

# 20.ダム貯水池における底層溶存酸素量の変化要因に関する解析

服部 啓太<sup>1\*</sup>・對馬 育夫<sup>1</sup>・山下 洋正<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国立研究開発法人土木研究所 水環境研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

\* E-mail: hattori-k573bs@pwri.go.jp

多くのダム貯水池では夏季に底層の貧酸素化現象が発生しており、底層DO濃度の簡易な予測技術が求められる。本研究では、全国のダムを対象として底層DO濃度の変化要因となりうる流入量及び気温との関連性について重回帰分析を用いて整理を行った。また、底層DO濃度の季節的な周期性に着目し、フーリエ解析により周期性の強さを評価した。解析の結果、一部のダムでは $R^2$ が0.5を超え、それらのダムの底層DO濃度に対する説明変数の影響力を気温と1-3日間の流入量と比較するとt値の絶対値は気温が大きく、気温による影響の方が強いと考えられた。また、フーリエ解析の結果から底層DO濃度の周期性を評価することができ、周期性の強いダムでは成層期と循環期の濃度の変化傾向が明確であると考えられた。

**Key Words :** dam reservoir, DO, bottom layer, multiple regression analysis, fourier analysis

## 1. はじめに

ダム貯水池は治水・利水の目的から下流域の社会生活を支える重要なインフラであるが、貯水池内では水の滞留時間が大きくなるという性質から水質の悪化が起きやすいという特徴を有する。特に植物プランクトンの異常増殖や底層貧酸素化などの水質悪化現象は日本全国のダム貯水池で管理上の課題となっており、水質悪化現象の予測や対策技術が求められている。

水質悪化が管理上の問題となるダム貯水池では、水質シミュレーションによる現象の時空間的な変動や特性の解析が行われ、それらの結果は対策技術の導入を検討する際の重要な情報となる<sup>1)</sup>。しかし、水質シミュレーションは現象に対する詳細な解析や対策効果の予測が可能な一方で技術的なハードルも大きく、実施には多大な労力を要する。このような課題に対し、ダム貯水池における水質変化要因を簡易に推定する手法として、過去の水質調査データからクロロフィルaや溶存酸素(DO)などの各種の水質指標に相関関係を見出すことにより、植物プランクトン濃度の増加や底層貧酸素化の傾向を把握可能な場合が存在する。特に底層DO濃度の低下は水温成層の形成が原因となることが多いため、成層形成の要因となる気温や水象データからある程度の予測が可能になると考えられる<sup>2)</sup>。

そこで本研究では、国土交通省及び水資源機構が管理する複数のダムを対象として、既存の定期調査データの底層DO濃度とダムの流入量及び気温データとの関連性について重回帰分析を用いて整理を行った。また、ダム貯水池の底層DO濃度は季節的な周期性が強いことも予測されたため、周期性に対する定量的な評価をフーリエ解析を用いて行い、ダム貯水池の底層DO濃度の変化要因を考察した。

## 2. 方法

### (1) 解析対象としたダムと気象データ

本研究では、国土交通省及び水資源機構が管理する125ダムの内、以下の条件を満たす29のダムを対象とした。

- ・底層DO濃度の値が過去20年間の調査で2.0 mg/L以下を記録したことがあり、なおかつ深層曝気施設や高濃度酸素供給装置などの底層貧酸素化対策が未実施である。
- ・水文水質データベースからダムの流入量が取得可能である。

