

## 諏訪湖湖底堆積物の炭素，窒素およびりんの分布

渡辺 義人\*・関 弥文\*・山本満寿夫\*  
沖野外輝夫\*\*

Distribution of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in the  
Bottom Sediments of Lake Suwa

Yoshito WATANABE, Yafumi SEKI, Masuo YAMAMOTO and Tokio OKINO

本報告は、諏訪湖湖底堆積物の化学的特性を明らかにするとともに、諏訪湖流域下水道整備以前の現況把握を目的に、湖沼の物質代謝にかかわる3つの主要元素、炭素、窒素、りんの分布について調査した結果である。

### 堆積物試料

今回の研究試料とした堆積物は、1979年6月、8月

および1980年の3月の3回にわたり、自動式コアサンプラーにより採取した表層堆積物(0~18 cm) 20地点と、1977年に湖心で採取された2.3m柱状試料である。表層堆積物は3 cm 間隔で4~5層に、又2.3m柱状試料は5 cm 間隔で46層に分割したものである。

図1に採取地点を示す。黒くぬりつぶした部分は、1980年までに浚渫工事を受けた2.5m以浅の区域である。St.20 は衣の渡川の河口である。

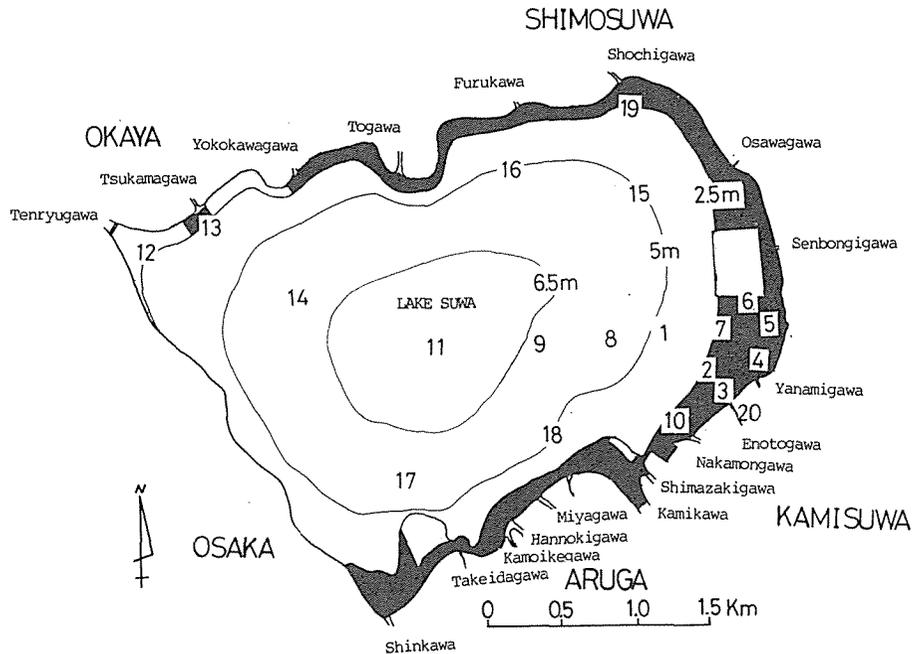


図1 堆積物採取地点  
Fig. 1 Sampling stations of sediment

\* 信州大学繊維学部 Fac. Textile Sci. & Tech., Shinshu Univ.

\*\* 信州大学理学部 Fac. Sci., Shinshu Univ.

