

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24405037

研究課題名(和文)音響バイオロギングによる大型ヒゲクジラの摂餌行動の研究

研究課題名(英文)Research of feeding ecology of baleen whales using acoustic biologging technique

研究代表者

赤松 友成 (AKAMATSU, TOMONARI)

独立行政法人水産総合研究センター・水産工学研究所・その他

研究者番号：00344333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,200,000円

研究成果の概要(和文)：水産資源の持続的な利用のためには、ヒゲクジラ類の大きな捕食圧力は無視できない。しかし、ヒゲクジラの摂餌量と餌種は、これまで捕獲による胃内容物調査でしか得られなかった。本研究により、大型鯨類二種すなわちシロナガスクジラとザトウクジラの摂餌行動を音響バイオロギングにより直接計測できるようになった。また水中運動の三次元再構成を行い、摂餌行動中の体の動きも明らかにした。記録された鳴音の解析により、鳴音発声頻度と音源音圧レベルを明らかにし、国際誌に掲載された。

研究成果の概要(英文)：For the sustainable use of fisheries resources, feeding pressure of baleen whales is not negligible. However amount of feeding and species of prey could be observed in stomach contents by capturing of these species. Present study revealed that the feeding events of blue whales and humpback whales could be observed directly using acoustic biologging technique. In addition, three dimensional reconstruction of underwater feeding behavior was conducted. Analysis of the vocalizations logged on the animals provided phonating rate and source levels, which is published in an international scientific journal.

研究分野：水中生物音響

キーワード：生物音響 バイオロギング 資源管理 ヒゲクジラ 摂餌生態

1. 研究開始当初の背景

水産資源の持続的な利用のためには、ヒゲクジラ類の大きな捕食圧力は無視できない。しかし、ヒゲクジラの摂餌量と餌種は、これまで捕獲による胃内容物調査でしか得られなかった。海の主要捕食者の摂餌量と餌種を知ることは、水産資源の管理・利用・予測において鍵となるばかりでなく、海洋の食物連鎖における大規模な炭素循環量を示すことができるだろう。これまでの海洋生物学では極めて困難であった、餌を食べるといった行為の可視化を大型ヒゲクジラで実現することが、本研究の最大の意義である。

2. 研究の目的

本研究は、鯨体にとりつけた新開発の録音器で摂餌に伴って発生する音を記録し、摂餌タイミングと量さらに餌生物種を個体毎に時々刻々観察できることを実証する。まず、資源回復が遅れているシロナガスクジラを対象とし、アイスランド北部のフーサビク湾において、各個体がいつどの水深でなにをどのくらい食べたのかを、音響バイオロギングで明らかにする。

3. 研究の方法

平成 24 年度は、アイスランド北部のフーサビク沖スキャルファンディー湾に春期に来遊するシロナガスクジラを対象とし、安全な装着・回収技術を確立し、摂餌音データを 2 個体取得した。これまでに開発した音響タグを深海対応とするためカーボン製のものを新たに製作し、設計耐圧 1000m、500mL のペットボトルほどの大きさで 220 時間の連続録音が可能な録音装置を開発した(図 1)。体の動きを計測する超小型加速度データロガーも併用し、個体ごとの潜水プロファイルおよび経験水温と体軸方位を計測した。

平成 25 年度は対象鯨種を広げザトウクジラで同様の観測を試みた。開発した音響データロガーに加え、東京大学から供給された画像データロガーをとりつけ、クジラの周辺にいた餌の種を同定した。

平成 26 年度は水中運動の三次元再構成を行い、摂餌行動中の体の動きも明らかにした。また記録された鳴音の解析もすすめた。鳴音発声頻度と音源音圧レベルを明らかにした。アイスランドでの観測が予定通り順調に進んだことから、タイ湾のカツオクジラを対象に、比較実験を行った。タイ湾奥で近年観測が始まったニタリクジラは、高緯度域のヒゲクジラとは異なる生活史をもっている。明らかな摂餌行動が見られると同時に、繁殖行動も頻繁に観測されている。摂餌域と繁殖域の間で季節的な長距離回遊を行うアイスランドの大型ヒゲクジラとは異なり、摂餌行動と繁殖行動が同水域で混在しているタイ湾の

