

## コイ養殖に伴う水中溶出P負荷量について

熊丸敦郎, 外岡健夫

### はじめに

昭和57年に霞ヶ浦富栄養化防止条例が施行されて以来、霞ヶ浦流域内排水の負荷削減対策が各産業部門別に努力目標を定めて実施されているところである。水産業においては、養殖生産量の調整や低蛋白高カロリー資料の開発実用化等により、負荷日量を昭和58年当初の窒素:1.49ト、リン:0.27トから平成6年の窒素:0.86ト、リン:0.19トへと削減実績<sup>1)</sup>をあげており、特に他の負荷において削減が難しいとされる窒素削減成果については評価されるべきであろう。リンについては、魚類に限らずあらゆる動物にとって生命を維持する上で不可欠のものであり、飼料中のリン含有率をレベルよりさらに下げるとは、むしろ飼料効率の低下を招き、負荷量を増大することになるため困難である<sup>2)</sup>。養魚飼料に含まれているリンにはコイが利用できるいわゆる有効リンと飼料原料の魚粉中に含まれる骨組織等由来の分解吸収されにくいリンとが存在し、前者は効率よく吸収されて体成分として合成された後、成長増重分として取り上げられるものと代謝され尿として排泄されるものとに分かれるが、後者のほとんどは糞として排泄される。現在、負荷量の算定は総量で行われており、養殖によるリン負荷総量はコイが排泄する尿及び糞に含まれるリンの和ということになる。これらの内、尿中のリンは全て湖水中に回帰するが、糞中のリンはコイが分解吸収しなかった結果のものであるから、その全量が水界に溶出回帰するものとは考えにくい。このため、ここでは養殖ゴイの排泄糞から水中に溶出するP量について室内実験により確認することとした。

### 材料と方法

#### (1) 供試泥

1954年3月25日、霞ヶ浦湖心部にてエックマンバ  
ージ採泥器により底泥表層部(湿重:約500g)を採取

し、冷蔵庫内に一時保存した。

#### (2) 供試コイ糞

25℃加温地下水を1.2l/minの注水にした5個の60lガラス水槽に250gサイズのコイを1尾ずつ収容し、市販コイ用配合飼料(日清製粉㈱製特みずほα育成用)を給餌しながら1週間馴致した後、同飼料を給餌して各個体から排泄された糞を給餌後3.5時間から12時間の間で採取した。採取した糞は5尾分を合わせて充分混合した後、冷凍庫に一時保存した。

#### (3) 供試泥、糞及び飼育飼料の成分分析

水分:湿重を計量した後に凍結乾燥し、乾燥前後の重量差から水分を求めた。

測定試料量(湿重):泥(26g)、糞(4g)、飼料(36g)

灰分:凍結乾燥試料について、マッフル炉にて650℃、2時間加熱後に重量測定。

測定試料量(乾重):泥(10g)、糞(0.8g)、飼料(1g)

T-C, T-N:C-Nコーダーにより定量。測定試料量(乾重):泥(200mg)、糞(80mg)、飼料(80mg)

T-P:灰分測定試料に6NHCl:10mlを加えて30分加熱、蒸留水で100,000mlに希釈した後、テクニコンオートアナライザーにより定量測定。測定試料量:灰分測定と同じ。

#### (4) 消化率の測定

消化率測定に用いた飼料は前記糞採取に使用したのと同じの市販配合飼料(ペレット)を粉化した後、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を0.5%加え、水を加えてペレット状に再形成し、80℃24時間乾燥して作成した。本飼料給餌に

よる糞の採取方法は(2)と同じである。飼料及び糞を凍結乾燥した後、各々に含まれるCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>量を占川ら<sup>3)</sup>の方法により定量し、次式により消化率：D(%)を求めた。

$$\text{消化率：D(\%)} = \{1 - (100 - \text{Dex}) / (100 - \text{Df}) * \text{Df} / \text{Dex}\}$$

ただし、Df:飼料中のCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含有率(%), Dex:糞中のCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の含有率(%)

