

諏訪湖における栄養塩濃度の変動に関する研究

宮原 裕一・池中 良徳・犬塚 良平・花里 孝幸

信州大学山地水環境教育研究センター

Study of seasonal changes of nutrients in Lake Suwa

Yuichi MIYABARA, Yoshinori IKENAKA, Ryohei INUZUKA, Takayuki HANAZATO

Research and Education Center for Inlandwater Environment, Shinshu University

キーワード: 諏訪湖、アオコ、強熱減量、栄養塩類

Keywords: Lake Suwa, water-bloom, ignition loss(IL), nutrients

1.はじめに

富栄養化の進行した湖沼では植物プランクトンの増殖によって、その透明度が著しく低下する。植物プランクトンの著しい増殖により生じる「アオコ」は、湖の外観を損ねるだけでなく、構成する藻類に含まれる毒素や、腐敗時に生じる臭気などの問題も併せ持っている。

湖水中の植物プランクトンは水中の無機栄養塩類を利用し増殖するが、それら栄養塩は流入河川から主に供給されている。また、栄養塩の負荷源は、生活排水や産業排水等の特定汚染源と、農地、市街地や森林といった非特定汚染源に大別される。本研究で対象とした諏訪湖では、下水道の普及に伴い、特定汚染源からの栄養塩の負荷量は年々抑制されてきており、非特定汚染源からの負荷削減が課題となっている¹⁾。また、栄養塩は、河川から流入するだけでなく、湖内での生物体の分解や、湖底泥からの回帰によっても供給されることが知られ、湖沼でのアオコ発生のメカニズム解明や、その抑制対策のために、湖への栄養塩の流入だけでなく、湖沼内での栄養塩の挙動を明らかにする必要がある。

研究対象とした諏訪湖は、わが国の指定湖沼のひとつで、その浄化のため、長野県内でも重点的に水質が調査されている湖の1つである。諏訪湖は長野県のほぼ中央部に位置し、平均水深約4メートル、湖面積13.3平方キロメートルの浅い湖である。湖面積に比べ約40

倍の集水域から31河川によって水が供給されており、湖水の天竜川への放流量は釜口水門によって制御されている。長野県は、諏訪地域の洪水対策のため、諏訪湖の湖面水位と、流入河川の上川、宮川、砥川および横河川と、釜口水門においてその流量を観測しており、諏訪湖はその水収支がリアルタイムに明らかになっている数少ない湖でもある。

信州大学山地水環境教育研究センターでは、諏訪湖水質の定期観測を1977年より隔週で行っており、近年になって、その透明度が向上してきていることを報告している^{2, 3)}。また、本間らも1992年から2003年の間、諏訪湖で水質と植物プランクトンの調査を行い、諏訪湖におけるアオコ発生のメカニズムを解析し、湖水中のリン酸態リン濃度が *Microcystis* 属の種組成に影響を与えていると報告している⁴⁾。2005年は秋期に「アオコ」が発生したが、例年観察された *Microcystis* 属でなく *Aphanizomenon flos-aqua* が優占種であった⁵⁾。これは2005年が例年になく少雨であったことが、「アオコ」の優占種の遷移に関連していると考えられたが、そのメカニズムや湖水中での栄養塩の変動そのものは不明であった。

そこで、我々は2004年と2005年に行った諏訪湖およびその流入河川の水質の定期観測結果から、両年の栄養塩濃度やその組成について比較を行い、それら水質変動と「アオコ」優占種遷移との関係について解析を試みた。

2.方法

2-1. 試料採取

諏訪湖では、信州大学山地水環境教育研究センターが定期観測を行っている湖心^{2, 3)} (36° 02' 50" N、138° 05' 14" E) において、2004年3月17日~2005年12月13日の間、結氷期を除き、毎週または隔週で試料採取を行った。湖心では水深を測定した後、湖面から湖底上約10cmまでの湖水を、アクリル樹脂製コラム型採水器(内径5cm、長さ2m)によって、3回に分け採取した。これらをよく混合した後、ポリエチレン製のボトルに入れ持ち帰った。

河川では、各河川の河口に近い橋(上川:六斗橋、宮川:半の木丸葎橋、砥川:砥川橋、横河川:横河川橋)で、湖水と同じ間隔で試料採取を行った。橋の上からロープをつけたステンレス製バケツで河川表層水を採取し、ポリエチレン製のボトルに入れ持ち帰った。

湖水、河川水いずれの試料も、採取後直ちに実験室に持ち帰り分析に供した。

2-2. 分析方法

2-2-1. 水中SSおよびSSの強熱減量

試料水を予め秤量したGF/Cフィルターで吸引濾過し、濾過後のフィルターを100℃の乾燥機中で24時間乾燥させ、デシケーター中で放冷した。電子天秤でフィルターを秤量し、その増加重量をSS量とし、濾過量で除して、SS濃度とした。

さらに、上記フィルターを電気炉中で450℃3時間強熱し、デシケーター中で放冷した。電子天秤でフィルターを秤量し、その減少重量をSSの強熱減量(IL)とし、濾過量で除して、試料のIL濃度とした。このIL濃度は水中懸濁態有機物量の指標として用いた。

