

18. 北潟湖の水質について(第5報)

湖底質からの栄養塩の回帰量の検討

前川 勉, 加藤賢二, 田川専照
塩谷勝夫, 八木光行(公害規制課)

I 緒 言

湖水のプランクトンは、死滅し沈降して底質となるが、その過程で分解し、その分解物は湖水中に回帰して再び植物プランクトンの生長に利用されている。前報において、湖のプランクトンの成分と植物プランクトンの生産・分解の速度について検討した¹⁾。この中で、暗びん中での分解と、プランクトンが沈降し底質として堆積する過程でおこる分解について述べたが、前者を初期の分解、後者を中期的な分解と呼ぶこととする。底質中では、堆積後さらに分解をうけるが、これを長期的な分解とした。初期の分解は日単位の分解であり前報で報告したので、本報では中期的な分解と長期的な分解と、これに伴う栄養塩の回帰量について検討したので結果を報告する。ここで、中期的な分解とは、暗びん中の分解と底質表層の分解との中間的な期間での分解であり、週単位～1・2年以内の分解に基づくものであり、長期的とは、底質のコア分析で解析される期間で約2年以上である。

II 調査方法

1. 調査日

堆積速度調査(コアA, コアB)

昭和54年6月26日

垂直分布用柱状試料採取

昭和51年8月12日

2. 調査場所

堆積速度調査および垂直分布用柱状試料の採取地点を

図-1に示した。

北潟湖では冬期に地曳網が行われるので、出来る限り地曳網の行われない場所を選び底質のコアサンプルを採取した(コアB, 垂直分布用コア)。コアAは湖央の底質である。

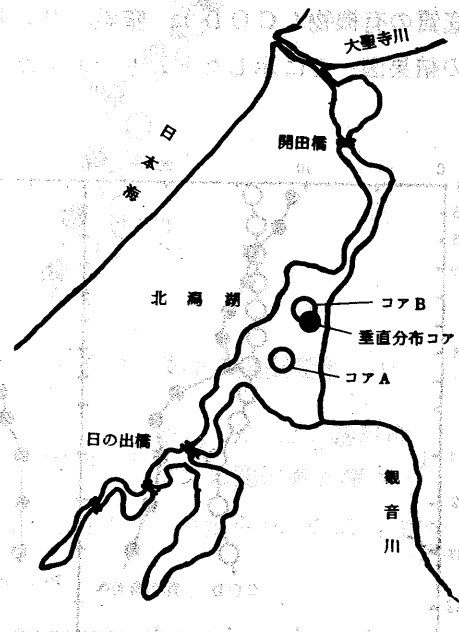


図-1. 底質の柱状試料の採取地点

3. 柱状採泥器

底質の垂直分布を攪乱しないように、柱状採泥器の内側に透明アクリルパイプを使用し、 ^{210}Pb 測定に必要な量を考え、著者が設計し製作した。外筒と内筒の二重にし、内筒は調査目的のコアサンプルの各層の高さ(本調査では、上層部2.35cm, 下層5cm)に切断し、コア全体を下端から押し上げて、内筒をはずしてゆくとコアが攪乱されることなく表層から切断出来る。下端は、リン青銅板で閉じることができる。垂直分布用コアを採取したときの採泥器は外筒だけのものであり、採泥後、採泥器全体を垂直に立てた状態で凍結し、ノコギリで各コアの間隔で切断したが、この方法では凍

結した時に表層の水分が多い層の中央が盛り上がり、各間隔を正確に決定するのが困難だった。

4. 試料の調整と分析の方法

堆積速度調査用試料は、採取後採泥器内の水が抜けた後、上層で2.35cm、下層で5cm間隔で切り、フタ付き容器で持ち帰った。空冷式の孵卵器中約30℃で一週間乾燥し水分含量を求めた。乾燥試料を磁性乳鉢で均質にすりつぶし、堆積速度測定用試料とした。堆積速度の測定は、福井県公害規制課から金沢大学理学部に委託された。測定方法は ^{210}Pb の測定により行なわれた(^{210}Pb 法)。

垂直分布測定用試料は、ドライアイスで凍結し切断したものを風乾し、強熱減量、有機物(チューリン法)、窒素(キェルダール窒素、アンモニア性窒素、酸化性窒素)、リン(塩酸および水酸化ナトリウム抽出物の無機リンと全リンをリンモリブデン青法で分析)を分析した。詳細は、前報³⁾に示したとおりである。

