

打瀬網

養殖魚の肉質

榎 本 六 良(長崎大学水産学部)

1. はじめに

養殖マダイは近年養殖技術の目覚ましい発展に伴って生産量が著しく増大し、我々が食べているマダイのほとんどが養殖物であると言っても過言でないほど普及し、市場で確たる地位を得るまでに到っている。また養殖マダイは計画生産であるため季節を問わず需要量を供給することが出来、天然マダイの漁獲高が激減している現状において、その果す役割は非常に高く評価される。しかし、市場には有余るほど多種多様な食品が出まわり、選択に迷うほど豊かになった現在、消費者の味覚は作られた味から持ち味を好むといういわゆる本物嗜好へと変遷している。養殖マダイにおいてもその例にもれず、天然マダイとの比較で様々な欠点が指摘され、養殖マダイは天然マダイとは異なる魚種の味覚と思ってほしいとか、さらにはマダイもどきと酷評する者さえいる。

確かに養殖マダイの肉質は即殺直後から天然マダイのそれに比べて軟弱であり、殊に死後の軟弱化の進行が著しく速く、テクスチャー面で著しく劣っている。この欠点を補うため、活魚輸送や魚屋に活魚水槽の設置などを余儀無くされ、流通への努力がなされているが、これらは根本的な解決策でないことは言うまでもない。しかし、苦肉の策であったはずの活魚流通がグルメブームの時流に乗り、消費者に好評で受け入れられていることは養殖業者にとって救いである。また養殖マダイは食味の点で脂が乗り過ぎるとの欠点が指摘されており、肥満マダイからスリムなマダイの養殖技術の開発が望まれている。この解決策として、出荷時の餌止めや餌料の栄養素組成あるいは体蓄積脂肪を減少させる薬剤などの研究が進められているが、魚類の栄養生理学的面での

アプローチはほとんど行われていない。その他にも養殖マダイは体色や姿などの外観上の欠点が指摘されているが、これらは多くの先人達の研究によって既に解決された感がある。

著者らはこれら養殖マダイがもつ種々の欠点を解決するため、養殖マダイが潮流の極めておだやかな湾内の狭い網生けす内で密集飼育されている現状に着目し、運動不足がそれらの原因ではないかと考え、運動飼育という全く新しい養殖技術の開発を行っている。

専門分野の異なった当水産栄養学研究室(橘勝康助教授、土居達也、宮田克也大学院生)と西日本流体力技研・ジャパンアクアテック社の工学研究者(小倉理一)並びに水産生物関係の研究者(松清恵一)らが一体となってプロジェクトチームを組み、産学協同で研究を進めている。これまでに得られた知見を紹介する。

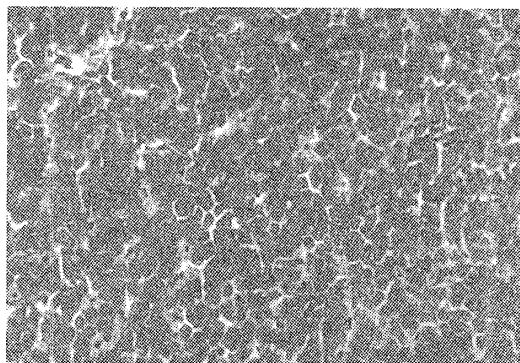
2. 養殖マダイと天然マダイの体蓄積脂肪量

養殖マダイと天然マダイの体蓄積脂肪量を同時期のものと比較すると、体総脂肪量(表1)、肝臓脂肪量(表2)、普通筋脂肪量(表3)のいずれにおいても養殖マダイが著しく高い値を示している。開腹時の所見においても内臓部に多量の脂肪蓄積がみられ、肝臓は黄色をおびたものもあり水に浮ぶものさえある。魚を自らさばかない主婦が大多数であり、消費者がこの現状を知るすべもないのは養殖マダイの販売に幸いしていると言えよう。組織の顕微鏡像でみると、肝臓では(写真1)養殖マダイにH&E染色されない白く見える大小不同の脂肪滴が非常に多数認められるのに対して、天然マダイにはそれが極めて少ない。普通筋(白身)では(写真2)ズダンⅢで橙

