

【調査研究】

## 児島湖流入河川下流域の内部生産(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—

藤田和男, 北村雅美, 斎藤直己 (水質第一科)

### 要 旨

児島湖湖心および主な流入河川である笹ヶ瀬川および倉敷川において, COD, クロロフィル a (*Chl.a*) と窒素・リンの関係について1997年から2005年にかけて調査を行った。水質調査結果をモデル式に当てはめ, 1997~2000年度における現況再現のための計算を行った。COD, T-N (全窒素) およびT-P (全リン) についての計算結果は概ね実測値と一致しており, 季節的な変化も再現されていた。しかし実測されている *Chl.a* の1997年冬期および1998年冬期での高い値, および  $PO_4-P$  の1998年夏期での高い値は再現されなかった。

[キーワード: 児島湖, COD, クロロフィル a, 全窒素, 全リン]

### 1 はじめに

水域で増殖した植物プランクトンは, 内部生産 COD となり全 COD を増加させることから, 水質浄化対策を行う場合, 植物プランクトンの発生特性を把握しておくことは重要であると考えられる。

これまでの報告<sup>1)</sup>において, 児島湖への二大流入河川である笹ヶ瀬川, 倉敷川の下流域において著しい内部生産が発生していることを指摘するとともに, 懸濁態 COD (以下 P-COD とする) のほとんどが内部生産そのものであること, 細胞の増殖によるクロロフィル a (以下 *Chl.a* とする) の増加に伴って P-COD/*Chl.a* 比が減少することが明らかになった<sup>2)</sup>。また昨年度は水の濁りに関する測定項目である懸濁物質 (SS), 強熱減量 (IL), *Chl.a*, 懸濁態 COD (P-COD), 懸濁態 TOC (POC) と, 植物プランクトンに吸収された窒素・リンである懸濁態窒素 (以下 P-N) および懸濁態リン (以下 P-P) がほぼ直線的な関係にあることがわかった<sup>3)</sup>。

本年度は児島湖および流入河川の水質調査結果をもとに, 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。

### 2 材料および方法

調査地点は, 図1に示すように, 笹ヶ瀬川について

は, ①比丘尼橋, ②白石橋, ③今保通学橋, ④相生橋, ⑤笹ヶ瀬橋, ⑥浦安西上2, ⑦浦安西, ⑧笹ヶ瀬新橋, ⑨笹ヶ瀬川河口の9地点, 倉敷川については, ⑩下灘橋, ⑪盛綱橋, ⑫稔橋, ⑬倉敷川橋, ⑭新倉敷川橋, ⑮倉敷川河口の6地点, 児島湖については, ⑯湖心, ⑰樋門, ⑱湖南の3地点である。1997年4月~1999年3月までは地点②~⑤および⑧~⑱で年に12回, 1999年4月~2001年3月までは地点①~②, ④~⑤および⑧~⑱で年に12回, 2001年4月~2002年3月までは地点④~⑤, ⑦~⑨, ⑫および⑭~⑱で年に4回, 2002年4月~2003年3月までは地点④~⑨で年に4回, 2003年4月~2005年3月までは地点④~⑧および

