

## 児島湖の水質シミュレーション計算

藤田和男, 難波 勉, 坂本祐基, 鷹野 洋, 板谷 勉 (水質科)

【調査研究】

## 児島湖の水質シミュレーション計算

Simulation Calculation of Water Quality of Lake Kojima

藤田和男, 難波 勉, 坂本祐基, 鷹野 洋, 板谷 勉 (水質科)

Kazuo Fujita, Tsutomu Nanba, Yuuki Sakamoto, Hiroshi Takano, Tsutomu Itadani

### 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と窒素・リンについて、最近の4年間(2007～2010年度)にかけての調査結果をモデル式に当てはめシミュレーション計算を行った。過去10年分の結果(1997～2006年度)を用いて計算した場合CODの平均値は8.6 mg/Lで、実測値の7.3 mg/Lと比べて高かったが、最近の4年間の結果を用いて計算した場合7.2 mg/Lで計算結果は実測値とより一致した。

[キーワード：COD, 窒素, リン, 児島湖, シミュレーション計算]

[Key words : COD, Nitrogen, Phosphorus, Lake Kojima, Simulation Calculation]

### 1 はじめに

水質の把握および対策効果の策定のためには水質シミュレーション計算が有効であり、そのためには湖沼の水質を表す計算モデルが必要である。水質調査を行った後その結果を判断し、近い将来の水質を予測することでその調査結果が有効なものとなる。計算プログラムはその湖沼の調査結果をもとに計算式の定数を決定し、実際の湖沼の水質をよく表しかつ取り扱いの簡単なものが望ましいと考えられる。ここではこれまでに得られた結果をもとに数式のみから児島湖の水質モデルを組み立てシミュレーション計算を試みる。

これまでの報告において、水の濁りに関する項目(懸濁態COD(P-COD)、懸濁態TOC(POC)、SS、強熱減量(IL)、Chl.a)と懸濁態窒素(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<sup>1)</sup>が明らかとなっており、現況再現のためのシミュレーション計算を行ってきた<sup>2)3)</sup>。前報では1997～2006年度の10年間のデータをまとめ、入力変数(流入水の水質、水温、日射、平均滞留時間)を周期的に変動するものとして表し児島湖の計算モデルを作った<sup>4)</sup>。本報では前報以降の2007～2010年度の4年分のデータを用いてシミュレーション計算を行い、計算式および結果を検討した。また、前報ではシミュレーション計算に際し月毎の入力値(水質、水温、日射、平均滞留時間)を当該の1ヶ月間変化

しないものとして一定値を与えていたが、実際には連続的に変化して推移してゆくものと考えられ、本報では計算値と実測値の差の低減を目的として連続的に変化するものとして与え計算した。その結果児島湖の水質の値や季節変化をシミュレーション計算で表せたので報告する。

### 2 材料および方法

#### 2.1 調査地点および測定方法

調査地点は、図1に示すように、児島湖の2大流入河川の笹ヶ瀬川の笹ヶ瀬橋、倉敷川の倉敷川橋、および児島湖の湖心の3地点とし、月1回採水し、分析に供した。また岡山県の公共用水域調査結果<sup>5～8)</sup>を用いてデータを補足した。

COD、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、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>9)</sup>に準じて測定した。なお、サンプルをろ紙(Whatman, GF/C)によりろ過し、ろ液の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と同様にろ液との差から懸濁態の値を求めた。

