

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

釧路沖に設置された海底地震計から得られた鯨類鳴音分析

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-05-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 吉田, 林太郎 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1416

修士学位論文

釧路沖に設置された
海底地震計から得られた鯨類鳴音分析

平成 28 年度

(2017 年 3 月)

東京海洋大学大学院
海洋科学技術研究科
海洋環境保全学専攻

吉田 林太郎

修士学位論文

釧路沖に設置された

海底地震計から得られた鯨類鳴音分析

平成 28 年度

(2017 年 3 月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

海洋環境保全学専攻

吉田 林太郎

1353052

主査 加藤秀弘 教授

副査 鈴木直樹 准教授

副査 中東和夫 准教授

目次

1.	緒言	1
1.1.	背景.....	1
1.2.	本研究の目的.....	3
2.	材料	4
2.1.	海底地震観測システムデータ	4
2.2.	鯨類目視発見記録.....	7
3.	方法	9
3.1.	分析前処理.....	9
3.2.	収録された鳴音の抽出.....	11
3.3.	釧路目視発見記録上の出現と収録鳴音データとの比較.....	14
3.4.	鳴音特性の分析.....	14
4.	結果	15
4.1.	収録された鳴音と鯨種.....	15
4.2.	釧路目視発見記録上の出現に対して鳴音の出現.....	16
4.3.	ナガスクジラ鳴音の詳細分析.....	19
4.4.	鳴音パターンの季節的变化.....	24
5.	考察	27
5.1.	鳴音と鯨類の存在の有無.....	27
5.2.	鳴音パターン"Undefined"とは	28
5.3.	鳴音パターン"Doublet"の本研究独特の特徴.....	31
6.	今後の課題	33
7.	謝辞	35
8.	引用文献	36

1. 緒言

1.1. 背景

ナガスクジラ科 *Balaenopteridae* に代表される大型のヒゲクジラ亜目鯨類の多くが大規模な季節回遊を行い、外洋性の種は夏に高緯度で摂餌し、冬は低緯度で繁殖を行うとされている（加藤, 1993）。その移動距離は数千 km に達し、時には赤道域から極海まで回遊する（加藤, 1993）。そのため飼育や目視による継続的な観察研究によってその行動や生態の全てを解明することは非常に困難が伴う。かつて商業捕鯨時代には標識再捕法等で研究が進められていた（木白, 2012）。だが、商業捕鯨の衰退や大型鯨類資源の悪化（加藤・中村, 2012）、目視調査での資源量推定の有用性の台頭により縮小し（木白, 2012）、国際捕鯨委員会（IWC；International Whaling Commission）で1985年に商業捕鯨モラトリアムが採択されたことによって従来の手法での大規模回遊行動や生態に関する継続的なデータ収集は不可能となった。

こうした状況の中で米国では早くから鯨類の鳴音からその生態を探ろうという研究が行われてきた（中原, 2002; Watkins *et al.*, 1987）。水中では音は空気中よりも早く伝播し、視覚よりも有用な情報伝達手段である（中原, 2002）。水中生活に適応した鯨類も陸上動物以上に音声を活用している（加藤, 1993; 中原, 2002）。鯨類の鳴音には種ごとに特徴があり、鳴音の周波数と発生持続時間、休符間隔によって種を特定することができる（Thompson, 1992; McDonald *et al.*, 1995）。研究の方法としては鯨類周辺での曳航式ハイドロフォンによる録音が一般的（Watkins *et al.*, 1987; Thompson, 1992）だが、その他に Sirovic *et al.* (2007) のように海底に録

音機材を投下し、回収して録音データを分析する方法、軍用のハイドロフォンネットワークや海底地震計等既存の機材、施設を利用して行う方法もある (McDonald *et al.*, 1995)。録音機材が海底に固定されている場合は機材周辺での移動追跡や来遊季節の特定等の成果を上げている (McDonald *et al.*, 1995; Sirovic *et al.*, 2009)。

日本列島は大陸プレートの下に海洋プレートが沈み込む、沈み込み帯に位置し (酒井, 2003)、常に大規模地震の発生が危惧されている。特に太平洋側では東北地方太平洋沖地震に代表されるような社会生活に大きな影響を与える海溝型地震が繰り返し発生している。そこで日本近海には地震発生に伴う災害軽減を目指し、国立研究開発法人海洋研究開発機構 (JAPAN AGENCY FOR MARINE EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY 以下 JAMSTEC とする)をはじめとして気象庁、国立大学法人等様々な機関により自己浮上型 (図 1) やケーブル式など多様な形態の海底地震計が多数設置され地震データの収集を行なっている (Harada, 2008)。日本近海の海底地震計にも米国の海底地震計と同様に鯨類の鳴音と思われる音声が録音されていることが米 SCRIPPS 研究所 Whale Acoustic Lab や Iwase (2015) によって指摘されていた。

米国での海底機器での鳴音の定点観測研究は現在では多くが鯨類専用の機材による研究 (Sirovic *et al.*, 2009) に移行しているが、日本では大型鯨類の鳴音研究の知見は未だ乏しい。上で述べたように、日本近海では世界でも最も充実した海底地震観測が行われており、長期的かつ継続的に地震データが蓄積されている。

日本では大型鯨類の鳴音の研究の知見は未だ乏しく、海底地震計に収録された大型鯨類の鳴音を抽出分析することができれば、様々な場所に設置された海底地

震計から鯨類の存在を発見することができる。地震計データを用いることで三分（上下動、水平二成分）のベクトル解析が可能となり専用機材に劣らない解析を行うことができる（Sugioka *et al.*, 2015）。また、複数海域のデータを総合的に分析することによって日本近海における鯨類の生息状況を明らかにし、その季節的移動や音響的生態解明に大きく貢献することができる。さらには他国の地震観測網を利用すればより大規模な回遊の追跡や生態解明に貢献できる。



図 1 自己浮上型の海底地震計のレプリカ JAMSTEC 横須賀本部、海洋科学技術館内展示

1.2. 本研究の目的

本研究は将来的に日本列島近海を中心として、世界中の海底地震計観測網を利用した大型鯨類の生態解明に貢献するべく、北海道釧路沖の海底地震観測システムデータを分析し、鯨類の鳴音の抽出と鯨種の同定を主目的とした。さらに抽出した鳴音の特性が先行研究との類似点や相違点の比較と設置海域周辺において秋季に行われた鯨類捕獲調査で収集された目視発見記録との比較も行った。

2. 材料

2.1. 海底地震観測システムデータ

本研究では北海道釧路沖に設置されたケーブル式海底地震観測システムで収録された観測データから鯨類の鳴音と思われる音声がより明瞭に記録されているハイドロフォンデータの分析を行った(表1, 図2)。

本海底地震観測システムを選定した理由は周辺海域にて2002年以降、ミンククジラ *Balaenoptera acutorostrata* を対象とした第II期北西太平洋鯨類捕獲調査(以下釧路沖鯨類捕獲調査とする)が行われているためである。

本海底地震観測システムには観測点が沖合から順にOBS(Ocean Bottom Seismographの略称、以下OBS)1、OBS2、OBS3と三基設置されており、それぞれ釧路沖の水深2000-3500m付近に存在する。三基はそれぞれケーブルで接続されており、音別の陸上局から電力供給を受けるとともにJAMSTEC横浜研究所にデータを送信している。OBS2は加速度計とハイドロフォンを搭載しており、OBS1とOBS3はこれに加え津波計を搭載した構成になっている。さらに三基の地震観測機材群とは別に、水温、流速等のデータを取得するための先端観測装置と機材の追加を想定した分岐装置二基を含む六基が接続されている。

表1 各海底地震観測システム設置位置

ステーション	緯度	経度	水深
OBS1	41.6870N	144.3945E	2,329m
OBS2	41.9408N	145.0562E	3,428m
OBS3	42.2528N	144.8107E	2,124m

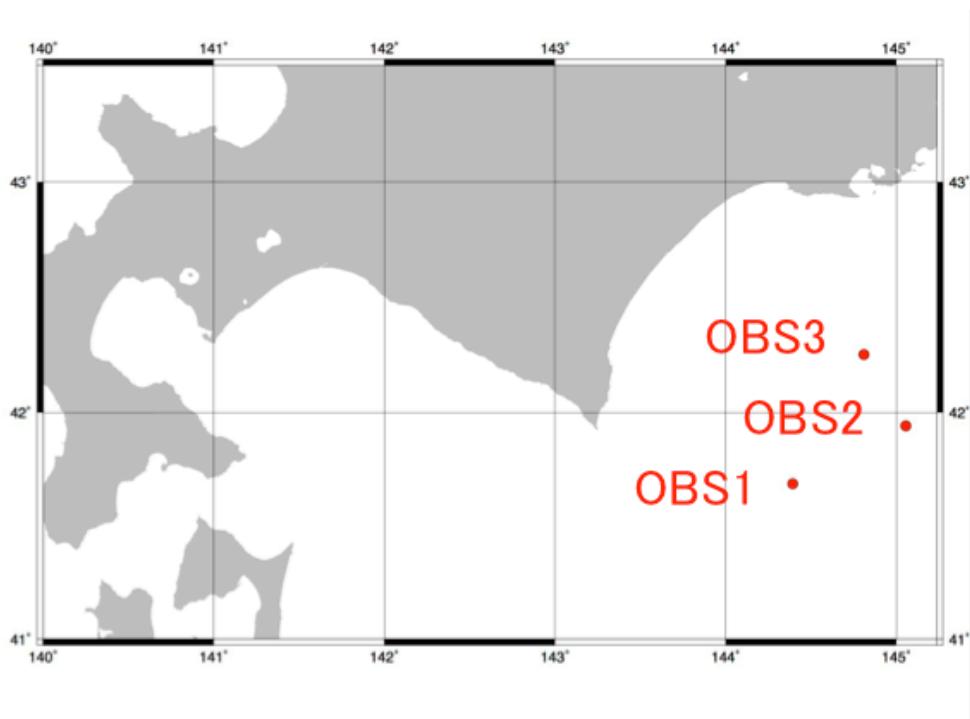


図 2 各海底地震観測システム設置位置 赤色の点が観測点位置を示す。沖から OBS1、OBS2、OBS3 の三観測点。

本海底地震観測システムは JAMSTEC が 1999 年 7 月に設置したもので、1999 年 8 月からリアルタイムにデータを収録し続けている。本研究ではそのうち 2009 年に取得されたデータの分析を行った。

