

## 兎島湖底泥からの窒素・リンの溶出

藤田和男, 鷹野 洋, 坂本祐基, 宮崎 清 (水質第一科)

【調査研究】

## 児島湖底泥からの窒素・リンの溶出

Nitrogen and Phosphorous release from sediment in Lake Kojima

藤田和男, 鷹野 洋, 坂本祐基, 宮崎 清 (水質第一科)

Kazuo Fujita, Hiroshi Takano, Yuuki Sakamoto, Kiyoshi Miyazaki

### 要 旨

児島湖の全窒素(T-N)および全リン(T-P)の溶出速度を、湖の物質収支から算出した。見かけ上のT-N溶出速度は0~60(mg/m<sup>2</sup>/day), T-P溶出速度は0~15(mg/m<sup>2</sup>/day)の範囲にあった。水温と溶出速度の関係を求め、T-Nは23℃, T-Pは19℃以上の時、底泥からの溶出が沈降を上回ると推算された。

[キーワード：リン溶出, 底泥, 児島湖]

[Key words : Phosphorous release, Sediment, Lake Kojima]

### 1 はじめに

湖沼等の閉鎖性水域で、水中の懸濁物質による汚濁が問題となっている。即ち懸濁物質は湖水を濁らせ(透明度の低下), CODを上昇させ、また沈降し底泥として堆積する一方で、栄養塩が再溶出することにより植物プランクトンが増殖し、水域の汚濁が進行している。このように懸濁物質は水域の汚濁の主要な要因と位置づけられるが、懸濁物質増加の最も大きな原因は水域で増殖した植物プランクトンと考えられる。

植物プランクトン増殖の主要因は水中の栄養塩である窒素・リンである。児島湖の窒素・リンについてみると、湖心の全窒素(T-N)は1.3(mg/L) (平成15~19年度平均値)<sup>1)</sup>で、近年減少傾向にあるものの環境基準(1mg/L)を上回っている。また全リン(T-P)は0.20(mg/L) (平成15~19年度平均値)<sup>1)</sup>で、近年横ばいからやや増加で推移し<sup>2)</sup>、環境基準(0.1mg/L)の2倍の値であり、その要因の一つとして底泥からの無機態リンの溶出が考えられる。

溶出したリンは植物プランクトンの増殖を促進し、この結果水中の懸濁物質が増加し汚濁が進行する。従って、水質浄化対策を行う場合、底泥からの窒素・リンの溶出特性を把握しておくことは重要である。

これまでの報告<sup>3)</sup>において、懸濁態COD(以下P-CODとする)のほとんどが植物プランクトンの増殖によるものであることが明らかとなった。また植物プランクトンに吸収された懸濁態窒素(以下P-N)および懸濁態リン(以

下P-P)と、水の濁りに関する測定項目であるSS, 強熱減量(IL), クロロフィルa(Chl.a), 懸濁態COD(P-COD), 懸濁態TOC(POC)が、ほぼ直線的な関係にあることがわかり<sup>4)</sup>、これを基に、湖内の要因(平均滞留時間, 水温, 日射, 植物プランクトンの増殖, 懸濁態物質の沈降等)を含んだ関係について検討し現況再現のためのシミュレーション計算を行った<sup>5)</sup>。

本報では、湖への流入水と流出水の水質の差から、底泥からの窒素・リンの溶出速度を算出し、特性を把握することを目的とした。

### 2 材料および方法

調査地点は、図1に示すように、児島湖への2大流入河川である笹ヶ瀬川(①笹ヶ瀬橋)および倉敷川(②倉敷川橋)そして児島湖(③湖心)の3地点である。

1999年4月~2001年3月および2006年4月~2007年3月まで年に12回採水を行った。

全窒素(T-N)および全リン(T-P)は工場排水試験法K0102<sup>6)</sup>に準じて測定した。

水質モデルの概念図を図2に示す。

流入水のT-NおよびT-Pについては、2大流入河川である笹ヶ瀬川および倉敷川からの流入水量が児島湖全体の流入水量の84%(平成10年度から16年度の平均値)<sup>2)</sup>とその殆どを占めることから、以下の式で計算された値を流入水の水質とし、月毎に計算した。

$$T - N_{in} = \frac{T - N_{in}(S) \times L(S) + T - N_{in}(K) \times L(K)}{L(S) + L(K)}$$

$$T - P_{in} = \frac{T - P_{in}(S) \times L(S) + T - P_{in}(K) \times L(K)}{L(S) + L(K)}$$