2-2-2. 栄養塩濃度

全窒素(TN)は、試料水原液を用い、ペルオキシ二硫酸カリウム分解法にて測定を行った。溶存態全窒素(DTN)は、試料水濾液を用い、ペルオキシ二硫酸カリウム分解法にて測定を行った。懸濁態有機窒素(PON)は、TNとDTNの差から算出した。硝酸態窒素(NO₃-N)は、試料水濾液を用いて、イオンクロマトグラフィー(DIONEX社ICS-1500)で測定を行った。

全リン(TP)は、試料水原液を用い、ペルオキシ二硫酸カリウム分解法にて測定を行った。溶存態全リン(DTP)は、試料水濾液を用い、ペルオキシ二硫酸カリウム分解法にて測定を行った。懸濁態リン(PP)は、

TPとDTPの差から算出した。溶存態反応性リン(RP)は、試料水濾液を用いて、アスコルビン酸還元法で測定を行った。

湖水については上記全項目を、河川水についてはTN、NO₃-N、TPについて、信州大学山地水環境教育研究センターの定期観測の方法に準じて行った^{2, 3)}。

2-3. 気象・流量データ

諏訪地域の降水量などの気象データは、気象庁ホームページ電子閲覧室から諏訪測候所のものを用いた⁶⁾。

各河川の流量、諏訪湖貯水量は、長野県諏訪建設事務所管理計画課より提供していただいた毎時データを解析に用いた。

2-4. 統計

湖水および河川水の水質は、いずれも本文中では平均値±標準偏差で表した。また、2004年と2005年の水質の比較は、各年とも3月から12月の分析値を用い、Studentのt検定を行った。t検定においてp<0.05のとき有意差ありと判定した。

3. 結果

3-1. 諏訪湖の気象および水収支

2004年の降水量は1535mm(諏訪測候所)であったのに対し、2005年はその約半分の826mmであった。一方、日照時間は、それぞれ2308.5時間と2192.0時間であり、両年に大差は見られなかった⁶⁾。

諏訪建設事務所管理計画課提供の毎時の釜口水門放流量と諏訪湖貯水量から、毎時の水交換率を算出し、両年とも1月1日を起点とし、湖水の積算交換回数を計算した。諏訪湖湖水の積算交換回数は、2004年に9.5回(平均滞留時間38日)であったのに対し、2005年では5.4回(平均滞留時間68日)と、降水量と同様、両年に大きな差があったことが明らかとなった。また、2004年では、降水量の多かった5月と9月から10月の間の交換速度が大きかったのに対し、2005年では7月の交換速度が大きかった。

3.2. 諏訪湖の水質変化

2004年と2005年の諏訪湖の水中のSS濃度とIL濃度の季節変化をFig. 1に示した。両年とも5月と秋期にSS濃度が増加する二峰性の変動を示した。IL濃度は、SSと同様の季節変動を示したが、2004年秋期を除き、その変動幅は小さかった。2004年秋期はSS濃度も高く、SS中の有機物も多いことから、そのSS

