

# 養殖水域の水質形成・物質循環に関する研究

吉川 尚,<sup>1</sup> 江口 充<sup>2\*</sup>

(環境保全・資源動態グループ)

<sup>1</sup> 近畿大学水産研究所 COE 博士研究員, <sup>2</sup> 近畿大学農学研究科,

\*eguchi@nara.kindai.ac.jp

魚類養殖では、給餌による有機汚濁、底層の無酸素化、赤潮の頻発といった自家汚染が問題となる。<sup>1)</sup>これまでの自家汚染に関する研究・対策は、主に海水交換や海底への有機物堆積といった物理・化学的側面から行われ、水質形成や物質循環に重要な役割を果たす微生物群が関与する過程については未だ不明な点が多い。

養魚場水域では、残餌や養殖魚の糞に加え、富栄養化により増加した植物プランクトンが有機汚濁の原因となる。これらが底層へ堆積し、分解・無機化される酸化過程で海水中の酸素を消費し、貧酸素化を引き起こす。有光層では植物プランクトンの光合成や大気からの溶入により酸素が供給される。そのため、もし有光層内で有機物の大部分が分解・無機化されていれば、底層での貧酸素化は起こらないと考えられる。ここでは、和歌山県田辺湾の養魚場周辺水域を対象として、水柱内の異なる“場”、即ち海水、沈降粒子、底泥堆積物表面における有機物の無機化速度を調べた。

溶存酸素は、養魚場水域における最も重要な水質項目の1つであり、養殖魚の生残や正常な成長に必要なレベルを維持しなければならない。<sup>2)</sup>植物プランクトンは、光合成により溶存酸素を供給している。その光合成速度は、日射量、潮汐、湾外水の流入、赤潮の形成・衰退等により、数時間から数日の短い時間スケールで大きく変動し、溶存酸素にも影響していると予想される。しかしながら、光合成速度の短期変動が生け簀養殖域の溶存酸素に及ぼす影響について実証した例はほとんどな

い。その理由として、従来の培養による光合成速度の測定では、多大な労力を要し長期間の連続観測が事実上不可能なことが挙げられる。そこで、現場水中での光学センサーの係留が可能な自然蛍光法<sup>3, 4)</sup>により光合成速度を連続測定し、溶存酸素に及ぼす影響を解析した。

## 材料および方法

**海水、沈降粒子、底泥堆積物表面における有機物の無機化速度** 試料の採取は、2004年6, 8, 10, 12月に、和歌山県田辺湾にある近畿大学水産研究所が管理する養殖生け簀直下(養殖域、水深16m)と生け簀から離れた非養殖域(水深10-14m)で行った(Fig. 1)。海水は、底上2mからバンドーン型採水器を用いて採取した。沈降粒子は、セディメントトラップを底上2mに24-27時間係留して捕集した。底泥堆積物は、K-K式柱状採泥器を用いて採取し、0-1cm層を各実験に用いた。

無機化速度は、二重バイアル法<sup>5)</sup>により、各試料に<sup>14</sup>Cで標識したD-[U-<sup>14</sup>C]グルコース又はL-[U-<sup>14</sup>C]グルタミン酸を最終濃度0.2 mCi mL<sup>-1</sup>となるよう添加後培養し、無機化により生じた[<sup>14</sup>C]-CO<sub>2</sub>の放射能活性から求めた。沈降粒子と底泥堆積物については、試料をろ過滅菌水に懸濁後実験に用いた。

各試料の全菌数は、2%中性ホルマリンで固定・保存し、直接検鏡法により計数した。4',6-diamidino-2-phenylindole (DAPI)で核酸を染色後、落射型蛍光顕微鏡でUV励起下で青白い蛍光を発する細菌を計数した。沈降