## 分析 方 法

分析はいずれも乾燥試料について行った。炭素と窒素の分析は、CHN コーダー（柳本社製，MT-2 型）によった。りんは Andersen (1976) の方法に準拠した。すなわち，磁製ルツボ中の試料をマッフルで 550°C，1 時間灼熱したのち，その残渣を 1NHCl 溶液で加熱抽出し，その溶液をモリブデン青法により比色定量するものである。Andersen によると，この方法は，腐植物質の多い堆積物に対してやや低い値を与えることを報告している。そこで，同一試料について，従来よく用いられている過塩素酸分解法との比較をしたところ，両者の分析値はさきわめて良く一致した。したがって，諏訪湖堆積物へのこの方法の適用は有効である。

全りん (TP) 中の無機態りん (Inorg-P) の分析には，堆積物を 1NHCl 溶液で 16 時間振とう抽出する Aspila ら (1976) の方法によった。有機態りん (Org-P) は，TP から Inorg-P を差し引いて求めた。

なお，Andersen の方法では，珪酸塩物中のりんは測定されないので，酸抽出した残渣に，さらに HF 処理をほどこし，全りん量に対する HF 処理画分の割合を調べた (表 1)。その結果，HF 処理画分の P はおよそ 0.1 mg/g 前後であり，両者の和に対する割合はほとんど一定で，6% 前後であった。以後，ここでは，Andersen の方法によって得られた値を全りん量として議論を進めることにする。

表 1 HF 処理画分中のりとその割合

Table 1. Content of P in HF soluble fraction (HF-P) and the ratio of HF-P to TP

Depth in sediment* (cm-cm)	By Andersen's method (A)	HF-P (B)	$\frac{(B)}{(A)+(B)}$ (%)
	(mg/g)	(mg/g)	
0-5	1.84	0.13	6.6
45-50	1.55	0.13	7.3
95-100	1.53	0.09	5.6
145-150	1.37	0.10	6.8
195-200	1.46	0.09	5.8
225-230	1.27	0.09	6.6

\* core sample from the center of Lake Suwa

## 結 果 と 考 察

## (1) 堆積物表層部 (0~3 cm 層) における炭素，窒素，りんの水平分布

図 2 は，各地点の堆積物表層部 0~3 cm 層における三元素の含量と，2.5m 以浅の沿岸部と沖合の地点に分けて示したものである。各元素の含量の範囲を見ると，炭素は 4~6%，窒素は 0.4% 程度から 0.6%，りんは 2~4 mg/g であり，全般にどの元素も，2.5m 以深の沖合の各地点に，より高い傾向を示した。炭素についてみると，2.5m 以浅の各地点では 4~5% 前後に対して，2.5m 以深ではほとんどが 5~6% と相対的に 10% 程度高くなっている。窒素ではさらに両者の差ははつきりしており，沖合の方が 20~30% 高く，りんも同様に沖合の方が 20% 程高い。この傾向は，明らかに流域からの負荷を直接受ける沿岸部においてより高い含量を示すという一般的傾向と逆である。これは 2.5m 以浅における浚渫工事によって表層部分がはぎとられ，下層のより含量の低い堆積物が露出したためと考えられる。

このことは，表 2 に示した両区域における C/N 比からも明らかであり，2.5m 以浅では C/N 比はほとんどが 11 前後であるのに対して，2.5m 以深では C/N 比が 10 以下と小さくなっている。すなわち，2.5m 以浅の現在の表層部は，2.5m 以深とくらべて，堆積後かなり時間が経過し，より分解が進んでいることを示している。

## (2) 表層堆積物 (0~15 cm) における炭素，窒素，りんの垂直分布

図 3 は，表層から約 15 cm までの比較的表層部の各元素の垂直分布をみたものである。図の上部の 3 地点は 2.5m よりも深い区域の例，下部は沿岸部の 2 地点についてみたものである。

これで見ると，三元素とも，各地点の表層部 0~3 cm の含量が最も高くなっている。しかし，下層から上層にかけての各含量の変動傾向は沖合と沿岸部で明らかに異なる。沖合では 9~12 cm 層付近より増加の傾向が見られるのに対して，沿岸部で含量の上昇が認められるのは，3~6 cm 層付近からであり，浚渫の影響があることを示している。

