

海色リモートセンシングに対する植物プランクトン の鉛直分布の影響について

新井田 秀一
(神奈川県立博物館)

Effect of Phytoplankton Vertical Profile at Ocean Color Remote Sensing

Shuichi NIIIDA
(Kanagawa Prefectural Museum)

Abstract At ocean color remote sensing from the space, we need to understand the relation between phytoplankton pigment concentration and upward water-leaving light. But it is thought to be the effect of phytoplankton vertical profile on ocean light. This study used models from transparency or one attenuation length. The results suggest that the model used from one attenuation length agrees with the data observed.

1 はじめに

海の色を決める要因は、2つある。ひとつは、空の色が海の表面において反射して我々の目に届いて見える「見かけの海の色」で、曇空の日に見える「鉛色の海」といわれるたぐいがこれである。もう一つは、海水中に入射した太陽光が、懸濁物質（海水中の濁り）にあたって反射して海面から放射され、我々の目に届く「本来の海の色」である。

この本来の海の色のおぼつかない違いを分離して、水質情報を得ようとするのを「海色リモートセンシング」という。人工衛星を用いた海色リモートセンシングにおいて観測される水質情報は、主に植物プランクトン色素濃度や懸濁物量であるが、黄色物質濃度を計測するアルゴリズムの研究も進んでいる (BRICAUD, MOREL and PREIUR, 1983 他)。これらの情報から、バイオマス、海洋基礎生産量、カーボンサイクル、漁場形成・生態系サイクル、富栄養化、水塊解析等が検討できる。また、人工衛星を用いる利点としては短時間に広範囲を観測でき、さらに繰り返しデータが得られることが上げられる。このことから、経年的・季節的な基礎生産力の変化、水塊・フロント解析などの漁海況情報、海洋環境保全（赤潮など）のための基礎情報などへ応用できる。

ここで、海水中の物質が鉛直方向に一樣に分布しているならば、光の受ける影響も一樣と仮定することが出来るが、実際の観測においてはそのような例は少ない。今回は、光に影響を与える物質として植物プランクトンを例に取り、その鉛直分布が与える海色の変化について検討する。

2 海水中の光の挙動

海面に入射した光の強さは、水深に対して指数関数的に減少するが、その減少の割合は波長によって異なる。海水だけの影響で考えると、波長の長い光（赤色）は海水自体による吸収が大きいので、水深の浅いところまでしか透過しない (Fig. 1: 右側)。それに対して波長の短

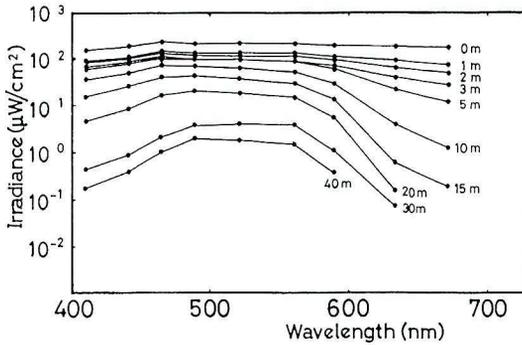


Fig. 1 Spectral distribution of downward irradiance.

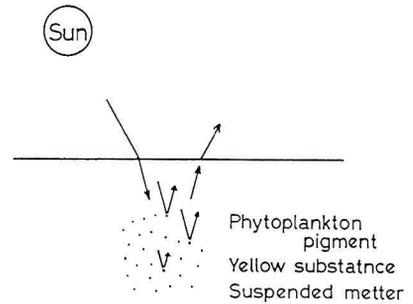


Fig. 2 Theory of ocean color remote sensing.

い光 (青色) は海水には余り吸収されないので比較的深いところまで透過する (Fig. 1: 左側)。その途中で少しずつではあるが水の分子によって散乱され、そのために十分に水深が深ければ上向きの光となって海面に戻ってくる。黒潮のように、濁りの少ない水 (透明度の高い水) では、その名のとおりに青色に近い青色となる。

実際には、植物プランクトンや懸濁物質などさまざまなものが海水中に存在するため、これらによる散乱が生じる (Fig. 2)。前述のとおり長波長の光は水分子に吸収されるため散乱される量は少ないと考えられるので、これらの影響は、短波長側に表れることになる。特に植物プランクトンの影響は 500 [nm] より短い波長に表れる。

