

# 手賀沼のクロロフィルa・溶存酸素濃度の通年観測

## STUDY OF SEASONAL AND SPATIAL DISTRIBUTION OF CHL.A AND DO IN LAKE TEGA

木村真理<sup>1</sup>・鯉渕幸生<sup>2</sup>  
Mari KIMURA, Yukio KOIBUCHI

<sup>1</sup>学生員 環修 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 (〒277-0882 千葉県柏市柏の葉5-1-5 環境棟)

<sup>2</sup>正会員 工博 東京大学講師 新領域創成科学研究科 (〒277-0882 千葉県柏市柏の葉5-1-5 環境棟)

Continuous water quality monitoring (DO and Chl.a) at three different points in Lake Tega was conducted whole through a year. The rapid decreases, the seasonal changes in the spatial distribution, and the change in characteristic of daily variation of DO and Chl.a concentration were observed. The dilution by rain water runoff was confirmed as the reason for the rapid decrease. Between May to October Chl.a concentration was low and it did not change significantly across stations. Between November to April Chl.a concentration was high and significantly increased in the direction of the main flow and the daily fluctuation was also high. The aggregation and movement of algae was considered as the reason of the daily fluctuation.

**Key Words :** Urban Lake, Chlorophyll-a, DO, Daily variation, Seasonal variation

### 1. はじめに

千葉県北西部に位置する手賀沼は、流域に1960年代に急激な人口増加を経験した地域を抱え、有機物汚染の指標であるCODでは、1974年～2000年の30年近くにわたり水質連続ワースト1を記録するなど水質が悪化し、注目を集めた。そのため、手賀沼を対象に水質汚濁の要因やメカニズムを解明する研究が数多く行われてきた。高島ら<sup>1)</sup>は現地観測結果より年間汚濁負荷量の算出を行いBOD、COD、TN、TPの平常時負荷量が大いことを示した。また、細見ら<sup>2)</sup>は、3年にわたる流入河川・湖沼での水質・流量調査から、栄養塩の挙動および収支を検証し、年間を通じて上流部でリンが水中から底泥への移行蓄積されていることを指摘した。さらに水質空間分布の検討<sup>3) 4)</sup>から、水の移動(上流から下流への流下)とその水中での植物プランクトンの増殖による水質変化が水質空間分布を変化させていることが明らかにされた。加えて、手賀沼の所在する市町村や千葉県および国は、流域下水道整備、浄化用水の放流(北千葉導水)、アオコ回収、浚渫等さまざまな水質改善努力を施してきており、それら施策の効果を評価する研究も多い。特に2001年からの北千葉導水の本格稼働は、およそ5～10m<sup>3</sup>/sの

浄化用水を定常的に手賀沼にもたらしている<sup>5)</sup>。これは主要河川からの河川流入量が各1m<sup>3</sup>/s以下(降雨時を含まない定常時のみのおおよその値)であることを考えると、手賀沼の水質はほぼ利根川の水質に左右されていると言え、その水環境が大きく変化したことは言うまでもない。実際、2008年度のCODは8.2mg/l(手賀沼中央年平均値)<sup>6)</sup>まで低下している。二瓶ら<sup>7)</sup>は、2001年10月から約1ヵ月にわたり水温やクロロフィルa(Chl.a)の連続観測を行いその空間濃度分布と流動構造を検討した。この中で、導水の効果にふれ、導水時は沼全体にChl.aが高濃度となるが、導水停止時は高濃度域が上流側に集中することを指摘した。さらに山崎ら<sup>8)</sup>は導水効果を数値計算により検討し、その効果は移流・拡散によりChl.a高濃度域が下流まで押しだされる効果であると考察している。すなわち導水は滞留時間を減少させるとともに、水を下流まで押し流す移流効果を高め、上流側への栄養塩類の蓄積を抑制していると考えられる。しかし、2008年度のCODは8.2mg/l、TN:2.6mg/l、TP:0.15mg/lで、未だ環境基準COD:5mg/l、TN:1mg/l、TP:0.1mg/lを達成していない。また現在、流入水のほとんどを利根川の水に頼っていることから、さらなる水質改善には利根川の直接的な水質改善もさることながら、滞留水中での内部生産の抑制、もしくは特に高濃度の有機物

を含む水塊を沼外へ排出するなど独自の水質管理手法の開発が望まれる。それらを実現するためには、手賀沼の水質時空間変動特性を気象条件への応答、季節、時間単位（日変動）で詳細に特定する必要がある。しかし、通年で行われている水質調査は月2回と日変動を捉えるのには不十分であり、連続観測の研究事例も期間を限定して行われているものや、定点1地点での調査のみである。そこで本研究では、沼内の3地点にて内部生産の指標となるChl.aやDOを1年にわたり連続的に観測し、それらの結果を用いて手賀沼の水質時空間変動特性を検証した。

