

## ハマチ・マダイ養殖場の溶存酸素濃度変動

坂口 秀雄\*・柳 哲雄\*\*

### Temporal variations in the dissolved oxygen content in the fishfarms of yellowtail and red sea bream

Hideo SAKAGUCHI\* and Tetsuo YANAGI\*\*

#### Abstract

The temporal variations in the dissolved oxygen content are investigated at the fishfarms of yellowtail and red sea bream in the eastern part of the Bungo Channel, Seto Inland Sea on 24-25 September 1989. The oxygen consumption during the respiration of cultured fish is mainly balanced by the oxygen supply resulting from the dispersion in the fishfarm. The oxygen consumption of the yellowtail after the feeding increases about three times than that in the usual state but that of the red sea bream does not change.

#### 1. はじめに

世界各国の200海里宣言の定着化と共に沿岸漁業の重要性は増大し、その中でも養殖漁業の果たす役割は益々大きくなりつつある。

養殖漁場を管理していくうえで、養殖漁場内の溶存酸素濃度を適正な値に保つことが重要であることはすでに多くの人々から指摘されていることである(例えば、井上, 1977)。養殖場の溶存酸素濃度の大小は魚類の生死を決めるのみならず、魚の成長と餌の効率を著しく左右するので、その濃度の適正管理は魚類養殖にとって非常に大切である。

一般に養殖場の溶存酸素は魚の呼吸や有機物の分解により消費され、植物プランクトンの光合成により生産されるため、溶存酸素濃度は日出から日没にかけて上昇し日没から日出にかけて下降する。しかし、いろいろな養殖場における酸素濃度変動の主要な過程は異なっていて、たとえば、有機物を多く含む養殖場内では海水中のバクテリアによる酸素消費量が養殖魚の呼吸による酸素消費量より大きく、それがプランクトンによる酸素生産と海水交流による酸素供給でまかなわれている場合があり、また養殖魚の呼吸による酸素消費量が際だって大き

く、それが海水交流による酸素供給でまかなわれている場合もあるなど決して様ではない。したがって養殖場の溶存酸素濃度を適正に管理するためには、問題とする養殖場毎に溶存酸素濃度変動に関わる主要な過程をあらかじめ明らかにしておく必要がある。

また今までハマチ養殖場の酸素収支については多く論じられてきたが、マダイ養殖場の酸素収支に関して論じた論文は見あたらない。

愛媛県水産試験場では社団法人日本水産資源保護協会による水産庁事業(平成元年度養殖漁場管理定量化開発調査)の一環として養殖生簀内外の溶存酸素濃度変動観測を行うこととなり、瀬戸内海豊後水道東部海域にある愛媛県水産試験場のハマチとマダイの生簀において溶存酸素濃度の24時間連続観測とその解析を行ったので、その結果についてここに報告する。

#### 2. 観測

観測は豊後水道東部宇和海に位置する愛媛県水産試験場の所有生簀(ハマチ、マダイ)を用いて、1989年9月24日16時~同25日15時(月齢23.9、小潮)の24時間の間行った。生簀は目合6節(3cm×3cm、φ=2mm)の網を使用している。観測地点はFig. 1.に示す10点で、10台のマグネットポンプ(SANSO PMD-0311 B)、ビニールホース(内径13mm)、三方コックを用いて、0.5~3時間間隔で10点同時に2m層と4m層の採水を行った。そして各層について3本の資料を得て、ウインクラ法により溶存酸素濃度測定を行った。さらに Stn. 9

1990年8月9日受理

\* 愛媛県水産試験場 Ehime Prefectural Fisheries Observatory, Sitaba, Uwajima 798-01, Japan.

\*\* 愛媛大学工学部海洋工学教室 Department of Ocean Engineering, Ehime University, Matsuyama 790, Japan.

