

# 諏訪湖における窒素の季節変動

渡辺 義人<sup>1)</sup>, 山本満寿夫<sup>1)</sup>, 林 秀剛<sup>2)</sup>,  
沖野外輝夫<sup>2)</sup>, 田中哲治郎<sup>3)</sup>,

Seasonal Changes of the Various Nitrogen Fractions in Lake Suwa  
(From March 1977 to March 1978)

Yoshito WATANABE, Masuo YAMAMOTO, Hidetake HAYASHI,  
Tokio OKINO, and Tetsujiro TANAKA

諏訪湖では、現在その水質保全を計るべく、流域下水道を建設中であり、1979年10月には、一部稼働を開始した。この下水道整備の計画と軌を一つにして、1977年度より「諏訪湖水域生態系におよぼす下水道整備の影響」のテーマのもとに、環境科学特別研究が進められている。この研究の目的の一つは、下水道稼働開始以前と過渡期を含めた整備完了後における諏訪湖生態系の変化の全容を明らかにし、下水道整備の影響を評価することにある。

そこで、下水道稼働開始以前における、湖沼の化学的水質や生物の現存量、基礎生産量などの現況を把握すべく、1977年より定期観測が実施されている。その調査は30項目以上にのぼり、内容も多岐にわたるが、本報告は、そのうち1977年3月から1978年3月までを中心に、各形態別窒素の季節変動について述べたものである。

諏訪湖の窒素の季節変動についての報告は、最近では1968年から1972年にかけて行われたIBP研究の調査結果がある。そこで今回の調査結果を論ずるにあたり、本調査年より6年さかのぼった1971年から1972年のIBP研究当時の窒素の季節変動と比較対照しながら、各窒素の変動パターンや濃度レベルなどについて考察を加えることにした。引用させて頂いた1971年~1972年の分析データは、すべて「諏訪湖の生物群集の生産力に関する研究」第5号、(1973)によった。なお、この時の観測地点は小坂沖合500m、水深

5.5m地点である。

本研究を遂行するにあたり、サンプリングなどに御協力を頂いた中本信忠氏(信大・繊維)、山本雅道氏(信大・教養)はじめ、定期観測グループのかたがた、および諏訪臨湖実験所の塩野崎寛氏に心から御礼を申し上げる。

本調査の分担は次の通りである。

DON(溶存性有機態窒素): 渡辺, 山本

PON(懸濁性有機態窒素): 林

NH<sub>4</sub>-N: 沖野, 山本(雅)

NO<sub>2</sub>-N および NO<sub>3</sub>-N: 田中

なお、本研究は文部省の環境科学特別研究費によってなされたものである。

## 調査および分析方法

調査は、1977年3月より湖心定点において、最初の一年間は原則として10日おきに、月3回、その後は月1回行った。調査時刻は朝の6時から8時の間である。試水はバンドン型採水器により、表層から6m層まで1mおきに採水した。

採水した試水の一部は、ワットマン社製GF/Cで濾過し、フィルター上のセストンはPON測定に用い、濾液はNH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-Nの分析に供した。DONは試水原液についてケールダール窒素(K-N)を測定し、K-NからPONとNH<sub>4</sub>-Nを差引いて求め

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

2) 信州大学理学部 Fac. Sci., Shinshu Univ.

3) 野村総合研究所 Nomura Res. Inst.

