

パヤオ周辺でのキハダ、メバチの遊泳行動生理*1

太田 格・下條武・福田将数・松本隆之*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蛸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²⁻⁵⁾。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。ゆえに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キハダの追跡調査を行った。

また、追跡調査および記録型標識(アーカイバルタグ)調査では、遊泳水深および遊泳時の体温データ収集を行い、マグロ類の鉛直移動および体温保持機構に関する情報を得た。体温保持機構はマグロ類の鉛直移動の制限要因として、また身質の変性(ヤケ)に関わると考えられるので本稿にて考察した。

2. 材料および方法

1) バイオテレメトリー法による調査

本調査では、2チャンネル超音波発信機(VEMCO社 V16TP)、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V16TP発信機は、長さ65mm、直径16mm、周波数50kHzで、水深と温度の2つのデータを送信するタイプであった。

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、追跡した。発信機からの音波信号を、舷側に設置したV10受波器を介して船内のVR60受信機で受信し、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XBT観測を行った。また、調査船函南丸(176トン)では、追跡中の潮流データをADCPによって観測した。

2) 記録型標識による調査

アーカイバルタグ(NMT社製)を用いたキハダ、メバチの標識放流を行ったうち、再捕され回収した標識からのデータ解析を行った。なおアーカイバルタグの特徴、パラメーター設定、標識方法については、太田らの報告⁶⁾と同様である。

3. 結果

1) 水平移動

バイオテレメトリー法により、2個体のキハダについて水平移動のデータを得た(表1)。2001年8月28日に耐久性浮魚礁ニライ3号(久米島沖、図1a)周辺において、一本釣りにて漁獲したキハダ#1(82.1cm FL、表1)を、同パヤオのそばで放流し、調査船函南丸によって追跡した。追跡した船の軌跡を図1a、1bに示す。7:56の放流から9:20まではパヤオの南西側0.5マイル以内を遊泳していたが、その後西方向へ移動した。11:57からは船が西方向に流されているにもかかわらず、全周方向から一定した受信状態が続いた。これは標識魚が浮標している調査船についてしまったためだと考えられた。船は風と潮流により、徐々に西から西北西方向に流されてゆき、この状態は翌朝まで続いた。翌朝には魚群探知機にしばしば単独個体らしき反応が見られ、その反応の水深は、発信機からの水深データに一致していたので、標識魚であると考えられた。このような状態に変化が認められないので、7:45-8:50に、標識魚を再び釣り上げる試みがなされたが失敗した。

*1 パヤオ漁業効率化試験およびマグロ類回遊行動生態調査の一環

*2 独立行政法人水産総合研究センター遠洋水産研究所

表1. バイオテレメトリー法によるキハダ追跡調査データ

Fish No.	Fork length (cm)	Estimated mass (kg) 7)	Area	Season	Date of track beginning	Duration	Total distance covered (nm)	Straight-line distance between start and end points (nm)
1	82.1	10.7	off Kume Is.	Summer	2001/8/28 7:56	25h50	23.1	18.2
2	90.0	14.2	off Itoman	Winter	2002/3/28 7:00	4h	3.6	1.8

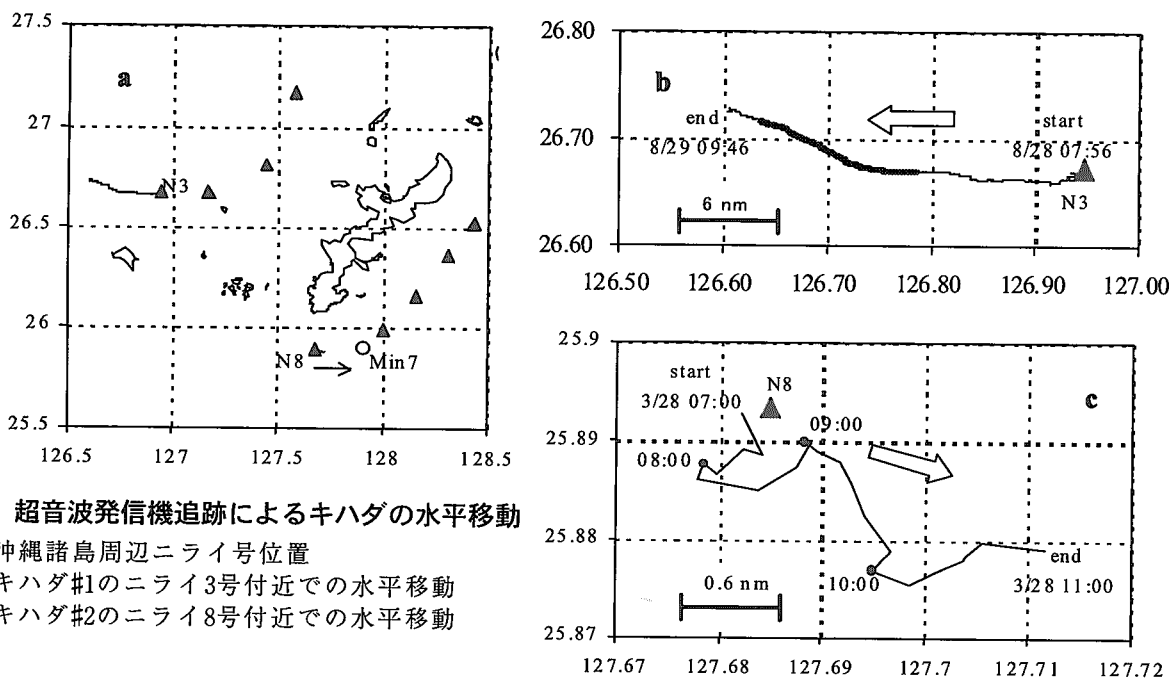


図1. 超音波発信機追跡によるキハダの水平移動

- a: 沖縄諸島周辺ニライ号位置
- b: キハダ#1のニライ3号付近での水平移動
- c: キハダ#2のニライ8号付近での水平移動

次に、標識魚を調査船から引き離すために、8:55-9:00まで115°コースでゆっくり逆走した。その後標識魚を引き離すことはできたが、受信が断続的になり、9:46の受信を最後に見失った。追跡時間は25時間50分、航走距離は23.1マイル、パヤオからの直線距離は18.2マイル、標識魚の平均遊泳速度（航走距離/追跡時間）は0.89ノット（0.459 m/s）であった（表1）。