ここで、 $T - N_{in}$  :  $T - N$ の流入濃度(mg/L),  $T - N_{in}(S)$  : 笹ヶ瀬川からの $T - N$ の流入濃度(mg/L),  $T - N_{in}(K)$  : 倉敷川からの $T - N$ の流入濃度(mg/L),  $T - P_{in}$  :  $T - P$ の流入濃度(mg/L),  $T - P_{in}(S)$  : 笹ヶ瀬川からの $T - P$ の流入濃度(mg/L),  $T - P_{in}(K)$  : 倉敷川からの $T - P$ の流入濃度(mg/L),  $L(S)$  : 笹ヶ瀬川の流量( $m^3/sec$ ),  $L(K)$  : 倉敷川の流量( $m^3/sec$ )である。

流出水の $T - N$ および $T - P$ ( $T - N_{out}$ ,  $T - P_{out}$ )については、児島湖水質シミュレーション<sup>7)</sup>において流出水の水質を湖心の値としていることから、児島湖湖心での測定値とした。流出水と流入水の差( $\Delta$ )を、湖内からの溶出分とした。

$$\Delta T - N = T - N_{out} - T - N_{in}$$

$$\Delta T - P = T - P_{out} - T - P_{in}$$

単位体積あたりの溶出速度(mg/L/day)は、以下の式から計算した。

$$\frac{dT - N}{dt} = \frac{T - N_{out} - T - N_{in}}{\tau}$$

$$\frac{dT - P}{dt} = \frac{T - P_{out} - T - P_{in}}{\tau}$$

ここで、 $\tau$  : 平均滞留時間(day)である。

また水深の値を用いて、以下の式から単位面積あたりの溶出速度(mg/ $m^2$ /day)を計算した。

$$D_N = \frac{dT - N}{dt} (1000 \cdot H)$$

$$D_P = \frac{dT - P}{dt} (1000 \cdot H)$$

ここで $D_N$  :  $T - N$ 溶出速度(mg/ $m^2$ /day),  $D_P$  :  $T - P$ 溶出速度(mg/ $m^2$ /day),  $H$  : 水深 [灌漑期: 1.8, 非灌漑期 2.1] (m) ([ ]内は定数値)である。

左辺の値が0より大きい場合は見かけ上底泥からの溶

出, 0より小さい場合は底泥への蓄積が進行しているとした。

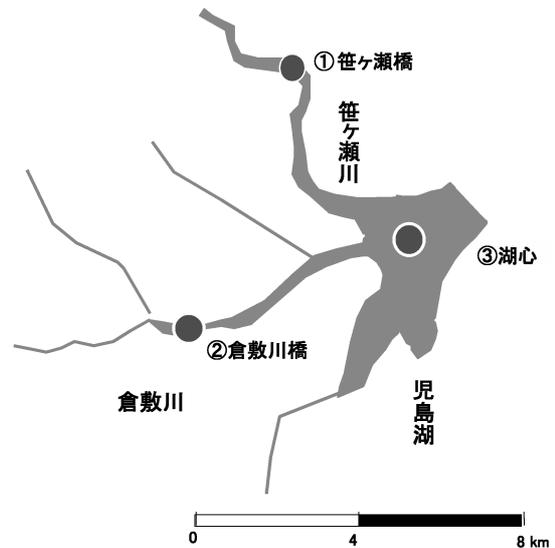


図1 調査地点

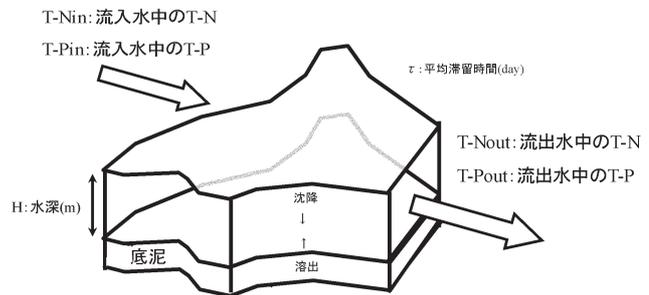


図2 概念図

### 3 結果および考察

窒素およびリンの底泥からの溶出について、図3および図4に示す。図3(a)および4(a)に湖心および流入水の $T - N$ および $T - P$ を示す。また図3(b)および4(b)に湖心と流入水の $T - N$ および $T - P$ の差を示す。

夏期には湖心の $T - N$ および $T - P$ は流入水の $T - N$ および $T - P$ より高く、その他の期間は湖心の $T - N$ および $T - P$ が流入水より低い。この差は夏期に窒素およびリンが外部からではなく湖心内で発生(底泥から溶出)し、その他の期間では底泥へ沈降することによると考えられる。

