

網生簀養殖の負荷量の算定と対策

浜田篤信・外岡健夫・山崎耿二郎（茨城県漁政課）光田三男（茨城県漁政課）

網生簀養殖による霞ヶ浦への負荷量は、飼料投入量とコイとり揚げ量の差からN・Pについては簡単に算出することができるが、負荷の実体についてはわかっていない。最近、網生簀漁場の浚渫や飼料組成の改良等がとりあげられているが、そうした対策が有効であるためには、まず負荷の実体が明らかにされなければならない。本調査は、このような観点から次の6項目について実施した。

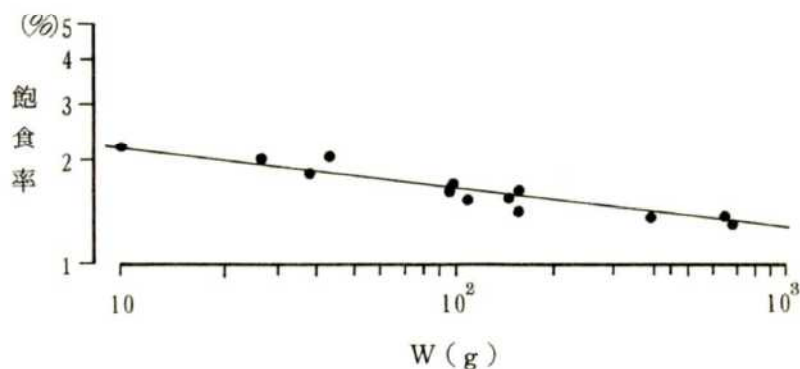
- 1) 給餌による損失
- 2) 排糞
- 3) 主として尿に由来するもの
- 4) N, P, COD
- 5) 漁場の汚染
- 6) 飼料組成の改善による負荷量削減の試み

以下、順を追って述べることにする。

1 給餌による損失

給餌による損失は主に給餌量によってちがって来るものと考えられる。そこで、まず、1回の給餌に40分をかけて丁寧に給餌し、1回の最大摂餌量（飽和量）を測定した。第1図はその結果を示すもので、10～700gの範囲で測定されているが、2.5～1.3%（摂餌量/体重）が1回にたべ得る最大量である。

次に5×5m、水深2.5mの網生簀に358Kg（平均596g）収容した状態で、量を変えて給餌し損失量を測定した。損失量の測定には、網生簀の底に、直径12cmのポリ容器を1m²毎に25個重下し、約1ヶ月間、魚



第1図 コイの体重と飽食率

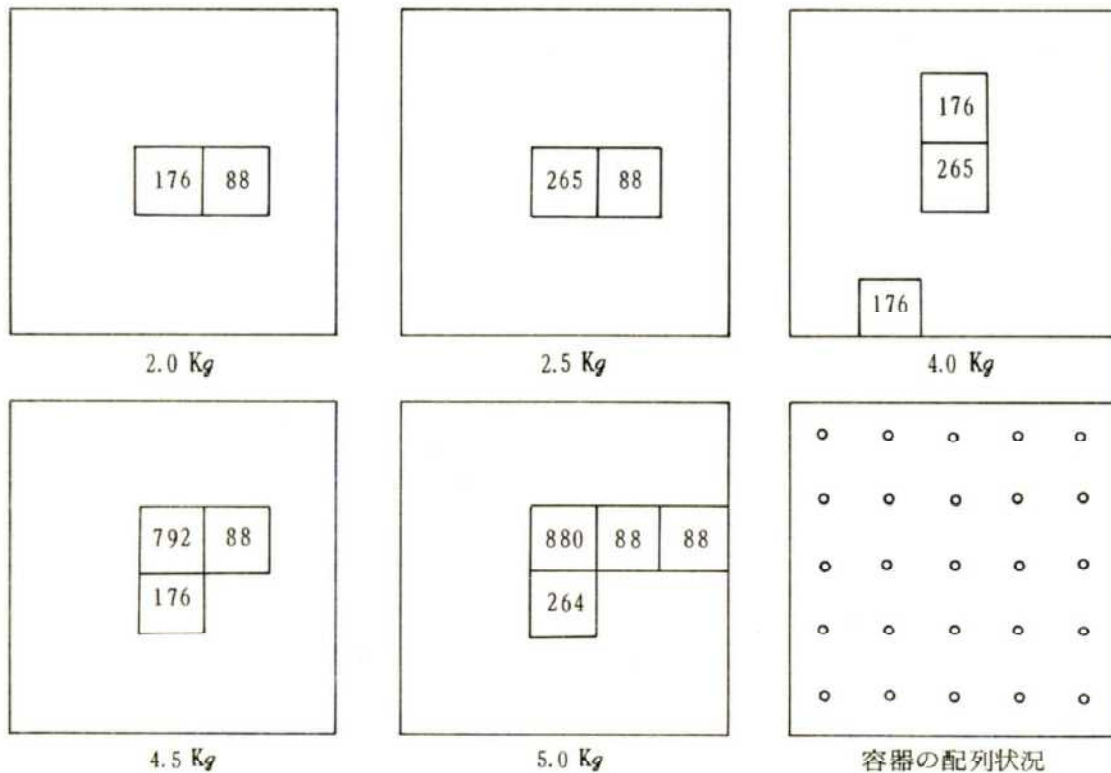
を馴化し、普通の状態と同じように摂餌するようになってから実験を開始した。実験前にポリ容器を空にし、給餌後容器中の配合飼料の箇数を確認した。結果は第1表のとうりである。

損失量は、第2図のように1個/ m^2 の割合で設置された直径12cmのポリ容器から推定した。その結果は第2図に示したとうりである。こゝで、給餌量は0.5～5.0 Kgであるが、上限の5 Kgは、第1図の結果から、ほぼ飽食量に相当するから、第3図中には5 Kgを100%ととして横軸に記入してある。1回の

給餌に要する時間は、給餌量が少く飽食量の40%以下の場合には10～15分であるが、それ以上になると摂餌時間が長びく傾向がみられ40～50分を要した。飼料の損失量は、この摂餌時間が長びく頃から多くなるようであった。飽和量の30%以下では殆んど損失が確認されないのに対し、それ以上になると損失が認められ多い場合には給餌量の約5%であった。この実験は、一回の給餌に長時間かけて行えば、損失量は少くなる。(実際に90分になると5 Kgでも数%になる。)し

第1表 給餌量の変化による損失量

| 給餌量 | 給餌時間 (分) | 確認数 | 損失量 | |
|--------|----------|-----|-------|------|
| | | | (g) | (%) |
| 0.5 Kg | 8 | 0 | 0 | 0 |
| 1.0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 1.5 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 2.0 | 35 | 3 | 53.3 | 2.67 |
| 2.5 | 35 | 4 | 71.3 | 2.85 |
| 3.0 | 48 | 1 | 17.8 | 0.59 |
| 3.5 | 40 | 1 | 17.8 | 0.51 |
| 4.0 | 45 | 7 | 124.6 | 3.11 |
| 4.5 | 45 | 12 | 213.3 | 4.74 |
| 5.0 | 50 | 15 | 266.6 | 5.33 |



