

網生簀養殖鯉の酸欠死予測に関する試み

佐々木 道也

1 はじめに

昭和39年から始められた霞ヶ浦北浦における鯉の網生簀養殖は、その後順調に生産量が伸び、昭和53年には約9,500トンとなっている¹⁾。

しかし、一方では富栄養化の進行に伴い、近年、養殖鯉の酸欠による斃死事故が毎年発生している。特に、昭和48年に約1,500トン、昭和53年には約320トンの大量斃死事故が起こっており、網生簀養殖にとって非常に大きな問題となっている。

この酸欠死の原因については、既に報告されているが^{2), 3), 4)}、酸欠による斃死事故発生の予測についての報告はない。

そこで、ここでは養殖業者が簡単に利用できるような、酸欠死予測についての目安を得る目的で検討を試みたので、その結果を報告する。

2 方 法

或る水域において、他からの流入水が全くないとすれば、その水域における酸素量の変化は①式で表わされる。

$$V \cdot \frac{dc}{dt} = k(C_s - C) - R \dots\dots\dots ①$$

但し、 V : その水域の水容積 (ℓ)

C : t 時の溶存酸素量 (mg/ℓ)

C_s : 酸素飽和量 (mg/ℓ)

R : その水域の生物、無生物による酸素消費量 (mg/h)

k : 酸素溶入係数

ここでは①式を用いて、酸素収支から酸欠死の予測について検討を加えることにした。

酸欠水は、夜間の無風時に発生することが多いので、ここでは $k(C_s - C)$ は無視できるものとする。従って、①式は次のように表わされる。

$$V \cdot \frac{dc}{dt} = -R \dots\dots\dots ②$$

②式を解くと

$$C_0 = C + \frac{R}{V} \cdot t \dots\dots\dots ③$$

となり、Cを鯉にとって危険な酸素量とすれば、酸欠死予測の目安となるC₀を求めることができる。

なお、Rを植物プランクトン（P_R：mg/l・h）、底泥（M_R：mg/m²・h）及び養殖鯉（F_R：mg/尾・h）の酸素消費量とすると、③式は次式のようにになる。

$$C_0 = C + \frac{1}{V} (P_R \cdot V + M_R \cdot S + F_R \cdot N) \cdot t \dots\dots\dots ④$$

但し、S：その水域の泥面積（m²）

N：養殖鯉の尾数（尾）

3 結果及び考察

(1) Cについて

鯉にとって危険な酸素量としてのCの値については、鼻上げ時の酸素量及び呼吸数の変化から検討した。

30ℓ水槽に体重の異なる鯉4尾を収容し、鼻上げ開始時の酸素量を溶存酸素計で測定した。

なお、測定中の平均水温は約30℃であった。

結果は第1表に示したように、3日間絶食した鯉及び飽食後2時間の鯉共に1ppm前後で鼻上げがみられ、両者の間には大きな差異がみられなかった。

しかし、鼻上げから斃死に至る時間に明らかな違いがみられ、2日間絶食した体重65gの鯉では、鼻上げ後約55分後に横転斃死したが、飽食後2時間の体重100gの鯉では、鼻上げ後僅か約15分で横転斃死した。

次に、10ℓ水槽に飽食後2時間経過した体重95gの鯉1尾を収容し、水中の酸素量と呼吸数との関係を調べた。試験中の水温は約30℃であった。

第1図に結果を示したが、約3ppmから影響が出はじめ、2.2ppmで表面に浮上してふらふらと遊泳するようになる。2ppm以下になると呼吸数は急減し、1.0ppmで鼻上げをおこした。

以上の実験は止水で行なったため問題もあろうが、ここではCの値として、呼吸数に極端な

第1表 鼻上げ時の溶存酸素量

区	分	鼻上げ時の 溶存酸素量
	g	mg/l
絶食	290	0.85
	170	1.02
	100	0.84
	75	0.84
飽食	310	0.82
	220	0.98
	170	1.16
	105	1.20