各 OBS は同一の仕様で、加速度計 (JA-5III-A, Japan Aviation Electronics Industry Ltd., Tokyo, Japan 図 3)が周波数範囲 0.05-200Hz を持ち、ハイドロフォン (ITC-1010A, International Transducer CROP., CA, USA 図 4)は受信感度が -190dB re V/ μ Pa で周波数範囲が 4-4000Hz である。それぞれ A/D 変換機で 24bit、分解能 $3.35e^{-9}$ V/LSB、サンプリングレート 100Hz でデジタル変換をしている。最終的な中心周波数帯域は加速度計が 0.5-40Hz、ハイドロフォンが 1-40Hz であった。



図 3 加速度計 (機材名称: JA-5 III-A, Japan Aviation Electronics Industry Ltd., Tokyo, Japan) JAMSTEC HP (URL: http://www.jamstec.go.jp/scdc/top_j.html; 2015 年 1 月 25 日版)



図 4 ハイドロフォン (機材名称: ITC-1010A, International Transducer CROP, CA, USA) JAMSTEC HP (URL: http://www.jamstec.go.jp/scdc/top_j.html; 2015 年 1 月 25 日版)

2.2. 鯨類目視発見記録

釧路沖ケーブル式海底地震観測システムの周辺海域では例年、釧路港から半径 50 マイル以内の海域において第 II 期北西太平洋鯨類捕獲調査 (JARPN II) における沿岸域プログラムの一部 (以下釧路沖鯨類捕獲調査) が行われている (図 5)。本調査は IWC の定める国際捕鯨取締条約第VIII条に基づき日本政府の再捕許可発給の許行っている鯨類捕獲調査である (Kishiro *et al.*, 2009)。地域沿岸漁業と鯨類の競合の調査解明のため 2002 年から春期は三陸、秋期は釧路で行われている (Kishiro *et al.*, 2009)。調査主体は当初は (一財)日本鯨類研究所が行っていたが、現在は (一社)地域捕鯨推進協会に移行している (Kishiro *et al.*, 2009)。捕獲対象はミンククジラであるが、同時に調査中に発見された大型鯨類目視記録が記録されており、国際条約の規定通り調査毎に調査報告書としてまとめられて報告されている。本研究では調査報告書に記載されている鯨類の目視発見記録と同時期のハイドロフォンデータを比較し、鯨類鳴音の有無を確認することで、実際の鯨類の存在と鳴音の出現とにどのような関連があるのか検証した。なお、分析に使用した調査データは 2009 年である。

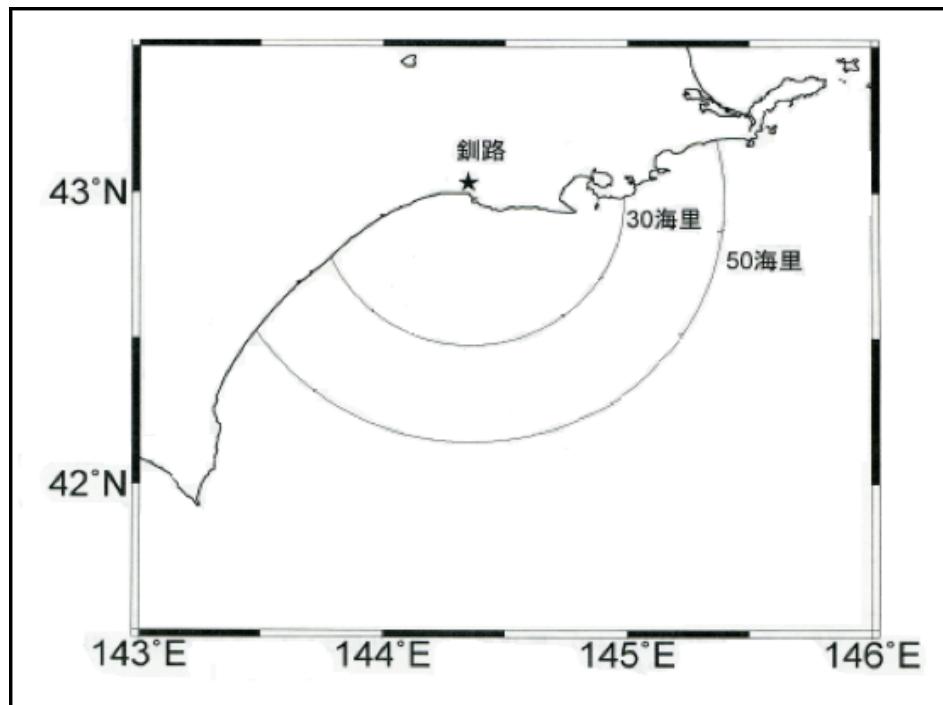


図 5 北西太平洋鯨類捕獲調査の調査範囲 銚路港を中心とした半径 50 海里を最大の調査範囲として、特に 30 海里内が主要調査範囲となる。

3. 方法

3.1. 分析前処理

分析のための準備として二つの準備作業を行った(図6)。地震計のデジタルデータの変換作業と分析する地震計の選定である。

釧路沖海底地震観測システムのデータは日本の地震研究に用いられているデータ形式WIN形式で保存されている。このWIN形式ファイルを最終的に一般的な音声ファイル形式に変換するため以下の手順に沿って作業を行った。

① WIN形式をサポートするためのプログラム群であるWINシステムを無料配布している東京大学地震研究所観測開発基盤センターHP(URL:

<http://eoc.eri.u-tokyo.ac.jp/index.html>; 2016年1月27日版)から入手して1分、1ファイル単位で保存されているWIN形式ファイルを24h分に結合するため"winadd"というWINシステム内のプログラムをUnixコマンドで実行する。

② 結合したWIN形式ファイルをさらに国立研究開発法人防災科学技術研究所のHP(URL:<http://www.bosai.go.jp>; 2016年1月27日版)にて無料配布されているプログラムツールセット"win32tool"内にあるプログラム"win2sac32"によって国際的な地震研究で用いられているファイル形式であるsac形式ファイルに変換した。

③ sac形式ファイルをJAMSTECの許氏より提供して頂いたMATLAB言語のプログラム"sac2waveJAMSTEC"を用いて一般的に普及している音声ファイル形式であるwave形式に変換した。このwave形式データを各分析用ソフトウェアに読み込み分析を行った(図6)。

Mcdonald *et al.* (1995)やIwase (2015)、Sugioka *et al.* (2015)から海底地震計には鯨

類の鳴音は 15-30Hz 付近の周波数帯で収録されることが指摘されている。そこで、北西太平洋鯨類捕獲調査が行われている期間である 9-10 月には大型鯨類の鳴音が収録されていると仮定して 2009 年の 9-10 月のデータを先行して出力し、15-30Hz 付近になんらかの収録がないか観察した。結果、15-39Hz 付近でスペクトルグラムに最も鮮明に音声が収録されていた OBS2 のハイドロフォンのデータを使用することとした。

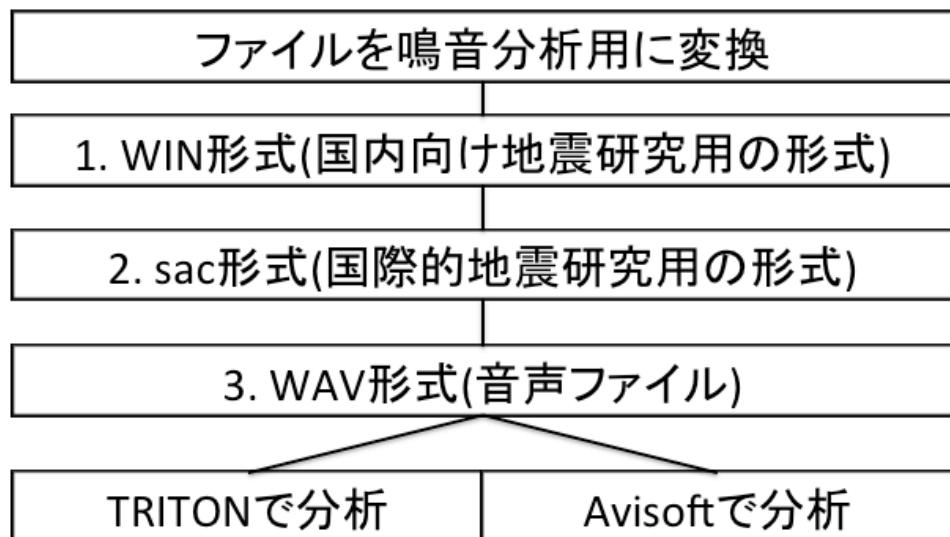


図 6 海底地震観測システムファイル形式変換手順模式図 元のデータ形式である WIN 形式を sac 形式、WAV 形式の順に変換し、分析を行った。

3.2. 収録された鳴音の抽出

収録された鳴音の抽出には 2 種類のソフトウェアを使用した。米 SCRIPPS Whale Acoustic Lab が無料配布している鯨類鳴音分析用ソフトウェア"TRITON"と Avisoft bioacoustic 社が販売している生物音分析用ソフトウェア"Avisoft-SASlab"である。それぞれ特徴があり、"TRITON"は年から月単位の長時間にわたるデータを読み込みスペクトルグラムとして可視化することが可能で、季節的変動や日周変動の分析に向いている。一方で"Avisoft-SASlab"は 24h 分程度のデータしか読み込むことはできないが、鳴音から鯨種を特定する上で重要な周波数帯、発声の持続時間、休符間隔 (Thompson, 1992; McDonald *et al.*, 1995) を自動的に検出して数値化する機能が備わっている。各ソフトウェアの設定は Sugioka *et al.* (2015)に準拠して、"TRITON"は FFT レンジを 100 ポイント、窓関数は hamming window でオーバーラップは 0%。"Avisoft-SASlab"では FFT レンジを 512 ポイント、窓関数は hamming window でオーバーラップは 85.7%、鳴音の自動検出機能の固定時間域は 20.0ms、閾値は-4dB で分析した。