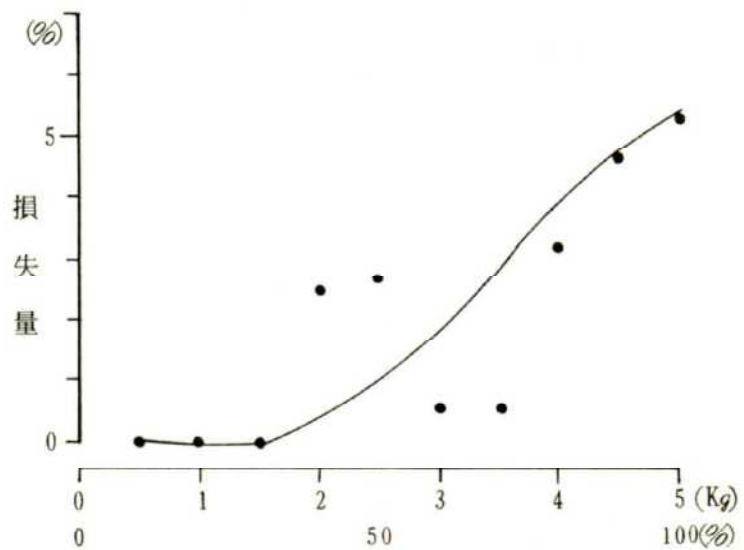
第2図 給餌量と飼料の損失(g)

かし、室内の25℃の条件下で1連の摂餌に54分を要し、その後50分間の休止が続いている観察結果から、1回の給餌を50分以内に限定した。したがって、魚群の求食行動ははっきりしていない場合にも給餌したので、どちらかといえば多少、多めの結果といえよう。

以上は給餌量を変えて行った実験で、もし、実際の養魚場でどのくらい給餌しているかがわかればこの実験から、実際の損失量を推定できる。そこで、実際の給餌量・放養量あるいは給餌率を聞きとり調査したものが第2表である。この結果によれば、1日の給餌率が2%未満のものが全体の64.7%で最も多く、3%~5%はわずかに10%で最大は5%であった。最大摂餌量は $0.25W^{2/3}$ であるから100gのコイで、6%であるから多くは飽食量の30~50%と見られる。したがって給餌による損失は多くはなく、第3図から1%程度と推定される。

2 排 糞

次に排糞による負荷であるが、コイが食べた餌の消化率がわかればよい。そこで、市販配合飼料の消化率を測定した。全消化率は56~72%の範囲にあって平均値は63%であっ



第3図 給餌による飼料の損失

第2表 養殖場の給餌率

| No | 地区区 | 給餌率 | No | 地区 | 給餌率 |
|----|-----|-------|----|-----|-------|
| 1 | 下王里 | 2~2.5 | 18 | 荒宿 | 2 |
| 2 | " | 1.5 | 19 | " | 2~3 |
| 3 | 手賀 | 3 | 20 | " | 1.5 |
| 4 | " | 1.5 | 21 | 田伏 | 3.5~4 |
| 5 | " | 1.0 | 22 | " | 3.0 |
| 6 | " | 2.0 | 23 | " | 5.0 |
| 7 | " | 1~2 | 24 | " | 2.0 |
| 8 | " | 2 | 25 | 牛渡 | 2.5 |
| 9 | " | 1.5 | 26 | | 3.0 |
| 10 | 西蓮寺 | 1.5 | 27 | | 1.5~2 |
| 11 | " | 1.0 | 28 | | 2.0 |
| 12 | " | 1.5 | 29 | | 2~2.5 |
| 13 | " | 2.0 | 30 | 志戸崎 | 1.5 |
| 14 | 五町田 | 1~1.5 | 31 | 大洋 | 2.0 |
| 15 | " | 3~4 | 32 | " | 3~4 |
| 16 | " | 1.0 | 33 | " | 2.0 |
| 17 | " | 1.5~2 | 34 | 冲宿 | 3.0 |

た。又蛋白質の消化率は75~90%で平均値は80.8%であった。なおこの試験に使用した飼料の分析値は下記のとうりである。

第3表 配合飼料の消化率

| 飼料 | 飼料全体 | 蛋白質 |
|----|------|------|
| A | 58.3 | 79.8 |
| A | 68.8 | 78.7 |
| A | 63.2 | 82.2 |
| A | 63.2 | 80.6 |
| A | 57.5 | 75.4 |
| A | 53.9 | 81.7 |
| A | 63.7 | 77.3 |
| A | 64.1 | 80.5 |
| A | 64.1 | 76.2 |
| B | 55.7 | 85.2 |
| C | 63.1 | 76.3 |
| D | 68.2 | 87.3 |
| E | 66.0 | 80.0 |
| F | 71.7 | 89.8 |
| 平均 | 63.0 | 80.8 |

3 飼料及び糞のCOD

これまでの実験で損失量・排糞量がわかるから、それらのN含有量やCODがわかれば、負荷量が算出できることになる。そこで、飼料および糞のCODを測定した。まず、糞又は飼料の一定量(乾重で0.1gぐらい)をとり蒸留水で1ℓとしたのち20mlをとって25mlのN/10 KMnO₄を加へアルカリ酸化法で酸化し全体を250mlにしたあと一定量をとって測定に供した。その

結果は第5表のとうりである。飼料のCODは150~190mg/gの範囲にあつて変動も大きいが、平均値は170.8mg/gであった。

次に糞であるが、結果は第5表(b)である。飼料に比較して当然のことではあるが、CODは低く、30~90mg/gで飼料の1/3の値を示した。この値は先の消化率に近い値である。勿論、無機物のうち、塩類の一部は吸収されるが、その割合は有機物に比較して、ごく小さいためと考えられる。

さて、ここで給餌による損失と糞による負荷量を考えてみよう。1トンのコイを作るのに必要

第4表 配合飼料の組成

| | 水分 | 乾物中の含有率 | | | | P含有量 (mg/g) | Ca含有 |
|---|-----|---------|------|------|-----|----------------|------|
| | | 粗蛋白 | 粗脂肪 | 灰分 | 粗繊維 | | |
| A | 8.8 | 43.0 | 3.4 | 11.0 | - | - | - |
| B | 6.7 | 37.3 | 10.0 | 9.2 | 6.5 | 15 | 13 |
| C | 7.6 | 29.4 | 8.8 | 9.6 | 4.8 | 20 | 17 |
| D | 6.2 | 35.2 | 7.1 | 9.9 | - | 20 | - |
| E | 3.1 | 34.0 | 6.8 | 8.5 | - | - | - |
| F | 9.7 | 40.0 | 6.8 | 10.8 | 5.2 | 18 | 19 |