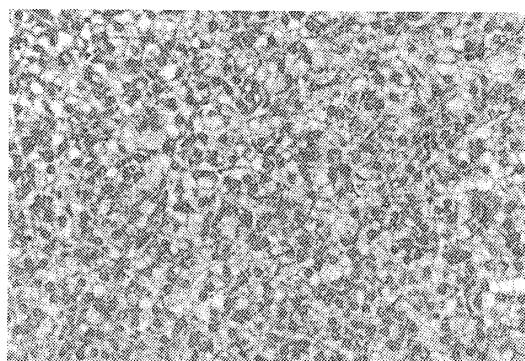
色に染色される脂肪が天然マダイにはほとんど認められないが養殖マダイには筋細胞間の結合織部位に多数みられる。これらの結果は養殖マダイに脂肪が乗り過ぎると言われることをよく裏付けている。

表1 天然マダイと養殖マダイの体総脂肪量の比較(長崎4月中旬)

	No	体総脂肪量 (g/100g)
天然マダイ	1	5. 3 9
	2	5. 6 0
	3	5. 3 9
	4	4. 5 7
	5	3. 9 8
	平均値	4. 9 9
養殖マダイ	1	8. 7 4
	2	9. 4 7
	3	9. 6 7
	4	8. 1 9
	5	8. 8 9
	平均値	8. 8 9



天然マダイ

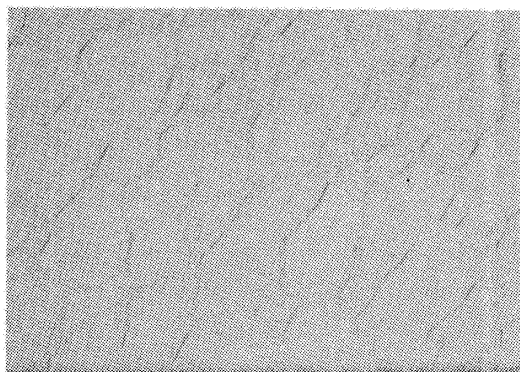


養殖マダイ

写真1 天然マダイと養殖マダイの肝臓断面(H&E染色)

表2 天然マダイと養殖マダイの肝臓脂肪量の比較

	No	肝臓脂肪量 (g/100g)
天然マダイ	1	3. 6 6
	2	4. 1 0
	3	4. 1 8
	平均値	3. 9 8
養殖マダイ	1	11. 4 4
	2	5. 8 5
	3	15. 0 4
	4	7. 0 9
	5	5. 0 0
	平均値	8. 8 8



天然マダイ



養殖マダイ

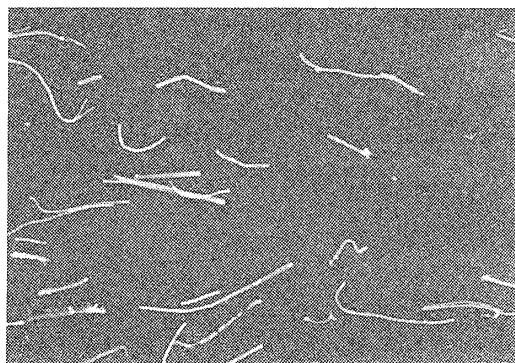
写真2 天然マダイと養殖マダイの背普通筋部横断面(ズダン皿染色)

表3 天然マダイと養殖の背部普通筋脂肪量の比較

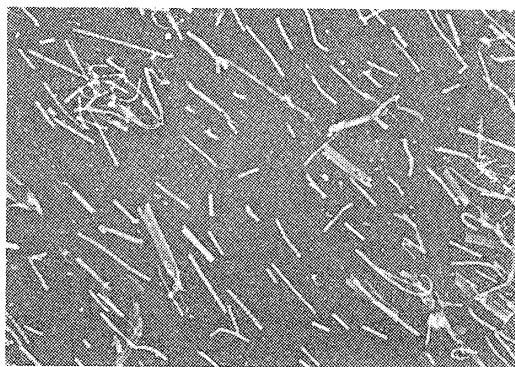
	No	背部普通筋脂肪量 (g/100g)
天然マダイ	1	0. 8 5
	2	0. 9 4
	3	0. 9 8
	平均値	0. 9 2
養殖マダイ	1	1. 4 2
	2	1. 2 1
	3	1. 0 5
	4	1. 8 9
	5	1. 1 5
	平均値	1. 3 4

