

# パヤオ周辺でのマグロ類の行動長期モニタリング\*1

太田 格・鹿熊信一郎\*2

## 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る<sup>1)</sup>。その中でもマグロ類(主にキハダ, メバチ)は生産量, 生産額ともに最も大きく, パヤオ漁業の最重要種である。しかし, 娍集要因, 効果範囲, 滞在期間, 移出要因などパヤオに集まるマグロ類の生物特性についてはよく分かっていなかった。本研究は, このようなマグロ類の生物特性を解明し, 適切なパヤオ漁場の造成, 漁業の効率化およびマグロ類資源の持続的利用を図ることを目的として, 平成11—13年度パヤオ漁業効率化試験の中で実施した。本稿にてその成果の概要につい

て報告する。

## 2. 材料および方法

本調査では, コード化超音波発信機 (VEMCO社 V16R-4H-R256, 69kHz) と自動記録型受信機 (VEMCO社 VR1) による行動観測システムを用いた<sup>2)</sup>。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, 観測定点において同時複数個体の長期モニタリングができることである。本調査では, 耐久性浮魚礁ニライ号 (N) に設置した受信機によって, 半径約550mの受信範囲内<sup>2)</sup>における標識マグロの個体番号と時刻を記録し, 滞在期間, 観測定点間の移動, 遊泳行動について調査した。これまでに沖縄諸島周辺の7基のニライ号に受信機を設置した (図1, 図2)。

平成13年度には, これまでの発信機に加え<sup>2 4)</sup>, キハダYF#75, #76, #78の3個体に水深センサーを備えたコード化テレメトリー発信機 (VEMCO社 V16P-4H, 69kHz) を用いた。

## 3. 平成13年度の結果

### 1) 放流および受信状況

平成13年度 (2001年4月—10月) は, キハダ11尾, メバチ5尾にコード化音波発信機を埋め込み, N1号 (知念沖), N8号 (糸満沖), N3号 (久米島沖), N5号 (金武沖), N13号 (粟国島沖) の5基のニライ号周

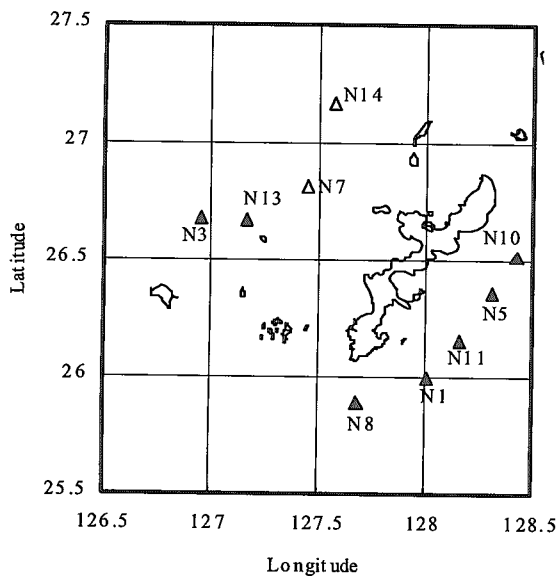


図1. ニライ号の位置および受信機の配置  
▲: 受信機設置 (観測点), △: 受信機なし

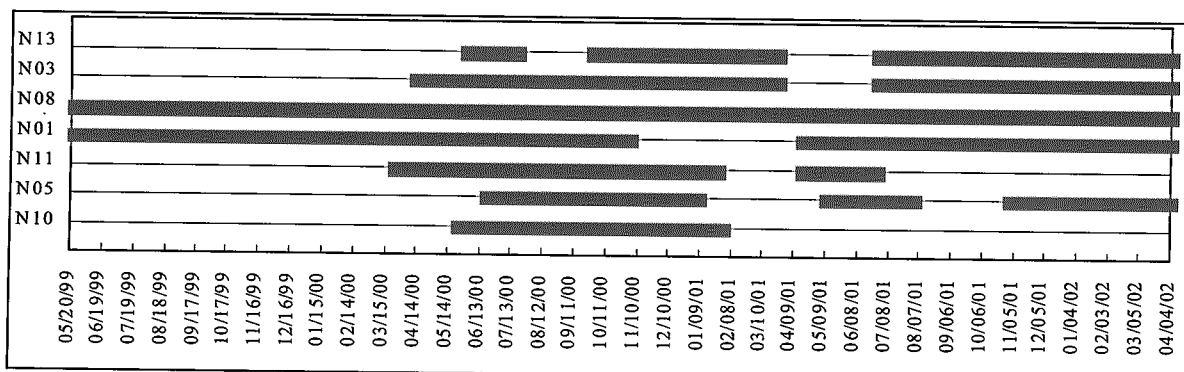


図2. 1999年5月—2002年3月の各ニライ号の受信機設置状況

\*1 パヤオ漁業効率化試験の一環

\*2 現所属: 財団法人亜熱帯総合研究所

表 1. 平成13年度音波発信機標識魚のデータ.

- 1) ID#-CRD#: 魚種・個体番号-CRD観測番号,  
 2) Detection (観測状況) —ok:問題なし, interrupt:再捕等による観測中断, er:機器不良, no:受信なし

Tag & Release				Monitoring							
Site	ID#-CRD#	FL (cm)	Date	Site	Beginning of detection	End of detection	Residence days	Detection	Moving to other FAD	Recapture at	Pattern of behavior
N1	BE67-1	53.5	2001/6/28	N1	2001/6/28	2001/7/15	18	interrupt		N1	D
	BE68-1	55.2	2001/7/11	N1	2001/7/11	2001/7/11	1	ok			
	BE69-1	58.0	2001/7/11	N1	2001/7/11	2001/7/11	1	ok			
	YF70-1	100.0	2001/7/24	N1	2001/7/25	2001/7/25	1	ok			
	YF73-1	96.5	2001/7/26	N1	2001/7/26	2001/7/27	2	ok		Okinoerabu Is.	
	BE74-1	76.5	2001/7/26	N1	2001/7/26	2001/7/26	1	ok			
N3	YF64-1	82.5	2001/5/10					er			
	YF65-1	62.5	2001/5/10					er			
	YF71-1	107.0	2001/7/25				0	no			
	YF77-1	119.0	2001/10/10	N3	2001/10/10	2001/10/16	7	ok			B
N5	BE63-1	63.5	2001/5/9	N5	2001/5/9	2001/5/31	23	ok			D
N8	YF62-1	46.0	2001/3/22	N8	2001/3/22	2001/4/1	11	ok			E
	YF75-1	94.5	2001/7/26	N8	2001/7/27	2001/8/2	7	ok		Itoman	E
	YF76-1	62.8	2001/8/23	N8	2001/8/23	2001/8/23	1	ok			
	YF78-1	62.0	2001/10/11	N8	2001/10/11	2001/10/12	2	ok			
N13	YF66-1	89.0	2001/6/27	N13	2001/6/27	2001/7/2	6	ok		Kume Is.	A
	YF72-1	101.3	2001/7/25	N13	2001/7/25	2001/7/25	1	ok			

