

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「海洋生物多様性および生態系の保全・  
再生に資する基盤技術の創出」  
研究課題「海洋生物の遠隔的種判別技術の開発」

## 研究終了報告書

研究期間 平成23年12月～平成29年3月

研究代表者：赤松 友成  
(国立研究開発法人水産研究・教育機構  
中央水産研究所、主任研究員)

## § 1 研究実施の概要

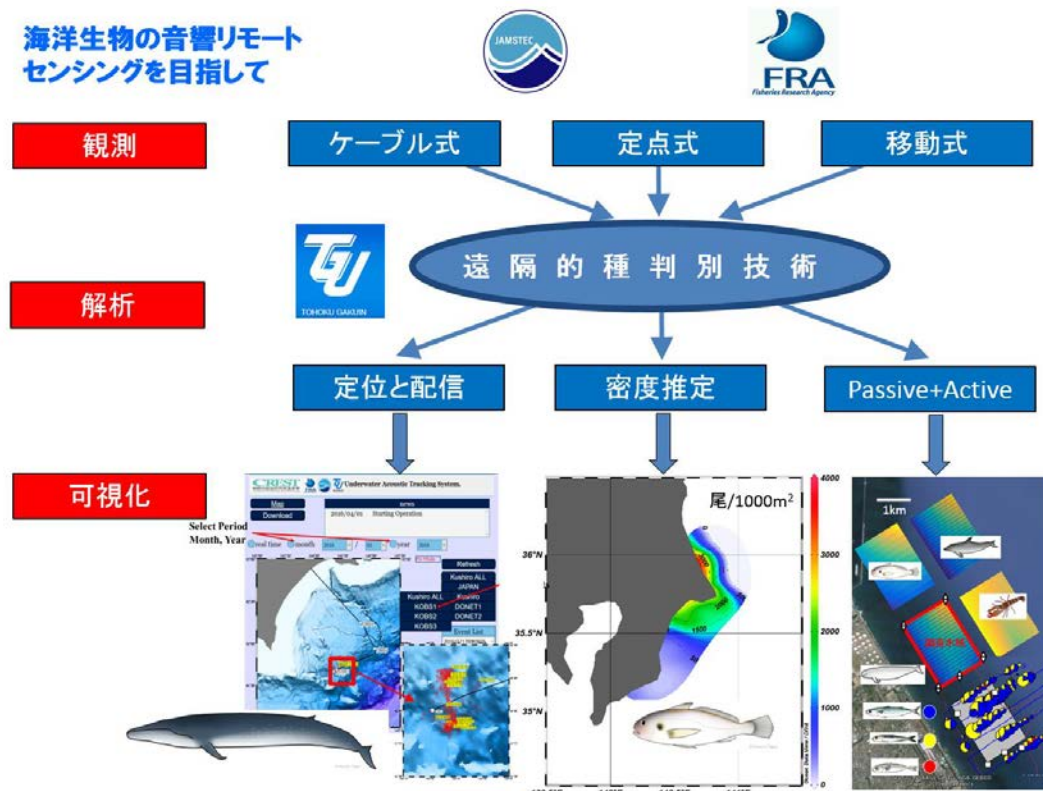
### (1) 実施概要

本研究では、海洋生物の音を用いて衛星から見た雲の動きのように生物分布を明らかにすることを目標とした。これを実現するため、日本で最大の中生生物音観測ネットワークを張り巡らし、音による海洋生物の遠隔的種判別技術を開発した。平成 23 年度から 3 年半を基礎ステージと位置づけ、観測および解析態勢の整備をすすめた。平成 27 年度からの 2 年間を応用ステージと位置づけ、開発技術の実証を行った。

生物音を受動的に記録するパッシブ方式と超音波をあてて反射音を測るアクティブ方式、および地震観測網を用いたケーブル方式が、3つの主要な耳となった。パッシブ方式は主として定点式の運用を行い、アクティブ方式は主として移動しながらの運用を行った。北海道から沖縄まで、全国に観測定点を設けて延べ 10 万時間以上の録音を研究期間中に行った。これに加え、ケーブルによるアーカイブデータの発掘分が 20 年以上に及んだ。観測網の設置と運用は、水産研究・教育機構と海洋研究開発機構が行った。あらかじめ把握した種ごとの音声や反射音の特性を参照し、得られた水中音から特定の生物の音を抽出した。また、複数の受信点への音の到達時差を利用し密度推定モデルを適用することで、生物個体の位置や行動、個体数の情報を得た。東北学院大学が主としてこれらの解析アルゴリズムを開発した。

応用ステージでは、千葉・茨城沖および釧路沖を集中観測海域と定め、多点での定点式観測と船舶による移動式観測を実施した。釧路沖のケーブルデータは、ナガスクジラの低周波鳴音を対象とし、自動的に音声抽出して位置を定位し、ネットワーク上でこれを閲覧できるシステムを海洋研究開発機構と東北学院大学が構築した。千葉・茨城沖では水産研究・教育機構が主体となり、大規模な定点観測網を敷設し、密度推定モデルを適用することで、魚類・甲殻類・小型鯨類の種別分布地図とその動画情報を得た。また館山湾ではアクティブとパッシブ手法を組み合わせた多種同時曳航式観測を行った。

限られた範囲であるが、数百平方 km での生物地図を音響的に得ることができた。これからの海洋生物観測に、CREST で開発された「音響リモートセンシング」という新しい手法が加わった。



## (2) 顕著な成果

### <優れた基礎研究としての成果>

#### 1. 音声で海洋生物の種を判別し個体を計数する手法の開発

これまで定性的な存在確認にしか使えないと思われてきた受動的音響調査手法が、定量的な密度推定や分布地図の作成に使えることを実証した。30 編を超える論文が国際誌に掲載され、開発技術と手法は国内のみならず世界的に活用されている(§ 3(2)参照)。本研究で開発された音響的二重独立再捕法や点音源密度推定法は、音声を発する生物に一般的に使えるモデルであり、今後の海洋生物の調査方法に新しい定量手法を提供すると考えられる。

#### 2. アジア初の大型鯨類の自動音響モニタリングシステムの構築

我が国に張り巡らされた地震観測網を用いたヒゲクジラ類の検出と可視化をアジア水域ではじめて実現した。海洋研究開発機構が所有する釧路・十勝沖ケーブルでは、船舶調査が困難な冬季を含め、8 年間のナガスクジラの出現動態を明らかにし、明瞭な季節変動を捉えることができた。また過去にアーカイブされたデータの発掘により 20 年に及ぶ相模湾でのマッコウクジラの出現動態を示した。また、地震観測において今まで原因がわからなかった生物由来の信号源が明らかになり、特徴抽出などで分別することで今後の地震観測の精度を向上させることも期待される。

#### 3. 広帯域アクティブソナーによる魚種判別アルゴリズムの開発

魚からの反射波を用いた能動的観察手法による魚種の判別は、本研究の前身となる生研センター異分野融合研究支援事業で開発された。本研究ではこれをさらに発展させ、画像認識や音声認識分野で活用されている機械学習の1つであるサポートベクターマシンやディープ・ラーニング・ニューラルネットワークを用いて、自由遊泳中の個々の魚を捉え、マアジ、マサバ、カタクチイワシ等の魚種判別に成功した。この手法は多くの種への応用が期待され、今後の海洋生物の調査に有効と考えられる。

### <科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

#### 1. 海洋再生可能エネルギーの導入促進への貢献

平成 25 年に閣議決定された「日本再興戦略」において、洋上風力発電の環境影響評価に要する期間の半減を目指すことが政府の目標とされた。本研究による開発技術は我が国の多くの洋上風力発電建設海域における海洋生物アセスメントに導入され、簡便な取り扱いと高精度なデータ収集能力から事実上の標準調査法に採用されている。得られた成果は、環境基礎情報データベースの構築に利用されアセスメント手続きの高速化に貢献する見込みである。また、海洋生物の音響観測装置と解析サービスは、全く新しい海洋産業を生み出している。

#### 2. 音響リモートセンシング調査技術のパッケージ化

クジラ可視化システムや種判別アルゴリズムなどのソフトウェア資源と、A-tag やケーブルネットワークなどのハードウェア資源を組み合わせることで、海洋生物のパッシブ観測体制が構築できることが実証された。これらの一部は国際展示会の PITTCON に出展され、海洋生物調査や資源管理のための新しい調査パッケージを供給すると考えられる。本研究計画で開発された、新しい海洋のモニタリング手法は、2016 年 7 月に統合海洋政策本部において議論が開始されている、「我が国の海洋状況把握の能力強化に関する取り組み」の一助になることも期待している。

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/dai15/index.html>。

#### 3. マグロ類の遠隔的種判別による混獲防止と資源管理

マグロ類は我が国の最重要水産資源の一つである。マグロ漁業は巻き網を用いることが多く、とってみなければ種がわからないことが多かった。本研究チームが用いたイルカ型ソナーは

70kHzから130kHzの広帯域反応を計測でき、5cm以下の空間分解能により魚一尾ずつの反射音を分離できる。この特性を用いて、ウキブクロを有するメバチと有さないカツオの区別を野外で行うことに成功した。種が混合して漁獲されるマグロ類の巻き網漁では、群れ内での種構成割合を漁獲前に知ることが有用である。大型魚類の選択的漁獲技術に、本チームの開発技術が活用されることを期待している。

## § 2 研究実施体制

### (1) 研究チームの体制について

#### ①「中央水産研究所」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
赤松 友成	水産・教育研究機構 中央水産研究所	主任研究員	H27.4～

研究項目

- ・種判別技術の展開

#### ②「水産工学研究所」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
赤松 友成	水産・教育研究機構 水産工学研究所	グループ長	H23.12～H27.3 ※H27.4より 中央水産研究所へ異動
澤田 浩一	同上	グループ長	H23.12～ ※H27.4より 主たる共同研究者
安部 幸樹	同上	主任研究員	H23.12～
今泉 智人	同上	研究員	H23.12～
柴田 玲奈	同上	主任研究員	H23.12～
高山 剛	同上	研究員	H23.12～
南部 亮元	同上	研究員	H23.12～
高橋 竜三	同上	PD	H26.4～
松裏 知彦	同上	研究員	H26.4～
向井 徹	同上	准教授	H26.4～
福田 美亮	同上	PD	H27.9～H28.3
上野 康弘	同上	センター長	H27.9～H28.3
多賀 悠子	同上	任期付研究員	H26.4～H27.9
木村 里子	同上	学振PD	H26.4～H27.3
飯田 浩二	同上	教授	H26.4～H27.3
宮野鼻 洋一	同上	漁業生産工学部長	H23.12～H26.3
高尾 芳三	同上	主幹研究員	H23.12～H26.3
菊池 夢美	同上	PD	H24.4～H25.10
斉藤 肇	同上	研究員	H23.12～H25.3

研究項目

- ・移動型音響観測
- ・種別分布地図

③「海洋研究開発機構」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
川口 勝義	国立研究開発法人 海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター	研究開発センター長代理	H23.12～
岩瀬 良一	同上	グループリーダー代理	H23.12～
西田 周平	同上	技術研究員	H24.7～

研究項目

- ・定点型音響観測
- ・データ発掘

④「東北学院大学」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
松尾 行雄	東北学院大学教養学部	教授	H23.12～
山登 一輝	同上	P D	H28.4～
伊藤 雅紀	同上	P D	H24.4～H28.3
金城 篤史	同上	P D	H25.4～H28.3

研究項目

- ・種判別精度向上
- ・種別行動の可視化

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

「海洋生物の音響観測」では、ケーブルネットワークデータの相互比較のため海上保安庁や気象庁、防災科学技術研究所、Polytechnic University of Cataloniaとデータ共有をはかり、生物鳴音抽出に役立っている。経産省(NEDO)や環境省とは、洋上風力発電建設における海洋生物アセスメントで緊密な連携を図っており、全国的な音響観測ステーションの設置につながった。日本船舶技術研究協会、大阪大学、帝京科学大学、北海道大学、小笠原ホエールウォッチング協会とは先述の船舶騒音影響評価として、小笠原海域での大型鯨類を対象とした新しい調査を開始した。精密な海洋観測と音響的に確認された生物の出現様式との関係を見るために、国土交通省近畿地方整備局、須磨水族園と共同し、関西国際空港沖でのモニタリングを行った。海外では、アイスランド大(アイスランド)やアールス大(デンマーク)とは鯨類の発声行動観察を共同で行った。ロンドン動物協会(英国)、インド工科大(インド)、東京大学とは、受動的音響観察による検出確率推定を行った。イスタンブール大(トルコ)、タイ沿岸海洋資源局(タイ)、MARCET(マレーシア)とは、移動型及び定点型音響観測で協力した。中国科学院水生生物研究所(中国)、国立台湾大(台湾)、国立アマゾン研究所(ブラジル)と技術検証と現場での実証のための共同研究を行った。とくに中国科学院水生生物研究所および京都大学とは、受動的音響記録から生物量を計算する密度推定モデルで長年にわたる協力関係を築いてきた。ヨウスコウスナメリをモデルとして、多くの音響目視併用調査を行った結果、曳航式と定点式の双方において、資源量推定手法を確立し、論文として国際誌に公表した。

「海洋生物の音響判別」では、小型鯨類の種判別技術をイスタンブール大学と共同で開発するとともに、音響的標識再捕法などの定量的音響調査手法を中国科学院水生生物研究所およ

び京都大学と共同開発した。これらの成果は福島県沖の世界初の本格的浮体式洋上風力発電アセスメントに即時に応用された。北海道大学とは各種北方系魚類の鳴音の真値を得るとともに、音源定位実験でも緊密に協力した。国立台湾大学とは教師なし音声分類手法の研究開発で協力関係にある。また多様な生物音の教師なし解析の基礎データを得るため、琉球大学や沖縄科学技術大学院大学との観測協力を開始した。本報告書でも記載したように、教師なし音声分類を用いることで、今後予想される膨大な量の水中音データの解析が、現状に比べけた違いに加速されると考えられる。

「実証実験」では、CREST の浦チーム(東京大学)や東北区水産研究所と連携し、新しい録音プラットフォームである AUV(TUNA-SAND)や水中グライダー(Slocum)を用いて深海での水中音取得に成功した。同技術は海洋研究開発機構の有する DONET1 における校正データ取得にも応用され、水深 2000m での長期間広帯域録音が可能になった。また成果のアウトリーチとして、地球規模課題対応国際科学技術協力「“フィールドミュージアム”構想によるアマゾンの生物多様性保全」(研究代表者 幸島司郎)に遠隔的種判別技術を提供し、多様なアマゾン水域における音響フィールドミュージアムの構築を開始した。スペインのカタルーニャ工科大学とは、水中音響化データの可視化やネットワーク配信についての協力を開始した。現在作業中であるが、本研究の集中観測海域での音響データの部分的な配信を検討している。

### § 3 研究実施内容及び成果

#### 3.1 海洋生物の音響的種判別 (水産研究・教育機構 中央水産研究所グループ)

##### 種判別技術の展開

集中観測海域にこれまでに培われたすべての研究資源を投入し、広域の生物地図を取得した。茨城県の鹿島灘から千葉県の上総半島まで合計 20 の観測点を設け、2016 年の春から秋にかけて多点同時観測を行った。各定点にはブイを設置し、高周波用と低周波用の録音装置を取り付けた。約1か月の観測を計4回行い、延べ 2 万 7 千時間の水中音響記録を得た。

得られたデータに種判別および鳴音同定アルゴリズムを適用し、受信鳴音の数と特性を算出した。たとえば7月6日から約 3 週間間に、合計 207 万回のニベ科魚類の鳴音を観測した。信号雑音比と設置水深から受信範囲を算出し、東北学院大学の解析から供給された個体ごとの鳴音発声頻度に密度推定モデルを適用して、受動的音響手法により魚類生息密度を求めた。全定点での推定密度データを基に Ocean Data View で生息密度を地図化した(図1-1)。なお、この図は7月の3週間のうち最頻受信数の日にちのものであるが、実際には日々の動画として提供される。

鹿島沖の高密度域では、鳴音の受信数が明瞭な日周期性を示した(図1-1左上段)。毎日午後6時から10時の間に多くの鳴音が記録された。一方、上総半島の低密度域では検出数が低く、日周期性も明瞭ではなかった(図1-1左下段)。

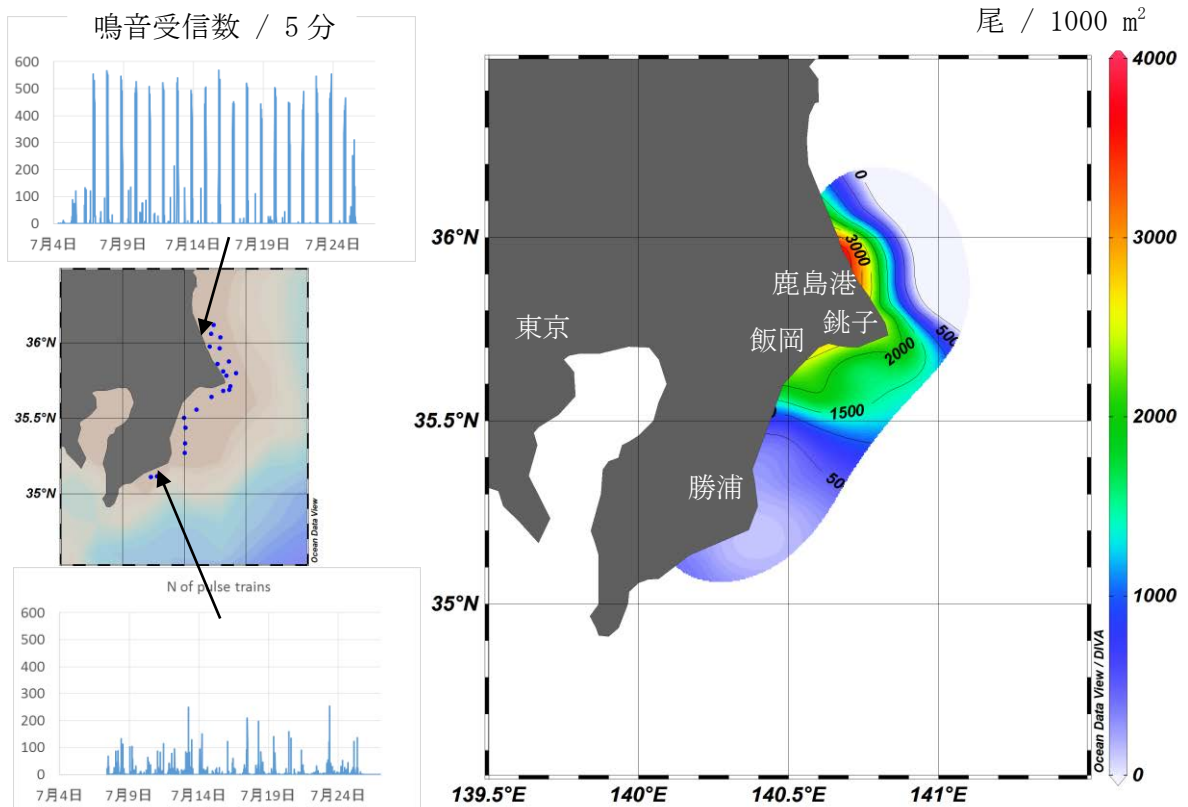


図1-1 2016年7月の鹿島灘から房総半島にかけてのニベ科魚類の分布。沿岸域に合計 20 の音響観測定点を配置し(左図中段)、鳴音の分離抽出および密度推定モデルを適用して作成した(右図)。単位は(尾/1000m<sup>2</sup>)。利根川の河口域を囲む銚子周辺での密度が高く、好漁場であるこの海域の沿岸域にニベ科魚類も高い密度で生息していることが判明した。3週間の鳴音受信パターンは高密度域では明瞭な周期性を示した(左図上段)。一方、低密度域では周期性は明確ではなく、受信件数も少なかった(左下段)。

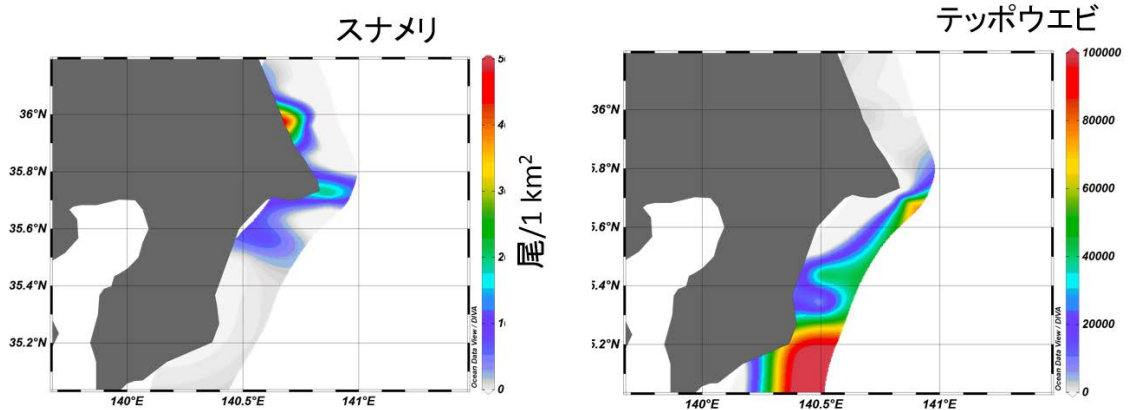


図1-2 受動的音響手法により得られたスナメリとテッコウエビの分布地図。図1-1のニベ科魚類地図での観測点で取得された音声データから、同時期の2016年7月における鳴音受信頻度より描画。スナメリは密度推定モデルを用いて1平方kmあたりの頭数に換算した。

一方、同じ観測点に設置した高周波用録音機材を用いて、小型鯨類のスナメリと甲殻類のテッコウエビの鳴音頻度を計測した(図1-2)。小型鯨類の分布は、餌生物の一つであるニベ科魚類の分布とよく似ている。一方、甲殻類の分布は勝浦沖で極めて高く、魚類・鯨類とは異なる分布であることが示唆された。

作成された生物地図により、鹿島港の北部沿岸域と房総半島側の飯岡沖にスナメリとニベ科魚類の高密度生息域が明らかになった。銚子半島周辺の生息密度はその辺縁部の海域に比べ高い傾向にあった。この海域は、利根川からの栄養塩の供給と、南北からの複雑な海流が入り混じることで、多獲性浮魚類の漁獲量が多いことで知られている。沿岸域に生息するニベ科魚類も、このような海洋環境を反映した分布を示しているように見える。またそれを捕食するスナメリもニベ科魚類と同様の分布状況を示しており、捕食者と被捕食者が同所的に存在していることが明らかになった。一方、勝浦沖ではニベ科魚類の検出は一桁少ない。この海域の底質は岩礁が多く、生物種構成も異なると考えられる。

