

群馬県におけるワカサギの増殖に関する研究

誌名	群馬県水産試験場研究報告：附業務報告：附水産試験場のあゆみ = Report of Gunma Fisheries Experimental Station
ISSN	13421085
著者名	久下,敏宏
発行元	群馬県水産試験場
巻/号	12号
巻号補足	別冊
掲載ページ	p. 1-128
発行年月	2006年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



群馬県におけるワカサギの増殖に関する研究

**Studies on the Propagation of Wakasagi *Hypomesus nipponensis*
in Inland Lakes, Gunma Prefecture, Japan**

久下 敏宏

Toshihiro Kuge

本研究報告は、東京水産大学大学院(水産学研究科資源育成学専攻)博士学位論文(平成17年度)を基本とし、その極一部を改変した。

This report is very partly altered doctoral thesis, 2005, Graduate School of Fisheries Science, Course of Aquatic Biosciences, Laboratory of Fish Health Management, Tokyo University of Fisheries.



目 次

序 論	1
第 1 章 ワカサギ増殖事業の歴史と資源の概要	5
1 移植の歴史	5
2 漁業と遊漁の実態	6
3 放流量と漁獲量(資源量)の推移	6
4 漁場の類型	8
5 増殖の現状	10
6 資源の減耗要因	13
第 2 章 ワカサギ漁場の理化学的および生物学的な生息環境の特徴	15
1 緒言	15
2 材料と方法	15
1) 調査水域	15
2) 水質	18
3) 動物プランクトン	18
3 結果と考察	20
第 3 章 ワカサギのふ化放流過程における諸問題とその対策	35
1 緒言	35
2 材料と方法	36
1) 放流卵の産地別ふ化率とシュロ枠 1 枚当たり着卵数	36
2) 受精卵の水温別ふ化期間	36
3) 仔魚のふ化水槽からの流出方法	37
4) 仔魚の流下にもなう衝撃と生残率	38
5) 仔魚のふ化直後における遊泳力と遊泳水深	40
6) 仔魚の蛍光灯に対する走光性	40
3 結果	42
1) 放流卵の産地別ふ化率とシュロ枠 1 枚当たり着卵数	42
2) 受精卵の水温別ふ化期間	42
3) 仔魚のふ化水槽からの流出方法	45
4) 仔魚の流下にもなう衝撃と生残率	46
5) 仔魚のふ化直後における遊泳力と遊泳水深	47
6) 仔魚の蛍光灯に対する走光性	49
4 考察	51
1) 放流卵の産地別ふ化率とシュロ枠 1 枚当たり着卵数	51
2) 受精卵の水温別ふ化期間	52

3) 仔魚のふ化水槽からの流出方法	52
4) 仔魚の流下にともなう衝撃と生残率	53
5) 仔魚のふ化直後における遊泳力と遊泳水深	53
6) 仔魚の蛍光灯に対する走光性	54
第4章 ワカサギ仔魚の摂餌不足に起因する減耗とその対策	55
1 緒言	55
2 材料と方法	56
1) 受精卵への耳石標識	56
2) 仔魚へのシオミズツボワムシ給餌による生残率の向上	56
3 結果	58
1) 受精卵への耳石標識	58
2) 仔魚へのシオミズツボワムシ給餌による生残率の向上	59
4 考察	62
1) 受精卵への耳石標識	62
2) 仔魚へのシオミズツボワムシ給餌による生残率の向上	62
第5章 放水にともなう流出によるワカサギ仔魚資源量の減少	65
1 緒言	65
2 材料と方法	65
1) 調査水域	65
2) 受精卵放流量とふ化尾数	65
3) 放水にともなう流出仔魚の採集	66
4) 湖内における仔魚の採集	67
5) 水質環境と動物プランクトン	67
3 結果	67
1) 資源加入量	67
2) 放水にともなう流出仔魚の採集	68
3) 湖内における仔魚の採集	69
4) 水質環境と動物プランクトン個体数密度	69
4 考察	71
第6章 オオクチバスの捕食によるワカサギ資源量の減少	73
1 緒言	73
2 材料と方法	74
1) 調査水域	74
2) ワカサギの放流量と自然産卵	74
3) ワカサギの資源量推定	74
4) オオクチバスの標本採集	75

5) オオクチバスの生息尾数推定	75
6) オオクチバス釣り大会の秤量魚体重と CPUE	76
7) オオクチバスの食性	76
8) ヨシノボリ属魚類の食性	77
3 結果	77
1) ワカサギの資源量変化	77
2) オオクチバスの生息尾数推定	77
3) 釣法別オオクチバス標本の全長組成	79
4) オオクチバス秤量魚の体重変化	80
5) オオクチバス釣り大会の CPUE と秤量尾数別参加者割合	80
6) オオクチバスの年級群構成	82
7) オオクチバスの食性	82
8) ヨシノボリ属魚類の食性	85
4 考察	86
第7章 魚病細菌がワカサギ資源へ及ぼす影響	89
1 緒言	89
2 材料と方法	89
1) 主要漁場におけるワカサギの <i>Aeromonas hydrophila</i> と <i>Flavobacterium psychrophilum</i> 保菌状況	89
2) ワカサギ, ナマズおよびコイの <i>A. hydrophila</i> に対する感受性	90
3) ワカサギとアユの <i>F. psychrophilum</i> に対する感受性	91
4) ストレスに対する塩水浴効果	92
3 結果	93
1) 主要漁場におけるワカサギの <i>A. hydrophila</i> と <i>F. psychrophilum</i> 保菌状況	93
2) ワカサギ, ナマズおよびコイの <i>A. hydrophila</i> に対する感受性	93
3) ワカサギとアユの <i>F. psychrophilum</i> に対する感受性	95
4) ストレスに対する塩水浴効果	96
4 考察	97
総合考察	100
謝 辞	104
引用文献	106
要 旨	119
Abstract	124

序 論

群馬県は日本列島のほぼ中央に位置し、西部から北部の県境には標高 2000m 級の山岳が連なり、南東部は関東平野へ広がる内陸県である (Fig. 0-1)。東西距離 114.25km、南北距離 119.14km、面積 6363.16km²で、その約 2/3 が丘陵山岳地帯である。河川法により 3 水系 428 河川が一級河川に指定されているが、信濃川水系の 2 河川と阿賀野川水系の 3 河川は、それぞれ水源から直ちに長野県と福島県へ流出しており、残る利根川水系の 423 河川が県土を貫流している。利根川の水源地として恵まれた自然環境の中で、古くから河川湖沼漁業と養殖業が行われてきた。現在の河川湖沼漁業は、専門漁業者がほとんど存在しないため、年間約 64.5 万人に達すると推定される釣り人による遊漁が中心となっている (群馬県農業局蚕糸園芸課 2004)。

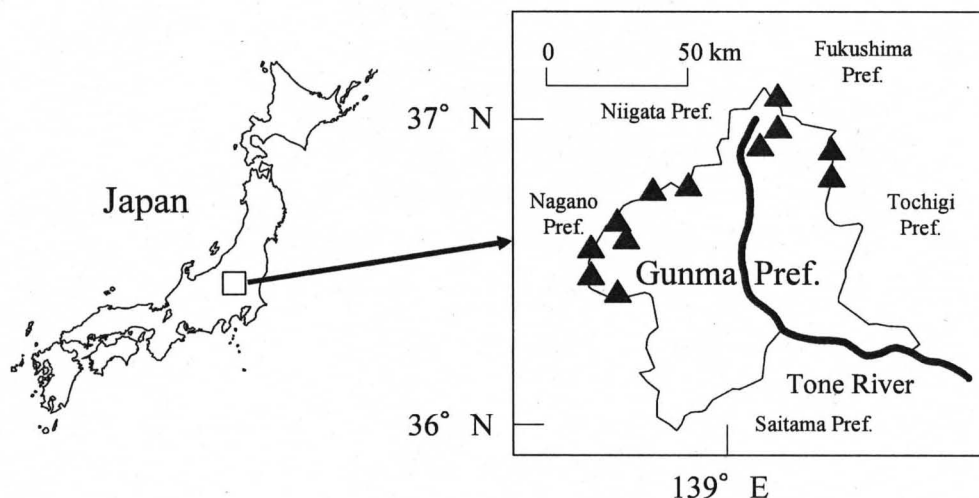


Fig. 0-1. Location of Gunma Prefecture, Japan, main high mountains above 2000 m in altitude (solid triangles) and Tone River (thick solid curve).

全国的にも今後の遊漁は、余暇時間の増大や自然環境への関心向上により益々身近なレクリエーションとして定着していくと予想される。しかし、内水面における遊漁対象魚種は、夏季には豊富に存在するが、冬季には極めて限定されてしまう。その秋季から冬季の貴重な対象魚種の 1 つとしてワカサギ *Hypomesus nipponensis* (Saruwatari *et al.* 1997) {英名 Wakasagi (Robins *et al.* 1991)} が挙げられる。

本来、冷水性の遡河性回遊魚であるキュウリウオ科のワカサギは、国内では北海道の沿岸域、本州の島根県以北の日本海と千葉県以北の太平洋の沿岸域、そこに連続している河川湖沼に天然分布していたが、北日本のほか西日本でも多くの内陸湖沼に漁業資源として移植され、環境に対する適応性が強い陸封型としても繁殖している（佐藤 1954；Hamada 1961；白石 1961；落合・田中 1998）。国内最南端の池田湖（鹿児島県）を含め、諏訪湖（長野県）や富士五湖（山梨県）などのように繁殖に成功している内陸湖沼では、流入河川や湖岸沿岸部で産卵が行われ、それらの水域は 100 近い数に達している（濱田 1980）。適水温は 0～18℃と幅広く 30℃までは生息可能であり、塩分に対しても沿岸水・汽水から淡水まで耐え、湖では岸近くから温水性魚類が好まない沖合まで生息する（落合・田中 1998）。また、卵および仔魚の形態がアユ *Plecoglossus altivelis altivelis* と酷似する（岩井 1985）ことから、発育初期には生物餌料を、その後は成長にともない配合飼料を給餌するという具合に、アユに準じた方法で完全養殖も可能である（岩井・田中 1989；井塚 2004；上島ら 2004, 2005）。

ワカサギの国内年間漁獲量は 3000t 前後であり、県別では青森県が最も多く、北海道、長野県、秋田県、茨城県などが多い。その大部分は小川原湖（青森県）、八郎潟（秋田県）、諏訪湖、霞ヶ浦（茨城県）、北浦（茨城県）、宍道湖（島根県）、阿寒湖（北海道）など湖沼で漁獲されている（落合・田中 1998）。全国的にワカサギ資源量の年変動は大きいため、これまでにこうした漁場を調査水域とした資源生態学的な研究が数多く行われている〔小川原湖（佐藤 1954；片山 1996）、諏訪湖（白石 1961）、霞ヶ浦（佐々木 1981；茨城県内水面水産試験場・山梨県魚苗センター 1991；中村 1992；久保田 2002；熊丸 2003）、宍道湖（川島 1989；松本 1994）、河口湖（山梨県）（茨城県内水面水産試験場・山梨県魚苗センター 1991；高橋ら 1995）、網走湖（北海道）（鳥澤 1999；虎尾 2001；浅見 2004）〕。また、増殖技術の基本となる産卵生態、人工ふ化、種卵管理などに関する研究も多い（古田 1955, 1960；中村 1962；岡田ら 1978；岡本ら 1982a, 1982b；佐々木 1984；熊丸 1984；鈴木 1984；岩井・柘植 1986；岩井・長間 1986；井塚 2002a, 2003a, 2003b）。しかしながら、ワカサギの資源量変動に大きく関与していると考えられる放流手法、餌料プランクトン、漁場外流出、被食、魚病などの各種減耗要因に関する知見は未だ十分とは言えず、多くの研究課題が残されている。

群馬県においても重要な遊漁対象魚種であるワカサギは、天然湖に加え人工湖である山間部のダム湖や丘陵地の溜池にも種卵が放流され、県内はもとより首都圏の釣り人にも盛んに利用されている。しかしながら、これらの漁場でも毎年の増殖努力量に対する資源量変動が大きいことが大きな問題となってい

る。

詳細な増殖の方法については第1章で述べるが、群馬県のワカサギ漁場では、春季に県外または県内産の種卵を湖沼やふ化場などに収容し、そこでふ化まで管理した後、仔魚を漁場に放流するというふ化放流が増殖行為として行われている。その後、漁場に拡散した仔魚は、プランクトンを捕食しながら夏季にかけて成長し、秋季には釣獲可能サイズに達して釣りが解禁となり、冬季を通して春季まで遊漁対象魚として利用される。この間に以下のような増殖技術や漁場管理に関する問題が生じており、その対策が望まれている。

ふ化放流の段階において、放流される種卵(以下、放流卵と略記)の産地と放流量は、その年の各産地の採卵量に影響され変動することから、安定的な種卵確保が大きな課題となっている。また、放流卵数とふ化率について産地毎に推定した事例はなく、仔魚としての資源加入量を正確に算出することができない。湖沼における放流卵の収容地点選定に際し、ふ化直後の仔魚の遊泳生態が不明なため適地選定に苦慮している。受精からふ化に要する日数やふ化期間が明確でないため産卵基質交換のタイミングが予測しにくい。さらに、ふ化場から仔魚を速やかにかつ安全に漁場へ流下させなければならないが、ふ化水槽からの流出方法や河川流下時の減耗などに関する知見が皆無であり、この間の生残率の低下が懸念されている。

放流後の仔稚魚期において、資源の現存量や移動分散などを調査する際に有効なワカサギの耳石標識に関する基礎的なデータが少なく、こうした資源生態の調査に支障をきたしている。また、餌料プランクトンの発生状況は自然環境や気象条件に依存しているため、ふ化直後に餌料不足が生じた際には大量減耗が避けられない。さらに、遊泳力が乏しい仔魚期において、特に灌漑目的の漁場からの放水にとまなう流出による減耗も懸念されている。

成魚期において、オオクチバス *Micropterus salmoides* など肉食性魚類による捕食がワカサギ資源量に与える影響について十分に解明されていないことから、肉食性魚類の増加に対して不安が生じている。さらに、最近、アユやコイ *Cyprinus carpio* のように天然水域においても感染症による被害が甚大となっているが、ワカサギに対する防疫的な知見の集積が皆無である。

これらの諸問題に関し対策を講ずることが可能となれば、増殖事業を効果的に推進できる。そこで、資源量の変動メカニズムを明らかにしてその高位安定を実現することを目的とし、内陸淡水湖沼における本種の生活史の主要な減耗要因について調査および試験を行い、減耗過程を解明した上で今後の増殖対策について考察した。

本研究の構成は次のとおりである。まず、第1章においては、群馬県におけ

るワカサギ増殖の歴史や方法，ワカサギの遊漁者数，放流量および漁獲量の推移などについて解説する。第 2 章においては，ワカサギ漁場の生息環境について水質と餌料となる動物プランクトンに関する調査結果を解析する。第 3 章においては，ワカサギ受精卵のふ化状況や仔魚の遊泳生態を観察し，ふ化管理における減耗低減策について論じる。第 4 章においては，ふ化直後のワカサギ仔魚の摂餌不足に起因する減耗について発眼卵の耳石へ標識を施して検証する。第 5 章においては，農業用溜池からの放水によるワカサギ仔魚の漁場外への流出について状況を把握する。第 6 章においては，ワカサギ資源量の変動とオオクチバス生息尾数の増減に関して調査を行い，被食による減耗について解析する。第 7 章においては，保菌検査や魚病細菌に対する感染実験結果を基に，防疫的観点を加味したワカサギ増養殖事業について検討する。そして，総合考察においては，各章の論議や対策を総合的に再考し，今後のワカサギ増養殖事業および研究の方向性について提言する。

なお，本研究の多くは，魚病研究，水産増殖および群馬県水産試験場研究報告に掲載された論文と，日本水産学会で口頭発表した内容に基づいている (kuge *et al.* 1992 ; 久下ら 1997, 1998, 1999a, 1999b, 2000a, 2000b, 2001, 2002, 2003a, 2003b, 2004, 2005 ; 久下・薩美 1998 ; 久下・中野 2000)。

第1章 ワカサギ増殖事業の歴史と資源の概要

1 移植の歴史

日本におけるワカサギの移植は、1909年(明治42年)に涸沼(茨城県)産の受精卵を松川浦(福島県)へ放流したのが始まりである。この翌年以後、三方湖(福井県)、宍道湖、霞ヶ浦などから淡水である琵琶湖(滋賀県)への移植が好成績を収め、国内各地へ広がった(稲葉 1961)。

群馬県における本種の移植は、1923年(大正12年)にすでに本種が生息していた城沼(館林市)へ種卵放流されたのが記録上で最初であり、その後、城沼産の種卵が1927(昭和2年)に榛名湖(榛名町)へ移植された(群馬県水産試験場 1935; 沢口・関根 1980)。さらに、1930年に霞ヶ浦産の種卵100万粒が赤城大沼(富士見村)へ、同120万粒が真壁調整池(渋川市)へ移植された(群馬県水産試験場 1932a)。1931年には、増殖に成功した榛名湖で採卵した種卵が榛名湖と赤城大沼へそれぞれ204万粒と120万粒が放流されたほか、霞ヶ浦産の種卵が鶴ヶ谷沼(前橋市)や赤城大沼などへ放流された(群馬県水産試験場 1932b)。これらは群馬県水産試験場の試験的な増殖事業として放流され、その後、溜池養鯉業者への種卵配給事業も実施された(群馬県水産試験場 1944a, 1944b)。そして、現在のように漁業協同組合などが当該漁場において増殖事業を実施している。なお、諏訪湖は霞ヶ浦から1915年に移植し繁殖に成功したが(大前 1985)、そこから本県への移植は1950年に初めて実施された(群馬県水産試験場 1953)。

こうした種卵放流が現在でも増殖事業の主体であり、近年は主に諏訪湖産や網走湖産の種卵が県内各漁場へ毎年放流され、資源量の維持増大が図られている。しかしながら、種卵の産地においても資源量の年変動は大きく、種卵の安定供給が未だに確立されていないのが現状である。

県内では移植に成功した水域も多い一方で資源が減少した水域もある。城沼では、1910年の利根川と渡良瀬川の大洪水による堤防決壊で本種が侵入し定着していたが(沢口・関根 1980)、水質汚濁が顕著になった1950年頃から生息数が激減し、1955年頃には絶滅した(沢口・関根 1980; 関根 1985b)。また、県内で唯一残っていた天然分布水域の行人沼(板倉町)においても、1976～1977年頃に絶滅した(関根 2002)。しかし、水質が改善されてきた城沼においては、種卵放流により2002年頃から僅かであるが本種の生息が確認されるようになってきた(寺内 私信)。

2 漁業と遊漁の実態

現在の群馬県におけるワカサギ漁業はほとんど全てが遊漁であり、ワカサギの専業漁業者は過去を含めて皆無である。この遊漁は、漁業法の第5種共同漁業権に基づき漁業協同組合が増殖義務を負いながら漁場を管理することで成り立っている。養殖業者や地方公共団体がワカサギの養殖業を営んでいる灌漑用の溜池（第2種区画漁業権漁場も含む）もあるが、実態は第5種共同漁業権漁場と同様なワカサギ釣り場として利用されている。また、溜池を利用したコイの養殖池の中にはワカサギを混養している水域もあるが、ワカサギの収量は年変動が大きいいため、養鯉業の副産物として取り扱われているに過ぎない。

ワカサギ釣りは漁場により若干異なるが、主に9月から翌年の3月まで解禁される。この時期はサケ科魚類の禁漁期間であるとともに、冬季ということから温水性のコイ科魚類などを対象とする遊漁も敬遠されるので、ワカサギはこの時期の非常に重要かつ貴重な遊漁対象魚種であると言える。ボート釣り、棧橋釣り、氷上穴釣りというように漁場や時期に応じて釣法が変化に富んでいる上、漁場が比較的身近に点在し、老若男女や家族連れでも手軽に楽しめ、食して美味であるということも人気を博している理由と言える。

漁業センサス（農林水産省経済局統計情報部 1976, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2004）による群馬県における魚種別遊漁者数の推移を Fig. 1-1 に示した。ワカサギの遊漁者数は増加傾向を示しているが、もう1つの重要な遊漁対象魚種であるアユのそれは1983年以降減少傾向にある。その結果、2003年の遊漁者総数362.9千人のうちワカサギ遊漁者数は70.0千人に達し、1973年のセンサス以来初めてアユ遊漁者数（68.5千人）を上回った。冬季のレクリエーションの多様化、週休2日制定による余暇時間の増大、防寒用品の品質向上などにともない、今後もワカサギ遊漁者数は漸増すると予想される。

3 放流量と漁獲量（資源量）の推移

ワカサギの放流量を表す場合、受精卵が付着したシュロ枠〔植物性産卵基質（シュロ *Trachycarpus fortunei* の繊維）を装着した規定面積（462 cm²/枠）の木枠〕（Fig. 1-6B）の枚数を一般には用いる。あるいは、このシュロ枠枚数に慣例として1枠当たりの付着受精卵を約3.3万粒とし乗算した値を用いる場合もある。諏訪湖のようにシュロ枠に受精卵を付着した状態で出荷する産地ではシュロ枠枚数か乗算値で、網走湖のように受精卵のみを出荷する産地では卵重から換算した粒数で、それぞれの出荷量を表示している。近年の群馬県におけるワカサギ種卵放流量のほとんどを占める諏訪湖産と網走湖産種卵の注文量と放流量の推移を Fig. 1-2 に示した。諏訪湖産種卵は、2000～2003年には注文量とほぼ同量の2.9

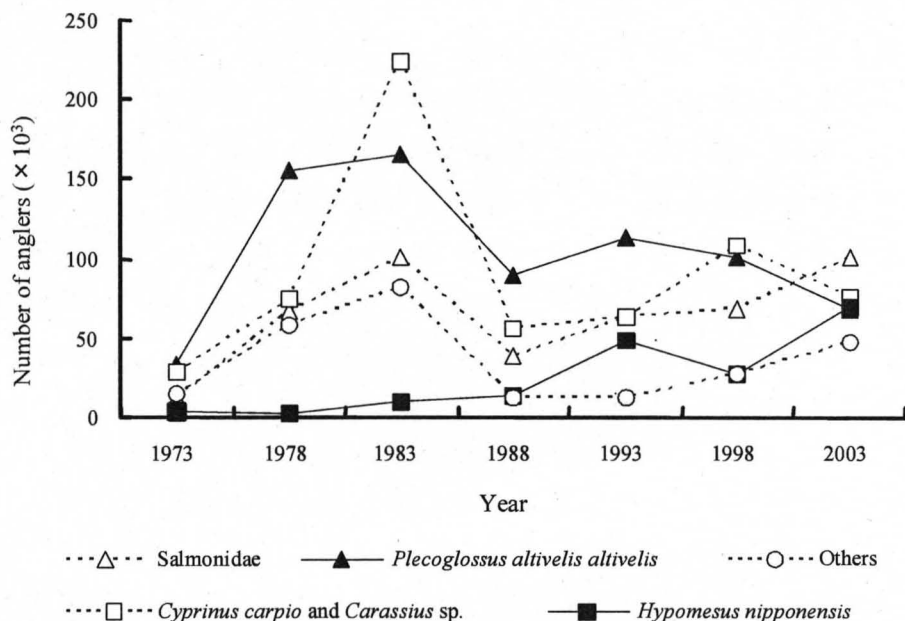


Fig. 1-1. Changes in number of anglers according to their targets in Gunma Pref. every 5 years from 1973 to 2003. Data were quoted from the fishery census edited by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (1976, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2004).

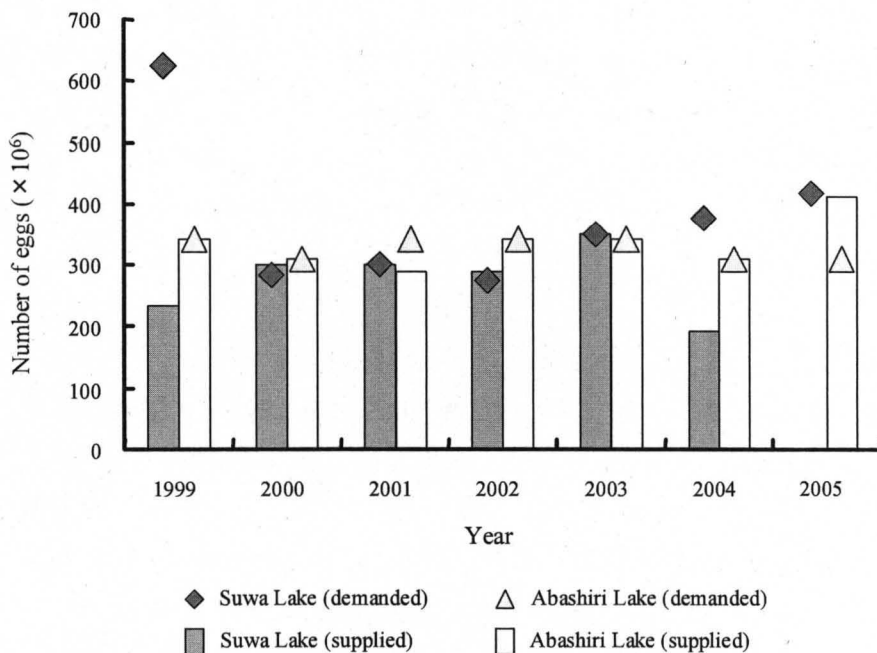


Fig. 1-2. Yearly changes in number of supplied and demanded wakasagi eggs produced in Suwa Lake and Abashiri Lake from 1999 to 2005. Eggs were ordered by Gunma Union of Fisheries Cooperative Associations and received for release to fishing grounds in Gunma Pref.

～ 3.5 億粒が供給され県内漁場に放流されたが，1999 年，2004 年，2005 年は注文量が満たされなかった。特に 2005 年は深刻な不漁のため諏訪湖産種卵は全く供給されず網走湖産種卵へ依存した。一方，網走湖産種卵は，注文量とほぼ同量の 2.9 ～ 3.4 億粒が供給され続け，諏訪湖産種卵と比較し供給先としては極めて安定していた。しかし，網走湖でも資源量の変動は大きく(鳥澤 1999)，今後も群馬県全体の需要を満たす供給が可能かどうか不明である。また，網走湖産種卵は，1 粒当たりの価格が諏訪湖産種卵よりも大幅に安価であるが，放流に際し用意したシュロ枠への着卵作業が必要であることから，作業労力が確保できない小規模な漁業協同組合にとっては，割高でもシュロ枠に着卵済みの諏訪湖産種卵を優先的に注文するが多い。

群馬県においてワカサギとともにアユは極めて重要な水産資源である。群馬県統計年鑑(群馬県企画部統計課 1967 ～ 1979)と漁業・養殖業生産統計年報(農林水産省経済局統計情報部 1980 ～ 2002)による群馬県におけるワカサギとアユの漁獲量の推移を Fig. 1-3 に示し比較した。なお，兩種について正確な資源量推定は行われていないが，漁獲量が資源量の 1 つの指標と考えられる。2000 年のワカサギ漁獲量は 22t であり，1993 年の 35t より減少している。しかし，全体的には 1965 年以降，数年周期で増減を繰り返しながら増加傾向を示している。ワカサギは資源量の年変動が大きい，種卵管理などの増殖技術の改良が漁獲量増大に寄与してきたと考えられる。一方，アユ漁獲量は 1980 年の 669t をピークに減少し，2000 年は 57t と 1965 年の調査以来の最少値を記録した。こうした漁獲量の減少が前述したアユ遊漁者数の減少を生じさせたと推察される。アユの種苗生産技術などは向上しているにもかかわらず，漁場環境の悪化，冷水病の蔓延，カワウ *Phalacrocorax carbo* の食害などが漁獲量減少の原因として指摘されている(群馬県農業局蚕糸園芸課 2004)。将来，ワカサギもアユ同様に新たな減耗要因が発生し，漁獲量が低迷する可能性は否めない。

4 漁場の類型

群馬県におけるワカサギの漁場数は 20 水域前後で，これらの内の主な漁場の性状と位置を Table 1-1, Fig. 1-4 にそれぞれ示した。赤城大沼と榛名湖は，標高が 1000m 以上と高いため冬季は結氷して氷上穴釣りが可能となる天然湖である。赤谷湖(みなかみ町)，神流湖(藤岡市)，梅田湖(桐生市)は，多目的ダムにより標高が 250m 以上の山間地に出現した急深な湖岸の人工湖で，年間を通じ水位変動が大きい。鮎川湖(藤岡市)，鳴沢湖(高崎市)，丹生湖(富岡市)，三名湖(藤岡市)は，標高が 200m 前後の丘陵地に造られた灌漑用の溜池で，以前は養鯉が営まれていた。近藤沼(館林市)は，低地の水田地帯にある富栄養化した

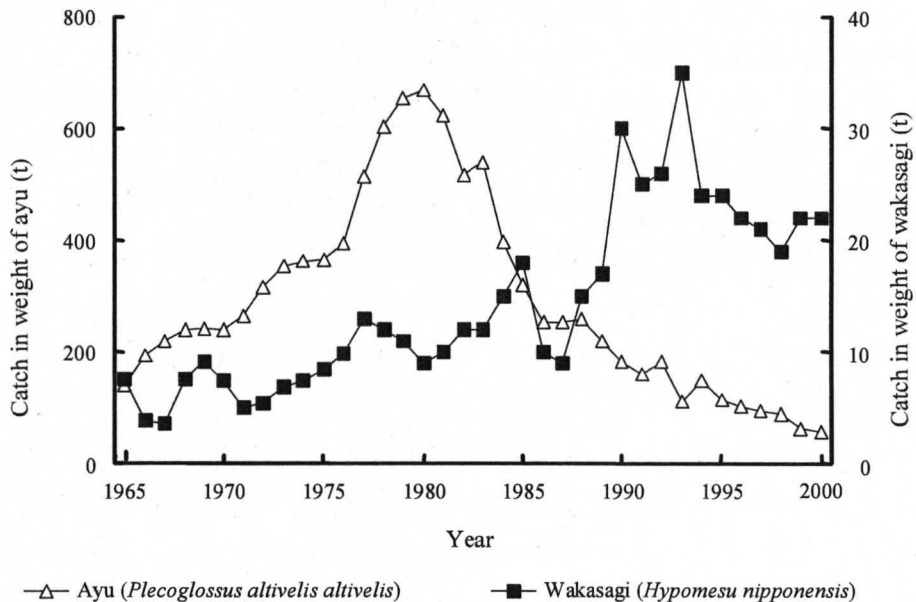


Fig. 1-3. Yearly changes in catch of wakasagi and ayu in Gunma Pref. from 1965 to 2000. Data were quoted from the almanacs of Gunma statistics issued by Gunma Prefectural Government (1967 - 1979) and the annual reports of fisheries and aquaculture production statistics edited by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (1980 - 2002).

Table 1-1. Properties of main fishing grounds of wakasagi in Gunma Pref.

No.	Name	Type	Altitude (m)	Max. depth (m)	Area (km ²)	Purpose	Freezing season	Other game fishes
1	Akagionuma Lake	Natural lake	1345	16.5	0.88	Irrigation	Dec.-Apr.	<i>Cyprinus carpio</i> , <i>Tribolodon hakonensis</i>
2	Akaya Lake	Reservoir	565	65.0	0.98	Multipurpose	Unfrozen	<i>Carassius cuvieri</i> , <i>Oncorhynchus masou masou</i>
3	Ayukawa Lake	Reservoir	170	24.8	0.10	Irrigation	Unfrozen	<i>Carassius cuvieri</i>
4	Haruna Lake	Natural lake	1084	14.6	1.22	Irrigation	Jan.-Mar.	<i>Micropterus salmoides</i> , <i>Cyprinus carpio</i>
5	Kanna Lake	Reservoir	297	126.0	3.27	Multipurpose	Unfrozen	<i>Carassius cuvieri</i> , <i>Micropterus salmoides</i> , <i>Oncorhynchus masou masou</i>
6	Kondo Marsh	Natural lake	17	12.0	0.17	Irrigation	Unfrozen	<i>Carassius cuvieri</i> , <i>Micropterus salmoides</i>
7	Narusawa Lake	Reservoir	196	17.5	0.17	Irrigation	Unfrozen	Absence
8	Nyu Lake	Reservoir	205	13.0	0.22	Irrigation	Unfrozen	<i>Carassius cuvieri</i>
9	Sanna Lake	Reservoir	149	18.0	0.13	Irrigation	Unfrozen	<i>Carassius cuvieri</i>
10	Umeda Lake	Reservoir	260	52.2	0.62	Multipurpose	Unfrozen	<i>Oncorhynchus mykiss</i> , <i>Micropterus salmoides</i>

* Shown in Fig. 1-4.

天然湖であるが、埋立および浚渫により灌漑用に改修された。それぞれが特色のある漁場環境を有する水域として利用されており、以上の湖沼はそれらの性状から、高冷地天然湖(赤城大沼、榛名湖)、多目的人工湖(赤谷湖、神流湖、梅田湖)、農業用溜池(鮎川湖、鳴沢湖、丹生湖、三名湖)および低湿地天然湖(近藤沼)の4つに大別できる。これらの水域の詳細な漁場環境については第2章で述べる。ワカサギ以外の遊漁対象魚種としては、ヘラブナ *Carassius cuvieri*、オオクチバス、ヤマメ *Oncorhynchus masou masou*、コイ、ニジマス *Oncorhynchus mykiss*

などである。特に農業用溜池の多くは、ワカサギとヘラブナの2魚種を主体とすることで、漁場としての通年利用を図っている。

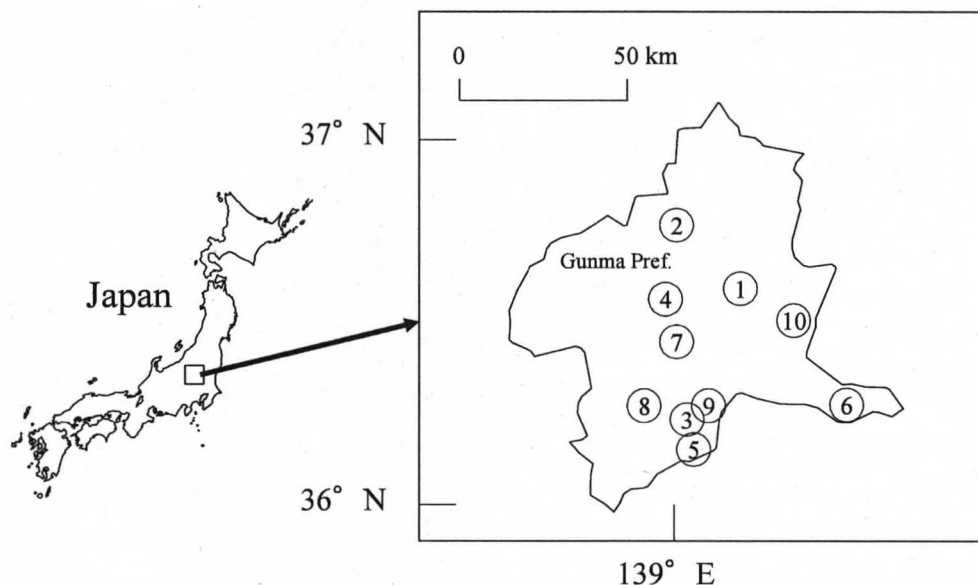


Fig. 1-4. Location of main fishing grounds (numbers in open circle) of wakasagi in Gunma Pref. 1, Akagionuma Lake; 2, Akaya Lake; 3, Ayukawa Lake; 4, Haruna Lake; 5, Kanna Lake; 6, Kondo Marsh; 7, Narusawa Lake; 8, Nyu Lake; 9, Sanna Lake; 10, Umeda Lake.

5 増殖の現状

ワカサギの養殖は、コイの種苗生産に準じて、施肥により餌料となる動物プランクトンを発生させて仔魚を養成する粗放的な養殖(熊丸ら 1980)や、仔魚期以降、配合飼料に切り換えて親魚養成まで行う池中養殖(上島ら 2004)が、それぞれ茨城県内水面水産試験場と長野県水産試験場で試験的に行われてきた。しかし、生物餌料の発生時期や量などを容易に制御することが困難なことや、親魚までの生残率が低いことなどから、これらの養殖方法は広く普及していない。また、アユの完全養殖に準じて、室内の生物餌料培養施設と飼育施設を用いた親魚養成も神奈川県水産技術センター内水面試験場で成功しているが、生産コストが高いことなど普及に際し解決すべき課題が大きい(井塚 私信)。

ワカサギの増殖は、諏訪湖や網走湖などの種卵産地では人工採卵による種卵の生産と放流が、その他の各漁場では産地から購入した種卵の放流が行われており、増殖事業の大部分は種卵放流という手段によって産卵期に実施されている。国内の各漁場の産卵期は1～6月で、緯度が高いほど遅い(白石 1961)。群馬県では、高冷地天然湖で4～6月、農業用溜池で3～5月で、標高が高い

ほど遅い傾向がある。

産卵場は、諏訪湖(白石 1952)、相模湖{(神奈川県)(白石・徳永 1958)}、網走湖(鳥澤 1999)、八汐湖{(栃木県)(中村・渡邊 2001)}では流入河川、宍道湖(川島 1987)、小川原湖(片山 1996)では流入河川や湖岸の水深 1m 以浅の砂礫底、霞ヶ浦(矢口 1956)では湖岸の水深 1～2m 付近の砂礫底、河口湖(桐生ら 1978)では湧水のある水深 11.5m の湖底に形成される。群馬県でも、流入河川がある漁場ではその下流部に遡上し水深 50cm 以浅の砂礫底に、流入河川がない漁場では湖岸の水深 1m 以浅の砂礫底や堆積した落葉などに産卵するのが一般的である。

国内の主要な種卵産地である諏訪湖と網走湖における種卵生産の概要は以下のとおりである。諏訪湖では、2月下旬から5月上旬頃にかけて6流入河川の河口付近で産卵遡上した親魚を定置網で採捕し、人工採卵(湿導法)により得た受精卵をシュロに付着させて出荷している(本西ら 2001; 田原 私信)。網走湖では、4月上旬から5月上旬頃にかけて2つの流入河川の河口付近で産卵遡上した親魚を定置網で採捕し、人工採卵(乾導法)により得た受精卵を出荷している(鳥澤 1999, 私信)。群馬県では両湖の種卵を例年放流しており、種卵放流量に占める割合が非常に大きい。しかし、供給量の変動が大きいことから種卵の安定確保が大きな課題となっている。

群馬県における種卵生産は、田代湖(嬭恋村)、赤城大沼、鳴沢湖などで行われている。大きな流入河川のない田代湖では、4月下旬から5月上旬頃にかけて産卵のため接岸回遊している親魚を定置網で採捕し、人工採卵(乾導法)により得た受精卵をシュロに付着させて県内各漁場に放流卵として出荷している。赤城大沼と鳴沢湖では、それぞれの流入河川である覚満川(Fig. 1-5)と蟹沢(Fig. 1-6)の下流部で、前者は4月下旬から6月上旬頃にかけて、後者は3月下旬から5月中旬頃にかけて、湖水から遡上した親魚が水深約 10cm に造成された河床に一晩敷かれたシュロ枠上に自然産卵することで両湖の放流用受精卵を得ている。また、丹生湖や榛名湖の湖畔において、湖水をポンプアップして注水した人工河川にも遡上親魚による自然産卵が確認されている。今後は、種卵の供給量変動の影響を最小限に抑えるために、各漁場でこうした産卵生態を有効利用し、自然産卵由来の種卵を安定的に確保する必要がある。

群馬県におけるふ化放流は次のとおりである。受精卵の付着したシュロ枠を、酸素欠乏や水カビ病発生を防止するため枠間に隙間を設けて約 30 枚にまとめ、スリットのある木製(Fig. 1-8B)またはポリエチレン製(Fig. 1-7B, 1-9B)のふ化箱に收容する。湖水への放流は、遮光したふ化箱を浮き筏の水深約 50cm に固定してふ化させるのが一般的である(Fig. 1-7A, B)。水位変動が大きく、かつ、急深

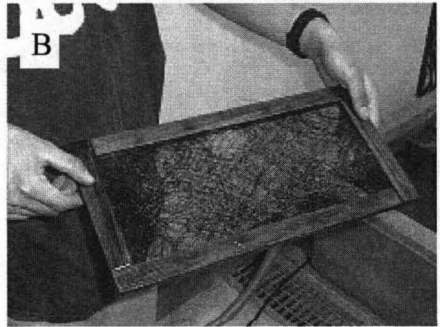
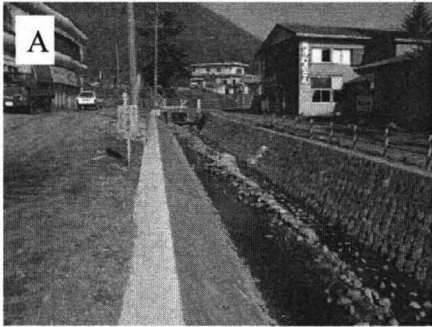


Fig. 1-5. Photographs of Kakuman River (A) flowing into Akagionuma Lake and Shuro frames (B) to make wakasagi spawn on.

Fig. 1-6. Photographs of Kani Stream (A) flowing into Narusawa Lake and Shuro frames (B) to make wakasagi spawn on.

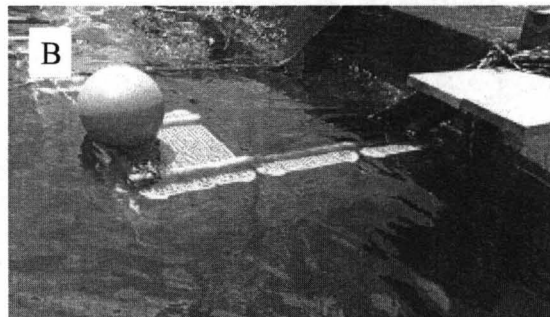


Fig. 1-7. Photographs of floating raft (A) fixing Shuro frame boxes (B) to release wakasagi eggs in Akagionuma Lake.

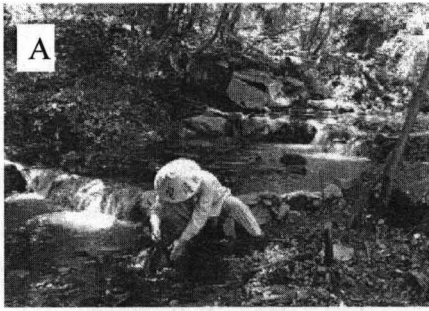


Fig. 1-8. Photographs of hatching pools (A) developed by stone and vinyl sheets in flowing stream into Kanna Lake and Shuro frame boxes (B) to release wakasagi eggs.

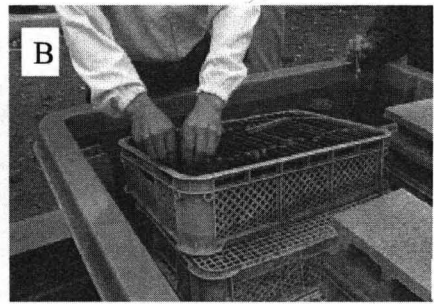
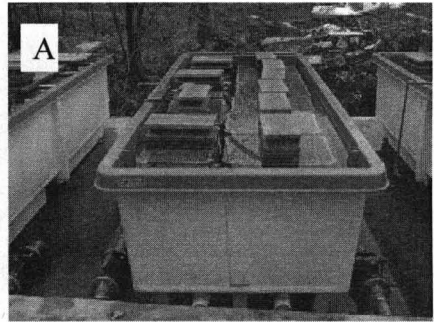


Fig. 1-9. Photographs of hatching tanks (A) flowing into Akagionuma Lake by way of Kakuman River and Shuro frames (B) in boxes to release wakasagi eggs.

な湖岸のため浮き筏が設置できない神流湖では、石積みとビニルシートで造成した流入河川の渚にふ化箱を設置しふ化させ (Fig. 1-8A, B), 仔魚を湖水へ流下させる場合もある。また、赤城大沼の湖畔にあるワカサギふ化場では、ふ化箱を FRP 製水槽に収容してふ化させ (Fig. 1-9A, B), 仔魚を覚満川経由で湖水へ流下させている。

6 資源の減耗要因

前述したように、種卵放流を主体とした増殖事業が各地で盛んに行われているにもかかわらず、ワカサギ資源量の年変動は大きい。このことは、放流から漁獲までの間に減耗が生じていることを示唆しているが、生活史全体に渡って減耗過程を詳細に検討した報告はない。しかしながら、これまでの各地の調査研究から生活史初期の減耗 (初期減耗) が、その後の資源量に重大な影響を及ぼしていると推察されている。例えば、魚類の初期減耗の大きな要因として、飢餓 (木村 1994), 被食 (山下 1994), 輸送 (中田 1994), 卵質 (森本 1994) が挙げられ、ワカサギについてもこれらが生活史初期のみならず全体に及ぶ主要な減耗要因となっていると推察される。その他、アユ冷水病やコイヘルペス病のようにこれまで養殖場などで発生していた感染症が、天然水域においても発生して甚大な被害を及ぼしていることから、ワカサギについても魚病による減耗を検

討する必要がある。さらに、水質などの生息環境の悪化も減耗要因として列挙できる。

網走湖では、親魚の魚体サイズと産卵数が卵から稚魚にいたる間の減耗率に関与し、その後の資源の多寡を決定する大きな要因と見なされている(鳥澤 1999)。また、春季の環境変動とこれによってもたらされる餌資源量の変動、そして、ワカサギ仔魚の個体数密度の 3 要因が関係し初期生残および初期成長を決定している(浅見 2004)。これらのことは、各減耗要因が相互に関与するとともに、当該漁場の環境特性なども関与しながら複雑な減耗過程を経て資源の多寡が決定されていることを示唆している。したがって、こうした多角的な観点から群馬県の各漁場における減耗に関する研究を行う必要がある。

第2章 ワカサギ漁場の理化学的および生物学的な生息環境の特徴

1 緒言

第1章で述べたとおり、群馬県のワカサギ漁場は主に地形的に高冷地天然湖、多目的人工湖、農業用溜池および低湿地天然湖の4類型に大別できる。これらのうち低湿地天然湖では、高度成長期に水質汚濁などの生息環境の悪化によりワカサギ資源が絶滅あるいは激減した水域が多い。近年これらの一部では水質改善や増殖努力の成果が現れ、資源回復の兆しが認められているものの、高冷地天然湖、多目的人工湖および農業用溜池が現在の主なワカサギ漁場となっている。各漁場の生息環境については過去に度々調査されているが、それぞれの漁場における経年変化を明らかにすることに主眼が置かれており、漁場間の差異や特徴についての検討は十分にされていない(久下ら 1989, 1997, 1999a, 1999b, 2000a, 2000b; 久下・薩美 1998)。さらに、ワカサギの環境適応力や漁場の環境収容力という観点から、生息する水域の環境、特に水質や餌料プランクトンに関して不足しているデータを収集し、これらの環境要因についても論じる必要がある。

そこで本章では、大別した群馬県のワカサギ漁場における理化学的および生物学的な生息環境の特徴を把握して、類型間で比較検討することを目的とし、それぞれ代表的な漁場の水質と動物プランクトンについて調査した。さらに、かつて絶滅したワカサギ資源が、種卵放流などにより回復傾向を示している漁場も調査することで、本種の環境面からの生息限界についても言及した。

2 材料と方法

1) 調査水域

高冷地天然湖である赤城大沼と榛名湖、多目的人工湖である神流湖、農業用溜池である丹生湖と鳴沢湖、低湿地天然湖である城沼を調査水域とし、それぞれの水質分析採水地点(以下、採水地点と略記)と動物プランクトン採集地点(以下、採集地点と略記)を Fig. 2-1, 2-2 に示した。

(1) 赤城大沼 赤城山の火口原湖(湖面標高 1345m, 最大水深 16.5m, 面積 0.88km²)で、冬季は全面結氷する。ワカサギの他、コイ、ウグイ *Tribolodon hakonensis*, モツゴ *Pseudorasbora parva*, イワナ *Salvelinus leucomaenis* などが生息している。主な水源は覚満川と湖底の湧水である。湖岸の一部は観光地化しているが、1988年供用開始の下水道が完備しているため汚水は流入していない。採水および採集地点は最深部付近(A-①)と湖岸付近(A-②)の2地点とした。

(2) 榛名湖 榛名山の火口原湖(湖面標高 1084m, 最大水深 14.6m, 面積

1.22km²)で、冬季は全面結氷する。ワカサギの他、オオクチバス、ヨシノボリ属魚類 *Rhinogobius* sp., オイカワ *Zacco platypus*, フナ属魚類 *Carassius* sp., コイなどが生息している。主な水源は湖底の湧水である。湖岸の一部は観光地化しているが、1981年供用開始の下水道が完備しているため汚水はほとんど流入していない。採水および採集地点は最深部付近(B-①)と湖岸付近(B-②)の2地点とした。

(3) 神流湖 下久保ダム(1968年完工)によって神流川中流部を堰き止めて出現した人工湖(湖面標高 297m, 最大水深 126.0m, 面積 3.27km²)である。ワカサギの他、ヘラブナ、オオクチバス、ヤマメ、ハス *Opsariichthys uncirostris uncirostris* などが生息し、陸封型のアユの繁殖も確認されている。湖岸線は複雑で、多くの沢が流れ込んでいる。採水地点は3地点(C-①~③), 採集地点は4地点(C-①~④)とした。

(4) 丹生湖 土堰堤(1952年完工)によって丹生川に注ぐ沢を堰き止めて出現した人工湖(湖面標高 205m, 最大水深 13.0m, 面積 0.22km²)である。ワカサギとヘラブナの釣り場として管理されているが、ナマズ *Silurus asotus* やコイなども生息している。鑓川などから導水されている。鉛直循環流を形成させるために、湖内2ヶ所に散気装置が設置され、底部から圧縮空気の気泡が通年発散されている。採水および採集地点は最深部付近(D-①)の1地点とした。

(5) 鳴沢湖 土堰堤(1950年完工)によって蟹沢を堰き止めて出現した人工湖(湖面標高 196m, 最大水深 17.5m, 面積 0.17km²)である。ワカサギの釣り場として管理されているが、モツゴやコイなども生息している。近年、オオクチバスやハスが採捕されている。利根川と榛名白川から導水されている。採水および採集地点は最深部付近(E-①)の1地点とした。

(6) 城沼 鶴生田川の堰き止め湖(湖面標高 16.6m, 最大水深 1.6m, 面積 0.45km²)である。ワカサギは水質汚濁が顕著になった1955年頃に絶滅したが、2002年頃から種卵放流の成果が現れ、僅かであるが生息が確認されるようになってきた。コイ、フナ属魚類、ブルーギル *Lepomis macrochirus*, オオクチバス、カムルチー *Channa argus*, ウナギ *Anguilla japonica* などが生息している。採水地点は2地点(F-①, ②), 採集地点は1地点(F-①)とした。

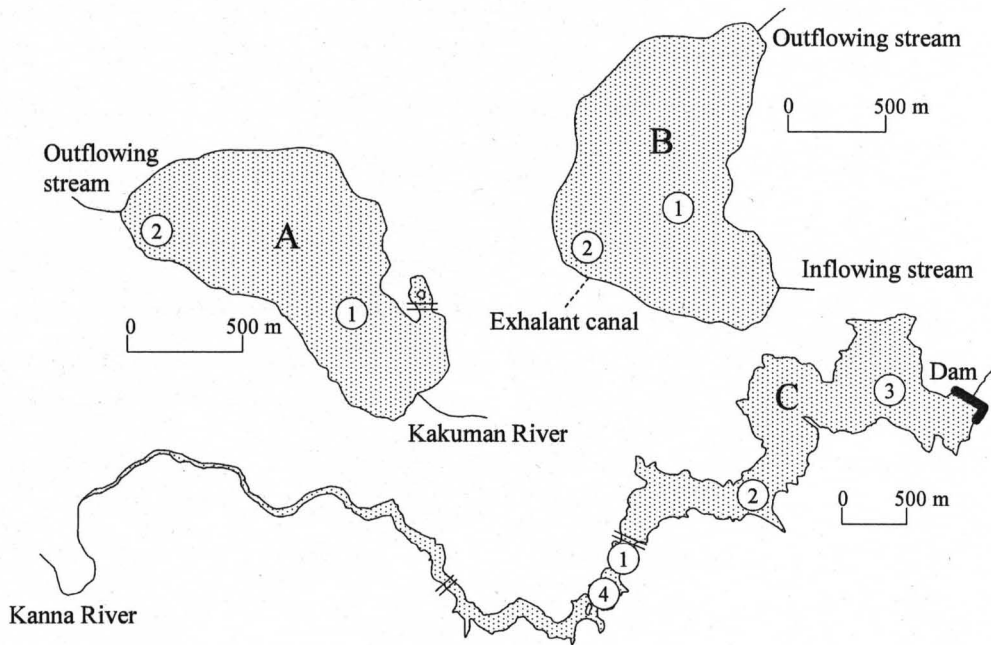


Fig. 2-1. Sampling sites (numbers in open circle) of water and zooplankton in Akagionuma Lake (A), Haruna Lake (B) and Kanna Lake (C), Gunma Pref.

