

## 純酸素供給によるマダイ活魚率の向上

的場 達人  
(研究部)

### Improvement of survival rate of Red-Sea-bream by supply of oxygen

Tatsuhito MATOBA  
(Research Department)

マダイは筑前海の主要魚種で、漁獲量は年間1,000トンを上回り様々な漁法で漁獲されている。これまで福岡県では、資源管理型漁業の推進によりマダイ資源は回復傾向にある。一方、市場では養殖魚を含めた供給過多や景気の低迷により単価が低迷している。しかしながら、1そうごち網漁業が主対象とする大型マダイでは品質による価格差が大きく、高鮮度出荷取扱マニュアルの確立が重要な課題となっている。市場でマダイは色彩、肥満度、スレ、眼球の白濁等で評価されるが、鮮度を示す指標として死後硬直の進行度が多く用いられている。セリ時に硬直前のものは活魚並の単価(2,500~4,000円/kg)で取引されている。また、活けしめ前に斃死したマダイは、"メマダイ"として区別してセリにかけられる。"メマダイ"になると単価は2~6割程度まで下落する。特に夏場高水温時は操業中の斃死率が高く、漁業者からもその対策を強く求められている。そこで今回、酸素ポンペを漁船に積載し、夏期操業中の船内水槽に純酸素を供給した場合の活魚率向上効果について検討したので報告する。

### 方 法

#### 1 陸上水槽での酸素供給試験

1そうごち網で漁獲されたマダイを翌朝から重量密度10%、5%で8時間止水蓄養し、試験区は酸素ポンペで、対照区は通常のエアレーションを行った。試験中、1時間毎の海水温及び溶存酸素量(以後 DO とする)を水質測定器(堀場製作所製 U-10)を用いて測定した。酸素供給の効果を以下の試験項目で比較を行った。

#### (1) 呼吸頻度比較試験

呼吸頻度は試験中1時間毎に各区3尾ずつ、15秒あたりの鰓蓋の開閉回数を計測し、それを1分あたりの回数に換算して用いた。夏期の2004年8月30日は水温27℃で、秋期の'04年10月8日は24℃に設定して実施した。(表1)

表1 呼吸頻度比較試験の供試魚

試験日	試験区	尾叉長 (cm)	体重 (kg)	供試数
2004年8月30日	(27℃)			
	酸素区	28.2±0.6	0.48±0.03	3
	対照区	29.1±1.3	0.53±0.06	3
2004年10月8日	(24℃)			
	酸素区	27.0±0.5	0.46±0.05	3
	対照区	28.0±1.0	0.47±0.05	3

#### (2) 空中露出による生残試験

止水蓄養(海水温24℃ 10%密度)8時間後の活力比較を目的として、各区から3尾ずつ取りあげ、空中露出による生残試験を行った。床に海水で湿らせたウレタンマットを敷き、取りあげたマダイを静置した。1分毎に鰓蓋の開閉状況で呼吸を確認し、呼吸停止後マダイを持ち上げ10回揺すっても蘇生しなくなった時点をへい死と判断した。(表2)

表2 空中露出による生残試験の供試魚

試験区	尾叉長 (cm)	体重 (kg)	供試数
酸素区	29.2±0.3	0.55±0.02	3
対照区	28.5±0.8	0.54±0.02	3

(3) 死後完全硬直時間比較試験

止水蓄養して8時間後に各区から2,3尾づつ取りあげて鮮度保持試験を行った。鮮度保持の評価は、魚体が死後完全硬直するまでの時間で示すこととし、その硬直の経過を尾藤ら<sup>1)</sup>の硬直指数を用いて1時間毎(18時間後からは3時間毎)に測定した。10%及び5%の重量密度別に、27℃区と24℃区での蓄養試験時に、完全硬直時間の比較試験を実施した。(表3, 図1)

魚体はできるだけ安静に取りあげ、即時に活けしめを行った。活けしめの回次毎の誤差をなくすため神経抜きを施し、硬直度を測定した後、海水水氷に浸漬して魚体中心温度が10℃になるまで冷却した後、5℃で冷蔵保存した。1~3時間毎に硬直度を測定し、3回連続して硬直度が上昇しなくなった時点まで、完全硬直と判断した。

