

湖沼・貯水池水質対策の効果発現機構に着目した影響評価の重要性

国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究部河川環境研究室 天野邦彦*

キーワード 富栄養化・水質対策・影響評価・湖沼・貯水池

1. はじめに

湖沼や貯水池における富栄養化に伴う水質汚濁現象は、植物プランクトンの大量発生に伴う水への着色、着臭や有機物量の増加が問題として顕在化する場合が多い。このため、植物プランクトンの増殖を抑制するために種々の対策が実施されてきているが、植物プランクトンを湖内で大量に増殖させないための方法は、それらがねらう効果発現機構によって、いくつかの方向性に分類できると考えられる。

一般に湖沼や貯水池においては、栄養塩類、光、温度の3要因が植物プランクトンが増殖するのに適した状況で、ある程度の滞留時間があれば、植物プランクトンの大量発生につながる。このため、伝統的に上記の3要因に滞留時間を加えた4つの要因に働きかけることで水質対策が講じられてきており、それぞれの要因別に対策のねらい（方向性）が存在する。すなわち、植物プランクトンの大量増殖を抑制するために、①栄養塩類濃度を低下させる、②光量を制限する、③水温を制御する、④滞留時間を短くするという様にねらいとする効果発現機構によって4つの方向性が存在すると言える。

水質対策を策定する上では、上記の4つの方向性に向けて、一つあるいは複数を同時に目指すことになるが、ある対策を講じた場合に、ある要因について目的とする方向に向けた措置が別の要因については、対策効果を相殺する方向に向けてしまう場合がある。

一つ目の要因である植物プランクトン増殖に関係する必須元素である窒素やリンといった栄養塩類の湖内濃度を低下させる方法のみについて考えても、最も根本的な方法として、下水処理の普及など流域からの栄養塩類負荷を低下させる方法が挙げられるが、この他に、水質汚濁が進んだ河川の流入を迂回させて栄養塩類負荷を低下

させる方法や、底泥除去など内部負荷の抑制をねらう方法がある。最初に挙げた流域からの栄養塩類負荷そのものの抑制であれば、流入栄養塩濃度の低下という形でのみ影響が生じる。しかし、下水の放流を系外にする場合や汚濁河川を迂回させた場合は、栄養塩類の流入負荷は減少するが、同時に流入水量も減少するため、湖沼における滞留時間が増加するという影響も同時に生じることになる。底泥の除去についても、大規模な事業の場合、湖沼の容積を増加させることで、これもやはり滞留時間の増加を同時に引き起こす可能性がある。

このように見ると、多くの水質保全対策は、植物プランクトン増殖に関わる上記の4つの要因のどれかに働きかけることを目論んで実施されるが、同時に別の要因から見た場合、条件的に不利な方向に働く場合もありうる事がわかる。我が国において富栄養化に伴う水質問題を抱える湖沼を取り巻く状況は単純ではなく、水質保全対策を講じる場合、細心の注意が必要である。すなわち、これから執ろうとする対策が、水質を規定すると考えられる栄養塩類、光、温度、滞留時間の4つの要因にどのように影響し、最終的に水質をどう変化させるかについて、1つの要因にのみ注目した定性的な検討にとどまらず、対象とする水域全体について定量的な評価を行うことが望まれる。

本稿においては、千葉県に位置する富栄養化が進んだ印旛沼を対象に、詳細な水質データと水質シミュレーションモデルを用いて栄養塩類動態と植物プランクトン増殖との関係について検討を行うと共に、いくつかの想定された水質保全対策のシナリオに基づいた水質予測計算を実施することで、種々の対策が与える沼水質への影響について整理した。この結果を基に、多くの制約が存在する状況下において、より効果的な水質保全対策を確立していくための考え方について議論を行う。

* 室長

2. 研究対象水域の概要と検討方法

本稿で検討対象とする印旛沼は、浅い富栄養化した沼であり、種々の水質対策が講じられている。ここでは、伝統的な水質保全対策に加えて沼内の植生を修復することで植物プランクトン増殖を緩和させようとする試みも開始されている¹⁾。この対策も含め、いくつかのシナリオに基づく水質変化予測を実施した。

(1) 現地概要

現在の印旛沼(千葉県)は、図-1の左下に位置する西沼と右上に位置する北沼、及びこれらを結ぶ捷水路からなっている。主要な流入河川は、西沼南東端から流入する鹿島川(流入直前に高崎川と合流している)、西沼西端から阿宗橋を経て流入する桑納川(流入直前に神崎川、新川と合流している)が挙げられる。また、北沼は図中上端に位置する河川により利根川と接続している。これは酒直機場、印旛機場の2つの水門により流動が管理されており、印旛沼水位が高い場合は、利根川へ印旛沼水を放流しているほか、印旛沼水位が低い場合には、利根川からの取水が行われている。また、新川上流には大和田機場というポンプ施設があり、出水時に印旛沼水位が上昇した際には、新川を経て東京湾へ出水の放流を行うことが可能である。また、灌漑、工業用水、水道水の取水量が大きく、取水による直接利用が印旛沼の水循環に大きな影響を与えているのが特徴である。

