

琉球諸島海域におけるメバチの遊泳生態*1

太田 格・松本隆之*2

1. 目的

沖縄県においてマグロ類、特にキハダ・メバチは重要な水産資源であり、主に延縄やパヤオ漁業によって漁獲されている。両種ともに全世界の熱帯から温帯にかけて分布し¹⁾、パヤオで漁獲され²⁾、若令魚の外部形態は酷似している³⁾ という一見したところの共通性が多い。しかし、その遊泳生態には著しい違いが認められ、昼間、キハダは混合層内または水温躍層以浅⁴⁻⁹⁾、メバチはそれよりも深層を遊泳していることが知られている^{4,9,10)}。

このような遊泳水深の情報は、近年発達の著しい各種の電子標識や音響機器に依るところが大きい。これまでは、延縄など試験漁獲による、間接的、断片的な情報から遊泳層を推測していたが^{11,12)}、記録型標識やバイオテレメトリー法など新しい調査機器により、標識魚の遊泳水深や水温など遊泳環境の情報を直接かつ連続的に得ることが可能となった。マグロ類の遊泳水深の情報は漁業者にとって基本的かつ重要な情報である。しかしながら、メバチの遊泳層は溶存酸素や水温^{10,12)} またSSL (音波散乱層)^{10,13)} などの海洋環境に関係するともいわれ、これまでの知見はそのまま本県海域にあてはまるとは限らず、本県海域においても情報収集することが望ましい。

本研究において、データ記録型標識 (アーカイバルタグ) を用いた放流調査を行った結果、本県海域におけるメバチの遊泳水深など遊泳生態について知見が得られたのでここで報告する。

なお本調査は水産庁からの委託調査結果の一部であり、その調査目的の全体および背景については平成12年度まぐろ資源調査研究経過報告¹⁴⁾ に詳しい。

2. 材料および方法

1) アーカイバルタグの特徴

アーカイバルタグ (archival tag) は、データ記録型標識のひとつであり、遊泳水深、水温、魚体温、

照度データを長期にわたり記録できる。この標識の最大の特徴は照度データから遊泳経路を推定できることである。照度データから日の出と日没時刻を得て、毎日の日照時間を算出する。日照時間が地球上の位置によって異なることを利用し、毎日の遊泳位置 (緯度経度) を推定する。現在までに多くの魚種で利用されており、アーカイバルタグのデータからクロマグロが太平洋を横断したことが明らかとなっている¹⁵⁾。



図1. アーカイバルタグ (NMT社製)

本研究で用いたアーカイバルタグはアメリカ Northwest Marine Technology社製 (Ver1.0) で、径16 mm、長さ100 mmの円筒形の本体部に加え、長さ185 mmのアンテナ状の外部センサーから構成される (図1)。電池寿命は約7年間であり、この間であればデータ記録数はタグのデータ容量に依る。このタグの記録部はTime series log file (TLF) とDay log file (DLF) の2つに大別される。データ記録間隔 (Time series interval) を1に設定した場合、1データ/128秒が、TLFに記憶され、その容量は約81日分である。さらに、TLFの容量はLog A (メモリークリア (放流日) からX1日間) とLog B (データダウンロード (再捕日) までのX2日間) の2つの期間に任意に配分し、設定することができる。これに加え、DLFは128秒間隔の測定データ1日分 (675データ) を一時的に記録し、これらのデータから緯度・経度・水温 (3層: 水深0 m, Standard depth/2 m, Standard depth m) を計算して、1日ひとつのデータを記録する。これらによって放流期間が長期間にわたっても、放流後および再捕前の詳細なデータを得ることができる。またTLFが存在しない空白期間であってもDLFによ

*1 マグロ類回遊行動生態調査の一環

*2 現在の所属: 遠洋水産研究所

て、移動の概要については把握できるようになっている。

2) アーカイバルタグのパラメーター設定

今回の調査におけるタグのパラメーターは以下のように設定した。

Time series interval: 2 (128×2秒)
 A Log size : 13770 (約40日間)
 B Log size : 41270 (約122日間)
 Standard Depth : 175 (水深 m)

3) 標識および放流

平成12年10月11日に与那国島南西沖パヤオで4尾、10月28日に沖縄島糸満沖パヤオで12尾、合計16尾の小型メバチ (58.1±3.8 cm FL) にアーカイバルタグを埋め込み、放流を行った (表1)。

アーカイバルタグは所要時間1分程度の簡単な外科手術によってメバチの腹腔に埋め込まれた。肛門から約2 cm前方、腹面正中線よりも数cm離れた体側面に、メスを用いて長さ2 cm程度の切り込みを入れ、腹腔内臓を指で押し破り、腹腔内の器官が傷つかないように注意を払い、アーカイバルタグの本体部を挿入した。外部センサーが、体外に出ていることを確認し、手術用縫合糸によって、傷の中心部を1針縫合した。手術中は、メバチを海水で満たした発泡スチロールケースに収納するか、またはスポンジマット上に安置し、海水をホースで口に流し込み、呼吸できるようにした。また手術に用いた器具およびタグはエタノールで消毒しておいた。

