

水源貯水池における将来の藻類増殖ポテンシャルの評価*

東北大学 工学部 清水 大輔

東北大学 大学院工学研究科 梅田 信

東北大学 大学院工学研究科 澤本 ヤス野

1. はじめに

ダム湖は日本における水道水源のほぼ半分を担っている。また、年間取水量に対するダムの依存率は年々増加しており、昭和 50 年には約 22%であったが、平成 25 年度には約 47%まで増加している¹⁾。また、ダム湖の水質悪化は上水道利用に影響を与えることが予想されるため、水の安定供給にはダム湖が欠かせないことがわかる。また水源貯水池であるダム湖は河川とは違い閉鎖的な空間であるため、水質汚濁や富栄養化が進行しやすく、改善しにくいという問題がある。そのため、水質悪化が起り得る原因を検討し、予測していく必要がある。

本研究では富栄養化現象を引き起こす原因の一つである水温上昇に関わる温暖化現象に着目し、日本国内の多数のダム湖を対象にして水質変化の予測、展望を行った。

2. 研究方法の概要

本研究では、梅田・落合²⁾が選定したダム湖を検討対象とした。対象としたダムの地理的分布を図-1に示す。対象ダム選定の際に留意した点は次の通りである。まずダム湖の水質悪化の影響を受けやすいのは、上水道への利用であると考えられるため、利用目的に上水道があるダム湖に限定した。また、温暖化での気温上昇による影響の現れ方に、地域的な傾向があると予想されるため、可能な限り広い分布からダムを選択した。

各ダム湖を対象とした水温解析には、鉛直次元の水温解析モデルを用いた。予測計算の際に、将来の気候条件を予測する全球気候モデル(GCM)の出力結果に関しては MIROC3.2, MRI-CGCM2.3.2, GFDL-CM2.1, HadGem の四つの結果を参照し、それぞれの気温と日射量の月別データを用いた。今回の研究は将来に関する予測であるため、不確実性が多く、複数のパターンで検討する必要があると考えたため、これらの出力結果を用いた。また、濃度シナリオは RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6 の三条件とした。これは数字が大きいかほど炭素排出量は多くなり、気候を変化させる力である放射強制力が強いことを意味している。解析対象期間は 1981~2000 年(現在), 2031~2050 年(中未来), 2081~2100 年(遠未来)の三期間とした。さらに富栄養化現象に対する適応策として湖内対策である曝気循環の有無についての予測も実施した。

水温の解析結果をアオコの発生という水質的な評価に結び付けるために、表層水温が 20°C を超える年間日数及び表層水温勾配が 0.5°C/m を超える年間日数という指標を用いた。この年間日数という指標を用いた理由は、アオコの代表的な原因種である藍藻類は高水温環境で多く発生する傾向が高いことと、表層水温勾配が 0.5°C/m 以上の時にアオコの発生などにより水質障害が発生する可能性が指摘されていることからである³⁾。これと、流入河川のリン濃度の情報を組み合わせ、経験式を作成し、湖内の表層クロロフィル a 濃度を評価した。その際将来期間に対する流入総リン濃度

*Evaluation of future algal growth potential in water resources reservoirs, by Daisuke Shimizu, Makoto Umeda, and Yasuno Sawamoto

については、各ダム湖の流域環境変化が無く、流入河川の水質は実測値から変化しないものと仮定した。つまり本研究では、気候変動による気象条件の変化による日数の増加、すなわち湖内水温環境の変化から、藻類増殖への影響を評価する検討を行った。年間で表層水温が 20°C以上かつ表層水温勾配が 0.5°C/m 以上になる日数 N (日/年)、流入河川の年平均 TP 濃度 P (mg/l)を説明変数、表層の年平均 Chl-a 濃度 C_a ($\mu\text{g/l}$)を目的変数とし、重回帰分析を行った。これにより

$$C_a = 8.2 \times 10^{-2}N + 1.8 \times 10^2P + 0.28 \quad (1)$$

以上の式が得られた²⁾。図-2 に Chl-a 濃度の実測値と計算値の比較を示す。決定係数は 0.63 で、多少のバラつきがあるものの、この二変数でクロロフィル a 濃度を概ね表現できたと判断した。

