

河口湖におけるワカサギ不漁と動物プランクトン相の関係

岡崎 巧・谷沢弘将・古屋清春*・吉田三男*

河口湖は富士五湖の一つで、富士北麓の海拔高度 832m に位置し、面積 5.96km²、最大深度 16.1m の富栄養湖である¹⁾。生息魚類は、漁業権魚種であるワカサギ *Hypomesus nipponensis*、フナ *Carassius* spp. (近年の放流種はゲンゴロウブナ *C. cuvieri*)、コイ *Cyprinus carpio*、ウナギ *Anguilla japonica*、オイカワ *Zacco platypus*、オオクチバス *Micropterus salmoides*、ニジマス *Oncorhynchus mykiss* の他、ウグイ *Tribolodon hakonensis*²⁾、ニゴイ *Hemibarbus barbus*、ハス *Opsariichthys uncirostris*、ブルーギル *Lepomis macrochirus*²⁾、ヨシノボリ類 *Rhinogobius* spp.²⁾、シラウオ *Salangichthys microdon*²⁾、コウライモロコ *Squalidus chankaensis tsuchigae*³⁾等が確認されている。河口湖は、富士山からの溶岩流による堰止め湖であり¹⁾、成立年代が比較的新しいことから、生息する魚種のほとんどが移入種と考えられている²⁾。河口湖におけるワカサギ移植の歴史は古く、1917年に東京帝国大学の雨宮育作博士により、霞ヶ浦産のワカサギ卵が移植されたのが始まりとされている⁴⁾。以降、河口湖におけるワカサギは地曳網漁等によって盛んに漁獲されるようになり、また、結氷時に行われる穴釣りは冬の風物詩となった。昭和 44 年度から 57 年度までの漁業・養殖業生産統計年報⁵⁾によると、1969年から 1982年の河口湖では、年間 18~61t (平均 35t) のワカサギが漁獲されていたが、1985年の秋季から突如不漁に転じ、以降、現在に至るまで断続的に不漁が続いている。河口湖のワカサギが不漁に転じたことを受け、1988年から 1993年にかけて当所が行った調査の結果、ワカサギはふ化後、稚魚期に至る前の段階で姿を消していることが明らかとなり、その主たる原因は初期減耗と考えられてきた^{6,7)}。一方、漁場を管理する河口湖漁業協同組合(以下、漁協という)は、不漁に転じた以降もワカサギの発眼卵放流を続けたものの状況は好転せず、遊漁料収入の激減により漁協経営が存続の危機に瀕した。そこで漁協は、当時、生息数が増加していたオオクチバスの漁業権免許について、地元町村長ほか関係団体との連名で山梨県知事あて陳情し、これを受けた山梨県は 1989年 7月、漁協にオオクチバスの漁業権を免許した⁸⁾。その後、関係者の予想を超えたバス釣りブームが到来することにより、漁協の遊漁料収入は劇的に増加し⁸⁾、以降、暫くの間、漁協による漁場の管理はオオクチバスを中心としたものとなった。その後、生物多様性条約の締結(1993年)、特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律の制定(2004年)、生物多様性基本法の制定(2008年)等、外来種を巡る社会情勢の変化を背景に、漁協において再びワカサギ復活への気運が高まった。漁協では、ワカサギ漁業(遊漁)の復活に向け、2007年よりふ化放流方法の徹底的な見直しや、試験的に一部ふ化仔魚への給餌を行い放流したところ、これらが功を奏したためか、2007年の秋から 2010年の春にかけてワカサギの釣果が好調に推移した。これらのワカサギはいずれも大型で、1人あたりの釣果が 1日でも 6kg を超えることもあった。ところが、2010年の秋以降、刺網では大型のワカサギが相当数採捕されるにもかかわらず、釣りではほとんど釣獲されない状況に陥り、その状況は 2015年の春まで続いた。2010年及び 2011年の 12月に刺網で採捕されたワカサギの全長は平均 12~13cm といずれも大型で、Arakawa ら⁹⁾が 1993年から 1995年にかけて行った調査では、冬季に出現したことの無い *Daphnia* (大型ミジンコ類)を飽食した個体が多数認められたことから、湖中に豊富に存在する餌料生物が釣りでの不漁の原因として疑われた。そこで、*Daphnia* の密度の季節的変動を明らかにし、釣りにおける不漁原因の究明に資するため、2011年 12月から 2014年 3月まで月 1回の頻度で河口湖における動物プランクトン相と水質環境について調査するとともに、河口湖におけるワカサギの再生産の状況を確認するため、2013年 4月に稚魚ネット曳き調査を行った。

Okazaki Takumi, Tanizawa Kosho, Furuya Kiyoharu, Yoshida Mitsuo

* 河口湖漁業協同組合

材料及び方法

刺網により採捕されたワカサギの胃内容物

2011年12月13日に漁協が船津地区地先の3箇所(図1)で底刺網(目合15節, 計6反)により採捕したワカサギ4.5kgのうち, 30個体を10%ホルマリン固定し, 後日, 魚体測定した。このうち10個体を選び, 胃内容物の湿重量を秤量した後, 実体顕微鏡下で種毎に計数した。

水質環境及び動物プランクトン相

2011年12月から2014年3月までの毎月20日前後に, 図1に示した定点(St.1, N35°31'13.4", E138°45'29.7")において水質測定, 採水, プランクトン採集を行った。なお, 2014年2月の調査は, 河口湖周辺で2m以上の積雪があった影響により実施することができなかった。水質環境は, 透明度をセッキーマーター, 水深1m毎の水温及び溶存酸素量をDOメーター(58型, YSI)で測定した。また, 表層水2Lを持ち帰り, クロロフィルa(以下, Chl.a)をユネスコ法¹⁰⁾により測定した。動物プランクトンの採集には北原式プランクトンネット(NXX13, 離合社)を用い, 底層から表層までの鉛直曳きにより採集した。採集サンプルは5%シュガーホルマリンで固定し, 後日, 顕微鏡下で種あるいは分類群毎に個体数を計数した後, 湖水1Lあたりの密度を算出した。動物プランクトン種の同定には図鑑¹¹⁻¹³⁾によった他, 信州大学山地水環境教育研究センターの花里孝幸教授に*Daphnia*類の同定を依頼した。

稚魚ネット曳き調査

漁協によるワカサギふ化仔魚放流前の2013年4月4日及び放流後の2013年4月22日に稚魚ネット曳きによるワカサギ仔魚の採集を行った。曳網地点は図1に示したとおりである。稚魚ネットは口径50cm, 長さ140cmの円錐形で, 前半部NGG28, 後半部NGG38の網地で作成したものを用いた。また, 稚魚ネットの開口部の中央に濾水計を付け, 採集時の濾水量を算出した。曳網の水深は, 4月4日の調査では0m及び5m(地点①は0mのみ), 4月20日の調査では5m(地点①は2m)とした。曳網の速度は概ね1m/sec.とし, 時間は10分間とした。採集した仔稚魚は, 直ちに10%ホルマリン固定し, 後日, 計数した。

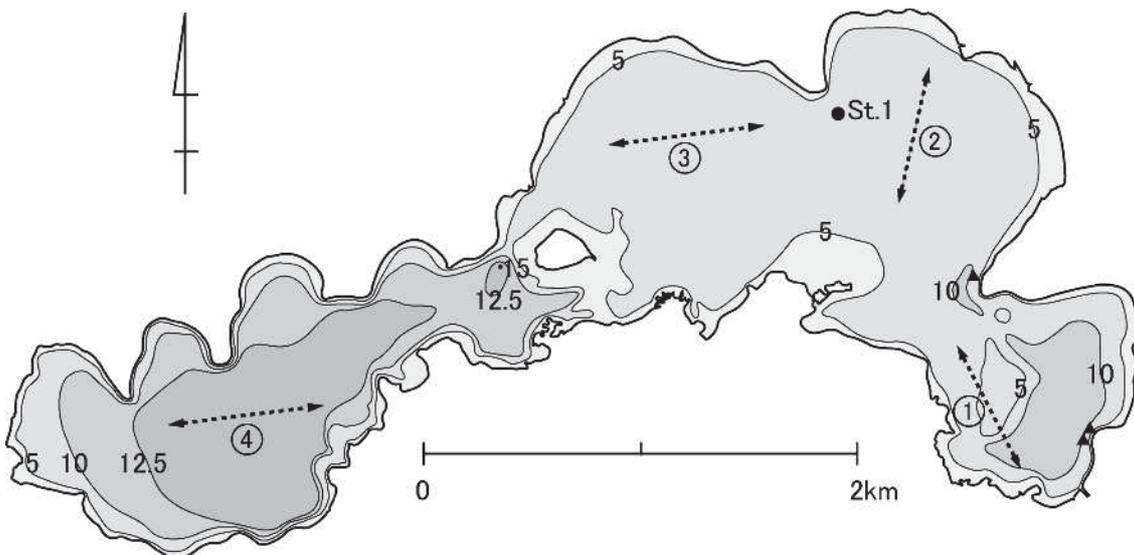


図1 調査地点

(▲: 刺網設置地点, St.1: 動物プランクトン・水質調査地点, ①~④: 稚魚ネット曳き調査地点)

