

霞ヶ浦における近年のワカサギ資源変動要因について

熊丸 敦郎

1. はじめに

霞ヶ浦における過去30年間のワカサギの漁獲量は、昭和40年(2,000トン)をピークに昭和49年(51トン)まで漸減し、その後昭和57年まで低迷が続いたが昭和59年には1,290トンに一時回復、この後再び漸減し続け現在は数10トンと低迷している。ワカサギ資源の維持増大を図るために従来より行われている湖内産親魚による人工孵化放流に加えて、平成9年度から中国産ワカサギ卵の移植放流が実施されているがその効果が目に見える程現れていないのが実情である。こうした漁獲量減少の原因については時代経過と共に様々の議論がなされてきたが、漁獲量の低迷が続く現時点において、これらを整理した上で近年における資源変動要因を明らかにし、その上で人為的に可能でかつ効果的な対策があり得るのか、従来の増殖対策を見直すことも含めて検討する必要がある。

これまでに本誌に掲載されたワカサギ資源変動要因に関する報告をまとめると次のようである。

漁法が帆びきからトロールに変わった昭和40年以降においては資源減少の原因は漁獲圧が高まったことによるものと考えられた。鈴木(1984)が報告しているようにトロールの漁獲能率は帆びきのそれと比較して3倍と高く、漁法の転換は資源変動の大きな要因であったことは確かであるが、昭和59年には同じトロール漁法でありながら1,290トンに回復していることや、1984年以降ワカサギ資源量が減少する一方で、生活様式がほぼ同じで孵化時期が約1ヶ月遅いシラウオの資源量はむしろ増加傾向にあること等から、近年の湖内におけるワカサギ資源の減少傾向は、必ずしも高い漁獲圧(混獲を含む)のみでは説明できない。

そこで、湖内ワカサギの一生において最も減耗が激

しいのは何時の時点で、また何が原因で起きているのかに焦点を当てて考えてみる。

魚類の再生産量は孵化初期の減耗割合によって大きく変動するというのが魚類資源学における通説である。特に霞ヶ浦のワカサギは閉鎖水系に生息し、しかも年魚であるため、初期歩留まりはその年の漁獲量に大きく影響している。初期減耗の原因としては、卵または孵化仔魚期における(a)他魚種による食害、(b)不適水温、(c)初期餌料発生密度の低下等の影響が考えられる。しかし、(a)についてはワカサギが湖内魚類の中では最も早い3月中旬に孵化し、仔魚の時代を低水温期の内に経過するため、他魚種により捕食される危険性は比較的少ないと見られる。また(b)については特に高水温の影響がしばしば論じられるがワカサギが産卵する2月下旬から孵化仔魚期3月下旬にかけての水温と漁獲量との間に相関性がみられないことや、霞ヶ浦の水温がワカサギの孵化に悪影響を及ぼす15℃以上(熊丸1984)になるのは早くても4月中旬以降であり、3月下旬に孵化し4月中旬までに仔魚期を経過するワカサギにとってはそれほど大きなダメージにはならないと思われる。これらのことから現在の霞ヶ浦のワカサギ資源量は主に(c)の孵化初期における餌料発生密度によって大きく影響を受けていると思われる。このことに関して佐々木(1981)は霞ヶ浦と北浦におけるワカサギ資源密度に差があることに注目し、その原因が両湖の初期餌料の質的量的な差にあることを指摘している。さらに、浜田等(1979)は1973年以降における霞ヶ浦の急激な生態変化を総合的、動的にとらえて、流入負荷量の増加によって藻類の異常発生および種の遷移が起こり、これに伴ってワカサギの初期餌料が減少したため初期減耗が大きくなりワカサギ資源が減少し、

これに代わってアトライタスを摂餌、利用できるメマチチブ、テナガエビ等雑食性魚類が増殖、さらに、これら底生動物の活動により底泥からの栄養回帰を促しているとしている。すなわち富栄養化が進むことによって湖内の生態バランスが不可逆的に崩れ、ワカサギの漁獲量、資源量の減少はこうした一連の変化の中で起きているものとの見解を示した。このように近年の霞ヶ浦におけるワカサギ資源量の減少は環境変化に伴う初期餌料発生密度の低下に主な原因があるとみられるので、ここでは初期餌料密度とワカサギ再生産量の関係について、当内水試がこれまでに調査蓄積したデータおよび1996～2001年の6年間（各年2～5月）に行った湖内初期餌料密度の調査結果を基にさらに定量的に検証を試みることにする。

2. 方 法

(1) ワカサギ資源尾数の年間推移モデルの検討

霞ヶ浦におけるワカサギ資源量の変動要因を検討するにあたり、孵化から産卵親魚に至る資源尾数の推移モデルを図-1のように想定した。

2月初旬に前年の残存親魚（♂/♀：1/1）がその数に応じた卵数を産卵、3月中下旬（ T_0 ）に孵化し、孵化仔魚は孵化後3～4日には初期餌料（ 100μ 以下の原生動物、ワムシ類、甲殻類の幼生等）を摂餌し始める（堀ら 1977）。遊泳力の乏しいこの時期においてはおそらく初期餌料密度が低いほど餓死するものが多くなり、この時期から孵化2週後（ $T_0 \sim T_1$ ）

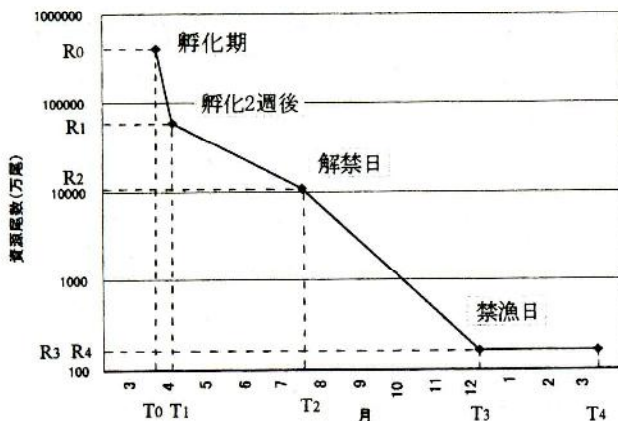


図-1 ワカサギ資源尾数の推移モデル

で急激な資源量の減少が予想される。その後トロール漁が解禁になる7月21日（ T_2 ）までは自然減耗の他にイサザゴロ曳きによる混獲、密漁等により減少するものの、減少率は比較的緩やかに推移する。漁期に入ると12月10日（ T_3 ）の禁漁になるまでの間で再び減少割合を増し、禁漁期以降残存親魚はほとんど減少しないで2月の産卵群となる。したがって、この間の資源量推移において急激な変化が起きる時点、いわゆる変曲点となるのは孵化初期の孵化後3日～約2週間の間、トロール解禁日の7月21日、禁漁となる12月10日の3回であるから、これら各変曲点での資源量がわかれば各年における湖内ワカサギ資源量のおおよその推移が描け、各変曲点間の減衰勾配も求められることになる。さらに、年別にこれらの勾配と餌料密度等生息環境との関係を調べることによって、現在の霞ヶ浦におけるワカサギ資源量が主にそれぞれの時期に何が原因で制約を受けているのかを明らかにする事ができるはずである。なお、ワカサギ資源年間推移の解析には当内水試が実施した下記の調査結果を用いたが、各調査データに欠測年があるため資源量の変化について年間を通じてみる事ができたのは1990、1991、1992、2000、2001年の5ヶ年であった。この他の測定データがない部分については後述する方法による推定値とした。〔 〕内は調査年を示す。

- ・4月初旬実施の稚魚調査結果〔1990、1991、1992、1993、2000、2001〕
- ・解禁日（7月21日）実施の漁期前資源調査結果〔1984～1992、1996～2001〕
- ・禁漁日（12月10日）における残存資源量：〔1985～1991、1996～2001〕

これらの資料で、孵化から残存親魚に至る資源量の推移における変曲点の内解禁日および禁漁日については時間の次元が明確である。しかし、起点となる孵化時期については、人工孵化放流事業における採卵状況から推定される産卵のピーク（2月中旬）とその後の水温経過からみた孵化のピーク（およそ

3月下旬)が推定されるものの、正確ではない。湖内での孵化時期については後述する初期餌料密度と歩留まりの関係を調べる上でも重要となるため2000年と2001年に以下の方法で湖内ワカサギの孵化初期における耳石日輪を調べ、孵化時期を推定した。

① 耳石日輪による孵化時期の査定

a) 検体採取日および採取方法：検体はワカサギが孵化して遊泳し始める4月中旬から5月中旬にかけて光集魚およびビームトロールの2法により採取した。光集魚法は内水試前棧橋水深約50cmに17:00~21:00の間、水中集魚灯(200W)を垂下、点灯し、これに集まるワカサギの稚魚をもじ網(目合い1mm)により採集した。ビームトロール法は木原沖において稚魚ネット(口径70cm, 曳航速度1m/sec, 表層5min曳き, 濾過率:0.8)により採取した。両検体とも採取後直ちに70%Alc容器中に収容して固定した。なお、稚魚採取時にワカサギと同時にシラウオが混獲されるのでそれぞれを選別して固定保存し、両者とも耳石日輪検査に供した。これら検体の採取日および採取尾数については表-1に示した。また、耳石日輪による孵化日を推定する際の参考とするため、孵化日のわかっている内水試継代(F-8)飼育ワカサギを用いて孵化以降定期的に検体を採取し基準検体とした。なお、このワカサギは1999年3月18日に人工採卵した後、地下水流水による卵管理を行い、3月27日に孵化した群を10m²水深70cmのコンクリート池に収容して粗放培養ワムシを供給しながら飼育したものである。

b) 耳石日輪数計測方法：Alc固定検体をスライドグラス上に取り出し、体長を測定した後、実態顕微鏡下で耳石(扁平石)を摘出した。摘出した耳石を70%Alcを滴下したスライドグラスに移して耳石表面を洗浄した後、新たなスライドグラス上に置き、ネイルエナメルで封入して永久標本とした。日輪の計数はビデオ撮影装置付き光学顕微鏡(100~400倍)を用い、テレビ画像上で行った。