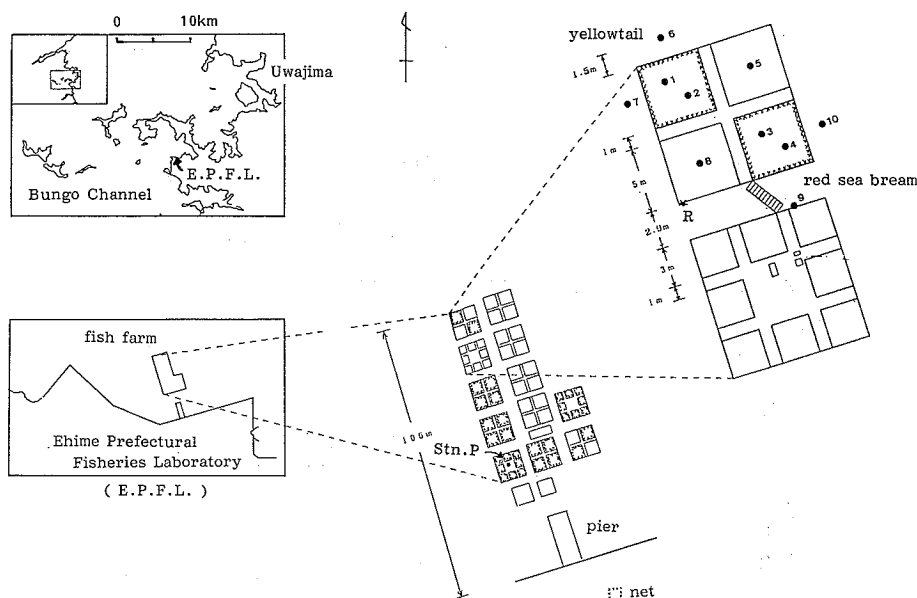


Fig. 1. Observation site. Dissolved oxygen were observed at the depth of 2 and 4 m below the sea surface at Stns. 1 to 10. Current measurement was observed at the depth of 3 m below the sea surface at Stn. R and vertical distributions of water temperature and density at Stn. P.

の2m層と4m層では採水時の水温、塩分を測定し、Stn. R では採水時の3m層の流向、流速を測定した。また9月25日10時30分には Stn. P で水温、密度の鉛直分布観測も行った。ハマチとマダイの生簀設置場所の水深は35m, Stn. P の水深は15mである。

観測結果を Fig. 2. に示す。2m層と4m層の酸素濃度に系統的な差は見られず、2m以深では海水は良く鉛直混合していたので (Fig. 3), ここでは生簀内外それぞれ2点の観測点の2m層と4m層の値を平均して、溶存酸素濃度の時間変動を描いた。観測を開始した9月24日16時から翌朝にかけて、9月25日午前3時の値を除けば、養殖場内外ともに溶存酸素濃度はほぼ単調に減少している。そしてハマチには冷凍イワシの切身、マダイにはモイストペレットを給餌した9月25日9時15分以降溶存酸素濃度は増加している。養殖場内外の溶存酸素濃度差は9月24日16時～0時まではハマチ、マダイともほぼ一定の  $0.1\text{ml l}^{-1}$  程度の値であり、給餌後の9月25日9時～12時はハマチは  $0.2\text{ml l}^{-1}$  程度、マダイは  $0.05\text{ml l}^{-1}$  程度でそれぞれほぼ一定である。

ハマチ生簀には1, 2, 3才魚、計310尾が混養されていて、その全体重量は646kgであり、またマダイ生簀には日本産2才と韓国産2才のマダイが約半数ずつ、計

484尾が養殖されていて、その全体重量は637kgであった。

### 3. 解析

Stn. R の流れがこの生簀近傍の流れを代表しているとなれば、Fig. 2. によれば流れの方向は Stns. 6, 7 から Stns. 9, 10 の方向に向かっているにも関わらず、溶存酸素濃度はハマチ生簀内の Stns. 1, 2 で減少した後、Stns. 5, 8 では Stns. 6, 7 のレベルまで回復している。同様に溶存酸素濃度はマダイの生簀内の Stns. 3, 4 で減少した後、Stns. 9, 10 では Stns. 5, 8 のレベルまで回復している。すなわち Stns. 6, 7, Stns. 5, 8, Stns. 9, 10 の溶存酸素濃度はほぼ等しい。このことは生簀外の溶存酸素濃度は生簀の影響をほとんど受けないこと、また酸素の移流速度より拡散速度の方が大きいことを示している。したがって一旦生簀内で減少した溶存酸素濃度はその水塊が5m以上流れる間に周囲からの拡散により酸素を供給されて、生簀外の酸素濃度と等しくなるのであろう。ゆえに以下の解析では移流による溶存酸素濃度変化を無視する。