結果

刺網により採捕されたワカサギの胃内容物

魚体測定結果を表1に、全長の頻度分布を図2に示した。全長（平均±標準偏差，以下同じ）は 137.6 ± 5.7 mmで、体重は 21.9 ± 3.2 g，肥満度は 13.3 ± 0.7 であった。全長の頻度分布をみると，144～148mmの階級が欠落しているものの，概ね単一の年級群と考えられる（図2）。これらは，6月以降，漁協により定置網や地曳網で採捕されたワカサギの体サイズが単一のモードで推移していることや，耳石に休止帯が見られないことから（未発表データ），ほとんどのものが当歳魚と考えられる。

表1 刺網により採捕されたワカサギの魚体測定結果

	個体数	全長(mm)	体長(mm)	体重(g)	肥満度	GSI(%)	胃内容物体重比(%)
オス	11	136.4±7.0	117.2±6.2	21.3±4.5	13.1±0.9	4.8±1.2	—
		126.0-149.6	107.8-127.7	15.4-30.7	11.8-14.7	2.9-6.3	—
メス	18	138.4±4.7	118.6±4.1	22.4±2.1	13.4±0.6	7.8±1.5	—
		132.6-151.9	112.8-130.3	19.4-27.8	11.4-14.5	5.3-11.0	—
不明(未成熟)	1	130.8	113.1	18.8	13.0	—	—
合計	30	137.6±5.7	117.9±4.9	21.9±3.2	13.3±0.7	—	0.60±0.31
		126.0-151.9	107.8-130.3	15.4-30.7	11.4-14.7	—	0.05-1.03

*上段:平均±標準偏差、下段:最小-最大

*肥満度=体重(g)/体長(cm)³×1000

*胃内容物体重比は胃内容物を分析した10個体の測定値

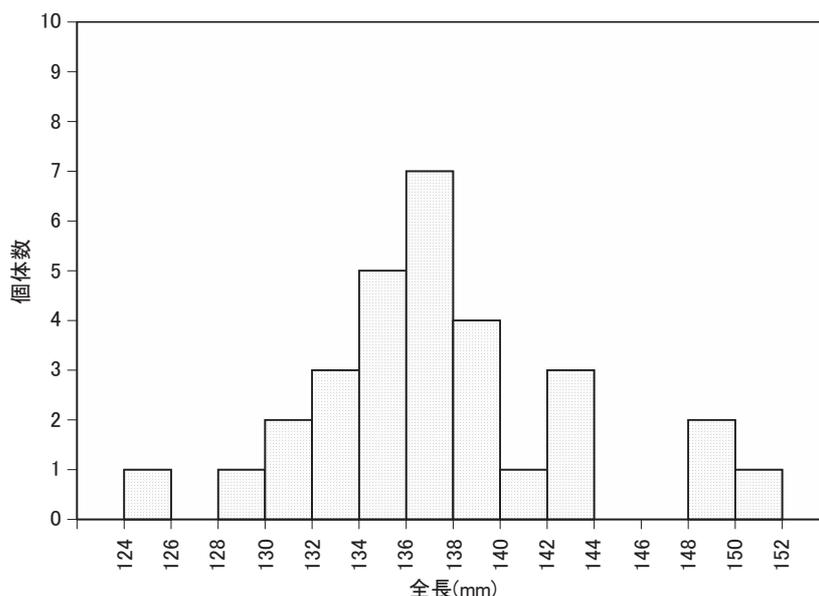


図2 刺網により採捕されたワカサギの全長頻度分布

ワカサギの胃内容物とその組成をそれぞれ図3及び図4に示した。胃内容物を確認したところ，分析した10個体の全てが *Daphnia* を摂餌していた。次いでケンミジンコ類を摂餌する個体が8個体であった。その他，わずかにユスリカ類の蛹，植物片を摂餌していた個体も見られた。胃内容物組成は分析した10個体ともに *Daphnia* の占める割合が最も高く（79.5～100%），全個体に占める割合では，*Daphnia* が92.7%，ケンミジンコ類が7.2%で，この2種で全体の99.9%を占めた。胃内容物体重比は 0.60 ± 0.31 %（平均±標準偏差）で，1.03%が最大であった。



図3 ワカサギ（個体 No.9）の胃縦断面（左）と胃内容物の実体顕微鏡写真（右）
（ケンミジンコ類（矢印の1個体）の他、全て *Daphnia*）

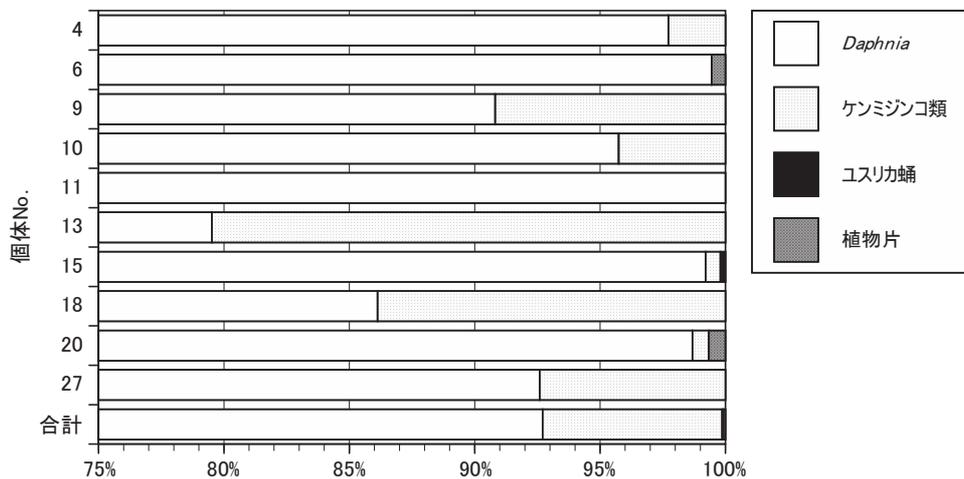


図4 ワカサギの胃内容物組成（個体数の割合）

水質環境及び動物プランクトン相

水質調査結果を図5に示した。調査期間中の表層水温は、3°C（2013年1月）から26.7°C（2013年7月）の範囲で推移し、春季の水温上昇は2012年に比べ2013年の方が早期に見られた。また、2012年、2013年ともに6月から9月までの間、概ね4-7mの水深に水温躍層が形成された。2012年と2013年の表層水の最高水温はそれぞれ26.1°C（8月）と26.7°C（7月）で大差は無いが、両年8月の水温の鉛直分布を見ると、水温25°C以上が観測されたのは、2012年は表層から3m層までであったのに対し、2013年では表層から6m層に至っており、夏季の水温は、2013年の方が深層に至るまで高かった（図5-a）。また、底層付近の貧酸素層は2012年が5月から10月、2013年が4月から10月にかけて形成され、2013年の方が1ヶ月程早く形成された（図5-b）。春季の水温上昇や成層時期の差は、2013年3月頃から始まった減水の影響によるものと考えられる。調査期間中の透明度は、2.5m（2013年3月）から7.0m（2013年6月）の間で推移した。2012年、2013年ともに3-4月にかけて透明度が低下し、5-7月にかけて上昇していた（図5-c）。Chl.a量は、0.8μg/L（2013年2月）～6.4μg/L（2013年10月）の範囲で推移した。2013年8月から9月にかけて増加したChl.a量は（図5-d）、*Microcystis aeruginosa*によるアオコの発生に起因するものと考えられ、細胞数は計数していないものの、*M. aeruginosa*が植物プランクトン出現種

のほとんどを占めていた。続いて2013年10月にChl.a量は最大値(6.4 $\mu\text{g/L}$)となり、11月まで高い値で推移したが、この際には珪藻類の*Fragilaria crotonensis*と*Aulacoseira* spp.が優占しており、*M. aeruginosa*はごくわずかに出現したのみであったことから、この時のChl.a量の増加は、前記の珪藻類に起因するものと思われた。

