

霞ヶ浦におけるコイ網いけす養殖餌料の現況について

赤野 誠之・岡本 成司

霞ヶ浦のコイ網いけす養殖は、養殖法の簡易さと生産性の高さから飛躍的に発展した。現在までに自動給餌器の導入や、ホイスト・クレーンによる省力化等を含め養殖技術の改良がなされ、養殖法はほぼ完全に体型化されたにみられる。

しかし、環境条件からみると富栄養化にともない水質は悪化の一方であり、昭和48年、53年、54年には植物プランクトンの異常発生に原因する酸欠死が発生し、これら以外の年にも大量斃死が起り、いまでも夏季には水質悪化により摂餌不良となる漁場が多く計画通りの生産がみこめないなど経営上不安定な状況にある。

このような状況の中で、霞ヶ浦の富栄養防止対策として窒素・磷の流入負荷量の削減が計画されており、水産としては網いけす養殖からの負荷量の軽減を計ることが急務となった。

網いけす養殖の負荷量とその軽減策については浜田ら¹⁾の報告がある。ここでの餌料改良による負荷量削減を展開するためには、現在使われている餌料がいかなるものか、また、これらの餌料での養殖成績が現在の水質条件のなかでいかなるものか知ることが必要となる。

このため、霞ヶ浦において市販餌料試験を行い、現状把握を試みたので報告する。

1 市販餌料の組成

霞ヶ浦で使われている餌料を無差別に入手し分析試験を行った(第1表)。

餌料サイズはコイ、250gサイズに適合するものであり、昭和54年5～6月に製造されたものである。

この分析値を昭和48年の餌料分析値²⁾と比較してみると(第2表)粗脂肪が平均値2.96%から5.28%と現在の餌料が高い含有率となっており、脂胞分の表示方法が昭和48年には3～6%以下の含有表示であったが、昭和54年には含有表示が%以上含有するという表示に変わっており、5～6年の間に餌料面からは高脂肪化の傾向がうかがえる。

昭和48年の分析ではCa・P値がないため比較できないが高脂肪化にともない、リン酸塩の添加が必要となり現在の餌料のP含有量が大きくなっている可能性がある(昭和54年1.55～2.05%含有)。

粗蛋白・粗灰分・水分量等は昭和48年と昭和54年で差は認められなかった。

餌料単価については昭和54年には平均126円であるから、昭和48年からみて30%ほどの上昇

第1表 餌料成分分析結果(昭和54年)

単位%, ()内は乾重あたりの%

区分	項目	水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分	Ca	P	粉化率
A		9.06	37.31 (41.03)	6.61 (7.27)	9.92 (10.01)	1.66 (1.83)	1.55 (1.70)	0.8
B		9.18	36.75 (40.46)	5.01 (5.52)	13.44 (14.80)	3.17 (3.49)	2.02 (2.22)	0.1
C		9.04	38.06 (41.84)	5.10 (5.61)	12.23 (13.45)	2.74 (3.01)	2.05 (2.25)	0.2
D		8.94	37.19 (40.84)	5.12 (5.62)	11.50 (12.63)	2.31 (2.54)	1.85 (2.03)	0.1
E		8.90	38.13 (41.86)	4.57 (5.02)	10.94 (12.01)	2.55 (2.80)	1.63 (1.79)	0.2
平均		9.02	37.49 (41.21)	5.28 (5.80)	11.61 (12.76)	2.49 (2.74)	1.82 (2.00)	0.28

分析法 水分量 : 110℃乾燥法

粗蛋白 : セミマイクロケルダール・ホウ酸吸収法

粗脂肪 : エーテル抽出重量法

灰分 : 550~600℃灰化法(2 hrs)

Ca : シュウ酸アンモニウム酸化滴定法

P : リン・モリブデン酸アンモニウム・アルカリ滴定法

Ca, Pとも過塩素酸湿式灰化法

粉化率 : 4mm目篩を使用

第2表 餌料成分分析結果(昭和48年)

単位%, ()内は乾重あたりの%

区分	項目	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	単価円/kg
A		8.1	38.7 (42.1)	2.0 (2.1)	10.0 (10.9)	93
B		8.8	37.6 (41.2)	3.2 (3.5)	11.9 (13.0)	94.5
C		9.1	36.5 (40.2)	3.0 (3.3)	11.1 (12.2)	92.5
D		8.3	39.8 (43.5)	3.2 (3.5)	10.6 (11.5)	91.5
E		7.6	39.2 (42.4)	3.4 (3.7)	12.9 (14.0)	94.5
平均		8.38	38.36 (41.88)	2.96 (3.22)	11.3 (13.32)	93.2

