

【報 文】

人工魚礁における魚類行動研究への
超音波バイオテレメトリー技術の適用とその課題伊 藤 靖^{1*}・吉 田 司²Application and Problem for Behavioral Research of Fishes
Using Ultrasonic Biotelemetry in Artificial ReefYasushi ITO^{1*} and Tsukasa YOSHIDA²

Abstract

We conducted a research on behavioral patterns of different fish species in artificial reefs by attaching ultrasonic wave transmitters to jack mackerel *Trachurus japonicus* (total length ; 290-360mm) and red sea bream *Pagrus major* (total length : 228-249mm), which are migratory fish species, and scorpion fish *Sebastes marmoratus* (total length : 191-203mm) and rockfish *Sebastes* sp. (total length : 197-225mm), which are resident fish species. The behavioral research on fish species using ultrasonic biotelemetry technology enabled us to quantitatively identify gathering areas and residence periods of fish species in artificial reefs. Such data will help (i) scientifically evaluate effectiveness of development of fishing and breeding grounds utilizing artificial reefs and (ii) effectively set the size of efficient artificial reefs and formulate appropriate arrangement plans. It should be noted, however, that artificial reefs are used by diverse fish species, and that many artificial reefs are used primarily by young and immature fishes. Thus, to ensure behavior measurement of these fishes, it will be necessary to further reduce weight and size of ultrasonic wave transmitters and solve other problems including the limited recording time due to the battery capacity.

1. 緒 言

人工魚礁による漁場造成により発揮される魚類への増集機能を評価するためには、魚類が魚礁へ来遊して、そこに滞留し、逸散していくまでの一連の行動を時間経過とともに連続して把握する必要がある。

水中の生物の行動に関する情報を、直接的に、しかも連続して得ることが可能な手法の一つに、超音波バイオテレメトリー技術が挙げられる。超音波バイオテレメトリー測器の開発は1960年代に始まり、当初は単に個体を追跡し、水平的な移動記録を得ようとする発信標識であ

わが国でも大型魚のブリ (*Seriola quinqueradiata*)^{1), 2)}, ヒラメ (*Paralichthys olivaceus*)³⁾, マグロ類 (*Thunnus* spp.)⁴⁾ などについて発信器を用いた行動研究が行われた。

近年のマイクロエレクトロニクス技術の発達による超音波バイオテレメトリー測器の軽量、小型化は多様なセンサーの装着やマダイ (*Pagrus major*)⁵⁾, メバル (*Sebastes* sp.)⁶⁾, マアジ (*Trachurus japonicus*)⁷⁾ などへの装着時の負担を軽減させた。

メモリーの大容量化は存在確認情報に加えて水深や生息域の水温をはじめ、体温、心拍数、尾柄振動数などの多様なセンサーから生理、運動情報を高頻度にサンプリングすることが可能となった。

2012年11月14日受付, 2012年11月15日受理

キーワード: 人工魚礁, バイオテレメトリー, 行動様式, マアジ, マダイ, カサゴ, メバル

Key words: artificial reef, ultrasonic biotelemetry, behavior pattern, jack mackerel, red sea bream, scorpion fish, rockfish

^{1*} The Japanese institute of technology on fishing ports, grounds and communities, Chiyoda, Tokyo 101-0032

(財団法人漁港漁場漁村技術研究所 〒101-0032 東京都千代田区岩本町 3-4 -6)

² Chateau Marine Survey Co., Ltd., Miyakojima, Osaka, 534-0025 (株式会社シャトー海洋調査 〒534-0025 大阪府大阪市都島区片町 1-4 -2)

* Tel: 03-5833-3224. Fax: 03-5833-3226. Email: y_ito@jific.or.jp

本論は、平成24年度日本水産工学会春季シンポジウム「浮魚礁漁業の現状と課題」の講演内容を取り纏めたものである。

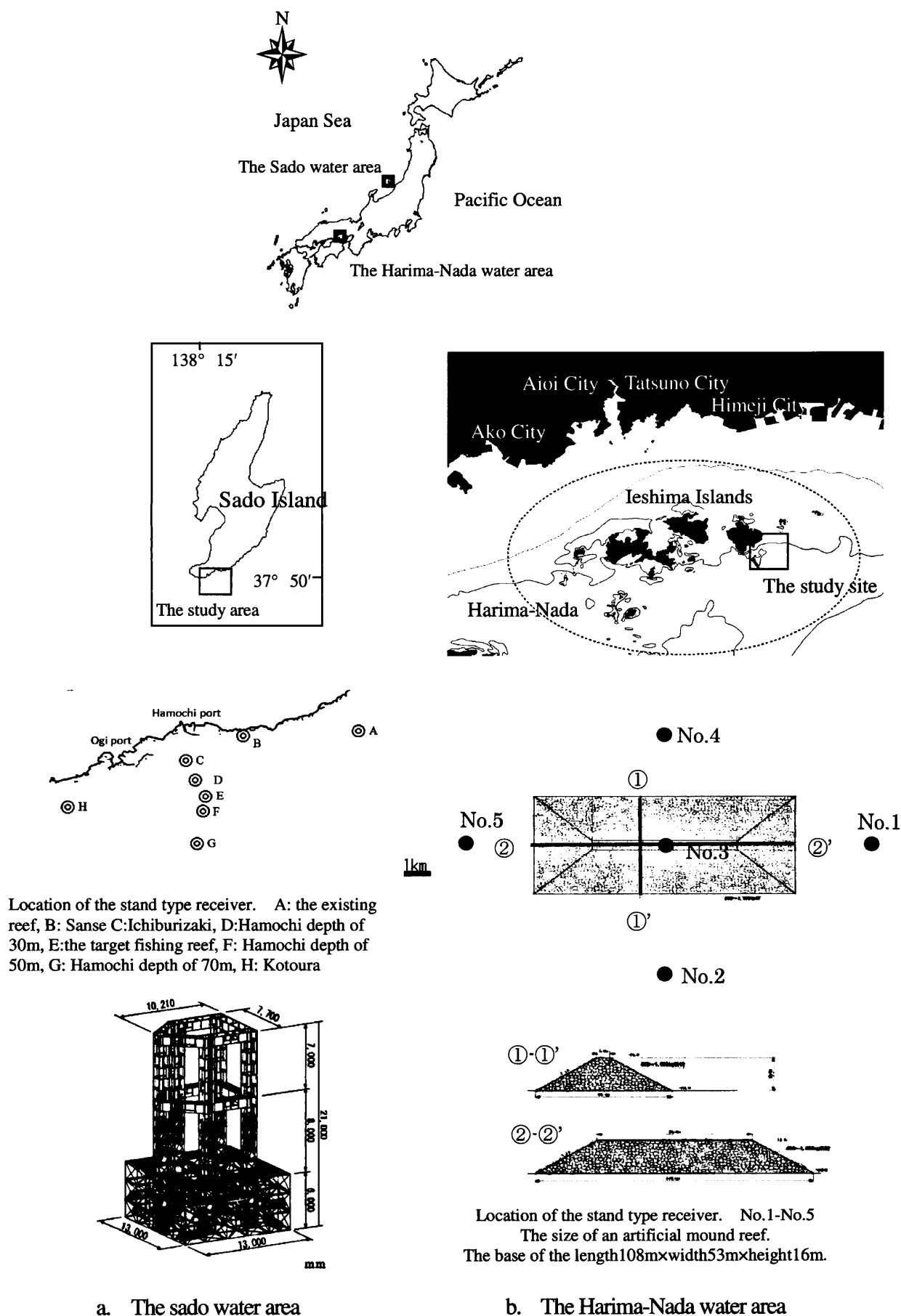


Fig. 1 The study area.

