

5)

個々の湖水中物質の光学特性に基づく透明度深度の理論的推定

*中村孝司⁽¹⁾, 濱田浩美⁽²⁾, 小林拓⁽³⁾
1)千葉大・学, 2)千葉大, 3)山梨大

1. 研究目的

透明度の測定は容易かつ再現性があり、古くから使われてきた手法である。現在でも湖沼・海洋で一般的な調査項目となっている。透明度は水面から透明度板までの水塊の平均的な光学特性に基づく値であって、水の成層構造や生物・無機物の懸濁物質など、どのような物質が透明度の決定に寄与しているのかという情報までは取り出せない。本研究では現場測定で得られた光学特性から福田・津田(1980)の方法を参考にし、透明度を推定し、透明度の決定要因の検討を行った。

2. 理論

水面下の下向き放射照度 $E_d(\text{Wm}^{-2})$ は深度に従って指数関数的な減衰を示し²⁾、ある深度 $z(\text{m})$ では、 E_{d0} を表層における照度として、

$$E_d(z) = E_{d0} \times \exp(-Kd \times z) \quad (1)$$

となる。ここで $K_d(\text{m}^{-1})$ は減衰係数と呼ばれる係数で光の減衰を表している。減衰係数は(1)式を変形して、

$$K_d = -1/z \log E_d/E_{d0} \quad (2)$$

となり、放射観測によって求められる。透明度円板に到達した光は固有の反射係数に従い反射する。反射されてから目に届くまで光は光束消散され、目に入射する光の照度は

$$E_T = \frac{A}{\pi} L_T \left(\frac{\phi}{f}\right)^2 \exp(-cT_r) \quad (3)$$

である。ここで A が透明度円板の反射係数 (str^{-1})、 ϕ は目の有効半径 (m)、 f は目の焦点距離 (m)、 c は消散係数 (m^{-1}) とし、吸収と散乱に

よって起こる光束の消散の強さを表す。

透明度円板を降ろし、透明度円板から反射される光と板の上部で散乱される光の和 $E_T + E_2$ と周辺光の照度 E_1 とのコントラスト γ が識閾値 σ よりも小さくなったときを透明度としている。

$$\gamma = \frac{E_T + E_2 - E_1}{E_1} \leq \sigma \quad (4)$$

E_1 , E_2 は後方散乱係数 β_b

$$E_1 = \frac{\pi}{4} E_0 \beta_b \int_0^\infty \exp\{-(c + Kd)z\} dz \quad (5)$$

$$E_2 = \frac{\pi}{4} E_0 \beta_b \int_0^T \exp\{-(c + Kd)z\} dz \quad (6)$$

(2)~(6)より、最終的に透明度 $Tr(\text{m})$ は次式で示される。

$$Tr = \frac{1}{c + Kd} \ln \frac{A(c + Kd)}{\pi \sigma \beta_b} \quad (7)$$

3. 研究方法

透明度は物理的な光量だけでなく、人の目の視感度(色の感じやすさ)によっても特徴付けられる。本研究では、分光した照度を計測し、各波長での透明度を算出し、更に標準視感度で重み付け平均をした透明度を算出した。

後方散乱係数は直接測定できなかったため、Kullenberg. G(1968)の体積散乱関数から全散乱係数 $b(\text{m}^{-1})$ と 180° 方向の体積散乱関数 β_b の比を求め、散乱係数に乗じた値(表 1)の A とした。

表 1 Kullenberg 体積散乱関数から求めた β_b/b

| | A 清澄な海水 | B 浜辺の海水 | C 濁った海水 |
|---|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| $b(\text{m}^{-1})$ | 0.342 | 1.87 | 16.6 |
| $\beta_b(\text{str}^{-1}\text{m}^{-1})$ | 50×10^{-8} | 1.03×10^{-3} | 5.68×10^{-3} |
| $\beta_b/b(\text{str}^{-1})$ | 0.00129 | 0.00054 | 0.00034 |

調査は北海道，摩周湖において成層が顕著である 8 月に行った。透明度は透明度円板，吸収係数および消散係数については現場型測定器である ac-s(WET Lab 社製，USA)，水中放射照度は光放射計(TriOS-Optical Sensors 社製，DE)によって計測した。散乱係数は ac-s によって得た消散係数から吸収係数を減算して求めた。

