

3層型 FFANN を援用した多波長励起蛍光光度計による藻類網別 Chl.a の推定 Estimation of Class-differentiated Chl.a by Multi-wavelength Excitation Fluorometer using Three-layered Feedforward Artificial Neural Network

○山本錬*・原田昌佳**・平松和昭**・田畑俊範**

Ren Yamamoto, Masayoshi Harada**, Kazuaki Hiramatsu** and Toshinori Tabata**

1. はじめに 近年、多くの農業用貯水池で藍藻類によるアオコの発生が深刻化し、その増殖特性の解明が急務である。藍藻類は気象環境への高い応答性により極めて短期間で劇的に変動する。さらに風を駆動力とする吹送流の影響で、水面に集積するアオコの空間的な偏りが生じる。そのため、現地観測に基づくアオコの増殖特性の把握には、藻類網レベルで区別した Chl.a の連続的・多点的な計測が求められる。本研究では、このような計測が実現可能な多波長励起蛍光光度計に着目し、励起蛍光スペクトルから藻類網別 Chl.a の推定方法として、3層型フィードフォワードニューラルネットワーク(FFANN)を導入した。

2. Chl.a の観測・推定方法 近年、浮遊性藻類の Chl.a の測定に蛍光光度計が広く用いられ、多波長励起蛍光光度計による藻類網別 Chl.a の計測事例もある。同機器では、葉緑素の複数の波長の励起光に対する蛍光強度が測定される。浮遊性藻類の光学特性がその種で大きく異なることを利用することで、網レベルで大別された Chl.a の濃度を励起蛍光スペクトルより推定することが可能となる。Multi-Exciter (MEX) (JFE アドバンテック社)では、370 nm~590 nm の9波長の各励起光に対する蛍光強度(640 nm~1100 nm の積算)が測定される。本機器は、比較的安価であり、多点あるいは連続的な現地観測が容易である。ただし、本機器で得られるデータは蛍光強度と水温のみであり、藻類網別 Chl.a の情報を獲得するための較正曲線が別途必要である。しか

し、多種の浮遊性藻類が共存する中で、較正曲線を適切に定めるのは容易ではない。そこで、励起蛍光スペクトルを用いた藻類網別 Chl.a の推定に3層型 FFANN を利用し、実水域での観測データを教師データとする学習により推定モデルを構築した。

Figure 1 の3層型 FFANN において、MEX で得られた励起光9波長($\lambda=375, 395, 420, 435, 470, 505, 525, 570, 590$ nm) に対する蛍光強度(FI_{λ})と水温を入力ユニット、総 Chl.a、緑藻類 Chl.a、藍藻類 Chl.a を出力ユニットとした。中間層のユニット数は入力層と同数とし、入出力値は [0,1] で規格化した。各ユニットからの出力信号の計算にはシグモイド関数を用いた。学習は誤差逆伝播法を使用し、最大学習回数を 60 000 とした。また、過学習を抑制するために Dropout を適用した。

浮遊性藻類の出現特性の影響を考慮するために、藍藻類が優占的な A 池と、緑藻類が優占的な B 池の農業用貯水池を対象水域とした。2019年5月~11月に、週2回の頻度で MEX による蛍光強度と水温の現地測定を行った。

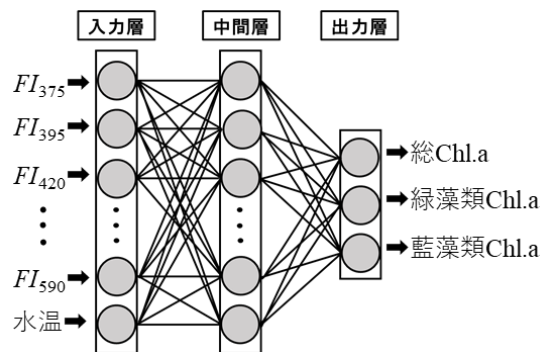


Fig. 1 3層型 FFANN の模式図

*九州大学大学院生物資源環境科学府 / Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University **九州大学大学院農学研究院 / Faculty of Agriculture, Kyushu University