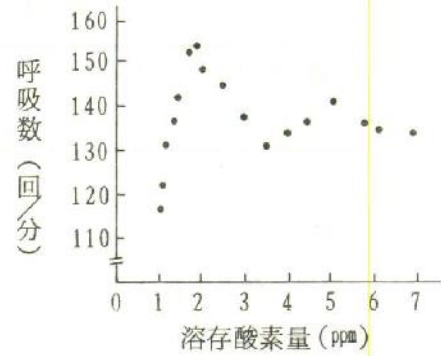
変化がみられるようになる2ppmを用いることにした。

(2) PRについて

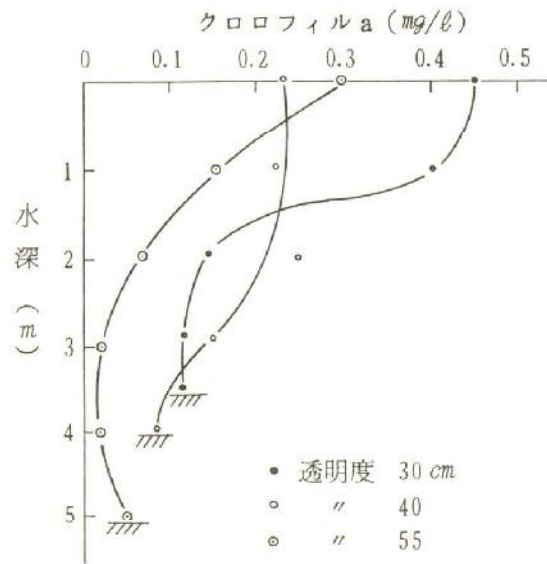
植物プランクトンの呼吸量については、夏季に優占するMicrocystis sp. を用いて検討した。

無風時の霞ヶ浦におけるMicrocystisの水深分布は、第2図のようになっているので、ここでは便宜的に透明度30cmの分布状態を、一般的な分布形態として用いることにした。

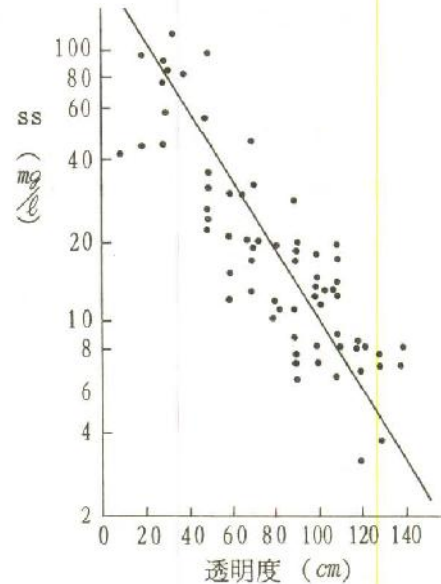
Microcystisの量がSSで表わされるとし、透明度と表層でのMicrocystis量との関係を、昭和48年、49年の6～10月の観測結果⁵⁾から求めると第3図のようになり、 $PM = 194.5 e^{-0.03 Tr}$ (但し、PM: Microcystisの量(mg/l), Tr: 透明度(cm))と表わされる。



第1図 溶存酸素量と呼吸数の変化



第2図 Microcystis sp. の水深別分布



第3図 透明度とSSの関係

Microcystisの乾重1g当りのクロロフィルaの量は4.47mgであり、クロロフィルa 1mg当りの呼吸量は2.0ccである⁶⁾。

これらの結果から、平均水深4m、1m²当りの水柱内での1時間当りの呼吸量を、透明度別に求めると第2表のようになり、単位水量当りに換算すると、 $PR = 0.61 e^{-0.03 Tr}$ と表わすことができる。

第2表 透明度とMicrocystis sp. の呼吸量

透明度	100	80	65	50	35 cm
呼吸量	252	481	727	1082	1803 mg/4m ² ·h

(3) MRについて

底泥の酸素消費量は、底質の状態によって異なると思われるが、ここでは「水変り」後の霞ヶ浦北浦における底泥の酸素消費量を測定することによりMRの検討をおこなった。

底泥の酸素消費量を測定する場合、泥深によって差異がみられるのではないかと考え、泥深と酸素消費量との関係を調べた。

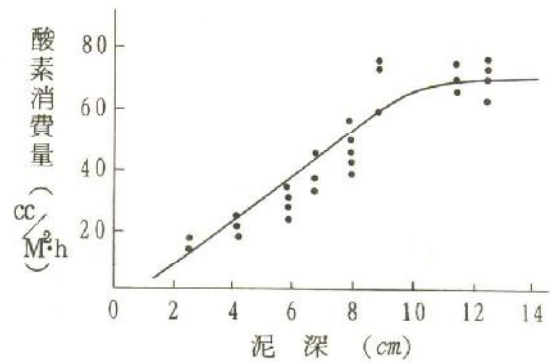
測定は流水式⁷⁾で行ない、水温は24.3℃であった。

結果を第4図に示したが、これによると底泥の酸素消費量を測定する場合は、底泥を10cm以上にすることが判る。

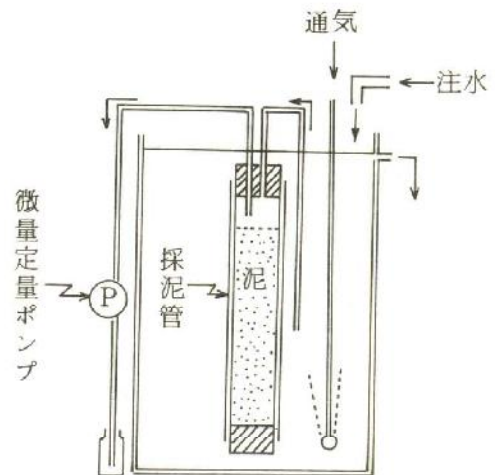
次に、出来るだけ自然の状態での底泥の酸素消費量を測定するため、ここでは直径3.2cmの塩化ビニール製のチューブを用いる柱状採泥器で採泥した。採取した底泥の泥表面を乱さないよう注意して実験室に持ち帰り、第5図に示したような流水式で酸素消費量を測定した。結果は第3表に示したように、いずれも約35 mg/m²·h 前後の値を示している。