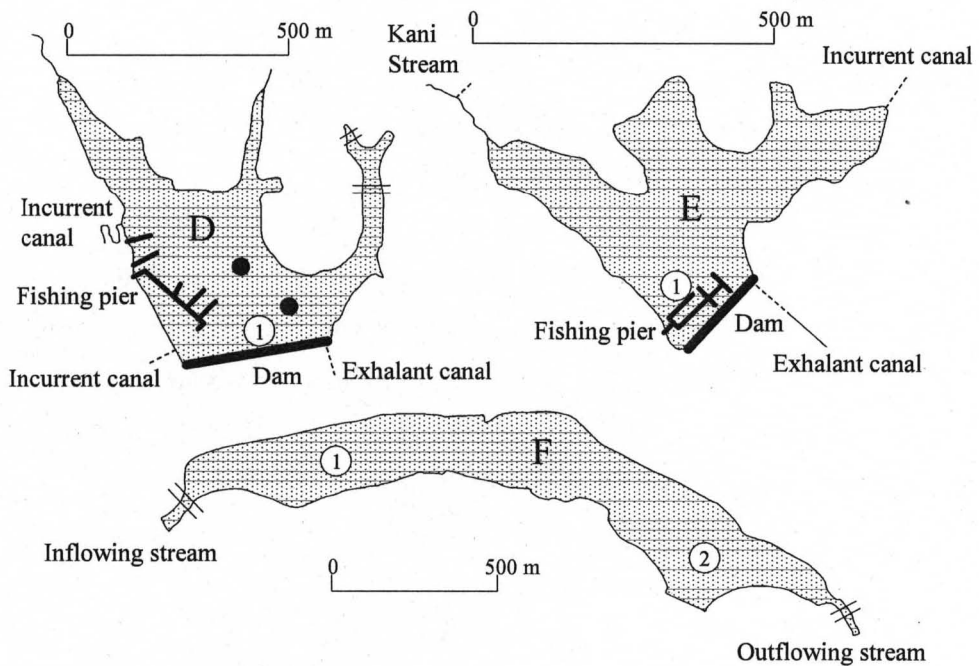


Fig. 2-2. Sampling sites (numbers in open circle) of water and zooplankton, air bubble machines (solid circles) in Nyu Lake (D), Narusawa Lake (E) and Jo Marsh (F), Gunma Pref.

2) 水質

各水域の調査年月日と採水地点を Table 2-1 に示した。採水にはバンドン採水器を用いた。分析項目(方法)は、水温{(WT), 電気式水温計}, 水素イオン指数{(pH), 比色法}, 透明度(セッキ板), 溶存酸素量{(DO), ウィンクラー・アジ化ナトリウム変法}, アンモニア態窒素{(NH₄-N), ウィンクラー改良処法},

亜硝酸態窒素{(NO₂-N), GR 法}, 硝酸態窒素{(NO₃-N), ブルシン吸光光度法}, リン酸態リン{(PO₄-P), モリブデン青吸光光度法}, 全リン{(T-P), 過塩素酸分解法}, 二酸化ケイ素{(SiO₂), モリブデン黄吸光光度法}, メチルオレンジアルカリ度{(MOA), メチルオレンジ法}, 塩化物イオン{(Cl⁻), モールの硝酸銀滴定法}, カルシウムイオン{(Ca²⁺), キレート滴定法}, マグネシウムイオン{(Mg²⁺), キレート滴定法}, 炭酸カルシウム{(CaCO₃), キレート滴定法}, 化学的酸素消費量{(COD), 過マンガン酸カリウム(100℃・30分)法}とした。

3) 動物プランクトン

各水域の調査年月日と採集地点を Table 2-1 に示した。北原式表面プランクトンネット(口径 30cm, 側長 90cm, 目合 0.095mm)により、赤城大沼、榛名湖および神流湖では水深 5m から、丹生湖では 3m から、鳴沢湖では 3m または 5m から、城沼では 1m からそれぞれ水面までを垂直曳きして動物プランクトンを採集した。この際、濾水計は未装着のため濾過効率を 100%と仮定した。採集した動物プランクトンは、現地にて 5%ホルマリンとなるようホルマリン原液を添加して固定し、実験室にて 48 時間以上静置沈殿させ、上澄み液を除去し 50mL に濃縮した。この濃縮液から 1mL を採取して生物顕微鏡下で同定するとともに個体数密度を算出した。

Table 2-1. Sampling sites and dates of water and zooplankton in fishing grounds of wakasagi in Gunma Pref.

Fishing ground *	Sampling site of water *	Sampling site of zooplankton *	Sampling date
Akagionuma Lake	A-①, ②	A-①, ②	1997/ 5/19
			1997/ 8/11
			1997/11/19
	A-①	A-②	1999/ 4/30
			1999/ 5/ 6
			1999/ 5/13
			1999/ 5/20
			1999/ 5/26
			1999/ 6/ 2
			1999/ 6/10
1999/ 6/17			
1999/ 6/22			
1999/ 7/ 1			
1999/ 7/26			
1999/ 8/30			
Haruna Lake			B-①, ②
	1996/ 7/29		
	1996/10/29		
	B-②	B-②	2001/ 4/20
			2001/ 5/10
			2001/ 5/30
			2001/ 6/28
B-②	-	2001/ 7/26	
		2001/ 9/ 7	
Kanna Lake	C-①, ②, ③	C-①, ②, ③	1998/ 5/11
			C-④
	-	C-④	1998/ 5/21
C-①, ②, ③	C-①, ②, ③	1998/ 8/ 4	
		1998/11/ 9	
Nyu Lake	D-①	D-①	1999/ 4/21
			1999/ 6/23
			-
			1999/ 8/16
			1999/ 9/ 7
			1999/11/ 8
Narusawa Lake	E-①	E-①	2000/ 1/24
			2001/ 3/13
			2001/ 4/ 9
			2001/ 4/17
			2001/ 5/18
			2001/ 5/25
			2001/ 5/31
			2001/ 7/ 3
			2001/ 7/26
			-
2001/ 9/18			
Jo Marsh	F-①, ②	F-①	2001/10/29
			2001/11/28
			2001/12/26
			2002/ 1/28
			-
			2002/ 9/ 3
F-①, ②	F-①	1998/ 5/ 7	
		1998/ 7/22	
		1998/11/ 5	

* Shown in Fig. 2-1, 2-2.

3 結果と考察

各水域の水質分析結果を Table 2-2 ~ 2-15 に、動物プランクトン採集結果を Table 2-16 ~ 2-21 にそれぞれ示した。広温性を有しているワカサギでも、26℃を超えると成長に支障を来し(熊丸 2003)、30℃付近で死亡する(藤川ら 2003)ことなどから、他の魚種同様、水温は重要な生息制限要因であると言える。特に夏季の高水温期における生息水温が、適水温を超えると成長や生残に大きく影響すると考えられる。また、夏季停滞期に水温躍層以深で激減する DO も生残に大きく影響する生息制限要因である。したがって、夏季の水温と DO の鉛直分布が、各漁場においてワカサギの生息可能範囲を制限していると考えられる。また、栄養塩類などは餌料となる動物プランクトンの発生状況にも関与する。以上の見地から水質項目とプランクトンについて 4 類型 6 漁場を比較し、その特徴を以下のとおり整理した。

水温については、秋季の水面付近に注目すると漁場の標高が高くなるに従い低下し、最高標高の高冷地天然湖が最低であった。夏季の水面付近の水温については、高冷地天然湖が 25℃以下であったのに対し、多目的人工湖と農業用溜池は 25℃以上となった。特に農業用溜池では 9 月上旬には約 27℃となった。一方、低湿地天然湖では 7 月下旬の調査時が梅雨末期であったため全層約 24℃であったが、5 月上旬の水温が水面付近で約 25℃、底部でも 20℃以上となっていたことから、実測していないが梅雨明け後の盛夏の水面付近は 30℃、底層でも 26℃近くまで上昇していたと推察され、ワカサギの生息にとって夏季の高水温が大きな制限要因となっている可能性が示唆される。

水温躍層については、高冷地天然湖、多目的人工湖、農業用溜池において夏季を中心に形成されていた。特に高冷地天然湖では中層に水温変化の大きい明瞭な躍層が形成されていた。多目的人工湖では河川流入部に近い方が躍層の水温変化は小さく、河川水の流入が水温の鉛直分布に影響を及ぼしていたことが示唆される。農業用溜池のうち鳴沢湖では表層から中層にかけて明瞭な躍層が形成されたが、丹生湖では底層で水温変化が生じたのみで、散気装置の稼働にともなう鉛直循環流が躍層をほとんど消滅させたと推察される。一方、低湿地天然湖は水深が浅いため夏季でも水温躍層が形成されなかったと考えられる。

DO については、各水域ともに水温躍層より上層においてワカサギの生息には十分な量が溶存していた。高冷地天然湖と農業用溜池では水温躍層付近で DO は急激に減少し、その下層におけるワカサギの生息は不可能と判断される。一方、多目的人工湖は水温躍層付近でも DO は大きく減少せず、その下層においてもワカサギの生息は可能と考えられる。なお、低湿地天然湖の DO が極めて高いのは、高い pH と緑色の水色から植物プランクトンの光合成が原因と考え

られる。

透明度については、高冷地天然湖において最高 6m 以上にも及んだが、低湿地天然湖においては 0.5m 以下であり、汚濁水の流入によると考えられる顕著な差が認められた。

栄養塩類については、低湿地天然湖が他と比較して高かった。ワカサギ資源が回復しつつある城沼は、以前(久下ら 1989)と比較し $\text{NH}_4\text{-N}$ は低下しているものの、市街地に隣接していることによると考えられる水質汚濁が顕著であった。

その他の水質項目については、高冷地天然湖において榛名湖の方が赤城大沼より SiO_2 と Cl が多かった。この原因は不明であるが、両湖ともに周辺下水道は完備されていることから地質的な要因が推察される。

動物プランクトンについては、各漁場ともワカサギの餌料とされるカメノコウワムシ *Keratella cochlearis*, コシブトカメノコウワムシ *Keratella quadrata*, フクロワムシ属 *Asplanchna* sp., ゾウミジンコ属 *Bosmina* sp., カイアシ亜綱幼生 Nauplius and metanauplius of Copepoda などが優占している場合が多く、これらの発生時期におけるワカサギの各発育段階の口径から、これらは餌料としてサイズの支障はないと判断される。低湿地天然湖は、栄養塩類が多くかつ水温が高ことから他漁場と比較し個体数密度は高く推移したが、各漁場ともに個体数密度の季節的変動は大きかった。しかし、餌料としてワカサギ現存量に対して量的に充足していたかどうかは、今回の調査のみでは説明できない。

こうした生息環境の特徴を踏まえ、ワカサギの湖内における生息可能範囲について漁場類型別に次のとおり考察する。

高冷地天然湖では、水温と DO の鉛直分布から両湖ともに夏季は水深 8 ~ 9m 以浅でワカサギの生息が可能である。赤城大沼においては、ワカサギ釣り解禁直前の例年 8 月下旬に行われる試験釣獲で、水深 8m の底部が最も多く釣獲されるとともに、魚群探知機による魚影反応もこの水深が最多となる(久下ら 未発表)。一方、榛名湖においては、水深 1 ~ 2m の沈水植物中を群泳していることが潜水観察され(久下ら 2002)、両湖でワカサギの分布水深が大きく異なっている。この原因として、榛名湖ではオオクチバスによる捕食から逃避するため、障害物のある浅場にワカサギが追い込まれていたことが、潜水による魚群行動の観察から推察される。つまり、捕食魚の存在もワカサギの湖内における分布に大きく影響を及ぼしている可能性があると考えられる。

農業用溜池では、9 月上旬の鳴沢湖のように水深 5m 付近に水温躍層が形成され、4m の 20.6 °C から 6m の 14.5 °C へ急激に下降し、DO も 5m の 6.59mg/L から 6m の 0.18mg/L へ急激に減少していた。一方、丹生湖では散気装置の稼働により水

温躍層はほとんど形成されず、水深 9m でも 26.2 °C であった。同層の DO は 5.66mg/L であり、散気装置導入が水域全体のワカサギ生息可能範囲を鉛直的に拡大させている可能性が強く示唆される。

多目的人工湖の神流湖では、8 月上旬の水深 40m でも DO は 9.91mg/L も溶存し生息可能範囲が深層まで達していたが、補償深度以深では餌料としてのプランクトンは少ないと考えられる。また、流入河川由来の濁水が長期に及び滞留することや、流入域と滞留域とで生息環境が異なることも漁場の特徴として挙げられ、環境変動が他と比較し大きい漁場であると言えよう。

低湿地天然湖では、餌料プランクトンは十分に存在するが、夏季の高水温と水質汚濁がワカサギの生息に支障を来していると考えられる。今後、水温上昇抑制や水質改善のため浮葉植物や抽水植物を繁茂させることもワカサギ資源回復のために必要であろう。

オオクチバス稚魚、カブトミジンコ *Daphnia galeata* および植物プランクトンを含んだ生物群集内において、高次の生物群集の摂食圧が下位の生物群集に影響を及ぼし透明度が変化する(田中・浅枝 2002)。このことはワカサギ資源の多寡が食物連鎖を通じ結果的に透明度へ影響を及ぼすこと示唆しており、こうした観点からもデータを集積することで、透明度の変動から現存量の予測が可能となろう。しかしながら、網走湖におけるワカサギ仔魚期の生息環境(水温、塩分、クロロフィル a 量、微小動物プランクトン総個体数密度)の年変動は大きいことが示唆されていることから(浅見 2004)、内陸湖沼においても初期減耗期の環境要因は大きく変動していると推察される。今後は、各漁場における水質環境と餌料プランクトン生産量から、ワカサギの環境収容力が算出できるような研究を行う必要がある。

Table 2-2. Water quality in Akagionuma Lake on May 19, 1997

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO (mg/L)	DO (%)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	T-P (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	MOA (meq/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	COD (mg/L)			
A-①	1997/5/19	10:10	Cloudy	3.3	0.1	14.4	7.2	9.17	92.3	0.072	0.001	ND**	0.005	0.006	0.54	0.20	3.20	4.00	2.92	22.0	2.1			
					1.0	14.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					2.0	14.4	7.1	9.02	90.8	0.050	0.001	ND	0.001	0.010	0.47	0.20	3.20	4.00	2.92	22.0	2.1	-	-	
					3.0	14.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4.0	14.0	7.1	9.26	92.5	0.079	0.001	ND	0.001	0.004	0.47	0.20	3.20	4.00	2.43	20.0	2.1	-	-	
					5.0	13.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					6.0	12.1	7.1	10.02	95.9	0.065	0.001	ND	0.001	0.004	0.47	0.20	3.20	4.00	2.43	20.0	1.6	-	-	
					7.0	9.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					8.0	9.1	7.1	9.66	86.5	0.079	0.003	ND	0.001	0.014	0.54	0.20	3.20	4.40	2.43	21.0	1.6	-	-	
					9.0	8.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					10.0	8.0	6.9	9.22	80.4	0.086	ND	ND	0.001	0.009	0.39	0.20	3.20	4.80	2.43	22.0	1.3	-	-	
					11.0	7.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					12.0	7.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					13.0	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					14.0	7.3	6.7	8.02	68.7	0.151	ND	ND	0.122	0.122	0.70	0.20	2.84	4.80	2.19	21.0	1.6	-	-	
					15.0	7.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16.0	7.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
A-②	1997/5/19	11:15	Cloudy	3.3	0.1	14.7	7.1	9.11	92.3	0.065	ND	0.027	ND	0.020	0.62	0.20	3.20	4.80	1.70	19.0	1.8			
					2.0	14.0	7.1	8.96	89.5	0.093	ND	ND	0.008	0.54	0.20	3.20	4.80	1.94	20.0	1.6	-	-		
					4.0	14.0	7.1	9.03	90.1	0.050	0.001	ND	ND	0.009	0.39	0.20	3.20	5.20	1.94	21.0	1.5	-	-	
					6.0	14.0	7.1	8.97	89.5	0.057	0.001	ND	0.001	0.007	1.24	0.20	3.20	5.20	1.22	18.0	1.6	-	-	
					16.0	7.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

* Shown in Fig. 2-1.

** Not detected.

Table 2-3. Water quality in Akagionuma Lake on August 11, 1997

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO (mg/L)	DO (%)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	T-P (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	MOA (meq/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	COD (mg/L)		
A-①	1997/8/11	11:00	Sunny	4.0	0.1	23.5	7.1	7.13	85.8	0.036	0.004	0.452	ND**	ND	2.25	0.18	2.84	3.12	3.01	20.2	2.4		
					1.0	23.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					2.0	23.0	7.1	7.09	84.5	0.065	0.005	0.452	ND	0.062	2.56	0.18	2.84	3.60	2.67	20.0	3.4	-	-
					3.0	22.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4.0	21.9	7.1	7.41	86.8	0.043	0.003	0.452	ND	ND	2.25	0.18	2.84	3.68	3.11	22.0	3.1	-	-
					5.0	20.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					6.0	19.6	7.0	6.28	70.3	0.057	0.002	0.452	ND	0.077	2.25	0.18	3.20	3.60	3.21	22.2	3.0	-	-
					7.0	18.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					8.0	15.2	6.6	4.96	50.8	0.029	0.002	0.399	ND	0.118	2.09	0.20	3.20	3.60	3.40	23.0	2.6	-	-
					9.0	12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					10.0	11.5	6.4	2.51	23.7	0.065	0.002	0.425	ND	0.022	2.25	0.22	3.20	4.00	3.16	23.0	2.5	-	-
					11.0	10.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					12.0	10.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					13.0	9.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					14.0	9.7	6.3	0.33	3.0	0.589	0.005	0.027	ND	0.109	2.25	0.24	3.55	4.88	2.82	23.8	2.3	-	-
					15.0	9.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16.0	9.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
17.0	9.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
A-②	1997/8/11	12:00	Sunny	3.8	0.1	23.4	7.1	7.33	88.1	0.036	0.003	0.053	ND	ND	0.70	0.18	2.84	3.92	2.43	19.8	3.1		
					1.0	23.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					2.0	23.0	7.1	6.67	79.5	0.036	0.004	0.013	ND	0.117	1.01	0.18	2.84	4.00	2.43	20.0	3.1	-	-
					3.0	22.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					4.0	21.6	7.1	7.69	89.4	0.065	0.005	ND	ND	ND	1.09	0.18	2.84	4.08	2.38	20.0	3.6	-	-
					5.0	20.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					6.0	19.8	6.9	5.88	66.1	0.065	0.003	0.027	ND	0.104	0.93	0.20	2.84	4.40	2.19	20.0	2.8	-	-
					7.0	18.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

* Shown in Fig. 2-1.

** Not detected.

Table 2-4. Water quality in Akagionuma Lake on November 19, 1997

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO (mg/L)	DO (%)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	T-P (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	MOA (meq/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	COD (mg/L)		
A-①	1997/11/19	11:00	Sunny	3.3	0.1	7.8	7.2	9.40	81.6	0.050	0.003	0.478	ND**	0.001	0.70	0.18	3.55	5.60	1.46	20.0	2.2		
					1.0	7.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					2.0	7.8	7.1	9.59	83.3	0.043	0.002	0.744	ND	0.004	0.85	0.18	3.20	5.60	1.46	20.0	2.1	-	-
					3.0	7.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					4.0	7.8	7.1	9.50	82.4	0.050	0.002	ND	ND	0.001	0.93	0.18	3.20	5.60	1.46	20.0	2.3	-	-
					5.0	7.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					6.0	7.7	7.1	9.61	83.2	0.029	0.002	ND	ND	0.003	0.85	0.18	3.20	6.40	0.97	20.0	2.5	-	-
					7.0	7.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					8.0	7.6	7.1	9.53	82.3	0.036	0.002	0.532	ND	0.004	0.78	0.18	3.20	6.40	0.97	20.0	2.5	-	-
					9.0	7.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					10.0	7.6	7.1	9.51	82.2	0.057	0.003	0.864	ND	0.007	0.85	0.18	3.20	6.00	1.22	20.0	2.5	-	-
					11.0	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					12.0	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					13.0	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					14.0	7.5	7.1	9.44	81.3	0.043	0.002	0.120	ND	0.004	0.54	0.18	3.20	6.00	1.22	20.0	2.2	-	-
					15.0	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16.0	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
A-②	1997/11/19	12:00	Sunny	3.1	0.1	7.9	7.1	9.58	83.4	0.050	0.001	ND	ND	0.004	0.62	0.18	3.20	6.40	0.73	19.0	2.7		
					1.0	7.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					2.0	7.8	7.1	9.42	81.7	0.050	0.003	0.399	ND	0.001	0.70	0.18	3.20	6.40	0.97	20.0	2.8	-	-
					3.0	7.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					4.0	7.7	7.1	9.62	83.3	0.050	0.002	0.306	0.003	0.003	0.85	0.18	3.20						

Table 2-5. Water quality in Akagionuma Lake from April 30 to August 30, 1999

Sampling site *		A-①											
Date	Apr. 30	May 6	May 13	May 20	May 26	Jun. 2	Jun. 10	Jun. 17	Jun. 22	Jul. 1	Jul. 26	Aug. 30	
Time	10:45	10:45	14:20	14:30	10:30	10:00	10:20	10:00	9:30	10:00	10:20	11:35	
Weather	Sunny	Sunny	Sunny	Sunny	Sunny	Sunny	Sunny	Sunny	Sunny	Sunny	Sunny	Sunny	
Transparency (m)	3.5	4.6	3.8	4.6	4.1	4.5	4.7	5.3	5.0	3.5	5.5	6.8	
pH	6.8	6.8	7.0	-	7.0	7.2	7.0	7.0	7.2	7.0	7.0	6.9	
0.5 DO (mg/L)	9.91	9.97	10.27	-	9.20	7.91	8.48	8.15	7.28	8.29	7.75	6.41	
DO (%)	84.3	88.4	99.9	-	89.8	80.9	88.3	90.5	79.0	89.0	92.1	76.2	
Depth (m)	0.1	7.0	8.7	12.8	12.2	12.9	15.1	16.0	19.1	18.0	17.5	22.8	
	1.0	7.0	8.5	12.5	12.2	12.9	14.8	15.9	19.0	17.9	17.4	22.7	
	2.0	6.6	8.3	12.1	12.2	12.9	14.6	15.8	19.0	17.9	17.2	22.1	
	3.0	6.6	8.2	11.1	12.2	12.9	14.5	15.6	18.7	17.8	16.6	21.0	
	4.0	6.5	8.1	10.6	12.0	12.9	13.7	15.5	17.9	17.6	16.5	19.6	
	5.0	6.5	8.1	9.9	11.9	12.9	13.4	15.4	16.4	17.5	16.3	19.0	
	6.0	6.5	8.1	9.1	11.3	12.8	13.0	14.7	15.4	16.6	16.0	17.9	
	7.0	6.5	8.0	8.4	9.1	12.7	12.5	13.5	13.6	14.9	15.6	17.1	
	8.0	6.5	8.0	8.0	9.0	12.5	11.9	12.5	11.6	12.8	14.9	15.9	
	9.0	WT (°C)	6.5	8.0	7.8	8.9	9.5	10.8	11.1	10.5	11.1	10.9	
	10.0	6.5	7.9	7.6	8.5	8.9	9.5	9.5	9.5	10.4	9.9	11.2	
	11.0	6.2	7.8	7.6	8.1	8.3	8.5	9.1	8.9	9.8	9.4	10.5	
	12.0	6.2	7.5	7.6	7.7	8.2	8.3	8.8	8.5	9.2	9.0	9.9	
	13.0	6.1	7.1	7.6	7.6	8.1	8.2	8.6	8.2	8.9	8.9	9.6	
	14.0	6.1	7.0	7.5	7.6	8.0	8.1	8.5	8.1	8.6	8.6	9.3	
	15.0	6.1	7.0	7.2	7.6	7.8	8.0	8.1	7.8	8.5	8.5	9.1	
	16.0	-	-	7.0	7.5	7.4	7.9	8.0	7.6	8.4	8.0	-	
	17.0	-	-	6.8	-	-	7.6	7.9	7.6	8.2	-	-	
	18.0	-	-	-	-	-	-	7.9	-	-	-	-	

* Shown in Fig. 2-1.

Table 2-6. Water quality in Haruna Lake on May 8, 1996

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO (mg/L)	DO (%)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	MOA (meq/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	COD (mg/L)
B-①	1996/5/8	14:00	Rainy	2.0	0.1	9.8	7.4	10.21	93.0	0.086	0.004	0.239	6.28	0.26	11.36	7.60	3.16	32.0	1.6
					2.0	9.4	7.4	10.24	92.4	0.122	0.003	0.226	5.82	0.26	11.36	8.00	2.92	32.0	1.4
					4.0	9.1	7.4	10.34	92.6	0.101	0.003	0.239	6.05	0.26	11.36	8.00	2.92	32.0	0.6
					6.0	9.0	7.4	10.36	92.6	0.022	0.003	0.253	6.21	0.26	11.71	8.00	3.40	34.0	0.5
					8.0	7.1	7.3	10.55	89.9	0.108	0.004	0.173	6.52	0.24	11.71	8.80	3.89	38.0	0.5
					10.0	6.2	7.2	9.38	78.2	0.158	0.003	0.146	6.36	0.24	12.07	8.80	3.40	36.0	0.3
					12.0	6.2	7.1	9.48	79.0	0.122	0.003	0.319	6.36	0.22	12.07	8.40	3.16	34.0	0.3
					14.0	6.0	7.0	8.47	70.2	0.783	0.002	0.266	5.59	0.22	11.36	8.80	2.92	34.0	0.3
B-②	1996/5/8	15:10	Rainy	2.0	0.1	9.8	7.4	10.23	93.2	0.172	0.005	0.159	5.66	0.26	11.71	8.80	2.92	34.0	0.7
					2.0	9.8	7.4	10.37	94.4	0.122	0.004	0.399	5.59	0.26	11.36	9.60	1.94	32.0	0.3
					4.0	9.5	7.4	10.36	93.7	0.050	0.005	0.213	6.67	0.26	11.36	8.80	2.43	32.0	0.4
					6.0	8.5	7.4	10.24	90.4	0.136	0.003	0.279	5.59	0.26	11.36	8.80	2.43	32.0	1.0

* Shown in Fig. 2-1.

Table 2-7. Water quality in Haruna Lake on July 29, 1996

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO (mg/L)	DO (%)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	T-P (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	MOA (meq/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	COD (mg/L)				
B-①	1996/7/29	10:30	Sunny	6.2	0.1	24.9	7.8	7.44	91.9	0.050	0.004	0.027	ND**	ND	13.65	0.26	12.42	6.00	6.90	43.4	2.2				
					1.0	24.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					2.0	24.0	7.8	7.72	93.8	0.029	0.003	0.027	ND	0.008	13.50	0.25	12.07	6.40	5.78	39.8	2.5	-	-	-	
					3.0	23.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4.0	20.5	7.8	9.15	104.5	0.050	0.005	0.027	ND	0.001	13.50	0.28	11.86	5.36	4.86	33.4	2.5	-	-	-	
					5.0	18.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					6.0	15.6	7.4	9.69	100.1	0.065	0.002	0.027	ND	0.001	13.96	0.28	12.00	6.24	4.18	32.8	2.4	-	-	-	
					7.0	11.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					8.0	9.4	6.8	6.63	59.7	0.165	0.004	0.066	ND	0.026	14.04	0.31	11.57	7.28	4.47	36.6	2.7	-	-	-	
					9.0	8.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					10.0	7.9	6.6	1.64	14.3	0.337	0.006	0.027	0.001	0.009	14.43	0.31	11.64	6.88	4.91	37.4	2.6	-	-	-	
					11.0	7.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					12.0	6.8	6.6	0.32	2.7	0.826	0.005	ND	ND	0.013	15.44	0.42	11.57	8.40	11.47	68.2	3.2	-	-	-	
13.0	6.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
B-②	1996/7/29	11:40	Sunny	6.2	0.1	25.6	7.8	7.57	94.5	0.022	0.004	0.027	ND	ND	13.73	0.27	12.21	6.64	4.03	33.2	2.3				
					1.0	25.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					2.0	25.4	7.7	7.69	95.8	0.036	0.004	0.093	ND	ND	13.65	0.26	11.86	7.20	6.90	46.4	2.6	-	-		
					3.0	25.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					4.0	22.0	7.7	8.73	102.3	0.050	0.006	0.027	ND	ND	13.65	0.27	12.57	6.80	3.69	32.2	2.5	-	-		
					5.0	19.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6.0	16.9	7.4	9.33	99.0	0.057	0.004	ND	ND	0.013	14.04	0.30	12.21	7.28	3.64	33.2	2.0	-	-							

* Shown in Fig. 2-1.

** Not detected.

Table 2-8. Water quality in Haruna Lake on October 29, 1996

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO (mg/L)	DO (%)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	MOA (meq/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	COD (mg/L)			
B-①	1996/10/29	11:00	Sunny	4.7	0.1	12.3	7.1	7.68	73.9	0.043	0.002	ND**	4.19	0.29	11.64	7.04	5.44	40.0	2.1			
					1.0	12.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					2.0	12.0	7.1	8.13	77.7	0.065	0.003	ND	4.11	0.28	11.43	7.12	3.94	34.0	1.0	-	-	
					3.0	11.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4.0	11.9	7.1	8.03	76.6	0.029	0.003	ND	3.65	0.27	11.79	7.84	3.11	32.4	1.0	-	-	
					5.0	11.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					6.0	11.9	7.1	7.99	76.2	0.043	0.003	ND	3.57	0.27	11.57	7.60	3.74	34.4	1.4	-	-	
					7.0	11.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					8.0	11.9	7.1	7.93	75.6	0.029	0.002	ND	3.65	0.28	11.86	6.48	3.89	32.2	1.4	-	-	
					9.0	11.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					10.0	11.8	7.1	7.79	74.1	0.050	0.002	ND	4.34	0.28	11.71	6.48	3.89	32.2	1.8	-	-	
					11.0	11.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					12.0	10.6	6.7	0.55	5.1	1.256	0.003	ND	4.50	0.43	11.01	8.24	3.16	33.6	2.9	-	-	
					13.0	8.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
B-②	1996/10/29	11:45	Sunny	4.7	0.1	12.8	7.1	7.84	76.3	0.022	0.002	ND	4.03	0.28	11.57	6.64	4.91	36.8	1.3			
					1.0	12.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
					2.0	12.4	7.1	7.93	76.4	0.029	0.003	ND	3.41	0.28	11.79	6.96	3.01	29.8	1.8			
					3.0	12.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
					4.0	12.1	7.1	8.18	78.3	0.050	0.002	ND	4.58	0.28	12.00	6.64	4.67	35.8	1.8			
					5.0	12.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
					6.0	12.1	7.1	8.20	78.5	0.050	0.003	ND	4.34	0.29	11.86	7.20	2.19	27.0	1.9			
					13.0	8.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				

* Shown in Fig. 2-1.

** Not detected.

Table 2-9. Water quality in Haruna Lake from April 20 to September 7, 2001

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO (mg/L)	DO (%)
B-②	2001/ 4/20	15:30	Sunny	1.5	0.1	11.3	8.3	10.21	96.1
B-①	2001/ 5/10	11:00	Sunny	1.9	0.1	-	8.2	7.84	-
	2001/ 5/30	10:50	Cloudy	3.2	0.1	17.0	7.3	8.22	87.4
B-②	2001/ 6/28	14:30	Sunny	4.2	0.1	25.3	7.6	7.55	93.9
					0.5	25.4	-	-	-
					1.0	25.4	-	-	-
					2.0	25.4	-	-	-
					3.0	25.3	-	-	-
					4.0	24.1	-	-	-
					5.0	20.3	-	-	-
					6.0	14.8	-	-	-
					7.0	12.5	-	-	-
					7.5	12.3	-	-	-
					0.1	18.6	7.2	-	-
					0.5	18.9	-	-	-
					1.0	18.9	-	-	-
					2.0	19.0	-	-	-
3.0	19.0	-	-	-					
4.0	19.0	-	-	-					
5.0	18.9	-	-	-					
6.0	18.1	-	-	-					
7.0	15.2	-	-	-					
8.0	13.0	-	-	-					

* Shown in Fig. 2-1.

Table 2-10. Water quality in Kanna Lake on May 11, 1998

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO (mg/L)	DO (%)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	MOA (meq/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	COD (mg/L)				
C-①	1998/5/11	12:00	Cloudy	2.7	0.1	18.9	8.4	8.87	98.0	0.115	0.014	0.944	0.003	3.03	0.50	4.26	21.20	1.70	60.0	2.3				
					1.0	18.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					2.0	18.9	8.4	9.38	103.6	0.230	0.011	0.824	0.003	3.03	0.50	4.26	20.40	3.16	64.0	3.1	-	-	-	
					3.0	18.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4.0	17.0	8.4	9.07	96.4	0.108	0.009	0.997	0.004	2.95	0.52	4.19	21.20	4.13	70.0	2.3	-	-	-	
					5.0	15.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					6.0	14.5	7.6	7.73	78.0	0.129	0.006	0.864	ND**	4.11	0.56	4.69	21.20	4.62	72.0	1.2	-	-	-	
					7.0	13.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					8.0	13.0	7.3	8.23	80.4	0.079	0.006	0.744	0.001	4.42	0.50	3.98	19.60	4.13	66.0	1.4	-	-	-	
					9.0	12.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					10.0	11.5	7.1	6.55	61.9	0.165	0.006	0.917	ND	3.57	0.48	4.05	18.40	3.40	60.0	1.6	-	-	-	
					15.0	9.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					20.0	7.8	7.1	6.13	53.2	0.022	0.011	1.050	ND	3.34	0.48	4.12	19.20	3.89	64.0	1.2	-	-	-	
					25.0	6.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					30.0	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					35.0	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					40.0	5.5	7.1	7.63	62.5	0.007	0.003	1.940	0.001	3.65	0.56	6.32	24.00	3.89	76.0	1.1	-	-	-	
C-②	1998/5/11	13:00	Cloudy	3.5	0.1	18.6	8.4	9.20	101.2	0.043	0.009	0.678	0.003	2.95	0.50	3.83	20.00	2.92	62.0	1.9				
					1.0	18.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					2.0	18.6	8.4	9.18	101.0	0.050	0.010	0.691	ND	2.87	0.50	4.05	20.00	3.40	64.0	1.9	-	-		
					3.0	18.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					4.0	16.8	8.4	9.21	97.4	0.050	0.010	1.023	ND	2.79	0.52	3.83	20.00	4.13	67.0	1.9	-	-		
					5.0	15.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					6.0	14.4	7.3	7.94	79.9	0.022	0.009	0.890	ND	3.10	0.52	4.26	20.00	4.37	68.0	1.4	-	-		
					7.0	13.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					8.0	12.5	7.1	7.80	75.3	0.043	0.007	1.409	ND	3.34	0.48	3.55	19.20	3.40	62.0	1.4	-	-		
					9.0	11.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					10.0	11.2	7.1	7.46	70.0	0.007	0.006	1.209	ND	3.34	0.46	3.48	18.80	3.16	60.0	1.2	-	-		
					15.0	9.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					20.0	8.1	7.1	8.64	75.5	0.007	0.011	1.010	0.001	3.26	0.56	4.05	22.80	4.13	74.0	0.8	-	-		
					25.0	6.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					30.0	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					35.0	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					40.0	5.6	7.1	9.17	75.3	0.007	0.006	1.661	0.003	2.95	0.56	4.19	24.40	3.65	76.0	0.8	-	-		
C-③	1998/5/11	14:00	Cloudy	4.6	0.1	18.6	8.4	9.03	99.3	0.050	0.009	0.638	ND	2.64	0.50	4.47	20.80	2.92	64.0	2.1				
					1.0	18.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					2.0	18.5	8.1	9.73	106.6	0.144	0.012	0.758	ND	2.48	0.50	4.12	20.80	2.92	64.0	2.9	-	-		
					3.0	18.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					4.0	16.4	8.1	9.40	98.7	0.036	0.010	0.877	0.004	2.56	0.50	4.12	19.20	3.89	64.0	2.3	-	-		
					5.0	15.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					6.0	14.4	7.5	8.73	87.8	0.014	0.006	1.090	ND	2.87	0.50	4.05	20.00	3.40	64.0	1.6	-	-		
					7.0	13.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					8.0	12.5	7.3	8.49	82.1	0.086	0.006	1.223	ND	2.48	0.50	4.19	19.60	2.67	60.0	2.1	-	-		
					9.0	11.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					10.0	11.2	7.1	8.49	79.7	0.072	0.012	1.196	0.003	2.56	0.50	4.19	18.80	3.65	62.0	1.4	-	-		
					15.0	9.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					20.0	8.3	7.5	9.56	83.9	0.187	0.012	1.263	ND	2.09	0.60	4.76	24.00	3.65	75.0	0.9	-	-		
					25.0	6.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					30.0	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					35.0	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					40.0	5.6	7.4	8.69	71.3	0.072	0.006	1.528	ND	2.33	0.62	5.33	26.40	3.40	80.0	0.9	-	-		

* Shown in Fig. 2-1.

** Not detected.

Table 2-11. Water quality in Kanna Lake on August 4, 1998

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO		NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	T-P (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	MOA (meq/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	COD (mg/L)			
								(mg/L)	(%)															
C-①	1998/8/4	11:00	Cloudy	2.1	0.1	25.2	8.7	9.94	123.3	0.043	0.010	1.249	0.007	0.010	7.14	0.60	4.97	23.60	4.67	78.2	2.8			
					1.0	24.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					2.0	22.6	8.4	9.74	115.3	0.172	0.008	0.970	0.003	0.026	7.06	0.60	5.04	24.00	3.99	76.4	2.2	-	-	
					3.0	21.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4.0	20.5	7.7	8.36	95.3	0.093	0.006	1.103	0.001	0.004	6.75	0.62	4.97	24.88	3.84	78.0	1.6	-	-	
					5.0	19.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					6.0	18.7	7.4	7.54	83.0	0.172	0.008	0.718	0.013	0.014	6.83	0.60	4.97	23.92	3.94	76.0	1.9	-	-	
					7.0	16.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					8.0	14.5	7.0	6.07	61.2	0.065	0.010	1.037	0.004	0.005	6.36	0.48	5.04	20.96	2.96	64.6	1.7	-	-	
					9.0	12.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					10.0	12.1	6.9	5.81	55.6	ND**	0.008	0.957	0.008	0.013	5.59	0.48	5.33	19.20	4.37	66.0	1.7	-	-	
					12.0	10.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					14.0	9.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					16.0	9.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					18.0	8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					20.0	8.1	6.9	6.56	57.3	0.079	0.002	1.116	ND	ND	4.89	0.48	5.61	19.28	4.33	66.0	1.2	-	-	
					25.0	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					30.0	6.6	6.9	6.30	53.0	ND	0.005	1.329	0.003	0.004	4.81	0.52	5.68	22.80	3.21	70.2	0.9	-	-	
					35.0	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-②	1998/8/4	11:40	Cloudy	2.5	0.1	25.6	8.8	10.03	125.4	0.022	0.008	0.678	0.003	0.026	6.52	0.60	4.90	24.00	4.47	78.4	2.4			
					1.0	25.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					2.0	24.0	8.8	10.55	128.1	0.036	0.009	0.704	0.007	0.007	6.36	0.62	4.97	23.92	4.47	78.2	2.5	-	-	
					3.0	21.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					4.0	20.1	7.5	8.41	95.1	0.072	0.006	0.997	ND	0.003	6.52	0.60	4.97	23.04	4.96	78.0	1.8	-	-	
					5.0	19.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					6.0	17.2	7.5	7.05	75.3	0.036	0.008	0.970	ND	0.007	6.21	0.56	5.11	21.20	4.13	70.0	1.9	-	-	
					7.0	15.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					8.0	13.7	7.0	5.94	59.0	0.072	0.008	0.970	ND	0.007	5.20	0.49	5.18	20.40	2.24	60.2	1.7	-	-	
					9.0	12.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					10.0	11.7	6.9	5.56	52.7	ND	0.008	0.851	0.008	0.008	4.81	0.48	5.33	19.44	2.72	59.8	1.4	-	-	
					15.0	9.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					20.0	8.1	7.3	9.04	79.1	ND	0.003	0.970	0.007	0.007	4.34	0.56	5.68	22.40	3.89	72.0	1.0	-	-	
					25.0	7.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					30.0	6.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					35.0	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					40.0	6.0	7.3	8.72	72.4	0.122	0.003	1.223	0.001	0.007	4.73	0.55	6.39	23.12	3.94	74.0	1.0	-	-	
					45.0	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					C-③	1998/8/4	12:30	Cloudy	2.6	0.1	25.7	8.9	10.18	127.5	0.108	0.008	0.598	0.013	0.014	6.21	0.65	4.90	24.16	3.40
1.0	25.6	-	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2.0	23.9	8.8	10.84	131.3						0.158	0.008	0.638	0.001	0.004	6.21	0.64	4.97	23.92	4.91	80.0	3.4	-	-	
3.0	21.5	-	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4.0	19.7	7.7	8.98	100.8						0.036	0.008	0.412	ND	0.004	6.36	0.62	4.97	23.84	2.43	69.6	2.1	-	-	
5.0	18.5	-	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
6.0	17.2	7.5	7.56	80.6						0.007	0.014	0.758	ND	ND	5.74	0.56	4.97	20.24	3.74	66.0	1.7	-	-	
7.0	14.8	-	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8.0	13.2	7.1	6.10	59.8						ND	0.006	0.439	ND	0.013	5.12	0.48	5.33	19.20	2.92	60.0	1.6	-	-	
9.0	12.4	-	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
10.0	11.4	7.0	6.50	61.4						ND	0.001	1.156	ND	ND	4.34	0.48	5.47	18.96	4.52	66.0	1.2	-	-	
15.0	9.4	-	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
20.0	8.4	7.3	9.48	83.4						ND	0.006	0.691	ND	0.007	4.34	0.60	5.75	22.40	4.03	72.6	1.0	-	-	
25.0	7.5	-	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
30.0	6.7	-	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
35.0	6.4	-	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40.0	6.2	7.3	9.91	82.6						0.036	0.002	1.023	ND	0.007	4.34	0.62	5.96	24.00	3.89	76.0	0.8	-	-	
45.0	5.9	-	-	-						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

* Shown in Fig. 2-1.

** Not detected.

Table 2-12. Water quality in Kanna Lake on November 9, 1998

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO (mg/L)	DO (%)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	MOA (meq/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	COD (mg/L)						
C-①	1998/11/9	10:40	Sunny	1.6	0.1	14.6	7.7	8.56	86.5	0.115	0.011	1.382	0.017	7.06	0.54	4.97	21.60	1.94	62.0	3.7						
					1.0	14.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					2.0	14.1	7.7	8.60	86.1	0.072	0.010	1.382	0.031	7.14	0.54	4.97	21.60	1.94	62.0	3.3	-	-	-	-	-	
					3.0	14.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4.0	14.1	7.7	8.70	87.0	0.101	0.011	1.249	0.020	7.06	0.56	4.97	21.60	1.94	62.0	3.5	-	-	-	-	-	-
					5.0	14.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					6.0	14.1	7.7	8.64	86.4	0.072	0.011	1.395	0.020	7.45	0.56	4.97	21.60	2.43	64.0	3.3	-	-	-	-	-	-
					7.0	14.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					8.0	14.1	7.7	6.91	69.2	0.086	0.011	1.356	0.018	7.14	0.56	4.97	21.60	2.43	64.0	4.1	-	-	-	-	-	-
					9.0	14.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					10.0	14.1	7.7	8.38	83.9	0.057	0.011	1.395	0.026	7.14	0.56	4.97	21.60	2.43	64.0	4.3	-	-	-	-	-	-
					12.0	14.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					14.0	13.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					16.0	13.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					18.0	13.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					20.0	13.6	7.7	8.63	85.4	0.086	0.008	1.329	0.013	6.75	0.56	4.97	22.40	1.94	64.0	3.1	-	-	-	-	-	-
					25.0	13.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					30.0	13.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					35.0	12.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40.0	9.6	7.1	6.67	60.4	0.704	0.029	1.661	0.086	11.87	0.56	4.97	22.40	1.94	64.0	7.4	-	-	-	-	-	-					
45.0	8.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
50.0	8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
C-②	1998/11/9	11:30	Sunny	1.5	0.1	15.6	7.7	8.67	89.5	0.086	0.010	1.356	0.022	7.45	0.56	4.97	20.80	0.97	56.0	2.9						
					1.0	14.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					2.0	14.6	7.7	8.66	87.6	0.144	0.011	1.635	0.038	7.52	0.56	4.97	21.20	1.22	58.0	3.5	-	-	-	-	-	-
					3.0	14.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4.0	14.6	7.5	8.69	87.9	0.086	0.011	1.488	0.026	7.52	0.56	4.97	21.20	1.22	58.0	3.1	-	-	-	-	-	-
					5.0	14.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					6.0	14.6	7.5	8.38	84.7	0.086	0.009	1.435	0.031	7.45	0.56	4.97	21.20	1.22	58.0	3.7	-	-	-	-	-	-
					7.0	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					8.0	14.5	7.5	8.29	83.7	0.122	0.009	1.502	0.034	7.21	0.56	4.97	20.80	1.46	58.0	3.3	-	-	-	-	-	-
					9.0	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					10.0	14.5	7.5	8.50	85.8	0.122	0.010	1.302	0.035	7.52	0.56	4.97	20.80	1.46	58.0	2.9	-	-	-	-	-	-
					12.0	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					14.0	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					16.0	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					18.0	14.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					20.0	14.2	7.5	8.38	84.0	0.086	0.011	1.369	0.029	7.21	0.56	4.97	21.20	1.70	60.0	2.1	-	-	-	-	-	-
					25.0	13.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					30.0	13.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					35.0	12.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40.0	9.8	7.1	7.01	63.7	0.732	0.029	1.621	0.092	10.63	0.56	4.97	21.60	1.94	62.0	4.9	-	-	-	-	-	-					
45.0	9.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
50.0	8.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
C-③	1998/11/9	12:20	Sunny	1.1	0.1	15.8	7.7	8.19	84.9	0.201	0.008	1.475	0.042	8.61	0.56	4.97	20.80	1.94	60.0	3.3						
					1.0	15.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					2.0	14.8	7.7	8.33	84.5	0.165	0.010	1.289	0.035	8.07	0.56	4.97	20.80	2.43	62.0	3.5	-	-	-	-	-	-
					3.0	14.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					4.0	14.7	7.7	8.44	85.5	0.172	0.011	1.582	0.026	7.99	0.56	4.97	21.60	1.94	62.0	2.9	-	-	-	-	-	-
					5.0	14.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					6.0	14.6	7.7	8.38	84.7	0.151	0.010	1.409	0.036	8.15	0.56	4.97	20.80	2.43	62.0	2.9	-	-	-	-	-	-
					7.0	14.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					8.0	14.6	7.7	8.36	84.5	0.194	0.009	1.528	0.035	7.84	0.56	4.97	21.60	1.94	62.0	3.3	-	-	-	-	-	-
					9.0	14.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					10.0	14.6	7.7	8.49	85.8	0.251	0.010	1.528	0.029	7.99	0.56	4.97	21.60	1.94	62.0	3.3	-	-	-	-	-	-
					12.0	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					14.0	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					16.0	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					18.0	14.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					20.0	14.1	7.7	8.49	85.0	0.208	0.010	1.143	0.029	7.60	0.56	4.97	21.60	1.94	62.0	2.5	-	-	-	-	-	-
					25.0	13.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					30.0	13.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					35.0	12.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40.0	9.6	7.1	7.06	64.0	0.510	0.020	1.369	0.077	9.46	0.56	4.97	21.60	2.43	64.0	4.1	-	-	-	-	-	-					
45.0	8.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
50.0	8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					

* Shown in Fig. 2-1.

