

栄養塩供給源の季節変化とそれに対する浅い貯水池生態系の反応

Seasonal change of the nutrient source and the response of the ecosystem in a shallow reservoir

鈴木 宏幸¹

天野 邦彦²

李 建華²

安田 佳哉¹

Hiroyuki SUZUKI

Kunihiko AMANO

Jianhua LI

Yoshiya YASUDA

ABSTRACT: The growth of phytoplankton depends on the supply of nutrients such as phosphorus and nitrogen in lakes and reservoirs. These nutrients are supplied originally by river water in Watarase reservoir. Since the inflow water contains high concentration of nitrogen, water intake makes N/P ratio of reservoir water high during high water level period in the reservoir. However, since the reservoir is shallow, phosphorus release from bottom sediments is intense while water level is drawn down. This causes a significant drop of N/P ratio during low water level period. The operation of water level of the reservoir changes both nutrient concentration and N/P ratio leading to a significant change in phytoplankton mass and dominant species. By regarding the reservoir as a system, the effect of water depth on the reservoir water quality is discussed.

KEYWORD; Nutrient, Shallow reservoir, N/P ratio

1. はじめに

現在、日本の湖沼・貯水池で起っている問題の1つに、富栄養化が挙げられる。この影響で、貯水池内では植物プランクトンの大量増殖や、それに起因する異臭味障害、水への着色など、種々の問題が起っている。このような問題を改善していくことは、より効果的な水資源利用・貯水池の運営を行っていく上で、極めて重要なことである。

本研究のフィールドとして選択した渡良瀬貯水池(図-1)は、埼玉県の北東部に位置している洪水調節及び利水を主とした多目的貯水池である。本貯水池の運用は春及び秋季に周辺河川より取水を行い、初夏(6月~7月)及び冬に放流するという運用を行っている(図-2)。また、水門操作によって周辺河川との水のやり取りがほぼ完全にコントロールされているため、流入・流出量の把握がしやすいこと、また、図-2に示

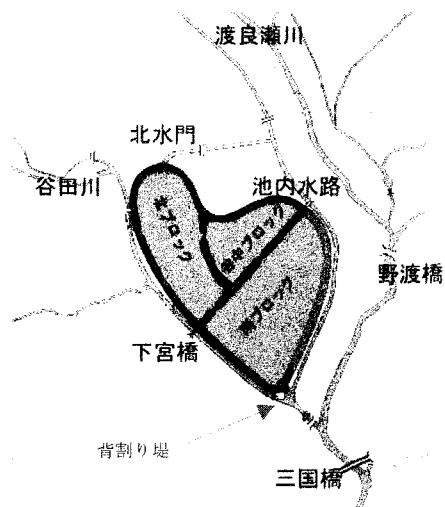


図-1: 渡良瀬貯水池の概略図

¹ 国土交通省 国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

² 独立行政法人 土木研究所 Public Works Research Institute, Independent Administrative Institutions

されるように、貯水池全体がよく混合されていることから、研究を行う上で貯水池の機構、栄養塩等の動態を捉えやすいというメリットがある。

本貯水池では藻類の大量増殖や、貯水池水への異臭が起っており、このような現象は湖水の栄養塩濃度が高いために起ったと考えられる。

本研究では、貯水池の管理・運営によって、貯水池内の生態系がどのような影響を受けるのかについて把握することが、今後貯水池をより効果的に運用していく上で重要と考えられるため、貯水池の構成を3つの系（河川水、湖水（貯水池水）、底泥及びその間隙水）からなるシステムとして捉え、季節的な栄養塩の動態と、それに対する生態系の反応について、定量的に評価することを目的として、モニタリングを行い検討した。

