

兎島湖に関する調査研究

(3) 溶存性有機物の挙動と郷内川の汚濁負荷について

鷹野 洋, 藤田和男, 難波 勉, 坂本祐基 (水質科)

【調査研究】

## 児島湖に関する調査研究 (3) 溶存性有機物の挙動と郷内川の汚濁負荷について

Studies on the Lake KOJIMA

(3) Behavior of Dissolved Organic Matter and Pollution Loading from the GOUNAI river

鷹野 洋, 藤田和男, 難波 勉, 坂本祐基 (水質科)

Hiroshi Takano, Kazuo Fujita, Tsutomu Nannba, Yuuki Sakamoto

### 要 旨

指定湖沼の児島湖について、水質汚濁の一因と考えられる溶存態有機物や栄養塩の分解挙動を調べたところ、高温期には有機物は分解されたが、低温期には溶存態有機物はほとんど分解されなかった。アンモニア態窒素は高温期には硝化作用で減少したが、低温期には増加する傾向であった。リン酸態リンは年間を通して増加する傾向であった。流入河川では倉敷川支流の郷内川が上流部の生活排水と農業排水で汚濁しており、非灌漑期には倉敷川の汚濁負荷量の30%～50%を占め、郷内川の浄化対策が必要であった。郷内地区は下水道工事が行われており、今後生活系負荷は減少すると考えられた。

[キーワード：児島湖、溶存態有機物、栄養塩、生活排水、汚濁負荷量]

[Key words : Lake KOJIMA, Dissolved Organic Matter, Nutrients, Waste water, Pollution Loading]

### 1. はじめに

指定湖沼に指定されている児島湖は、湖沼水質保全計画の策定や実施、下水道整備や湖底の浚渫など、岡山県、流域市町及び国による水質改善対策の進展により、平成21年度は昭和60年度の指定以来初めて窒素の環境基準1 mg/Lを達成した。しかし、CODとリンについては改善傾向にはあるものの、未だ環境基準の達成には至っていない<sup>1), 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>。児島湖では有機物の半分以上をDOMが占めている<sup>5)</sup>ことから、DOMの挙動を知ることは今後の浄化対策を考える過程において重要である。

今回、児島湖水の分解実験を行い、DOM等の分解特性を調べたので報告する。また、倉敷川支流の郷内川は生活系と農地系の負荷量が極めて大きく、郷内川から児島湖へ流入するDOMや栄養塩の割合も大きかったので、汚濁負荷の特徴と削減の方法について検討した。

### 2. 方法

#### 2.1 調査地点

児島湖内の調査地点は図1(a)に示す5地点、倉敷川支流の郷内川は図1(b)の6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から中旬頃に行った。試料は速やかに持ち帰り、分析に供した。

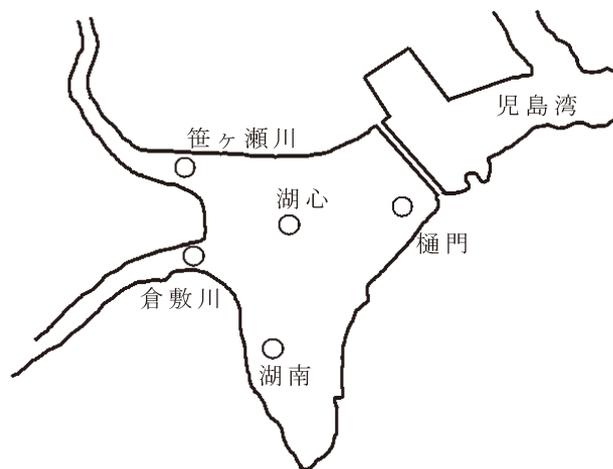


図1(a) 児島湖の調査地点



図1 (b) 倉敷川と郷内川の調査地点

### 2.3 分析方法

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 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 亜硝酸態窒素 ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), アンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), 溶存態リン (D-P), リン酸態リン ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) は whatman GF/C でろ過したろ液を JIS K0102 にしたがって分析した。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成分を差し引いて求めた。流量は東洋電探製 TX-105X で求めた流速に河川の断面積を乗じて求めた<sup>6)</sup>。

有機物の分解試験は採水時の水温で 24 日間静置培養し, その後分析に供した。一般に DOM の分析では  $20^\circ\text{C}$ , 100 日間の振とう培養が行われている<sup>7)</sup>が, 児島湖の滞留日数は平均 20 日と短い<sup>8)</sup>ため, 培養日数は平均滞留日数に近い 24 日間とした。また, 培養温度は児島湖の水温が夏期は約  $30^\circ\text{C}$ , 冬期は約  $5^\circ\text{C}$  まで変化する<sup>2)</sup>ことから, 採水時の水温とした。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 平成 22 年度の児島湖

