

陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(IV)

Comprehensive Studies on the Eutrophication Control of Freshwaters(IV)

霞ヶ浦の魚類及び甲かく類現存量の季節変化と富栄養化

Seasonal Changes of the Biomass of Fishes and Crustacea in Lake Kasumigaura

昭和55~57年度 特別研究報告

1980-1982

環境庁 国立公害研究所

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

国立公害研究所研究報告 第53号

陸水域の富栄養化防止に関する総合研究 (IV)
霞ヶ浦の魚類及び甲かく類現存量の季節変化と富栄養化
昭和55~57年度 特別研究報告

R-53 正 誤 表

頁	行	誤	正
7	図 7	全天日射量の季節度変化	全天日射量の季節変化
9	12	北浦より優れるように	北浦より勝るように
14	3	海から逆上する	海から潮上する
20	6	Virh. Int.	Verh. Int.
35	表 2	DMSE	BMSE
45	21	したがって、	そこで
	22	もとにして、イサザアミの	もとにして、水深(d)におけるイサアザミの
47	13	SVW	SV_w
	14	SVW	SV_w
	16	$10^{0.1SVW}$	$10^{0.1SV_w}$
	18	ケツトサンプリング	ネットサンプリング
53	4	18時と30分の	18時0分と18時30分の
60	2	Noamysis	Neomysis
	17	東京大学学院	東京大学大学院
	20	Can ada	Canada
	29	Can ada	Canada
	32	Tada	Toda
61	11	Macroblanchium	Macrobrachium
63	図 1	Lake kasumigaura	Lake Kasumigaura
64	表 1	Wat (g)	Wet (g)
77	表 3	Lake Lasumigaura	Lake Kasumigaura
	表 3	61.2 0.3 0.1 0.7 2.7	61.2 0.3 0.1 0.7
82	6	分布しすることが	分布していることが
85	11	Pseudorasbore	Pseudorasbora
91-97	表 1	Tilapia mossambica	Tilapia nilotica
125	20	$(1 - e^{-q^{-x(11)}})$	$(1 - e^{-q^{-x(11)}})$
130	図 3	0.3, 0.5	0.36, 0.5

序

霞ヶ浦の富栄養化が湖外からの栄養塩流入による外部負荷ばかりでなく湖内の栄養塩回帰による内部負荷が重要な要因となっていることが明らかになった。特に魚類や甲かく類の組成変化が富栄養化を促進しているのではないかという推定がある。

魚類は水界生態系の中では捕食連鎖の最も高い地位にあり生活圏も広く、その一生を完結するには多くの条件を必要とする。そのため人間活動は知らず知らずのうちに彼等の生活環境に変化を与え、彼等の生存をも脅かすことが多い。また上位の捕食者の故に、魚類相の変化は生態系構造全体に与える影響が大きく、予想もしなかった結果が引き起こされることもある。霞ヶ浦における魚類群集構造の変化はワカサギ等の著しい減少とハゼ、エビ等限られた魚種の漁獲増大に示されており、このような変化は漁法の変化を主因とする人間活動の変化によりもたらされたものであった。このような生態系構造の変化の原因とその及ぼす影響についての解析は湖沼利用の経済的側面だけでなく、人間の生存へも多くの示唆を与えるものとなる。

霞ヶ浦全域の魚類調査はまだ始められて2年余りにすぎず、ここに集められた結果はさらにその一部にすぎない。しかし、これらの調査からさえも年ごとに生物相が変わる不安定な生態系構造をうかがい知ることができた。さらに長期にわたる調査を行って生物相管理による湖のより高度な利用の可能性を追求しなくてはならない。

この研究は1980年より実施した特別研究「陸水域の富栄養化防止に関する研究」の一環として湖内の物質循環の機構を明らかにするために行ったものであるが多くの資料や報文が集まったので別冊として刊行したものである。

霞ヶ浦を広く泳ぎ回る魚達の生態学的実体を明らかにするには残念ながら国立公害研究所のスタッフだけでは、余りにも非力であった。そこで昭和56年度より、湖岸に位置し霞ヶ浦を古くから調査されてきた茨城県内水面水産試験場の、高橋惇資源部長、小沼洋司主任研究員、高橋部長の後任となられた小林稔部長に、また海洋生物の資源解析を専門とされる東京大学海洋研究所資源解析部門の田中昌一教授、立川賢一助手、魚群探知機に詳しい稲垣正氏、さらに筑波大学の高

橋正征助教授，大学院生の酒井光夫君の御助力を頂いた。ここに付記して感謝の意を表する次第である。

昭和 59 年 3 月

国立公害研究所

所 長 近 藤 次 郎

目 次

1. 霞ヶ浦及び北浦の富栄養化と魚類群集構造 1
春日清一
2. 霞ヶ浦におけるひき網漁業の実態分析 21
北島能房・春日清一・小沼洋司
3. 魚群探知機による霞ヶ浦のイサザアミ資源量の推定に関する研究 29
立川賢一・稲垣 正・春日清一・北島能房・田中昌一
4. 霞ヶ浦における底生動物の生産に関する研究-1
——ハゼ類及びテナガエビの生態と現存量—— 61
小沼洋司・高橋 惇・鈴木健二・藤富正毅
5. 霞ヶ浦高浜入の湖岸帯における魚類群集の現存量と生産力 85
酒井光夫・春日清一・高橋正征
6. 霞ヶ浦生態系モデル化への一つの試み
——イサザアミとワカサギの関連モデル—— 121
田中昌一

CONTENTS

1. Acceleration of the Eutrophication by Fishes and Shrimps in Lake Kasumigaura 1
S. KASUGA
2. Survey Analysis of Isaza-gorohiki Ami and Trawling in Lake Kasumigaura 21
Y. KITABATAKE, S. KASUGA and Y. ONUMA
3. Studies on Acoustic Estimation of *Neomysis intermedia* Biomass in Lake Kasumigaura 29
K. TATSUKAWA, T. INAGAKI, S. KASUGA, Y. KITABATAKE and S. TANAKA
4. Study on the Production of Benthic Animals in Lake Kasumigaura—1
—Biomass and Feeding Habit of Gobiidae and the Prawn— 61
Y. ONUMA, J. TAKAHASHI, K. SUZUKI and M. HUZITOMI
5. Biomass and Production of Fishes at the Littoral Region in Takahama-iri Bay,
Lake Kasumigaura 85
M. SAKAI, S. KASUGA and M. TAKAHASHI
6. An Attempt for Modeling of the Ecosystem in Kasumigaura
—A Model of the Interrelation between Opossum Shrimp and Pond Smelt— 121
S. TANAKA

霞ヶ浦及び北浦の富栄養化と魚類群集構造

Accerelation of the Eutrophication by Fishes and Shrimps in Lake Kasumigaura

春日清一¹

Seiichi KASUGA¹

Abstract

To know the factors affecting the processes of eutrophication in Lakes Kasumigaura and Kitaura, the relationships for annual fluctuation of secchi disk transparency in summer with water temperature, chlorinity, net pen cultured carp yield and fisheries catch of each species were analyzed. In Lake Kasumigaura, annual changes of fisheries catches of goby, wakasagi (*Hypomesus transpacificus*) and some other species were highly correlated with transparency. Cultured carp yield had relatively a low relationship with transparency ($r = -0.4841$), though 21.6% of external phosphorous load was from foods fed to the carps. Annual mean of chlorinity and mean water temperature in summer (July to September) had no relationship with transparency. While, in Lake Kitaura, the transparency in summer correlated only with water temperature, though the correlation coefficient was not high ($r = -0.5637$). It was suggested that the alternation of fish community has accerelated eutrophication of Lake Kasumigaura.

1. はじめに

湖沼の富栄養化は流入する栄養塩、特にリンの負荷量により決定されることが明らかにされ (Vollenweider, 1968), その改善には栄養塩流入量の削減が主張された (Vollenweider & Kerekes, 1980)。また栄養塩流入削減により著しく回復した湖もみられる (Edmonson, 1977)。栄養塩は流入負荷のみでなく、湖内、特に底質からの内部負荷も浅い湖沼においては無視することができず (Bengtsson, 1975), 底泥のしゅんせつも行われている (Peterson, 1979)。このように栄養塩の発生源を断つことは、湖沼の汚濁を根源的に解決する方法である。しかし湖沼の汚濁が発生源の問題だけでなく、湖に住む生物、特に魚類の存在により影響されることが示唆され

1. 国立公害研究所 生物環境部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Environmental Biology Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

(Hrbáček *et al.*, 1961; Grygierek *et al.*, 1966; Lamarra, 1975; Andersson *et al.*, 1978; Henrikson *et al.*, 1980), 湖の生物相を管理することにより栄養塩の回帰を抑制し富栄養化を防止することが主張された (Shapiro *et al.*, 1975)。

ところで霞ヶ浦の富栄養化は1982年より、「霞ヶ浦の富栄養化の防止に関する条例」が施行され、栄養塩の流入源カットの努力がなされている。また生態系管理による富栄養化防止も主張された (浜田・津田, 1976; 春日, 1981)。しかし霞ヶ浦の富栄養化がどのように進行し、その原因がどこにあるかは必ずしも明らかにされていない。そこで富栄養化の指標として古くから資料の得られる透明度と、いくつかの汚濁要因、すなわち水温、海との水の流通の指標となる塩素濃度、栄養塩の直接流入源であるコイ網生けす養殖の生産量、湖の生物相指標として湖内で漁獲される甲かく類を含む魚類の魚種別漁獲量などの年変動資料を利用し、富栄養化要因を解析した。この結果、湖内の生物相の変動、すなわち湖内生態系構造の変化が透明度の年変動と最も高い相関を示した。また霞ヶ浦と常陸利根川で通じ、湖盆条件も似ているが、漁業形態の異なる北浦も霞ヶ浦と同様な解析を行った。

2. 用いた資料

霞ヶ浦及び北浦の環境要因の観測地点の代表として、霞ヶ浦では湖心、北浦は白浜沖とした(図1)。1971年以前の資料では湖心の資料がないため木原沖の資料を、また北浦では1972年以前の白浜の資料がなく、水原沖の資料を用いた。ただし塩素濃度は湖心と木原沖、白浜沖と水原沖の間にそれぞれ高い相関がみられたため湖心及び白浜沖の塩素濃度推定値を算出しこの値を用いた。

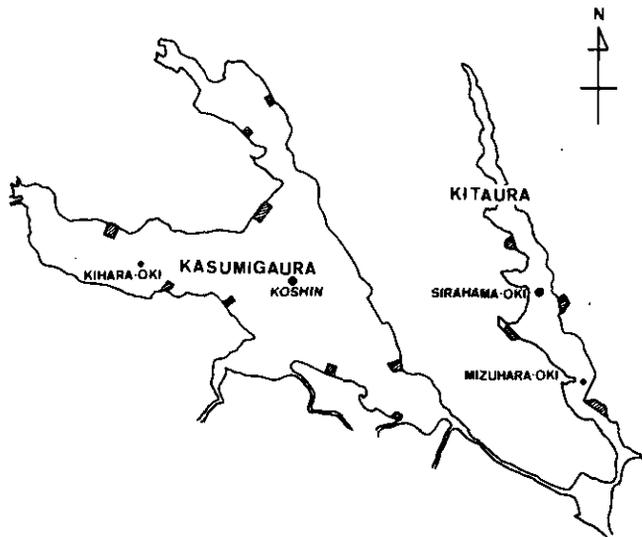


図 1 霞ヶ浦及び北浦と観測地点

Fig. 1 A map of Lakes Kasumigaura and Kitaura indicating the limnological observation sites

(1) 透明度・水温・塩素濃度

これ等の資料は茨城県霞ヶ浦北浦漁業基本調査報告 (1912), 茨城県水産振興所調査研究報告 (1957, 1958), 茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所調査研究報告 (1960, 1861, 1965), 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 (1975~1981), 茨城県企業局水質年報 (1973~1980), 国立公害研究所研究報告 (1979, 1981) 等を用いた。

(2) 全天日射量

全天日射積算量月表 (気象庁館野高層気象台) を用いた。

(3) 魚種別漁獲量

茨城県農材水産統計年報 (1955~1982)。

(4) コイ養殖生産量

茨城の水産 (1977~1981) など

3. 無機環境要因の経年変化

(1) 透明度

霞ヶ浦及び北浦の透明度の季節変化の特徴を明らかにするため霞ヶ浦は 1955 年から 1981 年まで、また北浦は 1967 年から 1981 年までの透明度資料から月別透明度の平均値と標準偏差値を求め図 2 に示した。

霞ヶ浦の透明度の 1 年間の変化は二つの時期に分けられる。すなわち、4 月から 11 月までと 12 月から 3 月までで、前者は透明度が低く、9 月に平均 98.8cm と最も低い値を示し、7 月に平均 127.1cm と高い値を示すがこの 8 か月の間に分散分析により 1% の有意差水準で月別差がみられない。また 12 月から 3 月までは 3 月に低値 132.1cm, 12 月に高値 147.4cm を示し、この 4 か月の間にも月別差はみられない。一方北浦では霞ヶ浦に比べ月別差が著しく大きく、8 月の平均値は 85.9cm の低値、2 月に 249.3cm の高値を示した。両湖とも 7 月に一時期な透明度の回復がみられる。

次に霞ヶ浦及び北浦の透明度と経年変化を知るため霞ヶ浦で示された 2 期、4~11 月 (夏期) と 12~3 月 (冬期) に分け、それぞれ 8 か月と 4 か月の平均値を当年の夏期と冬期の代表値とした。結果を図 3 に示す。

霞ヶ浦の透明度は 1911 年前後に夏期・冬期共に 150cm 前後の値がみられる。その後長い期間十分な資料が得られないが、1965 年頃まで徐々に透明度が低下している。1965 年以降夏期、冬期共に著しく透明度の低下する年がみられる。さらに 1978 年以降、特に夏期の透明度低下が進み、霞ヶ浦では現在も透明度低下が進行しており、夏期の平均値は 1m 以下となっている。湖心における透明度の最大値は 1955 年と 1981 年の冬に 260cm を、また最低値は最近夏期に 55cm という値がみ

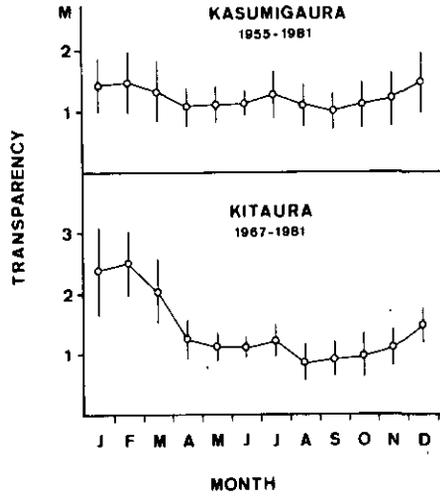


図 2 霞ヶ浦及び北浦の透明度の季節変化

Fig. 2 Monthly changes of secchi disk transparency at Lakes Kasumigaura and Kitaura calculated from monthly means from 1955 through 1981. Vertical bars indicate standard deviations.

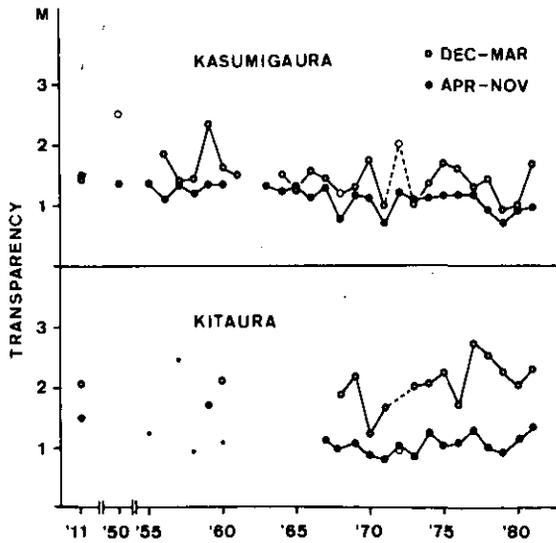


図 3 霞ヶ浦及び北浦の冬期(12-3月)及び夏期(4-11月)の透明度の年変動

Fig. 3 Annual changes of transparency in Lakes Kasumigaura and Kitaura, winter (December-March) and summer (April-November)

られる。北浦では1911年頃に夏の透明度は霞ヶ浦とほとんど変わらず150cm前後であるが、冬期には200cmをやや超える値となっている。その後北浦の資料は霞ヶ浦より少なく、1967年以後になり月別資料がみられる。透明度は1971年頃まで低下の傾向を示し、1970年の冬期に123.3cm、1971年夏期に81.3cmを最低値としてその後透明度の回復がみられ、特に冬期の透明度の上昇は顕著であり1982年には冬期の平均値が230.0cm、夏期が131.9cmとなっている。北浦白浜沖又は水原沖の透明度の最低値は1970年前後に50cm、また最大値は最近水原で495cmという値がみられる。

霞ヶ浦と北浦の透明度の年変化の違いを比較するため横軸に霞ヶ浦、縦軸に北浦の透明度を取り、両湖の同じ月の対応する値を年代順にプロットした(図4)。1960年以前の資料は少ないが両湖の透明度には差がみられず、1.5m前後の高い値が多い。1967年から1974年頃までは両湖とも夏期の透明度が低下しており差がみられない。しかし冬期は北浦の透明度が霞ヶ浦より高い傾向にある。1975年以降では霞ヶ浦の透明度の著しい悪化と北浦の特に冬期の改善が明らかである。

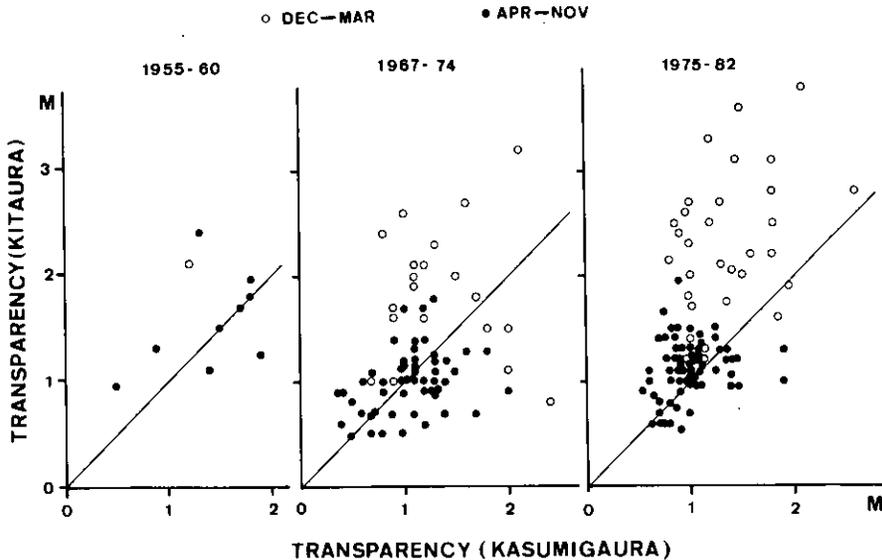


図 4 霞ヶ浦及び北浦の透明度の比較

Fig. 4 Comparison of transparency between Lakes Kasumigaura and Kitaura

(2) 水温

霞ヶ浦と北浦の水温の季節変化を知るため霞ヶ浦では1955年から1981年までの、また北浦では1963年から1981年までの月ごとの水温の平均値と標準偏差を求めた(図5)。両湖ともほとんど差がなく、1月に最低値、8月に最高値を示す。しかしその変動幅は北浦がやや小さく1月の平均で北浦が4.95°C、霞ヶ浦が4.37°C、また8月では北浦が26.7°C、霞ヶ浦が26.9°Cである。季節

変化は6・7月が梅雨のため低目の値を示すが7月下旬を山とし、1月下旬を谷とする正弦波となっている。月ごとの水温のパラッキは冬期に小さく、7～9月に比較的大きい。

水温の年変動を知るため冬期は前年の12月から3月までの4か月間の平均値を、また夏期はパラッキの大きな7、8、9月の3か月の平均値をその年の冬期及び夏期の代表値とした。夏期の水温の経年変動を図6に示した。夏期3か月の平均値の変動幅は霞ヶ浦で最低22.75°Cから最高27.

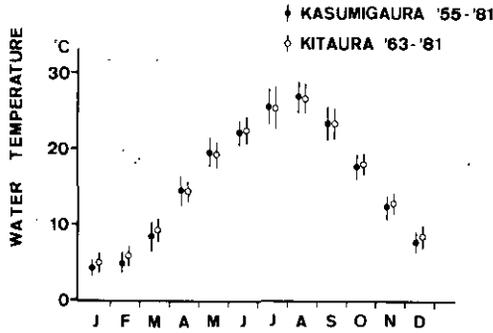


図 5 霞ヶ浦及び北浦の水温の季節変化
 Fig. 5 Monthly changes of water temperature in Lakes Kasumigaura and Kitaura
 Vertical bars indicate standard deviations

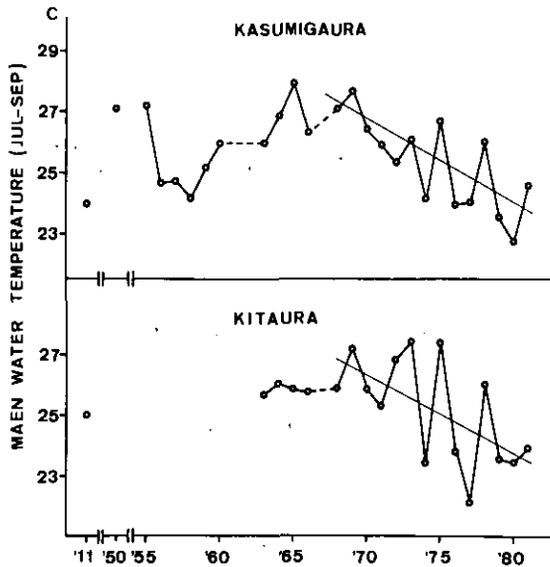


図 6 霞ヶ浦及び北浦の夏期 (7-9 月) 平均水温の年変動
 Fig. 6 Annual changes of mean water temperature in summer (July-September) in Lakes Kasumigaura and Kitaura

97°C、北浦では 22.05°C から 27.40°C でそれぞれ約 5°C の差の内に入る。霞ヶ浦では 1965 年頃を最高にして最近夏期水温の低下傾向がみられる。その低下は 1 年間に 0.279°C と計算され、この低下傾向は有意水準 0.1% で有意である。また北浦においても 1969 年頃より水温は低下する傾向にあり、その水温低下は 1 年間に 0.252°C と計算され 5% 有意水準で有意である。

(3) 全天日射量

霞ヶ浦及び北浦の夏期の水温が近年低下傾向にあることが示された。そこで霞ヶ浦より約 10km 西方にある館野高層気象台により得られた 1966 年以降の全天日射量の季節変動及び年変動を調べた。季節変動は 1966 年から 1981 年までの月ごとの合計日射量をその月の日数で割り 1 日当たりの平均日射量をその月の代表値とした。この代表値の同月の値の 16 年間の平均値と標準偏差を求めた(図 7)。日射量の最も少ない月は 12 月で最も多い月は 5 月であった。日長の最も長い夏至を含む 6 月及び 7 月は梅雨期のため著しく日射量が少ないことがわかる。また 6~8 月は日射量の年による変動が大きい。このため 6 月から 8 月までの 3 か月間の日射量の合計をその年の夏期日射量の代表値とし、2 月から 4 月までを春の日射量の代表値とし、これらの年変動を図 8 に示した。夏の 3 か月の日射量合計は 1978 年に著しく高い値を示しているがこれを除けばほぼ 1400~1550MJ/M² の間に入る。また 2 月から 4 月までの 3 か月間の日射量の合計は 1976 年の低い値を除けばほぼ 1,100~1,300MJ/M² の間に入る。日射量の年変動は夏期では大きく春期(2~4 月)では小さく、夏期、春期共経年による日射量の減少傾向はみられない。

(4) 塩素濃度

霞ヶ浦の塩素濃度の資料は 1955 年より途中いくつか欠測もあるが毎月の変化をほぼ知ること

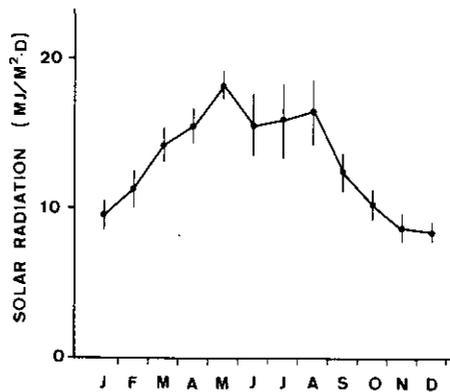


図 7 館野高層気象台における全天日射量の季節度変化

Fig. 7 Monthly change of global solar radiation at Tateno calculated from monthly means from 1966 through 1981

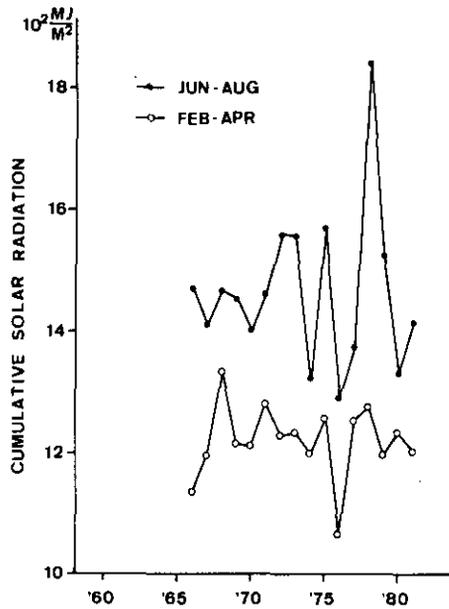


図 8 館野高層気象台における春(2-4月)及び夏(6-8月)の積算日射量の年変動
 Fig. 8 Annual change of cumulative solar radiation at Tateno, spring (February-April) and summer (June-August)

ができる。しかし北浦では1971年以前は断片的資料しか得られず、詳しい変化を知ることができるのは1971年以後である。塩素濃度には季節的变化は認められず、不規則で変動幅が大きい。このためその年の塩素濃度の代表値は年間の塩素濃度値の平均値を用いた。この値の年変動を図9に示した。霞ヶ浦では年平均値に1956年にやや高い値がみられるが1960年頃まで100ppm以下と低く、実測値では30ppmから340ppmの間にある。1963年以降は変動が激しく、1975年まで実測値で20.7ppmから478ppmの間を変動している。しかし1976年以降は実測値で100ppm以下となり、近年では50ppm前後でほぼ安定している。北浦では霞ヶ浦より変動幅が大きく、実測値で30ppmから808ppmの間を振動しているが年平均値の変動パターンは霞ヶ浦と良く似ている。1976年以降北浦も霞ヶ浦同様100ppm以下となり現在では50ppm前後で安定している。両湖の塩素濃度の月を追っての変化の比較を図10に示した。横軸に霞ヶ浦湖心、縦軸に北浦白浜沖の値を取り対応する同じ月の値をプロットした。両湖の同じ月の資料が得られるのは1967年以降でそれより古いものは極めて少ない。1974年以前では北浦の塩素濃度が霞ヶ浦より高かったが1975年3月以降霞ヶ浦湖心と北浦白浜沖の両地点に差がみられず急速に塩素濃度が低下する。これは1963年に完成した常陸川逆水門がこの頃完全に閉鎖されたためであろう。

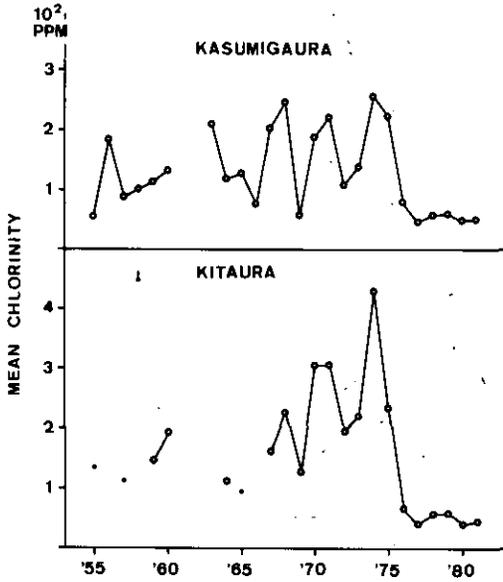


図 9 霞ヶ浦湖心及び北浦白浜沖における塩素濃度年変均値の変化

Fig. 9 Change of annual mean chlorinity at Koshin of Lake Kasumigaura and at Shirahamaoki of Lake Kitaura

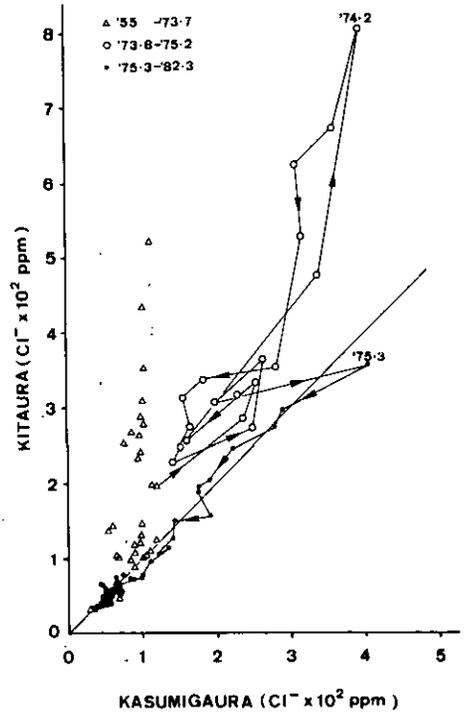


図 10 霞ヶ浦湖心及び北浦白浜沖における塩素濃度変化の比較

Fig. 10 Comparison of chlorinity between Koshin of Lake Kasumigaura and Shirahamaoki of Lake Kitaura

4. 漁業生産の変遷

(1) 総漁獲量

霞ヶ浦及び北浦の魚類・エビ類の総漁獲量は北浦が1964年から、また霞ヶ浦が1年遅れて1965年より急速な増加が始まり、霞ヶ浦では年総漁獲が4~5,000 tであったものが1968年には8,000 tを超え、1975年及び1978年に13,000 t前後の漁獲を記録した。その後ほぼ10,000 t前後で安定している(図11)。北浦では1963年以前は年総漁獲量は1,000~1,500 tであったものが1967年には3,000 tを超え1976年頃までこの値を維持し、その後やや減少し2,000 t前後となっている(図12)。両湖の単位面積当たりの生産量を比較すると1963年以前では霞ヶ浦が北浦より高く、前者で30 t/km²前後、後者が23 t/km²前後であったが1964年より北浦の生産量の著しい増加が始まり1967年には80 t/km²を超えた。しかし北浦ではその後減少傾向にあり1977年以降約50 t/km²である。一方霞ヶ浦では1967年以降に著しい増加がみられ1975年には単位面積当たり生産量で再び北浦より優れるようになり高い生産性を維持している(図13)。次にこのような漁獲量変

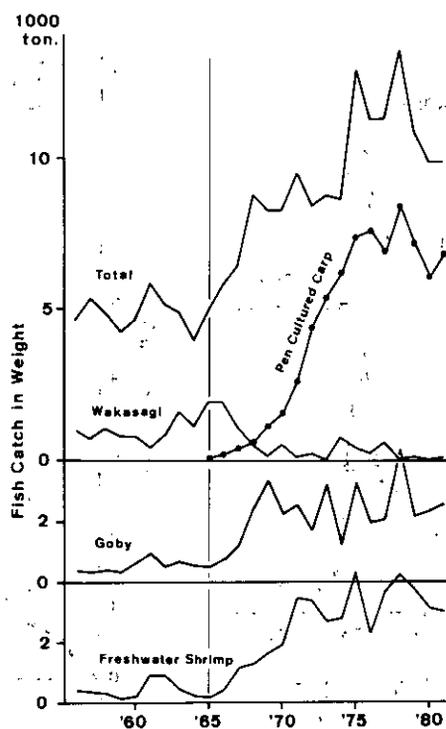


図 11 霞ヶ浦の総漁獲量、コイ網生けす養殖生産量及び魚種別漁獲量の変化

Fig. 11 Annual changes of fish catch and pen cultured carp yeild in Lake Kasumigaura

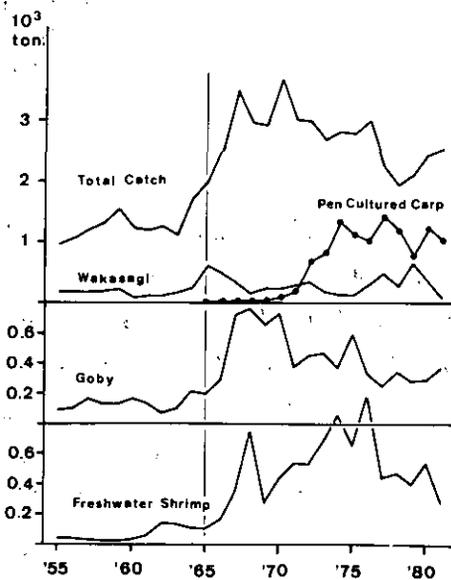


図 12 北浦の総漁獲量、コイ網生けす養殖生産量及び魚種別漁獲量の変化

Fig. 12 Annual changes of fish catch and net pen cultured carp yeild in Lake Kitaura

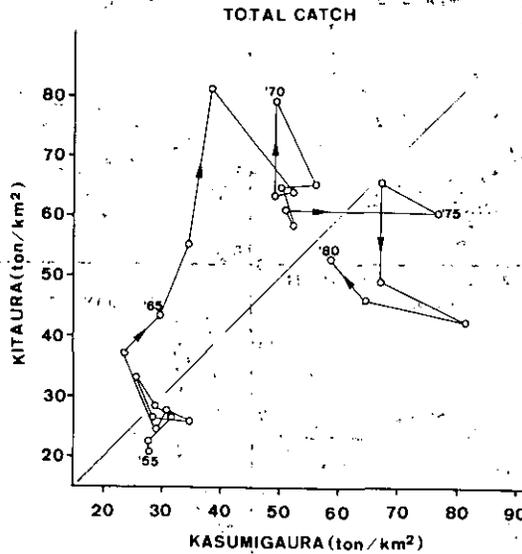


図 13 霞ヶ浦及び北浦の単位面積当たり総漁獲量の年変動比較

Fig. 13 Comparison of total fish catch per unit area between Lakes Kasumigaura and Kitaura

動の中味の魚種別漁獲量変動をみることにする。

(2) ワカサギ

霞ヶ浦及び北浦のワカサギ漁獲高の年変動を図 11・12 に示した。霞ヶ浦のワカサギ漁獲量は 1962 年以前には 1961 年に 446 t と少ない年がみられるが 800~1100 t の安定した漁獲が得られている。ところが 1963 年より漁獲の増加が始まり 1964・1965 年の 2 年は 2,000 t 近い漁獲が得られ、その後急速に漁獲が減少し 1974 年から 1977 年までは 300~800 t のやや良い年もみられるが近年では 200 t 以下で 1980 年には 46 t と著しく悪い。一方北浦では 1963 年以前にほぼ 100~200 t の安定した漁獲が得られているが 1965 年 610 t, 1966 年に 482 t と著しく多く漁獲され、1968 年には再び 100~200 t のオーダーに戻っている。この安定した状態が 1975 年まで続いたが 1976 年には漁獲の増加が始まり 1979 年には 651 t の史上最高漁獲高を記録した。1981 年には 87 t と悪い値となっているが 1982 年に 283 t に回復している(関東農政局, 1983 年)。両湖のワカサギの単位面積当たり生産量を比較すると 1964 年までは霞ヶ浦の生産性は高く、1965, 1966 年の 2 年にわたり両湖とも著しい高い生産量をあげている。その後霞ヶ浦の生産性は低下するが北浦では一時低下の後再び高い漁獲高となっている(図 14)。

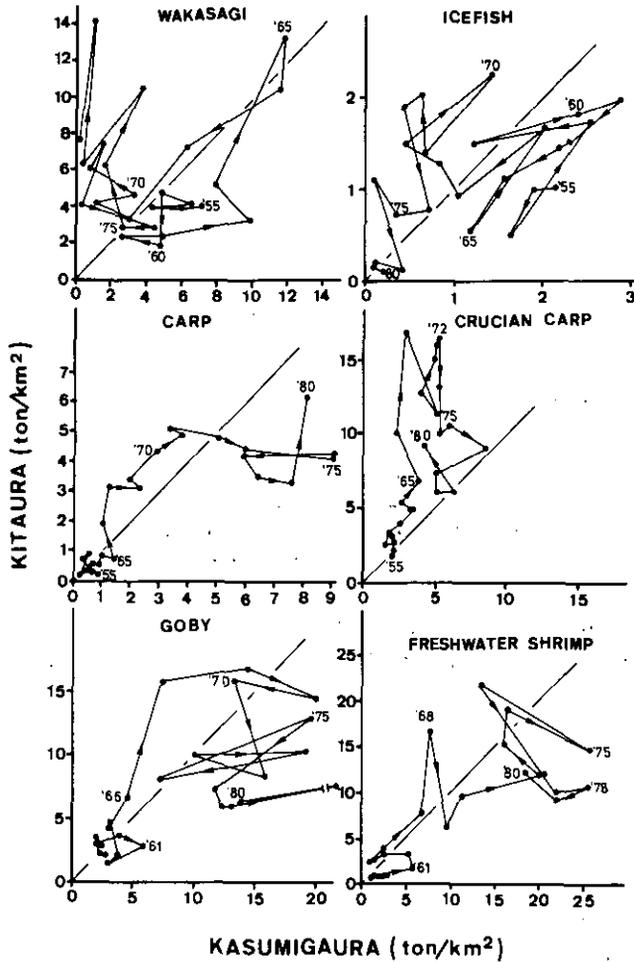


図 14 霞ヶ浦及び北浦の単位面積当たり魚種別漁獲量変動の比較
 Fig. 14 Comparison of fish catch per unit area between Lakes Kasumigaura and Kitaura

(3) ハゼ類

ハゼ類の漁獲は霞ヶ浦で1966年以前は年平均550t程度であったが1967年以後急激な増加がみられ1969年には3361tにも達し、その後増減はみられるが、現在に至るまで1,200t以上の高い漁獲がみられる(図11)。一方北浦のハゼの漁獲量は1966年以前に100~200tの間で平均約150tの漁獲量であった。これが1967年より急増し1970年まで約700tの生産がみられたがその後200~400tに減少し現在に至っている(図12)。両湖のハゼ類の単位面積当たり生産量を比較すると、1965年頃までほとんど差がみられないが1967年には両湖で増加がみられ、特に北浦の増加が著しい。その後北浦の生産量は1970年まで4年間高い値が続き以後低下する。霞ヶ浦では1968年以降年による漁獲変動は大きいが高い漁獲量を維持し1971年以降は北浦より生産性は高く

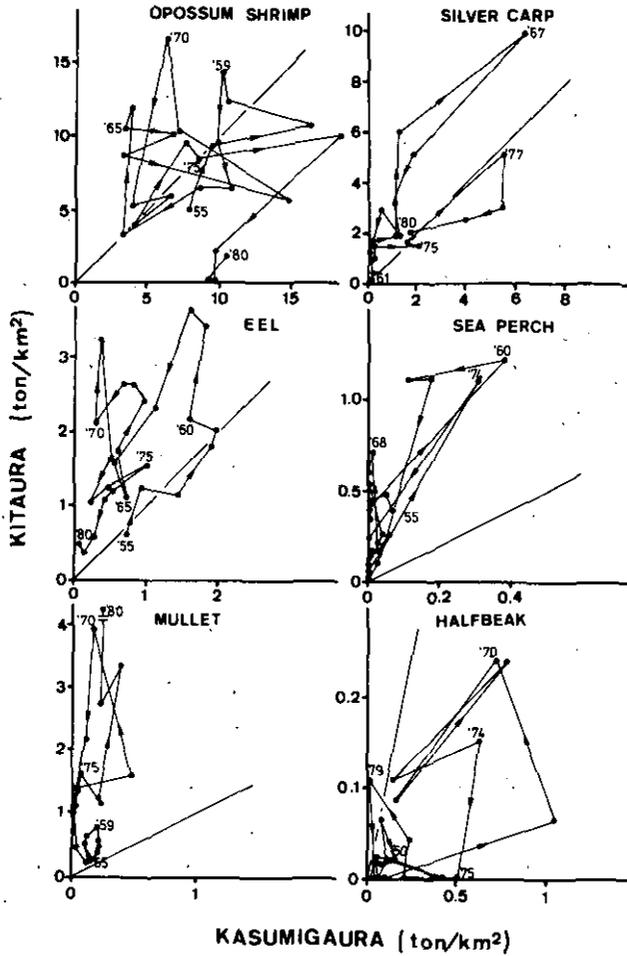


図 14 (つづき)

Fig. 14 (continued)

なっている (図 14)。

(4) エビ

霞ヶ浦におけるエビの生産は 1966 年以前は 200~1,000 t の間で平均 424 t, 北浦では 40~180 t の間で平均 87 t である。1967 年以後両湖とも著しいエビの漁獲量増加がみられ、霞ヶ浦では 1971 年まで増加が続き、その後ほぼ 3000 t 以上を維持し現在に至っている。一方北浦では 1969 年に 282 t とやや低い値はみられるが 1976 年まで高い漁獲高が維持された。1977 年以降はやや漁獲量が減少気味である (図 11, 12)。両湖のエビの単位面積当たりの生産量はどちらかの湖に一方的に偏ることがなく、1967 年以後漁獲増加の傾向がみられる。

(5) その他の魚類

ワカサギ、ハゼ、エビ以外に漁獲高の多い魚種にコイ、フナ、ハクレン、イサザアミがあり、また海から逆上するウナギ、スズキ、ボラがある。その他にシラウオ、サヨリなど漁獲され、それぞれに特徴的な漁獲年変動を示している。これ等魚種の単位面積当たり漁獲量の年変動を図14(a), (b)に示した。漁獲の増加しているものにコイとフナがあり、その増加は北浦で先行する。また霞ヶ浦のフナの生産高はそれほど増えず北浦の生産高のみが増加している。しかし1973年以降北浦の生産高はかなり速い速度で減少している。最近の資料ではフナの生産高は霞ヶ浦、北浦共に1964年以前の水準にまで低下している(関東農政局, 1983)。レン魚は霞ヶ浦・北浦共に1967年と1977年を中心に大量に漁獲される特徴的な様相を示し、その漁獲高は1967年に霞ヶ浦で1068t北浦で459t、また1977年には霞ヶ浦で926t北浦で237tと合計が1,000tを超え総漁獲高のほぼ1割にも相当している。イサザアミとサヨリは不規則な変動を示し、イサザアミは近年北浦でほとんど漁獲されていない。またサヨリは霞ヶ浦の生産性が著しく高い。海産魚ではウナギとスズキの漁獲量が著しく減少しているがボラでは漁獲量が、特に北浦で増加している。

(6) コイ網生けす養殖生産量

霞ヶ浦のコイ養殖は1965年より本格的に行われ1975年まで指数関数的に生産量が増加した。しかしその後の生産量はほぼ安定し6,000~8,000tの間にあり現在に至っている(図11)。一方北浦のコイ網生けす養殖は1970年頃まで極めて少なく、その後増加したが1974年のピークに達し1300tばかりの生産となり1,000t前後の生産量を維持し現在に至っている(図12)。両湖の単位面積当たりのコイ網生けす生産量は近年霞ヶ浦が40~50t/km²で北浦の20~30t/km²を上回っている(図15)。

5. 富栄養化要因分析

霞ヶ浦及び北浦の富栄養化の指標として両湖の4月から11月までの平均透明度を用い、この透明度の年変動に対する冬期(12~3月)の透明度、夏期(7~9月)及び冬期(12~3月)の平均水温、その年1年間の平均塩素量濃度、コイ網生けす養殖の生産量、魚種別漁獲量の年変動の相関を調べた(表1)。

霞ヶ浦の夏期透明度の変動に最も良い相関を示したのは魚種別漁獲変動でハゼでは相関係数が-0.6401、エビ-0.6257、コイ-0.5173、フナ-0.5013、ワカサギ0.5999、シラウオ0.5734などで、ハゼ、エビ、コイ、フナなどは負の相関を示し、ワカサギ、シラウオでは正の相関がある。これらの中でハゼが最も高い相関があり有意水準0.1%で有意となり(図16)、他は1%有意水準である。次いで冬の透明度($p < 0.01$)、コイ網生けす生産量($p < 0.05$)が相関を持つが、水温や塩素量濃度は相関が認められない。一方北浦では夏期及び冬期の水温が負の、また冬期の透明度、コイ養殖量、ハゼの漁獲量に正の相関が認められたが、いずれも有意水準は5%で高い相関があるとは言

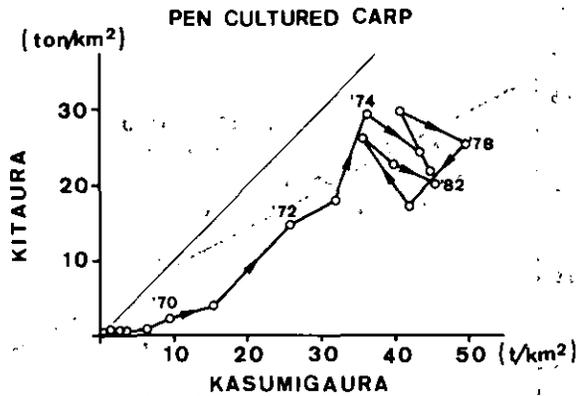


図 15 霞ヶ浦及び北浦の単位面積当たりコイ網生けす養殖生産量変動の比較
 Fig. 15 Comparison in net pen cultured carp yield per unit area between Kasumigaura and Kitaura

表 1 霞ヶ浦及び北浦の夏期透明度と環境要因の相関

Table 1 Correlation coefficients for mean transparency in summer season with environmental factors

MEAN TRANSPERENCY (APR-NOV)	MEAN TRANSPERENCY (DEC-MAR)	MEAN WATER TEMPERATURE		MEAN CHLORINITY (JAN-DEC)
		(JUL-SEP)	(DEC-MAR)	
KASUMIGAUURA	0.5469(21)**	0.1325(22)	0.0044(21)	-0.0076(25)
KITAURA	0.5437(13)*	-0.5637(14)*	-0.5664(15)*	-0.3363(15)

MEAN TRANSPERENCY (APR-NOV)	PEN CULTURED CARP PRODUCTION	FISH CATCH	
		GOBY	WAKASAGI
KASUMIGAUURA	-0.4841(25)	-0.6401(25)***	0.5999(25)
KITAURA	0.5193(15)	0.4324(20)*	-0.1612(20)

() number of data, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

えない。またワカサギの漁獲高、塩素量濃度との相関は示されなかった。

6. 考 察

湖沼の富栄養化は栄養塩の外部負荷量の多少ばかりでなく深度や水の滞留時間により規定されることが明らかにされた (OECD, 1982)。それでは一つの湖沼の富栄養化は栄養塩の外部負荷量の変化のみで決定されるのであろうか。また栄養塩の流入量を規制すれば富栄養化は解決するのであろうか。

霞ヶ浦の富栄養化状態を透明度から見る限りでは70年以上昔の1911年前後においても既に夏期平均透明度は150cm程でOECDレポート(1982)の規準によってもかなり進んだ富栄養化状態

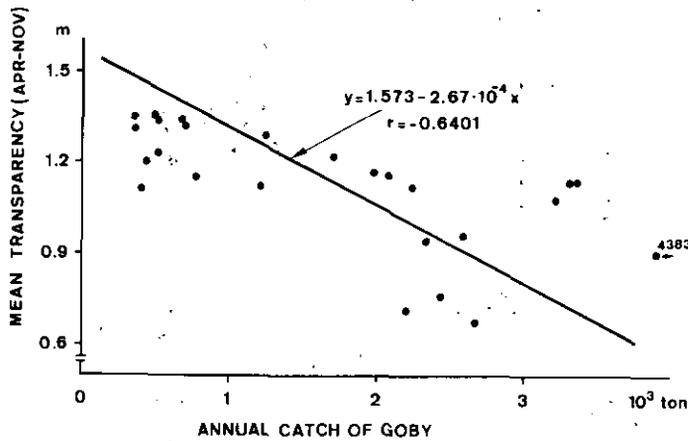


図 16 霞ヶ浦における夏期透明度とハゼ漁獲量の関係

Fig. 16 Correlation between secchi disk transparency in summer and annual catch of goby in Lake Kasumigaura

であることがわかる。このように富栄養化した湖にその後の人間活動が加わってさらに現在の富栄養化状態(透明度が夏期で90cm内外)に達したものと思われる。この間の透明度の変化については Todaら(1981)は1965年まで徐々に低下し、1965年以降は養豚、工場、コイ養殖など人間活動の拡大により急速に悪化したと推察した。一方浜田・津田(1976)は1964年まで行われた風力に頼る帆引網漁業が1965年から機械引漁業に変わりワカサギ資源を枯渇させ、それに変わる底生生物食性のハゼ・エビが著しく増加したため底泥からの栄養塩の回帰が増加し富栄養化が引き起こされたものだと考えた。また春日(1981)は湖内の魚類現存量調査により漁業活動などにより生物相が単純化し、単一種又は特定種の異常増殖により湖内生物量が著しく増大し、その摂食排せつ活動が富栄養化に影響を与えていること、特にその中でイサザアミの役割を重視した。これらの外部負荷増加説、内部負荷増加説のいずれが霞ヶ浦において重要な役割を負っているのだろうか。残念ながら外部負荷量を推定する資料がない。あるいは農工業生産や人口変動を用いることもできるかもしれないがここでは確実に直接湖に投入されているコイ養殖のえさの量の目安となる網生けすコイ生産量を栄養塩の外部負荷指標の一つとして用いた。コイ網生けす養殖は近年霞ヶ浦に流入する全リン量のうち21.6%を占めるとされている(茨城県水質審議会, 1981)。一方内部負荷量は夏期における藻類の著しいブルーム時に底泥から栄養塩が回帰していることが予想された(津野ら, 1977; 大概ら, 1979; Otsuki *et al.*, 1981)。しかし底泥からの栄養塩回帰のメカニズムに関しては不明な点が多く回帰抑制法の評価が行える段階ではない。そこで湖内の生物相を反映しているであろうと思われる漁獲統計資料による魚種別漁獲量の年変動を湖内生態系構造の指標として用い内部負荷への役割を評価した。また海からの海水の流入や湖水の流出量