このような生物鳴音を利用したマクロスケールでの分布計測はこれまで大型鯨類でしか行われてこなかった。米国の軍事用水中マイクロホンネットワーク(AUTEC)を用いた広域での鯨類モニタリングが最も大規模なものである。しかし、魚類の時空間密度分布を明らかにした例はない。

20の無人観測定点の設置回収は簡単ではないが、調査船を広域で毎日運用することに比べればはるかに安上がりで総努力量も小さい。調査船では得られない漁業資源の分布とその動態を連続かつ広域で計測できる技術が本プロジェクトの出口として実証された。

図1-1と1-2は、これまでに本CRESTプロジェクトで作上げてきた技術をすべて投入してはじめて作成することができた。チーム全体がこの開発に加わったことをとくに強調しておきたい。以下、それぞれの要素技術について述べる。

プロジェクトの主眼でもある遠隔的種判別技術は、パッシブ観測とアクティブ観測で異なるアルゴリズムを採用した。パッシブ観測では魚類、鯨、と甲殻類を対象とし、アクティブ観測では魚類を対象とした(図1-3)。

魚類のなかでも長期間にわたって頻繁に発声するニベ科魚類の鳴音は、低周波録音機で記録し検出した。ニベ科魚類の鳴音は、小型鯨類の超音波ソナー音と似たパルス列構造をもっているが、その中心周波数は550Hzから1kHz程度と低周波領域にある。まず注目すべき帯域でのエネルギー検出で粗抽出を行う。魚類鳴音のパルスの間隔は狭い周波数範囲に集中しており、パルス列の長さやそれに含まれるパルス数も一定の範囲におさまる。低周波録音ではスペクトル構造と波形の時間構造を判別条件に用いることができる。そこで時系列特徴を用いて抽出するパラメータを注意深く選ぶと、誤警報率をほぼ0に抑えることができた。たとえば、日中の検出数がほぼ0であり、



午後6時から9時の間の毎日決まった時間に多くの鳴音が自動検出された。これは波浪や設置系雑音および通過船舶に由来する雑音をほとんど拾うことなく、誤警報率が小さいことを示している。

鳴音抽出には、まず注目する周波数帯域の通過フィルタをかけたのち、ヒルベルト変換を行って包絡線を描き、ノイズレベルより高い検出閾値を設定した。同時に、注目する帯域のスペクトルレベルにも検出閾値を設け、粗抽出を行った。次に、包絡線からパルス列内部でのパルス間隔を算出し、この平均値や変動幅が対象種に合致するかを調べた。ニベ科魚類は一連のパルス列の前に1から3個の前拍のパルスが

認められることがあるため、この有無を type2 と type1 として自動判定した。検出された音声は、その時刻と受信音圧、スペクトルレベル、構成するパルス数や平均間隔といった基本的な特性値とともに CSV ファイルに書き出された。3 週間の連続録音では1 定点あたり 20GB 程度の録音データファイルが生成された。この抽出処理によって全体が 50MB 以下の情報にまとめられた。さらに個々の音声の受信時刻を単位期間(たとえば一日や一時間)に区切り、その間の受信数を計算することで等時間間隔のデータを得た。これが、資源分布の動画作成に用いられた。なお、受信数を個体数に変換する密度推定モデルについては後述する。

小型鯨類と甲殻類を対象とした高周波領域では A-tag (マリンマイクロテクノロジー社、埼玉) を用いた。本機材は、生波形ではなく、超音波パルス音のイベントを記録した。データ形式は、時刻・2帯域受信強度比・方位・パルス間隔の4つのみであり、パルスの時系列構造が雑音と対象音を区別する鍵となっている。本機材は緒音波パルス音を記録するため、ハードウェア段階で低周波の魚類鳴音は記録しない設計となっている。小型鯨類のソナー音は、パルス間隔が数十 ms で、隣り合うパルス間隔が滑らかに変化し、一連のパルス列がほぼ同一方向から到来することを主要な抽出条件としている(ex. Linnenschmidt et al. 2013)。

また、極端に短いパルス間隔や多すぎるパルス数については、設置系の打撃雑音や近傍の船舶騒音の可能性があるので排除した。

分類群を反映した分離も行った。小型鯨類は、仙台湾以南の沿岸で多くみられるネズミイルカ科に属するスナメリ、および仙台湾以北で同科に属するネズミイルカと、そのほかの多くのマイルカ科の判別が重要である。これらの二種の生息域は、現在すすめられている着床式の洋上風力発電ファームの建設海域に合致しており、比較的定住性が高く、影響を受けやすい高次捕食者と考えられるためだ。そこで、2帯域受信強度比を両科の判別に用いた(Kameyama et al. 2014)。2帯域受信強度比とは 140kHz と 70kHz に卓越感度をもつ本機材のステレオマイクロホンで受信された強

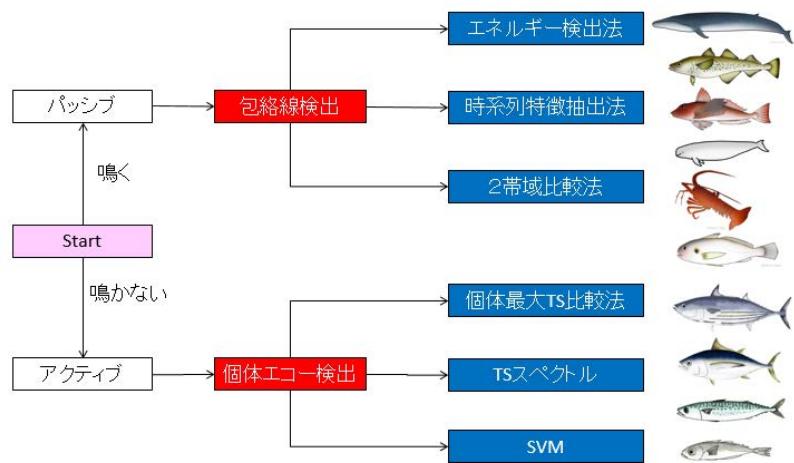


図1-3 遠隔的種判別技術の概要。パッシブ観測とアクティブ観測で異なる手法を用いた。

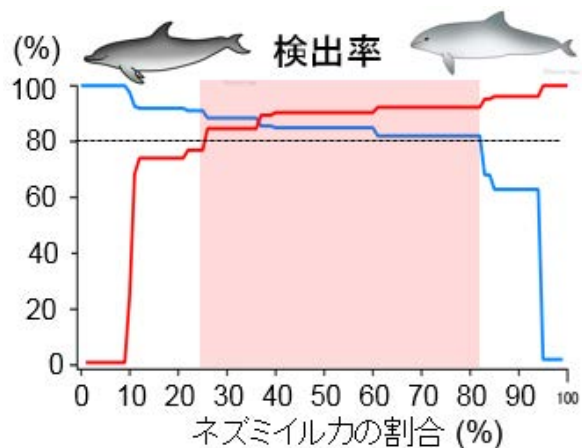


図1-4 混群での2帯域検出法による種判別率

度の比の値である。ネズミイルカ科は 130kHz 前後を中心とする比較的狭帯域のソナー音を発するのに対し、マイルカ科は 70kHz から 150kHz に至る広帯域ソナー音を発することがこれまでの先行研究で知られていた。そこで、もっとも簡便な2つの周波数帯域でのスペクトル強度を比較するため、ステレオ水中マイクロホンの共振特性を変えて受信強度比を計測した。本研究では独立した目視調査により種を同定しながら、音響的な種判別精度を評価しており、この手法では二種混合の状態でも 80%を超す検出率と極めて低い誤警報率で両科を判別できることを確認している(図1-4)。

甲殻類であるテッポウエビを対象とした検出にも、A-tag のデータを使用した。テッポウエビ鳴音は、小型鯨類のソナー音のような構造を持たない。それぞれの個体が独立にはさみを打ち鳴らして、200dB を越える音源音圧レベルのインパルスを発することが知られている。また、テッポウエビ類は海底に生息しているため、この音波は必ず海底方向から到来する。個体ごとの発音頻度は小さいが、多数のテッポウエビが生息しているため、てんぷらを揚げていているような音として聞こえる。音の分離には、こうしたテッポウエビ音の特徴をとらえると同時にイルカのソナー音および船舶騒音を排除する排他的なフィルタを設計した。

アクティブソナーによる種判別方法は、マグロに適用した比較的簡単な個体最大ターゲットストロングス(TS)比較法と、個体への音波入射角度による TS スペクトルパターンを用いた。これにサポートベクターマシン(SVM)などの計算手法を適用して、判別制度を上げている。詳しくは、移動型音響観測と種判別精度向上の項目に譲る。

2014 年までの基礎ステージで開発された遠隔的種判別技術を実証するため、2015 年に水産工学研究所チームが小スケールでの音響観測を鹿島沖で行った。1km x 2km 程度の長方形を囲むように5つのセンサーを配置して、6月から9月にかけて断続的に延べ 7200 時間の音響観測を行った。受け渡されたデータに、上述の種特異的な鳴音を抽出するアルゴリズムを適用し、複数種の音響的分布を可視化した(図1-5)。その結果、音響的分布地図だけでなく、その時系列変化を動画で示すことができた。また同海域でイルカ型ソナーも運用し、浮魚類の種別地図化も試みた。

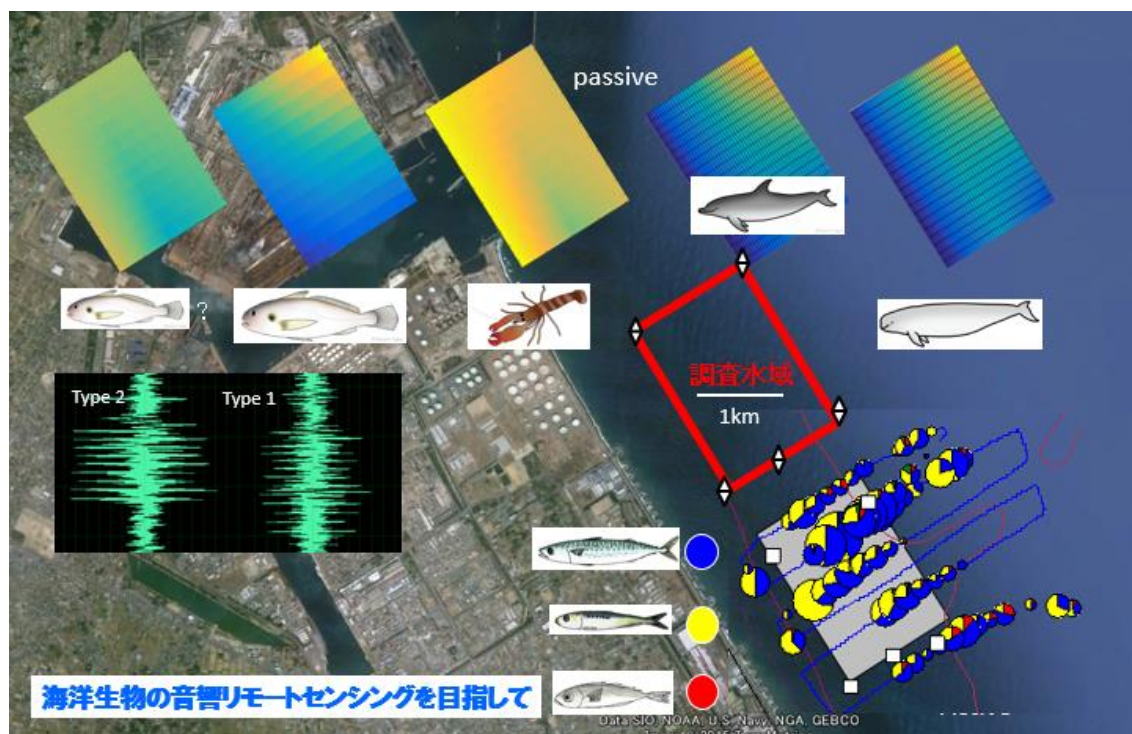


図1-5 遠隔的種判別技術を用いた音響観測による、種別可視化の実例。赤枠で囲った範囲内での各種生物の分布が描かれている。パッシブ音響観測(図上部)では、ニベ科魚類、テッポウエビ、スナメリの同一海域同一期間での音響的分布が示されている。明るい黄色の音響的存在密度が大きい。アクティブ音響観測(図右下)ではマサバ、カタクチイワシ、マアジの同一海域での分

布が示されている。底魚浮魚とも、北の沖合側での密度が高い傾向がある。この結果は限られた面積の水域ではあるが、複数種の分布を音を使って同時に可視化できることを示した。なお、パッシブに関しては、時系列動画として連続的な分布動態が得られている。

### 定量的音響検出モデル

パッシブ技術では受信された音声の数と存在個体数が一致するわけではない。定量的な個体計数のためには、鳴かない個体の未検出割合の算定が重要である。この研究項目では、水産資源学の古典的な手法である標識再捕法を拡張し、音響信号を出さない個体を含めた全数の見積もりを行った(Richman et al. 2014)。また、もう一つのアプローチとして個体の発声頻度を観測し音響伝搬損失を勘案して、受信頻度を個体密度に変換するモデルも開発した。

移動型観測における二重独立再捕モデルを構築した。検出手法は目視と音響の検出結果の比較から始め、最終的に完全に音響的な手法だけを用いた再捕モデルを構築した(Kimura et al. 2014)。また、定点型音響観測における点音源検出モデルを構築した。これらのモデルを用いることにより、映像や漁獲情報に頼らずに鳴かない個体数を推定できるようになった。なお、モデルの検証にあたっては、これまでの研究蓄積が他の種に比べ各段に多い小型鯨類を用いた。

移動型プラットフォームによる個体数推定では、小型鯨類の浮上と発声を検出の手がかりである cue ととらえ、cue の再捕頻度からそれぞれの手法での検出確率を推定する。従来から行われてきたリボンタグの装着による魚類の標識再捕は、再捕率の高低が資源の豊度指標となる強力な調査手法である(図1-6)。標識された個体の標識されなかった個体による薄まり具合で資源量を推定することができる。音響 cue と目視 cue はそれぞれ秒単位で検出時刻を計測できるため、一定の時間窓を設定することで仮想的な再捕を定義した。鯨類の浮上を確認した目視による検出数  $N_v$  と、click train と呼ばれるひとかたまりのパルス列を cue とした音響による検出数  $N_a$ 、および上記により定義した時間窓内で、目視と音響の検出が一致した数を  $m$  とおく。両者の検出方法が互いに独立で、一方の検出が他方の検出に全く影響を及ぼさなければ二重独立再捕の条件が成り立ち、図1-5に示すように本来観測不能な音響検出確率  $P_a$ 、目視検出確率  $P_v$ 、および存在していた全数  $N$  を推定することができる。実際のモデル式は群れ構成個体数のバイアスを取り除くため、単独検出と複数検出を分離して検出確率を計算した。実際の現場での目視と音響による推定値を、その地域での長期間の個体識別結果によって得られた真値と比較すると、両者はよい一致を見た(図1-7, Akamatsu et al. 2013, 浦チームとの共同研究)。

発音源の特性と音響伝搬特性を知ることができれば、計測可能範囲内の音源数の数を推定できる。最も単純な例として、一時間に2回音声を発する対象生物が生息しており、この音声の計測可能範囲内においた録音装置が6回の音声を一時間で検出した場合、推定個体数は3である。

より精密な密度推定には、音声の正誤検出率(F,C)や群れとなった場合の発声頻度にかかるバイアス( $\alpha$ )、対象の発声頻度(R)、検出可能距離(W)、音響的検出確率(P)、および実測で単位時間あたりに検出された鳴音数  $N_d$  などの値が必要である(Kimura et al. 2013)。音響的検出確率はさらに音源音圧レベル分布と音響伝搬損失すなわち距離の関数となる。このうち、生息密度に比例する量は計測鳴音数( $N_d$ )と発声頻度の群れサイズ効果( $\alpha$ )であり、誤検出率Fによる過大推定分を差し引かなければならない。一方、生息密度に反比例するのが残りのパラメータである。点音源のこれらの発音特性が明らかになっている場合、生息密度  $D$  を算出することができる。

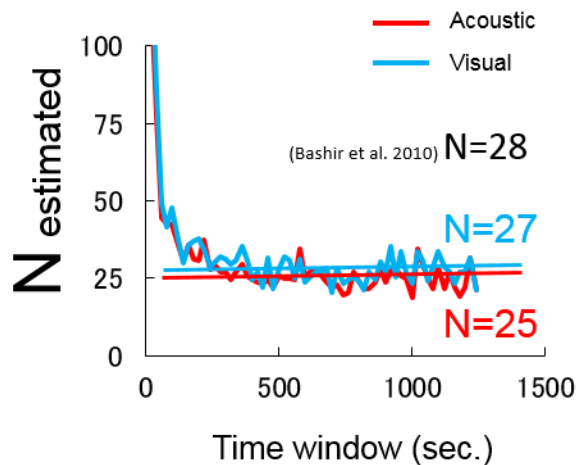
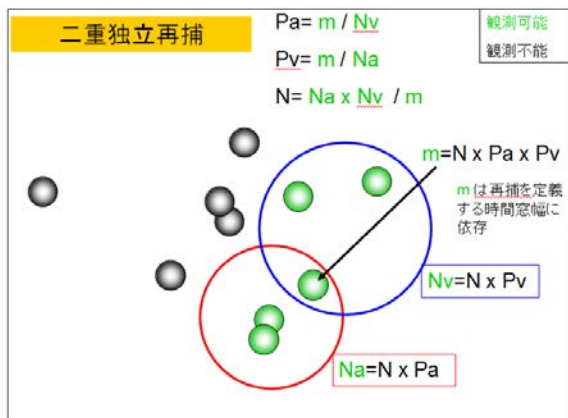


図1-6 二重独立再捕による全個体数の推定法

図1-7 実際の推定値と真値の比較

### 研究成果補遺

限られた紙面のため本報告書で割愛した研究成果は、原著論文リストの文献を参照されたい。

- 狭帯域音エネルギー検出による鳴音自動検出アルゴリズム(Lin et al. 2013)
- 生物音源特性 (Kimura et al. 2014, Akamatsu et al. 2014, Rasmussen et al. 2013, Kikuchi et al. 2013)
- ヨウスコウスナメリの広域および季節分布の地図化(Zhao et al. 2013, Kimura et al. 2012)
- 長時間定点観察による鯨類の出現様式(Tsujii et al. 2016, Wang et al. 2015, Wang et al. 2014, Lin et al. 2014, Dede et al. 2013, Sasaki-Yamamoto et al. 2012)
- 無脊椎動物の聴覚 (Andre et al. 2016)

### 3. 2 海洋生物の移動型種判別観測 (水産研究・教育機構 水産工学研究所グループ)

#### ・移動型音響観測

広域を音響観測することで、生物音の種別の真値を得ることを目的とする。生物鳴音を受信するパッシブ観測と、反射音を計測するアクティブ観測の双方を実施し、得られた種別音は東北学院大学に供給することで、種判別および個体トラッキングのアルゴリズム開発に役立てる。また、種判別の成果をあらためて海洋生物観測に応用し、音響リモートセンシングとして社会に役立つ技術となるか実証した。

パッシブおよびアクティブの音響機器を活用し、音響観測と種判別確度の検証を行うとともに、種別の時間空間分布地図作製のための基礎研究を実施した。アクティブでは、広帯域スプリットビーム式計量魚群探知機(以下、広帯域計量魚探)を用いて、対象の魚からの広帯域音響散乱特性を取得した。音の真値を得るため、パッシブ観測においては、対象水域における生物鳴音の同定のため、野外録音や飼育録音を行った(図2-1)。また、アクティブ観測においては水産総合研究センター水産工学研究所の球面波水槽において対象生物を懸垂して種ごとに精密な広帯域音響散乱計測を行った(図2-2)。これまでに北極海の冷水域から熱帯域までの様々な環境に生息する生物において、パッシブ観測では47種類の鳴音特性情報を、アクティブ観測では10種の広帯域反射特性を得た。現場海域では漁獲や映像観察などによる直接的種同定も併用し、精度の高い真値の取得を行った。これを東北学院大学が開発するアルゴリズムによる種判別結果と比較して判別確度を算定し、同大に音響データと共にフィードバックして確度向上を試みた。

底引き網とたか丸(水産工学研究所所属、61トン)に搭載された広帯域計量魚探を用いた結果では、従来では難しかった、高い精度での体長推定が可能となり、水研センターの特筆成果に採用された。図2-3に1回分の底引き網による漁獲と音響の比較を示す。得られた漁獲はマアジが6割、異体類を中心とした底魚が3割強であった(図2-3a)マアジの魚体長を船上にて測定し、頻度分布を算出した(図2-3b)。次に音響測定の結果より、最大ターゲットストレングス(TS)の頻度分布を算出した(図2-3c)。魚の体長は、ターゲットストレングスに比例することが知られており、得られたデータと過去の知見と比較したところ、同じ傾向が見られ、マアジの広帯域散乱特性だけでなく、量と位置も取得した。また、曳網区間外においても複数のエコーを取得出来た。



図2-1 パッシブでの真値取得例 (水中生物音図鑑)

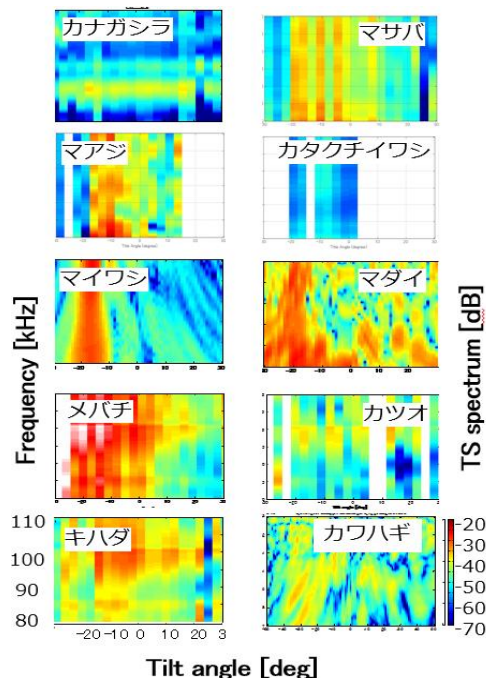


図2-2 アクティブでの真値取得例 (球面波水槽と野外での計測)