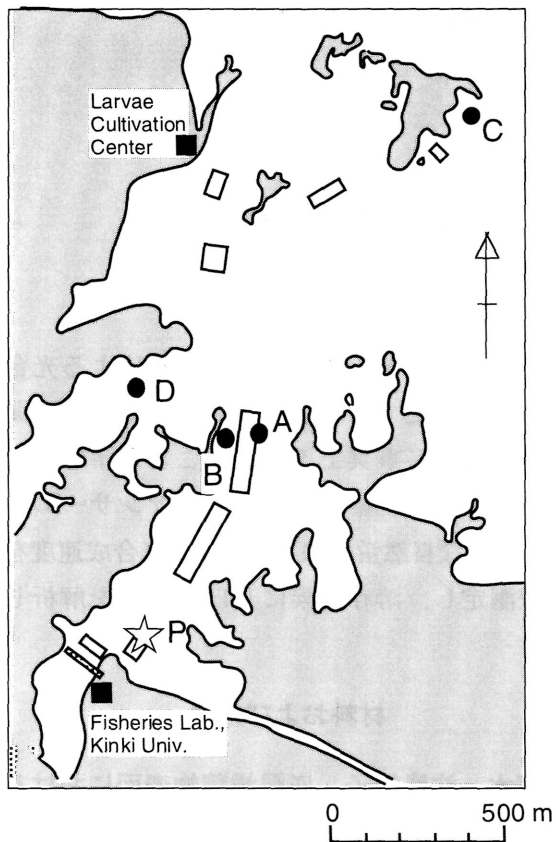


Fig. 1 Map of stations in Tanabe Bay. A: fish cage station. B, C, D: non-fish cage stations in June (B), August and October (C) and December (D). P: mooring site of Aquadome buoy.

粒子と底泥堆積物については、試料を滅菌食塩水に懸濁させ、超音波処理で付着細菌を剥離・分散させた後、全菌数の計測に用いた。<sup>6)</sup>

**植物プランクトン光合成速度及び溶存酸素の連続測定** 観測時期・対象水域は、前述の無機化速度の測定と同様である。ただし、測器の係留は、養殖域のみで行った。自然蛍光光度計は、養殖生け簀直下の水深 5 m に 2-3

週間係留した。流速計と溶存酸素計は水深 5 m と底上 2 m に係留した。自然蛍光光度計の設置時に、採水を行いクロロフィル a 濃度と基礎生産速度を実測し、機器較正を行った。<sup>4)</sup> また、これらの測器とは別の養殖生け簀に設置した Aquadome ブイにより毎時の水深 1 m の溶存酸素、水温、塩分等が 2004 年 7 月以降、モニターされており、現在も継続中である。

### 結果および考察

**海水、沈降粒子、底泥堆積物表面における有機物の無機化速度** 沈降粒子、底泥堆積物表面、海水における  $[^{14}\text{C}]$ -グルコースの無機化速度は、それぞれ 86-343, 4.4-29, 0.3-0.8  $\text{nmol } ^{14}\text{C}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  と、沈降粒子では底泥堆積物表面の 7-52 倍、海水の 131-572 倍の極めて高い値であった (Table 1)。全菌数も無機化速度と同じ順に高い値であった。

養殖域と非養殖域で比較すると、沈降粒子では、8 月に養殖域で非養殖域よりもやや低くなった他は、養殖域で高かった。底泥堆積物や海水では一定の傾向はみられなかった。季節別で見ると、海水、底泥堆積物では全菌数は 6, 8 月に多く 10, 12 月に少ない傾向にあったが、無機化速度には季節による違いはみられなかった。沈降粒子では、全菌数は 8 月に高く 12 月には著しく低かったのに対し、無機化速度は 8 月に他の季節に比べ低かった。水温が高く細菌密度も高い 8 月に、沈降粒子の無機化速度が低かった理由については、現時点では不明である。

Table 1 Microbial mineralization rate of  $[^{14}\text{C}]$ -Glucose ( $\text{nmol } ^{14}\text{C}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ )

	Sinking Particles		Sediments		Sea water	
	Fish cage	Non-cage	Fish cage	Non-cage	Fish cage	Non-cage
June	298±24	159±12	6.1±0.4	9.5±0.3	0.8±0.02	0.6±0.02
August	86±5	110±8	7.3±0.3	6.2±0.3	0.6±0.04	0.6±0.03
October	122±14	86±3	7.1±0.4	4.4±0.6	0.6±0.06	0.5±0.06
December	154±6	115±4	7.2±0.4	9.5±0.4	0.4±0.02	0.4±0.02

