

兎島湖におけるクロロフィルaおよびCODと
栄養塩(窒素・リン)の関係 (2)

藤田和男, 鷹野 洋, 坂本祐基, 板谷 勉, 劔持堅志 (水質科)

【調査研究】

児島湖におけるクロロフィルaおよびCODと 栄養塩(窒素・リン)の関係 (2)

Relation between Chlorophyll a, COD and Nutrients (Nitrogen and Phosphorous)
in Lake Kojima (2)

藤田和男, 鷹野 洋, 坂本祐基, 板谷 勉, 劔持堅志 (水質科)

Kazuo Fujita, Hiroshi Takano, Yuuki Sakamoto, Tsutomu Itadani, Katashi Kenmotsu

要 旨

児島湖の水質の把握を目的として、シミュレーション計算を行った。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ついて、1997年4月から2008年3月までの調査結果をまとめ、10年間分の現況再現計算を行い、COD、クロロフィルa、窒素およびリンの値および季節的な変化を再現した。CODは春期(5月)に最大、秋期(9月)に最小となる傾向がみられた。

[キーワード：クロロフィルa, COD, 窒素, リン, 児島湖]

[Key words : Chlorophyll a, COD, Nitrogen, Phosphorus, Lake Kojima]

1 はじめに

近年、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。これはCODを上昇させるだけでなく、湖水を濁らせる(透明度の低下)。また沈降し底泥として堆積し、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、水域の汚濁が進行する。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ている。懸濁物質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ており¹⁾、水質浄化対策を行う場合、SS, COD, 植物プランクトン, クロロフィルa, 栄養塩(窒素・リン)の関係を把握し、汚濁の発生特性を知ることが重要である。

これまでの報告¹⁾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²⁾。また水の濁りに関する測定項目である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り³⁾、ここで得られた結果及び、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)を併せて検討し、現況再現のためのシミュレーション計算を行った^{4,5)}。

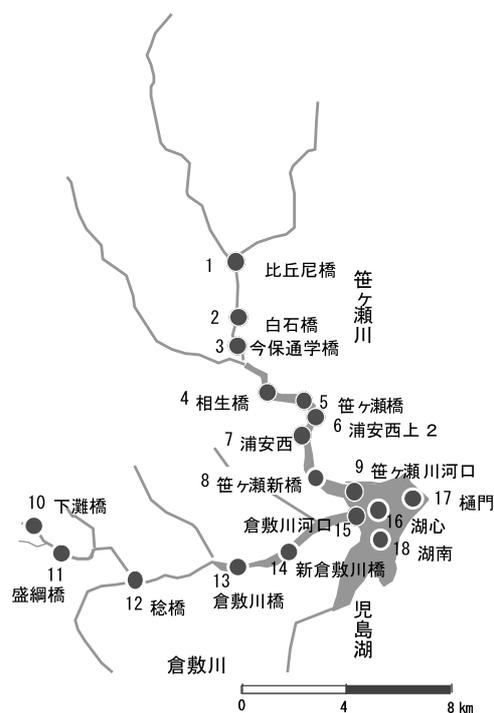


図1 調査地点

本報ではこれまでの結果^{4,5)}に最近(2009年度分)の1年分のデータを追加し、児島湖のChl.aおよびCODと、栄養塩(窒素・リン)の関係を検討した。また新たに過去10年間(1997年4月～2007年3月)分の水質について変動等を解析した。

2 材料および方法

2.1 調査地点

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。

採水回数については、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および⑱で年に4回、2003年4月～2005年3月までは地点④～⑧および⑱で年に4回、2006年4月～2009年3月までは地点⑨および⑮～⑱で年に12回採水・測定を行った⁴⁾。本報で新たに地点⑨および⑮～⑱で年に12回採水・測定を行い、これまでの結果と併せて解析を行った。2001年4月～2006年3月までは月1回の採水・測定を行っていないが岡山県が実施した公共用水域調査結果^{6～10)}によりデータを補足した。

2.2 測定方法

測定項目のうち、COD、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、SS、IL、TOC、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、PO₄-Pは工場排水試験法K0102¹¹⁾に準じて、またChl.aについては吸光光度法¹²⁾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。

2.3 水質予測モデル

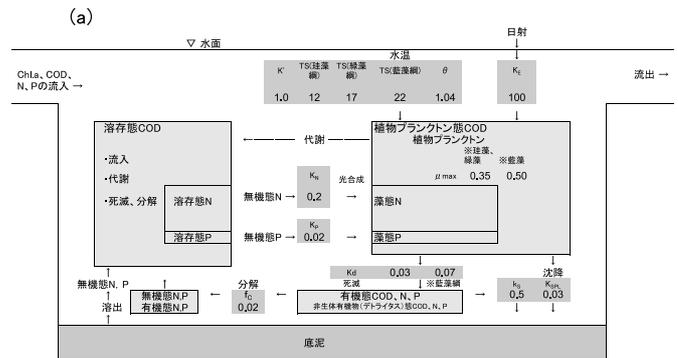
水質モデルについて、概念図を図2(a)に示す。水質モデルおよび式は児島湖水質保全計画¹³⁾等で用いられてい