2002年3月28日に耐久性浮魚礁ニライ8号（糸満沖、図1a）周辺において、一本釣りにて漁獲したキハダ#2（90.0cm FL、表1）を、同パヤオのそばで放流し、港川漁業協同組合所属漁船第八新漁丸（9.7トン）によって追跡した。追跡した船の軌跡を図1a、1cに示す。7:00の放流から9:34まではパヤオの南側約0.6マイル以内を遊泳していたが、その後南東から東方向へ移動した。安定だった受信状態が急変し、11:00に標識魚を見失った。追跡時間は4時間、航走距離は3.6マイル、パヤオからの直線距離は1.8マイル、標識魚の平均遊泳速度（航走距離/追跡時間）は0.9ノット（0.463 m/s）であった（表1）。

さらに、キハダ#2は翌日の3月29日10:00ころ、ニライ8号の東方向12.2マイル離れた港川漁協7番パヤオで地元漁業者により再捕された（図1a）。

2) アーカイバルタグの放流と再捕

平成13年度は、キハダ8尾、メバチ1尾を、与那国島、久米島、糸満沖海域のパヤオで放流した。そのうち、久米島でキハダ1尾、与那国島でメバチ1尾の再捕があった。どちらも放流から約1ヶ月後に、放流したパヤオで再捕された（表2）。

3) 鉛直移動

バイオテレメトリーにより測定したキハダ#1、#2の鉛直移動について図2a、bに示す。

#1は、放流後から正午まで平均水深115m付近を遊泳し、時折50m以浅まで浮上した。その後安定し、日没までの平均遊泳水深は95mであった。日没後、徐々に表層50m以浅に移動し、また日の出とともに潜行していった。#1の遊泳水深（平均±標準偏差SD）は昼間の102.3±27.7 mと夜間の43.2±17.7 mで明

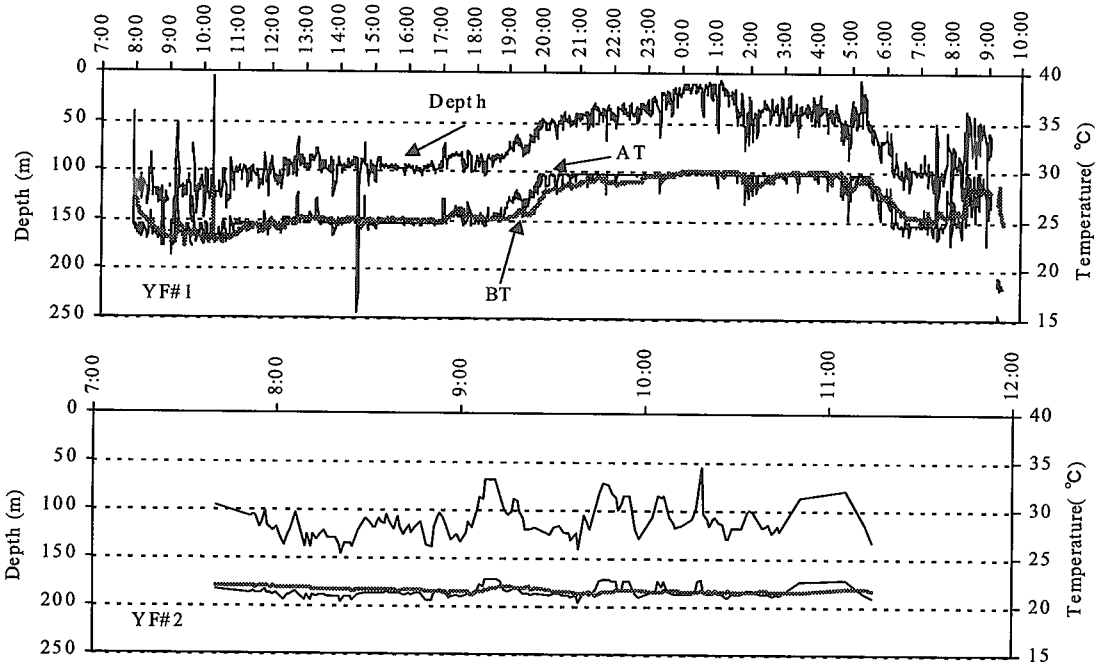


図2. バイオテレメトリーによるキハダの遊泳水深 (Depth: 遊泳水深, AT: 環境水温, BT: 腹腔内温度)

瞭に異なり (1 標本の t 検定: $p < 0.001$), 夜間の遊泳層が浅かった (表3, 図3a)。

#2は, 追跡中水深100m前後を遊泳していた。#2の遊泳水深 (表3, 図3b: 111.8 ± 17.6 m) は, #1の昼間の遊泳水深よりも有意に深かった (2 標本の t 検定: $p < 0.001$)。

アーカイバルタグから得られたキハダ#1483とメバチ#2005の遊泳水深の時系列データを図3, 図4に示す。キハダ#1483 (85.2cm FL, 表2, 図3) は, 2001年10月10日に久米島沖パヤオ (ニライ3号) で放流された。放流後, 約1週間はほとんど50m以浅を遊泳していた。その後, 昼間には150–250m付近まで潜行し, また表層付近まで上昇するような潜水行動を繰り返した。一方, 夜間の50%以上は10m以浅を遊泳していた。遊泳層は, 昼間 (平均 \pm SD: 45.0 ± 51.1 m) が夜間 (16.0 ± 25.4 m) よりも有意に深かった (図5 a, 表3, 1 標本の t 検定: $p < 0.001$)。メバチ#2005 (63.0cm FL, 表2, 図4) は, 2001年10月4日に与那国島パヤオ (ニライ9号) で放流された。キハダと同様に, 放流後1週間程度は遊泳層は50m付近で, 深い潜水はみられなかった。その後, 午後から日没にかけて300–500m付近までの潜行行動が認められた。また潜行後はしばらくその層に留まり, 時折50m層付近まで上昇し, また潜行するスパイク状の遊泳行動が認められた。昼間の遊泳層

