

令和 2 年 9 月 14 日現在

機関番号：82824

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H00799

研究課題名(和文) サンゴ礁生態系の変動を生物音で観測する

研究課題名(英文) Monitoring of coral reef ecosystem by underwater biological sounds

研究代表者

赤松 友成 (AKAMATSU, TOMONARI)

公益財団法人笹川平和財団・海洋政策研究所 海洋政策研究部・上席研究員

研究者番号：00344333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 29,500,000円

研究成果の概要(和文)：見通しの効かない水中には音があふれている。その音の構成要素は季節や時間帯によって異なる。本研究では音の要素の集合であるサウンドスケープを、教師なし機械学習を用いて可視化した。多年にわたる連続観測で、サンゴ礁のサウンドスケープの明瞭な季節変化と日周変化を捉えた。また音素の多様性は浅場より深場が大きかった。海表面温度の影響を受けにくい深場が、温暖化によるサンゴの避難地となっているという仮説を支持する結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水中音記録と機械学習を組み合わせ、これまで見過ごされていた新しい観測対象であるサウンドスケープを可視化した。音は、Essential Ocean Variablesにも挙げられるようになり、特に人間による直接かつ連続した観察が難しい沖合や深海での生態系の理解に役立つと考えられる。サウンドスケープの構成要素が生物音の場合、その音の種類が多様性は生物種が多様性を示すひとつの指標とも考えられる。海中観測の新しい手法として、サウンドスケープ解析が提案された。

研究成果の概要(英文)：Many types of sounds can be heard in the water. Composition of various sources changes diurnally or seasonally. This research visualized underwater soundscape using unsupervised machine learning. Based on the recordings of multiple years, soundscape in coral reefs showed daily and seasonal changes. In addition, diversity indexes of sound types in deep water was higher than that in shallow water. The result supports the refugia hypothesis that suggest mesophotic coral reef ecosystem could have less effect by ocean warming.

研究分野：水中生物音響

キーワード：サウンドスケープ 騒音影響評価 機械学習 魚類 鯨類 環境アセスメント サンゴ礁 温暖化

## 1. 研究開始当初の背景

サンゴは気候変動の影響を敏感に受ける。高い海水温などのストレスで褐虫藻との共生関係が崩れ白化する。2016年は水温30度を超えた期間が長く、国内最大のサンゴ礁である石西礁湖をはじめ沖縄県から和歌山県までの広い範囲で、1998年以来ともいわれる深刻な白化が観測されている。白化した群体や死滅したサンゴからは共生動物が去っていくことが知られており、サンゴ礁全体の生物量と種が減少する。共生動物の生息密度や種類が減少すると、それらから発せられる音声の数や種類も減る。近年、生物が発する音を用いた生態観測技術が世界的に注目を集めている。衛星技術が使えない海中ではとくに、生物音を用いた資源動態や分布の遠隔観測は強力な手法である (Nature 531, 366-370, 2016)。生物音を用いたサンゴ礁生態系の音響リモートセンシングが実現すれば、生物多様性の保全と地域の水産資源の保護育成の双方に資する。

生物多様性を測る強力なツールである環境ゲノムは物質であるため、海中の複雑な拡散過程や生体内での代謝排出などの影響を受け、時間と場所に関する定量解析が難しい。一方、音波は発信者から数十mから数百m以内にほぼ瞬時に伝わる物理信号であるため、時刻や位置を同定した直接計測が可能である。未知の生物種の断片を含む試料から生物多様性を測るメタゲノム解析と同じように、未知の音源を含む録音データから音種を分類し多様性指標として数値化する音響解析ができれば、従来にない生態観測手法を提供することができる。

## 2. 研究の目的

水中の生物音の種類に対する観測数の頻度分布でサウンドスケープを表現し、シャノン・ウィナーの多様性指数を用いてサンゴ礁生態系を構成する共生動物群の多様性を定量化する。とくに白化の進行およびサンゴの回復過程における生物多様性の推移と海洋物理環境の関連に着目する。これまで、潜水によって行われてきた精密な生物群集観察に加え、水中自動録音機を活用した生物多様性の音響リモートセンシング手法を開発する。最終年度には、深場のサンゴがサンゴ礁全体の生物多様性を保全する避難地となっているという仮説を音響生物学から検証する。

