

兎島湖に関する調査研究

(2) 兎島湖における溶存態有機物，栄養塩の挙動

鷹野 洋，藤田和男，坂本祐基，劔持堅志（水質科）

【調査研究】

## 児島湖に関する調査研究 (2) 児島湖における溶存態有機物，栄養塩の挙動

Studies on the Lake KOJIMA

(2) Behavior of Dissolved Organic Matter and Nutrients in the Lake KOJIMA

鷹野 洋，藤田和男，坂本祐基，劔持堅志（水質科）

Hiroshi Takano, Kazuo Fujita, Yuuki Sakamoto, Katashi Kenmotsu

### 要 旨

環境基準が未達成である指定湖沼の児島湖について，水質汚濁の機構解明や水質改善の方策を検討するために，継続的な観測を続けた。長期的に見るとCODと窒素は緩やかな改善傾向が見られたが，リンは横ばいの傾向が見られた。10年前の調査結果と比較してもChl-aと懸濁態CODの比率に大きな変化はなく，内部生産そのものの減少と考えられる。窒素は順調に改善されて環境基準を達成し，その大きな要因は冬期から春期にかけての濃度上昇が小さくなったことであったが，その原因は判別できなかった。リンは底質からの溶出以外にも要因が考えられた。

[キーワード：児島湖，溶存態有機物，栄養塩類，水田，溶出]

[Key words : Lake KOJIMA, Dissolved Organic Matter, Nutrients, Paddy Field, Dissolution]

### 1. はじめに

昭和60年に湖沼水質保全特別措置法の指定湖沼に指定された児島湖は，かつては全国の湖沼のワースト上位に名を連ねる汚濁した湖沼であった<sup>1)</sup>が，岡山県を含めた関連自治体や国は児島湖の水質改善のために湖沼水質保全計画の策定及び実施，下水道整備や湖底の浚渫などを行い，近年は順調に水質改善が進行して，ワースト上位から脱却している(平成20年度は11位)<sup>2)</sup>。

ところで，全国の湖沼の中には水質改善が緩やかになったり，悪化の傾向に転じているところもあり，これらの水質改善を阻んでいる要因として，生物学的に難分解性の溶存態有機物(DOM)の蓄積・増加が考えられている<sup>3,4)</sup>。児島湖においてもDOMは生活排水や農業排水等が発生源として考えられている<sup>5)</sup>。また，環境基準項目の一つであるリンは横ばい状態にあり，湖沼水質保全計画の目標を達成することが困難になっている<sup>1)</sup>。

