

# 日本バイオリギング研究会シンポジウム

## プログラム

日時：10月20日 10：00～17：00

場所：京都大学百周年記念時計台ホールI

シンポジウム

10：00～10：05 開会の挨拶 坂本 亘（日本バイオリギング研究会長）

### 研究発表その1 魚類の行動とバイオリギング

10：05～10：25 サケ科魚類の母川回帰機構を解明するためのバイオテレメトリー  
手法・・・・・・・・上田 宏（北大・フィールド科学センター）

10：25～10：45 メコンオオナマズの貧酸素水塊からの逃避行動・・・・・・・・三田村啓理  
（京大院・情報）

10：45～11：05 アカアマダイの天然魚及び人工種苗魚の行動比較・・・・・・・・横田高士  
（京大院・情報）

11：05～11：25 バイオリギングで知るクロマグロの行動生態・・・・・・・・北川貴士  
（東大・海洋研・スタンフォード大臨海研）

11：25～11：45 バイオリギングによる養殖クロマグロ研究 - I  
生簀の大きさがクロマグロの遊泳行動に及ぼす影響・・・・・・・・岡野 奨  
（近大院・農）

11：45～12：05 バイオリギングによる養殖クロマグロ研究 - II  
餌の質と量がクロマグロの体温変化に及ぼす影響・・・・・・・・久保敏彦  
（近大・水研）

昼食 12：05～13：00

総会 13：00～14：00

### 議題：

- 1) 役員交代、
- 2) 切り離し装置用試験電波割り当て、
- 3) S E A S T A R との合同シンポジウム、
- 4) その他

研究発表その2 海生哺乳類とバイオロギング

14:00~14:20 スナメリの生物ソナー行動・・・・・・・・・・赤松友成  
(水研セ・水工研)

14:20~14:40 タイ国 Libong 島南部海域におけるジュゴンの周期的発生頻度変化と  
来遊個体数・・・・・・・・・・市川光太郎(京大院・情報)

休憩 14:40~15:00

研究発表その3 鳥類・爬虫類とバイオロギング

15:00~15:20 水温躍層がきめるハシブトウミガラスの採餌戦略・・・・・・・・高橋晃周  
(極地研・生物)

15:20~15:40 インターネ스팅ング中のアオウミガメの休息潜水における対軸方  
向・・・・・・・・・・安田十也(京大院・情報)

15:40~16:00 タイマイのヘッドスターティング後の拡散と海洋適応過  
程・・・・・・・・奥山隼一(京大院・情報)

研究発表その4 機器開発

16:00~16:20 本物そっくりに泳ぐ魚ロボットの開発・・・・・・・・山本郁夫  
(JAMSTEC・九大院・総合理工)

16:20~16:40 自動魚体回収装置(AFR システム)の開発とメコンオオナマズの回収  
実験・・・・・・・・山岸祐希子(京大院・情報)

16:40~17:00 閉会の挨拶・・・・・・・・内藤靖彦(日本バイオロギング研究会副会長)

## サケ科魚類の母川回帰機構を解明するためのバイオテレメトリー手法

上田 宏 (北大フィールド科学セ) hueda@fsc.hokudai.ac.jp

サケ科魚類は、稚幼魚が生まれた川(母川)の何らかの要因を記録して降河し、親魚が繁殖のため記録した要因を頼りに高精度で母川を選択して遡上する母川回帰性を有しており、国内外で海洋における回遊行動および母川を識別する嗅覚機能を中心に解析されてきた。その母川回帰性を利用したサケ・マス的人工孵化放流事業の成功によりサケ・マスは、我国の重要な水産資源となっている。しかし、サケ科魚類の母川回帰機構には、依然として不明な点が多く残されており、水産学および生物学上の大きな謎の一つである。北洋から北海道の母川に回帰するシロザケ(*Oncorhynchus keta*)、カラフトマス(*O. gorbuscha*)、ベニザケ(*O. nerka*)、および洞爺湖と支笏湖に生息するヒメマス(*O. nerka*)とサクラマス(*O. masou*)をモデルとして用いて行ってきた、サケ科魚類の母川回帰機構に関する動物行動学的解析、繁殖生理学的解析、および感覚・神経生理学的解析の研究成果をまとめて報告するとともに、今後の研究展望に関して紹介する。

1. 動物行動学的解析: ベーリング海でプロペラデータロガーを装着したシロザケは北洋を北海道に向かってほぼ直線的にナビゲーション(航路決定)して回帰する可能性が示された。洞爺湖のヒメマスとサクラマスの母川回帰行動を感覚機能を妨害して超音波テレメトリー手法を用いて追跡した結果、ヒメマスは視覚を用いて湖の中央から生まれた孵化場まで直線的に方向定位して回帰したが、磁気感覚を妨害しても直線的な回帰行動は影響されなかったが、サクラマスは嗅覚と視覚を用いて沿岸沿いに河川を識別しながら回遊することが明らかになった。また、河川環境の再生を目指して我国で初めて標津川で行われた蛇行復元に伴うシロザケとカラフトマス雄親魚の遡上行動を、筋電位を測定できるEMG電波発信機および水深を記録するデータロガーにより解析した結果、両種とも早い流速を避けてカバーのある箇所では休息しながら遡上し、多様な流況が生じる蛇行復元箇所を選択することが観察された。さらに、超音波送受信システムを改良し、実験個体より発信される超音波音源の方位推定と各種情報の処理を行うコントロールシステム、およびデータ解析・表示システムを装備したロボット船を開発し、洞爺湖においてヒメマスの回遊行動を自動追跡することに成功した。

