

【調査研究】

児島湖隣接区域（北七区）における汚濁負荷量調査

Estimation of Pollution Load from an Area Adjacent to Lake Kojima (Kita Nanaku)

藤田和男, 小川知也, 吉岡敏行 (水質科)

FUJITA Kazuo, OGAWA Tomoya, YOSHIOKA Toshiyuki (Water Section)

要 旨

児島湖に隣接する岡山市南区北七区（水質保全に係る流出水対策地区）において、水田から流出する汚濁負荷量の調査を行った。フーリエ級数により10年間の水質の季節変動が概ね再現された。北七区の正味の排出負荷量の平均値は、CODが117 kg/ha/年、全窒素が16 kg/ha/年、全りんが4.6 kg/ha/年であった。10年間の流入負荷量と排出負荷量はCOD、全窒素及び全りんのいずれも夏期に大きく冬期に小さく、長期的な変化は小さく、一定のパターンで推移する傾向が見られた。

[キーワード：COD, 窒素, リン, 汚濁負荷量]

[Key words : COD, Nitrogen, Phosphorus , Pollution loading amount]

1 はじめに

児島湖の水質汚濁については、湖沼水質保全計画等に基づき、過去33年間にわたり様々な水質保全施策を実施してきたが、未だ環境基準は達成されておらず、更なる水質改善が課題となっている。

平成29年3月には「児島湖に係る第7期湖沼水質保全計画」が策定され、水質汚濁メカニズムの解明に向けた様々な調査研究の推進が盛り込まれている。

本報では、流出水対策地区に指定されている岡山市南区北七区（以下「北七区」という。）の農地に起因する汚濁負荷量の実態等を解明することを目的とし、当地区の10年間のCOD、窒素及びリンの物質収支等について調査、解析を行うとともに、調査結果に基づき、CODや窒素、リン等の汚濁物質の物質収支のシミュレーション計算を行った。

2 材料及び方法

2.1 調査対象地点及び調査方法

北七区は図1に示すとおり児島湖に隣接する区域で、面積4.64 km²の73 %が農地¹⁾で、その大部分が水田である。北七区への流入水は用水と排水で、用水は地点1（5号排水機場）に流入する倉敷川河川水と、地点2（北十条用水路）に七区用排水機場から隣接する西七区を經由して流入する倉敷川河川水である。排水は西七区の農業排水が地点3（七区小学校前）から流入する。排水は地点4（七区排水機場）から児島湖に排出される（以下、「排水水」という）。この4地点において、調査期間は平成19年4月～平成29年3

月までの10年間、月1回現地測定及び採水を行った。現地では気温と水温を測定した。降雨の水質については平成24年度に北七区から約5 kmの地点にある岡山県環境保健センター屋上に採水器（口径30 cmのろうとで容量10 Lの容器に捕集するもの）を設置して採取（33回）し、毎月に水質の平均値を求めた。

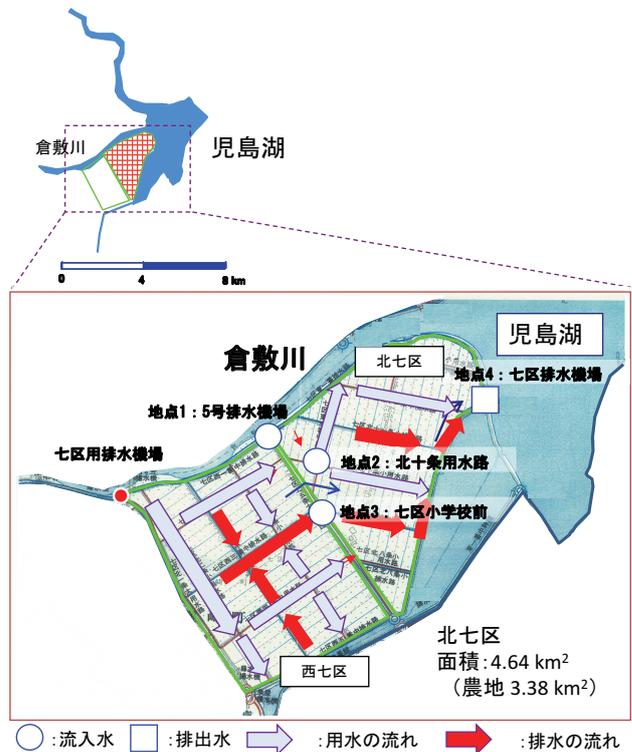


図1 調査地点

採取した検体についてCOD, 全窒素及び全りんを測定した。COD, 全窒素及び全りんはJIS K0102 (工場排水試験法)²⁾ に準じて測定した。地点1の用水量は現地調査結果 (平成23年度130回/年, 平成21～22年度及び平成24～28年度1～2回/月) と地点1の樋門開門時間調査結果 (6～10月は10.5時間/日, 11～5月は10時間/日) に基づき推計¹⁾ した。地点2の用水量は七区用排水機場のポンプ稼働時間から西七区と北七区への用水量の総量を求め, 西七区と北七区の用水の比率の調査結果から北七区への用水量を推計¹⁾ した。地点3の水量は西七区からの排水量で, 七区用排水機場による西七区への用水量に西七区の降水量¹⁾ を加え西七区の蒸発散量を引いた値¹⁾ とした。地点4の排出水量は地点1～3の流入水量に北七区の降水量¹⁾ を加え北七区の蒸発散量を引いた値¹⁾ とした。降水量, 蒸発散量についても文献値¹⁾ を用いた。

2.2 負荷量の算出方法

各地点の水質 (COD, 全窒素, 全りん) 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, 年間の変動の様子を周期的なパターンの解析に用いられるフーリエ級数³⁾ により近似した。

$$C = a_0 + \sum_n (c_1 + c_2) e^{i\theta} \quad (1)$$

ここでC: 水質 (COD, 全窒素又は全りん (mg/L)), a_0 , c_1 及び c_2 : 係数 (mg/L), n : 次数, i : 虚数単位, θ : $2\pi nt$, t : 時間 (year) である。次数 n が1の場合は $Y = a_0 + (c_1 + c_2 i) e^{i\theta}$ である。

また年度毎の最大値や最小値の長期的な変化は一般的に用いられる指数関数 e^θ による関数で近似した。最大値は $c_3 \cdot e^{c_5 \theta}$, 最小値は $c_4 \cdot e^{c_6 \theta}$, ここで $c_3 \sim c_4$: 係数 (mg/L) である。上述のように次数 n が1の場合には, 平均値は最大値と最小値の平均であり以下の式で表される。

$$C = (c_3 \cdot e^{c_5 \theta} + c_4 \cdot e^{c_6 \theta}) / 2 \quad (2)$$

振幅は, 最大値と最小値の差から以下の式で表される。

$$C = (c_3 \cdot e^{c_5 \theta} - c_4 \cdot e^{c_6 \theta}) / 2 \quad (3)$$

長期的 (10年間) な平均値が式 (2), 最大値と最小値が式 (3) で表され, 1年間の短期的な変動パターンが式 (1) に基づいて推移するモデルは, 式 (1) の右辺第1項 a_0 に式 (2) を代入し, 式 (1) の右辺第2項に式 (3) を掛ける以下の式で表される。

$$C = (c_3 \cdot e^{c_5 \theta} + c_4 \cdot e^{c_6 \theta}) / 2 + (c_3 \cdot e^{c_5 \theta} - c_4 \cdot e^{c_6 \theta}) / 2 \cdot \sum_n (c_1 + c_2) e^{i\theta} \quad (4)$$

水量も水質と同様に以下の近似式で表した。

$$Q = (c_9 \cdot e^{c_{11} \theta} + c_{10} \cdot e^{c_{12} \theta}) / 2 + (c_9 \cdot e^{c_{11} \theta} - c_{10} \cdot e^{c_{12} \theta}) / 2 \cdot \sum_n (c_7 + c_8) e^{i\theta} \quad (4)'$$

ここでQ: 水量 (m^3 /月), $c_9 \sim c_{10}$: 係数(m^3 /月)である。

負荷量は, 式 (4) の水質Cに式 (4)'の水量Qを乗じた以下の式により推算した。

$$L = C \cdot Q \times 10^3 \quad (5)$$

ここでL: 負荷量 (COD, 全窒素又は全りん (kg/月)) である。

各地点の水質と水量から各地点の負荷量を計算した。負荷量は, 排出負荷量, 正味の排出負荷量, 差し引き負荷量に分類される^{2,4)}。以下では, 地点1から地点4の負荷量を $L1 \sim L4$, 降水負荷量を L_{rain} とし, 地点4の負荷量($L4$)は, 北七区から児島湖へ排出される負荷量であり排出負荷量とした。地点4の負荷量 ($L4$) から北七区へ流入する負荷量 ($L1 + L2 + L3$) を引いた値を正味の排出負荷量とした。正味の排出負荷量から降水負荷量を引いた値を差し引き負荷量とした。これらを式で表すと次のようになる⁴⁾。

$$[\text{正味の排出負荷量}] = L_4 - (L_1 + L_2 + L_3) \quad (6)$$

$$[\text{差し引き負荷量}] = [\text{正味の排出負荷量}] - [\text{降水負荷量}] \\ = L_4 - (L_1 + L_2 + L_3) - L_{rain} \quad (7)$$