なお、ワカサギの耳石は中心部がやや肥厚しており、孵化後日数が経過するにしたがって中心部日輪の不明瞭なものが多くなるため、あらかじめ孵化日のわかっている基準検体について、図-2に示した耳石陥入マーク内側の日輪数を調べた結果、表-2に示したとおり 23 ± 3 (平均23.2)であった。このことから湖内産ワカサギの耳石日輪検査においても陥入マークより外側の日輪数に23を加えて孵化後日数とし、孵化日は採取した日から孵

表-1 ワカサギ、シラウオ仔魚採取法と採取尾数
2000年(H.12)

採取月/日	仔魚検体 採取方法	ワカサギ		シラウオ	
		検体数	耳石検査	検体数	耳石検査
5/ 3	光集魚	213	100	253	102
5/ 4	光集魚	213	0	134	0
Total		426	100	387	102

2001年(H.13)

採取月/日	仔魚検体 採取方法	ワカサギ		シラウオ	
		検体数	耳石検査	検体数	耳石検査
4/19	光集魚	7	7	12	0
4/24	光集魚	190	190	123	102
5/ 2	光集魚	24	24	5	0
5/ 9	光集魚	101	101	5	0
5/10	ビームトロール	210	127	101	12
5/16	光集魚	50	0	68	67
Total		582	449	528	181

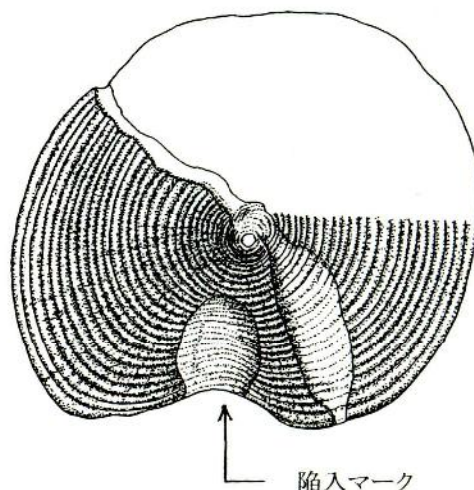


図-2 ワカサギ耳石拡大図

表一 2 内水試継代飼育ワカサギの耳石日輪検査結果

孵化仔魚採捕 月/日 (A)	孵化後日 (A- 3/27)	No.	陥入マーク外 測定輪数	陥入マーク内 推定輪数
5/20	54	1-a	31	23
		b	32	22
		2-a	32	22
		b	30	24
		3-b	31	23
		4-a	33	21
		b	29	25
		5-a	35	19
		b	33	21
		6-a	32	22
		b	29	25
		7-a	30	24
		b	29	25
		8-a	27	27
		b	29	25
9-a	28	26		
b	33	21		
10-a	29	25		
b	31	23		
		Av.	30.7	23.3
5/28	62	1-a	36	26
		b	40	22
		2-a	40	22
		b	42	20
		3-a	42	20
		b	42	20
		4-a	38	24
		b	41	21
		5-a	42	20
		b	38	24
		6-a	42	20
		7-a	36	26
		b	39	23
		8-a	39	23
		b	40	22
9-a	37	25		
b	38	24		
10-a	36	26		
b	37	25		
11-a	39	23		
b	39	23		
12-a	41	21		
b	35	27		
		Av.	39.1	22.9
6/12	77	1-a	57	20
		b	56	21
		2-a	54	23
		b	52	25
		3-a	50	27
		b	52	25
		4-a	55	22
		b	52	25
		5-a	54	23
		b	51	26
		6-a	51	26
		b	54	23
		7-a	51	26
		b	59	18
		8-a	55	22
b	51	26		
9-a	53	24		
b	54	23		
10-a	64	23		
b	55	22		
11-a	55	22		
b	53	24		
12-a	54	23		
b	56	21		
		Av.	53.7	23.3
		Total Av.		23.2

化後日数をさかのぼることにより求めた。

② 孵化尾数の推定

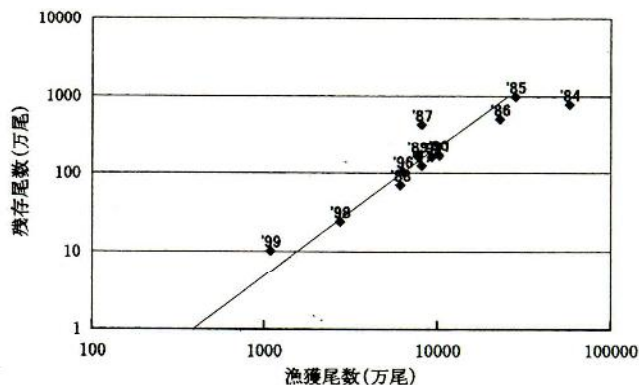
前年の12月期残存資源尾数のデータがある1984～1992年および1997～2000年については、これに1/2を乗じて残存雌親魚尾数とし、さらに同期における雌の平均体重を乗じて残存雌親魚量とした。ワカサギ雌の産卵数は体重当たり1000粒/gとして残存親魚量に1000を乗じて求め、孵化尾数はこれに湖内平均孵化率0.472を乗じて求めた。残存資源尾数のデータがない1996年については、表一3に示した既存データにより漁獲尾数Xと残存資源尾数Yとの関係式(1)を求め(図3)この式に1996年の漁獲尾数6446.8万尾を代入して残存資源尾数を103.32万尾と推定した。残存資源尾数からの翌年孵化尾数推定方法は先と同様である。

$$Y = 6.778 \times 10^{-4} \times X^{1.369} \dots\dots\dots (1)$$

$$[R^2 = 0.75146]$$

③ 孵化初期(孵化2週間後)における資源尾数の推定

4月初旬に湖内3～10地点の表層を口径70cmの稚魚ネット(曳航速度:1 m/s, 5 min曳き, 濾過率:0.8, 濾過水量:461.6 m³)で採取した稚魚数を採集地点平均とした上で湖全体の水容積6.86億 m³に置き換えた。なお、これらのデータは1990～1993年については根本(1994)の報告資料, 2000, 2001年については久保田の調査資料(未発表資料)を引用した。



図一 3 霞ヶ浦におけるワカサギの漁獲尾数と残存資源尾数の関係

表-3 霞ヶ浦におけるワカサギの漁獲尾数と残存資源尾数

年	漁獲量			残存親魚量			取り残し率 (残存尾/漁獲尾)	
	(トン)	7-9月Av.W(g)	C(万尾)	(トン)	12月Av.W(g)	R3(万尾)		
1984	S. 59	1290	2.22	58128.3	63.8	8.0	797.5	0.0137
1985	S. 60	857	3.04	28185.4	79.2	8.0	990.0	0.0351
1986	S. 61	872	3.79	22990.7	54	10.5	514.3	0.0224
1987	S. 62	330	4.04	8173.9	46.1	10.7	430.8	0.0527
1988	S. 63	229	3.70	6192.4	8.9	12.5	71.2	0.0115
1989	H. 1	305	3.94	7750.4	25.5	15.3	166.7	0.0215
1990	H. 2	312	3.06	10201.8	17.7	10.0	177.0	0.0173
1991	H. 3	421	4.07	10342.0	20.3	12.0	169.2	0.0164
1992	H. 4	328	3.51	9343.2	18.8	11.6	162.1	0.0173
1993	H. 5	363	4.25	8549.7				
1994	H. 6	251	2.52	9943.2			103.32	0.0160
1995	H. 7	169	2.62	6446.8				
1996	H. 8	177	2.76	6410.8	9.91	9.4	105.4	0.0164
1997	H. 9	265	3.23	8212.0	12.31	9.78	125.9	0.0153
1998	H.10	91	3.27	2784.7	2.35	9.69	24.3	0.0087
1999	H.11	30	2.74	1093.4	0.93	9.02	10.3	0.0094
2000	H.12	19	2.77	685.5			14.9	0.0217

太数字は推定値

④ 解禁日（7月21日）および禁漁期（12月10日）における資源尾数の推定

漁期の資源尾数については漁獲統計事務所の資料をもとにDeLury改変法により解析して求めた根本（1995）、久保田（1998）による資料を引用したが、データがない1996年の禁漁期資源尾数については既存データによる漁獲尾数と残存資源尾数との関係回帰式(1)により推定した。

