

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 —

佐々木 道 也

1 はじめに

霞ヶ浦のワカサギは昭和40年の約2,000トンを境に減少の一途を辿り、昭和49年には僅かに51トンとなっている。そしてその後も漁獲量は200トン前後と低迷している。

一方、北浦では年によって変動はみられるものの、200トン前後の漁獲量が比較的安定して得られており、霞ヶ浦と北浦ではワカサギの生産構造に差異がみられている。

いずれにしても、霞ヶ浦及び北浦の漁業に占めるワカサギの比重は依然として高く、漁業者のワカサギ漁業に対する期待にはなお大きなものがある。そのため、ワカサギ卵の移殖放流や人工種苗放流等の増殖対策が講じられている。また、霞ヶ浦、北浦のワカサギについての調査研究も古くから行なわれており、種々の知見が得られている。

本報告は、これらの結果を踏まえながら、実験的な検討等を加え、霞ヶ浦、北浦におけるワカサギ資源の変動要因について解明を試みたものである。

2 霞ヶ浦、北浦における棲息環境の差異

卵から7月開禁時までの歩留りは、鈴木¹⁾によると、最近の霞ヶ浦では約0.2%となっており、帆曳き網時代に比較して、歩留りは低下している傾向がみられるとしている。一方、北浦の歩留りについては明らかにされていないが、漁獲量が過去20年以上も安定して得られていることから、霞ヶ浦にみられるような歩留りの低下は考え難く、霞ヶ浦に比較して北浦の方がワカサギにとって棲息環境がよいものと推測される。

このことは第1図に示した、2-4月の筑波山における累積月別平均最大風速²⁾と、その年のワカサギ漁獲量との関係からも明らかである。但し、これらの関係は漁法の転換による影響が一段落したと思われる昭和43年以降について求めてある。これによると卵からの歩留りとの対比ではないため一既にはいえないが、北浦では風速が大きくなるに従って漁獲量が少なくなる傾向がみられ、ワカサギの生産量におよぼす風の影響が無視できないことを表わしている。これに対し霞ヶ浦では、北浦に比較して吹送距離も長く、風の影響を強く受けることが予測されるにもか

かわらず、風速との関係は明らかではなく、風の影響よりも他の要因に、より一層大きな影響を受けていることを示している。

このような両湖の差異が、霞ヶ浦では昭和42年頃からのワカサギ漁獲量の減少として表われ、一方北浦では漁獲量の安定という型で推移してきたものであろう。

従って、これらの差異が何に起因しているのか、それを究明することが、ワカサギ資源の変動を明らかにすることにつながるものと思われる。

3 初期餌料

(1) 餌料の種類

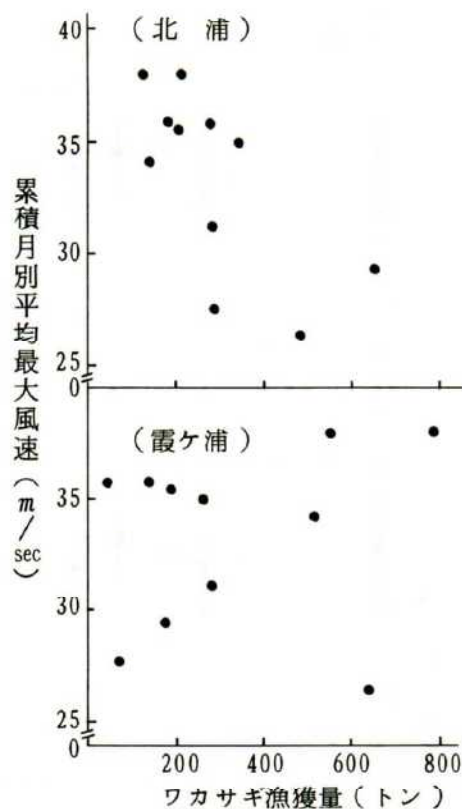
最近の霞ヶ浦におけるワカサギの餌料は、鈴木他³⁾によれば、動物プランクトン、イサザアミ及びチヂブの稚仔魚が重要な位置を占めているという。一方、ワカサギ稚仔魚の餌料についても種々

の報告があり、初期餌料はBrachionus及びCopepodaのNauplius幼生であるとされている⁴⁾。

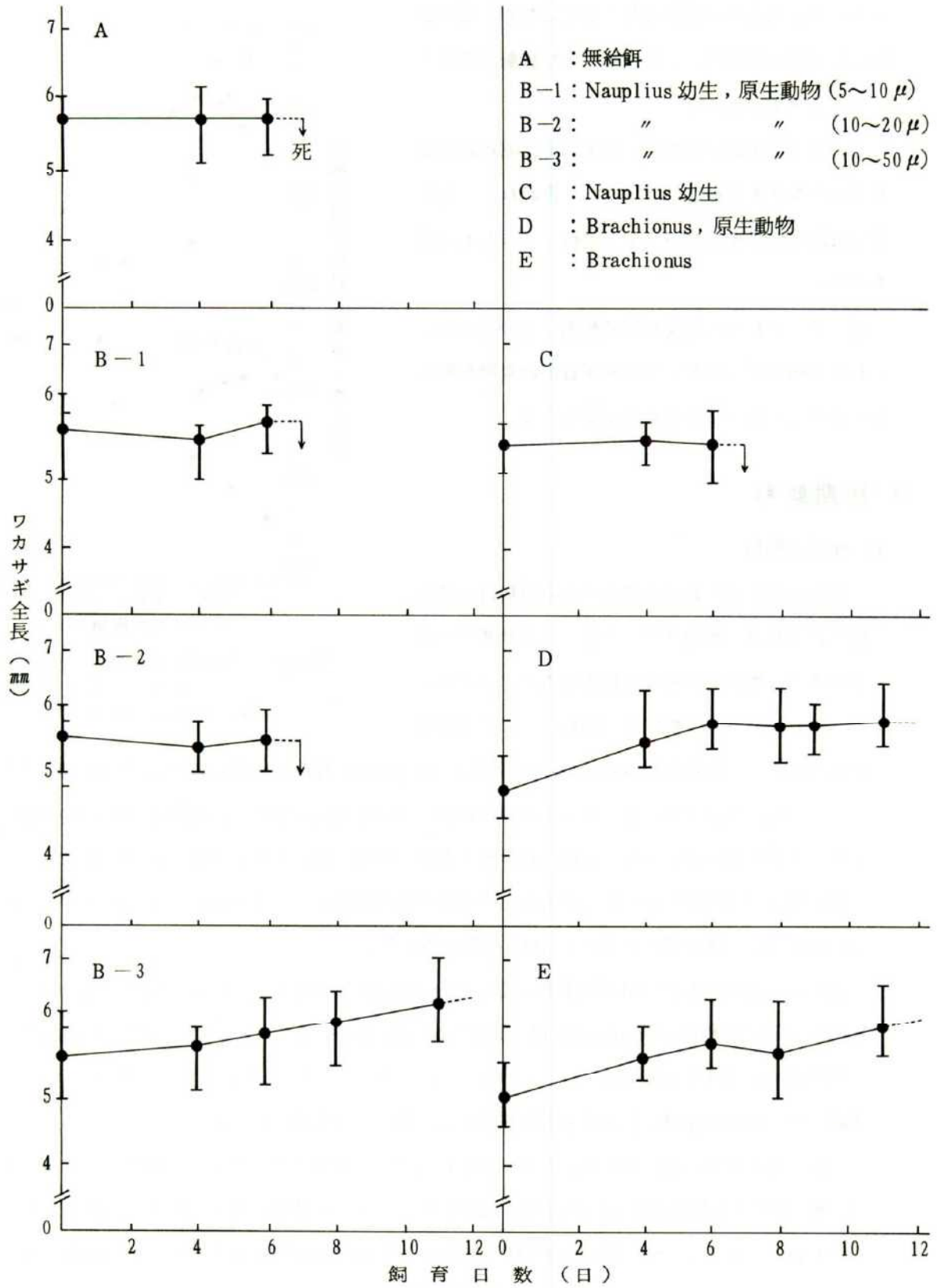
ここでは、飼育実験によってふ化直後の餌料について検討を加えた。試験は36ℓ入りの塩化ビニール製水槽を用いて行い、底には砂利を敷いて循環ろ過とした。水槽には同じ塩化ビニール製の蓋をして内部を暗くし、平均16℃前後の室温に放置した。供試したワカサギはふ化直後の仔魚を用い、各水槽とも500～1,000尾宛放養した。