## 2. 現地観測の概要

2008/3/27～2009/4/22の期間に本手賀沼の上流・中流・下流付近の3地点（図-1）に水位計（Onset製U20-001-04）、クロロフィル・濁度計（Alec電子製COMPACT-CKU）、溶存酸素量計（COMPACT-DOW）を設置し、連続観測を行った。計測項目は水深、水温、DO、Chl.a、濁度、pHである。手賀沼の管理水位は灌漑期（4月～9月）：Y.P 2.2m、非灌漑期（10月～3月）：Y.P 1.8mである（手賀沼水門）。測器の初回設置時（2008/3/27）は非灌漑水位から灌漑期水位への移行中で手賀沼水門の水位は約Y.P 2.0mであった。測器は初回設置時の水面から40cmで固定したので、水位の変化により測定している水深は変化することになる。すなわち計測水深は灌漑期水位時で水面から60cm、非灌漑期の水位時で水面から20cmである。

## 3. 観測結果と考察

図-2は2008年4月から2009年4月末までの降雨量（アメダス 我孫子）、日全天日射量（気象台 館野）、水深、水温、DO、Chl.aの時系列変化を示している。DOとChl.aは24時間移動平均である。また、観測期間中の北千葉導水の運用は降雨が予想される場合を除き5～7m<sup>3</sup>/sを定常的に導水している。DOとChl.aの変化は類似した傾向を示し、2008年4月高濃度-2009年9月低濃度-2009年1月高濃度と推移し、水温変化と逆の傾向を示す。加えて季節的な水質分布の変化が見られ、DO・Chl.a自体が低濃度でChl.aの上流（緑）・中流（赤）・下流（青）の濃度差が顕著でない時期（季節パターン1：2008年5月～10月（夏～秋））とDO・Chl.a自体が高濃度であると同時に上流＜中流＜下流で顕著に濃度が高くなる時期（季節パターン2：2008年4月、2009年1月～4月（冬～春））に分けられる。またChl.aは、季節に関わらず、時折急激な濃度低下があり、これが降雨に対応している。

### (1) 降雨に対応したChl.a・DOの低下

Chl.aが降雨時に低下する現象は、降雨時に日射量が減少することにより、植物プランクトンの増殖が抑制され、DOおよびChl.aが上昇しにくいことに加え、降雨流出水により湖水が希釈され濃度低下が引き起こされているためと考えられる。そこで濃度計算を行い観測値と比較し、降雨による希釈効果を検証した。

#### a) 計算方法

降雨時に流入水と滞留水が完全混合されると仮定すると、降雨後のChl.aは、流入水の濃度と滞留水の濃度および流入量と貯水量から求めることができる(1)。また、上・中・下流各地点の観測値を水が流入する間の水質変化を示す代表値と考えるために、手賀沼を上流・中流・下流の3エリア（図1）に等分した。

$$C_a = \frac{C_{in}Q + CV}{Q + V} \quad (1)$$

$C_a$ : 希釈後のChl.a,  $C_{in}$ : 流入水のChl.a,  $C$ : 滞留水のChl.a,  $Q$ : 流入量,  $V$ : 貯水量