気温データについてはダム近隣の気象庁観測所データを使用した。対象としたダムと解析の対象期間、気温データを使用した気象庁観測所の一覧を表-1に示す。

表-1 対象としたダムと対応する気象観測所

| No | ダム名    | 所在地  | 解析対象の期間   | 観測数 | 気温観測所 | 備考   |
|----|--------|------|-----------|-----|-------|--|
| 1  | 金山ダム   | 北海道  | 2002-2016 | 124 | 幾寅    |  |
| 2  | 豊平峡ダム  | 北海道  | 2002-2015 | 123 | 札幌    |  |
| 3  | 鹿ノ子ダム  | 北海道  | 2002-2016 | 123 | 留辺蘂   |  |
| 4  | 滝里ダム   | 北海道  | 2002-2016 | 290 | 富良野   |  |
| 5  | 田瀬ダム   | 岩手県  | 2002-2015 | 160 | 遠野    |  |
| 6  | 御所ダム   | 岩手県  | 2002-2016 | 171 | 雫石    |  |
| 7  | 白川ダム   | 山形県  | 2006-2015 | 87  | 高峰    |  |
| 8  | 浅瀬石川ダム | 青森県  | 2002-2015 | 110 | 黒石    |  |
| 9  | 相俣ダム   | 群馬県  | 2002-2017 | 180 | 沼田    |  |
| 10 | 菌原ダム   | 群馬県  | 2002-2017 | 154 | 沼田    |  |
| 11 | 五十里ダム  | 栃木県  | 2002-2015 | 159 | 五十里   |  |
| 12 | 二瀬ダム   | 埼玉県  | 2002-2015 | 162 | 秩父    |  |
| 13 | 宮ヶ瀬ダム  | 神奈川県 | 2003-2017 | 164 | 八王子   |  |
| 14 | 下久保ダム  | 群馬県  | 2002-2015 | 162 | 神流    |  |
| 15 | 草木ダム   | 群馬県  | 2002-2016 | 162 | 桐生    |  |
| 16 | 新豊根ダム  | 愛知県  | 2002-2016 | 172 | 佐久間   |  |
| 17 | 青蓮寺ダム  | 三重県  | 2002-2015 | 161 | 大宇陀   |  |
| 18 | 土師ダム   | 広島県  | 2002-2010 | 94  | 三入    |  |
| 19 | 温井ダム   | 広島県  | 2002-2015 | 162 | 加計    |  |
| 20 | 柳瀬ダム   | 愛媛県  | 2002-2016 | 150 | 四国中央  |  |
| 21 | 石手川ダム  | 愛媛県  | 2002-2017 | 177 | 松山    |  |
| 22 | 大渡ダム   | 高知県  | 2002-2015 | 161 | 久万    |  |
| 23 | 中筋川ダム  | 高知県  | 2005-2017 | 114 | 宿毛    |  |
| 24 | 新宮ダム   | 愛媛県  | 2002-2015 | 162 | 四国中央  |  |
| 25 | 鶴田ダム   | 鹿児島県 | 2007-2016 | 115 | 大口    |  |
| 26 | 下笠ダム   | 熊本県  | 2002-2017 | 181 | 日田    | 降水量：2004/11/03 以前は「釈迦岳」                          |
| 27 | 巖木ダム   | 佐賀県  | 2002-2017 | 90  | 唐津    | 気温：2010/2/24 以前は「枝去木」，<br>降水量：2010/2/24 以前は「和多田」 |
| 28 | 福地ダム   | 沖縄県  | 2008-2015 | 92  | 名護    |  |
| 29 | 新川ダム   | 沖縄県  | 2008-2015 | 72  | 名護    |  |

## (2) 解析方法

本研究では、目的変数に対する説明変数の影響力が定量的に示される重回帰分析を用いて底層DO濃度と気温、流入量の関係性を整理した。重回帰分析においては各調査における底層DO濃度を目的変数に、気温と流入量を説明変数に設定した。気温については底層DO濃度の調査時間から24時間前までの平均値を気温データとした。流入量については、底層DO濃度の調査時間から24時間前平均、48時間前平均、72時間前平均の三つを流入量データとし、3通りのデータを代入し解析を行った。重回帰分析はMicrosoft Excelを用いて行った。

また、底層DO濃度を対象としてLomb-Scargle法によるフーリエ解析を実施し、パワースペクトルを算出した。Lomb-Scargle法によるフーリエ解析はPython言語のastropy.timeseriesライブラリを用いて行った<sup>3)</sup>。

## 3. 解析の結果

### (1) 重回帰分析による結果

重回帰分析による相関係数  $R^2$  の一覧を図-1 に示す。すべてのダム貯水池に対して気温と24h流入量、48h流入量、72h流入量の三つの重回帰分析を行ったところ、3つの分析に対する  $R^2$  の差はほとんどなく、1-3日程度の流入量の変化は底層DO濃度に大きく影響しないことが示唆された。

また、 $R^2 > 0.5$  を示した7つのダム貯水池における気温-24h流入量の重回帰分析に対する回帰係数及びt値を図-2 に示す。気温に対する回帰係数は-0.20 ~ -0.41 の範囲であり、t値の絶対値についてもすべて10以上であった。流入量に対する回帰係数は新豊根ダムを除いた6つで0.05 ~ 0.25 の範囲であり、t値についてもすべて2以上であった。新豊根ダムにおいて流入量は回帰係数が負の値

