視野内に入り、所定範囲の大きさで同時に同一の撮影条件で収録できるように、望遠用のズーム機構とフォーカス・露出などの自動調節機構を備えたカメラ、及びカメラ部を上下左右に旋回させるパン・チルト機構が要求される。両眼ステレオ視システム

を用いる場合には、それらの使用条件を考慮して、予め精密なキャリブレーションを行い、そのシステムの計測特性を明らかにしておかなければならない (42)。

本章では、上述の点に留意して試作したステレオ視システムについて、ハードウェア面を中心に、その構成内容とキャリブレーション実験で得られた機械的距離特性を述べる (84)。

2. 構成と機能

(1) 試作方針

収穫期のリンゴ園で使用する試作システムの条件別目標範囲を表 2.1 のように設定し、システムの要件として次の点に留意した。すなわち、左右 2 台のカメラが同一の規格と性能を持ち、かつ両者が適切な配置状態であること、撮影像の色特徴や形状特徴の再現性が良好で、対象物の遠近や光環境の影響を軽減できるように、フォーカス、露出、ホワイトバランス等の自動調節機能を備え、かつズーム機構のコンピュータ制御が可能なこと、一連の作業を自動化するため、撮影・画像入力・保存・処理の各操作がコンピュータプログラムで制御できること、等である。

距離の測定精度については、マニピレータ等による収穫作業範囲を収穫機本体から約 2m と想定し、その位置で 40 mm 程度 (果実径の半分程度) の誤差であれば果実とハンドとの相対的位置関係をもとに動作の修正が可能と予想されるので、2 % に設定した。また、2m 以上では果実の探索が主になるので 5 % とした。なお、処理時間については、実時間処理が必須条件であるが、本研究では新たな測定原理とアルゴリズムの検証及び諸条件の影響を明らかにすることを主眼に、1 分以内を制限範囲とした。

表 2.1 試作システムの使用条件別目標範囲

Table 2.1 Each target performance of use conditions for the trial vision system.

条 件	区 分	内 容
対象物条件	識別対象	果実とその周囲物体
	果実色	赤色系と黄緑色系の 2 品種
環境条件	寸 法	80 × 80 mm 前後 (指定可能)
	日光条件	天候：晴～曇，時間：午前 9 時から日没まで
撮影条件	照射状態	直射・乱反射・陰影等樹冠内外の状態
	撮影距離	約 1m ～ 5m
	距離精度	2m 以内 2 %，2m 以上 5 %
	撮影方向	順光・逆光とも撮影可能
画像処理条件	カメラ機能	パン・チルト機能装備
		ズーム調節可能，パソコンで制御
		ホワイトバランス，露出，フォーカスは自動調節
	画像入力と処理	カラー，RGB 濃度 24 ビット
	識別指標	色特徴 (形状，テクスチャも考慮)
	解 像 度	320 × 240 画素，左右カメラ同質画像
	画面表示	カラー画像と距離画像
	処理速度	1 分以内

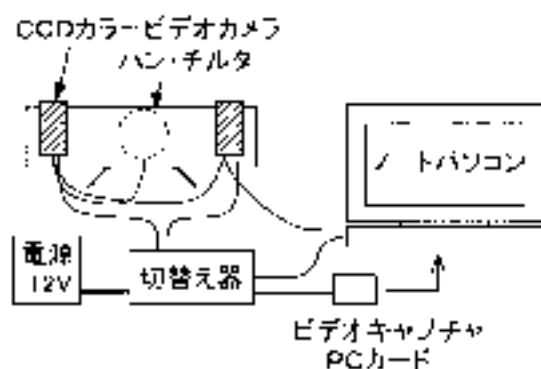


図2.2 試作システムの構成

Fig. 2.2 Components of a trial stereo vision system.

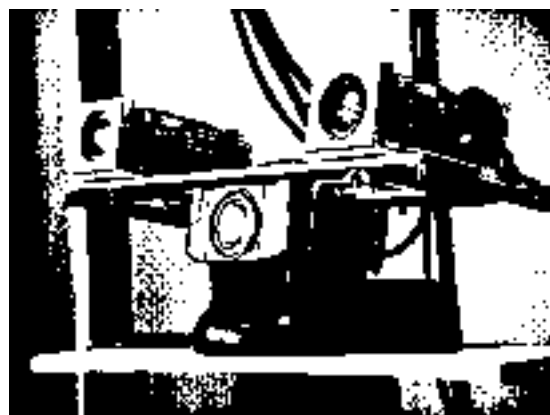


図2.3 試作システムのカメラヘッド部

Fig. 2.3 Camera head of the trial vision system.

(2) 主な構成と機能

試作システムの主な構成は、図2.2のように、CCD カラービデオカメラ2台、ノートパソコン、キャプチャ PC カード、パン・チルト式カメラ台、及び画像入力切替器である。カメラヘッド部の外観を図2.3に示す。各構成要素の内容は以下の通りであり、仕様を表2.2に示す。

ビデオカメラは、38万画素のCCD素子撮像面をもち、NTSC信号を出力するアナログタイプである。撮影時のフォーカス、露出、ホワイトバランス等は本体の自動調節機構でなされるとともに、RS232C インターフェースを介してパソコンでそれらの制御やズーム調節を行うことが可能である。

キャプチャ PC カードは、ビデオカメラから出力されるNTSCカラー信号をパソコン入力用のデジタル信号に変換する機能をもつ。解像度は最大 640×480 画素、三原色 RGB の濃度分解能は各々最大 8bit である。本研究では解像度を 320×240 画素、RGB の分解能を各原色とも 8bit として使用した。

ノートパソコンは、CPU クロック周波数が 133MHz の Pentium 搭載機で、2台のカメラのスチル撮影と画像入力の制御、及びハードデスクへの保存を行う。本体が軽量で、放電時間は約3時間である。

パン・チルトは、水平旋回（パン）と上下回転（チルト）の2方向の首振り機構をもつ市販カメラの筐体部分で代用し、カメラ台を上部に取り付けたものである。同機構の操作は RS232C を介した通信によりパソコン側から行うことができる。首振り範囲は、水平旋回角が $\pm 96^\circ$ 、上下回転角が $\pm 23^\circ$ である。

画像入力切替器は、2台のカメラの画像出力信号を交互に切替えるもので、手動切替えと TTL 信号による切替えが可能である。本システムではパソコンのプリンタポートを利用してプログラム上で切替えができるようにした。電源には、2台のカメラとパン・チルトの駆動源として自動車用 12V バッテリーを用いた。

距離測定値の校正は、レーザ距離計を用いて行った。

その主な仕様を表2.3に示す。同距離計は、光源に 670nm の可視光レーザダイオードを用いた携帯型で、測距範囲が 0.2 ~ 100m、測距精度が ± 3 mm である。手動計測と RS232C を介したパソコン制御による自動計測が可能である。

試作システムの主な特徴は、左右一対のカメラでほぼ同時に撮影できること、パソコンによるカメラ制御とそのデータの取得が可能なこと、及びカラー入力画像（RGB 24bit）をデジタル画像として保存できること、全体として軽量であり、可搬性に優れていることなどである。撮影可能時間は、バッテリー放電時間に制限され、パソコン、カメラ、レーザ距離計とも約3時間であった。

(3) 処理プログラムと操作手順

1) 処理プログラム 処理プログラムは、カメラ制御用、画像入力・保存用、モニタ画面表示用及び距離計算用の各プログラムで構成される。図2.4にその概要を、図2.5に処理の流れを示す。カメラ制御用プログラムは、パン・チルトとカメラのズーム機構を制御する。画像入力・保存用プログラムは、ビデオキャプチャ用 PC カードのドライバを介して画像入力やハードデスクへの保存実行を命令する。モニタ画面表示用プログラムは、原画像、処理結果画像及び関連データをモニタ画面に表示する。これらの使用言語は、ビデオキャプチャカードのドライバと連携させるため Visual Basic で統一した。距離計算用プログラムは、第3章で述べる両眼ステレオ視の測定原理に基づいて距離を算出する。計算速度を上げるため C 言語で作成した。計算処理は、実行ファイルを上述の画面表示用プログラムの中から呼び出して行われる。

モニタ画面表示用と距離計算用のプログラムは、それぞれ測定距離が既知のもとで校正に使用するキャリブレーションモードと、未知の場合に使用する測定モードの2種を用意した。操作は、前者では手動、後者では手動または自動で行われる。ただし、自動操作は試用段階

表2.2 試作システムの主要構成要素に関する諸元

Table 2.2 Specifications on main components of the trial vision system.

(1) CCD カラービデオカメラ		内 容
型 式	蝶理 ML-310 (ソニー EVI-310)	
撮像素子	1/3 " インターライン方式 CCD 個体撮像素子	
有効面積	768(H)×494(V), 約 38 万画素	
信号方式	NTSC 方式, YC 分離ビデオ出力 (S-ビデオ) あり	
レ ン ズ	8 倍ズーム $f=5.9\sim47.2\text{mm}$, $F=1.4$, オートフォーカス付き (インナーフォーカス)	
画角 (水平)	約 44.3° (ワイド端) $\sim 5.8^\circ$ (テレ端)	
レンズ構成	6 群 9 枚 (非球面レンズ 2 枚含む)	
最短撮影距離	10 mm (ワイド端), 900 mm (テレ端)	
映像出力	VBS 1.0Vpp 同期負, 75 Ω 不均衡, コンポジット	
解像度 (中心)	水平 460 TV 本以上, 垂直 350 TV 本以上	
最低被写体照度	6 lx F1.4 (50IRE 以上)	
ホワイトバランス	TTL 自動追尾 (手動, 固定も可), 固定屋内, 固定屋外	
S/N 比	46dB 以上, 電子シャッタ 28 段階 (1/60 $\sim$ 1/10,000 秒)	
電源, 外形寸法, 質量	DC 6 $\sim$ 9 V (2.8W), 49 $\times$ 51 $\times$ 100 mm, 210 g	
リモートコントロール	VISCA/RS232C ネットワーク経由, カメラ制御	
(2) ビデオキャプチャ PC カード		内 容
型 式	NEC PC-9821-CS02	
タ イ プ	PC カード標準 Type II, ZV Port	
表示サイズ	640 $\times$ 480, 320 $\times$ 240, 160 $\times$ 120	
キャプチャ画像フォーマット	RGB 24bit (YUV 4:2:2 可)	
(3) サブノートパソコン		内 容
型 式	NEC-9821La13	
CPU, RAM	Intel Pentium 133 Mhz, 48 MB	
OS	Windows 95 (キャプチャ画像表示・保存-VB5CCE-) MS-DOS モード (VISCA プログラム-Turbo C-用)	
内臓ハードデスク	IDE 1.3 GB	
(4) パン・ティルタ		内 容
カメラ間隔	300, 250, 200, 150 mm (設定可能)	
角度範囲	上下 $-23\sim23^\circ$, 左右 $-96\sim96^\circ$	
コントロール	VISCA Network によるパソコン制御可	
(5) 画像入力切替器		内 容
切替え方式	手動: トグルボタン, 自動: ON/OFF リリースイッチ	
電 源	カメラ供給用 12 V	

表2.3 レーザ距離計の仕様

Table 2.3 Specification of the laser range meter.

項 目	内 容
型 式	ライカ DATA DISTO RS232C
発光レーザ ダイオード	620-670 nm, 赤, クラス II
測定範囲	0.2 m $\sim$ 30 m (ターゲットありの場合 100 m まで可)
測定精度	$\pm 3\text{mm}$
測定時間	2.5 $\sim$ 10 秒
操作制御	RS232C を介してリモートコントロール可

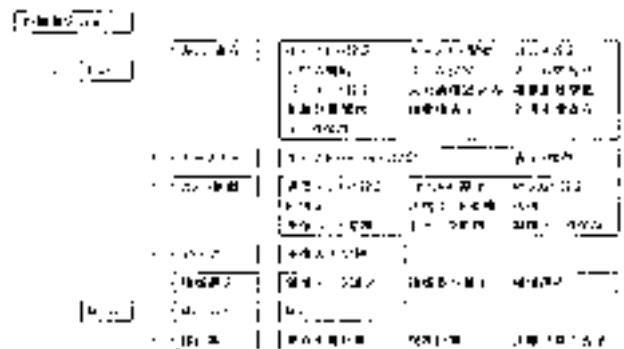


図2.4 処理プログラムの概要 (距離測定モード)

Fig. 2.4 Outline of processing programs (mode of measuring distance).

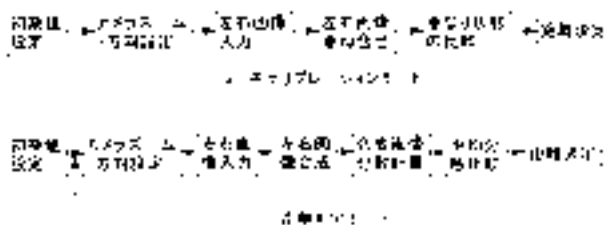


図2.5 処理の流れ

Fig. 2.5 Flow chart of the image processing:
(a) calibration mode,
(b) mode of measuring distance.

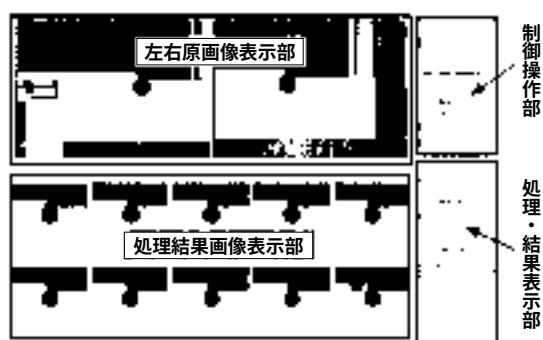


図2.6 モニタ画面表示の例（キャリブレーションモード）

Fig. 2.6 An example of the display showing on a monitor (calibration mode).

である。

モニタ画面の表示例を、キャリブレーションモードの場合について図2.6に示す。同図のように、原画像表示部、制御操作部、処理操作・結果表示部、処理画像表示部から成る。同モードの距離計算では、操作者が目視で左右両原画像の対応個所をモニタ画面上で探して指定し、三角測量の原理で算出する目視方式を併用できるようにした。測定モード用のモニタ画面では、処理画像表示部が合成カラー画像部と距離画像部で構成される点がキャリブレーションモード用と異なる。

2) 操作手順 測定モードでの手動操作手順は、まず操作者が対象物にシステムの向きを合せ、左右カメラのズーム調節を行い、フォーカス、露出、及びホワイトバランスの自動調節後、左右カメラを順次切替えて対象物を静止画として撮影し、両画像をハードディスクに保存する。距離の算出は、距離計算プログラムにより一対の左右画像を読み込んだ後、左画像内の対象物を手動（または自動）で特定して行われ、結果がモニタ画面に表示されるとともにハードディスクに保存される。

キャリブレーションモードでの操作手順は、画像の入力・保存までは上述と同じであるが、距離計算は、操作者が目視方式で求めた距離の前後に測定範囲を絞って行われる。

3. 試作システムのカメラ制御

カメラ制御の目的は、収穫する果実の正確な三次元位

置を得るため、その果実が試作システムのカメラヘッド正面に所要範囲の大きさの像で撮影されるように、カメラヘッドの向きと左右両カメラのズームを調節することである。ここでは、向きの調節をパン・チルト制御、ズームの調節をズーム制御と呼ぶ。制御方法は、入力画像の処理結果に基づく自動方式と、操作者がパソコンで指示する手動方式の2方式とし、収穫作業時には自動方式で行うことを目標にする。以下では、上述の制御を行うための構成・機能及び方法とそれらの制御時の動作特性を検討した。

(1) カメラ制御機構と制御方法

1) 制御機構の構成と機能 a) ズーム機構：供試 CCD カメラは6群9枚のレンズで構成されており、ズームとフォーカスの制御でそれらのレンズ群が移動する。オートフォーカスモードでは、ズーム位置の設定に伴いフォーカスレンズ群が自動的に合焦位置に駆動される。カメラ内蔵のズーム機構は、レンズ群を高速ステッピングモータで前後に駆動する。最望遠から最広角までの位置分解能が1,023段階（16進数で0～3FF）、最大速度が1.5秒のズーミング能力である。

b) パン・チルト機構：水平方向の旋回と上下方向の回転は、それぞれ個別のステッピングモータで駆動される。水平旋回範囲は $\pm 96^\circ$ （最大速度 $80^\circ/\text{秒}$ ）、上下回転範囲は $\pm 23^\circ$ （同 $50^\circ/\text{秒}$ ）である。

2) 制御方法 両機構の制御は、自動、手動の両方式とも、パソコンから RS232C を介して VISCA (Video System Control Architecture) プロトコルのネットワーク上で制御コマンドの送出と応答メッセージの受信によってなされ、指定量の動作を実行させるようになっている。

VISCA プロトコルの制御コードは、装置番号、データ部、及びターミネータで構成され、データサイズは3～14バイトである。装置番号を指定し、データ部にコマンドを書き込んでパソコンから送信すると、該当の装置側が命令を解読して実行すると同時に、応答データを同様のコードで返送する。その判別から命令遂行の可否が分かる。装置側の状態を問い合わせる場合も同様の処理で行う。本研究で使用した制御コマンドは、ズーム値設定、水平旋回角と上下回転角の設定、及びそれらの問合せである。

3) 操作手順 カメラ制御の操作手順は、図2.6のキャリブレーションモードを例に説明すると次のようになる。まず、①ビデオキャプチャと VISCA のプログラムを起動させると、カメラ光軸間隔、同交差角などの初期値設定ファイルが読み込まれ、左右カメラの撮影画像が画面にスルー状態で表示される。②ズームとパン・チルト両機構の設定値を入力し、問合せボタンで応答結果を確認する。次に、③表示をスチル状態にし、左右原画像の対応点を操作者が左右の順にマウスクリックで指定すると、目視方式による三次元座標計算が行われ、結果

が表示部に示される。④左右原画像を計算用ファイルとして保存し、距離測定処理を開始させると、保存ファイル名、初期設定値などが読み込まれ、画像処理によって対象物像の三次元座標が算出される。同時に、対象物像を処理結果画面の中央に所定範囲の大きさで表示するためのズームとパン・チルト各機構の制御量が算出される。⑤その制御量を操作者が入力し、各機構の動作後、2回目の撮影・画像処理を行って対象物の三次元座標を得る。対象物像が所定範囲の大きさで画面中央に表示されない場合は、③に戻って操作を繰り返す。

自動測定モードで複数の果実を対象に距離測定を行う場合には、③の操作者による対応点指定の代わりに、予め初期値ファイルに設定した距離測定範囲で各果実の三次元座標が算出される。その中で試作システムから最短距離の果実についてズームとパン・チルト両機構の所要制御量が計算される。次いで両機構が駆動されたのち、2回目の撮影・画像処理に入る。なお、2回目以降の測定範囲は計算結果で得られた距離を中心に自動的に設定される。

(2) 制御機構の動作特性

パン・チルト機構の動作特性は以下の通りであった。なお、ズーム機構の動作特性については次節のキャリブレーションの項で述べる。

1) 実験方法 実験条件は、筐体単体だけの場合とカメラ2台を搭載した場合に分けて、左右旋回角を $\pm 90^\circ$ の範囲で 10° 間隔、上下回転角を水平から $\pm 20^\circ$ の範囲で 2° 間隔とした。

実験は、始めに基準位置の検出のためのリセット後、左右旋回について、ホーム位置から所定間隔ずつ制御量を入力して駆動させ、各動作後に内蔵カメラで同心円状に置いたスケールを撮影して移動周長を求め、旋回角度を算出した。上下回転についても同様に行った。

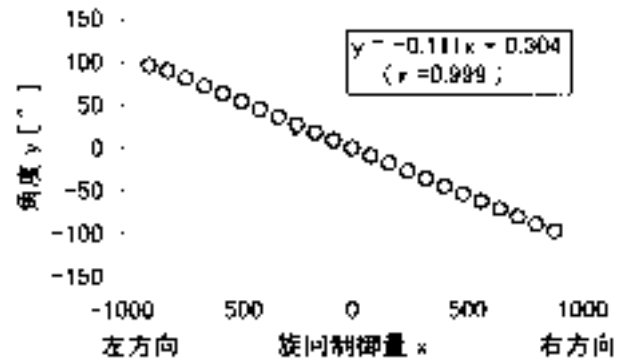
2) 結果と考察 筐体単体の場合について、図2.7(a)に左右旋回、(b)に上下回転の動作特性をそれぞれ示す。左右旋回の制御量は、左側最大 -880 (16進数でFC90H)から右側最大 880 (同370H)であり、旋回角度との関係は直線で表された。上下回転の制御量は、下側最大 -272 (同FEF0H)から上側最大 272 (同110H)であり、上記と同様比例関係にあった。それぞれの制御量 x と角度 θ [°]の回帰式を式(2.1)に示す(r は相関係数)。

$$\text{左右旋回: } \theta = -0.111 \cdot x + 0.304 \quad (r = 0.999)$$

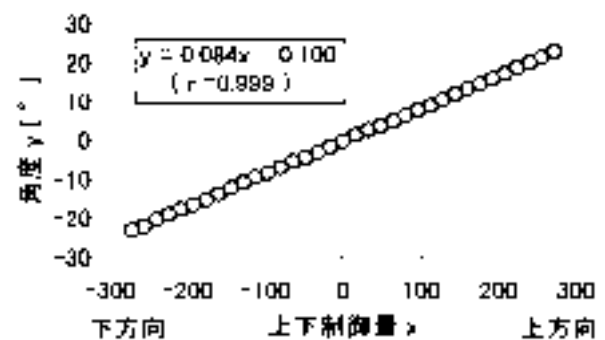
$$\text{上下回転: } \theta = 0.084 \cdot x - 0.100 \quad (r = 0.999)$$

(2.1)

次に、2台のカメラを搭載した場合は、図2.8に示すように、水平旋回、上下回転とも設定角度に対する動作角度は比例関係にあるものの、復路(戻り)でホームポジションに復帰しないヒステリシス現象が見られた。これはカメラケーブルの重量や張力の影響でパン・チルト機構の動作が規制されたためである。このため、本研究



(a) パン(水平旋回)制御量と回転角度の関係



(b) チルト(上下)制御量と回転角度の関係

図2.7 パン・チルト動作特性(筐体単体)

Fig. 2.7 Performance characteristics of a pan-tilter (the body only): (a) relationship between pan-values and rotation angles, (b) relationship between tilt-values and rotation angles.

でパン・チルト機構を用いる実験は予備的段階に止めた。

4. キャリブレーション

両眼ステレオ視システムに関するキャリブレーションの目的は、2台のカメラで撮影した画像から直ちに三次元位置を算出できるように、空間座標系とカメラ座標系の関係式における諸係数を決定することである。その方法には、予め測定された三次元構造物をステレオ撮影し画像解析を行って諸係数を得る方法や立体形状モデルを利用する方式などがある(17)。それらの方式は、物体の三次元形状の測定のように測定距離範囲が比較的に狭い場合に適用できるものの、本研究のように距離範囲が広く、かつ条件に応じてズームを変化させて使用する場合には十分でない。

そこで本章では、左右各カメラに関する距離関係式を個別に実験で求め、それらの結果をもとに試作システムの距離式を決定した。

(1) ステレオ視システムのキャリブレーション

1) ステレオ視システムの距離関係式 図2.9に示すように、2台のカメラが平行なステレオ視法による距離 L [mm]は、モニタ画面上の視差 s [画素]を用いて三角測量の原理より次式で算出される。

$$L = a_d \cdot f \cdot a / s \quad (2.2)$$

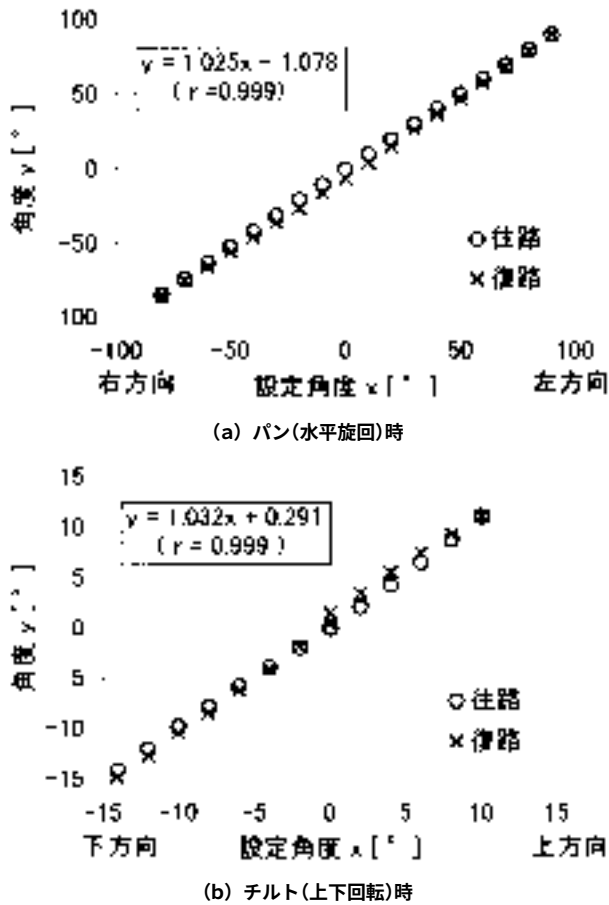


図2.8 パン・チルト動作特性(カメラ搭載時)

Fig. 2.8 Performance characteristics of the pan-tilter (loaded with cameras): (a) relationship between pan-values and rotation angles, (b) relationship between tilt-values and rotation angles.

$$s = x_l - x_r \quad (2.3)$$

ここで、 α_d はモニタ画面のスケール係数[画素/mm]、 f は焦点距離[mm]で、それぞれ左右各カメラの値より、 $\alpha_d = (\alpha_{dl} + \alpha_{dr})/2$ 、 $f = (f_l + f_r)/2$ で求められる。 a は左右カメラの光軸間隔[mm]、 x_l と x_r はモニタ画面上における左右各原画像の対応点の x 座標[画素]である。

式(2.2)の L はレンズ中心から対象物までの距離であるが、市販カメラではレンズ中心位置が不明のため、実用上はカメラ前端からの距離 L_1 が用いられる。カメラ前端からレンズ中心までの距離を L_v とすると、

$$L_1 = L - L_v = \alpha_d \cdot f \cdot a / s - L_v \quad (2.4)$$

ここで、 $L_v = (L_{vl} + L_{vr})/2$ 、 L_{vl} 、 L_{vr} は左右各カメラの値。

前節で述べたように、供試カメラではズーム制御によって合焦位置が変化するため、レンズ中心に相当する位置も変化する。供試カメラの焦点距離については、最広角と最望遠における値のみが仕様に記載され、任意のズーム位置における値は不明なので、上式を用いる場合にはズームと焦点距離の関係を求めておく必要がある。

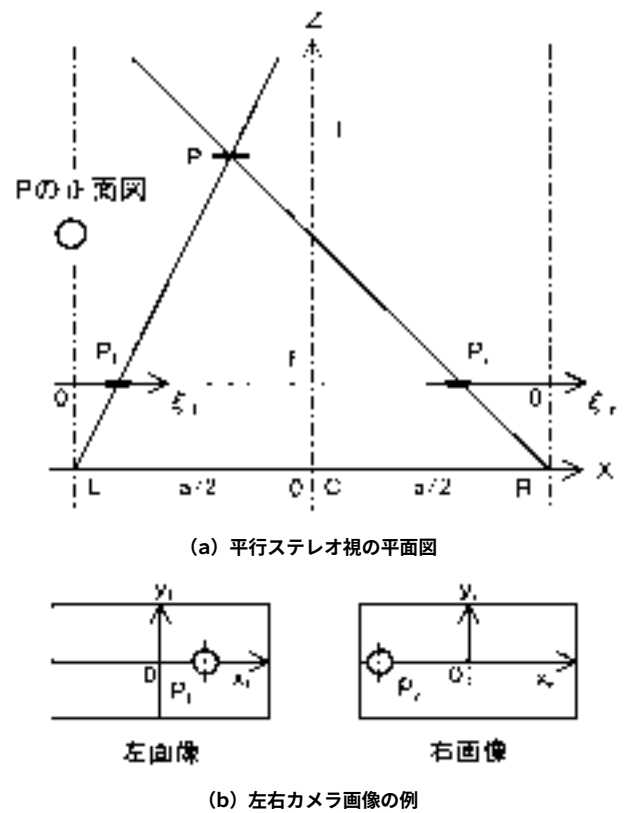


図2.9 三角測量の原理による距離測定

Fig. 2.9 Distance measurement by principle of triangulation: (a) top view of a parallel stereo vision, (b) an example of a pair of left and right images.

一般に、ズームレンズ機構をもつカメラにおいても、単一レンズの公式が成立することが知られている(31, 88, 103)。本研究では、ズーム制御値と焦点距離の関係、仮想レンズ中心の位置など、供試カメラに関する距離特性は、レンズ公式を用いて実験的に求めることにした。

2) レンズ公式と関係式 レンズの公式は、図2.10より次のように表される。

$$1/L + 1/b = 1/f \quad (2.5)$$

ここで、 L はレンズ中心から対象物までの距離[mm]、 b はレンズ中心から撮像面までの距離[mm]。対象物の実長を X [mm]、撮像面の投影像長さを ξ [mm]とすると、撮像倍率 m は、

$$m = \xi / X = b / L \quad (2.6)$$

式(2.5)と(2.6)より b を消去すると、

$$L = f \cdot (1 + m) / m = f \cdot (1 + X / \xi) \quad (2.7)$$

$$f = m \cdot L / (m + 1) = L / (1 + X / \xi) \quad (2.8)$$

なお、 ξ の大きさは実際には測定できないので、モニタ画面上の長さ x [画素]を用いると、 $x = \alpha_d \cdot \xi$ 。これより式(2.7)は、次式で表される。

$$L = f \cdot (1 + m) / m = f \cdot (1 + \alpha_d \cdot X / x) \quad (2.9)$$

式(2.9)によれば、 f と合焦距離 L の関係が明らかになるとき、焦点合せの操作から距離 L を、 x 値から X 値

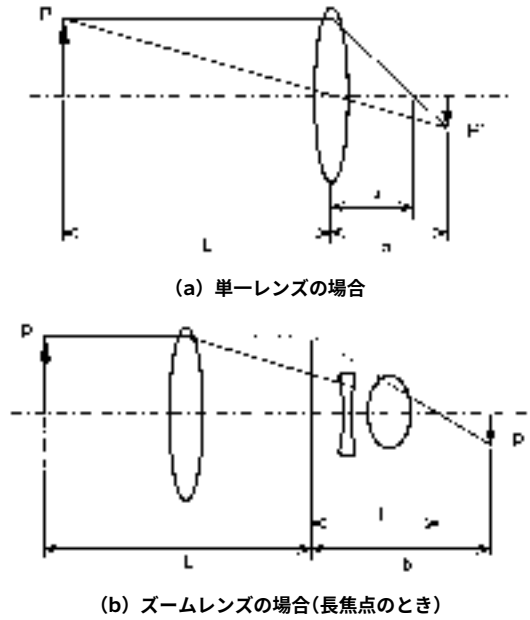


図 2.10 レンズの焦点位置

Fig. 2.10 Focal point of lens: (a) a single lens, (b) zoom lens.

(実長または空間座標値)を知ることができる。その関係を利用した距離測定法はレンズ焦点法と呼ばれ、顕微鏡測定などで利用されている。ただし、単眼カメラでは撮影距離が遠くなると焦点深度(被写界深度)が増大して合焦範囲が広くなり、距離分解能が著しく低下するので、一般の距離計測には適さない。

式(2.9)は、ビデオカメラのズームレンズにも適用可能である。なお、仮想のレンズ中心位置はズーム値を変えることによって変化する。カメラ用の球面レンズでは、一般に f が小さいほど収差が強くなり、レンズ周辺を通して画面の端近くに投影される像ほど形状が歪む(88)。そのため、ステレオ視法では、対象物が画面の周辺に近いほど左右画像の対応点の座標値が不正確になり、誤差が増加する傾向にある。

3) 左右カメラの光軸が交差している場合 左右両カメラの光軸が平行ではなく、交差(輻輳)しているときには、式(2.2)が成立しないため同式による距離計算の結果は不適切な値になる。その場合には、平行化処理(19)によって平行ステレオ視と等価な画像に変換する必要がある。本研究では、左右各画像の x 座標 x_l, x_r をそれぞれ光軸が平行な状態の x 座標 x_l', x_r' に次式(2.10)で置換して用いた。すなわち、 Z 軸に対する左右各カメラの光軸角度がそれぞれ θ_l, θ_r のとき、 x_l', x_r' は、

$$\begin{aligned} x_l' &= -f \cdot (f \cdot \sin \theta_l - x_l \cdot \cos \theta_l) / (f \cdot \cos \theta_l + x_l \cdot \sin \theta_l) \\ x_r' &= f \cdot (f \cdot \sin \theta_r + x_r \cdot \cos \theta_r) / (f \cdot \cos \theta_r - x_r \cdot \sin \theta_r) \end{aligned} \quad (2.10)$$

このとき、視差 s は、

$$s = x_l' - x_r' \quad (2.11)$$

したがって、カメラ前端からの距離式 L_1 は、

$$L_1 = a_d \cdot f \cdot a / s = L_v \quad (2.12)$$

となる。なお、 f_l と f_r が一致しないとき、 f には両者の平均値を用いた。

4) キャリブレーションの内容 本節では、次の事項について実験を行い、回帰分析によりそれぞれの関係式と諸係数を求めた。

- レンズ焦点距離と合焦距離の関係、
- ズーム値と焦点距離の関係、
- 仮想レンズ中心の位置、
- レンズ収差の補正、
- カメラ撮像面に対するモニタ画面のスケール係数、
- 左右カメラが交差する場合の補正、
- 試作システムの距離特性

(2) 供試ビデオカメラのキャリブレーション

試作システムのビデオカメラに関するキャリブレーションは、左右のカメラについて個別に次の要領で行った。

1) 実験方法 撮影対象は、図 2.11 に示す 20mm 方眼の精度試験紙(横×縦=1.2m×0.8m)とし、室内壁面に張って用いた。撮影条件は、リング園での使用条件をもとに、距離を1~4.5m間で500mm間隔に、ズーム値を0H~3FFH間で5段階に設定した。露出、合焦、及びホワイトバランスを自動調節とし、試作システムのパソコンでズームと撮影の制御を行い、各条件で撮影した画像をパソコンのハードディスクに保存した。全条件の撮影が終了後、市販の画像処理ソフトウェアで精度試験紙線の実長 X [mm] に対応するモニタ画面上の長さ x [画素] を読み取った。

2) 実験結果と考察 a) レンズ収差の補正に関する結果 撮影画像の中から、撮影距離2m、ズーム0H~3FFHの各画像について、精度試験紙の縦線と横線の直線状態を調べた結果、ズーム値が3FFHでは、収差による歪(曲がり)は全くみられなかったが、ズーム値が小

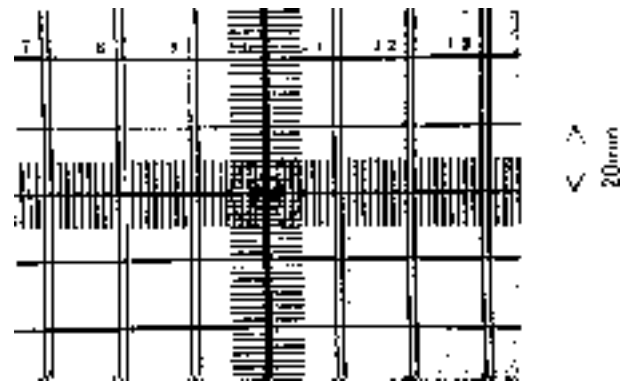


図 2.11 精度試験紙(一部)

Fig. 2.11 A test paper for accuracy measurement (a part).

さいくなるに従い、画面周辺部ほど外側に凸状の曲線になる傾向が強くなった。

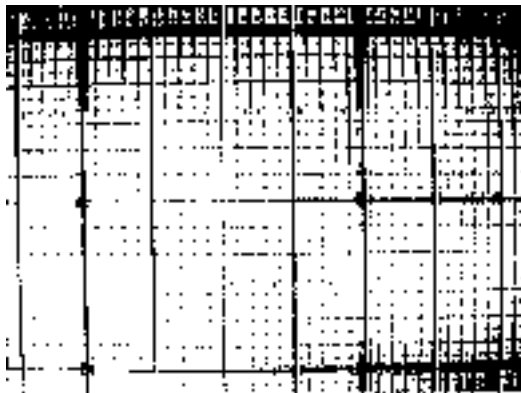
このようなレンズ収差を補正する方式は種々ある(98)が、本研究では以下のような補正を行った。モニタ画面の中央から座標 (x_i, y_j) までの半径を r_k [画素]、最大画面幅を B_0 (半径 $r_b = B_0/2$) [画素]、収差係数 a_c [無次元] とし、画面両端の補正率 γ_b を

$$\gamma_b = 2 \cdot (a_c - 1) / B_0 = (a_c - 1) / r_b \quad (2.13)$$

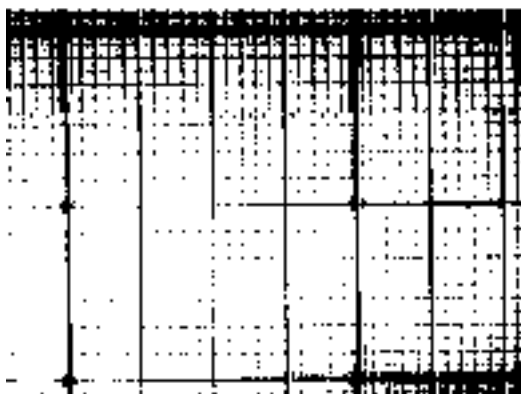
表2.4 ズーム値とレンズ収差係数の関係

Table 2.4 Relationship between zoom values and coefficients of lens aberration.

ズーム値		収差係数
(16進数)	(10進数)	
0H	0	1.048
100H	256	1.017
200H	512	1.012
300H	768	1.005
3FFH	1,023	1.000



(a) 補正前



(b) 補正後

図2.12 レンズ収差の補正例 (左カメラ、焦点距離 5.9mm、撮影距離 1,000mm)

Fig. 2.12 An example of a correction on a lens aberration (left camera, focal length of 5.9mm, at a photographic distance of 1,000mm): (a) previous correction, (b) after correction.

で表すと、半径 r_k の画素の補正率 γ_k は、

$$\gamma_k = 1 + \gamma_b \cdot r_k \quad (2.14)$$

となる。したがって、補正後の半径 r_k は、

$$r_k = \gamma_k \cdot r_k \quad (2.15)$$

で求められる。 a_c の値の決定は、 a_c が 1.0 ~ 1.1 間にあると仮定して種々の値を与えたときの画像歪の改善状態を目視で調べ、歪が最少になる値をそのズーム値 z における最適値として選定する方式で行った。その結果、 z と a_c の関係は表2.4のようになり、回帰式は

$$a_c = 10^p, \quad p = a_0 + a_1 \cdot q + a_2 \cdot q^2, \quad (2.16)$$

$$q = \log(1 + z)$$

で表された。補正前後の画像例を図 2.12 に示す。画面周辺部の歪みとともに目盛間隔が改善されており、補正の効果が見られた。

b) 供試カメラの距離特性に関する結果 射) 撮影距離と撮影倍率の関係：前項の収差係数により撮影画像の補正を行った後、各ズーム時の X/x と距離の関係を調べた結果、図 2.13 のようにいずれも直線で表され、単回帰式(2.17)を適用できることが分かった。

$$L_1 = a_0 + a_1(X/x) \quad (2.17)$$

ただし、 L_1 はカメラケース前端から精度試験紙までの距離 [mm]、 a_0 と a_1 は定数で、各ズーム時の値を表2.5に示す。

また、仮想レンズ中心から精度試験紙までの距離 L は、式(2.4)より

$$L = L_1 + L_v \quad (2.18)$$

なので、これに式(2.9)を代入して展開すると、 L_1 の実験式は次のように f の一次式として表すことができる。

$$L_1 = b_0 + b_1 \cdot f + b_2 \cdot f \cdot (X/x) \quad (2.19)$$

また、仮想レンズ中心からカメラケース前端までの距離 L_v は、

$$L_v = -b_0 + (1 - b_1) \cdot f \quad (2.20)$$

一方、式(2.9)で、 f の違いによる影響を係数 a_c [無次元] で表し、

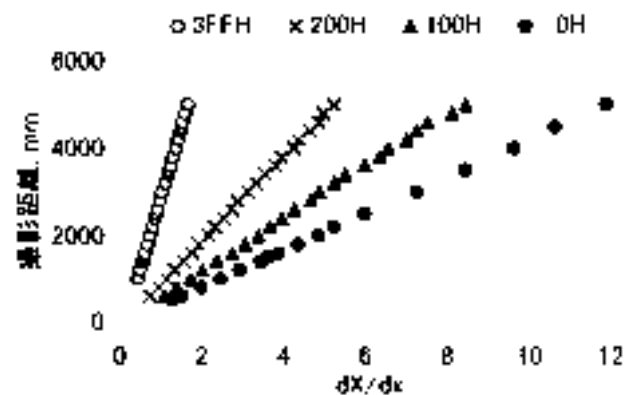
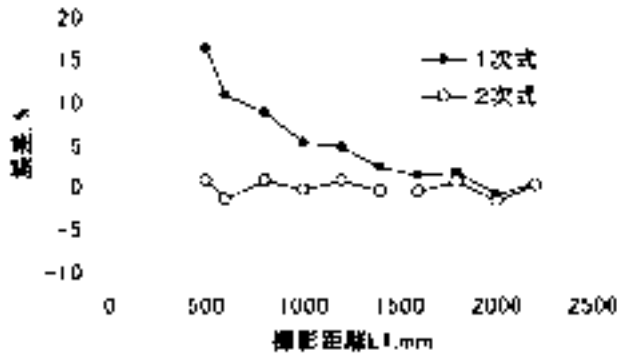
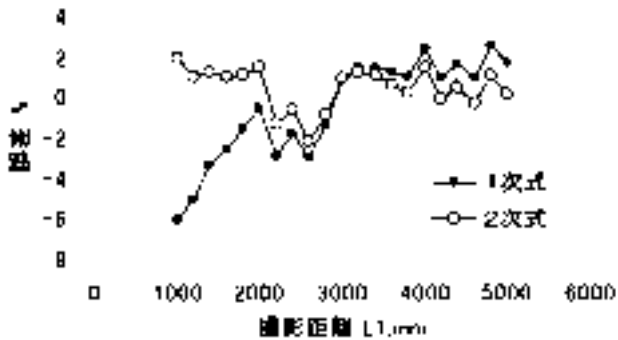


図2.13 撮影距離と撮影倍率の関係例

Fig. 2.13 The relationship between photographic distance and magnification.



(a) 焦点距離 5.9 mm



(b) 焦点距離 47.2 mm

図 2.14 回帰式による誤差の違い

Fig. 2.14 Differences of errors between two regression equations: (a) focal length of 5.9 mm, (b) focal length of 47.2.

$$a_c = c_0 + c_1 \cdot f \quad (2.21)$$

と仮定すると、式 (2.9) は

$$L = f \cdot \{1 + a_d \cdot a_c \cdot (X/x)\} \quad (2.22)$$

となるので、実験回帰式は次のように f の二次式として表される。

$$L_1 = b_0 + b_1 \cdot f + b_2 \cdot f \cdot (X/x) + b_3 \cdot f^2 \cdot (X/x) \quad (2.23)$$

ズーム値が 000H と 3FFH については、焦点距離がそれぞれ $f = 5.9$, $f = 47.2$ と既知なので、まず、それらの結果について式 (2.19) と (2.23) の回帰分析を行い、撮影距離 L_0 と誤差 $e = 100 \cdot (L_1/L_0 - 1)$ の関係を比較検討した。その結果、両者の関係は、図 2.14 に示すように、1 次回帰式 (2.19) では距離が近いほど誤差が増大するのに対し、2 次回帰式 (2.23) では全域にわたり誤差が小さいことが分かった。そこで、供試カメラの距離特性式には、誤差の少ない 2 次回帰式を用いることにした。

次に、式 (2.21) において $f = 47.2$ の a_c 値を 1 に仮定し、 $f = 5.9$ 時の a_c 値と連立させて解くと、係数 c_0 と c_1 が求められる。その係数を用いると、式 (2.17) と式 (2.22) の連立において、 $a_d = \text{一定}$ より、

$$a_1 = f \cdot a_d \cdot (c_0 + c_1 \cdot f) \quad (2.24)$$

となり、次の関係式が得られる。

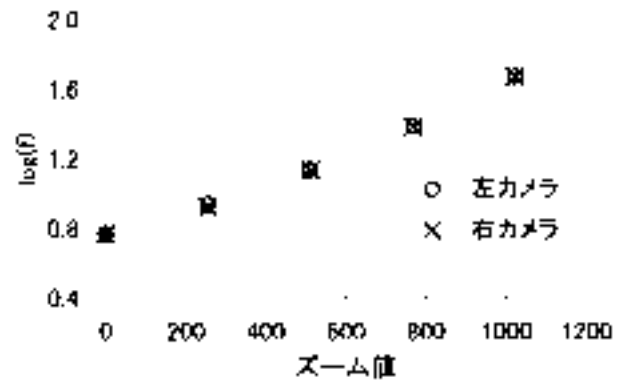


図 2.15 ズーム値と焦点距離の関係

Fig. 2.15 The relationship of focal length to zoom values.

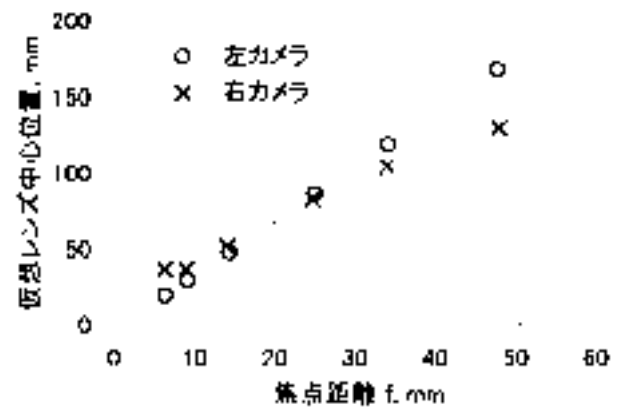


図 2.16 焦点距離と仮想レンズ中心位置

Fig. 2.16 The relationship of focal length to virtual lens position.

$$c_1 \cdot f^2 + c_0 \cdot f + b_0 = 0, \quad b_0 = -a_1/a_d \quad (2.25)$$

ゆえに、 f の算出式は次のようになる。

$$f = \{-c_0 + \sqrt{(c_0^2 - 4 \cdot c_1 \cdot b_0)}\} / (2 \cdot c_1) \quad (2.26)$$

f の不明なズーム値 100H, 200H 及び 300H の場合についても同様に a_c の式 (2.21) が成立すると仮定して、式 (2.17) の回帰分析より a_0' , a_1 を算出し、式 (2.25) にそれぞれの a_1 を代入して各ズーム値に対する f を求めた。さらに、各ズーム時の撮影距離と f 及び X/x の関係を求めるため、全データについて 2 次式 (2.23) による回帰分析を行った。

捨) ズーム値と焦点距離の関係 上述の回帰分析の結果、ズーム値 z と焦点距離 f の関係は、図 2.15 に示すように、 f の常用対数 $\log(f)$ が z の 2 乗に比例し、次の回帰式で表された。

$$f = 10^p, \quad p = a_0 + a_1 \cdot z + a_2 \cdot z^2 \text{ [mm]} \quad (2.27)$$

赦) カメラのレンズ焦点距離と合焦距離の関係 式 (2.23) の回帰係数は表 2.5 のようになり、実測値 L_0 に対する回帰式の距離値 L_1 の誤差はほぼ 2 % の範囲にあった。左カメラについては、撮影距離が 2 m 以内では

表 2.5 カメラ単体の距離関係式における諸回帰係数
Table 2.5 Coefficients of regressive equations on distance.

カメラ	a_0	a_1	a_2	a_3
(1) 測定距離 L_1 と撮影倍率 X/x				
左用	1.42	-2.59	72.3	-0.0612
右用	-23.81	-1.26	73.7	-0.1293
(2) ズーム値 z と焦点距離 f				
左用	0.772	0.000569	3.05E-07	
右用	0.771	0.000547	3.29E-07	
(3) 仮想レンズ中心距離 L_v				
左用	-1.42	3.59		
右用	26.83	2.22		
(4) レンズ収差係数 a_c				
左右	0.0205	0.5e-3	-2.4e-3	
(5) 焦点距離係数 a_c				
左用	1.049	-0.00104		
右用	1.099	-0.00209		

備考：各項目の回帰式

- (1) $L_1 = a_0 + a_1 \cdot f + a_2 \cdot f \cdot (X/x) + a_3 \cdot f^2 \cdot (X/x)$
(2) $f = 10^t$, $t = a_0 + a_1 \cdot z + a_2 \cdot z^2$ [mm]
(3) $L_v = a_0 + a_1 \cdot f$ [mm]
(4) $a_c = 10^y$, $y(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2$, $t(z) = \log(1+z)$
(5) $a_c = a_0 + a_1 \cdot f$, 収差補正後 $a_c = 1$

全ての f で、それ以上の距離でも f が 5.9mm の場合を除けば、ほぼ $\pm 2\%$ 以内であった。距離が 2m 以上では f が 5.9mm のとき 2% 以上に増加する傾向がみられた。これはレンズ収差の補正が 2m 以上で十分でなかったことによると推定される。右カメラもほぼ同様の結果であった。

斜) 仮想レンズ中心の位置 左右各カメラの仮想レンズ中心の位置 L_v と f の関係は図 2.16 のようになり、次式で表された。

$$L_v = a_0 + a_1 \cdot f \text{ [mm]} \quad (2.28)$$

式 (2.28) の各係数は表 2.5 の通りである。すなわち、 L_v は焦点距離とともに増加し、カメラケース前端から後方に 20～160mm の範囲にあった。

煮) 画面スケール係数と焦点距離の影響係数 以上をまとめると、画面スケール係数 a_d と焦点距離の影響係数 a_c は次のような範囲になる。

$$a_d = 67.2 \sim 71.5 \text{ [画素/mm]}$$

$$a_c = 1.0 \sim 1.08 \text{ [無次元]}$$

以上の結果より、両カメラとも各回帰式の諸係数が適切に決定されると、距離は、モニタ画面の画素数を用いた回帰式により、ほぼ $\pm 2\%$ の精度で得られることが分かった。左右のカメラの諸係数は近似しており、 f , L_v , a_d , 及び a_c の値は、それぞれ両カメラの平均値を用いて表すことができた。

(3) 試作システムのキャリブレーション

試作システムの距離精度は、左右各カメラ個別の距離

特性及び両者の配置構成によって決まるハードウェア要因と、画像処理の方法によって左右されるソフトウェア要因の両方で総合的に規定される。本項では、ハードウェア要因のうち、両カメラの交差角と、左右画像の対応点の一致に関する要因を取り上げ、それらが試作システムの機械的距離精度に及ぼす影響を実験的に検討した。なお、ソフトウェア要因に関係する特性は次章以降で詳しく述べる。

1) 実験方法 a) 左右カメラの交差角の影響に関する実験 試作システムの中央視軸に対する両カメラの交差角度がそれぞれ約 4 度になるようにカメラを配置し、20mm 方眼精度試験紙を対象に、撮影距離 1,667mm、ズーム値 0H～3FFH、左右カメラの光軸間隔 250mm のもとで撮影した。試作システム、左右両カメラ及び対象物の位置関係は、カメラ台上の中央にレーザ距離計を配置して精度試験紙中央へ投光し、その点が左右各カメラの画面中心になるように角度を調節して決定した。各カメラの交差角はそれらの幾何学的関係から計算で求めた。

b) 試作システムの距離誤差に関する実験 上述の方眼精度試験紙を対象に、撮影距離を 1～4.5m で 500mm 間隔、ズーム値を 0H～3FFH、左右のカメラ（光軸間隔 300mm）を平行としてそれぞれ設定し、前節のキャリブレーションモードの手順で撮影した。撮影に際しては左右画像の水平状態の確保に注意し、両画像の上下位置の差異は画像処理で調整した。校正値は、カメラ台中

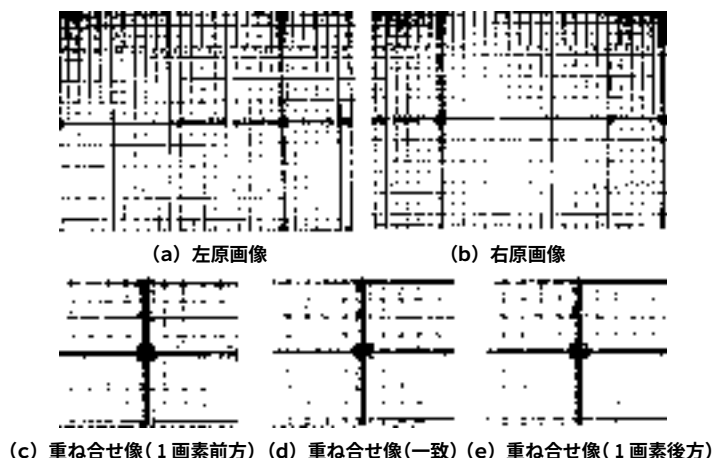


図 2.17 左右両画像の重なり状態 (左カメラ, 焦点距離 8.7mm, 撮影距離 1,000mm)

Fig. 2.17 Overlapping between a left and right image (left camera, focal length of 8.7mm, photographic distance of 1,000mm).

央に配置したレーザ距離計の測定値を用いた。なお、左右各カメラの中央視軸に対する交差角 θ_l と θ_r は、実験期間中両者とも 0.1° で一定であった。

画像処理による距離の算出は、レンズ収差補正後の左右画像を重ね合わせ、精度試験紙中央の縦目盛線 (幅 5mm) が一致したときの視差を用いて、式 (2.12) で求める方法で行った。重ね合わせの操作は、左画像を固定したまま、右画像を 1 画素ずつ左方向へ移動させて行い、重なり状態は目視で判定した。縦線の投影像幅は撮影距離とズーム値で異なり、約 1 ～ 3 画素の範囲にあった。

2) 実験結果及び考察 a) カメラ交差角の影響 幾何学的に算出した左右各カメラの交差角は、それぞれ 4.2° と 4.3° であった。それらを式 (2.10) に代入して得られた x_l, x_r で左右画像の平行化を行って重なりを調べ、一致したときの視差を式 (2.12) に代入して測定距離 L_1 を算出した。 L_1 と撮影距離 L_0 より距離誤差を百分率で表した。

その結果、ズーム値が 200H の場合、誤差は 1 % 以下であった。両交差角の値をわずかに減少させ 4.0° に仮定すると、誤差は約 6 % に増大した。ズーム値が 3FFH の場合には、約 -6 % であった誤差が、 4.0° に仮定すると 1 % 以下に減少した。このように、同一の交差角でもズーム値によって誤差が異なった。結局、左右それぞれの交差角を 4.25° に設定した場合、いずれのズーム値でも誤差が最小で、2 % 以下になった。

以上のように、距離計算値は交差角が 0.1° 異なるだけで大きく変化する場合があります、その決定にあたっては注意が必要である。なお、左右カメラが平行でない場合の光軸間隔 a_v の値は、カメラ前端から L_v 分だけ後方の位置 (仮想レンズ位置) の値になるように、次式で算出すると適切なことが分かった。

$$a_v = a_{v0} + 2 \cdot L_v \cdot \tan \{(\theta_l + \theta_r)/2\} \quad (2.29)$$

ただし、 a_{v0} は左右のカメラ前端の光軸間隔 [mm]。

b) 試作システムの機械的距離誤差 撮影は精度試験紙の中央縦目盛線に試作システムの視軸 (Z 軸) を合わせて行ったので、同線の投影像は、図 2.17 (a), (b) のように、左原画像で画面の右側、右原画像で左側に位置した。重ね合わせ画像では同図 (d) のように、画面の中央原点に一致した。重ね合わせの状態と対象物の位置関係は、重ね合わせの距離が対象物の実距離より手前のとき、左画像の縦線像は左側、右画像の縦線像は右側に位置した。右画像を 1 画素ずつ左へ移動させるに従い、重ね合わせの距離は後方に移動し、対象物位置より後方のとき左右画像の縦線像の位置は上述と逆転した。

左右画像の重ね合わせ操作は、左画像の偶数行と右画像の奇数行を交互に配列する方法で行った。この方法によると、左右の中央縦線像が正確に一致しない状態では 1 行おきに背景色が入るため、同図 (c) と (e) のように、縦目盛線の輪郭部分に横縞状の凹凸が発生した。重なり部分が増えるに従い輪郭の横縞が小さくなり、重なりが一致したとき、同図 (d) のように横縞が消えて縦線の輪郭が鮮明になった。ただし、画像の左右周辺部分では 1 画素分程度の差が発生する傾向が見られた。これは、レンズ収差の補正が周辺部で不十分だったためと思われる。

撮影距離と測定値の関係は正比例で表され、誤差は図 2.18 に示すようになった。すなわち、 f が 5.9mm のとき、誤差は撮影距離 1,000 ～ 3,500 mm の範囲で -1 ～ 3 % 間にあり、距離とともに負から正へ変化する傾向が見られた。画面周囲部のレンズ収差による影響と推測される。 f が 8.6mm, 13.7mm 及び 24.3mm の場合には 1,000 ～ 4,000 mm の範囲で ± 2 % 以内であった。 f が 8.6mm と 24.3mm では 4,000mm 以上で負側へ増加する傾向が見られた。 f が 47.2mm の場合、3,000 ～ 4,500 mm の範囲で ± 2 % 以内であり、3,000mm 以下では左右画像内に

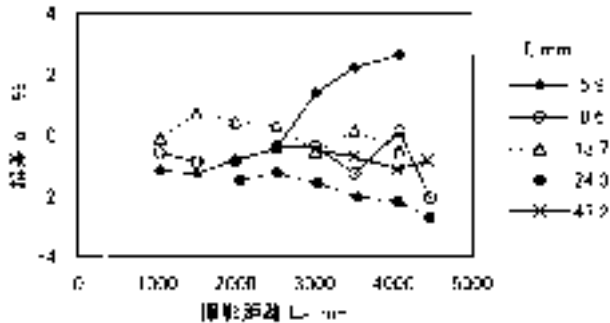


図 2.18 試作システムの距離誤差

Fig. 2.18 Accuracy of measured distance in the trial vision system.

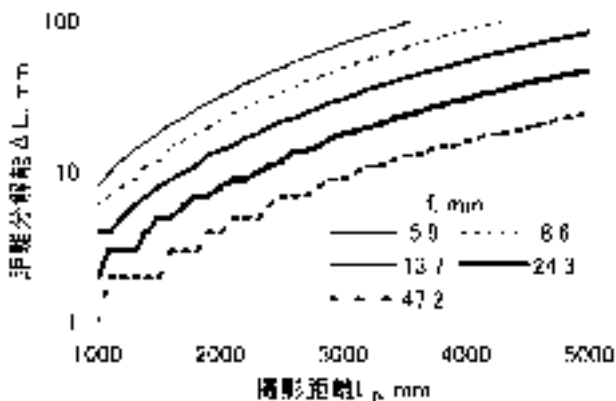


図 2.19 試作システムの距離分解能

Fig. 2.19 Distance resolution of the trial vision system.

共通視野部分が存在せず測定不能であった。なお、供試システムの距離式の係数のうち、 α_d は回帰分析結果より 71.0、 L_v 式の係数 α_0 は左右カメラとも -10 に設定した。

距離 L_1 における分解能 ΔL [mm] は、上述のように左右画像の重なり状態が 1 画素単位で判定可能なとき、 L_1 に対し 1 画素分異なる距離と L_1 との差として求められるので、次式で表される。

$$\Delta L = f \cdot a \left\{ \frac{1}{s} - \frac{1}{(s+1)} \right\} = L_1 \cdot \left\{ \frac{1}{f \cdot a} - \frac{1}{(f \cdot a + L_1)} \right\} \quad (2.30)$$

試作システムのカメラ光軸間隔 a が 300 mm の場合について試算した結果を図 2.19 に示す。 ΔL は、 f が 8.6 mm のとき L_1 が 2 m 以下で約 1 %、2 m 以上で約 2 % であり、 f が増すと ΔL はさらに向上する。

以上の結果より、供試システムの距離精度は、各ズームとも 1,000 ~ 4,000 mm の範囲で ± 2 % 以内とみなされた。ただし、 $f = 5.9$ mm では約 2,500 mm までがその範囲となる。したがって、試作システムは、果実収穫時の距離計測用として掲げた表 1.2 の所要精度を機械的にほぼ満たしていることが分かった。

5. 要 約

試作システムは、2 台の CCD ビデオカメラ、ノートパソコン、キャプチャ PC カード、パン・チルト式カメラ

台、及びカメラ画像入力切替器で構成した。ビデオカメラは、38 万画素の CCD 素子撮像面をもつ NTSC 信号出力タイプである。対象物が試作システムの正面位置に所定範囲の大きさで撮影されるように、パン・チルトとズームの操作を行うカメラ制御機構を装備し、試作システムの向きとズームを調節した。カメラ制御は、パソコンから RS232C インターフェースを介して VISCA ネットワークで行った。

2 台の供試ビデオカメラを個別に、撮影距離とズーム値を条件にして距離特性実験を行い、回帰分析の結果をもとに試作システムの距離式を校正した。調査項目は、カメラの焦点距離と合焦距離の関係、ズーム値と焦点距離の関係、仮想レンズ中心の位置、レンズ収差の補正、カメラ撮像面サイズに対するモニタ画面サイズのスケール係数である。それらの諸関係と、左右カメラ光軸の交差角の補正、及び左右画像の画素単位に対応づけに留意して試作システムの距離回帰式を分析した。その結果、距離誤差は、1 ~ 4.5 m 間でおおむね ± 2 % の範囲に入り、果実収穫時の距離計測用としてほぼ十分な機械的精度であることを確認した。

第 3 章 左右画像合成によるステレオ視計測法の開発

1. 緒 言

両眼ステレオ視法に関する従来の測定原理は、前述のように左右各カメラの撮影画像について同一物体像の対応づけを行い、三角測量の原理で距離を算出するものである。そのため、はじめに左右両画像の対応づけが解決できなければ距離計算に進むことができない。対応づけ解決のための制約条件として通常、Marr の 3 制約—適合性、一意性、連続性—(33) とエピソード拘束が利用されるが (11)、対応問題に対しては十分でない。

一方、人間の両眼視覚系では、対応問題に煩わされることなく容易に立体感のある奥行き知覚が得られるので、それが対応づけの解決策を考える上で参考になると思われる。人間の視覚神経系は、図 3.1 (a) のように、左右眼各網膜の視神経が左右半分ずつに分かれ、それぞれ同じ側の視神経が視交差によって同一経路を辿り、後頭部の第 1 次視覚野で交互に配列される構造になっている (16)。視覚神経生理学の分野では、第 1 次視覚野から視覚前野に至る過程の視覚形成について数多くの研究成果が得られている。しかし、対応づけと奥行き知覚に関わる立体視の機構についてはまだ十分究明されていない (4, 38)。また心理学分野の立体視に関する研究では、両眼を対象物に向ける注視活動と、合焦による鮮明像や不鮮明さの検出が奥行き知覚に重要な手掛かりを与えるとの説が有力であるが、その成立過程は解明されていない (35)。

本章では、ステレオ視のレンズ光学系に関する物理学と、人間視覚系に関する神経生理学や心理学の研究成果

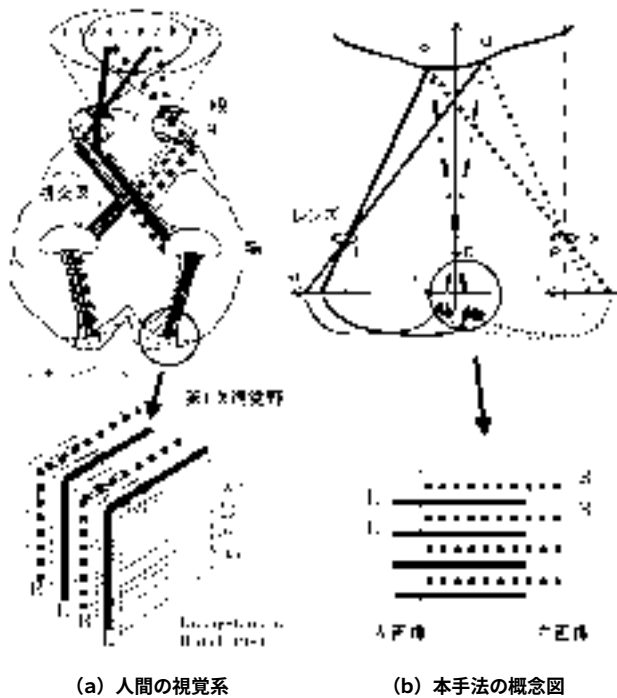


図3.1 人間の視覚系と本手法の概念図

Fig. 3.1 Illustrations of human visual system and the conceptual method used in this study: (a) human visual system, (b) conceptual method used in this study.

を考慮し、同図 (b) に示す概念 (83) に基づいて、両眼ステレオ視に関する新たな計測原理を検討した。その原理の基礎的性質を明らかにするため円板によるモデル実験と、実用化の可能性を探るためリンゴ園の果実を対象にした実験を行った (84)。

2. 左右画像合成による距離測定法

(1) 測定原理

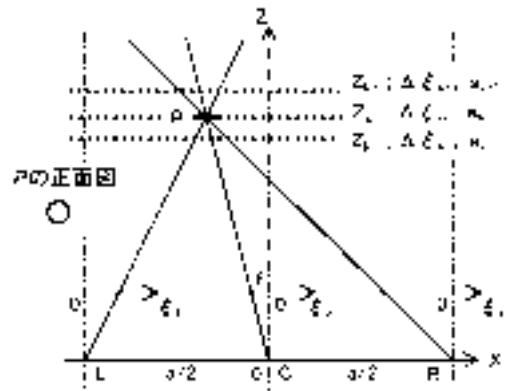
ステレオ視計測において、2台のカメラ (L, R) が図 3.2 (a) のように、直交座標 XYZ 軸上の原点 O を挟んで平行に置かれた場合 (平行ステレオ視) を考える。X 軸は両カメラのレンズ中心を通り、Y 軸は垂直方向 (紙面に垂直)、Z 軸はカメラ光軸方向とする。カメラの撮像面上の位置はその中心を原点とする座標 (ξ, η) で表し、左右のカメラをそれぞれ添字 l, r で示す。なお、撮像面は本来レンズ後方にあるが、同図では便宜的にレンズ前方に描いてある。

上述の場合、左右各カメラの共通視野空間内にある物体 P の座標 (X, Y, Z) は次式で求められる (単位は mm)。

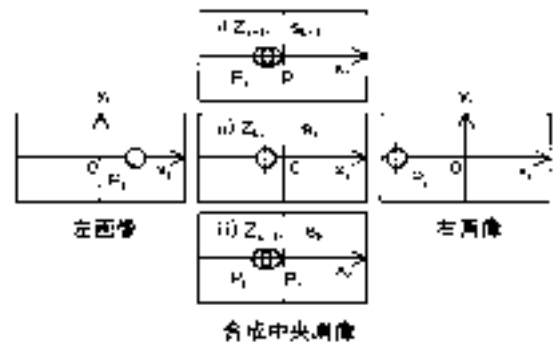
$$\left. \begin{aligned} X &= (a/2) \cdot (\xi_l + \xi_r) / \Delta \xi \\ Y &= a \cdot \eta_l / \Delta \xi = a \cdot \eta_r / \Delta \xi \\ Z &= f \cdot a / \Delta \xi \\ \Delta \xi &= \xi_l - \xi_r \end{aligned} \right\} (3.1)$$

$$\Delta \xi = \xi_l - \xi_r \quad (3.2)$$

ここで、 f は焦点距離 [mm]、 a は左右両カメラの光軸間隔 [mm]、 ξ_l 、 ξ_r は各撮像面における P の投影点、



(a) 平行ステレオ視の平面図



(b) 左右カメラ画像及び合成像

図3.2 左右画像合成による距離測定の原理

Fig. 3.2 Rationale on distance measurement determined by composing each left and right image: (a) top view of a parallel stereo vision, (b) a pair of left and right images and composite images.