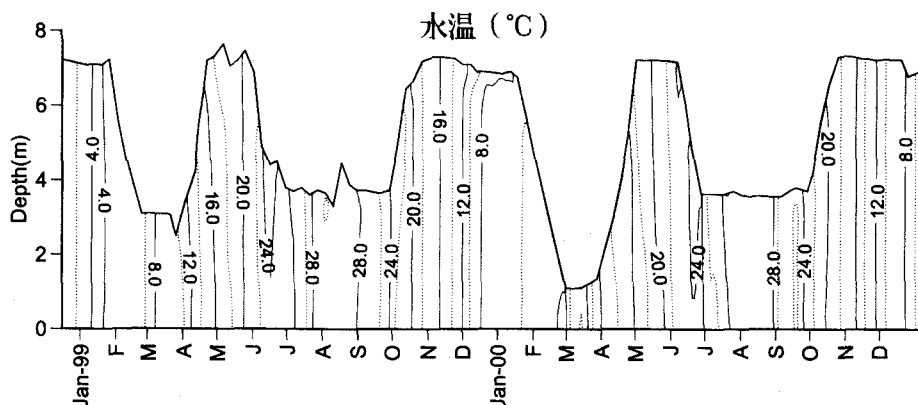


図-2：平成11、12年 貯水池水深・水温変化

2. 方法

各系（河川水、湖水、底泥及びその間隙水）の水量、水質や栄養塩濃度の動態について整理すると共に、貯水池内における植物プランクトンの動態と比較・検討を行った。

渡良瀬貯水池で、国土交通省関東地方整備局の利根川上流工事事務所が定期的に行っている水質調査結果（平成11、12年）を用いて、河川水、貯水池水のデータについて検討した。対象として、窒素類、リン類とクロロフィル a に着目し、貯水池における栄養塩濃度変化の要因について調べた。

底泥については、平成11年に6回、平成12年4月から12月に月1回の採取を行った。本貯水池での底泥採取は、離合社製の HR-34 型重力式コアサンプラー（円筒コア管：直径110mm、長さ500mm）を用いて行った。採取した底泥は、表層から3cm刻みに4つ、計12cmの深度までをサンプルとして採取した。サンプルの一部は、含水比及び強熱減量の測定に用いると共に、残りは実験室で遠心分離器に掛け（10,000rpm、10分間）、間隙水を採取した。

底泥サンプルは含水率、強熱減量を測定（110℃で2時間と、550℃で2時間）し、間隙水についてはオートアナライザー（ブラン・ルーベ社製、AACS-2000）を用いて、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素とオルトリン酸態リンを測定した。

これらの結果を用いて、貯水池の水質及び物理的な変動と、それに対する植物プランクトンの変動について検討を行った。

3. 結 果

3. 1 各系（河川水、湖水、底泥）における栄養塩の変化特性

（1）河川水

渡良瀬貯水池では周辺に、谷田川、渡良瀬川という2本の川が流れている（図－1）。谷田川の栄養塩濃度は窒素・リンともに高く、なるべく渡良瀬川の水を取り入れるため、貯水池では背割り堤（図－1 下部）を設置している。表－1 に、取水時における周辺河川の水質を表した。この表から、リン濃度、窒素濃度共に谷田川の方が高い値を示しているが、河川水の貯水池への流入口である貯水池機場で測定された値は、窒素、リン共に渡良瀬川のそれに近く、平成11年3月に完成した背割り堤の効果のため、比較的濃度の低い渡良瀬川の水を取水していることが分かる。

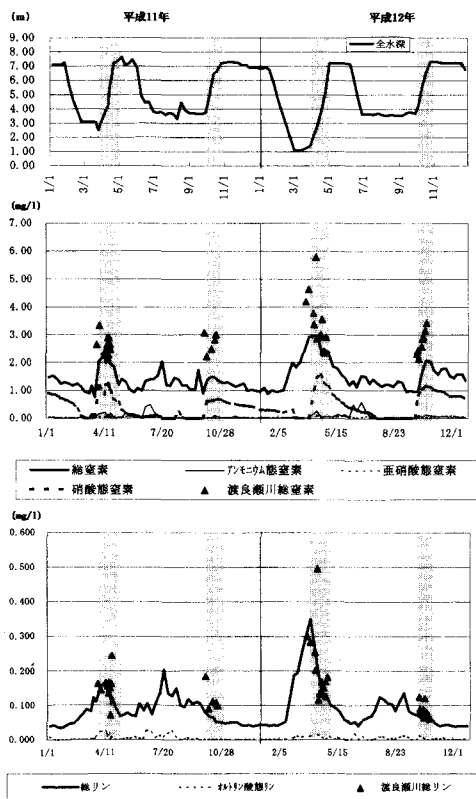
表－1：取水時の周辺河川及び貯水池機場水質（単位：mg/l）

	総窒素			総リン		
	谷田川	渡良瀬川	貯水池機場	谷田川	渡良瀬川	貯水池機場
11年 春	4.04	2.65		0.33	0.16	
11年 秋	3.81	2.72	2.62	0.35	0.12	0.14
12年 春	5.74	3.43	3.63	0.82	0.21	0.23
12年 秋	4.15	2.73	3.11	0.24	0.09	0.12