(平均 \pm SD: 138.4 ± 114.6 m) は, 夜間の遊泳層 (66.5 ± 51.7 m) よりも有意に深かった (図6a, 表3, 1 標本の t 検定: $p < 0.001$)。また, キハダ#1483に比べ, メバチ#2005の遊泳層は有意に深かった (2 標本の t 検定: $p < 0.001$)。

4) 遊泳層と水温鉛直構造

XBTまたはアーカイバルタグの水温データから水温鉛直構造および10m層ごとの温度差 (温度勾配) を図5–8bに示した。夏期の#1追跡時の表層水温は29.7°C, サーモクライン (最浅の温度勾配の最大層) は80–90m層に認められた (図5b)。一方, 冬季の#2追跡時の表層水温は22.7°C, サーモクラインは90–100m層に認められた (図6b)。追跡時期により表層水温, サーモクラインには違いが認められたが, どちらも昼間の遊泳層のモードは, サーモクラインの下側10–20mであった (図5, 図6))。しかし, キハダ#1483では, 表層水温26.8°C, サーモクラインは80–90mであったが, 遊泳層はそれよりも浅い層であった (図7)。メバチ#2005では, 表層水温28.0°C, サーモクラインは70–80mで, 昼間の遊泳層のモードとほぼ同じであった (図8)。

5) 体温保持特性

昼間, キハダ#1, #2ともに大きな鉛直移動をしな

表2. 平成13年度アーカイバルタグ標識放流および再捕状況

Tag & Release											Recapture				
Date	Location		Area	Time	Species	FL (cm)	DartTag#		ArcTag #	Date	Location		Area	Elapsed days	Distance (nm)
	North	East					North	East							
2001/10/4	24.218	122.534	Yonaguni Is.	7:01	BE	63.0	A8501	A8502	2005	2001/10/28	24.218	122.534	Yonaguni Is.	25	0.0
2001/10/4	24.256	122.512	Yonaguni Is.	7:42	YF	68.0	A8503	A8504	1206						
2001/10/5	24.218	122.534	Yonaguni Is.	7:18	YF	75.0	A8505	A8506	1213						
2001/10/10	26.404	126.568	Kume Is.	6:50	YF	69.2	A8507	A8508	1216						
-	-	-	-	8:56	YF	71.5	A8509	A8510	1637						
-	-	-	-	10:21	YF	70.8	A8511	A8512	1641						
-	-	-	-	11:26	YF	68.6	A8513	A8514	1458						
-	-	-	-	12:03	YF	85.2	A8515	A8516	1483	2001/11/6	26.404	126.568	Kume Is.	28	0.0
2001/10/23	25.541	127.577	Itoman	22:55	YF	61.7	A8523	A8524	1621						

