

バイオ・テレメトリー・システムによる
マダイの行動生態に関する研究

町 中 茂

Behavior of Red Sea Bream, *Pagrus major*, as
Detected by Tracking with Ultrasonic Dericeses

Shigeru MACHINAKA

石川県水産試験場研究報告 第3号 別刷

1980年3月

Reprinted from

Bulletion of the Ishikawa Prefectural Fisheries Experimental Station, No. 3

Noto Ishikawa Pref., Japan

March 1980

バイオ・テレメトリー・システムによる マダイの行動生態に関する研究

町 中 茂

Behavior of Red Sea Bream, *Pagrus major*, as Detected by Tracking with Ultrasonic Dericeses

Shigeru MACHINAKA

は し が き

200 カイリ水域の設定などに伴ない、沿岸漁業資源のみなおしが叫ばれているなかで、マダイ資源が注目され、近年その種苗生産技術の開発と共に、人工種苗の海中放流、幼稚魚の保育場造成、魚礁の設置など、マダイ資源の維持増大を図るための積極的な施策がおこなわれている。このような情勢のなかでマダイの行動生態を究明することは、資源の維持、増大、管理、漁具漁法の改善など具体的な問題点の基礎研究としてきわめて重要である。従来の標識放流では究明することのできなかった魚類の行動生態に関する情報を、直接的に、しかも継続して入手することができるバイオテレメトリーシステムを用いておこなった日本海での調査は、ブリについて町中・他(1977)、土井・他(1977)、上野山(1977)、柿元・他(1977)、ヒラメについて柿元・他(1978)の報告はあるが、マダイについては報告されていない。そこで1973~1975年にかけて、マダイを使って能登半島周辺海域について実施した結果について報告する。

本文に先だち、本調査を実施する機会を与えてくれた当場の富和一場長、また、調査の実施に際し終始ご指導・ご援助を賜った東海大学海洋学部の市原忠義教授に厚くお礼を申し上げるとともに、調査に協力をいただいた当場の内木幸次資源科長、粟森勢樹技師、白山丸・宮下民部船長、祿剛丸・谷保船長はじめ乗組員各位のご協力に対し心から謝意を表する。

調 査 方 法

調査海域は、能登半島の富山湾に面する宇出津沖から飯田湾、同半島北岸の嫁礁付近を中心に実施した。それぞれの試験については表1に示したとおりである。

供試魚は、試験1・2回目が増殖試験場で天然マダイを2カ年間蓄養したものを、また試験3回目のものは、能都町宇出津の定置網に入網した天然マダイを当场横の網生簀に3日間蓄養したものを、試験4回目は、試験海域の嫁礁漁場において当场試験船禄剛丸にて釣で漁獲したものを網生簀で4日間蓄養したものである。

マダイに装着したピンガーは光電製の空中重量約32g、水中重量約12gのもので、平均2秒間隔で120時間パルス送信をし、水深300mの水圧に耐える性能をもつものであった。システム全体はピンガーの他に受波器、受信機および記録器によって構成され、使用周波数は50KHzであった。このシステムの特徴は、パルス間隔の変調を通じて魚の遊泳層水温か水深のいずれかを受信記録できるものであるが、今回使用したピンガーは、試験1・2回目は1情報のみで垂直行動の記録は得られなかった。試験3・4回は水深ピンガーを使用し遊泳水深の情報をも得た。装着方法は、マダイの肛門後部にナイロンデグスで曳航されるよう装着した。ピンガー装着後は約1時間ほど船上の収容タンクに魚の安定を待って静かに海面に放し、追跡を開始した。追跡船は当场試験船の白山丸(119.40t)、同禄剛丸(32.40t)を使用した。また、追跡中の供試魚の位置確認については追跡船が供試魚の真上に近づくとき急降下を示すことや、受波機を360度、つまり全方向から音波がキャッチされることなどによって、その時の受信音から経験的に船の近くにいることを確認し、供試魚の位置とした。ただし位置の確認以外のときはできるだけ供試魚への刺激を避けるため追跡を供試魚より300～400m以上の距離の隔たりを保つよう注意した。

表1 調査時期別、場所別供試魚等の内容

| 試験回数 | 日 時 | 海 域 | 供 試 魚 | 備 考 |
|------|--|---|---|--|
| I | 自1973年11月 22日12時40分 至1973年11月 23日20時00分 | 飯田湾恋路沖東方1,400m 海深32m～ 小泊沖南東600m海深25m | ピンガー装着魚FL. 57cm タグガン標識魚FL. 25cm 10尾を同時放流 | 追跡時間31時間20分 追跡距離 16.41km 天然マダイを2カ年間 蓄養したものを使用 |
| II | 自1973年11月 26日12時35分 至1973年11月 27日04時30分 | 宇出津沖南東3,700m 海深134m～ 小泊沖南東7,600m 海深93m | ピンガー装着魚FL. 52cm タグガン標識魚FL. 25cm 11尾を同時放流 | 追跡時間15時間55分 追跡距離 32.77km 天然マダイを2カ年間 蓄養したものを使用 |
| III | 自1974年6月 12日12時45分 至1974年6月 13日19時00分 | 禄剛埼北西10,500m 海深100m 禄剛埼北東4,000m 海深40m | ピンガー装着魚FL. 37cm タグガン標識魚FL. 34～37.5 cm 7尾を同時放流 | 追跡時間30時間15分 追跡距離 22.24km 宇出津定置網に漁獲され たものを3日間蓄養後使用 |
| IV | 自1975年7月 15日11時43分 至1975年7月 16日10時57分 | 高屋港沖北16,800m (嫁礁上) 海深48m～30m | ピンガー装着魚FL. 45cm タグガン標識魚FL. 41cm 3尾を同時放流 | 追跡時間23時間14分 追跡距離1.20km 試験海域の嫁礁上で試験 船禄剛丸で漁獲したもの を4日間蓄養後使用 |

結 果

1. 追跡試験の経過

試験 I

1973年11月22日12時40分飯田湾の恋路沖東方1.4 km, 海深32mの地点にて尾又長57cmのマダイにピンガーを装着し, 他の10尾にタグガンによる普通標識を付け共に放流した. 移動状況は図1に示したとおり, 飯田湾を北方向に移動し, 18時20分には1カ統目の定置網の垣網を磯側に回避し, 19時45分には宝立沖南東2.6 km付近で東方に変針し22時45分頃に北東に向かい, 2カ統目の定置網の沖側を通過し, 02時00分には3カ統目の定置網に接近し, 垣網に沿って沿岸寄りに接岸し, 蛸島沿岸の海深5 mのところまで接近した. その後, やや沖出したものの再び接近し, 20時00分の追跡時間31時間20分のところで4カ統目の小泊定置網の垣網付近で移動しなくなった. その後8時間余り同地点で追跡を行なったが, ほとんど移動しなかったので追跡を中止した. その総移動距離は16.41 kmであった.

試験 II

1973年11月26日12時35分, 宇出津沖南3.7 km, 海深134 mの宇出津定置網の沖側の地点に尾又長52cmのマダイにピンガーを装着し, 他の11尾にタグガンによる普通標識を付けて共に放流した.

移動状況は図1に示したとおり, 宇出津定置網の沖側より2カ統目の小浦定置網の沖側を通過し, 小木地先の距岸1km付近まで接岸, その後陸岸に沿って移動し, 17時50分には白丸沖の距岸2,800 m付近に達し, その後赤崎沖の礁に沿って北東方向へ移動, 22時50分から23時45分には飯田湾の中央沖合に位置する宝立東南東方向10km付近にあるダラグリ礁の周辺に達し, 付近海域を旋回しながら04時30分にはサバグリ礁まで移動した. このところで時化となり追跡を断念した. この間に追跡した移動距離は32.77 kmで, 追跡時間は15時間55分であった.

