

パヤオ周辺でのマグロ類の遊泳行動Ⅱ

太田 格, 渡辺利明

1. 目的

パヤオ漁業は本県の沿岸漁業生産量の20%以上を占める重要な漁業であり¹⁾, マグロ類はその最重要種である。しかし, マグロ類がパヤオへの蟻集するメカニズムについてはよく分かっていない。これまで, コード化超音波発信機と自動記録型受信機を用いた調査により, マグロ類(キハダ, メバチ)のパヤオでの滞在期間, パヤオ間の移動, パヤオ周辺での遊泳行動の日周期的な変化について多くの情報を得た²⁻⁶⁾。特に遊泳行動の日周期性はパヤオを中心とした水平移動の日周パターンであると考えられたが, その詳細については明らかでない。そこでパヤオ周辺での遊泳行動, 特に水平移動の詳細を把握することを主な目的とした超音波発信機標識による追跡調査および自動記録型受信機を用いた行動観測調査を実施した。

2. 材料および方法

1) 追跡調査

本調査では, 2チャンネル超音波発信機(VEMCO社 V16 TP), 超音波受波器(VEMCO社 V10), および超音波受信機(VEMCO社 VR60)によるテレメトリーシステムを用いた。使用したV16 TP発信機は, 長さ65 mm, 直径16 mm, 周波数50 kHzで, 水深と温度の2つのデータを送信する。

釣獲後, 速やかに腹腔内に発信機を埋め込みこんだ²⁾キハダを放流し, 調査船凶南丸(176トン)で追跡した。発信機からの音波信号を, 舷側に設置したV10を介して船内のVR60で受信し, 水深, 腹腔内温度データを得た。追跡中は, 標識魚を逃がさないため, また, 標識魚の位置と調査船の位置の差が広がらないために, できる限り標識魚に近づく努力をした。標識魚の位置は基本的に追跡している船舶のGPSの位置とした。追跡中, 調査海域の水温鉛直構造を把握するために6時間毎にXBTおよびCTD観測を行った。遊泳水深とXBT等の水温データから, 遊泳層の水温を得た。また, 追跡中の潮流

データをADCPによって観測した。

2) 自動記録型受信機を用いた行動観測調査

コード化超音波発信機(VEMCO社 V16 P-4 H, 69 kHz)と自動記録型受信機(VEMCO社 VR25)により, パヤオ周辺のマグロ類の長期行動観測を実施した。このシステムの主な特徴は, 1) 単周波で複数個体を識別できること, 2) 発信機の電池寿命が比較的長いことにより, 観測定点で同時複数個体の長期モニタリングができることである。記録するデータは, 受信時刻, 遊泳水深, 信号強度である。予備調査で, 本システムの受信範囲の確認試験を行った。さらに信号強度からパヤオ-標識魚間の距離を推定するため, 受信機-標識魚間の実測距離と信号強度の関係を調べた。受信機は糸満沖耐久性浮魚礁ニライ8号(水深4 m)に設置され, 主に調査船凶南丸で予備調査, 漁獲, 標識, 放流および受信機データ回収作業を行った。

3. 結果

1) 追跡調査による水平移動

パイオテレメトリー法を用いた追跡調査により, 1個体のキハダについて水平移動のデータを得た(図1)。2002年6月19日に耐久性浮魚礁ニライ8号(N8:糸満沖)周辺において, 一本釣りで漁獲したキハダ(94.8 cm FL)を, 同パヤオのそばで放流し, 調査船で追跡した。8:00の放流から, 10:30まではN8周辺0.5マイル以内を遊泳していたが, その後西から北方向へ移動した。13:45, N8から2.23マイル離れた所で, 標識魚が調査船についていることに気が付いた。その後, 調査船を風と潮によりドリフトさせると, 標識魚もそれに同伴し, 19:40までに北東方向へN8から6.89マイル流された。18:00頃から風が強まり受信状態が悪くなってきた。19:00過ぎに日没となり, 19:40に受信できなくなった。

16:15-19:40に, 調査船と標識魚の位置

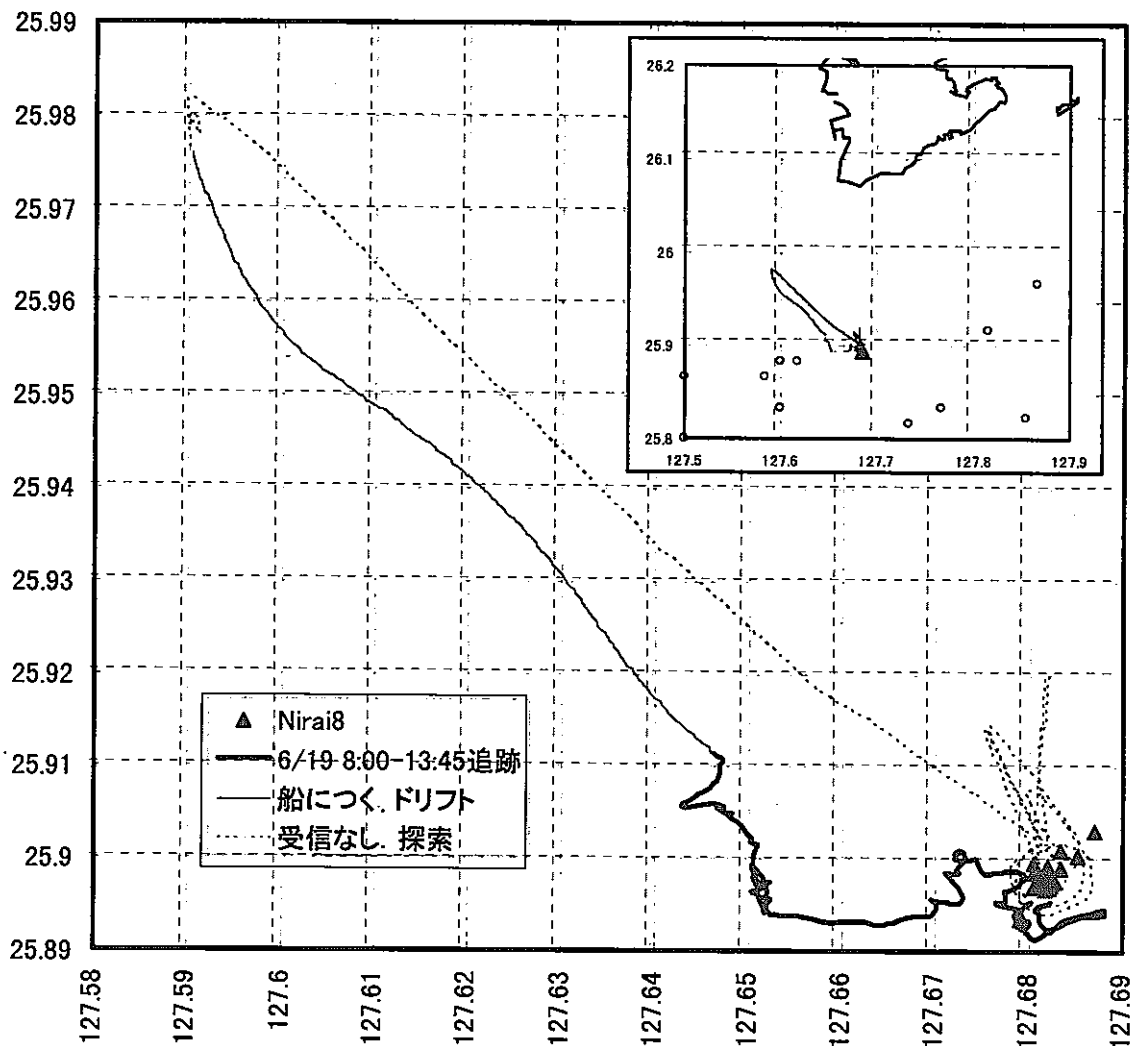


図1. キハダ (94.8 cmFL) の追跡調査結果 (2002年6月19日-6月21日)
 6/19 8:00糸満沖N8付近にて放流。追跡開始。6/19 13:45船についてしまった。13:45船のドリフトに標識魚も随伴。19:40受信なし。探索しながらN8に戻る。23:00調査船N8到着。6/20 2:29 N8付近にて再受信。その後バヤオ近傍を遊泳。6/21 12:00 調査終了。