るものである。植物プランクトンの増殖はChl.aで表すこととし、以下の式¹³⁾により計算した。

$$\frac{dChl.a}{dt} = (\text{流入}) + (\text{増殖}) - (\text{死滅}) - (\text{沈降}) - (\text{流出})$$

$$= \left(\frac{Chl.a_{in}}{\tau} \right) + (\mu \cdot Chl.a) - (kd \cdot K_T \cdot Chl.a) - \left(\frac{k_{sPL}}{H} \cdot Chl.a \right) - \left(\frac{Chl.a}{\tau} \right)$$

$$K_T = \theta^{T-12}$$



(a)

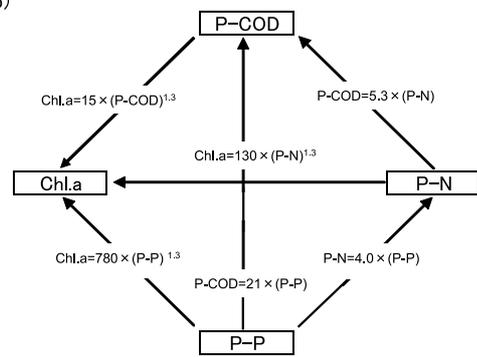


図2 モデル図

(a)：概念図、(b)：Chl.a、P-CODおよびP-N、P-Pの関係

ここで、Chl.a：クロロフィルa(mg/L)、Chl.a_{in}：流入水のクロロフィルa(mg/L)、μ：比増殖速度(1/day)、k_d：死滅速度(1/day)、K_T：水温に関する影響因子(-)、θ：水温に係る定数1.04(-)、T：水温(℃)、k_{sPL}：植物プランクトン沈降速度(m/day)、H：水深(m)、τ：平均滞留時間(day)である。また植物プランクトンの死滅により生ずる有機物の沈降速度は、k_s：有機物沈降速度(m/day)で表される。

式中のμ(比増殖速度)は以下の式¹³⁾で示される。

$$\mu = \text{最大比増殖速度} \times (\text{窒素因子}) \times (\text{リン因子}) \times (\text{光因子}) \times (\text{温度因子})$$

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

ここで μ_{max} : 最大比増殖速度(1/day), N_d : 無機態窒素(mg/L), P_d : 無機態リン(mg/L), K_N : 窒素半飽和定数(mg/L), K_P : リン半飽和定数(mg/L), E : 日射量(cal/cm²/day), K_E : 日射量半飽和定数(cal/cm²/day), T_S : 増殖に最適な水温(°C)である。

窒素については、以下の式¹³⁾で示される。

$$(\text{全窒素}) = (\text{懸濁態窒素}) + (\text{溶存態窒素})$$

$$= (\text{植物プランクトン態窒素}) + (\text{有機態窒素}) + (\text{無機態窒素})$$

$$\frac{d(T-N)}{dt} = \frac{d(A-N)}{dt} + \frac{d(O-N)}{dt} + \frac{d(D-N)}{dt}$$

(植物プランクトン態窒素) = (クロロフィルa) × (換算係数)

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

(有機態窒素) = (流入) + (植物プランクトンの死滅) - (沈降) - (流出)

$$\frac{d(O-N)}{dt} = \left(\frac{O-N_{in}}{\tau} \right) + (\xi_N \cdot k_d \cdot K_{TW} \cdot Chl.a) - \left(\xi_N \cdot \frac{k_l}{H} \cdot Chl.a \right) - \left(\xi_N \cdot \frac{O-N}{\tau} \right)$$

(無機態窒素) = (流入) - (植物プランクトンによる吸収) +

(植物プランクトン分解による供給) + (溶出) - (流出)

$$\frac{d(D-N)}{dt} = \left(\frac{I-N}{\tau} \right) - (\xi_N \cdot G_p \cdot Chl.a) + f_N \cdot K_{TW} \cdot (O-N) + \left(\frac{D_N}{H} \right) - \left(\frac{I-N}{\tau} \right)$$

