

浅い貯水池における栄養塩類の移動に関する検討

国土交通省国土技術政策総合研究所 ○正会員 鈴木 宏幸 正会員 天野 邦彦
李 建華 正会員 安田 佳哉

1. はじめに

渡良瀬貯水池は、渡良瀬川と谷田川を水源とする、洪水調節を主とした多目的貯水池である。本研究では、貯水池水質変化に大きな影響を持つ河川からの取水、河川への補給による物質（栄養塩）移動および水柱と底泥の間での栄養塩移動の量的な変化について解析を進め、貯水池水質変化に与える栄養塩類の物質移動の重要性について検討を行った。

2. 方法

利根川上流工事事務所の行っている定期水質調査結果及び貯水池管理日報を用いて、年間を通しての栄養塩の外部（河川）とのやりとりと、水柱と底泥間のやりとりとして求められる物質移動量を計算した。解析対象とする諸量は、1）貯水池内水量 2）水門を通して貯水池に流入する全窒素および全リンの累積負荷量 3）貯水池水柱に存在する全窒素・全リンの総量 4）全窒素および全リンの推定累積沈降量の4つである。ここで、2）の累積負荷量とは取水時に貯水池に流入する物質量を正とし、補給時に貯水池から放流される物質量を負とした量の累計値で、各年の初期値を0として計算した。また、3）の貯水池水柱に存在する総量は、各時点での貯水池内水量と水質観測値との積として算出した。さらに4）の推定累積沈降量は、以下の方法で算出した。ある期間における貯水池水柱に存在する物質総量変化は、外部とのやりとり及び底泥と水柱間のやりとりとの和で表すことができると考える。

$$S_2 = S_1 + S_{in} - S_{out} - S_t \quad (1)$$

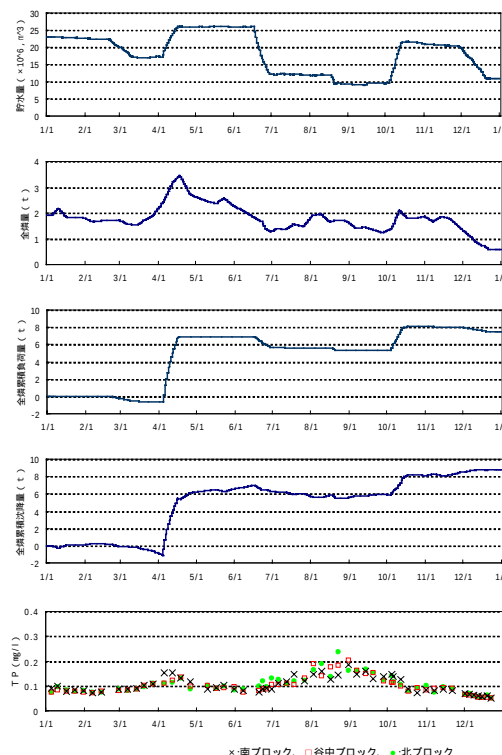
S_2 : ある期間の終了時点での水柱内総量、 S_1 : ある期間の開始時点での水柱内総量、 S_{in} : 外部（河川）からの流入量、 S_{out} : 外部（河川）への放流量、 S_t : 底泥への移動量（沈降を正、回帰を負と考える）。

大気とのやりとり、降雨による負荷はここでは考えていないため、式（1）で物質収支を求めることができる。また、この式を変形することで、ある期間中の正味の沈降量 S_t を求めることができる。ここで底泥とのやりとりについては、底泥への沈降を正、底泥からの回帰を負と考えているので、底泥からの回帰が沈降を上回る場合は負の沈降量として求めることができる。このある期間内における、正味の沈降量の累計を求めたものが推定累積沈降量になっている。

3. 研究結果及び考察

平成7年の貯水量、T-Pの総量、累積負荷量、推定累積沈降量の経時変化を図—1に示す。全リン量は貯水池内の水量に強く関連しており、0.6～3.5 t程度が水柱内に存在していることがわかる。

4月～7月の変化を見ると、貯水池に流入する負荷量が貯水池から放流される量に比べて遙かに多いことが分かる。負荷量と貯水池水柱内の全量を比較すると、全リン量は4月の



図—1：平成7年度の水量、T-P 経時変化

キーワード：栄養塩、底泥、富栄養化

連絡先：茨城県つくば市大字旭1番地 国土技術政策総合研究所河川環境研究室 0298-64-2269

取水後、約 2 t の上昇しか見られないため、4 月の流入負荷量の推定値である 7 t のうちの 7 割程度は、比較的速やかに沈降していると考えられる。6 月放流の際には、4 月に流入した負荷量の相当量がすでに沈降した後の貯水池水を放流していることから、多量の水を放流しても、放流される T-P 量は、流入した T-P 負荷量に比べると少ないものとなっていることが分かる。