Table 2-13. Water quality in Nyu Lake from April 21, 1999 to January 24, 2000

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO (mg/L)	NH ₄ -N (%)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	T-P (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	MOA (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	COD (mg/L)				
1999/4/21	10:45	Sunny	1.3	0.1	14.0	7.8	12.07	120.3	0.215	0.006	0.718	0.023	-	4.96	0.66	21.16	42.40	15.07	168.0	3.8				
				1.0	14.0	7.8	12.18	121.6	0.302	0.005	0.784	0.043	-	4.96	0.65	21.37	41.76	15.21	167.0	7.4				
				2.0	13.5	7.6	11.64	114.9	0.129	0.004	0.758	0.016	-	5.04	0.66	21.73	43.84	14.43	169.0	7.5				
				3.0	12.8	7.6	11.32	110.1	0.115	0.005	0.585	0.009	-	4.96	0.66	21.23	44.40	14.58	171.0	4.4				
				4.0	12.5	7.6	11.54	111.5	0.101	0.005	0.691	0.009	-	4.81	0.66	21.73	44.80	14.82	173.0	4.2				
				5.0	12.3	7.6	11.06	106.4	0.165	0.004	0.718	0.008	-	4.96	0.67	21.02	45.60	13.51	169.6	4.1				
				6.0	12.3	7.6	11.39	109.7	0.115	0.005	0.718	0.013	-	4.96	0.66	21.73	45.20	13.85	170.0	3.4				
				7.0	12.1	7.4	10.78	103.1	0.086	0.004	0.718	0.007	-	4.96	0.66	21.66	44.96	14.48	172.0	3.7				
				8.0	12.1	7.4	10.75	102.9	0.108	0.004	0.611	0.005	-	5.20	0.67	21.58	44.46	14.09	169.0	3.4				
				9.0	12.0	7.4	10.69	102.2	0.093	0.004	0.771	0.007	-	4.96	0.67	21.80	43.92	14.14	168.0	3.3				
				10.0	12.0	7.4	10.78	103.1	0.101	0.004	0.811	0.007	-	4.81	0.67	22.15	44.00	15.07	172.0	4.5				
				11.0	12.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.0	12.0	7.2	9.51	91.0	0.158	0.005	0.837	0.008	-	5.35	0.67	21.80	44.80	15.07	174.0	4.6								
1999/6/23	10:45	Sunny	1.4	0.1	23.4	7.8	9.33	112.1	0.108	0.009	0.306	0.007	0.020	3.88	1.33	20.95	39.20	10.35	140.6	4.3				
				1.0	23.0	7.8	9.47	112.9	0.101	0.009	0.439	0.007	0.023	3.96	1.31	21.09	38.72	9.77	137.0	4.4				
				2.0	22.8	7.8	9.50	112.8	0.086	0.010	0.306	0.007	0.030	4.42	1.30	20.31	38.32	8.46	130.4	4.7				
				3.0	22.6	7.6	8.32	98.6	0.072	0.010	0.332	0.003	0.023	4.03	1.30	20.38	38.80	9.09	134.0	4.4				
				4.0	22.5	7.6	8.31	98.2	0.108	0.009	0.385	0.004	0.020	3.96	1.30	20.38	38.08	8.85	131.6	4.3				
				5.0	22.5	7.6	8.11	95.9	0.122	0.009	0.279	0.007	0.034	3.96	1.30	21.02	38.16	9.19	133.2	3.6				
				6.0	22.5	7.6	8.15	96.3	0.072	0.010	0.306	0.003	0.027	4.42	1.30	20.24	39.20	7.87	130.4	2.7				
				7.0	22.4	7.6	7.57	89.3	0.108	0.012	0.266	0.007	0.033	4.19	1.30	20.66	38.56	9.14	134.0	3.1				
				8.0	22.0	7.4	6.21	72.8	0.158	0.010	0.306	0.003	0.023	4.27	1.30	19.88	38.48	9.19	134.0	3.3				
				9.0	21.8	7.2	3.38	38.5	0.352	0.010	0.239	ND**	0.017	4.96	1.39	21.30	38.00	14.09	135.0	2.1				
				10.0	16.2	7.0	0.53	5.5	1.314	0.006	0.053	0.005	0.031	8.83	1.72	21.30	40.40	10.84	145.6	3.5				
				11.0	15.1	7.0	0.64	6.6	2.520	0.004	0.053	0.014	0.038	9.23	2.26	20.95	44.40	10.94	156.0	3.8				
1999/8/16	13:15	Rainy and thundery	-	0.1	27.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
				1.0	26.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				2.0	26.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				3.0	26.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				4.0	26.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				5.0	26.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				6.0	26.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				7.0	25.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				8.0	25.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				9.0	25.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				10.0	24.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				11.0	23.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.0	19.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1999/9/7	10:00	Cloudy and rainy	1.9	0.1	26.5	7.2	6.80	86.4	0.180	0.050	2.219	0.001	0.008	7.76	1.24	14.77	34.80	9.23	125.0	5.4				
				0.5	26.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				1.0	26.6	7.2	6.82	87.1	0.065	0.048	1.887	0.007	0.017	7.76	1.32	15.12	35.20	9.48	127.0	3.6				
				2.0	26.6	7.2	6.82	87.0	0.215	0.048	1.621	0.003	0.014	7.76	1.22	14.98	35.36	9.23	126.4	2.9				
				3.0	26.6	7.2	6.73	85.8	0.079	0.048	2.273	0.003	0.013	7.76	1.24	14.84	35.36	10.35	131.0	2.9				
				4.0	26.5	7.2	6.84	86.9	0.122	0.041	1.807	0.013	0.017	7.76	1.25	15.62	35.20	9.23	126.0	3.0				
				5.0	26.5	7.2	6.63	84.3	0.093	0.054	1.688	0.007	0.013	7.45	1.26	15.55	35.36	8.65	124.0	2.7				
				6.0	26.5	7.2	6.53	83.0	0.101	0.056	2.073	0.007	0.017	7.76	1.26	14.98	35.52	9.19	126.6	2.8				
				7.0	26.5	7.2	6.61	84.0	0.129	0.059	2.166	0.001	0.009	7.99	1.26	15.05	34.80	9.96	128.0	2.4				
				8.0	26.4	7.2	6.12	77.7	0.151	0.050	1.555	0.007	0.016	7.91	1.26	15.19	35.20	9.96	129.0	2.4				
				9.0	26.2	7.0	5.66	71.6	0.309	0.050	1.555	0.003	0.009	7.99	1.27	14.34	35.60	9.14	126.6	2.7				
				10.0	25.6	6.9	0.40	5.0	1.185	0.015	1.130	0.021	0.044	11.56	1.50	15.27	36.00	9.72	130.0	2.7				
11.0	24.4	7.0	0.39	4.8	2.132	0.013	0.425	0.027	0.055	11.95	1.88	15.83	38.00	14.09	159.0	3.7								
1999/11/8	10:10	Cloudy	1.3	0.1	16.1	7.4	7.83	79.6	0.215	0.129	1.198	0.017	0.026	7.76	1.43	15.62	40.48	7.82	133.4	2.5				
				1.0	16.1	7.4	7.09	73.9	0.244	0.136	1.542	0.021	0.022	7.76	1.41	16.47	39.52	6.85	127.0	2.7				
				2.0	16.0	7.4	7.64	79.6	0.223	0.098	1.130	0.017	0.020	7.76	1.40	14.98	38.00	7.82	127.2	2.2				
				3.0	16.0	7.4	7.77	80.9	0.273	0.133	1.223	0.017	0.020	7.76	1.41	14.77	38.48	8.12	129.6	2.1				
				4.0	16.0	7.4	7.24	75.3	0.230	0.130	1.422	0.018	0.020	7.60	1.43	14.84	37.60	8.55	129.2	2.1				
				5.0	16.0	7.4	7.60	79.2	0.237	0.135	1.050	0.020	0.021	7.68	1.42	14.56	36.80	8.51	127.0	2.1				
				6.0	16.0	7.4	7.42	77.2	0.251	0.136	1.209	0.023	0.025	7.45	1.43	14.56	36.96	9.23	130.4	2.2				
				7.0	16.0	7.4	7.63	79.4	0.237	0.130	1.209	0.027	0.029	7.68	1.42	15.34	36.80	8.85	128.4	1.9				
				8.0	16.0	7.4	7.96	82.9	0.237	0.133	1.302	0.017	0.034	7.60	1.42	15.05	36.64	9.38	130.2	1.9				
				9.0	16.0	7.4	7.58	78.9	0.237	0.130	1.263	0.014	0.021	7.68	1.42	14.91	37.20	8.80	129.2	2.8				
				10.0	16.0	7.4	7.71	80.3	0.230	0.120	1.236	0.013	0.048	7.60	1.41	14.91	38.00	8.65	130.6	3.0				
				11.0	16.0	7.4	7.66	79.8	0.215	0.133	1.435	0.014	0.034	7.37	1.40	14.77	37.68	8.46	129.0	2.6				
2000/1/24	10:20	Sunny	1.7	0.1	4.7	7.4	11.89	95.5	ND	ND	0.718	0.012	-	4.81	1.18	15.62	39.60	8.07	132.2	2.3				
				0.5	4.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				1.0	4.5	7.4	12.12	96.8	ND	ND	0.718	0.012	-	4.81	1.30	15.98	39.60	7.82	131.2	2.6				
				2.0	4.5	7.4	12.24	97.8	ND	ND	0.718	0.014	-	4.81	1.33	16.33	38.88	8.70	133.0	3.2				
				3.0	4.5	7.4	11.69	93.4	ND	ND	0.518	0.013	-	4.58	1.33	16.33	39.20	7.48	128.8	3.2				
				4.0	4.5	7.4	11.36	90.7	ND	ND	0.691	0.013	-	4.81	1.42	16.33	39.28	7.48	129.0	3.0				
				5.0	4.6	7.4	12.44	99.6	ND	ND	0.611	0.013	-	4.81	1.34	16.19	39.20	7.97	130.8	3.3				
				6.0	4.6	7.4	11.91	95.4	ND	ND	0.625	0.013	-	4.89	1.35	16.33	39.20	7.39	128.4	2.8				
				7.0	4.6	7.2	12.06	96.6	ND	ND	0.718	0.012	-	5.12	1.33	16.33	40.24	8.12	134.0	2.7				
				8.0	4.6	7.4	11.33	90.8	ND	ND	0.678	0.016	-	4.73	1.52	16.33	38.72	7.82	129.0	3.0				
				9.0	4.6	7.2	12.00	96.1	ND	ND	0.704	0.018	-	4.81	1.18	15.98	40.00	6.80	128.0	2.8				
				10.0	4.6	7.4	11.95	95.7	ND	ND	0.598	0.014	-	4.81	1.37	15.98	38.80	7.58	128.2	2.7				
11.0	4.7	7.6	12.05	96.8	ND	ND	0.797	0.022	-	4.73	1.33	15.98	40.00	7.53	131.0	2.6								
12.0	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				

* Shown in Fig. 2-2.
 ** Nnot detected.

Table 2-14. Water quality in Narusawa Lake from March 13, 2001 to September 3, 2002

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO	
								(mg/L)	(%)
	2001/3/13	10:00	Sunny	1.7	0.1	6.5	8.6	13.08	110.0
	2001/4/9	15:00	Sunny	1.5	0.1	17.5	8.8	12.05	129.4
	2001/4/17	14:20	Sunny	1.5	0.1	17.8	9.0	12.58	136.1
	2001/5/18	10:30	Sunny	1.7	0.1	21.0	9.1	10.72	123.5
	2001/5/25	14:30	Sunny	1.7	0.1	22.8	8.4	11.02	130.9
	2001/5/31	14:30	Sunny	1.9	0.1	23.5	8.4	9.60	115.6
	2001/7/3	15:30	Sunny	1.7	0.1	28.0	9.0	13.37	174.9
					0.1	27.1	9.6	15.00	193.1
					0.5	26.5	-	-	-
					1.0	26.0	-	-	-
					2.0	22.0	-	-	-
					3.0	16.9	-	-	-
					4.0	14.5	-	-	-
	2001/7/26	16:00	Cloudy	1.4	5.0	13.3	-	-	-
					6.0	11.7	-	-	-
					7.0	9.6	-	-	-
					8.0	8.8	-	-	-
					9.0	8.2	-	-	-
					10.0	7.9	-	-	-
					11.0	7.6	-	-	-
	2001/9/18	16:20	Sunny	1.1	0.1	-	8.8	14.92	-
					0.1	16.1	7.7	9.28	96.7
					0.5	16.1	-	-	-
					1.0	16.1	-	-	-
					2.0	16.1	-	-	-
					3.0	16.0	-	-	-
					4.0	16.0	-	-	-
					5.0	16.0	-	-	-
					6.0	16.0	-	-	-
	2001/10/29	9:40	Sunny	2.4	7.0	16.0	-	-	-
					8.0	15.9	-	-	-
					9.0	15.8	-	-	-
					10.0	15.5	-	-	-
					11.0	13.4	-	-	-
					12.0	10.5	-	-	-
					13.0	9.4	-	-	-
					14.0	8.5	-	-	-
					15.0	8.5	-	-	-
					16.0	8.4	-	-	-
					0.1	10.8	7.2	-	-
					0.5	10.7	-	-	-
					1.0	10.6	-	-	-
					2.0	10.4	-	-	-
					3.0	10.4	-	-	-
					4.0	10.4	-	-	-
	2001/11/28	10:15	Sunny	2.1	5.0	10.4	-	-	-
					6.0	10.4	-	-	-
					7.0	10.4	-	-	-
					8.0	10.4	-	-	-
					9.0	10.4	-	-	-
					10.0	10.4	-	-	-
					11.0	10.3	-	-	-
					12.0	10.2	-	-	-
					13.0	10.1	-	-	-
					0.1	6.2	8.2	12.91	107.7
					0.5	6.0	-	-	-
					1.0	5.9	-	-	-
					2.0	5.8	-	-	-
					3.0	5.8	-	-	-
					4.0	5.8	-	-	-
					5.0	5.8	-	-	-
	2001/12/26	10:15	Sunny	1.8	6.0	5.7	-	-	-
					7.0	5.7	-	-	-
					8.0	5.7	-	-	-
					9.0	5.7	-	-	-
					10.0	5.7	-	-	-
					11.0	5.7	-	-	-
					12.0	5.7	-	-	-
					13.0	5.7	-	-	-
					14.0	5.7	-	-	-
					0.1	4.5	8.2	13.20	105.6
					0.5	4.2	-	-	-
					1.0	4.2	-	-	-
					2.0	4.2	-	-	-
					3.0	4.2	-	-	-
					4.0	4.2	-	-	-
					5.0	4.2	-	-	-
	2002/1/28	10:30	Sunny	2.0	6.0	4.2	-	-	-
					7.0	4.2	-	-	-
					8.0	4.2	-	-	-
					9.0	4.2	-	-	-
					10.0	4.2	-	-	-
					11.0	4.2	-	-	-
					12.0	4.2	-	-	-
					13.0	4.2	-	-	-
					0.1	25.9	8.8	10.32	132.4
					0.5	26.4	-	-	-
					1.0	25.7	8.5	10.70	134.0
					2.0	24.5	-	-	-
					3.0	22.7	8.5	10.48	124.3
					4.0	20.6	-	-	-
					5.0	17.9	7.2	6.59	71.4
	2002/9/3	11:00	Sunny	1.6	6.0	14.5	6.8	0.18	1.8
					7.0	12.0	6.8	0.16	1.6
					8.0	10.4	-	-	-
					9.0	8.9	6.8	ND**	ND
					10.0	8.3	-	-	-
					11.0	8.0	6.7	ND	ND
					12.0	7.9	-	-	-
					13.0	7.6	-	-	-
					14.0	7.5	-	-	-

* Shown in Fig. 2-2.
 ** Not detected.

Table 2-15. Water quality in Jo Marsh on May 7, July 22 and November 5, 1998

Sampling site *	Date	Time	Weather	Transparency (m)	Depth (m)	WT (°C)	pH	DO		NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)
								(mg/L)	(%)				
F-①	1998/5/7	11:20	Sunny	0.3	0.1	25.1	9.4	22.86	283.1	1.005	0.124	0.904	0.062
					0.5	22.0	-	-	-	-	-	-	
					1.0	21.0	8.0	7.72	89.0	-	-	-	-
					1.5	20.0	-	-	-	-	-	-	-
	1998/7/22	11:30	Cloudy	0.5	0.1	23.9	7.5	10.36	125.5	0.517	0.098	1.927	0.043
					0.5	23.9	-	-	-	-	-	-	-
					1.0	23.9	7.3	8.08	97.9	-	-	-	-
					1.5	23.9	-	-	-	-	-	-	-
	1998/11/5	11:20	Sunny	0.5	0.1	16.7	7.8	11.87	125.4	0.833	0.193	3.389	0.051
					0.5	16.6	-	-	-	-	-	-	-
					1.0	16.6	7.9	12.09	127.6	-	-	-	-
					1.5	16.5	-	-	-	-	-	-	-
F-②	1998/5/7	12:00	Sunny	0.3	0.1	24.0	9.4	21.49	260.8	0.826	0.105	0.811	0.036
					0.5	23.5	-	-	-	-	-	-	-
					1.0	21.0	-	-	-	-	-	-	-
					1.3	20.5	-	-	-	-	-	-	-
	1998/7/22	12:00	Cloudy	0.5	0.1	24.4	8.2	13.36	163.6	0.345	0.108	1.874	0.078
					0.5	24.1	-	-	-	-	-	-	-
					1.0	23.9	8.2	12.64	153.2	-	-	-	-
					1.6	23.6	-	-	-	-	-	-	-
	1998/11/5	11:50	Sunny	0.4	0.1	16.7	8.2	11.48	121.2	1.034	0.215	3.323	0.038
					0.5	16.6	-	-	-	-	-	-	-
					1.0	16.6	8.2	11.69	123.3	-	-	-	-
					1.4	16.9	-	-	-	-	-	-	-

* Shown in Fig. 2-2.

Table 2-16. Density (no./L) of zooplankton in Akagionuma Lake in 1997 and 1999

Species	Sampling date	1997						1999												
		May 19		Aug. 11		Nov. 19		Apr. 30	May 6	May 13	May 20	May 26	Jun. 2	Jun. 10	Jun. 17	Jun. 22	Jul. 1	Jul. 26	Aug 30	
		Time	10:10	11:15	11:00	12:00	11:00	12:00	11:00	11:00	14:40	14:50	10:50	10:30	10:40	10:20	10:15	10:30	10:50	12:00
		Site *	A-①	A-②	A-①	A-②	A-①	A-②	A-②											
	Depth (m)	0-5						0-5												
Nauplius and metanauplius of Copepoda		0.1	0.1	0.1	0.4	1.4	0.6	1.8	0.4	2.5	0.3	0.3	0.6	0.3	0.1	0.4	0.3	0.1		
Copepodid and adult of Copepoda		0.6	0.1	0.1	0.3				0.1		0.8	1.4	0.3	0.3		0.1		0.1		
<i>Holopedium gibberum</i>				2.3	0.4										0.1	0.1	0.4	0.6	1.3	6.5
<i>Bosmina</i> sp.		2.8	1.4	35.2	30.0	6.7	3.0	0.1	0.4	0.4	3.8	10.6	7.5	3.7	56.3	35.0	68.1	21.4	14.4	
<i>Keratella cochlearis</i>								1.3	2.1	9.6	19.5	10.5	5.5	1.1	0.4					
<i>Keratella quadrata</i>		4.0	0.8	0.7	0.6	0.3	0.3													
<i>Asplanchna</i> sp.		0.1		0.6	1.0	4.2	5.1		0.1		0.3		0.4	12.7	2.5	0.6	0.1	4.1		
<i>Polyarthra</i> sp.										0.7	0.1	0.1		0.1					0.1	
<i>Ploesoma</i> sp.														0.3	0.1	1.4				
<i>Filinia terminaris</i>		0.7	0.3																	
<i>Conochilus</i> sp.														14.3	119.0	39.3	8.6	1.4	0.3	
<i>Collotheca</i> sp.														3.0	1.3	2.0	4.0	8.8	0.8	0.1
Total		8.2	2.7	39.0	32.4	11.6	9.8	2.0	4.5	11.1	27.0	22.9	17.0	34.5	180.7	80.8	86.7	29.3	21.6	

* Shown in Fig. 2-1.

Table 2-17. Density (no./L) of zooplankton in Haruna Lake in 1996 and 2001

Species	Sampling date	1996						2001					
		May 8		Jul. 29		Oct. 29		Apr. 20	May 10	May 30	Jun. 28	Jul. 26	
		Time	14:00	15:10	10:30	11:40	11:00	11:45	15:30	11:00	10:50	14:30	13:30
		Site *	B-①	B-②	B-①	B-②	B-①	B-②	B-②	B-①	B-②		
Depth (m)	0-5						0-5						
Nauplius and metanauplius of Copepoda		6.6	18.1	2.2	5.3				1.0		1.0	7.1	
Copepodid and adult of Copepoda		1.8	4.4	4.5	0.8	0.3			0.6	0.6	0.1	1.3	
<i>Daphnia galeata</i>				17.5	5.2	7.4	7.1				0.1		
<i>Bosmina</i> sp.		0.3	4.9				0.3	0.4	1.0	82.5	4.2	5.5	
<i>Leptodora kindtii</i>				0.1							0.4		
<i>Keratella cochlearis</i>		0.3		0.1				1.7	390.8	0.3	0.4	0.6	
<i>Keratella quadrata</i>		102.4	156.9	3.0	0.3			5.0	78.4	6.1	0.3	12.0	
<i>Kellicottia longispina</i>										2.1	0.3	0.3	
<i>Lecane</i> sp.										1.3			
<i>Asplanchna</i> sp.			0.1	0.1				1.0	40.5	40.6	1.7	5.9	
<i>Trichocerca</i> sp.				0.1	0.1	0.1					0.1		
<i>Polyarthra</i> sp.			0.4					0.6	26.8	0.6	1.4	0.3	
<i>Synchaeta</i> sp.											0.1	0.3	
<i>Ploesoma</i> sp.											7.8	10.8	
<i>Filinia longiseta</i>		25.0	23.1	0.1				10.5	16.7	18.8			
<i>Conochilus</i> sp.				0.7	1.1								
<i>Collotheca</i> sp.		0.4											
Total		136.8	207.9	28.4	12.8	7.8	7.4	19.2	555.8	152.9	17.9	44.1	

* Shown in Fig. 2-1.

Table 2-18. Density (no./L) of zooplankton in Kanna Lake in 1998

Species	Sampling date	1998										
		May 11			May 21	Aug. 4			Nov. 9			
		Time	12:00	13:00	14:00	10:45	11:00	11:40	12:30	10:40	11:30	12:20
		Site *	C-①	C-②	C-③	C-④	C-①	C-②	C-③	C-①	C-②	C-③
Depth (m)	0-5											
Nauplius and metanauplius of Copepoda		35.4	56.3	60.0	30.7	30.3	30.3	14.4	11.2	6.2	20.1	
Copepodid and adult of Copepoda		16.1	18.4	12.2	6.0	15.7	13.9	12.0	2.0	0.6	3.0	
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>						0.7	1.4	2.1				
<i>Daphnia pulex</i>				0.1								
<i>Daphnia galeata</i>		5.1	13.3	16.0	15.4	4.2	15.6	13.7	1.4	1.0	3.3	
<i>Bosmina</i> sp.		19.7	11.7	5.0	53.4	4.0	1.0	0.1	5.1	3.0	6.9	
<i>Bosminopsis deitersi</i>				0.1								
<i>Schizocerca diversicornis</i>									0.6	0.3	0.3	
<i>Keratella quadrata</i>		3.0	3.7	2.7	1.8	0.6	0.4	0.3	4.2	2.1	6.5	
<i>Asplanchna</i> sp.				0.1	0.6	21.2	10.0	2.7	0.6	0.4		
<i>Trichocerca</i> sp.							0.1					
<i>Polyarthra</i> sp.		2.8	2.5	1.1	2.7	0.3	0.3		0.6	1.1	0.1	
<i>Synchaeta</i> sp.		36.1	10.9	4.4	16.0	2.3	3.8	3.5	0.3	0.6	0.7	
<i>Filinia longiseta</i>						2.1	1.7	0.4	0.1			
Total		118.2	116.8	101.7	126.6	81.4	78.5	49.2	26.1	15.3	40.9	

* Shown in Fig. 2-1.

Table 2-19. Density (no./L) of zooplankton in Nyu Lake in 1999 and 2000

Species	Sampling date	1999				2000
		Apr. 21	Jun. 23	Sep. 7	Nov. 8	Jan. 24
	Time	10:45	10:45	10:00	10:10	10:20
	Site *	D-①				
Depth (m)		0-3				
Nauplius and metanauplius of Copepoda		4.5	7.1	84.5	0.7	0.7
Copepodid and adult of Copepoda		1.4	2.6	5.2	0.7	0.5
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>				5.4		
<i>Moina</i> sp.					0.7	
<i>Bosmina</i> sp.		0.2	30.9	47.7	69.8	4.2
<i>Brachionus calyciflorus</i>						3.8
<i>Brachionus dimidiatus</i>						9.0
<i>Schizocerca diversicornis</i>				11.6	3.1	
<i>Keratella quadrata</i>		79.5	0.7			
<i>Asplanchna</i> sp.			55.2	5.9	0.5	
<i>Asplanchnopus</i> sp.			1.2			
<i>Polyarthra</i> sp.			0.7	1.4		0.5
<i>Filinia terminaris</i>		9.2	0.9	0.2		2.8
Total		94.8	99.3	161.9	75.5	21.5

* Shown in Fig. 2-2.

Table 2-20. Density (no./L) of zooplankton in Narusawa Lake in 2001 and 2002

Species	Sampling date	2001										2002
		Mar. 13	Apr. 9	Apr. 17	May 18	May 25	May 31	Jul. 3	Jul. 26	Nov. 28	Dec. 26	Jan. 28
	Time	10:00	15:00	14:20	10:30	14:30	14:30	15:30	16:00	10:15	10:15	10:30
	Site *	E-①										
Depth (m)	0-5	0-3	0-3	0-3	0-5	0-3	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	
Nauplius and metanauplius of Copepoda		1.7	7.1	3.1	4.5	5.7	0.7	0.6		0.6	0.3	0.4
Copepodid and adult of Copepoda		0.3	2.4	1.9	0.7		0.7	0.6	0.1		0.1	
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>					0.7			0.6				
<i>Bosmina</i> sp.		0.6	10.9	145.6	1089.2	1094.1	960.1	71.6		6.7	2.5	1.1
<i>Brachionus calyciflorus</i>		8.5	2.8	1.2						0.1	0.8	13.9
<i>Brachionus calyciflorus</i> f. <i>amuraeiformis</i>		27.7	3.8	0.7						0.1		0.4
<i>Brachionus quadridentatus</i> f. <i>brevispinus</i>						0.4	1.9	0.8	3.0			
<i>Keratella cochlearis</i>		1.1	43.4	56.1	0.7	1.8		0.6	21.1	0.3	4.2	8.2
<i>Keratella quadrata</i>		349.9	136.4	66.5	63.0	163.2	27.8	2.0		0.1	48.8	314.6
<i>Asplanchna</i> sp.		23.8	2.4				1.9	20.9	2.4	2.7	11.5	85.4
<i>Trichocerca</i> sp.										6.9	2.4	0.4
<i>Polyarthra</i> sp.		1.1	11.3	1.9						1.0	1.1	1.8
<i>Filinia longiseta</i>		14.7	11.3	2.4		2.8	0.7	0.6	0.1	0.4	1.3	
Total		429.4	231.8	279.4	1158.8	1268.0	993.8	98.3	26.7	18.9	73.0	426.2

* Shown in Fig. 2-2.

Table 2-21. Density (no./L) of zooplankton in Jo Marsh in 1998

Species	Sampling date	1998		
		May 7	Jul. 22	Nov. 5
	Time	11:20	11:30	11:20
	Site *	F-①		
Depth (m)	0-1			
Nauplius and metanauplius of Copepoda		299.4	67.9	8.5
Copepodid and adult of Copepoda		242.0	62.3	15.5
<i>Daphnia longispina</i>		7.1		
<i>Moina</i> sp.		172.0	25.5	16.3
<i>Bosmina</i> sp.		198.2	0.7	0.7
<i>Brachionus calyciflorus</i>		7.1	87.0	85.6
<i>Brachionus quadridentatus</i>				2.8
<i>Schizocerca diversicornis</i>				27.6
<i>Keratella cochlearis</i>			2.8	
<i>Keratella quadrata</i>		8.5		
<i>Asplanchna</i> sp.		82.8	230.0	145.8
<i>Filinia longiseta</i>			21.9	6.4
Total		1017.1	498.1	309.2

* Shown in Fig. 2-2.

第3章 ワカサギのふ化放流過程における諸問題とその対策

1 緒言

第1章で述べたとおり、ワカサギの増殖事業においては受精卵放流を主体とした人為的な管理が生活史初期に行われ、このふ化放流過程での減耗がその後の資源量に大きく影響を及ぼすと推察されている。しかし、本種について資源管理を行う上で、こうした生活史初期の管理方法に関して検討した報告は少ない(岩井・柘植 1986; 岩井・長間 1986; 橘川ら 2003)。そのため、この時期における減耗量が明らかにされておらず、資源への正確な加入量の把握が困難となり、資源量変動を解明する上で大きな支障を来している。そこで、放流卵の収容時、ふ化時、仔魚の資源加入時という各段階における現存量の変動(減耗量)を把握するとともに減耗要因を明らかにして、加入量を安定かつ増大させるふ化管理の対策を検討した。

現在、群馬県のワカサギ漁場では諏訪湖、網走湖、田代湖などに放流卵の供給を依存している。これまでに諏訪湖産放流卵の発眼率を算出した事例(信沢・小西 1994, 1995, 1996)はあるが、流入河川に遡上した親魚の自然産卵から得た放流卵を含めた各産地別のふ化率やシュロ枠1枚当たりの着卵数を算出した事例はないため、ふ化した仔魚尾数をより正確に推定できなかった。そこで、各漁場に放流された受精卵の産地別ふ化率とシュロ枠1枚当たり着卵数を継続的に調査した。

近年、赤城大沼と榛名湖では、湖畔に建設されたふ化場において放流卵のふ化から仔魚の湖水への放流までを人為的に管理することで、資源加入量の増大を図っている。ふ化直後から給餌をすることが初期減耗を低減するとともにその後の成長にも有効とされている(岩井・柘植 1986)ことから、ふ化場を用いた増殖事業をより効果的に運用するためには、ふ化後の仔魚をふ化水槽から初期餌料であるプランクトンが存在する湖水へ速やかに放流する必要がある。しかし、各漁場で異なる水温に応じた放流卵のふ化に要する日数や、ふ化水槽からの仔魚の速やかな流出方法に関する知見は乏しく、適切な放流時期や効果的な流出方法が不明であった。そこで、水温別に受精からふ化終了に要する期間を明らかにし、ふ化水槽の排水位置を変化させて仔魚の流出状況を観察した。

赤城大沼のふ化場から赤城大沼流入河川(覚満川)に放流された仔魚は、湖水まで約200m流下している。また、ふ化時期の水位変動が大きい人工湖の神流湖では、神流湖流入河川に積石して造成した淵に受精卵を放流し、ふ化した仔魚は数カ所の落ち込みを経て湖水に流下している。こうした天然河川を流下する際、落ち込みなどによる衝撃がワカサギ仔魚の生残率に及ぼす影響に関する

報告はなく、仔魚をより安全かつ速やかに湖水まで流下させる対策が講じられない。そこで、落下高などの落下条件を変化させて仔魚の生残率を算出し、河川流下時の減耗を可能な限り生じさせないように仔魚を漁場に導く対策を検討した。

ふ化直後の仔魚の遊泳生態に関する報告がないため、増殖現場では従来からふ化直後の仔魚は沈降すると考えて、深い湖沼に放流される受精卵を放流地点直下の底層に低酸素層が存在しない浅場に收容していた。急深な人工湖においてこうした浅場は、濁水や水位変動などによる影響を大きく受けてふ化率低下が危惧される流入部以外に少なく、適当な放流地点の選定に苦慮している。そこで、ふ化直後の仔魚の遊泳力と遊泳水深を観察して放流地点選定の根拠を再検討した。また、遊泳生態を利用して仔魚をふ化水槽の排水部へ導いて流出を促進したり、第5章で述べるような溜池の排水口から仔魚を遠ざけて流出を防止したりする対策手段の1つとして走光性についても調べた。

2 材料と方法

1) 放流卵の産地別ふ化率とシュロ枠1枚当たり着卵数

(1) 供試卵 1998年から2004年に赤城大沼、榛名湖、神流湖、鳴沢湖、丹生湖および梅田湖に放流された諏訪湖産、田代湖産、網走湖産、蟹沢(鳴沢湖)産および覚満川(赤城大沼)産のワカサギ受精卵を供試した。

現地にて、受精卵が付着したシュロ枠のうちシュロ貼付量と着卵数が肉眼的に平均的であると判断した数枚から、それぞれ1枚当たりシュロを約45cmずつ1枚切断し、湖水とともに実験室に搬入した。

(2) ふ化管理 井戸水(水温約15℃)を注入しているウォーターバス中に、曝気済みの井戸水2Lが入ったガラス製2L容ビーカーを設置し、その中に供試卵が付着したシュロを1枚ずつ收容した。その後ふ化完了まで、室内自然光下でビーカー内の飼育水は曝気せずに管理したが、適宜曝気済みの同水温の井戸水で換水した。供試卵の大部分のふ化が終了したと判断された時点で、ホルマリン原液をビーカーに注入することにより仔魚と供試卵(発眼卵と死卵)を固定(5%ホルマリン)してそれぞれ計数するとともにシュロ面積を算出し、推定ふ化率(供試卵数に対するふ化尾数と発眼卵数の合計百分率)とシュロ枠1枚当たりの推定着卵数を求めた。

2) 受精卵の水温別ふ化期間

(1) 供試卵 2000年5月26日19時頃、覚満川下流部において赤城大沼から遡上してきたワカサギ182尾(平均全長±標準偏差=6.9cm±0.8, 平均体長±

標準偏差=5.8cm ± 0.6, 平均体重±標準偏差=1.9g ± 0.6, 平均肥満度±標準偏差=9.2 ± 0.8, n=50)を手網により採捕し, 河川水とともに実験室へ活魚輸送した後, 雌雄選別を行い排卵魚 9 尾から採卵した。この搾出卵を 1 つにまとめて複数の雄親魚の精子を加え媒精させ, 同日 21 時 30 分頃に受精(乾導法)させてシュロ枠 5 枚に着卵させた卵を供試した。

(2) 試験区 8℃, 12℃および 16℃に水温設定したウォーターバス 3 槽に, 曝気済みの井戸水 2L が入ったガラス製 2L 容ビーカーを 1 槽当たり 5 個ずつ浸漬して 3 水温の試験区(8℃区, 12℃区および 16℃区)を設定した。供試卵が付着した 5 枚のシュロ枠それぞれから 1 枚当たりシュロを約 150 cm²ずつ 3 枚切断し, 各枠から各試験区のビーカー 1 個へ 1 枚ずつ収容した。その後ふ化完了まで, 室内自然光下でビーカー内の飼育水は曝気せずに管理したが, 適宜曝気済みの同水温の井戸水で換水するとともに, デジタル式水温計での毎日の水温を測定した。

(3) ふ化期間 ふ化開始から完了までは, ふ化尾数を経日的に把握するため, 毎日 15 時頃に, 曝気済みの同水温の井戸水 2L が入った別のガラス製 2L 容ビーカーへ静かに供試卵の付着したシュロを移し, ホルマリン原液をビーカーに注入することにより残存している仔魚を固定(5%ホルマリン)して計数した。各試験区の推定ふ化率は 99%以上であった。

3) 仔魚のふ化水槽からの流出方法

(1) 供試卵 2003 年 4 月 7 日と同月 8 日にそれぞれ鳴沢湖と榛名湖に放流された諏訪湖産ワカサギ放流卵(推定ふ化率 97%と 100%)を, シュロに付着した状態で実験室に搬入し, 井戸水(水温約 15℃)を注入しながら曝気しているウォーターバス中で自然光下でふ化直前まで管理した発眼卵を供試した。

(2) 試験区 76L 容 FRP 製水槽(66 × 36 × 水深 32cm)を 2 水槽ずつ 1 試験区とし, 井戸水(水温約 15℃)の注水量が異なる 3 試験区(多流量区, 中流量区および少流量区)を設定した。各試験区内の 2 水槽は, 注水量を同量とするため上流側水槽の排水が下流側水槽の注水となるよう直列上下に設置した(Fig. 3-1A)。そして, 上流側水槽の排水は水面に位置する直径 10mm の穴から(以下, 水面排水と略記), 下流側水槽の排水は底層部から(以下, 底層排水と略記)行った(Fig. 3-1B)。各試験区内の水面排水と底層排水の水槽注水側底部へ, 同一シュロ枠から供試卵が付着したシュロを均等に切断し重しを付けて計約 333 cm²ずつ収容した。ふ化後流出してくる仔魚を, 両水槽の排水直下にネット(目合 0.125mm)を設置して採集し, 経時的に流出仔魚尾数を計数した。

4 月 17 日 17 時に供試卵を収容し, 18 日 10 時(供試卵収容 17 時間後)と 17 時

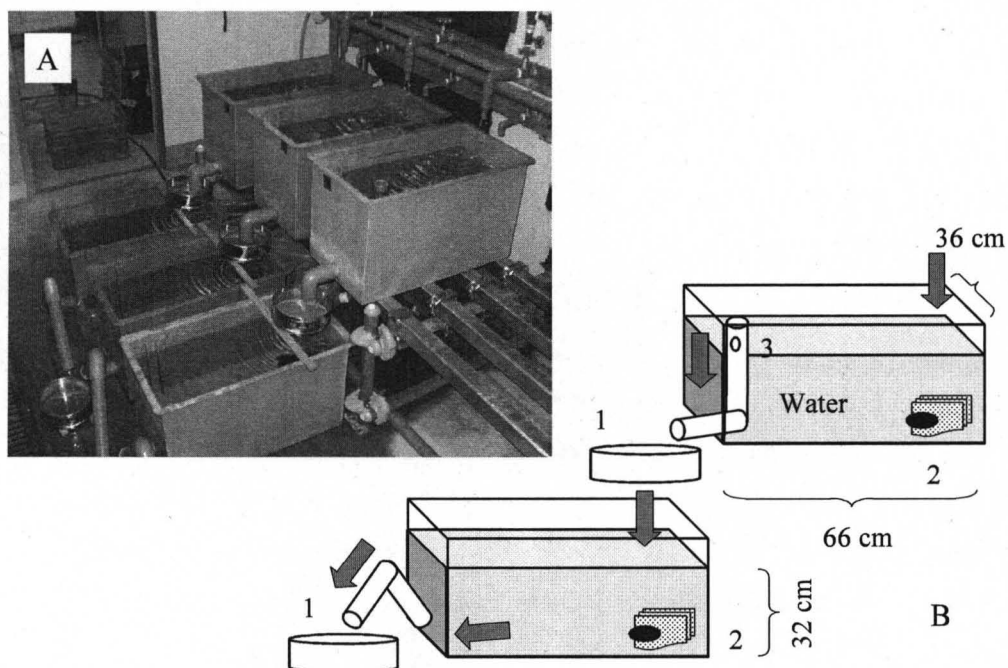


Fig. 3-1. Photograph (A) and schematic diagram (B) of experimental system for the effusion test of wakasagi larvae. 1, net (mesh size=0.125 mm); 2, eggs on Shuro with weight; 3, drain hole (diameter=10 mm) of vertical pipe. Arrows indicate water flow.

(同 24 時間後), 19 日 9 時 (同 40 時間後) と 13 時 (同 44 時間後) にネット内の流出仔魚尾数を計数した。19 日 9 時に供試卵をシュロごと取り除き, 13 時に水槽内の残留仔魚尾数を計数して試験を終了した。また, 流出仔魚尾数計数時に各試験区の注水量を測定した。

なお, 試験は室内自然光下で行われ, 試験中の水温は 14.7 ~ 16.3 °C, pH は 7.0 ~ 7.1, 溶存酸素量は 8.76 ~ 9.22mg/L であった。

4) 仔魚の流下にともなう衝撃と生残率

(1) 供試魚 2003 年 3 月 25 日と 4 月 17 日に鳴沢湖へそれぞれ放流された諏訪湖産 (推定ふ化率 90%) と蟹沢産ワカサギ放流卵 (同 98%) を, シュロに付着した状態で実験室に搬入し, 井戸水 (水温約 15 °C) を注入しながら曝気しているウォーターバス中でふ化直前まで管理した。試験前日 17 時にこのウォーターバス中に設置した曝気済みの井戸水 1 ~ 2L が入った数個のガラス製 2L 容ビーカーに, この発眼卵付きのシュロをそれぞれ約 166 cm² ずつ収容して室内自然光下でふ化させた仔魚を供試した。

(2) 試験区 試験直前に供試魚が飼育されているビーカー内のシュロを取り除き, さらに沈殿している死卵, 発眼卵, 卵膜およびシュロ片などを飼育水とともにピペットを用いて静かに排出し, 各ビーカー内水量を曝気済みの井戸

水(水温約 15℃)により 1L に調整した。

ビーカー内の供試魚を飼育水 1L とともに規定の高さ(0.1 ~ 2.0m)からポリプロピレン製タライ(直径 58cm, 深さ 27cm)内のガラス製シャーレ(直径 22cm, 深さ 5cm)へ約 20 秒かけて落下させた。このシャーレの表裏を使い分け、井戸水を満たした場合{水深 5cm (Fig. 3-2A)}と底面を上にした場合{水深 0cm (Fig. 3-2B)}の 2 通りの落下衝撃条件も設定した。落下後、直ちにタライ(シャーレ)から同ビーカーへ飼育水とともに供試魚を丁寧に回収し 24 時間静置した(落下衝撃区)。

また、ビーカー内の供試魚を飼育水 1L とともに傾斜(勾配 0.2/1.5)したポリプロピレン製凹型雨樋(長さ 1.5m, 幅 6cm)の上端から約 20 秒かけて流下させ、下端において空のガラス製 2L 容ビーカーで流下してきた供試魚と飼育水を回収した(Fig. 3-2C)。この流下作業を速やかに規定の回数(1, 5, 10, 20 および 40 回)繰り返した後、同ビーカーに回収した供試魚を 24 時間静置した(流下衝撃区)。

落下または流下させた供試魚の回収から 3 および 24 時間後の死亡尾数を計数するとともに、24 時間後にはホルマリン原液をビーカーに注入することにより生残魚を固定(5%ホルマリン)して生残尾数を計数した。

なお、落下や流下操作を行わずに供試魚を静置させたビーカーを対照区とし

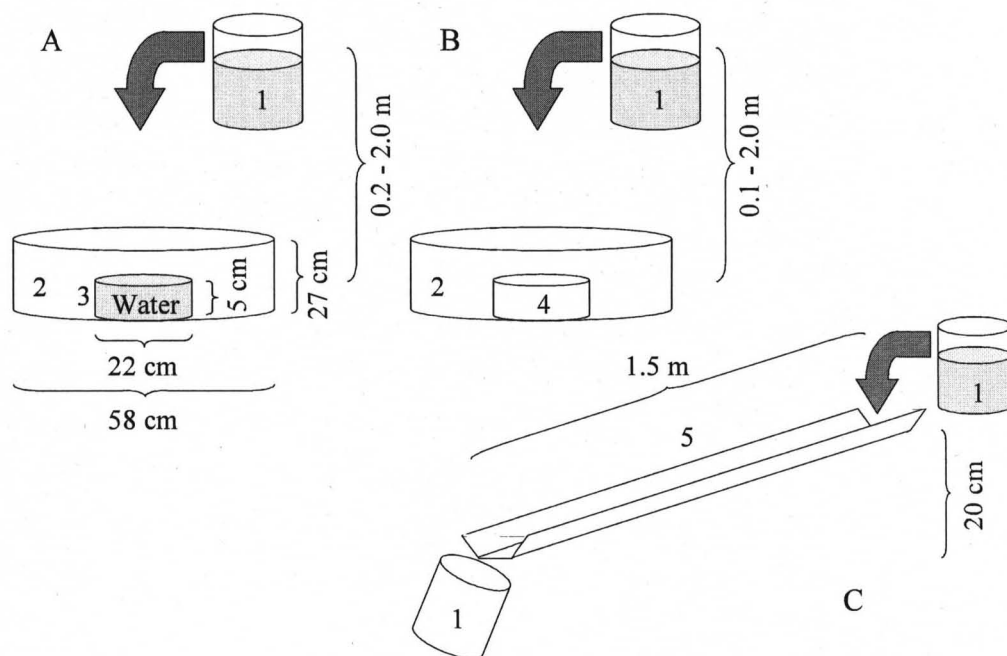


Fig. 3-2. Schematic diagrams of experimental system for the vertical drop tests (A, B) and the sloping drop test (C) of wakasagi larvae. 1, beaker (volume=2 L); 2, tub; 3, water filled schale; 4, upside-down schale; 5, gutter. Arrows indicate water flow.