表3 死後完全硬直時間比較試験の供試魚

試験区	尾叉長 (cm)	体重 (kg)
10%蓄養密度		
(27℃)		
酸素区	28.3±0.8	0.48±0.02
対照区	29.4±1.3	0.54±0.08
(24℃)		
酸素区	27.0±0.5	0.46±0.05
対照区	28.0±1.0	0.47±0.05
5%蓄養密度		
(27℃)		
酸素区	27.4±1.7	0.48±0.10
対照区	28.2±0.3	0.51±0.00
(24℃)		
酸素区	28.0±1.1	0.52±0.06
対照区	28.6±0.7	0.49±0.04

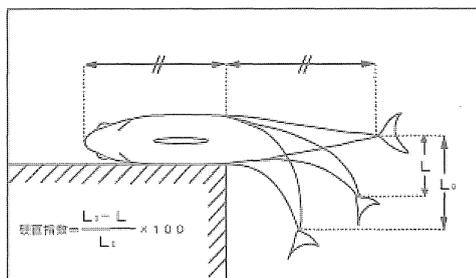


図1 硬直指数の測定法

(4) 蓄養中における生残率比較試験

27℃での8時間止水蓄養(10%重量密度下)中の生残率を比較した。蓄養開始時は各区マダイを5尾づつとし、1時間毎の斃死数を比較した。(表4)

表4 蓄養中生残率比較試験の供試魚

試験区	尾叉長 (cm)	体重 (kg)	供試数
酸素区	28.2±0.6	0.48±0.03	5
対照区	29.1±1.3	0.53±0.06	5

2 操業漁船での酸素供給試験(操業日誌調査)

(1) 操業中の斃死率実態調査

操業中、船槽内での月別銘柄別の斃死実態を把握するために、1そうごち網漁業者に漁期(5~12月)中、操業日毎の船槽内への収容数と帰港時における斃死数を銘柄別に日誌の記載を依頼した。また、帰港時、船槽内の水質状況を把握するため、7月21日に福津市福間漁港において3隻の船槽内の海水温及びDOを測定した。

(2) 操業中の斃死率比較試験

1そうごち網漁業者に実際に酸素ポンプを使用してもらい、8~9月に操業日毎の帰港までの斃死数を銘柄別に日誌の記載を依頼した。日誌には投網毎の水深、船槽への収容尾数(銘柄別)、酸素仕様の有無、帰港時の斃死尾数(銘柄別)等の覧を設けた。酸素区は宗像漁協福間支所2隻と福岡市漁協姪浜支所1隻に、対照区は福間支所1隻に依頼した。酸素ポンプは、軽量の3KL(重量25kg)タンクを用いた(姪浜支所では従来から重量60kgの7KLポンプを使用)。流量計(KOIKE MEDICAL社製 Flow Gentle+)は装着がグリップ式で、流量がダイヤルで一定にできる操作性の容易なものを用いた。試験での酸素流量は、水量1トンにつき流量0.5~1L/分の設定で行った。対照船には全漁期での活魚率の記載を依頼し、斃死実態を把握した。また、酸素ポンプの使用に伴う諸経費は下図のとおりとなった。(図2)

<酸素ポンプ設置費用>		
酸素ポンプ 3KL		29,000 円
調整器		12,000 円
分配器 2股		3,000 円
エアストーン 30cm		8,000 円
		52,000 円
<酸素充填費用>		
	3,000 円/本×2回=	6,000 円

図2 酸素ポンプ使用経費の積算

結 果

1 陸上水槽での酸素供給試験

10%蓄養時のDOは、24℃時の酸素区では測定上限の

20mg/Lを常に超過していたのに対し、対照区では5mg/L前後で推移した。27℃時の酸素区では6時間後までD0が徐々に低下して5.6mg/Lとなったため、酸素供給量1.0L/分に増加した。対照区では試験中3mg/L前後で推移した。(図3, 図4)

5%蓄養時でのD0は、酸素区では24℃, 27℃時のいずれの場合も、常に測定上限である20mg/Lを超過しており、対照区も5mg/L以上で推移した。(図5, 6)