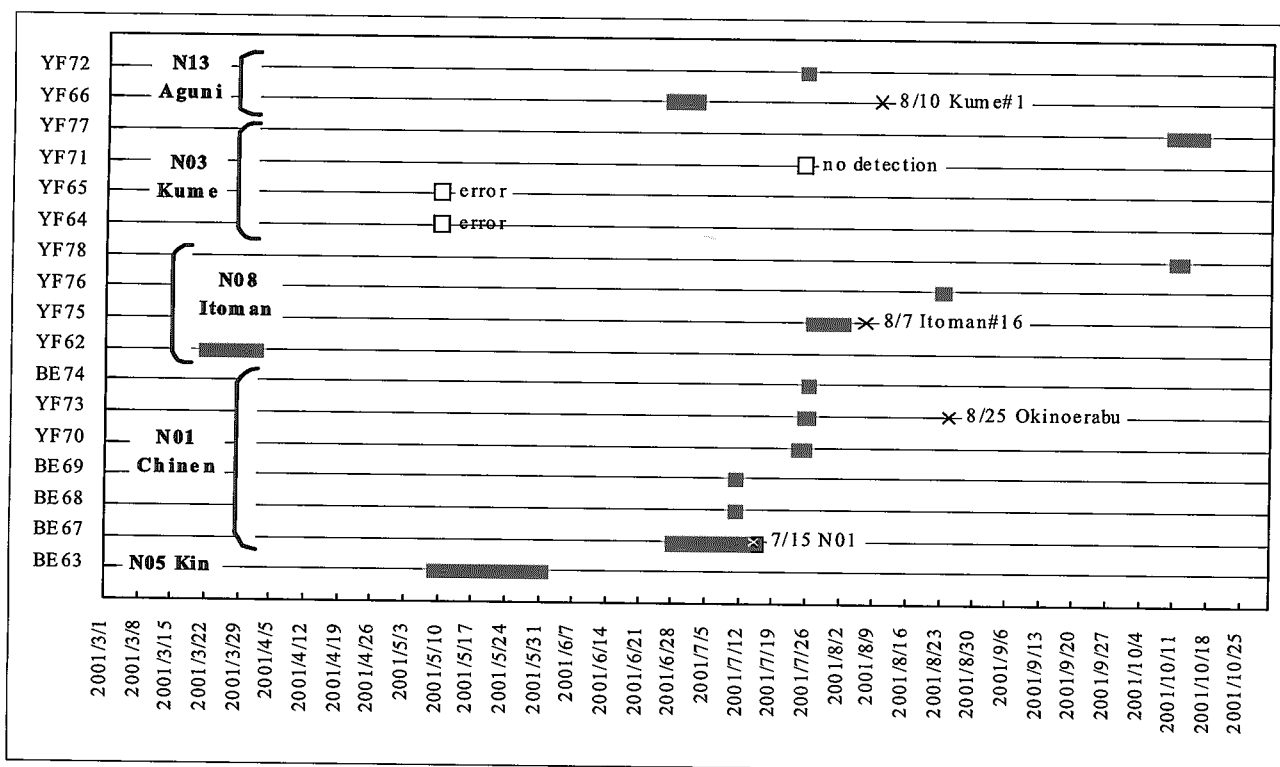


図 3. 2001年3月-10月の各ニライ号での受信状況. □:受信なし, ×:再捕 (月日, 海域).

辺で放流した (表 1, 図 3)。このうち, N3で放流したYF#64, YF#65については受信機紛失のためにデータが得られなかった。またYF#71については受信されなかった。全体として, これまでの報告<sup>2, 4)</sup>と同様に, 標識魚は放流したニライ号に留まり, 移り出までの間は連続的に滞在していた (図 3)。

## 2) 遊泳水深と受信頻度

コード化テレメトリー発信機で標識したキハダ 3

個体のうち, 1 個体 (YF#75: 94.5cm FL) について, 5 日以上 of データが得られた。N8周辺での 7 日間のデータを図 4 - 図 6 に示す。1 時間あたりの受信頻度は概ね 80% を超え, パヤオの近傍を遊泳していたと考えられる (図 4)。また高頻度受信により詳細な遊泳水深データを得ることができた (図 5)。放流直後, YF#75 は水深 150m ほど潜水したが, その後は概ね水深 50m 付近またはそれ以浅を遊泳していた。放流 4 日後から, 夜間に水深 150m を超える (最大

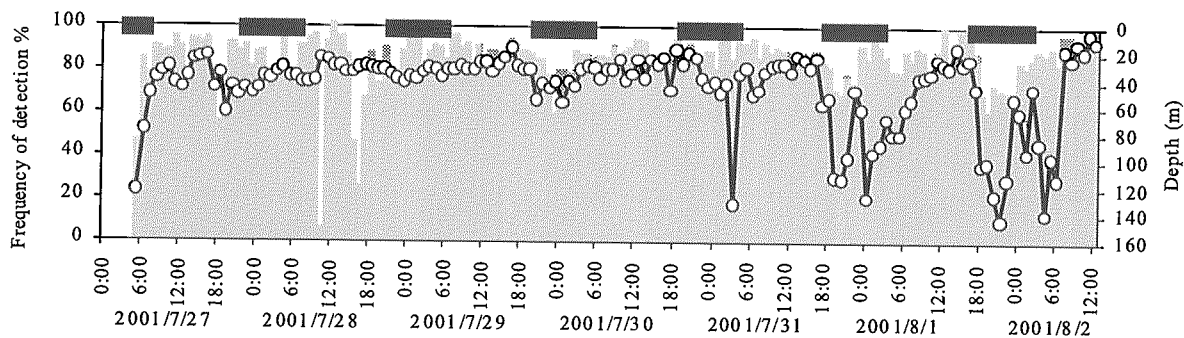


図4. コード化テレメトリーピンガーを用いたキハダの受信頻度と平均遊泳水深の時系列データ  
キハダYF#75 (94.5 cm FL) の ニライ8号での観測. ラインは遊泳水深, 黒横棒は夜間を示す.

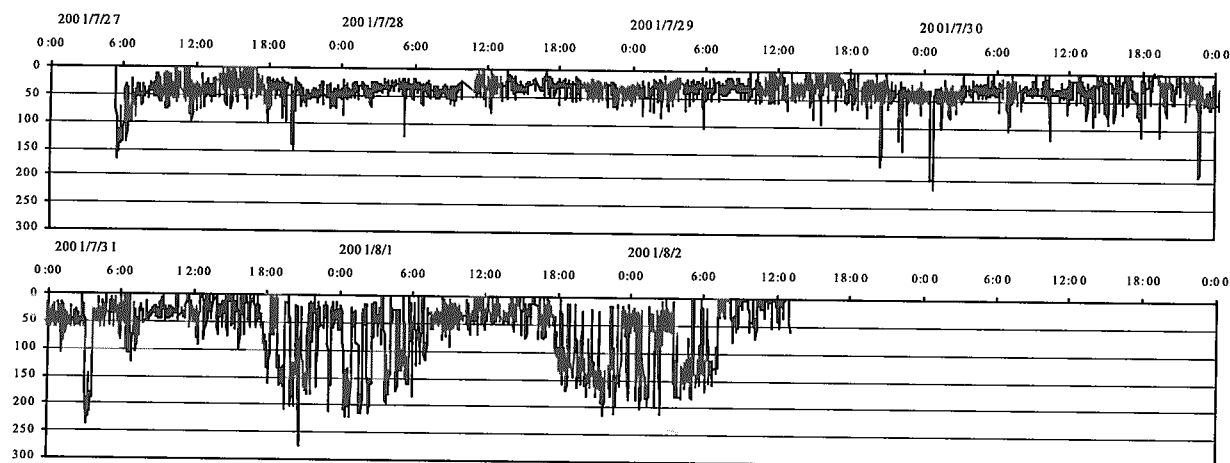


図5. コード化テレメトリーピンガーを用いたキハダの遊泳水深の時系列データ  
キハダYF#75 (94.5 cm FL) の ニライ8号での観測.

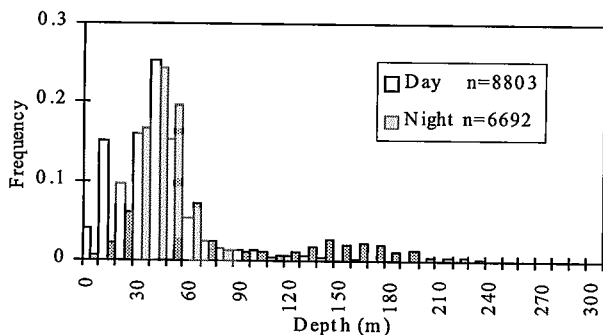


図6. コード化テレメトリーピンガーを用いた  
キハダの遊泳水深の頻度分布

273m) 潜水を繰り返す行動が認められた(図5)。遊泳水深の昼夜別頻度分布をみると、遊泳層のモードは昼夜どちらも水深30-40m層であったが、昼間のほうが夜間よりも浅かった(1標本のt検定: $p < 0.05$ , 図6)。平均受信頻度と水深の変化には明確な対応は認められなかったが、遊泳層が深いときに受信頻度が低下する場合がいくつか認められた(図4)。

#### 4. これまでの結果概要

平成13年度に得られたデータを、平成11-12年度結果に加えて解析を行った。各標識個体の放流、受信状況、移動の詳細については、平成11年度および12年度事業報告書等にある<sup>2,4)</sup>。

##### 1) 受信状況

これまでにキハダ65尾(尾叉長40.0-119.0cm, 平均±標準偏差:  $66.9 \pm 19.9$ cm), メバチ13尾(50.2-76.5cm,  $58.0 \pm 7.5$ cm)を7基の観測パヤオ周辺0.5マイル以内で放流した(図7, 図8)。このうち、受信機の紛失等でデータが得られなかった8個体を除くと、93%のキハダ(54個体)および100%のメバチ(12個体)を受信し観測データを得た。放流から受信までの時間は、約45%が5分以内、約80%が1時間以内であった(図9)。