ここで, T-N : 全窒素(mg/L), D-N : 溶存態窒素(mg/L), A-N : 植物プランクトン態窒素(mg/L), O-N : 有機態窒素(植物プランクトンの死滅によって生ずる)(mg/L), I-N : 無機態窒素(NO₃-N + NO₂-N + NH₄-N)(mg/L), I-N_{in} : 流入水の無機態窒素(mg/L), ξ_N : 植物プランクトンと窒素の換算係数(-), k_{SN} : 有機態窒素沈降速度(m/day), f_N : 有機態窒素分解速度(1/day), D_N : 湖底からのI-N溶出速度(g/m²/day)である。なお, P-N(懸濁態窒素)は, A-NとO-Nの合計値である。

また, リンについては窒素と同様に,

$$\frac{d(T-P)}{dt} = \frac{d(A-P)}{dt} + \frac{d(O-P)}{dt} + \frac{d(D-P)}{dt}$$

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

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

$$\frac{d(D-P)}{dt} = \left(\frac{I-P}{\tau} \right) - (\xi_P \cdot G_p \cdot Chl.a) + f_P \cdot K_{TW} \cdot (O-P) + \left(\frac{D_P}{H} \right) - \left(\frac{I-P}{\tau} \right)$$

ここで, T-P : 全リン(mg/L), P-P : 懸濁態リン(mg/L), D-P : 溶存態リン(mg/L), A-P : 植物プランクトン態リン(mg/L), O-P : 有機態リン(植物プランクトンの死滅によって生ずる)(mg/L), I-P : 無機態リン(PO₄-P)(mg/L), I-P_{in} : 流入水の無機態リン(mg/L), ξ_P : 植物プランクトンとリンの換算係数(-), k_{SP} : 有機態リン沈降速度(m/day), f_P : 有機態リン分解速度(1/day), D_P : 湖底からのI-P溶出速度(g/m²/day)である。P-P(懸濁態リン)は, A-PとO-Pの合計値である。

モデル式中の各項目(P-N, P-P, Chl.a, P-COD, SS(懸濁物質)およびIL(強熱減量))間の関係式について, 実測値(1997~2009年)から得られた関係式(図2, 図3)を用いた。

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¹³⁾等に従っており, これらを図2(b)中に示す。その他, 湖の平均滞留時間¹⁴⁾, 窒素・リンの負荷量の計算には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¹⁴⁾, 日射量(日本気象協会)を用いた。

シミュレーション計算において, 計算開始時(2006年4月1日)は, 初期値として湖内および流入水の各項目(Chl.a, T-N, I-N(NO₃-N + NO₂-N + NH₄-N), T-P, PO₄-P)を実測値から, 流入水量を文献値¹⁴⁾から設定したが, その後は月毎に流入水の各項目(Chl.a, T-N, I-N(NO₃-N + NO₂-N + NH₄-N), T-P, PO₄-P)および流入水量のみを実測値から設定した。

流入水中の無機態窒素・リンおよびChl.aは月毎に(その月の1日から次の月まで)一定とした。

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¹⁴⁾)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。

$$x_{in} = \frac{x_m(S) \times L(S) + x_m(K) \times L(K)}{L(S) + L(K)}$$

ここで, x_{in} : 各項目(Chl.a, COD, T-N, I-N, T-P, PO₄-P)の流入濃度(mg/L), $x_m(S)$: 笹ヶ瀬川からのxの流入濃度(mg/L), $x_m(K)$: 倉敷川からのxの流入濃度(mg/L), L(S) : 笹ヶ瀬川の流量(m³/sec), L(K) : 倉敷川の流量(m³/sec)である。

流入水の植物プランクトン種(綱)として岡山県の調査結果に基づき, 1997年4月~1999年3月までは珪藻綱:

緑藻綱：藍藻綱が7：2：1の比率¹⁵⁾，1999年4月～2007年3月は全て珪藻綱を設定し，最適水温を珪藻綱12℃，緑藻綱17℃，藍藻綱22℃¹³⁾とした。

2.4 周期的な変動

現況再現計算の入力値となる流入水の水質(COD, T-N, T-P)，水温，平均滞留時間および湖心の水質(COD)は年度毎に似た増減を繰り返す傾向が見られることから，周期的なパターンの解析に用いられる以下の式¹⁶⁾により近似した。

$$y(t) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \sin(2\pi\omega t - b_i)$$

ここでy：水温(℃)，平均滞留時間(day)またはP-COD(mg/L)，t：時間(day)， a_0 ：振幅の中心となる値(℃，dayまたはmg/L)， a_i ：振幅(℃，dayまたはmg/L)， ω ：周期(day)， b_i ：位相(day)，i：近似式の次数(-)である。