がある。

2 霞ヶ浦での飼育試験

餌料成分分析を行った5種の餌料で飼育試験を実施した。

設置場所は当場地先の霞ヶ浦で、網いけすは $2 \times 2 \times 2$ mの10～14節ナイロン・ラッセル網を使い、250 gサイズの種苗を購入し供試した。

コイ種苗は、昭和54年7月10日～30日にわたり予備飼育を行い十分に馴致した時点から試験を始めた。

試験期間は3週間を1期として4回繰返しを行い、10月22日まで84日間である。この期間中網いけす位置や網目の変更は行わなかった。飼育結果を第3表に示した。

第3表 昭和54年コイ網いけす飼育記録

測定日	項目	区分	A	B	C	D	E
7/30	重量 kg		64.9	58.4	59.0	58.8	56.5
	尾数		260	242	244	252	237
	平均体重 g		249.6	241.3	241.8	233.3	238.4
8/20	重量 kg		88.3	84.0	81.3	78.6	75.3
	尾数		(258)	(241)	(243)	(248)	(234)
	給餌料 kg		28.8	30.0	28.1	28.7	28.9
	斃死・不明(逃げ)		2	(1)	1	4	2
9/10	重量 kg		109.9	109.1	103.9	99.9	92.2
	尾数		(258)	(239)	(243)	(247)	(234)
	給餌料 kg		32.3	32.5	30.3	32.0	31.1
	斃死・不明(逃げ)			(2)		(1)	
10/1	重量 kg		124.6	122.1	117.6	117.1	104.5
	尾数		(257)	(237)	(243)	(247)	(233)
	給餌料 kg		18.9	20.9	19.5	20.8	17.2
	斃死・不明(逃げ)		(1)	(2)			
10/21	重量 kg		133.5	130.4	129.4	126.4	113.8
	尾数		244	234	242	240	231
	給餌料 kg		20.6	21.0	21.2	20.9	22.3
	斃死・不明(逃げ)		1(1)		(1)		(1)

給餌回数は午前2回，午後2回の4回とし，1回30分以上給餌するようにした。土曜日は午前中のみ，日曜・休日は給餌を行わなかった。

給餌量は各区とも同量とし試験開始時で体重の2.5% (2kg/日)としたが，増重にともなっても給餌量を増量することができず実験終了時まで2kg/日となった。この給餌量でも餌の残る日数が第3期以降に多くなった(第4表)。なお土曜日の給餌量は1kg/日とした。

第4表 給餌日数と残餌日数

期間	区分	給餌日数	残 餌 日 数				
			A	B	C	D	E
第1期	7月30日～8月20日	17	2	1	2	2	1
第2期	8月21日～9月10日	17	3	2	3	3	3
第3期	9月11日～10月1日	15	6	7	9	8	11
第4期	10月2日～10月21日	15	6	6	6	7	6

摂餌の悪い時期の時間別の投餌率を第5表に示した。午前8時30分の1回目の投餌では摂餌行動がほとんど認められず，午前11時以降に摂餌が認められ始めることが特徴であり，休日あけの

第5表 日間投餌比率(%)

区分	9/12					9/13					9/14				
	8:30	11:00	13:00	15:30	合計	8:00	11:00	13:00	16:00	合計	8:30	11:00	13:00	16:00	合計
A	0	25	30	45	100	0	40	40	20	100	0	40	35	25	100
B	0	20	20	45	95	0	35	30	35	100	0	35	35	30	100
C	0	15	40	20	75	0	20	25	55	100	0	20	30	40	90
D	0	20	40	40	100	0	20	35	45	100	0	15	35	30	80
E	0	15	35	30	80	0	20	40	40	100	0	15	40	45	100

注) 給餌量は各区とも2kg/日

絶食後でも同様な傾向が認められた。

コイの最大摂餌量は³⁾から①により求められる。

$$r = 0.026 e^{0.0908t} W^{2/3} \dots\dots\dots ①$$

r = 日間摂餌量(g)

t = 水温(°C)

w = 魚体重(g)

15 °C < t < 25 °C

t ≥ 25 °Cのときは t = 25 とする。

このコイの最大摂餌量と飼育試験での給餌量を比較すると2kg/日の給餌量は1.6%から2.5%であり、最大摂餌量の53.3%~79.8%であった(第6表)。今回は給餌に充分時間をかけ飼育を行ったにもかかわらず最大摂餌率を給餌することができなかったことを示している。

第6表 給餌率(%)

期間	平均水温 (°C)	期末全期 平均体重 (g)	最大給餌率 (%)	給餌率(%)						摂餌率 最大摂餌率
				A	B	C	D	E	平均	
第1期	29.0	332.8	3.63	2.27	2.38	2.46	2.54	2.66	2.46	0.68
第2期	26.9	421.7	3.35	1.82	1.83	1.92	2.00	2.17	1.95	0.58
第3期	25.9	481.3	3.21	1.61	1.64	1.70	1.71	1.91	1.71	0.53
第4期	20.7	531.7	1.98	1.50	1.53	1.55	1.58	1.76	1.58	0.80