$\Delta \xi$ は撮像面上の視差 [mm]。上式より、 X, Y, Z は $\Delta \xi$ と反比例の関係にある。

空間座標の原点 O から P までの距離 L [mm] は、式 (3.1) の結果を用いて次式で算出される。

$$L = \sqrt{(X^2 + Y^2 + Z^2)} \quad (3.3)$$

次に、実際に画像処理の対象になる左右のモニタ画面の座標 (x, y) と視差 s は、いずれも単位が画素で、整数により以下の式で表される。

$$\left. \begin{aligned} x_l &= a_d \cdot \xi_l, \quad x_r = a_d \cdot \xi_r \\ y_l &= a_d \cdot \eta_l, \quad y_r = a_d \cdot \eta_r \\ s &= x_l - x_r = a_d \cdot \Delta \xi \end{aligned} \right\} (3.4)$$

ただし、 a_d は撮像面に対するモニタ画面の比例定数 [画素/mm]。

以上のように、ステレオ視計測法によって空間座標を算出する際に、式 (3.1) で視差 s (撮像面では $\Delta \xi$) を用いるため、左画像の x_l (同 ξ_l) に対応する x_r (同 ξ_r) を右画像の中から探し出すことが必要になる。しかし、その対応づけに関する実用的な画像処理手法はまだ確立されていない。

ところで、左右のカメラによって撮影される共通の視野空間においては、両カメラの光学的位置関係で一意的に

定まり、同空間内で両カメラに対し同時に存在する断面は一つだけである、という拘束条件が成立する。そこで、その視野空間が両カメラに共通な断面群の配列で構成されていると考えると、P はそれらのいずれかの断面上に存在することになる。断面群の配列をXY平面に平行にとると、P の三次元座標は、その共通断面群の中からP が存在する断面を探し出し、断面上の位置を特定する方法によって求めることができる。この方法は、式(3.1)を用いるものの、P に関する左右画像の対応づけが上述の拘束条件のもとで行われる点で、従来の直接的な対応づけの方法と異なっている。

本研究では、物体Pが存在する共通断面を探すため次のような方法を採用する。いま、左右カメラにおける共通断面を、中央視点CからXYZ座標の原点Oを通して見る場合を考える。そのときの画像を中央画像と呼び、左右両画像をもとに合成して作成する。その合成中央画像の座標 (x_c, y_c) は次式で表される(7)。

$$\left. \begin{aligned} x_c &= (x_l + x_r) / 2 \\ y_c &= y_l = y_r \end{aligned} \right\} (3.5)$$

逆に、中央画像の座標を用いると、左右各画像のx座標は、式(3.4)と(3.5)より次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} x_l &= x_c + s / 2 \\ x_r &= x_c - s / 2 \end{aligned} \right\} (3.6)$$

同様に、空間内のPの座標は、上式と式(3.1)、(3.2)、及び(3.4)より次式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} X &= a \cdot x_c / s \\ Y &= a \cdot y_c / s \\ Z &= a_d \cdot f \cdot a / s \end{aligned} \right\} (3.7)$$

式(3.7)より、 $s (> 0)$ を一定として中央画像上を走査すれば、Zが一定のため、図3.2(a)の横点線で示すように、XY平面に平行なZ断面を探索したことになる。その断面がPと交差すれば、交差部分のX、Y座標はそれぞれ中央画像上の座標 x_c, y_c に比例する。換言すれば、共通視野内の物体は中央画像で中央視点Cから見える方向に存在する(56)。両眼で見ているにも拘わらず、単眼で見た場合と同様の見え方になる。

一方、 s 一定のZ断面(視差距離断面と呼称)が物体Pと交差すれば、中央画像上では図3.2(b)の捨)のように、左右画像内の物体像 P_l と P_r が重なり合う。その断面がPの前後にある場合には、同図射)と赦)のように両者の物体像がずれる。

すなわち、左右画像を同一の視差距離ごとに重ね合わせた合成中央画像で、左画像内の物体像と右画像内物体像の重なり状態を調べることによって、その視差距離断面における物体の有無と、その位置座標(X, Y, Z)を同時に知ることができる。これが本研究の測定原理である。

この手法では、重なり状態の判別の適否が物体の探索性能を左右する。本研究ではその判別のため、次項で述べる鮮明さの概念を用いることにした。各視差距離にお

ける中央画像を作成した際に、左右画像の物体像が適切に重なり合ったとき鮮明な像となり、その他の状態では不鮮明になるような画像処理が可能になれば、左右カメラで同時に同一断面上で撮影された物体が、中央視点Cから鮮明な(三次元)像として見えるとともに、その位置と距離が直ちに判明する。

合成中央画像の各画素の内容は、式(3.6)の座標関係で決まるため、既往研究のように x_l に対応する x_r を探し出すまで x_r が不明ということはない。ただし、合成画像における重なり状態が、いわゆる誤対応に相当する場合があるので、その判定の適否によって測定精度が影響される。

(2) 合成画像の作成と鮮明さの判定方法

本手法を利用する場合には、中央画像の合成と鮮明さの判定が適切に行われなければならない。合成の際に考慮すべき条件は、①左右画像の合成範囲が共通視野空間の同一視差距離断面上で同時に撮影され、かつ②合成画像での物体像の重なり状態が容易に判別できることである。鮮明さの判定指標に必要な条件は、①重なりに対して敏感に反応し、②重なりが同一物体の対応部分かどうかを判別できることである。

本研究では、それらの点と、自然光条件下における物体の識別や認識では色特徴の利用が有効なことを踏まえ、左右画像の合成並びに物体像の重なり状態の判定処理は、三原色RGB(各濃度8bit)による色特徴表現を基本として以下のように行った。

1) 左右画像の合成方法 本手法の合成は、前述のように共通視野の視差距離断面について行われるが、これは人間の視覚系に例えれば、中央画像を通してその断面を注視することに相当する。そこで合成に当たっては、まず注視する距離を決め、その距離に最も近い視差距離を中心とする前後区間を探索範囲に設定し、次にその区間内にある視差距離断面群について順次合成を行う、という手順にした。

注視距離を Z_g 、視差の間隔(視差刻みと呼称)を δ [画素]として、 Z_g の前後合計 n 個の視差距離断面について合成中央画像を作成する場合を考える。そのとき、前から k 番目($k = 0 \sim n-1$)の視差 s_k と視差距離 Z_k は、 Z_g に関する視差を s_g とすると次のように求められる。

$$s_g = a_d \cdot f \cdot a / Z_g \quad (3.8)$$

$$s_k = s_g + \delta \cdot \{(n+1)/2 - k\} \quad (3.9)$$

$$Z_k = a_d \cdot f \cdot a / s_k \quad (3.10)$$

Z_k の断面の中央画像における座標 (x_{ck}, y_{ck}) の画素の色特徴は、式(3.6)で規定される左右各画像の座標の画素内容で決まる。ここで、物体像の重なり(ずれ)を色特徴のずれ(色ずれ)として容易に判別できるようにするため、図3.3に示すように、合成画像の偶数行 y_{ck} を左画像の偶数行 y_{lk} から、奇数行を右画像の奇数行 y_{rk} から、それぞれ交互に選んで順に配列す

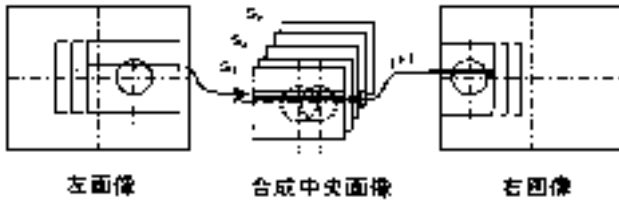


図3.3 合成画像の作成方法

Fig. 3.3 Making a composite image.

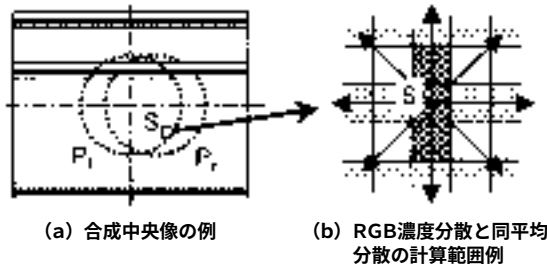


図3.4 合成画像の鮮明さの比較方法

Fig. 3.4 Comparing clearness of a composite image: (a) an example of a central composite image, (b) calculations of a variance of RGB, σ_c , and the average variance.

る方式にした。すなわち、

$$\left. \begin{array}{l} y_{ck} \text{ が偶数のとき, } x_{lk} = x_{ck} + s_k/2, \\ y_{ck} \text{ が奇数のとき, } x_{rk} = x_{ck} - s_k/2 \end{array} \right\} (3.11)$$

2) 中央画像の鮮明さの判定 上述の合成方法によると、左右画像の物体像が適切に重なったとき、偶数行と奇数行の画素の色特徴が最も近似するため水平間の色ずれが最小になり、鮮明なカラー画像になる。重なり位置ずれが増加するに従い、水平間の色ずれが増して横縞状の領域が拡大し、画像の鮮明さが低下する。

このように、各画素の鮮明さは、偶数行と奇数行の色特徴の差異で変化するので、鮮明さの指標には上下方向の画素に関する RGB 濃度の分散 σ_c を用いることにし、次式で算出した。

$$\sigma_c = \Sigma \{ (r_k - r_a)^2 + (g_k - g_a)^2 + (b_k - b_a)^2 \} \quad (k=0 \sim m-1) \quad (3.12)$$

ここで、 r , g , b はそれぞれ R, G, B の濃度、 m は上下方向の画素数、添字 a は m 個の平均を示す。式 (3.12) より、上下方向の色ずれの大小が σ_c の大小で表され、重なり状態が数値化される。通常、色ずれが最も少ないとき σ_c が最小になる。ただし、重なりに広がりがある場合や形状が局部的に類似する場合などには、その部分の重なりが適切な対応でないときにも σ_c が小さくなる。そのため、上下方向の σ_c だけによる判断では不十分であり、大域的に調べる必要がある。

そこで本研究では、図3.4のように8方向の画素の σ_c を平均して各画素に関する平均分散 σ_{cave} を求め、それを比較と判断に用いた。これにより当該画素を中心とする一定領域が比較対象に加味されることになり、中央画

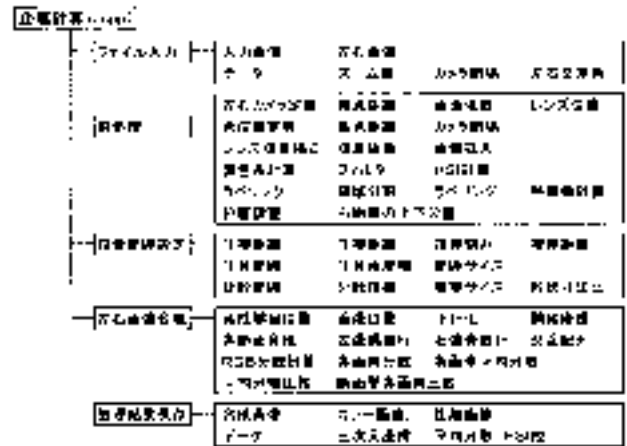


図3.5 距離計算プログラムの概要

Fig. 3.5 Outline of programs for distance calculation.

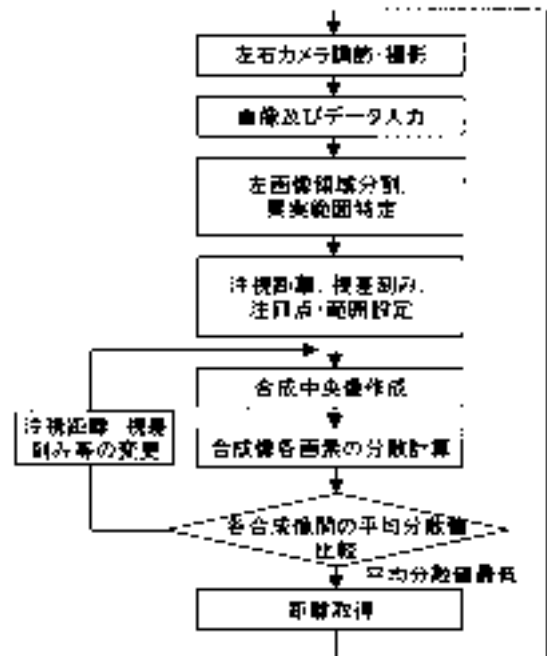


図3.6 処理手順の概要

Fig. 3.6 Outline of processing procedure.

像において左右画像の重なりが領域単位（形状）で一致したときに各画素の σ_{cave} が最小になる。

(3) 処理手順

本手法による距離計算プログラムの概要を図3.5に、その処理手順を図3.6に示す。はじめに、ステレオ視システムの位置と方向を決め、ズーム値を設定して撮影し、左右画像とカメラ制御データをコンピュータに入力する。次に、前処理として RGB 各信号のフィルタ処理とレンズ収差の補正のあと、左画像について色特徴（ここでは色相）による領域分割を行い、およその果実領域を抽出する。その中で左右画像の共通視野となる果実領域を中心に注目点（画像上で注目する座標）と走査範囲

を決め、注視距離と視差刻みを設定する。注視距離を中心にその前後の区間で視差距離断面ごとに左右画像を合成して中央画像を作成する。

次に、各中央画像の走査を行い、画素ごとに上下方向の RGB 濃度分散を求めた後、水平・垂直・斜め方向の平均分散を算出する。各中央画像間で同一座標の画素ごとに平均分散を比較し、それが最低になるときの視差距離断面を選定する。それにより中央画像における各画素の色特徴と XYZ 座標及び距離が決定され、中央視点 C から見たときのカラー画像と距離画像が同時に得られる。

なお、上記の結果により、a) 探索の距離範囲、b) 注目点や走査範囲、c) 距離分解能、d) σ_{cave} の比較範囲、をそれぞれ変更する場合には、注視距離、視差刻み等を適宜変えて途中の段階に戻り再計算を行う。

3. 本手法の基礎的性質に関する実験

試作システムの距離特性は、ハードウェア面とソフトウェア面の両方の影響による結果として示される。そのうち、ハードウェアに関する距離精度は、前章のように $\pm 2\%$ 以内であった。ソフトウェア面の影響については、前述の手法が最適に実行されれば上記と同等の精度が期待できるが、鮮明さの判定指標の σ_c には、果実やその周囲の物体の色特徴、光環境、カメラ条件などの影響が予想されるので、それらの因子と距離特性との関係を明らかにする必要がある。本節では、 σ_c と σ_{cave} の基礎的性質を調べるため、主要因子として焦点距離、撮影距離、平均分散の比較範囲、視差刻み、対象物幅を取り上げ実験的に検討する。なお、対象物条件、環境条件、カメラ条件、画像処理条件等の影響については次章以降で述べる。

(1) 方法

実験は、安定した撮影条件が得られる室内でリンゴ果実の形状を模した円板を対象に行った。合成像の作成における水平の交互配列の有効性、鮮明さの指標として用いた色指標とその分散の状況、分散の比較範囲の影響、視差距離と分散の推移の関係等について検討する。

1) 実験条件 円板は赤色紙製（厚さ約 2mm）で、直径はリンゴ果実径に類似の 60～90mm とした。撮影距離は 1.5～2m 間に設定した。背景には青色紙を壁面に張って円板との区別を容易にした。

2) 実験手順と方法 実験では、試作システムの配置とズーム調節を手で行って対象円板を撮影後パソコンに保存した。フォーカス、露出、ホワイトバランスはいずれも供試カメラの自動調節機能によった。レンズ焦点距離は主に 8.6mm～24.3mm を使用し、左右両カメラの光軸間距離は 300mm とした。カメラの交差角は左右各カメラとも 0.1 度であった。

画像処理は、前節の処理手順に従って行い、注目点、走査範囲、注視距離及び視差刻みは操作者が左画像を観察して入力した。処理条件は、分散の計算範囲を上下方

向で対象物高さまで 5 種、平均分散の計算範囲を水平・垂直・斜めの各方向とも対象物幅の 2 倍までの 7 種、視差刻みを 1～20 画素の 4 種に設定した。

(2) 結果と考察

1) 左右画像の重なりと合成状態 図 3.7 は、直径 60mm の赤色円板（撮影距離 1,523mm、焦点距離 13.7mm）の処理例（投影像径 40 画素）である。処理条件を注視距離 1,510mm、視差刻み 1～10 画素、視差距離断面の個数 5～11 として算出した中から、合成過程の画像の一部を示した。なお、視差距離の範囲は 1,257～1,858mm であった。

a) 左右画像のずれと合成状態 左右画像の各円板像は、視差距離 Z_s が 1,509mm のとき同図 (a) のように重なりがほぼ一致し、合成像全体が最も鮮明な状態になった。同図 (b) は、(a) から 1 画素分ずれた合成像であり、左右の輪郭部分にわずかに凹凸が現れるものの全体的には (a) と同様に鮮明である。両円板像のずれが 2 画素以上大きくなると同図 (c)～(f) のように、左右果実像の重なり部分が減少して鮮明な領域が狭くなる一方、非重なり部分では周囲の色調が円板像の行間に入り込むため、横縞模様の範囲が次第に拡大した。

合成像の状態を Z_s との関係で見ると、 Z_s が 1,370mm（ずれ 20 画素）では左画像の円板像右側部分と右画像の円板像左側部分が重なって鮮明な偽像が発生し、その反対側部分では縞模様になった。1,479mm（同 5 画素）では広い範囲で鮮明となり、縞模様部分は左右の輪郭で多く、上下の輪郭では少ない。円板の実距離 Z_0 よりやや遠方の 1,603mm（同 10 画素）では両円板像の左右部分が同じ側同士で重なっているが、鮮明な範囲は減少して縞模様範囲が拡大している。合成像の上下輪郭部分では水平の構成数が少ないため、ずれの明確な変化は現れない。 Z_s が Z_0 よりかなり遠方の 1,700mm（同 20 画素）では、左画像の円板像左側と右画像の円板像右側が重なって再び鮮明な偽像が発生している。

b) 視差刻みと合成状態 視差刻み δ が小さいときに

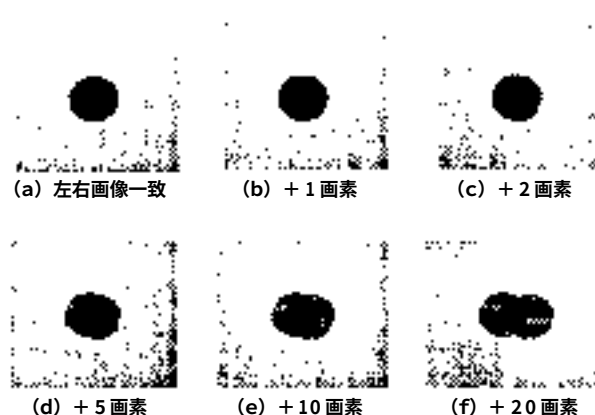


図 3.7 左右画像の重なりと合成状態

Fig. 3.7 Overlapping images composed from a left and right image.

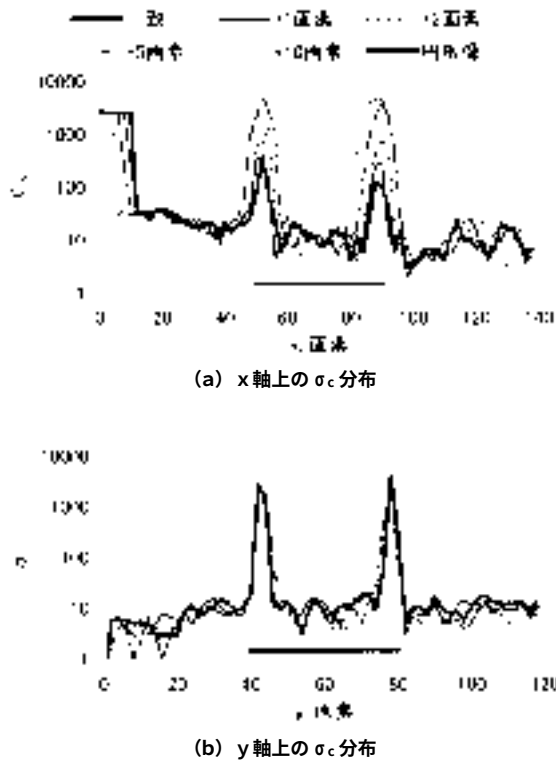


図3.8 合成像における重なりずれのx, y軸上の σ_c 分布
Fig. 3.8 Distributions of σ_c on the x axis and the y axis of a composite image: (a) on the x axis, (b) on the y axis.

は右画像の一回の移動量が少ないため、合成過程における鮮明領域と横縞模様領域の変化はともに少ないが、 δ が大きくなるに従い、右画像の一回の移動によって重なり状態が大きく変化するため、横縞模様領域の変化も大きくなる。 δ が1画素の場合、合成作業は画像を1画素ずつ移動させて行われるので、注視距離 Z_g が Z_0 から多少離れていても Z_0 が探索範囲内にあれば、合成過程の途中で重なりが一致する。 Z_g と Z_0 が近似しているときには、 δ の大きさに関わらず、 Z_g 付近での重なり状態は類似する。 Z_g が同じ場合でも、 δ が対象物像の幅よりも大きくなると、左右の円板像が重ならないことがある。

c) 注視距離と合成状態 注視距離 Z_g に最も近い視差距離 Z_{sg} と Z_0 が一致するときには、左右の円板像は画面中央で重なりが一致し、合成像の中央部分、輪郭部分の両方とも鮮明になる。 Z_{sg} と Z_0 の差が大きくなると、右円板像が中央から遠ざかるため重なり部分は少なくなる。しかし、 δ の与え方によっては、探索範囲内の視差距離断面が Z_0 付近に設定されて、左右円板像の重なりが一致する場合がある。 Z_0 が探索範囲外であれば、左右の円板像の重なりは生じない。

2) 合成像におけるRGB濃度分散の分布 a) x, y方向の分布 図3.8は、図3.7の各合成像の中央を通るx, y軸上でRGB濃度分散 σ_c の分布状況を見たものであ

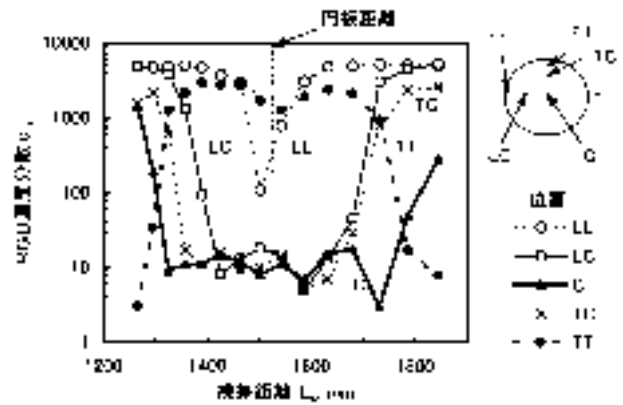


図3.9 視差距離と合成像内の σ_c との関係

Fig. 3.9 The relationship between distance by disparity and σ_c in a composite image.

る。 σ_c の計算は各画素とも上下方向計4画素で行った。円板像の外側では背景色がほぼ均一のため σ_c は30以下と小さい。合成像では、輪郭部分が大きく、その内側では10前後の小さい値になっている。x軸上の σ_c の分布は同図(a)のように、重なりずれが大きくなるに従い、合成像左右の輪郭部分で σ_c が増大し、その範囲もx方向に広がる。輪郭の内側では σ_c はほとんど変化せず、その範囲が狭くなる。ただし、重なりずれが10画素以上の場合には、偽像のため σ_c が小さくなっている。一方、y軸上の σ_c の分布は、同図(b)のように、ずれの大小(視差距離の遠近)に関係なく、両円板像が重なり合う輪郭の上下部分で突出し、ピーク値はほぼ一定になる。

以上のように、合成像の σ_c は、輪郭部分で急増し、その内部では小さくなる。合成過程において、合成像内で σ_c の小さい範囲は合成像の右側部分から次第に広がり、最大になった後で減少する。 σ_c の小さい範囲が最も広くなったとき、輪郭付近で σ_c の大きい区間は最も狭くなり、左右円板像の各部分が正対応になる。このときの Z_g が Z_0 に近似する。ただし、その前後の時点では合成像内で局部的に上下の画素の色特徴が近似するため、誤対応にもかかわらず σ_c の小さい部分が存在することになる。このため、合成像内部における重なりが正対応かどうかを、 σ_c の大小だけで判断することはできない。

b) 視差距離と合成像内各位置の σ_c との関係 図3.9は、図3.7(a)の合成像内の代表的な5箇所について、 Z_g と σ_c の関係を調べた結果である。各個所の位置は、左輪郭付近LL、左側中央LC、中央C、上側中央TC、及び上輪郭付近TTであり、 σ_c はいずれも上下方向4画素に関する分散値である。

合成像の中央(C)では、 Z_0 を挟んで前後約200mmの区間で20以下となったが、 Z_0 付近が最小になるとは限らなかった。左右の輪郭に近い箇所(LC)ほど Z_g に

対する σ_c の小さい範囲が狭まり、左右の輪郭 (LL) では Z_0 付近で最小値になった。合成像の輪郭上下部分 (TT) の σ_c は、円板内外の色特徴の差が影響して大きな値になっており、位置ずれによって生じる変化は少なかった。

本手法による合成過程では、左右両画像の重なりは合成像の右側から始まるので、右側部分ほど Z_s の小さい時点で σ_c が減少し始める。ただし、その減少は類似色の誤対応によるものである。 Z_0 付近では合成像全体が正対応になり σ_c の小さい範囲が続くが、その後再び増加する。このように合成像各位置の σ_c は、左右の輪郭付近を除くと、 Z_0 で最小になるとは限らない。

なお、 σ_c 計算に用いる画素数を変化させた場合、上下方向に範囲を広げるほど合成像内部で σ_c の小さい領域が狭くなるものの、全体的にはあまり大きな影響はみられなかった。また、 δ を変えた場合、 σ_c の値や Z_s の間隔が変わるが、上述と類似の傾向であった。

一般に、対象物の幅が広いほど、及び視差刻みが小さく、分散計算の画素数が少ないほど、 σ_c の小さい範囲が広がる傾向が見られた。その σ_c の比較だけでは誤対応かどうかの判定は困難なので、 σ_c 最小の位置が Z_0 に一致すると即断はできない。このため測定距離の誤差は、対象物像の幅分に相当する視差距離の範囲で生じる可能性がある。

合成像内部の位置に関係なく、対象物の Z_0 で鮮明さ指標が最小になるようにするためには、 σ_c を平均した

平均分散を用いて、より広い領域について比較することが考えられる。そこで次に、各画素に関する平均分散の計算範囲を円板像幅の大きさに取り、 Z_s と各画素の平均分散との関係について調べた。

3) 重なりのずれと RGB 濃度平均分散の分布 a) x, y 軸上における平均分散と各成分の分布 図 3.10 は、RGB 濃度の平均分散 σ_{cave} を構成する水平、垂直及び斜めの各方向成分について、合成円板像中心を通る x, y 軸上の分布を、左右円板像のずれとの関係で見た結果である。x 軸上の水平成分 σ_{cvx} は、合成円板像の幅よりやや広い区間でほぼ一定で、その外側で急増する分布形状となり、ずれが大きくなるほど円板像内部の値が増大した。垂直成分 σ_{cvy} は、円板像幅とほぼ同じ区間で増加し、その外側で低い値となった。ずれが増大すると、中央ではほとんど変化がないが、上下の輪郭に近い部分が急増する傾向になった。斜め成分 σ_{cvs} は、円板像の輪郭よりやや広い区間で凹型分布となり、その外側で一旦減少するが、さらに外側では急増する形状になった。ずれが大きくなると円板像内部で凹型形状のまま増加した。

次に、y 軸上では、 σ_{cvx} は輪郭付近で急増し中央で小さくなる凹型の分布であるが、ずれが大きくなると中央の値が次第に増加した。 σ_{cvy} はずれの大小に関係なく、円板像の幅よりやや広い区間でほぼ一定となり、 σ_{cvs} は x 軸上の分布と同様であった。

以上のように、平均分散のどの成分も左右円板像の重

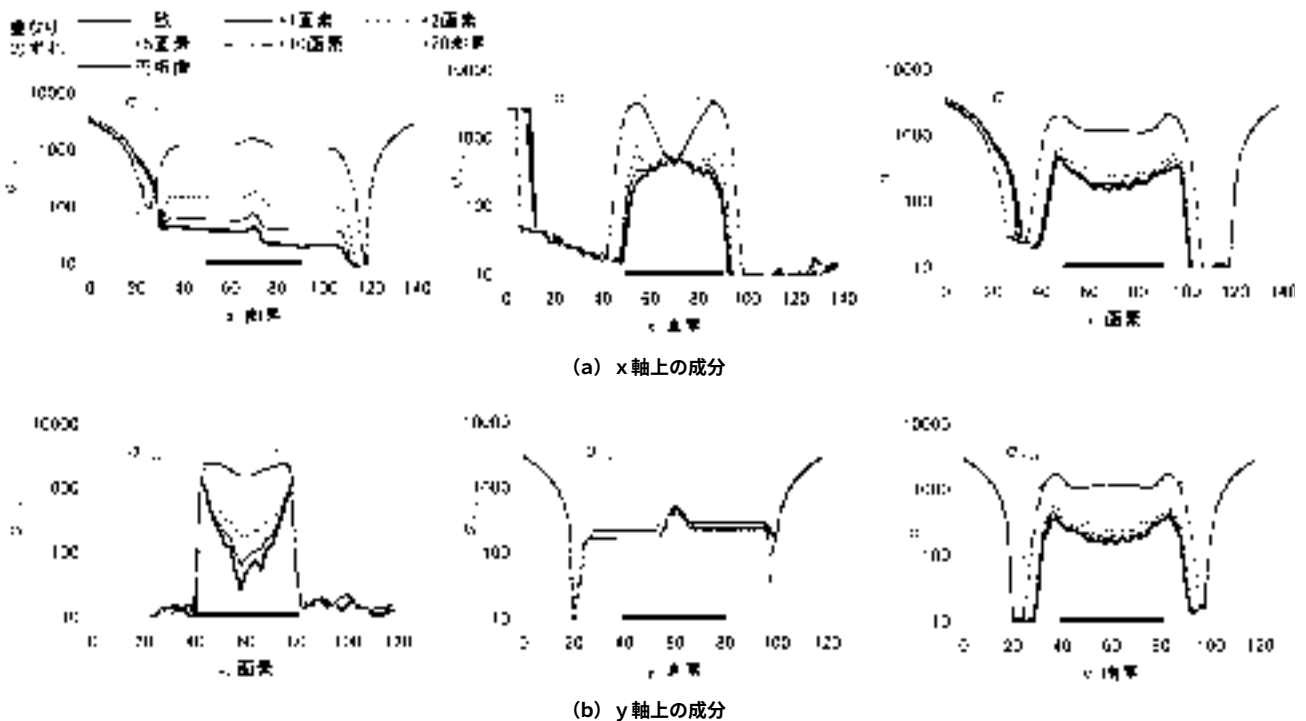


図 3.10 合成像における重なりのずれと x, y 軸上の σ_{cave} 各成分の分布

Fig. 3.10 Distributions of components of average variance, σ_{cave} , on the x axis and the y axis of a composite image: (a) on the x axis, (b) on the y axis.

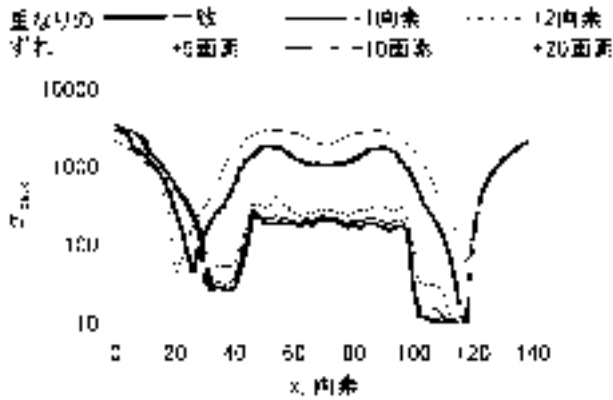
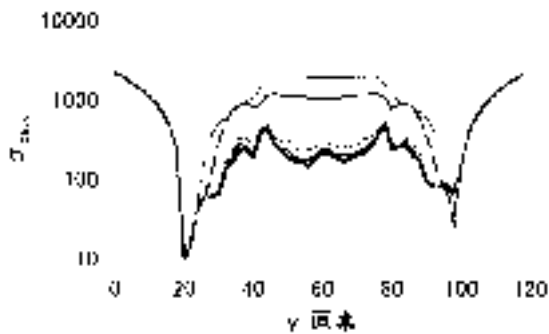
(a) x 軸上の σ_{cave} 分布(b) y 軸上の σ_{cave} 分布

図3.11 合成像における重なりがずれと x, y 軸上の σ_{cave} 分布
Fig. 3.11 Distributions of σ_{cave} on the x axis and the y axis of a composite image: (a) on the x axis, (b) on the y axis.

なりが一致した場合に合成像内の値が最小になり、ずれが増えるに従って増加した。

b) x, y 軸上における σ_{cave} の分布 図3.11は、合成円板像内の σ_{cave} を x, y 軸上について調べた結果である。x 軸上の分布は同図 (a) のように、ほぼ円板像幅と同じ区間で台形状となった。ずれが大きくなるに従い、その形状を保ったまま全体的に増大した。y 軸上では、x 軸と同様台形状であるが、ずれが小さいときに中央で凹型になる傾向が強まった。

以上のように、合成像内の σ_{cave} は、重なり的一致時、及びずれが ± 1 画素以内のとき、ほぼ最小になることが分かった。

4) 視差距離に対する σ_{cave} と各成分の関係 図3.12は、横軸に Z_s を、縦軸に各 Z_s における合成像中央の σ_{cave} とその成分を取って、両者の関係を見たものである。その結果、 σ_{cvy} を除いた各成分と σ_{cave} は、 Z_0 付近で最小になった。特に σ_{cvx} の収束度合が強く、急激な減少が見られた。なお、 σ_{cvy} はほぼ一定であるが、これは各画素の σ_{cave} の計算範囲を円板像幅分として合成像中央で調べたためであり、図3.10(a)から明らかなように、中央以外では重なりがずれとともに増加した。

5) σ_{cave} の計算範囲が距離推定に及ぼす影響 図

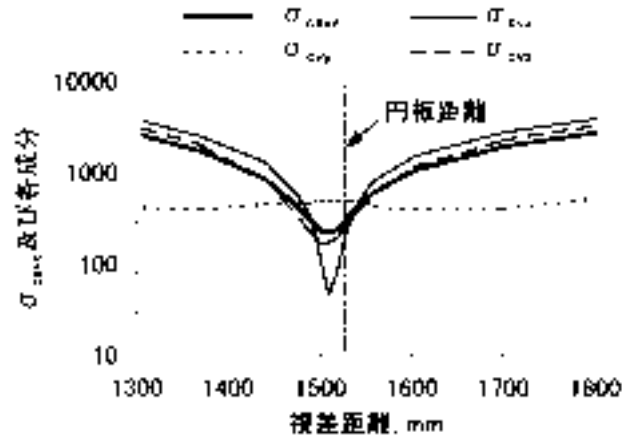
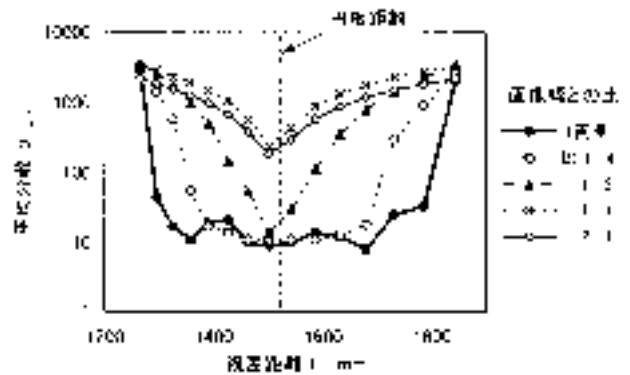
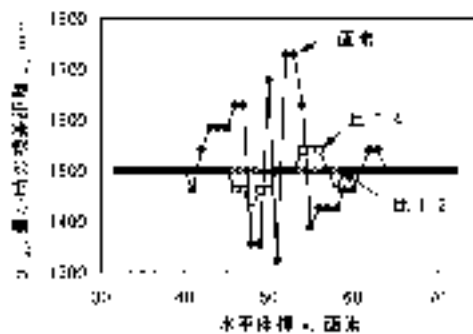


図3.12 視差距離に対する合成像中央の σ_{cave} と各成分の関係
Fig. 3.12 Relationship between distance by disparity and components of σ_{cave} on the center position of a composite image.



(a) 合成像中央画素の平均分散の推移



(b) 平均分散最小の視差距離分布 (x 軸上)

図3.13 平均分散の比較範囲と視差距離の関係

Fig. 3.13 The relationship between a range of comparison on average variance and the distance by disparity: (a) change of average variance at the center of a composite image. (b) Distributions of distances by disparity when the average variance was at its minimum.

3.13は、図3.7(a)を対象に、 σ_{cave} の各成分の計算範囲を、1画素及び円板像の幅 w_a に対する比 (N_x/w_a) で $1/4 \sim 2/1$ に設定した場合について調べたものである。同図(a)は、横軸に Z_s 、縦軸に合成像中央部分

の σ_{cave} を対数目盛でとり、 N_x/w_a をパラメータとして両者の関係を示す。計算範囲が1画素の場合、 Z_s が1,450～1,650 mmの区間で σ_{cave} が小さいが、 N_x/w_a が増加するに従い σ_{cave} 小の区間が狭くなった。 N_x/w_a が3/4になると σ_{cave} 小の区間がさらに狭まり Z_0 付近で急減して最小となった後、急増した。 N_x/w_a が1/1でも同様の傾向であるが、 σ_{cave} の最小値は $N_x/w_a = 3/4$ よりも大きくなった。すなわち、 σ_{cave} は、その計算範囲が w_a の1/2以上になると Z_0 付近で最小になり、その最小値は計算範囲が大きくなるに従い増加した。

同図(b)は、各 Z_s に関する合成像の x 軸上で、同一の x 座標の σ_{cave} を比較したとき最小になった画素の Z_s の分布を示したものである。それによると、 σ_{cave} の計算範囲が w_a の1/2より小さいとき中央付近では Z_s の変動が激しいが、輪郭に近い位置ではその計算範囲が1画素でも収束がよいことが分かる。合成像内部全体では、計算範囲を w_a の約3/4以上にしたとき、おおむね良好な結果が得られた。

以上より、対象物像の幅 w_a に対する σ_{cave} の計算範囲が小さいほど σ_{cave} の収束性が悪く、 N_x/w_a が3/4以上のとき実距離付近での収束性が高くなるので、実距離付近の視差距離を見出すためには、 N_x/w_a を3/4以上にする必要がある。

4. リンゴ園果実画像に対する適用

本節では、前節の円板実験で明らかになった本手法の性質が、実際にリンゴ園の果実画像に適用できるかどうかを調べることを目的とする。すなわち、合成像のずれと鮮明さの指標である RGB 濃度分散の関係、平均分散の比較計算範囲の影響、視差距離と同分散の関係、偽像発生状況などについて検討する。

(1) 実験方法

弘前市近郊の普通栽培リンゴ園で晴天時に、赤色系品種ふじ(直径81～90 mm)を対象に約2.2 mの距離から試作システムを使って順光状態で撮影(焦点距離13.8 mm)した。撮影の手順は前節と同様である。撮影は、果実が左右各画像中央の水平線上にあって共通視野

に入るように、試作システムの配置を調整して行い、撮影画像をパソコンに取り込みハードディスクに保存した。ズームはパソコンから手で制御して設定し、フォーカス、露出、ホワイトバランスはいずれも自動調節機能を利用した。カメラ前端から対象物表面までの距離をレーザー距離計で測定し校正値とした。

左右画像の合成処理は、左画像を観察しながら、注視距離、視差刻み、注目点及び範囲、分散計算範囲の各設定値を指定して、図3.6の手順に準じて行った。

(2) 実験結果と考察

1) 左右画像の重なりと合成状態 図3.14に、撮影した果実群の左右各原画像を示す。対象果実は表示枠内のA、B、C、及びDの4個とした。試作システムから各果実までの直線距離は、それぞれ2,254、2,123、2,310及び2,196 mmで、奥行き約30 cmの範囲にあった。果実Dは前方の葉によって下側の一部が遮られ、その遮蔽状態は左右各画像でやや異なった。

果実Aについて、左右画像の重なりが一致する状態から、ずれが-4～+6画素となる範囲で合成した結果を図3.15に示す。同図によると、一致から±2画素のずれの範囲では左右の輪郭の内側にわずかに横縞が現れる程度で、ほとんど変化が見られなかった。ずれが±3画素以上になると、左右の輪郭付近における横縞模様が明確になり、色ずれが確認できるようになった。

a) 視差刻みと合成状態の関係 視差 s は視差刻み δ の間隔で飛び飛びに変化する。 δ が1のとき、 s は1画素ずつ変化するので左右両像の重なりが一致する視差 s_0 を取り得るが、 δ が2以上では s_0 を取るとは限らず、重なりが厳密な一致状態を見落とすことがある。そのため、 δ の上限をどのように設定するかが問題になる。果実像Aに関する s_0 は131画素、 Z_s は2,214 mm(距離誤差1.8%)であるが、 δ を種々変化させて調べた結果、その値が4以下であれば、色ずれの少ない鮮明な合成像が得られた。他の果実像についてもほぼ同様であった。したがって、供試果実像のような場合、 $\delta/2$ が s_0 から2画素の範囲に入る条件で処理されれば、重なりが一致

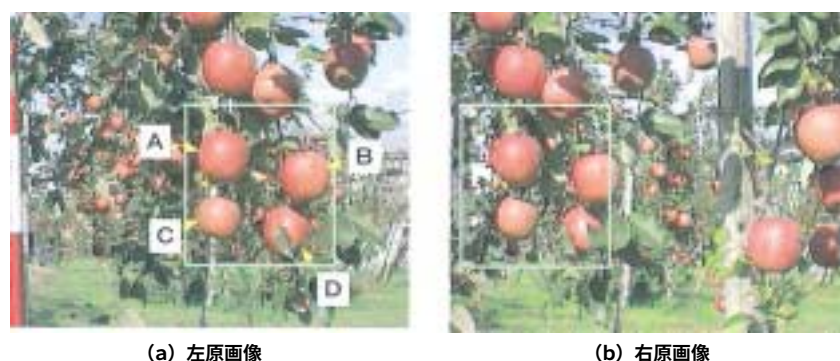


図3.14 リンゴ園果実の左右原画像(品種ふじ)

Fig. 3.14 An original pair of images taken of the 'Fuji' variety of apple, in an apple orchard.

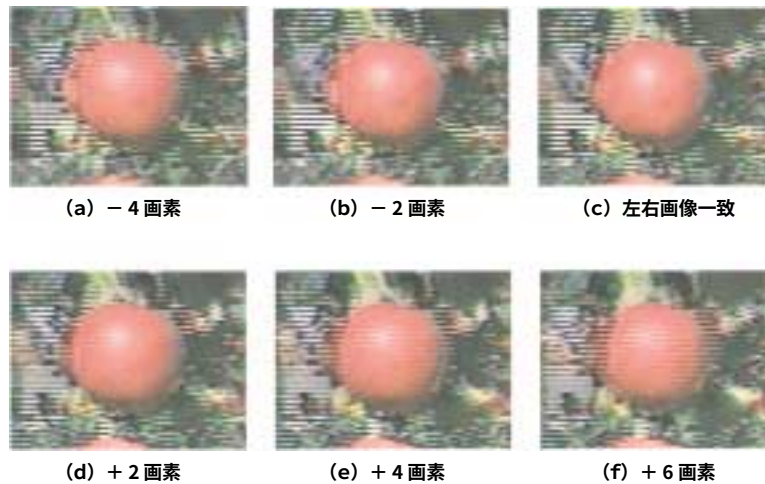


図3.15 果実像Aの重なるのずれと合成状態

Fig. 3.15 Overlapping situations composed from a pair of images of the apple, A.

に近い状態の合成像が得られ、 s_0 の推定が可能になったことが分かった。

b) 注視距離と合成状態の関係 Z_g が Z_0 付近に設定されたとき、探索範囲内の合成像における色ずれは、 Z_0 付近で最も小さく、その位置から前後に離れるに従い増加した。たとえば、 Z_g が Z_0 より前方に設定された場合、後方に行くほど Z_0 に近づくので、合成像の色ずれは減少した。逆に、 Z_g が Z_0 より遠方に設定された場合には後方ほど色ずれが増加した。そのため、合成像の色ずれの増減傾向を調べることで、 Z_0 に対する Z_g の前後関係を判定することが可能であった。

c) 合成状態と輝度分布の関係 図 3.16 は、左右各画像の x 軸上の輝度分布と合成像の重なるのずれとの関係を見たものである。ずれが -2 画素では左右両画像の左側部分で輝度線が一致しているが、右側部分では右画像の輝度線が低くなっている。ずれが $+2$ 画素では逆に右側部分で左画像の輝度線が低くなっている。結局、重なりが一致したとき全体的に左右両画像の輝度線が最も接近した。このように、果実像の重なり状態は、左右両画像の輝度線の上下関係を調べることで知ることが可能である。ただし、その差が明確に現れない場合も多い。

2) 合成像の x, y 軸上における σ_c 分布 果実像 A に関する合成像のうち、ずれが $-4 \sim +4$ 画素のものについて、中央を通る x 軸上の σ_c 分布を調べた結果、図 3.17 (a) のようになった。 x 軸に平行な太実線は果実像の幅区間を示す。図のように、各 σ_c 線とも変動が激しいが、果実像範囲では一致（ずれが零）の場合が最も小さく、次いで -2 画素、 $+2$ 画素のずれとなった。ただし、部分的にはずれがそれ以上の場合でも σ_c が最小になる状況が見られた。なお、右側の $x = 90$ 付近では各 σ_c 線とも小さな値になっているが、これは近くに幅の広い濃緑色領域があったためである。

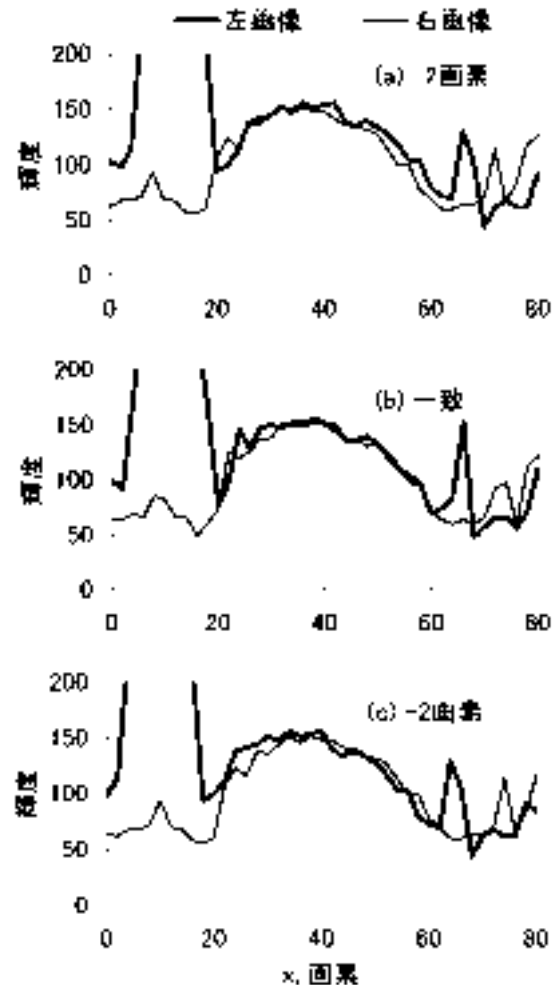


図3.16 重なるのずれと輝度分布の関係（果実Aのx軸上）
Fig. 3.16 Relationship between overlapping situations and distributions of brightness on the x axis of the apple image, A.

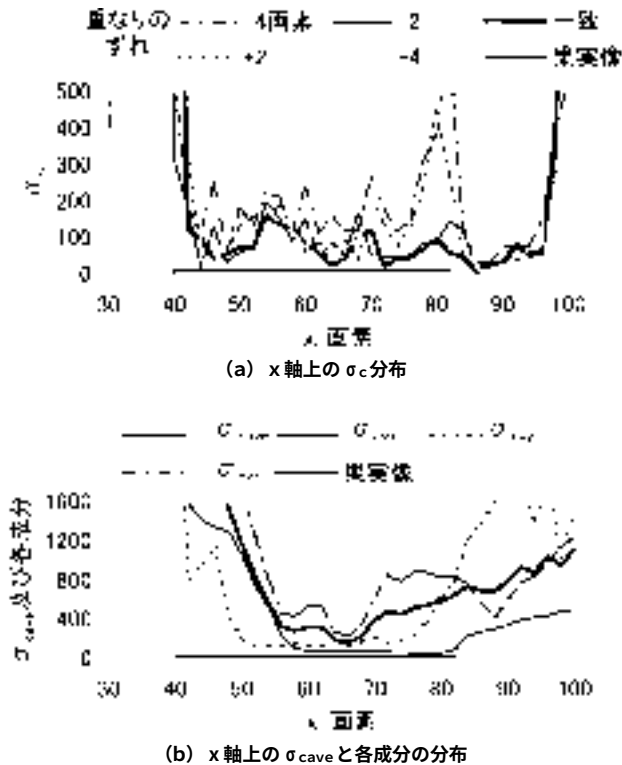
図3.17 果実Aの合成像における σ_c と σ_{cave} の分布

Fig. 3.17 Distributions of σ_c and σ_{cave} on the composite image of the apple, A: (a) distributions of σ_c , (b) distributions of σ_{cave} and the components.

3) 合成像における RGB 濃度平均分散の分布 重なりが一致した合成像の x 軸上における平均分散 σ_{cave} と各成分の分布は、同図 (b) のようになった。 σ_{cave} の計算範囲は果実像 A の幅に等しい 40 画素とした。各成分とも果実像中央から右側でおおむね小さく、果実像左側と果実像右の外側で急増する傾向が見られた。このうち、果実像左側の急増は、画面左辺付近の色調の変化が大きい影響を受けて、 σ_c が急増したためである。各成分の中では、 σ_{cvx} が最も小さくなった。各成分を総和平均した σ_{cave} は、同図太実線のように、 σ_{cvx} の影響によって果実像の中央からやや右よりの位置で最低となり、果実像周辺に行くほど増加する傾向になった。

4) 視差距離に対する σ_{cave} 及び各成分の関係 図 3.18 は、果実像 A の中央画素の σ_{cave} 及び各成分と、 Z_s との関係調べた結果である。図のように、 σ_{cvy} は Z_s に関係なくほぼ一定である。 σ_{cvx} は Z_0 の少し前方で、 σ_{cvz} はやや後方で最小になった。両者とも重なりが一致した Z_0 付近で最小になり、その位置は Z_0 に近似した。

以上の結果より、本手法における σ_c 及び σ_{cave} の特性は、果実を対象にした場合にも前節の円板結果と同様であることが分かった。

5) 果実群の合成過程並びに合成カラー画像と距離画像 図 3.19 (a) ~ (c) は、 $Z_g = 2,200\text{mm}$ 、視差刻

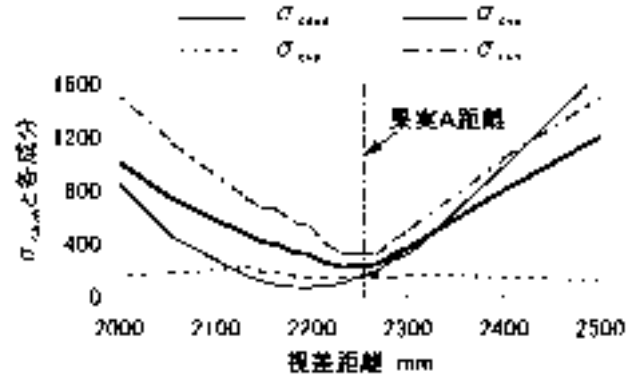
図3.18 果実Aの視差距離に対する σ_{cave} と各成分の関係

Fig. 3.18 Relationship between distance by disparity and σ_{cave} of the apple, A.

み $\delta = 1$ 画素で処理した合成過程の一部を示したものである。同図 (a) では果実像 B が、(b) では A、D が、(c) では C がそれぞれ最も鮮明になった。各果実像とも、他の合成過程では合成像の左右の輪郭付近でずれが拡大し不鮮明な状態になっている。

各合成過程の果実像間で同一座標の画素の σ_{cave} を比較して最小の画素を選定し、その画素の RGB 濃度を用いて描画したのが同図 (d) の合成カラー画像、その画素の属する Z_s で表したのが同図 (e) の合成距離画像である。合成カラー画像では各果実像とも鮮明であり、左右両画像の重なりが一致したことが分かる。同時に、各画素は (e) に示される距離情報を持つので、対象物が色と形状で距離別に識別されたことになる。なお、同図 (e) の下辺の色区分は、左側ほど近距離を、中央の区が Z_0 付近の Z_s を表す。

図 3.20 は、各果実像の中央の画素に関する σ_{cave} と Z_s の関係を調べた結果である。各果実像の σ_{cave} とも、それぞれの Z_0 に近い Z_s で最小になる V 型の変化傾向を示し、その距離誤差は 4 % の範囲内にあった。これは、2 章に掲げた所要精度をほぼ満たしており、本手法が果実の距離測定に利用可能なことを確認した。

5. 要 約

本章では、レンズ光学系と人間の視覚系に関する研究を参考に、両眼ステレオ視法に関する新たな計測原理を検討した。その原理は、一対の左右画像を視差距離断面毎に合成して中央画像を作成し、その鮮明さを比較・判定することにより、共通視野空間内の物体の色特徴と位置・距離を同時に得る、というものである。合成像の鮮明さを比較・判定する指標には、上下方向の RGB 濃度分散とその 8 方向の平均分散を用いた。その測定原理の基礎的性質を明らかにするため、赤色円板を対象に実験的に検討した結果、対象像全体を比較範囲とすれば、ほぼ適切なカラー画像と距離画像の得られることが分かった。さらに、収穫期のリンゴ園で実際に赤色系果実を対象に本手法の適用実験を行い、基礎的性質を検討した。

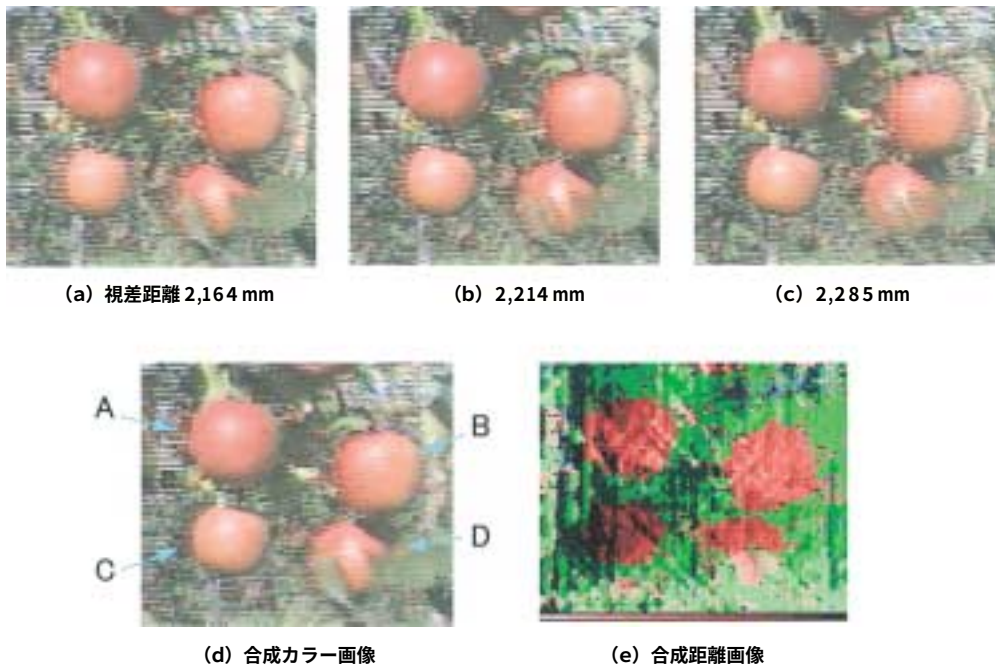


図3.19 果実群の合成過程と処理結果

Fig. 3.19 Composite process and the results obtained on the 'Fuji' variety of apples.

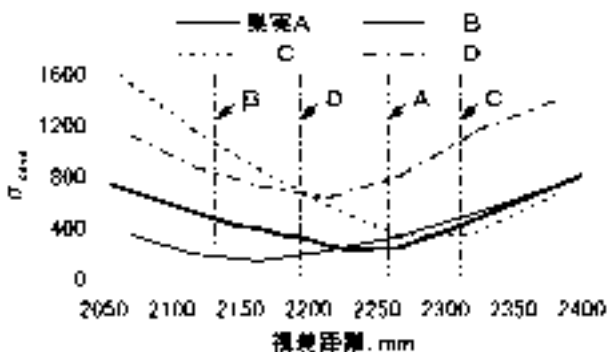


Fig. 3.20 Relationship between distance by disparity and σ_{cave} of each apple.

撮影距離が約 2.2m の場合、その距離誤差が 4 % の範囲内にあり、本手法が果実の距離計測に適用可能であることを確認した。

第4章 ステレオ対応問題画像の分析と対策

1. 緒 言

リンゴ園で撮影した果実画像では、類似果実の並びや重なり、枝葉の陰になって生じる隠れや果実像の変形など、いわゆる対応問題画像ないしそれに類似した画像が頻繁に見られる。ステレオ視の利用にあたっては、そうした対応問題への解決策または対処法が必要になるが、実用的な対策はまだ確立されていない。

本研究のステレオ視の測定原理は、前章で述べたよう

に、視差距離断面ごとに左右両画像を合成して中央画像を作成し、その中から鮮明な物体のみを検出するというものである。被写界深度のごく浅い単眼カメラで、合焦距離を連続的に変えて撮影した画像をもとに、物体を検出することに例えられる。この原理に基づいて画像入力と処理がなされると誤対応の機会が減少するので、対応問題の発生自体がかなり抑制されると予想される。

しかし、現行の TV カメラを用いてステレオ視画像の撮影する場合、その撮像方式がラスタスキャン方式のため、左右の画像はそれぞれ被写空間全体が一括して撮影されたものになり、上述の原理とは異なった画像が入力される。このため、現行カメラによる画像に本研究の手法を用いる場合には、左右両画像で対応する視差距離断面を改めて順次探し出さなければならない。対応問題画像では、その過程で誤対応による鮮明な偽像が発生しやすい。したがって、その対策として、視差距離断面の適切な対応づけと偽像の発生を抑制する方策が必要になる。

本章では、対応問題画像での偽像の発生とその性質について調べるとともに、視差距離断面の対応づけと偽像の抑制対策として、図 3.1 (a) の人間視覚系の視交叉を参考に、左右画像内の注目範囲をそれぞれ中央で左右半分ずつに分け、同じ側の視野同士で合成する方法を検討した (85)。

2. 偽像の発生とその抑制対策

(1) 偽像の発生とその性質

1) 偽像の発生位置 前章では、リンゴ園の果実画像に本研究の手法を適用する際に、注視距離と視差刻みを

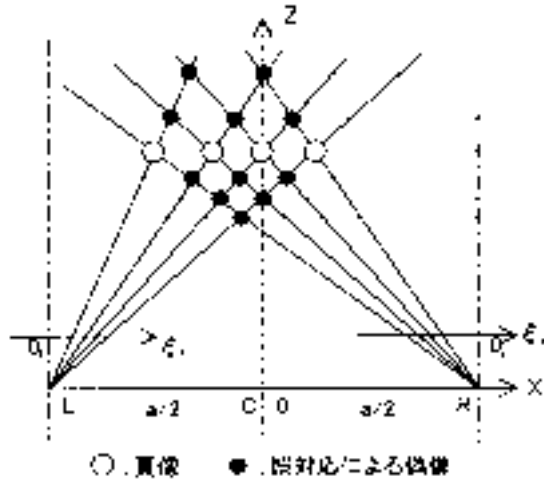


図4.1 ステレオ対応問題の例

Fig. 4.1 An example of the correspondence problem of the stereo vision.

与えて探索距離範囲を設定し、その中で同じ視差距離断面ごとに左右の画像を順次合成したのち、それらの画素の鮮明さを比較して距離を求める、という手順で行った。しかしステレオ対応問題画像では、左右両画像の視差距離断面が異なる場合にも、図4.1の例で●印で示すように、類似の果実像との間で鮮明な合成中央像（この場合偽像）が作成されるため、距離測定を誤ることになる。

偽像は、①対象物内部での色特徴の近似、②対象物と類似物の局所的な色特徴の近似、及び③対象物と類似物の全体的な色特徴の近似、のいずれかに該当すれば発生するが、これらのうち①と②については、対象物の全幅分を範囲とするRGB濃度の平均分散 σ_{cave} を比較・判定に用いれば、おおむね適切な距離が得られることを前章で述べた。

本章では、類似の色特徴をもつ果実が複数存在する画像を想定し、③について検討する。そのような画像では、各果実像の色と形状が近似し、それらの中心位置が接近するほど偽像が発生しやすい。もし、色と形状の全く同じ果実像が図4.1のように同一の水平線（すなわちエピポーラ線）上に複数個並んでいる場合には、真の合成像と偽像の鮮明さに差異は現れない。

対応問題画像の果実像の並び方には、同図のように左右両画像で各果実像の順序が同一の場合（同順並びと呼称、以下同様）のほか、順序が逆転する場合（逆転並び）、類似果実が重なり合って投影される場合（重なり）、果実の一部又は全部が枝葉などに隠れている場合（隠れ）がある。これらのうち、逆転並び以外は共通の性質を持つので、はじめにそれらについて考察する。

偽像の発生位置は類似果実との相対的な位置関係で幾何学的に決まるので、その点に着目し、典型例として図4.2のように、一対の円板が同じエピポーラ線上にあり、それらの投影像の色と形状が全く同じ場合を取り上

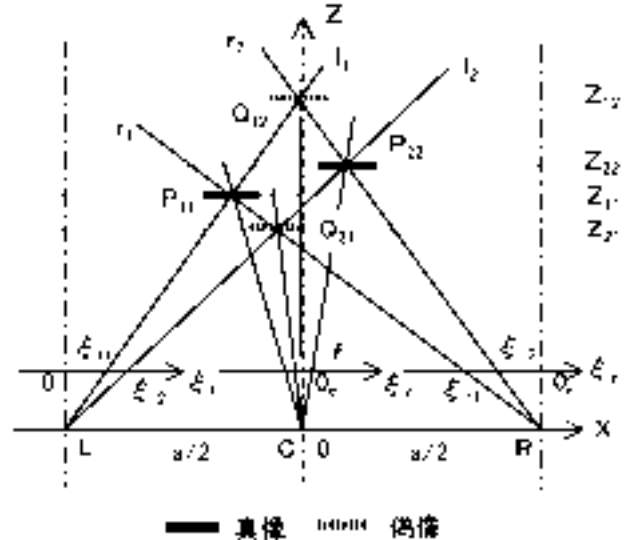


図4.2 偽像の発生位置

Fig. 4.2 Causative positions of false images.

げる。同図で、一対の円板 P_{11} と P_{22} の中心は同一のエピポーラ平面上にある。左右のカメラ(L, R)からの視線 l_i 及び r_j ($i, j = 1, 2$) が、それぞれのレンズ中心と撮像面の投影像中心を通して各円板上で交差するとき、偽像は Q_{12} と Q_{21} の位置に発生する。なお、各視線の交点における記号の添字は、1番目が左視線、2番目が右視線の番号を表す。その他の記号とXYZ座標の取り方は前章と同様である。

偽像 Q_{ij} (添字 ij は12または21) のXYZ座標は、撮像面の座標 (ξ, η) と次の関係にある。

$$\left. \begin{aligned} X_{ij} &= (a/2) \cdot (\xi_{li} + \xi_{rj}) / \Delta \xi_{ij} \\ Y_{ij} &= a \cdot \eta_l / \Delta \xi_{ij} = a \cdot \eta_r / \Delta \xi_{ij} \\ Z_{ij} &= a \cdot f / \Delta \xi_{ij} \end{aligned} \right\} (4.1)$$

ここで、 $\Delta \xi_{ij}$ は撮像面上の視差 ($= \xi_{li} - \xi_{rj}$) [mm], f は焦点距離 [mm], a は左右カメラの光軸間距離 [mm]。

一方、合成中央画面上の座標 (x_{cij}, y_{cij}) [画素]と視差 s_{ij} [画素]を用いれば、次式のようになる。なお、画面上の数値は画素数であり、整数として表されるので、XYZ座標値は近似値になる。

$$\left. \begin{aligned} X_{ij} &= a \cdot x_{cij} / s_{ij} \\ Y_{ij} &= a \cdot y_{cij} / s_{ij} \\ Z_{ij} &= a_d \cdot a \cdot f / s_{ij} \end{aligned} \right\} (4.2)$$

ここで、 a_d は撮像面に対するモニタ画面の比例定数 [画素/mm]。

円板 P_{ii} (添字 ii は11または22) に関する合成中央画面上の x 座標を x_{cii} [画素], 視差を s_{ii} [画素]すると、

$$\left. \begin{aligned} x_{cij} &= (s_{ii} - s_{jj}) / 4 + (x_{cii} + x_{cjj}) / 2 \\ s_{ij} &= (s_{ii} + s_{jj}) / 2 + (x_{cii} - x_{cjj}) \end{aligned} \right\} (4.3)$$

式(4.3)より、偽像は一対の真の合成像に挟まれた区間に発生し、次の関係が成立する。

$$\left. \begin{aligned} X_{c12} + X_{c21} &= X_{c11} + X_{c22} \\ S_{12} + S_{21} &= S_{11} + S_{22} \\ 1/Z_{12} + 1/Z_{21} &= 1/Z_{11} + 1/Z_{22} \end{aligned} \right\} (4.4)$$

2) 偽像の性質 注視距離 Z_g が一對の円板の距離 Z_{22} か Z_{11} の付近にあり、その探索範囲が偽像の距離 Z_{21} または Z_{12} まで及ばなければ、前章の手法でも偽像位置での合成は行われないので、偽像は発生しない。この関係を利用すれば偽像を抑制することは可能である。ただし、測定開始当初は、円板、偽像の両視差距離とも不明であるから、上述の関係式は使えない。

次に、対象物の注目点が Z_g において合成画面の中央に来るように合成位置を調整した場合、注目点と偽像の発生位置の関係は次のようになる。図 4.2 において、左画像で注目点を円板 P_{22} に設定すると、 Z_g が Z_{22} 付近であれば、合成画面では点 C からの中央視線が図示のように l_2 と Z_{22} の交点を通るので、中央に P_{22} の真像、その左側に偽像 Q_{12} と Q_{21} が検出される。一方、 Z_g が Z_{21} 付近のときには、中央視線が l_2 と Z_{21} の交点を通るので、偽像 Q_{21} が合成画面の中央に現れる。すなわち、合成画面中央の注目像が真像となり偽像と区別できるのは、 Z_g が対象物付近に設定された場合のみである。

なお、同図は一對の円板像が左右画像で同じ順序になる同順並びの例であるが、もし円板が Q_{12} と Q_{21} の位置にあれば、左右画像の投影像は順序が逆転する逆転並びとなり、偽像の発生位置は一對の真像の外側 (P_{11} と P_{22} の位置) になる。

また、左右画像の同一水平線上に類似の円板像が N 個ずつある場合、偽像の発生個数は最大で $N \cdot (N - 1)$ 個になる。

(2) 左右眼の同側視野合成と偽像の関係

1) 同側視野の特徴色量の比較 視差距離断面の注目範囲が左右両画像で完全に対応していれば、それに相当する部分に含まれる特徴色の総量は左右各画像で当然等しくなると予想される。例えば、図 4.2 で Z_{22} 断面に関する円板特徴色の総量は、左右画像とも P_{22} の分だけであり等しい。ただし、注目範囲が P_{11} を含む大きさであれば、 Z_{11} 断面でも Z_{22} 断面と同じ量になり、これだけでは左右画像の対応の適否を判別することはできない。

ところで、人間の視覚系では、図 3.1 (a) のように左右眼各網膜の同一側で半分ずつに分かれた視神経が視交叉によって同じ経路を辿り、後頭部の第 1 次視覚野で整然と配列されてハイパーコラムを形成する。その部分には二つの眼で見た物体を一つに融合して認識するための機能があると解釈されている。本節では、その構造に類似させて図 4.3 のように、左右各カメラからの視線が交差する点を中心に左右の領域に分け、同じ側（同側視野と呼称、例えば左視線左側と右視線左側）に含まれる特徴色量の比較を考える。なお、同図の共通領域については本節後半で述べる。

いま、左視線 l_2 で P_{22} を注目する場合で、視差距離 Z_s

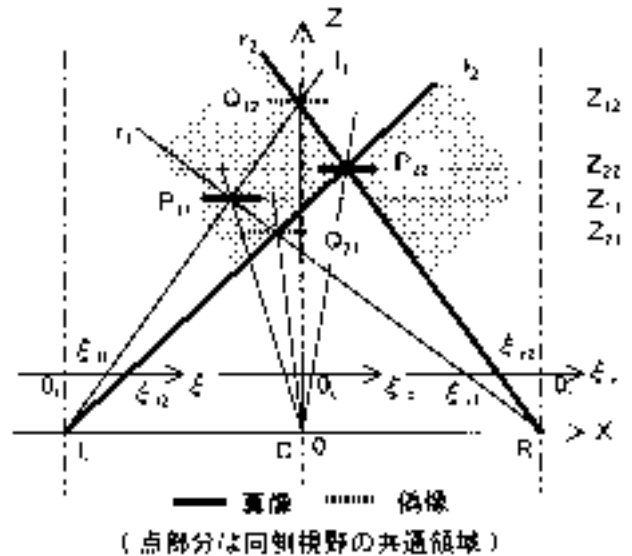


図 4.3 左右視線による同側視野
Fig. 4.3 The same half-side of the visual area, which is divided by left and right eye-lines.