関係を調べるために、1分間隔で標識魚の方位を記録した。標識魚の受信方位はおよそ45°の分解能で検知できた。受信方位は135-224°範囲で多く、船首方位が110°であったので、右舷側(船首0°

に対し90°付近)に多く分布していたと考えられる(図2)。ハイドロフォンの設置位置は右舷であるが、船底を超えるように設置してあり、また左舷側からの受信も確認されているのでハイドロフォンの設置位置による影響ではない。

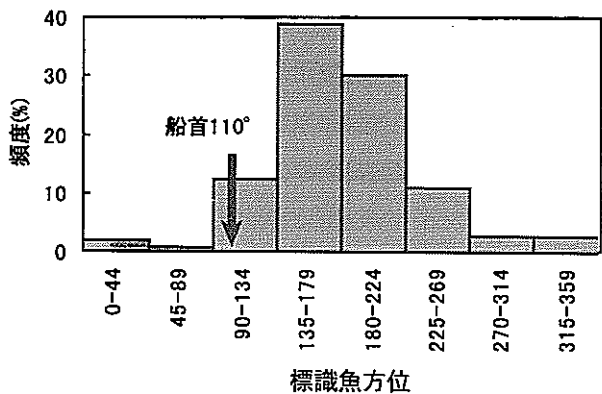


図2. 船からみた標識キハダの受信方位頻度分布
 船首方位は110°

標識魚からの信号が受信できなくなってから、航跡をたどり探索しながらN8へ向かった。23:00にN8へ到着し、その後N8周辺で探索を続けたところ、翌6月20日の2:29には再び受信があった。これは標識魚が、受信が途絶えてからおよそ7時間後に、7マイル離れたN8に戻ったことを意味する。しかし、このとき受信に気づかず、その後断続的な受信があったものの再受信の認知と再追跡は6:00からとなった。その後、標識魚はほとんどN8近傍から動かず、6月21日12:00の調査終了まで、90%以上の時間をN8の0.1マイル(185m)以