⑤ ワカサギ資源推移における各変曲点間の生残率（減衰係数）

各年の資源推移を比較しやすくするために3月1日を起点とした日数をTで表し、各年における孵化日をT₀、稚魚ネット採集調査日をT₁、7月21日の解禁日をT₂（T₂=124）、12月10日の禁漁日をT₃（T₃=266）とした。次に、これらに対応する資源尾数をそれぞれR₀、R₁、R₂、R₃とし、これら変曲点間の推移を片対数グラフで直線と見なして各間での生残率を減衰曲線式(2)の勾配A（減衰係数）として求めた。

$$L_n R = AT + B \dots \dots \dots (2)$$

(2) ワカサギ孵化初期における生残率と餌料密度の関係

① 初期餌料調査

1996～2000年（5年間）の2月中旬～5月中旬

に図-4に示す霞ヶ浦7地点（田村、崎浜、牛渡、高崎、下玉里、八木蒔、五町田）および北浦4地点（三和、吉川、白浜、水原）の各地先において週1回の頻度で初期餌料調査を行った。各地点検体採取場所は、孵化初期のワカサギは主に沿岸帯に生息していることから湖岸舟溜り先端部とした。なお、調査初年度の1996年は霞ヶ浦のみ、1997年は霞ヶ浦に加えて北浦（1回/月）、1998年以降は両湖計11地点において調査を実施した。

初期餌料の採取は15ℓ容量のバケツ5杯分（75ℓ）の表層水をプランクトンネット（NXX25 Mesh）



図-4 初期餌料調査地点

40 μ)で濾過して行った。濾液全量をホルマリン固定して室内に持ち帰り、100mlに定容して充分混合攪拌した後、その内の5mlについて実体顕微鏡により50 μ 以上の大きさの原生動物、ワムシ類、甲殻類等動物プランクトンを計数した。なお、これらの調査結果については熊丸等(1999)、(2001)が本誌に資料として報告している。

② 動物プランクトンの個体数から重量への変換

湖内初期餌料調査は動物プランクトン種別に個体数を計数している。初期餌料には50 μ ~150 μ の各種動物プランクトンが含まれており、密度として表すには個体数から重量への変換が必要である。

そこで、霞ヶ浦、涸沼、養魚池等水域において動物プランクトンがほぼ単一優占的に増殖している時に採取し、ホルマリン固定保存しておいた検体を用いて体積と重量の関係を次の方法により調べた。各プランクトンの体積はマイクロメーター付顕微鏡で50~100検体について体長、体幅、体高を計測し、これらの各平均値を乗じた四角柱として求めた。重量は固定サンプルの一部について個体数を計数した後、全サンプルを濾紙上に10分間程度置いて水分を取り除き湿重量を測定、さらに70℃24時間温風乾燥して乾燥重量を測定した。これらの結果から動物プランクトンの種類全般についての体積と乾燥重量および湿重量の関係を求め、各種プランクトンについてそのサイズがわかれば単位重量が求められるようにした(図10)。

(3) ワカサギの成長からみた湖内餌料環境

① ワカサギの水温特性

水温特性は室内実験により水温と呼吸量の関係として求めた。供仔魚には当場の10m²、水深70cmのコンクリート池で継代飼育しているワカサギ(10~11月齢、BW:4.16~4.28g)を用いた。呼吸量測定方法については本誌No.34、No.36に記載した。

② ワカサギの最大成長(基準成長)

ワカサギ仔魚期(孵化から約100日間)の最大

成長については飼育試験により調べた。その方法は以下の通りである。当場で継代飼育している親魚を用いて2001年3月15日に人工採卵し、3月25日に孵化した稚魚を湖水注水の10m²、水深70cmのコンクリート池に収容し、毎日充分量(翌日に残餌が少し残る程度)を給餌しながら同年7月13日まで(孵化後107日間)飼育を行った。この間の給餌方法は、孵化後3週間まで200m²、水深1mの露地池において粗放培養したワムシ(*Synchaeta* sp., *Keratella* sp.他)を培養池毎ポンプにより連続供給、その後35日間は粗放培養ミジンコ(*Daphnia* sp.)をプランクトンネットで濾過し、成長するにたがって湿重0.5~1.8kg/dayに増量しながら与えた。それ以降ミジンコ供給から徐々にアユ餌付け用配合飼料の自動給餌に転換した。魚体重測定は孵化後およそ1週間毎に50尾程度採取して行い、各測定回において魚体重が最大であったものを抽出して飼育最大成長とした。なお、給餌餌料を配合飼料に転換した(孵化後93日)以降から成長が低下してきたため、これ以降の成長については霞ヶ浦における1973~2000年の28年間に渡り6月から12月の間でおおよそ1回/月の頻度で実施されたエビゴロ曳網、トロールおよび張網調査の魚体重測定データを用い、これらのデータ中から成長の早かったものを抽出して最大成長とみなした。

成長評価の指標として浜田他(1975)による次式(3)の成長係数: K_G を用いた。

$$K_G = 2.5 (W_2^{0.4} - W_1^{0.4}) / \Delta t \dots \dots \dots (3)$$

ただし、 W_1 : 初期体重(g)、 W_2 : 飼育後の体重(g)、 Δt : 飼育日数(days)

③ 湖内成長

上記28年間の魚体重測定データを使用して湖内各地点におけるほぼ同一調査日の平均体重を求め、これらを時系列につないで各年の湖内成長とした。次に各年における成長速度の変化を調べるため、前後調査日の体重をそれぞれ W_1 (g)、 W_2 (g)、調査日間の日数を Δt として(3)式により成長係数を求

め、この値を前後調査日の中間日における成長係数とした上で前後の成長係数の間を等差級数で連続させ、さらに11日間の移動平均を求めた。なお、各年とも孵化日は3月10日とし、孵化初期体重は飼育試験における孵化直後の魚体重測定結果0.285mgとした。

3. 結果および考察

(1) ワカサギ資源尾数の年間推移モデルの検討

① 耳石日輪による孵化時期の査定

2000年5月3日、10日と2001年4月19日～5月16日に採取したワカサギ仔魚（2000年：100検体、2001年：617検体）およびシラウオ仔魚（2000年：102検体、2001年：76検体）について耳石日輪数を計測して求めた孵化日度数分布を各年別に図-5および図-6に示した。

これらの結果から、両年ともワカサギは3月初旬から4月中旬にかけて孵化し、これに入れ替わるようにシラウオが4月中旬から4月下旬にかけて孵化しており、お互いに初期餌料の競争をさせていたことが伺える。また孵化日のピークはワカサギは2000年：3月29日～4月1日、2001年：3月25～26日となり、シラウオは2000年：4月19～20日、2001年：4月10日と4月27日の2つの山に分かれている。近2年においては両者の孵化日のピークはワカサギが3月末日、シラウオが4月中下旬となっていることがわかった。なお、この他の年のワカサギ孵化日については耳石調査が行われていないため不明であるが、稚魚調査のデータがある1990～1992年の孵化日については後述する仔魚期の成長から1990年：3月10日、1991年：3月18日、1992年：3月21日と推定した。また、1996～2001年の孵化日については稚魚調査日および稚魚サイズにほとんど差がないことから3月26日とした。

② ワカサギ資源推移における変曲期（孵化日： T_1 、孵化初期： T_2 、解禁日： T_3 、禁漁日： T_4 ）の資源

尾数

1990～1992年、1996～2001年におけるこれら変曲期の資源量について推定値を含めて表-4に示し、孵化から解禁日までの資源尾数の推移を図-7に片対数グラフで示した。

この図から孵化初期（孵化から孵化約2週間後まで）における減衰勾配は急激で年によって大きく変動していることがわかる。一方、これに比較して孵化初期以降解禁日（7月21日）までの間の減衰勾配は緩やかで年による変動も少なくほぼ平行状態となっている。また、表-4を基に各変曲期間における減衰勾配を年別に示したのが表-5であるが、これによると減衰勾配はそれぞれ孵化初期： $A_1 = -0.122 \sim -0.356$ 、孵化初期から解禁日の間： $A_2 = -0.0117 \sim -0.0166$ 、漁期間： $A_3 =$