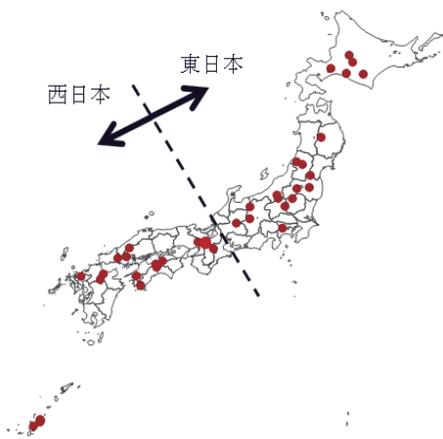


図-1 対象ダムの地理的分布

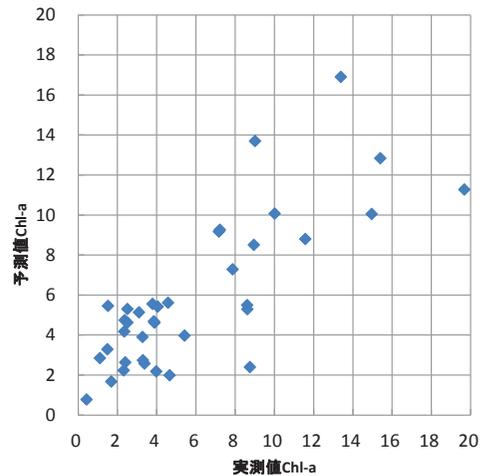


図-2 年平均表層 Chl-a 濃度の実測値と計算値²⁾

3. 結果

貯水池内の水温計算結果および(1)式を用いて、それぞれのダムにおける各期間における年平均表層クロロフィル濃度を評価した。予測結果のうち例として、MIROC の出力結果を用いて、適応策を考慮した結果を図-3 に示す。濃度シナリオは三ケース(RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6)である。また、得られた年平均 Chl-a 濃度に対して、2.5 $\mu\text{g/l}$ 未満で貧栄養湖、2.5 $\mu\text{g/l}$ 以上 8.0 $\mu\text{g/l}$ 未満で中栄養湖、8.0 $\mu\text{g/l}$ 以上で富栄養湖と分類した⁴⁾。濃度シナリオの違いは、栄養度分類にとしての予測評価に対しては大きな差を生まなかった。

地域的な将来変化傾向を考察するため、選定した 37 ダムを東日本と西日本に分類した。ここで東日本とは北海道、東北、関東、北陸、中部の五つの地域で、西日本は近畿、中国、四国、九州、沖縄の五つの地域とした。図-4 に各 GCM の出力を用いて算出した年平均気温と、本研究の解析から予測した年平均表層 Chl-a 濃度の関係を示す。図中には、記号を分けて東西の地域別での平均値を示しており、また、四つの GCM、三つのシナリオの区分も表記した。さらに、図-4 左図は適応策無し、右図は適応策として曝気循環を考慮した場合を示している。