た。試験中の水温は 14.7 ~ 15.8 °C, pH は 7.4, 溶存酸素量は 7.47 ~ 8.77mg/L であった。

5) 仔魚のふ化直後における遊泳力と遊泳水深

(1) 供試魚 2002 年 5 月 2 日と 2003 年 4 月 21 日に鳴沢湖へそれぞれ放流された蟹沢産ワカサギ放流卵{推定ふ化率未推定(2002 年)と 99%(2003 年)}を, シュロに付着した状態で実験室に搬入し, 井戸水(水温約 15 °C)を注入しているウォーターバス中に曝気済みの井戸水 2L が入ったガラス製 2L 容ビーカーを設置し, その中に放流卵が付着したシュロを 1 枚ずつ収容した。その後ふ化まで室内自然光下でビーカー内の飼育水は曝気せずに管理したが, 適宜曝気済みの同水温の井戸水で換水した。放流卵のふ化開始 3 日後(2002 年 5 月 14 日)と 1 日後(2003 年 4 月 29 日)に, 飼育水を入れたガラス製シャーレ(直径 9.5cm, 深さ 1.5cm)へふ化直前の発眼卵をシュロごと移し, 実体顕微鏡下でふ化を確認した仔魚を供試した。

(2) 試験状況 曝気済み井戸水が 100cm 入ったガラス製 100cm 透視度計(直径 3cm)の水深 20cm 部分に, ふ化後 1 分以内の供試魚を飼育水とともにピペットを用いて 1 尾ずつハンドリングによるダメージが生じないように静かに移した。その後, 遊泳状態を観察しながら 1 分間隔で 30 分間の遊泳水深を記録した。この作業を 2002 年は 5 尾(供試魚 No. 1 ~ 5), 2003 年は 6 尾(供試魚 No. 6 ~ 11)について行った。

なお, 試験は昼間, 室内の天井蛍光灯照明下で行い, 試験中の水温は 20.5 °C ± 1.0(2002 年)と 22.0 °C ± 0.5(2003 年), 天井方向の照度(TOKYO OPTICAL TOPCON IM-2D)は 606Lx(2002 年)と 960Lx(2003 年)であった。

6) 仔魚の蛍光灯に対する走光性

(1) 供試魚 2003 年 4 月 21 日に赤城大沼へ放流された諏訪湖産ワカサギ放流卵(推定ふ化率 96%)を, シュロに付着した状態で実験室に搬入し, 井戸水(水温約 15 °C)を注入しながら曝気しているウォーターバス中でふ化直前まで管理した。試験前日(4 月 27 日)15 時にこのウォーターバス中に設置した曝気済みの井戸水 1L が入った数個のガラス製 2L 容ビーカーに, この発眼卵付きのシュロをそれぞれ約 166 cm²ずつ収容して室内自然光下でふ化させた仔魚を供試した。

(2) 試験状況 曝気済み井戸水が 1.7L(水深 10cm)入った 3L 容ポリスチレン製水槽(28 × 6 × 水深 17cm)を 2 水槽用意し, 携行用 6W 蛍光灯ランプを中心にして左右対象となるよう両水槽を暗室内に設置するとともに, 水槽の正面と

蛍光灯側側面以外の4面(上下面, 背面および蛍光灯反対側側面)に遮光の目的で黒紙を貼付した(Fig. 3-3A, B)。試験当日(4月28日)11時に遊泳状態が良好な供試魚を飼育水とともにピペットを用いて1尾ずつハンドリングによるダメージが生じないように静かに1水槽当たり5尾を移した。12時から30分間, 室内照明および蛍光灯を消灯して暗期とした。12時30分から蛍光灯のみを点灯し明期とし, 点灯30分後に両水槽における供試魚の正面から見た遊泳位置を水槽正面に油性マジックペンでマーキングした。その後, 水槽の蛍光灯に対する左右の設置位置を交換するとともに, 両水槽側面の黒紙を反対側に貼付し直して, 13時から30分間暗期, 13時30分から明期として点灯30分後の遊泳位置をマーキングした。

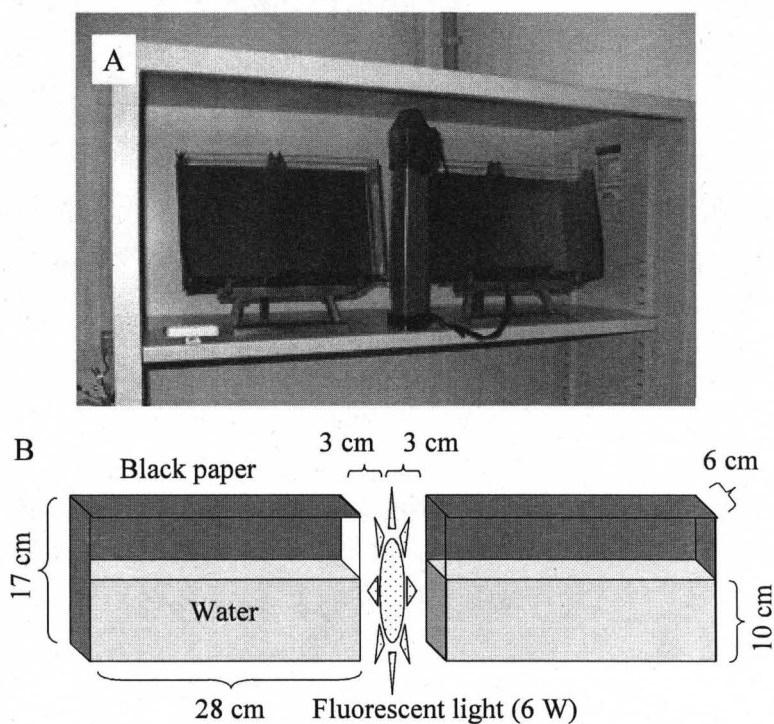


Fig. 3-3. Photograph (A) and schematic diagram (B) of experimental system for the phototaxis test of wakasagi larvae.

各マーキング点の蛍光灯側側面と底面からの垂直距離を定規を用いてそれぞれ測定し, 水槽正面を座標面, マーキング点から蛍光灯側側面への距離方向をx軸(横軸)および底面への距離方向をy軸(縦軸)とした座標系を設定して遊泳位置を表した。

さらに, 同様に供試魚と井戸水を入れ替えて, 15時から前述した操作(暗期と明期を2セット)をもう1回行った。

なお, 試験中の水温は19.5℃, 蛍光灯の照度(TOKYO OPTICAL TOPCON IM-2D)は1613Lxであった。

3 結果

1) 放流卵の産地別ふ化率とシュロ枠 1 枚当たり着卵数

放流卵の各産地ごとの放流水域，放流年別の推定ふ化率とシュロ枠 1 枚当たり推定着卵数を Table 3-1 に示した。調査したシュロ枠 173 枚の産地別の平均推定ふ化率とシュロ枠 1 枚当たり平均推定着卵数は，諏訪湖産 ($n=70$) が 85%と 11143 粒/枠，田代湖産 ($n=38$) が 74%と 4571 粒/枠，網走湖産 ($n=19$) が 65%と 8490 粒/枠，蟹沢産 ($n=30$) が 97%と 4800 粒/枠，覚満川産 ($n=16$) が 95%と 9044 粒/枠であった。

推定ふ化率については，蟹沢産と覚満川産は諏訪湖産に比べ有意に高かった (蟹沢産，Mann-Whitney test, $z=4.10$, $P<0.0001$ ；覚満川産，Mann-Whitney test, $z=2.64$, $P<0.01$)。また，田代湖産に比べても有意に高かった (蟹沢産，Mann-Whitney test, $z=3.47$, $P<0.001$ ；覚満川産，Mann-Whitney test, $z=2.24$, $P<0.05$)。一方，鳴沢湖に放流された諏訪湖産 ($n=27$)，田代湖産 ($n=16$) および蟹沢産 ($n=30$) については，田代湖産は年度間で有意に差があった (Kruskal-Wallis test, $h=11.71$, $df=3$, $P<0.01$)。また，赤城大沼に放流された覚満川産 ($n=16$) については，年度間で有意に差があった (Kruskal-Wallis test, $h=8.30$, $df=2$, $P<0.05$)。

シュロ枠 1 枚当たり推定着卵数については，諏訪湖産に比べて田代湖産と蟹沢産は有意に少なかった (田代湖産，Mann-Whitney test, $z=4.84$, $P<0.0001$ ；蟹沢産，Mann-Whitney test, $z=4.36$, $P<0.0001$)。一方，鳴沢湖に放流された諏訪湖産 ($n=27$)，田代湖産 ($n=16$) および蟹沢産 ($n=30$) については，蟹沢産は年度間で有意に差があった (Kruskal-Wallis test, $h=16.51$, $df=3$, $P<0.001$)。また，赤城大沼に放流された覚満川産 ($n=16$) については，年度間で有意に差があった (Kruskal-Wallis test, $h=8.22$, $df=2$, $P<0.05$)。

放流卵の各産地ごとの放流水域，放流年別のシュロ枠 1 枚当たり平均推定着卵数と平均推定ふ化率の関係を Fig. 3-4 に示した。蟹沢産 ($n=6$) と覚満川産 ($n=3$) では，推定着卵数が多いほど推定ふ化率が低下する傾向を示した。諏訪湖産 ($n=14$) では，推定着卵数と推定ふ化率の相関は認められなかった。

2) 受精卵の水温別ふ化期間

試験期間中のピーカー内の水温は，8℃区は 7～10℃，12℃区は 10～13℃，16℃区は 14～17℃の範囲内で変動した。各水温区のふ化状況を Fig. 3-5, 3-6 に示した。

8℃区のふ化は，受精 28 日後の 6 月 23 日に開始され，受精 36 日後の 7 月 1 日にピークとなり，受精 40 日後の 7 月 5 日まで 13 日間に及んだ。累積ふ化尾数が最終的なふ化尾数の約 90%に達する時期は，ふ化開始から 10 日後 (受精 37

Table 3-1. Estimated hatching rates (%) and numbers of eggs in a unit of Shuro frame (462 cm²) in various localities of released wakasagi eggs

Locality of released eggs	Released lake	Releasing date	No. of observed Shuro frame	Estimated hatching rate (%)			Estimated no. of eggs in a unit of Shuro frame		
				Mean	±	SD	Mean	±	SD
Suwa Lake	Akagionuma Lake	1998/4/26	6	97	±	2	8871	±	2907
		1999/5/2	6	31	±	30	13787	±	4414
		2003/4/21	5	96	±	3	17892	±	6473
	Haruna Lake	1998/4/15	5	93	±	6	13531	±	6474
		2001/4/11	5	87	±	4	9649	±	2739
		2003/4/8	5	100	±	0	7506	±	2922
	Kanna Lake	1998/4/25	5	68	±	40	6707	±	5616
		1999/5/4	6	81	±	7	2542	±	1426
	Karusawa Lake	2000/4/17	5	92	±	2	14163	±	3463
		2001/3/29	5	96	±	1	16688	±	16568
		2002/4/2	3	75	±	22	5441	±	2688
		2003/3/25	5	90	±	2	10531	±	2943
		2003/4/7	4	97	±	3	6281	±	3439
	2004/4/23	5	96	±	2	20804	±	16777	
	Total		70	85	±	24	11143	±	8942
Tashiro Lake	Akagionuma Lake	1999/4/25	6	35	±	14	4625	±	3818
	Haruna Lake	1998/5/1	5	91	±	10	5694	±	1740
	Kanna Lake	1998/4/25	5	100	±	0	884	±	791
	Karusawa Lake	2001/4/24	3	97	±	4	1875	±	963
		2002/4/23	3	70	±	6	4914	±	2202
		2003/4/24	5	100	±	1	544	±	325
		2004/4/21	5	88	±	7	7545	±	1943
Nyu Lake	1999/4/19	6	34	±	27	8708	±	3900	
	Total		38	74	±	31	4571	±	3833
Abashiri Lake	Akagionuma Lake	2003/4/24	5	99	±	1	1412	±	648
	Haruna Lake	2001/4/13	5	51	±	6	3955	±	1235
	Kanna Lake	2000/4/24	5	40	±	8	20251	±	3321
	Umeda Lake	2002/4/10	4	71	±	5	8303	±	1403
	Total		19	65	±	24	8490	±	7670
Kani Stream (Narusawa Lake)	Karusawa Lake	2001/4/11	5	100	±	0	423	±	336
		2002/4/16	5	88	±	10	9155	±	2633
		2003/4/17	5	98	±	3	4520	±	3277
		2003/4/21	5	99	±	2	5047	±	918
		2004/4/13	5	98	±	5	4256	±	1638
		2004/4/21	5	98	±	4	5398	±	3065
	Total		30	97	±	6	4800	±	3406
Kakuman River (Akagionuma Lake)	Akagionuma Lake	1998/4/26	6	91	±	12	16682	±	7105
		1999/4/30	5	96	±	4	2709	±	1297
		2003/4/27	5	100	±	0	6213	±	4382
		Total		16	95	±	9	9044	±

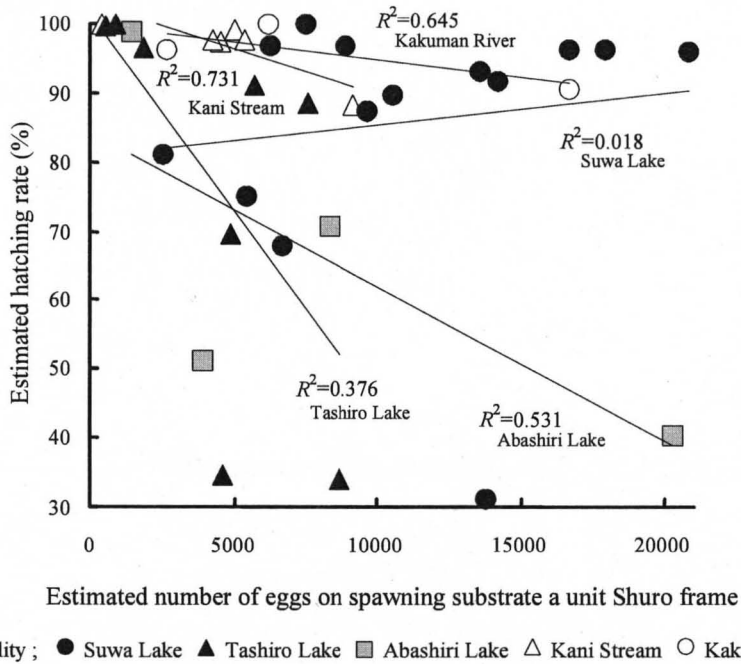


Fig. 3-4. Relationship between estimated numbers of wakasagi eggs on spawning substrate in a unit of Shuro frame (462 cm²) and hatching rate. Lines were fitted to the observed values in the same locality of eggs using a linear least square method. R^2 , Coefficient of determination.

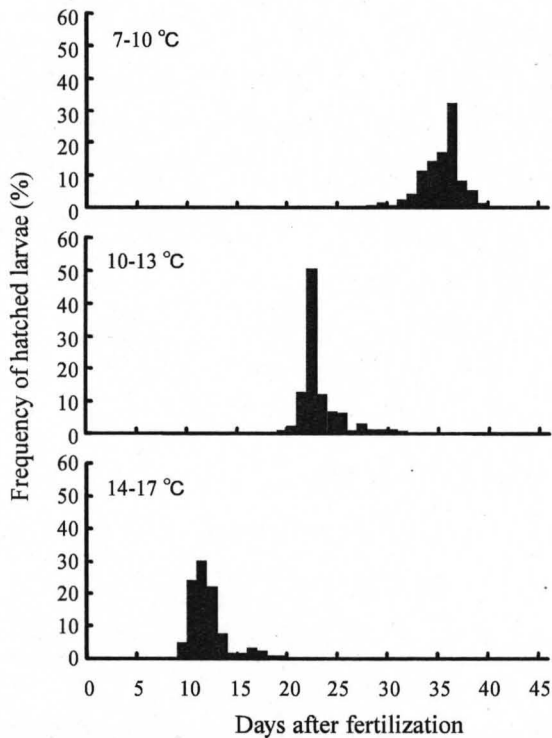


Fig. 3-5. Daily changes of the frequency of hatched wakasagi larvae after the artificial fertilization on various water temperature.

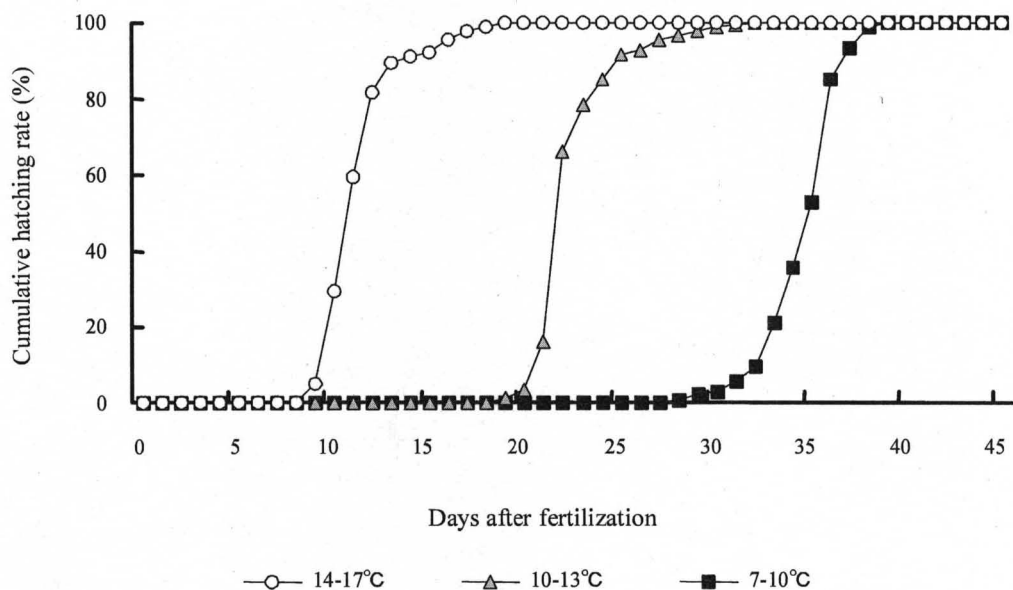


Fig. 3-6. Cumulative hatching rates of wakasagi after the artificial fertilization on various water temperature.

日後)であった。

12℃区のみ化は、受精19日後の6月14日に開始され、受精22日後の6月17日にピークとなり、受精32日後の6月27日まで14日間に及んだ。累積ふ化尾数が最終的なふ化尾数の約90%に達する時期は、ふ化開始から7日後(受精25日後)であった。

16℃区のみ化は、受精9日後の6月4日に開始され、受精11日後の6月6日にピークとなり、受精19日後の6月14日まで11日間に及んだ。累積ふ化尾数が最終的なふ化尾数の約90%に達する時期は、ふ化開始から5日後(受精13日後)であった。

3) 仔魚のみ化水槽からの流出方法

各試験区の平均注水量±標準偏差と平均換水率(水槽容量/平均注水量)は、多流量区が20.9mL/s ± 0.5と60.7min/回、中流量区が17.3mL/s ± 0.4と73.2min/回および少流量区が10.7mL/s ± 0.2と118.7min/回であった。

4月17日17時の供試卵収容直後から各試験区ともにふ化が開始され、その後の累積流出仔魚尾数(割合)と試験終了時の残留仔魚尾数(割合)をTable 3-2に示した。収容17時間後には、少流量区水面排水と中流量区水面排水の2水槽以外は、試験終了時までのふ化仔魚尾数の90%以上がすでに流出していた。試

Table 3-2. Cumulative numbers and percentage (in parenthesis) of effused and remained wakasagi larvae after immersion of eyed eggs in experimental tanks drained two ways by various current volume

Current volume (mL/s)	Position of drain hole	Hours after immersion of eyed eggs				Remained larvae
		Effused larvae				
		17	24	40	44	
20.9	Surface	2345 (96.1)	2356 (96.6)	2380 (97.6)	2381 (97.6)	58 (2.4)
	Bottom	2348 (96.9)	2367 (97.7)	2370 (97.8)	2377 (98.1)	46 (1.9)
17.3	Surface	1746 (88.8)	1764 (89.7)	1816 (92.4)	1817 (92.4)	149 (7.6)
	Bottom	3292 (94.7)	3314 (95.3)	3347 (96.2)	3350 (96.3)	128 (3.7)
10.7	Surface	1495 (76.1)	1598 (81.3)	1673 (85.1)	1679 (85.4)	286 (14.6)
	Bottom	1875 (92.5)	1918 (94.6)	1949 (96.2)	1952 (96.3)	75 (3.7)

験終了時において、水面排水、底層排水ともに注水量が多い方が累積流出仔魚尾数割合が有意に高かった(水面排水, *chi-squared test*, $\chi^2=226.08$, $df=2$, $P<0.0001$; 底層排水, *chi-squared test*, $\chi^2=17.70$, $df=2$, $P<0.001$)。また、少流量区と中流量区においては底層排水の方が水面排水より累積流出仔魚尾数割合が有意に高かったが(少流量区, *chi-squared test*, $\chi^2=142.92$, $df=1$, $P<0.0001$; 中流量区, *chi-squared test*, $\chi^2=39.53$, $df=1$, $P<0.0001$)、多流量区においては有意差が認められなかった(*chi-squared test*, $\chi^2=1.34$, $df=1$, $P>0.2$)。

なお、仔魚(鮮魚)の平均全長±標準偏差は、5.3mm ± 0.5 (n=180)であった。

4) 仔魚の流下にともなう衝撃と生残率

ふ化後 18 時間以内の供試魚に落下および流下衝撃を与えた後の生残率を Table 3-3 に示した。

落下衝撃区のうちガラス面へ垂直に落下する場合、つまり落下点に水がない場合は、高くなるにつれて生残率が有意に低下した(*chi-squared test*, $\chi^2=318.75$, $df=6$, $P<0.0001$)。一方、落下点に水深 5cm の水がある場合は、落下高による生残率に有意差が認められなかった(*chi-squared test*, $\chi^2=4.49$, $df=5$, $P>0.4$)。また、累積死亡尾数に占める落下後 3 時間以内の死亡尾数の割合は、水がない場合の方が水がある場合より高かった。

流下衝撃区では、反復回数が増すにつれて生残率が有意に低下した(*chi-squared test*, $\chi^2=199.93$, $df=5$, $P<0.0001$)。

落下点に水がない場合の落下衝撃区の死亡魚については、頭部後方が顕著に屈曲していた個体が実体顕微鏡下で多く観察された。

なお、供試魚(固定後)の平均全長±標準偏差は、4.7mm ± 0.3 (n=30)であった。

Table 3-3. Cumulative numbers of dead and live wakasagi larvae, and survival rates (%) (in parenthesis) after vertical drop from various height to upside-down ($d=0$ cm) and water filled ($d=5$ cm) schale, and sloping drop by gutter ($l=1.5$ m)

Water depth in the schale and gradient of the gutter	Drop height (m) and revolution	Hours after dropped		
		Dead larvae		Live larvae
		3	24	24
0 cm	2.0	106	111	684 (86.0)
	1.5	110	113	910 (89.0)
	1.0	28	32	825 (96.3)
	0.5	11	14	1058 (98.7)
	0.2	28	29	944 (97.0)
	0.1	5	5	378 (98.7)
5 cm	2.0	3	4	1028 (99.6)
	1.5	0	3	879 (99.7)
	1.0	1	2	997 (99.8)
	0.5	0	2	994 (99.8)
	0.2	0	1	738 (99.9)
0.2/1.5	1	2	3	959 (99.7)
	5	19	22	1277 (98.3)
	10	41	44	1033 (95.9)
	20	30	37	1320 (97.3)
	40	99	106	1103 (91.2)
Control		0	0	988 (100)

5) 仔魚のふ化直後における遊泳力と遊泳水深

ふ化後 30 分間以内における供試魚の遊泳水深を Table 3-4, Fig. 3-7 に示した。

供試魚 No. 1 は、投入 3 分後まで魚体を S 字状にくねらせながら水深 50cm 付近まで沈降したが、その後、姿勢を安定させ水面方向へ遊泳し、投入 12 分後以降は水面付近に定位した。

供試魚 No. 2 は、投入後直ちに遊泳状態で水面まで急上昇し水面付近で定位したが、投入 10 分後に突然遊泳動作を停止し頭部を下にして垂直に沈降した。投入 13 分後に着底した途端に遊泳動作を再開して急上昇し、投入 20 分後以降は水面付近に定位した。

供試魚 No. 3, No. 4 および No. 6 は、投入後直ちに遊泳状態で水面まで急上昇し水面付近に定位した。

供試魚 No. 5 は、投入後直ちに遊泳状態で水面まで急上昇したが、投入後 7

Table 3-4. Swimming depth (cm) of just hatched wakasagi larvae after released at 20 cm depth in glass column (100 cm depth)

Experiment date	Specimen no.	Minutes after releasing																														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
May 2, 2002	1	20	37	48	50	50	46	44	41	35	30	26	12	3	2	1	5	3	2	3	1	3	1	8	1	6	4	4	2	3	2	2
	2	20	2	0	1	0	2	1	0	0	1	7	40	73	100	92	69	35	36	16	7	5	0	1	0	2	0	0	1	0	2	0
	3	20	14	3	0	0	1	0	1	0	2	0	0	3	0	2	0	3	0	1	0	0	6	0	1	0	1	1	1	0	1	0
	4	20	3	0	0	0	2	0	2	2	0	0	1	0	0	0	0	6	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	1
	5	20	13	5	0	7	4	0	12	18	5	0	2	0	0	0	1	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
Apr. 21, 2003	6	20	5	0	1	1	0	0	1	0	0	4	2	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	2	5	1	0	1	0	0
	7	20	14	14	7	3	7	1	10	6	11	10	12	8	7	4	5	10	6	8	10	31	50	50	70	85	63	47	40	73	100	100
	8	20	15	17	21	31	10	4	3	8	13	1	12	23	31	35	6	4	7	10	12	2	3	3	2	0	3	5	3	0	2	0
	9	20	1	0	0	0	0	0	1	3	15	5	6	1	2	5	0	4	1	1	0	2	1	1	3	0	1	1	0	1	0	0
	10	20	2	1	0	1	4	3	6	0	2	0	4	2	1	9	6	2	3	3	5	1	7	4	6	10	14	14	10	7	7	9
	11	20	10	6	10	17	24	13	3	5	2	4	6	12	19	25	32	15	22	0	0	1	12	6	1	0	2	0	4	0	1	4

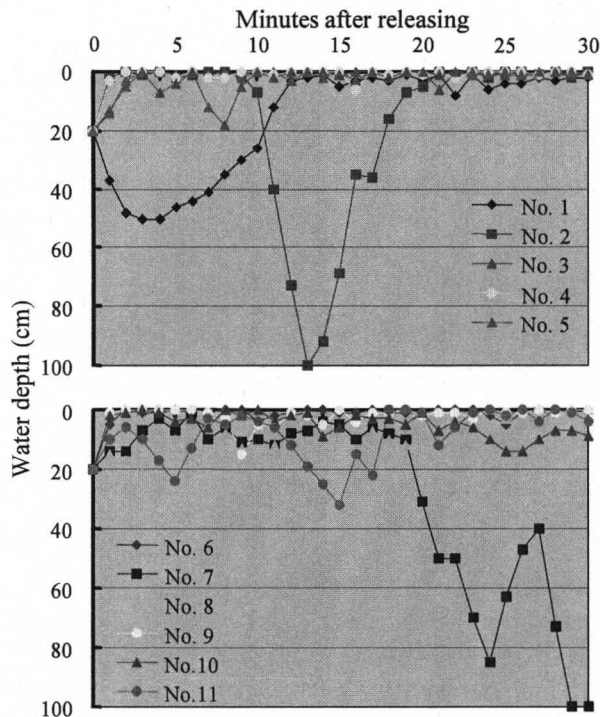


Fig. 3-7. Swimming depth (cm) of just hatched wakasagi larvae after released at 20cm depth in glass column (100 cm depth). Specimen no. 1-5 were experimented in 2002 and no. 6-11 were done in 2003.

～ 8 分後に水深 20 cm 付近まで下降してから水面まで再上昇し、投入 10 分後以降は水面付近に定位した。

供試魚 No. 7 は、ふ化時から頭部後方が屈曲しており、遊泳動作も極めて不安定であった。投入後水面付近まで緩やかに上昇したが、水面付近で定位することなく水深 10cm 付近を上下していた。投入 19 ～ 24 分後には水深 85cm 付近まで下降し、一旦水深 40cm 付近まで上昇したが再び下降し、投入 29 分後以降は無動作で着底していた。投入 30 分後の試験終了時には死亡していた。

供試魚 No. 8 は、投入から 14 分後まで水面から水深 35cm 付近を遊泳していたが、投入 15 分後以降は水面付近に定位した。

供試魚 No. 9 は、投入後直ちに遊泳状態で水面まで急上昇したが、投入 9 分後に水深 15cm 付近まで下降してから水面まで再上昇し、投入 10 分後以降は水面付近に定位した。

供試魚 No. 10 は、投入後直ちに遊泳状態で水面まで急上昇し水面付近で定位したが、投入 25 ~ 26 分後に水深 14cm 付近まで下降してから水面付近まで再上昇した。

供試魚 No. 11 は、投入後水面付近まで遊泳状態で上昇したが定位することなく水深 24cm 付近まで下降し、水面付近までの上昇と水深 32cm 付近までの下降を経て、投入 22 分後以降は水面付近に定位した。

以上のように各供試魚の遊泳動作は上昇と定位にほとんど限定され、積極的に下降する供試魚は観察されなかった。なお、無動作で頭部を下にして垂直に沈降する時の沈降速度は供試魚 No. 2 と No. 7 で観察された毎分 33cm であった。

一方、最大上昇速度は供試魚 No. 2 で観察された毎分 34cm であった。

6) 仔魚の蛍光灯に対する走光性

供試魚の蛍光灯光源に対する遊泳位置(座標)を Table 3-5, Fig. 3-8 に示した。

両水槽の蛍光灯側測面からの平均距離(x 軸方向)±標準偏差は、1 回目($n=20$)が 2.1cm ± 4.4 で、2 回目($n=20$)が 4.3cm ± 7.2 であり、両者間で有意差は認められず(Mann-Whitney test, $u=172$, $P>0.05$)、光源側に偏っていたことから正の走光性があると判断された。底面からの平均距離(y 軸方向)±標準偏差は、1 回目($n=20$)が 2.5cm ± 2.9 で、2 回目($n=20$)が 3.0cm ± 2.9 であり、両者間で有意差は認められず(Mann-Whitney test, $u=158$, $P>0.05$)、底面方向へやや偏っていた。したがって、全体として光源側側面(y 軸)と原点に遊泳位置が集中する傾向が認められた。

Table 3-5. Coordinates of swimming points of wakasagi larvae experimented for the phototaxis. Swimming points were checked at 30 minutes after fluorescent light had turned on

Aquarium	Symmetrical replacement	1st. test		2nd. test	
		x*	y**	x	y
A	Before	1.0	0.0	0.0	0.0
		1.5	0.0	1.0	1.0
		1.5	0.0	1.5	0.5
		4.0	0.0	4.0	7.5
		0.5	4.0	9.0	8.5
	After	0.0	2.0	0.0	0.5
		0.0	5.0	0.0	1.0
		0.0	7.0	0.0	2.0
		0.5	0.0	16.5	1.0
		2.5	0.0	20.0	1.0
B	Before	0.0	0.5	0.0	0.0
		0.0	4.5	0.0	0.5
		0.0	8.0	0.0	1.5
		0.0	9.0	0.0	5.0
		9.0	0.0	2.5	7.5
	After	0.0	0.5	0.5	4.0
		0.0	3.5	0.5	7.5
		1.0	0.0	2.5	3.5
		1.5	1.0	4.0	6.0
		19.0	5.0	24.5	1.0

* Distance (cm) from the light side of aquarium as the abscissa ($0 \leq x \leq 28$).

** Height (cm) from the bottom of aquarium as the ordinate ($0 \leq y \leq 10$).

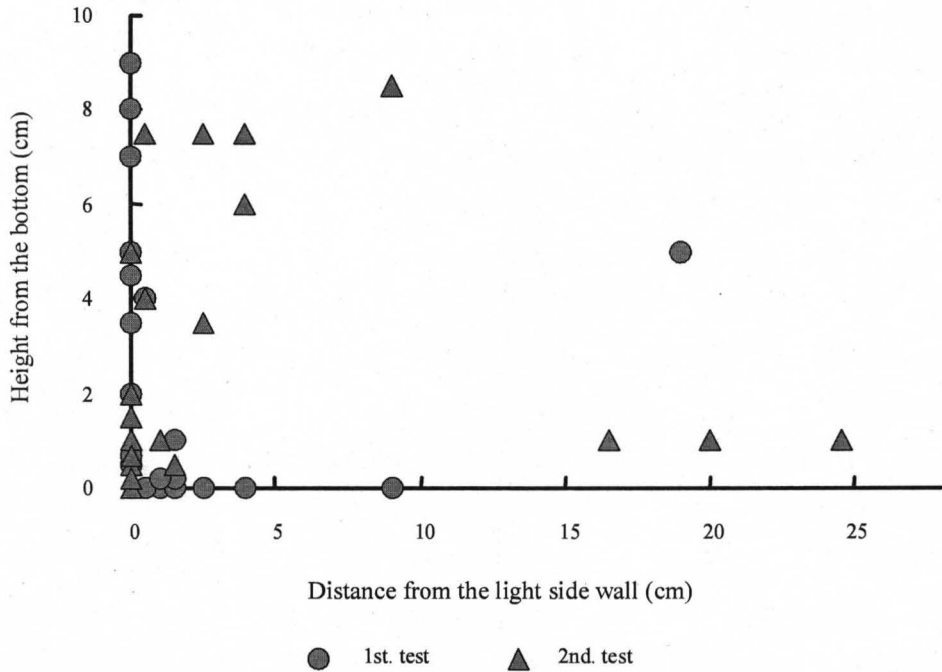


Fig. 3-8. Distribution of swimming points of wakasagi larvae in experimental aquarium ($0 \leq x \leq 28$, $0 \leq y \leq 10$) checked at 30 minutes after fluorescent light had turned on.

4 考察

1) 放流卵の産地別ふ化率とシュロ枠 1 枚当たり着卵数

第 1 章で述べたとおり放流卵は自然産卵由来(蟹沢産, 覚満川産)と人工採卵由来(諏訪湖産, 田代湖産, 網走湖産)の 2 型に分けられる。

産地別の推定ふ化率では, 自然産卵由来放流卵が人工採卵由来放流卵より高かった。この理由として, 人工採卵由来放流卵は, 人工採卵のため未熟卵や壊卵が含まれやすい, 複数親魚の搾出卵をまとめてから媒精するので受精まで時間がかかる, 受精卵を放流水域まで輸送するため時間的かつ物理的な障害が発生しやすいなど人為的な要因が影響していると推察される。同様のことは発眼率でも言われており, 水槽内自然産卵法(橘川ら 2003)による発眼率は人工搾出法よりも高率である。鳴沢湖に放流された産地別放流卵の推定ふ化率について, 諏訪湖産と蟹沢産は年度間で差が認められなかったが, 田代湖産は差が認められた。また, 赤城大沼に放流された覚満川産も年度間で差が認められた。こうした年度間の差が生じた原因については, 人工採卵由来放流卵ではその年の人為的要因が, 自然産卵由来放流卵ではその年の遡上親魚数や天候などの環境要因が関与していた可能性もある。今後は, こうしたふ化率を変動させると推察される要因についてさらに調査や試験を行い, 因果関係を明らかにする必要がある。

産地別のシュロ枠 1 枚当たり推定着卵数は, 諏訪湖産に比べて肉眼的にも田代湖産と蟹沢産は少ない状況であった。自然産卵由来放流卵については遡上親魚数とシュロ枠設置数に, 人工採卵由来放流卵については人為的要因に起因していると考えられる。このことは, 自然産卵由来放流卵は年度間で差が認められ, 人工採卵由来放流卵は年度間で差が認められなかったことから説明できる。

なお, 今回調査した推定ふ化率とシュロ枠 1 枚当たり推定着卵数は, 供試卵ふ化時に残存した卵数と仔魚尾数に基づいた算出値であり, 放流からサンプリングまでの間にシュロ枠から脱落した付着卵や, ふ化管理中に溶解した不受精卵や死卵などは考慮されていない推定値である。したがって, 推定ふ化率は下方へ, 推定着卵数は上方へ修正することで実際値により近似すると考えられる。

蟹沢産と覚満川産では, シュロ枠 1 枚当たり平均推定着卵数が多いほど平均推定ふ化率が低下する傾向を示した。一般的に高密度になればなるほど酸素欠乏や外部寄生水カビ病が発生しやすくなり, その結果ふ化率が低下するとされている。しかし, 諏訪湖産では推定着卵数と推定ふ化率の相関が認められなかったことや, 推定着卵数が 20000 粒以上でも推定ふ化率が 96%であったことから, 両者の関係については今後さらなる事実確認が必要である。

今回、放流卵の産地別の推定ふ化率とシュロ枠 1 枚当たり推定着卵数が明らかとなったことで、仔魚としての資源加入量を正確に推定することができるようになった。

2) 受精卵の水温別ふ化期間

従来、水温 11 ~ 12 °C では受精からふ化に要する日数は 13.1 日とされていたが (Yamada 1963), 今回の 12 °C 区では 19 日を要した。また、水温 15 °C ± 1 では約 11 ~ 13 日とされていたが (栗原 1982), 今回の 16 °C 区では予備試験 (久下・中野 2000) と同様、ふ化には 9 日を要し、ふ化期間も 11 日間で、累積ふ化尾数が最終的なふ化尾数の約 90% に達する時期もふ化開始から 5 日であった。受精からふ化に要する日数 (y) は水温 (x) に大きく左右され、 $y=853x^{-1.59}$ の関係式に当てはまる (井塚 2003b)。今回の試験水温内でも高水温区の方が早くふ化するとともに本式におおよそ適合した。一方、ふ化期間は 11 ~ 14 日と各水温区ともに長期に及んだ。また、同水温区内においてもその幅は大きく、積算温度で表記するためには、より細かな水温設定を行いさらに試験データを蓄積する必要がある。水温 14 °C 以上ではふ化率が低下し、水温 20 °C では発眼期胚の奇形や耳石欠損が発生しやすい (井塚 2003b) ことから、水温別のふ化後の生残率についても把握しなければならないと考える。

今回の試験で水温別のふ化状況の概要が明らかとなり、増殖現場においてふ化箱を撤去したり、ふ化水槽の回転率を向上させるためのシュロ枠の入れ替え作業を行う際に、ふ化水温に応じた作業実施の時間的な目安を得ることができる。

3) 仔魚のふ化水槽からの流出方法

今回の試験では、注水量が多いほど仔魚を流出させやすく、かつ、少ない場合は水面流出より底層流出の方が流出させやすかった。今回の試験条件のうち水槽容量、注水量や換水率、水温、発眼卵収容密度や収容方法などは、増殖現場のそれらと大きく異なる場合が多いが、基礎的な成果を得ることはできた。今後はこの結果を参考に各現場においても仔魚が速やかに流出しやすいような条件を設定する必要がある。小川原湖流入河川でふ化した仔魚は、卵嚢が吸収し終える前に湖内に流下しており (片山 1996), 流入河川でも時空間的に初期餌料との遭遇機会を逸しないような場所へ遡上し自然産卵していると推察される。また、今回の試験で発眼卵のほとんどが収容後 17 時間以内である夕方から朝方にふ化したことは、アユ同様 (群馬県 1985; 武藤ら 1996; 田子 1999) にワカサギのふ化も日没直後に一斉に行われる (鳥澤 1999; 虎尾 2001; 田原ら

2004) ことと一致する。これらふ化生態に関する知見も、産卵河川でのシュロ枠の敷設場所の上流端を決定する際や、ふ化水槽から仔魚を流出させる時刻を決定する際に参考となる。

4) 仔魚の流下にともなう衝撃と生残率

落下点に水がない場合は、落下高が 10cm であっても供試魚の生残率は有意に低下した (*chi-squared test*, $\chi^2=9.60$, $df=1$, $P<0.005$)。よって、流下衝撃区では、供試魚を飼育水とともに回収する際の雨樋下端からビーカー底面までの落差 (ビーカーの深さと同じ) が約 20cm であったことが、生残率に有意差が認められた大きな要因と考えられる。一方、落下点に水深 5cm の水があれば、落下高が 2m であっても供試魚の生残率に有意差が認められなかった (*chi-squared test*, $\chi^2=2.13$, $df=1$, $P>0.1$)。このことは、ふ化直後の仔魚を天然あるいは人工河川を経由して湖水へ流下させる際に、落ち込みの水深が 5cm あれば減耗を大幅に低減できる可能性を示唆している。よって、河床に叩きつけるような落ち込みは、河床を掘削して水深が 5cm 以上の落ち込みを造成することが必要である。同様の知見は他魚種でも得られている。例えばイワナの稚魚と成魚が砂防堰堤のような高所から落下する場合、堰堤直下の淵の深さにより死亡率が変動する (土居 2003)。また、モクズガニ *Eriocheir japonica* でも成体が落差 10m から落下しても、水深が 50cm 以上確保されていれば安全である (浜野ら 2005)。このように淵の深さが落下時の生残率に大きく影響する。

落下時の死亡原因は、魚体観察結果から明らかに物理的な影響によると考えられる。特に落下点に水がない場合は、落下後 3 時間以内に多くが死亡し、その魚体が顕著に屈曲していたことから明らかである。今回、実験的に落下および流下時に生ずる短期的な減耗状況を明らかにできたが、生残率算出時が衝撃付与 24 時間後であるため、それ以上の中長期的に現れる影響は不明である。よって、今後は生残した仔魚を長期飼育する過程で生理的な影響も含めこの点を明らかにしていくことが必要である。

5) 仔魚のふ化直後における遊泳力と遊泳水深

ワカサギはふ化直後から魚体を左右に震わせて遊泳した。今回の条件下では、ほとんどの供試魚が水面方向へ上昇し、頭部を水平からやや上げた状態で水面付近に定位することが可能な遊泳力を示した。ふ化直後の仔魚は、鰭条の発達から判断して遊泳未発達期とされるが (虎尾 2001)、姿勢維持や方向性などの遊泳制御能力は保持していた。ワカサギはサケ科魚類と比較して明らかにふ化時の卵黄嚢が小さく遊泳しやすい体型である。また、水温 13℃ の無給餌下で、

ふ化後 3 日まで仔魚は活発に遊泳する(虎尾 2001)。したがって、湖沼に放流された卵からふ化した直後の仔魚が、産卵基質であるシュロから脱落しても、そのまま底層の低酸素層へ沈降してしまう可能性は少ないと考えられる。同時に、エビ類やヨシノボリ属魚類など底部に生息する捕食者との遭遇機会も減少することから、ある程度の遊泳力をふ化時に備えていることが、こうした初期減耗を回避するのに寄与していると推察される。したがって、これまでのように浅場に限定されていた放流地点を深場に移しても、そのことによる減耗は生じないと考えられ、放流地点の選択の幅を広げられることができる。

6) 仔魚の蛍光灯に対する走光性

ワカサギ親魚においては正の走光性が確認されているが(川田ら 1952)、仔魚については不明であった。霞ヶ浦では光集魚法により仔魚が採集される(熊丸 2003)ことや、鳴沢湖の棧橋上から日没後(19 時頃)にハロゲンランプ(500W)を水面に照射したところ 15 分後には全長 16 ~ 19mm のワカサギ仔魚が光源直下に集まってきた(久下ら 未発表)ことから、仔魚にも正の走光性が備わっている可能性が強く示唆されていた。今回の実験でふ化直後から正の走光性があることを確認した。網走湖においては、ふ化直後から仔魚には昼間は深層、夜間は表層という光環境に同調した極めて能動的な日周鉛直移動あり、大型の仔魚は昼間には深層に分布する(浅見 2004)とされ、今回の結果と光の走性があるという点では一致するが、昼間に大型の仔魚を中心に光量の最も多い表層に分布しないという点に対しては今回の実験のみでは説明できない。よって、今後は光源の光量や波長、仔魚の成長段階などを変化させて走光性の実験を重ね、ワカサギの生態を走光性という観点からも解明するとともに、走光性を利用して仔魚を意図する方向へ誘導して減耗を低減する技術の開発も可能であろう。

第4章 ワカサギ仔魚の摂餌不足に起因する減耗とその対策

1 緒言

ワカサギ仔魚の餌料となるプランクトンの発生状況は、放流後の生残に大きく影響していると考えられている(岩井・柘植 1986; 久下ら 1998; 小林ら 1999; 小林 1999; 新井・松原 2001; 井塚 2002b; 熊丸 2003; 浅見 2004)。しかし、これまでに本種について仔魚の食性や成長に関する知見は多いが(白石 1961; 茨城県内水面水産試験場・山梨県魚苗センター 1991; 浅見・川尻 1997; 井出・山中 1998; 鳥澤 1999; 浅見 2001), 資源管理を行う上での仔魚期の減耗要因として検討した報告は少ない(岩井・柘植 1986; 岩井・長間 1986; 井塚 2002b)。

一般に、魚類の資源量推定や移動分散を調査する際に用いられる標識方法のうち、ワカサギのように小型でかつハンドリングに極めて弱い魚種は、鰭切除、鰭抜去、アンカータグやリボンタグ装着(白石 1952, 1953)などによる体外標識方法よりも、体内標識法である耳石標識の方が、大量に標識を施す場合の作業効率や標識付与後の死亡率などの点で実用的に有利である。耳石標識による標識放流は、特に天然水域における初期減耗過程を解明するためには効果的であり、すでにアユやマダイ *Pagrus major* で利用されている(塚本 1991)。一方、ワカサギでは耳石標識による発眼卵放流試験の実施例(戸田 1994; 北海道立水産孵化場 1994, 1995a, 1995b; 信沢・小西 1995, 1996)は少ない。その理由の1つとして、アユやサケ科魚類については標識剤の種類や濃度などに関する多くの基礎的な知見(Tsukamoto 1985, 1988; 塚本 1987; 関ら 1988, 1989; Tsukamoto *et al.* 1989; 小池ら 1990; 群馬県水産試験場 1995)があるが、ワカサギについてそれらに関する報告は少ない(石崎 1987, 1993; 桐生・内田 1993; 相澤・戸田 1995)ことが挙げられる。このため、ワカサギ発眼卵に標識を施す際の適切な標識剤やその濃度が不明であり、標識放流試験の妨げになっている。そこで、標識剤としてアリザリンコンプレクソン(以下、ALCと略記)とアリザリンレッドS(以下、ARと略記)を用い、標識液濃度を変えてワカサギ発眼卵に耳石標識を施し、推定ふ化率や発色の明瞭さを比較することで最適な標識液濃度を検討した。

さらに、耳石標識を施したふ化直後の仔魚に、初期餌料としてS型シオミズツボワムシ *Brachionus rotundiformis* (以下、ワムシと略記)を一定期間給餌した後、群馬県平野部の典型的な農業用溜池である蟹沼(伊勢崎市)に放流し、放流前に給餌することで初期減耗を低減できるか検討した。

2 材料と方法

1) 受精卵への耳石標識

(1) 標識液 ALC(SIGMA CHEMICAL)とAR(E. MERCK)を標識剤とし、それぞれ 2.0g を粒状 NaOH を用い蒸留水約 400mL に完全に溶解させた後、その pH を 1N の HCl と NaOH で 7.05 ~ 7.06 に調整しながら蒸留水で 500mL にメスアップして、標識剤を 4000mg/L 含む原液を作成した。この原液を井戸水で希釈し、2L 容ガラス製ビーカーに 2L ずつ 4 濃度(標識剤を 50, 100, 200 および 400mg/L 含む)の標識液を作成した。なお、対照として井戸水のみ試験区も設けた。各標識液と対照は直前に十分に曝気してから、室内自然光下でウォーターバス中に設置し試験を行った。

(2) 供試卵 供試卵は、2002 年 4 月 15 日に諏訪湖から群馬県水産試験場に到着し、4 月 18 日に発眼を確認したシュロに付着した状態の諏訪湖産ワカサギ発眼卵とし、4 月 19 日に各標識液当たり 407 ~ 1860 粒(平均卵数±標準偏差=1099 粒±363)を浸漬した。

(3) 試験区 浸漬時間は、24 時間(17:30 ~ 17:30)と、その前半である昼間 12 時間(5:30 ~ 17:30)および後半である夜間 12 時間(17:30 ~ 5:30)とした。

つまり、標識剤 2 種類、標識液 4 濃度、浸漬時間 3 区に対照を加えた 25 試験区を設定した。なお、標識液浸漬時の水温(以下、浸漬水温と略記)は 15.0 ~ 15.2℃であった。

(4) 標識確認 標識液浸漬終了後、井戸水で洗浄した標識発眼卵を、十分に曝気した井戸水 2L を入れた 2L 容ガラス製ビーカーに各試験区毎に移設し、ウォーターバス中でふ化まで管理した。標識終了 2 日後からふ化が開始し、ピペットで採集した各試験区の仔魚を 80%エタノールで固定した後、スライドグラス上に置き、カバーグラス上から押し、耳石(扁平石)標識の明瞭さを落射型蛍光顕微鏡(オリンパス BH2-RFCA)下で紫外照明(B 励起)と通常照明により評価した。さらに、ふ化開始から 3 日後に、ビーカー内にホルマリン原液を注入して残存している仔魚と発眼卵を固定(5%ホルマリン)し、推定ふ化率(供試卵数に対するふ化尾数と発眼卵数の合計百分率)を算出した。

2) 仔魚へのシオミズツボムシ給餌による生残率の向上

(1) 調査水域 調査水域とした蟹沼(Fig. 4-1)は、平野部に位置する灌漑用溜池(湖面標高約 80m, 最大水深約 2.5m, 面積 0.012km²)である。周囲はコンクリート護岸され、底質は主に泥である。コイを対象とした第 2 種区画漁業権漁場であるが、モツゴとの混養が行われ、毎年冬季に沼水を全て排出してこれら養殖魚の収穫(取り揚げ)が行われている。例年、コイは約 2 万尾の 0 歳魚(体

重 50 ~ 70 g) を春季に放養し，配合飼料を給餌して取り揚げまでに体重約 1kg に成長させている。一方，モツゴは親魚を春季に 10 ~ 20kg (平均体重 3g とし て 3.3 ~ 6.7 千尾) 放養して自然産卵させ，ふ化した 0 歳魚を主体に約 200kg を 収獲している。その他の生息魚類は河川から流入してきたと考えられるヨシノ ボリ属魚類である。

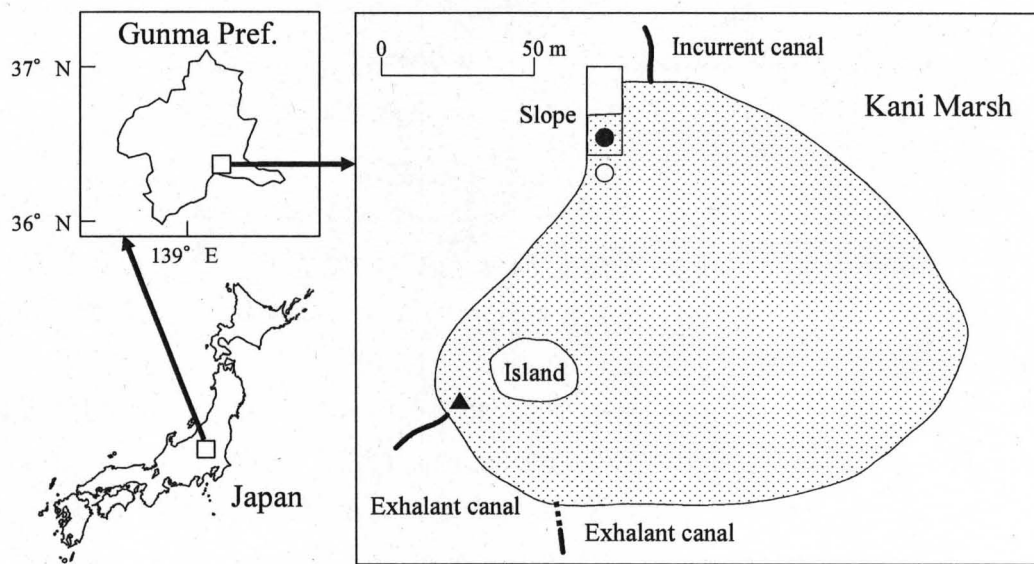


Fig. 4-1. Location of Kani Marsh, Gunma Pref., releasing sites of wakasagi fertilized eggs (open circle) and larvae (solid circle), and sampling site of zooplankton (solid triangle).