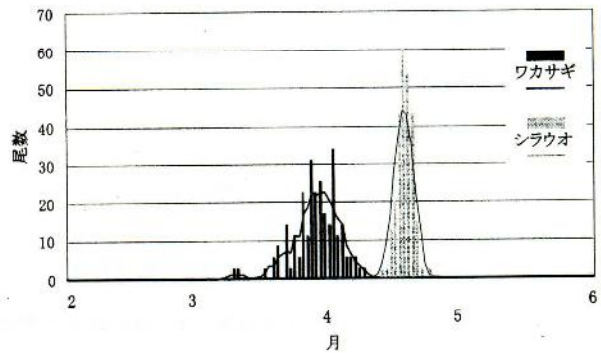


図-5 霞ヶ浦におけるワカサギ、シラウオ孵化日の度数分布（2000年）
孵化ピーク：ワカサギ（3/29～4/1）、
シラウオ（4/19）

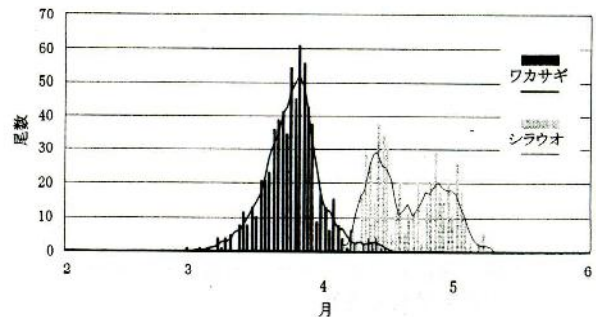


図-6 霞ヶ浦におけるワカサギ、シラウオ孵化日の度数分布（2001年）
孵化ピーク：ワカサギ（3/26）、
シラウオ（4/10、4/27）

表-4 霞ヶ浦のワカサギ資源量年間推移における変曲期資源尾数 () 内は推定値

年	産卵(2/中旬) (万粒)	孵化(3/26)	仔魚期(4/9)	解禁日(7/21)	禁漁日(12/10)
		T0=26 (R0万尾)	T1=40 (R1万尾)	T2=143 (R2万尾)	T3=285 (R3万尾)
1985 S. 60	31880000	1504736	118774.0	23980	991
1986 S. 61	39640000	1871008	111443.5	22500	514
1987 S. 62	26985000	1273692	39525.3	7980	431
1988 S. 63	23058500	1088361	35761.0	7220	71
1989 H. 1	4437500	209450	38732.8	7820	167
1990 H. 2	12775500	603004	43834.6	8890	177
1991 H. 3	8850000	417720	60199.1	10860	169
1992 H. 4	10140000	478608	27611.5	8290	172
<hr/>					
1996 H. 8	485604	229205	22992.0	4642	105.4
1997 H. 9	4953800	233819	4620.9	8605	125.9
1998 H.10	6154554	2904949	19797.3	3997	24.3
1999 H.11	1177335	55570	4962.9	1002	10.3
2000 H.12	464530	21926	2526.1	747	2.56
2001 H.13	12032	5679	5316.5	1662	-

・Tは3月1日を起点(T=1)とした経過日数

・ゴシック太数字は漁獲量と残存資源量の回帰式により求めた推定値

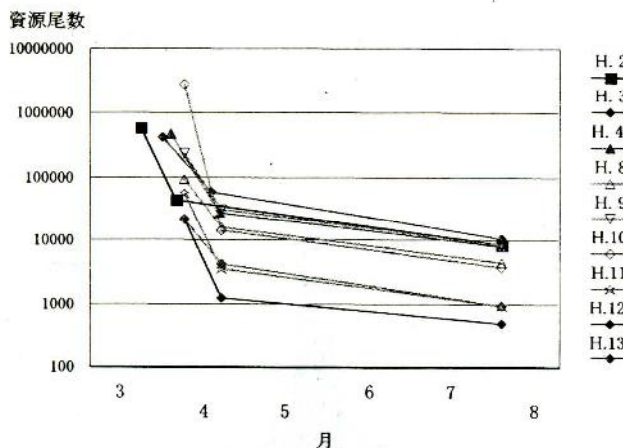


図-7 霞ヶ浦におけるワカサギの孵化から解禁日までの資源尾数の推移

-0.0206~-0.0400となっており、孵化初期の減衰勾配が最も急激であり、しかも変動幅も大きくなっている。これらのことはワカサギ資源尾数は前年の残存親魚尾数の増減のみで変動しているのではなく、むしろ孵化初期における減耗率が大きく影響していることを示唆している。

以上のことから、近年における湖内ワカサギ資源量の変動は主に孵化初期に起きており、この時期の湖内に何らかの減耗要因が存在しているものと思われる。孵化初期における減耗の原因としては先に述べたように餌料密度の低下による可能性が最も高いと考えられるので、次に初期減耗と餌料密度の関係について検討を行った。

表一 5 各資源量変動期間における減衰係数

年	LnR = AT + B					
	T:26~40		T:40~143		T:143~285	
	A1	B1	A2	B2	A3	B3
1985 S. 60	-0.1814	18.9397	-0.0155	12.3063	-0.0224	13.2937
1986 S. 61	-0.2015	19.6805	-0.0155	12.2426	-0.0266	13.8269
1987 S. 62	-0.2481	20.5068	-0.0155	11.2061	-0.0206	11.9238
1988 S. 63	-0.2440	20.2434	-0.0155	11.1060	-0.0325	13.5391
1989 H. 1	-0.1206	15.3867	-0.0155	11.1858	-0.0271	12.8380
1990 H. 2	-0.1872	18.1782	-0.0155	11.3140	-0.0276	13.0368
1991 H. 3	-0.1384	16.5401	-0.0166	11.5142	-0.0293	13.4851
1992 H. 4	-0.2038	18.3764	-0.0117	11.2442	-0.0273	12.9281
1996 H. 8	-0.1642	16.6128	-0.0155	10.6643	-0.0267	12.2547
1997 H. 9	-0.1216	15.5235	-0.0155	11.2815	-0.0298	13.3145
1998 H.10	-0.3563	24.1465	-0.0155	10.5147	-0.0359	13.4321
1999 H.11	-0.1725	15.4116	-0.0155	9.1311	-0.0322	11.5196
2000 H.12	-0.2026	15.2622	-0.0155	8.4558	-0.0400	12.3321
2001 H.13	-0.0047	8.7671	-0.0113	9.0301	-	-

・Tは3月1日を起点(T=1)とした経過日数

・ゴシック太数字は平均資源減衰係数および平均資源減衰係数での推定値

(2) 孵化初期における減耗と初期餌料密度の関係

2000年と2001年に実施した初期餌料調査の結果とワカサギおよびシラウオの耳石日輪調査結果を時系列に重ね合わせて見ると、図-8に示したように両年とも初期餌料発生密度が高い時期とワカサギおよびシラウオの孵化時期が一致している。ワカサギ、シラウオの産卵期間は親魚の熟度調査結果から見て、両種ともに少なくとも1ヶ月間はある、シラウオがワカサギより1ヶ月程度遅いと思われるが、初期餌料と両魚孵化発生モードの一致は初期餌料密度が高い時期に孵化仔魚の生残率が高かった結果によるものと考えられる。

このようにワカサギの孵化初期における生残率と初期餌料発生密度との間には密接な関係があること

がわかったので、次に両者の量的な関係について検討を行った。

図-9は初期餌料調査を行った1996年~2001年の6年間について2月中旬から5月初旬にかけて出現した大きさ50~150 μ の動物プランクトン個体数密度の推移を調査地点別に示したものである。

これによると各年において餌料発生の時期的周期性(3月初旬~中旬と4月中旬あたりにピーク)が若干見られるものの不明確であり、発生量も年によってかなり変動していることがわかる。次に、先に述べた耳石日輪調査の結果、近年の霞ヶ浦におけるワカサギの孵化時期は3月初旬から4月初旬であったことに基づき、この間における各年の平均初期餌料密度を調査地点別に示したのが図-11の左側であ