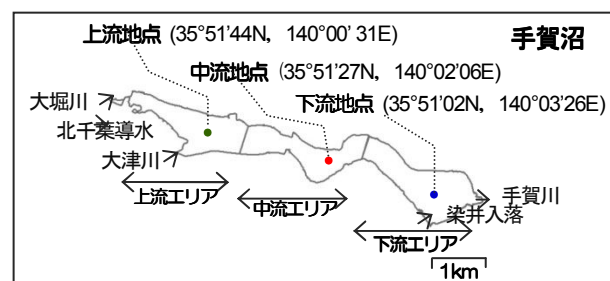


図-1 観測地点

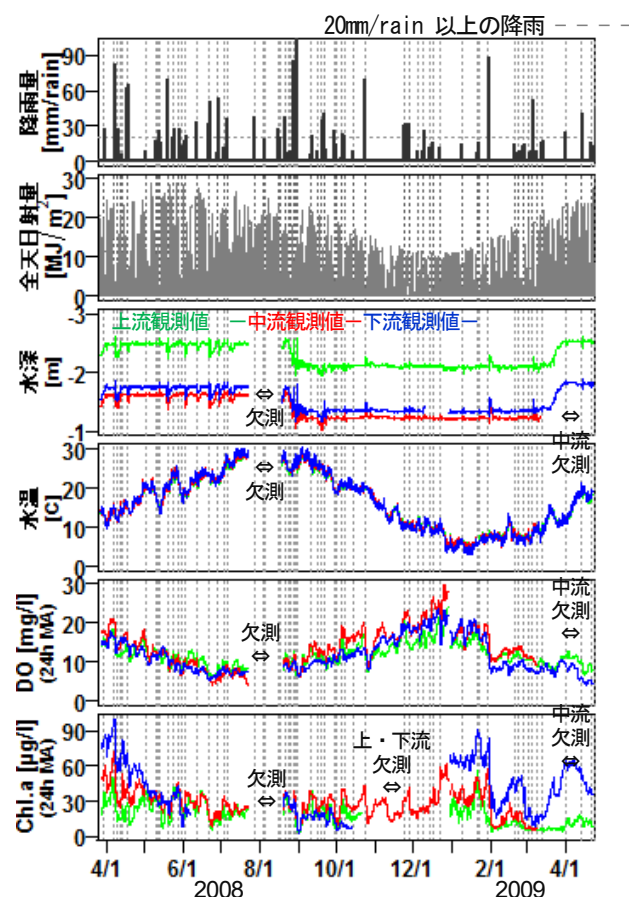


図-2 観測期間の気象、水深、水質の時系列変化

さらに水塊が上流から下流方向にのみ流れ、逆流しないと仮定すると、各エリアに到達する流入水量は連続式から(2-a), (3-a), (4-a)で表わされる。ある時点の流入水が滞留水と完全混合した後のChl.aは濃度に関する(1)の式を各エリアに適用し(2-b), (3-b), (4-b)で表わされる。

濃度計算には計算開始時のみ各地点の実測値を用い、その後は、1step前(1時間前)の計算濃度を用い計算を進める。すなわち、この濃度計算は計算開始時の水が流入水によりどの程度希釈されたかのみを示し、流入水のChl.aが滞留水のChl.aより低濃度である限り希釈され続ける。貯水量は深浅図<sup>10)</sup>から沼底地形を作成し、観測水位以下から沼底地形までの体積として算出した。

$$V_{inu}^t = V_1^t + V_2^t + V_3^t + \frac{V_4^t}{3} \quad (2-a)$$

$$C_u^t = \frac{C_{in} V_{inu}^t + C_u^{t-1} V_u^t}{V_{inu}^t + V_u^t} \quad (2-b)$$

$$V_{imm}^t = \frac{V_4^t}{3} \quad (3-a)$$

$$C_m^t = \frac{C_{in} (V_{inu}^t + V_{imm}^t) + C_u^{t-1} V_u^t + C_m^{t-1} V_m^t}{V_{inu}^t + V_u^t + V_{imm}^t + V_m^t} \quad (3-b)$$

$$V_{ind}^t = \frac{V_4^t}{3} + V_5^t \quad (4-a)$$

$$C_d^t = \frac{C_{in} (V_{inu}^t + V_{imm}^t + V_{ind}^t) + C_u^{t-1} V_u^t + C_m^{t-1} V_m^t + C_d^{t-1} V_d^t}{V_{inu}^t + V_u^t + V_{imm}^t + V_m^t + V_{ind}^t + V_d^t} \quad (4-b)$$

$V_{inu}$   $V_{imm}$   $V_{ind}$ : 各エリア流入量  $m^3$ ,  $V_{um}$ : 各エリア貯水量  $m^3$ ,  $V_1$   $V_2$   $V_3$   $V_4$   $V_5$ : 大堀川, 大津川, 北千葉導水, 手賀沼直接, 染井入落の流入量  $m^3$ ,  $C_m$ : 降雨流入水のChl.a  $=4.8 \mu g/l$  (2008/3/13流入各河川での実測値の平均),  $C_{um}$ : 各エリア滞留水のChl.a  $\mu g/l$

流出降雨流出水量は既往の研究に基づいて降雨量と流域面積より貯留関数法により求めた<sup>11)</sup>。用いたパラメー

タは流域面積 $115 km^2$  (大堀川 $=31.5$ , 大津川 $=36.3$ , 染井入落 $=8.9$ , 本手賀沼直接 $=38.4$ ), 飽和雨量 $50mm$ , 1次流出率 $50\%$ , 飽和流出率 $100\%$ , 定数 $K$ は各河川の土地利用状況により決定した(大堀川 $=2.88$ , 大津川 $=3.33$ , 染井入落 $=4.28$ , 本手賀沼直接 $=4.04$ ) 定数 $P$ は $0.6$ とし、遅れ時間は流路長が $11.9km$ 以下であるため $0$ とした。