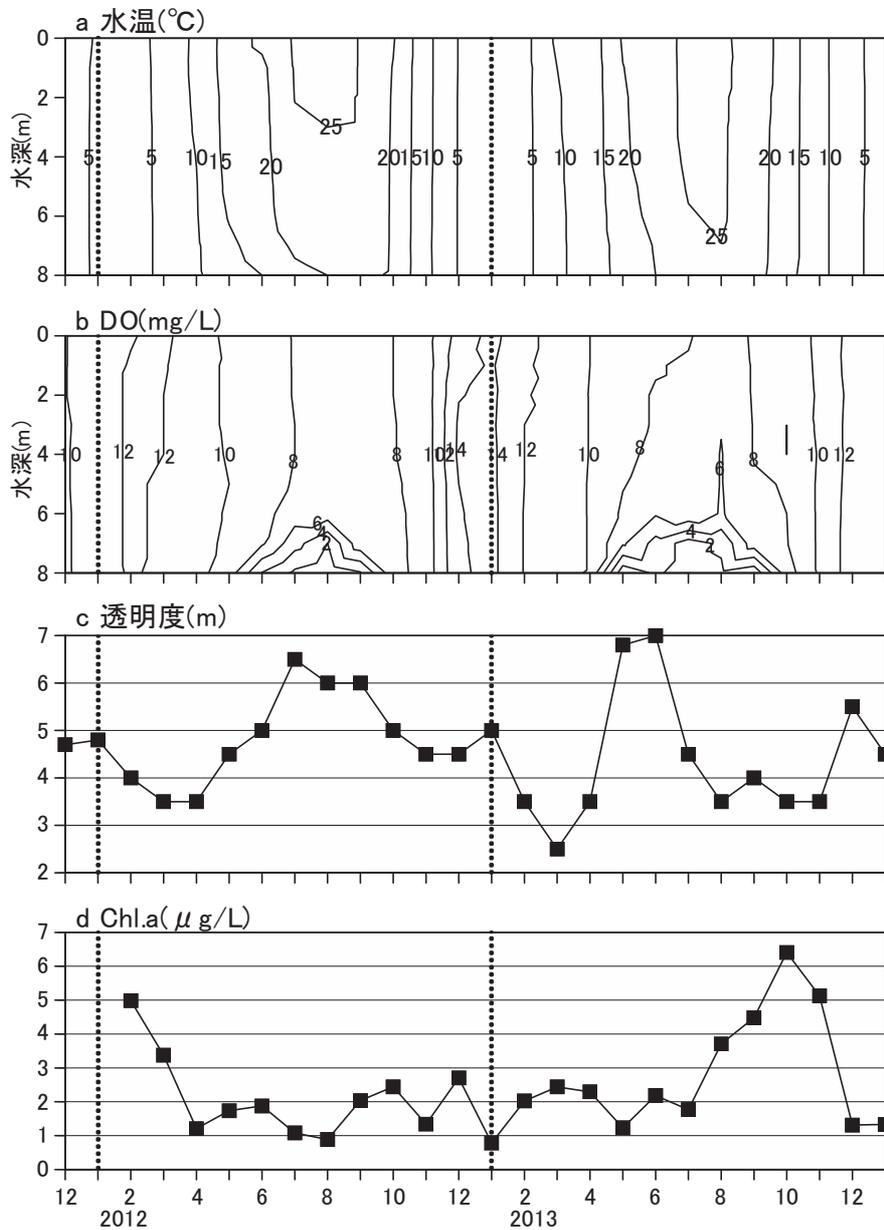


図5 水質調査結果

動物プランクトン調査の集計結果を表2に示した。2011年12月から2014年3月までの間(2014年2月を除く)に27回実施した調査の結果、出現種数(分類群数)は、原生動物が8種、輪形動物が11種、節足動物が11種であった。原生動物における優占種は、*Ceratium hirundinella*(出現回数27/27, 平均302.5個体/L)と*Dinobryon* sp.で(出現回数19/27, 平均1329.2群体/L)で、*Dinobryon* sp.は2012, 2013年ともに5月に現存量のピークが見られ、それぞれ10,134.5, 25,354.0群体/Lが確認された。

表2 動物プランクトン調査集計結果

分類	2011年12月			2012年1月-12月			2013年1月-12月			2014年1月,3月			2011年11月-2014年3月(全調査期間)		
	密度 (個体/L)	出現 月数	年平均密度 (個体/L)	最大密度・月 (個体/L)	出現 月数	年平均密度 (個体/L)	最大密度・月 (個体/L)	出現 月数	平均密度 (個体/L)	最大密度・月 (個体/L)	出現 月数	平均密度 (個体/L)	最大密度・月 (個体/L)		
原生動物															
1 トゲツボカムリ	<i>Diffugia corona</i>		5	1.1	6.0 (9月)	9	4.8	22.0 (9月)	2	0.2	0.2 (1月)	16	2.7	22.0 (2013年9月)	
2 ツノオビムシ	<i>Ceratium hirundinella</i>	360.1	12	537.7	2411.9 (6月)	12	110.1	534.5 (11月)	2	17.1	24.3 (1月)	27	302.5	2411.9 (2012年6月)	
3 ウズオビムシ属	<i>Peridinium spp.</i>	0.6	7	1.1	3.8 (11月)	5	2.0	13.6 (11月)	2	3.0	4.0 (1月)	15	1.6	13.6 (2013年11月)	
4 サヤツナギ*1	<i>Dinobryon sp.</i>	46.4	7	857.2	10134.5 (5月)	9	2128.8	25354.0 (5月)	2	4.5	6.3 (3月)	19	1329.2	25354.0 (2013年5月)	
5 コドネラ属の一種	<i>Codonella sp.</i>		1	0.1	0.6 (11月)	3	0.3	1.6 (9月)				4	0.2	1.6 (2013年9月)	
6 ボルボックス属の一種	<i>Volvax sp.</i>		6	2.0	8.8 (9月)	6	2.0	8.8 (9月)				6	0.9	8.8 (2013年9月)	
7 タマヒゲマワリ	<i>Eudrina elegans</i>		4	0.8	3.8 (11月)	4	0.8	3.8 (11月)				4	0.4	3.8 (2013年11月)	
8 テトラスボラ属の一種	<i>Tetraspora sp.</i>		1	<0.1	0.1 (6月)	1	<0.1	0.1 (6月)				1	<0.1	0.1 (2013年6月)	
輪形動物															
1 カメノコウワムシ	<i>keratella cochlearis</i>		2	0.6	6.8 (4月)	1	<0.1	0.2 (5月)				3	0.3	6.8 (2012年4月)	
2 コシブトカメノコウワムシ	<i>Keratella quadrata</i>		1	<0.1	0.2 (7月)							1	<0.1	0.2 (2012年7月)	
3 トゲナガワムシ	<i>Kellicottia longispina</i>		7	1.2	6.2 (4月)	6	0.4	2.9 (5月)	1	0.1	0.2 (3月)	14	0.7	6.2 (2012年4月)	
4 エナガワムシ属の一種	<i>Monostyla sp.</i>		1	<0.1	0.2 (9月)							1	<0.1	0.2 (2012年9月)	
5 フクロワムシ	<i>Asplanchna priodonta</i>	5.1	8	2.3	14.9 (7月)	5	0.5	3.2 (5月)	1	0.1	0.1 (3月)	15	1.4	14.9 (2012年7月)	
6 ネズミワムシ属の一種	<i>Trichocerca sp.</i>		1	<0.1	0.4 (11月)	1	<0.1	0.1 (8月)				2	<0.1	0.4 (2012年11月)	
7 ハネウデワムシ属*2	<i>Polyarthra spp.</i>		3	0.2	1.1 (5月)	8	1.7	12.5 (11月)	1	0.2	0.3	12	0.9	12.5 (2013年11月)	
8 ドロワムシ属*3	<i>Synchaeta spp.</i>		4	0.2	0.8 (6月)	8	1.4	6.3 (9月)	1	0.6	1.2	13	0.7	6.3 (2013年9月)	
	スジワムシ属(下記2種)		2	0.3	3.4 (11月)	4	1.0	5.8 (10月)				6	0.6	5.8 (2013年10月)	
9	スジワムシ														
10	スジワムシ属の一種														
11	ミツウデワムシ	<i>Filinia longiseta</i>	1	0.1	1.1 (4月)	1	<0.1	0.2 (3月)				2	<0.1	1.1 (2012年4月)	
	不明	UNKNOWN	3	0.1	0.8 (7月)	2	0.2	1.4 (9月)				5	0.1	1.4 (2013年9月)	
輪形動物計		5.1	12	5.2	15.9 (7月)	12	5.2	17.0 (11月)	2	0.9	1.5 (3月)	27	4.9	17.0 (2013年11月)	
節足動物															
1	ケンミジンコ目	Cyclopoida	2.8	7	1.0	7.0 (1月)	8	1.8	8.7 (3月)	2	0.6	0.7 (3月)	18	1.4	8.7 (2013年3月)
2	カラヌス目	Calanoida		2	0.1	0.5 (10月)	3	0.3	1.8 (9月)				5	0.1	1.8 (2013年9月)
3	ソコミジンコ目	Harpacticoida		1	<0.1	0.2 (6月)	0					1	<0.1	0.2 (2012年6月)	
	ノープリウス幼生	Naupulii	18.1	12	5.3	23.2 (4月)	11	6.7	22.8 (3月)	2	9.1	13.0 (1月)	26	6.7	23.2 (2012年4月)
	コペポデイド幼生	Copepodid		5	0.8	5.1 (4月)	0			0		5	0.4	5.1 (2012年4月)	
	ミジンコ属(下記2種)	<i>Daphnia spp.</i>	13.0	12	10.3	26.4 (5月)	12	12.6	60.7 (4月)	2	10.1	16.9 (1月)	27	11.4	60.7 (2013年4月)
4	カプトミジンコ	<i>D. galeata</i>													
5	ダフニア	<i>D. pulicaria</i>													
6	ゾウミジンコ	<i>Bosmina longirostris</i>	18.7	10	5.6	20.0 (5月)	7	3.0	13.6 (4月)	2	3.2	4.2 (1月)	20	4.7	20.0 (2012年5月)
7	ヒロオミジンコ	<i>Leydigia leydigii</i>		1	<0.1	0.2 (8月)						1	<0.1	0.2 (2012年8月)	
8	ハシミジンコ	<i>Pleuroxus trigonella</i>								1	0.1	0.1 (1月)	1	<0.1	0.1 (2014年1月)
9	マルミジンコ	<i>Chydorus sphaericus</i>		1	<0.1	0.4 (6月)				1	0.1	0.1 (3月)	2	<0.1	0.4 (2012年6月)
10	マルミジンコ属の一種	<i>Chydorus sp.</i>					2	0.1	0.5 (4月)				2	<0.1	0.5 (2013年4月)
11	ノロ	<i>Leptodora kindtii</i>		2	0.1	0.4 (6,8月)						2	<0.1	0.4 (2012年6,8月)	