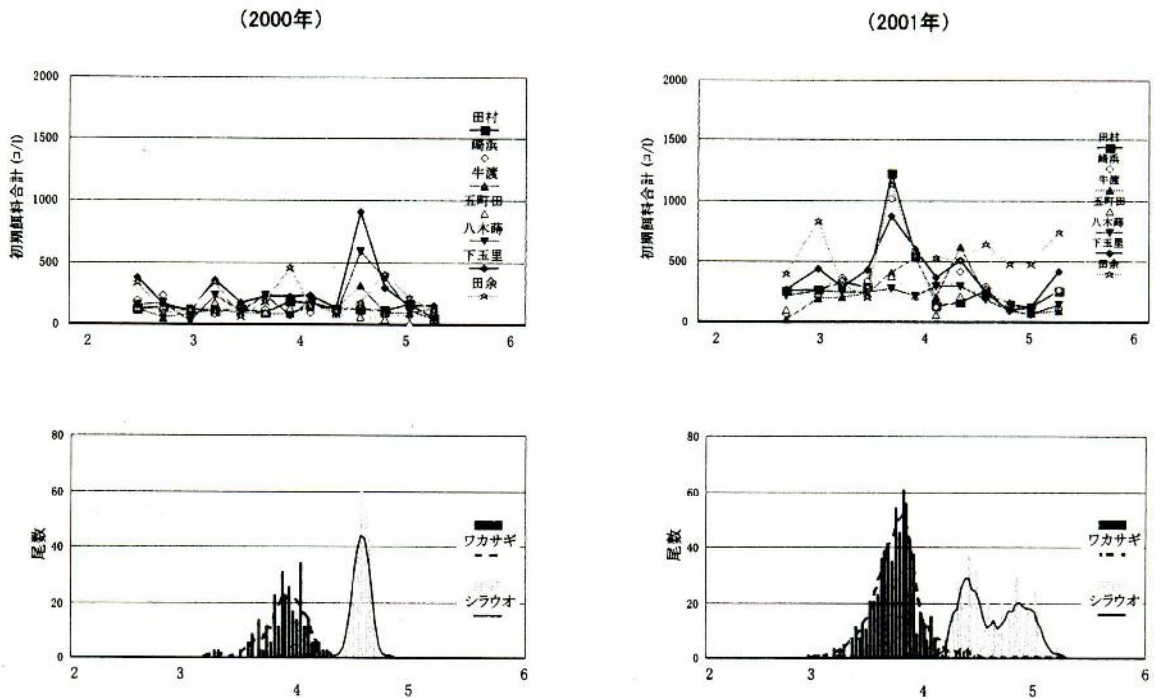


図-8 湖内初期餌料密度の推移とワカサギ、シラウオ孵化時期の比較

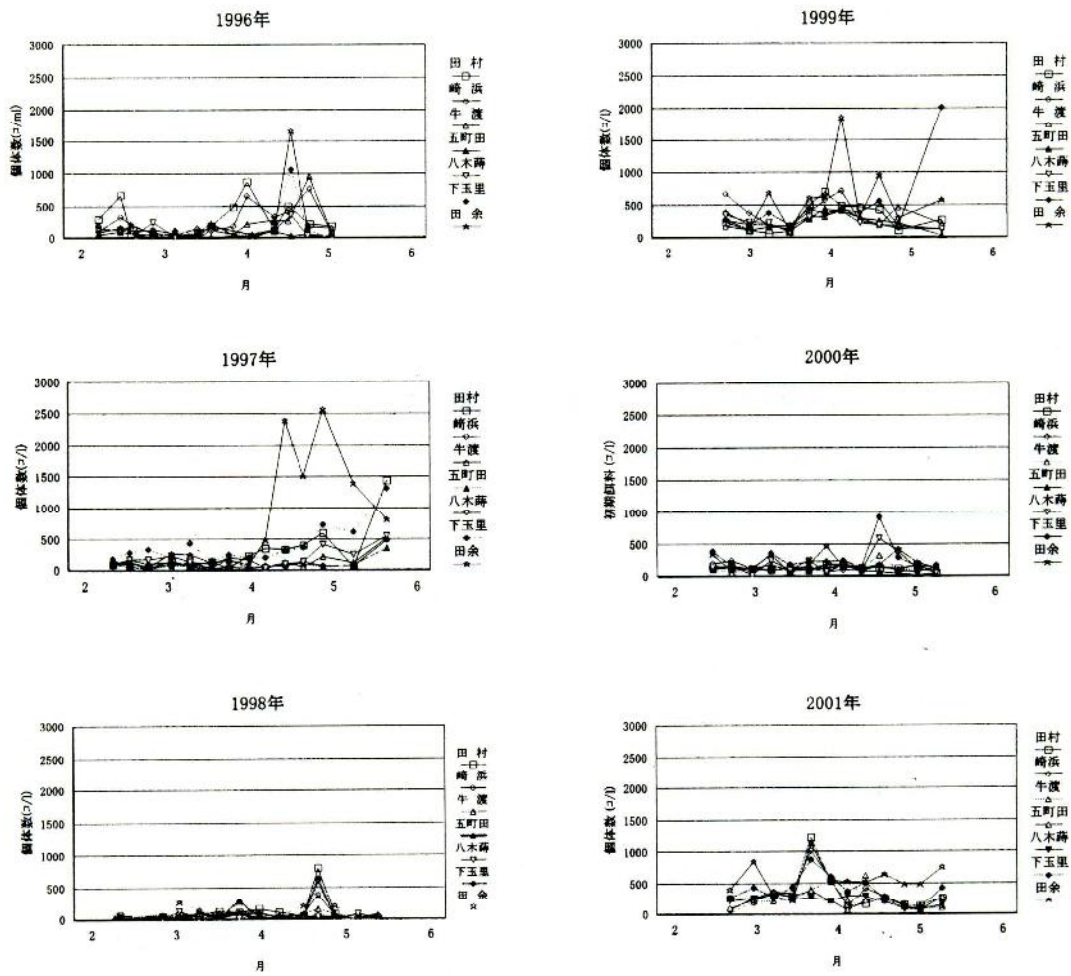


図-9 ワカサギ初期餌料密度の地域別推移

る。なお、各グラフの横軸は調査地点（湖尻部に近い五町田を中心に左側に土浦入り、右側に高浜入りを配置）を表し、餌料密度は原生動物、ワムシ類、コペポダの幼生の3群に分けて示した。また、同図の左側は調査結果の個体数密度を示したものであるが、これら初期餌料には原生動物からコペポダの幼生に至る様々の大きさの動物プランクトンが含まれているので、ワカサギ初期減耗との関係を見るためには個体数から重量への変換を行う必要がある。そこで、動物プランクトンの種類毎に個体の体積と重量の関係を調べたところ表-6、および図-10に示したように、これらの間に(4)、(5)式で示される相関関係があり、プランクトンの重量は種類に関係なく体積に比例していることがわかった。

乾燥重量： $W_d = 2.199 \times 10^{-7} \times V^{-0.9380}$

.....(4) ($R^2 = 0.98919$)

湿重量： $W_w = 2.927 \times 10^{-6} \times V^{-0.9247}$

.....(5) ($R^2 = 0.97735$)

ただし、W：重量 (g/10⁶コ)、V：体積 (μ m³/コ)

これにしたがって初期餌料調査において出現した動物プランクトンについて平均体積 (μ m³/コ) を調べ、(4)式により平均単位湿重量 (g/10⁶コ) を原生動物：0.568、ワムシ類：4.506、コペポダ幼生：11.067として個体数から重量への変換を行い、図-11の右側にワカサギ孵化期間中の調査地点別重量密度 (g/100m³) として示した。

これらのグラフから、ワカサギが孵化する期間における動物プランクトンの種類、量とも年によって大きく変化しており、孵化初期の餌料環境が不安定

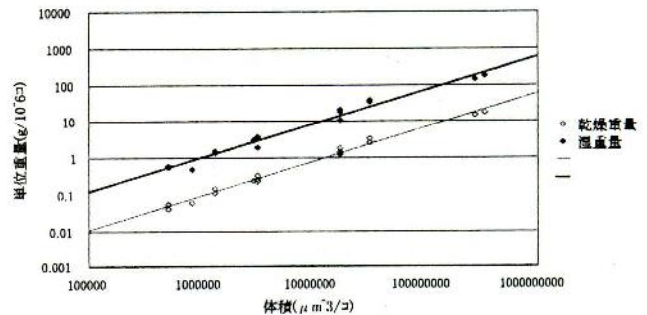


図-10 動物プランクトンの体積と重量の関係

表-6 動物プランクトンの体積と重量の関係

種類	大きさ(平均値)			単位体積 (μ ³)	単位重量(g/10 ⁶)		採取年月日	備考	採取場所	採取ネット
	W(μ)	H(μ)	D(μ)		乾重(g)	湿重(g)				
CILIOPHORA	Tintinnopsis	32	52	32	52797	0.0051	0.0568	'01. 3/22	霞ヶ浦(田村)	NXX25
ROTATORIA	Keratella	57	97	34	187669	0.0175	0.1946	'98. 4/17	霞ヶ浦(田余)	NXX25
	Synchaeta	64	104	64	422294	0.0384	0.4281	'00. 4/19	霞ヶ浦(八木蒔)	NXX25
	Filinia	59	142	59	518500	0.0469	0.5226	'98. 4/17	霞ヶ浦(田余)	NXX25
	Polyarthra	80	102	80	655623	0.0589	0.6564	'98. 7/ 8	北 浦(三和)	NXX25
	Brachionus(小) Brachionus(大) (平均)	129 225	247 339	96 168	3184136 12797451 7990794	0.23 0.35 0.29	1.96 3.79 2.88	'01. 8/ 2 '01.10/20	溜 沼(前谷) 内水試(4号池)	XX13 NXX25
COPEPODA	Nauplius(小) Nauplius(大) (平均)	65 86	118 178	65 86	513518 1346672 930095	0.06 0.15 0.10	0.61 1.60 1.11	'01.10/20 '99. 4/25	内水試(4号池) 霞ヶ浦(八木蒔)	NXX25 NXX25
	Eodiaptmus	327	1254	321	132098237	9.11	94.59	'00.11/12	霞ヶ浦(湖心)	稚魚ネット
	Cyclops(小) Cyclops(大) (平均)	165 505	650 1422	165 458	17619726 341581892 179600809	1.29 17.98 9.64	10.86 178.06 94.46	'01. 8/ 2 '01. 1/17	溜 沼(前谷) 霞ヶ浦(湖心)	XX13 稚魚ネット
	BRANCHIOPOD	Bosmina	163	263	67	2950000	0.24	3.14	'01.10/20	内水試4号池
	Diaphanosoma	270	473	229	32298199	3.52	38.44	'01. 1/17	霞ヶ浦(湖心)	稚魚ネット
	Daphnia	515	1067	515	283245680	14.91	147.65	'01. 1/17	霞ヶ浦(湖心)	稚魚ネット

であることがわかる。また各年の餌料密度の水平分布を見ると湖奥部は湖尻部に比べて相対的に高い傾向がみられ、このことは餌料発生には湖奥部河川からの栄養供給が重要な役割を果たしていることを示唆しているものと思われる。