現在の印旛沼および流域特性は、表-1に示すとおり

表-1 現在の印旛沼および流域特性

平面積 (km ²)	11.55
容量 (m ³)	27,700,000
周囲長 (km)	38
水深 (m)	Max. 2.5, Ave. 1.7
平均滞留時間 (day)	22.8
流域面積 (km ²)	541.1
流域人口	718,000
下水道普及率	75.6%

である。特徴としては、流域人口が多く、下水道も完全に普及していないことから、流入河川の平均的水質は全リンで0.1 (mg/l)、全窒素で3.0 (mg/l) 程度であり、生産性が高く、富栄養化した湖沼である。しかし、水深が浅いため水中では底層でも貧酸素化するという問題が生じることはない。

(2) 水質シミュレーションモデル

水質解析モデルは、Cerco and Cole²⁾のモデルを改良して作成したモデルを使用した。詳細については、既報³⁾を参照のこと。

今回の検討に際しての大きなモデル改良点としては、湖沼内の沈水植物等の植物群落による底泥巻き上げ抑制効果を算定する計算モジュールを追加した³⁾ことが挙げられる。また、植生の効果として、植生域においては水中の光量が20%減少するとともに、植物プランクトンの死滅率が20%増加する(植生帯が存在することで動物プランクトンが増加することによる捕食圧の増加が見込まれると考えた)という仮定をおいた。この仮定は過去に植生が繁茂していた時期の水質再現計算から推定した値である。これにより植生修復による水質改善効果算定も実施可能となった。

(3) 水質解析計算

a) 水質再現計算

水質変化の再現計算を上記の数値シミュレーションモデルを用いて行った。平成14年7月1日を初期値として、平成15年12月31日までの1年半の期間について計算を行った。計算格子は水平方向に50m×50m、鉛直方向に5層に区分した。

計算入力条件として必要な気象条件については、風向・風速、気温、湿度、降雨量に関しては佐倉気象観測所で観測されたアメダスデータを用いた。日射量、雲量に関しては、千葉の気象観測所での観測値を用いた。河川流入水量については、鹿島川、高崎川、桑納川、神崎川、手繰川、師戸川に関しては観測結果を用いた。上工水及び農水取水量は、水資源機構により整理されたデー

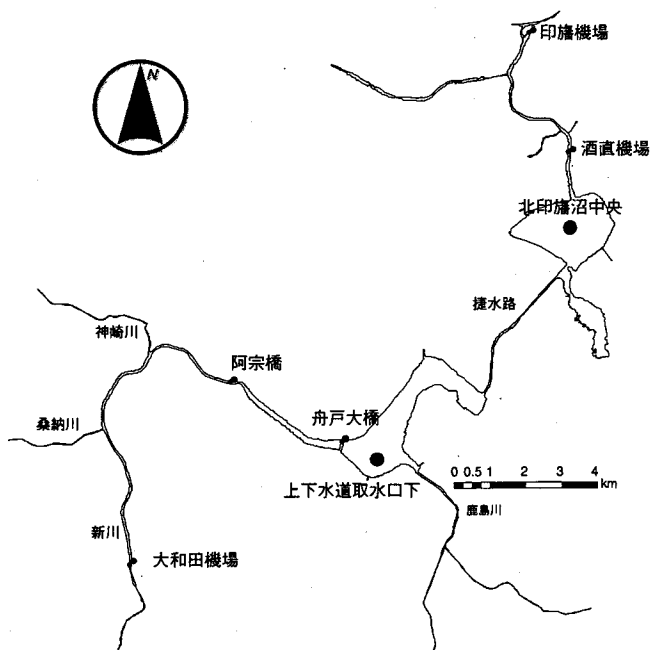
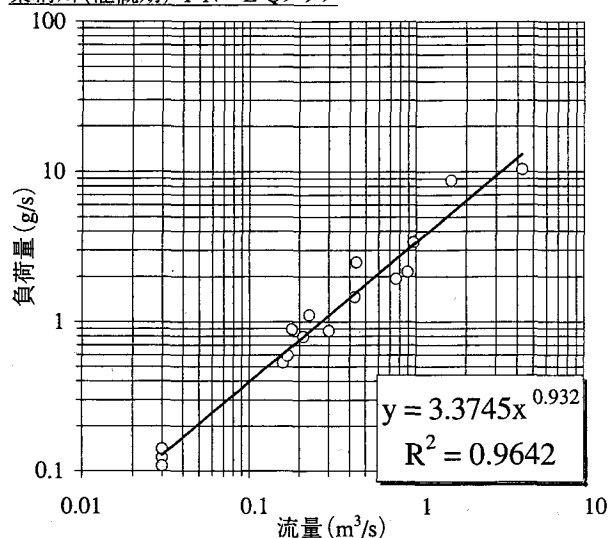