カツオクジラで同様の観測を行い、これまでの観測結果と比較した。

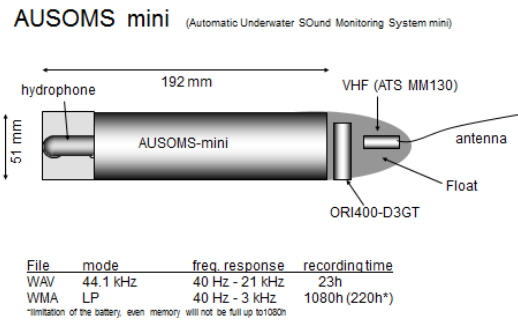


図 1 開発した深海用音響タグ。カーボン製の録音機本体(AUSOMS-mini)に加速度および深度記録ができるデータロガー(ORI400-D3FT)および回収用の VHF 電波発信機と浮力体を組み合わせたシステム。

4. 研究成果

回収したデータから摂餌音のソナグラム解析を行い、周波数成分とその時間変化などの特徴量を数値化した(図 2)。摂餌の際には口を大きく開け海水を含むため、急減速や遊泳方位が変化する。これを音響記録と比較することで、音響的に餌獲りを同定することに成功した(図 3)。

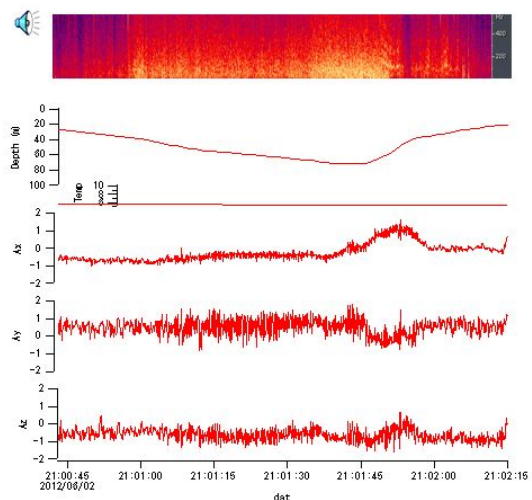


図 2 音響タグで記録された摂餌イベント。

最上部から、ソナグラム（音のパワースペクトルの時間変化を可視化したもの）と深度および3軸の加速度記録を比較した。最大深度直前で最もスペクトル強度が大きく周波数帯域も広がっている。同時に、加速度波形も大きくふれている。直後に浮上を開始し、静穏となる。突進飲み込み摂餌の後に海水をヒゲ板を通して吐き出しながら浮上している状況と考えられる。

Many lunge feeding events were detected

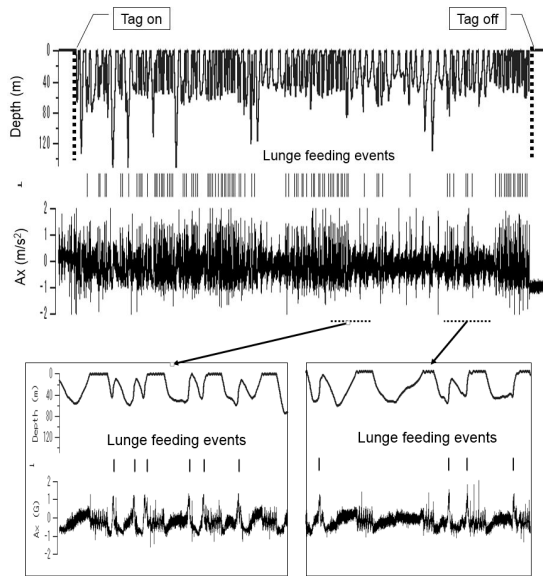


図3 音響的に同定された摂餌イベント（Lunge feeding events）とある中断のバーコード上の記録が、摂餌時刻を示す。下部に拡大例を2つ示した。音響的な摂餌同定時刻は、下段に示された加速度の極大値の時刻ともよく一致している。

音による摂餌イベントの記録時刻と映像記録を比較したところ、オキアミを対象とした摂餌潜水であることがわかった。画像情報は音響情報に比べ計測時間が短くしかも静止画であるため、摂餌生態のような長期観測には向かないが、餌種判定や密度推定には強力なツールである。画像データロガーと加速度データロガーを用いたヒゲクジラの水中行動の解析も実施した。