の変化が富栄養化に関係を持つかどうかを塩分濃度の変化により評価することを試みた。また霞ヶ浦では1965年以後それまで主体であった帆引網漁業が機械化されトロール網漁に変わり、極めて能率良く漁業が行われるようになった。一方北浦ではワカサギ資源保護のため、一部の水域のトロール網漁を許可はしたが大部分の水域では従来どおりの帆引網漁業が1982年まで行われてきた。しかし1983年にはついに北浦も全域でトロール網漁が許可され帆引網はほとんど姿を消した。このような漁法の違いは両湖の漁獲物組成にはっきりした違いを示し、北浦でのワカサギ漁獲量減少が起らないのに反し霞ヶ浦では著しい漁獲減少がみられる。このような両湖の生物相の違いが富栄養化とどのようにかかわっているかを検討した。

さて、霞ヶ浦の夏期透明度に最も高い相関を示したのが魚類、特にハゼの漁獲量変動であった。またその他の魚類においても漁獲量の多い種では比較的高い相関を示した。しかしコイ養殖生産量は良い相関が得られず、さらに水温や塩分濃度は相関が示されなかった。これらのことは霞ヶ浦の富栄養化の経年変化に対し、水温や塩分濃度の変化、すなわち海水の湖への流入はほとんど影響を与えていないものと思われた。湖内の生態系構造の変化は、コイ養殖にみられるような栄養塩の外部負荷より湖の富栄養化に強い影響を与えていることを示している。一方北浦の夏期透明度は与えられたパラメーターの範囲では、際立って高い相関を示すものが見当たらないが、相関のみられるものは冬期の透明度、夏期及び冬期の水温、コイ養殖の生産量、ハゼの漁獲量である。この中でコイ養殖の生産量は正の相関が示されている。しかし、投餌による栄養塩負荷の増加により透明度が上がることは考えられず、因果関係が逆である。またハゼの漁獲量の変動との相関も霞ヶ浦では逆相関であるのに対し正の相関が示されている。さらにワカサギでは相関がみられない。これらのことは北浦の富栄養化が、ここで示したパラメーター以外の要因、例えば外部からの栄養塩流入の大きな変化や湖内の水の流れの変化などにより影響されているのかもしれない。かつてはでん粉工場からの廃水が流入していた(津田ら、1965)が現在は無い。また鹿島工業地帯への工業用水のため最近では流入水量の1/4が取水されている。また魚類の漁獲量の湖内生産に対する漁獲率が一定であるか又は極めて高ければ漁獲量は湖内生物相や現存量又は生産量を反映するが、漁獲率が低く不安定であれば漁獲量変動は湖内生態系構造を反映しない。霞ヶ浦の帆引網時代のワカサギ漁獲量が風の強さに依存していることが知られており(加瀬材・中野、1961)、漁業生産高が風力などの偶然性に左右される可能性がある。北浦では近年まで帆引網を主体とした漁業が行われており、漁獲高が湖内の魚類現存量や生産量を良く反映しない危険性があり、それゆえ湖内生物量と富栄養化の指標である夏期透明度の間の相関が正しく反映されなかった可能性もある。いずれにしろ北浦の富栄養化支配要因には特に際立ったものがなく外部負荷、内部負荷など複合要因が現在の富栄養化状態を決定しているように思われる。また北浦では冬期の透明度が霞ヶ浦に比べ著しく高くその原因がどこにあるか明らかでないが興味深い。両湖の湖面積は北浦が霞ヶ浦の1/4であり湖岸線が北浦がやや複雑であるほか、水深、集水域面積比は良く似ている(表2)。北浦の夏冬の透明度の差が大きいのは1911年頃にもその傾向がみられ、湖の

表 2 霞ヶ浦及び北浦の構造

Table 2 Morphometrical Parameter of Lakes Kasumigaura and Kitaura

	KASUMIGAURA	KITAURA
SURFACE AREA, (A), km ²	167.7	38.7
VOLUME (V), 10 ⁶ m ³	670.8	154.8
MEAN DEPTH (Z), m	4	4
MAXIMUM DEPTH (Z _m), m	7.3	7.0
SHORELINE (L), km	121	75
SHORELINE DEVELOPMENT (D _s)	2.64	3.40
CATCHMENT BASIN AREA (C), km ²	1597.0	394.5
C/A	9.52	10.19
INFLOW (I), 10 ⁶ ton, 1979*	975.5	396.9
INDUSTRIAL AND TAP WATER SUPPLY, 10 ⁶ ton, 1979*	20.5	104.4

* from Muraoka (1981)

地形学的違いによるものではないかと推察される。

湖沼の富栄養化はまず第1に栄養塩の流入増大から始まることは間違いない。しかしながら霞ヶ浦のように既に古くから富栄養化した湖がさらに富栄養化を進行させる過程で様々な複合された要因が関係してきたであろう。それ等の要因の解析は進行した富栄養化を改善する上で極めて重要である。湖の富栄養化過程はそれぞれの湖でそれぞれに個性的なものであろう。特に霞ヶ浦は漁業生産上での利用度においては他に類を見ないほど高い湖である。このような漁業活動による生態系構造の改変が富栄養化を促進する最大の要因であることはここで初めて明らかにされた。霞ヶ浦の富栄養化を解決するための栄養塩の流入量制限がどの程度必要か、また流入量制限が既に湖底に栄養塩を蓄えた霞ヶ浦でどの程度の効果を上げ得るかが明らかにされていない現在生態管理による富栄養化防止の検討は意味を持つ。特に湖の生態系管理が漁業生産を犠牲にして行われるのではなく、上位の捕食者であり浮魚であるワカサギの現存量を殖やし、湖底から栄養塩を回帰させる動物の現存量を低下させることは経済性の高いワカサギの生産量を増加させることとなり富栄養化防止とは矛盾しない、このような漁業生産管理は巨大な土木工事と異なりばく大な費用を必要とせず、生物の再生産過程を利用した危険の極めて少ない手段と言える。

7. まとめ

1) 霞ヶ浦及び北浦の富栄養化の原因を解析するための富栄養化指標として透明度を用いこれに対する栄養塩流入負荷の指標となるコイ網生けす養殖生産量、湖内生態系構造の指標となる魚種別漁業生産量、海との水交換量指標となる塩素濃度、それに水温の経年変化との相関を求めた。

2) 霞ヶ浦では透明度の経年変化はハゼ・ワカサギなど漁獲量の多い魚種の漁獲高の経年変化

と最も高い相関を示した。またコイ養殖生産量は相関がみられたが塩素濃度、水温の経年変化とは相関がみられなかった。

3) これらのことは霞ヶ浦の富栄養化要因には外部流入負荷の増大より湖内生態系構造の変化による内部負荷増加の方が大きな影響を与えていることを示唆した。

4) 北浦の富栄養化は霞ヶ浦が汚染の悪化が進んでいるのに反し透明度が上がり改善の傾向がみられ、ワカサギの漁獲増加などの傾向がみられるが魚種別漁獲高の推移と透明度の間に相関がみられず、生態系構造の変化ばかりでなく様々な要因が北浦の富栄養化に関与している可能性を示唆した。

謝 辞

稿を終るに当たり資料を心良く提供下さった茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所、茨城県内水面水産試験場、気象庁館野高層気象台観測第二課の方々には厚くお礼申し上げる。また国立公害研究所安野正之室長には原稿の校閲と御助言を頂いたことに感謝申し上げる。

引 用 文 献

- 1) Andersson, G., H. Berggren, G. Cronberg and C. Gelin (1978): Effects of planktivorous and benthivorous fish on organisms and water chemistry in eutrophic lakes. *Hydrobiol.*, **59**, 9-15.
- 2) Bengtsson, L. (1975): Phosphorus release from a highly eutrophic lake sediment. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, **19**, 1107-1116.
- 3) Edmondson, W. T. (1977): Recovery of lake Washington from eutrophication. In "Recovery and Restoration on Damaged Ecosystems" eds. J. Cairns, Jr., K. L. Dickson and E. E. Herricks, University Press of Virginia, Charlottesville, 102-109.
- 4) Grygierek, E., A. Hillbricht-Ilkowska and I. Spodniewska (1966): The effect of fish on plankton community in ponds. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, **16**, 1359-1366.
- 5) 浜田篤信・津田勉 (1976): 霞ヶ浦の富栄養化に関する研究-III, ——窒素収支について——, 茨城県内水試調研報, No 13, 29-43.
- 6) Henrikson, L., H. G. Nyman, H. G. Oscarson and J. A. E. Stenson (1980): Trophic changes, without changes in the external nutrient loading. *Hydrobiol.*, **68**, 258-263.
- 7) Hrbáček, J., M. Dvořáková, V. Kořínek and L. Procházková (1961): Demonstration of the effect of the fish stock on the species composition of zooplankton and the intensity of metabolism of the whole plankton association. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, **14**, 192-195.
- 8) 茨城県水質審議会 (1981): 霞ヶ浦の水質浄化の方策。中間報告, 茨城県。
- 9) 春日清一 (1981 a): 霞ヶ浦高浜入最奥部入江における魚類, イサザアミ, テナガエビの現存量推定と栄養塩帰帰への寄与, 国立公害研究所研究報告, 第 22 号, 159-169.
- 10) 春日清一 (1981 b): 霞ヶ浦の富栄養化と動物たち, 環境情報科学, **10**, 69-75.
- 11) 春日清一 (1982): イサザアミ (*Neomysis intermedia*)の食性とその霞ヶ浦における生態的地位, 国立公害研究所調査報告, 第 22 号, 139-147.

- 12) 加瀬林成夫・中野勇 (1961) : 霞ヶ浦におけるフカサギの漁業生物学的研究VI. 茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所調査研究報告, No. 6, 1-46.
- 13) 関東農政局茨城統計情報事務所 (1983) : 昭和57年内水面漁業, 養殖業生産量. 農林水産統計速報 58-14 (水-3) 1-4.
- 14) Lamarra, V. A. (1975): Digestive activities of carp as a major contributor to the nutrient loading to lakes. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, **19**, 2461-2468.
- 15) OECD (1982): *Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control*. OECD, Paris, 154 p.
- 16) Ostuki, A., S. Kasuga and T. Kawai (1981): Seasonal changes of the total phosphorus standing crop in a highly eutrophic lake: the importance of internal loading for shallow lake restoration. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, **21**, 634-639.
- 17) Peterson, A. A. (1979): Dredging and lake restoration. In "Lake Restoration." Proceedings of a National Conference, August 22-24, 1978, Minneapolis, Minnesota, U. S. E.P.A. Washington D.C., p. 105-114.
- 18) Shapiro, J., V. Lamarra and M. Lynch (1975): Biomanipulation: an ecosystem approach to lake restoration. In "Proceedings of a Symposium on Water Quality Management through Biological Control" Eds. P. L. Brezonik and J.L.Fox, 85-96. *Dep. Environ. Engin. Sci. Univ. Florida, Gainesville, Fla.*
- 19) Toda, H., M. Takahashi and S. Ichimura (1982): Abundance and life history of *Neomysis intermedia* Czerniawsky in Lake Kasumigaura. *Hydrobiol.*, **93**, 31-39.
- 20) 津田勉・清水当干・加瀬林成夫・浜田篤信 (1965) : 北浦の水質について. 茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所調査研究報告, No. 7, 19-33.
- 21) Vollenweider, R. A. (1968): *Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication*. Tech. Rep. DAS/SCI/68. 27, OECD, Paris.
- 22) Vollenweider, R.A. and J.J. Kerekes (1980): Background and summary results of the OECD cooperative program on eutrophication. In "Restoration of lakes and inland water", EPA 440/5-81-010, 25-36, U.S. E.P. A. Washington, D.C.

霞ヶ浦におけるひき網漁業の実態分析

Survey Analysis of Isaza-gorohiki Ami and Trawling in Lake Kasumigaura

北畠能房¹・春日清一²・小沼洋司³

Yoshifusa KITABATAKE¹, Seiichi KASUGA² and Yoji ONUMA³

Abstract

The survey was executed from April 1981 to March 1982, where ten fishermen, employing the specific fishing gears of Isaza-gorohiki ami and trawling, were asked to write down the daily results of fishing operation. The items included in the survey were: (1) the type of fishing gears employed; (2) the fishing efforts involved, such as fishing hours per day; (3) the species composition of the catch. Legal aspects of fishing operation are summarized as follows: In Lake Kasumigaura, trawling is restricted to the period between 21 July and 31 December, where the fishing gear of Isaza-gorohiki ami is allowed yearround except the period between 21 January and the end of February.

The survey results of five experienced fishermen show that (1) every fisherman employs the fishing gear of Isaza-gorohiki ami in April through 20 July and of trawling in the period between 21 July and 31 December, where the gears of gill net and Isaza-gorohiki ami were employed in January through March; (2) Species composition of catch varies seasonally, such that opossum shrimp was dominant in spring, goby and freshwater shrimp were dominant in summer and fall, and in winter the dominant species was silver carp; (3) economic backgrounds of fishing operation are clarified such that fishermen are observed to go fishing if they can gain, in average, the daily revenue of at least 12 thousands yen and that fishermen seem to employ the type of fishing gear which is time effective in obtaining more than the minimum daily revenue stated above.

-
1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2号
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
 2. 国立公害研究所 生物環境部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2号
Environmental Biology Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
 3. 昭和57年度国立公害研究所客員研究員(茨城県内水面水産試験場 〒311-35 茨城県行方郡玉造町甲1560)
Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present Address: Freshwater Fisheries Experiment Station Ibaraki Prefecture, Tamatsukuri-machi, Ibaraki 311-35, Japan.

1. はじめに

国立公害研究所は、昭和56年4月1日より昭和57年3月31日の1年間にわたり、出島漁業協同組合に委託して「いさざごろひき網・トロールひき網漁業者実態調査」(以下では“第2次調査”と略称)を実施した。調査内容は、霞ヶ浦(西浦)において、いさざごろひき網漁業及びトロールひき網漁業に従事している漁業者の方々10名に、操業日誌を出漁日ごとに記入してもらうことであつた。

本稿では、この調査結果を分析することによって、霞ヶ浦におけるひき漁業の操業実態を明らかにすることを試みる。まず、第2節では、第2次調査において対象とされた漁業者の代表性についてみてみる。亦なわち、国立公害研究所が昭和53年6月1日から9月30日を対象期間として実施した「霞ヶ浦水質汚濁の漁業に及ぼす影響に関する調査」(以下では“第1次調査”と略称)(北島・青木, 1981)との関連において、対象者が平均的漁業者に比べてどのような位置にいるかを明らかにする。

第3節では、国立公害研究所の行った二つの調査の両方に有効回答を寄せた漁業者5名の操業日誌に基づいて、霞ヶ浦におけるひき漁業の実態分析を行う。

2. 対象とされた漁業者の代表性

第2次調査において操業日誌の記入を担当した漁業者10名のうち、5名は第1次調査にも有効回答を寄せている。ここでは、第1次調査結果との関連において、これら5名の漁業者(以下では“対象者”と略称)の属性を明らかにすることを試みる。

表1は、第1次調査への回答者450経営体(漁家)の経営体特性を示している。表1の農業収入欄において変動係数が大きいことからわかるように、ひき漁業に従事する経営体の中には田畑の耕作以外に、養豚業に従事する場合があります、このことが農業収入のばらつきを大きくしてい

表 1 漁業種類別経営体特性 (第1次調査)

Table 1 General attributes of fishery households - Results of the first survey in 1978*

漁業種類 Fishing gear	回答した経営体数 number of households responding to the survey	回収率 return rate (%)	平均年齢 average age	年間推定農業収入(万円) estimated annual agricultural revenue in 10 thousands yen
いさざごろひき網 Isaza-gorohiki ami	138	53	46.6(0.18)	103.0(2.54)
トロールひき, 帆びき Trawling	122	34	47.3(0.19)	147.5(4.33)
張網 Fixed netting	275	51	53.4(0.21)	204.9(1.71)
養殖 Carp culture	81	39	47.7(0.29)	118.0(1.71)

* 括弧内は変動係数

coefficient of variation is indicated in parentheses

る。表1に示した平均的な経営体特性に対して、対象者の年齢は46~60歳(平均53.4歳)、田畑の所有面積は4~6反(平均4.96反)、蓄産については対象者のうち1人が豚50頭を飼育している。推定農業収入は平均で121.8万円であるが、1人(393万円)を除いて他はすべて50万円前後である。

表2は、第1次調査における魚種別漁獲量を、対象者と回答を寄せた全経営体との比較において示したものである。表1と表2から、対象者は、ひき漁業に従事する漁業者層において、農業への依存度は平均的であるが、やや年齢が高い。また経営体当たり水揚げ高は平均よりもかなり高くなっている。このことから、対象者は霞ヶ浦におけるひき漁業に熟達したベテラン漁業者であることがわかる。

表 2 第1次調査における漁業種別魚種別漁獲量—昭和53年6月~9月計
Table 2 Each species caught and total revenue in the four months period of June through September, 1978-Results of the first survey

	西浦トロール Trawling		いさざごろひき網 Isaza-gorohiki ami	
	全 体 total	第2次調査の対象者 surveyee of second survey	全 体 total	第2次調査の対象者 surveyee of second survey
経営体数 Number of households	86	5	138	5
経営体当たり漁獲量 Each species caught per households (kg)				
ワカサギ pond smelt	328.3	103.0	0	0
シラウオ Icefish	14.0	0	0	0
ハゼ Goby	2646.4	6100.0	2297.5	3765
エビ Freshwater shrimp	549.3	1200.0	2266.0	4792
イサザアミ Opossum shrimp	0	0	714.9	800
その他 Others	7.9	0	179.5	0
水揚げ高(万円) Total revenue in 10 thousands yen	57.6	95.1	66.0	124.8

3. 霞ヶ浦におけるひき漁業の実態

図1は、対象者の記入した操業日誌に基づいて、出漁日数を月別、漁業種別別に示したものである。これを見ると、1月から3月は主として、レンギョ(ハクレン)を漁獲対象とする定置漁業の掛網漁業に少数(実際は1人)の対象者が従事し、3月から7月(厳密にはトロール漁の解禁となる7月20日)まではいさざごろひき網漁業に、7月21日から12月まではトロール漁業に、ほ

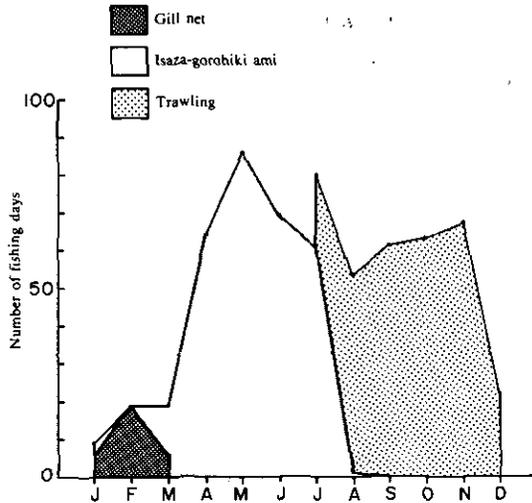


図 1 漁業種類別総出漁日数の月変動

Fig. 1 Monthly variation of fishing days and of fishing gears employed

ば全員の対象者が従事している。

表3は、操業データのまとめとして、出漁1日当たり魚種別漁獲量及び水揚げ高に関するデータを示したものである。ここで水揚げ高とは、操業日誌に記入された魚種別漁獲量に平均魚価を掛けたものを全対象者について月ごとに足し合わせたものである。用いた魚価データは、ハゼ(84.4円/kg)、イサザアミ(28.47円/kg)、エビ(214.24円/kg)、ワカサギ(505.8円/kg)、コイ・フナ(203.51円/kg)、レンギョ(36.7円/kg)である。表3から第1にわかることは、漁獲対象魚が季節的に変わっていることである。すなわち、1月から2月にかけてはレンギョ、3月から5月にかけてはイサザアミ、6月から12月にかけてはハゼ及びエビである。この漁獲対象魚の季節的な違いは、1月後半から2月にかけてひき網漁業が禁止されていることにもよるが、湖の生物組成の変化を反映している。第2に、平均水揚げ高の変動係数の示すように、4月及び9月、10月の出漁1日当たり平均水揚げ高のばらつきは小さい。

図2は、表2の水揚げ高及び平均水揚げ高をプロットしたものである。水揚げ高は、月ごとの出漁日数や漁獲量の変動を反映して、17万円から227万円と月ごとに大きく変化しているが、出漁1日当たり平均水揚げ高は1.2万円から3.61万円と変化の幅は小さい。このことから、漁業者の経済的論理として、少なくとも1日当たり1.2万円、平均すれば2万円ぐらいの水揚げ高が得られなければ出漁しないとといったものが、ひき網漁業者の営漁意志の背後にあることが推察される。また、図2や表3の示すように、1月、2月の掛網漁がかなりの平均水揚げ高をあげているが、これは近年の掛網によるレンギョ漁獲の増加と一致している。表4は、農林水産統計による集計結果(第2次調査と同一期間)を霞ヶ浦についてまとめてみたものである。農林水産統計は、精度の問題もあって月別データは公表していないので、表4はあくまで参考資料として見ていただき

表 3 操業データのまとめ

Table 3 Monthly results of fishery operation in the second survey (April, 1981 through March, 1982)*

Month	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
出漁日数(5経営体) Number of fishing days	64	86	69	80	53	61	63	67	22	9	19	19
出漁1日当たり平均操業時間 Mean fishing hours (h/d)	5.656	6.488	8.493	7.900	2.830	2.344	2.619	2.814	2.818	0	0	7.692
出漁1日当たり総漁獲量の平均値 Mean total catch (kg/d)	582.3	318.4	119.8	150.9	88.7	191.7	235.2	195.8	239.9	340.1	593.4	375.1
出漁1日当たり魚種別漁獲量の平均値 Each species caught per fishing day (kg/d)												
ハゼ Goby	0	22.8	57.0	67.9	59.1	72.1	114.9	145.8	136.2	10.6	0	0
イサザアミ Opossum shrimp	582.3	270.8	0	2.1	0	0	0	0	0	0	0	325.4
エビ Freshwater schrimp	0	23.9	62.5	78.5	26.5	119.0	118.1	48.4	102.7	18.8	0	0
ワカサギ Pond smelt	0	0	0.2	2.4	3.1	0.6	2.1	0.9	0.8	0	0	0
コイ・フナ Carp and crucian carp	0	0.9	0.1	0	0	0	0	0	0	19.9	0	37.8
その他 Others including silver carp	0	0	0	0	0	0	0.1	0.6	0.1	290.8	593.4	11.9
出漁1日当たり平均水揚げ高(万円/日) Mean total revenue per fishing day (10 thousands yen/d)	1.66 (0.27)	1.49 (0.43)	1.83 (0.49)	2.38 (0.53)	1.23 (0.62)	3.19 (0.18)	3.61 (0.23)	2.32 (0.61)	3.39 (0.46)	1.96 (0.52)	2.18 (0.51)	1.74 (0.59)
水揚げ高(万円) Total revenue (10 thousands yen)	106.09	128.43	126.43	190.43	64.93	194.36	227.25	155.34	74.64	17.68	41.38	33.04

* 括弧内は変動係数

Coefficient of variation is indicated in parentheses

たい。これを見ても、1月、2月におけるレンギョの漁獲量の総漁獲量に占める率は他の月に比べると高くなっている。それゆえ、上述の経済的論理としては、ある程度（例えば、少なくとも1.2万円）の水揚げ高が期待されれば出漁すると言い替えた方がよいかもしれない。

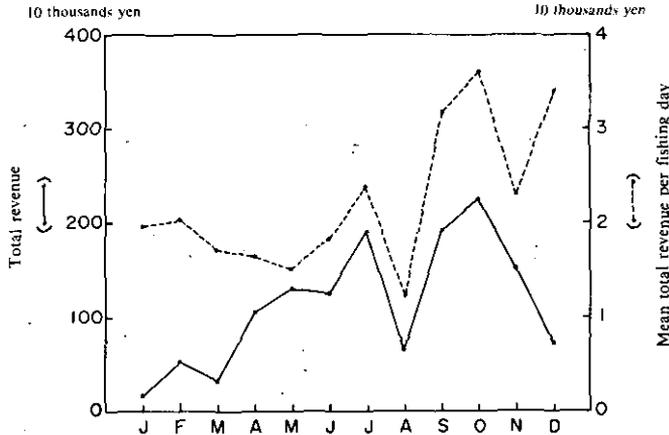


図 2 水揚げ高及び平均水揚げ高の月変動
 Fig. 2 Monthly variation of total revenue and of mean total revenue per fishing day

霞ヶ浦北浦水産事務所は、昭和52年1月現在、霞ヶ浦及び北浦でいさざごろひき網漁業許可を有する漁業者608名に対して、抽出率10%の抽出調査(回収率86%)を行っている。図3はその結果(茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所, 1979)の一つを引用したものである。これを見ても、漁家当たりの平均漁獲高は6月がピークになっており、8月から12月にかけては総じて低いことがわ

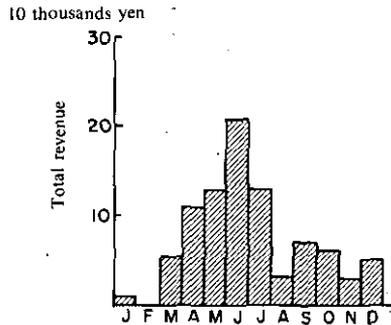


図 3 いさざごろひき網漁業による月別漁獲高 (1漁家平均)
 Fig. 3 Monthly variation of mean total revenue per fishery household employing the specific fishing gear of Isaza-gorohiki ami
 Source: Research report of the Kasumigaura-Kitaura Fisheries Office of Ibaraki Prefecture (1977).

表 4 霞ヶ浦における月別・魚種別漁獲量

Table 4 Monthly variation of fish caught at Lake Kasumigaura (April, 1981-March, 1982)

月 Month	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
総漁獲量 total catch (tonnes)	1041.1	906.4	1114.4	968.4	883.7	913.6	898.2	943.1	454.9	315.3	240.9	1031.3
魚種別漁獲量 each species caught (kg)												
ハゼ Goby	23,040	313,746	555,299	333,673	256,152	213,535	225,157	498,196	144,975	2,410	1,016	11,845
エビ Freshwater shrimp	38,448	163,135	271,082	458,690	466,172	544,268	491,831	274,615	170,491	47,230	29,294	29,586
イサザアミ Opossum shrimp	713,910	181,220	83,840	0	0	0	0	0	0	84,360	0	787,700
ワカサギ Pond smelt	0	0	3,407	36,502	22,572	19,964	15,875	12,324	5,079	1,837	0	4,756
コイ・フナ Carp and crucian carp	248,416	203,403	154,410	100,859	109,135	85,440	97,432	95,530	89,776	108,299	99,969	129,167
レンギョ Silver carp	3,190	10,190	10,290	2,852	2,852	0	5,552	5,122	24,320	62,993	104,950	62,170

出典：茨城統計情報事務所資料

Source: Ibaraki Statistics and Information Office

かる。また、表3の出漁1日当たり平均操業時間の月別変化を見てもわかるように、トロール漁業の平均操業時間は、操業時間の長さが漁業調整規則に制限されていることもあって、いさざごろひき網漁業に比べて短い。それゆえ、こういったことから次のように言いうる。すなわち、8月から12月にかけて対象者のほとんどがトロール漁業に従事している(図1)ことの理由の一つが、目標水揚げ高(出漁1日当たり少なくとも1.2万円、平均して2万円)をあげるには、トロール漁業の方がいさざごろひき網漁業に比べて時間効率の良いことにあるのかもしれない。

4. おわりに

本稿では、国立公害研究所が出島村漁業協同組合、茨城県内水面水産試験場の協力を得て、昭和56年4月1日より1年間にわたって実施した「いさざごろひき網・トロールひき網漁業者実態調査」の対象者のうち、対象漁業種類のベテラン漁業者5名の記入した操業日誌等に基づいて、霞ヶ浦におけるひき網漁業の操業実態について分析した。その結果、以下のことが判明した。

1) 3月から7月20日まではいさざごろひき網漁業に、7月21日から12月まではトロール漁業に、ほぼ全員が従事している。1月から3月にかけて1名が掛網漁業に従事している。ここで、夏から12月にかけてのトロール漁業の全盛は、一定の目標水揚げ高をあげる上でトロール漁業の時間効率が良いことを反映しているのかもしれない。

2) 1月から2月にかけてはレンギョ、3月から5月にかけてはイサザアミ、6月から12月にかけてはハゼ及びエビという具合に、季節的にみて、漁獲対象魚の明らかな変化がみられる。

3) ひき網漁業に従事するベテラン漁業者の営漁意志を支える経済的背景として、少なくとも1日当たりの水揚げ高として1.2万円以上期待されれば出漁する、といった判断基準を各人が持っていることが考えられる。

4) 近年、湖の富栄養化を防止する一つの対策として、湖生態系の管理の必要性が指摘されている。それゆえ、湖の環境保全と生業としての漁業活動の関係を考慮していく際に、漁業者の営漁意志の背後にあると思われる上述した経済的条件をどのように扱っていくかは今後の検討課題である。

引用文献

茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所(1979):昭和52年霞ヶ浦北浦漁家経済調査報告書—イサザゴロひき網漁業について。

北島能房・青木陽二(1981):霞ヶ浦漁業における水質汚濁影響に関する実証的研究。国立公害研究所研究報告,第24号,27-51.

魚群探知機による霞ヶ浦のイサザアミ資源量
の推定に関する研究

**Studies on Acoustic Estimation of *Neomysis intermedia* Biomass in
Lake Kasumigaura**

立川賢一¹・稲垣 正¹・春日清一²
北畠能房³・田中昌一¹

Ken-ichi TATSUKAWA¹, Tadashi INAGAKI¹, Seiichi KASUGA²
Yoshifusa KITABATAKE³ and Syoiti TANAKA¹

Abstract

The stock of *Neomysis intermedia* was investigated using the Biomass measurement system with echo sounder (BMSE) in winter of 1981 to 1982, in Lake Kasumigaura.

It was ascertained by observations with nets and a underwater television that the presence of *Neomysis* concentrations were detectable with the echo sounder as the acoustic scattering layer in the lake. The density of *Neomysis* was calculated from the basic sonar equation applying the observed values of the scattering volum strength (SV). The density estimates thus obtained showed a high correlation with that from the netsampling data. The stock biomass in the whole lake was calculated by the density in m² times the areas in Km². The biomass estimated from nighttime data was four to eight times larger than that from daytime data, because the *Neomysis* was distributing just on the lake bottom in a daytime and the echo pulses could not be separated from the bottom's echo pulses. The stock biomass estimated in a daytime in May increased by about two times that of December.

It is shown that the BMSE is a useful instrument for estimating the biomass and obtaining the ecological informations of *Neomysis intermedia* in Lake Kasumigaura.

-
1. 昭和 56, 57 年度 国立公害研究所客員研究員 (東京大学海洋研究所 〒164 東京都中野区南台 1-15-1)
Visiting Fellow of The National Institute for Environmental Studies. Present Address: Ocean Research
Institute, University of Tokyo, Minamidai, Nakano-ku, Tokyo 164, Japan.
 2. 国立公害研究所 生物環境部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川 16 番 2
Environmental Biology Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba,
Ibaraki 305, Japan.
 3. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川 16 番 2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305 Japan.

1. はじめに

平均水深が10mに満たない浅水湖沼の多くは富栄養湖となっており、それよりも水深の深い湖沼に比べて生物生産量の多いことが知られている(立川, 1982)。我が国で第2位の面積をもつ霞ヶ浦(西浦)は、平均水深が4m弱で、富栄養化が著しく進んだ湖である。この湖での年間総漁獲量は、1970年代を平均すると11,000tで、そのうち51%が魚類で占められている。また養殖によるコイの年間平均収獲量は、この10年間で5,000tにもなる(農林水産省統計情報部, 1982)。

春日(1981, a, b, c)は、霞ヶ浦において、漁業対象となる比較的大型で現存量の多い水生動物が、食物連鎖を通じて、富栄養化を促進する重要な役割を担っている、と指摘している。しかしながら、霞ヶ浦において、これら大型動物が、どのような生態学的地位にいいのか、あるいは物質移動に関してどのような経路に位置しているのかなど、湖沼系における大型動物の役割に関する情報は、現在のところ少ない(立川, 1982)。

著者らは、国立公害研究所の特別研究「陸水域の富栄養化防止に関する総合研究」に参加し、1981年5月から「湖沼系における物質移動に関する研究」の一環として、「霞ヶ浦における水産動物の現存量の推定」について研究を始めた。霞ヶ浦において漁獲量の多い種類は、1980年では、テナガエビ(37%)、ハゼ類(24%)、イサザアミ(18%)、コイ(14%)、フナ(7%)、レンギョ(7%)の順となっている。エビ・ゴロ網で漁獲される動物の現存量推定及び食性に関する研究は、茨城県内水面水産試験場の小沼洋司氏のグループが担当した(小沼, 1982)。そこで、著者らは魚群探知機による音響資源調査を行い、特に1950年代には総漁獲量の50%も占めていたイサザアミ(*Neomysis intermedia*)の、現存量推定のための研究を、分担することにした。

このイサザアミの資源量については、1963年の常盤川逆水門完成による霞ヶ浦の淡水化に伴う現存量の減少予測があり(村野, 1966)、また水産経済的価値の低下のために、これまであまり注目されなかった(春日, 1981, b)。しかし、最近では年間約1,700tの水揚げが報告されており、また、春日(1981, b)により、霞ヶ浦における冬期のイサザアミ資源量は1978年には9,500tであったと推定された。さらに、イサザアミは資源量が極めて大きいというだけでなく、霞ヶ浦における栄養塩の循環に対して非常に重要な役割を担っている、という指摘もされた(春日, 1981, a, b, c)。特に、イサザアミ資源量の季節的変動過程が夏のワカサギ漁獲量の多少や、アオコの発生量に、重要な関連をもっている、とも推測された(春日, 1982)。

ところで、イサザアミの現存量は、これまで、プランクトンネットやイサザアミ専用のソリ付ネットによる生物採集量をもとに推定された(春日, 1981b; 戸田, 1982; Toda *et al.* 1982)。また、いさざごろひき網による漁獲量も現存量の指標として利用されてきた。しかしながら、イサザアミの漁獲量を資源量の相対値とするには、漁獲量の制限など事前に検討しなければならない要因が多く、その上複雑でもある。さらに、ネットサンプリングに要する努力量はばく大であり、定期的サンプリングによりイサザアミの資源量を長期間にわたり推定することは、容易ではない。そこで、将来におけるモニタリング計画立案を配慮し、イサザアミ資源量をクイックアセ

メントするための一つの方法として、音響資源調査法（青山，1978）を用いることを試みた。

一方、最近では計量用魚群探知機（略称：計量魚探，俗称：科学魚探）を用いたオキアミ類の資源量推定の研究が盛んである（Greenlaw, 1977, 1979；Sameoto, 1976, 1980；中山, 1982）。この積分方式の計量魚探システムは、クイックアセスメント手法の中で最も有望視されているが、しかしまだ多くの問題を残している（古澤, 1983, 古澤・宮野鼻, 1983）。市販の計量魚探では、5m以浅層での計測は有効でなく、かつ高価で大規模であるため、霞ヶ浦のような浅水湖沼においてはまだ実用に耐えない。そこで今回の調査では、東京大学海洋研究所、青山研究グループ（青山, 1982）により開発されてきたクイックアセスメント技法の考え方を基礎に、調査計画を立てた。そして、霞ヶ浦での調査に適した方法に改良・発展させた（稲垣ら, 1983）。

この報告では、まず、今回調査に用いた魚群探知機及びデータ処理システム（略称：魚探計量システム）の概要を説明する。霞ヶ浦での調査は合計6回行われたが、イサザアミ資源量推定のための完成された魚探計量システムを用いて、初めから定期調査が行われた訳ではない。調査の進展に伴って魚探記録像の主体確認に至るいくつかの検討がなされた。得られた魚探記録のいくつかについて、その経過を簡単に説明する。主体確認されたイサザアミの現存量は、1981年12月の調査を規準にして、1982年3月と5月との計3回推定された。霞ヶ浦全域におけるイサザアミの資源量を求めるために、この結果からいくつか粗計算を試みた。最後に、浅水域の湖沼における音響資源調査の有効性、及び定期観測の可能性について考察を行った。

2. 魚群探知機による生物量計量システム

海洋におけるマイワシ等の魚群量を推定するために、稲垣ら（1980）と青山（1982）は魚群探知機による魚群量計量システム（略称：魚探計量システム）を開発した。今回の調査では、この魚探計量システムの基本的考え方を採用したが、霞ヶ浦の環境特性と、対象生物の生態等を考慮して、システムにおける機器や、現存量推定方法を一部変更、修正した。

今回用いた魚探計量システムのブロックダイアグラムを図1に、またその構成主要機種の仕様を表1に示した。魚探計量システムは、データ採集部（魚群探知機）、データ収録部（データ・レコーダ）及びデータ処理・解析部（マイクロ・コンピュータ）とで構成されている。このシステムについては、既に稲垣ら（1983）が報告し、また詳細を投稿準備中であるので、ここではそれぞれの概要についてのみ述べることにする。

(1) データ採集・収録部

魚群探知機（略称：魚探）は古野電機社製 FUG-11 型を一部改造して用いた。この魚探の送受波器から発射された超音波は、水中の反射体（例えば、イサザアミ群など）に当たり、反射して送受波器に帰来する。受波された超音波は、ここで電気信号に変換される。次にその信号は、アテネータにより適度に減衰されてから、増幅、変調、整流される。そして、データレコーダ (TEAC

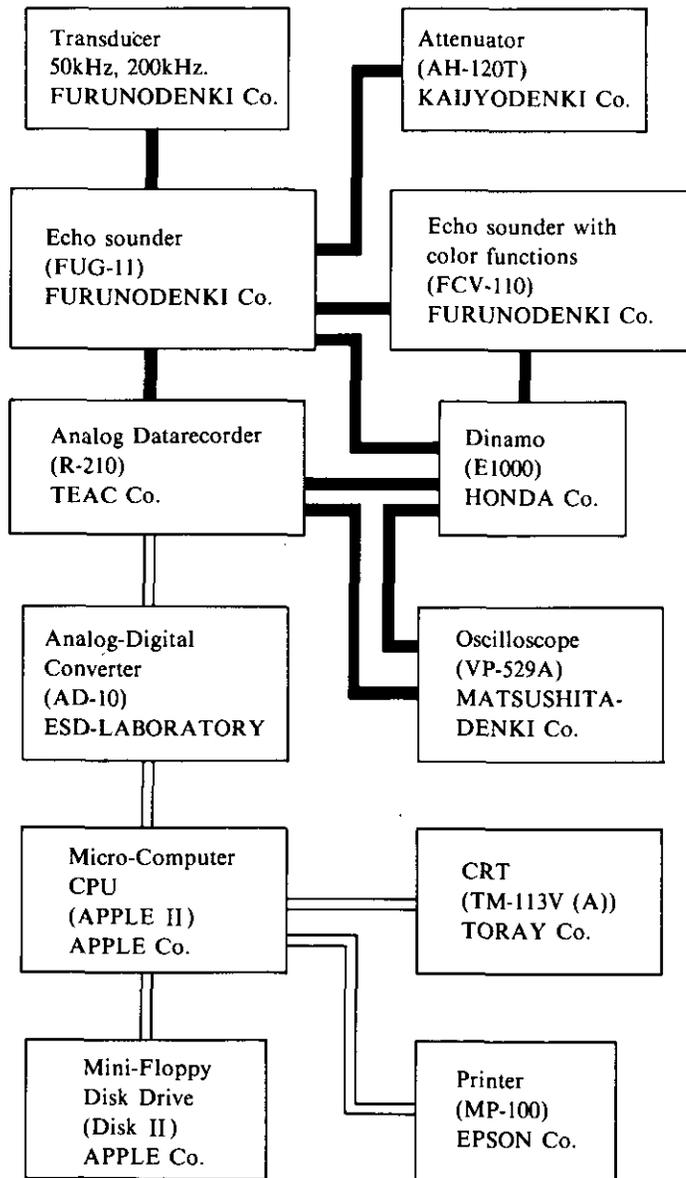


図 1 魚群探知機による生物量計量システムのブロック・ダイアグラム

Fig. 1 The block-diagram of the Biomass measurement system with echo sounder (BMSE)

社製 R210 型)により録音用テープに、アナログ信号として収録される。データの入力状況は、オシロスコープでモニターすることができる。以上がデータ採集・収録方法の概要である。

使用魚探は 2 波の周波数を備えているが (表 1), イサザアミ資源量の推定のためには 200kHz の周波数を用いた。この送受波器の発振パルス幅は 0.5m*s, 発振回数は 1 分当たり 300 回である。送受波器の設置深度を 0.5m とし, 調査船の舟べりに装備した。

表 1 魚群探知機による生物量計量システムを構成する主要機種の様概
 Table 1 Specifications of main instruments which constitute the biomass measurement system with echo sounder (BMSE)

Instrument	Type	Maker	Specification
Echo sounder	FUG-11	FURUNO-DENKI CO.	Multipen form Range of depth (50, 100, 200, 400m) Frequency (50kHz, 200kHz) Pulse duration a) 50m : 0.5m b) 200m : 2.0m
Echo sounder with color functions	FCV-100	FURUNO-DENKI Co.	11 inches color CRT with eight colors
Attenuator	AH-120T	KAIJYO-DENKI Co.	0 to 120 dB
Analog Datarecorder	R-210	TEAC Co.	Four channels (FM-3, DR-1) Tape speed with three leves
Oscilloscope	VP-529A	MATSUSHITA-DENKI Co.	DC ; 10MHz, two phases
Analog-Digital Converter	AD-10	ESD LABORATORY Co.	1 channel, Input ± 5 volts Separation ability : 12 bits Treatment time for A/D conversions : about 20 μ
Micro-Computer	APPLE II system	APPLE Co.	Color graphic function Hard copy function

(2) データ処理部

データレコーダにより再生されたアナログ信号は、A-D変換器を通じて、デジタル化され、マイクロ・コンピュータ（通称マイコン、APPLE II）により、5インチ・フロッピィ・ディスクに記録される。この過程で、アナログ信号は、毎秒2,715個のデジタル値に変換される。これは、音速を毎秒1,500mとすれば、27.6cm間隔に1個の数値を得ることになる。また、マイコンのメモリーの制約のため、1回のデータ取込量は250回発振分である。

この計量システムにおける送受波器が受ける反射音圧 P (μbar) と、録音用テープで再生される直流電圧 V (v) との間係は、次の式で表すことができる（稲垣ら、1983）。

$$20 \log P = 51.03 \log V + \epsilon - 12.93 \quad (1)$$

ただし、 ϵ はアテネータによる減衰量 (dB) である。

(3) データの解析

反射体からの反射量は、体積散乱強度 (Scattering Volum Strength, SV) と呼ばれており、これはソナー方程式により、次の式で表すことができる（青山、1982；Burczynski, 1979）。

$$SV = 20 \log P - 20 \log P_0 + 20 \log R + 2\alpha R - 10 \log c^2 / 2 - 10 \log \phi \quad (2)$$

ただし、 P_0 は魚探の出力音圧 (μbar)、

R は送受波器から反射体までの距離(m),

α は水の超音波吸収減衰率 (dB/m),

C は水中音速 (m/s),

τ は魚探の発信パルス幅 (s),

ϕ は送受波器の等価ビームパターン係数

を示す。

式(1)と式(2)とにより,

$$SV = 51.03 \log V + \epsilon - 20 \log P_0 + 20 \log R + 2\alpha R - 10 \log^{c\tau/2} - 10 \log \phi - 12.93 \quad (3)$$

となる。

ここで, P_0 , τ , ϕ は魚探の特性値であり, 本機種ではそれぞれ次の定数を持つ。

$$20 \log P_0 = 90.64(\text{dB})$$

$$\tau = 5 \times 10^{-4}(\text{s})$$

$$\phi = 0.007$$

また, 音速は一定値とすることができ, 水深が浅ければ, 吸収減衰量は非常に小さい値となることがわかっているので,

$$C = 1500(\text{m/s})$$

$$2\alpha R \approx 0$$

とした。

これらの数値を式(3)に代入すると

$$SV = 51.03 \log V + 20 \log R + \epsilon - 77.88 \quad (4)$$

となる。すなわち, SV 値は, データレコーダでの再生電圧と, 距離, 及び与えたアテネータ値により決定される。

3. 音響資源調査方法

音響資源調査は表2に示す日程のとおり, 1981年5月から1982年7月までの期間で, 計6回実施された。

魚探計量システムのデータ採集・収録部は国立公害研究所の観測船「みずなぎ」(4.9t)に搭載されたが, データ処理・解析部はオフ・ラインとして, データ収録後, 研究室において稼動させた。魚探等の船上での計測機器の電源は, 可搬型発電機(ホンダ E1000, AC100V, 15A), 2基により供給された。

表 2 音響資源調査日程
Table 2 The acoustic survey schedule

Number of survey	Date	Subject
1	May 13 - 15, 1981	1) Acoustic survey using the 50kHz echo sounder
2	July 21 - 23, 1981	2) Acoustic survey using the 200kHz echo sounder
3	December 21 - 24, 1981	3) <i>Neomysis</i> group's present in the water depths by net-samplings 4) Calibration for <i>Neomysis</i> biomass using the DMSE (I)
4	March 1 - 6, 1982	5) Calibration for <i>Neomysis</i> biomass using the BMSE (II) 6) Operation for a horizontal use of the 200kHz transducer
5	May 17 - 22, 1982	7) Calibration for <i>Neomysis</i> biomass using the BMSE (III) 8) Acoustic survey using the BMSE in the whole lake
6	July 12 - 17, 1982	9) Calibration for <i>Neomysis</i> biomass using the BMSE (IV) 10) Checkup of <i>Neomysis</i> group's present in the scattering layer by using a underwater television

魚探による計測作業は、ネットサンプリング時の停船と、定線上の航走とにより行われた。霞ヶ浦における航走観測線は固定されたものではなく、事前の検討結果及び天候、湖面状況に応じて設定された。船位は、湖岸付近の建造物、立木あるいは湖岸形など特長のある物標と地図とにより決定された。1981年12月には、ロランCによる船位決定もあわせて実施された。船速は、スクリーの回転数及び一定距離通過時間から推算された。船速は平均すると1.7m/sであった。

魚探調査時には、気温、水温、透明度、照度、pH等の環境計測を実施した。

霞ヶ浦において、過去に一度もイサザアミの魚探記録が報告されていないので、魚探像の主体確認と定量化のために魚探と併用して、次の作業を適宜行った。

(1) 矩型プランクトンネット垂直引

網地 NGG42, $0.3 \times 0.5\text{m}$ (0.15m^2) の矩型プランクトンネットを用い、0.5m又は1m間隔で、垂直に2回曳網を行い、イサザアミを採集した。平均ろ水率は0.9であった。この矩型プランクトンネットによる垂直引の作業は、魚探記録上の像の濃淡や大きさ、あるいはブラウン管上での波形の大きさと採集量とを対比し、量的関係を知る目的のために、イサザアミの密度検定作業と称して必要に応じて行った。特に、1981年12月21日15時45分から12月22日8時にかけて、霞ヶ浦の湖心にある建設省の観測塔地点において、定点隔時採集を行った。採集されたイサザアミは、現場で直ちに5~10%ホルマリン溶液で固定し、後日研究室において湿重量を測定した。

(2) けた網による水平引

イサザアミは、底生性プランクトン(benthic plankton)あるいは表在性ベントス(epi benthos)と言われているように、昼間は湖底に近い層で生活している(村野, 1979)。そのために、イサザ

アミ専用のけた網を作成し、これにポリビン等で作った「浮き」をロープで取り付け、水深を調節して、水深 1m ごとの層びき採集を行った。けた網は間口 0.3×1.0m の金枠に 1.5m の長さの目合 2.5~3mm のナイロン製モジ網を取り付けた網である。秒速 1m の曳網速度で、5 分間、けた網を水平引した。サンプルの処理は(1)と同様である。

(3) カラー魚群探知機による観察

魚探の記録紙及びオシロスコープのブラウン管上での超音波反射記録を観察するのに加えて、CRT 画面上へのカラー表示による音波反射強度の映像記録を観察し、イサザアミ生息密度の大きさを検定した。用いたカラー魚探は、古野電気社製の FCV-110 であった(表 1)。

(4) 水中テレビによる観察

魚探記録とネットサンプリングによる採集量との現場での対比は、ときに操作上での時間的ズレが起こるために、わずかではあるが直観的に一致しないことがある。また湖底から十数 cm 上層部のイサザアミ現存量は、ネット及び魚探の結果では不明な場合もある。このため、水中テレビにより各水深層ごとの、特に湖底面上でのイサザアミ生息密度の多少を把握することを試みた。使用した水中テレビは日本ビクター社製で、画像はビデオ・テープに収録された。