図-1 印旛沼平面図および水質調査地点

桑納川(灌漑期) T-N L-Qグラフ



桑納川(非灌漑期) T-N L-Qグラフ

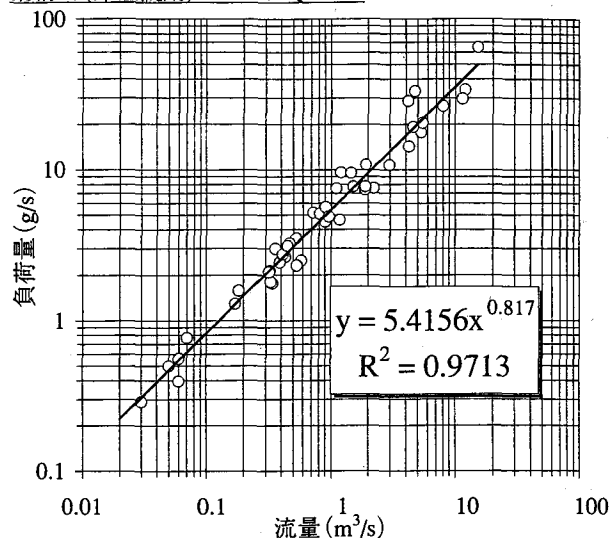


図-2 灌漑期、非灌漑期別の流量～負荷量式の例

タの提供を受け、これら実績値を取水地点から取水する形で取り扱った。また、酒直機場、大和田機場からの流出入量についても水資源機構から実績データの提供を受け、これら実績値を入力データとして使用した。流域からの直接流入や、地下水の流出入量は観測されていないため、上記の水収支と沼水位変化から全体の水収支がとれるように調整し、過不足分を河川流入量に加えることで調整した。この際、北沼に流入する2河川にも流域面積で按分した流入量を配分した。

流入河川水質については、千葉県により行われた水質観測結果と流量とを用いて灌漑期(4月1日から8月31日)と非灌漑期毎に2種類のL-Q式(図-2に一例を示す)を作成して日ごとに観測された流量データをこの式に代入することで日ごとの水質変化を算定し、計算入力条件とした。印旛沼においては、沼から取水した灌漑用水を周辺水田で利用しており、余剰水が沼に再度流入すると考えられ、灌漑期と非灌漑期においては、河川流量と水質との関連特性が異なっていると考えられる。

また、河川水質調査において、無機態栄養塩類の観測データが少ないことから、出水時水質観測結果を用いて、流量に応じた溶存態比率(1 μ mのフィルターで濾過した後のリンであれば溶存態のリン(DP)と全リン(TP)の比率、窒素であれば溶存態の窒素(DN)と全窒素(TN)の比率)の変化を求めて、流量に応じてL-Q式から求められるTN、TP濃度からDP、DN濃度を求めた。観測値の特性に従い、DPはリン酸態リン濃度と置き換え、DNは測定値に応じて季節毎に設定した比率で硝酸態窒素とアンモニア態窒素に変換した。印旛沼流域からの栄

養塩類負荷について考えた場合、特にリン酸態リンについては、市街地からの負荷が多いと考えられる。このような点源負荷が多い場合は、流量増加時にむしろ濃度が減少する希釈型の流出特性を示すため、このような処理が必要であった。懸濁態の流入については、この逆の傾向が見られた。計算条件の詳細については、既報⁴⁾を参照のこと。

b) 水質保全対策の影響解析

以下に示す水質保全対策によりどのような沼水質変化が生じるかについて検討を行った。水質保全対策のねらいの方向性としては、沼に対する水の出入りを変化させるもの、沼における物質動態に働きかけるもの、さらに負荷削減と種々の対策を複合させるものを取り上げて、それぞれの影響を見ることとした。

① 導水・取水方式変更・流動化による水質変化の検討

利根川からの導水、上工水および灌漑用水の取水位置を変化させた場合の水質変化について検討を行った。沼に対する水の出入りを変化させることで沼の水質がどのように変化するかについて検討する。それぞれの考え方は、以下の通り。

i) 利根導水ケース

印旛沼の北側に位置する酒直機場から15 m^3/s の流量を常時揚水し、大和田機場から同量を常時東京湾へ排水する形での利根川の水の導水を実施するとしたケースである。想定上は現状の施設を使用することで実施可能なケースである。導水水質は利根川布川地点の値を用いて計算を行った。また、平常時のみ運転し、降雨時は停止するとした。

印旛沼では、現在も水位低下時には酒直機場を通して利根川から取水している。この取水を除いた流入河川からの平均流入水量は約 $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$ である。このため、常時 $15 \text{ m}^3/\text{s}$ の導水を行うことは滞留時間をおおよそ半減させる効果を持つ。

ii) 舟戸導水ケース

利根川の水を舟戸大橋地点へ常時 $15 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量で導水し、北側の酒直機場から同量を利根川へ排水する形で利根川の水の導水を実施するとしたケースである。現状の施設では、実行できないが、手賀沼で実施している北千葉導水による対策と同様の考え方で導水を行うことを想定したケースである。利根導水ケースと同様に導水水質は利根川布川地点の値を用いて計算を行った。また、平常時のみ運転し、降雨時は停止するとした。

iii) 工業用水・上水道用水取水施設の北印旛沼への移設

現在、西印旛沼の南側で取水している上工水の取水施設を北沼の東側に移設するとしたケースである。これも現状の施設では実行できないが、北沼の水質は西沼に比べて良好なため、取水水質の改善が期待できる。取水量は、現状と変わらない（日平均約 $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ）として計算を行った。