12 cm 層より下層になると，三元素とも地点間における含量の差は少なくなり，炭素 3% 前後，窒素 0.3%，りん 1.5~2 mg/g とほぼ一定の値に近づく。ちなみに St.11 (湖心) の下層と表層における各元素の含量を比べると，表層の方が炭素，窒素とも 1.7 倍，りんで 2.4

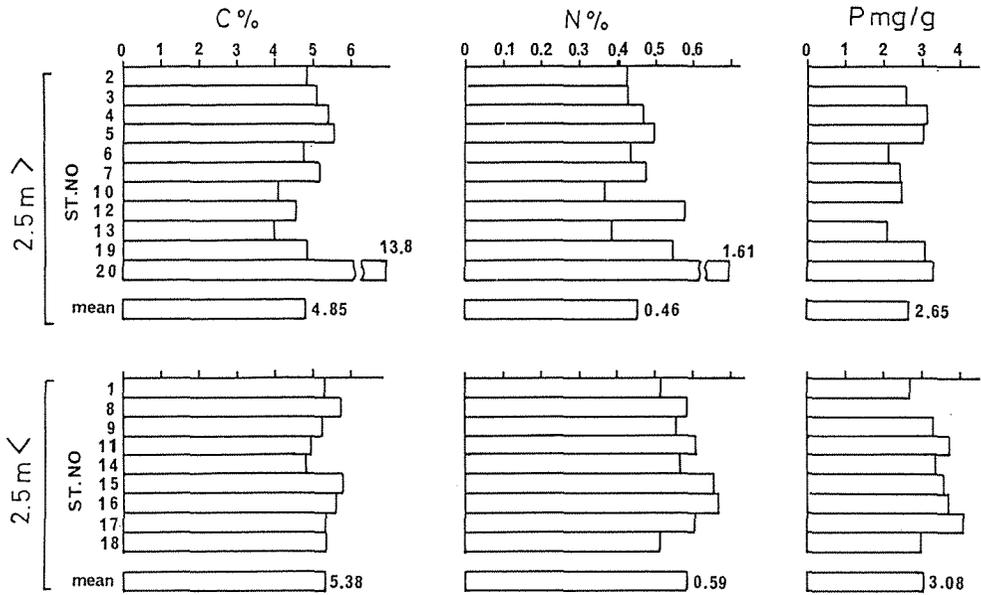


図2 諏訪湖堆積物表層部 (0-3 cm) の炭素、窒素、リン含量  
 Fig. 2 Contents of C, N and P in surface layer of sediments (0-3 cm) from various stations of Lake Suwa

表2 諏訪湖堆積物表層部 (0-3 cm) のC, N, P含量比  
 Table 2. C/N, C/P, and N/P content ratios in surface layer of sediments (0-3 cm) from various stations of Lake Suwa.

	St.	C/N	C/P	N/P		St.	C/N	C/P	N/P
	2.5 m >	2	11.3	-		-	2.5 m <	1	10.2
3		11.9	19.5	1.6	8	9.8		-	-
4		11.5	17.1	1.5	9	9.4		16.5	1.7
5		11.1	18.0	1.6	11	8.2		13.3	1.6
6		10.8	21.9	2.0	14	8.6		14.7	1.7
7		10.8	21.2	2.0	15	8.8		16.2	1.8
10		11.1	16.6	1.5	16	8.4		15.5	1.8
12		11.1	-	-	17	8.8		13.2	1.5
13		10.2	19.1	1.9	18	10.4		17.9	1.7
19		8.8	15.6	1.8					
	means	10.8	18.6	1.7		means	9.2	15.8	1.7