（2）湖水

平成11年と平成12年の総窒素、アンモニウム態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、また総リン、オルトリン酸態リンの変化について図－3に示す。流入河川の総窒素、硝酸態窒素濃度が高いため、河川水流入時（図中、網掛け部）に湖水の総窒素、硝酸態窒素濃度が急激に上昇する。その後、植物プランクトンによる摂取、底泥への沈降によると考えられる濃度低下を示している。

リンについては、特に水位低下時に総リン濃度が上昇していることが分かる。これは底泥からの回帰と推測できる。また、そのほとんどが懸濁態として存在していることが分かる。さらに、平成11年3月の様に河川水流入直前の湖水総リン濃度が低く、流入河川水濃度が高い場合には窒素同様、河川水流入時には濃度上昇を示すが、水位低下時に濃度が上昇しているために、必ずしも河川水流入時に濃度上昇は見られず（例えば平成12年4月）、むしろ濃度としては河川水流入に伴い低下する場合もある。先述の様に、水位低下時には、外部の河川からの負荷はなく、リン濃度の上昇は底泥からの回帰によるものと考えられる。



※河川流入時

図－3：湖水水質と周辺河川（渡良瀬川）水質

(3) 底泥及び間隙水

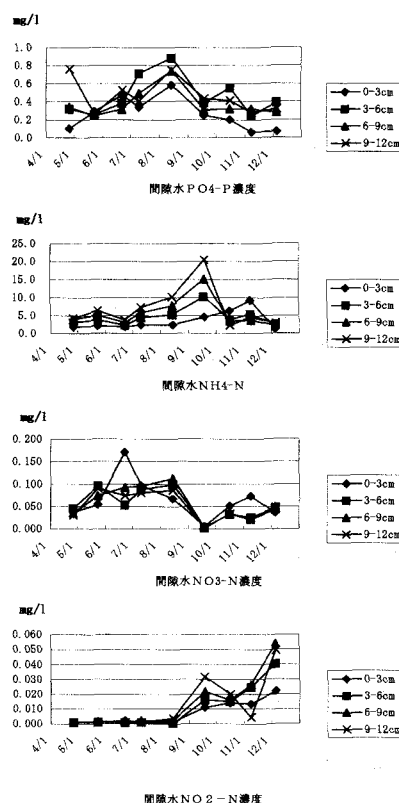
図－４は平成１２年度の底泥間隙水質について、深度毎に表したものである。年を通じて間隙水中のオルトリン酸態リン、アンモニア態窒素は湖水に比べて高い値を示した。

オルトリン酸態リンは、全体的に夏季（特に８月）に高い値を示していた。

アンモニア態窒素は、４月～９月にかけて底泥の深度が増加するに従い、濃度が上昇していく傾向にあったものが、１０月以降、この傾向が逆転していた。

亜硝酸態窒素と硝酸態窒素については、湖水濃度と比較して低いレベルであった。

底泥について、平成１１年、１２年ともに、含水率は表層で７０％、底層では６０％前後で変動していた。強熱減量の結果は年を通して約８％だった。表層と底層の差については、底泥含水量、強熱減量の平均値は、L i ら^{１)}が報告している木崎湖における結果と比して小さかった。木崎湖は最大水深２９．５ｍ、平均水深１７．５ｍと、渡良瀬貯水池と比べて深い湖であり、底泥があまり乱されないためにこのような結果になったと考えられる。このことから、本貯水池の底泥は、より深いところまで貯水池水の流動による混合が起っていると推測できる。特に、取水口が近い南ブロックにおいて（図－１）、風と波の影響で、より大きな影響が考えられ^{２)}、その結果底泥からの回帰が起りやすいと考えられる。



図－４：平成１２年 底泥間隙水質

含水率(%)

	4月26日	5月23日	6月22日	7月10日	8月14日	9月18日	10月16日	11月8日	12月5日	平均値
0-3cm	69.04	73.22	73.70	73.44	77.05	74.81	72.41	73.60	74.36	73.52
3-6cm	61.20	68.10	67.36	68.98	71.92	68.59	65.48	69.68	69.25	67.84
6-9cm	60.54	67.19	64.84	64.11	64.87	65.15	63.62	64.55	62.84	64.19
9-12cm	60.62	62.94	64.79	63.58	63.66	64.35	63.23	62.96	62.06	63.13