た。

各分析方法は下記の通りである。

NH<sub>4</sub>-N：インドフェノール法

NO<sub>2</sub>-N：ナフチルエチレンジアミン法

NO<sub>3</sub>-N：カドミウム-銅カラム還元，モリブデン酸ブルー法

PON：柳本 MT-2 型 CHN コーダー

K-N：酸化銅を触媒として，濃硫酸で加熱分解後，蒸留してネスラー法で比色。

結果と考察

クロロフィル a 現存量

Nの季節変動は，富栄養化促進因子の一つとして，当然ながら湖内の植物プランクトンの消長と密接な関係を持つ。そこで，先ずNの季節変動について述べる前に，本調査と同時に，沖野ら（1978）によって測定されたクロロフィル a 現存量の季節変動について概観する。図1には，1971年3月から1972年3月までのIBP研究当時の結果も示されている。

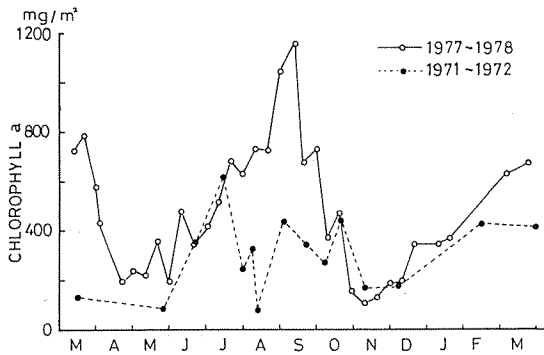


図1 クロロフィル a 現存量の季節変動、1977~1978年は沖野ら(1978)，1971~1972年は坂本ら(1979)による。

これによると，本調査期間では，3月の珪藻のブルームによるピークのあと，一旦減少し，6月から徐々に増加し，9月初めに最大値に達する。その後秋に向けて漸減し，再び春に向けて増大する傾向を示している。8月，9月のブルームはいうまでもなくマイクロキステスによるものである。春のピーク時のクロロフィル a 現存量は 800 mg/m<sup>3</sup>，夏の最大値は 1,200 mg/m<sup>3</sup>である。これに対して，1971年度では，その変動パターンは異り，8月に低く，最大値が現われるのは7月である。その現存量は 600 mg/m<sup>3</sup>で，今回の最大値の約半

分である。なお，IBPの報告によると，1968年の8月に約 1,400 mg/m<sup>3</sup>の現存量を記録しているが，その後1969年から1972年の4年間は，最大値の現われる月は異なるものの，600 mg/m<sup>3</sup>を超えることはない。

無機態窒素

表層と6m層における NH<sub>4</sub>-N，NO<sub>2</sub>-N，および NO<sub>3</sub>-N の季節変動を図2に示す。

各窒素とも春と秋に濃度が高くなり，夏期に低下するという傾向はほぼ似ている。特徴的なことは，7~9月にかけて，各窒素とも表層でほとんどなくなってしまいうことである。

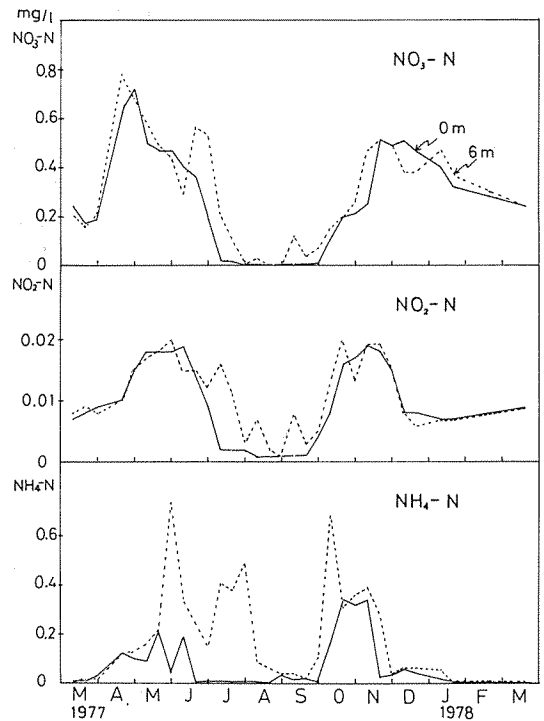


図2 表層および6m層におけるNH<sub>4</sub>-N，NO<sub>2</sub>-NおよびNO<sub>3</sub>-N濃度の季節変動

NO<sub>3</sub>-N および NO<sub>2</sub>-N は表層と6m層では季節的にそれ程大きなちがいは認められないが，NH<sub>4</sub>-N は底層の方が高くなる場合が多く，7~8月の表層で，ゼロに近くなる時期に，かなり高濃度の NH<sub>4</sub>-N の出現が見られ，この時期の底泥からの回帰が活発であることを示している。ところが8月の下旬から9月にかけて，底層でもほとんど NH<sub>4</sub>-N はなくなってしまっている。このように，夏場，全層にわたって無機態窒素がなくなるという現象は，あとで述べるように，IBP