このような超音波バイオテレメトリー技術により普段、直接、目にすることのできない自然環境下での海洋生物の行動を把握することは、生理生態研究上ばかりでなく水産生物の管理にも大変役立ち、しいては資源変動の解析にも活用できる情報となる。

さらに、超音波バイオテレメトリー技術により魚類の行動生態を明らかにすることは、人工魚礁を利用した漁場造成や増殖場造成の有効性を科学的に評価することにつながるとともに、効率的な人工魚礁の規模の設定や適正な配置計画の策定に有効である。

筆者らは、日本海北部海域と瀬戸内海播磨灘海域で人工魚礁への集魚機能を評価するために行ってきた超音波バイオテレメトリー技術による魚類の行動生態研究の適用とその課題を明らかにした。

2. 材料と方法

1) 調査海域と供試魚

日本海北部海域に位置する佐渡島南西側の佐渡市羽茂町の沖合 3 km、水深 45 m に 2001 年に設置された高さ 21 m の鋼製の高層魚礁の設置海域では、マアジ (*Trachurus japonicus*) の行動追跡 (2008～2009 年) を行った (Fig. 1a)^{7)～11)}。

兵庫県姫路市家島町男鹿島地先の水深 30 m に 2008 年から造成され、1 基あたりの底辺部は長さ 108 m、幅 53 m、天端部は底辺部から高さ 16 m、長さ 60 m、幅 5 m の石材礁の造成海域では、マダイ (*Pagrus major*)、カサゴ (*Sebastes marmoratus*)、シロメバル (*Sebastes cheni*; 以下、メバル) の行動追跡 (2009～2010 年) を行った (Fig. 1b)¹²⁾。

2) ピンガー (超音波発信機)

本研究では、回遊性のマアジ、定着性のマダイ、カサゴおよびメバルを用い、超音波バイオテレメトリー技術を適用した。

ピンガー (超音波発信機) は、主にリアルタイムな追跡に用いられてきた発信間隔が 1 秒程度の連続発信ピンガー (以下、連続ピンガー) と個体識別が可能なコード化ピンガーがある。

連続ピンガーやコード化ピンガー (以下、特に断らない限り“ピンガー”とする) の大きさは、幅 7～16 mm、長さ 17.5～98 mm、水中重量 0.7～16 g、電池寿命は 4 日から 1,000 日を越えるものが用意されている (VEMCO ホームページより, Fig. 2)。

連続ピンガーは、発信される超音波に個体識別がされていないため一度に複数の個体を追跡することはできない。コード化ピンガーは、8 個のパルス列がランダムなサイレントタイムを挟んで繰り返されることにより、最大 65,536 個の ID コードを送信し、個体識別を行うことができる (VEMCO ホームページより; <http://www.vemco.com/>).

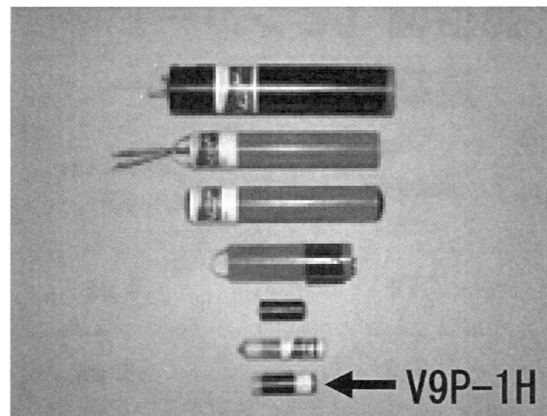


Fig. 2 The shape of pingers (manufactured by Vemco).

[com/](http://www.vemco.com/)11, May, 2012)。

ピンガーの周波数は 69.0 kHz 前後である。また、ピンガーは発信音間隔を長くすることにより電池の消耗を抑え、長期にわたり追跡を行うことができる。たとえば、本研究で用いたピンガー (V9P-1H, VEMCO 社製; 長さ 40 mm、直径 9 mm、水中重量 2.7 g、水圧センサー付き) は、電池の寿命は発信間隔 1 秒とすると約 4 日間程度、90 秒では 70 日間程度の観測が可能である。

ピンガーが装着された供試魚の存在確認の時刻、装備された各種のセンサー情報およびピンガーの ID は、設定された超音波パルスの発信間隔で得られ、受信機の内部メモリーやパーソナルコンピューターに記録することができる。

3) ピンガーの供試魚への装着と放流

ピンガーの供試魚への装着影響については体重比 (ピンガーの空中重量 / 魚体の空中重量) が 2.6% 以下であれば、魚類の行動への影響は認められない¹³⁾。

魚類へのピンガーの装着法は①魚類の口から胃に飲み込ませる。②魚類に直接、テグスなどで縫い込む。③腹腔内に開腹手術により挿入する方法がある¹⁴⁾。

本研究は、マアジでは、①の方法は急激な刺激などにより口から胃へ挿入したピンガーを吐き出す恐れがあるため使用しなかった。②の方法は装着した部位がピンガーによって固定されるため行動に影響を及ぼす恐れがある。しかし、表皮が薄くて柔らかい小型魚のマアジなどにとっては開腹手術や麻酔のリスクは大きすぎると考え、ピンガーの重量が体重比 2.6% 以下となることを考慮し、短時間で容易に装着できる外部装着の曳航式とした (Fig. 3)。

マダイ、カサゴおよびメバルでは魚類の行動に最も影響がなく、実績も豊富な③の方法 (以下、腹腔内装着) を採用した (Fig. 4)。

供試魚の取り扱い、極力、海水から取り上げること避け、ピンガーの装着には常時新鮮な海水が供給できる V 字型の木枠を厚手のビニールでコーティングした専

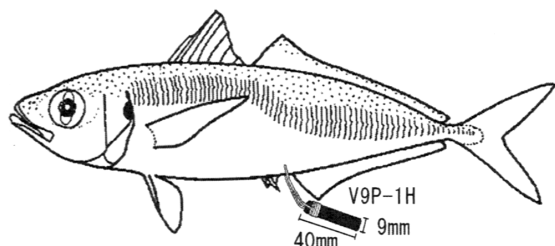


Fig. 3 An example of attached the pinger to the anal fin of the jack mackerel directly (towing system).

