

2 台の光量子計を用いた水中 PAR 計測の基礎的検討

鹿児島大学 学生会員 川畑颯大、正会員 小橋乃子、安達貴浩

1. はじめに 一次生産者である植物プランクトンの成長において光は必要不可欠であることから、水中の光環境を把握することを目的として、光合成有効放射(PAR)の調査・計測が行われている。しかし、光の現場測定は、入射光の変動や波浪等による振動、船影の影響を受けるため、簡便な手法で光の鉛直分布を正確に計測することは容易ではなく、センサーを船体から離し、自由落下で複数回計測する方法が推奨されている¹⁾。通常の沿岸調査では調査専用の船舶を利用できないことも多いことから、前述の問題を改善することを目的として、本研究では「2 台の光量子計を一定間隔でロープに固定し、同時刻に得られた上下の PAR の値から、光の減衰比を計測する手法」を提案し、実用上の問題について検討した。さらに、同手法を用いた PAR の連続観測の適用可能性についても検討を行った。

2. 観測および使用機器の概要 2019 年の 4 月から 11 月までの期間、鹿児島湾・中磯沖の観測地点(図 1)において、月 1 回程度の割合で PAR、濁度、蛍光度(JFE アドバンテック社製、RINKO-Profiler)の計測を行った。PAR の測定には器差補正した 2 台の光量子計 (JFE アドバンテック社製、COMPACT-LW、測定波長約 400~700nm)を用いた。また光量子計が常に鉛直上向きになるようジンバルを用い、上方の機器の影がなるべく下方に影響しないようロープに固定し(図 2)、PAR の鉛直分布を測定した。さらに以下の式により局所的な鉛直消散係数 $k(z)$ を算出した。

$$k(z) = \frac{1}{L} \ln \left(\frac{I_u}{I_d} \right)$$

ここで、 $k(z)(m^{-1})$: 水深 $z(m)$ での鉛直消散係数、 $L(m)$: 光量子計の設置間隔、 $I_u(\mu mol/m^2/s)$: 上側の PAR、 $I_d(\mu mol/m^2/s)$: 下側の PAR である。

3. PAR の計測結果 水中の光は通常、水深が深くなるにつれて指数関数的に減少するが、1 台の光量子計を用いた計測では非現実的な分布が得られる場合もある。観測結果の一例を図 3 に示しているが、光量子計を 2 台用いることで、妥当な結果が得られていることが分かる。なお、本文中において、「光量子計 1 台」とは上側の計測結果のみを意味し、「光量子計 2 台」とは光量子計 2 台(上側・下側)の減衰比と水面直下の PAR(I_0)から算出した値を意味している。さらに、複数の観測結果を対象として、単調減少となる分布が得られたかどうかを○、△、×でまとめた(表 1)。観測条件によっては分布がばらつくこともあったが(図示省略)、基本的には光量子計を 2 台使用することで、1 台だけの計測よりも結果が改善されることが確認された。

ただし、11/26 のように、 I_0 が変動し透明度が高い日は正確な計測が難しく、光量子計 2 台を用いても PAR の分布が大きくばらついた。同日に約 7 分間隔で 4 回観測を行った時の k の鉛直分布を調べたところ、透明度

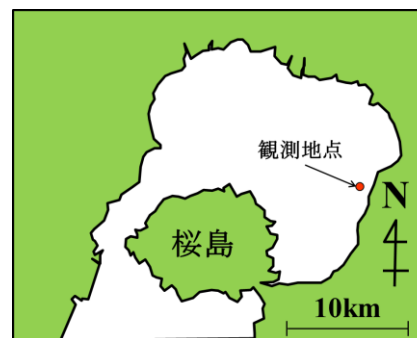


図 1 観測地点

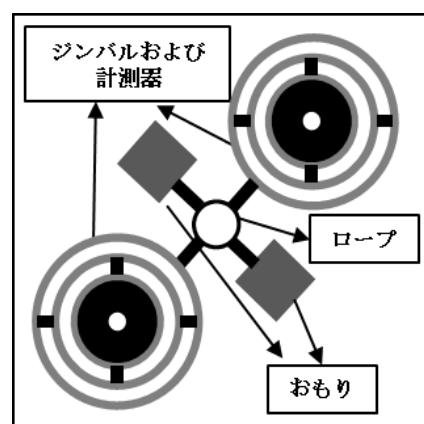


図 2 光量子計の設置状況 (上面図)

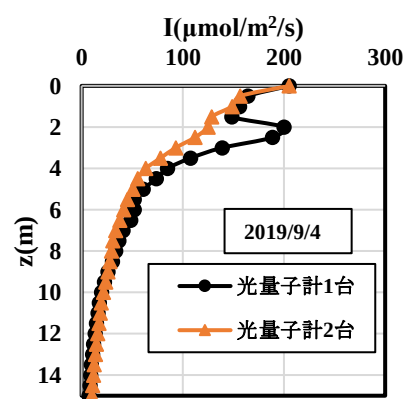


図 3 PAR の鉛直分布

表 1 観測結果の概要 (2019 年)

	4月23日	5月21日	6月18日	7月16日	9月4日	11月26日
光量子計1台	○	○	×	○	×	×
光量子計2台	○	○	△	○	○	×
透明度(m)	4	4	5	1.5	6	8
$I_0(\mu mol/m^2/s)$	263	1288	193	456	205	140-323