#### b) 計算結果

降雨に伴う計算流入量が大きいケースについて(計算流入量 対 貯水量比については図-3中記載参照), 濃度計算した結果を図4に示す。この図からChl.aの変化が上述したような完全混合を仮定した単純な計算式でも一致して、実測値の傾向に沿った結果となった(図-4)。このことは降雨時のChl.aの急減が希釈によるものと解釈できることを意味している。特に夜間に降雨があった場合(2008/5/20), 降雨前のChl.aが高濃度であった場合(2008/4/7, 2009/1/30)で推定結果と対応がよい。また、2009/1/30の場合は非灌漑期の低い管理水位であったため流入水量が貯水量を大きく上回り湖水が大きく希釈・交換されたことが伺える。また、2008/4/7や2009/1/30は降雨前にChl.aが上流<中流<下流で高濃度になる特徴的な空間分布を示していたが、降雨後、地点間の濃度差が小さくなったことが分かる。反対に、2008/9/21のように降雨前のChl.aが上流側で高濃度であり、降雨流出水量が少ない場合、上流から流れ込む降雨流出水と上流側の滞留水の混合水が下流で滞留していた水より高濃度になる場合があり、下流地点での濃度低下(希釈)として現れてこない。このように降雨による大量の降雨流出水の流入は、湖水を希釈・交換しChl.aの急激な低下の支配要因となっていることがわかる。同時に、降雨後Chl.aが上昇していることから、降雨によりもたらされた流入水中には植物プランクトンの増殖に十分な栄養塩類が含まれていることも分かる(図-2 Chl.a)。

