

<報文>

児島湖流入河川の水質についての一考察\*  
-水質データのモデル化と汚濁負荷量の検討-

藤田和男\*\*・小川知也\*\*・吉岡敏行\*\*

キーワード ①児島湖 ②COD ③全窒素 ④全りん ⑤汚濁負荷

要 旨

児島湖の主な流入河川である笹ヶ瀬川と倉敷川について、過去 10 年間の水質（化学的酸素要求量（COD），全窒素，全りん）を数式でモデル化したところ、周期的な増減の様子が再現された。この水質と水量から負荷量を推算し、別途統計データから負荷量を推計し、両者を比較したところ高い相関があった。発生源毎（生活系，産業系の合計（点源），農地・自然系（面源））の水質への影響を推計し、足守川では点源の影響が小さく、笹ヶ瀬川では点源の影響が大きく、倉敷川では点源，面源の両方の影響が大きいと推察された。月毎の汚濁負荷量を検討する際には点源の変動パターンの設定が課題と考えられた。

1. はじめに

指定湖沼である児島湖の水質は平成 29 年度に化学的酸素要求量（COD）（75%値）が 7.8 mg/L，全窒素（平均値）が 1.5 mg/L，全りん（平均値）が 0.19 mg/L<sup>1)</sup> であり、環境基準値 COD（75%値）5 mg/L，全窒素（平均値）1 mg/L，全りん（平均値）0.1 mg/L と比較すると高い値で推移している。

児島湖への流入水の多くは笹ヶ瀬川と倉敷川から流入している。児島湖流入水の現状の把握や施策による水質改善効果の検討のためには、これまでの水質調査データに基づくモデルの構築が重要と考えられる。本報では、児島湖流域河川の月毎の水質の変動を簡単な近似式で表すとともに、統計データを用いて流入河川周辺地域の発生源（生活系・産業系の合計（点源），農地・自然系（面源））からの汚濁負荷量を推計し、これらの関係を検討した。

ヶ瀬川，倉敷川水系は K1～K2 ブロックを流れる倉敷川から成る。水質は各 6 ブロックの末端で調査されている公共用水域測定結果<sup>3)～12)</sup>を用いた。

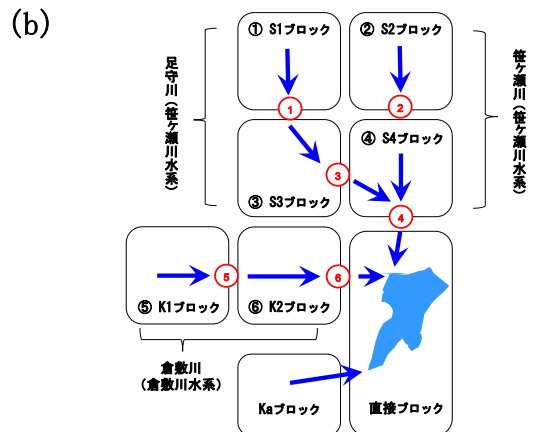


図1 児島湖流入河川  
(a) 児島湖流域図, (b) 小流域と河川

2. 調査対象および方法

2.1 調査対象地点

調査対象とする児島湖の主な流入河川およびその流域と測定地点を図1に示す。児島湖の水質保全計画である第7期湖沼水質保全計画（平成28～31年度）では流域を8ブロック<sup>2)</sup>に区分されており（図1(a)），各ブロックと河川，測定地点の関係を図1(b)に示す。主な流入河川である笹ヶ瀬川水系および倉敷川水系，そして両河川の流域（S1～S4ブロックおよびK1～K2ブロックの6ブロック）を対象として検討する。笹ヶ瀬川水系はS1～S3ブロックを流れる支流の足守川とS2～S4ブロックを流れる本流の笹

\* A Study of Water Quality in Inflow River of Lake Kojima - Modeling of Water Quality Data and Examination of the Amount of Pollution Load -

\*\* Kazuo FUJITA, Tomoya OGAWA, Toshiyuki YOSHIOKA (岡山県環境保健センター) Okayama Prefectural Institute for Environmental Science and Public Health