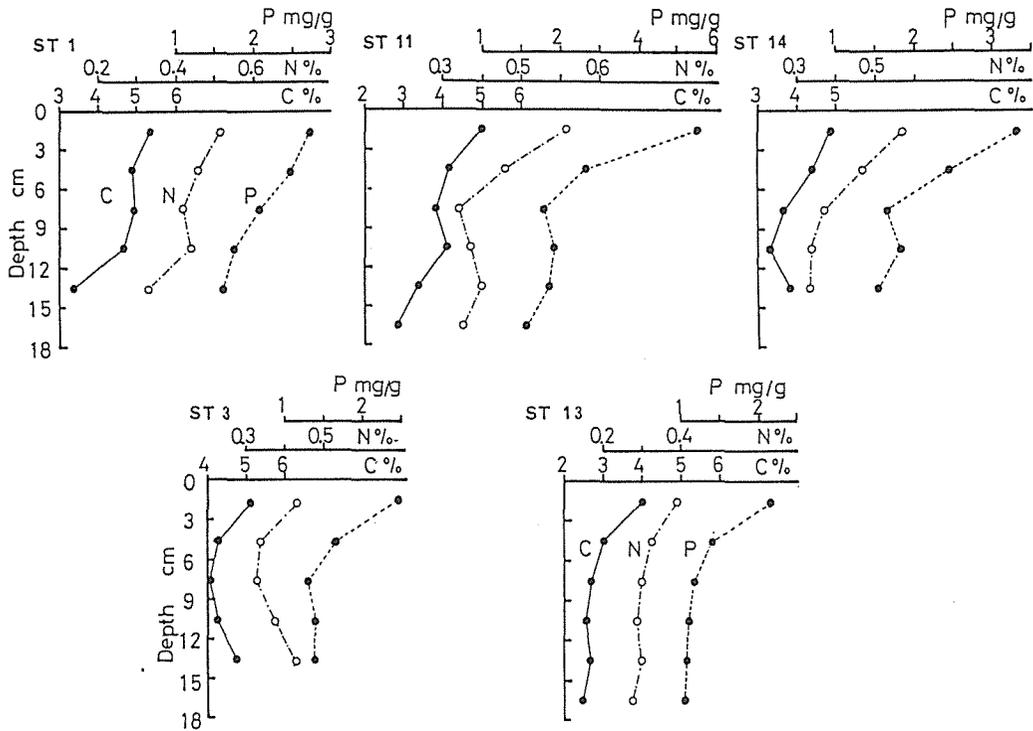


図3 諏訪湖表層堆積物(0~15 cm)の炭素, 窒素, リンの垂直分布  
 Fig. 3 Vertical distribution of C, N and P in core sediment (0-15 cm) from various stations of Lake Suwa.

倍高くなっている。St.3 の場合は12~15 cm 層でも炭素, 窒素が依然として高く, 浚渫により堆積物の層位が攪乱されたことを伺わせる。

このように, 堆積物の表層部において, 下層から上層への各含量の上昇傾向は, 他の湖沼でも認められるところである。このような傾向を生ずる原因として, 下層における生物学的分解や還元に伴う各元素の上層への溶出, 拡散があげられるが, 諏訪湖の場合にはそのほかに, 近年の著しい水質汚濁による湖底への各元素の負荷量の増大による要因も見逃がすことはできない。

ちなみに, 著者らが行った沈でん量の測定から概算した年間平均堆積速度, 約 10 mm/年より推定すると, この 12 cm 層前後は, 昭和40年代初期にあたり, 諏訪湖の汚染や富栄養化が著しく進行しはじめた時期とほぼ一致する。

### (3) 2.3m柱状堆積物における炭素, 窒素, リンの垂直分布

図4に, 2.3m柱状堆積物における三元素の垂直分布

を示した。これによると, 炭素と窒素はきわめて良く似た分布傾向を示し, 表層付近で高く, 60 cm 層まで徐々に減少し, その後 70 cm 層で極大値を示しながら再び増加の傾向をたどり, 210~220 cm 層付近で2番目のピークを示す。このピークにおける炭素, 窒素の含量は, それぞれ4%および0.48%であり, 表層下 20 cm 付近の値に匹敵する。りんも全体的な分布傾向は, 炭素, 窒素とそれほどかわらないが, 1番目のピーク以後, 炭素と窒素が増加の傾向を示すのに対して, りんは2番目のピークがあらわれるまで, 僅かながら減少の傾向を示す点が異なる。このりんの 210 cm 層にみられる極大値 1.8 mg/g は, 表層のりん含量のレベルとはほぼ同じである。このように三元素とも, 2 m 以上の下層までゆるやかな変動を示しながら, かなりの高含量のレベルを維持していることがわかる。