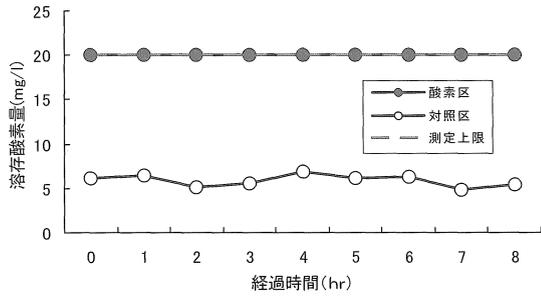


図3 10%密度蓄養時の溶存酸素量 (24℃)

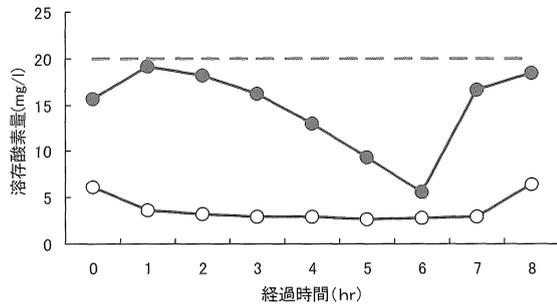


図4 10%密度蓄養時の溶存酸素量 (27℃)

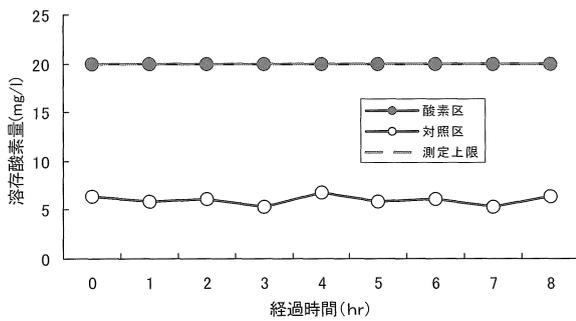


図5 5%密度蓄養時の溶存酸素量 (24℃)

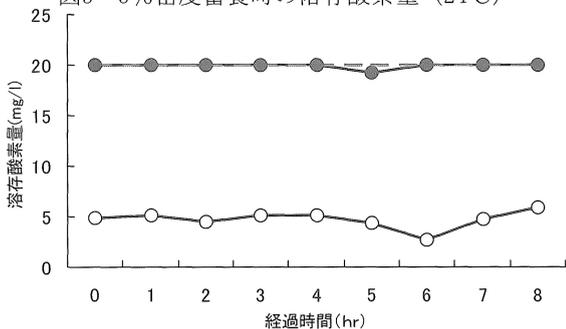


図6 5%密度蓄養時の溶存酸素量 (27℃)

(1) 呼吸頻度比較試験

10%止水蓄養時の呼吸頻度は、24℃時で酸素区62.4±8.3回/分に対して、空気区では102.8±3.7回/分と、酸素区の方が61%と少ない結果になった。(図7)

27℃時の試験でも、酸素区85.3±13.2回/分に対して、空気区121.6±13.2と酸素区の方が70%と少ない結果になった。(図8)

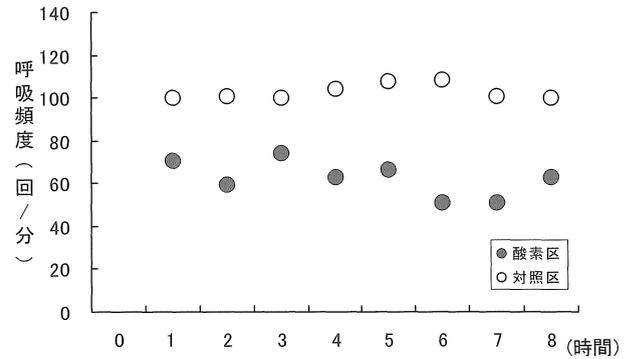


図7 10%密度止水蓄養時の平均呼吸頻度 (24℃)

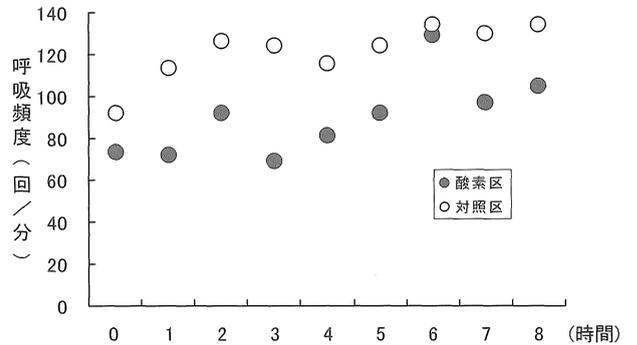


図8 10%密度止水蓄養時の平均呼吸頻度 (27℃)