4. 調査水域と水域区分

霞ヶ浦(西浦)は、面積 167.7km²、周囲 138km、最大水深 7.3m、平均水深 3.9m の、浅くて広い湖である(図 2)。最近では、湖底の砂礫採集が行われているために、音響測探機で水深 10m を記録する地点もある。調査水域の水深別の面積を求めるために、宇都宮(1979)が記載している霞ヶ浦の湖底地形図(図 2)から面積計(日本レギュレータ社製 planimex25)を用いて、水深 0.5m ごとの面積を求めた(表 3)。また湖区区分は、宇都宮(1979)を参考にして、高浜入、土浦入湖心、湖尻の 4 区分とした。イサザアミの資源量は、この湖区ごとの水深別面積に応じて算出した。

5. 魚群探知機の記録紙上の魚探像

浅水湖沼における生物の魚探記録は少なく、今回の魚探計量システムでも魚探記録が得られるかどうか不明であった。6 回の調査の結果得られた魚探像のうち、生物の記録であると確認されたいくつかの例を取り上げて、以下に簡単に説明する。

(1) ボラ(魚類)の魚探像

1981 年 5 月 14 日に古野電気 FUG-11 型の魚探に 50kHz の送受波器を接続して、霞ヶ浦の土浦から湖尻まで航走した(図 3)。魚探記録には多くの水中反射体が認められた(図 4 a)。この魚

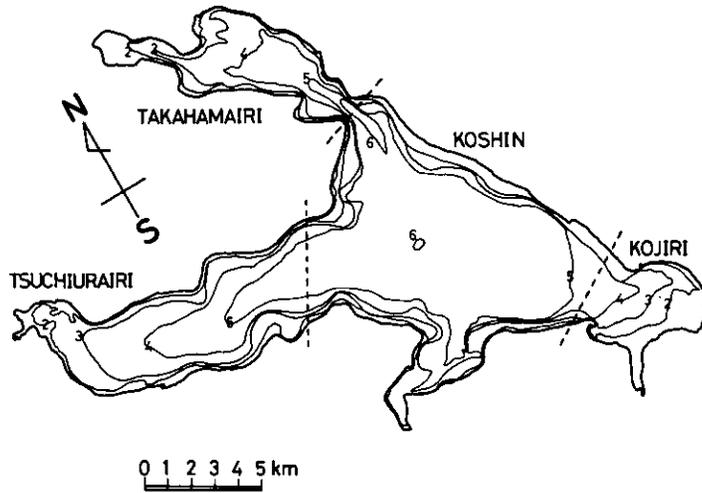


図 2 霞ヶ浦の湖底地形と計測地域区分 (湖区) 図

Fig. 2. Four lake-divisions and topographics of Lake Kasumigaura (modified from Utsunomiya (1979))

表 3 霞ヶ浦 4 湖区：土浦入，高浜入，湖心，湖尻の水深別面積 (km²)

Table 3 Areas in km² at water depths in four lake-divisions of Lake Kasumigaura : Tsuchiurairi, Takahamairi, Koshin, and Kojiri

Water depth	Tsuchiurairi	Takahamairi	Koshis	Kojiri	Total
m	km ²				
0	42.4	23.6	85.9	15.3	167.2
1.5	37.6	20.8	82.1	14.0	154.5
2.0	37.0	18.2	81.9	10.1	147.2
2.5	32.8	16.7	72.2	7.2	128.9
3.0	28.6	14.6	72.0	5.6	120.8
3.5	21.1	13.2	68.2	3.5	106.0
4.0	16.0	6.4	66.5	2.4	91.3
4.5	8.6	1.6	63.1	0.5	73.8
5.0	4.8	0.9	54.9	0	60.6
5.5	1.8	0.2	31.0	0	33.0
6.0	0	0.2	0.4	0	0.6

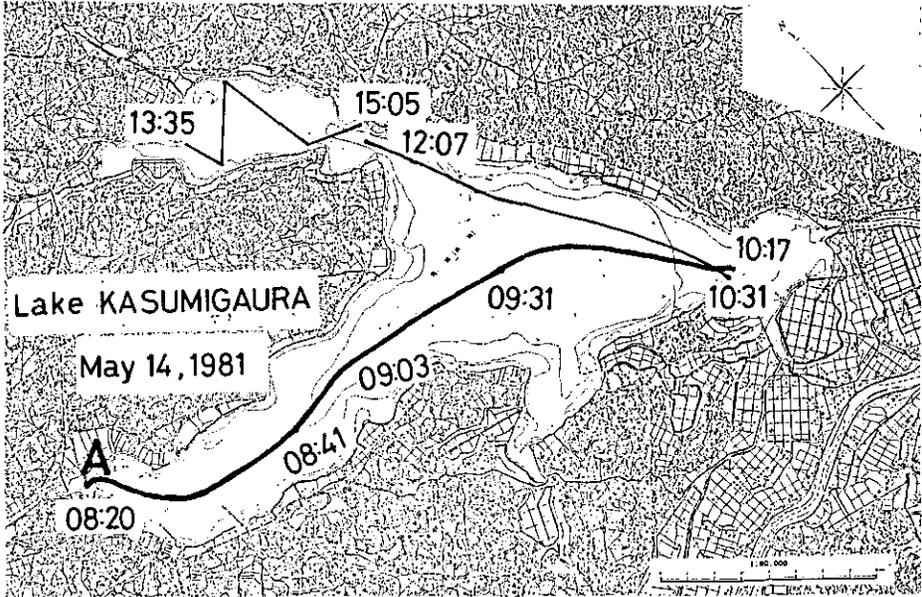


図 3 50 kHz 魚群探知機による音響資源調査の航跡図

Fig. 3 The boat track chart in the acoustic biomass survey by an echo sounder with a 50kHz transducer on May 14, 1981, in Lake Kasumigaura

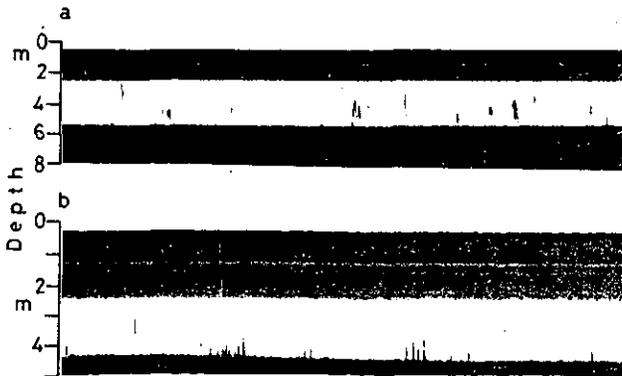


図 4 50 kHz 魚群探知機による魚探記録

Fig. 4 Echograms by an echo sounder with a 50kHz transducer on May 14, 1981, in Lake Kasumigaura

探像が現れるときには、湖上を跳ねる魚体（ボラ）が確認された。また、この魚探像の多いときには、湖上に発見されるボラの数も多い。この時期には、他にボラ程度の大きさで、個体数の多い魚種は存在しないことをあわせて考えると、この像は、ボラの単体像であるとしてよい。ボラは、湖心付近で多く発見されたが、このときの湖心における11時45分の表面水温は19.4°Cで、水深3mでは17.3°C、湖底近く水深5mでは17.1°Cであった。

さて、図3に示した航跡上（Aコース）に、この単体像は120個数えることができた。個体間の距離を記録紙上から計測して、1cm単位の頻度分布に直すと図5のようになる。このときの平均船速は4ノットであり、記録紙上1分は、6.5cmに相当するので、この単位の1cmは実際には18.5mと計算される。図5でわかるとおり、ボラが発見されたとき、航跡上の実測で約50m以内に次のボラが発見される割合は60%を超えることになる。この分布型からは、すなわち、ボラはランダムに分布しているというよりは、群れて湖内を遊泳していると考えられることができる。

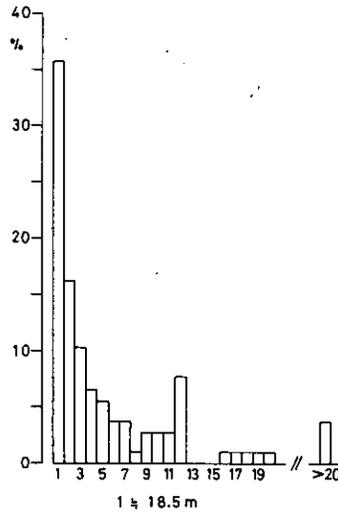


図 5 魚探記録上における単体像出現間隔の頻度分布

Fig. 5 The frequency distribution of unit distances between single fish echo traces on the echograms on May 14, 1981, is Lake Kasumigaura (A-course in Fig. 3)
One unit distance in 1cm length on the echograms, and is equal to 18.5m on the real lake surface.

ところで、単体像に似た魚探像が湖底に接触した形で現れた例がある（図4b）。魚種確認はされていないが、形状から判断して、コイかフナのような底生魚類か、あるいは、湖底につきさった木の枝か竹の切れ端であるのかもしれない。ボラであるとすることもできるが、確かではない。また、中層の稚魚ネットサンプリングで、イサザアミが大量に採集されたが、50kHzの送受波器ではイサザアミの魚探像を十分に確認することはできなかった。

(2) テナガエビ・チチブなどの混合した魚探像

1981年7月12日に200kHzの送受波器により魚探像を記録した(図6)。この魚探記録では帯状の水中反射体が認められ、その中に強い反射体も存在する。ネット採集結果では、これらはチチブなどハゼ科魚類の稚魚であり、テナガエビの幼体も含まれている。帯状の反射体はテナガエビの幼生であるが、イサザアミも若干量含まれていた。7月には多くの種類の幼生や成体が湖水中に分散しており、特定生物種の魚探像を確認するのは難しいようである。なお、このときの水温は湖心で30.0°C(表層)から28.3°C(水深、5.5m)であった(12時40分)。



図 6 200 kHz 魚群探知機による魚探記録

Fig. 6 Echograms by an echo sounder with a 200kHz transducer on July 22, 1981, in Lake Kasumigaura

(3) チチブ(魚類)の魚探像

1981年12月21日から22日にかけて、霞ヶ浦の湖心において、200kHz魚探定点連続魚探観測を行った。

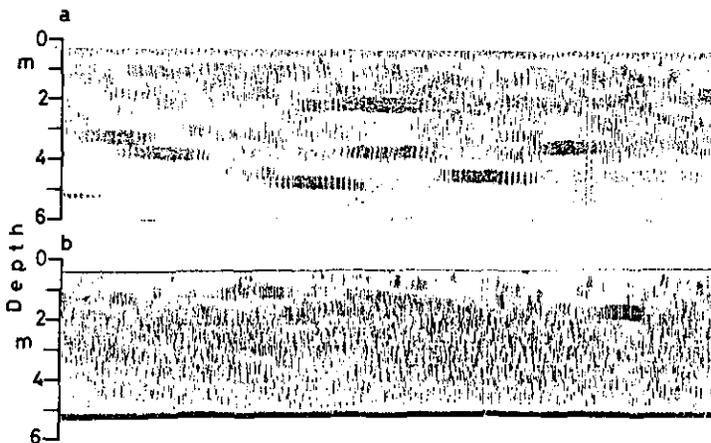


図 7 200 kHz 魚群探知機による魚探記録

Fig. 7 Echograms by an echo sounder with a 200kHz transducer at 17:30 (a) on December 21 and at 06:30 (b) on December 22, 1981, in Koshin lake-division

図7(a)に横棒状の反射体が認められ、ネットサンプリングの結果、この反射体はチチブであることがわかった。この形状から判断すると、夜間にはチチブの動きが極めてゆっくりとしていることがわかる。このチチブの魚探像は、湖底近くに見られるのに反し、背影にあるイサザアミの群は湖面付近で密度濃く分布している。ところが、図7(b)では、チチブであると考えられる濃い反射体は矩形となっており、密度の濃い背影の中に存在している。言い代えると、朝になって、チチブは動きが活発となり、餌生物であるイサザアミ群の中に突入し、盛んに摂餌活動を行っていると考えられることができる。このときの表面水温は21日16時26分(日没)で7.0°Cから、22日7時20分(日出)で5.7°Cまで変化した。

(4) イサザアミの魚探像(昼夜垂直移動)

200kHzの魚探で、1981年12月21日から22日にかけて霞ヶ浦の湖心で連続観測を行った。

太陽が沈んでいくにつれて(16時20分頃)、水中の反射体は湖面近くに移動するとともに、湖水の上・中層において反射密度の濃い魚探記録が表れる(図8a)。後述のとおり、ネットサンプリングによると、イサザアミが湖表面まで多く採集されている(表4)。また、夜間、湖面をじっとみるとイサザアミが活発に泳ぎ回っているのがわかる。すなわち、夜になってイサザアミは湖の表面まで浮上するとともに、湖水中全層にわたり分散する。夜が明けて、太陽が出はじめると(7時20分頃)、湖面近くの魚探像は薄くなり、反射体の上端が湖底方向にだんだん沈んでいくのがわかる(図8b)。200kHzの魚探で、イサザアミの魚探像が確認された一つの証拠である。

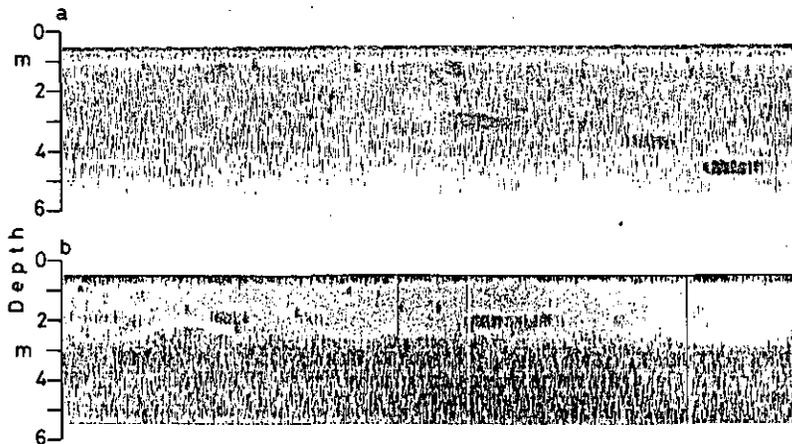


図 8 200 kHz 魚群探知機による魚探記録

Fig. 8 Echograms by an echo sounder with a 200kHz transducer at 16:20 (a) on December 21 and at 07:20 (b) on December 22, 1981, in Koshin lake-division

表 4 霞ヶ浦・湖心におけるネットサンプリングによるイサザアミ密度 ($w \cdot g \cdot m^{-3}$) の日周変化 (1981年12月21日~22日)

Table 4 Diurnal changes of the *Neomysis* density ($w \cdot g \cdot m^{-3}$) estimated by means of net-samplings on December 21 to 22, 1981, in Koshin lake-division *Neomysis* density with a symbol (*) represents average value for combined depth strata.

Date	Dec. 21	Dec. 21	Dec. 21	Dec. 22	Dec. 22
Time	16 : 25	16 : 40	18 : 05	05 : 28	07 : 12
Water depth (m)					
0-1	0.063*	0.709*	2.540	0.726	0
1-2	0.063*	0.709*	1.866	2.096	0.007
2-3	0.063*	0.709*	5.637	4.319	0.119
3-4	0.063*	3.148	14.623	5.896	1.689
4-5.5	12.015	8.790	0	4.740	3.481

(5) イサザアミの魚探像 (太陽光量による垂直移動)

図9aは、1981年12月22日の霞ヶ浦湖心での魚探像である。これをみると、おおよそ2m当たりで、イサザアミの濃い魚探像を見ることができる。数分後に太陽が雲間に隠れると1.5m当たりの濃い反射帯が上方に移動している。湖面上では、夜間でないのに、イサザアミが泳いでいるのを発見した。このように、日中、イサザアミは湖水中の中層において帯状の層状分布をしており、必ずしもすべてのイサザアミ群が湖底に潜んでいる訳ではない。また、太陽が雲間から現れると、イサザアミ群はより深所へ沈みはじめるが、ある一定の深さ(水深、約2m)で止まり、やがて若干浮上して、その層のところで一定の帯状分布をする(図9b)。

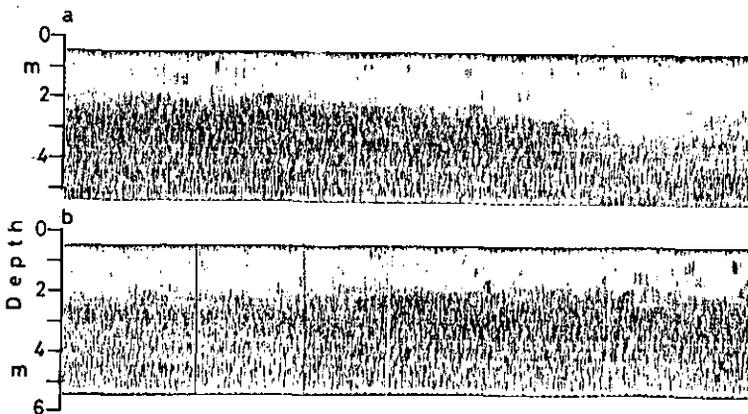


図 9 200 kHz 魚群探知機による魚探記録

Fig. 9 Echograms by an echo sounder with a 200kHz transducer at 07 : 25 (a) and at 07 : 40 (b) on December 22, 1981, in Koshin lake-division

1980年10月に霞ヶ浦の高浜入でイサザアミの24時間観測を行った結果から、戸田(1982)は、イサザアミが日周鉛直移動を行い、日中はほとんど湖底に沈んでいると述べている。夜間、湖水中全域にイサザアミが分散し、日中に湖底方向に沈むとする点は私達の結果と同じであるが、重要な違いは、日中に湖水中層に帯状分布をしているという点である。イサザアミが存在している中層の深さは、光量とそれに対するイサザアミの順応の程度によるものらしく、厳密に一定の深さではない。

Michigan湖等において、*Mysis relicta*の日周垂直移動を観察したBeeton(1960)及びBowers and Grossnickle(1978)によると、*Mysis*の夜の浮上は満月の明るさによっておさえられるし、日中の深所への移動は雲の量によって影響される、と述べている。このことは私達が得た結果とほぼ一致している。

(6) イサザアミの魚探像(イサザアミの垂直分布)

1982年5月18日に土浦入の湖底地形の複雑な場所において、200kHz魚探によるイサザアミの観測を行った。

図10に示したとおり、水深の浅い所ではほぼ3m層に存在していたイサザアミの魚探像は、深くなると少し下がって、3.5~4m層のところに現れる。水深に応じてイサザアミが帯状に分布する深度が変わる。また、イサザアミ群が日中、水深中層に帯状に分布していることもわかった(図11a)。この図は1982年3月3日(15:55, 16:00)の魚探記録であるが、同年5月18日(9:56, 14:00)の図11bでは中層ではなく、若干上層か湖底に近い水深層に、イサザアミの分布していることがわかる。これらからも、イサザアミが、生活環境の条件により分布層を変えようと言えよう。

6. 魚探記録とイサザアミ生息密度

(1) 現場における主体確認

魚探の記録紙上に現れた水中反射体が、イサザアミ群であるかどうかを確認するためと、その分布量が魚探で得られた反射音圧の程度と一致性があるのかどうかを知るために、以下の各項目間の量的関係を現場観測で調べた。

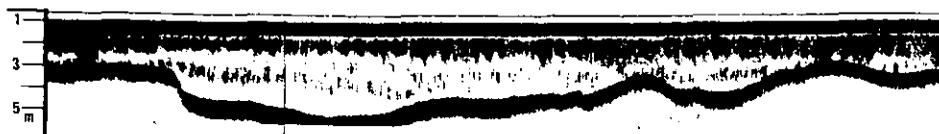


図 10 200 kHz 魚群探知機による魚探記録

Fig. 10 Echograms by an echo sounder with a 200kHz transducer at 14:50 on May 18, 1982, in Tsuchiurairi lake-division

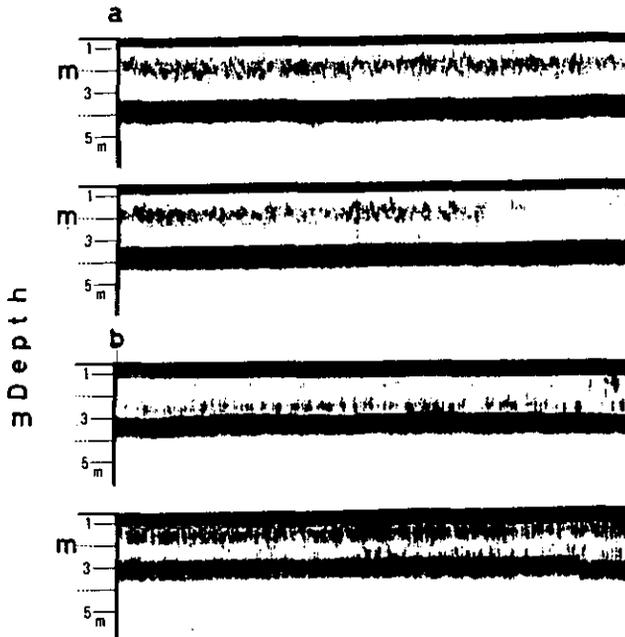


図 11 200 kHz 魚群探知機による魚探記録

Fig. 11 Echograms by an echo sounder with a 200kHz transducer at 15:55 (a, top) and at 16:00 (a, bottom) on March 3, and at 09:56 (b, top) and at 14:00 (b, bottom) on May 18, 1982, in Tsuchiurairi lake-division

- i) 魚探記録紙上における魚探記録の濃淡とそれらの面積
- ii) 魚探に接続したオシロスコープのブラウン管上での波形の大小
- iii) カラー魚探のブラウン管上でのカラー表示濃度
- iv) 水中テレビで観測された現場でのブラウン管上におけるイサザアミ群の量と行動(ビデオ収録をして後日定量化を行う。)
- v) 矩型プランクトンネット垂直引とけた網水平引とによるイサザアミ採集量。採集方法は定点24時間観測と地点別観測とに区分される。

さて、魚探記録紙、カラー魚探及びオシロスコープとの3点は、それぞれの機械の作動状態が正常であれば同一データ源に基づいているので、同じ反応値(相対量)を示すはずである。そして、それらはデータレコーダにより録音用テープに収録され、そのデータを計算処理することにより超音波散乱層(SL)の平均体積散乱強度(SV)を求め、基本計量値とすることができる。霞ヶ浦のいろいろな地点で魚探像の濃淡を見ながら矩型プランクトンネットによる採集を行った結果、多くの場合、魚探像の濃い地点や濃い水深層において、イサザアミ採集量の多いことが確認できた。さらに、1982年7月14日には水中テレビ画面上でのイサザアミ群量と、魚探像及びネット採集量とを対比した。その結果、湖水中層ではそれぞれのイサザアミ群相対量は比例関係を示

しており、魚探像はイサザアミの現存量の多少をさし示すものであることがわかった。ただし、湖底近傍においては、イサザアミの現存量が少ないとされている7月でも（春日，1981；戸田，1982；Toda *et al.*, 1982），水中テレビ画面上には多くのイサザアミの群泳をみることができた。また、このイサザアミをハゼの一種が捕食している状態を観察することもできた。しかしながら、今回は湖底近傍のイサザアミ群量を魚探計量システムにより計量することはできなかった。

(2) 矩型プランクトン・ネットによるイサザアミの採集量

1981年12月21日から12月22日にかけて、霞ヶ浦の湖心で行った矩型プランクトンネットによるイサザアミの水深別採集量を、 1 m^2 当たりの湿重量に換算したのが表4である。先に、魚探像で示した昼夜垂直移動が（図8 a, b），ネット採集量に明確に示されていることは、この表からもわかる。なお、コペポダを中心とした動物プランクトンや、チチブなど魚類の採集量は、魚探像とあまり対応しなかったため、ここでは取り上げなかった。

(3) イサザアミの平均体積散乱強度と生息密度

魚探計量システムでは、水深0.5 mから、27.6 cm間隔で、式(4)によりSV値を計算することができる。そのSV値を、小さい値から順に0から9までと、それ以上の値をMとする11段階の指数に変換して、1パルスごとに表示したのが図12である。最左端の数字はそれぞれ1パルスを示しており、パルスは左側から右方向へ発振される。図中I線は、湖水表面の位置を示している。右側に見えるMの並びは、湖底を意味している。

さて、図12(a)は、湖水表面のI線近くまで反射体が分布している例で、平坦な湖底部が明りようである。反射体が湖底近くに分布し、湖水中層部分には、それが存在していない例が図12(b)である。逆に中層部にのみ反射体が分布している例が図12(c)である。これらの図から明らかなように、先に示した魚探像を数値化して表現することができた。したがって、魚探計量システムで計算されたSV値をもとにして、イサザアミの平均体積散乱強度(\overline{SVd})を求めることにしよう。

いま、0.5 m間隔での各水深層に含まれる27.6 cmごとの体積散乱強度を SV_i とすると、

$$\overline{SVd} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^j 10^{0.1 SV_i} / j \right) \quad (5)$$

となる。ここで、 j は各層における SV_i の数である。

また、 SVd の時間軸方向における平均値(\overline{SVdt})は、

$$\overline{SVdt} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^l 10^{0.1 SVdt} / l \right) \quad (6)$$

である。ただし、 l は発振回数で、ここでは、 $l = 276$ である。

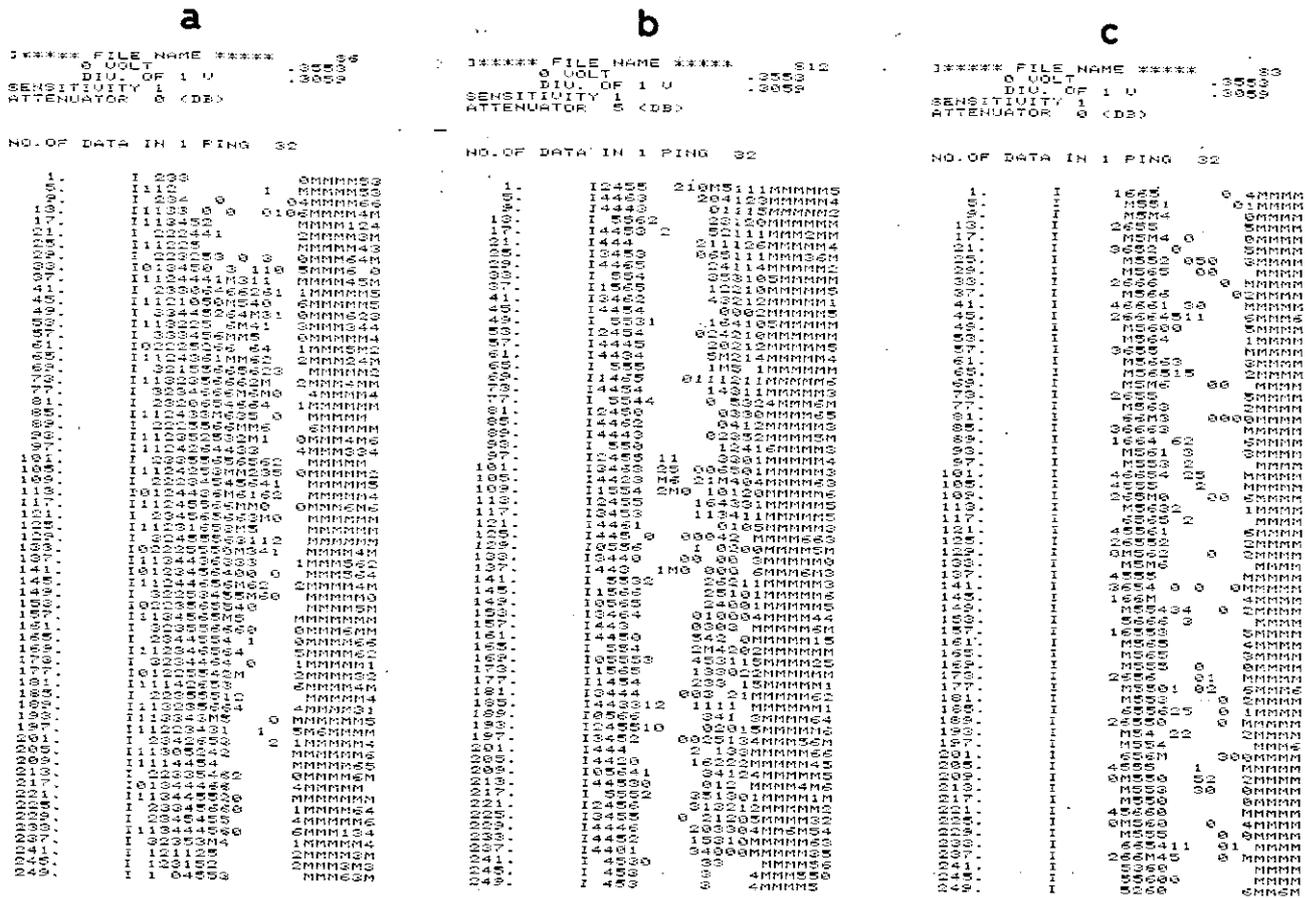


図 12 魚探記録の数値化表示例

Fig. 12 Three examples of numerical echograms

Figures from 0 to 9 and M are indexes of SV-values.

M means a larger value than 9.

The number on the left side means one pulse (see text for further details).

ところで、1981年12月に湖心で得たネットサンプリングによるイサザアミ密度推定値(表4)と、同じ時刻、同じ水深における \overline{SVd} の時間変化を見ておこう。稲垣ら(1983)の調べたところでは、連続する発振パルス25個分の \overline{SVd} 値の変動は、表4における12月22日、7時12分の水深3~4m部分で、最も少なかった。このときのイサザアミ密度は $1.69 \text{ w}\cdot\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ であった。以下の計算では、この値を規準値として使用することにした。

いま、このイサザアミ密度を、単位密度($n=1$)とすると、

$$\overline{SVn} = \overline{SV_1} + 10 \log n \quad (7)$$

が成立する。ただし、 $\overline{SV_1}$ は $n=1$ のときの \overline{SV} 値で、 -68.98 (dB) である。

ここで、 $1 \text{ w}\cdot\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ は $n=0.592$ であるので、これを(7)に代入すると、

$$\begin{aligned} \overline{SV_{0.592}} &= -60.98 + 10 \log(0.592) \\ &= -63.26 \end{aligned} \quad (8)$$

となる。すなわち、イサザアミの密度が $1 \text{ w}\cdot\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ であるときの SV 値は、 -63.26 (dB)とすることができる。したがって、イサザアミ密度(W) $\text{w}\cdot\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ のときの SVW は、

$$SVW = -63.26 + 10 \log W \quad (9a)$$

あるいは、

$$W = 10^{0.1SVW} + 6.326 \quad (9b)$$

となる。

図13には、この理論線を書き入れ、実際に得られた SV 値にそのときのネットサンプリングによるイサザアミ密度($\text{w}\cdot\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)を打点した。この理論線からのズレが10%以内には5点、30%以内には6点、また50%以内には7点入ることから、この魚探計量システムで得られた SV 値と現場でのイサザアミ密度とは、比較的良好な量的関係にあるものと、考えてよいであろう。

さて、イサザアミ密度、 $1.69 \text{ w}\cdot\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ を、個体数に換算すると、約490個体となる。1個体の標的強度(Target Strength; TS)は個体数を N とすると、

$$TS = SV - 10 \log N \quad (10)$$

で示される。 $SV = -60.98$ 、及び $N = 490$ を式(10)に代入すると、

$$\begin{aligned} TS &= -60.98 - 10 \log(490) \\ &\approx -88(\text{dB}) \end{aligned}$$

となる。これがイサザアミ1個体の TS 値である。Greenlow(1979)のモデルにより、イサザア

ミの平均体長を 10 mm とおいて計算すると、 $TS = -89(\text{dB})$ となった。これから考えても式(9)で示した関係は妥当であるとしてよい。

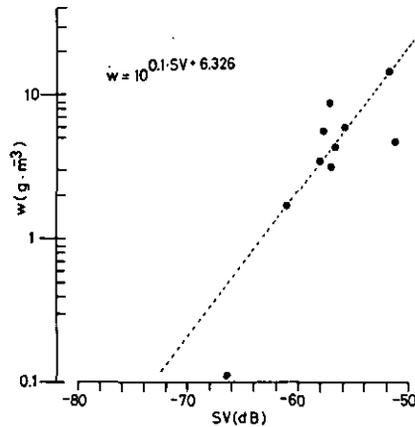


図 13 魚探計量システムによる SV 値とネット採集によるイサザアミ密度推定値 (W , $\text{w}\cdot\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) との関係

Fig. 13 Relations between *Neomysis* density (W , $\text{w}\cdot\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) estimated by means of net-samplings and the SV-values measured using the BMSE

The dotted line represents the following equations:

$$W = 10^{0.15V + 6.326}$$

7. イサザアミの生息密度と資源量

式(9b)により、イサザアミの密度を計算した結果 (マイコンでのアウトプット) を、表5に示した。この表における No. 欄の数字は、それぞれ1回の発振パルスを意味する。ここでは24個分のパルスによる深度別のイサザアミ密度 ($\text{w}\cdot\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) が計算されている。平均値でみると、0.4 から 231.3 まで変化しているが、5.5(M)、すなわち水深 5.0 から 5.5 m までの層は、明らかに湖底を示している。

このようにして、イサザアミの生息密度を、水深 1 m から 0.5 m ごとに計算することができる。ただし、次の二つの理由、

①送受波器の設置水深が 0.5 m である。

②送受波器から 1 m の範囲内では、機器の性能上、正確な観測値が得られない恐れがある。

により、水深 0 から 1 m までは密度推定ができなくて、また水深 1 から 1.5 m までは、密度推定値を十分に吟味して用いなければならない。

(1) 高浜入での観測例

1981年12月23日に、高浜入で航走による魚探資源調査を行った(図14)。観測点(1)を12時

表 5 魚探計量システムにより推定された、水深 0.5m ごとのイサザアミ生息密度 ($w \cdot g \cdot m^{-3}$) の出力例

Table 5 *Neomysis* density ($w \cdot g \cdot m^{-3}$) estimated using the BMSE at each 0.5m water depth stratum in Lake Kasumigaura
The 1.5 (M) means a water layer between 1m and 1.5m water depth.

***** FILE NAME ***** KABL1221-51										
0 VOLT .3277										
DIV. OF 1 V .2563										
SENSITIVITY 1										
ATTENUATOR 5 (DB)										
NO. OF DATA IN PING 32										
NO.	1.5(M)	2.0(M)	2.5(M)	3.0(M)	3.5(M)	4.0(M)	4.5(M)	5.0(M)	5.5(M)	6.0(M)
1	0.5	0.7	1.4	1.8	3.5	1.9	4.6	4.1	187.0	216.4
11	0.3	0.7	1.2	1.4	3.3	5.9	4.7	4.7	129.1	285.9
21	0.1	1.0	1.5	1.5	3.0	2.8	3.4	5.9	144.3	255.0
31	0.3	1.2	1.6	2.2	1.9	2.3	3.7	2.7	118.6	245.0
41	0.3	1.1	1.7	2.2	2.3	2.4	3.1	2.9	124.5	233.2
51	0.3	1.9	2.2	2.5	1.8	2.9	3.1	2.9	121.2	218.3
61	0.4	3.2	2.0	1.9	1.7	1.9	3.4	3.9	109.0	207.6
71	0.4	2.8	2.0	2.3	2.9	2.8	4.1	4.9	99.2	196.5
81	0.2	4.0	2.4	2.7	1.9	3.1	4.2	3.2	109.2	217.2
91	0.2	2.1	3.5	3.9	2.7	2.8	3.5	3.4	121.0	196.6
101	0.1	2.3	1.7	2.1	2.5	2.4	4.3	4.9	152.7	241.7
111	0.1	3.1	2.9	1.8	5.7	2.6	3.4	4.4	165.0	247.6
121	0.1	2.3	1.7	2.7	3.1	1.6	2.1	2.9	159.9	215.4
131	0.3	1.0	2.9	2.9	3.5	3.2	4.0	4.2	129.1	235.9
141	1.8	1.6	3.9	3.1	2.3	1.8	5.7	6.8	125.9	225.7
151	0.4	1.7	3.3	3.6	3.1	2.7	4.4	10.1	141.8	225.6
161	0.4	1.8	3.0	3.0	2.8	3.5	4.7	16.8	150.0	221.5
171	0.6	2.2	3.7	4.5	1.9	2.7	3.1	12.6	162.9	192.0
181	0.8	1.3	4.1	4.5	2.7	3.0	4.2	6.8	145.2	237.7
191	0.6	0.8	2.0	2.8	3.3	2.4	3.1	3.1	145.1	217.4
201	0.4	0.7	2.2	3.5	3.0	2.5	3.4	3.7	123.3	271.1
211	0.3	1.1	2.9	2.3	2.4	3.3	5.0	4.3	148.2	304.1
221	0.5	0.9	3.4	2.0	2.1	3.0	4.0	8.4	175.9	250.4
231	0.7	0.8	1.3	1.3	2.5	3.1	2.9	3.6	139.5	197.7
Mean	0.4	1.7	2.4	2.6	2.7	2.8	3.9	5.6	136.9	231.3

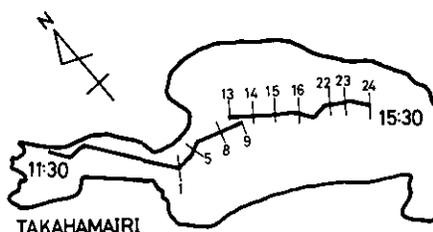


図 14 高浜入における音響資源調査の航跡図, 1981年12月23日

Fig. 14 The boat track chart in the acoustic survey on December 23, 1981, in Takahamairi lake-division

The small figures, 1 to 24, in the chart represent serial numbers of each survey stations.

2分に出発して、15時30分に観測点(24)に着くまで、合計24点の測点観測による魚探記録を採取した。このうち、データ解析のできた11観測点についての密度推定値を表6に示した。このときの環境条件は、湾奥で湖表面水温が6.1°C、湖底水温が5°C、また湾口では、湖表面水温が6.9°C、湖底水温が6.5°Cであった。観測点13の14時50分の日照量は、699 Eから723 Eで、日ざしの弱い日であった。表6をみると、イサザアミの密度推定値は0.1から8.7 $w \cdot g \cdot m^{-3}$ まで変動し

表 6 高浜入における魚探計量システムによるイサザアミ生息密度推定値
($w \cdot g \cdot m^{-3}$), 1981年12月23日

Table 6 *Neomysis* density ($w \cdot g \cdot m^{-3}$) estimated using the BMSE on December 23, 1981,
in Takahamairi lake-division

Water depth (m)	No. of Station											Mean W	S. D.
	1	5	8	9	13	14	15	16	22	23	24		
	$w \cdot g \cdot m^{-3}$												
1.5—2.0	0.3	0.2	0.1	0.3	0.2	0.5	1.0	1.0	1.3	0.8	0.4	0.55	0.38
2.0—2.5	0.5	0.2	1.2	2.0	1.2	0.8	2.0	1.1	2.4	1.5	4.3	1.56	1.07
2.5—3.0	0.4	0.3	1.7	2.3	1.2	1.2	1.7	1.1	3.3	1.9	8.5	2.15	2.16
3.0—3.5	0.6	0.8	5.9	6.0	8.7	2.3	1.4	1.9	2.9	1.2	6.9	3.51	2.70
3.5—4.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.2	5.20	—
Mean	0.45	0.38	2.23	2.65	2.83	1.20	1.53	1.28	2.48	1.35	5.06		
S. D.	0.11	0.25	2.20	2.08	3.42	0.68	0.37	0.36	0.75	0.40	2.74		
Max. depth (m)	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.6	5.2		

ている。この変化には一定の傾向があり、高浜入の湾奥から湾口にかけてと、そして水深の深くなるのに従い、大きくなっている。一方、図 14 に示した航跡線上で矩形プランクトンネットによるイサザアミの採集を合計 4 回行った。その結果、イサザアミの密度は 0 から $1.26 \text{ w-g} \cdot \text{m}^{-3}$ の値であった。

ところで、魚探観測とネット採集との、調査地点や水深は厳密には一致していない。そこで、観測点 (13) 付近で得られたそれぞれの推定値の平均値を深度別に求め、魚探によるイサザアミの密度推定値 (W_E) とネットサンプリングによるその推定値 (W_N) との関係を図 15 に示した。これをみると、水深が深くなる程、イサザアミ密度が増加しているのがわかる。そして、水深が深くなるほど、魚探による推定値の方がネットサンプリングによる推定値に比べて大きいことも明らかである。この差は約 5 倍にもなる。これは、恐らくネットサンプリングの際に、調査船を投錨固定しなかったことによる、ネット操作上の不慎によるものであろうと考えているが、もちろん明らかではない。ただ、3 点ではあるが相関係数が $r = 0.954$ と高い。また回帰直線を

$$W_N = 0.420 + 0.136 W_E$$

で表すことができた。

さて、魚探計量システムにより計算されたイサザアミの水深別密度 ($W_i' (\text{w-g} \cdot \text{m}^{-3})$) に、その水深 (i) の占める面積 (A_i', km^2) を掛けることにより、その水深における資源量 (B_i', t) を求めることができる。すなわち、

$$B_i' = W_i' \cdot A_i' \tag{11}$$

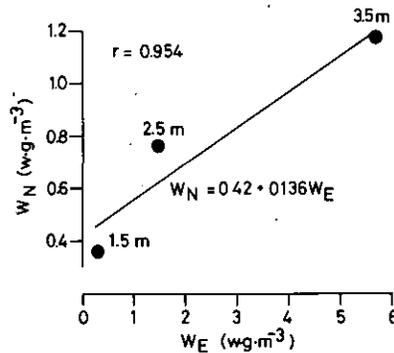


図 15 魚探計量システムによるイサザアミ密度推定値 (W_E) と、ネットサンプリングによる密度推定値 (W_N) との関係

Fig. 15 Relations between *Neomysis* densities (W , $\text{w-g} \cdot \text{m}^{-3}$) estimated using the BMSE (W_E) and by means of net-samplings (W_N). The symbol (r) means a coefficient of relation

である。先にも述べたように、湖表面から水深1 mまでは、本システムでは計量が困難であった。そこで、水深0から1 mまでは、水深1から1.5 mまでの密度 ($w \cdot g \cdot m^{-3}$) で計算し、それ以深は $W_i = 0.5 W'_i$ ($w \cdot g \cdot m^{-3}$) と置いた。また、湖底付近の現存量が得られない場合は、1段浅い水深での W_i 値を用いた。

さて、霞ヶ浦全体の資源量 (B) は、4湖区における資源量の合計値である。すなわち、

$$B = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{10} W_{ji} \cdot A_{ji} \quad (12)$$

である。ここで、 j は4湖区の番号を指しており、それぞれ $j = 1$: 土浦入, $j = 2$: 高浜入, $j = 3$: 湖心, $j = 4$: 湖尻である。 i は0.5 m きざみの水深を示し、 $i = 1$ は1.5 m 水深を指す。ただし、 $i = 1$ の密度が算出されていないときは、 $W_i = W'_i$ とおいた。また、水深別の面積 (A'_i) は計算用水深面積と水深1.5 m の面積の合計の半分とした。 A_2 は水深1.5 m と水深2.0 m との合計面積の半分とし、あと同様に0.5 m きざみで求めた。これらの値を、表7に掲げた。

このような手順で、高浜入における1981年12月23日のイサザアミの資源量を計算し、結果を表8に示した。表8の B_a は表6で示した資料を平均して推定したイサザアミ資源量で、高浜入全域 (22.2 km²) では、119 t であった。一方、これとは別に魚探からのデータをランダムに取り、同じ方法で計算した値が B_b で、これでは112 t になった。異なるデータで計算したイサザアミ資源量の推定値であるが、ほぼ同じ値を得ることができた。

表 7 イサザアミの生物量を計算するために用いられた霞ヶ浦4湖区の水深別面積 (A_i , km²)

Table 7 Areas, A_i in km², used to estimate *Neomysis* biomass at water depth strata in four lake-divisions

Water depth	Tsuchiurairi	Takahamairi	Koshin	Kojiri	Total
m	km ²				
0-1.5	40.0	22.2	84.0	14.7	160.9
1.5-2.0	37.3	19.5	82.0	12.1	150.9
2.0-2.5	34.9	17.5	77.1	8.7	138.2
2.5-3.0	30.7	15.7	72.1	6.4	124.9
3.0-3.5	24.6	13.9	70.1	4.6	113.2
3.5-4.0	18.6	9.8	67.4	3.0	98.8
4.0-4.5	12.3	4.0	64.8	1.5	82.6
4.5-5.0	6.7	1.3	59.0	0.3	67.3
5.0-5.5	3.3	0.6	43.0	0	46.9
5.5-6.0	0.9	0.1	15.8	0	16.8
6.0-8.0	0	0.0	0.3	0	0.3

表 8 高浜入における魚探計量システムによるイサザアミ生息密度推定値 (W , $w \cdot g \cdot m^{-3}$) と、資源量推定値 (B , t)

Table 8 *Neomysis* density (W , $w \cdot g \cdot m^{-3}$) and stock biomass (B , t) estimated using the BMSE on December 23, 1981, in Takahamairi lake-division

Water Depth (m)	W_a	B_a	W_b	B_b
	($0.5w \cdot g \cdot m^{-3}$)	t	($0.5w \cdot g \cdot m^{-3}$)	t
0—1.5	0.84	19	1.01	22
1.5—2.0	0.28	5	0.53	10
2.0—2.5	0.78	14	0.91	16
2.5—3.0	1.08	17	0.83	13
3.0—3.5	1.76	24	1.71	24
3.5—4.0	2.60	25	1.71	17
4.0—4.5	2.06	10	1.71	7
4.5—5.0	2.60	3	1.71	2
5.0—5.5	2.60	2	1.71	1
5.5—6.0	2.60	0	1.71	0
6.0—8.0	2.60	0	1.71	0
Total		119		112

(2) 湖心・観測塔定点における経時変化

1981年12月21日から22日にかけての魚探計量により、イサザアミの W_i ($0.5 w \cdot g \cdot m^{-3}$) を求めたのが表9である。日没の16時25分を過ぎると急に増加しているのがわかる。これは、湖底に沈んでいたイサザアミが浮上を始めたためである。18時と30分の W_i の値はかなり違っている。この理由は不明であるが、計算値の中に、チチブなどのSV値が入っているかもしれない。続いて、夜が明け始めた翌朝の6時30分には W_i は減少し、前日の16時25分の値に近い。この W_i をもとにして B_1 から B_4 までを計算し、霞ヶ浦全域 (167.7 km^2) のイサザアミ資源量を計算した。表9にその結果が示されている。イサザアミの資源量は1,300tから10,000tまで、8倍近く変化し、夜間の方がその量は多い。これは、昼間湖底近くに潜んでいたイサザアミが、日没になって浮上したためである。仮に、夜間のイサザアミ資源量推定値を正しいとすれば、昼間はその1/4から1/8の資源量しか推定できていないことになる。

(3) 霞ヶ浦におけるイサザアミ資源量

1982年3月3日土浦入と、3月6日湖心とで魚探観測を行い、それぞれイサザアミの現存量を推定した(表10)。土浦入に比べて湖心の現存量の多いことが明らかにわかる。この推定値でそれぞれに B を計算すると、3月3日では2,077t、3月6日では4,908tとなる。約2.3倍の差がでる。これは湖区を越えて計算したのであるから当然であると言える。そこで、3月3日のデータからは B_1 と B_2 を、3月6日のデータからは B_3 と B_4 とを計算し、それぞれ足し合わせると、 $B = 4197$

表 9 霞ヶ浦・湖心における魚探計量システムによるイサザアミ生息密度推定値 (W_i , $w\text{-g}\cdot\text{m}^{-3}$) と資源量推定値 (B , t)Table 9 *Neomysis* density (W_i , $w\text{-g}\cdot\text{m}^{-3}$) and the stock biomass (B , t) estimated using the BMSE on December 21 to 22, 1981, in Koshin lake-division

Year Date	1981 Dec. 21	1981 Dec. 21	1981 Dec. 21	1981 Dec. 22
Time	16:25	18:00	18:30	06:30
Water depth (m)	W_i	W_i	W_i	W_i
0-1.5	0.90	2.50	5.40	0.74
1.5-2.0	0.95	0.35	3.15	0.49
2.0-2.5	1.15	6.95	2.15	1.24
2.5-3.0	1.15	11.60	0.55	1.83
3.0-3.5	1.55	9.15	4.75	2.83
3.5-4.0	1.40	5.40	12.10	2.77
4.0-4.5	2.05	5.00	30.25	2.89
4.5-5.0	1.65	3.25	36.95	2.89
5.0-5.5	1.65	2.10	26.60	2.89
5.5-6.0	1.65	1.25	24.05	2.89
6.0-8.0	1.65	1.25	24.05	2.89
B_1 (t)	252	1130	1498	337
B_2 (t)	119	572	600	160
B_3 (t)	857	3238	7738	1244
B_4 (t)	57	242	254	66
B (t)	1285	5182	10090	1807

(t)となった。

一方、1982年5月18日と21日とは、土浦入と高浜入との観測値のみで、湖心での観測値はない(表10)。この場合は、5月21日の B の値は18日と比べて1.4倍大きくなっている。湖心と湖尻とは両方の値の平均を用いて計算すると、3,868 tとなる。この推定値は3月の B 値より若干小さいが、ほとんど差のない値である。