以上の考察にもとづけば、生簀内の単位水塊の溶存酸素濃度の時間変動は次式で表される。

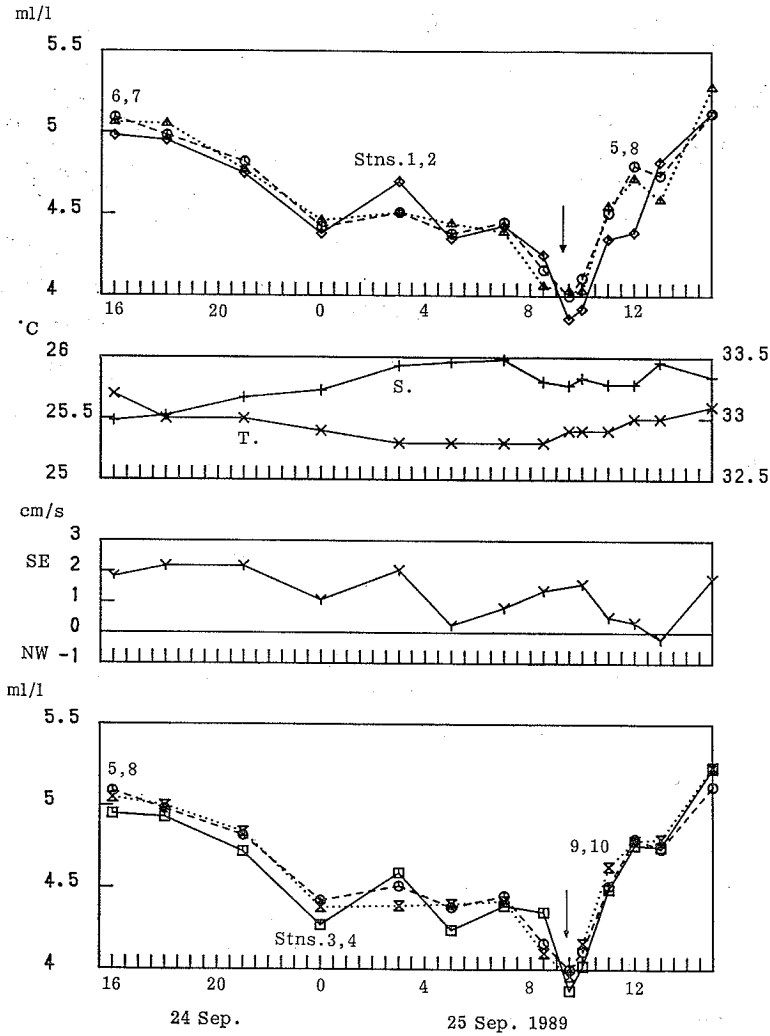


Fig. 2. Temporal variations in average dissolved oxygen content, water temperature, salinity, current velocity. Arrow shows the time of feeding.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{5AK}{VL}(C_0 - C) + \frac{SK_L}{V}(C_a - C) - \frac{R}{V} + W \dots (1)$$

ここで  $C$  は生簀内の溶存酸素濃度,  $C_0$  は生簀外の溶存酸素濃度,  $C_a$  は飽和溶存酸素濃度,  $A$  は生簀の断面積 ( $5\text{m} \times 5\text{m}$ ),  $V$  は生簀の体積 ( $5\text{m} \times 5\text{m} \times 5\text{m}$ ),  $K$  は拡散係数,  $L$  は生簀内外の観測点の距離 ( $L=5\text{m}$ ),  $S$  は生簀の表面積 ( $5\text{m} \times 5\text{m}$ ),  $K_L$  は大気からの酸素流入に関する物質移動係数 ( $K_L = 3\text{m/day}$ , TSUNOGAI and TANAKA, 1980),  $R$  は生簀内の魚の呼吸による酸素消費量,  $W$  は植物プランクトン, 網に付着した藻類に