## 2.2 水質モデル

各地点の水質 (COD, 全窒素, 全りん) <sup>3) ~12)</sup> 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フーリエ級数 <sup>13)</sup> により近似した。  $Y = a_0 + \sum c_i e^{2\pi i t}$  で表されその第一項は,

$$Y = a_0 + (c_1 + c_2 i) e^{2\pi i t} \quad (1)$$

ここで Y: COD, 全窒素または全りん (mg/L), t: 時間 (year),  $a_0, c_1$  および  $c_2$ : 係数 (mg/L) である。

なお式 (1) に水量を乗じた以下の式により負荷量が推算される。

$$L_n = y_n \cdot Q_n \quad (2)$$

ここで L: COD, 全窒素または全りん負荷量 (g/日), Q: 水量 (m<sup>3</sup>/日), 添え字 n は図 1 (b) の地点番号である。

## 2.3 負荷量モデル

ある流域から発生する負荷量は統計データ <sup>2)</sup> から

$$L = A \cdot X \\ = (a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n) \quad (3)$$

で推計される。ここで A: 流域の発生源, X: 原単位である。a は個別の発生源であり, 今回の計算では 16 項目から成り, その内訳 <sup>2)</sup> は生活系: 下水道, 農業集落排水施設, 合併浄化槽, し尿処理施設, 単独浄化槽, 自家処理, 雑排水の 7 項目 (単位は人), 産業系: 特定事業場, 非特定事業場の 2 項目 (単位は m<sup>3</sup>/日) と牛, 豚の 2 項目 (単位は頭), 農地・自然系: 水田, 畑, 山林, 市街地等, 合流式下水道区域の 5 項目 (単位は ha) である。x は個別の発生源の原単位である。各流域から発生する負荷量は以下の式 (4) で表される。

$$\begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,16} \\ a_{2,1} & & a_{2,16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{6,1} & \dots & a_{6,16} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_{16} \end{pmatrix} \quad (4)$$

ここで式中の添え字は図 1 (b) の流域番号, 発生源 a の二番目の添え字は発生源の項目を表し, (3) と同様に展開し各流域から発生する負荷量 L が計算される。各地点の負荷量  $L_n$  は,

$$\begin{aligned} L_1 &= I_1 \cdot \alpha \\ L_2 &= I_2 \cdot \alpha \\ L_3 &= (I_1 + I_3) \cdot \alpha \\ L_4 &= (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) \cdot \alpha \\ L_5 &= I_5 \cdot \alpha \\ L_6 &= (I_5 + I_6) \cdot \alpha \end{aligned} \quad (5)$$

で推計される。ここで  $\alpha$ : 流達率 (-) である。

また各地点の水質  $Y_n$  は,

$$Y_n = \frac{L_n}{Q_n} \quad (6)$$

ここで  $Q_n$ : 各地点の水量 (m<sup>3</sup>/日) で表される。各地点の水量 Q は流域の河川水の総量 <sup>2)</sup> と水量比率 <sup>14)</sup> から計算した。

## 2.4 発生源 (点源・面源) の影響の推定モデル

各発生源が月毎の水質に与える影響の推定を試みた。上述の水質モデルによる方法では, 月毎の水質や負荷量は推算できるが, 各発生源の影響は推定できない。一方, 上述の負荷量モデルによる方法では, 年間の負荷量や各発生源の影響は推計できるが, 月毎の各発生源の影響は分からない。よって, 月毎の負荷量を式

(2) で推算し, 統計データにより月毎の負荷量への発生源毎の寄与率を推定し, 式 (6) のように月毎の負荷量を水量で割って水質に換算し, 月毎の各発生源の影響を推定した。しかしながら, 発生源の項目は, 点源 (生活系と産業系) と面源 (農地・自然系) の 2 つに区分され, 面源からの汚濁量はかんがい期や降水の多い時期に増加し, 一方, 点源からの汚濁量は基本的に年間を通して面源より季節変化が少ないと考えられる。このように点源の年間の変動パターンの設定が前提として必要であることから, 下水処理場の実測値から, 推定を試みた。