(2) 空中露出による生残試験

空気区のマダイは空中露出後、平均11分で呼吸が停止したのに対して、酸素区は21分を要した。酸素を供給することで約2倍の活力向上効果が得られた。(表5)

表5 空中露出による生残試験

呼吸停止時間	酸素区	対照区
NO.1	17	4
NO.2	18	9
NO.3	29	21
平均	21	11

(単位:分)

(3) 死後完全硬直時間比較試験

10%密度時の完全硬直時間は、24℃時で空気区の22時間に対して酸素区30時間と8時間の遅延効果がみられ、27℃時でも空気区の16時間に対して酸素区20時間と4時間の遅延効果がみられた。

5%密度時24℃時では、空気区の22時間対して酸素区2

6時間にと4時間の遅延効果がみられ、27℃時では空気区の8時間に対して酸素区24時間と16時間の遅延効果がみられた。全ての試験設定において、酸素供給により完全硬直時間が遅延されるという結果になった。(表6)

表6 各蓄養条件での平均完全硬直時間

蓄養密度	27℃		24℃	
	酸素区	対照区	酸素区	対照区
10%	20	16	30	22
5%	24	8	26	22

( 単位：時間 )

(4) 蓄養中における生残率比較試験

27℃, 10%密度時の止水蓄養試験中、酸素区では1尾も斃死がみられなかったのに対し、空気区では3, 4, 7時間目に1尾ずつ斃死した。供試魚数が5尾ずつであったため、空気区での生残率は40%という結果になった。(図9)

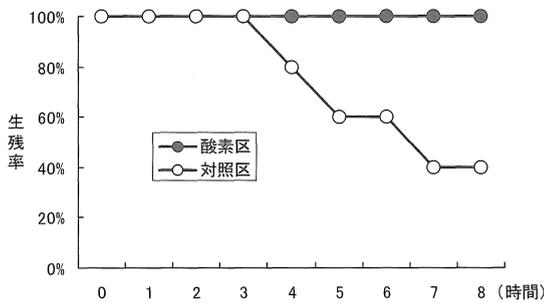


図9 止水蓄養試験中の生残率 (10%密度, 27℃)

2 操業漁船での酸素供給試験 (操業日誌調査)

(1) 操業中の斃死率の実態調査

操業日誌を集計し、各船の月別、銘柄別での収容数と帰港時の斃死数から斃死率を求めた。全体的には6~9月の斃死率が高かったが、単価の高い大・中銘柄は特に丁寧に扱うため5~6月の斃死率は比較的低かった。水温の高い7~8月は中・大銘柄でも20~30%と高い斃死率を示した。(図10)

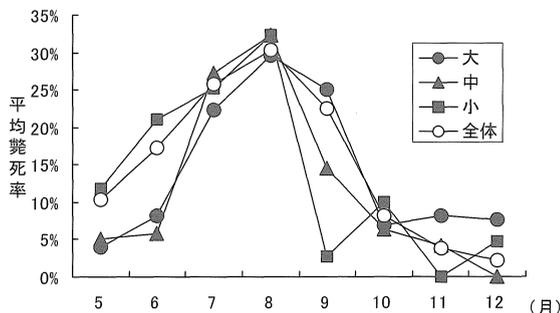


図10 1そうごち網漁船の帰港時におけるマダイ斃死率

高水温期である7月21日での帰港時船槽内の水温は3隻とも21~24℃と漁港内の29℃と比較して5~8℃冷却していた。漁獲物の収容数は様々であったが、DO が4mg/L以下になっている船槽が多くみられた。(表7)

表7 帰港時の船槽内の水質 (7月21日)

船名	船槽番号	水温 (℃)	溶存酸素量 (mg/L)
漁港内		29	5.2
A 船	①	24	3.9
	②	24	4.7
B 船	①	24	4.1
	②	23	3.5
C 船	①	21	5.5
	②	22	3.9