そこで，児島湖におけるDOMの現状を把握するとともに，窒素・リンの変動要因について検討したので報告する。

### 2. 方法

#### 2.1 調査地点

調査地点は図1に示すように，児島湖と流入河川である倉敷川の計7地点である。

#### 2.2 採水頻度

採水は概ね毎月1回，天候が安定した上旬頃に行った。試料は速やかに持ち帰り，分析に供した。

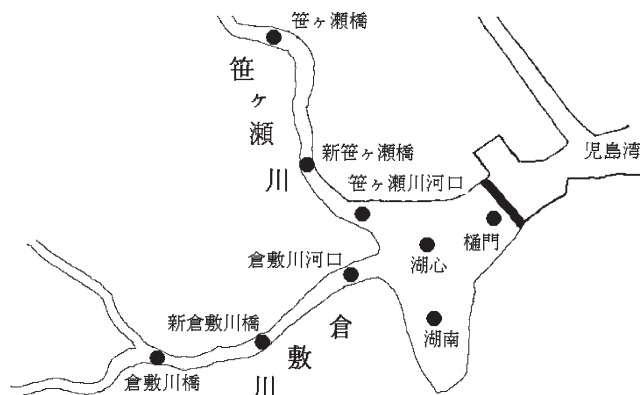


図1 調査地点

## 2.3 分析方法

pH, 電気伝導度(EC), 溶存酸素(DO), COD, BOD, 全窒素(T-N), 全リン(T-P), 懸濁物(SS), 強熱減量(IL)は試料全量を, 溶存態窒素(D-N), 硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N), 亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>-N), アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N), 溶存態リン(D-P), リン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)はwhatman GF/Cでろ過したろ液をJIS K0102にしたがって分析した。塩素イオン(Cl), PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>3</sub>-NはDionex社製イオンクロマトグラフDX-320で分析した。全有機炭素(TOC)と溶存態有機炭素(DOC)は島津製TOC-VCSHで測定した。懸濁態COD, 懸濁態窒素, 懸濁態リン, 懸濁態TOCはそれぞれの全量から溶存態成分量を差し引いて求めた。クロロフィル-a(Chl-a)はGF/Cで捕集し, 海洋観測指針にしたがって分光光度法で求めた。

## 3 結果及び考察

### 3.1 CODの季節変動

図2に2007年4月から2010年3月までの児島湖湖心のCODと水温の変化を示した。棒グラフの下側は溶存態COD(D-COD), 上側は懸濁態COD(P-COD)であり, 両者の合計が総COD(T-COD)である。一般に水深が浅い

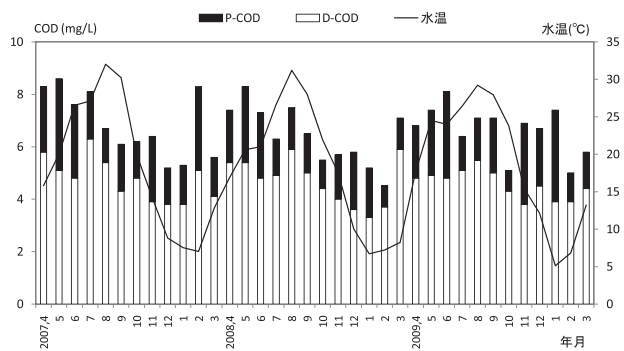


図2 児島湖のCODと水温の変化

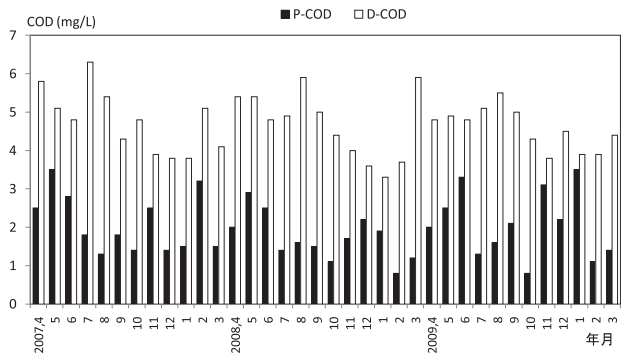


図3 湖心のD-CODとP-CODの変動

湖の場合, 夏期に内部生産が高くなる傾向にある<sup>6)</sup>が, 児島湖は3月から6月にかけてT-CODが増加している。D-CODとP-CODに分けてみると図3のようになり, 内部生産を表すP-CODは4月から6月に増加していたが, 外部負荷と考えられるD-CODは3月から9月に高く, 11月から2月に低くなるような傾向を示した。

図4は水温とChl-aの変動を示したが, 水温が最高となる7, 8月の少し以前にChl-aの増大が認められた。そこで, 各態のCODとChl-aの相関を調べてみると, 懸濁態CODとChl-aにはR<sup>2</sup>=0.7以上の良い相関があり, 初夏にCODが増大しているのは藻類の増殖による内部生産と思われる。(図5)