各含量比の変動については(図5), C/N 比は表層部付近で11~13と高いものの, 20 cm 以下では, 下層の方で僅かながら減少の傾向は見られるものの, ほとんどが8前後から9までの範囲である。これらの値

は, 小山による木崎湖湖底堆積物表層部の C/N 比15.5に比べてかなり小さい値となっている。一方, C/P および N/P 比は C/N 比に比べて垂直変動はかな

り大きく, リンが炭素や窒素とは異なった堆積過程があることを示唆している。

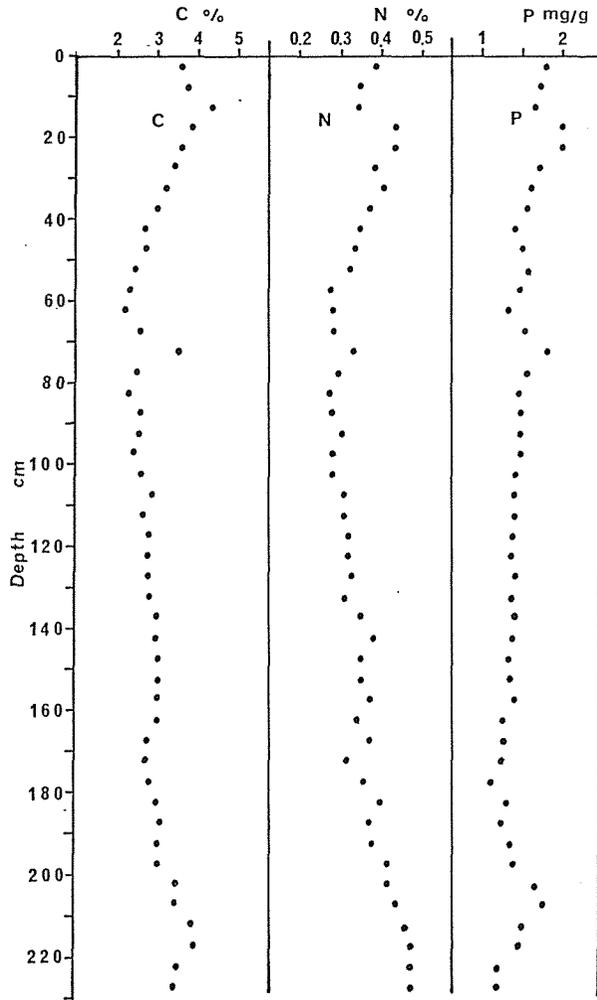


図4 諏訪湖2.3m柱状堆積物の炭素, 窒素, リンの垂直分布.

Fig. 4 Vertical distribution of C, N and P in the 2.3 m core sample from the center of Lake Suwa.