当時は見られなかったことである。

NH<sub>4</sub>-N と NO<sub>3</sub>-N 濃度の本調査における最大値は下表の通りである。

表1 各無機態窒素濃度の最大値 (mg/l)

水深	N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
0 m		0.343 (10月)	0.217 (5月)
6 m		0.741 (3月)	0.780 (4月)

( ) 最大値が現われる月

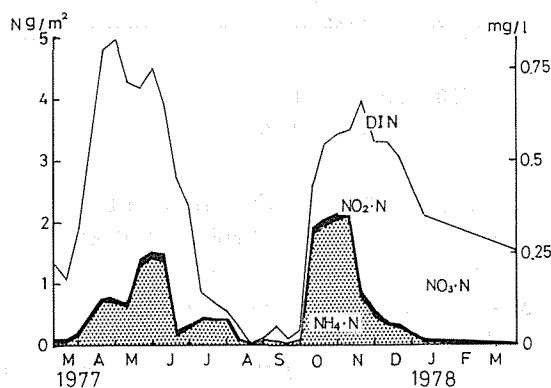


図3 DINの季節変動 (1977.3~1978.3)

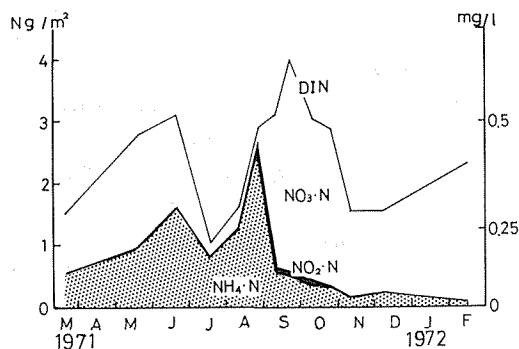


図4 DINの季節変動 (1971.3~1972.3, 坂本らによる)

図3は DIN の季節変動を水柱あたりの現存量として示したものである。その変動傾向をみると、4月初旬から DIN は急上昇し、6月の半ばまでピークを維持する。その後夏のマイクロシステスの繁茂時期に向って落ち込み、8月にはほとんどゼロとなる。10月に入って再び急激な増加が見られ、冬にかけて漸減する。この変動の傾向は、先き程述べた図1のクロロフィル a 現存量の変動ときわめて対称的であり、両者の間に

強い負の相関があることを示している。DIN の現存量の最大値は4月初旬の 5 g/m<sup>2</sup>で、その時の水柱の平均 DIN 濃度は 0.8 mg/l となる。

この春先の DIN の増加は、一つにはこの時期が植物プランクトンの衰退期にあたるので、利用されない DIN が湖内に残存蓄積されるためと思われるが、もう一つの要因としては、NO<sub>3</sub>-N の豊富な雪どけ水の影響も考えられる。又、5月の初旬は施肥期にあたるので、その影響も無視出来ないであろう。事実、宮川上流では、5月中旬から6月にかけて、NO<sub>3</sub>-N の高くなることが報告されている。

図4は、1971年の DIN の季節変動をみたものである。変動のパターンは、今回の調査と良く似ているが、8~9月にかけて DIN がゼロになるということではなく、かなりの量が湖内に残存している。この年度の DIN 現存量の最大値は 4 g/m<sup>2</sup>、その時の水柱平均濃度は 0.7 mg/l であり、今回よりはやや低い程度である。