なお, 一般に議論されている水田の原単位は, 正味の排出負荷量を水田の単位面積当たりにした値⁴⁾ である。

2.3 実測汚濁負荷量と水量を変数とするモデル計算

モデル計算の方法の一つとして, 流入水や降水が農地を通過する際に汚濁負荷 (COD, 全窒素及び全りん) となる成分が農地から水中に混ざり流出する状況を仮定して, 水量のみを変数とするモデル計算を試みた。計算に必要な入力値は用水が流入する2地点 (地点1と地点2) の水量, 降水量及び蒸発散量であり (図2), 降水量は実測値¹⁾, その他 (各地点の水量と蒸発散量) はモデル式による推計値を用いた。

降水量及び流入水量 (地点1と地点2からの流入水量から降水量及び蒸発散量を除いた値) Q_{in} と負荷量Lの関係が

$$L = \sum_i a_i \cdot Q_i \\ = a_1 \cdot (Q_1 + Q_2 - Q_{ev}) + a_2 \cdot (Q_{rain}) \quad (8)$$

の式で表されるとして, 重回帰分析により最近10年間分のデータを用いて式 (8) の係数 (a_1 と a_2) を決定し, 北七区の正味の汚濁負荷量を以下の式で表した。

$$L^{COD} = 13 (Q_1 + Q_2 - Q_{ev}) + 99 (Q_{rain}) \\ L^{TN} = -3.0 (Q_1 + Q_2 - Q_{ev}) + 22 (Q_{rain}) \\ L^{TP} = 0.75 (Q_1 + Q_2 - Q_{ev}) + 4.5 (Q_{rain}) \quad (9)$$

ただし, L^{COD} , L^{TN} 及び L^{TP} : 北七区から排出される正味の排出負荷量 kg/月, Q_1 , Q_2 : 地点1と地点2からの流入量 m^3 /月, Q_{ev} : 蒸発散量 m^3 /月, Q_{rain} : 降水量 m^3 /月とした。

3 結果及び考察

3.1 水質及び降水量

図3に10年間（平成19～28年度）の北七区の各地点の水質の実測値及び近似計算値を示す。実測値では、10年間の水質の季節変動は、CODは春期に、全窒素は冬期に、全りんは夏期に高い傾向があった。近似計算ではこの10年間の水質の季節変動が概ね再現された。また北七区への流入水の水質が、北七区を通過し、どの程度変化するのかを図4～6に示す。ここで流入水の水質 C_{in} は、地点1～3からの流入水が全て混合されたと仮定した推算値で、水質と水量から以下の式で計算した。

$$C_{in} = (C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2 + C_3 \cdot Q_3) / (Q_1 + Q_2 + Q_3) \quad (10)$$

排出水の水質は地点4の水質 $C_{out} = C_4$ 、流入水と排出水の差は $\Delta C = C_{out} - C_{in}$ で表す。水質と水量の実測値から推算した流入水の水質 C_{in} （10年間の平均値）はCODが9.6 mg/L、全窒素が2.07 mg/L、全りんが0.33 mg/Lであった。これに対し排出水の水質 C_{out} （10年間の平均値）はCODが11.5 mg/L、全窒素が2.13 mg/L、全りんが0.38 mg/Lで、北七区を通過することによりCODが1.9 mg/L、全窒素が0.05 mg/L、全りんが0.05 mg/L増加すると推計された。全りん濃度の増加分0.05 mg/Lは全りんの環境基準値0.1 mg/Lの半分を占め、CODや全窒素と比較して水質への影響度が大きくなっている。流入水より排出水のCODが高くなる要因として、土壌や肥料に由来する有機物が考えられる⁴⁾。ただし、非かんがい期に流入水の濃度よりも排出水の濃度が僅かに低い場合があった。この原因は、

非かんがい期には肥料成分などによる濃度の増加が殆どないことや、流入水の大部分は北七区の水田を通過することなく水路を流れるため水質の変化が少ないこと、水量が少なく相対的に降雨による希釈や懸濁物の沈降の影響がかんがい期と比べて大きいことが考えられる。

CODや全りんと比較して全窒素の増加分が小さい理由として、水田では脱窒により全窒素を低減させる作用が大きい⁴⁾ことや、水稻の窒素吸収量が大きいこと（水稻の窒素吸収量は窒素施肥量とほぼ同程度⁴⁾）が考えられる。

図4～6に示す流入水、排水水及び両者の差の近似値の推移をみると、CODは流入水と排水水が、10年間でばらつきはあるものの長期的に若干減少していく傾向が見られるが、両者の差については長期的な減少傾向は小さかった。全窒素は排水水の月毎の値がばらついていたが、長期的には流入水、排水水とも概ね1.5～4 mg/Lの範囲にあり、増加や減少傾向などは見られなかった。両者の差もばらつくものの一定の範囲内にあると考えられた。全りんは長期的には流入水、排水水とも概ね0.1～0.7 mg/Lの範囲にあり、増加や減少傾向などは見られず、両者の差も一定の範囲内にあると考えられた。これらのことから、COD、全窒素及び全りんとも、10年間では流入水と排水水の差に大きな変化や改善は見られなかった。

図7に北七区における流入水量、排水水量、降水量及び蒸発散量¹⁾を示す。

北七区への流入水量は以下の式で表される。

$$Q_{in} = (Q_1 + Q_2 + Q_3) + (Q_{rain} - Q_{ev}) \quad (11)$$

ここで $Q_1 \sim Q_3$ ：地点1～3の流量（ m^3 /年）、 Q_{rain} ：降

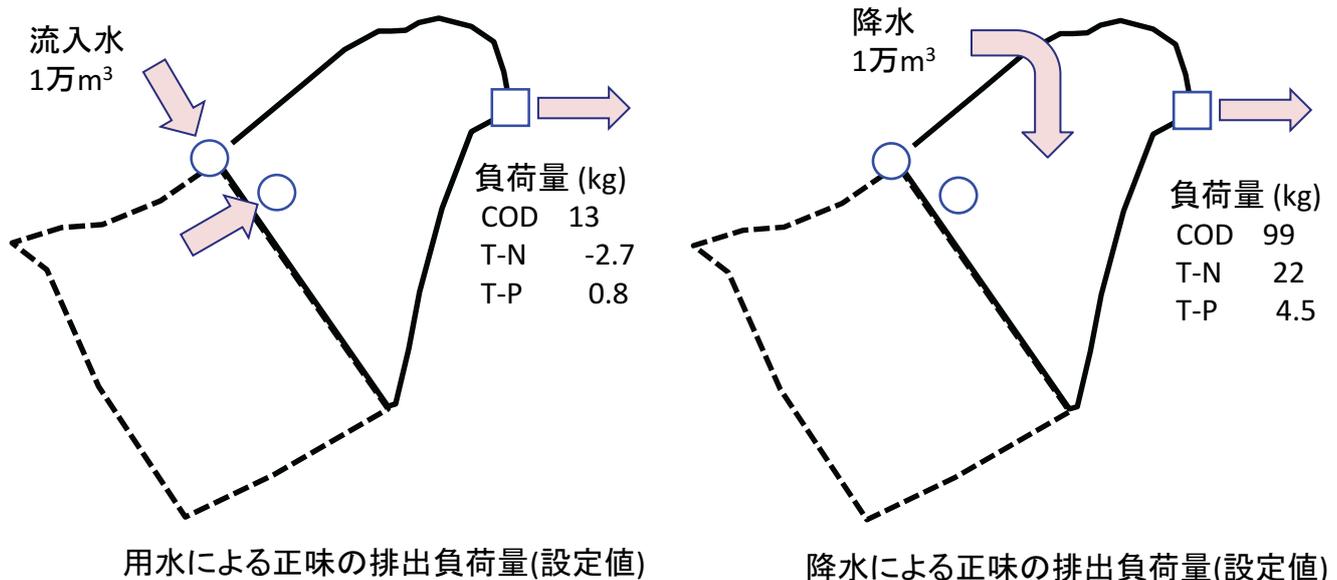
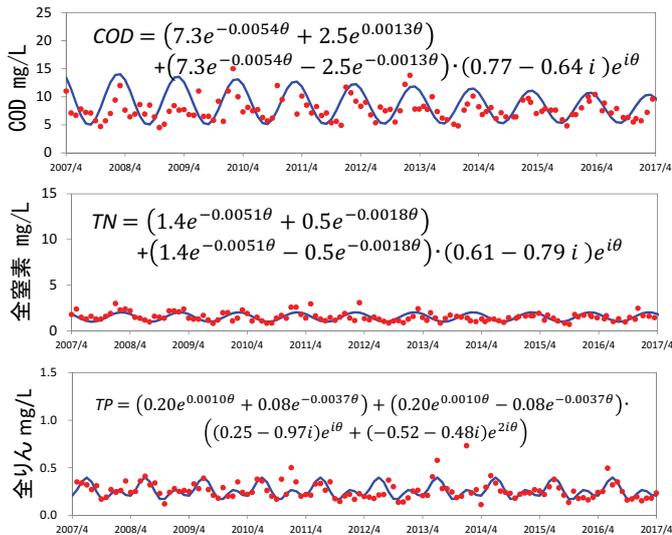
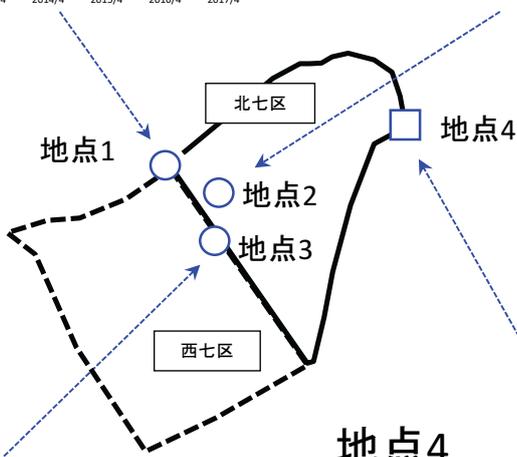
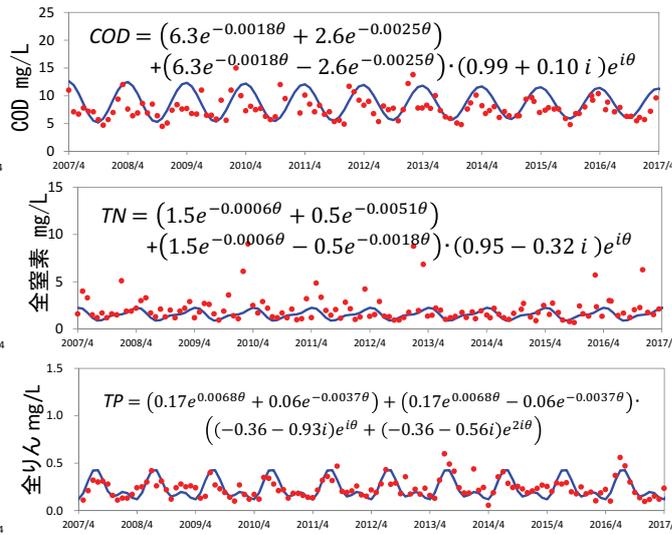