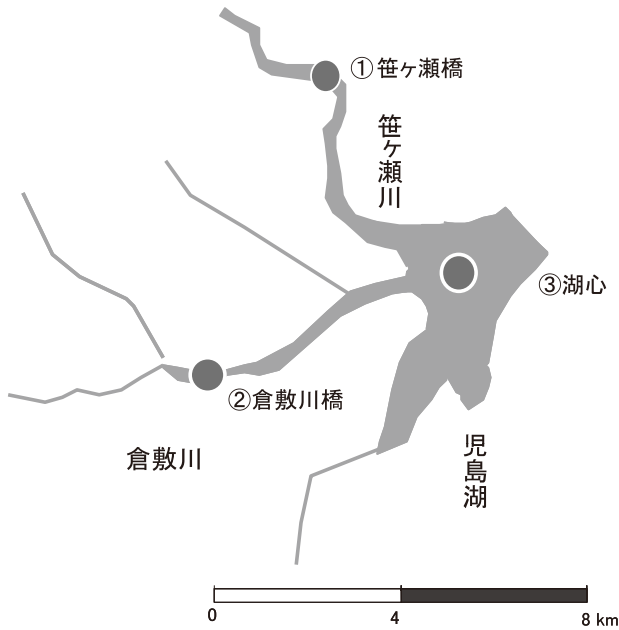


図1 調査地点

## 2.2 水質モデル

水域の生態系のモデルを図2に示す。計算式中の定数値はおもに報告値<sup>10)</sup>等に従っており、これらを図中に併せて示す。その他、湖の平均滞留時間<sup>11)</sup>、2大流入河川である笹ヶ瀬川および倉敷川の水質<sup>4)~8)</sup>および流入水量<sup>11)</sup>、日射量(日本気象協会)を用いた。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、実測値(1997~2009年度)から得られた関係式<sup>4)</sup>を用いた(図3)。このモデルに基づくシミュレーション計算は数値計算ソフトウェアScilabを用いて行った。このソフトウェアは1990年にINRIA(フランス国立情報学自動制御研究所)で開発された数値計算ソフトであり、その特徴はフリーソフトウェアであること、計算にあたり従来のプログラム言語と比較して複雑なプログラミングを必要としないこと、微分方程式をブロック線図で表現して計算できる機能(Scicos)が付属しておりシミュレーション計算プログラムを比較的容易に作成できること<sup>12)</sup>である。計算プログラムを図4に示した。

植物プランクトンの増殖をCODで表すこととし、以下の式<sup>10)</sup>により計算した。

$$\begin{aligned} \frac{dA-COD}{dt} &= (\text{流入}) + (\text{増殖}) - (\text{死滅}) - (\text{沈降}) - (\text{流出}) \\ &= \left( \frac{A-COD_{in}}{\tau} \right) + (\mu \cdot A - COD) - (k_d \cdot K_T \cdot A - COD) - \left( \frac{k_{sp}}{H} \cdot A - COD \right) - \left( \frac{A-COD}{\tau} \right) \end{aligned}$$

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

ここで、A-COD：植物プランクトン態COD (mg/L), A-COD<sub>in</sub>：流入水の植物プランクトン態COD (mg/L),  $\mu$ ：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 (-),  $\theta$ ：水温に係る定数 1.04 (-), T：水温 (°C),  $k_{sp}$ ：植物プランクトン沈降速度 (m/day), H：水深 (m),  $\tau$ ：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) で表した。

式中の  $\mu$  (比増殖速度) は以下の式<sup>10)</sup>で定義した。

$$\begin{aligned} \mu &= \text{最大比増殖速度} \times (\text{窒素因子}) \times (\text{リン因子}) \times (\text{光因子}) \times (\text{温度因子}) \\ &= \mu_{\max} \left( \frac{N_d}{K_N + N_d} \right) \cdot \left( \frac{P_d}{K_P + P_d} \right) \cdot \left( \frac{E}{K_E + E} \right) \cdot \left( \frac{T}{T_S} \cdot \exp \left( \frac{T_S - T}{T_S} \right) \right)^3 \end{aligned}$$

ここで  $\mu_{\max}$ ：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/cm<sup>2</sup>/day),  $K_E$ ：日射量半飽和定数 (cal/cm<sup>2</sup>/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<sup>10)</sup>で定義した。

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

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

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

$$(\text{植物プランクトン態窒素}) = (\text{クロロフィルa}) \times (\text{換算係数})$$

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

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

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

$$(\text{無機態窒素}) = (\text{流入}) - (\text{植物プランクトンによる吸収})$$

$$+ (\text{植物プランクトン分解による供給}) + (\text{底泥からの溶出}) - (\text{流出})$$

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

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 (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),  $\xi_N$ ：植物プランクトンと窒素の換算係数 (-),  $k_{SN}$ ：有機態窒素沈

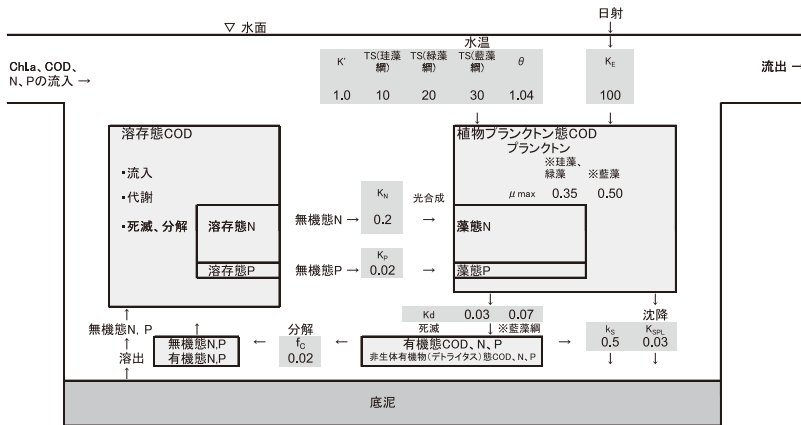


図2 計算モデル (概念図)