平成 22 年 (2010 年) 度は気象庁から異常気象情報が出されるほど全国的に夏期は高温であった<sup>9)</sup>。児島湖流域も例外ではなく岡山気象台の平均気温は  $30.5^\circ\text{C}$  と平年値よりも  $2.6^\circ\text{C}$  も高くなり, 降水量も 7 月下旬から 8 月中旬の 1 ヶ月間は 11 mm の降雨しかなく, 平年値の 90.5 mm に比べて少なかった<sup>10)</sup>。そのような異常高温の影響と思われるが, 7 月から 9 月にかけて児島湖で 13 年ぶり<sup>1)</sup>

に藍藻の *Anabena* sp. と *Microcystis aeruginosa* のアオコが発生した。また, 平成 23 年 (2011 年) 1 月は湯水の影響<sup>10)</sup>で児島湖の滞留日数が長くなり<sup>8)</sup>, 珪藻の *Cyclotella* sp. が大増殖したことが, Chl-a の平均値が前年よりも高くなった要因と考えられる (図 2)。

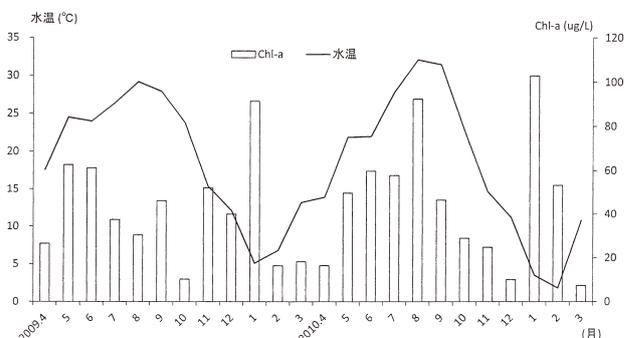


図 2 湖心における水温と Chl-a の変動

### 3.2 有機物の分解特性

図 3 に全 COD (T-COD) と溶存態 COD (D-COD) の分解実験の結果を示した。T-COD は未ろ過の試料をそのまま密封し, D-COD は whatman GF/C でろ過したろ液を密封したものを採水時の水温に設定した恒温器内で培養したものであり, 数字は 0 日目から 24 日後の値を差し引いており, グラフは 24 日間の分解試験期間における有機物の減少量を表している。

T-COD は 2009 年 6 月には分解前に  $8.1 \text{ mg/L}$  であったものが分解後は  $5.0 \text{ mg/L}$  となり, 分解率が 38% になるなど春期から夏期にかけて高い分解率を示したが, 秋期から冬期には分解率が悪くなり, 2010 年 12 月には分解前に  $4.3 \text{ mg/L}$  であったものが分解後は  $3.9 \text{ mg/L}$  となり, 分解率は 9.3% に低下した。T-COD は年間をとおしては 10% ~ 40% 程度分解されたが, 季節変動が激しいことと, 低温期に分解されにくい傾向が見られた。

2010 年 4 月からはろ液の分解試験も行った。2010 年 7 月には分解前の D-COD  $5.4 \text{ mg/L}$  が分解後に  $4.4 \text{ mg/L}$  と分解率が 18% になり, 春期から夏期にかけては 10% ~ 20% の分解率を示したものの, 秋期から冬期の低温期には分解率が 0% ~ 2.5% と殆ど分解されなかった。したがって, D-COD は高温期には 80 ~ 90%, 低温期には 95% 以上は難分解性有機物 (DOM) で占められていると考えられた。

図 4 に T-COD と D-COD の変動を示したが, 浄化作用を受けにくい D-COD = DOM が年間平均で  $4.7 \text{ mg/L}$ ,