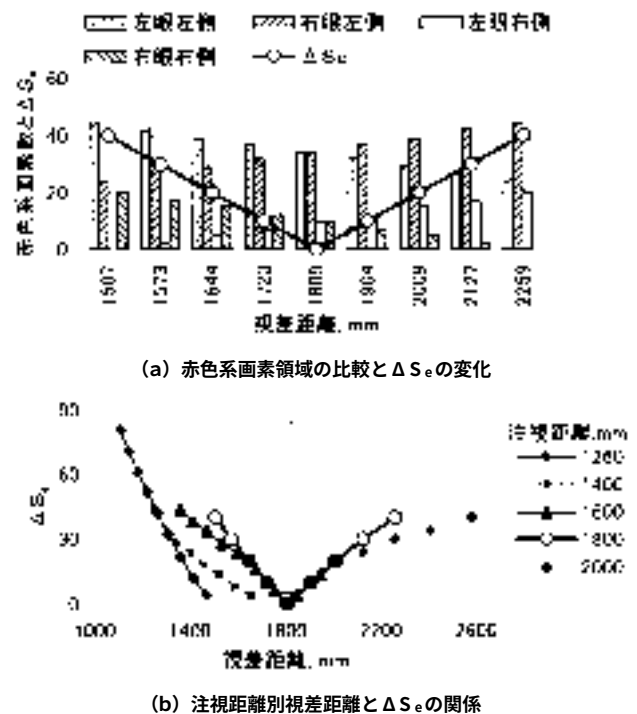


図 4.4 同側視野の赤色系画素領域の比較例

Fig. 4.4 An example of comparison in red pixel area conducted at the same half-side of the visual area: (a) comparison of red pixel area and change of ΔS_e , (b) relationships between distances by disparity and ΔS_e .

が P_{22} の距離 Z_{22} に等しいとき、同図のように右視線 r_2 が P_{22} を通るので、 P_{11} を含めて左同側視野の特徴色量は、左画像と右画像がともに円板 1.5 個分、右の同側視野ではそれぞれ 0.5 個分となり、左右両画像のそれぞれの同側視野分が一致する。それに対し、 Z_s が P_{22} より前

方の Z_{11} にあるときは, r_2 が l_2 と Z_{11} の交点を通るので, 左同側視野について左画像が 1.5 個分と右画像が 1 個分, 右同側視野についてそれぞれ 0.5 個分と 1 個分となり, 両方の同側視野分がともに一致しない。

上述の内容を円板実験で検証した結果は, 次の通りであった。図 4.4 (a) は, 赤色円板 (紙製, 直径と距離は左円板が 60mm と 1,627mm, 右円板が 70mm と 1,838mm) を図 4.3 と同様に配置し, 左右各画像の x 軸上の赤色系画素数が左右の同側視野でどのような状態かを Z_s を変化させて調べた例である。撮影は試作ステレオ視システムで行い, 右円板 P_{22} (画像径 24 画素) の中心を注目点とし, 走査範囲を 160×120 画素とした。その結果, 左右各画像の赤色系画素数は縦棒で示すようになり, 左右それぞれの同側視野で両画像分の差は P_{22} の Z_s で最小となった。その前後の Z_s では増加する傾向となっており, 前述の予想と一致した。

ここで, 左右それぞれの同側視野に関する赤色系画素数の差 (ΔS_l , ΔS_r) を絶対値で表し, Z_s ごとの合計を ΔS_e で表す。すなわち,

$$\Delta S_e = |\Delta S_l| + |\Delta S_r| \quad (4.5)$$

ΔS_e の値は, 左右同側視野の一方または両方における特徴色量の増減で変化するため, 同図の折れ線のように P_{22} の Z_s を中心に凹型に変化した。

図 4.4 (b) は, 上記と同じ注目点について, Z_g をパラメータとし, その前後における Z_s と ΔS_e の関係を調べた結果である。各 Z_g の視差刻みを 5 画素, 視差距離断面数を 9 個とした。 ΔS_e は, Z_g が P_{22} の手前側であれば減少傾向に, P_{22} の位置では凹型に, 後方側であれば増加傾向になった。すなわち, ΔS_e の増減傾向を調べれば, Z_g と対象物との前後関係が把握でき, 左右両画像の視差距離断面の対応を取ることが可能であった。

なお, 特徴色量の比較と ΔS_e によって視差距離断面の対応の判別が可能なのは, 一対の物体が互いに同側視野の共通領域にあり, その領域の特徴色量が左右画像で同じ場合である。同順並びがそれに該当し, 逆転並びには適用できない。また, 同順並びでも重なりや隠れがあるときには, 特徴色量が左右両画像で等しくないのが有効とは限らない。

2) 同側視野の合成とその性質 上述の方法によって左右両画像の対応する視差距離断面が判明すれば, 前章の手法でも探索距離範囲を狭くすることにより, 偽像の抑制は可能である。しかし, その許容範囲は明確でない。そこで, 左右眼の同側視野の共通領域で合成を行うことを考え, それを同側視野合成と呼ぶことにする。それに対し, 前章の合成方式を単純合成と呼称する。

具体例を図 4.3 で説明すると次のようになる。 P_{22} の中心を注目点として同側視野合成を行う場合, P_{22} ではその像の左半分が左同側視野内で, 右半分が右同側視野内でそれぞれ合成される。 P_{11} では像の全体が左同側視野内で合成される。一方, 同側視野共通領域の境界上に

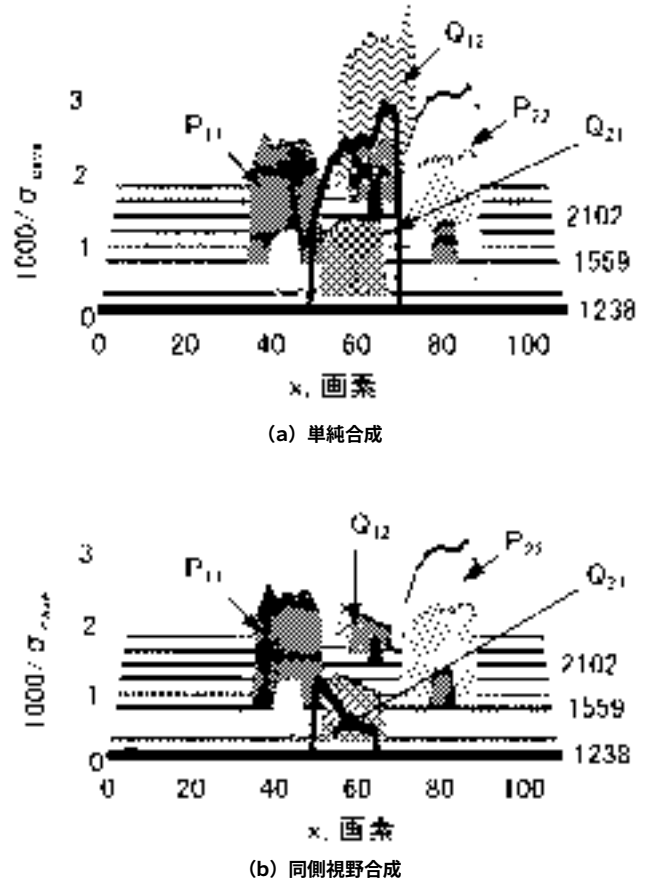


図 4.5 合成像領域における RGB 濃度の平均分散逆数値の分布例

Fig. 4.5 An example of distribution of inverse values on σ_{cave} of RGB degrees in a composite image area: (a) a simple composition, (b) a composition at the same half-side of a visual area.

ある偽像 Q_{21} では, その左半分が右画像における P_{11} 像の左同側視野分と左画像における P_{22} 像の左同側視野分で合成されるが, 右半分は同側視野共通領域の外なので右画像における P_{11} 像の右同側視野分だけとなり, 類似像との合成は起こらない。偽像 Q_{12} も同様である。それらの非合成部分では色調が異なり横縞状態になるので偽像の鮮明さは大幅に低下する。

ここで, 円板全幅分を計算範囲として, 各合成像の RGB 濃度平均分散 σ_{cave} を比較すると, 偽像の非合成部分が極大となるため, 偽像全体としては真像よりかなり大きな値となる。

図 4.5 は, 図 4.4 の円板実験画像について Z_g を両円板の中間付近とした場合の単純合成と同側視野合成の比較例である。縦軸には σ_{cave} の逆数を 1,000 倍した値を, 奥行き方向には Z_s をとって三次元で示した。単純合成では, 同図 (a) のように偽像の σ_{cave} が真像と同様になるため, ピークもほぼ同じ高さになった。しかし, 同側視野合成では, 偽像の σ_{cave} は真像よりかなり大きくなるため, 偽像のピークは同図 (b) のように抑制されており, 上述の内容が確認された。

ここで、もし注目点を P_{22} 上で横方向に移動させれば、同側視野の共通領域に対する偽像の位置が変わるため、偽像のピークが変化する。また、 Z_g が偽像の発生位置付近に設定された場合には、注目対象物が同側視野共通領域の境界部分となるため、合成画面には真像が現れない。すなわち、同側視野合成の偽像抑制に対する効果は、注目点及び Z_g の設定状態に影響される。

(3) 偽像の抑制対策

1) 抑制対策の考え方 偽像発生が距離測定に影響を及ぼす主な状況には、注目した対象物の合成像が偽像の場合と、周囲の偽像によって真像の視差距離が変化する可能性がある。現行の TV カメラの撮影方式による限り、前項の手法でもそうした偽像の発生を全て抑制することは困難である。しかし、注目対象物とその周囲に限定して、それらの三次元情報が偽像によって影響されないことを基本方針とすれば、前項の手法は、現行の TV カメラ画像に対しても利用できる。

なお、偽像抑制対策に関連して、探索距離範囲に偽像発生位置が含まれないようにするためには、 $\delta(n-1)$ 値と視差 s の間に次の条件が成立しなければならない。

a) 合成像の場合：偽像までの視差区間の半分を許容限界として、

$$\left. \begin{aligned} \delta \cdot (n-1) &< s_{21} - \max(s_{11}, s_{22}), \\ \delta \cdot (n-1) &< \min(s_{11}, s_{22}) - s_{12} \end{aligned} \right\} (4.6)$$

より、

$$\delta \cdot (n-1) < (x_{c22} - x_{c11}) - |s_{11} - s_{22}| / 2 \quad (4.7)$$

b) 原画像の場合：

左画像： $\delta \cdot (n-1)$

$$< (x_{l2} - x_{l1}) - \{(s_{22} - s_{11}) + |s_{11} - s_{22}|\} / 2$$

右画像： $\delta \cdot (n-1)$

$$< (x_{r2} - x_{r1}) + \{(s_{22} - s_{11}) - |s_{11} - s_{22}|\} / 2 \quad (4.8)$$

ただし、注視距離が実距離から大きく離れる場合は、上記条件でも偽像が発生する場合があるので、同側視野に関する色特徴量条件が満足されるかどうかを調べる必要がある。

同側視野の色特徴量条件が満たされるとき、同側視野合成で得られる合成の中央像は真像とみなすことができる。その場合に色特徴分布及び距離分布に関する画素情報は適切なものになる。すなわち、三次元のカラー画像と距離画像が合成によって復元されることになる。

2) 画像処理手順の例 前章で述べた処理手順と合わせて、対応問題画像も含めた本研究の画像処理手順は図 4.6 に示すようになる。まず、①ステレオ視システムを調節して画像入力を行い、②前処理後実領域を特定する。次に③左画像で注目点と走査範囲を決め、④注視距離・視差刻みを与えて探索範囲を指定し、⑤同範囲内の視差距離と ΔS_e の関係を調べる。さらに⑥ ΔS_e が最小のときの視差距離で同側視野合成を行って視差距離断面

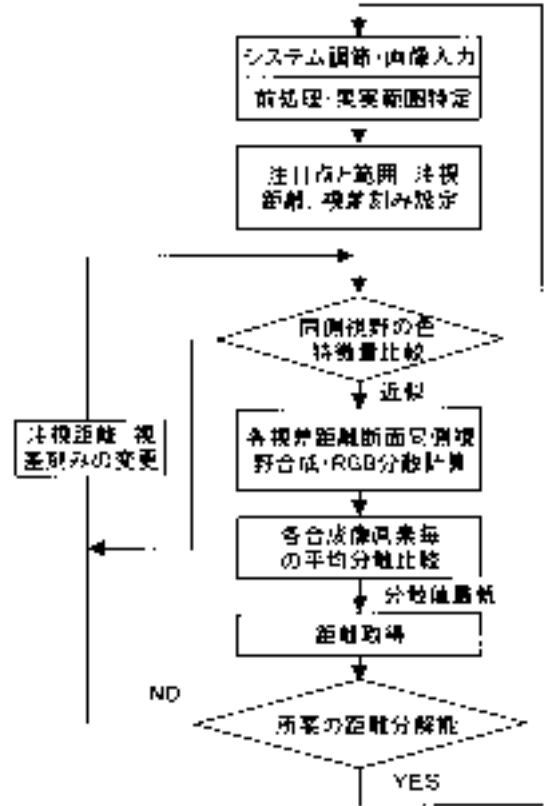


図 4.6 偽像の抑制を考慮した処理手順

Fig. 4.6 Procedure of image processing for considering restraints of false images.

内の σ_{cave} を算出したのち、⑦各断面の画素ごとに σ_{cave} を比較し、各画素の視差距離を決定する。

3. 対応問題画像の処理例

(1) 左右画像における同順並び

同順並びの個数が多い例として、4 個の並びに対し前節の手法を適用した結果を以下に示す。図 4.7 (a) は、左右画像への投影像がほぼ同じ形状になるように選定した 4 個の赤色円板（紙製、直径 70 ～ 80 mm、厚さ 2 mm）の原画像（円板像径 30 ～ 39 画素）である。ステレオ視システムは 2 章と同じものである。カメラ前端から各円板までの距離は、左側から順に 1,465 mm, 1,587 mm, 1,436 mm, 及び 1,550 mm であり、背景は青色紙とした。

1) 偽像の発生位置 偽像の発生位置は、図 4.7 (b) の模式図のように左右両視線の交点上となり、最大個数は 12 ($= 4 \times 3$) 個である。左視線上で見たとき各円板の前方と後方に位置する偽像個数は、 P_1 ではそれぞれ 0 個、3 個、 P_2 では 1 個、2 個、 P_3 では 2 個、1 個、 P_4 では 3 個、0 個となり、 P_3 の手前側に集中した。

ここで、左右両視線が交差する注目点を P_3 の中心に取ると、同側視野の共通領域は、太実線で示される視線の左右両側となり、同図 (b) の点領域で表される。そのとき、偽像のうち P_3 の手前側の 2 個が共通領域外、3 個が境界線上となった。結局、同側視野合成では、偽

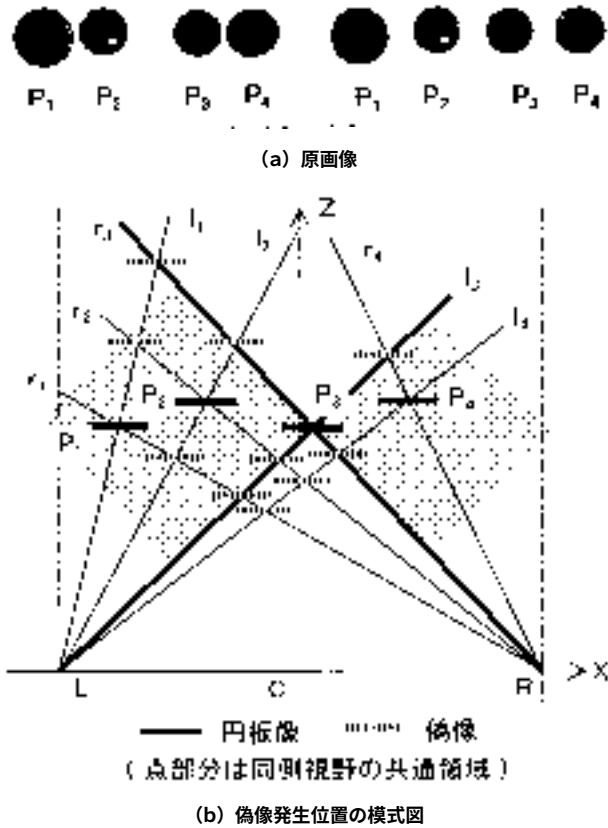


図4.7 同順並び画像の例

Fig. 4.7 Symmetric images in the same order at the left and right images: (a) a pair of original images, (b) a schematic figure on causative positions of false images.

像全数12個のうち P_1 の後方1個と P_2 の前方1個を除く10個が共通領域外か境界線上に位置することになるので非合成状態となり、それらの発生が抑制されると予想される。

また、注目点が P_1 の場合、同側視野の共通領域内に存在する偽像個数は6個、 P_2 では2個、 P_4 では6個となり、同側視野合成の抑制効果は、4個の円板のうち外側の2個では内側の2個より少ないが、偽像の多くは注目対象から離れた位置にあった。

2) 注視距離と ΔS_e の関係 注目点を左画像の P_2 ($Z_0 = 1,587\text{mm}$)の中心に取り、走査範囲を 160×120 画素、視差刻み δ を5~8画素、視差距離断面数 N を9個、 Z_g を1,200mm, 1,600mm, 及び2,000mmに設定して、同側視野合成を行った結果例を図4.8に示す。同図(a)は、各 Z_g における合成状態である。計算結果では、合成が Z_g の前方から後方に進むに従い、左画像は左から右へ、右画像は右から左へと移動し、 Z_g に最短の Z_s で左画像の注目点が合成像の中央に来る。したがって右画像の P_2 像は、 Z_g が Z_0 に近ければ、同図

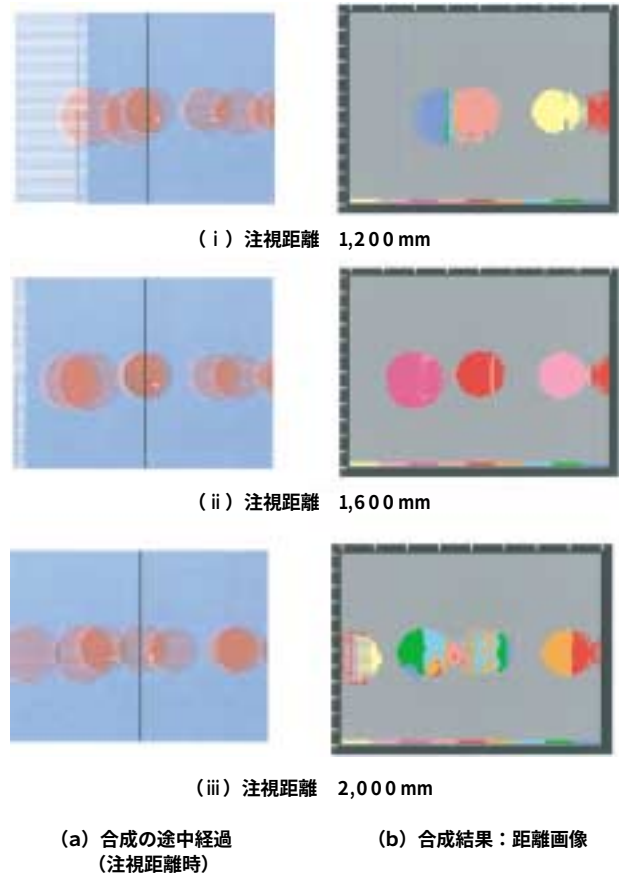


図4.8 同側視野合成による距離画像例

Fig. 4.8 An example of the results of image processing of the pair used in Fig. 4.7: (a) relationships between distances by disparity and ΔS_e , (b) an example of composite images on depth.

(捨)のように合成像の中央で左画像の P_2 像と重なり、手前側であれば中央より右側、後方であれば左側に位置する。なお、同側視野合成では Z_g から前後に離れるに従い、合成画像中央に非合成部分が現われ、その幅が次第に増加する。同図(b)は、合成像内の画素ごとに σ_{cave} 最小の基準で決定した距離画像である。図中の色区分は各画像の下辺の色段階に対応している。左側ほど手前側の Z_s を表し、中央の赤色区が Z_g に対応する。同図より、 Z_g が1,600mmのとき P_2 とその両側の円板の色区分は、実際値に近い距離で表示された。しかし、他の Z_g では偽像が発生したため、実際とは異なるの色区分で表された。

P_2 に関する Z_s と ΔS_e 及び σ_{cave} の関係は図4.9のようであった。 Z_g の範囲は1,100mm~2,600mmに拡張してある。 ΔS_e は、同図のように Z_0 付近を探索範囲とした場合(○印)にV字型になり、それ以外ではおおむね増加または減少の傾向となって現われた。ただし、 Z_g が2,600mmでは P_2 が他の円板とほぼ重なるため減少している。一方、 σ_{cave} は Z_0 付近で極小になったが、それ以外の Z_s でも偽像発生のため極小値が発生した。

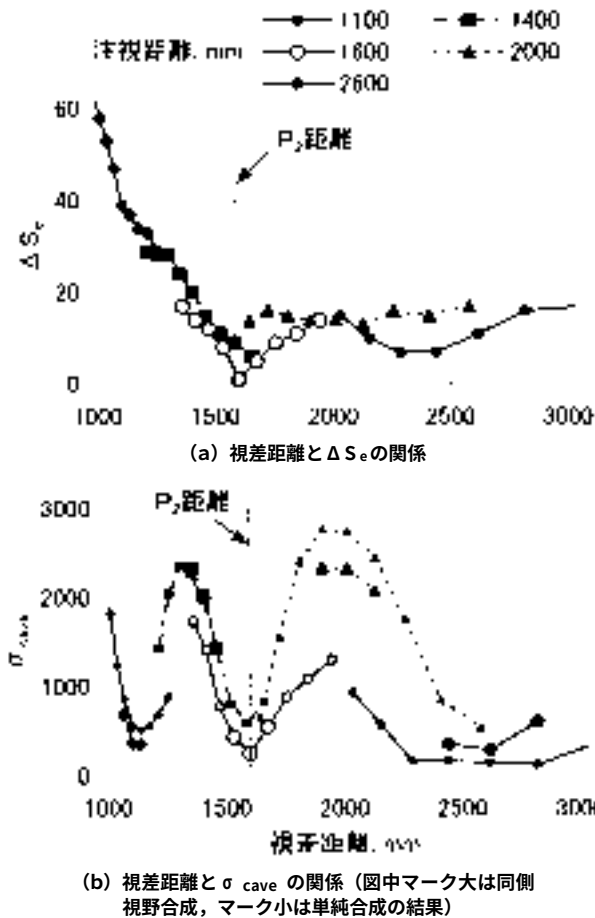
図4.9 視差距離に対する ΔS_e と σ_{cave} の関係

Fig. 4.9 Relationship of ΔS_e and σ_{cave} to distance by disparity: (a) relationship of ΔS_e to distance by disparity, (b) relationship of σ_{cave} to distance by disparity.

次に, P_3 ($Z_0 = 1,436$ mm) について上述と同様の処理を行った結果を図 4.10 に示す。 Z_s に対する ΔS_e の変化は, 同図 (a) のように, Z_g が P_3 のかなり前の 1,000 mm では減少, 1,400 mm では V 字型, 1,800 mm では増加の傾向になり, ΔS_e 最小時の距離が P_3 に近似した。 Z_s と σ_{cave} の関係は, 同図 (b) のように, Z_0 付近のほか 1,050 mm と 2,100 mm 付近で極小になった。

以上のように, 同順並び画像の場合, σ_{cave} 最小基準だけでは判断を誤り偽像の距離を採用する懸念があるが, ΔS_e の増減傾向も合わせて調べることで適切な判定が可能になる。ただし, ΔS_e の値は, 類似の色特徴像の配列や背景の状態及び注目範囲の選定状況によっても影響を受けるので注意が必要である。

3) 同側視野合成と単純合成の結果 Z_0 付近での P_3 の合成像は, 同図 (c) に示すようになり, 単純合成では P_3 の右側と P_2 の左側に黄色区分 (最短距離区) の偽像が発生したが, 同側視野合成ではそうした影響は見られず, 前述の模式図で予想した結果の通りであった。

他の円板を注目対象にした場合もほぼ同様の結果であり, 距離の測定誤差はいずれも $\pm 2\%$ 以内であった。

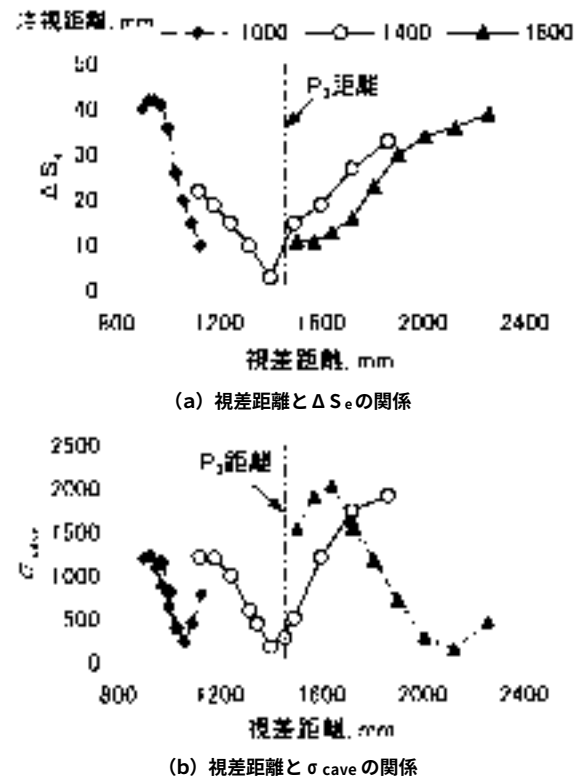
図4.10 視差距離と ΔS_e 及び σ_{cave} の関係並びに距離画像 (円板 P_3 を対象)

Fig. 4.10 Relationship of ΔS_e and σ_{cave} to distance by disparity, and a depth image on an image of the circle plate of P_3 : (a) relationship of ΔS_e to distance by disparity, (b) relationship of σ_{cave} to distance by disparity, (c) depth images of a simple composition and a composition at the same half-side of a visual area.

(3) 重なりと隠れ

同順並び画像の中でも, 果実の重なりや隠れがある場合には, 一般に同側視野の特徴色量が左右画像で異なるので, ΔS_e や同側視野合成が有効かどうかは一概に言えない。

一例として, 図 4.11 (a) のように, カメラからの距離が異なる 3 個の赤色円板 (直径 60~80 mm) がほぼ同一のエピポーラ平面上に並び, 左画像では円板 P_3 の一部が, 右画像では円板 P_2 の一部がそれぞれ手前の緑色葉状物 S の陰になっている場合について検討する。 Z_0 は, P_1 , P_2 , 及び P_3 がそれぞれ 1,628 mm, 2,390 mm, 及び 1,936 mm, S が 1,630 mm であった。各円板と葉状

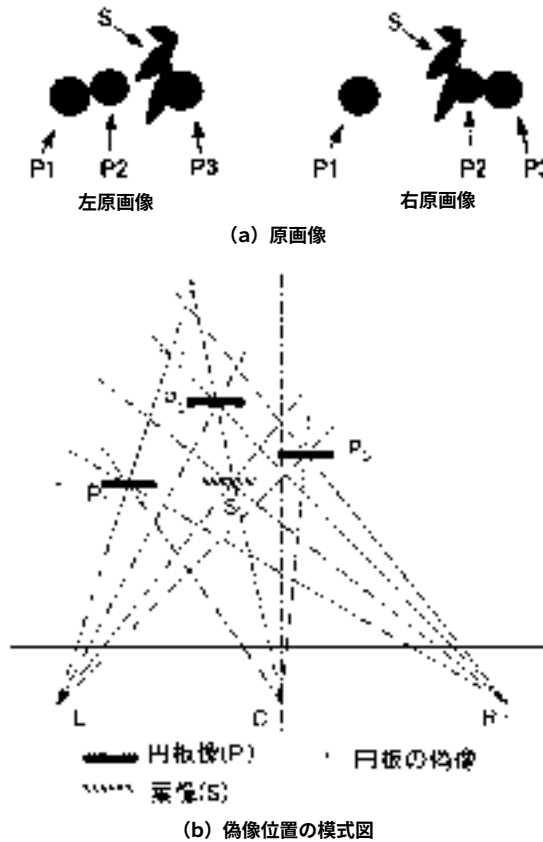


図 4.11 隠れ画像の処理例

Fig. 4.11 An example of the image processing for a pair of images under the condition of occlusion: (a) a pair of original images, (b) a schematic figure on causative positions of false images.

物の配置は、平面図で見ると同図 (b) の通りであり、偽像は左右両視線の交点に合計 6 個発生する。

中央の円板 P_2 に関する Z_s と ΔS_e の関係を図 4.12 (a) に示す。 Z_g は Z_0 付近の 2,400 mm を挟んで、2,000 mm, 2,800 mm の 3 種とした。 ΔS_e の増減傾向は、同図のように、 P_2 の Z_0 付近で V 字型に変化して最小になり、それより前方では減少、後方では増加となった。なお、 ΔS_e の最小値は、葉状物 S の影響で片方の同側視野の赤色領域が削減されるため、零にはなっていない。

P_2 に関する Z_s と σ_{cave} の関係は、同図 (b) のようになり、 Z_g が Z_0 付近と 2,800 mm 付近のとき σ_{cave} が極小であった。 $Z_g = 2,800$ mm の合成像は、同図 (c) のように左画像の P_1 と P_2 の像に右画像の P_2 と P_3 の像がそれぞれ重り合って生じた偽像のため、 σ_{cave} が小さくなったものである。この結果のみではそれが偽像かどうかの判断は困難であるが、 ΔS_e は Z_s に対して増加傾向にあることから、偽像の判定が可能である。他の 2 枚の円板に関する ΔS_e も、図 4.13 (a) のようにそれぞれの Z_0 付近で最小になった。

各円板の同側視野合成の結果は、 P_2 について図 4.12 (c) に、 P_1 と P_3 について図 4.13 (b) にそれぞれ示

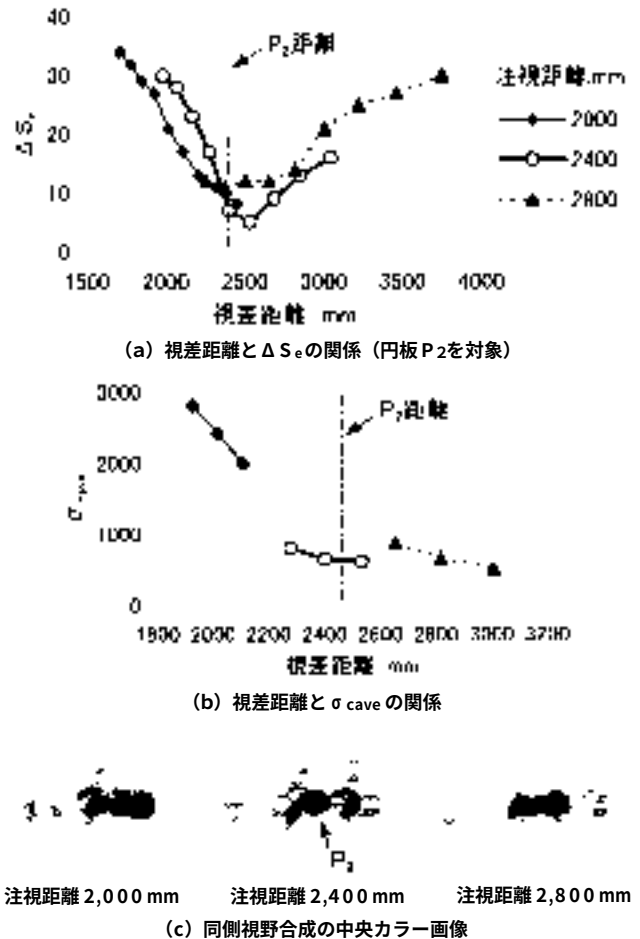

 図 4.12 隠れ画像の処理結果例 (円板 P_2 を対象)

Fig. 4.12 An example of processing results on occluded pairs of images in objecting a circle plate of P_2 : (a) relationship of ΔS_e to distance by disparity, (b) relationship of σ_{cave} to distance by disparity, (c) Three examples of composite color images at the same half-side of the visual area.

したように、それぞれの Z_0 付近で鮮明な像が得られた。また、葉状物 S についても図 4.13 (b) のようにその Z_0 付近で鮮明になった。各円板の距離誤差は 3 % 以下であった。

以上のように、果実の重なりや隠れがあるステレオ視画像でも、隠れ状態があまり大きくない場合には上述のように有効であることが分かった。なお、重なりや隠れの程度と ΔS_e の有効性との関係はさらに検討する必要がある。

(3) 左右画像における逆転並び

前節で触れたように、逆転並びの画像では同側視野に関する特徴色量の比較は有効ではないので、 ΔS_e を利用した対応づけはできない。その対策として、例えば左右各カメラの合焦が注視距離の前後の狭い距離範囲だけでなされるように調節できれば、片方の果実に焦点を合わせたとき、他方の果実は焦点範囲外となるので、偽像の発生が抑制されると予想される。もっとも、実際のリ

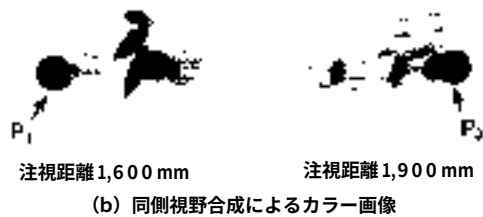
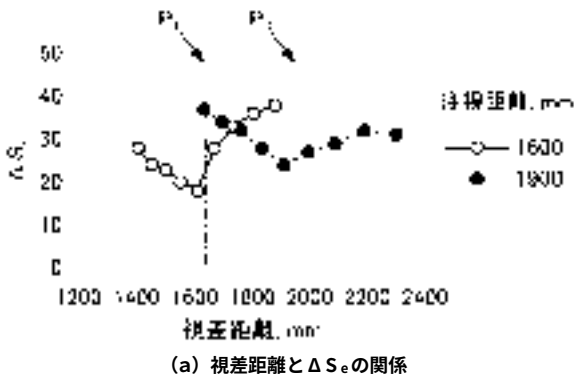


図 4.13 隠れ画像の処理結果例 (円板 P_1 と P_3 を対象)

Fig. 4.13 Examples of processing results on occluded pairs of images in objecting a circle plate of P_1 and P_3 : (a) relationship of ΔS_e to distance by disparity, (b) Two examples of composite color images at the same half-side of the visual area.

リンゴ園では逆転並びが主になる果実画像はまれであり、またそのような場合でも、一対の果実像のうち後方の果実像の寸法が一般に前方の果実像より小さくなるので、距離計測上の実質的な影響はそれほど大きくない。

4. リンゴ園果実画像への適用

(1) 実験方法

リンゴ園果実画像に対する本章の手法の適用性を検討するため、弘前市内にある普通栽培リンゴ園の赤色系品種ふじを実験対象にした。1998 年 10 月 24 日から 10 月 30 日まで、収穫期の果実が樹冠内に密集している状態を選んで、前章のステレオ視システムで撮影し、パソコンのハードディスクに保存した後、研究室に持ち帰って画像処理を行った。

撮影距離は約 1.2～4.2m の範囲にとり、カメラ焦点距離は主に 8.6～13.7mm を使用し、合焦、絞り、ホワイトバランス等は自動調節によった。画像処理は第 3 章の手順に従い、走査範囲を 180×120 画素、視差刻みを 5～3 画素、視差距離断面数を 9 個、RGB 濃度分散 σ_c の計算範囲を上下 4 画素、平均分散 σ_{cave} の比較計算範囲を 21～41 画素として行った。

(2) 適用結果と考察

1) 処理結果例 晴天の順光下で撮影した画像の中から果実の並びや重なり・隠れの見られるもの 14 組を選び、それらの画像内から同順並び部分 16 組 (同一水平上に 2～4 個)、果実の重なり部分 12 組 (重なり度合い 10～80%) を処理対象にした。



図 4.14 リンゴ果実の重なり画像例

Fig. 4.14 A pair of overlapping original images of the 'Fuji' variety of apples.

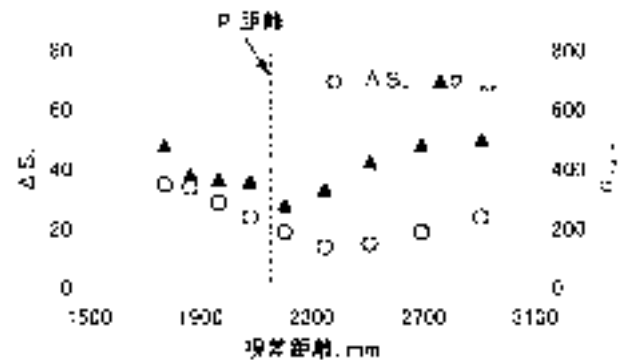


図 4.15 視差距離に対する ΔS_e と σ_{cave} の関係

Fig. 4.15 Relationships among distances by disparity, ΔS_e , and σ_{cave} .

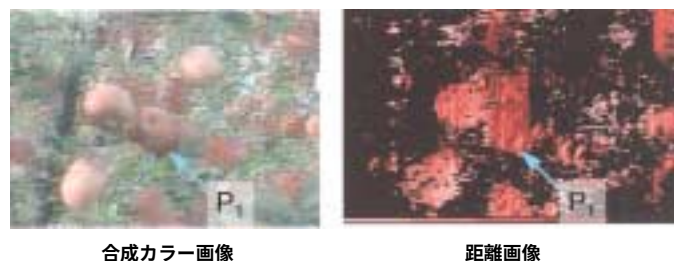


図 4.16 同側視野合成の処理結果例

Fig. 4.16 An example of composite image processing at the same half-side of the visual area.

それらの中から、重なり画像の処理結果例を図 4.14～4.16 に示す。図 4.14 で、左右各画像中央付近の果実は、左上手前から右下後方へ重なり状態 (約 50%) にあり、高さ位置がやや異なる。その中の果実 P_1 (直径 87mm, 距離 2,136mm) を注目対象にして測定処理を行った。

同果実に関する視差距離と ΔS_e 及び σ_{cave} の関係は図 4.15 のようになり、 ΔS_e が実際の距離及び σ_{cave} が最小時の距離より 1 視差刻み分後方の距離で最小になった。これは対象果実の背景にある果実群の色調による影響のためである。画像状態にもよるが、 σ_{cave} 最小時の距離との差が 2 視差刻み分以内であれば、 ΔS_e の結果を利用

した注視距離と探索範囲の設定により、 P_1 付近の偽像を抑制して距離を推定することが可能であった。

図 4.14 の両画像に対して同側視野合成（視差刻み 3 画素）を行った結果を図 4.16 に示す。合成カラー画像では、探索範囲内にある P_1 とその周囲がほぼ鮮明な像で表された。距離画像では、 P_1 及びその周囲の果実が概ね実距離に近い値で表示された。なお、果実の表面が縞状になって輪郭が不明確であるが、これは果実像と周辺との RGB 濃度差が類似し、誤対応が生じたことによる。

実験に供試した前述の処理対象画像全てについて、 σ_{cave} が最小になる距離と ΔS_e が最小になる距離を比較した結果、同順並び画像では、両距離の一致が 40 %、 ± 1 視差刻み分の差が 25 %、 ± 2 視差刻み分が 25 %、 ± 3 視差刻み分以上が 10 %となり、 ± 2 視差刻み以下の割合は 90 %であった。重なり画像では、それぞれ 0 %、50 %、30 %、20 %で、 ± 2 視差刻み以下の割合は 80 %となったものの、一致は見られなかった。

上記の差が生じた理由としては、いずれの画像も背景の果実による影響で誤対応の発生が挙げられる。比較的大きな他の果実像領域が注目果実像付近にあるか、走査範囲の境界付近にあるような場合に、その影響を受けやすかった。また、注目果実と同一水平行上にある他の果実が、片方の画像で枝葉によって隠された場合もあった。なお、撮影距離の影響は、注目果実像の幅が 20 画素以上であれば、ほとんど見られなかった。

同側視野合成の結果は、合成カラー画像、距離画像とも概ね図 4.16 と同様の傾向であり、注目した果実の距離測定精度は約 5 %であった。重なり画像では、重なり度合いが約 50 %以下のとき、果実同士を分離できる場合が多かった。

2) 本手法の適用性に関する考察 リンゴ園果実画像が同順並びの場合には、 ΔS_e を利用して視差距離断面のおよその対応づけが可能なが分かった。重なりや隠れ画像の場合にも一応利用できるが、 ΔS_e の最小値が背景や周囲の果実像の影響を受けやすいので、諸要因との関係をさらに検討する必要がある。

同側視野合成は、左右画像の視差距離断面についておよその対応を取ることができれば、リンゴ園果実画像の偽像抑制にも有効なが分かった。ただし、図 4.16 の距離画像で最白色部分に見られるように、同側視野合成であっても偽像の発生を抑制できない場合がある。

本手法によるリンゴ園での距離精度は、前述のように約 5 %であったが、この値の評価は当然作業の種類・内容によって異なる。例えば、1.5m の距離にある果実を収穫する場合にはやや過大であるが、3m 離れた果実を視認し収穫範囲にあるかどうかを判断するための精度としては十分である。

したがって実際の利用に当たっては、さらに果実の識別条件、環境条件、順光や逆光を含めた撮影条件及び画

像処理条件と距離測定性能との関係を調べ、作業内容に対応した精度を確保できるように対策を講じる必要がある。それらについては次章以降で述べる。

なお、現行 TV 方式による撮影の際には、本研究の測定原理の効果をj得るためには、注視距離に対応したフォーカスを設定し、探索距離範囲だけを鮮明な画像として入力するなどの方法が考えられる。それでもなお、逆転又は偽像の可能性がある場合には、ステレオ視システムの操作者の指示・管理が必要になる。

5. 要 約

両眼ステレオ視に関する本研究の測定原理を対応問題画像に適用するため、左右両カメラの同側視野に関する特徴色の比較と、同側視野合成による偽像抑制の画像処理手法を検討した。

その結果、同側視野の特徴色の増減傾向を調べることで、注視距離と対象物との前後関係がおよそ把握でき、左右両画像に関する視差距離断面の対応づけが可能なが分かった。同側視野合成の検討では、偽像の発生位置が同側視野共通領域の外側か境界部分になるため、その RGB 濃度の平均分散が真像よりかなり大きくなり、合成画像での偽像判別とその出現の抑制が可能と予想された。上記の手法を 4 個の円板の同順並び画像と葉状物による隠れ画像に適用したところ、視差距離断面の対応づけと合成像における偽像の抑制が可能なが確認した。

リンゴ園で晴天の順光下で撮影した種々の画像の中から選んだ果実の同順並び画像 16 組と重なり画像 12 組に本手法を適用した結果、視差距離断面の対応づけは、同順並び画像で ± 2 視差刻み分以内が 90 %、重なり画像で 80 %となり、同側視野合成によって約 5 %の精度で距離の推定が可能であった。

第 5 章 試作ステレオ視システムにおける 画像入力条件の影響

1. 緒 言

本研究におけるステレオ視計測手法の特色は、対象物の合成カラー画像と距離画像を同時に取得できるところにあり、果実とその周囲物体に関する三次元情報の適切な収集が可能になると期待される。

しかし、屋外でテレビカメラを使用する場合には、自然光の照射条件やカメラの撮影条件などによって果実や枝葉等の色調・明度が影響を受けることが指摘されている (22, 40, 65, 75, 92)。本計測システムを備えた果実収穫機による作業が、作業者の監視・補助を受けながら日中に行われることを前提にすると、上述の諸条件が本手法の距離精度にどのような影響を及ぼすかを明らかにしておく必要がある。

本章では、本研究の手法における計測誤差の発生要因を検討し、収穫期のリンゴ園で種々の画像入力条件のも

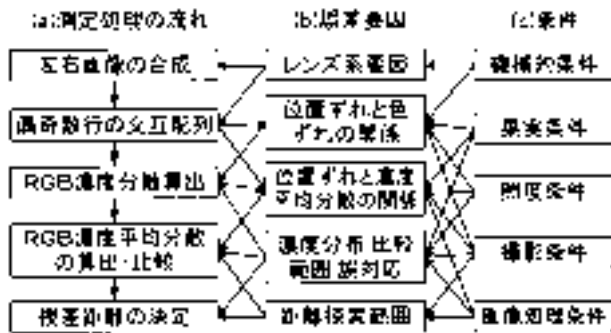


図 5.1 本手法における距離測定の誤差要因

Fig. 5.1 Error factors of distance measurement in this method.

とで試作システムによる撮影を行い、照度、果実及び撮影の各条件因子と測定誤差の要因との関係、並びにそれらの距離精度への影響について調べた (86)。

2. 本手法による距離測定の誤差要因

(1) 諸条件と誤差要因の関係

本手法の測定処理は、図 5.1 (a) の流れに沿って行われる。測定誤差は、その流れの中で、①左右画像の合成時、② RGB 濃度分散 σ_c による合成像の鮮明さ (水平間の色ずれ) の検出時、及び③平均分散 σ_{cave} による左右画像の重なり状態 (位置ずれ) の検出と比較・判定時にそれぞれ発生する可能性がある。その場合の主な要因としては同図 (b) のような項目が挙げられ、各処理との関係は矢印で示ようになる。誤差要因に対する諸条件の影響は同図 (c) の関係で表される。

上述のうち、①の左右画像の合成時に関する誤差要因は、視差距離断面ごとの合成範囲が左右両画像の左右、上下、斜め方向で適切かどうかに関係し、カメラの配置状態、レンズ系の光軸方向、光学倍率、撮影と表示の範囲など機械的な因子によって影響される。合成画面上では左右両画像の水平 (エピポーラ平面) による交互配列に影響が現れ、左右方向や上下方向の配列状態が不適切なものになる。これらの要因と影響については第 2 章のキャリブレーションの項で述べた。

②の合成像における鮮明さの検出は、 σ_c の大きさを比較することによって行われるが、位置ずれと色ずれの関係、及び位置ずれと σ_{cave} の関係の各相関が低い場合にも誤差要因として影響する。対象画像領域の濃度分散の分布状態や σ_{cave} の比較計算範囲も影響を及ぼす要因となる。これらに關与する条件には、果実では果実色と RGB 濃度分布、果実同士の重なり、果実への枝葉の重なりなど、照度条件では色温度、直射光、樹冠内散乱光、陰影など、また撮影条件では順光・逆光における露出、ホワイトバランス、撮影距離、ズーム及び焦点距離などがある。

③の左右画像の重なり状態の検出は、色ずれだけでなく、対象物の位置ずれを検出するものであり、②と同様

位置ずれと色ずれ及び σ_{cave} との関係がそれぞれ相関が高くない場合に誤差の発生要因になり得る。同時に RGB 濃度分布や σ_{cave} 計算時の比較範囲によっても影響される。また前章で述べたように、距離探索範囲の設定が過大なとき、偽像の発生につながるため誤差要因として影響を及ぼす場合がある。これらに關与する条件には、果実条件、照度条件、撮影条件、及び画像処理条件がある。

(2) 距離測定値と σ_{cave} の収束性

本手法において、距離測定値が一義的に決定されるためには、合成像の位置ずれに伴う色ずれが σ_c で確実に検出されるとともに、位置ずれと σ_{cave} の間に強い比例関係があり、視差距離の変化に従い σ_{cave} が最小値へ急速に収束することが必要である。さらに、測定精度が確保されるためには、 σ_{cave} が最小になる視差距離が実距離付近になければならない。

そこで実験では、画像入力因子の距離精度への影響を、 σ_{cave} の収束性との関係で捉えるため、視差距離に対する σ_{cave} の変化傾向、最小値レベル、及び視差単位でみた実距離との関係を中心に検討した。

3. リンゴ園果実画像における RGB 濃度分散の特徴

(1) 実験方法

1) 供試対象とステレオ視システム 1997, 1998 の両年、収穫期の 10 月下旬から 11 月上旬にかけて、弘前市近郊の普通栽培リンゴ園 (5 箇所、樹冠形状: 径約 8m × 高さ 4m) とわい化栽培リンゴ園 (2 箇所、同 4m × 3m) における収穫前の赤色系品種ふじと黄緑色系品種王林を供試対象にした。ふじの外観性状は、大きさ (胴直径 × 高さ) が 86mm × 76mm (50 個平均) で、着色は薄ピンク系赤色から濃赤色まで見られたが、概ね熟したふじ本来の赤色系が多かった。王林では、大きさが 82mm × 76mm (30 個平均) で、着色は淡緑色から黄色味の強い黄緑色系まであり、周囲の葉色とは肉眼で容易に識別できるものがほとんどであった。なお、リンゴ葉は収穫期間中ほぼ濃緑色で経過し、11 月中旬以降枯れ始め褐色系が増加した。

ステレオ視システムは、第 2 章で試作したものであり、2 台のビデオカメラの光軸間隔を 300mm (各交差角 0.1°)、ビデオキャプチャ PC カードの解像度を 320 × 240 画素 (RGB 濃度 24bit/画素) として供用した。距離校正には前章までと同様レーザ距離計の値を用いた。

2) 実験条件と方法 (射) 条件 照度条件は、快晴から曇りの天候で、午前 9 時頃から夕方 4 時 30 分頃までの間、果実面の照射状態を太陽光直射、散乱光 (曇天、樹冠内及び陰影状態) に分けて種々選定した。果実条件は、果実の密集した範囲を多く選び、個々の果実のほか、果実相互や果実と枝葉との重なり状態によって選定した。撮影条件は、カメラの方向が太陽光に対して順光または逆光になる状況のもとで、撮影距離を約 1 ~ 4.5m、ズームを広角から望遠まで (焦点距離 5.9 ~



図5.2 リンゴ園果実の画像例

Fig. 5.2 Examples of fruit images in an apple orchard.

47.2mm) の範囲で適宜設定し、露出、ホワイトバランス、合焦を自動調節として撮影した。

(捨) 撮影と画像処理の方法 供試システムの配置と方向付け及びズーム調節は、上述の画像入力条件を考慮して人手で行い、左右各カメラで順次撮影してパソコンのハードディスクに保存した。距離測定の画像処理は研究室に持ち帰って行った。

画像処理手順は、レーザ距離計の値をもとに、偽像の発生が抑制される探索範囲内で注視距離を設定することにし、3章の単純合成の要領に従った。処理条件は、レーザ距離計の測定値を注視距離に、その前後3～4視差刻み分の距離を探索範囲に、対象果実の周囲240×160画素を注目範囲にそれぞれ設定し、視差刻みを2画素、RGB濃度分散の計算画素数を上下4画素とした。平均分散の比較計算範囲は、果実像幅分の画素数に近似させるため、果実径 W_a を85mmと想定し(固定)、第2章の式(2.17)をもとにモニタ投影像幅 w_a [画素]を次式で算出した。

$$\begin{aligned} w_a &= \alpha_d \cdot f \cdot W_a / (Z_g + Z_v) \\ &= \alpha_d \cdot f \cdot W_a / (Z_g + a_0 + a_1 \cdot f) \end{aligned} \quad (5.1)$$

ここで、 α_d はスケール定数[画素/mm]、 f は焦点距離[mm]、 Z_g は注視距離[mm]、 Z_v はカメラ前端からレンズ中心までの距離[mm]、 a_0 、 a_1 は定数。なお、画像処理時間の削減を図るため、左右各画像に対する2値化、エッジ検出、領域分割等の前処理は実施しなかった。

収録・処理した左右の組画像総数は、ふじが144組、王林が42組で、計186組であった。

(2) 実験結果と考察

1) 合成画像におけるRGB濃度分散の性質 (射) 収穫期画像の果実と葉のRGB濃度 10月下旬のふじと王林の両果実及び葉の撮影画像例を図5.2に、両果実像及び葉像の明度とRGB濃度(分解能各8ビット)との関係例を図5.3(a)～(c)に示す。順光や弱逆光では明度が約90以上の場合が多く、RGB濃度は、両果実像、葉像とも明度に比例して変化し、果実像と葉像の間に較差がみられた。同じ明度で比較すると、ふじでは葉像及びRとG両濃度が異なり、B濃度が近似した。王林ではR、G濃度が葉像と近似し、B濃度が異なる傾向にあった。なお、果実と葉が隣接している状態では、一般に葉像より果実像の方が明度と彩度が高くなる場合が多く、同色系の王林像と葉像の間でもRGBの各濃度差が拡大した。一方、強逆光の場合のように明度が約70以下になると、王林はもとよりふじでも果実像と葉像のRGB濃度は近似し、それらの濃度差は僅少になった。

色相(HSI表色系(26)、赤色を 0° とし $-180 \sim 180^\circ$ で表示)は、図5.3(d)に示すように、ふじが $-30 \sim +35^\circ$ 、王林が $45 \sim 80^\circ$ 、葉が $60 \sim 130^\circ$ の範囲にあった。ただし、明度が70～90以下では両果実像、葉像とも変動が大きくなった。熟した王林果実は葉より黄色味が強い傾向にあったが、明度が約70以下に低下すると暗い色調のため肉眼でも両者の区別が困難であった。

(捨) σ_c と σ_{cave} の分布 ふじ果実画像の処理過程における σ_c と σ_{cave} の分布例を図5.4に示す。対象果実は太陽光が直射時のもので、撮影距離は2,586mmであった。

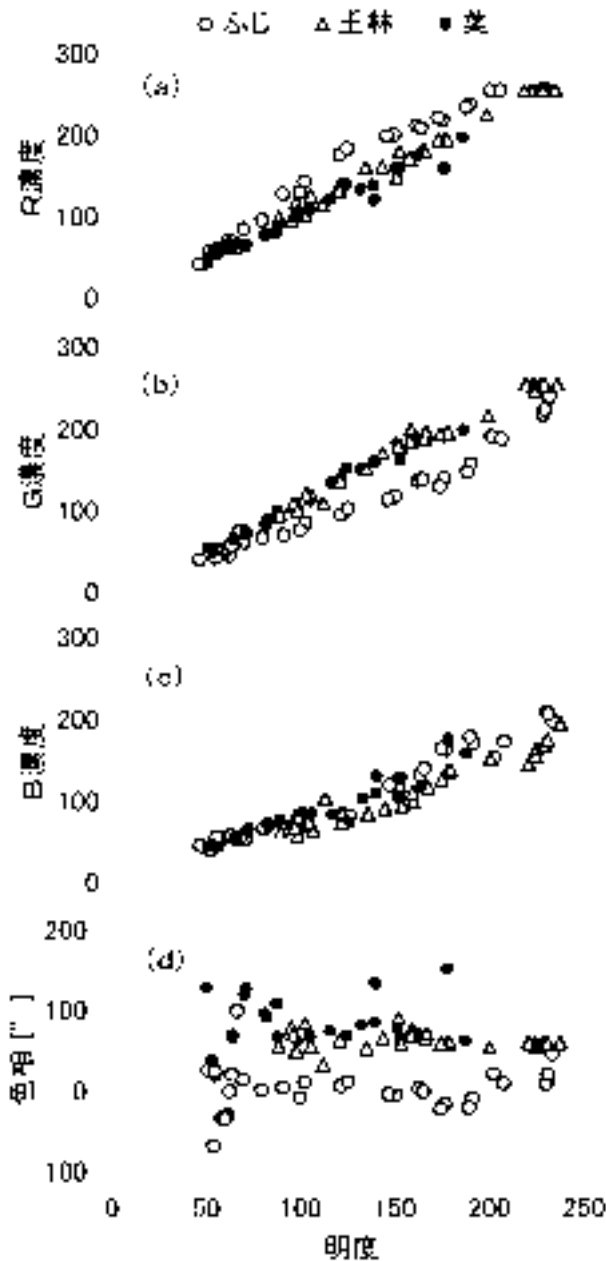


図5.3 リンゴ園における果実像と葉像のRGB濃度及び色相の比較例

Fig. 5.3 Comparison on values of RGB and Hue of fruit and leaf images in apple orchards: (a) R value, (b) G value, (c) B value, (d) Hue.

同図 (a) の最左側が左カメラによる原画像、右側2個が合成カラー画像と距離画像である。距離画像の果実像中央部分はハイライトの影響で緑色に表示されているが、距離値は正常である。

図 (b) の太実線は左右両果実像の重なりが一致した時の x 軸上の σ_c 分布である。 σ_c は、果実像内部では100以下の凹型となり、輪郭付近では内部と外部の色較差のため300～500に急増している。果実像の周囲では水平間の色ずれのため横縞模様が見られ、上下方向の画素に関するRGBの各濃度差が30～60のため、 σ_c は

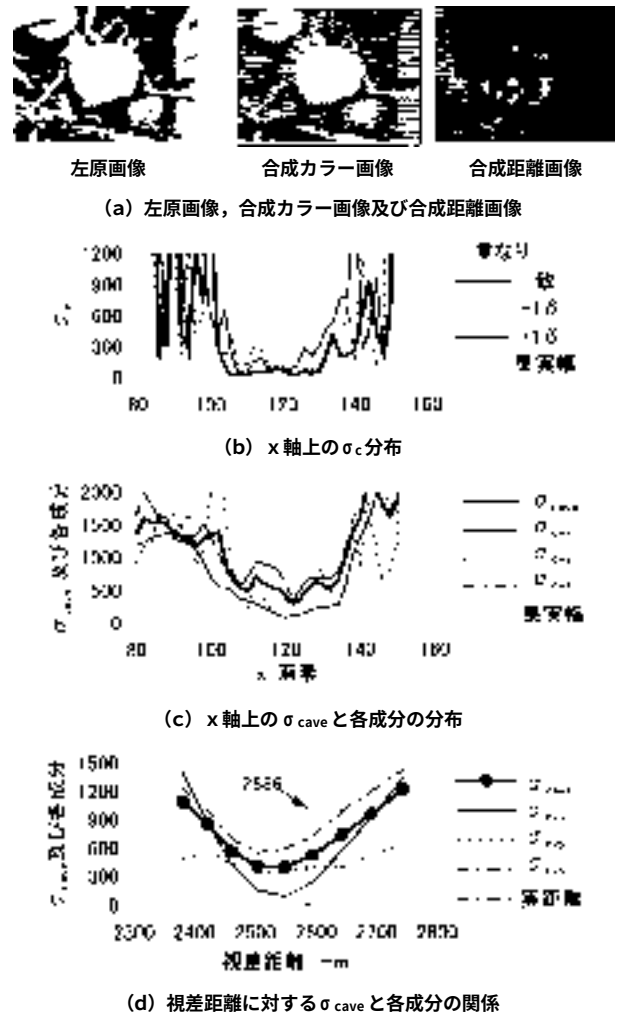


図5.4 ふじ果実像の σ_c と σ_{cave} の例

Fig. 5.4 An example of σ_c and σ_{cave} on an image of a 'Fuji' apple: (a) an original left image, a composite color image, and a depth image, (b) distribution of σ_c in the direction of x , (c) distribution of σ_{cave} and the components in the direction of x , (d) relationships among distance by disparity, σ_{cave} and the components.

300～1,500程度変化し、変動が顕著である。次に、1視差刻み分だけ前後の視差距離における分布を見ると、点線（前方側）と細実線（後方側）で示すように、両線とも果実像中央では太実線に近似しており距離の違いの影響があまり現れないが、合成像の輪郭付近では左右両画像の位置ずれによる水平間の色ずれが増加するため、左右側各輪郭とも急増している。

同図 (c) は、左右両画像の重なりが一致した時の σ_{cave} とその成分について x 軸上の分布状況を見たものである。 σ_{cave} の成分は、合成像の画素ごとに各方向とも果実像幅分で計算したものである。水平成分 σ_{cvx} は、果実像中央で最小のU字状になり、輪郭の外側になると急増した。垂直成分 σ_{cwy} は、果実像中央では σ_{cvx} と同様であるが、輪郭付近では増加割合が σ_{cvx} より大きくなった。これは σ_{cwy} の計算範囲に占める輪郭外側の画素の増

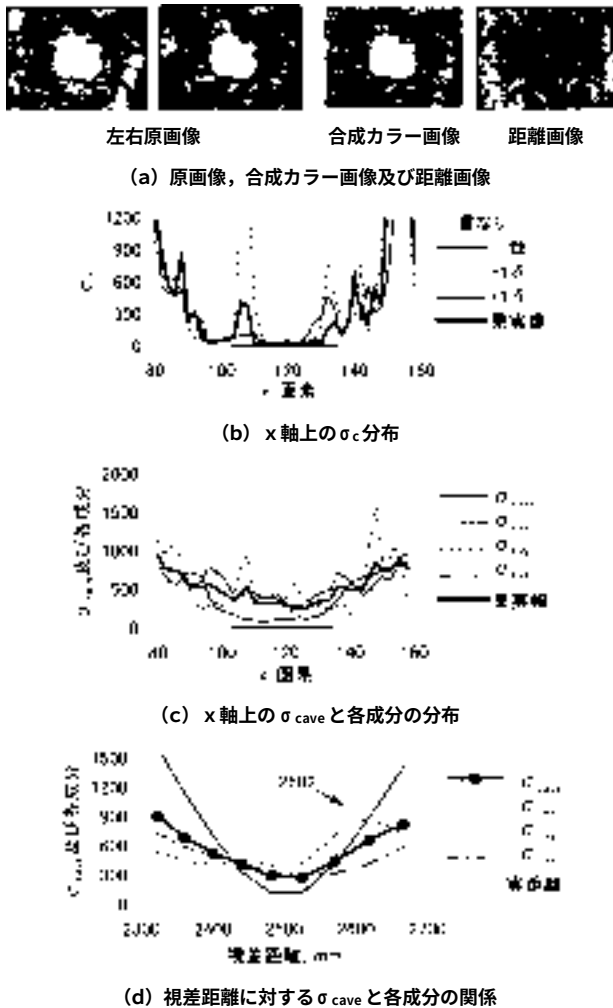


図 5.5 王林果実像の σ_c と σ_{cave} の例

Fig. 5.5 An example of σ_c and σ_{cave} on an image of an 'Orin' apple. (a) an original left image, a composite color image, and a depth image, (b) distribution of σ_c in the direction of x, (c) distribution of σ_{cave} and the components in the direction of x, (d) relationships among distance by disparity, σ_{cave} and the components.

