

安全保障技術研究推進制度 令和5年度終了課題 終了評価結果

1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：沿岸域における海中サウンドスケープ観測システムの開発に関する基礎研究
- (2) 研究代表者：一般社団法人全国水産技術協会 原 武史
- (3) 研究期間：令和元年度～令和5年度

2. 終了評価の実施概要

実施日：令和6年11月26日

場所：TKP秋葉原カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所 理事長、上席研究員／東京大学 名誉教授

平澤 洽（委員長）

東京農工大学 名誉教授

宇野 亨

情報通信研究機構 主席研究員

門脇 直人

慶應義塾大学 名誉教授

笹瀬 巖

元 東海大学 教授

森本 雅之

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3. 研究と成果の概要

研究の概要

現地調査、水槽実験等により水中音の収集を行い、収集した音源データをもとに音源分類アルゴリズムの構築を行う。

また、海底設置型のサウンドスケープ録音機、アオウミガメに装着したロガー、クラウドサーバー等からなる情報収集・配信システムの構築を行い、石垣島周辺海域における長期実験によって、サウンドスケープの時空間分布を観測、配信する。

成果の概要

音源をリアルタイムで分類する技術を開発し、音源情報をサウンドスケープ録音機によって即時に分類して、リアルタイムで長距離水中通信する技術の開発を行った。

また、サウンドスケープ録音機を多点展開し、石垣島周辺海域を網羅する観測ネットワークを構築し、海面利用者へサウンドスケープの時空間分布を配信した。

4. 終了評価の評点

B 一定の成果があった。

5. 総合コメント

海中に広がる音源についての知見を組織的に収集し、分類手法を構築したことは評価するが、データ解析を含め目標には届かなかった。また、サウンドスケープについても具現化と有益性に関しては十分とは言えないが、ラベリング手法などの工夫により、データの活用範囲が広がることが期待できる。

今後、本研究の副次的成果である「めいおん図鑑」を発展させるとともに、さらにデータ数・地点を広げていくなど、国際的な仲間を増やし、この種の研究の継続的な発展を期待する。

6. 評価の観点ごとの評価結果と個々の委員によるコメント

6-1. 研究開始時に設定した研究目標の達成度（主題的成果）

1) 特定の音源をリアルタイムで分類する技術の開発

本研究の基本となる石垣島周辺海域における音源収集については、当初の計画では 100 音種を目標にスタートしたが、生物音 39 音種、環境音 2 音種、人為音 11 音種の合計 52 音種の収集にとどまった。

この原因としては、天候条件によって収集できる時間が限定されること、鳴音を発しない魚類が予想外に多かったこと、音源によってはアルゴリズムを構築するために十分な量の教師データが収集できなかったこと等が考えられる。

2) 音源分類能力

得られた音源データの 70%を学習に、30%を評価に用いたシミュレーション、Direct-in および現地実験では、当初目標とした分類性能を発揮することができたが、長期実験においては、必ずしも期待された性能を発揮することができなかった。

その理由としては、長期実験で観測したサウンドスケープには、未知の音源が多く含まれること、既知の音源の中でも似通ったものがあること、複数の音が同時に発生していることなど、多様かつ複雑であることなどが考えられる。

また、長期実験における音源分類性能評価においては、現場では真の音源が不明なため、評価そのものが困難であるという問題があったが、それを解決するためには、音と映像の同時収録などによる音源の特定が必要であると考えられる。

3) 分類した音源情報をリアルタイムで長距離水中通信する技術の開発

長距離水中通信技術の開発においては、当初の目標である 1,000m を達成することができた。

しかし、整備された条件下で実施される海中通信実験とは異なり、サウンドスケ

ープ録音機と通信ブイを現場で運用する長期実験においては、無視できない量のデータが海中通信の際に失われることが分かった。

通信の品質を向上させるためには、ピンガー音の反響や減衰の影響を受けにくい場所への観測機器の設置、波浪の影響を受けにくい通信ブイの形状の検討等が必要であることが分かった。