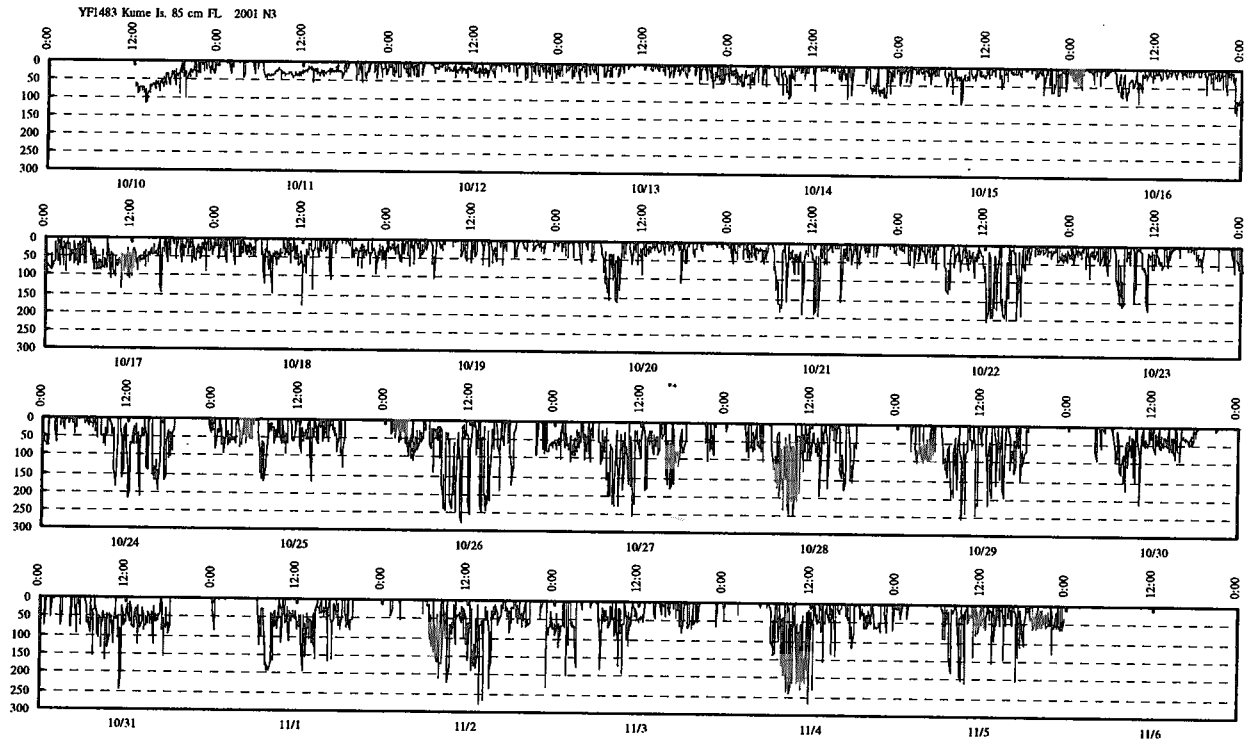


図3. アーカイバルタグによって得られたキハダ#1483の遊泳水深

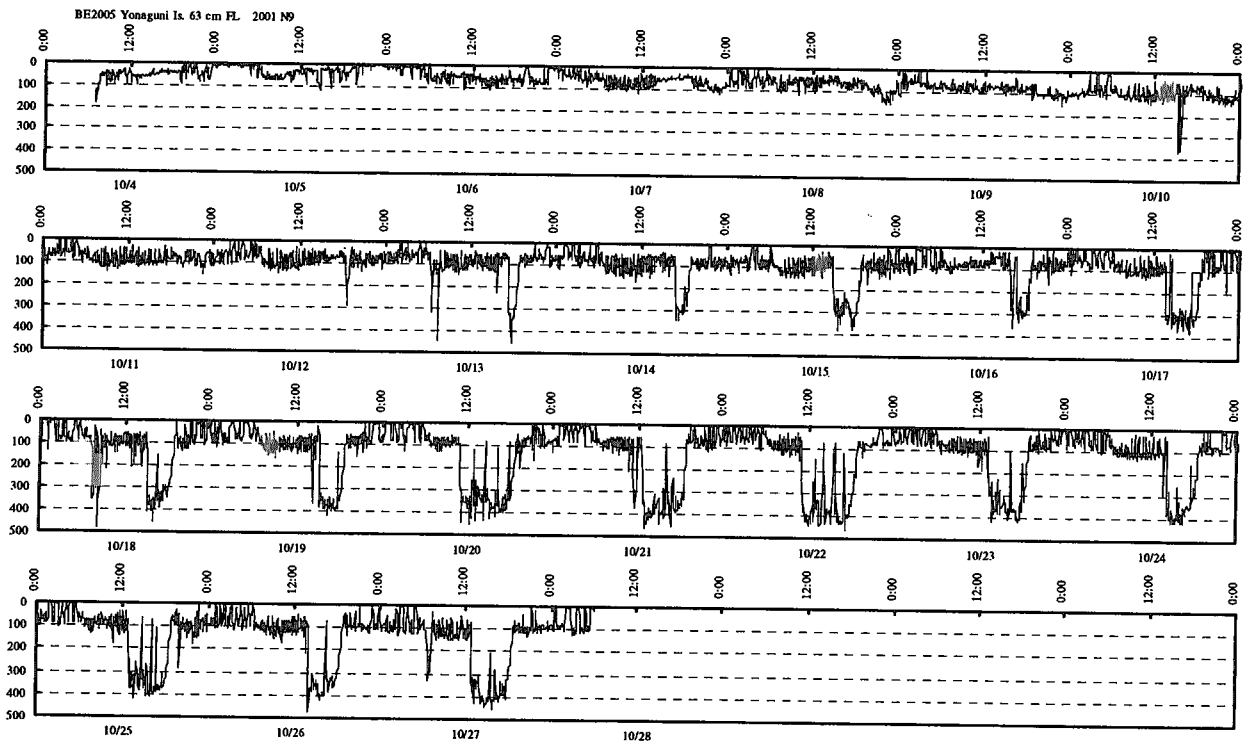


図4. アーカイバルタグによって得られたメバチ#2005の遊泳水深

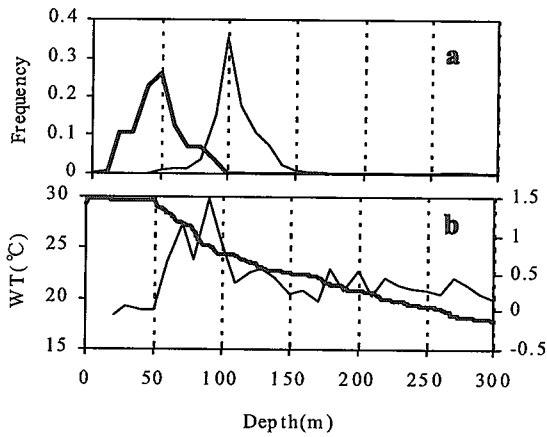


図5. キハダ#1の遊泳層(a)および水温鉛直構造(b).
a) 昼間: 細線, 夜間: 太線 b) 水温: 太線, 勾配: 細線

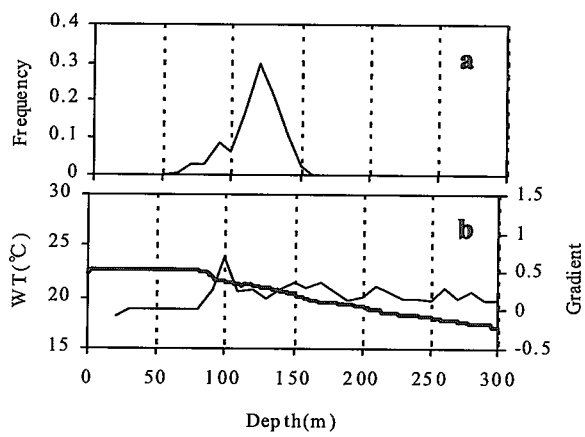


図6. キハダ#2の遊泳層(a)および水温鉛直構造(b).
a) 昼間: 細線 b) 水温: 太線, 勾配: 細線

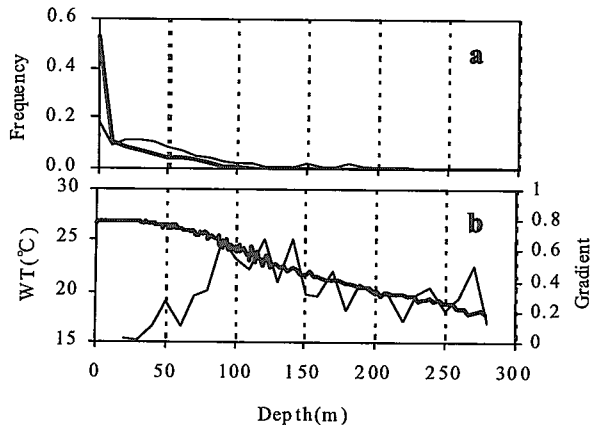


図7. キハダ#1483の遊泳層(a)および水温鉛直構造(b).
a) 昼間: 細線, 夜間: 太線 b) 水温: 太線, 勾配: 細線

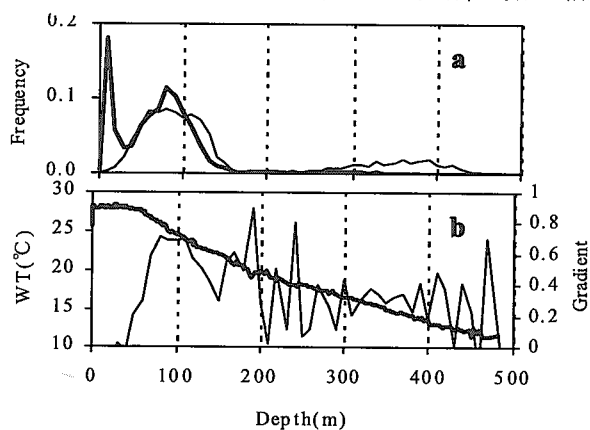


図8. メバチ#2005の遊泳層(a)および水温鉛直構造(b).
a) 昼間: 細線, 夜間: 太線 b) 水温: 太線, 勾配: 細線

表3. 昼夜の遊泳水深

Fish No.		n	Depth (m)		
			Mean ± SD	Min	Max
1	Day	828	102.3 ± 27.7	5.5	284.8
	Night	684	43.2 ± 17.7	8.4	89.9
2	Day	149	111.8 ± 17.6	56.8	146.5
	Night	4502	45.0 ± 51.1	0.0	284.8
1483	Day	4434	16.0 ± 25.4	0.0	231.0
	Night	4042	138.4 ± 114.6	6.0	483.0
2005	Day	4044	66.5 ± 51.7	1.0	363.0
	Night				

かったため水温、体温ともにほぼ一定に保たれていた(図2)。それぞれの体温は環境水温に大きく影響され、季節、遊泳層の違いによる水温の違いが、体温の違いにもあらわれた(表4)。昼間のキハダ#1および#2の温度差(体温-環境水温)は、 0.28 ± 1.36 (平均±SD) °C、 0.24 ± 0.57 °Cであり、測定機器の精度(±0.2-0.3°C)を考慮すると体温は概ね環境水温に等しいと考えられた。