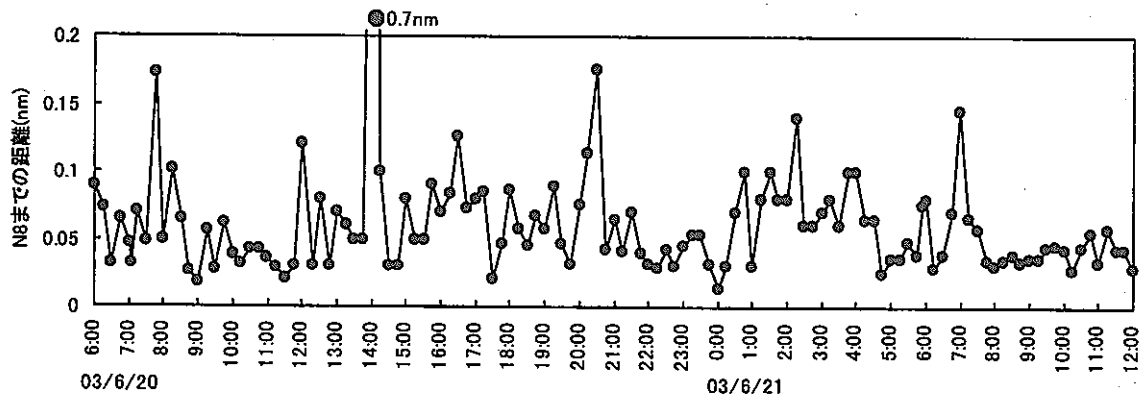


図3. 調査船(標識魚)からパヤオ(N8)までの距離の時系列データ(15分毎)。6/20 6:00再追跡から6/21 12:00調査終了まで

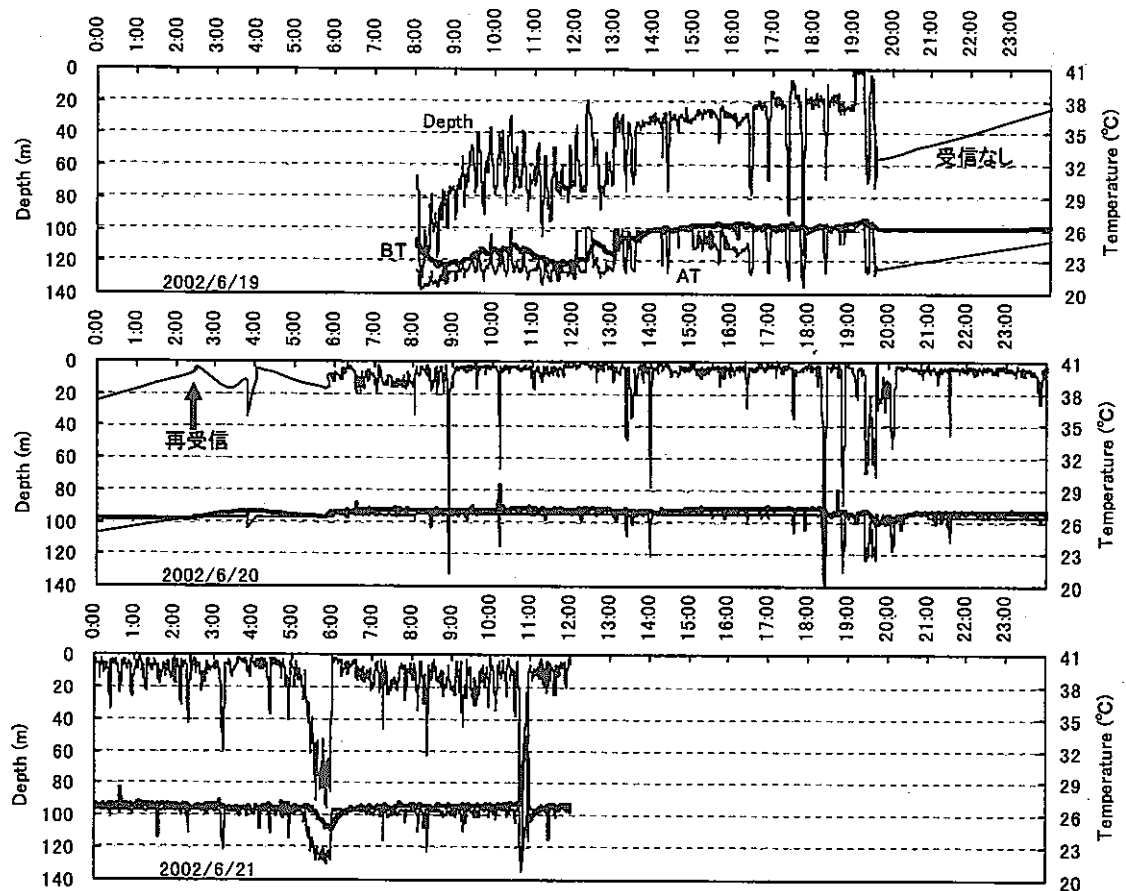


図4. キハダ(94.8cmFL)の追跡調査による鉛直移動(Depth), 水温(AT:細線), 腹腔内温度(BT:太線)の時系列データ

内に留まった(図3)。このデータは調査船位置によるものであり、実際はパヤオのすぐそば0.02マイル以内にもかなりの時間分布していたものとみられる。一時的ではあるが、14:00頃にN8から0.7マイルまで、また朝7:00頃若干N8を離れる行動が認められた(図3)。

2) 追跡調査による鉛直移動

上述のキハダ(94.8 cm FL)の鉛直移動について図4に示した。放流直後、水深120 m付近まで潜行したが、その後主に40-80 m範囲を遊泳した。標識魚が船に惹きつけられ始めた13:00頃から水深20-30 m付近を遊泳し、時折水深60 mを超える短時間の鉛直移動が認められた。また、日没直前の約20分間(19:00頃)は海面付近を遊泳し、その後受信が途絶えた。

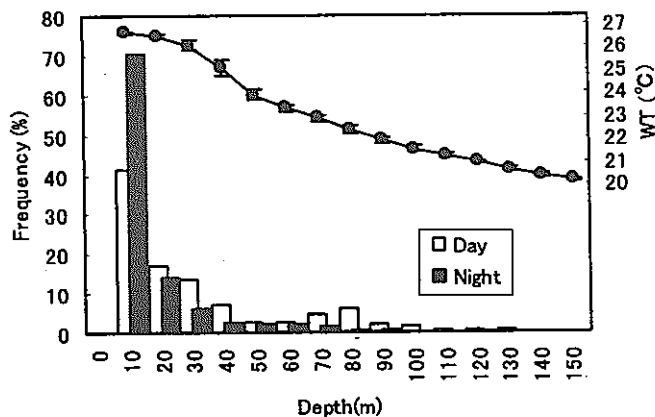


図5. キハダ (94.8 cm FL) の遊泳水深頻度分布および水温鉛直構造

再受信され、再び追跡が開始された6/20 6:00以降は水深10-20 mより浅い層を遊泳した。6/21 12:00の追跡終了まで全体で、時折大きな鉛直移動が認められたが、90%の時間は、昼間で80 m以浅、夜間で30 m以浅に分布した。平均水深±標準偏差は昼間25.4 ± 27.1 mに対し、夜間11.9 ± 14.1 mで有意差が認められた (t検定, $p < 0.01$) (図5)。多くは水温躍層 (水深30-50 m) 以浅に分布していた (図5)。

3) 追跡調査による体温特性

上述のキハダ (94.8 cm FL) の鉛直移動に伴う腹腔内温度 (体温) と遊泳層水温 (水温) の変化について図4に示した。遊泳層水深および水温範囲はそれぞれ0-135 m, 27-20°Cの範囲で、体温の範囲は29-21°Cであった。体温は概ね水温よりも高く保たれたが、表層遊泳時 (6/20 6:00-18:00) の体温-水温差は平均で0.4°Cで、若干水温よりも体温が高い程度であった。体温と水温の差は、水温が低いほど大きく、反対に水温が高いときは水温と同じくらいであった。

4) VR 25 行動観測システムの特性

本システムの特性を把握するためにいくつかの予備試験を行った。使用した機材および設定は以下の通りである。VR 25 受信機: 周波数69 kHz, Sync 360 ms, Bin 20.0 (ms), Gain 初期45 dB, Gain 最大60 dB。コード化音波発信機 V 16 P-4 H coded: 周波数69 kHz, delay time 5-30 s。delay time 5-30 sとはランダムに変化する発信間隔を意味し、5-30

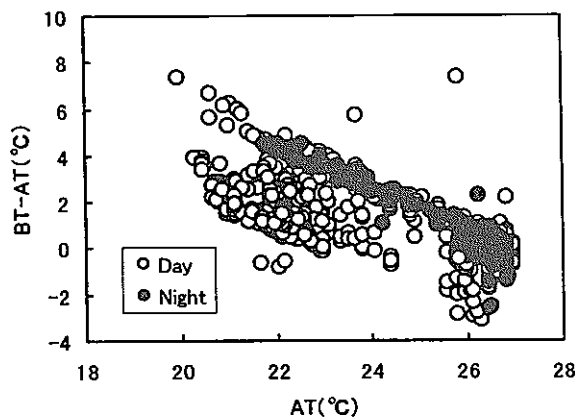


図6. 遊泳層水温 (AT) と腹腔内温度 (BT) - 水温差の関係

秒がその範囲である。

研究室で、発信機1本を受信機近傍に置いて受信状況を調べたところ、1時間あたりの最大発信数の平均は171.6 ± 8.7回、平均発信間隔は20.9 ± 7.4 sであった (図7, 8)。これはdelay timeの設定値5-30 sから求めた平均発信間隔17.5 sと概ね同程度であった。

本システムの特徴は、複数標識個体の同時観測と述べたが、正確には同時受信では観測エラーが起こり、信号は記録されない。発信間隔をランダムに変化させることでこのエラーの起こる確率を減少させているが、観測する標識が増加するほどその確率は高まるとされている。調査海域で発信機の数を変えて単位時間あたりの受信数を実測したところ、発信機の増加に伴い受信数は図9のように減少した。また、調査船に装備され、常時起動している音響機器 (古野魚群探知機28 kHz, 68 kHz, 古野ADCP 224 kHz, RD-ADCP 75 kHz) は受信に大きく影響する可能性が認められた (図9)。

本システムの受信範囲および信号強度と距離の関係を把握するために調査海域で以下の試験を行った。受信機をN 8に設置し、発信機を水深50 mに懸垂した調査船をN 8近傍から徐々に離し、レーダーを用いて毎分の水平距離を記録する。後に受信データと対応させたところ、受信範囲は半径約1000 mであった (図10)。このとき記録された信号強度と実測水平距離を対応させたところ両者の関係は指数関数によく当てはまった ($y = 14897.8 (0.94299)^x$, $R^2 = 0.66$, $P < 0.01$) (図10)。また、鉛直方向の距離 (水深) と信号強度の関係を調べたところ、

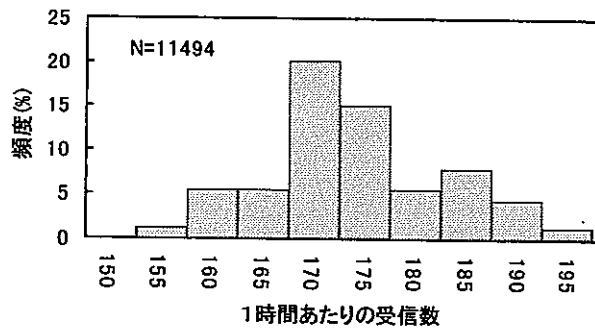


図7. VR25システム：単位時間あたりの最大発信（受信）数
陸上予備試験。発信機16P-4H, delay time 5-30s.