抽出作業はまずノイズとする収録音を事前に決めておき、それらを除外していく方法で行った (図 7)。まず、釧路沖海底地震観測システムには機材由来のノイズが 2 種類存在していた。1 つは 30 分毎に定期的に収録される 1s 程度の音でこれは観測システムの先端に位置する先端観測装置の駆動音である。もう 1 つは 5Hz 以下が常に他の周波数帯より高い音圧レベルを示している箇所、これも機材の収録限界値に近いことによる機材由来のノイズである。次に超低周波から突き上げるように収録されている音声は地震波である。海底地震観測システムは本来この地震波を観測するための機材であるが、本研究ではノイズとして除外した。

最後に大型鯨類の生物学的特性から見て大型鯨類とは考えづらい収録音を除外した。これには半日以上に渡って途切れることなく収録され続けている音声や10Hz以下 の超低周波の収録音が該当する。前者は大型鯨類が哺乳類であるため、息継ぎのために鳴音には必ず休符が生まれるためである (Watkins *et al.*, 1987)。後者は一般的にこの周波数帯で鳴音を発する大型鯨類はおらず (McDonald *et al.*, 1995)、収録した音声だけでは鳴音であると言えないためである。

具体的手順は"TRITON"で日単位のデータを読み込み、1日1日ノイズ以外に残る収録音があるかどうか調べてゆく、収録音があれば"Avisoft-SASlab"に切り替えてその収録音の周波数、持続時間、休符間隔を計測する。この際、ノイズに設定した収録音が同時に検出されてしまった場合、各種フィルターでのカットやイレイザーモードを使用して完全に削除する。こうして抽出した鳴音から鯨種の同定に必要な鳴音の周波数、持続時間、休符間隔を検出して数値化する。数値化した鳴音の平均値と先行研究の各鯨種の鳴音特性と比較して最も近かったものを出現鯨種とした。比較対象鯨種は2009-2013年までの鯨類捕獲調査のクルーズレポートで報告された大型ヒゲクジラ類であるミンククジラ、ザトウクジラ *Megaptera novaeangliae*、イワシクジラ *B. borealis*、ナガスクジラ *B. physalus*、に鳴音の周波数が低く海底地震計に収録され易いシロナガスクジラ *B. musculus* (McDonald *et al.*, 1995)を加えた5種である。鳴音の類型を参照したデータソースはWatkins *et al.* (1987)、Mellinger *et al.* (2000)、Stafford *et al.* (2001)、Rankin and Barlow. (2007)、Stimpert *et al.* (2010)である。

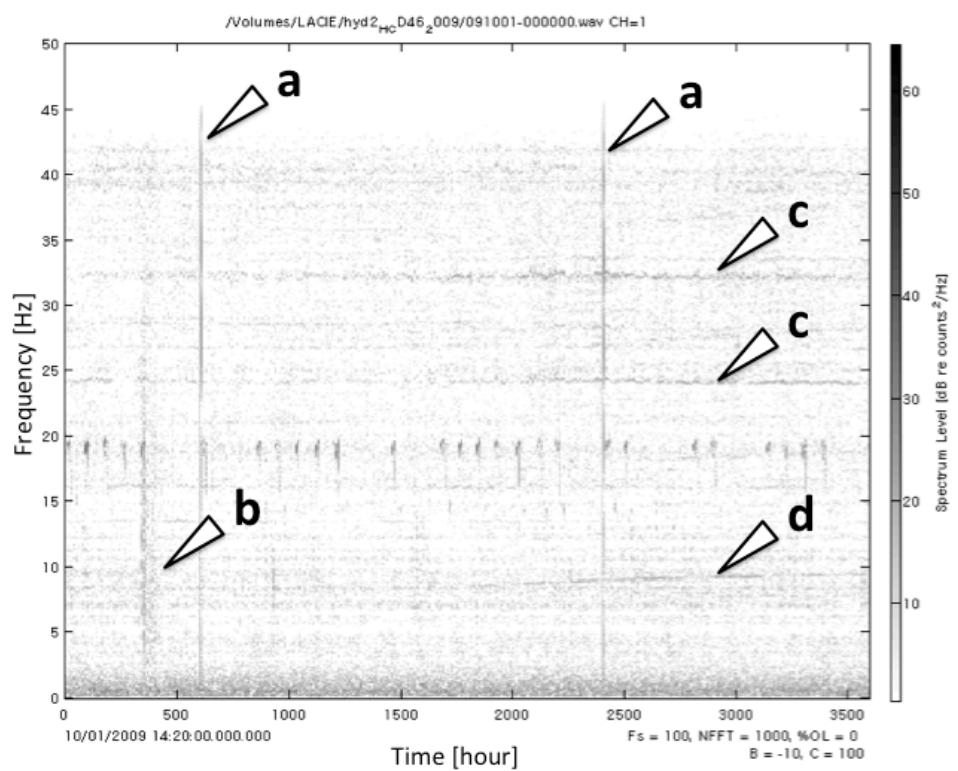


図 7 “TRITON”のスペクトルグラムに表示された各種ノイズ。Aは先端観測装置の駆動音 bは地震波 cとdがその他の非生物音である。

3.3. 鈎路目視発見記録上の出現と収録鳴音データとの比較

抽出した鳴音から鯨種を同定した後、その鯨種の JARPN II による目視発見記録の発見日、発見時刻と照合した。

作業手順は”TRITON”で目視発見日のデータを読み込み、1 時間ごとに徐々に時間を進めてスペクトルグラムを観察し、鳴音が収録されているか探った。鳴音が収録されていれば、開始時刻から終了時刻を記録し、これを 1 フレーズとして目視発見記録の発見時刻と比較した。また、目視された鯨類が鳴音を発している場合を考慮した。地震計の設置されている地点の海表から鈎路港までの距離 131.6km で音が伝播する時間が約 1 時間 30 分であったことから、余裕を加味して目視した前後 2 時間以内に鳴音が収録されているかどうかを探った。

3.4. 鳴音特性の分析

収録された鳴音はその特性から同一種のものであったが、同一種の鳴音でも数パターンの明確に分類できる鳴音が存在した。そこで、先行研究を参考に収録された鳴音を数パターンに分類し、季節ごとの存在比と休符間隔の違いを比較した。

ザトウクジラの”ソング”と呼称される鳴音には季節から年経過による鳴音パターンの変化が認められる (前田, 2002)。また、”ソング”的変遷を追ってゆくことが他の海域と鳴音を比較した際、海域間の交流に関するひとつの指標となるとされている (前田, 2002)。収録された鳴音がナガスクジラの”ソング”的な交流による伝播があるかは不明であるが、今後、他海域と比較する上でも重要な項目である。

“Avisoft-SASlab”にて数値化した鳴音を特徴ごとのパターンに分類し、その数値を用いてそれぞれの存在比や休符間隔の違いを計算した。

4. 結果

4.1. 収録された鳴音と鯨種

2009 年に収録された鯨類の鳴音と思われる音声 ($n=8,819$)は、平均して発声持続時間が 1.1 ± 0.8 s、休符間隔が 25.6 ± 9.2 s、そしてピーク周波数が 17.9 ± 1.3 Hz の範囲となる特徴が認められた。

鳴音から鯨類を判断する上で重要なのが周波数、持続時間、休符間隔である (Thompson, 1992)。特に実際に目視していない場合周波数が最初の判断材料となる (McDonald *et al.*, 1995)。

そこで、まず周波数に注目した。収録された鳴音のピーク周波数は 17.9 ± 1.3 Hz である。最初に候補から外れるのはピーク周波数が 200-400Hz であるミンククジラ (Mellinger *et al.*, 2000) と 329Hz のザトウクジラ (Stimpert *et al.*, 2010) である。収録された鳴音から 200Hz 以上周波数が大きく離れており、かつ今回使用した釧路沖海底地震観測システムの観測限界である 40Hz を超えているため、地震計には収録されていないと考えられる。次にイワシクジラだが、こちらもタイプ 1 とされる鳴音は 44-100Hz、タイプ 2 が 21-39Hz となっており (Rankin and Barlow, 2007)、一致しているとは言い難い。最後にナガスクジラとシロナガスクジラと比較すると、ナガスクジラが 17-25Hz (Watkins *et al.*, 1987)、シロナガスクジラが 16-20Hz (Stafford *et al.*, 2001) でどちらもほぼ同じ周波数帯であり、下限を見るとシロナガスクジラが近い可能性もある。

周波数の次に注目すべき持続時間と休符間隔とも比較した。収録された鳴音の持続時間は 1.1 ± 0.8 s、休符間隔が 25.6 ± 9.2 である。Watkins *et al.* (1987) のナガスクジラの持続時間は 0.7-1s、休符間隔が 7-26s、Stafford *et al.* (2001) のシロナガ