図2 水量を変数とする正味の排出負荷量の計算モデル

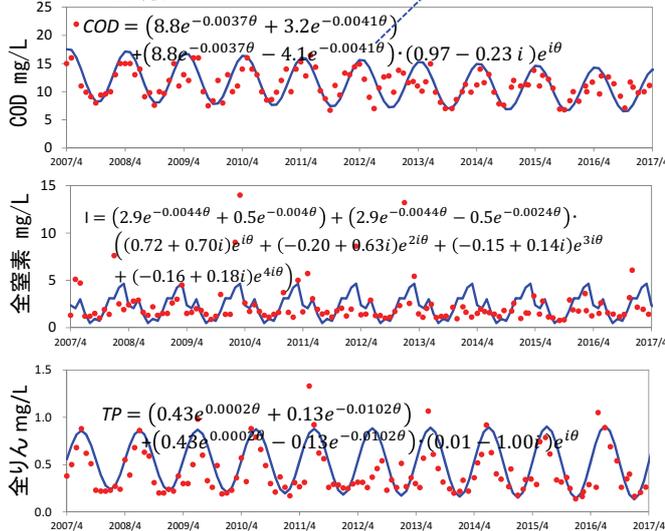
地点1



地点2



地点3



地点4

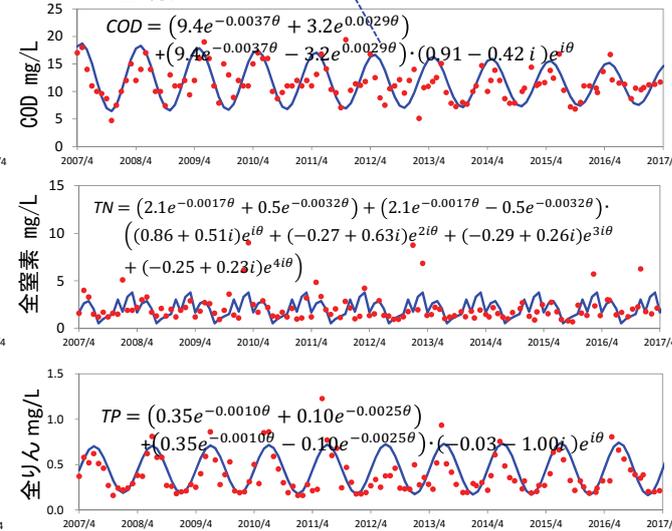


図3 水質測定結果及び近似計算結果
 ● : COD、T-N及びT-P (実測値)
 — : 近似値

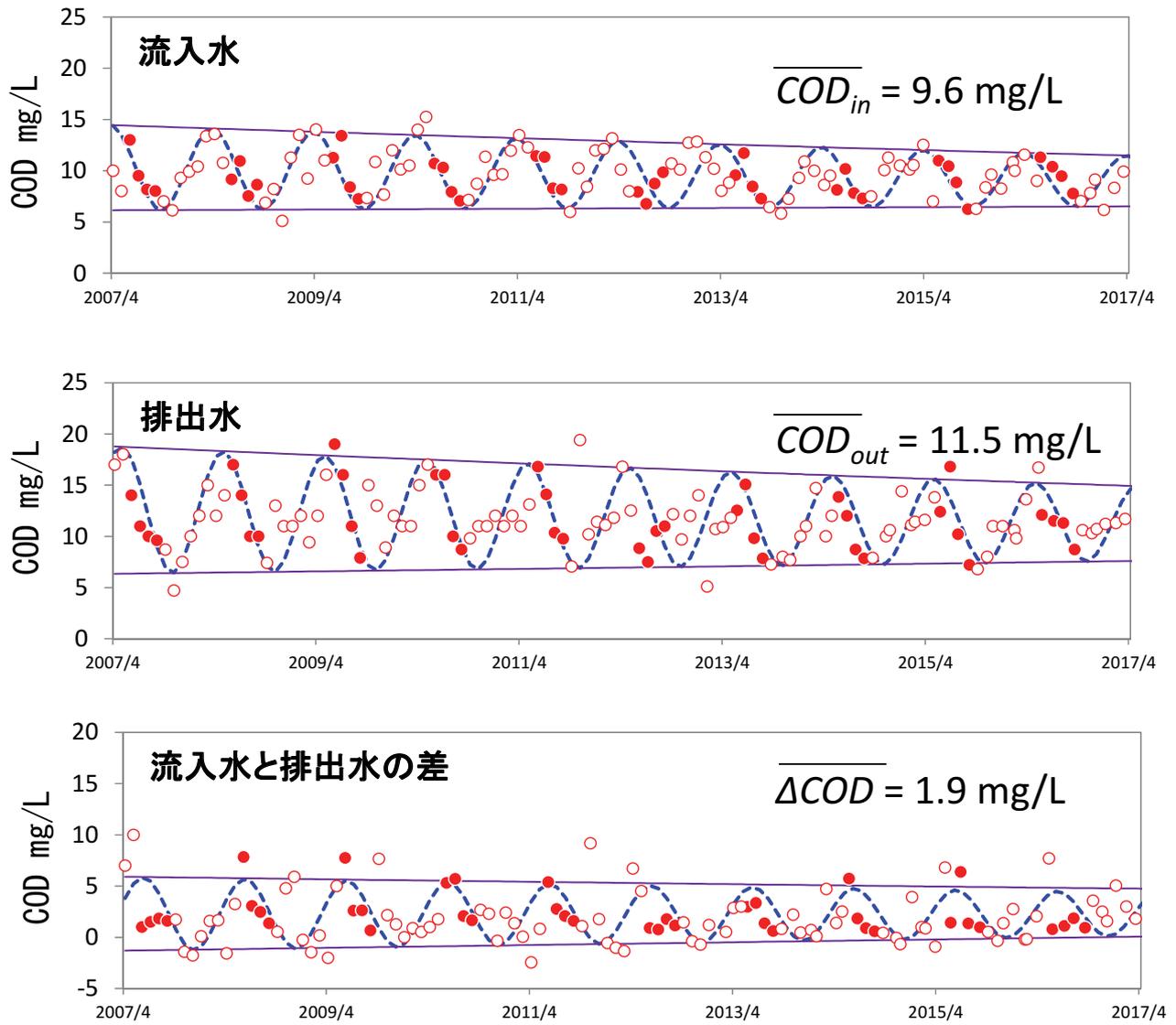


図4 流入水と排水水のCOD
 ●：かんがい期の実測値，○：非かんがい期の実測値¹⁾，
 ---：近似値，—：近似値の最大及び最小値

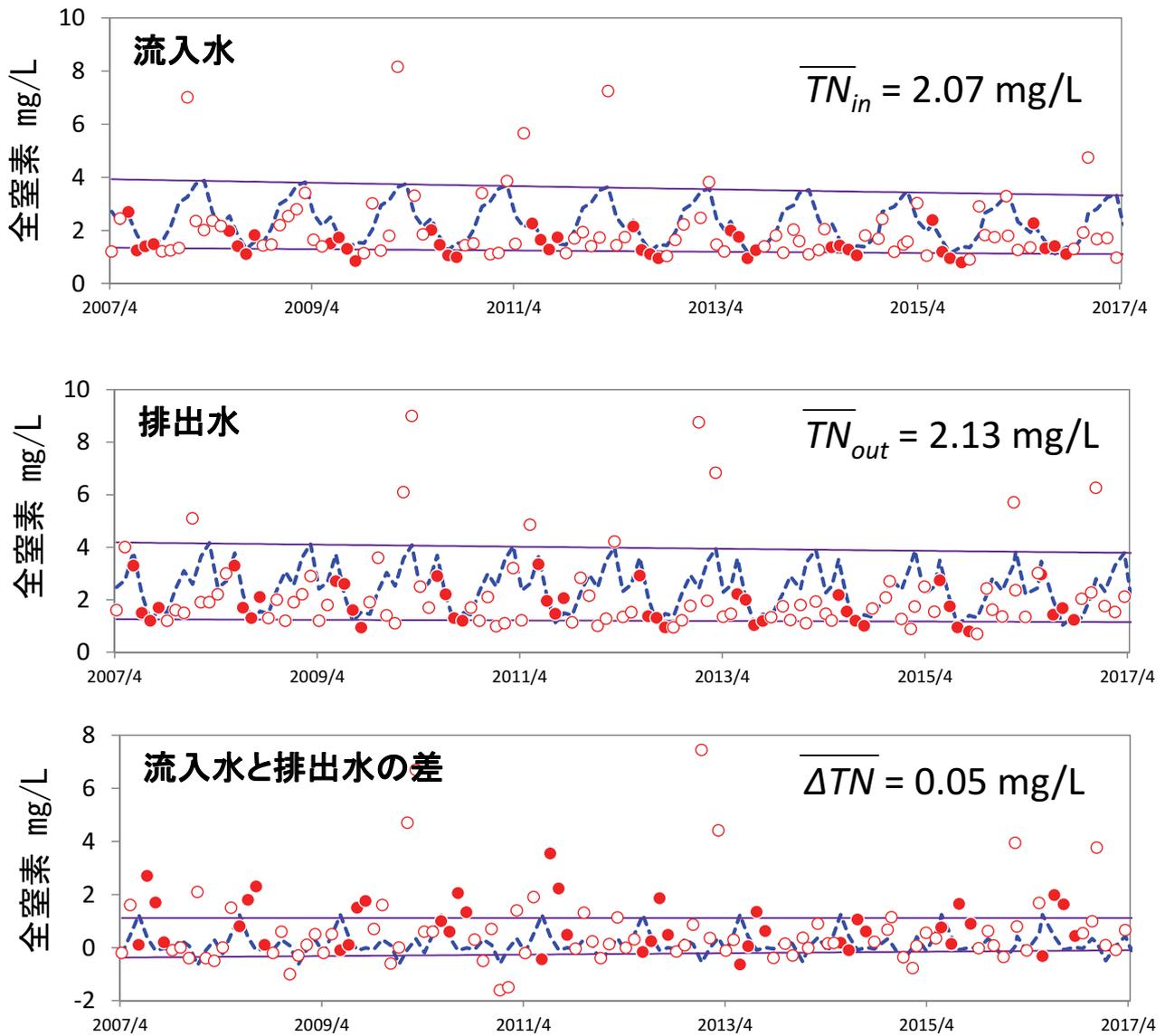


図5 流入水と排水水の全窒素
 ●：かんがい期の実測値，○：非かんがい期の実測値¹⁾，
 ---：近似値，—：近似値の最大及び最小値

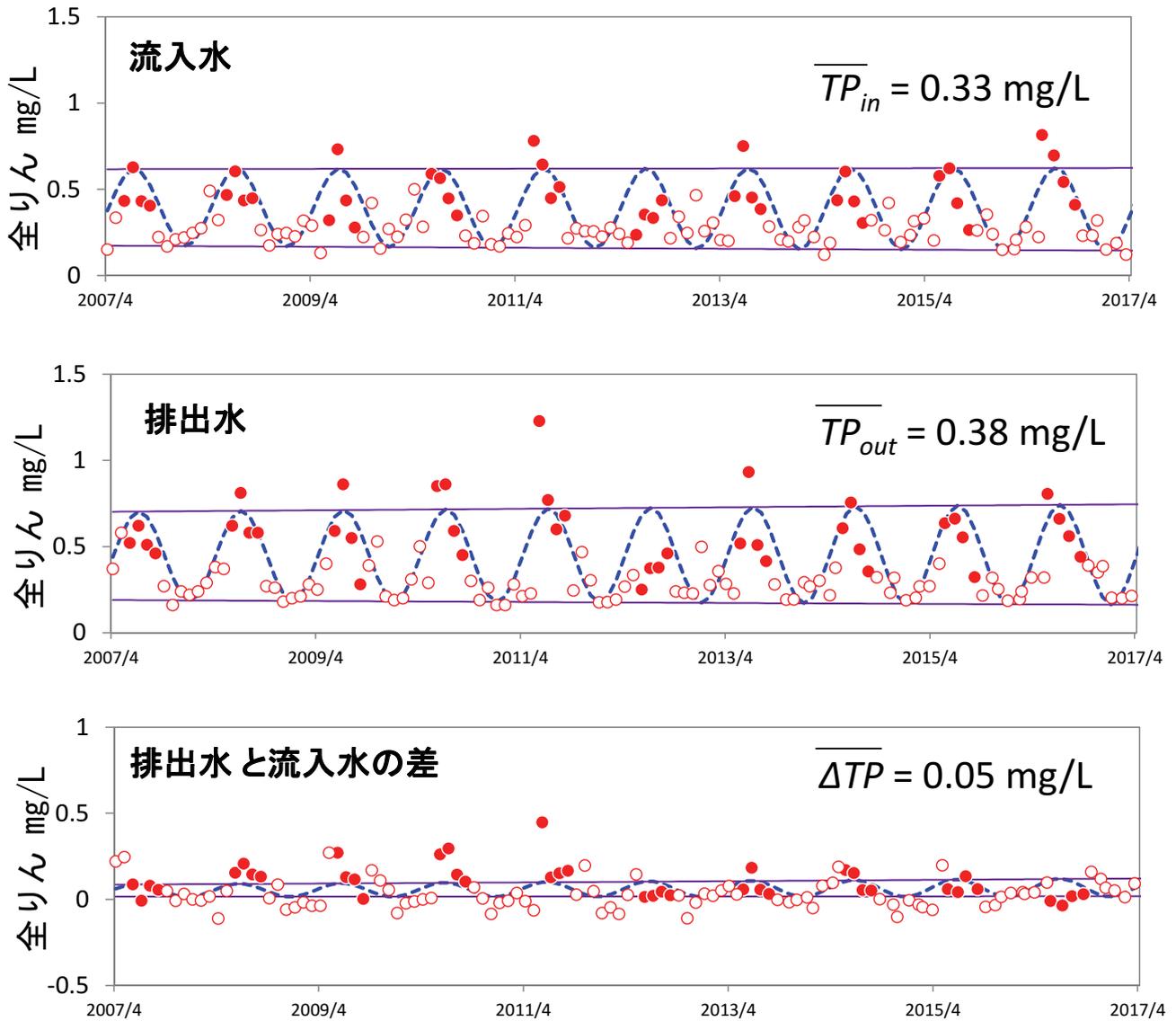


図6 流入水と排水水の全りん
 ●：かんがい期の実測値，○：非かんがい期の実測値¹⁾，
 ---：近似値，—：近似値の最大及び最小値

水量 ($\text{m}^3/\text{年}$)、 Q_{ev} ：蒸発散量 ($\text{m}^3/\text{年}$)である。10年間の平均値は地点1の用水量 Q_1 が $5.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 、地点2の用水量 Q_2 が $5.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 、地点3の排水量 Q_3 が $1.1 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{年}$ 、地点4の排水量 Q_4 が $2.2 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{年}$ 、北七区の降水量 Q_{rain} が $5.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 、蒸発散量 Q_{ev} が $4.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ であった。北七区への流入水のうち西七区からの農業排水である Q_3 が約半分を占める。このことは、北七区の水収支や負荷量の収支を考える上で Q_3 が大きな影響を与えていることを示す。