## 3. 研究の方法

水中生物音により多様性の評価およびその可視化ができることを実証するため、観測網の構築、多様性の数値化、避難地仮説の検証の3つの課題を遂行する。

サンゴ礁水域における水中音響生態観測サイトの構築 (H29-H30) では、沖縄県本部町沖に日本初となる海洋生物音の長期モニタリングサイトを構築する (図1)。同時に精密な海洋物理計測を行う。

水中サウンドスケープによる生物多様性の数値化 (H29-H30)では、 で収集された音響情報を音素に分類してサウンドスケープを数値化し、その種別頻度分布を多様性の指標として用いる。

サンゴ礁域での深場における生物多様性避難地仮説の検証 (H31)では、 の成果を応用し、サウンドスケープの多様性を指標として、深場と浅場の生物音の多様性を比較する。環境変動に対して頑健なサンゴ礁生態系の遺伝子保存メカニズムを、音響生物学の視点から検証する。

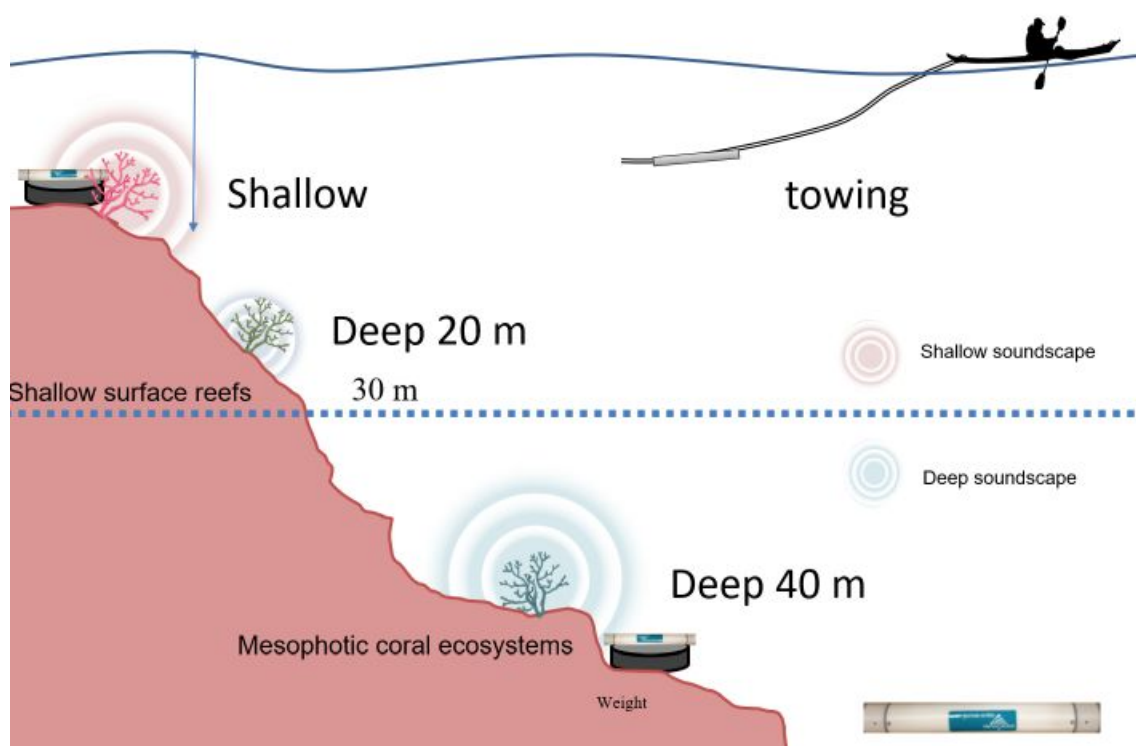


図1 沖縄県中部の東シナ海側にある瀬底島沖合のサンゴ礁に3つの音響定点を設けた。浅場と水深20m、40mそれぞれに録音装置を設置し、おおむね3週間ごとに交換してデータを回収した。また静穏な船から水中マイクロホンを曳航し、周辺の音響マップを作製した。

#### 4. 研究成果

機械学習を用いたサウンドスケープの可視化を行った。研究開始から得られた長期録音データのスペクトル形状を元に、クラスタリングを行い、海中のサウンドスケープが季節ごとと時間帯ごとに変化している様子が明瞭に示された。1年以上の録音データを耳で聴いて分類するのは不可能であり、機械学習の威力が発揮された。分類結果の音源については人間が同定した。その結果、サンゴ礁に多く生息するスズメダイ、冬に繁殖に訪れるザトウクジラ、底性のエビ、伊江島と本島をむすぶフェリーなど多くの音源が別のクラスタに分類されていると確認された(図2上)。一方浅場では、明瞭な日周変動と潮汐周期に同期したサウンドスケープの変動が認めら