2. 繁殖生理学的解析: ベーリング海から千歳川の産卵場まで回帰するシロザケの母川回帰に伴う脳各部の生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン(GnRH)、下垂体の生殖腺刺激ホルモン、生殖腺の性ステロイドホルモン量の変化を解析した。サケ型GnRH(sGnRH)およびニワトリII型GnRH(cIIGnRH)量は脳の各部位で特異的に変化し、下垂体のsGnRH含量は石狩川沿岸(雌)と河口付近(雄)で最高値が観察され、下垂体の黄体形成ホルモン(LH)含量の最高値と呼応していた。一方、視蓋と延髄のcIIGnRH含量は遡上行動の後半で最高値が観察されたが、その機能は不明である。支笏湖の孵化場に回帰したヒメマスを用いて、湖の中央に再び放流して孵化場までの回帰日数と回帰率を調べた。ヒメマスの母川回帰行動に性差があり、産卵期前半の雄は雌よりも早く正確に母川回帰するが、後半は回帰率が半減するのに対し、雌の1~2割は産卵期を通して母川回帰しないことを観察した。また、支笏湖のヒメマスにGnRHアナログ(GnRH<sub>a</sub>)を投与すると、雌雄とも母川回帰日数が短縮されることを観察した。

3. 感覚・神経生理学的解析: 洞爺湖のヒメマスとサクラマスを用いて、種々河川水に対する嗅神経応答を測定した結果、両魚種とも性および成熟度に関係なく実験所飼育水に対して最も大きな応答を示した。各河川水のアミノ酸組成を分析し、人工アミノ酸河川水に対するサクラマスの嗅神経応答を測定したところ、各人工アミノ酸河川水は自然水の場合とほぼ同様の嗅神経応答を発現した。また、長流川に回帰した雄シロザケと支笏湖の孵化場に回帰した雌雄ヒメマスの河川水選択性をY字水路における選択行動実験により解析した結果、シロザケとヒメマスは人工アミノ酸母川水に強い選択性を示し、母川水以外の人工アミノ酸河川水には選択性を示さなかった。さらに、人工長流川河川水(人工母川水)と長流川河川水のアミノ酸の中で最も多く含まれるグルタミン酸を除いた河川水(人工G-母川水)を実験水として用い、アミノ酸組成の変化が母川選択性に与える影響を解析したところ、嗅神経応答強度では人工母川水と人工G-母川水間には有意差が見られず、人工母川水と人工G-母川水のY字水路における選択性にも差が観察されなかった。

## メコンオオナマズの貧酸素水塊からの逃避行動

三田村啓理(京大院情報)・光永 靖(近大農)・山岸祐希子・荒井修亮(京大院情報)・Thavee Viputhanumas(タイ国水産局)

E-mail: mitamura@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp

メコンオオナマズは、全長 3m、体重 300kg にもなるメコン川の固有種である。本種は絶滅が危惧されているが、流域における貴重な水産資源でもある。このためタイ国政府は漁獲制限を設けて天然資源の保護を目指すと同時に、人工繁殖による資源添加の可能性を模索している。バイオテレメトリーを用いた 2003 年度の調査より、水温環境に対応した本種の日周行動および 1 年間の行動パターンが明らかになった。本研究では本種の湖の物理環境に対応した行動を更に詳しく把握するために Bio-logging によって本種の行動を記録し、湖の水温および溶存酸素の鉛直構造と合わせて考察した。

遊泳深度と経験水温が測定可能なデータロガー(リトルレオナルド社製、UME190DT)を自動切離装置とともに人工繁殖魚 2 尾(79 および 81cm)に装着して、2004 年 8 月にタイ国パヤオ県のメプン湖に放流した。水温および溶存酸素の鉛直構造は溶存酸素計(YSI 社製、Model58)を用いて湖の 7 カ所で測定した。

放流から 5 日後に放流地点から 2.2km 離れた地点で切り離されたデータロガー 1 個を回収した。放流から約 36 時間のデータは、測器装着の影響がみられたため解析から除いた。平均遊泳深度および平均経験水温はそれぞれ  $1.4 \pm 0.7$ m、 $29.0 \pm 0.34$  で、99%以上の時間を 3m 以浅で過ごしていた。調査期間中、湖には水温躍層はみられなかったが、深度 4m 前後で溶存酸素が急減して 4m 以深はほぼ無酸素であった。調査期間中、個体の上昇速度と下降速度はそれぞれ  $0.083 \pm 0.05$ m/s、 $0.075 \pm 0.05$ m/s であった。湖の最大水深は約 15m であるのに対して、個体が 4.5m 以深へ移動したのは 3 日間の中で 12 回のみであり、最大遊泳深度は 5.6m であった。個体がこれらの鉛直移動に要した時間と経験した水温変化はそれぞれ 5 から 19 秒、0 から 2.0 であった。また 12 回の鉛直移動の上昇速度と下降速度はそれぞれ  $0.24 \pm 0.11$ m/s、 $0.06 \pm 0.06$ m/s であり、これら全ての鉛直移動において上昇速度が下降速度よりも大きかった。これらの鉛直移動の間に個体は急激な水温変化を経験していないこと、一般的に魚類は比較的短期間で貧酸素状態に影響を受けることを考慮すると、本湖におけるメコンオオナマズの鉛直行動は、溶存酸素の鉛直分布に強く影響を受けていることが明らかとなった。更には、鉛直移動の間の下降速度が通常の下降速度と大きな差はないこと、上昇速度は通常の上昇速度よりも大きいことから、メコンオオナマズが貧酸素水塊から逃避している行動が推察された。

## アカアマダイの天然魚および人工種苗の行動比較

横田高士(京大院情報) tyokota@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp・益田玲爾(京大フィールド研)・荒井修亮・三田村啓理(京大院情報)・光永 靖(近大農)・竹内宏行・津崎龍雄(水研セ宮津)