## 3. 結果および考察

### 3.1 水質

公共用水域調査結果 <sup>3) ~12)</sup> の COD, 全窒素および全りんの実測値と, 近似式 (1) による計算結果を図 2 ~4 に示す。近似値では水質の周期的な増減の様子が再現された。各地点の COD と全りんは夏期に高く冬期に低い値であった。全窒素は逆に夏期に低く冬期に高い値であった。季節変化の要因として, かんがい期の水量と汚濁負荷量の両方の増加による影響が考えられる。COD や全りんは肥料の成分などの増加により水中の濃度が上昇し, 全窒素では水量の増加に比べて窒素成分の増加が小さく, 水中の濃度が低下すると考えられた。

水質 (COD, 全窒素および全りん) の年平均値を足守川, 笹ヶ瀬川および倉敷川で比較すると, いずれの値も足守川, 笹ヶ瀬川, 倉敷川の順に大きくなっていった。各河川の下流部にあたる地点 (地点 3, 地点 4 および地点 6) を比較すると, COD は足守川で 3.8 mg/L と低いが, 笹ヶ瀬川で 5.6 mg/L, 倉敷川で 7.5 mg/L と相対的に高い傾向を示した。全窒素は環境基準値 1.0 mg/L と比べると, 足守川では 0.72 mg/L で環境基準値より低かったが, 笹ヶ瀬川では 1.5 mg/L, 倉敷川では 1.6 mg/L と高かった。また全りんは環境基準値 0.1 mg/L と比べるといずれも高い値であったが,