加割合が、輪郭に近い部分ほど急に大きくなったためである。斜め成分 σ_{cvs} は、 σ_{cvx} と σ_{cvy} との中間的な傾向になった。 σ_{cave} は各成分の総和平均なので、果実像中央付近で最小の U 字型になった。

一方、王林の果実画像の場合は、図 5.5 に示す例のようであった。撮影条件は、太陽光が直射状態で撮影距離が 2,582mm である。同図 (a)~(c) の処理内容は前図と同様である。距離画像では G の明度で距離を区分したため周囲の葉像との区別が不明確であるが、 σ_c の分布を見ると、同図 (b) のように果実像内部で 50 以下の凹型になり、輪郭付近では内部と外部の色調が急変しているため 200 ~ 400 に増加した。果実像の左側では同系色の葉像が同じ距離付近にあり、誤対応によって低下した。果実の右側にも葉があるが距離が異なるため、 σ_c は変動している。ただし、両像の色調が類似のため、 σ_c

の値はふじの場合ほど増大しなかった。

また、1 視差刻み分だけ前後の視差距離における σ_c の分布を見ると、前方側 (点線) と後方側 (細実線) とでも果実像中央で当該線 (太実線) に近似している。しかし輪郭付近では、ふじと同様合成像の両側とも色ずれが増加するため σ_c は急増しており、重なり の適否の判別が可能である。

RGB 濃度平均分散の水平成分 σ_{cvx} は、同図 (c) のように、果実像の内部で U 字状になり輪郭の外側で増加した。ただし、その増加割合はふじの場合ほど急激ではなかった。垂直成分 σ_{cvy} 及び斜め成分 σ_{cvs} は、輪郭付近で増加しているものの、果実像内部の 2 倍程度で比較的小さかった。このため、 σ_{cave} は果実像内部で最小の U 字型になったものの、果実周囲との較差はふじほど顕著ではなかった。これは周囲の葉像の明度が低く、かつその値が類似していたためである。

以上のように、程度の差はあるものの、ふじ、王林の果実像内部、あるいは王林と葉像間などのように同色系画素で色相の差が小さい場合でも、明度や彩度に濃度差があれば、 σ_c は色ずれのため増加し、左右画像の重なり状態の判別が可能であった。

また、合成像各画素の σ_{cave} とその成分は、計算範囲の中に占める輪郭部分と輪郭の内外の画素割合、及び σ_c の分布状態で変化し、各成分の値は一般に輪郭部分の画素割合が多くなるほど増大した。

(赦) 視差距離と果実像の σ_{cave} との関係 図 5.4 と図 5.5 の各図 (d) は、横軸に視差距離 Z_s 、縦軸に果実像中央の画素の σ_{cave} と各成分を取ってそれぞれの傾向を見たものである。図中の縦線は果実の実距離 Z_0 を示す。

ふじの σ_{cvx} と σ_{cvs} は、 Z_0 に近いほど合成像全体に占める輪郭部分の横縞状領域の割合が減少するため、図 5.4 (d) に示すように Z_s とともに V 字型に変化した。 σ_{cvy} は、果実像内部に占める上下方向の画素割合がこの Z_s 区間においてあまり変わらないため、変化が小さかった。それらの結果より σ_{cave} は、黒丸太実線のように Z_0 の 1 ~ 2 視差刻み分前で最小になり、V 字型の変化になった。このように、 σ_{cave} が Z_s に対して V か U 字型の傾向で変化し、その最小値の小さいほど、 σ_{cave} と位置ずれとの間に強い比例的関係が現れることになる。

王林の場合も、図 5.5 (d) のようにふじと同様の傾向であった。ただし、 Z_s が遠くなるほど、合成時に果実とその周囲の葉像との重なり部分が増えたので σ_{cvy} が増加した。その結果 σ_{cave} は、 Z_0 の 1 ~ 2 視差刻み分前で最小の V 字型となる変化を示し、位置ずれと比例的関係にあった。

(斜) σ_{cave} 及び各成分の特徴分類と頻度 Z_s に対する σ_{cave} と各成分の関係の特徴は、変化傾向のタイプ、最小値レベル、及び Z_0 と σ_{cave} 最小値の距離との差を相当分の視差で表すと次のようになった。

ふじの合成像全てについて、上述の特徴別に分類して

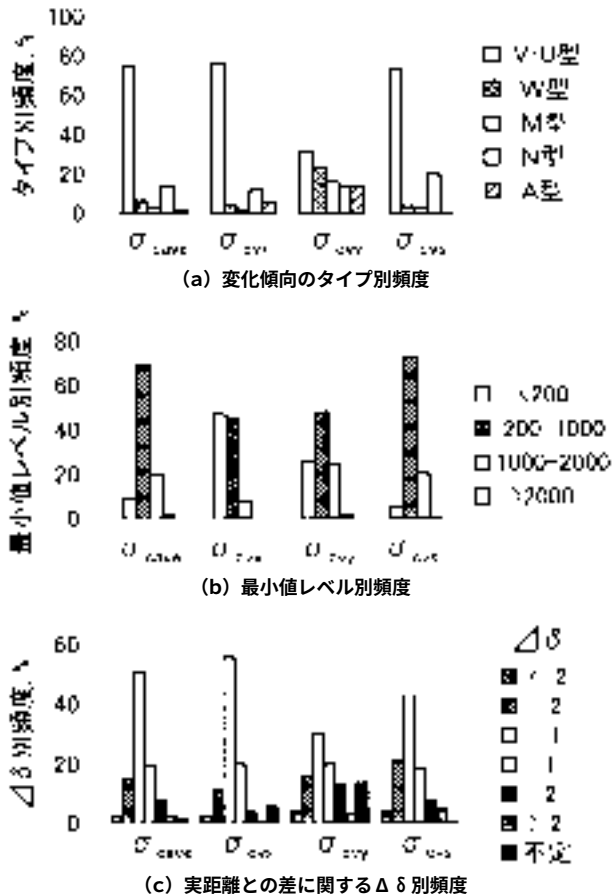
図5.6 ふじの σ_{cave} 及び各成分の特徴別分類

Fig. 5.6 Classification of characteristics on σ_{cave} and the components on a Fuji apple: (a) frequency on types of changeable tendencies, (b) frequency on levels of minimum-value, (c) frequency on types of $\Delta\delta$ between a real distance and a measured value

比較した結果を図5.6に示す。 σ_{cave} とその成分の変化傾向のタイプは、図4(d)、図5(d)に一部見られるように、およそV・U型、W型、M型、N型(NとNの裏文字型の2種)及びA型(一、/、\の3種)に分けられた。それぞれの頻度割合は、図5.6(a)のようになり、 σ_{cvx} 、 σ_{cvs} 、及び σ_{cave} ではV・U型が約75%を占め、次いでN型が15~20%であった。これに対し σ_{cvs} ではV・U型が約30%、W、M、N、A型が20~15%の範囲にあった。

最小値レベルは、 σ_{cave} を200未満、200~1,000、1,000~2,000、及び2,000以上の4段階に分けると、同図(b)のように、 σ_{cvx} では200未満が約50%と多く、次いで200~1,000が約40%であった。 σ_{cvs} と σ_{cvs} では200未満が減り、200~1,000と1,000~2,000の割合が増加した。それに伴い σ_{cave} も200~1,000の割合が70%弱、1,000~2,000が20%になった。

同図(c)は、 σ_{cave} 最小の Z_s と Z_0 との差を、視差刻み単位 $\Delta\delta$ の相当分で表し、 σ_{cave} と各成分についてその

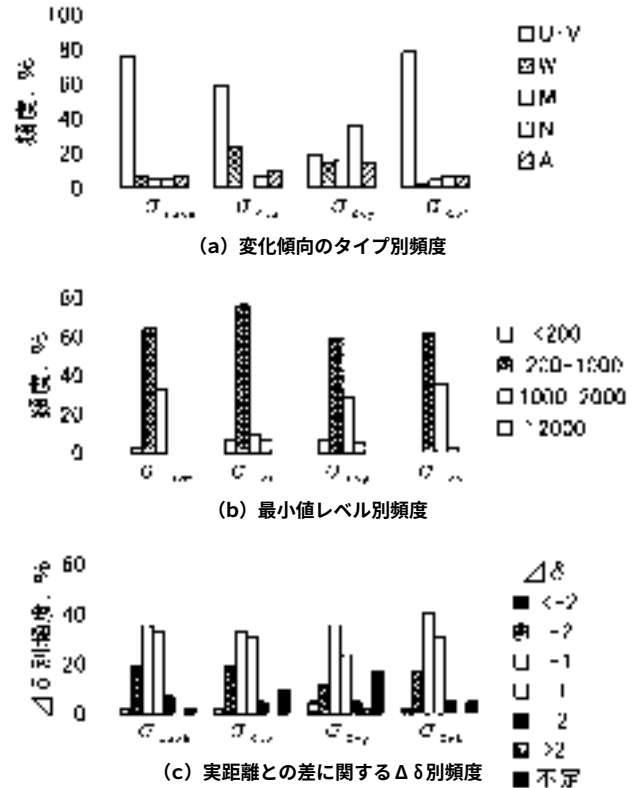
図5.7 王林の σ_{cave} 及び各成分の特徴別分類

Fig. 5.7 Classification of characteristics on σ_{cave} and the components on an Orin apple: (a) frequency on types of changeable tendencies, (b) frequency on levels of minimum-value, (c) frequency on types of $\Delta\delta$ between a real distance and a measured value.

発生頻度を調べたものである。図のように、各成分、 σ_{cave} のいずれも-1が最も多かった。-2から+1までの分が占める割合は、 σ_{cvs} を除いてほぼ90%以上となった。

一方、王林の場合は、 σ_{cave} とその成分の変化傾向タイプの頻度割合が、図5.7(a)のようになり、 σ_{cvs} と σ_{cave} ではV・U型が約80%を占めたが、 σ_{cvx} は60%に止まり、N型はそれぞれ10%以下であった。 σ_{cvs} ではV・U型が約20%、W、M、N、A型が15~20%の範囲にあった。最小値レベルは、同図(b)のように σ_{cvx} では200~1,000が約90%と最も多く、200未満は10%以下であった。 σ_{cvs} と σ_{cvs} では200未満が10%以下で、200~1,000が60%強、1,000~2,000が30%前後であった。このため、 σ_{cave} は200~1,000の割合が70%弱、1,000~2,000が30%になった。 σ_{cave} 最小の Z_s と Z_0 との差は、同図(c)のように $\Delta\delta$ を単位として、各成分、 σ_{cave} のいずれも-1が最も多く、30~40%であったが、+1もほぼそれに近い割合になった。-2から+1までの分が占める割合は、ふじと同様ほぼ90%以上となった。

4. 距離精度に及ぼす画像入力条件の影響

(1) 照度条件の影響

前節の実験結果より、収穫期のリンゴ園における天空照度（照度計受光部を真上にした値）は、午前9時頃から午後1時頃までが60～70klxで、その後徐々に減少して日没前後には0.5～1.5klxになった。果実面の照度は、天空照度が60klx以上である午後1時頃までは、太陽光直射時で90klx前後、曇りや樹冠内の散乱光下で6～12klxであった。

果実像の明度は、図5.8に示すように、逆光時を除けばカメラの自動露出機能によって果実照度とほぼ比例関係にあり、果実照度が1klx以下でも90（最大値の約35%）以上の場合が多かった。逆光時では、背景が空などのように明るいと急激に低下し、果実照度が6～10klxであっても90以下になる場合（強逆光と呼称）が見られた。

果実像の明度と供試システムによる距離誤差の関係について、自然光の照射状態を直射光（順光時、ふじ23組、王林7組）と散乱光（逆光時で明度90以上—弱逆光と呼称—の分を含む、同30組と12組）に分けて図5.9に示す。各明度のプロット点は3～10個の合成像の

平均である。いずれの照射状態でも、明度の変化に対する誤差の変化は小さく、各明度での平均誤差は概ね-3～0%の範囲に入った。

各照射状態における σ_{cave} の特徴を分類別に見ると、直射光ではV・U型が約95%を占め、最小値への収束傾向が強かった。散乱光では、V・U型が約66%と直射光に比べ少なかったが、最小値レベルaの割合が約60%と高かった。 σ_{cave} 最小に関する $\angle\delta$ は、-1と-2の占める割合が直射光で76%、散乱光で79%であった。

以上のように、ふじ、王林とも果実像明度が90以上の照度条件では、弱逆光時も含めて果実像と周囲との色特徴が明確に異なり、RGB各濃度の較差が大きかったため、 σ_{cave} の収束性が安定した。それゆえ、距離誤差への影響はあまり見られなかった。

なお、果実像面にハイライト部分や枝葉の陰影がある場合でも、その濃淡の分布形状が左右両画像において明瞭でかつ近似していれば、合成果実像面の位置ずれが最小になった時に σ_{cave} が最小になり、距離誤差への影響は小さかった。ただし、果実面の陰影等が斑模様の場合には、その明暗の分布形状が必ずしも左右両画像で近似せず、 σ_{cave} の最小値が1,000以上で、V・U型以外のタイプになることが多かった。

(2) 果実条件の影響

1) 果実像の重なりによる影響 複数個の果実像が重なり合う状態には、水平、上下、及び斜めの各方向の場合がある。誤対応が最も発生しやすい水平方向の重なりについて、ふじの処理例を図5.10に示す。同図(a)の左側2枚は左右の各原画像で、果実像a($Z_0 = 2,360\text{mm}$)とb(同2,581mm)の重なり度合は右画像の方が左画像より大きい。右側2枚はそれぞれの果実像の σ_{cave} が最小になった Z_s における合成カラー画像である。

同図(b)は、上述の各視差距離画像におけるx軸上の σ_c 分布である。 $Z_s = 2,317\text{mm}$ の σ_c 線（太実線）は、果実aの領域内で低下し、その輪郭部分で増加した。果実b領域でも誤対応のため急減した個所があるが、その部分を除けば、果実b領域では $Z_s = 2,474\text{mm}$ の σ_c 線より大きな値になった。果実bの Z_0 に近い Z_s の σ_c 線（点線）も同様の傾向で変化した。ただし、果実像bのほぼ中央から右側では、果実像aの位置ずれによる横縞状の色調がb領域まで及んだ影響で、両 σ_c 線の上下位置が逆転している。このような位置ずれの影響は、重なり合う二つの果実が前後に離れるほど大きくなった。

同図(c)は、果実像a、bそれぞれの中央付近に関する σ_{cave} 及び各成分と Z_s の関係である。果実像aの σ_{cvx} と σ_{cvs} は、a領域の σ_c が小さいため最小値レベルが低く、V・U型の傾向で収束した。果実bの各成分値は、b領域での σ_c の変動が大きいため、 σ_{cvy} と σ_{cvs} の最小値が σ_{cvx} より前方になり、 σ_{cave} の変化傾向は弱いV型になった。王林についてもほぼ同様の傾向であっ

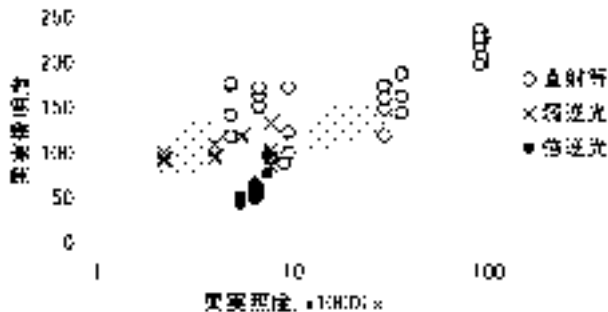


図5.8 果実照度と果実像明度の関係（ふじと王林）

Fig. 5.8 Relationship between an illumination of apples and the intensity of the images (of both 'Fuji' and 'Orin' apples).

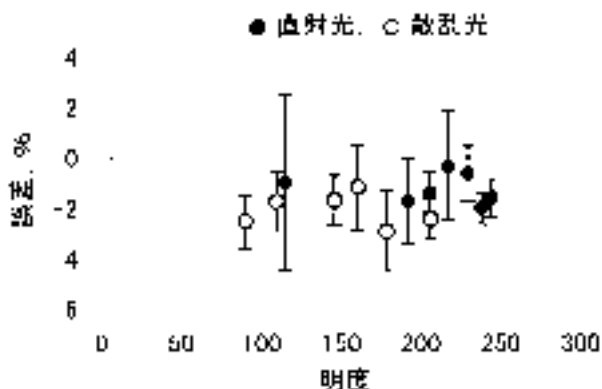


図5.9 果実像の明度と距離誤差の関係

Fig. 5.9 Relationship between the intensity of apple images and the error of distance.

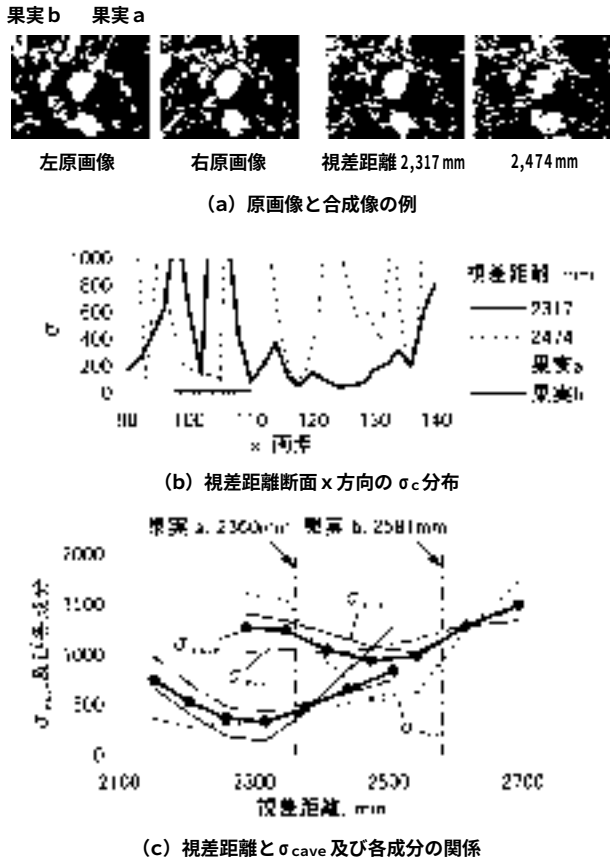


図5.10 ふじの果実同士の重なり画像における σ_c と σ_{cave} の例
 Fig. 5.10 An example of σ_c and σ_{cave} on the images of overlapped Fuji apples: (a) examples of original image and composite image, (b) distribution of σ_{cave} and the components in the direction of x, (c) relationships among distance by disparity, σ_{cave} and the components.

た。

2 個の果実像の重なり度合と距離誤差の関係（ふじ 17 組，王林 6 組）は，図 5.11 に示すようになった。 Z_0 は 1.7～4.3 m の範囲であった。横軸は，対象果実の手前に果実がある場合を正にとり，対象果実像の全体面積に対する重なり部分の割合を表す。同図より，重なり度合が ± 0.5 以下であれば，距離誤差は概ね $-3 \sim 2\%$ の範囲に入り，重なり度合が大きいほど，後方果実の距離が短く測定される傾向が見られた。

2) 果実と枝葉の重なり 王林の果実と枝葉の重なり例を図 5.12 (a) の左側の左右原画像に示す。中央果実の右半分を枝と葉が遮る状態にあった。同図右側 2 枚はそれぞれ枝葉と果実の距離に最も近い Z_s で合成した画像である。同図 (b) はそれらの Z_s に関する σ_c の分布を見たもので，参考までにさらに一つ手前の Z_s の分も示してある。 $Z_s = 1,573 \text{ mm}$ の σ_c 線（太実線）は果実領域で， $1,601 \text{ mm}$ の σ_c 線（点線）は枝葉領域で，それぞれ低下し，各輪郭部分で増加している。ただし， $1,573 \text{ mm}$ の σ_c 線は，果実中央から左半分までは $1,601 \text{ mm}$ の σ_c 線とほとんど重なっており，色ずれの検

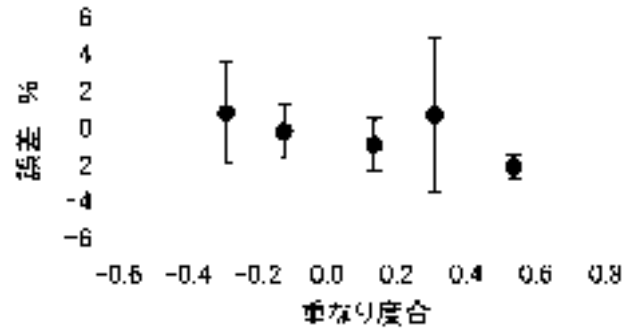


図5.11 果実同士の重なり度合と距離誤差の関係
 Fig. 5.11 Relation between the ratio of area of overlapped apples and error distance.

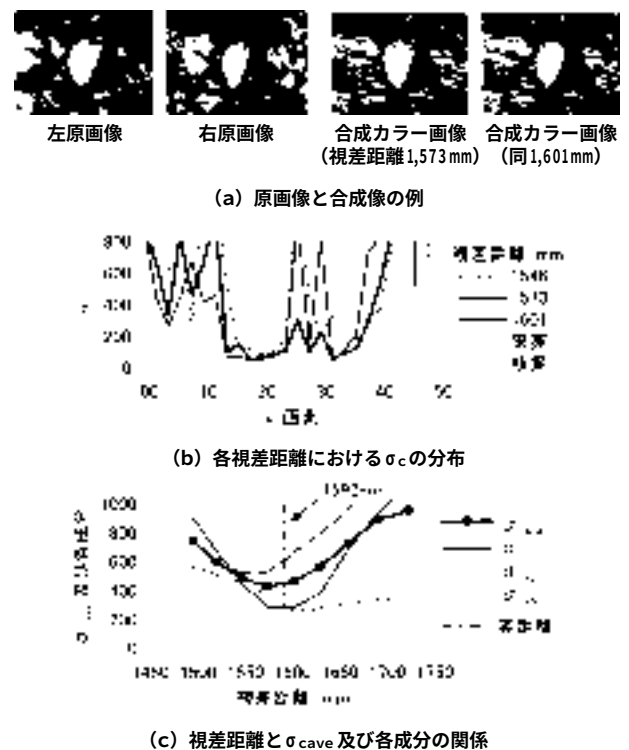


図5.12 王林果実と枝葉の重なり画像における σ_c と σ_{cave} の例
 Fig. 5.12 An example of σ_c and σ_{cave} on overlapped images of a Orin apple and a leaf from the Orin apple tree: (a) examples of original image and composite image, (b) distribution of σ_{cave} and the components in the direction of x, (c) relationships among distance by disparity, σ_{cave} and the components.

出が十分ではない。これは三原色のうちGの濃度が接近していることに影響されたためと推測される。

果実像に関する σ_{cave} 及び各成分と Z_s の関係は，同図 (c) のようであった。 σ_{cvx} は果実の実距離付近で最小になるが， σ_{cvs} はやや手前で最小になり， σ_{cvy} は変化が小さい。その結果， σ_{cave} には σ_{cvx} のV型変化の影響が強く現れ， Z_0 に近い $1,570 \text{ mm}$ で最小になった。枝葉の重なりにも関わらず，距離推定がおおむね良好になされたことが分かる。

(3) 撮影条件の影響

撮影時における露出、ホワイトバランス、及び合焦の自動調節は、強逆光時の露出不足以外は概ね適切に行われた。

1) 逆光時の影響 前述のように果実像明度が 90 以上の弱逆光では、RGB 濃度分布の較差が明確になるため、 σ_{cave} の変化が V 字型傾向となって収束性が強く、距離精度への影響は小さかった。果実像明度がそれ以下で、周囲の明度も低い強逆光では、果実像と周囲との RGB 濃度の較差が小さいため σ_{cave} の変化が小さく、距離測定値の信頼性が低下した。ただし、同じ逆光の果実像明度でも、周囲が明るい場合には、周囲との RGB 濃度差が大きくなり、 σ_{cave} の変化が V 字型となって距離誤差が小さくなる場合があった。

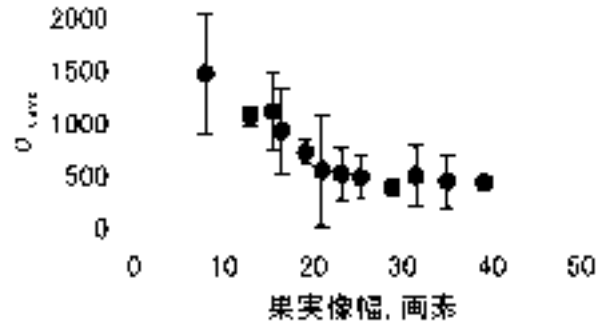
2) 果実像の大きさによる影響 式 (5.1) で算出した果実像幅と σ_{cave} 最小値の関係 (ふじ 48 組) は、図 5.13 の通りであった。果実像幅の計算値と実際値はほぼ正比例の関係 (相関係数 0.955) にあった。 σ_{cave} は、同図 (a) のように果実像幅に反比例して変化し、16 画素以下で 1,000 以上になっている。ここで、16 画素未満と 16 画素以上のグループに分け、 Z_s に対する σ_{cave} の変化傾向をタイプ別に見ると、前者では、同図 (b) のように各成分の最小値レベルが高く、かつ最小となる Z_s が一致しない場合が多くなるため、V・U 型が減少し M、N 型が増加する。 σ_{cave} 最小の $\Delta\delta$ は、同図 (c) に示すように、-2 から +1 の間がそれぞれ 30% 前後となり、 σ_{cave} の収束性が低下した。そこで、 σ_{cave} が 1,000 以上になるときの果実像幅画素数を限界画素数と呼称し、一指標として用いた。

王林 (26 組) では図 5.14 に示すように、約 26 画素以下で σ_{cave} が 1,000 以上になり、限界画素数はふじと異なるものの、 σ_{cave} の変化は同様の傾向であった。限界画素数がふじより多くなった理由は、果実が周囲の葉と同系色なので、果実像内部の領域が葉像よりかなり広いと、両者の RGB 各濃度の較差が明確にならないためである。

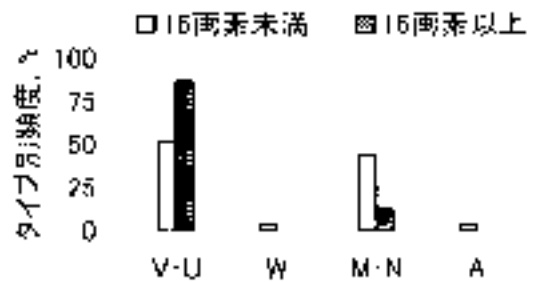
これらの結果より、合成像内の果実像幅は、ふじで 16 画素以上、王林で 26 画素以上になるように、撮影距離とズーム値の組合せを選択する必要があることが分かった。

(4) 本手法の適用に関する考察

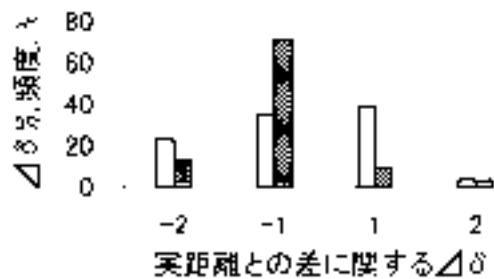
1) 供試システムの距離精度特性 以上の結果より、供試システムの距離測定における適用条件の範囲をまとめると、射) 照度条件については、カメラの自動調節機能を利用するものとし、照度が 1 ~ 90 klx の範囲で、果実像明度が逆光時を含めて 90 以上、捨) 果実条件については、上記の明度であれば赤色系、黄緑色系両果実ともに計測処理が可能であり、果実同士の重なりがある場合は、その重なり度合が 0.5 以内であること、赦) 撮影条件については、モニタ上の果実像幅がふじで 16 画素



(a) 果実像幅と σ_{cave} 最小値の関係



(b) σ_{cave} のタイプ別頻度



(c) 実距離との差に関する $\Delta\delta$ 別頻度

図 5.13 ふじの果実像幅と σ_{cave} の関係

Fig. 5.13 Relationship between the width of a Fuji apple image and σ_{cave} : (a) relationship between the width of an apple image and the minimum value of σ_{cave} , (b) frequency on types of changeable tendencies of σ_{cave} , (c) frequency on types of $\Delta\delta$ between a real distance and a measured value.

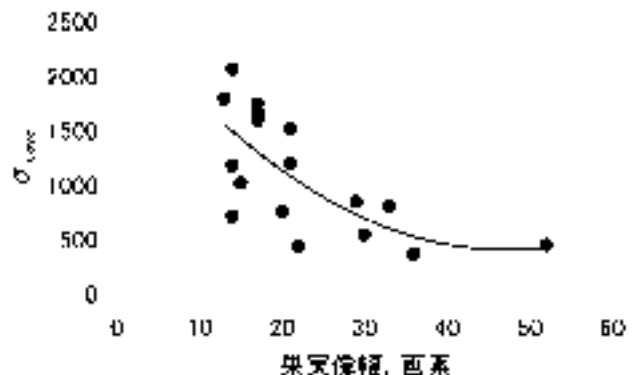


図 5.14 王林果実像幅と σ_{cave} の関係

Fig. 5.14 Relationship between the width of an 'Orin' apple image and σ_{cave} .

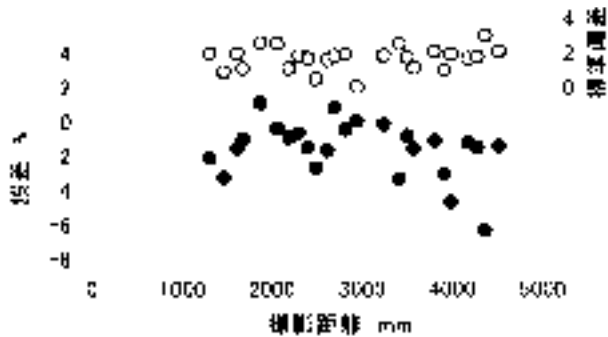


図 5.15 供試システムの撮影距離と誤差の関係

Fig. 5.15 Relationship between photographic distance and error on the experimental system.

以上、王林で 26 画素以上になるように、撮影距離とズーム設定値を組合せること、などが挙げられる。さらに、画像処理過程で σ_{cave} の最小値が 1,000 以上になる状況では収束性の低下に留意する必要がある。

上記の条件の範囲内で、供試システムの撮影距離と距離誤差との関係を整理（ふじ 99 組、王林 27 組）すると、図 5.15 のようになった。誤差は、撮影距離 1.2 ～ 3.5m までは $-4 \sim 2\%$ にあり、3.5m 以上では $-7 \sim 0\%$ の範囲に拡大した。果実の機械収穫においてマニピュレータ・ハンド方式で収穫・把持や収納する作業を想定すると、カメラから約 2m の範囲では誤差 2% 以内が望ましいので、さらに改良が必要である。その範囲外の 2 ～ 4m にある果実を移動探索しながら距離・位置の測定を行う場合には、上記の誤差範囲でも問題はないと思われる。

2) 問題点と今後の課題 画像入力における逆光時の露出不足が問題点の一つとして挙げられる。その画像処理上の対策としては、RGB の補正 (76) などがあるが必ずしも十分でない。撮影時点で逆光状態を感知して補正 (88) や撮影位置等の修正を行う方式が実用的と思われる。また、測定距離 2m までの距離精度を改善するためには、 σ_{cave} の収束性が満たされる撮影条件と画像処理条件を明確にする必要がある。さらに、注視距離と視差刻みの組み合わせ方式や前章で述べた対応問題対策を適用した場合の検討も必要である。なお、本研究の測定原理に基づく画像入力方式への改良や測定処理の高速化など、ハードウェア面の検討も今後の課題である。

5. 要 約

供試ステレオ視システムについて、照度、果実及び撮影の各条件と距離測定の誤差要因との関係、及びそれらが測定精度に及ぼす影響を明らかにするため、収穫期のリンゴ園画像を対象にして実験分析した。

RGB 濃度平均分散 σ_{cave} の変化タイプは、頻度割合で V・U 型が約 75 % を占め、次いで N 型が 15 ～ 20 % であった。その最小値レベルでは 200 ～ 1,000 の割合が 70 % で最も多かった。 σ_{cave} が最小になる視差距離と実

距離の差は、視差刻み分で -2 から 1 までの占める割合がほぼ 90 % 以上となった。

各条件の結果より、赤色系と黄緑色系の両果実に対する本システムの適用条件の範囲は、照度が $1 \sim 90 \text{ klx}$ のもとで、逆光時を含めて果実像明度が 90 (35 %) 以上、果実像の重なり度割合が 0.5 以内、モニタ上の果実像幅がふじで 16 画素以上、王林で 26 画素以上であった。

上記の条件の範囲で供試システムの撮影距離と距離誤差との関係を整理した結果、誤差は撮影距離 1.2 ～ 3.5m で $-4 \sim 2\%$ 、3.5m 以上では $-7 \sim 0\%$ の範囲にあった。マニピュレータ・ハンド方式で収穫・把持や収納する作業を想定すると、カメラから約 2m の範囲で誤差 2% 以内が望ましいので、さらなる改良を必要とする。

第 6 章 立体形状計測と位置制御へのステレオ視法の応用

1. 緒 言

ステレオ視計測法の応用として、機械収穫の際に果実を収穫部（ハンド）で把持するために必要な果実の形状計測と認識、及び収穫マニピュレータ先端のハンドを果実に接近させるための制御に三次元視覚情報を利用する方法について検討した。

果実の形状計測に関する研究では、これまでトマト、ミカン、イチゴなどを対象に、単眼カメラ、PSD、超音波などの利用が試みられているが、識別、位置計測、及び形状計測が別個の装置で行われるなど、一連の作業の連携や経済性はあまり考慮されていないものが多い。また、形状の計測に両眼ステレオ視法を適用した研究例は見当たらない。ここでは、試作システムで果実の位置計測を行ったのち、引き続きその形状計測に利用することを前提に、本研究の手法の適用性を実験的に調べた。

一方、上述の手法で得られた果実や枝の形状に関する測定値からそれらの姿勢や形態を判別・認識するためには、輪郭の形状を判定することが必要になるが、リング園のような自然シーンの画像には多様な形状が含まれるため処理時間が長くなるのが一般的である。そこで、その処理を高速化するため、デジタル画像における線の微小部分に関する描画形式をパターン化して利用する画像処理方式を検討した。

また、収穫機械用のマニピュレータは、自由度が高く柔軟な動作が可能な多関節型が有効であると予想される。ただし、その制御に際し、マニピュレータ各関節の所要回転角を逆計算で求めるが必要になるが、移動距離が長いときや接近経路上の障害物を避けなければならないとき、計算時間が増大したり、解が得られない場合がある。そうした場合、リアルタイムの制御が困難になる事態が懸念される。そこで、ステレオ視計測で得られた三次元視覚情報を用いてフィードフォワード的な動作制御を行うアルゴリズムを考え、数式モデルのシミュ

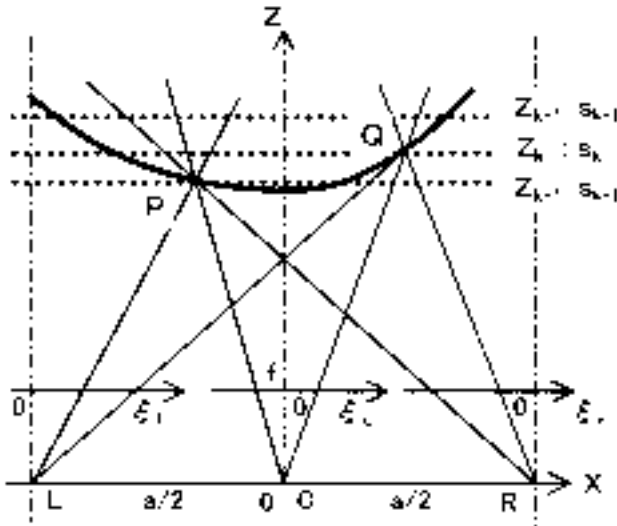


図6.1 三次元形状の計測原理

Fig. 6.1 Measurement principle of three dimensional shapes on an object.

レーションによってその利用可能性を考察した。

2. 果実形状のステレオ視計測に関する実験

従来、受動的な方法である両眼ステレオ視による形状計測は、平面や球面で構成された立体物のように、対応づけのために必要な輪郭や境界などの特徴が顕著でない対象物に対しては、不向きとされてきた。しかし、本研究のステレオ視計測の原理は、左右両画像による合成像の鮮明さを RGB 濃度分散で比較・判定し物体を検出する方式なので、対象物表面の色特徴に濃度分布があれば、表面各部の位置の検出にも利用できるという特色がある。果実を対象にした場合でも、その表面の RGB 濃度に高低差があれば、表面各部の三次元位置座標を求めることにより立体形状の計測に利用できる可能性がある。

本節では、立方体形状のルービックキューブと丸いリンゴ果実を供試して本手法による計測実験を行い、その適用性について検討した。

(1) 左右画像合成による立体形状の計測

測定原理は第3章と同じである。すなわち、図6.1に示すように、平行な左右のカメラ(L, R)で対象物を撮影したとき、一組の左右画像を視差距離断面ごとに点Cから見た中央画面上で合成する。各視差距離の中央像は、それぞれの視差距離に焦点を合わせて対象物を見ることと等価なので、その断面と物体表面との間に交差部分があれば、鮮明な像として検出される。そこで、各中央像間で同一座標の画素のRGB濃度平均分散 σ_{cave} を比較し最も鮮明な画素を選定すれば、その画素に投影された像の三次元位置が判明する。これを対象物の表面全体で繰り返すことにより、対象物のカラー情報と距離情報が画素ごとに得られるので、その立体形状が分かる。例えば同図で、対象物表面の点PとQは、それぞれ視差距離

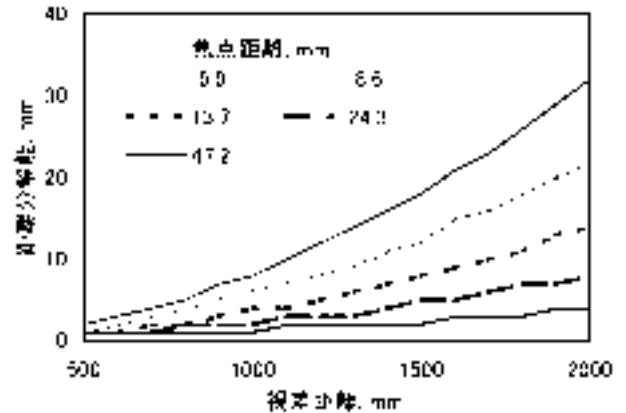


図6.2 視差距離と分解能の関係

Fig. 6.2 Relationship between distance by disparity and distance resolution.

離 Z_{i-1} と Z_i で鮮明になるので距離が分かり、投影像から三次元座標とRGB濃度を得ることができる。

なお、形状測定では、Z方向の測定範囲を対象物の奥行き分とするだけでよいので、前章までの距離計測よりも探索距離範囲を狭くできる。ただし、表面形状を詳しく知るためには、視差刻みを小さく、かつ視差距離断面数を多く設定して距離分解能を上げる必要がある。

(2) 実験方法

1) 対象物とステレオ視装置 供試対象物には、本手法による形状計測の原理を検証し、かつ距離分解能が試算通りに得られるかどうかを調べるため、対照区として立方体形状のルービックキューブ(一辺55mm)を、測定対象として赤色系リンゴ品種ふじを、それぞれ選んだ。供試システムは、前章と同様2台のCCDカラービデオカメラ(光軸間隔300mm)、ビデオキャプチャPCカード、サブノートパソコン、画像入力切替器、及びバッテリーで構成した。

カメラの焦点距離と撮影距離は、図6.2に示す試作システムの距離分解能をもとに決め、左右のカメラは、対象物が共通視野の合成範囲に入るように、それぞれ 12.8° の光軸角度で配置した。なお、画像処理に際しては、第2章の方法により平行ステレオ視の状態に換算した。

2) 実験条件と方法 室内で供試対象物から約1m離れた斜め上方から、ズーム値を200H～300Hとして撮影を行い、左右各画像をパソコンのハードデスクに保存し、実験終了後一括して測定処理を行った。左右各画像の解像度は 320×240 画素(RGB 24bit/画素)に設定した。画像処理で、 σ_{cave} の比較計算範囲は、対象物像幅の $1/4 \sim 1/1$ までとした。距離の校正にはレーザ距離計による測定値を用いた。

(3) 実験結果と考察

1) ルービックキューブに関する結果 原画像(焦点距離24.4mm)の例を図6.3に示す。注視距離990mm、

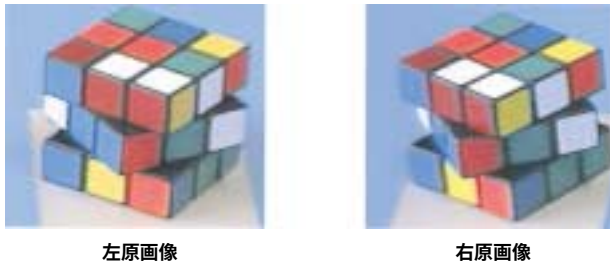


図 6.3 供試ルービックキューブの撮影画像例

Fig. 6.3 An example of pairs of images on a Rubic-Cube specimen.

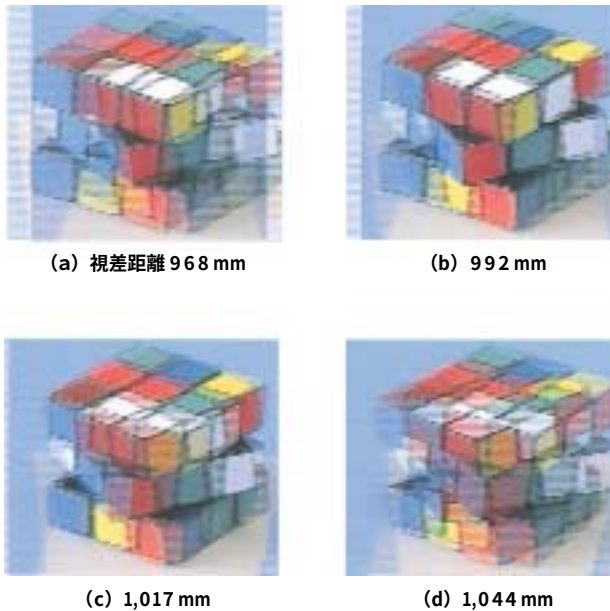


図 6.4 合成過程のカラー画像例

Fig. 6.4 An example of color composite images in process.

視差刻み 5 画素 (距離分解能約 10 mm), 視差距離断面の個数 11 個 (距離範囲 941 ~ 1,044 mm), RGB 濃度分散の計算範囲 4 画素, 平均分散の比較範囲 30 ~ 60 画素で処理した結果は以下のものであった。

(射) 左右画像の重なり状態と色濃度分布 処理途中の合成状態を図 6.4 に示す。各図において輪郭が鮮明になっている部分は、左右画像の重なりが一致した視差距離断面上にある。ルービックキューブを構成する小ブロックの輪郭同士が重なりあう部分は、線の鮮明さ (横縞状態の有無) を比較することによって重なり状態の判別が容易であるが、小ブロック内の平面部分では横縞模様が現われ難いので必ずしも明確ではない。そのため、 σ_{cave} の比較計算範囲は、輪郭が含まれるように小ブロック幅の区間長より大きく設定する必要がある。

(捨) 視差距離と σ_{cave} 及び各成分の推移 注目点をルービックキューブの最前端からやや左寄りの側面部分 ($Z_0 = 976$ mm) に取り、その点の Z_s と σ_{cave} 及び各成分との関係を求めた結果が図 6.5 である。 σ_{cave} の比較計算

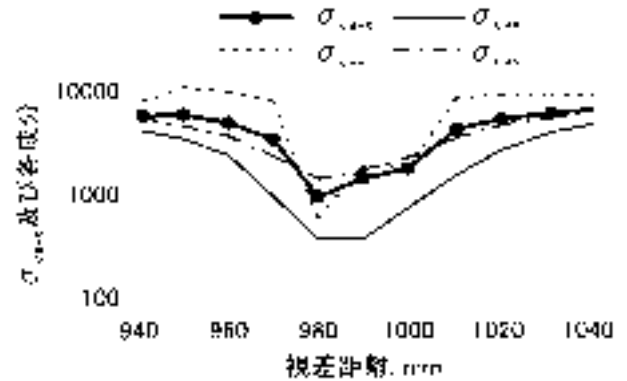


図 6.5 視差距離と σ_{cave} 及び各成分の関係

Fig. 6.5 Relationships among distance by disparity, σ_{cave} , and the components.

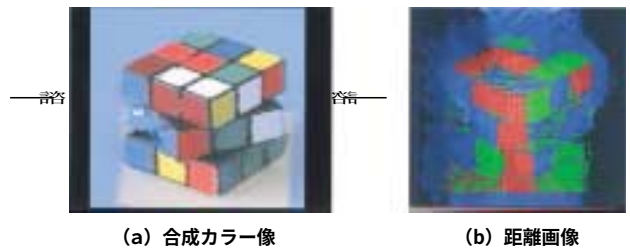


図 6.6 合成結果

Fig. 6.6 Results of composite image processing: (a) color composite image, (b) depth image.

範囲は 50 画素 (画像上で小ブロック約 1.5 個分) とした。結果は、図のように σ_{cave} の各成分とも 980 mm 付近で最小となり、 Z_0 に近似した。ただし、各値については、 σ_{cx} が 400 程度だったのに対し、他の成分では垂直方向の色特徴の変化が大きいため 1,000 前後と高くなった。その結果 σ_{cave} の値も約 950 と高くなったが、前後の Z_s に関する値よりも小さく、明確な落ち込みの傾向が見られた。 σ_{cave} の比較範囲を 40 ~ 60 画素にした場合もほぼ同様であったが、その範囲以外では各線の変動が大きくなった。

(赦) 合成処理結果 図 6.6 は、前述の条件で処理した後の合成カラー画像と距離画像である。同図 (a) の合成カラー画像は、キューブの白色部分と左右側方及び後方部分を除き、おおむね適切に元の立体像を再現した。白色部分は RGB 濃度差が小さいため合成が不良状態になった。また、左右側方と後方は走査範囲及び距離探索範囲の限界に近いので、 σ_{cave} の比較が適切に行われず、鮮明な画像にはならなかった。

同図 (b) の距離画像は、合成像の各画素に含まれる三原色の中で最も濃度が大きい原色について、距離が近い場合ほど明度が高く表示されるように描画したものである。図によると、前端に近い部分ほど明るい傾向が見られたが必ずしも明確ではなかった。そこで、同図の x 軸上における視差距離の分布を図 6.7 に示した。同図の

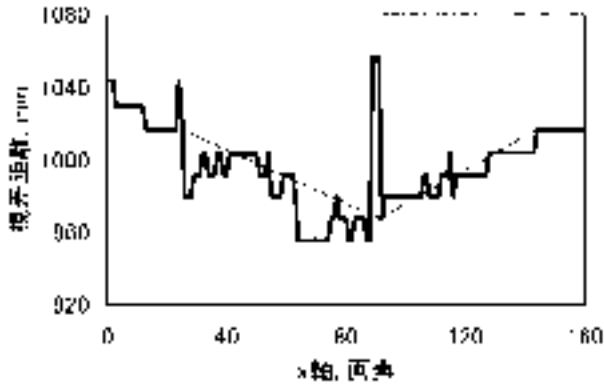


図 6.7 x軸上の距離分布例 (矢印部分を通る水平線上)
Fig. 6.7 Distribution of distance on x axis (indicated by an arrow).

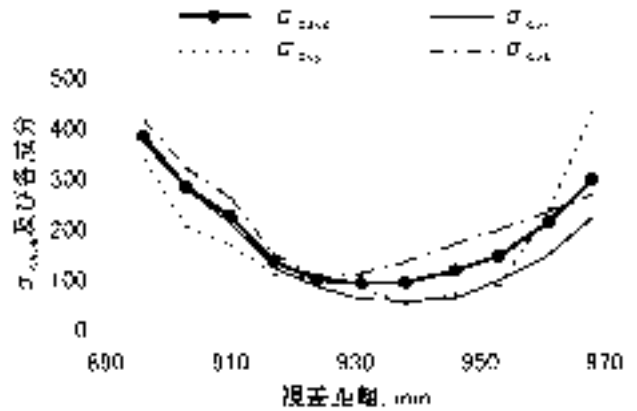


図 6.9 視差距離に対する σ_{cave} と各成分の関係
Fig. 6.9 Relationship of σ_{cave} and the components to distance by disparity.



図 6.8 果実ふじの左右両原画像と左画像の R 濃度画像
Fig. 6.8 A pair of original images and R-intensity image of the left image on a Fuji apple.

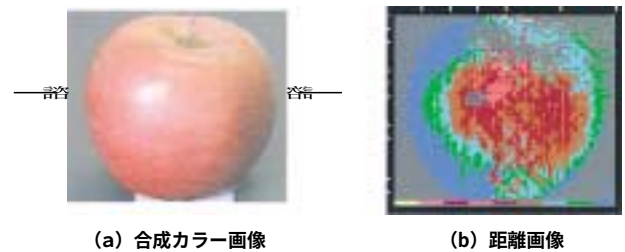


図 6.10 合成処理結果
Fig. 6.10 Results of composite image processing.

ように、中央部分の左側では前方に、右側では後方に、それぞれ偽像の発生のため大きな誤差が生じているが、他の部分ではおおむね対象物の前辺に沿って計測されていることが分かった。

以上より、視差距離断面ごとに左右両画像から中央画像を合成すると、輪郭部分では、対応する左右の線の傾斜状態が異なるような場合でも、視差距離断面との交差状態が明確になるため、 σ_{cave} の比較による鮮明さの判定が容易であり、左右両画像の対応づけが適切になされた。輪郭に囲まれた平面の場合には、画素ごとの対応づけは難しいが、輪郭を含むように σ_{cave} の比較範囲を設定すれば、その変化傾向が明瞭になり、距離の推定が概ね可能なことが分かった。

2) リンゴ果実に関する結果 (射) 色濃度分布 図 6.8 は、供試システムの左斜め上方約 30° から人工光を照射して撮影 ($f=24.2\text{mm}$) した、ふじ (直径 $81\text{mm} \times$ 高さ 80mm , 最短距離 929mm) の左右各原画像 (a, b) の例と左原画像の R 濃度分布像である。果実表面の明度分布は、前面の一部が照射光で飽和しているが、周囲に向かうに従い同心円状に徐々に減少する傾向にあった。

(捨) 視差距離と σ_{cave} 及び各成分の関係 果実像のほぼ中央を注目点にとり、注視距離 980mm 、視差刻み 5 画素、視差距離断面数 9 枚として処理した結果、視差距離と σ_{cave} 及び各成分との関係は、図 6.9 に示すようになった。 σ_{cave} の比較計算範囲は 40 画素である。各成分

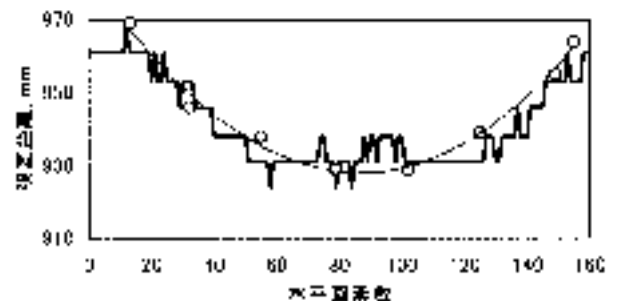


図 6.11 前図 (a) の矢印部分の推定距離
Fig. 6.11 Estimated distance of the part indicated by an arrow at the previous figures.

とも視差距離が 930mm 前後で最小になっており、実測値に近い結果が得られた。ただし、いずれの成分も最小値への落ち込み傾向が緩やかな U 字型形状のため、距離の推定に誤差が入りやすい状況であった。

(赦) 合成処理結果 合成処理結果を図 6.10 に示す。同図 (a) は合成カラー画像であり、原画像に近い色調に合成された。同図 (b) は距離画像で、視差距離断面ごとに彩色を変えて表示した。視差刻みが 4 画素なので距離分解能は約 7mm となり、果実の表面形状が 9 段階の奥行き区分で表示されている。右下方部分の視差距離区分が実距離より手前になっている点を除けば、おおむ

ね実距離に近い距離分布であった。なお、中央水平線（矢印）上の距離測定線は、図 6.11 に太実線で示すように視差距離ごとに階段状になっているが、その傾向はレーザ距離値による外形線に概ね近似していたことが分かる。

3) 考察 撮影時の照明条件の影響は、カラー画像ではあまり見られないものの、距離画像では濃度勾配が小さくなる照明状態ほど誤対応による誤差が増加する傾向となって現われた。結局、本手法による立体形状の計測は、果実表面の輝度や色調の濃度勾配がおよそ 20 以上であるときに利用可能なことが分かった。

誤対応対策としては、 σ_{cave} の比較計算範囲を対象物の主な輪郭の幅と同等かそれ以上に取った場合に有効なことが多かったが、その範囲を広くするほど表面の凹凸形状が平均化されることになるので、その適切な決定基準についてはさらに検討する必要がある。

3. 線要素パターン方式による輪郭形状の取得

ステレオ視で計測した果実や立体形状物の傾き及び姿勢を把握するための手法として、直線や円弧の線要素パターンとその特徴値を予めテーブルデータにしておき、物体の輪郭各部の検出と照合にそれらを用いる方式について、その原理と線要素の検出精度について検討した(82)。

(1) 原理

物体の形状を輪郭によって判定する方法には、微分オペレータ等で輪郭の各点を検出し、それらに順次回帰式を当てはめる方式(41)やテンプレートとの一致度をみるパターン認識方式(43)がある。最近ではさらに改良ハフ変換による直線や円の検出(102)、ニューラルネットワークや遺伝アルゴリズムを用いたパターン検出(44)などの方式も試みられている。物体の輪郭に対するこのような操作は、画像の点の連結に対する直線・曲線の区別、傾きの把握など線の形状を判別する処理にほかならない。

コンピュータ内部で取り扱われるデジタル画像では、画素が図 6.12 のように正方格子状に配置されるので、線は縦と横方向の画素の組み合わせで表され、線が滑らかな

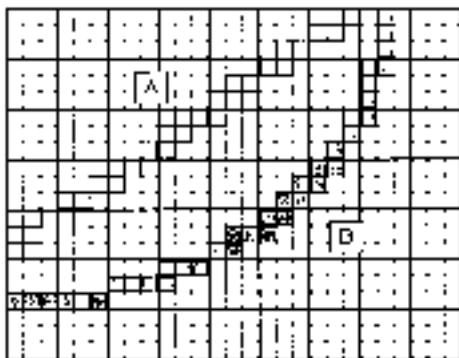


図 6.12 デジタル画像における線の描画例

Fig. 6.12 Examples of drawing lines at a digital image.

であればその描画様式は線の太さや傾きによってほぼ定まるという特徴がある。例えば、太さが一樣な直線は、同図中に示した A のように、傾きに応じた画素パターンの繰り返しで、曲線は、同図中 B のように接線角度の変化に伴い画素の連結方向が徐々に変化する形式で描かれる。また、ほとんどの滑らかな線は、種々の直線や円弧の画素パターンの組み合わせで表される。

そこで、線の形状を判別する方法として、上述のような描画上の制約条件を前提に、予め線の形状とそれを構成する微小部分の画素パターンとの関係を求めておき、画素の連結状態が検出されたときにそれらと照合する方式が考えられる。

こうした考え方に類するものとして、角度検出用の Kirsch のオペレータ(90)や平面形状検出用の大津らのオペレータ(59)などがあり、いずれも 3×3 画素（以下セルと呼称）をパターン範囲とし、パターン数をそれぞれ 8 及び 25 個に設定している。ただし、これらのオペレータでは常にセル中心の画素に関するパターンを検出しなければならないため、画素を一つずつ走査する必要がある。

本節の方式では、画像走査処理の高速化を図るため、走査がセル単位で済むように、滑らかな線がセル内で取り得る要素パターンを 3×3 画素単位で予め全て調べておくことにする。その場合図 6.12 の太線枠で示すようにパターン数が多くなるものの、処理対象の面積は 9 分の 1 に減少する。なお、要素パターンの画素範囲は、2 値画像で $n \times n$ 画素としたとき、パターン総数が 2 の $n \times n$ 乗となり n とともに急増するので、実用上 n 値は 3 が適当と思われる。

一方、線の形状判別に関し、線の形状と画素の連結パターンの関係を角度の面からみたとき、直線の場合には連結パターンの平均角度が一定なのに対し、円弧の場合にはその変化割合が一定となる。そこで本方式では、線要素パターンの傾きの状態を検出し、それらが上述のどちらの性質に属するかによって直線部分か円弧部分かを判定することにした。

画素の連結状態をセルで区切ると、各セル内の画素状態が明確になる反面、隣接セルとの関係が分かりにくくなる。その関係を把握するために必要なパターン因子は、①線の太さや領域内の位置に関する画素数、②パターンの方向性を表す角度、③画素の集合状態を表す画素の重心、及び④隣接セルとの連結状態を表す辺パターンなどである。本節ではこのうち①と②を用いて隣接セルとの関係を調べた。

線要素パターンの形状と角度の関係は、①角度が特定されるもの、②方向性に広がりのあるもの、及び③方向性の不定なものに分けられる。このうち②のパターンについては、種々の傾きの直線をセル単位で走査したときの出現頻度分布から代表的な角度が求められるので、本節では①と②のセル（角度セルと呼称）について、予め

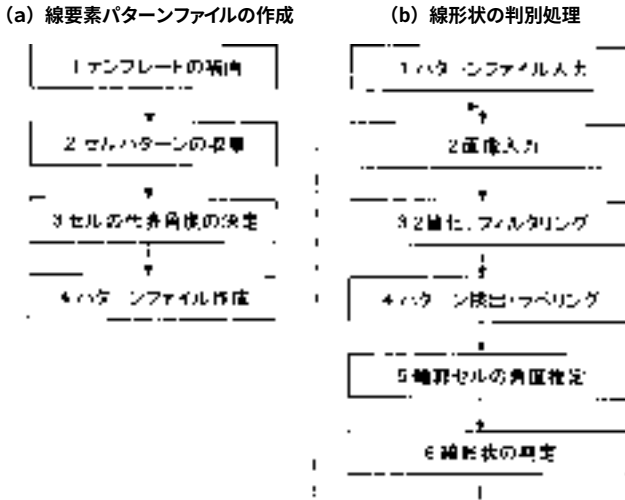


図6.13 画像処理手順

Fig. 6.13 Procedure of image processing.

対応する代表角度を決めておき、線の傾き角度の検出用として用いた。

(2) 画像処理手順

本方式の画像処理は、図 6.13 のフローチャートに示すように、(a) 事前に線要素パターンと線の形状を関係付けるためのパターンテーブルファイルの作成と、(b) 作業時に用いる形状判別処理の二つに大別される。(a) では、①モニタ画面内における種々の形状の直線と円弧のテンプレートの描画、②セルの走査による画素パターンの収集と番号付け、③角度セルの検出と代表角度の決定、及び④線要素パターンファイルの作成の各処理を行う。

(b) では、まず①上述の線要素パターンファイルを入力して初期条件を設定する。次に②カメラから画像を入力し、③2値化とフィルタリングによって目標物を抽出する。得られた2値画像について、④セル走査により線要素パターンを検出するとともにラベリングを行う。それらの結果をもとに、⑤輪郭各部の角度セルから平均角度を求め、⑥輪郭全体の角度分布の特徴から線の形状を判定する。この後に物体の全体形状に関する判別処理が必要になる。農作業時の画像処理では②～⑥を繰り返す。

(3) 適用例

1) 線要素パターンテーブルの作成例 横×縦が 640 × 400 画素の15インチモニタ画面内では1セルが約 1mm 四方で表されるので、テンプレートの作画条件は、寸法が約 20 画素以上で輪郭が滑らかな物体を対象に表 6.1 のように設定した。作画にあたっては、各傾きの直線は長さtと幅をともに 1 / 10 画素刻みとして式 (6.1) で、また各半径の円弧は中心角を 1 / 10 度刻みとして式 (6.2) で、それぞれ浮動小数点計算のあと整数化して x, y の座標値を算出した。一本の直線または円弧を描画するたびにセル単位の走査を実施し、パターン形状を

表 6.1 線要素パターンテーブルの作画条件

Table 6.1 Drawing conditions for a pattern table of line elements.

形 状	項 目	条 件	備 考
直 線	長 さ	80 画素	角度パターン
	太 さ	1 ~ 5 画素	
	傾 き	0 ~ 360° (1 ~ 60° 間隔)	
円 弧	半 径	10 ~ 180 画素 (10 画素間隔)	
	太 さ	1 ~ 5 画素	
	中心角	360°	

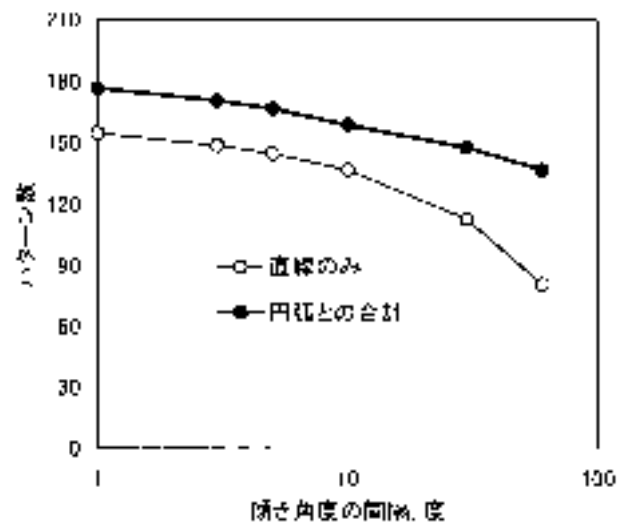


図6.14 直線の傾き角度間隔とパターン数の関係

Fig. 6.14 Relationship between angle intervals of line slopes and number of patterns.

9次元の配列データとして検出し番号付けを行った。その際1セル当たりの線の構成画素数が3～6のセルは角度セルとみなして代表角度を調べた。なお、画面上 x 軸を右向き、y 軸を下向きにとり、直線の傾きは水平から反時計回りの角度で表した。

直線：

$$\begin{aligned} x &= x_0 - L \cdot \cos \theta - t \cdot \sin \theta + 0.5 \\ y &= y_0 + L \cdot \sin \theta + t \cdot \cos \theta + 0.5 \end{aligned} \quad (6.1)$$

円弧：

$$\begin{aligned} x &= x_0 - r \cdot \cos \delta + 0.5 \\ y &= y_0 + r \cdot \sin \delta + 0.5 \end{aligned} \quad (6.2)$$

ここで、 x_0, y_0 は中心座標、 L は長さ、 t は幅、 r は半径、 θ は傾き角度、 δ は中心角。なお、単位は、長さが画素、角度がラジアンである。

その結果パターン数は、図 6.14 に示すように直線の傾き角度の間隔を狭く設定するほど多くなり、その間隔が 5° 以下ではほぼ飽和状態になった。そのときのパターン数は円弧テンプレートとの合計で 162 個、角度セル数は 110 個であった。角度セルの代表角度は約 23° の倍数

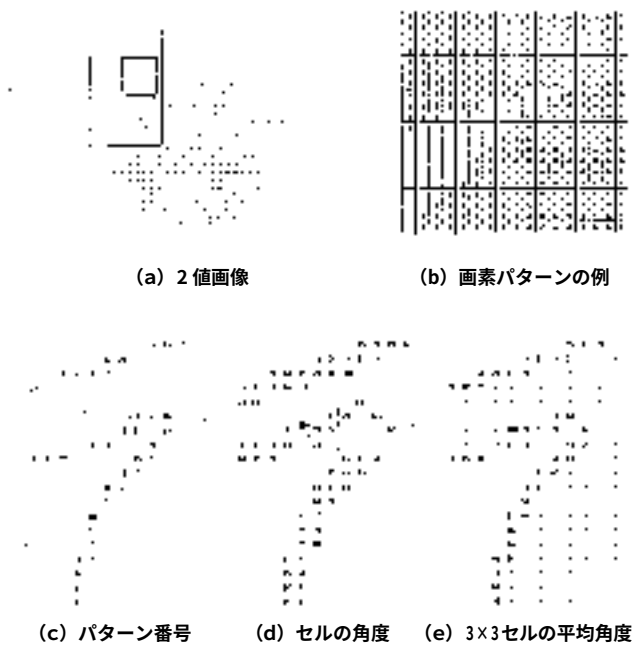


図 6.15 2 値画像の処理例

Fig. 6.15 An example of image processing on binary images.

で表されるものが多く、円周を 16 等分した角度 (22.5°) に近似した。なお、パターン数には各直線の末端パターンも含まれている。これらの結果より、線要素パターンテーブルは、直線の角度間隔を 5° にした場合について、各セルのパターンに番号と代表角度を対応させて作成した。

2) 作画画像の処理例 図 6.15 に作画画像の処理過程を示す。同図 (a) の長方形は式 (6.1) で長さ 160 画素、幅 15 画素、傾き 20° として、円形は式 (6.2) で半径を 50 画素として、それぞれコンピュータ内部で描画したものである。

同図 (b) は (a) の小枠内のパターン状況であり、図中の数字は当該画素が画像領域の構成要素であることを示す。輪郭付近では、パターンテーブルに規定された角度セルよりも、角度の不明確なセルの方が多くなった。輪郭の傾きはこれらのセルが連結した状態で表される。

同図 (c) ~ (e) は各領域の輪郭セルである。それらの抽出は、セル当たりの線構成画素数が 1 ~ 8 個のセルと隣接するセル、及びセル内の全画素が線構成要素の場合は少なくともセルの一边が非画像領域に接するものという基準で行った。

同図 (c) の数値は輪郭セルのパターン番号であり、番号 7 はセル内の画素が全て線構成要素である。長方形と円弧の交差部分あるいは長方形の辺同士の交差部分では、該当するパターン番号がないため図には表示されず空白になっている。

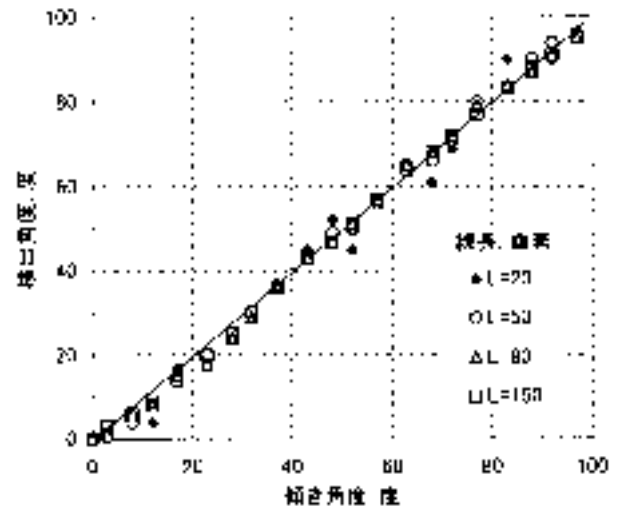


図 6.16 直線の傾き角度の検出結果

Fig. 6.16 Results of detection on line slope.

同図 (d) は輪郭付近の各セルの角度を表す (単位は $^\circ$), 180 は 0° を意味する)。各値は、上述のような輪郭セルのパターン状況を考慮し、同図 (c) の小枠で示すように各セルの近傍 3×3 セルで作られるパターンを角度セルのパターンにあてはめて求めた。長方形の斜辺部分をみると、各セルの検出角度は $0 \sim 28^\circ$ で実際の傾きとの差が大きい。しかし、さらに各セルの近傍 3×3 セルの値を平均する (小枠で例示) と同図 (e) のようにほぼ 5° 以内の誤差に収まった。円弧についても同様であった。

以上のような操作を輪郭全体に実施して角度変化を調べた結果、長方形の斜辺部分は直線、円の輪郭は円弧と適正に判別された。

(4) 考察

1) 線の形状要素の検出精度 線の主な形状要素である直線の傾き角度、円弧の接線角度及びその曲率半径に関する検出精度は次のようであった。

(射) 直線の場合 その傾き角度の検出精度は、式 (6.1) で長さ 20 ~ 150 画素、幅 2 画素の直線を 3° から 98° までほぼ 5° おきに描画し、 3×3 セルのパターンから代表角度を求め、各長さに対する平均角度を算出した。結果を図 6.16 に示す。誤差は、長さ 20 画素のとき全体的にほぼ 5° の範囲に収まったが、傾きが 50° 及び 70° 付近で $7 \sim 8^\circ$ になった。これは線の末端がセル内で中途となって角度計算に影響を及ぼしたためである。そのため傾き角度の検出では最低 6×6 セル程度の範囲が必要である。長さが 50 画素以上では誤差がさらに小さくなる傾向にあり、全体的にみると直線の傾きの検出精度は長さ 20 画素以上について約 5° である。

(捨) 円弧の場合 接線角度の検出精度は、半径 30 ~ 120 画素の場合について、接線角度 $15 \sim 165^\circ$ の範囲で周長約 6 セル分の円弧を 15° 間隔で順次描画し、図 6.15

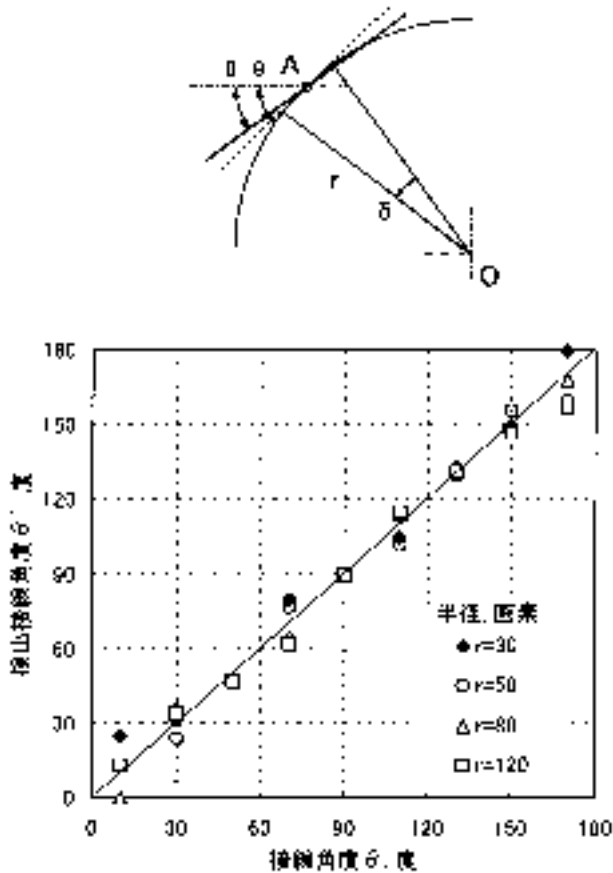


図6.17 円弧の接線角度の検出結果

Fig. 6.17 Results of detection on tangent angles of arc.

