

印旛沼における流動と水質の関係についての研究

中央大学大学院 学生員 ○香川 有紀
水資源機構 正会員 工藤 勝弘

中央大学大学院 学生員
中央大学理工学部 フェロー会員

柴田 直俊
山田 正

1.はじめに：印旛沼は千葉県北西部に位置し、流域面積が千葉県の約1割にあたる広さを持ち、11市2町2村にまたがっている。千葉県民の貴重な飲料水、農業用水、工業用水の水がめとして利用されると共に、内水面漁業及び憩いの場としてかけがえのない財産になっている。しかし、昭和の時代から続く流域の急激な都市化の影響により水質汚濁が進行し、湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼の指定を受けるに至った。水質の現状はCOD75%値で環境基準の約4倍という値を示し、全窒素、全リンにおいても環境基準を大幅に上回り、水道水源としては全国ワースト1である。更に、水生生物の減少や魚類の種類の変化、富栄養化が進み、アオコが顕在化するなど、湖沼環境も年々悪化している。富栄養化に伴う水質障害のメカニズムを明らかにするため、本研究は印旛沼における過去15年間の水質変化を分析し、特に植物プランクトンの増減は内部生産として有機物の指標であるCODとの関係が強いことから、クロロフィルaの生産と滞留時間について考察を行った。

2.水質汚濁状況：汚濁状況をより詳しく知るために、図-1に示すように印旛沼は市街地が進展している新川水域、農地が多く残る西印旛沼水域、北印旛沼水域の大きく3つの水域に分けた。図-2に新川水域、西印旛沼水域、北印旛沼水域の各水域のそれぞれの代表的な水質観測地点である阿宗橋梁、上水取水口、北部調整池における1988～2002年の15年間のCOD、全窒素、全リン、クロロフィルaの時系列を示した。CODの値は各水域共に1996年前後で一度上がり、その後安定傾向を示している。これは生活排水など、人間活動に伴う排水が人口増加により増え、その後下水道設備によって排水処理が施され水質が安定したものと考えられる。いずれの水域も流域への流入水の多少によるCODの希釈や濃縮といった影響は小さい。ここでCODとクロロフィルaの相関を図-3に示す。印旛沼の各水域のCODとクロロフィルa濃度との相関は、北部調整池では相関係数0.71、上水取水場では0.68、阿宗橋梁では0.77といずれも高く、印旛沼内でのクロロフィルa生産がCODの値に大きく影響していることがわかる。クロロフィルaの生産は栄養塩の濃度、流動が大きな要因として考えられる。図-4に示すように印旛沼はNP比が各水域共にほぼ10以上となりリン制限の湖沼である。しかし、全リンとクロロフィルaの相関は阿宗橋梁で相関係数0.36、上水取水場で0.54、北部調整池で0.69と北印旛沼水域では高いものの、新川水域、西印旛沼水域では低い(図-5)。したがって印旛沼では全リンの濃度の多寡がクロロフィルaの生産に大きな影響を与えないことがわかる。そこで、本研究では印旛沼の流動に着目した。

3.印旛沼の流動：クロロフィルaの生産量を求めるにあたり、印旛沼の水の流れ方向を明らかにした。印旛沼放水路(長門川上)において、平水時は利根川方向に流れるが、洪水時は大和田排水機場(新川上)の運転により逆方向の花見川

を通り東京湾へと流れる(図-6)。また、長門川は酒直機場と印旛水門、酒直水門によって利根川と印旛沼を結ぶ揚・排水用の河川として使用されており、一般の湖沼流入河川と大きく異なる順逆の水移動が可能な河川である。しかし、年間の平均的な流れ方向は各水域の貯留量は一定と仮定