手術後、ダート型タグ2本を背鰭基底に付け (本報「琉球諸島におけるマグロ類の回遊生態」を参照)、標識魚を速やかに放流した。

4) データ解析

①データ回収

回収したタグは速やかに遠洋水産研究所に送られ、専用PCソフトおよび通信キットを用いてデータのダウンロードがなされた。ここで使用するデータは、遠洋水産研究所から電子メールで送られた未処理のデータである。

②照度データ

今回使用したアーカイバルタグVer1.0の照度センサーの感度では、メバチの遊泳水深が200 mを超えたあたりから照度データがとれなくなることが頻繁にあった。ゆえに正確な日の出日の入り時刻のデータが得られず、日照時間から推定される位置データすなわち移動経路の推定は行えなかった。さらにこの推定の誤差は大きく、赤道付近の緯度で±1.5°、経度で±0.25°程度と見積もられている (Dr. Musyl : NOAA, 私信) ことから、今回のように規模の小さな移動経路の推定は難しい。ゆえに後述する水平移動は、放流点と再捕点を結んだ直線とする。

③水深および温度データ

アーカイバルタグには水深センサー (水圧センサー) と内部・外部の2つの温度センサーがある。内部セ

表1. アーカイバルタグを埋め込んだメバチの放流と再捕

放流日	放流位置		海域	時刻	FL (cm)	DartTag#	ArcTag#	再捕日	再捕位置		海域	放流期間 (日)	移動距離 (nm)	
	North	East							North	East				
2000/10/11	24.218	122.534	与那国 太郎丸 曳網	9:47	55.0	A8035	A8036	2000/10/23	24.218	122.534	与那国	13	0.0	
				11:38	52.7	A8037	A8038							1481
				12:11	51.2	A8039	A8040							1468
				16:12	57.8	A8041	A8042							1473
2000/10/28	25.476	127.509	糸満 健緒丸 兼魚灯を用いた本釣り	20:55	61.5	A8043	A8044	2000/11/7	25.44	127.49	糸満	11	4.0	
				21:01	60.5	A8045	A8046							1482
				21:10	57.8	A8047	A8048							1483
				21:15	54.0	A8049	A8050							1487
				21:27	59.5	A8051	A8052							1491
				21:44	60.5	A8053	A8054							1514
				21:49	59.0	A8055	A8056							1527
				22:07	59.5	A8057	A8058							1539
				22:15	62.5	A8059	A8060							1542
				22:36	64.0	A8061	A8062							1547
				23:00	52.8	A8063	A8064							1549
				23:04	61.0	A8065	A8066							1554
2000/11/8	25.09	125.04	宮古	29	127.6									
						2000/11/4	25.39	127.49	糸満	8	8.8			
2000/11/5	25.47	127.41	糸満	9	9.0									

ンサーは標識魚の腹腔内にあるので、得られた温度を魚体温とし、外部センサーのものを遊泳層の水温とする。

個体ごとの遊泳水深の昼夜比較には、便宜的に6:00-18:00を昼間、それ以外を夜間と定義し区別したデータを用い、1日の昼夜平均水深を対として1標本のt検定によって比較した。

また夜間の遊泳水深変化との月照度との対応を見るため、Lunar index (月の相対照度: 新月を0, 満月を1とする) データを、アメリカ海軍のウェブサイト <http://aa.usno.navy.mil/> から入手した。なお入手したデータはグリニッジ標準時+10時間(グアム)のもので、本県海域のものとして扱った。

3. 結果

1) 再捕

放流した16尾のうち5尾が本県海域で再捕され、全てのアーカイバルタグが回収できた(表1)。このうち糸満漁港で水揚げされた3尾(ArcTag#1483, #1491, #1527)については、アーカイバルタグが埋め込まれたままの標本を得ることができた(図2A)。これらは、外部センサーがしっかりと外側に露出しており、タグの挿入状況は良好であった。3尾ともに傷口の外側は完全にふさがってはいなかったが、腹腔内側ではほぼ完全にふさがっていた(図2B)。タグ本体部は、腹腔内膜様の皮膜で覆われ、幽門垂と鰾の間もしくは胃と鰾の間に収まっていた。周辺の器官には特に異常は認められなかった(図2CD)。

2) 水平移動

これまで得られた5尾は放流後9-29日の間に全てパヤオで再捕されたものであった(表1)。与那国島沖で放流した#1458は、13日後に放流したパヤオで再捕された。また#1473は与那国島沖から宮古島沖まで、29日間で127.6マイルを移動した。糸満沖で放流した3尾は同海域内の他のパヤオで再捕され、その移動はすべて9マイル以内であった。