足守川では 0.12 mg/L と低く、笹ヶ瀬川では 0.14 mg/L、倉敷川では 0.23 mg/L で環境基準値の 2 倍程度

の値であった。

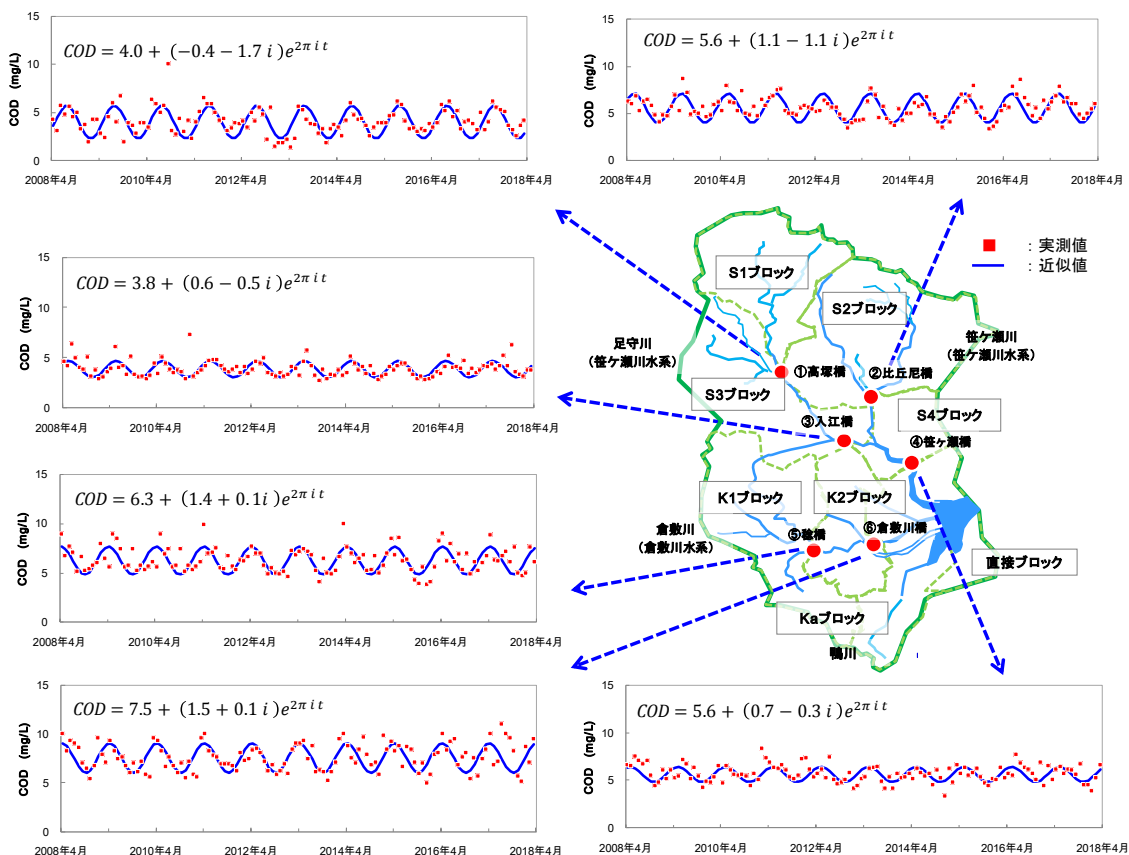


図2 CODの実測値と近似式による推算値

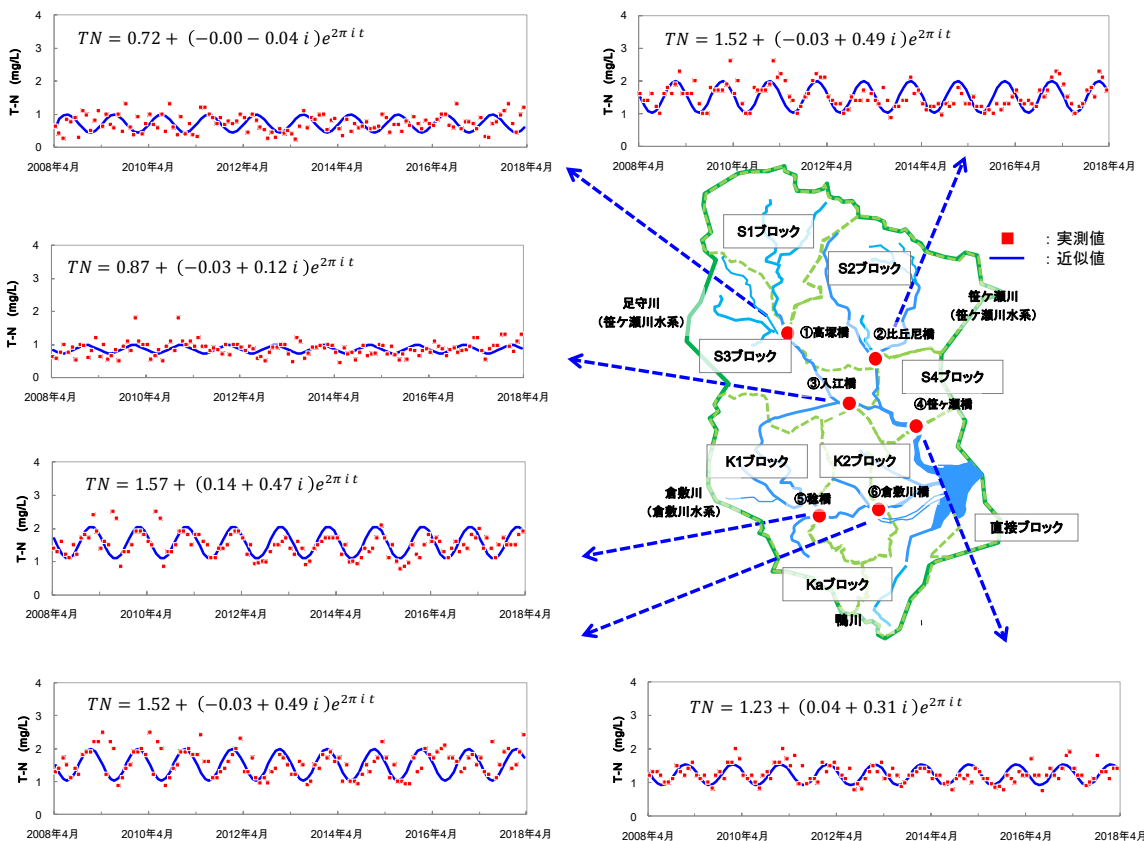


図3 全窒素の実測値と近似式による推算

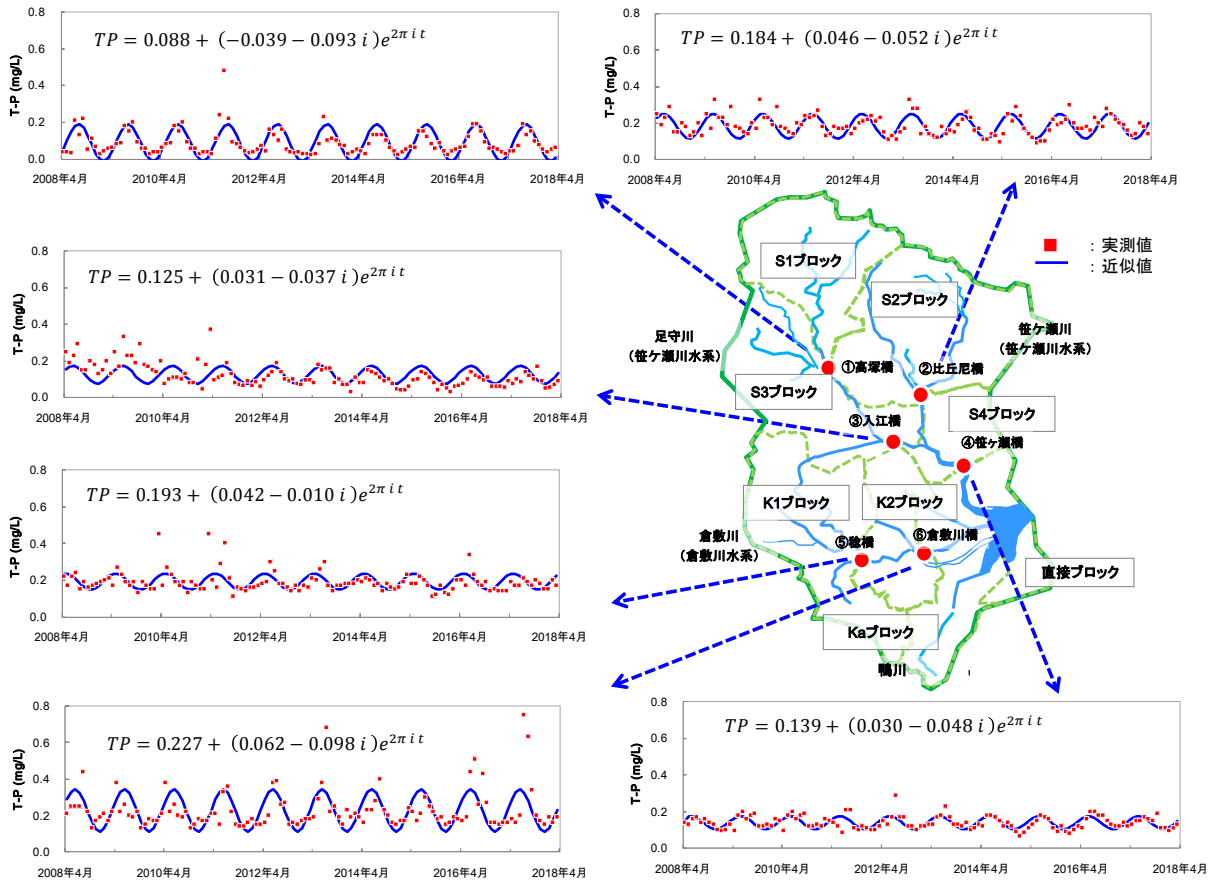


図4 全りんの実測値と近似式による推算値

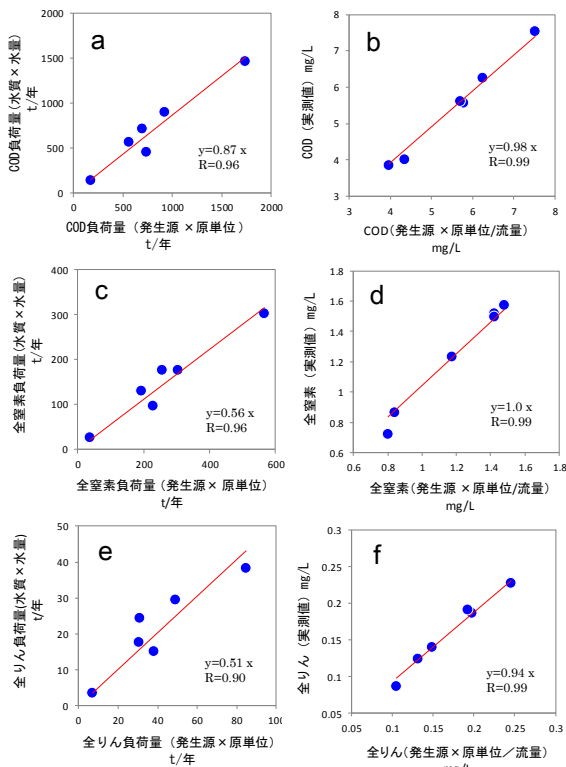


図5 2種類の方法による推計値の比較  
a, c, e: 負荷量, b, d, f: 水質

### 3.2 負荷量

各地点での負荷量を推算する方法として、式(2)で実測値<sup>3)~12)</sup>に基づき水質と水量を掛ける方法と、式(5)で統計データ<sup>2)</sup>に基づき発生源と原単位を掛ける方法の2通りが考えられる。