な配合飼料は1977年の飼育試験の

結果では、1.44, 1.43, 1.42, 1.41

1.36および1.38で平均値は1.41で

あった。したがって1トンのコイを

作るには現在、1.4トンの飼料を

要する。このうち、水中への損失は

給餌率が飽食量の30~50%程度と

すると第3図から1%以下となる。

したがって1トン生産するのに1.4

トンの給餌をするから、その1%の14Kgが損失量の上限と推定される。これをCODおよびNに

換算すると夫々2.39 Kg, 0.9 Kgとなる。又、糞についてみると給餌した1.4トンのうち37%,

0.51トンが排泄されることになる。糞のCODは、66.7 mg/gであるから、1.4トンの給餌は

34 KgのCOD負荷を与えることになる。又、N負荷については飼料中の蛋白質含有量を40%

(6.4%N), 蛋白質消化率を81%とすると、1.4トンの給餌で17 KgのN負荷を与えることにな

る。

第5表 飼料及び糞のCOD

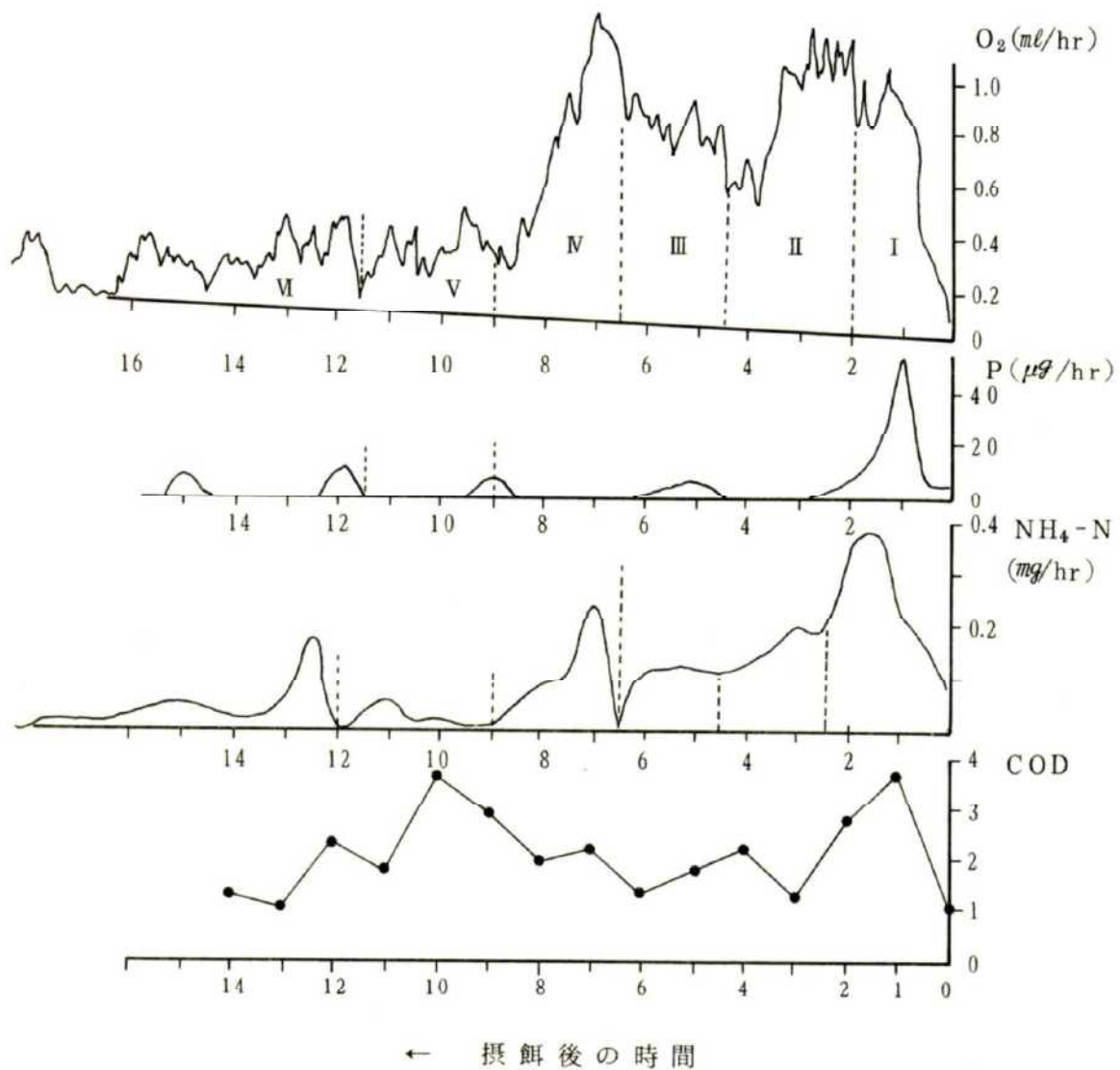
| (a) 飼料のCOD | | (b) 糞のCOD | |
|------------|------------|-----------|------------|
| No. | COD (mg/g) | No. | COD (mg/g) |
| 1 | 188.0 | 1 | 88.6 |
| 2 | 171.3 | 2 | 62.4 |
| 3 | 162.0 | 3 | 73.3 |
| 4 | 152.4 | 4 | 31.6 |
| 5 | 180.3 | 5 | 74.6 |
| 6 | 170.6 | 6 | 69.8 |
| 平均 | 170.8 | 平均 | 66.7 |

4 代謝生産物 (尿)

養殖を行う場合の負荷の第3番目のものとして、尿がある。尿による汚染は、一般に糞や給餌の損失に比較すると小さく見積られているようであるが、これはおそらくハマチの養殖からの類推と考えられる。ハマチの場合には養殖場付近に残餌が堆積し、対策としても、その除去がとりあげられている。ところが、尿として排泄される $\text{NH}_4\text{-N}$ は、漁場が開放系であるために、それ程深刻な問題とはなっていない。これに対し、霞ヶ浦ではすでに述べたように残餌は過大に見積っても投与量の1%であったし、糞の堆積も後述するように大きくはない。しかし、摂餌による $\text{NH}_4\text{-N}$ の排泄は直ちに植物プランクトンに吸収されてその増殖を促す。したがって、湖沼では、尿の方がより重要と考えられる。

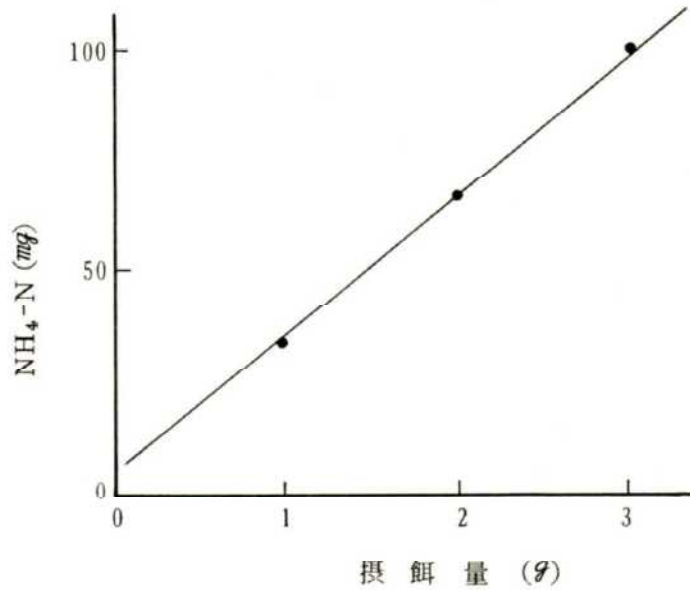
そこで、養殖が行われる場合、したがって摂餌にともなっておこる代謝変動を測定してみた。この場合、代謝変動は飼料の組合によって異なるものであるから、基準となる飼料として、casein 40%, dextrin 20%を出成分として、その他、ビタミン・プレックス、アッカラム塩、 α -デンプン、小麦・セルロースパウダを各々2, 3, 25, 5, 5%を含有する飼料を作成し、351gのよく馴化されたコイに与えて実験を行った(第4図)。摂餌による代謝変動は、25℃では1g投与で14~16時にわたるが、この間、代謝変動はI~VIに分画できる。まず、 $\text{NH}_4\text{-N}$

| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 合計 |
|-----------------------|------|------|------|------|-------|------|----|----|------|----|
| O ₂ uptake | 47.6 | 67.2 | 50.4 | 56.0 | 16.8 | 16.8 | ml | | 255 | |
| p Excr | 1.57 | | 0.28 | | 0.28 | 0.28 | mg | | 2.41 | |
| NH ₄ - N | 19.6 | 9.24 | 8.4 | 8.4 | 4.2 | 8.4 | mg | | 58.8 | |
| COD | 126 | 56 | | | 249.2 | | mg | | 431 | |



第4図 摂餌にともなう代謝変動

についてみると、0～2，7，12～13時間のところに著しいピークが現われる。16時間の間に6～8回のピークが現われ合計59 mgのNH₄-Nが排泄されたことになる。ところが投与量は64 mgであるから92%が見かけ上排泄されている。しかし、このうちには、消化・吸収あるいは生合成のためのものがあって飼料に由来しないものが含まれているものと考えられる。そこで、



第5図 摂餌量とNH₄-N排泄量

1～4 gの飼料を与えNH₄-N排泄総量を求めたものが、第5図である。この場合、N排泄量は飼料が1 g増える毎に10 mgずつ増加しているが、25 mgぐらいはそれと無関係に排泄されている。

次にPについて見ると、連続的に排泄されるのではなく、各分画の初めにピークが出現し、全体で2.4 mgが排泄されている。このうち摂餌直後の0～2時間のうちに排泄されるものが1.6 mgで70%もあり、又、N排泄に比較して連続的でないことは、Pの排泄が飼料に由来するよりは、むしろ魚体内に保有されているもの、たとえばATP等に由来する可能性の強いことを示している。すなわち、各分画の反応の開始されるのに必要なエネルギーの供給源として消費された高エネルギーリン化合物に由来するものと考えることができよう。このことは、養魚による負荷量の削減を考える上で重要である。ある湖では対策として飼料へのリン酸塩の添加が規制されているといわれるが、この実験結果からの推定が正しければ、飼料中のPは、体内に吸収され高エネルギー化合物につくりかえられたのちに、必要に応じて消費されることになる。村上(1970)によれば数%の添加は餌料効率を高めるからPは有効に利用されていることになる。したがって、Pの規制をこうした点を考慮しないで行えば餌料効率が低下し、Nの負荷を増加せしめることにもなり逆効果となることもありうる。

次にCODである。CODはNH₄-Nの変動に近いが、0～2および9～10時間のところで顕著である。このCODは、糞は除いてあるからそれ以外のものである。排泄Nの多くはNH₄-Nであるがその他にクレアチン、クレアチニン等があり、粘液等も含まれる。CODの測定値はこの他にも数例の測定を行ったが、全体の傾向は全く同じであったが、量的に巾があって、摂餌量

には上記の式に各係数を入れて各負荷量を推定できる。300 gのコイの日間飽食量は10 gであるが養魚ではその1/2ぐらいである点はすでに述べたところである。したがって $225 + 25 = 250$ ml / 5 gが実際の値に近い値と考えられる。1 g摂取によって50mlの酸素が消費され、12.5 mgの $\text{NH}_4\text{-N}$ 、0.49 mgのP、70mgのCOD物質が排泄されることになる。

6 養殖ゴイの負荷量の算定

養殖ゴイの負荷量の算定方法や負荷量は、これまでもN、Pについて報告がある。すなわち投与飼料と取り揚げたコイの中に含有される夫々の物質の差が負荷量となる。すなわち、増関係数は前述のとうり、1.4であるから1トンのコイを生産するのに1.4トンの配合飼料が必要である。分析を行ったところ、飼料中のN、P含有量は6.4、1.0%、コイのN、P含有量は2.5および0.22であった。したがって、その差が1トン生産する場合の負荷量であり、N、Pは夫々 5.46×10^{-2} 、 1.18×10^{-2} トンとなる。1975年の総生産量は霞ヶ浦で7.333トン、北浦で1.117トンであるから、種苗の放養量を総生産量の1/10とすれば生産量(net)は夫々6.600、1.005トンとなるからN負荷量は夫々360、54、合計414トンとなる。Pの負荷量も同様に霞ヶ浦北浦で51.5、7.8トン、合計

59.3トンとなる。ここでN負荷の内訳を検討して見よう。まず、損失飼料は投与量の1%と見積ったから、1.4トン(89.6 KgN)投与で14 Kgの損失である。N含有量は6.4%であるから0.9 KgのNに相当する。摂取された1.39トンのうち消化率の80.8%を考慮すると、 $1.39 \text{トン} \times 0.064 \times 0.192 = 1.71 \text{ Kg}$ のNが糞

として体外に排泄されたものとなる。体外に排泄された糞は全消化率が63%であったから、0.51で残りの0.88トンが吸収された量で、窒素では $89.6 - 0.9 - 1.71 = 71.6 \text{ Kg}$ に相当する。尿として排泄される $\text{NH}_4\text{-N}$ を先の実験から12.5 g/Kg、クレアチン等のその他を5.3 g/Kgとすると、夫々17.4 Kg、7.3 Kg、合計24.7 Kgが尿として体外に排泄される量である。損失総量は42.7 Kgで46.9 Kgがコイの成長量として体内に蓄積される。

第7表 1トンのコイを生産する場合のN収支
()は全体、単位はKg

| 投 与 | | 89.6 (1,400) | | 成 長 |
|--------------|---------------|------------------------|-----|------|
| 体 外 へ | | 体内へ吸収 | | |
| 18.0 (510) | | 71.6 (880) | | 46.9 |
| 給餌による 損 失 | 糞 | 尿 | | |
| | | $\text{NH}_4\text{-N}$ | その他 | |
| 0.9 (14) | 17.1 (510) | 17.4 | 7.3 | |
| | | 24.7 | | |
| | | 42.7 | | |

Pの負荷は1トン生産(1.4トン給餌)する場合に7.8 Kgであった。このうち、140 gは給餌による損失である。尿によるものは $485 \text{ g} \times 1.39 = 674 \text{ g}$ で、残りの7 Kgは糞として排出されるものである。飼料中には灰分が約10%あるが魚の骨に由来するものが多いと考えられ糞として排出されるPも、この部分が大きいものと思われる。したがって水中にあっても容易には溶解せず植物プランクトンには利用されにくいものといえよう。Pの負荷量として重要な意味をもつ部分は尿に由来するもので、1トン生産する場合に700 gと見られる。

COD負荷であるが、まず損失飼料のそれは、飼料1 Kg当りのCODが150 gであったから損失飼料1.4 Kgで2.4 Kg、糞のCODが34 Kg、尿のCODが9.7.3トン、合計133.8 Kgとなる。