#### (5) 泥及び糞を混合した泥からのP回帰量測定

##### 条件

養殖ゴイの糞から溶出するPの最大値を求めるため、試験容器を密閉し、Pが溶出しやすい嫌気条件で試験を行った。すなわち、試験容器として500ml褐色瓶6本を用い、これらにゴイの糞と湖底泥の混合割合を6段階に変えて入れ、蒸留水で満たした後、シリコンゴム栓で密栓をした。このときの容器内全容量は550mlであった。各試験区容器内に入れた泥及び糞の量は表-1に示すとおりである。

表-1 各試験区容器内に入れた底泥及びゴイ糞の湿重量(乾重量)(g)

試験区	I	II	III	IV	V	VI
湖底泥	25 (3.62)	25 (3.62)	25 (3.62)	25 (3.62)	25 (3.62)	25 (3.62)
ゴイ糞	0	0.05 (0.0098)	0.10 (0.020)	0.20 (0.039)	0.50 (0.098)	1.0 (0.195)

各試験容器とも25℃遮光した高温槽内に入れ、容器内水中無機態P濃度の経時的变化を1年間(1994.4.20.~1995.3.29.)にわたり、2~4週間に1回の間隔で調べた。各試験区容器からの試水採取に際して、容器を十分に振盪して内容を攪拌した後、2時間程静置、泥が沈澱したのを確認してからゴム栓を外し、上澄み液5mlを採取した。試水採取後、直ちに減量分の5mlの蒸留水を加えて密栓し、再び回帰溶出試験継続のため恒温槽内に戻した。

#### (6) 試水中無機態Pの測定

各試験区より採取した試水は2,500rpm,10minの遠心分離を行い、その上澄み液についてテクニコンオートアナライザーによりPO<sub>4</sub>-Pの定量を行った。なお、測定結果については測定毎に補充した蒸留水5ml分を補正した。

#### 結果及び考察

##### (1) 供試泥、糞及び飼育飼料の成分分析結果

供試湖底泥、糞及び糞採取時に使用した飼育飼料の成分分析結果を表-2に、飼育飼料のゴイのゴイによる消化率測定結果を表-3に示した。これによりゴイが乾燥配合飼料を摂餌した場合の消化率は67.9%、したがって、水分を含む飼料(水分：10%,N:5.50%,P:1.16%)の消化率は71.12%、糞量は摂餌量の28.89%となる。また、糞(乾燥重量中)のN、P含有率はN:2.72%,P:2.43%であるからゴイが糞として排泄するN、Pは水分を含む飼料量の0.79%:N,0.70%:Pとなる。すなわち、増肉係数:1.4(飼料効率:0.714)とすると、ゴイ1tonを生産するために飼料1.4ton(P:16.8kg)が使用され、糞として0.4ton(P:9.88kg)が排泄されることになる。

表-2 供試湖底泥, コイ糞, 飼育飼料の成分分析結果

成 分	湖底泥	コイ糞	飼育飼料
Moisture (%)	85.52	80.46	9.65
Ash (dry%)	82.38	19.52	8.40
(wet%)	11.93	3.81	7.59
T-C (dry%)	6.55	42.16	48.12
(wet%)	0.95	8.24	43.48
T-N (dry%)	0.80	2.72	6.09
(wet%)	0.12	0.53	5.50
T-P (dry%)	0.15	2.43	1.29
(wet%)	0.022	0.48	1.16

表-3 供試飼料における消化率及び成分消化率(%)

	飼 料 (dry%)	糞 (dry%)	消 化 率 (%)
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.48	1.48	67.89
C	48.12	42.16	71.87
N	6.09	2.72	85.66
P	1.16	2.43	32.74

(2) 泥及び糞混合泥から溶出する無機態P量の経時的変化

湖底泥と糞の各混合比におけるP溶出量測定結果を表-4および第1図に示した。これによると容器内P濃度はいずれの試験区とも日数経過とともに増加し、約120日を経過したあたりでピークに達し、その後はほぼ一定となっている。すなわち、糞からのP溶出量は、25℃の嫌気条件において120日までに最大に達し、ほとんど溶出を終了するものと見られる。また、P溶出速度および溶出ピーク濃度は容

器に入れた糞量に比例して増加する傾向を示しており、糞量(糞中P量):Pex(mg)と最大P溶出量:

Pmax(mg)の関係は第2図に示したとおり、次式で現される相関性の高い比例関係であった。

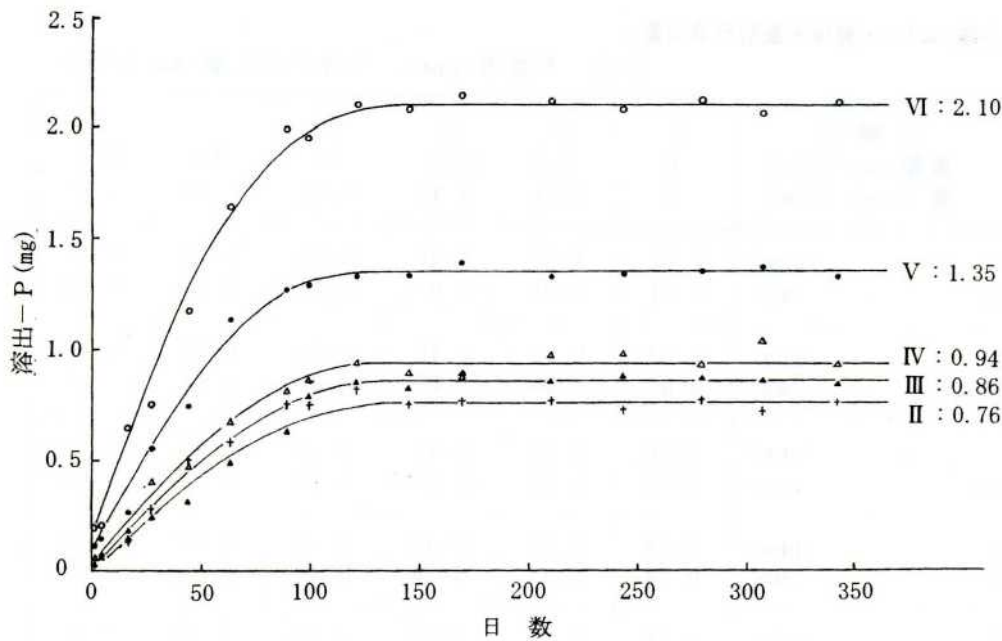
$$P_{max} = 0.291 * P_{ex} + 0.685 \quad (r = 0.9986)$$

この式は、嫌気条件における糞と底泥混合物からのPの溶出量が糞に含まれているPの29.1%と、糞に加えた底泥(湿重:25g, 乾重:3.62g, P含有量:5.5mg)から溶出した0.685mgの和となることを表している。

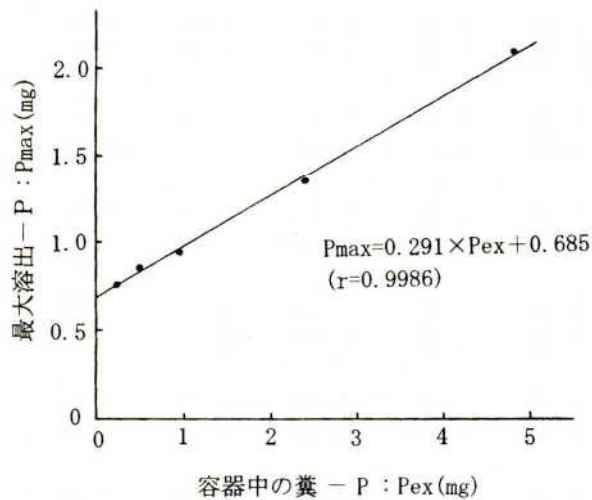
表-4 試験容器へのコイ糞投入量別P溶出量

上段：実測値 (ppm)， 下段：溶出量 (mg/550ml)