(2) 操業中の斃死率比較試験

8月の酸素試験船の斃死率は各銘柄とも10%以内だったが、対照船では各銘柄とも約30%と高い結果となった。9月では試験船の斃死率が8月よりやや低かったが、対照船では小銘柄での斃死率が減少したのに対して、中・大銘柄は比較的高い値のままとなった。単価の高い大・中銘柄の斃死を抑制する意味で、酸素供給の効果は9月においても高いものと考えられた。(図11, 図12)

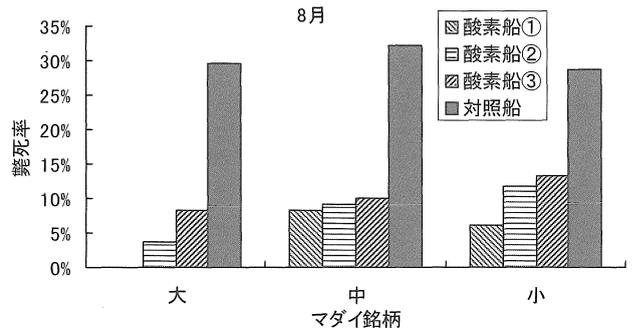


図11 酸素試験標本船における銘柄別斃死率 (8月)

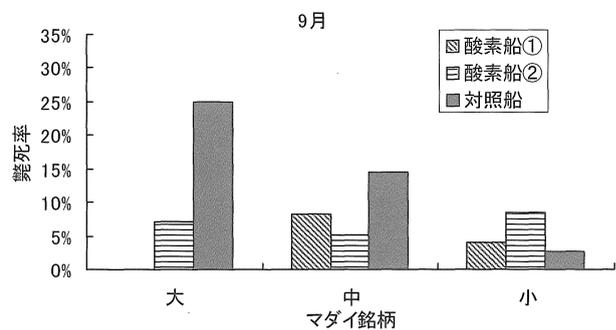


図12 酸素試験標本船における銘柄別斃死率 (9月)

## 考 察

陸上水槽での試験では、特に呼吸頻度試験において酸素供給による効果が顕著にみられた。純酸素を供給すると、微量な通気で海水中の DO は過飽和状態（27℃で7.87mg/l が飽和状態）となる。今回、呼吸頻度として計測した鰓蓋の開閉数は純酸素供給によりエアレーション区と比べ60～70%に減少し、その開閉幅も小さくなった。漁獲直後、高密度で船槽に収容するとマダイは極度の興奮状態になるため、酸素要求量は通常より高くなる<sup>2)</sup>。特に高水温期はマダイの酸素要求量が高くなる<sup>3)4)</sup>うえに、海水中に酸素が溶け込みにくくなることも影響して、通常の空気によるエアレーションだけでは貧酸素状態になりやすい。そのため純酸素を供給することで、より安静状態になるが、このことは今回、操業した漁業者も感じたとのことである。安静状態になれば、二酸化炭素やアンモニア等の代謝量も減少する<sup>5)</sup>ため、蓄養海水の水質悪化も抑制できる効果もある。

また、高鮮度出荷のためには、安静状態で蓄養することが重要であり、関サバ等が漁獲後、1日程度生簀で静養してから活けしめ出荷することで高鮮度出荷している<sup>6)</sup>ことからわかる。今回、酸素区で活けしめ後の死後硬直が遅延され鮮度保持効果が高まったことも、蓄養時により安静状態にあったため、筋収縮のエネルギー物質である ATP の分解が進んでおらず、死後、その消失までの時間が長くなったものと考えられる。つまり ATP の消失とともに旨味成分である IMP（イノシン酸）が最大になる時間がより長く保てるということである。

次に、今回の主目的である活魚率の向上効果については、陸上水槽試験で、10%重量密度、27℃8時間止水条件下で、酸素区の生残率100%に対して空気区40%と差がみられたが、水槽試験で生残試験を様々な条件下で行うには、均一サイズの供試魚を活魚でそろえることや予算面等の関係から、尾数が限られてしまう。そこで、実際に操業する1そうごち網漁船に酸素ポンベを使用してもらい、高水温期の2月間の操業日毎の斃死率を日誌から求めた。それを集計すると対照船での斃死率が30%に対して、試験船では3隻とも10%以下となり酸素供給の効果がみられた。

次に、コスト面では、今回、酸素ポンベの設置費用が52,000円となり、ランニングコストは簡便な流量調整器による節約効果で2ヶ月間で2本分の酸素充填量6,000円となった。