【背景】 栽培漁業対象種のアカアマダイ *Branchiostegus japonicus* は、現在、年間数 10 万尾の人工種苗の生産が可能である。次の段階の放流技術開発では、人工種苗の天然海域に放流後の生残率を高めることが課題である。このため生残を左右する要因の一つである行動特性の把握が重要であるとされている。しかし、本種では泥底に巣穴を掘って利用することが水槽内および天然海域で知られているにすぎず、放流技術開発につながる知見は少ない。そこで、本種の天然魚と人工種苗の行動生態を解明し比較する目的で、室内でビデオ撮影による行動観察、および天然海域で超音波バイオテレメトリーによる放流追跡を行った。

【方法】 ビデオ撮影は、底に約 8cm の厚さの砂礫(直径 8mm 以下)を敷いた 90cm のアクリル水槽内で行った。水槽内の光条件は、6:00-7:30 は光強度が徐々に増加する「薄明期」、7:30-18:00 は光強度を一定に保つ「明期」、18:00-19:30 は光強度が徐々に減少する「薄暮期」、19:30-6:00(翌日)は照明を完全に消す「暗期」に設定した。天然魚 7 尾および人工種苗 5 尾について、「明期」の水槽に 1 尾を収容した直後から連続して 2 日間ビデオ撮影を行った。収容 2 日目の映像から、体の向きを変えた回数(ターン回数) および砂礫を口に含み他の場所にはきだした回数(穴掘回数)を計数した。放流追跡は、舞鶴湾中央部において行った。供試魚の腹腔内に VEMCO 社製の超音波発信機(V7-4L もしくは V8SC-6L、平均発信間隔: 40 秒)を手術により装着し、数日間水槽内で予後を観察した。「冬期」に天然魚 9 尾および人工種苗 5 尾、「夏期」に天然魚 9 尾および人工種苗 4 尾を同海域に放流した。放流後は放流海域に係留した VEMCO 社製の超音波受信機(VR2)を用いて、供試魚からの超音波信号を定点追跡した。

【結果】 ビデオ映像を解析すると、天然魚のターン回数および穴掘り回数は「薄明期」に他の 3 期間に比べて多い傾向があった一方、人工種苗ではそれらの変動が個体ごとにばらついた。放流追跡では、天然魚は夏期放流の 9 尾中 1 尾(11%)および冬期放流の 9 尾中 6 尾(67%)、人工種苗は夏期放流の 4 尾中 3 尾(75%)および冬期放流 5 尾中 0 尾(0%)が定着した。定着個体の受信記録には日周リズムが見られ、昼夜が反転した人工種苗 1 尾を除いて、昼間は高頻度で記録され夜間はほとんど記録されなかった。この頻度の変化は、供試魚が昼間は巣穴外、夜間は巣穴内に滞在する行動を反映したと考えられる。

両実験における天然魚の結果から、本種は本来「光強度が増大する時間帯に巣穴外に出て活動性を増大させた後、活動性は低下するものの巣穴外に滞在し、光強度が減少する時間帯に巣穴内に戻る」日周行動パターンをとるものと考えられる。一方、人工種苗には、天然魚と異なる行動パターンをとる個体が含まれていることが明らかになった。また、放流追跡で放流時期により天然魚と人工種苗の定着率が異なったことから、両者では定着可能な条件が異なる可能性も示唆された。

## バイオロギングで知るクロマグロの行動生態 北川貴士(東大海洋研、スタンフォード大学ホプキンス臨海実験所)

クロマグロ (*Thunnus orientalis*) は北太平洋で大回遊を行う。主産卵場は、フィリピンから南西諸島にかけての黒潮東側の黒潮反流域にある。4 7 月ごろそこで生まれたクロマグロは、黒潮に乗って日本沿岸まで輸送され、その年の8月ごろ高知沖に来遊する。その後さらに北上するが、秋には南下して、冬季、対馬・五島周辺海域で越冬する。若齢期には太平洋・日本海の日本沿岸を南北に季節回遊するが、なかには太平洋を横断してアメリカ大陸西海岸まで渡洋回遊を行う個体もある。東部太平洋で数年過ごした成熟個体は、産卵場のある西部太平洋へ回帰する。ここでは日本およびカリフォルニアで実施したアーカイバルタグを装着したクロマグロ若齢魚の放流調査により明らかになった本種の回遊生態・鉛直遊泳行動について報告する。

### 渡洋回遊

1996年11月に対馬沖で放流した個体(尾叉長55cm)は、翌年5月初めに九州南端を越えて、四国、本州の南岸に沿って移動し、5月中旬に房総沖に達した。その後、三陸沖から道東沖合に移動したが、11月中旬に渡洋回遊を開始した。この個体は約2カ月で太平洋(亜熱帯亜寒帯移行域)を渡りきり、1998年1月中旬にカリフォルニア沖に到達した。その間の移動速度は一日あたり100km以上であった。そして8月に再捕されるまでカリフォルニア沿岸で南北移動を繰り返していた。再捕時の尾叉長は88cmであった。