両方法によるCOD負荷量の比較を図5(a)に示す。相関係数は0.96でいずれの方法でも同等の値が推算されたと考えられた。両者の比0.87を流達率 $\alpha$ としたが、これは文献値(平成9~14年度の平均値)<sup>14)</sup>の0.82と近かった。

また式(1)で実測値に基づき推算されたCODの年平均値と式(6)で統計データに基づき推算されたCODの比較を図5(b)に示す。相関係数は0.99と高く、文献値の原単位の組み合わせで概ね各地点の水質(年平均値)を表せていると思われた。また全室素および全りんも同様であった(図5(c)~(f))。

### 3.3 発生源(点源・面源)の影響の推定

当該流域の下水道9施設のうちS1ブロック、S2ブロックおよびS3ブロックに存在する6施設の流入水の汚濁負荷量の月毎の変動パターンを調査したところ、

過半数の施設で概ね春期～夏期は秋期～冬期よりも高い傾向が見られた。図6に6施設分のCOD負荷量の変動パターンの例を示す。

S1ブロック、S2ブロックおよびS3ブロックの点源からの負荷量については各ブロックに存在する施設の変動パターン（ブロック内に複数の施設が存在する場合はそれらの合計値）を採用し、S4ブロック、K1ブロックおよびK2ブロックについてはこれら6施設の負荷量の合計値を採用し、その結果春期～夏期は年平均より10～30%高く、秋期～冬期には10～30%低いという設定となった。面源の変動パターンについては、月毎の全汚濁負荷量から点源の負荷量を引いた値とし、これはかんがい期に大きい変動パターンとなった。これを基に推計された月毎の負荷量を水量で割り、月毎の水質と、点源と面源の水質への寄与率を推定した。

図7に点源（生活系、産業系）と面源（農地・自然系）の月毎のCODへの影響の推定を示す。流域の人口の少ない足守川では農地・自然系がCODに与える影響が大きく、人口の大きい笹ヶ瀬川と倉敷川では生活系の影響が大きいと考えられた。