*1 密度は群体数/Lで示した *2 *Polyarthra euryptera*を含む複数種 *3 *Synchaeta stylata*を含む複数種

輪形動物は、全ての調査月においていずれかの種が出現しており、全調査期間における輪形動物総個体数の平均密度は4.9個体/L、最大17個体/L(2013年11月)であった。輪形動物の優占種は、*Kellicottia longispina*, *Asplanchna priodonta*, *Polyarthra* spp., *Synchaeta* spp.で、出現月数は、12/27~15/27の範囲にあった。全調査期間における平均密度は0.7~1.4個体/Lで、最大時の密度は6.2~14.9個体/Lであった。これら輪形動物4種の出現状況の周年変化を図6に示した。*K. longispina*は2012年が4月、2013年が5月と、いずれも春先に出現のピークが見られた(図6-a)。*A. priodonta*は出現時期に周期性は見られないが、2012年に最大15個体/Lの密度で出現し、輪形動物の中では調査期間を通じて最も多く確認された(平均1.4個体/L、図6-b)。*Polyarthra* spp.も出現時期に周期性は見られないが、2013年11月に出現のピークが見られた(図6-c)。*Synchaeta* spp.も同様、出現時期に周期性は認められず、現存量も少ないが、2013年はほぼ周年にわたって観察された(図6-d)。

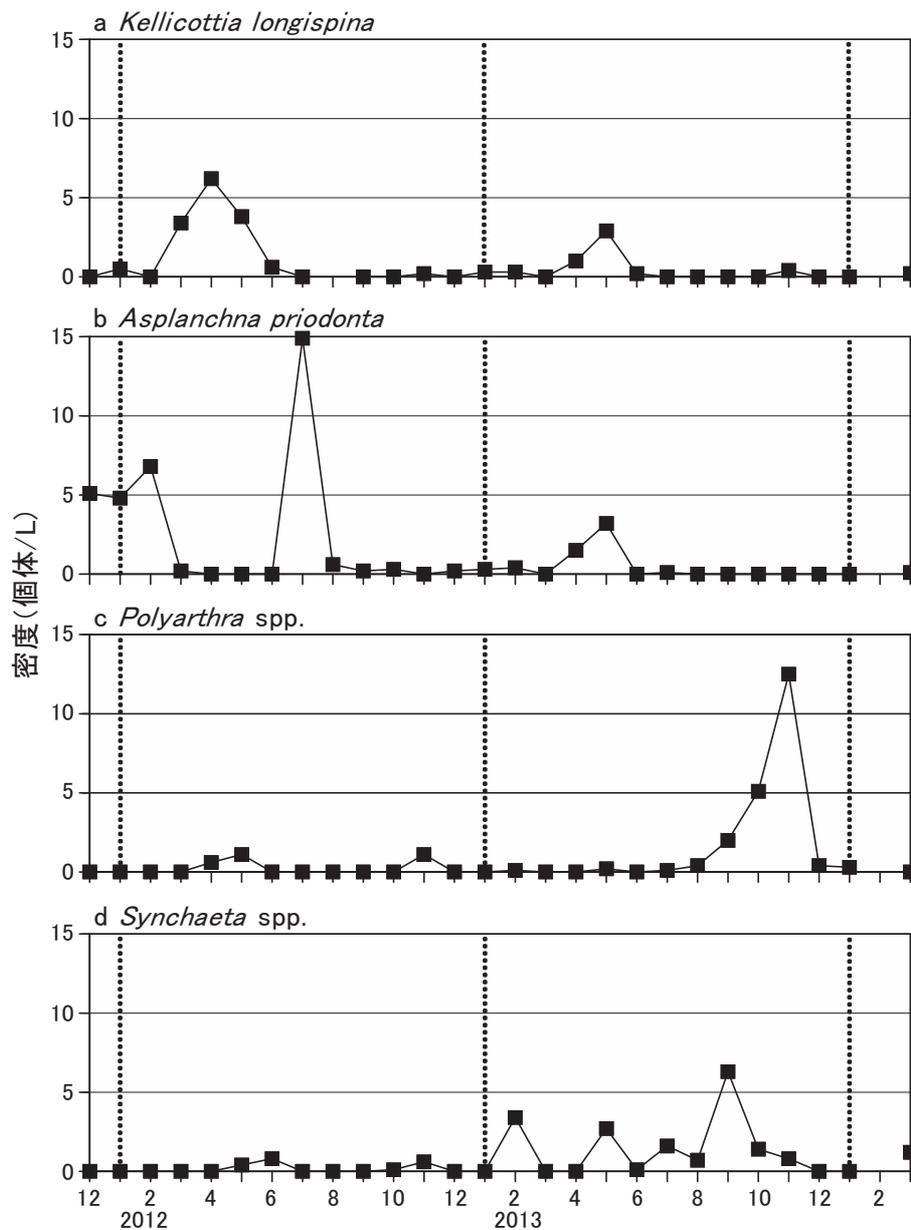


図6 輪形動物優占種密度の周年変化

節足動物では、*Daphnia* spp.の出現頻度が最も高かった他、Cyclopoida とカイアシ亜綱の Nauplius, *Bosmina*

longirostris の出現頻度が高く、これら4種の出現月数は18/27-27/27の範囲にあった(表2)。特に *Daphnia* は、27回行った調査の全てで確認され、*D. galeata* と *D. pulicaria* の2種が同定された(表2)。これら2種 (*Daphnia* spp.) の全期間における平均密度は11.4 個体/L で(表1)、節足動物の中では、出現月数、平均密度ともに最も高かった。また、出現時期のピークは、2012年が5月、2013年が4月で、2013年4月には60.7 個体/L に達していた(図7-c)。節足動物で次に出現頻度が多かったものは Nauplius で、27回中26回の調査で出現し(表1)、*Daphnia* spp. 同様、ほぼ周年出現していたが、全調査期間における平均密度は6.7 個体/L、最大密度は23.2 個体/L (2012年4月)であり、*Daphnia* spp. に比べ少なかつた。また、出現のピークは2012年が4月、2013年が3月であり、いずれも *Daphnia* に比べ1ヶ月早期に出現のピークが見られた(図7-b)。