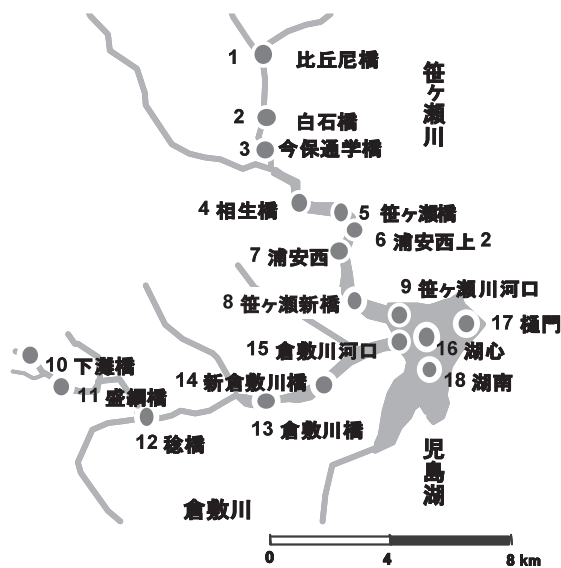


図1 調査地点

⑯で年に4回採水を行った。

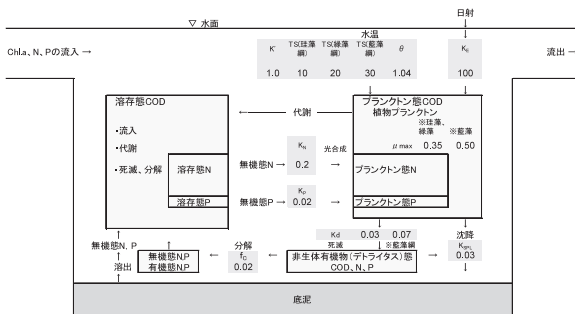
分析項目のうち、COD、全窒素 (T-N)、全リン (T-P)、SS、IL、TOC、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pは工場排水試験法 K0102<sup>4)</sup>に準じて、また *Chl.a* については吸光光度法<sup>5)</sup>により測定した。なお、サンプルを濾紙 (Whatman, GF/C) により濾過し、濾液の COD を溶存態 COD (D-COD) とし、COD から D-COD を差し引いた値を懸濁態 COD (P-COD) とした。懸濁態有機炭素 (POC)、懸濁態窒素 (P-N) および懸濁態リン (P-P) についても P-COD と同様に濾液との差から懸濁態の値を求めた。

水質モデルの概念図を図2に示す。水質モデル式について、植物プランクトンの増殖は *Chl.a* で表されるものとし、以下の式<sup>6)</sup>により計算した。

$$\frac{dChl.a}{dt} = \frac{Chl.a_{in}}{\tau} + dG_P \cdot Chl.a - k_d \cdot K_{TW} \cdot Chl.a - \frac{k_{SPL}}{H} \cdot Chl.a - \frac{Chl.a}{\tau}$$

ここで、*Chl.a*:クロロフィル a (mg/L), *Chl.a<sub>in</sub>*:流入水のクロロフィル a (mg/L), *G<sub>P</sub>*:増殖速度 (1/day), *k<sub>d</sub>*:死滅速度 (1/day), *K<sub>TW</sub>*:水温に関する影響因子 (-), *T*:水温 (°C), *k<sub>SPL</sub>*:沈降速度 (m/day), *H*:水深 (m), *τ*:平均滞留時間 (day)。

(a)



(b)

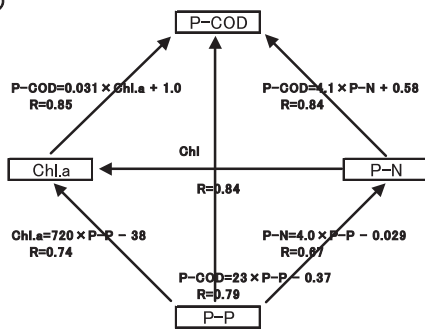


図2 モデル図

(a): 概念図, (b): *Chl.a*, P-COD および P-N, P-P の関係

式中の *G<sub>P</sub>* (増殖速度) および *K<sub>TW</sub>* (水温に関する影響因子) は以下の式<sup>6)</sup>で示される。

$$G_P = \mu_{max} \frac{N_d}{K_N + N_d} \cdot \frac{P_d}{K_P + P_d} \cdot \frac{E}{K_E + E} \left( \frac{T}{T_s} \exp \left( \frac{T_s - T}{T_s} \right) \right)^3$$

$$K_{TW} = \theta^{T-25}$$

*μ<sub>max</sub>*:最大比増殖速度 (1/day), *N<sub>d</sub>*:無機態窒素 (mg/L), *P<sub>d</sub>*:無機態リン (mg/L), *K<sub>N</sub>*:N半飽和定数 (mg/L), *K<sub>P</sub>*:リン半飽和定数 (mg/L), *E*:日射量 (cal/cm<sup>2</sup>/day), *K<sub>E</sub>*:日射量半飽和定数 (cal/cm<sup>2</sup>/day), *T<sub>s</sub>*:増殖に最適な水温 (°C), *θ*:水温に関する係数1.04 (-)。

窒素については、以下の式<sup>6)</sup>で示される。

$$\begin{aligned} \frac{d(T-N)}{dt} &= \frac{d(A-N)}{dt} + \frac{d(O-N)}{dt} + \frac{d(D-N)}{dt} \\ \frac{d(A-N)}{dt} &= \xi_N \cdot \frac{d(Chl.a)}{dt} \\ \frac{d(O-N)}{dt} &= \frac{O-N_{In}}{dt} + \xi_N \cdot k_d \cdot K_{TW} \cdot Chl.a - \xi_N \cdot \frac{k_L}{H} \cdot Chl.a - \xi_N \cdot \frac{O-N}{\tau} \\ \frac{d(O-N)}{dt} &= \frac{I-N_{In}}{\tau} - \xi_N \cdot G_P \cdot Chl.a + f_N \cdot K_{TW} \cdot (O-N) \cdot \frac{D_N}{H} - \frac{I-N}{\tau} \end{aligned}$$