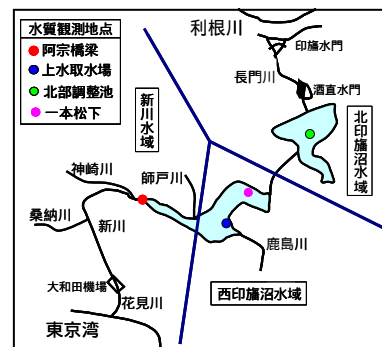


図-1 3つの水域に分けた印旛沼
(新川水域と西印旛沼水域の境界は師戸川が流入する東側、西印旛沼水域と北印旛沼水域の境界は両沼をつなぐ捷水路である)

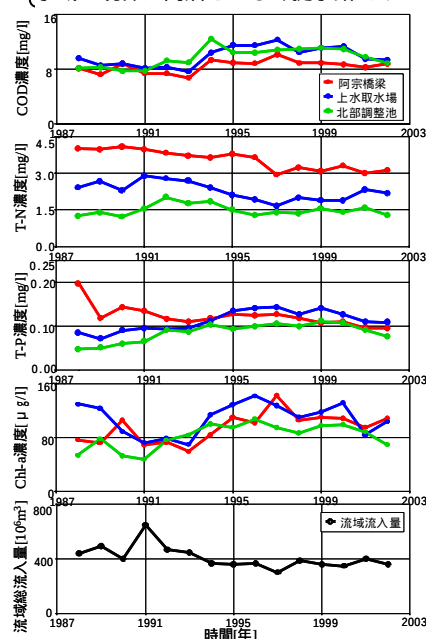


図-2 各水域におけるCOD, T-N, T-P, Chl-aと印旛沼の総流入量の時系列
(いずれの項目も同様な挙動を示している。各水域への流入量による濃縮、希釈の影響は小さい)

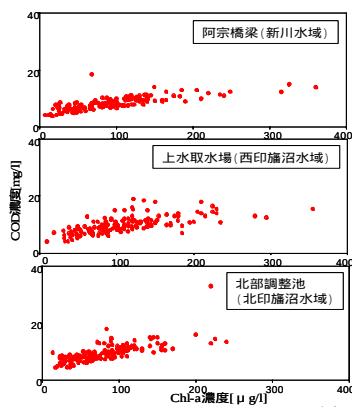


図-3 CODとChl-aの関係
(各水域共にCODとChl-aは高い相関関係にある)

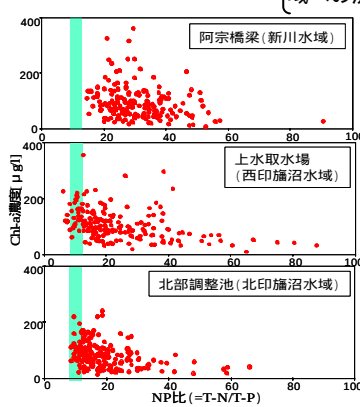


図-4 Chl-aとNP比の関係
(青いラインより右側がリンの制限を受ける、左側は窒素の制限を受ける)

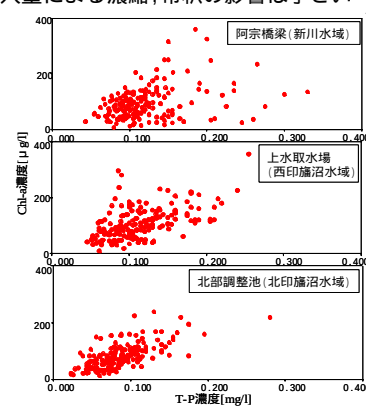


図-5 Chl-aとT-Pの関係
(北印旛沼水域では高い相関が見られるが、新川水域と西印旛沼水域は相関が低く、ばらつきが見られる。)

キーワード：印旛沼、湖水の流動、COD、全リン、全窒素、クロロフィルa

〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27 中央大学大学院理工学研究科土木工学専攻 TEL:03-3817-1805 FAX:03-3817-1803

した上で、各流域からの流入水量と機場、水門による揚排水量、上水、農水、工水のための取水量との水文収支をとると緩やかに新川水域から利根川へと流動していることが分かった。