れた。ただし周年を通じて音素の種類や時間的な出現様式は単調であった。機械にはあらかじめ音の特徴を教えることがない「教師なし」分類でも、現実の音源を分離できたことは興味深い。記録されたデータのうち一か月分を用いて、音素の種類と数を計算し、シャノン・ウィナーの多様度指数を示した。その結果、深場での音の多様性が浅場に比べ高いと示された。

この技術は、多種が混在する海域での水産資源の可視化や評価にも応用できる技術である。全国で事業がはじまっている洋上風力発電施設に義務付けられる環境アセスメントは、その迅速化の必要性が平成 25 年に閣議決定された「日本再興戦略」にも明記されている。本研究成果が、再生可能エネルギー導入と環境保全の双方に資する可能性がある。一方、生物多様性条約締約国会議や国際海事機関(IMO)で船舶騒音の海洋生物の分布や多様性への影響に関する議論がはじまった。今後、船舶に強制的な騒音基準が適用され、我が国の貿易に大きな影響を及ぼす可能性が高い。本研究成果が、日本の生命線を確保するための海洋環境評価手法となることが期待される。

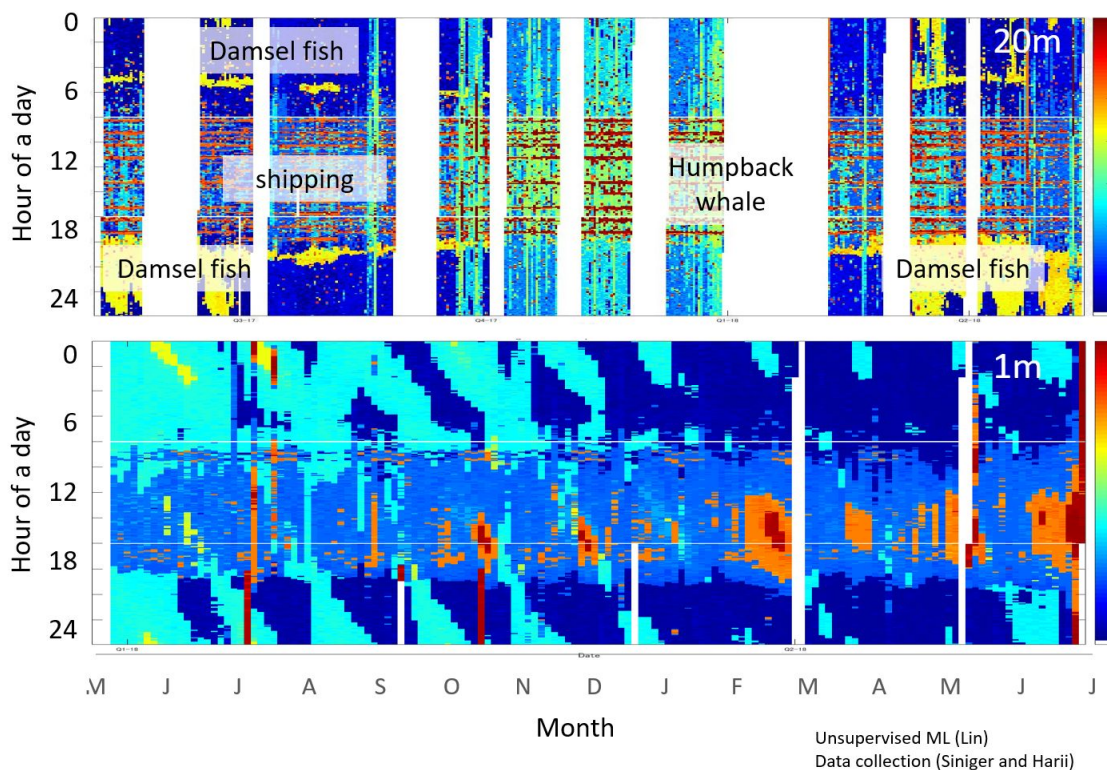


図2 瀬底島沖の深場（上段）と浅場（下段）で計測された水中音をもとに、スペクトルのクラスタリング解析で可視化したサウンドスケープの変化。色は異なる音素を表す。上段の深場では、さまざまな生物音が特定の季節や時間帯で観察された。生物種の推定は、特徴的なクラスタに含まれる音と既存の音声コレクションを比較して行った。浅場では約 2.5 時間の潮汐周期に同期したサウンドスケープの変化が観測された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Lin Tzu-Hao, Chen Chong, Watanabe Hiromi Kayama, Kawagucci Shinsuke, Yamamoto Hiroyuki, Akamatsu Tomonari	4. 巻 34
2. 論文標題 Using Soundscapes to Assess Deep-Sea Benthic Ecosystems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Trends in Ecology & Evolution	6. 最初と最後の頁 1066 ~ 1069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.09.006">https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.09.006</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Zhi-Tao, Akamatsu Tomonari, Nowacek Douglas P., Yuan Jing, Zhou Lu, Lei Pei-Yu, Li Jiao, Duan Peng-Xiang, Wang Ke-Xiong, Wang Ding	4. 巻 140
2. 論文標題 Soundscape of an Indo-Pacific humpback dolphin ( <i>Sousa chinensis</i> ) hotspot before windfarm construction in the Pearl River Estuary, China: Do dolphin engage in noise avoidance and passive eavesdropping behavior?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 509 ~ 522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.013">https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.013</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Lin Tzu-Hao, Tsao Yu, Akamatsu Tomonari	4. 巻 143
2. 論文標題 Comparison of passive acoustic soniferous fish monitoring with supervised and unsupervised approaches	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of the Acoustical Society of America	6. 最初と最後の頁 EL278 ~ EL284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1121/1.5034169">https://doi.org/10.1121/1.5034169</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件/うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Tomonari Akamatsu
2. 発表標題 Passive acoustic monitoring of animal sounds; a new tool for ecological observation
3. 学会等名 13th Western Pacific Acoustics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Tomonari Akamatsu, Lin Tzu-Hao, Sinniger Frederic, Harii Saki
