水質モデルを用いた筑後川水系ダム群連携事業の影響分析(Ⅱ)

佐賀大学 理工学部都市工学科

准教授 Vongthanasunthorn Narumol

Vongthanasunthorn Narumol

1 はじめに

筑後川水系ダム群連携事業(以下、ダム群連携事業)の目的は筑後川水系における流水の正常 な機能を維持することであり、筑後川中流域の本川から佐田川へ導水し、江川ダム・寺内ダム・小石 原川ダムの空容量の活用により不特定容量を確保し、渇水時に筑後川・有明海の水量確保及び河 川環境保全、既得利水等の供給を実施する予定である。

ダム群連携事業の導水に伴う寺内ダム及び江川ダムのダム湖内の水質変化が懸念されており、 また、これらダム群からの放流水は、筑後大堰湛水域、筑後川感潮域そして有明海湾奥部の水質に 影響を及ぼす可能性があると考えられる。昨年度の研究では、ダム群から筑後大堰湛水域、筑後川 感潮域及び有明海湾奥部を対象に筑後川水系の水資源開発の影響分析を試み、影響分析を評価 するためのモニタリングポイントとして大堰湛水域、感潮域、さらには有明海湾奥部に至るまで広域 的な視点が必要であることを確認し、今後は水質モデルのさらなる再現性の向上が課題であった。 具体的にはモデル検証期間の延長及び植物プランクトンの発生状況に関する分析が必要と考えら れる。

以上のことから、本研究の目的はダム群連携事業の導水による影響をより正確に把握するために 既存の水質モデルの再現性を改善し、総合的な水質管理の観点からダム群連携事業の影響を検 討することである。

2 筑後川水系ダム群連携事業

2005 年 4 月に筑後川水系の水資源開発基本計画(フルプラン)¹⁾の全面変更がなされ、2015 年 度(平成 27 年度)を目標とし、筑後川水系に各種用水を依存している福岡県、佐賀県、熊本県及び 大分県の諸地域を対象に安定供給を確保するため、「福岡導水事業」、「大山ダム建設事業」、「佐 賀導水事業」、「小石原川ダム建設事業」が決定された。

また、「ダム群連携事業」は適正な河川流況の保持に努めるために既設ダム群等の有効活用により計画された。図-1に筑後川水系ダム群連携位置図を示す。



図-1 筑後川水系ダム群連携位置図²⁾

2.1 両築平野用水事業

農業用水、水道用水、工業用水の供給を目的として、両築平野用水事業は1975年3月に完了 し、同年4月に管理開始された。両築平野用水事業は、寺内導水路を利用し、江川ダムと寺内ダム の総合運用を行うことで水不足を解消する事業である。江川ダムの取水と配水は独立行政法人水資 源機構両築平野用水管理所によって運用され、寺内ダムの水管理は独立行政法人水資源機構朝 倉総合事業所寺内ダム管理所によって実施されている³⁾。

2.1.1 江川ダム

江川ダムは1972年8月に完成した重力式コンクリートダムである。農業用水、工業用水、福岡県・ 佐賀県の水道用水を供給するために寺内ダムと総合的に運用されており、有効貯水容量は24,000 千 m³である³。図-2 に江川ダムの概略図を示す。流入河川は小石原川であり、江川ダムの上流に 小石原川ダムが建設されている。



2.1.2 寺内ダム

寺内ダムは筑後川水系佐田川(福岡県朝倉市荷原)に位置しており、洪水調節、灌漑用水及び 水道用水の供給、流水の正常な機能の維持を目的とする多目的ダムとして 1978 年に管理開始され た⁵⁾。流入河川は佐田川と帝釈寺川である。管理当初から貯水池内でアオコが頻繁に発生したため、 富栄養化対策として曝気循環装置が 1999 年に1基、2003 年に1基、2011 年に4基が増設され計 6 基が現在稼働している。それに加えて様々な流入河川対策と貯水池内対策による水質保全対策 がなされている⁵⁾。図-3 に寺内ダムの概略図を示す。



図-3 寺内ダムの概略図 6)

2.2 筑後大堰湛水域·筑後川感潮域

筑後大堰は筑後川の河口から 23km 流に位置しており、治水、水資源開発並びに筑後川下流域 における水道用水、灌漑用水の安定供給等を目的として 1985 年 4 月に運用が開始された⁷⁾。筑後 大堰の湛水域は筑後大堰より上流の小森野床固及び宝満川の下野堰までとされている。湛水域の 容量は約 550km³、計画高水量は 9000m³/s である。一方、筑後大堰は筑後川下流部における塩害 の防除する役割もあり、潮の干満の影響を受けて、堰下流水位が堰の湛水位を上回る恐れがある場 合は堰のゲートを全開にして逆流を防ぐ対策としている。