iv) 沼自体の流動化（沼内循環）

北側の酒直機場より北印旛沼側で常時 $15 \text{ m}^3/\text{s}$ 北印旛沼の水を取水して、この取水した水を舟戸大橋付近（舟戸導水ケースで導水を行うとした地点と同様）に注入すると想定したケースである。現状の施設では実行できないが、沼の水を強制的に循環した場合、沼水質がどのように変化するかについて検討したものである。現在、印旛沼の水質は、西沼から北沼にかけて、若干ではあるが良くなる傾向にあるため、循環により、どのような水質変化が起こるかについて検討した。

v) 農業用水機場統合ケース

新川周辺で取水を行っている灌漑施設を統合し、上流側で取水した場合を想定したケースである。これも現状の施設では実行できないが、流入河川水が沼の水と混合する前に（栄養塩類濃度が高い場所で）灌漑に取水することで沼への栄養塩類負荷の軽減をねらったものである。

上記5種類の導水・取水方式変更・流動化による水質変化の検討における水操作方法の概略を図-3に示した。

② 植生再生検討

現在消失してしまった沈水植物群落を修復した場合の水質変化について、検討を行った。浅い湖沼において植生を大規模に修復できた場合、底泥の巻き上げを抑制す

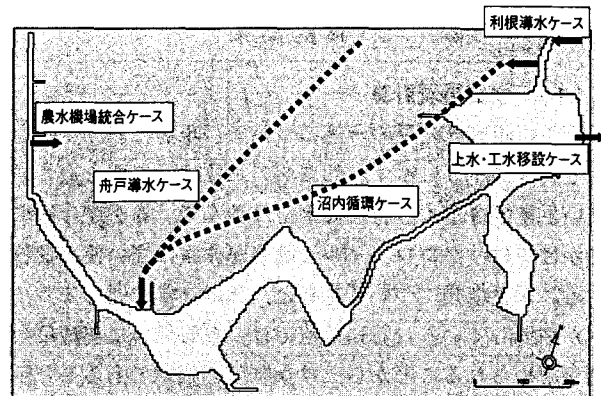


図-3 計算対象としたケースにおける水操作方法



図-4 1988年の植生分布（黒色の部分が植生域）

ることで底泥からの栄養塩類回帰を減少させることが可能と考えられる。計算においては、底泥巻き上げ抑制効果、光量減衰効果および動物プランクトン増加効果を考慮して、水質への影響を見た。大型植物が成長する過程では栄養塩類の摂取による水質への影響もありうるが、大型植物の存在量がほぼ一定に達すれば、正味の摂取は考えられないことから、栄養塩摂取による影響は考慮していない。

なお、過去において沈水植物群落が大規模に存在した頃の沈水植物群落の正確な分布調査結果は存在しないため、1988年におけるオニビシ（浮葉植物）群落の分布域（図-4）に沈水植物が分布すると想定した計算を行った。

③ 施策を複合した場合の水質変化検討

新川における浚渫、桑納川浄化施設改良の施策を同時に実施した場合の水質改善効果について検討した。新川における浚渫については、底質が浚渫により西印旛沼と同等になると仮定し、溶出速度削減の効果を考慮に入れた。また、桑納川浄化施設改良については、COD $82 \text{ kg}/\text{日}$ 、全窒素 $42 \text{ kg}/\text{日}$ 、全リン $1.4 \text{ kg}/\text{日}$ の負荷除去が可能と想定して、流入負荷をその分削減した計算を実施した。

3. 検討結果

(1) 水質再現計算

水質再現計算結果の一部について、現場における観測値と共に図-5に示す。印旛沼の水質は、年間を通して高い生産性を示す。特に夏季をはさんで、春季から秋季にかけては、クロロフィルa濃度が非常に高い値で推移する。栄養塩類について見ると、ほぼ一年を通して、リンが枯渇している。特に西沼では、夏季以外は硝酸に余剰が認められることから、リン制限の状態であることが分かる。逆に夏の一時期は、リン酸態リンに余剰が残っており、この時期においては、窒素が枯渇（硝酸態窒素がほとんど無い時期が特に北沼で顕著である）し、窒素

制限になる場合があることがわかる。リンに比べて窒素は底泥からの回帰が少なく、流域からの供給に依存している。夏季においては、リンは底泥からの回帰量が増加するのに対して、窒素は全体的に負荷が減少する傾向にある。このため、夏季においては特に北沼で窒素制限になっている。水質再現計算は、このような窒素とリンとの動態を良好に再現する結果となっており、物質収支やそれに伴う植物プランクトンの変化を妥当に再現していると言える。

