

池田湖における消滅係数

藤田 親男*・村山 三郎**・呉羽 尚寿*

Extinction Coefficient of the Light in the Lake Ikeda

Tikao HUZITA*, Saburo MURAYAMA**
and Hisatosi KUREHA*

Abstract

In the Lake Ikeda, we have carried out the measurement of the intensity of the underwater light by means of photovoltaic cell in every month from August 1965 to May 1967 inclusive (Fig. 1). The results are as follows:

(1) The Lake water mass is divided optically into two layers, that is, the upper one and the lower. Seasonal variation at three stations is quite similar (Fig. 3).

(2) The extinction coefficient is at its maximum in December, when the starch manufactories round the Lake, which begin their operations in October, finishing them in February, are in the full operation. This fact may be attributed to an effect of the starch-dregs on the extinction coefficient.

(3) The extinction coefficient μ is related to the transparency T by the expression: $\mu T = 1.5$ (Table 3).

まえがき

普通、湖水や海水の濁り或は透明度の測定には、セッキ板¹⁾²⁾³⁾⁴⁾によって定義される、所謂透明度が使われているが、中層及び底層の濁り或は透明度を知る為の、実用的な方法は少ない⁵⁾⁶⁾。

イギリスの POOLE 等 (1925)⁷⁾⁸⁾ は、古くから光電管を使用し、又我国では、菊地等 (1936) が、光電池を使用して、水中照度の測定を行っている⁹⁾¹⁰⁾。

我々は、池田湖における濁り乃至透明度を知る目的で、近年種々改良されて、実用に耐える程度に進歩した、水中照度計¹¹⁾ が市販されたので、これにより水中照度の測定を行い、池田湖における、水中での光の減衰について、研究しようとするものである。

測定方法とその結果

一ケ年を通じて、池田湖での水中照度の測定を、毎月 1~2 回宛行おうとするに当って、Fig. 1 に示す A, B 及び C の三点を定めた。これらの三点は、水深が 50~60m 以上あって、北風を受けず、2~5 月にかけて行なわれる、稚鮎採捕の地曳網操業等に支障のない場所を、

* 鹿児島大学水産学部漁業物理学研究室 (Laboratory of Physical Fishing, Faculty of Fisheries, Kagoshima University)

** 鹿児島大学水産学部水産増殖学研究室 (Laboratory of Aquiculture, Faculty of Fisheries, Kagoshima University)

選んだものである。

又、照度測定的时间は、Table 1 の Time の欄に示す様に、太陽の高度の変化によって、

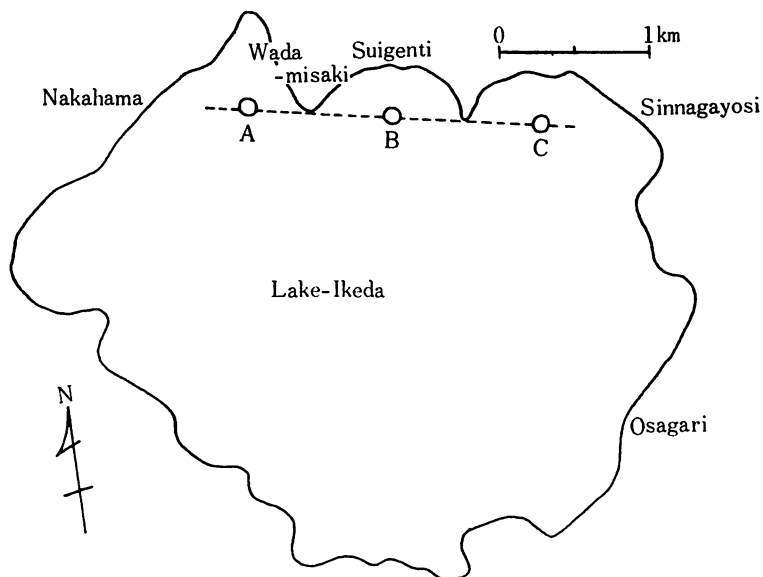


Fig. 1. Location of the stations measured underwater light intensity.