次に、初期餌料調査を行った6年間について各調査地点の餌料密度を平均化して湖内全体の初期餌料密度とし、ワカサギの仔魚期（孵化から孵化2週間後までの間）における生残率との関係を調べた。各年における初期餌料密度： D_f と先に述べた資源減衰曲線における減衰係数（生残率の対数）： A_1 との関係を表-7および図-12に示したが、これら間には1999年を除けば次式に示す高い相関関係があるものとみなせる。

$$A_1 = 0.00125 D_f - 0.274 \dots \dots \dots (6)$$

$$[R^2 = 0.998298]$$

なお、1999年の初期餌料が比較的多かったにもかかわらずワカサギの初期生残率が低かったことに関しては仔魚期以降に例年と異なる何らかの事情があ

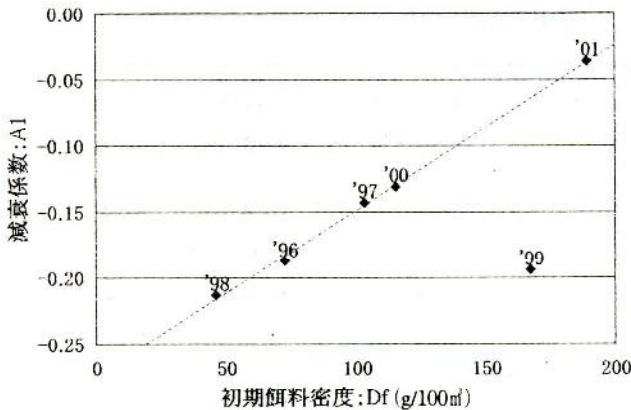


図-12 初期餌料密度と仔魚期資源減衰係数の関係

表-7 ワカサギ仔魚期生残率と初期餌料

年	資源尾数		仔魚期生残率 R1/R0	仔魚期減衰係数 A1	初期餌料密度 Df (g/100ton)
	孵化日:T=26 R0	孵化14日後 R1			
1996	236520	17116	0.072	-0.187	72.6
1997	233819	31728	0.136	-0.143	103.0
1998	290495	14738	0.051	-0.213	46.2
1999	55570	3695	0.066	-0.194	167.5
2000	11793	1880	0.159	-0.131	115.2
2001	5900	3540	0.600	-0.036	189.2

ったものと思われる。その要因の一つとして、前年にペヘレイが大増殖していることからこの当歳稚魚によって捕食された可能性が考えられるが今のところ確証はない。今後、ペヘレイ当歳稚魚の温度特性、摂餌餌料サイズ、摂餌強度等について検討する必要がある。

ここまでで、近年の霞ヶ浦におけるワカサギ資源量の水準は孵化初期の生残率によって大きく左右され、その初期生残率は主に初期餌料密度によって限定されていることが確認された。引き続き孵化初期以降の餌料環境について検討を行う。

(3) ワカサギの成長からみた湖内餌料環境

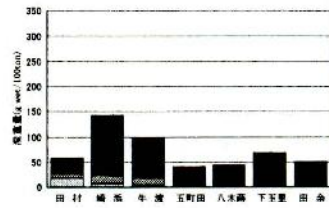
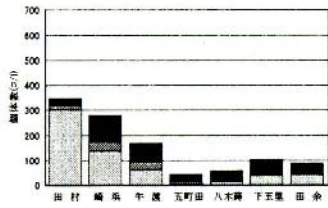
湖内における成長速度は水温や餌料環境（他魚種との餌の競合や餌料生産構造そのものに問題がある場合を含む）によって変化するが漁獲の影響は受けにくい。したがって、湖内での成長について水温条件による影響を差し引いた上で餌料密度と対比することにより湖内餌料密度と成長の関係が定量的に把握できるものと考えられる。こうしたことからワカサギの水温特性および好適水温におけるワカサギの最大成長（基準成長）を調べ、これを参考として過去の好漁年と近年の不漁年における湖内成長の比較検討を行うこととする。

① ワカサギの水温特性

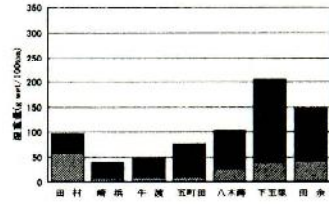
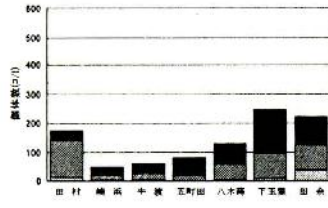
ワカサギの水温特性について以下の2法によって調べた。第1の方法は魚体重：4.16~4.28gのワカサギを供試魚として各水温における呼吸量を測

〔個体数密度(コ/%)〕

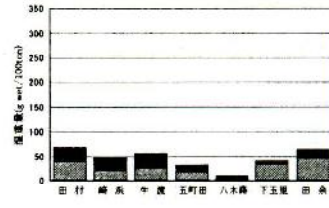
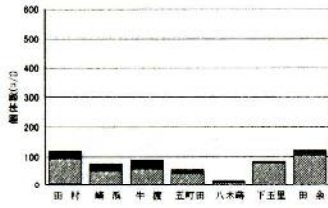
〔重量密度(g/100ton)〕



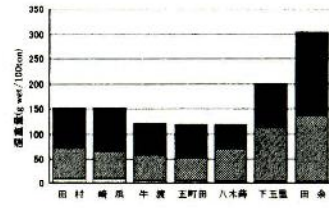
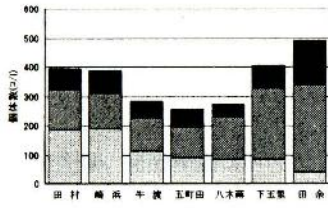
1996年



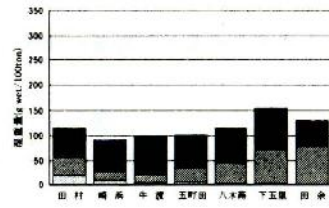
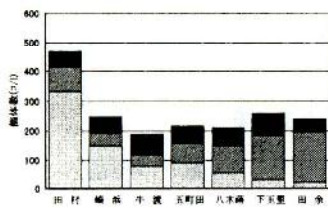
1997年



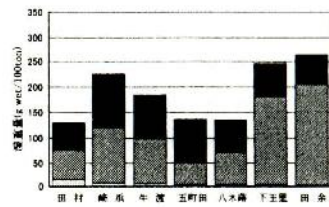
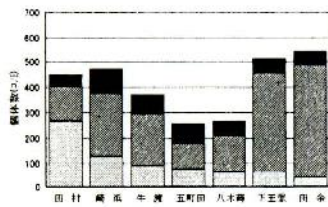
1998年



1999年



2000年



2001年

図-11 霞ヶ浦におけるワカサギ孵化期間中の初期餌料密度

原生動物
 ワムシ類
 コペポーダの幼生

定し、水温と呼吸量の関係として求める方法である。その結果は表-8および図-13に示したとおり水温：T(°C)の上昇に伴うワカサギの呼吸量：Or(O₂ mg/day)の変化は10°C~23°Cの間は増加、23°Cで最大に達した後23°C~26°Cで一定となり、26°Cを越えるとむしろ減少し、28°Cで斃死に至った。この結果から、ワカサギの適水温は23°C~26°Cであり、26°C以上になると代謝異常を来すことがわかった。なお、10°C~26°Cおよび23°C~26°Cにおける呼吸量についてはそれぞれ(7)式、(8)式で表せた。ただし、供試魚体重は4.16~4.28(g)。

$$(T \leq 23^\circ\text{C})$$

$$Or = 9.329 \times \text{EXP}(0.105 \times T) \dots\dots\dots (7)$$

$$(23^\circ\text{C} > T \geq 26^\circ\text{C})$$

$$Or = 103.35 \dots\dots\dots (8)$$

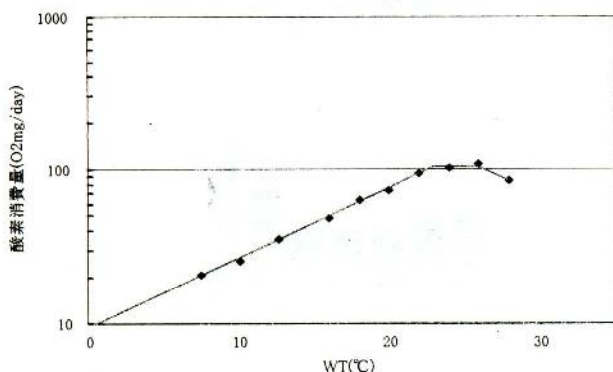


図-13 ワカサギの水温と呼吸量の関係

もう一つは当試験場が継続して行ってきた28年間の漁獲調査資料(1973年~2000年)を基に霞ヶ浦における最大成長係数の推移を求め、これと湖内平均水温の推移を重ね合わせて水温と湖内最大成長の関係を調べるという方法によった。この結果を図-14に示したが、水温上昇に伴う成長係数の変化は17°C~22.7°Cの間は増加、22.7°C~25.6°Cの間は一定、25.6°C~27.9°Cの間ではマイナス成長となり、これらを式に表したのが(9)~(10)式である。

$$(T \leq 22.7^\circ\text{C})$$

$$K_G (\times 10^2) = 0.927T - 14.559 \dots\dots\dots (9)$$

$$(22.7^\circ\text{C} > T \geq 25.6^\circ\text{C})$$

$$K_G (\times 10^2) = 6.461 \dots\dots\dots (10)$$

$$(25.6^\circ\text{C} > T \geq 27.9^\circ\text{C})$$

$$K_G (\times 10^2) = -1.048T + 33.262 \dots\dots\dots (11)$$

ただし、K_G：成長係数、T：水温(°C)

以上のように水温の上昇に伴う湖内成長係数の変化パターンは先の呼吸量測定結果とほとんど一致し、成長が早い水温(好適水温)は23~26°Cの間で26°Cを越えると成長の低下が起きることがわかった。