北七区への降水量 Q_{rain} は北七区からの排水量 Q_{out} の24% (10年間の平均値)であった。年度毎の降水量はばらつき、10年間の平均値は1127 mm/年に対し最大値は平成23年度の1720 mm/年、最小値は平成19年度の747 mm/年、変動係数は17%であった。月毎の降水量は平成23年の9月に612mmと最も大きく、10年間の9月の平均値178 mmと比較して3.4倍と特に大きい、これは9月中旬に発生した大型で強い台風による豪雨の影響によるものであった。次いで平成28年6月に降水量が434 mmと大きい、

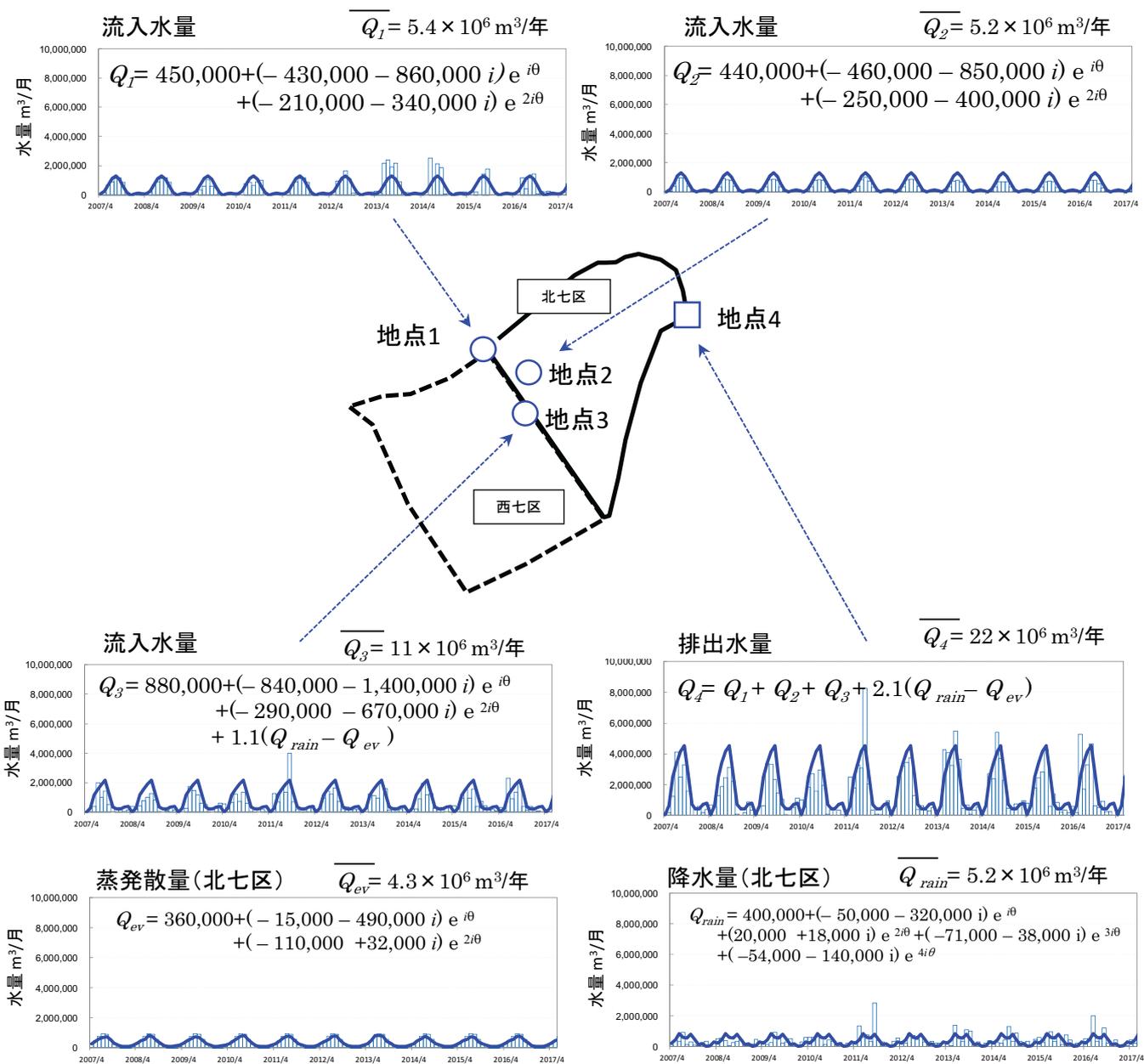


図7 水量、降水量及び蒸発散量

□ : 文献値¹⁾
 — : 近似値

これは梅雨の時期が例年より長引いたことによる。また平成25年の6月に降水量が298 mm、平成23年5月に降水量が294 mmと大きく、いずれも台風の影響があった。

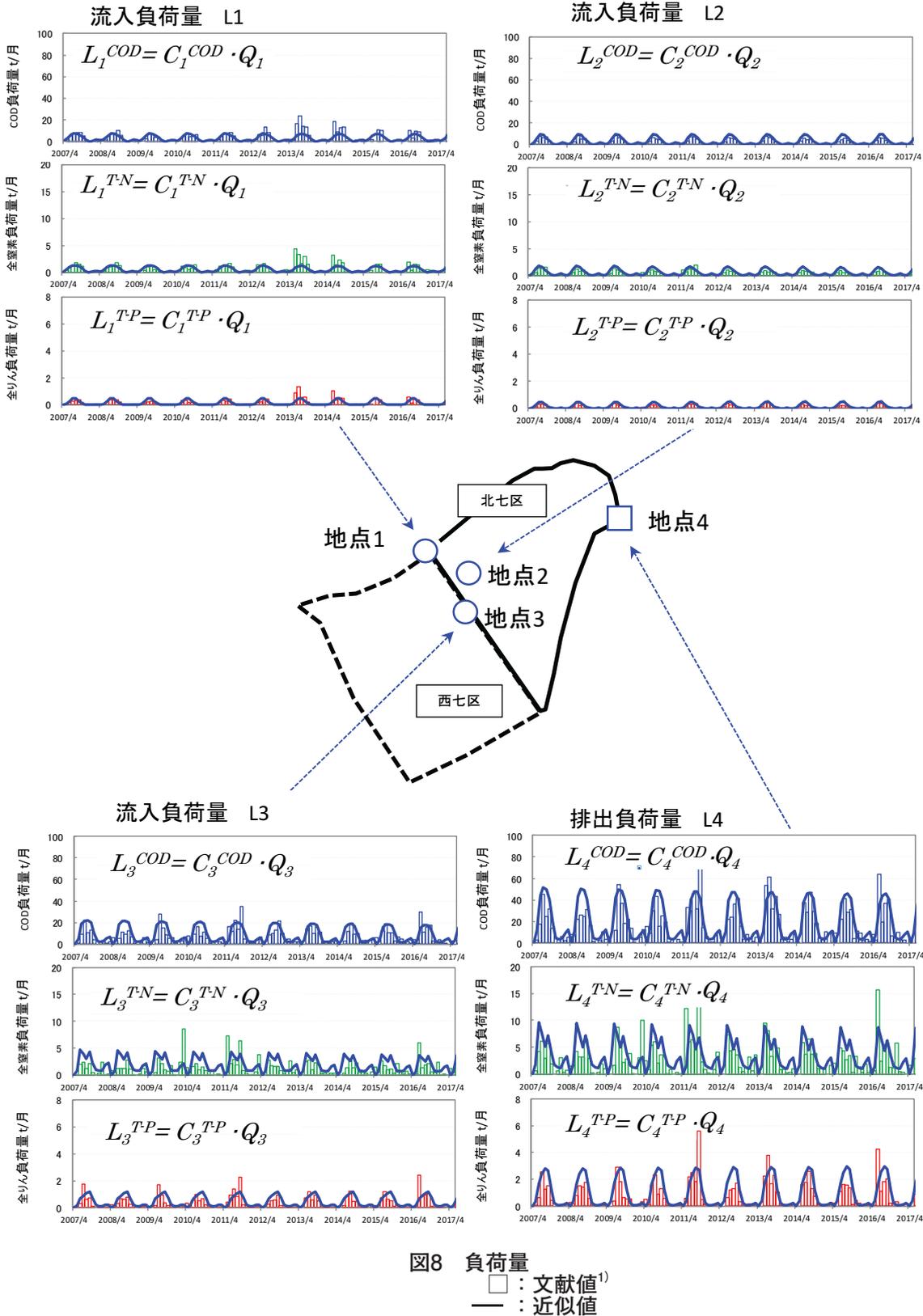
3.2 負荷量

3.2.1 各地点の負荷量と排出負荷量

各地点の負荷量を図8に示す。

COD排出負荷量の大きい年度について、10年間の平均値を20%以上上回った年度は平成23年度と平成25年度で、それぞれ平均値より33%及び22%大きかった。平成23年度は9月に負荷量が大きく、水質は9月の月平均値より10

%だけ高かったが、水量は76%大きかった。平成25年度は6～7月に負荷量が大きく、各月の値を10年間の平均値と比べると6月の水質は12%低く、7月の水質は12%高い程度であった一方、水量は6月に月平均値より78%大きく、7月に24%大きかった。したがって、平成23年度と平成25年度の増加要因は、水質より水量の増加の影響が大き