試験は、(A)無給餌区、(B)原生動物、CyclopsのNauplius幼生区、(C)CyclopsのNauplius幼生区、(D)原生動物、Brachionus区、(E)Brachionus区について行なった。なお、(B)区はさらに原生動物の大きさ別に(B-1)5～10μ、(B-2)10～20μ、(B-3)10～50μについて実験した。餌料の量は、各区とも毎日検鏡して計数し、適宜投与した。

試験の結果を第2図に示した。ワカサギ稚仔魚による動物プランクトンの摂餌可能な大きさは、堀・他⁴⁾にも報告されているように、動物プランクトンの体幅の大きさによって決まるものと思われる。従って、(C)、(E)区の歩留りの差はCyclops Nauplius幼生の最小形の体幅が102.0μであるのに対し、Brachionusの最小形の体幅が51.0μであることによるものであろう。また、(B)区については、CyclopsのNauplius幼生を摂餌できる大きさになるまで原生動物を捕食し、

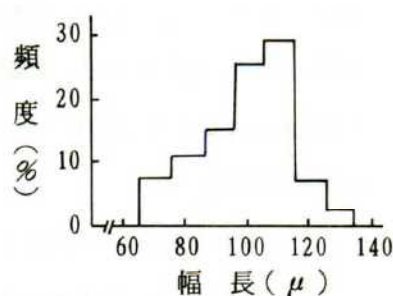


第1図 月別平均最大風速(筑波山2～4月)とワカサギ漁獲量(昭43～54年)



第2図 餌料の種類と成長

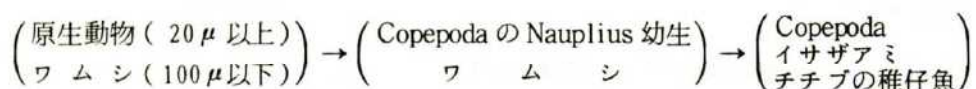
その後CyclopsのNauplius幼生へと移行していったものと推測される。このことは、(D)と(E)区からもうかがわれる。飼育9日目の両区の生残尾数をみると、(D)区が72尾/ℓであるのに対し、(E)区は1/2の36尾/ℓであった。これは第3図に示したように、小型のBrachionusの占める割合が少なかったために、原生動物が混在していた(D)区の生残率が高くなったものと思われる。



第3図 Brachionusの体幅長組成

以上の結果から、①CyclopsのNauplius幼生のみでは成長がみられない。②20μ以上の原生動物が混在している場合は、CyclopsのNauplius幼生への摂餌が速やかに行なわれる。③Brachionusの体幅長組成によっては、20μ以上の原生動物が混在していた方が生残が良い。等ということが明らかになった。なお、ワカサギ仔魚にとって、20μ以上の原生動物が重要な意味を持っていることが判ったが、どのような種類の原生動物が餌料として価値が高いかということについては明らかにできなかった。しかし、ワカサギ仔魚の肛門附近に鮮やかな緑色をしたPandorina等がみられることから、緑色鞭毛藻類の利用価値は低いのではないと思われる。

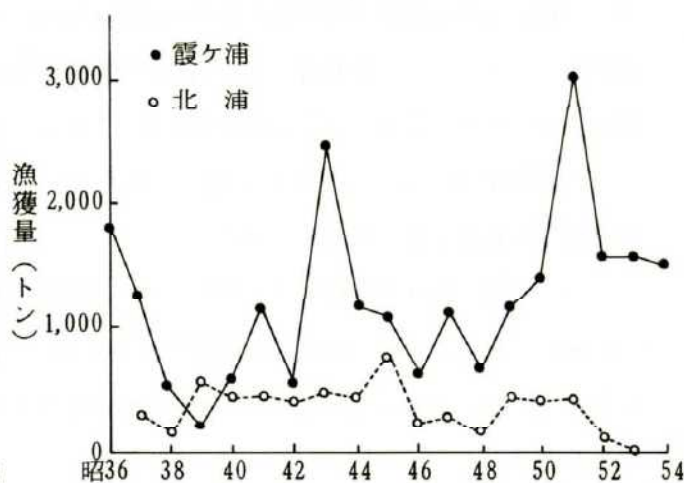
霞ヶ浦、北浦におけるワカサギの成長段階別の餌料は、一般に次のように示すことができる。



(2) 餌料の量

ワカサギ成魚期の餌料であるイサザアミについては、第4図に示したように、霞ヶ浦ではここ数年約1,500トン前後の漁獲量があり、餌料としての量的な不足は現在のところ考え難い。しかし、北浦では昭和53、54年と漁獲量は激減しており、餌料としては不安定な状態にある。

一方、チチブの稚仔魚については、チチブの漁獲量が判らないため明らかではないが、昭和52年に霞ヶ浦周辺で行なわれたいさぎごろ曳き網及び張網の月別漁獲量調査⁵⁾によると、ハゼ類の約49%がチチブであるので、この値を用いてチチブの漁獲量を推定すると、霞ヶ浦では毎年約1,000トンが、北浦では約200トン前後の漁獲量が



第4図 イサザアミの漁獲量

あがっていることになり、餌料としての量的な問題はないものと思われる。従って、現在の霞ヶ浦、北浦で重要なのは、初期餌料としての原生動物（20 μ 以上）、ワムシ類及び Copepoda の Nauplius 幼生等であると考えられる。

(i) 原生動物

ワカサギの初期餌料として、20 μ 以上の原生動物が重要であることが明らかになったので、3～4月の霞ヶ浦、北浦における20 μ 以上の原生動物の量を昭和56年について調べた。調査方法は、表層水を採水後試験場に持ち帰り、直ちに30mlを試験管に採取して、これにルゴール液（100mlの蒸留水にI：3g，KI：5g，NaCl：0.7gを溶解）を1滴添加し、静置した後上澄みを捨てて一定量を検鏡した。

結果を第1表に示したが、これによると霞ヶ浦、北浦とも1ml当り約10個以上と多量に存在しており、餌料としての量的な不足はないと思われる。

(ii) 動物プランクトン

第5図に湖沼観測結果表^{6,7)}から昭和43年～54年までの2～5月の霞ヶ浦湖心、及び北浦の白浜沖におけるCopepodaのNauplius幼生及びワムシ類の量的変化を示した。これによると現在の霞ヶ浦では、ワカサギの初期餌料としての