全窒素および全りんについてもCODと同様に推算し

たが、CODと比較すると全窒素では生活系の影響が全地点で大きく、全りんでは農地・自然系の影響が大きいと考えられた（図省略）。

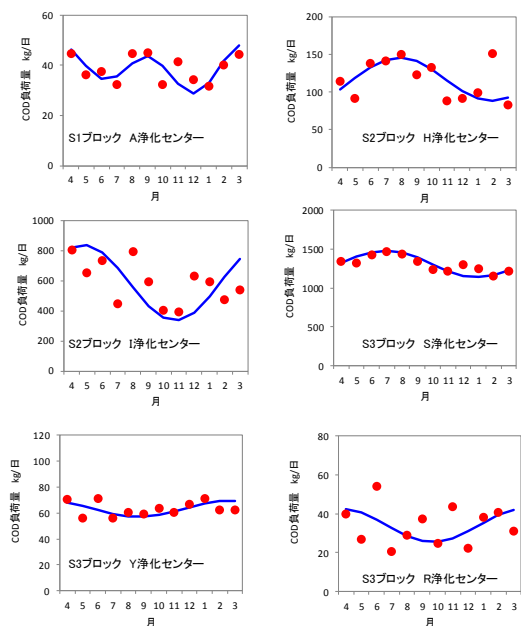


図6 下水処理場流入水のCOD負荷量

●：実測値，—：近似値

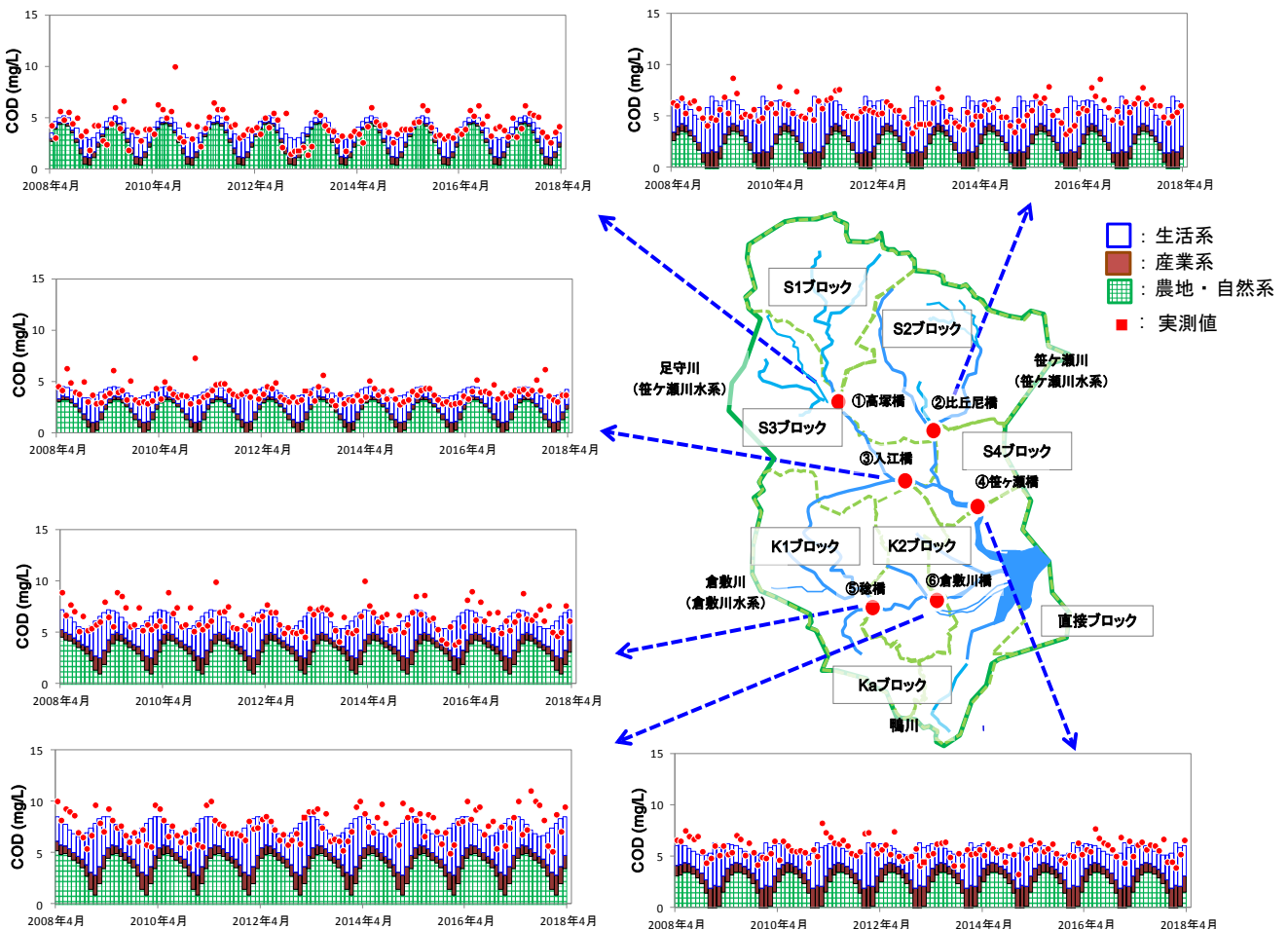


図7 CODと発生源の関係（推計）

各地点での COD に、点源と面源がそれぞれどの程度寄与しているか、年間の負荷量を水量で割り推算したものを図 8 に示す。図の横軸は点源、縦軸は面源による影響で、各地点の縦軸と横軸を合計した値が年平均値となる。図は I から IV の 4 種類に区分され、I は点源、面源のいずれの影響も少ない地点、II は点源、III は面源の影響が大きく、IV は点源と面源の両方の影響が大きいことを示す。相対的な特徴として、足守川は点源の影響が小さく、笹ヶ瀬川は点源の影響が大きく、倉敷川は点源と面源の両方の影響が大きいと考えられた。

今回の水質の近似手法は様々な河川に適用できると考えられた。また河川の水量や流域内の発生源別の各項目の値が分かれば、年間の汚濁負荷量の水質への影響も評価でき、浄化施策による水質改善効果の推算など、現状の評価とあわせて将来の予測につながる可能性もあると思われた。ただし月毎の汚濁負荷量の水質への影響については、今回の推定では点源からの汚濁負荷の月毎の変動パターンを、各ブロックの下水道処理施設の流入負荷量を基に年平均値と比べ夏期は 10~30% 高く、冬期は 10~30% 低いと仮定したが、より適切な影響の推算のために更なる検討が必要と考えられた。

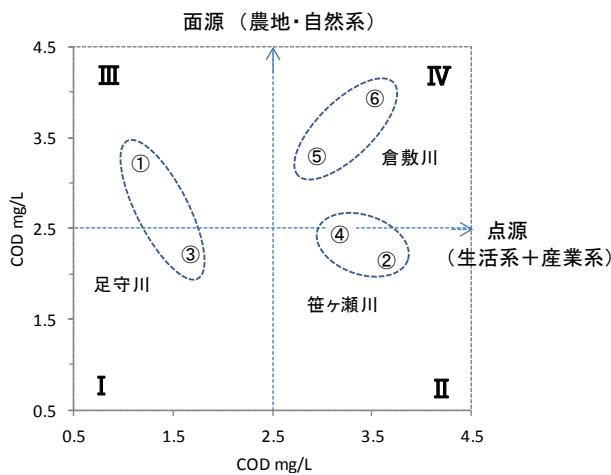


図 8 COD と各発生源の関係

**まとめ**

笹ヶ瀬川と倉敷川の 6 地点の、過去 10 年間の水質