(2) 試験区 2002 年 4 月 20 ~ 21 日に ALC により耳石標識 (標識液濃度 100mg/L, 浸漬時間 24 時間, 浸漬水温 15.1 ~ 15.9 °C, 曝気有り) を施した諏訪湖産ワカサギ発眼卵を, 4 月 22 日に濃縮淡水クロレラ液 (クロレラ工業, 以下, クロレラ液と略記) 24mL を添加した塩分濃度 4% の人工汽水 {粉砕塩 (日塩, NaCl \geq 95%) 3095g, 硫酸マグネシウム 785g, 塩化マグネシウム 595g, 塩化カルシウム 175g, 塩化カリウム 85g, 重炭酸ソーダ 25g, 水 1m³) 450L が入った円型ポリエチレン製 500L 容水槽 2 槽に, シュロ枠で各 55.1 千粒ずつ収容した。対照として, 無標識の諏訪湖産発眼卵 68.8 千粒を, 前述のクロレラ液添加人工汽水の代わりに蟹沼の沼水を入れた同型的水槽 1 槽にシュロに付着した状態で収容した。3 水槽ともに水槽の半分が沼水に没するようにスロープ上に設置し, 上部はプラスチック製板で大部分を遮光した。4 月 22 日から 4 月 25 日までは酸素ポンベから酸素を, 4 月 25 日から 5 月 1 日まではエアーポンプで空気を分散器から供給した。標識卵と無標識卵の一部は実験室にてふ化させ, 推定ふ化率を

算出した。

ふ化は収容翌日の 4 月 23 日から開始し、同日に群馬県水産試験場で培養したワムシを対照以外の 2 水槽にそれぞれ 100g と 150g を 1 回のみ給餌した。その後は、水面下約 15cm における飼育水の水温(ペッテンコーヘル水温計)、透視度(透視度計)および飼育水 1mL 中のワムシ個体数(2 回採水の平均値)を原則的に 1 日 1 回午前中に測定し、透視度が 30 度以上になった水槽にはクロレラ液を 40mL 添加した。ワムシ個体数密度は、ピペットにより飼育水とともに採集したワムシを、現地にて 5%ホルマリンとなるようホルマリン原液を添加して固定した後、実験室にて実体顕微鏡下で個体数を計数して算出した。一方、対照はワムシ無給餌、クロレラ液無添加とし、同様に飼育水と蟹沼の水温を測定した。

(3) 動物プランクトン 4 月 23 日と 4 月 30 日に蟹沼流出部(Fig. 4-1)において、北原式表面プランクトンネット(口径 30cm, 側長 90cm, 目合 0.095mm)により、水深 1m から水面までを垂直曳きして動物プランクトンを採集した。この際、濾水計は未装着のため濾過効率を 100%と仮定した。採集した動物プランクトンは、現地にて 5%ホルマリンとなるようホルマリン原液を添加して固定し、実験室にて 48 時間以上静置沈殿させ、上澄み液を除去し 50mL に濃縮した。この濃縮液から 1mL を採取して生物顕微鏡下で同定するとともに個体数密度を算出した。

(4) 放流試験 5 月 1 日に各水槽とも飼育水を一定量(約 9.1 ~ 10.9L)採水し、その飼育水中に含まれたワカサギ仔魚尾数(42 ~ 1090 尾)から各水槽の生残尾数とふ化からの生残率を推定した後、蟹沼へ 3 水槽の生残魚を放流した。同時にこれらと同群の標識仔魚 16.6 千尾を放流した。なお、蟹沼には 4 月 22 日に無標識の諏訪湖産発眼卵 687.8 千粒をシュロ枠で放流した。

2003 年 1 月 10 日に沼底が干出するまで排水して行われたコイとモツゴの収穫時に、生残していたワカサギを全て採集した。採集魚は氷冷運搬後、実験室にて魚体測定を行うとともに耳石(扁平石)を取り出した。扁平石はレーキサイドで封入し研磨した後、落射型蛍光顕微鏡(オリンパス BH2-RFCA)の紫外照明(B 励起)により蛍光標識の有無を確認した。

3 結果

1) 受精卵への耳石標識

(1) 標識の評価と推定ふ化率 各試験区における標識の明瞭さによる評価と推定ふ化率を Table 4-1 に示した。標識の評価は、紫外照明、通常照明ともに ALC の方が AR より明瞭であった。また、同濃度では、夜間 12 時間浸漬の方が

昼間 12 時間浸漬より若干明瞭となる試験区が多かった。両標識剤ともに標識液濃度 50mg/l, 12 時間浸漬で蛍光標識が十分に確認できた。

推定ふ化率は対照区が 92.0%であったのに対し、標識した場合、ALC100mg/L 昼間 12 時間区が 96.3%と高かった以外は 53.1 ~ 90.9%と低かった。ALC50mg/L 昼間 12 時間区, ALC100mg/L24 時間区および AR400mg/L 夜間 12 時間区以外は、対照区に対し有意な差が認められた (*chi-squared test*, $\chi^2=4.09 \sim 613.01$, $df=1$, $P < 0.05$)。また、両標識剤ともに同濃度では、AR400mg/L 以外では夜間 12 時間浸漬の方が昼間 12 時間浸漬より低くなる試験区が多かった。

Table 4-1. Estimated hatching rates (%) and staining levels of otolith marker (++) clear, + good, ± faint and - no) under r^s light and normal light (in parenthesis) with various concentration of alizarin complexone (Ai C) and alizarin red S (A0) solutions immersed for 12 or 24 hours

Concentration (mg/L)	ALC			AR		
	12h:Night	12h:Day	24h:Night-Day	12h:Night	12h:Day	24h:Night-Day
400	54.1 ++ (+)	67.8 ++ (±)	68.9 ++ (+)	90.9 ++ (+)	86.2 ++ (±)	82.6 ++ (+)
200	64.2 ++ (+)	83.1 ++ (±)	53.1 ++ (±)	81.9 ++ (-)	89.6 + (-)	85.9 ++ (±)
100	88.2 ++ (±)	96.3 ++ (-)	89.7 ++ (±)	79.0 ++ (-)	86.7 + (-)	73.5 ++ (±)
50	70.9 ++ (±)	89.6 ++ (-)	81.7 ++ (±)	79.7 ++ (-)	86.2 + (-)	89.3 ++ (-)
0 (Control)			92.0 - (-)			

(2) 供試卵数と推定ふ化率 供試卵数と推定ふ化率の関係を Fig. 4-2 に示した。標識した場合、同濃度においては供試卵数が多いほど推定ふ化率が低下する傾向を示した試験区が多かった。

2) 仔魚へのシオミズツボワムシ給餌による生残率の向上

(1) ふ化から放流までの推定生残率 供試卵のふ化状況とふ化から放流までの仔魚の生残状況を Table 4-2 に示した。推定ふ化率は、標識卵が 80.8%, 無標識卵が 75.9%であり、ふ化から放流までの 9 日間の推定生残率は、ワムシ 100g 給餌区が 51.2%, 150g 給餌区が 103.3%, 対照区が 3.3%であった。サンプリングのため間引いた仔魚を推定生残尾数から差し引いた推定放流尾数は、ワムシ 100g 給餌区で 22.7 千尾, 150g 給餌区が 45.9 千尾, 対照区が 1.7 千尾であった。よって、蟹沼に放流された標識魚は、同時に放流された同群の仔魚を含め合計 85.3 千尾であった。

(2) 飼育水の水温とワムシ個体数密度 飼育水の水温は、ワムシ 100g 給餌区が 15.5 ~ 19.0 °C, 150g 給餌区が 15.7 ~ 18.8 °C, 対照区が 15.5 ~ 20.5 °C, 蟹沼が 16.5 ~ 19.1 °C であり、共通測定日 (4 月 25, 26, 28, 30 日, 5 月 1 日) において試験区間で有意な差は認められなかった (*Friedman's test*, $\chi^2=4.38$, $df=3$, $P > 0.5$)。

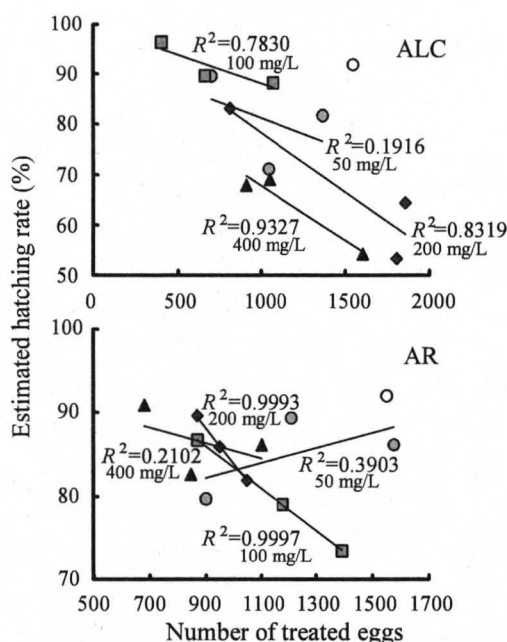


Fig. 4-2. Relationship between numbers of treated eggs and estimated hatching rate of wakasagi. Lines were fitted to the observed values in the same concentration of alizarin complexone (ALC) and alizarin red S (AR) using a linear least square method. R^2 , Coefficient of determination.

Table 4-2. Influence of S type rotifer feeding on survival rate of larval wakasagi

Group	1	2	Control
	100	150	0
S type rotifer feeding (g)	100	150	0
Otolith-tagging by ALC	Marked	Marked	Unmarked
No. of treated eggs ($\times 10^3$)	55.1	55.1	68.8
Estimated hatching rate (%)	80.8	80.8	75.9
No. of hatched larvae ($\times 10^3$)	44.5	44.5	52.2
No. of survived larvae ($\times 10^3$)	22.8	46.0	1.7
Estimated survival rate (%)	51.2	103.3	3.3

飼育水 1mL 中のワムシ個体数の経日変化を Fig. 4-3 に示した。給餌翌日 (4 月 24 日) のワムシ 100g 給餌区と 150g 給餌区の個体数密度は、それぞれ 27.0 個体/mL と 39.5 個体/mL であり、4 月 26 日以降は各試験区ともに減少していた。

クロレラ液添加量の合計は、ワムシ 100g 給餌区、150g 給餌区ともに 144mL であった。

(3) 動物プランクトン個体数密度 蟹沼の動物プランクトンとその個体数密度を Table 4-3 に示した。いずれもコシブトカメノコウワムシが 100 個体/L 以上で優占し、次いでカイアシ亜綱 Copepoda とツボワムシ *Brachionus calyciflorus* が多かった。

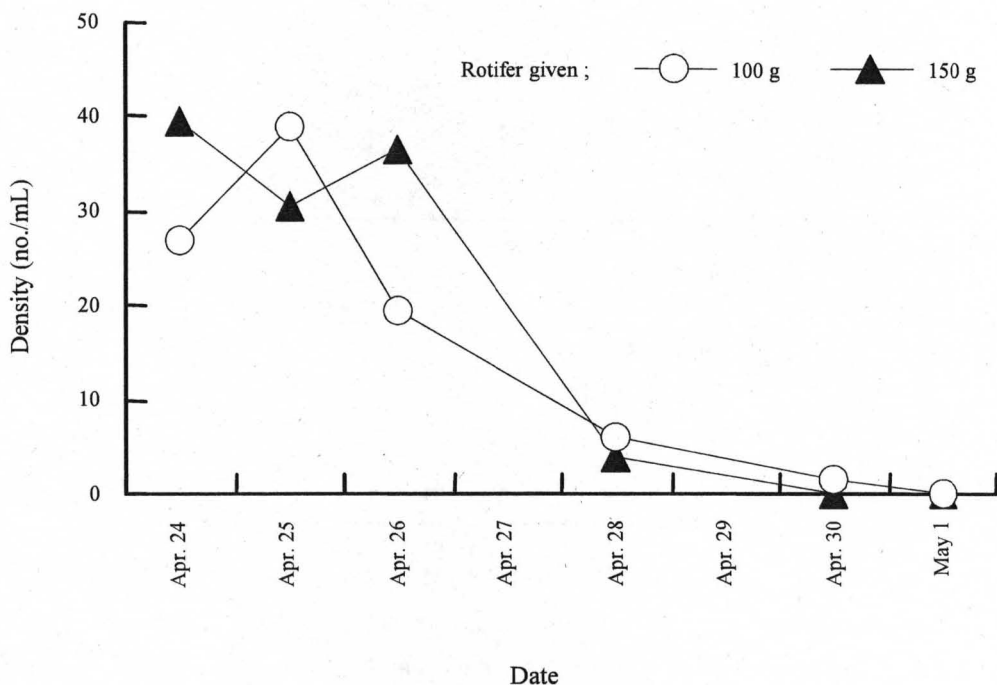


Fig. 4-3. Daily changes in density of S type rotifer in experimental tanks.

Table 4-3. Density (no./L) of zooplankton in Kani Marsh in 2002

Species	Apr. 23	Apr. 30
Nauplius and metanauplius of Copepoda	22.6	65.1
Copepodid and adult of Copepoda	67.9	49.5
<i>Bosmina</i> sp.	7.8	0.7
<i>Brachionus calyciflorus</i>	24.8	97.7
<i>Keratella cochlearis</i>	4.2	0
<i>Keratella quadrata</i>	111.1	127.4
<i>Lecane</i> sp.	0	1.4
<i>Asplanchna</i> sp.	7.1	4.2
<i>Trichocerca</i> sp.	2.8	0
<i>Filinia longiseta</i>	0	0.7
Total	248.4	346.8

(4) 放流試験 1月10日の採集尾数は、無標識魚 50尾(平均標準体長±標準偏差=9.9cm ± 0.8, 平均体重±標準偏差=9.8g ± 2.9, 平均肥満度±標準偏差=9.8 ± 1.2)と標識魚 23尾(平均標準体長±標準偏差=9.1cm ± 0.9, 平均体重±標準偏差=6.9g ± 2.4, 平均肥満度±標準偏差=8.8 ± 0.7)の合計 73尾であった。標識魚が無標識魚に比べ、標準体長、体重、肥満度が有意に小さかった(標準体長, Student's *t* test, $t=3.70$, $df=71$, $P<0.05$; 体重, Student's *t* test, $t=4.06$, $df=71$, $P<0.05$; 肥満度, Welch's *t* test, $t=4.30$, $df=64.1$, $P<0.05$)。

4 考察

1) 受精卵への耳石標識

ALC と AR によりワカサギ発眼卵の耳石へ標識を施したところ、両標識剤ともに、標識液濃度 50mg/L, 12 時間浸漬でふ化直後の仔魚の耳石蛍光標識が十分に確認できた。ふ化直前のワカサギ発眼卵に対し ALC 濃度 25mg/L, 24 時間浸漬で標識を施した場合、ふ化後 308 日でも蛍光標識が確認可能である(桐生・内田 1993)。また、ワカサギと同じキュウリウオ科のシシヤモ *Spirinchus lanceolatus* 発眼卵の場合、ふ化率に影響がなく明瞭に標識されるのは ALC 濃度 100 ~ 500mg/L, 12 ~ 24 時間浸漬とされる(工藤・笠原 1991)。放流試験において実施した ALC 濃度 100mg/L, 24 時間浸漬の標識付与は、推定ふ化率について対照区に対し有意な差が認められなかった(*chi-squared test*, $\chi^2=3.23$, $df=1$, $P>0.05$)。これらのことから、ふ化後 262 日の取り揚げ日でも標識が維持されていると推察される。

両標識剤ともに、夜間 12 時間浸漬の方が昼間 12 時間浸漬より若干明瞭となった。ニジマスの耳石へのカルシウム沈着は日内変動があり、カルシウムに富んだ成長層が形成される時間帯は季節的に変化するとされる(麦谷 1988)。ワカサギの扁平石には輪紋(1 組の成長層と不連続層)が 1 日にほぼ 1 本ずつ形成されることは判明されているが(大浜 1990)、カルシウム沈着の日内変動に関する知見は見あたらない。よって、今回の実験のみから、夜間の方が昼間よりカルシウムの沈着、つまり標識剤の取り込みが活発であったかどうかは不明である。

AR では高濃度ほどふ化率が低下し、濃度 100mg/L での 24 時間浸漬が適当であるとされているが(石崎 1993)、今回、両標識剤ともに濃度 50mg/L でも対照区より推定ふ化率が低くなった。また、供試卵数が多いほど推定ふ化率が低下する傾向を示した試験区が多かった。対照区のみ、浸漬開始時と終了時(開始 24 時間後)に溶存酸素量(ウィンクラーアジ化ナトリウム変法)を測定したところ、それぞれ 9.71mg/L(酸素飽和度 99.1%)と 7.47mg/L(酸素飽和度 76.4%)であり、標識剤の毒性とともに溶存酸素量の低下も、推定ふ化率低下に影響していた可能性が推察される。よって、今後はその原因を解明し、ふ化率低下を招かない標識付与条件を確立する必要がある。

2) 仔魚へのシオミズツボワムシ給餌による生残率の向上

ふ化時点で顎は未発達ながらも開口が認められる(Yamada 1963 ; Torao 2000)。ふ化直後の全長 5.6mm の仔魚は両顎が可動し、ふ化 2 日目には全長 5.9mm となり活発に摂餌するようになる(落合・田中 1998)。生残や成長の観点から給餌

開始時期はふ化直後からが妥当である(岩井・柘植 1986)。これらのことから、本実験での給餌はふ化直後から行った。また、網走湖ではシオミズカメノコウワムシ *keratella cruciformis* とその卵や汽水性カイアシ類のノープリウス幼生が初期餌料である(浅見 2001)。初期飼育には比較的小型のワムシに対する選択性が認められる(井塚 2002b)。これらのことから、本実験で給餌したワムシは初期餌料としてサイズの的に支障はないと判断される。

ふ化後 9 日間の生残率は、ワムシ給餌量が多いほど、つまり、個体数密度が高いほど向上しており、ワムシ給餌はふ化直後の生残率向上に寄与していると考えられる。

蟹沼において行った標識放流試験では、標識仔魚の放流日である 5 月 1 日の推定放流尾数が 85.3 千尾で、約 8 ヶ月後の取り揚げ日である 1 月 10 日の標識魚採集尾数が 23 尾であったことから、生残率は 0.027% (23 尾/85.3 千尾 × 100) と極めて低率であった。コイとモツゴを混養している農業用溜池である明治沼(吉岡町)においてもワカサギの生残率は約 0.1% と低率であった(中野ら 1999) ことから、この原因としてモツゴとの餌料をめぐる競合や沼からの流出などが考えられるが、今回の結果からは断定できない。標識魚と無標識魚の放流日から取り揚げ日までの生残率が同様であったと仮定すると、無標識魚の取り揚げ日採集尾数が 50 尾であったことから、5 月 1 日時点での無標識魚は 185.4 千尾 (85.3 千尾 × 50 尾/23 尾) となり、対照区の放流尾数 1.7 千尾を除いた 183.7 千尾が 4 月 22 日に蟹沼へ放流した発眼卵 687.8 千粒由来の推定仔魚尾数となる。この蟹沼発眼卵放流群のふ化尾数は、521.9 千尾 (687.8 千尾 × 75.9%) と推定される。よって、蟹沼発眼卵放流群のふ化から 5 月 1 日までの生残率は 35.2% (183.7 千尾/521.9 千尾 × 100) と推定され、ワムシ 100g 給餌区の 51.2% より低い値だが、対照区の 3.3% よりは高くなり、この点からワムシ給餌により放流後の生残率向上が図れたと判断できる。

蟹沼の動物プランクトン個体数密度は、優占種であるコシブトカメノコウワムシで 0.11 ~ 0.13 個体/mL であり、この沼水を用いた対照区は、ワムシ給餌区より初期餌料がかなり低密度であったため推定生残率が低かったと推察される。

こうしたふ化直後のワムシ給餌が、初期餌料プランクトン密度の低い漁場や時期において飢餓減耗を軽減する増殖手法として確立できれば、ワカサギ資源の安定化に大いに役立つと期待される。

今後は、飼育水の塩分濃度、ワムシのサイズや増殖ステージおよびクロレラ液の添加量が仔魚の生残に影響することが示唆されているため(岩井・長間 1986; 小林ら 1999; 小林 1999; 新井・松原 2001; 井塚 2002b; 友田ら 2004),

これらについて詳細な実験データを集積することが必要である。なお、採集魚の魚体測定結果において、標識魚と無標識魚で有意差が認められたが、その原因については今回の結果からでは不明であり、今後の検討課題である。

第5章 放水にともなう流出によるワカサギ仔魚資源量の減少

1 緒言

ワカサギ漁場のうち灌漑目的の人工湖では，春季から夏季にかけて大量の放水が行われる。以前から仔魚がこの放水により漁場外へ流出してしまう可能性が危惧されていた。このことは，ワカサギの受精卵放流を実施している人工湖の下流に位置し，その放流水が流入している人工湖において，過去に受精卵放流を実施していないにもかかわらずワカサギが大量発生した事例(古田 1955；久下ら 未発表)からも推察される。降海して成長した後，漁場に遡河回遊して再加入するワカサギ資源については，すでにその生活史などに関して詳細な研究がある(片山 1996；鳥澤 1999；虎尾 2001)。しかし，物理的に再加入が不可能なため，漁場外への流出が減耗要因と成り得る陸封型のワカサギ資源について，その減耗過程を実際に調査した報告はない。そこで，群馬県において農業用溜池を利用した代表的なワカサギ漁場である鳴沢湖を調査水域とし，漁場外流出による初期減耗の状況を把握するため，放流水中の仔魚を確認し，放水による1日当たりの流出仔魚尾数を概算して，ワカサギ増殖における漁場外流出に起因する初期減耗の有無を明らかにするとともにその減耗量を定量した。

2 材料と方法

1) 調査水域

調査水域とした鳴沢湖(Fig. 5-1)は，榛名山南麓の谷を土堰堤(堤高 21.7m，堤頂長 313.2m)により堰き止め 1950 年に完成した灌漑を主目的とした溜池(湖面標高 196m，最大水深 17.5m，面積 0.17km²，有効貯水容量 128.3 × 10⁴m³)である。以前は養鯉が営まれていたが，2001 年から箕郷町(現高崎市)により第 2 種区画漁業権に基づくワカサギ釣り場として利用されている。ワカサギ以外の生息魚類は，モツゴ，ヨシノボリ属魚類，コイなどである。主な水源としては，湖北東部に暗渠で榛名白川からの導水が，湖北西部の蟹沢に暗渠で利根川からの導水がそれぞれ流入している。排水は，最深部に近い湖南部の土堰堤斜面に設置された排水口から堰堤直下まで暗渠で流出している(Fig. 5-1)。

2) 受精卵放流量とふ化尾数

蟹沢下流部では，鳴沢湖から遡上したワカサギ親魚が川底に敷いたシュロ枠に，2002 年は 3 月 22 日から 5 月 16 日，2004 年は 3 月 21 日から 5 月 17 日にかけて自然産卵し，産着卵のほとんどは産卵翌日に排水口から離れている湖内 3 カ所(Fig. 5-1)へ放流された。この自然産卵由来の放流卵以外に，2002 年は 3 月 29

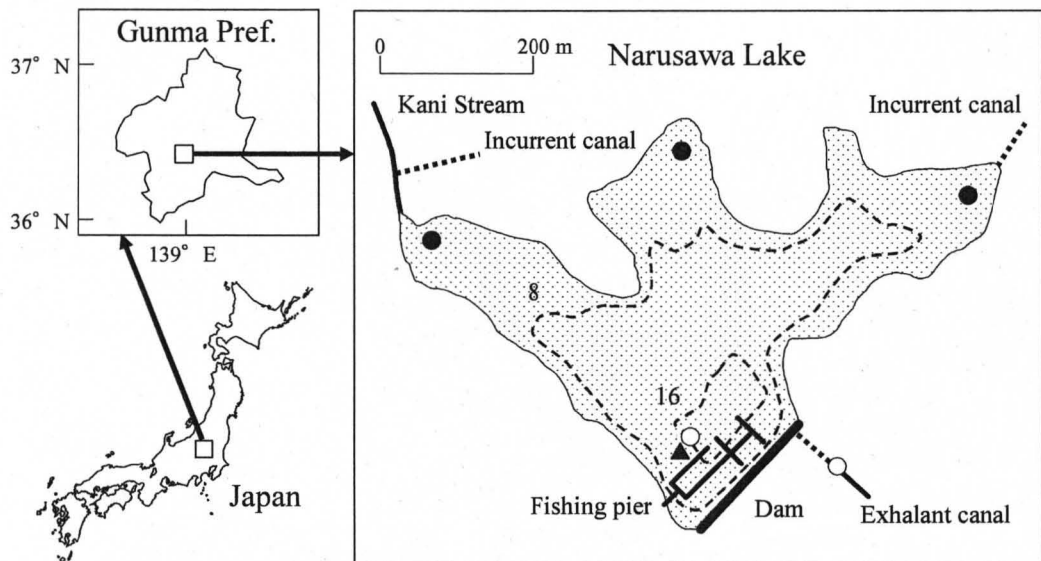


Fig. 5-1. Location of Narusawa Lake, Gunma Pref., sampling sites of wakasagi larvae (open circles) and zooplankton (solid triangle), and releasing sites of wakasagi fertilized eggs (solid circles). Numbers and dotted lines indicate the depth (m).

日と4月2日、2004年は4月23日に諏訪湖から、2002年は4月18日と4月23日、2004年は4月21日に田代湖からのワカサギ受精卵も放流された。自然産卵群を含め各産地別に放流卵の一部をシュロごと実験室に持ち帰って、産地別のシュロ枠1枚当たりの推定着卵数と推定ふ化率などを求めた。また、2002年については湖水温(久下ら 未発表)と受精からふ化に要する水温別の日数(鳥澤1999; 久下ら 2001)を基に、同一放流日の受精卵のふ化は1日で完了すると仮定してふ化の概況を推定した。

3) 放水にともなう流出仔魚の採集

土堰堤直下で開渠となる3面コンクリート製排水路(水路幅3.65m、水深2~10cm, Fig. 5-1)の段差部を利用して、2002年5月1日11時から5月2日8時まで3時間おきに計8回(各回5分間)、円錐形稚魚網(口径46cm、側長100cm、目合0.28mm; 以下、稚魚網と略記)を水路中央部に並列に固定した2本の凹型雨樋の先端に設置して流出してくるワカサギ仔魚を採集した。採集魚は現地にて10%ホルマリンで固定し、実験室にてノギスにより全長を測定した。採集直後に目盛り付きバケツとストップウォッチにより濾水量を測定した。放流量は、暗渠末端の3面コンクリート製排水路(水路幅1.1m、水深7~8cm)で5月1日16時と5月2日7時に電磁式流速計(東邦電探TK-105X)を使って測定した。

同様に、2004年4月13日、4月15日、4月20日、4月21日、4月23日および4月26日の正午前後に1回の計6回、流出仔魚を採集するとともに、濾水量と放流量を測定した。

4) 湖内における仔魚の採集

湖内の釣り桟橋(Fig. 5-1)において、2002年5月1日21時と5月2日9時に電動水中ポンプ(平均揚水量 5.5L/s)を用いて水深別(水深 1 ~ 5m)の湖水を稚魚網に5分間汲み上げ、水深 1m 毎にワカサギ仔魚を採集した(平均濾水量 1.64m³/5min)。採集魚は現地にて 10%ホルマリンで固定し、実験室にてノギスにより全長を測定した。

5) 水質環境と動物プランクトン

釣り桟橋において、5月1日12時と5月2日0時にバンドン採水器を用いて水深別(水深 0.1 ~ 14m)に採水し、水温(電気式水温計)、溶存酸素量{(DO)、ウインクラー・アジ化ナトリウム変法}および pH(比色法)を測定した。

釣り桟橋において、2002年5月1日21時と5月2日9時に電動水中ポンプ(平均揚水量 5.5L/s)を用いて水深別(水深 1 ~ 5 m)の湖水を北原式表面プランクトンネットに1分間汲み上げ、水深 1m 毎に動物プランクトンを採集した(平均濾水量 0.33m³/min)。採集した動物プランクトンは、現地にて 5%ホルマリンで固定し、実験室にて 48 時間以上静置沈殿後 50ml に濃縮して生物顕微鏡下で同定するとともに個体数密度を算出した。

3 結果

1) 資源加入量

2002年の自然産卵群、諏訪湖産および田代湖産のシュロ枠 1枚当たりの平均推定着卵数と平均推定ふ化率は、自然産卵群($n=5$)が 9155 粒/枠と 88.1%、諏訪湖産($n=3$)が 5441 粒/枠と 75.1%、田代湖産($n=3$)が 4914 粒/枠と 69.5%であり、湖内におけるふ化尾数の合計は約 5494 万尾と推定された。推定されたふ化の概況(Fig. 5-2)から、調査時はふ化期間の半ばで、田代湖産放流卵のふ化が行われている期間であったと推測された。

2004年の自然産卵群、諏訪湖産および田代湖産のシュロ枠 1枚当たりの平均推定着卵数と平均推定ふ化率は、自然産卵群($n=10$)が 4827 粒/枠と 97.7%、諏訪湖産($n=5$)が 20804 粒/枠と 96.1%、田代湖産($n=5$)が 7545 粒/枠と 88.4%であり、湖内におけるふ化尾数の合計は約 6413 万尾と推定され、2002年の推定ふ化概況

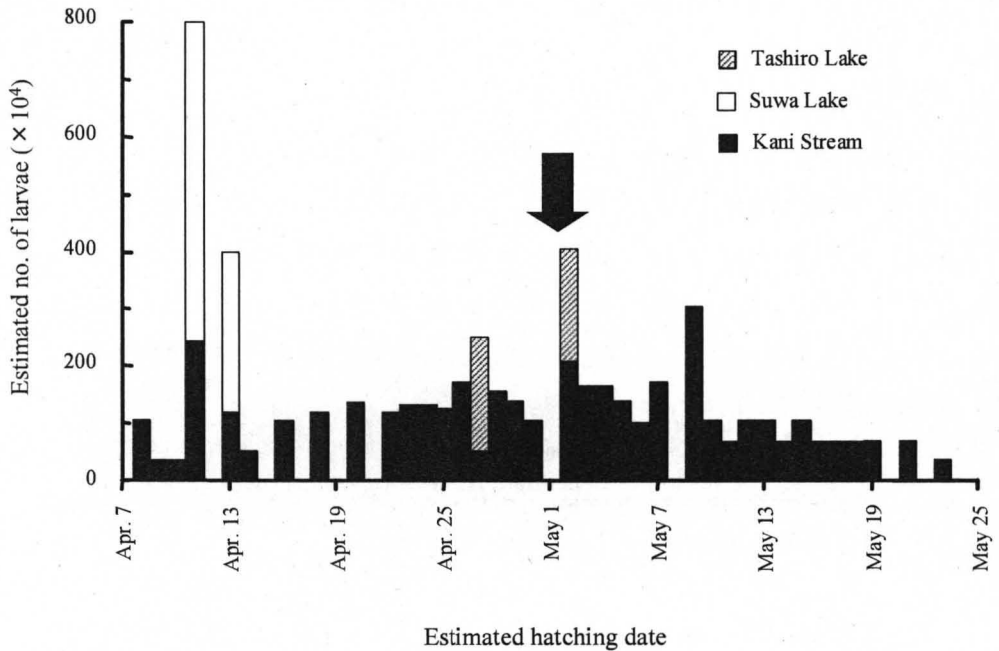


Fig. 5-2. The daily estimated numbers of released wakasagi larvae hatched from fertilized eggs by the locality in Narusawa Lake on 2002. An arrow indicates the sampling period.

を参考にすると、調査期間は自然産卵群放流卵のふ化期間の前半であったと推測された。

2) 放水にともなう流出仔魚の採集

2002年調査時は水深約3mに位置する排水口から放水されていた。放流水中の時刻別の採集仔魚尾数は9～23尾で、夜間に多い傾向であった(Table 5-1)。稚魚網の平均濾水量は $3.44\text{m}^3/5\text{min} \pm 0.07$ ($n=8$)であった。平均放流量は約170L/s (167.2～173.7L/s)で、採集時における目視観察でも調査期間中に大きな変動は認められなかった。これらのことから、調査時の仔魚の流出量は1日当たり約

Table 5-1. Numbers and total length of larval wakasagi captured by larva-net for 5 minutes in effluent from Narusawa Lake during May 1-2 in 2002

Sampling date	Time	No.	Total length (mm)	
			Mean \pm SD	Range
May 1, 2002	11:00	9	6.7 \pm 1.7	4.8 - 11.2
	14:00	14	6.3 \pm 1.1	4.5 - 7.8
	17:00	15	7.9 \pm 2.4	4.8 - 12.1
	20:00	23	7.9 \pm 2.5	4.5 - 13.0
	23:00	16	7.1 \pm 2.2	5.3 - 11.7
May 2, 2002	2:00	20	6.2 \pm 1.1	4.7 - 9.3
	5:00	14	8.0 \pm 2.0	5.6 - 12.1
	8:00	9	7.5 \pm 1.9	4.9 - 12.4

6.45 万尾と算出され、この年の推定ふ化尾数合計の約 0.12% ($6.45/5494 \times 100$) に相当した。また、流出仔魚の最小全長は 4.5mm であり、ふ化直後から流出していることが明らかになった。なお、測定放流量と有効貯水容量から換水率(貯水容量/単位時間当たりの注水量)を求めると約 87 日となった。

2004 年調査時は水深約 4m に位置する排水口から放水されていた。放流水中の日別の採集仔魚尾数は 5 ~ 13 尾であった (Table 5-2)。稚魚網の平均濾水量は $4.08\text{m}^3/5\text{min} \pm 0.28$ ($n=6$) であった。平均放流量は約 190L/s (174.6 ~ 195.8L/s) で、これらのことから、調査期間の仔魚の流出量は 1 日当たり平均約 4.02 万尾 (1.68 ~ 6.10 万尾) と算出され、この年の推定ふ化尾数合計の約 0.06% (0.03 ~ 0.10%) に相当した。

Table 5-2. Numbers and total length of larval wakasagi captured by larva-net for 5 minutes in effluent from Narusawa Lake in 2MM4

Pampling date	Time	No.	Total length (mm)	
			Mean \pm SD	Range
Apr. 13, 2004	12:00	5	6.4 \pm 1.3	4.9 - 8.5
Apr. 15, 2004	11:00	12	9.3 \pm 1.5	6.1 - 12.2
Apr. 20, 2004	10:30	13	7.5 \pm 0.9	5.6 - 8.9
Apr. 21, 2004	13:30	13	7.8 \pm 1.3	6.2 - 10.6
Apr. 23, 2004	10:30	5	5.9 \pm 0.6	5.1 - 6.6
Apr. 26, 2004	10:30	10	7.0 \pm 1.1	5.6 - 8.8

3) 湖内における仔魚の採集

水深別の揚水中の仔魚採集尾数(平均全長 \pm 標準偏差, 範囲)は、5 月 1 日 21 時の水深 1, 2, 3, 4, 5m がそれぞれ 0 尾, 1 尾 (7.7mm), 5 尾 ($7.2\text{mm} \pm 1.1$, 5.4 ~ 8.3mm), 2 尾 ($8.1\text{mm} \pm 1.0$, 7.0 ~ 9.1mm), 3 尾 ($6.8\text{mm} \pm 0.7$, 6.0 ~ 7.6mm) であったが、5 月 2 日 9 時では各水深とも採集尾数は 0 尾であった。

4) 水質環境と動物プランクトン個体数密度

水温は、水深 0.1m が約 18 °C で、深くなるに従い低下し、3m で約 14 °C となり、8m で約 7 °C であった (Fig. 5-3)。DO は、昼夜ともに水深 3m で最大となり、昼間は 6 ~ 7m で急激に減少していた。pH は、昼夜ともに水深 0.1m から 3m まで 10.6 以上であり、3 ~ 8m で低下し、8m 以深は 7.0 以下であった (Fig. 5-4)。

水深別の動物プランクトンとその個体数密度を Table 5-3 に示した。21 時、9 時ともに水深 1, 2m はカメノコウワムシが、水深 3, 4, 5m はコシブトカメノコウワムシが優占した。コシブトカメノコウワムシの個体数密度については、21 時では水深 3m が、9 時では水深 5m が 1000 個体/L 以上で最高となっていた。

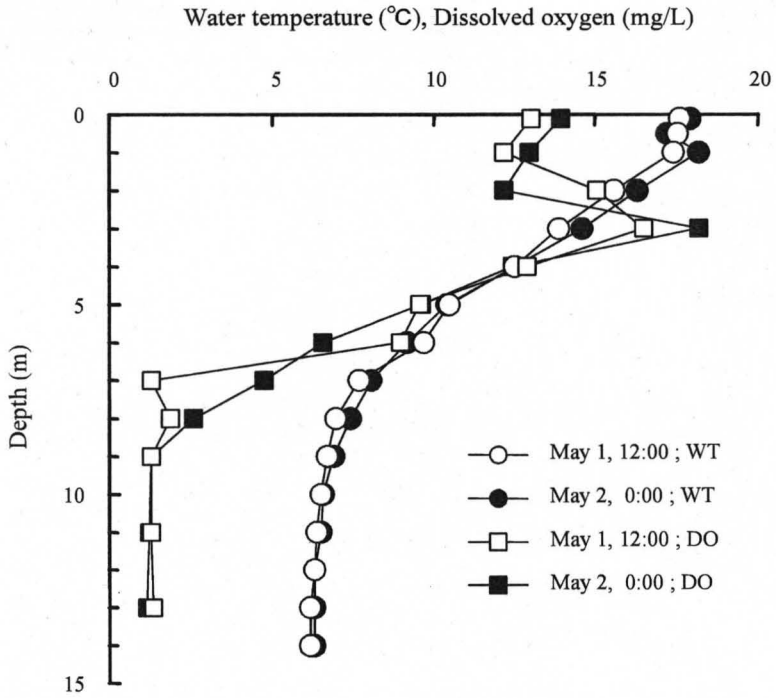


Fig. 5-3. Relationship between the depth and water temperature, dissolved oxygen in Narusawa Lake in 2002.

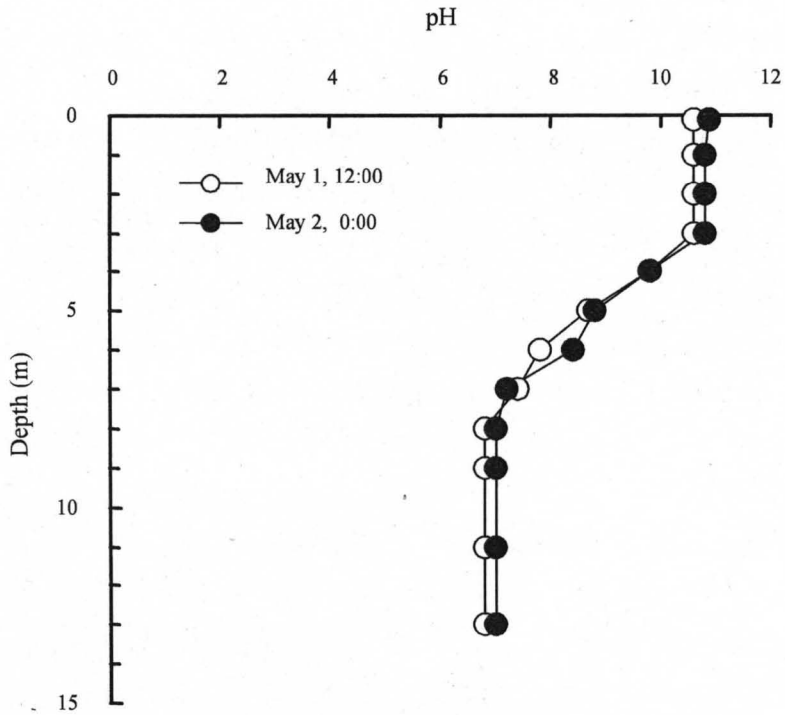


Fig. 5-4. Relationship between the depth and pH in Narusawa Lake in 2002.

Table 5-3. Density (no./L) of zooplankton in Narusawa Lake in 2002

Species	Sampling date, time Sampling depth (m)	May 1, 21:00					May 2, 9:00				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nauplius and metanauplius of Copepoda		0.6	1.9	4.4	3.6	1.3	0.6	1.9	1.5	0.8	1.9
Copepodid and adult of Copepoda		0.6	1.1	5.8	2.3	2.1	1.1	0.6	2.5	0.8	0.6
<i>Bosmina</i> sp.		4.7	7.1	3.3	2.0	0.8	1.8	6.2	1.5	2.3	2.3
<i>Alona</i> sp.		0	0	0	0.2	0.2	0	0	0.1	0	0
<i>Brachionus calyciflorus</i>		0	0	1.9	0	0	0	0	0.3	0.9	3.2
<i>Keratella cochlearis</i>		100.1	147.4	37.6	32.1	6.8	85.8	151.6	13.1	12.8	23.2
<i>Keratella quadrata</i>		0.2	1.1	1095.9	533.6	464.9	0	0.6	109.2	570.6	1164.9
<i>Asplanchna</i> sp.		5.2	2.8	1.5	0.6	1.6	4.7	9.6	2.2	2.1	2.3
<i>Polyarthra</i> sp.		0	0.1	0.4	0.3	0.3	0.2	0	0	0	0
<i>Ploesoma hudsoni</i>		0.9	1.2	0.9	0.3	0	0.9	1.6	7.1	1.7	2.3
<i>Filinia longiseta</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6
Total		112.2	162.7	1151.6	574.8	478.0	95.1	172.1	137.4	591.8	1202.2

4 考察

鳴沢湖における仔魚の流出期間(日数)およびその期間中の1日当たりの流出量(尾数)の変化については今回の調査から把握できないが、流出期間を40日間とし、かつ1日当たりの平均流出量を今回の結果から得られた年間推定ふ化尾数合計の約0.1%と仮定すると、年間流出量は年間推定ふ化尾数合計の約4% (0.1 × 40) の200 ~ 250万尾程度と計算される。このように本調査でふ化直後からの放水による初期減耗が明らかとなったが、農業用放水は溜池本来の目的であるため不可避である。日没後に河川でふ化し翌朝までに網走湖(最大水深16.8m, 面積32.9km²)へ流入した仔魚は、1週間程度で湖内全域に到る程分散が非常に速やかである(虎尾 2001)。したがって、網走湖よりも非常に狭小の鳴沢湖(最大水深17.5m, 面積0.17km²)で、現在のように排水口から最も離れた地点に放流卵を収容していても流出は避けられないと考えられる。対策として、DOがワカサギの生息に適さない程少ない深層から放水することが考えられるが、放水施設の改修に際し経済的かつ時間的な負担が生じることや、放流水低水温化などの水質変化による農作物への影響が危惧される。例えば鳴沢湖の場合、DOが少ない水深8m以深では水温が6.2 ~ 7.4℃と、現状の放流水の13.4 ~ 14.0℃に比べ約7℃も低くなってしまい、水稻の生育に悪影響を及ぼす恐れがある。

一方、本調査における放流水中および水深別の揚水中の仔魚採集尾数は夜間に多かった。サイズの仔魚の餌料となり得るコシブトカメノコウワムシの水深毎の分布密度も昼夜で異なり、夜間より昼間は深層に多かった。小川原湖における仔稚魚の鉛直分布は、昼間が水深5m付近、夜間が水面付近というように日周期的に変化する(片山 1996)。網走湖における仔魚の鉛直分布の特徴として、昼間はより深層に、夜間はより表層に多く分布するという光環境に同調し

た日周鉛直移動が行われ、さらに、仔魚の消化管内容物個体数は夜間に多くなる(浅見 2004)。また、諏訪湖における体長約 8mm の仔魚は、ある程度の遊泳力を備え、昼間は夜間より活動性が高いことが推察される(竹内 1984)。これらのことから、鳴沢湖でも仔魚の遊泳層や摂餌活動が昼夜で異なっている可能性が示唆される。したがって、仔魚と餌料プランクトンの日周鉛直移動を詳細に調査した後、排水口水深付近における両者の密度が低い時刻に放水することが管理上可能であれば、減耗量と餌料流出量の低減対策の 1 つに成り得るであろう。

水槽観察では、体長 11mm を超えると S 字状屈伸運動による摂餌行動が、体長 16mm を超えると群れ行動が現れる(山岸 1974)とされ、遊泳力向上がこれらの行動を発現させたと推察される。したがって、ある程度の遊泳力が備わり、その発育段階の生態を利用すれば排水口から忌避させることが可能であると考えられる。しかし、形態形成から推察して仔魚期の遊泳力は極めて弱いため、その分散は受動的である可能性が高い(虎尾 2001)。さらに、環境要因(水温、塩分、クロロフィル a 量、微小動物プランクトン総個体数密度)との関係から仔魚の水平分布は物理的な受動的輸送に影響される(浅見 2004)ことから、ふ化直後の仔魚では遊泳力が乏しいため意図的に忌避させるのは困難であろう。

この減耗量を低減する対策については、経済的かつ労力的な観点からも更に詳しく検討する必要があるだろう。しかしながら、現実的な対策を導き出すためには、未だ不明な点の多い仔魚の遊泳生態や摂餌生態をさらに解明する以外に方法は見あたらず、現時点では減耗量を見越した資源管理を行うべきである。

第6章 オオクチバスの捕食によるワカサギ資源量の減少

1 緒言

ワカサギ資源の減耗要因の1つとして、ワカサギ漁場に生息している魚類などによる捕食が挙げられる。ワカサギの産出卵に対し、赤城大沼ではウグイ、丹生湖ではヨシノボリ属魚類、水槽実験ではスジエビ *Palaemon paucidens* による捕食が確認されている(小西・信沢 1996a, 1996b)。成魚に対しても、芦ノ湖(神奈川県)では肉食性魚類であるニジマス、ブラウントラウト *Salmo trutta*, オオクチバスによる捕食が生じ(佐藤ら 1981; 安藤ら 1982), 西湖(山梨県)でもオオクチバス, ナマズ, イワナ, ヒメマス *Oncorhynchus nerka nerka*, ギンザケ *Oncorhynchus kisutch* に捕食されている(高橋・大浜 1996)。奥利根湖(みなかみ町)ではコクチバス *Micropterus dolomieu* による捕食も確認されている(久下・信沢 2002)。しかし, こうした被食による減耗と資源量との相互関係に関する報告は少なく(戸田 1994; 須藤・中田 1995), 資源の安定化を図る上で解明することが必須となっている。このため, 群馬県において代表的なワカサギ漁場である榛名湖を調査水域とし, 主にオオクチバスによるワカサギ資源への捕食の影響を調査した。

北アメリカ大陸原産の肉食性淡水魚であるオオクチバスは, 1925年に芦ノ湖へ日本で初めて移植(赤星 1996)されて以来, 現在までに国内のほぼ全域に分布圏が拡大し(全国内水面漁場管理委員会連合会 2003), 各地で在来生態系への影響が危惧されている。群馬県でも1990年代には県内約20水域にまで本種の生息域が広がり, 漁業対象種や在来種などの魚類資源に及ぼす影響が憂慮されている(吉沢ら 1992)。こうした観点から, これまでに本種の食性や成長に関する調査が多く行われてきた(神奈川県淡水魚増殖試験場 1984; 新谷・渡邊 1990; 吉沢 1992a, 1992b; Yodo and Kimura 1996; 淀・木村 1998)。しかし, 本種について生息尾数を推定したり, 餌料環境が異なる年の食性や栄養状態を調査した報告は少ない(須藤・中田 1995; Azuma and Motomura 1998)。特に本種と重要漁業対象種であるワカサギとの相互関係に関する知見は未だ十分とは言えない。

そこで本章では, ワカサギが重要な漁業対象種となっている榛名湖において, オオクチバスとワカサギの資源量の年変動およびオオクチバスの食性を調査し, オオクチバスがワカサギの資源量に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2 材料と方法

1) 調査水域

日本のほぼ中央に位置する榛名湖 (Fig. 6-1) は、榛名山の火口原湖 (湖岸延長 4.8km, 最大水深 14.6m, 面積 1.22km²) で、湖面標高が 1084m と高いため冬季は全面結氷する。沿岸部の底質は砂から砂礫で、夏季にはセキショウモ *Vallisneria natans* やエビモ *Potamogeton crispus* などの沈水植物が繁茂している。70 年以上前から増殖事業が行われているワカサギが遊漁の中心となっている第 5 種共同漁業権漁場であるが、漁況は不安定で、特に 1996 年から 1998 年の期間は漁獲量が極端に少ない状態であったことが知られている。また、その生息が確認されてから約 30 年が経過したオオクチバスを対象とした遊漁者も多い。その他の主な生息魚類は、ヨシノボリ属魚類、オイカワ、フナ属魚類、コイ、アオウオ *Ctenopharyngodon piceus*、ニジマスなどである (吉沢ら 1981b ; 関根 1985a)。

榛名湖へのオオクチバスの移入経路は不明であるが、同じ群馬県の大塩貯水池や神流湖とほぼ同時期の 1970 年代前半に生息が確認されており (吉沢ら 1981a), 県内で最も早く本種が侵入した水域の一つである。

2) ワカサギの放流量と自然産卵

榛名湖におけるワカサギ資源量は、主に 4 月中旬から 5 月中旬に行われる受精卵放流と水深約 20cm 以浅の沿岸部で行われる自然産卵 (小西・信沢 1996a) に由来する。1993 年から 2002 年までの受精卵などの産地別放流量と、湖岸からの目視観察による産卵行動の有無について榛名湖漁業協同組合から情報の提供を受けた。なお、受精卵放流は、受精卵が付着したシュロ枠をふ化箱に収容し、水面下約 50cm かつ水底上 1m 以上の水深に設置してふ化させる方法によった。

3) ワカサギの資源量推定

1993 年から 2002 年までの 5 月から 6 月に、主にワカサギ受精卵の放流地点周辺である湖南東部で、円錐形稚魚網 (口径 46cm, 側長 100cm, 目合 0.28mm) を船速約 0.4m/s で主に水深 5m 層を水平曳きしてワカサギの仔魚を採捕し、CPUE (単位漁獲努力量当たりの漁獲量) を算出した。この際、濾水計は未装着のため濾過効率を 100% と仮定した。CPUE は曳網距離 1km 当たりの採捕尾数とした。

ワカサギ漁は、毎年 9 月 1 日から翌年 3 月 31 日まで遊漁として行われる。榛名湖漁業協同組合が 1993 年から 2002 年までの間に調査した年間遊漁者数に平均釣獲尾数を乗じて算出した漁獲量を、その年度の資源量の指標とした。

4) オオクチバスの標本採集

オオクチバスは沈水植物や栈橋などの障害物付近に多く生息していることから、定置網、刺し網、投網などの網漁具よりも機動的かつ効率的に採捕できる釣り漁具により標本を採集した。採集地点は、ボートからの釣りの場合は湖内全域、栈橋からの釣りの場合は湖南部の沿岸部であった。また、採集水深は、ルアー釣りの場合は全層、餌釣りの場合は 3m 以浅であった。なお、ルアー釣りの場合は全長 25cm 以上の採集魚を標本とした。

5) オオクチバスの生息尾数推定

1997年5月28日にボートからのルアー釣りおよび栈橋からの餌釣りにより、178尾のオオクチバスを採集した。採集魚は、全長 25cm 未満が 64尾(全長 19.9 ~ 24.9cm, 平均全長 ± 標準偏差 = 22.7cm ± 1.1), 全長 25cm 以上が 114尾(全長 25.1 ~ 36.8cm, 平均全長 ± 標準偏差 = 29.9cm ± 2.4)であり、全採集魚の背鰭中央直下背部に個体識別可能な体外標識(アンカータグ)を施し、同日中に湖内 6 地点(A ~ F)に分散放流した(Fig. 6-1)。このうち全長 25cm 以上の標識魚の放流尾数は 1 地点当たり 17 ~ 21 尾であった。放流 18 日後(6月15日)と 32 日後(6月29日)の 2 回にわたりボートからのルアー釣りにより全長 25cm 以上の標識魚の再捕を行い、Petersen 法の諸条件を満たすと仮定した上で Bailey の式により生息尾数

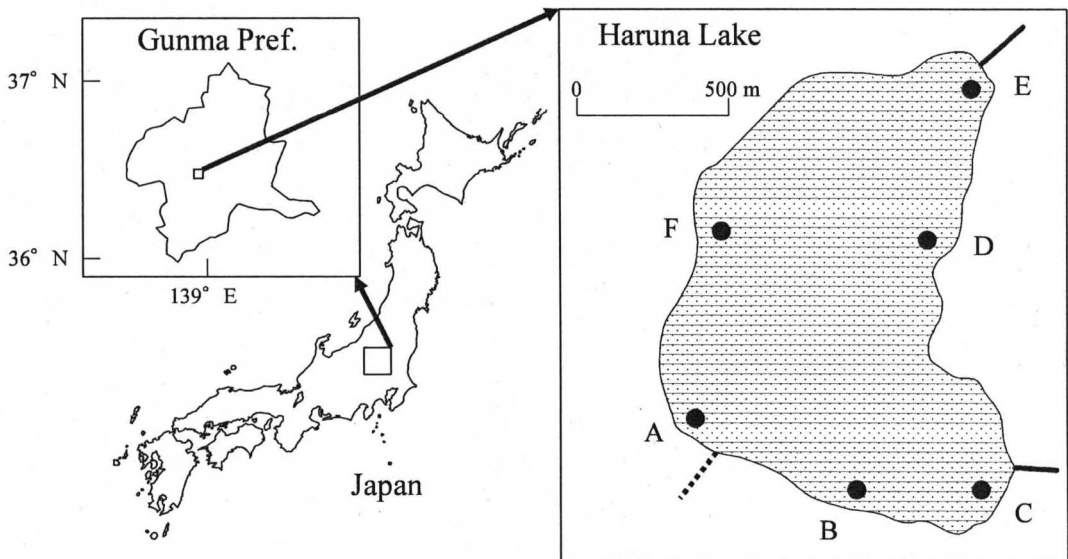


Fig. 6-1. Location of Haruna Lake, Gunma Pref. and 6 sites (solid circles A-F) where the tagged largemouth bass were released and recaptured.