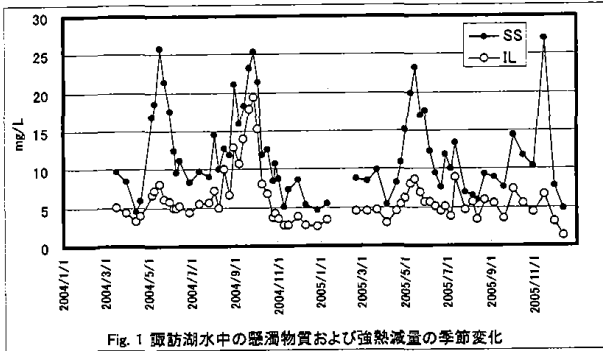


Fig. 1 諏訪湖水中の懸濁物質および強熱減量の季節変化

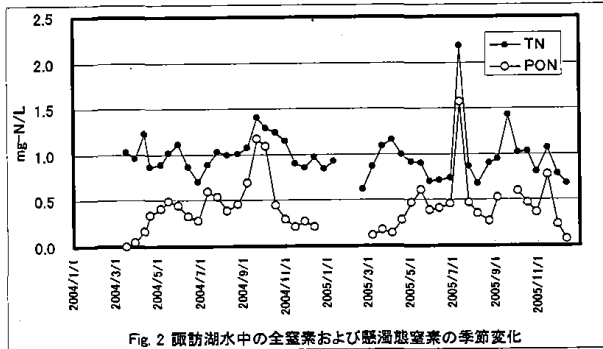


Fig. 2 諏訪湖水中の全窒素および懸濁態窒素の季節変化

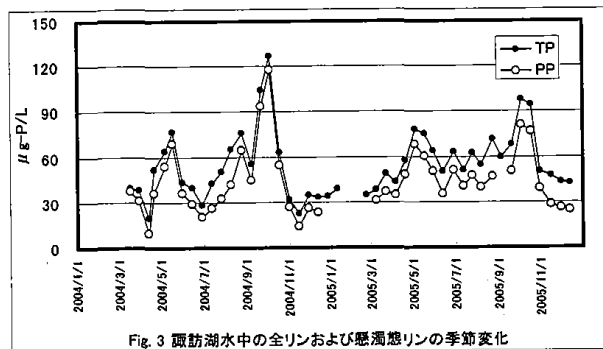


Fig. 3 諏訪湖水中の全リンおよび懸濁態リンの季節変化

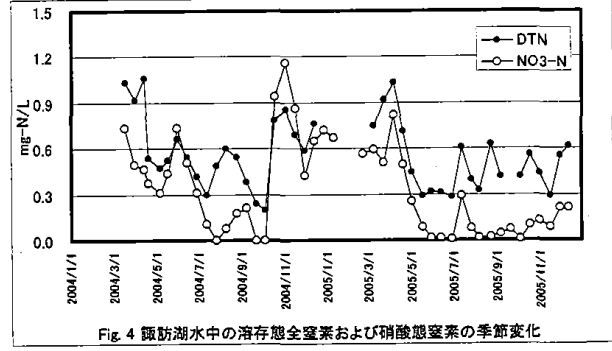


Fig. 4 諏訪湖水中の溶存態全窒素および硝酸態窒素の季節変化

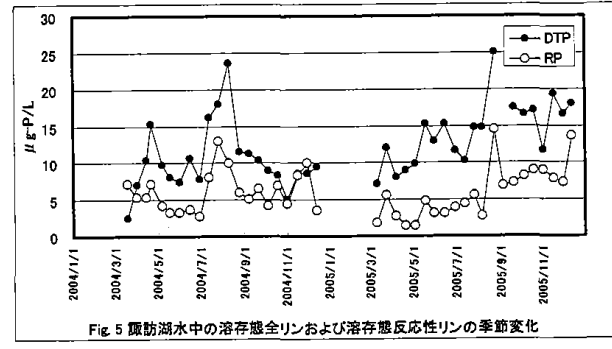


Fig. 5 諏訪湖水中の溶存態全リンおよび溶存態反応性リンの季節変化

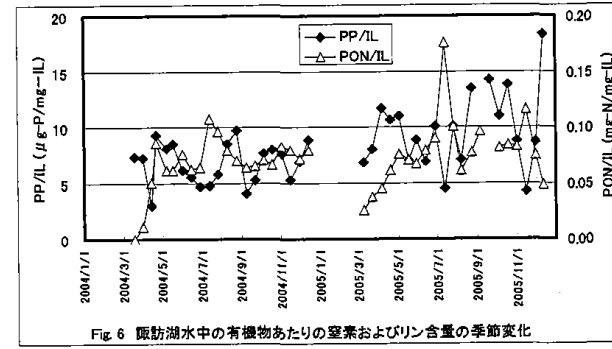


Fig. 6 諏訪湖水中の有機物あたりの窒素およびリン含量の季節変化

の主な構成成分は植物プランクトンであると言える。しかし、2004年と同様に「アオコ」の発生した、2005年秋期にはIL濃度の顕著な増加は見られなかった。

調査期間中の湖水中TNおよびTP濃度の季節変動を、それぞれFig. 2とFig. 3に示した。TN濃度は2005年7月に極大値を示しているのを除けば、両年ともほぼ1mg-N/L前後で推移し、2004年(平均1.03mg-N/L)と2005年(0.98mg-N/L)に有意な濃度差は見られなかった。一方、TP濃度は5月と秋期に増加する二峰性の変動を両年とも示した。年平均では、2004年が53μg-P/L、2005年が60μg-P/Lと、両年ともほぼ同程度であった。

次に、水中に存在する窒素やリンのうち懸濁態で存在するものの濃度を求めるため、TNとDTNからPONを、TPとDTPからPPを求めた。TNまたはTP濃度ともに、PONおよびPPの季節変化をそれぞれFig. 2とFig. 3に示した。湖水のTNの約4割が懸濁態(PON)であったのに対し、TPでは約4分の3

が懸濁態(PP)と、湖水中のリンはほとんど懸濁態として存在していた(Fig. 2, 3)。

さらに、2004年と2005年の溶存態の窒素およびリン濃度の季節変動を、それぞれFig. 4とFig. 5に示した。DTN濃度は、両年とも初夏から秋期にかけて低下する傾向が見られ、その年平均濃度は、それぞれ0.60mg-N/L(2004年)と0.52mg-N/L(2005年)であった。NO₃-N濃度の季節変動は、2004年と2005年では異なり、2004年ではNO₃-N濃度が0.3mg-N/L以下になったのは7月から10月の約4ヶ月間であったのに対し、2005年では5月から濃度低下が見られ12月でも0.3mg-N/L以下と低濃度の期間が長かった。一方、2004年のDTP濃度は、TP濃度の極大値が観察される直前にその極大値が観察されたが、2005年では調査期間中徐々に増加する傾向が見られた。両年の年平均濃度は、それぞれ10.4μg-P/Lと14.2μg-P/Lであり、2005年の方が有意に高かった。RP濃度もDTP濃度と同様の変動を示したが、その年平均濃度は、