用のトレイを用いた (Fig. 5)。

また、いずれの装着法についても、事前に陸上水槽で、供試魚にピンガーを装着し、その脱落や傷口の異常や化膿などが起こらないことを目視により確認した。

(1) 外部装着の曳航式 (マアジ)

佐渡海域における供試魚のマアジは、全長290～360mm、体重223～420gで、追跡開始当日に高層魚礁に蟄集したものを釣により捕獲した。ピンガーは、体重比1.2～2.3%にあたるV9P-1H (VEMCO社製) とした。

発信音の間隔は連続ピンガーでは1秒、コード化ピンガーは90秒で、70日間の追跡とした。ピンガーには、水深200mまで測定可能な水压センサーを装備した。

この装着法はピンガーの先端から5mmのところに装着用の紐を予め巻き付けておき、船上ではこの装着用の紐を縫合針とハサミペアン止血鉗子直無鉤により、短時間で供試魚の尻鰭軟状基底始部に縫い込むものである (Fig. 3)。

ピンガー装着後のマアジは、船上の1トン水槽に15分程度収容し、傷口からの出血や遊泳異常がみられないことを目視で確認して、当日、高層魚礁で釣により捕獲した別のマアジ10～20尾 (全長320～340mm) とともに人工魚礁直上の海面から放流した。

(2) 腹腔内装着 (マダイ、カサゴ、メバル)

播磨灘海域における供試魚のマダイは全長228～249mm、カサゴは全長191～203mm、メバルは全長197～225mmで、地元漁業者が石材礁で籠網により捕獲した。ピンガーは、体重比2%以下となるV9P-1H (VEMCO社製) を用いた。

発信音の間隔は連続ピンガーでは1秒、コード化ピンガーは90秒で、70日間の追跡とした。ピンガーには、水深200mまで測定可能な水压センサーを装備した。

腹腔内へのピンガーの挿入手術は、麻酔→開腹 (約1cm程度) →ピンガー挿入→縫合→薬浴の手順で行った (Fig. 4)。

ピンガーの装着後は、網生け簀内に入れ、翌日もしくは翌々日に体表面の傷や遊泳異常が無いことを確認した後、放流した。放流はマダイではタモ網を用いて海面から行い、カサゴ、メバルは専用の放流籠を用い、石材礁

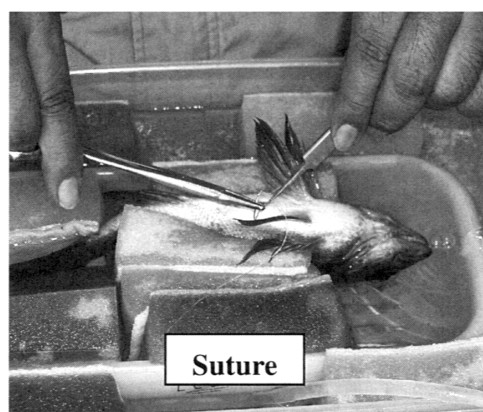
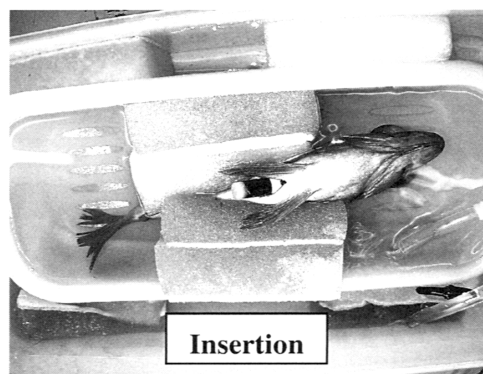


Fig. 4 An example of incised the abdomen of the rockfish and inserted the pinger.

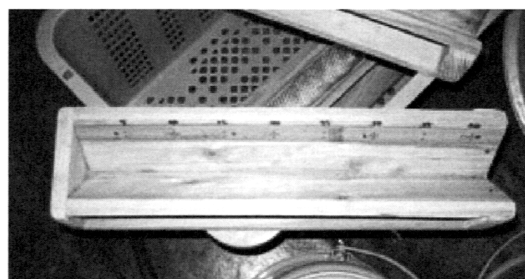


Fig. 5 Insert the pinger, the V-shaped tray for surgery.

天端付近の水深に放流した。

4) 供試魚の行動追跡

供試魚の行動追跡には、連続ピンガーを装着した供試魚を調査船によりリアルタイムに追跡を行うための超音波受信機 (以下、追跡型受信機) とコード化ピンガーを

装着した供試魚を海中に設置する超音波受信機（以下、待ち受け型受信機）による方法がある。

追跡型受信機は、1素子のハイドロフォンにより指向性を持たせたVR100（VEMCO社製）と急激な行動の変化に対応するため4素子のハイドロフォンにより全周囲のモニターが可能なVR28（VEMCO社製）があり、受信範囲はVR100で300m、VR28で100mである。

供試魚の追跡は、本研究では2機種を併用した。2機種のハイドロフォンは、調査船右舷に前後2mの幅を持たせ、水深約1mに固定し、発信機からの超音波強度を確認しながら、調査船と連続ピンガーを装着した供試魚までの距離を100m程度に保ち、GPS内臓のStructure Scan（LSS-1, LOWRANCE社製）により、調査船の位置と海底地形を記録した。

待ち受け型受信機（VR2W, VEMCO社製）は、幅60mm、長さ205mmの円筒形である。電池はリチウム電池で180日間の連続使用が可能であり、受信範囲は直径300～400mである。

供試魚が受信範囲に入り込むとコード化ピンガーから超音波が発信され、待ち受け型受信機にはID、日付、時間、その他装着されたセンサー情報が最大30万データ記録できる。記録されたデータは、インターフェースを介して、パーソナルコンピュータに接続して、通信、転送できる。

待ち受け型受信機は、先の連続ピンガーの調査結果から得られたマアジの行動様式を参考に、供試魚の滞留しそうなところにあらかじめ設置する。調査海域での供試魚の行動様式が不明な場合は、水中構造物などを中心に受信の影ゾーンや受信範囲の切れ目が発生しないように複数台を設置するが、広範囲を移動する種類を長期間追跡するためには大量の待ち受け型受信機が必要となり現実的ではない。連続ピンガーによる追跡を事前に行い、待ち受け型受信機の効率的な配置を決定することが重要である。

受信機の設置方法は佐渡海域の高層魚礁では、魚礁本体の中段部に直接くくりつけた。また、佐渡海域の高層魚礁以外の観測点や播磨灘海域では鉄製の架台を製作し、受信機が海底から1m程度の位置になるように設置した。

5) データ解析

供試魚に装着した連続ピンガーと追跡型受信機により得られたデータからは、供試魚の12時間から数日間の連続した水平行動様式とその時の遊泳水深を調べた。

コード化ピンガーと待ち受け型受信機により得られるデータは供試魚ごとに90秒間隔で最大70日の1時間ごとの受信回数の時系列であり、マアジについては追跡期間中の佐渡海域における移動様式と受信機設置海域内での滞留時間を推定した。マダイ、カサゴおよびメバルについては時間あたりの受信回数を集計し、昼夜別の行動の