図3(c)および4(c)に、湖心内で発生した $T - N$ および $T - P$ を底泥から溶出したものとし、底泥面積あたりの溶出速度( $D_N$ および $D_P$ ) (mg/ $m^2$ /day)として計算した値を示す。ここで、 $T - N$ および $T - P$ の溶出は1ヶ月間(測定日

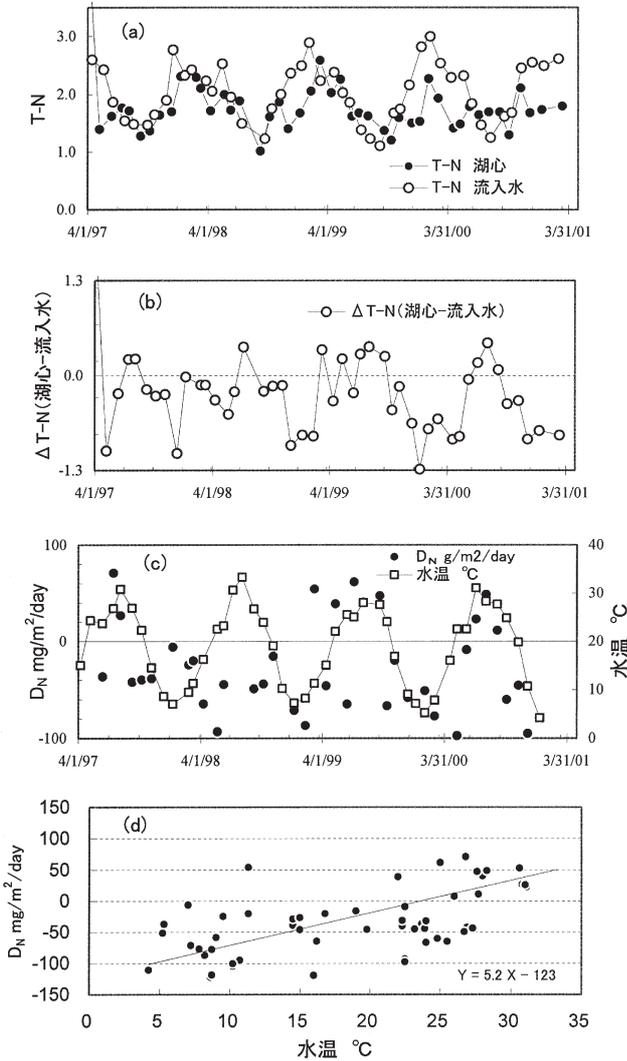


図3 底泥からの窒素の溶出

- (a) : 湖心および流入水のT-N。○：流入水，●：湖心  
 (b) : 湖心と流入水のT-Nの差。  
 (c) : T-N溶出速度および水温。●：T-N溶出速度，□：水温  
 (d) : T-N溶出速度と水温の関係。

の前後15日間同じ値で継続したと仮定し、湖の平均滞留時間を考慮(平均滞留時間で割る)することにより計算した。また同図に水温を示す。T-Pの溶出速度と水温は類似したパターンで推移していた。

図3(d)および4(d)に、T-NおよびT-P溶出速度と水温との関係を示す。水温5～30℃の範囲で、T-N溶出速度は0～60(mg/m<sup>3</sup>/day)、T-P溶出速度は0～15(mg/m<sup>3</sup>/day)の範囲にあった。見かけ上溶出と沈降が釣り合う水温は、T-Nは23℃、T-Pは19℃であり、それぞれ見かけ上、これ以上の水温では溶出>沈降、これ以下では溶出<沈降となると推算された。