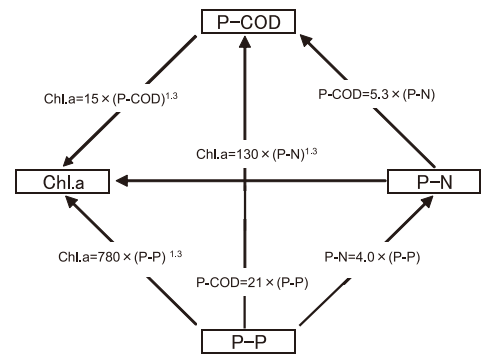


図3 P-COD, T-N, T-PおよびChl.aの関係

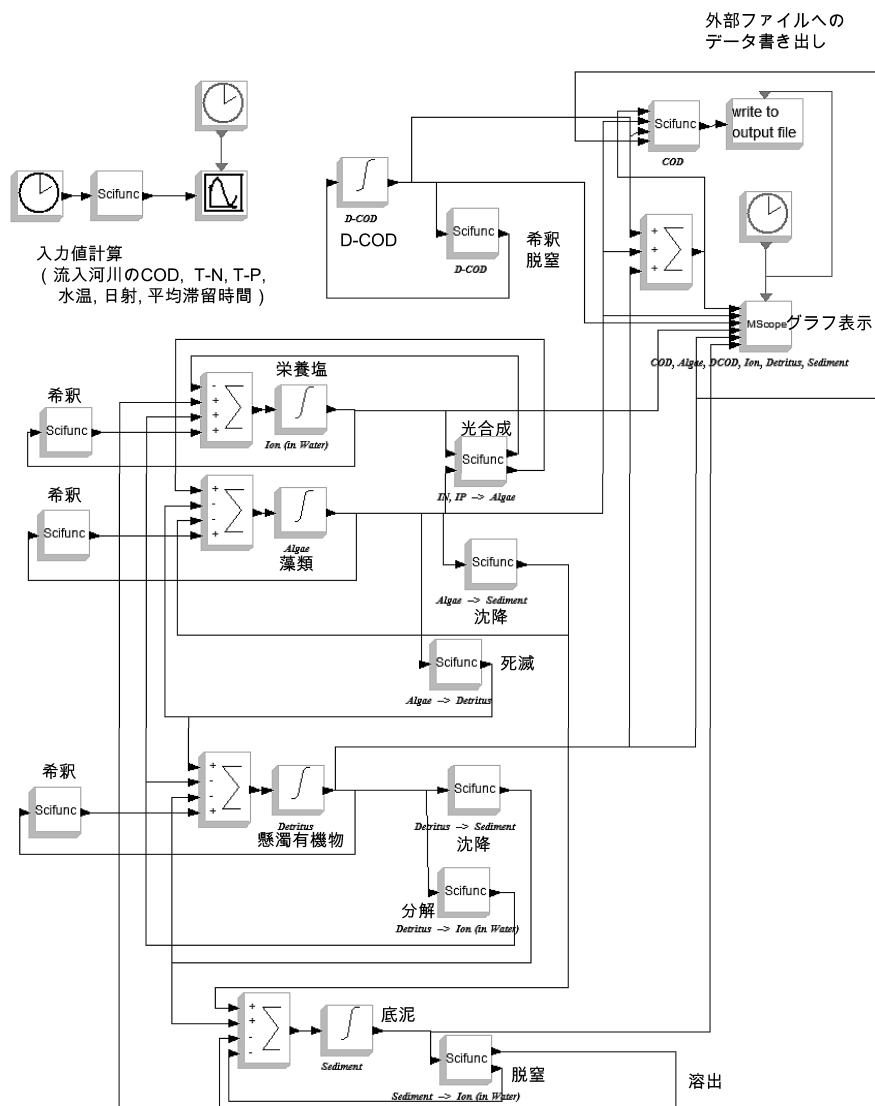


図4 計算プログラム

数値計算ソフトScilabによるブロック線図  
 図中の記号 に生態系を構成する各要素(栄養塩、藻類、懸濁有機物、底泥、D-COD)の値(COD、窒素およびリン成分)、 に各要素の変化率(光合成、沈降、死滅、分解、溶出、脱窒および希釈)を設定。