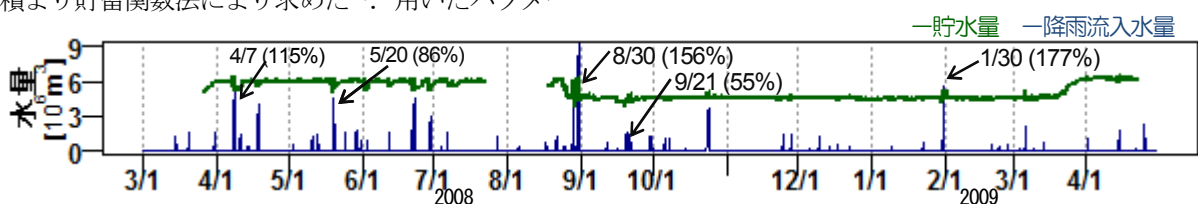


図-3 計算貯容量 $10^6 m^3$ と計算流入量 $10^6 m^3/rain$ の時系列変化

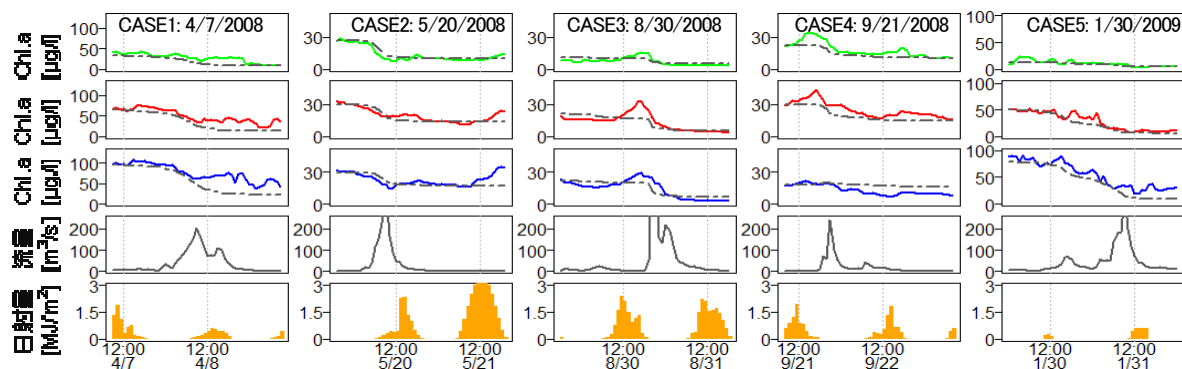


図-4 上・中・下流のChl.a実測値と希釈計算結果 $\mu g/l$ , 計算降雨流入量 $m^3/s$ , 全天日射量 $MJ/m^2/hour$

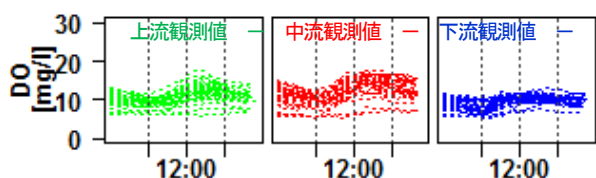


図-5 2008年9月のDO日変動

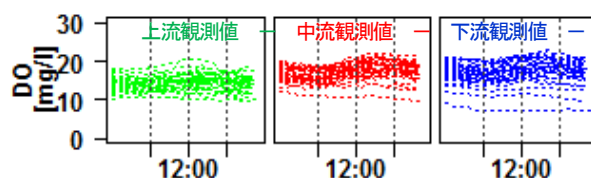


図-9 2009年1月のDO日変動

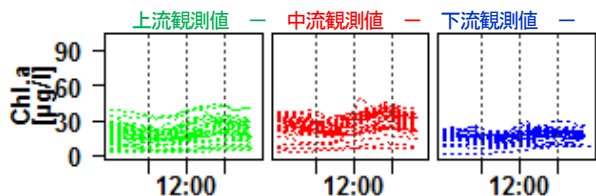


図-6 2008年9月のChl. a日変動

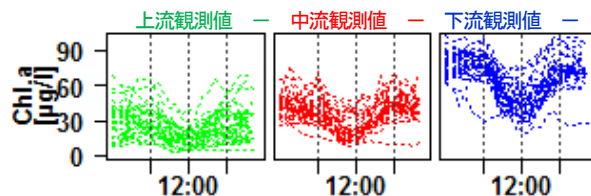


図-10 2009年1月のChl. a日変動

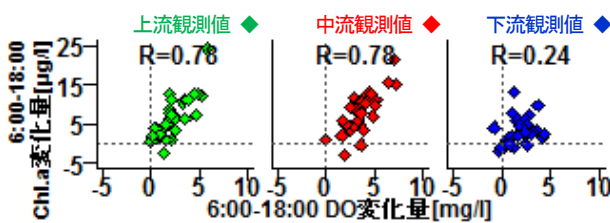


図-7 2008年9月の日中のChl. aとDOの変化量

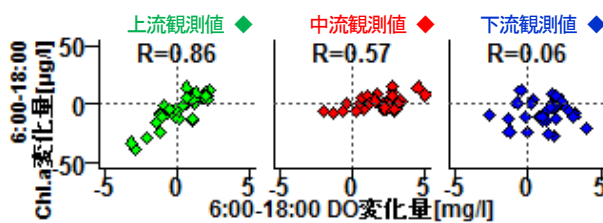


図-11 2009年1月の日中のChl. aとDOの変化量

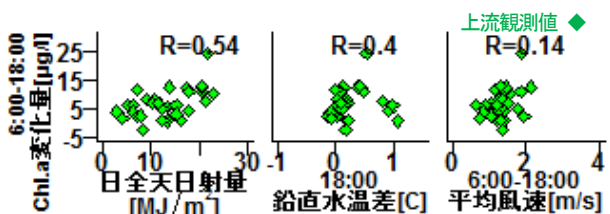


図-8 2008年9月の上流地点の日中のChl. a変化量と気象

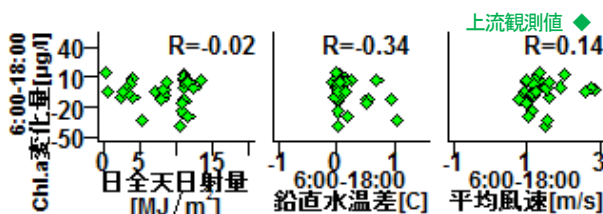


図-12 2009年1月の上流の日中Chl. aの変化量と気象

## (2) 定常時水質変動 季節パターン1 (2008年9月)

季節パターン1のChl.aの上流から下流の濃度差が顕著でない時期について検討するため、2008年9月を抜粋し、その水質変動特性を詳細に考察する。図-5, 6はx軸を0時から23時の時間軸にとり、DOおよびChl.aの日変動を重ねた図である。DOおよびChl.aは、日ごとに濃度は異なるものの、日の出後上昇し、昼過ぎから夕方付近に最大濃度となり、その後徐々に濃度が低下し、早朝に最低濃度に至る変動パターンを示す。したがって日変動の曲線は夕方に凸のピークを持つ小山のような形状になっている。日変動の幅は後述する2009年1月に比べ、特にChl.aの変化幅が小さく、日最大値と日最小値の差の月平均は、2008年9月で上流：10 $\mu$ g/l、中流：13 $\mu$ g/l、下流：8 $\mu$ g/lであるのに対し2009年1月は、上流：29 $\mu$ g/l、中流：32 $\mu$ g/l、下流：44 $\mu$ g/lであった。また、日中の濃度変化量を日の入り時（18時）の濃度と日の出前の濃度（6時）の差と定義し、各地点の日中のDO変化量とChl.a変化量を相関図に示すと、上・中流で正の相関がみられ、Chl.aおよびDOの日変動は植物プランクトンの光合成活動に起因したものであることが分かる（図-7）。また、下流地点ではDO・Chl.a双方の濃度変化自体が小さく、相関関係も不明確である。下流に至るまでに、植物プランクトン現存量がピークに至っていることが伺える。植物プランクト