3) 垂直移動

アーカイバルタグで得られた垂直移動の詳細につ

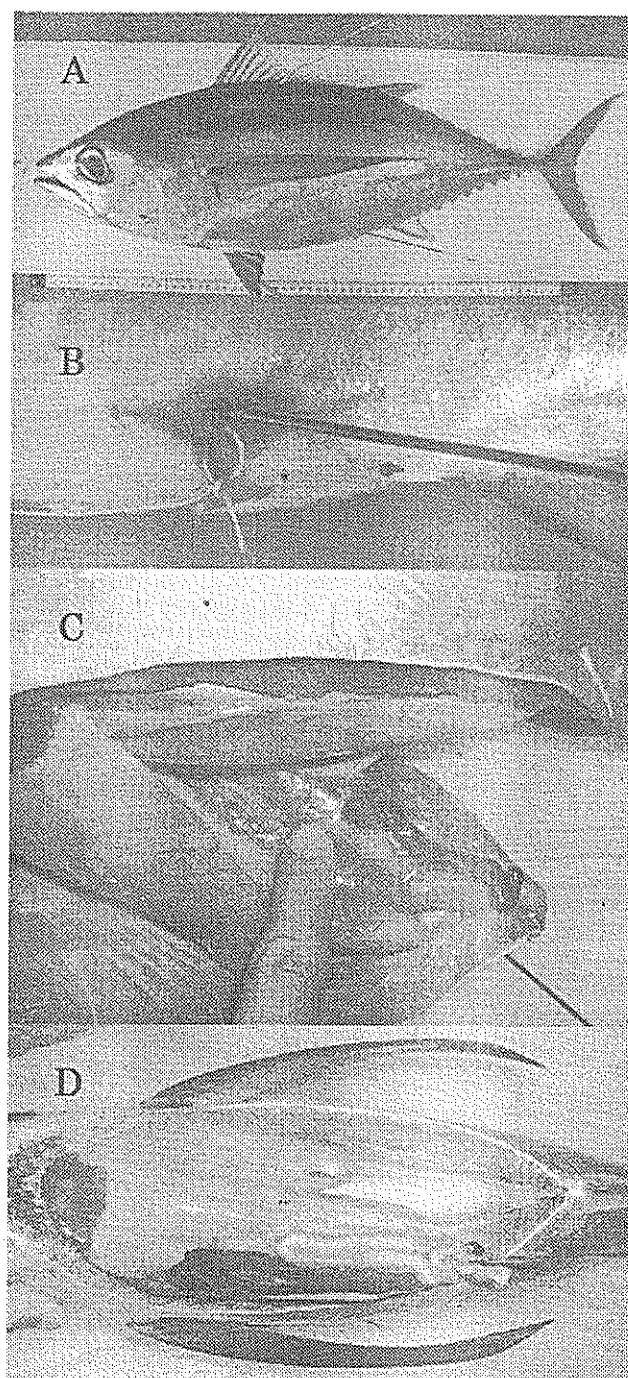


図2. 再捕されたメバチのアーカイバルタグの装着状況
A) 再捕されたメバチ, B) 腹部の傷口, C) 腹腔内のタグ(左側面), D) 他の器官とタグの位置(腹面)

いて、#1458の事例を図3に示す。#1458 (55 cm FL) は、10月11日に与那国島南西沖のニライ9号にて曳縄にて漁獲され、標識後、9:47に放流された。#1458は最初の4日間は昼夜ともに水深100 m 以浅を遊泳していたが、日数の経過とともに遊泳水深を増していった。特に午後から日没時ころにかけてより深い層を遊泳遊泳し、水深400 mを越えることもあった。#1458は、全体的にみると昼夜とも