よる光合成, プランクトンの呼吸, 有機物の分解などを考慮した正味の酸素生産量を表す。

酸素の拡散は生簀の周囲四方から水平的に行われるものと, 生簀の下方から鉛直的に行われるものがあるが, 鉛直方向の酸素濃度勾配は観測していないので, ここでは生簀の下部の溶存酸素濃度は生簀外の溶存酸素濃度と等しく, また鉛直方向には魚の運動にもとづく上昇流による酸素補給も存在するので, 鉛直拡散係数と水平拡散係数は等しいと仮定し, 水平・鉛直の酸素の拡散による供給はすべて(1)式の右辺第1項に含まれるとした。

Fig. 2. の観測結果によると9月24日16時~24時(以

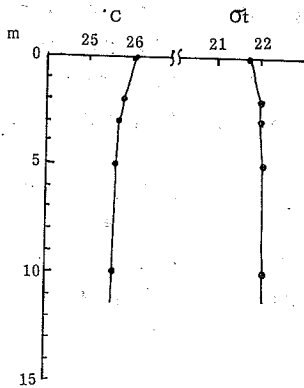


Fig. 3. Vertical distributions of water temperature and density at Stn. P at 10:00 on 25 September 1989.

後これをⅠ期とする)と9月25日9時30分~12時(Ⅱ期)は生簀内外の酸素濃度差がほぼ一定なので(1)式をもとに酸素収支が議論できる。その他の時間は生簀内外で酸素濃度の系統的な差が見られない。このことは観測海域全体の水塊構造が乱れていたため、(1)式で酸素濃度変動を論じることが出来ないことを示していると考えられる。したがってそのような期間はこの解析からは除外した。

Ⅰ期は生簀外の溶存酸素濃度が一様に減少していることより、 $W$ は消費となっていることがわかる。生簀外での酸素濃度変動には拡散の影響はなく、生簀内の魚の呼吸の影響も受けないので、6点の生簀外の溶存酸素濃度の平均時間変化率と海面を通じての酸素のやりとりの和から、 $W = -0.01 \sim -0.14 \text{ ml l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ となる。また生簀内外の溶存酸素濃度差がほぼ一定であるということは拡散による生簀外から生簀内への酸素供給量と生簀内のハマチやマダイの呼吸による酸素消費量がほぼバランスしていることを示している。したがって拡散係数を  $K = 5 \times 10^3 \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$  (大久保, 1970) とすれば、ハマチの場合  $R/V = 1.8 \sim 2.9 \text{ ml l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$  となり、マダイの場合  $R/V = 2.9 \sim 4.3 \text{ ml l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$  となる。そしてハマチとマダイの全体重を考慮すれば、ハマチの単位体重当りの呼吸量は  $R = 348 \sim 561 \text{ ml kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ 、マダイのそれは  $R = 569 \sim 844 \text{ ml kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$  となる。

給餌した後のⅡ期には、生簀外の酸素濃度が上昇していることから  $W$ は生産となっている、生簀外の溶存酸素濃度の時間増加率と海面を通じての酸素のやりとりの和から  $W = 0.15 \sim 0.43 \text{ ml l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$  となる。また拡散によ

る酸素供給と呼吸による酸素消費のバランスから、ハマチの場合は  $R/V = 3.25 \sim 10.1 \text{ ml l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$  となり、単位体重当りでは  $R = 629 \sim 1,950 \text{ ml kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$  となる。すなわち給餌によりハマチの呼吸量は平常時の2~4倍になることがわかる。マダイの場合は  $R/V = 1.8 \sim 4.0 \text{ ml l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$  で、 $R = 353 \sim 775 \text{ ml kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$  となり、マダイは給餌によってもその呼吸量が平常時とほとんど変化しないことがわかる。ハマチの呼吸量が給餌後次第に増加し、2時間後に最大になる理由に関してはよくわからない。

以上の結果から(1)式において、拡散による酸素供給と呼吸による酸素消費は他の項と比較して1桁以上大きく、この養殖場の酸素収支はほぼこの2項のバランスにより決っていることがわかった。またハマチは給餌により呼吸量が約3倍増加するのに対して、マダイの場合は変化しないこともわかった。これは給餌に対してマダイがハマチほど興奮しないためだと考えられる。