消滅係数に及ぼす影響が、最も少ないと考えられる、正午近くを選んだ。

照度計は、T社製9号型照度計（水中照度測定用）を使用した。これには、セレン光電池が使用されており、分光感度は透過率1%又は10%の視感度補正フィルターを使う事によって、視感度に近似する様に工夫されており¹¹⁾、照度測定範囲は0.1~5000 luxである。

水中の一点において、光は色々な方向から来るのであるが、水中の照度を測定するには前以って定めた、各水深における水平な面を透過する光の強さについて行う事が、比較的容易であるので、消滅係数は、鉛直方向での光の減衰によって定め、Fig. 2に示す様にして、水中照度の測定を行った。

深さの方向にとった距離を z とすると、良

く解っている様に、光は $I_z = I_0 e^{-\mu z}$ の式に従って減衰する。この場合、 μ は消滅係数であり、 I_0 は表面の照度、 I_z は深さ z での照度である²⁴⁾。

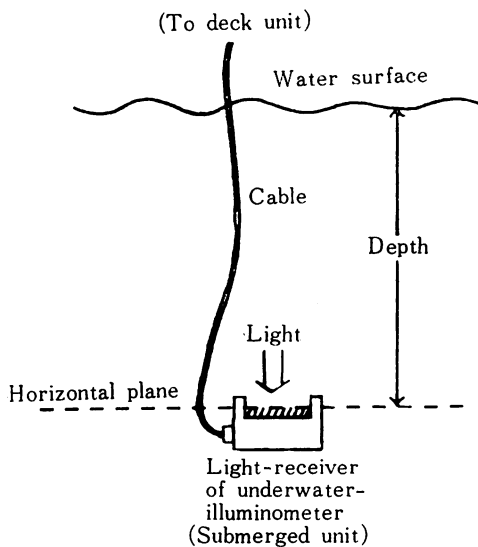


Fig. 2. Measurement of the underwater light intensity.

z_1, z_2, z_3, \dots の深さにおける水中照度の測定値 $I_{z_1}, I_{z_2}, I_{z_3}, \dots$ 及び z_1, z_2, z_3, \dots から, その点における消滅係数 μ を, 最小自乗法によって求めた. それらの値を, Table 1 に示す.

Table 1. Results of measurement.

—...(μ of a lower layer)

Δ ...(μ of a lower layer) > (μ of an upper layer)

∇ ...(μ of a lower layer) < (μ of an upper layer)

=...(μ of a lower layer) = (μ of an upper layer)

| Date | Station | Extinction coefficient μ (m^{-1}) | Transparency T (m) | Time | Remarks |
|-----------|---------|---|--------------------|-----------|---|
| '65- 8-26 | A | — 0.181 | 7.2 | 1153-1429 | Blue sky |
| | B | Δ 0.069 0.208 | 7.5 | | |
| '65-10-28 | A | Δ 0.170 0.195 | — | 1216-1438 | Brizzling rain |
| | B | Δ 0.095 0.147 | — | | |
| | C | Δ 0.127 0.170 | — | | |
| '65-11-26 | A | — 0.224 | — | 1125-1305 | Fine |
| | B | — 0.191 | — | | |
| | C | — 0.221 | — | | |
| '65-12- 9 | A | Δ 0.247 0.298 | 6.3 | 1130-1445 | Clouds Strong breeze & Slight water |
| | B | = 0.306 | 5.4 | | |
| | C | = 0.320 | 5.0 | | |
| '66- 1-27 | A | ∇ 0.230 0.177 | 5.0 | 1331-1424 | Overcast, at times little hail Light breeze & Smooth water |
| | B | ∇ 0.237 0.208 | 5.2 | | |
| | C | Δ 0.210 0.217 | 5.0 | | |
| '66- 2-23 | A | — 0.156 | 6.6 | 1141-1336 | Clouds, West wind Smooth water at B & C Slight water at A |
| | B | = 0.154 | 6.7 | | |
| | C | = 0.190 | 6.7 | | |
| '66- 3-29 | A | = 0.224 | 7.0 | 1110-1332 | Clouds, at times Brizzling rain Moderato breeze & Slight water |
| | B | ∇ 0.198 0.175 | 6.5 | | |
| | C | = 0.179 | 6.2 | | |
| '66- 4-28 | A | ∇ 0.215 0.179 | 8.0 | 1155-1415 | Fine, Calm |
| | B | ∇ 0.234 0.161 | 7.0 | | |
| | C | ∇ 0.228 0.170 | 7.0 | | |