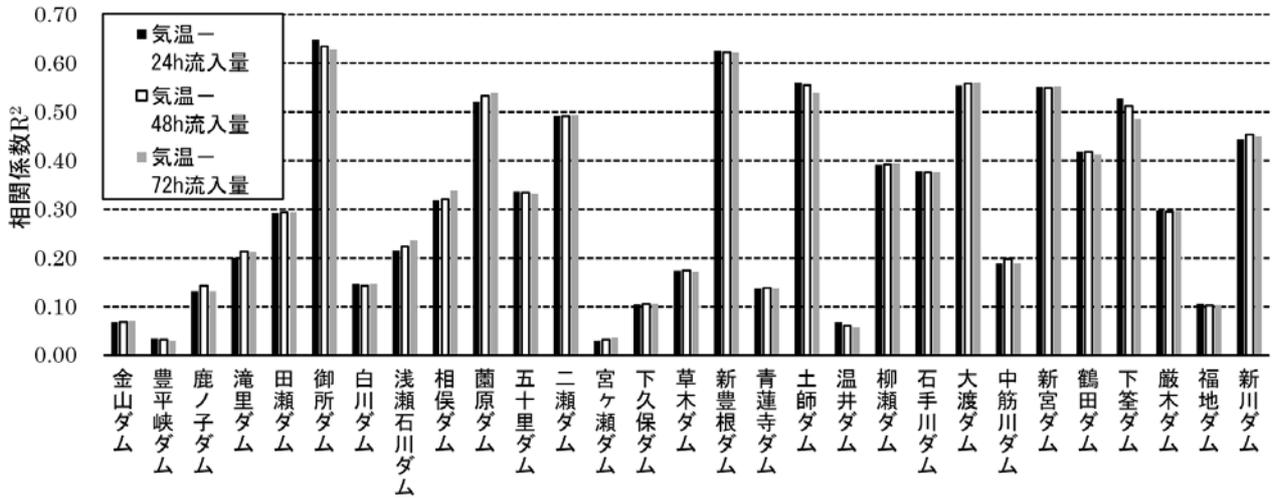


図-1 重回帰分析の相関係数一覧

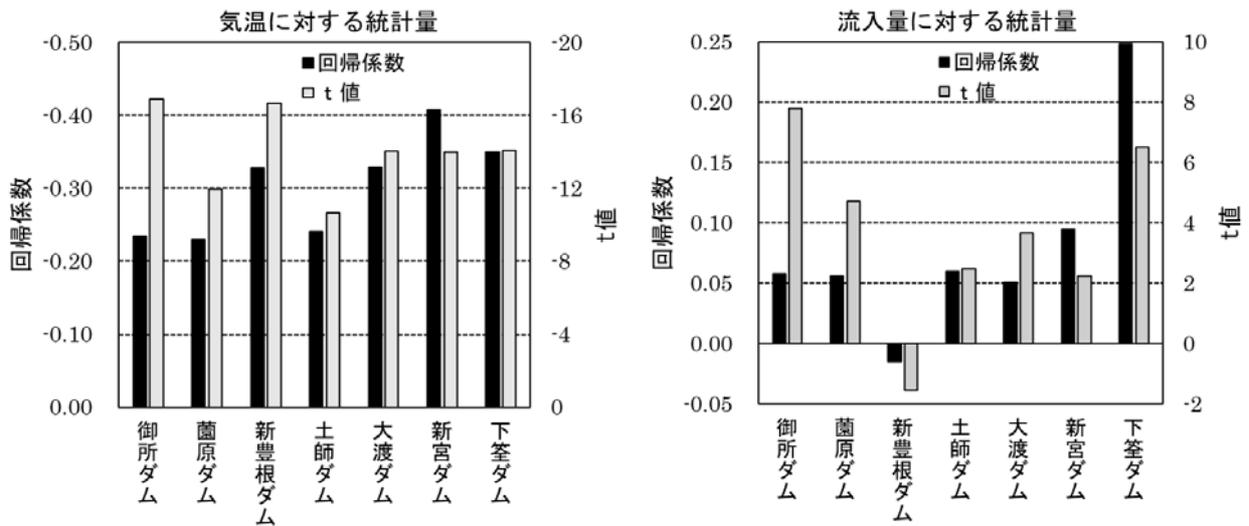


図-2 相関係数が大きかったダムにおける気温と流入量の回帰係数とt値

を示し、またt値の絶対値についても2以下であったため、流入量の影響力は小さかった。

気温と流入量の説明変数としての影響を比較するとt値の絶対値から気温が流入量より影響力が大きいことが示唆された。特に、新豊根ダムにおいては底層DO濃度に対する流入量の影響力が小さく、気温が底層貧酸素化に対する主たる説明変数となることが明らかになった。また、流入量は貯水池の流況に明確な影響を及ぼすと考えられるが、底層DO濃度に対する説明力は小さく、流入量を用いた単純な重回帰分析では影響の評価は難しかった。既往の研究では、諏訪湖における湖水の回転率とMicrocystisの動態に関する解析から月単位で算出された回転率がMicrocystisの動態に影響を及ぼすことが示唆されており<sup>4)</sup>、ダム貯水池の成層形成については7月の平均的内部フルード数や回転率を用いて類型化できることが示されている<sup>5)</sup>。本研究においても、ダム貯水池の流況が底層DO濃度に与える影響についてより詳しい評価を行うために、比流量や短期回転率などのダム貯水池内の

流況を示す他の指標を説明変数に用いた分析による検討が必要と考えられた。

## (2) 底層DO濃度の年変動特性とLomb-Scargle法を用いたフーリエ解析の結果

各ダム貯水池における底層DO濃度の年変動特性とLomb-Scargle法を用いたフーリエ解析により算出されたパワースペクトルの一覧を図-3に示す。特定の時期に調査が実施されていないダム貯水池が複数存在したため、それらのパワースペクトルについては解釈が難しいが、365日波長付近のPowerが大きいダム貯水池ほど年間の周期性が強い傾向が見られた。最大Powerが0.6以上のダム貯水池では貧酸素化が発生する期間が限定的であり、特に最大Powerが0.78を示した巖木ダムでは4-8月にかけて底層の貧酸素化が進行し、9-12月の貧酸素期間から1-2月に循環期に入り底層DO濃度の低下が解消されるという年間の変動の周期性が顕著に示されていた。他の最大Powerが大きいダム貯水池においても、春～夏季にかけ