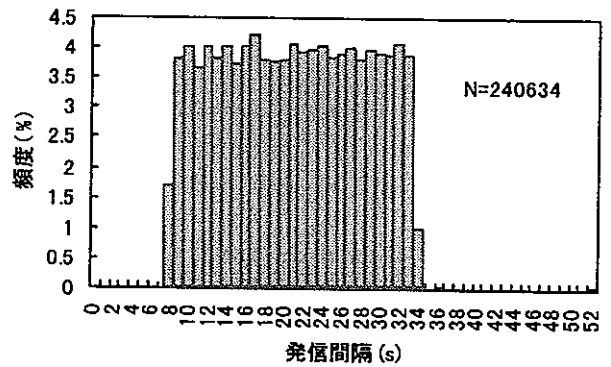


図8. VR25システム：平均発信間隔
陸上予備試験。発信機16P-4H, delay time 5-30s.

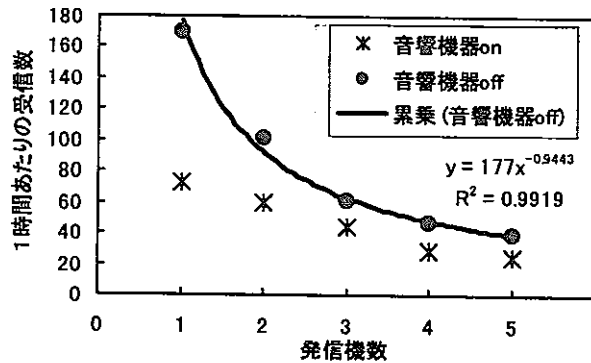


図9. VR25システム：使用発信機数と受信数の関係
海上予備試験。調査船舷側から受信機および発信機を
水深10-15mにつす。船に装備された音響機器全て
ON/OFFの場合

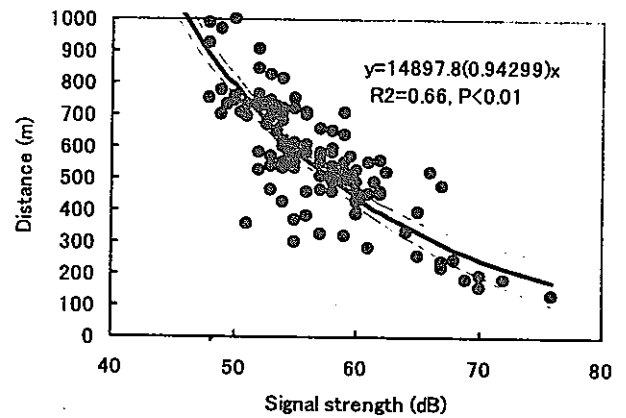


図10. VR25システム：信号強度と実測水平距離の関係
海上予備試験。N8に受信機設置。調査船の舷側から
水深50mに発信機をつり下げ、徐々にN8から離れた。
太線は指数関数曲線、細線は95%信頼区間。

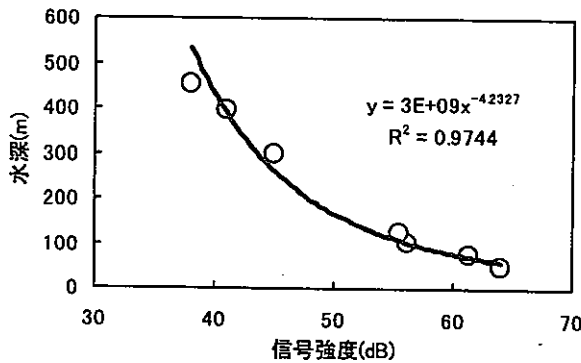


図11. VR25システム：信号強度と水深の関係
海上予備試験。N8に受信機設置。水深500付近まで
徐々に発信機を下ろしていったときの結果。水平距
離は0と見なす。

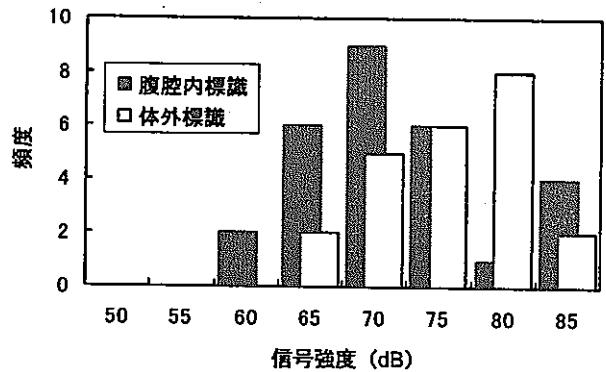


図12. VR25システム：標識法による信号強度の比較
海上予備試験。調査船舷側から受信機および発信
機を水深10-15mにつす。キハダ54cmFLの結果。

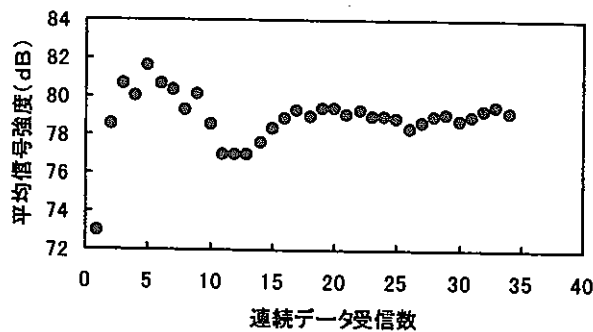


図13. VR25システム：受信データ数と平均信号強度の変化
海上予備試験。調査船舷側から受信機および発信
機1本を水深10-15mにつす。

水深の増大に伴い信号強度は図11の様に減少した。
音波の減衰要因は複雑であり、水温鉛直構造にも大

きく影響を受けると考えられるので、特に鉛直方向
の減衰は扱いが難しい。そのため信号強度からの水
平距離の推定はこのような状況にも注意が必要であ
る。

発信機の2装着方法、体内標識（腹腔内）および
体外標識（第二背鰭基部）による信号強度への影響
を調べるために調査海域で比較試験を行った。実験
に用いたのは尾叉長54 cmと130 cmのキハダ2個

体である。それぞれについて受信された信号強度の比較をしたところ、2標識法に有意差が認められなかった(2標本のt検定, $p = 0.051$, $p = 0.31$)。しかし、体内標識では若干信号強度が低いようなので注意を要する(図12)。

予備試験の中で、音源の位置が変わらないにもかかわらず受信される信号強度にはばらつきが大きいことが分かった。受信データの増加に伴う平均信号強度の変化をみたところ、受信データが15以下では平均信号強度は不安定であり、信号強度から距離推定を行う場合、データ数約20以上で平均化することが望ましいと考えられた(図13)。

5) VR25 行動観測システムによるパヤオ周辺での鉛直・水平分布

2002年9-11月に、N8周辺にてキハダ YF#80 (58 cmFL), メバチ BE#81 (57 cmFL), ピンナガ AC#82 (92 cmFL) にコード化音波発信機を付け放流を行った。発信機は簡単な外科手術により腹腔内に挿入した³⁾。

