

水深が浅い閉鎖性水域における日平均水温の推定 ～印旛沼と江戸城外濠を例にして～

中央大学大学院 学生会員 ○綿貫 翔 吉見 和紘
中央大学 フェロー会員 山田 正

1. 目的

近年、地球温暖化による気候変動で湖沼の水質や生態系だけでなく、人間活動にまで影響が出ている。今後、温暖化の更なる進行により、既存の影響だけでなく、アオコの発生確率の上昇や地下水温の上昇など新たな影響がでることが予想されている¹⁾。水質項目の内、水温は物質や気体の絶対溶解量や生物の活動量、循環システムなどに幅広く影響を与える水質項目である。水温は単純に気温による影響だけでなく、風や気圧など様々な要因から複合的に影響を受け、変化する。著者である山田は網走湖、霞ヶ浦、印旛沼、手賀沼における研究経験から、水深が浅い閉鎖性水域では、特にそれが顕著であり、水深による影響よりも気候条件による影響が大きいと考えている。

従来の式²⁾³⁾では、日毎に定常と仮定して計算している。つまり、日毎に独立した計算である。本研究では、実現象として、翌日に持ち越される熱量を連続式から計算した。この計算結果は従来手法の計算よりも、年間を通して精度良く計算できることがわかった。

2. 計算対象及び計算条件

計算対象は、長期にわたり、独立行政法人 水資源機構によって観測されている印旛沼（千葉県，35.73 N）及び2014年度から独自に観測をしている江戸城外濠（東京都，35.69 N）の閉鎖性水域である。両水域は平均水深が1.7 m前後と浅く、アオコの発生が問題になっている点で共通している。

なお、推定で使用している日照時間、気圧、風速、気温、水蒸気圧は気象庁による観測データを使用している。

3. 水面における熱収支式の概要

水面における熱収支の概念図は図-1に示す通りであり、熱収支式は以下の通りである。

$$(1 - \text{ref})S^{\downarrow} + L^{\downarrow} = H + lE + G + L^{\uparrow} \quad (1)$$

既知量は左辺第一項のみで、残りは全て推定する水温の関数となっている。ここに、左辺第一項の ref はアルベドで0.06の一定値を与え、 $S^{\downarrow}$ は日平均全天日射量 $[\text{W} \cdot \text{m}^2]$ である。第二項は、雲や水蒸気などによる下向き長波放射量 $[\text{W} \cdot \text{m}^2]$ である。右辺第一項と第二項はそれぞれ、顕熱輸送量 $[\text{W} \cdot \text{m}^2]$ と潜熱輸送量 $[\text{W} \cdot \text{m}^2]$ である。第三項は、水中伝達量 $[\text{W} \cdot \text{m}^2]$ であり、第四項は水面からの上

向き長波放射量 $[\text{W} \cdot \text{m}^2]$ である。

4. 連続式

計算の概念図は図-2の通りである。翌日以降に持ち越す熱量が存在するとき、熱収支式の左辺と右辺は等しいとする。ここで、 q と r はそれぞれ、熱収支式の左辺と右辺と置く。 P は単位面積当たりのエネルギー $[\text{J} \cdot \text{m}^2]$ を表し、 α は減衰係数 $[\text{T}^{-1}]$ である。これらを式で表すと、

$$\frac{dP}{dt} = q - r \quad (2)$$

$$q = \alpha P \quad (3)$$

となる。

ここで、減衰係数は印旛沼における12年間分の観測値と合うように選んだ値 0.08 T^{-1} とした。

これら式(2)及び式(3)を解くと、式(4)が求められる⁴⁾。

$$q = e^{-\alpha t} q_0 + \int_0^t \alpha e^{-\alpha(t-\tau)} r(\tau) d\tau \quad (4)$$

q_0 は熱収支式における右辺の初期値 $[\text{W} \cdot \text{m}^2]$ である。しか

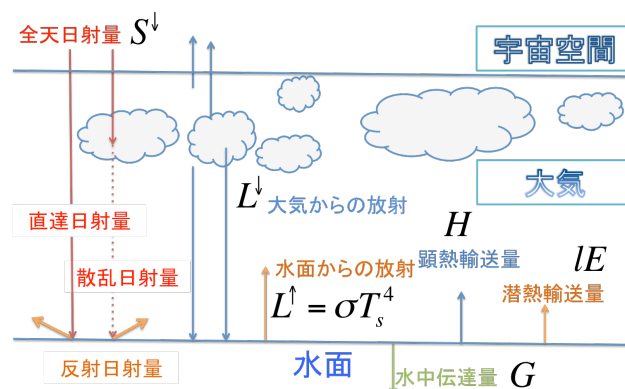


図-1 水面における熱収支の概念図

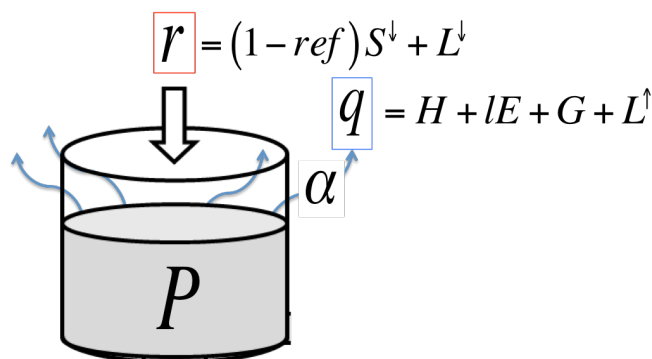


図-2 連続式の概念図

キーワード 水温、熱収支、閉鎖性水域、連続式

連絡先 〒112-0003 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院 TEL. 03-3817-1805 E-mail : akira-xiang@civil.chuo-u.ac.jp