第8表 コイ1トン生産する場合のCOD負荷量

| | |
|------|------------------------------------|
| 損失飼料 | $1.4 \times 170 = 2.4$ |
| 糞 | $510 \times 67 = 34.1$ |
| 尿 | $1.39 \times 50 \times 1.4 = 97.3$ |
| 合 計 | 133.8 Kg |

7 漁場内の汚染

網生簀漁場内が残餌や糞によって自家汚染が生じ、コイの生息条件が悪化しているのではないかという懸念が網生簀養殖業が開始された直後からあり、これまでも度々調査が行われた。しかし、結果は予想に反してそうした影響はあまり顕著ではなかった。養殖による負荷はこれまでも述べたように、その量は計算されるから湖全体に与える影響は明確であるが、附近水域に与える影響は莫としたものであった。その原因の一つは、事業が開始されて間もないために影響がはっきりしていないことや漁場が比較的浅いために流れがあって排泄物が流されてしまうこと等があげられよう。

今回は最も網生簀養殖の盛んな玉造町手賀の中心部の10地点について底泥中のN、Pを測定した。この水域の底泥中のNは昭和44年の調査では0.5 ~ 2 mg/gであったが今回の調査では1 ~ 3 mg/gでやや高めとなっている。又、Stn. 6では5.5 mg/gという高い値も見られ、今まで殆んど影響が認められなかったものが、最近になって認められるような状態に到ったといえよう。こうした影響が出はじめた原因としては糞や残餌も一つであるが、もう一つの要因として「流れ」の影響を考慮する必要があるよ

第9表 漁場底泥中のN、P含有量

| 地 点 | N | P |
|-----|------|-------|
| 1 | 2.49 | 0.34 |
| 2 | 2.47 | 0.12 |
| 3 | 1.60 | 0.023 |
| 4 | 4.28 | 0.118 |
| 5 | 3.62 | 0.08 |
| 6 | 5.49 | 0.36 |
| 7 | 2.50 | 0.055 |
| 8 | 2.75 | 0.041 |
| 9 | 1.42 | 0.143 |
| 10 | 2.96 | - |



第7図 玉造町手賀付近の底泥のN含有量

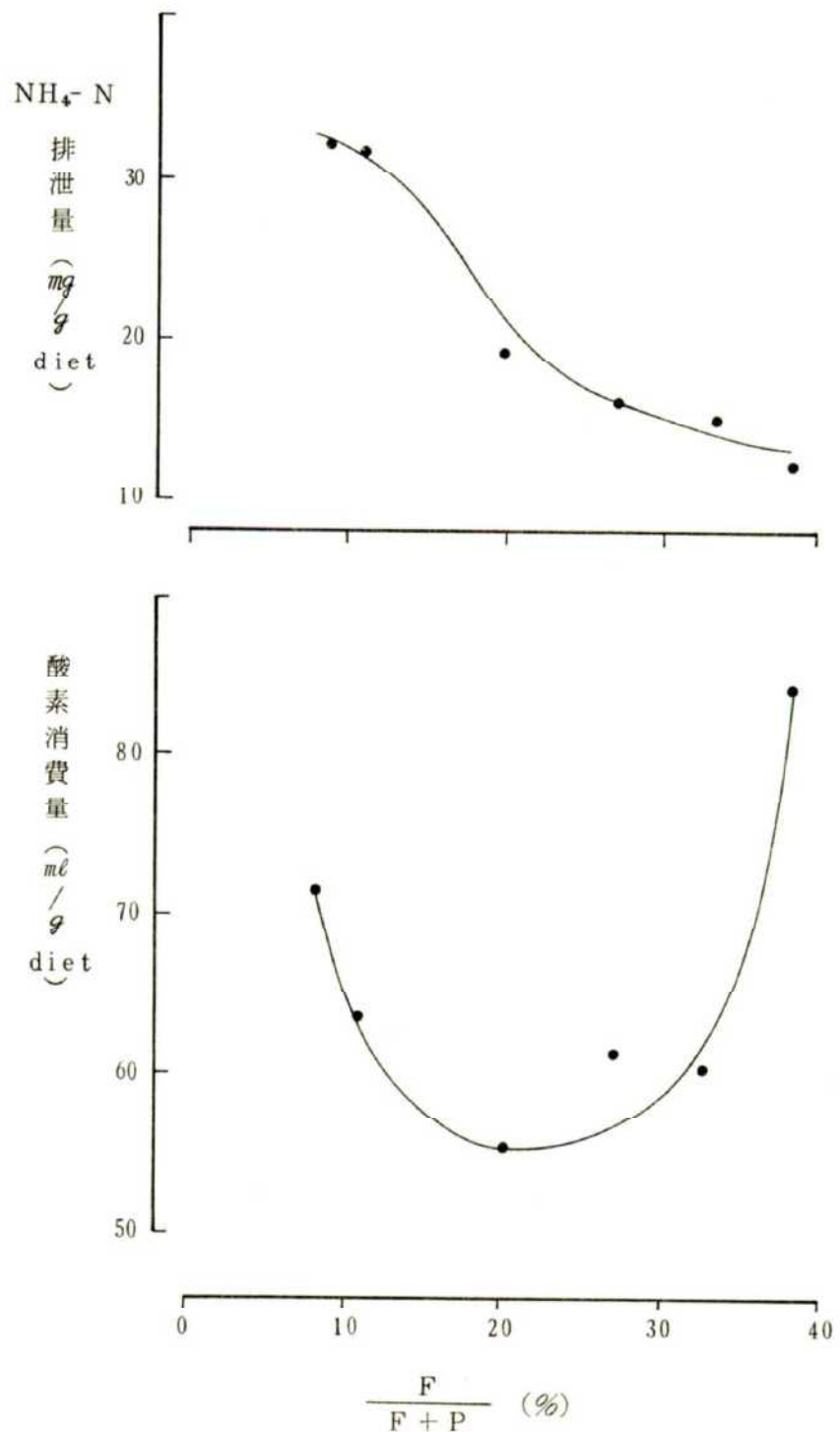
うに思われる。

それは、網生簀の設置によって付近の流れが停滞しやすくなったことである。夏季のアオコの水の華も、手賀沖に停滞することがしばしば見られる。その原因の一つとして漁場付近の水の流れの停滞が考えられ、糞だけでなくアオコ等も、この付近に堆積する可能性も強い。従来の調査では、このような影響は認められず、したがってハマチ等で行われている浚渫は不要と考えられていたが、このような結果を見るといつかの時点でそうした対策を考慮する必要が出て来よう。

8 対策一 飼料組成改善による負荷量削減の試み

市販配合飼料(蛋白40%, 脂肪3.8%)にフィード・オイルを添加した場合のコイ(100g)のNH₄-N量を25℃で13時にわたって測定した結果を第8図に示した。油無添加の餌では9当り36mgのNH₄-N排泄量が減少しており、20%~25%添加するとNH₄-N排泄量は1/2の15mg/gに減少している。このことは、おそらく、配合飼料では脂肪含有量が3.8%であるため

