養魚池水溶酸素量の日中変化と植物プランクトン 密度、魚の飼養密度及び日射量との関係

板 沢 靖 男
(名古屋大学農学部水産学教室)

The Diurnal Variation of the Oxygen Content of the Fish-Culture-Pond Water

Yasuo ITAZAWA

The diurnal variation of the oxygen content of the fish-culture-pond water was observed. The oxygen content was determined by the carbon dioxide method. The density of phytoplankton was estimated by means of the transparency that was determined by NAKAMURA's small white disk. (cf. the note of Fig. 1.).

1) Generally speaking, the dissolved oxygen content, throughout the year, was at minimum toward sun rise, after which an increase took place, reaching the maximum value at 2—3 hours before sun set, from then a decrease took place until the next morning (Fig. 1—5). But in the early morning, being short of the solar radiation, the decreasing tendency lasted for some time after sun rise. This phenomenon was remarkable at the bottom layer (Fig. 1.—B).

2) The higher the density of phytoplankton was, the wider the range of the diurnal variation of the oxygen content was (Fig. 1.—5). In the case of the pond water having a low density of phytoplankton, the level of the oxygen content was low throughout the day (Fig. 2.) As to the pond water containing an excess of phytoplankton, the level was extraordinarily high at the maximum and a rapid decrease took place during the night (Fig. 3.). In both cases, the fish presented symptoms of dyspnoea owing to the lack of the dissolved oxygen early in the morning. As for the pond water having a moderate density of phytoplankton, the level of the oxygen content was high throughout the day (Fig. 1.—A, B).

3) The larger the fish population was, so far as it was within a certain limit, the wider the range of the diurnal variation of the oxygen content was (Fig. 5. and Table 1.).

4) There was a positive correlation between the oxygen increment and the amount of the solar radiation during the period (Fig. 6. and Table 2.).

養魚池に於ける水中溶存酸素量の日中変化に関しては、川村¹⁾、大島²⁾、渡辺³⁾、滝川・杉田⁴⁾、池末⁵⁾及び川本⁶⁾等の観測的研究があり、この外にも条件の類似した水域に於ける同様な研究として倉茂⁷⁾⁸⁾⁹⁾、清水・深津¹⁰⁾及びSMITH¹¹⁾等、実験的研究として倉茂¹²⁾及び杉浦¹³⁾等、理論的研究として杉浦¹⁴⁾、異水塊の混合する特殊な水域に於ける観測例としてMIYAKE¹⁵⁾が挙げられる。〔これら諸家の研究により水中溶存酸素量の日中変化に関しては既に多くの貴重な知見が得られている。〕

しかし植物プランクトン密度との関連に就いては、倉茂⁹⁾及び杉浦¹³⁾¹⁴⁾が詳しく論じているが、実際の養魚池に於いては川村¹⁾及び渡辺³⁾の外は殆ど触れていない。又日射量との関係も倉茂⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹²⁾及び杉浦¹³⁾¹⁴⁾の詳細な研究があるが、実際の養魚池に於ける観測例はない。なお著者¹⁶⁾は植物プランクトンを多量に含む水にWINKLERのヨードメトリーによる酸素定量法を適用するとかなり大きな誤差を生ずる恐れがあり、WINKLER—菅原の炭酸ガス誘出法又はVAN SLYKEの検圧法を用いれば特定の誤差を生じない事を報告したが、上記諸家の研究は検圧法を用いた川本⁶⁾を除いていずれもヨードメトリーによつてゐる。

1956年12月19日受理

* 本研究は経費の一部を文部省科学研究助成補助金に仰いだ。

著者は養鰻池水その他の養魚用水の溶存酸素量を炭酸ガス誘出法によつて測定し、その日中変化と植物プランクトン密度、魚の飼養密度及び日射量との関係を考察した。

本文に入る前に、懇篤な御指導と御校閲を頂いた雨宮育作教授及び田村保助教授、並びにいろいろと御援助を頂いた中村中六助教授外東京大学水産実験所の方々に謹んで感謝の意を表する。