大きな鉛直移動のみられた2001年10月26日のキハダ#1483のデータを図9に示す。昼間に繰り返した鉛直移動は200m以上に達し、その変化に対応し7°C以上水温が変化した。同様に体温も変化した。その変化は小さく4°C以内であった。また体温変化には水温変化より数分(1-2記録間隔:約4-8分)のタイムラグを伴って起こった。2001年10月22日のメバチ#2005は、日の出後、水深100m前後を遊泳していたが、11:00を過ぎると水深約400mまで潜行した(図10)。潜行により、環境水温は約11°Cまで急激に低下したが、体温低下は緩やかだった。時折みられるスパイク状の鉛直移動は300m以上に達し、そのときの水温変化は13°Cほどであった。キハダ#1483およびメバチ#2005のどちらも、環境水温は遊泳水深とほぼ同様に变化し、体温は環境水温の影響を受けた。しかし、潜行したときの体温低下は緩やかであり、体温は概ね環境水温よりも高かった(図9、図10)。また、キハダでは潜行時の体温低下と上昇時

表4. 遊泳時における各個体の昼夜ごとの環境水温, 腹腔内温度 (体温), 温度差 (体温-水温)

Fish No.	n	Ambient water temperature (°C)			Body temperature (°C)			BT-AT (°C)		
		Mean ± SD	Min - Max		Mean ± SD	Min - Max		Mean ± SD	Min - Max	
1	Day	828	24.7 ± 1.4	18.1 - 29.7	24.9 ± 1.2	22.3 - 29.0		0.28 ± 1.36	-5.91 - 9.48	
	Night	684	29.2 ± 1.0	25.2 - 29.7	28.9 ± 1.2	25.2 - 30.1		-0.26 ± 0.82	-2.84 - 3.65	
2	Day	149	21.4 ± 0.5	20.4 - 22.7	21.6 ± 0.2	20.9 - 22.1		0.24 ± 0.57	-1.28 - 1.30	
	Night									
1483	Day	4502	26.0 ± 1.8	17.8 - 27.5	26.3 ± 0.9	21.9 - 27.7		0.28 ± 1.48	-4.80 - 7.60	
	Night	4434	26.6 ± 0.6	19.3 - 27.7	26.6 ± 0.4	24.2 - 27.5		0.01 ± 0.48	-2.70 - 7.00	
2005	Day	4042	23.4 ± 4.7	11.2 - 29.2	25.3 ± 3.4	14.3 - 29.0		1.88 ± 2.61	-10.6 - 14.5	
	Night	4044	26.3 ± 2.3	14.1 - 29.0	27.0 ± 1.9	16.0 - 29.6		0.75 ± 1.54	-7.0 - 11.2	