いと考えられた。

全窒素排出負荷量の大きい年度について、10年間の平均値より20%以上上回った年度は平成23年度で、平均値より60%大きかった。平成23年度は5月と9月に負荷量が大きく、水質は5月の月平均値より101%高かったが、水量は76%大きかった。また9月の水質の月平均値より56%高かったが、水量は76%大きかった。

全りん排出負荷量が、10年間の平均値より20%以上上回った年度はCODと同様に平成23年度と平成25年度で、それぞれ平均値より48%及び23%大きかった。平成23年度はCODと同様に9月に負荷量が大きく、水質は9月の月平均値より53%高かったが、水量は76%大きかった。よって要因として水質より水量の増加の影響がやや大きいと考えられた。平成25年度は7月に負荷量が大きく、各月の値を10年間の平均値と比べると水質は28%高く、水量は24%大きかった。よって要因として水質と水量の増加の影響が同程度と考えられた。

COD、全窒素及び全りんの排出負荷量は特に平成23年9月が大きい、この時期に発生した大型の台風による降水量の増加の影響が大きかった。また平成23年5月に全窒素排出負荷量、平成25年6月にCOD排出負荷量が大きいのが台風による降水量の増加の影響が大きいと考えられた。

図8に示す負荷量の近似値は、図3に示す各地点の水質の近似値と図7に示す各地点の水量の近似値を掛けて計算した値で、規則的なパターンで推移している。

3.2.2 正味の排出負荷量

図9～11に正味の排出負荷量の10年間の変遷を示す。実測値から計算された北七区の10年間の正味の排出負荷量の平均値は、CODが54 t/年、全窒素が7.6 t/年、全りんが2.1 t/年であった。単位面積当たりの負荷量（原単位）に換算するとCODが117 kg/ha/年、全窒素が16 kg/ha/年、全りんが4.6 kg/ha/年であった。また、年度毎の正味のCOD排出負荷量は58～200 kg/ha/年、全窒素排出負荷量は4.5～35 kg/ha/年、全りん排出負荷量は1.3～11 kg/ha/年の範囲にあり、いずれの年度においても流入水量や降水量が大きい月に負荷量が大きい傾向が見られた。正味の排出負荷量は排出負荷量と比べると小さく、その割合は正味のCOD排出負荷量が22%、正味の全窒素排出負荷量が18%、正味の全りん排出負荷量が18%であった。北七区の正味の排出負荷量の割合が小さいことから、推計結果は排出負荷量や流入負荷量のばらつきや誤差の影響を受けやすく、図8から、特に西七区から流入する負荷量の影響が大きいと考えられた。表1に流入負荷量、排出負荷量及び正味の負荷量の10年間の年度毎の

データの平均値とばらつきを示す。流入負荷量及び排出負荷量の変動係数（CV）は12～26%の範囲であるのに対して、正味の負荷量の変動係数は36～62%と大きい。これは、正味の負荷量が流入負荷量や排出負荷量と比較して小さく、相対的に両者の値のばらつきの影響を受けやすいためと考えられる。

近似値をみると、COD、全窒素及び全りんの流入負荷量、排出負荷量及び正味の排出負荷量は10年間で一定のパターンで推移している傾向があると考えられた。

治多等⁵⁾は汚濁負荷量に関する過去の報告（479件）を整理し、慣行農法の水田（水田群・一筆水田）の排出負荷量（灌漑期と非灌漑期の平均値）はCOD排出負荷量216 kg/ha/年（かんがい期157 kg/ha/年、非かんがい期59 kg/ha/年の合計）、全窒素排出負荷量29 kg/ha/年、全りん排出負荷量3.9 kg/ha/年を述べている。今回の結果（COD排出負荷量117 kg/ha/年、全窒素排出負荷量16 kg/ha/年、全りん排出負荷量4.6 kg/ha/年）と比較すると、CODと全窒素がそれぞれ46%及び45%小さく、全りんが19%大きかった。

また、改善農法が取り入れられている水田では、正味のCOD排出負荷量41.5 kg/ha/年、全窒素排出負荷量34.8 kg/ha/年、全りん排出負荷量2.81 kg/ha/年と述べられており、今回の結果と比較すると、CODが182%大きく、全窒素は54%小さく、全りんは63%大きかった。改善農法では耕方改善（無代かき、浅水代かき、止め水）、施肥

表1 年度ごとの負荷量データの平均値と標準偏差

	流入負荷量		
	COD	全窒素	全りん
平均値 kg/ha/年	414	73	21
σ	52	16	3.8
CV %	12	21	18

	排出負荷量		
	COD	全窒素	全りん
平均値 kg/ha/年	531	90	25
σ	83	23	5.5
CV %	16	26	22

	正味の排出負荷量		
	COD	全窒素	全りん
平均値 kg/ha/年	117	16	4.6
σ	42	10	2.7
CV %	36	62	58

方法改善（緩効肥料，側条施肥，苗箱），かんがい方法改善（循環かんがい）が挙げられており，全りんの削減率は無代かき又は減代かきで39～73%，苗箱で44%，循環かんがい28%⁶⁾のデータが示されている。