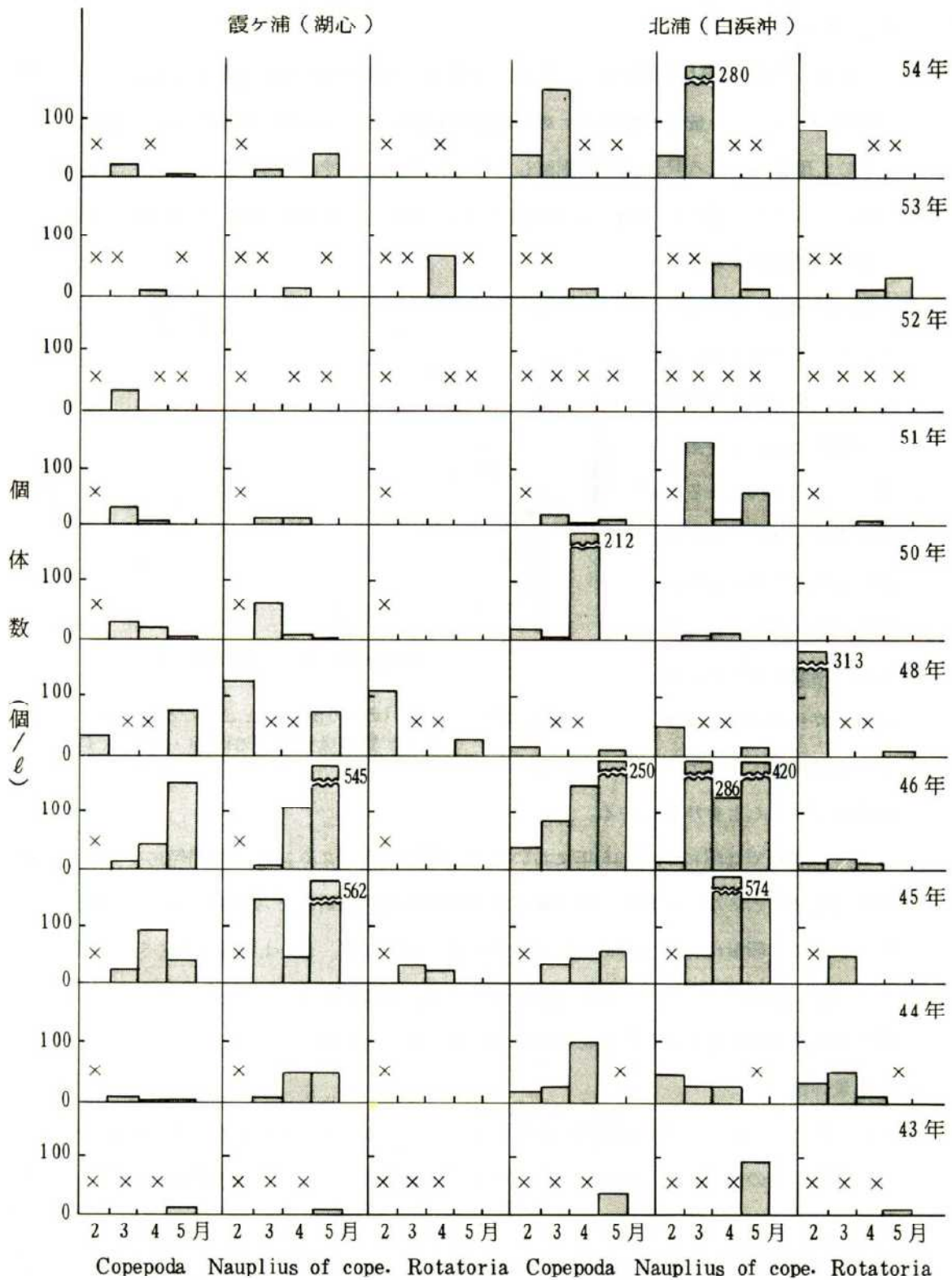
ワムシ類の占める割合は非常に小さく、CopepodaのNauplius幼生によってその大部分が賄われているといっても過言ではなく、原生動物→CopepodaのNauplius幼生という摂餌形態が主要なものとなっていると考えられる。しかし、このCopepodaも年によって変動が大きく、昭和44年のように僅かに2個/lしか存在しない場合もあり、ワカサギの餌料としては極めて不安定なものとなっている。

一方、北浦における動物プランクトンは、近年減少傾向がみられるものの、一般に霞ヶ浦に比較して多く、ワムシ類も常に観測されている。このような動物プランクトンの量的並びに質的な差異が両湖におけるワカサギ漁獲量の年次別傾向の違いとして表われているものと思われる。

ワカサギの初期餌料として、小型のワムシ類及びCopepodaのNauplius幼生が重要である

第1表 霞ヶ浦、北浦における原生動物量（20 μ 以上）

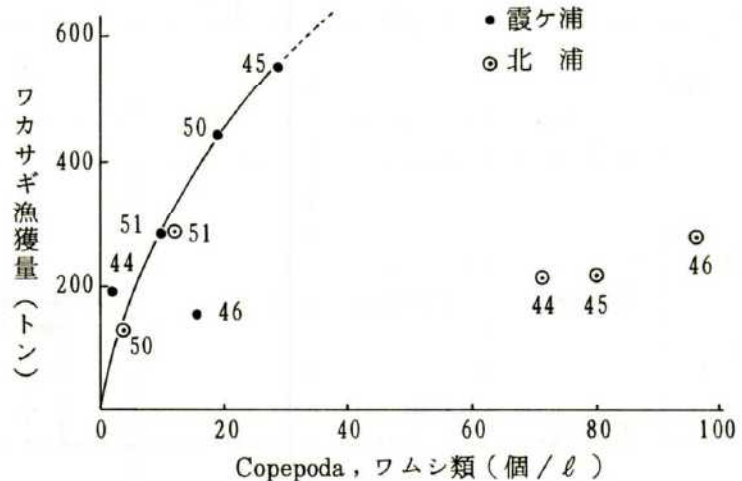
区分	地点	月日	
		56. 3. 28	56.4.7～9
霞ヶ浦	麻生	17	3
	湖心	11	33
	牛渡	24	11
	大井戸	25	36
	高崎	19	119
	平均	19	40
北浦	外浪逆浦	-	15
	水原	-	10
	白浜	-	13
	江川	-	23
	帆津倉	-	13
	高田	-	5
平均	-	15	



第5図 動物プランクトンの現存量
×欠測

ことから、ワカサギの生産量は3〜4月のワムシ類及びCopepodaの量によって決められることになる。

霞ヶ浦、北浦における動物プランクトンの量は、比較的短期間に変動するので、3〜4月の動物プランクトン量を把握するためには調査回数を多くし資料の集積を図る必要がある。しかし、現在のところ月1回の観測値しかないため、ここでは第5図から便宜的に3月と4月におけるワムシ類にCopepodaを加えたものの中で、低い方の値を霞ヶ浦及び北浦の3〜4月の動物プランクトン量の最小値とすることにした。この値を用いて、その年のワカサギ漁獲量との関係をみたのが第6図である。これによると、霞ヶ浦におけるワカサギの生産量は、3〜4月の動物プランクトン量と明らかに相関がみられ、最近のワカサギの生産量が主に初期餌料によって左右されていることを示している。



第6図 3〜4月のCopepoda,ワムシ類の量とワカサギ漁獲量(数字は昭和・年を示す)

一方、北浦では昭和44〜46年においては、動物プランクトン量に無関係にワカサギの漁獲量はほぼ同じになっており、ワカサギの生産量が初期餌料によって限定されていたのではなく、主に産卵量によって決められていたものと思われる。しかし、昭和50,51年では霞ヶ浦と同様、動物プランクトン量によってワカサギの生産量が決められている傾向がみられ、最近の北浦は霞ヶ浦と同じ状態に近づきつつあるものと思われる。

(3) 生産量の推定

最近の霞ヶ浦においては、初期餌料の量によって、ワカサギの生産量が大きな影響を受けていると思われるので、ここでは動物プランクトンの量から、ワカサギの生産量を求めることを試みた。