摂餌海域での発声行動についても知見を得た。シロナガスクジラはこれまでの知見と整合するきわめて低い鳴音を発していた（図4）。本研究の特徴は、その音源音圧レベルと発声頻度を装着型記録機で特定したことである（表1）。発声頻度はきわめて低く、摂餌域における受動的音響観測による補足率は高くないと推定された。また、2個体のシロナガスクジラから記録された音源音圧レベルは158-169dB re 1μPaであった。音響伝播は単純な球面拡散を仮定し、当該海域の背景雑音レベルと比較すると、この声は1.7km程度の到達距離があると推定された（図5）。

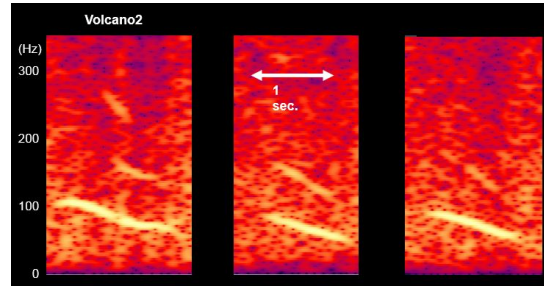


図4 シロナガスクジラ（個体名 Volcano）の低周波鳴音。アイスランド側協力者による写真個体識別台帳を参照することで、個体の同定が可能である。

	recorded time	SL (dB*)	Initial (Hz)	Final (Hz)	duration (ms)
Volcano 2	19:20:15	168.8	105	67	1254
	19:39:55	168.0	83	48	990
	22:38:27	158.6	86	56	1096
Anonymous	23:29:57	162.0	86	59	1943

Estimated source level: 158 to 169 dB re 1μPa rms

*dB re 1μPa rms
16384 FFT size with Blackmann-Harris window
Overall system sensitivity -170 dB re V rms /1μPa.
Adobe Audition 1.5 (Adobe Systems Inc., USA)

表1 二個体のシロナガスクジラから計測された鳴音の音源音圧レベル。装着位置と音源との距離は写真により計測した。なお、ヒゲクジラの音源は喉頭付近と推定されているが十分に確定しているわけではないため、写真では噴気孔を基準として、音源と受信機の距離を推定した。

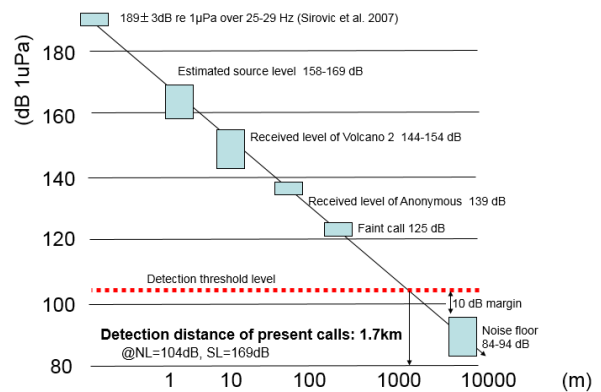


図5 シロナガスクジラの鳴音到達距離の推定。音源音圧レベルと背景雑音レベルを比較することで、鳴音到達距離は1.7kmと推定された。

受動的音響手法の適用により、当該海域のカツオクジラはこれまでの他海域での報告と整合する低周波鳴音を発することが確認された。体長と同程度の極めて浅い水深であ

るため、その摂餌様式は突進飲み型だけでなく開口した状態での待ち受け型が認められた。今後は、本研究で開発された手法をさまざまな国のヒゲクジラに応用することで、技術の普及を図りつつ実用化をすすめたい。

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 1件)

Akamatsu, T., Rasmussen, M. and Iversen, M. Acoustically invisible feeding blue whales in Northern Icelandic waters, J. Acoust. Soc. Am., 査読有り、Vol.136、2014、pp.939-944、DOI:10.1121/1.4887439

[学会発表](計 2件)

Rasmussen, M.H., Akamatsu, T., Iversen, M., Acoustic and diving behaviour of two Mysticete species, humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) and blue whales (*Balaenoptera musculus*) during feeding in Northeast Iceland, 20th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals Dunedin, 2013.12.9-13, New Zealand

Akamatsu, T., Rasmussen, M.H., Iversen M., Acoustically invisible blue whales (*Balaenoptera musculus*) during feeding in Northeast Iceland, 27th European Cetacean Society Conference, 2013.4.8-10, Setúbal, Portugal

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤松 友成 (AKAMATSU, Tomonari)
独立行政法人水産総合研究センター・水産工学研究所・グループ長
研究者番号：00344333

(2) 研究分担者

なし

研究者番号：

(3) 連携研究

なし

研究者番号：