3. 養殖マダイと天然マダイの肉質の軟弱度

筋肉は筋細胞からなっており、筋細胞の中には非常に多くの筋原繊維が存在している。この筋原繊維はサルコメアが多数一列につながって構成されている。肉質の軟弱度は、普通筋の一部を取り、一定強度の物理的条件下でホモゲナイズし、筋細胞中の筋原繊維をばらばらにほぐすと同時に筋原繊維を切り、



天然マダイ



養殖マダイ

写真3 天然マダイと養殖マダイノ即殺直後の筋原繊維

個々の筋原繊維のサルコメア数を顕鏡して計数し、筋原繊維の切れやすさで評価している¹⁾。写真3は天然マダイと養殖マダイの即殺直後筋肉の切れやすさを顕鏡したものである。養殖マダイでは各筋原繊維のサルコメア数が少なく短いのに対して、天然マダイのそれはサルコメア数が多く長いのがみられる。養殖マダイの筋原繊維は即殺直後から切れやすいのがうかがわれる。

魚を即殺後氷蔵すると、その筋原繊維は経日的に切れやすくなっていくが、その様相を筋原繊維100本の各サルコメア数を計数し、サルコメア4個以下の筋原繊維の百分率($F_{1-4}/\Sigma \times 100$)を指標としてみると図1のようである。養殖マダイも天然マダイもいずれも氷蔵期間の延長に伴い肉質が軟弱になっていくが、その進行速度は著明に養殖マダイが速く、氷蔵数日間にその差異が著しい点が注目される²⁾。この結果ははじめに述べた養殖マダイの肉質の軟弱化が速いという経験的所見をよく裏付けている。

4. 遊泳水槽

これまで、養殖マダイの問題点について述べたが、運動飼育によってこれらがどの様に改善されるか非常に興味もたれる。ところで、研究の遂行に必須な魚を遊泳させる水槽の製作は、当研究室で自製の陸上競技場のトラックを模擬した開放型水槽で、ポンプで水流を起こす簡単な装置からはじまり、様々な改良が加えられた。最終的には西日本流体技研・ジャパンアクアテック社で図2と3に示す装置が製作された。この装置を説明すると、プロペラの回転によって生じた水流は整流装置で均一な流速になって遊泳槽に送られる。遊泳槽内の魚はこの流れに向かっ