全体的にみるとパヤオでの滞在期間、移出のタイミング、ニライ間の移動については個体によって様々

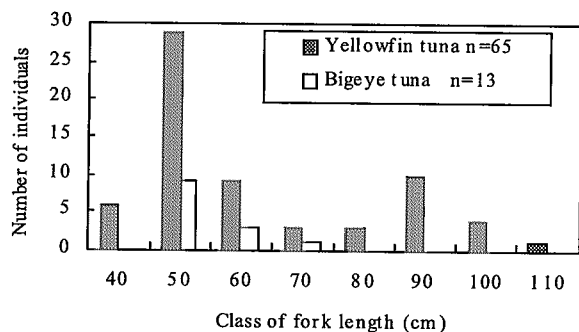


図7. 音波発信機標識魚の尾叉長頻度分布。(1999年5月-2002年3月)

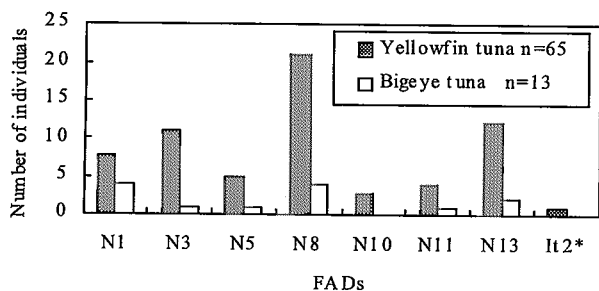


図8. 各ニライ号の音波発信機標識数。

\*N8に近接した漁協パヤオ。(1999年5月-2002年3月)

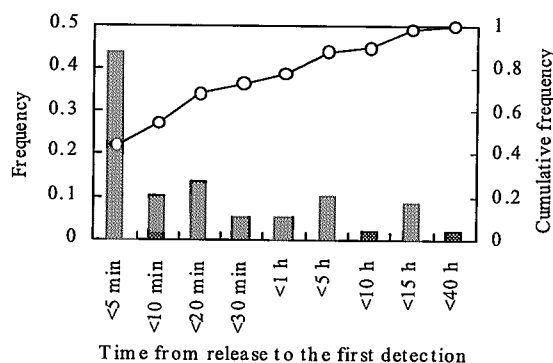


図9. 放流から最初の受信までの時間。

であり、複数個体が同時にパヤオから移出したり、他の観測ニライに来遊することはなかった。受信された標識魚の94%が、放流点に留まり、移出までの間は1日以上受信が途絶えることなく連続的に滞在していた。1日以上受信が途絶える後に再び同じパヤオで受信されたもの(以下、再来とする)はわずかにキハダ、メバチ各2個体で、合計9回の受信欠如があった。受信欠如の期間は、YF#31で33日であったが、その他は2-6日間であった。また、YF#31以外で、受信が途絶えてから1ヶ月以後の再受信はいずれの観測点でも認められなかった。

## 2) 移動および再捕

観測ニライ間の移動は、これまでにキハダ5個体、

メバチ2個体、2海域のみで認められた。YF#3とYF#12はN1号(知念沖)-N8号(糸満沖)間18.5マイルを、それぞれ逆方向へ移動した。また、YF#29, YF#40, YF#45, BE#38の4個体がN13(粟国島沖)からN3(久米島沖)へ、11.5マイルを移動した。さらに、BE#24はN3-N13間を往復移動した。再捕により確認された観測ニライ以外への移動はキハダのみで10例認められた。そのうち6例は観測点周辺25マイル以内であった。また観測点での再捕を含めると再捕率(再捕数/放流数)は24.3%に達した。

## 3) 滞在期間

ある個体がひとつの観測パヤオに、24時間以上の受信欠如がなく連続して滞在した期間を連続滞在期間(Continuous Residence Duration: CRD)と定義した。受信記録の得られたキハダ54個体、メバチ12個体のうち、受信エラーおよび1時間以内の滞在を除いた合計73(キハダ:55, メバチ:18)のCRDデータから滞在期間を解析した。解析には、再捕による観測中断データ(キハダ7個体, メバチ1個体)を考慮した生存時間分析を用いた。その結果CRDは、キハダ, メバチそれぞれ最長55日間, 34日間, 累積滞在率の50%点(中央値)はそれぞれ7.5日間, 7日間で、それぞれのCRDに有意な差は認められなかった(図10A)。

また、24時間以後の再来, 移動, 再捕を含む, 観測点から25マイル範囲での滞在期間を, 断続滞在期間(Intermittent Residence Duration: IRD)と定義した。キハダ48とメバチ11のIRDデータからIRDを生存時間分析法で解析した。その結果, IRDにおいても種間の有意差は認められず, キハダ, メバチそれぞれ最長66日間, 85日間で, 累積滞在率の50%点

表2. 観測点・魚体サイズクラス別の滞在期間

Category	CRD (days)				IRD (days)			
	N	Median	Mean	SD	N	Median	Mean	SD
<b>FADs</b>								
N1	11	2.0	6.5	7.0	10	12.5	9.7	8.0
N3	19	7.0	11.5	8.9	9	17.0	21.3	21.5
N5	7	9.0	11.3	12.2	6	30.0	32.0	20.3
N8	24	9.5	13.2	14.6	22	12.0	17.8	17.5
N10	2	8.5	8.5	7.8	2	8.5	8.5	7.8
N11	6	10.5	10.0	7.8	4	16.5	25.3	25.7
N13	4	5.5	5.8	4.9	6	24.5	30.5	30.7
<b>Size class</b>								
40-85	61	10.0	11.8	11.5	47	17.0	23.2	20.7
86-120	12	5.0	5.4	5.1	12	5.5	6.9	6.7
<b>Total</b>	73	7.0	10.8	11.0	59	16.0	19.9	19.8

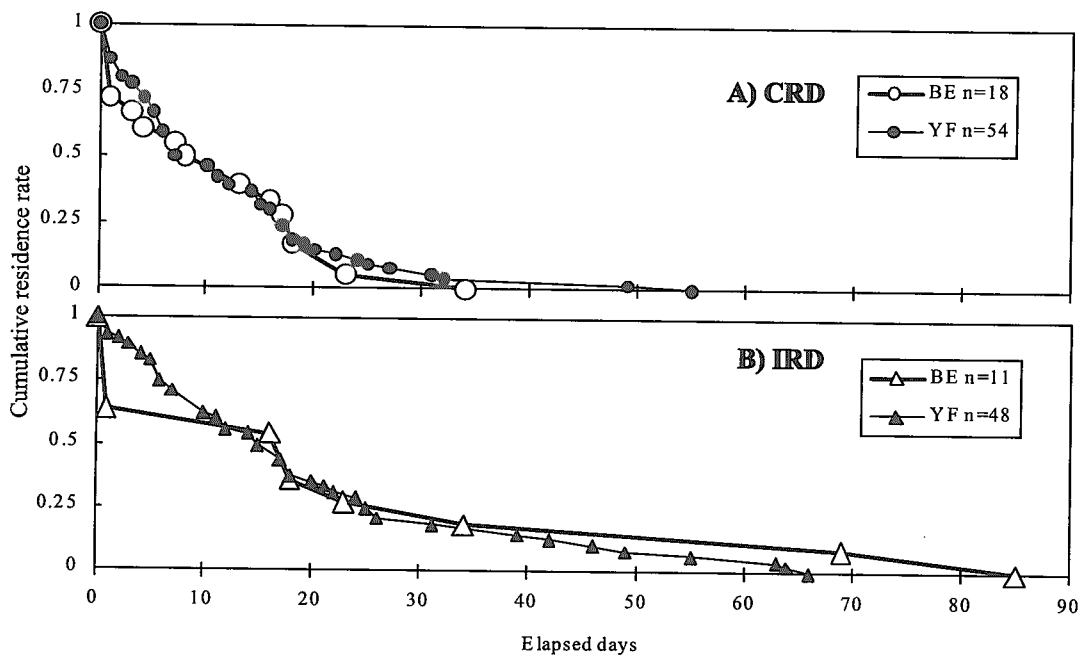


図10. キハダ, メバチの累積滞在率と滞在期間.

- A) CRD (連続滞在期間) : 24時間以上の受信ブランクのない連続的な滞在日数,  
 B) IRD (断続滞在期間) : 24時間以後の再来, 移動, 再捕を含む, 観測点から25マイル以内に滞在した日数.