3 結果および考察

3.1 懸濁物質と栄養塩の関係

水の濁り・汚濁を示す懸濁態の項目(透明度, SS, IL, Chl.a, P-CODおよびPOC)，および溶存態COD(P-COD)と，懸濁態栄養塩(P-NおよびP-P)との関係を図3に示す。データの各プロットは，各測定地点の年平均値である。プランクトン優占種は1999年度前後で異なっており，1999年度以前は夏期に藍藻綱，その他は珪藻綱が優占するものの春期および秋期には緑藻類も多数出現する¹⁵⁾が，1999年度以降は年間をとおしてほぼ珪藻が優占する。このことから，1999年度以前(1997年4月～1999年3月)の結果は▲，1999年度以降(1999年4月～2009年3月)の結果は●で示し，また今回(2009年4月～2010年3月)の追跡調査結果は○で示した。各項目間の関係は植物プランクトン優占種が珪藻となる1999年度以降のデータから求めた。

透明度は水中の懸濁態粒子と光の透過度についてのベールの法則の式 $d = (A/\varepsilon) \cdot x^{-1}$ (d：透明度，A：吸光度， ε ：吸光係数，x：粒子濃度)と同様に，粒子濃度の増加と反比例する式 $(y = a/x + b)$ により近似された。

懸濁物質を示す項目(SS, IL, Chl.a, P-CODおよびPOC)と懸濁態栄養塩(P-NおよびP-P)の関係については，全て原点を通る直線で近似され高い相関があった。このことから，懸濁態の項目(SS等)は水中の栄養塩(窒

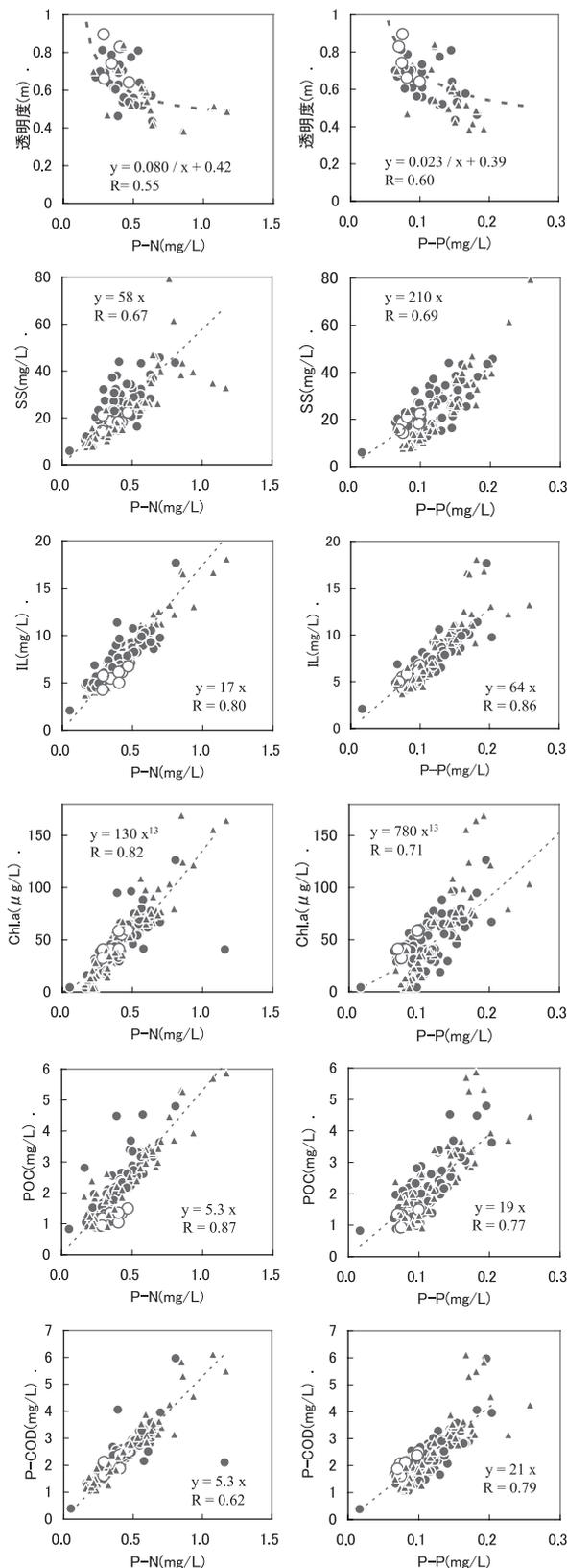


図3 P-N(懸濁態窒素)およびP-P(懸濁態リン)と透明度, SS, IL, Chl.a, POC(懸濁態有機炭素)およびP-COD(懸濁態COD)の関係

- ▲：1997年4月～1999年3月
- ：1999年4月～2009年3月
- ：2009年4月～2010年3月

素及びリン)を植物プランクトンが吸収・増殖すること、すなわち内部生産の過程により生ずるということが強く示唆された。また懸濁態栄養塩(P-NおよびP-P)とChl.aの関係についてはP-COD等他の項目と非線形な関係であると考えられる^{17~19)}ことから指数式($Y = a \cdot X^b$)とした。