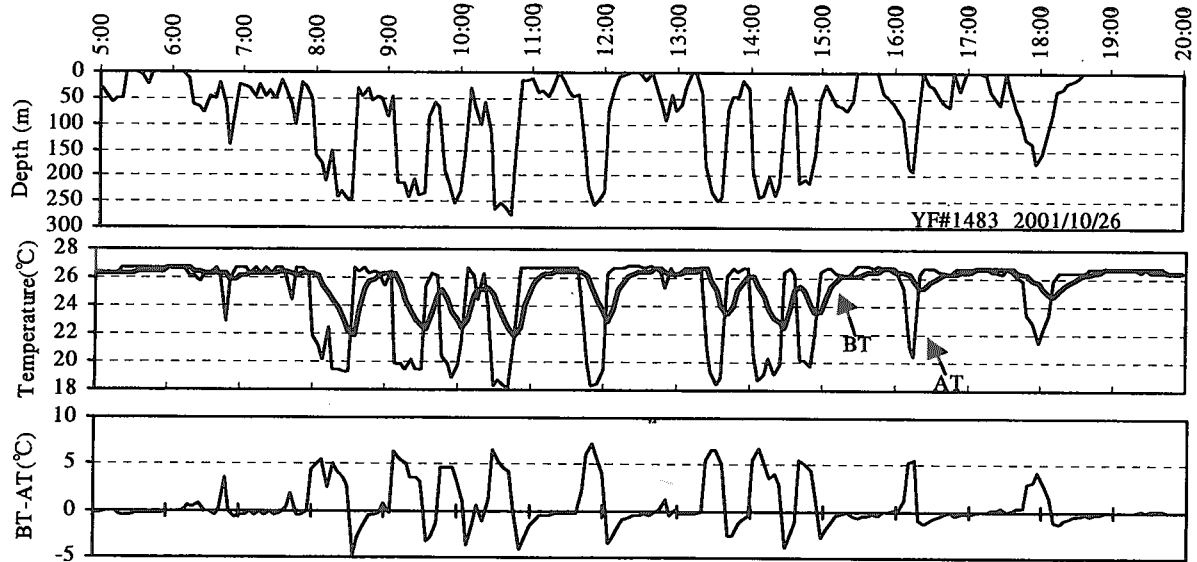


図9. キハダ#1483の鉛直移動に伴う環境水温(AT), 体温(BT), 温度差の時系列データ (2001年10月26日)

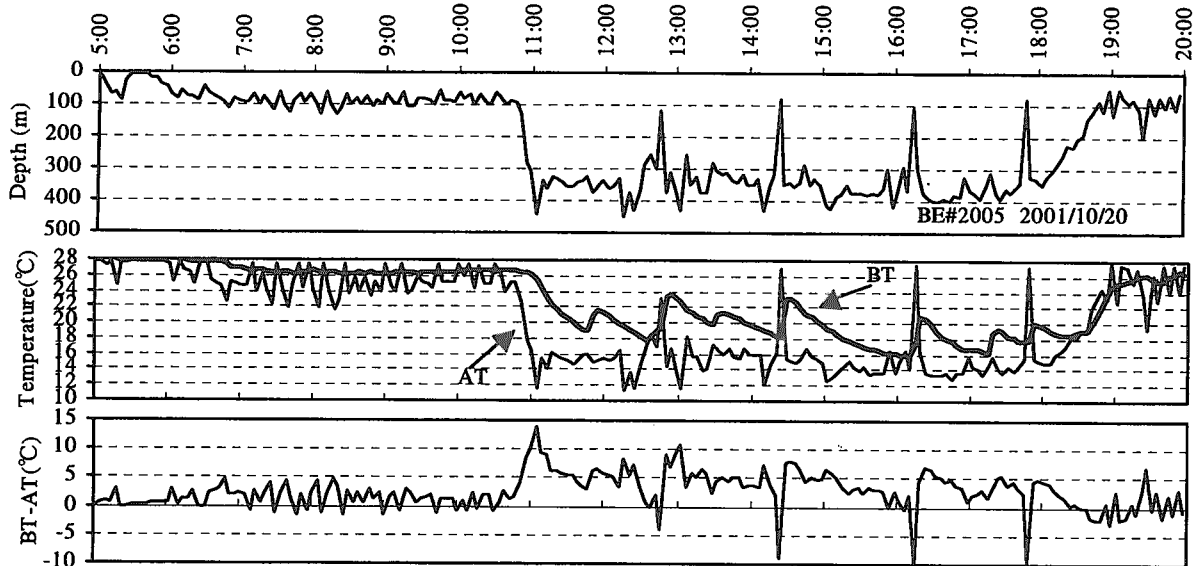


図10. メバチ#2005の鉛直移動に伴う環境水温(AT), 体温(BT), 温度差の時系列データ (2001年10月22日)

の体温上昇の早さはほぼ同じであり, 体温は潜行とともに緩やかに低下し, 上昇とともに緩やかに上昇し, 表層混合層の水温に近づいた。それに対し, メバチでは上昇時の体温上昇が潜行時の体温低下の7-10倍ほど早かった。温度差が負になるとき (体温が

水温より低いとき) は, 急激な上昇に伴い低下していた体温が回復しきらないときであった。兩種とも表層付近を遊泳しているときは温度差はほぼ0℃であった (図9, 図10の5:00-6:00)。

4. 考察

1) パヤオ周辺での水平移動

パヤオ周辺でのマグロ類の水平移動または行動範囲（パヤオの影響範囲）の情報は、パヤオの合理的な配置、漁法の効率化、さらには集群行動のモデリングおよび資源量推定等に重要である。残念ながら、本研究での追跡調査では、後述する数マイル規模および小規模な日周期的水平移動について情報は得られなかった。一般に船舶を用いた追跡調査では、多大な労力とコストから通常数日間の追跡に留まらざるを得ないので、水平移動に関して短期間の断片的な情報に限られる。しかし、これまでにマグロ類が複数のパヤオ間をほぼ直線的に渡り泳ぐ行動、パヤオから離れリーフ外縁や海岸線と平行に泳ぐ行動、一度離れたパヤオに再び訪れる日周期的な水平移動など、マグロ類の驚くべき定位能力や行動範囲について多くの情報が得られている^{8, 13)}。Holland¹⁴⁾ およびDagornら⁸⁾ は、ハワイおよび仏領ポリネシアでの音波発信機追跡による結果から、パヤオ周辺でのキハダの水平移動を、1)パヤオから離れそのまま戻らない、2)パヤオから数百m以内に継続的に留まる、3)昼間パヤオ付近に留まり、夜間パヤオから離れ、翌日またパヤオに戻る、4)断続的にパヤオ付近に留まる、のような以上の3-4種類に類型化している。このような短期的なマグロ類の行動範囲から、パヤオの効果範囲はおよそ5マイルと考えられている^{9, 10)}。