I 主な観測項目とその方法

時期：1953年6月、7月、1954年12月及び1956年10月。

採水：ゴム管に西牧氏食塩水注入器を接続して採水した。表面下5cmの層を表層、底から5cm上の層を底層、水深の midpoint を中層とした。

溶存酸素量：特に記さない限り WINKLER—菅原の炭酸ガス誘出法により測定した。測定は極値を示す時刻の前後数時間は原則として1時間毎に、中間は2時間乃至それ以上の間隔で行つた。酸素増加量と積算日射量の関係を論ずる場合を除いて結果は酸素飽和度で表現した。これは季節を異にする観測例の比較及び魚の呼吸生理との関連の考察等には絶対量より飽和度の方が便利だと考えたからである。

透明度：中村¹⁷⁾の白色小円板で測定した。中村¹⁷⁾によれば、透明度とプランクトン沈澱量の間には双曲線状の関係があり、この値の大小によつて植物プランクトンの繁殖程度の大体を察知する事が出来る。

日射量：自製の黒白球温度計を用いて現場で測定し、熱量単位への換算は名古屋地方気象台の ROBITZCH 式自記日射計と比較して行なつた。器具が不完全であり、且観測も30分乃至1時間（稀には2時間）の間隔であるから、得られた結果は極めて概略の値である。

以上の外、水温及び pH 値を酸素量と同時に測定した。

II 観 測 結 果

1. 植物プランクトン密度が適度の池

A. 日射が順調な場合 (Fig. 1. —A)

愛知県渥美郡東京大学水産実験所（以下東大実験所と略記する）4号池（仮にA池と呼ぶ）、約1,050坪、観測期日1953年6月9日～10日、水温21～26°C、水深60cm、透明度20cm、主要プランクトン *Microcystis* sp. 及び *M. marginata*、魚の飼養密度（観測当日に於ける推定密度で浮魚を含む、以下同様）坪当たり約200匁。

当日は概して良く晴れており、太陽の高度が高まると共に日射量が増加して11時30分に最高に達した。気温はこれより2時間、水温は更に1時間30分遅れて最高に達した。酸素量は水温よりも更に1時間遅れて日没の約3時間前、16時に最高値に到り、表層で184% (10.72 cc/l)、底層で182% (10.60 cc/l) を示した。その後酸素量は漸減し翌朝日出直前に最小値を示したが、その量は底層でもなお92% (5.61 cc/l) を保っていた。日出後は早朝から晴天で日射量が急速に増加し、それに従つ

Fig. 1. The diurnal variation of the oxygen content of the fish-culture-pond water having the moderate density of phytoplankton.

The transparency* was 20 cm. in pond A, and was 22 cm. in pond B. The solar radiation was sufficient in case of A, and insufficient early in the morning in case of B.

Weather signs are as following; ① represents fine weather, ◎ cloudy, and ● rainy.

* The transparency was measured by NAKAMURA's small white disk (dia. 5 cm.). It has a hyperbolic relation to the density of phytoplankton.

て酸素量も直ちに増加の傾向に転じた。なお水温及び pH 値は表層と底層の間に殆ど差がなく、酸素量は概して底層の方が僅かに少かつたが日中変化の傾向は良く一致していた。又酸素量の増減と pH 値の昇降は良く一致した傾向を示した。

B. 早朝日射量の不十分な場合 (Fig. 1.—B)

東大実験所 5 号池 (仮に B 池と呼ぶ)。約 50 坪、観測期日 1953 年 6 月 22 日～23 日、水温 22～25°C、水深 60 cm、透明度 22 cm、主要プランクトン *Microcystis* sp., *M. marginata*, *Anabaenopsis circularis* 及び *Scenedesmus quadricauda*, 魚の飼養密度坪当たり約 400 匁。

当日は概して曇天であつたが、昼間から夜間にかけての酸素量変化は大体 A 池の場合と類似していた。しかし翌日早朝は雨天で、A 池の場合には日出後直ちに酸素量が増加し始めたのに対し、この場合には日出 (4 時 39 分) 後もなお暫く減少の傾向を続け、表層では 5 時に最低となり、底層では 6 時 30 分に最少値を示して 7 時 30 分に至つても極めて僅かしか増加しなかつた。早朝における酸素量の回復はこのように遅れたが、最少量時にもその量は表層で 60 % (3.66 cc/l), 底層で 52 % (3.22 cc/l) を保ち、魚には何の異常も認められなかつた。そしてその日の午後最大量時には表層で 154 % (9.27 cc/l), 底層で 146 % (8.80 cc/l) と前日同時刻の値に接近した。

2. 植物プランクトン密度が過小の池 (Fig. 2.)