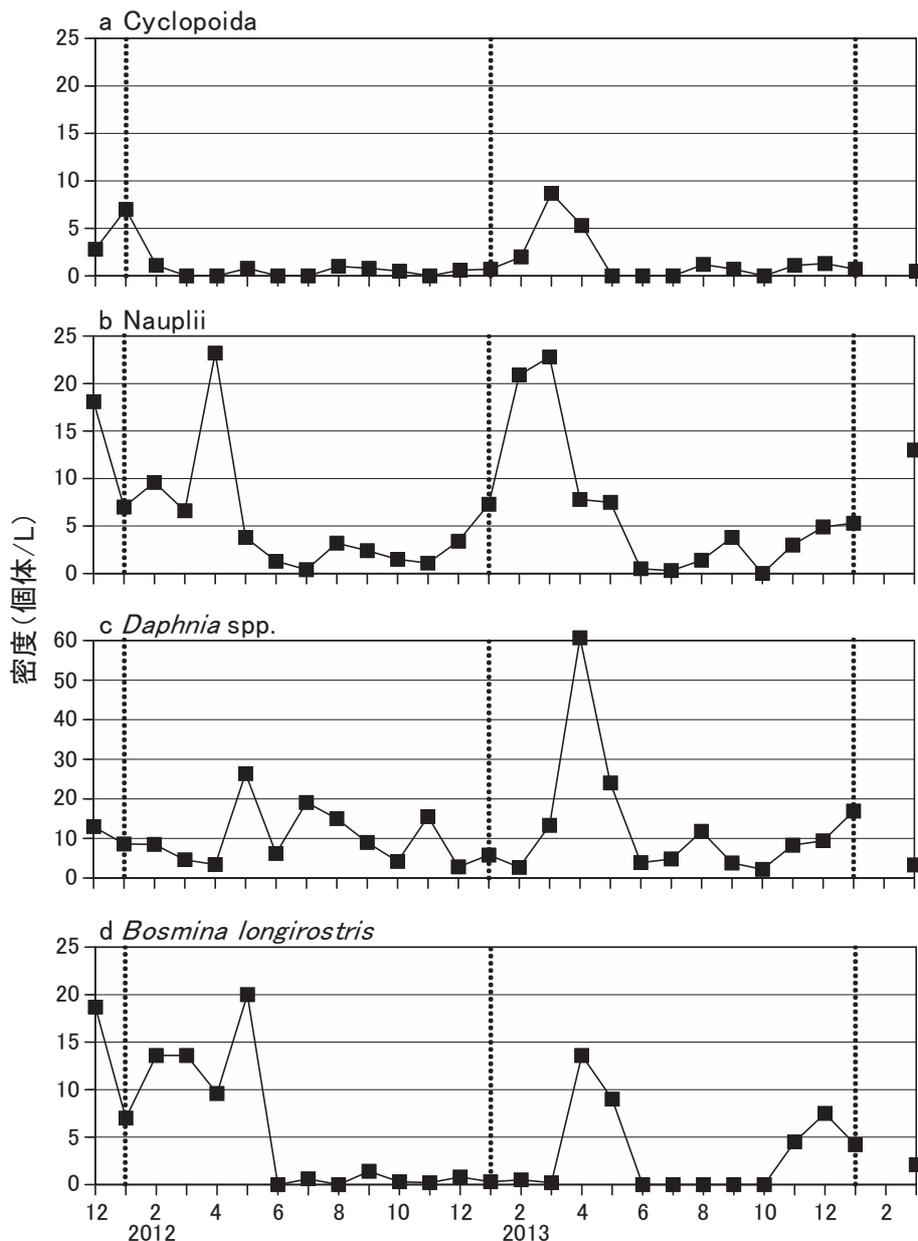


図7 節足動物優占種密度の周年変化

Bosmina longirostris は、27回の調査中、20回の調査で出現し、全調査期間中の平均密度は4.7 個体/L であった。出現時期のピークは、*Daphnia* 同様、2012年が5月、2013年が4月であった(図7-d)。Cyclopoida は、18回の調

査で出現していたが、全調査期間中の平均密度は 1.4 個体/L と他種に比べて低く、出現時期は 2012 年は 1 月、2013 年は 3 月に出現のピークが見られ、密度はそれぞれ 7.0 個体/L と 8.7 個体/L であった (図 7-a)。

稚魚ネット曳き調査

稚魚ネット曳きによるワカサギ仔魚の採捕結果を表 3 に示した。漁協によるワカサギふ化仔魚放流前の 2013 年 4 月 4 日に行った調査で採捕されたワカサギ仔魚は 1 尾のみで、調査地点③の 5m 層において採捕された。一方、漁協によるワカサギふ化仔魚放流後の 2013 年 4 月 20 日に行った調査では、調査地点①, ②, ④でワカサギ仔魚が採捕され、採捕尾数はそれぞれ 16, 53, 20 個体であった。これらのことから、河口湖における自然産卵由来のワカサギ仔魚はごくわずかであり、少なくとも 2013 年のワカサギ資源は、ほぼ放流によって成立しているものと考えられた。採捕されワカサギ以外の仔稚魚については、ほとんどがハゼ科魚類のものと思われた。なお、いずれの調査においても、仔稚魚の他に大量の *Daphnia* が採集され、その湿重量は、4 月 4 日の調査では、平均 218.4g/地点 (15~815g)、4 月 20 日の調査では平均 373.8g/地点 (275~530g) であった。

表 3 稚魚ネット曳きによる採捕結果

採捕年月日	調査地点	曳網水深 (m)	ワカサギ仔魚		ワカサギ以外の仔稚魚	
			採捕尾数	個体数/100m ³	採捕尾数	個体数/100m ³
2013.4.4 (放流前)	①	0	0	0	0	0
	②	0	0	0	0	0
	②	5	0	0	0	0
	③	0	0	0	0	0
	③	5	1	2.6	1	2.6
	④	0	0	0	0	0
	④	5	0	0	0	0
2013.4.20 (放流後)	①	2	16	89.5	0	0
	②	5	53	153.3	4	11.6
	③	5	0	0	1	8.7
	④	5	20	42.9	4	8.6

考 察

河口湖が不漁となる以前の 1978 年と 1980 年から 1985 年にかけて、当所が行った河口湖のワカサギの成長と食性に関する調査¹⁴⁻²⁰⁾のうち、12 月の調査結果を 2011 年 12 月の結果と併せて表 4 に示した。なお、秋以降、不漁に転じた 1985 年については、12 月にワカサギが採捕されず、調査が行われていないため、9 月の結果を示した。これら過去に行った調査では、1978 年 12 月のワカサギの平均全長と体重が、それぞれ 95mm, 6.3g とやや大型であった他、1980 年から 1985 年のものでは、平均全長 55~79mm, 平均体重 0.9~3.6g の範囲にあり、当歳魚の他、1 歳魚の存在も確認されている。一方、2011 年 12 月に採捕されたワカサギの平均全長と体重は、それぞれ 137.6mm, 21.9g で、不漁となる以前の同時期に採捕されたものに比べ著しく大型であり、その多くは当歳魚と推察された。肥満度については、1978 年のものが 12.0 とやや高かったが、1980~1985 年については、8.2~10.5 の範囲にあった。これに対して、2011 年のものの肥満度は 13.3 と、過去のいずれの結果に比べても高い値を示していた。このことは、2011 年 12 月に採捕されたワカサギが、豊富な餌料環境の下、著しく急速に成長したことを示すものと考えられる。2011 年の調査において胃内容物の優占種であった *Daphnia* は、過去の同時期においては認められず、当時の胃内容物として多く認められたものは、*Cyclops* とその Nauplius, *Bosmina*, *Chironomus* (ユスリカの幼虫または蛹) であり、*Cyclops* と *Chironomus* を除いては、いずれも概ね 500µm 未満の小型種である。

