

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007-2008

課題番号：19580224

研究課題名 (和文) 加速度ロガーおよび画像ロガーによる魚類のハビタートの利用に関する研究

研究課題名 (英文) A new attempt to study habitat use by fish using accelerometer logger and digital still image logger

研究代表者 内藤 靖彦 (Naito Yasuhiko)

国立極地研究所・名誉教授

研究者番号:80017087

研究成果の概要：白色筋魚類は連続遊能力少なく、底生である。白色筋が多く、体比重の大きいシイラは表層性であるが、理由は不明である。シイラに加速度ロガーを装着して遊泳行動を検証した。シイラは水深 20m の表層を浮上時に活発に遊泳し、下降時に休息する行動を繰り返し、表層性を維持していた。シイラ用漁具に装着したカメラロガーからイワシなどの餌生物の画像が多く得られ、表層ハビタートの重要性が認められた。本研究ではロガーの小型化や採餌計測法の開発も行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：バイオロギング、ハビタート、加速度ロガー、画像ロガー、採餌行動、表層魚

1. 研究開始当初の背景

近年、海洋における水産資源の持続的利用の重要性が強く指摘されている。海洋生物資源の利用と海洋環境保全の両立が求められている。しかし、我々の海洋生物に関する基礎的知識は未だ不十分である。知識の増大が不可欠である。本研究は上記を考慮しつつ以下の背景で計画された。

1) 学術的背景

海洋動物は環境に適応しつつハビタートを選択し、その生態系の一部を構成するが、環境への生理的・生態的適応についての理解は不十分である。一般に表層魚は赤色筋を持つマグロのように表層の豊富な酸素を利用して活発に行動し、豊富な餌を利用し成長も早いとされている。他方底生魚は白色筋をも

ち貧酸素状態の海底付近に生息し、遊泳も活発でない。シイラは代表的表層魚類であり、体長2mに達する。世界中の温暖海域に生息するコスモポリタンであり、成長が極めて早く数ヶ月で親魚になり、海洋の温暖化が予測される中で今後資源として重要になると予測されるが、その生理・生態は不明である。

2) 技術的背景

生理・生態の理解には現場からの直接の情報が必要である。近年研究代表者らが進めてきた海洋動物にマイクロデータロガーを装着して生態、生理、環境を計測するバイオリギング技術により、従来困難とされていた現場からの情報を直接得ることが可能となった。現在では装置の小型化が進み魚類への利用も可能となった。既にシロサケやヒラメにおいて大きな成果が得られている。

2. 研究の目的

表層性の魚類は赤色筋が発達し、持続的遊泳力に優れるとされる。シイラは表層性魚類の典型と考えられているが、マグロ類と比較すると赤色筋は少ない。体比重も大きく、連続遊泳能力も少ないと思われるシイラが「何故表層のハビタートを選択するのか、またそのハビタートの特徴は何か」は不明である。本研究は速度・加速度ロガーと画像ロガーを用いて上記の疑問の解決を目指した。また、研究を通して海洋動物の生理・生態の現場計測法の改良と開発も行うことも目的とした。

3. 研究の方法

シイラの現場実験はシイラの延縄漁業を行っている長崎県対馬と壱岐の中間の海域と静岡県伊東市赤沢の定置網において行った。遊泳行動を計測するために小型速度・加速度ロガー(リトルレオナルド社製:PD2GT、径21mm、長さ113mm、重量(空中)64g、遊泳速度、2軸加速度、水温、水深)を使用した。表層のハビタートの環境把握のため画像ロガー(リトルレオナルド社製:DSL-380、径22mm、長さ130mm、重量82g(空中))を使用した。対馬沖の実験では1例の回収にとどまった。

(1) 遊泳行動実験

加速度ロガー実験は延縄で漁獲された体長79cmのシイラに浮力体、切り離し装置、アルゴス送信機、VHF送信機、データロガーを一体化したシステムをシイラに装着して放流し、28時間後に回収に成功した。回収はアルゴス送信機からの位置をもとに回収海域に到着した後、システムの発見はVHF信号により行った。