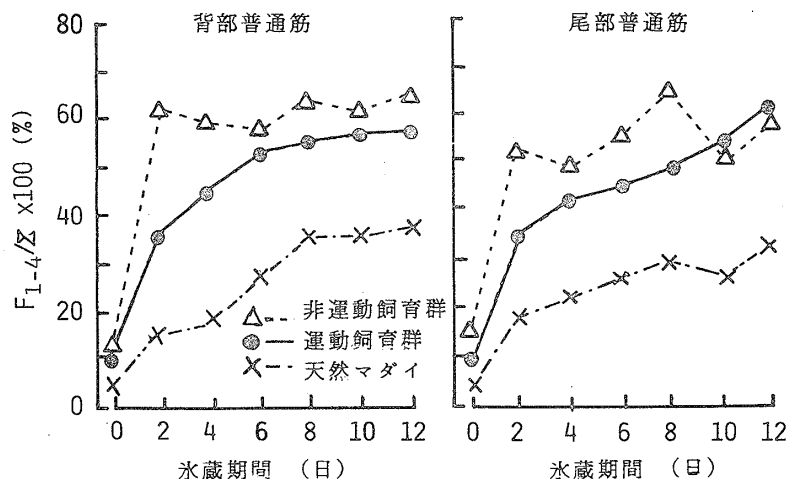


図1 天然マダイと養殖マダイの肉質軟弱度の比較

て流水と同速度で遊泳するため、遊泳槽内にとどまる。従って遊泳状態は槽上部と両側面にもうけたアクリル板を通して観察することができる。魚は流速の遅い場所に集まる習性があるため、遊泳槽内の流速は均一になる様に製作されている。水の浄化はフィルターろ過と砂ろ過を併用した方法で行われ、ろ過水は水温調節装置を通過し、あるいは補助タンク内でエアレーションされて遊泳槽内にもどされる。流水の速度と時間、即ち遊泳速度と時間、流れを止めた休息时间等はコンピュータで自動制御される。

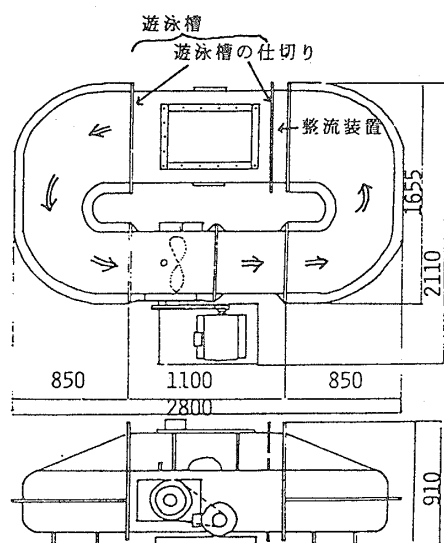


図2 回流水槽断面図

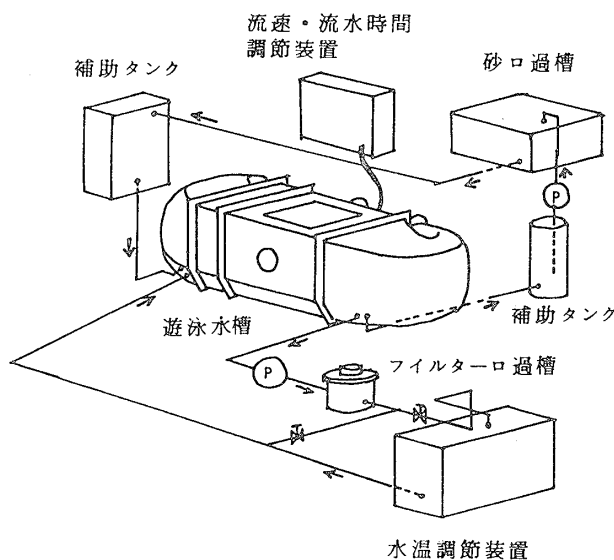


図3 魚類遊泳装置システム

5. 遊泳速度とエネルギー産生物質

魚の泳ぐ速さは魚種によって、また同一魚種でも

魚体の大きさによって著しく異なることは周知である。即ち魚は泳ぐ速さが同じであっても魚種や体長 (Body length=BL) の大小によって生体負担度が異なるのである。この生体負担度を評価する泳ぐ速さは通常1秒間(S)に体長(BL)の何倍泳ぐかの遊泳速度(BL/S)で表している。遊泳速度2~4BL/Sの範囲は巡航速度と言われ、長時間連続して遊泳できる速度である。瞬間的には10BL/Sを越す速い速度で泳ぐことができ突進速度と言われる³⁾。

遊泳時のエネルギー消費量はこの遊泳速度が速くなるにつれて指数関数的に増大し、生体負担度も増大することが知られている⁴⁻¹⁰⁾。養殖マダイにおける遊泳速度(生体負担度)とエネルギー産生物質との関係は図4に示すようである¹¹⁾。この結果は各遊泳速度で4時間連続して遊泳させた直後の血漿中の遊離脂肪酸(Free fatty acid=FFA)と血糖レベルである。これらの物質はいずれも生体内で燃焼されエネルギーを産生しているが、その燃焼割合が増