Table 1. Continued.

| Date | Station | Extinction coefficient μ (m^{-1}) | Transparency T (m) | Time | Remarks |
|-----------|---------|--|-----------------------|-----------|---|
| '66- 5-26 | A | ▽ 0.197 0.149 | 7.0 | 1139-1334 | Fine Light air & very Smooth water |
| | B | ▽ 0.189 0.131 | 8.0 | | |
| | C | ▽ 0.188 0.148 | 8.0 | | |
| '66- 7- 6 | A | ▽ 0.224 0.176 | 7.0 | 1135-1343 | Fine Light breeze & Smooth water |
| | B | ▽ 0.232 0.165 | 6.5 | | |
| | C | ▽ 0.207 0.121 | 6.0 | | |
| '66- 8- 1 | A | ▽ 0.236 0.137 | 6.0 | 1305-1402 | Fine Moderato breeze & Slight water |
| | B | ▽ 0.222 0.160 | 6.5 | | |
| | C | ▽ 0.244 0.161 | 7.0 | | |
| '66- 9-13 | A | ▽ 0.280 0.170 | 7.0 | 1128-1329 | Fine Light breeze & Smooth water |
| | B | ▽ 0.270 0.153 | 6.5 | | |
| | C | ▽ 0.255 0.171 | 7.0 | | |
| '66-10-16 | A | ▽ 0.255 0.131 | 5.8 | 1059-1233 | Fine Light breeze & Smooth water |
| | B | ▽ 0.235 0.139 | 5.0 | | |
| | C | ▽ 0.247 0.124 | 6.5 | | |
| '66-10-26 | A | ▽ 0.244 0.132 | 6.0 | 1045-1233 | Fine at B & C, Light air & very Smooth water at A, Gentle breeze & Smooth water |
| | B | ▽ 0.258 0.130 | 6.5 | | |
| | C | ▽ 0.262 0.123 | 6.0 | | |
| '66-11-16 | A | ▽ 0.328 0.149 | 4.3 | 1035-1215 | Clouds, at times Brizzling rain Gloom |
| | B | ▽ 0.295 0.135 | 5.5 | | |
| | C | ▽ 0.262 0.124 | 6.0 | | |
| '66-12- 2 | A | △ 0.281 0.357 | 5.2 | 1027-1148 | Clouds, Calm |
| | B | = 0.289 | 5.9 | | |
| | C | △ 0.250 0.317 | 5.8 | | |

Table 1. Continued.

| Date | Station | Extinction coefficient μ (m^{-1}) | Transparency T (m) | Time | Remarks |
|-----------|---------|--|-----------------------|-----------|--|
| '66-12-14 | A | Δ 0.249 0.318 | 6.5 | 1027-1127 | Clouds Light breeze & very Smooth water |
| | B | Δ 0.252 0.292 | 7.5 | | |
| | C | Δ 0.275 0.344 | 8.2 | | |
| '66-12-23 | A | — 0.247 | 6.0 | | Overcast Light breeze & Smooth water |
| '67- 1-13 | C | = 0.283 | 4.0 | 1420-1433 | Clouds, Calm |
| '67- 1-27 | A | ∇ 0.283 0.255 | 4.8 | 1243-1409 | Clouds at A & B, Gentle breeze & Slight water at C, Calm |
| | B | ∇ 0.282 0.253 | 5.0 | | |
| | C | ∇ 0.295 0.234 | 5.5 | | |
| '67- 2-15 | A | = 0.194 | 5.5 | 1207-1300 | Clouds at times, Light snow Light breeze & Smooth water |
| | B | = 0.210 | 6.0 | | |
| | C | = 0.194 | 5.0 | | |
| '67- 2-27 | A | — 0.156 | 5.5 | 1218-1318 | Clouds Strong breeze & Moderato water |
| | B | — 0.163 | 5.0 | | |
| | C | — 0.170 | 6.5 | | |
| '67- 3-16 | A | — 0.139 | 9.0 | 1106-1207 | Fine Moderato breeze & Slight water |
| | B | — 0.149 | 9.0 | | |
| | C | — 0.156 | 8.0 | | |
| '67- 4- 7 | A | = 0.212 | — | 1343-1457 | Clouds at times, Brizzling rain |
| | B | = 0.206 | 7.0 | | |
| '67- 4-27 | A | — 0.175 | 6.5 | 1140-1307 | Clouds South wind Moderato breeze & Moderato water |
| | B | — 0.187 | 7.5 | | |
| | C | — 0.175 | 8.5 | | |
| '67- 5-10 | A | ∇ 0.252 0.174 | 5.0 | 1110-1300 | Fine Light Breeze & very Smooth water |
| | B | ∇ 0.231 0.171 | 5.5 | | |
| | C | ∇ 0.220 0.161 | 5.5 | | |
| '67- 5-29 | A | ∇ 0.225 0.188 | 7.5 | 1159-1418 | Fine Light air & very Smooth water |
| | B | ∇ 0.220 0.172 | 8.5 | | |
| | C | ∇ 0.212 0.183 | 7.5 | | |