1981年12月の B 値を、同じ考え方で求めるため、12月22日と、12月23日との値を利用して計算すると、 $B = 1763$ (t)となった。

このような粗推定の結果、表10に掲げたとおり霞ヶ浦全域におけるイサザアミ資源量は、1981年12月には2,000 t、1982年3月には4,000 t、同じ年の5月には4,000 tとなった。しかしながら、これらの推定値は、日中、湖水中層に帯状分布しているイサザアミの資源量である。前述のとおり、日中の音響資源調査時に、湖底付近にどれ位の量のイサザアミが分布しているかは不明である。仮に、昼間対夜間の推定資源量の比率として、先に述べた数値のうち4倍を採用すると、単純に計算して、1981年12月は8,000 tで、1982年5月には16,000 tのイサザアミ資源量となる。

表 10 霞ヶ浦における魚探計量システムによるイサザアミ生息密度推定値 (W_i , $w\text{-g}\cdot\text{m}^{-3}$) と資源量推定値 (B , t)

Table 10 *Neomysis* density (W_i , $w\text{-g}\cdot\text{m}^{-3}$) and the stock biomass (B , t) estimated using the BMSE in March and May, 1982, in Lake Kasumigaura

	1982 Mar. 3	1982 Mar. 6	1982 Mar. 18	1982 Mar. 21
Lake-division	Tsuchiurairi	Koshin	Tsuchiurairi	Takahamairi
Water depth (m)	$W_{i(t)}$	$W_{i(t)}$	$W_{i(t)}$	$W_{i(t)}$
0—1.5	4.20	6.00	1.50	5.50
1.5—2.0	1.70	2.40	2.05	2.25
2.0—2.5	1.55	2.40	1.10	3.80
2.5—3.0	1.55	3.15	0.95	2.15
3.0—3.5	1.50	3.95	4.45	2.20
3.5—4.0	1.85	7.70	4.00	2.45
4.0—4.5	1.30	7.70	9.05	3.15
4.5—5.0	2.00	7.70	6.00	14.00
5.0—5.5	2.30	7.70	6.00	14.00
5.5—6.0	2.00	7.70	6.00	14.00
6.0—8.0	2.00	7.70	6.00	14.00
B_1 (t)	442	930	562	795
B_2 (t)	225	448	257	362
B_3 (t)	1288	3317	2324	3271
B_4 (t)	122	213	111	181
B (t)	2077	4908	3254	4609

イサザアミ資源量推定のために、昼間に音響資源調査を実施する場合には、したがって、昼間対夜間の推定資源量の比率を知ることが、極めて重要な課題となる。

8. 総合考察

(1) 浅水湖沼における魚群探知機の利用

湖沼における魚群探知機の利用は、白石 (1972) によって、本人自身の研究歴を中心に詳しくまとめられている。白石 (1972) は、海洋における魚類資源量等の推定に魚群探知機が利用されているのを知り、それを湖沼に応用しようとして、1958年頃から魚探調査を始めた。その後、1969年までで、自然の湖沼 17、人工湖 9 の合計 26 の湖沼において、陸水学的な面での魚群探知機利用の可能性を検討し、いろいろな湖沼条件において得られた魚群像からの情報について、詳しく解説を加えている。

ところで、日本の湖沼において、本格的な音響資源調査を行ったのは、黒木・中馬 (1953) の池田湖が初めてであろう。この調査では、ワカサギとマス類との群れを対象としたものであった。その後、白石・古田 (1964) が芦ノ湖で夜間、ウグイ・ワカサギなどの魚類を単体で記録するこ

とに成功し、その後、湖沼での音響資源調査は、単体を記録し解析する方向へ進んだ(古田・山口, 1968; 古田・木村, 1969; 古田, 1976; 田中, 1978; 欧, 1980)。しかしながら、いずれも水深の深い湖沼での調査がほとんどであり、田中(1978)の調べた最大水深15mの湯ノ湖であっても水深4m以浅の魚探情報は満足のいくものではなかった。

私達の調査した霞ヶ浦は図2の地形図から明らかなとおり、水深5m以浅の面積の全湖表面積に占める割合は、実に70%以上にもなる。霞ヶ浦における魚探調査の報告はほとんどなく、白石が1960年に航跡を、同年北浦ではあるが、魚群を調べ、また古田が1966年に水草を調べたとされているのみである(白石, 1972; 古田, 1976)。その後、1980年から1981年にかけて、サイド・スキャンニング・ソナーとポータブル地層探査機とにより、湖沼堆積物の調査が行われた(井内, 1981a, b, c; 井内ら, 1981)。その結果、湖底上の微細な変化が記録されたが、湖水中の生物資源に関する情報はない。

ここで報告したように平均水深4mの浅水湖沼において、ボラやチブのような魚類とイサザアミの魚探像が得られたことは、湖沼における音響資源調査だけでなく、浅海域における同様の調査を推進させる上で極めて有効であると思われる。しかしながら、浅水湖沼での研究はまだ緒についたばかりであり、魚群探知機の改良とともに、その生物量計量システムについても開発を続けなければならない。また同時に調査方法についての検討も深めることが必要であろう。

(2) イサザアミ資源調査における魚群探知機の利用

霞ヶ浦におけるイサザアミについては、加瀬林(1961)が断片的な生態学的知見を述べたのが、最初である。当時、村野(1963 a, b, 1964 a, b, 1966 a, b)による一連の研究が行われていたが、イサザアミを他の湖沼へ移殖することをねらいとした増殖的研究であって、資源学的な情報は多くなかった。その後、霞ヶ浦における富栄養化問題が深刻化する中で、春日(1981 b)は、イサザアミの資源量及びその変動が湖沼系において重要な役割を持っていることを指摘した。イサザアミ資源の生態学的研究は、この頃から急速に進んだが(春日, 1982; 戸田, 1982; Toda *et al.*, 1982)、イサザアミの資源変動に関する研究は初まったばかりであるといえる。漁獲統計に掲上されるようになってからのイサザアミの漁獲量は、1957年に2,700tの最高値をとった後、10年後の1968年に一時的に増加したものの、その後は1,000t前後を変動している(図16)。しかし、この数年はほぼ1,600tの漁獲量があった。イサザアミは、現在水産経済上の価値が低いので、漁獲量は資源量の多さを必ずしも反映はしていないが、それでもなお単一種資源としては、テナガエビに次いで高い漁獲生産量となっている。

魚群探知機を使った私達の調査では、既に述べたように、昼夜の垂直移動があるが、この垂直移動に関しては太陽光量が大きい影響を及ぼしていることが示唆された。水中テレビによって、日射量の強い夏に、イサザアミが湖底近くに大量に分布していたことも観察されている。日射量の強い日中では、イサザアミは湖底付近に潜んでいるが、日射量の弱い日とか曇り空の場合は湖

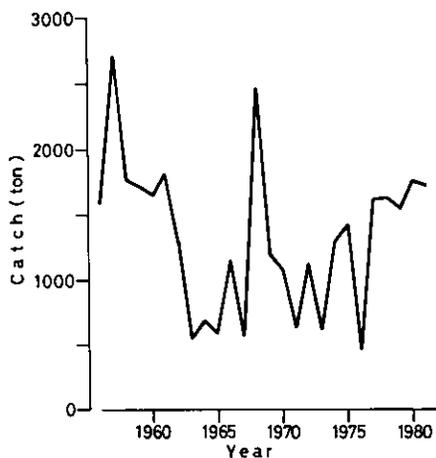


図 16 霞ヶ浦におけるイサザアミ漁獲量(t)の年次変動

Fig. 16 Annual fluctuations of Catch in ton of *Neomysis intermedia* in Lake Kasumigaura

水中層に帯状をなして分布していた。このような、イサザアミの垂直移動の知見はネットや水中テレビだけでなく魚探観測によっても得られるのであり、既に動物プランクトン（白石・古田, 1964), *Mysis relicta* (Bowers & Greossnickle, 1978), それにフサカの幼生 (Northcote, 1964) などの生物で知られている。魚探観測によって発見される生態学的知見は、同時に資源量推定にも役立つものであり、この点からも音響資源調査はイサザアミ資源の研究にとって有用である。

(3) 魚群探知機によるイサザアミ資源量推定

魚探が生物資源量の推定に有用であることについては、既に多くの報告により認められているところである（青山, 1982; Burczynski, J., 1979; 加藤, 1975; 古沢, 1983, など）。しかし、反射音圧だけの観測であるから、環境条件、機械の性能あるいは生物の生態条件などにより、魚探像はいろいろに変化するし、それに基づく資源量の推定は簡単ではない (Hargreaves, 1976; 白石, 1972, など)。

私達の魚探計量システムも、もちろん十分なものであるとは言えない。また、イサザアミの標的強度の測定値が、Greenlaw (1979) のモデル計算値とおおよそ一致したからといって、どの程度正しく測られたかは今後とも検討する必要がある (稲垣ら, 1981; Johnson, 1977; Love, 1977)。特に、基準値がネットサンプリングによる採集量との対応だけで求めたものであり、そのほか多くの理論的検討がなされていないことは、大きい問題となるかもしれない (Thorne, 1971)。

今回のイサザアミ資源量の推定値が、以上の問題をかかえている中で、どの程度確かであるの

か、少し考えてみよう。

戸田(1982)は高浜入において、1980年から1982年にかけて、ネット採集によるイサザアミ生息密度の推定を行っている。私達の調査日に近い1981年11月4日と12月11日、及び1982年2月6日におけるイサザアミの生息密度はそれぞれ5.41, 4.94, 3.00 (wet-g \cdot m⁻²)であった。これを高浜入全域の資源量に換算すると、それぞれ128, 117及び71tとなる。著者らの1981年12月23日の高浜入の資源量は112tと119tであった(表8)。このように、両者の数値は極めて近いものであった。ただし、1982年3月は362tとなっており、この値はかなり異なっていた。

一方、著者らは1981年12月から1982年5月までの、霞ヶ浦のイサザアミ資源量は湖底付近を考えないとして、2,000tから4,000tであると推定した。1981年の年間漁獲量が1,700tであったことから考えて、これらの推定値は極端に外れたものではない、と思われる。イサザアミ資源量を精度高く推定するには、まだ多くの解決しなければならない問題が残っている。しかし、今回の魚探計量システムの利用により、少なくとも昼間、中層に浮上しているイサザアミ資源量を推定することは、可能である。また、さらに、夜間の音響資源調査を行うことで、イサザアミ全資源量を推定する見通しも得た。

春日(1981)の指摘した、「霞ヶ浦の富栄養化現象におけるイサザアミの役割の重要性」が何であるのか、を明らかにしていくためにも、イサザアミ資源量の長期にわたる観測作業は続けられなければならない。

謝 辞

この研究は、国立公害研所、特別研究「陸水域の富栄養化防止に関する総合研究」の一部として行われた。国立公害研所研の職員の方々には研究の実施に当たり多くの便宜を与えていただいた。また、東京大学海洋研所研の資源解析及び漁業測定部門の諸氏には調査の準備に当たって多くの援助を頂いた。特に、青山恒雄教授にはこの研究に対する数々のコメントを頂いた。また、同研所研の向井宏助手には水中テレビを、そして五十嵐千秋技官には霞ヶ浦の湖沼地形図等に関する文献を、貸与していただいた。さらに、国立公害研所研の河合崇欣博士には、1981年12月23日に、ロランCにより船位の測定をしていただいた。以上の方々には厚く御礼申し上げる。

引 用 文 献

- 青山恒雄(1978):魚群量のクイック・アセスメントのための音響機器の利用。日本水産資源保護協会月報, 165, 8-10.
- 青山恒雄(1982):ネクトンおよびマイクロネクトンのクイックアセスメント技法開発に関する基礎的研究。昭和56年度科学研究費補助金(一般研究B)研究成果報告書, p.106.
- Beeton, A. M (1960): The vertical migration of *Mysis relicta* in Lakes Huron and Michigan. J. Fish. Res. Bd. Canada, 17, 517-539.

- Bowers, J. A. and N. E. Grossnickle (1978): The herbivorous habits of *Mysis relicta* in Lake Michigan. *Limnol. Oceanogr.*, 23 (4), 769-776.
- Burczynski, J. (1979): Introduction to the use of sonar systems for estimating fish biomass. FAO Fish, Tech, Paper (191), 89 p.
- 古澤昌彦 (1983): 水産音響シンポジウム (ベルゲン, 1982) 報告. 水産海洋研究会報, 43, 86-93.
- 古澤昌彦・宮野鼻洋一 (1983): 計量用魚群探知機の船間校正及び走航減衰調査. 水工研技報, 漁船工学, 4, 61-71.
- 古田能久 (1976): 魚類の野外調査法. 生態学研究法講座 24, 水界生物生態研究法 I —— 淡水の魚類とベントス ——, 共立出版, 1-88.
- 古田能久・木村関男 (1969): 夏季の木崎中綱両湖における魚類の垂直分布と環境条件との関係. 淡水研報, 19 (2), 103-111.
- 古田能久・山口教雄 (1968): 福島県檜原湖における魚類の分布構造と湖沼条件. 淡水研報告, 18 (2), 81-93.
- Greenlaw, C. F. (1977): Backscattering spectra of preserved zooplankton. *J. Acoust. Soc. Am.*, 62, 44-52.
- Greenlaw, C. F. (1979): Acoustical estimation of zooplankton populations. *Limnol. Oceanogr.*, 24 (2), 226-242.
- Hargreaves, P. M. (1976): Echo-traces from the North-eastern Atlantic. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 37 (1), 46-59.
- 稲垣正・青山恒雄・山下洋・中村義浩 (1980): 魚探調査, 温水拡散の内部構造と魚群分布についての実態調査. 福島県水産試験場, 120-165.
- 稲垣正・青木一郎・青山恒雄 (1981): 魚群探知機による魚群の音響反射強度の研究. 大槌臨海研究センター報告, 7, 7-12.
- 稲垣正・立川賢一・春日清一・北畠能房 (1983): 霞ヶ浦におけるイサザアミの音響計測. 昭和 58 年度日本水産学会春季大会講演要旨集, p. 19.
- 井内美郎 (1981 a): 霞ヶ浦の歴史. 地質ニュース, 319, 59-63.
- 井内美郎 (1981 b): 霞ヶ浦の湖底をさぐる. 地質ニュース, 320, 38-46.
- 井内美郎 (1981 c): 霞ヶ浦の湖底をさぐる (2) — 火山灰層を使って堆積物に年代の目盛りをうつ. 地質ニュース, 331, 56-63.
- 井内美郎ほか (1981): 湖沼堆積物の調査技術に関する研究. 工業技術院, p. 17.
- Johnson, R. K. (1977): Acoustic estimation of scattering layer composition. *J. Acoust. Soc. Am.*, 61; 1636-1639.
- 加瀬林成夫 (1961): 霞ヶ浦におけるイサザアミについて. 茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所, 調査資料, 36, 1-14.
- 春日清一 (1981 a): 霞ヶ浦の栄養塩回帰における大型動物の役割. 国立公害研究所調査報告, 第 16 号, 45-51.
- 春日清一 (1981 b): 霞ヶ浦高浜入最奥部入江における魚類, イサザアミ, テナガエビの現存量推定と栄養塩回帰への寄与. 国立公害研究所研究報告, 第 22 号, 159-169.
- 春日清一 (1981 c): 霞ヶ浦の富栄養化と動物たち. 環境情報科学, 10 (4), 69-75.
- 春日清一 (1982): イサザアミ (*Neomysis intermedia*) の食性と, その霞ヶ浦における生態的地位. 国立公害研究所調査報告, 第 22 号, 139-147.
- 加藤増夫 (1975): 魚探の効果的な使い方. 漁協経営センター出版部, p. 222.
- 黒木敏郎・中馬三千雄 (1953): 水平魚群探知に関する研究 (第一報), 池田湖に於ける魚群量の推定. 鹿大水産紀要, 3, 56-64.
- Love, R. H. (1977): Target strength of an individual fish at any aspect. *J. Acoust. Soc. Am.*, 62, 1397-1403.
- 村野正昭 (1963 a): イサザアミ, *Neomysis intermedia* CZERINAWSKY の漁業生物学的研究, I. 湖沼生産に演ずる役割. 水産増殖, 11 (3), 149-158.
- 村野正昭 (1963 b): イサザアミ, *Neomysis intermedia* CZERINAWSKY の漁業生物学的研究, II. 食性

- について。水産増殖, 11 (3), 159-165.
- 村野正昭 (1964 a) : イサザアミ, *Noamysis intermedia* CZERINAWSKY の漁業生物学的研究, III. 生活史, 特に生殖について。水産増殖, 12 (1), 19-30.
- 村野正昭 (1964 b) : イサザアミ, *Noamysis intermedia* CZERINAWSKY の漁業生物学的研究, IV. 生活史, 特に成長について。水産増殖, 12 (2), 109-117.
- 村野正昭 (1966 a) : イサザアミ, *Noamysis intermedia* CZERINAWSKY の漁業生物学的研究, V. 環境要因に対する適応性。水産増殖, 13 (4), 233-245.
- 村野正昭 (1966 b) : イサザアミ, *Noamysis intermedia* CZERINAWSKY の漁業生物学的研究, VI. 移殖の可能性について。水産増殖, 14 (2), 191-196.
- 村野正昭 (1979) : アミ学入門一分類・分布とその生態一。海洋と生物, 1 (1), 2-10.
- 中山覚介 (1982) : 科学魚探 (FQ-30) を使ってみて。水産海洋研究会報, 第 40 号, 21-26.
- 農林水産省統計情報部 (1982) : 昭和 55 年, 漁業養殖業生産統計年報。農林水産統計報告, 56-34 (水統-4)。
- Northcote, T. G. (1964) : Use of a high-frequency echosounder to record distribution and migration of *Chaoborus* larvae. *Limnol. Oceanogr.*, 9, 87-91.
- 小沼洋司 (1982) : 魚を中心とする物質移動。国立公害研究所調査報告, 第 22 号, 128-133.
- 欧 錫祺 (1980) : 魚群探知機による個体記録の反射パルス数に基づく魚群量推定。東京大学学院, 農学系, 博士論文, p. 205.
- Sameoto, D. D. (1976) : Distribution of sound scattering layers caused by euphausiids and their relationship to chlorophyll *a* concentrations in the Gulf of St. Lawrence estuary. *J. Fish. Res. Bd. Can. ada.*, 33, 681-687.
- Sameoto, D. D. (1980) : Quantitative measurements of euphausiids using a 120-kHz sounder and their in situ orientation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 693-702.
- 白石芳一 (1972) : 魚群探知機による湖沼調査。海外技術協力事業団, p. 129.
- 白石芳一・古田能久 (1964) : 魚群探知機による神奈川県芦ノ湖の魚族分布と資源尾数の推定に関する研究。淡水研報, 13 (1), 57-76.
- 田中 実 (1978) : 魚群探知機による資源量推定法に関する基礎研究。淡水研報, 28 (2), 77-139.
- 立川賢一 (1982) : 湖沼における魚類の生産とその意義。国立公害研究所調査報告, 第 22 号, 97-127.
- Thorne, R. E. (1971) : Investigation into the relation between integrated echo voltage and fish density. *J. Fish. Res. Bd. Can. ada.*, 28 (9), 1269-1273.
- 戸田任重 (1982) : 霞ヶ浦におけるイサザアミ (*Noamysis intermedia*) の鉛直, 水平分布と生物量の季節変化。国立公害研究所調査報告, 第 22 号, 148-156.
- Tada, H., A. Hamada and S. Ichimura (1981) : Acceleration of the eutrophication process and community changes in biotic structure due to human activities in Lake Kasumigaura. *Verh. int. Verein. Limnol.*, 21, 646-651.
- Toda, H., M. Takahashi and S. Ichimura (1981) : Abundance and life history of *Noamysis intermedia* CZERNIAWSKY in Lake Kasumigaura. *Hydrobiol.*, 93, 31-39.
- 宇都宮陽二郎 (1979) : 霞ヶ浦の湖底地形とその堆積速度について。国立公害研究所研究報告, 第 6 号, 7-21.

霞ヶ浦における底生動物の生産に関する研究—1
——ハゼ類及びテナガエビの生態と現存量——

Study on the Production of Benthic Animals in Lake Kasumigaura -1
——Biomass and Feeding Habit of Gobiidae and the Prawn——

小沼洋司¹・高橋 惇¹・鈴木健二¹・藤富正毅¹

Yoji ONUMA¹, Jun TAKAHASHI¹, Kenzi SUZUKI¹ and Masaki HUZITOMI¹

Abstract

Recently the eutrophication has progressed rapidly in the Kasumiga-ura, and we can see some noticeable changes of water and fauna in the lake. One of the conspicuous phenomena is a step-up in fishery production of the benthic fishes such as Gobiidae and the prawn, *Macrobranchium nipponense*.

The purpose of this paper is to make clear the structural situation and the functional role of benthic fishes in ecosystem of the lake.

During the period from April 1981 to April 1982, 112 samples were collected by the use of a towing net in the seven areas of the lake, and the species composition, standing crop and prey organism composition in the stomachs of the benthic fishes, were investigated.

We found 16 species of benthic fishes, 2 species of crustaceans and one species of amphibian in the samples caught in the deep areas of the lake during the period. The prawn occupies the first place in standing crop of aquatic animals in the lake, nearly 56 % of total biomass, and the second place the Chichibu, *Tridentiger obscurus*, occupied 33 %. Total biomass of the Chichibu and the prawn show a maximum 3.8 g/m² in September, and a minimum 0.2 g/m² in April. Occurrence of the maximum in September indicates an increase in their population by recruitment of young stage of the both species, spawned in the period from May to August.

The Chichibu and the prawn both take mainly on Mysidaceans, *Neomysis intermedia*, as food organism, and in the next Chironominae in larval stage plays an important part as food for them.

During the period from July to September, when the biomass of Mysidaceans decreases and the larvae of Chironominae are in resting, they depend on zoo-plankton such as Copepods, larvae of Gobiidae and some Tubificids for food.

1. 昭和 56, 57 年度 国立公害研究所客員研究員 (茨城県内水面水産試験場〒 311-35 茨城県行方郡玉造町甲 1560)

Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present Address: Freshwater Fisheries Experiment Station Ibaraki Prefecture, Tamatsukuri-machi, Ibaraki 311-35, Japan.

From a comparison of the Chichibu with the prawn concerning a situation of feeding habit, it can be seen that the Chichibu preys on animals in different life form such as benthic organisms in mud and some nekton, during the period from October to December. In the other season the fish preys mainly on nekton twice as much as the benthic organisms in feeding rate. On the other hand, the prawn preys on nekton thrice or quadruple as much as the benthic organisms for food all the year round.

1. はじめに

霞ヶ浦は、近年富栄養化が進み、水質・底質などの変化とともに生物相にも顕著な変化がみられるようになってきた。このような湖内の生物的・非生物的な変化は当然のことながら、主として底生生活をするハゼ類やエビ類の漁獲物組成や漁業生産量に大きく反映している。すなわち、1960年代の前半に、年間700~1400tの範囲にあったハゼ類・エビ類の漁獲量は1980年になると5400tにまで増大した。このように増加した漁獲量は、霞ヶ浦全体の漁獲量に対する割合においても、16~25%から55%を占めるようになった。このような漁業生産量の変動の背景には、霞ヶ浦そのものの生物生産系としての基本的な構造の変化が起きていることを暗示するものがあると言える。

本研究は、霞ヶ浦の漁業資源の中核を占めるようになったハゼ類及びテナガエビの生産の現状、及び底層において、これら水族の生物生産過程に引き起こす物質移動を把握することを目的に計画された。まず、本報告においては、霞ヶ浦の水深3m以深における魚類相、種類別にみた成長・移動、これらの現存量、それに種類別にみた摂食量についての知見を得たので報告する。

2. 採集場所と方法

(1) 「いさざごろひき網」操業による漁獲調査

ハゼ類及びテナガエビの採集については、霞ヶ浦の湖央域を中心にして、これよりほぼ等間隔になるように7水域を定点と決め(図1)、「いさざごろひき網」によって行った。定点A・F・Gは両岸から等距離の中央に、定点Eは湖中央部に、定点B・C・Dは各湖岸線より約1.5km沖合に位置し、各定点の水深はAで3~3.5m、B・D・E・Fで5~6m、C・Gで4~5mであった。

ひき網の操業は午前7時~同12時の間に行い、1981年4月から'82年4月までに16回、合計112標本を採集した。ひき網方法は当業船の操業方法に順じて、ひき網の先に結んだアンカーを投入してから船を走らせてひき網を300m伸ばし、網を入れてひき網を巻き上げながら曳網した。曳網時の網口幅は網の袖の部分に浮子を左右に付け、この水面上の浮子の間隔を船上から距離計を使って測定した。したがって、ひき網の掃過面積は網口幅と曳網距離との積によって求めた。

ひき網の魚取り部分の網の目合は5mmであるので、これより小型の稚仔魚やイサザアミなどは網目から抜けて漁獲できなかった。

漁獲物はすべて10%ホルマリン溶液によって固定し、種別に体長・体重・生殖線重量の測定を

するとともに、消化管内容物を調べた。消化管内容物の調査には、各種1定点について15尾を用いた。

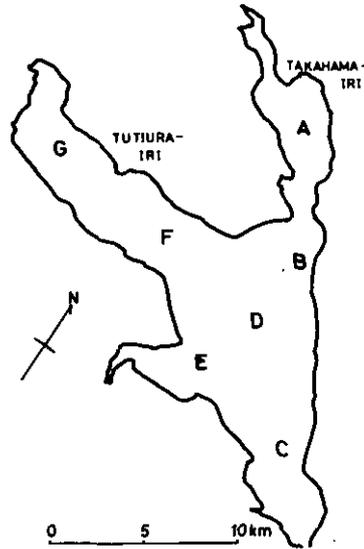


図 1 霞ヶ浦におけるいさごろひき網調査地点

Fig. 1 Spatial distribution of seven sampling points (A-G) in Lake kasunigaura

(2) 稚魚ネットによる採集

ハゼ類の稚仔やテナガエビの幼体の出現する季節変動を知るために、稚魚ネット(網口直径75 cm, 網目合0.5 mm)を使用して、採集地点の水深に応じた上層と下層とに分けて、船外機付船で5分間えい航した。採集調査は、1981年4月から同年12月までの期間にA・B・C・E・F(図1)の5点において10回のひき網を行った。

3. 結果

(1) 魚類相と現存量

図1に示す7水域において、1年間の調査期間中に16日、延べ112回の「いさごろひき網」を操業した。これで得られた全漁獲物を、種別に出現頻度、漁獲尾数、漁獲量に分けて表1に示した。また、1m²当たり漁獲量(以下これを現存量という)を、種別・定点別と7定点の平均値、及び採集日別に表2に表した。

漁獲物の種構成は、魚類16種、両生類1種、甲かく類2種である。この中にはワカサギ・シラウオ・コイ・クルマサヨリなど底生性以外の魚類が8種含まれ、底層を引く漁具の特性上、得られた数量がこれらの現存量を反映していないと考えられるので表2から除外した。また、ドジョ

表 1 「いさざごろひき網」で漁獲された種類とその出現頻度及び漁獲量
 Table 1 A list of Fishes caught by the towing net from April 1981 to April 1982 in Lake Kasumigaura
 F indicate the appearance frequency of each fish in 112 samples

Japanese Common Name	Species Name	F	Number		Weight	
			No.	%	Wat (g)	%
Wakasagi	<i>Hypomesus transpacificus nipponensis</i>	59	1558	0.1	2367.7	0.5
Shirauo	<i>Salangichthys microdon</i>	31	60	0.0	80.1	0.0
Kinbuna	<i>Carassius auratus</i> subsp.	61	788	0.0	17049.6	4.0
Koi	<i>Cyprinus carpio</i>	11	35	0.0	427.9	0.1
Motugo	<i>Pseudorasbora parva</i>	2	3	0.0	2.5	0.0
Tamoroko	<i>Gnathopogon elongatus</i>	2	2	0.0	0.6	0.0
Dojo	<i>Misguronus angillicaudatus</i>	1	1	0.0	7.2	0.0
Ukigori	<i>Chaenogobius annularis</i>	80	4345	0.3	6965.0	1.0
Juzukakehaze	<i>Rhodoniichthys laevis</i>	66	9408	0.8	4827.3	1.0
Chichibu	<i>Tridentiger obscurus</i>	112	348840	28.0	161585.3	33.0
Ashishirohaze	<i>Aboma lactipes</i>	112	37714	3.0	20198.9	4.0
Yoshinobori	<i>Rhinogobius brunneus</i>	6	8	0.0	1.4	0.0
Bora	<i>Mugil cephalus</i>	1	1	0.0	0.6	0.0
Kurumesayori	<i>Hemiraphus kurumeus</i>	25	81	0.0	374.9	0.1
Hakuren	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	1	1	0.0	2.3	0.0
Unagi	<i>Anguilla Japonica</i>	1	1	0.0	2.8	0.0
Otamajakushi	<i>Rana catesbeiana</i>	8	8	0.0	62.4	0.0
Tenagaebi	<i>Macrobrachium nipponense</i>	112	842150	68.0	275177.3	56.0
Crayfish	<i>Procambarus clarkii</i>	4	4	0.0	65.3	0.0
Total			1245008		489199.2	

ウ・ヨシノボリ・ウナギ・アメリカザリガニの採集個体数が年間わずか数尾だけであったので、本研究では取り扱わないことにした。したがって、ウキゴリ・ジュズカケハゼ・アシシロハゼ・チチブなど、ハゼ類4種とキンブナ、及びテナガエビの6種が沖帯における底生性の主な出現種であった。中でも、採集点の合計112定点のすべてに漁獲されたものは、アシシロハゼ・チチブ及びテナガエビの3種であった。

テナガエビは全漁獲量に占める割合が高く、尾数においては68%、湿重量においては56%であり、次いでチチブが同じく28%、及び33%であって、両種を合わせるとそれぞれ96%、及び89%となり、極めて高率である。

アシシロハゼについては、周年漁獲はされたが、前2種に比べると少ない。また、キンブナ・ウキゴリ・それにジュズカケハゼは季節的変動が大きく、量的にも少ないので沖帯の底層においては、テナガエビとチチブの2種が主要種とみなすことができる。

テナガエビとハゼ類4種、それにキンブナを加えた6種について、採集日ごとに7定点を平均した現存量の季節変化をみると(図2)、最高値は9月に3.2~3.8 g/m²となり、同時にテナガエビの値が最高となっている。チチブの割合の多くなる7月下旬~8月、及び10月~11月の値は2.2

表 2 主な底生種の水域別 (A~G) における現存量 (湿重量 mg/m²) の季節変化

Table 2 Standing crop of main species caught by the towing net in each area of Lake Kasumigaura

Species	Date	A	B	C	D	E	F	G	Average	
Chichibu	'81	IV-22	345	693	1088	307	287	191	119	433
		V-13	333	770	1439	671	413	621	148	628
		-27	332	440	1511	647	715	308	116	581
		VI-10	113	80	449	622	193	34	92	226
		-24	23	155	514	628	281	109	1	244
		VII-15	104	334	352	804	131	755	373	408
		-29	1186	2982	1550	1440	754	252	319	1212
		VIII-19	1282	1467	1721	445	344	1184	655	1013
	'82	IX-9	1470	1064	369	116	42	710	777	649
		-30	915	935	478	67	137	210	318	437
		X-21	1261	1021	1062	602	246	355	326	696
		XI-25	3369	2017	2160	1890	565	1219	499	1674
		XII-23	305	1431	457	770	182	438	14	513
		I-19	14	578	752	309	44	22	2	245
		II-15	17	524	360	651	32	16	3	229
		IV-1	3	125	165	35	12	99	52	70
Ashishirohaze	'81	IV-22	47	229	269	60	33	34	20	99
		V-13	368	144	260	206	966	135	106	312
		-27	200	146	205	244	163	202	181	192
		VI-10	242	128	117	155	165	419	566	256
		-24	110	252	150	647	409	433	79	297
		VII-15	29	214	267	322	382	399	148	252
		-29	55	104	10	15	75	48	131	63
		VIII-19	95	65	83	13	124	57	65	72
		IX-9	9	12	6	8	4	25	27	13
		-30	13	27	128	1	36	10	17	33
		X-21	19	26	77	74	31	53	89	53
		XI-25	81	24	81	221	71	98	131	101
	XII-23	12	57	34	149	61	100	42	65	
	'82	I-19	0.6	29	65	157	14	13	11	41
		II-15	0.6	66	69	344	1	10	13	72
		IV-1	0.3	7	17	7	1	8	18	8
Juzukakehaze	'81	VI-10	4	3	2	4	3	1	2	3
		-24	20	100	24	14	38	122	181	71
		VII-15	99	160	119	43	127	244	147	134
		-29	4	347	9	15	109	21	185	99
		VIII-19	0.6	7	7	8	56	52	315	64
		IX-9	9	12	4	4	9	38	252	47
		-30	3	9	1	1	5	4	62	12
		X-21	1	28	0.3	0.4	3	2	56	13
		XI-25	3	2	1		2	2	3	1
		XII-23			0.9					0.1
	'82	I-19						1		0.2
		IV-1	0.9						0.6	0.2

表 2 (つづき)
Table 2 (continued)

Species	Date	A	B	C	D	E	F	G	Average	
Ukigori	'81 IV-22		31	3	9		6	6	8	
	V-13	20	6	42	5	15	8		11	
	-27	13	11	25	7	6	7	3	10	
	VI-10	11	11	88	21	18	85	170	58	
	-24	1	42	58	44	60	255	725	169	
	VII-15	0.6	23	79	29	24	473	29	94	
	-29	1	21	12	2	2	2	649	148	
	VII-19		1	4		4	36	740	112	
	IX-9		13				117	386	73	
	-30						7	13	128	21
	X-21			49	26		66	5	142	41
	XI-25			5	8		75	6	62	22
	XII-23			10	8	5	16	6		6
	'82 I-19			6	7	9				3
	II-15			4		4				1
IV-1			3	14			2		3	
Ginbuna	'81 IV-22	4	7	216		35	22	55	50	
	V-13	125						336	66	
	-27		94					223	45	
	VI-10		0.4					81	12	
	-24	9	634			17			94	
	VII-15	24	35	18	0.3	2	34	81	28	
	-29	0.3	406		24		2	308	106	
	VIII-19	67	172	19			6	32	42	
	IX-9		18				7	39	9	
	-30	51	89				46	4	328	74
	X-21						7	11	164	26
	XI-25	274		227	12	62	6	75	93	
	XII-23	7	34	606	14		15		97	
	'82 I-19				2					0.3
	II-15			0.8						0.1
IV-1	30						5463	785		
Tenagaebi	'81 IV-22	599	1882	1053	173	110	255	302	625	
	V-13	1810	1131	1839	367	401	517	487	936	
	-27	2046	932	1433	587	653	339	318	901	
	VI-10	1299	828	503	999	884	199	780	785	
	-24	1167	1150	1040	1297	954	792	750	1021	
	VII-15	132	1089	1221	1449	116	724	1498	890	
	-29	1432	911	867	200	954	320	1356	863	
	VIII-19	1053	1713	1009	1201	941	1166	2441	1361	
	IX-9	790	6195	2658	1531	2283	4037	3737	3033	
	IX-30	2648	5795	3154	339	3147	2370	1947	2771	
	X-21	822	699	2664	1470	1189	1860	1373	1439	
	XI-25	699	114	1733	808	1145	665	586	821	
	XII-23	492	208	1091	4495	365	1103	46	1114	
	'82 I-19	16	1270	776	1238	137	151	36	546	
	II-15	166	433	781	712	887	80	22	440	
IV-1	5	161	158	77	4	102	175	97		

～2.6 g/m²である。冬季は最も低く、0.2～1.2 g/m²となり、この値の中にはテナガエビとチチブ、それに若干アシシロハゼが含まれる。春季と秋季は、夏季と冬季の値のほぼ中間の水準にあり、1.3～1.9 g/m²である。この春季には、他の季節とは異なり、ジュズカケハゼ、それにウキゴリが含まれ、種類数が最も多くなっている。

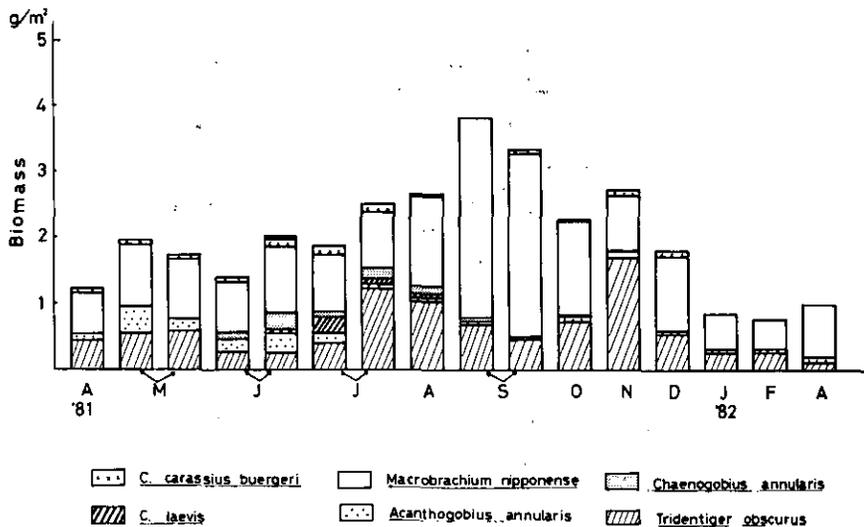


図 2 霞ヶ浦沖帯底層における魚類現存量の季節変化

Fig. 2 Seasonal variation of standing crop (g/m²) of epi-benthic animals sampled in limnetic zone of Lake Kasumigaura, from April 1981 to April 1982

(2) 種別の成長と現存量の季節変化

種類ごとの成長と、これに伴う現存量の季節変化を以下に述べる。

1) テナガエビ

表2に示したように、最も高いテナガエビの現存量は9月9日に3.0 g/m²となっている。10月以降、冬季にかけての現存量は減少し続け、冬季に最も低くなり0.1 g/m²となる。5月から7月にかけてはほぼ同水準に経過し、0.6～1.0 g/m²を示す。最も高くなる9月には当年生まれの小型群が浮遊生活から底生に移行するために現存量が高まるようである。

沖帯底層における頭胸甲長組成と平均体重の季節変化をみると、図3・4に示すように、7月から8月にかけて、大型から新生小型群への交代のあったことがわかる。テナガエビの成長は、8月から翌年4月まで、ほぼ横ばい状態が続き、ほとんど変化がみられないのに対して、4月から7月にかけては前者に比較して急こう配の成長を示している。この急成長期の後半に当たる6月下旬から8月中旬までの期間には抱卵個体が出現している。

次に、テナガエビの浮遊期の幼生についてみると、稚魚ネットで採集したゾエア～ミス期及び初期稚エビの量について採集日ごとに5採集水域の平均値を求めて図5に示す。この幼生は、8月18日をピークに7月28日から10月19日までの約2か月半にわたって出現している。また、この幼生は湖全域に広く分布しているが、8月18日のピーク時には高浜入における出現量は他水域に比べて10倍程度の高い水準の量がみられる。

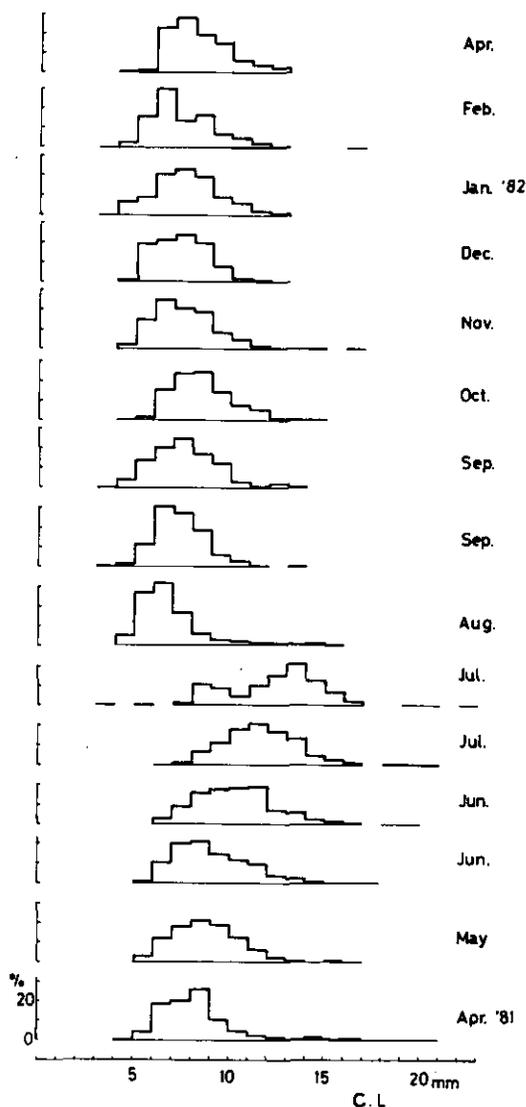


図 3 テナガエビの頭胸甲長組成の季節変化

Fig. 3 Seasonal variation of the carapace length distribution of the prawn in Lake Kasumigaura

Each graduation unit on the vertical axis represents 10 %

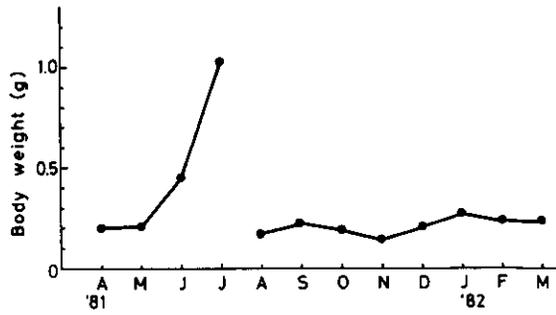


図 4 テナガエビの平均体重の季節変化

Fig. 4 Seasonal variation of the mean body weight of the prawn in Lake Kasumigaura, during the period from April 1981 to March 1982

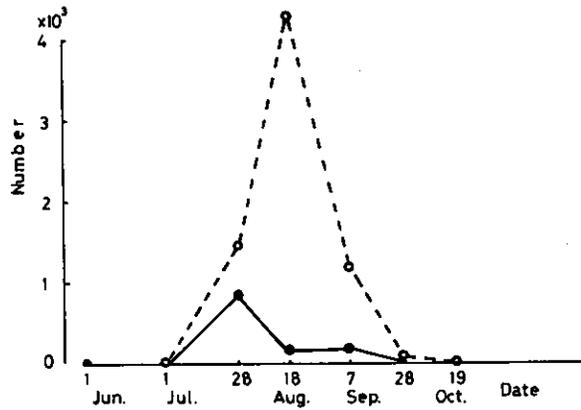


図 5 浮遊期テナガエビ (ゾエア, 稚エビ) の出現頻度の季節変化

Fig. 5 Seasonal variation of the number of the prawn (larval stage) sampled in Lake Kasumigaura

○ Surface layer, ● Bottom layer

以上のことをまとめると、春季になると急速に成長し、6月下旬～8月中旬が産卵期となる。この生まれた幼生は7月下旬から10月中旬にわたり、湖内全域に出現する。この幼生の底層への移行はほぼ8月に始まる。中でも、8月18日に最も多く出現した幼生はこれから約20日間を経て、9月9日には底層に移行して、底層においては最も高い現存量を示すと思われる。

2) チチブ

チチブについては、テナガエビに次いで現存量の高い底生種であり、テナガエビと同じように新生小型群の底層へ移行する量が多くなると、現存量が高くなるようである。

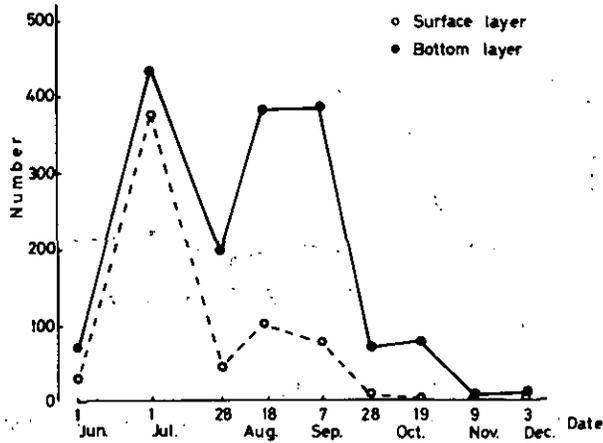


図 6 チチブ稚仔魚の出現の季節変化

Fig. 6 Seasonal variation of the number of the Chichibu (larval stage) sampled in Lake Kasumigaura

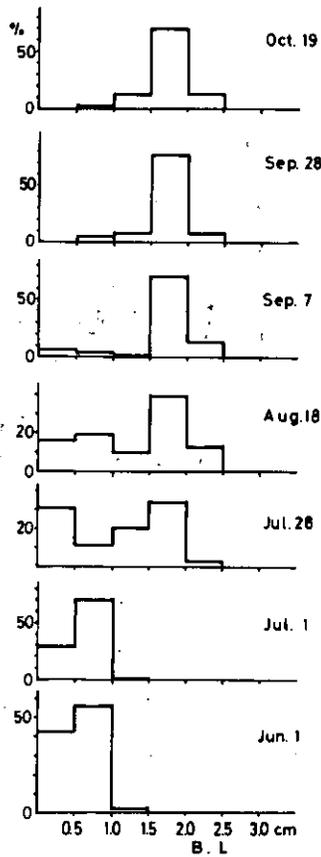


図 7 稚魚ネット採集によるチチブの体長組成の季節変化

Fig. 7 Body length distribution of the Chichibu caught by larva-net

稚魚ネットで採集された1網平均の稚仔魚の尾数を図6に、この稚仔魚の体長組成を図7に示す。また、4月から7月にかけての成魚について、卵巢の成熟度(卵巢重量/体重)を図8に示すように、産卵期、それに浮遊稚仔魚期ともに長期にわたるようである。卵巢の成熟経過からみると、産卵期は4月から7月までであり、この期間中には、5月中旬と6月下旬の両時期に成熟の山が認められる。稚仔魚の出現数にも、6月から9月上旬までの出現期間中に二つの山がみられる。図7の稚仔魚の体長組成でも、7~8月における体長1 cm以下と1.5 cm以上のものと二つの山が現れているから、3か月にわたる産卵期の中には前期生まれ群と後期生まれ群の二つの群に分けることができる。図9に体長組成の変化を、図10に平均体重の変化をみてもわかるように、前期生まれ群は6月下旬頃から底層に移行し始め、7月には成魚群が消滅して新生小型群に代わっている。新生小型群の現存量は前期生まれ群が加わる7月下旬~8月中旬に1.0~1.2 g/m²となるが、9月~10月には0.4~0.6 g/m²と低くなってしまふ。11月になると、浮遊していた個体もすべて底層に移り、主に後期生まれ群が加わるため現存量が最も高くなり、1.7 g/m²となるが、底層へ加わる群がなくなる12月以降には減少も早く0.5 g/m²以下となっている。

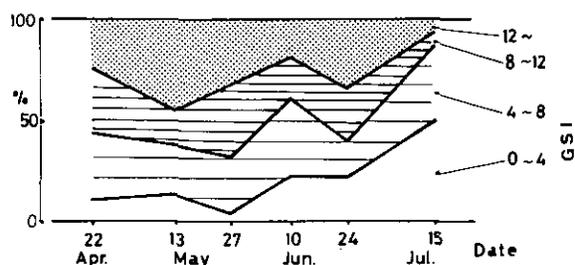


図 8 チチブの卵巢成熟度指数 (GSI = $GW \times 100/BW$) 分布の推移

Fig. 8 Seasonal change of gonadosomatic index (GSI) distribution of the female Chichibu in Lake Kasumigaura

3) アシシロハゼ

アシシロハゼについては、テナガエビ・チチブに次いで周年漁獲された魚種であるが、現存量は5月の0.3 g/m²を最高に7月以降に0.01~0.1 g/m²と低目である。

図11に示すように卵巢の成熟度からみると、産卵期は5月から7月までの期間にあり、5月下旬に一つのピークがある。浮遊幼生は6月から8月にかけて湖内広範に分布し、中でも7月上旬に最も多く現われている。チチブに比べると、産卵期の山はチチブの二つに対し一つであり、また、浮遊幼生の出現はチチブの6月~10月に対し、6月~8月であり、短期間である。図12・13に示すように体長組成と平均体重の変化をみると、底生への移行は7月以降にみられ、底生移行群の体長は1.2 cmからであら、チチブが移行する体長1.8 cm以上からに比べて小型である。

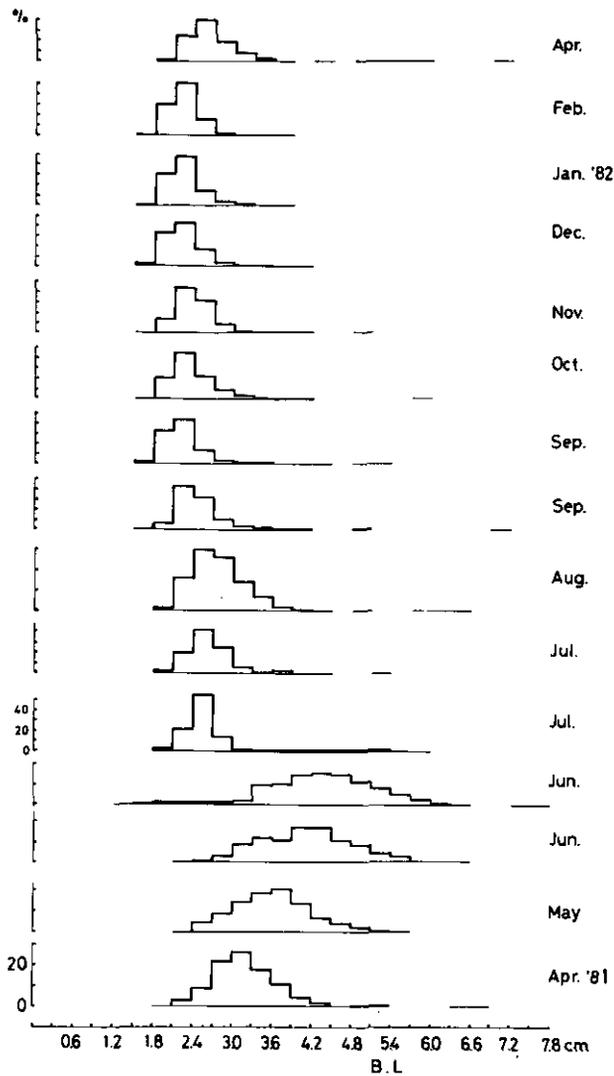


図 9 チチブの体長組成の季節変化

Fig. 9 Body length distribution of the Chichibu in Lake Kasumigaura
Each graduation unit on the vertical axis represents 10%