II 調査結果

1. 堆積速度

金沢大学の「北潟湖底質の堆積速度の測定」結果報告書²⁾によれば、北潟湖底質の堆積速度は、コアAで $8.4\text{ mg/cm}\cdot\text{年}$ 、コアBで $11.2\text{ mg/cm}\cdot\text{年}$ であった。

2. 底質の有機物、窒素、リンの垂直分布

底質の有機物(COD)、窒素、リンおよび水分の含有率から求めた泥の含有率の垂直分布は、分析の結果図-2に示したとおりであった。

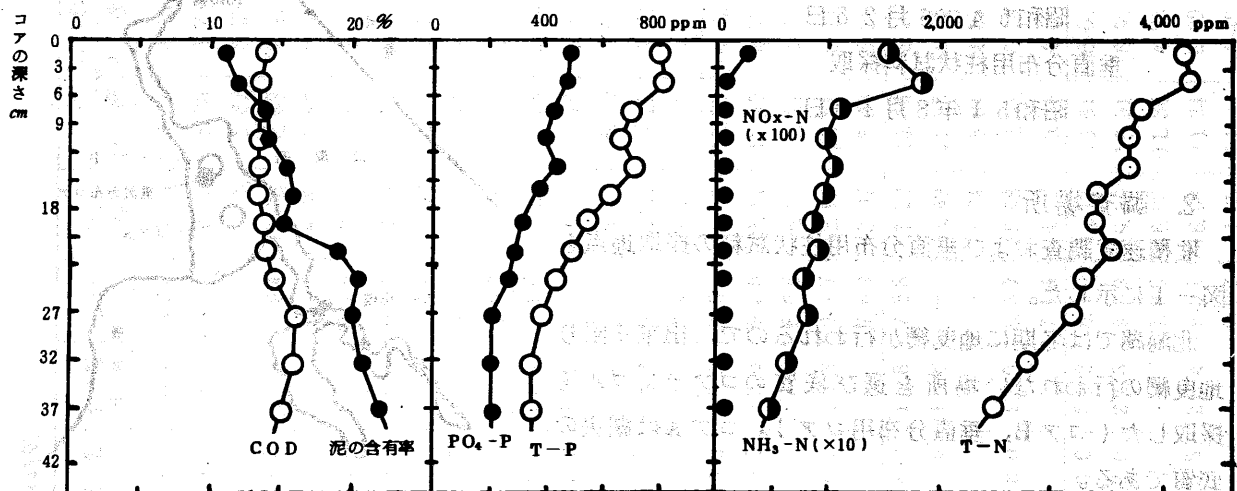


図-2. 北潟湖底質のCOD、泥の含有率、窒素、リンの垂直分布

泥の含有率は表層で約10%であり、下層ほど低下したが、CODはほとんど変化せず、約30cmの深さにやや高くなる山がみられた。窒素の含有量は、全窒素とアンモニアは下層ほど次第に減少の傾向があり、アンモニアは、表層より第二層の方が高く、底質の表層から湖水に溶出することを示していると考えられる。酸化性窒素は表層のみに検出された。リンも下層ほど含有率が低くなるが約30cm以深ではほぼ一定値を示した。

3. 湖の底質の長期的な分解速度と栄養塩の溶出について

(1) 底質の圧縮

堆積した底質は、泥の含有率が下層で高くなるように、重力および分解によって水分が減少し圧縮される。このため、底質の深さと堆積速度が比例せず、このままでは窒素とリンの経年変化を数値化できないので、底質の深さを堆積時間に換算する必要がある。

一般に、底質の水分の占める体積の割合すなわち間隙率 ϕ はAthy (1930)によれば³⁾

$$\phi = (\phi_0 - \phi_\infty) \exp(-aZ) + \phi_\infty \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\phi = \frac{W}{(100 - W)/\rho + W} \quad \dots\dots\dots(2)$$

(ϕ_0 : 表層の間隙率 ϕ_∞ : 下層で一定値となる間隙率 Z : 深さ
 W : 水分含有率(%) ρ : 底質の密度 = 2.5 a : 定数)

で表わすことができる。

堆積速度測定用コアの間隙率は、(2)式から求め

図-3に示した。表層で約0.96で、下層に行くに従って対数的に減少し、約40cm以深ではほぼ一定値0.85を示しており、Athyらの式(1)に従っていることが認められる。図から、 ϕ_0 , ϕ_∞ を客観的に決定することが困難であるので、(1)式を

$$\phi = A \exp(-aZ) + B \quad \dots\dots\dots(1')$$

として、このA, Bを近似的に決定した。(1)'式を微分し、その対数をとると、

$$d\phi/dZ = \phi' = -aA \exp(-aZ) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\ln(-\phi') = \ln aA - aZ \quad \dots\dots\dots(3')$$