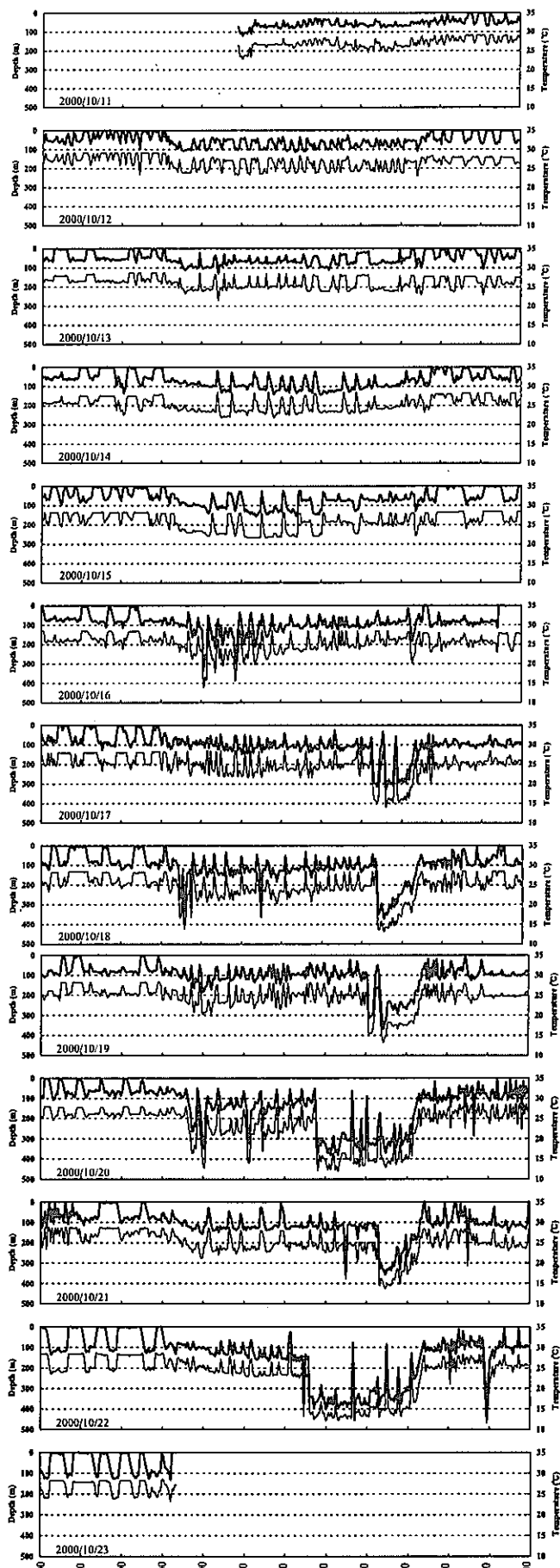


図3. メバチ#1458の垂直移動
太線は水深, 細線は水温を示す。

に小刻みな垂直移動を繰り返していた。夜間は表層付近に留まることが多かったが、時折水深100 mまで潜行した。昼間は夜間よりも深い層を泳ぐ傾向があり、また200-300 mもの水深差を伴う大きな短時間の垂直移動を行った(図3)。#1458は夜間と昼間の平均遊泳水深には有意な差が認められ(表2)、昼間は最大水深414 mに達する一方、夜間の97%は水深150 mより浅い層に分布していた(図4)。

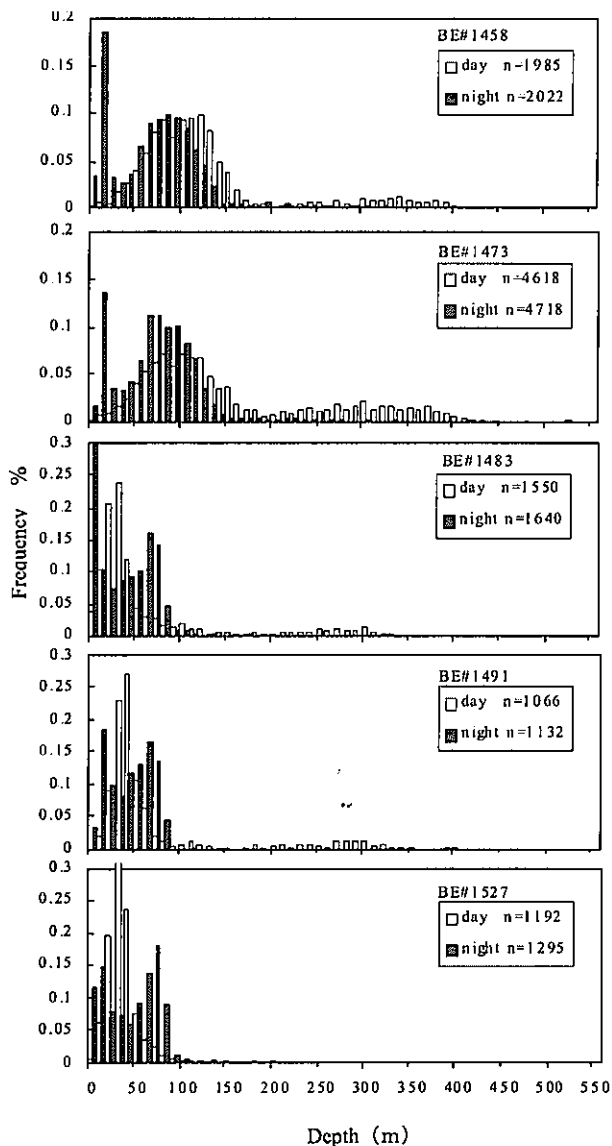


図4. 各個体の昼夜の遊泳水深頻度分布

表2. 1標本の t 検定による平均遊泳水深の昼夜比較

Tag#	Mean depth (m)		n	t	p	
	day	night				
#1458	112.43	61.47	13	5.13	0.00	***
#1473	144.82	68.27	29	6.21	0.00	***
#1483	60.90	31.88	10	2.47	0.04	*
#1491	66.46	36.32	7	1.06	0.33	
#1527	30.34	37.91	8	-2.09	0.07	