(2) 水質保全対策の影響解析

水質保全対策による水質変化予測結果について、紙面の都合から、クロロフィルa濃度の経時変化を一部抽出して図-6に示す。図を見やすくするために、図-6に

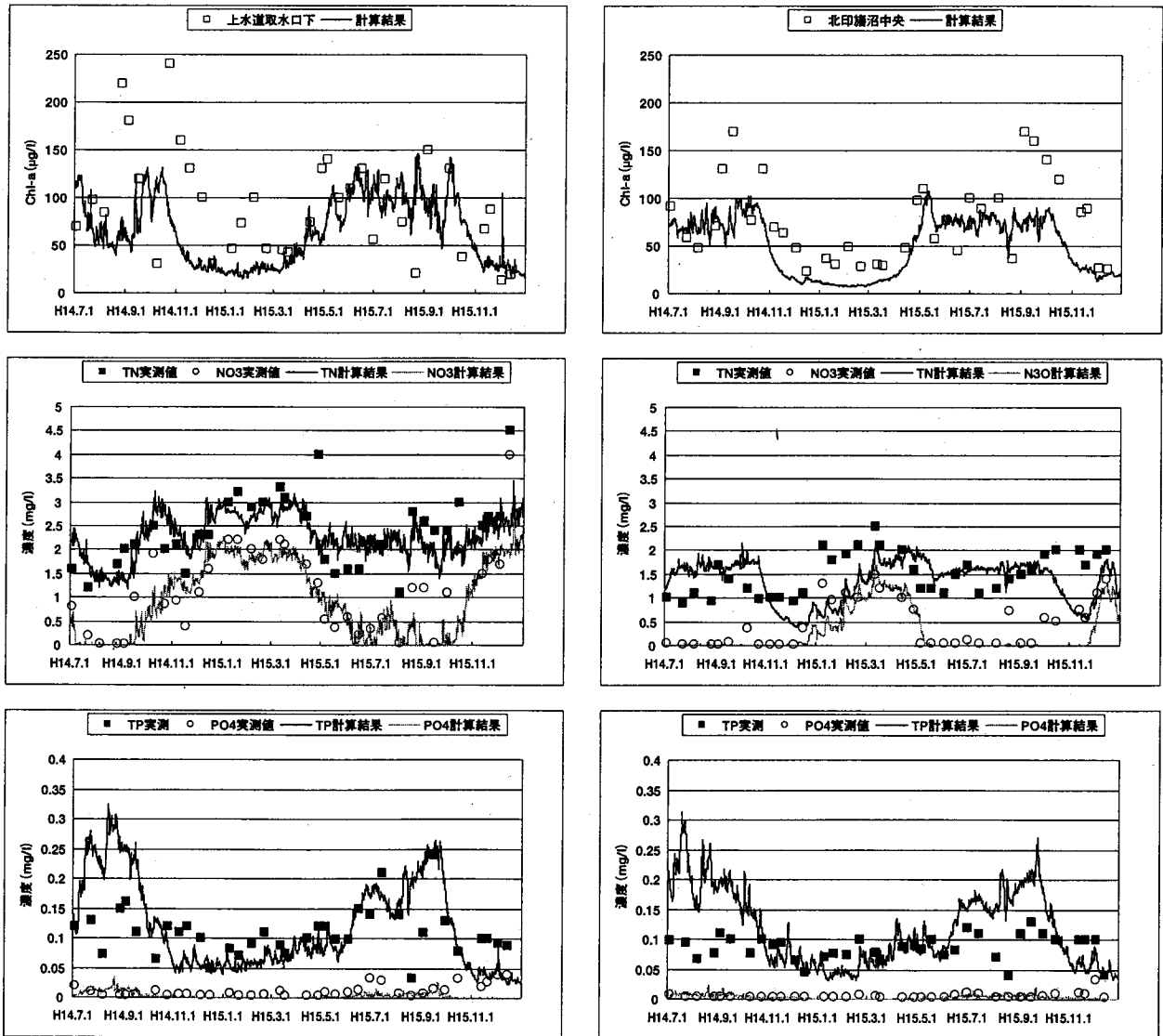


図-5 西沼（上水道取水口下）および北沼（北印旛沼中央）地点における水質観測結果と再現計算

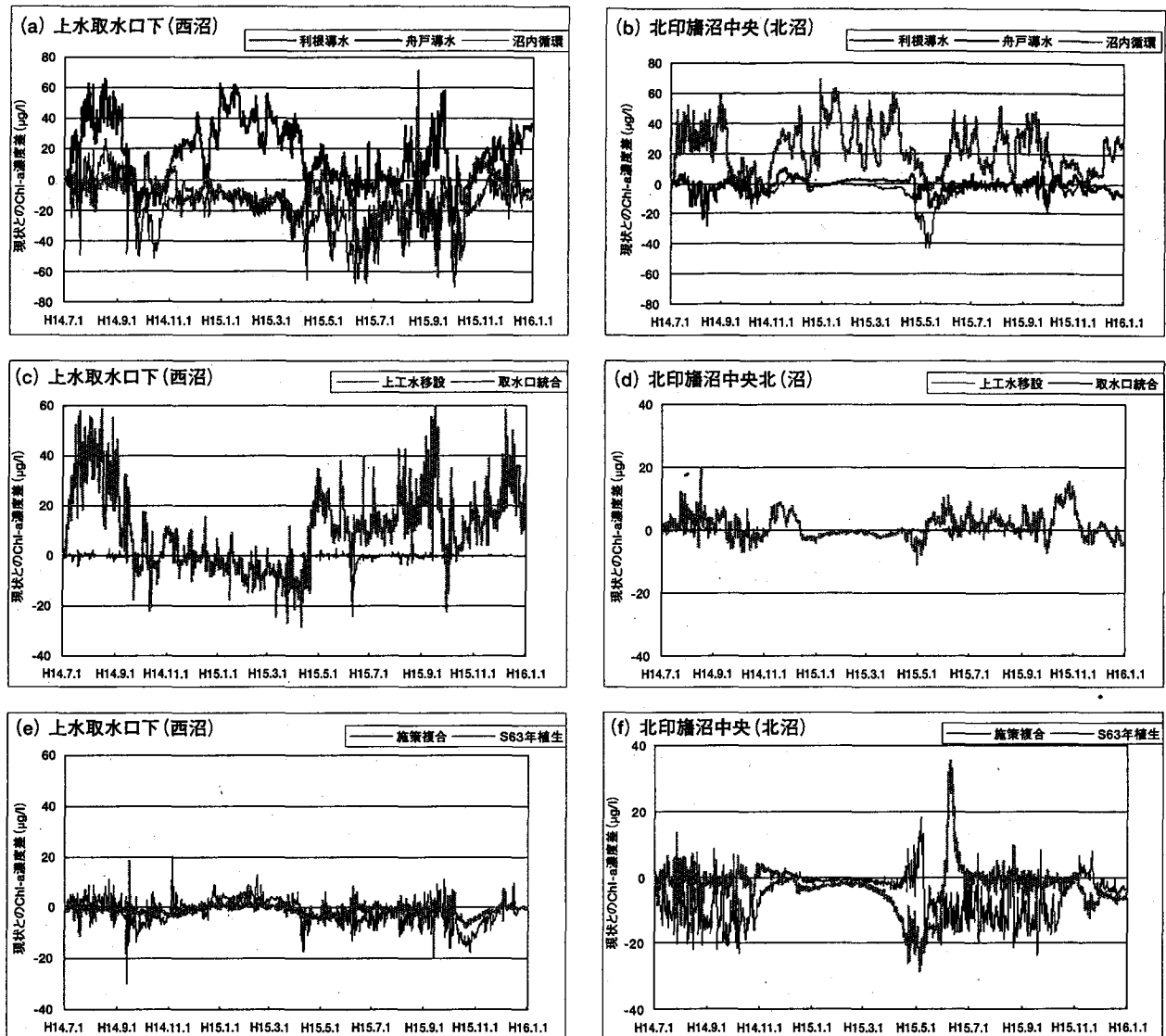


図-6 水質対策効果の比較

おいては、各ケースについて、現況再現計算（図-5）からの差分をとり、その時間的変化を示している。値が負になる場合、水質改善が見られるということになる。

① 導水・取水方式変更・流動化

i) 利根導水ケース

酒直機場からの利根川水導水は、西沼における水質改善効果は期待できるが、北沼においては、逆に水質が悪化する傾向が見られる（図-6(a), (b)灰色線）。このケースでは、沼を通過する水の流れが逆転する形となり、これに呼応して水質分布が現状と逆の形となっている。

ii) 舟戸導水ケース

舟戸大橋付近への利根川水導水は、西沼（上水道取水口下）において特に水質悪化が見られ、北沼においては、

変化は顕著ではなかった（図-6(a), (b)黒太線）。

iii) 工業用水・上水道用水取水施設の北印旛沼への移設
上工水取水口移設では、上水道取水口下では西沼に流入した高栄養塩濃度水の滞留を助長するためか水質悪化が見られ、北沼ではあまり変化は見られなかった（図-6(c), (d)灰色線）。北沼水質の変化が小さいことから、取水水質自体は、現状よりも改善される。

iv) 沼自体の流動化（沼内循環）