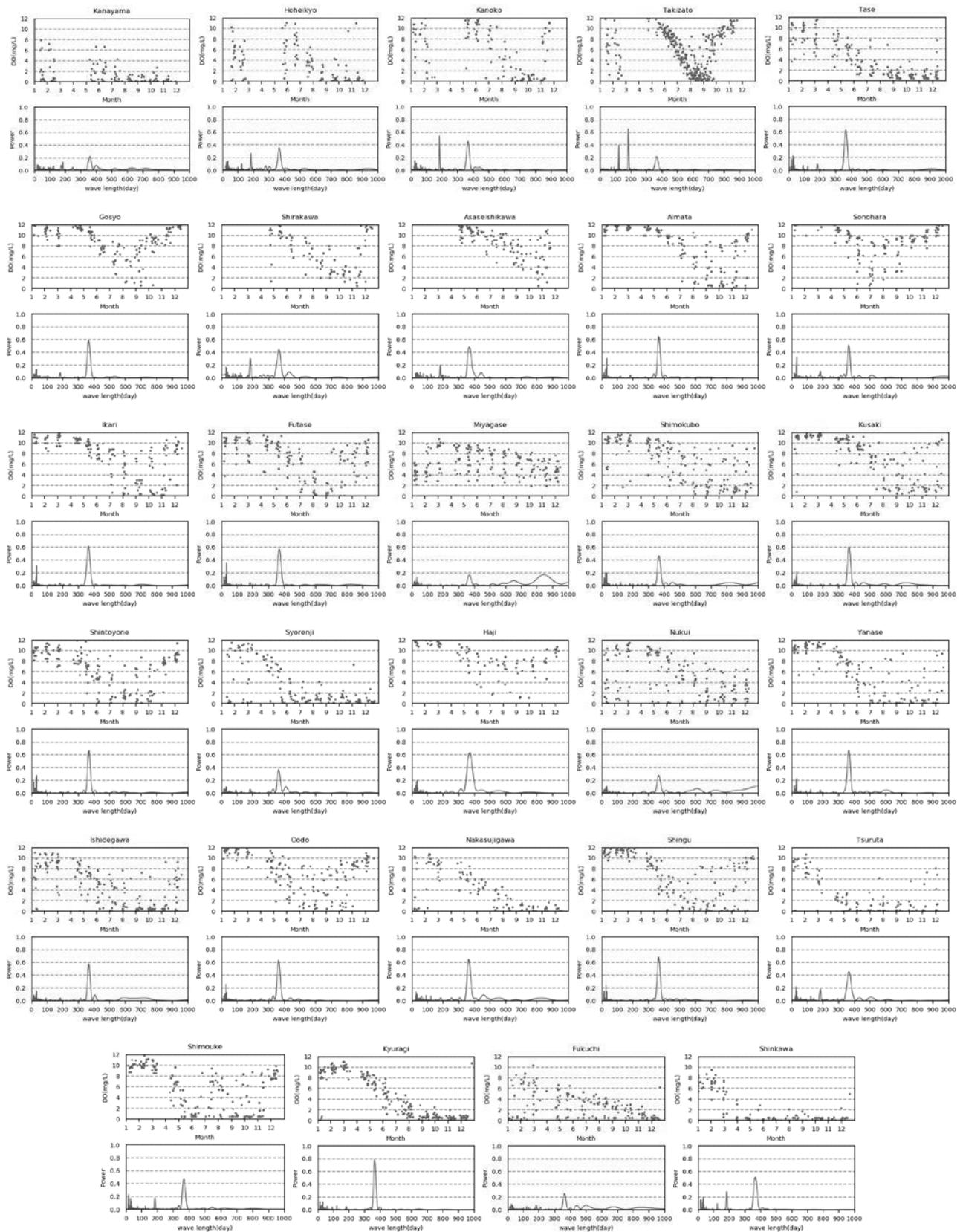


図-3 ダムの年間における底層 DOの変動と算出されたパワースペクトル

て底層の酸素消費が進み、冬季の全層循環により高い底層DO濃度を示すという成層期と循環期の傾向が明確に表れていた。既往の研究では、琵琶湖、霞ヶ浦、中海、宍道湖の定期観測データのTN, TP, TOC, COD, Chl<sub>a</sub>についてHolt-Winters法を用いて解析した結果、TN, TP, TOC, CODについては季節性が比較的明確であり、統計的な予測モデルが構築可能であることが示されている<sup>9)</sup>。今回の解析結果から、一部のダム貯水池では底層DO濃度で強い周期性を有することが明らかになったため、統計学的手法を用いることにより予測が可能となることが示唆された。

#### 4. まとめ

全国のダムを対象として、既存の定期調査データの底層DO濃度とダム貯水池の流入量及び気温データについて重回帰分析を行った結果、一部のダム貯水池では重回帰分析によるR<sup>2</sup>が0.5を超え、気温と1-3日間の流入量を比較すると底層DO濃度に対してt値の絶対値は気温が大きく、気温による影響の方が強いことが考えられた。また、Lomb-Scargle法を用いたフーリエ解析により底層DO濃度の周期性を評価した結果、365日付近の最大Powerが0.6以上のダム貯水池では春～夏季にかけて底層の酸素消費が進み、冬季の循環期で高い値を示すという成層期と循環期の明確な濃度変動傾向が見られた。

本研究では、水質管理上重要な指標である底層DO濃度の予測手法を構築することを目的として、過年度のダ