底生移行後の新生小型群の体長の季節変化は翌年4月まで緩やかに大型へと変化している。5月から産卵期にかけては、5月の体長モード2~3cm, それに平均体重0.3gから、7月にはそれぞれ4~4.5cm, 1.25gと大きくなり、産卵するようである。

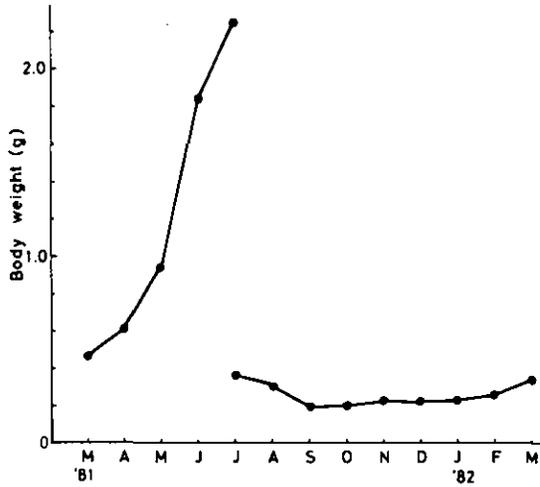


図 10 チチブの平均体重の季節変化

Fig. 10 Seasonal change of the mean body weight of the Chichibu caught by the towing net in Lake Kasumigaura from March 1981 to March 1982

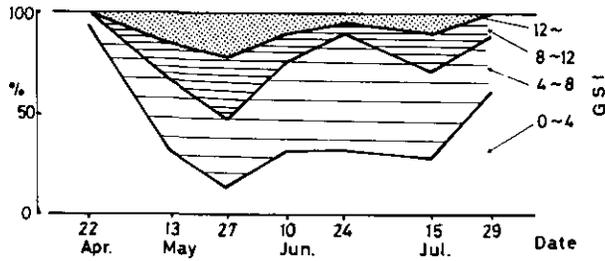


図 11 アシシロハゼの卵巣成熟度指数 (GSI) 分布の季節変化

Fig. 11 Seasonal change of the gonadosomatic index (GSI) distribution of the female Chichibu in Lake Kasumigaura

4) ウキゴリ

ウキゴリ・ジュズカケハゼについては、沖帯における現存量は低く、未成魚群が6月から10月にかけて沖帯まで分布域を広げるが、他の季節にはほとんど現れない湖岸帯を主な分布水域とする魚種である。

ウキゴリの成魚は4月から5月にかけて少数現れるだけである(図 14, 15)。ウキゴリの未成魚は5月に体長 1.5~3.5 cm になって沖帯に現れ、6月~8月には体長 3~7 cm に成長する。ウキゴ

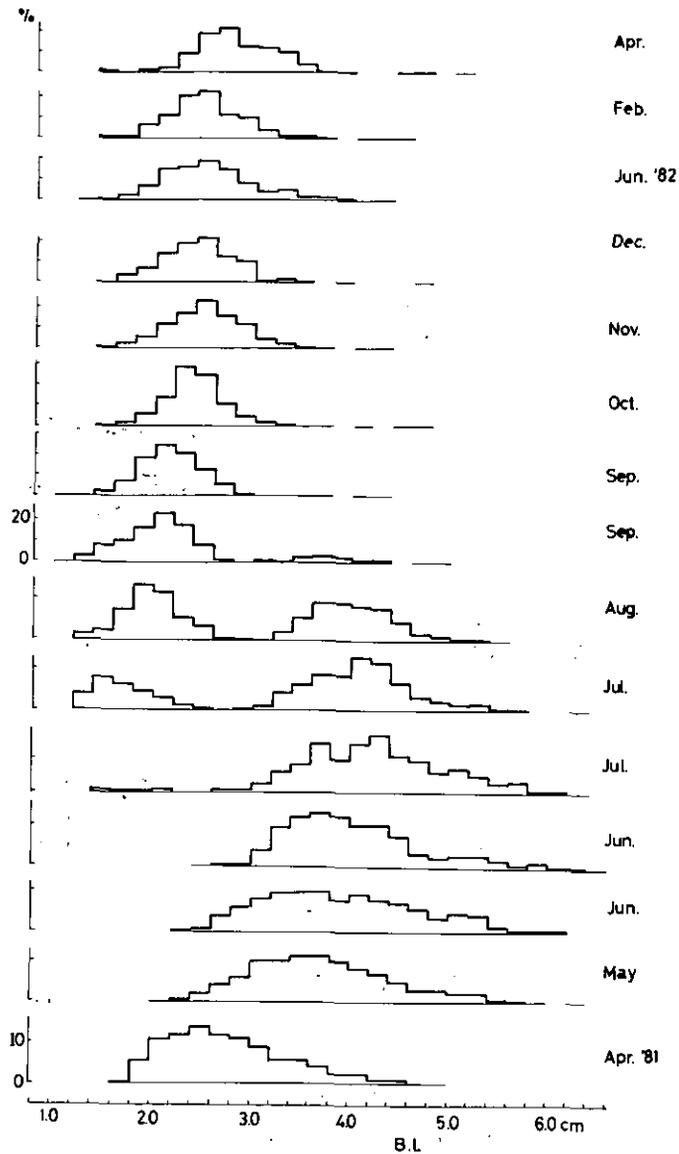


図 12 アシシロハゼの体長組成の季節変化

Fig. 12 Seasonal variation of the body length distribution of the Ashishirohaze in Lake Kasumigaura

Each graduation unit on the axis represents 10 %

りの成長は夏季でも順調に成長し、チブやアシシロハゼとは季節的に異なる成長を示し、11~12月には成体型になるようである。沖帯における未成魚期の現存量はやや高くなるが、水域による差が大きく、特に土浦入の奥部で最も高い現存量を示している。

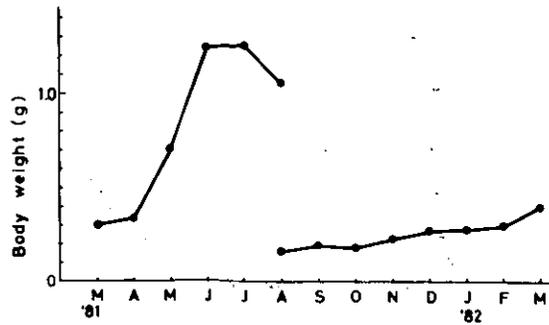


図 13 アシシロハゼの平均体重の季節変化

Fig. 13 Seasonal variation of the body weight of the Ashishirohaze caught by the towing net in Lake Kasumigaura from March 1981 to March 1982

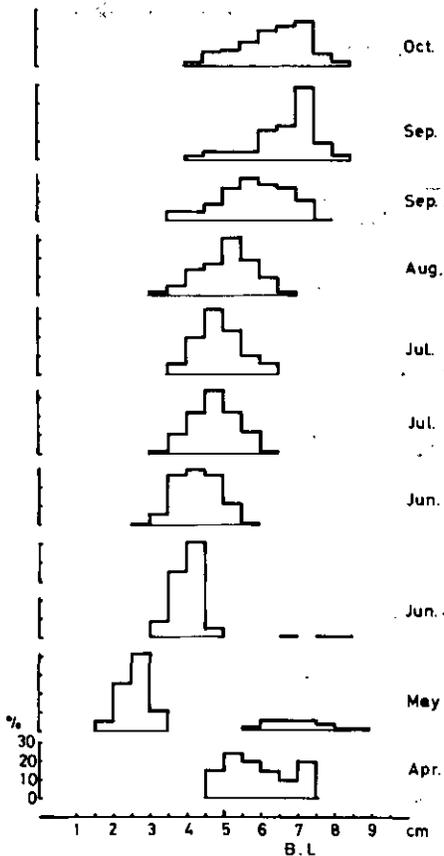


図 14 ウキゴリ体長組成の季節変化

Fig. 14 Seasonal variation of the body length distribution of the Ukigori in Lake Kasumigaura
Each graduation unit on the vertical axis represents 10 %

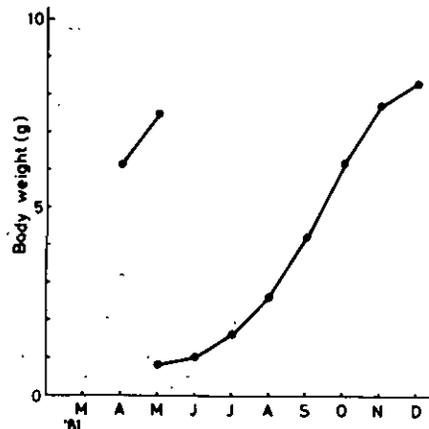


図 15 ウキゴリの平均体重の季節変化

Fig. 15 Seasonal variation of the body weight of the Ukigori caught by the towing net in Lake Kasumigaura from April to December 1981

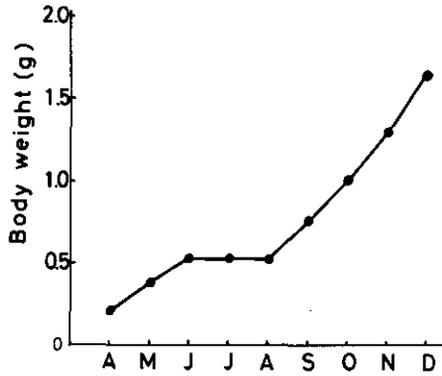


図 16 ジュズカケハゼの平均体重の季節変化

Fig. 16 Seasonal change of mean body weight of the Juzukakehaze caught by the towing net in the Lake Kasumigaura from April to December 1981

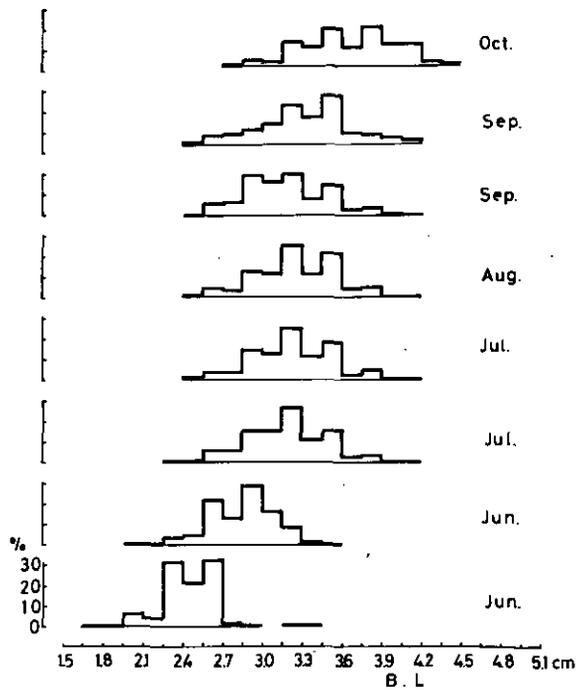


図 17 ジュズカケハゼの体長組成の季節変化

Fig. 17 Seasonal change of the body length distribution of the Juzukakehaze in Lake Kasumigaura

Each graduation unit on the vertical axis represents 10 %

5) ジュズカケハゼ

ジュズカケハゼの成魚は沖帯には全く出現せず、体長 1.6 cm 以上の未成魚が 6 月になってみられるようになる(図 16, 17)。7 月には広い水域に分布し、現存量は若干高くなる。8 月になると、現存量は減少するが、土浦入奥部においては高くなっている。7~8 月の夏季の成長はやや緩慢となるが、5~6 月及び 9~12 月には比較的順調な伸びを示している。

(3) 捕食

消化管内容物は 1 調査水域 1 回につき 15 個体について調査し、1 個体の消化管内に入っていた被捕食種の 1 種につき 1 点を与え、15 個体の合計点を数え、これに占める被捕食種別の点数の割合を出して表 3 に示す。

表 3 季節別にみた摂食量の被捕食種別割合

Table 3 Percentage composition of food items found in the stomach of the predator, caught by the towing net, in the limnetic area of Lake Lasumigaura

Species	Month	Tubifex sp.	Chironomidae	Zooplankton	Neomysis	Larva of Macrobrachium	Juvenile of Gobiidae	Eggs of Gobiidae	Others
Juzukakehaze	6~7(M)	1.8	15.2	37.2	45.8				
	7(L.)~9	36.9	8.9	30.3	17.9	6.1			
	10~11	14.1	38.8	23.9	23.4				
Ukigori	4~7(M)	—	13.7	0.5	82.4	2.1	1.3	—	—
	7(L.)~9	—	—	—	4.3	13.1	82.7	—	—
	10~12	—	32.2	—	30.6	4.9	32.3	—	—
Ashishirohaze	4~6	3.7	24.0	5.7	63.5	2.8	0.3	—	
	7~9	35.4	3.6	18.2	15.5	8.2	12.4	3.5	3.5
	10~12	17.6	23.8	26.4	31.4	0.2	0.4	—	
	1~4	3.3	9.4	12.6	73.9	—	—	0.8	
Chichibu	4~6	2.0	34.3	1.2	61.2	0.3	0.1	0.7	2.7
	7~9	19.5	8.1	23.3	21.2	12.1	12.8	0.3	2.7
	10~11	4.2	47.4	14.4	32.7	—	1.5	—	
	2~4	0.6	31.9	8.5	58.7	0.6	—	—	
Tenagaebi	4~6	7.5	17.0	10.7	64.8	—	—	—	—
	7~9	16.7	11.6	28.1	31.8	—	9.1	—	2.8
	10~12	1.1	24.6	2.3	58.0	—	14.1	—	—
	1~2	—	36.2	17.0	40.4	—	—	—	6.4

魚類 1 個体の消化管に入っていた被捕食種数は 1~2 種類がほとんどであった。また、消化管の前部と後部にそれぞれ 1 種類の被捕食種が入っていた例が多かったことから、1 回の摂食に 1~2 種類を集中的に摂食したことになる。したがって、1 捕食種がある被捕食種を飽食するまで摂食したとみなせるので、捕食種の魚体の大きさがそろっていれば、その捕食種の摂食量(湿重量)は被捕食種が変わっても一定量になると考えられる。例えば被捕食種であるハゼ類稚魚とコペポー

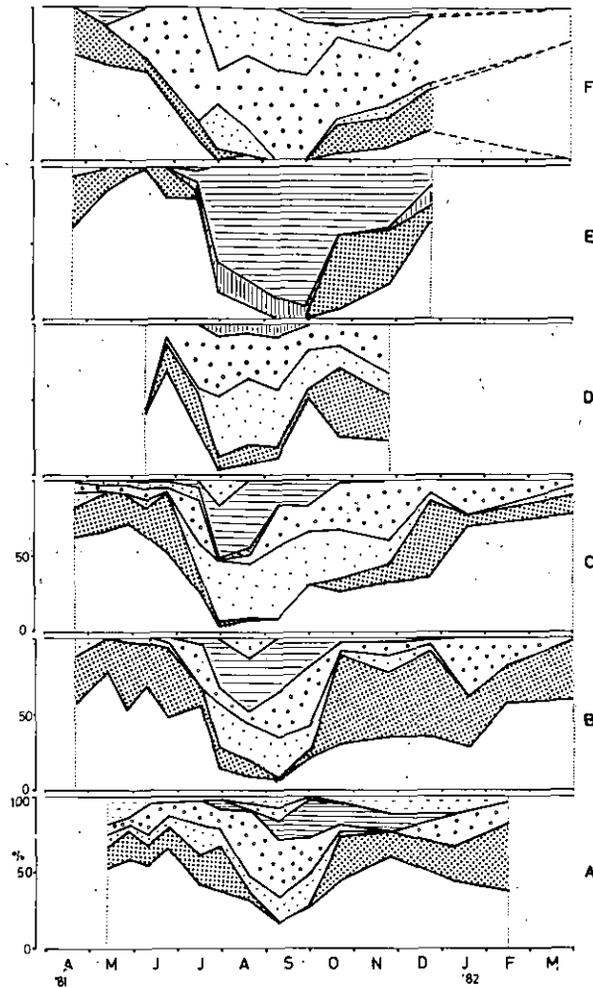


図 18 霞ヶ浦における主要魚類の餌組成の季節変化

Fig. 18 Seasonal variation of the food items composition found in the stomach of each predator caught by the towing net in Lake Kasumigaura, April 1981 to March 1982

A: Tenagaebi, B: Chichibu, C: Ashishirohaze, D: Juzukakehaze, E: Ukigori, F: Kinbuna.

Neomysis
 Chironomidae
 Tubifex sp.
 Zooplankton
 Juvenile of Gobiidae
 Larva of *Macrobrachium*
 Phytoplankton
 Others

ダとでは1個体の重量には大きな差はあっても1捕食個体がハゼ類稚魚を飽食した場合の重量と、コペポータを飽食した場合の重量とは一致する。このことから表3に示す被捕食種の割合は被捕食種別の“摂食量の割合”を表すと言える。これは後に、捕食種の湖内全体の増重量、それ

に被捕食種ごとの転換効率がわかれば、捕食種ごとに被捕食種別の全摂食量を求めるときに利用できるものと思われる。

図 18 に示すように、ハゼ類 4 種とそれにテナガエビについて、被捕食種別の割合をみると、捕食種 5 種とも 7~9 月の季節における被捕食種の組成が、その前後の季節における組成とは大きく変化しているのがわかる。季節内の組成があまり変化のない期間をグループごとに分けると表 3 のように、1 年を 4 グループに分けられる。チチブは 4~6 月の期間にイサザアミとユスリカ幼虫（さなぎも含む）を 95% 摂食し、7~9 月には前 2 種に加えて動物プランクトン・イトミミズ・ハゼ類の稚魚・それにテナガエビの幼生などの種類を平均的に摂食する。また、10~翌年 1 月にはユスリカ幼虫を多く、次いでイサザアミを摂食し、2~4 月には主にイサザアミとユスリカを摂食する。

テナガエビについてもチチブと同傾向の被捕食種組成を示している。4~6 月には、イサザアミを 65% と多く、7~9 月の夏季にはイサザアミを 32% と少なくなる代わりに、動物プランクトンやイトミミズ、それにユスリカ幼虫などを多く摂食する。10~12 月になると、イサザアミを 58% と再び多く、次いでユスリカ幼虫であり、この 2 種で 12 月以降も約 80% を摂食するようになる。

アシシロハゼは前 2 種同様、夏季を除いてイサザアミを最も多く摂食している。夏季には、チチブは動物プランクトンを多く摂食するのに対して、アシシロハゼはイトミミズを多く摂食しているのが特徴的である。

ジョズカケハゼは前 3 種に比べると、イサザアミを少なめに摂食する。夏季にイトミミズと動物プランクトンを主に、他の季節にはイサザアミ・ユスリカ・動物プランクトン、それにイトミミズを摂食する。夏季にイトミミズを多く摂食するのはアシシロハゼの傾向に似ている。

ウキゴリについては、7~9 月の夏季にチチブとアシシロハゼの稚魚を 83% も摂食しているのが特徴的である。4~7 月にはイサザアミを主に、10~12 月にはユスリカ・イサザアミ・それにハゼ類稚魚を同量に摂食する。

被捕食種の中で、底泥生活種と遊泳生活種に分けると、前者にはユスリカ幼虫とイトミミズが含まれ、後者にはイサザアミ・動物プランクトン・テナガエビの幼生それにハゼ類の稚仔魚が含まれる。底泥生活種を摂食する割合についてみると、テナガエビについては 4~6 月に 24%、7~9 月に 28%、10~12 月に 26% とあまり変化のない摂食率であり、チチブについては 4~6 月に 36%、7~9 月に 28%、10~翌年 1 月に 51%、2~4 月に 33% という変化のある摂食率である。

4. 考 察

(1) 魚類相

当調査の中心水域である水深 3 m 以深の沖帯と、これ以浅の沿岸帯に分布する魚類相の相違がみられる。春日ほか (1979) が高浜入において、1977 年 5 月から 1978 年 5 月の期間に張網などの採集の結果から、魚類 26 種、甲かく類 4 種、両生類 1 種を確認している。この張網の水域は沿岸

帯に属するから、採集された魚類は沿岸帯の魚類相を示すものと考えられる。同水域ではコイ・フナ類・モツゴ・ハゼ類5種・シヨクヨウガエルの幼生・テナガエビがこの水域の主要種であるとしている。沖帯では魚類16種、両生類1種、甲かく類2種であるのに対して、沿岸帯に種類数が多いことがわかる。中でも、コイ・ギンブナ・ゲンゴロウブナ・モツゴ・タナゴ類・ヨシノボリなど沿岸性の強い魚種は沖帯にほとんどあるいは全く現れないという、沖帯の特徴がうかがえる。

(2) 成長と移動

沖帯におけるテナガエビ・ハゼ類の生態について、不明な部分が多かったので、成長と移動等について以下に種別ごとに述べる。

1) テナガエビ

産卵群の移動についてみると、春日ら(1979)は高浜入において5月下旬から6月上旬にかけて大型の個体が増加し、抱卵個体の割合も増加したことを報告している。今回の稚魚ネットによる採集調査でも、浮遊幼生が特に高浜入で他の水域より数多くの幼生が出現していることからみて、主な産卵群は特に湾入部の沿岸帯へと移動していると思われる。

浮遊幼生については、ふ化直後は産卵群の多い沿岸帯近くに濃密に分布するが、その後、湖内全域に分散するようになる。特に底生期に入ると沿岸よりも沖帯寄りに多く分布するようになる。

底生生活に入ってから、翌年4月まで、頭胸甲長組成及び体重にほとんど変化はなく、成長が認められない。春日ほかも前報告で、高浜入の張網で漁獲したテナガエビの体重が、7月から翌年4月まで0.3g以下に推移し、大型個体は他の水域へと移動したのではないかと予想している。しかし、沖帯でも同傾向であるから、これら水域以外に移動してしまうとは考え難い。ただ、湖内の「おだ」や「笹浸し」などの水域について調査をしていないが、このような沈積物のある水域に移動していると考えても、このような水域は面積も広くないので、そこへ移動する個体数はそう多くはならないものと思われる。これは漁獲による間引によって引き起こる現象と思われる。沖帯底層を主な操業水域としているものに、「いさざごろひき網」と「トロール」がある。「いさざごろひき網」の主な操業期間は冬期の禁漁期間を除いてほぼ周年であり、「トロール」は7月～12月であるから、この期間には底生移行後の小型群も当然漁獲の対象となる。この小型群の現存量の変動をみたように、8月から9月にかけて現存量は高い方に上向くが、10月からは減少を続ける。これは9月の現存量に比べて、10～12月に30%、翌年1～2月には15%に減少している。この8月～9月には底層に移行する小型群の量が漁獲量を上回るため、現存量は高くなるが、10月以降に底層へ移行する小型群が少なくなるに従い漁獲量が上回るようになるため、現存量が低くなっていくものと思われる。このように、漁獲による間引きが大きく、それに底層へ移行する小型群が次々に加わるために、この小型群の成長が体長組成や平均体重に表れてこないものと思わ

れる。

2) チチブ

チチブの体長組成と体重の季節変化もまた、テナガエビと同じく、新生小型群の底生移行時期から翌年4月まで体長モードで1.8~2.4 cm, 平均体重で0.2~0.3 gの範囲にあり、ほとんど変化がなく経過するが、4月から産卵期にかけては大型へと急な変化がみられる。テナガエビでも記述したように、新生小型群が7月から11月にかけて底生に移行する期間であり、この期間中において底生移行した群を順々に漁獲してしまうため、体長組成に変化が現れてこないものと思われる。

産卵期の行動についてみると、チチブの産卵場は沿岸帯の砂か砂泥質上の被産着物に産卵することが知られている(中村ら, 1971)。また、高浜入の沿岸帯で、'78年4月下旬に大量の成体群が採集されている(春日ら, 1979)。沖帯における産卵期の雌雄比をみると、雌1に対して雄は4月27日に1.2, 同じく5月13日に2.4, 5月27日に3.7, 6月26日に1.2に変化し、雄の割合が高くなっている。これは沖帯においては、この産卵期間における現存量は減少しているから、産卵のために接岸する移動が、雄より雌の方が早いのではないかと思われる。

産卵期は4月から7月にかけて4か月間の長期に及ぶようである。この期間中には、産卵群が5月下旬に現れる前期群と6月下旬~7月上旬に現れる後期群と時間的差の二つの群に分けられることは前記した。この前期群は5月中旬には性成熟して産卵に入り、これからのふ化稚仔魚は6月~7月に湖内全域に平均的に分布するようになる。この稚仔魚が底生に移行するのは7月~8月で、ピークは7月下旬である。稚仔魚が最も多く出現するのは7月上旬であるから、この前期群の底生への移行は20日前後を経過している。また、後期群の稚仔魚の出現時期は8月中旬~9月中旬であり、底生に移行するのは10月~11月である。前期群に比べると底生への移行時間が長くなっている。これは浮遊期から底生移行までの期間が夏季に当たり、夏季の高水温と餌料環境の悪化のために成長が遅れるものと思われる。

3) アシシロハゼ

チチブとほぼ同傾向の生態を示すようである。産卵期と産卵場について、中村ら(1971)が、産卵場はチチブとほぼ同水域であり、被産着物はチチブより小型のものであり、産卵期は5月下旬~9月中旬にあり、盛期は6月中旬~7月中旬であると述べている。また、春日ら(1979)は、高浜入の沿岸帯で'77年5月下旬~6月下旬にかけて、成魚がかなり採集され、産卵のための回遊であろうと予想している。今回の調査からは性成熟度からみて、産卵期は5月から7月までの3か月の期間であると思われる。稚仔魚は7月~8月には、産卵場水域から湖内広範に分布するようになる。チチブの産卵期と浮遊期間を比べると、産卵期が1か月、浮遊期間が2か月ほどチチブより短くなっている。

底生へ移行する大きさはチチブより小型となっており、底生へ移行するのも短期間で終了する。

このように順次底生への移行群が続かないために、底生移行後の夏季から秋季にかけて、体長の組成の変化は緩慢ながら大型への移行が認められるものと思われる。

底生への移行後の移動についてみると、春日らは前報告で、高浜入の沿岸帯ではアシシロハゼは9月～12月に全く採集されなくなると述べている。今回の調査においては、10月～翌年2月までの期間に、湖囲りの水域より湖中央部の現存量の方が高くなっている。これらを見ると、新生小型群は沿岸帯より沖帯により多く分布しることがうかがえる。このようにチブより小型で底生に移り、新生小型群が沖帯に多く分布するから、この水域を操業するトロールやいさごごろひき網に漁獲されてしまう確率が高くなるために、全体的な資源量がチブに比べると低くなってしまうものと思われる。

4) ウキゴリ

6～7月におけるウキゴリの稚魚・未成魚は湖底に定着することなく沿岸一帯の表・中層を群生して(中村ら1971)、高浜入では1977年5月に未成魚が大量に採集されたが、他の月にはほとんど採集されなかった例がある(春日ら, 1979)。このことからみて、春季の未成魚群は湖岸帯から一部沖帯まで分布を広げて群生するが、夏から秋にかけて沿岸帯に移り、特に土浦入の湾奥部に移動する。このようにウキゴリは沿岸帯、もしくは湾奥部寄りに生活の場を持つ種であると思われる。

5) ジュズカケハゼ

ジュズカケハゼの稚魚・未成魚はウキゴリと同じく沿岸一帯に群生し、周年張網によって漁獲された事実が確認させているので(中村ら, 1971; 春日ら, 1979)、未成魚期の6～8月には沖帯まで分布域を広げるが、9月以降になると沿岸寄り、特に湾入部の土浦入や高浜入の奥部に移動するものと思われる。

(3) 捕食

被捕食種組成の季節変化、特に夏季における変化の要因は、イサザアミとユスリカ幼虫の分布量の変化にあるようである。チブ・アシシロハゼそれにテナガエビについては、7～8月の被捕食種組成の変化の時期に親から子へと世代交代するが、ウキゴリとジュズカケハゼについては未成魚だけであるにもかかわらず、前3種と同じように被捕食種組成の変化がみられるからである。戸田(1982)は1980～1982年に高浜入中央部でイサザアミを定期的に採集し、生物量の変化を以下のように報告している。イサザアミ生物量は春と秋の年2回ピークを示し、夏と冬には減少している。この中でも、1981年の変化は、2・3月から5月にかけて急上昇し、1m²当たり乾重量の値では0.4～1.4gから3～8gに増加し、その後急下降をみせ、6月後半～9月前半の間には0.4g以下となり、9月後半以降には0.3g～1.8gの間で変動している。この夏季に減少するのは魚類の

捕食圧からくる結果であり、冬季には水温低下するためであると推論している。しかし、夏季の減少について春日(1981 a)は6月におけるイサザアミの消滅は死亡するものが多いと論じている。現に筆者等は1981年6月におけるいさざごろひき網を操業中に各水域で死んだイサザアミを確認している。ユスリカ幼虫について岩熊(1982)は、1982年3月に霞ヶ浦において、50点から採泥した結果について底生動物の10%はイトミミズで、90%がユスリカであり、ユスリカのうち80~90%をアカムシユスリカであると報告している。また、同報告には、11月に捕獲したチチブの消化管内容物は100%がアカムシユスリカの幼虫(さなぎも含む)であるとしている。アカムシユスリカの幼虫は夏季に底泥に潜り、休眠することが知られている(安野ら, 1979)。これらの点からみて、各捕食種における夏季の被捕食種組成の変化は、イサザアミが減少し、ユスリカ幼虫が潜泥して捕食できなくなくなる結果であると思われる。

被捕食種として分類したハゼ類の稚仔魚はチチブとハゼ類の稚仔魚であり、捕食種としてのチチブとアシシロハゼについては同種の稚仔魚を摂食している。7~12月におけるウキゴリもまたチチブとアシシロハゼの稚仔魚を数多く摂食している。ハゼ類それにテナガエビの現存量からみて、湖内底層においては、6月から9月にかけて最も増重する季節である。したがって、6~9月はこれらの捕食種的全摂食量が1年間で最も高くなる季節に当たるが、イサザアミそれにユスリカ幼虫の捕食が困難になる季節でもある。これら捕食種にとって夏季には摂食条件が厳しく、チチブとアシシロハゼにみられるように、同種の稚仔魚や卵塊を摂食してしまうという状態が起こるのではないかと思われる。

5. まとめ

1981年4月から1982年4月までの期間、いさざごろひき網を用いて、霞ヶ浦の7水域において16回の生物採集調査を行い、魚類相、現存量及び食物関係を調べて次のような結果を得た。

1) 沖帯の底生動物は、魚類16種、甲かく類2種両生類1種であった。このうち、テナガエビは全採集量(湿重量)の56%、チチブが33%であり、これら2種が優占種としての地位を占めている。

2) チチブを主とするハゼ類とテナガエビの現存量は、9月に最大値 3.8 g/m^2 、4月に最小値 0.2 g/m^2 を示している。9月に最大値を示すのはハゼ類及びテナガエビの産卵期がいずれも5~8月にあつてこれらの未成体群が大量に加入することによるものと考えられる。

3) チチブ及びテナガエビは、いずれもイサザアミを最も多く摂食しており、次にユスリカの幼虫を摂食している。また、イサザアミが減少し、ユスリカ幼虫が休眠する7~9月には、ミジンコのような動物プランクトン、ハゼ類の稚魚及びイトミミズなどを多く摂食するようになる。

4) チチブとテナガエビの食物摂取状況を食物生物の生活型別に比較すると、チチブは底泥生活種と遊泳生活種を10月~12月の期間にはほぼ同じ水準で摂食し、その他の季節には遊泳種を主に摂食するようになり、底生種摂食量の約3倍となる。一方テナガエビは周年にわたって、遊

泳種を底生種の3~4倍摂食していることが明らかにされた。

謝 辞

この研究を進めるに当たり、国立公害研究所生物環境部 春日清一博士、及び同研究所総合解析部 北島能房博士には当研究の機会を与えて下され、また資料解析にも御基力下された。茨城県内水面水産試験場 小林稔資源部長には校閲していただいた。これらの方々に深く感謝申し上げます。

引 用 文 献

- 浜田篤信・外岡健夫・岩崎順・熊丸敦郎・佐々木道也（1979）：霞ヶ浦における藻類の異常発生に関する考察。茨城県内水試報，16，1-44。
- 位田俊臣（1978）：霞ヶ浦産テナガエビ資源の動態に関する研究-1，摂餌生態と消化管内容物。茨城県内水面水産試験場調研報告，15，1-15。
- 岩熊敏夫（1982）：霞ヶ浦の底生動物の生産と物質移行。国立公害研究所調査報告，22，157-168。
- 春日清一（1981 a）：霞ヶ浦高浜入最奥部入江における魚類，イサザアミ，テナガエビの現存量推定と栄養塩回帰への寄与。国立公害研究所研究報告，第22号，159-169。
- 春日清一（1981 b）：霞ヶ浦の富栄養化と動物たち。環境情報科学，10，69-75。
- 春日清一・石居進・山根爽一・松下誉久・高野護・新井恵子・大貫芳哉・小川年以（1979）：霞ヶ浦における魚類個体群の生態学的研究，1. 張網採集による高浜入魚類相の周年変動。国立公害研究所研究報告，第6号，185-201。
- 中村守純・竹内直政・一升輝吉・川合春子・樋口洋子・木村忠亮・松島四郎・日置勝之・秋山哲雄・栢口実（1971）：霞ヶ浦・北浦水産生物調査報告書，第1編，魚介類調査。資源科学研究所，65 p。
- 小沼洋司（1982）：魚を中心とする物質移動。国立公害研究所調査報告，第22号，128-133。
- 鈴木健二（1980）：霞ヶ浦における漁業資源の生産構造に関する研究-II，ハゼ類の食性について。茨城県内水試報，17，27-32。
- 戸田任重（1982）：霞ヶ浦におけるイサザアミの鉛重・水平分布と生物量の季節変化。国立公害研究所調査報告，第22号，148-156。
- Toda H. M. Takahashi and S. Ichimura (1982): Abundance and life history of *Neomysis intermedia* CZERNIAWSKY in Lake Kasumigaura. *Hydrobiologia*, 93, 31-39.
- 安野正之・菅谷芳雄・岩熊敏夫（1979）：霞ヶ浦高浜入の底生動物，特にオオユスリカとアカムシユスリカの分布と季節変動。国立公害研究所研究報告，第6号，171-184。

霞ヶ浦高浜入の湖岸帯における
魚類群集の現存量と生産力

**Biomass and Production of Fishes at the Littoral Region in
Takahama-iri Bay, Lake Kasumigaura**

酒井光夫¹・春日清一²・高橋正征³

Mitsuo SAKAI¹, Seiichi KASUGA² and Masayuki TAKAHASHI³

Abstract

Seasonal changes in standing crops and species composition of fishes including crustacean and amphibian were studied with collection by the seine at the littoral zone in Takahamairi Bay of Lake Kasumigaura which had been recently hypereutrophicated, and the production of three dominant fishes, the Motsugo (*Pseudorasbora parva*), the Ukigori (*Chaenogobius annularis*) and the Juzukakehaze (*Rodonichthys laevis*), were estimated for 2 years from May 1981 to May 1983.

The fish community changed markedly from season to season; from May to November, standing crops and reproductive activity of fishes and the prawn (*Macrobrachium niponense*) were very high, but from December to April, the fishes and the prawn almost disappeared and the opossum shrimp (*Neomysis intermedia*) became single dominant species.

The sum of annual production of dominant fishes were nearly same in 1981 and 1982; 5.00 and 5.25 g m⁻² in wet weight. However, the fish community varied in the composition between years. Namely, the dominant species in the summer in 1981 was the Motsugo and in 1982, they were two species of goby, the Ukigori and the Juzukakehaze. And in winter, the population density of the opossum shrimp was high in 1981 but low in 1982. The causes of these fluctuations of the community composition are discussed.

1. 昭和56, 57年度 国立公害研究所共同研究員 (筑波大学環境科学研究科 〒305 茨城県新治郡桜村, 現所属: 東京大学海洋研究所資源解析部門 〒164 東京都中野区南台1-15-1)
Research Collaborator of the National Institute for Environmental Studies. Present Address: Division of Population Dynamics of Marine Organisms, Ocean Research Institute, University of Tokyo, Nakano, Tokyo 164, Japan.
2. 国立公害研究所 生物環境部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Environmental Biology Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba 305, Japan.
3. 昭和56, 57年度 国立公害研究所客員研究員 (筑波大学生物科学系 〒305 茨城県新治郡桜村)
Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present Address: Institute of Biological Science, University of Tsukuba, Sakura-mura, Ibaraki 305, Japan.

1. はじめに

霞ヶ浦の富栄養化の進行による毎年の *Microcystis* の異常増殖は、汚濁河川の流入する付近、すなわち高浜入最奥部及び土浦港付近で顕著である(大槻ら, 1979)。この高浜入最奥部の水域では、動物群集構造の季節による大きな変動が生じており、特に冬季にイサザアミ *Neomysis intermedia* の著しい増加(特定種の異常発生)が見られることが明らかにされ(春日ら, 1979; 春日 1981)、さらに動物相の単純化による生物量の増加が霞ヶ浦の富栄養化の一因ともなっていることが示唆された(春日, 1981)。また、同水域湖岸域に発達した水生植物帯においては、最近数年間で水生植物の種の交代と壊滅の現象が生じている(桜井, 1981)。他の湖での報告によると、水生植物の発達した湖岸帯は成魚・未成魚のえさ場となっており(牧, 1964)、仔稚魚が豊富でしかも高い現存量が維持され(平井, 1970; Keast *et al.*, 1978)、魚類の生産量も高い(五嶋ら, 1978)。そこで本研究は、霞ヶ浦の中でもとりわけ特殊な変化を生じている高浜入最奥部における湖岸帯を中心とし、魚類の現存量及び生産量を明らかにすることで、同水域での魚類群集の特性について検討することを目的とした。

2. 材料及び方法

(1) 現場調査

a) 調査地点と期間

調査は霞ヶ浦(西浦)の北方に張り出した高浜入最奥部入江で行った(図1)。高浜入最奥部入江は、面積約3.14 km²、水深3 m以浅で、入江の奥には恋瀬川が流入している。恋瀬川の平常時の流れは極めて緩やかである。調査地点は、湖岸帯と入江中央の沖帯の2点地を選んだ。湖岸帯は初夏から秋にかけて浮葉植物のヒシ群落 *Trapa natans* に完全に覆われてしまう。その他抽水植物のマコモ *Zizania latifolia* が岸から約10 mの範囲の水深1 m以浅の水域にまばらに群落を形成している。底質は表層が軟泥質で覆われた砂質である。また岸はコンクリート護岸がなされており、護岸から直ちに水深50 cm位となっている。一方、沖帯は水深が1.5—2.5 mで、水生植物は全く見られず、底質は厚い軟泥質である。

調査期間は、湖岸帯では1981年5月26日から1983年5月23日にかけて、沖帯では1981年5月29日から1983年5月23日にかけて、原則としてそれぞれ約2週間隔で調査を行った。ただし、10月から翌年3月までの期間及び、1983年4月以降は月に1度とした。調査期間を通じた水温(表層より50 cm)の季節変化は、1981年7月20日に最高水温31.8°C、1981年12月16日に最低水温5.0°Cを記録した(図2)。

b) ひき網調査

標本の採集には、湖岸帯魚類の現存量を求める目的で、水域に生息する魚類すべてを捕獲できるようにひき網を用いた。この曳網は、網目約2.5—3.0 mmのナイロン製モジ網で、同じ網目の袋

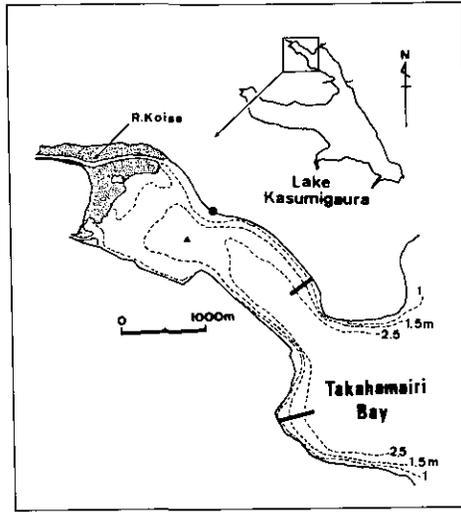


図 1 霞ヶ浦高浜入における調査地点

Fig. 1 A map of Takahamairi Bay in Lake Kasumigaura showing sampling sites. Thick lines indicate the boundary of licensed fishery area for Taamari fisheries cooperative association.

● : sampling site at the littoral region, ▲ : sampling site at the offshore region.

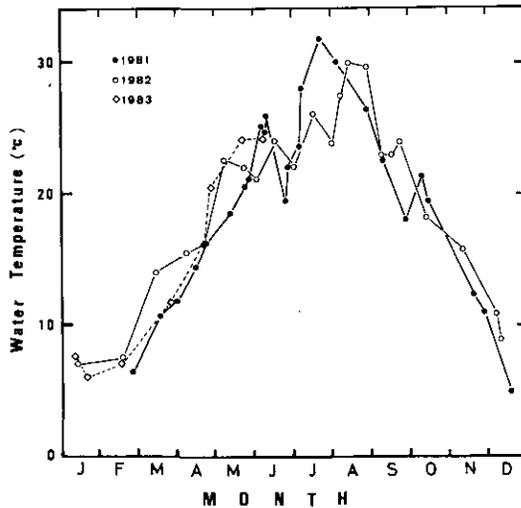


図 2 高浜入湖岸帯における水温 (°C) の季節変化

Fig. 2 Monthly changes in water temperature (°C) at the sampling site of the littoral region in Takahamairi Bay

網がついている。網高は 1.5 m あり、底部には鉛のおもりが、上部には浮きが付いている(図 3A)。このひき網を用いて湖岸から 30 m 沖より、網の開口部の幅が 10 m になるように保って、岸まで 30 m の距離(ひき網面積 300 m²)をひき網した。ただし、湖岸帯がヒシ群落に覆われている時期には、調査地点をひき網で囲い、網の内側のヒシを刈り取ってからひき網を行った。なお、場所の違いによる漁獲物組成の違いを検討するため、1981 年 6 月 9 日に約 50 m 離れた 2 地点 A、B でそれぞれひき網を行った。また、ひき網の漁獲効率を調べる目的で、1982 年 9 月 22 日に同一地点を 3 回連続ひき網採集を行った。採集時間間隔は 2 回目が 1 時間後、3 回目がその 30 分後とした。

採集物はその場で約 10% フォルマリン液で固定し、研究室に持ち帰り種別に分け、それぞれ個体数、標準体長(0.1 mm まで)、湿重量(0.001 g まで)を測定した。ただし、個体数が多い場合は無作為に約 100 個体を抜き取って測定した。これらのデータに基づき、調査ごとの魚種組成、各魚種の平均体長、平均重量を算出した。また、各調査の現存量データから、主な種について生産量を推定した。生産量推定には Ricker(1946)の方法及び Chapman(1971)の IBP Hand Book Ser. 3 における生産量算出手順に従い、各調査採集日間における魚種別個体の平均重量(湿量 g)の瞬間成長速度と平均現存量(湿量 g)とを掛けて生産量を算出した。瞬間成長速度(G)の算出には次の式を用いた。

$$G = \ln(W_i' / W_t)$$

ただし、 W_t は t 時における平均体重、 W_i' は i' 時における平均体重($t < i'$)である。また、平均現存量とは、相前後する調査日における現存量の平均値である。

c) けた網底引調査

標本の採集は、底生魚類(甲かく類も含む)の捕獲を目的とし、底泥表面を引けるようソリを付けた間口 0.3×1.0 m² の金枠に、網目約 2.5–3.0 mm のナイロン製モジ網を 2.0 m の長さに付けたけた網を用いた(図 3-B)。けた網には 30 m のロープを付け、25 馬力の船外機船を秒速約 1 m で 3 分間の底引採集(ひき網面積約 180 m²)を行った。採集物はその場でホルマリン固定し、研究室に持ち帰りひき網調査と同様の測定を行った。

(2) 漁業統計による魚類生産量推定

茨城県農林水産統計年報に基づき、1956 年から 1981 年までの霞ヶ浦高浜入の最奥部入江における年間総漁獲量(藻類、貝類は除く)、張網漁獲量(ワカサギ張網と雑魚張網)、さらに主要魚種のコイ、フナ類、ハゼ類、エビ、タナゴ類、その他の魚種別漁獲量の推移を調べた。高浜入最奥部入江の漁獲量推定に当たっては、田余漁業協同組合の漁業許可水面がほぼ高浜入最奥部の入江に相当する(図 1)ため、水産統計における田余漁業協同組合の漁獲データを用いた。なお、1970 年から田余の組合が石岡と玉里とに分けられたため、それ以降は石岡と玉里の漁獲データを合算

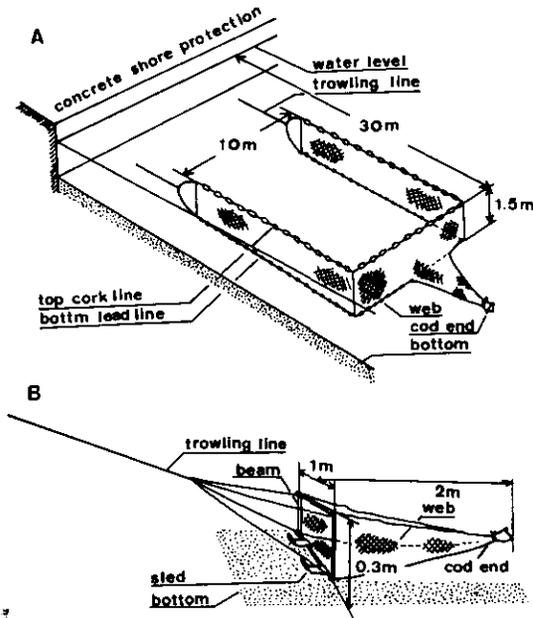


図 3 漁 具

Fig. 3 Sampling gear

A. seine used at the littoral region

B. beam trawl used at the offshore region

して使用した。

3. 結 果

(1) 湖岸帯でのひき網調査

a) 調査地点の環境変化

水温の季節変化は、1981年、1982年、1983年(6月初旬まで)に大きな違いはみられなかった。しかし、1982年3月から4月までの期間の水温は他の年に比べてやや高く、1982年7月には1981年に比べて低かった(図2)。

湖岸帯では、5月頃からヒシが繁茂し始め、6月頃にはヒシ群落に覆われてしまう。この期間、湖岸帯は一時的に透明度が高くなる現象が調査した両年でみられ、岸近くでは水深50cm程の水底の小石や、稚仔魚の泳ぐ姿が鮮明に観察された。1981年において、6月下旬の梅雨が終わる頃、アオコの発生が目立ち始め、7月以降の水温上昇とともに湖はアオコで覆われた。8月初旬には、異常増殖したアオコが湖岸帯へ厚いマット状に吹き寄せられ、環境は悪化した。しかし、8月下旬以降の水温低下により、アオコの異常増殖は抑えられ、湖岸帯の環境は次第に回復してきた。一方、1982年においては、6、7月の長い梅雨により、7月中のアオコの異常増殖は顕著でなかった。しかし、8月初旬の大型台風により、風で根が抜かれ枯れたヒシが、台風通過後の水温上昇と

ともに腐敗し始め、さらにアオコの異常増殖も重なって、湖岸帯の環境は極度に悪化した。この年、湖岸帯の環境が回復するまでに1か月以上を要した。1981年、1982年ともに、ヒシ群落の繁茂は10月初旬まで続き、それ以降翌年の4月下旬まで、湖岸帯での水生植物群落の生育は認められなかった。

湖岸帯での水位は、岸から約50m沖まで約50—120cmの範囲にあった。水位は雨量により大きく変動し、特に1982年9月の大雨の際には、平常時よりも1m以上上昇した。

b) 魚類現存量及び魚種組成の季節変化

表1に1981年5月26日から1983年5月23日まで計37回行ったひき網調査の採集日ごとの漁獲量を魚種別に示した。漁獲物は魚類22種、両生類1種、甲かく類2種であった。

表2に1981年5月26日から1982年5月22日まで操業19回及び、1982年5月22日から1983年5月23日まで操業19回分を、それぞれ約1年間のひき網の総漁獲量(湿重量g)、種別漁獲量(個体数及び湿重量g)及び種別漁獲割合(湿重量の百分率)で示した。1981年5月から1982年5月までの1年間の漁獲総量は約16.3kgで、漁獲物は魚類20種、両生類1種、甲かく類2種であった。漁獲高が最も高いものはモツゴで、総漁獲量の28.5%を占めた。次いでウシガエルオタマジャクシ21.8%、イサザアミ17.6%、ウキゴリ9.4%、ジュズカケハゼ8.8%であり、これら5種で全体の86.1%に達した。一方、1982年5月から1983年5月までの一年間の漁獲総量は約12.0kgであり、魚類19種、両生類1種、甲かく類2種であった。漁獲高が最も高いものはジュズカケハゼで、総漁獲量の26.4%を占めた。次いでモツゴ24.9%、ウキゴリ23.7%、キンブナ11.3%であった。これら4種で全体の86.3%に達した。