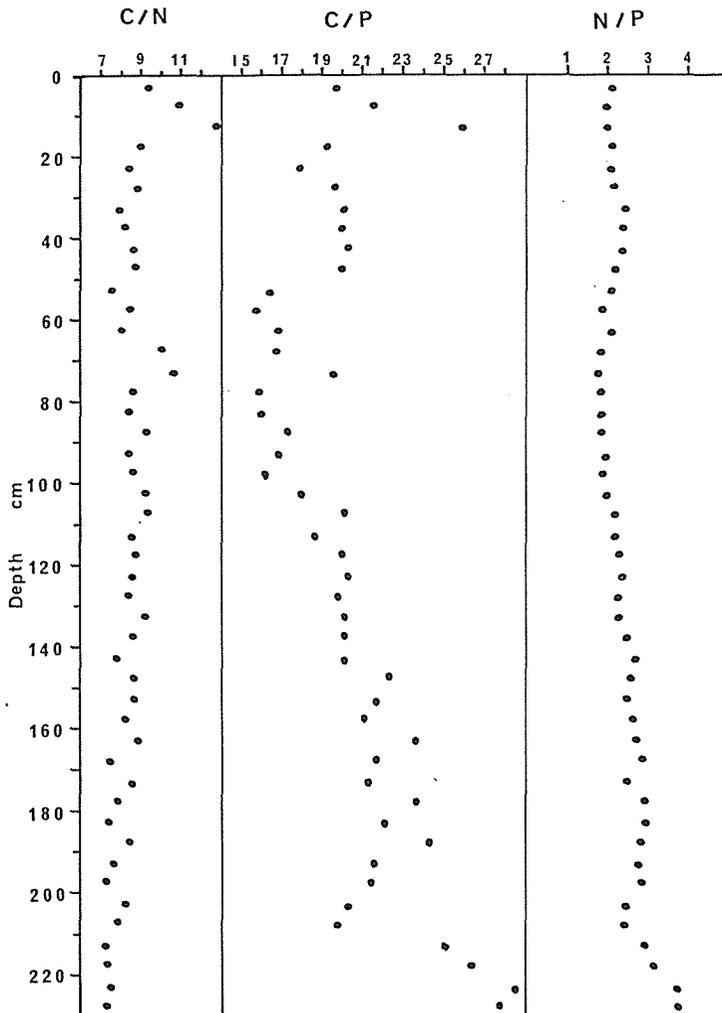


図5 諏訪湖2.3m柱状堆積物における炭素, 窒素, リンの各含量比の垂直分布

Fig. 5 Vertical distribution of C/N, C/P and N/P in the content ratio in the 2.3 m core sample from the center of Lake Suwa.

#### (4) 無機態りんと有機態りんの分布

これまで述べてきた各元素の分布は、いずれも各元素の全量についてみたものである。小山(1969)は、諏訪湖堆積物中の全炭素と全窒素のそれぞれ98%および96%が有機態であると報告している。したがって、炭素と窒素については、各全量の分布は、有機態の炭素、窒素の分布を示すものと考えて差支えない。これに対し、りんはその化学的挙動からみて、全りん中かなりの量の無機態りんの存在が予想される。そこで全りん中の無機態および有機態りんの割合を知るべ

く、Aspila らの方法により無機態りんの分画定量を行った。

図6は各地点の表層堆積物(0~3cm層)についての結果である。これによると、全りんから無機態りんを差引いて求めた有機態りんの割合は、全りん含量が相対的に大きい地点の20%から、小さい地点の30%程度の範囲である。そして、有機態りんの濃度は全りん量の大小にかかわらず、およそ0.8mg/g前後とかなり一定の値を示した。

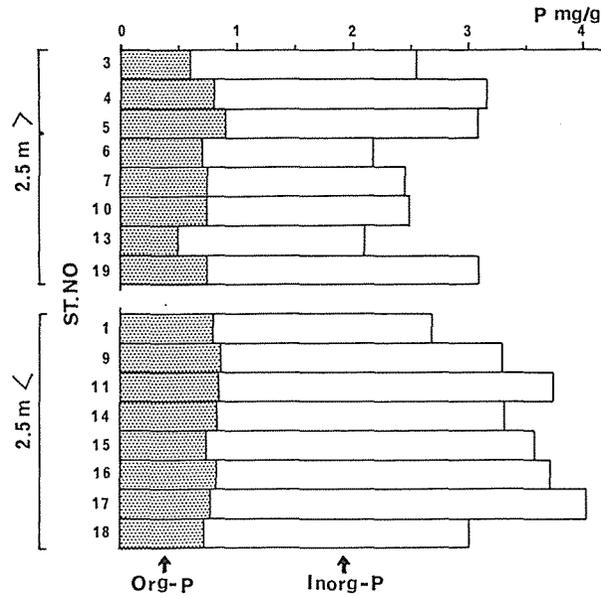


図6 諏訪湖堆積物表層部（0-3 cm 層）の有機態りんと無機態りん.