Nauplius や *Bosmina* は 2011 年 12 月の環境中にも、それぞれ 18.1, 18.7 個体/L と比較的多く存在していたが、この時のワカサギの胃内容物からは全く出現しておらず、専ら *Daphnia* と *Cyclopoida* を摂餌していた。また、これらの環境中の密度はそれぞれ 13.0, 2.8 個体/L であり、Nauplius や *Bosmina* の現存量より少なかった。これらのことから、この時のワカサギは、*Daphnia* や *Cyclopoida* といった大型種に対し、非常に高い摂餌選択性を示していたことが窺われる。また、この時の胃内容物中における *Daphnia* と *Cyclopoida* の出現比は、それぞれ 92.7, 7.2% であり、概ね環境中の存在比と同様な傾向にあった。このため、2011 年 12 月に採捕されたワカサギは、環境中に存在する大型動物プランクトンを選択的に摂餌しており、特に環境中に多く出現する *Daphnia* を多く摂餌していたものと思われる。*Daphnia* 存在下における釣りでの不漁は、長野県の野尻湖でも見られ、湖水中に *Daphnia* が存在するときには、ほとんど釣果が上がらないという（野尻湖漁協石田和夫組合長、長野県水産試験場築坂正美氏私信）。こうしたことから、河口湖において、2010 年秋から 2015 年春まで続いた釣りでの不漁は、環境中に嗜好性の高い餌料生物、特に *Daphnia* が周年、豊富に存在したためと考えられる。

表 4 河口湖で過去に行われたワカサギの成長と胃内容物調査の結果

採捕年月日	1978.12	1980.12.18		1981.12.25		1982.12.7	
採捕場所	広瀬	大石	浅川	産屋ヶ崎	産屋ヶ崎	転石	転石
年齢	—	—	—	0	1	0	1
魚体測定尾数	22	20	20	69	1	21	50
平均全長(mm)	95.0	—	—	54.9±1.1	79.0	60.4±0.9	66.8±1.1
平均体長(mm)	82.0	66.2±4.6	67.5±3.4	47.1±1.0	68.0	52.4±0.8	57.7±0.9
平均体重(g)	6.3	3.3±0.8	3.6±0.7	1.0±0.1	3.2	1.3±0.1	1.9±0.1
肥満度	12.0	—	—	9.1±0.2	10.2	9.3±0.2	9.7±0.2
胃内容物調査尾数	—	10	10	19	1	—	20
胃内容物優占種		<i>Chironomus</i> <i>Bosmina</i>	<i>Bosmina</i> <i>Chironomus</i>	<i>Nauplii</i> <i>Cyclops</i>	<i>Chironomus</i>		<i>Bosmina</i> <i>Bosminopsis</i>

採捕年月日	1983.12.6	1984.12.19	1985.9.2	2011.12.13
採捕場所	八杭	八杭	浅川	浅川
年齢	0	1	1	0
魚体測定尾数	67	1	31	50
平均全長(mm)	57.0±1.0	78.0	75.0±2.0	60.0±2.0
平均体長(mm)	48.0±1.0	67.0	65.0±1.0	52.0±2.0
平均体重(g)	0.9±0.1	2.7	2.9±0.2	1.3±0.1
肥満度	8.2±0.2	9	10.5±0.4	9.0±0.2
胃内容物調査尾数	19	1	20	20
胃内容物優占種	<i>Cyclops</i> <i>Nauplii</i>	<i>Nauplii</i>	<i>Bosmina</i> <i>Cyclops</i>	<i>Bosmina</i> <i>Daphnia</i>

*1984.12.19は0歳魚、1985.9.2は1歳魚の採捕なし

水質環境については、2012 年、2013 年ともに、例年同様、夏季に水温躍層が出現するとともに、底層に貧酸素層を形成していた。その期間は 2012 年に比べ 2013 年では 1 ヶ月程早期に出現していたが、これは 2013 年 3 月頃に始まり同年秋季まで続いた減水の影響であろう。なお、2013 年には、一時的に *M. aeruginosa* によるアオコの発生が見られた。近年の河口湖では *M. aeruginosa* の発生は見られていなかったことから（国立保健医療科学院（当時）田中和明氏私信）、今後の動向に注意が必要である。

動物プランクトン調査では、大型枝角類の *Daphnia* が周年出現しており、2012, 2013 年ともに、春季に出現のピークが見られた。Arakawa ら⁹⁾が 1993 年から 1995 年にかけて行った調査によると、当時確認された *Daphnia* は *D. galeata* 一種で、出現のピークは、1993 年 5 月（13.5 個体/L, 0~2m 層、調査期間中の最大値）、1994 年 6 月（10.5 個体/L, 0~2m 層、調査期間中の最大値）であった。

6月、1995年が5月と8月であった。また、1月から3月にかけての冬季には出現しなかったとしている。今回の調査では、*D. galeata*に加え、*D. pulicaria*が新たに確認された。本種は1999年に琵琶湖で突然出現した外来種とされるが²¹⁾、本種の出現は、同時期に放流された琵琶湖産オオクチバス種苗に随伴して侵入したことによるものと思われる。今回の調査における*Daphnia*の出現時期については、春季に出現のピークを迎える点では、Arakawaら⁹⁾の結果とほぼ一致していたが、ピーク時の現存量は今回の調査の方がはるかに多く(最大60.7個体/L)、また、周年出現していた点が大きく異なっていた。田中²²⁾によると、1934年に稲葉が行った調査²³⁾以降、河口湖における*Daphnia*は、極めて短期間に外来種の*D. similis*が出現したことがあるのみであり、1986年10月に行われた調査において*D. hyalina*が採集され、新たに侵入したものであるとしている。一方、1978年と1980年から1985年にかけて、当所が行った河口湖のワカサギの成長と食性に関する調査¹⁴⁻²⁰⁾では、表4に示したとおり、12月に行った調査では*Daphnia*は確認されていないが、1984年9月に初めてワカサギの胃内容物から*Daphnia*が確認され¹⁹⁾、翌年の1985年4月にも確認されている²⁰⁾。これらのことから、河口湖における*Daphnia*は、1980年代以降に出現したものだと思われる、その時期は、河口湖のワカサギが不漁に転じた時期(1985年秋)に一致している。ワカサギの様なプランクトン食魚類は、湖のプランクトン群集に大きな影響を与え、しばしば大型枝角類の*Daphnia*を絶滅に追いやるのが知られている²⁴⁾。また、ワカサギが多く生息する湖に*Daphnia*が出現しないことは、長野県の諏訪湖でも知られており、その理由は、動物プランクトン食のワカサギによる影響と考えられてきた²⁵⁾。その後、諏訪湖では、2007年5月に、短期間ではあるが*D. galeata*が出現し、その理由は、ワカサギが減って捕食圧が低下したためと考えられている²⁶⁾。これらのことから、ワカサギが数十トン単位で漁獲されていた1970年代以前の河口湖では、*Daphnia*は冬期に出現しないばかりか、ワカサギによる高い捕食圧の下、周年出現していなかったものと思われる。なお、植物プランクトンを摂餌する*Daphnia*等の動物プランクトンの現存量は、上記で述べたプランクトン食魚類による捕食圧の他、湖の一次生産量によっても影響を受ける。河口湖において一次生産量を支配する栄養塩量は、近年、季節変動はあるものの、概ね横ばい若しくは減少傾向で推移している(図8)。このため、近年の河口湖における*Daphnia*の現存量増加は、一次生産量の増加に伴うものではなく、*Daphnia*を捕食するプランクトン食魚類の捕食圧が低かったことに起因するものと考えるのが妥当であろう。

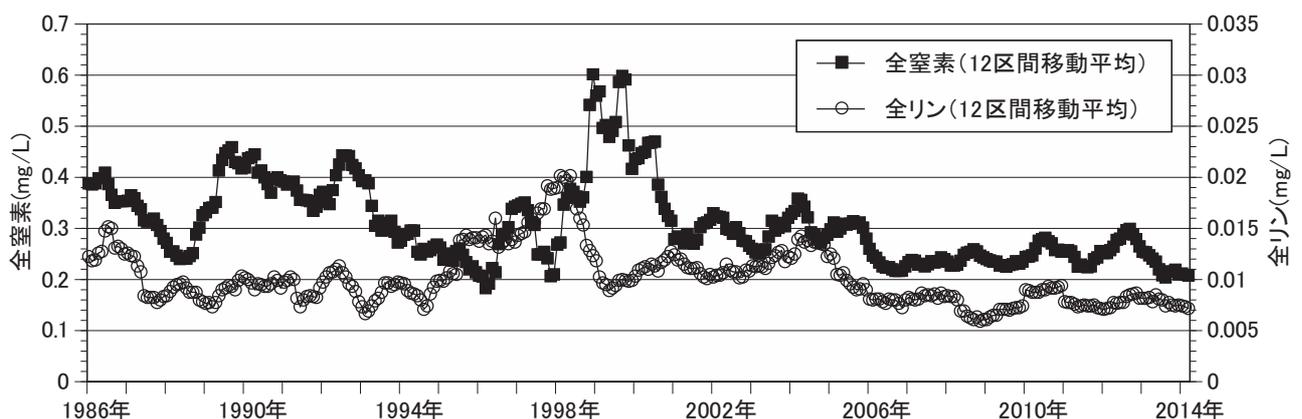


図8 河口湖湖心部における全窒素、全リン濃度の推移
(公共用水域・地下水の水質測定結果・山梨県²⁷⁾より作図)