キーワード：水質、水環境、アオコ、農業用貯水池、励起蛍光スペクトル

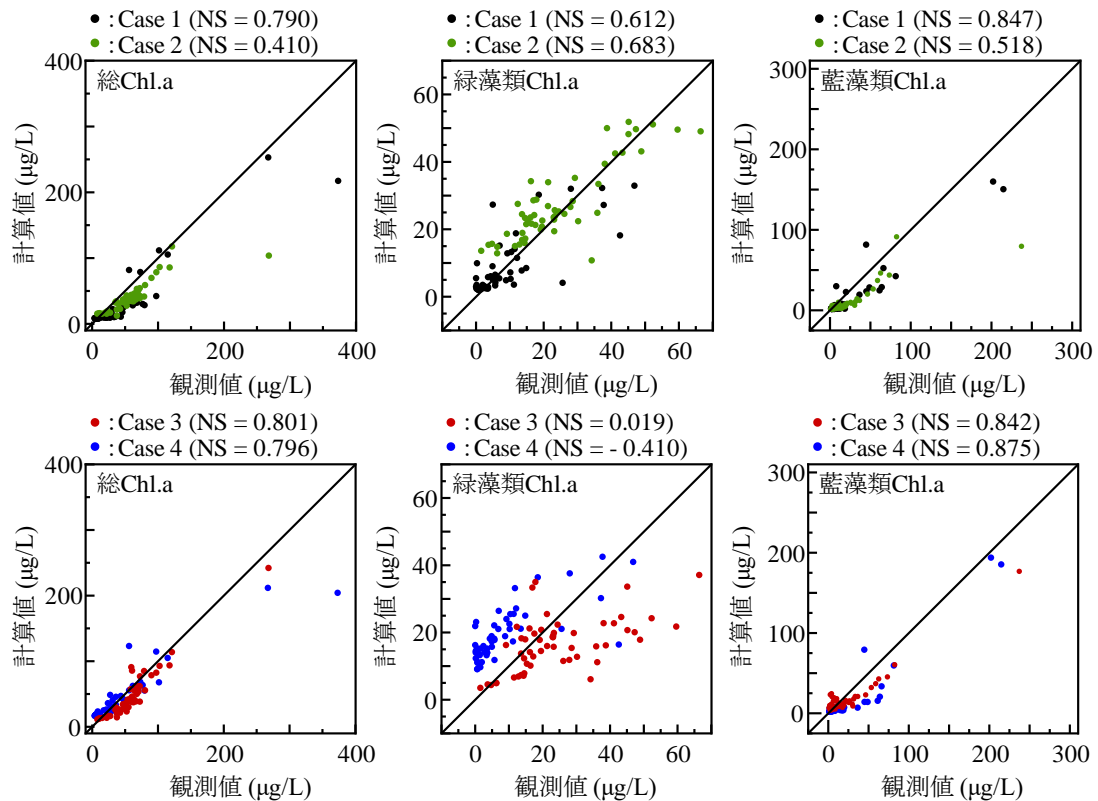


Fig. 2 推定結果 (Case 1 ~ Case 4)

併せて、溶媒抽出法による総 Chl.a と、較正曲線内蔵の多波長励起蛍光光度計 (FluoroProbe, bbe Moldanke 社) による緑藻類 Chl.a、藍藻類 Chl.a を測定し、これらを Fig. 1 の FFANN の期待出力値とした。以上の定期観測より各水域で約 50 個のデータセットを得た。

3. 結果と考察 本モデルによる推定精度は期待出力値と推定結果との Nash-Sutcliffe 指数 (NS) で評価した。まず、同一水域で FFANN を適用した場合のモデルの妥当性を検討するために、交差検証の一つである Leave-one-out 法を採用し、A 池の場合を Case 1、B 池の場合を Case 2 とした。次に、A 池を教師データとして B 池の推定を行った場合を Case 3、B 池を教師データとして A 池の推定を行った場合を Case 4 とした。Fig. 2 のように、Case 1 と Case 2 では、全項目ともに概ね良好な推定結果を得た。特に、藍藻類が優占的な B 池で、総 Chl.a と藍藻類 Chl.a の推定精度は極めて高い結果であった。Case 3 と Case 4 においても、良好な総 Chl.a と藍藻類 Chl.a の推定結果が得

られた。異なる水域の観測結果を用いた教師あり学習であっても、良好に藍藻類 Chl.a を推定できる点で、本手法は高い汎用性を持ち、多点的・連続的なアオコの現地観測に有効である。一方、緑藻類の推定精度は他の 2 項目と比べて低かった。まず、教師データの問題として、両水域で緑藻類 Chl.a の測定結果のレンジが大きく異なり、外挿的な推定となったことが挙げられる。また、生態的要因として、藍藻類が単一種による群体構造を形成した一方で、蛍光特性の異なる多種の緑藻類が共存したことが、両 Chl.a の推定誤差の違いに繋がったと考えられる。

4. おわりに 励起蛍光スペクトルから藻類個別 Chl.a の推定方法として階層型 FFANN を提案した。緑藻類 Chl.a の推定では改善すべき点があるものの、総 Chl.a と藍藻類 Chl.a は良好に推定でき、異なる水域にも適用可能であった。FFANN の導入により、アオコ発生の実態解明に向けた多波長励起蛍光光度計による連続的・多点的な現地観測の有効性は高い。