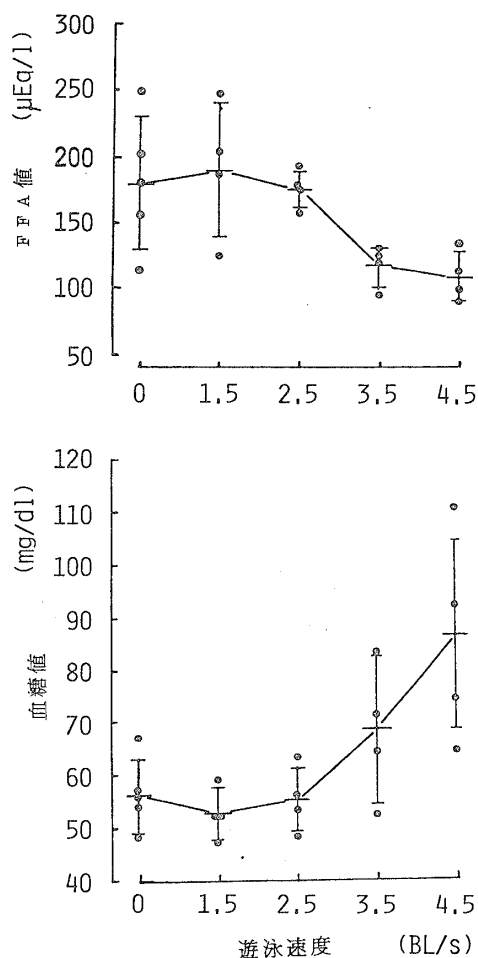


図4 養殖マダイの遊泳速度と血漿水遊離脂肪酸値及び血糖値との関係(4時間遊泳直後の値)

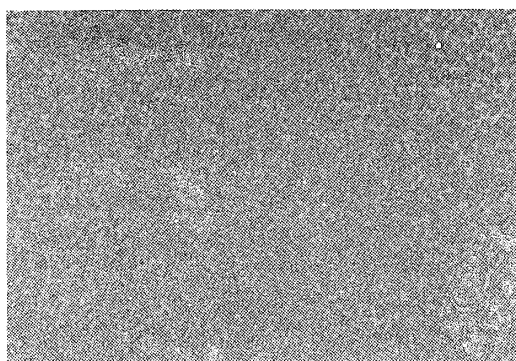
大すると血漿中のレベルは高くなるとされている。この様にしてみると、0~2.5BL/Sの比較のおだやかな遊泳速度範囲では、遊離脂肪酸が高いレベルを維持しているのに対して、血糖は低く、脂肪を主に燃焼してエネルギーを産生し遊泳している。これを越す遊泳速度では、遊離脂肪酸レベルが急激に低下し、逆に血糖は遊泳速度が速くなるのに伴って高まり、糖質燃焼主体に変化している。即ち、遊泳速度によって遊泳エネルギーに使う物質が異なるのである。

養殖マダイが脂が乗り過ぎる点は先に述べたが、運動飼育によって体蓄積脂肪を選択的に減少させたり、脂肪の体蓄積を少なくするためには、エネルギー消費量が多く脂肪燃焼にかたよった2.5BL/S付近の遊泳速度が最も有効であると考えられる。しかし、養殖マダイは天然マダイに比べて極めて泳ぎが下手であり、同じ遊泳速度であっても生体負担度が大きいことが考えられ、長期間の運動飼育で泳ぎが上達した時点では最も有効な遊泳速度は速い方に移行することが推察される。