沼内循環ケース結果（図-6(a), (b)黒細線）を見ると、北沼においては、大きな変化が見られないものの、西沼においては、酒直機場からの利根川水導水に匹敵するか上回るほどの水質改善が見られる。内部での循環の場合、濃度変化が緩和されるだけで、全体的な水質改善は見られない場合が通常である。今回の計算は、これと

は異なる結果を示した。西沼におけるクロロフィルa濃度の低下は、無機態栄養塩類の濃度が低い北沼の水を大量に西沼に循環させるため、西沼における植物プランクトン増殖が減少すると共に、滞留時間が減少することから生じたもので、通常通りの反応であるが、北沼においては、逆にクロロフィルaが上昇するはずが、計算結果を見ると、北沼においても若干の減少を示している。北沼は西沼に比べて水深が浅いため、北沼においては沈降する懸濁物が沼底に早く到達する、計算結果は、これを反映して植物プランクトン量が減少するという結果を導いたと考えられる。

v) 農業用水機場統合ケース

農業用水取水口統合 (図-6(c), (d)黒細線) については、ほとんど沼水質への影響が見られない結果となった。計算で設定した取水口位置 (図-3) では流入水がすでに沼水と混合されて無機態栄養塩類濃度が低下しており、栄養塩類負荷削減にあまり寄与しなかったためにこのような結果となったと考えられる。

② 植生再生検討

植生再生による水質改善効果については、西沼ではほとんど見られず、北沼において時期によって改善効果が見られる結果となった (図-6(e), (f)灰色線)。植生再生による水質改善効果は、植生域の面積に応じて発現するため、西沼では、大きな効果は算定されなかったと思われる。