筑後川下流域は国内最大の干満差 6m を有する有明海の影響を受け、23km に及ぶ感潮域を形成している。筑後川の下流部は、有明海の干満の影響を受ける感潮域で、筑後大堰の大堰下流側では水位差が最大 3m ほどにも達する。図-4 に筑後大堰湛水域と筑後川感潮域の概略図を示す。



図-4 筑後大堰湛水域と筑後川感潮域

2.3 有明海湾奥部

有明海は九州西部に位置し、湾軸約 100km、平均幅 15km、平均水深約 20m、海域面積 1,700km²である。有明海は佐賀県、福岡県、長崎県、熊本県に囲まれ、湾奥部には筑後川、矢部川、 嘉瀬川、六角川、諫早湾には本明川、湾央部東側には白川、緑川、菊池川の計 8 本の一級河川が 注いでいる。流入する河川の流域面積は約 8,000km²である。図-5 に示すように流入河川の中で筑 後川の流量が最も高いため、有明海に対する筑後川水系ダム群連携事業の影響を確認することは 必要不可欠である。有明海は閉鎖性が高い海域であり、大きな潮位差と広大な干潟を有し、海水は 浮泥による強い濁りがあるなどという特徴がある。有明海の大きな潮位差は我が国で最も広大な干 潟を生じさせ、熊本県沿岸では砂質、湾奥部では泥質の干潟が形成されている。



図-5 有明海の流入河川の平均流量⁸⁾

3 研究方法

3.1 既存水質モデルの改善及びモデルの検証

研究の対象水域は寺内ダム及び江川ダム、筑後大堰湛水域、筑後川感潮域、有明海湾奥部で あり、昨年度の研究で行われた各対象水域の水質モデルの検証より寺内ダム、筑後大堰湛水域、 有明海湾奥部において水質モデルの再現性は概ね良好であり、江川ダムと筑後川感潮域における 水質モデルの再現性の改善が必要であることが確認された。

モデルの検証のために筑後大堰湛水域・筑後川感潮域及び有明海湾奥部に関して十分な情報 が得られなかったため、本研究は改善余地のある江川ダムの水質モデルの改善に着目することとし た。なお、本研究は昨年度と同様に内部生産に注目し、各対象水域の COD の変化を検討する。

3.1.1 江川ダム

昨年度の研究では江川ダム貯水池の表水層を研究対象とし、一池完全混合モデルを構築した。 流入負荷は各流入河川のL-Q式で与えた。

江川ダムの既存モデルに関して再現性に改善の余地があった。収集した情報の都合によりモデル検証の期間を3年間と設定したことから、モデル検証の期間の延長することによって再現性の改善が期待される。本研究では既存水質モデルの再現性を向上させるために、昨年の研究対象期間3年間から6年間に延長し、水質モデルの改良に努める。

3.1.2 寺内ダム

寺内ダムの貯水池の表水層を一池完全混合モデルとし、流入負荷は各ダムの流入河川の L-Q 式で与える。寺内ダムにおいて既存モデルから得られた再現結果は概ね良好であったため、本研 究では貯水池の水質特性と流入負荷の関係に注目し、寺内ダム流域の非特定汚染源の負荷につ いて検討し、貯水池内の内部生産及び植物プランクトンの発生状況を参考に再現性の向上を図る。

3.2 江川ダム及び寺内ダムの既存水質モデルについて

昨年度の研究で構築した各対象水域の水質モデルの基礎式等は以下の通りである。ダム貯水池の水質計算を行う際に用いた連続式⁹⁾を式(1)に示す。

$$\frac{dV_0}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \tag{1}$$

V₀:全体貯水容量(m³); Q_{in}:ダム貯水池への流入流量(m³);
 Q_{out}:ダム貯水池からの流出流量(m³)

貯水池流入量は、残留域からの流量も含まれており計測が困難である。容積 V₀はダム全体の水位(H-V)から求めた。本研究では、計測が容易な容積と放流量より流入量を算出している。

$$Q_{in} = \frac{dV_0}{dt} + Q_{out}$$
⁽²⁾

寺内ダム貯水池への流入河川である佐田川と帝釈寺川の流量は流域面積比を用いて算出した⁹⁾

$$Q_1 = \frac{A_1}{A} Q_{in} \tag{3}$$

$$Q_2 = \frac{A_2}{A} Q_{in} \tag{4}$$

$$A = A_1 + A_2 \tag{5}$$

Q₁:佐田川の流量(m³); Q₂:帝釈寺川の流量(m³); A₁:佐田川の流域面積(km²); A₂:帝釈寺川の流域面積(km²); A:寺内ダム全流域面積(km²)

本研究では、水温鉛直分布に基づいて成層期における表水層を設定し、表層の容積 V は水位 (H-V)から求めた。寺内ダム及び江川ダムの表水層は 10m とする⁹⁾。

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} - Q_{exc}$$
(6)

$$Q_{exc} = \frac{dV}{dt} - Q_{in} + Q_{out}$$
⁽⁷⁾

V:表層容量(m³); Q_{exc}:下層との交換流量(m³/s)