降速度 (m/day),  $f_N$ : 有機態窒素分解速度 (1/day),  $D_N$ : 底泥からのI-N溶出速度 (g/m<sup>2</sup>/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,

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

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

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

$$\frac{d(D-P)}{dt} = \left( \frac{I-P_{in}}{\tau} \right) - (\xi_p \cdot G_p \cdot Chl.a) + f_p \cdot K_{TW} \cdot (O-P) + \left( \frac{D_p}{H} \right) - \left( \frac{I-P}{\tau} \right)$$

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 (PO<sub>4</sub>-P) (mg/L), I-P<sub>in</sub>: 流入水の無機態リン (mg/L),  $\xi_p$ : 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/m<sup>2</sup>/day)であり, P-P (懸濁態リン) は, A-PとO-Pの合計値とした。

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)<sup>11)</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。

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

ここで,  $x_{in}$ : 各項目 (Chl.a, COD, T-N, I-N, T-P, PO<sub>4</sub>-P) の流入濃度 (mg/L),  $x_{in}(S)$ : 笹ヶ瀬川からのxの流入濃度 (mg/L),  $x_{in}(K)$ : 倉敷川からのxの流入濃度 (mg/L), L(S): 笹ヶ瀬川の流量 (m<sup>3</sup>/sec), L(K): 倉敷川の流量 (m<sup>3</sup>/sec)である。

流入水の植物プランクトン種 (綱)として珪藻綱を設定し, 最適水温を珪藻綱12℃<sup>10)</sup>とした。

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正弦曲線<sup>13)</sup>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),  $a_0$ : 平均値 (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),  $\omega$ : 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 流入水の水質

基礎となるデータについて公共用水域調査結果<sup>5~8)</sup>により一部データを補足し, D-CODおよびP-CODは前報<sup>4)</sup>の関係式から計算した。

流入河川の水質 (COD) は, 過去10年 (1997~2006年度) の実測値を基にした場合平均7.4 mg/Lであるが, 公表されているCODの実測値 (公共用水域<sup>5~8)</sup>, 2007~2009年度の3年間に基づく流入河川のCODの平均値は6.4 mg/Lであり1.0 mg/L減少していた。流入河川のT-Nの平均値も過去10年 (1997~2006年度) の値を基にした場合1.9 mg/Lであるが最近 (公共用水域, 2007~2009年度) の値を基にした場合1.5 mg/Lに減少, 同じくT-Pも過去10年の値を基にした場合0.22 mg/Lであるが最近 (公共用水域, 2007~2009年度) の値を基にした場合0.18 mg/Lに減少していた。

笹ヶ瀬川 (笹ヶ瀬橋) および倉敷川 (倉敷川橋) の水質と流量から, 最近4年間 (2007~2010年度) の児島湖への流入水のCODを月毎にプロットした (図5a, 各値を■, 平均値を□で表記)。これを前報<sup>4)</sup>と同様に正弦曲線で近似し (同図, 実線で表記), また過去10年間 (1997~2006年度)<sup>4)</sup>の月毎の平均値 (同図, ○で表記) および近似曲線 (同図, 破線で表記) を併せて示した。水質の周期的なパターンを前報<sup>4)</sup>と比較すると正弦曲線の位相や振幅はあまり変わらず $a_0$  (平均値) が減少しており, 過去10年間と比べて流入水のCODが減少している傾向が見られた。T-NおよびT-Pについても同様に月毎の測定値, 平均値から近似曲線を求め, CODと同様に過去10年間と比べて流入水の値が減少していることが伺われた (図5bおよびc)。

図5(d~f)に最近4年間の近似曲線を実線で、前報<sup>4)</sup>の過去10年間(1997年~2006年度)からの近似曲線を破線で示し、実測値(当センターおよび公共用水域<sup>5~8)</sup>)を併せて示す。過去10年間の値は最近4年間の実測値と比べいずれの項目(COD, T-NおよびT-P)とも平均値がやや高かった。

流入水の水質(COD, T-N, T-P)が過去10年間(1997~2006年度)と比較して最近4年間(2007~2010年度)で減少しているが、その要因の一つとして県が実施している農業用水の導入水量の増加<sup>11)</sup>が考えられ、このことについて検討した。過去10年(1997~2006年度)の導入量の平均値は44.1(万m<sup>3</sup>/day)、最近4年(2007~2010年度)の導入量平均値は59.0(万m<sup>3</sup>/day)<sup>11)</sup>で14.9(万m<sup>3</sup>/day)増加している。この増加分は児島湖への流入水