沈降粒子、底泥堆積物では、グルタミン酸を基質とした場合の無機化速度は、グルコースよりも高い傾向を示した。この理由として、アミノ酸は細胞内に取り込んだ後に窒素源として利用できるため、単糖類よりも細菌にとって利用価値が高いことが考えられた。海水では、基質による無機化速度の違いは見られなかった。

有機物の堆積速度は、8、10月では養殖域で非養殖域に比べ有意に大きかった (Fig. 2)。特に10月では、養殖域で非養殖域の約2倍も大きかった。この差は、植物プランクトン以外の有機物、即ち残餌、糞の有無によるものと考えられた。6月には、植物プランクトン由来の有機物が両点で全体の約半分を占めた。

結論として、沈降粒子は無機化活性が極めて高い場であることが明らかとなった。従って、養殖に由来する有機物のかなりの部分が水柱内で無機化されると考えられる。また、有機物の堆積過程における植物プランクトンの重要性も明らかとなった。

**植物プランクトン光合成速度及び溶存酸素の連続測定** 光合成速度は、8月に7.7~85  $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ と高く、10、12月に各々3.7~19.3、14.8~25.8  $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ と低かった。溶存酸素は、昼間は光合成により供給されるが、夜間

には呼吸のみ起こるため、早朝に最低となる日周性を示した。溶存酸素の日周性は、特に8月に明瞭に変動幅も大きかった (Fig. 3)。これは、光合成速度が高いことと、表層で供給された溶存酸素が水柱の成層化により下層に拡散しにくいためであった。10、12月には、日周性はやや不明瞭となった。これは、光合成速度が低いことと、水柱の鉛直混合が強まり、表層で光合成により供給された溶存酸素が水柱全体に拡散するためであった。

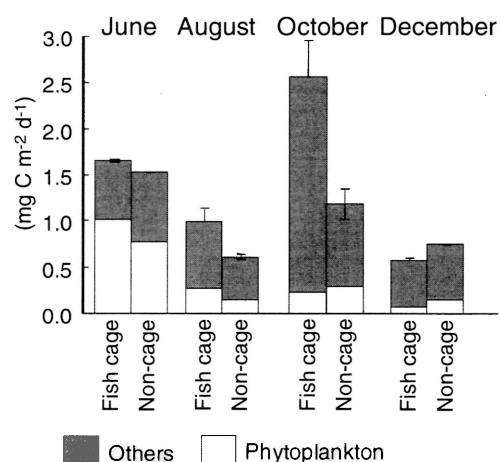


Fig. 2 Sedimentation rate of organic matter originated from phytoplankton and others.

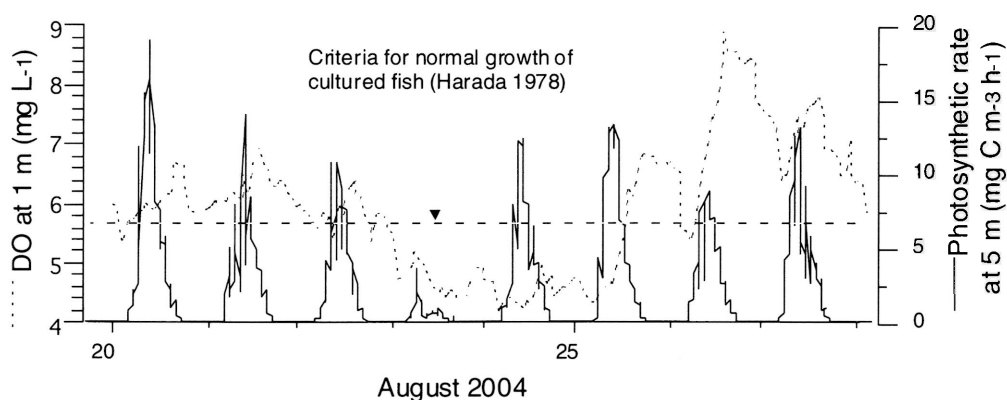


Fig. 3 Temporal changes in photosynthetic rate and dissolved oxygen (DO) in fish cage area.