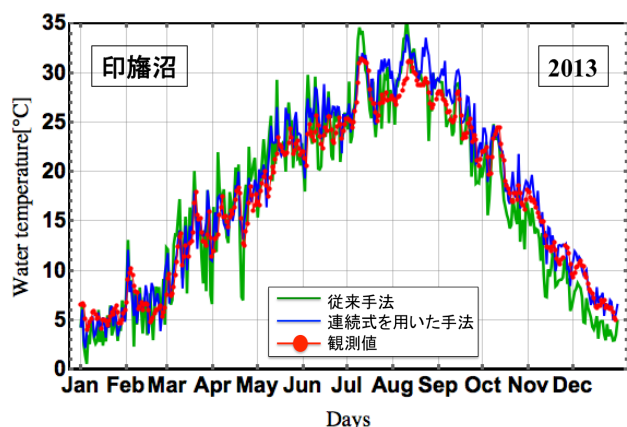


図-3 印旛沼における水温の計算結果及び観測値

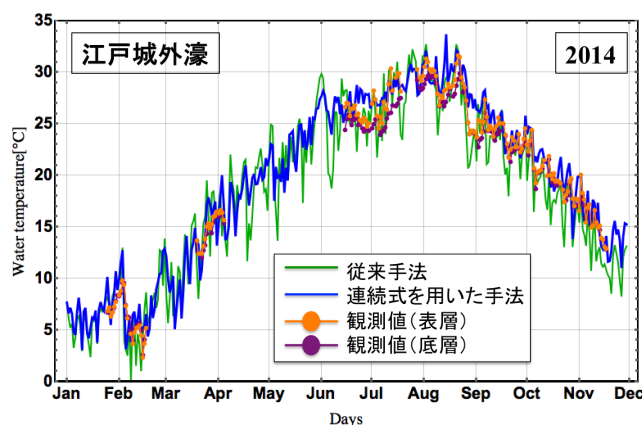


図-4 江戸城外濠における水温の計算結果及び観測値

し、この初期値も未知量であるため、初期値を別途計算する必要がある。そのため、初期の段階では定常状態と仮定すると、

$$q_0 = r_0 \quad (5)$$

となり、 r_0 は熱収支式における左辺の初期値 $[\text{W} \cdot \text{m}^2]$ である。これを式(4)に代入すると、

$$q = e^{-\alpha t} r_0 + \int_0^t \alpha e^{-\alpha(t-\tau)} r(\tau) d\tau \quad (6)$$

となる。この右辺第二項によって、過去の熱量が現在から未来へ影響を与える。

5. 計算結果

計算結果は水面の水温である。印旛沼と江戸城外濠における従来の手法による計算結果、連続式を用いた手法による計算結果及び観測値（印旛沼は表層から20 cm、江戸城外濠は表層及び底層からそれぞれ10 cmである。）を図-3及び図-4に示す。

従来の手法よりも連続式を用いた手法の方が数値の変動が小さく、観測値との精度が良い。特に、春から夏にかけて貯めた熱量を放出する冬において、従来の手法よりも連続式を用いた手法による計算結果の方が精度が良い。

6. 考察

両閉鎖性水域において、観測値と計算値の精度が落ちる原因は、二つ考えられる。一つは、雨や人為的な流入・取水による影響だと考えられる。本研究での計算は水面の熱量保存則のみで計算しているため、流入・取水による効果は含んでいない。そのため、梅雨や台風による降雨が多い時期は両閉鎖性水域で水温は低下したと考えられる。また、印旛沼に関しては、主な取水施設と揚・排水機場だけで、約10 kmの間に20カ所もある。夏の時期に流入・取水が増えると、河川水温の影響を受け、湖内の水温は下がる。そのため、水の需要が増える夏季

に実際よりも高く水温を計算すると考えられる。

冬の時期に従来の手法よりも精度が良くなるのは、実現象として、春～夏にかけて貯めた熱量を秋～冬に放出する³⁾が、従来の手法では日毎を独立に計算しているために、それが再現できなかったと考えられる。

7. まとめ

水深が浅い閉鎖性水域において、翌日に持ち越す熱量を連続の方程式から貯留効果を表し、水温の計算結果を示した。

主な結果は以下の通りである。

- (1) 連続式を用いた式による計算結果は、従来の手法よりも年間を通して精度良く計算することがわかった。
- (2) 6～9月での水温の計算結果が観測値よりも高い場合、雨による流入や排水機場等の施設による影響だと考えられる。
- (3) 水深が印旛沼と同程度の場合、江戸城外濠でも印旛沼と同じ減衰係数の値を用いても、精度良く推定することがわかった。

謝辞

印旛沼のデータに関してパシフィックコンサルタンツ(株)の東海林氏から多大な協力を得た。ここに、併せて、謝意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：気候変動による水質等への影響解明調査，2013年3月。
- 2) 新井正，西沢利栄：水温論（水文学講座10），共立出版，1974年。
- 3) 近藤純正：水環境の気象学-地表面の水収支・熱収支，朝倉出版，1994年。
- 4) 星清：やさしい微分方程式の数値解法，土木試験所月報，No.395，pp.29-38，1986年。