また、CREST チーム間や外部機関との共同し、環境DNA分析結果と本チームのタクチイワシが優占種であることに関して、種については、同定点で同時刻でのサン判別種数が限られており、ゲノムでは海中不一致の原因と考えられた。

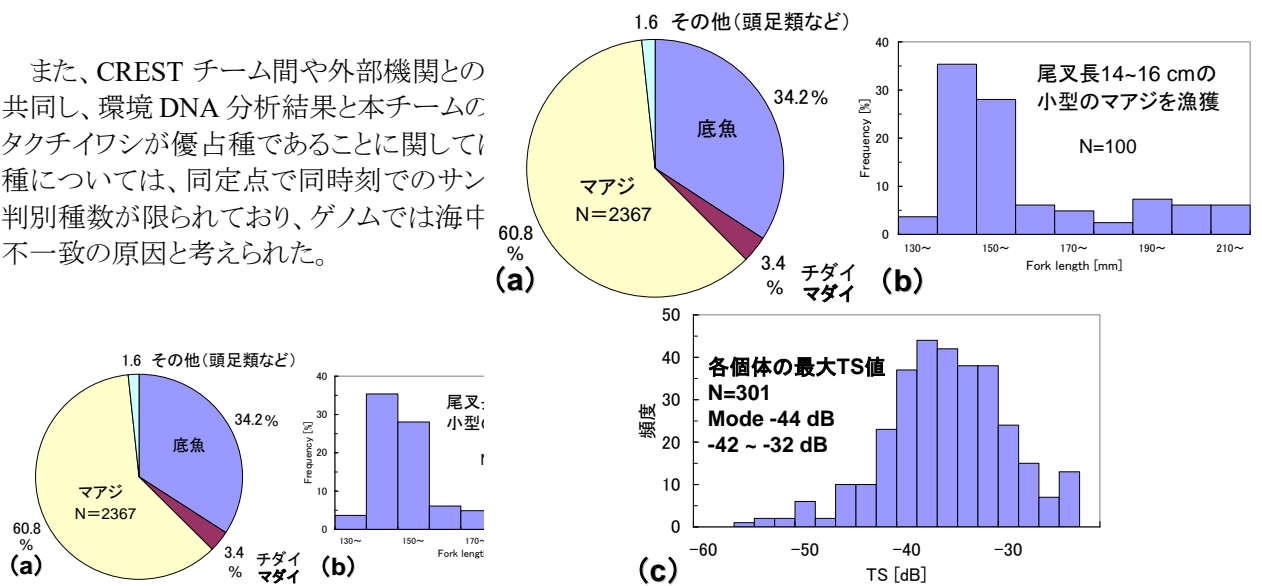


図2-3 底魚網で得られた漁獲の割合と、音響データの比較。1 網で得られた魚種の割合(a)、マアジの魚体長頻度分布(b)、得られた音響データの頻度分布(c)。

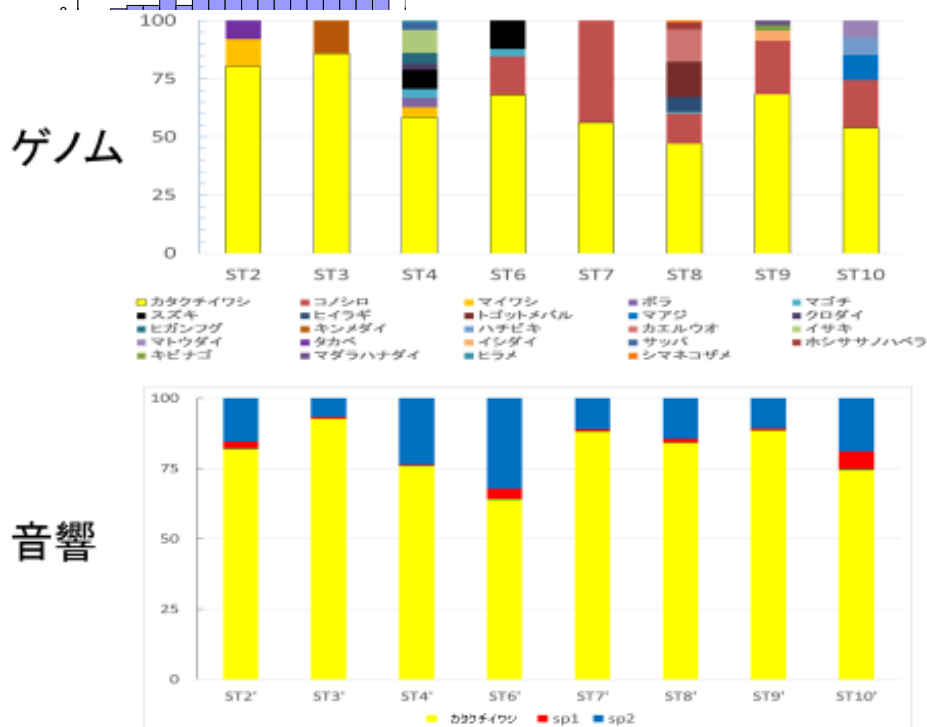
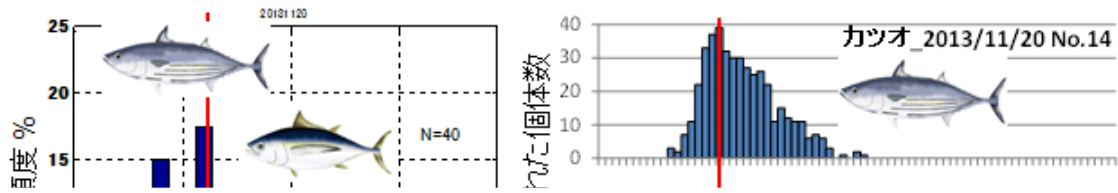


図2-4 館山湾における環境ゲノムと音響を用いた種同定結果。どちらの手法でも黄色で示したカタクチイワシが優先種であることが示された。

マグロ類においては、巻き網漁業での適切な資源管理のため選択的な漁獲が必要である。とくにメバチの混獲を防ぎカツオを漁獲することが求められている。インド洋で巻き網による調査を行った魚群探索船に広帯域計量魚探を装備し、漁獲前に群れからの広帯域反射音を計測した。また、漁獲した群れの種構成比を確認した。その結果、両種の個体毎の音響反射率の違いを利用して群れの種構成割合を判別できることがわかった(図2-5)。反射率の個体毎の頻度分布に2つの山が認められ、小さい反射率の山がカツオを示す。カツオはウキブクロがなく、音響反射率が小さ

い。広帯域計量魚探は、従来の音響探査装置より各段に高い空間分解能を有しているため、個体毎に広帯域反射音を取得できることが強みであり、こうした計測が実現可能になった。



**35°03'N**

成功率(図2-6(c))を伴って低下確認したところ、水深が50mを超えると、鳴音数が著しく減った。この要因に起因すると思われる。

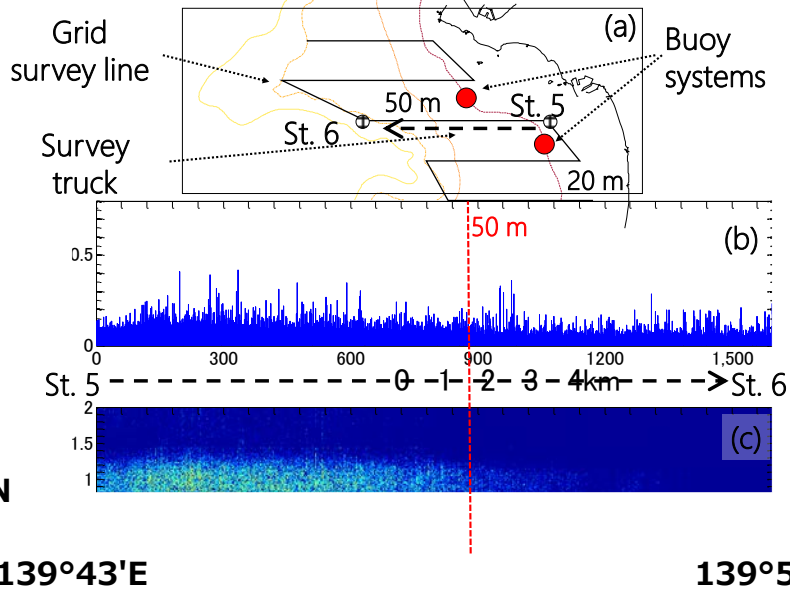


図2-6 2015年7月に測定した千葉県館山湾沖における曳航式ハイドロフォン調査結果。  
 (a) 観測機器の設置地点と航跡を表す。St.5 (水深 10m) から St.6 (水深 150m) へ移動している。曳航式ハイドロフォンで得られた波形の振幅値の包絡線 (b) と、スペクトログラム (c) を示す。水深 50m 地点を通過する際の時刻を赤点線で示す。(2015年7月夜間)

同刻に実施した、広帯域計量魚群探知機を用いて探知した単体エコーの数を図2-7に示す。単体エコーの数は、西の深場に多く存在していた。50m以深で検出された単体魚の量は、50m以浅のものより2倍以上多かった。沿岸のSt5の付近では、単体エコーを得ることが出来なかった。単体エコーを構成する中層の浮魚は、水深が50mを超えると多く存在していることが示された。

パッシブとアクティブを組み合わせることにより、単一の計測手段では得られない水産資源を把握することに成功した。つまり、沿岸性の底生魚はパッシブで、沖合の浮魚はアクティブで計測することができた。魚群探知機では底生魚の検出が困難で、受動的録音では鳴かない浮魚の検出が困難である。両手法は補完関係にあり、観測できる対象種や水域を拡大することができるが示された。また定点型音響観測では、ブイにつけた自動録音装置により、夜間（日の入り1時間前）に鳴き始めることが確認され、長期間の計測により、発音行動の日周行動を把握することに成功した。

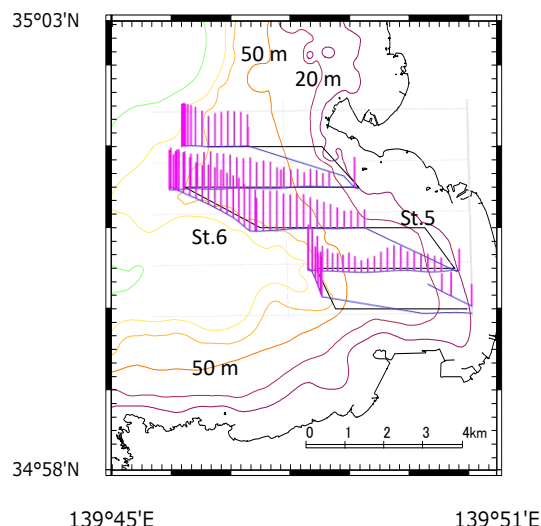


図2-7 広帯域計量魚群探知機で得られた、定線上での単体エコー数（2015年7月夜間）。

#### ・種別分布地図

上記で得られた広帯域計量魚群探知機で得られたデータを用い、東北学院大学の開発した識別器を用いて、魚種の判別を行い、地図化した（図2-8）。調査ライン上で判別された単体エコー数を調査ライン間に内挿し、館山湾内での平面的な種別分布図を得た。その結果、マサバは、湾の北側も含む広い範囲に存在していた。また、マサバとカタクチイワシは、湾の南側に局在していた。今後、網や釣りなどによる漁獲と、カメラを用いた光学による確認を行い、魚種の真値を増やす予定である。

図2-9に曳航式ハイドロフォンで得られた鳴音数の分布を示す。前述したとおり、夜間は東側での浅場において多くの鳴音が検出した。しかし、同じ定線上を日中に調査したところ、鳴音はほとんど検出されなかった。定点型の結果にもあるように魚類の鳴音は、強い日周性が見られる。つまり、本複合手法を用いる場合、複数の手法を組み合わせ、時間的に連続的に広範囲の計測を行う事が必須であると言える。

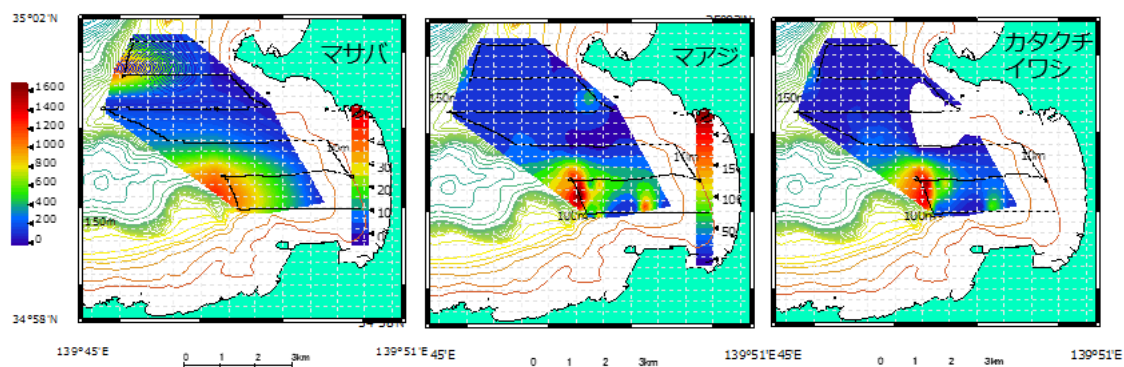


図2-8（左）と広帯域計量魚群探知機で計測され判別された、魚種の量。判別された単体エコー数をカラースケールで表している。



館山パッシブ

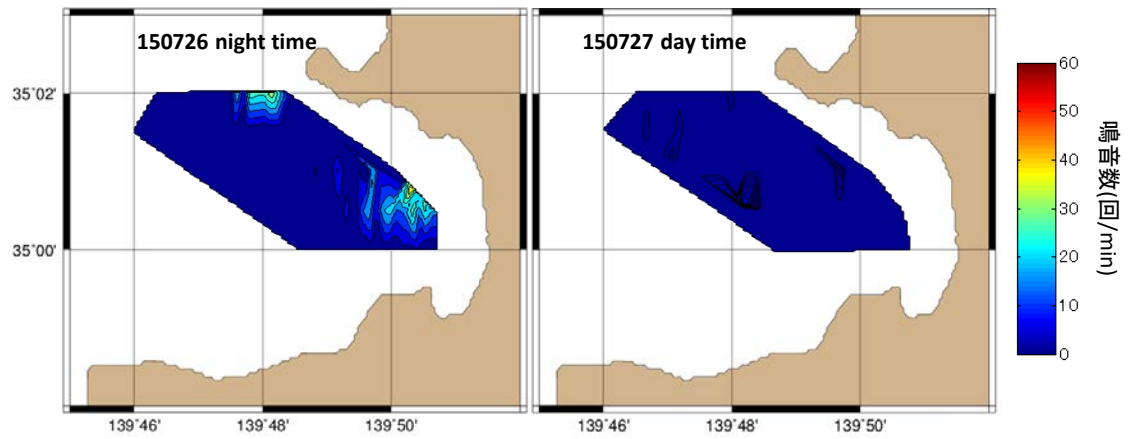


図2-9 曳航式ハイドロフォンで得られた、鳴音数の比較（2015年7月、夜間：左、日中：右）

### 3. 3 海洋生物の定点型種判別観測測 (海洋研究開発機構グループ)

#### 定点型音響観測

海洋研究開発機構では、平成 5 年に相模湾初島沖に「深海底総合観測ステーション」を設置して以来、高知県室戸岬沖、北海道釧路・十勝沖、紀伊半島沖等の海域に海底ケーブル型観測システムを展開し、深海底において地震・津波をはじめとする総合観測を実施してきた。本研究では、これらの海底ケーブル型観測システムの内、ハイドロフォンを搭載した初島沖「深海底総合観測ステーション」、北海道釧路・十勝沖「海底地震総合観測システム」、南海トラフに展開された地震・津波観測監視システム DONET1 及び DONET2 による長期パッシブ音響観測を実施した。それぞれの海底ケーブル式観測システムの配置は図3-1の通りである。ハイドロフォンによる音響信号の収録形式は、初島沖観測ステーション、DONET1 及び DONET2 ではサンプリング周波数 200 Hz、釧路・十勝沖観測システムではサンプリング周波数 100 Hz での連続収録である。初島沖観測ステーションでは、これに加え、サンプリング周波数 48 kHz のリニア PCM 方式により、海底映像とともに間欠収録を行っている。

初島沖観測ステーションではマッコウクジラの鳴音が、また、釧路・十勝沖観測システムではナガスクジラの鳴音が高い頻度で検出されている(Iwase 2012)。初島沖観測ステーションにおいて海底映像観察とともに実施されているマッコウクジラ鳴音を含む水中音響観測は、平成 12 年 3 月のシステム更新をはさんで 20 年以上の長期間に及んでおり、深海底における定点観測としては世界に類を見ない長期データが蓄積されている(Iwase 2013)。また、平成 24 年度に本課題関連 3 機関の間で覚書を締結し、DONET1 に配備された 20 観測点から得られる、非公開のハイドロフォン観測データのアーカイブ提供を開始、本研究期間中において DONET1 の定点観測データの提供を継続して行うと共に、平成 28 年 3 月からは、DONET1 への追加2観測点及び DONET2 の 29 観測点を加えた、全 51 観測点の非公開ハイドロフォンデータの共有を開始した。本研究実施期間中に得られた音響データについては、各研究グループが担当する研究項目の遂行に必要な処理(フォーマット変換等)を加えたデータセットとして提供を行った。

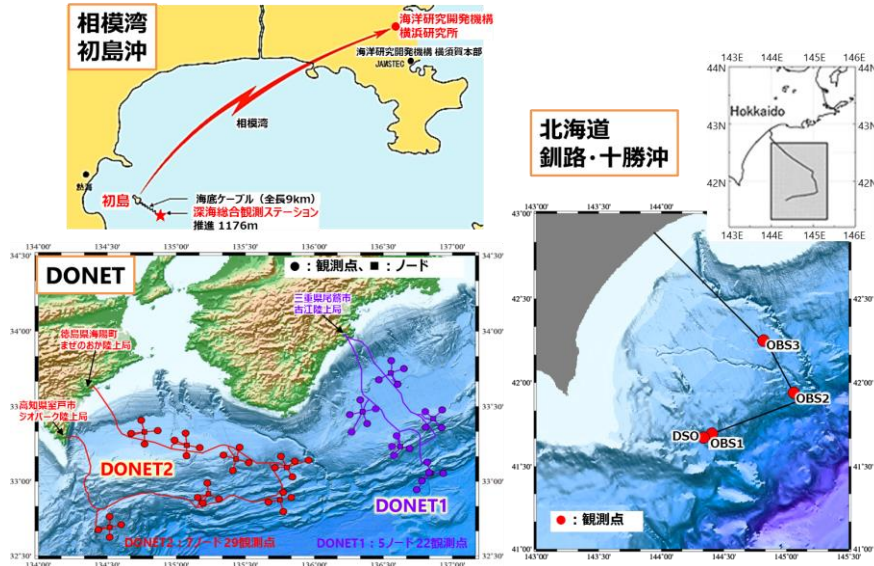


図3-1 海洋研究開発機構が運用するハイドロフォン搭載の海底ケーブル型観測システムの配置

海底ケーブル式観測システムの構成機器の一部として搭載されているハイドロフォンについて、その生物音響データに関する収録能力を評価するために、平成 25 年 2 月および平成 26 年 4 月に、DONET 観測点のハイドロフォン近傍に、一般的な生物音響観測用の広帯域録音機 (AUSOMS)を設置し、DONET 設置海域(水深約 2000m)における生物音響データの収集、および DONET ハイドロフォンの生物音響データの収録能力評価用データ収録を実施した。収集されたデータから背景雑音について両者の周波数特性を比較したところ、感度差はあるものの 10-80[Hz]

の範囲で相似形の周波数特性が得られており、AUSOMS と同等の音響データ収録能力を DONET ハイドロフォンは持っていることが確認できた(図3-2)。

また、DONET の複数の観測点で計測されるデータを用いた音源トラッキングの能力について検証を行った。DONET のハイドロフォン観測データには、地震や船舶航行音以外に音源が不明な音響データも多数収録されており、その一部は DONET1 の 20 観測点すべてで観測されているものもある。図3-3にその音響イベントの一つを例示した。図 3-3 は平成 26 年 4 月 25 日 10:30～11:00 の期間における DONET1 ハイドロフォン 20 観測点の波形プロットしている。図中赤破線で囲んだ部分に記録されている音響信号は、観測時刻に差はあるが 20 観測点で観測されている。平成 26 年 4 月 25 日にはこの様な音響信号が多数観測されている。これらの音源位置を各観測点への到達時間差からそれぞれ定位し、音源をトラッキングした結果を図3-4に示す。この解析では音源は赤破線で示した部分を、北西から南東に向かって約 50km 移動していることが確認できる。この結果は、DONETに配備された複数のハイドロフォンで、同じ音響イベントを捉えることができればその音源の移動をトラッキングすることが可能であることを示唆している。

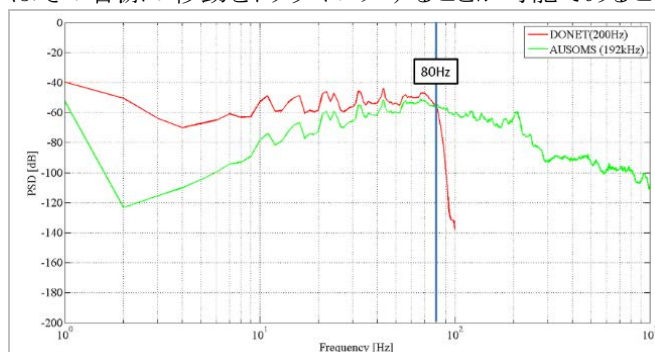
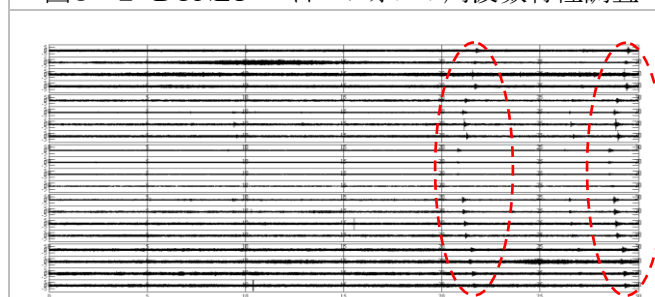