変化をとらえるとともに、スペクトル解析、自己相関解析および潮汐との相互相関解析（マイクロソフトExcelアドインソフト、解析ツールver.1.2、共和計測社製、1999）からそれらの行動様式を解析した。

なお、播磨灘海域の潮汐データは、海上保安庁海洋情報部の潮汐推算値（姫路港）を利用した（http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/tide_red/index.htm, 11.May, 2012）。

3. 結果と考察

1) マアジの行動様式^{7)~11)}

(1) 追跡調査の概要

調査は日本海佐渡島地先の高層魚礁で2008年と2009年の各年5月から8月に行った。2008年は追跡型受信機のVR100とVR28を併用して、連続ピンガーを装着したマアジを2～7日間、昼夜連続して追跡した。追跡したマアジは計7個体とした。

2009年には待ち受け型受信機のVR2（VEMCO社製、VR2Wの先代機種）を2008年に得られたマアジの行動様式から、対象とした高層魚礁の流れの下側と上側に各1台、高層魚礁から東に7km離れた既存礁に1台、琴浦沖の定置網の先端に1台、および周辺の天然礁に5台の計9台を設置し（Fig. 1a）、コード化ピンガーを装着したマアジを2009年6月11日～6月16日の間に、4回、2～3個体ずつ、合計10個体を放流した。追跡期間は70日とした。

(2) 佐渡海域、高層魚礁周辺におけるマアジの行動

2008年の連続ピンガーと追跡型受信機によるマアジの高層魚礁を中心とした行動様式の事例をFig. 6に示した。

マアジの追跡は2008年6月24日11：30から開始し、19：00まで高層魚礁で記録された。その後、南に向けて

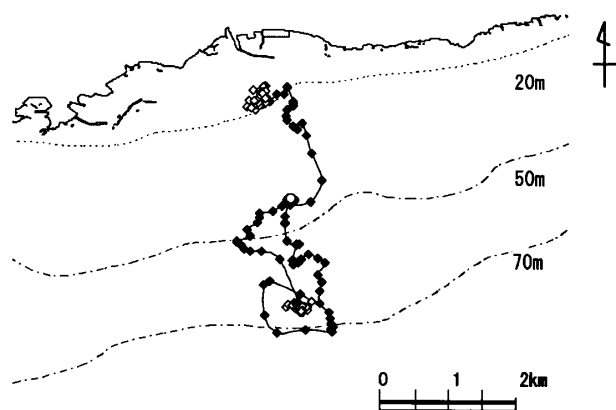


Fig. 6 An example of moving of the jack mackerel between the reef by the tracking type. (Reference from Journal of Fisheries)⁷⁾.

- ◆ Moving paths of the jack mackerel (daytime: from sunrise to sunset)
- ◇ Moving paths of the jack mackerel (night-time: from sunrise to sunset)
- The target reef

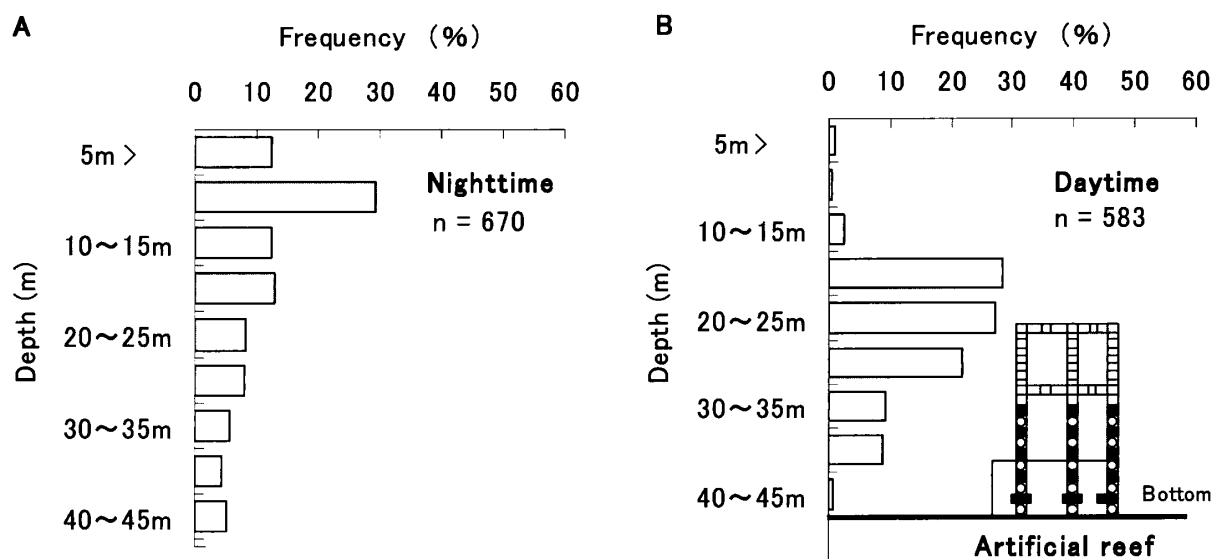


Fig. 7 Water depth compositions of the Jack mackerel's swimming layer in the night-time from 19 : 30 to 3 : 00 am (A) and the daytime from 3 : 00 am to 19 : 30 (B). (Reference from Journal of Fisheries, modified)⁷⁾.