4.クロロフィルaの生産:各水域の物質収支から求めたクロロフィルaの年間生産量の推定値は総流入量とクロロフィルa濃度の実測値より、式(1)を用いて計算した。クロロフィルaの年間生産量は各水域内の年間平均クロロフィルa濃度を、流入量にかけて水質フラックスとし、流出したフラックスから流入するフラックスを引いたものとする。これらの関係式は式(1)で表される。

$$P = (Q_{out} - Q_{in}) \times C \quad (1)$$

ここで、 $P(mg)$:生産されたクロロフィル a, $Q_{out}, Q_{in}(m^3)$:流出量,流入量, $C(\mu g/L)$:クロロフィル a 濃度とする。

各水域への流入水量は、印旛沼の総流入量を各水域の比例配分する方法で求め、印旛沼の取水量、排水量及び揚水量については水資源機構の施設管理年報によった。なお、降水や河川からの流入水中のクロロフィル a 濃度は 0 として扱った。計算結果として、新川流域では約 10~15t, 西印旛沼流域では約 20~35t, 北印旛沼流域では約 1~7t の推定生産量が得られた。15 年間の平均生産量の合計の約 30%が新川水域,約 59%が西印旛沼水域,約 11%が北印旛沼水域で生産されていることから、印旛沼全体では西印旛沼水域でクロロフィル a がより多く生産されていることがわかる。また、北印旛沼水域はクロロフィル a の生産率は低いにもかかわらず濃度は高い。これは濃度が高い西印旛沼水域の水が北印旛沼へ流入してきたことの影響と考えられる。

5.滞留時間:クロロフィル a の現存量は、沼内におけるクロロフィル a の生産の他、死滅、沈降、動物プランクトンによる捕食といった諸現象によって決定されるが、それぞれの反応がどれだけ進むかはそれぞれの反応速度と経過時間によって制限される。そこで新川水域、西印旛沼水域、北印旛沼水域の年間平均滞留時間を式(2)より算出した。

$$T = V / \Sigma Q \times 365 \quad (2)$$

ここで、 $T(day)$:滞留時間, $V(m^3)$:貯留量, $Q(m^3)$:各水域への流入量とする。水域貯留量及び流入量を用いて式(2)より算出された印旛沼の滞留時間は、新川水域までで約 7 日,西印旛沼水域までで約 12 日,印旛沼全域で約 17 日である。

c 印旛沼全域における平均滞留時間は日単位であり、琵琶湖や霞ヶ浦と比較するとかなり短時間で水が入れ替わっていることから、流入水量が大きくなり、更に滞留時間が短い場合にはクロロフィル a の生産が追いつかず低下するものと考えられる。しかし滞留時間が長い場合にはクロロフィル a 生産のピークを過ぎ、生産量は減少傾向を示す。北印旛沼水域でクロロフィル a の生産量が低いことは、滞留時間が長期化したことが原因であると考えられる。図-7 に滞留時間とクロロフィル a 濃度の関係、図-8 に手賀沼における植物プランクトンと滞留時間の関係を示す。印旛沼の水質改善のためには、クロロフィル a の生産を抑制し、COD の低下を図ることが効果的といえる。実際に注水を行っている手賀沼では、運用前は年平均滞留時間約 19~29 日から、運用後は約 6~12 になり、植物プランクトン数も減少している。従って、印旛沼におけるクロロフィル a の生産のピークは 12~15 日なので、滞留時間を 7~10 日にする程度の水量を注水するとクロロフィル a は減少する。