③ 施策を複合した場合

効果は限定的だが、施策複合では北印旛沼で夏季に水質改善効果が見られた (図-6(e), (f)黒細線)。これは、北沼では現状でも栄養塩が枯渇気味であるため、栄養塩類の負荷削減効果が発揮されやすいためと考えられる。

4. 考 察

水質改善効果を発現させる機構が異なる種々の対策について印旛沼を対象に検討を実施した。今回の検討対象とした水質対策は「はじめに」で述べた4つの水質規定要因のうち栄養塩類濃度および滞留時間低減という2つの要因に着目した対策として位置づけられる。栄養塩類濃度低減をねらった対策 (農業用水機場統合、植生再生検討、施策複合) のうち、農業用水機場統合のケースでは、基本的に栄養塩類負荷削減のみがなされるため、効果自体は限定的であったが、負荷削減に見合った水質改善効果が認められている。しかし、植生再生ケースでは、北沼において平成15年3月から5月にかけて水質改善効果が見られた後、6月においては一時期水質が悪

化する結果となった。この理由として、現状においては3月から5月にかけて植物プランクトン量 (クロロフィルa濃度で示される) が高い水準で推移しており、河川流量が少なかった平成15年6月には硝酸が摂取され尽くしてしまったことで北沼においては窒素制限となりクロロフィルa濃度が低下したのに対して、植生再生ケースでは、植生が繁茂することに応じて水中の光量が減少したり、捕食圧が高まることで計算したこともあり、3月から5月にかけての植物プランクトン量が抑制されたため、硝酸が枯渇せず、6月になり水温上昇に伴い底泥からのリンの溶出が増加すると、窒素・リンともに利用可能となりクロロフィルa濃度が現状よりも上昇したということが挙げられる。植生再生ケースのように湖沼内における栄養塩類動態に働きかけて水質改善をねらった対策では、窒素とリンの動態の相違により、短期的に水質改善効果が発揮されない場合もあることが分かる。

滞留時間の減少による水質改善をねらった導水の場合は、導水の無機態栄養塩類濃度が低くない場合、注意が必要である。導水は、回転率を上昇させることで植物プランクトンの増殖期間を減少させることと、クロロフィルaおよび栄養塩類の希釈により水質改善をねらうものである。しかし、無機態栄養塩類濃度の高い現状での利根川からの導水は栄養塩類の全体的な希釈効果が期待できないため、場所により影響の出方が異なる。図-7に示すように、阿宗橋と舟戸大橋の間では、導水自体のクロロフィルa濃度が低いために希釈効果によりクロロ

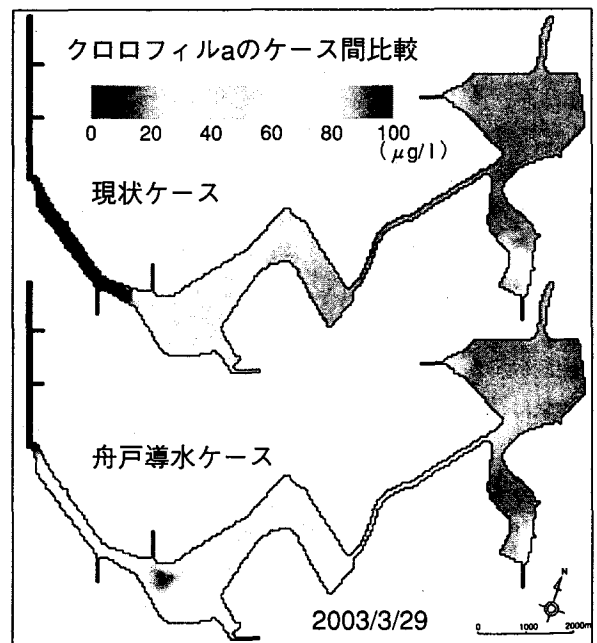


図-7 導水の平面的影響の例

フィル a は低下しているが、西沼の西側では無機態栄養塩類濃度が低下しきらないために、植物プランクトンは増殖する。このためクロロフィル a の低下は起こらず、むしろ上昇する場所もある。ただし十分離れた地点では、無機態栄養塩類濃度が植物プランクトンに摂取されることで十分低下すると、回転率上昇効果が発揮されてクロロフィル a の低下（水質改善）が見られる。

これは、植物プランクトン増殖について、完全混合で流入量と湖沼容積が一定とした場合に成り立つモデルで単純化して考えるとわかりやすい。このようなモデルにより、植物プランクトン濃度は、以下の式で表される。

$$C = C_0 \exp \left[\left(\mu - \frac{Q}{V} \right) \cdot t \right] \quad (1)$$

ここで、 C ：植物プランクトン濃度 (C_0 は初期値)、 μ ：比増殖速度、 Q ：流入量、 V ：容積、 t ：時間である。

この式から導かれる結論は、比増殖速度を上回る回転率で導水を行えば、導水自体のクロロフィル a 濃度が高くない限り、湖沼内のクロロフィル a は増加しない。すなわち水質改善が期待できるということである。