既に述べたように、底泥の状態によってさらには大きな値となる可能性もあるが、ここでは一応この値を用いることにした。

なお、 $Q_{10} = 2.34$ ⁷⁾であるから30℃では41.7 mg/m²·hとなる。



第4図 泥深と酸素消費量との関係



第5図 底泥（柱状採泥）の酸素消費量測定装置

第3表 底泥（柱状採泥）の酸素消費量

採泥地点	採泥年月日	酸素消費量 mg/m ² ·h	水温 ℃
湖心	1980. 6. 24	26.6	25.7
江川沖	6. 27	40.6	23.7
梶山沖	6. 28	35.7	22.0

(4) F_R について

鯉の標準代謝量は $R = 0.0477e^{0.1028T} W^{0.665}$ (但し, R : 標準代謝量 (cc/h), T : 水温 ($^{\circ}C$), W : 体重 (g)) で表わされるので, この値の 2.15 倍を運動時の代謝量とした⁸⁾。

網生簀では種々の体重の鯉を飼育しており, 一概にはいえないが, ここでは平均体重を 1 kg とし, 上記の値を用いて水温 $30^{\circ}C$ における F_R を $316.4 \text{ mg/h} \cdot \text{尾}$ とした。

(5) V について

霞ヶ浦北浦における網生簀漁場を第 6 図に示した。又, 夏季に卓越して吹く, 北東の風の場合の水塊構成について, 模型実験によって調べられた結果を併せて図示した^{9), 10)}

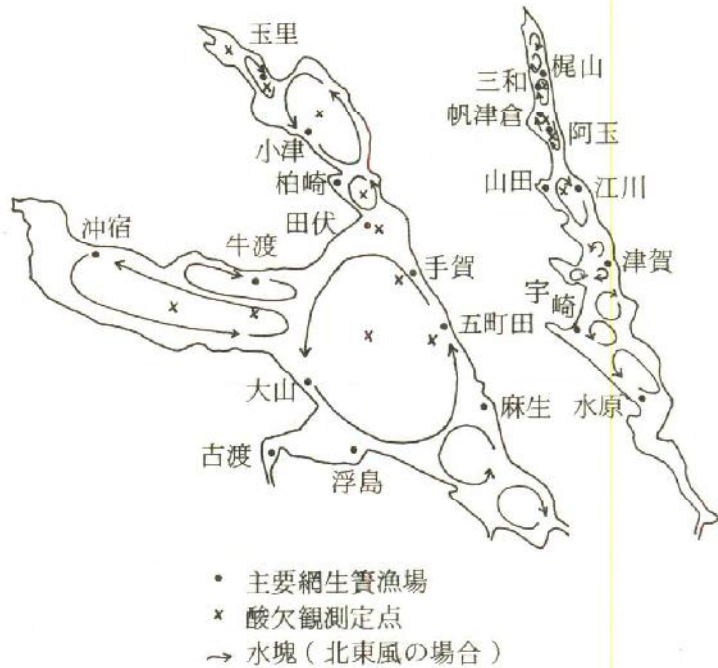
今, これらの水塊が独立しており, 他水域からの流入がないとすれば, 各漁場の位置している水域の面積及び水容積は, 平均水深を 4 m とすれば第 4 表のようになる。

(6) C_0 について

酸欠死は水温の高い夏季に多く発生しているので, 計算上の簡便さも勘案し, 試算は全て $30^{\circ}C$ でおこなっている。これらの値を用い, t を午後 7 時から翌朝 5 時迄の 10 時間として④式を整理すると次式のようになる。

$$C_0 = 2.0 + \left(0.61 e^{-0.03Tr} + \frac{41.7S + 316.4N}{V} \right) \times 10 \dots \text{⑤}$$

昭和 53 年の霞ヶ浦北浦における, 地域別の網生簀養殖鯉の生産量は, 霞ヶ浦北浦水産事務所の調査では第 5 表のようになっている¹⁾。これを便宜的に各漁場ごとに当てはめ, 生産量を平均



第 6 図 霞ヶ浦北浦における網生簀漁場等の位置

第 4 表 主な水域の面積及び水容積

水 域	面 積 $\times 10^6 m^2$	水 容 積 $\times 10^6 m^3$
玉 里	1.3	5.2
小 津	16.8	67.2
柏 崎	2.9	11.6
手 賀	5.59×10^6	22.38×10^6
三 和	1.2	4.8
阿 玉	1.6	6.2
江 川	6.9	27.6