これまでの児島湖流域での測定結果³⁾から、CODが4.1以上の場合、CODとD-CODおよびP-CODについて以下の関係式が得られた。

$$D-COD(mg/L) = 0.27 \times COD(mg/L) + 3.0$$

$$P-COD(mg/L) = 0.73 \times COD(mg/L) - 3.0$$

湖内でのD-CODの測定結果を上式にプロットしたものを図4に示す。

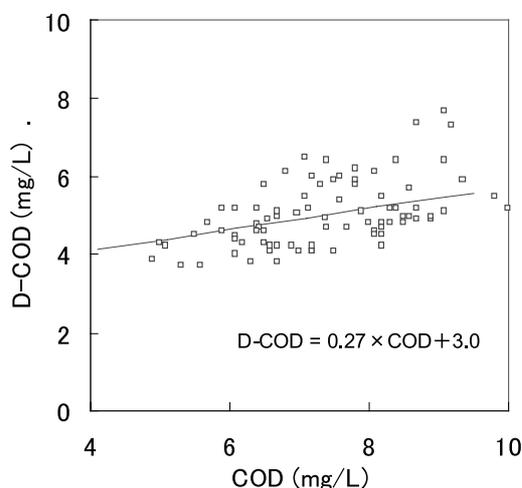


図4 湖内でのCODとD-CODの関係
□: D-COD

3.2 現況再現シミュレーション

水域のモデル化については、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垂直方向の水質分布が問題となる場合は多層モデルを適用することが多い¹³⁾とされており、児島湖は水深が浅く、ここでは水平方向の分布について検討しないことから、1ボックス1層モデルを設定した。基礎となるデータについて、2001年4月~2006年3月の期間については公共用水域調査結果^{6~10)}によりデータを補足

し、ここでD-CODおよびP-CODは上述(図4)、Chl.aについては同様に上述(図2)の関係から計算した。

湖内の植物プランクトンの増殖については、1日の増殖割合は比増殖速度 μ (1/day)で表され、これは湖内の無機態窒素($NO_3-N+NO_2-N+NH_4-N$)、無機態リン(PO_4-P)、水温(実測値)および日射(文献値)から計算される。

図5に1997~2007年度の湖心での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、T-CODおよびP-CODは春期に高く秋期に低い傾向がみられた。D-CODは年間をとおしてほぼ一定の値であった。1997~1998年度はChl.aの実測値と計算値が一致しなかったが、1998年度以前¹⁵⁾と1999年度以降で植物プランクトンの優占種が異なり細胞のChl.a含有量が異なることに起因すると考えられた。

窒素およびリンについて、図6にT-N、P-N、T-PおよびP-Pの実測値および計算結果を示す。T-NおよびT-Pは夏期に高く冬期に低い傾向がみられた。透明度、TOC、POC、DOC、SSおよびILの実測値および計算結

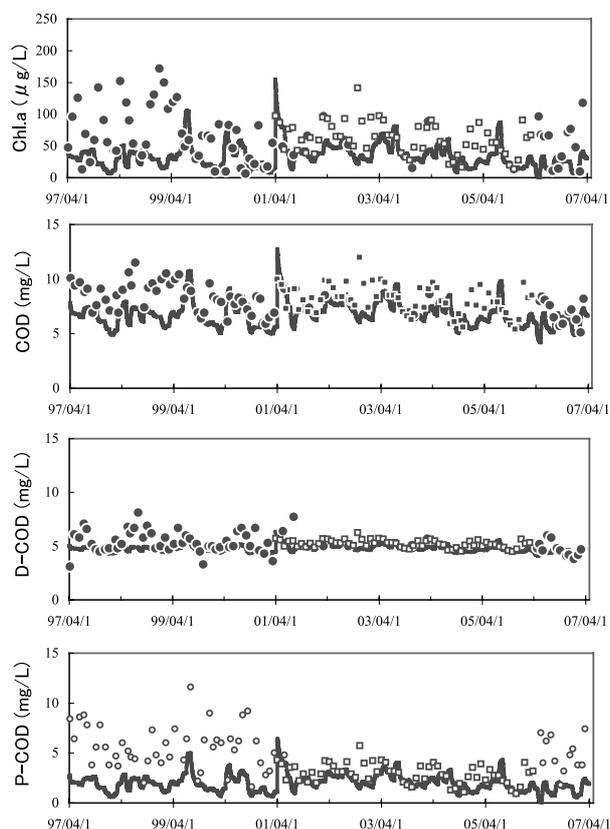


図5 Chl.aおよびCODの実測値および計算結果

- : 実測値(当センター), ■: 実測値(公共用水域),
- : 実測値(当センター)からの計算値,
- : 実測値(公共用水域)からの計算値,
- : シミュレーション計算値