この原因としては昭和54年は水質悪化の激しい年であり、これら環境要因がコイの摂餌に影響を与えているとみるのが適当であろう。

また、最近の霞ヶ浦での透明度の低下により網いけす内の魚の動きが十分に観察できないため、水面上にコイが群れて摂餌しないときには給餌を中止するために、給餌量が低下している可能性もある。

次に餌料効率について検討する(第7表)。4期ごとの餌料効率には、分散分析によっても餌

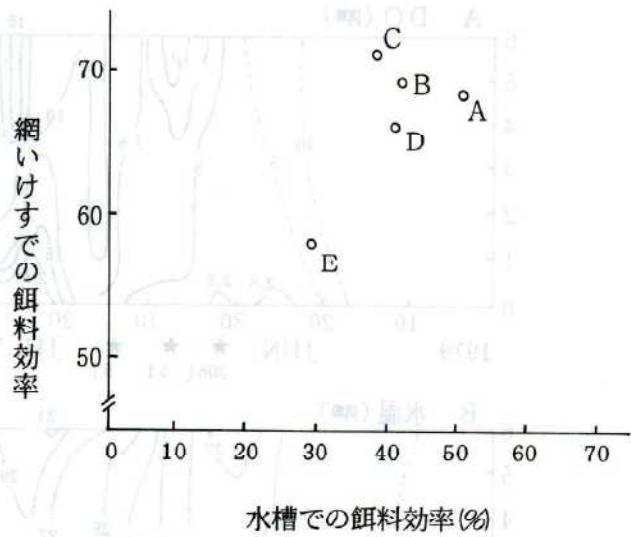
第7表 餌料効率(%)

期間 \ 区分	A	B	C	D	E	平均
第1期	81.3	85.3	79.4	69.0	65.1	76.0
第2期	66.9	77.3	74.6	66.6	54.3	67.9
第3期	77.8	62.2	70.3	82.7	71.5	72.9
第4期	43.2	39.5	55.7	44.5	41.7	44.9
全期	68.2	69.0	71.0	66.0	57.6	66.4

料間の差を無視できるほどの相違が認められた。特に餌料効率の悪い期間は第4期(10/2~10/21)で餌料効率は44.9%であるが、このときの給餌率は最大摂餌量の80%と高くなっているときであり、低下した原因としては残餌が多くなる期間であり、摂餌行動にともなわない投餌を行った可能性があげられる。この第4期の餌料効率を除けば、平均72.3%(増肉係数1.38)となる。餌料間の差についてみるとC区で71.0%、E区で57.6%と餌料効率に差が認められているが、水質条件が試験区ごとに異なっている可能性があり、餌料の質的なものによるか否か明らかでない。

このため補足試験を水槽内で行った。試験方法は30ℓ水槽に20gサイズのコイ(5尾)を収容し、28日間25℃で流水飼育を行った。餌料はペレットを粉砕し水を加え稚魚用のペレットを

作り供試した。餌料効率は日間給餌率が低かったためか30.2～51.8%であった。各餌料間の網いけすと水槽の餌料効率の関係を第1図に示したが、E区ではともに餌料効率が低く、この餌料効率の差は網いけすの設置場所の相違に原因するのではなく、餌料の質的なものに原因していると考えられる。先の餌料分析の結果からE区の餌料成分に特異性が認められていないため、餌料の質的評価の方法を検討する必要があるだろう。



第1図 餌料効率の比較

いままでの養殖における基本的な考え方としては、その魚の最大成長をうるための最大給餌量を与えることが、餌料効率を高める最良の方法として研究をすすめてきたが、ここでは環境要因の項を十分に加えていない。今回の飼育例は内水試網いけす養殖施設でのものであり、水の交流の悪い漁場であり、一般養殖施設には適応できないかもしれないが、餌付が悪くなっているという話が、各地の網いけすで最近聞かれることであり、又は内水試網いけす養殖施設でも昭和45～48年には摂餌不良は認められず、昭和49年以降に、給餌率の低下が認められるようになっていくことから、最近の霞ヶ浦の水質と餌付との関係を検討しなければならない。

