

多波長励起蛍光光度計を用いた藻類組成と DOC の推定

鹿児島大学 学生会員 安達大樹 正会員 小橋乃子 安達貴浩

1.はじめに 富栄養化の進んだダム湖では、アオコ（藍藻類）が発生し、その結果、異臭の発生や、景観の悪化が問題となることもある。このようなアオコの発生のメカニズムを明らかにし、いち早くその存在を把握するためには、アオコ含む植物プランクトンの組成を計測する必要がある。しかし、一般に用いられている検鏡調査では多大な時間が必要となるため、データ収集に時間がかかるだけでなく、観測地点が自ずと限られてくる。このため、植物プランクトン組成推定のために開発された現場観測型の多波長励起蛍光光度計（JFE アドバンテック社製 Multi-Exciter 以降、MEX と呼ぶ）に多くの期待が寄せられているが、同器をそのまま用いても適切なデータが得られないケースも報告されている。本研究では MEX の有効活用を目的とし、アオコ（藍藻類）の検出精度を向上させるとともに、ピコ・ナノプランクトンならびに DOC の検出に利用するための検討を行った。

2.多波長励起蛍光光度計（MEX）の計測原理 MEX は 9 つの異なる波長の光源で植物プランクトンを励起し、各励起光の蛍光強度スペクトルを計測するものである。植物プランクトンの蛍光強度スペクトルは色素組成によって、また色素組成はいくつかの分類群毎の特徴があるため、結果的に励起光強度スペクトルから植物プランクトンの分類群を推定することが可能となり、具体的には、以下の式が用いられる。

$$FI_i = \sum_{j=1}^n S_{ij} C_j \quad (i=1\sim 9) \quad \text{ただし、} C_j \geq 0 \quad (1)$$

ここで、 i : 光源の番号、 n : 植物プランクトングループの総数、 S_{ij} : Chl-a で規準化した基本スペクトル、 C_j : j 番目の植物プランクトングループの Chl-a 分画である。計測によって FI_i が計測されるため、 S_{ij} が既知であれば、制約条件付・最適化問題の解として C_j が求められる。ちなみに基本スペクトル (S_{ij}) のデフォルトは、3 種の植物プランクトン・グループ ($n=3$: 珪藻、緑藻、藍藻) のみが与えられている。

3.大鶴湖における調査の概要 【タイプ I : 基本スペクトル推定のための調査】 各成分の基本スペクトルを明らかにするため、2017 年 10 月 30 日以降、大鶴湖において採水したサンプル

(濾過前)、目合 20 μ m のプランクトンネットで濾過したサンプル、孔径 0.7 μ m のガラス繊維濾紙で濾過したサンプルの FI_i を計測した。それぞれを、 FIa_i 、 FIb_i 、 FIc_i とすると、 FIc_i は DOC 分画 ($FIDOC_i$) を、 $FIb_i - FIc_i$ はピコ・ナノプランクトン分画 (FIS_i) を、 $FIa_i - FIb_i$ はミクロプランクトン分画 (FIL_i) をそれぞれ意味する。また、スペクトルの分布形状を比較する際には、サイズ分画毎に得られた FI を全励起波長について平均した値で規格化した (FI'_i)。【タイプ II : 検証用調査】

2014 年以降、大鶴湖において、月に 1, 2 回の頻度で水質の調査が実施されているが、その際ミクロプランクトンとピコ・ナノプランクトンの Chl-a 分画 (以下、Chl-a-L、Chl-a-S)、ならびに MEX による蛍光強度スペクトル FI_i の鉛直分布、さらにはミクロプランクトンの種組成 (検鏡による) を計測し、検証データに用いた。

4.アオコ（藍藻）の推定 図-1 にタイプ I の調査によって得られた 2018 年 9 月 18 日の FI_i の計測結果を示す。この結果から、条件によってはピコ・ナノプランクトン、DOC がミクロプランより大きな FI_i 値をとることが分かる。次に、タイプ I の調査によって得られた観測日の異なるサイズ分画毎の FI_i を規格化し、比較すると、 FIS'_i と $FIDOC'_i$ はいずれの