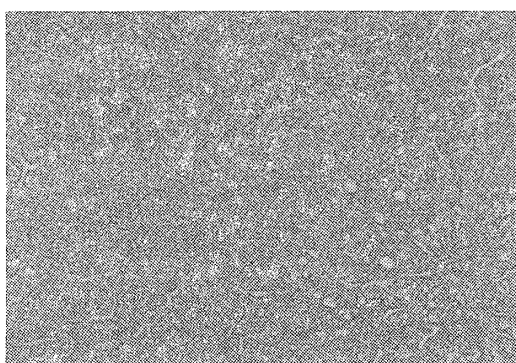
6. 運動飼育と体脂肪量

養殖マダイを遊泳水槽内に入れ、2.5BL/Sの遊泳速度で4時間連続して遊泳させた後、30分間流れを止めて休息させ、これを3回繰り返して毎日12時間遊泳運動させて30日間運動飼育した。この運動飼育群と終日静水中で飼育した非運動飼育群の体脂肪量を比較すると、肝臓の脂肪量では写真4にみられるように、非運動飼育群には全飼育期間を通じて大小不同の脂肪滴が多数認められたが、運動飼育群においては運動飼育1週間目より脂肪滴の明らかな減少がうかがわれ、2週間目、4週間目と運動飼育期間の延長に呼応して脂肪滴が低減し、4週間目ではほぼ天然マダイに近い組織形態に変化している。また運動飼育群の脂肪滴の経過的減少は肝臓臓縁部から始まり、中心性静脈付近では遅れる傾向が認められる。これらの結果はいずれも運動飼育群が肝臓に蓄積していた脂肪を血中に放出し、エネルギー産生に使っていることを示唆しており、運動飼育が肝臓の脂肪低減に極めて有効であることを示している。

普通筋肉(白身)の脂肪量では定量値及び組織の顕微鏡像(写真5)のいずれにおいても運動飼育による著明な減少傾向は認められなかった。これは肝臓の脂肪がエネルギー産生に動員されやすいのに対して、筋細胞間の結合組織部位の脂肪は動員されにくい

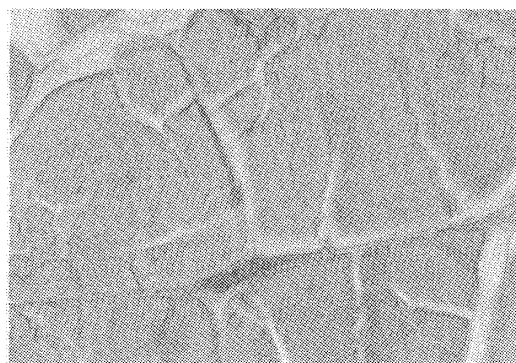


非運動飼育群

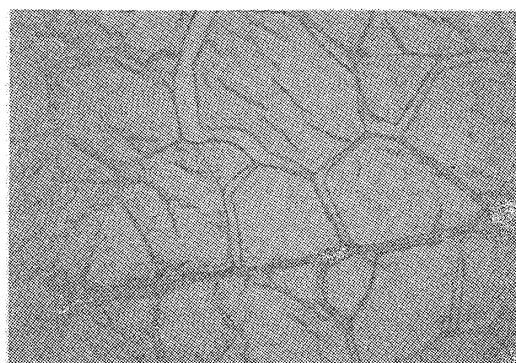


運動飼育群

写真4 非運動飼育群と運動飼育群の肝臓断面(4週間飼育, H&E染色)



非運動飼育群



運動飼育群

写真5 非運動飼育群と運動飼育群の背部普通筋横断面(4週間飼育ズダンIII染色)

ことによったと推察される。運動飼育期間をさらに延長すれば、普通筋中脂肪も低減するのではないかと考えられる。

7. 運動飼育と血漿中遊離脂肪酸

図5は運動飼育群を運動飼育終了後、一昼夜運動させないで静水中に入れ採血した結果である。運動飼育群は飼育0日目の対照群や非運動飼育群に比べて、血糖が若干低く、遊離脂肪酸が顕著に高くなっている。この結果を先の図4の結果と合わせ考えると、運動飼育群は遊泳運動している時はもとより、運動していない時も常時エネルギー代謝が脂肪燃焼に強く傾いていると考察される。このことはまた運動飼育が体脂肪の減少に極めて有効であることを示唆している。