T-CODに対する割合では約70%も存在しており、CODがなかなか減少しない一因と考えられた。

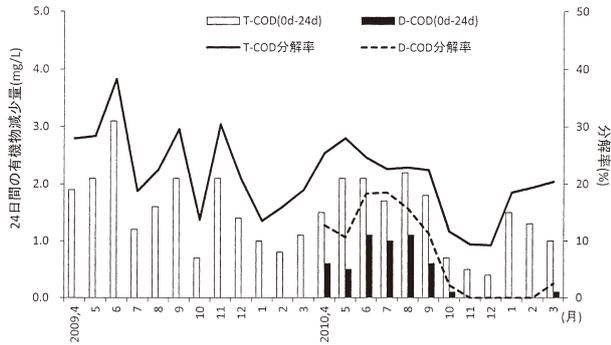


図3 湖心におけるT-CODとD-CODの分解

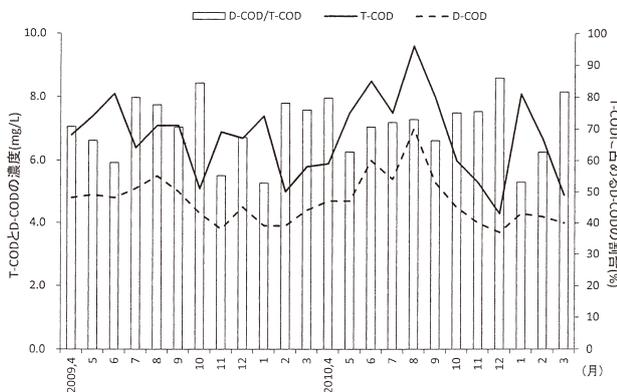


図4 湖心におけるT-CODとD-CODの変動

### 3.3 栄養塩の分解特性

栄養塩の分解に伴う挙動を調べ、図5にNH<sub>4</sub>-NとPO<sub>4</sub>-Pの増減を示した。CODの場合とは異なり、培養後に増加した場合をy軸の正方向にプロットしている。

平成21年度のNH<sub>4</sub>-Nは増減の変動は小さかったが、高温期に減少し、低温期に増加する傾向が見られた。平成22年度は8月にアオコが発生と1月は珪藻の増殖が観測された。NH<sub>4</sub>-Nは8月には培養前に0.031 mg/Lであったものが培養後に0.557 mg/Lに、1月には0.010 mg/Lであったものが0.302 mg/Lにそれぞれ増加した。これとは対照的に懸濁性有機物の指標である強熱減量(IL)は8月には9.3 mg/Lが2.4 mg/Lに、1月には9.6 mg/Lが5.6 mg/Lそれぞれ減少しており、試料中に含まれていた藻体が分解したことにより分解産物としてNH<sub>4</sub>-Nが増加したと考えられる。反対に、平成22年11月には分解前に0.224 mg/LであったNH<sub>4</sub>-Nが分解後は0.010 mg/Lに減少している。これは分解前のTOCが3.0 mg/Lと児島湖の平均値4.7 mg/Lの2/3程度と有機物が少なく、有機

物の分解によるNH<sub>4</sub>-Nの供給が減少して、水中の酸素によってNO<sub>2</sub>-NやNO<sub>3</sub>-Nに酸化されたと考えられる。平成22年8月をアオコによる特異なデータとして考えると、NH<sub>4</sub>-Nは高温期にはNO<sub>2</sub>-NやNO<sub>3</sub>-Nに酸化されて減少するが、低温期には増加する傾向にあると考えられる。

一方、PO<sub>4</sub>-Pは一部の例外はあるものの全体的に増加の方向であった。PO<sub>4</sub>-PはNH<sub>4</sub>-NがNO<sub>2</sub>-NやNO<sub>3</sub>-Nになるような形態変化が殆どなく、有機物の分解に伴って供給されたPO<sub>4</sub>-Pは溶存態のまま存在するか、懸濁物として沈殿すると考えられる。

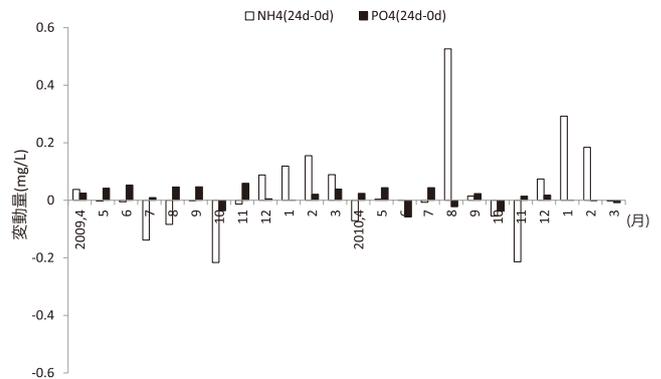


図5 分解実験におけるNH<sub>4</sub>-NとPO<sub>4</sub>-Pの変動

### 3.4 郷内川の変動

#### 3.4.1 藤戸橋

児島湖の主要な流入河川である倉敷川の調査を行ったところ、倉敷川の中流で合流している郷内川の窒素、リン濃度が非常に高濃度であることが判明し(図6)、倉敷川への負荷も大きいことが推測されたため、郷内川を対象として栄養塩等の調査を行った。(図1(b))