はそれぞれ17日, 16日であった (図10B)。

生存時間分析によって各観測点間の滞在期間の比較を行った (表2)。その結果, CRD, IRDともに各観測点間には有意差は認められなかったが, 滞在期間の中央値にはばらつきがあった。N5, N8, N10, N11のCRDの中央値は8.5-10.5日間の範囲にあったが, N3では7.0日間, N13では5.5日間と若干短く, N1では2.0日間で特に短かった。IRDも各観測点間で有意

差は認められなかったが, ばらつきが大きかった。

次に観測点周辺のパヤオおよび海岸線が滞在期間に影響を及ぼすかどうかを検討した。各観測点の滞在期間の中央値と5マイル, 10マイル以内のパヤオ設置数には相関は認められず, 周辺のパヤオが滞在期間に及ぼす影響は不明である (図11)。また, 観測点から最寄りの海岸線までの距離と滞在期間にも明瞭な関係は認められなかった (図12)。

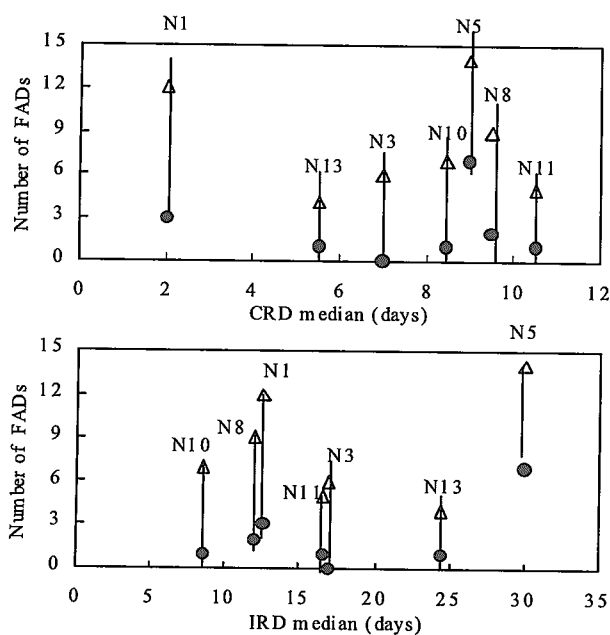


図11. 滞在期間と観測点周辺パヤオ設置数の関係  
 累積パヤオ数— ● : <math>< 5\text{ nm}</math>, △ : <math>< 10\text{ nm}</math>

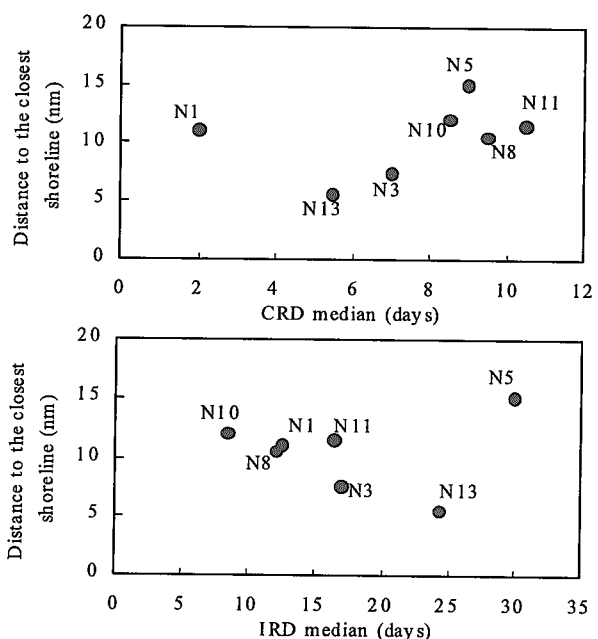


図12. 滞在期間と観測点周辺の最近の海岸線までの距離との関係

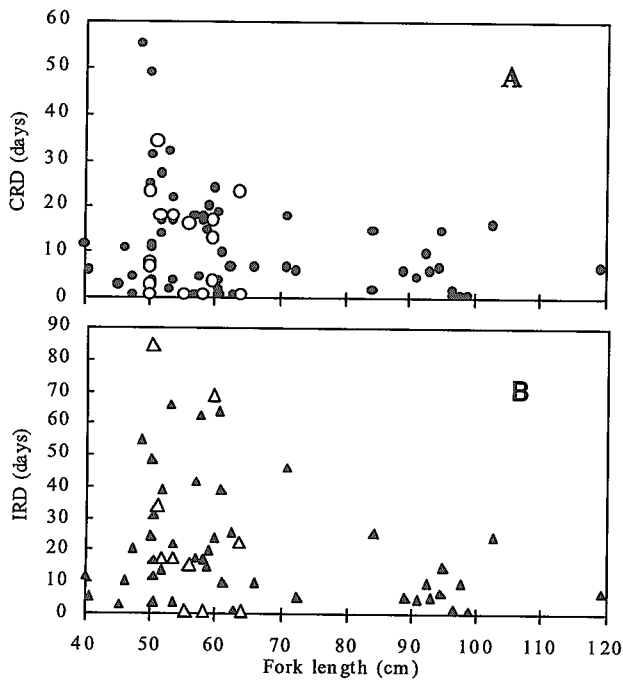


図13. 魚体サイズ（尾又長）と滞在期間の関係。

- A) CRD（連続滞在期間）—●：キハダ，○：メバチ  
 B) IRD（断続滞在期間）—▲：キハダ，△：メバチ

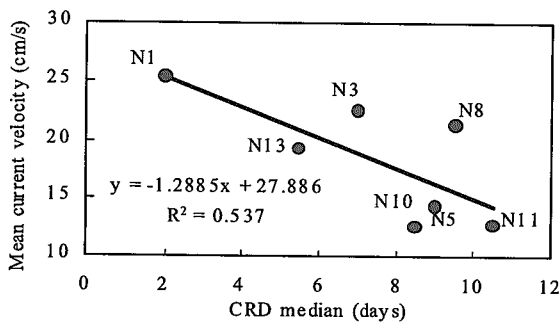


図14. 各観測点のCRD平均受信頻度と平均流速の関係。

さらに、魚体サイズが滞在期間に関係するかを検討した。有意な相関関係はないが、CRD、IRDともに大型個体では短い傾向があった（図13）。標識魚を尾又長40-85cm、86-120cmの2つのサイズクラスに分け、生存時間分析で比較したところIRDでは2つのクラス間に有意な差が認められた（表2）。CRDには有意差はなかったが、いずれも大型個体は滞在期間が短い傾向があった。

潮流はパヤオの環境要因として重要であると考えられるので、平均流速<sup>5)</sup>とCRDとの関係を検討した。その結果、統計的には有意でないが、比較的高い負の相関が認められ（ $R^2=0.537$ ,  $p=0.06$ , 図14）、流速が速いとCRDが短い傾向があった。

#### 4) 受信頻度の日周期的な変動

本研究で用いた観測システムでは、単位時間あたりの発信数は、発信機の仕様によって概ね決まる。よって、単位時間あたりの受信頻度（%）は受信数/発信数×100で求められる。受信頻度は、受信範囲内に滞在した時間割合を示し、個体の行動活性（遊泳速度・遊泳範囲の大小）および遊泳位置（受信範囲内、縁辺部、範囲外）など遊泳行動を反映すると考えられる。

ここでは数日スケールの遊泳行動について検討するために、5日間以上得ることができたキハダ39、メバチ11のCRDデータを詳しく解析した。スペクトル解析による周期分析の結果、キハダではCRD数の74%、メバチでは100%に1時間あたりの受信頻度の変動におよそ24時間の周期性が認められた。さらに受信頻度の変動は、1)日周期性、2)昼夜の受信頻度比較（1標本のt検定）、3)受信の途絶える時間帯から5つのパターンに類型化できた（図15）。第1に、夜間の受信頻度が有意に高く、夕方に1-数時間受信が途絶える場合をパターンAとした（図15A）。パターンAは最も多く、キハダ15例（38.5%）、メバチ3例（27.3%）で認められた。第2に、昼間の受信頻度が有意に高く、しばしば夜間に1-数時間の受信ブランクがある場合をパターンBとした（図15B）。パターンBはキハダ5例（12.8%）で認められた。第3に、昼夜の受信頻度に有意差がなく、夕方に1-数時間の受信ブランクが頻繁にある場合をパターンCとした（図15C）。パターンCはキハダ7例（17.9%）で認められた。第4に、午後から夜中にかけて受信が途絶える場合をパターンDとした（図15D）。パターンDはメバチ8例（72.7%）で認められた。数時間の受信ブランクは規則的に繰り返され、受信中断および再受信の時間帯のピークはそれぞれ14:00-14:59、21:00-21:59に認められた（図16）。第5に、日周期性がなく、受信頻度の変化にパターンのないものをパターンEとした（図15E）。パターンEはキハダ12例（30.8%）で認められた。パターンAはキハダ・メバチ両種に認められたが、それ以外はどちらか一方の種にのみ認められた。前述したように受信頻度は遊泳行動を反映すると考えられるのでこれらを行動パターンとみなした。