試験 III

1974年6月12日12時45分, 能登半島緑剛埼北西10.5km, 海深100 mの地点に, 天然マダイ産卵親魚の尾又長37 cmのも

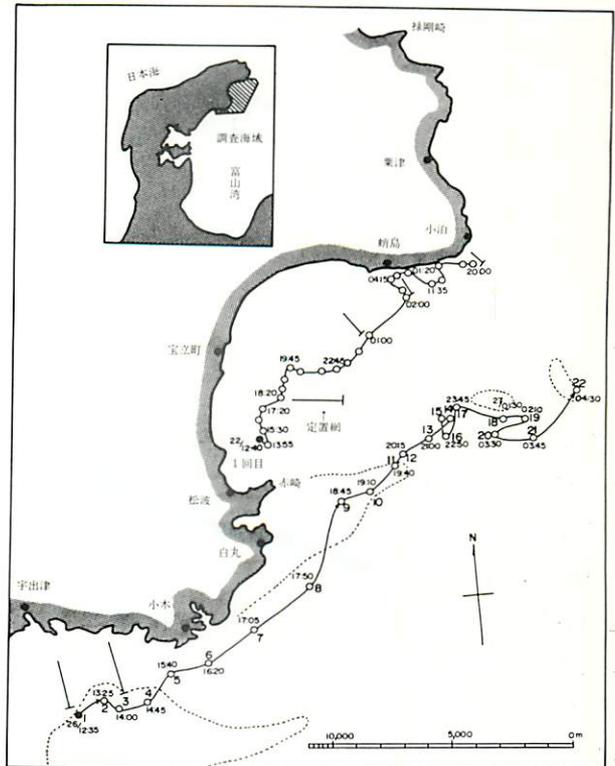


図1 試験 I・II 回目のマダイ水平移動状況

のに水深ピンガーを装着し、他に尾叉長34~37.5cmのもの7尾にタグガンによる普通標識を付けて共に放流した。

移動状況は図2に示した。それによると、マダイは放流直後急激に98mの海底に潜り、海底に沿ったまま北東に進路をとり始めた。そしてマダイ自身の位置を確かめるがごとく放流点から半円を描きながら行動し、15時からは南南東に進路を変えた。その後17時30分からはほぼ南東に進路をとり、等深線を直角に横切って21時頃まで浅瀬に向かって遊泳した。この頃になると水深も40m前後と浅くなり、底質も砂・礫から岩礁に変化し、この底質の変わりめの21時から21時20分に移動距離が今回最高の1.2 km (3.4 km/h) という行動を示した。底質が岩礁に変化してからは、遊泳状態もこれに沿って移動したと思えるジグザグ行動を示し、13日の06時から13時間“鞍埼出し”と呼ばれる瀬の付近で移動しなくなったため、13日19時に試験を打ち切った。総遊泳時間は30時間15分(このうち13時間は瀬に付く)、総遊泳距離は22.24 kmであった。また、放流点から試験終了点までの直線最端距離は10.6kmで、標識放流試験におけると同様再捕点と試験終了点とを考えた場合、総遊泳距離は約2倍であることがわかる。今回の試験で底質とマダイの水平移動についてみると、放流後の12時45分から20時頃までは砂、その後約1時間は礫、そして21時頃から試験終了の13日19時までは岩礁と変化していった。

試験Ⅳ

1975年7月15日11時43分に、能登半島高屋北沖16.8km、水深48mの地点で天然マダイ産卵後期の尾叉長45cmに水深ピンガーを装着、他に尾叉長41cm程度のもの3尾をタグガン標識し共に放流した。

試験海域は、能登半島の北岸に位置し大陸棚

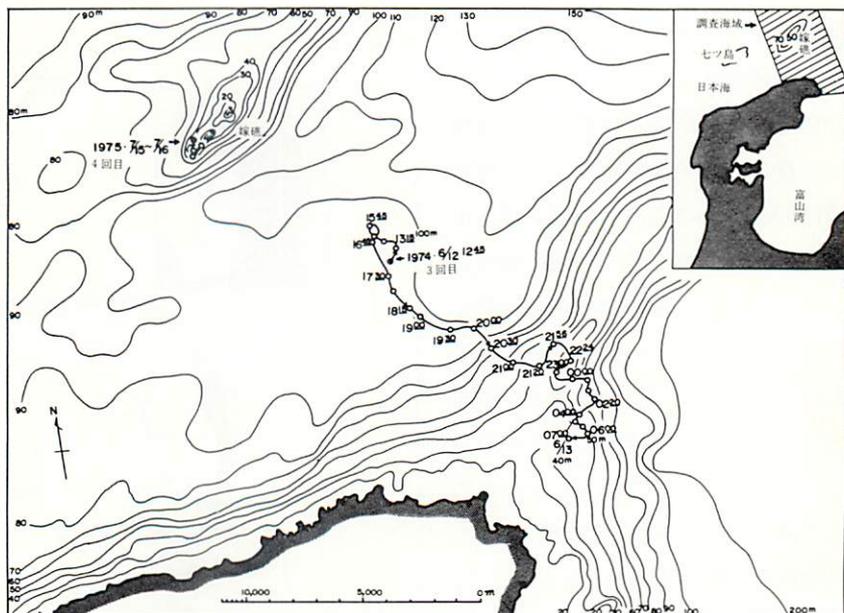


図2 試験Ⅲ・Ⅳ回目のマダイ水平移動状況

が沖合に拡がり、その陸棚上に天然礁が多く、特に放流場所として選んだ嫁礁は起伏の激しい岩礁地帯で複雑な海底地形を示しており、能登沖合におけるマダイの漁場である。今回、この場所で供試魚として使用したマダイは、嫁礁漁場で当场試験船禄剛丸が釣獲し、4日間蓄養したもので、産

卵後期魚であった。

移動状況は、図2に示したとおりで7月15日11時43分に放流し、16日10時57分までの23時間14分の総遊泳距離は1.2kmで、前3回の追跡距離に比べ今回が最も短かく、放流当初から完全な瀬つき状態となり、放流地点を中心に0.8kmの範囲内においての行動にとどまり、その後も変わった遊泳行動はみられなかったため追跡を中止した。この間の追跡中には04時から12時にかけてマダイの一本釣漁船（3～5トン級）が10数隻付近海域で操業していた。

2. 垂直行動

試験Ⅰ・Ⅱ回目に使用したピンガーは位置の情報のみで、水深情報を得ることのできない、いわゆる単純ピンガーであったため、垂直行動の情報は得られなかった。したがって垂直行動の結果については、試験Ⅲ・Ⅳ回目におこなった天然マダイの2列の結果である。

試験Ⅲ

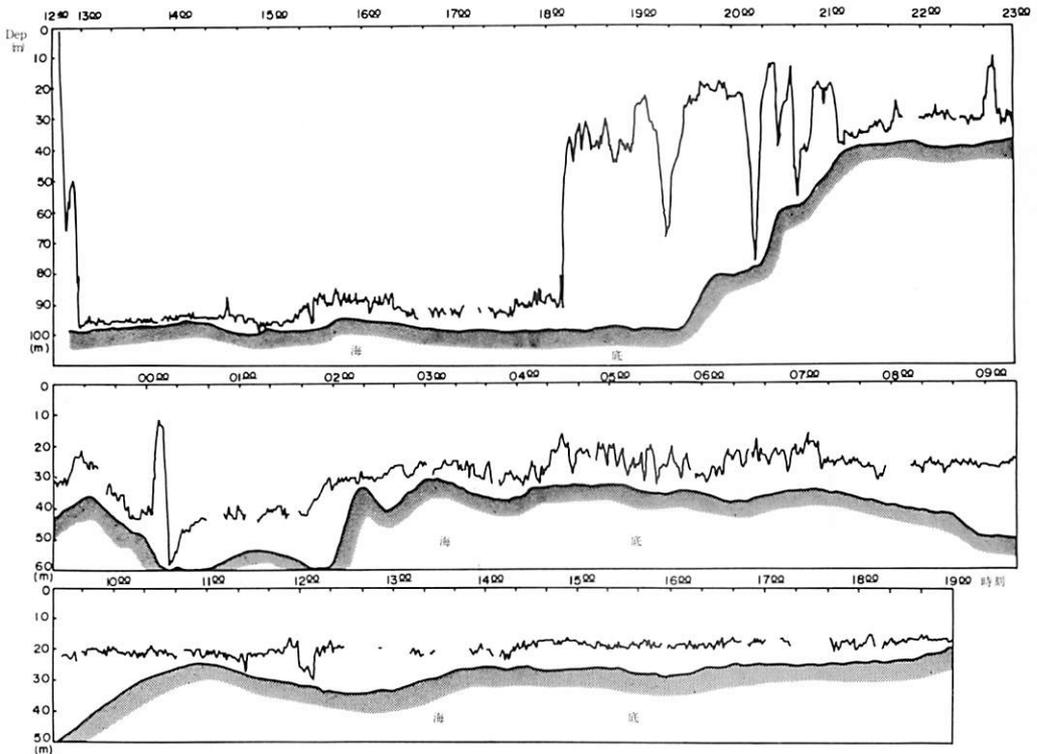


図3 時間経過に伴うマダイの遊泳水深の変化（1974・6/12-13）

時間経過に伴う遊泳水深の変化について図3に示した。それによると、放流直後は今まで実施してきたブリの行動でもみられたように、表面から65m層まで一気に急潜行し、その後いったん50m層まで浮上したものの再び潜行し、97m層のほぼ海底に近い層にまで達し同水深帯を海底沿いにわずかながら上下行動を18時10分頃までおこない大きな変化を示さなかったが、18時10分過ぎに90m

層付近から急上昇をし、水深30~40m層にまで浮上した。このときの海底と遊泳層との水深差は約40~50mであった。その後21時頃までの間に3回急激な潜行行動を示しているが、これ以外は海面から12~45m層間を遊泳していた。放流時から19時50分頃までの海底の底質は砂地帯であったが、19時50分以降礫に変わり水深は次第に浅く20時40分から13日の19時までは岩礁地帯となり、21時頃から海底水深が40~50mと変わり、遊泳層はその海底より10~15mの離底間隔を保ち、水深20~40m層を細かく上下しながら遊泳していた。