量143(万m<sup>3</sup>/day)<sup>11)</sup>の10%にあたり、取水場所(旭川合同堰、高梁川合同堰および高梁川笠井堰)の水質及び水量(23.2, 12.3および12.1万m<sup>3</sup>/day)<sup>11)</sup>を併せて計算すると流入水のCOD, T-NおよびT-Pを希釈によりそれぞれ5.9%, 5.2%および8.6%減少させると推算された。一方実測値から見たCOD, T-NおよびT-Pの減少量はそれぞれ14%, 21%および18%であった。このことから過去10年(1997~2006年度)と最近4年(2007~2010年度)の流入水水質の差の要因の2~4割は農業用水の導入によるものと推算されたが、ここではそれ以外の差を説明できず、今後データの検証や他の要因(公共下水道, 浄化槽, 施肥方法の変化等)も含めて検討する必要があると考えられた。

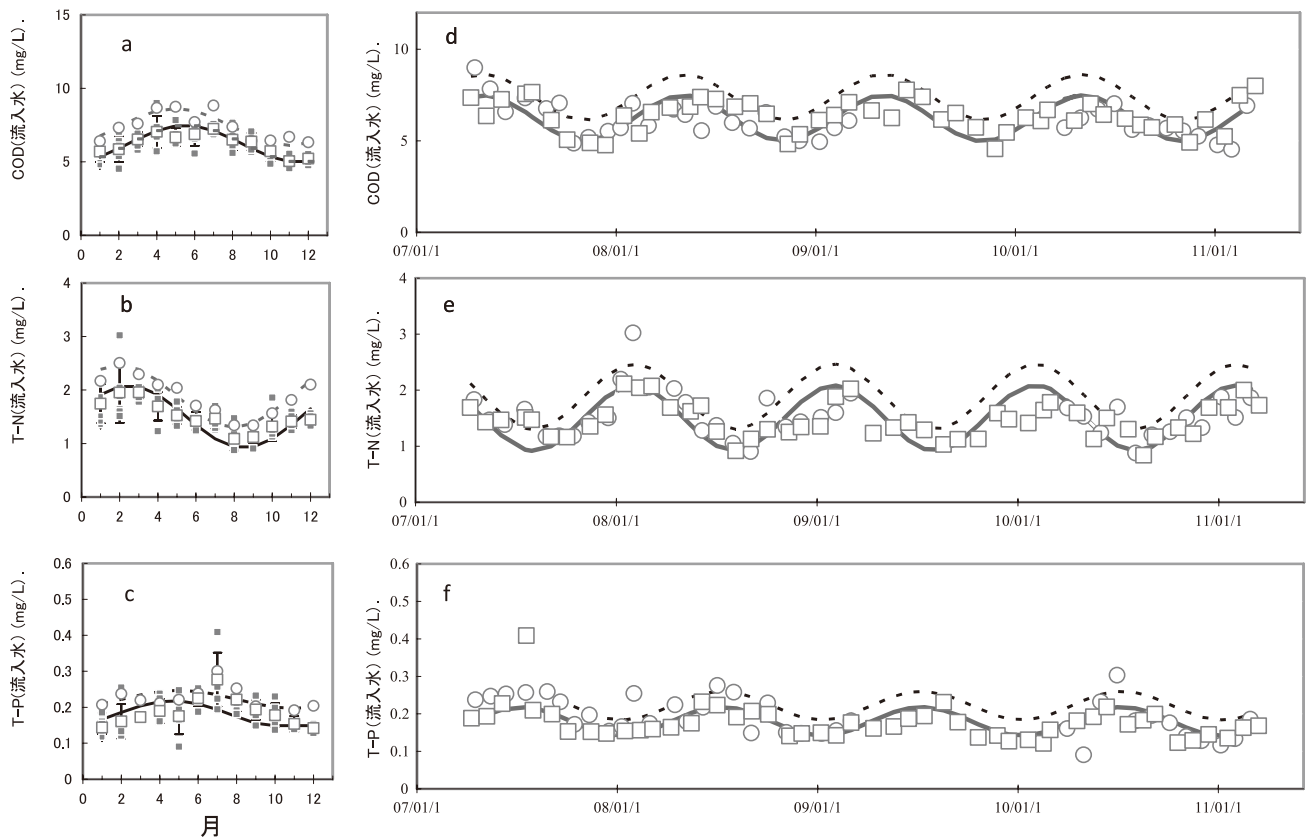


図5 流入河川のCOD、T-NおよびT-Pの計算値

a~c: 月毎の値

■: 測定値, □: 平均値, —: 計算値(近似値), ーおよび—: 誤差範囲(1σ)  
(2007~2010年度), ○: 平均値(1997~2006年度)

d~f: 2007年度~2010年度の値

○: 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  
——: 2007~2010年度の値からの計算値  
-----: 1997~2006年度の値からの計算値