図3-2 DONET ハイドロフォンの周波数特性調査



平成 26 年 4 月 25 日 10:30-11:00 DONET1 20 観測点の波形  
図3-3 複数点で観測された地震以外の音響信号

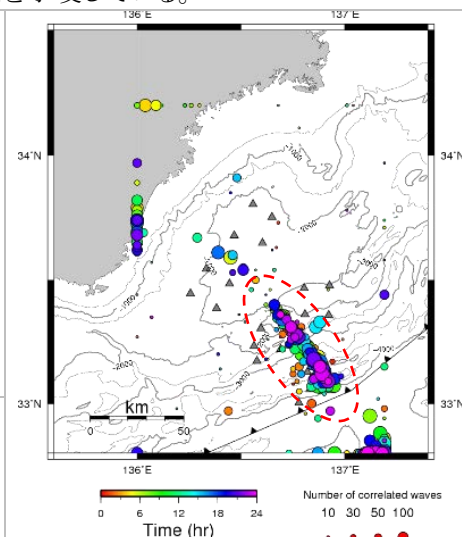


図3-4 DONET1 20 観測点による音源トラッキング

これらの評価結果をもとに、平成 27 年度からは、海洋生物の遠隔的種判別技術の実観測システムへ適用として、「データ発掘」および「種別反応行動の可視化」において開発した釧路・十勝沖観測システムの音響観測データを用いたナガスクジラの自動検知・定位アルゴリズムを、「海中音源可視化システム」として釧路・十勝沖観測システム、DONET1、並びに DONET2 のデータ配信システムに組み込んだ。本システムは、図3-5に示したように、データ取得処理により海底ケーブル型観測システムのデータ配信システムから 30 分間の最新データを取得し、データ解析処理により取得した 30 分間のデータを 1 セットとして解析を実施する。データ取得処理とデータ解析処理は、30 分毎に実施される。検出された音響イベントの発生時刻、位置情報、最大周波数、持続時間が解析結果として算出され、それらのデータは解析用ワークステーション内に蓄積される。ユーザーは解析結果を解析用ワークステーションに構築されたウェブサーバへアクセスすることで確認できる。データ取得処理および解析処理とは独立に結果可視化処理が実行され、ブラウザ上で指定した期間に検知された音響イベントの定位結果を表示した地図の閲覧や音響イベントの検知・定位結果データの取得をすることができる(図3-6)。現在は、ナガスクジラの鳴音を検出するための解析処理が実装されているが、他の生物を検出目標にした解析処理を準備し実装すれば、並列に処

理することが可能である。図3-7には、可視化結果の1例として平成27年12月のナガスクジラの検知・定位結果を示した。図中赤丸の位置がナガスクジラの鳴音の定位結果をプロットしたものである。黄色枠内には検知日時を、30分間の解析ウィンドウで検知された全てのイベントから10サンプル毎に間引いて示した。図3-7から定位結果が南北に分かれている事が確認できる(12月14日の21時台(南側)と22時台(北側))。図3-8には、平成25年1月から平成28年12月までの月毎の定位結果図を示した。釧路・十勝沖観測システムでは冬期(1-2月、10-12月)に多くナガスクジラ鳴音が観測されているが、平成28年は他の年と比較して冬期の検出数が減少していることが分かる。

海中音源可視化システムの導入により、これまでオフラインで実施してきた最新データに関する検知・定位処理がオンラインで実施できるようになり、データ取得から30分後には、当該音響データに関するナガスクジラ鳴音の検知・定位結果が得られるようになった。本システムは平成27年度中にシステムの検証を完了し、平成28年4月よりオンラインでの運用を開始した。研究期間終了後も継続して運用できる体制を整備しており、今後も、日本近海のナガスクジラの動態研究などに活用されることが期待される。

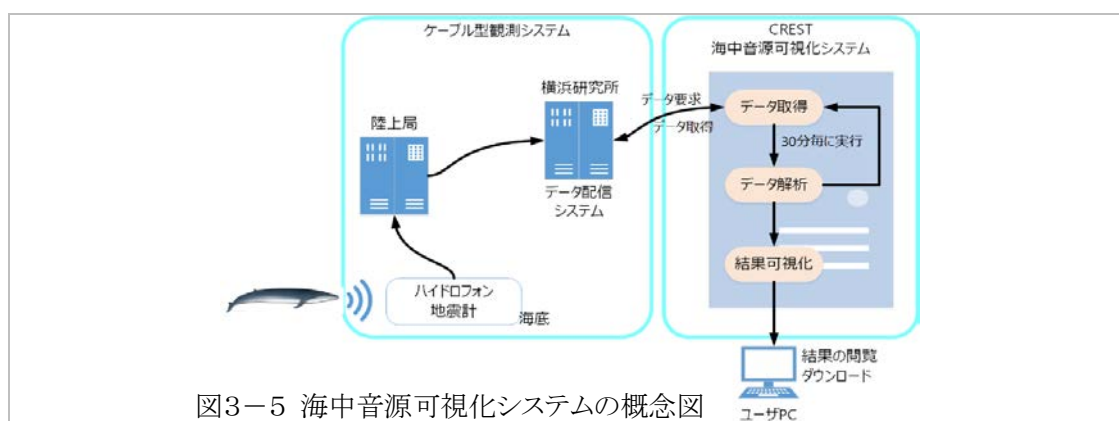


図3-5 海中音源可視化システムの概念図

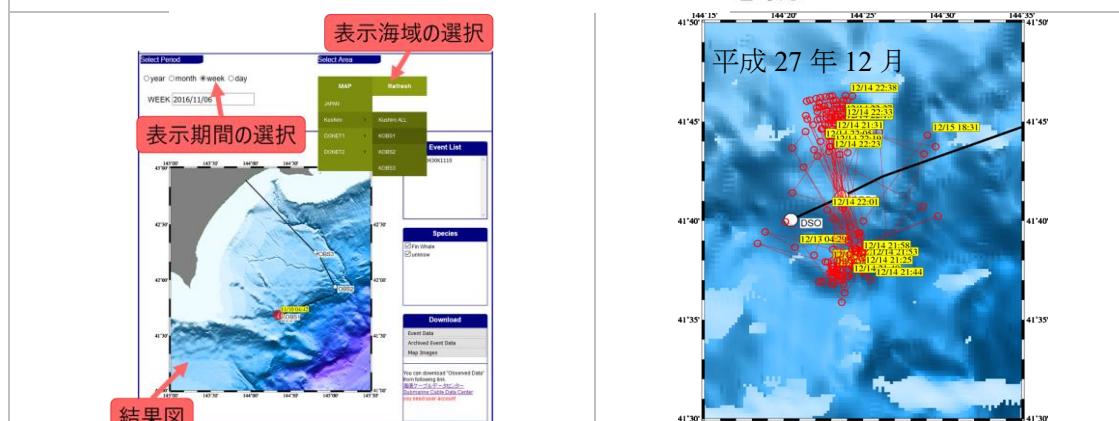


図3-6 可視化結果閲覧ウェブサイト

図3-7 ナガスクジラの鳴音の自動検知・定位結果の可視化例

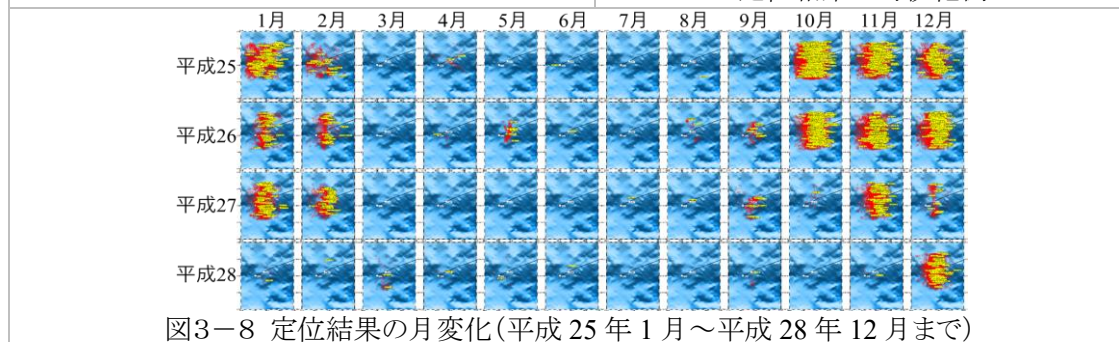
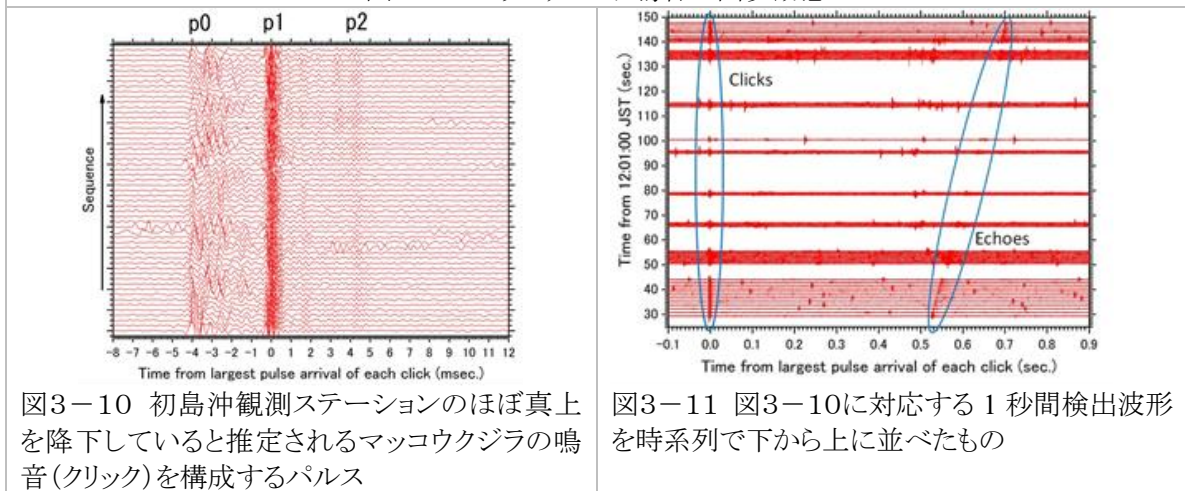
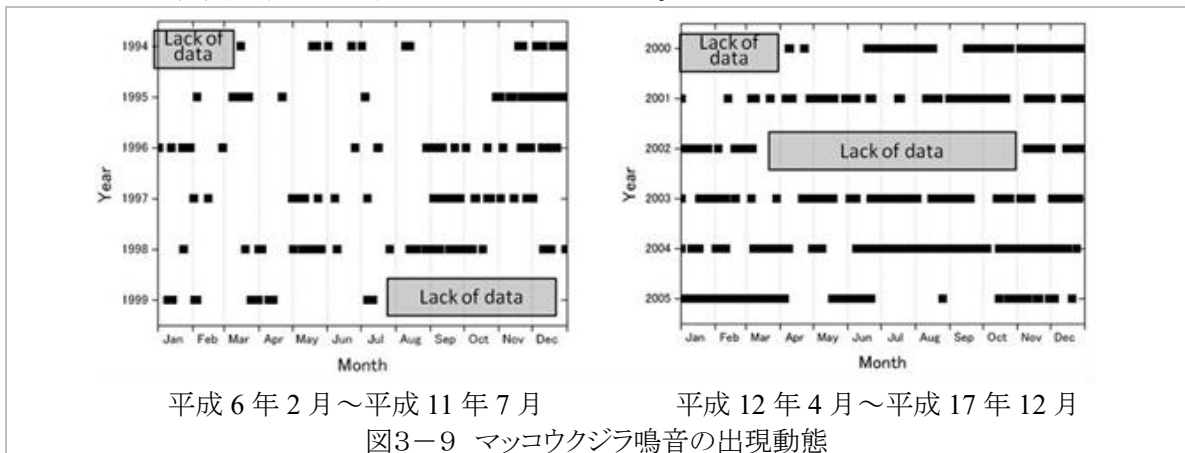


図3-8 定位結果の月変化(平成25年1月～平成28年12月まで)

## データ発掘

初島沖観測ステーションによって 20 年以上にわたって蓄積された音響観測データは、ビデオカメラにより撮影された海底映像とともにビデオテープ (VHS もしくは DVCAM テープ) に音声信号として収録されており、その総数は 7 千本以上にのぼる。これらのビデオデータから音声信号の抽出および解析に使用可能な PCM 形式への変換を行った。収録方法は自動録画と手動録画を併用しており、自動録画については通常 1 日当たり間欠的に 30 分間 (平成 11 年以前) または 26 分間 (平成 12 年以降)、手動録画については原則として週 1 回連続 6 時間以上の収録となっている。

これらのアーカイブデータを用いてマッコウクジラ鳴音の存否を調査した。調査に際して、全観測期間をほぼ毎日カバーする定時観測データセットである自動録画により収録された音響信号のうち、比較的ノイズの少ない平成 6 年 2 月～平成 17 年 12 月までの期間を対象とした。この調査に基づくマッコウクジラ鳴音の出現動態を図 3-9 に示す。但し、平成 12 年のシステム更新の前後でノイズレベルが異なるため、それぞれの期間に分けて示している。なお、システム更新作業に伴い、平成 11 年 7 月～平成 12 年 4 月、平成 14 年 3 月～11 月にかけて欠測となっている。図 3-9 では、縦軸を年、横軸を各年毎の日付とし、マッコウクジラ鳴音が出現した日を点でプロットした。この結果から、期間全体を通じて出現傾向に季節性が見られず、マッコウクジラがほぼ通年相模湾に存在することが推測される。これは本研究以前には知られていない新たな知見である。また、一部のマッコウクジラの鳴音において、詳細な波形解析により、観測ステーションのほぼ真上から降下する個体が鳴音を発する事例を見出し、その鳴音を構成するパルス間隔 (Inter-pulse interval, IPI、図 3-10 ならびに図 3-11 に "Echoes" と記したその後続波 (海面反射波) の直達波からの遅延の増大から、当該個体の体長が 10 m または 12 m 程度、潜航深度が 600 m 程度、潜航速度が約 1.1 m/s と推定した。これは単一のハイドロフォンによる観測でも、マッコウクジラの特徴並びにその移動についてある程度の推定が可能であることを示している。



釧路・十勝沖観測システムでは、東北学院大グループが中心となって、ハイドロフォンにより取得された音響観測データからナガスクジラ鳴音の検出及びその出現動態を明らかにしたが、本研究におけるデータ発掘により、これらの鳴音のうちの一部が、ハイドロフォンと同一地点に設置されている海底地震計でも検出されていることを見出し(Iwase 2015)、両データを組み合わせることで、ハイドロフォンだけでは複数観測点での同時検出が必要となる鳴音の音源定位、即ちナガスクジラの個体の定位が、当該1観測点だけで実現可能であることを示した(Iwase 2015)。即ち、ハイドロフォン波形に見られる直達波と後続波(多重反射波)の到達時間差(Time difference of multi-path arrival, TDOMA)から、音源までの水平距離を求め、海底地震計波形のパーティクルモーションの水平成分から音波の入射方位を求めることで、音源を定位することができる。

また、海洋研究開発機構以外が設置している海底ケーブル型海底地震計システムの過去データを一部調査したところ、東京大学地震研究所の「三陸沖海底地震計システム」などで、これまでに数例ナガスクジラ鳴音が含まれる波形を発掘し、これらの海底地震計システムが、鯨類の鳴音調査にも活用できる可能性を明らかにした。これも本研究によって初めて得られた知見である。しかしながら、これらのシステムにはハイドロフォンが取り付けられておらず、音源定位は地震計のみで実現する必要がある。そこで、三陸沖海底地震計システムを対象として地震計のみによる音源定位手法の開発を行った。ハイドロフォン波形と異なり、地震計の波形記録単独では多重反射波の信号レベルが小さく識別が困難なため、その代替手法として、水中音波の入射角を水平距離の推定に使用することとした。ここで地震波形上に記録されるナガスクジラ鳴音は、水中を伝搬してきた水中音波そのものではなく、水中音波が海底面に入射して海底下に透過した地動となっている。この透過波は、音波に対応する疎密波(P波)だけではなく、横波(SV波)にも変換されるので、地震計により観測される透過波はP波とSV波の合成波となる。そのため、水中音波の海底面への入射角を推定するには、水中の音速に加え、海底表層堆積層の地震波速度、即ちP波及びS波速度も必要となる。そこで、三陸沖システムのSOB1観測点において、まず発振位置(船位)が既知の音源であるエアガン信号の観測波形に対し、海底表層堆積層の地震波速度の現場推定を行った。推定に用いたのは、深海調査研究船「かいれい」KR07-05航海におけるエアガン発振による地震計での音波記録とL4発振測線のGPS測位による航跡データである。各エアガン信号受信時刻における観測と音源(船位)間の水平距離を求め、水中音波の波線計算により各々の水平距離と水中音波の海底への入射角との関係性を求めた。次に、透過波(P-SV合成波)の見かけの出射角を、地震波形のパーティクルモーションの線直成分から求めた。こうして得られた関係を基に、水平距離を基準にして、水中音波の入射角と透過波の出射角を対応させた。この結果及び平面波の流体-固体境界入射を仮定した際のZoeppritz方程式に基づく理論曲線を図3-12に示す。この図における比較により、入射臨界角が73度、海底の地震波速度はP波が1.6 km/s、S波が0.15 km/s程度と推定される。こうして得られた地震波速度に対応する理論曲線を用い、平成17年2月27日16:00-18:30 JSTにSOB1観測点で観測されたナガスクジラ鳴音を対象として、パーティクルモーションのみに基づく音源定位を行った。即ち、音源までの水平距離をパーティクルモーションから得られた透過波の出射角並びに理論曲線により求めたものである。定位結果を図3-13に示す。同様の手法を用いた先行研究(Harris, et al., 2013など)との相違は、先行研究がP波速度を別途実施した地質調査からの推定値、S波速度は0 km/sを仮定しているのに対し、本研究ではこれら地震波速度の現場推定手段を考案した点にある(Iwase 2016)。水中音波の入射臨界角という制約はあるが、本研究において地震計のみによるナガスクジラ鳴音の音源定位を実現したことにより、今後整備される海底地震観測点の増加により、日本周辺海域におけるナガスクジラの行動解明に大いに資することが期待される。

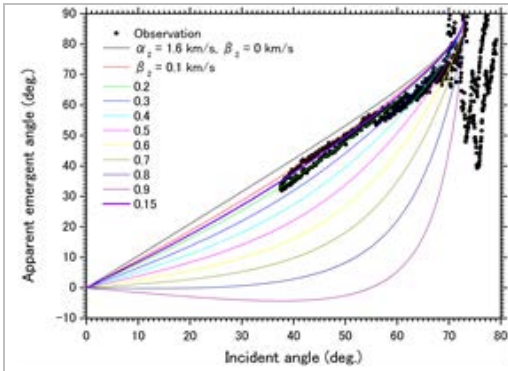


図3-12 三陸沖システムSOB1観測点における海底面への水中音波入射角と海底透過波の見かけの出射角との関係

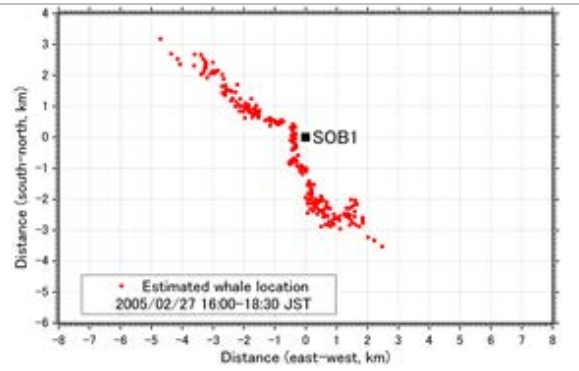


図3-13 ナガスクジラ鳴音の定位結果(平成17年2月27日16:00-18:30 JST)

### 3. 4 海洋生物の種判別アルゴリズム開発 (東北学院大学グループ)

#### 音響トラッキング

海洋生物の魚種を判別する際に、対象生物の位置やその時間に伴う変化はとても有用な情報となる。そこで、トラッキング技術を用いて、観測された音響データから対象生物の位置・動きを推定することが必要となる。加えて、観測データには複数の音が含まれる場合があるので、各個体の音響データに分離しながら、音響トラッキングする手法を提案した(Ito et al. 2014)。

アクティブ観測に対しては、広帯域信号の高い空間分解能を活かした単体分離を行い、カルマンフィルタを用い高精度に位置・動きを推定した。これをアクティブ観測により得られた音響データに適用し、トラッキング技術の評価を行った。対象となる魚群として、高密度に個体が分布しているカタクチイワシの群れを3つ(データセット1, 2, 3)選択した。これらの群れのエコーデータを入力として、自動追跡プログラムによって、魚群中の個体の追跡を行った。図4-1では、カタクチイワシの群れのエコーグラム上に追跡された個体を赤い直線とマーカーで示されている。手で追跡した結果と比較し、密な群れに対しても誤りは1割程度で、高い精度で追跡が行えることを明らかにした。

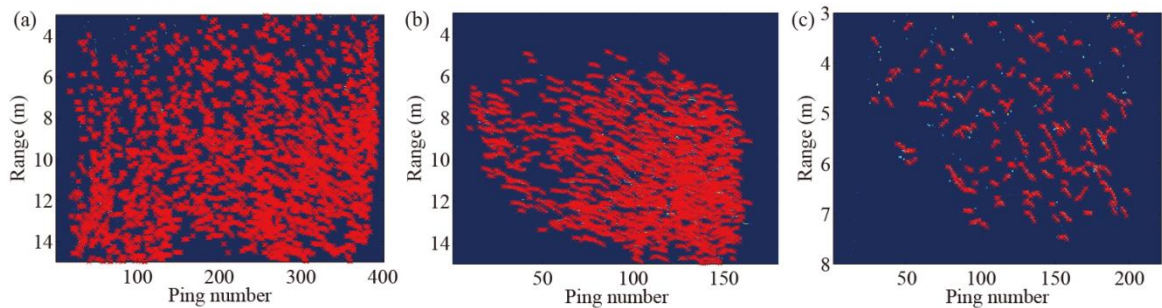


図4-1 カタクチイワシのエコーグラム上に示された自動追跡結果(赤い直線とマーカー)(a)データセット1、(b)データセット2、(c)データセット3

パッシブ観測に対しては、AUSOMS-mini ステレオを用いて観測されたニベ科の魚(イシモチ)の鳴音のトラッキングを行った(Ito et al. 2015)。自動検出プログラムを用いて、長時間の音声データから、鳴音とみられる箇所を全て検出した。検出された鳴音は、ステレオ信号の2チャンネル間の信号到達時間を推定して、到来方向の推定を行った。しかしながら、検出された鳴音の中には、複数の個体からの鳴音が重畳している音響信号が含まれており、高精度に追跡するためには個々の個体からの鳴音に分離する必要がある。そこで、図4-2に示すような独立成分分析を用いたブラインド音源分離を用いたトラッキング手法を提案した。