を推定した(田中 1985 ; 水野 1992)。その後、標識魚が釣れた場合は、標識番号、釣獲日、釣獲場所、全長、体重を遊漁者から報告してもらった。

6) オオクチバス釣り大会の秤量魚体重と CPUE

1993 年から 2002 年まで各年 4 ~ 5 回(5 月から 8 月までを中心に 4 月と 9 月も含めて原則的に月 1 回)開催されたボートからのルアー釣りによるオオクチバス釣り大会のデータ(大会回数 47 回、延べ参加者数 2065 人、延べ釣獲時間 269 時間、延べ秤量尾数 3184 尾)を用い、オオクチバス秤量魚の平均体重と CPUE を算出した。ただし、大会規定により参加者の秤量可能な個体は全長 25cm 以上かつ 1 大会につき 5 尾(2002 年は 3 尾)までという制限がある。そのため、参加者に釣獲された全長 25cm 未満の個体は計数・秤量されておらず、参加者 1 人が 6 尾(2002 年は 4 尾)以上釣獲した場合は、そのうち 5 尾(2002 年は 3 尾)のみが秤量されている。CPUE は参加者 1 人・1 時間当たりの秤量尾数とした。なお、開催年あるいは開催月間の統計処理には、秤量制限尾数が共通である 1993 ~ 2001 年の 5 ~ 8 月の値を用いた(大会回数 38 回、延べ参加者数 1682 人、延べ釣獲時間 215 時間、延べ秤量尾数 2685 尾)。

7) オオクチバスの食性

ボートおよび栈橋からの餌釣りにより、1997 年 3 月から 10 月までに 166 個体(標準体長 13.8 ~ 30.0cm, 体重 58 ~ 795g), 2001 年 4 月から 9 月までに 75 個体(標準体長 16.4 ~ 30.0cm, 体重 134 ~ 718g)のオオクチバスを採集した。標本は採集後直ちに腹腔内にホルマリン原液を注入し、氷冷運搬後、実験室にて魚体測定と胃内容物の観察を行った。さらに、棘条部と側線間中央付近の鱗を数枚採取し、実体顕微鏡下で休止帯を計数して生年を査定した。胃内容物については、湿重量を秤量後、可能な限り種の同定を行ったが、同定困難な場合は不明種とした。測定値から肥満度、空胃率、餌料出現率、胃内容物重量指数を以下の式により算出した。

$$\text{肥満度} = \text{体重} / (\text{標準体長})^3 \times 1000$$

$$\text{空胃率}(\%) = \text{空胃標本数} / \text{全標本数} \times 100$$

$$\text{餌料出現率}(\%) = \text{ある生物を捕食していた標本数} / (\text{全標本数} - \text{空胃標本数}) \times 100$$

$$\text{胃内容物重量指数} = (\text{胃内容物重量} - \text{無生物体胃内容物重量}) / (\text{体重} - \text{生殖腺重量}) \times 1000$$

8) ヨシノボリ属魚類の食性

ワカサギ受精卵の放流地点において手網により、放流卵の推定ふ化日前後である1997年4月30日、同年5月2日、同年5月6日のいずれも午後1時頃に60個体(全長2.1～3.8cm, 平均全長±標準偏差=2.8cm±0.4)、1998年4月21日と同年4月29日のいずれも午後9時頃に44個体(全長2.3～5.6cm, 平均全長±標準偏差=3.5cm±0.8)のヨシノボリ属魚類を採集した。標本は採集後直ちに70%エタノール(1997年)あるいは10%ホルマリン(1998年)に浸漬し、実験室にて魚体測定と実体顕微鏡下で胃内容物の観察を行った。胃内容物については可能な限り種の同定を行ったが、同定困難な場合は不明種とした。測定値から空胃率と餌料出現率を前述の式により算出した。

3 結果

1) ワカサギの資源量変化

1993年から2002年までのワカサギ放流量の経年変化をFig. 6-2Aに、目視観察による産卵行動の有無と曳網による仔魚のCPUEをTable 6-1に示した。受精卵放流量は1993年から漸増し、1997年には1億粒以上に達した。しかし、1995年以降ワカサギの漁況が悪化したことにより、1998年と1999年は受精卵放流量を減らして、冬季に小川原湖からの成魚放流を行う放流形態に変更された。また、1999年以降は放流時期の分散化を図るため、諏訪湖と田代湖に加え、網走湖からも受精卵を導入した。産卵行動は1995年まで確認されていたが、1996～1999年の4年間は確認されなくなった。その後、2000年以降再び確認されるようになった。

CPUEは1995年まで微増していたが、1996年から減少し、1999年までの4年間は5尾/km以下であった。特に1998年は0.6尾/kmと極めて少なかったが、2000年には222.2尾/kmに急増した。

1993年から2002年までのワカサギ推定漁獲量の経年変化をFig. 6-2Bに示した。1993～1994年には年間200万尾前後の漁獲があったが、1995年には115万尾に減少し、1996～1998年はほとんど漁獲がなく不漁であった。その後、1999年には漁獲量が再び96万尾に回復し、2000～2002年は年間170万尾以上の漁獲が続いて豊漁であった。

2) オオクチバスの生息尾数推定

標識放流後2回行われた再捕結果から推定した全長25cm以上の個体の生息尾数をTable 6-2に、再捕された標識魚のうち再捕地点と再捕日が明らかな標識魚の放流地点と再捕地点をTable 6-3に示した。再捕率(再捕標識魚尾数/標識魚

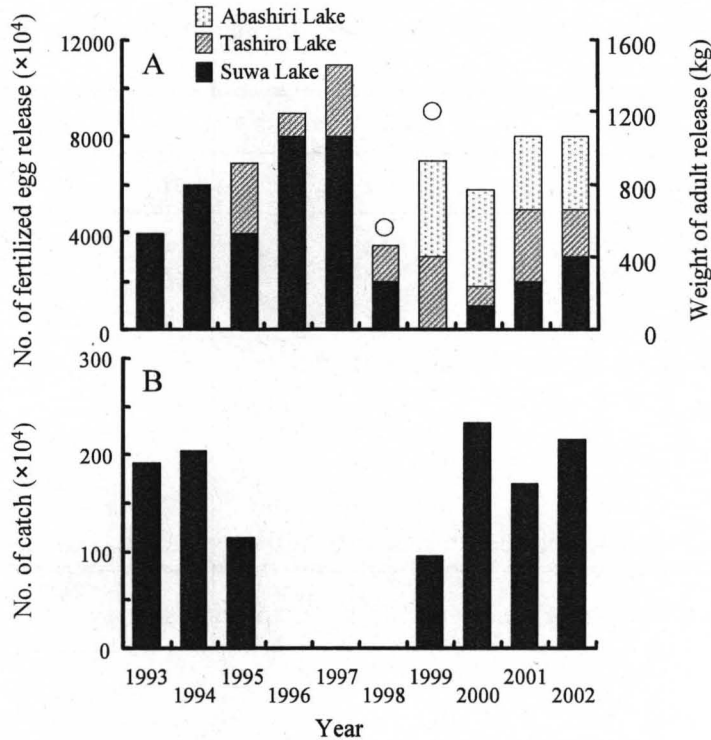


Fig. 6-2. The annual release (A) of fertilized eggs by the locality and adults (open circles) from Ogawara Lake, and catch (B) of wakasagi in Haruna Lake from 1993 to 2002.

Table 6-1. Observation of spontaneous spawning and CPUE by sweeping net of wakasagi in Haruna Lake from 1993 to 2002

	Year									
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Spontaneous spawning	+*	+	+	-**	-	-	-	+	+	+
CPUE (no./km)	16.7	26.4	29.2	5.0	1.1	0.6	1.0	222.2	38.2	90.0

* Observed.

** Unobserved.

尾数 × 100)は 1.75%と低かったが、放流から再捕までの間に標識魚の死亡はなかったと仮定し生息尾数を推定したところ、2166 ~ 2850 尾であった。なお、放流後 32 日以内では、放流地点と同じ場所で再捕された個体は 4 個体中 1 個体のみであり、他は遠く離れた地点で再捕された。さらに、1 年以上経ても標識魚が再捕されたことから、生息尾数推定時に標識魚は湖内にほぼ均等に分布していたとともに、標識の脱落はほとんど無かったと判断した。

Table 6-2. Tagging experiments for abundance estimation of largemouth bass (total length ≥ 25 cm) in Haruna Lake

Sampling date	No. of captured fish			No. of estimated fish* (95% confidence interval)
	Tagged	Untagged	Total	
Jun. 15, 1997	2	54	56	2166 (58 - 4274)
Jun. 29, 1997	2	72	74	2850 (58 - 5642)

* Mark-and-recapture method by Bailey's formula.

Table 6-3. Releasing and recapturing sites of tagged largemouth bass in Haruna Lake

Specimen no.	Releasing site*	Recapturing site*	Days after releasing**
1	E	B	18
2	B	B	18
3	C	F	32
4	A	D	32
5	E	A	105
6	E	A	361
7	D	B	416
8	C	A	424
9	C	A	437
10	A	A	1422
11	E	B	2197

* Shown in Fig. 6-1.

** (Date of recapture)-(Date of release).

3) 釣法別オオクチバス標本の全長組成

標識を施したオオクチバス 178 尾は、ルアー釣りにより 43 尾(全長 26.1 ~ 36.0cm, 平均全長 \pm 標準偏差=30.1cm \pm 2.0), 餌釣りにより 135 尾(全長 19.9 ~ 36.8cm, 平均全長 \pm 標準偏差=26.4cm \pm 4.2)が採集された。この採集魚の釣法別の全長頻度分布を Fig. 6-3 に示した。ルアー釣りによる全長 25cm 以上の採集魚は全長 30 ~ 31cm を最頻値とする単峰分布, 餌釣りによる採集魚は全長 22 ~ 23cm と 30 ~ 31cm を最頻値とする双峰分布を示した。

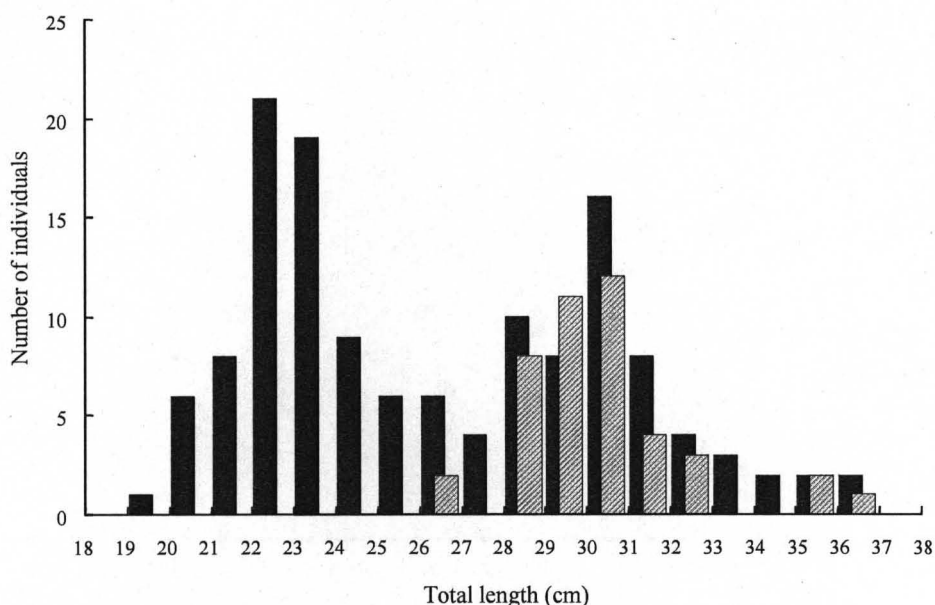


Fig. 6-3. Size frequency of largemouth bass captured by bait fishing (solid bars, $n=135$) and lure fishing (diagonal bars, $n=43$, total length ≥ 25 cm) in Haruna Lake on May 28, 1997.

4) オオクチバス秤量魚の体重変化

釣り大会における秤量魚の体重の経年変化を Fig. 6-4 に示した。各年の秤量されたオオクチバスの平均体重は、1995 年から減少が見られ、2000 年から明らかに増大した (Friedman's test, $\chi^2=31.13$, $df=8$, $P<0.01$)。各大会の秤量されたオオクチバスの平均体重は、最小が 1998 年 7 月の 223 g ($n=115$, 160 ~ 280g) で、最大が 1994 年 5 月の 692g ($n=49$, 445 ~ 960g) であった。各年内では 5 月に最大値を、7 月あるいは 8 月に最小値を示し、開催月間で体重に有意な差が認められた (Friedman's test, $\chi^2=20.33$, $df=3$, $P<0.01$)。

5) オオクチバス釣り大会の CPUE と秤量尾数別参加者割合

釣り大会における CPUE の経年変化を Fig. 6-5A に、各大会における参加者全員に対する秤量尾数ごとの参加者の割合の経年変化を Fig. 6-5B に示した。

各年の CPUE は、最少が 1993 年 5 月の 0.06 尾/h・人 ($n=46$) で、最大が 1996 年 8 月の 0.58 尾/h・人 ($n=50$) であった。各年および開催月間で CPUE に有意な差は認められなかった (年, Friedman's test, $\chi^2=6.67$, $df=8$, $P>0.1$; 月, Friedman's test, $\chi^2=1.13$, $df=3$, $P>0.1$)。秤量尾数ごとの参加者割合から、1996 年は秤量尾数 0 尾の参加者が 22.3% と最低であるとともに、3 尾以上が 39.3% で、5 尾以上も 19.4% と最高であった。

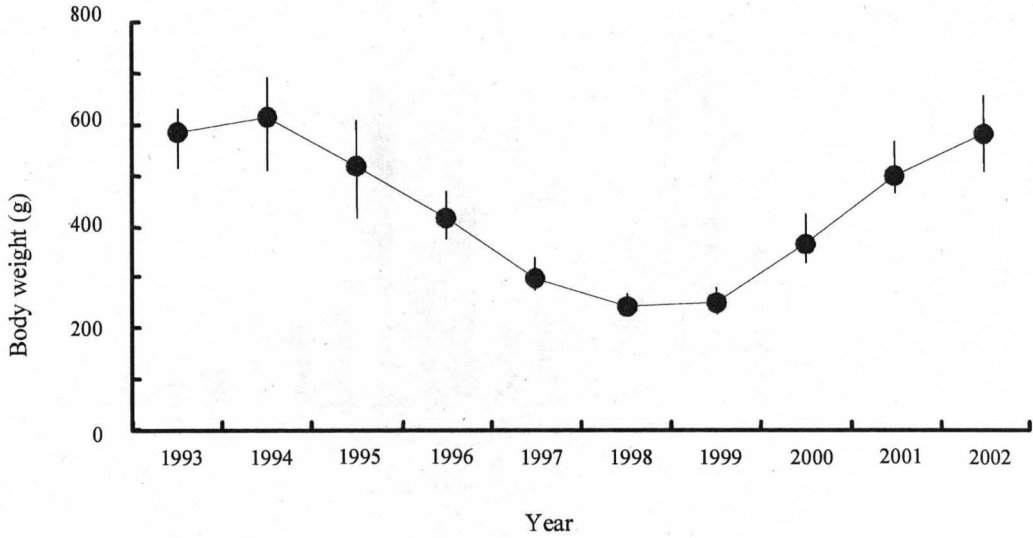


Fig. 6-4. Yearly changes in mean body weight of largemouth bass by fishing tournaments in Haruna Lake from 1993 to 2002. Vertical lines show the range of mean monthly body weight.

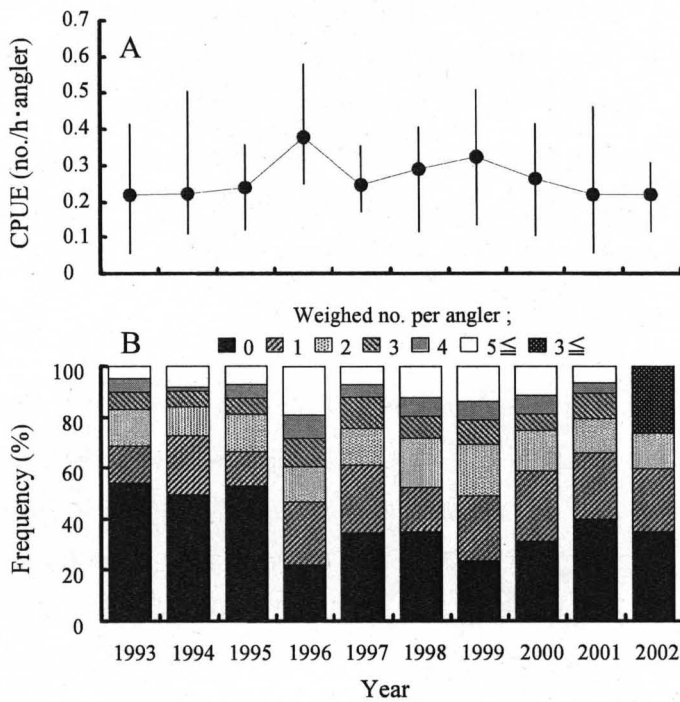


Fig. 6-5. Yearly changes in mean CPUE (A) and frequency of weighed number per angler (B) of largemouth bass by fishing tournaments in Haruna Lake from 1993 to 2002. Vertical lines show the range of mean monthly CPUE.

6) オオクチバスの年級群構成

標本の推定生年別の尾数頻度分布を Table 6-4 に示した。両年共に 0 歳魚は認められず、1997 年 ($n=166$) は 2 ~ 3 歳魚である 1994 ~ 1995 年級群が 91.6% を占めた。一方、2001 年 ($n=75$) は 2 ~ 3 歳魚である 1998 ~ 1999 年級群が極めて少なく、4 ~ 6 歳魚である 1995 ~ 1997 年級群が 89.3% と多数を占めた。

1997 年採集標本の標準体長、体重、肥満度の平均値 ± 標準偏差は、21.9cm ± 3.5, 248g ± 124, 22.0 ± 3.0 であり、2001 年のそれらは、それぞれ 25.7cm ± 2.6, 468g ± 129, 26.9 ± 2.5 であった。若年齢魚が占める割合が少なかった 2001 年の方が 1997 年より有意に、標準体長は大きく (Welch's t test, $t=9.22$, $df=188.8$, $P<0.05$)、体重は重かった (Student's t test, $t=12.58$, $df=239$, $P<0.05$)。また、肥満度については 2001 年の方が 1997 年より有意に高かった (Student's t test, $t=12.42$, $df=239$, $P<0.05$)。しかし、4 歳魚の平均標準体長、平均体重、平均肥満度は、1997 年 ($n=10$) が 27.2cm, 491g, 23.9 で、2001 年 ($n=17$) が 24.0cm, 365g, 26.4 であり、標準体長と体重に有意差が認められた (標準体長, Student's t test, $t=5.67$, $df=25$, $P<0.05$; 体重, Welch's t test, $t=2.44$, $df=10.3$, $P<0.05$)。

Table 6-4. Frequency (%) of the estimated hatching year class of largemouth bass in Haruna Lake in 1997 and 2001

Sampling year	Estimated hatching year											Total
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	
1997	0	1.8	6.0	40.4	51.2	0.6	0	-	-	-	-	100
2001	0	0	1.3	2.7	20.0	46.7	22.7	2.7	0	4.0	0	100

7) オオクチバスの食性

ワカサギ不漁年である 1997 年は 166 個体中 116 個体、ワカサギ豊漁年である 2001 年は 75 個体中 66 個体で胃内容物が確認された。各月と通年の餌料出現率を Table 6-5, 6-6 に、通年の餌料出現率と空胃率を Fig. 6-6 に示した。1997 年と 2001 年の通年の餌料出現率については、魚類がそれぞれ 48.3% と 66.7% と最も高く、次いで甲殻類がそれぞれ 30.2% と 62.1% であり、魚類と甲殻類が両年とも重要な餌料となっていた。魚類の中では、1997 年はヨシノボリ属魚類が 32.8%、2001 年はワカサギが 30.3% と最も高かった。ヨシノボリ属魚類は稚魚も捕食されていたが、ワカサギの稚魚は確認されなかった。捕食されていたワカサギは、魚体未消化部分から全長を推定すると約 3 cm 以上の未成魚と成魚であった。甲殻類の中では、両年ともにスジエビが 25.0% (1997 年) と 53.0% (2001 年) で最も高かった。1997 年には水生昆虫と陸生昆虫の餌料出現率がそれぞれ 19.0% と 10.3% であったが、2001 年は全く確認されなかった。通年の空胃率は 1997 年が 30.1% で、2001 年が 12.0% であった。

Table 6-5. Frequency of the prey occurrence in stomach contents of largemouth bass in Haruna Lake from March to October in 1997

Prey organisms	Frequency of the prey occurrence (%)								
	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Total
Fishes									
<i>Hypomesus nipponensis</i>	0	7.7	0	0	4.5	0	0	0	1.7
<i>Rhinogobius</i> sp.	20.0	53.8	26.3	27.8	40.9	25.0	35.3	0	32.8
<i>Zacco platypus</i>	0	0	0	0	9.1	0	0	0	1.7
<i>Carassius</i> sp.	0	0	5.3	0	0	0	0	0	0.9
Unidentified fishes	80.0	7.7	0	11.1	13.6	10.0	5.9	0	11.2
Total of fishes	100	69.2	31.6	38.9	68.2	35.0	41.2	0	48.3
Crustaceans									
<i>Paratya compressa improvisa</i>	0	7.7	0	5.6	0	0	0	0	1.7
<i>Palaemon paucidens</i>	0	23.1	47.4	16.7	22.7	25.0	17.6	50.0	25.0
<i>Procambarus clarkii</i>	0	0	15.8	5.6	0	0	0	0	3.4
Total of crustaceans	0	30.8	63.2	27.8	22.7	25.0	17.6	50.0	30.2
Aquatic insects									
Ephemeroptera (larva)	0	0	0	11.1	18.2	5.0	0	0	6.0
Chironomidae (larva)	0	15.4	0	5.6	9.1	0	0	0	4.3
Chironomidae (pupa)	0	7.7	5.3	5.6	0	0	0	50.0	3.4
<i>Sialis japonica</i> (larva)	0	30.8	0	5.6	4.5	0	0	0	5.2
Total of aquatic insects	0	53.8	5.3	27.8	31.8	5.0	0	50.0	19.0
Terrestrial insects									
Ephemeroptera (adult)	0	0	0	0	9.1	0	11.8	0	3.4
Odonata (adult)	0	0	0	0	0	5.0	0	0	0.9
Trichoptera (adult)	0	0	0	0	0	0	5.9	0	0.9
Coleoptera (adult)	0	0	0	0	0	0	5.9	0	0.9
Diptera (adult)	0	0	0	0	0	0	5.9	0	0.9
Unidentified terrestrial insects	0	0	10.5	5.6	0	0	5.9	0	3.4
Total of terrestrial insects	0	0	10.5	5.6	9.1	5.0	35.3	0	10.3
Unidentified organisms	20.0	7.7	5.3	5.6	13.6	30.0	17.6	0	13.8

Table 6-6. Frequency of the prey occurrence in stomach contents of largemouth bass in Haruna Lake from April to September in 2001

Prey organisms	Frequency of the prey occurrence (%)					
	Apr.	May	Jun.	Jul.	Sep.	Total
Fishes						
<i>Hypomesus nipponensis</i>	35.5	50.0	0	25.0	28.6	30.3
<i>Rhinogobius</i> sp.	12.9	0	0	0	0	6.1
<i>Zacco platypus</i>	6.5	0	0	0	0	3.0
<i>Gymnogobius urotaenia</i>	9.7	0	0	0	0	4.5
Unidentified fishes	12.9	12.5	37.5	25.0	57.1	22.7
Total of fishes	77.4	62.5	37.5	50.0	85.7	66.7
Crustaceans						
<i>Paratya compressa improvisa</i>	25.8	0	25.0	8.3	0	16.7
<i>Palaemon paucidens</i>	61.3	25.0	75.0	41.7	42.9	53.0
<i>Macrobrachium nipponense</i>	0	0	0	8.3	0	1.5
Unidentified crustaceans	3.2	0	0	0	0	1.5
Total of crustaceans	74.2	25.0	87.5	50.0	42.9	62.1
Other organisms						
Unidentified snail	3.2	0	0	0	0	1.5
Unidentified organisms	0	25.0	0	16.7	14.3	7.6

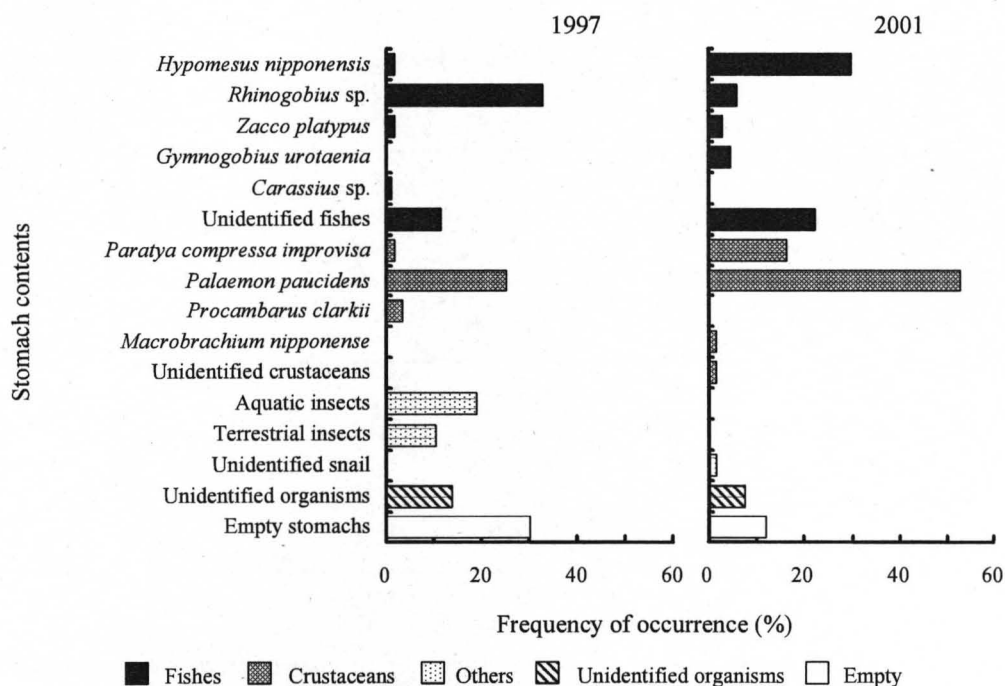


Fig. 6-6. Frequency of the prey occurrence and empty stomach of largemouth bass in Haruna Lake in 1997 and 2001.

両年のワカサギとヨシノボリ属魚類の餌料出現率の季節変化について見てみると、ワカサギは、1997年では4月と7月にそれぞれ7.7%と4.5%を示しただけであったが、2001年は6月を除き25%以上で推移した。1997年の4月が成魚で7月が未成魚であり、2001年の4～5月が成魚で7月以降は主に未成魚であった。ヨシノボリ属魚類は、1997年では10月以外20%以上で推移したが、2001年では4月の12.9%のみであった。

標本の肥満度、空胃率、胃内容物重量指数の季節変化を Fig. 6-7 に示した。肥満度は、1997年が17.5～23.6で、2001年の25.6～27.7より各月ともに低かった。5～6月、9月の空胃率は両年同程度であったが、2001年の4月と7月は空胃個体が認められなかった。胃内容物重量指数は、通年では2001年の方が1997年より有意に高かった(Mann-Whitney test, $z=5.76$, $P<0.0001$)。なお、2001年5月の採集日には、ワカサギの産卵行動がほぼ終息しており、産卵盛期であった4月に比べ急激に低下していた。この2001年5月は、1997年5月に比べ低かったが、有意差は認められなかった(Mann-Whitney test, $z=0.35$, $P>0.7$)。

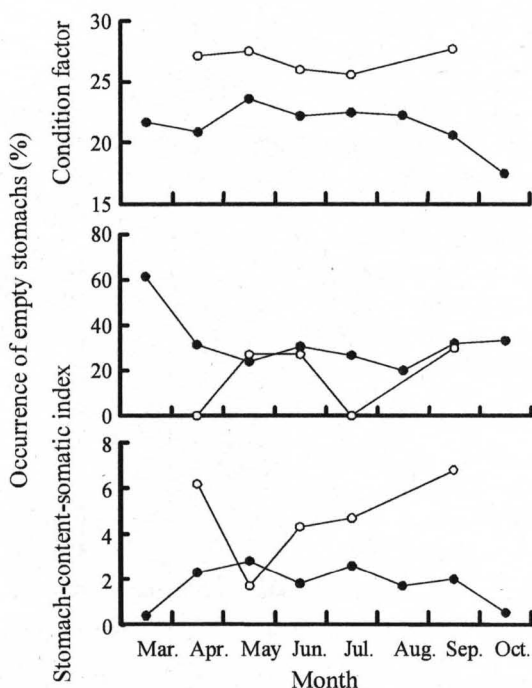


Fig. 6-7. Seasonal changes in mean condition factor, occurrence of empty stomachs and stomach-content-somatic index of largemouth bass in Haruna Lake in 1997 (solid circles) and 2001 (open circles).

8) ヨシノボリ属魚類の食性

1997年は60個体中47個体、1998年は44個体中37個体で胃内容物が確認された。各採集日の餌料出現率と空胃率をTable 6-7に示した。1997年と1998年の通年の餌料出現率については、ユスリカ科幼虫がそれぞれ59.6%と67.6%と最も高く、次いでカゲロウ目幼虫がそれぞれ17.0%と18.9%であり、水生昆虫が両年とも極めて重要な餌料となっていた。ワカサギの卵や仔魚は認められなかった。通年の空胃率は1997年が21.7%で、1998年が15.9%であった。

Table 6-7. Frequency of the prey occurrence in stomach contents and occurrence of empty stomachs of lake goby in Haruna Lake in 1997 and 1998

Prey organisms	1997				1998		
	Apr. 30	May 2	May 6	Total	Apr. 21	Apr. 29	Total
Frequency of the prey occurrence (%)							
Chironomidae (larva)	40.0	56.3	81.3	59.6	66.7	68.0	67.6
Ephemeroptera (larva)	26.7	18.8	6.3	17.0	25.0	16.0	18.9
Bosminidae	6.7	6.3	0	4.3	0	0	0
Unidentified snail	0	0	0	0	0	4.0	2.7
Unidentified organisms	33.3	31.3	12.5	25.5	25.0	20.0	21.6
Occurrence of empty stomachs (%)	25.0	23.8	15.8	21.7	25.0	10.7	15.9
No. of captured	20	21	19	60	16	28	44

4 考察

1997年5～6月における全長25cm以上のオオクチバスの生息尾数は約2500尾と推定された。同年同月の標本中($n=51$)での年級群ごとの平均全長±標準偏差(範囲)は、1996年級群が17.3cm($n=1$)、1995年級群($n=23$)が22.4cm±2.7(16.7～28.0cm)、1994年級群($n=22$)が29.5cm±2.4(20.3～31.9cm)、1993年級群($n=5$)が32.7cm±2.0(30.0～35.2cm)であり、これら各年級群中で全長25cm以上の個体が占める尾数割合は、1996年級群が0%、1995年級群が17%、1994年級が95%、1993年級群が100%であった。この全長25cm以上の全標本中($n=30$)では、1995年級群が13%、1994年級群が70%、1993年級群が17%を占めた。つまり、推定された生息尾数の主体は1994年級群で、他に一部の高成長1995年級群と1993年級群が含まれていたと考えられる。一方、2001年標本の年級群別尾数割合から、生息尾数推定時に全長25cm未満である1995～1996年級群が数多く生息していたとともに、推定直後にふ化した1997年級群も多かったと考えられる。このことは、餌釣りによる標識魚採集時の採集魚全長頻度分布から25cm未満の個体数が非常に多いことから示唆される。さらに、オオクチバス生息尾数の69%を0歳魚が占めるとされている(Azuma and Motomura 1998)ことから、1997年の夏季にはこれら若齢魚の生息尾数は極めて多くなっていたと推察される。オオクチバス釣り大会のCPUEと秤量尾数別参加者割合から、特に1996年は全長25cm以上のオオクチバスが多く釣られていることから、親魚の生息尾数が多く、産卵量が増大した可能性が推察される。

夏季の水深別の水温とDO分布(久下ら1997)から、榛名湖内でオオクチバスが生息している範囲を水深8m以浅の沿岸部(湖面の約28%相当)とし、この推定生息尾数から生息密度を算出すると、湖面面積100m²当たり0.74尾となる。ワカサギへの捕食率が大きい芦ノ湖における2歳魚以上の推定生息尾数(須藤・中田1995)から、同様(神奈川県水産総合研究所内水面試験場 http://www.agri.pref.kanagawa.jp/suisoken/naisui/kisyo/asi_sui.htm; 勝呂 私信; 橘川 私信)に水深15m以浅の沿岸部(湖面の約23%相当)の生息密度を算出すると、湖面面積100m²当たり0.93～1.86尾となり、榛名湖より多くなる。しかし、榛名湖には推定値には含まれない全長25cm未満の2歳魚がかなり多く生息しており両湖の密度は同程度になると推察される。また、川原大池(長崎県)における1歳魚以上の推定生息尾数(Azuma and Motomura 1998)から、同様(竹本 私信)に水深7m以浅の沿岸部(湖面の約90%相当)の生息密度を算出すると、湖面面積100m²当たり0.86尾となる。両湖の推定対象年級群の違いを考慮すると、2歳魚以上の個体では榛名湖の方が川原大池より高密度であると推察される。

榛名湖におけるオオクチバスは、日本の他の水域と同様に魚類と甲殻類を主

な餌料としており(吉沢 1992a), 魚類については, ワカサギ不漁年はヨシノボリ属魚類が, 豊漁年はワカサギが最も広く利用されていた。甲殻類については, 両年ともにスジエビが最も一般的であった。このことから, オオクチバスは利用しやすい餌を捕食していると考えられる。すなわち, ワカサギ親魚が産卵のために沿岸部の浅場を群泳している4~5月と, 潜水観察や定置網によりワカサギ0歳魚が沿岸部に繁茂した沈水植物中を群泳することが確認(久下ら 2002)されている夏季は, オオクチバスとの生息範囲が重なることによりワカサギが捕食されやすかったものと考えられる。一方, ヨシノボリ属魚類は, オオクチバスの成長にともない餌料としての重要度が低下するとされているが(新谷・渡邊 1990; 淀・木村 1998), 両年のオオクチバスの平均体長の差を考慮したとしても, ワカサギの生息密度が低い場合にはワカサギに替わりヨシノボリ属魚類が利用されていたと考えられる。ワカサギ不漁年のオオクチバスは, 豊漁年に比べ, 肥満度と胃内容物重量指数が有意に低いことや, 卓越した1995~1997年級群が若齢魚として釣り大会で秤量対象となる1997年以前から秤量魚の平均体重が低下し始めていることから, ワカサギの不漁年はオオクチバスにとって餌不足であったと考えられる。また, 高成長が期待できる若齢期が不漁期と重なる4歳魚の方が, 豊漁期と重なる場合よりも有意に小さいことから, ワカサギ資源量がオオクチバスの成長に大きく影響していたと推察される。さらに, 1998~1999年級群が標本中にほとんど出現しなかったのも, 不漁による餌不足が続いたために繁殖状況の悪化や稚魚の生残率の低下が生じたと推察される。

一方, ワカサギの産卵行動が目視観察されなかった1996~1998年は, 仔魚のCPUEが低くなり不漁に至ることから, ワカサギの自然産卵による資源への加入効果は非常に大きいと言える。

以上のことから, オオクチバス卓越年級群の出現によりワカサギへの捕食圧が高まり, その結果, 産卵親魚(自然産卵量)が減少して漁獲量の減少を招いたと推察される。その後漁獲量が回復したのは, この卓越年級群が高年齢化にともない減耗したことと, 1998~1999年級群が少なかったことにより, ワカサギへの捕食圧が低下したためと推察される。よって, 榛名湖において, オオクチバスの生息尾数の増減がワカサギ資源量に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

榛名湖のオオクチバスの産卵は生殖腺体重比から1980年(吉沢ら 1981b)と同じく今回も6月が盛期と考えられ, 今回調査されなかったオオクチバス0歳魚は9月上旬にはすでにワカサギ0歳魚を捕食できる大きさに成長している(久下ら 2002)。このオオクチバス0歳魚によるワカサギへの捕食量を把握するこ

とが、榛名湖におけるワカサギ資源量の変動をより詳細に説明する上で必要である。小川原湖流入河川ではヨシノボリ属魚類がワカサギ産出卵を、イトヨ *Gasterosteus aculeatus* がワカサギ仔魚を捕食している(片山 1996)。今回、ワカサギ受精卵の放流地点で昼間と夜間に採集したヨシノボリ属魚類の胃内容物中にワカサギの卵や仔魚は認められなかったが、湖岸全域の砂礫や落ち葉などに自然産卵(小西・信沢 1996a)された卵や仔魚の被食量に関する調査も必須である。また、ワカサギの放流形態や被食以外の減耗要因などが、ワカサギ資源量にどのように影響するかも検討していかなければならない課題である。一方、青木湖(長野県)や野尻湖(長野県)では近縁のコクチバスにとってもワカサギが重要な餌料となっている(淀・井口 2003)。今後はこれら *Micropterus* 属 2 魚種やサケ科魚類などによるワカサギへの捕食に関する定量的な調査を各地で行い、肉食性魚類がワカサギ資源へどのような影響を及ぼしているかを明らかにすることが、ワカサギ増殖事業を推進する上で重要である。

第7章 魚病細菌がワカサギ資源へ及ぼす影響

1 緒言

これまで内水面における魚病被害は、養殖場からの報告がほとんどであったが、近年のアユ冷水病 (Wakabayashi *et al.* 1994 ; Arai *et al.* 2004) やコイヘルペス病 (Sano *et al.* 2004 ; Ishioka *et al.* 2005) などのように養殖魚から天然魚へ疾病が伝播し、天然水域での魚病被害が深刻になってきている。また、群馬県の重要水産資源であるアユ、コイ、ナマズ、ワカサギなどの異魚種間における疾病伝播も懸念される。

例えば、高冷地天然湖を除くワカサギ漁場への流入水は、アユが放流されている河川を水源としている場合が多い。こうした河川でアユの運動性エロモナス症 (城・大西 1980 ; Miyazaki and Jo 1985) や冷水病が発生した場合、アユとキュウリウオ科魚類が近い類縁関係にある (井口 1999) ことから、下流の湖沼に生息するワカサギに水系感染する可能性が危惧されている。また、漁場内にはナマズやコイなどが生息している場合も多く、これら生息魚からの水平感染も危惧されている。しかしながら、ワカサギの魚病に関する報告は、給餌養殖下でふ化後 140 日頃に水生真菌が口吻に付着して死亡するという症例 (桐生・内田 1993) のみで、魚病細菌などに対する感染実験も行われていない。その理由として、ワカサギの集約的な養殖がほとんど行われていないこと、ハンドリングに極めて弱いため感染実験が順調に実施されにくいことがそれぞれ挙げられる。また、養殖や飼育現場では、選別、取り揚げ、輸送などによるハンドリング後の死亡率を低減させる対策として塩水浴が行われているが (井塚 私信 ; 信澤 私信)、この塩水浴処理について実験的に効果判定した報告はない。

以上の状況を鑑み、採集したワカサギについて運動性エロモナス症原因菌 *Aeromonas hydrophila* と冷水病原因菌 *Flavobacterium psychrophilum* の保菌状況を調査するとともに、ハンドリングによる死亡を塩水浴により低減し、アユから分離された *A. hydrophila* と *F. psychrophilum* のワカサギに対する病原性を感染実験により検討した。さらに、ワカサギを手網中で空中曝露させてハンドリングストレスを付与させた後に塩水浴を行い、死亡率を指標にしてその効果について検証した。

2 材料と方法

1) 主要漁場におけるワカサギの *Aeromonas hydrophila* と *Flavobacterium psychrophilum* 保菌状況

2003年1月から2005年1月まで9漁場(赤城大沼, 榛名湖, 神流湖, 梅田湖,

丹生湖，鳴沢湖，鮎川湖，三名湖および近藤沼)において，主に釣りにより採集したワカサギ成魚を，実験室へ冷蔵輸送して保菌検査に供試した (Table 7-1)。

検査部位は鰓とし，ブレインハートインフュージョン寒天培地 (BHIA，日水製薬) と改変サイトファーガ寒天培地 (MCYA，Wakabayashi and Egusa 1974) を用いて細菌分離 (10 °C，10day) を行った。BHIA からの分離菌は API20NE (BIOMEREUX) により *A. hydrophila* かどうか，MCYA からの黄色分離菌は PCR 法 (Toyama *et al.* 1994；Izumi and Wakabayashi 1997, 2000) により *F. psychrophilum* かどうか同定することとした。

Table 7-1. Sampling grounds, dates and numbers of wakasagi for bacterial isolation from gill

Fishing ground	Sampling date (no.)			
	Culture medium			
	BHIA		MCYA	
Akagionuma Lake	-	2003/ 6/ 5 (13) 2003/ 9/ 5 (32)		
Haruna Lake	-	2003/ 9/ 1 (7)		
Kanna Lake	2004/12/24 (6) 2005/ 1/11 (30) 2005/ 1/18 (40)	2003/ 1/22 (16) 2003/ 2/ 1 (10) 2003/ 2/17 (4)		
		2003/ 3/ 6 (4) 2003/ 3/ 9 (33) 2004/ 1/19 (1)		
Umeda Lake	-	2004/12/24 (6) 2005/ 1/11 (30) 2005/ 1/18 (40)		
		2003/ 9/28 (30)		
Nyu Lake	2004/11/17 (12)	2003/10/25 (30)		
Narusawa Lake	-	2003/10/18 (30)		
Ayukawa Lake	2004/11/23 (12)	-		
Sanna Lake	2005/ 1/30 (30)	2005/ 1/30 (30)		
Kondo Marsh	2005/ 1/28 (32)	2005/ 1/28 (32)		

2) ワカサギ，ナマズおよびコイの *A. hydrophila* に対する感受性

(1) ワカサギ 2003年11月13日に丹生湖で釣獲し，0.8%の粉碎塩(日塩 NaCl ≧ 95%)水溶液(以下，塩水と略記)で実験室へ活魚輸送した後，1.0%塩水で7日間飼育し，淡水(井戸水)にて48時間馴致したワカサギ(平均体長±標準偏差=7.3cm ± 0.5，平均体重±標準偏差=3.0g ± 0.7，平均肥満度±標準偏差=7.7 ± 0.6，n=30)を，*A. hydrophila* の感染実験に供試した。なお実験前に，供試魚と同群のワカサギ(n=30)について，腎臓から BHIA と MCYA により保菌検査を行ったが，細菌は分離されなかった。

供試菌株は，2003年8月に群馬県水産試験場で発生した運動性エロモナス症の罹患アユの腎臓から BHIA に分離し，API20NE により同定した *A. hydrophila* を用いた。

A. hydrophila はブレインハートインフュージョン液体培地 (BHIB，日水製薬) に接種して振倒培養 (18 °C，46h) し，生菌数(平板塗布法)が 8.5×10^9 CFU/mL とした

菌液をワカサギへの感染実験に用いた。

ワカサギ供試魚が1水槽当たり39尾と40尾収容された70l容FRP製水槽を2水槽用意し、攻撃区として*A. hydrophila*の菌液、対照区としてBHIBを各水槽35mLずつ添加し、エアレーションを行いながら25時間止水中で浸漬攻撃(直接添加法)を行った。攻撃後、井戸水を注水(平均換水率(水槽容量/単位時間当たりの注水量)1.5h)し、無給餌で15日間観察した。なお、水温は攻撃、観察期間中ともに自然水温(平均水温14.2℃)とした。

死亡魚は、毎日適宜取り揚げ、腎臓からBHIAにより細菌分離を行い、分離菌はAPI20NEにより同定することとした。

(2) ナマズとコイ 1990年に群馬県水産試験場で継代飼育しているナマズ(平均体重±標準偏差=111.6g ± 33.0)とコイ(体重5~12g)を、井戸水にて48時間馴致し*A. hydrophila*, *Aeromonas sobria*および*Plesiomonas shigelloides*の感染実験に供試した。なお実験前に、供試魚と同群のナマズ($n=5$)とコイ($n=5$)について、腎臓からBHIAにより保菌検査を行ったが、細菌は分離されなかった。