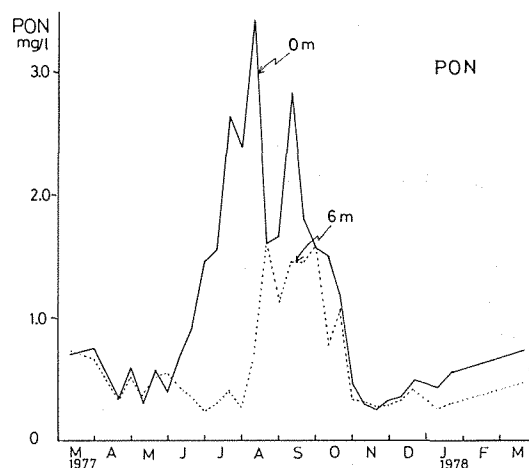


図5 表層および6m層におけるPON濃度の季節変動

懸濁性有機態窒素

図5は、表層および6m層の PON 濃度の季節変動を示したものである。3~4月にかけて、珪藻のブルームによる微小のピークがあり、7~9月は表層でマイクロシステスに起因する濃度の上昇が認められる。その最大濃度は 3 mg/l を越える。この値は同時期の6m層にくらべて10倍以上になっている。なお、8月に、表層の濃度が減少し、6m層の濃度が高くなっているのは、風により、湖水が攪拌混合されたためである。

図6は、PON を現存量として示したものである。比較のために DIN 現存量の季節変動が図示されている。

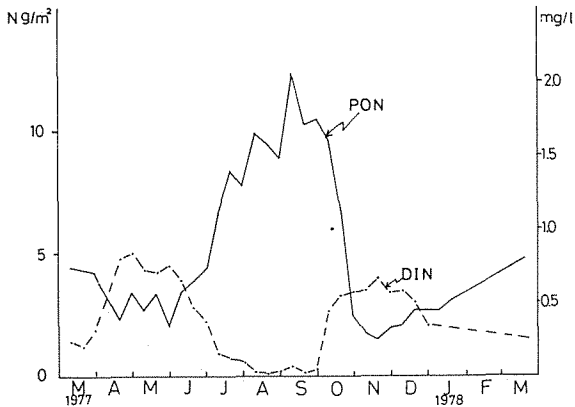


図6 PONおよびDIN現存量の季節変動 (1977.3~1978.3)

に供給されるNの量は、河川を通じて湖に流入するN量の約14%に相当する。

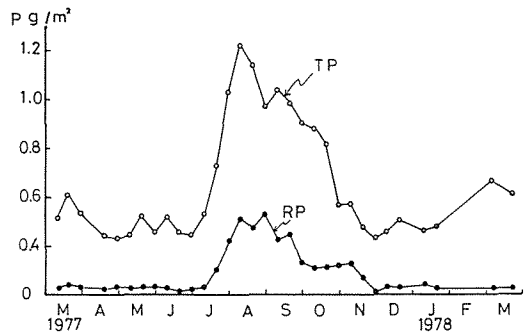


図8 TPおよびRP現存量の季節変動 (1977.3~1978.3, 中本による)

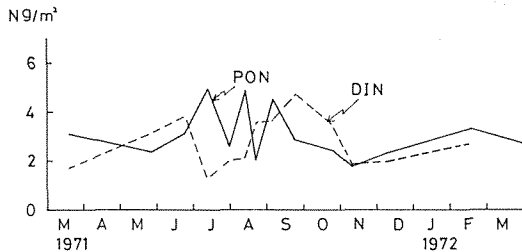


図7 PONおよびDIN現存量の季節変動 (1971.3~1972.3, 坂本らによる)

PONの変動は、図1のクロロフィルaの現存量の季節変動ときわめて良く一致する。すでに述べたように、PONの現存量が最大に達する8~9月にかけて、DINの現存量は極めて微小となる。PONの最大値は $10 \text{ g/m}^2$ を越えており、春先に見られたDINの最大値 $5 \text{ g/m}^2$ の2倍以上になっている。