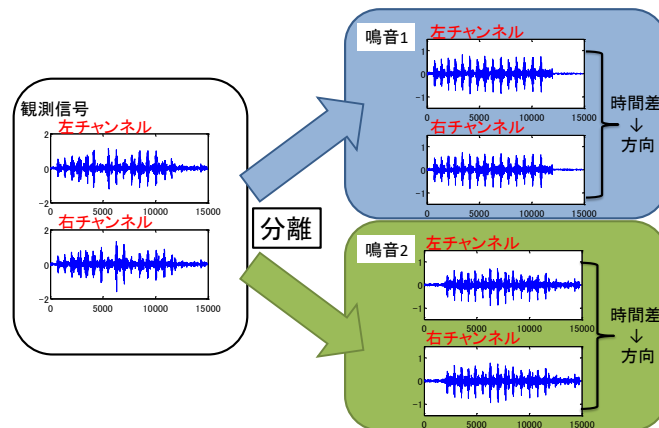


図4-2 ブラインド音源分離による混合した鳴音の分離



鹿島沖で長期間録音された音響データのうち、鳴音が重畳している時間帯の8分のデータに対して、ブラインド分離手法を適用前と後の音源定位結果を図4-3に示す。適用前では定位結果はばらつきが多いが、適用後、録音機に対して左右それぞれの到来方向からの鳴音が定位されている。そこで正と負の到来方向からの鳴音にわけて、それぞれのパルス間隔の頻度分布を計算すると、パルス間隔の分布のピークが17msと20msとなっており、異なる魚が互いに鳴いている可能性を明らかにした。

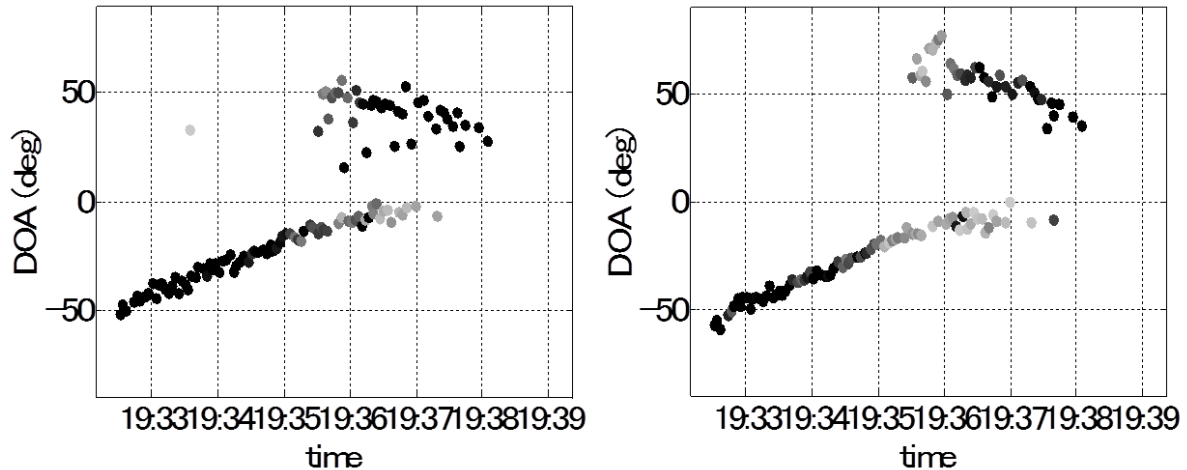


図4-3 鳴音の音源定位結果. (a) ブラインド音源分離適用前の定位結果. (b) 適用後の定位結果.

### 音響パターン認識

アクティブに観測された水産有用魚種の音響データから、個々の魚ごとに音響トラッキングを行い、個体ごとの位置情報と音響情報を計算し、自由遊泳魚の音響パターン認識をもとに種判別を行う手法(TSSP-SVM法)を提案した。判別のための特徴量として、個体ごとのTSスペクトル(TSSP)を用い、機械学習としてサポートベクターマシン(SVM)を用いた。アクティブに観測された音響データから広帯域信号の高い空間分解能を活かし単体分離を行い、個々の魚からのエコーである単体エコーを検出した。検出した単体エコーから特徴量として用いるTSスペクトルを計算した。このTSスペクトルを用いて、自由遊泳中の個体に対する魚種及び魚体長の音響パターン認識を行った。音響パターン認識には音声認識や画像認識で一般的に使用されている機械学習の1つであるSVMを用いた。SVMの識別器を作成するために、採捕で得られた真値情報に基づいて魚種と魚体長が既知な特徴量を教師データとした。この教師データに対し、SVMを用いて識別器を作成した。作成した識別器を用いて、魚種や魚体長が未知なTSスペクトルをパターン認識し、単体エコーごとの魚種及び魚体長を推定した(金城ら 2014)。

提案手法を水産研究・教育機構がアクティブに観測した音響データに適用し評価を行った。データセットごとのTSスペクトルの平均値との距離を用いた従来法とTSSP-SVM法の結果を比較した。マサバとマアジそれぞれ2つの魚体長グループで計4つのデータセットを用意し、交差検証を用いて評価を行った。従来法では平均判別率が34.8%に比べ、TSSP-SVMでは66.5%となり、30ポイント程度判別率が高い結果が得られた。この結果からTSSP-SVMを用いた場合が高い判別精度を示すことを確認した。

パッシブ観測では魚や海産哺乳類が発している鳴音の特徴量を抽出し、観測された長期間の音響信号から魚や海産哺乳類の鳴音を探知する手法を提案した(松尾ら 2017)。釧路沖にある海底ケーブル型観測システムで2007年から2015年2月までの2981日にわたって観測された音響データから、ヒゲクジラ類の鳴音のみを自動抽出する手法を開発した(図4-4)。ナガスクジラの鳴音のみ周波数帯域を含むバンドパスフィルタを通し、出力にたいし閾値を設定し、鳴音の自動抽出を行った。2009年からナガスクジラの鳴音数が増大し、かつ10月から2月にかけて集中していることを明らかにした。

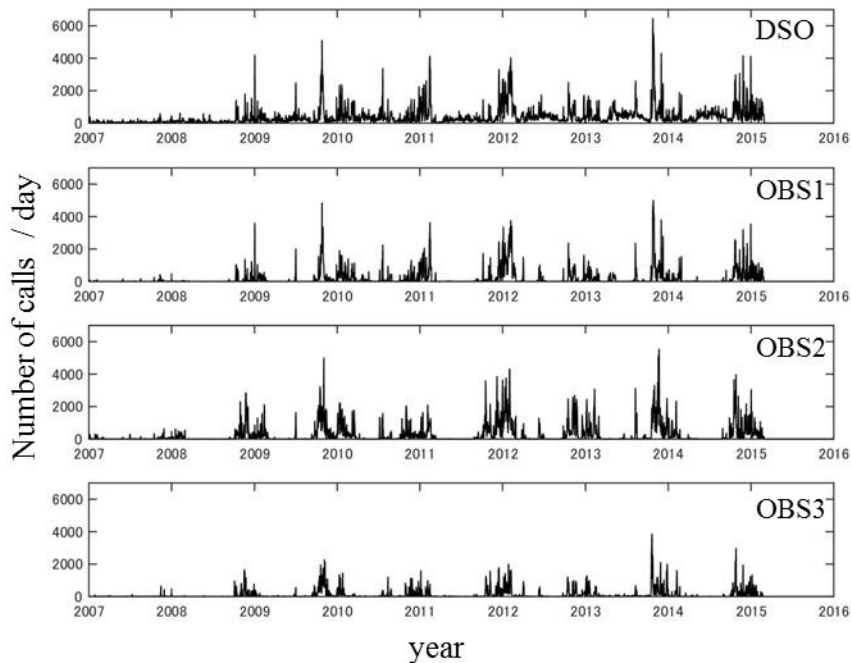


図4-4 自動探知されたナガスクジラの鳴音頻度分布

### 種判別精度向上

アクティブ音響観測データを用いた識別精度向上のために、システムの較正手法の改良とディープラーニングの導入を行った。海域調査データに適用し、性能評価を行った。水産研究・教育機構によって集録されたマサバとマアジとカタクチイワシの3種のアクティブ音響データセットを用いて検証を行なった。その結果を表4-1に示す。識別率の比較のために昨年度行った結果を合わせて示す。手法Aが較正手法の改良とSVM(サポートベクターマシン)のパラメーターチューニングを行った結果である。手法Bが較正手法の改良に加えてディープラーニングを用いた識別結果である。較正手法を改良することによってマサバとマアジとカタクチイワシの3魚種において70%近い識別が可能であることを確認した。また、小さな差ではあるがディープラーニングを用いた場合がSVMを用いた場合に比べて識別率が高いことが確認できた。

表4-1 識別手法による識別率

	SVM	手法A	手法B
マサバ	63.9%	52.1%	59.3%
マアジ	39.6%	75.3%	79.9%
カタクチイワシ	84.0%	77.8%	67.2%
平均	62.5%	68.4%	68.8%

### 種別行動の可視化

音響トラッキングによる海洋生物の3次元位置情報と音響パターン認識による種情報を融合することで、種別反応行動の可視化を行った。具体的には水産研究・教育機構によって集録されたアクティブ音響データから音響トラッキングを行い、単体エコー検出を行った。単体エコーに対して音響パターン認識を行い、魚種を判別した。図4-5の外縁の色は同一個体ごとの魚種を、中心部の色は単体エコーの魚種を表す。同一個体のトラックの開始位置を三角で示した。音響トラッキング及び音響パターン認識を融合させることで魚種ごとの行動パターンを可視化できた。

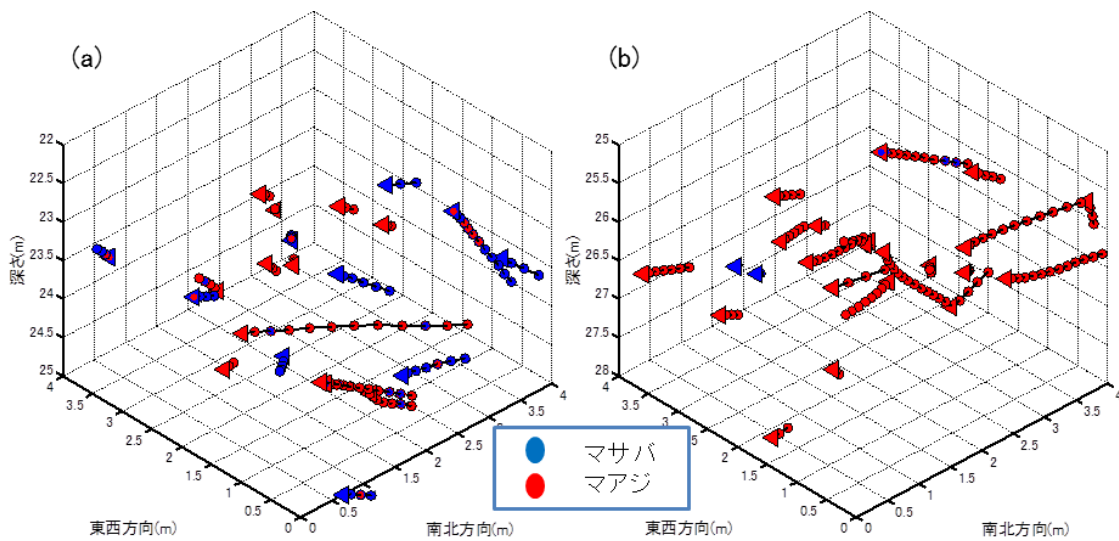


図4-5 種別反応行動の可視化. 三角が開始点、輪郭の色が個体ごとの判別結果を塗りつぶしの色が単体エコーの判別結果を示す。

釧路・十勝沖のケーブルで観測されたナガスクジラの鳴音の自動探知から定位までを行うソフトウェアを開発した。鳴音は、15-20Hz に高いエネルギーを有する信号を検出した。検出された鳴音は、クジラからセンサーに直接到達する波と、海底および海面に反射してから伝わる波の時間差を用いて、その距離を推定した。また、地震計による振動方向を解析することで到来する方位を求めた。距離と方位を合わせて、鳴音の位置を推定することができた。この結果をクジラの動きの追跡に用いた。定位された鳴音位置とそれを10分ごとに平均化して追跡した結果を図4-6に示す。赤い点が、定位された鳴音の位置であり、発生時刻が横に明記されている。また、水色の線が鳴音位置の平均化の結果、追跡されたクジラの軌跡を表している。これにより、クジラが、OBS1 とよばれる地震計の東から鳴音を生じながら近づいた後に、北上していったことがわかる。

この定位結果を用いて、調査海域を一定の大きさのグリッドに分割し、一定時間内に、各グリッド内で発生した鳴音数のカウントをし、可視化を行った。これら提案した自動探知・定位・可視化システムは JAMSTEC が整備した準リアルタイム生物音響観測装置に組み込みを行った。

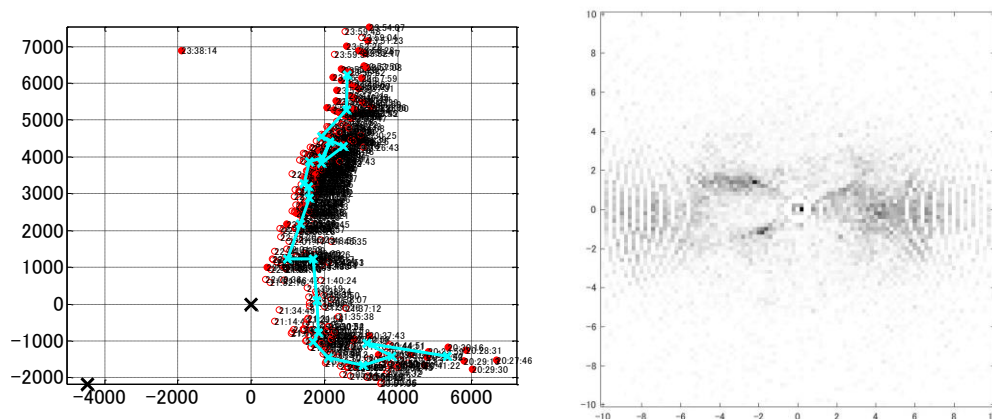


図4-6 ナガスクジラ鳴音の追跡結果(左)と2014年10月から2015年9月までの定位位置(右20km x 20km)。長期間で見ると東西方向への分布が多い。なお、左右の端には定位精度の限界による干渉縞が見える。

アクティブに観測された音響信号から種識別した結果をインターネット等で公開するため、行動可視化用の web アプリケーションを開発した。水産研究・教育機構水産工学研究所グループによ

って集録されたアクティブ音響データから音響トラッキングを行い、単体エコー検出を行った。単体エコーに対して音響パターン認識を行い、魚種を識別した。魚種識別結果と集録時に計測時に記録した位置情報をもとに今年度は空間地図を作成した。図4-7に空間地図を示す。地図情報はgoogle mapsを用いた。可視化のためのソフトウェアにはJavaScriptと動的に結果を描画するためにd3.jsを用いて公開するためのWebインターフェースを作成した。青がマサバ、橙がマアジ、緑がカタクチイワシ、赤がどの魚種も識別できなかった個体を表す。円グラフには10分毎に検出した魚種ごとの個体数を表す。観測日時と集計の間隔はフォームから入力することで変更することができる。アクティブに観測された音響信号で得られた魚種情報と地図情報を融合させ、空間地図の作成を行った。音響パターン認識を行うことで魚種ごとの個体数を地図上に表示することができた。

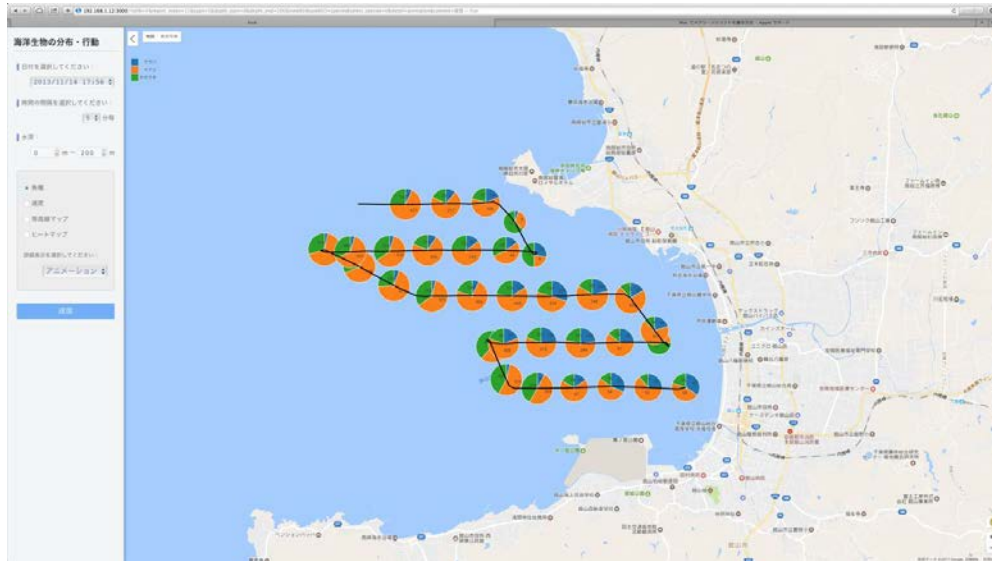


図4-7 魚種識別結果を用いた空間地図

パッシブ観測に対して、2つの AUSOMS-mini ステレオを用いて観測された魚(アイナメ)の鳴音の位置定位を行い、行動の可視化を行った。アイナメの鳴音は一つのパルスしか含まないシングルタイプと、複数のパルスから構成されるマルチタイプの2種類にわけられる。そこで、記録された音響信号からアイナメの鳴音の音響的特徴を用いて、シングルタイプとマルチタイプに判別して、自動検知を行った。この自動検知された鳴音に対し、それぞれのステレオ録音機器に記録された鳴音の時間差を計算した結果を統合することで位置定位を行った。図4-8に2015年11月9日18:01:20から20秒間の位置定位結果を示す。2本の太線は使用した水中ステレオレコーダーを、楕円は産卵床を表している。×マーカーはシングルタイプの鳴音を表し、○マーカーはマルチタイプの鳴音である。図4-8から、位置定位された鳴音の多くが、産卵床やステレオレコーダー周辺に位置しており、アイナメが産卵床付近で鳴音を発したことが確認でき、行動の可視化に成功した。また、シングルタイプの鳴音はマルチタイプの鳴音より多く出現していることを明らかにした。

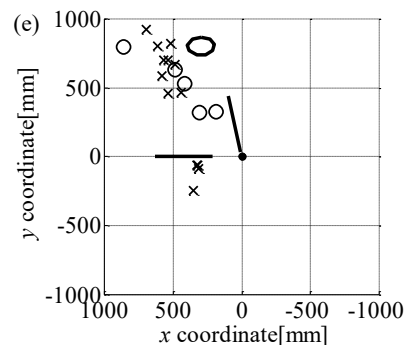


図4-8 位置定位結果

### 研究成果補遺

限られた紙面のため本報告書で割愛した研究成果は、原著論文リストの文献を参照されたい。

- ・音源定位とトラッキング技術 (Matsuo 2013, Ito et al. 2015)
- ・音響パターン認識(金城ら 2014)

#### § 4 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 3 件、国際(欧文)誌 42 件)

1. Kimura S., Akamatsu T., Li S., Dong L., Wang K., Wang D. and Arai N., “Seasonal changes in the local distribution of Yangtze finless porpoises related to fish presence”, *Marine Mammal Science*, 28(2), 308-324, 2012, (DOI:10.1111/j.1748-7692.2011.00490.x).
2. Ichikawa K., Akamatsu T., Shinke T., Arai N. and Adulyanukoso, K., “Clumped distribution of vocalising dugongs (*Dugong dugon*) monitored by passive acoustic and visual observations in Thai waters”, *Proceedings of Acoustics 2012 – Fremantle*, 1-4, 2012,
3. Iwase R., “Sperm whale click sounds recorded on videotapes of a deep seafloor cabled observatory in Sagami Bay, Japan”, *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 17, 070042, 2012, (DOI:10.1121/1.4772737).
4. Linnenschmidt M., Teilmann J., Akamatsu T., Dietz R. and Miller L., “Biosonar, dive and foraging activity of satellite tracked harbor porpoises (*Phocoena phocoena*)”, *Marine Mammal Science*, 29(2), E77-E97, 2013, (DOI:10.1111/j.1748-7692.2012.00592.x).
5. Rasmussen M.H., Akamatsu T., Teilmann J., Vikingsson G. and Miller L.A., “Biosonar, diving and movements of two tagged white-beaked dolphin in Icelandic waters,” *Deep-Sea Research II*, 88-89, 97-105, 2013, (DOI:10.1016/j.dsr2.2012.07.011).
6. Sasaki-Yamamoto Y., Akamatsu T., Ura T., Sugimatsu H., Kojima J., Bahl R., Behera S. and Kohshima S., “Diel changes in the movement patterns of Ganges River dolphins monitored using stationed stereo acoustic data loggers,” *Marine Mammal Science*, 2012, (DOI: 10.1111/j.1748-7692.2012.00590.x).
7. Zao X., Wang D., Turvey S.T., Taylor B. and Akamatsu T., “Distribution patterns of Yangtze finless porpoises in the Yangtze River: implications for reserve management”, *Animal Conservation*, 16, 509-518, 2013, (DOI: 10.1111/acv.12019).
8. Akamatsu T., Ura T., Sugimatsu H., Bahl R., Behera S., Panda S., Khan M., Kar S. K., Kar C. S., Kimura S. and Sasaki-Yamamoto Y., “A multimodal detection model of dolphins to estimate abundance validated by field experiments”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 134(3), 2418–2426, 2013, (DOI:10.1121/1.4816554).
9. Matsuo I., “Localization and tracking of moving objects in two-dimensional space by echolocation”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 133(2), 1151-1157, 2013, (DOI: 10.1121/1.4773254).
10. Lin T., Chou L., Akamatsu T., Chan H. and Chen C., “An automatic detection algorithm for quantifying the overall frequency use pattern of cetacean tonal sound”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 134(3), 2477-2485, 2013, (DOI:10.1121/1.4816572).
11. Lin T., Chou L., Akamatsu T., Chan H., and Chen C. “An automatic detection algorithm for extracting the representative frequency of cetacean tonal sound”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 134(4), 2477-2485, 2013, (DOI: 0.1121/1.4816572).
12. 赤松友成, “イルカのソナーと海洋生物の遠隔観測”, *生物科学*, 65, 82-89, 2013.
13. Kikuchi M., Akamatsu T., Gonzalez-Socoloske D., De Souza D.A., Olivera-gomez L.D. and Da Silva V.F.M., “Detection of manatee feeding events by animal-borne underwater sound recorders”, *Journal of Marine Biological Association*, 94(6), 1139-1146, 2013, (DOI:10.1017/S0025315413001343)
14. Kimura S., Akamatsu T., Wang D., Li S., Wang K. and Yoda K., “Variation in the production rate of biosonar signals in freshwater porpoises”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 133, 3128-3134, 2013, (DOI:10.1121/1.4796129).
15. Lin T., Akamatsu T. and Chou L., “Tidal influences on habitat use of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) at an estuarine habitat”, *Marine Biology*, 160, 1353-1363, 2013 (DOI: 10.1007/s00227-013-2187-7).
16. Dede A., Amaha-Ozturk A., Akamatsu T., Tonay A.M. and Ozturk B., “Long-term passive acoustic monitoring revealed seasonal and diurnal presence patterns of cetaceans in the Istanbul strait”, *Journal of Marine Biological Association*, 2013, (DOI: 10.1017/S0025315413000568).
17. Iwase R., “Excavation of Possible Biogenic and Other Episodic Signals in Acoustic Data Observed for 20 Years with Multidisciplinary Deep Seafloor Cabled Observatory in Sagami Bay, Japan”, *Proc. 1st International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics*, 1613-1618, 2013.