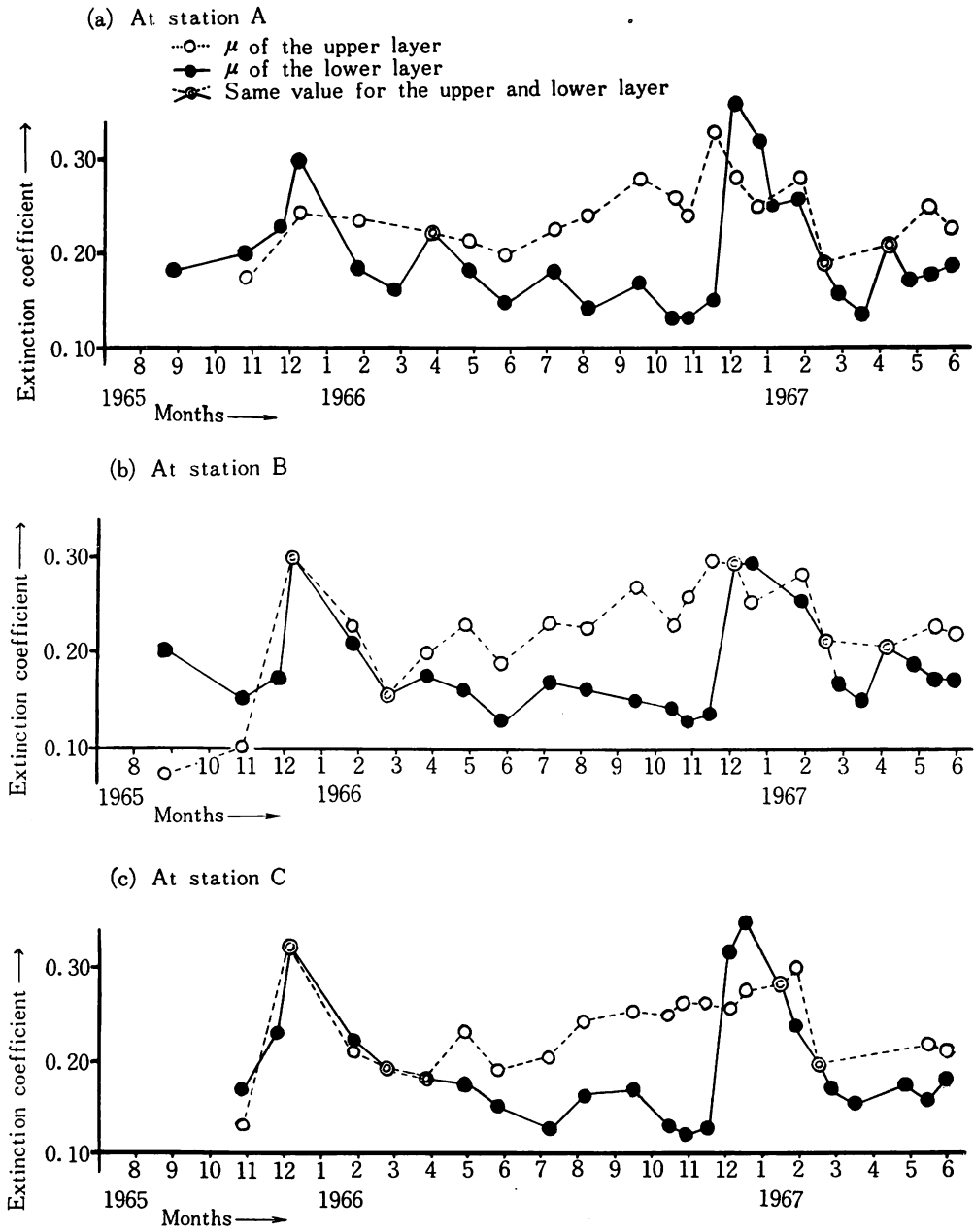


Fig. 3. Seasonal variation of the extinction coefficient μ .

Table 1 における消滅係数 μ の欄の値が、下部の層のみで、上部の層の値がないのは、上部の層における水中照度が、計器の測定範囲を超えて大きくなった為、測定出来なかったからである。

計器の日盛の有効数字は三桁で、Table 1 に示された消滅係数 μ の、小数点下の三桁目は計算上出た数値である。

Fig. 3 -(a), -(b) 及び -(c) は、それぞれ Table 1 に示した消滅係数 μ を、月毎のグラフにまとめたものである。

考 察

(1) 池田湖における消滅係数 μ の季節的变化は、Fig. 3 -(a), -(b) 及び -(c) から解る様に、A, B 及び C の三点において、大体同じ傾向を以て変動しており、光学的な水塊の状態は、一年を通じて多くの場合に、消滅係数 μ の違いによって区別される、上部と下部の二つの層に分かれ、そして上部、下部とも消滅係数 μ は、11~1月において、他の月に比べて大きな値となり、その変動は、下部の層で顕著であるという事が解った。

又、5~9月にかけての所謂夏期には、上部の層の消滅係数 μ が下部の層より大きい状態にあり、冬期には一時その関係が逆転するという事が解った。

(2) 上部の層と下部の層の消滅係数 μ の比をとり、その季節的な変化を見ると、Fig. 4 に示す様になる。三点 A, B 及び C 共大体同じ傾向の変動をしており 1965—8月以降、毎月約 0.1 増大する傾向にあり、1966—11月に最も大きな値約 3.2 を示し、1966—12月に突然減少して、約 0.8 の極めて小さな値となり、その後は再び前と同様約 0.1 月々増大の傾向にある。比の値が突然減少する 1966—12月は、Fig. 3 から解る様に、上部と下部の層の消