或る水域でのワカサギの生産量は、そこに存在する餌料の量によって決まるものとし、なお且つ、ワカサギは餌料を均等に摂餌するものと仮定すると、その水域におけるワカサギの許容尾数は次のように表わすことができる。

$$N = \frac{P}{f}$$

但し、N：或る水域におけるワカサギの尾数

P：或る水域での動物プランクトン量

f：ワカサギの日間摂餌量

(i) Pについて

霞ヶ浦、北浦でのワカサギの初期餌料は、主に Copepoda の Nauplius 幼生であるから、Copepoda の 1 日当りのふ化量を求める必要がある。

Copepoda の 1 日当りの産卵量(B)は便宜的に $B = E/D$ (E：1 個体当りの抱卵量、D：ふ化日数)と表わされるので、Po を総個体数、K を抱卵率とすると、その時のふ化量(P)は、 $P = K \cdot Po \cdot B$ と示される。Cyclops のふ化日数は、水温 13℃で 4 日⁸⁾であるので、この時期の両湖の水温が約 15℃前後であることからこの値を用いることにする。これらの値を用いて、昭和 56 年 3 月 31 日における霞ヶ浦での Copepoda の 1 日当りのふ化率 (P/Po) を算出したのが第 2 表である。各水域で変動がみられるが、ここで

は平均値の 17.8%を用いることにする。

3～4 月の霞ヶ浦、北浦では、Cyclops が優占種である。Cyclops のふ化直後の Nauplius 幼生の幅長は約 102 μ であるが、ここでは Nauplius 幼生の個体

重量を 102.0～142.8 μ の平均個体重量である 0.5 μg を用いることにする。

第 2 表 霞ヶ浦における Copepoda のふ化量

地 点	測定月日	Copepoda	抱卵率	ふ化率
		個/ℓ	%	%
麻 生	56. 3. 31	6.2	0.28	6.1
湖 心	"	3.5	2.05	43.7
沖 宿	"	3.2	0.56	11.9
木 原	"	5.8	0.92	19.6
大井戸	"	2.5	0.36	7.7
平 均	-	4.2	0.83	17.8

(ii) fについて

ワカサギの日間摂餌量については、大きな個体についてはイサザアミを、小さな個体については Moina を投餌して求めた。即ち、良く馴致したワカサギに大きさの揃ったイサザアミ、または、プランクトンネット地で篩別して大きさを揃えた Moina を十分量投与した。24 時間後、水槽内のイサザアミ、または Moina の数を計算し、投与量の差に平均個体重を乗じて日間摂餌量を求めた。試験時の水温は平均 19.6℃であった。結果は第 7 図に示すように $f = 0.071W^{0.835}$ (f：日間摂餌量 (mg), W：体重 (mg))と表わされる。

次に、体重 3.3 g のワカサギを用い、流水方式で水温別の酸素消費量を求めた。溶存酸素量

の測定は、Winkler 法によった。
 結果は第 8 図に示したように、
 $Q_{10} = 2.6$ であったので、水温と摂
 餌量との関係は $f = 0.011e^{0.094T}$
 $\cdot W^{0.84}$ (T: 水温 (°C)) となる。

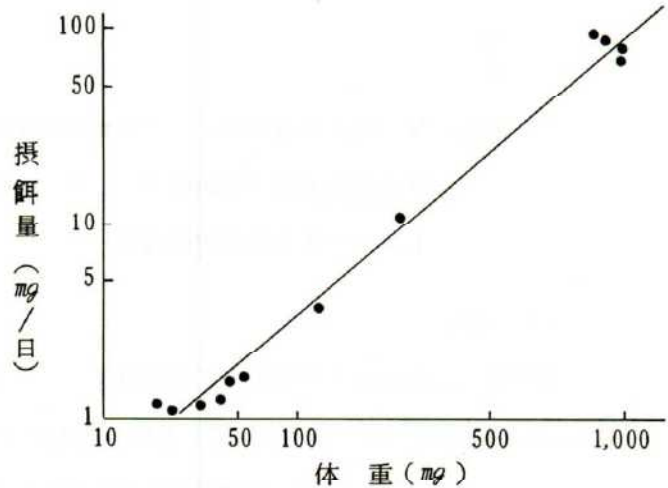
(iii) $N = \frac{P}{f}$ の検証

熊丸⁹⁾は、霞ヶ浦周辺のコイの
 養殖池に湖水を満たした後止水と
 し、これにワカサギの受精卵約 8
 万粒を放養して、経過日数に伴う
 ワカサギ稚魚の尾数と動物プラン
 クトン量を測定している。そこで、
 これらの結果を適用し、現場にお
 いて実際にこの式が使用できるか
 どうか検討を行なった。

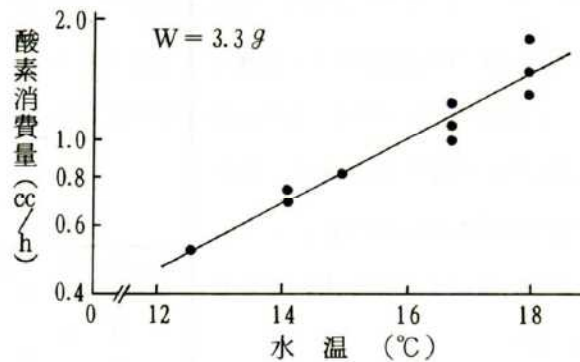
採集された動物プランクトンは、
 Cyclops, Brachionus, Asp-
 lanchna 及び Copepoda の N -
 auplius 幼生等であったが、計算に用いる動物プランクトンは Cyclops 及び Brachionus
 とし、ワカサギの稚仔魚にとって摂餌困難と思われる Asplanchna 等の大型のプランク
 トンは除いた。なお、Brachionus の 1 日当りのふ化率は Copepoda と同じと仮定した。試
 算した結果を第 3 表に示したが、実測値と計算値がよく一致しており、この式が十分実用に
 堪え得るものと思われる。

次に、この式を用いて霞ヶ浦、北浦で、実際にどの程度のワカサギの生産量が可能である
 か検討した。動物プランクトンの生産量が明らかでないで、ここでは第 5 図から 3 月と 4
 月の動物プランクトン量の中で低い方の値を使用し、この 1 日当りのふ化量を霞ヶ浦、北浦
 での一般的な値として用いることにした。

ワカサギは既に述べたように、3~4 月は動物プランクトンに依存しているが、成長する
 につれてイサザアミの稚仔も摂餌するようになる。ふ化直後のイサザアミの幅長は、約 420
 μ であるので、堀・他⁴⁾の報告から推測すると、摂餌可能なワカサギ稚魚の全長は約 2 cm、体



第 7 図 ワカサギの日間摂餌量



第 8 図 ワカサギの酸素消費量

重約24mgとなる。以上の値から 各年の生産可能な尾数を求めたのが第4表である。霞ヶ浦、北浦のワカサギの平均体重を5g及び4gとして、各々の湖におけるワカサギの年間漁獲量を除いて、稚魚時の尾数とした値も併せて示した。勿論、この値は正確なものではないが、一応の目安として用いることにする。これによると、計算値と実際のワカサギの尾数との間にかなりの差がある。これは、動物プランクトンの生産量等に問題があるためとも考えられるが、しかし、これは後述するように霞ヶ浦では他魚種による餌料の競合の結果であり、

北浦では昭和46年までは餌料が十分存在していたためであり、昭和50.51年では霞ヶ浦と同様、他魚種による餌料の競合の結果であると考えた方がより適当であると思われる。

第3表 生産量の推定(湖水注入池)

池名	測定月日	平均体重	許容尾数	取揚尾数	放養卵数
				(55.5.12~16)	
牛渡	55.4.7	0.9 ^{mg}	尾/トン 9	尾/トン 22	千粒 80
	15	3.1	168		
	21	3.2	12,510		
	28	4.0	1,639		
沖宿	55.4.15	0.8	40	17	80
	21	2.8	36		
	28	4.5	23		
手賀	55.4.7	1.3	52	4	80
	15	3.6	125		
	21	11.2	112		
	28	20.9	4		
麻生	55.4.15	0.7	32	42	80
	21	1.5	137		
	28	5.4	46		