4) 上記の機能を持った音響機器(サウンドスケープ録音機)の開発

サウンドスケープ録音機の開発においては、当初の目標とした数値をすべて達成することができた。

5) 上記の音響機器(サウンドスケープ録音機)を多点展開し、モデル海域を網羅する観測ネットワークの構築

サウンドスケープ録音機を石垣島周辺海域 3 か所に多点展開し、また、アオウミガメに観測機器を装着して、音源データの収集を行った。

当初は四季に設置することを目標としていたが、冬季間は風と波浪の影響から、設置したとしても電池交換などのメンテナンスが困難であることから、海面利用者が減少することから夏季を中心に運用することとした。

6) 海面利用者への音源ごとの時空間分布(サウンドスケープ)の配信

サウンドスケープ録音機と海洋生物装着型ロガーから得た情報をクラウドサーバー上で統合して、サウンドスケープ情報として配信した。

【個々の委員によるコメント】(主題的成果)

- ・サウンドスケープを描くまでには至らなかった。
- ・所期の目標である音源の時空間分布可視化は達成されたとはいえないが、目標達成のための基礎データはある程度得られたと考えられる。
- ・魚種数、サウンドスケープの具現化に関しては目標に届いていないが、データ収集や分類手法の構築はできている。
- ・3 か所での固定観測とカメを用いた移動観測により、52 種類の音源分類を行い、リアルタイムで 1km 程度の長距離水中通信技術を開発したことは評価できる。ただし、サウンドスケープ観測システムとしてはやや物足りなく感じる。
- ・個々の研究課題についての目標は達成したが、その全体を総括するサウンドスケープとしてのまとめがない。

6-2. 計画時に想定していなかった成果（副次的成果）

1) 「めいおん図鑑」

魚類 272 種のうち、57 種(82 音種)を収録し、公開した。

2) 鳴音・映像同時収録

鳴音・映像同時収録装置を開発した。

3) 生物音の収集方法

自然条件下における観察（魚類調査）を実施し、水槽実験において生息環境を考慮して、生物音を効率的に収集する方法を提案した。

4) カメラロガー

移動体用として開発したが、海底への固定式カメラとしても活用が可能であると考えられた。

5) 生物装着型ロガー

深層学習により音響を分類し、生物が浮上する際に通信を行う試みは世界初である。アオウミガメに装着し、音響機器の設置が困難な空間において観測が可能となり、定点に設置した観測機器と組み合わせることによって、沿岸域を広く網羅する音響観測網を構築し、魚類の鳴音や人為音のマップ化が可能となった。

【個々の委員によるコメント】（副次的成果）

- ・生物学的なデータの収集はある程度できた。
- ・ロガーの製品化などの成果があり、有益であった。
- ・「めいおん図鑑」に 57 種（82 音源）を収録して公開したことや、スキューバダイビング愛好者の興味拡大の可能性について評価できる。

6-3. 他の者により派生した成果（間接的成果）

1) 魚類が鳴音を発することを知らないダイバーが多く、今後スキューバダイビングの楽しみ方が拡大することが予想される。

2) スキューバダイビング愛好者が、長時間音源・映像収録装置を使用することによって、興味の対象が拡大する可能性がある。

【個々の委員によるコメント】（間接的成果）

- ・研究自体にまだ広がりができていない。
- ・間接的成果が明確でなかった。
- ・スキューバダイビングなどにも活用できる。

6-4. 科学技術上特筆すべき成果

- 1) 現地調査等において実験に供した魚類 272 種のうち 57 種 (82 音種) について、魚種ごとにその映像と鳴音を「めいおん図鑑」に掲載した。これほど多くの種類を網羅した海洋生物の音声情報アーカイブを作成する試みは我が国では初めてである。
- 2) 鳴音・映像の同時収録用機材の製作や水槽実験のノウハウを蓄積することができた。
- 3) 本研究で開発した生物装着型ロガーは、アオウミガメが海上に浮上した時に、アルゴス衛星を経由して、深層学習により分類された音源データを送信する試みとしては、世界初のシステムと考えられる。
- 4) アオウミガメをプラットフォームとしたことによって、音響機器の設置が困難な空間における観測が可能となり、沿岸域を広く網羅する音響観測網を構築することができた。
- 5) アオウミガメ用に開発したデータロガーは、最終的には音源ライブラリ収集を目的として、海底への固定式カメラとしても活用された。