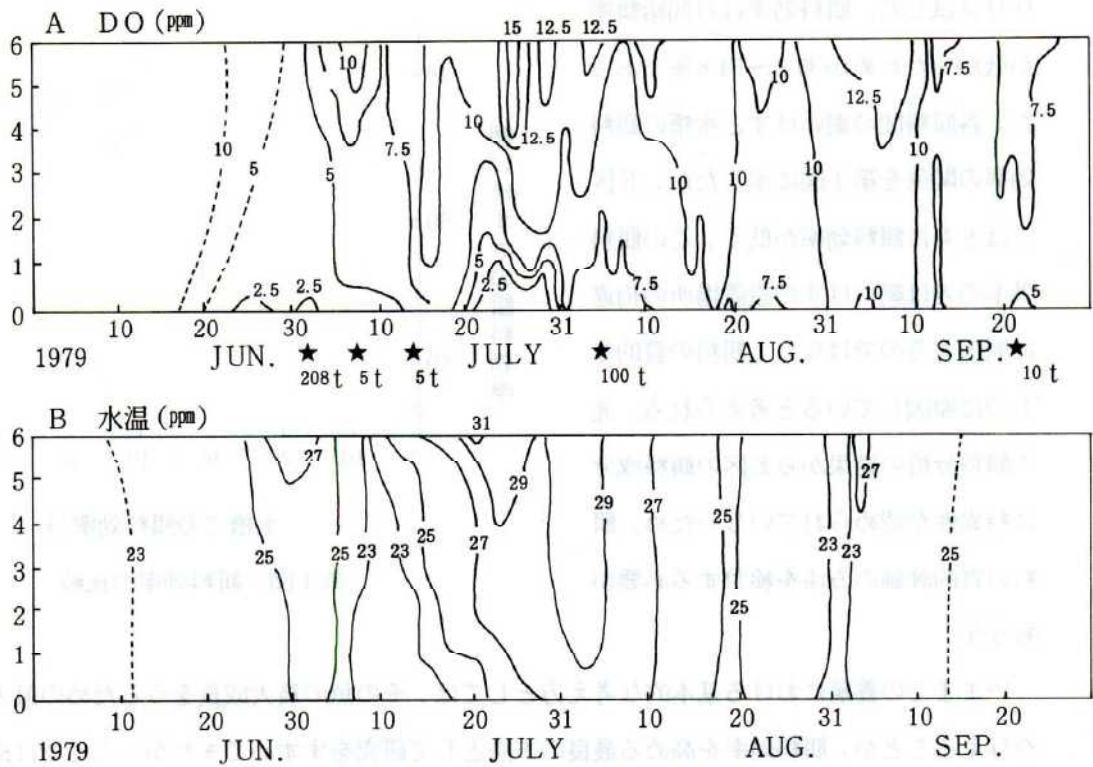
3 霞ヶ浦の酸素条件

餌料試験を行った昭和54年はアオコの発生の多い年であり、植物プランクトンの遷移からみても昭和48年に類似して春にClosteriumの発生後Anabaenaの発生が認められ、次にMicrocystisが大量に発生した年であり、網いけす被害も多かった(第8表)。

第8表 昭和54年網いけす斃死状況

この年の水質状況を霞ヶ浦湖心におけるDOと水温条件の変化でみる(第2図)。これは、YSI製のDOメーターで午前10時前後に測定されたものである。初めにClosteriumの消失後の6月下旬から7月上旬にかけて水変りが発生し、表層、底層とも酸素条件が悪化し網いけ

月日	地	区	斃死量(t)
7. 1	霞ヶ浦	玉造町手賀	160
		玉里村下玉里	5
		出島村手渡	3
7. 7	霞ヶ浦	北 浦 大洋村江川	40
		玉造町西蓮寺	5
7. 14	"	玉造町手賀	5
8. 9	"	"	100
9. 20	"	"	10