体重 1 kg で除し、これに求めた FR の値をかけて求めたものを第 6 表に示した。又、各漁場内の底質は全て同じ状態の泥質と仮定して計算した値も併せて示した。

第 5 表 霞ヶ浦北浦における地域別
養殖鯉の生産量
(霞ヶ浦北浦水産事務所資料)

地 域	生 産 量
土 浦 市	4 36.0 ^t
出 島 村	3,735.3
玉 里 村	401.5
玉 造 町	5,774.9
麻 生 町	1,112.9
大 洋 村	1,373.2
北 浦 村	252.6
そ の 他	403.4

註 生産量には前年の繰越し量を含む。

第 6 表 主な網生養漁場における酸素
消費量の内訳

網生養漁場	PR	$\frac{MR \cdot S}{V}$	$\frac{FR \cdot N}{V}$
玉 里	0.101 ^{mg}	0.010 ^{mg}	0.024 ^{mg}
小 津	0.101	0.010	0.0005
柏 崎	0.101	0.010	0.020
手 賀	0.101	0.010	0.008×10^{-6}
三 和	0.101	0.010	0.003
阿 玉	0.101	0.010	0.003
江 川	0.101	0.010	0.016

註 PR は透明度 60 cm の場合

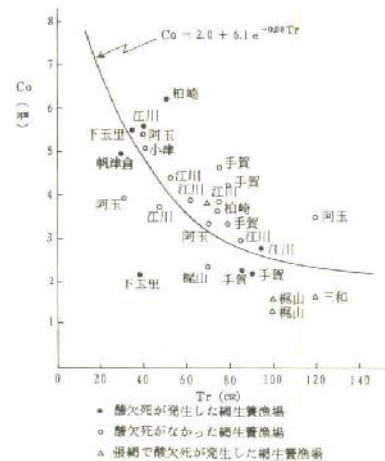
これによると、 $\frac{MR \cdot S}{V}$ 及び $\frac{FR \cdot N}{V}$ の値はどれも PR に比較して小さく、無視できるものと考えられるので、⑤式は簡単に⑥式と表わすことができる。

$$Co = 2.0 + 6.1 e^{-0.03 Tr} \dots\dots\dots ⑥$$

従って、その水域の平均的な透明度及び溶存酸素量が判れば、酸欠死の予測ができることになる。即ち、その水域の平均的な溶存酸素量が、⑥式から求めた Co の値より大きければ安全であり、小さければ酸欠死の可能性が大きいことになる。

ところで、この試算は種々の仮定を設けておこなっているもので、現場で利用できるかどうか検討してみた。

昭和49年から毎年、夏季を中心として、第6図に示したように、各漁場の沖合において午前中 1 m ごとに酸素量の測定をおこなっている。そこで、ここでは DO メータで観測を始めた、昭和54年の結果を用いて、酸欠死の発生した前日の各層における酸素量を平均した値と、その時の透明度との関係を第7図に示した。これによると、計算値とよく一致しており、⑥式が現場において酸欠死予測の目安として十分使用できるものと思われる。



第 7 図 Co と透明度との関係

従って、酸欠死の恐れがあると考えられた場合には、養殖漁場の沖合で、1 m ごとに酸素量を測定し、平均値を算出すると共に、透明度を測定して⑥式により検討したうえ、危険な場合には餌止め等の対策を早目に講じることが可能になるものと考えられる。

4 参考文献

- (1) 霞ヶ浦北浦水産事務所(1979)：霞ヶ浦北浦における養殖業の現状
- (2) 佐々木道也(1975)：霞ヶ浦北浦における酸素欠乏状態の発生機構に関する一考察，茨城県内水試報告 12
- (3) 赤野誠之外(1975)：霞ヶ浦における網いけす養殖ゴイのへい死について－I，同誌 12
- (4) 浜田篤信外(1979)：霞ヶ浦における藻類の異常発生に関する考察，同誌 16
- (5) 外岡健夫外(1975)：霞ヶ浦北浦湖沼観測結果について，同誌 12
- (6) 佐々木道也(1975)：アオコ (*Microcystis* sp.) の増殖に関与する諸要因について，本誌 12
- (7) 佐々木道也外(1976)：霞ヶ浦の富栄養化に関する研究－II，底泥からの窒素回帰について，同誌 13
- (8) 佐々木道也(1973)：光利用養魚に関する研究－II，水産増殖(2)
- (9) 佐々木道也(1969)：霞ヶ浦の水塊構成について－I，模型実験による水塊の形成，茨城県内水試報告 10
- (10) 佐々木道也：模型実験による北浦の吹送流について 未発表