表2-1 放流直後および浮上後のマダイの遊泳水深の頻度分布

| 放流後 (6/12, 12:45~18:10) | | | | 浮上後 (6/12, 18:11~6/13, 05:59) | | | |
|-------------------------|-----|---------|--------|-------------------------------|-----|---------|--------|
| 水深 (m) | 頻度 | 百分率 (%) | 平均 (m) | 水深 (m) | 頻度 | 百分率 (%) | 平均 (m) |
| 11 - 15 | 1 | 0.33 | | 11 - 15 | 8 | 1.24 | |
| 16 - 20 | — | — | | 16 - 20 | 46 | 1.10 | |
| 21 - 25 | — | — | | 21 - 25 | 159 | 24.54 | |
| 26 - 30 | — | — | | 26 - 30 | 153 | 23.61 | |
| 31 - 35 | 1 | 0.33 | | 31 - 35 | 96 | 14.81 | |
| 36 - 40 | — | — | | 36 - 40 | 134 | 20.68 | |
| 41 - 45 | — | — | | 41 - 45 | 34 | 5.25 | |
| 46 - 50 | 1 | 0.33 | | 46 - 50 | 10 | 1.54 | |
| 51 - 55 | 1 | 0.33 | | 51 - 55 | 4 | 0.62 | |
| 56 - 60 | 2 | 0.67 | | 56 - 60 | 2 | 0.31 | |
| 61 - 65 | 2 | 0.67 | | 61 - 65 | 1 | 0.15 | |
| 66 - 70 | 3 | 1.01 | | 66 - 70 | 1 | 0.15 | |
| 71 - 75 | — | — | | | | | |
| 76 - 80 | — | — | | | | | |
| 81 - 85 | 2 | 0.67 | | | | | |
| 86 - 90 | 42 | 14.05 | | | | | |
| 91 - 95 | 203 | 67.90 | | | | | |
| 96 - 100 | 41 | 13.71 | | | | | |
| 計 | 299 | 100.00 | 91.73 | 計 | 648 | 100.00 | 29.90 |

以上今回の試験においてマダイは異なった3つの行動を示した。放流直後海底に沿った行動約5時間30分、その後急に30m前後に浮上しそのまま遊泳していた行動約12時間、そして最後は瀬に付いた行動約13時間である。こういった3つの変化があるので遊泳水深を述べる場合もそれぞれ3つに類別した。即ち、放流直後海底に沿った行動と、その後急に浮上した行動の遊泳水深頻度を表2-1、図4に示した。また、瀬に付いた行動と、浮上後の昼夜別の遊泳水深頻度を表2-2、図5に示した。表2-3、図6は放流直後海底に沿った行動と、その後急に浮上した行動の遊泳水深と海底水深との差を示したものである。また、図7には瀬に付いた行動と、浮上後の昼夜別の遊泳水深と海底水深との差を示した。図8には時間帯別遊泳層の分布範囲を表わした。これらの図からマ

ダムの遊泳状態をみると、6月12日12時45分に放流した後、約5時間30分には98m前後の海底に沿う逃避行動を示した。このときの平均遊泳水深は91.7m、海底水深との差の平均は5.8mであった。

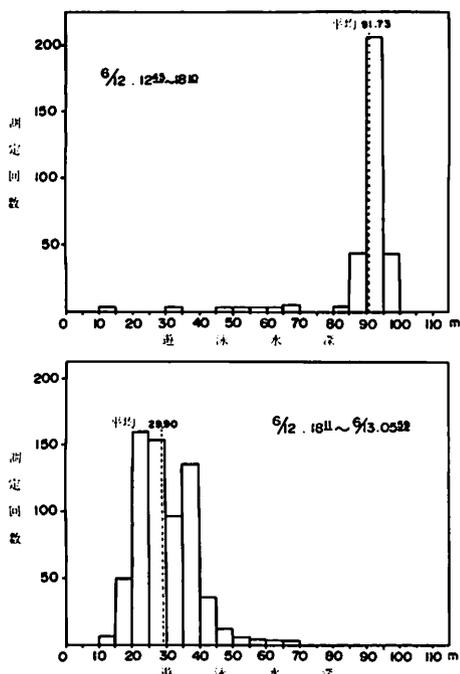


図4 放流直後および浮上後のマダムの遊泳水深の頻度分布

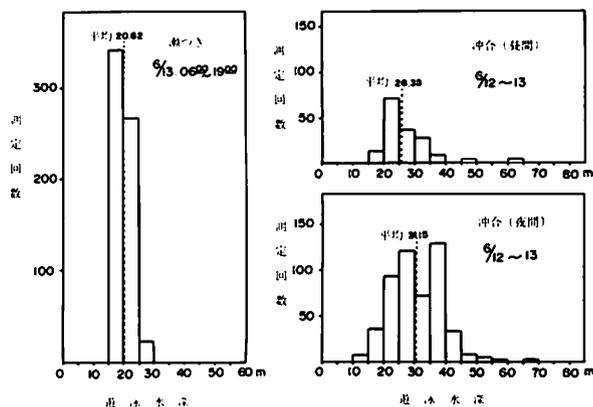


図5 浮上後における瀬および沖合でのマダム遊泳水深頻度分布

表2-2 浮上後における瀬および沖合でのマダム遊泳水深の頻度分布

瀬つき (6/12-6/13)

| 水深 (m) | 頻度 | 百分率 (%) | 平均 (m) |
|---------|-----|---------|--------|
| 16 - 20 | 340 | 54.23 | 20.62 |
| 21 - 25 | 266 | 42.42 | |
| 26 - 30 | 21 | 3.35 | |
| 計 | 627 | 100.00 | |

沖合 (昼間)

| 水深 (m) | 頻度 | 百分率 (%) | 平均 (m) |
|---------|-----|---------|--------|
| 16 - 20 | 11 | 7.69 | 26.35 |
| 21 - 25 | 66 | 46.15 | |
| 26 - 30 | 33 | 23.08 | |
| 31 - 35 | 26 | 18.18 | |
| 36 - 40 | 5 | 3.50 | |
| 41 - 45 | — | — | |
| 46 - 50 | 1 | 0.70 | |
| 51 - 55 | — | — | |
| 56 - 60 | — | — | |
| 61 - 65 | 1 | 0.70 | |
| 計 | 143 | 100.00 | |

沖合 (夜間) (6/12~6/13)

| 水深 (m) | 頻度 | 百分率 (%) | 平均 (m) |
|---------|-----|---------|--------|
| 11 - 15 | 8 | 1.59 | 31.15 |
| 16 - 20 | 35 | 6.93 | |
| 21 - 25 | 93 | 18.42 | |
| 26 - 30 | 120 | 23.76 | |
| 31 - 35 | 70 | 13.86 | |
| 36 - 40 | 129 | 25.54 | |
| 41 - 45 | 34 | 6.73 | |
| 46 - 50 | 9 | 1.78 | |
| 51 - 55 | 4 | 0.79 | |
| 56 - 60 | 2 | 0.40 | |
| 61 - 65 | — | — | |
| 66 - 70 | 1 | 0.20 | |
| 計 | 648 | 100.00 | |

表 2-3 放流直後および浮上後のマダイの遊泳水深と海底水深の差の頻度分布

| 放流直後 (6/12 12:45-18:10) | | | | 浮上後 (6/12 18:11-6/13 05:59) | | | |
|-------------------------|-----|--------|--------|-----------------------------|-----|--------|--------|
| 水深の差(m) | 頻 度 | 百分率(%) | 平均 (m) | 水深の差(m) | 頻 度 | 百分率(%) | 平均 (m) |
| 0 - 5 | 184 | 61.54 | 5.76 | 0 - 5 | 142 | 21.91 | |
| 6 - 10 | 100 | 33.45 | | 6 - 10 | 140 | 21.60 | |
| 11 - 15 | 3 | 1.01 | | 11 - 15 | 99 | 15.28 | |
| 16 - 20 | 1 | 0.33 | | 16 - 20 | 58 | 8.95 | |
| 21 - 25 | — | — | | 21 - 25 | 42 | 6.48 | |
| 26 - 30 | 1 | 0.33 | | 26 - 30 | 24 | 3.70 | |
| 31 - 35 | 2 | 0.67 | | 31 - 35 | 7 | 1.08 | |
| 36 - 40 | 3 | 1.01 | | 36 - 40 | 7 | 1.08 | |
| 41 - 45 | 2 | 0.67 | | 41 - 45 | 6 | 0.93 | |
| 46 - 50 | 1 | 0.33 | | 46 - 50 | 11 | 1.70 | |
| 51 - 55 | — | — | | 51 - 55 | 6 | 0.93 | |
| 56 - 60 | — | — | | 56 - 60 | 11 | 1.70 | |
| 61 - 65 | 1 | 0.33 | | 61 - 65 | 36 | 5.56 | |
| 66 - 70 | — | — | | 66 - 70 | 33 | 5.09 | |
| 71 - 75 | — | — | | 71 - 75 | 19 | 2.93 | |
| 76 - 80 | — | — | | 76 - 80 | 7 | 1.08 | |
| 81 - 85 | 1 | 0.33 | | | | | |
| 計 | 299 | 100.00 | | 計 | 648 | 100.00 | 22.00 |