と考えられる。コイの体成分は普通蛋白質18%、脂肪3%である。水分は78%であるから、乾物当りでは81.8%および13%となる。したがって、体脂肪の13%と飼料中の脂肪の3.8%の差は、蛋白質からまわって行くものと考えられるわけで、この実験で見た脂肪の添加にともなうNH₄-N排泄の減少量は、その仕事に関係しているものと思われる。そうであれば、配合飼料中へ脂肪を添加することによって、飼料効率を高めると同時に湖へのN負荷量を軽減させることができるはずである。



第8図 飼料組成とそれらを摂取した場の代謝変動

そこで、脂肪含有量の異なる5組の飼料を出島漁業協同組合飼料工場で作成し、6月26日から85日間の飼料試験を行った。それに使用した飼料の分析結果は第10表のとうりである。

1) 試験結果

まず、この試験で問題となるのは、脂肪含有量が多いところから、とりあつかい、例えば運搬や給餌に当って機械的に生じる損失がある。その結果は第11表のとうりである。脂肪含有量が17%のNo 2では20%の損失が生じている。10%脂肪含有量の餌では12%の損失であり、現在の製造方法では15%程度の損失を見込まなければならない。この損失物は、しかし、粉として回収し、新しい飼料と交換すること等で解決は可能と考えられる。この点で地元で飼料を製造する強みであるが、将来製造方法の検討が必要であらう。

第2番目の問題は添加した脂肪の変質の問題がある。脂肪の酸敗は疾病をもたらし養殖へ被害を発生させるもので充分注意する必要がある。この種の飼料

第10表 飼料の一般成分と飼育後のコイの体組成

| 区分 | | 対 照 | 出島 1 | 出島 2 | 出島 3 | 出島 4 | 出島 5 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 成分 | 水分 | 9.23 | 2.91 | 1.49 | 2.28 | 5.17 | 3.86 |
| | 粗 蛋 白 | 42.42 | 43.38 | 37.36 | 30.72 | 26.69 | 35.56 |
| | 粗 脂 肪 | 7.51 | 10.29 | 17.50 | 17.85 | 17.39 | 9.80 |
| | 粗 灰 分 | 11.38 | 10.49 | 8.33 | 7.23 | 6.04 | 8.86 |
| | 粗 繊 維 | 3.60 | 1.54 | 1.49 | 1.69 | 1.80 | 1.66 |
| | そ の 他 | 35.09 | 34.3 | 35.52 | 42.51 | 48.08 | 44.12 |
| 飼の育したコイ成分 | 水分 | 78.57 | 78.69 | 78.34 | 78.31 | 76.53 | 77.77 |
| | 蛋白質 | 19.05 | 18.67 | 17.69 | 17.64 | 18.34 | 18.71 |
| | 脂 肪 | 1.10 | 1.24 | 2.75 | 2.33 | 4.13 | 2.65 |

第11表 給餌までの過程で生ずる損失
(6mmの篩を通過するものをいう。)

| 種 類 | 対 照 | D 1 | D 2 | D 3 | D 4 | D 5 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 損 失 | 1.89% | 12.45 | 19.34 | 15.89 | 14.28 | 12.02 |

第12表 飼料の酸化、過酸化価およびビタミンE含量

| | 対 照 | D ₁ | D ₂ | D ₃ | D ₄ | D ₅ |
|--------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 酸 価 | 7.50 | 5.32 | 4.94 | 4.62 | 4.06 | 5.11 |
| 過酸化価 | 10.64 | 5.71 | 6.17 | 6.13 | 8.14 | 10.81 |
| ビタ ミンE | 0.059 | 0.191 | 0.211 | 0.219 | 0.112 | 0.182 |

を使用する場合には、直射をけて給餌を行った。こゝでは、脂肪の酸敗の状態を知る目的で酸価 (AV) と過酸化 (POV) を測定し、その予防につながるビタミンEを測定し第12表に示した。測定は製造後3ヶ月後である。AV, POV 夫々4~7および5~10mg/g でいずれも問題となる程ではない。

次に85日間の飼育成積であるが、第13表のとうりである。給餌は9:00および15:00時の2回、40~50分にわたって魚の状態を見ながら行った。日曜日は給餌を行わなかった。

第13表中 K_G , K_r , K_c は夫々成長速度, 摂餌量, 飼料効率を表わす係数で、体重によって変化する値を補正する意味で用いたもので、その値は体重1gのコイの値であり、たとえば $K_r=0.1$ は1gのコイが0.1gの飼料を摂取したことを示している。又、脂肪含有量は後述する理由から、脂肪/脂肪+蛋白として示してある。脂肪+蛋白は飼料全体の約50%であるから、その半分が脂肪含有量に相当する。成長が速いのはD5で次にD2で、 $F/F+P$ は夫々21.6, 31.8の区で市販品で最も悪く、 $F/F+P=39.5$ のD3が次に悪い。摂餌量はD5が高いが全体的に見ると脂肪が多い程、摂餌量が減少するようで、 $F/F+P=20$, したがって約10%の脂肪添加によって約5%の摂餌量の減少が起きている。いわば脂肪添加による飼料の節約

第13表 飼育成積 (6.27~9.18の85日, 尾数は190尾)

| 区 分 | 対 照 | D 1 | D 2 | D 3 | D 4 | D 5 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| W ₀ (g) | 225.8 | 209.8 | 213.8 | 206.6 | 217.0 | 205.2 |
| W _t (g) | 597.2 | 671.3 | 712.0 | 661.1 | 630.0 | 740.0 |
| Σr (g) | 58.2 | 57.0 | 53.3 | 57.2 | 56.2 | 67.8 |
| 飼料効率% | 61.5 | 77.8 | 79.2 | 77.1 | 70.1 | 76.7 |
| K_G | 0.123 | 0.148 | 0.156 | 0.147 | 0.134 | 0.166 |
| K_r | 0.129 | 0.120 | 0.124 | 0.121 | 0.120 | 0.137 |
| K_c | 0.955 | 1.23 | 1.26 | 1.21 | 1.12 | 1.21 |
| $\frac{F}{F+P}$ (%) | 15.0 | 19.2 | 31.8 | 36.7 | 39.5 | 21.6 |

W₀: 初めの体重 W_t: 終りの体重 Σr: 総摂餌量

F: 脂肪含有量 P: 蛋白含有量

K_G , K_r , K_c : 成長, 摂餌, 飼料効率を示す1系数, 体重による変化を補正する目的で次式から計算, 値はW1gのコイの値に換算したことになる。

$$K_G = \frac{2.5 (W_t^{0.4} - W_0^{0.4})}{\text{飼育日数}}$$

$$K_c = \frac{W_t^{1.07} - W_0^{1.07}}{1.07 \times \Sigma r}$$

$$K_r = K_G / K_c$$

を意味する。

次に飼料効率であるが $F/F+P=20\sim30$ の範囲で最大である。1gのコイであれば120% (エネルギー効率では約30%)を示す。

以上の結果から、蛋白質35%、脂肪10%のD5が最も効率が高く、次に38%、18%のD2がよい成績を示した。

2) 代謝変動からみた適合含有量

脂肪含有飼料を摂取したあと12~13時間にわたって30分間隔で酸素消費量と $\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄量を測定し、base line上の総量を求めた。コイの大きさは、100gで飼料は0.5g与えた。(第14表、第8図)。