漁協では、近年、毎年3~4億粒のワカサギ受精卵を購入し、漁協のふ化施設でふ化させたものを放流しているにもかかわらず、不漁が続いていた。また、これらは主に初期減耗によるものと考えられてきた^{6,7)}。浅見²⁸⁾は、網走湖において採集したワカサギ仔魚と湖水で飼育したワカサギ仔魚の消化管内容物について調べ、網走湖産ワカサギにおいてはワムシ類の*Keratella cruciformis*とその卵、カイアシ類の*Sinocalanus tenellus*(Naupliusを含む)が重要な餌料生物であったとし、飼育環境下における10mm未満の仔魚では、ワムシ類の*K. cruciformis*とその卵

に対して高い摂餌選択性があったことを示している。また、網走湖における消化管内容物と、その他の湖沼（小川原湖、諏訪湖、霞ヶ浦、河口湖、阿寒湖）における調査事例から、体長 10mm 以下の個体は、ワムシ類及びカイアシ類の Nauplius を摂餌し、成長につれて枝角類やカイアシ類などの甲殻類プランクトンへと餌生物を変えていくことがワカサギ仔魚共通の摂餌習性であると指摘している。初期減耗はこうしたワカサギの初期餌料不足による飢餓によって引き起こされるものと考えられるが、ワカサギの自然分布域である網走湖や霞ヶ浦、ワカサギの資源量が豊富な諏訪湖におけるワムシ類の現存量は、最大 1,000~10,000 個体/L の単位で出現しているのに比べ、今回の河口湖での調査におけるワムシ類の現存量は、ワムシ類合計で最大 17.0 個体/L と極めて少ない状況にあった。

Gilbert²⁸⁾は、*Daphnia* と輪虫類の種間関係について、飼育実験や野外調査の結果をもとに検討し、両種の間には、餌となる植物プランクトンの消費を巡る競争関係のみならず、ワムシが *Daphnia* の濾過器に吸い込まれることによる物理的な干渉の影響が極めて大きいことを指摘している。この干渉による影響は、たとえ環境中の *Daphnia* 密度が数個体/L であってもワムシに対して高い致死率をもたらすものとされ、例えば、体長 2.0mm と 3.0mm の *Daphnia* の場合、それぞれ環境中に 5.0, 2.5 個体/L が存在するのみで、*Keratella cochlearis* 集団に対し、一日当たり 30%の致死率をもたらすとしている。また、この干渉の受けやすさは、種によって異なるとされ、小型種の *K. cochlearis* では、濾過器への吸い込まれやすさからその影響が大きく、大型種の *Kellicottia bostoniensis*, *A. priodonta*, *Conochilus unicornis* は、濾過器に吸い込まれないため、干渉を受けないとされる。また、逃避能力の高い *Polyarthra* では干渉を受けにくいとしている。このうち、今回の河口湖での調査では、*K. bostoniensis* と同属の *K. longispina*, *A. priodonta*, *Polyarthra* が多く出現しており、*Daphnia* の干渉を受けにくいとされる前記の種と良く一致している。また、干渉を受けやすいとされる、*K. cochlearis* については、Arakawa ら⁹⁾が 1993 年から 1995 年にかけて行った調査では普通に出現していたものの、今回の調査においては、27 回中 3 回の調査でわずかに確認された他、一切出現していない。このことは、河口湖においても、多数存在する *Daphnia* がワムシ類の種組成に大きな影響を及ぼしていることを示すものと思われる。なお、*A. priodonta* や *K. longispina* は、前者が 1,000 μ m 以上、後者が 400 μ m に達する大型種であることから、いずれも摂餌開始時期のワカサギ仔魚（体長 4~5mm）の餌料にはなり得ない。

漁協によるワカサギの放流方法は、主に網走産（網走湖及び濤沸湖）と芦ノ湖産の受精卵を購入し、湖畔のふ化施設にてふ化まで管理した後、ふ化直後の仔魚を直接湖に放流している。受精卵は、産地の産卵期にあわせ、概ね 4 月上旬から 5 月上旬にかけて購入しており、ふ化仔魚の放流時期は早くとも 4 月中旬以降となっている。この時期は、河口湖における *Daphnia* の現存量がピークに達するとともに、*Daphnia* による干渉を受けたワムシ類の現存量が最も少なくなることが予想される時期にあたる。このため、河口湖におけるワカサギの放流は、初期減耗の影響を最も受けやすい時期に行われているものと見られる。

今回の調査は、2010 年秋以降に見られた釣りでの不漁を機に、その原因究明のため開始したものであるが、動物プランクトン相の調査を端緒とし、釣りでの不漁原因の他、ワカサギ、*Daphnia*、ワムシ類の生物間相互作用の存在を示唆する結果が見えてきた（図 9）。すなわち、河口湖においては、① *Daphnia* の現存量に対して、ワカサギの量が少ないため、*Daphnia* は食い尽くされることなく周年存在する。② 嗜好性の高い *Daphnia* が豊富に存在するため、ワカサギは釣れないが成長は良い。③ *Daphnia* との競争（消費、干渉）により、ワムシ類の現存量は増加しない。④ ワムシ類の現存量が少ないため、ワカサギ仔魚は初期減耗の影響を受け、ワカサギは増えない状況にあり、ワカサギの立場からみると、①から④を繰り返す悪循環に陥っているものと思われる。

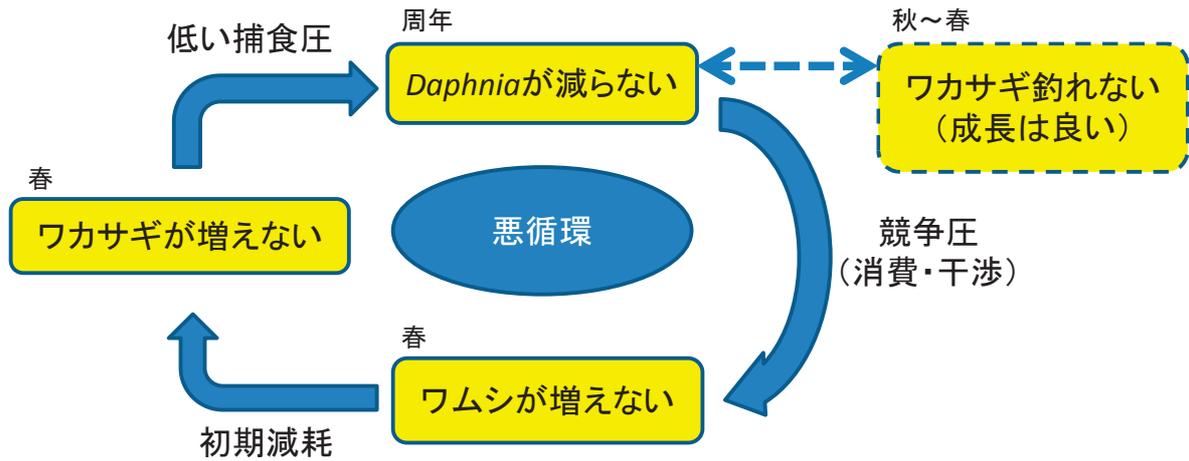


図9 河口湖のワカサギ, *Daphnia*, ワムシ類における生物間相互作用

この悪循環を断ち切り、ワカサギの資源量を回復させるためには、いかに *Daphnia* の現存量を減少させるかが最大の焦点となる。そのためには、ワカサギ以外の動物プランクトン食魚類の放流なども考えられる。例えば、ワカサギ同様、動物プランクトン食魚類であるヒメマス冬期に大量に放流すれば、ワカサギの放流時期に初期餌料となるワムシの現存量を増加させることも可能になるかもしれないが、放流魚の確保や費用などの面から現実的な方法とは言い難い。現在のワカサギの放流は、*Daphnia* の現存量が急増し、ピークに達する時期に行われており、この時期が初期減耗の影響を最も強く受ける時期と考えられることは前述のとおりである。放流時期がこの時期となるのは、主に網走産の卵を導入しているためであるが、極力早期に入手可能な卵について検討し、少なくとも *Daphnia* の現存量が急増する前に放流を行うことが、この悪循環を断ち切る上で最も現実的な手段であろう。