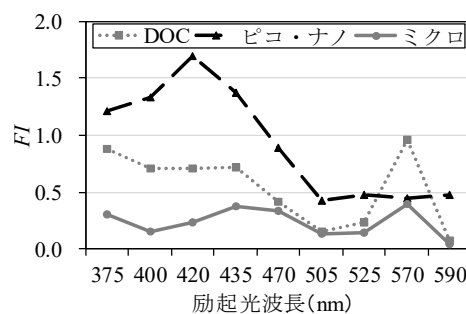


図-1 各成分のスペクトル

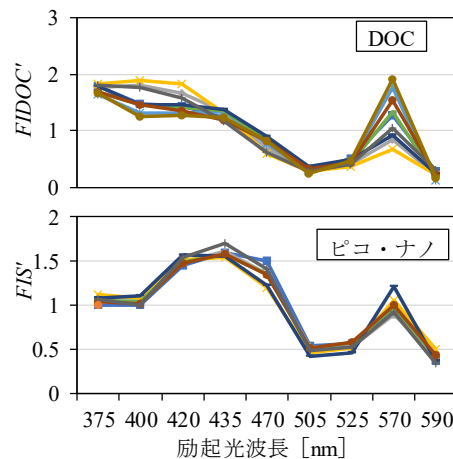


図-2 規格化したスペクトル

観測日でも、ほぼ同じスペクトル分布を持つことが分かった(図-2)。このため、規格化したスペクトルから、ピコ・ナノプランクトンと DOC の基本スペクトルを算出し、MEX の基本スペクトル3種に加えた(基本スペクトル5種)。図-3に、検鏡から得られたマクロプランクトンの細胞数の割合、藍藻類の細胞密度、さらにタイプIIの調査結果に対して、基本スペクトル3種、5種それぞれから推定した藍藻類の Chl-a 分画を示す。基本スペクトル3種では、ほぼ全ての観測日に藍藻が検出されたが、ピコ・ナノプランクトンと DOC を含めた5種で推定することにより、藍藻の出現の有無がより観測結果に近くなっていることが分かる。

5. Chl-a-S、DOC の推定 次に、タイプIの調査結果を用いて、 FIS と $FIDOC$ を全波長にわたり平均した FIS_{i-ave} 、 $FIDOC_{i-ave}$

と、それぞれに対応する Chl-a-S、DOC の実測値との関係を調べた(図-4)。この結果、多少のばらつきはあるものの、いずれも概ね正比例の関係を示していることから、図中の近似式を用いることで、MEX のデータからピコ・ナノプランクトンと DOC を推定できる可能性があると考えられた。このため次に、タイプIIの調査によって得られた MEX の鉛直データから、Chl-a-S と DOC を計測した水深の FI_i を抽出し、ピコ・ナノプランクトンと DOC の基本スペクトルを含めた式(1)から $C_1 \sim C_5$ の最適地を算出した。得られた結果から FI の全波長平均におけるピコ・ナノプランクトン分画と DOC 分画を算出し、図-4の近似式からピコ・ナノプランクトンと DOC を推定した。図-5に推定値と実測値の比較を示す。ばらつきが大きい部分もあるが、定性的には実測を反映した結果を得ることができた。また、図-6に2018年9月28日のDOCの鉛直分布(推定値と実測値)を示す。図-4の近似式は観測日の異なるデータから作成しているため、データの推定精度が悪いものもあったが、観測ごとに適切な検量線を作成できれば、MEX を用いることで連続的なデータが得られるものと考えられる。

6. 結論 本研究により、ピコ・ナノプランクトン、DOC の基本スペクトルをデフォルトの3種の基本スペクトルに加えることで、アオコ検出の精度を向上できた。また MEX を用いることによってピコ・ナノプランクトン、DOC を計測できる可能性が示された。