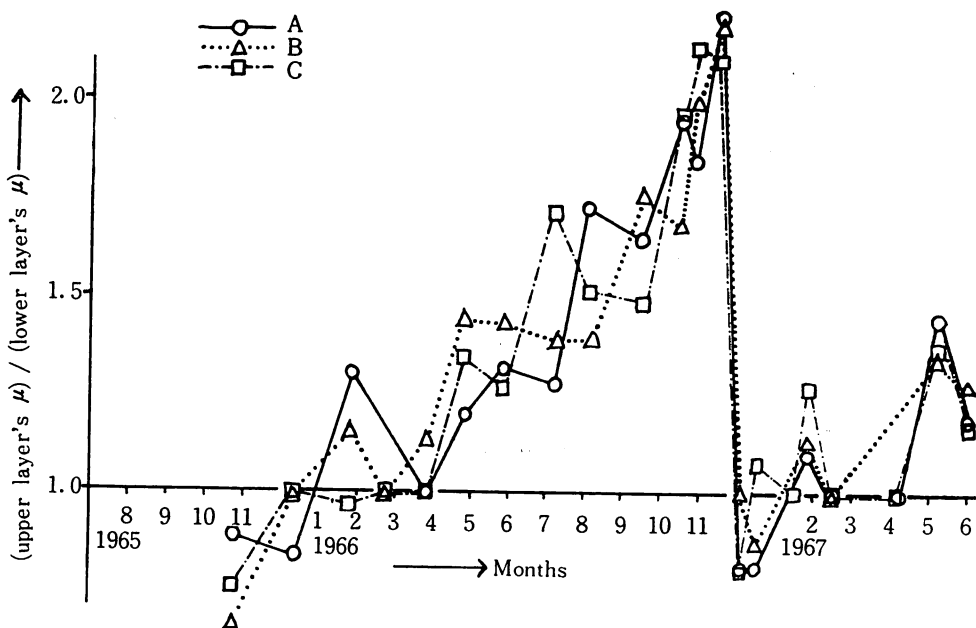


Fig. 4. Seasonal variation of value (upper layer's μ)/(lower layer's μ) at measuring stations A, B and C.

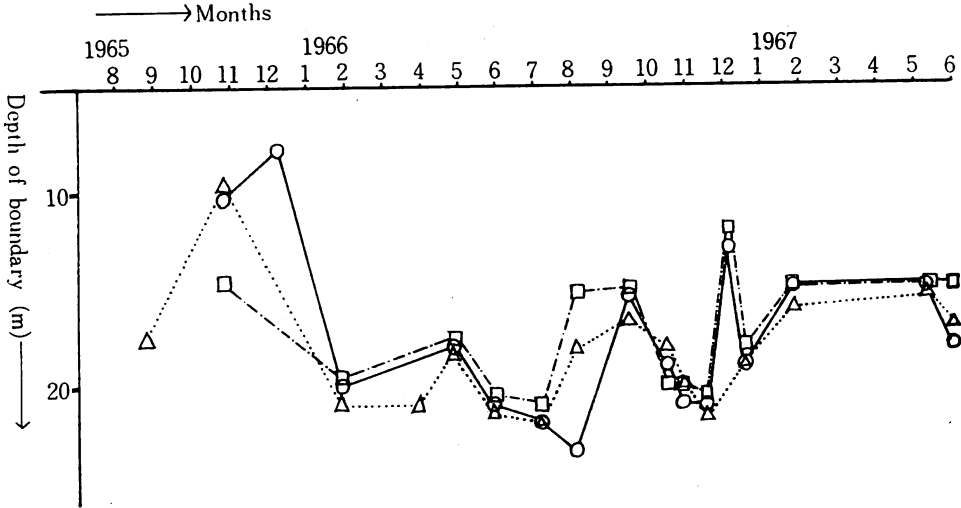


Fig. 5. Seasonal variation of the depth of boundary between the upper layer and lower's at measuring stations A, B and C.

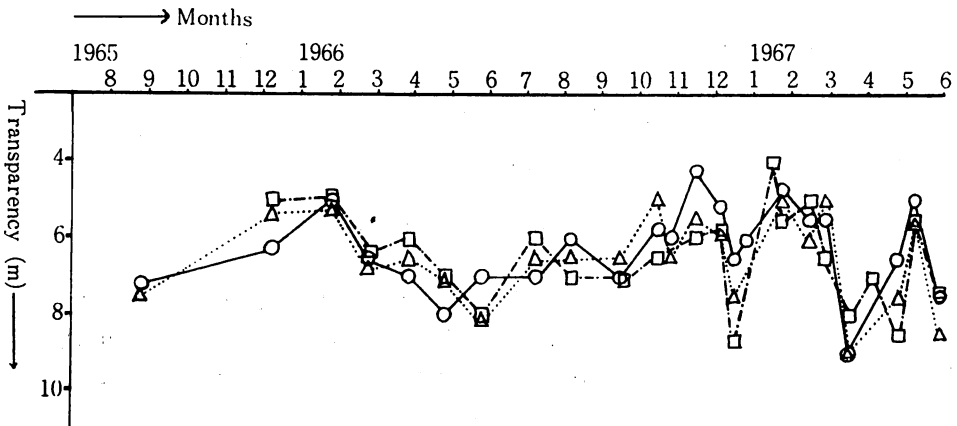


Fig. 6. Seasonal variation of transparency at measuring stations A, B and C.