第2図 昭和54年夏季の三又沖のDO・水温変化

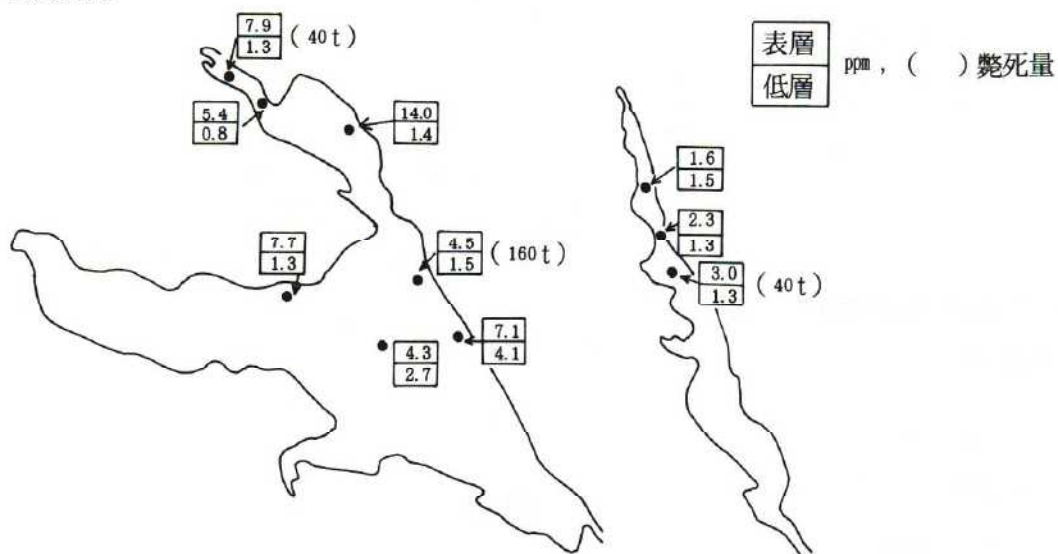
すでの斃死が起っている。次に梅雨あけ前後に水温躍層をともなう状態で無酸素水塊が形成され、これが吹送流により網いけす漁場に流入したときにも大量斃死を起す危険がある。未だ十分に検討されていないが、この無酸素水塊の形成される期間と底泥からN、Pの溶出量が関係し、アオコの発生量が決定される。アオコの発生量が多い場合には、その移動集積の状態により酸欠状態が形成されることになる。水温躍層が解消したときからは無酸素水塊の形成は少なく、9月以降まで経過したあと、水温下降期にDO条件が悪化する傾向が認められる。DOからみたこれら変動パターンは霞ヶ浦・北浦ではほぼ同時発生的な現象であり(第3図)、その年の気象条件等に大きく左右されている部分が大いと考えられるが、湖の汚濁化にともない、DO変化にみられるような水質悪化の頻度は年々増加するとみなければならない。

湖内のDO変化が網いけすのコイの摂餌に与える影響をみたのが第4図である。DOの測定点は内水試沖で1mごとの観測値を単純平均したものであるが、コイの摂餌は、DOの低下している7月中旬と9月下旬に低下している。

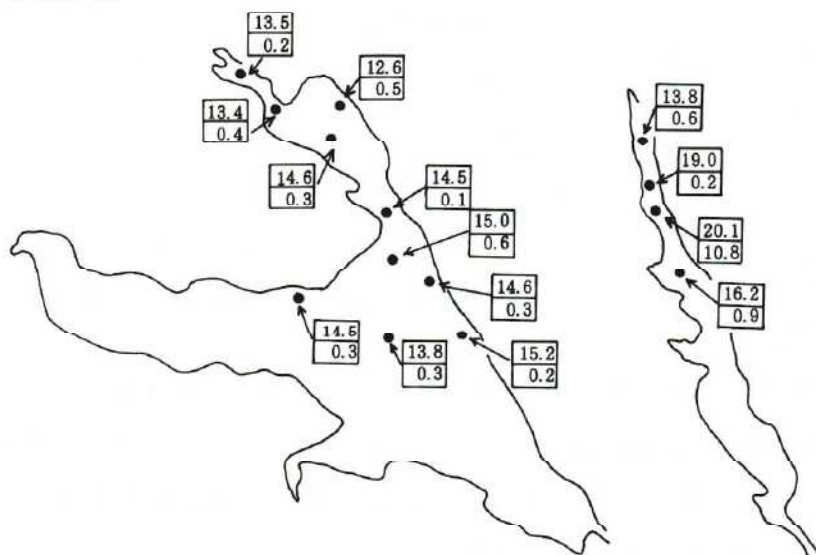
このようなDOの変動は昭和54年にかぎらず例年認められる現象である。この現象を昭和56年夏季にDO自動記録計により測定したのが第5図である。

DOの測定は内水試網いけす施設の水面下50cmにおいて行い、毎時ごとの測定値を平均し表示

A) 1979. 7. 1



B) 1979. 7. 31



第 3 図 D O 分 布

し、あわせて1日の最大値と最小値を表示した。この年はアオコの発生が少ない年であったため10 ppm以上の過飽和はほとんど観測されていない。

コイの棲息に適するDO条件は3 cc/l (4.2 ppm)であるから、酸素不足の状態が頻発していることになる。

さらに、昭和56年8月17日から8月19日の間でDOの毎時ごとの変化を平均し、DOの日週変化をみたのが第6図である。DOは午前4時~6時にかけて最低値を示し、夜あけ後徐々に上昇し正午ごろ最高値を示す。このことは第5表にもどり1日での摂餌時間帯をみると、午前の第1回目にはほとんど摂餌行動が認められず正午前後から摂餌が始まることから、コイの給餌率の

