

B-71 富栄養化湖沼におけるプランクトン相遷移に及ぼす導水の影響

村上 和仁^{1*}・五明 美智男¹・天野 佳正²

¹千葉工業大学 工学部生命環境科学科 (〒275-8588 千葉県習志野市津田沼2-17-1)

²千葉大学大学院 工学研究科共生応用化学専攻 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)

* E-mail: kaz_murakami@sky.it-chiba.ac.jp

1. はじめに

湖沼水質保全特別措置法における指定湖沼である手賀沼は、千葉県北西部に位置する面積650ha、周囲38km、平均水深0.9mの非常に浅い湖で、流域は我孫子市、柏市、印西市、白井市の4市にまたがっている。1974～2000年には、COD値において全国湖沼水質ワースト1位であり、富栄養化の進行した沼として知られているが、高度経済成長期の始まる1955年頃までは清澄な沼であった。高度経済成長と同時に手賀沼の水質は悪化の一途を辿り、毎年夏季にはアオコが水面を覆い尽くすようになり、都心に近くアクセスのよい水辺であるにもかかわらず、憩いのために訪れる人も減少した。このような現状に対して、国土交通省が事業主体となり、導水事業のモデルケースとして、千葉県と茨城県の県境を流下する利根川の水を手賀沼に導水して手賀沼の水質さらには水環境を改善しようとするプロジェクトを計画した。これが北千葉導水事業である。

本研究では、2000年に本格稼動した北千葉導水事業による手賀沼のプランクトン相の遷移について、導水前（1996～1999年度）、導水中（2000～2003年度）、導水後（2004～2007年度）と定義し、解析・検証を行った。

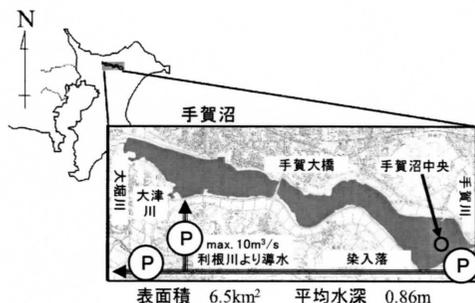


図-1 手賀沼および北千葉導水事業の概要

2. 方法

(1) 水質およびプランクトン相の変化

手賀沼および北千葉導水事業の概要は図-1に示したとおりである。千葉県の調査による手賀沼の過去の水質データ及びプランクトンデータ⁶から、導水前、導水中、導水後を抽出して比較し、導水前後における手賀沼の水質およびプランクトン相の変化について検討した。

(2) 内部生産量からの評価

手賀沼（手賀沼中央）のChlaとCODから内部生産と相関係数を算出し、導水前、導水中、導水後における内部生産の寄与率とその変化について検討した。Chla（横軸）とCOD（縦軸）から回帰直線と相関係数を求め、回帰直線のy切片の値をChla以外の要因によるCOD（外部負荷）とし、手賀沼の全CODの値からこの値を差し引いて、Chla由来のCOD（植物プランクトンによる内部生産）として、導水前・中・後に分けて算出した。なお、ChlaとCODの値は、いずれも千葉県庁のホームページから引用した。

(3) 変換率による栄養塩制限の評価

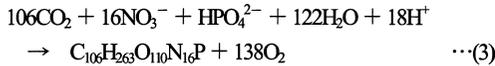
水中のN・PからCODへの変換率（ α_N ・ α_P ）を算出し、手賀沼における全有機物質量に対してN・Pが内部負荷へどのように影響しているかについて、導水前、導水中、導水後に分けて検討した。ここで、 α_N 、 α_P は以下の式により算出した。

$$\alpha_N = (\text{COD} / 11.07N) \times 100 (\%) \quad \dots(1)$$

$$\alpha_P = (\text{COD} / 80.34P) \times 100 (\%) \quad \dots(2)$$

ここで、(1)式における11.07は窒素1.0gから植物プランクトン生産を通じて得られるCODであり、(2)式における80.34はリン1.0gから植物プランクトン生産を通じて得られるCODである。また、(3)式は植物プラン