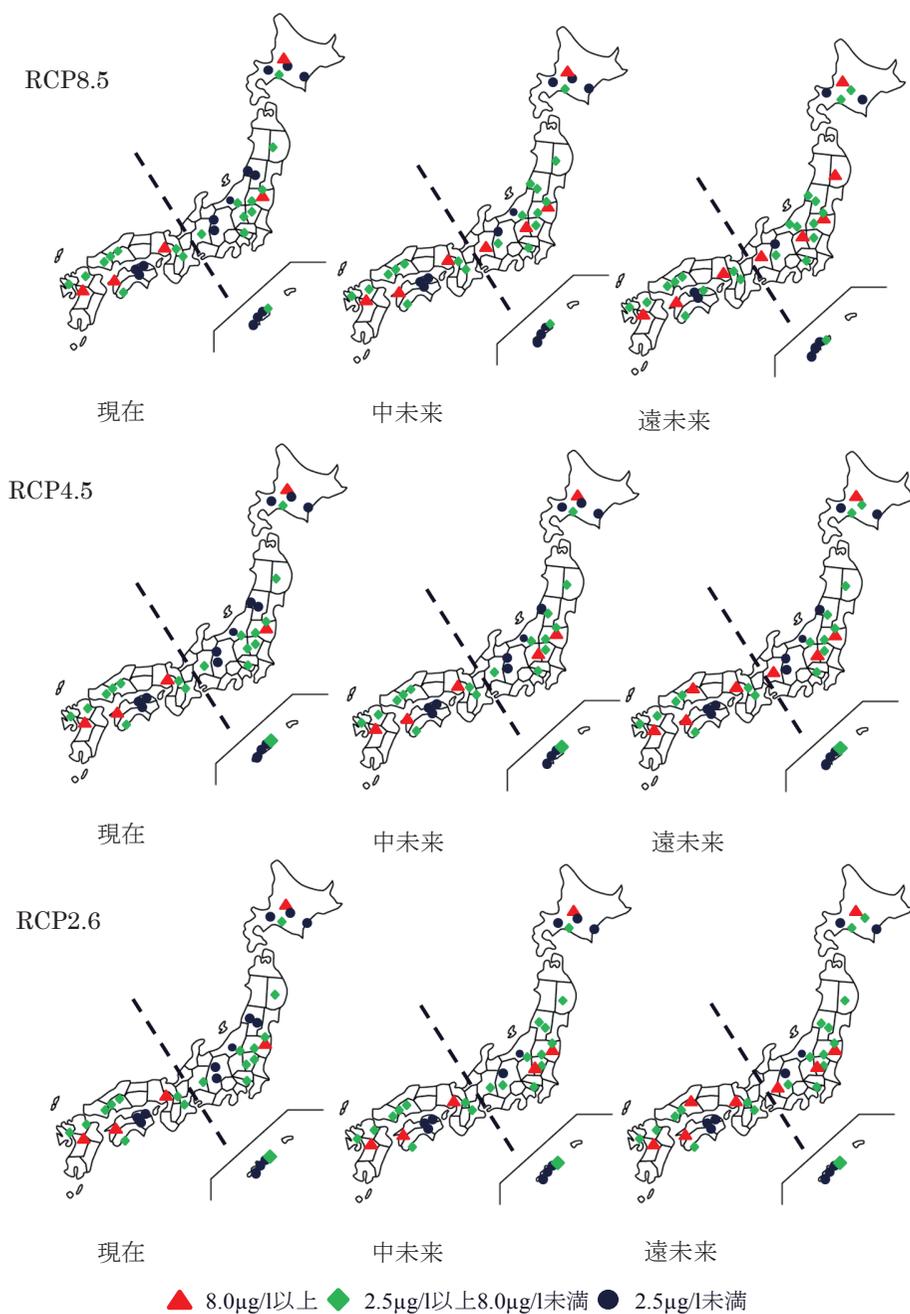


図-3 各ダム湖における Chl-a 濃度の予測結果
(GCM として MIROC の出力, 適応策有り。
上から RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6 の場合)

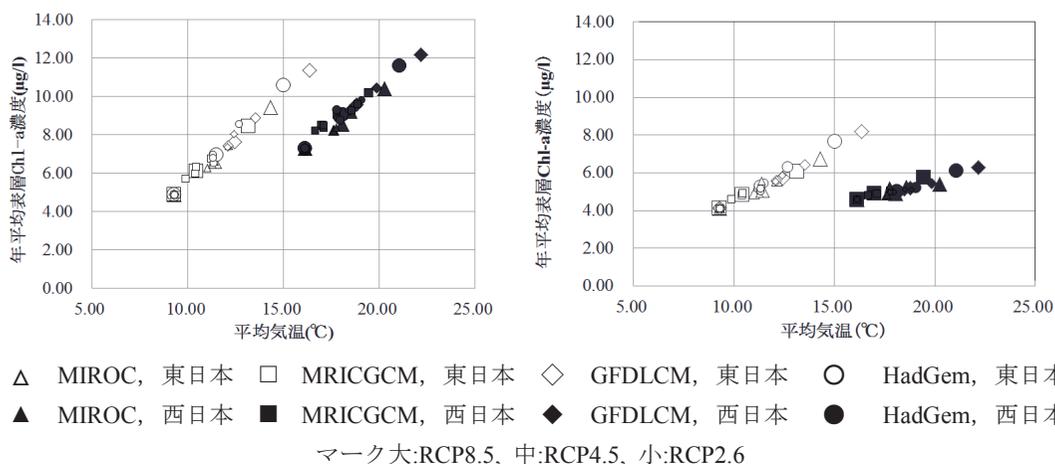


図-4 予測結果による Chl-a 濃度と気温の関係(左図:適応策無, 右図:適応策有)