愛知県渥美郡養鰻業者 T 氏所有の池 (仮に C 池と呼ぶ)。約 1,700 坪、観測期日 1953 年 6 月 26 日～27 日、水温 24～27°C、水深 70 cm、透明度 34 cm、主要プランクトン *Scenedesmus* sp. 及び輪虫類。魚の飼養密度坪当たり約 500 匁。

この池は約 1 ヶ月前に水変りをして以来植物プランクトンが充分恢復しないまゝ観測当日に至つた。当日の日射の状況は普通であつたが酸素量は最高の 16 時においても表層で僅かに約 60 % (3.5 cc/l 前後) に過ぎず、最低の 4 時には 4.2 % (0.25 cc/l) という極度の欠乏状態を示した。そしてウナギ及びイナが鼻揚げし、5 時 30 分に

Fig. 2. The diurnal variation of the oxygen content of the fish-culture-pond water having the low density of phytoplankton. The transparency was 34 cm. × means the symptoms of dyspnoea of eels.

Fig. 3. The diurnal variation of the oxygen content of the fish-culture-tank water having the excessive density of phytoplankton. The transparency was 18 cm. in tank D, and 14 cm. in tank E.

も酸素量はなお 13.2 % (0.79 cc/l) で鼻揚げが続いた。7 時には 18.0 % (1.07 cc/l) になり鼻揚げは止んだが、当日は餌場附近にいても殆ど摂餌せず、酸素量が最高に達した 15～16 時頃に僅かに摂餌したのみ

であつた。

3. 植物プランクトン密度が過大の池 (Fig. 3.—D, E)

東大実験所 22 号水槽 (仮に D 水槽と呼ぶ) 及び 31 号水槽 (仮に E 水槽と呼ぶ), 1 坪, コンクリート製, 観測期日 1953 年 7 月 2 日~5 日, 水温 24~31°C, 水深 30 cm, 魚の飼養密度坪当り約 200 匁 (以上の各項目は両水槽共通), 透明度 D 水槽 18 cm, E 水槽 14 cm, 主要プランクトン D 水槽 *Chroococcus dispersus*, *Scenedesmus quadricauda* 及び *Oscillatoria* sp. E 水槽 *Chroococcus dispersus* 及び *Scenedesmus quadricauda*。

D 水槽では日中最大量時の酸素量が 2 日は 269 % (14.09 cc/l), 3 日及び 4 日は日射量が極めて少かつたにも拘らず 150 % (8.54 cc/l) 及び 156 % (9.06 cc/l) を示し, 5 日には再び 262 % (15.07 cc/l) という高い値に達した。このように日中の酸素量は極めて豊富であるが, その間毎朝最小量時には 3 日 8.9 % (0.51 cc/l), 4 日 12.4 % (0.73 cc/l), 5 日 34.2 % (2.04 cc/l) と著しく減少し, 最も欠乏の甚しかつた 3 日早朝にはウナギが鼻揚げをした。

E 水槽では日中の最大酸素量が D 水槽よりやや少く, 殊に日射量の少い 3 日及び 4 日には飽和量以下であつた。そして夜間の酸素量減少も D 水槽の場合より更に甚しく, 最小量時の酸素量は 3 日 4.8 % (0.28 cc/l), 4 日 3.0 % (0.18 cc/l), 5 日 4.7 % (0.28 cc/l) で連日ウナギの鼻揚げが観察された。

4. 魚の飼養密度が小さい池 (Fig. 4.)

