

はじめに

本資料は、利根川水系渡良瀬川に建設された渡良瀬貯水池における水質変化について、既往資料の整理、現地実験結果の整理を行うことにより、その特性についてできる限り定量的に評価を行った結果をまとめたものである。

渡良瀬貯水池の水質に関連する事象の中でも、特に高栄養塩濃度の河川水を貯留することによる藻類の大量増殖が重要な関心事となっている。藻類の大量増殖は、水中の有機物量を増加させ、現場におけるレクリエーション活動への悪影響を及ぼす可能性があると共に下流において水道取水がなされていることから、好ましくない事象であり、その程度を軽減させる対策の確立が喫緊の課題となっている。

貯水池における藻類の大量増殖について考察するに際しては、まず藻類増殖を規定する水量及び水質変化について知る必要がある。渡良瀬貯水池は、周辺河川からの流入、放流が水門の運用により人為的に操作されているため、貯水池での水量・水質変化を正確に知ることができる。既往の水質調査結果から、貯水池水質変化には貯水池の運用が大きく影響していること、貯水池水質と底泥との間に密接な関係があることが分かってきている。このため、貯水池水質変化を貯水池外部（ここでは、周辺の河川）と貯水池内部（貯水池水と底泥）の影響の両面から調べ、水質変化特性を明らかにすることなしには藻類増殖についての理解が進まないと考えられる。

本資料は、以上の理由から外部との水及び栄養塩類のやりとりについて知るため、定量的な解析を既往資料を基に行うと共に、内部における変化について知るために執り行った現地及び室内における実験結果を中心に行った研究成果の中間的とりまとめとして位置づけられる。

藻類の大量増殖に伴う目下最大の問題として、貯水池水のカビ臭の問題がある。渡良瀬貯水池管理上の水質問題は、カビ臭問題に尽きると言っても過言ではない程深刻な問題と考えられる。本資料は、このカビ臭問題解決を目指して当研究室において現在進行中の研究の基礎的資料としても位置づけられる。

要 旨

2章 渡良瀬貯水池における水質変化特性

- ・ 渡良瀬貯水池は7月1日から9月30日までの間、制限水位を3mとしているため、夏期においても強固な水温成層が形成されることがなく、また、3つのブロック間の水温にも大きな差が無いことから、年間を通して大部分の水はよく混合していることがわかる。
- ・ 渡良瀬貯水池の水位は、満水位（水深約6.5m）付近での運用時期と、夏期制限水位（水深約3m）付近での運用時期に大きく2分される。濁度については、満水位時は10～15度程度と低く、夏期制限水位時は20を越えることもあり、水位低下時に底泥の巻き上げによる懸濁物濃度の上昇が認められる。濁度の変化から、水位低下をさせた場合に貯水池水質は底泥の影響を特に大きく受けていることが分かる。
- ・ 溶存酸素については、混合期である10月から3月中旬にかけては飽和している。4月下旬から6月中旬にかけて満水位で推移した場合には、底層において濃度低下が起こる。特に水温が低い2月頃から満水位のまま推移した年には（例えば1998年）、底層に低水温水が残留することから上記期間に成層が強くなり、低酸素水塊の発達が見られる。
- ・ 全リン濃度は、0.05～0.2(mg/l)のレベルで変動しており、鉛直方向の濃度差は少ない。河川からの取水（流入）時に河川水のリン濃度が貯水池内の濃度を上回る場合と、水位を低下させたときにリン濃度が上昇するという2通りの濃度上昇過程が存在することが分かった。リンについては、一般的に底層水が嫌気化することで底泥からの溶出量が増加するとされているが、本貯水池においては、底層における溶存酸素濃度が最も低下した1998年の6月においても顕著な溶出は見られず、むしろ夏期制限水位低下時に、底層水は低酸素化していないにもかかわらず貯水池水のリン濃度の上昇が見られることから、底層水が嫌気化しなくても水位低下時に底泥からの回帰が起こることが分かった。河川からのリン負荷については、流入時も河川リン濃度は貯水池リン濃度よりも低い場合もあり、このときは濃度の低下が起こり、河川リン濃度が貯水池濃度より高い場合でも、河川から供給されたリンのうち約7～8割は比較的速やかに沈降するため、藻類が利用できるリンの量は流入したリンの一部に過ぎないことが分かった。
- ・ 全窒素濃度は、1.0～3.0(mg/l)のレベルで変動しており、リン同様鉛直方向の濃度差は少ない。窒素については、河川における濃度が貯水池濃度に比べて高いことから、河川からの取水（流入）時に濃度が常に上昇する。リンに比べて水位低下時に顕著な濃度上昇が見られることはないが、夏期制限水位時にアンモニア濃度の上昇が見られることから、夏期にはアンモニア態窒素として回帰が起こっていると考えられるが、夏期には藻類の活動が活発なため、無機態濃度は低くなっている。これに対して、高水位時には、窒素