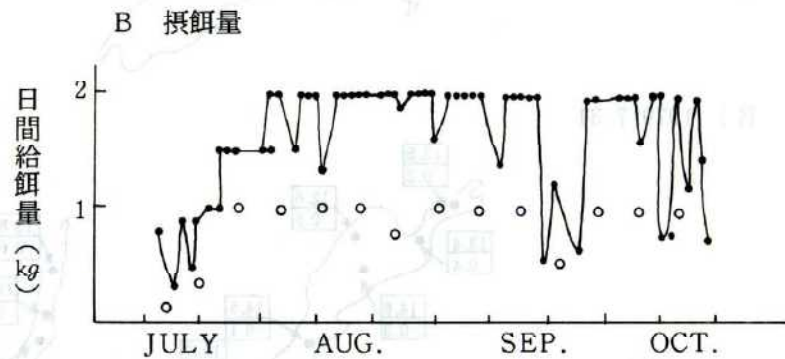
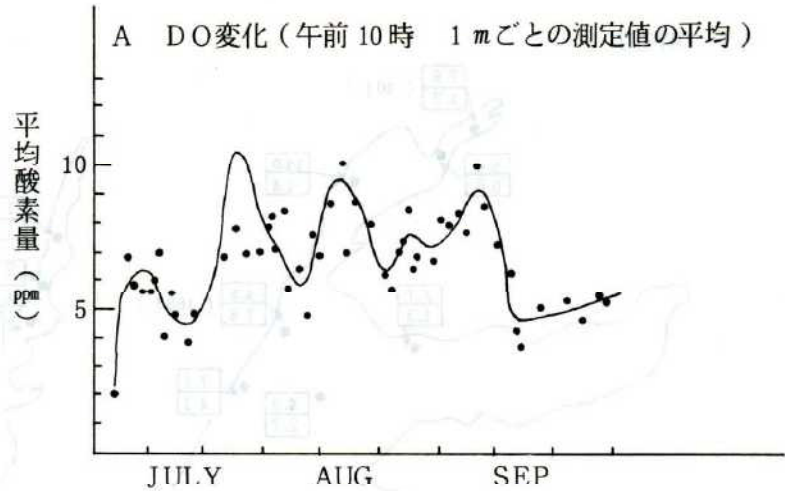
低下は、1つにはDOの日週変動の影響と2つにDOの経日変化により原因すると考えられる。

4 市販高脂肪餌料の検討

霞ヶ浦の水質条件から給餌率を高めることが難しい状態では、低給餌率で餌料効率を高めることは水産負荷量の軽減のためのみでなく、養殖経営面からも必要なことである。

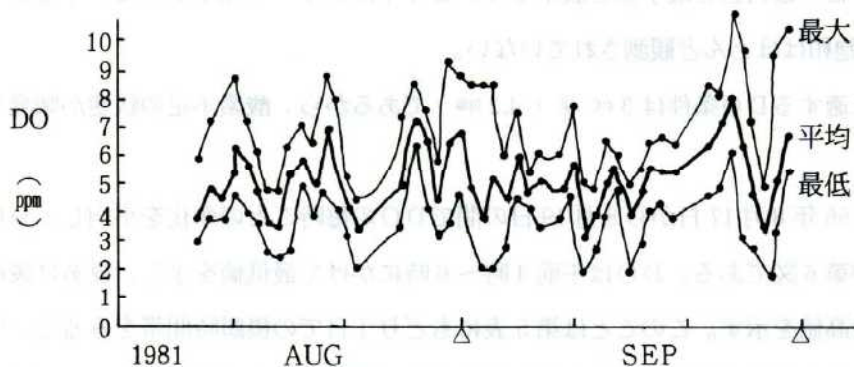
この方法としては脂肪添加餌料の利用が有

望である¹⁾。これら脂肪添加餌料の開発が一部餌料メーカーにより行われ市販されるようになった。昭和55年に脂肪添加餌料の効果試験を行った。第9表の餌料分析のうち脂肪添加餌料はC-2, C-3であり, C-1が無添加餌料である。オイル添加量などの配合組成は不明であるが, C-1で5.83%でB, E区とはほぼ同程度の脂肪含有率であり, C-2で8.22%, C-3で12.28%と順次含有量が多くなっている。