ンの光合成による影響が大きい上流地点のChl.a変化量と気象条件の関係は全天日射量との相関が比較的高く、日射要求量が大きいと言える（図-8）。

## (3) 定常時水質変動 季節パターン2 (2009年1月)

季節パターン2のDO・Chl.a自体が高濃度であると同時に上流<中流<下流で顕著に濃度が高くなる時期についても同様に2009年1月を抜粋し、その水質変動特性を検証する。2009年1月の場合、DOの日変動は2008年9月と同様であるが（図9）、Chl.aの日変動パターンは大きく異なる。Chl.aは、前夜から早朝まで高濃度が持続するが、早朝から正午付近にかけて低下し、その後夕方に向けて回復、再び早朝まで高濃度が持続するという日変動パターンを示した（図10）。そのため日変動の曲線はVの字のような形になっている。注目すべきはこのChl.aの日変動の増減が大きく、その増減幅は上流<中流<下流で増加している点である。すなわち同日であっても時間帯によりChl.aの空間的な広がり（地点間の差異）が異なり、正午付近では地点間濃度差が小さく、夕方から早朝は大きくなる。

日中のChl.a変化量とDO変化量の関係を見ると（図-11）、2008年9月同様、上流で明確な正の相関がみられ、上流→中流→下流と流下する間に相関関係が不明確になっていく。すなわち、流入水中では

定常的にChl.aを上昇させるほど植物プランクトンの光合成活動が活発であり、上流→中流→下流と流下する間に水中の植物プランクトン現存量が増加し、Chl.aが高濃度になった後に、増殖のピークに近づき濃度上昇量が小さくなっていくと考えられる。また2008年9月同様、上流地点は植物プランクトンの光合成による影響がもっとも大きいと考えられるが、2008年9月の場合とは異なり日射量との相関はほとんどみられず、日射要求量が小さいことがわかる(図-12)。

次に、2009年1月のみに見られたChl.aの特徴的な日変動(午前の濃度低下および午後の増加)について検証する。図-13はChl.aの午前中の濃度変化量と午後の濃度変化量の関係を示している。上流ではその関係が顕著でないが、中・下流で負の相関関係がみられ、午前中の濃度低下量がほぼ午後の濃度上昇量に対応している。先に検証した植物プランクトンの光合成に起因する濃度変化は上流側で卓越していたが(図-11)、この日変動は反対に中・下流で顕著である。つまりこの日変動は植物プランクトンの光合成に起因する濃度変化というより、既に現存する植物プランクトンの移動や拡散による濃度変化であることが示唆される。そこで、日変動前(6:00)のChl.aと日中のChl.aの上下量(6:00-12:00濃度変化量+12:00-18:00濃度変化量)の関係を検証すると、日変動前のChl.aが高くなるほど、日中のChl.aの上下量が大きくなること分かった(図-14)。つまり、水中の植物プランクトンの現存量が多いほど、日中の濃度の上下量が大きくなる。また、植物プランクトンの光合成に起因する濃度変化の影響が最も少ないと考えられる下流地点の6:00-12:00-18:00の濃度変化量と各環境要因との関係を示す(図-15)。このChl.aの上下変動量は、表層水温の上昇、日全天日射量と比較的対応がよく、鉛直水温差や風速とはほとんど相関がみられないことから、拡散による濃度変化とは考えにくい。すなわち、Chl.aの日中の低下は植物プランクトンの集積・移動によることが示唆された。

別の観測で捉えられた季節パターン2の時期(2008/3/27)のChl.aの正午付近の鉛直分布は、底層付近で高濃度になっており、表層と底層の濃度差は約30  $\mu\text{g/l}$ と大きかった。これは、早朝から正午にかけてのChl.aの濃度低下が植物プランクトンの底層に向けて移動によることを裏付けている。今後、さらに同様の水質状態時に鉛直水質分布の日変動を捉える必要がある。

#### (4) 水質変動の季節変化の要因と栄養塩供給

2007年度から過去3年間の公共水域水質調査結果植物プランクトン同定結果を検証したところ、手賀沼では12~4月: *Thalassiosiraceae*-10(珪藻)、5~11月: *Skeletonema potamos*(珪藻)が優占種になっており、水質空間分布が季節変化する期間と一致している<sup>6)</sup>。優先植物プランクトン種の変化による増殖速度、枯死速度、気象条件への応答を変化は、