濃度が特に高い流入河川水の影響が4ヶ月以上継続し、無機態の窒素が主に硝酸の形で高濃度で存在している。

- 藻類量を表す指標のクロロフィル a 濃度は、年間を通して通常 50~200($\mu\text{g/l}$)の範囲で変動している。窒素濃度がリン濃度に比べて高いため、本貯水池の藻類増殖はリンによる制限を受けていると考えられる。リン濃度の上昇は、高リン濃度の河川水が流入した場合と、水位低下が起こったときに観測されているが、これらのリン濃度上昇に呼応してクロロフィル a 濃度は上昇しており、このため、藻類量を表す指標であるクロロフィル a 濃度は、ほぼリン濃度に連動して変動すると考えられる。ただし、夏期制限水位時には、窒素が欠乏し余剰のリン酸が貯水池水中に存在する場合もあり、この場合は、底泥から回帰すると考えられるアンモニア態窒素がクロロフィル a 量を規定している可能性が高い。
- 貯水池での物質収支の観点から見た場合、リン・窒素共に、例年満水位に水位を上昇させた時に流入する負荷量に比べて、制限水位に水位を下げる時に放流される量が少なく、年間を通してみた場合、貯水池運用により変動するが、リンで4~16tに相当する量が底泥に堆積していると考えられる。また、リンについては夏期制限水位時に濃度上昇が起こる年が多いが、夏期制限水位時の貯水池水量が 12,200,000 m^3 であることから T-P で 1.22t 正味の回帰が起これば 0.1 mg/l の濃度上昇につながる。春先に水位を上昇するために河川からの取水を行う際には例年 5~10t 程度の新たな負荷が貯水池内に流入していることから、粒子態として沈降したリンの一部が回帰するだけで夏期のリン濃度上昇が起こりうるということが説明できる。
- 栄養塩は貯水池水柱からは主に懸濁態の形で底泥に沈降し、溶存態の形で溶出し水柱に回帰すると考えられるが、貯水池水の栄養塩濃度が低下する沈降時には、窒素とリンとの質量比(N/P比)が 15~40 であるのに対して、濃度が上昇する回帰時には 4 程度となっている。また、底泥中の N/P 比は 1.5~2.5 と沈降した際の比に比べて低くなっており、底泥中での脱窒による窒素の減少が著しいことが示唆される。物質収支計算からは沈降した窒素の 80%以上が脱窒により気化していることが推定され、その意味からは水質改善に寄与している。

3章 懸濁物質の沈降特性

- 渡良瀬貯水池での水中懸濁物、セディメントトラップにより捕集された沈降物及び底泥表層の組成分析は、水中懸濁物、捕集沈降物、底泥表層の順に生物に重要な C, N, P 及び藻類量を示す Chl-a 含量が高いことを示す結果となり、底泥における有機物の分解が進んでいることが示された。
- 懸濁物について Chl-a 含量を指標として、貯水池内で藻類の活動により新規に生成されたものと巻き上げられた底泥とに分類した結果、平均して水深 0.5m の表層で懸濁物の 80%、貯水池底から 0.5m 上の底層で 61%が新規生産に由来するもので、残りは巻

き上げに由来するものと算定された。捕集沈降物では、表層で14%、底層で5%が新規生産由来のものと算定されたことから、新規生産由来と巻き上げ底泥の2種類に大きく分けて懸濁物を考えると、巻き上げられた懸濁物の沈降速度が新規生産由来の懸濁物のそれに比べて高いことが考えられる。トラップに捕集された単位面積・単位時間当たりの捕集量を水中濃度で除することで見かけの平均沈降速度を求めた結果、新規生産由来の懸濁物で0.63(m/d)、巻き上げ由来の懸濁物で19(m/d)と算定された。

4章 底泥からの栄養塩溶出特性

- ・ 国立環境研究所の木幡博士が開発した直列多槽式溶出測定装置を用いることにより6月及び8月に底泥からの栄養塩溶出速度を測定した結果、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出速度として19~37($\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$)という値が得られた。この値は、装置を設置することで槽内が嫌氣的になることから、嫌気条件での拡散による静置溶出の値と考えられる。
- ・ 水中のリンのほとんどが懸濁態の時期に、3章で算定された新規生産由来の懸濁物沈降速度を用いて、1次元解析により、リンの正味の沈降量を算定すると共に、底泥からのリン回帰量を変化させて実測値の変化と比較した結果、夏季のリン濃度上昇時の底泥からのリン回帰速度は85($\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$)程度に達すると推定され、これは上記の嫌気状態における静置溶出の値よりも大きかった。このことから、本貯水池における底泥からのリン回帰には、底泥の巻き上げなど底泥への物理的攪乱が非常に大きな役割を果たしていることが示唆された。