②ワカサギの基準成長(最大成長)

湖内におけるワカサギの成長速度によりその生息条件を解析するためには、基準となる成長様式をあらかじめ把握しておく必要がある。ここでは

表-8 ワカサギの水温別呼吸量測定結果

測定月日	BW (g)	WT (°C)	OUT(Av.) (mg/l)	IN(Av.) (mg/l)	OUT-IN (mg/l)	流量 (ml/min)	呼吸量 (O ₂ mg/day)
'01, 9/ 2~9/ 3	4.16	10.07	9.117	8.876	0.241	73.554	25.55
'01, 9/ 4~9/ 5		12.69	9.030	8.698	0.332	73.989	35.360
'01, 9/ 6~9/ 7		16.02	9.030	8.570	0.460	73.989	48.998
'01, 9/ 8~9/ 9		17.98	8.267	7.666	0.600	73.187	63.284
'01, 9/10~9/11		19.99	8.046	7.345	0.702	72.840	73.607
'01, 9/12~9/13		21.99	8.037	7.146	0.891	73.410	94.156
'01, 9/14~9/15		24.05	7.885	6.962	0.923	77.415	102.905
'01, 9/16~9/17		25.99	7.560	6.575	0.984	75.912	107.614
'01, 9/18~9/19		28.00	7.505	6.722	0.783	75.643	85.246
'01, 9/20~9/21	4.28	29.99					斃死

ワカサギにとって最も適した生息環境条件下での成長、すなわち水温は23~26℃でワカサギの最大摂餌量を満たすに十分な餌料密度の条件が整っている生息環境での成長を基準成長とし、この基準成長を当該内の陸上池における飼育試験および過去28年間の湖内における魚体重測定資料から最も良い成長を示したデータを選択的に抽出して求めた。なお、成長速度を表す指標として成長係数を用いた。その結果は図-15の線で示したとおり、孵化後の成長係数の推移で見ると、孵化から孵化後62日までは成長が早まり、62日目で最大に達した後62日~93日の間は最大を保ち、93日~140日の間で成長の低下が見られる。140日~205日の間で再び上昇し、205日~243日の間で最大を保ち、243日以降は再び低下して一年の生涯を終えている。成長の低下が見られる孵化後93日~140日および140日~205日の間は湖内水温が26℃以上となる7月中旬~10月期に相当しており、前項の水温特性からその原因は高水温の影響によるものと判断できる。また、孵化後243日以降における成長の低下にはワカサギの魚体重が最大型に近づくことによる成長低下と湖内水温の低下による影響が加わっている。したがって、ここに示したワカサギの成長は湖内水温での最大成長であり、好適水温における最大成長では孵化後93日~243日の間の成長の落ち込みはなく推移するものと思われる。

なお、図-14の点線で示した湖内での最大成長を成長係数： K_G と孵化後の経過日数： T_h の関係として式で表すと次のようになる。

($T_h < 62$: 4/中下旬~6/17)

$$K_G (\times 10^2) = 0.0915 \times T_h^{1.033} \dots\dots\dots (12)$$

($62 \leq T_h < 93$: 6/18~7/17)

$$K_G (\times 10^2) = 6.461 \dots\dots\dots (13)$$

($93 \leq T_h < 140$: 7/18~10/2)

$$K_G (\times 10^2) = 9.418 \times 10^5 \times T_h^{-2.625} \dots\dots\dots (14)$$

($140 \leq T_h < 205$: 10/3~11/6)

$$K_G (\times 10^2) = 1.588 \times 10^{-6} \times T_h^{2.806} \dots\dots\dots (15)$$

($205 \leq T_h < 243$: 11/7~12/14)

$$K_G (\times 10^2) = 6.461 \dots\dots\dots (16)$$

($243 \leq T_h < 302$: 12/15~2/12)

$$K_G (\times 10^2) = -1.172 \times 10^{47} \times T_h^{-19.385} \dots\dots\dots (17)$$

③湖内成長

以上により、霞ヶ浦における最大成長の把握ができたので、これを参考としながら過去27年間に於けるワカサギ豊漁年と不漁年の成長を成長係数で比較し、不漁年における成長阻害の有無、さらに成長阻害があるとすれば何時の時期にそれが起きているかについて調べた。なお、不漁年は漁獲量が100トン未満であった1973年(51トン)、1978年(68トン)、1980年(46トン)、1998年(91トン)、1999年(30トン)、2000年(19トン)の6年間について、豊漁年は漁獲量が500トン以上であった1974年(791トン)、1977年(634トン)、1984年(1290トン)、1985年(857トン)、1986年(872トン)の5年間を対象とし、それぞれ成長係数の推移を平均化して比較した。その結果を図-16に示したが、これによると

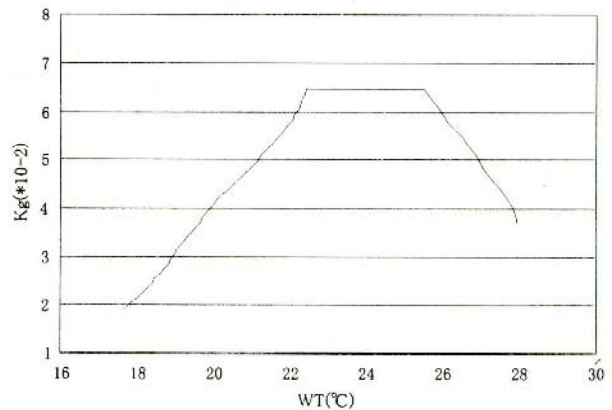


図-14 霞ヶ浦における水温とワカサギ最大成長係数の関係
ワカサギ魚体重:1~12g

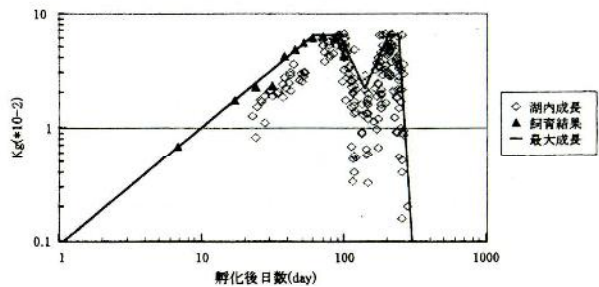


図-15 霞ヶ浦におけるワカサギの最大成長
Data:1973~2000年

不漁年は豊漁年に比べて4月中旬から7月初旬までの成長が悪く、この間における餌料不足が特徴的に現れている。また、豊漁年における7月初旬～7月下旬にかけての成長の急激な落ち込みについては図-17の豊漁年と不漁年の平均水温推移に示したように豊漁年の夏期水温が不漁年に比べて高かったことと資源量が餌の量に対して多かった

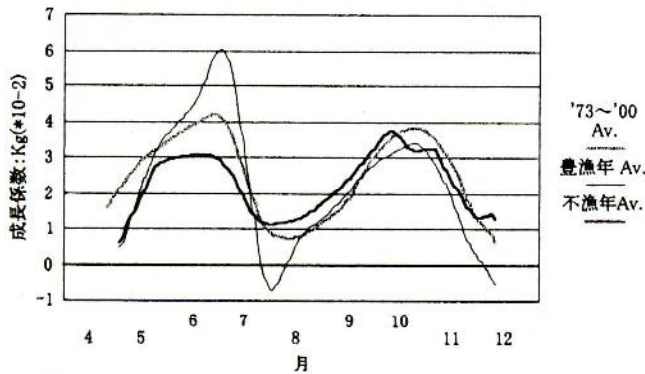


図-16 豊漁年と不漁年におけるワカサギの成長

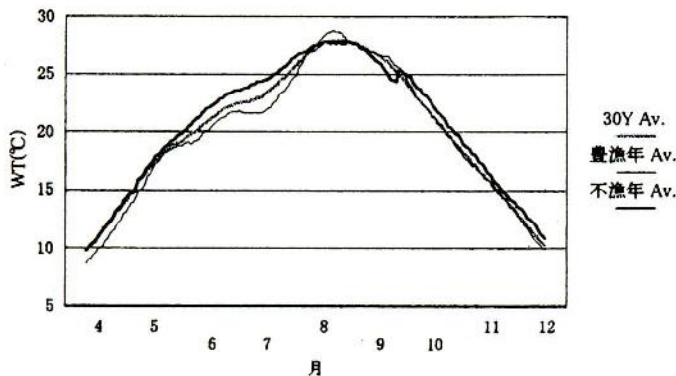


図-17 豊漁年と不漁年の水温

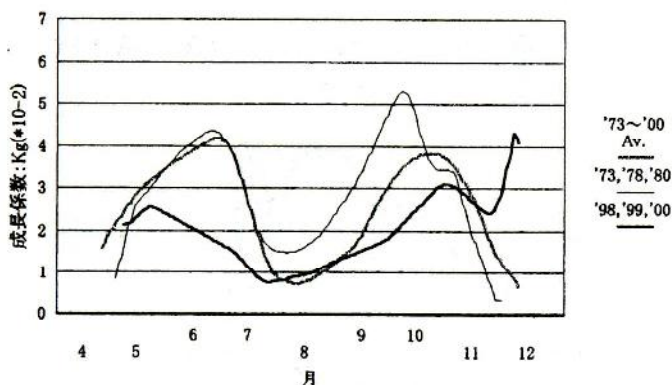


図-18 '70年代の不漁年と近3ヶ年のワカサギ成長比較

ことによる密度効果も加わって起きたものと考えられる。また、この夏期高水温期における急激な成長速度の低下が豊漁年で起きていることは夏期高水温の漁獲量への影響は大きくないことを示唆している。さらに、同じ不漁年の中でも1970年代(1974年, 1978年, 1980年)と近3ヶ年(1998年, 1999年, 2000年)の各平均成長を比較した結果、図-18に見られるように1970年代の不漁年では過去28年間の平均と比較してむしろ成長が早いのに対して、近3ヶ年においては4月から7月の間だけでなく8月中旬から11月の間においても成長が悪くなっており、20年前と最近における不漁の中身が違ってきていることがわかる。