ここで、T-N:全窒素 (mg/L), P-N:懸濁態窒素 (mg/L), D-N:溶存態窒素 (mg/L), A-N:植物プランクトン窒素 (mg/L), O-N:有機態窒素 (mg/L), I-N:無機態窒素 (NO<sub>3</sub>-N+NO<sub>2</sub>-N+NH<sub>4</sub>-N) (mg/L), I-N<sub>In</sub>:流入水の無機態窒素 (mg/L), *ξ<sub>N</sub>*:植物プランクトンと窒素の換算係数 (-), *k<sub>SN</sub>*:有機態窒素沈降速度 (m/day), *f<sub>N</sub>*:有機態窒素分解速度 (1/day), *D<sub>N</sub>*:湖底からの I-N 溶出速度 (g/m<sup>2</sup>/day)。

また、リンについては、

$$\begin{aligned} \frac{d(T-P)}{dt} &= \frac{d(A-P)}{dt} + \frac{d(O-P)}{dt} + \frac{d(D-P)}{dt} \\ \frac{d(A-P)}{dt} &= \xi_P \cdot \frac{d(Chl.a)}{dt} \\ \frac{d(O-P)}{dt} &= \frac{O-P_{In}}{\tau} + \xi_P \cdot k_d \cdot K_{TW} \cdot Chl.a \\ \frac{d(T-P)}{dt} &= \frac{d(A-P)}{dt} + \frac{d(O-P)}{dt} + \frac{d(D-P)}{dt} \end{aligned}$$

$$\frac{d(A - P)}{dt} = \xi_P \cdot \frac{d(Chl.a)}{dt}$$

$$\frac{d(O - P)}{dt} = \frac{O - P_{In}}{\tau} + \xi_P \cdot k_d \cdot K_{TW} \cdot Chl.a - \xi_P \cdot \frac{k_L}{H} \cdot Chl.a - \xi_P \cdot \frac{O - P}{\tau}$$

$$\frac{d(O - P)}{dt} = \frac{I - P_{In}}{\tau} - \xi_P \cdot G_P \cdot Chl.a + f_P \cdot K_{TW} \cdot (O - P) \cdot \frac{D_P}{H} - \frac{I - P}{\tau}$$

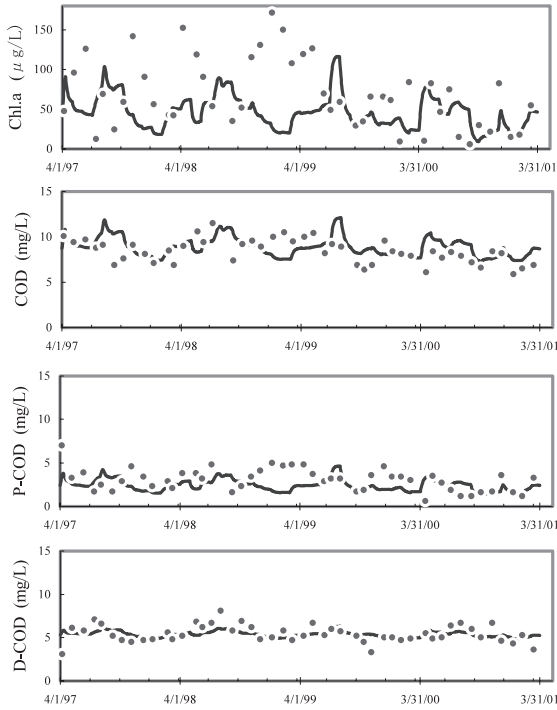


図3 Chl. a および COD 実測値および計算結果  
●：実測値，－：計算値

ここで、T-P：全リン (mg/L)，P-P：懸濁態リン (mg/L)，D-P：溶解態リン (mg/L)，A-P：植物プランクトン態リン (mg/L)，O-P：有機態リン (mg/L)，I-P：無機態リン (PO<sub>4</sub>-P) (mg/L)，I-P<sub>In</sub>：流入水の無機態リン (mg/L)，ξ<sub>P</sub>：植物プランクトンとリンの換算係数 (-)，k<sub>SP</sub>：有機態リン沈降速度 (m/day)，f<sub>P</sub>：有機態リン分解速度 (1/day)，D<sub>P</sub>：湖底からのI-P 溶出速度 (g/m<sup>2</sup>/day)。