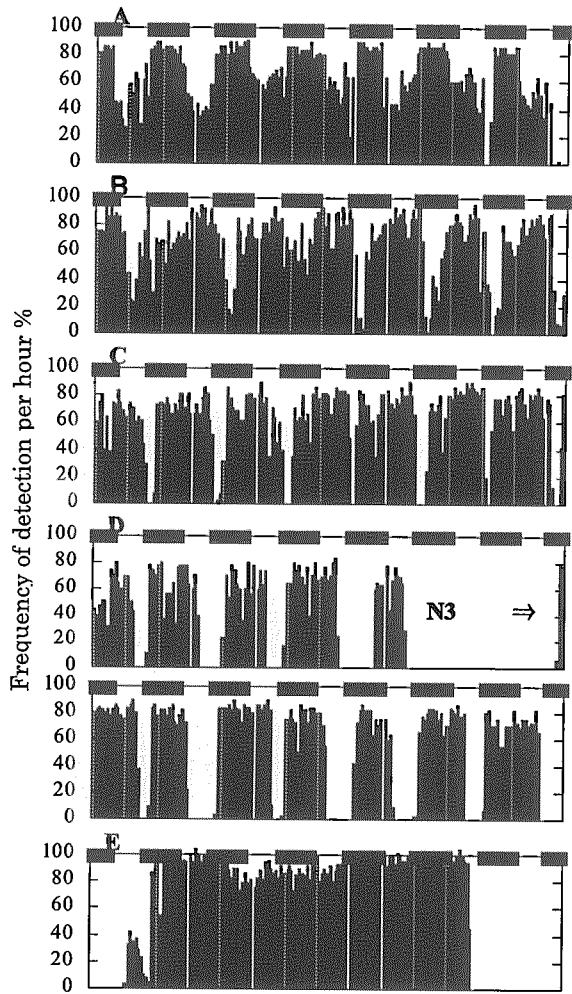


図15. 1時間あたりの受信頻度の変化パターン

各図7日間のデータ。黒横棒は夜間(19:00-6:00)を示す。

- A) YF#48 N5 2000/10/1-10/7
- B) YF#4 N1 1999/10/3-10/9
- C) YF#26 N3 2000/6/18-6/24
- D) BE#24 N3 2000/6/11-6/15
- E) YF#14 N3 2000/4/13-4/19

行動パターンは、個体の生理的要因や環境要因などによって影響を受けると考えられるので、魚体サイズおよび各観測点との関係を検討した。メバチのみに認められたパターンDを除く4つのパターンはいずれも広い魚体サイズ範囲に認められた(図17)。また、いずれのパターンも複数の観測点で認められた(図18)。ゆえに魚体サイズ、観測点と行動パターンを関係付けることはできなかった。

### 5) 受信頻度に影響する要因の検討

それぞれのCRDの平均受信頻度は、滞在期間中どのくらいの時間受信範囲内に留まっていたかどうか、もしくは個体のパヤオへの依存度を示す。CRD全体の平均受信頻度±標準偏差は、キハダで58.7±16.0

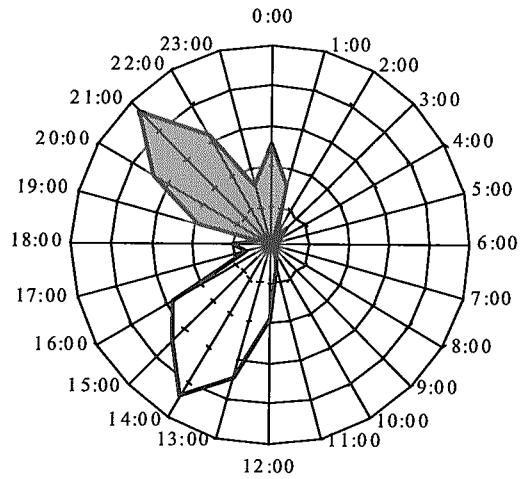


図16. メバチDボタンにおける受診中断(白抜き)および再受診(黒塗り)の時間帯の頻度分布(N=64)。

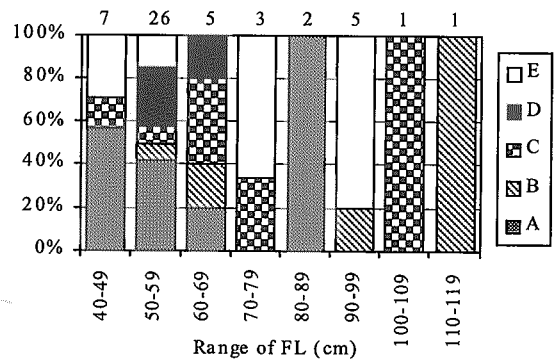


図17. 各魚体サイズクラスでの行動パターンの出現割合。

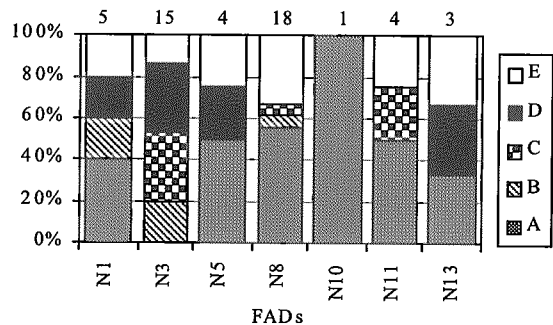


図18. 各ニライでの行動パターンの出現割合。

%, メバチで $49.0 \pm 12.5\%$ で有意差が認められたが(Mann-WhitneyのU検定:  $p < 0.05$ ), 両種ともに滞在期間中の約半分をパヤオ近傍(半径550m受信範囲内)で過ごしたことになる。両種を合わせた平均受信頻度を、前述の5つの行動パターンに“F”(パターン分類していない5日間以内のCRD群)を加えた6つのカテゴリーごとに求めて比較すると、パターン間には有意差が認められた(ANOVA:  $p < 0.001$ )。パターンDとF(46.7-47.1%)で最も低く、次いでパターンA, B, C(53.3-60.9%), パターンE(72.2%)で最も高かつ

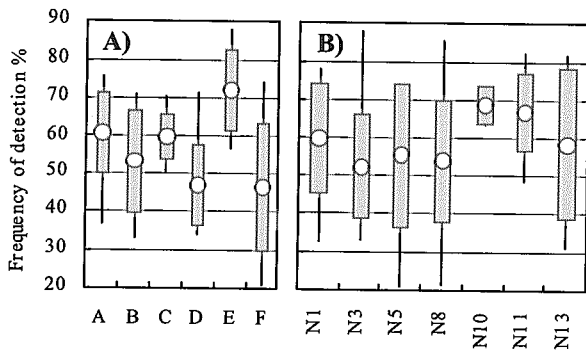


図19. カテゴリーごとのCRD平均受信頻度。  
 最大値—平均○±SD—最小値  
 A) 行動パターンごと, B) 観測ニライごと。

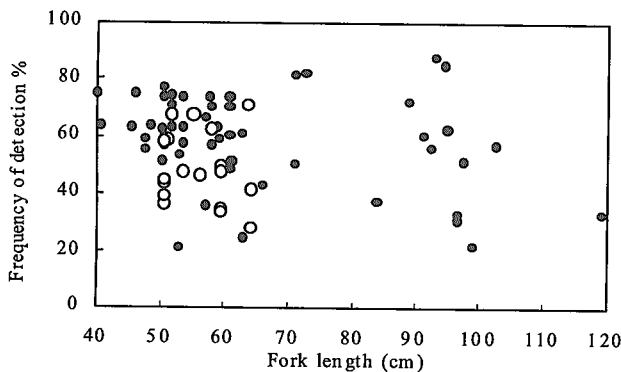


図20. 魚体サイズ（尾又長）と平均受信頻度の関係。  
 ●：キハダ, ○：メバチ

た (図19, LSD検定:  $p < 0.05$ )。一方, 各観測点の平均受信頻度は52.5–68.6%の範囲で, これらに有意差は認められなかった (図19)。また, 魚体サイズとの関係を検討したが, 有意な相関は認められなかった (図20)。

N8とN3それぞれで, ほぼ同じサイズの6個体を同時観測した期間について, 潮流データと受信頻度との関係を分析した。しかし, どちらの観測点でも各個体の1時間あたりの受信頻度とそれに対応する流速との間には相関は認められなかった (平成12年度事業報告書<sup>3)</sup>の図10)。また, 各観測点の平均流速には有意差が認められたが, 平均受信頻度 (N8: 61.1%, N3: 58.4%) に有意差は認められなかった。よって, 流速の大小は受信頻度に影響を及ぼさないと考えられた。また, 同時複数個体の観測では混信により受信頻度が低下する可能性があるが, 各観測点の平均受信頻度は全体の平均受信頻度56.3%と同程度なので, 混信の影響は小さいと考えられた。