測定日 (積算日)	試験区 糞量 (mg/550ml) 糞-P (mg/550ml)	I	II	III	IV	V	VI
		0	9.8	20	39	98	195
		0	0.24	0.48	0.96	2.40	4.80
'93. 4.20. ( 1)	(ppm)	0.02	0.05	0.05	0.08	0.11	0.34
	(mg)	0.01	0.03	0.03	0.05	0.06	0.19
4.23. ( 4)	(ppm)	0.04	0.12	0.10	0.08	0.25	0.35
	(mg)	0.02	0.06	0.05	0.05	0.14	0.20
5. 7. ( 16)	(ppm)	0.06	0.22	0.31	0.26	0.46	1.15
	(mg)	0.03	0.23	0.18	0.14	0.26	0.64
5.18. ( 27)	(ppm)	0.08	0.67	0.43	0.70	0.97	1.32
	(mg)	0.04	0.38	0.24	0.40	0.55	0.75
6. 4. ( 44)	(ppm)	0.10	0.88	0.54	0.82	1.30	2.05
	(mg)	0.06	0.50	0.31	0.47	0.74	1.17
6.23. ( 63)	(ppm)	0.13	1.18	0.85	1.17	1.96	2.84
	(mg)	0.08	0.68	0.49	0.67	1.13	1.64
7.19. ( 89)	(ppm)	0.09	1.29	1.08	1.39	2.19	3.43
	(mg)	0.05	0.75	0.63	0.81	1.27	1.99
7.29. ( 99)	(ppm)	0.19	1.27	1.33	1.47	2.20	3.32
	(mg)	0.11	0.75	0.79	0.86	1.29	1.95
8.20. (121)	(ppm)	0.22	1.38	1.43	1.59	2.25	3.54
	(mg)	0.13	0.82	0.85	0.94	1.33	2.10
9.13. (145)	(ppm)	0.13	1.25	1.37	1.48	2.21	3.47
	(mg)	0.08	0.75	0.82	0.89	1.33	2.08
10. 7. (169)	(ppm)	0.16	1.28	1.47	1.48	2.29	3.54
	(mg)	0.10	0.77	0.89	0.87	1.39	2.14
11.17. (210)	(ppm)	0.18	1.26	1.39	1.59	2.18	3.46
	(mg)	0.11	0.77	0.85	0.97	1.33	2.11
12.20. (243)	(ppm)	0.21	1.18	1.43	1.59	2.17	3.36
	(mg)	0.13	0.73	0.88	0.98	1.34	2.08
'94. 1.25. (279)	(ppm)	0.25	1.23	1.39	1.50	2.17	3.41
	(mg)	0.16	0.77	0.87	0.93	1.35	2.12
2.22. (307)	(ppm)	0.22	1.15	1.36	1.65	2.17	3.27
	(mg)	0.14	0.72	0.86	1.04	1.37	2.06
3.29. (342)	(ppm)	0.21	1.19	1.31	1.47	2.09	3.31
	(mg)	0.13	0.76	0.84	0.93	1.33	2.11
121日以降の平均溶出P量 (mg)		0.12	0.76	0.86	0.94	1.35	2.10