ム貯水池の水質等データの重回帰分析およびフーリエ解析に基づき基礎的な検討を行った結果、一部のダムでは気温や流入量との相関や季節周期性が見いだされ、有用な知見が得られた。本予測手法は、既存の水質等データに基づき簡易に実施可能であり、ダム貯水池の水質管理に有益と期待できるため、今後も説明変数の見直し等により手法の向上に取り組む。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課：ダム貯水池水質改善に向けた水質シミュレーション活用のためのマニュアル（案），2021.
- 2) 池田祐一，中井正則，中村由行，道奥康治，村上和男：水圏の環境，pp.228-275, 東京電機大学出版局，1998.
- 3) The Astropy Project: Astropy v4.0.1 documentation, <https://docs.astropy.org/en/stable/timeseries/lombscargle.html> (2020年6月確認).
- 4) 中村剛也，本間隆満，宮原裕一，花里考幸，朴虎東：諏訪湖における湖水の回転率が *Microcystis* の見かけの比増殖速度・現在量に与える影響，日本水産学会誌，Vol.79 (5), pp. 851-862, 2013.
- 5) 岩佐義郎：湖沼工学，pp.195-211, 山海堂，1990.
- 6) 中桐貴生，人見晃司，堀野治彦，櫻井伸治：Holt-Winters法を用いた湖沼における水質の長期的トレンドと季節性の評価，2019年度（第68回）農業農村工学会大会講演会講演要旨集，pp.530-531, 2019.