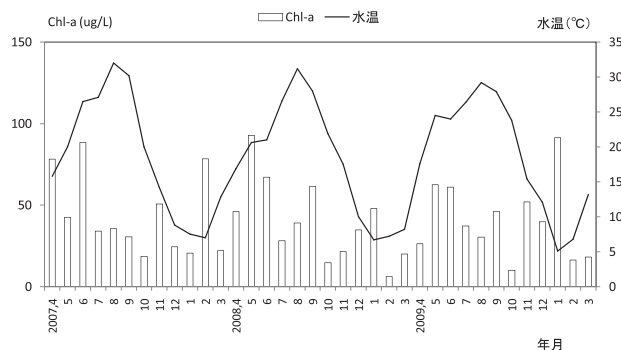


図4 湖心におけるChl-aの変動

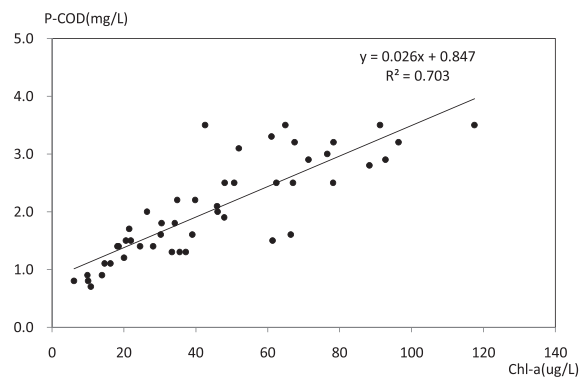


図5 湖心におけるChl-aとP-CODの関係

### 3.2 TOCとDOCの季節変動

湖心のTOCの変動を図6に示す。CODと同様に棒グラフの下部が溶存態, 上部が懸濁態である。TOCは4月から9月にかけて増加し, 11月から2月にかけて減少する傾向が見られた。3.1でも述べたが, 内部生産による懸濁態CODは4月から6月に増大しており, 懸濁態CODと相関があるTOCも同様に増加している。DOCは4月から8月に増加して, 11月から2月に減少する傾向が見

られた。3月から8月は植物プランクトンによる内部生産や有機物の分解によってDOCが供給されたと考えられた。湖心のDOC/TOC比は44%~90%になり、DOCが湖心の有機物量の主要な部分を占めていることが明らかとなった。

DOCとDOMはほぼ等しいと考えられており<sup>4)</sup>、児島湖では有機物の半分以上をDOC = DOMが占めていることから<sup>5)</sup>、DOMの削減がより一層のCOD削減に繋がることを示唆している<sup>3)</sup>。

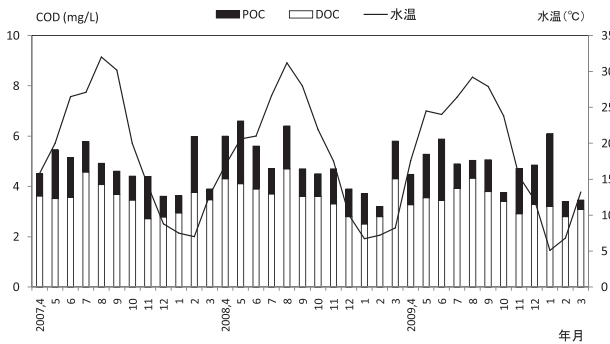


図6 湖心でのTOCの変動

### 3.3 窒素の挙動

図7に湖心の水温と各態窒素の挙動を示したが、特徴的なことは全窒素が11月から3月に高濃度を示すことがあることである。一般の湖沼等では夏期に窒素の増加が観測される場合が多く<sup>7)</sup>、児島湖は異なった挙動である。児島湖の夏期に全窒素が減少するのは水量の増加と脱窒作用の活性化によると考えられている<sup>8)</sup>が、冬期の増加は農地からの麦肥料の流出と考えられている<sup>9)</sup>。図8に児島湖に隣接する児島湾西北七区干拓地排水機場での全窒素の変動を示した。