スクジラの持続時間は"A-sound"が 18.2s、"B-sound"が 17.5s、休符間隔は 25.5-30.6s である。休符間隔はナガスクジラの上限値に近いが、どちらも範囲内に収まった。持続時間に関してはナガスクジラより 0.1s 長く、シロナガスクジラの"A-sound"より 17.1s、"B-sound"より 16.3s 短い結果となった。結果、どちらも持続時間に関しては完全には合致しなかった。しかし、シロナガスクジラの鳴音とするには収録された鳴音の持続時間は乖離が大きすぎることと、シロナガスクジラの鳴音には A-sound と B-sound の 2 種類の特徴の音の組み合せが存在するが、本研究のデータには認められなかったことから、収録された鳴音はナガスクジラの鳴音だと推測した。さらに Watkins *et al.* (1987)での通称"20Hz パルス"であると明らかになった。

表 2 収録された音声と各鯨類の鳴音の特徴の比較 鳴音の持続時間はシロナガスクジラを除いてどの鯨種も短い。収録された音声に最も近いピーク周波数を持つ鯨種はナガスクジラとシロナガスクジラとなった。

収録された 音声 (n=8819)	ナガスクジラ (Watkins <i>et al.</i> , 1987)	シロナガスクジラ (Stafford <i>et al.</i> , 2001)	イワシクジラ (Rankin and Barlow, 2007)	ザトウクジラ (Stimpert <i>et al.</i> , 2010)	ミンククジラ (Mellinger <i>et al.</i> , 2000)
		A-sound	B-sound		
持続時間 [s]	1.1±0.8	0.7-1	18.2	17.5	1.2 1未満 0.04-0.06
休符間隔 [s]	25.6±9.2	7-26	25.6-30.6	No data	No data No data
ピーク周波数 [Hz]	17.9±1.3	18-23	15.3	18 44-100 21-39	329 200-400

4.2. 釧路目視発見記録上の出現に対して鳴音の出現

結果として 2009 年の JARPN II にてナガスクジラが目視された日の内、全ての日

で鳴音が収録されていた（表 3）。その内ナガスクジラの発見があつてから前後 2 時間以内に鳴音が収録されていた件数は 20 件中 10 件あつた。発見後 2 時間以内に鳴音が収録されたのは 8 件であった。ナガスクジラの発見回数が最も多かったのは 9 月 26 日で収録されたフレーズ数は 4 フレーズだった。収録されたフレーズが最も多かったのは 10/1 でフレーズ数は 11 フレーズで、この日の目視発見は 1 回であった。10/1 の様にフレーズ数が多いからといって目視でのナガスクジラの発見が多くなるといったことはなかつた。収録されたフレーズ数が多い方が発見から前後 2 時間以内での鳴音の収録は多かつたが 10/16 の 12:24 の発見の様に収録されたフレーズ数が少数でも鳴音が前後 2 時間以内に収録されている例が存在した。また、2009 年の JARPN II 調査期間である 9/5～10/17 の 42 日間でナガスクジラの目視発見は無いが鳴音の収録があつた日が 19 あつた。

表 3 JARPN II のナガスクジラ目視発見日時と海底ハイドロフォンの鳴音の有無の比較 (2009) 全てのナガスクジラ目視発見日で鳴音の収録が確認できた。さらに、発見前後 2 時間以内に収録が確認された発見は発見数の合計の半分にあたる 10 件であった。

出現日	出現時刻	1 日の鳴音の出現と フレーズ回数	2 時間以内の 鳴音の出現	詳細 (#=フレーズ No.)
9/18	10:19	2 フレーズ	なし	
	10:00		あり	#2-1, 11:03-12:40
	10:33		あり	#2-1, 11:03-12:40
				#2-1, 11:03-12:40
	11:57		あり	#2-2, 13:00-13:12
				#2-3, 13:49-13:55
				#2-1, 11:03-12:40
	13:31	4 フレーズ	あり	#2-2, 13:00-13:12
				#2-3, 13:49-13:55
				#4, 14:22-16:47
9/26	14:59			#2-2, 13:00-13:12
				#2-3, 13:49-13:55
				#2-4, 14:22-16:47
	8:34			
9/27	11:50	1 フレーズ	なし	
	12:27			
	11:19		あり	#4-4, 9:00-10:40
9/30				#4-5, 11:05-22:12
	12:10	6 フレーズ	あり	#4-4, 9:00-10:40
10/1				#4-5, 11:05-22:12
	7:41	11 フレーズ	あり	#5-4, 6:00-6:38
	9:44		なし	
				#5-5, 7:10-7:58
10/12	10:10	2 フレーズ	なし	
	10:15		なし	
10/15	7:16	4 フレーズ	なし	

表 3 の続き

出現日	出現時刻	1 日の鳴音の出現と フレーズ回数	2 時間以内の 鳴音の出現	詳細 (#=フレーズ No.)
10/16	12:24		あり	#8-1, 9:08-10:30
	13:46	2 フレーズ	なし	
	14:48		なし	
10/17	12:08	4 フレーズ	あり	#9-2, 11:20-13:34

4.3. ナガスクジラ鳴音の詳細分析

Watkins *et al.* (1987)で定義されたナガスクジラの"20Hz パルス"は、フレーズ内での休符間隔の変化やピーク周波数、バンドワイズの差異によって、より詳細に分類できることが指摘されている (Watkins *et al.*, 1987; Thompson, 1992; Clark, 2002)。本研究のナガスクジラ鳴音でも 3 パターンの分類が可能であった (表 4)。

鳴音パターンは 3 パターンであり、第 1 のパターンは典型的な"20Hz パルス"とも言え、持続時間は 0.6 ± 0.2 s、休符間隔は 18.5 ± 13.9 s、ピーク周波数は 19.4 ± 2.9 Hz、バンドワイズは 5.3 ± 0.5 で、1s 以下の持続時間、7-26s の休符間隔、20Hz 付近のピーク周波数と記載されている通りに条件 (Watkins *et al.*, 1987)を満たしている。第 2 のパターンは明確に短い休符と長い休符を順に繰り返すパターンで持続時間は 0.6 ± 0.3 s、休符間隔は片方が 19.3 ± 2.4 s、もう片方が 27.4 ± 2.6 s で、ピーク周波数は 16.5 ± 0.6 Hz、バンドワイズは 3.7 ± 0.9 となった。短い休符と長い休符のどちらが発声時に先にくるかは無作為だが、この鳴音パターンは必ず交互に短い休符と長い休符を繰り返した。この 2 種は Watkins *et al.* (1987)と Thompson. (1992)の鳴音パターンに類似していた。そして、新たに先行研究には見られなかったパターンがあり、持続時間は 2.0 ± 0.7 s、休符間隔は 38.5 ± 44.0 s

にピーク周波数 18.2 ± 0.6 Hz、バンドワイズは 1.3 ± 0.5 Hz であった。(表 4)

名称は第 1 のパターンは文献によって名称が統一されていなかったので、前後の鳴音同士に関係が無いことから"Single"とした(図 8)。第 2 のパターンは Watkins *et al.* (1987)と Thompson (1992)に倣い"Doublet"とした(図 9)。さらに "Doublet"の 2 種の休符間隔は、短い時間を"Primary"、長い時間を"Secondary"とした。そして、新たに分類した鳴音は"Undefined"と名付けた(図 10)。

"Undefined"の特徴は典型的な"20Hz パルス"のパターンである"Single"に対して持続時間、休符間隔が長く、バンドワイズが狭いことである。スペクトルグラム上でも形状からその特徴がよくわかる(図 8、図 10)。

表 4 収録されたナガスクジラ鳴音の詳細分類 (2009) 詳細分類を行うと "Undefined"の特徴が際立つ。また、"Doublet"のピーク周波数が低いことも確認できる。

	"Single" (n=4182)	"Doublet" (n=3549)	"Undefined" (n=1088)
持続時間 [s]	0.6 ± 0.2	0.6 ± 0.3	2.0 ± 1.7
休符間隔 [s]	18.5 ± 13.9	"Primary" (n=1412) 19.3 ± 2.4 "Secondary" (n=1562) 27.4 ± 2.6	38.5 ± 44.0
ピーク周波数 [Hz]	18.4 ± 2.9	16.5 ± 0.6	18.9 ± 0.6
バンドワイズ [Hz]	5.3 ± 0.5	3.7 ± 0.9	1.3 ± 0.5

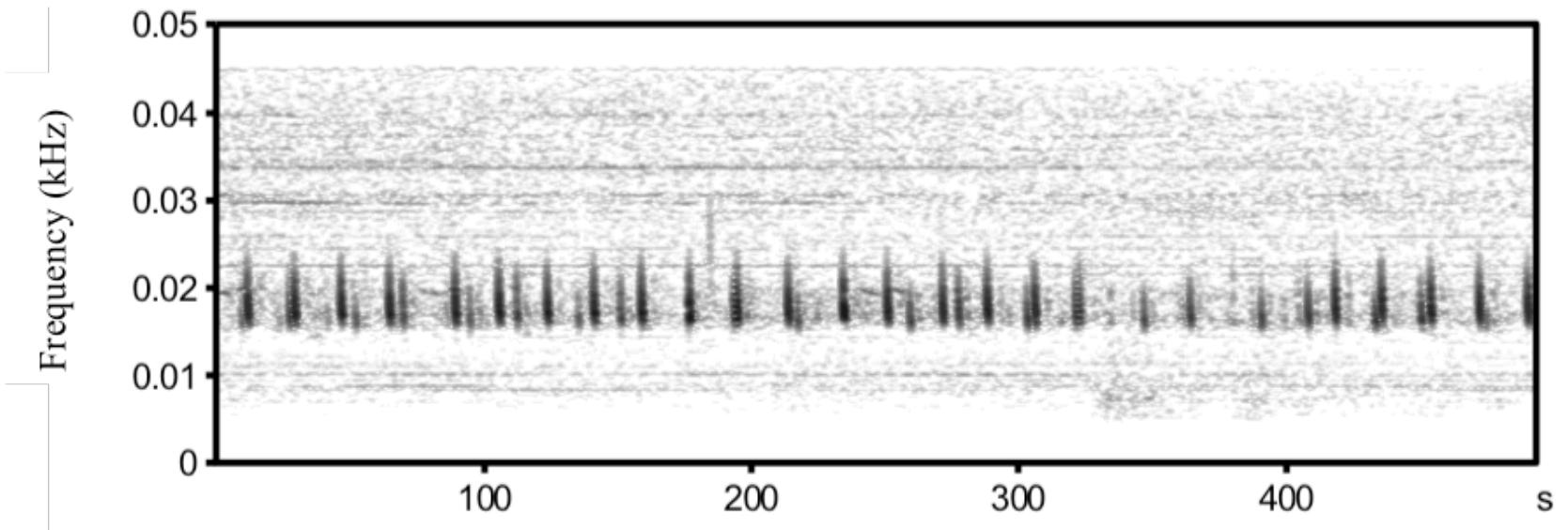


図 8 鳴音パターン"Single" 典型的な"20Hz パルス"の特徴を持っている。パルス状の鳴音がほぼ規則正しく並んでおり、20Hz付近で最もエネルギーが大きくなっている。本研究の"Single"では鳴音の密度が非常に濃くなっているものも幾つか見られた。