供試菌株は、1989年6月に群馬県水産試験場で発生した大量死亡の罹患ナマズ仔魚(7日齢)の魚体(ホモジナイズ液)からBHIAに分離し、性状検査(Cowan 1974; Krieg and Holt 1984)により同定した*A. hydrophila*を用いた。同時に健康なナマズ仔魚から同様に分離、同定した*A. sobria*と*P. shigelloides*も用いた。

A. hydrophila, *A. sobria*および*P. shigelloides*ともにBHIBに接種し振倒培養(30℃, 24h)した後、遠心分離(3000 × g, 15min)して得た菌体を滅菌生理食塩水(0.85%NaCl, SPS)で2回洗浄後、SPSに懸濁させてナマズとコイへの感染実験に用いた。

供試魚1尾当たり攻撃区として供試菌株の菌液を各回 $10^4 \sim 10^7$ CFU/g, 対照区としてSPSを 10^3 mL/gずつ腹腔内に注射した。各回ともに1水槽当たりナマズは5尾、コイは10尾を112L容FRP製水槽に収容した。注射攻撃後、井戸水を注水(平均換水率224h)し、無給餌でナマズは12日間、コイは7日間それぞれ観察した。なお、観察期間中の水温は自然水温(16~19℃)とした。

死亡魚は、毎日適宜取り揚げ、腎臓からBHIAにより細菌分離を行い、分離菌は前述した性状検査により同定することとした。

3) ワカサギとアユの*F. psychrophilum*に対する感受性

2003年11月13日に丹生湖で釣獲し、0.8%塩水で実験室へ活魚輸送した後、1.0%塩水で7日間飼育し、淡水(井戸水)にて48時間馴致したワカサギ(平均体長±標準偏差=7.3cm ± 0.5, 平均体重±標準偏差=3.0g ± 0.7, 平均肥満度±標準偏差=7.7 ± 0.6, $n=30$)を、*F. psychrophilum*の感染実験に供試した。また、群馬県

水産試験場で継代飼育しているアユ(平均体長±標準偏差=5.7cm ± 0.4, 平均体重±標準偏差=1.7g ± 0.5, 平均肥満度±標準偏差=9.1 ± 0.6, n=20)を *F. psychrophilum* の感染実験に供試した。なお実験前に, これら供試魚と同群のワカサギ(n=30)とアユ(n=20)について, 腎臓から BHIA と MCYA により保菌検査を行ったが, 細菌は分離されなかった。

供試菌株は, 2003 年 6 月に神流川で発生した冷水病の罹患アユの腎臓から MCYA に分離し, PCR 法により同定した PCR-RFLP 遺伝子型(以下, 遺伝子型と略記)が AS 型(Izumi *et al.* 2003)の *F. psychrophilum* を用いた。

F. psychrophilum は改変サイトファーガ液体培地(MCYB, Wakabayashi and Egusa 1974)に接種して振倒培養(18 °C, 46h)し, 生菌数(平板塗布法)が 3.0×10^7 CFU/mL とした菌液をワカサギへの感染実験に用いた。また, *F. psychrophilum* を MCYB で振倒培養(18 °C, 47h)し, 生菌数が 2.9×10^7 CFU/mL とした菌液をアユへの感染実験に用いた。

ワカサギ供試魚が 1 水槽当たり 39 尾と 40 尾収容された 70L 容 FRP 製水槽を 2 水槽用意し, 攻撃区として *F. psychrophilum* の菌液, 対照区として MCYB を各水槽 35mL ずつ添加し, エアレーションを行いながら 25 時間止水中で浸漬攻撃(直接添加法)を行った。攻撃後, 井戸水を注水(平均換水率 1.5h)し, 無給餌で 15 日間観察した。なお, 水温は攻撃, 観察期間中ともに自然水温(平均水温 14.2 °C)とした。さらに, アユ供試魚が各 33 尾収容された 70L 容 FRP 製水槽を 2 水槽用意し, 攻撃区として *F. psychrophilum* の菌液, 対照区として MCYB を各水槽 40mL ずつ添加し, エアレーションを行いながら 25 時間止水中で浸漬攻撃(直接添加法)を行った。攻撃後, 井戸水を注水(平均換水率 0.3h)し, 無給餌で 18 日間観察した。なお, 水温は攻撃, 観察期間中ともに自然水温(平均水温 14.9 °C)とした。

死亡魚は, 毎日適宜取り揚げ, 腎臓から MCYA により細菌分離を行い, 黄色いコロニーが分離された場合は PCR 法により同定することとした。

4) ストレスに対する塩水浴効果

2003 年 11 月 26 日に丹生湖で釣獲し, 1.0%塩水で実験室へ活魚輸送した後, 適宜冷凍アカムシを給餌しながら 1.0%塩水で 29 日間飼育し, 淡水(井戸水)にて 15 日間馴致したワカサギ(平均体長±標準偏差=7.4cm ± 0.5, 平均体重±標準偏差=3.1g ± 0.8, 平均肥満度±標準偏差=7.5 ± 0.8, n=21)を第 1 回目の空中曝露試験に供試した。第 2 回目の空中曝露試験は, 第 1 回目試験で生残したワカサギ(平均体重=2.6g, n=154)を 1 水槽に収集後, 任意に各水槽に配分して供試した。

70L 容 FRP 製水槽 5 水槽のうち、塩水区として 0.4, 0.8, 1.6% 塩水 (4, 8, 16psu) を 3 水槽、淡水区と対照区として淡水 (井戸水) を 1 水槽ずつ用意した。対照区以外の供試魚をナイロン製手網中で第 1 回目は 90 秒間、第 2 回目は 120 秒間空中に曝露することでハンドリングストレス付与とし、曝露後直ちに用意していた塩水区と淡水区の 4 水槽に収容した。対照区は供試魚を空中曝露させることなく収容した。各回ともその後、エアレーションを行いながら止水状態で 6 時間経過させた。この処置後、井戸水を注水 (平均換水率 0.9h) し、無給餌で 15 日間観察した。なお、水温は塩水浴、観察期間中ともに自然水温 (第 1 回目平均水温 13.3 °C, 第 2 回目平均水温 14.5 °C) とした。供試魚は、1 水槽 (試験区) 当たり第 1 回目試験は 31 ~ 33 尾、第 2 回目試験は 29 ~ 34 尾とした。

死亡魚は、毎日適宜取り揚げ、腎臓から BHIA により細菌分離を行い、分離された場合は API20NE により同定することとした。

3 結果

1) 主要漁場におけるワカサギの *A. hydrophila* と *F. psychrophilum* 保菌状況

ワカサギの保菌検査結果を Table 7-2 に示した。全供試魚ともに魚病の外部症状は認められなかった。*A. hydrophila* は、5 漁場 162 尾のうち神流湖の 1 尾 (2005 年 1 月 11 日採捕) から分離された。*F. psychrophilum* は、アユが生息する河川を水源とする 4 漁場 (神流湖, 丹生湖, 鳴沢湖および三名湖) 234 尾を含む 8 漁場 348 尾を検査したが分離されなかった。

Table 7-2. Detection rates (%) of *A. hydrophila* and *F. psychrophilum* from gill of fished wakasagi

Fishing ground	Culture medium	
	BHIA	MCYA
Akagionuma Lake	-	0 (0 / 45)**
Haruna Lake	-	0 (0 / 7)
Kanna Lake	1.3 (1 / 76)*	0 (0 / 144)
Umeda Lake	-	0 (0 / 30)
Nyu Lake	0 (0 / 12)	0 (0 / 30)
Narusawa Lake	-	0 (0 / 30)
Ayukawa Lake	0 (0 / 12)	-
Sanna Lake	0 (0 / 30)	0 (0 / 30)
Kondo Marsh	0 (0 / 32)	0 (0 / 32)
Total	0.6 (1 / 162)	0 (0 / 348)

* No. of fish positive for *A. hydrophila* / No. of fish examined.

** No. of fish positive for *F. psychrophilum* / No. of fish examined.

2) ワカサギ, ナマズおよびコイの *A. hydrophila* に対する感受性

(1) ワカサギ アユから分離された *A. hydrophila* の感染実験によるワカサ

ギの累積死亡状況を Fig. 7-1 に示した。 *A. hydrophila* 攻撃区では浸漬後 4 日目から死亡し始め、7 日目で累積死亡率(尾数)は 64.1%(25 尾)に達した。死亡魚は口部、胸鰭基部および腹鰭基部が発赤しており、一部は総排出腔も発赤していた。これらの腎臓から *A. hydrophila* が多く分離された。一方、BHIB 対照区は浸漬後 9 日目に 1 尾死亡したのみであった(累積死亡率 2.5%)。この死亡魚は尻鰭が綿毛状に糸状菌で覆われており、腎臓から既知病原菌は分離されなかったことから外部寄生水カビ病に罹患して死亡したと判断した。*A. hydrophila* 攻撃区と BHIB 対照区で、累積死亡率に有意な差が認められた (*chi-squared test*, $\chi^2=31.21$, $df=1$, $P < 0.0001$)。

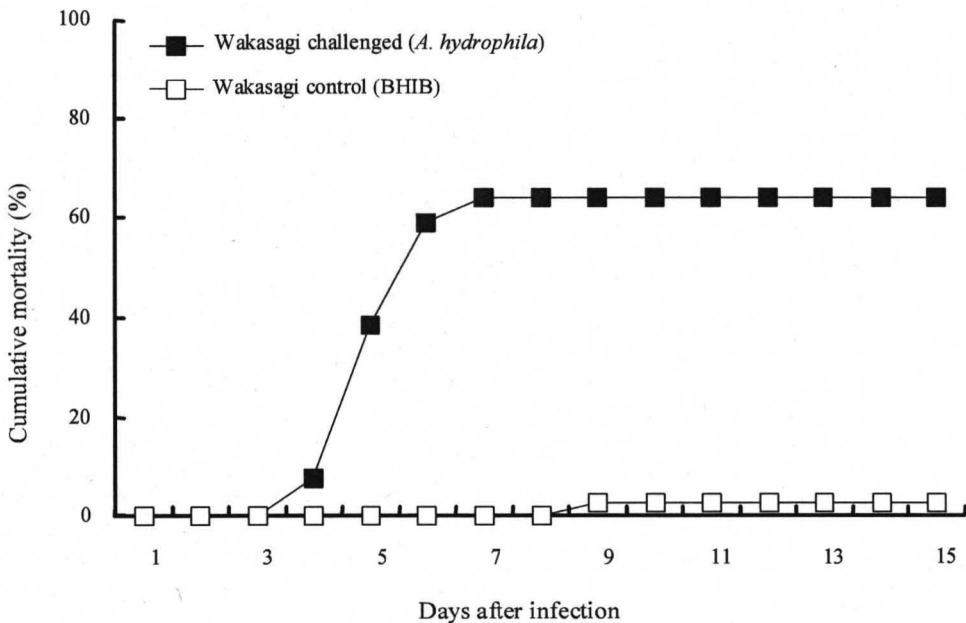


Fig. 7-1. Cumulative mortalities of wakasagi challenged by immersion with *Aeromonas hydrophila* and brain heart infusion broth (BHIB).

(2) ナマズとコイ ナマズから分離された *A. hydrophila*, *A. sobria* および *P. shigelloides* の感染実験によるナマズの累積死亡結果を Table 7-3 に示した。ナマズへの *A. hydrophila* 攻撃(接種菌濃度 $3.4 \sim 6.8 \times 10^6$ CFU/g)では注射後 12 日目で累積死亡率(尾数)が 80.0%(4 尾)に達した。死亡魚は注射部を中心に腹部が発赤していた。これらの腎臓から *A. hydrophila* が多く分離された。一方、*P. shigelloides* 攻撃(同 2.7×10^6 CFU/g)では累積死亡率(尾数)が 20.0%(1 尾)であった。また、両供試菌ともに接種菌濃度が $10^5 \sim 10^6$ CFU/g では死亡に至らなかった。なお、*A. sobria* 攻撃(同 1.3×10^6 CFU/g)では死亡に至らなかった。

Table 7-3. Injection challenge tests of Japanese catfish with the isolates

Experiment	Species	Dose	Mortality in 12 days (%)
1	<i>Aeromonas hydrophila</i>	3.4×10^6 CFU/g	80
		6.8×10^6 CFU/g	80
	<i>Aeromonas sobria</i>	1.3×10^6 CFU/g	0
	<i>Plesiomonas shigelloides</i>	2.7×10^6 CFU/g	20
	Control*	0.01 mL/g	0
2	<i>Aeromonas hydrophila</i>	8.7×10^5 CFU/g	0
	<i>Aeromonas sobria</i>	6.2×10^5 CFU/g	0
	<i>Plesiomonas shigelloides</i>	6.1×10^5 CFU/g	0
	Control	0.01 mL/g	0

* Sterile physiological saline solution.

ナマズから分離された *A. hydrophila*, *A. sobria* および *P. shigelloides* の感染実験によるコイの累積死亡結果を Table 7-4 に示した。コイへの *A. hydrophila* 攻撃では注射後 7 日目の累積死亡率(尾数)が, 接種菌濃度 3.9×10^6 CFU/g で 100%(10 尾), 同 1.2×10^5 CFU/g で 40%(4 尾), 同 1.4×10^4 CFU/g で 0%(0 尾)であった。死亡魚は注射部を中心に腹部が発赤していた。一方, *A. sobria* 攻撃では累積死亡率(尾数)が, 同 4.0×10^6 CFU/g で 40.0%(4 尾), 同 $2.7 \sim 3.6 \times 10^4$ CFU/g で 0%(0 尾)であった。なお, *P. shigelloides* 攻撃(同 4.6×10^6 CFU/g)では死亡に至らなかった。

Table 7-4. Injection challenge tests of carp with the isolates

Experiment	Species	Dose	Mortality in 7 days (%)
1	<i>Aeromonas hydrophila</i>	3.9×10^6 CFU/g	100
	<i>Aeromonas sobria</i>	4.0×10^6 CFU/g	40
	<i>Plesiomonas shigelloides</i>	4.6×10^6 CFU/g	0
	Control*	0.01 mL/g	0
2	<i>Aeromonas hydrophila</i>	1.4×10^4 CFU/g	0
	<i>Aeromonas sobria</i>	2.7×10^4 CFU/g	0
	Control	0.01 mL/g	0
3	<i>Aeromonas hydrophila</i>	1.2×10^5 CFU/g	40
	<i>Aeromonas sobria</i>	3.6×10^4 CFU/g	0

* Sterile physiological saline solution.

3) ワカサギとアユの *F. psychrophilum* に対する感受性

アユから分離された *F. psychrophilum* の感染実験によるワカサギの累積死亡状況を Fig. 7-2 に示した。*F. psychrophilum* 攻撃区での死亡は認められなかった。一方, MCYB 対照区は浸漬後 8 日目に 1 尾死亡したのみであった(累積死亡率 2.5%)。この死亡魚は胸鰭が綿毛状に糸状菌で覆われており, 腎臓から細菌は分離されなかったことから外部寄生水カビ病に罹患して死亡したと推定され

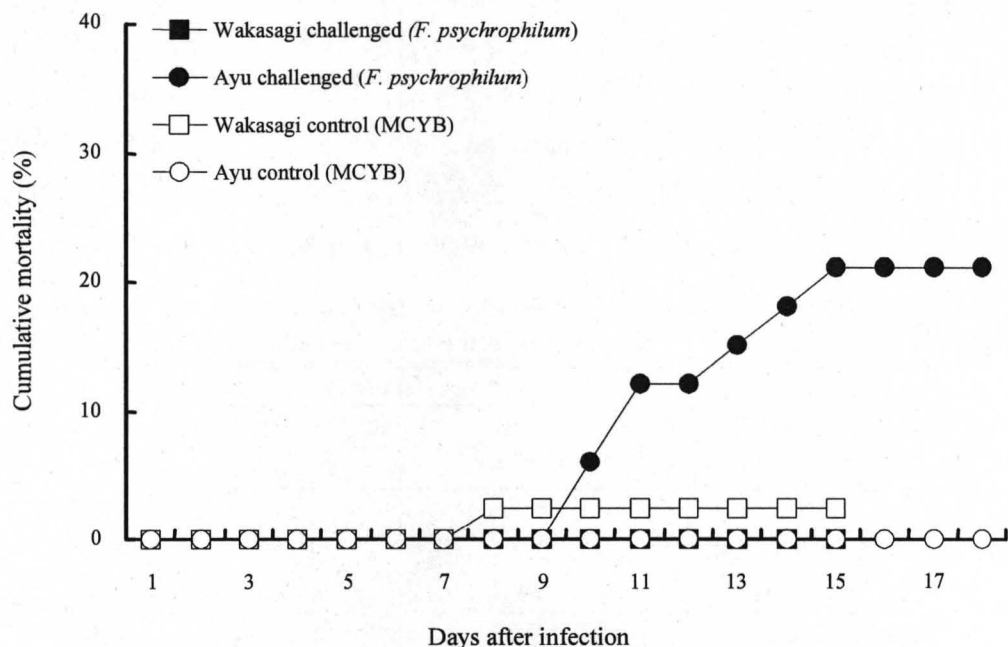


Fig. 7-2. Cumulative mortalities of wakasagi and ayu challenged by immersion with *Flavobacterium psychrophilum* and modified cytophaga broth (MCYB).

た。*F. psychrophilum* 攻撃区と MCYB 対照区で、累積死亡率に有意な差は認められなかった (*chi-squared test*, $\chi^2=0.0002$, $df=1$, $P>0.1$)。

さらに、*F. psychrophilum* の感染実験によるアユの累積死亡状況を Fig. 7-2 に示した。*F. psychrophilum* 攻撃区では浸漬後 10 日目から死亡し始め、15 日目で累積死亡率 (尾数) は 21.2% (7 尾) に達した。死亡魚の多くは口部に、一部は背部に潰瘍状の患部を形成していた。これらの患部から *F. psychrophilum* が多く分離された。一方、MCYB 対照区では死亡魚や患部を形成した生残魚は認められなかった。*F. psychrophilum* 攻撃区と MCYB 対照区で、累積死亡率に有意な差が認められた (*chi-squared test*, $\chi^2=5.75$, $df=1$, $P<0.05$)。

4) ストレスに対する塩水浴効果

空中曝露後に塩水浴処理したワカサギの累積死亡率を Table 7-5 に示した。第 1 回目の 90 秒間の空中曝露では、淡水区で曝露後 2 日目までに 4 尾が死亡した (累積死亡率 12.5%)。1.6% 塩水区では 4 日目に 1 尾が死亡したのみであった (同 3.2%)。一方、対照区、0.4% および 0.8% 塩水区での死亡は認められなかった。淡水区と各塩水区で、累積死亡率に有意な差は認められなかった (*chi-squared test*, $\chi^2=0.80 \sim 2.50$, $df=1$, $P>0.1$)。

第 2 回目の 120 秒間の空中曝露では、淡水区で曝露後 3 日目までに 16 尾が死

亡した(同 53.3%)。その後、9日目と11日目にも尾柄部が綿毛状に糸状菌で覆われて1尾ずつ死亡し、15日間の累積死亡率は60.0%に達した。1.6%塩水区では2日目までに2尾が死亡したのみであった(同 6.7%)。一方、対照区、0.4%および0.8%塩水区での死亡は認められなかった。淡水区と各塩水区で、累積死亡率に有意な差が認められた(*chi-squared test*, $\chi^2=16.88 \sim 22.94$, $df=1$, $P<0.0001$)。

これら死亡魚の多くは肉眼的に外部症状が認められなかったが、一部は眼球と鰭基部が発赤していた。また、腎臓から細菌は分離されなかった。

Table 7-5. Cumulative mortalities of wakasagi for 15 days, immersed in salt water (using crude salt, NaCl \geq 95%) for 6 hours after exposure to air in hand net for 90 and 120 seconds

Experimental group	Salinity (%)	Cumulative mortality (%)	
		Exposure time to air (s)	
		90	120
NaCl treated	1.6	3.2	6.7
	0.8	0	0
	0.4	0	0
Positive control*	FW**	12.5	60.0
Negative control*	FW	0	0

* Positive and negative control groups did not receive the salt water treatment.

Negative control group was not exposed to air.

** Freshwater (Well water).

4 考察

県内の主要ワカサギ漁場で主に釣獲されたワカサギは、肉眼的には外部症状が全く認められなかったことから何らかの疾病に罹っていたとは考えにくい。さらに、これらの鰓から魚病細菌の分離を試みたところ、*A. hydrophila* については162検体中1検体から分離されたが、*F. psychrophilum* については348検体中全く分離されなかった。したがって、健康魚の鰓において、腸内常在菌である *A. hydrophila* については低率で保菌していると言えるが、*F. psychrophilum* については保菌の可能性は極めて低いと推察される。後者については、アユ冷水病が発生した神流川において、その下流の神流湖を含めた生息魚(神流川 19種 726尾；神流湖 8種 267尾)の保菌検査を行ったところ、*F. psychrophilum* は罹患アユ以外の鰓から分離されなかった(久下ら 未発表)ことからこの推察が裏付けられる。

運動性エロモナス症原因菌である *A. hydrophila* は、アユ以外でもウナギ、ニジマス、コイ、ドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus* など多くの淡水魚で病原性が確認されている(Wakabayashi *et al.* 1981；若林 1983；Miyazaki and Jo 1985；Miyazaki and Kaige 1985；Nieto *et al.* 1985；Amin *et al.* 1985)。本研究で、ナマズから分離され

た *A. hydrophila* のナマズとコイへの病原性に加え、アユから分離された *A. hydrophila* のワカサギに対する病原性が明らかになった。河川のアユにおける運動性エロモナス症は、高水温と水量不足という環境条件悪化によるストレスから発症に至ったと推論される事例がある(江草 1978)。よって、アユの運動性エロモナス症が発症した河川水が流入する湖沼にワカサギが生息し、その環境条件が酸素不足や水質汚染により悪化した場合、アユからワカサギへ水を介して *A. hydrophila* が水平伝播する可能性が示唆される。また、本研究では明らかにできなかったが、ナマズやコイからワカサギへの水平伝播も懸念される。

一方、*F. psychrophilum* による冷水病は、河川においてアユやオイカワ *Zacco platypus* で発生し(Iida and Mizokami 1996)、全国的に内水面漁業に大きな被害をもたらしている。感染実験によると、アユから分離された遺伝子型 AR 型と AS 型の *F. psychrophilum* はアユには感染するがオイカワには感染せず(木下ら 2004)、オイカワから分離された同 BS 型の *F. psychrophilum* はオイカワには感染するがアユには感染しない(木下ら 2004; 田畑 2004)。したがって、生息域が重なるアユとオイカワについては、こうした宿主に対する感受性の違い(宿主特異性)から水系感染の可能性が否定されつつある。本研究でアユ病魚から分離された遺伝子型 AS 型の *F. psychrophilum* が浸漬攻撃(直接添加法)でアユには感染したが、ワカサギには感染しなかった。この結果も、*F. psychrophilum* の宿主特異性に起因している可能性がある。今後は、注射法など他の攻撃方法も用いて感染実験を行い、アユから分離された *F. psychrophilum* のワカサギに対する病原性をさらに検討し、水系感染がないことを確認することが防疫対策を検討する上で必要であろう。

ハンドリングストレス付与として手網中で 120 秒間の空中曝露処理を行ったワカサギ成魚を、0.4%または 0.8%塩水に 6 時間浸漬することにより、処理後の死亡率を低減できることを実証した。また、有意差は認められなかったが、同様の空中曝露処理を 90 秒間行った場合でも、こうした塩水浴により死亡率が低減した。ワカサギはふ化直後から高い塩分耐性を身につけており、特に 3 ~ 15psu では 72 時間後でも高い生残率を示す(鳥澤 1999)ことから、成魚以前の発育段階においてもこうした効果が期待される。したがって、ワカサギ増養殖事業におけるハンドリング後の減耗を低減させるための対策として、塩水浴は効果的であると判断できる。さらに、漁場から釣獲したワカサギ成魚を活魚輸送する際にも 0.8 ~ 1.0%塩水を用いることで、輸送中の死亡率を低減できたと考えられる。これまでのように淡水で輸送および飼育した場合は、数日で針傷のある口部周辺が発赤したのち水生真菌が増殖して死亡に至る魚が多かったが、輸送後も 1.0%塩水中で飼育することにより水生真菌は発生しなかった。この

ことは、水生真菌が Cl 7%以上の塩分濃度では全く繁殖しない(岩井・長間 1986)ことから説明できる。塩水浴は感染症に対しても有効とされているが (Altinok and Grizzle 2001a, 2001b ; Seno *et al.* 2003 ; Isshiki *et al.* 2003), 今回、淡水区の死亡魚は曝露後 3 日以内に顕著な患部を形成することなく多くが死亡し、かつ腎臓から細菌が分離されなかったことから、感染症ではなく何らかの生理的障害が死因と推察される。今後は、生理学的あるいは組織学的な検討を加えることにより、死因や塩水浴による死亡率低減機構を解明し、ワカサギ増養殖事業への技術活用が望まれる。

総合考察

本研究では、全国的に漁場管理上の大きな問題となっているワカサギの資源量変動について、その発生要因や機構を解明し対策を検討することを目的に、群馬県の内陸湖沼において水質や餌料などの生息環境、放流卵の卵質やふ化直後の仔魚の遊泳状況、仔魚の流下衝撃や漁場外流出などによる初期減耗、被食や魚病などによる成魚期の減耗などに関して調査研究を行った。その結果得られた新たな知見を既往の知見に加味し、今後の漁場管理を安定的かつ効果的に推進すべく増殖の方法や研究の方向性について以下のように総合的に考察する。

諏訪湖などの放流卵産地における供給量の年変動に影響されないように、ふ化率が高い流入河川における自然産卵を利用して自給率を高めることを増殖事業の柱として積極的に活用する必要がある。流入河川がない水域では、榛名湖、丹生湖および霞ヶ浦(根本ら 2003)のような人工河川を造成して親魚を遡上産卵させることも有効であろう。神奈川県水産技術センター内水面試験場では、養成親魚を飼育池に連結した人工河川に遡上、産卵させ種卵用の受精卵を採取している(井塚 2005)。この場合、ワカサギ親魚養成の技術開発も必要である。ワカサギの抱卵数(粒)と体重(g)の関係式は、 $\text{抱卵数} = 1000 \times (\text{体重})^{0.967}$ で表される(山本 1948)ことから、大型親魚の養成が1尾当たりの採卵粒数の増大に繋がり有利である。しかし、親魚の計画生産に際し、初期餌料、ハンドリングストレス、歩留、生産コストなどまだ解決すべき問題も多く、養殖魚種として普及するまでには至っていない。その他の放流用受精卵の安定確保のための対策として、芦ノ湖では水槽内自然産卵法(橘川ら 2003)の導入により発眼率、作業効率および自給率を大幅に向上させている(橘川 2003)。また、霞ヶ浦では、茨城県内水面水産試験場の指導下で1996年以降に中国から輸入した種卵の放流が試みられた(熊丸 私信)。しかし、国外からの種卵の移入は防疫上の見地から慎重を要するため現実的ではない。

ワカサギは、他の養殖魚種であるアユ、ナマズ、コイ科およびサケ科魚類と比較してハンドリングに弱いことが経験的に知られている。本研究で、仔魚の水槽からの流出状況、落下や流下衝撃による減耗、遊泳生態や走行性、成魚の空中曝露後の塩水浴効果などが明らかとなり、今後、増殖事業のみならず養殖事業においても選別、運搬、池替えなどハンドリング作業を伴う際の歩留向上へ寄与するであろう。また、釣獲後やハンドリング後の水カビ病発生を抑制するには塩水飼育が効果的であると示唆されたことから、抑制効果を検証するとともにその機構を解明することも重要である。

ワカサギでは水温 13℃でふ化後 5 日程度まで（卵黄吸収後 1 日以内）が実際に摂餌が不可能になる絶食の限界であると予想される（虎尾 2001）。この臨界点 {Point of no return (PNR)}（塚本 1989）は、アユではふ化後 6 日とされ（兵藤・関 1985）、餌付け時期もアユ養殖に準じて支障は生じないと考えられる。一方、天然水域において仔魚は餌料プランクトンを PNR 以前に捕食できなければ死滅してしまう。さらに、網走湖では、ワムシ類などの微小動物プランクトンからカイアシ類へと餌生物を替える時期に、仔魚とカイアシ類の遭遇が初期生残あるいはその後の成長に深く関わる（浅見 2004）。したがって、餌料となるプランクトンの出現状況が仔稚魚期の生残率に大きく影響を及ぼしていることは明らかである。蟹沼に浸漬した水槽内にてふ化と同時にワムシを給餌することによりふ化直後の仔魚の生残率が向上した。これらのことから、水槽でふ化させた仔魚は、アユ養殖に準じたワムシ給餌を行った後に漁場へ放流することで、餌不足による生残率低下を防止することは可能である。丹沢湖（神奈川県）でも、初期減耗対策としてこうした給餌飼育後の仔魚放流が試みられている（井塚 2004）。

オオクチバスによる被食減耗は資源量変動に大きく影響していた。特に産卵期に接岸するワカサギ親魚に対するオオクチバスの捕食は、自然産卵量の減少を招くと考えられることから、サケ科魚類、ナマズ、ハスなどが生息する漁場では、湖岸や流入河川に産卵のため集結する親魚を肉食性魚類から保護する対策を講ずるべきである。ワカサギを最重要魚種としている漁場では、肉食性魚類を積極的に駆除することも必要であろう。

これまでワカサギを含め天然水域での魚病被害は深刻ではなかったが、感染実験により異魚種間でも運動性エロモナス症が感染する可能性が確認された。したがって、病魚や保菌魚を放流しないことは当然であるが、発症の誘因となる生息環境悪化を生じさせないような漁場管理が防疫面からも求められる。

県内においてワカサギは重要な漁業資源であり、資源量の高位安定が望まれている。しかし、県外の湖沼によっては共存する水産上の有用魚種との競合が危惧されている。その例として、十和田湖（青森県、秋田県）では、餌料である大型動物プランクトンをめぐりヒメマスと競合が生じている（高村ら 1999a, 1999b；鈴木ら 1999）。しかし、宍道湖では、同様な生態で知られるシラウオ *Salangichthys microdon* と競合は生じていない（川島 1989）。また、琵琶湖では、アユ仔魚を捕食するためアユ資源への影響が懸念されており（井出・山中 1998）、ワカサギが産卵遡上する河川に遡上阻害用の河川横断構造物を設置するなどして産卵量を制御する資源管理の方法が提案されている（井出ら 2002）。一般的に、主に餌料をめぐり他魚種との競合は、食物連鎖を通して下位の動物プラン

クトン，植物プランクトン，水質へ順次影響を及ぼす{トロフィックカスケード効果 (Trophic cascade effect)}。したがって，ワカサギ資源の多寡が生態系へ与える影響を各漁場毎に把握することも，資源量変動の要因や機構をさらに明らかにする上で非常に重要である。

これまでに以下の漁場において独自の調査研究が行われ，環境収容力や増殖放流量などについて見解が示されている。宍道湖では，体長が大きい年ほど資源尾数は少なく，総産卵数が増加するに従い卵から成魚にいたる生残率が低下する傾向が認められ，生残率 0.866%の時の資源量 5380 万尾が最大であるとし，環境収容力を念頭においた効率的な卵放流が望まれる(川島 1989)。諏訪湖では，生息尾数と魚体サイズに密接な負の相関が認められ，年 20 億粒以上放流しても年間総漁獲量は 200 ~ 300t で大きな変動が認められないことから，適正な放流卵数は 15 億粒程度と考えられるが，天候変動などを考慮し 20 ~ 25 億粒が現実的である(大前 1985, 1986)。十和田湖では，環境収容力を魚種別に把握し，魚類個体群のクラッシュを起こさないようにヒメマス放流数を適切に制御すべきである(埴山 1999)。霞ヶ浦では，ワカサギ資源量の変動は餌料密度に起因しており，湖内生物生産容量の回復が必要である(熊丸 2003)。網走湖では，湖内のワカサギ生息密度が環境収容力を超えるとワカサギの降海が始まり，超える度合いが高ければ高いほど降海量も多くなると考えられ，資源を安定して利用し続けるためには，年約 100 億粒の有効産卵数を確保することが必要である(鳥澤 1999)。さらに，網走湖の稚魚の降海個体数は，稚魚の個体数密度と餌生物となる甲殻類プランクトン個体数密度，およびこれら 2 つの要因が決定する稚魚 1 個体当たりの利用可能な餌生物密度により支配されている可能性が高い(浅見 2004)。以上の各漁場についての見解を考慮すると，県内各漁場においても餌料生物の生産量に応じた現存量が維持されると推察され，これ以上に仔稚魚が現存して餌不足が生じた場合は，魚体の小型化や漁場外流出が誘発される可能性が示唆される。したがって，餌料生物の生産量を念頭においた増殖対策，つまり水域の環境収容力を把握した上で放流卵数を決定する必要がある。夏季の水温と DO の躍層を崩壊させて生息可能域を拡大させる散気装置の導入は，この環境収容力を増大させられる可能性がある。餌料生物の消長は，気候や捕食者密度などさまざまな環境要因やトロフィックカスケード効果によって支配されており，現時点でその予測は困難であるが，今後，こうした環境収容力に基づいた漁場管理を図るべく，さらなる研究を継続することが極めて重要である。

資源量変動には多くの減耗要因が関与していることが本研究で示唆されたが，それぞれについて減耗機構の詳細を完全に解明するまでには至らなかった。

また、各減耗要因の対策が実際にどの程度の資源増殖効果をもたらすかということについても検証できなかった。今後は、標識剤を用いた放流卵への標識技術に加え、mtDNA D・Loop領域多型(大仲 1995)やアイソザイム(片山 1996)など遺伝学的な解析も利用し、産地や放流時期が異なる放流卵の放流効果を判定するための手法を確立した上で、各発育段階に至るまでの減耗過程を定量的にも明らかにしていくことが資源量変動を回避させる抜本的な対策に繋がると考える。

一方、オオクチバスなどの違法放流とは性格が異なるが、国内各地で漁業権対象魚種として増殖を義務づけられたアユなどの種苗放流は、継続的に、かつ、大量に行われることがあり、その影響評価が適切になされないと生態系に甚大な負荷を掛けることになる(森・片野 2005)。したがって、重要な内水面漁業対象魚種として定着しているワカサギの種卵放流についても、在来種との競合、病気の持ち込み、遺伝的多様性の低下などが危惧されることから、移植や増殖に際しては多角的な影響評価を行うことが今後の重要な課題になるであろう。

ワカサギは遊漁や漁業対象として利用されている以外に、水産高校において野外学習の教材としても利用されており(佐々木 2003)、県内のワカサギ生息水域近郊の教育現場においても環境学習教材として活用される可能性を有している。また、食品として可食部のカルシウムやリンなどの無機質成分を豊富に含有し、廃棄率(食品全体に対する通常の食習慣において廃棄される部分の重量百分率)が 0%である(科学技術庁資源調査会 2000)ことから、食用としてもさらなる消費拡大が期待される。将来的にもワカサギ資源は、水産業のみならず教育、食料、観光など各方面で有効利用されると考えられ、本研究の成果が役立つことを望む。

謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、懇切な御指導および本稿の御校閲を賜った東京海洋大学大学院教授の延東真博士，同助教授の舞田正志博士，東京海洋大学教授の福田穎穂博士と北田修一博士に厚くお礼申し上げます。また，多くの御助言を頂いた東京海洋大学大学院助手の片桐孝之博士と同教授の青木宙博士，東京海洋大学教授の佐藤秀一博士に深謝します。

序論と第1章では，群馬県内のワカサギ放流量について群馬県漁業協同組合連合会からデータ提供して頂いた。また，城沼におけるワカサギ増殖事業に関し城沼漁業協同組合の寺内吉一組合長から，ワカサギ養殖全般に関し神奈川県水産技術センター内水面試験場の井塚隆技師から，諏訪湖と網走湖におけるワカサギ採卵事業に関しそれぞれ長野県水産試験場の田原偉成主任研究員と北海道立釧路水産試験場資源管理部長の鳥澤雅博士から情報提供して頂いた。

第2章と第3章では，当該漁業協同組合や市町村から調査協力や情報提供を得るとともに，供試卵を提供して頂いた。

第4章では，蟹沼における標識放流試験で第2種区画漁業権者である群馬県養殖漁業協同組合の飯野武組合長(当時)には調査全般へ協力して頂いた。

第5章では，鳴沢湖における受精卵放流量に関する情報提供を含め調査全般については箕郷町役場(当時)，放水量に関する情報提供については群馬中部用土地改良区事務所に協力して頂いた。

第6章では，榛名湖におけるワカサギの放流量や漁獲量などのデータ提供や産卵行動観察などについては榛名湖漁業協同組合，オオクチバスの釣り大会のデータ提供や標本の採集については釣り大会主催釣具店と遊漁者に協力して頂いた。また，オオクチバスの生息水深に関し，芦ノ湖については神奈川県水産技術センター内水面試験場の勝呂尚之主任研究員と芦之湖漁業協同組合の橘川宗彦事務局長から，川原大池については長崎県食品衛生協会環境科学試験所検査技師(当時)の竹本陽一博士からそれぞれ情報提供して頂いた。

第7章では，丹生湖における供試魚採捕については富岡市役所，神流川水系における生息魚保菌検査などについては上野村漁業協同組合，南甘漁業協同組合および神流川漁業協同組合，各漁場におけるワカサギの保菌検査などについては赤城大沼漁業協同組合，両毛漁業協同組合，近藤沼漁業協同組合などに協力して頂いた。また，ワカサギの塩水浴に関し前出の井塚隆技師と群馬県水産試験場の信澤邦宏主席研究員から情報提供して頂いた。

総合考察では，霞ヶ浦における中国産ワカサギ種卵の放流に関し茨城県内水面水産試験場の熊丸敦郎首席研究員(当時)から情報提供して頂いた。

前出の鳥澤雅博士，北海道立稚内水産試験場北方資源科長の浅見大樹博士，北海道立水産孵化場研究員の虎尾充博士，青森県水産総合研究センター内水面研究所の長崎勝康主任研究員，茨城県内水面水産試験場の中村誠首席研究員(当時)，山梨県水産技術センターの大浜秀規研究員(当時)と高橋一孝主任研究員，長野県水産試験場の上島剛技師(当時)と諏訪支場長の本西晃博士，中央水産研究所上席研究官の片野修博士，同生態系保全研究室長の井口恵一朗博士，同主任研究官の中村智幸博士と片山知史博士，東京大学海洋研究所助手の猿渡敏郎博士，三重大学助手の淀太我博士，宮古水産高等学校教諭の佐々木剛博士の各氏から文献や資料などを提供して頂いた。

群馬県水産試験場の方々には研究全般に協力して頂いた。特に社会人大学院生として東京水産大学大学院博士後期課程での研究に便宜を図って頂いた村田誠元場長，新井正尚前場長，荒木格男場長，野外調査や感染実験に協力して頂いた信澤邦宏主席研究員，薩美賢策元場付部長，黒沢静男管理長代理，田子(中野)亜木子元技師，垣田誉志史技師，清水延浩技師，任期付研究員の泉庄太郎博士，鈴木究真技師，吉澤和具主席研究員，データ整理に協力して頂いた小暮泰代囑託職員，中でも東京海洋大学大学院(先端魚類防疫学講座)院生でもある新井肇主任には保菌検査などの多くを手伝って頂いた。

また，群馬県農業局蚕糸園芸課ぐんまの魚振興室の小泉正人室長には標本採集に協力して頂いた。群馬県衛生環境研究所副主任研究員の木村博一博士と森田幸雄博士，群馬県新政策課科学技術振興室室長の上石洋一博士，群馬県水産試験場元副場長の林不二雄博士，東北大学大学院助教授の高橋計介博士には励ましの言葉を頂いた。

東京水産大学元学長の野村稔博士(東京水産大学名誉教授)と隆島史夫博士(東京海洋大学名誉教授)，東京海洋大学元助教授の酒井清博士，群馬県水産試験場の故木村紀彦元場長，京都大学元助教授の故中野繁博士には研究者としての基本を御教示頂いた。

博士後期課程3年次においては群馬県から大学院研修費として授業料の半額補助を受けた。

以上の多くの方々や関係者に謹んで感謝の意を表するとともに，本論文がワカサギ増養殖の発展に寄与することを祈念します。

最後に，休日返上で本研究に専念させてくれた家族{珠美(妻)，京太郎(子)}の協力に対し心から感謝する。

引用文献

- 相澤康・戸田久仁雄(1995)：ワカサギの ALC 標識．神奈川県淡水魚増殖試験場報告，31，50-54.
- 赤星鉄馬(1996)：ブラックバス．イーハトーヴ出版，東京，pp.12-28.
- Altinok, I. and J. M. Grizzle (2001a) : Effects of salinity on *Yersinia ruckeri* infection of rainbow trout and brown trout. *Journal of Aquatic Animal Health*, 13, 334-339.
- Altinok, I. and J. M. Grizzle (2001b) : Effects of low salinities on *Flavobacterium columnare* infection of euryhaline and freshwater stenohaline fish. *Journal of Fish Diseases*, 24, 361-367.
- Amin, N. E., I. S. Abdallah, T. Elallawy and S. M. Ahmed (1985) : Motile *Aeromonas septicaemia* among *Tilapia nilotica* (*Sarotherodon niloticus*) in upper Egypt. *Fish Pathology*, 20, 93-97.
- 安藤隆・佐藤茂・小林良雄・作中宏・山本正一・小山忠幸(1982)：温水性魚食魚の資源生態学的研究(芦の湖におけるブラックバス，マス類の資源生態学的研究－II)。神奈川県淡水魚増殖試験場報告，18，107-122.
- 新井肇・松原利光(2001)：ワカサギふ化仔魚における初期餌料試験．群馬県水産試験場研究報告，7，55-58.
- Arai, H. , Y. Morita, K. Nobusawa, M. Arai, S. Boonmar and H. Kimura (2004) :Prevalence of *Flavobacterium psychrophilum* infection in ayu (*Plecoglossus altivelis*) in Gunma prefecture, Japan and comparison of the *gyr B* sequences of isolates. *Kasetsart journal (Natural science)*, 38, 523-530.
- 浅見大樹・川尻敏文(1997)：網走湖産ワカサギ稚魚 (*Hypomesus transpacificus nipponensis*) の胃内容物および摂餌日周性について．北海道立水産孵化場研究報告，51，45-52.
- 浅見大樹(2001)：網走湖産ワカサギの食性．北海道立水産孵化場研究報告，55，19-25.
- 浅見大樹(2004)：網走湖産ワカサギの初期生活に関する生態学的研究．北海道立水産試験場研究報告，67，79 pp.
- Azuma, M. and Y. Motomura (1998) : Feeding habits of largemouth bass in a non-native environment:the case of a small lake with bluegill in Japan. *Environmental Biology of Fishes*, 52, 379-389.
- Cowan, S. T. (1974) : *Manual for the identification of medical bacteria*, 2nd. ed.. Cambridge University Press, London, pp.105-260.
- 土居隆秀(2003)：イワナの堰堤落下試験．イワナ，ヤマメ，アマゴの増殖と管理－有用資源生態系管理手法開発事業報告書－，全国内水面漁業協同組合連合会，東京，pp.125-129.

- 江草周三(1978)：魚の感染症．恒星社厚生閣，東京，pp. 161-164.
- 藤川裕司・森山勝・大北晋也(2003)：宍道湖・中海水産振興対策検討調査事業－有用水産動物生態調査(ワカサギ、シラウオ)－．平成13年度島根県内水面水産試験場事業報告，95-111.
- 古田能久(1955)：釣漁獲より見たる相模湖産ワカサギ(*Hypomesus olidus*)の産卵期における生態学的知見．淡水区水産研究所研究報告，5(1)，1-9.
- 古田能久(1960)：相模湖(人工湖)の一流入河川におけるワカサギの産卵量推定について．淡水区水産研究所研究報告，10(1)，23-37.
- 群馬県(1985)：全国総点検調査(水銀等)報告書(神流川におけるダム等が漁業に及ぼす影響調査)．水産庁，東京，59 pp.
- 群馬県企画部統計課(1967～1979)：第13～25回群馬県統計年鑑．群馬県企画部統計課，前橋．
- 群馬県農業局蚕糸園芸課(2004)：群馬県の水産業．群馬県農業局蚕糸園芸課，前橋，pp. 1-5.
- 群馬県水産試験場(1932a)：公魚放流事業．群馬県水産試験場報告，1，21.
- 群馬県水産試験場(1932b)：公魚卵採卵並に孵化放流事業．群馬県水産試験場報告，1，47-48.
- 群馬県水産試験場(1935)：公魚増殖事業．群馬県水産試験場報告，3，13.
- 群馬県水産試験場(1944a)：公魚増殖事業．群馬県水産試験場報告，8，21-22.
- 群馬県水産試験場(1944b)：公魚増殖事業．群馬県水産試験場報告，8，60-61.
- 群馬県水産試験場(1953)：公魚増殖事業．群馬県水産試験場報告，11，2.
- 群馬県水産試験場(1995)：耳石標識の実際．在来マス増殖研究部会報告書(平成4～6年度のとりまとめ)，全国湖沼河川養殖研究会在来マス増殖研究部会，熊谷，pp. 97-102.
- Hamada, K. (1961)：Taxonomic and ecological studies of the genus *Hypomesus* of Japan. *Memoirs of The Faculty of Fisheries Hokkaido University*, 9, 1-55.
- 濱田啓吉(1980)：ワカサギー弱いものは強い．日本の淡水生物ー侵略と攪乱の生態学(川合禎次・川那部浩哉・水野信彦編)，東海大学出版会，東京，pp. 49-55.
- 浜野龍夫・飯田健・荒木晶・竹下直彦(2005)：模擬的な堰堤からコンクリートやプールに落下したモクズガニの生残率．日本水産学会誌，71，131-137.
- 北海道立水産孵化場(1994)：ワカサギの人工孵化放流効果解析試験(西網走漁協との共同研究)．平成4年度事業成績書，100-103.
- 北海道立水産孵化場(1995a)：ワカサギの人工孵化放流効果解析試験(西網走漁協との共同研究)．平成5年度事業成績書，140-142.

- 北海道立水産孵化場(1995b)：石狩湾水域生態調査(石狩古川におけるワカサギの標識放流試験)．平成5年度事業成績書，130-139.
- 兵藤則行・関泰夫(1985)：海産稚仔アユに関する研究－Ⅱ 流下仔アユの生残におよぼす絶食の影響(1)．新潟県内水面水産試験場調査研究報告，12，15-22.
- 茨城県内水面水産試験場・山梨県魚苗センター(1991)：水産業関係地域重要新技術開発促進事業報告書 湖沼におけるワカサギの資源管理及び増殖技術に関する研究(昭和63年度から平成2年度とりまとめ報告書)．茨城県内水面水産試験場・山梨県魚苗センター，玉造・甲府，94 pp.
- 井出充彦・山中治(1998)：琵琶湖で増加したワカサギの特性．滋賀県水産試験場研究報告，47，11-16.
- 井出充彦・山中治・片岡佳孝(2002)：琵琶湖流入河川でのワカサギの産卵状況と特性．滋賀県水産試験場研究報告，49，39-49.
- 井口恵一朗(1999)：アユの過去と末裔たちの現在．魚の自然史【水中の新化学】(松浦啓一・宮正樹編)，北海道大学図書刊行会，札幌，pp.133-146.
- Iida, Y. and A. Mizokami(1996)：Outbreaks of coldwater disease in wild ayu and pale chub. *Fish Pathology*, 31, 157-164.
- 稲葉伝三郎(1961)：淡水増殖学．恒星社厚生閣，東京，pp.246-253.
- Ishioka, T., M. Yoshizumi, S. Izumi, K. Suzuki, H. Suzuki, K. Kozawa, M. Arai, K. Nobusawa, Y. Morita, M. Kato, T. Hoshino, T. Iida, K. Kosuge and H. Kimura(2005)：Detection and sequence analysis of DNA polymerase and major envelope protein genes in koi herpesviruses derived from *Cyprinus carpio* in Gunma prefecture, Japan. *Veterinary microbiology*, 110, 27-33.
- 石崎博美(1987)：テトラサイクリンを用いたワカサギ稚魚の標識法．神奈川県淡水魚増殖試験場報告，23，53-57.
- 石崎博美(1993)：ワカサギ発眼卵の耳石標識．神奈川県淡水魚増殖試験場報告，29，63-64.
- Isshiki, T., M. Tochino and T. Nagano(2003)：Treatments of *Neoheterobothrium* infection in Japanese flounder by 8% NaCl-supplemented seawater bathing. *Suisanzoshoku*, 51, 363-364.
- 岩井保(1985)：水産脊椎動物Ⅱ魚類．恒星社厚生閣，東京，pp.274-277.
- 岩井寿夫・長間弘宣(1986)：ワカサギ人工受精卵の孵化ならびに孵化仔魚の生残に対する飼育水の塩分濃度の影響．水産増殖，34，95-102.
- 岩井寿夫・柘植隆行(1986)：ワカサギ孵化仔魚の生残・成長に及ぼす給餌開始時期の影響．水産増殖，34，103-106.
- 岩井寿夫・田中秀俱(1989)：ワカサギ稚仔の初期飼育について．水産増殖，37，

49-55.