愛知県安城市名古屋大学農学部水産学教室 1 号水槽 (仮に F 水槽と呼ぶ), 0.5 坪, コンクリート製, 観測期日 1954 年 12 月 7 日~8 日, 水温 8~12°C, 水深 45 cm, 透明度 20 cm, 主要プランクトン *Cosmarium praemorsum* 及び *Scenedesmus quadricauda*, 魚の飼養密度 0。

酸素量は最高 175 % (14.00 cc/l), 最低 147 % (11.73 cc/l) で全般に豊富で且昼夜の変動が小さかつた。なお夏期に比べて最大量時は早く (14 時), 最小量時は遅く (8 時) 現れた。なお本文に省略した他の数回の観測では最小量時は 7 時前後であつた。

5. 実験的観測 (Fig. 5.)

以上の観測結果を補足し且裏づける為に, 植物プランクトン密度及び魚の飼養密度を調節した水に就いて実験的な観測を行った。

方法は直径 47 cm, 容量約 25 l. の蓮がめ 9 個 (仮に 11, 12, 13, 21, 22, 23, 31, 32 及び 33 と呼ぶ) に Table 1. の如く水と魚を入れて, それぞれの酸素量日

Table 1. The density of phytoplankton and the amount of the fish in each case of the experimental observation (see Fig. 5.)

No. of pot	Density of phytoplankton		
	Dry weight (mg./l.)	KMnO ₄ consumption* (PPM, KMnO ₄)	Chlorophyll content** (mg./l.)
11, 12, 13	0	0.55	0
21, 22, 23	110	29.8	0.32
31, 32, 33	220	59.1	0.65

The amount of fish in a pot (25 l.) was 0 g. in cases of pot 11, 21 and 31, was ca. 50 g. in 12, 22 and 32, was ca. 100 g. in 13, 23 and 33.

* KMnO₄ consumption means the difference between the value for the whole water and that for the filtrate through the glass filter No. 4.

** Chlorophyll content means the amount of the mixed chlorophyll saponificant determined by GUTHRIE's colorimetry.

Fig. 4. The diurnal variation of the oxygen content of the tank water containing no fish. The transparency was 20 cm.

中変化を同時に観測した。この場合に限り WINKLER のヨードメトリーによる酸素定量法 (但し NaN₃ 添加変法) を用いた。観測期日 1956 年 10 月 25 日~26 日, 水温 12~20°C, 水深 20 cm, 主要プランクトン *Oocystis* sp.。

魚の飼養密度の等しい 11, 21 及び 31 の 3 者を比べると酸素量の昼夜変動は 31 が最も大きく

11 が最も小さい。即ち植物プランクトン密度の高い水層変動が大きい。同様な現象が 12, 22 及び 32 の 3 者間にも, 13, 23 及び 33 の 3 者間にも見られた。次に植物プランクトン密度の等しい 21, 22 及び 23 の 3 者を比べると酸素量昼夜変動の振幅は 23 が最も大きく 21 が最も小さい。即ち魚の飼養密度の高い水層変動が大きい。同様な現象が 31, 32 及び 33 の 3 者間にも見られた。但し植物プランクトンを殆ど含まない 11, 12 及び 13 の 3 者のみはやゝ特殊な日中変化を示した。酸素量が最大値を示す時刻は 13 を除いて他の 8 個はよく一致したが, 最小値を示す時刻は若干の不一致が認められた。なお観測が秋に行われ水温が低く, 植物プランクトン密度及び魚の飼養密度も極端に大きいものはなかったで、酸素量の甚しい過飽和や欠乏は観られなかった。

Ⅲ 考 察

1. 酸素量が最大値及び最小値を示す時刻

上述の観測において酸素量の最大値は, 6 月には 16 時頃, 10 月には 15 時頃, 12 月には 14 時頃に現れたが, これはいずれも日没の約 2 時間乃至 3 時間前に相当する。そして 60 cm の水深では表層と底層の間に最大値の現れる時刻のずれは認められなかった。倉茂⁷⁾ は深の水中酸素量日中変化を観測し, その最大値は表層では 3 月下旬に 17, 18 時頃, 5 月上旬に 16, 17 時頃(いずれも日没の直前乃至 2 時間前位と思われる)に現れ, 1 m 層ではそれより 1 乃至 2 時間早く現れることを観た。杉浦¹⁴⁾ は表層における酸素量の日中変化を理論的に推定し, 拡散及び対流或は移流の物理的要因を無視するならば, 酸素量の最大値は日没の 1 時間乃至 1 時間半前位に現れるべきであるとした。著者の観測結果も両氏の所論には一致する。