2004年 $6.1 \mu\text{g-P/L}$ 、2005年 $5.9 \mu\text{g-P/L}$ と両年同程度であった。

また、植物プランクトンあたりの窒素やリン含量を求めるため、水中PONまたはPP濃度とIL濃度との比をとった。得られたILあたりの窒素またはリン含量の季節変化をFig. 6に示した。両年とも、IL中の窒素含量は3月から5月にかけて増加し、5月以降はほぼ同程度で推移した。変動は大きいものの、年平均値では2004年が 0.067mg-N/mg-IL 、2005年が 0.078mg-N/mg-IL と、2005年の方が高い傾向が見られた。また、IL中のリン含量は、年平均値で、2004年が $6.8 \mu\text{g-P/mg-IL}$ 、2005年が $9.8 \mu\text{g-P/mg-IL}$ と、2005年の方が有意に高かった。

3.3. 河川水の水質変化

2004年と2005年の諏訪湖流入河川のTP、TNおよび $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の季節変化をFig. 7からFig. 9に示した。

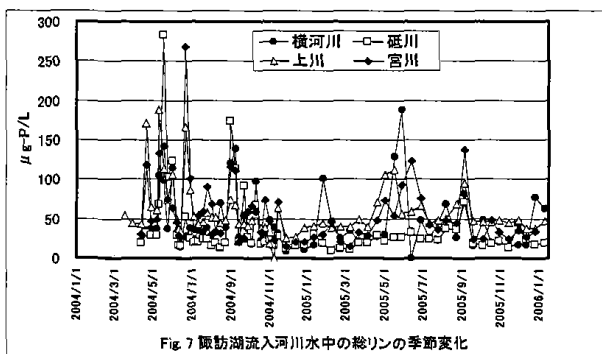


Fig. 7 諏訪湖流入河川水中の総リンの季節変化

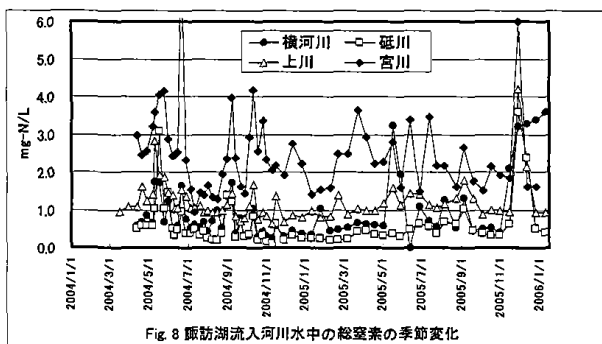


Fig. 8 諏訪湖流入河川水中の総窒素の季節変化

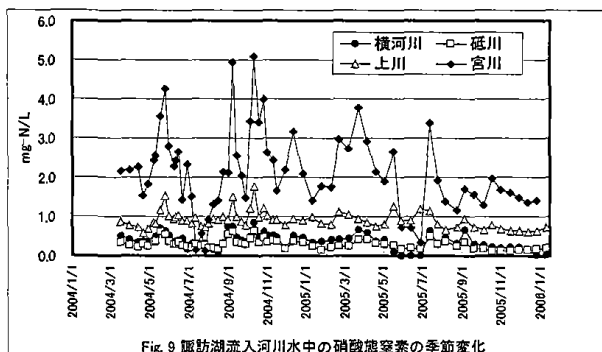


Fig. 9 諏訪湖流入河川水中の硝酸態窒素の季節変化

TP濃度の流入河川による差(最小:砥川 $36.7 \pm 43.5 \mu\text{g-P/L}$ 、最大:宮川 $58.5 \pm 33.3 \mu\text{g-P/L}$)は小さく、また、いずれの河川においても降雨に伴う濃度上昇が観察された。

一方、TN濃度の流入河川による差は大きく、その調査期間中の平均濃度は、宮川 ($2.48 \pm 1.16\text{mg-N/L}$)、上川 ($1.22 \pm 0.54\text{mg-N/L}$)、横河川 ($0.96 \pm 0.83\text{mg-N/L}$)、砥川 ($0.61 \pm 0.63\text{mg-N/L}$)の順であった。

また、TNに占める $\text{NO}_3\text{-N}$ の占める割合は、いずれの河川でも高く、宮川 ($82 \pm 26\%$)、上川 ($79 \pm 21\%$)、砥川 ($64 \pm 28\%$)、横河川 ($56 \pm 32\%$)と、 $\text{NO}_3\text{-N}$ はTNと同様の季節変動を示していた。特に上川と宮川から生物利用能の高い $\text{NO}_3\text{-N}$ が諏訪湖に供給されていたことが明らかとなった。

さらに、2004年と2005年について、河川ごとに $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の比較を行うと、いずれの河川においても2004年の方が2005年に比べ有意に濃度が高く、濃度だけで見ても2004年の方が流入河川から湖への $\text{NO}_3\text{-N}$ 供給量が多かったことが明らかとなった。