モデル式中の各項目 (P-N，P-P，Chl.a および P-COD) 間の関係式について，前報<sup>3)</sup>で得られた式を用いた (図2 (b))。

シミュレーション計算において，計算式中の定数値はおもに報告値<sup>9)</sup>等に従っており，これらを図2中に示す。その他，湖の平均滞留時間<sup>7)</sup>，窒素・リンの負

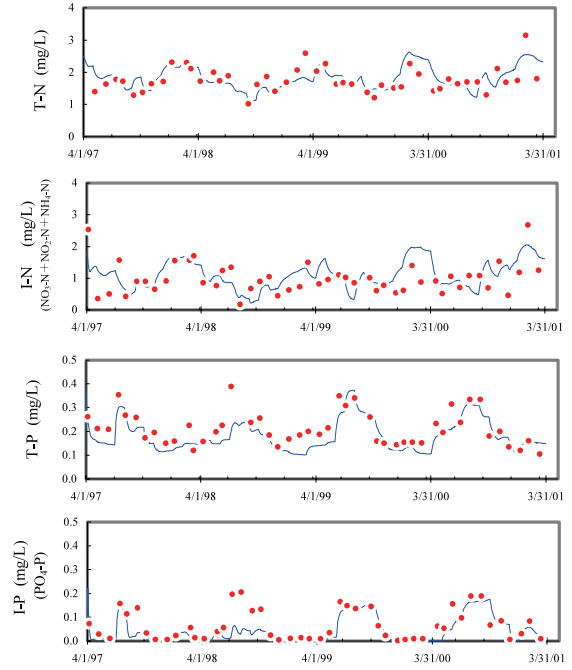


図4 T-N，I-N および T-P，I-P 実測値および計算結果

●：実測値，－：計算値

荷量に関して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<sup>8)</sup>，日射量 (1961~1990年の平均値：日本気象協会) 値を用いた。

流入負荷について，ある月の流入河川水質 (窒素，リン，Chl.a) はその月の1日~月末まで同じとし，笹ヶ瀬橋および倉敷橋での月ごとの実測値および流量から負荷量を計算した。

モデル中の植物プランクトン種 (綱) として珪藻綱，緑藻綱および藍藻綱を設定し，各綱の最適水温を10℃，20℃および30℃とした。また種 (綱) 構成は1999年度前後で大きく違っており<sup>1),9),10),11)</sup>，この違いをモデルで表す為に，流入水中の種 (綱) 構成比を，1998年度までは珪藻綱：緑藻綱：藍藻綱=8：1：1，1999年度以降は10：0：0 (珪藻綱のみ湖内に流入する) とした。

計算における時間ステップは24時間とした。

### 3 結果および考察

水域のモデル化について，一般に地形が単純で，湖内水質が水平方向に均一である場合は1ボックスモデル，水平方向の水質分布が問題となる場合は数ボックスモデルが用いられる。また比較的水深が浅く水質が鉛直方向で均一な湖沼では1層モデル，ダム湖など水

深が深く水質を考える上で水平方向の水質分布が問題となる場合は数ボックスモデルを適用することが多い<sup>6)</sup>とされており、今回は1ボックス1層モデルを設定した。

図3に湖心での *Chl.a*, COD, P-COD および D-COD の実測値および現況再現計算結果を示す。

*Chl.a* については、1999年度以降は実測値と計算結果は概ね一致しており季節的な変化も再現されたが、1998年度以前、特に冬期での実測値の高い値が再現できなかった。この時期の高い *Chl.a* については、プランクトン種ごとの *Chl.a* 含有量の違いなどを含めて今後検討する必要があると考えられる。

COD については、計算結果は実測値と概ね一致しており、季節的な変化もほぼ再現されていた。

窒素およびリンについて、図4に T-N, I-N, T-P および I-P (PO<sub>4</sub>-P) の実測値および計算結果を示す。計算結果は実測値と概ね一致しており、季節的な変化もほぼ再現されていたが、PO<sub>4</sub>-P については、1998年夏期の湖心での増加が再現できなかった。この PO<sub>4</sub>-P の不一致について、この時期に優占した藍藻(綱)の影響を含めて今後検討する必要があると考えられる。