クトン生産の式¹⁰であり、この(3)式から αN および αP の定数を決定した。



3. 結果及び考察

(1) 導水前後での水質特性の比較

a) 手賀沼の水質の経年変化

手賀沼における調査地点(手賀沼中央)を図-1に、COD, T-N, T-P, Chl.aの経年変化(1978~2007年度)を図-2~5に示した。

CODは1979年に高い値を示し、その後一度減少したが1995年に再度上昇している。導水後は、根戸下は5~6mg/l、手賀沼中央は8~9mg/lで安定している。T-N, T-Pは導水前は手賀沼中央よりも根戸下の方が値は高かったが、導水後は値が同程度となり、根戸下と手賀沼中央はT-Nが3.0mg/l、T-Pが0.15mg/l前後で安定している。Chl.aは1996年が最も高く、導水後は根戸下が60 μ g/l、手賀沼中央が150 μ g/l前後で安定している。また、SSは1979年に最も高い値を示し、その後は根戸下で30mg/l、手賀沼中央で50mg/l前後で安定し、さらに、導水後は減少し、根戸下は10mg/l、手賀沼中央は30mg/l前後で安定している。DOは導水にかかわらず10~15mg/lで安定している。

b) 導水による影響

導水によってCOD, T-N, T-P, pHの値は導水前に比べて流入出河川と同程度まで減少した。また、導水後は動植物プランクトンの総個体数が減少しており、これは導水により湖内に滞留していたプランクトンが押し流されたこと、また栄養塩の減少により植物プランクトンの増殖が抑制されたことによるものと考えられる。さらに、導水はプランクトン相に影響を及ぼし、夏季に藍藻類の異常増殖によるアオコが発生する環境から、年間を通じて常に珪藻類が多く出現する環境に変化させたものと考えられた。

(2) CODとChl. aからみた内部生産

a) 内部生産と相関係数

手賀沼中央における導水前・中・後の各期間での内部生産、内部生産率(内部生産COD/全COD)×100%)、回帰直線の傾き、相関係数は、それぞれ、導水前では内部生産8.4mg/l、内部生産率34.0%、回帰直線の傾き0.021、相関係数0.51、導水中では内部生産5.3mg/l、内部生産率43.8%、回帰直線の傾き0.029、相関係数0.63、導水後では内部生産4.6mg/l、内部生産率50.8%、回帰直線の傾き0.033、相関係数0.64(導水後)となった。これ

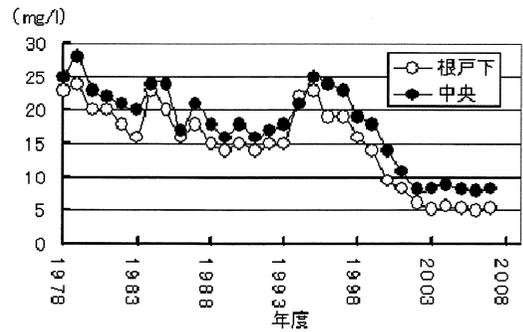


図-2 CODの経年変化(1978~2007年度)

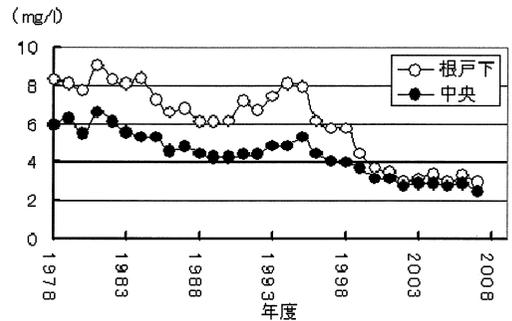


図-3 T-Nの経年変化(1978~2007年度)

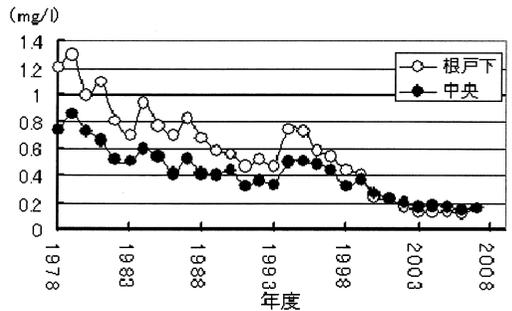


図-4 T-Pの経年変化(1978~2007年度)

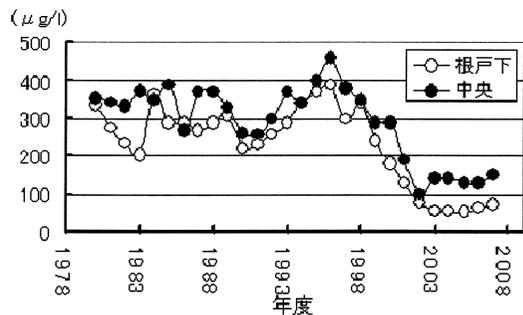


図-5 Chl.aの経年変化(1978~2007年度)