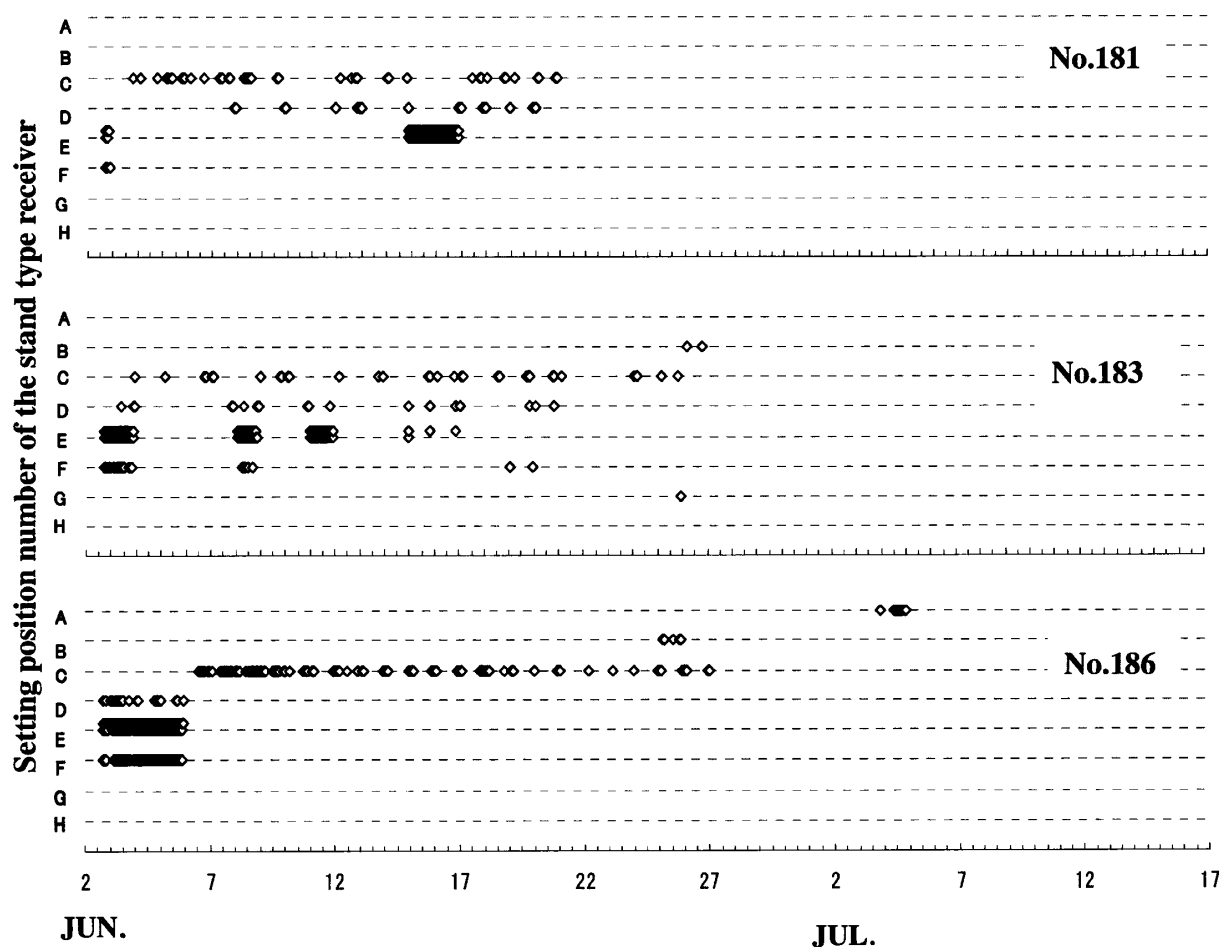


Fig. 8 An example of moving of the jack mackerel between the reefs (2009).

ID numbers in the figure indicate the number of coded pinger. A : the existing reef, B : Sanse
C : Ichiburizaki, D : Hamochi depth of 30m, E : the target fishing reef, F : Hamochi depth of 50m,
G : Hamochi depth of 70m, H : Kotoura.

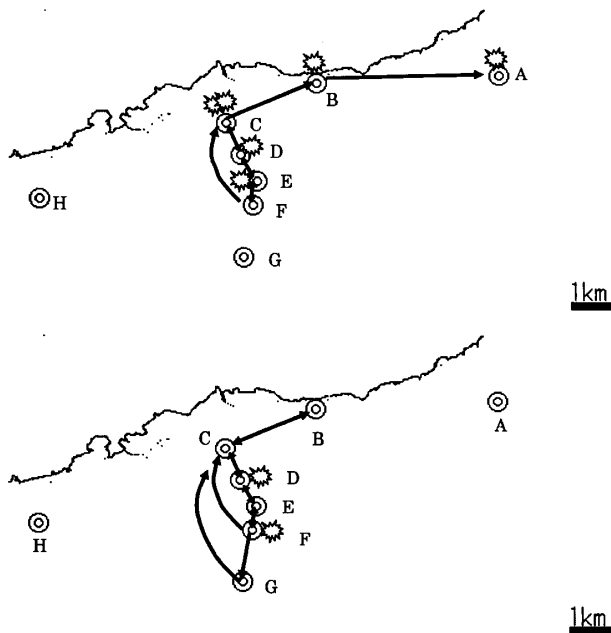


Fig. 9 An example of tracking the jack mackerel for 70 days by stand type receivers.

☼ Indicate the final position of the outgoing records.

移動し、翌25日4:30には水深70mの天然礁へ到着し、日中はその天然礁に留まった。同日19:30には天然礁から北に向かって移動し、23:00には高層魚礁近傍を通過して、翌26日2:45に水深20mにある沿岸の天然礁へ到着して、日中はその天然礁に留まった。佐渡海域で行った7個体の行動追跡よりマアジが高層魚礁より離脱する時間帯は18:45~21:15で、昼間の礁への滞留は14時間から18時間程度であった。

マアジの遊泳水深の出現頻度を夜間は19:30~翌3:00までと日中は3:00~19:30として15分毎のマアジの遊泳水深データを集計し、Fig. 7に示した。

マアジは両時間帯とも水深5~45mの範囲を幅広く利用していた。しかし、夜間は水深5~10mを遊泳し、日中は高層魚礁の天端部から高さ10m程度をして利用しており、マアジの遊泳水深は夜間と高層魚礁に偏集する日中で大きく異なっていた。

(3) 佐渡島羽茂地先への滞留期間

2009年には待ち受け型受信機によってマアジを70日にわたり追跡した。マアジの礁間における移動の事例をFig. 8に示した。

マアジは、夜間に平均3kmの範囲内に点在する高層魚礁や天然礁を移動し、昼間は高層魚礁や天然礁に滞留しながら、Fig. 9に示すとおり海域を利用して、最長1ヶ月程度、佐渡島羽茂地先に滞留した。その後、隣接する海域へと移動したと考えられる。

本研究で用いた外部装着法の曳航式は、ピンガーが小型、軽量化(体重比1.2~2.3%以下)され、装着も短時間で行うことができ、約1ヶ月間の追跡が行えた。した

がって、マアジの遊泳に大きなストレスを与えることはなかったと考えられる。

2) マダイ、カサゴ、メバルの行動様式¹²⁾

(1) 追跡調査の概要

調査は播磨灘家島地先の石材礁で2009年10月29日、30日、11月1日には追跡型受信機のVR100とVR28を併用して、連続ピンガーを装着したマダイ3尾を12時間(10時から22時)、追跡した。

2009年10月31日には待ち受け型受信機のVR2(VEMCO社製)を、石材礁天端中央部とその周囲に受信の影ゾーンや受信範囲の切れ目が発生しないように5台設置し(Fig. 1b)、同年11月1日からコード化ピンガーを装着したマダイ5個体、カサゴ5個体、同年12月24日からメバル5個体の追跡を開始した。追跡期間は70日

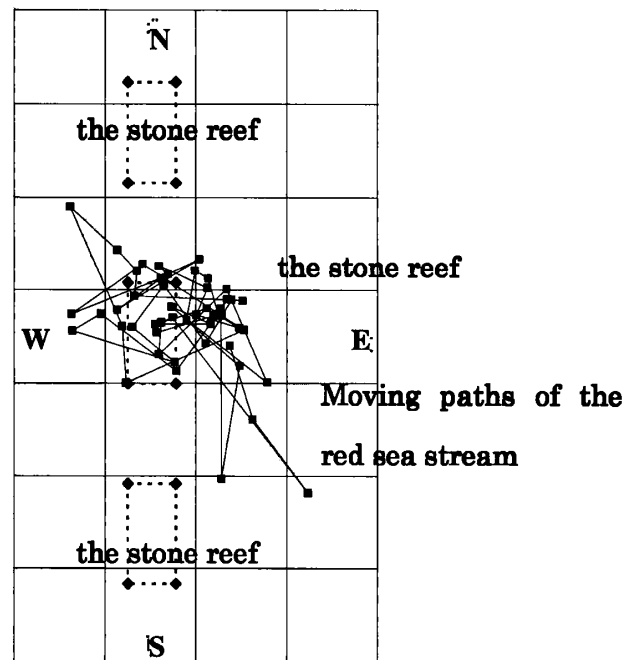


Fig. 10 An example of behavior of the red sea bream by the tracking type (Oct.29, 2009, 12 hours).