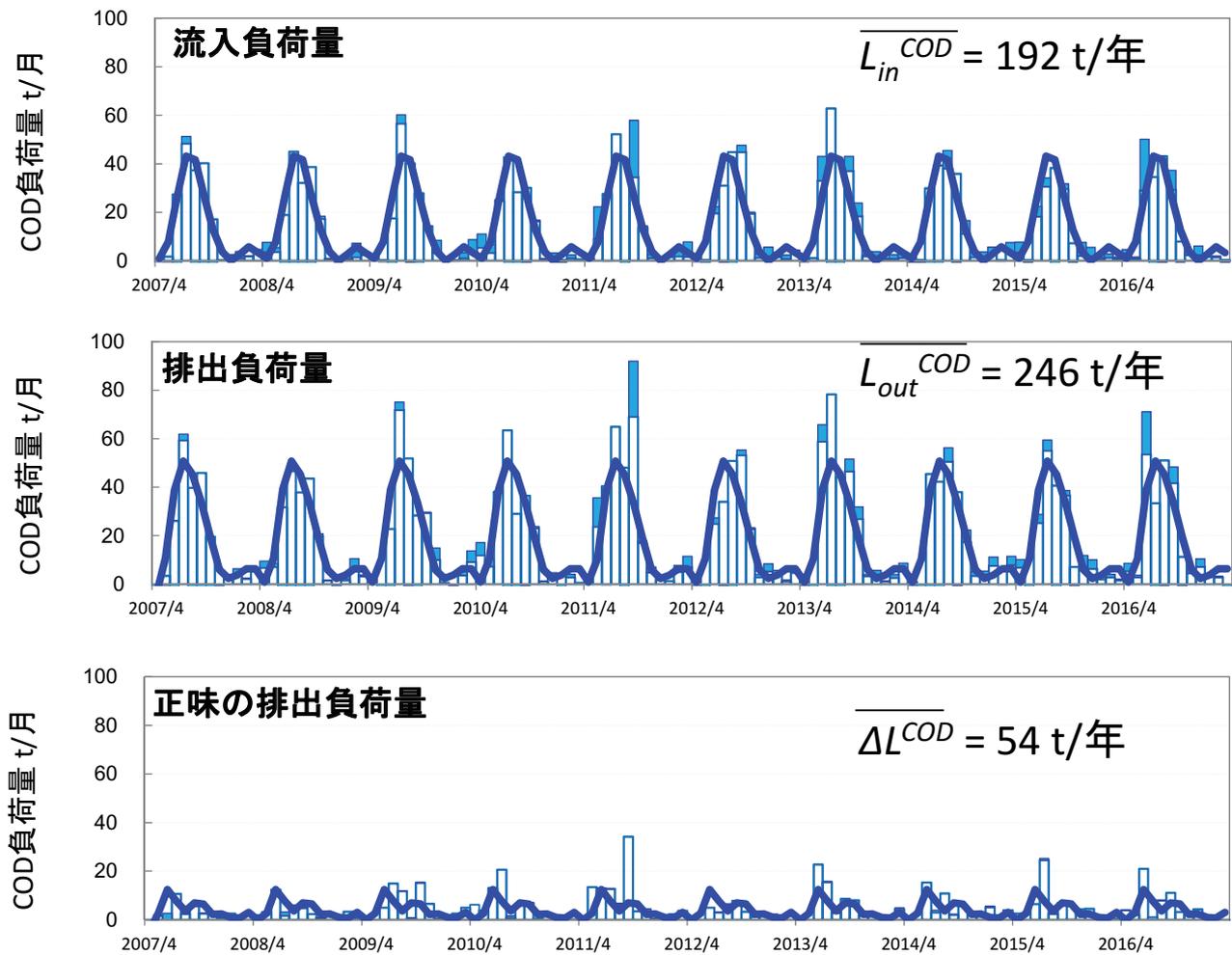


図9 正味のCOD排出負荷量

- : 実測値 (水質×用水量) から計算される負荷量
- : 実測値 (水質×(降水量－蒸発散量)) から計算される負荷量
- : 近似値

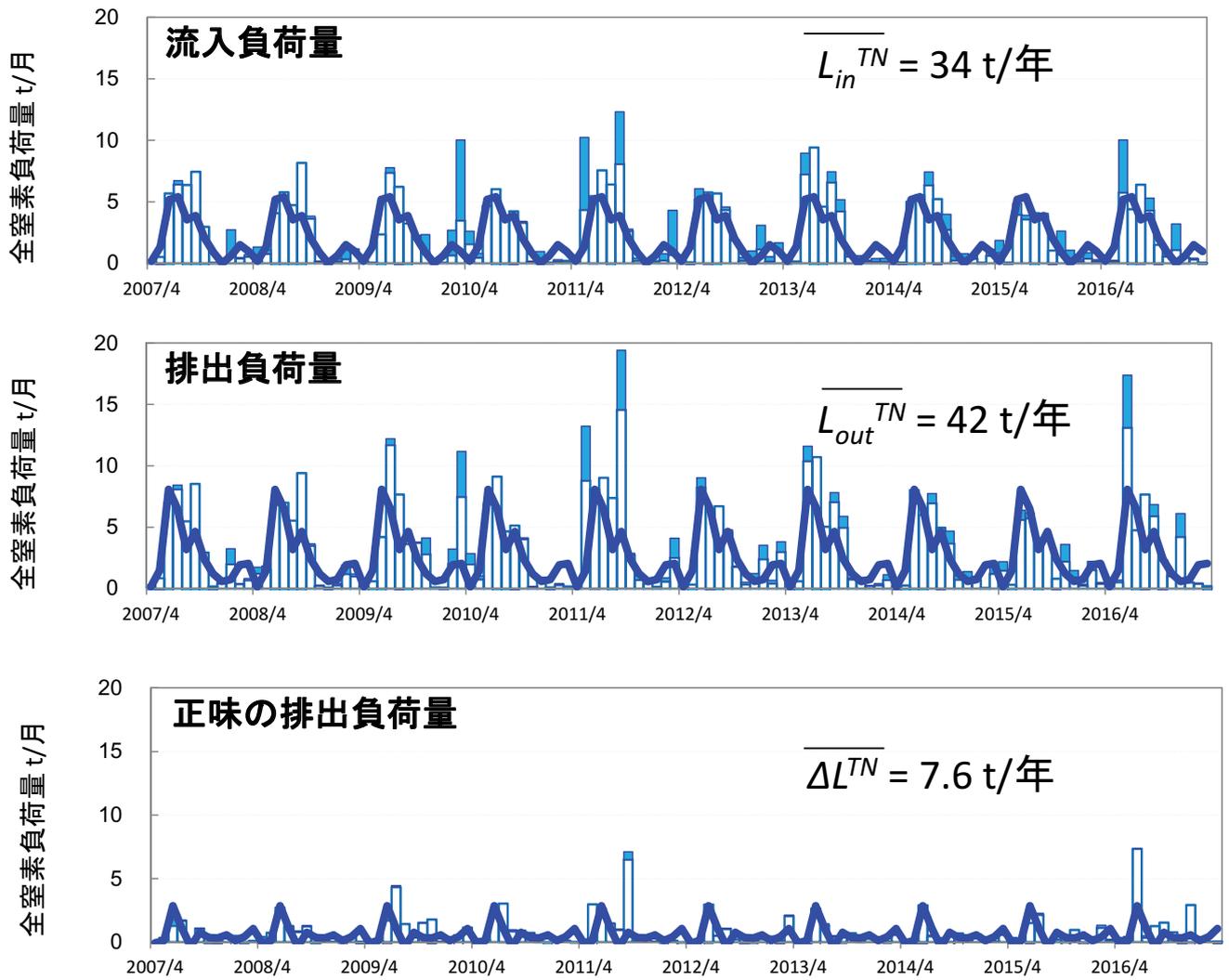


図10 正味の全窒素排出負荷量

- : 実測値 (水質×用水量) から計算される負荷量
- : 実測値 (水質×(降水量-蒸発散量)) から計算される負荷量
- : 近似値

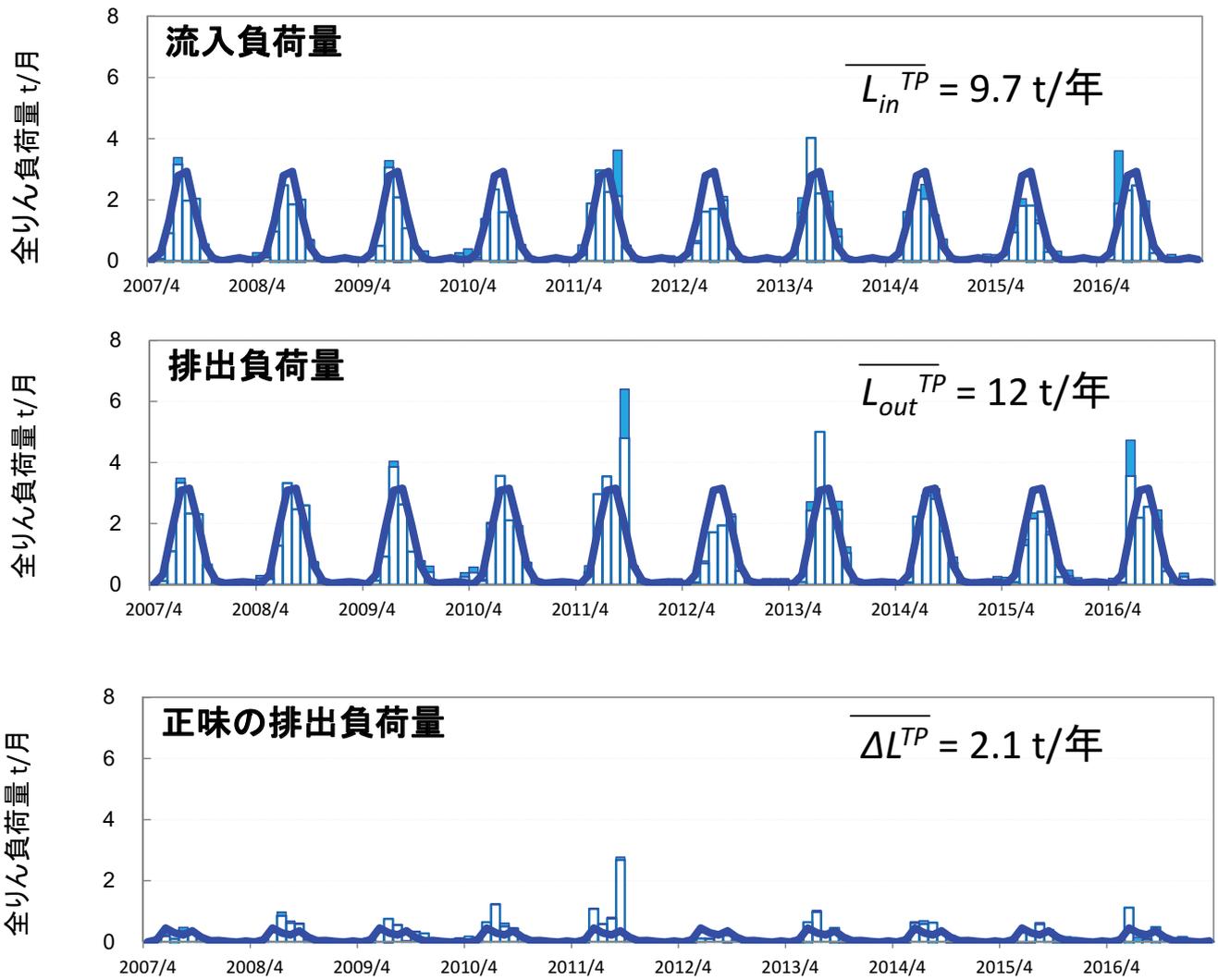


図11 正味の全りん排出負荷量

- : 実測値 (水質×用水量) から計算される負荷量
- : 実測値 (水質×(降水量-蒸発散量)) から計算される負荷量
- : 近似値

3.2.3 差し引き負荷量

図12にCOD, 全窒素及び全りんものの差し引き負荷量と降水負荷量の推計値を示す。降水負荷量を正味の排出負荷量と比較すると, CODで23%, 全窒素で39%, 全りんもので7%と推計された。窒素は他の項目と比べて, 正味の排出負荷量に対する降水負荷量の比率が大きいが, その理由として, 図5に示すように水田では脱窒により流入水と排出水の濃度の差が小さく, 相対的に降水の負荷量の比率が大きく推計されたと考えられる。