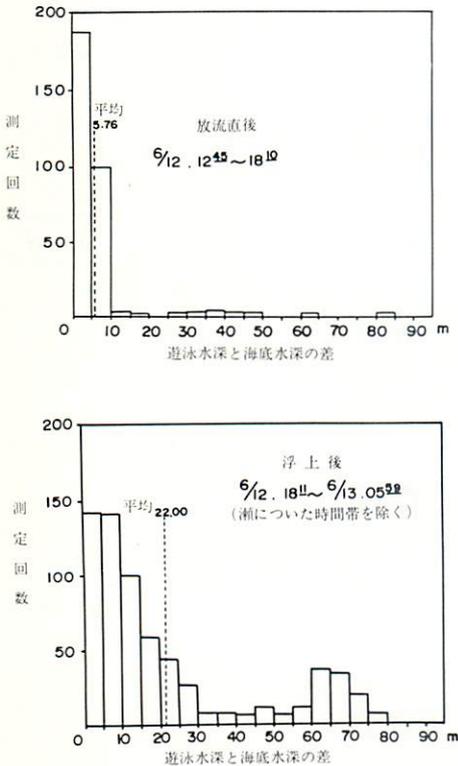


図 6 放流直後および浮上後のマダイの遊泳水深と海底水深の差の頻度分布

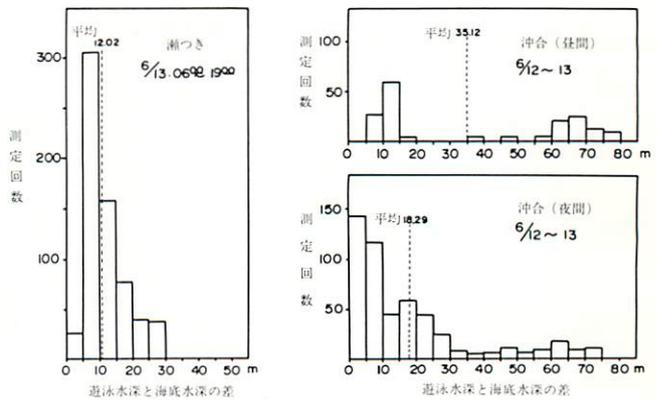


図 7 浮上後における瀬および沖合でのマダイの遊泳水深と海底水深の差の頻度分布

そして18時10分から急に30m前後に浮上し、13日06時までの約12時間に急激な垂直行動を4回示した。このときの平均遊泳水深は29.9m、海底水深との差の平均は22.0mであり、また、昼夜別平均遊泳水深は昼間26.4m、夜間31.2m、海底水深との差の平均は昼間35.1m、夜間18.3mであった。なお、このときの急激な垂直行動は、追跡魚に大型運搬船や追跡中の試験船などが異常接近したため、急潜行したものと思われる。13日06時から瀬(鞍埼出し)に付いたと思われ、試験終了の19時までには移動しなかった。このときの平均遊泳水深は20.6m、海底水深との差の平均は12.0mであった。

試験Ⅳ

この回の調査は、試験海域に選んだ嫁礁で漁獲したマダイ(産卵期)を数日蓄養した後、その場所で放流追跡を行なったため最初から瀬付状態となり、遊泳行動は全般に不活発であった。そのため、海底の底質は全く変わらず凹凸の激しい岩礁地帯での遊泳行動であった。時間経過に伴う遊泳水深の変化を図9に示した。それによると放流後の急激な潜行は試験Ⅲの場合と同様海底付近の水深45m付近に達し、約30分間同水深帯にいたが、その後12時頃より浮上し、水深10~22m層付近を細かな上下行動をおこないながら遊泳していたが、16時40分から17時40分にやや活発な動きを示していた。18時頃から03時頃までの間に4回にわたり一定水深帯(15~20m層)に静止するような行動がみられた。即ち、16日18時~19時40分、22時~22時50分、23時50分~17日0時40分、01時20分~03時20分の間のいずれも夕方から夜間にみられた

現象であった。03時40分頃から上下行動はやや活発となり、水深10~20m付近を遊泳していた。これらの遊泳行動を昼夜別に分けて、その頻度分布を示すと図10となる。それによると、昼間は10~45m層で平均遊泳水深は22.27m、夜間は5~30m層で平均遊泳水深15.72mであった。このほか時間帯別マダイの遊泳層の分布範囲を図11に示したが、主な遊泳水深は放流6時間経過後では20m以浅で、夜間の22時~02時にかけて表層5m付近まで浮上し、それ以降は10~20m層間の遊泳であった。

表3 昼夜別マダイの遊泳水深の頻度分布
昼間(7/15~16)

| 水深(m) | 頻度 | 百分率(%) | 平均(m) |
|---------|-----|--------|-------|
| 5 - 10 | — | — | |
| 11 - 15 | 25 | 3.00 | |
| 16 - 20 | 275 | 32.97 | |
| 21 - 25 | 473 | 56.71 | |
| 26 - 30 | 28 | 3.36 | |
| 31 - 35 | 9 | 1.08 | |
| 36 - 40 | 13 | 1.56 | |
| 41 - 45 | 11 | 1.32 | |
| 計 | 834 | 100.00 | 22.27 |

夜間(7/15~16)

| | | | |
|---------|-----|--------|-------|
| 5 - 10 | 46 | 8.52 | |
| 11 - 15 | 266 | 49.26 | |
| 16 - 20 | 171 | 31.67 | |
| 21 - 25 | 47 | 8.70 | |
| 26 - 30 | 10 | 1.85 | |
| 31 - 35 | — | — | |
| 36 - 40 | — | — | |
| 41 - 45 | — | — | |
| 計 | 540 | 100.00 | 15.72 |

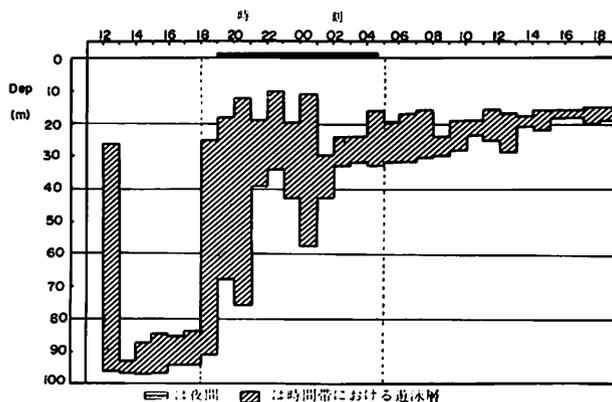


図8 経過時間帯別マダイ遊泳層の分布パターン(1974, 6/12~13)

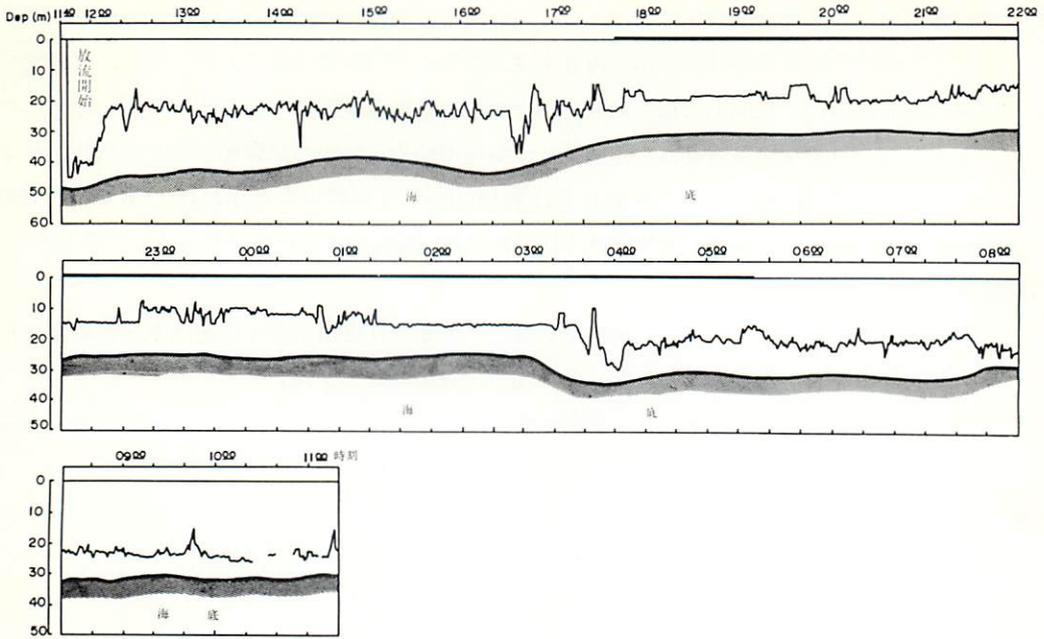


図9 時間経過に伴うマダイ遊泳層の変化 (1975, 7/15~16)

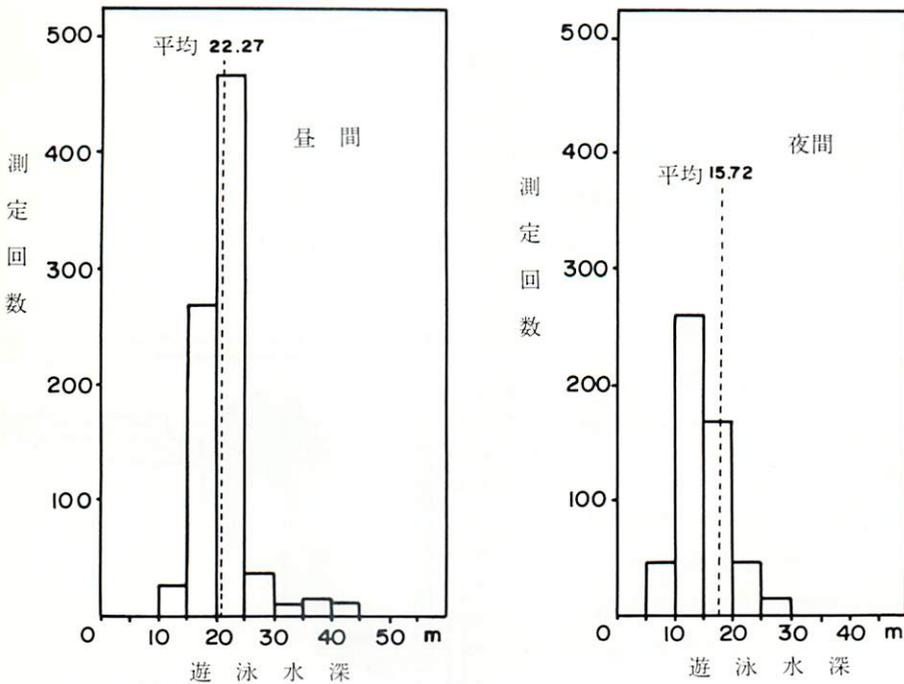


図10 昼夜別マダイの遊泳水深の頻度分布 (1975, 7/15~16)