酸素量が最小値を示す時刻は, 著者の観測では早朝の日射の状況によつて異なる。早朝から順調に日射量が増加する場合には, それは 6 月には 4 時頃, 10 月には 6~7 時頃, 12 月には 7 時頃に現れ, いずれも日出直前から 1 時間後位の範囲にある。そして日射の順調な時には表層と底層の間に認め得る程の時間的ずれはなかった。倉茂⁷⁾ は晴天の日には表層酸素量は日出直後(データによれば 1 時間後頃と思われる)に最小値を示し, 1 m 層ではそれより約 1 時間遅れると報じた。杉浦¹⁴⁾ は表層では日出の 1 時間乃至 2 時間後に最小値を示す筈だと推定した。著者の得た結果は両氏の所論より僅かに早いが大差はない。

B 池の観測例では早朝に酸素量の回復が遅滞し, 最小酸素量は表層では日出より約 30 分後, 底層では約 2 時間後になったが, これは当日の早朝が雨天で日射量が少く, 日出後もなお暫くの間は酸素の生産がその消費より劣っていた為と考えられる。この場合表層酸素量の上昇が認められた 6 時 30 分の日射量は約 4.2 cal/cm². hour と推定され, 底層はそれより 1 時間後の 7 時 30 分に増加の傾向を示した。倉茂⁷⁾ は日射量が数 cal/cm². hour に達すると上層の酸素量が上昇し始め, 1 m 層ではそれより 1 時間位遅れると指摘したが, 著者の観測も大体これに一致した。なお B 池は最小酸素量時にもなお飽和量の 50% 以上を溶存して魚には何の異常も認められなかったけれども, 同じ日に附近の幾つかの養鰻池では日出後に鼻揚げが観られた。植物プランクトン密度や魚の飼養密度が適当でない場合には, このように僅かな天候不順が魚に危険を招く事もあり得ると考えられる。

2. 酸素量の日中変化と植物プランクトン密度との関係

上述の A 池及び B 池における酸素量の日中変化を観ると, 昼間は光合成によつて豊富に生産され, 夜間

Fig. 5. The diurnal variations of the oxygen contents of the pot water having various densities of phytoplankton and various amounts of fish (see Table 1.).

の減少もそれ程極端でないで、早朝の最小酸素量はかなり高い水準にあり、魚の呼吸に何らの障害も来さない。即ち魚の飼養密度その他の条件に対して植物プランクトン密度が適度であり、良く調和がとれていると言えよう。両池の透明度は 20 cm 及び 22 cm で中村¹⁷⁾の言う“アオコの充分良く出来た池”に相当する。

C 池は昼間の最高酸素量も飽和量より遙かに低く、早朝には甚しい酸素欠乏を来して魚が鼻揚げした。この池は水変り以来植物プランクトンが十分に恢復せず、当日の透明度は 34 cm で中村¹⁷⁾の“やゝ水の出来た池”に相当する。中村¹⁷⁾の実験式によつて透明度からプランクトン沈澱量(池水 20 cc 中の cc. 10^{-8})を推定すると、C 池は 9.6 で B 池の 92.4 % に対し約 10 % に過ぎない。倉茂⁹⁾は酸素量の日較差(cc/l)と当日の積算日射量(cal/cm²)を比較し、前者の後者に対する百分比を植物プランクトンの消長を表わす有力な 1 指標と考え、杉浦¹³⁾¹⁴⁾もほぼ同様に論じている。C 池表層水に就いてこの百分比を計算すると 0.564 で、B 池表層水の 1.184 の半ばに及ばない。他方魚の飼養密度を観ると B 池の坪当り 400 匁に対し、C 池は 500 匁でやゝ多いが、養鰻池としては普通の量である。以上を考案すると C 池は養鰻池としては植物プランクトンが不足しており、為に酸素の欠乏及びウナギの鼻揚げを招いたものと言えよう。