郷内川は倉敷川流域で唯一の自然河川であり、上流部は自然豊かな丘陵地帯であるが、中流域より下流は水田

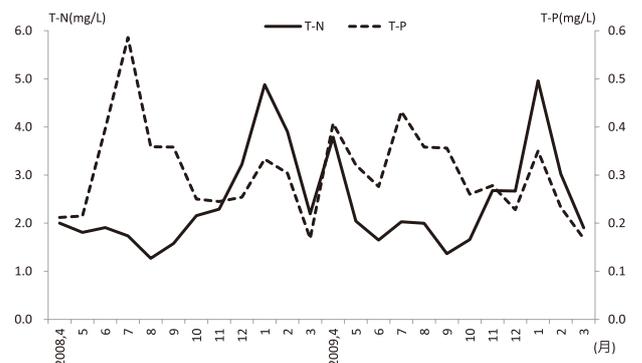


図6 藤戸橋における窒素とリンの濃度変動

が多く、住宅開発も盛んに行われている<sup>1)</sup>。測定点として図1(b)に示した郷内川の郷内上橋、藤戸橋及び福江川とし、合流地点直下の倉敷川稔橋を比較対象とした。図7(a)に藤戸橋のCODとBOD、図7(b)に稔橋の濃度変動を示したが、藤戸橋のCODは平均で7.8 mg/Lと稔橋の平均COD 5.6 mg/Lの約1.5倍と明らかに高く、夏期のみならず冬期にも濃度が上昇する傾向があった。図8(a)に藤戸橋、図8(b)に稔橋の全窒素と全リンを示したが、これらも藤戸橋は稔橋の約1.5倍程度であり、上流部からの汚濁負荷が大きいことがうかがえた。また、藤戸橋の特徴として夏期にリンが、冬期には窒素、リンの濃度が上昇していることであり、2種類の汚濁源が存在すると考えられた。

### 3.4.2 郷内上橋

藤戸橋の上流部である郷内上橋の結果を図9(a)にCODとBOD、図9(b)に窒素とリンの変動を示した。郷内上橋は8月にリンが0.619 mg/Lと高濃度を示し、藤

戸橋で夏期に見られるリンの高濃度はさらに上流部の影響があると考えられた。郷内上橋の上流部には住宅団地が2ヶ所あり、河川沿いは住宅が密集するとともに、水田と山林の占める割合も大きくなっている<sup>1)</sup>。図10(a)に郷内上橋での水量を示したが、夏期の8月は $2.6 \times 10^3$  t/dと農業用水の増加にともない郷内川の水量は増加するが、冬期の2月は $0.5 \times 10^3$  t/dと極端に減少し、約5倍の水量差が生じている。しかし、8月のリン濃度は0.62 mg/Lと2月の0.53 mg/Lに比べて高い濃度を示した。

ところで、郷内上橋の上流部では岡山県により水田の原単位調査が行われているが、計測されたリンの原単位は4.88 kg/年/haであり、これまで全国で調査された原単位の中でも大きい値を示している<sup>1)</sup>。したがって、この流域の土壌はリンの保持性が悪く、水系へ漏れやすい性質と考えられ、郷内上橋の夏期に見られるリンの高濃度は水田からの負荷と考えられた。

一方、冬期には窒素とリンが共に高い濃度となったが、周辺の水田は一期作で冬期は耕作されていないことか

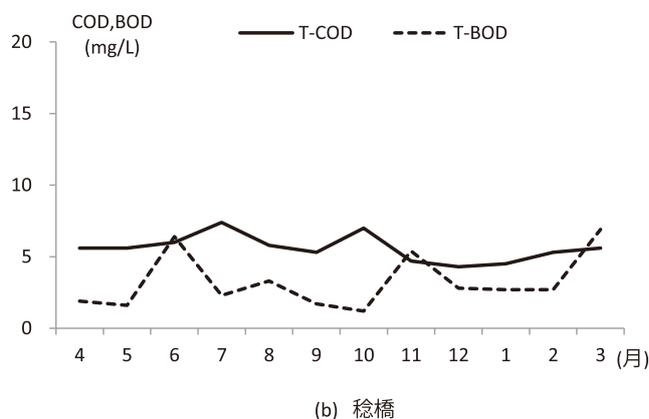
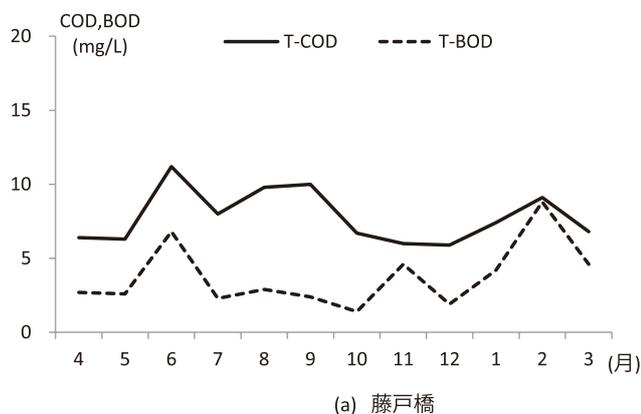