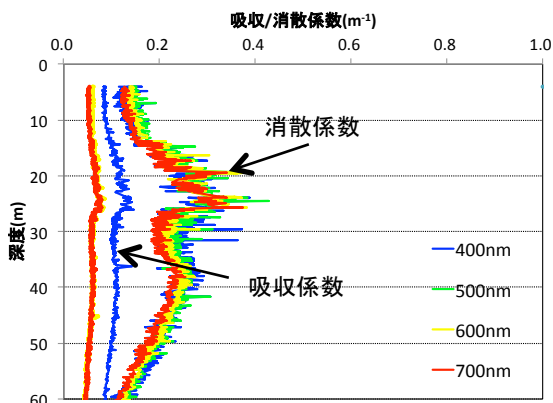


図 1 2010 年の吸収/散乱係数鉛直分布

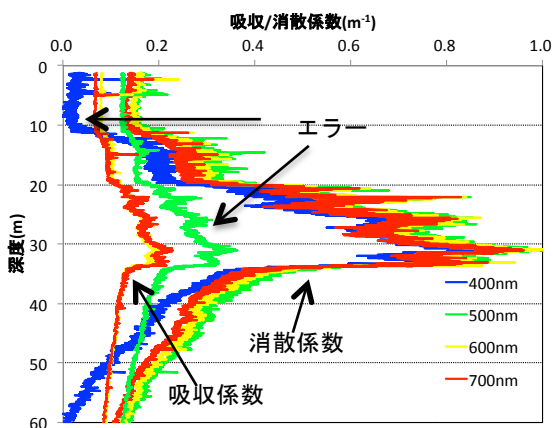


図 2 2011 年の吸収/散乱係数鉛直分布

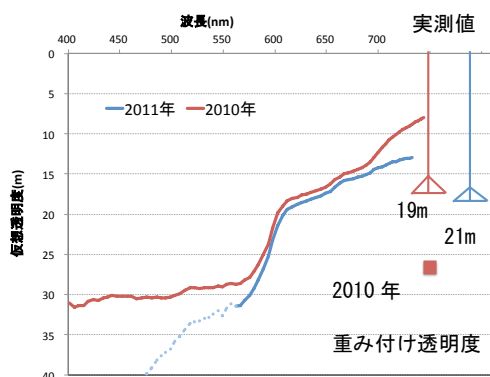


図 3 透明度の実測値と計算値

4. 研究結果

図 1, 2 に 2010 年, 2011 年の消散係数と吸収消散の鉛直分布を示した。2010 年は 25m, 2011 年は 32m に消散の極大を示した。

図 3 に透明度計算の結果と実測値を示す。

2011 年に測定した消散係数の中~短波長側で明らかなエラーが出た(図 2, 矢印)ため, 2011 年の全体で視感度を重み付けした値を求めることはできなかった。しかし, 中~長波長の各波長の仮想的な透明度をプロットすると, 2011 年の方が 2010 年よりも 2m 程度大きく, 2 期間の実測値の差とよく合致している。

5. 考察

2011 年は温度躍層付近で 1 m^{-1} 程度の強い消散を示す層が見られたが, 2010 年の透明度は 2011 年の透明度より低かった。理由として消散極大層以浅の平均の消散係数が 2010 年よりも低かったことが考えられる。

透明度の計算値は, 実測値の方が高い値を示した。今回の計算では多重散乱を考慮していないため, 粒径が小さくなるほど散乱方向は等方性を帯び, $\beta_b/b \text{ (str}^{-1}\text{)}$ が大きくなる。摩周湖の表層での散乱係数は 0.1 m^{-1} 前後で, 参照した(表 1)の A の値よりも b が小さい。つまり粒子が少なく, 散乱係数中の後方散乱の占める比率が表の値よりも大きい可能性があり, 検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 福田雅明, 津田良平(1980): 透明度測定に関する諸問題の考察. うみ, 第 18 巻, 第 3 号, pp138-152.
- 2) Kullenberg, G(1968): Scattering of light by Sargasso Sea water. Deep-Sea. 15, pp423-432.