(注) 許容尾数以外は熊丸⁹⁾の資料より作成

第4表 霞ヶ浦、北浦におけるワカサギ生産量の推定

年	霞ヶ浦		北浦	
	漁獲量からの推定値	計算値	漁獲量からの推定値	計算値
	×10 ⁶ 尾	×10 ⁶ 尾	×10 ⁶ 尾	×10 ⁶ 尾
44	41	816	53	1,209
45	109	11,016	53	1,677
46	27	1,768	69	3,614
50	88	1,768	33	91
51	54	1,700	47	247

4 餌料の競合

3-4月の動物プランクトン量によってワカサギの生産量が決められるとすると、この時期にふ化する他の魚種による餌料の競合が大きな問題となる。

ワカサギと同時期にふ化し、且つ量的にも多い魚種としては、ハゼ類のウキゴリとジュズカケハゼがある。これらの魚種は、ふ化すると直ちにワムシ類の摂餌は勿論のこと、CopepodaのNauplius幼生の摂餌が可能である。従って、ワカサギと同じ時期にふ化したとしても、餌料の点では、ワカサギよりもはるかに有利な立場にあるといえる。

ウキゴリとジュズカケハゼの資源量については明らかにされていないので、ここでは先に引用した張網等の調査で得られた値⁵⁾で単純にハゼ類の年間漁獲量を比例配分し、これをウキゴリとジュズカケハゼの平均体重1.4gと0.3gで除して稚魚時の尾数とした。なお、同時期にふ化するシラウオについても平均体重を0.4gとして計算し併せて示した。各値は単位水容積当たりとしてあるが、この場合用いた霞ヶ浦の水容積は、両湖の面積171km²及び34km²に平均水深4mを乗じて求めた6.8×10⁸m³並びに1.3×10⁸m³とした。

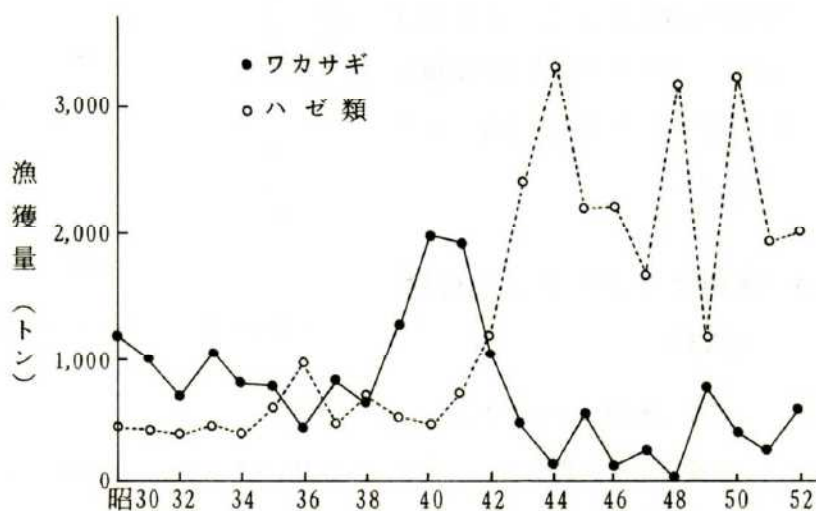
ハゼ類は加工業者による買止め等、経済上の影響を受けやすいなどのため、漁獲量がかならずしも資源量を反映しているとは考え難い。このため、実際の尾数はこれよりもかなり多いと思われるが、他に適当な方法がないため、一応の目安としてこれを用いることとし、第5表に示した。なお、重複するが説明の都合上第4表の値も単位水容積当りの尾数として併せて示してある。

第5表 霞ヶ浦、北浦における生産量の推定

区分	年	計算値	漁獲量からの推定値				
			ワカサギ	シラウオ	ジュズカケハゼ	ウキゴリ	計
霞ヶ浦		尾/トン	尾/トン	尾/トン	尾/トン	尾/トン	尾/トン
	44	1.2	0.06	0.28	1.54	0.81	2.7
	45	16.2	0.16	0.88	1.02	0.54	2.6
	46	2.6	0.04	0.41	1.04	0.55	2.0
	50	2.6	0.13	0.22	1.51	0.80	2.7
	51	2.5	0.08	0.07	0.90	0.47	1.5
	平均	5.0	0.09	0.37	1.20	0.63	2.3
北浦							
	44	9.3	0.41	1.35	1.86	0.98	4.6
	45	12.9	0.41	1.98	2.06	1.08	5.5
	46	27.8	0.53	1.23	2.20	1.16	5.1
	50	0.7	0.25	0.63	1.67	1.67	3.4
	51	1.9	0.36	0.96	0.95	0.95	2.8
	平均	10.5	0.39	1.23	1.75	0.92	4.3

先づ、霞ヶ浦についてみると、ウキゴリとジュズカケハゼの稚魚の摂餌量がワカサギ稚魚の摂餌量と同じであると仮定すると、生産可能な尾数のうち大部分をハゼ類が占めていることになる。

ハゼ類の漁獲量は第9図からも明らかなように、昭和42年頃のワカサギ漁獲量の減少と時を同じくして増加している。この理由として、漁獲圧力の上昇によるワカサギ資源の減少が、ハゼ類の稚仔魚に対する捕食圧の低下をもたらした結果であ



第9図 霞ヶ浦におけるワカサギ、ハゼ類の漁獲変動

ると考えられている。しかし、この説明ではハゼ類の約半分を占めるチチブの資源量増加に対しては有効であるものの、チチブ同様に資源量が増加していると思われるジュズカケハゼやウキゴリについては、ワカサギの捕食対象とはなり得ないために説得力に欠けるきらいがある。従って、ジュズカケハゼ及びウキゴリの資源量増加については、餌料の競合魚種であるワカサギが昭和42年頃に行われた漁法の転換を契機として減少した結果である、と考えた方がより適当ではないかと思われる。

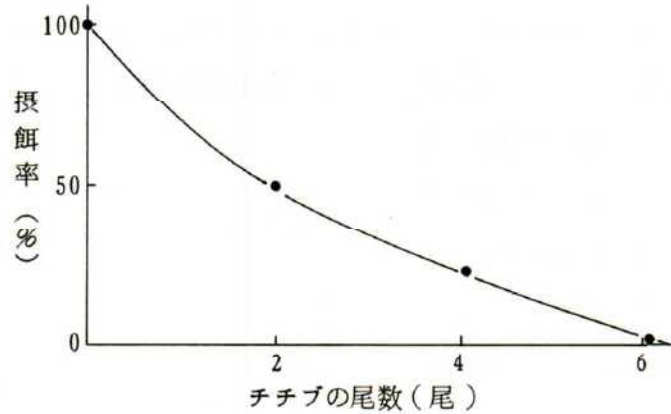
このように、霞ヶ浦では限られた餌料をワカサギ、シラウオとジュズカケハゼ及びウキゴリとが互いに奪い合うという状態にあると考えられる。

一方、北浦についてみると、霞ヶ浦に比較して単位水容積当りの尾数が多く、ウキゴリ、ジュズカケハゼでは霞ヶ浦の約1.5倍、ワカサギでは約4倍も多くなっている。ワカサギの生産量がこのように多いのは、漁期末における単位水容積当りの残存資源量が霞ヶ浦に比較して多いか、または、卵からの歩留りが霞ヶ浦より高いことを示しており、なお且つ、それを支えるだけの餌料が存在していることを意味しているものと思われる。

第10図は、20ℓの水槽に体重3.2gのワカサギ1尾を入れ、平均体重約0.95gのチチブを尾数を変えて混養することによって、投餌したMoinaの捕食量にどのような影響が表われるかを示したものである。これによるとチチブの尾数が増加するにつれてワカサギの摂餌量は次第に減少している。

霞ヶ浦、北浦におけるワカサギに対するジュズカケハゼ及びウキゴリの割合は、第5表から

計算すると、北浦で約7倍、霞ヶ浦では約20倍となっている。棲息場所の問題もあるが、これら競合魚種のワカサギにおよぼす影響は、特に霞ヶ浦では無視できないものと思われる。