6.まとめと今後の展望:本研究によって得られた所見を以下にまとめる。(1)印旛沼の流れは平水時においては緩やかに新川から利根川方面へ流れている。(2)印旛沼の COD は流入水量の多少による希釈や濃縮といった影響よりも、クロロフィル a の増加が与える COD 値の影響のほうが大きいことが分かった。(3)印旛沼はリン制限の湖沼であるが、全リンとクロロフィル a の相関は低く、リン濃度の多寡がクロロフィル a 生産に大きく影響しない。従ってクロロフィル a 生産はクロロフィル a の生産、死滅、沈降、捕食といった諸現象によって決定され、その現象はそれぞれの反応速度と経過時間によって決定される。つまり各水域での滞留時間によって決定される。印旛沼においては西印旛沼においてクロロフィル a の生産がピークを迎えている。新川では生産には滞留時間が短すぎる。北印旛沼では生産のピークを過ぎ、沈降、死滅、捕食といった現象が表れていることがわかる。(4)クロロフィル a の生産率のやや低い新川流域の COD 値が高いのは、新川へ流入する河川の COD の影響である。(5)印旛沼の水質改善案の一つに、注水して滞留時間を短くし、クロロフィル a の生産を抑制することが挙げられるが、それには注水量の確保と経済面の相克で決まる。また、今後の展望として、(6)流入河川による影響をより詳しくするために、流域の土地利用形態の変遷についても考察する必要がある。

謝辞:本研究を行うに際し、独立行政法人水資源機構より貴重なデータを提供していただいた。ここに記して謝辞とする。

参考文献:1)水資源機構報告書,第 90408 号,工藤勝弘,小林利久:平成 2 年度湖沼における水質汚濁機構,1991.3.2)水資源機構試験研修センター報告書,第 99405 号,水環境研究室編:ダム貯水池の水質,2000.3.3)土木学会関東支部第 1 部門,香川有紀,柴田直俊,工藤勝弘,山田正:印旛沼における水質汚濁状態の変遷,2004.3.4)図-8 について,国土交通省利根川下流事務所・江戸川河川事務所:第 5 回北千葉導水事業モニタリング委員会資料,2004.12.

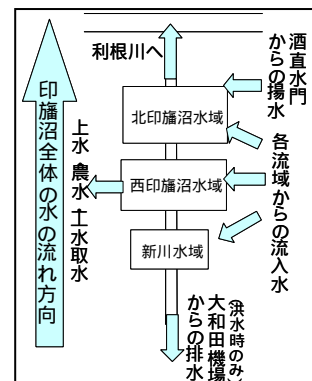


図-6 印旛沼の模式図
〔各水域に流入する水の流れを簡略化して表したもの〕

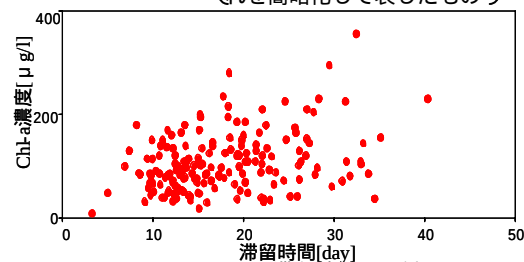


図-7 Chl-a と滞留時間の関係

Chl-a 生産のピークを迎える西印旛沼水域の上水取水場の Chl-a 濃度と滞留時間の関係。COD 値を低くするためには、滞留時間を短く、かつ Chl-a 濃度も低い値でなければならない。

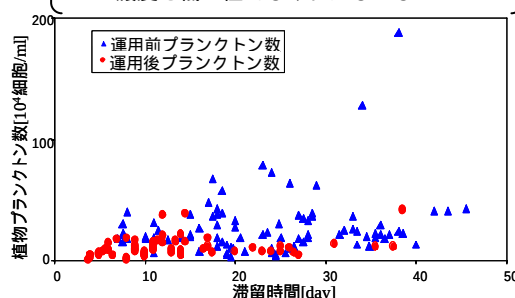


図-8 手賀沼における植物プランクトン数と滞留時間の関係

〔北千葉導水事業の運用前 (H7~H10)と運用後 (H12~H15)について植物プランクトン数は減少している。〕