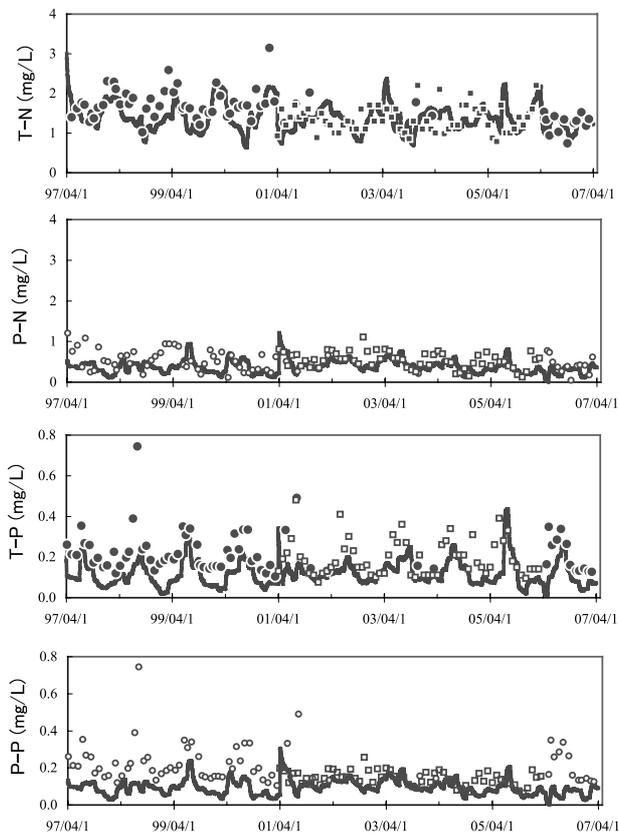


図6 T-N, P-NおよびP-P, T-Pの実測値および計算結果

- ：実測値(当センター), ■：実測値(公共用水域),
- ：実測値(当センター)からの計算値,
- ：実測値(公共用水域)からの計算値,
- ：シミュレーション計算値

果を図7に示す。TOC, POC, SSおよびILはCODと同様に春期に高く秋期に低い傾向が見られた。DOCはD-CODと同様に、実測値および計算値ともに年間をとおしてほぼ一定であった。

10年間の結果を見ると、Chla, T-CODおよびP-CODは春期に高く秋期に低い傾向があった。水温が高くなると植物プランクトンの増殖によりP-CODが増加、水温が低くなると減少すると考えられるが、水温が最も高い8月および2月に、それぞれ最高および最低値でないことから、流入水の水質や平均滞留時間の影響が大きいと予想された。流入水の水質(COD, T-N, T-P), 水温, 平均滞留時間(τ)および湖心のCODの月毎の平均値をプロットし、近似計算値を併せて示す(図8 a~f)。水温は夏期(8月)に最も高く、冬期(2月)に最も低いが、流入水のCODは7月, T-Nは2月, T-Pは7月, 平均滞留時間は2月にピークがあり、これらの影響が複合して水温と湖心のP-CODのピークにずれが生じていると考えられた。