(e)と同様に 3×3 セルの平均角度を求める方法で調べた。その結果は、図 6.17 に示すように、半径が小さいほど誤差が大きくなる傾向がみられたが、いずれの半径でもおおむね 5° 以内の誤差範囲にあった。

次に、曲率半径は、半径 30～160 画素、中心角約 $5^\circ \sim 110^\circ$ の範囲で、円弧の両端で検出された接線角度と両座標間の弦長 s から式 (6.3) で算出した。曲率半径を r' 、中心角 δ をとすると、

$$r' = s / \sqrt{2 \cdot (1 - \cos \delta)},$$

$$\delta = \theta_1 - \theta_2 \quad (6.3)$$

ここで、 θ_1 、 θ_2 は円弧両端の接線角度。

その結果を図 6.18 に示す。 δ を横軸に、計算による曲率半径と円弧の原半径との比 (半径比) を縦軸にとって原半径別に表した。半径比は、 δ が約 60° 以下では 1 の上下に散らばりが大きい。中心角が比較的小さい円弧では接線角度の誤差が小さくても曲率半径の算出に対する影響は大きくなった。 δ が 80° 以上ではいずれの半径でもほぼ 0.9～1.1 の範囲に収まった。計算精度は約 10%であった。

2) 果実画像の処理例 実際のビデオカメラ画像に対する本手法の適用性を見るため、収穫期のリンゴ園で撮影した逆光状態の果実画像の処理例を図 6.19 に示す。処理方法は、カラーの原画像 (同図 (a)) に対し RGB

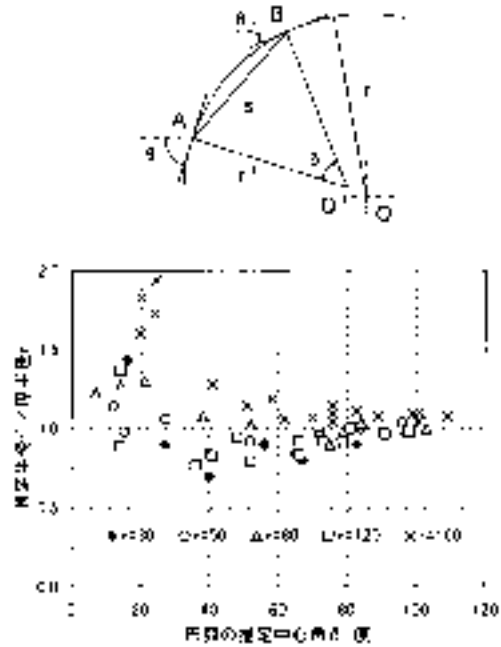


図6.18 円弧の曲率半径及び中心角の推定

Fig. 6.18 Estimation of radius curvature and central angle.

の各信号を移動平均後、輝度 (256 階調) のしきい値 100 以下をアクティブ (黒色で表示) とする 2 値化を行い、以後前述の処理手順にしたがって輪郭セルの角度を検出した。

同図 (b) は抽出された輪郭の一部であり、輝度の高い葉の部分が消失したが、果実と枝の輪郭は原状に近い。各部の角度は同図 (c) のように、おおむね妥当な結果が得られた。ただし、ノイズ等の影響で不良の個所もあり、線の形状判別のためにはさらに検討が必要である。

なお、処理手順②から⑤までの所要時間は、パソコン (CPU: インテル 486ODP, 50MHz, C 言語) で約 8 秒、各処理の時間割合は、②のファイル入力 ($640 \times 400 \times 3$ Byte, EMS メモリから) が 25%, ③が 34%, ④のパターン検出が 12%, ラベリングが 22%, ⑤が 7% となり、ファイル入力時以外では 2 値化とラベリング処理の割合が高かった。

以上のように、モニタ上の作画像に対する基礎的な検出精度はほぼ十分であり、また実際のビデオ画像にも適用可能なことが分かった。線の交差部分の処理対策、ノイズ対策、2 値化・ラベリング処理の高速化が今後の課題である。

4. 収穫マニピュレータの位置制御への応用

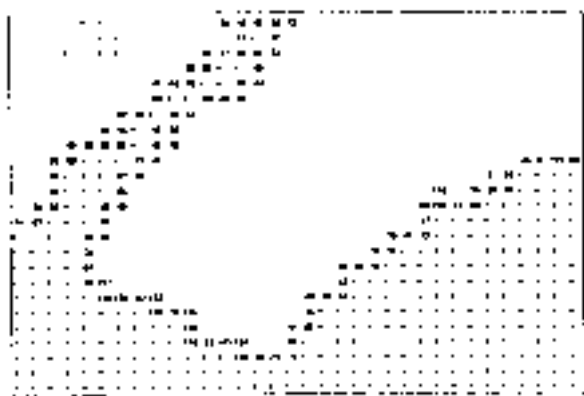
本節では、本研究のステレオ視法を用いて三次元空間内のいくつかの視点座標値を取得し、それらの視点座標と基本動作パターンを利用して収穫マニピュレータの接近動作を行う制御方式について考察するとともに、その接近精度を数値シミュレーションによって検討した (81)。



(a) 果実原画像



(b) 輪郭の検出結果 (一部)



(c) 輪郭セルの平均角度の例 (単位: 度)

図 6.19 リンゴ果実画像の処理例

Fig. 6.19 An example of image processing on apple images: (a) original image of apples, (b) result of detection on the contour (a part), (c) examples of average angle on cells of contour.

(1) 視点座標と基本動作パターンを利用した制御則

収穫機本体が静止しているとき、マニピュレータの動作空間は、その自由度によって決まる一定の範囲内に限定される。そこで、その範囲内に予めいくつかの位置を定め（所定点と呼称）、基点からそれぞれの点に到達するために必要なマニピュレータ各部の動作データ（各関

節の回転角度、速度、トルクなどのデータ）をまとめて基本動作パターンとして記憶させておき、目標点への動作制御量を計算で求める際には、その近傍にある所定点への基本パターンを利用する、という制御方法が考えられる。このようなフィードフォワード的制御とフィードバック制御の組合せが採用されると、マニピュレータの運動に関する方程式を逆計算によって解く場面が少なくなるので、制御計算を容易かつ高速に行うことが可能になると予想される。

1) 視点座標と所定点の設定 ステレオ視システムが収穫機本体に装着され、カメラヘッドが上下、左右に回転できる状態のとき、所定点の位置座標は、カメラヘッドからの距離 r 、視線の上下角度 ϕ 及び左右角度 ψ の視点座標で表される。基本動作パターンを予め与える所定点は、数が多いほど目標点との相対的距離が短くなり利用上有利であるが、一方メモリ量が多数必要になる。ここでは所定点を、視点座標の各変数がそれぞれ一定間隔となる平面（曲面）の交点上に定め、所定点と目標点の位置関係がカメラヘッドからの距離と角度で比例的に表すことができるように設定する。

2) 目標点の動作パターンの計算方法 目標点の動作パターンを簡単に求めるには、図 6.20 のように目標点 P を囲む 8 個の所定点 (1 ~ 8) を一組とし、各点のデータと位置関係をもとに比例計算で補間を行えばよい。すなわち、まず $P(r, \phi, \psi)$ を通る r 面と、所定点 1 及び 4 を通る ψ_1 及び ψ_4 面との交線上に投影した点 P' 、 P' の動作パターンを求め、次にそれらと P の ψ 方向の比例関係より P の動作パターンを算出する。点 P の動作パターンは、 ψ_1 面上で r, ϕ と動作パターン因子（例えばある関節の回転角度 θ ）の関係が図 6.21 のように三次元上で平面構造で表されれば、所定点 1, 2, 5 及び 6 の値より比例計算で求められる。点 P' についても同様である。したがって、目標点 P に関する動作パターンの 1 因子 θ の計算式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \theta = & B_1(r-r_1)(\phi-\phi_1)(\psi-\psi_1) \\ & + B_2(r-r_1)(\phi-\phi_1) \\ & + B_3(\phi-\phi_1)(\psi-\psi_1) + B_4(r-r_1)(\psi-\psi_1) \\ & + B_5(r-r_1) + B_6(\phi-\phi_1) + B_7(\psi-\psi_1) \\ & + \theta_1 \end{aligned} \quad (6.4)$$

ここで、 r, ϕ, ψ 及び θ の添字は所定点番号を示す。また係数 $B_1 \sim B_7$ は次式で表される。

$$\begin{aligned} B_1 = & (\theta_7 - \theta_8 - \theta_6 + \theta_5 - \theta_3 + \theta_4 + \theta_2 - \theta_1) \\ & / (r_2 - r_1)(\phi_5 - \phi_1)(\psi_4 - \psi_1) \\ B_2 = & (\theta_6 - \theta_5 - \theta_2 + \theta_1) / (r_2 - r_1)(\phi_5 - \phi_1) \\ B_3 = & (\theta_8 - \theta_4 - \theta_5 + \theta_1) / (\phi_5 - \phi_1)(\psi_4 - \psi_1) \\ B_4 = & (\theta_3 - \theta_4 - \theta_2 + \theta_1) / (r_2 - r_1)(\psi_4 - \psi_1) \\ B_5 = & (\theta_2 - \theta_1) / (r_2 - r_1) \\ B_6 = & (\theta_5 - \theta_1) / (\phi_5 - \phi_1) \\ B_7 = & (\theta_4 - \theta_1) / (\psi_4 - \psi_1) \end{aligned} \quad (6.5)$$

式 (6.4) 及び (6.5) は他の動作パターン因子につい

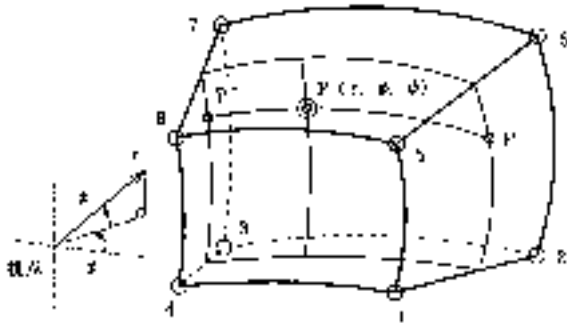


図6.20 目標点と所定点の位置関係

Fig. 6.20 An illustration of an objective point and fixed points.

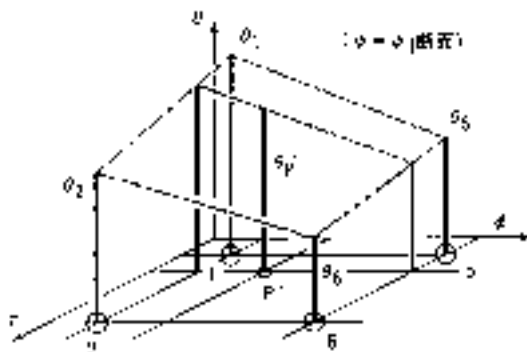


図6.21 動作パターン構造の模式図

Fig. 6.21 An illustration of a pattern structure of action.

ても同様に成り立つ。

ところで、式(6.4)の各係数は所定点1～8の視点座標と動作パターンで決まる定数なので、これらの係数を所定点(例えば点1)に関する特性値とみなし予め算出してメモリに格納しておけば、目標点の動作パターンは、その視点座標に最も近い所定点(点1)を見つけ出すことにより容易に計算できるようになる。

3) 制御アルゴリズム マニピレータ先端の接近動作に関する本方式の制御アルゴリズムをまとめると次のようになる。まず、①先端の動作空間内に視点座標に基づく所定点を定め、各点について基本動作パターンを決定し、式(6.4)の係数を算出してメモリに格納する。次に、②目標点の視点座標を入力し、③その付近の所定点を探して式(6.4)で動作パターンを計算する。さらに、④先端の現時点の視点座標を入力し、③よりその動作パターンを求める。⑤それぞれの動作量の差から先端を目標点まで移動させるための所要動作量を求め、⑥ハンドの各関節の駆動命令を出力する。なお、移動経路(軌道)上に障害物などがある場合には中継点を設定し、その点までの動作パターンを算出して使用する。

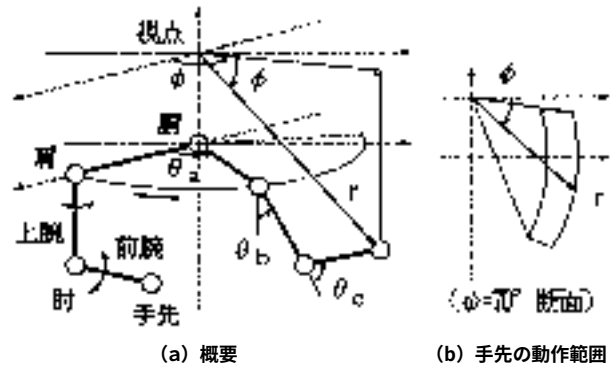
(2) 数値シミュレーションによる接近精度の検討

本方式による制御計算では、所定点8個で1ブロックを構成して利用するので、各所定点間の距離、目標点と

表6.2 供試マニピレータの仕様

Table 6.2 Specification of an experimental manipulator.

構 造	関節型
動作自由度	3
胴体回転範囲	115°
上腕回転範囲	241°
制 御 方 式	ON-OFF制御



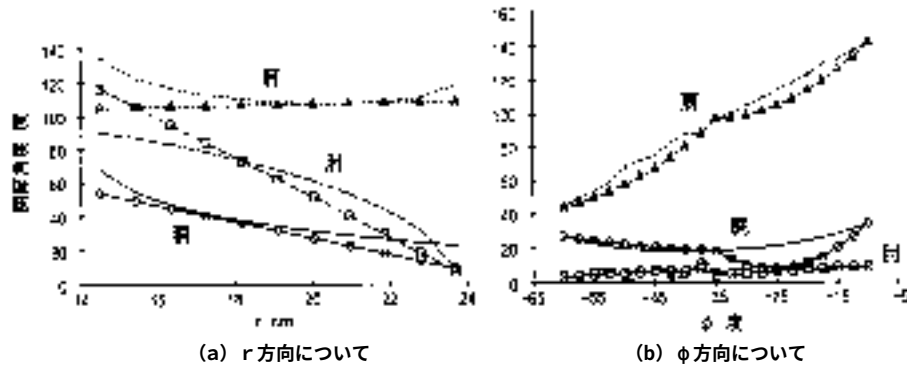


図 6.23 各関節角度の変化状態の例

Fig. 6.23 An example of change conditions of each joint angle: (a) in the direction of r , (b) in the direction of ϕ .

$$+ \{B_{41}(r-r_4) + B_{42}(r-r_1)\}(\psi-\psi_1) \\ + B_5(r-r_1) + B_6(\phi-\phi_1) + B_7(\psi-\psi_1) + \theta_1 \quad (6.6)$$

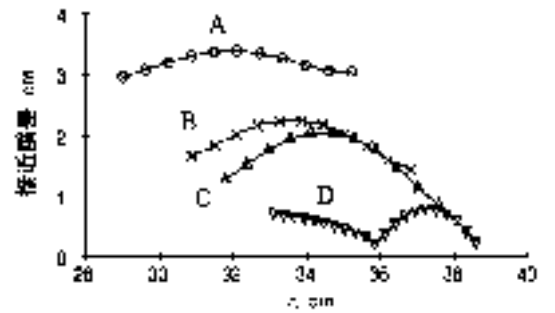
ここで,

$$\begin{aligned} B_0 &= (r_7-r_8)(\phi_5-\phi_1)(\psi_4-\psi_1) \\ B_{11} &= (\theta_7-\theta_8)/B_0, & B_{12} &= -(\theta_6-\theta_5)/B_0 \\ B_{13} &= -(\theta_3-\theta_4)/B_0, & B_{14} &= (\theta_2-\theta_1)/B_0 \\ B_{21} &= (\theta_6-\theta_5)/(r_6-r_5)(\phi_5-\phi_1) \\ B_{22} &= -(\theta_2-\theta_1)/(r_2-r_1)(\phi_5-\phi_1) \\ B_3 &= (\theta_8-\theta_4-\theta_5+\theta_1)/(\phi_5-\phi_1)(\psi_4-\psi_1) \\ B_{41} &= (\theta_3-\theta_4)/(r_3-r_4)(\psi_4-\psi_1) \\ B_{42} &= -(\theta_2-\theta_1)/(r_2-r_1)(\psi_4-\psi_1) \\ B_5 &= (\theta_2-\theta_1)/(r_2-r_1) \\ B_6 &= (\theta_5-\theta_1)/(\phi_5-\phi_1) \\ B_7 &= (\theta_4-\theta_1)/(\psi_4-\psi_1) \end{aligned} \quad (6.7)$$

計算条件は、所定点ができるだけ少ない状態での接近精度をみるため、 r 方向の動作範囲を 1～2 分割、 ϕ 及び ψ 方向を 2～8 分割した場合（所定点数で 18～243 個、1 分割区の r の長さ 7～3.5 cm、 ϕ 及び ψ の角度 30～7.5°）について、各分割区の境界点に所定点を設定し、所定点間を 10 等分した目標点について接近誤差を求めた。

3) 数値計算結果及び考察 本方式では動作パターンの様式が所定点間で図 6.21 のような構造にあることを前提にしている。そこで実際の構造状況をみるため、視点座標から関節角度を直接逆計算で求めた。その例を図 6.23 に示す。同図 (a) は $\phi = -22.5^\circ$, $\psi = 75^\circ$ で r 方向にみた場合で、実線が胴、短破線が肩、長破線が肘の各関節角度を表している。同図 (b) は同じ ψ 断面について、 r の最大限界部分（同図 (a) の右端に相当）を ϕ 方向にみた場合である。なお、○、△、□印を付した線は本方式による場合で、分割数が [r 方向, ϕ 方向, ψ 方向] = [1, 2, 2] のときの結果である。

両図から、この ψ 面では r , ϕ に関する胴関節の動作パターン構造はやや凹面形で r 方向に下降傾向、肩関節もやや凹面形で ϕ 方向に上昇傾向、肘関節では凸面形で



A・分割数[1.2.2]、B 同[1.3.3]、C 同[1.4.4]、D 同[2.8.8]

図 6.24 r 方向の接近誤差の分布例

Fig. 6.24 Distribution of approach errors in the direction of r .

r 方向に下降の状態にあることが分かる。このように実際の動作パターンが平面構造とはやや異なるため、本方式による関節角度の値は所定点の設定数が少ないほど適正值から離れる部分が多くなる。例えば分割数が [1, 2, 2] の場合、胴及び肩関節では上方ブロックの外縁付近ほど逆計算値との差が大きくなり、また肘ではブロック中央付近にも差の大きい部分がみられた。

マニピレータ先端の接近誤差は、上述のような適正值との差が各関節角度の累積された結果として現れる。図 6.24 は 4 通りの分割条件について、それぞれ最右下側のブロック中央を通る r 方向の線上に目標点をとった場合の接近誤差の分布例である。なお、各分割条件によってブロックの大きさが異なり、 r 方向の動作限界が変化するため、同図のように r の始点と終点の値は異なっている。同図で接近誤差は、分割数 [1, 2, 2] の場合が 3～3.5 cm で最も大きく、分割数が [2, 8, 8] の場合には、最大が 0.8 cm となった。接近誤差は、 r 方向だけでなく、 ϕ , ψ 方向の分割数が増すことによっても小さくなった。

また同図では、ほぼ所定点間の中間付近で接近誤差が最大になる傾向がみられたが、これは、図 6.24 のように肘関節の誤差が凸形になっている影響のためである。

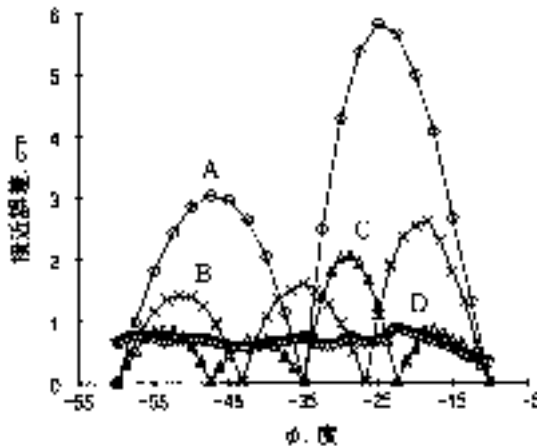


図6.25 φ方向の接近誤差の分布例

Fig. 6.25 Distribution of approach errors in the direction of ϕ .

分割条件によっては、 r 方向に関する接近誤差分布の傾向が ϕ の値で異なり、 ϕ が0に近いほど中央付近の誤差が減少し、両端部分の誤差が増大する傾向の場合もみられた。

図 6.25 は ϕ 方向の接近誤差の分布例で、対象部分は各分割条件とも動作範囲中央よりやや右側で最外側のブロックである。接近誤差は、条件Aの分割数 [1, 2, 2] の場合、上下ブロックとも中央部分で最大になっているが、特に上方側のブロックでは約 6 cm と極めて大きな値となった。その理由は、 ϕ が0に近いほど、胴関節の角度が r の増加とともに二次曲線的に変化して凹面形の傾向が強くなるため、 r 方向の分割数を1とした本方式の結果ではその計算構造上の差がとくに増大したためである。 ϕ 方向の分割数が増えると接近誤差は減少するが、 ϕ が0に近い領域では上述の理由からその減少割合が小さい傾向にあった。

図 6.26 は、最下部外方のブロック中央部分を通る ψ 方向の線上で接近誤差を調べたものである。 ψ 方向に関する所定点間の変化は各関節とも直線になるため、同図のように接近誤差が一定になっている。誤差の大きさは、分割数 [1, 2, 2] の場合同図で約 3 cm であるが、同じ分割数でも上方側のブロックでは最大約 6 cm で一定となった。なお、分割数が [1, 4, 4] と [2, 8, 8] の場合、誤差は約 0.8 cm とほぼ同じ値になり、分割数 [1, 2, 2] の約 1/4 であった。なお、いずれの場合も3関節の中では胴関節の角度誤差が先端の接近精度に大きな影響を及ぼす状況が多かった。

以上のように、本方式による制御計算では、動作パターンの様式が曲面形的な傾向の強い部分で作成されたものほど、分割数の多少が接近誤差に大きく影響することが分かった。対象にした簡易マニピレータの場合、分割数が [2, 8, 8] の場合にはほぼ動作範囲全域にわたり誤差が 0.8 cm 以下であった。

実際の収穫マニピレータでは r の動作範囲を 0.5 m

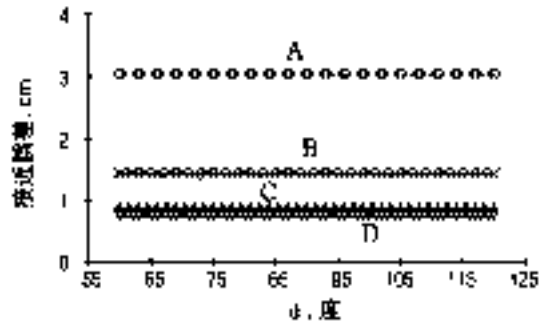


図6.26 ψ方向の接近誤差の分布例

Fig. 6.26 Distribution of approach errors in the direction of ψ .

～ 1.5 m 程度に設定する必要がある、接近誤差はさらに大きくなると予想されるので、分割数を増し所定点数を多くするなどの対策が必要になる。ただし、1個の所定点に必要なメモリ量は動作パターン因子の個数に式 (6.6) の係数の個数を掛けた分になるので、全体の所要メモリ量が急激に増加する。

したがって、本方式の利用にあたっては、所定点数を減らしつつ接近精度を確保するため、予め動作パターンの様式を調べ曲面的傾向の強い部分については分割数を増し、平面的傾向の部分では減らすなどの対策が必要になる。

本方式の実用化に関する課題としては、上述の所要メモリ量のほか、動作パターン計算のための所定点の探索、動作因子の相互の影響、マニピレータの姿勢や軌道生成の決定方法などが挙げられる。

5. 要 約

本研究のステレオ視法による立体形状の計測について、ルービックキューブとリンゴ果実を供試して実験を行った結果、照明条件の影響は、合成カラー画像ではあまり見られないものの、距離画像では濃度勾配が小さい条件ほど誤対応による誤差の増加傾向になって現われた。果実表面の輝度や色調に 20 以上の濃度勾配があるときにはその影響が少なく利用可能なことが分かった。誤対応対策としては、RGB 濃度分散の平均計算範囲を主要な輪郭幅分以上に取れば有効な場合が多かった。しかし、その範囲を広くするほど立体物表面の凹凸形状が平均化されることになるので、その設定方法についてはさらに検討する必要がある。

果実などの物体形状や姿勢を輪郭の形状から判定するため、デジタル画像における線の描画形式を 3×3 画素の線要素パターンで表して利用する画像処理方式について検討した。線要素パターン数 162 個、角度セル数 110 個とした場合、線の形状要素の検出精度は、長さ 20 画素以上の直線の傾きについて約 5° 、半径 30 画素以上の円弧の接線角度について 5° 、中心角 80° 以上の曲率半径について約 10 % であった。果実画像の処理結果例より、輪郭各部の角度はおおむね妥当な値の得られることが分

かった。実用化のためにはノイズ対策や2値化処理等の高速化が必要である。

収穫マニピュレータ各部の関節における所要動作量を、三次元視点座標と基本動作パターンを利用して算出する制御アルゴリズムと、それによる接近精度を検討した。その結果、3自由度の簡易マニピュレータを対象にした数値シミュレーションでは、マニピュレータ先端の動作範囲を視点座標の r 、 ϕ 、 ψ 方向にそれぞれ2、8、8個に分割し、所定点数が243個の場合、接近精度は約0.8cmとなった。実際のマニピュレータでは動作範囲がより広範なため誤差がさらに拡大すると予想されるが、その接近精度を許容範囲に収めるためには、所定点間の動作パターン特性に応じて、所定点の位置、間隔、及び個数を決める必要があることを示した。

第7章 総 括

リンゴ園の果実を機械で自動的に収穫するためには、対象とする果実を周囲の物体から識別し、それらの相対的な位置関係、及び収穫機を基点とする三次元位置座標を把握しなければならない。両眼ステレオ視は、そのような屋外での三次元情報獲得に有効な計測法である。しかし、ステレオ対応問題の実用的な解決策がまだ見出されていないため、収穫機械に搭載して自動化の実現のために利用することは依然困難な状況にある。

本研究の目的は、果実の自動収穫を前提にした機械化を図るため、果実とその周囲の環境に関する三次元視覚情報を入力する手段として両眼ステレオ視による計測手法を開発し、その計測システムを確立することである。そのため、主要な4課題—(a)ステレオ視システムの機械的距離特性、(b)両眼ステレオ視に関する新たな測定原理の考案、(c)ステレオ対応問題の分析と対策、(d)主な画像入力因子が計測精度に及ぼす影響—に的を絞って検討を行った。さらに、本研究の手法を果実の形状計測と収穫マニピュレータの位置制御に応用する場合について考察を行った。

(1) ステレオ視システムの試作

両眼ステレオ視法は、2台のカメラで撮影された一対の画像をもとに三次元位置を計測する方法である。本研究の実験に供試するため試作したステレオ視システムは、2台のCCDカラービデオカメラ、ノートパソコン、キャプチャPCカード、パン・チルト式カメラ台、及びカメラ画像入力切替器で構成した。ビデオカメラは、38万画素のCCD素子撮像面を持ち、画像信号出力がNTSC方式で、撮影操作をパソコンで制御できる構造のものとした。

リンゴ園で果実の自動収穫を行う際に、撮影画像の処理によって果実を探索し識別できるようにする必要がある。そこで、対象果実を試作システムの正面位置に所定範囲の大きさで撮影できるように、カメラ部を上下左右

に回転するためのパン・チルトと望遠用ズームの両機構、及びそれらを制御するカメラ制御機構を装備した。カメラ制御機構の操作は、パソコンから手動またはプログラムによる自動でRS232Cインターフェースを介してVISCAネットワークで行えるようにした。

試作システムの距離測定精度は、各カメラレンズ系の撮像特性及び距離特性と、ステレオ光学系の構成状態に大きく影響される。リンゴ園では果実が広い樹冠の内外に存在するため、その測定精度はステレオ光学系のわずかな誤差によって急激に低下し、遠距離にあるものほどその影響が著しく現れる。そのため、ハードウェア面に関するキャリブレーションを次の方法で綿密に行った。

まず、試作システムの左右のビデオカメラを個別に、撮影距離とズーム値を条件にして距離特性実験を行い、回帰分析により、レンズ収差の補正式、カメラの焦点距離と合焦距離の関係、ズーム値と焦点距離の関係、仮想レンズ中心の位置式、カメラ撮像面サイズに対するモニタ画面サイズのスケール係数を求めた。次に、それらの諸関係と、左右各カメラ光軸の交差角の補正、及び左右両画像の画素単位の対応づけに留意して試作システムの距離式を校正した。その結果距離誤差は、1～4.5m間でおおむね±2%の範囲に入り、機械的に十分な精度を持つことを確認した。

(2) 左右画像合成によるステレオ視計測法の開発

両眼ステレオ視に関する従来の測定原理は、左右のカメラの撮影画像について同一物体像の対応づけを行い、三角測量の原理で距離を算出するものである。そのため、はじめに左右両画像の対応づけが解決できなければ距離計算に進むことができない。対応づけ解決のための制約条件として通常、Marrの3制約とエッジポラ拘束が利用されるが、ステレオ対応問題に対しては十分でない。

本研究では、そうした問題を打開するため、ステレオ光学系の物理学と、人間視覚系に関する視神経生理学や心理学の研究成果を考慮して、両眼ステレオ視の計測に関する新たな原理を考案した。

その測定原理は、左右一対の画像を奥行き方向の空間断面ごとに重ね合わせたとき、その断面と交差する物体像が鮮明になることに基づいている。すなわち、まず注視操作によって探索空間内の距離断面を決め、その断面に関する左右画像の合成像を作成する。次にその合成像の鮮明さを検出して比較することにより、断面上での物体の有無が判明する。それによって物体の位置と距離に関する情報を直ちに得ることが可能になる。

合成像の作成は、物体像の重なり位置ずれを色ずれとして容易に判別できるようにするため、合成画像における偶数行と奇数行を、それぞれ左画像の偶数行と右画像の奇数行から交互に選んで配列する方式にした。これにより、左右画像の物体像が適切に重なったとき水平行間の色ずれが最小で鮮明なカラー画像となり、位置ずれ

が増加するに従って水平間の色ずれが増して画像の鮮明さが低下する。

各画素の鮮明さの指標には、上下方向の RGB 濃度分散を用いた。上下方向の色ずれの大小が濃度分散の大小で表され、色ずれが最小のときその値が最小になる。ただし、重なりに広がりがある場合や形状が局部的に類似する場合などには、重なりが不適切なときにもその値が小さくなるので、各画素について 8 方向の画素で平均分散を算出し、大域的な比較・判別ができるようにした。

本手法の基礎的性質を調べるため、主要因子として焦点距離、撮影距離、平均分散の比較範囲、視差刻み、対象物幅などを取り上げ、赤色円板を対象に実験的に検討した。その結果、円板像全幅分を平均分散の計算範囲に設定すれば、種々の条件下でほぼ適切な合成カラー画像と距離画像の得られることが分かった。さらに、収穫期のリンゴ園で赤色系果実を対象に本手法の検証実験を行った結果、撮影距離約 2.2m で誤差が 4 % の範囲内にあり、本手法が果実の距離計測に適用可能であることを確認した。

(3) ステレオ対応問題画像の分析と対策

リンゴ園で撮影した果実画像では、類似果実の並びや重なり、枝葉の陰になって生じる隠れや果実像の変形など、いわゆる対応問題画像ないしそれに類似した画像が頻繁に見られる。ステレオ視の利用にあたっては、そうした対応問題への解決策または対処法が必要になる。

本研究における測定原理は、視差距離断面ごとに左右画像を合成して中央画像を作成し、その中から鮮明な物体のみを検出するので、合成像における誤対応の機会が減少し、対応問題の発生自体がかなり抑制されると予想される。しかし、現行の TV カメラの撮影方式では、上述の原理とは異なり、被写空間全体が一括して入力されるので、対応問題画像では誤対応によって鮮明な偽像が発生しやすい。そのため、視差距離断面の適切な対応づけと偽像の発生を抑制する対策が講じられなければならない。

本研究では、対応問題画像の典型例として一対の円板が同じエピポーラ線上にあり、それらの投影像の色と形状が全く同じ場合を取り上げ、偽像の発生とその性質を調べた。それとともに人間の視覚系の視交叉を参考に、視差距離断面の対応づけと偽像の抑制対策のため、左右画像内の注目範囲をそれぞれ中央で左右半分ずつに分け、同じ側の視野同士で合成する同側視野合成の手法を考案して検討した。

その結果、左右の同側視野における特徴色の増減傾向を調べることで、注視距離と対象物との前後関係を把握することができ、左右画像に関する視差距離断面の対応づけを適切に行えることが分かった。また、同側視野合成では、偽像の発生位置が同側視野共通領域の外側か境界部分になるため、その RGB 濃度平均分散が真像よりかなり大きくなって判別が可能となり、合成画像で

の偽像の出現が抑制された。

上記の手法を 4 個の円板の同順並び画像と、葉状物による隠れ画像に適用する実験を行い、視差距離断面の対応づけと偽像の抑制が可能であることを確認した。さらに、リンゴ園で撮影した種々の画像の中から果実の同順並び画像 16 組、重なり画像 12 組を選び本手法を適用した結果、視差距離断面の対応づけは、同順並び画像で ± 2 視差刻み分以内が 90 %、重なり画像で 80 % となり、同側視野合成によって約 5 % の精度で距離の推定が可能であった。

(4) 画像入力条件がステレオ視計測精度に及ぼす影響

本研究のステレオ視計測手法の特色は、対象物の合成カラー画像と距離画像を同時に取得できるところにあり、果実とその周囲物体に関する三次元情報の収集を適切に行うことが可能になると予想される。しかし、屋外でビデオカメラによって撮影された画像は、自然光の照射条件や撮影条件などの影響が大きいため、それらが本手法の画像処理で得られる距離精度にどのような影響を及ぼすかを明らかにしておく必要がある。

そこで、試作システムについて、本手法による計測誤差の発生要因を検討し、収穫期のリンゴ園で種々の画像入力条件のもとで撮影した画像を対象に、照度、果実及び撮影の各条件と距離測定の誤差要因との関係、及びそれらが測定精度に及ぼす影響を分析した。

その結果、果実像の明度は、逆光時を除けばカメラの自動露出機能によって果実照度とほぼ比例関係にあり、果実照度が 1 klx 以下と低い場合でも 90 (35 %) 以上になることが多かった。逆光時では背景が空などのように明るい場合ほど急激に低下し、果実照度が 6 ~ 10 klx とそれほど低くない場合でも 90 以下の強逆光状態になる事例が見られた。果実像の明度と距離誤差の関係を、自然光の照射状態が直射光と散乱光 (明度 90 以上の弱逆光を含む) の場合について調べた結果、いずれの照射状態の明度においても平均誤差は概ね $-3 \sim 0$ % の範囲に入った。

合成画像における果実像の RGB 濃度平均分散の状況の特徴別に分類した結果、変化タイプは、頻度割合で V・U 型が約 75 % を占め、次いで N 型が 15 ~ 20 % であった。最小値レベルは 200 ~ 1,000 の割合が 70 % で最も多かった。平均分散が最小になる視差距離と実距離の差は、視差刻み分で -2 から 1 までの占める割合がほぼ 90 % 以上となった。

対象にした全画像 (ふじ 144 組、王林 42 組の計 186 組) の分析結果より、赤色系と黄緑色系の両果実に対する試作システムの適用範囲は、照度 1 ~ 90 klx のもとで逆光時を含めて果実像明度が 90 以上、果実像の重なり度合いが 0.5 以内、モニタ上の果実像幅がふじで 16 画素以上、王林で 26 画素以上であった。上記の条件範囲で供試システムの撮影距離と距離誤差との関係を整理した結果、誤差は撮影距離 1.2 ~ 3.5 m で $-4 \sim 2$ %, 3.5 m 以上

では－7～0%の範囲であった。

(5) 立体形状計測と位置制御へのステレオ視法の応用
本研究のステレオ視計測法の応用として、収穫部（ハンド）で果実を把持するために必要な立体形状の計測と認識の方法、及び収穫マニピュレータを制御する場合へのステレオ視覚情報の利用について検討した。

立体形状の計測について、立方体のルービックキューブと赤色系リンゴ果実を対象に実験を行った結果、対象物表面の RGB 濃度分布が明瞭で濃度勾配が大きい場合に、合成カラー画像、距離画像ともおおむね良好で、距離誤差は5%以内が多かった。ただし、対象物の領域内左右両方で類似した濃度の区域があると誤対応によって距離誤差が発生する場合が見られた。これらの結果より、本手法は果実表面の輝度や色調が一定以上の濃度勾配を持つときに利用可能であることが分かった。誤対応対策のためには、RGB 濃度平均分散の計算範囲の設定基準や鮮明さの判定指標について検討が必要である。

果実や枝の形状を判別し認識する方法は、一般に輪郭形状をもとに判定する方式が用いられるが、その処理の高速化を図るため、デジタル画像における線の描画形式を微小部分でパターン化して利用する画像処理方式を検討した。線の描画形式を3×3画素のパターンで表し、線要素パターン数を162個、角度セル数を110個として検討した結果、線の形状要素の検出精度は、長さ20画素以上の直線の傾きについて約5度、半径が30画素以上の円弧の接線角度について5度、中心角が80度以上の曲率半径について約10%であった。果実画像に適用した結果、輪郭各部の角度はおおむね妥当な値が得られた。実用化のためにはノイズ対策や2値化処理等を効率的に行うことが重要である。

収穫マニピュレータ先端のハンドを果実に接近させる動作制御では、一般にマニピュレータの各関節の所要回転角を逆計算で求めなければならない。そのためリアルタイム制御が困難になる事態が懸念される。そこで、逆計算によらずに、ステレオ視計測で得られた視点座標と所定点に関する基本動作パターンを利用する方式について、そのアルゴリズムを数値シミュレーションで検討した。それらの結果より、本アルゴリズムを実用規模のマニピュレータに適用する場合、その接近精度を許容範囲に収めるためには、所定点間の動作パターン特性に応じて、所定点の位置、間隔、及び個数を決める必要があることを示した。

(6) 結 論

両眼ステレオ視による計測は、ハードウェア面で本研究の使用目的に十分な距離精度能力を有することが分かった。なお、性能発揮のためには、左右各カメラ個別の距離精度要因及び諸関係の把握、各カメラ光軸の交差角の検出と補正、左右画像の画素単位の対応づけに留意することが重要である。

本研究の測定原理が従来と異なる点は、エピポーラ拘

束に加えて左右カメラの共通視野に関する空間拘束を考慮し、対応づけの探索範囲を注視による視差距離断面の付近に限定したことである。注視機能を備えた準能動的ステレオ視とも言える。そのため、対応づけが終了しなければ距離計算が始まらないというような事態は避けられる。ただし、現行のTVカメラ撮像方式では、左右カメラで同時に同一の視差距離断面ごとに撮像・記録することができないので、画像処理の際に左右画像の視差距離断面の不一致による誤対応で偽像が発生し誤差を生じる場合がある。また、注視距離と視差刻みの設定状態によって処理時間や偽像発生に影響が現れることがある。

ステレオ対応問題画像は、本研究の観点からすれば、左右画像の視差距離断面の不一致が発生しやすい画像であり、上述の理由から現行カメラでは根本的な解決は困難と思われる。しかし、片方の画像で特定した対象物の特徴色量を左右の同側視野で比較することにより、左右画像の視差距離断面が一致するかどうかの判定が可能であった。さらに、その付近の断面で同側視野合成を行うことにより、偽像の発生を抑制して距離測定を行うことができた。したがって、この手法を対応問題画像に関する一対策として利用することが考えられる。ただし、特徴色の分布状況によって同側視野の特徴色量が影響を受けるので、それらと注目範囲との関係をさらに検討する必要がある。

リンゴ園でのステレオ視計測による距離精度は、画像入力条件が前述した適用範囲内であれば、本研究の手法を用いることにより、ソフトウェア的にも頭書の使用目的に十分なことが分かった。その適用条件は、実用的な両眼ステレオ視システムの開発における基礎資料として利用可能である。なお、強逆光の画像に対しては本手法による処理が困難な場合が多いので、撮影時に逆光状態を検出して補正する機能が必要である。

以上のように、本研究では、リンゴ園の果実収穫における距離計測に両眼ステレオ視法を活用するため、新たな原理と手法を考案し、計測システムの開発に必要な指針と基礎的な資料の提示を行った。実用化に向けて今後検討すべき課題は、ソフトウェア面では鮮明さ指標の改良、注視距離と視差刻みの決定基準など、ハードウェア面では本研究の測定原理に対応したカメラ撮像方式の採用、高速処理のためのマルチプロセッサ化、距離分解能向上のための解像度の改善、カメラ制御機構の簡素化などである。

謝 辞

本研究の実施に当たり、終始懇篤なるご指導と本論文のご校閲の労を賜った弘前大学農学生命科学部戸次英二教授に衷心より感謝の意を表します。学位審査委員として本論文のご精査を賜った岩手大学農学部太田義信教授、山形大学農学部赤瀬 章教授、帯広畜産大学畜産学

部西崎邦夫教授に深甚なる謝意を奉げます。本研究の実験の遂行と取りまとめに当たり、貴重なご助言をいただいた弘前大学農学生命科学部張 樹槐助手に深謝いたします。また、本研究を開始して以来機会あるごとに適切なご助言をいただいた同福地 博講師に謝意を表します。本研究の開始初期の段階から種々の実験にご協力いただいた中国人留学生孫 明博士、陳 浩修士、並びに本学部生産機械学講座の卒業生各位に感謝いたします。

参考文献

- 青森県農林部りんご課：平成 10 年りんご生産指導要領，青森県農林部りんご課，1998.
- 荒木和男・田中伸宜・藤野智浩・佐藤幸男：高速三次元形状計測装置の試作. 信学論 J71-D(10)：2059 - 2068, 1988.
- 有馬誠一・藤浦建史・近藤 直・芝野保徳・山下敦：キュウリ収穫ロボットの研究（第3報）. 農機誌 57(1)：51-58, 1995.
- ATR 国際電気通信基礎技術研究所編：視聴覚情報科学. 2章，オーム社，東京，1994.
- 馬場 充・小西忠孝：3次元形状測定高速化のための「領域分割マルチスリット光符号化法」の提案. 計測自動制御学会論文集 34(8)：898-906, 1998.
- BARNARD, S. T. and W. B. THOMPSON : Disparity analysis of images. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI-2 : 333-340, 1980.
- BELHUMEUR, P. N. : A bayesian approach to binocular stereopsis. Int J. Comput. Vision 19(3) : 237-260, 1996.
- 張 樹槐・高橋照夫・福地 博・寺尾日出男：果樹園作業の自動化に関する研究（第1報）—パターン認識によるリンゴの検出. 農機誌 58(1)：9-16, 1996.
- 張 樹槐・高橋照夫・福地 博・寺尾日出男：赤外線熱画像によるリンゴの検出に関する研究（第1報）. 農機誌 59(6)：57-64, 1997.
- 張 樹槐・高橋照夫・福地 博・孫 明・寺尾日出男：赤外線熱画像によるリンゴの検出に関する研究（第4報）—左右ステレオ画像によるリンゴ果実までの距離の計測. 農機誌 61(6)：125-130, 1999.
- COCHRAN, S. D. and G. MEDIONI : 3-D Surface Description from Binocular Stereo. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence 14(10) : 981, 1992.
- FAUGERAS, O. : Stratification of Three-Dimensional Vision-Projective, Affine and Metric Representations. J. Optical Society of America 12(3) : 465-484, 1995.
- 藤浦建史・浦 元信・川村 登・並河 清：果樹園用収穫ロボットの研究. 農機誌 52(2)：35-42, 1990.
- 福永邦雄・笠井 保：ステレオ画像法とその応用. システムと制御 30(4)：220-227, 1986.
- GRIMSON, W. E. L. : Computational experiments with a feature based stereo algorithm. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI-7 (1) : 17-34, 1985.
- HUBEL, D. H. : Eye, Brain, and Vision. Chap. 5, Scientific American Library, New York, 1995.
- 井口征士・佐藤宏介：三次元画像計測. 1章，昭晃堂，東京，1995.
- 伊藤正弥・砂川義隆：距離計測システムにおける，大深度測定化と高分解能化の両立. 計測自動制御学会論文 34(8)：884-889, 1998.
- 徐 剛・辻三郎：3次元ビジョン. 7章，共立出版，東京，1998.
- KANADE, T. : Development of a video-rate stereo machine. Proc. 94 ARPA Image Understanding Workshop 549-558, 1994.
- 唐橋 需：農業用ロボットへの期待. 農機誌 57(6)：145-150, 1995.
- 川村 登・並河 清・藤浦建史・浦 元信：農業用ロボットの研究（第1報）—マイコン制御による果実収穫用マニピュレータ. 農機誌 46(3)：353-358, 1984.
- 川村 登・藤浦建史・浦 元信・近藤 直：果実収穫用ロボット. 農機誌 47(2)：237-242, 1985.
- 木下源一郎：ロボット開発の歴史と今後の展望. 農機誌 57(6)：150-156, 1995.
- 木下源一郎・出沢正徳：ロボット用光学的距離センサの開発—リングパターン照射による方法. 計測自動制御学会論文集 22(11)：1204-1209, 1986.
- KLETTE, R., K. SCHLUNS, A. KOSCHAN : Computer Vision-Three-Dimensional Data from Images. Chap. 4, Springer, Singapore, 1998.
- 近藤 直・川村 登：マニピュレータ装着用カメラによる果実の位置検出法. 農機誌 47(1)：60-65, 1985.
- 近藤 直・遠藤俊三：果実認識用視覚センサの研究（第1報）. 農機誌 49(5)：476-482, 1987.
- 近藤 直・小川雄一・門田充司：キクの挿し木作業の自動化に関する基礎的研究（第1報）. 農機誌 60(2)：67-74, 1998.
- KONDO, N., K. C. TING : Robotics for Bioproduction System. Chap. 9, ASAE, St. Joseph, 1998.
- 金野剛志：カメラメカニズム教室（上）. 4章，朝日ソノラマ，東京，1996.
- MARR, D., T. POGGIO, I. PALM : Analysis of a Cooperative Stereo Algorithm. Biol. Cybern. 28 : 223-239, 1978.
- MARR, D. : Vision. Chap. 3, W. H. Freeman and Company, New York, 1982.
- 松田郁生・森嶋 博・瀬尾康久・芋生憲司：キュウリの画像処理選別に関する研究. 農機誌 54(3)：93-96, 1992.
- 松田隆夫：視知覚. 4章，培風館，東京，1999.
- 松本 元・大津展之：ニューロコンピューティング. 2章，培風館，東京，1992.
- 松本 元・大津展之：脳・神経系が行う情報処理とそのモデル. 3章，培風館，東京，1994.
- 三上章充：脳はどこまでわかったか. 2章，講談社，東京，1991.
- 三浦 純・白井良明：ステレオ視におけるあいまいな対応づけのモデリングとあいまいさ解消のための視点選択. 日本ロボット学会誌 12(8)：1222-1230, 1994.
- 森 英雄：画像処理と自律移動ロボット. 農機誌 54(1)：97-100, 1992.
- 森 俊二・板倉梅子：画像認識の基礎（I）前処理と形の特徴抽出. 10章，オーム社，東京，1993.
- MOUROULIS, PANTAZIS : Visual instrumentation-Optical design and engineering. Chap. 6, McGraw-Hill, New York, 1999.
- 長尾 真：画像認識論. 10章，コロナ社，東京，

- 1995.
44. 長尾智晴・安居院猛・長橋 宏：遺伝的手法を用いた2値図形のパターンマッチング. 信学論 J76-DII (3) : 557-565, 1993.
45. 永田雅輝・木下 統・浅野克典・曹 其新・日吉健二：イチゴの自動選別システムに関する研究 (第1報). 農機誌 58(5) : 57-63, 1996.
46. 西 卓郎・近藤 直・毛利建太郎：キュウリの画像認識に関する研究 (第1報). 農機誌 59(5) : 45-53, 1997.
47. 農林水産省：果実生産費調査. 農林水産省, 1997.
48. 農林統計協会：図説農業白書. 平成9年度版, 農林統計協会, 1998.
49. 小笠原良平・吉沢 徹：縞走査法を導入した格子パターン投影法, 精密工学会誌 55(10) : 1817-1822, 1989.
50. OKAMOTO, A., Y. SHIRAI, and M. ASADA : Integration of color and range data for three-dimensional scene, description. Trans. Inst. Electron Inf. Commun. Eng. Jpn. E76-D : 501-506, 1993.
51. 岡本嗣男・白井良明・藤浦建史・近藤 直：生物にやさしい知能ロボット工学. 4章, 実教出版, 東京, 1992.
52. 岡本嗣男：農業ロボット研究の現状と課題. 農機誌 58(1) : 128-132, 1996.
53. OLSEN, S. I. : Stereo correspondence by surface reconstruction. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence 12 : 309-315, 1983.
54. 大森隆司：立体視. 計測と制御 26(7) : 74-78, 1987.
55. 大森隆司：視覚系をモデルとした両眼立体視システムの試作. 計測自動制御学会論文誌 23(5) : 525-531, 1987.
56. 大野 晋：サイクロプスの眼と視方向. 日経サイエンス 4 : 88-101, 1975.
57. 大角雅晴・中村喜彰：画像処理による水稻の葉色測定に関する研究 (第1報). 農機誌 55(5) : 75-81, 1993.
58. 大田友一・正井康之・池田克夫：動的計画法によるステレオ画像の区間対応法. 電子通信学会論文誌 J68-D(4) : 554-561, 1985.
59. 大津展之・栗田多喜夫・関田巖：パターン認識—理論と応用. 11章, 朝倉書店, 東京, 1996.
60. 尾崎 弘・谷口慶治：画像処理 第2版. 8章, 共立出版, 東京, 1993.
61. ペティグルー, J. D. : 立体視のメカニズム. 日経サイエンス 10 : 80-92, 1972.
62. ポッジオ, T. : 人間の視覚と機械の視覚. 日経サイエンス 6 : 36-48, 1984.
63. PRICE, K. E. : Relaxation Matching Techniques—A comparison. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence 7(5) : 617-623, 1985.
64. ロス, J. : 両眼はものをどうみる. 日経サイエンス 5 : 90-98, 1976.
65. SARIG, Y. : Robotics of fruit harvesting ; A state-of-the-art Review. J. agric. Engng Res. 54 : 265-280, 1993.
66. 佐藤宏介・井口征士：空間コード化による距離画像入力. 電子情報通信学会論文誌 J68-D(3) : 369-375, 1985.
67. 柴田洋一・西崎邦夫・大谷隆二：無農薬除草のための基礎的研究 (第1報). 農機誌 56(6) : 95-102, 1994.
68. SIMONTON, W., J. PEASE : Orientation independent machine vision classification. J. Agric. Engng Res. 54 : 231-243, 1993.
69. SITES, P. W. and M. J. DELWICHE : Computer Vision to Locate Fruit on a Tree. Trans. ASAE, 31(1) : 257-263, 1988.
70. SLAUGHTER, D. G. and R. C. HARELL : Discriminating Fruit for Robotic Harvest Using Color in Natural Outdoor Scenes. Trans. ASAE, 32(2) : 757-763, 1989.
71. SLAUGHTER, D. G. and R. C. HARELL : Color Vision in Robotic Fruit Harvesting. Trans. ASAE, 30(4) : 1144-1148, 1987.
72. SONKA, M., V. HLAVAC, R. BOYLE : Image Processing, Analysis, and Machine Vision. Chap. 9, Brooks /cole Publishing Co., Pacific Grove, 1999.
73. スプラタ, I. D. M.・藤浦建史・山田久也・檜田賢・湯川琢至・中尾清治：三次元視覚センサを用いたミニトマト収穫ロボット (第1報). 農機誌 58(4) : 45-52, 1996.
74. 孫 明・高橋照夫・福地 博・張 樹槐：果実収穫機の開発の現状と課題. 農機学会東北支報 41 : 23-28, 1994.
75. 孫 明・高橋照夫・戸次英二：画像処理による収穫時のリンゴ果実の識別 (第1報). 農機誌 59(4) : 53-60, 1997.
76. 孫 明・高橋照夫・張 樹槐・戸次英二：画像処理による収穫時のリンゴ果実の識別 (第2報). 農機誌 60(5) : 75-82, 1998.
77. 孫 明・高橋照夫・張 樹槐・戸次英二：画像処理による収穫時のリンゴ果実の識別 (第3報). 農機誌 60(6) : 79-87, 1998.
78. SUN, M., T. TAKAHASHI, S. ZHANG, E. BEKKI : Matching Binocular Stereo Images of Apples by Genetic Algorithm. Agric. Engng J. 8(2) : 101-117, 1999.
79. 館監修編：人工現実感の基礎—臨場感・現実感・存在感の本質を探る. 3章, 培風館, 東京, 2000.
80. 田島譲二・岩川正人：Rainbow Range Finderによる距離画像取得. 電子情報通信学会論文誌 J73-D-II (3) : 374-382, 1990.
81. 高橋照夫・陳浩：農業用ロボットハンドのための接近動作制御則について (第2報) —視点座標と基本動作パターンを利用した制御則. 農機東北支報 40 : 55-60, 1993.
82. 高橋照夫・張 樹槐・孫 明・福地 博：線要素パターン検出方式の画像処理による線の形状判別. 農機東北支報 43 : 49-54, 1996.
83. TAKAHASHI, T., S. ZHANG, M. SUN, H. FUKUCHI : New method of image processing for distance measurement by a passive stereo vision. ASAE paper No.983031 : 1-7, 1998.
84. 高橋照夫・張 樹槐・福地 博・戸次英二：両眼ステレオ視によるリンゴ園果実の距離計測 (第1報) 左右画像合成による距離測定方式. 農機誌 62(1) : 89-99, 2000.
85. 高橋照夫・張 樹槐・福地 博・戸次英二：両眼ステレオ視によるリンゴ園果実の距離計測 (第2報) 対応問題画像の分析と対策. 農機誌 62(3) : 94-102, 2000.
86. 高橋照夫・張 樹槐・福地 博・戸次英二：両眼ステ

- レオ視によるリンゴ園果実の距離計測（第3報）画像入力条件が距離精度に及ぼす影響. 農機誌 62(6) : 108-115, 2000.
87. 竹田洋志・並河 清：スイカ果実識別のための画像処理による標識の検出. 農機誌 60(1) : 77-83, 1998.
 88. 竹村裕夫：CCD カメラ技術入門. 5章, コロナ社, 東京, 1997.
 89. 滝沢穂高・白井良明・三浦 純：注視・ズームを用いた自律移動ロボットのための3Dシーン記述の選択的精密化. 日本ロボット学会誌 13(7) : 963-970, 1995.
 90. 田村秀行監修：コンピュータ画像処理入門. 3章, 総研出版, 東京, 1994.
 91. 田村秀行監修：コンピュータ画像処理—応用実践編 1. 1章他, 総研出版, 東京, 1994.
 92. 田中芳夫・小川洋司：パソコンベース色彩画像処理による果実検出—果実収穫ロボット用視覚センサ. 農機誌 52(1) : 61-67, 1990.
 93. 徳田 勝・並河 清：画像処理によるスイカ果実の識別. 農機誌 57(2) : 13-20, 1996.
 94. 徳田 勝・川村恒夫・山本博昭・堀尾尚志：スイカ収穫ロボットにおける視覚システムの開発（第1報）. 農機誌 59(3) : 29-36, 1997.
 95. 富田文明：ビジョンと認識. 日本ロボット学会誌 8(1) : 98-100, 1990.
 96. TRUCCO, E., A. VERRI : Introductory Techniques for 3-D Computer Vision. Chap. 7, Prentice Hall, Upper Saddle River, 1998.
 97. 辻 三郎：知的ロボティクスの幾つかの問題. 日本ロボット学会誌 9(19) : 79-84, 1991.
 98. WENG, J., P. COHEN, M. HERNIOU : Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence 14(10) : 965-980, 1992.
 99. 谷内田正彦：視覚を用いた3次元位置形状の計測とその応用. システムと制御 29(10) : 631-638, 1985.
 100. 谷内田正彦・石黒 浩：ロボットの視覚. 人工知能学会誌 5(6) : 720-730, 1990.
 101. 山口 証・中山収文・白井良明・浅田 稔：信頼性の高い対応を優先した多段階ステレオ法. 電子情報通信学会論文誌 J74-D-II(7) : 918-925, 1991.
 102. 山川 烈・内野英治・平川克巳他：組合せファジィハフ変換とその医用画像処理への応用. BMSFA 95-01-09 : 71-79, 1995.
 103. 谷田貝豊彦：応用光学光計測入門. 丸善, 東京, 1988.
 104. 吉田和弘・広瀬茂男：直射日光下で使用できる三角測量レーザーレンジファインダ. 計測自動制御学会論文集 24(5) : 445-451, 1988.
 105. 吉沢 徹：モアレ三次元計測. 光技術コンタクト 29(7) : 421-424, 1991.
 106. 吉沢 徹・鈴木賢策：格子パターン投影による物体形状の自動測定. 精密工学会誌 53(3) : 422-426, 1987.
 107. 湯川典昭・並河 清・藤浦建史：果実収穫用ロボットの視覚フィードバック制御（第1報）. 農機誌 52(3) : 53-59, 1990.
 108. ZHANG, Z. et al. : A Robust Technique for Matching Two Uncalibrated Images Through the Recovery of the Unknown Epipolar Geometry. Artificial Intelligence 78 : 87-119, 1995.

Studies on Development of Stereo Vision System Necessary for Mechanization of Apple Fruits Harvesting

Teruo TAKAHASHI

Laboratory of Regional and Environmental Planning

SUMMARY

An apple harvesting machine must have the ability to discriminate an apple from its surroundings, to know the apple's relative location, and to measure the coordinate values of three dimensions at the base point of the harvesting machine. Binocular stereo vision is an available measuring method to obtain such 3-D information at an outdoor field. However, it is very difficult to apply this system to an automated machine because practical solutions to the correspondence problem of stereopsis have not been found.

The purpose of this study is to establish a practical measurement method of binocular stereo vision for obtaining 3-D information regarding fruit and their surroundings, and to develop a stereo vision measurement system that can be applied to the mechanization of automatic fruit harvesting. Four main subjects are addressed in this study: (a) the mechanical characteristics of distance measurement using a binocular stereo vision system, (b) the establishment of a new principle for distance measurement in the developed vision system, (c) the analysis of and solution to the correspondence problem, and (d) how the main factors of input images influence accuracy of measurement. Moreover, the application of this study method was considered in regard to measuring fruit shape and in regard to controlling the location of a manipulator for harvesting.

(1) A trial system of binocular stereo vision

Measurement using binocular stereo vision is achieved by processing a set of images obtained by two cameras. The trial stereo vision system for this study consisted of two CCD color video cameras, a note-type personal computer, a PC card for video capture, a camera table that allows pan and tilt, and changeover switching box for input images. The cameras had a CCD surface of 380,000 pixels, and a NTSC-type signal output. Their operation was controlled by the computer.

When automatically harvesting fruit in an orchard, it is necessary to search and discriminate individual fruit by processing a set of images. Therefore, the cameras were equipped with a pan-tilt mechanism, a zoom mechanism, and a mechanism for their control in order to take photographs of an individual fruit with a desirable size at a central position through the trial system. Operation of the cameras' control mechanism was carried out using the computer manually or automatically by means of a program with a VISCA network through an RS-232C interface.

Accuracy of distance measurement on the trial system is influenced by characteristics of taking photographs and distance performance at each camera lens system, and the condition of an optical system of stereo vision. The whole system's accuracy will fall rapidly even if there is a small error on the optical stereo system, with the flaws appearing even more significantly at long distances. Therefore, calibration of the trial system's hardware was carefully carried out in the following ways :

First, the characteristic of left and right cameras were examined individually in regard to their distance and zoom values. By performing regression analysis on the results, these relations and factors were determined : a revision equation of lens aberration, a relationship between the cameras' focal lengths and focus distances, a relationship between zoom value and focal length, an equation for the center of a virtual lens, and a scale factor of monitor size in regard to the size of the camera images. Next, distance equations of the optical stereo system were calibrated using the results of both cameras. The results showed a

distance error in the range of 2% at a distance of 1m to 4.5m.

(2) Development of a measurement method by composing left and right images

A conventional principle involved in measuring distance using binocular stereo vision is to fix an single object from a left and right viewpoint, and to calculate distance based on triangulation principle. If the object cannot be made to correspond to both left and right images, the distance between it and the viewer cannot be calculated. In general, Marr's three restrictions and an epipolar constraint are used for solving the correspondence problem, but they insufficient.

In the present study, a new principle of measurement using binocular stereo vision was established in light of optical physics in regard to stereo vision and optic nerve physiology and psychology.

The principle is based on the fact that when a set of left and right images overlaps at each cross section of space in the direction of depth, an object's image becomes clear if the object intersects their sections. Namely, a cross section of a search space in the direction of depth is determined by gazing, and a composite image of left and right images is made on the section. If clarity was detected on the section, and an object exists on it, then information regarding its position and distance is obtained.

A composite image was made and arranged using a method that alternatively selected its even lines of the left image and odd lines of the right image, respectively. If the left and right images of an object overlapped well, then the color difference between the horizontal lines becomes minimum, and the clarity of a color composite image increases. As the difference between the position of the left image and that of the right image increases, color differences of the horizontal lines increase, and the clarity of the composite image decreases.

An index of clarity on each pixel of a composite image is described by variance of the three primary colors, RGB values. The variance is represented for the color difference in the vertical direction, and the value of the variance reaches a minimum where the color difference is smallest. But the value decreases if the overlapped area was large or the shape was similar with other small areas. Therefore, average variance of RGB values from pixels in the eight directions was used to compare large areas.

The basic characteristics of this new method was examined in terms of focal length, distance for taking photographs, a range of calculation on the average variance, disparity interval, and on object width, by using red circle plates. The results showed that when a calculation range of average variance was made regarding the total width of an object, a composite color image and a depth image were suitably obtained under a variety conditions. Moreover, an experiment to verify the method on objects resembling red apples was carried out in an orchard during harvesting season. The results showed that the distance error was in the range of 4% at a distance of 2.2m, and confirmed that the distance of ripe apples can be measured using this new method.

(3) Analysis of and solution to the correspondence problem

Images which create the correspondence problem or similar image features such as a row of similar fruits, overlapped fruits, and an occluded or transformed image hidden by leaves and branches are frequently found in fruit images taken in apple orchards. The solution to or a measure against the problem is to apply the method of binocular stereo vision to such images.

The principle of measurement in this case is to compose a central image of left and right images at each cross section by disparity, and to detect a clear image in it. Then, the occurrence of the correspondence problem will be restricted because correspondence error is reduced. However, the type of images produced by conventional TV cameras is different from the principle mentioned above, and takes a whole space as an image. Therefore, clear but false images appear frequently owing to error of correspondence in images affected by the correspondence problem, even if the principle of this study is applied. It is necessary to establish a suitable correspondence of cross sections by disparity, and to take corrective measures for restricting the appearance of false images.

As a typical image produced by the correspondence problem in this study, i.e., the appearance of false images and their characteristics, were examined in the case of two circular plates which were on the same epipolar line and had the same color and shape. In this case, a method of composing the same half side of visual fields was attempted as a measure to make the cross sections by disparity correspond and to restrict a false image. In this method, the left side of an image is constructed from a left half side of the left image and from the left half side of the right image. Another side of the image is constructed from the right half side of the left image and from the right half side of the right image. This form is analogous to the intersection of optic nerves, an optic chiasma, in the human visual system.

The results verified that the relative position between an object and a viewer and that the correspondence of cross sections of left and right images by disparity was also suitable. The composition of the same side of visual fields restricted the appearance of false images, because the average of variant of RGB values in false images was larger than that in true images. Namely, the false images appeared at the edge of common fields on the same side of visual fields or outside them.

Experiments on a row of four circle plates and an image of fruits hidden by leaves were performed. The results showed that the method mentioned above was effective in creating suitable correspondence of cross sections by disparity, and in restricting false images. Moreover, this method was applied to 16 pairs of images in a single row and 12 pairs of images of overlapping fruit which were taken in apple orchard. The results showed that suitable correspondence of cross sections of disparity were 90% in the images placed in a row and 80% in the images of overlapping fruits at a level within two disparity intervals, while the error of distance measurement was about 5% in relation to the composition on the same side of the visual fields.

(4) Influence of the conditions of input images on measurement accuracy

A special characteristic of the present measurement method of stereo vision lies in its ability to simultaneously obtain the image and depth of a color composite. Therefore, it is expected that accurate 3-D information regarding fruit and its surroundings is obtainable. However, images taken outdoors by a video camera are influenced by factors such as natural light and photograph. Thus, it is necessary to clarify the influence of these factors on the measurement accuracy of the method described in this study.

The factors contributing to measurement errors were considered. Thereafter, the relations between the illuminant, fruits, and the photograph were investigated, and their on measurement accuracy were analyzed on the images taken under various conditions in apple orchards.

From the results, the brightness of the fruit images was proportional to the illumination of the fruit surface depending on automatic function of exposure except in backlight conditions, and was more than 90 (35%), even if the illumination of the fruit was less than one klx. Under the backlight condition, when the sky was lighter and clearer, the brightness of fruit decreased more rapidly, and was less than 90, though the illumination of fruit was from 6 to 10 klx. The average errors of distance measurement ranged from -3 to 0% under conditions of direct and scattered sunlight.

In characterizing the average variation of RGB values, the type of change of V-U types accounted for 75%, while the N type accounted for 15 to 20%. The minimum level of most types was that from 200 to 1000, and was 70%. The type showing the greatest difference between measured distance and practical distance was the one with a -2 to 1 on disparity interval, and its rate was more than 90%.

From the results of all images (a total of 186 pairs of images; 144 pairs of 'Fuji' and 42 pairs of 'Orin', a range of application of the trial system on red and yellow-green apples was that the brightness was more than 90, and the rate of overlap was within 0.5, and the width of fruit images was more than 16 pixels on 'Fuji' and 26 pixels on 'Orin.' In the above-mentioned range of application, the errors of distance measurement were -4 to 2% within a distance of 1.2 to 3.5 m, and -7 to 0% for a distance of over 3.5 m.

(5) Application of stereo vision to measurement of 3-D shape and position] control

It was also considered how the method used in this study can be applied for measurement of 3-D shape of an individual fruit grasped by a picking hand, and how to use 3-D visual information obtained by the stereo vision system for position control of a manipulator utilizing a picking hand.

In regard to the measurement of a 3-D shape, the results of experiments on a Rubic's-cube and a red apple showed that color composite images and depth images were satisfactory when the distribution of RGB values from low to high was wide, showing a depth error of within 5%. However, significant error occurred if there were similar RGB densities on the left and right sides of an image. These results showed that the method used in this study is applicable for measuring 3-D shapes when the gradation of brightness or color density is large. The criteria for calculating the range of the average RGB variant and clarity index should be improved for measurements of false correspondence.

In general, perception of the shape of an individual fruit or branch is obtained by examining the shape's contour, and the time required for image processing is relatively long. For high speed processing, a method that uses patterns on a small segment of line drawn digitally was considered. The drawn line form was represented by a pattern unit of 3 by 3 pixels. When 162 line element patterns and 110 angle cell patterns were defined, the precision involved in detecting a shape element was a line of about 5 degrees in inclination in over 20 pixels, and was 5 degrees in the tangent angle of an arc whose radius was more than 30 pixels, and was 10% in the radius of curvature with a central angle of over 80 degrees. The results on images of fruit showed approximate values regarding the angles of the contours. It is important to reduce noise in images and to perform efficient binary processing in order for this method to be used in a practical setting.