3. 遊泳水温

試験Ⅲ

図12にマダイの各水温観測点付近前後15分間の遊泳水温幅を示した。これを見ると躍層とは関係なく広範囲の水温帯を遊泳している。とくに、放流直後などは表面水温19.6℃のところから12分後には5.4℃もの水温が変化する中を14.2℃(97m)まで潜行した。その途中65m付近に少し浮上したがそのまま海底(98m)近くまで潜った。この間のスピードについてみると、放流時の表面から65mまでの第一段階の潜行時間は約3分でこのときの水温差が4.6℃、さらに65m付近でいったん潜水を中止し約15mを5分間程で浮上、その間の水温差は1℃であった。その後再び50m層より急激な潜行をおこない97mの海底付近まで潜水した。この間に要した時間は約4分間で水温差は1.6℃であった。このほか18時には水深92mから表層35mに向かって水深差57m、水温差1.9℃を約5分間で浮上した。また、24時

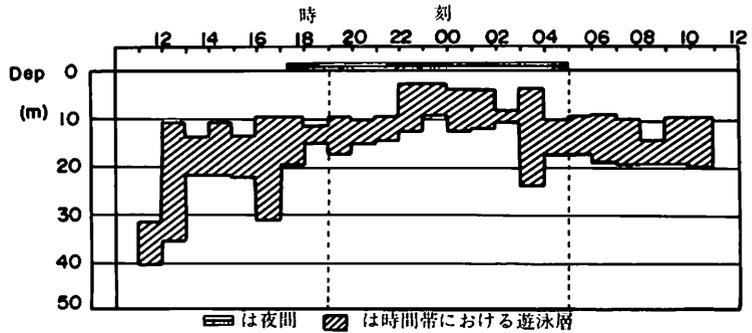


図11 時間帯別マダイ遊泳層の変化 (1975, 7/15~16)

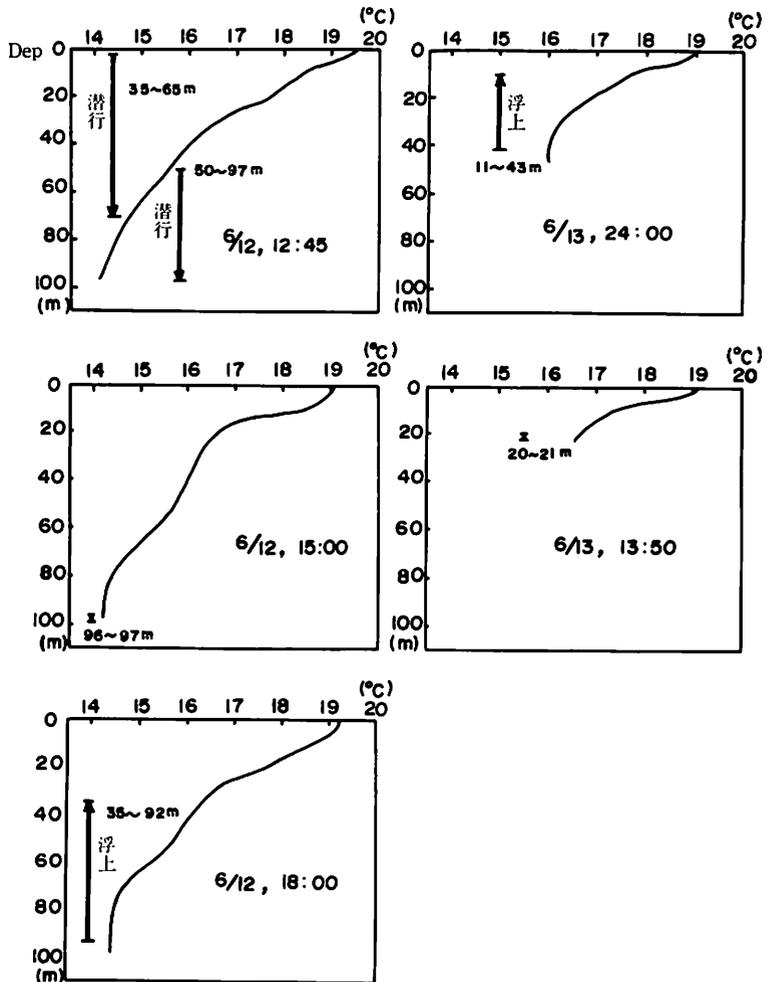


図12 水温垂直分布とマダイの遊泳水深幅 (1974, 6/12~13)
(I は観測地点付近前後15分間遊泳水深幅を示す)

には水深43mから12m層に向け水深差31m、水温差1.8℃を約4分間で浮上している。

試験Ⅳ

この調査は当初から瀬付状態となったため移動が少なかったこと、さらに海底水温が起伏に富んでいることから測温が困難で、1日1回の観測に終わった。水温は表面から20m層までは22.3~23.0℃と大きな差はなく、30m層で21.5℃台となりわずかに低くなっていた。したがって、放流当初を除くと20m層以浅の遊泳行動となっており、水温のほとんど変化のない場所であった。

4. 遊泳速度

調査船の船位を測定した各時間毎の移動距離より遊泳速度を求め、それをもとに一つは時速で表わし、他の一つは尾叉長/minに表わす方法をとった。

試験Ⅰ

1973年11月22日12時40分から同23日23時00分までの総移動距離は16.41kmで、その追跡時間は31時間20分であった。この時間経過に伴うマダイの遊泳速度を表4、図13に示した。それによると、放流直後の12時40分から日没近くの16時30分頃までは0.53km/h (15.5F.L/min)以下の遅い速度であったが、17時から18時、19時頃には1.1~1.36km/h (32.2~39.8F.L/min)、そして01時~02時には2.27km/h (66.4F.L/min)と速い移動がみられたが、その後04時から10時頃までは移動速度は極端に低下し、0.28~0.15km/h (8.2~4.4F.L/min)となった。この時間帯は、蛸島沿岸の定置網に接近し、その垣網に沿って磯寄りに回避したときである。その後やや速度を増し、16時30分

表4 日別遊泳速度および遊泳距離

| 日 | 時 | 遊泳速度(km/h) | 遊泳距離(km) |
|-------|-------|------------|----------|
| 11/22 | 12:40 | 0.33 | 431 |
| | 13:55 | 0.38 | 598 |
| | 15:30 | 0.53 | 526 |
| | 16:30 | 0.62 | 514 |
| | 17:20 | 1.11 | 742 |
| | 18:00 | 0.61 | 203 |
| | 18:20 | 0.86 | 359 |
| | 18:45 | 0.01 | 419 |
| | 19:10 | 1.36 | 407 |
| | 19:28 | 0.72 | 203 |
| | 19:45 | 0.81 | 407 |
| | 20:15 | 0 | 0 |
| | 20:45 | 0.76 | 945 |
| | 22:00 | 0.85 | 634 |
| 22:45 | 0.62 | 514 | |
| 23:35 | 1.39 | 694 | |
| 11/23 | 0:05 | 0.91 | 837 |
| | 1:00 | 2.27 | 2273 |
| | 2:00 | 0.28 | 275 |
| | 3:00 | 0.64 | 801 |
| | 4:15 | 0.14 | 382 |
| | 7:00 | 0.15 | 502 |
| | 10:20 | 0.89 | 1112 |
| | 11:35 | 0.30 | 431 |
| | 13:00 | 0.63 | 634 |
| | 14:00 | 0.48 | 1089 |
| | 16:15 | 0.32 | 239 |
| | 17:00 | 0.08 | 239 |
| | 20:00 | | |

の日没には再び移動速度が低下し0.32km/h (9.4Fm/min)以下となり、最終点の小泊定置で全く移動しなくなった。放流開始から最終点までの1時間当り平均遊泳速度を求めてみると0.71km(20.8F.L/min)となる。これを昼夜別に分けてみると昼間の平均は0.52km/h (15.2F.L/min)、夜間の平均は0.76km/h (22.2F.L/min)であった。

次に、時間経過に伴ってマダイの遊泳速度を体長(F, L)の倍数/minで表示したのが図14である。それによると01~02時には65F.L/minが最高で、他は40F.L/min以下となっている。

試験Ⅱ

1973年11月26日12時35分から同27日04時30分までの総移動距離32.77kmで、その追跡時間は15時間55分であった。時間経過に伴う遊泳速度の変化を表5、図15に示した。それによると、放流開始から15時40分頃までの遊泳速度は1.52~1.70km/h (48.7F.L/min)であったが、16時頃から日没時に