表3に約50m離れた湖岸帯2地点A、Bにおいて、1981年6月9日に行ったひき網面積300m²の漁獲による種別尾数、湿重量を示した。両地点で14種が採集され、このうちA地点では12種、B地点では12種含まれた。2地点の種別の個体数の割合に有意な差は認められなかった。 $(\chi^2=8.62, \chi_{0.05}^2=23.68, d.f.=6)$ 。そこで、湖岸帯での場所による魚種組成の違いはほとんどないとみなし、1地点の調査場所で湖岸帯を代表させることにした。

表4に1982年9月22日に行った同一地点での連続ひき網採集の結果を示した。第1回目のひき網での漁獲総量は776.58gであり、第2回目(1時間後)のひき網では92.92g、第3回目(30分後)のひき網で153.30gが採集された。第1回目の漁獲量に対して第2回目の漁獲量の減衰は大きく、しかも第2回目の漁獲量に対して第3回目の漁獲量に減衰がみられない。これより、第2回目以降の漁獲量はほぼ一定に達しており、その漁獲量はひき網地点の周囲から移入量に相当すると考えた。そこで第2回目までの累積漁獲量から第1回目のひき網の漁獲効率を求めると、この漁獲効率は89.3% $[776.58/(776.58+92.92) \times 100]$ となった。ここでは、魚種ごとの漁獲効率、魚種ごとの移入率、さらにひき網の時間間隔などを検討する必要があるが、今回はこれらを全く考慮せず、調査に用いたこのひき網による方法は実際の魚類現存量をほぼ反映するものとみなし

表 1 霞ヶ浦高浜入におけるひき網による魚獲

Table 1 Data of the haul (g wet weight/300m²) of the fishes caught by the seine at the littoral region in Takahamairi Bay of Lake Kasumigaura from May 1981 to May 1983

Individual number of animals are indicated in parentheses

unit: g

Species Name/Date	1981					
	May 26	Jun. 9	Jun. 23	Jul. 7	Jul. 20	Aug. 3
WAKASAGI (<i>Hypomesus transpacificus</i>)	0	0	0	0	0	0
SHIRAUO (<i>Salangichthys microdon</i>)	0	0	0	0	0	0
OIKAWA (<i>Zacco platypus</i>)	0	0	0	0	0	0
HASU (<i>Opsariichthys uncirostris</i>)	1.97 (3)	0	0.64 (1)	0	0	0
HIGAI (<i>Sarcocheilichthys variegatus</i>)	0	1.94 (9)	0	0	0	0
MOTSUGO (<i>Pseudorasbora parva</i>)	499.57 (155)	337.83 (233)	214.17 (304)	762.42 (2323)	354.32 (617)	0.11 (1)
KOI (<i>Cyprinus carpio</i>)	0	0	0	90.32 (1)	0	0
KINBUNA (<i>Carassius auratus</i> subsp.)	0	50.19 (2)	4.80 (7)	4.70 (23)	43.52 (159)	0.11 (1)
GINBUNA (<i>C. a. langsdorfi</i>)	41.42 (9)	0	0	0	4.34 (4)	0
GENGOROBUNA (<i>C. a. cuvieri</i>)	0	0.41 (3)	0	0	0	0
FUNA JUVENILE (<i>C. a. spp.</i>)	0	0	0	0	0	0
TAIRIKU-BARATANAGO (<i>Rnodeus ocellatus ocellatus</i>)	0	0	3.73 (1)	0	0	0
AKAHIRETABIRA (<i>Acheilognathus tabira</i> subsp.)	37.99 (13)	80.05 (25)	9.31 (5)	11.61 (9)	8.56 (8)	0
TANAGO (<i>A. moriokae</i>)	0	0	0	0	0	0
KURUMESAYORI (<i>Hemiramphus kurumeus</i>)	0	0.12 (1)	0	0	0	0
RAIGYO (<i>Channa argus</i>)	0	0	0	0	0	169.41 (1)
TILAPIA (<i>Tilapia mossambica</i>)	0	0	0	0	0	0
BORA (<i>Mugil cephalus</i>)	0	0	0	0	0	0
TITIBU (<i>Tridentiger obsculus</i>)	0	0	0	0	6.08 (10)	0
YOSHINOBORI (<i>Rhinogobius brunneus</i>)	0	3.93 (8)	68.23 (595)	165.75 (1222)	144.59 (876)	0.15 (1)
ASHISHIROHAZE (<i>Acanthogobius lactipes</i>)	0	0	0	0	1.20 (1)	0
UKIGORI (<i>Chaenogobius annularis</i>)	87.86 (290)	184.05 (454)	188.40 (452)	249.96 (451)	80.03 (113)	0
JUZUKAKEHAZE (<i>Rhodoniichthys laevis</i>)	41.96 (292)	167.81 (883)	143.02 (549)	291.96 (812)	81.76 (182)	0
BULLFROG TADPOLE (<i>Rana catesbeiana</i>)	559.67 (24)	113.56 (5)	110.09 (4)	749.90 (29)	122.94 (164)	1187.49 (1779)
TENAGAEBI (<i>Macrobrachium nipponense</i>)	0	2.06 (9)	0	0	0.04 (1)	0.09 (1)
ISAZAAMI (<i>Neomysis intermedia</i>)	0	0	0	0	0	0
TOTAL	1270.44	941.95	742.40	2326.41	849.39	1357.35

表 1 (つづき)

Table 1 (continued)

Species Name/Date	1981						1982
	Aug. 25	Sep. 9	Sep. 26	Oct. 14	Nov. 16	Dec. 16	Jan. 14
WAKASAGI (<i>H. transpacificus</i>)	0	0	0	0	0	0	0
SHIRAUO (<i>S. microdon</i>)	0	0	0	0	0	0.94 (1)	7.24 (9)
OIKAWA (<i>Z. platypus</i>)	0	0	0	0	0	0	0
HASU (<i>O. uncirostris</i>)	0	0	0	0	0	0	0
HIGAI (<i>S. variegatus</i>)	0	0	0	0	0	0	0
MOTSUGO (<i>P. parva</i>)	671.08 (919)	286.78 (483)	624.39 (640)	244.56 (197)	10.02 (61)	0	3.65 (2)
KOI (<i>C. carpio</i>)	0	0	0	0	0	0	0
KINBUNA (<i>C. auratus</i> subsp.)	11.42 (22)	6.30 (3)	0	0	0	0	47.45 (1)
GINBUNA (<i>C. a. langsdorfi</i>)	0	0	0	0	0	0	0
GENGOROBUNA (<i>C. a. cuvieri</i>)	0	0	0	0	0	0	0
FUNA JUVENILE (<i>C. a. spp.</i>)	0	0	0	0	0	0	0
TAIRIKU-BARATANAGO (<i>R. o. ocellatus</i>)	0	0	0.83 (1)	0	0	0	0
AKAHIRETABIRA (<i>A. tabira</i> subsp.)	0	0	1.67 (1)	0	0	0	0
TANAGO (<i>A. moriokae</i>)	0	0	0	0	0	0	0
KURUMESAYORI (<i>H. kurumeus</i>)	0	0	0	0	0	0	10.49 (2)
RAIGYO (<i>C. arugus</i>)	0	0	0	0	0	0	0
TILAPIA (<i>T. mossambica</i>)	0	0	0	0	0	0	0
BORA (<i>M. cephalus</i>)	0	0	0	277.31 (1)	0	0	0
TITIBU (<i>T. obsculus</i>)	64.20 (554)	52.91 (502)	64.20 (573)	10.81 (104)	1.08 (8)	0.26 (2)	0.14 (1)
YOSHINOBORI (<i>R. brummeus</i>)	20.65 (136)	3.37 (12)	5.71 (56)	2.72 (29)	0.10 (1)	0	0
ASHISHIROHAZE (<i>A. lactipes</i>)	0	0	0	0	0	0	0
UKIGORI (<i>C. annularis</i>)	0.73 (2)	39.32 (24)	1.49 (3)	0.81 (2)	0	0	9.18 (1)
JUZUKAKEHAZE (<i>R. laevis</i>)	6.03 (15)	214.44 (477)	109.21 (236)	233.82 (402)	11.88 (16)	0.52 (1)	9.75 (12)
BULLFROG TADPOLE (<i>R. catesbeiana</i>)	121.08 (12)	256.57 (24)	62.51 (7)	0	0	0	21.45 (3)
TENAGAEBI (<i>M. nipponense</i>)	86.78 (796)	136.29 (949)	28.66 (277)	3.41 (35)	5.50 (46)	3.39 (25)	3.45 (4)
ISAZAAMI (<i>N. intermedia</i>)	0	0	0	0	0.04 (3)	11.00 (760)	0.24 (16)
TOTAL	981.96	995.98	898.67	773.44	28.62	16.11	113.04

表 1 (つづき)
Table 1 (continued)

Species Name/Date	1982						
	Feb. 17	Mar. 17	Apr. 7	Apr. 21	May 6	May 22	Jun. 2
WAKASAGD (<i>H. transpacificus</i>)	0	0	0	0	0.16 (1)	0	0
SHIRAUO (<i>S. microdon</i>)	0	1.44 (1)	0	0	0	0	0
OIKAWA (<i>Z. platypuz</i>)	0	0	0	0	0	0	0
HASU (<i>O. uncistrostris</i>)	0	0	0.74 (1)	0	0	0	0
HIGAI (<i>S. variegatus</i>)	0	0	27.75 (1)	0	0	0	0.13 (1)
MOTSUGO (<i>P. parva</i>)	0	17.68 (11)	185.61 (77)	192.35 (96)	123.78 (64)	137.55 (47)	76.06 (247)
KOI (<i>C. carpio</i>)	0	0	0	0	0	0	0
KINBUNA (<i>C. auratus</i> subsp.)	0	0	244.25 (3)	61.45 (1)	87.66 (1)	0	0
GINBUNA (<i>C. a. langsdorfi</i>)	0	0	0	0	0	0	0
GENGOROGUNA (<i>C. a. cuvieri</i>)	0	0	0	0	0	0	0
FUNA JUVENILE (<i>C. a. spp.</i>)	0	0	0	0	0	0.93 (10)	1.64 (14)
TAIRIKU-BARATANAGO (<i>R. o. ocellatus</i>)	0	0	0	0	1.66 (15)	0	3.77 (1)
AKAHIRETABIRA (<i>A. tabira</i> subsp.)	0	0	1.68 (1)	5.11 (2)	3.32 (2)	3.82 (2)	14.58 (14)
TANAGO (<i>A. moriokae</i>)	0	0	0	0	0	0	0
KURUMESAYORI (<i>H. kurumeus</i>)	0	0	0	18.34 (3)	0	0	0
RAIGYO (<i>C. arugus</i>)	0	0	0	0	0	0	0
TILAPIA (<i>T. mossambica</i>)	0	0	0	0	0	0	0
BORA (<i>M. cephalus</i>)	0	0	0	0	0	0	0
TITIBU (<i>T. obsculus</i>)	0.96 (4)	0.29 (1)	0.52 (1)	0	0	0	3.15 (3)
YOSHINOBORI (<i>R. brunneus</i>)	0.30 (2)	0	0	0	0	0.52 (1)	37.15 (239)
ASHISHIROHAZE (<i>A. lactipes</i>)	0.30 (2)	0	0	0	0	0	0
UKIGORI (<i>C. annularis</i>)	0	0	0	0	0.32 (1)	690.03 (1616)	508.66 (806)
JUZUKAKEHAZE (<i>R. laevis</i>)	3.90 (5)	2.63 (3)	5.08 (7)	0.61 (1)	8.38 (9)	103.58 (679)	259.82 (763)
BULLFROG TADPOLE (<i>R. catesbeiana</i>)	0	26.60 (2)	48.74 (2)	109.79 (6)	0	65.26 (2)	0
TENAGAEBI (<i>M. nipponense</i>)	2.80 (4)	0.19 (3)	2.26 (1)	1.48 (1)	0	0	0.89 (2)
ISAZAAMI (<i>N. intermedia</i>)	2164.80 (70564)	244.60 (13177)	3.63 (228)	1349.10 (100000)	0	1.50 (152)	0
TOTAL	1272.76	293.43	519.99	1738.23	225.28	1003.2	905.85

表 1 (つづき)
 Table 1 (continued)

Species Name/Date	1982					
	Jun. 16	Jun. 30	Jul. 15	Jul. 25	Aug. 5	Aug. 11
WAKASAGI (<i>H. transpacificus</i>)	0	0	0	0	0	0
SHIRAUO (<i>S. microdon</i>)	0	0	0	0	0	0
OIKAWA (<i>Z. platypus</i>)	0	0	0	0	0	0
HASU (<i>O. uncirostris</i>)	0	0	0	0	0	0
HIGAI (<i>S. variegatus</i>)	0	0	0	0	0	0
MOTSUGO (<i>P. parva</i>)	271.10 (414)	71.84 (165)	183.84 (188)	174.00 (230)	178.02 (262)	45.88 (26)
KOI (<i>C. carpio</i>)	0	0	0	0	1.66 (1)	1.17 (1)
KINBUNA (<i>C. auratus</i> subsp.)	0	0	0	0	0	42.02 (19)
GINBUNA (<i>C. a. langsdorfi</i>)	0	0	0	0	1.44 (2)	15.12 (2)
GENGOROBUNA (<i>C. a. cuvieri</i>)	0	0	0	0	0	0
FUNA JUVENILE (<i>C. a. spp.</i>)	2.80 (10)	1.32 (9)	10.47 (14)	29.42 (126)	0	0
TAIRIKU-BARATANAGO (<i>R. o. ocellatus</i>)	0	0	0	0	0	0
AKAHIRETABIRA (<i>A. tabira</i> subsp.)	6.39 (5)	2.53 (4)	0	0	0	0
TANAGO (<i>A. moriokae</i>)	0	0	0	0	0	0
KURUMESAYORI (<i>H. kurumeus</i>)	0	0	1.97 (5)	8.41 (2)	0	0
RAIGYO (<i>C. arugus</i>)	0	0	0	0	0	0
TILAPIA (<i>T. mossambica</i>)	0	0	0	0	0.57 (1)	26.24 (2)
BORA (<i>M. cephalus</i>)	0	0	0	0	0	0
TITIBU (<i>T. obsculus</i>)	0	2.78 (4)	33.51 (71)	14.49 (18)	164.49 (931)	0.37 (2)
YOSHINOBORI (<i>R. brunneus</i>)	48.47 (300)	71.69 (384)	193.42 (840)	43.85 (228)	50.55 (213)	1.46 (6)
ASHISHIROHAZE (<i>A. lactipes</i>)	0	1.40 (1)	0	0	0	0
UKIGORI (<i>C. annularis</i>)	414.15 (537)	618.63 (727)	419.24 (419)	33.37 (27)	69.25 (66)	1.09 (1)
JUZUKAKEHAZE (<i>R. laevis</i>)	244.15 (743)	177.27 (381)	790.52 (1545)	317.96 (563)	632.62 (1195)	0
BULLFROG TADPOLE (<i>R. catesbeiana</i>)	0	49.46 (2)	17.49 (1)	55.87 (27)	10.74 (5)	10.84 (3)
TENAGAEBI (<i>M. nipponense</i>)	1.21 (5)	0.65 (2)	1.92 (4)	3.16 (83)	33.24 (636)	0.18 (2)
ISAZAAMI (<i>N. intermedia</i>)	0	0.11 (1)	0.09 (12)	0.01 (1)	0	0
TOTAL	934.27	997.57	1652.48	683.54	1142.09	144.37

表 1 (つづき)
Table 1 (continued)

Species Name/Date	1982					
	Aug. 25	Sep. 8	Sep. 22	Oct. 12	Nov. 10	Dec. 8
WAKASAGI (<i>H. transpacificus</i>)	0	0	0	0	0	0
SHIRAUO (<i>S. microdon</i>)	0	0	0	0	0.25 (7)	1.00 (3)
OIKAWA (<i>Z. platypus</i>)	0	0	4.40 (9)	16.45 (19)	0	0.14 (1)
HASU (<i>O. uncirostris</i>)	0	0	0	0	0	0
HIGAI (<i>S. variegatus</i>)	0	0	0	0	0	0
MOTSUGO (<i>P. parva</i>)	3.44 (3)	5.02 (3)	495.12 (372)	288.12 (153)	729.30 (483)	108.43 (48)
KOI (<i>C. carpio</i>)	0	0.54 (1)	0	0	0	0
KINBUNA (<i>C. auratus</i> subsp.)	0	45.40 (1)	0	0	575.55 (12)	280.55 (5)
GINBUNA (<i>C. a. langsdorfi</i>)	0	0	0	0	0	74.23 (1)
GENGOROBUNA (<i>C. a. cuvieri</i>)	0	0	0	0	0	0
FUNA JUVENILE (<i>C. a. spp.</i>)	0	0	0	0	0	0
TAIRIKU-BARATANAGO (<i>R. o. ocellatus</i>)	0	0	0	0	0	0
AKAHIRETABIRA (<i>A. tabira</i> subsp.)	0	0	0	0	0	0
TANAGO (<i>A. moriokae</i>)	0	0	0	0	0	0
KURUMESAYORI (<i>H. kurumeus</i>)	0	0	0	0	0	0
RAIGYO (<i>C. arugus</i>)	0	0	0	0	0	0
TILAPIA (<i>T. mossambica</i>)	0	0	0	0	0	0
BORA (<i>M. cephalus</i>)	0	0	0	0	0	0
TITIBU (<i>T. obsculus</i>)	0	0	18.73 (79)	8.11 (42)	20.66 (51)	1.95 (6)
YOSHINOBORI (<i>R. brunneus</i>)	0	0	1.30 (7)	0	5.19 (37)	0.22 (1)
ASHISHIROHAZE (<i>A. lactipes</i>)	0	0	0	0	0	0
UPIGORI (<i>C. annularis</i>)	0	0	10.72 (8)	0	0	0
JUZUKAKEHAZE (<i>R. laevis</i>)	0	0	185.90 (302)	43.42 (62)	163.20 (191)	7.38 (7)
BULLFROG TADPOLE (<i>R. catesbeiana</i>)	7.51 (1)	0	10.88 (1)	44.02 (4)	19.25 (2)	0
TENAGAEBI (<i>M. nipponense</i>)	0	0.28 (1)	49.53 (255)	45.03 (390)	16.16 (296)	1.91 (28)
ISAZAAMI (<i>N. intermedia</i>)	0	0	0	0	0	0
TOTAL	10.95	51.24	776.58	445.15	1531.81	475.81

表 1 (つづき)
 Table 1 (continued)

Species Name/Date	1983				
	Jan. 10	Feb. 16	Mar. 26	Apr. 20	May 23
WAKASAGI (<i>H. transpacificus</i>)	0	0	0	0	0
SHIRAUO (<i>S. microdon</i>)	1.34 (2)	6.96 (5)	9.61 (9)	3.64 (3)	0
OIKAWA (<i>Z. platypus</i>)	0	0	0	0.40 (1)	0
HASU (<i>O. uncirostris</i>)	0	0	0	0	0
HIGAI (<i>S. variegatus</i>)	0	0	0	0	2.44 (2)
MOTSUGO (<i>P. parva</i>)	6.04 (3)	0	10.72 (3)	154.15 (45)	100.70 (136)
KOI (<i>C. carpio</i>)	0	0	0	0	0
KINBUNA (<i>C. auratus</i> subsp.)	0	0	294.86 (4)	0	67.94 (5)
GINBUNA (<i>C. a. langsdorfi</i>)	0	0	0	30.99 (2)	0
GENGOROBUNA (<i>C. a. cuvieri</i>)	0	0	0	0	0.22 (20)
FUNA JUVENILE (<i>C. a. spp.</i>)	0	0	0	0	0
TAIRIKU-BARATANAGO (<i>R. o. ocellatus</i>)	0	0	0	0	3.82 (1)
AKAHIRETABIRA (<i>A. tabira</i> subsp.)	0	0	0	4.84 (1)	10.50 (2)
TANAGO (<i>A. moriokae</i>)	0	0	0	2.34 (1)	0
KURUMESAYORI (<i>H. kurumeus</i>)	0	0	0	0	34.97 (5)
RAIGYO (<i>C. arugus</i>)	0	0	0	0	0
TILAPIA (<i>T. mossambica</i>)	0	0	0	0	0
BORA (<i>M. cephalus</i>)	0	0	0	0	0
TITIBU (<i>T. obsculus</i>)	3.18 (8)	0	0.43 (1)	0	0
YOSHINOBORI (<i>R. brunneus</i>)	0	0	0	0	0
ASHISHIROHAZE (<i>A. lactipes</i>)	0	0	0	0.55 (1)	0
UKIGORI (<i>C. annularis</i>)	0	0	0	0	71.40 (204)
JUZUKAKEHAZE (<i>R. laevis</i>)	8.47 (6)	0	0	1.66 (2)	72.95 (483)
BULLFROG TADPOLE (<i>R. catesbeiana</i>)	0	0	10.58 (1)	16.35 (1)	0
TENAGAEBI (<i>M. nipponense</i>)	2.29 (19)	0.38 (5)	0	0	0.88 (3)
ISAZAAMI (<i>N. intermedia</i>)	0	1.79 (117)	1.95 (118)	0.17 (10)	0.01 (1)
TOTAL	21.31	9.13	328.15	184.10	365.83

表 2 高浜入湖岸帯におけるひき網による漁獲生物組成(1981年5月から1983年5月まで)

Table 2 List of fishes caught by the seine at the littoral region in Takahamairi Bay from May 1981 to May 1983

Species Name	1981-1982		1982-1983	
	Number	Wet Weight: g (%)	Number	Wet Weight: g (%)
WAKASAGI (<i>H. transpacificus</i>)	1	0.16 (0.1)	0	0 (0)
SHIRAUO (<i>S. microdon</i>)	11	9.62 (0.1>)	29	25.05 (0.2)
OIKAWA (<i>Z. platypus</i>)	0	0 (0)	30	21.39 (0.2)
HASU (<i>O. uncirostris</i>)	5	3.35 (0.1>)	0	0 (0)
HIGAI (<i>S. variegatus</i>)	10	29.69 (0.2)	3	0.37 (0.1>)
MOTSUGO (<i>P. parva</i>)	6230	4665.77 (28.5)	2830	2985.59 (24.9)
KOI (<i>C. carpio</i>)	1	90.32 (0.5)	3	2.87 (0.1>)
KINBUNA (<i>C. auratus</i> subsp.)	223	561.85 (3.4)	116	1354.66 (11.3)
GINBUNA (<i>C. a. langsdorfi</i>)	13	45.76 (0.3)	2	90.79 (0.8)
GENGOROBUNA (<i>C. a. cuvieri</i>)	3	0.41 (0.1>)	2	0.22 (0.1>)
FUNA JUVENILE (<i>C. a. spp.</i>)	10	0.93 (0.1>)	210	50.11 (0.4)
TAIRIKU-BARATANAGO (<i>R. o. ocellatus</i>)	3	6.22 (0.1>)	2	7.59 (0.1>)
AKAHIRETABIRA (<i>A. labira</i> subsp.)	68	163.13 (1.0)	18	42.67 (0.4)
TANAGO (<i>A. moriokae</i>)	0	0 (0)	1	2.34 (0.1>)
KURUMESAYORI (<i>H. kurumeus</i>)	6	28.95 (0.2)	12	45.35 (0.4)
RAIGYO (<i>C. arugus</i>)	1	169.40 (1.0)	0	0 (0)
TILAPIA (<i>T. mossambica</i>)	0	0 (0)	3	26.81 (0.2)
BORA (<i>M. cephalus</i>)	1	277.31 (1.7)	0	0 (0)
TITIBU (<i>T. obsculus</i>)	1760	201.45 (1.2)	1218	273.28 (2.3)
YOSHINOBORI (<i>R. brunneus</i>)	2937	451.72 (2.5)	2256	453.83 (3.8)
ASHISHIROHAZE (<i>A. lactipes</i>)	3	1.50 (0.1>)	2	1.95 (0.1>)
UKIGORI (<i>C. annularis</i>)	3409	1532.18 (9.4)	4411	2836.67 (23.7)
JUZUKAKEHAZE (<i>R. laevis</i>)	4581	1436.35 (8.8)	7547	3156.22 (26.4)
BULLFROG TADPOLE (<i>R. catesbeiana</i>)	2063	3555.74 (21.8)	50	404.67 (3.4)
TENAGAEBI (<i>M. nipponense</i>)	2152	276.38 (1.7)	1740	179.10 (1.5)
ISAZAAMI (<i>N. intermedia</i>)	184900	2874.91 (17.6)	412	5.53 (0.1>)
TOTAL		16347.10		11967.06

表 3 湖岸帯の異なる2地点(A, B)におけるひき網漁獲生物(1981年6月9日)

Table 3 List of fishes caught by the seine at the two different point (A and B) of the littoral region in June 9, 1981

Specis	Point A		Point B	
	NUMBER	(Wet Weight : g)	NUMBER	(Wet Weight : g)
HASU	0		1	(0.41)
HIGAI	9	(1.94)	4	(0.66)
MOTSUGGO ¹⁺	87	(322.98)	70	(194.16)
MOTSUGO ⁰⁺	146	(14.85)	149	(15.13)
KINBUNA	2	(50.19)	2	(60.98)
GINBUNA	0		1	(3.26)
GENGOROBUNA	3	(0.41)	12	(3.85)
AKAHIRETABIRA	25	(80.05)	11	(27.83)
KURUMESAYORI	1	(0.12)	0	
YOSHINOBORI	8	(3.39)	0	
UKIGORI	454	(184.05)	376	(134.77)
JUZUKAKEHAZE	883	(167.81)	663	(121.81)
BULLFROG TADPOLE	5	(113.56)	9	(167.12)
TENAGAEBI	9	(2.06)	2	(0.31)
TOTAL	1632	(941.95)	1300	(727.03)

表 4 湖岸帯での同一地点の繰り返しひき網による漁獲生物(1982年9月22日)

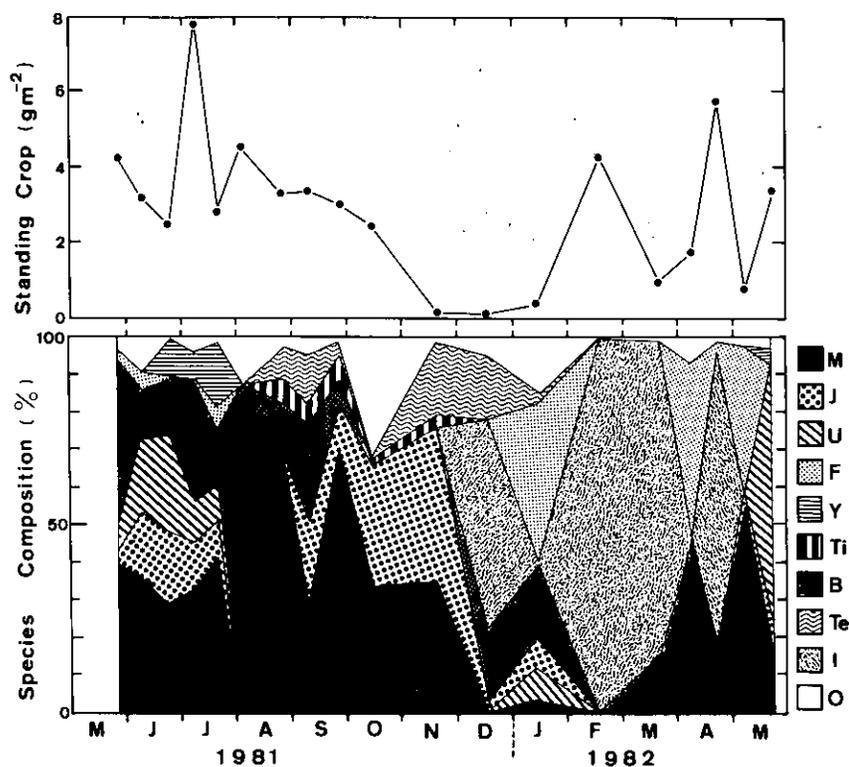
Table 4 List of fishes caught repeatedly by the seine at the same point in September 22, 1982

I : first catch, II : second catch, III : third catch.

Species	CATCH					
	I		II		III	
	Number	(wet weight : g)	Number	(wet weight : g)	Number	(wet weight : g)
OIKAWA	9	4.40	1	0.14	1	0.73
MOTSUGO	372	495.12	31	38.91	15	18.49
TITIBU	79	18.73	6	1.73	23	6.65
YOSHINOBORI	7	1.30	0	-	5	1.07
UKIGORI	8	10.72	1	1.13	7	13.97
JUZUKAKEHAZE	302	185.90	59	37.74	68	47.47
BULLFROG TADPOLE	1	10.88	1	11.75	4	43.57
TENAGAEBI	255	49.53	9	1.52	126	21.40
TOTAL		776.58		92.92		153.30

た。

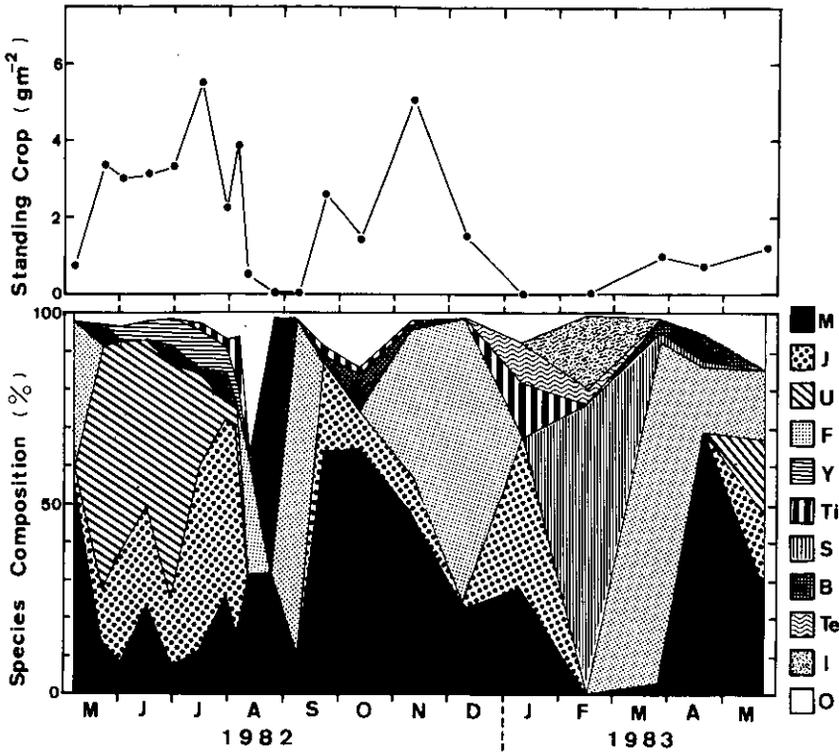
図4に1981年5月から1982年5月まで、1982年5月から1983年5月までそれぞれ年ごとの季節変化を示した。調査開始の1981年5月26日の魚類現存量は 4.24 g m^{-2} であった。その後6月中旬にかけて減少がみられるが、7月初旬に極めて高い値(7.75 g m^{-2})に達した。7月中旬には魚類現存量が 2.82 g m^{-2} に減少した。8月初旬にやや増加(4.52 g m^{-2})するが、それ以降10月中旬まで徐々に減少してゆき(2.41 g m^{-2})、11月中旬以降には 0.1 g m^{-2} 以下に低下し、現存量の極めて低い状態は翌年(1982年)まで続いた。2月中旬に現存量の急激な高まりが生じたが(4.24 g m^{-2})、その後3月中旬、4月初旬には 2 g m^{-2} 以下となり、4月下旬に再び急激な高まりがみら



(a) 1981年5月から1982年5月まで
(a) from May 1981 to May 1982

図 4 高浜入湖岸帯における魚類現存量(湿重 g m^{-2})と種組成(%)の季節変化

Fig. 4 Seasonal changes in the standing crops of fishes ($\text{g wet weight m}^{-2}$) and the species composition (%) at the littoral region in Takahamairi Bay
M=Motsugo *P. parva*; J=Juzukakehaze *R. laevis*; U=Ukigori *C. annularis*; F=Funa *Carasius auratus* spp; Y=Yoshinobori *R. brunneus*; Ti=Titibu *T. obscurus*; S=Shirauo *S. microdon*; B=Bullfrog tadpole *R. catesbiana*; Te=Tenagaebi *M. nipponense*; I=Isazaami *N. intermedia*; O=others.



(b) 1982年5月から1983年5月まで
 (b) from May 1982 to May 1983

図 4 (つづき)
 Fig. 4 (continued)

れ (5.79 gm⁻²), 5月初旬には低下した (1 gm⁻²以下) (図 4(a))。

上記期間の魚種組成をみると, 1981年5月下旬から7月中旬にかけて湖岸帯はモツゴ成魚及び当才魚, ジュズカケハゼ当才魚, ウシガエルオタマジャクシの4種によって80%前後占められていた。この4種のうちモツゴは30-40%の範囲にあり, 次いでウシガエルオタマジャクシが15-40%の範囲を占めた。ウキゴリ, ジュズカケハゼはそれぞれ20%以下の範囲にあった。7月初旬の現存量の高まりに伴った種組成の変化は認められなかった。8月初旬に魚種組成が急変し, ウシガエルオタマジャクシ1種が90%近くを占めた。8月下旬にはモツゴの割合が増え70%に達した。その後ジュズカケハゼの割合が増え始めて, 10月中旬には30%になり, ジュズカケハゼ, モツゴ両者の割合は湖岸帯魚類現存量の70%近くを占めた。現存量の減少した11月中旬においてもほぼ同様の組成比であった。翌年(1982年)2月中旬から, 4月中旬まで9期間, 4月初旬を除くと湖岸帯はイサザアミ1種が80-99%を占めていた(図 4(a))。

調査開始後2年目に当たる1982年5月下旬には魚類現存量は増加し, 6月下旬までの間3-4 g

m^{-2} の範囲にあり、7月中旬にはさらに現存量が増え 5.51 g m^{-2} に達した。7月下旬から8月初旬にかけて $2-4 \text{ g m}^{-2}$ の範囲で変動した後、8月中旬に魚類現存量は 0.5 g m^{-2} 以下に減少し、低い現存量は9月初旬まで続いた。9月下旬には現存量は増加し、11月中旬に 5.11 g m^{-2} に達した後減少してゆき、1983年1月中旬及び2月中旬には 0.1 g m^{-2} 以下であった。その後3月下旬にやや増加し (1.1 g m^{-2})、5月下旬までほぼ 1 g m^{-2} 前後の現存量であった (図4(b))。

上記期間を魚種組成でみると、1982年5月下旬にウキゴリ当才魚のみで70%近くを占めた (図4(b))。ウキゴリは6月下旬までおよそ40-60%の範囲を占めていた。この期間ジュズカケハゼ当才魚は20%前後を占めたが、7月中旬の現存量増加に伴い、その割合は50%に達し、8月初旬までほぼ同じ割合を維持していた。これに対してモツゴの占める割合は、魚類現存量の高い5月下旬から8月初旬にかけて約10-20%の範囲にとどまっていた。また、前年高い割合を占めていたウシガエルオタマジャクシは10%以下であった。現存量が再び増加した9月下旬には、モツゴ当才魚が60%以上を占め、10月中旬、11月中旬にもそれぞれ約60%、50%と高い割合を占めた。また、11月中旬、12月上旬にはそれぞれ約40%、75%をフナ類が占めていた。1983年1月以降の現存量の低い時期には、数種が入れ替わり組成は一定せず、前年みられた顕著なイサザアミの優占はなかった。

上記の湖岸帯における魚類現存量及び種組成の2年間における推移より、魚類群集は二つの異なった構造を季節的に繰り返していることがわかる。すなわち、第1の期間は魚類の現存量が高く、魚種組成も多様で比較的安定している5月から11月、又は12月まで、第2の期間は魚類現存量がイサザアミの出現に大きく左右され、魚種組成が不安定に入れ替わる12月、又は1月から5月までの2期間に分けられた。これらの期間を細かく見ると、第1の期間はさらに三つに分けることができる。一つには、5月下旬から7月下旬あるいは8月下旬までのモツゴ、ウキゴリ、ジュズカケハゼ、ウシガエルオタマジャクシが優占する時期、次に異常増殖したアオコの腐敗により湖岸帯の酸素欠乏が生じ、魚類現存量が著しく低下もしくはウシガエルオタマジャクシのみの優占する短い時期、そして第1の期間の終わりまでモツゴが優占する時期である。以上より、湖岸帯の魚類群集において魚類としてモツゴ、ウキゴリ、ジュズカケハゼの3種が主要種であることがわかった。

c) 現存量変化による湖岸帯での魚類生産量推定

湖岸帯における主要種3種の当才魚、すなわちモツゴ、ウキゴリ、ジュズカケハゼについて、調査ごとの現存量及び個体数の推移より生産量 (湿重 g m^{-2}) を算出した。生産量算出には、モツゴ当才魚では1981年6月9日から1982年6月16日、及び1982年5月22日から1983年5月23日までのそれぞれの1年間、ウキゴリ当才魚では1981年5月26日から9月26日、及び1982年5月22日から9月22日までのそれぞれ4か月間、ジュズカケハゼ当才魚では1982年5月26日から1982年5月22日まで、及び1982年5月22日から1983年5月23日までのそれぞれ1年間

を当てた。

表5に各魚種の湖岸帯300m²当たりの上記期間の生産量を示した。ウキゴリ当才魚において最も生産量が高い時期は、1981年では6月下旬から7月初旬にかけての平均体重が0.417から0.554gのとき(0.015g m⁻²d⁻¹)、1982年では5月下旬から6月初旬にかけて平均体重が0.430から0.640gのとき(0.081g m⁻²d⁻¹)であった。ジュズカケハゼ当才魚において最も生産量が高い時期は、1981年では6月下旬から7月初旬にかけての平均体重が0.225から0.309gのとき(0.015g m⁻²d⁻¹)、1982年では6月初旬から中旬にかけての平均体重が0.220から0.320gのとき(0.023g m⁻²d⁻¹)であった。モツゴ当才魚において最も生産量が高い時期は、1981年では7月初旬から下旬にかけての平均体重が0.228から0.391gのとき(0.051g m⁻²d⁻¹)、1982年では9月下旬から10月中旬にかけての平均体重が1.331から1.880gのとき(0.023g m⁻²d⁻¹)であった。これより、ウキゴリ当才魚、ジュズカケハゼ当才魚とも、それぞれの個体群の最大生産量(g m⁻²d⁻¹)を

表 5 高浜入湖岸帯における当才魚の生産量 (P) (g/300 m²), W = 平均体重 (g), G = 瞬間成長速度, B = 現存量 (g/300 m²), N = 個体数 (g/300 m²), B = 平均現存量 (g/300 m²)

Talbe 5 Computation of production (P) (g/300 m²) of yearling fish at the littoral region in Takahamairi Bay, W = mean body weight (g); G = instantaneous growth rate; B = stock biomass (g/300 m²); N = stock number (g/300 m²); B = mean biomass (g/300 m²)

5-a Motsugo *P. parva* (June 9, 1981 to June 16, 1982)

Date	W	G	N	B	B	P
'81 Jun. 9	0.101		147	14.99		
		0.058			23.28	1.35
Jun. 22	0.107		295	31.57		
		0.757			275.14	208.28
Jul. 7	0.228		2275	518.70		
		0.539			369.42	199.11
Jul. 20	0.391		563	220.13		
		0.630			443.67	279.51
Aug. 25	0.734		909	667.21		
		0.260			634.92	165.08
Sep. 26	0.952		633	602.02		
		0.190			414.69	78.79
Oct. 14	1.151		197	226.75		
		0.372			118.39	44.04
Dec. 18	1.670		6	10.02		
		0.088			6.84	0.60
'82 Jan. 13	1.825		2	3.65		
		-0.127			10.67	-1.35
Mar. 17	1.607		11	17.68		
		0.406			101.68	41.28
Apr. 7	2.411		77	185.68		
		-0.185			198.00	-34.97
Apr. 21	2.004		96	192.35		
		-0.037			158.07	-5.85
May 6	1.934		64	123.78		
		0.503			130.67	65.72
May 22	3.199		43	137.55		
		0.160			126.95	20.31
Jun. 16	3.753		31	116.34		
Total				3068.42		1061.90

表 5 (つづき)

Table 5 (continued)

5-b Mutsugo *P. parva* (May 22, 1982 to May 23, 1983)

Date	W	G	N	B	B	P
'82 May 22	0.042		4	0.17		
		1.239			17.27	21.40
Jun. 2	0.145		237	34.37		
		0.584			66.98	39.12
Jun. 16	0.260		383	99.58		
		0.905			105.41	95.40
Jul. 15	0.643		173	111.24		
		0.728			303.18	220.72
Sep. 22	1.331		372	495.12		
		0.345			391.38	135.03
Oct. 12	1.880		153	287.64		
		0.184			198.04	36.44
Dec. 8	2.259		48	108.43		
		0.416			131.30	54.62
'83 Apr. 20	3.426		45	154.17		
		0.187			122.52	22.91
May 23	4.130		22	90.86		
Total				1381.58		625.64

5-c Ukigori *C. annularis* (May 26 to September 26 in 1981)

Date	W	G	N	B	B	P
'81 May 26	0.303		290	87.86		
		0.290			135.96	39.43
Jun. 9	0.405		454	184.05		
		0.029			186.23	5.40
Jun. 23	0.417		452	188.40		
		0.284			219.05	62.21
Jul. 7	0.554		451	249.69		
		0.245			164.86	40.39
Jul. 20	0.708		113	80.03		
		0.840			59.68	50.13
Sep. 9	1.638		24	39.32		
		-1.189			20.41	-24.27
Sep. 26	0.500		3	1.49		
Total				830.84		173.29

表 5 (つづき)
Table 5 (continued)

5-d Ukigori *C. annularis* (May 22 to September 22 in 1982)

Date	W	G	N	B	B	P
'82 May 22	0.430		1616	690.03		
		0.398			667.58	265.70
Jun. 2	0.640	0.198	1008	645.12	529.70	104.88
Jun. 16	0.780	0.086	537	414.28	516.46	44.42
Jun. 30	0.850	0.165	724	618.63	518.94	85.63
Jul. 15	1.002	0.053	419	419.24	223.34	11.84
Jul. 29	1.057	-0.008	26	27.44	48.25	-0.39
Aug. 5	1.049	0.228	66	69.25	39.90	9.01
Sep. 22	1.318		8	10.45		
Total				2894.44		521.09

5-e Juzukakehaze *R. laevis* (May 26, 1981 to May 22, 1982)

Date	W	G	N	B	B	P
'81 May 26	0.111		155	17.32		
		0.372			70.89	26.37
Jun. 6	0.161	0.335	773	124.45	123.99	41.54
Jun. 23	0.225	0.317	549	123.53	202.67	64.25
Jul. 7	0.309	0.208	912	281.81	127.67	48.34
Jul. 20	0.409	-0.074	155	63.40	34.55	-2.56
Aug. 25	0.380	0.167	15	5.70	109.94	18.38
Sep. 9	0.449	0.031	477	214.17	161.72	5.01
Sep. 26	0.463	0.139	236	109.27	161.57	22.46
Oct. 14	0.532	0.334	402	213.86	112.88	37.70
Dec. 18	0.743	0.027	16	11.89	10.53	0.28
'82 Jan. 13	0.763	0.022	12	9.16	6.53	0.14
Feb. 17	0.780	0.085	5	3.90	3.23	0.27
May. 17	0.849	-0.105	3	2.55	5.34	-0.41
Apr. 7	0.764	0.198	7	5.35	6.87	1.36
May	0.931	0.299	9	8.38	5.45	1.63
May. 22	1.255		2	2.51		
Total				1197.25		264.74

表 5 (つづき)

Table 5 (continued)

5-f Juzukakehaze *R. laevis* (May 22, 1982 to May 22, 1983)

Date	W	G	N	B	B	P
'82 May 22	0.160		677	108.32		
		0.318			187.69	59.69
Jun. 2	0.220		763	267.05		
		0.375			252.09	94.53
Jun. 16	0.320		741	237.12		
		0.363			205.50	74.60
Jun. 30	0.460		378	173.88		
		0.111			483.24	53.64
Jul. 15	0.514		1542	792.59		
		0.066			550.84	36.64
Jul. 29	0.549		563	309.09		
		-0.024			469.61	-11.25
Aug. 5	0.536		1193	630.13		
		0.177			411.71	72.87
Sep. 22	0.640		302	193.28		
		0.090			118.34	10.65
Oct. 12	0.700		62	43.40		
		0.189			102.50	19.37
Nov. 10	0.846		192	161.59		
		0.221			84.49	18.67
Dec. 8	1.055		7	7.39		
		0.283			7.93	2.24
'83 Jan. 10	1.410		6	8.46		
		-0.700			5.98	-4.19
May. 23	0.700		5	3.50		
Total				2935.80		427.46

与える体サイズ(平均重量)には、両年で大きな差がみられなかった。また、1981年においては、ウキゴリ当才魚とジュズカケハゼ当才魚それぞれの個体群の最大生産量($\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$)を与える時期が、両種で一致しており、一方1982年においては、その時期が両種でずれていた。モツゴ当才魚において、個体群の最大生産量($\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$)を与える時期は、ウキゴリ当才魚及びジュズカケハゼ当才魚それぞれの個体群の生産量($\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$)を与える時期と両年ともにずれが認められた。ただし、1982年にモツゴ当才魚個体群の最大生産量($\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$)を与える時期が、9月下旬から10月中旬となったのは、モツゴの移動などが原因となるみかけ上の結果であろう。

モツゴ当才魚の1年間の生産量はそれぞれの年で 0.88 g m^{-2} 、 1.42 g m^{-2} 、ウキゴリ当才魚の4か月間の生産量はそれぞれの年で 0.58 g m^{-2} 、 1.74 g m^{-2} 、ジュズカケハゼ当才魚の1年間の生産量はそれぞれの年で 0.88 g m^{-2} 、 1.42 g m^{-2} であった(表6)。以上より、年間の(ただしウキゴリ当才魚では4か月間)生産量は、1981年から1982年まででは3種の中でモツゴ当才魚が最も高く 3.54 g m^{-2} であり、1982年から1983年まででもモツゴ当才魚が最も高く 2.16 g m^{-2} であった。また、3種合わせた年間の生産量は、1981年から1982年まで、1982年から1983年までそれぞれ 5.00 gm^{-2} 、 5.25 gm^{-2} であり、両年に大きな違いはみられなかった(表6)。

表 6 高浜入湖岸帯における主要魚3種の年間生産量(gm⁻²)

Table 6 Annual production (gm⁻²) of three dominant fishes at the littoral region in Takahamairi Bay

Species	Production (gm ⁻² y ⁻¹)		
	1981-1982	1982-1983	Average
MOTSUGO	3.54	2.09	2.82
UKIGORI	0.58*	1.74*	1.16*
JUZUKAKEHAZE	0.88	1.42	1.15
Total	5.00	5.25	

*4 months

(2) 沖帯でのけた網底引調査

a) 底生性魚類現存量及び魚種組成の季節変化

表7に1981年5月29日から1983年5月23日まで計36回行ったけた網調査の採集日ごとの

表 7 高浜入沖帯における底引けた網による漁獲生物(1981年5月から1983年5月まで)

Table 7 Data of the haul (g wet weight/180 m²) of fishes caught by the beam trawl at the offshore region in Takahamairi Bay from May 1981 to May 1983

Species Name/Date	1981								
	May 29	Jun. 26	Jul. 7	Jul. 20	Aug. 3	Aug. 25	Sep. 9	Sep. 29	Oct. 14
WAKASAGI (<i>H. transpacificus</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOTSUGO (<i>P. parva</i>)	0	4.52 (17)	0.09 (2)	0.77 (8)	0.69 (2)	0	0	0	0
KINBUNA (<i>C. auratus</i> subsp.)	0	14.19 (1)	0	0	109.86 (7)	0	0	0	0
FUNA JUVENILE (<i>C. a. spp.</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TITIBU (<i>T. obusculus</i>)	0	0	2.27 (24)	10.44 (109)	87.38 (620)	34.60 (320)	56.53 (564)	61.93 (535)	92.55 (617)
YOSHINOBORI (<i>R. brunneus</i>)	0	2.78 (20)	0.12 (1)	0.14 (2)	1.39 (10)	0.48 (6)	1.04 (19)	0.46 (4)	0.10 (2)
ASHISHIROHAZE (<i>A. lactipes</i>)	0	0	0	0	0.41 (7)	0.02 (1)	0.10 (1)	0.51 (6)	0.31 (3)
UKIGORI (<i>C. annularis</i>)	0.30 (2)	0	0	0	0	0	0	0	0
JUZUKAKEHAZE (<i>R. laevis</i>)	0.44 (6)	1.62 (10)	3.00 (14)	5.56 (20)	81.73 (205)	32.11 (78)	16.15 (41)	12.32 (22)	16.24 (23)
BULLFROG TADPOLE (<i>R. catesbeiana</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TENAGAEBI (<i>M. nipponense</i>)	9.86 (65)	0	0	2.65 (26)	234.98 (3284)	32.24 (347)	27.36 (321)	148.09 (1252)	18.00 (235)
ISAZAAMI (<i>N. intermedia</i>)	0.46 (53)	0	0	0	0	0.16 (18)	0.05 (9)	0	0
TOTAL (g)	11.06	23.11	5.48	19.56	516.44	99.61	101.23	223.31	137.97