自動記録型受信機とコード化音波発信機を用いた行動長期定点観測によっても、パヤオ周辺におけるマグロ類の水平移動についていくつかの知見が得られている。ハワイでは、標識したキハダの多くが1日に数回（特に午前中と日没頃）、1時間未満の短い間、観測パヤオを訪れること、10km離れた2パヤオ間を頻繁に往来すること、このような行動が最長では9ヶ月間も断続的に続いたことが報告されている¹⁵⁾。また沖縄においても、キハダとメバチが隣接した観測パヤオ間（11.5-18.5マイル）を往来する行動が認められた。しかし沖縄では、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、最大約50日間連続的に滞在することが報告され、さらに滞在

中にも小規模な（1マイル以内程度）の日周期的水平移動があることが示唆されている^{2, 5)}。平均受信頻度の解析から、キハダでは滞在期間の約60%、メバチでは約50%の時間をパヤオ周辺の受信範囲半径550m内に滞在したことが分かっており、アーカイバルタグで標識したキハダ#1483、メバチ#2005はパヤオ周辺に留まっていた可能性が高い。しかし、コード化音波発信機標識メバチの70%は、午後にパヤオを離れ（ピークは14:00）、夜間にパヤオに戻る（ピークは21:00）規則的な行動パターンを示した⁵⁾。メバチ#2005に認められた午後に始まる潜水行動と前述のパヤオを離れる時間帯はよく一致しており、潜水行動の開始はパヤオから離れたことを意味するかもしれない。メバチの遊泳水深がパヤオ周辺で浅く、パヤオから離れたときに深くなることは追跡調査によって認められている⁹⁾。アーカイバルタグから得られたデータは若干の分布拡大は予想されるものの、概ねパヤオ周辺での行動として考えられるだろう。

マグロ類がパヤオに集まるメカニズム、移出要因については未だ明らかでない。しかし、これまでに報告された行動は、マグロ類が何らかの知覚によってパヤオの位置や存在を認識していることを示唆する。今後、ハワイと沖縄でみられた行動の違い、これらの行動を引き起こす要因（環境要因、個体間：群れの相互作用、個体の生理的要因）、パヤオを認識のための知覚について、さらに詳しい調査が必要である。なおパヤオでの滞在期間や中長期的な行動範囲については別報にて考察した^{5, 16, 17)}。

2) 鉛直移動

本研究によって、琉球諸島周辺海域においても、メバチはキハダよりも深層（水深500m以深）まで分布し、キハダは主に表層混合層（サーモクライン層付近から表層にかけて）に分布すること、両種ともに夜間に浅層を遊泳することが確認された。これまでキハダ^{9, 13, 18-21)}、メバチ^{9, 18, 19, 21, 22)}の遊泳水深についてバイオテレメトリーを用いた直接的な測定が試みられ、遊泳層と環境との関連性について検討されている。キハダに関しては、主に表層混合層内を遊泳すること^{9, 11, 18, 20)}、サーモクライン層内を遊泳す

ること^{10,23)}など、水温鉛直構造との関係が報告されている。Brillら^{11,24)}は、キハダの潜水深度の制限要因として、絶対水温でなく、表層からの相対的な水温変化(8℃)を指摘している。メバチに関しては、昼間の遊泳水深は深く、水深300–500mを超えて潜行すること^{9,22,24)}が知られており、本研究においても確認されている。このような潜水行動は、魚群探知機により測定されたSSL(音波散乱層:中深層性魚類、頭足類、甲殻類などの密集と考えられている)の分布水深と一致していることから^{21,22),25)}、深層での摂餌行動が示唆される。メバチの鉛直分布の制限要因としては、温度や溶存酸素などがあげられている^{9,27)}、また、メバチでは大型個体ほど深く潜水する傾向が認められているが²⁴⁾、キハダでは魚体サイズと遊泳層の関係は明確でない。本研究で測定されたキハダ#1, #2の遊泳層は、水温鉛直構造に大きな違いが認められたが、どちらもサーモクラインの下側であった。サーモクラインはSSLの表層への鉛直移動の制限要因となることが知られており²⁶⁾、餌生物の分布集積にも深く関与すると考えられる。キハダの広範囲な遊泳層においても水塊構造に関連した餌生物の分布に影響を受けているかもしれない。

3) 体温保持特性

変温動物とされる魚類の中でも、マグロ類は環境水温よりも高い体温をもつことが知られている。マグロ類は血合筋周辺等に奇網と呼ばれる特殊な血管系構造を備え、奇網では多数の細い動脈と静脈が密接して対向流をなし、鰓で冷やされた動脈血と組織で暖められた静脈血との間で効率良い熱交換が行われる。その結果、マグロ類は鰓で失われる熱損失を抑え、体温を高く保つことができるという²⁸⁾。体温保持は遊泳力や消化効率の増大、低水温層での代謝維持に関係すると考えられる。言い換えれば、体温保持能力は種の鉛直分布の制限要因と密接に関わる可能性がある。

これまでマグロ類ではクロマグロ^{29,33)}、メバチ^{6,34,35)}について、海域での自由遊泳中の体温測定が試みられているが、キハダ^{36,37)}においては飼育実験施設内でのデータだけであった。本研究においては、キハダ、メバチについて、自然条件下において

長期の遊泳水深、体温、水温データを得た。観察されたメバチのスパイク状の急激な鉛直移動に伴う水温上昇時と下降時の体温変化の早さが異なることは、過去の知見と同様に、体の熱伝導率を下降時に低下させ熱損失を抑え、上昇時には高め暖かい環境水温からの熱を効率的に吸収する体温調節能力を示すものだと考えられる^{34,35)}。メバチは、このような生理的な体温調節と時々(多くは規則的に)みられる鉛直移動による行動的な体温調節によって、より深層(低水温層)の餌を利用できると解釈されている。一方、キハダの測定データでは上昇時と下降時での体温変化の早さが変わらなかった。しかし、実験下ではキハダにおいても生理的な体温調節能力が示唆されており^{36,37)}、その能力はあるもののメバチに比べて低いのもかもしれない。また、本研究で観察されたように、キハダにおいても頻繁な鉛直移動による行動的な体温調節により、ある程度体温を維持しながら鉛直分布を拡大できると考えられる。Brillらは、室内実験のキハダについて、水温10℃の低下により心拍数、心臓の拍出量が半減することを観察しており(Brill, 私信)、鉛直移動の制限要因として急激な水温低下による心機能の低下を示唆している³⁷⁾。心臓は胸部腹側にある囲心腔内にあり、温度の高い奇網および筋肉から離れ、体表に近いことから、魚体サイズに関わらず環境水温の影響を受けやすいと考えられる。このような低水温環境への生理的な適応限界はマグロ類の鉛直分布の制限要因として重要であろう。