河口湖では、トンネル工事の影響により一時的に水量が増加した流入河川において、2009年と2010年にワカサギの大量遡上と産卵が見られ、その期間は両年ともに2月の中・下旬から4月の中旬で、3月の中旬がピークであった²⁹⁾。おそらくこの時期が河口湖におけるワカサギ本来の産卵期と考えられ、網走産の卵の導入時期に比べ約1ヶ月早い。また、今回の調査の結果、3月の *Daphnia* の密度は1年の中でも低位で推移する時期であることから、河口湖産ワカサギ親魚からの採卵について検討することも、放流時期を早める点で有効であると思われる。

今回行った稚魚ネット曳き調査では、漁協による放流前にはワカサギ仔魚がほとんど採捕されなかったことから、河口湖におけるワカサギ資源は放流によって成立しているものと思われた。河口湖が不漁となる以前の1977年と1978年に行われたワカサギの産卵場調査では、水深10m前後の湧水のある湖底において産卵が確認されていたが^{30,31)}、今回の調査において、再生産がほとんど認められなかったことの原因としては、こうしたかつての産卵場が機能していないことが考えられる。また、2009年と2010年に一時的に水量が増加した河川において、大量のワカサギが集中して遡上、産卵したことは、裏を返せば産卵適地が少ないことを意味するものと思われる。近年の河口湖におけるワカサギの不漁は、放流時期と餌料生物発生時期とのミスマッチによるものの他、再生産がないこともその要因としてあげられ、河口湖における産卵適地の実態解明や、産卵環境の改善、人工産卵場の造成などについて検討していくことも、河口湖におけるワカサギ資源を回復させる上で重要であると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、河口湖漁業協同組合の方々には調査の際に種々の便宜を図って頂くなど大変お世話になった。山梨県水産技術センター臨時職員(当時)の若林匡久氏には調査サンプルの処理や計測を手伝って頂いた。

た。信州大学山地水環境教育研究センターの花里孝幸教授には *Daphnia* の同定のほか有益な助言を多数頂いた。長野県水産試験場築坂正美氏と野尻湖漁業協同組合の石田和夫組合長には、野尻湖のワカサギと *Daphnia* の状況について情報を頂いた。国立保健医療科学院の田中和明氏には河口湖におけるプランクトンの発生状況についてご教示頂いた。これらの方々に厚く御礼申し上げます。

要 約

河口湖におけるワカサギ不漁原因の究明に資するため、ワカサギの胃内容物、水質環境、動物プランクトン相、稚魚の分布状況について調査し、以下の結果を得た。

1. 河口湖のワカサギは、*Daphnia* を飽食しており、良好な成長を示していたが、*Daphnia* に対する嗜好性が高く、釣りでの不漁の原因となっているものと考えられた。
2. 水質環境については、2012年、2013年ともに、例年同様、夏季に水温躍層が出現するとともに、底層に貧酸素層を形成していた。
3. *Daphnia* は周年出現しており、出現のピークは、2012年が5月、2013年が4月で、2013年4月には最大60.7個体/Lに達していた。
4. 稚魚ネット曳き調査の結果、ワカサギ放流前には仔魚はほとんど採捕されず、河口湖のワカサギ資源は主に放流によって成立しているものと思われた。
5. *Daphnia* はワカサギの初期餌料となるワムシ類と競争関係にあり、周年出現する *Daphnia* がワカサギの初期減耗の間接的な要因となっているものと思われた。

文 献

- 1) 田中 正明 (1992) : 日本湖沼誌,一プランクトンからみた富栄養化の現状-. 名古屋大学出版会, 愛知. 56-57.
- 2) 高橋一孝 (1998) : 富士五湖と四尾連湖の生息魚類の変遷. 山梨県水産技術センター事業報告書, 26, 57-80.
- 3) 芦澤晃彦 (2009) : 魚類の検索結果. 山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 93.
- 4) 寺田重雄 (1955) : 甲斐の魚. 山梨県水産研究会, 山梨. 13-16.
- 5) 農林水産省統計情報部 (1971-1984) : 漁業・養殖業生産統計年報, 昭和 44-57 年.
- 6) 茨城県内水面水産試験場・山梨県魚苗センター (1991) : 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. 水産業関係地域重要新技術開発促進事業報告書(昭和63年度から平成2年度とりまとめ報告書).
- 7) 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. 山梨県水産技術センター事業報告書, 23, 54-92.
- 8) 大浜秀規 (2002) : 6 ブラックバスと内水面漁場管理-山梨県を例にして. 川と湖沼の侵略者 ブラックバス-その生物学と生態系への影響. 日本魚類学会自然保護委員会編. 恒星社厚生閣, 東京. 87-98.
- 9) Arakawa, T., Yoshida, N., Yoshizawa, K. and Hirabayashi, K. (1998): Annual and seasonal changes in zooplankton community structure of Lake Kawaguchi, Japan. *Jpn. J. Limnol.*, 59, 69-78.
- 10) 西條八東・三田村緒佐武 (1995) : 新編湖沼調査法. 講談社, 東京. 189-191.
- 11) 水野寿彦・高橋永治 (1991) : 日本淡水動物プランクトン検索図説. 東海大学出版会, 東京.
- 12) 田中 正明 (2002) : 日本淡水動植物プランクトン図鑑. 名古屋大学出版会, 愛知.
- 13) 一瀬 論・若林徹哉 (2005) : やさしい日本の淡水プランクトン図解ハンドブック. 合同出版株式会社, 東京.
- 14) 桐生 透 (1980) : 山梨県河口湖. 山中湖におけるワカサギの成長および成熟 (資料) . 山梨県魚苗センター事業報告書, 7, 60-65.
- 15) 高橋一孝 (1982) : 河口湖におけるワカサギ食性調査-I. 山梨県魚苗センター事業報告書, 9, 52-54.

- 16) 高橋一孝 (1983) : 河口湖におけるワカサギの成長と食性について－II. 山梨県魚苗センター事業報告書, 10, 66-73.
- 17) 高橋一孝 (1984) : 河口湖におけるワカサギの成長と食性について－III. 山梨県魚苗センター事業報告書, 11, 121-127.
- 18) 高橋一孝 (1985) : 河口湖におけるワカサギの成長と食性について－IV. 山梨県魚苗センター事業報告書, 12, 70-73.
- 19) 高橋一孝 (1986) : 河口湖におけるワカサギの成長と食性について－V. 山梨県魚苗センター事業報告書, 13, 117-121.
- 20) 高橋一孝 (1987) : 河口湖におけるワカサギの成長と食性について－VI. 山梨県魚苗センター事業報告書, 14, 114-120.
- 21) Urabe, J., Ishida, S., Nishimoto, M. and Weider, L. J. (2003): *Daphnia pulicaria*, a zooplankton species that suddenly appeared in 1999 in the offshore zone of Lake Biwa., *Limnology*, 4, 35-41.
- 22) 田中正明 (1992) : 日本湖沼誌, プランクトンからみた富栄養化の現状－. 名古屋大学出版会, 愛知. 344-348.
- 23) 稲葉傳三郎 (1934) : 昭和 9 年冬期の富士五湖. 陸水学雑誌, 4, 101-114.
- 24) Brooks, J. L. and Dodson, S. I. (1965): Predation, Body Size, and Composition of Plankton., *Science*, 150, 28-35.
- 24) 花里孝幸・荒川 尚・佐久間昌孝・張 光玟・沖野外輝夫 (2001) : 諏訪湖の動物プランクトン群集 : 群集構造と生態系における役割. 陸水学雑誌, 62, 151-167.
- 25) 花里孝幸 (2008) : 諏訪湖の生態系と水環境のこれからの変化. 日本陸水学会講演要旨集, 73, 58.
- 26) 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, 1-79.
- 27) 山梨県 (1986-2015) : 平成 12-25 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 昭和 60 年度－平成 25 年度.
- 28) Gilbert, J. J.(1988): Suppression of rotifer populations by *Daphnia*: A review of the evidence, the mechanisms, and the effects on zooplankton community structure., *Limnol. Oceanogr.*, 33(6), 1286-1303.
- 29) 岡崎 巧・三浦正之・大浜秀規 (2011) : 河口湖の流入河川におけるワカサギの自然産卵について. 山梨県水産技術センター事業報告書, 38, 44-59.
- 30) 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. 山梨県魚苗センター事業報告書, 5, 49-59.
- 31) 桐生 透・三井 潔・高橋一孝 (1979) : 河口湖におけるワカサギの産卵に関する調査 (資料) . 山梨県魚苗センター事業報告書, 6, 62-63.