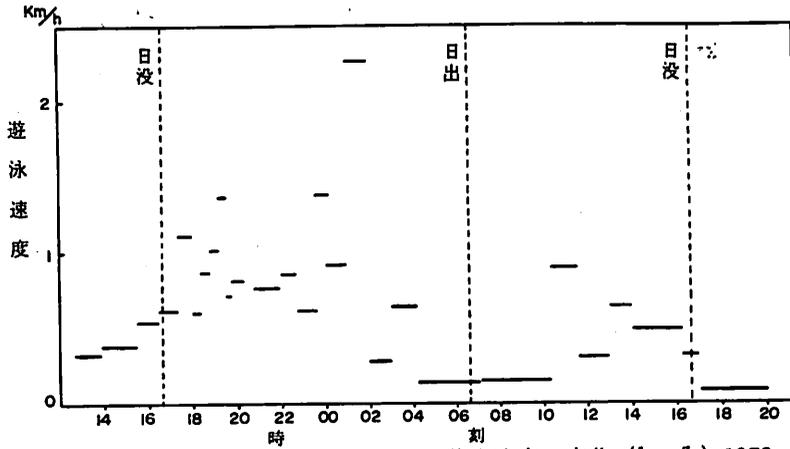


図13 時間経過に伴うマダイの遊泳速度の変化 (km/h) 1973, 11/22~23

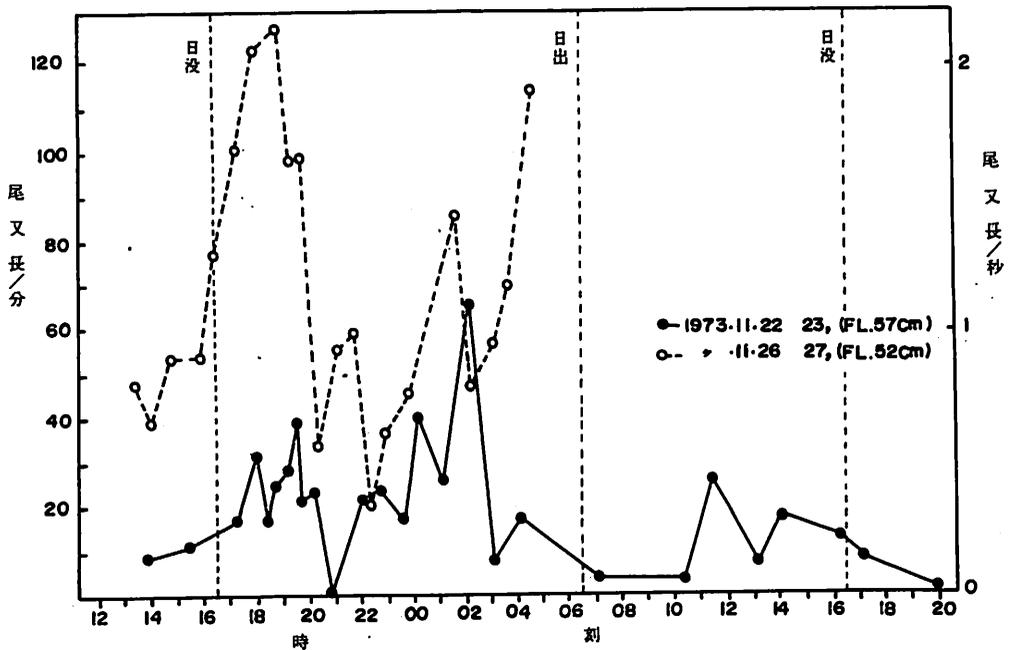


図14 時間経過に伴うマダイの水平移動速度の変化 (尾又長F.L./min)

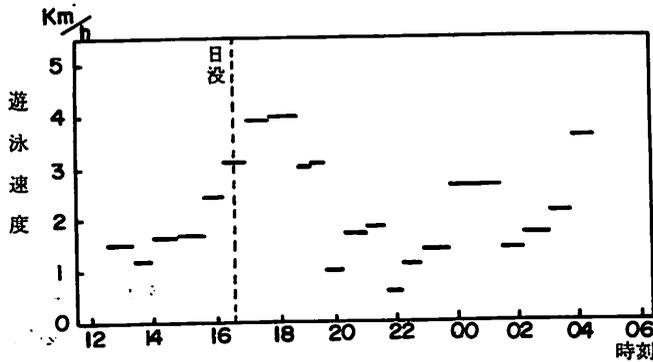


図15 時間経過に伴うマダイ遊泳速度の変化 (km/h) 1973, 11/26~27

表5 日別遊泳速度および遊泳距離

| 日 | 時 | 遊泳速度(km/h) | 遊泳距離(km) |
|---|-------|------------|----------|
| % | 12:35 | 1.52 | 1268 |
| | 13:25 | 1.23 | 718 |
| | 14:00 | 1.67 | 1256 |
| | 14:45 | 1.70 | 1555 |
| | 15:40 | 2.46 | 1639 |
| | 16:20 | 3.17 | 2380 |
| | 17:05 | 3.94 | 2955 |
| | 17:50 | 4.03 | 3696 |
| | 18:45 | 3.07 | 1280 |
| | 19:10 | 3.11 | 1555 |
| | 19:40 | 1.07 | 622 |
| | 20:15 | 1.74 | 1304 |
| | 21:00 | 1.87 | 1244 |
| | 21:40 | 0.64 | 371 |
| % | 22:15 | 1.15 | 766 |
| | 22:50 | 1.44 | 1316 |
| | 23:45 | 2.68 | 2010 |
| | 1:30 | 1.49 | 993 |
| | 2:10 | 1.78 | 1483 |
| | 3:00 | 2.19 | 1639 |
| | 3:45 | 3.62 | 2715 |

次に時間経過に伴うマダイの遊泳速度を体長(尾叉長)の倍数で見ると、図14に示したとおり、放流時から日没の16時30分頃までは40~80 F.L/minであったが、17時30分頃から18時30分には100~128 F.L/minで最高のスピードを記録した。22時20分には20 F.L/minで今回の最低を示した。

試験Ⅲ

1974年6月12日12時45分から同6月13日19時00分までの総移動距離は22.24kmで、その追跡時間は30時間15分であったが、マダイが移動しなくなった13日の05時までの時間は16時間15分となるので、この時間内での1時間当りの平均移動距離を求めると1.37 km/h (61.7 F.L/min)となる。

時間経過に伴うマダイの遊泳速度は表6、図16、17に示したとおりである。それによると放流後1.48km/h (66.6F.L/min)から速度を増し、30分後2.03km/h (91.4F.L/min) (91.4F.L/min) 達した。そして約2時間は速度を落とし、0.89km/h (40F.L/min) 前後を移動していたが、日没近づくにつれて多少の変動をしながら徐々に速度を増していき、日没約2時間後の21時00分頃に最高3.39km/h (152.8 F.L/min)に達した。その後次第に速度が低下し01時には0.44km/h (19

かけて速度が速くなり17~19時には4km/h(128 F.L/min)を示した。その後やや速度の低下がみられたが0時と04時頃に遊泳速度の上昇がみられた。この間の1時間当り平均遊泳速度は2.17km/h (69.6F.L/min)で、これを昼夜別に分けてみる昼間の平均は2.24km/h (71.8F.L/min)、夜間平均は2.13km/h (68.3F.L/min)であった。

表6 日別遊泳速度および遊泳距離

| 日 | 時 | 遊泳速度(km/h) | 遊泳距離(km) |
|-------|-------|------------|----------|
| % | 12:45 | 1.48 | 0.74 |
| | 13:15 | 2.03 | 1.02 |
| | 13:45 | 0.86 | 1.08 |
| | 15:00 | 0.95 | 0.71 |
| | 15:45 | 1.64 | 1.64 |
| | 16:45 | 0.79 | 0.60 |
| | 17:30 | 2.19 | 1.09 |
| | 18:00 | 1.36 | 0.34 |
| | 18:15 | 2.27 | 1.70 |
| | 19:00 | 1.78 | 0.89 |
| | 19:30 | 2.43 | 1.22 |
| | 20:00 | 2.31 | 1.16 |
| | 20:30 | 3.39 | 1.13 |
| | 21:00 | 2.35 | 1.41 |
| % | 21:20 | 1.67 | 0.78 |
| | 21:56 | 1.60 | 0.96 |
| | 22:24 | 0.77 | 0.77 |
| | 23:00 | 0.47 | 0.47 |
| | 24:00 | 0.44 | 0.44 |
| | 01:00 | 3.14 | 1.05 |
| | 02:00 | 0.63 | 0.42 |
| | 03:00 | 0.27 | 0.27 |
| | 04:00 | 0.33 | 0.33 |
| | 05:00 | 0.80 | 0.80 |
| | 06:00 | 0 | 0 |
| | 07:00 | 0 | 0 |
| | 08:00 | 0 | 0 |
| | 09:00 | 0 | 0 |
| | 10:00 | 0 | 0 |
| | 11:00 | 0 | 0 |
| | 12:00 | 0 | 0 |
| | 13:00 | 0 | 0 |
| | 14:00 | 0 | 0 |
| 15:00 | 0 | 0 | |
| 16:00 | 0 | 0 | |
| 17:00 | 0 | 0 | |
| 18:00 | 0 | 0 | |
| 19:00 | 0 | 0 | |

F.L/min) となったが、また急に速度を増し02時には3.14 km/h (141.4 F.L/min) となった。それから日の出 (04時34分) が近づくとつれて速度を落とし、瀬に付く1時間前の05時00分に0.80 km/h (35.9 F.L/min) と少し速度を増しただけで、06時00分から“鞍崎出し”と呼ばれる瀬の付近で移動しなくなった。このため、13時間後の19時に試験を終了した。瀬についた時間帯を省いて昼間と夜間の平均速度を求めると、昼間1.34km/h (60.3 F.L/min)、夜間1.29 km/h(56.3 F.L/min) で昼間の方がわずかに速かった。なお、放流点から試験終了までの遊泳移動に伴う底質変化をみていくと、砂礫・岩礁と変化し、このときにおける水平移動速度の順は礫 106.8 F.L/min > 砂 68.4 F.L/min > 岩礁44.1 F.L/minであった。