図7 藤戸橋と稔橋におけるCODとBODの変動

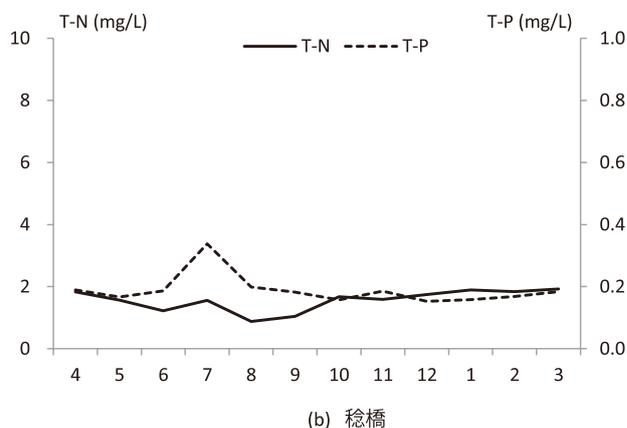
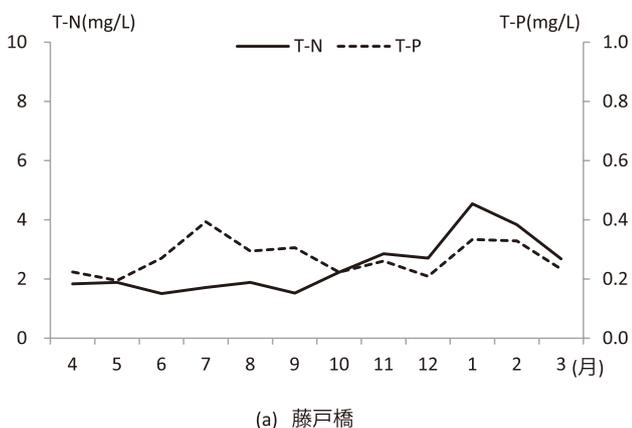
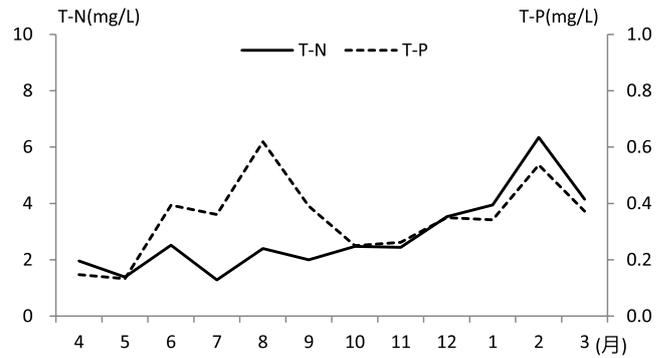
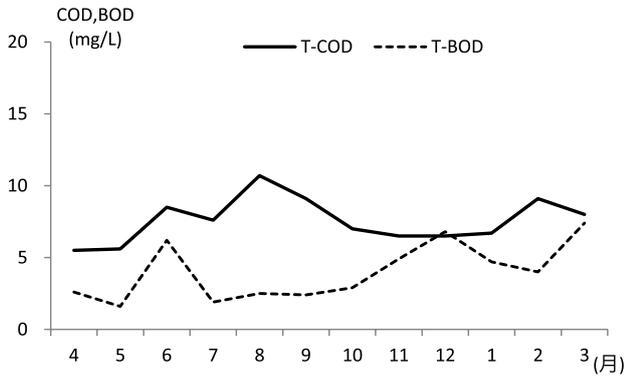


図8 藤戸橋と稔橋におけるT-NとT-Pの変動

ら、別の要因が考えられた。郷内川上橋での水量を図10(a)に示したが、冬期は水量が減少して汚濁源からの負荷が河川で希釈されていないこと、窒素とリンがほぼ同じような濃度変化を示していることから、定常的に河川に流入する生活系排水が汚濁源と考えられた。