Fig. 6 Contents of organic-P and inorganic-P in bottom surface sediments (0-3 cm) from various stations of Lake Suwa.

図7は沿岸部にある St.3 と湖心の St.11 における無機態りんと有機態りんの垂直分布を示したものである。両地点とも、無機態りん含量が上層から下層にかけて大きく変動しているにもかかわらず、有機態りんはかなり一様な分布をしていることがわかる。また、有機態りんの全りんに対する割合は、上層で23%前後、

下層の全りん含量が小さいところでは30%と大きくなり、図6の表層堆積物の傾向と一致する。このような傾向は、Nakajima ら (1979) が富栄養化の著しい印旛沼堆積物について行った研究においても報告しているところであり、湖底堆積物中の有機態りんがかなり安定な状態で存在していることを示している。

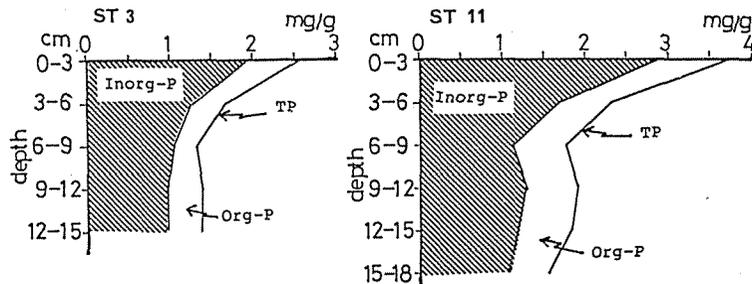


図7 諏訪湖表層堆積物の有機態りんと無機態りんの垂直分布  
Fig. 7 Vertical distribution of organic-P and inorganic-P in bottom sediments of Lake Suwa.

(5) ミクロキステスおよび新生沈でん物との比較  
表3は、2.5m以浅と以深の2つの区域毎に平均した0~3 cm 層堆積物の炭素、窒素、りんの含量と各含量

比を、諏訪湖湖心で採取した新生沈でん物とミクロキステスのそれらを比較したものである。

これによると、C/N 比は植物プランクトン、新生沈

でん物、表層堆積物と、各有機物の分解の程度が大きいものほど大きくなっており、有機態窒素の方が、有機態炭素よりも、より早い速度で分解することを示している。一方、C/P は逆に小さくなっている。これは明らかに、植物プランクトンが沈んで堆積していく過程で、これに粒子化された無機態りんが加わり、全りん量が多くなるためである。そこで ( ) 内に示すよ

うに全りん中の有機態りん量と全炭素量との比をとると、66.4となり、植物プランクトンの C/P 比に近い値となる。このことから、植物プランクトンが枯死して、沈んでし、分解する過程で、分解されやすい有機態りんは、そのほとんどが水中に溶出してしまい、湖底に到達した有機りんは、かなり安定な状態で堆積物中にとどまっているのではないかと推定される。

表3 堆積物、新生沈んでん物およびミクロキステスのC, N, P含量と各含量比  
Table 3. C, N and P contents and these ratios in sediment, freshly deposited matter and Microcystis from Lake Suwa