これまでに24時間以上のデータが得られたのは

YF#80のみであったので、ここではYF#80について詳しく解析した。YF#80は9月3日の放流5分後から受信されたが、5時間後に受信が中断した。その6日後、YF#80は再受信され、それから36日間、1時間以上受信が途絶えることなく連続的に滞在した。

この間の平均受信間隔(±SD)は 37 ± 42 s, 平均受信率は 50.8 ± 10.2 %で、合計73,038データセットを得ることができた。鉛直方向の信号強度の減衰を除外するため、水深50 m以浅を遊泳しているときのデータのみを用いて、20分間隔で平均化し、前述の関係式(図10)から水平距離を算出した。遊泳水深および標識魚からパヤオ間の水平距離(以下水平距離とする)の時系列データを図14に示した。

遊泳水深は昼夜で著しく異なり、規則的な日周変動を繰り返した(図14)。夜間は約50%の時間を水深20 m以浅で過ごしたのに対し、昼間は約50%の時間を水深50 m以浅で過ごす(図15)、表層から水深150-250 m(最大342 m)付近まで潜行し、再び浮上を繰り返す、頻繁な鉛直移動が認められた。平均水深(±SD)は昼間 76.5 ± 16.3 m, 夜

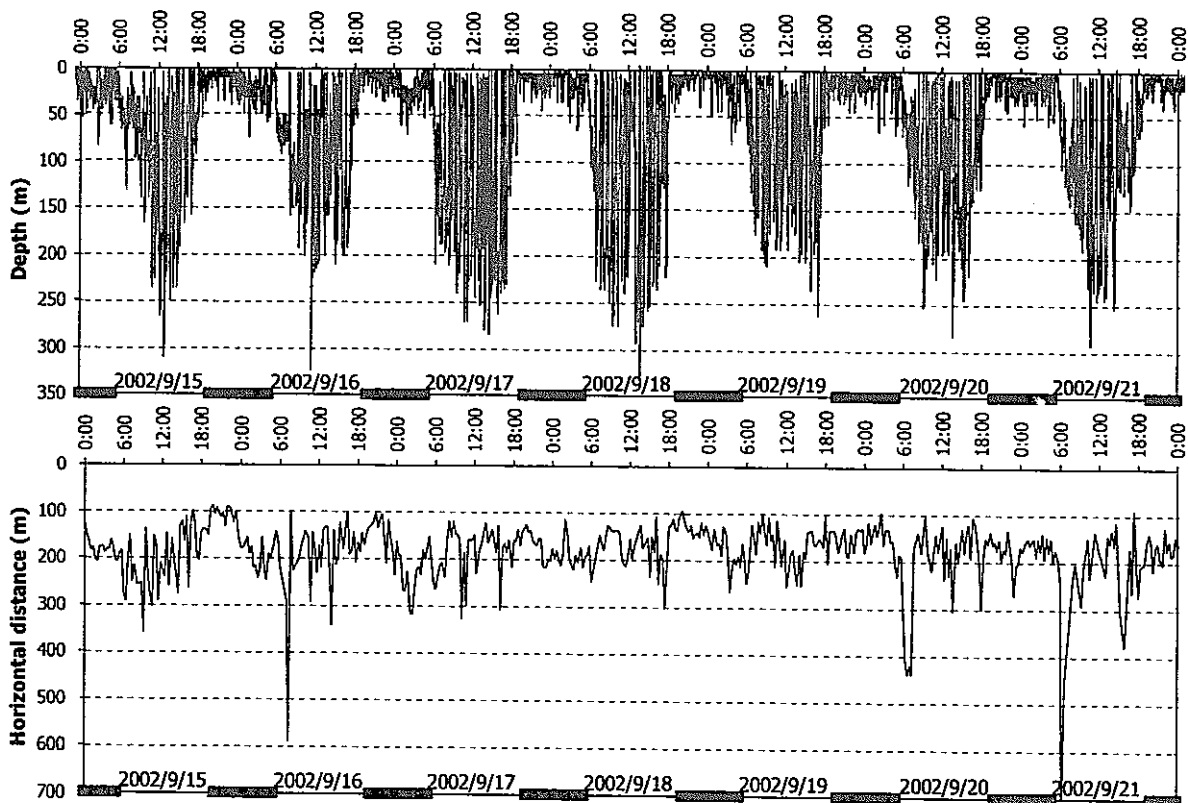


図14. パヤオ周辺におけるキハダの遊泳水深(上段)およびパヤオからの水平距離(下段)の時系列データ。遊泳水深は生データ。水平距離は水深50m以浅の時の信号強度を20分間隔で平均化し、関係式より推定。キハダYF#80 (58cm FL) N8系満沖。2002年9月9日から10月14日まで連続的に滞在(36日間)したうちの7日間。横黒棒は夜間を示す。

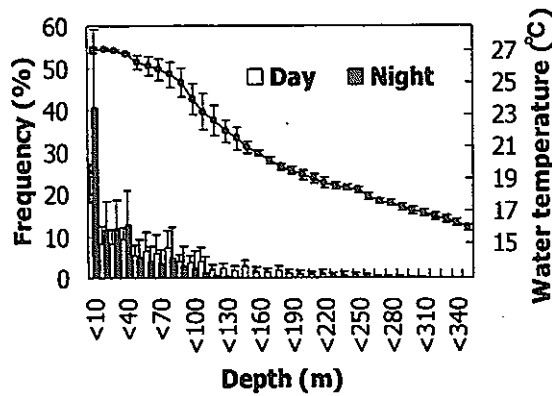


図15. パヤオ周辺での遊泳水深頻度分布および水温鉛直構造
キハダYF#80 (58cm FL) N8系満沖 36日間のデータ。
各層水温は9, 10月のXBT観測の平均±SD値。

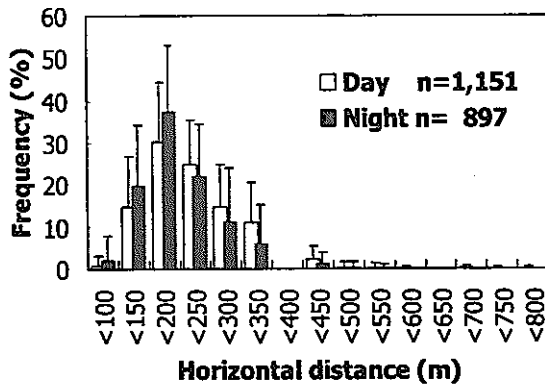


図16. パヤオー標識魚間の水平距離頻度分布
キハダYF#80 (58cm FL) N8系満沖 36日間のデータ。

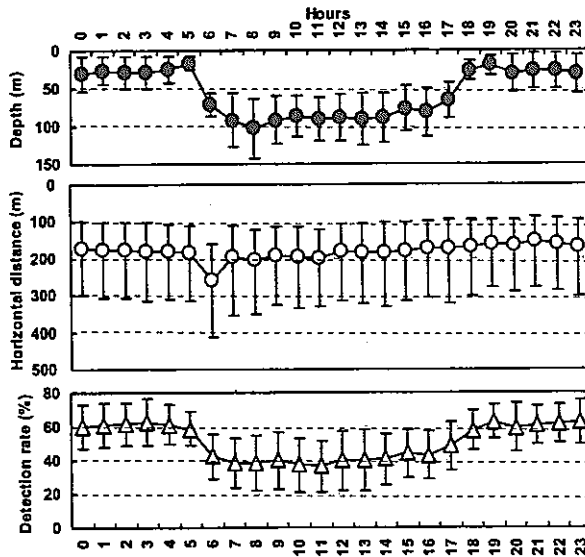


図17. 時間帯ごとの平均遊泳水深, 水平距離, 受信率の変化。
1日ごとに各時間帯の平均値を求め, 36日間で
平均化。縦棒は標準偏差。

間 26.3 ± 16.0 m で有意差が認められた (1対の t 検定, $p < 0.01$)。調査海域で9, 10月にXBT観測によって得られた水温鉛直構造をみると, 水温躍層は80–120 mに認められ, 昼間の約80%, 夜間の全時間を水温躍層より浅層 (120 m以浅) に分布していた (図15)。