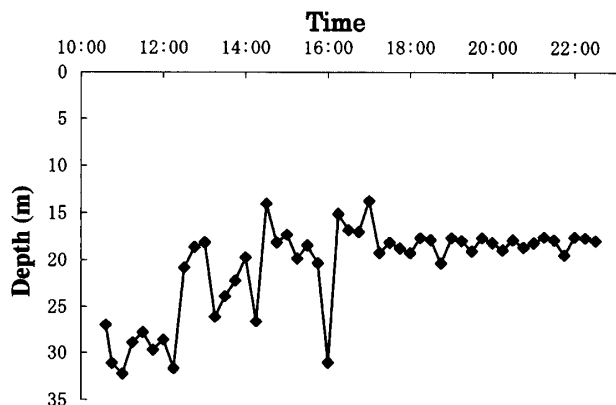


Fig. 11 An example of change of the red sea bream's swimming depth. (Oct.29, 2009, 12 hours)

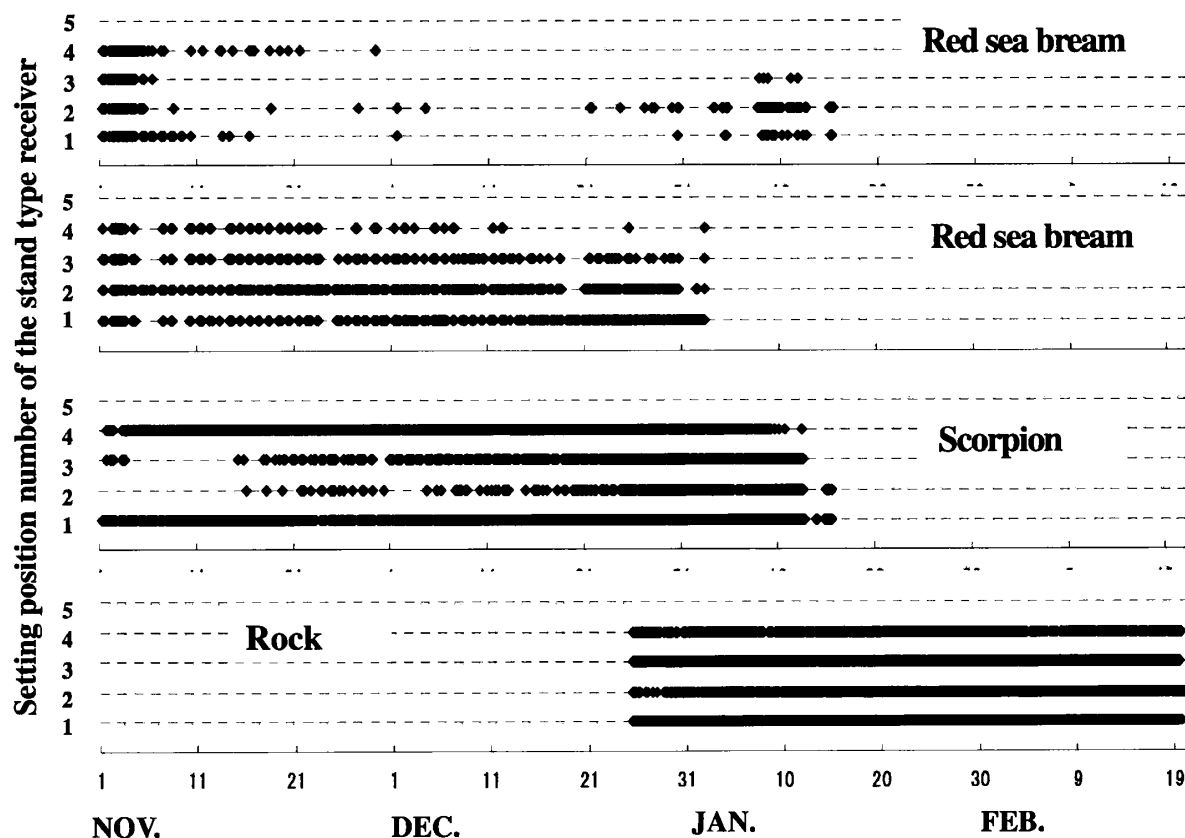


Fig. 12 An example of moving of three tracking species by stand type between the reefs (2009). No.5 lacked. No.1-No.5 in the figure indicate the number of the stand type receiver at Harima-Nada area.