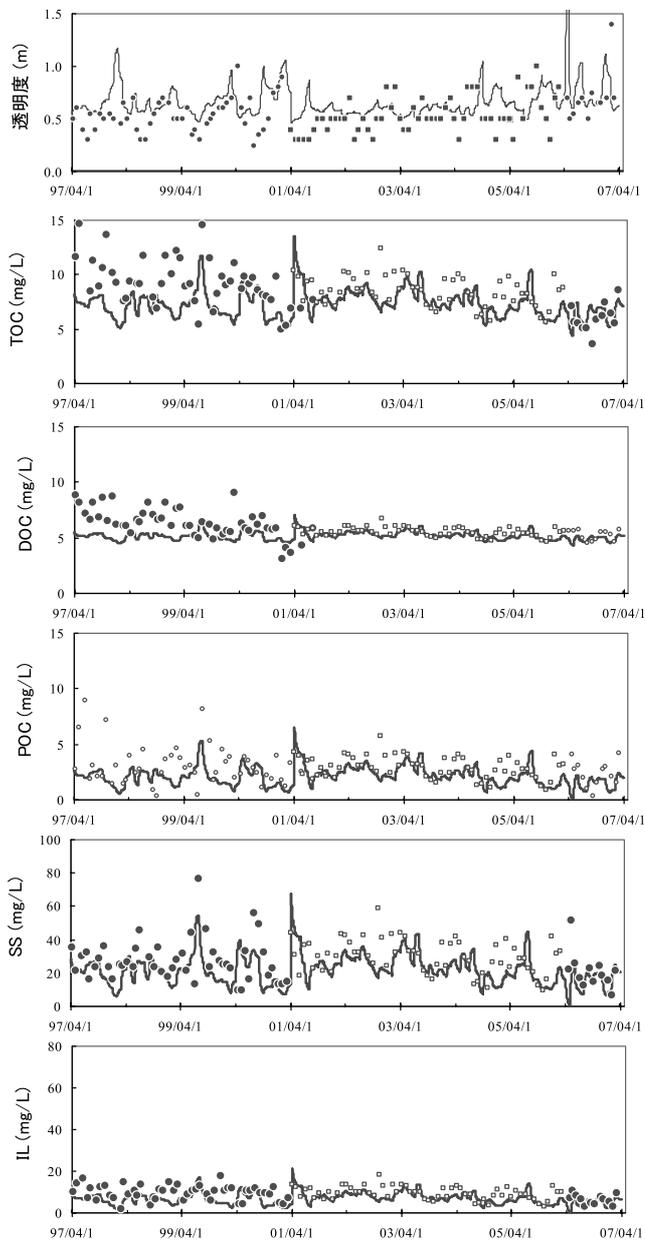


図7 透明度, TOC, POC, DOC, SS及びILの実測値および計算結果

- ：実測値(当センター), ■：実測値(公共用水域),
- ：実測値(当センター)からの計算値,
- ：実測値(公共用水域)からの計算値,
- ：シミュレーション計算値

得られた近似値および実測値を時系列で示す(図8 g~k)。流入水のCOD, T-Nおよび水温, 平均滞留時間(τ)の計算値の周期的な変動は概ね実測値の変動の様子を表わしていた。一方流入水のT-Pについては、ピークは2月と8月の2つあると考えられ2次で近似したが、計算値は実測値の周期的な変動と一致していない。湖心のCODは春期(5月)に最大, 秋期(9月)に最小となる周期的な近似曲線で表わされた(図8 l)。ここで得られた流入水の水