18. Iwase R. and Takahashi I., “Multidisciplinary Long Term Deep Seafloor Observation with Cabled Observatories in JAMSTEC”, *Proc. 1st International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics*, 1067-1074, 2013.
19. Matsuo I., “Echolocation of static and moving objects in two-dimensional space using bat-like frequency-modulation sound”, *Frontiers in physiology*, 4, 149, 2013. (DOI:10.3389/fphys.2013.00149).
20. Richman N.I., Gibbons J.M., Turvey S.T., Akamatsu T., Ahmed B., Mahabub E., Smith B.D. and Jones J.P.G., “To See or Not to See: Investigating Detectability of Ganges River Dolphins Using a Combined Visual-Acoustic Survey”, *PLoS One*, 9(5), e96811, 1-12, 2014, (DOI:10.1371/journal.pone.0096811).
21. Wang Z., Akamatsu T., Wang K. and Wang D., “The Diel Rhythms of Biosonar Behavior in the Yangtze Finless Porpoise (*Neophocaena asiaorientalis asiaorientalis*) in the Port of the Yangtze River: The Correlation between Prey Availability and Boat Traffic”, *PLoS One*, 9(5), e97907, 1-12, 2014, (DOI:10.1371/journal.pone.0097907).
22. Kimura S., Akamatsu T., Fang L., Wang Z., Wang K., Wang D., and Yoda K. “Apparent source level of free-ranging humpback dolphin, *Sousa chinensis* in the South China Sea”, *Journal of Marine Biological Association*, 2014, (doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315414000071>).
23. Kimura S., Akamatsu T., Dong L., Wang K., Wang D., Shibata Y. and Arai N., “Acoustic capture-recapture method for towed acoustic surveys of echolocating porpoises”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 135(6), 3364-3370, 2014, (DOI:10.1121/1.4875710).
24. Akamatsu T., Rasmussen M. and Iversen M., “Acoustically invisible feeding blue whales in Northern Icelandic waters”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 136(2), 939-944, 2014, (DOI:10.1121/1.4887439).
25. Kameyama S., Akamatsu T., Dede A., Ozturk A. and Arai N., “Acoustic discrimination between harbor porpoises and delphinids by using a simple two-band comparison”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 136(2), 922-929, 2014, (DOI:10.1121/1.4884763).
26. 金城篤史, 伊藤雅紀, 松尾行雄, 今泉智人, 赤松友成, “広帯域スプリットビームを用いたサポートベクターマシンによる魚種識別”, *海洋音響学会誌*, 41(4), 149-156, 2014.
27. Ito M., Matsuo I., Imaizumi T., Akamatsu T., Wang Y. and Nishimori Y., “Tracking individual fish in a dense school with a broadband split-beam system”, *J. Mar. Acoust. Soc. Jpn.*, 41(4), 169-182, 2014, (DOI:10.1007/s12562-015-0890-7).
28. Yoshida Y., Morisaka T., Sakai M., Iwasaki M., Wakabayashi I., Seko A., Kasamatsu A., Akamatsu, T. and Kohshima, S., “Sound variations and functions in captive Commerson's dolphin (*Cephalorhynchus commersonii*)”, *Behavioural Processes*, 108, 11-19, 2014, (DOI:10.1016/j.beproc.2014.08.017).
29. Wang Z., Akamatsu T., Mei Z., Dong L., Imaizumi T., Wang K. and Wang D., “Frequent and prolonged nocturnal occupation of port areas by Yangtze finless porpoises (*Neophocaena asiaorientalis*): forced choice for feeding?”, *Integrative Zoology*, 10(1), 122-132, 2015 (DOI: 10.1111/1749-4877.12102)
30. Lin T., Akamatsu T. and Chou L., “Seasonal distribution of Indo-Pacific humpback dolphins at an estuarine habitat: influences of upstream rainfall”, *Estuaries and Coasts*, 38(4), 1376-1384, 2014, (DOI:10.1007/s12237-014-9886-2).
31. Dong L., Wang D., Wang K., Li S., Wang S., Akamatsu T. and Kimura S., “Yangtze finless porpoises along the main channel of Poyang Lake, China: Implications for conservation”, *Marine Mammal Science*, 31(2), 612-628, 2015, (DOI:10.1111/mms.12181).
32. Kikuchi M., Akamatsu T. and Takase T. “Passive acoustic monitoring of Japanese spiny lobster stridulating sounds”, *Fisheries Science*, 81(2), 229-234, 2015, (DOI:10.1007/s12562-014-0835-6).
33. Ito M., Matsuo I., Imaizumi T., Akamatsu T., Wang Y. and Nishimori Y. “Target strength spectra of tracked individual fish in schools”, *Fisheries Science*, 81(4), 621-633, 2015, (DOI:10.1007/s12562-015-0890-7).
34. Iwase R. “Fin whale vocalizations observed with ocean bottom seismometers of cabled observatories off east Japan Pacific Ocean”, *Japanese Journal of Applied Physics*, 54, 07HG03, 2015, (DOI:10.7567/JJAP.54.07HG03).

35. Yamamoto Y., Akamatsu T., da Silva V.M., Yoshida Y. and Kohshima S. “Acoustic characteristics of biosonar sounds of free-ranging botos (*Inia geoffrensis*) and tucuxis (*Sotalia fluviatilis*) in the Negro River, Amazon, Brazil”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 138(2), 687-693, 2015, (DOI: 10.1121/1.4926440).
36. Wang Z., Nachtigall P.E., Akamatsu T., Wang K., Wu Y., Liu J., Duan G.Q., Cao H.J. and Wang D. “Passive Acoustic Monitoring the Diel, Lunar, Seasonal and Tidal Patterns in the Biosonar Activity of the Indo-Pacific Humpback Dolphins (*Sousa chinensis*) in the Pearl River Estuary”, *PLoS One*, 10(11), e0141807, 2015, (DOI: 10.1371/journal.pone.0141807).
37. Wang Z., Nachtigall P.E., Akamatsu T., Wang K., Wu Y., Liu J., Duan G., Cao H., Wang D. “Passive Acoustic Monitoring the Diel, Lunar, Seasonal and Tidal Patterns in the Biosonar Activity of the Indo-Pacific Humpback Dolphins (*Sousa chinensis*) in the Pearl River Estuary, China”, *PloS one*, 10, e0141807, 2015, (DOI:10.1371/journal).
38. Jech J.M., Horne J.K., Chu D., Demer D.A., Francis D.T., Gorska N., Jones B., Lavery A.C., Stanton T.K., Macaulay G.J., Reeder D.B. and Sawada K. “Comparisons among ten models of acoustic backscattering used in aquatic ecosystem research”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 138(6), 3742-3764, 2015 (DOI:10.1121/1.4937607).
39. Yamamoto Y., Akamatsu T., da Silva V.M. and Kohshima S. “Local habitat use by botos (Amazon river dolphins, *Inia geoffrensis*) using passive acoustic methods”, *Marine Mammal Science*, 32(1), 220-240, 2016, (DOI: 10.1111/mms.12252).
40. Tsujii K., Otsuki M., Akamatsu T., Matsuo I., Amakasu K., Kitamura M., Kikuchi T., Miyashita K., Mitani M. “The migration of fin whales into the southern Chukchi Sea as monitored with passive acoustics”, *ICES Journal of Marine Science*, fsv271, 2016, (DOI: 10.1093/icesjms/fsv271)
41. Wright A.J., Akamatsu T., Mouritsen K.N., Sveegaard S., Dietz R. and Teilmann J., “Review of Low-Level Bioacoustic Behavior in Wild Cetaceans: Conservation Implications of Possible Sleeping Behavior”, *The Effects of Noise on Aquatic Life II*, 875, 1251-1258, 2016, (DOI:10.1007/978-1-4939-2981-8\_157).
42. André M., Kaifu K., Solé M., van der Schaar M., Akamatsu T., Balastegui A., Sánchez A.M. and Castell J.V., “Contribution to the Understanding of Particle Motion Perception in Marine Invertebrates”, *The Effects of Noise on Aquatic Life II*, 875, 47-55, 2016, (DOI:10.1007/978-1-4939-2981-8\_6).
43. Iwase R. “Estimation of seismic wave velocity at seafloor surface and sound source localization based on transmitted wave observation with an ocean bottom seismometer offshore of Kamaishi, Japan”, *Japanese Journal of Applied Physics*, 55(7S1), 2016, (DOI: 10.7567/JJAP.55.07KG01)
44. 松尾行雄, 赤松友成, “北海道釧路・十勝沖の海底ケーブル型観測システムを用いたナガスクジラの鳴音の季節依存性”, *海洋音響学会誌*, 44(1), 13-22, 2017.
45. Amano, M., Kusumoto, M., Abe, M., Akamatsu, T. (2017) Long-term effectiveness of pingers on a small population of finless porpoises in Japan, *Endang Species Res* 32: 35-40.

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 赤松友成, “クジラのための騒音制御”, *騒音制御*, 37(1), 10-12, 2013.
2. 赤松友成, 川口勝義, 松尾行雄, “海洋生物の遠隔的判別技術の開発”, *海洋と生物* 204 号, 35(1), 22-28, 2013.
3. 岩瀬良一, “北海道・東北沖海底地震計波形データからのヒゲクジラ鳴音の発掘”, *電子情報通信学会技術研究報告*, 114(190), 49-54, 2014.
4. 赤松友成, “海中低周波音を用いたクジラの探知とコミュニケーション”, *日本音響学会誌*, 70(11), 615-620, 2014.
5. 赤松友成, “第 166 回米音響学会(ASA)研究発表会報告会”, *海洋音響学会誌*, 41(4), 211-215, 2014.
6. Akamatsu T. “A Multiplatform Ultrasonic Event Recorder for Tagging, Towing, and Stationed Monitoring of Odontocetes, in *Listening in the Ocean*”, W.W.L. Au and M.O. Lammers eds., Springer, ISBN 978-1-4939-3176-7, 335-357, 2016.
7. 金城篤史, 松尾行雄, 今泉智人, “ケプストラム解析による広帯域スプリットビームシス

- テムの較正”，電子情報通信学会技術報告，US,167-172,2017-01.
8. 金城篤史, 松尾行雄, 今泉智人, “広帯域スプリットビームを用いたディープラーニングによる魚種識別システムの開発”，電子情報通信学会技術報告，US, 173-178,2017-01.
  9. 松尾行雄, 金城篤史, 今泉智人, 赤松友成, “広帯域スプリットビームシステムを用いた魚種分布の可視化ツール”，電子情報通信学会技術報告，US, 179-184,2017-01.

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 7 件、国際会議 9 件)

1. Akamatsu T., Imaizumi T., Abe K., Nishimori Y., Wang Y., Matsuo I. and Ito M., “A broad band dolphin mimetic sonar-inspiration and modification from the nature”, Acoustics 2012 Hong Kong, Hong Kong, 2012.5.13-18.
2. Kikuchi M., Akamatsu T., de Souza, D.A., Rosas, F.C.W. and da Silva, V.M.F., “Acoustic tagging for counting feeding events of captive Amazonian manatees”, Acoustics 2012 Hong Kong, Hong Kong, 2012.5.13-18.
3. Wang D., Akamatsu T., Wang K. and Li S., “A review on bio-sonar behaviour research of Yangtze finless porpoise using animal bone acoustic data loggers”, Acoustics 2012 Hong Kong, Hong Kong, 2012.5.13-18.
4. Imaizumi T., Abe K., Wang Y., Ito M., Matsuo I., Nishimori Y. and Akamatsu T., “Classification of three tuna species in enclosures by using target strength spectra measured by a broadband split-beam system”, Acoustics 2012 Hong Kong, Hong Kong, 2012.5.13-18.
5. Akamatsu T., “Applications of broadband acoustic in fisheries”, Asian Fisheries Acoustics Society, 2012, Busan, 2012.11.26-27.
6. Iwase R. and Takahashi I., “Multidisciplinary Long Term Deep Seafloor Observation with Cabled Observatories in JAMSTEC”, 1st International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics, Conference, Greece, 2013.6.25.
7. 赤松友成, “受動的音響技術による海洋生物観測”, 第 44 回海洋工学パネル, 日本大学理工学部駿河台キャンパス 1 号館 2 階大会議室, 2013.7.30.
8. 赤松友成, “イルカの音響探索行動”, 日本学術会議公開シンポジウム「ここまで分かった水生動物行動の謎」, 日本学術会議講堂, 2013.9.29.
9. Akamatsu T., Sakai M., Wang D., Wang K. and Li S. “Acoustic time synchronization among tags on porpoises to observe their social relationships”, 166th Meeting of the Acoustical Society of America, San Francisco, CA, 2013.12.2-6.
10. Akamatsu T., “Convergence of biosonar behavior in dolphins and bats, International symposium Dolphin acoustics, behavior and cognition”, Shizuoka Convention & Arts Center GRANSHIP, Shizuoka, Japan, 2014.2.2.
11. 赤松友成, “海洋生物に学ぶセンシングとコミュニケーション”, 科学研究費「生物規範工学」全体会議/JAMSTEC 合同講演会, 沖縄県市町村自治会, 2016.3.3-4.
12. 赤松友成, 今泉智人, “海洋開発における音を用いた生物計測” 海洋理工学会, 2016.5.26.
13. 赤松友成, “海中音響システムによる生物の新しいモニタリング法”, 海中システムシンポジウム, 大阪府立大学 I-site なんば, 2016.6.22.
14. 赤松友成, “船舶運航に対する鯨類の反応行動に関する研究”, 基準・規格セミナー, 東海大学校友会館, 2016.8.23.
15. 赤松友成, “水中音響に関する国際規格の進展”, 日本音響学会 2016 年秋季研究発表会スペシャルセッション「[音響に関する国際規格審議の最前線]」, 富山大学, 2016.9.14-16.
16. T Akamatsu, R Okamoto, K Mori, Y Mitani, K Tsujii, T Tsuchiya, T Kijima, N Umeda “An attempt to estimate ship noise effect on humpback whales in Japan”, 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan,” Honolulu, Hawaii, 2016.11.28- 12. 2.

② 口頭発表 (国内会議 64 件、国際会議 69 件)



1. Wang K., Dong L., Akamatsu T., Kimura S., Wang S., Mei Z., Li S. and Wang D., “Effects of water levels on distribution patterns of the Yangtze finless porpoises in Poyang and Dongting Lakes”, China, Acoustics 2012 Hong Kong, Hong Kong, 2012.5.13-18.
2. Tzu-Hao Lin, Hsiang-Chih Chan, Chi-Fang Chen, Akamatsu T. and Chou LS., “Detection on the presence and frequency use pattern of cetacean tonal sound”, Acoustics 2012 Hong Kong, Hong Kong, 2012.5.13-18.
3. Ichikawa K., Akamatsu T., Adulyanukosol K., Damiani G., Lanyon J. and Nawata H., “Intraspecific variation in vocal repertoire among dugong populations”, Acoustics 2012 Hong Kong, Hong Kong, 2012.5.13-18.
4. Kimura S., Akamatsu T., Wang K., Wang D., Li S. and Arai N., “Individual variability of echolocation and diving behavior of Yangtze finless porpoises”, Acoustics 2012 Hong Kong, Hong Kong, 2012.5.13-18.
5. Kameyama S., Dede A., Ayaka A. Ozturk., Akamatsu T., Tonay AM., Ozturk B. and Arai N., “Study of cetaceans in Istanbul Strait using passive acoustic method”, Acoustics 2012 Hong Kong, Hong Kong, 2012.5.13-18.
6. 天野雅男, 楠本未来, 赤松友成, “スナメリに対する音響的忌避装置の混獲軽減効果”, 日本セトロジー研究会第 23 回(松島)大会, 松島町中央公民館, 2012.6.2-3.
7. 森恭一, 加藤祐樹, 藤原麻都, 赤松友成, “石川県の能登島に出現するミナミバンドウイルカ (*Tursiops aduncus*) の海域利用の日周期性”, 日本セトロジー研究会第 23 回(松島)大会, 松島町中央公民館, 2012.6.2-3.
8. 赤松友成, “イルカのソナーと海洋生物の多様性観測”, 日本動物学会第 83 回大会, 大阪大学豊中キャンパス, 2012.9.13-15.
9. Mastuo I., Ito M., Imaizumi T., Akamatsu T., Wang Y. and Nishimori Y., “Feature extraction for classification of fish species using the Cepstral analysis”, 164th Meeting of the Acoustical Society of America Kansas City, Missouri, Kansas City, Missouri, 2012.10.22-26.
10. Matsuo I., Ito M., Imaizumi T., Akamatsu T., Wang Y. and Nishimori Y., “Application of cepstral analysis to discrimination of fish species”, Asian Fisheries Acoustics Society 2012, Busan, 2012.11.26-27.
11. Imaizumi T., Oshima T., Yokota K., Iga H., Takao Y., Fusejima I., Hasegawa S., Wang Y., Ito M., Matsuo I. and Akamatsu T., “Observation of tuna movements around the FADs by using passive and active acoustic methods”, Asian Fisheries Acoustics Society 2012, Busan, 2012.11.26-27.
12. Wang Y., Ogawa S., Nishimori Y., Furusawa M., Ito M., Matsuo I., Imaizumi T. and Akamatsu T., “Developments of a novel broadband split-beam echo sounder”, Asian Fisheries Acoustics Society 2012, Busan, 2012.11.26-27.
13. Iwase R. and Takahashi I. “Detection of deep-sea current associated with tsunami and possible biogenic acoustic signals - Several topics of multidisciplinary observation with JAMSTEC cabled observatory”, International Underwater Technology Symposium ( UT13 ), Komaba Research Campus, The University of Tokyo, 2013.3.5-8.
14. Nishida S., Kawaguchi K., Imaizumi T. and Akamatsu T., “An evaluation about the performance of a hydrophone on seafloor, International Underwater Technology Symposium (UT13)”, Komaba Research Campus, The University of Tokyo, 2013.3.5 – 8.
15. Imaizumi T., Akamatsu T., Oshima T., Yokota K., Iga H., Fusejima I., Wang Y., Ito M., Matsuo I., Takao Y. and Hasegawa S., “Observation of in situ tuna behavior around the fisheries aggregating devices (FADs) by using passive and active acoustic methods”, International Underwater Technology Symposium ( UT13 ), Komaba Research Campus, The University of Tokyo, 2013.3.5–8.
16. Matsuo I., Akamatsu T., Iwase R. and Kawaguchi K., “Automated acoustic detection of fin whale calls off Kushiro-Tokachi at the deep sea floor observatory.”, International Underwater Technology Symposium ( UT13 ), Komaba Research Campus, The University of Tokyo, 2013.3.5–8.
17. Ito M., Matsuo I., Imaizumi T., Akamatsu T., Wang Y. and Nishimori Y., “Classification of fish schools based on acoustic features associated with tilt angle.”, International Underwater

- Technology Symposium (UT13), Komaba Research Campus, The University of Tokyo, 2013.3.5-8.
18. Akamatsu T., Ura T., Sugimatsu H., Bahl R., Behera S., Panda S., Khan M., Kar S.K., Kar C.S., Kimura S. and Sasaki-Yamamoto Y., “Counting Animals Using Vocalizations;a Case Study in Dolphins”, International Underwater Technology Symposium (UT13), Komaba Research Campus, The University of Tokyo, 2013.3.5-8.
  19. Kameyama S., Akamatsu T., Öztürk A.A., Dede A. and Arai N., “Quantitative species identification between harbor porpoise and delphinid by biosonar signals.”, The 1st Design Symposium on Conservation of Ecosystem (SEASTAR2000), Kyoto University, 2013.3.18-19.
  20. Kimura S., Ponnampalam L., Akamatsu T. and Yoda K., “Acoustic towing survey for marine mammals in langkawi, malaysia, with special reference to indo-pacific finless porpoise and indo-pacific humpback dolphin.”, The 1st Design Symposium on Conservation of Ecosystem (SEASTAR2000), Kyoto University, 2013.3.18-19.
  21. Kameyama S., Akamatsu T., Ozturk A. A., Dede A. and Arai N., “Quantitative species identification between harbor porpoise and delphinid by biosonar signals.”, The 1st Design Symposium on Conservation of Ecosystem (SEASTAR2000), Kyoto University Clock Tower Centennial Hall, Kyoto, 2013.3.18-19.
  22. 赤松友成, 川口勝義, 松尾行雄, “海洋生物の遠隔的種判別技術の開発 1 CREST プロジェクトで目指すもの”, 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 2013.3.26-30.
  23. 菊池夢美, 松尾行雄, 今泉智人, 笈茂穂, 赤松友成, “海洋生物の遠隔的種判別技術の開発 2 魚類鳴音の連続録音による時系列データ解析”, 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 2013.3.26-30.
  24. 今泉智人, 藤田薫, 山崎慎太郎, 伊藤雅紀, 松尾行雄, 王勇, 西森靖, 赤松友成, “海洋生物の遠隔的種判別技術の開発 3 広帯域計量魚群探知機を用いた底魚の調査”, 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 2013.3.26-30.
  25. 松尾行雄, 岩瀬良一, 川口勝義, 赤松友成, “海洋生物の遠隔的種判別技術の開発 4 釧路沖海底ケーブル型システムを用いたクジラ観測”, 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 2013.3.26-30.
  26. 岩瀬良一, 赤松友成, “海洋生物の遠隔的種判別技術の開発 5 相模湾初島沖海底におけるマッコウクジラの鳴音とその特徴”, 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 2013.3.26-30.
  27. 木村里子, 依田憲, 赤松友成, “伊勢湾, 三河湾に生息するスナメリの分布変化”, 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 2013.3.26-30.
  28. 赤松友成, 竹岳秀陽, 山本規代, “洋上風力発電建設海域におけるスナメリの出現様式”, 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 2013.3.26-30.
  29. 亀山紗穂, 赤松友成, Ayaka Amaha Öztürk, Ayhan Dede, 荒井修亮, “小型鯨類の鳴音によるネズミイルカ科・マイルカ科の定量的判別手法の開発”, 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 2013.3.26-30.
  30. Akamatsu T., Rasmussen M.H. and Iversen M., “Acoustically invisible blue whales (*Balaenoptera musculus*) during feeding in Northeast Iceland”, 27th European Cetacean Society Conference, Setubal, Portugal, 2013.4.8-10.
  31. 松尾行雄, “空中超音波ピンガーを用いた音源定位”, 日本音響学会聴覚研究会, 同志社大学, 2013.5.24-25.
  32. 伊藤雅紀, 松尾行雄, 今泉智人, 赤松友成, 王勇, 西森靖, “魚種判別のための広帯域スプリットビーム自動解析システムの構築”, 海洋音響学会 2013 年度研究発表会, 東京大学駒場リサーチキャンパス, 2013.5.27-28.
  33. 松尾行雄, 菊池夢美, 今泉智人, 赤松友成, 笈茂穂, “小型水中音響観測機器を用いた魚類鳴音の自動抽出”, 海洋音響学会 2013 年度研究発表会, 東京大学駒場リサーチキャンパス, 2013.5.27-28.