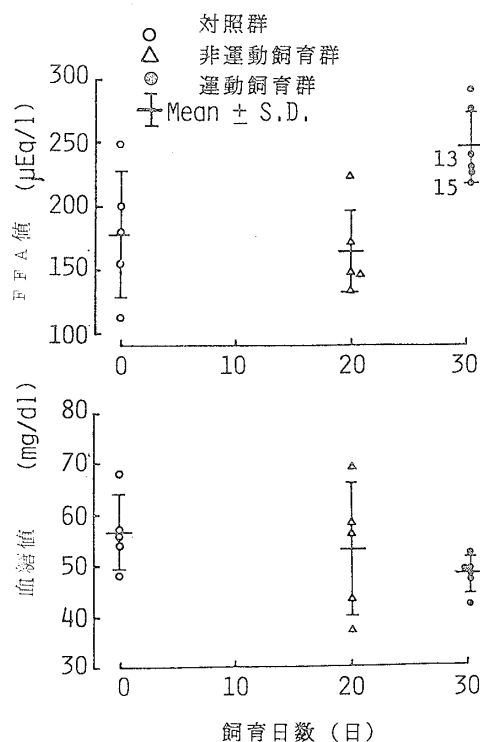


図5 養殖マダイの対照群非運動飼育群と運動飼育群の血漿中遊離脂肪酸値の比較

8. 運動飼育と肥満度及び体密度

運動飼育前後の同一魚体における肥満度((体重/体長³)×100)と体密度(体重/体容積)の変化は図6に示している。

非運動飼育群では、ほとんどの魚体に肥満度の上昇と体密度の下降がみられ、飼育期間中の体重増加と体脂肪の増加がうかがわれる。

一方、運動飼育群では、非運動飼育群と摂餌量は同じであったが、逆に肥満度の下降と体密度の上昇が認められ、運動による体脂肪の選択的な減少がうかがわれる。詳細にみると、※印の魚体では肥満度が上昇しているにもかかわらず、体密度にも著しい上昇が認められる。この魚体は摂餌量が最も多かったとの記録があり、肥満度の上昇は摂餌エネルギー量が消費エネルギー量を上回って体重が増加したためであるが、その体重増加は非運動飼育群のそれとは逆に体密度を著しく上昇させている。これらの結果は、運動飼育による体重減少が体蓄積脂肪の選択的な低減を示唆しており、これまでの結果とよく一致している。さらには、運動飼育においては過剰摂餌による若干の体重増加があっても脂肪蓄積をうながすことなく筋肉を増加させると考えられる。

9. 運動飼育と肉質の軟弱度

運動飼育群の氷藏中の肉質軟弱化は、30日間飼育後の筋原繊維の切れやすさでみると(図1に併記)、運動飼育すると即殺直後から非運動飼育群に比べて

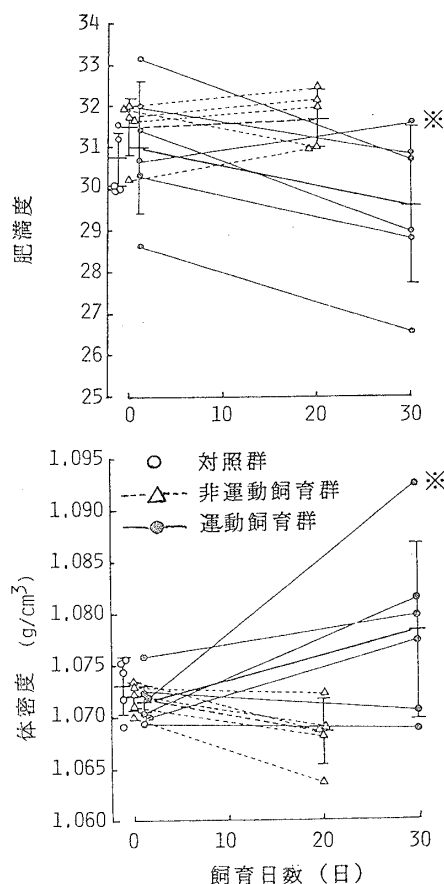


図6 養殖マダイの非運動飼育群と運動飼育群の肥満度及び体密度の変化(同一魚体の変化)