(COD, 全窒素, 全りん) を、フーリエ級数で近似し、水質と水量から負荷量を推算した。これと、統計データから推計される周辺地域からの汚濁負荷量を比較したところ、高い相関が認められた。発生源毎の COD への影響を河川毎に推計し、相対的に足守川では点源の影響が小さく、笹ヶ瀬川では点源の影響が大きく、倉敷川では点源、面源の両方の影響が大きいと推察された。月毎の汚濁負荷量の水質への影響を推定するにあたっては、点源からの汚濁負荷量の変動パターンの設定が課題と考えられた。

**4. 引用文献**

- 1) 岡山県：児島湖ハンドブック，2019
- 2) 岡山県：平成 29 年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書，2018
- 3) 岡山県：平成 19 年度公共用水域および地下水の水質測定結果，2008
- 4) 岡山県：平成 20 年度公共用水域および地下水の水質測定結果，2009
- 5) 岡山県：平成 21 年度公共用水域および地下水の水質測定結果，2010
- 6) 岡山県：平成 22 年度公共用水域および地下水の水質測定結果，2011
- 7) 岡山県：平成 23 年度公共用水域および地下水の水質測定結果，2012
- 8) 岡山県：平成 24 年度公共用水域および地下水の水質測定結果，2013
- 9) 岡山県：平成 25 年度公共用水域および地下水の水質測定結果，2014
- 10) 岡山県：平成 26 年度公共用水域および地下水の水質測定結果，2015
- 11) 岡山県：平成 27 年度公共用水域および地下水の水質測定結果，2016
- 12) 岡山県：平成 28 年度公共用水域および地下水の水質測定結果，2017
- 13) 大石進一：フーリエ解析，7，岩波書店，東京，1989
- 14) 岡山県：平成 17 年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書，2006