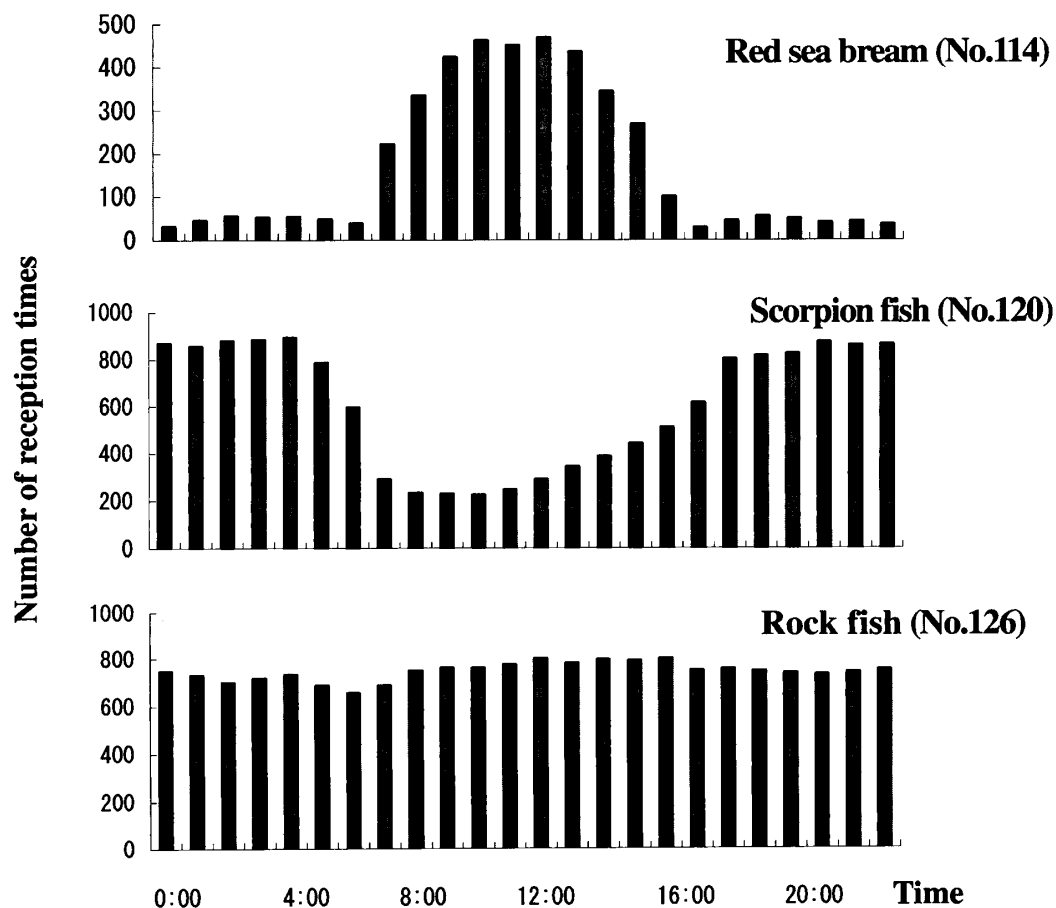


Fig. 13 An example of the activity of three tracking species by stand type at night and day respectively. (70 days) ID numbers in the figure indicate the number of coded pinger.

とした。

(2) 播磨灘、石材礁周辺におけるマダイ、カサゴ、メバルの行動

2009年10月29日の追跡型受信機（12時間）によるマダイの石材礁における利用状況はFig. 10に示すとおり、時折、石材礁から離脱するものの、放流した中央の石材礁にはほぼ連続して確認できた。その時のマダイの日中の遊泳水深は、海底地形に沿って15～30mの間を上下し、夜間は石材礁の天端の水深17m付近を遊泳し、日中のような深浅移動はみられなかった（Fig. 11）。

2009年11月から追跡を開始した待ち受け型受信機から

得られたマダイの行動様式は、いずれの個体も時期は異なるものの石材礁から離脱し、再び石材礁に戻る個体もみられた。マダイが石材礁に連続して留まった日数は、5～63日であった。カサゴとメバルはいずれの個体も石材礁にとどまり、カサゴは75～79日間、メバルは55～56日間、石材礁での記録が得られた（Fig. 12）。

待ち受け型受信機による追跡3種の水中での昼夜の行動はFig. 13に示すとおりであり、マダイは日中に増加し、夜間に減少し、マダイの行動には約1日の周期性がみられた。カサゴは日中減少し、夜間増加するといったマダイとは逆の傾向がみられた。メバルはマダイ・カサ

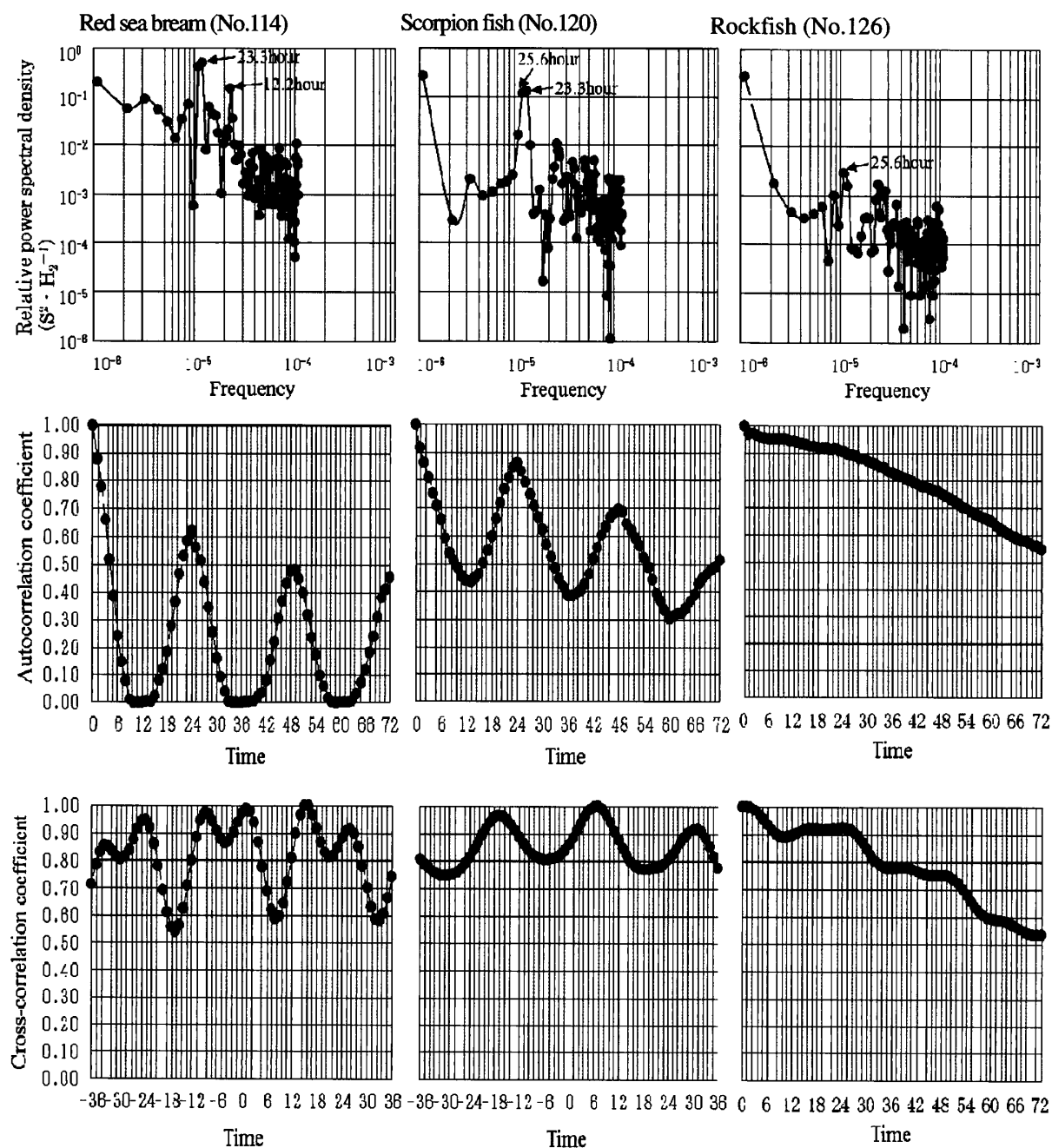


Fig. 14 An example of periodic behavior analysis of three tracking species by stand type.

ID numbers in the figure indicate the number of coded pinger.