The control of a manipulator to allow a picking hand to approach an individual fruit requires the inverse calculation of the manipulator's joints at the action angles. Yet such a calculation might delay real time control. It was then considered by numerical simulation that an algorithm did not require an inverse calculation, but used both visual coordinates obtained by stereo vision and basic patterns of action at given points. In the practical use of the algorithm, it is necessary to decide given points, their interval, and the number based on the characteristics of action patterns among the given points in order to hold the approach a level of precision within the tolerance level.

(6) Conclusion

It was verified using hardware that a method of binocular stereo vision had sufficient ability to measure distance for the purpose of obtaining 3-D information for the mechanical harvesting of fruits. For specifying this method's performance, it is important to determine the factors and the relationships of distance error of both the left and right cameras, to detect and revise the cross angle of the optic lines between the left and right cameras, and to ensure that each pixel corresponds between left and right images.

The difference between the principle of binocular stereo vision utilized in this study and the conventional method is that the range of space searched for correspondence is restricted to cross sections of a distance by disparity depending upon a line of sight. Namely, constraint of space on a common visual field of the left and right cameras was considered in addition to epipolar constraint. Therefore, distance can be initially calculated even if the correspondence of the left and right images is not achieved completely. However, in the method of image acquisition using conventional TV cameras, it is impossible to take and record images of the same cross section by left and right cameras simultaneously. Thus, distance errors might occur because differences between cross sections showing disparity between the left and right images creates false images during processing. Moreover, the conditions of gaze distance and disparity interval have an influence on the processing time and appearance of false images.

From the standpoint of this study, the correspondence problem of binocular stereo vision is encountered

when the difference between cross sections showing disparity between the left and right images occurs frequently. Therefore, find a solution to the problem will be difficult using conventional TV cameras. However, it was possible to judge the correspondence of cross sections showing disparity between the left and right images by comparing the amount of specific color at the same side of left and right images. Moreover, composition using the same side of the images made it possible to measure distance without the appearance of false images. This method will be available as a next step in arriving at a solution to the correspondence problem. The relations between the distribution of the specific color of an object and the processing range should be considered, because the color distribution influences the amount of specific color on the same side of left and right images.

The accuracy of this method for measuring distance in an apple orchard was sufficient for the purpose of harvesting fruit, if the conditions of input images were within the application range mentioned above. A specific function is required for the camera to detect and revise the influence of backlight because this method cannot process images in strong backlight.

Lastly, this study introduced and applied a new principle using binocular stereo vision for use in automatic fruit harvesting in an apple orchard, and proposed guidelines and basic materials to develop a stereo vision system. The areas remaining to be addressed in regard to the system's practical application include the following : improvement of a clarity index of clearness and the criterion to determine line of sight distance and disparity interval on the software side, a multi-processor system for high speed processing, the improvement of image resolution, and simplification of the camera control mechanism on the hardware side.

むつ小川原開発と六ヶ所村漁業 ～港湾建設漁業補償と核燃サイクル海域調査をめぐって～

秋 元 健 治・神 田 健 策

地域資源経営学講座

(2001年10月5日受付)

目 次

1. 本稿の課題と分析方法	109	3) 漁業経営	112
1) 本稿の課題	109	4) 地域経済における漁業	114
2) 分析方法	109	4. 地域漁業者の動向の背景	116
2. むつ小川原開発の経緯と漁業者	109	1) むつ小川原港建設漁業補償問題	116
1) 核燃事業導入前	109	2) 核燃サイクル海域調査問題	117
2) 核燃事業導入後	110	3) 村内漁業協同組合の意志決定	118
3. 地域漁業の状況	110	5. 結 論	119
1) 漁業協同組合	110	1) 漁業者の動向を規定した経済的要因	119
2) 漁業生産	111	2) 漁業協同組合の意志決定の問題点	120

1. 本稿の課題と分析方法

1) 本稿の課題

六ヶ所村の漁業者は、漁協の有する共同漁業権との関係からむつ小川原開発に関わる重要な局面での意志決定をせまられてきた。本稿で課題とするのは、次の2点である。第1に、1970年以降のむつ小川原開発のための港湾建設漁業補償と、1986年の核燃サイクル海域調査に関する六ヶ所村漁業者の動向が、どのような経済的背景に規定されているかを明らかにすること（漁業者の動向を規定した経済的要因）。そして第2の課題として、漁業協同組合の有する集団的意志決定における問題点を検討することである（漁業協同組合の意志決定の問題点）。

2) 分析方法

調査と分析は、実証性を保つことを意識し以下のようにおこなう。最初に1960年以降の地域漁業の推移を統計指標から概括する。それらを手がかりに仮説をたて、地域調査による資料収集とヒアリングをおこなう。こうした作業を繰り返して課題にたいする結論を導く。分析方法は、第1の課題（漁業者の動向を規定した経済的要因）、第2の課題（漁業協同組合の意志決定の問題点）についても同様である。

2. むつ小川原開発の経緯と漁業者

1) 核燃事業導入前

むつ小川原開発計画は、1969年の新全国総合開発計画のなかに盛り込まれた青森県上北郡六ヶ所村を中心とする地域の大規模工業開発であった。これは当時、重化学工業を基幹産業とする日本資本主義が、直面していた太平洋ベルト地帯での公害や過密問題などを人口の希薄な地方に新しく大規模工業地帯をつくりだすことで打開しようとするものだった。むつ小川原開発地域には石油コンビナート基地を中心とした日本最大の工業地帯が建設される計画ということから、当初は青森県民に大きな期待を抱かせるものであった。しかし、開発推進の主体は政府・関係省庁・経済界・青森県と多様であったが、開発の責任の所在は明確ではなかった。何よりも地域住民には開発計画の立案にまったく参加する機会があたえられなかった。当時、六ヶ所村では出稼ぎが非常に多く¹⁾、特に戦後の開拓集落では、県が指導した農業投資のために負債金額が膨らんでおり、開発に対する住民の期待は大きなものがあつた。一方、開発計画が発表される以前に、不動産業者が盛んに土地の投機買いを始めた。やがて開発計画が具体化するなかで、土地売却農家に対し代替耕作地を手当てしないという方針が明確になり、開発地域の農家は離農、転職が強要されることになった。

1971年、開発地域の具体案として住民対策大綱が県から発表になり、開発によって集落の多くが消滅することから、六ヶ所村では大規模な反対運動が展開された。この運動のなかで漁業者は「泊漁場を守る会」を結成する。しかし、土地買収の進行とともに、土地の売買に関係することで利益を得る村議や集落の総代などが、次第に開発賛成派に転じていき、やがて村議会での政治的決着は開発賛成ということになった。当初からの開発反対を貫いた寺下力三郎村長と村議会との亀裂が深まり、また村民は開発反対派と賛成派に分裂し、伝統的な集落や縁戚関係が結ばれていた人々の関係が破壊された。開発推進か反対か、六ヶ所村内での政治的決着は、1973年暮れの村長選挙で開発推進の古川伊勢松氏が当選をはたすことで決着した。これ以後、六ヶ所村政は開発推進という路線で進むことになった。

六ヶ所村の漁業者にとって大きな問題となったのは、むつ小川原港建設にともなう共同漁業権の消滅や入漁権とそれらに関連する漁業補償であった。県と村内3漁協は1980年、総額170億円で妥結したが、その後、漁業補償額の算定基準の水増しがあったとして米内山訴訟が起き、また漁業補償金の分配をめぐる漁協組合員から差額補償金請求訴訟も提起された。また建設されるむつ小川原港の近くにあった陸上自衛隊六ヶ所対空射場の移転に関係する漁業補償についても、地域の漁業者間に争いがあった。

2) 核燃事業導入後

開発推進村長の誕生から11年が経過した1984年、その間、国家石油備蓄基地が建設されたが、工業用地のほとんどは売れ残り、県も出資した第三セクターむつ小川原開発会社(株)は広大な売れ残り用地をかかえ借金に苦しんでいた。この年、電気事業連合会は、青森県知事に対して「下北半島の太平洋側に核燃料3施設の立地」を申し入れた。青森県内では核燃サイクル施設立地めぐって、農業者、漁業者、市民らの反対運動が起こり、県民投票条例で核燃の是非を問う動きもあった。しかし、核燃事業導入による「むつ小川原開発」の新機軸を目指した青森県当局は、「要請に応じてしかるべきとの最終判断に至った」と県議会に報告した。大勢意見は知事報告を了承するものであり、1985年4月に核燃サイクル施設立地が決定された。

地域の漁業者にとっての最大の問題は当然、核燃サイクル施設の受け入れか否かであった。しかし先のむつ小川原港建設の漁業補償において、すべての漁業補償が決着しているとの立場を県や事業者側がとり、また泊漁協では理事の多数派がこれを支持した。そのため漁業者の核燃サイクル施設の受け入れに関わる意思決定は、同施設立地のための環境調査のひとつである海域調査の是非をめぐるものとなった。1985年から海域調査が実施された翌年にかけて、六ヶ所村泊の漁業者は、海域調査につ

いて慎重・反対派、推進派に分かれ深刻な対立関係に陥り、そのなかで傷害事件、文書偽造、村・県行政の漁協自治への介入など異常な事態が発生し、訴訟問題にまで発展した。海域調査後も、漁業者間の対立は地域内に長く残され、また海域調査後に支払われた協力料などの配分をめぐる争いも生じた。

その後、巨大プロジェクトである核燃関連の建設工事が発注されるにつれ、大手ゼネコンから地元建設業者への下請け化が進み、次第に村の経済的基礎は第1次産業から建設業に大きく変質した。そうした建設業がその強い経済力ゆえ、村政に多大な影響力をもつに至り、核燃サイクル事業推進の方向性を固定化する状況が定着し現在に至っている。

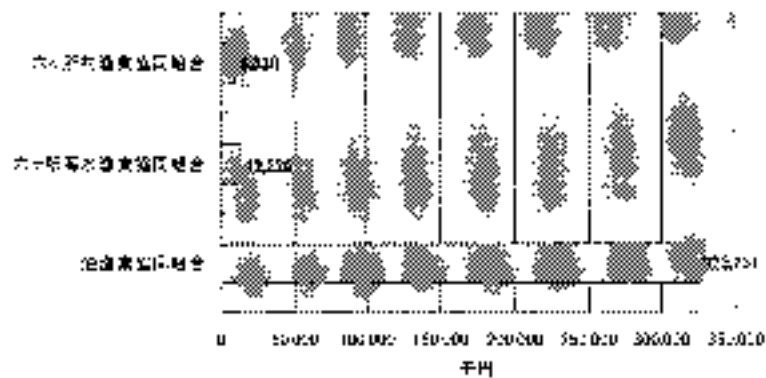
3. 地域漁業の状況

1) 漁業協同組合

六ヶ所村前沖の太平洋側海域は好漁場であり、礁には海藻や貝類資源が豊かで、また尾駁沼、鷹架沼、田面木沼、市柳沼などの湖沼群と小川原湖に通じる高瀬川も漁場となっている。かつての泊湊（現在の白糠漁港焼山地区）は、藩政期に木材積出港としての古い歴史もあり、明治から大正時代にカツオやイカ釣り船の漁港となった。戦前には六ヶ所村漁業会や泊漁業会が、沿岸海域の専用漁業権や入漁権などを有していたが、戦後の漁業制度改革でこうした漁業権の権利主体は大きく変わった。戦後改革の一環としての水産業の民主化政策は、漁業制度を規定する新漁業法（1949年）と水産業協同組合法（1948年）によってなされた。この2つの立法措置は、一連の戦後改革と同様、GHQの強力な権限にもとづくものである。

戦後の漁業制度改革は、従来の漁業権についての全面調整をおこなうことから始まった。旧漁業権は30年以内に償還させる漁業権証券交付という形で国に買収されすべて消滅させられた²⁾。地域漁業者を主体とする漁業調整機構（海区漁業調整委員会）が新しい漁場を設定し³⁾、沿岸における共同漁業権の免許主体は、地域の新しく創設される漁業協同組合となった。六ヶ所村内には、いずれも1949年に発足した泊漁業協同組合、六ヶ所村海水漁業協同組合、六ヶ所村漁業協同組合、六ヶ所内水面漁業協同組合の4漁協が、沿岸の共同漁業権の適格性⁴⁾を認められてその免許を有することになった。

図1「漁業協同組合取扱漁獲高_1970」は、村内3漁協（1954年に六ヶ所村内水面漁業協同組合は六ヶ所村海水漁業協同組合に吸収合併され村内4漁協から3漁協となる）⁴⁾の1970年における漁獲高である。この図から明らかなように、村内漁協のなかで泊漁協の漁獲高はその大部分（93.9%）を占めている。同時期の組合員数（正組合員・準組合員合計）でも、泊漁業協同組合800人（55.7%）、六ヶ所村海水漁業協同組合361人（25.1%）、六ヶ所村漁業協同組合275人（19.2%）に示されるよう



＜環境問題研究班「調査と資料 第28号 むつ小川原開発計画の発展と諸問題」関西大学経済・政治研究所 1979年 p. 80＞

図1 漁業協同組合取扱漁獲高_1970

に泊漁協の比率が高い。1人当たりの漁獲高（漁協取扱漁獲高÷組合員数）を計算してみると、泊漁業協同組合404.0千円（86.0%）、六ヶ所村海水漁業協同組合33.9千円（7.2%）、六ヶ所村漁業協同組合32.1千円（6.8%）と泊漁協の比率が高くなっている⁶⁾。このことは、泊漁協の漁業依存度の高さと他2漁協の兼業度の高い漁業経営形態のあらわれと考えられる。以上は1970年の数値で、六ヶ所村海水漁業協同組合、六ヶ所村漁業協同組合が、むつ小川原港建設のため共同漁業権を消滅させられる以前のものである。現在（2000年度）の3漁協のおおよその漁獲金額（取扱金額）とその村内総漁獲金額に占める割合は、各漁協参事のヒアリングから泊漁協15億円（76.9%）六ヶ所村海水漁業協同組合3億円（15.4%）、六ヶ所村漁業協同組合1.5億円（7.7%）である。本稿では、六ヶ所村漁業者の動向とその社会経済的背景を考察するにあたって村内漁業に大きな比率をもつ泊漁協の動向を中心に検討する。

2) 漁業生産

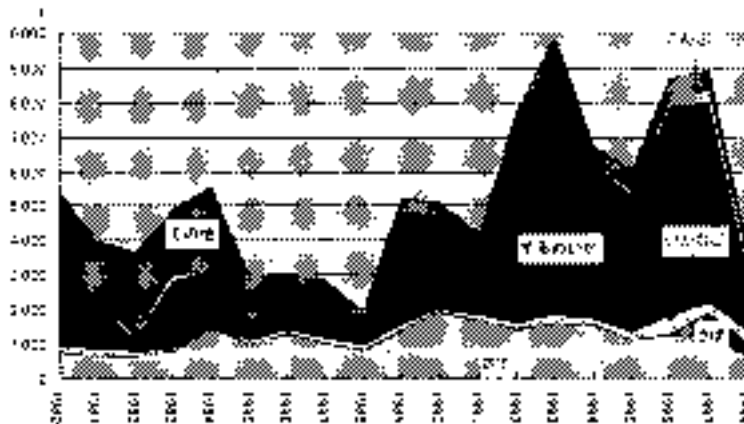
六ヶ所村の漁業の大きな部分を占めるのはスルメイカ、すなわちイカ釣り漁業である。その他に定置網でのサケ、サバ、イカナゴなど、磯漁業でのコンブ、ワカメ、アワビなどがあるが、漁獲高で非常に大きな部分を占めるのはスルメイカである。ここでは六ヶ所村の主たる漁獲物であるスルメイカを中心に地域の漁業生産の動向をみていきたい。戦後、イカ釣り漁業はその漁獲量、漁獲高において青森県の漁業全体の大きな部分を占めてきた。スルメイカの漁獲高と県漁獲金額全体に占める比率は、1969年87億円（35.5%）、1974年284億円（42.6%）、1980年310億円（30.1%）、1987年512億円（44.7%）、1992年286億円（28.6%）で、県全体の漁獲金額の約3割（1969～1992年の平均31.6%）⁷⁾にもなっている。

六ヶ所村のスルメイカ漁獲金額が県全体のスルメイカ漁獲金額に占める割合は、1969年3億3,000万円（3.8%）、1974年4億5,000万円（1.6%）、1980年4億300万円（1.3%）、1987年3億2,000万円（0.6%）、1992年7

億9,100円（2.8%）で、全般的にほんのわずかな水準（1969～1992年の平均は2.0%）でしかない⁸⁾。ここでの数値は、属地調査によるものであるが、六ヶ所村内漁協（泊漁協）所属漁船の水揚げが村外漁港（八戸漁港、大畑漁港他）から村内漁港（白糠漁港焼山地区）に比重を移す1980年代以降でも県全体の漁獲に占める低位置は変わらない。しかしスルメイカは六ヶ所漁業の大きな部分を占める地域漁業者の中心的漁獲物である。

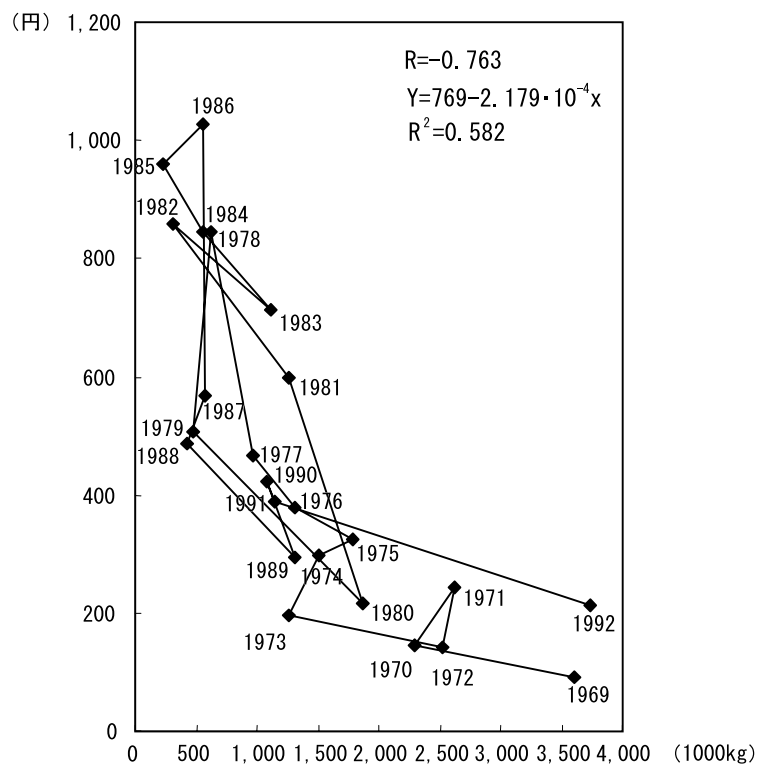
イカ釣り漁業は古くから青森県沿岸各地でおこなわれてきたが、1本釣りと同様に資源保全上、調整する必要があるとされ、もともと自由漁業として行政庁の許可対象になっていなかった。また漁法も特別な技術を要せず、戦後は復員者や他職業からの転業・兼業者も多かった。1947年には、イカ釣りによる青森県の漁獲量は戦前の水準を越え約50,000tとなり、県総漁獲高の半分（55%）を占めていた⁹⁾。1950年代のイカの「大漁貧乏」は、漁業者に深刻な事態をもたらした。それは1950年の価格統制撤廃と漁船の増加にともなう水揚げの激増、未整備の後方処理施設、また流通機構の不備の結果であった。八戸漁港でも魚価対策委員会を設置し、「船止め」など漁獲調整もおこなったがイカの暴落は続いた。魚価安は、漁獲増大で収益を確保しようとする漁獲量の競争に向かわせ、漁船の大型化、イカ釣り船の集魚灯光力の増強、操業区域の拡大となった。こうした事態を憂慮し、八戸の水産業界では、イカ釣り漁業の許可制を水産庁に陳情、1958年に県は青森県イカ釣り漁業臨時調整規則を公布した。それによって15t以上（第一種イカ釣り漁業）を知事の許可制に、5t以上15t未満（第二種イカ釣り漁業）を届け出制とした¹⁰⁾。直流発電機から交流発電機に代わり光力が高まった集魚灯に対しても、県は1951年に規制をはじめた¹¹⁾。1960年代にはイカ釣り漁船の大型化がすすみ遠洋への出漁が盛んになった。六ヶ所村漁業では村内漁港（白糠漁港焼山地区）では30tが漁船規模の上限という制約のため漁船の規模拡大は限界¹²⁾があったが、漁獲高は装備の近代化もあり増加傾向で推移した。

1979年の第2次石油ショックによる燃油高騰¹³⁾によ



＜東北農政局青森統計情報事務所「青森農林水産統計年報」1972～1999 各年から作成＞

図2 漁種別漁獲量（属人）_六ヶ所村



＜青森県企画部統計課「海面漁業数量調査結果書年報」1969～1992 各年から作成＞

図3 スルメイカ魚価と数量_六ヶ所村

り操業コスト上昇のため出漁回数が減少し、またスルメイカは魚価安により漁獲金額は減少した¹⁴⁾。1980 年以降の漁獲量を図2「漁種別漁獲量（属人）_六ヶ所村」から概観したい。1980 年代は3年おきにスルメイカの漁獲減にみまわれた。またニュージーランドイカ、近海イカの豊漁に加え、輸入物の急増が重なり、ときには価格が半値にも暴落した¹⁵⁾。核燃サイクル海域調査開始の年（1985年）とその前年（84年）もスルメイカの漁獲はかなり落ち込んでいた¹⁶⁾。しかし、1989年から90年代にかけてスルメイカの漁獲は大きな変動（91年の減、93年にかけての急増、94年、95年の急減）をともないながらも

大幅に拡大した。その一方で、市場への供給過剰で魚価の低迷となり、漁業収益は漁獲増ほど伸びなかった。

図3「いか取扱数量と魚価」は、スルメイカの1976年から1999年にかけての泊漁協取扱高と魚価（漁協取扱金額÷漁協取扱数量）の関係をあらわしている。全般的に取扱数量と魚価は需要曲線の反比例関係にあり、スルメイカの魚価（1kg 当たり）は、漁獲が低迷していた1986年の1,035円から豊漁時の1992年の275円（1986年の26.6%）と落ち込み、漁獲量の増大を反映して魚価の低迷は著しい。

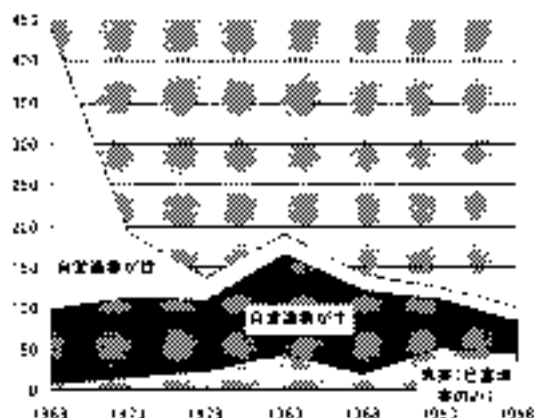
3) 漁業経営

1960年代までイカ釣り漁船には多くの「釣り子」と呼ばれる人たちが乗船し、漁獲物は船主と「釣り子」で折半するという制度¹⁷⁾がとられていた。しかし高度経済成長の時期、漁業就労人口が大きく減少した結果、「釣り子」が不足した。この頃、イカ釣り漁法は、ドラムに巻き付けた釣り糸を海中に下ろしては、また巻き上げるという人力を用いた方式となっていた。20tのイカ釣り船では8人くらいの「釣り子」が乗り込み操業をしていた。「釣り子」不足解消のためイカ釣り船の機械化が模索され、釣り糸の巻き上げを電動にしようとした。この方式は1962年の青森県水産試験場の研究成果から実用化され、イカ釣り船の機械化が急速に進んだ¹⁸⁾。その結果、イカ釣り漁業は、最も資本投下の少ない漁業から最も資本投下の大きい漁業へと転換し、漁獲効率が向上した一方、操業コストの上昇になった。

六ヶ所村漁業者を、個人漁業（漁家）と漁業従事者（漁業雇われ）の2つに分けてそれらの推移をみてみたい。個人漁業（漁家）については、図4「個人漁業の専業別経営体数_六ヶ所村」にみられるように、兼業（自営漁業が主・従）経営体数、比率とも急激に低下した。兼業（自営業が主・従）経営体数とその個人漁業経営体全体に対するその比率は、1968年434（98.4%）、1973年175（91.1%）、1978年114（83.2%）、1983年147（77.4%）、1988年119（85.0%）、1993年73（58.4%）、1998年57（57.0%）¹⁹⁾である。30年間に、兼業（自営業が主・従）経営体数はほぼ100%から20%弱にまで低下した。

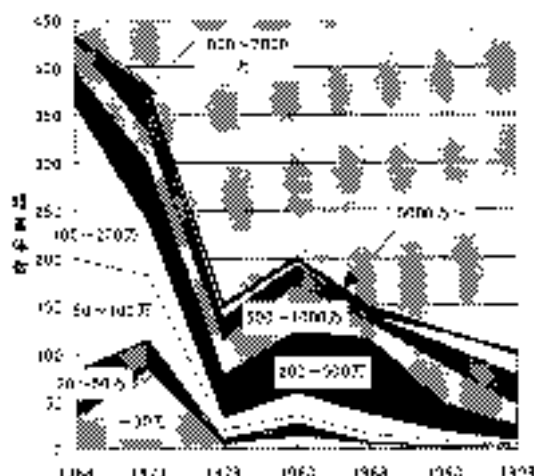
この図4「個人漁業の専業別経営体数_六ヶ所村」と青森県全体の同様の統計とを比較すると、六ヶ所村では兼業（自営漁業が従）経営体数の減少の度合いが急激である。ことに「自営漁業が従」の経営体の減少が急激であった。その経営体数と個人漁業全体にたいする比率では、1968年342（77.6%）、1973年79（41.1%）、1978年28（20.4%）、1983年24（12.6%）、1988年17（12.1%）、1993年13（10.4%）、1998年15（15.0%）²⁰⁾と、とりわけ1968年から1978年にかけての減少が顕著である。1968年から73年にかけての時期は兼業先として出稼ぎ就労を除けば、農業（零細農家経営や雇われ農業）が主であった。しかし、同期間は開発のための農地の投機買いによって地域農業が崩壊しつつあり、その結果「自営漁業が従」の経営体は農業とともに漁業からも離反²¹⁾し、急激に減少した。そうした人々は、むつ小川原開発関連の建設業界や周辺市町村での賃金労働者となり、あるいは村外流出したものと考えられる。

一方、専業経営体は、総数では40から50と上下しているが、その経営体数と個人漁業全体にたいする比率では、1968年7（1.6%）、1973年17（8.9%）、1978年23（16.8%）、1983年43（22.6%）、1988年21（15.0%）、1993年52（41.6%）、1998年43（43.0%）²²⁾と着実に上



＜農林省農林経済局統計情報部「漁業センサス」第4次（1968年）～第10次（1998年）から作成＞

図4 個人漁業の専業別経営体数_六ヶ所村

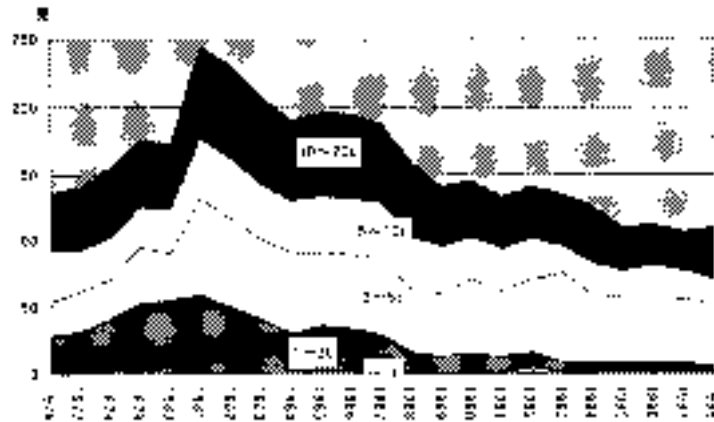


＜農林省農林経済局統計情報部「漁業センサス」第4次（1968年）～第10次（1998年）から作成＞

図5 漁獲金額別経営体数_六ヶ所村

昇してきた。

図5「漁獲金額別経営体数_六ヶ所村」は、1968年から5年ごとに1998までの六ヶ所村の漁獲金額別経営体数をあらわしている。全体的に漁獲金額が小さい零細経営が六ヶ所村漁業の特徴である。しかし年間漁獲金額が1,000万円未満の特に零細な部分の経営体数、比率を計算すると、1968年431（97.7%）、1973年334（87.0%）、1978年116（75.8%）、1983年173（86.1%）、1988年134（89.3%）、1993年89（71.2%）、1998年47（45.2%）²³⁾と徐々に零細な部分の比率が減少する傾向はみられる。そして年間漁獲金額が1,000万円以上の経営体数とその比率は、1968年10（2.3%）、1973年50（13.0%）、1978年37（24.2%）、1983年28（13.9%）、1988年16（10.7%）、1993年36（28.8%）、1998年57（54.8%）²⁴⁾と規模が比較的大きい部分は経営体数でも比率においても上昇している。



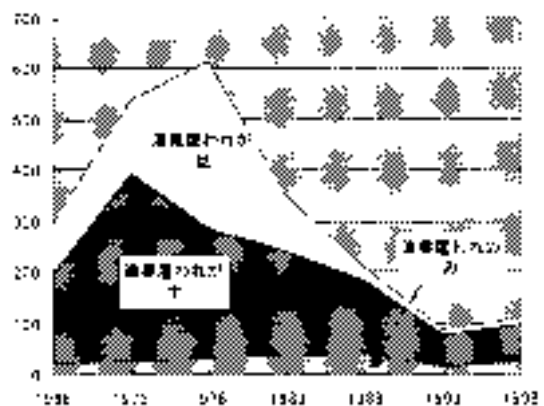
＜東北農政局青森統計情報事務所「青森農林水産統計年報」1972～1999 各年から作成＞

図6 漁船隻数_動力船_六ヶ所村

図6「漁船隻数_動力船_六ヶ所村」から村内の漁船隻数の推移をみる。この統計には無動力船は含まれていない²⁵⁾ 漁船の総隻数は1981年にかけて上昇し、その後1998年までほぼ一貫して減少傾向を示している。1981年の総漁船隻数244から1998年の110隻と半分以下(45.0%)にまで減少した。とくに隻数と比率を低下させたのは3t以下の動力船で、1976年28(20.7%), 1979年54(30.9%), 1982年50(21.7%), 1985年36(18.3%), 1988年16(10.1%), 1991年13(9.8%), 1994年9(7.1%), 1998年5(4.5%)²⁶⁾ となっている。1981年に漁船隻数総数が急激に拡大しているが、これは1979、80年のむつ小川原港建設補償金(3漁協合計118億円)が県から支払われて、その資金が漁船の購入にあてられたからと考えられる。このように漁船の規模別の推移からも、とくに零細な個人経営が漁業から離職していったことが想像できる。

次に漁業従事者(漁業雇われ)の様子をみる。図7「漁業雇われ専兼業別世帯数_六ヶ所村」では、「漁業雇われが主」は1973年以降、「漁業雇われが従」は1978年以降に大幅に減少している。「漁業雇われが従」の世帯数と比率は各年、1968年98(33.1%), 1973年145(26.9%), 1978年326(53.3%), 1983年106(30.7%), 1988年23(11.2%), 1993年9(10.2%), 1998年10(9.2%)²⁷⁾ である。「漁業雇われが従」は1978年以降、非常に少なくなった。1978年から83年の期間にはむつ小川原港建設のため六ヶ所村漁協、六ヶ所村海水漁協の沿岸あるいは内水面共同漁業権が消滅し、こうした漁場に依存していた漁業従事者(漁業雇われ)数が減少したと考えられる。

漁業者の兼業の程度は、漁業依存度(漁家総所得に占める漁業所得の比率)の高低にあられる。漁業依存度に関する六ヶ所村だけの適当な統計資料がないので、青森県全体のもので代用する。図8「漁家漁業依存度_青森県」で、小規模な個人経営体の漁船規模と漁業依存度と



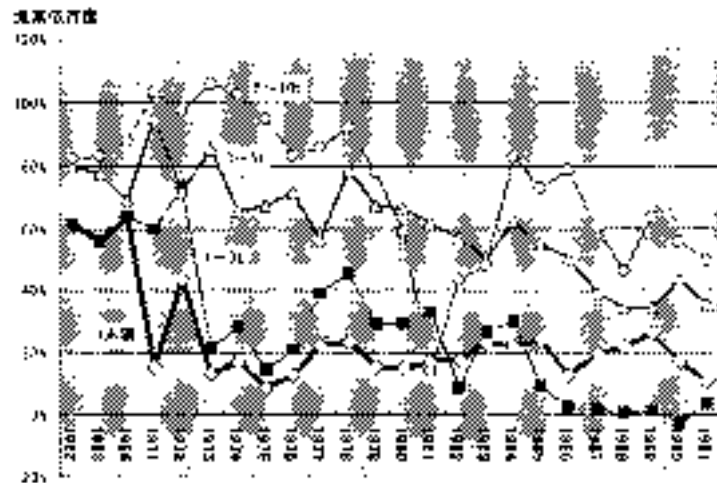
＜農林省農林経済局統計情報部「漁業センサス」第4次(1968年)～第10次(1998年)から作成＞

図7 漁業雇われ専兼業別世帯数_六ヶ所村

の関係をみると、漁船規模が大きくなるにつれて漁業依存度が高くなっているが、全般的に漁業依存度は低下しながらも低下している。そして趨勢としては兼業による漁業外所得が増えていく傾向がある。そうした趨勢のなかでの漁業依存度の上下の動きは、漁獲高の変動、魚価の変動といった漁業の不安定要因が反映したものである。この図にみられる10t以下の漁船の規模拡大では、それに応じて上昇する経費を漁獲量の増加で相殺して利益率を上昇させるのは困難である²⁸⁾。なお1979年に始まる漁業依存度の低下(特に5～10t漁船経営体での低下が顕著である)は、第2次石油ショックによる燃油価格の上昇のための操業コストの上昇と出漁日数の減少の結果である。こうした状況でこの年、むつ小川原港建設漁業補償問題が生じた。

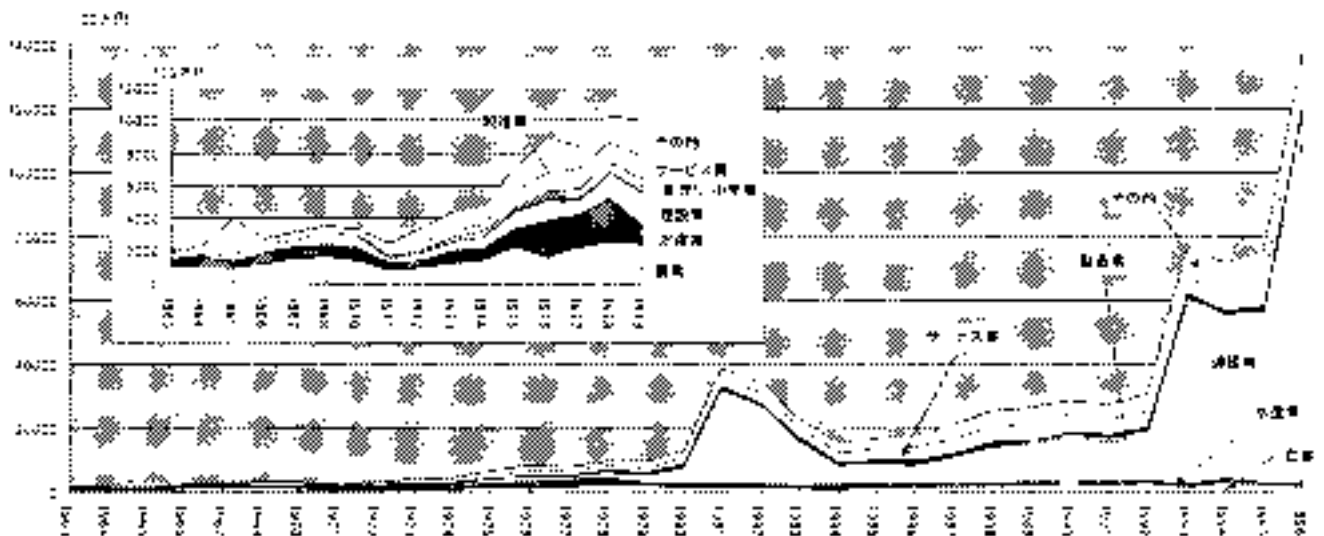
4) 地域経済における漁業

図9「六ヶ所村純生産額」²⁹⁾に示されるように、村政が開発推進となる1973年以降、村の経済構造変化の大きな特徴は、建設業の圧倒的拡大である。そこでの特徴は、



＜青森県企画部企画課『第8次(1964年)～第19次(1988年) 青森県経済白書』から作成＞

図8 漁家漁業依存度_青森県



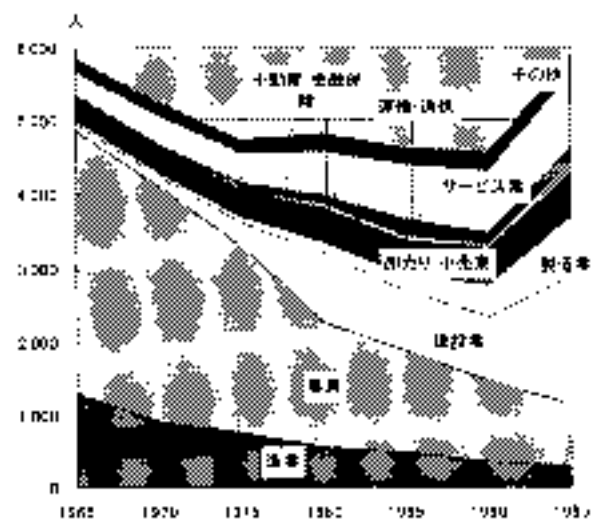
＜青森県企画部企画課「経済開発要覧」1966～1999各年から作成＞

図9 六ヶ所村純生産額

1979年以降の石油備蓄基地とむつ小川原港の建設に対応する形で建設業が急激に拡大し、核燃サイクル関連施設の建設工事が、1992年以降の建設業の純生産額を大きくしてきた。

水産業（漁業）はどうかというと、1963年4億円2,000万円（22.7%）、1974年6億円9,400万円（14.8%）、1981年13億円1,600万円（3.5%）、1988年7億円1,100万円（2.9%）、1993年12億円3,100万円（1.7%）、1996年11億円1,400万円（0.8%）³⁰⁾、と比率を低下させてきた。現在は、村全体の純生産額の1%にも満たない状況にある。

図10「15歳以上就業者数_六ヶ所村」は、第1次産業の農業、漁業とも比率を一貫して低下させている傾向が顕著であることを示している。それとは逆に建設業は比率を拡大させているが、純生産額の拡大に比べてそれほど大きくはない。その理由は、農業、漁業からの兼業が多



＜青森県企画部企画課「経済開発要覧」1966～1999各年から作成＞

図10 15歳以上就業者数_六ヶ所村

く、統計上（この一次統計は5年毎の国勢調査）、このような兼業就業者は建設業ではなく第1次産業に計上されているためである³¹⁾。兼業も含めると建設業の従業者は、実際はこの数値の2倍以上になると思われる。建設業の飛躍的な成長が漁業者に及ぼした大きな影響は、農業よりも多い現金収入になる建設業界が漁家の兼業先として選好されたことである。また他産業の就業先を主に漁業に従事していた人たちは、他産業と建設業との兼業をすることで漁業から去った。

4. 地域漁業者の動向の背景

1) むつ小川原港建設漁業補償問題

むつ小川原開発の是非をめぐることは、村議会内では1972年10月³²⁾に、村長選挙では1973年12月³³⁾に開発推進ということで決着がついていた。一部村民の根強い開発反対の運動があったが、港湾建設に関し村内3漁協では早い時期から漁業補償額をめぐる条件闘争の性格があらわれていた。共同漁業権の大半を失う六ヶ所村漁協、六ヶ所村海水漁協からも港湾建設そのものへの強い反対の意志は表明されなかった。これら2漁協は、沿岸漁業への依存度が高いにもかかわらず、農業などの兼業の零細漁家がほとんどで漁業生産性は低位で、漁家経済に占める漁業収入比率も低かった。一方、港湾建設による消滅漁場に入会権などをもつ六ヶ所村北端に位置する泊漁協は、漁業の主力は沖合のイカ釣り漁業で、距離的にも遠い南方のむつ小川原港建設での漁業への影響は小さかった。

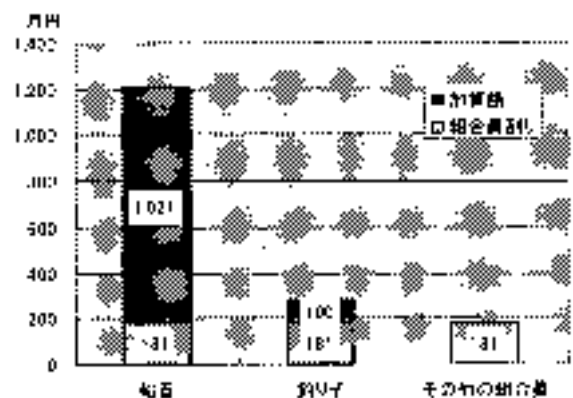
個人漁業（漁家）については、兼業（自営業が主・従）経営体数とその個人漁業経営体全体は、10年間に320減少、比率も100%から80%台にまで低下した。逆に、漁業従事者（漁業雇われ）については上昇してきた。これは廃業した零細漁家が漁業従事者（漁業雇われ）に転じたものと考えられる。純生産額の推移は建設業の急激な拡大と水産業（漁業）の比率の低下を示しているが、漁業者にとってむつ小川原開発関連建設事業は有力な兼業機会となる。それは兼業（自営業が主・従）経営体数の減少と、それが建設工事に従事しながら漁業従事者（漁業雇われ）となる状況にあらわれている。むつ小川原港建設漁業補償問題の生じる1979年にかけて、地域漁業は建設業の急激な成長の結果、零細漁家の廃業や兼業先として建設業への転換といった状況がすすみつつあった。

村内3漁協とも港湾建設と漁業補償額に関しては、一般組合員と漁協役員との意思決定に大きな相違はなかった。そして、通常の漁業補償算定額に算定基準となる年間水揚げ数量などを県と漁協が偽造した結果、村内3漁協合計118億円で短期間の妥結をみた。しかし、漁業補償金の配分については漁協内で争いがあった。これを泊漁協について検討したい。むつ小川原港建設漁業補償金は1980年2月、泊漁協には33億円が支払われた。この組

合員への配分については漁協が責任をもっておこなうこととされた³⁴⁾。この33億円の補償金はまず、「組合員割り」として14億5,000万円、「船主割り」も同額の14億5,000万円、そして「釣り子割り」4億円の3つに分けられた。「組合員割り」の14億5,000万円は、803人の組合員（正組合員617人、準組合員186人）で均等配分して1人181万円、「船主割り」の14億5,000万円は船主の142人（筆者推定）で除して平均1,021万円となる。雇われ漁業者への配分である「釣り子割り」は、4億円を400人（筆者推定）で除して平均100万円となった。なお漁協組合員は1世帯から1人と定款で決められており、したがって1世帯で補償金を重複して受け取ることはできない。単純には漁業補償配分は以上の計算となる。しかし実際には、「組合員割り」は出資、加入年度、貢献度によって配分割合が算出され、また「船主割り」では漁種別や漁法、漁船規模、実績、経営年数などにで配分が異なる。「釣り子割り」は、乗組員調査に基づき船主に報告された乗組員数分を交付して船主が配分することになった³⁵⁾。

この配分方法に関し、1980年8月17日の泊漁協臨時総会で異議が提起された。漁民相互振興委員会（赤石唯三郎会長）は、船主の取り分が多すぎるとして反対の署名簿（478人分）を提出し配分割合を白紙撤回要求した³⁶⁾。また滝口作兵衛理事は、「組合長（配分委員会）が示した議案はあまりにも格差が大きい」と発言している³⁷⁾。しかしそれらの主張は認められず結局、ほぼ原案通りの方法で配分されることになった。図11「むつ小川原港建設漁業補償_配分平均_泊漁協」は、筆者の現地でのヒアリングと資料からの推定値である。ここに明らかにように、船主と釣り子（漁業雇われ）の開きは大きい。配分平均の比率は、船主を1.00とすれば、「釣り子」（漁業雇われ）は0.27、「その他の組合員」は0.18にすぎない。漁業補償金の配分方法に関して、漁業従事者である「釣り子」と「その他の組合員」は、個人経営者である船主の配分が大きすぎるとして不満を表明した。

どのような配分方法が公正であるかは、意見の分かるところである。筆者の漁業者のヒアリングからは、お



＜「東奥日報」1980年8月18日付と筆者の六ヶ所村泊でのヒアリングから作成(推定値)＞

図11 むつ小川原港建設漁業補償_配分平均額_泊漁協_推定

およそ次の2つの意見が聞かれた。ひとつは、漁業補償金は港湾の建設によって消滅する漁場に対して支払われる。(泊漁協では入会権のみの影響補償)したがって漁業権が消滅(泊漁協では入漁権が消滅)する海域でのそれぞれの漁業者の依存度(消滅漁場での水揚げ高)を基準にすべきという考えである。それに反対する意見としては、消滅漁場の漁業権は共同漁業権という形で漁協が集団で一括して所有しているの、すべての組合員は平等にその権利をもっている。したがってその補償金の配分も全組合員が基礎算定で均等割にし、それに乗せする形で漁業の実態にあわせ調整する方法が妥当であるというものである。むつ小川原港建設漁業補償金の配分は、基本的には後者の考えに沿った方法でおこなわれた。基礎算定である「組合員割り」14億5,000万円が均等割りにされたが、「船主割り」14億5,000万円と「釣り子割り」4億円の格差が非常に大きく、「釣り子」(雇われ漁業者)から強い不満が表明された。

また「その他の組合員」のなかには、沿岸漁場への依存度の高い小規模漁船(5t以下)漁家が含まれていた。こうした組合員は、漁業権(泊漁協では入会権)が消滅する海域での漁業依存度(消滅漁場での水揚げ高)を基準にすべきということを公平と考えていた。むつ小川原港の建設によって消滅する漁場は、掘り込み港湾(内港区港湾)建設予定内にある内水面共同漁業権漁場と、六ヶ所村出戸から新納屋にいたる前面海域(外港区)である共同漁業権漁場とそれに隣接する港湾区域内の共同漁業権以外の漁場(許可漁業・自由漁業)である。泊漁協は海面、内水面には共同漁業権を有しておらず、海面の入会権だけをもっていた。この海域で漁業を営む泊漁協所属船はすべての階層規模の漁船であるが、5t以上の船はそれより沖合(共同漁業権海域の外側、海浜から2.7km以上の沖合)を主な漁場としていて、沿岸の漁場への依存度は一般に漁船規模が大きくなるにつれて小さくなる。したがって補償金配分について、漁業権(泊漁協では入会権)が消滅する海域でのそれぞれの漁業者の依存度を基準にすべきという考えから、零細漁業者は大きな不満をもったのである。

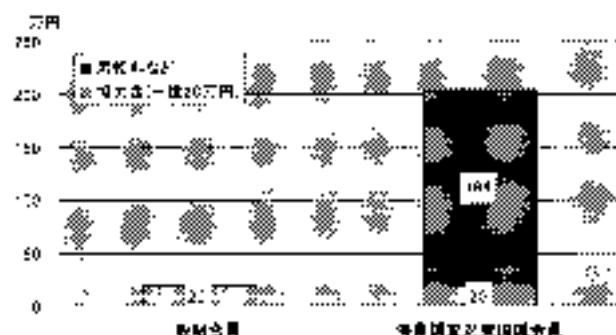
2) 核燃サイクル海域調査問題

「核燃サイクル施設立地漁業補償」は、むつ小川原港建設の漁業補償としてすでに解決済みという見解が、県ならびに事業者より早い時期から打ち出されていた。そのため地域漁業者の核燃サイクル施設立地に対する意思表示の機会、施設立地のための環境調査の一環である海域調査の諾否だけであった。先のむつ小川原港建設の結果、六ヶ所村漁協、六ヶ所村海水漁協はその共同漁業権の大半を失ったこともあって、それら2漁協は漁業生産量・額でも村経済のなかでわずかな比率しかもたなかった。2漁協は協力料の要求すらせず、海域調査を役員会あるいは理事会で早期に受諾した。これは争うべき経済権が

先のむつ小川原港建設によってほとんど失われていたからである。それに対し泊漁協では、他2漁協と比較して漁業依存度も高いこともあり、核燃サイクル事業そのものに反対という漁業者も多かった。海域調査賛成派内にも、漁業補償がむつ小川原港建設とは別という主張があり、再補償要求という条件闘争の性格を早くからおびていた。しかし漁協理事の過半数が、漁業補償はむつ小川原港建設の漁業補償としてすでに解決済みという姿勢を頑なに貫いた。調査ブイの設置という海域調査それ自体が地域漁業に悪影響を及ぼすことはほとんど問題とはされなかった³⁸⁾。核燃サイクル海域調査反対運動は、核燃サイクル事業そのものに反対、あるいは漁業補償の再補償要求という漁業者の意志のあらわれであった。そうした強い反対にもかかわらず、核燃海域調査は強行された³⁹⁾。

1986年6月に始まる核燃サイクル海域調査終了後の1987年2月にかけて、海域調査協力金などが事業者側から漁業者へ支払われた。これは泊漁協への1億7,620万円、それと海象調査対策協議会(館花昌之輔会長)⁴⁰⁾へ用船料として支払われた1億8,500万円の合計3億6,120万円である。泊漁協への1億7,620万円は、海域調査協力料として1組合員一律20万円が漁協から組合員の口座に一方的に振り込まれた。海象調査対策協議会への1億8,500万円については、漁協への手数料(134万円)⁴¹⁾を差し引いた1億8,366万円を協議会の調査に船を出した約100人に対し協力内容などによって配分された(以上の数値はヒアリングからの筆者推定)。

図12「核燃サイクル海域調査_協力金など平均値_推定」でみられるように、海域調査の賛否を問わず組合員全員に一律20万円、そして海域調査に積極的に協力した海象調査対策協議会の会員には、その20万円に平均184万円を上乗せした平均204万円が支払われた。この結果、海域調査に船を出した組合員は、そうでない組合員の平均10.2倍の協力金を手にした。



<「東奥日報」1986年4月7日付、1993年6月23日付、と筆者の六ヶ所村泊でのヒアリングから作成(推定値)>

図12 核燃サイクル海域調査_協力金など平均値_推定

「4. 地域漁業の状況」で述べた地域漁業の状況をここで再確認しておきたい。核燃サイクル海域調査が始される1985年にかけての数年間、スルメイカの漁獲は大きく落ち込んでいた。「3. 地域漁業の状況、2) 漁業生産」の図2「漁種別漁獲量(属人) _ 六ヶ所村」にみられるように、とくに1981年以降、スルメイカの漁獲は低位で推移し、漁業収益は低迷していた。イカ釣り漁業は、設備や燃料に費用のかかる漁法のため、多くのイカ釣り船の所有者は、漁協からの借入金によって設備資金をやりくりしていた。規模の大きい船の船主は専業漁業者が多く、零細漁家や漁業従事者は第2種兼業者が多く、経営状況が異なっていた。したがって、そうした船主にとっては、海域調査に協力することで協力金を得られることは魅力的だったと思われる。また10tから20t規模のイカ釣り船は沖合漁業が主で、そうした個人経営者は沿岸漁場への関心は比較的薄く、核燃サイクル施設立地への危機感 は沿岸零細漁家ほど強くなかった。したがって協力料や用船料を得ることに関心が強かった。

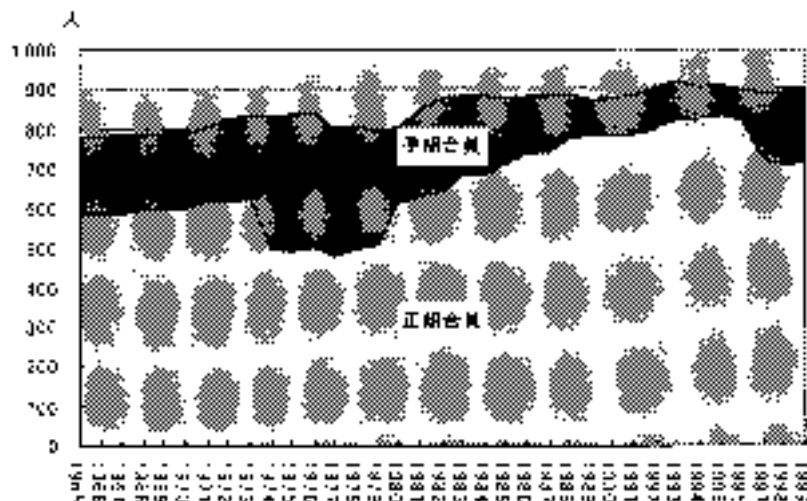
事業者側は海域調査にかかる費用をできる限り削減したかった。事業者が海域調査のために泊漁協に支払ったのは3億6,120万円(筆者推定)である。この補償金額は、たとえば原子力発電所建設にともなう漁業補償額と比較すると格段に安い⁴²⁾。また青森県は、先のむつ小川原港建設の漁業補償の際、行政統計の偽造までおこない地域漁業者へ多額の補償金を支払っているとの認識があり、核燃サイクル立地での再補償は最初から不問に付していた。むしろ核燃サイクル施設予定地の沿岸漁業権が消滅していることを恰好の条件として、立地の誘致運動をしてきた。そのため青森県は、核燃海域調査賛成派の強化のため、泊漁協の自治に不当に介入したものと考えられる。

3) 村内漁業協同組合の意志決定

戦後の漁業法は地域漁協に共同漁業権の主体としての地位を保証した。この法的根拠に基づき、地域漁業者はむつ小川原港建設や核燃サイクル海域調査の際、彼らの属する漁協を通じて共同漁業権の放棄や補償あるいは共同漁業権を有する海域への機器の設置などに関する集団的意思表示を迫られてきた。ここでは特に1984年から86年までの核燃サイクル海域調査問題での泊漁協の動向について、地域漁業の状況をふまえて検討しておきたい。海域調査での漁業者の動向について、以下の点が不明である。第1に、漁協組合員全体の利益を代表すべき漁協理事者の過半数が、核燃サイクル施設立地に関する漁業補償を要求しないという態度を頑なに貫いたこと。第2に、漁協の意志決定においては、不正な書面議決書など非民主主義的方法がしばしばとられたこと⁴³⁾。

以上の点に着目して、泊漁協の意志決定のあり方を考察する。

「3. 地域漁業の状況」でみたとおり、六ヶ所村の個人漁業(漁家)は、兼業経営体数、比率とも急激に低下してきた。兼業経営体数とその個人漁業経営体全体に対するその比率は、1968年434(98.4%)、1973年175(91.1%)、1978年114(83.2%)、1983年147(77.4%)⁴⁴⁾である。15年間に、兼業経営体数はほぼ100%から8割弱にまで低下した。漁業従事者(漁業雇われ)については、「漁業雇われが従」の世帯数と比率は各年、1968年98(33.1%)、1973年145(26.9%)、1978年326(53.3%)、1983年106(30.7%)⁴⁵⁾である。個人漁業経営体数、漁業雇われ世帯数のいずれにおいても1960年代以降、減少してきた。以上の状況を反映して、漁協の組合員についても減少傾向にあると類推できる。しかし図13「組合員数_泊漁業協同組合」をみると、組合員数(正組合員・準組合員合計)は1976年から82年まで800人台、1983年から99年までは約900人で推移している。正組合員に



＜泊漁業協同組合文書から作成＞

図13 組合員数_泊漁業協同組合

については、1977年から97年まで一貫して増加してきた。これはいかなる理由によるのであろうか。

組合員の資格は、泊漁協の定款によれば、地域漁業者であることの他に、漁業を営む、または漁業に従事する日数が年間90日以上が正組合員、漁業従事日数年間90日未満は準組合員の資格を有するとなっている。兼業や高齢による引退を余儀なくされても、なお組合員であり続ける理由を、筆者の漁業者のヒアリングから以下の項目にまとめた。

それは、①漁協理事選挙に係わること、②漁業補償金の配分に係わること、③組合の信用事業の利用に係わること、④漁協組合員の資格審査委員会が実質的に機能していないこと、である。具体的に述べると、理事選挙で理事に当選したい人は、地縁血縁関係のある支持者が組合から離脱しようとするのを引き留める⁴⁶⁾。漁業者は、個人経営者であれ漁業従事者であれ、地縁血縁関係はもとより過去における経済的な援助、漁業操業時の手伝いなど地域社会のなかでさまざまな人間関係がある。漁業補償金の配分に係わることでは、陸上自衛隊六ヶ所村射撃場の補償金請求の手続きを漁協が組合員から委任されておこなっている⁴⁷⁾。また現在、建設中の東通村原子力発電所の漁業補償金の配分を受け取るためにも、漁協の組合員でなければならない。組合の信用事業の利用に係わることは、経営が不安定な漁業者の設備資金などの借入先は漁協がほとんどであり、漁協から借金をするには本人が組合員であることは当然として保証人も組合員であると都合が良い。漁協組合員の適格性を調査するのが、漁協内の資格審査委員会である。しかし資格審査委員は、組合員の適格性を欠くことを不問に付すことが多い。その理由は以上述べたことから明らかなように、様々な人間関係から成立している地域社会の一員である資格審査委員は、組合から離脱がその本人ならびに他の組合員の不利益になる結果をあえて望まないからである⁴⁸⁾。

それでは先に述べた海域調査における漁業者の動向に関する疑問点について考えたい。それは、第1に、漁協組合員全体の利益を代表すべき漁協理事者の過半数が、核燃サイクル施設立地に関する漁業補償を要求しないという態度を頑なに貫いたこと。第2に、漁協の意志決定においては、(不正な)書面議決書など非民主主義的方法がしばしばとられたこと。以上の2点である。第1点については、漁協理事者の過半数を支えていたのは、漁協内の任意組合である「海象調査対策協議会」(館花昌之輔組合長、約100人)であった。船主らは海域調査に自らの船を出すことで支払われる用船料に大きな期待を抱いていた。(海域調査に賛成の船主は100人で正組合員の14.2%)むつ小川原港建設漁業補償の前例にあるように、政治的加算という用船料の上乗せもありうると打診もあった。一方、漁協内の核燃サイクル海域調査反対派は、正組合の大半(正組合員708人－100人<海象調査対策協議会>=608人、85.9%)を占める沿岸漁場に依存す

る兼業の零細漁家のほとんどである。正組合員のなかには本来の正組合員としての要件を満たさない者がかなり含まれている。反対派には一部船主も参加しているが、船主階層は反対派理事(理事7人中3人)として彼らの主張を代弁した。

以上の状況で、水産業協同組合法や泊漁協定款の趣旨にしたがい総会で、核燃海域調査の諾否をとれば、否決されるのが確実であった。なんとしても海域調査の受諾をとりつけたかった賛成派理事は、(不正な)書面議決書など非民主主義的方法をしばしばとることになった。開発計画推進に硬直的な青森県は、漁協にたいする監督行政官庁である立場を利用し、反対派組合長の排除と賛成組合長の創出のため、漁協の自治に介入した。事業者側も理事会の海域調査賛成派を強化するための協力金上乗せという買収工作に尽力した。むつ小川原開発推進という青森県の至上命題のため、本来漁協の民主的自治に委ねられる事項に、行政と事業者が海域調査賛成派理事者を強力に支援することで行政と事業者が望む結論を導き出そうとしたのである。

5. 結 論

1) 漁業者の動向を規定した経済的要因

むつ小川原港建設漁業補償については、港湾の建設により共同漁業権の大半を失う六ヶ所村漁協、六ヶ所村海水漁協から建設反対はなかった。それはこの2漁協は兼業零細漁家が多く漁業生産性は低位、漁家経済に占める漁業収入比率も低く漁業補償金を選択したからである。港湾建設で消滅する漁場に入漁権をもつ泊漁協は、主力は沖合のイカ釣り漁業で港湾建設の影響は小さく港湾建設には反対せず、2漁協と同様に漁業補償金を選択した。この頃、むつ小川原開発計画の基盤整備のため建設業が成長し始めた。建設業の急激な拡大とともに、零細漁家は廃業、あるいは兼業先として建設業への転換がすすみ開発を不可避とする状況ができていった。

漁業補償交渉は、水揚げ数量などを偽造して補償額を上積みし、村内3漁協合計118億円で短期間の妥結に至ったが、補償金配分に関し漁協内で争いがあった。泊漁協では補償金33億円の配分比率は、船主の1.00に対し、「釣り子」(漁業雇われ)は0.27、「その他の組合員」は0.18にすぎなかった(平均値、筆者推定)。「釣り子」と「その他の組合員」は、船主の配分が大きすぎると不満を表明した。比較的大きな漁船の経営者は、沖合を主な漁場としており沿岸漁場での依存度は低く港湾建設による影響は比較的少なかったが、魚価低迷と操業費用の高騰により経営は悪化していた。漁業従業者と沿岸漁業の零細漁家は、漁業権(泊漁協では入会権)が消滅する海域での漁業依存度が高く上の補償金の分配方法には反対した。

1979年からのむつ小川原港建設漁業補償問題は、沿岸

漁業の零細漁家と漁業従事者が漁業以外の兼業に移行しつつある時期に生じた。そのため沿岸漁場を漁業補償金と引き替えに放棄し、漁業と開発の共存を指向したと考えられる。漁業補償金の配分に関しては、それぞれの漁業者のおかれた経営状態の相違を反映し争いが生じた。地域漁業者の核燃サイクル施設立地にたいする意思表示は、先のむつ小川原港建設にともない共同漁業権消滅のため海域調査の諾否だけだった。1985 年からの海域調査反対の運動は、核燃サイクル事業そのものに対する反対、あるいは再漁業補償要求という漁業者の意志の表れだった。当時、村内純生産総額に占める漁業の比率は一貫して低下していた。1978 年にかけて、急激に低下してきた漁業経営体は、この時期、一時的に増加した。漁業従事者は、1978 年頃は零細漁家からの転換によって増加するがその後、激減した。これは兼業先として漁業より開発関連の建設業などに移行した結果である。

核燃サイクル海域調査問題の基本的な図式は、専業漁業経営者と零細漁家や漁業従事者の対立であった。専業漁業経営者の多くは当時、漁獲低迷のため経営難の状況にあった。また沖合漁業を主とする船主は、沿岸漁場への関心は低く協力料や用船料を得ることを指向し海域調査に賛成する船主が現れた。零細漁家は、他産業から兼業収入が増え漁業依存度は低下しつつあったが、沿岸漁場への依存度は高く核燃サイクル事業に大きな疑念をもち海域調査に反対した。漁業従事者は漁業就労から他産業就労へ転換しつつあったが、再漁業補償が不問にしたままでの海域調査に反対した。以上の状況で、漁協理事の過半数が、海域調査賛成という姿勢を貫き、結局、青森県の介入もあって海域調査は実施された。

海域調査終了後に支払われた協力金は、海域調査の賛否を問わず組合員全員に一律 20 万円、そして海域調査に協力した船主には用船料が支払われた。事業者は、海域調査で総額 3 億 6,120 万円（筆者推定）を泊漁協と海象調査対策協議会に支払ったが、これは原子力発電所建設にともなう漁業補償金と比較すると非常に低額で、立地費用を大幅に削減できた。青森県当局は、沿岸の共同漁業権が消滅していることを前提に核燃サイクル施設の誘致運動をしてきた経緯からも、泊漁協の自治に不当に介入し、むつ小川原開発計画が頓挫するのを防いだ。

以上、主に経済的背景のみから核燃サイクル海域調査問題を論じたが、放射能汚染から漁業や郷里を守るため核燃サイクル事業に反対し、そのために行動してきた多くの船主、漁業従事者がいたことを明記しておきたい⁴⁹⁾。

2) 漁業協同組合の意志決定の問題点

戦後の漁業法が地域漁協に共同漁業権を与えたことにより、六ヶ所村漁業者は、むつ小川原港建設や核燃サイクル海域調査の際、漁協という組織で意思表示をすることになった。漁業者は、沿岸漁場の共同漁業権にたいする

権利を漁協という集団で所有していることがきわだった特性である。六ヶ所村の漁業経営体数は 1960 年代以降、漁業雇われ世帯数は 1978 年以降、いずれも大幅に減少した。しかし泊漁協の組合員数は、正組合員数が 1977 年以降、増加した。組合員の適格性を失っても組合員であり続ける傾向が強い。その理由は、漁協理事選挙に係わること、漁業補償金の配分に係わること、組合の信用事業の利用、そして組合員の資格審査委員会が機能していないことによる。

漁業者はきわめて多様である。漁業経営者と漁業従事者、漁法や漁船規模、漁場とする海域、漁業依存度などで大きな格差をもつ地域漁業者が漁協を形成している。さらに現実には、本来の組合員の適格性を欠く組合員もその構成員として加わる。そうした漁業者が正組合員であれば、平等に議決権を有する。漁協の議決で最も重要な議案は、共同漁業権などに係わることである。つまり漁業権などを補償金と引き替えに放棄するかどうか、その補償額が適正かどうか、また補償金配分をいかにおこなうか、などの事項である。漁協の集团的意志決定における困難とは、利害関係が異なる多様な漁業者から成る集団で合意を形成しなくてはならないことである。したがって漁協幹部が漁協内のある特定の漁業者の影響を強く受ければ、その要請にそった方向で正組合員の議決ではない非民主的方法での決着をめざす可能性がある。

後 記

本稿を書くにあたり、六ヶ所村ではたくさんの方々に貴重なお話を伺った。とくに樋口松之助泊漁協理事、「核燃から漁場を守る会」の坂井留吉副会長、六ヶ所村農林水産課橋本和夫氏には大変お世話いただいた。また三重大学の長谷川健二教授には、特に漁業法に関し貴重な指摘を受け感謝している。

注

- 1) 六ヶ所村では、典型的な出稼常習地帯で、村の人口 1 万 2,000 人のうち 8,000 人は出稼しており、50 歳以下の男子の 9 割は出稼していると村当局は説明している〔1〕参照。
- 2) 漁業法施行法第 9 条「政府は、漁業権またはこれを目的とする入漁権、賃借権もしくは使用賃借による借主の権利（以下「漁業権等」と総称する。）を第一の規定による漁業権の消滅のときに有している者に対して、この法律の定めるところにより補償金を交付する」青森県〔2〕p.422 参照。
- 3) 共同漁業権の権利主体は組合となった。そのため旧漁業権のうち専用漁業権は、2 年以内に漁業協同組合に強制的に譲渡させ、その後に漁業権の全国的整備をおこなう。組合と組合にまたがる問題を処理するための新たな

- な地調整機能をもつ委員会を組織する。青森県〔2〕p.553参照。
- 4) 共同漁業権での免許の適格性は、①関係地区の全部または一部をその地区に含むこと。②業種別漁業協同組合（または連合会）でないこと。③関係地区内に住所を有し、1年に90日以上沿岸漁業を営む者の3分の2以上（世帯数）を組合員に含むこと。定置漁業権と区画漁業権に関しては、適格性と優先順位に従って免許が与えられる。優先順位とは漁協、生産組合、漁民会社、そして個人である。
 - 5) 1954年6月、六ヶ所村内水面漁業協同組合は解散して六ヶ所村海水漁業協同組合に吸収合併された。六ヶ所村史編纂委員会〔3〕1996年p.996参照。
 - 6) 関西大学経済・政治研究所〔4〕p.80から計算。
 - 7) 青森県企画部統計課〔5〕1969～1992各年から計算。
 - 8) 青森県企画部統計課〔5〕1969～1992各年から計算。
 - 9) 青森県〔2〕p.594参照。
 - 10) 青森県〔2〕p.16参照。
 - 11) 青森県は1951年、海面漁業調整規則の公布により、イカ釣り漁業の集魚灯の使用する電球を8個（1個1,000ワット以内）8,000ワット以内として規制するようになった。青森県〔2〕p.592参照。
 - 12) 漁船の規模拡大には、資金の借入についても限界がある。借入先としては漁協の信用事業の利用が多く、担保は土地が一般的である。六ヶ所村泊での漁業者のヒアリング（2000年12月）から。
 - 13) 燃料は青森県漁連が供給元になって漁協で手配している。この漁協の系統燃油は全国統一価格。第1次石油ショック（1973年）のときは極端な燃油不足や価格上昇にもならなかった。しかし第2次石油ショック（1979年）の価格上昇は激しく1kl（1,000l）が3万8,000円から6万3,000円と約2倍となった。六ヶ所村泊での漁業者からのヒアリング（2000年10月）から。
 - 14) 青森県企画部企画課〔6〕p.62参照。
 - 15) 青森県〔2〕p.678参照。
 - 16) 「いかの取扱高が3億円を割るという近年にない不漁。他漁業は平年並み。全体計画の50%しか達成されない」〔7〕
 - 17) 釣り子と船主の漁獲金額の配分は、戦後は8（釣り子）対2（船主）。ところが漁船が1970年代に機械化がすすむことで経費がかかるようになり、7（釣り子）対3（船主）。そして5（釣り子）対5（船主）になった。現在は給料制で、漁獲高が多ければ固定給の他に歩合で収入が増える。六ヶ所村泊での漁業者のヒアリング（2000年10月）から。
 - 18) 青森県企画部企画課〔8〕p.88参照。
 - 19) 農林省農林経済局統計情報部〔9〕第4次（1968年）～第10次（1998年）から計算。
 - 20) 農林省農林経済局統計情報部〔9〕第4次（1968年）～第10次（1998年）から計算。
 - 21) 個人漁業にとって設備資金の借入は非常に重要である。農業を営む漁家は主に農地を担保に漁協から資金を借り入れている。したがって開発によって土地を解放した漁家は、資金導入の担保能力が弱くなった。六ヶ所村泊での漁業者のヒアリング（2000年12月）から。
 - 22) 農林省農林経済局統計情報部〔9〕第4次（1968年）～第10次（1998年）から計算。
 - 23) 農林省農林経済局統計情報部〔9〕第4次（1968年）～第10次（1998年）から計算。
 - 24) 農林省農林経済局統計情報部〔9〕第4次（1968年）～第10次（1998年）から計算。
 - 25) 無動力船は漁協に登録がされないためその実数の把握は容易でない。東北農政局青森統計情報事務所「青森農林水産統計年報」には記載されているが、実態と合わない数値と思われるためこの図からは除外した。
 - 26) 東北農政局青森統計情報事務所〔10〕1972～1999各年から計算。
 - 27) 農林省農林経済局統計情報部〔9〕第4次（1968年）～第10次（1998年）から計算。
 - 28) 漁船の規模を拡大すれば漁獲量は増えるが、燃料費や設備費の増加が利潤率を圧迫する。10t以下では操業コストを相殺するだけの水揚げは困難である。六ヶ所村泊での漁業者のヒアリング（2000年12月）から。
 - 29) この図のデータ出所、青森県企画部企画課『経済開発要覧』1966～1999各年では、サービス業の分類は1966～1970年までなく、他の項目に含んでいたと思われる。
 - 30) 青森県企画部企画課〔11〕1966～1999各年から計算。
 - 31) 例えば漁業と土木建設業を兼業している場合、漁業よりも土木建設業からの収入が高くとも、家業として古くから魚家である人は漁民としての誇りや思い入れがあるため、職業は漁業と回答し、土木建設業とはしないだろう。同様のことは農家についてもいえる。
 - 32) 1972年10月、六ヶ所村村議会特別対策委員会は、むつ小川原開発の条件付開発推進を決議した。
 - 33) 1973年12月、六ヶ所村村長選挙において、開発推進の古川伊勢松氏が開発反対の寺下力三郎氏（現職）をやぶって初当選。
 - 34) 1979年の漁業補償協定において漁協は「その責任において公平かつ適正に補償金の配分をおこなうもの」とされている。青森県教育研究所〔12〕1984年p.268参照。
 - 35) 〔13〕参照。
 - 36) 〔13〕参照。
 - 37) 〔13〕参照。
 - 38) しかし、濃霧の時にイカ釣り漁船が調査ブイに、イカ針を引っかけて切断するという事故は発生した。〔14〕参照。
 - 39) 核燃サイクル海域調査問題の推移に関しては、吉田浩論文〔15〕に詳細な検討がされている。
 - 40) 海象調査対策協議会は、事業主体側と用船の稼働や用船料の交渉にあたる組織。泊港大型船主組合（種市栄太郎組合長）と泊イカ釣り船主組合（館花昌之輔組合長）が中心となり1986年4月に結成された。〔16〕参照。
 - 41) 漁協への手数料については1993年6月、組合に支払うべき手数料925万円のうち、134万円を納入しただけで残

り手数料 791 万円を着服したという泊漁協着服損害賠償訴訟が提起されるが、1994 年 10 月に青森地裁で「被告が原告に対し手数料を支払う契約自体が成立しない」と原告の請求は棄却されている。〔17〕参照。

- 42) 東通原発（東北電力・東京電力が計画している原発 4 基）の漁業補償は、1982 年から交渉に入った。交渉は金額面で折り合いがつかず建設計画は 12 回も延期された。補償額は関係 6 漁協合わせて 151 億 4,100 万円に上った。交渉が最後に決着した六ヶ所村の泊漁協の場合、1993 年 11 月に初回提示額が 8 億 7,900 万円だった補償額が、1995 年 1 月の最終提示額は 15 億 6,400 万円にまで跳ね上がった。〔18〕参照。
- 43) このことに関しては、吉田浩氏の〔15〕で詳細な検討がされている。
- 44) 農林省農林経済局統計情報部〔9〕第 4 次（1968 年）～第 10 次（1998 年）から計算。
- 45) 農林省農林経済局統計情報部〔9〕第 4 次（1968 年）～第 10 次（1998 年）から計算。
- 46) 理事選挙に投票権があるのは正組合員だけである。漁協総会での議決権も正組合員だけがもつ。なお組合長は 7 人の理事の互選で選出される。
- 47) 陸上自衛隊六ヶ所村射撃場の補償金要求の手続きは、個人でおこなうことができるが、書類作成は泊漁協で組合員から委任されておこなっているのが実状である。
- 48) 組合員の資格審査を適切におこなうことは、監督権のある青森県（水産部）からたびたび指導されているが改善されていない。六ヶ所村泊での漁業者のヒアリング（2000 年 10 月）から。
- 49) 核燃料サイクル施設が地域漁業に及ぼす影響を、長期的視点から経済分析することも必要であるが、本稿では課題を特定時期の漁業者の動向とその背景に限定した。

参 考 文 献

- 〔1〕「東奥日報」1970 年 5 月 4 日付
- 〔2〕青森県『青森県水産史』1989 年
- 〔3〕六ヶ所村史編纂委員会『六ヶ所村史（中巻）』第一法規出版、1996 年
- 〔4〕環境問題研究班『調査と資料 第 28 号 むつ小川原開発計画の展開と諸問題』関西大学経済・政治研究所 1979 年
- 〔5〕青森県企画部統計課『海面漁業数量調査結果年報』1969～1992 各年
- 〔6〕青森県企画部企画課『第 15 次（1980 年）青森県経済白書』
- 〔7〕泊漁業協同組合『業務報告書』1985 年
- 〔8〕青森県企画部企画課『第 7 次（1962 年）青森県経済白書』
- 〔9〕農林省農林経済局統計情報部『漁業センサス』第 4 次（1968 年）～第 10 次（1998 年）
- 〔10〕東北農政局青森統計情報事務所『青森農林水産統計年鑑』1972～1999 各年
- 〔11〕青森県企画部企画課『経済開発要覧』1966～1999 各年
- 〔12〕青森県教育研究所「むつ小川原開発の歩み」『青森の地域研究』1984 年
- 〔13〕「東奥日報」1980 年 8 月 18 日付
- 〔14〕「東奥日報」1986 年 8 月 14 日付
- 〔15〕吉田浩「核燃料サイクル事業と泊漁業協同組合」『文化紀要 第 27 号』弘前大学教養部 1988 年
- 〔16〕「朝日新聞」1986 年 4 月 8 日付
- 〔17〕「東奥日報」1994 年 10 月 15 日付
- 〔18〕「河北新報」1996 年 4 月 18 日付

The nuclear fuel recycling business and the economic background of the fishermen of Rokkasho Village

Kenji AKIMOTO, Kensaku KANDA

Laboratory of Regional Resource Management

SUMMARY

Rokkasho Village is located in Kamikita-gun, Aomori Prefecture. In the period after World War II, agricultural and other development policies for the area repeatedly failed. The only real growth came in land acquisition, which was labeled then a gigantic development program. From the beginning, the definition of responsibility for this plan was shrouded in ambiguity. What resulted was an erosion of the economic and social basis of the life in the rural communities affected. In 1985, Rokkasho Village accepted the construction of dangerous nuclear facilities, which it claimed would serve as a remedy for the development company which had incurred a large amount of debt because of its land acquisitions.