第14表 飼料1g摂取した場合の酸素消費量・ $\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄量

$\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄量は第8図のようにF/F+Pが増加する程少く、F/F+P=8.7では32

| F/F+P | 8.7 | 11 | 20 | 27 | 33 | 38 |
|--|-------|------|------|------|------|-------|
| 酸素消費量 (ml/g diet) | 106.8 | 75.5 | 66.7 | 81.7 | 77.5 | 139.7 |
| $\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄量 (mg/g diet) | 32 | 32 | 19 | 16 | 15 | 12 |

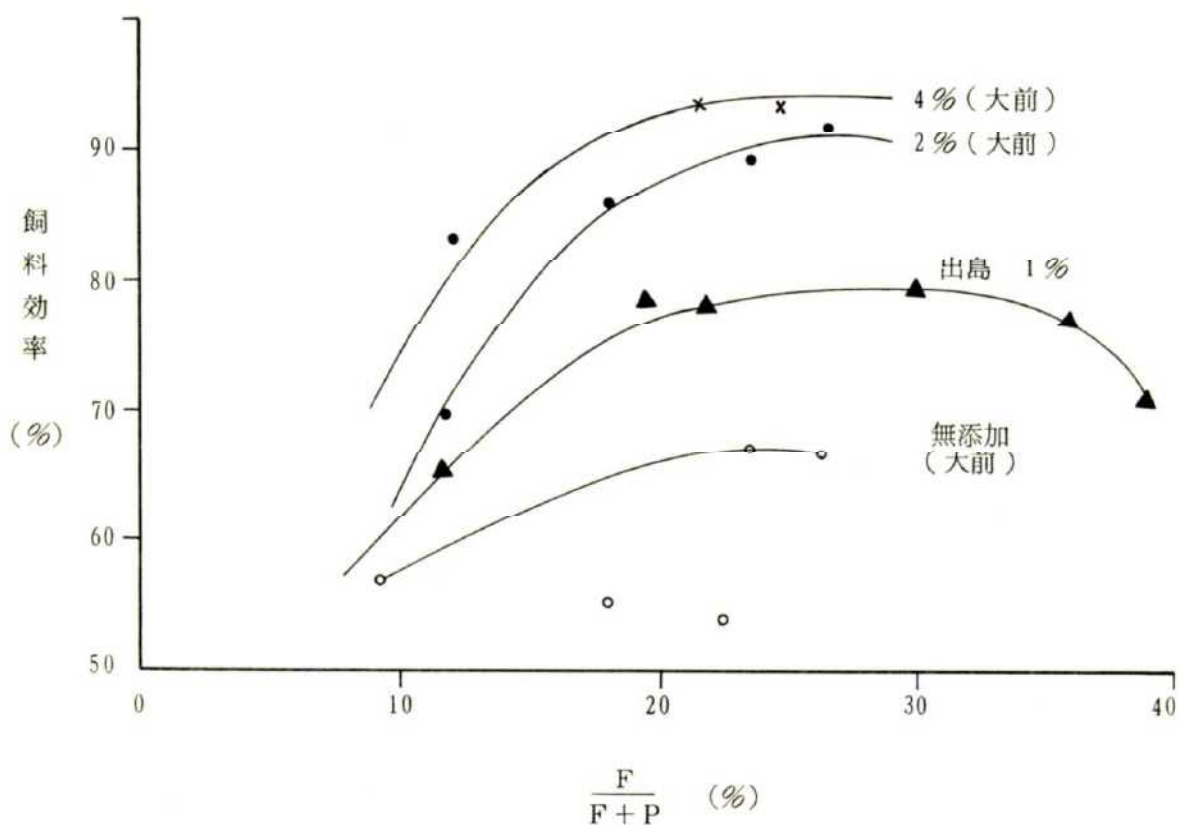
mgであったものが20で19mg、38では12mgに減少した。その原因は単一ではなからうが、脂肪の少ない飼料ではアミノ酸のdeaminationで生じたアセチルCoAからの脂肪の合成が起こるから、脂肪添加によって、その分だけdeaminationを受けるアミノ酸の量が減少し $\text{NH}_4\text{-N}$ が少なくなるものと考えられる。これに対し、酸素消費量は、F/F+P=20で最小でそれより大きい場合には急激な上昇を、小さい場合にも増加する。酸素消費量はエネルギー損失であるから、飼料効率はF/F+P=20、脂肪添加量10%~15%で最大となることを示している。コイの魚肉のF/F+Pは第13表より13%であるから、この値と一致している。もし、この値をこえて脂肪が添加された場合には、脂肪酸とグリセリンとなって β -酸化やTCA Cycleで分解され、そのため酸素消費量も増加するものと考えられる。逆に脂肪が不足している場合にはdeamination、アセチルCoAから脂肪酸を合成する作業やこれに NADPH_2 を供給する作業が余分であるから、その代謝に費す損失がおこることが考えられる。

3) 脂肪とリン酸カルシウム

この問題はすでに村上(1970)、大前(1976、第15表)による報告があるので後者を引用してみた。コイのリポゲネシスは、糖類よりも蛋白質が重要とされている(永井・池田・1972)。コイの体組成は蛋白質、脂肪、灰分では $\times 100\%$ であり、炭水化物は非常に少ない。したがって、飼料中の蛋白質、脂肪が体構成成分の中心と考えられる。とすると、飼料中の脂肪含有量(F)は蛋白質(P)との比較F/F+Pを基準とすればよいことになる。第9、10図は大前の資料と