近年における成長速度の低下はまた、ワカサギの餌料がほとんど1年を通じて少なくなってきていることを示唆している。なお、ワカサギの成長が1年を通じて悪いということは漁獲対象となる実サイズの魚体重が小さくなることであり、このことにより漁獲量が低下するだけではなく、産卵雌親魚の魚体重が小さくなり翌年の産卵量低下をも招くことになるものと思われる。こうした餌料不足の原因としては、他魚種との餌の競合によるものと湖内の餌料生産構造に問題がある場合の2通りが考えられる。前者については特に摂餌生態がワカサギに類似し、近年著しく増殖したペヘレイの存在が懸念され、今後の本競合種の摂餌強度等について実態把握が必要であるが、ごく最近になってこの種も減少してきていることから、ワカサギの餌不足を競合だけで説明するのは困難なように思われる。後者の餌料生産構造上の問題に関しては既に熊丸(1999)が霞ヶ浦における全漁獲魚種が過去20年間に渡って漸減している原因は湖水置換率の低下に伴う有機物の湖底への蓄積量増加→湖底における還元状態の慢性化による好氣的分解の阻害→バクテリアをはじめとする動物生産容量の漸減といった一連の構造的欠陥にあることを報告しており、ワカサギの成長低下もこうした

環境変化によって起きた、むしろ必然的な結果であると考えられる。以上により、霞ヶ浦における近年のワカサギ資源量減少の原因は初期餌料発生量が少ないことによる孵化初期の生残率低下と、さらに孵化初期以降においても餌料不足による成長の低下がみられるなど年間を通じての餌料環境の悪化により起きており、その根底には湖水の置換率低下に端を発する湖内生産容量の低下があるものと考えられる。

要 約

霞ヶ浦におけるワカサギ漁獲量は昭和40年代に漁法が帆びきからトロールに転換されて減少したが昭和59年には1290トンに回復した。しかし、その後再び漸減し続けて近年では数10トンにまで低迷している。こうした近年におけるワカサギ資源量の減少原因についてはこれまでに湖内環境変化に伴う初期餌料発生密度の低下が上げられている。ここではワカサギ資源の回復策を探るため、初期餌料密度とワカサギ再生産量の関係について、当内水試がこれまでに調査蓄積したデータおよび湖内初期餌料密度の調査結果を基にさらに定量的な検証を試みた。

- (1) 近2ヶ年(2000年, 2001年)の湖内ワカサギについて耳石日輪調査を行った結果, ワカサギの孵化時期は3月10日~4月10日の間, ピークは3月26日前後であることがわかった。
- (2) ワカサギの年間資源量推移における資源減少勾配は孵化から2週間の孵化初期において最も急激であり, この間に孵化仔魚の86~95%が減少する。
- (3) 1996年~2001年の6年間に実施した初期餌料調査結果において餌料発生密度の上昇時期とワカサギおよびシラウオの孵化時期が一致することから, 初期における生残率と初期餌料密度との間に密接な関係があるものと思われた。
- (4) 1996年~2001年の6年間における初期餌料密度と初期生残率との関係は1999年を除いて次式に示す正の相関性認められることから, 孵化初期における生

残率は主に初期餌料の発生密度によって制約されていると見られた。なお, 1999年については孵化初期以降においてペヘレイによる食害等何らかの資源減少要因が作用したものと推定された。

$$A_1 = 0.00125 D_f - 0.274 \quad [R^2 = 0.998298]$$

ただし, A_1 : 資源量減衰係数, D_f : 初期餌料密度 (g/100ton)

- (5) ワカサギの湖内成長を解析するため水温と代謝量の関係を調べた結果, 好適水温は22.7~26.0℃であり, 26.0℃以上になると成長速度が低下することがわかった。

- (6) 霞ヶ浦の平均水温推移におけるワカサギの最大成長は次式で表される。

$$(T_h < 62 : 4/中下旬 \sim 6/17)$$

$$K_G (\times 10^2) = 0.0915 \times T_h^{1.033}$$

$$(62 \leq T_h < 93 : 6/18 \sim 7/17)$$

$$K_G (\times 10^2) = 6.461$$

$$(93 \leq T_h < 140 : 7/18 \sim 10/2)$$

$$K_G (\times 10^2) = 9.418 \times 10^5 \times T_h^{-2.625}$$

$$(140 \leq T_h < 205 : 10/3 \sim 11/6)$$

$$K_G (\times 10^2) = 1.588 \times 10^{-6} \times T_h^{2.806}$$

$$(205 \leq T_h < 243 : 11/7 \sim 12/14)$$

$$K_G (\times 10^2) = 6.461$$

$$(243 \leq T_h < 302 : 12/15 \sim 2/12)$$

$$K_G (\times 10^2) = -1.172 \times 10^{17} \times T_h^{-19.385}$$

- (7) 1973~2000年(28年間)の霞ヶ浦におけるワカサギの成長速度について豊漁年(500トン以上)と不漁年(100トン未満)を比較した結果, 5月~7月の間において不漁年の成長が劣っており, さらに1970年代の不漁年と1998~2000年の近3ヶ年を比較したところ, 近年の成長はほとんど1年を通じて悪いことがわかった。

- (8) 成長の悪化は餌不足を意味し, その原因は湖内における生物生産構造の欠陥により生じる生産容量の低下にあるものと考えられた。

以上により, ワカサギ資源量(資源尾数 \times 魚体重)の変動は主に初期餌料発生密度による資源尾数の変

動と孵化初期以降の餌料密度による成長（資源重量）の変動の両者によって生じており、特に近年におけるワカサギ資源量の低下は湖内生物生産容量の低下が主な原因と考えられた。このことは、今後ワカサギをはじめとする水産有用資源の維持増大を図るためには湖内生物生産容量を回復させるべくより根本的な環境対策が必要である。

引用文献

- 熊丸敦郎（1984）：ワカサギ卵の人工孵化管理方法について，茨城県内水面水産試験場研究報告No.21，11-30.
- 浜田篤信（1979）：霞ヶ浦における藻類の異常発生に関する考察，茨城県内水面水産試験場研究報告No.16，1-43.
- 佐々木道也（1981）：霞ヶ浦のワカサギの資源動向について－Ⅱ資源変動要因，茨城県内水面水産試験場研究報告No.18，6-25.
- 堀直，位田俊臣（1977）：ワカサギ人工種苗生産技術の開発に関する研究－Ⅰ仔魚が摂餌可能な餌の大きさ等について，茨城県内水面水産試験場研究報告No.14，11-19.
- 根本孝（1994）：（資料－1）霞ヶ浦北浦ワカサギ・シラウオ仔稚魚分布調査1990－1993，茨城県内水面水産試験場研究報告No. 30，127-133.
- 根本孝（1995）：（短報－1）1990年から1992年までの霞ヶ浦におけるワカサギ資源量，茨城県内水面水産試験場研究報告No.31，92-97.
- 久保田次郎（1998）：霞ヶ浦におけるシラウオの資源動向について，茨城県内水面水産試験場研究報告No. 34，29-40.
- 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(7)，1053-1057.
- 根本孝（1994）：（資料－1）霞ヶ浦北浦ワカサギ・シラウオ仔魚分布調査（1990～1993），茨城県内水面水産試験場研究報告No. 30，127-133.
- 熊丸敦郎（1998）：ブルーギルの湖内における捕食量の推定，茨城県内水面水産試験場研究報告No. 34，41-58.
- 熊丸敦郎（2000）：ナマズの養殖技術に関する研究－Ⅰナマズの飼育特性について，茨城県内水面水産試験場研究報告No.36，1-15.
- 浜田篤信，位田俊臣，津田勉，狩谷貞二（1975）：魚類の成長差解析に関する研究－Ⅰコイの最大成長，日本水産学会誌，41(2)，147-154.
- 熊丸敦郎，渡辺直樹，坂本正義（1999）：（資料－3）霞ヶ浦北浦ワカサギ初期餌料調査結果（1996.2～1999.5），茨城県内水面水産試験場研究報告No. 35，115-135.
- 熊丸敦郎，渡辺直樹，坂本正義（2000）：（資料－4）霞ヶ浦北浦ワカサギ初期餌料調査結果（2000.2～5），茨城県内水面水産試験場研究報告No. 36，77-84.
- 熊丸敦郎（1999）：霞ヶ浦北浦における過去20年間の水産有用資源減少原因に関する考察，茨城県内水面水産試験場研究報告No.35，25-41.