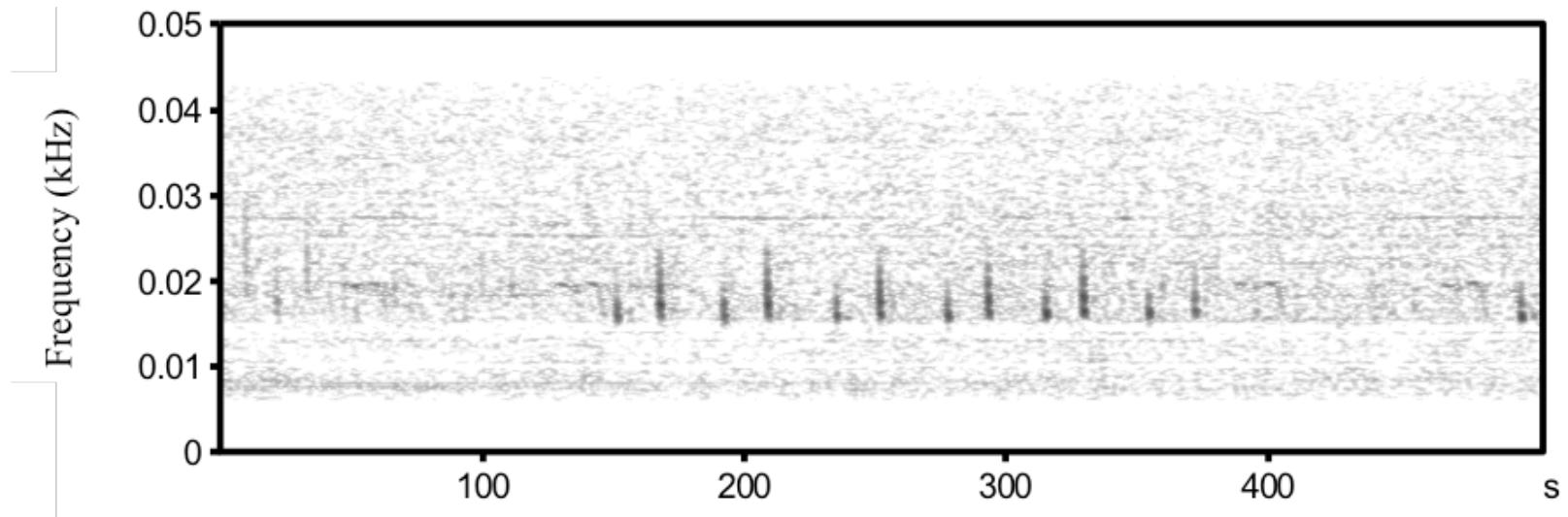


図 9 鳴音パターン"Doublet" "Single"の次に典型的な"20Hz パルス"とされている鳴音。二種類の休符間隔を交互に繰り返す。本研究で収録されたものはピーク周波数が低かった。他にスペクトルグラム上では"Single"より密度が低く出現することが多い

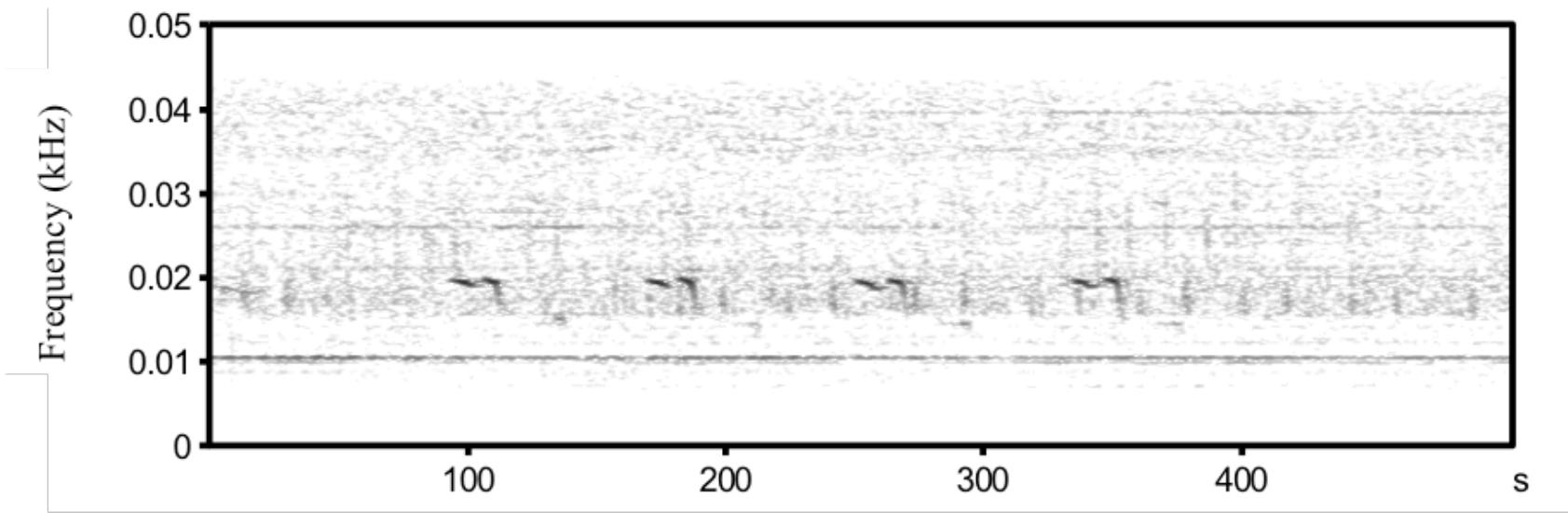


図 10 鳴音パターン "Undefined" 本研究で初めて分類された鳴音パターン。他の"20Hz パルス"と比較して発声持続時間が長く、スペクトルグラム上では帯状に広がっている。

4.4. 鳴音パターンの季節的变化

各鳴音パターンはパターンによって差があるものの季節的に变化していた。本研究では全体での割合と休符間隔の時間変化を求めた。

まず、鳴音全体は"Avisoft-SASlab"で設定した閾値では1-2月、9-10月の冬期と秋期で検出され、10月が最も多く、全体の45%を占めた(表5)。

個別の割合としては"Single"が1-2月、9-10月を通した場合、2月に全体の26%に減少したもの最も割合が多く通年全体の半数近くの割合であった。次に"Doublet"は全体の割合は"Single"に次ぐ高さであった。2月に大きく割合が増え全体の74%に達し、一転して9月は7%まで落ち込んだ。反対に"Undefined"は全体の割合は低く、2月は0%であったが、9月は48%まで割合を伸ばした。この事から"Doublet"と"Undefined"には負の相関性を見ることができた。(表5, 図11)

そこで、両者をt検定($\alpha=0.01$)でp値を求めた。結果、p値は0.187932となり、"Doublet"と"Undefined"間の負の相関に関する有意差は見られなかった(t-test, $p>0.01$)。

各パターンの鳴音の平均休符間隔の季節的变化も認められた。まず、"Single"は 17.7 ± 13.3 sの冬期に対して、 18.9 ± 14.2 sと秋期の休符間隔が長かった。"Doublet"は秋期に対して冬期が長く、より顕著に变化していた。"Primary"が冬期 21.8 ± 9.3 sから 18.6 ± 12.5 s、"Secondary"は 27.5 ± 13.1 sから 23.7 ± 11.2 sとなっている。"Undefined"は"Doublet"と同様、秋期に対して冬期の休符間隔が長く 45.6 ± 40.18 sから 37.7 ± 44.4 sに变化した(表5)。

統計的有意差を確かめるため、いずれも冬期秋期間でウェルチのt検定($\alpha=0.01$)

を行った。"Single"の p 値は 0.007387 で冬期 (17.7 ± 13.3 s)に対して秋期 (18.9 ± 14.2 s)が有意に長いことが示された (t -test, $p < 0.01$)。"Doublet"では"Primary"が p 値 $6.31537e^{-9}$ で冬期 (21.8 ± 9.3 s)が秋期 (18.6 ± 12.5 s)に対して有意に長いこと (t -test, $p < 0.01$)、"Secondary"も p 値 $3.68094e^{-10}$ で冬期 (27.5 ± 13.1 s)が秋期 (23.7 ± 11.2 s)に対して有意に長いことが示された (t -test, $p < 0.01$)。一方で"Undefined"は p 値が 0.071595 であり冬期 (45.6 ± 40.18 s)と秋期 (37.7 ± 44.4 s)に有意差は無かった (t -test, $p > 0.01$)。