図-4の左図と右図を比較して、適応策である曝気循環により、年平均 Chl-a 濃度が低下している傾向が判別されることから、曝気循環が適応策として効果を発揮しうることが、本予測結果から推測される。本検討で分類した東西日本の区分で、平均気温の分布が概ね二分されるプロットとなっている。これは表現として便宜上、東・西としているが、図-1を見ても分かるように、概ね北・南にも対応するためである。図-4の適応策未導入の場合の結果では、東日本と西日本のプロットのバラつき具合が概ね平行になっており、気温に対する藻類増殖(Chl-a濃度の増減)という応答特性が、東西で概ね同等であるということが読み取れる。それに対して図-4右図では、東日本よりも西日本の方が小さい勾配になっている。これは、西日本の方が気温上昇に対して、曝気循環の効果がより発現しやすい傾向があるということになる。このことの要因に関しては、今後検討を詰めて、より効果的な適応策の立案につながる提案につなげたいと考えている。

図-5に平均気温と年代、図-6に Chl-a 濃度と年代の関係を示す(RCP8.5の場合)。これらは各 GCM の出力を用いて算出した年平均気温と解析から予測した Chl-a 濃度の東西の平均を年代ごとに示したものである。それぞれ標準偏差をとって、図-6から未来に進むにつれて平均気温の不確実性が大きくなるのがわかり、それにより Chl-a 濃度のバラつきが大きくなるのではないかと考えられる。またこのバラつきも、東日本と西日本で差が見られた。

4. おわりに

本研究では国内 37 のダム湖を対象として、GCM の出力結果を用いて現在および中未来と遠未来におけるダム湖の鉛直水温分布を計算した。この解析結果をアオコの発生という水質的な評価に結び付けるために、表層水温が 20°C を超える年間日数及び表層水温勾配が 0.5°C/m を超える年間日数という指標を用いた。この日数と、現状の各ダムにおける流入河川の総リン濃度を用いて、年平均の表層 Chl-a 濃度の経験式を作成し、この式を用いて将来の年平均の表層 Chl-a 濃度を推定した。将来の気温の予測にバラつきがあるため、Chl-a 濃度の予測にもバラつきがでると考えられる。またそのバラつきにも東西で違いが見られ、東日本におけるバラつきの方が大きいことがわかった。

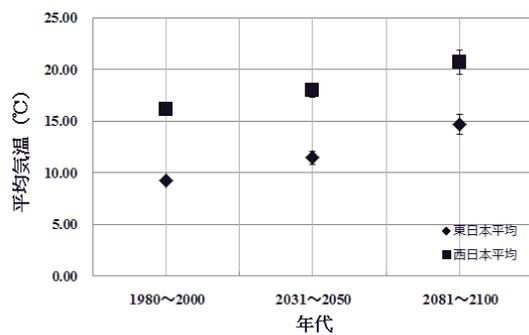


図-5 予測年代別のダム地点年平均気温

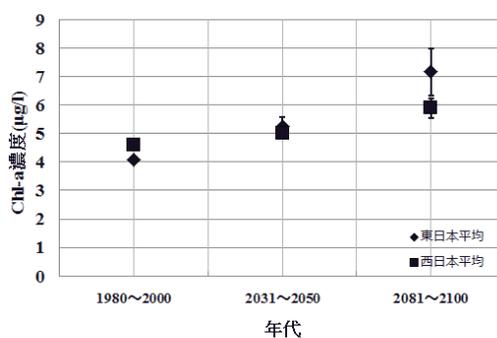


図-6 予測年代別の年平均 Chl-a 濃度

参考文献

- 1)日本水道局:水道水源の種類(平成 25 年度)
- 2)梅田信・落合雄太: 気候変動による国内のダム湖水質への影響評価, 土木学会論文集 G (環境), Vol.68, No.5, I_127-I_135, 2012.
- 3)Nagayoshi, G., Umeda M., Izumi Y and Okano M.: A study on the operation of an aeration desertification system as a measure for controlling algal bloom and musty odors, International Conference on Large Dams, Barcelona, pp.265-288, 2006.
- 4)OECD: Eutrophication of waters monitoring, assessment and control, 1982.