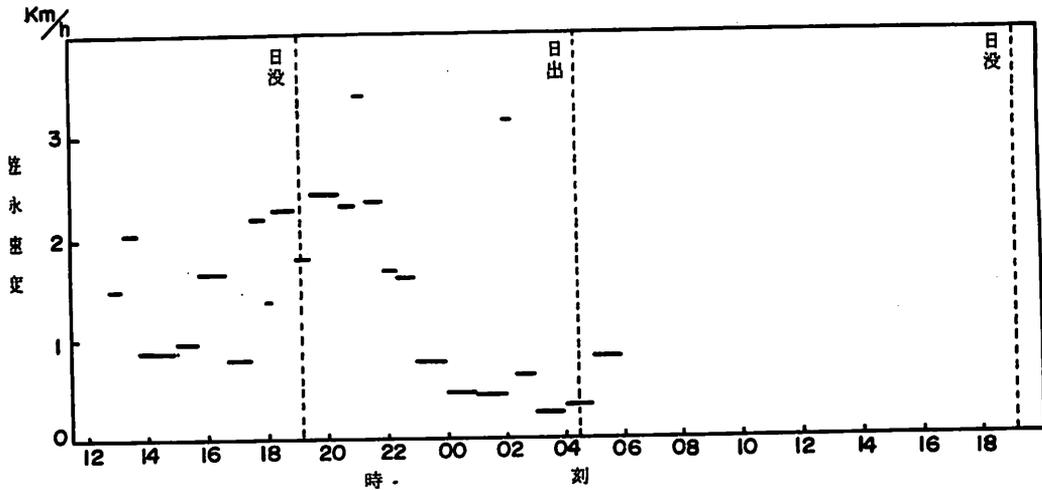


図16 時間経過に伴うマダいの遊泳速度の変化 (km/h) 1974, 6/12~13

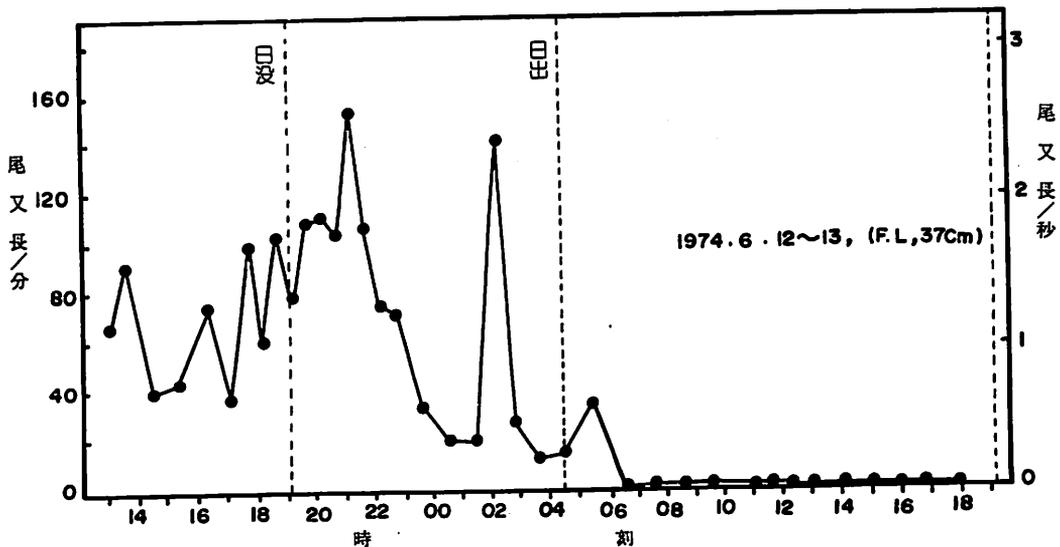


図17 時間経過に伴うマダいの水平移動速度の変化 (F.L/min)

試験Ⅳ

この回の調査は前述したように、産卵後のマダイを採集した場所で、しかも放流場所が岩礁地帯であったためか、移動距離は過去3回の調査に比べ最も少なかった。1975年7月15日11時43分から同7月16日10時57分までの23時間14分までの総移動距離は1.200 mで過去の調査での平均1時間当りの移動距離に満たないほどのものであった。この間の海底地形は嫁礁上の起伏の激しい海域であり、1時間当り平均移動は51m (1.8 F.L./min) でその移動は全調査を通して最低であった。

考 察

近年バイオテレメトリーによる魚類の行動生態についての研究が急速に進展し、町中・他(1977)、柿元・他(1978)、その他によって行なわれた、ブリ、ヒラメ等の報告があるが、日本海におけるマダイについての調査・研究は実施されていない。筆者は、能登半島周辺海域において1973年11月22～23日、同11月26～27日に天然マダイを2ヵ年間蓄養したもの(F.L 57 cm・52 cm)と、1974年6月12日～13日、1975年7月15～16日に天然マダイ(F.L 37 cm・45 cm)を数日間短期蓄養したものをそれぞれ条件の異なった供試魚を使用し、計4回、延べ100時間44分にわたりバイオテレメトリーによるマダイの遊泳行動生態について追究した。

1. 水平移動

試験Ⅰ・Ⅱにおいて使用したピンガーは位置の情報のみであり、試験Ⅲ・Ⅳに使用したものは水深ピンガーであったので、前者については水平行動のみであったが、後者では垂直行動についても観察することができた。

水平行動、試験Ⅰ・Ⅱは能登半島内浦海域の飯田湾と宇出津沖に放流追跡を開始した。試験Ⅰでは、飯田湾を横断するようなかたちで北東方向へ移動し、10時間35分経過したところで水深5 mの沿岸域に接岸した。この間に4カ統の大型定置網が敷設されていたが、いずれもこの定置網を回避している。このことは、町中・他(1977)がブリでも同じような結果を得ており容易に入網しないことを示している。試験Ⅱでは、放流場所を宇出津沖の定置網沖側に変えて追跡を開始した。これもほぼ陸岸に沿うように北東方向に移動し、飯田湾沖のグラグリ礁付近に接近し、旋回しながら、同海域付近に点在する瀬を廻ってサバグリ礁に移動した。この2例は、前述したごとく天然マダイを2ヵ年間蓄養した親魚であり、移動行動については必ずしも自然の一般的なものであったかどうかは疑問であるが、いずれにしても2回とも放流点から北東方向、すなわち湾奥部から湾外方向に移動し、沿岸域に放流したものは沿岸寄りに、やや沖合に放流したものは天然礁群の点在する礁群を渡りあるくように移動し、定置網や天然礁に来ると移動速度が鈍くなっている。試験Ⅲは、放流場所が外浦海域で、しかも天然マダイの産卵親魚を能登半島の主産卵場と推定される海域に放流した。放流地点から北西方向に嫁礁があるが、この島が能登半島の有数なマダイの漁場として知られほぼ周年生息しているところである。放流当時も一本釣などの漁業が盛んにおこなわれていた。移動状況は、放流と同時に方向を定めるかのようにその付近を半円を描いて行動し、その後は等深

線を直角に横切って遊泳しながら浅瀬に向かい、最終的には礁(鞍埼出し)に付いた。こういった等深線を横切って浅瀬に向かう行動は、海流に関係しているのか、あるいは他の環境要因の変化によるものか、また、岸上(1916)によると産卵場は波の静かな潮通しのよい水深15m程度の浅海であると報告しており、産卵期の魚自身の本能によるものなのか今後さらに究明すべき問題点であろう。試験Ⅳは産卵後の親魚を採捕した場所で放流したものであるが、過去3回の試験に比べ移動が最も少なかった。この原因として産卵後(直後と思われる)のマダイであることと、放流海域が岩礁地帯で周年マダイの生息場所となっていることなどがあげられる。このことは、前記3回の調査でもそうであったように、追跡マダイの移動が遅くなる場所はきまって礁付近となっていることなど、マダイの生理・生態面から今回の移動を最小限にとどめたのではないかと思われるが、このことについても今後さらに究明する必要がある。

2. 垂直移動

今回の試験Ⅲ・Ⅳに使用したマダイは前者が産卵期、後者が産卵後(直後と思われる)のものであった。試験Ⅲのものは、尾叉長37cmと比較的小型であった。放流後約5時間30分も海底(98m)に沿って行動したのは、情報ピンガーによる負荷が約2.8%であったためか、今後の試験によってこの解明をする必要がある。なお、1970年中禅寺湖においてヒメマスの産卵回帰行動調査を実施しているが、この時の供試魚は体長31~35cm、体重500gであり、情報ピンガーは空中重量40gであったことから体重の8%で、負荷重量としては限度であると述べられている(市原 1971)。今回の遊泳水深の変化については大きく3つに区分することができる。それは、放流後約5時間30分の海底に沿った行動、その後日没の関係かどうかわからないが、急に30m前後に浮上し約12時間遊泳した行動、そして13時間瀬に付いた行動である。遊泳水深は40m以浅が92%を占めており、比較的浅く遊泳している。平均遊泳水深は29.9mであり、昼間の平均は26.4m、夜間31.2m、海底との差の平均は昼間35.1m、夜間18.3mであった。長崎の産卵期におけるマダイの試験結果をみると1972年4月には25.4m、1973年4月は27.6mと似た値を示しており、約25~30mの中層を平滑に移動するという興味ある事実が分かった。これは内橋(1953)によると産卵期以外の遊泳水深は一般に深いといった抽象的な表現を、テレメトリー技術の開発によって詳しく数値に示したものであり、今後さらに注目していきたい。また、マダイの遊泳水深はほぼ一定しており、急激な下降を示しても間もなく前の水深に浮上する動きは、魚が水圧を感知しているとしか判断できないものであろう。マダイの顕著な垂直行動は、今回日没(19時12分)後約1時間30分の間に4回みられ、底質が砂・礫・岩礁の変わり目で、水深も98mから50mと浅くなり、索餌活動と何らかの関係があるのではないかと思われる。このほかマダイが異常潜行することが幾回かみられたが、これは船が供試魚に接近したときにみられる現象であるが、船が遠ざかると、すぐもとの水深に復帰している。試験Ⅳでは、産卵後のものであるため動きは最初から不活発であったが、放流当初は他の例と同じで海底付近(48m)に達し、約30分後に浮上し、水深10~22m付近の中層で細かな上下行動を示す程度であった。18時頃から03時頃までの間に4回にわたり一定水深帯に静止する行動がみられたが、これはいかなる原因によるものか判然としない。昼・夜別の遊泳水深をみると昼間10~45m(平均