一方, 水平距離は明瞭な周期が認められず, 約

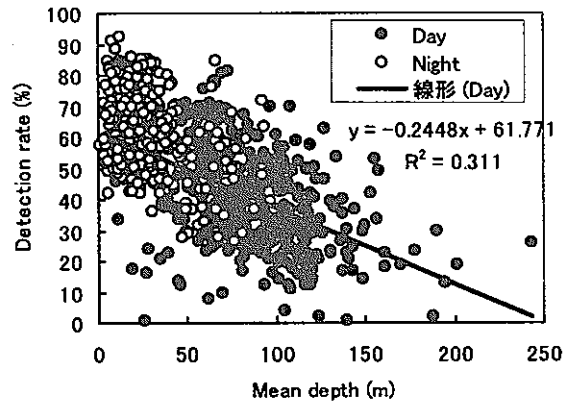


図18. 1時間あたりの平均水深と受信率の関係

70–80%の時間をパヤオから150–250 m離れたところを遊泳していた (図14, 図16)。水平距離を昼夜を比較したところ, 平均水平距離 (±SD) は, 昼間 217 ± 80 m, 夜間 192 ± 60 m で有意差が認められた (1対の t 検定, $p < 0.01$)。しかし, 推定誤差を考えると, この程度の違いは明瞭でなく, 遊泳水深の違いに起因する誤差であると考えられる。

時間帯ごとの遊泳水深, 水平距離, 受信率の平均値を図17に示した。遊泳水深は前述と同様, 昼間に深く, 夜間に浅い傾向があった。さらに, 日の出 (5:15頃) と日没 (19:40頃) 前後で, 標準偏差範囲が狭く, 特に浅い傾向があった。このような傾向は時系列データ (図14) でも明らかで, 海面付近を遊泳していた。水平距離は, 各時間帯で, ばらつきは大きいですが平均は概ね150–200 mの範囲内であった。6:00のみ特に高く, 日の出後にパヤオから離れたところを泳ぐ傾向が見られた。時系列データでは, パヤオから400–700 m離れ, すぐに元に戻る短時間の水平移動が頻繁に認められた (図14)。受信率は, 昼夜の明瞭な違いが認められ, 平均受信率 (±SD) は, 昼間 42.8 ± 11.1 %, 夜間 61.6 ± 10.3 % で有意差が認められた (1対の t 検定, $p < 0.01$)。受信率は遊泳水深の変動に対応しており, 遊泳水深の増大に伴い, 受信率が低下する傾向が認められた (図18)。

6) VR25 行動観測システムによるパヤオ周辺での鉛直移動

昼間に頻繁な鉛直移動が観察されたのは前述のとおりであるが (図14), ここで詳しく解析する。

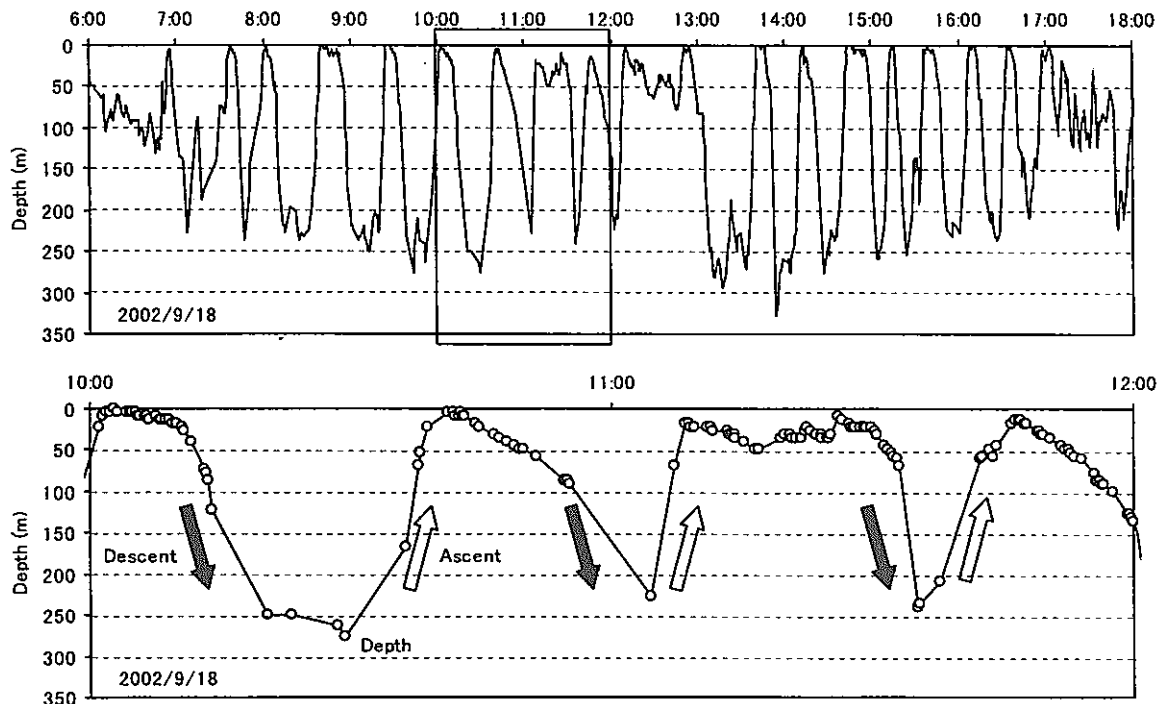


図19. 上段：パヤオ周辺でのキハダの昼間の鉛直移動。2003年9月18日 6:00-18:00 N8周辺。
下段：10:00-12:00の拡大。潜行 (Descent) と上昇 (Ascent) を繰り返す。