Sample	C %	N %	P mg/g	C/N	C/P	N/P	
sediment (0-3 cm)	2.5 m >	4.85	0.46	2.65 (0.73)	10.8	18.6 (66.4)	1.7 (6.3)
	2.5 m <	5.38	0.59	3.08 (0.81)	9.2	15.8 (66.4)	1.7 (7.3)
freshly deposited matter	A	12.2	1.98	5.52	6.2	22.1	3.6
	B	5.11	0.57	2.07	9.0	24.7	2.8
	C	6.98	0.97	3.90	7.2	17.9	2.5
microcystis	45.2	7.84	0.71 %	5.8	63.7	11.1	

( ) organic-P

\* A: '80.6.17-30, B: '80.6.30-7.8, C: '80.7.8-22

この堆積物中の有機態りんの起源と、その挙動は興味ある課題であり、今後の検討が望まれる。

## ま と め

### 1. 堆積物表層部 (0~3 cm) の水平分布の傾向をみ

ると、炭素、窒素、りんの各含量はいずれも2.5m以浅の区域の方が、2.5m以深の沖合よりも小さい傾向があり、また、C/N, N/P の含量比も両者に明らかなちがいが認められ、2.5m以浅における浚渫工事の影響を示した。両区域における三元素の平均値と、各含量比をまとめると下記のようになる。

表4 諏訪湖湖底堆積物表層部 (0-3 cm) におけるC, N, Pの平均含量と各含量比

Table 4. Mean contents and the ratios of C, N, and P in the surface sediments of Lake Suwa.

water depth	2.5 m >	2.5 m <
C %	4.85	5.38
N %	0.46	0.59
P mg/g	2.65	3.08
C/N	10.8	9.2
C/P	18.6	15.8
N/P	1.7	1.7

2. 表層堆積物 (0~15 cm) の垂直分布は三元素とも表層が最も高く、下層に向けて急激な減少傾向を示した。この傾向は水深2.5m以深の区域で顕著であり、近年の汚濁の激しさを伺わせた。15 cm 層以下では各元素とも地点にかかわらずかなり一定の値を示した。2.3m柱状堆積物の垂直分布は、三元素とも良く似た変動傾向であり、2~2.2m層にピークが認められた。また、C/N は全体として下層に向けて漸減し、2 m層付近で7~8であった。一方、C/P、N/P は逆に増大の傾向であった。

3. 有機態りんは水平的にも垂直的にも 0.8 mg/g前後と一定の値を示し、かなり安定な状態で存在していることが推定された。また、全りんに対する有機態

りんの割合は20~30%程度であった。

## 引用文献

- (1) Andersen, J. M. (1976): *Water Res.* 10, 329—331
- (2) Aspila, K. I. et al (1976): *Analyst* 101, 187—197
- (3) 小山忠四郎ほか (1969): 諏訪湖生物群集の生産力に関する研究, 第1号, 57—66
- (4) Nkajima, J. et al (1979): *Jap. J. Limnol.* 40, 129—136

## Summary

(1) The horizontal distribution of carbon, nitrogen, and phosphorus in the surface sediments (0-3 cm layer) from 19 stations was surveyed. The contents of all three elements were low at stations below 2.5 m water depth near the shore as compared with stations above 2.5 m water depth offshore. Also, the C/N and C/P content ratios in the former were larger than these in the latter. It was indicated that these features reflected the effect of the dredging work on the bottom sediments in recent years.

(2) As for the vertical distribution of 15-18 cm core sediments from various stations, the contents of all the elements were the highest at surface layer, and decreased rapidly with depth downwards. This feature was remarkable in the stations of water depth below 2.5 m, showing the recent effect of heavy water pollution.

In a 2.3 m core sediment from the lake center, the vertical variations of these contents was considerably similar with each other. The C/N content ratio decreased slightly with depth downwards and was 7-8 in lower layer than 2 m. On the other hand, the C/P and N/P increased.

(3) The distribution of organic-phosphorus was horizontally and vertically uniform and the content was about 0.8 mg/l. Therefore, it was assumed that the organic-phosphorus was existent in a chemically and biologically stable state in the sediment. The ratio of the organic-phosphorus to the total phosphorus was about 20-30%.