34. Ito M., Matsuo I., Imaizumi T., Akamatsu T., Wang Y. and Nishimori Y., “Clustering of acoustic fish features tracked by broadband split-beam echo sounder”, 21st International Congress on Acoustics, Montreal, Canada, 2013.6.2-7.
35. Matsuo I. and Takanashi T., “Localization of flying insects by echolocation”, 21st International Congress on Acoustics, Montreal, Canada, 2013.6.2-7.
36. Akamatsu T., Ura T., Sugimatsu H., Bahl R., Behera S., Panda S., Khan M., Kar C.S., Kar S.K., Kimura S. and Sasaki-Yamamoto Y., “Acoustic cue detection model for abundance estimation of small odontocetes”, The 6th International Workshop on Detection, Classification, Localization, & Density Estimation of Marine Mammals using Passive Acoustics, St Andrews, UK, 2013.6.12-15.
37. Kameyama S., Akamatsu T., Ozturk A. A., Dede A. and Arai N., “Quantitative family classification between Phocoenidae and Delphinidae using simple two-band ratio comparison”, The 6th International Workshop on Detection, Classification, Localization, & Density Estimation of Marine Mammals using Passive Acoustics, St Andrews, UK, 2013.6.12-15.
38. Matsuo I., Akamatsu T., Iwase R. and Kawaguchi K., “Automatic detections of fin whale calls from the Deep Sea Floor Observatory, Kushiro-Tokachi, 2009-2012”, 6th International Workshop on Detection, Classification, Localization and Density Estimation of Marine Mammals using Passive Acoustics, University of St. Andrews, Scotland, 2013.6.12-15.
39. Iwase R., “Excavation of Possible Biogenic and Other Episodic Signals in Acoustic Data Observed for 20 Years with Multidisciplinary Deep Seafloor Cabled Observatory in Sagami Bay, Japan”, 1st International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics, Corfu, Greece, 2013.6.27.
40. Andre M., Kaifu K., van der Schaar M., Akamatsu T., Balastegui A. and Castell J.V., “Sound reception and effects in marine invertebrates”, Third International Conference the Effects of Noise on Aquatic Life, Budapest, Hungary, 2013.8.11-16.
41. Wright A.J., Akamatsu T., Mouritsen K., Sveegaard S., Dietz R. and Teilmann J., “Sleeping behaviour in wild harbour porpoise”, Third International Conference the Effects of Noise on Aquatic Life, Budapest, Hungary, 2013.8.11-16.
42. 岩瀬良一, “相模湾初島沖レガシー音響データのアーカイブ状況とイベント”, 日本音響学会 2013 年秋季研究発表会, 愛知県豊橋市, 2013.9.25.
43. 岩瀬良一, “ハイドロフォンで聴く深海泥流／混濁流”, 日本地震学会 2013 年度秋季大会, 神奈川県横浜市, 2013.10.9.
44. Imaizumi T., Kaoru F., Yamasaki S., Abe K., Sawada K., Ito M., Matsuo I., Wang Y., Nishimori Y. and Akamatsu T., “The measurement of fish close to the bottom by the broadband split-beam echo sounder”, The Seventh Annual Meeting of Fisheries Acoustics Society, Shinagawa, Tokyo, 2013.11.5-6.
45. Akamatsu T., Dede A., Kameyama S., Tonay A.M. and Ozturk A.A., “Passive acoustic monitoring of multiple cetacean species in the Istanbul strait”, The Seventh Annual Meeting of Fisheries Acoustics Society, Shinagawa, Tokyo, 2013.11.5-6.
46. Akamatsu T., Ura T., Sugimatsu H., Bahl R., Behera S., Rupak D., Panda S., Khan M., Kar C.S., Kar S.K., Kimura S. and Sasaki-Yamamoto Y., “Abundance estimation of Ganges river dolphins by acoustic-visual mark recapture method”, 20th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Dunedin, New Zealand, 2013.12.9-13.
47. Lin T., Akamatsu T. and Chou L. “Seasonal distribution change of Indo-Pacific humpback dolphins at an estuarine habitat”, 20th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Dunedin, New Zealand, 2013.12.9-13.
48. Rasmussen M.H., Akamatsu T. and 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, New Zealand, 2013.12.9-13.
49. Matsuo I., Wheeler A., Kloepper L., Gaudette J. and Simmons J.A., “3D acoustic tracking of bats in clutter environments from microphone arrays”, Auditory Research Forum, Ohtsu, Japan, 2013.12.12-13.

50. 岩瀬良一, “深海底の水中音響信号として検出された泥流・混濁流”, 日本音響学会 2014 年春季研究発表会, 東京都千代田区, 2014.3.11.
51. 赤松友成, 村元宏行, “水中生物観測のための広帯域受信機の開発”, 第 24 回海洋工学シンポジウム, 日大理工学部駿河台キャンパス, 東京, 2014.3.13.
52. 亀山紗穂, 赤松友成, Ayaka Amaha Ozturk, Ayhan Dede, 荒井修亮, “広帯域受信機による小型鯨類の音響的種判別”, 第 24 回海洋工学シンポジウム, 日大理工学部駿河台キャンパス, 東京, 2014.3.13.
53. 櫻田顕子, 赤松友成, 国枝佳明, 梅田直哉, “大型帆船による海棲哺乳類の音響調査”, 第 24 回海洋工学シンポジウム, 日大理工学部駿河台キャンパス, 東京, 2014.3.13.
54. 今泉智人, 伊藤雅紀, 安部幸樹, 王勇, 西森靖, 松尾行雄, 赤松友成, “広帯域魚群探知機の応用～広帯域散乱特性の測定とその利用～”, 第 24 回海洋工学シンポジウム, 日大理工学部駿河台キャンパス, 東京, 2014.3.13.
55. 王勇, 佐藤隆宣, 西森靖, 古澤昌彦, 伊藤雅紀, 松尾行雄, 今泉智人, 赤松友成, “広帯域スプリットビーム魚群探知機の開発”, 第 24 回海洋工学シンポジウム, 日大理工学部駿河台キャンパス, 東京, 2014.3.13.
56. 金城篤史, 伊藤雅紀, 松尾行雄, 今泉智人, 赤松友成, “広帯域スプリットビームシステムを用いた個体ごとの魚種と魚体長の識別”, 平成 26 年度日本水産学会春季大会, 北海道大学函館キャンパス, 2014.3.27-31.
57. 伊藤雅紀, 松尾行雄, 今泉智人, 赤松友成, “ステレオ水中録音装置を用いた魚類鳴音の定位”, 平成 26 年度日本水産学会春季大会, 北海道大学函館キャンパス, 2014.3.27-31.
58. 今泉智人, 玉手剛, 富樫博幸, 栗田豊, 伊藤雅紀, 松尾行雄, 赤松友成, “広帯域計量魚群探知機を用いた仙台沖での底魚調査”, 平成 26 年度日本水産学会春季大会, 北海道大学函館キャンパス, 2014.3.27-31.
59. 亀山紗穂, Ayhan Dede, Ayaka Amaha Öztürk, 赤松友成, 荒井修亮, “鳴音を用いたイスタンブル海峡に生息する小型鯨類の種別行動モニタリング”, 平成 26 年度日本水産学会春季大会, 北海道大学函館キャンパス, 2014.3.27-31.
60. 赤松友成, 亀山紗穂, “福島沖浮体式洋上風力発電施設周辺でのイルカ類の来遊状況”, 平成 26 年度日本水産学会春季大会, 北海道大学函館キャンパス, 2014.3.27-31.
61. 岩瀬良一, 高橋一郎, “湾初島沖化学合成生物群集域における深海底長期映像のアーカイブ”, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 神奈川県パシフィコ横浜, 2014.4.29.
62. 岩瀬良一, “泥流・混濁流に伴う音響信号と相模湾におけるマッコウクジラ鳴音検出の非季節性ー海底ケーブル型多面的長期観測による音響イベントの解析ー”, 海洋音響学会 2014 年度研究発表会, 神奈川大学横浜キャンパス 16 号館 セレストホール, 2014.5.29.
63. 赤松友成, 松尾行雄, 岩瀬良一, 川口勝義, “ケーブルネットワークを利用した西太平洋でのナガスクジラ鳴音の長期観測”, 海洋音響学会 2014 年度研究発表会, 神奈川大学横浜キャンパス 16 号館 セレストホール, 2014.5.29.
64. 金城篤史, 伊藤雅紀, 松尾行雄, 今泉智人, 赤松友成, “広帯域スプリットビームシステムを用いた遠隔的種識別技術の開発”, 海洋音響学会 2014 年度研究発表会, 神奈川大学横浜キャンパス 16 号館 セレストホール, 2014.5.29.
65. 今泉智人, 福田美亮, 安部幸樹, 高尾芳三, 赤松友成, “小型水中録音機を用いた簡易的な船舶航走雑音の測定”, 海洋音響学会 2014 年度研究発表会, 神奈川大学横浜キャンパス 16 号館 セレストホール, 2014.5.29.
66. 岩瀬良一, “北海道・東北沖海底地震計波形データからのヒゲクジラ鳴音の発掘”, 電子情報通信学会超音波研究会 (2014-08-US), 東京工業大学大岡山キャンパス, 2014.8.25.
67. 多賀悠子, 赤松友成, “鹿島沿岸域に生息するニベ科魚類の発声行動の定量的評価”, 2014 年度海洋若手 会夏の学校, 東海大学三保研修館, 2014.8.29-31.
68. 金城篤史, 伊藤雅紀, 松尾行雄, 今泉智人, 赤松友成, “サポートベクターマシンを用いた遠隔的魚種識別技術の開発”, 電子情報通信学会技術研究報告パターン認識・メディア理解, 筑波大学, 2014.9.1.

69. Kinjo A., Ito M., Matsuo I., Imaizumi T. and Akamatsu T. , “Species classification of individual fish using the support vector machine”, 168th Meeting of the Acoustical Society of America, Indianapolis, Indiana, 2014.10.27-31.
70. Matsuo I., Imaizumi T. and Akamatsu T., “Detection of fish calls by using the small underwater sound recorder”, 168th Meeting of the Acoustical Society of America, Indianapolis, Indiana, 2014.10.27-31.
71. Lin T.H., Akamatsu T. and Chou L.S., “Seasonal distribution of Indo Pacific humpback dolphins at an estuarine habitat: influences of upstream rainfall”, The Eighth Annual Meeting of Fisheries Acoustic Society AFAS 2014, Kaohsiung, Taiwan, 2014.11.18-19.
72. Takahashi R. and Akamatsu T., “A new low frequency calibration method of underwater recording devices using a small tank”, The Eighth Annual Meeting of Fisheries Acoustic Society AFAS 2014, Kaohsiung, Taiwan, 2014.11.18-19.
73. Akamatsu T., Kimura S., Dong L., Wang K., Wang D., Shibata Y. and Arai N., “Acoustic capture-recapture method for towed acoustic surveys of echolocating porpoises”, The Eighth Annual Meeting of Fisheries Acoustic Society AFAS 2014 , Kaohsiung, Taiwan, 2014.11.18-19.
74. Imaizumi T., Fukuda Y., Abe K., Takao Y. and Akamatsu T., “Measurement of vessel noise by buoy system with a small underwater recorder”, The Eighth Annual Meeting of Fisheries Acoustic Society AFAS 2014, Kaohsiung, Taiwan, 2014.11.18-19.
75. Taga M.Y., Akamatsu T. and Matsuo I., “Feature analysis and automatic detection of fish sounds in the ocean”, The Eighth Annual Meeting of Fisheries Acoustic Society AFAS 2014, Kaohsiung, Taiwan, 2014.11.18-19.
76. Kameyama S., Akamatsu T., Dede A., Ozturk A. A. and Arai N., ”Quantitative acoustic discrimination between harbor porpoises and delphinids”, The Eighth Annual Meeting of Fisheries Acoustic Society AFAS 2014, Kaohsiung, Taiwan, 2014.11.18-19.
77. Wang Y., Inagawa C., Nishimori Y., Ito M., Matsuo I., Imaizumi T. and Akamatsu T., “High-accuracy measurement of fish swimming speed using a novel broadband split-beam fish finder and satellite speed log, The Eighth Annual Meeting of Fisheries Acoustic Society AFAS 2014, Kaohsiung, Taiwan, 2014.11.18-19.
78. Tomonari Akamatsu, “Acoustic remote sensing of marine organisms”, 1st Annual Meeting for the Society for Bioacoustics, Kitakomatsu, Shiga, December 12-13, 2014.
79. 岩瀬良一, “海底地震計記録からのナガスクジラ鳴音の検出と音源の概略位置の推定”, 日本地震学会 2014 年秋季大会, 朱鷺メッセ(新潟市), 2014.11.26.
80. 松原直人, 宗原弘幸, 赤松友成, 木村暢夫, 前川和義, 安間洋樹, “アイナメの産卵期における鳴音特性”, 日本水産学会北海道支部大会, 函館市国際水産・海洋総合研究センター, 2014.12.19-20.
81. 岩瀬良一, “海底地震計波形におけるナガスクジラ鳴音の特徴と音源定位についての考察”, 日本音響学会 2015 年春季研究発表会, 中央大学(東京都文京区), 2015.3.16.
82. 西田周平, 川口勝義, 今泉智人, 赤松友成, “DONET ハイドロフォンの校正”, ブルーアース 2015, 東京海洋大学(東京都品川区), 2015.3.19.
83. 多賀悠子, 赤松友成, 松尾行雄, “ニベ科魚類鳴音の自動抽出条件～遠隔的音響資源探査を目指して”, 平成 27 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学, 2015.3.28.
84. 高橋竜三, 赤松友成, “小型水槽を用いた受動音響装置の簡易校正手法”, 平成 27 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学, 2015.3.28.
85. 伊藤雅紀, 松尾行雄, 今泉智人, 赤松友成, “魚類鳴音の定位のための音源分離”, 平成 27 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学, 2015.3.28.
86. 今泉智人, 大島達樹, 佐々木安之, 彦坂明孝, 和田聖子, 伏島一平, 澤田浩一, 赤松友成, “人工浮き魚礁(FADs)操業における広帯域計量魚群探知機を用いたカツオとマグロ類の弁別”, 平成 27 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学, 2015.3.28.

87. 秋山優, 赤松友成, Marianne H. Rasmussen, 岩田高志, 佐藤克文, “アイスランドに来遊するザトウクジラの採餌行動と餌密度の関係”, 平成 27 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学, 2015.3.28.
88. 辻井浩希, 大槻真友子, 赤松友成, 松尾行雄, 甘糟和男, 喜多村稔, 菊地隆, 宮下和士, 三谷曜子, “設置型水中録音装置を用いたチャクチ海南部におけるナガスクジラ (*Balaenoptera physalus*) の鳴音モニタリング”, 平成 27 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学, 2015.3.28.
89. 市川光太郎, 元山渚, 赤松友成, Louisa Ponnampalam, Kee Alfian, 荒井修亮, “マレーシア・ジョホール州沿岸におけるジュゴンの海域利用特性”, 平成 27 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学, 2015.3.28.
90. Tomonari Akamatsu and Ryuzo Takahashi, “Underwater low frequency calibration for the quantitative measurement of ocean noise and auditory sensitivities”, Oceanoise2015, Barcelona, May 11-15, 2015.
91. 岩瀬良一, “東日本の海底地震観測網データからのナガスクジラ鳴音の発掘”, 海洋音響学会 2015 年度研究発表会, 東京, 2015.5.15.
92. 高橋竜三, 赤松友成, “小型水槽内の定在波を使用した受動音響機器の簡易校正手法の提案”, 海洋音響学会 2015 年度研究発表会, 東京大学生産技術研究所コンベンションホール, 2015.5.15
93. Ito M., Matsuo I., Imaizumi T. and Akamatsu T., “Localization of individual call among croakers’ chorus using a stereo recording system”, 137, 2221, 169th Meeting of the Acoustical Society of America, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2015.5.18
94. Imaizumi T., Ito M., Kinjyo A., Wang Y., Nishimori Y., Matsuo I. and Akamatsu T., “Broadband frequency response of fisheries species measured in a tank and ocean”, ICES SYMPOSIUM, NANTES, FRANCE, 2015.5.25.
95. Tsujii K., Otsuki M., Akamatsu T., Matsuo I., Amakasu K., Kitamura M., Kikuchi T., Miyashita K. and Mitani Y. “Migration timing of fin whales monitored by passive acoustic method in the southern Chukchi Sea”, ICES SYMPOSIUM, NANTES, FRANCE, 2015.5.25.
96. 西田周平, 今泉智人, 川口勝義, 赤松友成, “海底ケーブル型観測網の生物音響観測能力調査”, 平成 27 年度海洋理工学会春季大会, 東京, 2015.5.26.
97. 松尾行雄, “音響学とバイオメティクス”, バイオメティクス研究会, 産業技術総合研究所臨海副都心センター, 2015.7.7.
98. 岩瀬良一, “人工音源による釜石沖海底地震計設置方位推定と鯨類鳴音音源定位の検討”, 日本音響学会 2015 年秋季研究発表会, 会津若松, 2015.9.18.
99. 金城篤史, 伊藤雅紀, 松尾行雄, 今泉智人, “ケプストラム解析を用いた広帯域スプリットビームシステムの校正”, 平成 27 年度日本水産学会秋季大会, 東北大学川内北キャンパス, 2015.9.23.
100. 岩瀬良一, “東日本太平洋沖におけるハイドロフォン及び海底地震計によるナガスクジラ鳴音の検出と音源定位”, 平成 27 年度日本水産学会秋季大会, 仙台, 2015.9.24.
101. 伊藤雅紀, 松尾行雄, 今泉智人, 高橋竜三, 松裏知彦, “ステレオ録音装置を用いた魚類鳴音の定位性能評価”, 平成 27 年度日本水産学会秋季大会, 東北大学川内北キャンパス, 2015.9.24.
102. 岩瀬良一, “透過波による三陸沖ケーブル式海底地震計波形の地理座標系変換と海底表層の地震波速度の推定”, 日本地震学会 2015 年度秋季大会, 神戸, 2015.10.26.
103. Imaizumi T., Abe K., Ito M., Kinjyo A., Matsuo I., Wang Y., Nishimori Y. and Akamatsu T. “Measuring frequency response of fish by using broadband split-beam system at tank and sea”, The Ninth Annual Meeting of Asian Fisheries Acoustic Society, AFAS2015BANGKOK, THAILAND, 2015.11.16.
104. 岩瀬良一, “釜石沖海底ケーブル型地震計によるナガスクジラ鳴音の追跡”, 日本音響学会 2016 年春季研究発表会, 桐蔭横浜大学, 2016.3.10.