そこで、タイ1そうごち網漁業者の夏期3ヶ月間における酸素ポンベ使用による投資効果を試算した。小ダイ鉞

柄以上のマダイ平均漁獲金額558千円に、斃死率30%を乗じると167千円がメマダイ分の金額となる。それに活マダイとの平均単価比2.2倍を乗じると368千円となり、その差201千円が増収となる。それによりポンベ耐用年数を5年で投資効果を試算すると10.4となる。これは夏期3ヶ月間だけの試算であるが、特に漁獲量が多い5、6月や、その他の月においても1網あたり大中マダイが100尾以上とれる日があること等から考えると漁期（5～12月）を通して活用するとさらに効果的である。

これまで酸素ポンベが普及しにくかった理由として、酸素会社での主流が7KL（60kg）の大型ポンベであったこと、酸素の残圧によりその流量が変化するため、その調節が難しく、無駄に酸素を使ってしまうこと等がある。

今回は、軽量の3KL（25kg）の小型ポンベを取り寄せたこと、簡単に流量を一定にできるダイヤル式調節器を使用したことで、普及の糸口をつかめたものと考えられる。また、その調節器の取り付けはグリップを手で回すだけでレンチ等が不要な簡便なものであり、その調節器により酸素流量の微調整が可能となったことも、漁業者に普及しやすいポイントとなった。

今回、試験船の漁業者からも好感触が得られており、今後も普及に努めていきたい。操作の簡便性や比較的投資しやすい金額であることを直接、知ってもらえばその普及もすすんでいくと考えている。

## 要 約

- 1) 水槽内でマダイを純酸素供給の有無別、5%と10%の重量密度別、また海水温27℃と24℃の設定で、8時間止水条件下での蓄養試験を行った。
- 2) 蓄養試験中の呼吸頻度は、酸素区が24℃時で空気区の61%、27℃時では71%と少なくなる結果となり、純酸素の供給でより安静な状態になるものと考えられた。
- 3) 蓄養後の空中露出生残試験では、酸素区での斃死に至るまでの時間が約2倍長かったことから、活力が向上されているものと考えられた。
- 4) 今回試験した全ての重量密度、水温設定において、純酸素供給により平均完全硬直時間が遅延され、蓄養中の活力が向上しているものと考えられた。また、より高鮮度出荷にもつながる結果となった。
- 5) 27℃、10%密度での蓄養試験中の生残率は、酸素区で100%、空気区で40%と、純酸素供給による活魚率の向上が認められた。

- 6) 実際に1そうごち網漁船に酸素ポンペを装着し、帰港時におけるマダイ銘柄別斃死率の記載を依頼した。
- 7) 対照船の月別斃死率は7~9月に20~30%と高い傾向にあった。漁獲量の多い5~6月では、高価で丁寧に扱う大銘柄の斃死率は5~6%であったが、小銘柄では10~20%と比較的高い傾向にあった。
- 8) 8~9月の酸素試験船の斃死率は各銘柄とも10%以内だったが、対照船では8月は各銘柄とも約30%と高く、9月でも大銘柄で25%と高い値となった。
- 9) 夏期3ヶ月間使用した場合、初期投資52千円、酸素充填費9千円/3月、酸素ポンペの耐用年数を5年として投資効果を試算すると10.4となった。漁期を通じて活用することで、さらに投資効果があがるものと考えられた。

## 文 献

- 1) 尾藤方通・山田金次郎・三雲泰子・天野慶之：魚の死後硬直に関する研究 I. 東海水研報109号89-96 (1976)
- 2) 板沢靖夫：呼吸。「魚類生理学概論」(田村保編), 恒星社厚生閣, 1-33(1991)
- 3) 板沢靖夫：温度。「魚類生理学概論」(田村保編), 恒星社厚生閣, 63-83(1991)
- 4) 光永靖・坂本亘・荒井修亮・笠井亮秀：野外におけるマダイの酸素消費量の水温を指標とした見積もり。日水誌:65(1), 48-54(1999)
- 5) 小栗幹朗：排泄・浸透圧調節。「魚類生理学概論」(田村保編), 恒星社厚生閣, 1-33(1991)
- 6) 豊原治彦：「関サバ」の美味しさの科学, アクアネット, 7, 25-29 (2000)