結果的に、水質空間分布や内部生産量を変化させていると考えられる。また、各季節の内部生産の状況を栄養塩濃度変化より考察する。図-16は、手賀沼の公共水域水質検査根戸下(上流地点)および手賀沼中央(下流地点)の2008年度の $\text{PO}_4\text{-P}$ およびTPの調査結果である。季節パターン1(夏~秋)の期間は流入水の影響が大きい上流地点で、すでに $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が低く、外部流入負荷が小さい。しかし、流入水の影響が小さい下流地点で上流地点より $\text{PO}_4\text{-P}$ が高い場合や、下流地点のTPが上流地点より高い場合が見られる。つまり、この季節は内部負荷の影響が顕著であり、流入負荷以上の内部生産があると考えられる。季節パターン2(冬~春)の期間は、上流地点の $\text{PO}_4\text{-P}$ が高く外部流入負荷が大きい。また、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は、下流地点までに大きく低下し、地点間の濃度変化(低下)はChl.aの変化(上昇)と対応している(図-17)。しかし、TP(溶存態+粒子態)としては上流と下流地点の濃度差はほとんどないことから、滞留中に $\text{PO}_4\text{-P}$ が植物プランクトン体内に取り込まれ、粒子化しているが沼内を流下するうちに沈降して蓄積するには至っていないと言える。

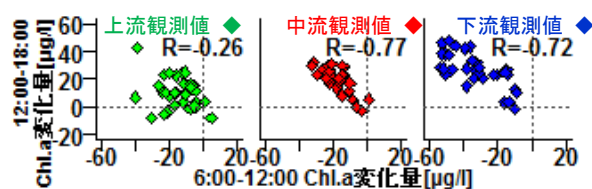


図-13 2009年1月の午前と午後のChl.aの変化量

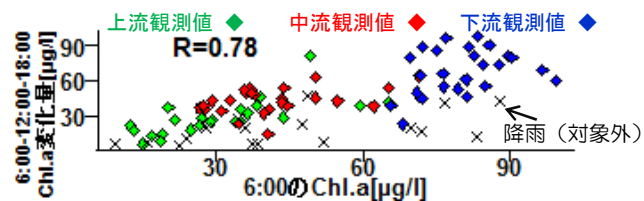


図-14 2009年1月の6:00Chl.aと日中のChl.a上下量

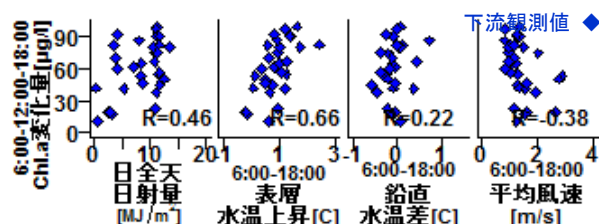


図-15 2009年1月の下流の日中のChl.a上下量と気象

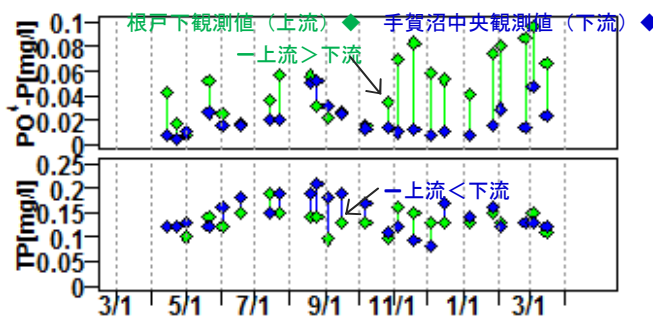


図-16  $\text{PO}_4\text{-P}$ およびTPの経月変化<sup>6)</sup>  
(2008年度 公共水域水質調査結果より図化)

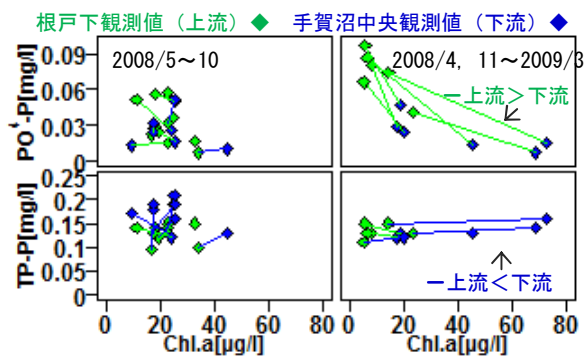


図-17 PO<sub>4</sub>-PおよびTPとChl.a (日平均)  
(2008年度 公共水域水質調査結果より図化)