4. 考察

諏訪湖水中の植物プランクトン量の指標として測定したIL濃度は、2004年秋期には増大していたが、2005年秋期には「アオコ」が観察されていたにも関わらず、顕著な増加を示さなかった。TNおよびTP濃度を見る限り、両年の湖水中の窒素やリン量は同等であり、TNやTP濃度から両年のIL濃度の差、すなわち植物プランクトン量の差を説明することはできなかった。しかし、湖水中で生物利用能の高い、無機栄養塩類である $\text{NO}_3\text{-N}$ またはRP濃度を、2004年と2005年とで比較すると、RP濃度では有意差がなかったが、2005年の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は2004年よりも有意に低く、また、濃度の低い期間も長かった。さらに、2005年は流入河川の水量が少ないだけでなく、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度も低いことが示され、河川から湖への $\text{NO}_3\text{-N}$ の供給量が不足していたため、湖内の植物プランクトン量が少なかったと考えられた。しかし、上述の通り、2004年と2005年の湖水中の植物プランクトン量に差があったにもかかわらず、なぜ湖水中のTNやTP濃度に差が見られなかったのかは不明であり、アオコ発生のメカニズム解明のためにも、その原因を明らかにする必要があると考えた。

そこで、湖水中TNを構成する、溶存態のDTNと懸濁態のPONの濃度を比較したが、いずれも2004

年と2005年で有意差は見られなかった。さらに、植物プランクトン中の窒素量を表すPON/Lでも、両年に有意差はなく (Fig. 6)、植物プランクトン中の窒素含有量の差によって、2005年のTN量を説明することができなかった。一方、DTNから生物利用能の高いNO₃-Nを差し引いた窒素濃度(DTN-NO₃-N)は、2004年では平均0.17mg-N/Lであったのに対し、2005年では0.32mg-N/Lと有意に高く、DTNは同等であっても、その内訳が異なることが明らかとなった。すなわち、2004年と2005年のTNおよびDTN濃度は、ほぼ同程度であったが、2005年の方が植物プランクトンに利用されにくい窒素濃度は高く、DTN濃度の割には植物プランクトン量が少なかったと言える。

一方、リンについてみると、そのほとんどが懸濁態で存在しており、2004年と2005年の懸濁物質を構成する植物プランクトン中のリン含量に有意差が見られた。すなわち、2005年の方が2004年よりも植物プランクトン中のリン含量が高く、秋期に限れば、約2倍の差があった (Fig. 6)。したがって、2005年は植物プランクトン中のリン含有量が高かったため、TP量では2004年と差が見られなかったと考えた。

以上より、水中の窒素やリンの総量は同程度であっても、その組成や植物プランクトンへの局在化の程度が異なったため、2004年と2005年では水中の植物プランクトン量が異なったと考えた。

次に、植物プランクトンの増殖にかかわる因子であるが、懸濁態のPP濃度では2004年と2005年で有意差は見られなかったが、全体に占める割合は小さいものの、溶解態のDTPとRP濃度は2005年の方が有意に高くなっていった。また、2005年はNO₃-N濃度が年間を通じて低かったことから、2005年はリン制限でなく、強い窒素制限下で諏訪湖の植物プランクトンが増殖したと考えられた。2005年が窒素制限下にあったとすれば、窒素固定能の高い *Aphanizomenon flos-aqua* が秋期に優占したことも説明できる⁵⁾。また、これら藍藻類はリンの吸収が速く、細胞内にリンを高濃度で含有することが知られ⁷⁾、2005年は水中植物プランクトン量が少ないにも関わらず、2004年と同等の総リン濃度であったことも説明できる。

このように、2005年秋期の諏訪湖では、2004年と同様に³⁾、湖表層で多量の植物プランクトンが増殖し「アオコ」を形成していたが、2005年は湖へのNO₃-Nの供給量が少なく、水中のリンも含め、少ない栄養塩を *Aphanizomenon flos-aqua* が独占的に利用していたため、湖全体で見ると植物プランクトン量が少なか

ったと結論した。

本研究により、現在の諏訪湖の植物プランクトン現存量は、河川から供給される栄養塩量に大きく左右されることが明らかであるが、今後、浄化が進み、湖へ供給される栄養塩量が減少しても、*Aphanizomenon flos-aqua* のような特定種のみが増殖する可能性が示唆された。したがって、栄養塩流入量の削減だけでなく、その湖内での存在形態や生物間での分配についても考慮する必要がある。清浄であったとされる戦前と同等まで、あるいは環境基準値まで、水中のTNやTP濃度が低下したとしても、諏訪湖の生態系が単純なものへと変化してしまえば浄化の目的に反してしまう。そのため、過去にはどのような生物種がどの程度の密度で諏訪湖に生息していたのか、また、それらが構成していた生態系と栄養塩との相互関係を解明し、栄養塩の生物間での分配といった視点から、新たな浄化対策を提案する必要があると言える。