対馬沖実験から回収作業が予想以上に困難なことから2008年においては実験を装着魚の再捕獲が容易な定置網で捕獲されたシイ

ラを用いて実験を行った。

(2) ハビタート環境実験

ハビタートの生物環境(餌環境)を把握するため画像ロガーを用いた。ロガーはシイラに直接装着せずにシイラの生息環境と思われる浮き延縄と浮遊物から垂下してインターバル撮影を行った。魚に直接装着しなかった理由は、回収のためのアルゴス送信機と組み合わせるとシステム全体が大きくなり遊泳行動に影響を与えると考えられたためである。

(3) 魚類行動システム改良と開発

本研究では海洋動物の生理・生態の現場情報が得られるようシステム改良と開発を行った。切り離しタイマーの小型化と採餌計測法の開発を行った。

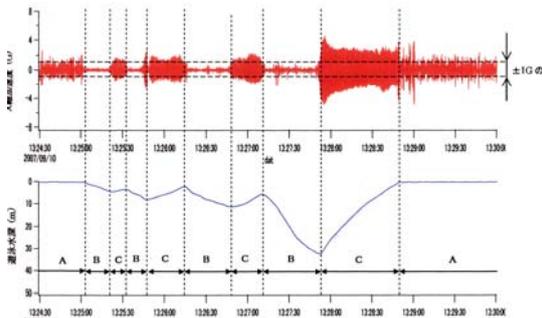
4. 研究成果

(1) 遊泳行動実験

約23時間の連続遊泳行動記録から遊泳水深は $11.8 \pm 13.6\text{m}$ 、最大50.1mであり、日中深く夜間水面近くにいた。経験水温は95%の時間は 27°C 以内であった。遊泳速度は $0.78 \pm 0.27\text{m/s}$ 、最大 3.8m/s であった。潜行時、浮上時で大きな差は見られなかったが、表層での遊泳速度は遅い。潜行率と浮上率を比較すると浮上時より潜行時に早く移動していた。また潜行と浮上に要する時間を比較すると潜行に10-20秒を、浮上にはその倍以上の時間を費やした。加速度計のX軸から得られるテールビートの周期は平均 $1.70 \pm 0.59\text{Hz}$ 、最大5.9Hz、最小周期は0.1Hzであった。テールビートの(G)を潜行、浮上、水平の動きごとに比較すると、潜行時にはイレギュラー的に大きくなることもあるが、定常的には零近くであり、浮上時に1G以上の加速度を常時記録した。水平遊泳時は1G以下であった。さらに、浮上時のテールビート周波数は平均 $1.91 \pm 0.53\text{Hz}$ と極めて活発に遊泳活動をしていることが明らかになった。

以上からシイラの遊泳行動を考察すると、体の重くかつ赤色筋の少ないシイラの遊泳モードはマグロのように一様でなく、浮上時に活発に遊泳し、潜行時に休息し、水平移動はゆっくりとした遊泳を行い、少ない赤色筋を有効に利用した遊泳をしていることが明らかになった。シイラは表層魚であるが、ヒラメより赤色筋を多く持ち、マグロより少ない中間型であり、遊泳行動も中間型であった。マグロとの違いはマグロが赤色筋を多く持っているため連続遊泳が可能であり、運動代謝、そして体温も高く保たれ、遊泳水深はシイラより遥かに深くまで潜行することが出来る。シイラの遊泳水深が非常に浅いのは運動代謝を高く保てないため、水温の高い表層を選択した結果と考えられた。

表・8 加速度ロガー実験結果一覧(遊泳形態別)		平均値±標準偏差(最小値-最大値)
浮上	浮上回数	281
	総浮上時間(h)	4.05
	1回の浮上の浮上時間(s)	51.9±25.7(5.0-151)
	1回の浮上での水深移動距離(m)	10.1±6.26(1-35)
	浮上時の遊泳速度(m/s)	0.87±0.19(0.12-3.63)
	浮上率(m/s)	0.22±0.17(0.010-1.4)
	浮上1回あたりのビート数	95.6±48.8(19-285)
潜降	浮上1回あたりのビート周波数(Hz)	1.91±0.53(0.46-7.4)
	潜降回数	270
	総潜降時間(min)	115.4
	平均1潜降時間(s)	25.6±17.7(4.0-105)
	1回の潜降での水深移動距離(m)	8.89±5.17(1-35)
表層(水深0~5m)	潜降時の遊泳速度(m/s)	0.76±0.24(0.22-3.62)
	潜降率(m/s)	0.42±0.22(0.023-2.3)
	総遊泳時間(深度0~5m)(h)	11.4
	遊泳速度(深度0~5m)(m/s)	0.74±0.32(0.062-3.52)
	姿勢角度(深度0~5m)(degree)	0.11±8.46(-67.9-75.5)