S : Number of times per hour reception (upper)

ゴの2種と比べ、日中と夜間とで受信回数の変化はみられず、カサゴやマダイと比べ、石材礁の隙間や陰に入り込まなかったとみられる。

播磨灘海域において、供試魚の行動に周期性があるのかを把握するため、1ヶ月間（マダイ、カサゴは2009年11月から12月、メバルは2009年12月から翌年1月）に記録された1時間あたりの受信回数（最大で40回/hr）の時系列を対象にスペクトル解析を行い、相対パワースペクトル密度を、また、供試魚の行動の増減にどれだけの時間差があるかを把握するため、自己相関係数を、さらに、受信回数の増減と潮汐の変化との周期にどれだけの時間の差があるのかを把握するため、相互相関係数を求め、Fig. 14に示した。

相対パワースペクトル密度や自己相関係数は、マダイとカサゴは約24時間での強い概日周期性が認められたが、メバルはそのような傾向はみられなかった。

供試魚と潮汐の周期との相互相関係数からは、マダイとカサゴの水中での行動は潮汐と6時間程度の差のあることが認められ、満潮時および干潮時といった潮止まりに比べ、潮が動いている時により岩の隙間などから離れて行動していることが示唆された。

以上の結果をもとに、播磨灘、家島地先の石材礁におけるマダイ、カサゴ、メバルの行動パターンを示した（Fig. 15）。マダイは、日中は石材礁近傍を遊泳し、夜間は石材礁の隙間や陰等に入り、潮が動いている時に行動する傾向がみられた。また、カサゴの水中での活動は、マダイと逆を示し、日中に減少、夜間に増加し、潮が動いている時に行動する傾向はマダイと同じであった。メバルは昼夜、ほぼ同じ水深帯で行動し、潮汐との関係がみられないことが明らかとなった。

3) ま と め

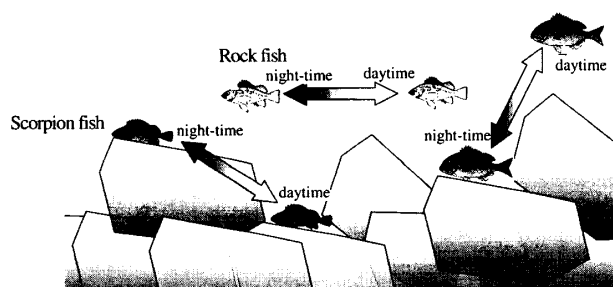


Fig. 15 The moving patterns of the red sea bream, the scorpion fish, and the rockfish in the stone reefs at Harima-Nada and sight frontage of Ieshima.

本研究では、回遊性魚類のマアジ；全長290～360mm、定着性魚類のマダイ；全長228～249cm、カサゴ；全長191～203mm、およびメバル；全長197～225mmに軽量、小型のピンガーを外部装着法と腹腔内装着法により装着

し、個体追跡を行った。さらに、複数個体で同時期に長期間連続追跡が可能なコード化ピンガーによる追跡を行った。

その結果、回遊性や定着性の魚類に対する人工魚礁の有効範囲、対象とした魚種の滞留時間などの要素が明らかとなり、効率的な人工魚礁の規模の設定や適正な配置計画の策定に有効な知見を得ることができた。超音波バイオテレメトリー技術を用いた魚類行動追跡は、人工魚礁を利用した漁場造成の有効性を科学的に評価するための方法として有効であった。

人工魚礁を利用する魚種は多種多様であり、しかも小型魚や未成年魚が主体の人工魚礁も多いことから、これらの行動測定を行うためには、さらにピンガーの軽量、小型化を推し進める必要がある。

一方、連続ピンガーによる追跡には莫大な労力と長時間の根気が必要であった。現在、このような問題を解決するため、複数台の水中ハイドロフォンを設置して高精度な移動情報を得ることのできるステレオ式自動水中録音装置（AOSOMS version 3.0, システムインテック社製）¹⁵⁾ やVPS（VEMCO社製）¹⁶⁾ などといったシステムが開発され、今後の運用が期待される。さらに、超音波バイオテレメトリー技術を魚類の行動様式解明の方法として用いるためには、測器の高価格、電池の容量による記録時間の制限などの課題がある。

謝 辞

本研究は、水産庁「水産基盤整備調査委託事業」および兵庫県「第2鹿ノ瀬構想の推進に関する調査事業」で実施された調査の一部をとりまとめたものである。調査の実施に当たりご協力を頂いた関係者の皆様に感謝申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 町中 茂：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。海洋科学，9：20-26，1977.
- 2) 村山秀夫：新潟県（両津湾）におけるブリの移動について。海洋科学，9：27-34，1977.
- 3) 柿元 皓・大久保久直・板野英彬：3. ヒラメ，「テレメトリーによる水生生物の行動解析」（添田秀男編）。恒星社厚生閣，東京，pp.31-40，1991
- 4) 小井土 隆・宮部尚純：5. マグロ，「テレメトリーによる水生生物の行動解析」（添田秀男編）。恒星社厚生閣，東京，pp.55-66，1991.
- 5) 光永 靖：バイオテレメトリー情報によるマダイの行動・生理に関する研究。京都大学農学研究科博士論文，2000.
- 6) Mitamura, H., N. Arai, W. Sakamoto, Y. Mitsunaga, T. Maruo, Y. Mukai, K. Nakamura, M. Sasaki, and Y. Yoneda: Evidence of homing of black rockfish *Sebastes inermis* using

- biotelemetry. Fish. Sci., **68**: 1189-1196, 2002.
- 7) 伊藤 靖・三浦 浩・中村憲司・吉田 司：日本海佐渡島羽茂地先の人工魚礁における超音波バイオテレメトリーを用いたマアジの行動様式. 日本水産学会, **75**: 1019-1026, 2009.
 - 8) 伊藤 靖・三浦 浩・吉田 司・中村憲司：佐渡海域におけるバイオテレメトリー・計量魚探を用いた人工魚礁に蛸集するマアジの行動解析. 平成21年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp.47-50, 2009.
 - 9) 伊藤 靖・三浦 浩・吉田 司・中村憲司：佐渡海域におけるバイオテレメトリーを用いた人工魚礁に蛸集するマアジの行動解析 (その2). 平成22年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp.147-150, 2010.
 - 10) 水産庁・財団法人 漁港漁場漁村技術研究所：平成20年度人工魚礁におけるアジ類の蛸集・増殖に関する調査報告書, 2009.
 - 11) 水産庁・財団法人 漁港漁場漁村技術研究所：平成21年度人工魚礁におけるアジ類の蛸集・増殖に関する調査報告書, 2010.
 - 12) 兵庫県・財団法人 漁港漁場漁村技術研究所：第2の鹿ノ瀬構想の推進に関する調査報告書, 2010.
 - 13) 柿元 皓：新潟県沿岸域の人工魚礁漁場における魚類の行動学的研究. 新潟水産試験場, pp.77-94, 1984.
 - 14) Ernest, J. Mellas and James, M. Haynes: Swimming Performance and Behavior of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) and White Perch (*Morone americana*). Effect of attaching Telemetry Transmitters. Can. J of Fish. Aquat. Sci. **42**: 488-493, 1985.
 - 15) 新家富雄・鴨志田隆・市川光太郎・三田村啓理・荒井修亮：魚類用高精度音響測位システムの開発. 信学技報, **111**: 11-16, 2011.
 - 16) Espinoza M., T. J. Farrugia, D. M. Webber, F. Smith, C. G. Lowe: Testing anew acoustic telemetry technique to quantify long-term, fine-scale movements of aquatic animals. Fish. Res. **108**: 364-371, 2011.