謝辞

本研究を行うにあたり、諏訪湖の水収支のデータは必要不可欠でしたが、長野県諏訪建設事務所管理計画課には、快く水量データを提供していただきました。また、山地水環境教育研究センター所属の大学院生・学部生には、試料採取や試料の分析に協力していただきました。関係各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 「諏訪湖のあゆみ」編集委員会 (2003) : みんなで知ろう「諏訪湖のあゆみ」6. 諏訪湖の浄化, 23-24.
- 2) 花里孝幸、小河原誠、宮原裕一 (2003) : 諏訪湖定期調査 (1997~2001). 信州大学山地水環境教育研究センター研究報告, 1, 109-174..
- 3) 宮原裕一 (2005) : 諏訪湖水質の季節変動調査結果詳細 (2004~2005). 信州大学山地水環境教育研究センター研究報告, 4, 25-56.
- 4) 本間隆満、朴虎東 (2005) : 諏訪湖における *Microcystis* 種組成および藍藻毒素 microcystin 濃度に及ぼす硝酸態窒素・リン酸態リン濃度の影響. 水環境学会誌, 28, 373-378.
- 5) 中村剛也、朴虎東 (2005) : 日本陸水学会甲信越支部会報, 31, 18.
- 6) 気象庁 : 電子閲覧室 (諏訪測候所観測データ) <http://www.data.kishou.go.jp/>
- 7) 沖野外輝夫 (1990) : 諏訪湖-マイクロコスモスの生物, 62, 八坂書房.

付表1 諏訪湖水中 SS、IL および窒素濃度の季節変化

試料名	SS mg/L	IL mg/L	TN mg-N/L	PON mg-N/L	DTN mg-N/L	NO ₃ -N mg-N/L	PON/IL mg-N/mg-IL
2004/3/17	9.7	5.1	1.03	0.00	1.03	0.73	0.00
2004/3/30	8.5	4.3	0.97	0.05	0.92	0.49	0.01
2004/4/13	4.5	3.3	1.23	0.17	1.06	0.46	0.05
2004/4/20	5.9	3.9	0.87	0.34	0.54	0.37	0.09
2004/5/6	16.9	6.7	0.89	0.42	0.48	0.31	0.06
2004/5/17	25.7	8.1	1.02	0.50	0.52	0.44	0.06
2004/5/31	17.6	5.8	1.11	0.44	0.67	0.74	0.08
2004/6/14	11.2	5.2	0.87	0.33	0.55	0.51	0.06
2004/6/28	8.4	4.5	0.71	0.29	0.42	0.31	0.06
2004/7/12	9.8	5.5	0.89	0.59	0.30	0.10	0.11
2004/7/26	9.1	5.6	1.03	0.54	0.49	0.00	0.10
2004/8/9	10.1	5.0	0.99	0.39	0.60	0.08	0.08
2004/8/24	11.9	6.6	1.01	0.46	0.55	0.18	0.07
2004/9/7	16.0	10.8	1.08	0.69	0.38	0.21	0.06
2004/9/21	23.2	17.8	1.41	1.17	0.24	0.00	0.07
2004/10/4	21.3	15.3	1.29	1.09	0.20	0.00	0.07
2004/10/18	12.7	6.8	1.24	0.45	0.79	0.94	0.07
2004/11/1	8.7	3.5	1.15	0.29	0.86	1.16	0.08
2004/11/15	7.4	2.7	0.91	0.21	0.69	0.86	0.08
2004/11/29	8.6	3.8	0.86	0.27	0.59	0.43	0.07
2004/12/13	5.3	2.7	0.98	0.21	0.77	0.65	0.08
2005/3/8	8.5	4.6	0.86	0.12	0.75	0.60	0.03
2005/3/22	9.9	4.6	1.09	0.17	0.92	0.51	0.04
2005/4/5	5.4	3.0	1.17	0.14	1.03	0.82	0.05
2005/4/19	8.2	4.5	0.99	0.28	0.72	0.49	0.06
2005/5/2	15.2	6.2	0.92	0.47	0.44	0.25	0.08
2005/5/17	23.3	8.6	0.90	0.61	0.29	0.09	0.07
2005/5/29	17.6	5.7	0.70	0.39	0.32	0.01	0.07
2005/6/13	9.5	5.1	0.72	0.41	0.31	0.02	0.08
2005/6/28	11.8	5.1	0.74	0.46	0.28	0.00	0.09
2005/7/12	13.4	9.0	2.19	1.57	0.61	0.29	0.18
2005/7/25	7.0	4.7	0.87	0.47	0.40	0.08	0.10
2005/8/6	6.6	5.7	0.68	0.35	0.33	0.02	0.06
2005/8/23	5.9	3.5	0.90	0.27	0.63	0.02	0.08
2005/9/5	8.9	5.5	0.95	0.53	0.42	0.04	0.10
2005/9/20	7.6	3.6	1.43			0.07	
2005/10/4	14.5	7.4	1.02	0.60	0.42	0.01	0.08
2005/10/18	11.7	5.6	1.03	0.47	0.56	0.10	0.08
2005/10/31	10.4	4.4	0.81	0.37	0.44	0.13	0.08
2005/11/15	27.1	6.7	1.07	0.78	0.29	0.09	0.12
2005/11/29	7.8	3.1	0.78	0.23	0.55	0.21	0.08
2005/12/12	4.8	1.3	0.68	0.07	0.62	0.21	0.05