これまでに報告された値について、児島湖について、室内の溶出試験の結果から得られた計算式<sup>7)</sup>から、水温

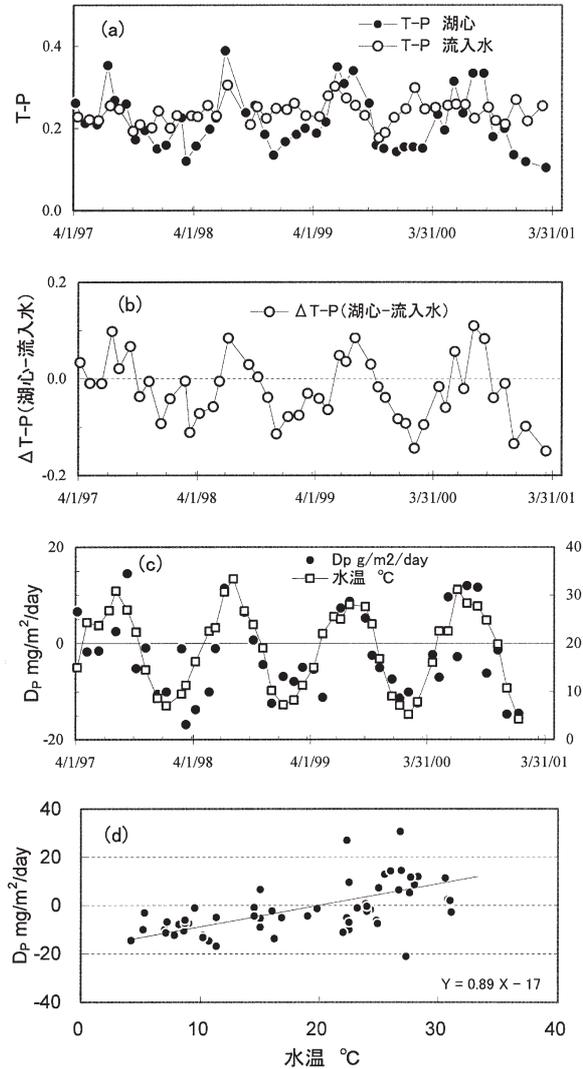


図4 底泥からのリンの溶出

- (a) : 湖心および流入水のT-P。○：流入水，●：湖心  
 (b) : 湖心と流入水のT-Pの差。  
 (c) : T-P溶出速度および水温。●：T-P溶出速度，□：水温  
 (d) : T-P溶出速度と水温の関係。

5～30℃のとき、T-Nで15～120(mg/m<sup>3</sup>/day)、T-Pで2～6.5(mg/m<sup>3</sup>/day)であった。米国Shagawa湖では夏期にT-P溶出速度3.1～4.2(mg/m<sup>3</sup>/day)、湯乃湖ではT-N溶出速度35～50(mg/m<sup>3</sup>/day)、T-P溶出速度0～5(mg/m<sup>3</sup>/day)<sup>8)</sup>であった。また手賀沼の沼内2カ所(手賀沼中央および根戸下)では、夏期にT-N溶出速度100(mg/m<sup>3</sup>/day)(手賀沼中央)および270(mg/m<sup>3</sup>/day)(根戸下)、T-P溶出速度10(mg/m<sup>3</sup>/day)(手賀沼中央)および30(mg/m<sup>3</sup>/day)(根戸下)が報告されている。本報の値も含め、概ねT-N溶出速度は0～100(mg/m<sup>3</sup>/day)(手賀沼の根戸下を除く)、T-P溶出速度は0～数10(mg/m<sup>3</sup>/day)の範囲内にあると考えられる。

#### 4 まとめ

児島湖のT-NおよびT-Pの溶出速度を、湖の物質収支から算出した。T-N溶出速度は0～60(mg/m<sup>2</sup>/day), T-P溶出速度は0～15(mg/m<sup>2</sup>/day)の範囲にあった。T-Nは23℃, T-Pは19℃以上の時, 見かけ上底泥からの溶出が沈降を上回ると計算された。

#### 文 献

- 1) 岡山県生活環境部環境管理課：平成19年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2006
- 2) 岡山県：児島湖ハンドブック, 7-18, 2004
- 3) 藤田和男, 鷹野洋, 吉岡敏行, 山本弘捷：児島湖流域の内部生産, 岡山県環境保健センター年報, 25, 7-9, 2000
- 4) 藤田和男, 山本 淳, 小野 質, 北村雅美, 斎藤直己：児島湖下流域の内部生産(4)—植物プランクトンのP-CODおよび窒素・リン—, 岡山県環境保健センター年報, 28, 13-16, 2004
- 5) 藤田和男, 北村雅美, 斎藤直己：児島湖下流域の内部生産(5)—植物プランクトンのP-COD, クロロフィルaおよび窒素・リン—, 岡山県環境保健センター年報, 29, 27-31, 2005
- 6) 平河喜美男編：工場排水試験法 JIS-K0102, 42-44, 日本規格協会, 東京, 1998
- 7) 岡山県, (株)ウェスコ：平成3年度児島湖水質保全計画基礎調査業務報告書, 83, 1992
- 8) 細見正明：底質からの窒素およびリンの溶出とその制御, 水環境学会誌, 16, 91-95, 1993