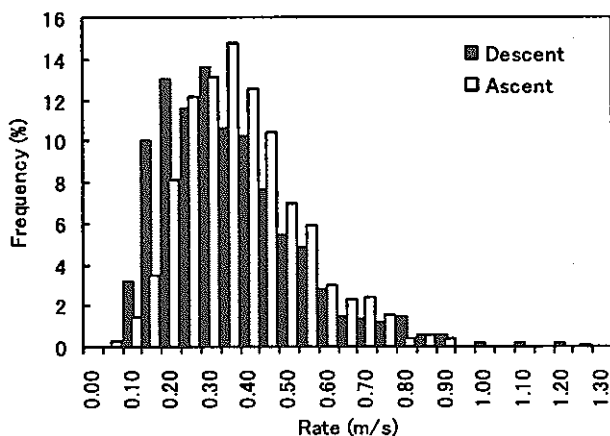


図20. 潜行率 (Descent) および上昇率 (Ascent) の頻度分布
鉛直移動距離50m以上のデータ。

多くの鉛直移動は、表層から水深150-250m付近まで急激に潜行し、それに続いて急激な上昇が見られた(図19)。多くの場合、最大潜行水深付近に留まる時間は短かった。36日間のデータを見ると、水深150mを超える大きな鉛直移動は1日平均 16.7 ± 5.5 回(範囲: 4-24回)であった。潜行開始から最大水深までの鉛直移動距離(最大水深-潜行開始水深)をそれに要した時間で除した鉛直移動率(m/s)を潜行率(Descent rate)とし、反対に上昇開始から終了までを上昇率(Ascent rate)と定義し、鉛直移動距離50m以上の鉛直移動について解析した。全体平均(±SD)で、上昇率 0.36 ± 0.16 m/sが、

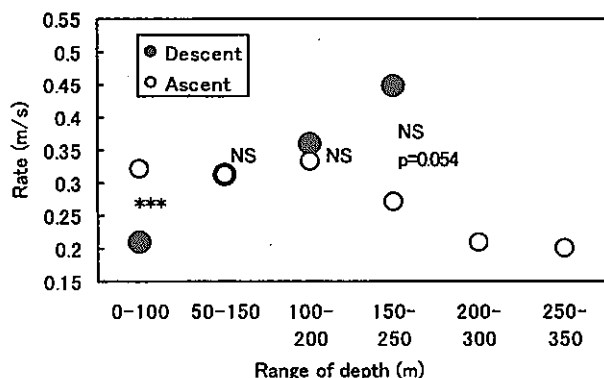


図21. 鉛直移動距離50-100mでの水深帯と潜行率(Descent)および上昇率(Ascent)の関係
各水深帯での潜行率と上昇率の比較
(***: $p < 0.001$, NS: 有意なし)

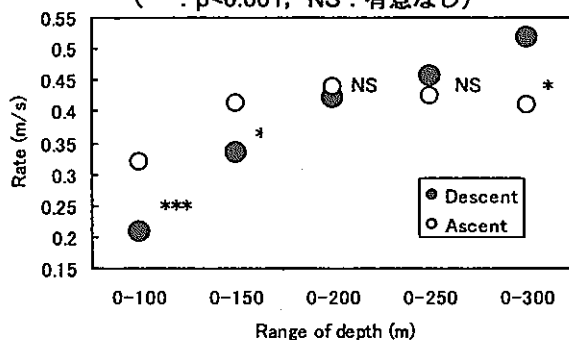


図22. 鉛直移動距離範囲と潜行率(Descent)および上昇率(Ascent)の関係。各水深帯での潜行率と上昇率の比較
(***: $p < 0.001$, NS: 有意なし)

潜行率 0.33 ± 0.17 m/sよりも有意に高かった(2標本のt検定, $p < 0.001$)。しかし、鉛直移動する水深帯や距離によって鉛直移動率は異なった。鉛直

移動距離が短い50-100 mでは、水深帯が深くなるにつれて潜行率が高くなる傾向が認められた(図21)。反対に上昇率は、深い水深帯(150-350 m)で低く(0.20-0.27 m/s)、浅い水深帯(0-200 m)で高かった(0.31-0.33 m/s)(図21 A)。また、潜行率は深く大きな潜水ほど高くなる明瞭な傾向が認められた(図22)。一方、上昇率は0-150 m以深では同程度であったが(0.41-0.43 m/s)、浅い水深帯(0-100 m)では低かった(0.32 m/s)(図22)。潜行率と上昇率を比較すると、浅い水深帯(0-100, 0-150 m)で上昇率が潜行率よりも有意に高かったが(2標本のt検定, それぞれ $p < 0.001$, $p < 0.05$)、潜水が深く大きくなると差がなくなり、0-300 mでは潜行率が上昇率よりも高くなった($p < 0.05$)(図22)。

4. 考察

1) 追跡調査による水平・鉛直移動および体温特性

この調査の目的はバヤオ周辺のマグロ類の詳細な水平・鉛直移動または行動範囲の情報を得ることであった。これまでの調査により、バヤオ周辺での規則的、周期的な行動変化があることが示されており、主にバヤオ周辺での水平分布の変化を反映していると考えられた²⁻⁶⁾。しかし、今回の追跡調査では、標識魚が調査船に惹きつけられてしまったこと、またバヤオ近傍から動かなかったことからこのような行動の実態については十分な情報が得られなかった。過去2回の追跡調査のうち1回で、今回と同様に船に標識魚が惹きつけられてしまう事例があった。本来追跡調査の場合、調査船の標識魚に対する影響を小さくするために、可能な限り離れて追跡するのが望ましい。しかし、この調査の主な目的はバヤオ周辺数マイル以内の詳細な水平分布の把握であり、船舶位置を標識魚位置とする現状の方法では、可能な限り標識魚に接近することが必要である。今後はより小型な船舶を利用し、標識魚に対する影響を小さくすること、また、受信方位、信号強度を自動測定する音響テレメトリーシステムを用いることによって、ある程度距離を離しながらもより正確な標識魚の位置を測定しつつ追跡することは可能であると考えられる。

移動についての詳細は得られなかったが、2つの付加的な情報を得ることができた。1つは、受信の途絶えたキハダが、約7時間後に約7マイル離れたN8に戻ってきたことである。これより単純に遊泳速度を算出すると約1 kt (0.51 m/s)であり、過去に測定されたキハダの遊泳速度中央値(54 ± 20 SD + 0.42 ± 0.18 SD × 尾叉長95 (cm) = $56.8 - 131.0$ cm/s⁷⁾)よりも若干遅い程度である。ゆえに、受信されなくなった海域からN8までの間、この標識魚はほぼ直線的に遊泳した可能性が高い。これはキハダの優れた定位能力、すなわちバヤオの位置を認識あるいは記憶していることを示唆するものである⁶⁾。2つ目は、船に惹きつけられたキハダが、船に対して偏った水平分布を示したことである。これまで、固定式浮魚礁に対するマグロの水平分布については報告があり、潮流の上側(潮上)に多く分布する傾向が認められている^{8,9)}。しかし、漂流式浮魚礁に対するマグロの水平分布については知られていない。この場合、船を漂流式浮魚礁と見立てると、北西方向(315°)に流れてゆく調査船に追従するように分布していたことが分かる。結果的には潮上側に多く分布していたことを示し、固定式との共通点として興味深い。

鉛直移動およびそれに伴う体温保持特性についても重要なデータを得たが、これらについての考察はこれまでの報告書^{5,6)}と同様である。

2) VR25行動観測システムで得たバヤオ周辺での鉛直・水平分布および遊泳行動

予備試験および1ヶ月以上に渡るキハダ1個体の観測結果から、VR25行動観測システムはバヤオ周辺のマグロ類の行動観測に有効なツールであることが示された。旧行動観測システムの研究で、受信率の日周期変動や規則的な短時間の受信ブランクが認められており、これはバヤオ周辺での規則的な水平分布の変化を反映していると考えられた⁵⁾。VR25行動観測システムによる主な調査目的は、このようなバヤオ周辺(半径約1-数マイル以内)の水平分布の周期的、規則的な変化を、信号強度からの水平距離の推定により把握することであった。