受信頻度の変化は同時観測個体においてよく同調していることから (平成12年度事業報告書<sup>3)</sup>の図

11), 同じ群れに属し行動していると考えられた。しかし, 同時観測された複数個体のうち, 行動パターンが同じ場合と異なる場合があるので, 同じ群れに属するか否かが受信頻度変化の同調および行動パターンの類似に関係すると考えられた。

## 6) 受信頻度の減少とイルカ類の出現

これまでの調査で, 観測点周辺においてイルカ類の群れを3例目視確認した。2000年5月29日16:00, N8にハシナガイルカの群れが来遊した。この直後, N8で観測中の4個体の受信がほぼ同時に中断した (図21)。16:30ころに各個体数回の受信があったが, 再び受信が途絶えた。この間に放流した2個体については, 放流直後には受信できず, 17:00ころイルカの群れが見えなくなると, 前の4個体とともに各個体ほぼ同時に再び受信されるようになった。この状況から, イルカ出現により標識魚は一時的にパヤオから離れたこと, 各標識魚は同じ群れに属していたこと, パヤオが捕食者からの逃避場所とはならないことが考えられた。このようなイルカ出現と受信頻度の減少は他にも2例認められた。どちらもイルカの群れ (種は不明) が出現した直後に受信が途絶えたが, 約5–6時間後に再び受信された (図22)。

## 7) 集魚灯操業による影響

近年集魚灯を用いたパヤオ周辺での夜間操業が増えている。集魚灯は絶大な集魚効果があり, マグロ類を漁船に惹きつける。一般的な操業方法はパヤオ近傍にて集魚灯を点灯後, そのまま船を流し, 魚群探知機にて蝟集状況, 遊泳水深を確認しながら一本釣りで漁獲する方法である。一度魚群を惹きつけばそのまま船は風と潮により流されるので, パヤオからは次第に遠ざかる。2000年10月3日にN11にて行なった夜間調査の結果を図23に示す。19:48にパヤオ近傍で集魚灯を点灯した後, 20:40にYF#56を0.5マイル離れたところで, また21:06にYF#57を0.7マイル離れたところでそれぞれ漁獲, 放流した。その後21:40まで船を流し, パヤオから1.1マイル離れたところで消灯し操業を終了した。YF#56は消灯から約3時間後にN11にて受信され, その後17日間滞在した。一方, YF#57は40時間後に1信号のみ受信さ



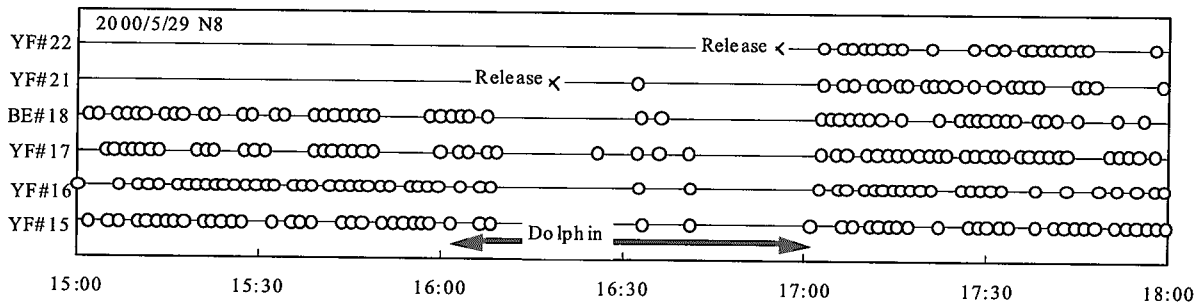


図21. ハシナギイルカ出現による受信の減少

2000年5月29日16:00-17:00, ニライ8号周辺にハシナギイルカの群れが出現した。

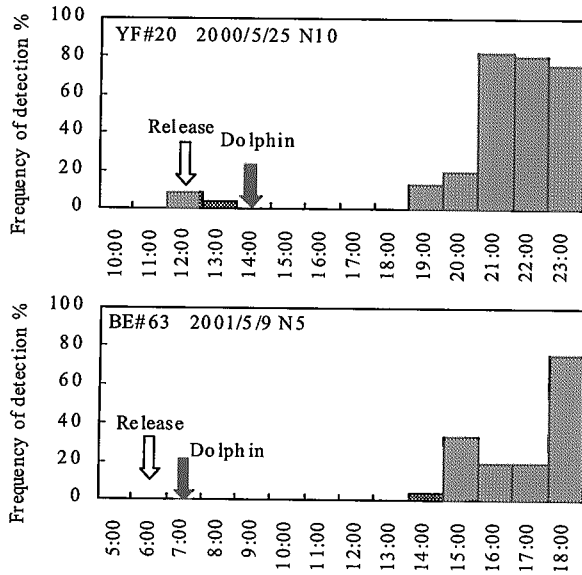


図22. イルカ出現と標識マグロの受信状況

白矢印は放流, 黒矢印はイルカの出現を示す。

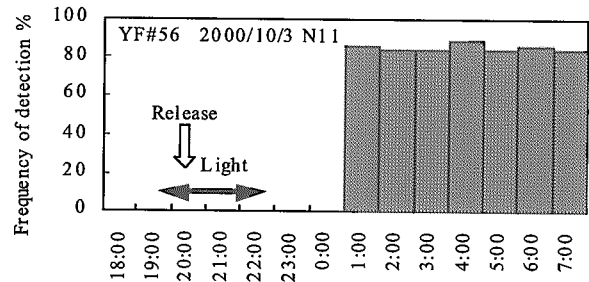


図23. 集魚灯を用いて漁獲した標識キハダの受信状況。

19:48 パヤオ付近で点灯  
20:40 パヤオから0.5 nm離れたところで放流  
21:40 パヤオから1.1 nm離れたところで消灯

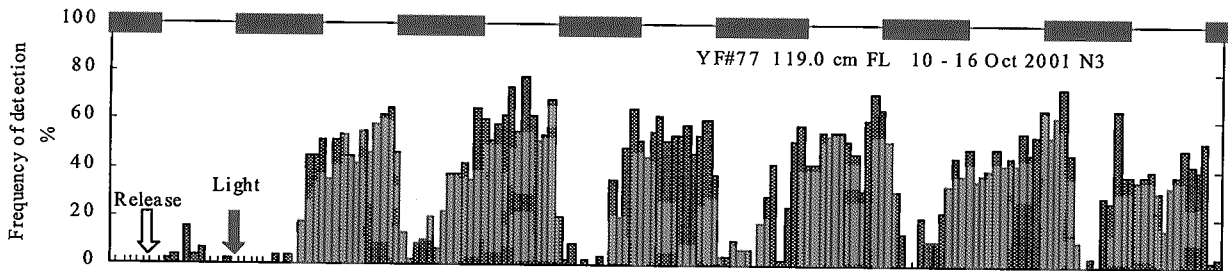


図24. キハダYF#77の受信頻度の時系列データ。白矢印は放流, 黒矢印は集魚灯操業船3隻の出現, 黒横棒は夜間を示す。

2001年10月10日-10月16日, ニライ3号で観測。

れた。2001年10月10日の夜間調査では, N3で集魚灯操業する3隻の漁船を確認した。操業が始まるとYF#77の受信は途絶えたが, 約7時間後に再受信された(図24)。操業開始直後の夜間の受信中断は恐らく集魚灯操業の影響だと考えられる。しかし, 後日の夜間の減少は, YF#77が示した行動パターン(パターンB:夜間に受信が減少)によるものと考えられる。一般に集魚灯操業はパヤオから魚群を引き離してしまうと考えられているが, ある程度の距離であれば

再びパヤオに戻ることができると考えられる。しかし, これらの結果からも集魚灯がマグロ類へ及ぼす影響は大きいといえるので, その利用の際には注意が必要である。

### 8) 移出の時間帯

標識魚がパヤオから移出する時間帯を, 4時間ごとと各行動パターンで累計した(図25)。全体として移出はどの時間帯でも認められたが, 夜間よりも昼間

に多かった。行動パターン別にみると、パターンによっては若干偏りがあった。パターンA, E, F群についてはほぼ各時間帯に移出が認められた。パターンB群では16:00-23:59, パターンCは4:00-11:59, パターンDは8:00-19:59, 特に12:00-15:59にかけて移出が認められた。パターンBとDでは、それぞれ頻繁に受信が中断する時間帯に移出が多かった。