第1図 嫌気条件下におけるコイ糞からのP回帰

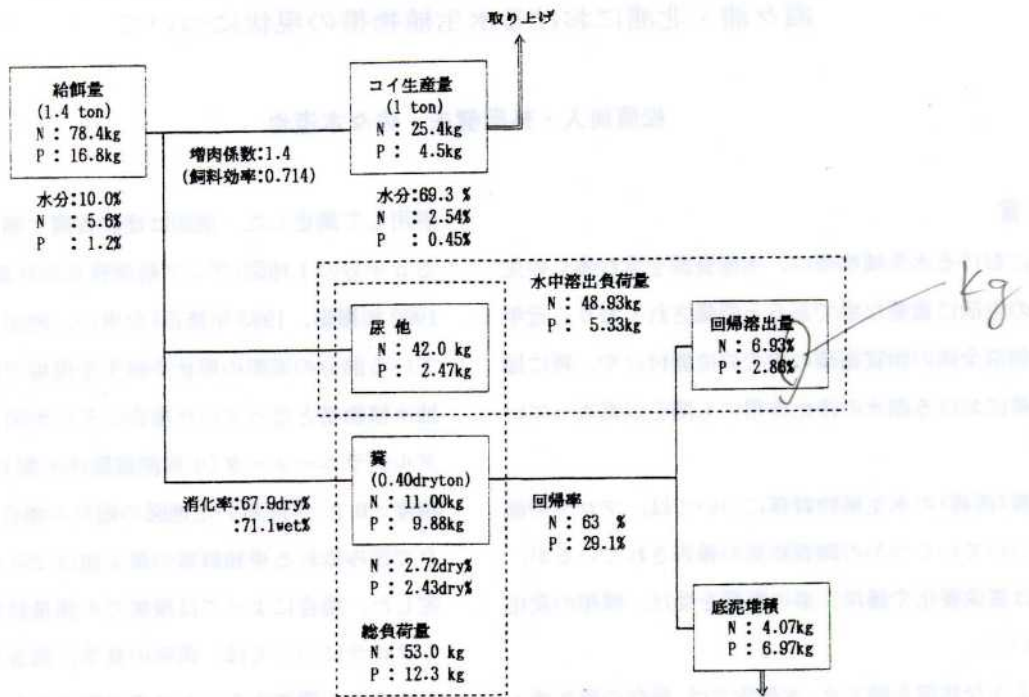


第2図 コイの糞に含まれる全リンと溶出リンの関係

以上の結果に基づき、コイを1ton生産することによる水中回帰P量を算定し模式図として第3図に示した。なお、これらの算定基礎として、飼料成分は(水分:10%, N:5.6%, P:1.2%), コイ体成分は(水分:69.3%, N:2.54%, P:0.45%), 飼料効率は0.714(増肉係数:1.4), 消化率は67.9dry%:71.12wet%, 糞から水中へのN, P回帰率は(N:63%, P:29.1%)とし、N量についても図中に併記した。この算定結果により、コイ1tonの生産に伴って湖水中に溶出するP量は尿からの

2.4kgと糞からの2.8kgの合計5.3kgであり、P負荷総量:12.3kgの43%ということになる。溶出しなかった残りの57%についてはおそらくそのほとんどが底泥として堆積するものと思われる。なお、これら堆積物の蓄積が網生養殖漁場直下周辺のみに限定して認められないのは、水深が浅く、強風時に濁度の上昇が起こる霞ヶ浦においては新生堆積が拡散されやすいためと考えられる。

第3図 コイ(1ton)養殖生産における水中溶出負荷量



要 約

現在、湖内に流入する負荷量の算定は排出総量によりおこなわれているが、これら排出物の内重要視されるべきものは、湖水富栄養化の原因となる回帰溶出性栄養塩類である。コイ養殖に伴って排泄される糞からのP回帰溶出率は、使用飼料原料からみてかなり低いことが予想されるため、室内還元条件における糞からのP回帰量について1年間調査を行った結果、次のことが確認された。

- 糞採取の際に用いた飼育飼料の成分は水分：9.65%，C：43.48%，N：5.50%，P：1.16% (1.29dry%)，糞の乾燥成分はC：42.16%，N：2.72%，P：2.43%，この時の消化率は67.89% (71.1wet%)であった。これにより、増肉係数：1.4 (飼料効率：0.714) とすると、コイ1tonを生産するために飼料1.4ton (P:16.8kg) が使用され、糞として0.4ton (P:9.88kg) が排泄されることになる。
- 糞量を変えた湖底泥と糞混合物からのP回帰量を調べた結果、糞中P量：pex (mg) と最大回帰P量：Pmax (mg) との関係は次の式で表された。

$$P_{max} = 0.291 \cdot P_{ex} + 0.685$$

これにより、糞からのP回帰量は糞に含まれる全P量の29.1%と見なされる。

- 以上の結果から、コイ1tonを養殖生産した時のP溶出負荷量は尿からの2.4kgと糞からの2.8kgの和：5.2kgとなった。これはP総負荷量：12.3kgの43%ということになる。

文 献

- 茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課 (1994)：清らかな水のために
- 竹内俊郎・星光政・佐藤秀一・渡辺 武・高島葉二・川又忠義 (1993)：コイの窒素排泄量に及ぼす飼料中の可消化エネルギーおよび有機リン含量、水産増殖，41 (3)， 359-365
- 古川厚，塚原宏子 (1966)：養魚飼料消化試験の指標物質としての酸化クロームの湿式定量法について、日水誌，32 (6)， 502-506