今回解析したキハダ YF # 80 の1時間あたりの受

信率は、夜間が昼間よりも有意に高く、これを受信率変動パターンによる分類⁵⁾を当てはめるとAパターンとなる。これまで受信率変動は主に水平分布の変化を反映したものであり、Aは夜間よりも昼間の分布範囲が広いもしくはパヤオからより離れたところを分布していると考えられていた。しかし、今回の結果では、水平距離は昼夜で大きな違いがなく、遊泳水深と受信率に負の相関が認められたことから、YF#80(またはAを示した個体)の昼間の受信率の低下は、主に頻繁な鉛直移動による可能性が高い。既報で述べたように、受信率変動の一部、また多くの成分は水平分布の変化を反映していると考えられ⁵⁾、YF#80ではその関連を見出すことができなかったが、引き続き観測数を増やして明らかにしていきたい。

VR 25行動観測システムを用いることで、旧システムでは得ることができなかった鉛直、水平分布の長期間の情報を収集することができた。これまでも沖縄海域におけるキハダの長期の遊泳水深データはアーカイバルタグにより得られていたが⁶⁾、水平位置が明らかでないのでパヤオ付近での遊泳行動データは明らかでなかった。このシステムによりパヤオ周辺でのキハダの遊泳行動が明らかとなり、昼夜の鉛直分布の明確な差異、頻繁な鉛直移動が認められた。昼間の深層への鉛直移動は恐らく餌生物の分布に関係していると考えられ、また、頻繁な潜行、上昇は行動的体温調節に関わると考えられる⁶⁾。

また、遊泳速度を反映すると考えられる鉛直移動率は、上昇時では潜行時よりも有意に高いことが認められた。海水よりも比重の重いヒラメやマグロ類は潜行時に尾鰭運動を伴わない滑空(gliding)を行い、上昇時は尾鰭の推力により上昇する行動が確認またはデータから推測されている^{8, 10, 11)}。このように滑空と遊泳を繰り返すswim-glide様式は、水平移動エネルギーコストを節約するとされている¹¹⁾。今回得られたデータも、swim-glide様式の可能性を示唆する。しかし、鉛直移動率は、鉛直移動距離や移動する水深帯によって異なった。鉛直移動距離が短い場合(図21)、深い層ほど潜行率は高く、上昇率は低かった。これらは、マグロ類の浮力の要因である鰾が、深層の高い圧力により、浮力が減じた影響によるものかもしれない。一方、鉛直移動距

離が長く、深い潜水ほど潜行率が高くなる傾向が認められた(図22)。これは、各水深帯で異なる潜行率を平均したものよりも大きかった。例えば0-250 m範囲を一気に潜行する時の潜行率は0.46 m/sであり、異なる各層の潜行率を平均した潜行率0.33 m/sよりも顕著に高い。また潜行率と同様に、一気に上昇する際の上昇率(例えば0-300 m範囲で0.41 m/s)は、各水深帯で異なる潜行率を平均したもの(0.29 m/s)よりも大きかった。これらことから、深く長い潜行および深い層からの長い上昇時では、短い鉛直移動時よりも鉛直移動率が高かった。これはクロマグロで同様な傾向が報告されている¹²⁾。このようにキハダはパヤオ周辺において、swim-glide様式を利用しつつ、潜水の程度によっては鉛直移動率を、すなわち遊泳速度を調整しながら遊泳しているものと考えられる。

今回得られたパヤオ周辺のキハダの水平分布の推定結果から、パヤオからの距離が概ね150-200 mで一定であること、またもっとも近づいたときでも100 m程度であることが明らかとなった。このことはキハダがパヤオの位置をかなり正確に認識していること、また、その認識には視覚以外の何らかの方法を用いていることが示唆された。また、日の出後に認められる、短時間パヤオから離れる行動は、早朝の高い摂餌活性に関係すると考えられた。今回の信号強度からの水平距離の推定から概ね妥当な値が得られ、相対的な変化は十分に示されていると考えられた。しかし、今回の推定方法は誤差が大きいと考えられるので、今後推定方法を改善して、より正確で詳細な水平分布の把握を試みる必要がある。

本課題のマグロ類のパヤオ周辺の行動の把握は、パヤオとマグロの関わりを知る上で最も基本的なテーマである。マグロがパヤオをどのように認識し、どのように行動するかを理解することは、パヤオへの網集要因、パヤオ認識のメカニズム、パヤオによるマグロへの影響、滞在期間等を明らかにするうえで重要である。これらは操業効率の向上や資源の適切な利用に重要な情報であり今後も調査を継続する必要がある。

文 献

- 1) 沖縄開発庁沖縄総合事務局農林水産部. 第29次沖縄農林水産統計年報. 2001; 177-256.
- 2) 太田格, 鹿熊信一郎. パヤオ漁業効率化試験. 平成11年度沖縄県水産試験場事業報告書. 2001; 17-26.
- 3) Ohta I, Kakuma S, and Kanashiro K. Aggregating behavior of yellowfin and bigeye tuna tagged with coded ultrasonic transmitters around FADs in Okinawa, Japan. Sibert and Nielsen (eds.) Electronic tagging and tracking in marine fisheries. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2001; 131-145.
- 4) 太田格, 鹿熊信一郎. パヤオ周辺でのマグロ類の遊泳行動. 平成12年度沖縄県水産試験場事業報告書. 2002; 25-33.
- 5) 太田格, 鹿熊信一郎. パヤオ周辺でのマグロ類の行動長期モニタリング. 平成13年度沖縄県水産試験場事業報告書. 2003; 27-40.
- 6) 太田格, 下條武, 福田将数, 松本隆之. パヤオ周辺でのキハダ, メバチの遊泳行動生理. 平成13年度沖縄県水産試験場事業報告書. 2003; 41-51.
- 7) Brill RW, Block BA, Boggs CH, Bigelow KA, Freund EV, Marcinek DJ. Horizontal movements and depth distribution of large adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) near the Hawaiian Islands, recorded using ultrasonic telemetry: implications for the physiological ecology of pelagic fishes. Mar. Biol. 1999; 133:395-408.
- 8) Holland KN, Brill RW, Chang RKC. Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices. Fish. Bull. 1990; 88 (3): 493-507.
- 9) マリノフォーラム21. 平成4年度人工礁漁場造成効果調査事業報告書. 1993; pp 56.
- 10) 川邊玲. 海に潜る動物の浮力. 科学. 2003; 73 (1): 45-47.
- 11) Block BA, Keen JE, Castillo B, Dewar H, Freund EV, Marcinek DJ, Brill RW, Farwell C. Environmental preferences of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) at the northern extent of its range. Mar. Biol. 1997; 130: 119-132.
- 12) Kitagawa T, Kimura S, Nakata H, Yamada H. Diving patterns and performance of Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) as recorded by archival tags. Othuchi Marine Science. 2003; 28: 52-58.