### 3.2 湖水のシミュレーション計算

図6に最近4年間(2007年～2010年度)の流入水の水質に基づく湖心での水質(COD, P-COD, D-COD, T-NおよびT-P)のシミュレーション計算(図中の実線)および実測値を示す。また過去10年間(1997年～2006年度)の流入水水質を用いたシミュレーション計算(図中の破線)を併せて示す。児島湖湖心のCODおよびP-

CODの実測値は春期に高く秋期から冬期にかけて低い傾向がみられシミュレーション計算では再現された。シミュレーション計算の結果について、CODの平均値は、過去10年(1997～2006年度)の流入水の値を基に計算した場合平均8.6 mg/Lであったが、最近4年間(2007～2010年度)の値を用いて計算した場合平均7.2 mg/Lで1.4

mg/L減少した。これは報告値(公共用水域, (2007～2009年度)<sup>5)～8)</sup>でのCODの平均値7.3 mg/Lに近かった。P-CODの平均値(センター実測値)は2.0 mg/Lだがシミュレーション計算の平均値は2.4 mg/Lで20%高い値であった。T-Nはシミュレーション計算の平均値が1.1 mg/Lで公表されている公共用水域のT-N平均値(2007～2009年度の3年間)1.2 mg/Lより8%低い値であった。T-Pはシミュレーション計算の平均値が0.17 mg/Lで公表されている公共用水域T-P平均値(2007～2009年度の3年間)0.19 mg/Lより10%低い値であった。計算値と実測値の差の要因については今後とも検討する必要がある。

最近4年間での流入水の水質の改善傾向が今後とも長期的に継続するのか、直近の4年間でのみみられた傾向であるのかは今後の調査結果から検討する必要がある。

児島湖の水質について上述で数理モデルに基づきシミュレーション計算を行ったが、1つの式(時間のみを変数とする正弦曲線)で近似した場合、扱いが容易であると考えられ、最近4年間(2007～2010年度)の水質(COD)の

