

II-273 濁水中の光の透過と光合成

東工大 学生員 歌原英明
東工大 正員 日野幹雄

1) はじめに; 河川、海洋の環境は、その生態系と重要な関係にある。特に、生産者による一次生産は、環境を決定する主要な要因である。本研究は、一次生産に必要な光が、濁水(鉱物粒子、プランクトン等)水中に含む)中を透過する時に、どの様に減衰するが、また、その光の減衰がプランクトンの増殖にどの様に影響するかと研究するものである。

2-a) 水中での光の減衰; 水中での光の減衰は、そこでの光の強さに比例し、

$$dI/dZ = -\alpha I \quad [I; \text{光の強さ}, \alpha; \text{消散係数}] \quad (1)$$

となる。(1)式は、消散係数が場所的に変化しなければ容易に積分され、よく知られた指数関数的な減衰となる。水中での減衰の原因は、1). 水自身による光の吸収(k_w)、2). 水中に浮遊する粒子による吸収(k_{abs})と散乱(k_{scat})、によると考えられる。すなわち、

$$\alpha = k_w + k_{abs} + k_{scat} \quad (2)$$

水中の球形単一粒径の吸収性粒子による消散係数は理論的に、

$$\alpha = k_{abs} = 3/2 \cdot C/d \quad [C; \text{粒子の体積濃度}, d; \text{粒子径}] \quad (3)$$

となる。また、散乱性の粒子に対しては、球形単一粒子に入射した散乱光量分布が Mie (1908) により与えられており、それによれば、

$$\alpha = k_{scat} = 3/2 \cdot K \cdot C/d$$

ここで、 K は、波長、屈折率の関数であり、粒径が大きくなると、2という値に収束する。

2-b) 実験; 上に述べた事を確かめる為に、側面がガラスの直方体の容器に濁水を入れて、実験を行なった。この容器に、平行光線と照射し、照度計を用いて測定した。粒子としては、ベントナイト($\bar{d}=0.11\mu$)とケイ砂($\bar{d}=49\mu$)を用いた。沈降速度の遅いベントナイトについては、濁水中の透過距離 Z と濃度 C を変えて測定し、沈降速度の大きいケイ砂については、透過光量と時間との関係を測定し、沈降速度を計算する事により、濃度と透過光量との関係を求めた。図-1は、ベントナイトの場合の透過距離と透過光量との関係を示したものである。この図から、光は指数関数的に減衰している事が解る。図-2

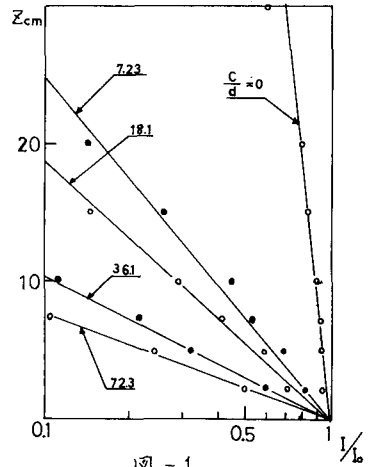


図-1

はベントナイトとケイ砂の α (濃度)/(平均径)と消散係数の関係を示したものである。ベントナイトとケイ砂では、同一の C/d の値に対する消散係数が1オーダー異なっている。ベントナイトの場合は、 C/d と α の関係は直線的にならない。ケイ砂の場合は、 $\alpha = k_w + 0.35 C/d$ となる。

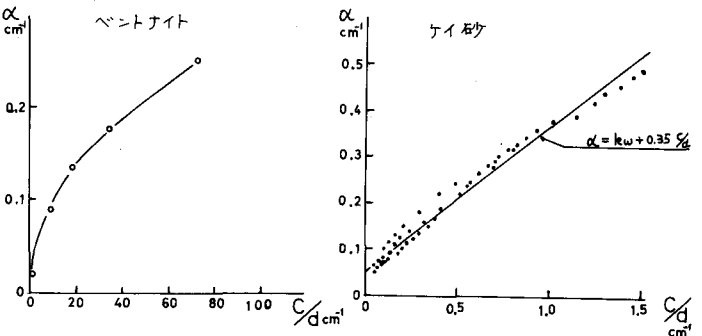


図-2

上に述べた実験は、一様濃度分布の場合であるが、一般には、濃度は深さ方向に変

化する。そこで、開水路でケイ砂を移植させ、非一様分布の場合の実験を行なった。濃度分布は図-3に示す様にほぼラウス分布に一致している。この時の深さと透照光の関係(図-4)は(1)式中の消散係数 α 、 $\alpha = k_w + 0.35 S_d$ として計算した結果と一致する。