T-P 濃度変化の特徴として、水位低下時の濃度上昇が挙げられる。7 月から 8 月初旬にかけては T-P 濃度が約 0.11mg/l から 0.16mg/l と上昇しているが、この期間中外部からの負荷は無く、外部との出入りは無視できる。この間、年累積沈降量は、約 6 t から 5.5 t と減少しており（全量は 1.4 t から 2 t 程度に上昇）、約 0.5 t の T-P が底泥から水柱へ回帰したことが示される。

平成 7 年の夏期制限水位への水位低下以前で直近の流入は当年の 4 月に起っている。このとき流入した T-P 負荷量は 7 t 以上であり、年当初から累積した沈降量も濃度上昇が始まる 6 月中旬の段階で約 7 t となっており、このうちの 1 割弱に当たる量が回帰するだけで、水位低下により水量が減少しているために、T-P 濃度の上昇は顕著なものになっていることがわかる。

今回の解析結果より、リン物質は 7 ～ 8 割程度が比較的速やかに沈降することが示された。これは、リン物質が河川の懸濁態（浮遊砂）に吸着するなどして、懸濁態で存在するものの比率が高く、沈降速度が速いためと考えられる。

夏期の底泥からの回帰に関しては、平成 7 年以外の年もリンはほぼ毎年夏期制限水位時には回帰が起こり、T-P 濃度の明確な上昇が見られる。

図 1 から本貯水池には毎年リンが正味の量として沈降していることがわかる。流入河川水質、貯水池水質の変化から推定される沈降量（沈降による貯水池水柱からの減少量として算出）を年ごとにまとめると表 1 の様になる。沈降したリンと窒素の比については、変動を伴うものの貯水池懸濁物の N/P 比である約 14 に近いものと考えられる。沈降したもののうちリンについては、気化することは無いと考えられるので、累積沈降量が底泥の増加として底泥に堆積していると考えられる。底泥の N/P 比は約 1.5 ～ 2.5 で年間を通してほぼ一定である。このことは、最終的に堆積する窒素の量は多くてもリンの 2.5 倍程度に過ぎないことを示している。

沈降する懸濁物の平均的な N/P 比は約 14 であるが、堆積している底泥の N/P 比は約 1.5 ～ 2.5 であり（表 2）、なおかつリンの気化による減少が考えられないことを考えると、沈降した窒素の 80 % 以上が脱窒により、気散したと考えられる。この値は、河口部において、40 ～ 55 % の全窒素負荷が脱窒で失われるという評価（Shaffer and Ronner, 1984）と比べてもかなり高い値である。渡良瀬貯水池の底泥表層は、特に水位低下時に直上水との混合が盛んに起こっていると考えられるが、このときに直上水の硝酸が底泥に供給されるか底泥間隙水中のアンモニアが硝化され、さらに混合後に再度沈降して底泥が嫌氣的になった状態で脱窒が起こるという機構が予想された。

参考文献：Shaffer, D.M and U. Ronner, 1984, Deep Sea Research, 31, pp 197-220.

表—1：貯水池中の推定累積沈降量（単位：t）

	P 累積沈降量	N 累積沈降量	N/P 比
1992 年	3.7	85.1	23
1993 年	16.5	135.8	8.2
1994 年	4.6	76.5	16.6
1995 年	8.8	101.9	11.6
1996 年	16.8	164.3	9.8
1997 年	12.6	122.7	9.7

表—2：底泥中の全窒素と全リン比

観測年月	南ブロック				北ブロック				谷中ブロック			
	TN mg/kg	TN mg/kg	TP mg/kg	年平均	TN mg/kg	TN mg/kg	TP mg/kg	年平均	TN mg/kg	TN mg/kg	TP mg/kg	年平均
H4.3	1360	886	1.53		1060	586	1.81		1590	608	2.62	
H4.8	1330	820	1.62	1.58	1580	740	2.14	1.97	1140	589	1.94	2.28
H5.3	2070	964	2.15		1770	701	2.52		541	388	1.39	
H5.8	1290	1110	1.16	1.65	3050	1050	2.90	2.71	857	517	1.66	1.53
H6.3	1650	1380	1.20		1890	1120	1.69		894	439	2.04	
H6.8	1280	899	1.42	1.31	1330	972	1.37	1.53	1280	559	2.29	2.16
H7.2	1540	937	1.64		1050	580	1.81		1230	494	2.49	
H7.8	903	811	1.11	1.38	1480	863	1.71	1.76	613	402	1.52	2.01
H8.2	2170	1390	1.56		696	506	1.38		953	467	2.04	
H8.9	1370	797	1.72	1.64	786	494	1.59	1.48	1050	701	1.50	1.77
H9.9	1350	989	1.37	1.37	2230	865	2.58	2.58	1610	623	2.58	1.37