海色リモートセンシングは、調べる対象の影響が著しく表れている波長帯を観測する。しかし、影響が大きいということはそれだけ減衰が大きく、海中深くまで光が到達しない。また、極大層が存在すればその部分で急激に減衰するために、光の分布に影響がでるはずである。

3 使用データと検討方法

海色リモートセンシングでは、海面からどの程度の深さまでの植物プランクトン色素濃度情報が得られればよいのだろうか。

海面の光量に対して 1% になった深さを補償深度 (compensation depth) という。これは大まかにいうと植物プランクトンが光合成を行う限界の深さである。Ichimura (1965) によると、この深さは透明度の 2 倍であるとしている。ちなみに透明度とは、直径 30 [cm] の白色円盤 (透明度板と呼ばれる) を海中に沈め、それが見えなくなるまでの距離をいう。つまり、白色円盤にあたって跳ね返ってくる海水中の光が、人の目で確認できる限界の距離ということになる。海洋の基礎生産を考える場合、表層から補償深度までの有光層 (euphotic zone) がその現場を支えているといわれるので、この深さまでの情報が得られるのが望ましいと考えられる。

これに対し、光が海水中で減衰 (消散) していく割合を消散係数 (attenuation coefficient) というが、これの逆数をとった消散距離 (attenuation length) というものがある。この深さでの光量は、海面の $1/e$ となる。

そこで、1986年から1989年までの観測データを基にして検討する。1988年の三陸沖観測から代表的な鉛直分布を 3 種類に分類した (Fig. 3)。Stn. 3 は水深の増加とともに植物プランクトン色素濃度も増加している。Stn. 7 は 30[m] 層に極大があり、Stn. 13 は 20[m] 層に極大がある。

観測点を代表する植物プランクトン色素濃度を定める方法として、次の 3 種類を検討する。

- ① 透明度水深 T までの単純平均 C_T

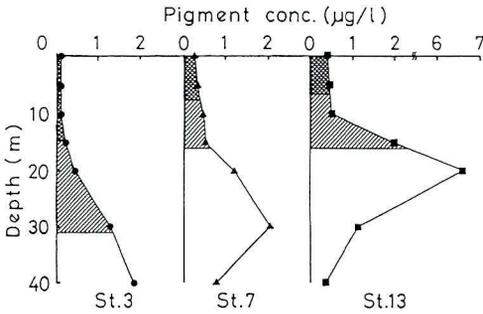


Fig. 3 Vertical profile of phytoplankton pigment at cruise No. BO8808.

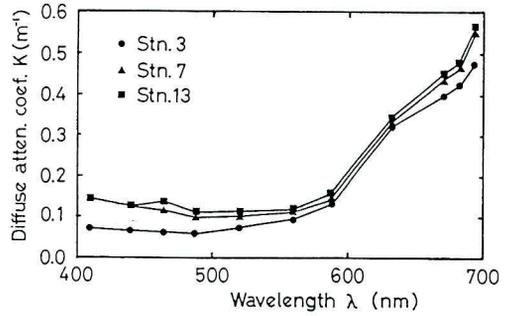


Fig. 4 Spectral diffuse attenuation coefficient (K) vs. wavelength.

Table 1 Concentration of phytoplankton pigment [$\mu\text{g/l}$].

Stn. No.	C_T	C_K	C_Z
3	0.44	0.13	0.11
7	0.42	0.38	0.35
13	0.83	0.44	0.42

$$C_T = \frac{1}{T} \int_0^T C(z) dz \tag{1}$$

② 消散距離 K^{-1} までの単純平均 C_K

$$C_K = \frac{1}{K^{-1}} \int_0^{K^{-1}} C(z) dz \tag{2}$$

③ 消散距離 K^{-1} までの加重平均 C_Z

$$C_Z = \frac{\int_0^{K^{-1}} C(z) f(z) dz}{\int_0^{K^{-1}} f(z) dz} \tag{3}$$

$$\text{重み関数} : f(z) = e^{-2Kz} \tag{4}$$

ここで、 $C(z)$ は水深 $Z[\text{m}]$ における植物プランクトン色素濃度である。Fig. 3 にある観測点の (1)~(3) 式による計算結果を Table 1 に示す。観測の都合上、40[m] 以上の水深については植物プランクトン色素濃度を測定していないため、透明度水深の 2 倍については検討していない。