江川ダムの水質モデルの再現性を改善するために、昨年度の研究対象期間 3 年間(2012 年~2014 年)を6 年間の成層期(4 月~12 月)に延長する。計算ステップは1 日である。

寺内ダムの水質モデル検証のために昨年度の研究対象期間を25年間に延長し、1994年~2018 年の成層期(4月~11月)⁹⁾とし、計算ステップは1日である。

式(8)に COD の物質保存式を示す。

$$\frac{d(COD \cdot V)}{dt} = L_{in} - L_{out} - COD \cdot Q_{exc} + K_1 \cdot COD \cdot V - K_2 \cdot COD \cdot V - w_{COD} \cdot COD \cdot A$$
(8)

COD:COD 濃度(mg/l); V:表層容量(m³); L_{in}:流入負荷(g/s); L_{out}:流出負荷(g/s); Q_{exc}:下層との交換流量(m³/s); K₁:一次反応速度(1/d); K₂:分解速度(1/d); w_{COD}:沈降速度(m/d), A:沈降面積(m²)

寺内ダムにおいて曝気循環装置による鉛直方向の物質輸送を考慮する際、曝気循環装置の運用状況に基づき、式(9)より連行水量¹⁰⁾を定める。本研究では曝気空気量(Q_B)=3.7 m³/min とし、 各曝気循環装置の稼働時間を考慮する¹⁰⁾。

$$Q_{w} = 0.302 Q_{B} \left(z \left(\frac{g}{Q_{B}^{2}} \right)^{\frac{1}{5}} \right)^{\frac{4}{3}}$$
(9)

Qw:連行水量(m³/s); QB:曝気空気量(m³/s); z:曝気吐出口からの高さ(m); g:重力加速度(m/s²)

3.3 本研究で用いるデータ

独立行政法人水資源機構筑後川局等関係する機関から寺内ダム及び江川ダムにおける下記の 情報を収集する。

- 江川ダムの水質データ及び水質障害発生状況
- 江川ダムの水収支に関するデータ
- 寺内ダムの水質データ及び水質障害発生状況
- 江川ダムの水収支に関するデータ

また、寺内ダム流域における流入負荷について検討を行うために非特定汚染源に関連する以下 の情報を収集する。

- 寺内ダム流域の流域界 情報提供:国土数値情報
 データの期間:1977 年
- 寺内ダム流域の土地利用 情報提供:国土数値情報
 データの期間:1976年、1987年、1991年、1997年、2006年、2009年、2014年、2016年
- 寺内ダム流域の人口 情報提供:政府統計の窓口 e-Stat データの期間:2000 年、2005 年、2010 年、2015 年

3.4 筑後川水系ダム群連携事業の導水による影響の検討

ダム群連携事業の導水の影響を分析するために、流入負荷を考慮し、改良された水質モデルを 用いて江川ダム及び寺内ダム貯水池の COD を長期的に計算する。計算結果から江川ダム及び寺 内ダムの貯水池において導水の影響を検討する。

4 研究結果と考察

4.1 江川ダム

4.1.1 江川ダムにおける水質特性

江川ダム貯水池内における表層・中層・底層の水温を図-6 に示す。表層の水温において季節変動が確認され、2012年から水温の上昇がみられる。底層の水温は、2016年以前に10℃以下となっているが、2017年~2018年の夏季には10℃~13℃まで上昇した。図-7 に貯水池における水温の 鉛直分布図を示す。昨年度の研究では、4月~12月は江川ダムの成層期であることが確認されたものの、2017年と2018年の12月において貯水池内の循環が見受けられることから貯水位の減少による影響と考えらる。また、2016年8月~9月に少雨の影響により貯水位が低下した報告があり¹¹⁾、表層の水温の上昇は貯水位の低下によるものと考えられる。



図-6 江川ダム貯水池における水温の経年変化



図-7 江川ダム貯水池における水温の鉛直分布

図-8 に貯水池のクロロフィル a (Chl-a)の経年変化を示す。昨年度の研究では 2000 年~2015 年 に春季から夏季、一部の期間では夏季から秋季において Chl-a の高濃度がみられ、2003 年~2015 年の春季から夏季にかけて淡水赤潮の発生、夏季から秋季にかけてアオコの発生¹²⁾が報告されて いることから貯水池内での藻類増殖が確認された。2016 年 9 月に約 300µg/lの Chl-a が観測され、 6 月~7 月に濁水長期化が発生し、7 月~10 月にアオコ及びカビ集の発生が報告された¹¹⁾。2016 年 9 月に貯水位の低下及び表層の水温上昇が Chl-a の増加原因と考えられる。2017 年~2018 年 に Chl-a の増加はみられない。



図-8 江川ダム貯水池における Chl-a の経年変化

図-9 に貯水池の溶存酸素(DO)と飽和溶存酸素(Cs)、図-10 に貯水池のpH の経年変化を示す。 Chl-a が高い値を示す期間に DO の過飽和及びpH の上昇がみられ、藻類増殖による影響が確認 できた。