105. 浜野かおる, 後藤卓哉, 高木基裕, 赤松友成, 多賀悠子, 今泉智人, “クルマエビの自然交配における音響の影響”, 平成28年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学品川キャンパス, 2016.3.27.
106. 今泉智人, 貞安一廣, 赤松友成, “広帯域計量魚群探知機を用いた道東太平洋沖におけるスケトウダラの魚体長推定”, 平成 28 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学, 2016.3.28.
107. 今泉智人, 高橋竜三, 安部幸樹, “ステレオ録音機を用いた船舶騒音の測定”, 海洋音響学会 2016 年度研究発表会, 東京大学生産技術研究所, 2016.5.20.
108. 金城篤史, 伊藤雅紀, 松尾行雄, 今泉智人, 赤松友成, “広帯域スプリットビームシステムを用いた魚種分布の可視化”, 平成 28 年度海洋音響学会, 東京大学生産技術研究所, 2015.5.19-20.
109. 伊藤雅紀, 松尾行雄, 岩瀬良一, “釧路・十勝沖地震・音響観測システムを用いたナガスクジラ鳴音の時空間分布マップの作成”, 平成 28 年度海洋音響学会, 東京大学生産技術研究所, 2015.5.19-20.
110. Tzu-Hao Lin, Chia-Yun Lee, Tomonari Akamatsu, Lien-Siang Chou, “Seasonal changes in habitat use of Indo-Pacific humpback dolphins at an estuary”, International Conference on Biodiversity, Ecology and Conservation of Marine Ecosystems - BECoME2015, Hong Kong, June 1-4, 2015.
111. Ito M., Matsuo I., Imaizumi T., and Akamatsu T., “Localization of individual call among croakers’ chorus using a stereo recording system,” 171th Meeting of the Acoustical Society of America, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2016.5.23-27.
112. 岩瀬良一, “人工音源との波形比較による鯨類鳴音の音源定位”, 日本音響学会 2016 年秋季研究発表会, 富山大学, 2016.9.15.
113. K Yamato, I Matsuo, R Takahashi, N Matsubara, and H Yasuma, “Localization method of fish by using fish call sounds recorded by two stereo underwater sound recorders”, Techno-Ocean 2016, Kobe, Japan, 2016.10.6-8.
114. Takahashi R., Akamatsu T., Hasegawa D., Okunishi T., Nishida Y., Ura T., Takahashi H., Katsuragawa M. “Evaluation of Availability on Passive Acoustic Devices on Underwater Platforms”, Techno-Ocean 2016, Kobe, Japan, 2016.10.6-8.
115. Nakamura K., Hirakawa Y., Kamezaki N., Nakata T., Ono Y., Hatano M., Akamatsu T. “Acoustic Presence of Finless Porpoises around the Kansai International Airport”, Techno-Ocean 2016, Kobe, Japan, 2016.10.6-8.
116. Akamatsu T., Takahashi R., Imaizumi T., Kawaguchi K., Iwase R., Nishida S., “Ocean Acoustic Observing Platforms for Marine Creatures around Japan”, Techno-Ocean 2016, Kobe, Japan, 2016.10.6-8.
117. Nishida S., Iwase R., Kawaguchi K., Matsuo I., Akamatsu T. “Real Time Detection and Localization System for Underwater Acoustic Signal with Cable Observatories in the West Pacific Ocean”, Techno-Ocean 2016, Kobe, Japan, 2016.10.6-8.
118. Iwase, R., “Localization of Fin Whale Calls with a Cabled Ocean Bottom Seismometer off east Japan Pacific Ocean,” Techno-Ocean 2016, Kobe, Japan, 2016.10.6-8.
119. Imaizumi T., Abe K., Takahashi R., Matsuo I., Akamatsu T. “Visualization of Fish Movement and Size Estimation of the Fish by Using Broadband Split-Beam Echo Sounder,” Techno-Ocean 2016, Kobe, Japan, 2016.10.6-8.
120. C Lee, T Lin, T Akamatsu, L Chou. “Spatiotemporal variation in habitat utilization of humpback dolphins (*Sousa chinensis*) potentially affected by freshwater discharge”, 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, Honolulu, Hawaii, 2016. 11. 28- 12. 2.
121. N Matsubara, H Munehara, R Takahashi, T Akamatsu, K Yamato, I Matsuo, N Kimura, K Maekawa, H Yasuma, “Acoustic property of sound production by fat greenling (*Hexagrammos otakii*) in spawning season”, 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, Honolulu, Hawaii, 2016. 11. 28- 12. 2.
122. T Imaizumi, K Sadayasu, T Akamatsu, “Size estimation of walleye pollack (*Theragra chalcogramma*) by using a broadband split-beam system”, 5th Joint Meeting of the

- Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, Honolulu, Hawaii, 2016.11. 28- 12. 2.
123. R Takahashi, T Akamatsu, T Imaizumi, I Matsuo, “Passive acoustic monitoring of fishes and a crustacean using a towed hydrophone in Tateyama bay”, 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, Honolulu, Hawaii, 2016.11. 28- 12. 2.
  124. K Tsujii, M Otsuki, T Akamatsu, I Matsuo, K Amakasu, M Kitamura, T Kikuchi, K Miyashita, Y Mitani, “Seasonal acoustic presence of fin and bowhead whales in relation to prey abundance and oceanographic environments in the southern Chukchi Sea”, 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, Honolulu, Hawaii, 2016. 11. 28- 12. 2.
  125. M Otsuki, T Akamatsu, T Nobetsu, Y Mitani, “Presence of ribbon seal vocalizations are related to sea ice extent in the Nemuro Strait, the Okhotsk Sea”, 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, Honolulu, Hawaii, 2016. 11. 28- 12. 2.
  126. Hiroki Higashisaka, Takashi Matsuishi, and Tomonari Akamatsu, “Presence and behaviour of harbour porpoises around a set net by using passive acoustic monitoring”, The 10th annual meeting of Asian fisheries acoustics society, Hakodate, Japan, 2016.11.21-23, Student best presentation award.
  127. Naoto Matsubara, Makoto Sakamoto, Seiji Katakura, Tomonari Akamatsu, Ryuzo Takahashi, Yasuzumi Fujimori, Nobuo Kimura, Kazuyoshi Maekawa, Hiroki Yasuma, “Sound production by Steindachner (*Sebastes taczanowskii*) and relationship between received sounds and fish density”, The 10th annual meeting of Asian fisheries acoustics society, Hakodate, Japan, 2016.11.21-23.
  128. Mayuko Otsuki, Tomonari Akamatsu, Takahiro Nobetsu, Yoko Mitani, “Temporal distribution of ribbon seal vocalizations in the Nemuro Strait, the Okhotsk Sea,” The 10th annual meeting of Asian fisheries acoustics society, Hakodate, Japan, 2016.11.21-23.
  129. Ryuzo Takahashi, Tomohito Imaizumi, Matsuo Ikuo, Tomonari Akamatsu, “Spatial - temporal variation of biological sounds of fishes and crustacean in Tateyama Bay”, The 10th annual meeting of Asian fisheries acoustics society, Hakodate, Japan, 2016.11.21-23, Young fisheries acoustic award.
  130. Tomohito Imaizumi, Kazuhiro Sadayasu, “Size estimation of walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) by using a broadband split-beam system and narrowband echo sounders” The 10th annual meeting of Asian fisheries acoustics society, Hakodate, Japan, 2016.11.21-23.
  131. Akamatsu T., “Cetaceans as the key species for aquatic environmental assessment”, 第五屆海峽兩岸海豚研究和保護檢討會, 三壘市, 中国, 2016.10.19-21.
  132. 岩瀬良一, “20 年超の長期観測に基づく相模湾初島沖のマッコウクジラ鳴音について”, 日本音響学会 2017 年春季研究発表会, 明治大学生田キャンパス, 2017.3.16.
  133. 金城 篤史, 松尾 行雄, 今泉 智人, “広帯域スプリットビームシステムを用いたディープラーニングによる魚種識別”, 海洋音響学会 2017 年度研究発表会 予稿集 pp.41-44, 2017.5.24-25.

③ ポスター発表 (国内会議 7 件、国際会議 18 件)

1. 木村里子, 依田憲, 赤松友成, “伊勢湾・三河湾における 2012 年夏のスナメリ分布”, 日本動物行動学会第 31 回大会, 奈良女子大学, 2012.11.23-25.
2. 森阪匡通, Marta J. Cremer., Annelise C.Holz., Camila M. Sartori, Beatriz Schulze, 赤松友成, “ハクジラ類の音響進化〜ラプラタカワイルカの鳴音の音響特性”, 日本動物行動学会第 31 回大会, 奈良女子大学, 2012.11.23-25.
3. 岩瀬良一, “レガシーデータから「発掘」された相模湾初島沖における深海音響イベント”, 海洋音響学会 2013 年度研究発表会, 東京都目黒区, 2013.5.27.
4. Iwase R., “Archive and excavation of acoustic data and videos on deep seafloor off Hatsushima Island in Sagami Bay”, Symposium on Ultrasonic Electronics, Kyoto, Japan, 2013.11.22.



5. Otsuki M., Akamatsu T., Abe K., Nobetsu, T., Mitani Y., Sakurai Y. and Miyashita K., "Diel and seasonal changes in acoustical presence of marine mammals off Rausu, northern Japan", 20th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Dunedin, New Zealand, 2013.12.9-13.
6. Kameyama S., Dede A., Amaha-Ozturk A., Akamatsu T. and Tonay A.M., "Difference in micro habitat use between harbor porpoise and delphinids in the Istanbul Strait", 20th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Dunedin, New Zealand, 2013.12.9-13.
7. Amano M., Kusumoto M., Abe M. and Akamatsu T., "Effectiveness of pingers for mitigation of bycatch of finless porpoises", 20th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Dunedin, New Zealand, 2013.12.9-13.
8. Kikuchi M., Akamatsu T., Gonzalez-Socoloske D., de Souza D.A., Olivera-Gomez L.D. and da Silva V.M.F., "The usage of vocalization in captive manatees", 20th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Dunedin, New Zealand, 2013.12.9-13.
9. Sasaki-Yamamoto Y., Akamatsu T., da Silva V.M.F. and Kohshima S., "Time dependent habitat change in bottlenose dolphins (*Inia geoffrensis*) observed by passive acoustic monitoring", 20th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Dunedin, New Zealand, 2013.12.9-13.
10. Iwase R., "On fin whale vocalizations seen on waveforms of ocean bottom seismometers in East Japan Pacific sea area", The 35th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2014), Meiji University (Tokyo), 2014.12.5.
11. Iwase R., "Vocalizations of sperm whale and fin whale detected at underwater cabled observatories in eastern Japan", The 1st Annual meeting of The Society for Bioacoustics, Doshisha Biwako Retreat Center (Ohtsu-city, Shiga Pref.), 2014.12.13-14.
12. Kinjo A., Ito M., Matsuo I., Imaizumi T. and Akamatsu T., "Species classification of individual free-swimming fish using the support vector machine", The 1st Annual meeting of The Society for Bioacoustics, Japan, Shiga, Doshisha Biwako Retreat Center (Ohtsu-city, Shiga Pref.), 2014.12.13-14.
13. 岩瀬良一, "ナガスクジラ鳴音から推定される海底表層の物理特性", 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2015.5.27.
14. Iwase R., "Estimation of Elastic Wave Velocity of Surface Sediment on Seafloor and Localization of Sound Source Based on Transmitted Wave Observation with an Ocean Bottom Seismometer", The 36th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2015), Epochal Tsukuba International Congress Center, 2015.11.7.
15. 今泉智人, 赤松友成, "広帯域計量魚群探知機を用いた水産資源にやさしい漁獲", 環境研究機関連絡会主催環境研究シンポジウム, 学術総合センター内一橋大学一橋講堂, 2015.11.10.
16. Iwase R., "Study on baleen whale localization with a single ocean bottom seismometer off Sanriku in northeast Japan", The 2nd Annual Meeting of the Society for Bioacoustics, Ohashi Campus, Kyushu University, 2015.12.12.
17. Ito M., Matsuo I., Imaizumi T. and Akamatsu T., "Estimation of fish behaviour using stereo sound recording system", The 2nd Annual Meeting of the Society for Bioacoustics, Ohashi Campus, Kyushu University, 2015.12.12.
18. 岩瀬良一, "単一の3成分海底地震計を用いたナガスクジラ鳴音の音源定位についての一考察", 日本音響学会 2016 年秋季研究発表会, 名古屋国際会議場, 2016.10.5.
19. K Yamato, I Matsuo, R Takahashi, N Matsubara, and H Yasuma, "Sound localization of fish calls recorded by two stereo-underwater-recorders", 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, Honolulu, Hawaii, 2016. 11. 28- 12. 2.
20. Otsuki M., Akamatsu T., Nobetsu T., Mitani Y. "Diversity of Marine Mammal Vocalizations off Rausu, Shiretoko, Northern Japan", Techno-Ocean 2016, Kobe, Japan, 2016.10.6-8.
21. Tsujii K. Otsuki M., Akamatsu T., Matsuo I., Amakasu K. Kitamura M., Kikuchi T., Miyashita K. Mitani Y. "Migration Monitoring of Fin Whales in the Southern Chukchi Sea with Acoustic Methods during 2012–2015", Techno-Ocean 2016, Kobe, Japan, 2016.10.6-8.
22. Iwase, R., "Sperm whale vocalizations obtained through 23 year observation on deep seafloor off Hatsushima Island in Sagami Bay," The 3rd Annual Meeting of the Society for Bioacoustics, Irago-cho Tahara-shi, Aichi, Japan, 2016.12.10-11.

23. K Yamato, I Matsuo, R Takahashi, N Matsubara, and H Yasuma, "Sound localization of fish calls recorded by two stereo-under-water-recorders.," 172th Meeting of the Acoustical Society of America, Honolulu, Hawaii, 2016.11.28-12.2.
24. Iwase, R., "Detection and Localization of Whale Vocalizations in Archived Data of Seafloor Cabled Observatories in Eastern Japan," The 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and the Acoustical Society of Japan, Honolulu, Hawaii, USA, 2016.12.1.
25. 松原直人, 坂本誠, 片倉靖次, 赤松友成, 高橋竜三, 藤森康澄, 木村暢夫, 前川和義, 安間洋樹, "エゾメバルの鳴音の音響特性; 鳴音受信頻度と個体密度の関係," 第32回北方圏国際シンポジウム「オホーツク海と流氷」ポスター F-10, 2017.2.21.

#### (4)知財出願

##### ①国内出願 (2件)

1. 発明の名称:体長種別判別装置、水中探知装置及び体長種別判別方法

発明者:松尾行雄、金城篤史、伊藤雅紀、今泉智人

出願人:学校法人東北学院、古野電気株式会社、独立行政法人水産総合研究センター

出願日:2013年10月31日

出願番号:特願 2013-227634

2. 発明の名称:水中探知装置、水中探知方法および水中探知プログラム

発明者:西山義浩、松尾行雄、今泉智人

出願人:古野電気株式会社、学校法人東北学院、国立研究開発法人水産総合研究センター

出願日:2016年3月23日

出願番号:特願 2016-058007

#### (5)受賞・報道等

##### ①受賞

1. CERTIFICATE OF YOUNG FISHERIES ACOUSTICIAN AWARD, Imaizumi T., Kaoru F., Yamasaki S, Abe K., Sawada K., Ito M., Matsuo I., Wang Y., Nishimori Y., Akamatsu T., The measurement of fish close to the bottom by the broadband split-beam echo sounder, The Seventh Annual Meeting of Fisheries Acoustics Society, Shinagawa, Tokyo, 2013.11.5-6.
2. ベスト発表賞、多賀悠子、鹿島沿岸域に生息するニベ科魚類の発声行動の定量的評価、2014年度海洋若手会夏の学校、東海大学三保研修館、2014.8.31.
3. 平成26年度日本水産学会水産学進歩賞、赤松友成、2015.3.29.
4. Student best presentation award, Hiroki Higashisaka, Takashi Matsuishi, and Tomonari Akamatsu, "Presence and behaviour of harbour porpoises around a set net by using passive acoustic monitoring", The 10th annual meeting of Asian fisheries acoustics society, Hakodate, Japan, 2016.11.21-23.
5. Young fisheries acoustic award, Ryuzo Takahashi, Tomohito Imaizumi, Matsuo Ikuo, Tomonari Akamatsu, "Spatial - temporal variation of biological sounds of fishes and crustacean in Tateyama Bay", The 10th annual meeting of Asian fisheries acoustics society, Hakodate, Japan, 2016.11.21-23.

##### ②マスコミ(新聞・TV等)報道

1. NHK E テレサイエンス ZERO 「イルカが話す！触れあう！不思議な能力の秘密」2012.3.3 放映
2. 毎日新聞 「クジラや漂流物と衝突する事故を回避する対策について」2012.4.25 掲載
3. ニッポン放送 松本ひでお 情報発見ココだけ 「魚の声の研究を紹介」2013.3.15 放送
4. 朝日新聞土曜版 be のちゃんの Do 科学 「イルカは超音波をどう出す？」2013.5.4. 掲載
5. NHK おはよう日本 首都圏 「水産資源を守る”魚群探知機“」2013.9.20 放映
6. 東北放送 N スタ宮城 「イルカ型ソナーについて」2013.10.4 放映
7. 朝日新聞科学欄 「イルカをまねた魚群探知機」2014.3.20 掲載
8. 朝日新聞茨城版 「(探訪！研究者たちの現場)海を探る:13 魚群探知機、イルカに学ぶ」2014.5.30 掲載

9. 読売新聞夕刊「ふしぎ科学館 水温・探知機で見分ける」2014.9.20 掲載
10. 北海道新聞社、「ネズミイルカ行動調査」、2014.6.19 掲載
11. NHK ニュース7、ナガスクジラの声 海底地震計で捉えた、2015.2.28

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

- ・平成 26 年度より、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP: Strategic Innovation Promotion Program)の一環として開始された「次世代海洋資源調査技術」の一部として生態系の実態調査と長期監視技術の開発が始まり、伊豆大島沖の熱水活動域をターゲットにケーブル式観測システムの開発を実施
- ・平成 25 年度より、地球規模課題対応国際科学技術協力(SATREPS) に採択され、現在実施中 課題名「“フィールドミュージアム”構想によるアマゾンの生物多様性保全」の分担課題と研究成果の社会還元をすすめている。研究代表者 幸島 司郎(京都大学)
- ・平成 25 年度より、海洋音響学会新部会「広帯域海洋音響探査技術部会(広帯域部会)」を立ち上げ、幹事として広帯域技術の普及を推進
- ・平成 24 年度より、JST「A-STEP」事業に採択された「海洋生態系環境の健全度指標の構築に関する基礎的研究」(代表 有馬正和 大阪府立大)に深海型音響記録装置の技術協力
- ・環境省および経済産業省が主導する洋上風力アセスメントに成果が活用されている。本報告書の研究項目「新プラットフォームへの組込」に詳述
- ・環境アセスメント事業者に向けた観測および解析の講習会を2014年5月9日と9月26日に開催した。
- ・得られた成果が「浮体式洋上風力発電設備(ふくしま未来)設置実証研究事業 環境影響評価書」に記載された。
- ・本研究で推進している広帯域ソナーの応用について(株)古野電気と共同研究中

② 社会還元的な展開活動

- ・2014.8 生物多様性条約(CBD)の「水中騒音」問題への対応について、国土交通省海事局と協議を開始した。
- ・2014.7 船外機音の海中生物への影響に関し、ヤマハ発動機(株)に情報を提供した
- ・2014.5 研究リームリーダーの松尾と研究代表者の赤松が理事となって(社)生物音響学会が発足した。
- ・2013.4 海洋音響学会広帯域部会が発足した(部会長 赤松、幹事 今泉研究員)。
- ・2011- 国際標準化機構(ISO)で生物音の定義や海中騒音計測の基準作りに参画している。
- ・2011-現在 下記の委員会活動を通じて、水中生物音響関連成果を提供している。  
 環境省「平成26年度潮流発電技術実用化推進事業委員会委員(2014.10-2015.3.31)  
 環境アセスメント調査早期実施実証事業ステアリング委員会(2014.9-2017.3)  
 環境省個別事業助言委員(2013)  
 浮体式洋上風力発電機設置実証事業 海鳥及び海生生物等の保全検討委員(2013)  
 経済産業省洋上風力発電等技術研究開発委員 (2010-現在)  
 IUCN(国際自然保護連合)海牛類専門家委員(2013-現在)  
 IUCN(国際自然保護連合)鯨類専門家委員(2008-現在)  
 IEEE/Ocean Engineering Society 日本側委員(2010-現在)

## § 5 研究期間中の活動

### 5. 1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2013年 5月21日	海洋音響学会 第一回広帯域部会	東京海洋大 学 品川キャンパス	30人	広帯域音響技術に関する 研究発表
2013年 8月7日	海洋音響学会 第二回広帯域部会	東京工業大 学 蔵前会館	20人	広帯域音響技術に関する 研究発表
2014年 1月7日	海洋音響学会 第三回広帯域部会	東京工業大 学 蔵前会館	20人	広帯域音響技術に関する 研究発表
2014年 3月3日	熱海市立熱海中学校第 48回立志式	熱海市立熱 海中学校	150人	立志式での記念講演
2014年 3月13日	第24回海洋工学シンポ ジウム	日本大学駿 河台キャンパス	180人	広帯域音響と洋上風力ア セスメントに関連する講演
2014年 4月8日	海洋音響学会 第四回広帯域部会	東京工業大 学 蔵前会館	20人	広帯域音響技術に関する 研究発表
2014年 8月6日	海洋音響学会 第五回広帯域部会	東京工業大 学 蔵前会館	20人	広帯域音響技術に関する 研究発表
2015年 5月11日	OCEANOISE2015	スペイン	約200人	組織委員
2016年 4月20日	OCEANOISE ASIA	台北	20人	組織委員

## §6 最後に

海の研究は、アイデアを実現するまでに時間がかかります。本チームは最初の3年間で基礎ステージと位置づけ、観測体制や解析手法を整備しました。この期間は要素技術の開発段階で、外から見ますと進展が見えにくい時期でもあったかと思えます。実際は、後半の応用ステージに向けた様々な試みを行うことができました。多くは失敗したりうまくいかなかったりの繰り返しでしたが、この最初の三年間で淘汰されずに残った現場や観測手段や解析手法が最後に活かされています。5年間の長期プロジェクトであったからこそ、こうした試行錯誤を行うことができました。短期のプロジェクトでは難しい研究方法の取舍選択に腰を据えて取り組むことができたのはCRESTプログラムのおかげです。また試行錯誤で得られた結果には、当初予想していなかったものや、プロジェクトの流れからは少し外れたもの、まだ試行途中のものもあり、その多くは最終報告書に盛り込むことができませんでした。これらの個別の成果につきましては、論文などで小テーマごとにまとめて公表してまいりたいと考えております。

研究4-5年目の応用ステージでは、洋上風力発電による再生可能エネルギーの普及や地震観測網の整備という社会的な追い風がありました。開発機器やその解析方法が急速に普及しました。とくに海洋での環境影響評価における小型鯨類の観測では、日本で標準的に使われる手法に仕上がったと感じております。また、環境省や経済産業省、NEDO および現場観測を行う方々と密に協力することで、CREST プロジェクト予算ではまかないきれない広域での観測が可能になりました。対象種も、小型鯨類だけでなく魚類や甲殻類にひろがりました。東日本沖合に展開されている地震観測網からのデータ発掘で、ナガスクジラの超広域での出現様式が明らかになりました。水中の生き物が発する音による多種の生物分布の可視化は、CREST開始当初は夢のようなアイデアでしたが、5年間で実装可能な技術となりました。これまで漁獲や目視に頼っていた海洋生物調査に新しい手法を提供できたと考えております。

今後は、開発技術の一層の普及につとめ、社会に貢献していく所存です。CREST のプロジェクト支援により、長期的視点に立った研究を進めることができました。あらためて、評価委員の先生方、JST 関係各位、現場調査や様々な手続きにご協力いただいた方々、そしてチームメンバーに深く感謝いたします。