キハダ、メバチ両種ともに体温は恒常的ではなく、環境水温の影響を受けた。しかし、体温変化は環境水温の変化に比べ小さいので、潜水時には特に体温–水温差が大きくなった。また表層混合層内を遊泳中、体温(腹腔内温度)は表層水温にほぼ等しかった。両種ともに血合筋温度は腹腔内温度よりも2–3℃程度高いと考えられるので^{35,38)}、最高体温はその海域の表層水温+2–3℃であると考えられた。夏季の高温条件はマグロのヤケ肉発生に関わると考えられ、マグロ類の体温保持特性は今後の対策にも重要な情報となる。

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, 松本隆之. 琉球諸島海域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.
- 7) Yamanaka, K. L. Age, growth and spawning of yellowfin tuna in the Southern Philippines. IPTP working paper. 1990; 7: 1-89.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) Cayré, 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.
- 11) 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.
- 12) 小井土隆, 宮部尚純. マグロ類. 添田秀男編. テレメトリーによる水棲動物の行動解析. 恒星社厚生閣, 東京, 1990; 55-66.
- 13) 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 Inf. Bull. 1998; 3: 3-19.
- 14) Holland, K. N. Biological aspects of the association of tunas with FADs. SPC FAD Inf. Bull. 1996; 2: 2-7.
- 15) Klimeley, A. P. and Holloway, C. F. School fidelity and homing synchronicity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. Mar. Biol. 1999; 133: 307-317.
- 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) 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.
- 18) 米盛保. 超音波標識法によるマグロ類の遊泳行動一特に遊泳水深の研究. 遠洋水研ニュース. 1982; 44: 1-5.
- 19) 鈴木治郎. 超音波標識によるマグロ類の遊泳生態について. 昭和58年度マグロ漁業研究協議会報告書. 1984; 89-96.
- 20) 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.
- 21) Josse, E., Bach, P., and Dagorn, L. Simultaneous observations of tuna movements and their prey by sonic tracking and acoustic surveys. *Hydrobiologia.* 1998; 61-69.
- 22) 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.
- 23) Cayré, P. and Marsac, F. Modelling the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) vertical distribution using sonic tagging results and local environmental parameters. *Aquat. Living Resour.* 1993; 6: 1-14.
- 24) Brill, R. W. 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.
- 25) 金城清昭, 福田将数, 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-II. 平成12年度沖縄県水産試験場事業報告書. 2002; 49-53.
- 26) Marchal, E., Gerlotto, F., and Stequert, B. On the relationship between scattering layer, thermal structure and tuna abundance in the Eastern Atlantic equatorial current system. *Oceanologica Acta.* 1993; 16(3): 261-272.
- 27) 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.
- 28) Carey, F. G. and Teal, J. M. Heat conservation in tuna fish muscle. *Zoology.* 1996; 56: 1464-1469.
- 29) Carey, F. G. and Lawson, K. D. Temperature regulation in free-swimming bluefin tuna. *Comp. Biochem. Physiol.* 1973; 44A: 375-392.
- 30) Kitagawa, T., Nakata, H., Kimura, S., Itoh, T., Tsuji, S., and Nitta, A. Effect of ambient temperature on the vertical distribution and movement of Pacific bluefin tuna *Thunnus thynnus orientalis*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2000; 206: 251-260.
- 31) Kitagawa, T., Nakata, H., Kimura, S., and Tsuji, S. Thermoconservation mechanisms inferred from peritoneal cavity temperature in free-swimming Pacific bluefin tuna *Thunnus thynnus orientalis*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2001; 220: 253-263.
- 32) Marcinek, D. J., Blackwell, S. B., Dewar, H., Freund, E. V., Farwell, C. J., Dau, D., Seitz, A. C., and Block, B. A. Depth and muscle temperature of Pacific bluefin tuna examined with acoustic and pop-up satellite archival tags. *Mar. Biol.* 2001; 138: 869-885.
- 33) Block, B. A., Dewar, H., Blackwell, S. B., Williams, T. D., Prince, E. D., Farwell, C. J., Boustany, A., Teo, S. L. H., Seitz, A., Walli, A., and Fudge, D. Migratory movements, depth preferences, and thermal biology of Atlantic bluefin tuna. *Science.* 2001; 293: 1310-1314.
- 34) Holland, K. N., Brill, R. W., Chang, R. K. C., Sibert, J. R. and Fournier, A. (1992) Physiological and behavioural thermoregulation in bigeye tuna (*Thunnus obesus*). *Nature.* 1992; 358: 410-412.
- 35) Holland, K. N. and Sibert, J. R. Physiological thermoregulation in bigeye tuna, *Thunnus obesus*. *Env. Biol. Fish.* 1994; 40: 319-327.
- 36) Dizon, A. E. and Brill, R. W. Thermoregulation in yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. *Physiol. Zool.* 1979; 52: 581-593.
- 37) Dewar, H., Graham, J. B., and Brill, R. W. Studies of tropical tuna swimming

performance in a large water tunnel. II. Thermoregulation. *J. Exp. Biol.* 1994; 192: 33-44.

37) Brill, R. W. and Bushnell, P. G. The cardiovascular system of tunas. *Fish Physiology*. Academic Press, New York, 2001; 19: 79-120.

38) Barrett, I. And Hester, F. J. Body temperature of yellowfin and Skipjack tunas in relation to sea surface temperature. *Nature*. 1964; 203: 96-97.