図-10 江川ダム貯水池におけるpHの経年変化

図-11 に貯水池の表層の COD と Chl-a の比較を示す。表層の COD は季節的に変動しており、 Chl-a とほぼ同じ時期に増加傾向にある。また、2017 年~2018 年に表層の COD は Chl-a と同様に 低い値を示している。以上のことから COD のほとんどは藻類由来の有機物であることが分かる。



図-11 江川ダム貯水池における COD と Chl-a

図-12 に貯水池と流入河川の COD の比較を示す。2016 年~2018 年に表層の COD は流入河 川の COD を上回っており、表層の COD は流入負荷の影響に加えて内部生産の影響を受けている ことが分かる。



図-12 江川ダム貯水池及び流入河川における COD の経年変化

図-13 に貯水池と流入河川の総窒素(T-N)の経年変化を示す。若干ではあるが、表層の T-N は 2006 年まで上昇し、それ以降減少傾向にある。2016 年 9 月に Chl-a と COD と同様に表層の T-N は最も高い値を示す。表層の T-N は夏季に増加傾向にあり、貯水池の T-N は流入負荷の影響を 受けていると考えられる。



図-13 江川ダム貯水池及び流入河川における T-N の経年変化

図-14 に貯水池と流入河川の総リン(T-P)の経年変化を示す。表層の T-P は上昇傾向にあること が分かる。夏季に表層の T-P は高い値を示しており、2016 年 9 月に藻類と T-N と同じように T-P も 高くなったが、2017 年と 2018 年にも同じ時期に流入河川の濃度と表層の濃度の上昇がみられる。 貯水池の T-P は流入負荷の影響を強く受けていることが推測できる。



図-14 江川ダム貯水池及び流入河川における T-Pの経年変化

図-15 に貯水池と流入河川の懸濁性物質(SS)の経年変化を示す。出水時に表層と流入河川の SSの上昇がみられ、流入負荷による影響が考えられる。2017年7月~2018年3月に豪雨により濁 度の上昇が長期化し、2018年6月~12月において出水後に少雨による貯水位が低下したことから 江川ダム貯水池内に濁水長期化が報告された¹¹⁾。一部の期間に表層のSSは流入河川のSSより高 い値を示しているため、表層のSSは流入負荷に加えて貯水池内の藻類増殖の影響を受けているよ うである。



図-15 江川ダム貯水池及び流入河川における SS の経年変化

4.1.2 江川ダムの水質モデルの改善

江川ダムの水質モデルの再現性を改善するために、昨年度の研究で実施した計算期間 3 年間 (2012 年~2014 年)を 6 年間(2012 年~2017 年)に延長し、再現性の向上をさせることを試みた。 比較のために昨年度の研究で得られた既存水質モデルのパラメータを用いた成層期(4 月~12 月) の CODの再現結果を図-16 に示す。既存水質モデルの再現結果の決定係数(coefficient of determination, R²)を図-17 に示す。改善前の既存水質モデルは一部の期間の観測データの傾向を 再現できたものの、決定係数は 0.0171、再現性の改善余地が見て取れる。



図-16 既存水質モデルのパラメータを用いた江川ダムの表層における CODの再現結果



図-17 既存水質モデルのパラメータを用いた江川ダムの表層における再現結果の決定係数

次に、本研究で再現性を向上させた江川ダムの表層における CODの再現結果を図-18、決定係数を図-19に示す。改良した水質モデルの決定係数は0.0538 であり、既存水質モデルの値より3.15 倍上昇した。改良した水質モデルを用いることで 2012 年、2014 年、2015 年、2016 年において再現性の向上が確認できた。COD の値が低い 2013 年及び 2017 年において再現性の向上は僅かであり、今後のモデル改良が必要である。



図-18 再現性を向上させた江川ダム水質モデルの CODの再現結果



図-19 再現性を向上させた江川ダム水質モデルの再現結果の決定係数

2013年と2017年の貯水位の変動は他の期間と異なることから、貯水位の変動の影響に関する検討がモデル改良の今後の課題である。

4.1.3 江川ダムにおけるダム群連携事業の導水による影響の検討

次に、ダム群連携事業の導水による影響を把握するために改良した水質モデルを用いて江川ダム の現状において流入負荷の影響に関する検討を行った。図-20 に流入負荷のみを考慮した江川ダ ムの表層における COD の計算結果を示す。2012 年~2016 年において計算結果は実測値を大幅 に下回っており、成層期において江川ダムのCODの上昇は流入負荷の影響に加えて内部生産の 影響を強く受けていることが分かる。2017 年7月において流入負荷の影響が顕著に現れ、貯水位が 低下した時期に豪雨による高い負荷が流入することによって COD が上昇したと考えられる。江川ダ ムの貯水率が低い期間にダム群連携事業の導水を実施する場合、貯水池の濃度が短時間で上昇 する可能性があるため、正確な水質予測が必要である。