強熱減量(%)

	4月26日	5月23日	6月22日	7月10日	8月14日	9月18日	10月16日	11月8日	12月5日	平均値
0-3cm	7.25	8.92	7.79	8.65	9.31	7.73	6.99	9.06	8.22	8.21
3-6cm	5.82	8.42	7.56	8.30	8.42	7.34	6.30	8.73	8.14	7.67
6-9cm	5.95	8.02	7.34	7.72	8.27	7.06	6.31	8.06	7.27	7.33
9-12cm	5.08	7.39	7.22	7.51	6.89	6.93	6.27	7.78	7.13	6.91

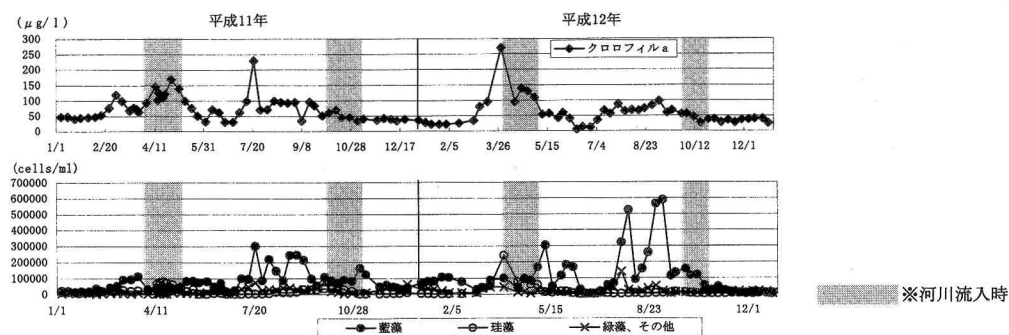
表－２：平成１２年 底泥の含水率、強熱減量

3. 2 植物プランクトンの変化特性

図－5は平成11年、12年のクロロフィルaと植物プランクトン細胞数の変化を表したものである。

クロロフィルa濃度は一般的に栄養塩類である窒素、リン濃度によって支配されているが、本貯水池においては、特にリン濃度との相関が高い(図－3、5)。リン濃度増加については、3. 1 (2)で述べた様に、河川水流入時に新たに負荷されることによる増加と、水位低下に伴う底泥からの回帰による増加の2種類のパターンがある。クロロフィルaのピークもこの2種類のリン濃度増加パターンと一致している(図－5)。また、ほぼ全期間を通して、オルトリン酸態リン濃度が非常に低いことから、ほとんどの場合、本貯水池はリン制限であることを示している。

また、植物プランクトンとその種別毎に表したのが図－5下段のグラフであるが、本貯水池は主に藍藻類が優先種となっている。また、季節的に珪藻類も多量の増殖を示している。



図－5：平成11、12年湖水のクロロフィルa、植物プランクトン細胞数

4. 考 察

春、秋における貯水池水の窒素濃度の上昇は河川水によるものである。しかし、夏における貯水池内の栄養塩濃度の変化については、洪水等以外は取水を行っておらず、外部からの負荷は限定的であるため、底泥からの回帰と推測できる。別の実験でも夏季における貯水池中の溶出量については観測を行っているが、この時もリンで15.6～38.2 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$)と、かなり高い溶出速度が計測された³⁾。

貯水池を一つのシステムとして捉え、植物プランクトン量を示す指標であるクロロフィルaの変化や、植物プランクトンの組成変化を考えると、本貯水池では窒素、リンの供給源が水位上昇時と低下時で異なるために、それぞれの時期において異なった様相を示す。

貯水池中の水質観測結果から、貯水池水のN/P比(質量比)は年を通じて、どのように変化しているのかを表したものが、図－6である。また、同図には流入河川のN/P比を同時プロットしている。

4～6月及び10～2月の満水時においては、N/P比は20～40という高い値を示しており、これは貯水池がリン制限になっていることを示している⁴⁾。これは取水時の河川水質の影響が大きく、N/P比の大きな渡良瀬川の水が多く流入しているためである。また他の計算結果から、流入したリンは比較的速やかに沈降することが分かっており³⁾、この結果貯水池水のN/P比は急激な上昇を見せると考えられる。

これに対し、3月と6～9月の水位低下時には、N/P比は10程度まで低下している。これは、底泥からの回帰が窒素に比べてリンで激しいことから、N/P比の低下が起ったと考えられる。この時期の貯水池は逆に窒素制限となっている事も十分に考えられる。