- 井塚隆(2002a) : ワカサギ精巢精子の冷蔵保存用希釈液の検討. 神奈川県水産総合研究所研究報告, 7, 23-28.
- 井塚隆(2002b) : ワカサギ資源対策研究. 平成 13 年度神奈川県水産総合研究所業務概要, 57-59.
- 井塚隆(2003a) : 冷蔵保存したワカサギ精巢精子の運動能と受精能の検討. 神奈川県水産総合研究所研究報告, 8, 13-16.
- 井塚隆(2003b) : ワカサギ資源対策研究. 平成 14 年度神奈川県水産総合研究所業務概要, 55-56.
- 井塚隆(2004) : ワカサギ資源対策研究. 平成 15 年度神奈川県水産総合研究所業務概要, 50-51.
- 井塚隆(2005) : ワカサギ資源対策研究. 平成 16 年度神奈川県水産総合研究所業務概要, 49-50.
- Izumi, S. and H. Wakabayashi (1997) : Use of PCR to detect *Cytophaga psychrophila* from apparently healthy juvenile ayu and coho salmon eggs. *Fish Pathology*, 32, 169-173.
- Izumi, S. and H. Wakabayashi (2000) : Sequencing of *gyrB* and their application in the identification of *Flavobacterium psychrophilum* by PCR. *Fish Pathology*, 35, 93-94.
- Izumi, S., F. Aranishi and H. Wakabayashi (2003) : Genotyping of *Flavobacterium psychrophilum* using PCR-RFLP analysis. *Diseases of Aquatic Organisms*, 56, 207-214.
- 城泰彦・大西圭二(1980) : 養殖アユから分離された *Aeromonas hydrophila*. *Fish Pathology*, 15, 85-89.
- 梶山雅秀(1999) : 十和田湖のヒメマス資源管理. 国立環境研究所研究報告, 146, 36-40.
- 科学技術庁資源調査会編集(2000) : 四訂食品成分表 2000. 女子栄養大学出版部, 東京, 576 pp.
- 神奈川県淡水魚増殖試験場編集(1984) : 部会報告第 7 号オオクチバスの資源生態学的研究. 全国湖沼河川養殖研究会, 相模原, 46 pp.
- 片山知史(1996) : 小川原湖のワカサギ個体群に関する資源生態学的研究. 東北大学博士論文, 171 pp.
- 川田三郎・吉牟田長生他 4 名(1952) : 湖沼における「ワカサギ」「オイカワ」の走光性について. 日本水産学会誌, 18, 227-230.
- 川島隆寿(1987) : 宍道湖におけるワカサギの生態について. 全国湖沼河川養殖研究会第 60 回大会要録, 114-120.
- 川島隆寿(1989) : 宍道湖におけるワカサギ及びシラウオ資源の変動. 島根県水産試験場研究報告, 6, 69-80.

- Krieg, N. R. and J. G. Holt (1984): *Bergey's manual of systematic bacteriology*, Vol. 1. Williams & Wilkins, Baltimore, pp. 516-550.
- 橋川宗彦(2003): 芦ノ湖のワカサギ 自家種苗生産への道. 広報ないすいめん, 31, 10-16.
- 橋川宗彦・大場基夫・廣瀬一美・廣瀬慶二(2003): 芦ノ湖におけるワカサギの水槽内自然産卵法による効率的採卵. 水産増殖, 51, 401-405.
- 木下裕一・栃原正久・増田雄二(2004): アユとオイカワから分離された冷水病菌の DNAgyrace 遺伝子型と病原性の関係. 熊本県水産研究センター研究報告, 6, 123-126.
- 木村量(1994): 飢餓. 魚類の初期減耗研究(田中克・渡邊良朗編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 47-59.
- 桐生透・芳賀稔・高橋一孝(1978): 河口湖におけるワカサギの産卵に関する調査-I. 昭和 51 年度山梨県魚苗センター事業報告書, 5, 49-59.
- 桐生透・内田和男(1993): アリザリンコンプレクソンによるワカサギ耳石標識. 平成 4 年度山梨県魚苗センター事業報告書, 21, 53-57.
- 小林保博・黒沢静男・吉沢和俱(1999): ワカサギ飼育試験-1. 群馬県水産試験場研究報告, 5, 84-86.
- 小林保博(1999): 初期餌料の大きさと濃縮淡水クロレラの添加によるワカサギの初期生残率の違い. 群馬県水産試験場研究報告, 5, 87-88.
- 小池利通・塚本勝巳・大矢真知子(1990): サクラマス稚魚の耳石標識法. 新潟県内水面水産試験場調査研究報告, 16, 45-50.
- 小西浩司・信沢邦宏(1996a): ワカサギの再生産と資源管理-I(赤城大沼, 榛名湖, 神流湖における再生産状況と増殖方法). 群馬県水産試験場研究報告, 2, 76-79.
- 小西浩司・信沢邦宏(1996b): ワカサギの再生産と資源管理-II(丹生湖における産卵状況と増殖方法). 群馬県水産試験場研究報告, 2, 80-82.
- 久保田次郎(2002): 霞ヶ浦北浦におけるワカサギ・シラウオの資源動向について. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 37, 1-28.
- 工藤智・笠原昇(1991): アリザリン・コンプレクソンによるシシヤモ卵の耳石標識. 北海道立水産孵化場研究報告, 45, 77-80.
- 久下敏宏・薩美賢策・小林茂(1989): 漁場環境基礎調査-XIII(城沼・谷田川). 群馬農業研究 E 水産, 5, 29-33.
- Kuge, T., K. Takahashi, I. Barcs and F. Hayashi (1992): *Aeromonas hydrophila*, a causative agent of mass mortality in cultured Japanese catfish larvae (*Silurus asotus*). *Fish Pathology*, 27, 57-62.

- 久下敏宏・中野亜木子・薩美賢策(1997)：漁場環境基礎調査－X X II (榛名湖)．群馬県水産試験場研究報告，3，3-9.
- 久下敏宏・薩美賢策(1998)：漁場環境基礎調査－X X III (赤城大沼)．群馬県水産試験場研究報告，4，3-8.
- 久下敏宏・清水延浩・松井資元・薩美賢策(1998)：榛名湖ワカサギ資源調査．群馬県水産試験場研究報告，4，35-44.
- 久下敏宏・中野亜木子・薩美賢策(1999a)：漁場環境基礎調査－X X IV (神流湖)．群馬県水産試験場研究報告，5，3-10.
- 久下敏宏・中野亜木子・薩美賢策(1999b)：城沼・古城沼漁場環境調査．群馬県水産試験場研究報告，5，40-43.
- 久下敏宏・中野亜木子・吉沢和俱(2000a)：漁場環境基礎調査－X X V (丹生湖)．群馬県水産試験場研究報告，6，3-9.
- 久下敏宏・中野亜木子・吉沢和俱(2000b)：赤城大沼・榛名湖・神流湖漁場環境調査．群馬県水産試験場研究報告，6，18-24.
- 久下敏宏・中野亜木子(2000)：ワカサギ増殖における初期生残率向上に関する試験(ふ化期間，仔魚の流出降下および落下衝撃)．群馬県水産試験場研究報告，6，25-30.
- 久下敏宏・新井肇・中野亜木子・信沢邦宏(2001)：ワカサギ増殖における初期生残率向上に関する試験－II (水温別ふ化期間)．群馬県水産試験場研究報告，7，20-22.
- 久下敏宏・信沢邦宏(2002)：奥利根湖コクチバス調査．群馬県水産試験場研究報告，8，29-35.
- 久下敏宏・薩美賢策・垣田誉志史・清水延浩・信沢邦宏(2002)：榛名湖ワカサギ資源調査－II．群馬県水産試験場研究報告，8，36-49.
- 久下敏宏・新井肇・鈴木紘子・信沢邦宏(2003a)：ワカサギ受精卵への耳石標識．群馬県水産試験場研究報告，9，35-36.
- 久下敏宏・新井肇・鈴木紘子・信沢邦宏(2003b)：蟹沼におけるワカサギ仔魚放流効果試験．群馬県水産試験場研究報告，9，37-38.
- 久下敏宏・信澤邦宏・舞田正志(2004)：群馬県榛名湖におけるオオクチバスの生息尾数推定と食性．水産増殖，52，73-80.
- 久下敏宏・新井正尚・新井肇・鈴木究真・泉庄太郎・片桐孝之・舞田正志・延東真(2005)：アユから分離された *Flavobacterium psychrophilum* と *Aeromonas hydrophila* のワカサギに対する病原性．2005(平成17)年度日本水産学会大会(日本農学大会水産部会)講演要旨集，日本水産学会，横浜，pp. 60.
- 熊丸敦郎・堀直・岩崎順・浜田篤信(1980)：ワカサギの人工種苗生産技術の開

- 発に関する研究－Ⅱ 粗放的ワカサギ仔魚生産技術について．茨城県内水面水産試験場調査研究報告，17，9-20.
- 熊丸敦郎(1984)：ワカサギ卵の人工ふ化管理方法について．茨城県内水面水産試験場調査研究報告，21，11-30.
- 熊丸敦郎(2003)：霞ヶ浦における近年のワカサギ資源変動要因について．茨城県内水面水産試験場調査研究報告，38，1-18.
- 栗原伸夫(1982)：ワカサギ．淡水養殖技術(野村稔編)．恒星社厚生閣，東京，pp. 328-335.
- 松本洋典(1994)：宍道湖におけるワカサギ資源の変動．島根県水産試験場研究報告，8，171-183.
- Miyazaki, T. and Y. Jo (1985) : A histopathological study on motile aeromonad disease in ayu. *Fish Pathology*, 20, 55-59.
- Miyazaki, T. and N. Kaige (1985) : A histopathological study on motile aeromonad disease of crucian carp. *Fish Pathology*, 21, 181-185.
- 水野信彦(1992)：ピーターセン法．魚をほどよく放流するための手引き～魚類適性放流量定量化調査報告書～，全国内水面漁業協同組合連合会，東京，pp. 191-193.
- 森本晴之(1994)：卵質．魚類の初期減耗研究(田中克・渡邊良朗編)，恒星社厚生閣，東京，pp. 83-96.
- 森誠一・片野修(2005)：希少魚保全の問題点と展望．希少淡水魚の現在と未来(片野修・森誠一編)，信山社，東京，pp. 13-31.
- 本西晃・築坂正美・落合一彦(2001)：ワカサギの種苗生産・養殖技術の開発および放流適正の検討．平成12年度新養殖技術開発事業報告書，新魚種開発協会，東京，pp. 26-35.
- 麦谷泰雄(1988)：魚類耳石の日周形成リズム．水産動物の日周活動(羽生功・田畑満生編)，恒星社厚生閣，東京，pp. 35-46.
- 武藤義範・浅野篤志・原徹・斉藤薫・土川博之(1996)：長良川におけるアユ仔魚の降下状況，1994年．岐阜県水産試験場研究報告，41，37-40.
- 中村一雄(1962)：淡水魚の養殖増進に関する研究．淡水区水産研究所研究報告，11(3)，226 pp.
- 中村誠(1992)：霞ヶ浦におけるワカサギ資源に関する研究．茨城県内水面水産試験場研究報告，28，1-19.
- 中村智幸・渡邊精一(2001)：利根川水系鬼怒川におけるワカサギの産卵場所の立地条件．水産増殖，49，507-508.
- 中野亜木子・久下敏宏・佐藤敦彦・松井資元・清水延浩・手島千里(1999)：ワ

- カサギの溜池養殖に関する調査. 群馬県水産試験場研究報告, 5, 67-71.
- 中田英昭(1994): 輸送. 魚類の初期減耗研究(田中克・渡邊良朗編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 72-82.
- 根本隆夫・河崎正・位田俊臣(2003): 試験用人工河川におけるワカサギ親魚の遡上時間. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 38, 19-23.
- Nieto, T. P., M. J. R. Corcobado, A. E. Toranzo and J. L. Barja (1985): Relation of water temperature to infection of *Salmo gairdneri* with motile *Aeromonas*. *Fish Pathology*, 20, 99-105.
- 信沢邦宏・小西浩司(1994): 群馬県内各湖沼のワカサギ資源動向の実態. 群馬農業研究 E 水産, 10, 71-85.
- 信沢邦宏・小西浩司(1995): 群馬県内各湖沼のワカサギ資源動向の実態 - II. 群馬県水産試験場研究報告, 1, 66-80.
- 信沢邦宏・小西浩司(1996): 群馬県内各湖沼のワカサギ資源の実態と管理法. 群馬県水産試験場研究報告, 2, 14-37.
- 農林水産省経済局統計情報部編集(1976, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2004): 第 5 ~ 11 次漁業センサス(内水面漁業に関する統計). 農林統計協会, 東京.
- 農林水産省経済局統計情報部編集(1980 ~ 2002): 昭和 53 年 ~ 平成 12 年漁業・養殖業生産統計年報. 農林統計協会, 東京.
- 落合明・田中克(1998): 新版 魚類学(下) 改訂版. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 477-483.
- 岡田鳳二・坂井勝信・杉若圭一(1978): ワカサギの生殖行動刺激物質. 北海道立水産孵化場研究報告, 33, 89-99.
- 岡本成司・河崎正・高野誠(1982a): ワカサギの人工種苗生産技術の開発に関する研究 - III GPC-5 精巢懸濁液による人工授精について. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 19, 38-43.
- 岡本成司・河崎正・高野誠(1982b): ワカサギの人工種苗生産技術の開発に関する研究 - IV 親魚の死後時間と卵の発眼率の関係について. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 19, 44-48.
- 大浜秀規(1990): 耳石輪紋によるワカサギの日齢査定. 日本水産学会誌, 56, 1053-1057.
- 大前浩美(1985): ワカサギの種苗生産について. 全国湖沼河川養殖研究会第 58 回大会要録, 115-119.
- 大前浩美(1986): ワカサギの資源管理について. 全国湖沼河川養殖研究会第 59 回大会要録, 96-104.
- 大仲知樹(1995): mtDNA D・Loop 領域多型によるワカサギ集団の遺伝学的解析.

東海大学修士論文, 41 pp.

Robins, C. R., R. M. Bailey, C. E. Bond, J. R. Brooker, E. A. Lachner, R. N. Lea and W. B. Scott (1991): *Common and scientific names of fishes from the United States and Canada*, Fifth edition. American Fisheries Society, Maryland, pp. 183.

Sano, M., T. Ito, J. Kurita, T. Yanai, N. Watanabe, S. Miwa and T. Iida (2004): First detection of Koi Herpesvirus in cultured common carp *Cyprinus carpio* in Japan. *Fish Pathology*, 39, 165-167.

佐藤隆平(1954): ワカサギの漁業生物学. 水産増殖叢書, 5, 99 pp.

佐藤茂・小林良雄・作中宏・小山忠幸(1981): 温水性魚食魚の資源生態学的研究(芦之湖におけるブラックバス, マス類の資源生態学的研究-I(要旨)). 神奈川県淡水魚増殖試験場報告, 17, 110.

Saruwatari, T., J. A. Lopez and T. W. Pietsch (1997): A revision of the osmerid genus *Hypomesus* Gill (Teleostei: Salmoniformes), with the description of a new species from the southern Kuril Islands. *Species Diversity*, 2(1), 59-82.

佐々木道也(1981): 霞ヶ浦の最近におけるワカサギ(*Hypomesus olidus*)資源の動向について-II-資源変動要因-. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 18, 6-25.

佐々木道也(1984): 霞ヶ浦北浦に於けるワカサギの天然産着卵におよぼす影響について. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 21, 31-39.

佐々木剛(2003): 岩手県閉伊川における *Hypomesus nipponensis* の生物資源学的研究. 東京水産大学博士論文, 195 pp.

沢口宏・関根和伯(1980): 城沼. 群馬の湖沼(五味禮夫編), 上毛新聞社, 前橋, pp. 227-239.

関根和伯(1985a): 群馬県の魚類. 群馬県動物誌(群馬県高等学校教育研究会生物部会「群馬県動物誌」編集委員会編), 群馬県, 前橋, pp. 157-226.

関根和伯(1985b): 城沼(館林市)における生息魚種の変遷. 群馬県動物誌(群馬県高等学校教育研究会生物部会「群馬県動物誌」編集委員会編), 群馬県, 前橋, pp. 197.

関根和伯(2002): 魚類の概要. 群馬県の絶滅のおそれのある野生生物 動物編, 群馬県環境生活部自然環境課, 前橋, pp. 59-67.

関泰夫・塚本勝巳・岩橋正雄(1988): サケ・マスの発眼卵・仔魚の耳石標識. 新潟県内水面水産試験場調査研究報告, 14, 13-19.

関泰夫・塚本勝巳・岩橋正雄(1989): 耳石標識溶液の保存期間の検討. 新潟県内水面水産試験場調査研究報告, 15, 9-13.

Seno, R., N. Hata, T. Oyamatsu and H. Fukuda (2003): Curative effect of 0.5% salt water treatment

- on carp, *Cyprinus carpio*, infected with carp edema virus (CEV) results mainly from reviving the physiological condition of the host. *Suisanzoshoku*, 51, 123-124.
- 新谷一大・渡邊精一(1990)：茨城県牛久沼におけるオオクチバスの食性．水産増殖, 38, 245-252.
- 白石芳一(1952)：諏訪湖産ワカサギ(*Hypomesus olidus*)の標識による産卵移動調査並びに遡河の生態に就いて．淡水区水産研究所研究報告, 1(1), 26-41.
- 白石芳一(1953)：ワカサギの標識放流(第二回試験)．淡水区水産研究所研究報告, 2(1), 11-30.
- 白石芳一・徳永英松(1958)：相模湖におけるワカサギの産卵環境について．淡水区水産研究所研究報告, 8(1), 33-43.
- 白石芳一(1961)：ワカサギの水産生物学的ならびに資源学的研究．淡水区水産研究所研究報告, 10(3), 263 pp.
- 須藤和彦・中田英昭(1995)：芦ノ湖におけるワカサギ資源変動要因．水産増殖, 43, 1-9.
- 鈴木健二(1984)：霞ヶ浦産ワカサギ親魚利用人工ふ化放流について．茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 21, 1-10.
- 鈴木俊哉・長崎勝康・水谷寿・帰山雅秀(1999)：十和田湖におけるヒメマスおよびワカサギの個体群動態．国立環境研究所研究報告, 146, 27-35.
- 田畑和男(2004)：河川における冷水病菌をめぐる在来魚と放流アユとの関係．日本水産学会誌, 70, 318-323.
- 田子泰彦(1999)：庄川におけるアユ仔魚の降下生態．水産増殖, 47, 201-207.
- 田原偉成・上島剛・落合一彦(2004)：ワカサギ流下仔魚調査(新養殖技術開発事業)．平成14年度長野県水産試験場事業報告, 55.
- 高橋一孝・桐生透・岡崎巧・大浜秀規(1995)：ワカサギの資源生態学的研究－I．平成6年度山梨県水産技術センター事業報告書, 23, 54-92.
- 高橋一孝・大浜秀規(1996)：ワカサギの資源生態学的研究－II～西湖のワカサギを中心とした魚種間関係について～．平成7年度山梨県水産技術センター事業報告書, 24, 30-39.
- 高村典子・三上一・水谷寿・長崎勝康(1999a)：ワカサギの導入に伴う十和田湖の生態系の変化について．国立環境研究所研究報告, 146, 1-15.
- 高村典子・三上一・伯耆晶子・中川恵(1999b)：ワカサギからヒメマスへ、1980年代と逆の優占魚種の変化がプランクトン群集と水質に及ぼした影響について－1995-1997年の調査結果から．国立環境研究所研究報告, 146, 16-26.
- 竹内勝巳(1984)：諏訪湖におけるワカサギの成長と食性．信州大学修士論文, 63 pp.

- 田中明広・浅枝隆(2002)：浅い人工池沼における枝角類群集組成の変動とそれが水質に及ぼす影響について．陸水学雑誌，63，189-199.
- 田中昌一(1985)：水産資源学総論．恒星社厚生閣，東京，pp.287-292.
- 戸田久仁雄(1994)：芦ノ湖におけるワカサギ資源生態調査－I 発眼卵 ALC 標識の問題点．神奈川県淡水魚増殖試験場報告，30，57-60.
- 戸田久仁雄(1994)：芦ノ湖におけるワカサギ資源生態調査－II 魚食性魚類による食害と刺網不漁，体型小型化に関する考察．神奈川県淡水魚増殖試験場報告，30，61-67.
- 友田努・小磯雅彦・桑田博・陳昭能・竹内俊郎(2004)：増殖ステージが異なるシオミズツボワムシのマダイ仔魚に対する餌料価値．日本水産学会誌，70，573-582.
- Torao, M. (2000) : Early developmental phase of wakasagi, *Hypomesus nipponensis*, in Lake Abashiri. *Fisheries Science*, 66, 605-607.
- 虎尾充(2001)：網走湖産ワカサギ，*Hypomesus nipponensis* の生活史に関する発育段階的研究．東京農業大学博士論文，145 pp.
- 鳥澤雅(1999)：網走湖産ワカサギの生活史多型分岐と資源変動機構．北海道立水産試験場研究報告，56，117 pp.
- Toyama, T., K. Kita-Tsukamoto and H. Wakabayashi (1994) : Identification of *Cytophaga psychrophila* by PCR targeted 16S ribosomal RNA. *Fish Pathology*, 29, 271-275.
- Tsukamoto, K. (1985) : Mass-marking of ayu eggs and larvae by tetracycline-tagging of otoliths. *Fisheries Science*, 51, 903-911.
- 塚本勝巳(1987)：魚卵・稚仔魚の耳石標識法．海洋と生物，9(2)，103-105.
- Tsukamoto, K. (1988) : Otolith tagging of ayu embryo with fluorescent substances. *Fisheries Science*, 54, 1289-1295.
- 塚本勝巳(1989)：減耗．水族繁殖学(隆島史夫・羽生功編)．緑書房，東京，pp.255-260.
- Tsukamoto, K., Y. Seki, T. Oba, M. Oya and M. Iwahashi (1989) : Application of otolith to migration study of salmonids. *Physiological Ecology Japan, Spec. 1*, 119-140.
- 塚本勝巳(1991)：魚類の初期減耗過程とそのメカニズムに関する標識放流実験．魚類の初期発育(田中克編)，恒星社厚生閣，東京，pp.105-118.
- 上島剛・田原偉成・落合一彦(2004)：ワカサギの地中養殖試験(新養殖技術開発事業)．平成14年度長野県水産試験場事業報告，52.
- 上島剛・田原偉成・落合一彦・本西晃(2005)：ワカサギの地中養殖試験(新養殖技術開発事業)．平成15年度長野県水産試験場事業報告，59.
- Wakabayashi, H. and S. Egusa (1974) : Characteristics of Myxobacteria associated with some

- freshwater fish disease in Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 40, 751-757.
- Wakabayashi, H., K. Kanai, T. Hsu and S. Egusa (1981): Pathogenic activities of *Aeromonas hydrophila* biovar *hydrophila* (Chester) POPOFF and VERON, 1976 to fishes. *Fish Pathology*, 15, 319-325.
- 若林久嗣(1983): ウナギの鰭赤病. 魚病学(江草周三編). 恒星社厚生閣, 東京, pp. 81-87.
- Wakabayashi, H., T. Toyama and T. Iida (1994): A study on serotyping of *Cytophaga psychrophila* isolated from fishes in Japan. *Fish Pathology*, 29, 101-104.
- 矢口正直(1956): 霞ヶ浦におけるワカサギの漁業生物学的研究—II—ワカサギの産卵場について. 茨城県霞ヶ浦北浦水産振興場調査研究報告, 1, 29-32.
- Yamada, J. (1963): The normal developmental stages of the pond smelt, *Hypomesus olidus* (Pallas). *Bulletin of The Faculty of Fisheries Hokkaido University*, 14, 121-135.
- 山岸宏(1974): 諏訪湖におけるワカサギ稚魚の生態について. 日本生態学会誌, 24, 10-21.
- 山本孝治(1948): ワカサギの抱卵数について. 日本水産学会誌, 13, 150-152.
- 山下洋(1994): 被食. 魚類の初期減耗研究(田中克・渡邊良朗編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 60-71.
- Yodo, T. and S. Kimura (1996): Age and growth of the largemouth bass *Micropterus salmoides* in Lakes Shorenji and Nishinoko, central Japan. *Fisheries Science*, 62, 524-528.
- 淀太我・木村清志(1998): 三重県青蓮寺湖と滋賀県西の湖におけるオオクチバスの食性. 水産増殖, 64, 26-28.
- 淀太我・井口恵一郎(2003): 長野県青木湖と野尻湖におけるコクチバスの食性. 魚類学雑誌, 50, 47-54.
- 吉沢和俱・堀賢平・茂木実(1981a): 温水性魚食魚(オオクチバス)の資源生態学的研究—II—オオクチバス(*Micropterus salmoides* (LACEPEDE))の県内生息湖沼の聞き取り調査. 群馬県水産試験場報告, 28, 65-70.
- 吉沢和俱・高柳芳夫・茂木実・小林茂・信沢邦宏・佐藤敦彦・池田常彦・村田誠(1981b): 温水性魚食魚(オオクチバス)の資源生態学的研究—IV—榛名湖におけるオオクチバス(*Micropterus salmoides* (LACEPEDE))の食性を中心とした生態について. 群馬県水産試験場報告, 29, 32-45.
- 吉沢和俱・高橋計介・佐藤敦彦・小西浩司(1992): 大塩貯水池, 近藤沼におけるオオクチバスの生態と県内生息湖沼の経時変化. 群馬農業研究 E 水産, 8, 31-47.
- 吉沢和俱(1992a): 食性. ブラックバスとブルーギルのすべて～外来魚対策検討委託事業報告書～(全国内水面漁業協同組合連合会編), 全国内水面漁業

協同組合連合会，東京，pp. 27-39.

吉沢和俱(1992b)：成長．ブラックバスとブルーギルのすべて～外来魚対策検討委託事業報告書～(全国内水面漁業協同組合連合会編)，全国内水面漁業協同組合連合会，東京，pp. 39-55.

全国内水面漁場管理委員会連合会編集(2003)：内水面外来魚生息・影響状況調査(平成14年度調査)．全国内水面漁場管理委員会連合会事務局，千葉，39 pp.

要 旨

序 論

群馬県においてワカサギは、天然湖に加え山間部のダム湖や丘陵地の溜池を含む人工湖にその種卵が放流され、重要な遊漁対象魚種として盛んに利用されている。しかしながら、これらの漁場でも国内の他の水域同様に毎年の資源量変動が大きいことが、増殖事業を推進する際の大きな問題となっている。本種については、これまでに国内の主要産地における資源生態学的な研究や、人工ふ化や種卵管理などに関する研究も多くあるが、放流効果、被食、防疫などに関する知見は十分とは言えず、未だ多くの研究課題が残されている。

群馬県のワカサギ漁場では、春季に県外または県内産の種卵を湖沼やふ化場などに收容し、そこでふ化まで管理した後、仔魚を漁場に放流するというふ化放流が増殖行為として行われている。その後、漁場に拡散した仔魚は、プランクトンを捕食しながら夏季にかけて成長し、秋季には釣獲可能サイズに達して釣りが解禁となり、冬季を通して春季まで遊漁対象魚として利用される。この間に減耗に帰する増殖技術や漁場管理に関する問題が生じており、その対策が望まれている。よって、本研究は資源量の高位安定を実現するため、内陸淡水湖沼における本種の生活史の主要な減耗要因について調査し、その成果を今後の増殖対策に役立てることを目的とする。

第 1 章

群馬県では記録上 1923 年に初めてワカサギの移植が受精卵の導入によって行われた。現在でもこうした春季の種卵放流が増殖事業の主体であり、近年は主に諏訪湖産や網走湖産の種卵が県内各漁場へ毎年放流され、資源量の維持増大が図られている。しかしながら、種卵の産地においても資源量の年変動は大きく、種卵の安定供給が未だに確立されていないのが現状である。

群馬県におけるワカサギ漁業はほとんど全てが遊漁であり、冬季の非常に重要かつ貴重なレクリエーションで、2003 年のワカサギ遊漁者数は 70.0 千人に達している。2000 年のワカサギ漁獲量は 22t であり、全体的には 1965 年以降、数年周期で増減を繰り返しながら増加傾向を示している。ワカサギの漁場数は 20 水域前後で、その性状から高冷地天然湖、多目的人工湖、農業用溜池および低湿地天然湖の 4 類型に大別され、それぞれが特色のある漁場環境を有している。

増殖方法は、受精卵の付着したシュロ枠を、ふ化箱に收容して湖水へ放流するのが一般的である。漁場によっては、流入河川の淵や湖畔の FRP 製水槽に收容してふ化させ、仔魚を湖水へ流下させる場合もある。

資源変動に大きく影響していると考えられる減耗の要因としては、飢餓、被

食，輸送，卵質，感染症などが挙げられ，これらが相互に関与するとともに，当該漁場の環境特性などにも影響されながら減耗が生じていると推察される。

第2章

地形的に大別した群馬県のワカサギ漁場における理化学的および生物学的な生息環境の特徴を類型間で比較検討することを目的とし，それぞれ代表的な漁場の水質と動物プランクトンについて調査した。

水温については，秋季の水面付近に注目すると，漁場の標高が高くなるに従い低下し，最高標高の高冷地天然湖が最低であった。水温躍層については，高冷地天然湖，多目的人工湖，農業用溜池で夏季を中心に形成されていた。DOについては，各水域ともに水温躍層より上層においてワカサギの生息には十分な量が溶存していた。高冷地天然湖と農業用溜池では水温躍層付近でDOが急激に減少し，その下層におけるワカサギの生息は不可能と判断される。透明度については，高冷地天然湖で最高6m以上にも及んだが，低湿地天然湖では0.5m以下であった。栄養塩類については，低湿地天然湖が他と比較して高く，透明度同様に汚濁水の流入によると考えられる顕著な差が認められた。

以上のことから，水質では特に夏季の高水温期における水温とDOの鉛直分布が，ワカサギの生息可能範囲を各漁場で特徴的に制限していた。したがって，水温躍層がほとんど形成されないように散気装置を導入することで，深層のDOを増大させ，水域全体のワカサギ生息可能範囲を鉛直的に拡大させられる可能性が示唆される。また，市街地に隣接した漁場における絶滅したワカサギ資源の回復には，水質汚濁の改善も必要であると考えられる。

一方，動物プランクトンは各漁場ともに個体数密度の季節的変動が大きかった。しかしながら，ワカサギ現存量に対して餌料として量的に充足していたかどうかは不明であり，今後の研究課題である。

第3章

ふ化放流過程における減耗量が明らかにされておらず，そのため正確な資源加入量が把握できないことから，以下の各段階における減耗量を把握するとともに減耗要因を明らかにして，加入量を安定かつ増大させるふ化管理の対策を検討した。

放流卵の産地別の推定ふ化率については，諏訪湖や田代湖の人工採卵由来放流卵に比べ，蟹沢や覚満川の自然産卵由来放流卵は有意に高かった。よって，自然産卵由来放流卵の活用を図る必要がある。

水温別のふ化状況を明らかにするため，水温7～10℃，10～13℃および14～17℃における受精卵のふ化状況を観察した。ふ化開始日は，それぞれ受精28日後，19日後および9日後であり，水温に大きく左右された。一方，ふ化期

間は、それぞれ 13 日間、14 日間および 11 日間であり、いずれも長期に及んだ。また、試験規模では、注水量が多いほど仔魚を流出させやすく、少ない場合は水面流出より底層流出の方が流出させやすかった。これらのことから、ふ化水槽から仔魚を速やかに流出させる時間的な目安と、排水方法などの基礎的な条件が得られた。

ふ化後 18 時間以内の仔魚を、高さ 2m 以下から落下させて 24 時間後の生残率を落下高ごとに算出したところ、落下点に水がない場合は高くなるにつれて生残率が有意に低下したが、落下点に水深 5cm の水がある場合は有意差が認められなかった。よって、仔魚が流下する河川の落ち込みは水深 5cm 以上に造成する必要がある。

ふ化直後のほとんどの仔魚は、放流された水深 20cm から水面方向へ上昇し、水面付近に定位することが可能な遊泳力を示した。よって、湖沼の放流地点下に低酸素層が存在していても、仔魚がそこへ沈降してしまう可能性は少ないと考えられる。

仔魚には蛍光灯光源に対する正の走光性が確認されたが、光源の光量や波長、成長段階による反応をさらに調べ、実際に減耗を低減させる方向へ仔魚を誘導できる技術の開発を行う必要がある。

第 4 章

ワカサギの魚体標識に関する知見が少ないため、標識放流を用いた減耗要因解明や現存量推定などに支障をきたしている。そこで、様々な条件で 2 種類の標識剤 (ALC と AR) による発眼卵への耳石標識を試し、その結果を評価した。

また、ふ化直後から 9 日間ワムシを給餌したワカサギ仔魚の生残率は、ワムシ給餌量が多いほど向上することがわかった。一方、高ふ化率で、標識が鮮明かつ長期間維持されると期待される ALC 濃度 100mg/L、24 時間浸漬による発眼卵の標識放流試験からも、初期餌料の現存量が仔魚の生残率へ明らかに影響を及ぼしていると考えられる。こうしたふ化直後のワムシ給餌が、初期餌料プランクトン密度の低い漁場や時期において飢餓減耗を軽減する増殖手法として確立できれば、ワカサギ資源の安定化に大いに役立つと期待される。

第 5 章

漁場からの放水にともなう流出による初期減耗の状況を把握するため、放流水中の仔魚を確認するとともに、1 日当たりの流出仔魚尾数を概算した。

鳴沢湖における放水による 2002 年の仔魚の流出量は、1 日当たり約 6.45 万尾と算出され、この年の資源加入量である推定ふ化尾数合計の約 0.12% に相当した。流出仔魚の最小全長は 4.5mm であり、ふ化直後から仔魚が漁場外へ流出するという初期減耗が明らかになった。また、2004 年の仔魚の流出量は、1 日当

たり平均約 4.02 万尾 (1.68 ~ 6.10 万尾) と算出され、この年の推定ふ化尾数合計の約 0.06% (0.03 ~ 0.10%) に相当した。これらの結果から、年間流出量は年間推定ふ化尾数合計の約 4% で 200 ~ 250 万尾程度と推定された。この減耗量を低減する現実的な対策を導き出すためには、仔魚の生態を利用した技術を開発すべきであるが、その際、経済的かつ労力的な観点からの検討も必要であろう。

第 6 章

ワカサギに対するオオクチバスの捕食による影響を明らかにするため、ワカサギの資源量とオオクチバスの生息尾数および胃内容物を調査した。

榛名湖において、ワカサギ不漁年である 1997 年の 5 ~ 6 月での全長 25cm 以上のオオクチバス生息尾数は約 2500 尾と推定されるとともに、全長 25cm 未満の卓越した年級群の存在が推察された。ワカサギ不漁年と豊漁年に 1 歳魚以上のオオクチバスの胃内容物を調査したところ、両年ともに魚類と甲殻類を主な餌料としており、魚類については、不漁年はヨシノボリ属魚類、豊漁年はワカサギの出現率が高かった。捕食されていたワカサギの成長段階は、ワカサギの産卵期が親魚で、夏季以降が未成魚以上であった。また、不漁年は豊漁年に比べオオクチバスの肥満度と胃内容物重量指数が低かった。さらに、オオクチバス釣り大会秤量魚の平均体重がワカサギの不漁期に減少することから、榛名湖のオオクチバスにとってワカサギは重要な餌料であり、オオクチバス生息尾数の増減がワカサギ資源へ影響を及ぼしていると考えられる。

第 7 章

アユからワカサギへの水を介した水平伝播の可能性を明らかにするため、運動性エロモナス症罹患アユから分離された *Aeromonas hydrophila* をワカサギに対し浸漬攻撃 (直接添加法) したところ、攻撃 7 日目で累積死亡率が 64.1% に達し、ワカサギへの病原性を確認した。一方、冷水病罹患アユから分離された *Flavobacterium psychrophilum* をワカサギとアユに対し浸漬攻撃 (直接添加法) したところ、アユでは攻撃 15 日目で累積死亡率が 21.2% に達したが、ワカサギでは死亡が認められず、*F. psychrophilum* の宿主特異性が示唆された。これらの結果は、今後、天然水域での魚類防疫を検討する上で役立つと考えられる。

さらに、ハンドリングストレス付与後のワカサギの死亡率を低減させるため、塩水浴の効果について検証した。粉碎塩濃度 0.4% または 0.8% の塩水による 6 時間の浸漬処理は、手網中で 120 秒間空中曝露後させたワカサギの死亡率を有意に低減し、その効果が確認された。

総合考察

本研究で得られた知見から、今後の漁場管理を安定的かつ効果的に推進すべく増殖の方法や研究の方向性について以下のように総合的に考察する。

放流卵産地における供給量の年変動に影響されないように、ふ化率が高い流入河川における自然産卵を利用して自給率を高めることを増殖事業の柱として積極的に活用する必要がある。流入河川がない水域では、人工河川を造成して親魚を遡上産卵させることも有効であろう。

仔魚の水槽からの流出状況、落下や流下衝撃による減耗、遊泳生態や走行性、成魚の空中曝露後の塩水浴効果などが明らかとなり、今後、増殖事業のみならず養殖事業においても選別、運搬、池替えなどハンドリング作業を伴う際の歩留向上へ寄与するであろう。また、釣獲後やハンドリング後の水カビ病発生を抑制するには塩水飼育が効果的であると示唆されたことから、抑制効果を検証するとともにその機構を解明することも重要である。

餌料となるプランクトンの出現状況が仔稚魚期の生残率に大きく影響を及ぼしていることは明らかであり、アユ養殖に準じたワムシ給餌を行った後に仔魚を漁場へ放流することで、餌不足による生残率低下を防止することは可能である。

オオクチバスによる被食減耗は資源量変動に大きく影響していた。特に産卵期に接岸するワカサギ親魚に対するオオクチバスの捕食は、自然産卵量の減少を招くと考えられることから、親魚を肉食性魚類から保護する対策を講ずるべきである。

これまでワカサギの天然水域での魚病被害は皆無であったが、感染実験により異魚種間でも運動性エロモナス症が感染する可能性が確認された。したがって、病魚や保菌魚を放流しないことは当然であるが、発症の誘因となる生息環境悪化を生じさせないような漁場管理が防疫面からも求められる。

今後は県内各漁場における環境収容力や増殖効果を算出し、それに基づいた効率的な資源管理を図るべく、さらなる研究を継続することが必要である。また、移植や増殖に際しては多角的な影響評価を行うことも重要な課題になるであろう。

将来的にもワカサギ資源は、水産業のみならず教育、食料、観光など各方面で有効利用されると考えられ、本研究の成果が役立つことを望む。

Abstract

Prologue

Wakasagi *Hypomesus nipponensis* is very important game fish whose eggs are released widely in natural and artificial lakes including farm ponds in Gunma Prefecture, Japan. It is difficult to propagate this species efficiently and stably because of heavy annual abundance change like any other domestic waters. There are many studies about its ecological population dynamics in main domestic fishing grounds, artificial fertilization and management of egg production. However, there is a little knowledge of stocking efficiency, prey-predator interaction, control of communicable diseases and so on, whereas many subjects are left to study.

In wakasagi fishing grounds in Gunma Pref., fertilized eggs are transported for release and hatched in lake or hatchery under management as propagation in spring. Then larvae widely disperse in lake and grow up to subadults feeding on zooplankton through summer. Fishing is then opened in fall and adults are fished through winter as game fish. In this life history, there are some problems of propagation technique and fishing ground management that cause mortality, and it is expected to take measures against these. Therefore, this study examined the mortality in the life history of wakasagi propagated in inland waters in order to have high and stable fish stock. The results obtained from this study are as follows.

Chapter 1

The first transplantation of wakasagi eggs in Gunma Pref. was carried out in 1923 on record. This egg release in every spring is the main method of propagation in wakasagi fishing grounds up to the present. Suwa Lake and Abashiri Lake are recently the main localities of eggs for Gunma Pref., but the supply is unstable because of their stock variance.

A kind of fishing methods of wakasagi in Gunma Pref. is only recreational fishing. It is very important and precious game fish in winter. The amount of wakasagi anglers was 70000 in 2003. Its catch in weight was 22 t in 2000 and it is generally increasing with periodic variance in several years since 1965. There are about 20 fishing grounds for wakasagi in Gunma Pref. classified into 4 types (highland natural lake, multipurpose reservoir, farm pond and lowland marshy natural lake) having peculiar environment for each type.

It is the standard method of wakasagi propagation in Gunma Pref. that Shuro frames (vegetable spawning substrate) adhered fertilized eggs are packed into the hatching box and released in the fishing ground. Occasionally, they are released in the pool of the stream or in the hatching tank that flows into the fishing ground after hatching.

It is suggested that factors of mortality that influence the stock variance of wakasagi are starvation, prey-predator interaction, transportation, egg quality and fish disease. These would be related

reciprocally and affected by environmental features of the fishing ground.

Chapter 2

To grasp the peculiar environment of wakasagi fishing grounds in Gunma Pref., water quality and zooplankton were investigated in the representative grounds classified into 4 types by geographical points as mentioned above.

Regarding water temperature of the surface in fall, the higher altitude of the fishing ground was, the lower water temperature was. Then highland natural lake was the lowest among 4 types. Thermocline in summer was observed clearly in highland natural lake, multipurpose reservoir and farm pond. There was enough dissolved oxygen (DO) above thermocline in 4 types for wakasagi to exist. In highland natural lake and farm pond, wakasagi do not exist under thermocline because DO decreased sharply and lethally. Transparency was above 6 m in highland natural lake and below 0.5 m in lowland marshy natural lake. Nutritive salts in lowland marshy natural lake were the highest among 4 types and there was remarkable difference like transparency suggesting it was caused by polluted water.

Then it is suggested that water temperature and DO vertically restrict the existence range of wakasagi especially in summer, high water temperature season. However, there is a possibility the air bubble machine breaks thermocline to make the existence range deeper and wider in grounds. And improvement of water quality is necessary to recover wakasagi abundance after its extinction in the fishing ground nearby a city area.

Density of zooplankton was seasonally changed much, however there are no data to prove satisfaction for wakasagi as food. At this point, we expect a further study.

Chapter 3

The recruited stock size was not grasped correctly because the mortality during seed production was not quantified. Then, a factor and an amount of mortality in each productive stage were investigated for stock management measures to increase and stabilize recruited stock.

The estimated hatching rate of wakasagi eggs by natural spawning (Kani Stream and Kakuman River) was significantly ($P < 0.05$) higher than artificial fertilization (Suwa Lake and Tashiro Lake). Therefore, it is necessary to conjugate natural spawning thoroughly.

To grasp the hatching state, it was observed that wakasagi eggs needed to be hatched for 28 days after fertilization in 7-10 °C, 19 days after it in 10-13 °C, and 9 days after it in 14-17 °C, depending on water temperature. The hatching term was long such as 13 days, 14 days, and 11 days respectively. The more water flowed into the experimental hatching tank, the more newly hatched wakasagi larvae tended to flow out from it. In the less water inflow, the more larvae effused from bottom drain than surface one. These results led up to a rough timely standard and methods that tends larvae to flow out from a hatching tank promptly.

The higher wakasagi larvae hatched within 18 hours were dropped vertically to upside-down schale

(depth=0 cm), the lower survival rate at 24 hours after dropping was significantly ($P < 0.005$). But in the case dropped from under 2 m height to water filled schale (depth=5 cm), the survival rate was not significant ($P > 0.1$). Therefore, it is suggested we need to improve the pool (depth ≥ 5 cm) at falls in the river for good survival of down streaming newly hatched larvae.

The newly hatched wakasagi larvae had an ability to swim up to surface and stay. This means that larvae should not sink to low dissolved oxygen stratum under the released point in lake.

Wakasagi larvae were observed to respond positively to fluorescent light (phototaxis). It is necessary to experiment about volume and wavelength of light source at every growth stage of wakasagi and to develop a leading technique to avoid mass mortality.

Chapter 4

Poor knowledge about marking of wakasagi is an obstacle to determine the cause of mortality and to estimate the standing biomass by marking experiment. Two marking chemicals { alizarin complexone (ALC) and alizarin red S (AR) } were experimented and evaluated as otolith-tagging to eyed eggs of wakasagi.

Just after hatching, S type rotifer *Brachionus rotundiformis* was fed to larval wakasagi in experimental tanks (450 L) for 9 days. The more rotiferes were fed to larvae, the higher the survival rate was. The result of the mark-recapture experiment that eggs were immersed for 24 hours in the solution of ALC (100 mg/L), expecting higher hatching rate and that a fluorescent mark on the otolith extended clearly over a long period, suggests that the standing crop of initial feed affects the survival rate evidently.

A conclusion based on these experimental results reveals that the rotifer given is an effective method to prevent the early reduction by starvation for a fishing ground and period in low initial feed density.

Chapter 5

The state of the early reduction of wakasagi by effluent from fishing ground was investigated in typical farm pond, Narusawa Lake (max. depth 17.5 m, area 0.17 km²), Gunma. Larvae in effluent were captured by larva-net every 3 hours during May 1-2, 2002. A number of larvae flowed out was estimated approximately 64500 a day. This daily reduction corresponds about 0.12 % of final estimated number of larvae hatched in the lake from released eggs in 2002. The minimum total length of flowed out-larvae is 4.5 mm. This suggests that larvae flow out just after hatching. In 2004, a number of flowed out-larvae was approximately estimated 40200 a day and corresponded 0.06 % of final estimated number of larvae hatched in the lake from released eggs. These results concluded that yearly estimated number of flow out-larvae is 2000000 ~ 2500000, about 4 % of final estimated number of hatched larvae. To develop an actual technique to decrease this mortality using ecological features, economical and labor saving points of view should be considered.

Chapter 6

To prove the influence by predation of largemouth bass *Micropterus salmoides* to wakasagi, the abundance of these 2 species were estimated and the feeding habits of largemouth bass were investigated in Haruna Lake, Gunma. A total of approximately 2500 largemouth bass (total length \geq 25 cm) were estimated in 1997 by using mark-and-recapture method. Population hatched during 1995-1997 suggests the dominant year classes by age composition. Fish and crustacean were the important prey according to investigated stomach contents of 241 specimens. As regards preyed fishes, the main one was lake goby *Rhinogobius* sp. in 1997, the poor fishing year of wakasagi, whereas wakasagi occupied the largest proportion in 2001, the bumper fishing year of it. The condition factor and stomach-content-somatic index were lowered in 1997 but increased in 2001. The body weight of largemouth bass in fishing tournament had been lowering during the poor fishing years before recruitment of dominant year classes as weighed bodies. Therefore, it is suggested the poor abundance of wakasagi causes lack of bait for largemouth bass and the increased population of largemouth bass affects the abundance of wakasagi by predation pressure to adult wakasagi in spring, the spawning season of wakasagi and to young after summer in Haruna Lake.

Chapter 7

To evaluate the horizontal transmission (water-borne infection) of the motile aeromonad disease and the bacterial coldwater disease from ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* to wakasagi, the virulence of *Aeromonas hydrophila* and *Flavobacterium psychrophilum* isolated from diseased ayu was experimented by direct addition to wakasagi. The cumulative mortalities of wakasagi exposed to *A. hydrophila* and *F. psychrophilum* were 64.1 % for 7 days and 0 % for 15 days after challenge, respectively. On the other side, the mortality of ayu exposed to *F. psychrophilum* was 21.2 % for 15 days. These experimental results suggest that *A. hydrophila* isolated from ayu has virulence to wakasagi, although *F. psychrophilum* has difference in the sensitivity of fish species as hosts. This result is useful for considering fish preventive measures in natural waters.

The effect of salt water bathing was verified to reduce the mortality after handling of wakasagi. Mortality of wakasagi after exposure to air in hand net for 120 seconds was significantly ($P < 0.0001$) reduced by immersion in 0.4 and 0.8 % salt water (using crude salt) for 6 hours. This result shows that salt water treatment is effective to wakasagi with handling damage.

Epilogue

From the findings in this study, ways of the propagation and research for the stable and effective fishing ground management of wakasagi are generally discussed as follows.

Not to be affected by an annual egg supply in productions, the natural spawning in incurrent stream which provide high hatching rated eggs will be greatly applied for self-sufficiency in the propagation. In case of no natural incurrent water, it will be effective to develop the artificial stream for the

spawning ground.

The findings of the outflow from hatching tanks and fishing grounds, the down streaming damage, the initial swimming ability and the positive phototaxis in larvae, and the salt water treatment for handling damage in adults are effective in grading and transport of high survival rate in the propagation and the aquaculture. It is suggested that the salt water breeding controls fungus disease after fishing and handling. And then we need to verify its effect and to determine its mechanism.

The standing crop of zooplankton as the initial feed must affect the survival rate in larval stage. We can prevent larvae in a hatching tank from starvation by feeding rotifer like ayu culture system.

In prey-predator interaction, wakasagi adults before spawning around shoreline must be preserved from piscivorous fish for promotion of natural spawning because predation of largemouth bass evidently affects the population fluctuation of wakasagi.

There is no report about damage of fish disease for wakasagi in natural waters. But the virulence of *A. hydrophila* is confirmed between different species, and the motile aeromonad disease will infect in nature. Therefore we ought not to release diseased fish and carriers. It is not appropriate to make the habitat environment as the source of disease from the view of the prevention of epidemics.

It is very important that further study about the environmental carrying capacity must be continued for the stock management of Gunma prefectural waters. Evaluation of transplantation and propagation effects from different angles will be a matter of great importance.

Wakasagi resources are going to be effectively utilized in fields of fisheries, education, food, tourism and so on in future. And then this study will be widely useful in many situations.