図-20 流入負荷のみ考慮した江川ダムの表層における COD の計算結果

4.2 寺内ダム

4.2.1 寺内ダムにおける水質特性

図-21 に寺内ダム貯水池における表層・中層・底層の水温を示す。1999 年以降は曝気循環装置 台数の増加に従い水温の鉛直方向の差は減少傾向を示しており、曝気循環装置による水温の均一 化が確認できる。2017年~2019年の夏季において、表層の水温が高く、底層の水温も例年より高い 傾向がみられる。

0

0

5

10

Ē 15

〕 账 ★ 20

25

30

35

•1月

➡5月 ➡9月 ---2月

+6月

➡10月

10

20

⇒3月

+7月

➡11月

+8月

+12月

30

0

0

5

10

Ê 15

〕 K そ 20

25

30

35

◆5月 ◆9月

2015 年~2019 年の貯水池における水温の鉛直分布図を図-22 に示す。2017 年 7 月~10 月に 水深が例年より 5~10m減少し、底層の水温の上昇がみられ、鉛直方向の水温の差が小さいことが 分かる。2018 年と 2019 年も夏季の水位の低下と底層の水温の増加がみられる。2017 年~2019 年 に豪雨と降雨量の減少が発生したことから、寺内ダム貯水池の水温鉛直分布の変化は気候の影響 によるものと考えられる。





10

20

→3月 →4月 →7月 →8月 →11月 →12月

30

図-21 寺内ダム貯水池における水温の経年変化



✦2月 ✦6月 ✦10月 図-23 に貯水池及び流入の Chl-a の経年変化を示す。2003 年~2017 年に表層の Chl-a 濃度が 減少し、流入河川の濃度に変化が見られないため、曝気循環装置により藻類増殖が抑制されたと考 えられる。2018 年~2019 年の夏季に Chl-a が上昇した。また、流入河川の Chl-a は継続的低い値 を示しているため、流入負荷の影響は弱く、貯水池の Chl-a は内部生産の影響を強く受けていること が言える。なお、佐田川集水域の面積は帝釈寺川集水域の面積の約 24 倍であり、佐田川の流量は 帝釈寺川より高いため、本研究では貯水池の表層と佐田川の水質を比較することとした。

図-24 に貯水池の溶存酸素 (DO)と飽和溶存酸素 (Cs)の比較を示す。2003 年以降 Chl-a が減少したことによって DO の過飽和状態が抑制されていることが分かる。図-25 に貯水池のpHを示す。 pH も DO と同じように低下傾向を示すことから曝気循環装置により藻類増殖の抑制による影響が確認できる。





図-23 寺内ダム貯水池及び流入河川における Chl-a の経年変化

図-24 寺内ダム貯水池における DOとCs の経年変化



寺内ダム貯水池内における水質障害発生状況に関して、1994 年~2013 年にアオコと淡水赤潮 がほぼ毎年発生したが、2012 年と 2014 年~2015 年に水質障害は発生せず、2016 年~2018 年の 夏季に豪雨による渇水の長期化現象が報告された¹³⁾。

図-26 に流入河川である佐田川(西原地点)及び帝釈寺川の Chl-a を示す。1994 年~2010 年に 帝釈寺川の Chl-a は佐田川より高いものの、2012 年以降は帝釈寺川において Chl-a の上昇はみら れなかった。なお、



図-26 流入河川(佐田川・帝釈寺川)における Chl-a の経年変化

貯水池と流入河川における COD の経年変化を図-27 に示す。表層の COD は 2005 年以降の最 大値は大幅に減少し、近年まで 5mg/L 以下の値が継続しており、Chl-a と同様に減少傾向にある。 曝気の藻類抑制による影響と考えられる。出水時を除き流入河川の COD は表層の COD より低いこ とから表層の COD は流入負荷の影響に加えて貯水池内での内部生産の影響を受けていると言え る。

図-28 に佐田川及び帝釈寺川の COD を示す。2017 年~2019 年の豪雨により佐田川の COD は 増加傾向にある。帝釈寺川は 1994 年~2011 年に COD の増加傾向があったが、以降は減少傾向 にある。



図-27 寺内ダム貯水池及び流入河川における COD の経年変化



図-28 流入河川(佐田川・帝釈寺川)における COD の経年変化

図-29 に貯水池と流入河川のオルトリン酸態リン(PO4-P)の経年変化を示す。出水時に表層の PO4-P は高い傾向を示すことから貯水池内の PO4-P は流入負荷の影響を受けていると言える。流 入河川の PO4-P は表層の PO4-P より高いため、内部生産による消費によって貯水池内の PO4-P が減少すると考えられる。一方、流入河川の濃度は表層の濃度より高いことから、貯水池の PO4-P は流入負荷の影響を強く受けていることも言える。