と変形され、これは、 Z について一次式であるので容易に最小自乗法で係数が決定できる。ここで ϕ' は接線の傾きであり、実験値から求められないので、この値をコアの表層から i 番目と $i+1$ 番目の傾きとして近似すると、(3)'式において

$$\phi' = \frac{\phi_i - \phi_{i+1}}{Z_i - Z_{i+1}} \quad Z = \frac{Z_i + Z_{i+1}}{2} \quad \dots\dots\dots(4) \quad (\phi_i, Z_i \text{ は } i \text{ 番目のコアの間隙率と深さ})$$

となる。測定値から最小自乗法によって、 $a = 0.0454$ $A = 0.113$ が得られ、更に(1)'式から

$$B = \frac{1}{n} \sum \{ \phi_i - A \exp(-aZ_i) \} \quad \dots\dots\dots(5)$$

として、Bを求め $B = 0.852$ が得られた。しかし、(3)', (4)式における $\ln(-\phi')$ と Z との関係があまりよくなかったので、この結果を再び(1)'式を変形(移項して対数をとる)し、

$$\ln(\phi - B) = \ln A - aZ \quad \dots\dots\dots(1'')$$

(1)''式に代入し、各測定値を入れ、その結果を図-4に示した。

コアAとコアBでは必ずしも同一直線上にのらないが、ほぼよい直線関係を示したので、コアAとコアBのほぼ全域で満足する回帰直線を図-4中で作図によって求めた(図中の直線)。その傾き、切片および(5)式から、

$a = 0.0524$, $A = 0.116$, $B = 0.853$ が求められた。

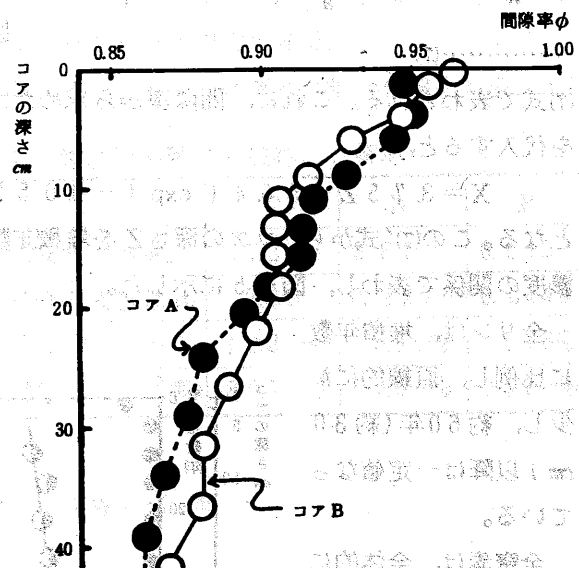


図-3. 底質の間隙率の垂直変化 (1)

(2) 底質の深さと堆積時間

底質のコアの深さ Z cm を堆積時間 X 年に変換するため、単位面積あたりの堆積物の容積の関係から、底質 1 cm あたり

$$Z - \int_0^Z \phi \, dZ = \frac{w}{\rho} X \dots \dots \dots (6)$$

w : 堆積速度 ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{年}$)

となる等式が成り立つ。

(6) を積分し、(1)' 式を代入すると

$$Z + \frac{A}{a} \{ \exp(-aZ) - 1 \} - BZ = \frac{wX}{\rho} \dots \dots (6)'$$

となり、堆積年数 X は

$$X = \frac{\rho}{w} \left[(1-B)Z + \frac{A}{a} \{ \exp(-aZ) - 1 \} \right]$$

$\dots \dots \dots (7)$

(7) 式で表わされる。これに、間隙率から求めた定数 ϕ_0 , ϕ_∞ , a , ρ , w (平均値 $0.098 \text{ g}/\text{cm}^2 \cdot \text{年}$) を代入すると、

$$X = 3.75Z + 56.4 \{ \exp(-0.0524Z) - 1 \} \dots \dots \dots (7)'$$

となる。この(7)' 式から、コアの深さ Z を堆積年数 X 年に換算し、窒素とリンの垂直分布を堆積年数と濃度の関係で表わし、図-5 に示した。

全リンは、堆積年数に比例し、直線的に減少し、約 60 年 (約 30 cm) 以降は一定値になっている。

全窒素は、全体的には、約 100 年をこえて直線的に減少している (図中の実線) が、約 30~60 年の所にほぼ一定値を示す層がみられるので、この近似線 (図中の破線) についても検討した。