より、手賀沼中央では内部生産の値が導水前、導水中、導水後と徐々に減少しており、内部生産率と相関係数の値は増加していることが示された。また、導水によりプランクトンの総個体数と珪藻の個体数が減少していることが示された。

b) 内部生産率

手賀沼中央における導水前・中・後の内部生産、外部負荷、内部生産率を算出したところ、それぞれ、導水前では内部生産8.4mg/l、外部負荷9.6mg/l、内部生産率34.0%、導水中では内部生産5.3mg/l、外部負荷5.1mg/l、内部生産率43.8%、導水後では内部生産4.6mg/l、外部負荷3.9mg/l、内部生産率50.8%となった。また、導水前から導水中、導水中から導水後の内部生産と外部負荷の減少量を百分率で表すと、それぞれ内部生産36.9%、外部負荷46.9%（導水前→導水中）、内部生産13.2%、外部負荷23.5%（導水中→導水後）となった。このように、導水前に比べると導水中・後は手賀沼中央、根戸下のいずれの地点においても、内部生産が減少しており、植物プランクトン（特に珪藻類）の個体数が導水により減少したことによるものであると考えられた。一方、導水前よりもChlaとCODの相関が強くなっていった。また、手賀沼中央では導水によるCODの希釈効果は、内部生産よりも外部負荷に大きな影響を及ぼしていると考えられた。

(3) 変換率による栄養塩制限の評価

内部生産の指標となる変換率（ $\alpha N \cdot \alpha P$ ）は、導水前は αP が60~80%程度、 αN は40~60%程度となり、導水前の手賀沼はリンの利用率が高く窒素過多であり、リン制限的環境であることが示された。導水中は、値の変動が大きく、 αP が40~80%程度であり、 αN は20~60%程度となった。これより、導水中の手賀沼はN、Pともに振幅が大きいが、比較的窒素過多であり、リン制限的環境であることが示された。導水後は、導水中と同様に値の変動が大きく、また、 αP 、 αN の値の差が大きくなり、 αP が40~80%程度、 αN は20~40%程度となった。これより、導水後の手賀沼は窒素過多であり、リン制限的環境であることがわかった。このように、導水前後でリン制限的環境であることに変わりはないが、窒素の利用率が低下していることから、窒素過多でリン制限的な傾向がより強くなったと評価される。

(4) 導水の生物相に及ぼす影響

北千葉導水が稼動して以降、手賀沼ではかつてのような大規模なアオコの発生は確認されなくなっており、千葉県によるプランクトンデータにおいてもアオコ形成種であった*Maeruginosa*や*Aaffinis*などの個体数は激減している。導水により栄養塩濃度が減少していることに着目

し、栄養塩制限によりアオコが抑制されている可能性を検証するためにモデルエコシステムを用いて培養実験を行ったところ、リン制限条件下では藍藻類に替わって珪藻類が優占化することが示された。手賀沼から分離した植物プランクトンを用いた競争培養による検証では、①気温・水温と照度の季節変動は必ずしも一致せず、植物プランクトンの増殖に対しては独立事象的に作用すること、②珪藻は年間を通じて出現する種であるが、春季は緑藻に、夏季は藍藻に優占種の地位を奪われること、③珪藻の優占化には温度・照度以外の環境要因である栄養塩類・藻類代謝産物といった間接的な種間相互作用が大きく影響していること、④珪藻から緑藻への優占種の変遷は、温度または照度の上昇に依存すること、⑤藍藻の優占化には高温度・高照度を同時に満たす環境条件が必要であること、⑥植物プランクトン種の優占化には栄養塩類濃度と存在比が影響を及ぼすこと、⑦窒素過多の条件下では藍藻類が優占化すること、⑧リン過多の条件下では緑藻類が優占化すること、⑨適正とされるNP比の条件下であっても、高温度・高照度であれば藍藻類が優占化すること、が示されている。また、導水の影響により、手賀沼の生態系が利根川化するというような懸念も生じており、基礎的データの継続的な蓄積が必要と考えられる。

4. まとめ

本研究は、2000年に本格稼動した北千葉導水事業による手賀沼の水質特性の変化に関する基礎的知見を得ることを目的として、検証を行ったものである。得られた結果は以下のようにまとめられる。

- 1) 北千葉導水事業により、手賀沼の水質は窒素制限からリン制限環境へと変化し、毎年夏季に発生していたアオコの異常増殖は観察されなくなった。
- 2) 夏季の優占種はアオコ形成藍藻類である*Maeruginosa*から、年間と通じて出現する*Thalassiosira* spp.や*M. varians*等の珪藻類に変化した。
- 3) 内部生産は導水により量、割合ともに減少しており、植物プランクトン（特に珪藻類）の個体数が減少したことによるものであると考えられた。一方、導水前よりもChlaとCODの相関が強くなっていった。
- 4) 導水前後でリン制限的環境であることに変わりはないが、窒素の利用率が低下していることから、窒素過多でリン制限的な傾向がより強くなったと評価された。
- 5) 今後、手賀沼の水理的滞留時間とプランクトンの増殖速度の関係なども考慮した検証を行い、基礎的データを継続的に蓄積していく必要がある。