この急激な値の変化は貯水池の水の出し入れ時に起っており、河川の流入、流出、及び、気候条件等に起因する底泥への物理的な影響が、貯水池内のN/P比に大きな影響を与えていると考えられる。

水位低下時にN/P比は10程度まで低下しており、N制限となる時期があることが現地データより示唆されている。このような状態では、窒素固定の能力を持つ一部の藍藻類にとって有利になることが知られてい

る。藍藻類のアナベナは窒素固定をすることが知られている⁵⁾。N/P比が低下した平成11年3月には、この種の増大が見られた(図-6)。しかし、平成12年3月には特にこのような傾向は見られず、N/P比だけでは説明できなかった。

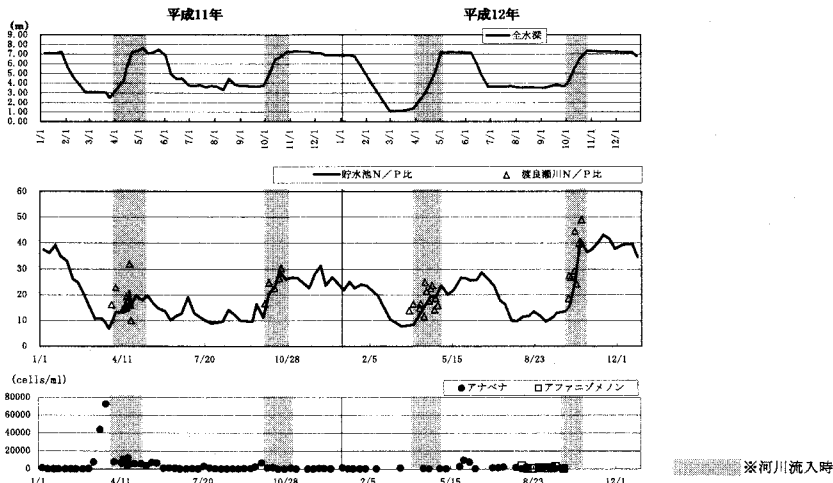


図-6：平成11、12年湖水と周辺河川（渡良瀬川）のN/P比
及びアナベナとアファニゾメノンの細胞数

貯水池水質と底泥及びその間隙水との関連については、底泥間隙水中のオルトリン酸態リンが夏季において高い値を示している。これは夏季に底層水及び底泥の温度が上昇し、底泥中の生物学的な反応が促進されたため、濃度の上昇が起ったと推測できる。間隙水中のオルトリン酸態リン濃度の上昇は、湖水への回帰量の増加を促進すると考えられ、これは貯水池で起っている湖水中の総リン濃度の上昇と一致していた。

5. まとめ

本貯水池は季節によって栄養塩濃度が大きく変化するとともに、湖水中の窒素、リン起源が異なることから、N/P比も大きく変化する貯水池であることが判明した。すなわち、栄養塩の供給源が季節により河川水と底泥とに交互に入れ替わるためと推測できた。この影響を受けて、貯水池の生態系の底辺を担う植物プランクトンは、水位低下時（窒素制限時）と、満水位（リン制限時）で、増殖量、及びその種類に変化があることが示された。

これらの結果から、浅い貯水池の生態系を把握するためには、河川水に着目するだけでなく、貯水池というシステムの中での底泥の役割を適切に評価することが重要性であることが示された。

参考文献：

- 1) Jian-hua Li, Susumu Takii, Rituko Kotakemori, and Hidetake Hayashi, Sulfate reduction in profundal sediments in Lake Kizaki, Japan, *Hydrobiologia*, 333, 201-208, 1996.
- 2) 天野邦彦, 安田佳哉, 鈴木宏幸, 浅い貯水池における表層底泥の巻き上げによる水質変化のモデリング, 水工学論文集, 第46巻, 2002.
- 3) 天野邦彦, 李建華, 鈴木宏幸, 安田佳哉, 渡良瀬貯水池における水質変化に関する考察, 国土技術政策総合研究所資料第12号, 2001.
- 4) 天野邦彦, 安田佳哉, 鈴木宏幸, 多目的ダム貯水池の水質と流入河川・貯水池特性との関連について, ダム工学, Vol. 10, No. 2, 2000.
- 5) 渡辺真利代, 原田健一, 藤木博太, アオコ～その出現と毒素～, 東京大学出版会, 1994.