滅係数 μ の大きさの順位が逆転し、下部の消滅係数 μ が最も大きな値を取るのと、時期が一致する。

(3) 消滅係数 μ の違いによって区別される、上部と下部の層の境目の深さの季節的变化は、Fig. 5 に示す様である。A, B 及び C の三点共大体変化の様相は同じであり、1965—12月と1966—12月においてその深さが浅くなっている時期は、Fig. 3 において、消滅係数 μ の値が、他の月に比べて大きくなる1965—12月、1966—12月及びFig. 4 における1966—12月で比の値が急に減少するのと時期が同じである。夏期には、冬期よりも、上部と下部の境目の深さが、深くなる様である。

(4) Fig. 3 -(a), -(b) 及び -(c) において、上部及び下部の消滅係数 μ が、11~1月に大き

な値をとる事と関連して、この時期が、池田湖の周辺に散在する、澱粉工場の操業の時期と、Table 2 に示す様に、よく符合する事から、上述の二つの事実は、十分に関係のある事柄と

Table 2. General state of work of starch-manufactory.

(a) Season.

| Year | The work season to grind the sweet potatoes of the raw material | | | | The work season to dry the starch | | | The real grinding days | The real working days to dry |
|------|---|------|----|-----|-----------------------------------|------|----|------------------------|------------------------------|
| 1965 | From | Oct. | 17 | '65 | From | Jan. | 7 | 52days | 36days |
| | To | Dec. | 14 | '65 | To | Feb. | 14 | | |
| 1966 | From | Oct. | 22 | '66 | From | Jan. | 10 | 57days | 48days |
| | To | Dec. | 14 | '66 | To | Feb. | 28 | | |

(b) Tonnage of the sweet potatoes of raw material.

| Year | Oct. | | Nov. | | | Dec. | Total |
|------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------|-------|
| | The 2nd ten days | The last ten days | The 1st ten days | The 2nd ten days | The last ten days | | |
| 1965 | 225 | 770 | 488 | 564 | 557 | 305 | 2908 |
| 1966 | 151 | 468 | 464 | 678 | 741 | 397 | 2898 |

(By the data of the Ikeda-Nōkyō's starch manufactory; Ibusuki-City)

考えられる。即ち澱粉工場の操業は、10月中旬から翌年2月中旬迄行なわれる。その中、10月中旬から12月中旬にかけて行われる、甘藷の摺込作業時に、排水に伴って湖中へ出される、原料芋の約25%に相当する、澱粉粕によって、消滅係数 μ が増大したと考えられる。この時期における消滅係数の増大に関しては、上部よりも下部の層に対しての影響が大きい。

(5) セッキー板による透明度の季節的变化は、Fig. 6 に示す様になる。Fig. 3 に見る、各上部の層の消滅係数 μ の変動と、大体において一致した変動をしている。POOLE と ATKINS (1928) により提唱された、透明度 T と消滅係数 μ の関係式 $\mu T = k$ (k は常数、POOLE 等は $k=1.7$ とした¹²⁾.) に従うと、池田湖の場合、Table 3 に示される様に、 $k=1.5$ となる。Table 3 は Table 1 における消滅係数 μ の大きさの順に従って、透明度を列記したものである。

プランクトン、湖水の流動、水温等は、特別に調査しなかった。これらの事柄と消滅係数との関係は、十分興味ある事と思える故、今後の研究に俟ちたいと考える。

終りに、水中照度測定に当り、実施を援助して下さい、指宿市役所池田支所の前川一雄氏、本学部の故住吉辰己氏に深謝する。尚、本研究は、低生産性湖沼の関発に関する総合的

Table 3. The relation between μ and T.