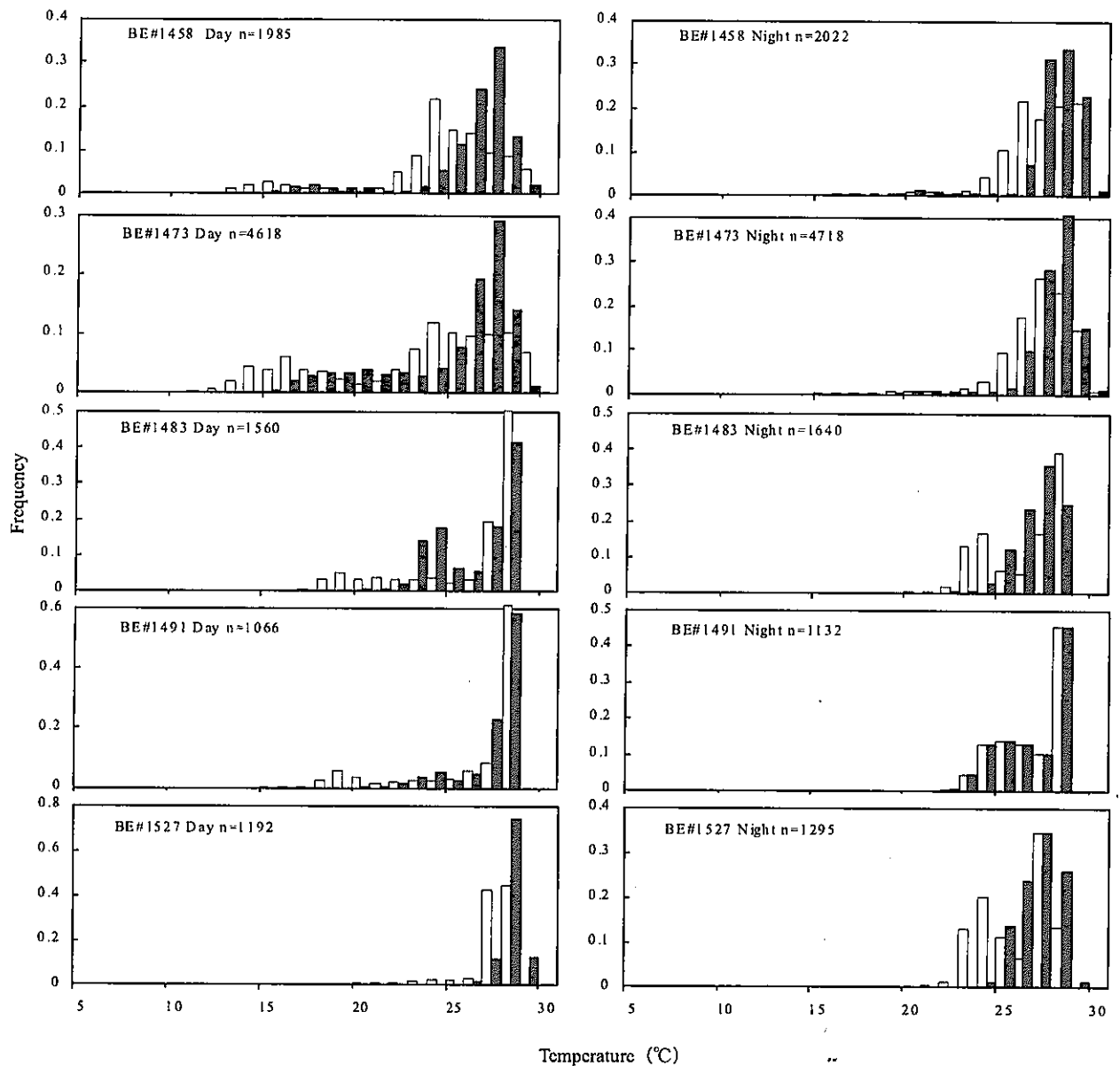


図5. 各個体の遊泳層水温と体温の頻度分布。左列は昼間、右列は夜間、水温(□)、体温(■)を示す。

#1458同様に、#1473も明瞭な昼夜の遊泳水深の差が認められた(表2, 図4)。昼間は最大水深513 mに達し、規則的な大きな垂直移動を繰り返す行動(図7)がたびたびみられた。ただし、タグの水深測定範囲は500 m までなので、それより深く潜った可能性もある。

沖縄島南部海域で放流された#1483, #1491, #1527は、比較的浅い層を遊泳しており、いずれも夜間の約99%を100 mより浅い層内にいた。#1483では昼夜の遊泳水深に有意差が認められたが、#1491, #1527では認められなかった。#1483と#1491はそれぞれ最大水深345 m, 426 mに達したが、#1527は200 mを越えることはなかった(図4)。

4) 遊泳層の水温および体温分布

図5に昼夜別の水温および体温頻度分布を示す。水温および体温分布は各個体の遊泳層の変化特性に伴い変化しており、昼間は夜間より深く潜る傾向があったものでは、水温も夜間より昼間の方が低いほうへ偏った。昼間、#1458と#1473は最低で11°C層にまで達したが、体温は15°C台までしか下がらなかった(図5)。#1458と#1473の遊泳層水温のモードは24°Cであったが体温のモードはどちらも27°Cで水温よりも3°C高かった(図5)。昼間、#1483, #1491, #1527の水温のモードは28°Cで、体温と同じであった(図5)。