This construction project also serves as a reminder of the Japan's unstable and ill-defined atomic energy policy.

The themes of this report are the following: (1) The fishermen of Rokkasho Village were in a difficult situation at the time due to fisheries compensation for harbor construction, which was part of the Mutuogawra development plan of 1970 and the assessment on the sea for the construction of a nuclear fuel recycling facility in 1986. Clarifying this economic background is the first theme of this report. (2) The second theme of this report is to examine the problem as to when the cooperative of the fishermen decided.

At the time of the assessment on the sea for the construction of nuclear fuel recycling facility, the small-scale fishermen and the fishery laborer to the large-scale fishery proprietor were opposed. Most of the large-scale fishery proprietors were in a difficult situation because of the decrease in the production of the fishery. Also, most of the owners of the ships which make offing fishery a primary concern have little interest regarding the sea on the coast. They demanded cooperation money for the assessment and agreed to the implementation of the assessment on the sea for the construction of nuclear fuel recycling facility. As for the small-scale fishery proprietor, the income from the industry increased and the dependence of the fishery was declining. However, the dependence to the sea on the coast had a big misgiving regarding the construction of the nuclear fuel recycling facility and opposed the implementation of the assessment on the sea for the construction of nuclear fuel recycling facility. As for the fishery laborer, the opportunity for work by other industries increased. Therefore, they opposed any implementation of the assessment on the sea for the construction of nuclear fuel recycling facility which did not include fishery compensation. Assessment on the sea was implemented after the majority of the trustees of the cooperative of the fishermen agreed to the implementation of the assessment on the sea for the construction of nuclear fuel recycling facility and also Aomori Prefecture intervened in the cooperative of the fishermen.

The nuclear corporation paid the conference which cooperates with the assessment and Tomari cooperative of the fishermen 361,200,000 yen for the assessment. This amount of money was a small sum when compared with the compensation of the fishery for the construction of the nuclear corporation, which could reduce the cost of the construction of nuclear fuel recycling facility. The nuclear fuel recycling facility was attractive to Aomori Prefecture, presupposing that the right of the fishery on the coast became extinct already. Aomori Prefecture intervened in the unreasonableness in the cooperative of the Tomari fishermen and prevented Mutuogawra development plan's collapsing from such a process.

The fishermen in the area are varied. The various fishermen who have differences such as the way of the fishery and the size of the wherry, the sea where they fish, the dependence of their fishery are forming the cooperative of the fishermen. Actually, the area habitants who don't fish usually become members of the cooperative of the fishermen. They participate in the decision of the association like any other member. In the decision of the cooperative of the fishermen, the most important bill is to be related with the right of the fishery on the sea on the coast. It is about whether or not it exchanges the right of the fishery for the compensation and whether or not the compensation sum is proper for it and also how it makes the distribution of the compensation it. As for the decision of the cooperative of the fishermen, the difficulty is that the arrangement must be formed in the groups which consist of various fishermen with different stake. Therefore, there is possibility to try to determine in the un-democratic way to reach the arrangement which suited the request of them if the cooperative executive of the fishermen undergoes the influence of the specific member in the cooperative strongly.

青森県における食肉と畜場経営の特質と経営問題

泉 谷 眞 実

地域資源経営学講座

(2001年10月5日受付)

1. はじめに

青森県は、米とリンゴの主産地である。しかし、県内の地帯差も大きく、県の太平洋側である県南地域では畜産の比重が高いことから、畜産経営の動向は青森県農業に大きな影響を与えと考えられる。

畜産経営、特に食肉生産においては、その商品化に際して「と畜解体過程」を不可欠としている。現在、その過程を担う食肉と畜場の再編が急激に進んでいる。病原性大腸菌「O-157」による食中毒の発生を契機として、食肉を原因とする食中毒を防止するため、1996年に「と畜場法施行規則」の改正が行われた。この改正によって、各食肉と畜場は、短期間により厳しい衛生基準の達成が要請され、膨大な設備投資が必要となっているためである。

このような状況を踏まえて、本論では、青森県の畜産経営の発展にとって重要である県内食肉と畜場における経営の特質と、衛生規制強化の下での経営問題を明らかにすることを課題とする。

以下では、第1に、青森県における畜産の動向と地域性を、農林水産省『生産農業所得統計』、『畜産統計』を用いて明らかにする(2.)。第2に、県内の食肉と畜場

経営の特質と変化を、『食肉衛生検査所事業概要』、『青森県環境生活部資料』、『枝肉取引調査結果』、青森県『青森県食肉流通合理化計画書』からみていく(3.)。第3に、食肉と畜場の実態調査結果から、食肉と畜場の経営問題を明らかにし(4.)、最後に再編のための課題を検討する(5.)。なお、実態調査は、2000年2月に食肉と畜場の担当者に対して行った。

2. 青森県における畜産の動向と地域性

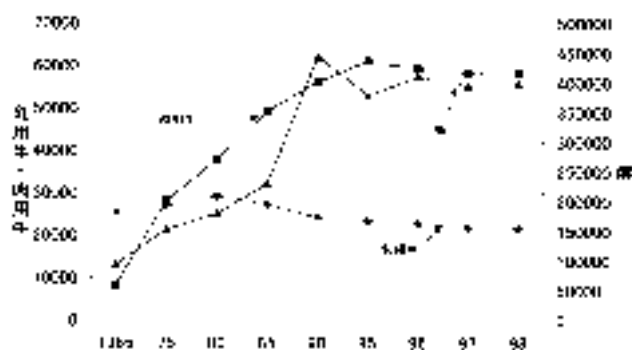
青森県の農業粗生産額の構成を第1表からみておきたい。青森県は、米とリンゴの主産地であり、県全体では耕種の占める割合が76%と高く、畜産の占める割合は24%と相対的に低くなっている。しかし、太平洋側の県南地域(上北、下北、三戸)では、畜産の比重が極めて高く、40~60%を占めている。このことから、青森県農業においても地帯別の農業展開をふまえると、畜産は極めて重要な位置にあるといえる。

青森県における家畜の飼養頭数を牛と豚に限定して第1図に示した。乳用牛は1980年以降は減少傾向にあり、98年には80年の7割の水準に低下している。これに対して、肉用牛と豚は90年前半までは増加傾向にあり、

第1表 青森県における地域別農業粗生産額の構成比(1997年)

		耕 種									養 蚕	畜 産	加工農 産物	計 (百万円)	生産農業 所得 (百万円)
		米	麦豆雑 穀類	いも類	野菜	果実	花卉	工芸 作物	その他	小計					
青森県計		31.3	0.7	1.1	21.1	16.9	1.1	3.2	0.9	76.2	0.0	23.7	0.1	284,939	128,515
津軽地域	東青	54.3	0.4	1.0	21.6	2.3	2.5	0.2	0.2	82.5	—	17.5	—	13,255	6,409
	西	53.5	1.1	1.0	30.6	5.3	0.5	0.2	0.5	92.7	—	7.3	—	30,797	15,985
	中南	30.0	0.2	0.4	9.6	52.5	1.7	0.0	2.0	96.3	—	3.5	0.2	63,303	30,941
	北	59.8	0.7	0.3	9.3	21.6	0.8	1.3	1.2	94.8	—	5.2	—	28,553	14,837
県南地域	上北	24.2	0.8	2.3	30.3	0.2	0.4	2.3	0.1	59.9	—	40.1	—	84,880	34,988
	下北	15.8	0.9	3.0	17.9	0.1	0.1	0.1	0.6	38.5	—	61.4	0.1	6,091	2,078
	三戸	13.8	0.8	0.2	22.1	11.3	1.8	11.4	1.2	62.6	0.0	37.1	0.3	58,060	23,277

(資料) 青森県農林部、平成10年度版図説農林業の動向。
(出所) 生産農業所得統計。



第1図 青森県における家畜飼養頭数の推移

(資料) 図説農林業の動向
(出所) 畜産統計。

肉用牛では95年には80年の1.5倍に、豚では90年には80年の2倍に増加している。しかし、これら2畜種においても、90年代に入ってから停滞・減少傾向を示している。このような、90年代に入ってから県内における家畜飼養頭数の停滞・減少は、県内の食肉と畜場の経営にとって厳しい条件となっている。

家畜飼養頭数の動向を地域別にみると(第2表)、飼養頭数の大部分が集中しているのは県南地域であり、97年には豚で88%、肉用牛で81%、乳用牛で93%が集中している。その中でも上北地域では牛、豚のいずれにおいても県全体の50～60%を占めており、85年以降、そのシェアを高めている。また、豚と肉用牛では三戸地域の割合も高く、乳用牛では下北地域の割合が高くなっている。

地域別の飼養頭数の増減を県合計との関係でみると、肉用牛と豚では県合計では85年以降は増加したものの、

日本海側の津軽地域では頭数の減少がみられる。これに対して、県南地域では高い増加率となっており、この間の青森県における畜産の伸びは、県南地域におけるといえる。そして、1960～80年代にかけて県南地域での畜産の主産地化が進んだのである。しかし、90年代の県合計が減少する時期には、下北と三戸での豚、肉用牛の減少が大きくなっており、90年代にはいと主産地での飼養頭数の縮小という畜産の絶対的な縮小過程に入っている。

このように県南地域に畜産が集中しているものの、津軽地域においても西北地域では豚や肉用牛で1割程度のシェアを占めており、飼養頭数の多い市町村別も、津軽地域には存在している。この点は、後述する食肉と畜場の地域的な配置問題と関連してくると考えられる。

3. 青森県における食肉と畜場経営の特質と変化

ここでは、青森県における食肉と畜場経営の特質と、変化について見ていきたい。

(1) と畜畜種別の構成

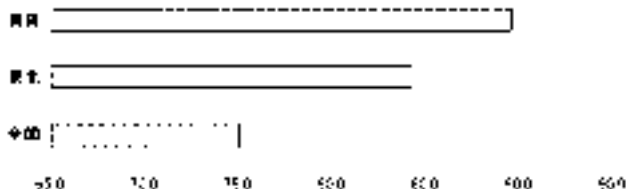
第2図に示したように、青森県の食肉と畜場では、全国と比較して肉豚換算と畜頭数(豚4頭＝牛1頭)に占める豚の割合が高く、全国の75%に対して、青森県では90%近くを占めている。このことは、豚のと畜頭数の変動が県内食肉と畜場の経営に大きな影響を与えることを示している。

また、第3図に示したように、牛のと畜頭数に占める乳用種の割合が極めて高く、全国では約6割なのに対して青森県では約8割を占めている。なお、後述するよう

第2表 青森県における地域別の家畜飼養頭数

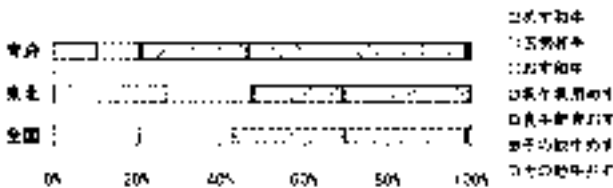
		豚			増減率		肉用牛			増減率		乳用牛			増減率	
		1985	90	97	90/85	97/90	1985	95	97	95/85	97/95	1985	97	97/85		
実数計		229,600	445,100	395,900	93.9	▲11.1	49,400	61,160	58,300	23.8	▲4.7	27,300	21,900	▲19.8		
津軽地域	東青	6,060	4,550	2,460	▲24.9	▲45.9	2,560	2,200	1,990	▲14.1	▲9.5	790	740	▲6.3		
	西北	37,810	44,640	32,500	18.1	▲27.2	5,270	7,690	7,120	45.9	▲7.4	390	260	▲33.3		
	中南	28,430	27,080	13,900	▲4.7	▲48.7	2,720	2,210	1,670	▲18.8	▲24.4	1,230	520	▲57.7		
県南地域	上北	127,990	246,240	246,000	92.4	▲0.1	24,240	28,600	30,100	18.0	5.2	17,070	14,300	▲16.2		
	下北	3,680	4,550	3,910	23.6	▲14.1	5,440	5,770	4,200	6.1	▲27.2	3,590	3,360	▲6.4		
	三戸	25,630	118,040	97,200	360.6	▲17.7	800	14,690	13,200	1736.3	▲10.1	4,230	2,740	▲35.2		
構成比計		100.0	100.0	100.0			100.0	100.0	100.0			100.0	100.0			
津軽地域	東青	2.6	1.0	0.6			5.2	3.6	3.4			2.9	3.4			
	西北	16.5	10.0	8.2			10.7	12.6	12.2			1.4	1.2			
	中南	12.4	6.1	3.5			5.5	3.6	2.9			4.5	2.4			
県南地域	上北	55.7	55.3	62.1			49.1	46.8	51.6			62.5	65.3			
	下北	1.6	1.0	1.0			11.0	9.4	7.2			13.2	15.3			
	三戸	11.2	26.5	24.6			1.6	24.0	22.6			15.5	12.5			

(資料) 青森農林水産統計年報。
(出所) 畜産基本調査。



第2図 肉豚換算と畜頭数に占める豚の割合（1996年）

（資料）第44次青森農林水産統計年報。
（出所）枝肉取引調査結果。



第3図 牛のと畜頭数の種類別構成比（1996年）

（資料）第44次青森農林水産統計年報。
（出所）枝肉取引調査結果。

に肉用牛では生体での県外移出の割合が高く、肉専用種で7割が県外に生体で移出されており、県内食肉と畜場での牛のと畜頭数をより低い水準に下げている。

（2）食肉と畜場数の変化

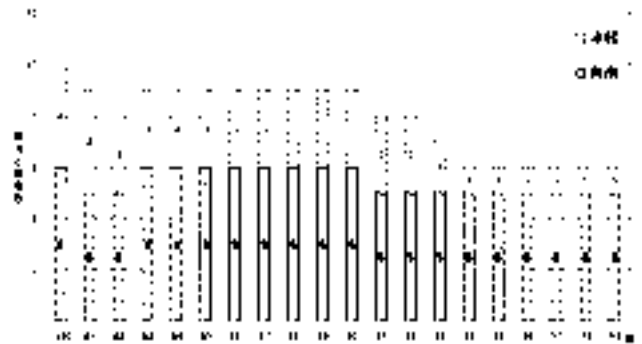
次に、県内における食肉と畜場数の1980年以降の変化を見ておきたい（第4図）。総数では1980年代には9カ所で安定していたが、90年代初頭に再び減少に転じ、94年以降には6カ所に減少している。

地域別では、90年以降、津軽地域で2カ所、県南地域で1カ所が閉鎖している。設置主体別では、津軽地域での閉鎖は、民営1カ所、市町村営1カ所であり、県南地域での閉鎖は民営1カ所である。このように、90年代初頭から民営の食肉と畜場を中心に食肉と畜場数の減少が見られるのである。

（3）と畜頭数の変化

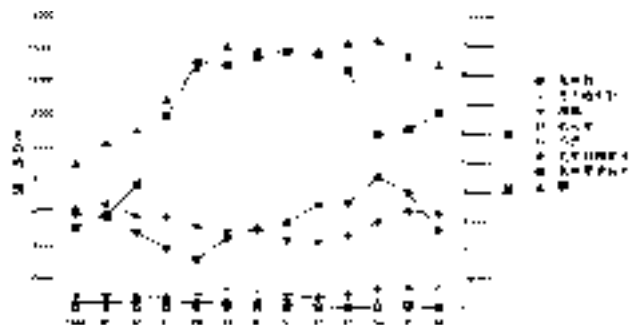
青森県内の食肉と畜場における、と畜頭数の変化について見ていきたい（第5図）。先に述べたように、青森県内の食肉と畜場では、豚への依存度が大きく、豚のと畜頭数の変化が食肉と畜場の経営にとって重要となる。

豚のと畜頭数は、89年まで増加したのち、それ以降94年まではほぼ横這いで推移したが、94年以降の減少は激しく、94年の91万頭から96年には82万頭へ10万頭の減少となっている。この94年以降のと畜頭数の減少は、先に第1図でみた90年からの県内における豚の飼養頭数の減少よりも遅れてみられる。これは第6図に示したように、90年から95年にかけては、青森県産の豚のと畜頭数は減少に転じているものの、他県産、特に岩手県産の豚のと畜頭数が増加しており、これが95年



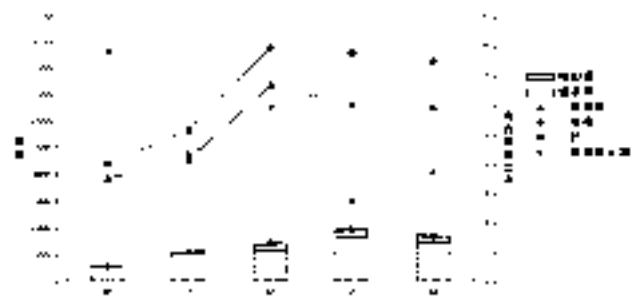
第4図 青森県における食肉と畜場数の推移（地域別）

（資料）青森県環境生活部資料より作成。



第5図 青森県と畜場におけると畜頭数の推移

（資料）青森県農林水産統計年報。
（出所）枝肉取引調査結果。



第6図 青森県のと畜場における豚のと畜頭数

（資料）青森県農林水産統計年報。
（出所）枝肉取引調査結果。

から減少に転じているのが、飼養頭数の減少から数年遅れでと畜頭数の減少となった理由である。

牛については図示をしていないが、「枝肉取引調査結果」からみると、92年から減少に転じており、92年の2万6千頭から96年には2万3千頭へと3千頭の減少となっている。牛の減少を種類別に見ると、乳牛肥育オスは91年から減少するが、94年から再び増加に転じている。この増加は、青森県産と岩手県産の両方の増加によるものである。乳牛乳用メスは92年から増加しており、これは青森県産が減少する中で他県産、特に岩手県産と北海道産の増加によるものであり、と畜頭数に占める県

内産の割合は90年の8割から96年には5割に低下している。和牛については、94年までは増加しているが、それ以降は減少しており、県内産・他県産の双方が減少している。

(4) 県外との搬出入

このように、県内におけると畜頭数が減少する中で、他県から搬入される家畜の割合が高まってきている。県内と畜場におけると畜頭数に占める県外産の割合は、牛で37%、豚で20%となっている(第3表)。

牛については種類別に県外産の割合の違いは大きい。96年の「枝肉取引調査結果」からより詳しくみると、他県産の割合は、めす和牛で4割、去勢和牛で3割、おす和牛では総数が少ないものの8割、乳用めすで4割、乳用肥育おすで3割となっており、いずれも岩手県を主体としている。ただし、この他県産の高い割合は、後述するように一部の食肉と畜場での高さを反映したものであり、全ての食肉と畜場で他県産の割合が高いわけではないことに留意する必要がある。

また、県内家畜生産量のうち、県内の食肉と畜場で処理される割合は、豚では90%にのぼるのに対して、牛では低く、特に肉専用種で33%と極めて低くなっており、乳用種でも52%となっている。

このように、豚肉では県外との搬出入の関係は比較的に少ないが、牛では特に肉専用種を中心に岩手県を主体とした県外との搬出入が大きくなっている。

(5) 食肉と畜場の立地と県内の搬入エリア

青森県内には1999年度現在、食肉と畜場は6カ所設置されている。このうちの5カ所は県南地域に立地しており、特に家畜飼養頭数が集中している上北地域に多く立地している。また、津軽地域では、90年代の前半に2カ所の食肉と畜場が閉鎖となっており、津軽地域には現在1カ所の食肉と畜場が存在するのみである。

先に見たように、津軽地域にも一定の畜産経営が存在しているが、津軽地域の食肉と畜場は減少しており、これら津軽地域の市町村がどの食肉と畜場に搬入しているかが生体の輸送コストとの関係で問題となる。

第3表 食肉処理施設に対する肉畜の出荷の現状(1997年現在)

		青 森 県 産				他 県 産		
		出荷頭数	県内と畜場 出荷頭数	県外と畜場 出荷頭数	県内と畜場 比 率	青森県内と 畜場出荷 頭数	県内と畜場 と畜頭数	県内と畜場 での他県産 割合
肉用牛	肉専用種	8,607	2,848	5,759	33.1			
	乳用種	19,608	10,305	9,303	52.6			
	小 計	28,215	13,153	15,062	46.6	7,918	21,071	37.6
豚	豚	728,252	659,849	68,403	90.6	167,036	826,885	20.2

(資料) 青森県『青森県食肉流通合理化計画書』(1999年8月)。

第4表 青森県におけると畜場の概要

	所在地	許可年月日	開設者	運営者	1日当たり 処理能力	污水处理施設		処 理 分 施 設 肉	備 考 (許可年月日)	と畜頭数と構成比 (1997年度)		セ 食 ン タ ー 肉
					大動物/ 小動物	方式	能力 (t/日)			牛	豚	
A	県南	S 43. 9. 20	一部事務組合	同左	100/1,200	活性汚泥方式	1,500	あり		7,001 (32.3)	153,642 (18.6)	○
B	県南	H 8. 10. 1	市町村	公社	10/960	同	990	あり	移転新設 (S 58. 10. 27)	161 (0.7)	178,887 (21.7)	
C	県南	H 8. 4. 1	民間	同左	50/1,300	同	1,450	なし	社名変更 (S 55. 8. 21)	5,860 (27.0)	265,843 (32.2)	
D	県南	S 39. 11. 27	市町村	公社	0/310	同	280	なし		0 (0)	34,287 (4.2)	
E	県南	H 6. 3. 17	民間	同左	66/600	同	770	なし	株式変更 (S 48. 1. 20)	7,830 (36.1)	123,996 (15.0)	○
F	津軽	S 52. 11. 14	民間	同左	20/520	同	700	なし		838 (3.9)	69,426 (8.4)	○

(資料) 青森県環境生活部資料及び聞き取り調査、ミートジャーナル誌、他より作成。

津軽地域に 1 カ所のみ存在する F と畜場（第 4 表参照）に津軽地域内の市町村から搬入されている数量は（1997 年度）、牛 700 頭、豚 5 万 8,564 頭であり、これは県内から F と畜場に搬入される家畜のうち、牛で 83 %、豚で 84 % を占めている。このように津軽地域の食肉と畜場には、津軽地域内から搬入される家畜が大部分を占めていることがわかる。

これに対して、県南地域の食肉と畜場に津軽地域から搬入される家畜数は（1998 年度）、牛で 1,095 頭、豚で 1 万 6,457 頭である。このうち牛では A と畜場に、豚では C と畜場にそれぞれおよそ 9 割が搬入されている。これら生産市町村と搬入と畜場の広域的な関係は、生産者と集荷者の垂直的な統合関係に基づいていると考えられるが、津軽地域から県南地域へという極めて広域的な搬入行動がとられているのである。

（6）個別食肉と畜場の特質

次に、県内の食肉と畜場の個別的な特徴を見ていきたい。まず、食肉と畜場の設置主体別では、地方自治体設置は実質的なものも含めて 3 カ所であり（1 カ所は一部事務組合）、民間（株式会社形態）が 3 カ所である（第 4 表）。区分では、「食肉卸売市場併設と畜場」0 カ所、農林水産省補助対象先の「食肉センター」が 3 カ所、「その他と畜場」が 3 カ所である。

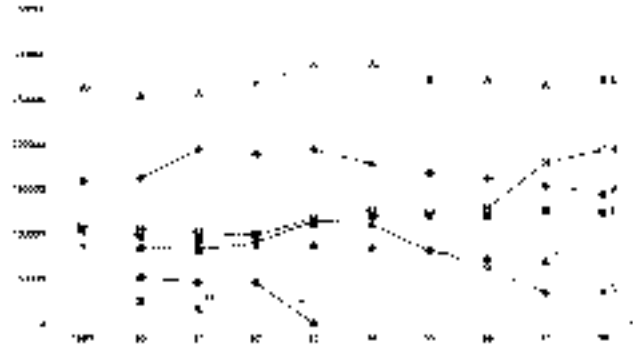
県内のと畜頭数に占める各食肉と畜場のシェアをみると（第 4 表）、牛では E と畜場が 36 % で最も割合が高いが、第 5 表に示したように牛のと畜頭数の 74 % が県外からの搬入によるものであり、豚においても同様である。そのため、E と畜場は県内の畜産よりも、県外の畜産に基盤をおいた食肉と畜場であるといえる。次いで、A と畜場 32 %、C と畜場 27 % の順であり、これらは県内産の牛のと畜が主体である。豚では、C と畜場が 32 % で最も高く、B と畜場、A と畜場の順であり、これらは県内産の豚を主体に事業を行っている。このように、青森県内の畜産との関係でみると、A、B、C の 3 つの食肉と畜場が大きな位置を占めていると考えられる。

表 5 表 青森県内食肉と畜場における獣畜の産地別搬入状況（1998 年）

と畜場	牛		豚		県外比率	
	合計	県外	合計	県外	牛	豚
A	7,015	724	143,794	18,405	10.3	12.8
B	213	28	193,061	1,346	13.1	0.7
C	5,911	1,358	272,344	38,260	23.0	14.0
D	—	—	34,549	736	—	2.1
E	7,630	5,716	123,996	100,876	74.9	81.4
F	838	130	69,426	10,398	15.5	15.0

（資料）食肉衛生検査所事業概要。

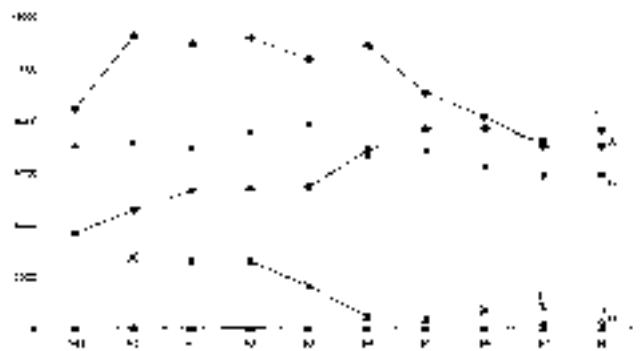
注 1）F は 97 年度の実績。



第 7 図 青森県内食肉と畜場における豚肉のと畜実績

（資料）食肉衛生検査所事業概要。

（注）F の 98 年の数値は不明。



第 8 図 青森県内食肉と畜場における牛のと畜実績(とくを除く)

（資料）食肉衛生検査所事業概要。

（注）閉鎖した 2 と畜場の数値は掲載していない。

食肉と畜場の経営にとって、と畜頭数の変化が大きな影響を与える。また、その変化は食肉と畜場間の競争状況を反映している。そのため、各食肉と畜場におけると畜頭数の変化について見ていきたい。

まず、豚では（第 7 図）、ほとんどのと畜場では横ばいで推移しているが、A・D・F と畜場で若干の減少がみられ、B と畜場で大きく増加している。B と畜場では、96 年度から新設の施設でのと畜作業が始まっているが、施設の完成と同時にと畜頭数が増加している。県内での豚の総飼養頭数が減少する中で食肉と畜場間での増減のあらわれは、食肉と畜場間の集荷競争が激化していることを意味している。牛では（図 8）、90 年代に入ってから E と畜場での増加と A と畜場での減少が顕著にみられる。

（7）青森県における食肉と畜場の再編計画

このような競争関係の変化の下で、「と畜場法」の改正に際して青森県が 1999 年 8 月に公表した『青森県食肉流通合理化計画書』（以下『計画書』）から、青森県の食肉と畜場の整備目標再編計画について見ていきたい。

この『計画書』の計画期間は、1999 年度から 2005 年度である。まず、『計画書』では、津軽地域（西部）と県南地域（東部）にわけ、「産業や流通においても、それぞ

れの範囲を単位として発展してきていることから、食肉流通圏についてもこれらに即応して、食肉流通体制を整備することが合理的と考えられる」としている。

そして、県南地域では現在5カ所の食肉と畜場のうち、「施設規模が小さく国のガイドラインに満たない」Dと畜場については、「老朽化の外、近年処理頭数が落ち込み稼働率が低い状態が続いていることから、近隣の基幹施設と再編統合を図り、「他の4施設については、集荷の錯綜、処理頭数、稼働率の格差が見られることから、国のガイドラインに沿った基幹施設として、将来的には3施設に統合整備」するとしている。

また、津軽地域は、現在1カ所の食肉と畜場が設置されている。『計画書』では、「同地域では生産頭数が少なく、国のガイドラインを満たす基幹施設の配置は無理であるが、従来から当地域の食肉処理場を主体に食肉流通圏が形成されていることから、補完施設1カ所を配置」するとしている。

この結果、現在の6施設を将来的には基幹施設3カ所、補完施設1カ所に再編整備することとしている。

4. 食肉と畜場の投資問題と対応方向 — 県南地域・Aと畜場を事例として —

ここでは、と畜場法改正による衛生規制の強化の下で、食肉と畜場がどのような経営問題を抱え、対応しているのかを見ていきたい。

以下で対象とした食肉と畜場は、前掲第4表のAと畜場である。衛生規制の強化の下で、Aと畜場は、1999年度と2000年度にかけて、国と県の補助を受けて、施設の改修を行っている。

Aと畜場は、1968年に畜産振興のため周辺12市町村の一部事務組合として発足した。1977年から5市町村となり、現在に至っている。処理能力は、大動物100頭、小動物1200頭であり、周辺には部分肉処理施設を保有している。職員数は、48名で、正職員24名（うち事務局6名、現業18名）である。

主要荷受企業は6社であり、部分肉処理施設は、食肉センターの所有のものを利用しているのが2社、2社は自社の部分肉処理施設を所有しており、1社はと畜頭数が少ないためにコスト削減のため、県外のカット工場で一括してカット作業を行っている。

食肉センターの収入の92%がと畜料金であり、その他に構成市町村から年間合計5,200万円の受け入れがあった。これまでは、これら市町村の負担を含めると減価償却を含めて単年度の収支は黒字だったが、ここ3年で赤字になっている。98年まではこれまでの積立剰余金を崩してきたが、99年からは赤字の累積になっている。しかし、周辺では、Bと畜場が新築し、飼養頭数の

減少する中でと畜場間の競争も激しくなり、と畜料金の引き下げも1985年以降、2回（1回目は消費税3%分を徴収しなかった。2回目は冷蔵庫料の引き下げ）を行っている。

と畜場法改正による基準への適応のために、1999、2000年度に大幅な施設の改修を行っており、総額でおよそ10億円の投資を行っている。このうち、国庫補助金が3億4千万円、県補助が8千万円、起債・自己資金が5億2千万円である。

5. 考 察

青森県は米とリンゴの主産地であるが、県南地域においては畜産の比重が高く、青森県においても地帯別の動向をふまえると、畜産の位置が重要である。しかし、県内の家畜飼養頭数は、90年代に入ってから減少傾向を示している。このような状況下で本論の分析から、青森県におけると畜場経営の特質として以下の2点が明らかになった。

第1に、青森県の食肉と畜場は豚に依存する割合が極めて高く、牛においては乳用種の割合が高くなっている。しかし、肉専用種は県外への生体での移出が多く、県内と畜割合は低くなっていることである。

第2に、県内でのと畜頭数は90年代に入ってから減少しており、食肉と畜場別では、一部のと畜場で減少が見られ、と畜頭数のと畜場間の格差が形成され、と畜場間での集荷競争が激化していることである。

このような特質の下で、実態調査結果から、食肉と畜場の経営問題をみると、処理頭数の減少とそれともなう収支の悪化が見られ、その下でのと畜場法改正にともなう投資コストの増加が主要な経営問題となっている。

青森県におけると畜場の再編は、産地と畜場という性格を背景に、家畜飼養頭数の減少と総と畜頭数の減少のもとで行われており、食肉と畜場間の格差が形成される中での再編である。そこでは、それぞれの食肉と畜場が地域内でどのような役割を果たしているのかを明確にした上で、県内畜産の振興との関連で再編を進めていくことが重要である。

【参考文献】

- [1] 泉谷眞実：衛生規制の強化と北海道におけると畜場の経営問題。1999年度日本農業経済学会論文集，1999。
- [2] 甲斐論：WTO体制下の食肉需給と流通施設の再編，農業市場研究 45，1997。
- [3] 熊谷法夫：食肉の衛生対策について。畜産の情報（国内編），1997年4・5月号。
- [4] 新山陽子：牛肉のフードシステム，日本経済評論社，東京，2001。

Characteristics and Management Problems of Slaughterhouses in Aomori Prefecture

Masami IZUMIYA

Laboratory of Regional Resource Management

SUMMARY

In Aomori Prefecture agriculture rice and apples are the main produce. However, there is a difference between each zone in the prefecture. The productivity of Livestock is high in the Kennan Area, which lies on the Pacific Ocean side of the prefecture. Therefore, it is thought that the livestock industry greatly influences Aomori Prefecture agriculture.

The slaughtering process is indispensable in making meat a commodity. The slaughterhouses, which process livestock, have been rapidly reorganized. “The Slaughterhouse Law” was revised to prevent food poisoning caused by contaminated meat in 1996. This revision was promoted by a case of food poisoning by E.coli O-157. For this revision, the slaughterhouses need to achieve of a high standard in the short term. And each slaughterhouse requires a huge investment in capital.

The characteristics and the management problems of the slaughterhouses in Aomori Prefecture are clarified in this paper.

As a result of the research, the following two points were clarified as characteristics of slaughterhouse management in Aomori Prefecture.

First, for the slaughterhouses in Aomori Prefecture, the ratio of pigs is high and the ratio of dairy cattle is high. However the most of the beef cattle is carried outside the prefecture while lived. Therefore, the ratio slaughtered at the slaughterhouses in Aomori prefecture is lower than the other livestock.

Secondly, after the 90's the number slaughtered decreased in Aomori prefecture. However, in some slaughterhouses, the slaughtered number decreased. In the number of livestock slaughtered, the differences among slaughterhouses are formed. This means the collecting of livestock competition is fierce among slaughterhouses.

The cause of the management problems in the slaughterhouses is; that while the numbers slaughtered livestock decrease, revenue and expenditure deteriorate. And, “The Slaughterhouse Law” is revised in such a situation and, as a result, it is necessary to increase the investment capital. This too is the main management problem.

弘前大学農学生命科学部

研 究 業 績 目 録

2000年10月—2001年 9 月

Lists of Published Research Works of the Faculty of Agriculture and Life
Science, Hirosaki University
2000 (October) — 2001 (September)

弘前大学農学生命科学部

2002年 3 月

Faculty of Agriculture and Life Science
Hirosaki University
Hirosaki, 036-8561 Japan
March, 2002

は し が き

本号の「研究業績目録」には、2000年10月から2001年9月までの業績を掲載しました。

研究業績の区分は、a－研究論文、b－学術図書、c－その他の著書・訳書、d－学会発表、e－調査・実験報告書、f－その他とし、各自の申請にもとづいています。

各講座の教官組織（2001年10月1日現在）は以下の通りですが、研究業績目録は各学科・講座あるいは研究室単位でとりまとめて掲載してあります。

生物機能科学科

（生命理学講座）

美村毅一，松岡教理，黒尾(片倉)正樹，河井聖司

（遺伝情報科学講座）

新関 稔，小原良孝，石田幸子，原田竹雄，石川隆二，吉田 渉

（植物エネルギー工学講座）

元村佳恵，澤田信一，青山正和，齊藤 寛，葛西身延

応用生命工学科

（生体機能工学講座）

中村信吾，武田 潔，五十嵐康雄，戸羽隆宏，長田恭一，殿内暁夫

（生体情報工学講座）

奥野智旦，武藤 田，宮入一夫，橋本 勝，姫野俵太，牛田(元山)千里

（細胞工学講座）

浅田芳宏，杉山一夫，大町鉄雄，石黒誠一，吉田 孝，畠山幸紀

生物生産科学科

（園芸学講座）

福田博之，荒川 修，加藤弘道，嵯峨紘一，浅田武典，富田正徳，張 樹槐

（農業生産学講座）

卜蔵建治，豊川好司，杉山修一，工藤啓一，鈴木裕之，福地 博，松山信彦

（環境生物学講座）

安藤喜一，原田幸雄，佐原雄二，城田安幸，佐野輝男，東 信行，藤田 隆

地域環境科学科

（地域環境工学講座）

万木正弘，工藤 明，佐々木長市，萩原 守，泉 完，角野三好，加藤 幸

（地域環境計画学講座）

谷口 建，檜垣大助，高橋照夫

（地域資源経営学講座）

高橋秀直，宇野忠義，神田健策，武田共治，澁谷長生，泉谷眞実

生物共生教育研究センター

牧田 肇，塩崎雄之輔，村山成治，伊藤大雄，紺野一碩

目 次

生物機能科学科	135
生命理学講座	135
遺伝情報科学講座	135
植物エネルギー工学講座	137
応用生命工学科	139
生体機能工学講座	139
生体情報工学講座	140
細胞工学講座	141
生物生産科学科	143
園芸学講座	143
農業生産学講座	144
環境生物学講座	145
地域環境科学科	148
地域環境工学講座	148
地域環境計画学講座	149
地域資源経営学講座	150
生物共生教育研究センター	151

業 績 目 録

生 物 機 能 科 学 科

生 命 理 学 講 座

- a-01. MATSUOKA, N., T. SUGIYAMA* and T. ASANUMA* : Phylogenetic relationships among four fish species of the family Hexagrammidae from Japanese waters based on allozymes. *Bull. Fac. Agric. Life Sci.*, No. 3 : 5-13, 2000. (*Graduate School of Science, Hirosaki University)
- a-02. IKEBE, C*, M. KURO-O (KATAKURA), G. WU**, X. ZENG** and S. KOHNO*** : Cytogenetic studies of Hynobiidae (Urodela). XVI. Comparative C-banded karyotype analysis of *Pseudohynobius flavomaculatus* (Fei et Ye), *Ranodon shihi* (Liu) and *Batrachuperus pinchonii* (David). *Chrom. Res.*, 8 : 265-272, 2000. (*School of Pharmaceutical Science, Toho University, **Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, ***Faculty of Science, Toho University)
- a-03. FUKUSHI, D., M. KURO-O (KATAKURA), M. SHICHIRI*, Y. OBARA and K. TSUCHIYA** : Molecular cytogenetic analysis of the highly repetitive DNA in the genome of *Apodemus argenteus*, with comments on the phylogenetic relationships in the genus *Apodemus*. *Cytogenet. Cell Genet.*, 92 : 254-263, 2001. (*Graduate School of Science, Toho University, **Experimental Animal Center, Miyazaki Medical College)
- d-01. 岡田道忠*・小原良孝・黒尾(片倉)正樹・土屋公幸** : 5-aza-dC による哺乳類 X 染色体の低凝縮化と非同調複製の検証. 染色体学会2000年度(第51回)大会, 2000. (*弘前大学大学院理学研究科, **宮崎医科大学附属動物実験施設)
- d-02. NOMURA, T*, K. SAIGUSA*, D. FUKUSHI, Y. OBARA and M. KURO-O (KATAKURA) : Restriction endonuclease banding and photooxidation studies on the delayed QM-fluorescence of the C-heterochromatin of *Apodemus argenteus*. 14th International Chromosome Conference, 2001. (*Graduate School of Science, Hirosaki University)
- d-03. 黒尾(片倉)正樹・長谷川葉子*・池部千賀子**・呉 貫夫***・曾 曉茂***・河野晴一**** : 高頻度反復 DNA 及び核型を指標としたサンショウウオ科 3 種の系統関係の推定. 日本遺伝学会第73回大会, 2001. (*弘前大学大学院理学研究科, **東邦大学薬学部, ***中国科学院成都生物研究所, ****東邦大学理学部)
- f-01. HASEGAWA, Y*, M. KURO-O (KATAKURA), C. IKEBE**, G. WU***, X. ZENG*** and S. KOHNO**** : Molecular cytogenetic study of phylogenetic relationships in hynobiid salamanders. *Zool. Sci.*, 17 Suppl. 1 : 45, 2000. (*Graduate School of Science, Hirosaki University, **School of Pharmaceutical Science, Toho University, ***Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, ****Faculty of Science, Toho University)
- f-02. OKADA, M*, Y. OBARA, M. KURO-O (KATAKURA) and K. TSUCHIYA** : 5-aza-dC-induced allocyclic undercondensation in the C-blocks of the X chromosome of three mammalian species. *Chrom. Sci.*, 4 : 137, 2000. (*Graduate School of Science, Hirosaki University, **Experimental Animal Center, Miyazaki Medical College)

遺 伝 情 報 科 学 講 座

- a-01. FUKUSHI, D*, M. KURO-O, M. SHICHIRI*, Y. OBARA and K. TSUCHIYA** : Molecular cytogenetic analysis of the highly repetitive DNA in the genome of *Apodemus argenteus*, with comments on the phylogenetic relationships in the genus *Apodemus*. *Cytogenet. Cell Genet.*, 92(3/4) : 254-263, 2001. (*食品総合研究所食品工学部, **宮崎医科大学動物実験施設)
- a-02. KARTAVTSEVA, I. V*, G. V. ROSLIK*, M. V. PAVLENKO*, E. YU. AMACHAEVA*, S. SAWAGUCHI** and Y. OBARA : The B-chromosome system of the Korean field mouse *Apodemus peninsulae* in the Russian Far East. *Chrom. Sci.*, 4(1) : 21-29, 2000. (*Institute of Biology and Soil Science, Far East Branch of Russian Academy of Science, Russia, **日本食研研究開発部)
- a-03. KAWADA, S*, M. HARADA**, Y. OBARA, S. KOBAYASHI***, K. KOYASU**** and S. ODA***** : Karyosystematic analysis of Japanese tapline moles in the genera *Euroscaptor* and *Mogera* (Insectivora, Talpidae). *Zool. Sci.*, 18 (7) : 1003-1010, 2001. (*名古屋大学大学院農学研究科, **大阪市立大学医学部, ***中京女子大学アジア研究科,

****愛知学院大学歯学部, ****名古屋大学農学部)

- a-04. OSHIDA, T^{*}, Y. OBARA, L. -K. LIN^{*} and M. C. YOSHIDA^{**} : Comparison of banded karyotypes between two subspecies of the red and white giant flying squirrel *Petaurista alborufus* (Mammalia, Rodentia). *Caryologia*, 53(3/4) : 261-267, 2000. (*Department of Biology, Tunghai University, Taichung, **北海道大学名誉教授)
- a-05. ISHIKAWA R., S. YAMANAKA^{*}, K. KANYAVONG^{**}, Y. FUKUTA^{***}, Y-I. SATO^{****}, L. TANG^{*****} and T. SATO^{*****} (2001) Genetic resources of primitive upland rice in Laos. *Economic Botany* Accepted. (*岐阜連合農学研究科, **ラオス農林業研究所, ***IRRI, ****静岡大学, *****中国江蘇省農業科学院, *****東北大学)
- a-06. ISHIKAWA R., Y-I. SATO^{*}, T. TANG^{**}, I. NAKAMURA^{***} (2001) Different maternal origins of Japanese lowland and upland rice populations. *Theor. Appl. Genet.* Accepted. (*静岡大学, **中国江蘇省農業科学院, ***千葉大学)
- a-07. SHIMAZU, J^{*}, C. MATSUKURA^{**}, M. SENDA, R. ISHIKAWA, S. AKADA, T. HARADA, T. TABATA^{***} and M. NIIZEKI : Characterization of a DMC1 homologue, *RiLIM15*, in meiotic panicles, mitotic cultured cells and mature leaves of rice (*Oryza sativa* L.). *Theor. Appl. Genet.* 102 : 1159-1163, 2001. (*東北農業試験場, **株)オリノバ, ***かずさDNA研究所)
- a-08. ASANO, Y^{*}, A. YOSHIDA^{*}, N. ISOZAKI^{*} and S. ISHIDA : Production of intestine-specific monoclonal antibody and interspecific cross-reaction in triclads and polyclads. *Belg. J. Zool.*, 131 Supplement 1 : 137-141, 2001. (*弘前大学理学部)
- a-09. SATO, K^{*}, T. SUGITA^{*}, K. KOBAYASHI^{*}, K. FUJITA^{*}, T. FUJII^{*}, Y. MATSUMOTO^{*}, T. MIKAMI^{*}, N. NISHIZUKA^{*}, S. NISHIZUKA^{*}, K. SHOJIMA^{*}, M. SUDA^{*}, G. TAKAHASHI^{**}, H. HIMENO, A. MUTO and S. ISHIDA : Localization of mitochondrial ribosomal RNA on the chromatoid bodies of marine planarian polyclad embryos. *Develop. Growth Differ.* 43 : 107-114, 2001. (*弘前大学理学部, **弘前大学医学部)
- a-10. SHOJIMA, K^{*}, K. YUKITA^{*} and S. ISHIDA : Analysis of alkaline phosphatase expression during embryogenesis of *Pseudostylochus intermedius* (Platyhelminthes Polycladida). *Belg. J. Zool.*, 131 Supplement 1 : 63-64, 2001. (*弘前大学理学部)
- a-11. YOSHIDA, W., K. D. KUZNEDELOV^{*}, C. KATO and S. ISHIDA : Genetic diversity of Japanese DugesIIDae (Platyhelminthes, Tricladida, Paludicola) studied by comparisons of partial 18S rDNA. *Belg. J. Zool.*, 131 Supplement 1 : 55-57, 2001. (*ロシア科学アカデミー陸水学研究所)
- b-01. 小原良孝・向山 満^{*} : (2)脊椎動物, ①哺乳類. 青森県の希少な野生動物—青森県レッドデータブック—普及版. pp.86-101, 2001. (*青森県立三戸高等学校)
- b-02. 石田幸子 : (3)無脊椎動物, ②昆虫類以外の無脊椎動物. トウホクコガタウズムシ, キタシロウズムシ. 青森県の希少な野生動物—青森県レッドデータブック—普及版, pp.189, 2001.
- c-01. 原田竹雄 : リンゴの遺伝子(DNA)研究の現状と将来. 剪定. りんご剪定技術研究会. 88 : 46-49.
- d-01. 岡田道忠^{*}・小原良孝^{*}・黒尾正樹^{*}・土屋公幸^{**} : 5-aza-dC による哺乳類X染色体C-blockの低凝縮化と非同調複製の検証. 染色体学会2000年度大会(横浜市). (*オフテクス技術開発部, **宮崎医科大学動物実験施設)
- d-02. NOMURA, T^{*}, K. SAIGUSA^{**}, D. FUKUSHI^{***}, Y. OBARA and M. KURO-O : Restriction endonuclease banding and photooxidation studies on the delayed QM-fluorescence of the C-heterochromatin of *Apodemus argenteus*. 14th International Chromosome Conference, 2001 (Wurzburg, Germany). *Chrom. Res.*, 9(Supplement1) : 123-124, 2001. (*秋田県横手市役所, **岩手医科大学医学部, ***食品総合研究所食品工学部)
- d-03. 石川隆二・三浦 桂・千田峰生・赤田辰治・原田竹雄・新関 稔 : *RMu1* トランスポゾンにおけるトランスポゼースの誘導とプロモーター領域の多型性. 日本育種学会第98回講演会(弘前大学) 2000.
- d-04. 石川隆二・佐藤洋一郎^{*}・湯 陵華^{**}・中村 郁郎^{***} : 核・細胞質型遺伝情報の集積1. 日本在来陸稲の起源地の推定. 日本育種学会第99回大会(日本大学)(*静岡大学, **中国江蘇省農業科学院, ***千葉大学)
- d-05. 佐藤朝子^{*}・伊藤卓朗^{**}・千田峰生・石川隆二・原田竹雄・新関 稔・赤田辰治 : マメ科植物において窒素栄養制限下で発現上昇する MYB 遺伝子群の単離. 日本育種学会第99回大会(日本大学)(*慶応大学, **東北大学)
- d-06. 佐藤 耕・若佐雄也・石川隆二・赤田辰治・新関 稔・原田竹雄 : リンゴ品種・系統における *Md-ACS1* 型と収穫前落下の関係. 日本育種学会第99回大会(日本大学)
- d-07. 島津樹一^{*}・中村信吾^{**}・川崎信二^{**}・千田峰生・石川隆二・赤田辰治・原田竹雄・新関 稔 : イネにおける減数分裂期相同組み換え遺伝子 *RiLIM15* 転写産物のトランススプライシング. 日本育種学会第98回大会(弘前大学)(*東北農業試験場, **生物資源研究所)
- d-08. 島津樹一^{*}・中村信吾^{**}・川崎信二^{**}・千田峰生・石川隆二・赤田辰治・原田竹雄・新関 稔 : イネ培養細胞に

おける減数分裂期特異的遺伝子 *RiLIM15* によるソマクローナル変異の発生. 日本育種学会第99回大会(日本大学)(*東北農業試験場, **生物資源研究所)

- d-09. 千田峰生・赤田辰治・石川隆二・原田竹雄・新関 稔: I 遺伝子型を有する黄豆に特異的なカルコンシンターゼ遺伝子(ICH1)領域の構造解析. 日本育種学会第99回講演会(日本大学)
- d-10. 山中 慎助 介*・石川隆二・福田善通**・SONGKRAN CHITRAKO***・中村 郁郎****・佐藤雅志*****・佐藤洋一郎*****: イネ遺伝資源の特性評価と利用 2. タイ北部の陸稲の形質及び特性. 日本育種学会第99回大会(日本大学). (岐阜大学農学研究科, **IRRI, ***タイバトムタニ稲研究所, ****千葉大学, *****東北大学, *****静岡大学)
- d-11. 若佐雄也・佐藤 耕・石川隆二・赤田辰治・新関 稔・原田竹雄: リンゴ *Md-ACS1* 型とライプニング関連遺伝子の発現. 日本育種学会第99回大会(日本大学)
- d-12. ISHIKAWA, R., Y. MIYASHITA*, K. MIURA, M. SENDA, S. AKADA, T. HARADA and M. NIIZEKI: New members of *RMu* elements by deletion and non-homologous recombination with ectopic DNA segments. The 42th Annual maize Genetics Conference, Coeur d'Alene, Idaho. (*(株)かねこ種苗)
- d-13. SATO T, WAKASA Y, NIIZEKI M and HARADA T: *Md-ACS1*: A DNA marker for preharvest fruit drop in apple. XVI EUCARPIA (Edinburgh)
- d-14. ISHIKAWA, R., K. MIURA, M. ASHIDA, M. SENDA, S. AKADA, T. HARADA and M. NIIZEKI: One of super-*Mutator* transposon family found in rice. The 4th International Rice Genetics Symposium, Los Banos, Philippines.
- d-15. 吉田 渉・石田幸子: 北海道本島におけるオオウズムシ属プラナリアの発見. 平成13年度日本動物学会東北支部大会(秋田大学)
- f-01. 小原良孝: 染色体からみたニホンイイヅナの起原と進化. 三戸高等学校特別講演(三戸).
- f-02. OBARA, Y.: Delayed QM-fluorescence in C-heterochromatin of the small Japanese field mouse, *Apodemus argenteus*. Special Science Seminar (Tunghai University, Taiwan).
- f-03. OKADA, M*, Y. OBARA, M. KURO-O and K. TSUCHIYA**: 5-aza-dC-induced allocyclic undercondensation in the C-blocks of the X chromosomes of three mammalian species. *Chrom. Sci.* 4(4): 137, 2000. (*オフテクス技術開発部, **宮崎医科大学動物実験施設)

植物エネルギー工学講座

- a-01. SAWADA, S., M. KUNINAKA, K. WATANABE, A. SATO, H. KAWAMURA, K. KOMINE, T. SAKAMOTO and M. KASAI: The mechanism to suppress photosynthesis through end-product inhibition in single-rooted soybean leaves during acclimation to CO₂ enrichment. *Plant Cell Physiol.*, 42: 1-28, 2001.
- a-02. SAWADA, S., T. KATO, M. SATO and M. KASAI: Characteristics of gas exchange and morphology of a spring ephemeral, *Erythronium japonicum*, in comparison with a sun plant, *Glycine max*. *Ecol. Res.* (in press)
- a-03. KASAI, M., K. KASAI, H. HAYASHI and S. SAWADA: Involvement of the C-terminal region in phosphate inhibition of plasma membrane proton pumping activity. *J. Plant Res.*, 114: 193-197, 2001.
- a-04. NARA, K., Y. KATO, and Y. MOTOMURA: Involvement of terminal-arabinose and -galactose pectic compounds in mealiness of apple fruit during storage. *Postharv. Biol Technol.*, 22: 141-150, 2000.
- a-05. NISHIZAWA, T., A. ITO, Y. MOTOMURA, M. ITO*, and M. TOGASHI*: Changes in fruit quality as influenced by shading of netted melon plants. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 69: 563-569, 2000. (*Yamagata Sand Dune Agricultural Experimental Station)
- a-06. MOTOMURA, Y., J. TAKAHASHI, and K. NARA: Quantitative measurement of mealiness in apple flesh. *Bull. Fac. Agric. Life Sci., Hirosaki Univ.*, 3: 23-28, 2000.
- a-07. 富田雅弘*, 元村佳恵: 市販醤油の火入れおり生成活性. 東北女子大学, 東北女子短期大学紀要 39: 28-31, 2000. (*東北女子短期大学)
- a-08. KATO, Y*, S. SAITO*, Y. MITSUISHI*, O. ARAKAWA and Y. MOTOMURA: A comparative study of the structures of xyloglucans from the fruit cell walls of four apple cultivars. *J. Appl. Glucosci.*, 48: 331-334, 2001. (*Faculty of Education, Hirosaki University)
- a-09. 加藤陽治*・斎藤幸子*・佐藤あつ子*・荒川 修・元村佳恵: リンゴ7品種の果実生育中における細胞壁多糖の構造変化. 弘前大学教育学部紀要 85: 115-120, 2001. (*弘前大学教育学部)

- a-10. AOYAMA, M. and N. KUMAKURA : Quantitative and qualitative changes of organic matter in an Ando soil induced by mineral fertilizer and cattle manure applications for 20 years. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 47 : 241-252, 2001.
- b-01. AOYAMA, M., A. WATANABE* and S. NAGAO** : Characterization of the 'fluorescent fraction' of soil humic acids. *In* Humic Substances : Versatile Components of Plant, Soil and Water, Ed. E. A. Ghabbour and G. Davies, p. 125-133, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, U. K., 2000. (*Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, **Japan Atomic Energy Research Institute)
- d-01. 佐藤真樹子・葛西哲人・矢尾知大輔・亀谷陽次郎・葛西身延・澤田信一：Source-limit 状態におけるサツマイモの source-sink モデル植物の光合成代謝および酵素活性の解析. 第41回日本植物生理学会, 2001.
- d-02. 葛西身延・林 秀洋・澤田信一：ライ麦から調整した粗膜抽出液中の ATP 加水分解活性に及ぼすフルクトースの影響. 第41回日本植物生理学会, 2001.
- d-03. 元村佳恵：セイヨウナシの果肉細胞壁構成成分および無機塩がアスコルビン酸の紫外吸収に及ぼす影響. 園学雑 70別：1162, 2001.
- d-04. MOTOMURA, Y. : Antioxidative activity against ascorbic acid of cell wall components in oriental pear flesh. *Abst. Progr. Intern. Symp. Asian Pear.*, 64, 2001.
- d-05. 元村佳恵：果実の軟化と品質・食味との関係. 園学雑 70別 2 : 86-87, 2001.
- d-06. 元村佳恵・奈良一寛・長内敬明・長尾多実子・桜井直樹*・和田直樹**・寺崎章二**・村山秀樹***：リンゴの非破壊硬度測定へのレーザー・ドップラー法の利用. 園学雑 70別 2, 2001. (*広島大学総合科学部, **松下寿電子(株), ***山形大学農学部)
- d-07. KUMPOUN, W., 元村佳恵：Aspergillus niger 由来の酵素によるリンゴ果実の軟化. 園学雑 70別 2 : 213, 2001.
- d-08. 高橋 要・種谷裕子・元村佳恵：リンゴカルス細胞による細胞壁糖鎖の生合成への糖の種類の影響. 園学雑 70別 2 : 373, 2001.
- d-09. 早見 功・元村佳恵：リョクトウ芽生えの発育中における胚軸細胞壁多糖類の糖組成に対するエチレン発生剤の影響. 園学雑 70別 2 : 462, 2001.
- d-10. 長内敬明, 元村佳恵：リンゴ 'ふじ' (無袋) の臭化メチルくん蒸による褐変果の発生の及ぼす貯蔵期間の影響. 園学雑 70別 2 : 368, 2001.
- d-11. 西沢 隆*・長澤さゆり*・J. B. RETAMALES**・A. LAVIN***・元村佳恵：*Fragaria xananassa* と *Fragaria chiloensis* 果実の細胞壁多糖組成の比較. 園学雑 70別 2 : 299, 2001. (*山形大学農学部, **チリ・タルカ大学農学部, ***チリ・INIA)
- d-12. 青山正和：表面施用された堆肥からの腐植物質の溶脱. 第16回日本腐植物質研究会講演要旨集, 43-44頁, 2000.
- d-13. 青山正和：土壌の中性リン酸緩衝液抽出液中にタンパク様物質は存在するか？—中性リン酸緩衝液抽出液中の有機物の腐植化学的・分光学的研究—. 日本土壌肥料学会講演要旨集 47 : 9, 2001.
- d-14. 青山正和・板垣美香子：給食残飯の堆肥化と堆肥の品質, 日本土壌肥料学会東北支部大会講演要旨集, 12頁, 2001.
- e-01. 元村佳恵：バラ科果実の成熟に伴う細胞壁構成糖鎖の化学構造の変化. 平成10, 11, 12年度科学研究費補助金基盤研究(B)(2)研究成果報告書. 平成13年 3 月 : 1-250, 2001.
- e-02. 青山正和：地域有機物資源の堆肥化における課題, 弘前市環境リサイクルシステムに関する調査研究報告書, 74-91頁, 弘前大学地域共同研究センター, 2001.
- e-03. 多田 久*・今井照規*・青山正和：微生物の発酵エネルギーを活用したハウス栽培の高度化, 積雪寒冷地における自然エネルギー利用技術の開発研究. 74-82頁, 財団法人21あおり産業総合支援センター, 2001. (*青森県農業試験場)
- f-01. 元村佳恵：ブドウとナシの多様な世界. 弘前大学農学生命科学部公開講座<21世紀・青森の資源を考える> 3-6, 2000.
- f-02. 元村佳恵：果実の生理障害. 弘前大学 農学生命科学部 附属農場 公開講座「リンゴを 科学する」49-56, 2000.
- f-03. 元村佳恵：ジベレリン処理による種子なしブドウの形成. 青森県ぶどう対策協議会 平成12年度ぶどう生産技術交流会講演資料 1-4, 2000.
- f-04. 青山正和：沖積リンゴ園土壌の問題点. 弘前大学農学生命科学部附属生物共生教育研究センター藤崎農場公開講座「りんごを科学する」テキスト1-8頁, 2000.