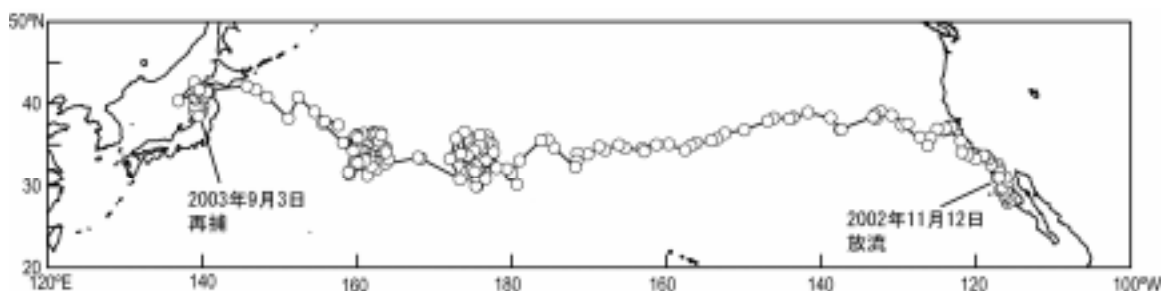
2002年11月にバハ・カリフォルニアで放流した個体(尾叉長110cm)は翌年1月にカリフォルニア沿岸を離れ、亜熱帯フロント域に沿って渡洋回遊を行った(下図)。この個体は途中、天皇海山やシャツキーライズで数ヶ月滞留したが、その後、津軽海峡より日本海に入り、9月に同海域で再捕された。これまで東部太平洋のクロマグロは成熟を迎えると産

卵のために再び渡洋回遊を行って、西部太平洋に戻ると考えられていたが、成熟年齢に達していない個体が西部太平洋に戻ったり、西部に戻った未成熟個体が再び東部太平洋に渡洋回遊したりしていることも分かってきた。

### 鉛直移動

クロマグロは表層混合層内で夜間は表層、昼間は摂餌のためより深い水深を遊泳しており、照度の昼夜変化に応じて、遊泳深度を日周期的に変化させていた。一方、水温躍層の発達する夏季は、躍層付近での急激な水温変化を避けて一日の大半を表層で過ごし、昼間は照度のなくなる水深まで5分程度の短時間の潜行を繰り返すようになった。しかし、梅雨時、降雨・曇天のために照度が低下してしまうと、昼間でも活動性を低下させ、水温躍層を越えた鉛直行動を行わなくなることも分かってきた。以上から、クロマグロの摂餌行動には照度が重要であり、照度によって活動時間帯を知り、視覚によって餌を探し、認知していることが推察された。

夜間、クロマグロの平均遊泳深度と月齢とに有意な相関が認められた。しかし、摂餌はほとんど行なわれなかったことから、月の照度によって遊泳深度を変化させる行動は、捕食者から身を隠すためのものと推察された。またクロマグロは日出時と日没時にも必ず潜行を行ったが、摂餌は見られなかった。彼らの視細胞の明・暗反応の切り替えには多少時間がかかるため、急激な照度変化にさらされると、彼らは一種の盲目状態に陥ることが報告されている。よってこの鉛直移動は、朝夕の照度変化を避け、一定の照度環境を保つための補償行動ではないかと思われる。以上のようにクロマグロは時間的・空間的な照度変化を巧みに利用して、“食うこと”と“食われないこと”を満たしていると考えられた。



渡洋回遊個体の推定移動経路

# バイオリギングによる養殖クロマグロ研究 1 .

## 生簀の大きさがクロマグロの遊泳行動に及ぼす影響

岡野 奨(近大院農)・光永 靖(近大農)・  
向井良夫・八木洋樹・坂本 亘・熊井英水(近大水研)  
e-mail : 04877316r@nara.kindai.ac.jp

【目的】クロマグロ *Thunnus thynnus* は魚類の中でも最高の遊泳能力を有するがために、詳細な遊泳行動情報を取得することは困難であった。近年、開発された加速度ロガーは魚類の体温、遊泳水深、尾鰭振動および遊泳姿勢を把握することを可能にした。本研究では、世界で唯一クロマグロの完全養殖に成功した近畿大学水産研究所の養殖クロマグロに加速度ロガーを装着し、生簀内における遊泳行動を測定した。大型生簀および小型生簀内で測定を行い、生簀の大きさがクロマグロの遊泳行動に及ぼす影響を明らかにした。

【材料および方法】実験は鹿児島県奄美大島に位置する近畿大学水産研究所奄美実験場の大型生簀(直径 35m, 水深 23m)および小型生簀(直径 16m, 水深 13m)で行った。大型生簀における実験は 2004 年 7 月 10 日～13 日に尾叉長 83cm の養殖クロマグロ 1 尾を、小型生簀における実験は 2004 年 11 月 6 日～9 日に尾叉長約 90cm の養殖クロマグロ 1 尾を使用して行った。加速度ロガー(M190-D2GT, Little Leonardo 社)は、遊泳水深を 1 秒毎、2 軸の加速度(swaying, surging)を 1/16 秒に測定するように設定し、クロマグロの腹腔内に挿入した。実験終了後、加速度ロガーを個体から回収し、記録を読み出した。加速度ロガーは、運動加速度および重力加速度の両方を記録する。加速度記録の高周期成分は運動加速度を、低周期成分は重力加速度を表している。Swaying の高周期成分から尾鰭振動数を算出し、さらに Wardle (1989) の式を用いて尾鰭振動数から遊泳速度を推定した。swaying および surging の低周期成分から、それぞれ roll angle および tilt angle を算出し、遊泳姿勢を把握した。

【結果および考察】突進遊泳時の尾鰭振動数は両生簀ともに最大で約 8Hz であり、推定遊泳速度は約 5BL/s であった。巡航遊泳時の尾鰭振動数および推定遊泳速度について昼夜別に比較すると、大型生簀の個体は日中における尾鰭振動数は 2.2Hz、推定遊泳速度は 1.4BL/s であったのに対し、夜間における尾鰭振動数は 2.7Hz、推定遊泳速度は 1.8BL/s であり、日中と比較して夜間に速い遊泳速度を示した。一方、小型生簀の個体は日中における尾鰭振動数は 1.8Hz、推定遊泳速度は 1.2BL/s、夜間における尾鰭振動数は 1.9Hz、推定遊泳速度は 1.2BL/s であり、日中と夜間での違いはほとんどなかった。Roll angle および tilt angle の頻度分布について昼夜別に比較すると、大型生簀の個体は日中と夜間での違いはほとんどなかったのに対し、小型生簀の個体は日中と比較して夜間に roll angle は幅広く分布し、tilt angle は $-20^{\circ}$  付近に最も多い分布を示したことから、遊泳姿勢を大きく変化させていたことが確認された。これらの結果から、大型生簀の個体と比較して小型生簀の個体は、夜間に速い速度で遊泳することなく、遊泳姿勢を大きく変化させることにより、生簀網への衝突を防いでいたことが示唆された。