テールビートの強さの変化(上)と水深(下)

(2) ハビタート環境実験

早朝に行った2回の延縄垂下カメラ実験から合計4758枚の画像が得られた。この内、生物が写っていた画像が331枚であった。種類が確認できた生物ではシイラの外、カタクチイワシ、クシクラゲ、スルメイカであった。一方漂流物(ドラム缶)に垂下したカメラでは2035枚の画像が得られた。確認できた生物種はシイラ、ウスバハギ、オキアジ、アミモンガラ、ヒレナガカンパチ、ナンヨウカイワリ、クシクラゲの7種であった。延縄と漂流物では出現種が異なっていた。世界中の海で最も多くシイラに採餌されているトビウオは両方の垂下カメラに一回も出現しなかった。

シイラが生息する表層環境に設置したカメラに出現した生物はほとんどが魚類であったがこの結果はシイラの胃内容物研究結果と一致していた。延縄と漂流物では出現する種類が異なった。遊泳行動実験から、シイラが漂流物のある水面に出現するのは夜間で余り活発に行動しないことが示唆されている。このことから、漂流物に出現した魚類はシイラの主要な餌ではなく、この実験海域ではカタクチイワシが主要な餌であると考えられた。採餌時間は昼間、水深は20-20mで、浮上遊泳し、餌を探索しつつ採餌していると推察された。



延縄カメラに出現したカタクチイワシ(



流物カメラに出現したシイラ

(3) 今後の課題

① システムの小型化と回収装置の開発

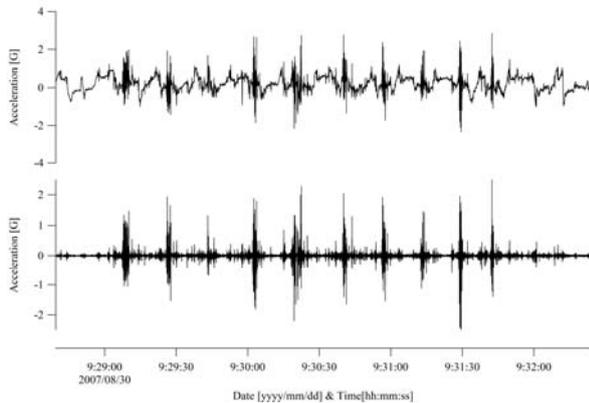
本研究は対馬沖で装着回収実験を行ったが、実験の成功は1例にとどまった。定置網内の実験ではシイラが離網したためシステムの回収に失敗し、技術的な課題が明らかになった。第一はシステム全体の更なる小型化であった。現場では大型実験個体の選択が少なく、実験例を増やせないこと、小型個体に装着した場合のシステム装着の影響が大きいことなどから、さらなるシステムの小型化が必要になった。これに対応するためバイオリギング研究所、東京大学海洋研究所と協同して、さらに小型のデータロガーの開発を行い、ほぼ完成した(径:12mm、長さ:45mm、重さ:9g、3軸加速度、水深(380m)、水温)。また、切り離し用のタイマーの小型化を武蔵工業大学と共同で行い、新小型タイマー(径:8mm、長さ:20mm、重さ:2g)を作製した。これらの成果は既に国際学会で発表した。また、装置の回収システムにも課題があった。

② 採餌計測法の開発

本研究では海洋での魚類のハビタート利用

に関して行動特性とその餌環境についての理解の端緒を得た。しかし、最終的にはハビタートの利用の理解には採餌行動の把握が不可欠である。本研究実施中に新たな方法を考案するに至ったため、採餌計測法についての研究も行った。

マグロの水槽観察から、「動物の採餌の際の下顎などの動きは極めて早いため加速度計によりこれを検出することは可能」と考え、魚類、アザラシ類、イルカ類の下顎に小型加速度ロガーを装着して実験を行った。その結果すべての動物から採餌記録を得ることに成功した。