光は海水中では指数関数的に減少するため、植物プランクトンの影響も水深が深くなるにつれて指数関数的に減少すると考え、重み関数を考えたのが③の加重平均である。

この計算で用いる透明度水深や消散距離は Fig. 3 の中に記されている。ハッチ部は透明度水深までの濃度を示し、表面側のクロスハッチ部は消散距離までの濃度を示している。観測点の 3 つのパターンは、Stn. 3 と Stn. 13 は消散距離までは濃度変化はないが、透明度水深にかけて増大する。Stn. 7 は透明度水深より深いところに極大がある。

4 検 討

各観測点における海水の光学的性質を放射照度消散係数のスペクトルグラフ (Fig. 4) で調

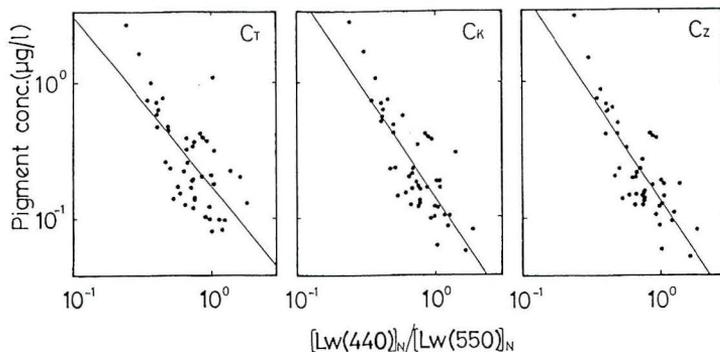


Fig. 5 The upward normalized radiance ratio $[Lw(440)]_N/[Lw(550)]_N$ vs. phytoplankton pigment concentration (C_T , C_K , C_Z).

べる。Stn. 7 (▲印) と Stn. 13 (■印) のスペクトルは全体的に似通っていることが読み取れる。これに対して Stn. 3 (●印) はこれよりも下側にある。このことは Stn. 7 と 13 よりも Stn. 3 のほうが消散が弱いと考えられる。とくに 500 [nm] よりも短波長側に開きが大きい。

このことから考えられることをまとめると次のようになる。

- ① Stn. 3 では見かけ上、低色素濃度のような光学的性質を示すので、深い部分の高色素濃度は影響を与えない。
- ② Stn. 7 では極大部が透明度水深に深にあるので、計算された濃度にほとんど差がない。
- ③ Stn. 13では極大部の影響が C_T にあらわれ値が大きくなるが、 C_K はStn. 7とほぼ同じ。

しかし、消散係数スペクトルはStn. 7とほぼ同じなので色素濃度もほぼ同じと思われる。

この結果海面輝度に影響を与えるのは、消散距離までであることが分かった。透明度水深までの情報は得られず、ましてや透明度の2倍といわれる有光層の情報は得られないことになり、海洋の基礎生産量の推定に対して問題を残すこととなる。

正規化海面輝度 (GORDON and CLARK, 1981) を用いて、色素濃度との関係を調べたのが Fig. 5 である。47観測点での相関係数はそれぞれ、 -0.69 、 -0.81 、 -0.83 となり、透明度水深までの平均を用いるよりも向上しているが、消散距離の加重平均と単純平均との間では有意な差は見られなかった。加重平均値と単純平均値とでその値に差がある観測点が全体の数パーセントしかなかったためである。

謝辞：本報告をまとめるにあたり、東海大学大学院在学中から多大なるご指導ご尽力を賜った故夏目巨夫東海大学海洋学部教授のご冥福をお祈りしたい。

参 考 文 献

- BRICARD, A., A. MOREL and L. PREIUR, 1983. Optical efficiency factors of some phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, **28**, 816-832.
- GORDON, H. R. and D. K. CLARK, 1981. Clear water radiances for atmospheric correction of coastal zone color scanner imagery. *Appl. Opt.*, **20**, 4175-4180.
- ICHIMURA, S., 1956. On the ecological meaning of transparency for the production of matter in phytoplankton community of lake. *Bot. Mag. Tokyo*, **69**, 219-226.