第10図 ワカサギの摂餌におよぼすチチブの影響

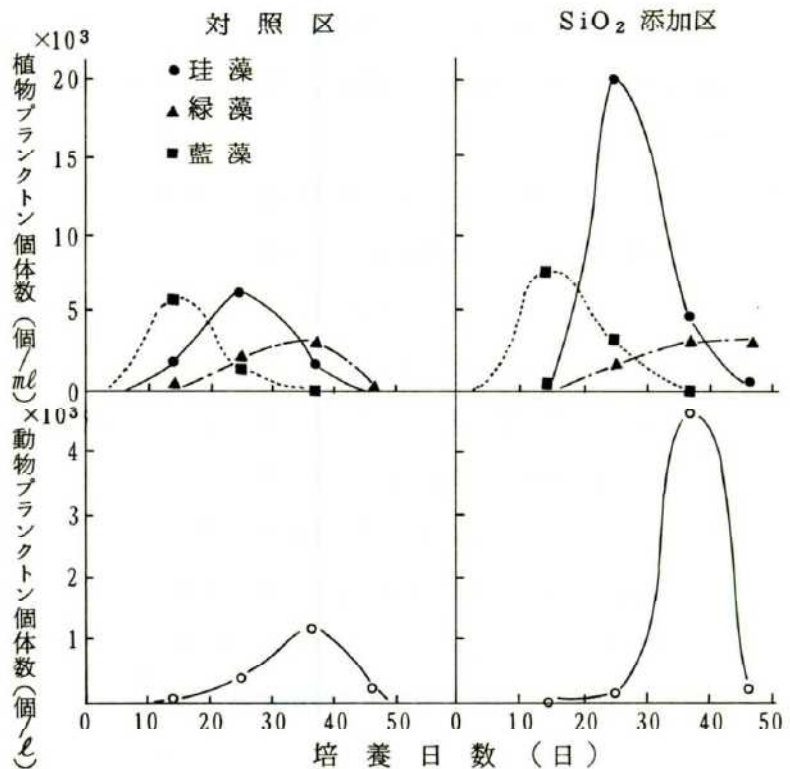
5 植物プランクトンの種類と餌料

(1) 珪藻と動物プランクトン

緑藻の増殖が動物プランクトンの生産、ひいてはワカサギの生産に悪影響をおよぼしていることは既に報告されている。¹⁰⁾そこで、ここでは植物プランクトンの種類と動物プランクトンの生産との関係について検討した。

500ℓのパナライト水槽2個に、各々霞ヶ浦の底泥を約2cm敷き、湖水を満たした後、 NH_4NO_3 50g、 K_2HPO_4 25gを加え、10～16℃の室温に放置した。この時の湖水の SiO_2 濃度は約7ppmであったが、一方には $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ を加え約24ppmとした。また、水槽は窓際に置き、光が十分当るように心掛けた。

第11図に2個の水槽における植物プランクトン及び動物プランクトンの経日変化を示した。なお、各藻類の優占種は珪藻ではSynedra, Cyclotella, 藍藻ではDactylococcopsis, 緑藻ではGolenkiniaであった。また動物プランクトンはBrachionusが殆んどであった。これによると、珪藻が多量に



第11図 植物プランクトンの種類と動物プランクトンの生産

増殖している水槽では動物プランクトンが約4倍も多く増殖している。藍藻類や緑藻類の増殖傾向が2つの水槽ではほぼ同じであること、珪藻の増殖傾向と動物プランクトンの増殖傾向が一致していること。また、BrachionusがSynedraをよく摂餌することが顕微鏡下で観察されること、及びCopepodaの糞粒中にSynedraの殻が多数含まれていることなどから、珪藻と動物プランクトンの増殖との間には密接な関係があることがうかがわれる。

(2) 珪藻の消長

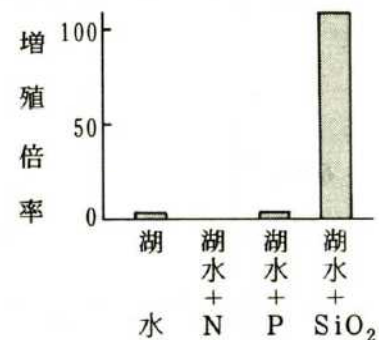
先きのタンクバット試験でも明らかであるが、珪藻にとって SiO_2 が必須物質であることはよく知られている。そこで、霞ヶ浦において1870年頃からみられる珪藻の減少¹¹⁾は、 SiO_2 の不足が一因ではないかという仮定のもとで試験を行なった。

試験は湖水への SiO_2 添加による珪藻の培養という型で行なった。一つは昭和55年12月に湖心で採水した水を減圧滅菌後、ポリスチレン製培養器にとり、霞ヶ浦の湖水から分離培養したSynedra sp.を一定量ずつ加えた。試験はN添加区、P添加区、 SiO_2 添加区及び対照区(無添加区)の4区とした。N、P、 SiO_2 源は $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \text{KNO}_3$ 、 β -グリセロリン酸ナトリウム及び $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ を用い、N、P、 SiO_2 としては、59.3、5.1及び28.3 ppmであった。なお、湖水の SiO_2 濃度は6.5 ppmであった。培養は40W蛍光灯を照射し、20℃の恒温槽に入れて行なった。

13日後の培養結果を第12図に示したが、これによると現在の霞ヶ浦では SiO_2 が制限要因となっているために珪藻の増殖が抑えられているものと思われる。

次に、36ℓ水槽5個に昭和56年4月に採水した湖水を満たし、各水槽に KNO_3 をNとして約30 ppm、 KH_2PO_4 をPとして約4 ppmとなるよう加えた湖水を微量定量ポンプを用いて毎分0.9ml連続的に注入した。注入する湖水の SiO_2 濃度は平均4.2 ppmであったが、種々の SiO_2 濃度で試験を行うため、注入湖水には $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ を添加し、 SiO_2 として5.4、7.3、8.9及び10.9 ppmとなるようにした。なお、水槽には光が十分当るよう窓際に設置し、通気を行なった。試験中の水温は16～22℃の範囲であった。

試験は28日間行なったが、この間の各藻類の最大増殖量を SiO_2 の濃度別に第13図に示した。各藻類の優占種は珪藻ではSynedra, Cyclotella, 藍藻ではDactylococcopsis, 緑藻ではActinastriumであった。これによると SiO_2 の濃度が高い程珪藻はよく増殖しており、霞ヶ浦での珪藻の減少は SiO_2 の不足によるものであろうという先きの試験結果と一致してい