参考文献 1)堀内智啓(2009): 生体励起蛍光スペクトルによる植物プランクトン種組成測定, 海洋理工学会秋季大会講演論文集, PP35-37

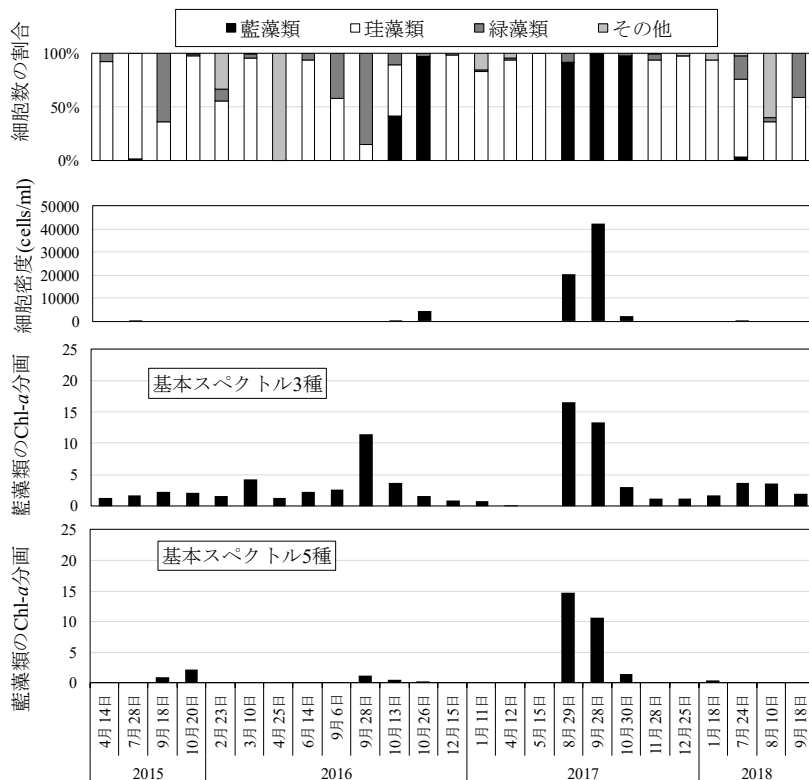


図-3 細胞数割合と藍藻網の Chl-a 分画

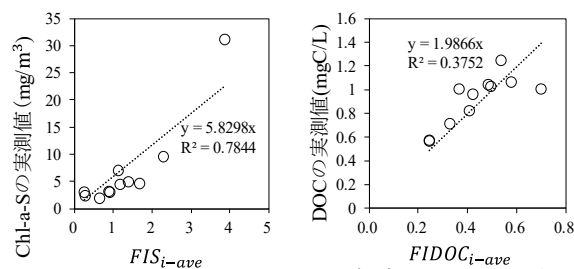


図-4 FIS_{i-ave} 、 $FIDOC_{i-ave}$ と各実測値との関係

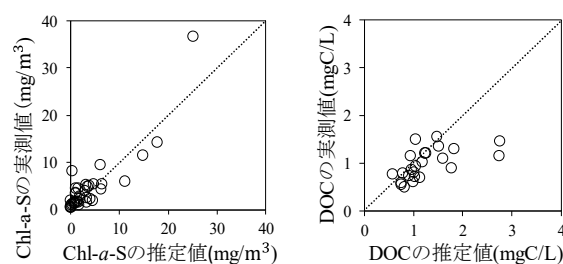


図-5 実測値と予測値の比較

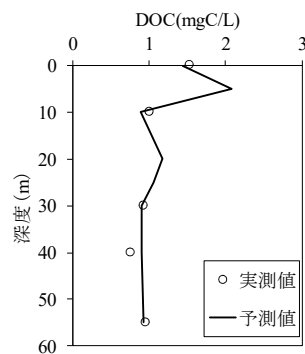


図-6 DOC の推定