表 5 出現ピーク月の各鳴音組成の月変化 (2009) 単純な数では"Undefined"以外 10 月に集中して収録されている。割合的には"Single"は安定して収録されており、他の 2 パターンは増減が激しい。

鳴音タイプ	1月	2月	9月	10月
Single	1080 (59%)	416 (26%)	652 (45%)	2034 (52%)
Doublet	628 (35%)	1182 (74%)	100 (7%)	1639 (41%)
Undefined	112 (6%)	0 (0%)	712 (48%)	264 (7%)
合計	1820	1598	1464	3937

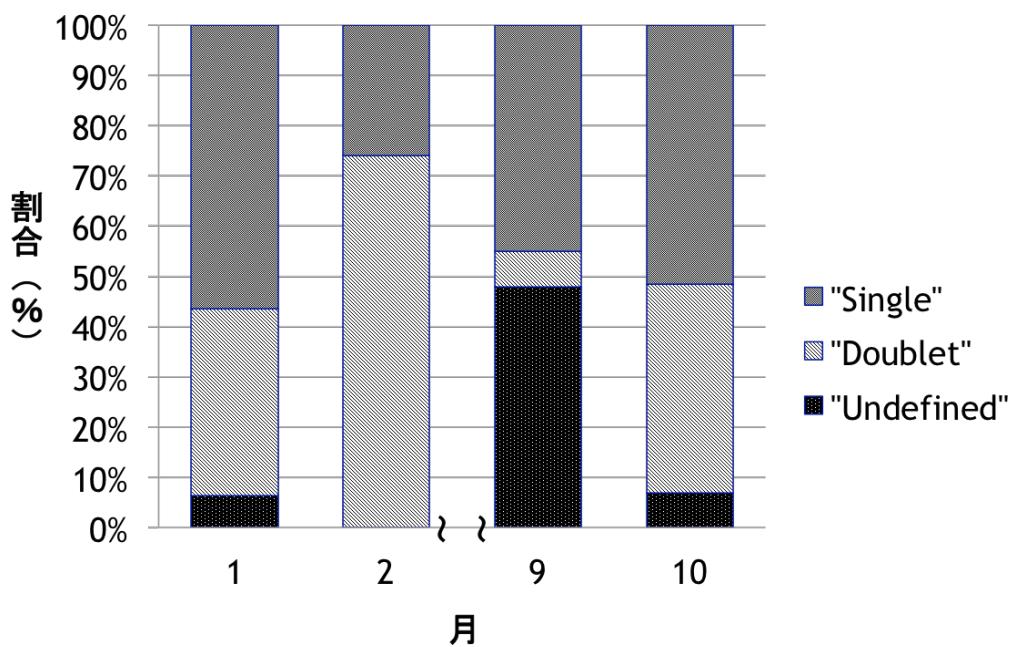


図 11 出現ピーク月の各鳴音組成の月別変化グラフ (2009) "Single"は数の増減があるが、比較的割合は安定している。"Doublet"と"Undefined"も他月の割合はあまり変化していないが、9月は大きく変動している。

表 6 各鳴音の平均休符間隔の時期による違い (2009) 全体的に変化しているが、"Doublet"は顕著で"Secondary"は冬期の"Primary"と同等まで短くなっている。

鳴音タイプ	冬期 (1-2 月)	秋期 (9-10 月)
"Single"	$17.7 \pm 13.3\text{s}$	$18.9 \pm 14.2\text{s}$
"Doublet" ("Primary")	$21.8 \pm 9.3\text{s}$	$18.6 \pm 12.5\text{s}$
"Doublet" ("Secondary")	$27.5 \pm 13.1\text{s}$	$23.7 \pm 11.2\text{s}$
"Undefined"	$45.6 \pm 40.18\text{s}$	$37.7 \pm 44.4\text{s}$

5. 考察

5.1. 鳴音と鯨類の存在の有無

今回、釧路沖海底地震観測システムを分析した結果、収録された鯨類の鳴音はナガスクジラであることが示された。ナガスクジラの鳴音は 20Hz 付近にピーク周波数を持つことが多く、発声持続時間が短いため実際はダウンスイープ音だが、パルス音の様な形状でスペクトルグラム上に現れるので"20hz パルス"と呼ばれる (Watkins *et al.*, 1987)。

また、2009 年の釧路沖海底ハイドロフォンデータと JARPN II のクルーズレポートのナガスクジラの目視発見記録とを比較した。全てのナガスクジラ発見日で鳴音が収録されていた。また、全発見のうち半数で発見前後 2 時間以内に鳴音の収録があったことがわかった。JARPN II 側ではナガスクジラに対して鳴音の録音等は行っていない(Kishiro *et al.*, 2009)ため、発見したナガスクジラが発声していたかは不明であるが、鳴音の収録時間帯には釧路沖海域にナガスクジラが存在している可能性が高い。

鳴音がナガスクジラの存在を示していると仮定すると、今回鳴音を抽出できた 1 ~2 月、9~10 月にナガスクジラは釧路沖海域に存在することになる。9~10 月にこの海域に来遊する大型鯨類は、摂餌海域から繁殖海域に南下する途中の個体群だと考えられる。一方で 1~2 月は繁殖期の初期から中期にあたる。外洋性であるナガスクジラが釧路沖海域のような寒冷地域を繁殖海域とすることはないとしたため、これら 1-2 月のピーク時期の個体群は摂餌海域周辺に残存している個体群であると考察した。

Sirovic *et al.* (2009)は南極海周辺のナガスクジラには完全に摂餌海域から移動せ

ず、周辺海域に留まっている個体群の存在が示唆されている。一方、1~2月以降9~10月になるまで本研究では鳴音を認められなかった。つまり、3~5月にかけて北上しているナガスクジラが発していると考えられる鳴音は収録されていなかつた。鳴音が存在しないからといってナガスクジラが海域に存在しないことにはならないが、今後、様々な角度からより詳細に検証する必要がある。

5.2. 鳴音パターン"Undefined"とは

収録された"20Hz パルス"パターンの中で、"Undefined"は先行研究 (Watkins *et al.*, 1987; Thompson, 1992; Clark *et al.*, 2002)の鳴音の類型に当てはまらなかった。確かに"Undefined"はピーク周波数以外の持続時間、休符間隔が Watkins *et al.* (1987)の"20Hz パルス"と比較して長い。本研究ではナガスクジラの鳴音であると定義したが、今後も慎重に検討していく必要がある。この音が船舶等の人工的な音由来の可能性もあるが、船舶の機関音やその他は生物音よりさらにピーク周波数が一定である (鄭 *et al.*, 1994)。一方、"Undefined"のピーク周波数は毎回変化している。また、漁港に出入りしている船舶ならば、ある程度同じ時間帯に航行しているため、収録時間に一定の偏りが出るはずであるが、本研究の"Undefined"のデータには収録時間偏りは現れなかった。"Undefined"が他の鯨種の鳴音だとすると、可能性が最も高いものはシロナガスクジラの鳴音である。

シロナガスクジラはナガスクジラとほぼ同じ周波数帯域で発声する (Watkins *et al.*, 1987; Stafford *et al.*, 2001)。そして、ナガスクジラの鳴音パターンは総称して"20hz パルス"と呼ばれるようにパルス音のような持続時間が短い特徴を示す。スペクトルグラム上では細い縦棒の様な形状で現れるが (図 12-I)、"Undefined"少し横

に広がった帯の様な形状で記録されている(図 12-II)。この特徴に Stafford *et al.*, (2001)のシロナガスクジラの鳴音スペクトルグラム(図 12-III)は一見類似しているが、発声持続時間が大きく違う。さらに Stafford *et al.* (2001)には北西太平洋産のシロナガスクジラの鳴音の発声持続時間は北東太平洋より長くなるとしている。

"Undefined"が本研究の推測通りナガスクジラの鳴音である場合、なぜ他の鳴音パターンと持続時間や休符間隔、バンドワイズが異なっているのか今後もさらに検証する必要がある。Watkins *et al.* (1987)や Delarue *et al.* (2009)ではナガスクジラの"20Hz パルス"はザトウクジラの"ソング"の様な役割があると考察していた。ザトウクジラの"ソング"が"20Hz パルス"に対応する場合、"Undefined"はどのような役割の鳴音になるか推測した場合、"社会的音声"という鳴音が存在する(Stimpert *et al.*, 2010)。

"社会的音声"とはザトウクジラが共同で摂餌をするなど複数頭で行動している際に録音された鳴音である(Stimpert *et al.*, 2010)。ナガスクジラの"Undefined"にこの"社会的音声"の役割がある場合、摂餌期の延長である9月に最も多くの"Undefined"が収録されたことと関係がある可能性がある。しかし、ナガスクジラは基本的単独で行動している(加藤, 1993)。Stimpert (2010)はザトウクジラが"社会的音声"によって摂餌時に協力しているとしているが、単独で生活するナガスクジラが摂餌時に共同摂餌するという行動をとるか確証はない。ただ、大型鯨類の鳴音が繁殖行動や摂餌のためだけの機能ではないと考えられ、"Undefined"も違った機能を持っている可能性がある。