流入河川の PO4-P の経年変化を図-30 に示す。1994 年~2017 年に佐田川の PO4-P は低くほ ぼ一定であり、2018 年~2019 年の豪雨により PO4-P 濃度の増加がみられる。1994 年~2011 年に 帝釈時川の PO4-P の増加傾向が見受けられ、2012 年以降は帝釈寺川の PO4-P は低下し、佐田 川と同様にほぼ一定の低い値を示す。なお、2017 年~2019 年の豪雨の時期では帝釈寺川の PO4-P 濃度の増加が確認されなかった。



図-29 寺内ダム貯水池及び流入河川における PO4-P の経年変化



図-30 流入河川(佐田川・帝釈寺川)における PO4-P の経年変化

貯水池と流入河川の溶解性無機態窒素(DIN)の経年変化を図-31 に示す。1994 年~2002 年に おいて表層の DIN は流入河川より大幅に下回っている。DIN の低下は PO4-Pと同様に藻類の栄養 摂取による影響と考えられる。2003 年以降は Chl-a の減少によって、表層の DIN は流入河川の DIN の差が小さくなったと考えられる。また、全期間を通して流入河川の DIN は表層より高い値を示すこ とから、流入負荷の影響が強いことが分かる。

図-32 に流入河川の DIN の経年変化を示す。佐田川の DIN は全期間を通してほぼ一定の値を 示す。帝釈寺川の DIN は佐田川より高い傾向にあり、土地利用の違いによるものと考えられる。2015 年以降帝釈時川の DIN の減少がみられる。2017 年~2019 年の豪雨において佐田川と帝釈寺川の DIN の増加は確認されなかった。



貯水池と流入河川の SS の経年変化を図-33 に示す。若干ではあるが、表層の SS は減少傾向に ある。流入量の増加に伴い表層の SS の増加がみられたが、近年は貯水池内対策である流入制御フ エンスや流入河川対策である土砂流入防止工の効果もあり、SS の流入負荷の減少が抑えられてい ると考えられる。また、年間降雨量に大きな変化は見られないものの、寺内ダムの豊水流量が近年 減少傾向にあり、一方で低水流量及び渇水流量が増えていることから、寺内ダムの集水域の保水性 の向上によって、流出量が減少し、SS の流入負荷が減少したと考えられる。

図-34 に佐田川と帝釈寺川の SS を示す。出水時に佐田川と帝釈寺川の SS は高い値を示す。 2012 年以降、帝釈寺川の SS は減少傾向にある。2017 年~2019 年の豪雨により、帝釈寺川に比べ て佐田川の SS は大幅に上昇したことが分かる。



図-33 寺内ダム貯水池及び流入河川における SS の経年変化



図-34 流入河川(佐田川・帝釈寺川)における SS の経年変化

寺内ダム貯水池と流入河川の大腸菌群数の経年変化を図-35 に示す。2003 年から表層の大腸 菌群数と流入河川の大腸菌群数の上昇がみられる。過去の研究より日帰り観光客の増加が原因と 考えられる¹⁴⁾。

図-36 に佐田川と帝釈寺川の大腸菌群数を示す。帝釈寺川の大腸菌群数は佐田川と同様に 2003 年以降上昇傾向にある。一部の期間を除き、帝釈寺川の大腸菌群数は佐田川より低い値を示 す。2017 年~2019 年の豪雨により流入河川の大腸菌群数の増加が見られた。



図-35 寺内ダム貯水池及び流入河川における大腸菌群数の経年変化



図-36 流入河川(佐田川・帝釈寺川)における大腸菌群数の経年変化

4.2.2 寺内ダム流域における非特定汚染源の負荷特性

近年、佐田川と帝釈寺川の水質、特に Chl-a、COD、PO4-P、の変化がみられることから、各集水域の負荷特性について検討が必要と考えられる。佐田川の西原地点の集水域(以下、佐田川集水域)の面積は 4,120ha であり、帝釈寺川地点の集水域(以下、帝釈寺川集水域)の面積は 170ha である¹⁵。図-37 に佐田川と帝釈寺川の集水域を示す。



図-37 佐田川及び帝釈寺川の集水域

図-38~図-39に1987年~2016年の佐田川集水域と帝釈寺川集水域における土地利用の変化 を示す。佐田川集水域の水田:「その他農用地」:森林の割合は4.3%:3.3%:90.4%であり、近年、 水田と森林の面積が減少し、その他農用地の面積が若干増加している。帝釈寺川集水域の水田: 「その他農用地」:森林の割合は1.6%:12.2%:74.9%であり、水田の減少、森林と「その他農用地」 の増加が見られた¹⁵。





図-40 に示すように 2000 年~2015 年の佐田川集水域と帝釈寺川集水域の人口は減少の傾向にあり、佐田川集水域の人口は 48.5%、帝釈寺川集水域の人口は 47.6%減少している¹⁵。