児島湖の直近周辺は干拓農地が広がり、裏作として麦

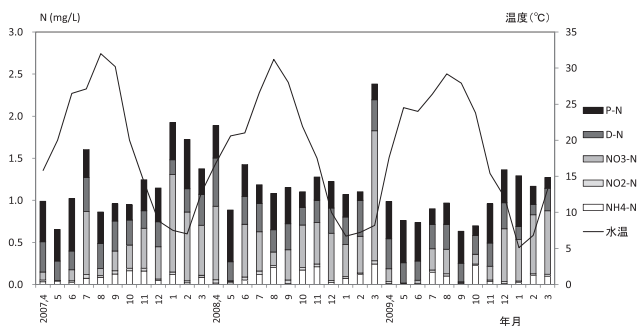


図7 湖心における各態窒素の変動

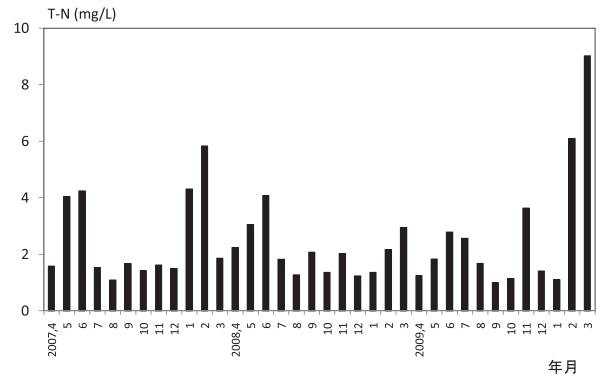


図8 七区排水機場における全窒素の変動

が盛んに作付けされており、春先に投入される肥料が流亡して高濃度のまま児島湖に流出する可能性があり、児島湖近傍干拓地の冬期の農業用排水路の調査によって検証する必要がある。

各態窒素では夏期にNO<sub>3</sub>-Nの減少が観測された(図7)。内部生産による懸濁物質への形態変化も考えられるが、図9に示すようにChl-aとは全く相関がないことから、脱窒による大気中への窒素ガス放出が主要な要因と考えられる<sup>10)</sup>。児島湖の脱窒活性は測定されていないため、今後、脱窒活性の測定が必要と思われる。

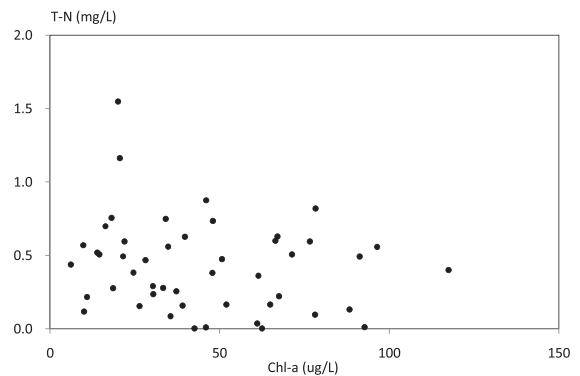


図9 湖心でのChl-aとT-Nの関係

また、NH<sub>4</sub>-Nも夏期に増加している(図7)が、これは底泥からの溶出と思われる。児島湖流入河川の一つである笹ヶ瀬川でのNH<sub>4</sub>-Nの溶出速度は最大223 mg/m<sup>2</sup>/dと見積もられており<sup>11)</sup>、河川部で溶出したNH<sub>4</sub>-Nが湖内まで影響していたと考えられる。

### 3.4 リンの挙動

図10に湖心におけるリンの挙動を示す。特徴的なことは、水温が上昇する5月から9月に急激に増加し、11月から3月は減少することである。濃度の急上昇はPO<sub>4</sub>-P

の増加によることが図10から読み取れる。PO<sub>4</sub>-Pは水温がピークになる7, 8月よりも以前の5, 6月に増加しており、夏期のPO<sub>4</sub>-Pは必ずしも内部生産には寄与していなかったと考えられる。