#### 4. 考察

##### 1) 行動観測システムおよび調査方法の評価

本研究では、Vemco社のコード化音波発信機と自動記録型音波受信機の行動観測システムを用いた。調査海域でのテストの結果、水平方向550mまで水深10-300mに設置した全ての発信機から受信を確認したので、本研究ではこの範囲を受信範囲とした<sup>2)</sup>。受信範囲(信号検出範囲)は、発信機の出力、周波数以外にも、海況、水温、地形などの環境要因に影響されるので明確な定義はできない。調査海域の地形に関しては、水深1000m以上あり、信号を反射す

る障害物がないので問題ないといえる。海況や水温躍層(特に夏季に水深100m付近に発達)に関しては影響が懸念されたが、受信頻度の変化が海況の変化と特に対応しないこと、マグロ類の潜水行動と受信頻度の低下が必ずしも対応しないこと(図4)から、大きな影響はないと考えられる。

パヤオの効果(影響)範囲またはマグロの行動範囲について厳密に定義することはできないので、短時間の受信欠如が必ずしもパヤオから移出したこと(パヤオの影響範囲から逸脱したこと)を意味しない。しかし、パヤオ周辺では半径370-600m内で魚群密度が高いとの報告があり<sup>6,8)</sup>、受信範囲は概ねこの範囲をカバーしている。また、今回の調査結果からも十分に滞在状況をモニターできたといえるであろう。ゆえにマグロ類のパヤオ周辺での滞在状況把握にこの行動観測システムは有効だと考えられる。

使用したコード化発信機は複数の音波パルスを送信し、それらが1組となって1つのコード化された(個体識別した)信号となる。複数個体の同時受信(混信)を避けるために、発信間隔は任意の幅でランダムに変化する。主に使用した発信機ではこの幅を78.0-103.0秒に設定しているため、90(平均値)を最大発信数とみなした。発信間隔の短縮や発信機の増加により混信の確率は高まるが、今回の結果では混信による影響は小さいと考えられる。また発信間隔はモニターする生物特性や発信機の電池寿命に重要な要素である。発信間隔が長いほど電池寿命は長くなる。しかし、広範囲にわたり高速移動するような生物には発信間隔を短くする必要がある。本研究においては、60秒と90秒の発信間隔で、寿命がそれぞれ21ヶ月、28ヶ月のものを用いた。どちらも設定でも受信頻度は同様であったのでマグロ類には適当な設定であったと考えられる。

本研究において、発信機は全て腹腔内に埋め込み標識した。標識サイズは径16mm, 長さ65-80mm, 水中重量10-12g, 魚体重量の1%以下であったので魚体への負担は小さいと考えられる。発信機標識魚の再捕率24.3%と高く、通常標識の再捕率と同程度であった<sup>9)</sup>。また、再捕魚の観察では、短期間で傷口はふさがり、腹腔内には異常が認められなかったことから<sup>2,10)</sup>、発信機埋め込みによる生残への影響

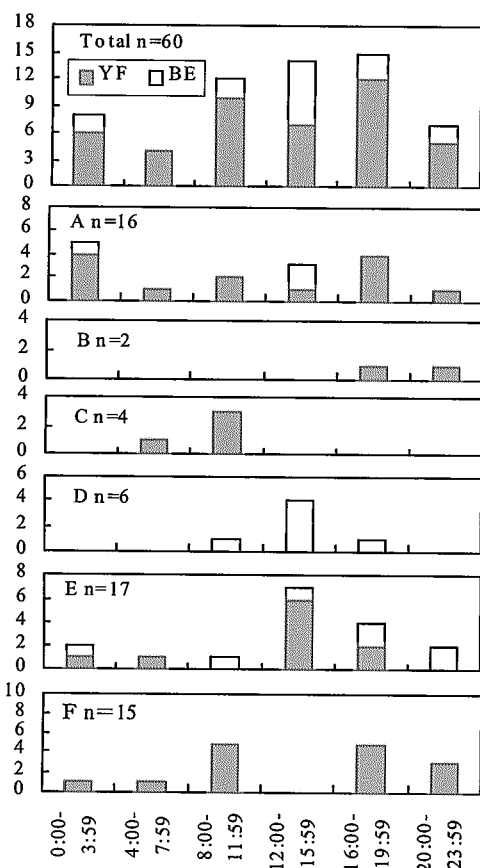


図25. 行動パターン・時間帯別の離脱個体数

- \*1) 再捕による観測中断を除く。
- \*2) Fは滞在期間5日以内でパターン分けしなかったもの。

は少ないと考えられた。しかし、腹腔内標識後数日から1週間程度は日周期的な行動を示さないことが多いので<sup>10,11)</sup>、この程度の期間は行動に影響すると考えられるので注意が必要である。

## 2) パヤオでの滞在

本研究によって、標識魚の多くが、移出するまでの間、放流したパヤオから長時間（1日スケール以上）離れることなく連続的に滞在したことが分かった。また滞在期間の統計的指標として、CRDの中央値7日間、IRDの中央値16日間を求めることができた。一方、通常標識放流調査によって求めた滞在期間（放流点での累積再捕率の中央値）は20-30日間であった<sup>9)</sup>。通常標識放流では、放流から再捕までの間連続的にモニターすることができないので、この滞在期間はIRDに近いものであり、概ね同程度の値だといえる。

滞在期間を決定する移出の要因については明らかにはできなかった。個々の移出と非生物的環境要因の変化（潮流、水温、台風）とは関係が認められなかった<sup>12)</sup>、これらの物理環境が移出の直接の引き金にはならないと考えられる。これまで、同時に複数個体の移出がなかったことから、個体の内的な要因による影響が大きいと考えられる。

データ数や観測時期の違いなど比較には十分ではないが、各観測点には滞在期間の違いが認められた。最寄りの海岸線やパヤオが、マグロ類の行動や滞在期間に影響すること予想されたが<sup>11)</sup>、その関係は明らかでなかった。しかし、各観測点の平均流速と滞在期間には負の相関がみられた。パヤオ漁場では最大1m/s以上の流れがあり、これはパヤオ周辺で測定された小型キハダ、メバチの平均遊泳速度1.15m/s<sup>13)</sup>と同程度である。このような状況の中で留まるには多くのエネルギーを要すると考えられるので、流速が速いと滞在期間が短くなることは十分にあり得るだろう。

マグロ類がなぜパヤオに集まるかという基本的な疑問についてはよく分かっていないが、パヤオに集まる餌生物を求めて蝟集するという仮説には否定的な報告が多い<sup>14,16)</sup>。しかし、パヤオでの餌料環境および個体の栄養状態は滞在期間に影響する重要な要

因と考えられる。パヤオで漁獲されるキハダの空胃個体が多いこと<sup>14)</sup>やカツオの肥満度が低いことが報告されており<sup>17)</sup>、パヤオは過酷な餌量環境であると予想できる。またメバチにおいて、天然礁（海山）に比べ沖合パヤオでの摂餌量が少なく、餌の多様度が低いことがあげられている<sup>16)</sup>。さらに海山において豊富な餌を効率的に利用できるメバチはキハダに比べ滞在期間が長いことが報告されている<sup>17)</sup>。

ハワイでも本研究と同様な手法により、キハダのパヤオ周辺での長期行動調査が行われたが、その結果は本研究とはかなり異なった。ハワイでは、標識魚の多くが1日に数回、1時間未満の短い間、受信機のあるパヤオに訪れ、それが最長では9ヶ月間も断続的に続いたと報告されている<sup>19)</sup>。このような断続的な滞在や受信中断中の行動はバイオテレメトリーによる追跡調査によっても概ね裏付けられている。それによるとキハダ、メバチは長時間にひとつのパヤオに滞在することはなく、パヤオから離れたり、別のパヤオや島縁辺のリーフへ移動したり、1-数日スケールで頻繁に移動することが知られており、摂餌行動との関連が示唆されている<sup>13,20)</sup>。

一方、沖縄海域では、キハダ、メバチともに1週間-1ヶ月程度連続的に滞在することが明らかとなった。石垣島沖のニライ号周辺魚類の食性調査から、漁業活動による餌がキハダ、カツオ、シイラ、ツムブリの胃内容物のそれぞれ27.7%、51.5%、43.9%、65.5%にもおよぶことが報告されている<sup>15)</sup>。ハワイではパヤオは主にスポーツフィッシングに利用されており<sup>21)</sup>、主に漁業に利用されている沖縄とは様相が異なる。沖縄では多量の撒き餌を使った漁法が盛んであり、このような漁業活動が沖縄におけるマグロ類のパヤオでの連続的で長期におよぶ滞在を可能にしているのかもしれない。

## 3) パヤオ周辺でのマグロ類の行動

受信頻度の解析から、多くの個体がパヤオ周辺において日周期的な行動パターンをもつことが分かった。受信頻度の変動は、1) 受信頻度が100%に近い場合、その個体はほとんどの時間を受信範囲内（パヤオから半径550m以内に滞在）を遊泳、2) 受信頻度が低