22.27 m), 夜間 5~30m (平均 15.72 m) であり産卵期のものとは異なった行動を示したが, このことは生理的現象によるものなのか, 海底環境などの相違によるものかさらに追究する必要がある。

3. 遊泳水温

水温に対して魚はどう感じるのかという課題は, 適水温という抽象的表現にからんで興味あるものである。一般に魚は体温自己調節機能を持ち合わせない変温動物なので, 生息する範囲が水温分布によって規定されている。しかし, 今回の試験Ⅲにおけるマダイは広範囲の水温帯を遊泳しており, 5.4℃もの水温が変化する中を一気に遊泳している。すなわち, 表面水温19.6℃から海底近くの97m, 水温14.2℃まで潜った。もっともこの潜行には途中65m付近で若干停滞したが, その第1段階で水温差4.6℃を約3分間といた, かなり速い速度で通過していることは注目される。また, 柿元・他(1978)はテレメトリーにより新潟県で実施したヒラメで9°~13℃, 11°~14℃台を移動し, 3~4℃の温度差は関係ないとしている。魚の適水温とはその魚自身によって決められたり, 餌の分布などによって左右されるものであろう。従来, 漁場の指標としてごく一般的に使われてきた適水温という言葉の意味を十分検討する必要があるようである。

4. 遊泳速度

遊泳速度はkm/hで表わすとともに, 一方では, 魚の大きさが異なることから, その大きさによって速度の違いがどのようになるのか興味ある問題である。そこで速度を比較するにあたり遊泳速度の単位としてF.L/minとして表わす方法と合わせて使用した。これは1分間の遊泳速度を尾叉長の倍数で示したものである。試験Ⅰ・Ⅱのマダイは前者がF.L57cm, 後者がF.L52cmであったが, これらの遊泳速度をみると前者の平均が0.71 km/h・20.8 F.L/min, 昼間の平均0.52 km/h・15.2 F.L/min, 夜間の平均0.76 km/h・22.2 F.L/min, 最高が2.22 km/h・65.0 F.L/minであった。後者は平均2.17 km/h・69.6 F.L/min, 昼間の平均2.24 km/h・71.8 F.L/min, 夜間の平均2.13 km/h・68.3 F.L/min, 最高4 km/h・128.2 F.L/minとなっており, 体長においては後者のものがやや小型であるにもかかわらず遊泳速度が速くなっている。この原因については放流海域の相異によるのではないかと思われるが, 今後さらに検討の必要がある。試験ⅢではF.L37cmのもので前2者に比べ, さらに小型であったが礁付を除いた平均遊泳速度は1.37 km/h・61.7 F.L/min, 昼間の平均は1.34 km/h・60.3 F.L/min, 夜間の平均は1.29 km/h・56.3 F.L/min, 最高3.39 km/h・152.8 F.L/minであった。この回のマダイの遊泳速度の時間的変化をみると, 日没が近づくにつれて徐々に速度を増し, その約2時間後に今回最高の152.8 F.L/minを示した。逆に日の出が近づくにつれて速度を落としていくといった日の出, 日没時の変化がみられた。また, 底質が砂から礫, 岩礁と変化していったが, このときの各底質における平均遊泳速度を求めてみると, 礫106.8 F.L/min, 砂68.4 F.L/min, 岩礁44.1 F.L/minとなり, 底質によって速度の変化がみられるという興味ある結果が得られた。試験Ⅳでは, F.L45cmのマダイで平均遊泳速度が50 cm/h・1.1 F.L/minであったが, 試験Ⅲの産卵期のものの岩礁地帯での遊泳速度44.1 F.L/minに比べるとはるかに低い値となっている。このことは産卵後のマダイの一般的な行動なのか, それとも放流海域の環境によるものなのか判然としないが, いずれにしても前3回の追跡ではみられなかった行動を示したことは注目される。

要 約

1. 1973～1975年に能登半島の富山湾に面する宇出津沖から飯田湾、同半島北岸の嫁礁付近海域において、超音波バイオテレメトリ―機器を用いてマダイの遊泳行動生態を明らかにすることを目的として調査を実施した。
2. 追跡試験は、超音波送信器（ピンガー）をマダイに曳航させる方式で装着し、ピンガーより送信された音波パルス波を船の舷側に設置した受波器で受け、情報を記録した。
3. 調査は1973年11月22～23日、同26～27日 長期蓄養マダイを、1974年6月12～13日天然産卵マダイを、1975年7月15～16日には天然マダイ産卵後期のもの計4回、延べ100時間44分の追跡をおこなった。
4. マダイの水平移動は、能登半島内浦海域の飯田湾や宇出津に放流したものは、北東方向に移動し、湾奥から湾外方向に向う行動を示し、沿岸寄りに放流したものは沿岸ぞいに、やや沖合に放流したものは天然礁群を渡りあるくような行動を示すとともに、定置網や天然礁に近づくとも移動速度が鈍くなるといった結果を示した。一方外浦海域で放流したものは、やはり岩礁付近に近づくとも移動が遅くなり、とくに産卵後のマダイにその傾向が顕著であった。
5. 垂直行動は、産卵期と産卵後のものをそれぞれ対象として実施したが、前者の遊泳水深の変化については大きく3つに区分することができた。それは、放流後約5時間海底に沿った行動、その後日没に急に海底から30m前後に浮上し約12時間遊泳行動したこと、そして13時間瀬に付いた行動である。遊泳水深は40m以浅が92%、平均遊泳水深は29.9m、昼間の平均は26.4m、夜間31.2mで産卵期マダイの遊泳水深は約25～30mの中層を平衡的に移動するといった興味ある事実が分かった。また、マダイの顕著な垂直行動は、日没後1時間30分の間にみられたが、その時の底質が砂・礫・岩礁の変わり目で、水深が98～50mと浅くなり、索餌活動と何らかの関係があるものと思われる。このほか、マダイの異常潜行する現象がみられたが、これは船などの接近によるものである。産卵後のマダイの遊泳水深は昼間の平均が22.27m、夜間の平均が15.72mで垂直行動は不活発なものであった。
6. マダイの遊泳水温については、試験Ⅲの産卵親魚の場合をみると、表面水温19.6℃から海底付近（97m）の水温14.2℃までの水温差5.4℃を12分間で行動し、水温差4.6℃の間を約3分間で行動したことは注目される。
7. マダイの遊泳速度は、F.L57cmで平均0.71km/h・20.8F.L/min、昼間の平均0.52km/h・15.2F.L/min、夜間の平均0.76km/h・22.2F.L/min、最高が2.22km/h・65.0F.L/min・F.L52cmのマダイで、平均2.17km/h・69.6F.L/min、昼間の平均2.24km/h・71.8F.L/min、夜間の平均2.13km/h・68.3F.L/min、最高4km/h・128.2F.L/min、F.L37cmのマダイで平均1.37km/h・61.7F.L/min、昼間の平均1.34km/h・60.3F.L/min、夜間の平均1.29km/h・56.3F.L/min、最高3.39km/h・152.8F.L/min、F.L45cmのマダイで平均50cm/h・1.1F.L/minといった結果

を得たが、調査時期、産卵期、産卵後、海底地形、その他の条件によってそれぞれ遊泳速度（行動）が異なっているようである。

文 献

- 岸上鎌吉 (1916). タイ類の発生及生長, 水産学会報 1. (3): 185-199.
- 内橋 潔 (1953). 脳髓の形態より見た日本産硬骨魚類の生態学的研究, 日水研研報. (2): 66-67.
- 市原忠義 (1969). バイオテレメトリー研究活動の実情, 海洋生物テレメトリー研究会報. (2): 3-5.
- 柿元皓・他 (1977). 佐渡海域におけるブリの移動について—テレメトリーによる測定—, 海洋生物テレメトリー研究会報. (7): 34-46.
- 上野山清 (1977). バイオテレメトリー手法による若狭湾ブリの行動に関する研究, 海洋生物テレメトリー研究会報. (7): 19-34.
- 町中 茂・他 (1977). バイオ・テレメトリー・システムによるブリの行動生態に関する研究, 石川水試研報. (2): 1-20.
- 土井捷三郎・他 (1977). 富山湾におけるブリの移動とその環境をめぐって (1945・1975年のバイオテレメータによる調査結果から), 海洋生物テレメトリー研究会報. (7): 9-17.
- 柿元皓・他 (1978). ヒラメ成魚の移動生態—テレメトリーによる測定—, 新潟水試. (78-6): 1-34.