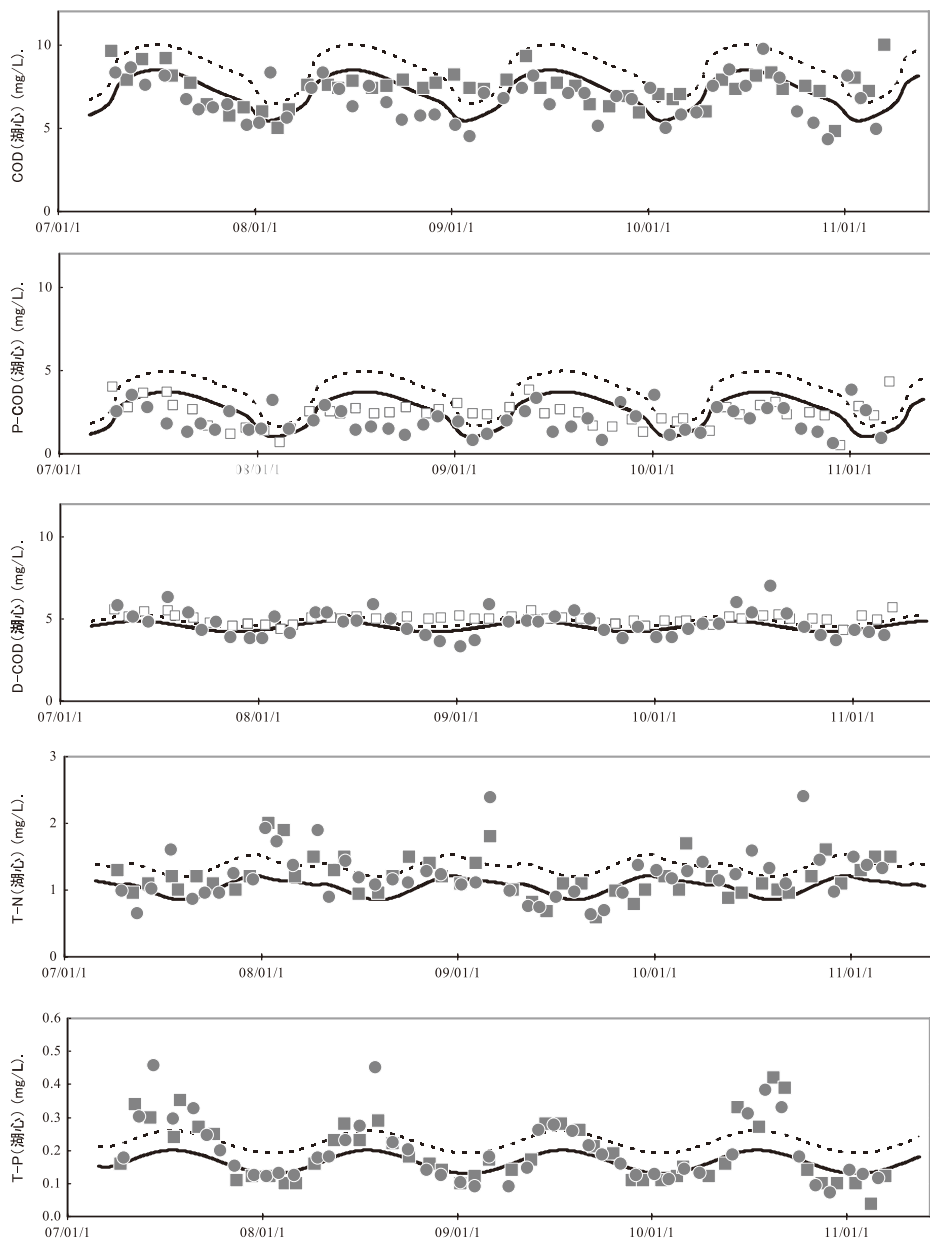


図6 児島湖のCOD, T-NおよびT-Pの実測値および計算値

- : 実測値(当センター)
- : 実測値(公共用水域)
- : 実測値(公共用水域、CODとD-CODの関係式<sup>4)</sup>から計算)
- : シミュレーション計算値(2007～2010年度の値から計算)
- - - : シミュレーション計算値(1997～2006年度の値から計算)

フーリエ級数<sup>13)</sup>による近似を図7に示す。最も単純な近似式は以下

$$\text{COD} = 7.0 + 0.94 \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + 5.3\right)$$

で表された。より短い周期の正弦曲線を重ねあわせた近似式

$$\text{COD} = 7.0 + 0.94 \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + 5.3\right) + 0.46 \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{2\pi t}{T} + 1.9\right) + 0.34 \cdot \sin\left(3 \cdot \frac{2\pi t}{T} + 2.3\right) + 0.16 \cdot \sin\left(4 \cdot \frac{2\pi t}{T} + 1.6\right)$$

では春期に高く秋期および冬期の2月に低いパターンとして表された。

シミュレーション計算の応用として現状の評価および将来の予測が考えられる。流入水の水質を構成している各因子の寄与率を算定できれば、例えばある因子に対してどのような浄化施策を行えばどれだけの水質改善効果があるかについて推算出来ると考えられ、今後の課題として流入水の要因別の評価が考えられる。