い場合、受信範囲縁辺付近を遊泳または活発に広範囲を遊泳、3) 受信されない場合、パヤオから離れて遊泳、というように大まかに3つの水平移動または行動活性の変化として解釈される。これまでの研究によりキハダ、メバチともに昼間に深く潜ること、またメバチがより深層に分布することが分かっている<sup>11)</sup>。今回、コード化テレメトリー発信機で得られた遊泳層が夜間に深いことは例外的であったが、受信頻度の低下と潜水行動には必ずしも対応がないことが分かった。また、遊泳層が浅いことが予想される夜間においても受信が減少または中断することからも、特に水平移動の変化を反映していると考えられる。ゆえに本研究で認められた5つの受信頻度の変化パターンは、主に前述した3つの水平移動変化の組み合わせであると考えられる。しかし、本研究では、その移動の詳細については不明である。これまでのバイオテレメトリーによる追跡調査により、キハダ、メバチについて、1-数日スケールのパヤオ周辺での水平移動は3-4のパターンに分けられている<sup>22,23)</sup>。これらは本研究において認められた行動パターンにも一部対応するが違いも多く認められる。パターンAは最も多く観測された行動パターンで、昼間よりも夜間の受信頻度が高い。これを水平移動パターンとして解釈すると、夜間はパヤオ近辺に留まり、昼間に活発に遊泳、または受信範囲縁辺を遊泳していたことになる。計量魚群探知機によるパヤオ周辺での調査では、昼間に魚群が多く、夜間には少ないことが認められている<sup>7)</sup>。しかし、キハダ、メバチともに夜間は表層付近まで浮上することが一般的であり<sup>11)</sup>、また魚群探知機では表層付近の反応を探知することは難しいので、魚群探知機だけでは夜間の魚群の有無を判断することは難しいと考えられる。パターンBは、昼間の受信頻度が夜間よりも高く、夜間に数時間の受信ブランクを伴うケースである。これは追跡調査で多く観察された夜間にパヤオから数マイル離れ、翌朝に再び戻るといった行動によくあてはまる<sup>22,23)</sup>。メバチのみに認められたパターンDは午後から深夜にかけて受信ブランクが認められるケースである。沖縄海域で得られたアーカイバルタグの遊泳水深データから、メバチが午後から日没にかけて400m以上の深層に分布していることが認めら

れており、鉛直方向に受信範囲を超えている可能性がある<sup>11)</sup>。しかし、遊泳層が浅くなる日没後にも受信が途絶えていることから、パヤオから離れたところを遊泳していたと考えられる。またこのパヤオから離れる時刻とパヤオに戻る時刻は規則的であり、パヤオから離れた後もパヤオの位置を把握し、また時間どおりに戻るよう調整していることが示唆された。

前述したように、数時間の受信ブランクは、追跡調査で報告されているような数マイル程度の移動を反映していると考えられるが、本研究ではもっと狭い範囲内での周期的な行動が示唆された。例えば、昼夜の受信頻度の差は、パヤオ（受信範囲）周辺での位置や遊泳速度、範囲などの行動活性の差に起因すると考えられる。また、パターンAやパターンCで認められた夕方の1-数時間の受信欠如は、その間にどの程度までパヤオを離れているのかは不明であるが、より狭い範囲の分布の拡大を意味するものと思われる。いずれにしても受信範囲内外を出入りするような、パヤオ周辺での小規模で規則的な遊泳行動が全てパヤオを中心に起こっている。このような規則的な周期的な行動はマグロ類がパヤオの位置を何らかの方法で認識していることを示唆する。また、マグロ類が、パヤオの潮上に集まること<sup>8,13)</sup>や島方向の流れのときに好漁になることなど潮流との関係は多くの漁業者が認めている。マグロ類が潮の方向を知るためにも、パヤオ（海底に固定された目標物）の認識が必要だと考えられる。しかし、マグロ類がパヤオの認識にどのような知覚を用いているかは今後の研究が必要である。

本研究では、パヤオ周辺でのマグロ類の蝟集および遊泳行動と海洋環境との関係は明らかにできなかった。複数個体の同時移出がなかったこと、行動パターンが同時観測個体間で同調することもあればしないこともあったことは、その海域に共通する環境変化が個体もしくは群れ行動に与える影響が小さいことを示唆する。またこのことはパヤオ周辺での標識個体間もしくは群れの結びつきが弱いことを示唆する。このことからパヤオ周辺では複数の小さな群れが点在し、加入し、入り混じりながら動的に変化しているものと思われる。しかし、観察された行動パターン

は比較的単純なので、個体行動生理、群れ行動、餌生物や捕食者との関連を調査することで、パヤオ周辺でのマグロ類の行動について理解を深めることができるであろう。

## 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) 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.
- 4) 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. 2001; 131-145.
- 5) 鹿熊信一郎, 太田格. 耐久性浮魚礁漁場の流況特性. 平成12年度沖縄県水産試験場事業報告書. 2002; 71-77.
- 6) Josse, E., Bertrand, A., and Dagorn, L. An acoustic approach to study tuna aggregated around fish aggregating devices in French Polynesia: methods and validation. *Aquat. Living Resour.* 1999; 12(5): 303-313.
- 7) Josse, E., Dagorn, L., and Bertrand, A. Typology and behaviour of tuna aggregations around fish aggregating devices from acoustic surveys in French Polynesia. *Aquat. Living Resour.* 2000; 13(4): 183-192.
- 8) 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; pp56.
- 9) 太田格, 松本隆之. 琉球諸島におけるマグロ類の回遊生態II. 平成13年度沖縄県水産試験場事業報告書. 2003; 15-26.
- 10) 太田格・松本隆之. 琉球諸島におけるメバチの遊泳生態. 平成12年度沖縄県水産試験場事業報告書. 2002; 34-42.
- 11) 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.
- 12) 鹿熊信一郎, 太田格, 金城清昭. パヤオ周辺のキハダ・メバチの行動と流況の関係. 平成11年度沖縄県水産試験場事業報告書. 2001; 62-64.
- 13) Holland, K. N., Brill, R. W., and Chang, R. K. C. Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices. *Fish. Bull.* 1990; 88(3): 493-507.
- 14) Brock, R. E. (1985) Preliminary study of the feeding habits of pelagic fish around Hawaiian fish aggregating devices or can fish aggregation devices enhance local fisheries productivity? *Bull. Mar. Sci.* 1985; 37(1): 40-49.
- 15) Shimizu, H., Mito, K., Kobayashi, M., Yano, K., and Kosuge, T. Fishes aspect around large-scale fish aggregating device. Main research result collection of Seikai National Fisheries Research Institute. Supplement from 1994 to 2000 of Ishigaki Tropical Station. 2000; 22-23.
- 16) Grubbs, R. D., Holland, K. N., and Itano, D. G. Comparative trophic ecology of yellowfin tuna and bigeye tuna associated with natural and man-made aggregating sites in Hawaiian waters. SCTB15 Working Paper. 2002; 1-20.
- 17) Marsac, F., Fonteneau, A. and Menard, F. Drifting FADs used in tuna fisheries: an ecological trap? In: *Pêche thonière et dispositifs de concentration de poisson*. Le Gall J.-Y., Cayré, P., Taquet M. (eds). Ed Ifremer, Actes Colloq. 2000; 28: 537-552.
- 18) Holland, K. N., Kleiber, P., and Kajiura, S. M. Different residence times of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, and bigeye tuna, *T. obesus*, found in mixed aggregations over a seamount. *Fish. Bull.* 1999; 97: 392-395.

- 19) Klimeley, A. P. and Holloway, C. F. School fidelity and homing synchronicity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. Mar. Biol. 1999; 133: 307-317.
- 20) Brill, R. W., Block, B. A., Boggs, C. H., Bigelow, K. A., Freund, E. V., and Marcinek, D. J. 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. 1998; 133: 395-408.
- 21) Holland, K. N., Jaffe, A., and Cortez, W. The fish aggregating devices (FAD) system of Hawaii. In: Pêche thonière et dispositifs de concentration de poisson. Le Gall J.-Y., Cayré, P., Taquet M. (eds). Ed Ifremer, Actes Colloq. 2000; 28: 55-62.
- 22) Holland, K. N. Biological aspects of the association of tunas with FADs. SPC FAD Inf. Bull. 1996; 2: 2-7.
- 23) Dagorn, L., Josse, E., and Bach, P. Individual differences in horizontal movements of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in nearshore area in French Polynesia, determined using ultrasonic telemetry. Aquat. Living Resour. 2000; 13: 193-202.