D 水槽は日中酸素量が著しく過飽和になり、夜間は逆に激減して早朝には甚しい酸素欠乏を来し、ウナギの鼻揚げが観られた日もあつた。これに比べて E 水槽は日中の酸素量もやゝ少く、早朝の酸素欠乏は D 水槽より更に甚しく連日ウナギが鼻揚げした。中村¹⁷⁾の実験式によつてプランクトンの沈澱量を推定すると D 水槽は 171.4、E 水槽は 861.9 で共に甚しく大きい。酸素量の観測が中層なので酸素量の日較差と積算日射量の比は省略するが、両水槽における酸素量の甚しい変動は、植物プランクトン密度の過大な事に起因すると考えられる。蓋し D 水槽においては日中は光合成による著しい酸素の生産が消費を遙かに凌駕するが、夜間植物プランクトンの呼吸による消費も莫大でその為に早朝には著しい酸素欠乏を来したのであろう。植物プランクトン密度の更に高い E 水槽では夜間の消費は更に甚しく、又日中でも日射量が不足した時に中層では酸素の生産と消費の比が小さくなり酸素量が飽和に達しなかつたものと思われる。なお両水槽共魚の飼養量は坪当り約 200 匁で比較的少いから、早朝の酸素欠乏は主として植物プランクトンの呼吸によると考えられよう。

Ⅱ章 5 節の実験的観測において、植物プランクトン密度以外の条件を等しくした場合に、その密度の高い程酸素量の日較差が大きい事が観察された。なおこの観測において植物プランクトンを殆ど含まない 11、12 及び 13 においても日中に若干の酸素量増加が観られたが、これはかめに附着していた極めて少量の附着性植物の光合成によると思われる。

以上を概観して養魚池水の溶存酸素量日中変化が植物プランクトン密度によつて非常に影響される事は明らかである。即ち植物プランクトン密度が過小であれば酸素量の日較差は小さく、その値は昼夜を通じて全般に少い。そして早朝には甚しい欠乏を来す恐れがある。これに反して植物プランクトン密度が過大であれば酸素量の日較差は大きく、その値は昼間には非常に多く夜間から早朝にかけては極端に少くなる。第三に植物プランクトン密度が適度であれば酸素量の時間的変動は中程度で、その値は昼間はかなり多くなり夜間から早朝にかけてもそれ程甚しい減少を示さない。上述の植物プランクトン密度の適、不適は酸素量日中変化の観測結果から逆に推論した結果論的類別であるが、中村¹⁷⁾の言う“水の良く出来た池”、“水のやゝ出来た池”等の類別にも大体相当するので、便宜上そのように呼んだ。

植物プランクトン密度が高い程昼間の酸素量増加が甚しくなる事は、川村¹⁾、渡辺³⁾、SMITH¹¹⁾、倉茂⁹⁾及び杉浦¹⁴⁾等が既に述べているが、植物プランクトン密度が過大な場合に早朝に酸素量の激減を来す事は、養魚池において渡辺³⁾が、水深が深く流れの緩やかな川において BUTCHER 等¹⁸⁾が注目している外あまり文献を見ない。中村¹⁹⁾はプランクトン密度と水中の明るさとの関係を詳細に研究し、密度が過大であると補償深度が浅くなり養魚に不利であると論じた。なお江草²⁰⁾は溶存酸素が著しく過飽和になると魚がガス病を起すことを報じ、野口²¹⁾は養鰻池において実際にこのような症例を観察した。著者の観測中には酸素過飽和によるガス病を認めなかつたけれども、植物プランクトン密度の過大な池はこの面からも養魚に不利を招く恐れがあると考えられる。

3. 酸素量の日中変化と魚の飼養密度との関係

上述の F 水槽では植物プランクトン密度がかなり高いにも拘らず酸素量の時間的変動が非常に小さかった。冬期の観測で水温が低かった事も大きな原因であろうが、魚の飼養密度が小さい (0) 事も一因を為していたと考えられる。これはⅡ章 5 節の実験的観測において魚の飼養密度以外の条件を等しくした場合に、概して飼養密度の高い程酸素量の変動が大きかった事によって裏づけられる。蓋し魚の飼養密度が高ければ、夜間は酸素の減少を促進し、昼間は炭酸ガスの放出、攪拌、栄養塩類の排出等により植物プランクトンの光合成に好都合な条件を提供して魚の呼吸による酸素消費をかなりの程度まで補う為であろう。しかしⅡ章 5 節の 13 号かめにおける観測結果からも想像される如く、魚の飼養密度が過大であつたり植物プランクトン密度が過小であれば、昼間でも酸素の減少を来す事もあり得よう。なお魚の飼養密度と酸素量の日中変化との関係については従来あまり観測例がないようである。

4. 酸素増加量と積算日射量との関係

イ. 或時刻までの酸素増加量とその間の積算日射量との関係 (Fig. 6.)