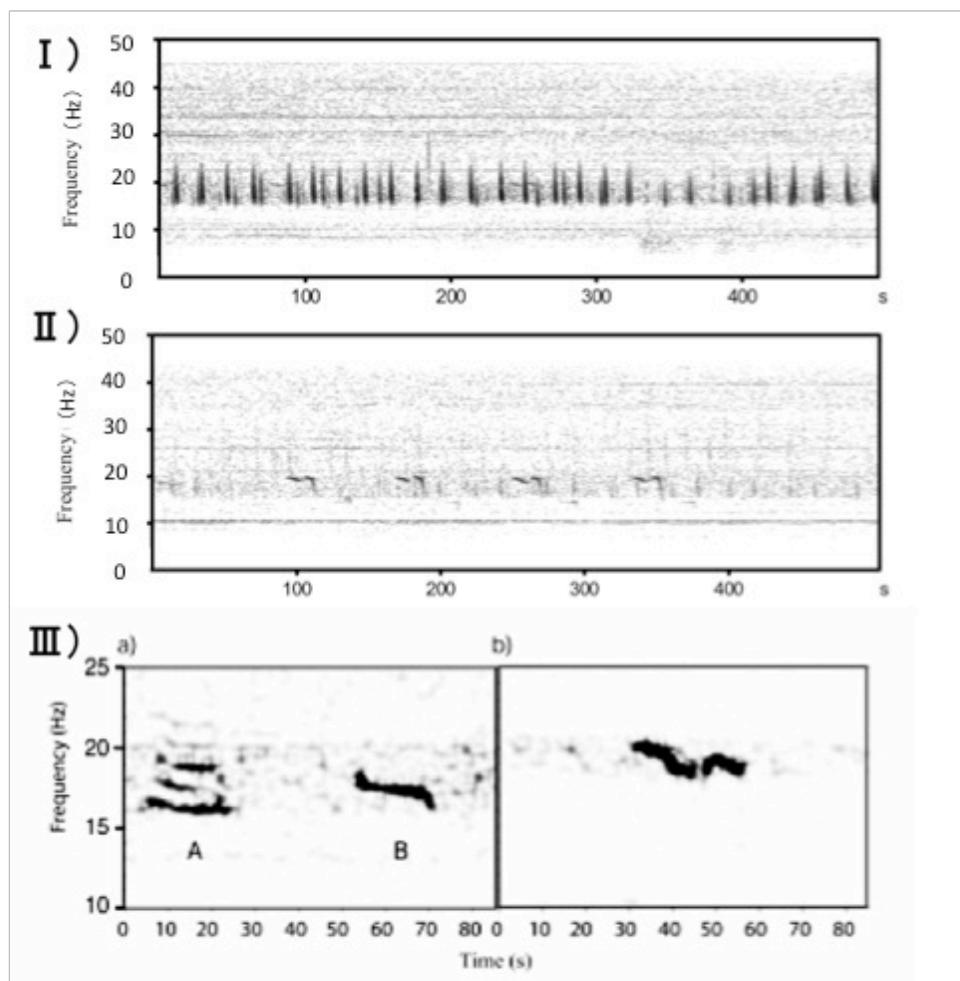


図 12 I)は本研究の"Single"。 II)は本研究の"Undefined"。 III)はシロナガスクジラの鳴音スペクトルグラム (Stafford *et al.*, (2001)より引用)。 a)は北東太平洋の"A-sound"と"B-sound"、 b)が北西太平洋の鳴音である。 b)は一見、本研究の "Undefined"に類似しているが、 "Undefined"の平均持続時間は $2.0 \pm 1.7\text{s}$ である。

5.3. 鳴音パターン"Doublet"の本研究独特の特徴

"Undefined"ほど顕著ではないものの本研究の"Doublet"にも独自の特徴が存在した。"Doublet"はよく見られる"20hz パルス"のパターンである (Watkins *et al.*, 1987; Thompson, 1992; Clark *et al.*, 2002)。鳴音間の休符間隔が 2 種類存在し、交互にそれを繰り返す (Watkins *et al.*, 1987)。他の"20Hz パルス"同様、体格に優れた成熟していると思われるオス個体が発声し、その機能はザトウクジラの"ソング"と同様であることが考察されているが不明である (Watkins *et al.*, 1987; Delarue *et al.*, 2009)。本研究の"Doublet"も休符間隔の短い"Primary"と長い"Secondary"が交互に記録されており、連続で"Primary"や"Secondary"続くということはなかった。

本研究の"Doublet"の特徴は 2 箇所存在する。まず第 1 にピーク周波数が 16.5±0.6Hz 低いことである。"20Hz パルス"は名称の通り多くのピーク周波数が 20Hz 付近に存在するパルス音に近い音声であることからきている (Watkins *et al.*, 1987)。Watkins *et al.* (1987)など先行研究にも個々のデータでは平均を下回る周波数で記録された"20hz パルス"の例も存在するが、本研究の"Doublet"は平均値が 20Hz を下回る結果となった。この原因に関して Thompson, (1992) や Clark *et al.* (2002) の記述と比較すると釧路沖周辺のナガスクジラの地域的特性ではないかと考えた。先行研究でナガスクジラの鳴音が収録された地域はカリフォルニア湾周辺や地中海のリグリア海など釧路沖のナガスクジラとは交流が無いと推測される系群のものである。さらに、休符間隔が基準になってしまい、Clark *et al.* (2002) では"Doublet"は現れず、本研究で言う "Single" と不規則に "Back beat" と言う別の特性の音が地域的特性として挿まれると記載されている。また、ザトウクジラやシロナガスクジラでも海域の違いによる鳴音の差異は報告されており (Stafford *et al.*, 2001; 西村, 2003)、本研

究の"Doublet"のピーク周波数が低周波であることも地域的な特質ではないかと考える。

第 2 に"Doublet"の休符間隔が冬期と秋期で変化したことである。本研究では "Single"、"Doublet"共に変化をしたが、"Single"の変化に対して"Doublet"は冬期が秋期よりも平均休符間隔が長くなるという逆の変化を起こし、その変化もより顕著だった。先行研究 (Watkins *et al.*, 1987; Srovic *et al.*, 2009) では、季節的変化を鳴音の検出数の視点から行っており、鳴音のパターンの変化を追ったものは無い。おそらくこれら先行研究の観測海域が繁殖海域に近い赤道周辺 (Watkins *et al.*, 1987) や摂餌海域である南極 (Srovic *et al.*, 2009) で行われた影響だと思われる。これらの海域ではごく少数の例外的な個体を除き、1 度のピークとなる時期を超えるとほとんどの個体が海域から移動してしまい。通年を通した鳴音のパターンの変遷を分析することは難しい。一方で本研究の対象海域である釧路海域では 1-2 月、9-10 月という 2 度の鳴音の出現ピークが現れた。これは本海域がナガスクジラの繁殖海域でもなく摂餌海域でもないことによる結果だと思われる。"Doublet"をはじめとした"20Hz パルス"はザトウクジラの"ソング"の役割があるとする研究が存在する (Watkins *et al.*, 1987; Delarue *et al.*, 2009)。収録時期の群組成が変化した可能性もあるが、"ソング"同様時間経過によって変遷した可能性もある。

6. 今後の課題

今後、より広範囲で大型鯨類の出現や移動を鳴音から推測するため、必要であるのは分析期間と地域を広げることである。本研究では主に 2009 年のデータについて詳しく分析を行ったが、釧路沖ケーブル式海底地震観測システムは 1999 年から稼働している。より多くの期間に渡って分析することによってより詳しい鯨類の出現傾向が見えてくる可能性がある。

そして今回、"AVIsoft-SASlab"の鳴音検出機能を使用する際に閾値を固定して分析を行った。しかし、その影響で、ピーク時期以外の一部の鳴音は抽出することができなかった。今後は閾値を再考する必要があるだろう。スペクトルグラム上では 3 月上旬と 8 月下旬、11-12 月に鳴音らしき音声を観認することができたのだが、閾値外だったため数値化することはできなかった。

また、具体的に数値化できなかった分析として"TRITON"の年間スペクトルグラムがある(図 13)。年間のスペクトルグラム上では音圧レベルの変化が見られ、本研究の鳴音検出数のピークであった 1-2 月と 9-10 月に上昇が見られた。この傾向は 2010-2013 年以降も見られ、今後分析方法を確立できればナガスクジラの来遊時期に関してより有力な情報となるだろう。

鳴音による種の同定に関してもまだ収録された鳴音と比較した先行研究の鳴音の類型が十分でなく、今後より多くの先行研究と比較してゆく必要がある。本研究で使用した海底地震観測システムの性能ならば本来収録されるべき鯨種が依然存在しており、それらの鯨種の鳴音を見落としている可能性や、今回ナガスクジラと定義した鳴音の中に混ざってしまっている可能性もある。今後、より多くの鳴音の類型と比較することによってこれらを改善することが可能になるだろう。