## バイオロギングによる養殖クロマグロ研究 - II

### 餌の質と量がクロマグロの体温変化に及ぼす影響

久保敏彦・坂本 亘・熊井英水（近大水研）

E-mail : [tosi-1@mvd.biglobe.ne.jp](mailto:tosi-1@mvd.biglobe.ne.jp)(久保)、[sakamoto@coral.cypress.ne.jp](mailto:sakamoto@coral.cypress.ne.jp)(坂本)

**【目的】** 近年、日本、地中海沿岸諸国、メキシコ、およびオーストラリアにおいて、クロマグロ *Thunnus thynnus* およびミナミマグロ *Thunnus maccoyii* の蓄養が盛んになってきた。それに伴い、クロマグロの人工配合飼料の開発が試みられてきたが、イカナゴ、マアジ、マサバなどの生餌を給餌した場合に比べて、人工配合飼料を給餌した場合の飼育成績は劣る。人工配合飼料を作るためには、消化・吸収の良い餌の配合割合や、摂餌を促進する刺激物質の解明が望まれる。一方、バイオテレメトリー手法によってクロマグロの腹腔内温度（腹腔温と記述する）が研究されるにつれて、摂餌の直後にクロマグロの腹腔温が 2 から 10 上昇することが明らかとなった。腹腔内温の熱源は主に 2 つあり、1 つは遊泳に伴って筋肉から発生するもの、もう 1 つは消化器官内での消化にともなうものである。発生した熱は、分厚い脂肪、鰾、体を大きくすること、によって体表面からの熱損失が軽減される。同時に鰓を通じて行われる酸素交換に伴う血流からの熱損失を、奇網により最小限に抑えている。この腹腔温の上昇と摂餌量、餌の種類、消化速度の関係が明らかになれば、人工配合飼料の消化過程を把握することが可能となる。本研究では、この腹腔内に蓄積される温度情報を用いて、クロマグロが摂餌したときの詳細な情報を得ることを目的とした。

**【方法】** 海洋で捕獲したクロマグロを 1 年間生簀内で養成し、その内の 10 尾を直径 16m 円形生簀に収容して実験を開始した。サバ、イカナゴ、イカ、アジの順番で約 40 日ごと餌を代えて給餌した。給餌は 1 日 2 回行った。腹腔温、および遊泳深度はデータロガ(Star-Oddi 社、DST milli)を外科手術により実験魚 3 尾に挿入して、実験終了時に取り出すことにより得た。同時に、1、5、10m の水温を測定し、1 から 20m までの鉛直プロファイルを作成して、個体の遊泳深度に対応した水深を周辺水温として用いた。

**【結果】** 餌の種類を代えるとき、イカを食べるまでに数日の期間を要した。消化・吸収の過程は腹腔温変化から知ることができた。摂餌後に上昇した温度は約 36 ~ 40 時間で元の水準に戻った。10 尾のマグロにデータロガを挿入することができなかつたために、個体の摂餌量については解明できなかった。餌の種類によって、消化・吸収時間に差がみられ、消化過程における腹腔温の上昇勾配が異なった。



## スナメリの生物ソナー行動

赤松友成 (水研センター水産工学研) akamatsu@affrc.go.jp · 王丁 · 王克雄 (中国水生生物研)  
wangd@ihb.ac.cn, wangk@ihb.ac.cn · 内藤靖彦 (国立極地研) bls@saturn.dti.ne.jp

イルカはソナー能力で離れたところにあるターゲットを認知するだけでなく、ターゲットの大きさや厚み、材質なども精密に弁別することができる。放射された超音波パルスの数は、動物の探索努力量の適切な指標と考えられる。さらに、イルカにより使用されたソナーのターゲットまでの距離は、クリック間隔から見積もることができる。

本研究では、水中動物の生物ソナー行動を調べるために、小型ステレオ音響データロガーを開発し、中国揚子江の三日月湖に生息する8頭のスナメリ(*Neophocaena phocaenoides*)に装着した。ソナーの発声時刻と音の大きさだけでなく、他の個体からの声を排除するために、音源方位もデータロガーに記録された。さらに、2軸の加速度、遊泳速度、深度を記録できる別種のデータロガーも装着し、8頭の自由遊泳するスナメリの生物ソナー行動と水中での体の動きを記録した。

その結果、スナメリは平均で 5.1 秒毎と頻りにパルス列を発していることがわかった。濁りの多い湖の水中での視程は 1 m 以下であるため、スナメリはソナーを使わなければ前方の離れた物体を認知することができない。無音で遊泳している間は、前方の物体を認識する術がない。

動物が無音で遊泳した距離と、その直前に動物が探索した距離を計算した。事前の音響探索距離は、無音時間での遊泳距離よりはるかに大きかった。この関係は、すべての個体で一貫性があった。音響的探索距離の 90 % は 77 m 以下で、最頻値は 24 m であった。

一度、スナメリが潜在的なターゲットを検知し、それに近づくと、動物はしばしば線形に減少するパルス間隔のソナー音(アプローチフェイズ)を発射した。と呼ぶ。アプローチフェイズの間での、音響的探索距離の変化と遊泳した距離を比較すると、両者はよく相関した。スナメリは探索距離を平均で 11.0 m (117 個のアプローチフェイズの中では最大で 42.7 m) 変化させ、その間の遊泳距離は平均で 8.6 m (最大 43.0 m) であった。