#1473についての同じ記録時刻の水温と体温との関係を図6に示す。概ね体温は水温より高かった。

しかし、遊泳層の水温が高いと体温が水温よりも低いことが増えた。正の温度偏差は遊泳層の水温が低

いほど範囲が広がり、最大で18℃もの差があった。また表面平均水温(27.7℃)よりも体温が高いことは少なかった。

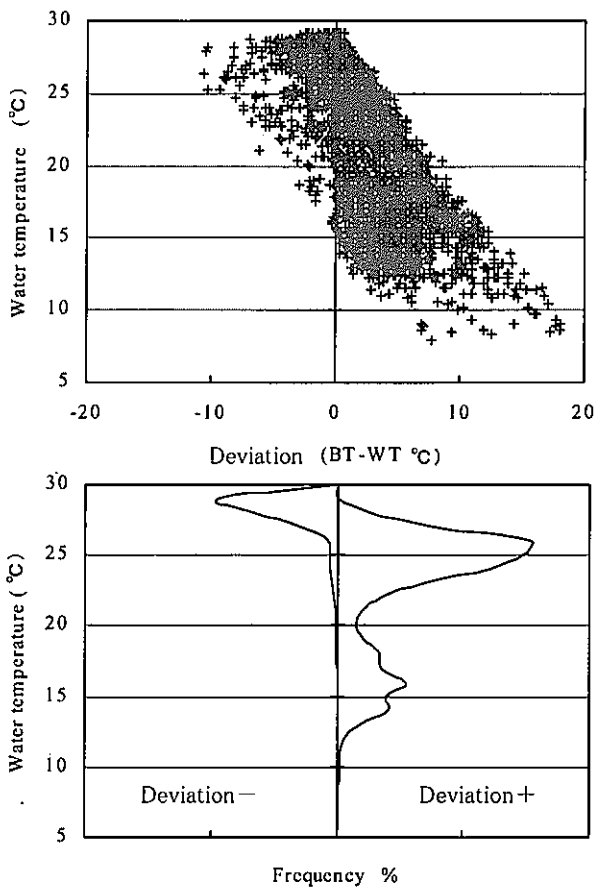


図6. #1473の遊泳層水温ごとの温度偏差(体温-水温)

- A) 水温と温度偏差の関係
- B) 水温層ごとの偏差+ (体温>水温) と偏差- (体温<水温) の頻度分布

5) 垂直移動に伴う温度変化

図7のような大きな垂直往復移動は#1527を除き全てに認められた。このような垂直移動はかなり規則的に起こり、図7の場合、その間隔は0:26-1:04 min, $0:42 \pm 0:10$ (平均±標準偏差) minであった。往復に要する時間は0:08-0:26(平均0:19) minであった。これらの浮上と潜行は同程度の水深移動であり、その速度にも有意な差はなかった。#1473は最大水深321 m (平均235 m) に及ぶ垂直移動に伴い、最大14℃(平均8.9℃)の水温変化にさらされたが、体温は変動が小さく最大5.5℃(平均3.3℃)であった(図7)。水温変化は遊泳水深の変化と同調しているが、体温は水温変化にやや遅れて変化した。各垂直移動時に、水温が最も下がった時点と体温が最も下がった時点の差は、平均0:29 minほどであった。一方、水温が最も上がった時点と体温が最も上がった時点の差は0:05 minであった。体温の変化率(体温変化(℃)/水温変化(℃)/経過時間(分))は、浮上時平均0.062, 潜行時平均0.014で有意な差が認められ、潜行時に体温変化は小さかった。

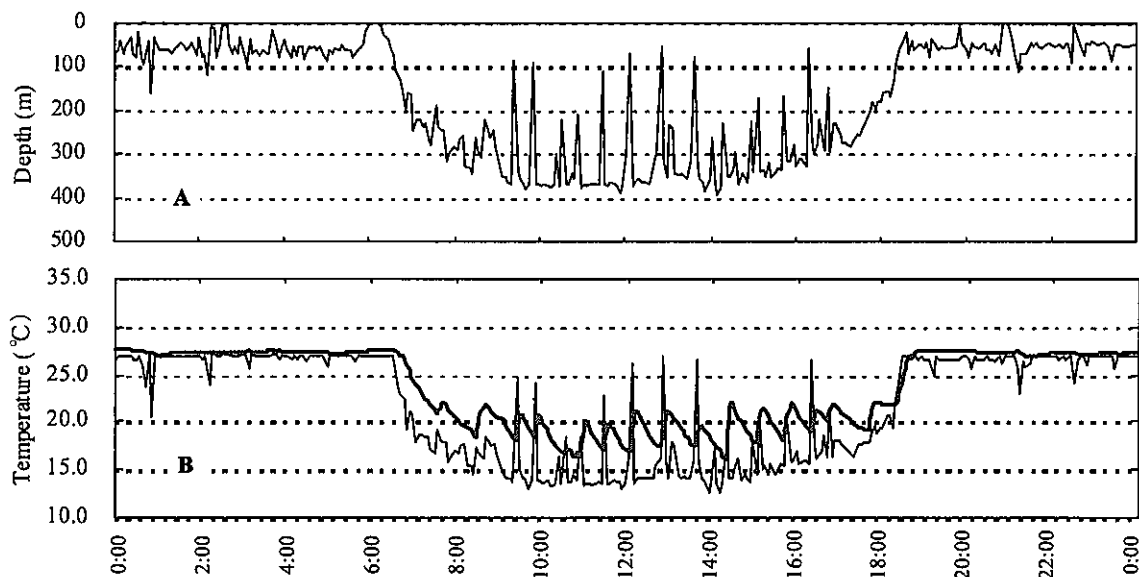


図7. メバチの垂直移動に伴う水温および体温の変化(BE#1473 2000/11/3のデータ)