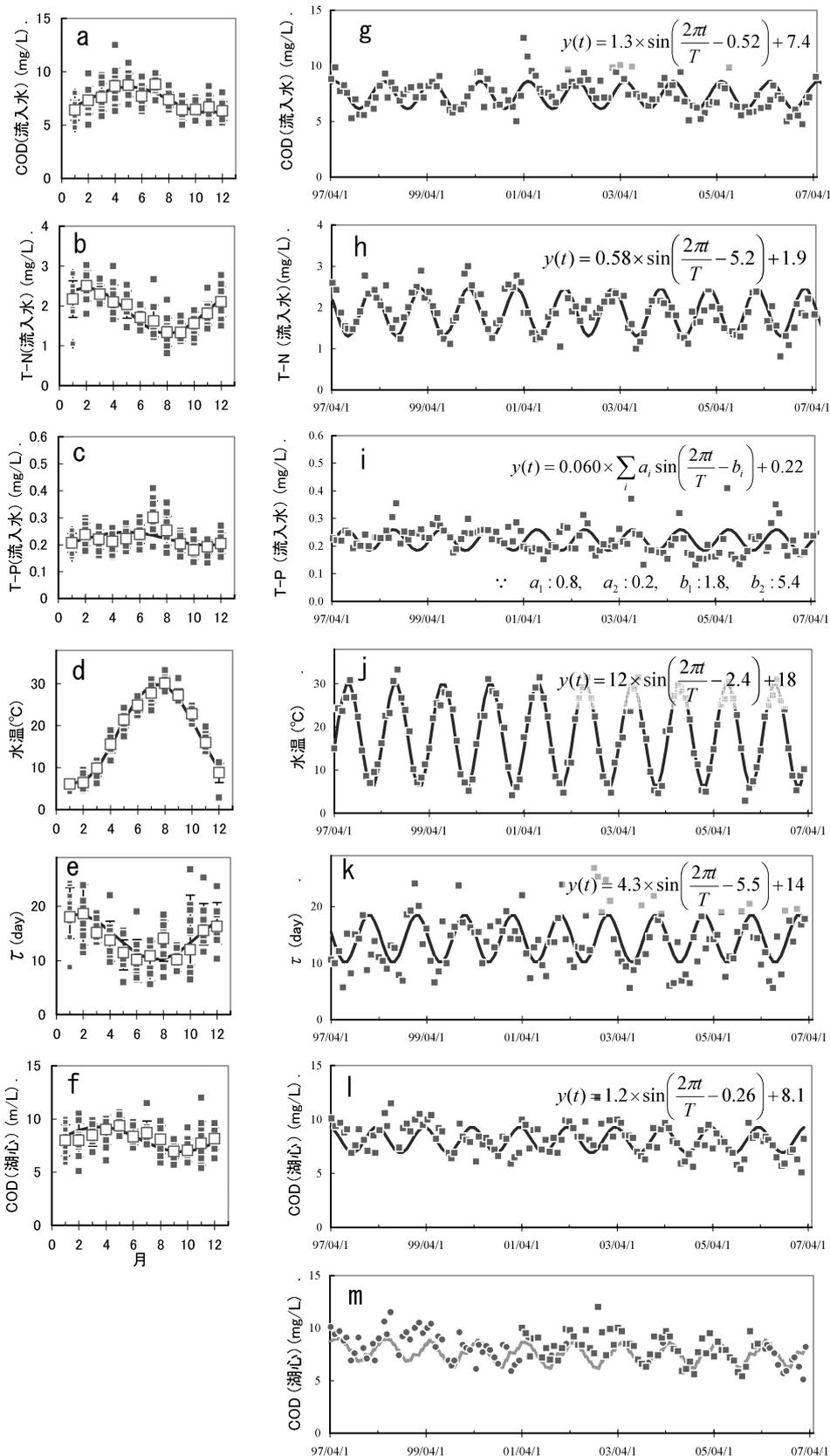


図8 流入水のCOD, T-N, T-P, 水温, 平均滞留時間および湖心のCOD

a~f: 月毎, g~l: 1997年4月~2007年3月の値

■: 測定値, □: 平均値, -: 計算値(近似値), +および⊥: 誤差範囲 (1σ)

m: 1997年4月~2007年3月の値

■: 測定値, - -: 計算値 (g~lの近似値を入力値とし, 再度シミュレーション計算した値)

質(COD, T-N, T-P), 水温および平均滞留時間の近似値を入力値として再度シミュレーション計算を行い, 計算値は春期(5月)に最大, 秋期(9月)に最小となる周期的な近似曲線で表わされた(図8 m)。

今回の計算結果から, 湖心のCODは春期(5月)に最大, 秋期(9月)に最小となる周期的な近似曲線で表わされ, 長期間(計算範囲では10年間)継続していると考えられた。計算では流入水のT-Pの周期的変動がうまく再現されておらず, 計算値と実測値をより一致するように近似式を検討する必要があると考えられた。

4 まとめ

水質測定結果をモデル式に当てはめ, 1997~2007年度分の現況再現計算を行った。流入水のCODは7月, T-Nは2月, T-Pは7月, 平均滞留時間は2月をピークとする周期的な変動がみられた。湖心のCODは春期(5月)に最大, 秋期(9月)に最小となる周期的な変動を繰り返しており, 計算結果はこの傾向を再現した。

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, 山本 淳, 伊東清実, 道広憲秀, 山本弘捷等: 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
- 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) 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
- 5) 藤田和男, 鷹野 洋, 坂本祐基, 板谷 勉, 宮崎清: 児島湖におけるクロロフィルaおよびCODと栄養塩(窒素・リン)の関係, 岡山県環境保健センター年報, 33, 13-18, 2009
- 6) 岡山県: 平成13年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2002
- 7) 岡山県: 平成14年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2003
- 8) 岡山県: 平成15年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2004
- 9) 岡山県: 平成16年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2005
- 10) 岡山県: 平成17年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2006
- 11) 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
- 12) 西澤一俊, 千原光雄編: 藻類研究法, 398, 共立出版, 東京, 1979
- 13) 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
- 14) 岡山県: 児島湖ハンドブック, 50, 2008
- 15) 村上和仁, 吉岡俊行, 鷹野 洋, 吉岡敏行, 荻野康夫, 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
- 16) 大石進一: フーリエ解析, 7, 岩波書店, 東京, 1989
- 17) 福島武彦, 天野耕二, 村岡浩爾: 湖沼水質の簡易な予測モデル, 水質汚濁研究, 9, 12, 775-785, 1986
- 18) Erik G. Jorgensen: Chlorophyll Content and Rate of Photosynthesis in Relation to Cell Size of the Diatom *Cyclotella meneghiniana*, Physiologia Plantarum, 17, 407-413, 1964
- 19) 藤田和男: 児島湖流域の内部生産(6)—植物プランクトンの増殖—, 岡山県環境保健センター年報, 33, 19-24, 2009