この夏期のPONの現存量 $10 \text{ g/m}^2$ に見合うだけの生産を支えるDINの供給源についてみると、4月から6月にかけて湖内に蓄積している約 $5 \text{ g/m}^2$ のDINが全部利用されたとしても半分にすぎず、不足分の半量は他の供給源からの寄与が必要となる。8~9月にかけて、河川からのNの流入量が特に多くなるということは考えられないので、この時期のマイクロシステムの生産の約半分を支えているDIN量は、湖内から供給されていると考えざるを得ない。一つは底泥からの回帰である。福原ら(1979)の底泥からのN溶出実験の結果は、この寄与の重要性を支持している。そのほかに、7~8月にかけて、網イケスの養殖ゴイに投入される飼料からのNの供給も無視出来ない。ちなみに、林ら(1979)の試算によると、飼料として、この時期

次に、夏期のPONとDINの消長に関連して、中本(1969)によって、同期間に測定されたP現存量の季節変動と対比してみると、(図8)、全りん(TP)はPONと同様、夏に最大値が現われるが、反応性りん(RP)も同時期に最大となり、DINの変動と全く逆の傾向を示している。この時期のクロロフィルaが $1200 \text{ mg/m}^2$ になる程の高い生産がありながら、RPが現存量で $0.6 \text{ g/m}^2$ 、水柱平均濃度で $0.1 \text{ mg/l}$ 前後という高いレベルを維持しているのは、Pが生産に利用される速度よりも、湖水へのPの供給速度が大きく、結果的に湖水中に残存蓄積するためと思われる。

このように、生産量の最も高い時期に、DINがほとんどなく、RPが多量に湖水に残存している状態は、とりもなおさず、夏期の諏訪湖における一次生産が、Nによって制限されていることを示すものである。このことは、中本(1969)のMBOD法によるバイオアッセイによっても確認されており、7年前のIBP当時よりも一段と富栄養化が進んでいることを物語っている。

なお、夏期におけるRPの蓄積要因としては、底泥からの回帰のほか、先にも述べたように、網イケスへの飼料の投入の影響が考えられる。特に、飼料には成長促進物質として、りん酸が多量に添加されていることから、その寄与はかなり大きいと推定される。

#### 各存在状態別窒素と全窒素

9図は、DON, PON, DINおよびTNの季節変動をみたものである。なお、DONについては、1977年7月以前が欠測なので、ここでは、1977年8月から1978年6月までの期間について示されている。

TNについてみると、夏から秋にかけて高く、冬に

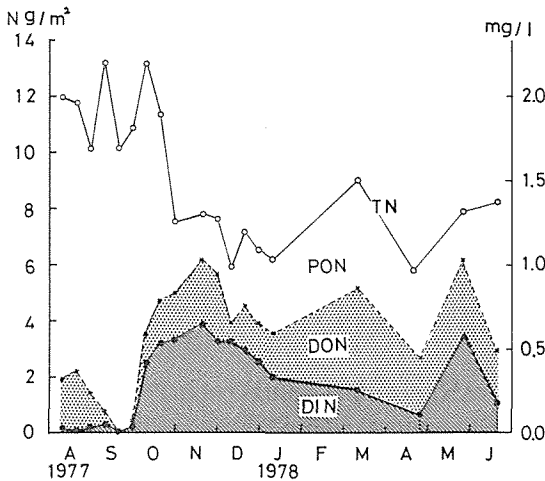


図9 各存在状態別窒素の季節変動 (1977.8~1978.6)

かけて減少し、春先にかけて上昇の傾向がみられる。水柱の平均濃度でみると、11月の1 mg/l から9月の2 mg/l の範囲で変動する。最大値の表われる9月の現存量は13 g/m<sup>2</sup>である。