図-40 佐田川集水域及び帝釈寺川集水域における人口の推移

図-41 に佐田川と帝釈寺川の月平均の流量と水質(COD、T-N、T-P)を示す。佐田川の流量は 灌漑期(6月~8月)に上昇する季節変動が見られる。帝釈寺川の流量は低く(平均流量 0.06m³/s)、 季節変動も小さい。

佐田川と帝釈寺川の COD はほぼ同じレベルであり、出水時には COD 負荷の流出傾向が見られた。 佐田川の T-N は年間を通してほぼ一定であり、帝釈寺川の T-N は佐田川のものより高濃度を示しており、3 月~9 月に濃度の上昇が確認された。 佐田川の T-P は出水時に高い傾向を示す。 帝釈寺川は T-N 同様に佐田川より高い T-P 濃度を示しており、3 月から 9 月に濃度の上昇が確認された。 帝釈寺川集水域では「その他農用地」の割合が高いことから、畑や果樹園からの負荷の影響を受けたためと考えられる。







図-41 佐田川及び帝釈寺川の月平均の流量、COD、T-N、T-P

表-1 に佐田川と帝釈寺川の年間平均負荷を示す。佐田川の COD 負荷:T-N 負荷:T-P 負荷は 1: 0.6: 0.02 であり、帝釈寺川の割合は1: 1.26: 0.04 で窒素・リンの割合が佐田川の割合の約2倍 高い値を示す。

年間平均負荷 (kg/y)	佐田川	帝釈寺川
COD	84393	4496
T-N	50739	5687
T-P	1691	193

表-1 佐田川と帝釈寺川の年間平均負荷

流域別下水道整備総合計画調査指針(流総指針)¹⁶と既往の資料¹⁷⁾を参考に、佐田川集水域と 帝釈寺川集水域の「その他農用地」の原単位を算出した。

表-2 に本研究で得られた「その他農用地」原単位と流総指針の全国平均値との比較を示す。帝 釈寺川の T-N 原単位は若干佐田川の原単位より低いが、どちらも流総指針の原単位とほぼ同じレ ベルである。佐田川の集水域では土壌浸透による窒素成分の流出に伴い追肥が必要なため、佐田 川の T-N 原単位が高くなると考えられる。佐田川と帝釈寺川の T-P 原単位は流総指針の原単位よ り高く、帝釈寺川の T-P 原単位は佐田川の原単位の約2倍高いことが分かる。佐田川と帝釈寺川の 原単位の差は作物の品種などの違いによるものと考えられる。本研究で明らかになった寺内ダム流 域の非特定汚染源の負荷特性は、今後のダム群連携事業の運用及び管理の際、寺内ダム貯水池 の水質へ及ぼす影響を評価するために必要な情報である。

その他農用地 原単位	本研究		流総指針
(kg∕ha*y)	佐田川	帝釈寺川	(王国平均恒)
T-N	154.21	123.21	161.99
T-P	1.68	3.42	1.00

表-2 佐田川集水域と帝釈寺川集水域のその他農用地の原単位

4.2.3 寺内ダムの水質モデルの検証

寺内ダムの水質モデルを検証するために、昨年度の研究で実施した計算期間 24 年間(1994 年 ~2017 年)を 25 年間(1994 年~2018 年)に延長した。既存水質モデルに観測データから得られた 水質変動及び流入負荷の情報を考慮し、寺内ダムにおける水質の再現を行った。図-42 に寺内ダ ムの表層における 1994 年~2018 年の成層期(4 月~11 月)の CODの再現結果を示す。昨年度と 同様に曝気循環装置の運用を考慮することによって CODの減少を概ね再現できた。2018 年におい ても概ね良好な再現結果が得られた。既存水質モデルの再現性は良好であることが検証され、曝気 循環による藻類抑制の効果も確認された。



図-42 既存水質モデルによる寺内ダムの表層における CODの再現結果

4.2.4 寺内ダムにおけるダム群連携事業の導水による影響の検討

ダム群連携事業の導水に伴う寺内ダム貯水池内の水質変化が懸念されたため、寺内ダムの水質 に対する流入負荷の影響を検討する必要がある。図-43 に流入負荷のみ考慮した寺内ダム表層の COD の計算結果を示す。1994 年~2009 年において計算結果は実測値より低い値を示すものの、 2010 年~2018 年では計算値と実測値の差が小さいことから、近年において寺内ダムの水質に対す る流入負荷の影響が強いことが分かる。また、2017 年~2018 年において豪雨による高い負荷が貯 水池に流入し、貯水池内の COD が上昇したと見受けられる。寺内ダムへ導水する際、ダムの貯水 状況及び導水による負荷量について注意が必要と考えられる。