- A) 遊泳水深(細線)
- B) 体温(太線)と水温(細線)

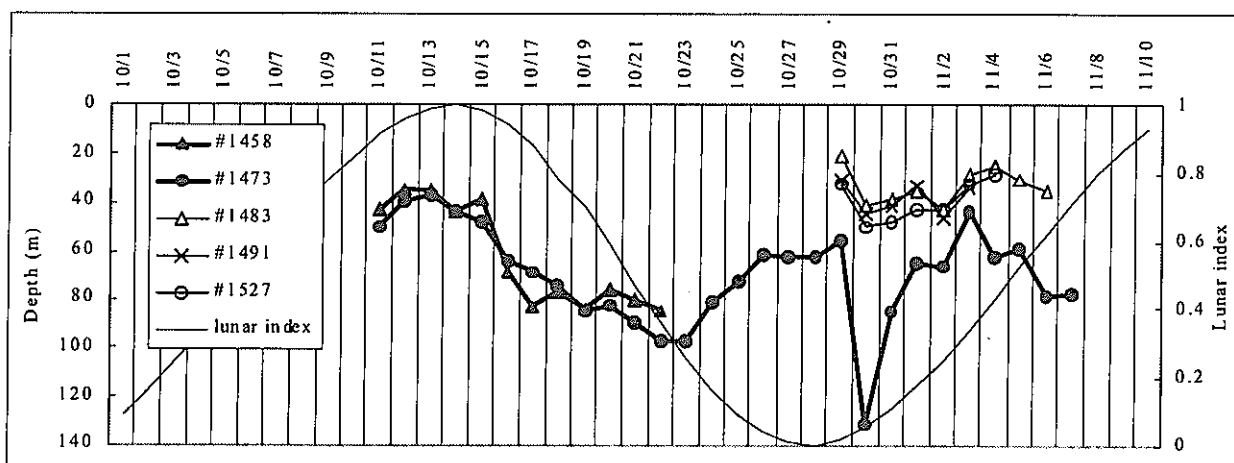


図8. メバチの夜間の平均遊泳水深と月周期との関係。 Lunar indexは月の相対照度で、1は満月時の値。

4. 考察

アーカイバルタグにより、詳細なメバチの遊泳生態が日本で初めて記録された。アーカイバルタグは、沖縄県海域において放流したメバチ16尾のうち5尾の再捕から回収した。これはダート型タグ標識放流の再捕率12.3%に比べて著しく高い¹⁶⁾。手術後の傷の経過やタグの埋め込み状況も特に異常なく良好なので、タグ埋め込み手術による生残への影響は少ないと考えられる。

これまでにバイオテレメトリー法によって、メバチの詳細な遊泳行動が報告されている^{49,10,13)}。本稿の遊泳行動も概ねそれらと同様であり、夜間は100 mより浅い層内に、昼間は夜間よりも深く、時に水深500 mを越える層まで分布した。しかし、個体やデータ記録日によって遊泳水深は異なることがあり、特に与那国島海域と沖縄島南部海域放流群でかなり異なった(図4)。パヤオ周辺ではメバチの遊泳層が浅くなることが報告されているので¹⁾、個体や記録日ごとの遊泳水深の違いは、そのときのパヤオへの蝸集行動の有無とパヤオによる遊泳行動への影響かもしれない。

ハワイでは、アーカイバルタグの情報から、メバチの夜間の遊泳層は、新月時に浅く(水深30 m)満月時に深い(水深70-80 m)と報告されている(Boggs, C., 2000: PFRP PI Meeting PPT File <http://www.soest.hawaii.edu/PFRP/dec00mtg/dec00mtg.html>)。本県海域ではこのような月周期と夜間の遊泳水深との明瞭な関係は認められなかった(図8)。しかし、与那国島海域で放流した#

1458と#1473の2尾、および沖縄島南部海域#1483、#1491、#1527の3尾の遊泳水深は、それぞれの海域で同調していた。この遊泳水深変化の同調は昼間よりも夜間で明瞭であった。しかし、各個体ごとの詳細な垂直移動をみるとあまり同調していなかったため、各海域での放流個体はそれぞれ同じ群れに属し、行動をとともにしていた可能性は低いと考えられる。ゆえに各海域に共通な何らかの外部環境要因が夜間の遊泳層に影響していた可能性も考えられる。