応用生命工学科

生体機能工学講座

食品科学研究室

- a-01. N. SHISHIDO*, S. NAKAMURA, M. NAKAMURA* : Dissociation of DNA double strand by hypohalous acids. Redox Rep. 5 : 243-247, 2000. (*旭川医科大学化学教室)
- a-02. Y. IGARASHI : Effect of solvent composition on the precipitation of cathepsin D hydrolysates of α_{s1} -casein with trichloroacetic acid. Milk Science 50 : 17-23, 2001.
- a-03. J. SILLABPAA*, B. MARTÍNEZ**, J. ANTIKAINEN*, T. TOBA, N. KALKKINEN*, S. TANKKA*, K. LOUNATMAA***, J. KERÄNEN****, M. HÖÖK*****, B. WESTERLUND-WIKSTRÖM*, P. H. POUWELS** and T. K. KORHONEN* : Characterization of the collagen-binding S-layer protein CbsA of *Lactobacillus crispatus*. J.Bacteriol. 182 : 6440-6450, 2000. (*University of Helsinki, **TNO Nutrition and Food Research Institute, ***Helsinki University of Technology, ****Tampere University of Technology, *****Texas A & M University)
- a-04. 佐藤 征*・三浦富智*・齋藤雅明**・月足正辰**・本郷俊治***・戸羽隆宏：中耳炎および敗血症例から分離された *Vibrio vulnificus* の PCR 法による同定. 感染症誌 75 : 307-313, 2001. (*本学医学部保健学科, **弘前市医師会成人病検診センター, ***倉敷中央病院)
- a-05. K. TODORIKI, T. MUKAI*, S. SATO** and T. TOBA : Inhibition of adhesion of food-borne pathogens to Caco-2 cells by *Lactobacillus* strains. J. Appl. Microbiol. 91 : 154-159, 2001. (*北里大学獣医畜産学部, **本学医学部保健学科)
- a-06. K. OSADA, M. TAKAHASHI, S. HOSHINA, M. NAKAMURA*, S. NAKAMURA and M. SUGANO** : Tea catechins inhibit cholesterol oxidation accompanying oxidation of low density lipoprotein in vitro. Comp. Biochem. Physiol(c). 128 : 153-164, 2001. (*旭川医科大学化学教室, **熊本県立大学環境共生学部)
- a-07. 荻野大和・山崎晴美・長田恭一・中村信吾・山谷 修*・菅野道廣**：食餌由来コレステロール酸化物が誘発するラットの脂質代謝変動に対するワインポリフェノールとドコサヘキサエン酸高含有魚油の同時摂取効果. 栄養誌. 54 : 19-28, 2001. (*綺羅化粧品研究所, **熊本県立大学環境共生学部)
- d-01. 戸羽隆宏・伊藤綾乃・佐藤ゆき・工藤祥子・佐藤 征*・中島 肇**：過酸化水素生成乳酸菌株による低温増殖性食中毒細菌の増殖抑制. 2001年度(平成13年)日本畜産学会第98回大会講演要旨集. p.167, 2001. (*本学医学部保健学科, **雪印乳業技術研究所)
- d-02. 廣岡沙織・佐藤 征*・戸羽隆宏：小麦由来タンパク質の抗リステリア活性. 2001年度(平成13年)日本畜産学会第98回大会講演要旨集. p.168, 2001. (*本学医学部保健学科)
- d-03. 堀江祐範・樽澤夕紀子・中村信吾・戸羽隆宏：ニワトリ由来 *Lactobacillus crispatus* 菌株のラミニンへの付着機. 2001年度(平成13年)日本畜産学会第98回大会講演要旨集. p.169, 2001.
- d-04. 佐藤 征*・三浦富智*・浅野厚歩*・大高昌子*・戸羽隆宏：*Vibrio vulnificus* の薬剤感受性並びに血清中での発育に及ぼす Fe^{3+} の影響. 第55回日本細菌学会東北支部総会講演要旨集. p.13, 2001. (*本学医学部保健学科)
- d-05. HELENA SANAE KAJIKAWA・堀江祐範・戸羽隆宏：S-layer gene を用いた PCR による *Lactobacillus crispatus* の同定. 2001年度(平成13年)日本畜産学会第99回大会講演要旨集. p.86, 2001.
- d-06. K. OSADA, A. KUKSIS*, H. PETERSON**, A. SEVANIAN*** : Effects of cholesteryl ester core aldehydes on lipid metabolism in aorta endothelial cells and macrophages. JOCS/AOCS World Congress 2000 Abstract p.251, 2000. (*トロント大学医学部バンティングベスト研究所, **南カルフォルニア大学薬学部)
- d-07. 長田恭一・佐々木亜希子・吉田 裕・川上祐生・柴田千博・中村信吾・神田智正*・庄司俊彦*：コレステロールフリー食条件下におけるりんごポリフェノールの脂質代謝調節作用. 2001年度(平成13年)日本農芸化学会大会講演要旨集. p.279, 2001. (*ニッカウキスキー生産技術研究所)
- d-08. 鶴ヶ崎和華子・吉田 裕・長田恭一・中村信吾：大豆イソフラボン類の脂質代謝調節および抗酸化機能. 2001年度(平成13年)日本農芸化学会大会講演要旨集. p.279, 2001.
- d-09. 川上祐生・長田恭一・柴田千博・鶴ヶ崎和華子・中村信吾：大豆イソフラボン類配糖体とアグリコンの脂質代謝調節および抗酸化機能の比較. 2001年度(平成13年)第55回日本栄養食糧学会大会講演要旨集. p.129, 2001.
- d-10. 中村信吾・天野貴之・増田誠二・平田貴子・戸羽隆宏・長田恭一・中村甲吉*：雪室での農産物貯蔵適性に関する基礎研究. 2001年度(平成13年)第50回日本食品保蔵科学会大会講演要旨集. p.43, 2001. (*エコ農産)
- d-11. 鶴ヶ崎和華子・川上祐生・柴田千博・長田恭一・中村信吾：食事由来大豆イソフラボン類の脂質代謝調節および

抗酸化機能. 2001年度(平成13年)第9回パーオキシサイド研究会学術講演会講演要旨集. p.17, 2001.

- d-12. 中村信吾・天野貴之・増田誠二・平田貴子・戸羽隆宏・長田恭一・石戸谷明弘*・中村甲吉*：雪を冷媒源とした雪室での農産物貯蔵の可能性を調べる. 2001年度(平成13年)第48回日本食品科学工学会大会講演要旨集. p.172, 2001. (*エコ農産)
- e-01. 中村信吾・長田恭一・中村甲吉*：積雪寒冷地における自然エネルギー利用技術の開発研究(雪冷房による食品素材およびその加工品の品質保持法に関する基礎研究).平成12年度科学技術研究委託費地域先端研究研究成果報告書. 84-94, 2001. (*エコ農産)
- e-02. 長田恭一：脂質代謝面からみた大豆イソフラボン類(アグリコン)の動脈硬化発症予防機能の追究. 財団法人飯島記念食品科学振興財団平成11年度年報. 140-143, 2001.
- f-01. 中村信吾：巻頭言(近接資源の見直し)：化学と生物 39：349, 2001.

応用微生物学研究室

- a-01. 鶴見里香・白石末一・安藤善和・柳田 誠・武田 潔：発酵および膜技術を利用したリンゴ搾り粕からの芳香物質の生産, 日本食品工学会誌, 48巻, 564-569, 2001.
- a-02. 殿内暁夫・岡 浩子・黒滝和之・武田 潔：納豆製造に有用な納豆菌の探索, 弘前大学農学生命科学部学術報告, 第三号, 14-18, 2000.
- d-01. 三浦康正・殿内暁夫・武田 潔：水田から分離した2-プロパノールを水素供与体として利用するメタン生成細菌の菌学的特徴, 日本土壌生物学会年次大会講演要旨集, p.176, 2000.
- d-02. 武田 潔：水田から分離した酢酸利用硫酸還元細菌の特徴, 日本微生物生態学会年次大会要旨集, p.146, 2000.
- d-03. 殿内暁夫：水田におけるイソプロパノールからのメタン生成に関する菌群の生態, 日本微生物生態学会年次大会要旨集, p.45, 2000.

生体情報工学講座

生物化学研究室

- a-01. KAZUO MIYAIRI, MOTOYUKI TOYODA, and TOSHIKATSU OKUNO : Purification and characterization of endo- and exopolysaccharidases from *Fomitopsis cytisinia*. J. Appl. Glycosci. 48, 105-114, 2001.
- a-02. MINEO SENDA, TAKANORI NARITA, SHINJI AKADA, TOSHIKATSU OKUNO and KAZUO MIYAIRI : Characterization of an endopolysaccharidase gene cpgg 1 from phytopathogenic fungus *Chondrostereum purpureum*. J. Gen. Plant Pathol. 67, 41-44, 2001.
- a-03. TETSUYA SHIMIZU, TORU NAKATSU, KAZUO MIYAIRI, TOSHIKATSU OKUNO, and HIROAKI KATO : Crystallization and preliminary X-ray study of endopolysaccharidase from a pathogenic fungus, *Stereum purpureum* Acta Crystallographica. 57, 1171-1173, 2001.
- a-04. B.-H. SHIMON, C. A. PARISH, M. HASHIMOTO, J. LIU, K. NAKANISHI, J. R. SPARROW : Fluorescent Pigments of the Retinal Pigment Epithelium and Age-Related Macular Degeneration, *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 11, 1533-1540 (2001).
- c-01. 奥野智旦・数馬恒平：ベニバナ花弁のフラボノイド：キノカルコン色素及びフラボノール成分の構造と生合成. FFI ジャーナル 189：5-14, 2000.
- d-01. 清水哲哉・中津 亨*・熊坂 崇*・山本雅貴*・宮入一夫・奥野智旦・加藤博章*：リンゴ銀葉病菌の生産するエンドポリガラクトツロナーゼ I の 0.96Å 分解能 X 線結晶構造解析. 日本結晶学会 2000. (*理研・播磨 Spring-8).
- d-02. 宮入一夫・坂 雅典・吉崎隆之・清水哲哉・奥野智旦：リンゴ銀葉病菌のエンドポリガラクトツロナーゼ IVa, IVb の諸性質と cDNA のクローニング. 日本農芸化学大会, 2001.
- d-03. 李 天忠・松田宗行・藤田 隆・奥野智旦：リンゴ S-RNases の受粉後花柱における存在部位について. 日本農芸化学大会, 2001.
- d-04. 浅野純平・加藤直幹・宮入一夫・奥野智旦：リンゴにおける S-RNases と相互作用する花粉タンパク質の存在. 日本農芸化学会 2001年.
- d-05. 山田美奈・犀川陽子・徳光直子・浅野純平・宮入一夫・奥野智旦・橋本貴美子・中田雅也：オオシロカラカサタケの毒成分の探索. 日本化学会全国大会, 2001.

- d-07. 清藤文仁・宮入一夫・奥野智旦：米粒中タンパク質組成の窒素施肥条件による変化．日本土壤肥料学会東北支部大会 2001.
- d-08. ISLAM, M. N., HASHIMOTO, M., TOKUNAGA, T., OKUNO, T., PARVEEN, S. A., NAKAZAWA, N., WANG, Q., HOSTENTTMANN, K. : *Anti-Valsa* constituents of *Glycosmis pentaphylla* roots; isolation and activity. 日本農芸化学会東北支部会 2000.
- d-09. 松田寛子・大原啓一郎・橋本 勝・宮入一夫・奥野智旦：環内に硫黄原子を有するオリゴサッカリドの合成研究，日本農芸化学会東北支部会 2000.
- d-10. ISLAM, M. N.・徳永隆司・橋本 勝・奥野智旦・PARVEEN, S. A., HOSTENTTMANN, K. : *Amoora rohitzuka W. A.* に含まれる新規抗真菌物質．日本農芸化学会東北支部会 2000.
- d-11. 青木宏太・橋本 勝・奥野智旦・鈴木 稔：Dyctyochromenol の合成研究，日本農芸化学会東北支部会 2000.
- d-12. 船橋克幸・伊藤 洋・二瓶賢一・橋本 勝・奥野智旦：放線菌 A307 株の生産する Swelling 誘導物質に関する研究，日本農芸化学会東北支部会 2000.
- d-13. 松田寛子・大原啓一郎・橋本 勝・宮入一夫・奥野智旦：環内に硫黄原子を有するオリゴサッカリドの合成研究(1)，日本農芸化学会 2001.
- d-14. 大原啓一郎・松田寛子・橋本 勝・宮入一夫・奥野智旦：環内に硫黄原子を有するオリゴサッカリドの合成研究(2)，日本農芸化学会 2001.
- d-15. 船橋克幸・橋本 勝・奥野智旦：放線菌 A307 株の生産する Swelling 誘導物質に関する研究(2)，日本農芸化学会 2001.
- d-16. 青木宏太・橋本 勝・奥野智旦・鈴木 稔：Dyctyochromenol の合成研究，日本農芸化学会 2001.
- d-17. 橋本 勝・石田幸子：プラナリアの脳再生関連物質の探索研究，文部省科学研究補助金特定領域研究(A)未解明生物現象を司る鍵化学物質，第2回公開シンポジウム 2001.

遺伝子工学研究室

- a-01. HANAWA, K., LEE, S., HIMENO, H. & MUTO, A. : Structure and function of tRNA-like domain in *E. coli* tmRNA. *Nucleic Acids Symp. Ser.* 44 : 263-264, 2000.
- a-02. SATO, K., SUGITA, T., KOBAYASHI, K., FUJITA, K., FUJII, T., MATSUMOTO, Y., MIKAMI, T., NISHIZUKA, N., NISHIZUKA, S., SUDA, M., SHOJIMA, K., TAKAHASHI, G., HIMENO, H., MUTO, A. & ISHIDA, S. : Localization of mitochondrial ribosomal RNAs on the chromatoid bodies of the marine planarian polyclad embryos. *Develop. Growth Differ.* 43 : 107-114, 2001.
- a-03. LEE, S., ISHII, M., TADAKI, T., MUTO, A. & HIMENO, H. : Determinants on tmRNA for initiating efficient and precise *trans*-translation : Some mutations upstream of the tag-encoding sequence of *Escherichia coli* tmRNA shift the initiation point of *trans*-translation *in vitro*. *RNA* 7 : 999-1012, 2001.
- b-01. 牛田千里：RNA interference (RNAi)，蛋白質核酸酵素 46, 1381-1386.
- d-01. 塙 京子・李 成佳・姫野俵太・武藤 田：大腸菌 tmRNA における tRNA-like domain の構造と機能について，第27回 核酸化学シンポジウム，2000.
- d-02. 中野宏昭・後藤史門・中東憲治・塙 京子・姫野俵太・武藤 田・井口八郎：大腸菌 10Sa RNA 依存温度感受性変異株を利用した *in vivo* における変異 10Sa RNA 19C の解析，第23回日本分子生物学会，2000.
- d-03. 李 成佳・塙 京子・只木敏雅・姫野俵太・武藤 田：大腸菌 tmRNA(10SaRNA)における tRNA-like domain の役割，第23回日本分子生物学会，2000.
- d-04. MUTO, A : Bacterial tmRNA and *trans*-translation system, International Symposium “ Functional genomics of *Bacillus subtilis*. ” (2001).
- d-05. 只木敏雅・姫野俵太・武藤 田：トランス翻訳の標的タンパク質の同定，第3回日本 RNA ミーティング，2001.
- d-06. 塙 京子・姫野俵太・武藤 田：*Trans*-translation における SmpB の役割，第3回日本 RNA ミーティング，2001.

細胞工学講座

微生物工学研究室

- a-01. YOSHIDA, T., KATO, Y., ASADA, Y., and NAKAJIMA, T. : Filamentous fungus *Aspergillus oryzae* has two types of

- α -1,2-mannosidases, one of which is a microsomal enzyme that removes a single mannose residue from Man9GlcNAc2. Glycoconjugate J. 17, 745-748, 2000.
- a-02. TAMURA, Y., OHMACHI, T. and ASADA, Y. : Induction of 2-amino- Δ^2 -thiazoline-4-carboxylic acid hydrolase and N-carbamoyl-L-cysteine amidohydrolase by S-compounds in *Pseudomonas putida* AJ3865. J. Gen. Appl. Microbiol. 47, (in press)2001.
- c-01. 吉田 孝： α -マンノシダーゼの活用あれこれ。細胞工学会誌 79：151, 2001.
- d-01. 成田恵美・田村喜治・大町鉄雄・浅田芳宏：*Pseudomonas* sp. ON-4a 株由来 N-carbamoyl-L-cysteine amidohydrolase の形質転換体からの精製とその性質。第73回日本生化学会, 2000.
- d-02. 吉田 孝： α -マンノシダーゼの構造と機能。第26回糖質科学懇話会, 2000.
- d-03. YOSHIDA, T., KATO, Y., ASADA, Y., and NAKAJIMA, T. : Fungal microsomal α -1,2-mannosidase removes a single mannose residue from Man9GlcNAc2. 16th International Symposium on Glycoconjugates, The Hague, Netherlands, August 19-24, 2001.
- d-04. 田村喜治・浅田芳宏：*Pseudomonas putida* AJ3865 I-10 株における 2-amino- Δ^2 -thiazoline-4-carboxylic acid(ATC)からの L-システイン生成系酵素の調節。日本農芸化学会東北支部大会, 2001.
- d-05. 小川真智子・田村喜治・吉田 孝・浅田芳宏：*Pseudomonas putida* AJ3865 I-10 株の 2-amino- Δ^2 -thiazoline-4-carboxylic acid hydrolase(ATCase)の精製及びその緒性質。日本農芸化学会東北支部大会, 2001.

細胞工学研究室

- a-1. KANEZAKI, R., TOKI, T., YOKOYAMA, M., YOMOGIDA, K., SUGIYAMA, K., YAMAMOTO, M., IGARASHI, K., ITO, E. : Transcription factor BACH1 is recruited to the nucleus by its novel alternative spliced isoform. J. Biol. Chem. 276 : 10 : 7278-7284, 2001.
- d-1. 佐々木千尋・對馬佳子・石黒誠一：網膜において視細胞特異的に発現するサイトカイン受容体蛋白質の探索。日本動物学会東北支部大会(秋田)。
- d-2. 城田安幸・芝木秀和・太田千穂・楠 昌丈・小野昭治¹・唐牛久美子²・畠山幸紀・楊 大栄：冬虫夏草菌(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果 (1)マウス線維肉腫 Meth-A に対する効果。第45回日本応用動物昆虫学会(島根)。
- d-3. 楠 昌丈・石田祥子・小野昭治¹・芝木秀和・畠山幸紀・城田安幸：冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果 (2)マクロファージの貪食能におよぼす影響。第45回日本応用動物昆虫学会(島根)。
- d-4. 小野昭治¹・芝木秀和・楠 昌丈・石田祥子・唐牛久美子²・畠山幸紀・城田安幸：冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果 (3)腹腔マクロファージおよびリンパ球, 末梢血および脾臓リンパ球の酸性フォスファターゼ活性。第45回日本応用動物昆虫学会(島根)。
- d-5. 芝木秀和・小野昭治¹・楠 昌丈・石田祥子・城田安幸・西岡千枝子³・畠山幸紀：冬虫夏草菌(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果 (4)マウス脾臓および末梢血内 CD4⁺・CD8⁺T リンパ細胞に及ぼす影響。第45回日本応用動物昆虫学会(島根)。
- d-6. 城田安幸・小野昭治¹・唐牛久美子²・西岡千枝子³・畠山幸紀：冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果 (1)マウス線維肉腫 Meth-A に対する効果。第60回日本癌学会総会(横浜)。
- d-7. 西岡千枝子³・畠山幸紀・小野昭治¹・唐牛久美子²・城田安幸：冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果 (2)担癌マウスにおける T リンパ球の解析。第60回日本癌学会総会(横浜)。
- d-8. 畠山幸紀・西岡千枝子³・唐牛久美子²・小野昭治¹・城田安幸：冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果 (3)経口投与による化学発癌の抑制効果。第60回日本癌学会総会(横浜)。
- f-1. 大町鉄雄・畠山 幸紀：細胞性粘菌を素材とする教育用画像データベースの構築。総合情報処理センター研究開発発表会(弘前大学総合情報処理センター)。
- f-2. 畠山幸紀・大町鉄雄：教育用ホームページの公開。「粘菌生活」デジタル映像で見る細胞性粘菌の世界。
<http://nature.cc.hirosaki-u.ac.jp/lab/2/celltech/nenkin/> (2001年 6 月公開)。

生物生産科学科

園芸学講座

- a-01. TOMITA, M. : Effects of cold pretreatment and potting materials on growth of acclimated plantlets of *Cypripedium macranthum* var. *speciosum*. Comb. Inter. Plant Prop. Soc., 49 : 669-673, 2000.
- a-02. 高橋照夫・張 樹槐・福地 博・戸次英二：両眼ステレオ視によるリンゴ園果実の距離計測(第3報)―画像入力条件が距離精度に及ぼす影響―. 農業機械学会誌 62(6) : 108-115, 2000.
- a-03. 張 樹槐・高橋照夫・福地 博・嵯峨紘一：根菜類野菜の間引き作業の自動化に関する研究(第1報)―ダイコンの栽培様式の検討―. 農業機械学会誌 63(2) : 47-52, 2001.
- a-04. 福田博之：普通栽培とわい化栽培におけるリンゴ生産費の比較, 弘前大学農学生命科学部学術報告 3 : 46-53, 2000.
- a-05. 山口正巳¹・京谷英寿²・吉田雅夫⁵・土師 岳¹・西村幸一³・中村ユリ¹・三宅正典⁴・八重垣英明¹・田中敬一¹・石川祐子¹・木原武士⁵・鈴木勝征¹・福田博之・朝倉利員¹：白肉缶詰用モモ品種‘もちずき’, 果樹試験場報告 35 : 33-46, 2001. (¹ 果樹試験場, ² 北海道農業試験場, ³ 山形県立園芸試験場, ⁴ 山梨県果樹試験場, ⁵ 元果樹試験場).
- a-06. YOJI KATO¹⁾, SACHIKO SAITO¹⁾, YASUSHI MITSUISHI²⁾, OSAMU ARAKAWA, YOSHIE MOTOMURA : A Comparative study of the structures of xyloglucans from the fruit cell walls of four apple cultivars. J. Appl. Glycosci, 48(4) : 331-334, 2001. (¹⁾弘前大学教育学部, ²⁾生命工学工業技術研究所, ³⁾木造地域農業改良普及センター, ⁴⁾弘前大学教育学部附属小学校).
- a-07. 加藤陽治¹⁾・齋藤幸子³⁾・佐藤あつ子⁴⁾・荒川 修・元村佳恵：リンゴ7品種の果実の生育中における細胞壁多糖の構造変化. 弘大教育学部紀要, 85 : 115-120. 2001. (¹⁾弘前大学教育学部, ²⁾生命工学工業技術研究所, ³⁾木造地域農業改良普及センター, ⁴⁾弘前大学教育学部附属小学校).
- a-08. 嵯峨紘一：ハツカダイコンのカルス培養におけるアントシアニン生成に対する培地成分の影響. 弘前大学農学生命科学部学術報告 3 : 19-22, 2000.
- b-01. 荒川 修：リンゴ果実の着色生理―アントシアニン生成とフラボノイド代謝―. 植物の化学調節, 35(2) : 149-159, 2000.
- d-01. 張 樹槐・高橋照夫・福地 博・嵯峨紘一：根菜類野菜の間引き作業の自動化に関する研究(第2報)―自動2値化による大根幼苗の認識方法―. 第60回農業機械学会年次大会講演要旨, 231-232, 2001.
- d-02. 高橋照夫・張 樹槐・福地 博・戸次英二：両眼ステレオ視によるリンゴ園果実の距離計測(第4報)―果実探索と三次元情報の取得―. 第60回農業機械学会年次大会講演要旨, 249-250, 2001.
- d-03. 張 樹槐・高橋照夫・福地 博・荒川 修：リンゴ果実の非破壊的熟度判定方法. 平成13年度農業機械学会東北支部研究発表会講演要旨, 37-38, 2001.
- d-04. 張 樹槐：画像処理による野菜等幼苗の認識方法. 日中博士青年科学者交流大会2001(全日本中国人博士協会2001)合同講演論文集, 37-42, 2001.
- d-05. 高橋照夫・張 樹槐・福地 博・戸次英二：注視と鮮明さ検出に基づくステレオ視の奥行き情報取得. 情報処理学会第61回全国大会(平成13年前期)(CD-ROM)No. 4L-01, 2001.
- d-06. D. M. BULANON^{*1}, T. KATAOKA^{*2}, S. ZHANG, Y. OTA^{*1}, T. HIROMA^{*1} : Optimal Thresholding for the Automatic Recognition of Apple Fruits. ASAE Paper No.013133, 2001. (^{*1}Iwate university, ^{*2}Hokkaido university)
- d-07. 富田正徳：Ophrys 属植物の *in vitro* 実生生長に及ぼす複合添加物の効果. 国際植物増殖者会議日本支部第7回三重大会講演要旨集, 21-22, 2000.
- d-08. TOMITA, M. : Symbiotic propagation of Japanese terrestrial orchids. Proceedings 'Fungus-Plant. Interactions From Parasitism to Symbiosis' (7th International Symposium of the Mycological Society of Japan) : 70, 2000.
- d-09. 長島時子¹⁾・富田正徳：冷蔵処理がハクサンチドリ属 *Dactylorhiza purpurella* の無菌種子発芽に及ぼす影響. 園学雑 第70巻別冊1 : 295, 2001. (¹⁾恵泉園芸短期大学).
- d-10. 富田正徳：培養温度が数種の地生ランの共生発芽に及ぼす影響. 園学雑 第70巻別冊2 : 425, 2001.
- d-11. 浅田武典：リンゴ‘ふじ’開心形樹における受光率―LAI 関係に関する研究. 園芸学会東北支部平成12年度大会研究発表要旨, 19-20, 2000.
- e-01. 浅田武典：リンゴ新品種‘紅夏’(仮称)の品種特性調査と品種登録願書の作成. 農林水産省品種登録願書(リンゴ), 2000.

- e-02. 浅田武典：リンゴ新品種‘黄明’（仮称）の品種特性調査と品種登録願書の作成．農林水産省品種登録願書（リンゴ），2000.
- f-01. 松下重則^{*1}・張 樹槐・山本 茂^{*1}・西田 悟^{*1}・中田和志^{*1}：ブルドーザのドーピング装置，公開番号特開平06-341155，公開日1994年12月13日（出願番号特願平05-129369，出願日1993年05月31日，出願人（株）小松製作所），特許番号3155119，登録日2001年02月02日（^{*1}（株）小松製作所）.
- f-02. 浅田武典：剪定に対する木の反応をどう説明するか．剪定 86：17-24，2000.
- f-03. 福田博之：わい化とマルバの生産経費—どちらの方がお金がかかるか—．剪定 89，26-30，2001.
- f-04. 福田博之：リンゴのわい化栽培・せん定を考える．落葉果樹 55(1)，19-21，2002.

農業生産学講座

作物学研究室

- a-01. 泉 完・佐々木長市・工藤啓一・佐藤照男^{*}：青森県北津軽地域における低平地不耕起水田の用水量，農業土木学会論文集，213：149-156，2001．（^{*}秋田県立大学短期大学部）.
- a-02. 佐々木長市・稲垣元昭・松山信彦・江成敬次郎^{*}・小関 恭^{**}：黒ボク土水田の浸透型が水稻栽培条件下の物質移動に及ぼす影響，土壌の物理性，84：13-22，2000．（^{*}東北工業大学，^{**}宮城県農業短期大学）.
- d-01. 工藤啓一・八重樫 正：土壌水中酸素濃度と出芽・苗立性の関係について，日本作物学会東北支部講演会，2001.
- d-02. 松山信彦・三枝正彦^{*}：集約多施肥による黒ボク土の酸性化，ミニシンポジウム“低 pH 領域における植物と土壌の相互作用”，宮城，2000．（^{*}東北大学大学院農学研究科附属農場）.
- d-03. MATSUYAMA, N., SAIGUSA, M.^{*} and KUDO, K. : Acidity of Japanese cultivated Andosols and its problem on soil management. 5th International Symposium on “Plant-Soil interaction at low pH”, South Africa, 2001. （^{*}Tohoku University）
- d-04. 松山信彦・三枝正彦^{*}・工藤啓一：交換酸度 y_1 から強酸性に区分される耕地黒ボク土の特徴，2001年日本土壤肥料学会高知大会（^{*}東北大学大学院農学研究科附属農場）.
- d-05. SASAKI, C., SOMA, R., IZUMI, M., KUDO, K. and MATSUYAMA, N. : The application of non-tillage and rice transplanting methods to low trafficability paddy fields. The fifth ESAFS international conference on rice environments and rice products. Thailand. 2001.

植物遺伝生態学研究室

- d-1. 杉山修一・一橋雅子・斎藤寛正：イネ科10草種における耐凍性と乾燥耐性の差異と関連形質．日本草地学会第56回講演会，2001.
- d-2. 杉山修一・松崎 健・樋口誠一郎：白クローバにおける耐凍性と乾燥耐性の差異と関連形質．日本草地学会第56回講演会，2001.
- f-1. 杉山修一・冨田正徳：雪氷を利用した植物種子の発芽および開花促進に関する研究，地域先導研究，「積雪寒冷地における自然エネルギー利用技術の開発研究」平成12年度研究成果報告書 p.110-122.

畜産学研究室

- a-01. 川田 訓^{*}・小山久一^{*}・鈴木裕之：ドナー核に極性化割球および非極性化割球を用いたウシの核移植．北海道畜産学会報，42：67-71，2000．（^{*}酪農学園大学）
- a-02. SUZUKI, H., J-C. JU^{*} and X. YANG^{*} : Surface ultrastructural alterations of bovine oocytes after parthenogenetic activation. Cloning, 2 : 69-78, 2000. （^{*}University of Connecticut, Connecticut, USA）
- a-03. SUZUKI, H., I. FUKUDA¹⁾, and K. TOYOKAWA : Follicular epithelial cell-oocyte connections during development of hamster ovarian follicle. Animal Science Journal. 72 : 107-116, 2001.
- a-04. SUZUKI, H., Y. TAKASHIMA²⁾ and K. TOYOKAWA : Influence of incubation temperature on meiotic progression of porcine oocytes matured in vitro. Journal of Mammalian Ova Research, 18 : 8-13, 2001.
- a-05. SUZUKI, H., I. OGASAWARA³⁾, H. TAKAHASHI⁴⁾, Y. IMADA, and K. TOYOKAWA : Electrofusion of blastomeres of hamster 2-cell embryos and dynamic changes of the cytoskeleton distribution. Journal of Reproduction and Development, 47 : 233-241, 2001.

- a-06. XU, C-C., H. SUZUKI and K. TOYOKAWA : Characteristics of ruminal fermentation of wethers fed tofu cake silage with ethanol. *Animal Science Journal*. 72 : 299-305, 2001.
- d-01. 香川則子・鈴木裕之・豊川好司：卵丘細胞の付着程度とブタ卵母細胞の細胞骨格の分布．第93回日本繁殖生物学会大会．講演要旨 59, 2000.
- d-02. 鈴木裕之・小笠原郁子・高橋寛子・今田安信*・豊川好司：ハムスター 2 細胞期胚割球の電気融合と細胞骨格の動的変化．第98回日本畜産学会大会．講演要旨 112, 2001. (*ユニークメディカル・イマダ)

1) 福田郁恵 現在は青森家畜保健衛生所

2) 高嶋陽子 現在は青森県畜産試験場

3) 小笠原郁子 現在は島根県在住

4) 高橋寛子 現在は栃木県在住

生物環境調節学研究室

- b-01. ト藏建治：IV章 第3節 気候変動，3.2 地質時代～現代の気候，青森県史，p.335-339，（青森県史編さん自然部会），青森県，2001.
- b-02. ト藏建治：IV章 コラム「山一金木屋又三郎日記抜粋編」にみえる寒暖計，p.347，青森県史，（青森県史編さん自然部会），青森県，2001.
- b-03. ト藏建治：VI章 忘れたころの天災 第2節気象災害，2.1 冷害，p.422-440，青森県史，（青森県史編さん自然部会），青森県，2001.
- b-04. ト藏建治：VI章 忘れたころの天災 第2節気象災害，2.3 風害，p.463-472，青森県史，（青森県史編さん自然部会），青森県，2001.
- b-05. ト藏建治：ヤマセと冷害―東北稲作のあゆみ，p.148，成山堂書店，東京，2001.
- d-01. ト藏建治・工藤啓一・杉 修一*：寒冷地イネの熱帯での生育．日本農業気象学会，2001年度全国大会講演要旨，2001. (*Naresuan Univ.)

生産機械学研究室

- a-01. 高橋照夫・張 樹槐・福地 博・戸次英二：両眼ステレオ視によるリンゴ園果実の距離計測(第3報)―画像入力条件が距離精度に及ぼす影響―，農業機械学会誌 62(6)：108-115，2000.
- a-02. 張 樹槐・高橋照夫・福地 博・嵯峨紘一：根菜類野菜の間引き作業の自動化に関する研究(第1報)―ダイコンの栽培様式の検討―，農業機械学会誌 63(2)：47-52，2001.
- d-01. 張 樹槐・高橋照夫・福地 博・嵯峨紘一：根菜類野菜の間引き作業の自動化に関する研究(第2報)―自動2値化による大根幼苗の認識方法―，第60回農業機械学会年次大会講演要旨，231-232，2001.
- d-02. 高橋照夫・張 樹槐・福地 博・戸次英二：両眼ステレオ視によるリンゴ園果実の距離計測(第4報)―果実探索と三次元情報の取得―，第60回農業機械学会年次大会講演要旨，249-250，2001.
- d-03. 張 樹槐・高橋照夫・福地 博・荒川 修：リンゴ果実の非破壊的熟度判定方法，平成13年度農業機械学会東北支部研究発表会講演要旨，37-38，2001.
- d-04. 張 樹槐：画像処理による野菜等幼苗の認識方法，日中博士青年科学者交流大会2001.（全日本中国人博士協会2001）合同講演論文集，37-42，2001.
- d-05. 高橋照夫・張 樹槐・福地 博・戸次英二：注視と鮮明さ検出に基づくステレオ視の奥行き情報取得，情報処理学会第61回全国大会(平成13年前期)(CD-ROM)No.4L-01，2001.

環境生物学講座

植物病理研究室

- a-01. NARUMI, T., FUJITA, T., SANO, T. and HARADA, Y. : *Sclerotinia trillii*, sp. nov., causing a new sclerotinia disease on *Trillium* in Japan. *Mycoscience* 42 : 181-186, 2001.
- a-02. HATAYA, T¹⁾, UCHINO, K¹⁾, ARIMORO, R¹⁾, SUDA, N²⁾, SANO, T., SHIKATA, E³⁾ and UYEDA, I¹⁾ : Molecular characterization of hop latent virus and phylogenetic relationships among viruses closely related to carlaviruses. *Arch. Virol.* 145 : 2503-2524, 2000.
- a-03. SANO, T., MIMURA, R. and OHSHIMA, K⁴⁾ : Phylogenetic analysis of hop and grapevine isolates of hop stunt viroid supports a grapevine origin for hop stunt disease. *Virus Genes* 22 : 53-59, 2001.

- d-01. 原田幸雄・佐藤静江：ブドウねむり症樹から分離された *Cytospora* 属菌による接種試験. 日植病報 66：270.
- d-02. 鳴海智子・原田幸雄・佐野輝男：環紋葉枯病菌(*Cristulariella* spp.)の分類学的取扱い. 日植病報 66：270.
- d-03. 大木保善・原田幸雄：サクラから分離された *Pezicula corticola* の培地上における光形態形成. 日本菌学会第4回大会(奈良)講演要旨集37頁, 2000.
- d-04. 庄司俊彦⁵⁾・原田幸雄・石島瑞恵：*Stromatinia* sp. による宿根アスター茎腐小粒菌核病(新称)の発生. 日植病報 67：166.
- d-05. 大木保善・原田幸雄：サクラから分離された *Pezicula corticola* の分生子及び子のう胞子による接種試験. 日植病報 67：185.
- d-06. 今津道夫⁶⁾・原田幸雄・藤田美夏・福島和貴⁷⁾・西村和子⁷⁾・宮治 誠⁷⁾：ヒバ天狗巣病菌 *Blastospora betulae* 集団における rDNA 変異. 日本菌学会第44回大会(奈良)講演要旨集50頁, 2000.
- d-07. 今津道夫⁶⁾・伊藤和子⁶⁾・原田幸雄：ヒノキアスナロ・クロベ類天狗巣病菌の生活環と核相交代について. 日本菌学会第45回大会(東京)講演要旨集59頁, 2001.
- d-08. 佐野輝男・上田浩司・山下一夫⁸⁾：リーキイエローストライプウイルス(LYSV)弱毒株の遺伝子解析と遺伝子診断. 日植病報 66：265.
- d-09. 田島弘子・佐野輝男：りんご奇形果病に関する研究；奇形果病罹病樹から分離される ACLSV について. 日植病報 66：265.
- d-10. 李春江⁹⁾・田山 堅⁹⁾・磯貝雅道⁹⁾・吉川信幸⁹⁾・吉田幸二¹⁰⁾・佐野輝男：輪状さび果病罹病樹から分離されたリンゴクロロティックリーフスポットウイルス(ACLSV)分離株ゲノムの塩基配列. 日植病報 66：265.

- 1) 北海道大学大学院農学研究科
2) サッポロビール(株)
3) 北海道グリーンバイオ
4) 佐賀大学農学部
5) 埼玉県園芸試験場

- 6) 信州大学農学部
7) 千葉大学真菌医学研究センター
8) 青森グリーンバイオセンター
9) 岩手大学農学部
10) 果樹研リンゴ

環境昆虫学・進化生態学研究室

- a-01. ZHU DAO-HONG¹⁾, ANDO YOSHIKAZU, SHIROTA YASUYUKI: Studies on the relationships among species in *Oxya* Serville (Orthoptera : Catantopidae) using random amplified polymorphic DNA (RAPD)(中国語英文要旨)ACTA ENTOMOLOGICA SINICA 44(3) : 316-320, 2001.
- d-01. 安藤喜一：タイワンハネナガイナゴの成虫期の夏眠. 第45回日本応用動物昆虫学会大会, 2001.
- d-02. 岩田健一・久保拓郎・安藤喜一：数種直翅目昆虫における次亜塩素酸ナトリウム水溶液の卵休眠消去効果. 第45回日本応用動物昆虫学会大会, 2001.
- d-03. 安藤喜一：個体飼育されたコバネイナゴは集団飼育とどう違うか？ 日本昆虫学会東北支部第48回大会, 2001.
- d-04. 安藤喜一：気象変動に伴う生活史適応. 日本昆虫学会第61回大会, 2001.
- d-05. 城所久良子・安藤喜一：コバネイナゴ卵の水中での生存能力. 日本昆虫学会第61回大会, 2001.
- d-06. 岩井幸夫・安藤喜一：コバネイナゴの翅型による繁殖能力の違いと翅芽・翅の切除が長翅型の繁殖能力に与える影響. 日本昆虫学会第61回大会, 2001.
- d-07. 久保拓郎・安藤喜一：ウスイロササキリの卵色多型と休眠性. 日本昆虫学会第61回大会, 2001.
- d-08. 岩田健一・竹田真木生・安藤喜一：系統間交配がホシササキリの卵休眠性に及ぼす影響. 日本昆虫学会第61回大会, 2001.
- d-09. 城田安幸・芝木秀和・細谷妙子・太田千穂・楠 昌丈・小野昭治・唐牛久美子²⁾・畠山幸紀²⁾・楊 大栄³⁾：冬虫夏草菌(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果 (1)マウス線維肉腫 Meth-A に対する効果, 第45回日本応用動物昆虫学会大会, 2001.
- d-10. 楠 昌丈・石田祥子・小野昭治・芝木秀和・畠山幸紀・城田安幸：冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果 (2)マクロファージの食食能におよぼす影響, 第45回日本応用動物昆虫学会大会, 2001.
- d-11. 小野昭治・芝木秀和・楠 昌丈・石田祥子・畠山幸紀・城田安幸：冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍 (3)腹腔マクロファージおよびリンパ球, 末梢血および脾臓リンパ球の酸性ホファターゼ活性, 第45回日本応用動物昆虫学会大会, 2001.
- d-12. 芝木秀和・小野昭治・楠 昌丈・石田祥子・城田安幸・西岡千枝子²⁾・畠山幸紀²⁾：冬虫夏草菌(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果 (4)マウス脾臓および末梢血内 CD4 陽性・CD8 陽性細胞に及ぼす影響, 第45回日本応用動物昆虫学会大会, 2001.

- d-13. 城田安幸：カブトムシ成虫の腹部末端にある「顔」，日本昆虫学東北支部第48回大会，2001.
- d-14. 城田安幸・小野昭治・唐牛久美子²⁾・西岡千枝子²⁾・畠山幸紀：冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果(1)マウス線維肉腫Meth-Aに対する効果，第60回日本癌学会総会，2001.
- d-15. 西岡千枝子²⁾・畠山幸紀・小野昭治・唐牛久美子²⁾・城田安幸：冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果(2)：担癌マウスにおけるTリンパ球の解析，第60回日本癌学会総会，2001.
- d-16. 畠山幸紀・西岡千枝子²⁾・唐牛久美子²⁾・小野昭治・城田安幸：冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)の抗腫瘍効果(3)：経口投与による化学発癌の抑制効果，第60回日本癌学会総会，2001.
- d-17. 城田安幸・楠 昌丈・矢本智之⁴⁾・長谷大輝：枝型擬態は生存に役立つか？一白枝クワイコを用いた野外実験，日本進化学会第3回大会，2001.
- f-01. 城田安幸：「探偵！ナイトスクープ-蚊の目玉スープ」朝日放送，2000年12月15日放送(監修および出演).

1) 中国・中南林学院・資源環境学院

3) 中国科学院・昆明

2) 弘前大学・院・理

動物生態学・野生生物管理学研究室

- a-01. SHINCHI, T., H. NISHIMURA, T. KITAZOE, M. TABUSE and N. AZUMA : Fractal evaluations of fish school movements in simulations and real observations, Proc. of Artificial life and Robotics 6 : 58-61, 2001.
- a-02. NAKAJIMA, T., Y. UENO, M. KARIYA, S. NAKAMURA, N. AZUMA & Y. YONEYAMA : An experimental study on DC-Pulse electric screen as a preventive measure of fish approaching into intake at diversion weirs and hydroelectric power dams, Proc. FishTREC.(Indonesia), 55-63, 2001.
- a-03. IZUMI, M., A. KUDO & N. AZUMA : A field survey on flow characteristics and ascending of fishes in Ice-harbor type fishway of Mitumenai headworks, Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, 18 : 169-178, 2000.
- c-01. 佐原雄二：青森県の希少な野生生物—青森県レッドデータブック—普及版. 「汽水・淡水魚類」の項(p.124-133), 2001.
- d-01. 遠藤菜緒子・佐原雄二：水田環境の季節的な変化に対応したゴイサギのエサ利用. 日本生態学会大会，2001.
- d-02. 窪川かおる・渡辺正晴・関藤 守・東 信行：遠州灘におけるナメクジウオの生息地調査，日本ベントス学会第14回大会，2000.
- d-03. 新地辰朗・西村治彦・田伏正佳・北添徹郎・東 信行：水槽を想定した魚群シミュレーションに対する時系列フラクタル解析，第19回計測自動制御学会(sice)九州支部学術講演会，2000.
- d-04. 佐々木紅良・池島 耕・青木 茂・東 信行・和田 実：野外で観察されたヒメヒイラギの発光，2000年度日本魚類学会年会，2000.
- e-01. 東 信行：水中テレビロボットによる海洋生物の生物形態学的解析システムの開発(分担執筆)，平成9-12年度科学研究費補助金基盤研究(B)研究成果報告書(研究代表者：窪川かおる)138頁，2001.
- f-01. 佐原雄二：青森県における外来性魚食魚問題の状況. シンポジウム「霞ヶ浦の生態系が危ない」講演要旨集. p.16-18, 2001.
- f-02. 佐原雄二・福井庸雄：土淵川の魚類—20年前との比較. 青森自然誌研究，6：105-107，2001.
- f-03. 東 信行：特集「魚道評価」を読む，応用生態工学 4：87-90，2001.
- f-04. 佐原雄二：改訂版日本の淡水魚. 東海大学出版会. メダカ・カダヤシ・ビリンゴの項.

地域環境科学科

地域環境工学講座

- a-01. 工藤 明・笹森新一*：津軽地域における農業水利の歴史的評価と展開方向，農業土木学会誌 Vol.69-6：45-51，2001.（*青森県東地方農林水産事務所）
- a-02. MATTASHI IZUMI, AKIRA KUDO, NOBUYUKI AZUMA：A FIELD SURVEY ON FLOW CHARACTERISTICS AND ASCENDING OF FISHES IN ICE-HARBOR TYPE FISHWAY OF MITUMENAI HEADWORKS, Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, Vol.18, No.2 November：169-178, 2000.
- a-03. 泉 完・佐藤正一*・工藤 明：バーチカルスロット型複合式魚道の水理特性，河川技術論文集，第7巻：227-232, 2001.（*スガノ農機(株)）
- a-04. 泉 完・佐々木長市・工藤啓一・佐藤照男*：青森県北津軽地域における低平地不耕起水田の用水量，農業土木学会論文集 Vol.69-3, No.213：149-156, 2001.（*秋田県立大学短期大学部）
- a-05. 佐々木長市・小関 恭*・富田道久*・小黑仁司*・谷口 建：大型ライシメータを用いた成層水田の物質動態，土壤物理学会誌，85：2-9, 2000.（*宮城県農業短期大学）
- a-06. 佐々木長市・小関 恭*：大型ライシメータを用いた開放浸透層内の気相成分変動，土壤物理学会誌，85：11-17, 2000.（*宮城県農業短期大学）
- a-07. SASAKI CHOICHI, KOSEKI KYO, MATUYAMA NOBUHIKO, ENARI KEIJIRO and SATO KOUICHI：Studies on the correlation between percolation pattern and soluble elements in downward water using a stratified paddy field model, THE XIV MEMORIAL CIGR WORLD CONGRESS 2000, 1184-1189.
- a-08. 佐々木長市・亀山博之*・高杉伸悦**・長谷部次郎***：砂丘地暗渠の鉄による機能低下に関する研究，日本砂丘学会誌，47(2)：79-90, 2000.（*東北農政局山王海鹿妻農業水利事業所，**屏風山土地改良区，***弘前大学名誉教授）
- b-01. 工藤 明：水害の特性，岩木川水系の水害，岩木川百沢土石流災害，青森県史一自然編地学(青森県史編さん自然部会編)，472-473頁，473-480頁，491-494頁，青森県発行，2001.
- d-01. 大島谷志¹⁾・工藤 明・泉 完：接触ろ材としてホタテ貝殻を用いた水質浄化実験，平成12年度農土学会東北支部講要，145-148, 2000.
- d-02. 工藤 明・泉 完・大島谷志*：水田地帯と農村市街地からの流出負荷量，平成13年度農土学会年講，700-701, 2001.（*(株)エステム）
- d-03. 高屋大介*・泉 完・工藤 明・東 信行：アイスハーバー型魚道における魚類の遡上特性一赤石川赤石第2頭首工魚道の事例一，平成12年度応用水理研究部会講演集，53-60, 2000.
- d-04. 佐々木長市・徳永光一*・佐瀬 隆**・佐藤幸一***：岩手川口火山灰土における間隙の連続性と変動，平成13年度農業土木学会講演会講演要旨集，174-175, 2001.（*岩手大学名誉教授，**岩手県立宮古高校，***北里大学）
- d-05. SASAKI, C., SOMA, R., IZUMI, M., KUDO, K. and MATUYAMA, N.：The application of non-tillage and rice transplanting methods to low trafficability paddy fields. The fifth ESAFS international conference on rice environments and rice productions, Thailand, 2001.
- d-06. 佐藤幸一*・徳永光一**・佐瀬 隆***・佐々木長市：岩手火山灰土壌におけるX線造影法で求めた根成孔隙の消長，日本土壤肥料学会講演要旨集，47，2，2001.（*北里大学，**岩手大学名誉教授，***岩手県立宮古高校）
- d-07. 小関 恭*・佐々木長市：砂礫水田下層土におけるガス成分の変動，日本土壤肥料学会講演要旨集，47，150.（*宮城県農業短期大学）
- d-08. 加藤 幸・角野三好・内田順也³⁾：遮水シート設置条件が地下水のせき上げ効果に及ぼす三次元的影響について一湿原における地下水環境保全工法に関する研究一. H12農業土木学会東北支部講演要旨，63-66, 2000.
- d-09. 角野三好・加藤 幸・山本祥人⁴⁾：老朽化溜池堤体の補修工事が堤体の浸透流に及ぼす影響. H12農業土木学会東北支部講演要旨，67-68, 2000.
- d-10. 加藤 幸・谷口 建・西澤新地*：経営者の視点からとらえた農村体験民宿の実態と動向. H13農業土木学会大会講演要旨，302-303, 2001.（*日本ネイチャーゲーム協会研修員）
- d-11. 角野三好・加藤 幸：電気アナログ法による浸透流に関する研究. H13農業土木学会大会講演要旨，484-485, 2001.
- d-12. 万木正弘・大野俊夫*・渡部貴裕*・藤澤 理*：水工用アスファルト混合物の低温時挙動に関する一考察. H13農業土木学会大会講演要旨，580-581, 2001.（*鹿島技術研究所）

- d-13. OSAMU FUJISAWA*, TOSHIO OHNO*, TAKAHIRO WATANABE*, MASAHIRO YURUGI : Evaluation of Thermal Stress of Asphalt Mixtures at Very Low Temperature : Proc. of 2001 Second International Conference on Engineering Materials, Aug. 16-19, 2001. (*Kajima Technical Research Institute)
- e-01. 工藤 明：広域農業開発基本調査－岩木川右岸地域開発方向調査－，全88頁，東北農政局津軽土地改良調査管理事務所，2000.
- f-01. SASAKI CHOICHI : Studies on the influence of percolation pattern on the environment of the soil layer in a stratified paddy field, Rural and environmental engineering, 40, 99-101, 2001.
- f-02. 佐々木長市：屏風山地区の排水不良畑の暗渠機能低下の原因とその対策，平成12年度東北農政局管内農業農村整備事業推進方策検討業務報告書，農業土木学会，19-28，2001.
- f-03. 佐々木長市：大地～豊かな母と人間と～，平成13年度弘前大学公開講座テキスト，23-25，2001.
- f-04. 佐々木長市：環境と話し合って米づくり，平成12年度弘前大学生物共生教育研究センター金木農場公開講座テキスト，7-12，2000.
- f-05. 工藤 明：水田が水環境に果たす役割－水管理と流出負荷量について－，平成12年度弘前大学農学生命科学部付属生物共生教育センター金木農場公開講座「津軽北部地域の実用農業技術」資料，13-18，2000.
- f-06. 工藤 明：津軽地域における水利施設の水環境と水質改善，平成12年度弘前大学農学生命科学部公開講座「21世紀・青森県の資源を考える」資料，18-21，2000.
- f-07. 万木正弘：ライフサイクルコスト・ライフサイクルエンジニアリング：農業土木学会誌，Vol.69，No.5，p.65

1) 現在は，(株)エステム

2) 現在は，青森県東地方農林水産事務所

3) 現在は，山形県庁

4) 現在は，北海道庁

地域環境計画学講座

- a-01. 高橋照夫・張 樹槐・福地 博・戸次英二：両眼ステレオ視によるリンゴ園果実の距離計測(第3報)－画像入力条件が距離精度に及ぼす影響－. 農業機械学会誌 62(6) : 108-115, 2000.
- a-02. 張 樹槐・高橋照夫・福地 博・嵯峨紘一：根菜類野菜の間引き作業の自動化に関する研究(第1報)－ダイコンの栽培様式の検討－. 農業機械学会誌 63(2) : 47-52, 2001.
- a-03. HIGAKI, D., H. YAGI, K. ASAHU and N. MIYAKE : Landslides on the late Quaternary deposits in the Bhote Koshi area, central Nepal. Journal of Nepal Geological Society, 22 : 505-512, 2000.
- a-04. REGALADO, M. J. C. and E. BEKKI : Varietal Differences in Drying Rate and Fissure Occurrence in Heated Air Drying of Rough Rice. J. JSAM 62(6) : 81-91, 2000.
- a-05. REGALADO, M. J. C., E. BEKKI and P. S. MADAMBA : Dehumidification Drying of High-moisture Rough Rice in a Radial-flow, Circular Bin. Drying Technology 18(10) : 2307-2326, 2000.
- a-06. 戸次英二：米の太陽熱直射乾燥における放射エネルギーのスペクトラル吸収. 弘前大学農学生命科学部学術報告 3 : 1-4, 2000.
- b-01. 横山俊治・江川良武・長谷川修一・中曽根茂樹・桧垣大助・桑原啓三・上野将司・足立勝治・中筋章人：第四章 岩盤のゆるみとマスマーブメント. 日本応用地質学会編，山地の地形工学，118-198，古今書院，2000.
- d-01. 高橋照夫・張 樹槐・福地 博・戸次英二：注視と鮮明さ検出に基づくステレオ視の奥行き情報取得. 情報処理学会第61回全国大会(平成13年前期)(CD-ROM) No.4L-01, 2001.
- d-02. 張 樹槐・高橋照夫・福地 博・嵯峨紘一：根菜類野菜の間引き作業の自動化に関する研究(第2報)－自動2値化による大根幼苗の認識方法－. 第60回農業機械学会年次大会講演要旨，231-232，2001.
- d-03. 高橋照夫・張 樹槐・福地 博・戸次英二：両眼ステレオ視によるリンゴ園果実の距離計測(第4報)－果実探索と三次元情報の取得－. 第60回農業機械学会年次大会講演要旨，249-250，2001.
- d-04. 張 樹槐・高橋照夫・福地 博・荒川 修：リンゴ果実の非破壊的熟度判定方法. 平成13年度農業機械学会東北支部研究発表会講演要旨，37-38，2001.
- d-05. 谷口 建・佐藤嘉昭：農道網の整備に関する研究，農業土木学会大会講演会講演要旨集，344-345，2001.
- d-06. 桧垣大助・K. K. カルキ：ネパールにおける持続可能な防災対策の検討－土壌浸食を例に－. 平成13年度砂防学会研究発表会概要集，248-249，2000.
- d-07. 桧垣大助・茂木 睦・Y. DORJI：ブータン南部で2000年8月発生した土砂流出災害と流域の斜面変動地形. 第40回日本地すべり学会研究発表講演集，37-38，2001.

- d-08. 高橋明久・桧垣大助・近藤敏光・秋村純一・鳴海俊充・北村 繁・柴 正敏：津軽半島における下前地すべりの地形発達に関する考察．第40回日本地すべり学会研究発表講演集，43-46，2001．
- d-09. 阿部真郎・桧垣大助・大村 泰：ケスタ地形と地すべり．第40回日本地すべり学会研究発表講演集，39-42，2001．
- d-10. 桧垣大助：ネパールヒマラヤにおける住民参加による山地流域管理．2001年度日本地理学会秋季学術大会発表要旨集，13，2001．
- d-11. HIGAKI, D. : Investigation on landslide slope evolution processes for disaster mitigation. Abstracts of 5th. Int. Conference on Geomorphology, 地形, 22-4, C-90, 2001.
- e-01. 谷口 建・泉 完・加藤 幸：節水型融雪溝の開発に関する研究(Ⅲ)，青森県融雪雪溝協同組合，28頁，2001．
- e-02. 谷口 建・渋谷長生・竹内慎司・加藤貴美：広域農村総合整備基本調査報告書(西津軽地域)，東北農政局農村整備部，149頁，2001．
- f-01. 高橋照夫：果実収穫ロボットのための3次元視覚．平成13年度岩手大学大学院連合農学研究科一般ゼミナール資料，57-61，2001．
- f-02. 谷口 建：農業農村整備における地域用水の係わりについて，農業土木学会東北支部研修会講演要旨，5-10，2000．
- f-03. 清水文健・桧垣大助・八木浩司・井口 隆・大八木規夫：地すべり地形分布図第13集「甲府」解説と読図の手引き．文部科学省防災科学技術研究所資料211号．
- f-04. 桧垣大助・林義 隆：地すべり斜面発達過程考察の地すべり対策事業への展開—調査と対策工計画での活用．(社)日本地すべり学会「地すべり地塊とその変遷過程研究委員会」報告書，63-73，2001．

地域資源経営学講座

- a-01. 宇野忠義：東北における水田作複合経営の展開条件．弘大農学生命科学部学術報告 第3号：54-72，2000.12
- a-02. COSIO, ROGELIO D., KANDA, KENSAKU : Recent Trends and Prospects of Rice Self-sufficiency in the Philippines. 農業市場研究 9(1)：59-70，日本農業市場学会，2000年10月
- a-03. 秋元健治・神田健策：核燃料サイクル事業と六ヶ所村財政．弘前大学農学生命科学部学術報告 3：29-47，日本農業市場学会，2000年10月
- a-04. ROGELIO D. COSIO, KENSAKU KANDA and AKINORI HIGUCHI : Economic Efficiency of an Alternative Rice Pest Control Strategy on Philippine Rural Farms : a Frontier Profit Function Analysis. 東北農業経済学会『東北農業経済研究』第19巻第2号(通巻39号)，pp.1-10，2001年9月
- a-05. 泉谷眞実：東北平場水田地帯における農家世帯員の就業行動と経営継承問題．東北農業経済研究 19(2)：27-36，2001．
- b-01. 泉谷眞実：浪費型市場構造の転換．中嶋 信・神田健策編著『21世紀食料・農業市場の展望』筑波書房，91-107，2001．
- b-02. 神田健策：農協再編と新たな協同運動．中嶋 信・神田健策編：今日の食料・農業市場Ⅴ，21世紀食料・農業市場の展望．筑波書房，pp.131-154，2000年6月
- d-01. 王 建軍・宇野忠義：中国における農民負担の現状と問題点．第36回東北農業経済学会．2000.10.
- d-02. 泉谷眞実：「食品廃棄物リサイクル法」と食品ロス問題．第26回弘前大学経済学会大会，2001．
- d-03. ROGELIO D. COSIO, KENSAKU KANDA : Status and Prospects of Rice Production in the Philippines. 日本農業市場学会，東北大学，2000年10月
- d-04. ROGELIO D. COSIO/ KENSAKU KANDA : Revitalizing the Cooperative Sector Through Government Initiatives : the Philippine Experience. Association for Research on Nonprofit Organizations and Voluntary Action. USA. 2000年11月
- d-05. 成田拓未・神田健策「りんご生産の流通と現状—青森県を中心に—」於)日本流通学会北海道・東北支部例会／函館市，2001年7月
- e-01. 宇野忠義：東北における水田作複合経営の展開条件—付・津軽地域経営改善モデルの検討—．東北農政局津軽土地改良調査管理事務所広域農業開発基本調査報告書—一岩木川・高瀬川・馬淵川水系—，30-61，2001.2.
- e-02. 宇野忠義：中山間地域対策のあり様と今後の課題—青森県—．横浜国立大学大学院国際社会科学研究所研究代表者・田代洋一，平成10-12年度科学研究費報告書地方分権時代における自治体の条件不利地域政策の比較研究，

- 27-37, 2001.3
- e-03. 泉谷眞実：青森県における就業構造の特質と1990年代の変化．大不況下における地域経済と農村進出企業の類型論的研究(科学研究費補助金研究成果報告書)，65-83, 2001.
- e-04. 玉真之介¹⁾・兼田 繁²⁾・泉谷眞実：東北農業・農村と農村進出企業の動向—山形県最上郡金山町の事例分析—．大不況下における地域経済と農村進出企業の類型論的研究(科学研究費補助金研究成果報告書)，65-83, 2001. (¹⁾岩手大学大学院, ²⁾福島大学)
- f-01. 泉谷眞実：書評・佐藤和憲著『青果物流通チャネルの多様化と産地のマーケティング戦略』．東北農業経済研究 18-2(37)：29-30, 2000.
- f-02. 宇野忠義：解題，田代洋一著：食料主権—21世紀の農政課題—．農林水産省図書館農林水産研究文献解題，2000. 12
- f-03. 宇野忠義：大学教員の「任期制」導入をめぐる主要論点．青森県国民教育研究所教育情報青森，No.105, 37-42, 2000. 10
- f-04. 宇野忠義：書評，梅本 雅著：水田作経営の構造と管理．農業経済研究，第73巻第2号，93-95, 2001. 9.
- f-05. 宇野忠義：書評，ト蔵建治：ヤマセと冷害—東北稲作のあゆみ．東奥日報，2001. 9
- f-06. KENSAKU KANDA : Agricultural Development and Cooperatives in Japan. Regional Agricultural Education by Extension Workerse : pp. 95-106, Asia and the Pacific Seminar on Education for Rural Development/Obihiro university of Agriculture and Veterinary Medicine. 2000年11月
- f-07. 神田健策：農村集落の現状と明日の地域農業—五所川原市依元集落を事例として—．弘前大学農学生命科学部地域資源経営学講座，2001年01月
- f-08. 神田健策：Ⅱ—3—1—2 尾上・日沼集落の再編方向—．平成11年度広域農業開発基本調査報告書—岩木川・高瀬川・馬淵川水系—，東北農政局・津軽土地改良調査管理事務所，p.62-67, 2001年 2 月
- f-09. 神田健策：大不況下における地域経済と農村進出企業の類型論的研究(A Study on Local Economy and Rural Industry under Current Depression. (科学研究費報告書，研究代表者神田健策)，1-144頁，2001年 3 月

生物共生教育研究センター

- a-01. 伊藤大雄・杉浦俊彦¹⁾・黒田治之¹⁾：わが国の温暖地落葉果樹園における年間炭素収支の推定．果樹試験場報告 34：81-94, 2000.
- a-02. 杉浦俊彦¹⁾・黒田治之¹⁾・伊藤大雄・本條 均²⁾：ブドウ果実における比重と糖度の相関関係．園芸学会雑誌 70(3)：380-384, 2001.
- a-03. 八木浩司・牧田 肇・齋藤宗勝・八木令子：青森県・白神山地追良瀬川左岸中ノ沢すべりの形成年代—地すべり凹地堆積物の放射性炭素年代とテフラー．地すべり，38-2, 41-43.
- c-01. 塩崎雄之輔：リンゴ 基礎編 品種生態と栽培 新品種(13)こうこう．農業技術大系 果樹編リンゴ. 98：16-17, 農文協，東京，2001.
- d-01. 伊藤大雄・杉浦俊彦¹⁾・黒田治之¹⁾：モモ個体群における乾物生産速度と日射変換効率の季節変化．関東の農業気象 26：22-23, 2000.
- d-02. 杉浦俊彦¹⁾・野口協一³⁾・工藤 信³⁾・伊藤大雄・黒田治之¹⁾：暖房・換気交互制御によるオウトウ施設栽培樹の蒸散促進：園芸学会雑誌 70(別冊1)：85, 2001.
- d-03. 伊藤大雄・杉浦俊彦¹⁾・黒田治之¹⁾：日射量の減少がニホンナシ樹の乾物生産と乾物分配に及ぼす影響．農業環境工学関連4学会，2001年合同大会講演要旨，29, 2001.
- d-04. 杉浦俊彦¹⁾・野口協一³⁾・工藤 信³⁾・伊藤大雄・黒田治之¹⁾：オウトウ加温栽培樹における裂果と暖房・換気交互制御による蒸散促進効果．農業環境工学関連4学会，2001年合同大会講演要旨，207, 2001.
- d-05. 伊藤大雄・工藤 信³⁾・野口協一³⁾・杉浦俊彦¹⁾・黒田治之¹⁾：果実表面への結露による施設栽培オウトウ果実の裂果の可能性．園芸学会雑誌 70(別冊2)：227, 2001.
- d-06. 杉浦俊彦¹⁾・伊藤大雄・黒田治之¹⁾：ニホンナシ‘幸水’の早期落葉と物質生産について．園芸学会雑誌 70(別冊2)：233, 2001.
- d-07. 塩崎雄之輔・赤城 文・佐藤良人・藤田知道：リンゴにおける切り返し剪定が新梢生長に及ぼす影響．園学雑誌 70別2：234, 2001.
- d-08. 牧田 肇：20世紀．白神山地周辺地域の土地利用変化と DEM による解析．季刊地理学, 53-3, 185-186. (東北地

理学会発表要旨)

- d-09. 牧田 肇：白神山地世界(自然)遺産地域の概要と問題点. 地理予, 60, p.15. (日本地理学会秋季学術大会シンポジウム「山岳地域の自然保護と利用・管理」オーガナイザー・発表)
- d-10. 牧田 肇：新興の観光対象「世界遺産・白神山地」とエコツーリズムの模索. 地理科学学会第18回シンポジウム「エコツーリズムを考える～自然保護と地域経済の両立をめぐる諸問題～」予稿集, p.6. (発表)
- d-11. 村山成治・須藤宏樹・津島 登：低投入型稲作に関する研究―第2報 不耕起移植を導入した疎植栽培―. 第44回日本作物学会東北支部講演会発表要旨, 2001.
- e-01. 村山成治・泉 完：寒冷地での疎植・不耕起栽培による低投入型稲作に関する研究. 学術国際振興基金助成. 事業研究結果報告, 2001.
- f-01. 塩崎雄之輔：わい化栽培の整枝剪定. りんご技術. 64：22-25, 2000.
- f-02. 塩崎雄之輔：リンゴの果実肥大に関わる要因. りんご技術. 65：7-10, 2001.
- f-03. 塩崎雄之輔：矮化栽培の主幹形仕立て, 開心形仕立て―守らなければならない基本と新しい試み―. 剪定. 87：32-38, 2001.
- f-04. 塩崎雄之輔：ネパールの農業―主としてリンゴについて―. 剪定. 87：62-71, 2001.
- f-05. 塩崎雄之輔：小型の開心形樹の可能性. 剪定. 90：27-34, 2001.
- f-06. 牧田 肇：自然環境・自然生態系との共生(講演). 青森県, 社団法人青森県建設業協会など主催, シンポジウム「自然環境・自然生態系と建設事業」基調講演およびパネルディスカッションのコーディネーター
- f-07. 牧田 肇：生物共生教育研究センターの紹介. 全学同窓会誌.
- f-08. 牧田 肇：生物共生教育研究センターの公開講座. 生涯教育センター.
- f-09. 牧田 肇：春の白神山地のブナ林を探索しよう. 環境省自然環境局東北地区自然保護事務所主催観察会講師(テキスト付き)
- f-10. 牧田 肇：ブナの赤ちゃんと自然のしくみ. 白神山地ビジターセンターだより, 2001年夏の号.
- f-11. 牧田 肇：世界遺産白神山地について魅力と保全(講演). 弘前大学公開講座(テキスト付き)(下田町)
- f-12. 牧田 肇：白神山地の豊かな自然生態系と人(講演). 青森学講座(エル・ネットオープンカレッジ収録用)
- f-13. 牧田 肇：白神山地における自然植生の変遷(講演). 西目屋村・公開講演会「郷土の自然を探る」(レジュメ付き)
- f-14. 村山成治：持続的農業と畜産―低利用資源を利用した水田畜産の導入. 生物共生教育研究センター公開講座資料：25-30, 2000.
- f-15. 村山成治：親子体験学習大学等地域開放特別事業報告：全27, 2001.

1) 農業技術研究機構果樹研究所
2) 宇都宮大学農学部

3) 山形県村山農業改良普及センター

農学生命科学部学術報告編集委員会

齊藤 寛（生物機能科学科）

橋本 勝（応用生命工学科）

委員長：佐原 雄二（生物生産科学科）

泉 完（地域環境科学科）

2002年3月20日 印刷

2002年3月27日 発行

編集兼発行者 弘前大学農学生命科学部
〒036-8561 弘前市文京町3

印刷所 やまと印刷株式会社
〒036-8061 弘前市神田4丁目4ノ5

Published by

Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University
3 Bunkyo-cho, Hirosaki-shi, Aomori-ken 036-8561, Japan
27 March 2002

Printed by

Yamato Printing Co.
4-4-5 Kanda, Hirosaki-shi, Aomori-ken 036-8061, Japan
20 March 2002