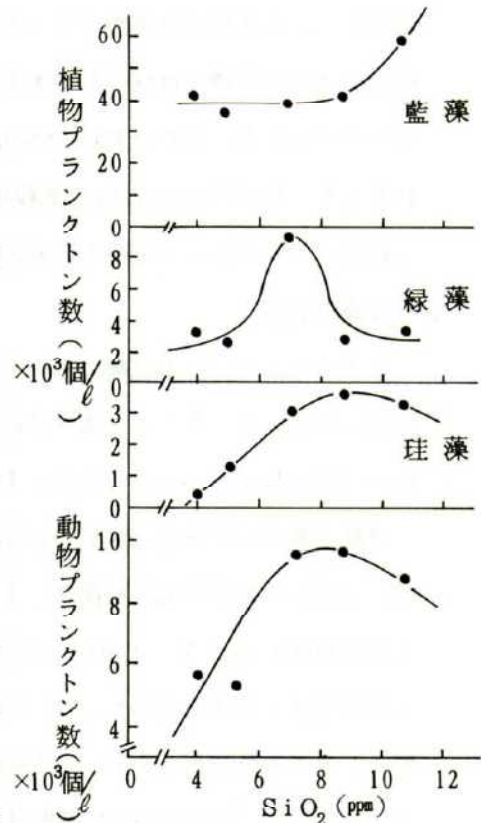


第12図 湖水への各種添加とSynedra sp.の増殖

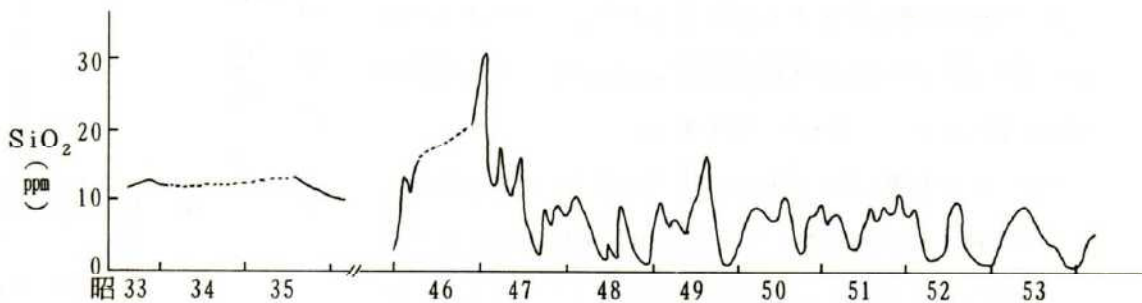
る。なお、同時に動物プランクトン (Brachionus が優占) についても図示したが、これによると、 SiO_2 の濃度が高い程生産量が多く、珪藻の増殖傾向とよく適合しており、先きの実験結果とも一致している。

霞ヶ浦、北浦における SiO_2 の測定例は非常に少ないが、第14図に霞ヶ浦木原沖での SiO_2 の年変動を、東京都¹²⁾ 及び茨城県企業局¹³⁾ の資料をもとに示した。これによると最近では年変化に一定の傾向がみられ、冬期間の SiO_2 量は極端に低く殆んど0に近い値となっている。これに比べ、昭和33, 35年では一年を通じてほぼ10ppm代と安定している。

珪藻は比較的低温が増殖適温といわれており¹⁴⁾ 一般に秋～春に増殖する植物プランクトンである。しかし、このように霞ヶ浦ではその増殖適期に必須物質の SiO_2 が0に近くなっていることから、 SiO_2 が制限要因となっていることが十分うかがわれる。



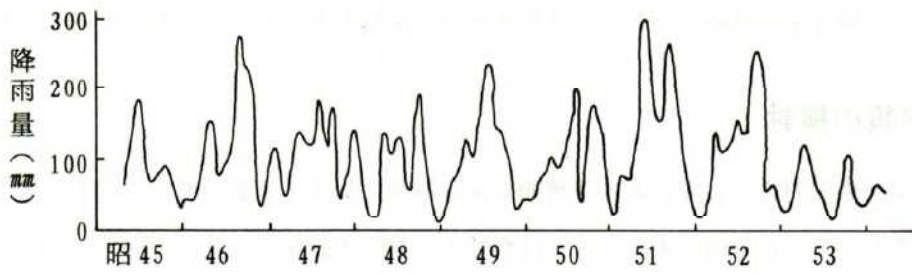
第13図 湖水への SiO_2 の添加とプランクトンの増殖



第14図 霞ヶ浦 (木原沖) における SiO_2 の変化
(東京都, 霞ヶ浦総合利水調査
(茨城県, 企業局水質年報より作成))

霞ヶ浦、北浦への SiO_2 の供給は、主として流入河川水によって行なわれているものと思われる。従って、冬期間に SiO_2 濃度が低いのは第15図²⁾ に示したように、この時期の降雨量が少ないためであり、昭和33, 35年にこのような傾向がみられないのは、利根川の水が常に湖内に流入していたためと思われる。

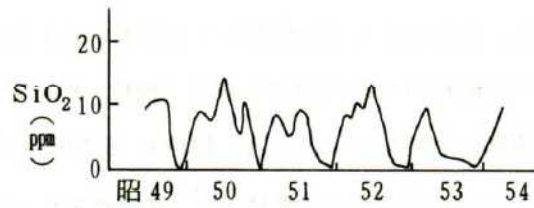
このように SiO_2 の供給量がワカサギの餌料である動物プランクトンの生産に大きな影響を与えているとすれば、ワカサギにとっての適地水域が流入河川の多い高浜入りや土浦入りなど



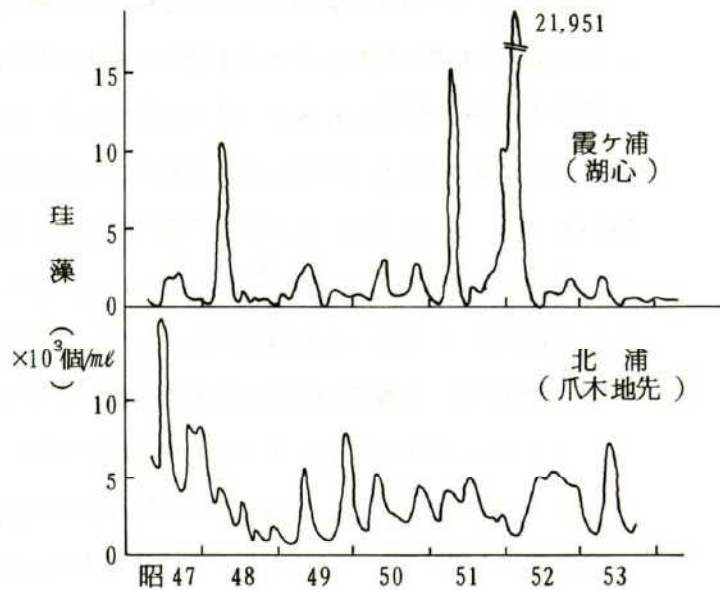
第15図 館野における降雨量（水戸气象台，気象月報より作成）

の湖奥部に限られているのはごく当然のことといえる。

一方、北浦における珪藻の消長については定かではないが、利根川からの流入水が断たれたことにより、霞ヶ浦同様減少傾向にあるものと思われる。第16図に茨城県企業局の報告¹³⁾から北浦の爪木地先でのSiO₂の年変動を示したが、霞ヶ浦と全く同じ傾向を示している。しかし、同報告から図示した珪藻の年変動をみると、第17図のように北浦の方が霞ヶ浦に比較して珪藻の量は約2倍近くも多くなっており、北浦へのSiO₂の供給量が霞ヶ浦より多いことが判る。



第16図 北浦（爪木）におけるSiO₂の変化（茨城県企業局水質年報より作成）



第17図 霞ヶ浦、北浦における珪藻の変化（茨城県企業局水質年報より作成）

霞ヶ浦、北浦へのSiO₂の供給は、主に流入河川水によって行なわれて

いるであろうことは既に述べた。霞ヶ浦、北浦における年間の流入河川水量は、昭和47年の調査¹⁵⁾では各々 $836.96 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、及び $246.92 \times 10^6 \text{ m}^3$ である。両湖の水容積は $6.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 及び $1.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ であるから、これらの水容積で各湖への流入水量を除いて、単純に置換率を求めると、霞ヶ浦で1.24、北浦では1.92となり、北浦の置換率は霞ヶ浦に比較して約1.5倍となっている。両湖における流入河川水のSiO₂濃度が等しいとすれば、この置換率の差がSiO₂供給量の多い原因であり、珪藻現存量を多くしている理由であろう。そして、このことが動物プラ

ンクトンの現存量を高め、ひいてはワカサギの生産量を多くしているものと考えられる。

6 増殖対策の検討

ワカサギの増殖対策として、人工受精卵やふ化稚魚の放流、漁期、漁区の制限などの対策が講じられてきたが、これらの効果については判然としないものが多い。この原因については本報告で既に検討してきたが、ここで改めて考えてみたい。