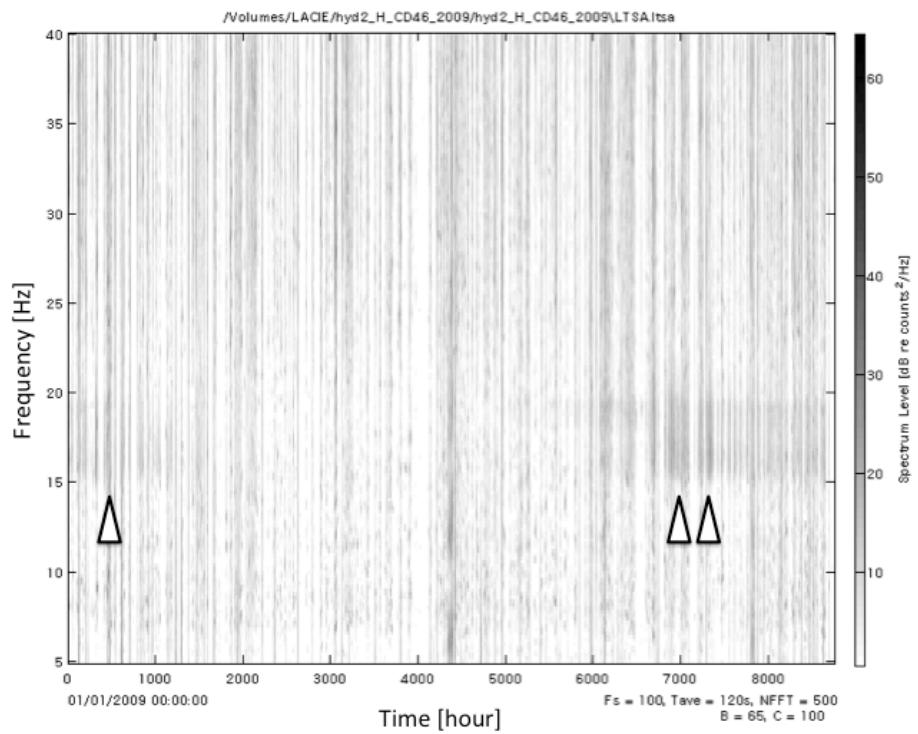


図 13 "TRITON"による年間の鳴音スペクトルグラム (2009) 時期的には1-2月と9-10月にあたる矢印の箇所で特に音圧レベルの上昇が観察できたが、具体的に数値化することはできなかった。2009年以降も同じ傾向が見られた。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、大変多くの皆様にご助力いただいたことを感謝致します。まず、主指導教員として誠に多くのことをご指導いただいただけでなく、その他の面でも多大なご協力を頂いた国立大学法人東京海洋大学鯨類学研究室 加藤秀弘教授。副指導教員として関わって頂いた鈴木直樹准教授。地震計に関して様々な助言を頂いた中東和夫准教授。所属研究室の教員として、先輩として文章執筆に大変ご助力頂いた中村玄助教。本研究を含む一連の海底地震計収録鳴音研究の発起人の一人であり、解析プログラムの提供、パソコン技術面でのご指導、海外研究者との情報交換等、非常に重要なご指導を頂いた JAMSTEC 地球深部探査センター 許正憲地球深部探査センター技術部部長。地震計及び地震解析の基礎知識のご指導、データの扱い方や取得交渉、先行して発表した論文の執筆等をご協力いただき、一連の研究に最初から関わって頂いた神戸大学 理学部 杉岡裕子准教授。本研究の原型となった初期の釧路沖の地震計データの分析を行い、当研究室内で初めて地震計データから生物の鳴音を確認した米原優太氏。音声に関する基礎知識および鯨類の鳴音に関する基礎知識についてのご指導を頂いた山田裕子研究員。改めて深く御礼申し上げます。また、地震計データ借用の許可をくださった JAMSTEC 横浜研究所 岩瀬良一上級技術研究員、高橋一郎研究員。データ内の鯨類鳴音の存在を指摘して頂き、解析プログラムの提供や技術的助言を頂いた米国 SCLIPPS 鯨類音響研究室 の皆様。至らぬばかりに沢山ご迷惑をおかけした鯨類学研究室の皆様。誠にありがとうございました。

最後に健康面で不安を抱える中、本当によく支えて下さった両親に感謝致します。

8. 引用文献

- Clark, W. C. 2002. Vocal activity of fin whales, *Balaenoptera physalus*, in the Ligurian Sea. *Marine Mammal Science*. 18(1): 286-295.
- Delarue, J., Todd, K. S., Parijs, M. V. S., and Lorio, D. L. 2009. Geographic variation in Northwest Atlantic fin whale (*Balaenoptera physalus*) song: Implications for stock structure assessment. *Journal of the Acoustical Society America*. 125(3): 1774-1782.
- Harada, S. 2003. The precision of recent seismic observation Observation and data processing by JMA. *Report of the Coordinating Committee for Earthquake Prediction*. 71: 780-782.
- Iwase, R. 2015. Fin whale vocalization observed with ocean bottom seismometers of cabled observatories off east Japan Pacific Ocean. *Japanese Journal of Applied Physics*. 54: 1-17.
- 加藤秀弘. 1993. わくわくウォッチング図鑑⑨クジラ・イルカ 『海の王者の生態と観察』. 学習研究. 東京. 140 pp.
- 加藤秀弘, 中村玄. 2012. 鯨類海産哺乳類学 [第二版]. 生物研究社. 東京. 118 pp.
- 木白俊哉. 2012. 西部北太平洋、特に日本沿岸におけるニタリクジラの資源生態学的研究. 東京海洋大学大学院博士後期課程学位論文. 260 pp.
- Kishiro, T., Inoue, S., Ishikawa, Y., Iwase, T., Kato, H., Kanaji, Y., Kitayama, K., Kumagai, S., Maeda, H., Minamikawa, S., Miyakawa, N., Nakamura, G., Shimizu, K., Tutumi, T., Yoshida, H., and Yonehara, Y. 2009. Cruise report of the second phase of the Japanese whale research program under special permit in the Western North

Pacific(JARPN II) in 2009 (part II) – Coastal component off Kushiro. submitted on 62th IWC/SC meeting on 62SC/O6. 1-13 pp.

Kishiro, T., Inoue, S., Ishida, K., Ito, N., Iwasaki, T., Kadowaki, I., Kanaji, Y., Kato, H., Kitayama, K., Kumagai, S., Maeda, H., Minamikawa, S., Miyagawa, N., Miyashita, T., Nakamura, G., Oikawa, H., Sato, H., Tashiro, S., Yasunaga, G., and Watanabe, H.

2011. Cruise report of the second phase of the Japanese whale research program under special permit in the Western North Pacific(JARPN II) in 2011 (part III) – Coastal component off Kushiro, autumn survey. submitted on 64th IWC/SC meeting on 64SC/O5. 1-10 pp.

Kishiro, T., Fukumoto, A., Furuyama, Y., Hara, T., Ito, N., Kadowaki, I., Kimura, Y., Kumagai, S., Kobayashi, N., Maeda, H., Myakawa, N., Miyashita, T., Mogeo, T., Nakamura, G., Nakai, K., Nakaji, Y., Ota, Y., Sakamoto, N., Suzuki, N., Takahashi, M., Tamaki, N., and Yoshida, H. 2013. Cruise report of the second phase of the Japanese whale research program under special permit in the Western North Pacific(JARPN II) in 2013 (part III) – Coastal component off Kushiro. submitted on 65th IWC/SC meeting on 65bSC/SP04. 1-13 pp.

前田英雅. 2002. 沖縄海域におけるザトウクジラの鳴音の音響特性に関する研究. 長崎大学大学院博士論文. 118 pp.

Mcdonald, A. M., Hildebrand, A. J., and Webb, C. S. 1995. Blue and fin whale observed on seafloor array in the Northeast Pacific. *Journal of the Acoustical Society America*. 98(2): 712-721.

- Mellinger, K. D., Carson, D. C., and Clark, W. C. 2000. Chracteristic of minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) pulse trains recorded near Puerto Rico. *Marine Mammal science*. 16(4): 739-756.
- 中原史生. 2002. イルカ・クジラ学 イルカとクジラの謎に挑む(村山司・中原史生・森恭一, 編著). pp. 13-33. 東海大学出版会. 神奈川.
- Rankin, S. and Barlow, J. 2007. Vocalizations of the sei whale *Balenoptera borealis* off the Hawaiian Islands. *The International Journal of Animal Sound and Recording*. 16: 137-146.
- 酒井治孝. 2003. 地球学入門 惑星地球と大気・海洋のシステム. 東海大学出版会. 神奈川. 290 pp.
- Sirovic, A., Hildebrand, A. J., and Webb, M. S. 2009. Blue and fin whale acoustic presence around Antarctica during 2003 and 2004. *Marine Mammal Science*. 25(1): 125-136.
- Stimpert, K. A., Au, W. L. W., Parks, E. S., Hurst, T. and Willey, N. D. 2010. Common humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) sound types for passive acoustic monitoring. *Journal of the Acoustical Society America*. 129(1): 476-482.
- Sugioka, H., Kato, H., Yamada, H., Kyo, M., and Yoshida, R. 2015. Detection and characterization of whale signals using seafloor cabled seismic networks offshore Japan. In OCEANS'15 MTS/IEEE Washington. 1-7 pp.
- 鄭龍晋, 藤枝繁, 松野保久, 山中有一. 1994. 漁船の海中への放射雑音. 日本水産学会. 61(4): 553-560.
- Thompson, O. P. 1992. 20Hz pulses and other vocalizations of fin whale *Balaenoptera*

physalus, in the Gulf of California, Mexico. *Journal of the Acoustical Society America*. 92(6): 3051-3057.

Watokins, A. W., Tyack, P., Moore, E. K., and Bird, E. J. 1987. The 20Hz signals of finback whale (*Balaenoptera physalus*), *Journal of the Acoustical Society America*. 82(6): 1901-1912.

Yoshida, H., Ishikawa, Y., Iwasaki, T., Kanaji, Y., Kitayama, K., Kishiro, T., Kumagai, S., Maeda, H., Minamikawa, S., Miyakawa, N., Miyashita, T., Nakamura, G., Ito, N., Iwasaki, T., Oikawa, H., Shimizu, K., Tabata, S., and Tutumi T. 2010. Cruise report of the second phase of the Japanese whale research program under special permit in the Western North Pacific(JARPN II) in 2010 (part III) – Coastal component off Kushiro. submitted on 63th IWC/SC meeting on 63SC/O4 IWC. 1-10 pp.

Yoshida, H., Ito, N., Inoue, S., Ishikawa, Y., Iwasaki, T., Kanaji, Y., Kishiro, T., Kitayama, K., Kumagai, S., Maeda, H., Minamikawa, S., Miyakawa, N., Miyashita, T., Nakamura, G., Oikawa, H., Shimizu, K., Tabata, S., Tutumi, T., and Yonehara, Y. 2012. Cruise report of the second phase of the Japanese whale research program under special permit in the Western North Pacific(JARPN II) in 2012 (part III) – Coastal component off Kushiro. submitted on 65ath IWC/SC meeting on 65bSC/O06. 1-10 pp.