付表2 諏訪湖水中リン濃度の季節変化

試料名	TP μg-P/L	PP μg-P/L	DTP μg-P/L	RP μg-P/L	PP/IL μg-P/mg-IL
2004/3/17	39.9	37.5	2.5	7.1	7.3
2004/3/30	38.3	31.2	7.1	5.4	7.2
2004/4/13	20.2	9.9	10.3	5.4	3.0
2004/4/20	52.0	36.6	15.4	7.1	9.3
2004/5/6	64.2	54.4	9.8	4.2	8.1
2004/5/17	77.0	68.9	8.0	3.3	8.5
2004/5/31	43.5	36.1	7.4	3.3	6.2
2004/6/14	39.8	29.1	10.7	3.6	5.6
2004/6/28	28.5	20.8	7.7	2.7	4.7
2004/7/12	42.6	26.3	16.3	8.0	4.8
2004/7/26	50.7	32.7	18.0	13.0	5.8
2004/8/9	65.7	42.1	23.6	10.1	8.5
2004/8/24	76.0	64.5	11.6	5.9	9.7
2004/9/7	55.7	44.5	11.3	5.1	4.1
2004/9/21	104.5	94.1	10.4	6.5	5.3
2004/10/4	127.0	118.1	8.9	4.2	7.7
2004/10/18	63.2	54.9	8.3	6.8	8.1
2004/11/1	32.0	26.9	5.1	4.5	7.6
2004/11/15	22.9	14.3	8.6	8.3	5.3
2004/11/29	34.8	26.2	8.6	10.1	6.9
2004/12/13	33.2	23.7	9.5	3.5	8.9
2005/3/8	38.5	31.3	7.2	1.8	6.9
2005/3/22	49.4	37.3	12.1	5.6	8.1
2005/4/5	43.2	35.1	8.1	2.7	11.7
2005/4/19	57.4	48.4	9.0	1.4	10.7
2005/5/2	78.2	68.3	9.9	1.4	11.0
2005/5/17	75.5	60.2	15.3	4.8	7.0
2005/5/29	63.7	50.7	13.0	3.1	8.9
2005/6/13	50.5	35.2	15.3	3.1	6.9
2005/6/28	63.0	51.3	11.7	3.9	10.1
2005/7/12	50.9	40.6	10.3	4.4	4.5
2005/7/25	62.4	47.6	14.8	5.6	10.1
2005/8/6	54.9	40.1	14.8	2.7	7.1
2005/8/23	71.8	46.7	25.1	14.6	13.5
2005/9/5	59.7			6.9	
2005/9/20	68.2	50.7	17.5	7.3	14.2
2005/10/4	97.8	81.2	16.6	8.2	11.0
2005/10/18	94.2	77.1	17.1	9.0	13.8
2005/10/31	50.7	39.0	11.7	9.0	8.8
2005/11/15	47.6	28.3	19.3	7.8	4.2
2005/11/29	43.1	26.5	16.6	7.3	8.7
2005/12/12	42.6	24.6	18.0	13.7	18.4