2 . 発表標題 Tropical ocean soundscape, an index of bio-diversity
3 . 学会等名 13th Western Pacific Acoustics Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Tzu-Hao Lin, Katsunori Fujikura, Tomonari Akamatsu, Yu Tsao
2 . 発表標題 Information retrieval from marine soundscape by using machine learning-based source separation
3 . 学会等名 10th International Conference on Ecological Informatics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Tzu-Hao Lin, Yu Tsao, Tomonari Akamatsu, Mao-Ning Tuanmu, Katsunori Fujikura
2 . 発表標題 Information retrieval from soundscape by using blind source separation and clustering
3 . 学会等名 176th Meeting of the Acoustical Society of America ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Tomonari Akamatsu, Tzu-Hao Lin, Yu Tsao, Frederic Sinniger, Saki Harii
2 . 発表標題 Coral reef soundscape to measure the species distribution and biodiversity
3 . 学会等名 Oceans 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomonari Akamatsu, Saki Harii, Frederic Sinniger
2. 発表標題 Acoustical mapping of damsel fish using towed hydrophone in coral reef
3. 学会等名 2nd Oceanoise Asia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tzu-Hao Lin, Yu Tsao, Tomonari Akamatsu
2. 発表標題 Information retrieval of marine soundscape via unsupervised source separation
3. 学会等名 2nd Oceanoise Asia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tzu-Hao Lin, Tomonari Akamatsu, Frederic Sinniger, Saki Harii, Yu Tsao
2. 発表標題 Monitoring of coral reef ecosystem: an integrated approach of marine soundscape and machine learning
3. 学会等名 CABE 2017, Taipei, Taiwan. (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tzu-Hao Lin, Tomonari Akamatsu, Mao-Ning Tuanmu, Chun-Chia Huang, Chiou-Ju Yao, Shih-Hua Fang, Yu Tsao
2. 発表標題 Improving the evaluation of soundscape variability via blind source separation
3. 学会等名 174th Meeting of the Acoustical Society of America (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 赤松友成、木村里子、市川光太郎	4. 発行年 2019年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 176
3. 書名 水中生物音響学：声で探る行動と生態	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	Lin TzuHao  (Lin Tzuhao)  (00824377)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋生物多様性研究分野・ポストドクトラル研究員   (82706)	
研究分担者	フレデリック シニゲル  (Siniger Frederic)  (10625940)	琉球大学・熱帯生物圏研究センター・ポストドク研究員   (18001)	
研究分担者	波利井 佐紀  (Harii Saki)  (30334535)	琉球大学・熱帯生物圏研究センター・准教授   (18001)	
研究分担者	御手洗 哲司  (Mitarai Satoshi)  (80567769)	沖縄科学技術大学院大学・海洋生態物理学ユニット・准教授   (38005)	