マグロ類は、環境水温よりも高く体温を保つことが知られており、血合筋の中にはそれを積極的に行うための奇網と呼ばれる熱交換器が存在する¹⁷⁾。本調査においてもメバチの体温は概ね環境水温より高かった。図7のような昼間の規則的な短時間の垂直往復移動は、体温がある程度低下した時に起こり、メバチの低水温層への適応のための行動的体温調節であろうと考えられる¹⁸⁾。さらに水温の変化にやや遅れて体温が変化すること、またその変化率が浮上時よりも潜行時に低いことはメバチが積極的な生理体温調節を行っている事を示唆するものであった^{17,18)}。ポリネシアでの調査では、朝夕のメバチの深淺移動がSSLの深淺移動によく一致しており、メバチがSSL内の餌生物を求めて深淺移動を行っている可能性がある^{10,13)}。本県海域においてもソデイカとSSLの垂直分布が互に関連している可能性が示唆されている¹⁹⁾。本県海域のSSLの垂直分布は、夜間が水深100 mよりも浅層、昼間はおおよそ水深350-400 m層と報告されており¹⁹⁾、本調査で得られたメバチの昼夜の垂直分布によく一致していた。本県

海域においてもSSLの動きや分布は、メバチの垂直移動および分布に影響しているかもしれない。

5. 今後の課題

大型魚およびパヤオ周辺での遊泳行動のデータを収集し、遊泳層と海洋環境との関連を調べる。また、より感度の高い照度センサーを備えたアーカイバルタグを用いて遊泳経路を明らかにする。

文献

- 1) Collette, B. B. and Nauen C. E. FAO Species catalogue vol.2 Scombrid of the world. FAO Fisheries Synopsis No.125, Volume 2.1983; 137 pp.
- 2) 大嶋洋行. 昭和60年度沖縄県水産試験場事業報告書.1987; 15-38.
- 3) 本間操, 薬科侑生, 鈴木治郎. 西太平洋のキハダとメバチの若魚の識別.遠洋水研報. 1973; 8, 1-23.
- 4) 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.
- 5) Cayre, P. Behaviour of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) around fish aggregating devices (FADs) in the Comoros Islands as determined by ultrasonic tagging. Aquat. Living Resour. 1991; 4, 1-12.
- 6) Block, B. A., Keen, J. E., Castillo, B., Dewar, H., Freund, E. V., Marcinek, D. J., Brill, R. W., and Farwell, C. Environmental preferences of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) at the northern extent of its range. Mar. Biol. 1997; 130, 119-132.
- 7) 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. 1999; 133, 395-408.
- 8) Bach, P., Dagorn, L., Josse, E., Bard, F.-X., Abbes, R., Bertrand, A., and Misselis, C. Experimental research and fish aggregating devices (FADs) in French Polynesia. SPC FAD Information Bull. 1998; 3, 3-18.
- 9) Brill W. R. and Lutcavage, M. E. Understanding environmental influences on movements and depth distributions of tunas and billfishes can significantly improve population assessments. American Fisheries Society Symposium. 2001; 25: 179-198.
- 10) Dagorn, L., Bach, P., and Josse, E. Movement patterns of large bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the open ocean, determined using ultrasonic telemetry. Mar. Biol. 2000; 136, 361-371.
- 11) 齋藤昭二. マグロの遊泳層と延縄漁法. 成山堂書店, 東京, 1992; 198pp.
- 12) 花本栄二. 海洋環境がメバチの分布に与える影響. 神奈川県水産試験場論文集. 1986; 2, 1-61.
- 13) Josse, E., Bach, P., and Dargon, L. Simultaneous observations of tuna movements and their prey by sonic tracking and acoustic surveys. Hydrobiologia. 1998; 371/372, 61-69.
- 14) 遠洋水産研究所. 平成12年度まぐろ資源調査研究経過報告. 2001; 176pp.
- 15) Inagake, D., H. Yamada, K. Segawa, M. Okazaki, A. Nitta, and T. Itoh. Migration of young bluefin tuna, *Thunnus orientalis* Temminck et Schlegel, through archival tagging experiments and its relation with oceanographic conditions in the western North Pacific. Bull. Nat. Res. Inst. Far. Seas Fish. 2001; 38, 53-81.
- 16) 太田格, 鹿熊信一郎, 金城清昭. 琉球諸島におけるマグロ類の回遊生態. 平成12年度沖縄県水産試験場事業報告書. 2002; 17-24

- 17) Holland, K. N. and Sibert, J. R.
Physiological thermoregulation in bigeye
tuna, *Thunnus obesus*. Environmental Biology
of Fishes. 1994; 40, 319-327.
- 18) Holland, K. N., Brill, R. W., Chang, R. K. C.,
Sibert, J. R. and Fournier, A. (1992)
Physiological and behavioural thermoregu-
lation in bigeye tuna (*Thunnus obesus*).
Nature. 1992; 358, 410-412.
- 19) 金城清昭, 矢野和成, 太田格. バイオテレメト
リーによるソデイカの個体行動調査.平成11年度
沖縄県水産試験場事業報告書. 2001; 35-38.