【個々の委員によるコメント】(科学技術上特筆すべき成果)

- ・ 成果の情報発信サイトを公開したことは評価できる。
- ・ 鳴音から一定の魚種分類が可能になったことは意義が大きい。
- ・ 海中生物種の音響による特定については科学技術上の成果となる。さらなるデータの収集と解析を期待する。

6-5. 論文 (投稿中のものも含む)、学会発表等

学術論文 2 件 学会発表 16 件

6-6. 特許 (出願中のものも含む)

出願中： 国内 1 件

【個々の委員によるコメント】(論文、特許、学会発表等の研究成果)

- ・ 論文、学会発表は多くないことは、研究者としてのアクティビティの問題かと思う。
- ・ 特許も現状では出願が 1 件だけであることから、今後に期待したい。
- ・ ロガー開発に関して出願しており、妥当である。

6-7. 科学技術への波及効果

- 1) 「めいおん図鑑」は、種や個体内のバリエーションを含む複数のデータを蓄積し共有することによって、対象生物判別のための教師データとして発展させることが期待される。
- 2) 生物装着型ロガーは、海外の研究者の注目するところとなり、製品化される可能性がある。

- 3) バイオロギング用サウンドスケープ観測機器は小型であることから、研究者が手で持って観測するほか、AUV 等にも装着が可能であるため、今後、生物多様性の評価や人間活動による生態系への影響評価などへの活用が期待される。
- 4) 本研究において収録した魚類の鳴音について、水中音響の専門研究者から提供の依頼があったので、研究成果の活用方法を、今後、協会内で規程の制定も含めて検討することとしている。

【個々の委員によるコメント】（発展性と波及効果）

- ・まだ広がりができておらず、基礎固めの段階である。
- ・基本的な研究に留まっており、研究の発展性が明確ではないが、波及効果は期待できる。
- ・サンプルが増えれば、活用の範囲が大幅に増えることが期待される。ロガーの実用化が進めばこの分野の研究の推進に有益である。
- ・めいおん図鑑の発展、生物搭載型ロガーや魚類の鳴音のデータ利活用が期待できる。
- ・さらにデータの数、地点を広げていくことに意味がある。

6-8. 効率的な研究実施体制とマネジメント

研究代表者が研究担当者会議、研究実施者会議を開催し、専門家からなる「海中サウンドスケープ観測システム開発研究委員会」の指導・助言を得て、効率的に実施した。

【個々の委員によるコメント】（効率的な研究実施体制とマネジメント）

- ・ロギングと固定音源収集とのグループのコミュニケーションに問題があった。
- ・所期の目標を見失った感があるが、概ね妥当と評価できる。
- ・新型コロナでいろいろと支障があったと思われるが、それなりに成果が出ており、実施体制とマネジメントは妥当であったと思われる。

6-9. 研究推進時に生じた問題への対応

サウンドスケープ録音機の製作に時間を要するため、年度当初から長期実験を実施することができなかったことがあったことから、必要な発注を前年度に行った。

【個々の委員によるコメント】（研究推進時に生じた問題への対応）

- ・最後まで改善されなかった。
- ・生物学的な興味に進んだきらいがある。
- ・概ね妥当である。

6-10. 経費の効率的な執行

- 1) 研究担当者会議と委員会を同時に開催するようにした。
- 2) 新型コロナウイルス感染症の流行が始まってから、会議の開催が難しい状況が続いたので、参加者が同じ会議は同時開催としたほか、WEB 会議を採用することによって、経費の効率的執行に努めた。
- 3) 現地調査においては、必要最小限の人数にとどめ、経費の効率的執行を図った。

【個々の委員によるコメント】（経費の効率的な執行）

- ・ 妥当である。