3.3 実測汚濁負荷量と水量を変数とするモデル計算による汚濁負荷量の比較

水量を変数とする北七区からの正味の排出負荷量(式9)の推計結果を図13に示す。正味の排出負荷量はかんがい期に大きく, モデル計算では10年間の正味の排出負荷量の季節変動が概ね表された。10年間分の月毎の計算結果と実測値から得られた結果の相関係数はCODが0.82, 全窒素が0.79, 全りんが0.65であった。相関係数の評価の指針として文献値⁶⁾の0.2以下:とても弱い, 0.2~0.4:弱い,

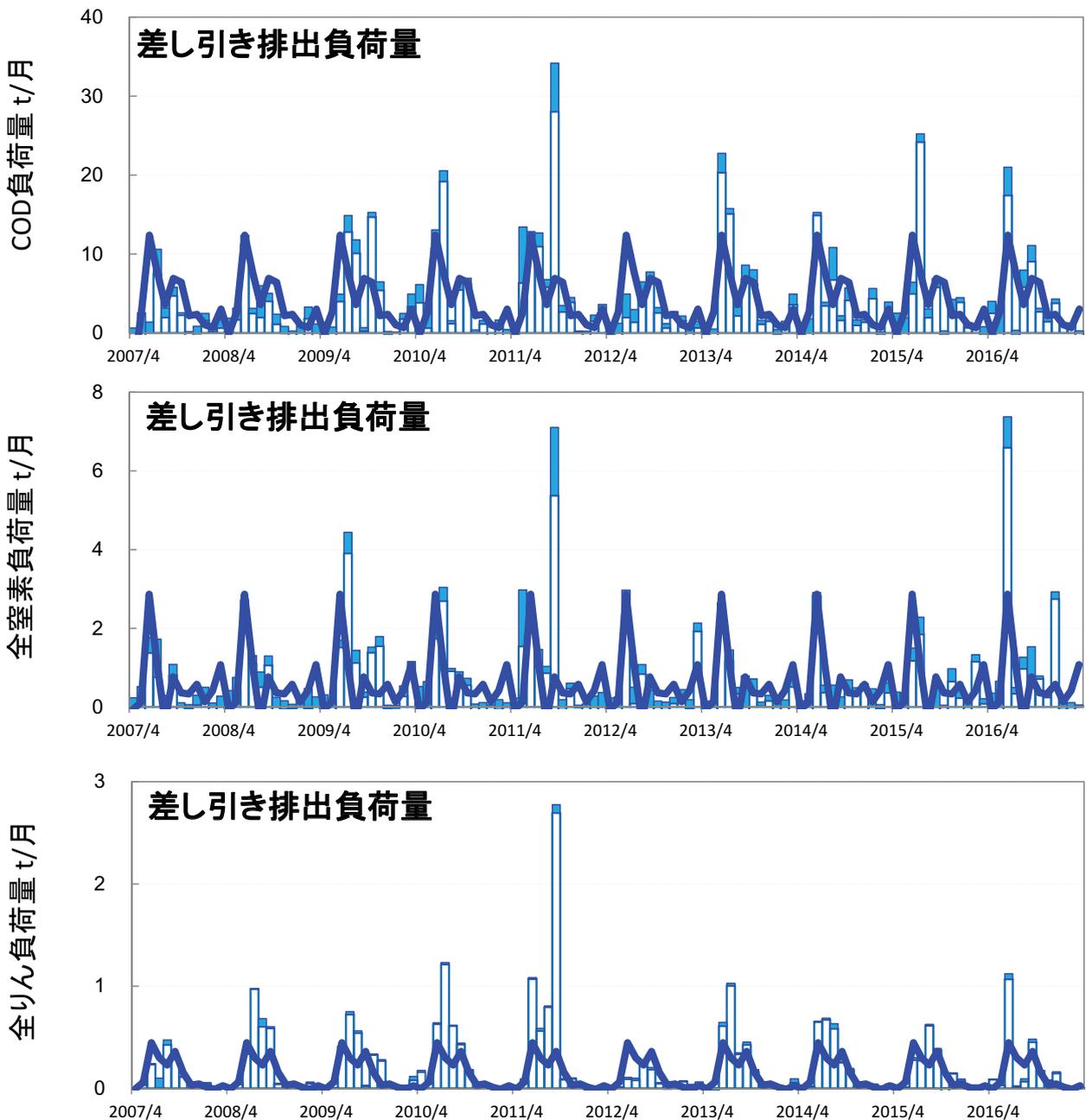


図12 差し引き排出負荷量と降水負荷量
 □ : 差し引き排出負荷量
 ■ : 降水負荷量
 — : 正味の排出負荷量の近似値

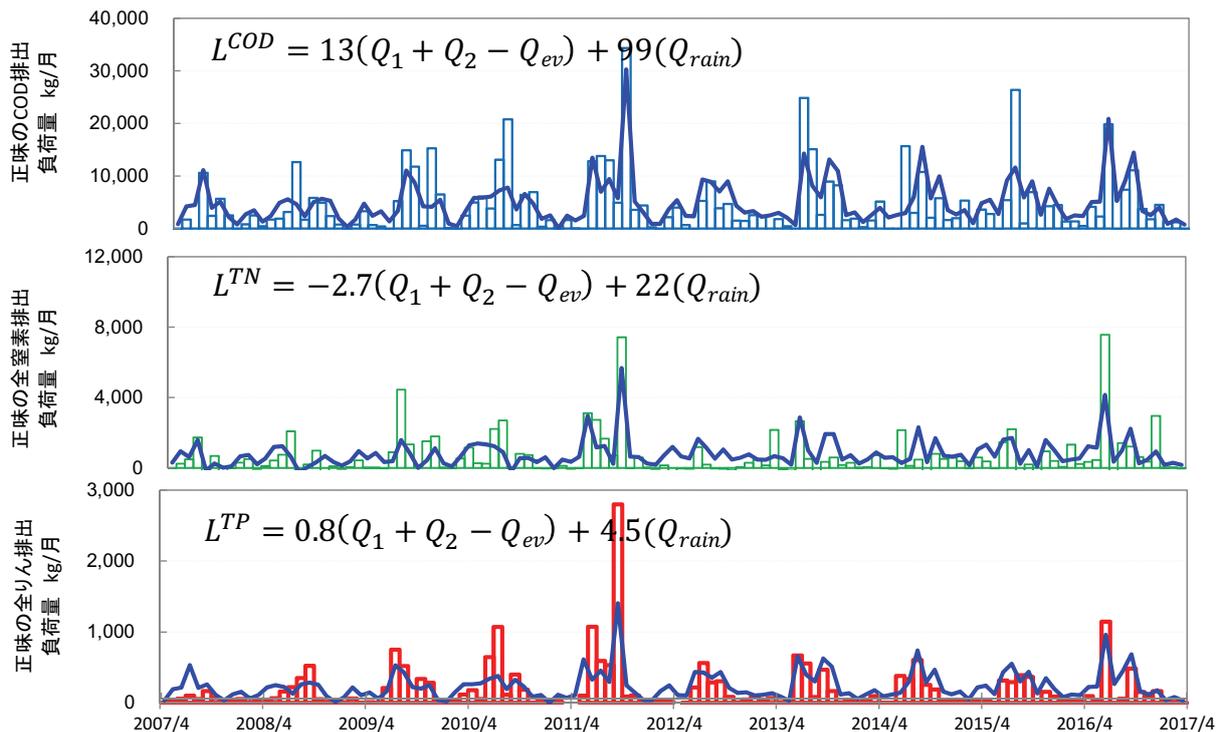


図13 正味の排出負荷量のモデル式による推計
□：文献値²⁾からの計算値
—：モデル式による計算値

0.4～0.7：中程度，0.7～0.9：強い，0.9以上：とても強い，を用いると，CODと全窒素では強い，全りんは中程度と評価され，モデル計算結果は，ある程度相関があると考えられた。

4 まとめ

北七区で水田から流出する汚濁負荷量の調査を行った。流入水と流出水の水質の差は，CODが1.9 mg/L，全窒素が0.05 mg/L，全りんが0.05 mg/Lで，10年間での変化は小さかった。10年間の水質の季節変動はフーリエ級数により概ね再現された。

実測値から計算された北七区の正味の排出負荷量はCODが117 kg/ha/年，全窒素が16 kg/ha/年，全りんが4.6 kg/ha/年であった。10年間の流入負荷量と排出負荷量はCOD，全窒素及び全りんのいずれも夏期に大きく冬期に小さく，長期的な変化は小さく，一定のパターンで推移する傾向が見られた。

- 1) 岡山県：平成30年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書，2019
- 2) 島弘志編：工場排水試験法 JIS-K0102，日本規格協会，東京，2010
- 3) 大石進一：フーリエ解析，7，岩波書店，東京，1989
- 4) 武田育郎：よくわかる水環境と水質，161，オーム社，東京，2010
- 5) 日本水環境学会ノンポイント汚染研究委員会：非特定汚染源からの流出負荷量の推計手法に関する研究，12-14，2012
- 6) D.ロウンリー：新・涙なしの統計学，191，新世社，1991

文 献