視覚が制限された環境で移動するとき、前方を事前に音響探索することは、これらの動物にとって本質的に重要なことである。本研究で用いたスナメリは、黙って泳ぐ前に、その前方をソナーで確認していた。確認距離は数十メートルに及んでおり、かれらが実際に危険や報酬に出会う前に十分な「安全余地」を確保していた。

動物の認知能力には限界があり、探索努力についても時間的制約がある。本研究のスナメリは 77 m より遠距離はほとんど探索していなかった。この距離は、本種の平均遊泳速度で 1 分から 2 分で到達できる。遠くにある物体は、それが致命的な危険であっても、利益であっても動物にとっては重要ではない。スナメリが遊泳していこうとするすぐ前方の範囲を探索しておくことは、動物が実際の危険や報酬に出会う前に意志決定を行う時間を与える。

本研究は生物系特定産業技術研究支援センター「新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業」以下の援助を得て実施された。本報告の詳細は Akamatsu, T., D. Wang, K. Wang, and Y. Naito (2005) Biosonar behaviour of free-ranging porpoises, Proc. R. Soc. Lond. B, **272**, 797-801. に記載済みである。

# タイ国 Libong 島南部海域におけるジュゴンの

## 周期的発声頻度変化と来遊個体数

市川光太郎・堤千華（京大院情報）・赤松友成（水研センター水産工学研）・新家富雄（（株）システムインテック）・荒井修亮（京大院情報）・原武史（（社）日本水産資源保護協会）  
・ Kanjana Adulyanukosol（ブーケット海洋生物学センター）

E-mail: ichikawa@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp

絶滅が危惧されるジュゴン (*Dugong dugon*) は温暖な海域に生息する草食性の海生哺乳類である。本種の生態情報は極めて乏しく、有効なジュゴン保護にむけて生態に関する基礎的知見の獲得が喫緊の課題となっている。これまで、ジュゴンの行動観察は目視観察に依るところが大きく、長期間連続的な記録に基づく知見は極めて少ない。

本研究では、ジュゴンの鳴音発声頻度変化と潮位変化及び船舶騒音との関係を検証し、本種の来遊周期を調べることを目的とした。タイ国トラン県リボン島南部海域にステレオ式自動水中音録音システム（ジュゴン用）を設置し、受動的音響観察を実施した。ステレオ式自動水中音録音システムは、2つの水中マイクで水中音をステレオ録音し、80GBのHDDに記録する。ジュゴン鳴音自動判別ソフトウェア（鳴音検出率36%、誤検出率3%）により、水中音からジュゴン鳴音を検出し、ステレオの2チャンネル間の位相により音源方位を算出した。

録音は、2004年2月24日午前10:00からの連続48時間（前半期間）及び同年2月28日午前10:00からの連続116時間（後半期間）に亘って実施した。観測期間中の干満差は、前半期間 ( $2.55 \pm 0.25$  m,  $n=4$ ) が後半期間 ( $1.04 \pm 0.53$  m,  $n=12$ ) に比べて有意に大きかった (t-test,  $P<0.001$ )。延べ164時間の録音の結果、合計で3453件（前半664件:13.8件/h、後半2789件:24.8件/h）の鳴音が検出された。鳴音の発声頻度を解析したところ、前半期間で5.25時間周期及び24.25時間周期（潮汐周期は12時間）が確認され、後半期間では25.58時間周期（潮汐周期は13時間）が確認された。前・後半期間共に午前3:00から午前5:00の間に1日のうちで最も多くの鳴音発声が記録され、船舶騒音が頻繁に記録された日中には鳴音はほとんど検出されなかった。以上から鳴音発声周期に影響を与えるのは概潮汐リズムだけではなく、概日リズムや船舶騒音に対する忌避反応も加味されたと考えられた。1秒以内の間隔で発声された連続鳴音についてその音源方位を計算した。後半期間では連続鳴音での音源方位の分散が前半期間に比べて有意に大きかった (t-test,  $P<0.001$ )。鳴音の単位時間当たりの回数（前半13.8件/h、後半24.8件/h）と合わせて干満差の大きな前半期間よりも干満差の小さな後半期間の方がモニタリングエリア内で発声した個体数が多かったことが推測できた。以上から、ジュゴンの保護には、早朝（特に小潮）の時間帯に重点を置いた施策が有効であることが示唆された。

## 水温躍層がきめるハシブトウミガラスの採餌戦略：

### バイオロギングによる海鳥を使った海洋観測

高橋晃周<sup>1,2</sup>、松本経<sup>2</sup>、G. Hunt<sup>3</sup>、M. Shultz<sup>4</sup>、A. Kitaysky<sup>4</sup>、佐藤克文<sup>5</sup>、綿貫豊<sup>2</sup>

(1. 国立極地研、2. 北大・水産、3. Univ. Washington、  
4. Univ. Alaska Fairbanks、5. 東大・海洋研)

海鳥類の採餌戦略がファインスケールでの海洋環境とどのように関係しているのか、という問題は、海鳥類の行動・生態の進化にかかわる課題として古くから研究がなされてきた。調査船を用いて詳細な海洋観測を行い、同時に海鳥の水平的な分布を直接観察によって調べ、その対応関係を調べる、という研究が盛んになされ、さまざまな成果が得られてきた。しかし、調査船を用いた研究では、海鳥の水中での採餌行動についての情報が得られず、また観察した個体を連続的に追跡できないという大きな欠点がある。そこで、我々はバイオロギング手法を用い、水中を自由に遊泳する海鳥類をプラットフォームとして海洋観測を行うことで、1) ハシブトウミガラスの潜水行動と海洋の鉛直温度構造との対応関係、2) 繁殖行動に関連した採餌戦略について調査した。