### 3.4.3 福江川

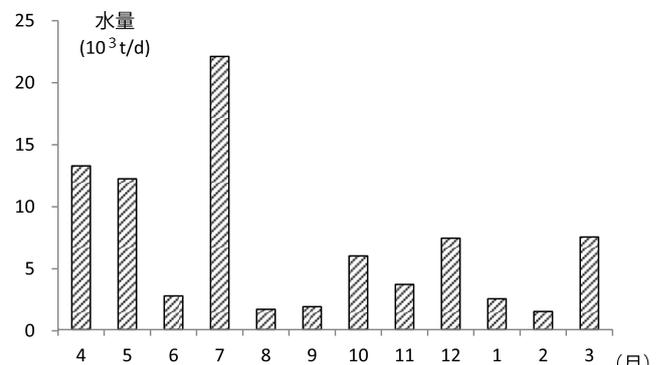
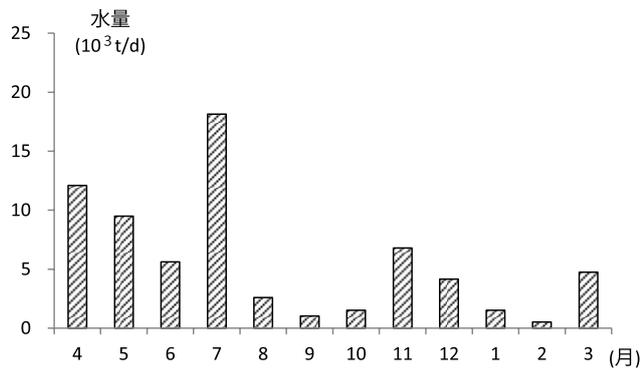
郷内上橋では福江川が郷内川へ合流しており(図1(b)), 郷内川に与える影響は大きいと思われる。図11(a)にCODとBODを示したが、夏期以外はBOD/COD比が高く、冬期にはCODよりもBODが高くなる場合が見ら



(a) COD, BOD

(b) T-N, T-P

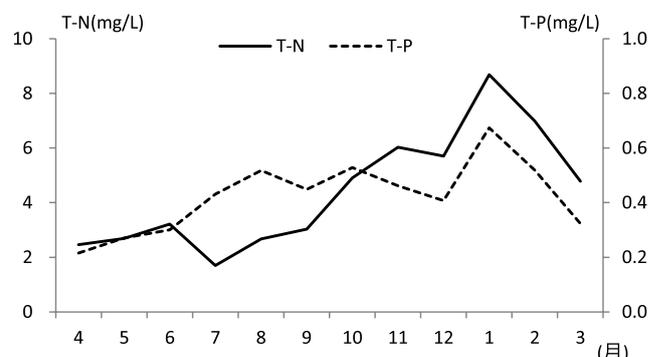
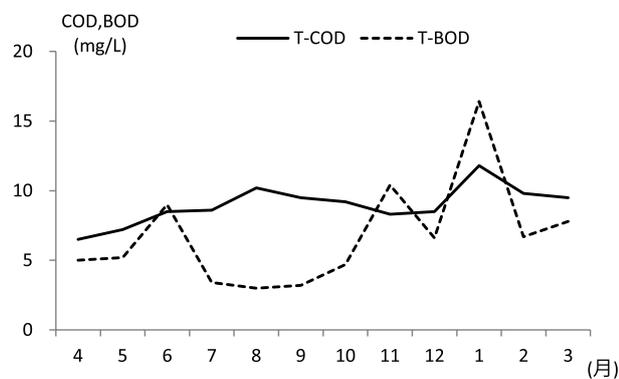
図9 郷内上橋における汚濁物質の変動



(a) 郷内上橋

(b) 福江川

図10 郷内上橋と福江川の水量変化



(a) COD, BOD

(b) T-N, T-P

図11 福江川における汚濁物質の変化

れ、未分解の有機物が多いことが推測された。図 11 (b) には窒素とリンの濃度変化を示したが、窒素は秋期から冬期に非常に高くなり、特に窒素が 8.6 mg/L と高くなっていた。これは藤戸橋の冬期に見られた窒素の濃度ピークと良く合致していた。リンはほぼ 1 年をとおして高濃度のままであったが、冬期に向かって高くなり、1 月は 0.67 mg/L と最大となっていた。図 10 (b) に示すように、福江川も灌漑期 (6 月～9 月) は農業用水の増加によって汚濁物は希釈されるが、非灌漑期 (10 月～5 月) になると農業用水がなくなり、生活排水が主要な水源になるとともに主要な汚濁源になっていると考えられる。