下顎の加速度記録計（サージ方向軸加速度）に捉えられた飼育水槽内のタテゴトアザラシの採餌記録（上下に大きく振れている部分）。生波形（上）と3Hzのフィルター処理した波形（下）。波形はサージ方向、ヒープ方向の加速に見られるがサージ方向により顕著に見られた。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 9 件）

- ① Noda, T., Naito, Y., 他 3 名 (2009) Development of in situ underwater tagging method for monitoring the behavior of deep sea fish. 海洋理工学会誌 (In press). 査読あり
- ② Okuyama J., Kawabata Y., Naito Y., Arai N., Koabayashi M. (2009) Monitoring of beaked movement using an acceleration datalogger can reveal foraging and breathing behaviors of sea turtles. Proceedings of 3rd International Bio-logging Symposium (In press). 査読あり
- ③ Suzuki, I., Naito, Y., 他 3 名 (2009) Validation of a device for

accurate timing of feeding events in marine mammals. Polar Biology (32) 667-671. 査読あり

- ④ Naito Y. (2008) A new animal-borne digital still camera (DSL): its functions and applications to marine mammal science. Proceedings of Animal-borne Imaging Symposium. Marine Science Technology (National Geographic Society 招待) (査読なし)
- ⑤ Naito, Y. (2007): How can we observe the underwater feeding behavior of endotherms? Polar Science 1 (2), 101-111. 査読あり
- ⑥ Akamatsu T., Teilmann J., Miller L. A., Tougaard J., Dietz R., Wang D., Wang K., Siebert U., Naito Y. (2007) Comparison of echolocation behaviour between coastal and riverine porpoises. Deep Sea Res. Part II 54, 290-297. 査読あり
- ⑦ Yoda K., Kohno H., Naito Y. (2007) Ontogeny of plunge diving behaviour in brown boobies: Application of a data logging technique to hand-raised seabirds. Deep Sea Res. Part II 54, 321-329. 査読あり
- ⑧ Sato K, Watanuki Y, Takahashi A, 他 14 名, Naito Y (2007) Stroke frequency, but not swimming speed, is related to body size in free-ranging seabirds, pinnipeds, and cetaceans. Proceedings of the Royal Society of London, B, 274, 471-477. 査読あり
- ⑨ Kudo T., Tanaka H., Watanabe Y., Naito Y., Otomo T., Miyazaki N. (2007) Use of fish-borne camera to study chum salmon homing behavior in response to coastal features. Aquat. Biol. 1: 85-90. 査読あり

〔学会発表〕（計 6 件）

- ① Yasuhiko Naito. A new method for detection of prey ingestion by seals. Workshop on technological advances and related analytical method in pinniped's studies. In 23rd Conference of European Cetacean Society, March 1, 2009, Istanbul Turkey.
- ② Yasuhiko Naito. A new approach for complete detection of feeding behavior of marine animals by using very small accelerometer. The 15th International Symposium on Polar Sciences. September 24-26, 2008, Incheon Korea..

- ③ Yasuhiko Naito. Way to integration by bio-logging tools in the field study: A trial to monitor feeding behavior of marine top predators by miniaturized accelerometer. The Third International Bio-logging Symposium. September 1-5, 2008, Pacific Grove California.
- ④ Yasuhiko Naito. How can we observe feeding events of marine animals? Japan-China Bio-logging Symposium, November 6-8, 2007, Wuhan China.
- ⑤ Yasuhiko Naito. Perspectives of a new animal-borne Digital Still Camera (DSL): Role and application for developing new insight into marine mammal science. Animal-borne Imaging Symposium, October 10-13, 2007, Washington DC, USA.
- ⑥ Yasuhiko Naito. Contribution of the animal-borne Digital Still Image Logger (DSL) to the progress of marine animal science underwater. Animal-borne Imaging Symposium, October 10-13, 2007, Washington DC.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内藤 靖彦 (Yasuhiko Naito)
国立極地研究所・名誉教授
研究者番号：80017087

(2) 研究分担者

高橋 晃周 (Akinori Takahashi)
国立極地研究所・研究教育系・准教授
研究者番号：40413918

加藤 明子 (Akiko Kato)

国立極地研究所・研究教育系・助教
研究者番号：80261121

(3) 連携研究者

小島 隆人 (Takahito Kojima)
日本大学・物質構造科学研究所・准教授
研究者番号：60205383