8, 10 月には, 曇天により昼間の光合成速度が著しく低くなり, 溶存酸素が供給されず大きく低下した日が何度かあった。その結果溶存酸素が, 養殖魚の正常な成長に必要とされるレベル<sup>2)</sup>以下にまでなった。それでも 8 月には, その後晴天時が続くと高い光合成速度により溶存酸素が供給され, 養殖魚の成長に支障のないレベルまで回復した。しかし, 10 月には, その後晴天が続いても光合成速度が低いためなかなか回復できなかった。また, 溶存酸素は, 昼間には養殖魚の成長に支障のないレベルであっても, 夜間にはそのレベル以下にまでなる日があった。12 月は, 光合成速度は低いものの, 水柱の鉛直混合が強くなり大気からの溶存酸素の供給が起こっていたため, 溶存酸素は常に高いレベルにあった。10 月にも鉛直混合により大気から溶存酸素が供給されていたが, 同時に下層の貧酸素水が上層にもたらされることとなった。その結果, 大気からの溶存酸素供給が水柱全体には及んでいなかったのではないかと考えられた。

結論として, 溶存酸素の経時変動に及ぼす光合成の影響は, 季節により大きく異なった。夏季, 秋季には, 溶存酸素は, 光合成により数時間から数日レベルの短期間で変動し, 曇天後に養殖魚の成長に支障のあるレベルまで低下した。養殖場の環境保全において特に溶存酸素に関しては, まず魚種毎に窒息死や成長低下が起こる濃度レベルについての知見を整理すること, 海水交換量や植物プランクトン量の季節変動を調査し適正な養殖魚の収容密度に抑えることが重要である。特に本研究の結果からは, 成層期・崩壊期の曇天時や早朝には溶存酸素環境が悪化しやすいことが示唆される。

### 謝辞

近畿大学水産研究所 村田修教授, 坂本亘教授, 宮野茂一氏, 高志利宣博士, 久保敏彦氏, 工藤利洋氏には, 田辺湾における野外調査に当

たりご助言とご協力を頂いた。東京大学大学院農学生命科学研究科 古谷研教授には, 自然蛍光法による光合成速度の測定にあたりご助言とご協力を頂いた。地球環境産業技術研究機構 喜田潤博士, 三戸彩絵子博士には, 炭素同位対比分析に当たりご協力を頂いた。大阪市立大学大学院工学研究科 矢持進教授, 藤原俊介氏には, 有機炭素・窒素量分析に当たりご協力を頂いた。近畿大学農学部水族環境学研究室の諸先生, 学生諸氏には, 日頃の研究活動を通じ多くのご助言とご協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表す。

### 文献

- 1) 窪田俊文. I. 自家汚染の実態 1. 魚類養殖場「浅海養殖と自家汚染 水産学シリーズ 21」(日本水産学会編) 恒星社厚生閣, 東京. 1977; 9-18.
- 2) 原田輝雄. ブリとカンパチ「養魚学各論 水産学全集 第 23 巻」(川本信之編) 恒星社厚生閣, 東京. 1967; 463-503.
- 3) Chamberlin WS, Booth CR, Kiefer DA, Morrow JH, Murphy RC. Evidence for a simple relationship between natural fluorescence, photosynthesis and chlorophyll in the sea. *Deep-Sea Res.* 2002; **37**: 951-973
- 4) Yoshikawa T, Furuya K. Long-term monitoring of primary production in coastal waters by improved natural fluorescence method. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2004; **273**: 17-30.
- 5) Mckinley VL, Federle TW, Vestal JR. Improvements and environmental application of double-vial radiorespirometry for the study of microbial mineralization. *Appl. Environ. Microbiol.* 1983; **45**: 255-259
- 6) Kuwae, T, Kibe E, Nakamura Y. Effect of emersion and immersion on the porewater nutrient dynamics of an intertidal sandflat in Tokyo Bay. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 2003; **57**: 92