早朝の最小酸素量時を基準とし、それから当日の任意の時刻 (但し最大酸素量時以前)迄の酸素増加量 (cc/l) とその間の積算日射量 (cal/cm²) との関係を検討する。

植物プランクトン密度及び魚の飼養密度が養鰻池として標準的であると思われる B 池の場合を Fig. 6. —1 に示す。酸素増加量と積算日射量の相関係数は表層で 0.993, 底層で 0.986, 共に $P < 0.001^*$ で明瞭な正相関を示した。

次に植物プランクトン密度及び魚の飼養密度を異にするⅡ章 5 節の実験的観測の場合は Fig. 6. —2, 3, 4 及び Table 2. に示す如くである。植物を殆ど含まない場合に逆相関を示した例があるが、これは日射量との関係ではなく魚の呼吸の為に時間と共に酸素が減少したものである事は論を俟たない。このような特殊な例を除けば、大体に有意な正相関を示した。

濠の水については既に倉茂⁷⁾⁸⁾が同様な結論を得ているが、著者の養鰻池における観測結果も大体これと一致するものである。

ロ. 酸素量の日較差と積算日射量との関係 (Fig. 7.)

前項では任意の時刻までの関係を逐時的に検討し

Table 2. The correlation coefficient of the oxygen increment to the amount of solar radiation (see Fig. 5., 6. and Table 1.)

No. of pot	Correlation coefficient	P
11	0.997	$P < 0.001$
12	-0.783	$0.10 < P < 0.15$
13	-0.919	$0.001 < P < 0.01$
21	0.961	$P < 0.001$
22	0.981	$P < 0.001$
23	0.992	$P < 0.001$
31	0.916	$0.02 < P < 0.05$
32	0.994	$P < 0.001$
33	0.971	$P < 0.001$

Fig. 6. The relation between the oxygen increment and the amount of solar radiation.

Fig. 6—1. was drawn through Fig. 1., and the others through Fig. 5.. The oxygen increment means the difference between the amount of the dissolved oxygen at sun rise and that a certain time. The amount of solar radiation means the total quantity of the solar radiation during the period.

たが、こゝでは最大酸素量時までの関係を逐時的に検討する。1953年6月12日から6月25日に亘る期間、A, B 両池の酸素量日較差 (cc/l) とその間の積算日射量を観測し、逐的に記録したのが Fig. 7. である。両者の相関係数は、A 池では 0.076, $0.85 < P < 0.90$ で相関関係は殆ど認められないが、B 池では 0.626, $0.02 < P < 0.05$ で或程度の正相関があると言えよう。両池の植物プランクトン密度の変動程度は透

* 本論文では相関係数の有意性は全て Z 変換を行つて検定した。

明度から推定した範囲では大差なく、魚の飼養量その他の条件は殆ど変動がないので、両池における結果の差は現在は説明出来ない。なお酸素量の日較差と積算日射量の関係を逐日的に考察した例は従来ないようである。

IV 要 約

炭酸ガス誘出法により養魚池水の溶存酸素量日中変化を観測して次の結果を得た。

1) 一般に最大酸素量は日没の約2時間乃至3時間前に、最小酸素量は日出前後に見られる。しかし早朝の日射量が不足すると底層では酸素量の恢復が遅滞する場合がある。

2) 酸素量の日較差は植物プランクトン密度の高い程大きい。その密度が過小であれば酸素量は昼夜を通じて少く、過大であれば夜間に激減し、共に魚の鼻揚げを招く危険があるが、その密度が適度であれば酸素量は昼夜を通じて比較的高い水準にある。

3) 魚の飼養密度は或範囲内ではその密度が高い程酸素量の日較差を大きくする。

4) 日出時から当日の最大酸素量時以前の或時刻までの酸素増加量とその間の積算日射量とは一般に明瞭な正相関を為す。しかし酸素量の日較差とその間の積算日射量との関係を逐日的に観察すると必ずしも正相関を示さない。

Fig. 7. The relation of the maximum oxygen increment to the amount of solar radiation.