以浅で k は大きくばらつくことが確認された(図 4)。また、 k を最も支配する要因である濁度が鉛直方向にほぼ一様であり(図示省略)、4 回のデータを平均することで比較的一定な k を得ることができたことから、 k の変動はランダムな要因によって生じていると考えられる。このような誤差が生じる場合には複数回の計測結果の平均が必要と言える。以上の結果を踏まえ、次に PAR 連続観測の可能性について検討した。

4. PAR の連続観測の可能性 本観測地点における $k(z)$ の分布を調べたところ、大半の結果において k は概ね鉛直方向に一様だったが(図示省略)、2019 年 7 月 16 日には k が鉛直方向に比較的大きな分布をもっていた(図 5)。この理由を調べるため、濁度が鉛直方向に勾配をもつ 2019 年 4/23 と 7/16 について濁度と k の関係を調べたところ、両者に相関が見られることが分かった(図 6)。沿岸域である本観測地点では、出水に伴って河川から土粒子などの懸濁物が供給されていると考えられるが、2016 年から 2019 年の同地点における水表面付近の濁度と塩分の関係を調べたところ(図 7)、ばらつきはあるものの、表層で低塩分となる日には高濁度であることが多いことが確かめられた。このように、観測地点の鉛直消散係数 k は、鉛直方向に一定であることが多いが、降雨後などに濁水が表層に流入することによって k が鉛直方向に分布をもつ場合がある。

いずれにしても、 k が水深方向に分布をもつと、光量子計 2 台では PAR の鉛直分布を正確に推定できなくなる可能性が考えられる。しかし 7/16 の場合、高濁度水の影響で PAR は比較的浅い部分で 0 に近くなり(透明度 1.5m)、表層付近の k を与えることで PAR の鉛直分布を適切に再現できることが確認された。この結果から、 k が分布をもつような場合には濁度の値が大きいため PAR の減衰も大きく、結果的に、表層近傍の代表点での k だけで PAR の分布を再現できるものと考えられる。検証データが少ないため、今後のデータの蓄積が必要であるが、以上の結果から判断すると、表層付近に 2 台の光量子計を係留することで、PAR の鉛直分布を比較的良好に推定できると考えられる。

5. まとめ 本研究によって、以下の知見が得られた。

- (1) 光量子計を 2 台使用することで、PAR の計測精度が向上することが確認された。
- (2) I_0 の変動が大きく透明度が高い日は透明度以浅で k が変動しやすくなるが、それはランダムな要因による可能性が示された。
- (3) 係留時のランダムな誤差は時間平均により除去できる。また通常の k は鉛直方向に一定であることが多いが、濁度が高く k が鉛直方向に分布をもつような場合でも、表層近傍の代表点での k で PAR の分布を精度よく推定できる可能性がある。これらの結果から判断すると、光量子計を 2 台使用した連続観測によって、比較的精度良く PAR の鉛直分布の時系列を取得できると考えられる。

引用文献 1) 平澤亨, 鈴木光次, 海洋中の光, Vol.8 Chp.8, 海洋観測ガイドライン (2015)

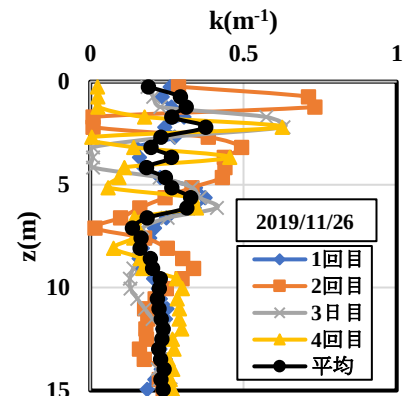


図 4 k の鉛直分布(2019/11/26)

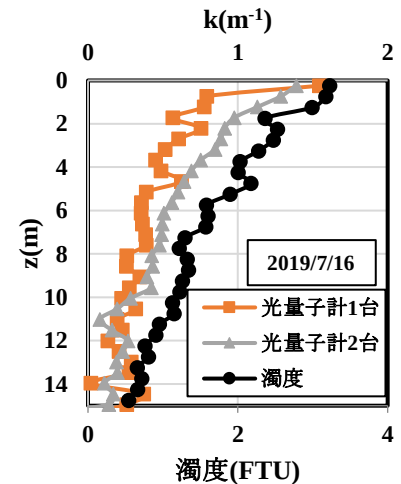


図 5 k と濁度の鉛直分布 (2019/7/16)

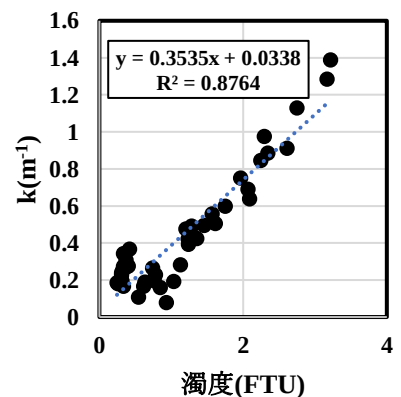


図 6 濁度と k の関係

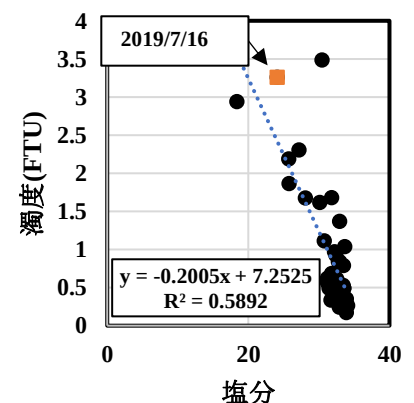


図 7 水表面付近の濁度と塩分の関係