調査は2004年7-8月ベーリング海プリピロフ諸島セントジョージ島で行った。ハシブトウミガラスに深度・環境温度・加速度を記録するデータロガー(M-D2GT, 16 g, Little Leonardo Co. Ltd.)を装着し、12個体からデータを得た。深度と環境温度の記録から、ウミガラスが潜水していた水塊の鉛直温度構造を決定し、また加速度の記録から飛翔行動についての情報を得た。その結果、ウミガラスは鉛直混合が盛んな水塊(表面水温 SST = 7-9 C: セントジョージ島近くの海域)から水温躍層が発達した水塊(表面水温 SST = 9-12 C: 島から比較的遠い海域)まで様々な海域を利用していることが明らかとなった。鉛直混合の進んだ水塊ではウミガラスの潜水深度は深かった(最頻値: 70-80 m)。これに対し、水温躍層が発達した海域では潜水深度は浅く、水温躍層の直下への潜水が多く見られた(最頻値: 20-30 m)。また、水温躍層が発達した海域では、繁殖地に戻る直前の、雛へ持ち帰るための餌をとっていると考えられる一連の潜水において、水温躍層より下への深い潜水が見られた。以上の結果から、1) 水温躍層が動物プランクトンや魚などの餌の鉛直分布への影響を通じて、ハシブトウミガラスの潜水行動を変化させていること、2) ハシブトウミガラスが自分自身のための採餌を行う時と雛のための採餌を行う時で潜水行動を変化させていること、が示唆された。

## インターネスティング中のアオウミガメの休息潜水における体軸方位

安田十也 (京大院情)・Kongkiat Kittiwattanawong (ブーケット海洋生物学センター)

荒井修亮 (京大院情)

(tohya@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp)

アオウミガメ (*Chelonia mydas*) の産卵は、1回の産卵期間に約2週間間隔で複数回繰り返される。産卵から次回産卵までの間はインターネスティングと呼ばれる。インターネスティング中のアオウミガメの雌は一部の個体群を除いて摂餌をせず、20m 付近の浅い水深の海底で休息潜水を行うことで次回産卵に必要なエネルギーを節約している。この深度は、計算上、負の浮力となる深度とおおよそ合致する。つまり、アオウミガメは浮力を利用して海底に這いつくばるエネルギーを節約しながら目的深度で長く滞在できる潜水を発達させたと考えられる。一方、休息潜水は時間効率に焦点を当てた研究が進められてきたが、アオウミガメが空間を上手く利用して質の高い休息を成し遂げている可能性も考えられる。しかし休息場所の探索に時間を割く分休息時間が犠牲になるため、両者の間にはトレードオフの関係が成立する。本研究では、休息潜水時にアオウミガメが休息に適した場所を探す行動がみられるのか調べるために、データロガーを介してアオウミガメの潜水深度、潜水時間、体軸角度および体軸方位の変化を観察した。

2004年にタイ国フーヨン島において産卵したアオウミガメの雌成体1個体(標準曲甲長100cm)に地磁気・加速度データロガー(アレック電子社製)とプロペラ・深度・水温データロガー(リトルレオナルド社製)を装着した。個体に装着した測器は帰海から8日後に行われた産卵後に回収した。プロペラ・深度・水温データは6月5日6時から6月13日22時まで記録を得た。加速度・地磁気は6月5日6時10分から6月7日13時15分まで記録された。プロペラは記録途中で回転が止まってしまったため解析から除外した。本研究では、全てのデータが揃っている6月7日までに観察された85回の休息潜水を解析した。

潜行(浮上)中の遊泳速度を一定と仮定して個体の水平移動を再現し、潜行(浮上)開始地点からみた潜行(浮上)終了地点の角度を調べたところ、全体の70%以上が潜行(浮上)開始地点から $\pm 30^\circ$ 以内の方角にあったことから、潜行、浮上ともに行動を開始した時の方向を大きく変えていないことが示唆された。その中でも、方向転換は海底に近い場所で少ないながら観察された。潜行終了前から20秒間は、それ以前に比べて体軸方位の変化量(平均値)が大きかった。反対に、浮上開始から20秒間は、それ以後に比べて体軸方位の変化量が大きかった。海底滞在時(最大潜水深度 $\pm 0.5\text{m}$ )は体軸加速度の変化は殆どみられなかったことから、殆ど全ての時間を休息に費やしていると考えられる。アオウミガメは休息に最適な場所を積極的に探索しながら潜行(浮上)するのではなく、まっすぐ海底を往復して休息時間をできるだけ長く取るように努めているようだ。フーヨン島周辺海域は珊瑚礁と岩で構成された複雑な海底地形をしているため、安全な休息場所が豊富にあるのかもしれない。フーヨン島で産卵するアオウミガメではこのような結果が得られたが、産卵場周辺の海底地形や捕食者の存在などによっては、各個体群がそれぞれ独自の休息潜水様式を発達させている可能性は十分ある。

## タイマイのヘッドスターティング後の拡散と海洋適応過程

奥山隼一（京大院情報）・清水智仁（水研セ栽培本部）・阿部寧（水研セ西海水研）・與世田兼三（水研セ八重山栽培セ）・荒井修亮（京大院情報）

E-mail: okuyama@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp

孵化したウミガメをある一定期間飼育してから、海洋に放流することをヘッドスターティングという。これはウミガメの初期減耗を小さくし、個体数の増加させることを目的としている。絶滅が危惧されるウミガメ類では、積極的保護施策としてこの方法が執られてきた。しかし、その効果は未だ科学的に実証されておらず、放流後の行動をモニタリングすることは重要な知見となりうる。