藤戸橋の濃度変化は夏期は郷内川上流の水田排水、秋期から冬期は生活排水が影響していることが明らかとなった。

### 3.4.4 郷内川の汚濁負荷量

これまで郷内川の水質について検討したが、採水と同時に水量を測定しており、濃度と水量から負荷量を算出し、図 12 (a) から (d) に各採水地点での窒素とリンの負

荷量の変動を示した。郷内上橋と福江川の負荷量の合計は藤戸橋の負荷量とほぼ同量であり、上流での負荷が下流の汚濁を左右していることが明らかとなった。また、稔橋に対する郷内川の負荷割合を図 13 に示したが、灌漑期 (6 月～9 月) は 1%～4% 程度であるものの、非灌漑期 (10 月～5 月) は 10%～20%、春期は 20%～50% にも達し、非灌漑期に兎島湖へ倉敷川から流入する負荷の主要な部分を郷内川が占めていることが明らかとなった。

郷内川は冬期に窒素、リンの濃度や負荷量が増加することから、要因として生活系排水の負荷が考えられた。そこで、土地利用形態が割合に単純で、河川からの負荷量が大い福江川について、統計資料<sup>11), 12)</sup>と原単位<sup>11)</sup>から窒素の発生負荷量を算出し、河川流量で割って濃度換算したものを図 14 に示した。年間の濃度レベルと変動パターンが観測結果とほぼ一致しており、福江川は主に生活系負荷、ついで農地系負荷によって汚濁し、郷内川へ流入していることが明らかとなった。