3) プランクトンの増殖と光;

今まで述べた濁水中の光の透過の一つの応用として、海洋、湖沼におけるプランクトンの増殖を考えてみる。この問題は、Riley et al. (1949) や、

Stell (1958) により取り扱がわれている。プランクトンの増殖には、いろいろの要因が考えられるが、今は増殖は光のみにより定まると考える。プランクトンは、増殖する事により、自分自身で光を遮断して増殖を制御する。この時の基礎方程式は、

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial P}{\partial z} \right) - \omega \frac{\partial P}{\partial z} + (P_h - D) P$$

$$\frac{dI}{dz} = -(k_w + k_p P) I \quad (4)$$

となる。ここで、 P ; プランクトン密度、 I ; 光の強さ、 K ; 鉛直拡散係数、 ω ; プランクトンの沈降速度、 P_h ; 増殖速度、 D ; 死滅率+捕食率、である。光合成速度と光の関係は、光が弱い間(20 klux以下)はほぼ比例関係にあるので、 $P_h = \alpha I$ とおく。今、定常状態を考え、 K 、 D は一定であるとすると、(4)式は、

$$K P_{zz} - \omega P_z + (\alpha I - D) P = 0$$

$$I_z = -(k_w + k_p I) I \quad (5)$$

となる。境界条件は、水面でのプランクトンのフラックス=0と、 $z=\infty$ で $P=0$ となり、2点境界値問題となる。数値計算の一例を図-5に示すが、プランクトン量は、定常状態において、 $\omega < 0$ (プランクトンが浮上する場合)の方が、 $\omega > 0$ (プランクトンが沈降する場合)に比べて大きい。また、浮上する場合には、指数関数的に減少し、沈降する場合は、途中にプランクトン量のピークが現われる。なお、海洋における実測では、プランクトン密度は、表面ではなく途中にピークがある場合もある。この説明としては、表面では光が強すぎる為に成長が阻害される為であるといわれている。

4) 結語; ここではず、消散係数と浮遊粒子濃度の関係を示すとともに、それを実験で確かめた。実験値と理論式の差は、理論式が浮遊粒子の相互作用を考慮していない為と思われる。また、海洋、湖沼でのプランクトンの増殖と光の減衰の関係を示すとともに、プランクトンが沈む場合に、表面ではなく途中にプランクトン量のピークがあるのではないかと理論的予想を示した。

参考文献

- 1) 福田雅明; 海中懸濁粒子の拡散と光学測定, 海洋科学 (1972, 9, PP63~68).
- 2) H. Neuberger et al.; Air Pollution Hand Book, 19, Section 4 Physics of Atmosphere, Mc-Graw Hill.
- 3) 平野敏行編; 海洋生物資源環境, 海洋科学講座 15, 東大出版会.

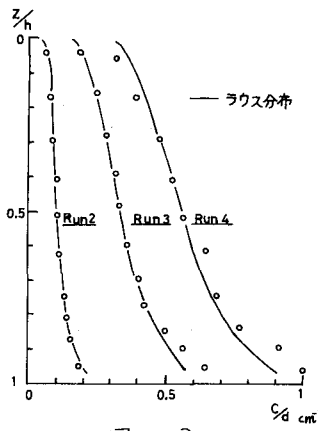


図 - 3

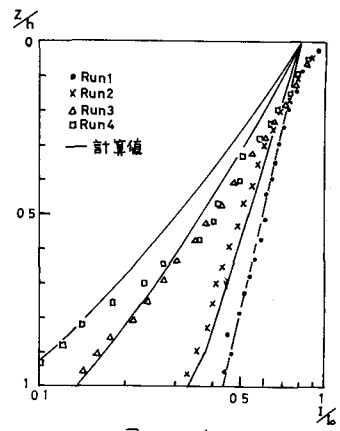


図 - 4

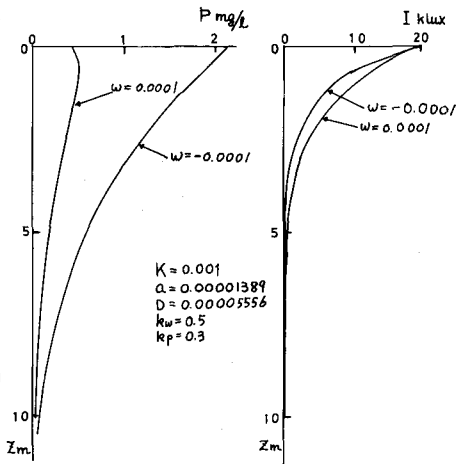


図 - 5