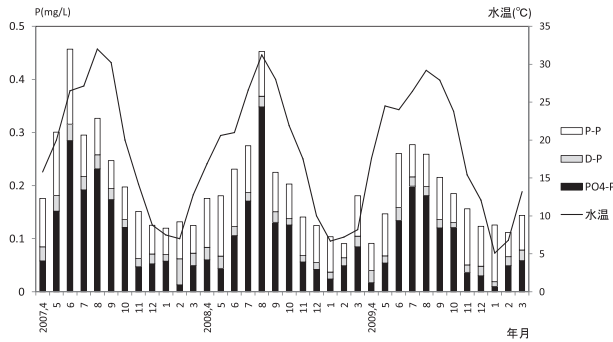


図10 湖心における各態リンの変動

PO<sub>4</sub>-Pの供給源として底泥からのリンの溶出が考えられる。筆者らが行った夏期の溶出実験では3.52 mg/m<sup>2</sup>/dの溶出速度が得られている。児島湖全域がこの溶出速度であったと仮定し、平水時であった平成20年8月の児島湖排水量から計算される水量<sup>13)</sup>で割ると0.023 mg/Lが得られた。これは平成20年8月の湖心のPO<sub>4</sub>-Pの濃度0.267 mg/Lの10%程度であった。その他の供給源としては懸濁態有機物の分解も考えられ、これについては現在検討中である。

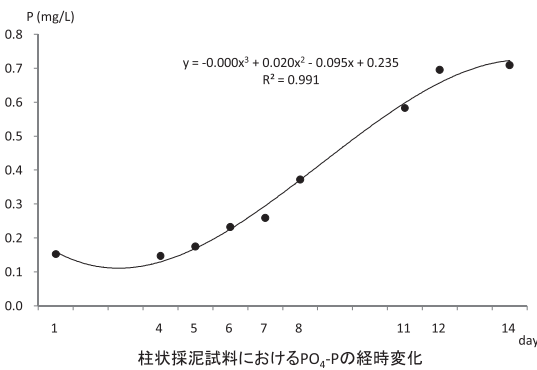


図11 リンの溶出実験

### 3.5 主成分分析

児島湖の水質特性を探るため16項目を用い、主成分分析を行い検討した<sup>14)</sup>。表1に第3主成分までの主成分負荷量を、図12に第1主成分負荷量と第2主成分負荷量の散布図を示すが、第1主成分はP-COD, IL, Chl-a, POC, T-BODの主成分負荷量が大きいため内部生産、

第2主成分は水温, T-P, D-COD, 水量, 降雨量の主成分負荷量が大きいため降雨に伴う外部負荷, 第3主成分はECとClの主成分負荷量が大きいため海水の浸入を表す軸と考えられた。

表1 主成分負荷量

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
水温	-0.107	0.867	0.265
透視度	-0.662	-0.511	-0.166
降雨量	-0.054	0.608	-0.394
DO	0.473	-0.694	-0.434
Chl-a	0.891	0.051	-0.256
EC	0.571	-0.324	0.537
D-COD	0.097	0.780	-0.180
P-COD	0.930	-0.082	-0.083
T-BOD	0.726	0.112	-0.431
Cl	0.559	-0.304	0.526
DOC	0.032	0.382	-0.075
POC	0.887	-0.045	-0.244
SS	0.579	0.449	0.375
IL	0.927	0.213	0.053
T-P	0.065	0.854	0.212
T-N	-0.004	-0.169	-0.591
水量	-0.189	0.753	-0.386