表 7 (つづき)
Table 7 (continued)

Species Name/Date	1981		1982						
	Nov. 18	Dec. 16	Jan. 13	Feb. 17	Mar. 17	Apr. 7	Apr. 21	May 6	May 22
WAKASAGI (<i>H. transpacificus</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOTSUGO (<i>P. parva</i>)	0	0	0.89 (1)	0	0	0	0.01 (3)	0	0.04 (1)
KINBUNA (<i>C. auratus</i> subsp.)	0	0	0	0	0	17.74 (1)	0	1.45 (1)	0
FUNA JUVENILE (<i>C. a. spp.</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TITIBU (<i>T. obusculus</i>)	0.68 (4)	0.44 (3)	0.41 (3)	0	0	0	0	1.01 (2)	0
YOSHINOBORI (<i>R. brunneus</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ASHISHIROHAZE (<i>A. lactipes</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UKIGORI (<i>C. annularis</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUZUKAKEHAZE (<i>R. laevis</i>)	0.75 (1)	0	0	0	0	0	0	0	0
BULLFROG TADPOLE (<i>R. catesbeiana</i>)	0	0	0	0	0	11.99 (1)	0	0	0
TENAGAEBI (<i>M. nipponense</i>)	1.37 (19)	1.33 (28)	4.96 (84)	0.46 (7)	0.03 (1)	0.74 (12)	0.14 (1)	5.43 (24)	0.73 (2)
ISAZAAMI (<i>N. intermedia</i>)	0.04 (3)	16.16 (1309)	12.80 (1122)	75.76 (5784)	529.42 (35531)	59.04 (4377)	18.53 (1414)	1.37 (165)	4.36 (432)
TOTAL (g)	2.84	17.93	19.06	76.22	529.45	89.51	18.68	9.26	5.13

Species Name/Date	1982								
	Jun. 2	Jun. 16	Jun. 30	Jul. 15	Jul. 29	Aug. 5	Aug. 11	Aug. 25	Sep. 8
WAKASAGI (<i>H. transpacificus</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOTSUGO (<i>P. parva</i>)	0.13 (1)	0	0.02 (1)	0	0	0	0.47 (1)	0	0
KINBUNA (<i>C. auratus</i> subsp.)	0	0	0	0	0	0	0	9.76 (3)	37.69 (6)
FUNA JUVENILE (<i>C. a. spp.</i>)	0	0	0	1.29 (2)	0	4.38 (5)	5.41 (4)	0	0
TITIBU (<i>T. obusculus</i>)	0	0.32 (4)	0.39 (4)	1.36 (3)	4.51 (12)	10.17 (59)	13.61 (75)	5.99 (42)	9.12 (41)
YOSHINOBORI (<i>R. brunneus</i>)	0.08 (1)	0	0.17 (1)	0	0.36 (1)	0.14 (2)	0.50 (4)	0.09 (1)	0
ASHISHIROHAZE (<i>A. lactipes</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0.03 (1)	0.79 (11)
UKIGORI (<i>C. annularis</i>)	0.06 (1)	0	0	0	0	0	0	1.23 (1)	0
JUZUKAKEHAZE (<i>R. laevis</i>)	0	0	0	3.83 (10)	8.39 (18)	3.13 (6)	19.44 (62)	35.97 (42)	7.64 (14)
BULLFROG TADPOLE (<i>R. catesbeiana</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TENAGAEBI (<i>M. nipponense</i>)	15.06 (21)	0.76 (2)	0	8.41 (7)	3.68 (25)	1.78 (51)	16.02 (346)	39.68 (464)	333.05 (4046)
ISAZAAMI (<i>N. intermedia</i>)	0.06 (7)	0.01 (1)	0	0.08 (12)	0.02 (2)	0	0	0.10 (21)	0.01 (1)
TOTAL (g)	15.39	1.09	0.58	14.97	16.96	19.60	65.45	92.85	388.30

表 7 (つづき)
Table 7 (continued)

Species Name/Date	1982				1983				
	Sep. 22	Oct. 12	Nov. 10	Dec. 8	Jan. 10	Feb. 16	Mar. 26	Apr. 28	May 23
WAKASAGI (<i>H. transpacificus</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30 (2)
MOTSUGO (<i>P. parva</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.87 (12)
KINBUNA (<i>C. auratus</i> subsp.)	0	2.72 (1)	11.95 (3)	0	0	0	14.39 (4)	0	6.63 (2)
FUNA JUVENILE (<i>C. a. spp.</i>)	0.69 (1)	0	0	0	0	0	0	0	0
TITIBU (<i>T. obusculus</i>)	2.02 (5)	2.68 (8)	0.36 (1)	0	0	0	0	2.64 (2)	0
YOSHINOBORI (<i>R. brunneus</i>)	0	0.16 (1)	0.20 (1)	0	0	0	0	0	0
ASHISHIROHAZE (<i>A. lactipes</i>)	0	0.50 (2)	0.36 (1)	1.05 (4)	0.50 (1)	0	1.37 (4)	2.57 (3)	0
UKIBORI (<i>C. annularis</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.54 (3)
JUZUKAKEHAZE (<i>R. laevis</i>)	0	0.29 (1)	1.35 (1)	0	0	0	0	0	1.19 (9)
BULLFROG TADPOLE (<i>R. catesbeiana</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TENAGAEBI (<i>M. nipponense</i>)	32.35 (245)	2.61 (64)	4.33 (82)	14.61 (354)	1.25 (40)	7.40 (74)	3.71 (80)	1.84 (32)	11.99 (44)
ISAZAAMI (<i>N. intermedia</i>)	0	0	0	0.26 (23)	3.66 (325)	7.86 (631)	24.74 (2096)	0.65 (49)	2.74 (211)
TOTAL (g)	35.06	8.96	18.55	15.92	5.41	15.26	44.21	7.70	24.26

魚獲量を魚種別に示した。漁獲物は魚類 8 種，両性類 1 種，甲かく類 2 種であった。

表 8 に 1981 年 5 月 29 日から 1982 年 5 月 22 日，及び 1982 年 5 月 22 日から 1983 年 5 月 23 日までそれぞれ約 1 年間の底引けた網総漁獲量 (湿重量 g)，種別漁獲量 (個体数及び湿重量 g)，及び種別漁獲割合 (湿重量の百分率) を示した。1981 年 5 月から 1982 年 5 月までの 1 年間の漁獲総量は約 1.9 kg で，漁獲物は魚類 7 種，両生類 1 種，甲かく類 2 種であった。漁獲高が最も高いものはイサザアミで，総漁獲量の 37.7% を占めた。次いでテナガエビ 25.6%，チチブ 18.3%，ジュズカケハゼ 8.9%，キンブナ 8.1% であり，これら 5 種で全体の 98.6% に達した。一方，1982 年 5 月から 1983 年 5 月までの総漁獲量は約 0.8 kg であり，魚類 8 種，甲かく類 2 種であった。漁獲高の最も高いものはテナガエビで，総漁獲の 61.9% を占めた。次いでジュズカケハゼ 11.3%，キンブナ 10.3%，チチブ 6.6% であり，これら 4 種で全体の 90.1% に達した。

図 5(a) (b) に 1981 年 5 月から 1982 年 5 月まで，1982 年 5 月から 1983 年 5 月までのそれぞれの年での底生魚類現存量及び種組成の季節変化を示した。調査開始の 1981 年 5 月下旬から 7 月下旬にかけて現存量は極めて低く 0.13 g m^{-2} 以下であった。8 月初旬に現存量が急激に高まり 2.87 g m^{-2} に達した。その後 10 月中旬までの期間現存量は約 0.5 から 1.2 g m^{-2} の範囲にあり，11 月中旬には減少して 0.01 g m^{-2} になった。12 月中旬，翌年 1 月中旬とも現存量は低く約 0.1 g m^{-2} で

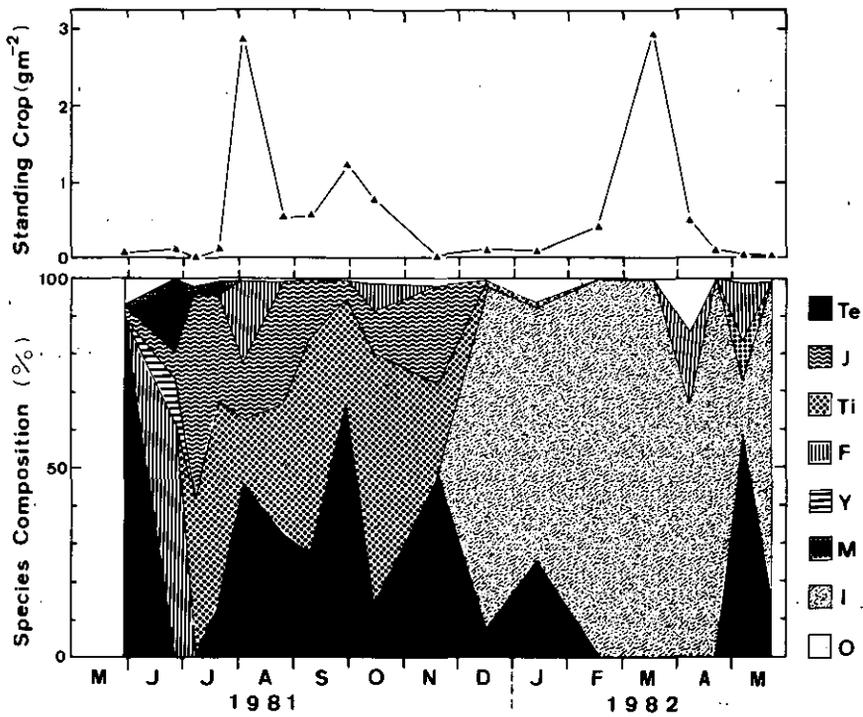
表 8 高浜入沖帯における底引けた網による漁獲生物組成(1981年5月から1983年5月まで)

Table 8 List of fishes caught by the beam trawl at the offshore region in Takahamairi Bay from May 1981 to May 1983

Species Name	1981-1982		1982-1983	
	Number	Wet weight : g (%)	Number	Wet weight : g (%)
WAKASAGI (<i>H. transpacificus</i>)	0		2	0.32 (0.1>)
MOTSUGO (<i>P. parva</i>)	34	7.01 (0.4)	16	1.53 (0.2)
KINBUNA (<i>C. auratus</i> subsp.)	11	154.02 (8.1)	19	83.14 (10.3)
FUNA JUVENILE (<i>C. a. sppz</i>)	0		12	22.85 (2.8)
TITIBU (<i>T. obscurus</i>)	2801	348.24 (18.3)	256	53.17 (6.6)
YOSHINOBORI (<i>R. brunneus</i>)	64	6.51 (0.3)	12	1.70 (0.2)
ASHISHIROHAZE (<i>A. lactipes</i>)	18	1.35 (0.1>)	27	7.17 (0.9)
UKIGORI (<i>C. annularis</i>)	2	0.32 (0.1>)	5	1.83 (0.2)
JUZUKAKEHAZE (<i>R. laevis</i>)	420	169.92 (8.9)	163	91.23 (11.3)
BULLFROG TADPOLE (<i>R. catesbeiana</i>)	1	11.99 (0.6)	0	
TENAGAEBI (<i>M. nipponense</i>)	5747	488.37 (25.6)	5979	499.26 (61.9)
ISAZAMI (<i>N. intermedia</i>)	50217	718.15 (37.7)	381	44.55 (4.9)
TOTAL (g)		1905.87		806.75

あったが、2月中旬にやや増加し(0.42 g m⁻²)、3月中旬にはイサザアミが急激に増加して2.49 g m⁻²に達した。その後4月初旬には現存量は減少し(0.5 g m⁻²)、5月には0.1 g m⁻²以下になった(図5(a))。以上より1981年5月から1982年5月までの1年間において、底生魚類の現存量には8月初旬と3月中旬での2回の明りょうなピークを生じたことがわかった。

上記期間を魚種組成でみてゆくと、1981年5月から6月下旬までの期間はテナガエビ、フナ、モツゴ当才魚などが入れ替わり出現し、組成は不安定であった。7月上旬から下旬にかけてジュズカケハゼ当才魚とチブ当才魚2種が90%以上を占め、8月初旬には、それまでの6月下旬から7月上旬にかけて一度消失していたテナガエビが再び現れ、これら3種で底生魚類現存量の80%近くを占めた。その後11月中旬まで上記3種は現存量の90%以上を占め、3種による優占は安定していた。しかし12月中旬にはこれまでの組成が急変し、イサザアミ1種が90%以上を占め、それ以降翌年の5月中旬まで(5月初旬は除く)優占していた(図5(a))。以上より1981年5月から1982年5月までの1年間に、11月から12月を境にして数種による優占から1種による優占へと群集組成の大きな変化が認められた。



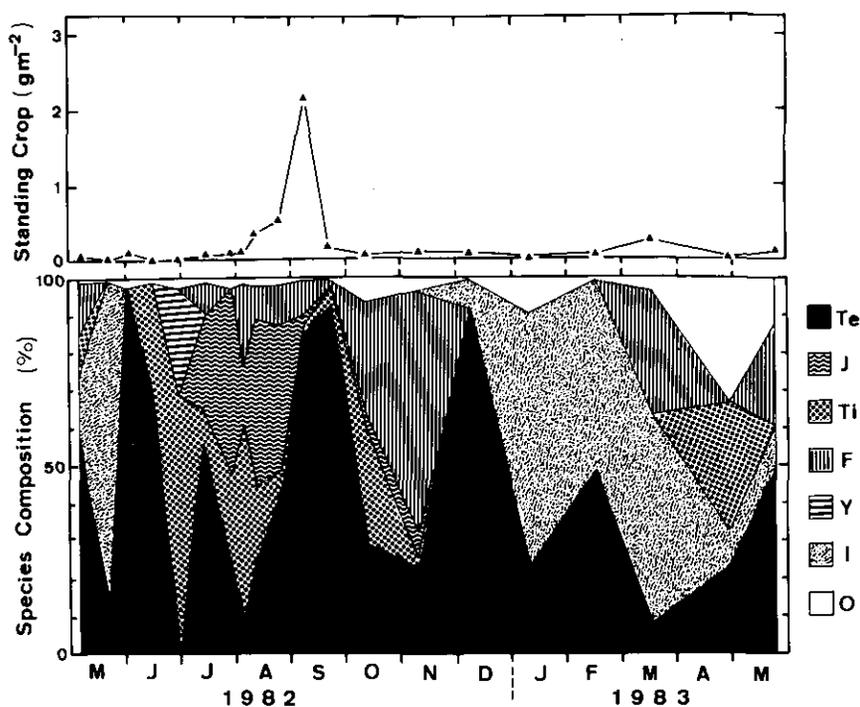
(a) 1981年5月から1982年5月まで
 (a) from May 1981 to May 1982

図 5 高浜入沖帯における底生魚の現存量 (湿重 $g\ m^{-2}$) 及び種組成 (%) の季節変化
 Fig. 5 Seasonal changes in the standing crops ($g\ wet\ weight\ m^{-2}$) and the species composition (%) on the bottom at the offshore region in Takahamairi Bay

Te=Tenagabi *M. nipponense*; J=Juzukakehaze *R. laevis*; Ti=Titibu *T. obsculus*; F=Funa *Carasius auratus* spp; Y=Yoshinobori *R. burunneus*; M=Motsugo *P. parva*; I=Isazaami *N. intermedia*; O=others.

調査開始の2年目に当たる1982年5月からの底生魚類の現存量は、8月初旬まで極めて低く $0.11\ g\ m^{-2}$ 以下であった。8月中旬、下旬とゆっくり現存量は増加し9月初旬に $2.16\ g\ m^{-2}$ となり現存量のピークに達した。9月中旬には $0.19\ g\ m^{-2}$ に減少し、その後現存量は翌年3月下旬に $0.25\ g\ m^{-2}$ に増加したのを除けば、5月中旬までいずれの月も $0.13\ g\ m^{-2}$ 以下であった(図5(b))。以上より1982年5月から1983年5月までの1年間において、底生魚類の現存量には9月初旬のみに明りょうなピークを生じたことがわかった。

上記の期間の魚種組成をみると、1982年5月から底生魚類の種組成はイサザアミからテナガエビに移行し、6月下旬に一時期テナガエビが消失し不安定に入れ替わった。再びテナガエビが現れる7月中旬には、チチブ当才魚、ジュズカケハゼ当才魚及びフナ当才魚を加えた4種により現存量の90%以上を占めた。この年における上記4種の組成比は極めて不安定であり、現存量の増加



(b) 1982年5月から1983年5月まで
(b) from May 1982 to May 1983

図 5 (つづき)
Fig. 5 (continued)

がピークに達する9月初旬にはテナガエビ1種だけで85%以上に達し、現存量の減少した9月中旬も同様な傾向であった。10月中旬から12月初旬にかけてフナ当才魚及びテナガエビが入替わり優占した。翌年1月中旬から3月下旬までイサザアミが優占し、50%から60%の範囲を占めた。それ以降5月中旬までの期間は、フナ、チチブ、テナガエビが優占した。以上より1982年5月から1983年5月までの1年間において、12月から1月を境にして数種優占から1種優占へと群集組成に大きな変化が認められた(図5(b))。しかしこの変化は、冬季のイサザアミの優占が顕著でなかったため前年と比較すると明りょうでなかった。

(3) 漁業統計による高浜入最奥部入江の魚類生産量の年変動

図6に高浜入最奥部入江における漁獲量(漁業生産量)の年変化を示した。入江の総漁獲量は、1956年から1962年頃にかけて増加傾向にあり、1962年から1973年までの約10年間はほぼ横ばいであった。その後1974年頃から漁獲量は急増し、1976年に総漁獲量954tに達しピークを迎える。しかしそれ以降漁獲量は減少に転じた。1981年には総漁獲量399tとなり、1965年から1973

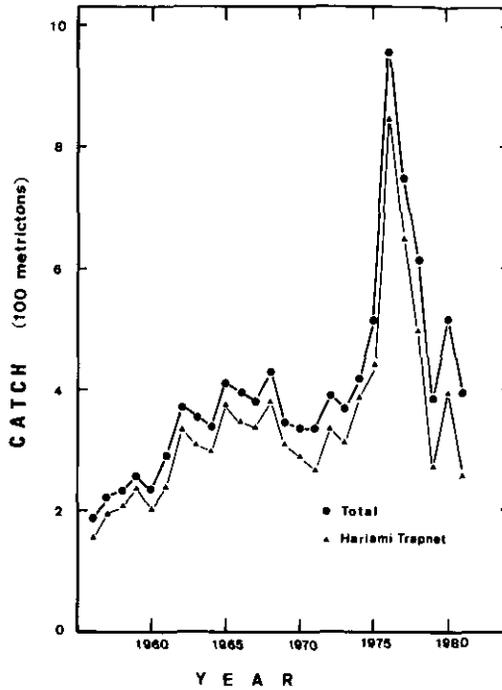


図 6 高浜入の田余漁業協同組合の漁獲量の年変化 (1956年から1981年まで)

Fig. 6 Annual variations of commercial fish catch of Taamari fisheries co-operative association in Takahamairi Bay from 1956 to 1981

Data from Annual Report of the Agriculture, Forestry and Fisheries Statistics in Ibaraki Prefecture (1956—1981)

年にかけての漁獲量の範囲にまで減少した (図 6)。また、入江の張網漁獲量は総漁獲量と全く同様な傾向で推移しており、1976年には844 tに達し漁獲量のピークを迎え、その後減少に転じ、1981年には261 tに低下した (図 7)。入江における総漁獲量に対する張網漁獲量の割合は極めて高く (図 7)、入江内での漁獲のほとんどは張網漁業と考えられる。ただし、1976年以降の総漁獲量の減少に伴って、この割合が低下していることがわかる。1956年から1981年までの毎年の総漁獲量に対する張網漁獲量の割合の平均は $84.8(\pm 6.3 \text{ S.D.})\%$ であり、1981年にはその割合が 65.4% にまで減少し総漁獲量のうち張網漁獲の割合が最近数年間で顕著に低下していると言える。

入江内の魚種別の漁獲量の推移を表 9 に示した。コイの漁獲は1968年以降増加しており、1959年から1981年までの平均が $52.13(\pm 48.25, \text{S.D.}) \text{ t}$ であるのに対し、1981年には140 tに達している。フナ類の漁獲量は1959年から1981年までの平均が $131.09(\pm 50.52, \text{S.D.}) \text{ t}$ で、1981年が126 tであるので、入江内での漁獲量は安定していると言える。ハゼ類の漁獲量は、1959年から1981年までの平均が $46.09(\pm 26.59, \text{S.D.}) \text{ t}$ で、1981年には33 tであり、この数年間でやや減少傾向にある。エビ類の漁獲量は1959年から1981年までの平均が $90.13(\pm 47.22, \text{S.D.}) \text{ t}$ で、1981年には

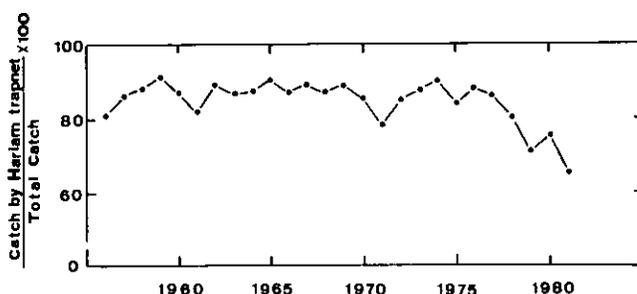


図 7 高浜入の田余漁業協同組合の総漁獲量に対する張網漁獲量の割合 (%) (1956年から1981年まで)

Fig. 7 Annual variations of rates (%) of the catch by Hariami trapnet to total catch in Taamari fisheries co-operative association in Takahamairi Bay from 1956 to 1981. Data from Annual Report of the Agriculture, Forestry and Fisheries Statistics in Ibaraki Prefecture (1956—1981)

40 t に低下し、この数年間漁獲量は減少している。タナゴ類の漁獲量は 1959 年から 1981 年までの平均が $42.17 (\pm 24.15, \text{S.D.})$ t で、1981 年には 24 t であり、漁獲量は減少傾向にある。以上より、高浜入最奥部入江では最近数年間において、コイ・フナを除くほとんどの魚種が減少傾向にあることがわかる。

以上より、高浜入最奥部入江の面積 3.14 km^2 としたときの単位面積当たりの年間生産量 (g m^{-2}) を、1981 年の漁獲量と 1959 年から 1981 年までの平均漁獲量で魚種ごとにとみると、コイではそれぞれ $44.59 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, $16.60 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, フナ類ではそれぞれ $40.13 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, $41.75 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, ハゼ類ではそれぞれ $10.51 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, $14.68 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, エビ類ではそれぞれ $12.74 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, $28.70 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, タナゴ類ではそれぞれ $7.64 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, $13.43 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ となった。

4. 考 察

霞ヶ浦の生態系構造、特に魚類群集構造が 1956 年頃より急激に変化したことが、農林水産統計による漁獲量の年変動解析より明らかにされてきた (津田・浜田, 1973; 浜田・津田, 1976; 浜田, 1978; 戸田ら, 1981; Toda *et al.*, 1981)。この変動要因に関する議論は、漁法の変化等による魚類群集への人の働きかけの変化が、直接魚類群集構造に影響を与えたとするもの (津田・浜田, 1973; 浜田・津田, 1976; 浜田, 1978) と、人間活動による湖の富栄養化が間接的に生物群集構造に影響を与えたとする考え方 (戸田ら, 1981; Toda *et al.*, 1981) に分かれる。原因論からすると前者が直接原因を解析しており理解しやすく、後者は富栄養化の進行と生物群集構造の変化との間の因果関係が明らかにされていない。しかし一般的には後者の説明、すなわち環境汚染により汚染に強い生物種が残ったとする見方が受け入れやすい (茨城大農, 1977)。

この魚類群集構造の変化がみられた年代は、日本の経済成長の最盛期に当たり、漁業の生産性

表 9 高浜入最奥部入江における 1965 年から 1981 年までの主要魚種漁獲量と総漁獲量変化

Table 9 Annual variations of commercial fish catch of major species in the innermost area of Takahamairi Bay from 1956 to 1981
Data from Annual Report of the Agriculture, Forestry and Fisheries Statistics in Ibaraki Prefecture (1956-1981)

Year	Each fish catch (metricton)						Total catch
	Carp	Crucian carp	Gobies	Prawn	Tanago	Others	
1956	—	—	—	—	—	—	189
1957	—	—	—	—	—	—	223
1958	—	—	—	—	—	—	231
1959	41	97	12	10	48	50	258
1960	3	73	33	35	51	36	321
1961	1	85	29	132	18	24	289
1962	1	118	66	113	50	25	373
1963	7	145	18	17	117	50	354
1964	7	144	44	92	23	26	336
1965	13	258	23	6	83	29	412
1966	9	141	47	103	70	25	395
1967	7	105	47	136	55	29	379
1968	32	118	82	145	30	25	432
1969	22	112	48	79	60	26	347
1970	35	96	51	60	37	56	335
1971	45	96	36	84	33	44	338
1972	61	103	24	105	19	80	392
1973	61	87	33	83	24	77	365
1974	62	116	24	95	27	104	428
1975	96	126	33	157	30	82	524
1976	123	279	131	159	52	210	954
1977	72	178	79	159	46	214	748
1978	132	155	77	120	38	97	619
1979	77	102	40	62	18	86	385
1980	152	155	50	81	17	65	520
1981	140	126	33	40	24	36	399
Mean	52.13	131.09	46.09	90.13	42.17	65.04	402.15
±SD	±48.25	±50.52	±26.59	±47.22	±24.15	±52.93	±166.47

を高めるための漁法の機械化 (1965 年), 霞ヶ浦の唯一の流出口である常陸利根川の逆水門完成 (1963 年), 湖面での網生けすによるコイ養殖の本格化 (1965 年), 湖内の富栄養化の進行 (1965-1970 年) と様々な出来事が複雑に重なり, 要因解明を難しくしている。

ところで, これまでの霞ヶ浦の魚類群集の研究は, 漁業統計等を頼りにしており, 産業上重要種であるワカサギ (丹下ら, 1956; 加瀬・林・浜田, 1973) を除いて, 湖内の生物群集を現場で研究するまでには至っておらず, その他の魚種についてはほとんど顧みられていない。

近年, 陸水域の富栄養化は環境問題として注目され, 国立公害研究所により霞ヶ浦を対象とし

た総合的な調査研究が進められてきた(国立公害研究所, 1977など)。その中で, 春日ら(1978, 1979)は, 本研究とほぼ同地点の湖岸域における張網による魚類相の調査を行い, 漁業による漁獲圧が極めて高く, この湖に生息する魚種のほとんどが1年以内に世代を交代し, 年魚の性格を示していることを明らかにした。またその後, 春日(1981)は, 沖帯においても同様な結果を得て, 霞ヶ浦における動物相が季節的に全く違った様相を呈し, 冬季にはイサザアミが優占し, 夏季にはハゼ科魚類とテナガエビが優占することを明らかにし, 霞ヶ浦における魚類相はテナガエビも含めた魚類に対する高い漁獲率と構成する生物種の高い繁殖能力により決定されていることを示唆した。さらに, このような季節変動の激しい生物群集構造は, 湖の生態系構造において漁業や逆水門の閉鎖などによって上位の捕食者が欠除し, 動物相が単純化されることで単一種又は特定種が異常繁殖した結果であるとした(春日, 1981)。

さて, 今回の調査においても湖岸帯における魚類群集の季節変化は, 春日ら(1979)の示した変化と大きな違いはないが, 魚類組成ではかなりの違いがみられた。張網調査では(春日, 1979)魚類20種, 両生類1種, 甲かく類3種が報告されており, 一方今回の調査では魚類20種, 両生類1種, 甲かく類2種であり, ほとんどの種は共通しているが, 以前漁獲されたが今回漁獲されていないものにタモロコ, タナゴ, ドジョウ, アメリカザリガニがあり, 逆に今回のみ漁獲されたものにシラウオ, ハス, ヒガイがある。また, 漁獲量では1977年5月から1978年5月までの張網調査(春日, 1979)では, コイ, フナ, テナガエビの占める割合が極めて高いが, 今回のひき網調査ではモツゴ, ハゼ類, ウシガエルオタマジャクシの占める割合が高い。これらの違いは漁法の差によるところが大きいと考えられる。すなわち張網は1日中継続設置されており, 移動性の大きいものほど高率に漁獲される。一方ひき網は短時間採集であるため, 日周移動のある魚種は漁獲されないものがあり得る。しかし今回の調査では全く採集されなかったタモロコ, タナゴ, ドジョウなどは, 移動性が少ない魚種であることからこれらの魚種はこの調査水域で極めて少なくなったと考えられる。

今回のひき網調査で主要種とみなされたモツゴ, ウキゴリ, ジュズカケハゼ3種合わせた総漁獲量は, 1981年5月から翌年5月までの19回の調査, 及び1982年5月から翌年5月までの19回の調査でそれぞれ7634.30g, 8978.48g(表2より)となり, 両年で大きな違いはみられない。しかしながら, それぞれの種別の漁獲量には両年に違いがみられた。1981年にはモツゴが多く, ウキゴリ, ジュズカケハゼをりょうがしていたが, 1982年には前年に比べて相対的に, モツゴの漁獲量が減少しウキゴリ, ジュズカケハゼが増加し3種の漁獲量はほぼ等しかった。このような両年での違いは, 上記3種について算出された生産量についても同様であり, 両年でモツゴ, ウキゴリ, ジュズカケハゼ3種合わせた生産量に大きな違いはみられぬが, 種ごとの生産量にはかなりの違いがみられた(表6)。その他の生物種では, ウシガエルの漁獲量及びイサザアミの漁獲量に両年で極端な違いがみられる(表2)。以上のことは, 高浜入最奥部入江の湖岸帯では動物群集構造の激しい季節変動に加えて, 群集構造の年変動を生じていることが示唆された。

今回の調査期間における入江沖帯の底生魚類群集の季節変化は、同地点で1978年から1979年にかけて行ったけた網調査の結果(春日, 1981)と基本的には変わりがなかった。すなわち沖帯においても動物群集構造には夏季と冬季とで大きな変動が生じていることである。しかし、現存量に関しては、今回の調査は前回よりも低い値となっている。夏季及び秋季の魚類現存量の最高値を比較してみると、1978年には10月に 3.89 gm^{-2} であったのに対して、1981年8月に 2.87 gm^{-2} 及び1982年9月に 2.16 gm^{-2} となり、今回の調査における魚類現存量が低いことがわかる。冬季の魚類現存量(ほとんどがイサザアミ)の最高値では、1978年には4月に 6.59 gm^{-2} であったのに対して、1982年3月に 2.94 gm^{-2} 及び1983年3月に 0.25 gm^{-2} となり、今回の調査における冬季の現存量が著しく低いことがわかる。イサザアミ現存量に関しては、今回の冬季間の調査頻度からすると単純に年ごとの比較はできぬが、前回に比べて今回の調査でのイサザアミ現存量、特に1983年は低いようである。また、今回のけた網調査の総漁獲量を1981年から1982年までの期間(調査18回)と1982年から1983年までの期間(調査19回)とで比較してみても総漁獲量では両年それぞれ1905.87 g, 806.75 gと大きな差がみられる(表8)。一方でテナガエビの漁獲量には両年でほとんど差がみられない(表8)ことが特徴的である。以上のように沖帯でも、群集構造の季節変動に加えて年変動がみられることが示唆される。

さて、湖岸帯での生産量評価に関する具体的な研究は多くはないが、五嶋ら(1978)によると、鹿児島県池田湖におけるハゼ科魚類のチチブ及びゴクラクハゼの湖岸帯での生産量は、それぞれ全生産量の65%, 78%となり、湖岸帯での生産量が高いことがわかる。霞ヶ浦高浜入の最奥部入江では、漁業の多くが湖岸帯に設置された張網で行われており、ここ数年漁獲量は減少傾向にあるが張網漁獲の占める割合は1981年では約65%とまだまだ高く(図7)、湖岸帯での漁業生産が大きいことを示している。今回のひき網調査及び1977年から1978年にかけての張網調査(春日,

表 10 高浜入湖岸帯におけるひき網(1981-1982年, 1982-1983年)と張網(1977年)で漁獲されたハゼ類の種組成(%)

Table 10 Species composition (%) of the gobies caught by the seine (1981 to 1982, 1982 to 1983) and caught by Hariami trapnet (1977 to 1978) at the littoral region in Takahamairi Bay

Species Name	Species composition of the gobies (wet weight per cent.)		
	by seine		by Hariami trapnet (1977-1978)*
	1981-1982	1982-1983	
<i>Tridentiger obscurus</i>	5.0	4.1	12.6
<i>Rhinogobius brunneus</i>	11.6	6.8	0.4
<i>Acanthogobius lactipes</i>	0.1>	0.1>	2.4
<i>Chaenogobius annularis</i>	42.7	42.2	38.9
<i>Rhodoniichthys laevis</i>	40.0	47.0	45.8

* Data from Kasuga *et al* (1979)

1979)で漁獲されたハゼ科魚種における種組成は表10のようになる。ここで、ウキゴリとジュズカケハゼとの重量組成の合計は、今回のひき網調査で82.7% (1981年から1982年), 89.2% (1982年から1983年), また張網調査で84.7% (1977年から1978年)となり, 両種を合わせた組成はひき網とで大きな差はない。したがって, ウキゴリとジュズカケハゼの重量組成の3年間(1977年から1978年, 1981年から1982年, 及び1982年から1983年)の平均値85.5%を用いて, 入江でのハゼ類の年間生産量 10.51 g m^{-2} (1981年), 14.68 g m^{-2} (1959年から1981年までの平均)から, 両種合わせた単位面積当たりの年間生産量を推定すると, 1981年では 8.99 g m^{-2} , 1959年から1981年までの平均で 12.55 g m^{-2} となる。この漁業生産から推定した年間の生産量と, 今回の調査での現存量より計算したウキゴリとジュズカケハゼ両種合わせた年間生産量 1.46 g m^{-2} (1981年から1982年), 3.16 g m^{-2} (1982年から1983年)との間には, 数倍から10倍近くの差があり, 今回の調査による生産量推定値が著しく低いことがわかる。今回の調査でのウキゴリとジュズカケハゼの生産量は, 両種とも孵出仔魚期から採集され得るサイズまでの稚魚期を除いた当才魚のみを対象にし, ウキゴリに関しては4か月間の生産量を年間生産量に当てており, しかも湖岸帯からの移出なども考慮していないため, 過少評価していることは明らかでありさらに検討を加えねばならない。しかし, いずれにせよ湖岸帯での漁獲量は著しく高く, しかも魚類現存量が秋以降極端に減少することを考え合わせると, 湖岸帯において極めて高い漁獲圧が初夏から秋にかけて集中していると思われ, 霞ヶ浦(高浜入最奥部入江)におけるこのような高い漁獲圧が, 冬季の上位捕食者を著しく欠き, イサザアミ単独優占を引き起こすものと考えられる。上位の捕食者の欠除の影響は, Paine(1966)の示したヒトデ(上位の捕食者)除去による群集の多様性の減少と被捕食者の現存量増加の実験でも明らかである。

最後に, 湖岸帯における水生植物帯と魚類群集との関係を考えてみる。湖の魚類群集は, 生息環境と密接に結びついている(Werner *et al.*, 1977)。物理的に多様な湖岸帯, 中でもモ場は魚類の現存量及び魚種の多様性が最も高いとされ(Keast *et al.*, 1978), とりわけ仔稚魚にとっては内湾の水生植物帯が重要な役割を果たしている(牧, 1964; 平井, 1970)。霞ヶ浦高浜入最奥部入江の湖岸帯での, 初夏から秋にかけてのモツゴ, ウキゴリ, ジュズカケハゼ当才魚(仔稚魚)を中心とする多様な魚類群集において, その現存量の推移は, 1979年及び1980年における同水域湖岸帯でのヒシ群落の現存量推移の結果(Tsuchiya & Iwaki, 1983), すなわちヒシ群落現存量が5月に増加をはじめ7月に第1のピークを迎えた後減少し, 9, 10月に再び増加して第2のピークに達し, その後減少してゆく過程, と非常によく一致している。霞ヶ浦の多くの魚種が年魚的性格を有していること(春日, 1978)を考えると, 高浜入入江の魚種の多くは, 湖岸域の水生植物群落, とりわけここ数年生息地の拡大を続けているヒシ群落(桜井, 1981)に大きく依存していることが示唆される。ところが現在の霞ヶ浦では, 富栄養化の進行に加えて水資源開発構想のもとに湖の水ガメ化による利水事業も進められている。このため湖岸帯はコンクリート護岸提防の建設によって, 水生植物群落の立地条件を失ってしまう恐れがあり(桜井, 1973), 水ガメ化による

水位の人為的変動によってなぎさ線が場所により 30—80 m の範囲で移動することを予想されている(茨城大農, 1977)。このため水ガメ化による湖岸帯の水生植物への影響とともに, さらにはその水生植物帯に大きく依存していると考えられる魚類群集に与える影響力ははかり知れない。

5. まとめ

1981年5月から1983年5月までの2年間にわたり, 霞ヶ浦(西浦)高浜入最奥部の入江において湖岸帯と沖帯に調査地点を設け, 湖岸帯ではひき網(ひき網面積 300 m²)を, 沖帯ではソリ付底けた網(ひき網面積 180 m²)を用いて, 魚類群集の現存量及びその種組成の季節変化を調べ, さらに主要魚種について生産量を推定した。また, 高浜入最奥部入江内での漁業生産量を, 茨城県農林水産統計を用いて推定し以下のことが明らかになった。

1) 湖岸帯における2年間計37回のひき網調査により, 魚類22種, 両生類1種, 甲かく類2種が採集された。

2) 1981年5月から1982年5月までの漁獲総量は約16.3 kgで, 漁獲高の最も高いものはモツゴ *Pseudorasbora parva* で, 漁獲総量の28.5%を占め, 次いでウシガエルオタマジャクシ *Rana catesbeiana* 21.8%, イサザアミ *Neomysis intermedia* 17.6%, ウキゴリ *Chaenogobius annularis* 9.4%, ジュズカケハゼ *Rhodoniichthys laevis* 8.8%であった。1982年5月から1983年5月までの漁獲総量は, 約12.0 kgで, 漁獲高の最も高いものはジュズカケハゼで, 漁獲総量の26.4%を占め, 次いでモツゴ24.9%, ウキゴリ23.7%, キンプナ *Carassius auratus* subsp. 11.3%であった。

3) 湖岸帯の魚類現存量は, 1981年5月から1982年5月までの期間において夏季(7月初旬)と冬~春季(4月下旬)とに2回のピークがみられ, それぞれ7.75 g m⁻², 5.79 g m⁻²に達した。一方, 1982年5月から1983年5月までの期間では, 夏季において8月下旬から9月初旬を境として二つのピークがみられ, それぞれ5.51 g m⁻², 5.11 g m⁻²に達し, 冬季のピークは明りょうでなかった。

4) 湖岸帯での魚種組成は, 両年とも初夏から秋にかけてモツゴ, ウキゴリ, ジュズカケハゼ, ウシガエルオタマジャクシが優占し, 冬~春季にかけてイサザアミが優占した。これより, 魚類としてはモツゴ, ウキゴリ, ジュズカケハゼの3種が湖岸帯での主要種であることがわかった。

5) 湖岸帯での魚類生産は, モツゴ当才魚が年間3.54 g m⁻² (1981—1982年), 2.09 g m⁻² (1982—1983年), ウキゴリ当才魚が4か月間0.58 g m⁻² (1981年), 1.74 g m⁻² (1982年), ジュズカケハゼ当才魚が年間0.88 g m⁻² (1981—1982年), 1.42 g m⁻² (1982—1983年)であり, 上記3種合わせた年間生産量5.00 g m⁻² (1981—1982年), 5.25 g m⁻² (1982—1983年)には両年で大きな差がみられなかった。

6) 沖帯における2年間計36回の底引けた網調査により, 魚類8種, 両生類1種, 甲かく類2種が採集された。

7) 1981年5月から1982年5月までの漁獲総量は約1.9 kgで、漁獲高が最も高いものはイサザアミで、漁獲総量の37.7%を占め、次いでテナガエビ *Macrobrachium nipponense* 25.6%、チチブ *Tridentiger obscurus* 18.3%、ジュズカケハゼ 8.9%、キンブナ 8.1%であった。1982年5月から1983年5月までの漁獲総量は約0.8 kgで、漁獲高の最も高いものはテナガエビで、漁獲総量の61.9%を占め、次いでジュズカケハゼ 11.3%、キンブナ 10.3%、チチブ 6.6%であった。

8) 沖帯での底生魚類群集の現存量は、1981年5月から1982年5月までの期間において、夏季(8月初旬)を冬～春季(3月中旬)とに2回のピークがみられ、それぞれ 2.87 gm^{-2} 、 2.49 gm^{-2} に達した。一方、1982年5月から1983年5月までの期間では9月初旬に 2.16 gm^{-2} に達するピークのみがみられ、冬～春季のピークは明りょうでなかった。

9) 沖帯での底生魚種組成は、両年とも初夏から秋にかけてチチブ、ジュズカケハゼ、テナガエビが優占し、冬～春季にかけてイサザアミが優占した。ただし、1983年におけるイサザアミの優占は顕著でなかった。

10) 入江内の漁業生産量は、1950年代後半から1960年代前半にかけて増加傾向にあり、1960年代前半から1970年代後半においてほぼ平衡状態にあった。1970年代後半から漁獲量は急増し、1976年にピークに達した後に急減し、1981年には1960年代前半から1970年代前半までの範囲に低下した。

11) 入江内の総漁獲量に対する張網漁業の漁獲量の割合は、1956年から1981年までの平均で84.8%と高く、漁業生産の大部分が湖岸帯(張網漁業)でなされていた。しかし、1970年代後半以降、張網漁業の割合が減少しており、1981年には65.4%まで低下していた。

謝 辞

本研究をとおして国立公害研究所水生生物生態研究室室長の安野正之博士には有益な御指摘を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

引 用 文 献

- Chapman, D. W. (1971): Production. In "Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters (2nd ed.)" p. 199-214. (W. E. Ricker, ed.) IBP Handbook No. 3 Blackwell, Oxford, 348p.
- 五嶋聖治・山岡耕作・長野正芳・江波澄雄 (1978): 池田湖におけるハゼ2種の個体数変化と生産量. 日本生態学会誌, 28, 357-366.
- 浜田篤信 (1978): 霞ヶ浦の魚類. 環境科学研究報告集, B3-R12-1, 143-150.
- 浜田篤信・津田勉 (1976): 霞ヶ浦の富栄養化に関する研究III, 窒素収支について. 茨城県内水試験, 13, 29-43.
- 平井賢一 (1970) びわ湖内湾の水生植物帯における仔稚魚の生態, I 仔稚魚の生活場所について. 金沢大学教育学部紀要, 19, 93-105.

- 茨城大農学部霞ヶ浦研究会編 (1977): 霞ヶ浦. 三共出版, 東京, 203p.
- 加瀬林成夫・浜田篤信 (1973): 霞ヶ浦におけるワカサギ資源とその管理. 茨城県内水試報, 11, 1-16.
- 春日清一 (1981): 霞ヶ浦高浜入最奥部入江における魚類, イサザアミ, テナガエビの現存量推定と栄養塩回帰への寄与. 国立公害研究所研究報告, 第22号, 159-169.
- 春日清一・石居進・山根爽一・高野護・松下誉久・新井恵子・大貫芳哉 (1978): 霞ヶ浦高浜入における魚類の季節的変動. 国立公害研究所研究発表会予稿集, SS/OT-1-78, 95-104.
- 春日清一・石居進・山根爽一・松下誉久・高野護・新井恵子・大貫芳哉・小川年以 (1979): 霞ヶ浦における魚類個体群の生態学的研究. 1. 張網採集による高浜入魚類相の周年変動. 国立公害研究所研究報告, 第6号, 185-201.
- Keast, A., J. Harker and D. Turnbull, (1978): Nearshore fish habitat utilization and species associations in Lake Opinicon (Ontario, Canada). *Env. Biol. Fish.*, 3, 173-184.
- 国立公害研究所 (1977): 陸水域の富栄養化に関する総合研究—霞ヶ浦を対象域として. 国立公害研究所特別研究成果報告, 第1号, 145p.
- 牧岩男 (1964): びわ湖の内湾における魚類と餌生物の関係, 生理生態, 12, 259-271.
- 大概晃・相崎守弘・河合崇欣 (1979): 栄養塩類濃度の季節変動から見た霞ヶ浦の富栄養化現象の特徴. 国立公害研究所研究報告, 第6号, 95-103.
- Paine, R. T. (1966): Food web complexity and species diversity. *Am. Nat.*, 100, 65-67.
- Ricker, W. F. (1946): Production and utilization of fish populations. *Ecol. Monogr.*, 16, 375-391.
- 桜井善雄 (1981): 霞ヶ浦の水生植物のフロラ, 植被面積および現存量——特に近年における湖の富栄養化に伴う変化について. 国立公害研究所研究報告, 第22号, 229-279.
- 桜井善雄・林一六・渡辺善人・天白精子・大橋通成 (1973): 霞ヶ浦生物調査報告——水生植物. 建設省霞ヶ浦工事事務所, 78-148.
- 戸田任重・浜田篤信・高橋正征・市村俊英 (1981): 人為的富栄養化の進行と生物群集構造の変化. 「環境科学」研究報告書, B93-R12-2, 149-158.
- Toda, H., A. Hamada and S. Ichimura (1981): Acceleration of the eutrophication process and community changes in biotic structure due to human activities in Lake Kasumigaura. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 21, 646-651.
- Tsuchiya, T. and H. Iwaki, (1983): Biomass and net primary production of a floatingleaved plant, *Trapa natans*, community in Takahama-iri Bay of Lake Kasumigaura, Japan. *Jpn. J. Ecol.*, 33, 47-54.
- 津田勉・浜田篤信 (1973): 漁場設計に関する研究—I. 区画の役割について. 茨城県内水試報, 11, 35-43.
- Werner, E. E., D. J. Hall, and D. R. Laughlin, D. J. Wagner, L. A. Wilsmann, and F. C. Funk. (1977): Habitat partitioning in freshwater fish community. *J. Fish. Res. Board Can.*, 34, 360-370.

霞ヶ浦生態系モデル化の一つの試み
——イサザアミとワカサギの関連モデル——

An Attempt for Modeling of the Ecosystem in Kasumigaura
——A Model of the Interrelation between Opossum Shrimp and Pond Smelt——

田中昌一¹

Syoiti TANAKA¹

Abstract

Recently a hypothesis has been presented that the opossum shrimp is contributing to the eutrophication of the Lake Kasumigaura. In this paper a model on the dynamics and interrelation between the opossum shrimp and pond smelt is presented and feasibility of controlling the prey biomass by management of the predator stock is examined. The abundance of pond smelt, predator, is estimated from the catch data. Predation of the opossum shrimp by pond smelt is calculated from the percentage of the shrimp in the stomachs and the abundance and growth of the predator. The amount of predation is almost proportional to the abundance of the pond smelt at the beginning of the fishing season. The biomass of opossum shrimp shows a seasonal variation being high in spring and late autumn and low in summer. Simulations of the seasonal variation are carried out applying various values of abundance and survival rates of the opossum shrimp. Some combinations of parameter values simulate the seasonal variation well and these combinations are adopted as possible sets of parameter values. For each of these sets effect of regulation of the pond smelt fishing is examined. It is suggested that the increase in the recruitment of pond smelt expected from reduced fishing would have a significant effect for reducing the opossum shrimp biomass. Some discussions are presented for improvement of the model.

1. モデルについて

ここでいうモデルとは、自然の一部を模倣し、何らかの簡単な型で表現したものである。したがって、自然のあるがままの全体を模倣したものではない。モデルは必ずある目的をもって作られるので、自然の模倣や一部の捨象は、その目的を満たすようになされる。

1. 昭和56, 57年度 国立公害研究所客員研究員 (東京大学海洋研究所 〒164 東京都中野区南台1-15-1)
Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present Address: Ocean Research Institute, University of Tokyo, Nakano-ku, Tokyo 164, Japan.