平成 21 年度現在の郷内地区の下水道整備率は約 12%

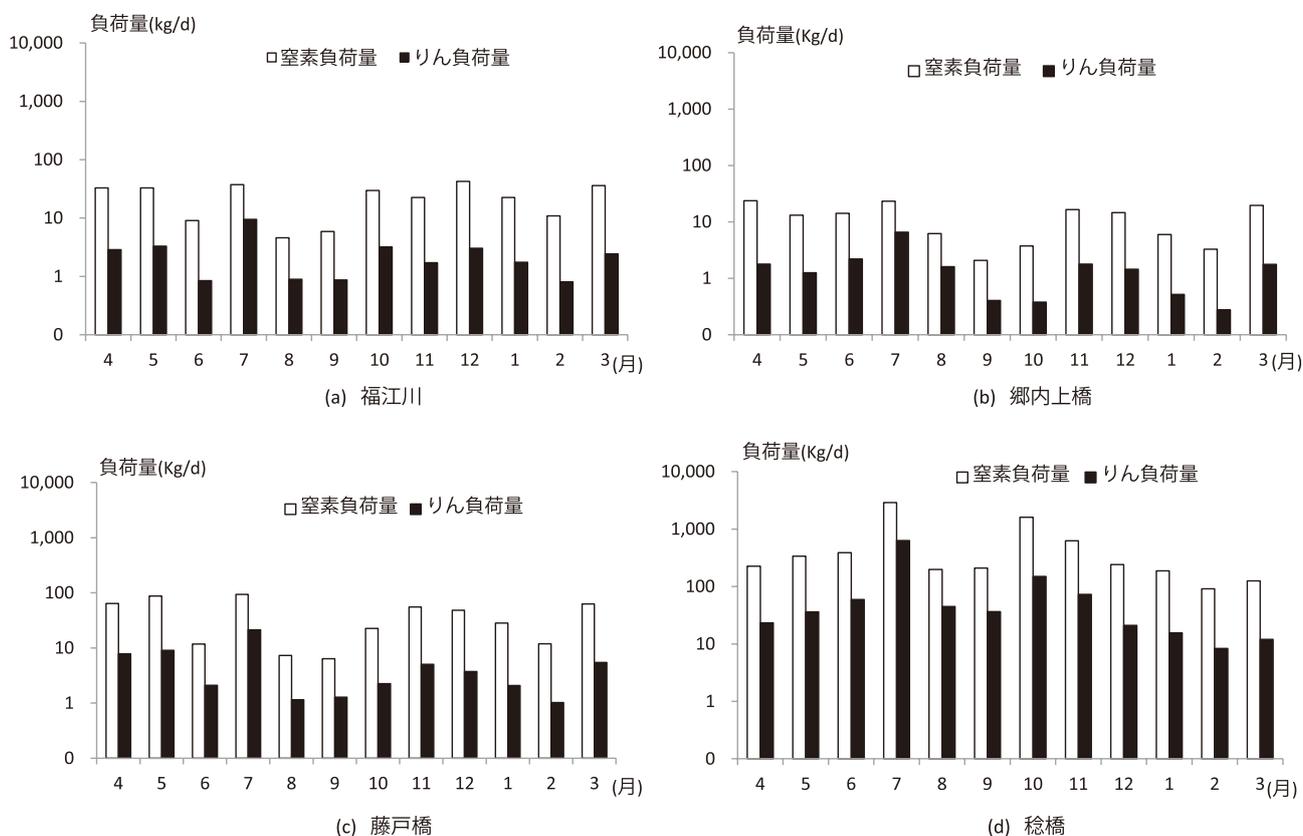


図 12 郷内川における汚濁負荷量の変動

と低くなっているが、下水道工事は盛んに行われており、下水道整備が完了すれば福江川や郷内川からの生活系負荷は大きく減少し、郷内川の負荷も大部分が削減されると思われる。

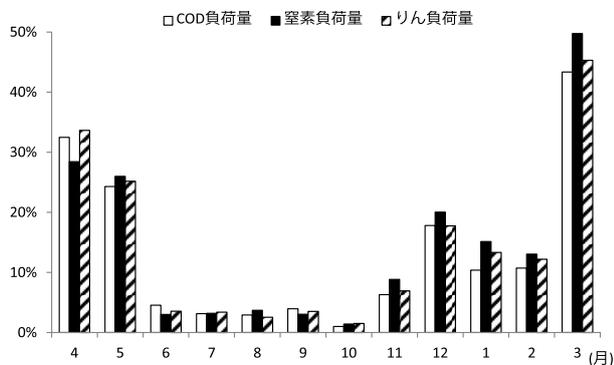


図 13 穂橋に対する藤戸橋の負荷割合の変動

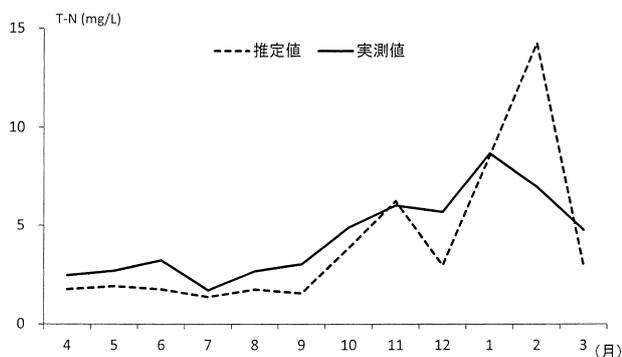


図 14 福江川における窒素の実測値と原単位による推定値

#### 4. まとめ

児島湖の水質と流入河川の状態を調査し、以下のよう  
な結果を得た。

平成 22 年度の児島湖は夏期のアオコ発生と冬期の珪藻増殖で水質は悪化した。T-CODは年間をとおして 10%～30%程度分解したが、D-CODは高温期でも 10%～20%程度の分解率であった。NH<sub>4</sub>-Nは高温期に減少し、低温期に増加する傾向を示し、PO<sub>4</sub>-Pは年間をとおして増加する傾向であった。

郷内川の上流での濃度及び負荷量は下流の変動とほぼ

一致した。原単位や水量から計算すると、灌漑期(6月～9月)は水田排水、非灌漑期(10月～5月)は生活排水が郷内川からの主要な汚濁源と考えられた。郷内川からの負荷量は、非灌漑期には倉敷川の負荷量の 30%～50%に達し、児島湖の主要な負荷源と考えられた。

郷内地区の下水道整備が完了すれば生活系負荷は大きく減少し、児島湖への負荷量の大幅な削減が期待される。

#### 引用文献

- 1) 岡山県環境文化部環境管理課：児島湖ハンドブック(平成 22 年度版), 2011
- 2) 岡山県：平成 21 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2010
- 3) 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
- 4) 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
- 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) (社)日本河川協会：建設省河川砂防技術指針(案)同解説 調査編, 山海堂, 東京(2006)
- 7) 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
- 8) 岡山県：平成 15 年度～平成 20 年度児島湖縮切堤防樋門操作月報
- 9) 気象庁：平成 22 年(2010 年)夏の異常気象分析検討会報道発表資料
- 10) 岡山地方気象台：2010 年 7 月, 8 月, 2011 年 1 月気象月報
- 11) 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
- 12) 倉敷市資料