(3) 栄養塩の分解速度と湖水への回帰

湖水のプランクトンの成分は、北潟湖の環境がここ数 10 年の間に

激変した記録もないので、それほど大きな変化はないと考えられる。すなわち、底質の表層に堆積する新生堆積物の成分は、数 10 年前も大差がないと考えられ、この成分の濃度は、図-5 の回帰線の X

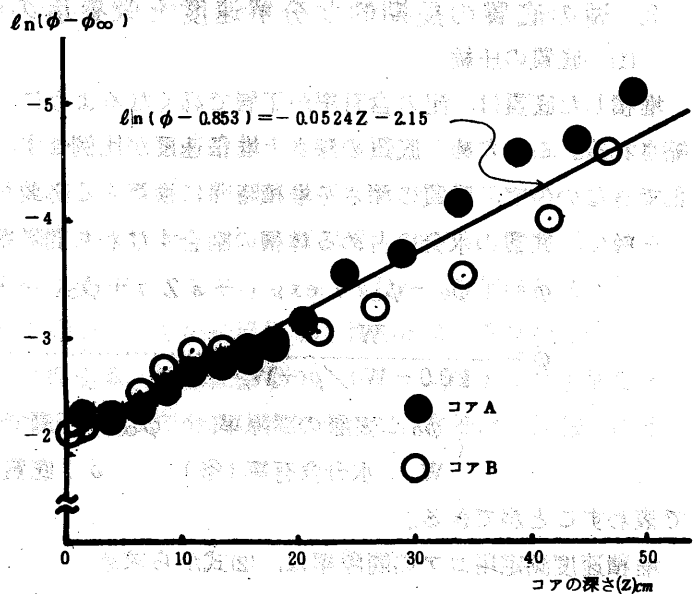


図-4 底質の間隙率の垂直変化 (2)

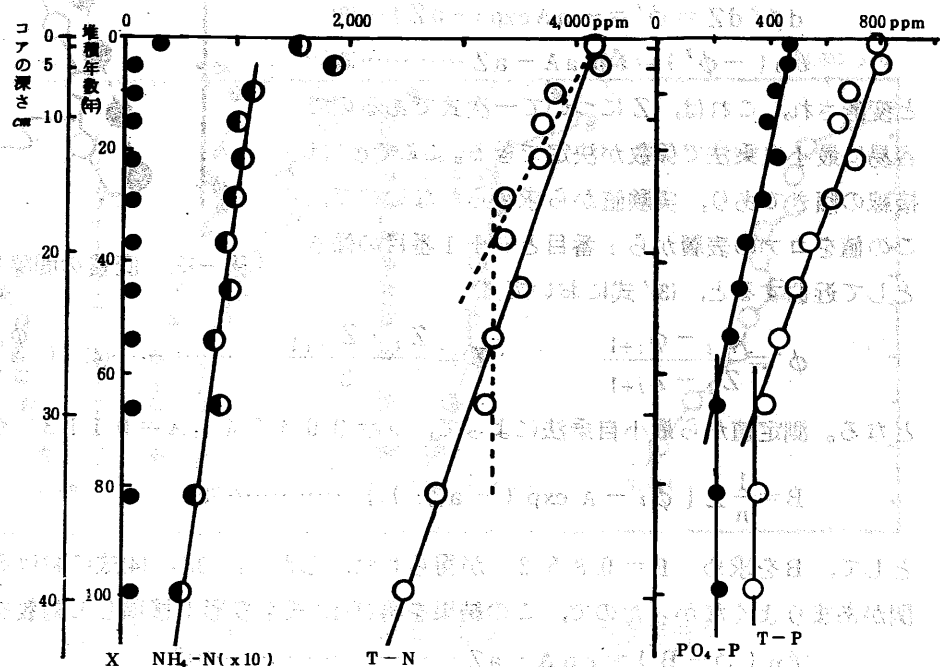


図-5 底質の窒素、リンの経年変化

切片で与えられる。この値は作図により、COD 13.8%, T-N 0.42%, T-P 0.084%である。この成分が一定速度で分解されるので、その分解速度は、回帰線の傾きから、

T-N 実線 18 ppm/年 破線 25 ppm/年
T-P 6.5 ppm/年

となる。湖水への回帰量は、分解が停止するまで、その層以上の底質が分解されると考えられるのでこの期間を、全窒素で、実線の場合100年、破線の場合38年、全リンでは66年として求めると、