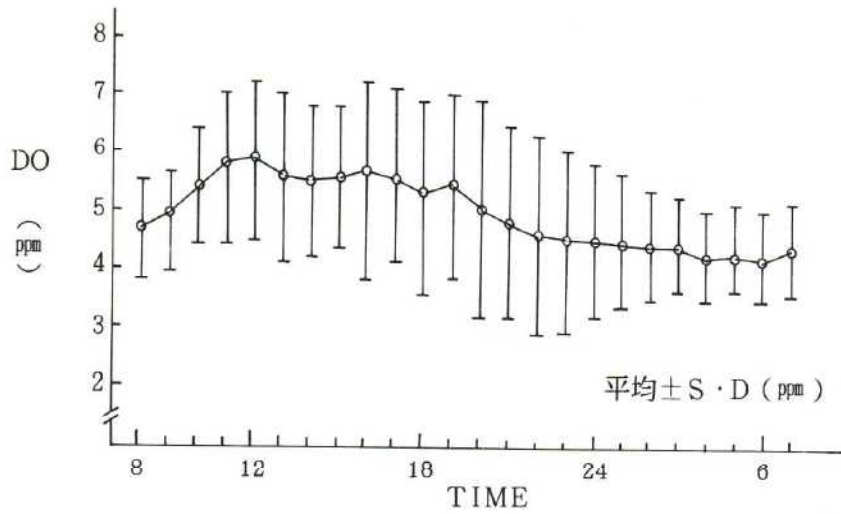


注) ○印は土曜日の給餌量を示す

第4図 内水試沖のDO変化と給餌量



第5図 溶存酸素量の経日変化(昭和56年内水試前)



第6図 DOの日週変化 7 AUG ~ 19 AUG (13日平均)

第9表 餌料成分分析結果(昭和55年)

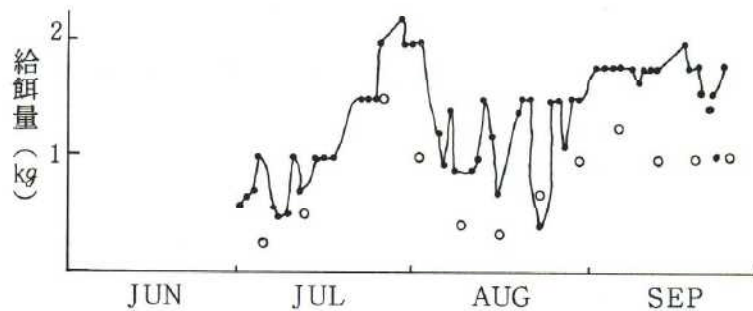
単位%, ()内は乾重あたり%

区分	項目	水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分	Ca	P	粉化率
B		8.7	34.24 (37.5)	4.84 (5.3)	12.33 (13.5)	3.56 (3.9)	2.10 (2.4)	1.5
E		8.6	39.12 (42.8)	5.30 (5.8)	8.50 (9.3)	2.56 (2.8)	1.55 (1.7)	1.5
C - 1		7.4	37.50 (40.5)	5.83 (6.3)	11.20 (12.1)	2.69 (2.9)	1.94 (2.1)	1.5
C - 2		7.6	37.61 (40.7)	8.22 (8.9)	11.83 (12.8)	2.86 (3.1)	2.03 (2.2)	1.5
C - 3		7.7	37.01 (40.1)	12.28 (13.3)	9.69 (10.5)	2.58 (2.8)	1.66 (1.8)	1.5
平均								

※ 分析法は第1表に同じ

飼育結果を第10表に示した。給餌量は、最大摂餌率に近い値を用いたが、昭和54年と同様に餌付きの悪い日があり、予備飼育期間を除き8月中の摂餌が特に悪い日が多かった(第7図)。

餌料効率からみるとC-3区が良く73.4%を示し、次にC-2区が66.1%、その他の区が



第7図 昭和55年給餌量

第10表A 飼育成績

測定日	区分		B	E	C-1	C-2	C-3
	項目						
7/28	重量	kg	61.1	59.1	59.9	61.1	61.0
	尾数		136	138	137	132	136
	平均体重	g	449.3	428.3	432.2	462.9	448.5
8/18	重量	kg	75.5	71.5	73.1	77.0	79.9
	尾数		135	139	138	132	136
	給餌量	kg	20.21	22.98	21.95	21.83	23.19
9/1	重量	kg	82.9	78.2	80.7	88.0	89.0
	尾数		135	139	138	132	135
	給餌量	kg	14.37	14.06	14.84	14.39	13.69
9/16	重量	kg	89.3	84.7	88.9	100.2	101.1
	尾数		135	139	138	131	134
	給餌量	kg	19.04	18.63	19.15	19.05	18.81
9/29	重量	kg	97.6	91.9	99.5	108.0	112.2
	尾数		127	134	134	128	135
	給餌量	kg	14.15	14.4	15.6	15.8	15.8
	斃死・逃げ(不明)		4(5)	3(1)	1(2)	1(3)	0(1)

第10表B 餌料効率

期間	区分	B	E	C-1	C-2	C-3	平均
第1期		71.3	54.0	60.1	72.8	81.5	67.9
第2期		55.7	52.2	51.2	76.4	70.9	58.3
第3期		39.9	38.1	46.0	64.0	68.0	51.2
第4期		68.6	63.2	67.9	54.4	70.3	64.9
全期		58.6	52.5	55.9	66.1	73.4	61.3