図5に TOC, POC および DOC の実測値および計算結果、また濁りに関する項目として透明度, SS および IL の実測値および計算結果を図6に示す。

TOC, POC および DOC について、計算結果は実測

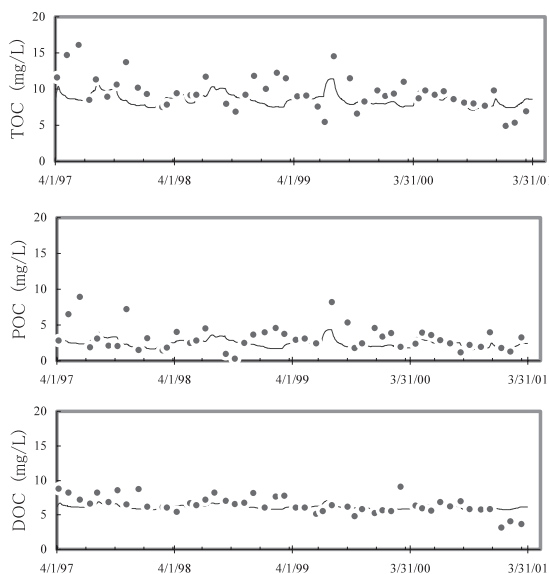


図5 TOC, POC および DOC 実測値および計算結果  
●：実測値，—：計算値

値とほぼ一致しており、季節的な変化も概ね再現されていた。

透明度, SS および IL について、透明度の計算結果は実測値と概ね一致していたが、特に一致しなかったのは2000年の冬期であった。ただし、計算結果では透明度が1m以上の高い値となったが実測値は40cm程度と低い値であった。

#### 4 まとめ

水質測定結果をモデル式に当てはめ、1997~2000年度における現況再現計算を行った。COD, T-N, I-N および T-P についての計算結果は概ね実測値と一致しており、季節的な変化も再現されていた。*Chl.a* では1997年から1998年にかけての高い値が、PO<sub>4</sub>-P では1998年夏期の一時期の高い値が再現されなかったが、他の期間では概ね再現されていた。

#### 文 献

- 1) 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
- 2) 藤田和男, 末石照香, 山本 淳, 伊東清実, 道広憲秀, 山本弘捷: 児島湖下流域の内部生産(3) - 植物プランクトンの P-COD/クロロフィル a 比 -, 岡山県環境保健センター年報, 27, 19~21, 2003

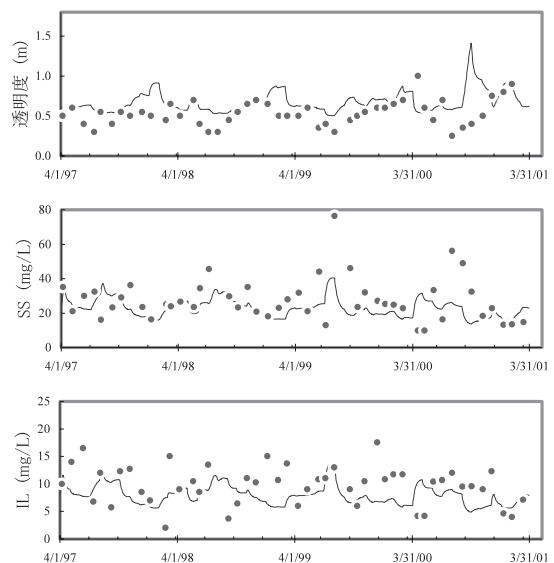


図6 透明度, SS および IL の実測値および計算結果  
●：実測値，—：計算値

- 3) 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
- 4) 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
- 5) 西澤一俊, 千原光雄編: 藻類研究法, 398, 共立出版, 東京, 1979
- 6) 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
- 7) 児島湖総合水質改善対策専門家検討会報告書 資料編, 2, 2002
- 8) 岡山県: 児島湖ハンドブック, 7, 2004
- 9) 村上和仁, 鷹野 洋, 吉岡敏行, 荻野泰夫, 森忠繁: 児島湖における植物プランクトンの種構成と季節的消長, 水環境学会誌, 22(9), 770~775, 1999
- 10) 全国環境研協議会生物部会: アオコ形成藻類の動態および毒素に関する調査, 全国環境研会誌, 26(4), 6~11, 2001
- 11) 村上和仁, 吉岡敏行, 鷹野 洋, 荻野泰夫: 植物プランクトンを指標とした児島湖流域の水質評価, 23(2), 1998