(1) 人工受精卵の放流

霞ヶ浦、北浦では大正時代からワカサギの人工受精卵の放流が行われており、一時下火になったものの昭和47年からは霞ヶ浦で3億粒、北浦で2億粒の卵が諏訪湖から移入されている。この放流卵の歩留りについては、昭和11年に田内・他¹⁶⁾が11%という値を報告しているが、この値について検討した加瀬林・他¹⁷⁾は疑問視しており、現在では天然産の歩留りと同じであるとする考え方が多い。^{18,19)}

そこで、ここでは他の湖沼での人工受精卵の歩留りから検討してみる。ワカサギが棲息していない湖に受精卵を放流してその歩留りを調査した報告によると、宮城県馬牛沼では6.8～12.7%²⁰⁾上田郊外の溜池では14.8～58.7%及び12.7～22.6%²⁰⁾となっている。また、ワカサギが人工ふ化放流に依存していると考えられている諏訪湖では昭和22～32年では平均12.9%²¹⁾昭和42～55年では3.0～13.2%²²⁾と報告されており、昭和3年に人工受精卵の放流が行われた阿寒湖では平均10%前後²³⁾となっている。昭和45年まで漁獲統計上にワカサギの漁獲量が記載されていなかった印旛沼においては、昭和46年に受精卵の放流が行われると同時に17トン漁獲され、放流卵の歩留りが極めて悪いとされている昭和51年でも5%となっている。²⁴⁾

このように、多数の湖沼で人工ふ化放流卵の歩留りが10%前後の値を示していることから、霞ヶ浦、北浦においてもこの値に近い歩留りが得られていると考えても無理はないであろう。

放流卵の歩留りについては今後さらに検討する必要があるが、ここでは一応この値を用いて考えることにする。最近の霞ヶ浦では、既に述べたように天然産卵の歩留りが低下している傾向がみられるので、放流卵についても同じように小さくなっている可能性が強いが、いずれにしても天然産卵の歩留りよりもかなり良いものと考えられ、放流卵量が多くなれば、その効果は大きくなることになる。

しかし、ここで重要なことはふ化した稚仔魚の餌料が十分に存在するという条件が必要であり、現在の霞ヶ浦のように初期餌料が極端に不足している場合には、放流効果はあまり期待できないことになる。従って放流する場合は餌料がその水域に十分存在するという前提条件が必要である。そのためには、その水域の動物プランクトンの生産量を予測できなければならない

が、現段階ではそれが困難であるので、餌料が比較的多い湖奥部（土浦入り、高浜入り、鉾田入りなどの流入河川の多い水域）に放流するのも一方法と思われる。

(2) 人工ふ化稚魚の放流

人工飼育した稚魚の放流については、現在、その結果を検討中であるのでここでは触れない。しかし、稚魚の放流についても受精卵の放流の場合と同じく、放流した時にその水域に餌料が十分に存在するかどうかで、効果が或る程度決まるものと思われる。

(3) 競合魚種の間引き

初期餌料をめぐるワカサギとウキゴリ、ジュズカケハゼの競合は、特に霞ヶ浦では大きく、ワカサギの約20倍もこれらのハゼ類が餌料を摂取しているものと思われる。従って、ワカサギを主体として考えた場合、これらハゼ類の除去が、ワカサギ生産量の増加につながることは予測される。

しかし、ウキゴリ、ジュズカケハゼのみを対象とする、いわゆる選択漁獲は不可能に近いので、ハゼ類各魚種の資源量を把握し、適正な間引きを行う必要がある。

(4) 残存資源量の増大

最近の霞ヶ浦、北浦では、主に初期餌料によってワカサギの生産量が決められている傾向があるので、残存資源量の増大が直ぐワカサギ生産量の増加につながることは期待できない。しかし、他の増殖対策が講じられている場合には、最も基本的な対策であろう。

以上、現在実施されている増殖対策も含めて考えてみたが、ワカサギ資源量を決めている要因は単純なものではなく、産卵量の減少、競合魚種の増加並びに餌料の不足などの諸要因が相互に関係している。従って、何か一つ対策を講ずることによって、直ちにワカサギ生産量の増加を期待することは極めて困難になっていると思われる。そのため、増殖対策は単に一つだけを実施するというのではなく、幾つかの対策を同時に進めることが肝要であろう。しかし、最近の霞ヶ浦、北浦におけるワカサギの問題は、餌料の量的な問題であるといっても過言ではなく、基本的には餌料問題の解決が望まれるところである。

7 おわりに

霞ヶ浦のワカサギが減少しているため、漁業者のワカサギ漁業に対する危機感是一段と強くなっている。その一方で人工受精卵放流などによる増殖対策の効果について疑問視する見方もでてきている。

このようにワカサギ資源の増殖は急務であるので、現在得られている知見をもとに、ワカサギ資源の変動要因についてまとめることを敢えて試みた。従って、調査や実験が不十分であり、或

いは誤った結論を導き出しているかもしれない。それらの点については、今後の調査、研究の過程で随時訂正していきたい。

なお、漁獲統計は全て農林統計を使用させて戴いた。

8 参考文献

- (1) 鈴木健二(1981)：霞ヶ浦の最近におけるワカサギ資源の動向について－I 本誌 18
- (2) 水戸地方气象台(1968～1979)：気象月報
- (3) 鈴木健二・位田俊臣(1977)：霞ヶ浦における漁業資源の生産構造に関する研究－I 本誌 14
- (4) 堀 直・位田俊臣(1977)：ワカサギの人工種苗生産技術の開発に関する研究－I 本誌 14
- (5) 鈴木健二：未発表資料
- (6) 茨城県内水面水産試験場：湖沼観測結果表(未発表資料)
- (7) 岩崎 順(1979)：昭和53年度の霞ヶ浦、北浦のプランクトン 本誌 16
- (8) 陸水生物生産測定方法論研究会(1969)：陸水生物生産研究法 講談社
- (9) 熊丸敦郎：未発表資料
- (10) 浜田篤信・外岡健夫・岩崎 順・熊丸敦郎・佐々木克典(1979)：霞ヶ浦における藻類の異常発生に関する考察 本誌 16
- (11) 外岡健夫・熊丸敦郎・浜田篤信・津田 勉(1976)：霞ヶ浦の富栄養化に関する研究－I 本誌 13
- (12) 東京都(1959, 1961)：国土総合開発調査、霞ヶ浦総合利水調査
- (13) 茨城県企業局(1970～1979)：茨城県企業局水質年報
- (14) 小久保清治(1960)：浮游硅藻類 恒星社厚生閣
- (15) EX都市研究所(1979)：霞ヶ浦水質保全総合対策解析調査報告書から引用
- (16) 田内森三郎・三善清旭(1936)：琵琶湖、霞ヶ浦、北浦及び諏訪湖の水産増殖について 日水会誌 4(5)
- (17) 加瀬林成夫・中野 勇(1961)：霞ヶ浦におけるワカサギの漁業生物学的研究 VI 本誌 6
- (18) 津田 勉・浜田篤信・加瀬林成夫(1967)：霞ヶ浦におけるワカサギ資源について 本誌 9
- (19) 加瀬林成夫・浜田篤信(1973)：霞ヶ浦におけるワカサギ資源とその管理 本誌 11
- (20) 白石芳一(1960)：ワカサギの水産生物学的ならびに資源学的研究 淡水研から引用
- (21) 白石芳一(1960)：ワカサギの水産生物学的ならびに資源学的研究 淡水研

- (2) 長野県(1980) : 昭和54年度 保護水面管理事業調査結果報告書
- (23) 三原健夫(1946) : 阿寒湖に於けるワカサギの養殖数量に就て 水産孵化場試験報告 1(1)
- (24) 千葉県内水面水産試験場(1977) : 昭和51年度 業務年報