図-43 流入負荷のみ考慮した寺内ダムの表層における COD の計算結果

まとめ

本研究では、昨年度の研究成果を踏まえて水質モデル改良を加え、江川ダム及び寺内ダムにおける筑後川水系ダム群連携事業の影響について検討することを試みたものである。

昨年度の研究結果からモデル検証の期間の延長することによって江川ダムの水質モデルの再現 性の改善が期待されるため、本研究では昨年度の研究の計算期間3年間を6年間に延長し、再現 性の向上をさせることを試みた。改良した水質モデルの決定係数は既存水質モデルより3.15倍上 昇し、2012年、2014年、2015年、2016年において再現性の向上が確認できた。CODの値が低い 2013年及び2017年においてモデルの再現性は僅かに向上したため、今後のモデル改良が必要で ある。寺内ダムの水質モデルに関して、計算期間を25年間に延長し、既存水質モデルの検証を行 った。全期間を通して概ね良好な再現結果が得られたため、既存水質モデルの再現性は良好であ ることが検証された。

水質モデルを用いて江川ダム及び寺内ダムにおけるダム群連携事業の導水による影響の検討を 行った。流入負荷のみを考慮した計算結果から流入負荷の影響に加えて内部生産の影響により 2012 年~2016 年の成層期において江川ダムのCODが上昇することが分かる。2017 年 7 月におい て流入負荷の影響が顕著に現れ、貯水位が低下した時期に豪雨による高い負荷が流入することに よって COD が上昇したと考えられる。江川ダムの貯水率が低い期間に導水する場合、貯水池の濃 度が短時間で上昇する可能性があるため、導水計画の際正確な水質予測が必要である。流入負荷 のみ考慮した検討結果から近年において寺内ダムの水質は流入負荷の影響を強く受けているており、2017年~2018年において豪雨による貯水池内の COD が上昇したことが見受けられる。寺内ダムへ導水する際、ダムの貯水状況及び導水による負荷量について注意が必要と考えられる。

参考文献

- 国土交通省:水資源開発基本計画(フルプラン) http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo_mizsei_tk2_000005.html
- 国土交通省 九州地方整備局 : 筑後川水系ダム群連携事業の検証に係る検討報告書(原案) 案、平成 28 年 6 月, http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kawa/kensyo/04-damugunrenkei/160614genan_an/houkokusyo/houkokuyo_genan_an_damugunrenkei.pdf
- 3) 独立行政法人水資源機構両築平野用水管理所: 両築平野用水事業概要 https://www.water.go.jp/chikugo/ryochiku/pdf/h27_outline.pdf
- 4) 独立行政法人水資源機構 両筑平野用水管理所 : 両筑平野用水二期事業パンフレット https://www.water.go.jp/chikugo/ryochiku/pdf/sec_term.pdf
- 5) 独立行政法人水資源機構 朝倉総合事業所 寺内ダム管理所ホームページ: http://www.water.go.jp.chikugo/terauchi
- 6) 独立行政法人水資源機構:水質年報(寺内ダム):
 http://www.water.go.jp/honsya/honsya/torikumi/kankyo/suisitu/index.html
- 7) 独立行政法人 水資源機構 筑後川局 筑後大堰管理室 : 筑後大堰ちっごと共に歩む, 2017. http://www.water.go.jp/chikugo/coozeki/images/top_img/2017oozekigaiyo.pdf
- 8) 北島 洸平:透明度から見た有明海の懸濁性物質の挙動に関する研究,佐賀大学卒業論文, 2012.
- 9) 黒木 翔太, 丸野凌司, V. Narumol, 佐々木 広光, 古賀 憲一: 曝気循環を考慮した寺内ダ ム表水層における水質解析, 平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会, pp.811-812, 2019.
- 10) 梅田信, 宮崎貴紅子, 富岡誠司: 曝気式循環施設により生じる貯水池内流動の現地観測, 土 木学会論文集 No. 775/II-69, pp.55-68, 2004.
- 11) 独立行政法人水資源機構: 平成 30 年 水質年報(両筑平野用水)
 https://www.water.go.jp/honsya/honsya/torikumi/kankyo/suisitu/pdf/h30/2/h30_45ryochiku.pdf
- 12) 独立行政法人水資源機構 : 平成 29 年 水質年報(江川ダム)
 http://www.water.go.jp/honsya/honsya/torikumi/kankyo/suisitu/h29_suisitu.html
- 13) 独立行政法人水資源機構: 平成 30 年 水質年報(寺内ダム)
 https://www.water.go.jp/honsya/honsya/torikumi/kankyo/suisitu/pdf/h30/2/h30_48tera.pdf
- 14) 阿部公彦, V. Narumol, 古賀憲一: 寺内ダムにおける長期的水質特性に関する研究, 平成 27
 年度土木学会西部支部研究発表会, pp. 793-794, 2016.
- 15) 野口 宜洸:寺内ダムの非特定汚染源負荷に関する基礎的研究, 佐賀大学卒業論文, 2020.
- 16) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部:流域別下水道整備総合計画調査指針と解説, 平成 27 年 1 月
- 17) 田中 稔人:GISを用いた筑後川流域における汚濁負荷解析, 佐賀大学卒業論文, 2020.