| μ | T | μT | μ | T | μT |
|-------|-----|---------|-------|-----|---------|
| 0.069 | 7.5 | 0.52 | 0.236 | 6.0 | 1.42 |
| 0.154 | 6.7 | 1.03 | 0.237 | 5.2 | 1.23 |
| 0.179 | 6.2 | 1.11 | 0.244 | 7.0 | 1.71 |
| 0.188 | 8.0 | 1.50 | 0.244 | 6.0 | 1.46 |
| 0.189 | 8.0 | 1.51 | 0.247 | 6.5 | 1.61 |
| 0.190 | 6.7 | 1.27 | 0.247 | 6.3 | 1.56 |
| 0.194 | 5.5 | 1.07 | 0.249 | 6.5 | 1.62 |
| 0.194 | 5.0 | 0.97 | 0.250 | 5.8 | 1.45 |
| 0.197 | 7.0 | 1.38 | 0.252 | 7.5 | 1.89 |
| 0.198 | 6.5 | 1.29 | 0.252 | 5.0 | 1.26 |
| 0.206 | 7.0 | 1.44 | 0.255 | 7.0 | 1.79 |
| 0.207 | 6.0 | 1.24 | 0.255 | 5.8 | 1.48 |
| 0.210 | 6.0 | 1.26 | 0.258 | 6.5 | 1.68 |
| 0.210 | 5.0 | 1.05 | 0.262 | 6.0 | 1.57 |
| 0.212 | 7.5 | 1.59 | 0.262 | 6.0 | 1.57 |
| 0.215 | 8.0 | 1.72 | 0.270 | 6.5 | 1.76 |
| 0.220 | 8.5 | 1.87 | 0.275 | 8.2 | 2.26 |
| 0.220 | 5.5 | 1.21 | 0.280 | 7.0 | 1.96 |
| 0.222 | 6.5 | 1.44 | 0.281 | 5.2 | 1.46 |
| 0.224 | 7.0 | 1.57 | 0.282 | 5.0 | 1.41 |
| 0.224 | 7.0 | 1.57 | 0.283 | 4.8 | 1.36 |
| 0.225 | 7.5 | 1.69 | 0.283 | 4.0 | 1.13 |
| 0.228 | 7.0 | 1.60 | 0.289 | 5.9 | 1.71 |
| 0.230 | 5.0 | 1.15 | 0.295 | 5.5 | 1.62 |
| 0.231 | 5.5 | 1.27 | 0.295 | 5.5 | 1.62 |
| 0.232 | 6.5 | 1.51 | 0.306 | 5.4 | 1.65 |
| 0.234 | 7.0 | 1.64 | 0.320 | 5.0 | 1.60 |
| 0.235 | 5.0 | 1.18 | 0.328 | 4.3 | 1.41 |

average: 1.463

 μ : Extinction-coefficient

T: Transparency

研究の一部をなすもので、1963~65年度の文部省総合研究費から、経費の一部の支出を得た。記して謝意を表する。

文 献

- 1) 吉村信吉 (1935) : セッキー白円板による透明度の海洋学及び湖沼学的意義. 海と空, Vol. 16 (1), 23~26.
- 2) J. Williams (1962): Oceanography, 222-224, Little, Brown and comp., Boston.
- 3) 日本海洋学会 (1964) : 海洋観測指針 85~88.
- 4) 吉村信吉 (1937) : 湖沼学, 86~110, 三省堂.
- 5) 福田雅明他 (1954) : 海中濁度の研究. 北大水産学部研究彙報, Vol. 5 (1), 99~104.
- 6) K. Hisida (1966): On the Scattering and the Attenuation of Light in the Sea Water. Jour.

- Oceanogr. Soc. Japan, Vol. 22 (1), 1-6.
- 7) H. H. Poole (1928): On the Photo-electric Measurement of Submarine Illumination. *Scient. Proc. R. D. S.*, Vol. 18 (9).
 - 8) J. H. J. Poole (1928): A Simple Form of Photo-electric Photometer, Using a Neon Lamp to measure the Current. *Scient. Proc. R. D. S.*, Vol. 19 (3).
 - 9) 小久保清治 (1941): 水中照度の測定に就て. *水産学雑誌*, No. 49, 41~59, 北水会.
 - 10) T. Sasaki etc. (1966): 4π -Underwater Irradiance Meter. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, Vol. 22 (4), 123-128.
 - 11) ———. (1966): *東芝レビュー*, Vol. 21 (9).
 - 12) H. H. Poole, W. R. G. Atkins (1929): Photo-electric Measurements of Submarine Illumination through the year. *Jour. Mar. Biol. Assoc.*, Vol. 16, 297-324.