本研究では、孵化後 2 年間飼育されたタイマイ(*Eretmochelys imbricata*)を放流し、その後の拡散過程を記録し、同サイズの天然個体と比較することによって、タイマイ飼育個体の海洋での行動、適応過程を明らかにすることを目的とした。タイマイの行動を記録する方法として、超音波テレメトリーシステムを採用した。天然のタイマイが多く生息することが知られている沖縄県石垣島北海域に超音波受信機(VR2, Vemco Co. Ltd.)を設置し、最大 256 個体が識別可能な超音波発信機(V16P-6L, Vemco Co. Ltd.)を装着したタイマイ天然個体 5 個体、飼育個体 5 個体を同時に放流した。放流後はタイマイ各個体の水平移動過程、滞在水深を記録した。

実験の結果、天然個体と飼育個体の行動パターンに明瞭な差異が認められた。放流された天然個体はすべてリーフエッジ沿いに 4 個体が西へ、1 個体が北へ移動し、いずれも受信範囲を超えた。移動に要した期間は平均 5.4 日（最大 - 最小：2 - 9 日）であった。また、天然個体が放流地点から向かった方角は捕獲された地点の方向であり、またその距離が遠いほど移動を開始する時間が遅かった。飼育個体は 2 個体が北へ移動し、さらに 2 個体がリーフエッジから離れ外海の方へ移動した。最後の 1 個体は、放流地点にずっと滞在していたが漁業者に捕獲されたため追跡ができなくなった。追跡期間は平均 32.6 日（最大 - 最小：4 - 88 日）であった。また北へ移動した 1 個体は放流 51 日後に受信範囲内に戻り、受信範囲を横断して逆方向の受信範囲外へ移動した。飼育個体は、天然個体のようにリーフエッジ沿いを移動せず、移動方向にばらつきがみられ、直線的ではなかった。また、比較的移動速度が遅かった。滞在水深は両者の間に差は見られず、飼育個体でも天然個体と同じように潜水行動を行っていることが明らかとなった。漁業者により捕獲された飼育個体を調査した結果、88 日間で直甲長 1.1cm、体重 10g の成長が見られた。さらに排泄物の調査から天然のタイマイが捕食しているとされるカイメン類も検出され、飼育個体は海洋に放流されても天然と同様に採餌行動を行い、成長できることが明らかとなった。

## 本物そっくりに泳ぐ魚ロボットの開発

山本郁夫 (JAMSTEC, 九大院・総合理工) [iyamamoto@jamstec.go.jp](mailto:iyamamoto@jamstec.go.jp)

弾性振動翼推進システム研究の工学応用として、ケーブルなしで3次元水中運動を可能とする鰭推進の魚ロボットを開発した。本ロボットは実際の魚とそっくりに運動し、外皮を被せると本物の生きた魚と見分けが付きにくく、世界的にその技術力を高く評価されている。また、本ロボットは生きた魚と一緒に泳がせても、魚に過度なストレスを与えることが無く、魚の自然のままの生態を観察できるモニタリング潜水機としても注目されている。本講演では、魚ロボットの主要技術と将来展望について述べる。

## 自動魚体回収装置（AFR システム）の開発と

### メコンオオナマズの回収実験

山岸祐希子・荒井修亮（京大院情報）・光永 靖（近大農）・三田村啓理（京大院情報）・  
Thavee Viputhanumas（タイ国水産局）  
E-mail: yukiko@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp

メコンオオナマズなどの絶滅危惧種の行動生態情報や生息環境情報は、これらを保護管理するために必要な最も基礎的なデータである。このため、各種のデータロガーの装着による調査が行われてきた。しかし、対象生物の摂餌生態を解明するための胃内容物測定は、データロガーでは不可能である。そこで、任意の時刻にデータロガーと自由遊泳している魚を同時に回収する自動魚体回収装置（AFR システム）を開発した。AFR システムは、浮上システムと探索システムから構成される。浮上システムは、二酸化炭素ボンベ、フロート、トリガーおよびタイマーから構成される。一方、探索システムは、電波発信器、電波受信機および八木アンテナから構成される。

タイ国パヤオ県メプン湖において、メコンオオナマズの回収実験を 2004 年 8 月、10 月並びに 12 月に行った。供試魚は、タイ国水産局が人工受精で生産したメコンオオナマズ幼魚 8 尾（全長:  $82.6 \pm 5.4$  cm）を用いた。水温・水深データロガーを取り付けた AFR システムを供試魚の背部に装着した。供試魚に異常がないことを確認するため、水槽で約 24 時間観察を行った。供試魚は 8 月 1 日に 2 尾、10 月 22 日に 3 尾並びに 12 月 12 日に 3 尾、メプン湖に放流した。AFR システムは放流から 1 日後（8 月の 1 尾）、4 日後（8 月の 1 尾、10 月の 3 尾）および 8 日後（12 月の 3 尾）に浮上するように設定した。

魚体とデータロガーを同時に回収できた割合は、37.5%（8 月、10 月並びに 12 月に各 1 尾）であった。AFR システムは設定どおり起動したものの魚体を漁業者によって捕獲されるなどにより、データロガーのみが回収できた割合は、37.5%（8 月に 1 尾、10 月に 2 尾）であった。AFR システムは設定どおり起動したものの浮上時に立ち木等に引っかかって浮上できなかったなどにより、魚体とデータロガーの両方を回収できなかった割合は、25.0%（12 月に 2 尾）であった。回収した魚体およびデータロガーから、3 尾分の胃内容物（湿重量:  $26.8 \pm 2.7$  g）と 6 尾分の行動データを取得した。顕微鏡による観察から、胃内容物は動物プランクトン、植物プランクトンなどであった。行動データからは、昼間に活発な鉛直移動を行う日周性がみられた。