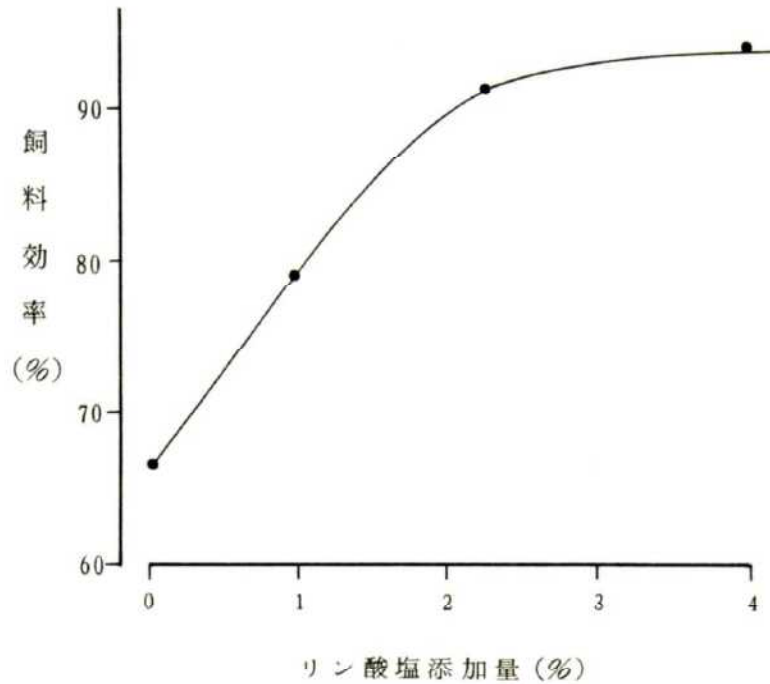
第15表 大前による各種条件下の飼料効率

| No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| P | 44.5 | 43.6 | 44.8 | 45.2 | 36.2 | 36.6 | 38.8 | 39.2 | 40.0 | 38.5 | 38.5 | 38.8 | 38.5 | 39.7 |
| F | 4.5 | 12.5 | 6.0 | 12.3 | 4.9 | 5.0 | 5.3 | 8.6 | 12.2 | 11.7 | 10.5 | 12.8 | 13.9 | 13.1 |
| F/F+P (%) | 9.2 | 22.3 | 11.8 | 21.4 | 11.9 | 12.0 | 17.7 | 18.0 | 23.3 | 23.3 | 21.4 | 26.2 | 26.5 | 24.8 |
| 第1リン酸ソーダ (%) | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| 飼料効率 | 57.0 | 53.0 | 69.5 | 71.0 | 64.3 | 83.0 | 54.8 | 85.3 | 65.8 | 88.5 | 92.9 | 65.8 | 91.0 | 92.2 |



第9図 脂肪含有飼料の効率

先にあげた第13表の結果を図示した。ものである。出島工場作成飼料は第1リン酸カルシウムが1%添加してある。4組のリン酸Ca(又はNa)含有量の異なる飼料は、いずれもF/F+P=20~22, 脂肪含有量で10~15%で飼料効率が最大となるがその最大値はリン酸カ



第10図 リン酸塩添加量と飼料効率

ルシウムの含有量で異なる。いま、第1リン酸カルシウムと各々の最大効率の関係を検討してみると、10~15%の脂肪含有飼料では第1リン酸カルシウムが添加されていないと効率は66%であるが3%ではほぼ最大となり94%となる。ここでPがどの部分にきいているかという問題がある。脂肪添加した場合には、脂肪酸からAcyl-CoAがグセロース-3-リン酸と合流する径路(Metabolic Maps, Isimoto)からであるからおそらく解糖系でデンプンからグリセロース-3-リン酸へ至る過程であろう。もし、そうであれば炭水化物の添加量が、この観点から検討されなければならない。そして最終的に組成が決定されようが、ここではとりあえず、脂肪13%、蛋白質37%、第1リン酸カルシウム(又はナトリウム)3%を最良の飼料としておくこと。この飼料は、脂肪およびリン無添加の飼料に比較して、効率では94%に対し55%、NH₄-N排泄量は19mgに対し32mgで、いずれも1.7倍というおどろくべき値である。

4) NかPか

以上の検討によって脂肪含有する飼料にPを添加することによって飼料効率は勿論のこと、湖に対するN負荷量をも著しく軽減することがわかった。しかし、水質保全の立場からは、Pの規制をすゝめる方向にあるようで、それと全く逆の立場をとることになる。そこでP添加あるいは摂餌によるP排泄量を検討してみる。

まず、飼料中のNは蛋白質を37%とすると59.2mg/gである。一方添加されたPは、

NaH₂PO₄ 3%で7.8 mg/gである。飼料中には、15 ~ 20 mgのPが含まれているが、この中には魚粉の骨組織中であって、水中へ溶出しにくい部分も相当大きいと考えられるが、とりあえず、この飼料が摂取された場合にどのくらいの量のN、Pが排泄されるかが問題となる。蛋白質(カゼイン) 30%、脂肪(大豆油) 20%添加した場合のN、Pの摂餌後15時間の排泄量はNH₄-N 17.4 mg、P 0.95 mgで、脂肪無添加の第4表の実験では59および2.4に比較するとPの比率が大きくなっているがN/P = 18である。この値は霞ヶ浦に流入する河川の約10に比較すると小さいし、アオコの増殖速度の最大値のN/Pの3に比較すると相当に小さい。(浜田ほか1979)。実験例も少ないが、脂肪の添加による効率の上昇、成長速度の上昇、摂餌量の減少を総合して判断すると、脂肪とPの添加が水質保全上も優利といえそうである。そして、その最終的判定の基準は、Pの添加の有無の飼料の各々の単位生産量当りの負荷量によって決められるべきである。そこで、次の条件で検討して見る。第13表より、

P無添加：第10表の対照

$$K_r = 0.129 \quad K_c = 0.955$$

脂肪13%含有：

$$K_r = 0.137 \quad K_c = 1.21 \times \frac{97}{79} = 1.49$$

$$W_0 = 10 \text{ g} \quad W_t = 1,000 \text{ g}$$

10 gから1,000 gに達するのに必要な飼料の量は

$$\sum r = \int_{W_0}^{W_t} W^{0.07} dW$$

であるから(浜田ほか, 1973), 無添加区で1686, 添加区で1080 gとなる。このことは飼料代の軽減は当然のことであるがN、Pの負荷量にも影響を与えている。第16表には各飼料の必要量と組成が示してある。こゝから投与N、Pが計算されるが、こゝからコイ1 Kg中のN、Pの含有量の6.25 gおよび0.55 gを差し引けば1 Kg生産する場合の負荷量が算出される。投与N、Pは添加区で64 mgおよび2.16 gで無添加区では113 mgおよび2.53 gで、Nは44%, Pでも15%の負荷量が軽減される。

5) 脂肪13%, 蛋白質37%にリン酸塩を添加することによって餌代とN負荷量を大巾

第16表 組成を改良した飼料の飼料
給餌量・負荷量の算定
(10 gから1,000 gに成長する場合。)

| 区 分 | | 対 照 | 改良飼料 |
|-----|----------|-------|-------|
| 組 成 | 蛋白質(%) | 42 | 37 |
| | 脂 肪(%) | 7.5 | 13 |
| | P (mg/g) | 15 | 23 |
| 投 与 | 総 量(g) | 1,686 | 1,080 |
| | 蛋白質(g) | 708 | 399 |
| | P (g) | 2.53 | 2.16 |

に減少せしめ、Pを添加したにもかかわらず、結果的にはP負荷をも削減することがわかった。脂肪の添加は酸敗等による障害が懸念され製造から比較的短期間のうちに消化することが望まれる。こうした事情を考えると、漁協の飼料工場では、脂肪含有量の多い飼料を製造する条件があるといえるが、生産量や先にのべた損失の多い点が隘路といえ将来、この方向が望ましいということになれば、何らかの施策が必要となろう。

参 考 文 献

- 村上恭祥(1970) : コイ養成におけるリン酸塩の餌料添加効果について, 広島県淡水指報告9。
- 浜田篤信ほか(1973) : 魚類の特異動物作用に関する研究-I, 日水誌39 (1231)。
- 永井正徳・池田静徳(1971) : 魚類の炭水化物代謝-I, 日水誌37(404)
- 大前浩美(1976) : コイにおけるリン酸塩添加配合飼料での油脂添加試験, Feed oil Abstracts 0678 B 7-1, 養魚用餌料油脂研究会編より引用。
- 浜田篤信ほか(1975) : 魚類の成長構造解析に関する研究-I, 日水誌41(147)
- 浜田篤信ほか(1979) : 藻類異常発生機構について, 茨城県内水試報告(印刷予定)