

沿岸域における水中光量子推定手法の基礎的検討

鹿児島大学 学生会員 小田光夏、正会員 小橋乃子、安達貴浩

1. はじめに

水中の光環境は、水域の一次生産や有害赤潮を規定する重要な要素であり、これまでも多くの研究が実施されている。このため、既往の経験式等を組み合わせて水中の光量子を推定することは可能であるが、得られた推定値がどの程度の誤差を含んでいるかは明確ではない。このような背景の下、本研究では現地調査を実施し、できるだけ入手しやすい観測データを用いて水中の光環境を連続的に推定する方法について検討し、推定された光量子の誤差要因を調べた。

2. 観測および測定方法

鹿児島湾・中磯沖の観測地点において、2015年4月から2018年12月までの期間、1回程度の割合で、水中光量子、濁度、蛍光度の鉛直分布および透明度等を計測した。光量子の鉛直分布はCTD(JFEアドバンテック社製, RINKO-Profiler)に取り付けた小型メモリー光量子計 COMPACT-LW(JFEアドバンテック社製, 測定波

長: 350~750nm)、また透明度は直径30cmのセッキ板を用いて測定した。さらに、定期観測と同じ地点の水面下1mにワイパー付光量子センサー(COMPACT-LW)とクロロフィル・濁度計(INFINITY-CLW、赤外光後方散乱式)を係留し、定点での連続観測を実施した。

3. 結果および考察

3.1 水中光量子の観測結果と推定手法

図1に水中光量子の観測結果の一例を示す。図1には、式1、式2から算定された光量子の推定値も併記した。

$$I_d = I_0 \exp(-k' \cdot d) \quad \text{—(式1)}$$

ただし、 I_d : 水深 d (m)における光量子($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)、 I_0 : 海表面における光量子($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)である。なお、水柱平均の消散係数(k')は、式2に示す透明度(Z_s)を用いた経験式¹⁾から与えた。

$$k' = A/Z_s \quad \text{—(式2)}$$

ただし、 k' : 水柱の平均消散係数(m^{-1})、 Z_s : 透明度(m)、 A : 経験定数である。図1では $A=1.7$ とした。

3.2 平均消散係数の推定

図1に示したように、透明度によって推定される平均消散係数を用いることによって、水中光量子の鉛直分布を概ね良好に再現できたが、中には再現性が悪いものもあった。このため、水中光量子の実測値を真値と見なし、式2の係数 A を変化させて得られる水深15mまでの推定値との差 D_{ave} を取ることで、最適な係数 A を調べた(図2: ここで D_{ave} とは、誤差の絶対値の

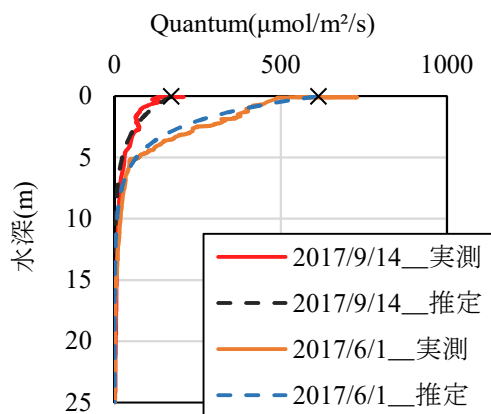


図1 水中光量子の鉛直分布(実測・推定)

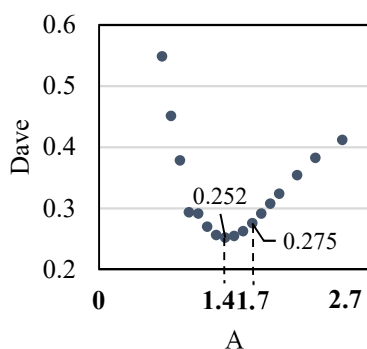
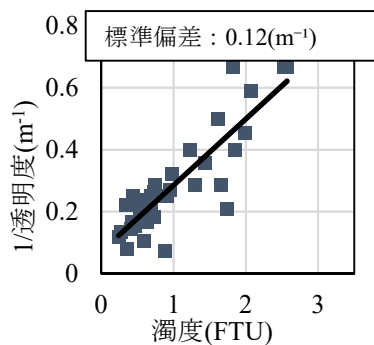
図2 Aと D_{ave} の関係

図3 透明度と濁度

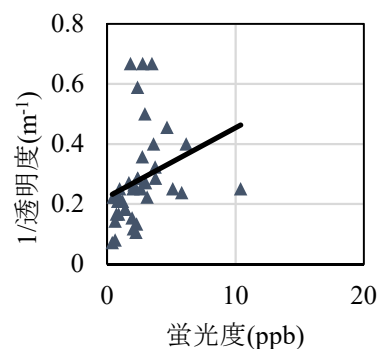


図4 透明度と蛍光度

平均を真値の平均で割り、さらに 15 個の観測結果で平均した値)。この結果、 $A=1.4$ で誤差が最小となったが、 $A=1.7$ との相違は、さほど大きくなかった。このため、以後では、種々の条件で汎用性が確認されている $A=1.7$ を用いることとした。