しかし、導水の無機態栄養塩類濃度が高い場合は、導水により回転率が上がると同時に、比増殖速度も増加することになる。このため、無機態栄養塩類の濃度が高い水を使うほど、導水による水質改善効果は低くなる。図-7に見られる場所による水質変化特性の違いは、栄養塩類濃度の相違により導水の影響が場所により異なった結果であると考えられる。すなわち、栄養塩類濃度が高い流入地点近傍では比増殖速度の増加による効果が卓越して水質悪化が起きるが、離れるに従い無機態栄養塩類は植物プランクトンに摂取されることから濃度が低下し、比増殖速度が低下するために回転率の増加による効果が卓越して水質改善につながる。

今回の水質シミュレーションにおいて使用した流入水質の平均値は、利根川からの取水に関しては、全窒素 2.2 mg/l、硝酸態窒素 1.1 mg/l、全リン 0.12 mg/l、リン酸態リン 0.016 mg/l であり、これは、西印旛沼に西側から流入する桑納川と神崎川の水質（全窒素 4.40 mg/l、硝酸態窒素 1.7 mg/l、全リン 0.24 mg/l、リン酸態リン 0.19 mg/l）に比較して全窒素、全リンでは半分程度であるものの、植物プランクトン増殖に利用される硝酸態窒素、リン酸態リン濃度はほぼ同様のレベルであり、図-7の下図に示す位置からの導水は、沼内の滞留時間を減少させるものの、水質改善効果は発揮されなかった（図-6(a)(b)）。このように周辺に栄養塩類濃度が低い河川がない場合、導水による水質改善は、水量の制約

を考慮に入れると部分的になる可能性が高いと考えられる。

今回の検討では、導水に用いる水質が現状の流入河川水質と同等であったために、水質改善効果は明確に見られなかった。導水により滞留時間は短縮されるが、希釈効果が得られず植物プランクトン増殖を抑制するには不十分だったと考えられる。このように導水のような複数の要因に働きかける水質保全対策について検討する際には注意が必要である。水質が有意に良好でない導水を検討する場合は、滞留時間を相当短縮しないかぎり水質改善効果は期待できない。つまり導水による水質改善効果は、導水により平均流入水質が改善されることが必須であり、この程度に応じて滞留時間短縮の効果も現れると考えるべきである。

ちなみに導水を検討する際には、現在の流入河川水質と導水対象となる河川水質同士を比較する必要がある。導水に対する批判として、導水を受ける湖沼における硝酸態窒素濃度やリン酸態リン濃度より導水のそれらが高いことから、導水は水質悪化につながるというものがある。しかし湖沼において計測される硝酸態窒素濃度やリン酸態リン濃度は、植物プランクトンにすでに摂取された結果、流入河川水質よりも低くなるのが通常であり、湖沼におけるクロロフィル a 濃度は湖沼に残留した硝酸態窒素やリン酸態リン濃度と相関があるわけではない（むしろ逆相関をとる）。植物プランクトン増殖に利用可能な無機態栄養塩類がどの程度の濃度で流入するかが湖沼におけるクロロフィル a 濃度を強く規定するのが通常である。このため、導水の効果について検討する際には、湖沼水質でなく河川水質同士を比較して、流入河川よりも有意に栄養塩類濃度が低ければ、導水を実施することにより流入水質（硝酸態窒素濃度やリン酸態リン濃度）を希釈低下させられる可能性があり、これにより湖沼水質改善につながる可能性が高い。導水のような対策について検討する際には、確保可能な水量と水質両面からの検討が重要である。

5. ま と め

湖沼や貯水池における水質改善対策は、そのねらいにより栄養塩類、光、温度、滞留時間の4つの要因に働きかけるものとして分類できるが、複数要因に同時に影響を与える手法を適用すると、本来のねらいを相殺する場合もあることを具体的事例を基に示した。水質対策の影響評価をする際には、効果を期待する要因以外への影響も加味した検討が必要になる。また、当該湖沼・貯水池の水質のみでなく周辺水域への影響についても留意す

る必要がある。富栄養化が進んだ湖沼・貯水池では、負荷削減という抜本的対策の実施が困難な場合が多いため、水運用や、湖沼・貯水池内での対策が検討されることが多い。そのような場合には特に、対策効果をねらっている水質規定要因以外の要因や周辺水域への影響についての配慮が重要である。また、取水や放流位置の変更を伴うような事業の場合は、水質分布を評価できるシミュレーションを実施するなどして水質変化の面的（空間的）変化や経時変化特性の変化についても十分検討することで、より効果的な対策にできる可能性がある。

参考文献

- 1) 千葉県, 印旛沼流域水循環健全化 緊急行動計画書, 2004.
- 2) Cerco, C. F. and T. Cole, User's Guide to the CE-QUAL-ICM Three-Dimensional Eutrophication Model, Technical Report EL-95-15, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, 1995.
- 3) 天野邦彦, 時岡利和, 対馬孝治: 浅い湖沼の水質への水生植物の影響解析, 水工学論文集, 第49巻, pp. 1219 ~ 1224, 2005.
- 4) 天野邦彦, 中西 哲: 富栄養化が進んだ湖沼における導水等による水質改善に関する考察—印旛沼を事例にして—, 水工学論文集, 第52巻, pp. 1267 ~ 1272, 2008.