上のようにして得られた生簀内の酸素収支により求めた海面を通じての酸素のやりとりと海中の正味の酸素生産の時間変動を Fig. 4. に、養殖魚の単位体重当りの呼吸量の時間変動を Fig. 5. に示す。9月24日の16~20時は海水中の溶存酸素濃度は過飽和になっていて、酸素は海中から大気に出ていっている。海中の正味の酸素生産は午後から夜間にかけて消費、午前は生産になっている。

今回得られた単位体重当りの酸素消費量は、実験室で得られているハマチの  $R = 351 \sim 537 \text{ mg kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ 、マダイの  $R = 192 \text{ mg kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$  ((社)日本水産資源保護協会、

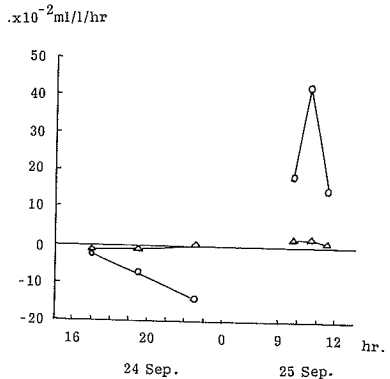


Fig. 4. Temporal variations in the oxygen exchange through the sea surface (open triangle) and the net oxygen production in sea water (open circle).

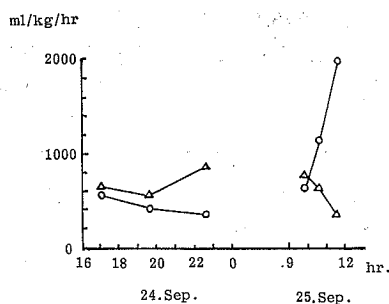


Fig. 5. Temporal variations in the oxygen consumption by respiration of yellowtail (open circle) and red sea bream (open triangle).

1988, 1989)と比較すると、特にマダイに対してやや大きめにでている。今回の呼吸量の大きさは現場の拡散係数の値の大きさに依存していて、現場の拡散係数がはつきりしないため必ずしも定量的ではないが、相対的には意味がある。すなわちハマチの平常時と給餌時の呼吸量が異なること、マダイの場合は変化がないことなどは他にも応用出来る成果であろう。

#### 4. おわりに

今回の観測は養殖密度の小さい水産試験場内の生簀に関して行ったので、生簀内の溶存酸素濃度は最も低下した早朝でも  $3.8 \text{ ml l}^{-1}$  程度で、ハマチやマダイの生死に関わるような濃度にはならなかった。しかし、宇和海の

民間養殖業者の生簀では現在、今回の約3倍の密度で養殖が行われている。したがってその呼吸量は3倍になり、それだけの酸素消費が拡散で供給されるためには生簀内外の濃度差が今回の3倍、すなわち  $0.3 \sim 0.6 \text{ ml l}^{-1}$  程度にならなければならない。そのような生簀では有機物の増加により、海中の正味の酸素消費量も今回より大きくなり、生簀内の酸素濃度は今回のものより、 $1.0 \text{ ml l}^{-1}$  程度低下することも考えられる。したがってそのような場合は生簀内の早朝の溶存酸素濃度最低値はハマチやマダイの生存が危うくなると言われる  $3 \text{ ml l}^{-1}$  に近くなる可能性が生じてくる。ゆえに民間の養殖場においては生簀内の溶存酸素濃度の変動に充分注意しなければならない。

今回の結果が現場の養殖場の溶存酸素濃度の適正管理の何らかの役にたてば幸いである。

#### 文 献

- 井上裕雄 (1977) 養殖場環境の管理. 日本水産学会編 浅海養殖と自家汚染, 88-108
- 大久保明 (1970) 海洋拡散. 海洋科学基礎講座 I, 東海大学出版会, 322-375
- (社)日本水産資源保護協会 (1988) 昭和62年度養殖漁場管理定量化開発調査報告書, 276頁
- (社)日本水産資源保護協会 (1989) 昭和63年度養殖漁場管理定量化開発調査報告書, 266頁
- TSUNOGAI, S, and N. TANAKA (1980) Flux of oxygen across the air-water interface as determined by the analysis of dissolved components in sea water. *Geochem. J.*, **14**, 227-234.