3.3 透明度の推定

以上のように、従来の経験式を用いることによって、比較的良好に水中の光量子を再現できることが確認されたが、透明度を連続的に測定することは難しい。このため、係留観測から得られる水深 1m の濁度と蛍光度から、透明度を推定することを試みた。図 3、4 に透明度の逆数と濁度、透明度の逆数と蛍光度の関係を示す。外洋において平均消散係数を算定する場合、しばしばクロロフィル a 濃度との関係が調べられる。しかしながら、沿岸域である本観測地点では、透明度と蛍光度には有意な相関関係が見られなかった。一方、透明度と濁度には、次式で示される相関関係が見られた。

$$Z_s = 1 / (0.214 \times T + 0.0719) \quad \text{—(式 3)}$$

ここで、 Z_s : 透明度(m)、 T : 濁度(FTU)である。

3.4 水面下 1m の光量子の推定

以上のように、式 1 から式 3 に水深 1m の濁度(T)と海表面の光量子(I_0)を入力することで、水中の光量子を推定できるようになった。しかしながら、波浪による海表面の水位変動、計測機器を係留する設備の影等の影響を受けずに海表面の直下に光量子計を係留することは容易でないことから、ここでは全天日射量から I_0 を推定した。

$$I_0 = k_1 \times k_2 \times RS \quad \text{—(式 4)}$$

ただし、 k_1 : 全天日射量と光量子(光合成有効光量子)との比($\mu\text{mol}/\text{J}$)= $1.9 \sim 2.2^2$)、ここでは 2.05、 k_2 : 空中から水中に透過する際のエネルギー透過率= $0.95 \sim 0.60$ 、ここでは、0.60、0.85、0.95、 RS : 全天日射量(W/m^2)

とした。式 1 と式 4 を用いて水深 1m における光量子(I_1)を推定し、実測値と比較した(図 5)。一般によく用いられる $k_2=0.85$ では、3 月 17 日、20 日、22 日のように比較的良く一致する日もあるものの、推定値と実測値の差の標準偏差は $181.5(\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})$ 、 $k_2=0.60$ では $103.5(\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})$ 、 $k_2=0.95$ では $2018.5(\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})$ と全体的には過大評価している場合も多かった。

4. まとめ

本研究の結果、鹿児島湾・中磯沖での水中光量子の減衰は、指数関数的に表せることが多く、その場合の水柱の平均消散係数は透明度によって概ね推定可能であることが分かった。さらに、透明度は濁度との相関が高く、濁度計を係留することで連続的な推定の可能性が示された。しかしながら、海表面下の光量子を全天日射量から算出したこともあり、満足する推定値を得ることができなかった。特に空中から水中に透過する際のエネルギー損失は、波浪条件や太陽高度で大きく変化することが知られていることから(5~50%の変化)、水中光量子を連続的に把握するためには現場の海表面での光量子(I_0)が極めて重要であると言える。また、光量子計測の時間分解能への配慮も不可欠である。講演時には、係留方法やデータの取得間隔を工夫することにより、実用に耐え得る高精度な I_0 の取得を試みた結果を紹介する。

引用文献

- 1) Poole, H. H. & Atkins, W. R. G. (1929). Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 16, 297-324.
- 2) Akitsu, T., Kume, A., Hirose, Y., Ijima, O., & Nishida, K. N. (2015). On the stability of radiometric ratios of photosynthetically active radiation to global solar radiation in Tsukuba, Japan. *Agricultural and Forest Meteorology*, 209-210, 59-68.

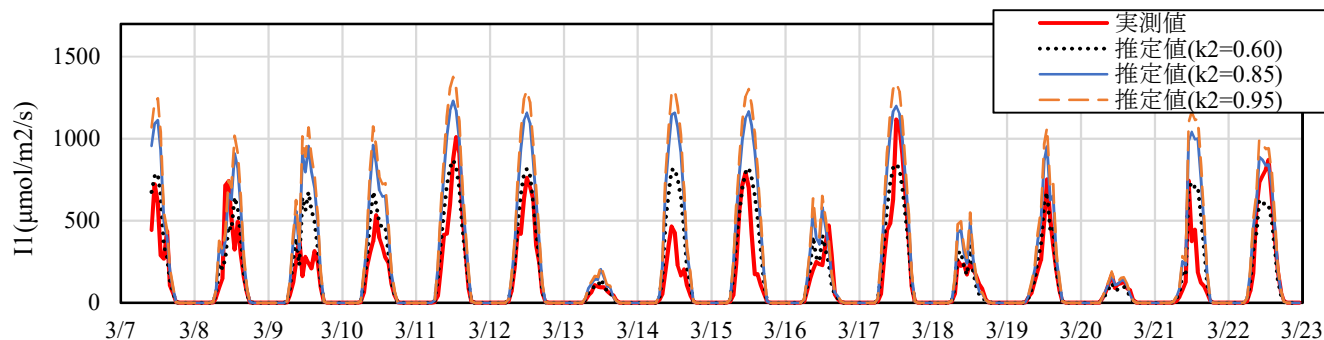


図 5 I_1 の実測値と推定値の経時変化(2017 年)