#### 4. まとめ

手賀沼の季節・時間単位（日変動）・気象による水質時空間変動の特徴を特定するために、沼内流下方向3地点に水質センサーを設置し、1年間にわたり水質連続計測を実施した。気象による水質変動として、降雨に対応したChl.aおよびDOの濃度低下が観測され、濃度計算と実測値の比較から降雨時は降雨流出水により沼の滞留水が希釈・交換され沼の水質が大きく変化することが示された。さらに、大きく2つの異なる水質空間分布の特徴が季節的な変化として特定された。季節パターン1（夏～秋：2008年5月～10月）はChl.a自体が低濃度で地点間の濃度差が顕著でない時期である。また、季節パターン2（冬～春：2008年4月、2009年1月～4月）はChl.a自体が高濃度であると同時に上流＜中流＜下流で顕著に濃度が高くなる時期である。季節パターン1の時期は、植物プランクトンの光合成活動に起因するChl.a変動が主要な日濃度変動であり、上流・中流での濃度変化が顕著であった。また、植物プランクトンの光合成活動の日射要求量が比較的高いことが分かった。季節パターン2の時期も植物プランクトンの光合成活動に起因するChl.a変動が見られたが日射量の影響は小さかった。加えて、早朝から正午にかけてChl.aが低下し、正午から日没に濃度が上昇する独特の日変動が観測され、その現象による濃度変動幅は植物プランクトン現存量が増加するほど大きくなることが示された。また、地点間の比較および気象との関係の考察からこの濃度の上下変動は、植物プランクトンの集積・移動によることが示唆された。

このように季節によって水質時空間変動の特徴および気象条件への応答が変化する要因は、優占植物プランクトン種が季節変化するためと考えられた。また、PO<sub>4</sub>-PおよびTP濃度の地点間比較により、夏

から秋は流入水中のPO<sub>4</sub>-P濃度は低濃度であるが、TPが上流より下流で高濃度になっていること、PO<sub>4</sub>-P濃度が上流より下流で高い観測日があることなどから、外部流入負荷は小さいが内部負荷が大きいことが示唆された。冬から春は上流地点（流入水中）のPO<sub>4</sub>-Pが高く、下流地点までには濃度が大きく低下すること、TPとしては上流と下流が同程度であること、上流・下流間のリン濃度の組成変化（溶存→粒子）がChl.aの増加と対応していることから、外部流入負荷が卓越しており、水が流下する間にPO<sub>4</sub>-Pが植物プランクトンの成長に利用され粒子態に変換されていると考えられた。しかし、総量（TP）としてはマイナスになっていないことから、植物プランクトン体の沈降による栄養塩の蓄積には至っていないと考えられ、導水による押し流す効果が功を奏しているとみられる。

#### 参考文献

- 1) 高島英二郎・田中宏明・中村栄一：手賀沼流入河川における汚濁負荷量の流出特性および年間負荷量の把握，水環境学会誌，18巻，4号，pp297-306，1995.
- 2) 細見正明・須藤隆一：手賀沼における窒素およびリンの収支，水環境学会誌，15巻，2号，pp105-112，1992.
- 3) 平間幸雄・木内浩一・小林節子：手賀沼の水質縦断調査，千葉県水質保全研究所年報，pp103-108，1995.
- 4) 松梨史郎・井野場誠治・下垣久・宮永洋一：手賀沼の水質の時空間変動特性に関する検討，水工学論文集，43巻，pp995-1000，1999.
- 5) 北千葉導水路運用状況，利根川下流河川事務所，国土交通省，<http://www.ktr.mlit.go.jp>
- 6) 千葉県 環境生活部，水質保全課，公共用水域水質測定結果データベース，[http://www.pref.chiba.lg.jp/syozoku/e\\_suiho](http://www.pref.chiba.lg.jp/syozoku/e_suiho)
- 7) 二瓶泰雄・山崎裕介・谷脇大介・大竹野歩・西村司：現地観測に基づく手賀沼における水温・Chl.a濃度・流動特性に関する検討，水工学論文集，47巻，pp1231-1236，2003.
- 8) 山崎裕介・二瓶泰雄・猪爪高見・西村司：浄化用水量の変化が手賀沼の水質環境に及ぼす影響，河川技術論文集，第9巻，pp505-510，2003.
- 9) 木内浩一：導水による手賀沼の水質変化について，千葉県水質保全研究所年報，2000，<http://www.wit.pref.chiba.lg.jp>
- 10) 千葉県東葛飾地域整備センター柏事務所，平成18年度統合河川環境整備委託，手賀沼深淺測量図.
- 11) 池淵周一・椎葉充晴・宝馨 著：エース水文学，朝倉書店，2006.

(2009.9.30受付)