The maximum oxygen increment means the difference between the maximum and minimum values of the oxygen concentration. The amount of solar radiation means the total quantity of solar radiation from sun rise to the time when the oxygen content gains the maximum value.

V 文 献

- 1) 川村正雄：養魚池における酸素水温及気象状態と浮游生物の関係，Ⅰ—Ⅲ，水研誌，**16**，207—217，247—257，280—281 (1921)。
- 2) 大島信夫：養魚池水の酸素含有量に就いて，水研誌，**22**，81—92 (1927)。
- 3) 渡辺宗重：養魚池に於ける水温，酸素，炭酸ガス，水素イオン濃度の日中変化，水産学雑誌，**35**，41—55 (1932)。
- 4) 滝川 悟・杉田隆治：養魚池水質日中変化の一観察，養殖会誌，**4**，132—140 (1934)。
- 5) 池末 弥：養魚池における水温酸素量及び pH の観測結果 養殖会誌，**5**，1—13 (1935)。
- 6) KAWAMOTO Nobuyuki: "On the Variations of Certain Factors in the Culture Ponds of Gold Fish, *Carassius auratus* L., in Special Reference to the Effect of Aeration into the Water, Rept. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie, **2**, 1—6, (1955)。
- 7) 倉茂英次郎：濠の水中溶存酸素の日中変化と日射量との関係—Ⅰ，気象集誌，第2輯，**10**，373—382 (1932)。
- 8) 倉茂英次郎：濠の水中溶存酸素の日中変化と日射量との関係—Ⅱ，気象集誌，第2輯，**10**，482—489 (1932)。
- 9) 倉茂英次郎：濠の水中溶存酸素，遊離炭酸，水素イオン濃度の日中変化と日射量—Ⅲ，季節的变化，気象集誌，第2輯，**11**，253—266 (1933)。
- 10) 清水光夫・深津弥市：佐鳴湖の水中溶存酸素及び水素イオン濃度の日中変化に就て，気象集誌，第2輯，**12**，247—253 (1934)。

- 11) SMITH, M. W.: Physical and Biological Conditions in Heavily Fertilized Water, *Journ. Biol. Bd. Canada*, **1**, 67—93 (1934).
- 12) 倉茂英次郎: 水中溶在酸素の日中変化と日射量との関係に就ての二・三の実験, 気象集誌, 第2輯, **10**, 715—726 (1932).
- 13) 杉浦吉雄: 溶在酸素量の日変化—Ⅱ, 日本海洋学会誌, **10**, 65—70 (1954).
- 14) 杉浦吉雄: 溶在酸素量の日変化—I, 日本海洋学会誌, **10**, 22—28 (1954).
- 15) MIYAKE, Y.: The Diurnal Variation of Dissolved Oxygen in Sea Water Consisting of Different Water Masses, *Geophysic. Mag.*, **16**, 66—70 (1948).
- 16) 板沢靖男: 養魚池水の溶存酸素定量法に関する若干の検討, 本誌, (印刷中).
- 17) 中村中六: 養魚池透明度の一表現法, 本誌, **19**, 1096—1099 (1954).
- 18) BUTCHER, R. W., F. T. K. PENTLOW and J. W. A. WOODLEY: The Diurnal variation of the Gaseous Constituents of River Waters—I. Ⅱ. *Biochem. Journ.*, **21**, Part Ⅱ, 945—957, 1423—1435 (1927).
- 19) 中村中六: アオコの濃さと水中の明るさ, 日本水産学会中部支部例会講演要旨, 鰻のシンポジウム (Ⅰ), 9—17 (1955).
- 20) 江草周三: 魚類ガス病発生因としての水中溶存酸素量, 科学, **24**, 262—263 (1954).
- 21) 野口 博: 養殖ウナギのガス病についての一知見, 水産増殖, **1**, 43—45 (1954).