DON の変動傾向は必ずしも明瞭ではないが、DIN が高いところでは、DON が低く、逆に、高くなると低くなる傾向がうかがえる。DON は多くの場合、0.2~0.5 mg/l の範囲にある。DIN が減少になる9月でやはり DON も最小となり、この時期には DON も利用されていることが示唆される。TN に対する DON の割合は、夏で小さく、DON の比較的高い2~3月では30%前後を占める。

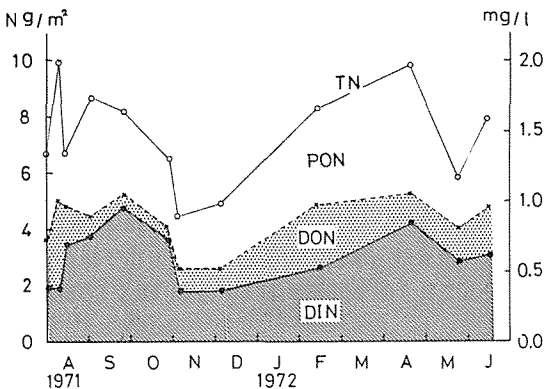


図10 各存在状態別窒素の季節変動 (1971.8~1972.6, 坂本らによる)

図10は、1971年~1972年の場合である。TN の変動パターンおよび水柱の平均濃度の範囲は良く似ている。即ち、TN濃度は、7年前も今回の調査も1~2 mg/l の範囲でほとんど変わっていない。両者の最も大きなちがいは、8~9月における、TN に対する DIN の占める割合で、今回の調査では、DIN がごく僅かで、大部分が PON で占められているのに対して、1971~1972年の場合は、TN の30~60%が DIN である。

まとめ

以上、1977年から1978年にかけての諏訪湖における窒素の季節変動について、IBP 研究当時(1971~1972年)の場合と比較しながら、各存在状態別窒素の変動傾向や現存量と濃度のレベルを中心に論述した。

大要をまとめると以下ようになる。

1. DIN は、春と秋に極大値を示し、春では、河川から流入する NO<sub>3</sub>-N の増加が先行し、秋では湖内から帰帰した NH<sub>4</sub>-N が先行する。夏期は減少し、特に8月の中旬から9月の半ばにかけ、DIN はほとんどゼロになる。
2. PON は、DIN ときわめて対称的な変動を示し、DIN が最小となる9月初旬に最大となる。又この両者の変動の大きさから、夏期の PON を生産するのに必要な DIN の量の約半分は湖内から帰帰する DIN に依存することが示唆される。
3. PON が最大となり、一方 DIN がゼロ近くに減少する8~9月には、高濃度の RP が存在しており、この時期の基礎生産がNによって制限されていることを示している。
4. 本調査における TN の変動傾向は、IBP 当時と良く似ており、水柱平均濃度の変動も、両者ともおよそ1.0~2.0 mg/l の範囲である。
5. 各存在状態別窒素の現存量の最大値および、その時の水柱平均濃度を示すと表2の様になる。

表2 各存在状態別窒素の最大現存量と水柱平均濃度 (1977.3~1978.3)

存在状態別窒素	現存量 mg/m <sup>2</sup>	水柱平均濃度 mg/l
DIN	5.13 (5月)	0.85
PON	12.37 (9月)	2.06
DON	3.65 (3月)	0.61
TN	13.2 (9月)	2.2

( ) は各窒素の最大値が現われた月

## 引 用 文 献

1. 沖野外輝夫ほか(1978)：諏訪湖集水域生態系研究経過報告 2：20—26.
2. 坂本 充ほか(1973)：諏訪湖生物群等の生産力に関する研究経過報告, 5：20—39.
3. 中本信忠(1979)：諏訪湖水域生態系研究経過報告, 3：35—40.
4. 林 秀剛ほか(1979)：同上, 3：81—86.
5. 福原晴夫ほか(1979)：日本陸水学会第44回大会講演要旨P.118.