52.9～55.9%となり、脂肪添加の餌料改善効果が認められた。

5 養殖成績の検討

昭和54年と昭和55年に行った飼育結果から、現在の水質条件下では最大成長をうるための給餌量を維持することが難しいことがわかったが、このことが網いけすでの養殖成績にどのよう

な影響を与えることになるか検討してみる。

内水試験いけす養殖施設での飼育例のいくつかについての解析を第 11 表に示した。

第 11 表 飼育結果の解析

試 験 年	昭和 55	54	(53)	49	48	45	45
期 間	7/28 ~ 9/29	7/30 ~ 10/22	6/27 ~ 9/18	4/12 ~ 10/2	8/21 ~ 10/13	—	8/13 ~ 9/8
日 数	64	84	85	135	56	30	27
試 験 区 数	5	5	6	1	5	1	1
平均体重 W_0 (g)	445.2	240.9	213.0	164.1	29.9	202	153
" W_t	774.3	531.9	668.6	850.0	114.4	584.4	262
$M\Sigma r$ (g)	535.7	425.1	582.8	1339.3	108.6	567	138.6
餌 料 効 率 (%)	61.43	66.36	73.73	53.19	77.81	67.6	79.4
増 重 倍 率	1.74	2.13	3.15	5.18	3.82	2.89	1.71
尾 数	136	238	180	377	501	499	32
K_G	0.111	0.099	0.146	0.134	0.123	0.379	0.166
K_R	0.114	0.096	0.125	0.170	0.118	0.362	0.145
K_C	0.960	1.037	1.164	0.787	1.046	1.027	1.142

昭和 53 年は市販餌料に非ず

解析法は浜田ら⁴⁾の方法に従い、成長に関する係数を求めた。成長係数 k_g ・餌料効率係数 K_C ・摂餌量係数 K_R は②, ③④式による。

$$K_G = 2.5 \left(X_t^{-0.4} - X_0^{-0.4} \right) / \text{日数} \dots\dots\dots \text{②}$$

$$K_C = \left(X^{-1.07} - X^{-1.07} \right) / 1.07 \times \Sigma r \dots\dots\dots \text{③}$$

$$K_R = K_G / K_C \dots\dots\dots \text{④}$$

昭和 45 年の自動給餌器による試験結果にみられるように、昭和 45 年ごろには給餌率を高くすることが可能であり、 K_R 値も 0.362 と高い値を示している。次に給餌率の高い昭和 49 年の例では餌料効率が悪く、投餌ロスが大きいことが考えられる。

この昭和 49 年を除いて比較すると、 K_C 値は 0.960 ~ 0.142 と変動巾が小さく、餌料効率が以前と大差がないことになる。

このことは、その年の水質条件により給餌量が限定されるが、ていねいに給餌を行い、また餌

料の改善等を行うことにより、餌料効率の低下は防止することができることを意味しており、直接養魚成績に影響をうける項目は成長速度であり成長係数 K_G 値も水質悪化の認められなかった昭和45年当時と比較すると最近は非常に低い値を示している。

6 まとめ

餌料試験をとおして霞ヶ浦での養殖の現況をみたが、最近の網いけす養殖の問題点は、水質悪化にともない、給餌率が低下する傾向にあることである。現状での給餌率では餌料効率を低下させるまで致らないためか、飼育成績としては成長の遅れが結果としてあらわれている。

水質の悪化はDO条件により指標されるものであり、水の交流が大きい網いけす養殖では、魚場をとりまく広範囲の水質を考慮しなければならないため、DO条件回復の技術開発は難しい。

このため経営上、一定の年間生産を維持するためには、単位面積あたりの収容量を増やすことが必要となる。ここで、網いけす養殖負荷量の軽減のため網いけす面数を削減することは、さらに単位面積あたりの収容量を増加させることになり有効ではない。このため、水質条件と放養密度との関係を明らかにし検討しなければならない。

餌料面からは、現在の蛋白含有率が38%以上であるが、餌料効率にはメーカーごとに差が認められ、単純に粗蛋白値から評価できないことから蛋白含有量、蛋白の質的検討は、網いけす負荷量の削減のみならず養殖経営面からも必要となる。さらに、脂肪添加ペレットが一部メーカーで技術開発されるにいたり、飼育試験でも有効な結果が得られ餌料の改良の効果は期待できるものと考えられる。

文 献

- 1) 浜田篤信・外岡健夫・山崎耿二郎・光田三男(1979): 網生簀養殖の負荷量の算定と対策 茨内水試研報16
- 2) 山崎耿二郎 (未発表) 昭和48年網いけす養殖試験結果
- 3) 茨内水試(1971): 給餌技術の合理化試験(霞ヶ浦, 北浦漁業振興開発調査実績報告書)
- 4) 浜田篤信ほか(1975): 魚類の成長構造解析に関する研究 日水誌41(147)