T-N 実線 $176 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{年}$ 破線 $93 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{年}$
T-P 破線 $42 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{年}$

であった。

4. 底質の中期的な分解と栄養塩の回帰

底質として安定した初期の有機物(COD), 窒素, リンの含有率は上述のように図-5の切片から求められた。この成分の含有率は、前報でも述べたように、湖水のプランクトンとは異なり、ここで定義した中期的な分解をうけている。この中期的とは、上述の分解期間以下の期間で、表層の第一層の深さが2.35cmであることから、この堆積年数すなわち約2年以内である。

前報で示した方法で¹⁾、表層の堆積物の組成からプランクトンの分解した割合を求めて表-1に示した。又、全重量の分解率は46.1

%であったので、プランクトンの沈降量は堆積速度の平均値 $98 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{年}$ から $182 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{年}$ と計算された。従って、分解による栄養塩の回帰量は、
(プランクトン沈降量) ×
(成分の割合) × (分解率)

となり、計算の結果、

T-N $6.5 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{年}$, T-P $1.4 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{年}$

であった。

表-1. 湖底質表層の有機物の分解率

	C	N	P
プランクトンの成分の含量(A)	27.2	3.81	0.840
表層底質の成分の残留量(B)	2.80	0.227	0.0448
残 留 率 (B/A×100)	10.3 %	5.96%	5.33%
分 解 率	89.7 %	94.0 %	94.7 %

5. 湖水水質に及ぼす、底質の中期的および長期的分解の影響について

上述のように、底質の堆積速度から栄養塩の分解速度を求めたが、これの水質に及ぼす影響について検討する。底質の分解は年単位で求められたが、一年のうちでも、水温の高い夏期に分解が進むと考えられるが⁴⁾、量的解析は行なっていないので不明である。試みに、一年中一定速度で分解すると仮定すると、湖中央部の水深3mの湖水中では、分解による寄与は、日単位で

中期的分解によるもの T-N 0.059 ppm/日 T-P 0.013 ppm/日

長期的分解によるもの T-N 0.0008 ppm~0.0016 ppm/日, T-P 0.00035 ppm/日

となり、中期的な分解が大部分をしめ、湖の水質から考えるとかなり大きな値である。

IV 結 語

北潟湖の富栄養化の原因を研究するため、プランクトンの成分と堆積速度および底質の栄養塩の垂直分布を調査し、栄養塩の湖水への回帰量について検討した。

1. 底質の堆積速度は、²¹⁰Pb法で解析した結果、重量で平均 $98 \text{ mg 乾量}/\text{cm}^2 \cdot \text{年}$ で、堆積の厚さは表層で $1.26 \text{ cm}/\text{年}$ 、下層で $0.27 \text{ cm}/\text{年}$ であった。

2. 底質の窒素とリンの垂直分布は、下層に行くほど低値となり、リンは約60年で分解が終わり窒素でも約40年付近に平衡な層がみられ、これらの期間まで一定な速度で分解していた。

3. 湖水中のプランクトンが沈降し、その後、週単位~2年以内の中期的な分解と長期的な分解がおこるが、この分解によって湖水に回帰する栄養塩の量は、

$$T-N \quad 6.6 \sim 6.7 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{年} \quad T-P \quad 1.4 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{年}$$

と見積られ、このうち中期的な分解によるものが97%以上をしめていた。この分解は季節的な変化をすると考えられるが、一年中一定速度で分解すると仮定すると、水深3mの湖水中では、

$$T-N \quad 0.06 \text{ ppm} \quad T-P \quad 0.013 \text{ ppm}$$

となり、北潟湖の水質(湖央のT-N 0.8 ppm, T-P 0.1 ppm 54年平均値)からみるとかなり大きな値であった。

参 考 文 献

- 1) 前川 勉他、本報、9, 231, 1979
- 2) 坂上正信、小村和久、「北潟湖底質の堆積速度の測定」結果報告書、(1979)
- 3) 松本英二、横田節哉、地球化学、11, 51 (1977)
- 4) 二階堂要、日本地球化学会年会講演要旨集(東京)、P.25 (1977)

試料	N	P	C
01P	18.8	1.12	10.5
02P	18.8	1.12	10.5
03P	18.8	1.12	10.5
04P	18.8	1.12	10.5
05P	18.8	1.12	10.5
06P	18.8	1.12	10.5
07P	18.8	1.12	10.5
08P	18.8	1.12	10.5
09P	18.8	1.12	10.5
10P	18.8	1.12	10.5