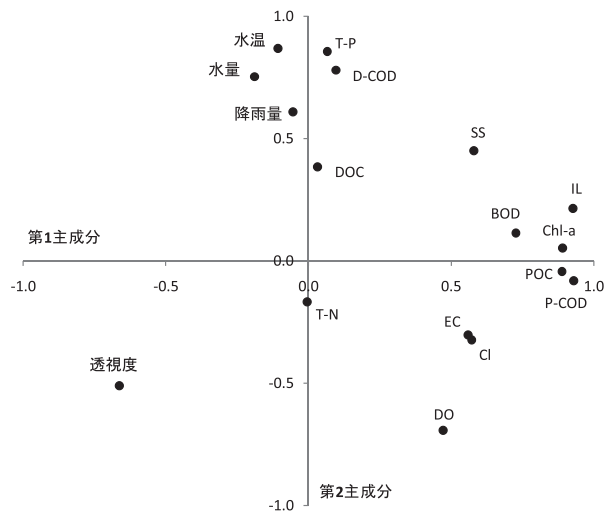


図12 主成分負荷量の分布

3.1, 3.2から、外部からの流入負荷が児島湖の水質に大きな影響を与えていると考えられたが、主成分分析の結果では内部生産の影響が大きかった。これは主成分分析が各項目の特徴的な変動を抽出した結果であり、年間をとおして6割程度を占めるほぼ一定の外部負荷があり、それに加えて内部生産の変動が児島湖の水質変動を表していると考えられる<sup>14)</sup>。第2主成分, 第3主成分では児島湖の水位変動に関係した項目が抽出されており、水量の増加が水質浄化には重要であることを示していると思われる<sup>15)</sup>。

#### 4 まとめ

指定湖沼である児島湖の水質について経年的な調査を行い、以下のような結果を得た。

児島湖のT-CODは3月から6月に高くなり、D-CODは3月から9月に高くなった。P-CODはChl-aと相関が強く、内部生産によるものと考えられた。TOCはT-CODと同じような挙動を示し、DOCもD-CODと同じような挙動であった。DOCがDOMを表しているとするならば、児島湖の有機物量の大部分が難分解性であると考えられた。

全窒素は11月から3月に増加する傾向があり、周辺農地から流出した肥料が排水路から直接児島湖へ流入するためと考えられ、周辺排水路等の調査を行う必要があった。

リンは5月から9月に $PO_4\text{-P}$ の増加により極めて高濃度になっていた。底泥からの溶出実験では $3.52\text{ mg/m}^2/\text{d}$ の溶出速度が得られており、 $PO_4\text{-P}$ を $0.023\text{ mg/L}$ 上昇させると推定された。

主成分分析の結果からは内部生産、外部負荷、海水の浸入に関連した軸が抽出され、児島湖の水質はこれらが複雑に関連していると考えられた。

#### 文 献

- 1) 岡山県生活環境部環境管理課：児島湖ハンドブック（平成20年版），2008
- 2) 全国湖沼環境保全対策推進協議会：全国湖沼資料集，平成10年度～平成20年度
- 3) 環境省水環境部：湖沼水質保全対策・総合レビュー検討調査報告書③琵琶湖編，2005
- 4) 小松，今井，松重，奈良，川崎：三次元励起蛍光スペクトル法による霞ヶ浦湖水及び流域水中DOMの特性評価，水環境学会誌，Vol.31，No.5，2008
- 5) 野上，西，島村，宮永：児島湖流域河川における有機汚濁物質の特性，水環境学会誌，Vol.28，No.3，2005
- 6) 西條八束，三田村緒佐武：新編湖沼調査法，講談社，東京，（1995）
- 7) 岡山県：児島湖総合水質改善対策推進事業委託業務報告書，2002
- 8) 岡山県：児島湖水環境改善対策推進事業報告書，2007
- 9) 岡山県：平成21年度児島湖流域流出水実態把握調査事業結果，2010
- 10) 鷹野，村上，生本，荻野：児島湖における栄養塩の挙動，第30回日本水環境学会年会講演集，1996
- 11) 岡山県：平成21年度児島湖環境負荷影響調査業務調査結果報告書，2010
- 12) 鷹野，藤田，坂本，宮崎：児島湖に関する調査研究（1）流入河川での溶存態有機物，栄養塩の挙動，岡山県環境保健センター年報，Vol.33，2009
- 13) 岡山県：平成15年度～平成20年度児島湖締切堤防樋門操作月報
- 14) 国土交通省：湖沼における水理・水質管理の技術，2007
- 15) 河原：滞留日数短縮および浮遊性物質除去による児島湖水質改善効果の検討，平成18年度児島湖協働研究事業報告書，2007