付表3 諏訪湖流入河川の水質変化

試料名	全リン濃度 ($\mu\text{g-P/L}$)				全窒素濃度 (mg-N/L)				硝酸態窒素濃度 (mg-N/L)			
	横河川	砥川	上川	宮川	横河川	砥川	上川	宮川	横河川	砥川	上川	宮川
2004/3/17			55				1.0		0.5	0.3	0.9	2.2
2004/3/30			45				1.1		0.4	0.3	0.8	2.2
2004/4/13	22	19	43	30	0.6	0.5	1.1	3.0	0.3	0.2	0.7	2.3
2004/4/20	36	32	172	119	0.7	0.6	1.6	2.5	0.4	0.3	0.6	1.5
2004/4/27	38	30	66	47	0.9	0.6	1.2	2.6	0.4	0.2	0.7	1.8
2004/5/6	37	29	62	50	0.7	0.6	1.4	3.2	0.4	0.3	0.9	2.4
2004/5/10	106	69	189	133	1.7	1.0	2.8	3.6	0.5	0.4	0.8	2.6
2004/5/17	99	283	113	142	1.7	3.1	1.9	4.1	0.7	0.6	1.2	3.6
2004/5/24	38	102	75	74	0.7	1.0	1.9	4.1	0.6	0.5	1.5	4.3
2004/5/31	115	124	107	64	1.2	1.5	1.5	2.9	0.5	0.4	1.0	2.8
2004/6/7	33	29	50	46	0.5	0.5	1.4	2.4	0.3	0.3	1.0	2.3
2004/6/10	37	17	38	29	0.4	0.3	1.0	2.5	0.4	0.3	1.0	2.4
2004/6/14	14	15	34	26	0.6	0.5	1.1	2.5	0.4	0.3	1.1	2.7
2004/6/21	28	53	167	269	1.6	1.0	1.6	8.0	0.4	0.3	0.9	1.4
2004/6/28	39	25	88	102	0.8	0.4	1.4	2.3	0.2	0.2	0.9	2.3
2004/7/5	24	21	54	36	0.5	0.4	1.1	1.6	0.3	0.2	0.8	1.5
2004/7/12	35	21	43	55	0.6	0.5	1.1	0.9	0.2	0.3	1.0	0.1
2004/7/20	32	24	46	59	0.5	0.3	1.1	1.5	0.3	0.2	0.8	0.5
2004/7/26	39	24	58	90	0.7	0.4	0.9	1.4	0.3	0.3	0.7	0.1
2004/8/2	29	16	52	69	0.4	0.3	1.0	1.6	0.2	0.2	0.8	0.9
2004/8/9	32	19	52	34	0.7	0.2	0.9	1.3	0.1	0.2	0.9	1.3
2004/8/16	70	14	45	32	1.0	0.2	0.9	1.3	0.1	0.2	0.9	1.4
2004/8/24	41	20	48	39	0.5	0.4	1.0	1.9	0.3	0.3	1.0	2.2
2004/8/31	121	174	75	116	1.4	1.4	1.1	2.4	0.7	0.5	0.9	2.1
2004/9/7	139	113	67	111	1.7	1.2	1.4	4.0	0.8	0.6	1.5	5.0
2004/9/14	26	20	44	21	0.4	0.3	0.8	2.4	0.5	0.4	1.0	2.6
2004/9/21	55	91	44	25	0.8	0.7	0.7	1.6	0.4	0.3	0.9	2.1
2004/9/27	25	27	41	60	0.3	0.3	0.8	1.4	0.3	0.3	0.8	1.5
2004/10/4	18	20	48	67	0.3	0.4	1.1	2.9	0.5	0.4	1.2	3.5
2004/10/10	98	68	57	59	1.0	0.8	1.7	4.2	0.8	0.6	1.8	5.1
2004/10/18	24	18	38	32	0.3	0.2	0.7	2.6	0.5	0.3	1.0	3.4
2004/10/25	32	21	39	74	0.4	0.3	0.9	3.4	0.6	0.5	1.2	4.0
2004/11/1	48	24	18	47	0.3	0.2	0.8	2.3	0.5	0.4	1.0	2.6
2004/11/9	39	16	0	24	0.3	0.1	0.6	2.0	0.5	0.4	0.9	2.4
2004/11/15	31	28	64	72	0.6	0.6	1.4	2.2	0.5	0.4	0.9	1.7
2004/11/29	9	12	26	15	0.3	0.2	0.7	1.9	0.2	0.2	0.8	2.2
2004/12/13	16	16	27	20	0.5	0.3	0.9	2.8	0.5	0.4	0.9	3.2
2004/12/27	11	17	39	20	0.4	0.2	0.8	2.2	0.5	0.4	0.9	2.1
2005/1/11	16	30	41	27	0.3	0.3	1.0	1.4	0.3	0.2	1.0	1.4
2005/1/25	102	19	45	30	1.0	0.3	0.8	1.5	0.4	0.1	0.8	1.8
2005/2/8	48	10	39	46	0.5	0.2	0.8	1.6	0.4	0.2	0.8	1.7
2005/2/21	25	13	40	21	0.5	0.2	1.4	2.5	0.4	0.2	1.1	3.0
2005/3/8	35	11	40	15	0.5	0.2	0.9	2.5	0.4	0.2	1.1	2.7
2005/3/22	22	19	50	33	0.7	0.4	1.0	3.6	0.7	0.4	0.9	3.8
2005/4/5	28	19	39	29	0.6	0.5	1.0	2.9	0.6	0.4	0.9	2.9
2005/4/19	28	29	72	49	0.6	0.4	1.0	2.2	0.4	0.3	0.8	2.1
2005/5/2	30	21	106	74	0.6	0.3	1.2	2.3	0.4	0.3	0.8	1.9
2005/5/17	129	26	112	54	3.2	0.4	1.6	2.8	0.1	0.3	1.3	2.7
2005/5/29	188	27	56	93	1.9	0.3	1.1	1.6	0.0	0.2	0.9	0.7
2005/6/13	N.D.	33	60	123	N.D.	0.5	1.4	3.4	0.0	0.2	0.9	0.7
2005/6/28	49	24	66	77	1.1	0.6	1.4	1.5	0.0	0.2	1.2	0.3
2005/7/12	26	25	44	42	0.7	0.6	1.1	3.5	0.6	0.5	1.1	3.4
2005/7/25	46	23	49	36	0.6	0.4	1.1	2.2	0.3	0.3	0.8	1.9
2005/8/6	69	38	51	49	1.3	0.7	1.2	2.2	0.5	0.4	0.7	1.4
2005/8/23	27	37	69	45	0.5	0.6	1.3	1.6	0.3	0.3	0.7	1.2
2005/9/5	82	71	96	138	1.3	1.0	1.8	2.7	0.7	0.3	0.9	1.7
2005/9/20	16	18	47	24	0.5	0.4	1.3	1.8	0.3	0.2	0.7	1.6
2005/10/4	48	16	46	24	0.5	0.4	0.9	1.5	0.3	0.2	0.7	1.3
2005/10/18	20	18	45	48	0.5	0.3	1.0	2.2	0.2	0.1	0.8	2.0
2005/10/31	21	21	48	32	0.4	0.3	1.0	1.9	0.2	0.1	0.7	1.7
2005/11/15	15	13	45	24	2.1	0.6	1.0	1.9	0.2	0.1	0.6	1.6
2005/11/29	17	45	49	35	3.2	3.6	4.2	6.0	0.2	0.1	0.6	1.5
2005/12/12	17	24	38	26	3.3	2.4	2.2	1.6	0.2	0.1	0.6	1.4
2005/12/26	77	17	38	33	3.4	0.5	0.9	1.6	0.0	0.2	0.6	1.4