生態系（あるいは生物群集）のモデルも、自然のありのままの全体を正確に再現する必要はない。群集の中の各個体を取り上げることは、個体そのものが問題になる摂食行動を論ずるときなどは別にして、一般には必要でない。種個体群としてまとめられたり、1次生産者とか1次消費者というように、食性段階によってまとめて取り扱われたりする。群集の中のすべての過程が取り上げられる必要もない。食物連鎖のモデルの中では、必ずしも繁殖過程を問題にしなくてもよいであろう。群集の中の多数の種の中から、わずかの主要種(key species)を取り上げることによって、群集全体の運動法則の概要を明らかにできる場合がある。

モデルがモデルであるためには、目的に応じて、対象物の本質が正しく再現されていないが、それ以上である必要はない。このことは、モデルを複雑化することが常によいこととは限らないことを意味している。本質が正しく再現される限り、モデルは単純でなければならない。モデルの複雑化は、単純なモデルが検証によって否定されたときに、はじめて考えられるべきことである。

モデルはいろいろな目的のために作られる。複雑な実際の中で本質的でない部分を省略して単純化し、理解を助けるために利用することができる。またある対象物に対する考えや理解を整理して簡略な型に表現し、今後の研究の方向を検討するのに資することもできる。これらの場合、モデル化の目的は、複雑な対象物の記述である。無数の種の大小の生物が、食いつ食われつの関連で複雑にからみ合っている群集は、1次生産者、1次消費者、2次消費者というように、栄養段階によって類型化すると、理解が極めて容易になる。しかも、光合成によってとらえられたエネルギーが、生物の間を移動して行くという、群集の持っている重要な機能の本質は、このような類型化、簡略化によってほとんど失われない。このようなモデルによって、どの部分のデータが不足しているか、将来の研究をどの方向に進めるべきかについて示唆が得られよう。人が物事を考える場合、頭の中で何らかのモデルを想定しているのが普通である。したがって、その人の考えを理解するには、頭に描いているモデルを理解するのが早道である。このように対象物を記述するという面で、モデルは極めて有用である。

モデルを作るもう一つの目的は予測である。予測こそがモデルの持つ最も重要な効用である。あるインプットに対するアウトプットは、そのシステムによって定まる。システムがモデル化されれば、インプットからアウトプットを予測できる。対象物の運動法則がモデル化されれば、初期条件及び境界条件を与えることによって、将来の任意の時点における状態を予測できる。インプットやモデルの中のパラメーターの値を変えたときに、系の運動がどのように変化するかを予想することもできる。生物群集のように複雑な構造と機能を持ったものは、一見ある作用に対する反応を予測することは不可能に見えるが、モデル化の手法を用い、電子計算機の威力を借りれば、ある程度まで予測が可能である。

モデルが予測に利用できるためには、対象物の変動に関連する主要な要素や、要素間の関連、諸過程がすべて正しくモデルの中に取り込まれていること、モデルに含まれる諸パラメーターの

値が正しく推定されていることが必要である。主要な要素や過程が欠落していたり、パラメーターの値が誤っていると、予測の精度が低下するばかりでなく、時には全くでたらめな予測をすることにもなる。したがって、予測のためのモデルの適用は慎重に行われなければならない。

主要な要素や過程、あるいはパラメーターの値が必ずしも正しく知られていないときでも、使い方によってはモデルは有効である。いろいろなモデルについて検討することによって、あるインプットに対するアウトプットの可能性を探ることができる。どのようなモデルで考えても悪いアウトプットの出て来る可能性がなければ、そのようなインプットは試みられるべきであろう。パラメーター値のアウトプットに対する感度テストによって、重要な判断材料の得られることがある。予測値と実測値を比較することは、モデルの改良のためには欠かせない。予測値が実測値によく適合するようにしてパラメーターの値を推定するという方法は、電子計算機の利用によって、広く応用されるようになった。予測値の中にいろいろな矛盾が出て来るということは、モデルについて考える場合に極めて教訓的である。

生態系は極めて複雑な組織である。複雑であるが故にモデル化の効用が大きい一方で、妥当なモデル化は極めて困難である。生態系のモデル化の目的は、第1にその記述にある。モデル化による記述なしには、生態系の構造を理解することは難しい。第2の目的は予測にある。環境アセスメントや漁獲の影響評価などはこれに当たる。しかし、モデルが複雑な現実を正しく代表しておらず、予測値は信頼できないとして、しばしば批判されている。我々の持っている情報と現実の複雑さのギャップを前提として、どのようにモデルを活用し、我々の判断に役立てて行くべきかが問題であろう。

例えば水域の富栄養化の問題を取り上げる場合、その水域の生態系全体についての細密なモデルを作り、すべてのパラメーターの値を推定した上でなければ、富栄養化の対策を論ずることができないというものではない。生態系全体についての直感的モデルから問題点を抽出し、問題点に関連した部分について細密なサブモデルを作って検討することがより重要となろう。ここで、サブモデル自身はもちろん問題であるが、どのような問題点を抽出するかも同等以上に重要である。

霞ヶ浦の富栄養化について、春日(1981 a, b)は底生性生物、特にイサザアミによる底泥中の栄養塩の水中への補給の効果を指摘し、さらにワカサギの資源増大によるイサザアミ個体群の制御を提案している。この問題は、魚類の側から霞ヶ浦の富栄養化を見た場合に、中心的課題であるように思われる。ここでは、生態系全体の中のこの部分に特に注目して考えてみよう。

霞ヶ浦における物質循環の中でのイサザアミの地位については村野(1963)、春日(1982)によって論じられている。イサザアミは動物プランクトンのほか湖底上のデトリタスなどを広く摂食し、一方魚類などに捕食され、生物量の大きいことと相まって、湖内の物質循環の中で重要な役割を果たしている。イサザアミとワカサギの関連については、ワカサギによるイサザアミの捕食(村野, 1963; 鈴木・位田, 1977)のほか、イサザアミとワカサギ仔魚の餌生物ワムシの競合及び前

者による後者の食害(春日, 1982)も指摘されている。両者の関連モデルとしては、北島(1982)の捕食-被食関係モデルがある。この中で、ワカサギに対する漁獲の影響が検討されている。

本研究では、ワカサギによるイサザアミの捕食に注目し、イサザアミの季節的数量変動に対する捕食の影響、ワカサギ資源の増大によるイサザアミ個体群の制御の可能性について数量的に検討する。なお、上記捕食以外の関係は考慮せず、また物質循環の問題も特には取り上げない。

2. イサザアミとワカサギの動態モデル

系を単純化するために、イサザアミ、ワカサギが共に活動する4月から12月までにのみ注目し、またワカサギの再生産、イサザアミの冬季の生残については考慮しないことにする。個体群重量の流れ図として示した動態モデルを、図1に図示した。図中矩形はそれぞれの状態に対応し、個体数と体重が示されている。生物量はこれ等の積である。だ円形はアウトプットであり、漁獲重量又は死亡重量である。半だ円形はワカサギ資源へのインプットであるが、捕食量 $L(T)$ の場合はイサザアミにとってはアウトプットである。イサザアミに対するえさのインプット、及び排出、排せつ、呼吸等の物質循環やエネルギーの流れに関する部分は考慮していない。つまりこのモデルは、ワカサギとイサザアミ個体群の数量動態モデルである。

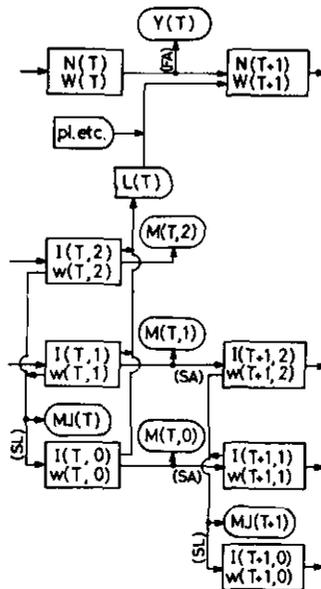


図 1 イサザアミとワカサギの動態及び捕食モデル

Fig. 1 Dynamics and predation model of opossum shrimp and pond smelt

加瀬林・浜田 (1973) にならって、ワカサギは漁獲のみによって減少するものとし、一方摂食によって生長する。イサザアミの生活史については、主として村野 (1964 a, b) を参照した。毎月仔を産んで数を増大し、一方翌月に向って成長し、また死亡して行くものとする。イサザアミの寿命は3か月とし、月齢1及び2で繁殖を行う。ただし10月及び11月生まれのイサザアミは翌年4月及び5月まで生き延びる。ワカサギによる捕食圧は月齢によらず一定とする。図中の矢線に沿って括弧内に示した量は、生残率あるいは漁獲率で、分岐点(黒小円)での配分割合を示している。したがって、他の矢線に配分される割合は、1から生残率等を差し引いた値(死亡率)となっている。関係式や計算式を以下に示す。

(1) ワカサギの動態

月(T)別の漁獲重量 $Y(T)$ 、平均体重 $W(T)$ 、漁獲努力 $X(T)$ は与えられているものとする。漁獲尾数 $C(T)$ 、及び月初めの資源尾数 $N(T)$ は次の式で計算する。

$$C(T) = Y(T)/W(T) \quad (1)$$

$$N(T) = N(T+1) + C(T) \quad (2)$$

漁期末の1月の $N(1)$ は以下のようにして求める。まず $N(1)^{(0)} = 0$ とおいて(2)により $N(T)$ を計算し、漁具能率

$$q(T) = -\ln(1 - C(T)/N(T))/X(T) \quad (3)$$

を計算し、

$$\bar{q} = \sum_{T=7}^{12} q(T)/6 \quad (4)$$

から

$$N(1)^{(1)} = C(1)/(1 - e^{-\bar{q} X(1)}) \quad (5)$$

を求める。以下この計算を繰り返す。

$$|N(1)^{(i)} - N(1)^{(i-1)}| < 2 \quad (10^6 \text{ 尾})$$

となった所で計算を止め、その $N(1)^{(i)}$ をもって $N(1)$ とする。

1955~1965の11年間については、加瀬林・浜田(1973)の資料を用いて上記によって計算し、また1975年については、鈴木・位田(1977)の計算結果をそのまま用いた。 $N(T)$ の計算値は、加瀬林・浜田がDeluryの方法によって求めた値とほぼ同じである。

(2) ワカサギによるイサザアミの捕食

計算方法及び資料は鈴木・位田 (1977) によった。ワカサギ胃内容物中の K 種の重量による割合を $F(T, K)$, K 種のワカサギに対する転換効率を $\alpha(K)$ とおく。イサザアミについては $K=0$ とする。ワカサギの生産量 $P(T)$, 及びイサザアミ被食量 $L(T)$ を

$$P(T) = Y(T) + N(T+1)W(T+1) - N(T)W(T) \quad (6)$$

$$L(T) = P(T)F(T, 0) / \sum_{K=0}^5 \alpha(K)F(T, K) \quad (7)$$

として計算する。1955~1965 年について $L(T)$ を計算した。1975 年については鈴木・浜田の値を用いた。 $F(T, K)$ の年変動はないものとした。

(3) イサザアミの動態

月別, 月齢 (A) 別の雌 1 尾の抱卵数 $E(T, A)$, 及び体重 $w(T, A)$ を, 村野 (1964 a, b) を参考にして表 1 のようにおく。性比は 1:1 とし, ふ化直後の初期生残率を SL , 以後翌月への生残率を SA とする。各年齢群の数を $I(T, A)$ とおくと, 0 年齢群の発生量は

$$I(T, 0) = \{E(T, 1)I(T, 1) + E(T, 2)I(T, 2)\}SL/2 \quad (8)$$

となり, 生物量 $B(T)$, 及び月齢別の捕食数 $L(T, A)$ は

$$B(T) = \sum_{A=0}^2 w(T, A)I(T, A) \quad (9)$$

$$L(T, A) = L(T)I(T, A)/B(T) \quad (10)$$

である。したがってイサザアミの生残数は

$$I(T+1, A+1) = \{I(T, A) - L(T, A)\}SA \quad (11)$$

である。ただし

$$I(T+1, 3) = 0 \quad (12)$$

とする。イサザアミの月別の死亡重量 $M(T)$, 及び生産重量 $p(T)$ は

$$M(T) = \sum_{A=0}^2 (I(T, A) - I(T+1, A+1))w(T, A) \quad (13)$$

$$p(T) = \sum_{A=0}^2 (w(T+1, A+1) - w(T, A))I(T+1, A+1) \quad (14)$$

として計算される。期間中の合計は

$$TM = \sum_{T=4}^{11} M(T)$$

$$Tp = \sum_{T=4}^{11} p(T)$$
(15)

である。これらの数値は、イサザアミをめぐっての物質移動量の一つの目安となる。以上の諸計算は、まず1975年について行った。

表 1. イサザアミの月(T)別、月齢(A)別、抱卵数 $E(T, A)$ 及び体重 $w(T, A)$
 Table 1. Fecundity $E(T, A)$ and weight $w(T, A)$ of opossum shrimp by month (T) and age in month (A) used for simulation

Month $T \setminus A$	$E(T, A)$			$w(T, A)$ mg		
	0	1	2	0	1	2
April	0	15	30	0.1	1.5	2.0
May	0	10	20	0.1	0.7	2.0
June	0	7	10	0.1	0.7	1.5
July	0	7	10	0.1	0.7	1.5
August	0	7	10	0.1	0.7	1.5
September	0	7	10	0.1	0.7	1.5
October	0	12	18	0.1	0.7	1.5
November	0	0	18	0.1	0.7	1.5
December	0	0	0	0.1	0.7	1.5

(4) ワカサギの漁獲率と動態

1975年のワカサギ漁獲量は、1955~1965年当時に比べて、非常に低い。乱獲によって資源が著しく減少したためであるとされている。もしここで漁獲を弱めてワカサギ資源を回復させたときにイサザアミに対してどのような影響を及ぼすかを見るために、漁獲率 FA 及び、4月当初におけるワカサギ加入量 $N(4)$ を種々与えて、イサザアミの生物量 $B(T)$ の季節変化を調べた。

$$Y(T) = FA N(T) W(T) \tag{16}$$

$$N(T+1) = N(T)(1-FA) \tag{17}$$

とした以外は前出の式を用いて $B(T)$ を計算した。 $L(T)$ の計算に当っては $F(T, K)$ は変化しないものとした。 FA は8~12月については一定とし、7月については $FA/2$ とした。

3. 計算結果

(1) ワカサギによるイサザアミの捕食量

1955~1965年についての月別の捕食量を、1975年の値と合わせて表2に示した。1975年の場合と異なり、6月に捕食量が最も高くなり、すべて1,000tないしこれよりはるかに高い値となっている。ワカサギ資源量の年変動は極めて大きく、捕食量の計算値もこれにつれて大きく変動している。7月の資源尾数、平均体重及び資源重量を表2中に示した。ワカサギの大きさは資源密度によって大きく左右され、したがって、7月の資源尾数の多少が年間の捕食量に直接的に関連しているわけではないが、図2で見ると、4~11月の間の総捕食量は、7月の尾数と顕著な比例関係を示

表 2 ワカサギによるイサザアミ捕食量 $L(T)$ (t) 及びワカサギ資源量
Table 2 Predation of opossum shrimp by pond smelt $L(T)$ in tons and the stock abundance of pond smelt

Month	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1975
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May	290	311	199	242	239	184	116	199	398	419	608	56
June	2146	2418	1517	1793	1973	1518	904	1480	2947	3191	4529	436
July	1044	249	369	451	293	218	70	449	448	298	475	582
August	3	10	11	14	16	8	2	14	28	14	26	1
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
October	248	61	30	292	-2	225	132	163	499	226	629	47
November	121	-26	3	69	120	93	-13	-12	657	258	353	76
Total	3852	3023	2129	2861	2639	2246	1211	2293	4977	4406	6620	1198
Stock in July 10^6	638	403	312	533	477	506	142	397	876	709	1215	82
Mean weight in July g	0.9	1.6	1.3	0.9	1.1	0.8	1.7	1.0	0.9	1.2	1.0	4.2
Stock in July tons	575	645	405	480	525	405	241	397	788	851	1215	344

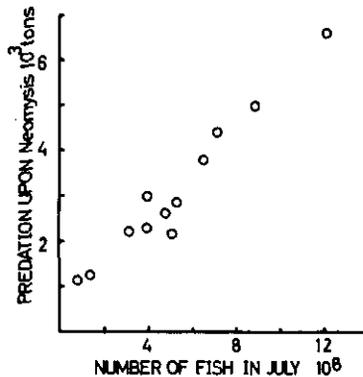


図 2 7月のワカサギの尾数と4月~11月の間のイサザアミ捕食量の関係
Fig. 2 Relation between the number of pond smelts in July and the total amount of predation of opossum shrimp from April to November

している。10 倍に達する尾数の年変動に比べて、より小さい成長の年変動の効果は大きくないと言える。加入量が大きくなれば成長が抑制されるが、その程度を超えてイサザアミに対する捕食量の増大することが期待される。

(2) イサザアミ量の季節変動のシミュレーション

イサザアミ量の季節変動については、鈴木・位田 (1977)、春日 (1981 a, b)、戸田・高橋・市村 (1982) によって述べられている。これらの結果は、推定法等によって必ずしも同一ではないが、概略的に言えば春と秋に高く、夏著しく下降し、冬も一時減少する。イサザアミの夏に向かった減少、秋季の増加にはワカサギ等による捕食圧及びその減少が関係していると考えられている。ワカサギによる捕食量を 1975 年の水準に固定し、4 月におけるイサザアミの初期個体数 $I(4.1)$, $I(4.2)$, 及び生残率 SL , SA のいろいろな組合せについて、イサザアミ生物量 $B(T)$ の季節変化を再現して見た。なお $I(4.1) = I(4.2)$ とおいた。その中で、春に増加した後夏に急減し、秋再び増加して 4 月の水準より高くなるという基本的パターンを再現できる諸パラメーターの組合せを探索した。結果は図 3 に示した。

計算結果から次のことが言える。 SL を増加させ、これに関連させて SA を適当に減少させると、ほとんど同様の $B(T)$ の季節変化が得られる。すなわち SL と SA を個別に決定することは困難である。 $I(4.1)$ を小さくおくと、夏の急減をよく再現できるが、 SL が小さいと秋の増大を再現できない。 SL を大きくすると、 $I(4.1)$ が小さいときでも夏の急減が十分によく再現できない。 $I(4.1)$ が大きくなると、夏の減少を再現できても、減少の程度すなわち $B(8)/B(6)$ が小さくならず、基本的パターンによく適合しない。年間の総死亡量 TM は、このモデルでは、ワカサギ以外の生物による捕食、及び漁獲を含んでいる。漁獲量が毎年 1,000 t を超えている現状から見て、 TM が 2,000 t 以下であるような状態は非現実的である。したがって $I(4.1)$ には小さくできる限界がある。

以上の結果から以下の三つの組合せを適当なものとして選んだ。

- a) $I(4.1) = 100 \times 10^9$, $SL = 0.4$ $SA = 0.6$
- b) $I(4.1) = 200 \times 10^9$, $SL = 0.26$ $SA = 0.7$
- c) $I(4.1) = 300 \times 10^9$, $SL = 0.36$ $SA = 0.5$

なお、例えば c) の場合、 $SL = 0.28$, $SA = 0.6$ としてもほとんど同じ結果が得られるので、 SL , SA それぞれの値は意味を持たない。以上の 3 例で見ると、6 月と 11 月のピーク時の生物量は、それぞれ 1,000~2,000 t, 1,500~2,000 t となる。また 12 月の生物量は、1,000~1,500 t で、春日 (1981 b) の推定した冬季の生物量 9,000 t に比較すると著しく小さい。

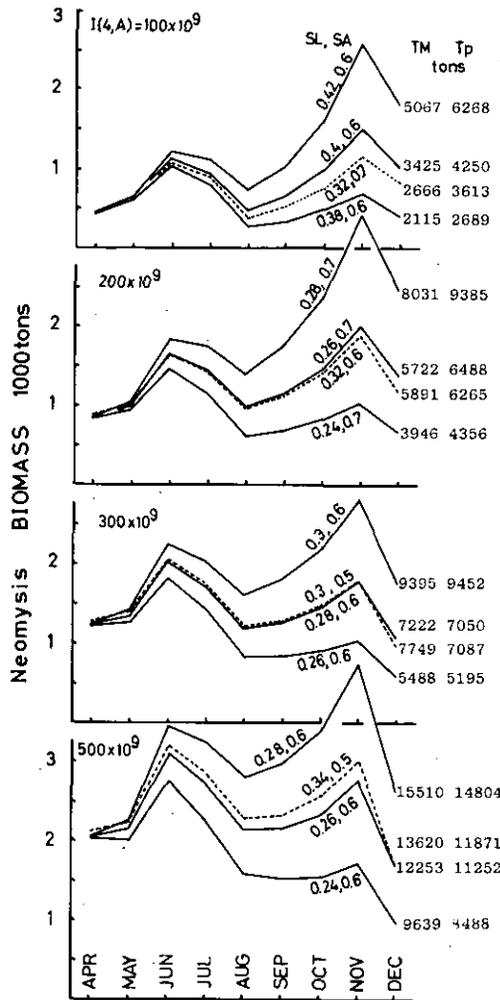


図 3 種々のイサザアミ初期量 $I(4,A)$, 初期生残率 SL , 生残率 SA を与えたときのイサザアミ生物量の季節変化

Fig. 3 Results of simulation for seasonal variation of opossum shrimp biomass applying various values of initial abundance of opossum shrimp: $I(4,A)$, survival rates in early life stage SL and adult stage SA

TM : Total amount of mortality. Tp : Total production

(3) ワカサギ資源量のイサザアミ量への影響

先に選んだ三つのパラメーターの組合せのそれぞれについて、ワカサギの漁獲率を低めた場合、及びワカサギ加入量の増大した場合に、イサザアミ生物量の季節変化がどのように変わるかを調べた。結果を図4に示す。図3に示した1975年の状態はほぼ初期量が 81.95×10^6 尾、 $FA = 0.6$ の場合に相当する。

漁獲率 FA を 0.6 から 0.4 とした場合、8月以降にイサザアミ量の減少が見られる。しかしその

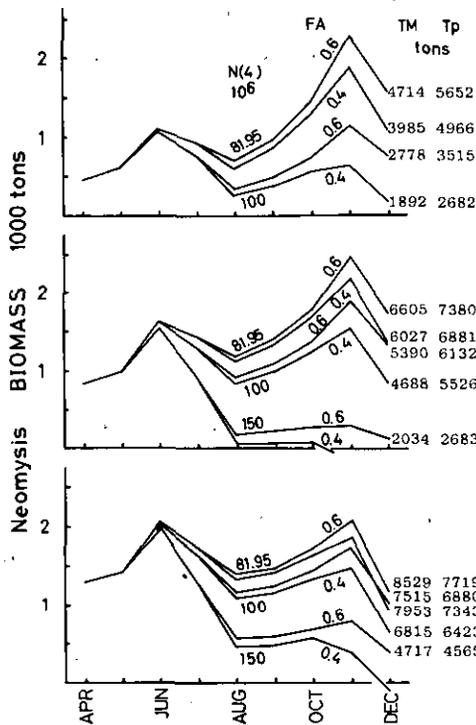


図 4. ワカサギの初期量 $N(7)$ と漁獲率 FA を変化させたときのイサザアミ生物量の季節変化

Fig. 4 Simulated seasonal variation of opossum shrimp biomass for various values of the abundance of pond smelt in July $N(7)$ and fishing rate FA

効果は極めて小さい。それは以下の理由による。第1に捕食量の最も大きい5月6月には、ワカサギの漁獲は始まっていないため、漁獲率を低下させる効果は全くないことである。第2に、秋になって漁獲率減によりワカサギ資源量が相対的に多くなる頃には、絶対量としてはかなり減少してしまっており、捕食の効果は小さいためである。しかし、11月になると、再び捕食量が増し、漁獲率の大小による12月への下降度の差はかなり大きくなっている。

ワカサギの秋の生残個体の増加は、翌年の加入量の増大に効果があると期待される（加瀬林・浜田, 1973）。加入量が 100×10^6 尾に上がると、7月にはその効果が顕著にあらわれる。 150×10^6 尾になると、イサザアミのパラメーターの組合せが a) の場合イサザアミは絶滅してしまふ。 b), c) の場合ですら、 $FA = 0.4$ のときは、秋にイサザアミが絶滅してしまう。イサザアミ生物量の減少とともに、 TM , Tp の値も著しく減少し、イサザアミをめぐる物質の移動量が小さくなること示される。冬季の残存イサザアミ量が顕著に減少すれば、翌年の初期量にも影響し、イサザアミ抑制効果はさらに顕著になる。ここでは、ワカサギ資源量増大による成長の低下の効果は考慮していないが、先に述べたように、加入尾数が第一義的效果を持っていると考えられるこ

とから、議論の大勢には影響ないであろう。なお、1955～1965年の加入量水準は平均 560×10^6 尾であり、上の計算ではイサザアミ個体群は維持できないことになる。

以上要するに、ワカサギによるイサザアミ抑制の効果は、秋の残存資源量の増大による翌年の加入量増加によって最も顕著に現れると期待される。

4. 論議

本研究の目的はシミュレーションによるイサザアミ生物量の推定ではないので、計算された生物量の推定精度について論議することは適当ではない。しかし、ワカサギによる捕食の効果が現れるかどうかは、第1にワカサギ量とイサザアミ量の相対的比率にあるので、イサザアミ初期量の与え方は、捕食効果の有無の予測に重要なかわりを持っている。春日(1981b)は冬季のイサザアミ生物量が9,000tにも達する可能性を示している。この数値にも問題はあろうが、もしこれに合わせようとする、イサザアミの初期値を、ここで選んだ数値よりはるかに高くしなければならぬ。その結果はワカサギの捕食による夏季の生物量の低下をほとんど説明できなくなる。

このくい違いの原因としては、いくつかの可能性が考えられる。第1に夏季の低下は見かけ上のことで、実際には低下していないという可能性である。鈴木・位田(1977)、戸田ら(1982)や春日(1981b)のデータでは、夏季にはほとんど皆無にまで下がってしまう。このような極端な減少は観測方法による見かけ上のことであろうが、一方ほとんど減少しないとすると、他の面で矛盾が出て来るように思われる。第2に、実際に夏季に減少したとしても、そのすべてをワカサギの捕食によって説明しようとするのは極端な話である。現実にはチブなどの底生生物も重要な捕食者である。これらは夏季に特に多い(春日, 1981a, b)。チブ、テナガエビは系の中に組入れて考慮されるべき要素であろう。

ここで用いたモデル中の生残率 SL 、 SA は、ほとんど生態学的な裏付けなしに導入されている。 SL は初期生残のほか、モデルの中では抱卵数や産卵回数を補正する効果も持っている。もし産卵間隔が1か月より短かく、一生の間の産卵回数が2回より多くても、 SL を小さくすることによって対応できる。ただし SL は年間を通じて固定しているので、季節変化を補正することはできない。 SA はワカサギ以外による捕食及び漁獲の影響を含んでいるが、年間を通じて一定としているので、捕食や漁獲の影響の季節変化を表すことはできない。これらの効果は、系の中の要素として考慮されるべきであろう。

動物プランクトンも系の中の要素として考慮することが望ましい。イサザアミやワカサギのえさとして重要であるほか、両者はこれをめぐって競合関係にある。物質循環を考える場合には欠かせない要素でもある。

物質循環を議論するときには、ワカサギやイサザアミによるえさの転換効率ばかりでなく、排出量や排せつ量などを明らかにしておく必要がある。もし動物プランクトンその他の生物を要素として含めるならば、これらについても同様である。

インプットパラメーターの値に関して、イサザアミの抱卵数 $E(T, A)$ 、平均体重 $w(T, A)$ 、ワカサギのえさの摂食比率 $F(T, K)$ については、情報の得られる限り、季節変化を考慮した。しかしその年変化は無視されている。特に $F(T, K)$ については、いろいろな餌生物の量によって変化する可能性が高い。またワカサギの食害によってイサザアミ生物量が著しく小さくなれば、 $F(T, 0)$ も 0 に近づくはずである。重要な問題として残される。冬季間の成長や生残についてのデータは、年を通じて連続してシミュレーションを行うためには不可欠である。

ワカサギ資源の減少はもっぱら漁獲によるものとし、自然死亡（食害を含む）を無視した。漁獲が非常に強い場合には、このような仮定はあまり大きな誤差要因ではないが、もしおおよその値が知られるならば、これを用いることが望ましい。再生産を考慮して年を通じて連続してシミュレーションを行うことも望まれる。加瀬林・浜田（1973）は秋の残存資源量と翌年の初期資源量の間比例関係を認めている。残存資源量の推定に問題が残るが、再生産関係を明らかにすることは容易であろう。

いずれにしても、本研究においては、ワカサギによるイサザアミ量制御の可能性について一応数量的裏付けができたが、一方イサザアミ量の水準について矛盾する点もあり、生物群の要素を追加してさらに検討を加えることが必要であろう。

5. 要 約

1) 霞ヶ浦生態系の中で、イサザアミ等の生物による富栄養化の効果は一つの中心的課題である。ワカサギの捕食によるイサザアミ生物量の季節変化を見る目的で、捕食-被食のモデルを作って数量的に検討した。

2) ワカサギは漁獲により減少し、その間イサザアミ等を食べて成長するものとした。ワカサギの生物生産量から毎月のイサザアミの捕食量を計算した。イサザアミは春から秋の間再生産を繰り返し、その間ワカサギ等の捕食の影響を受けるものとした。月ごとのイサザアミ生物量を計算した。

3) ワカサギによるイサザアミの捕食量は、第一にワカサギの加入量に比例して増加することが考えられた。

4) イサザアミ生物量は春と秋にピークを示すが、ワカサギによる捕食量を固定した上で、この状況をうまく再現できるイサザアミの4月の個体数、初期及びそれ以後の生残率の値の組を選んだ。4月の個体数を大きくすると、被食による夏の減少を再現できず、また小さくすると、漁獲を含む総死亡量が非現実的に小さくなった。

5) ワカサギの漁獲を弱めることにより、イサザアミの生物量は減少するが、漁期内での効果はさほど小さくなく、残存資源の増加による翌年の加入量の増加の効果の方が期待される。

6) イサザアミの季節変化をうまく再現するためには、イサザアミ生物量を現在考えられている水準より低く仮定しなければならないが、このことにも関連させながら、モデル改良の方向に

田中昌一

ついて論じた。

引用文献

- 加瀬林成夫・浜田篤信 (1973) : 霞ヶ浦におけるワカサギ資源とその管理. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 第 11 号, 1-22.
- 春日清一 (1981 a) : 霞ヶ浦の富栄養化と動物たち. 環境情報科学, 10(4), 69-75.
- 春日清一 (1981 b) : 霞ヶ浦高浜入最奥部入江における魚類, イサザアミ, テナガエビの現存量推定と栄養塩回帰への寄与. 国立公害研究所研究報告, 第 22 号, 159-169.
- 春日清一 (1982) : イサザアミ (*Neomysis intermedia*) の食性とその霞ヶ浦における生態的地位. 国立公害研究所調査報告, 第 22 号, 139-147.
- Kitabatake, Y. (1982): A dynamic predator-prey model for fishery resources: a case of Lake Kasumigaura. Environ. Plann. A, 14, 225-235.
- 村野正昭 (1963) : イサザアミ, *Neomysis intermedia* CZERNIAWSKY の漁業生物学的研究—I. 湖沼生産に演ずる役割. 水産増殖, 11(3), 149-158.
- 村野正昭 (1964 a) : イサザアミ, *Neomysis intermedia* CZERNIAWSKY の漁業生物学的研究—III. 生活史, 特に生殖について. 水産増殖, 12(1), 19-30.
- 村野正昭 (1964 b) : イサザアミ, *Neomysis intermedia* CZERNIAWSKY の漁業生物学的研究—IV. 生活史, 特に成長について. 水産増殖, 12(2), 109-117.
- 鈴木健二・位田俊臣 (1977) : 霞ヶ浦における漁業資源の生産構造に関する研究—I. 食物連鎖におけるワカサギの地位. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 第 14 号, 1-10.
- 戸田任重・高橋正征・市村俊英 (1982) : 霞ヶ浦におけるイサザアミ (*Neomysis intermedia*) の鉛直・水平分布と生物量の季節変化. 国立公害研究所調査報告, 第 22 号, 148-156.

国立公害研究所特別研究成果報告

- 第 1 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 — 霞ヶ浦を対象域として — 昭和51年度. (1977)
第 2 号 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究 — 昭和51, 52年度 研究報告.
(1978)

(改 称)

国立公害研究所研究報告

- 第 3 号 A comparative study of adults and immature stages of nine Japanese species of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae). (1978)
(日本産ユスリカ科 *Chironomus* 属 9 種の成虫, サナギ, 幼虫の形態の比較)
- 第 4 号 スモッグチャンバーによる炭化水素—窒素酸化物系光化学反応の研究 — 昭和52年度 中間報告. (1978)
- 第 5 号 芳香族炭化水素—窒素酸化物系の光酸化反応機構と光酸化二次生成物の培養細胞に及ぼす影響に関する研究 — 昭和51, 52年度 研究報告. (1978)
- 第 6 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(Ⅱ) — 霞ヶ浦を中心として. — 昭和53年度. (1979)
- 第 7 号 A morphological study of adults and immature stages of 20 Japanese species of the family Chironomidae (Diptera). (1979)
(日本産ユスリカ科20種の成虫, サナギ, 幼虫の形態学的研究)
- 第 8 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究 — 昭和52, 53年度 研究報告. (1979)
- 第 9 号 スモッグチャンバーによる炭化水素—窒素酸化物系光化学反応の研究 — 昭和53年度 中間報告. (1979)
- 第 10 号 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究 — 昭和51~53年度 特別研究報告. (1979)
- 第 11 号 Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanisms of phytotoxicity. (1980)
(大気汚染物質の植物影響およびその植物毒性の機構に関する研究)
- 第 12 号 Multielement analysis studies by flame and inductively coupled plasma spectroscopy utilizing computer-controlled instrumentation. (1980)
(コンピュータ制御装置を利用したフレイムおよび誘導結合プラズマ分光法による多元素同時分析)
- 第 13 号 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1980)
Part 1. The distribution of chironomid species in a tributary in relation to the degree of pollution with sewage water.
Part 2. Description of 20 species of Chironominae recovered from a tributary.
(多摩川に発生するユスリカの研究
— 第1報 その一支流に見出されたユスリカ各種の分布と下水による汚染度との関係 —
— 第2報 その一支流に見出された Chironominae 亜科の20種について —)
- 第 14 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究 — 昭和53, 54年度 特別研究報告. (1980)
- 第 15 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究 — 昭和54年度 特別研究報告. (1980)
- 第 16 号 計測車レーザーレーダーによる大気汚染遠隔計測. (1980)
- 第 17 号 流体の運動および輸送過程に及ぼす浮力効果 — 臨海地域の気象特性と大気拡散現象の研究 — 昭和53, 54年度 特別研究報告. (1980)

- 第 18 号 Preparation, analysis and certification of PEPPERBUSH standard reference material. (1980)
(環境標準試料「リョウブ」の調製, 分析および保証値)
- 第 19 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅲ) — 霞ヶ浦 (西浦) の湖流 — 昭和53, 54年度.
(1981)
- 第 20 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅳ) — 霞ヶ浦流域の地形, 気象水文特性およびその湖
水環境に及ぼす影響 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 21 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅴ) — 霞ヶ浦流入河川の流出負荷量変化とその評価 —
昭和53, 54年度. (1981)
- 第 22 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅵ) — 霞ヶ浦の生態系の構造と生物現存量 — 昭和53,
54年度. (1981)
- 第 23 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅶ) — 湖沼の富栄養化状態指標に関する基礎的研究 —
昭和53, 54年度. (1981)
- 第 24 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅷ) — 富栄養化が湖利用に及ぼす影響の定量化に関す
る研究 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 25 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅸ) — [*Microcystis*] (藍藻類) の増殖特性 — 昭和53,
54年度. (1981)
- 第 26 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅹ) — 藻類培養試験法による A G P の測定 — 昭和53,
54年度. (1981)
- 第 27 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅺ) — 研究総括 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 28 号 複合大気汚染の植物影響に関する研究 — 昭和54, 55年度 特別研究報告. (1981)
- 第 29 号 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1981)
Part 3. Species of the subfamily Orthoclaadiinae recorded at the summer survey and their distri-
bution in relation to the pollution with sewage waters.
Part 4. Chironomidae recorded at a winter survey.
(多摩川に発生するユスリカ類の研究
— 第 3 報 夏期の調査で見出されたエリユスリカ亜科 Orthoclaadiinae 各種の記載と, その分
布の下水汚染度との関係について —
— 第 4 報 南浅川の冬期の調査で見出された各種の分布と記載 —)
- 第 30 号 海域における富栄養化と赤潮の発生機構に関する基礎的研究 — 昭和54, 55年度 特別研究報
告. (1982)
- 第 31 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究 — 昭和55年度
特別研究報告. (1981)
- 第 32 号 スモッグチャンバーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究 — 環境大気における
光化学二次汚染物質生成機構の研究 (フィールド研究 1) — 昭和54年度 特別研究報告. (1982)
- 第 33 号 臨海地域の気象特性と大気拡散現象の研究 — 大気運動と大気拡散過程のシミュレーション
— 昭和55年度 特別研究報告. (1982)
- 第 34 号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究 — 昭和55年度 特別研究報告. (1982)
- 第 35 号 環境面よりみた地域交通体系の評価に関する総合解析研究. (1982)
- 第 36 号 環境試料による汚染の長期モニタリング手法に関する研究 — 昭和55, 56年度 特別研究報告.
(1982)
- 第 37 号 環境施策のシステム分析支援技術の開発に関する研究. (1982)
- 第 38 号 Preparation, analysis and certification of POND SEDIMENT certified reference material. (1982)
(環境標準試料「池底質」の調製, 分析及び保証値)
- 第 39 号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究 — 昭和56年度 特別研究報告. (1982)

- 第 40 号 大気汚染物質の単一及び複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究 — 昭和56年度 特別研究報告。(1983)
- 第 41 号 土壌環境の遠隔計測と評価に関する統計学的研究。(1983)
- 第 42 号 底泥の物性及び流送特性に関する実験的研究。(1983)
- 第 43 号 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1983)
 Part 5. An observation on the distribution of Chironominae along the main stream in June with description of 15 new species.
 Part 6. Description of species of the subfamily Orthoclaadiinae recovered from the main stream in the June survey.
 Part 7. Additional species collected in winter from the main stream.
 (多摩川に発生するユスリカ類の研究
 — 第5報 本流に発生するユスリカ類の分布に関する6月の調査成績とユスリカ亜科に属する15新種等の記録 —
 — 第6報 多摩本流より6月に採集されたエリユスリカ亜科の各種について —
 — 第7報 多摩本流より3月に採集されたユスリカ科の各種について —)
- 第 44 号 スモッグチャンパーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究。 — 環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究(フィールド研究2) — 昭和54年度 特別研究中報告。(1983)
- 第 45 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究 — 昭和53年~55年度 特別研究報告。(1983)
- 第 46 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究 — 昭和54, 55年度 特別研究報告 第1分冊。(1983)
- 第 47 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究 — 昭和54, 55年度 特別研究報告 第2分冊。(1983)
- 第 48 号 水質観測点の適正配置に関するシステム解析。(1983)
- 第 49 号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究 — 昭和57年度 特別研究報告。(1984)
- 第 50 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(I) — 霞ヶ浦の流入負荷量の算定と評価 — 昭和55~57年度 特別研究報告。(1984)
- 第 51 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(II) — 霞ヶ浦の湖内物質循環とそれを支配する因子 — 昭和55~57年度 特別研究報告。(1984)
- 第 52 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(III) — 霞ヶ浦高浜入における隔離水界を利用した富栄養化防止手法の研究 — 昭和55~57年度 特別研究報告。(1984)
- 第 53 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(IV) — 霞ヶ浦の魚類及び甲殻類現存量の季節変化と富栄養化 — 昭和55~57年度 特別研究報告。(1984)
- 第 54 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(V) — 霞ヶ浦の富栄養化現象のモデル化 — 昭和55~57年度 特別研究報告。(1984)
- 第 55 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(VI) — 富栄養化防止対策 — 昭和55~57年度 特別研究報告。(1984)
- 第 56 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(VII) — 湯の湖における富栄養化とその防止対策 — 昭和55~57年度 特別研究報告。(1984)
- 第 57 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(VIII) — 総括報告 — 昭和55~57年度 特別研究報告。(1984)
- 第 58 号 環境試料による汚染の長期的モニタリング手法に関する研究 — 昭和55~57年度 特別研究総合報告。(1984)

- 第 59 号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究 — 光化学スモッグチャンバーによるオゾン生成機構の研究 — 大気中における有機化合物の光酸化反応機構の研究 — 昭和55~57年度 特別研究報告(第1分冊). (1984)
- 第 60 号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究 — 光化学エアロゾル生成機構の研究 — 昭和55~57年度 特別研究報告(第2分冊). (1984)
- 第 61 号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究 — 環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究(フィールド研究1) — 昭和55~57年度 特別研究報告(第3分冊). (1984)
- 第 62 号 有害汚染物質による水界生態系のかく乱と回復過程に関する研究 — 昭和56~58年度 特別研究中間報告. (1984)
- 第 63 号 海域における富栄養化と赤潮の発生機構に関する基礎的研究 — 昭和56年度 特別研究報告. (1984)
- 第 64 号 複合大気汚染の植物影響に関する研究 — 昭和54~56年度 特別研究総合報告. (1984)
- 第 65 号 Studies on effects of air pollutant mixtures on plants—Part 1. (1984)
(複合大気汚染の植物に及ぼす影響 — 第1分冊)
- 第 66 号 Studies on effects of air pollutant mixtures on plants—Part 2. (1984)
(複合大気汚染の植物に及ぼす影響 — 第2分冊)
- 第 67 号 環境中の有害物質による人の慢性影響に関する基礎的研究 — 昭和54~56年度 特別研究総合報告. (1984)
- 第 68 号 汚泥の土壌還元とその環境に関する研究 — 昭和56~57年度 特別研究総合報告. (1984)
- 第 69 号 中禅寺湖の富栄養化現象に関する基礎的研究. (1984)
- 第 70 号 Studies on chironomid midges in lakes of the Nikko National Park (1984)
Part I. Ecological studies on chironomids in lakes of the Nikko National Park.
Part II. Taxonomical and morphological studies on the chironomid species collected from lakes in the Nikko National Park.
(日光国立公園の湖沼のユスリカに関する研究
— 第1部 日光国立公園の湖のユスリカの生態学的研究 —
— 第2部 日光国立公園の湖沼に生息するユスリカ類の分類学的, 形態学的研究 —)
- 第 71 号 リモートセンシングによる残雪及び雪田植生の分布解析. (1984)

Report of Special Research Project the National Institute for Environmental Studies

- No. 1* Man activity and aquatic environment – with special references to Lake Kasumigaura – Progress report in 1976. (1977)
- No. 2* Studies on evaluation and amelioration of air pollution by plants – Progress report in 1976-1977. (1978)

[Starting with Report No. 3, the new title for NIES Reports was changed to:]

Research Report from the National Institute for Environmental Studies

- No. 3 A comparative study of adults and immature stages of nine Japanese species of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae). (1978)
- No. 4* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1977. (1978)
- No. 5* Studies on the photooxidation products of the alkylbenzene-nitrogen oxides system, and on their effects on Cultured Cells – Research report in 1976-1977. (1978)
- No. 6* Man activity and aquatic environment – with special references to Lake Kasumigaura – Progress report in 1977-1978. (1979)
- No. 7 A morphological study of adults and immature stages of 20 Japanese species of the family Chironomidae (Diptera). (1979)
- No. 8* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1977-1978. (1979)
- No. 9* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1978. (1979)
- No.10* Studies on evaluation and amelioration of air pollution by plants – Progress report in 1976-1978. (1979)
- No.11 Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanisms of phytotoxicity. (1980)
- No.12 Multielement analysis studies by flame and inductively coupled plasma spectroscopy utilizing computer-controlled instrumentation. (1980)
- No.13 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1980)
- Part 1. The distribution of chironomid species in a tributary in relation to the degree of pollution with sewage water.
- Part 2. Description of 20 species of Chironominae recovered from a tributary.
- No.14* Studies on the effects of organic wastes on the soil ecosystem – Progress report in 1978-1979. (1980)
- No.15* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1977-1978. (1980)
- No.16* Remote measurement of air pollution by a mobile laser radar. (1980)
- No.17* Influence of buoyancy on fluid motions and transport processes – Meteorological characteristics and atmospheric diffusion phenomena in the coastal region – Progress report in 1978-1979. (1980)
- No.18 Preparation, analysis and certification of PEPPERBUSH standard reference material. (1980)
- No.19* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Lake current of Kasumigaura (Nishiura) – 1978-1979. (1981)
- No.20* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Geomorphological and hydrometeorological characteristics of Kasumigaura watershed as related to the lake environment – 1978-1979. (1981)

- No.21* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Variation of pollutant load by influent rivers to Lake Kasumigaura – 1978-1979. (1981)
- No.22* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Structure of ecosystem and standing crops in Lake Kasumigaura – 1978-1979. (1981)
- No.23* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Applicability of trophic state indices for lakes – 1978-1979. (1981)
- No.24* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Quantitative analysis of eutrophication effects on main utilization of lake water resources – 1978-1979. (1981)
- No.25* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Growth characteristics of Blue-Green Algae, *Mycrocystis* – 1978-1979. (1981)
- No.26* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Determination of algal growth potential by algal assay procedure – 1978-1979. (1981)
- No.27* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Summary of researches – 1978-1979. (1981)
- No.28* Studies on effects of air pollutant mixtures on plants – Progress report in 1979-1980. (1981)
- No.29 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1981)
 Part 3. Species of the subfamily Orthoclaadiinae recorded at the summer survey and their distribution in relation to the pollution with sewage waters.
 Part 4. Chironomidae recorded at a winter survey.
- No.30* Eutrophication and red tides in the coastal marine environment – Progress report in 1979-1980. (1982)
- No.31* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1980. (1981)
- No.32* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1979 – Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere (Part 1). (1982)
- No.33* Meteorological characteristics and atmospheric diffusion phenomena in the coastal region – Simulation of atmospheric motions and diffusion processes – Progress report in 1980. (1982)
- No.34* The development and evaluation of remote measurement methods for environmental pollution – Research report in 1980. (1982)
- No.35* Comprehensive evaluation of environmental impacts of road and traffic. (1982)
- No.36* Studies on the method for long term environmental monitoring – Progress report in 1980-1981. (1982)
- No.37* Study on supporting technology for systems analysis of environmental policy – The evaluation laboratory of Man-environment Systems. (1982)
- No.38 Preparation, analysis and certification of POND SEDIMENT certified reference material. (1982)
- No.39* The development and evaluation of remote measurement methods for environmental pollution – Research report in 1981. (1983)
- No.40* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1981. (1983)
- No.41* Statistical studies on methods of measurement and evaluation of chemical condition of soil. (1983)
- No.42* Experimental studies on the physical properties of mud and the characteristics of mud transportation. (1983)
- No.43 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1983)

- Part 5. An observation on the distribution of Chironominae along the main stream in June, with description of 15 new species.
- Part 6. Description of species of the subfamily Orthoclaadiinae recovered from the main stream in the June survey.
- Part 7. Additional species collected in winter from the main stream.
- No.44* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1979 – Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere (Part 2). (1983)
- No.45* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem – Outlines of special research project – 1978-1980. (1983)
- No.46* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem – Research report in 1979-1980, Part 1. (1983)
- No.47* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem – Research report in 1979-1980, Part 2. (1983)
- No.48* Study on optimal allocation of water quality monitoring points. (1983)
- No.49* The development and evaluation of remote measurement method for environmental pollution – Research report in 1982. (1984)
- No.50* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Estimation of input loading of Lake Kasumigaura. – 1980-1982. (1984)
- No.51* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – The function of the ecosystem and the importance of sediment in national cycle in Lake Kasumigaura. – 1980-1982. (1984)
- No.52* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Enclosure experiments for restoration of highly eutrophic shallow Lake Kasumigaura. – 1980-1982. (1984)
- No.53* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Seasonal changes of the biomass of fish and crustacea in Lake Kasumigaura and its relation to the eutrophication. – 1980-1982. (1984)
- No.54* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Modeling the eutrophication of Lake Kasumigaura. – 1980-1982. (1984)
- No.55* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Measures for eutrophication control. – 1980-1982. (1984)
- No.56* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Eutrophication in Lake Yunoko. – 1980-1982. (1984)
- No.57* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Summary of researches. – 1980-1982. (1984)
- No.58* Studies on the method for long term environmental monitoring – Outlines of special research project in 1980-1982. (1984)
- No.59* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen-sulfur oxides system – Photochemical ozone formation studied by the evacuable smog chamber – Atmospheric photooxidation mechanisms of selected organic compounds – Research report in 1980-1982, Part 1 (1984)
- No.60* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen-sulfur oxides system – Formation mechanisms of photochemical aerosol – Research report in 1980-1982, Part 2 (1984)
- No.61* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen-sulfur oxides system – Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere (Part 1). – Research report in 1980-1982, Part 3. (1984)

- No.62* Effects of toxic substances on aquatic ecosystems – Progress report in 1980-1983. (1984)
- No.63* Eutrophication and red tides in the coastal marine environment – Progress report in 1981. (1984)
- No.64* Studies on effects of air pollutant mixtures on plants – Final report in 1979-1981. (1984)
- No.65 Studies on effects of air pollutant mixtures on plants – Part 1. (1984)
- No.66 Studies on effects of air pollutant mixtures on plants – Part 2. (1984)
- No.67* Studies on unfavourable effects on human body regarding to several toxic materials in the environment, using epidemiological and analytical techniques – Project research report in 1979-1981. (1984)
- No.68* Studies on the environmental effects of the application of sewage sludge to soil – Research report in 1981-1983. (1984)
- No.69* Fundamental studies on the eutrophication of Lake Chuzenji – Basic research report. (1984)
- No.70 Studies on chironomid midges in lakes of the Nikko National Park – Part I. Ecological studies on chironomids in lakes of the Nikko National Park. – Part II. Taxonomical and morphological studies on the chironomid species collected from lakes in the Nikko National Park. (1984)
- No.71* Analysis on distributions of remnant snowpack and snow patch vegetation by remote sensing. (1984)

* in japanese

RESEARCH REPORT FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN
No. 53

国立公害研究所研究報告 第53号
(R-53-'84)

昭和59年3月31日発行

編集 国立公害研究所編集委員会
発行 環境庁国立公害研究所

茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2

印刷 前田印刷株式会社 筑波支店
住所 茨城県筑波郡谷田部町東新井14-5

Published by the National Institute for Environmental Studies
Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan
March 1984