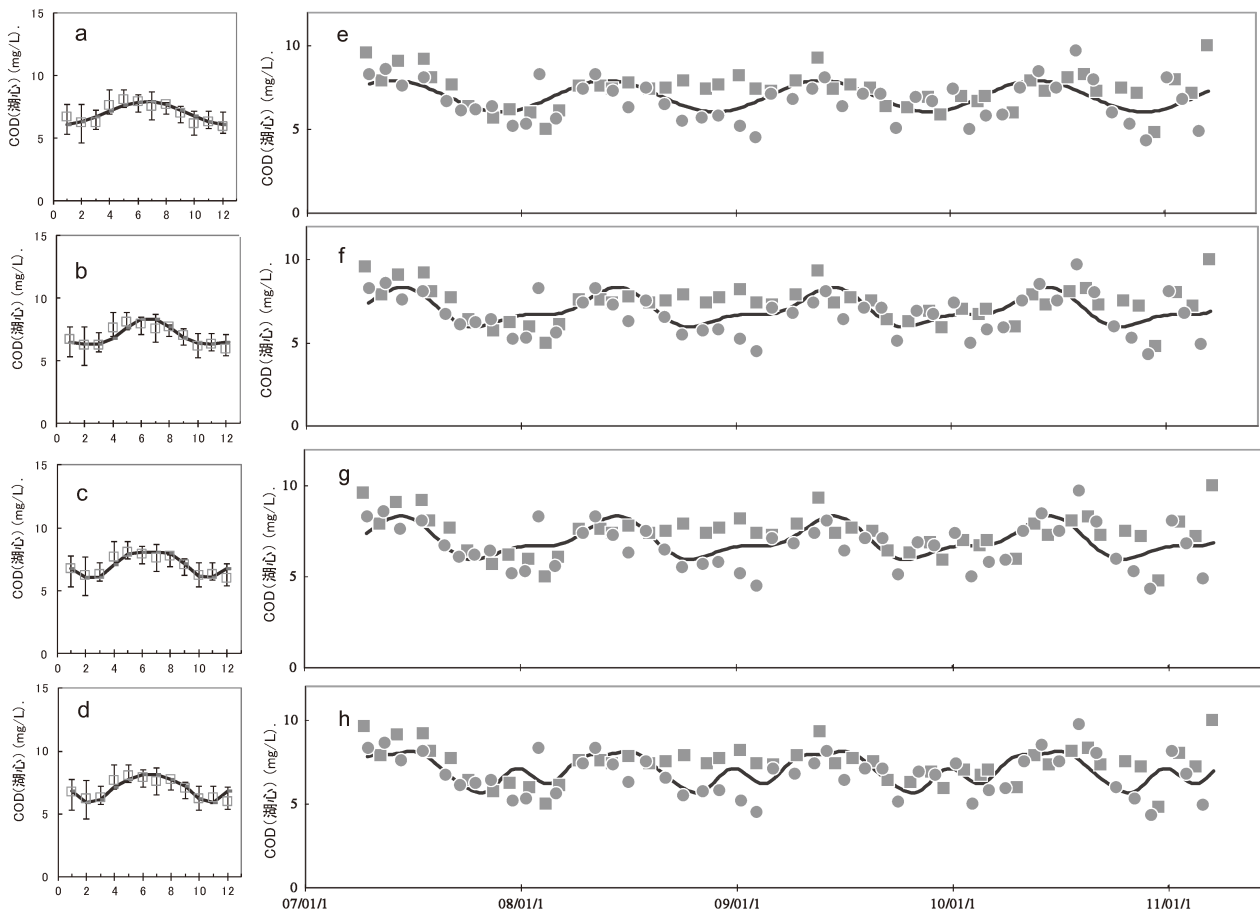


図7 児島湖のCODのフーリエ級数による近似

a~d: 月毎の値  
 □: 平均値, —: 計算値(近似値), ⊕および⊖: 誤差範囲(1σ)  
 e~h: 2007年度~2010年度の値  
 ●: 実測値(当センター), ■: 実測値(公共用水域)  
 —: 近似値

$$\text{COD}(mg/L) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \left( \sin n \cdot \frac{2\pi t}{T} + \theta \right) \text{ において、}$$

$$a: \text{COD} = 7.0 + 0.94 \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + 5.3\right)$$

$$b: \text{COD} = 7.0 + 0.94 \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + 5.3\right) + 0.46 \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{2\pi t}{T} + 1.9\right)$$

$$c: \text{COD} = 7.0 + 0.94 \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + 5.3\right) + 0.46 \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{2\pi t}{T} + 1.9\right) + 0.34 \cdot \sin\left(3 \cdot \frac{2\pi t}{T} + 2.3\right)$$

$$d: \text{COD} = 7.0 + 0.94 \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + 5.3\right) + 0.46 \cdot \sin\left(2 \cdot \frac{2\pi t}{T} + 1.9\right) + 0.34 \cdot \sin\left(3 \cdot \frac{2\pi t}{T} + 2.3\right) + 0.16 \cdot \sin\left(4 \cdot \frac{2\pi t}{T} + 1.6\right)$$



#### 4 まとめ

水質測定結果をモデル式に当てはめ、最近4年間(2007～2010年度)のシミュレーション計算を行った。計算結果は、COD(平均値)が7.2 mg/Lで実測値の7.3 mg/Lと近い値であった。T-Nは計算結果の平均値が1.1 mg/Lで実測値の1.2 mg/Lと比べて8%低い値であった。T-Pは計算結果の平均値が0.17 mg/Lで実測値の0.19 mg/Lと比べて10%低い値であった。

#### 文 献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 藤田和男, 鷹野 洋, 坂本祐基, 板谷 勉, 剣持堅志: 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), 岡山県環境保健センター年報, 34, 17-24, 2010
- 5) 岡山県: 平成19年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2007
- 6) 岡山県: 平成20年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2008
- 7) 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, 2009
- 8) 岡山県: 平成22年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2010
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 岡山県: 児島湖ハンドブック, 50, 2008
- 12) 橋本洋志: Scilab/Scicosで学ぶシミュレーションの基礎, 5, オーム社, 東京, 2008
- 13) 大石進一: フーリエ解析, 7, 岩波書店, 東京, 1989