明らかに筋原繊維が切れにくくなり、肉質が硬くなっている。また氷蔵日数の経過に伴う軟弱化の進行速度も著しく遅くなっている。しかし、残念なことに、30日間程度の運動飼育では天然マダイのレベルにまで到っていない。かなり長期間の運動飼育が必要と考えられる。

またおもしろいことに、遊泳に使うエネルギーの主体が糖質となる速い遊泳速度での運動飼育ではこの様な効果が認められなかった。2.5BL/S付近の遅い遊泳速度での運動飼育は、既に述べた如く体脂肪を選択的に減少させるばかりでなく、肉質も同時に硬くする効果があり、養殖マダイの肉質改善に寄与すると考えられる。

10. 試 食

養殖マダイの運動飼育群(30日間飼育)と非運動飼育群及び天然マダイの刺身の試食を行った。刺身は専門家に依頼して作ってもらい、被験者は男4人と女6人の10人であった。即殺直後では被験者の100%が天然マダイの刺身を判別し、最も硬く美味であるとの評価を下した。運動飼育群と非運動飼育群を判別出来たのは80%で運動飼育群が若干硬いと評した。しかし、脂の乗りぐあいについては好みが人によって異なり、一定した評価が得られなかった。肉質の硬さの判別は氷蔵時間の経過に伴って明確となり、氷蔵1日後の魚体のそれでは被験者の全員が天然マダイ、運動飼育群、非運動飼育群の順位で硬いことを指摘した。これらの結果は前述した筋原繊維の切れやすさからみた結果と符節を一にしていた。

11. その他の所見

運動飼育すると、はからずも鰭や鱗の損傷が非常に速く回復し、姿が目に見えても美しくなる効果も認められた。これらは運動によって新陳代謝が盛んになったためではないかと考察される。ともあれ、魚価を高めることより非常に喜ばしい所見である。

また運動飼育するとストレスから摂餌量が減少するのではないかとこの危惧もあったが、むしろ食欲は旺盛であった。

本実験では、図2に示した狭い遊泳水槽内に多数の魚体を入れて運動飼育したが、遊泳中には各魚体が互いに適度な距離間隔の空間を占め、傷つけあ

こともなかった。この所見は現在狭い水槽内に多数の魚体を入れて輸送する技術に活用されている。

12. お わ り に

運動飼育という全く新しい養殖技術はここに示した知見をもとに既に色々な形で活用されているが、現状の養殖現場に、あるいは現状の網生けすから離れて潮流の利用や火力発電所の温排水の利用などなどの様に導入したらよいかについては、魚価と経費の問題がからみ、皆様のお知恵を拝借したいところです。

また養殖業者にあっては終始肥満マダイの生産に努力を傾けることなく、投餌量を現状よりも少なくして餌料経費が安くてすむスリムな養殖マダイの生産へと発想を転換することを切望している。この点については現在データーを集積し検討中であり、本年10月の日本水産学会でその指針を提言する予定である。

終りに、専門分野の異なる小生にこの機会を与えていただきました大阪大学工学部の斎藤公男先生をはじめ関西造船協会の編集委員会の方々に深謝致します。

参 考 文 献

- 1) T.Tokiwa and H.Matsumiya:Bull.Japan. Soc.Sci.Fish.,35,1099-1109(1969).
- 2) 橘勝康, 土居達也, 槌本六良, 三嶋敏雄, 小倉理一, 松清清一, 保田正人:日水誌, 54,677-681(1988).
- 3) 千田哲資:海洋科学, 15,180-183(1983).
- 4) 磯野泰二, 中村四郎:水産研究誌, 24,163-168 (1929).
- 5) 田村正:水雑, 46,56-66(1940).
- 6) 高橋仁助:水雑, 51,7-24(1943).
- 7) 諸岡等:長崎水試論集, 3,53(1967).
- 8) 江草周三:魚雑, 7,49-56(1958).
- 9) J.R.Brett:J.Fish.Res.Bd.Canada,21,1183-1226(1964).
- 10) K.Tsukamoto and K.Chiba:Bull.Japan. Soc.Sci.Fish.,47,673(1981).
- 11) 槌本六良:養殖, 7,105-109(1987).