

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：82706  
研究種目：基盤研究(C) (一般)  
研究期間：2020～2023  
課題番号：20K06806  
研究課題名(和文) Three-dimensional ecological niche modelling of midwater narcomedusan jellyfish  
  
研究課題名(英文) Three-dimensional ecological niche modelling of midwater narcomedusan jellyfish  
  
研究代表者  
Lindsay Dhugal (Lindsay, Dhugal)  
  
国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(超先鋭研究開発プログラム)・主任研究員  
  
研究者番号：80344282  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：3次元生態系ニッチ分化モデリング用出現データを収集し、中層では高次食物段階にある剛クラゲ類の分布が地球環境の変動でどう変化するかをモデリングする取り組みだった。科学論文やオンラインデータベースで発表されている出現記録を始めに、無人探査機Okeanos Explorer、Nautilus、Falkor等でオンラインで潜航調査や機体船舶の調査に参加し、出現分布データを収集した。解析及びモデリングした結果、剛クラゲ類カッパクラゲの最適生息環境は低酸素濃度海域に偏り、地球環境変動では分布域を拡大する可能性があることが分かった。この研究課題の結果は国際雑誌の査読付き論文や国際ワークショップ等で発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義  
地球環境変動で高次食物段階にある剛クラゲ類が分布域を拡大する可能性があることが分かり、水産資源や物質輸送の予測モデリングに活用できる。

研究成果の概要(英文)：This project collected data for 3D ecological niche modelling investigating the distribution of narcomedusae species, which are in a high trophic level in the mesopelagic zone and how this may change with climate change. Starting with occurrence records published in scientific papers and online databases, occurrence distribution data were collected by participating in online submersible and ROV surveys with the Okeanos Explorer, Nautilus, Falkor and others. Analysis and modelling results showed that the optimum habitat of the Solmissus narcomedusan jellyfish is biased towards low-oxygen areas, and that global environmental change may expand their distribution area. The results of this research project were published in peer-reviewed international journal articles and international workshops.

研究分野：ゼラチン質生物

キーワード：クラゲ 環境変動 予測 低酸素

## 1. 研究開始当初の背景

クラゲは、海の表層でよく姿を見ることができが、これまでの調査で、深海にも多くのクラゲが生息しているのが観察され、海洋の食物網(食物連鎖)と物質循環に大きな役割を果たしていると推測されている。しかし、生息分布と個体数、幼生がどこで成育してクラゲとなるのか、ほかの生物との相互関係の実態など、不明な点が多くある。外洋では特に多い剛(こわ)クラゲの仲間は、他のクラゲを捕食することで有名だが、触手が丈夫で自ら脱ぎ捨てることはない。しかし、体が脆弱で分類に用いる形質がネット採集によって破壊されてしまう傾向が強い仲間ではある。トップダウンで食物網を抑える可能性がある剛クラゲの分布が地球の環境変動でどう変化するかは物質輸送の観点でも漁業の観点でも重要な課題であるが、モデリングするためのデータが不足しているのが現状であった。

## 2. 研究の目的

3次元生態系ニッチ分化モデリングをするための生物出現データを収集し、中層では高次食物段階にある剛クラゲ類の分布が地球環境の変動でどう変化するかをモデリングする取り組みであった。

## 3. 研究の方法

剛クラゲ類の「カップクラゲ」*Solmissus* に注目し、科学論文で発表されている出現記録、OBIS(海洋生物地理情報システム)出現記録、まだデータベース化されていなかった Ocean Networks Canada の出現記録、MBARI の Fathomnet の出現記録などもデータマイニングを行い、出現記録数を増やした。OBIS では、*Solmissus* 属の出現記録 2914 件が利用可能であり、そのうちの 2704 件(92.8%)は使用可能な深度情報を含んでいた(Verhaegen et al. 2023)。これらの記録の大部分(出現の 87.4%)は VARS データベースの一部であり、すべての記録がアメリカ西部の海岸線に沿って位置していた。残りの記録は北極海と南氷洋を除いて世界中に分布していた。これらの *Solmissus* spp. の記録のほぼすべて(98.2%以上)に最小深度と最大深度の値が含まれていたが、記録された標本の形態情報が含まれているものはなく、種のレベルまで同定された記録は 15.0%のみであった。*Solmissus* 属の存在データ(緯度、経度、水深)1444 件といくつかの形態学的情報が、本研究のために新たにまとめられた(Verhaegen et al. 2023、図 1B; 表 S1)。以降のすべての解析と結果は、このデータセットを用いて行われた。データは 1951 年から 2022 年の期間に収集され、ほぼすべての出現が北半球に位置し(97.6%)、太平洋内にあり(95.0%)、日中に収集された(88.1%)。その他の海洋(大西洋 4.5%、南氷洋 0.3%、インド洋 0.1%)や夜間に採集されたデータ(8.8%、潜水時間不明のデータ 3.1%)は依然として少ない。本研究では自ら NOAA が運用する無人探査機 Okeanos Explorer や Nautilus、または SOI が運用する Falkor のオーストラリア沖の調査海域を提案し、オンラインで潜航調査に参加し、出現分布データを収集した。また、当機構で実施する「かいめい」ROV の調査航海やサウジアラビアの KAUST が運用する Thuwal/SeaEye Falcon ROV の調査などに参加し、出現記録を収集した。触手は合計 814 個体についてカウントされ、触手数は 12 から 41 の間で変動し、中央値は 26 個体であった。触手数は 3 峰性の分布を示し(図 2B)、27 個体前後で分かれ、カーネル密度推定(ヒストグラムの平滑推定)に基づく、23 個体と 29 個体に 2 つの主なピークがあり、18~19 個体に小さなピークがあった。伝導度、水温、深度(CTD)の環境データと溶存酸素の測定は、触手の数を数えることができた 539 の *Solmissus* 出現記録で利用可能であった。4 つの説明変数(深度、水温、塩分、溶存酸素)すべてに強い多重共線性が見られたため(Verhaegen et al. 2023)、その結果、深度には正の効果、水温と溶存酸素には負の効果のみが見られたが、塩分には触手数に対する効果はみられなかった(Verhaegen et al. 2023、図 S11; 表 S4)。DNA 解析や形態分類手法で隠蔽種の洗い出しをした。ミトコンドリア 16S と COI の両方から、触手が 28 本以上ある *S. incisa* の個体は、高いブートストラップ・サポートと事後確率で単系統群を形成することが示された(Verhaegen et al. 2023、クレード D; 図 2; 図 S12)。このクレード D は不確実な種 *S. bleekii* であると考えられた。中・深層性クラゲ種については信頼できる不在データがないため、Maxent と出現のニッチ(NOO)という 2 つの存在のみのモデルを比較した。NOO3D と Maxent はともに、環境空間内のプレゼンス観測の非ランダム・サンプリングの影響を受ける。我々の観測のほとんどは北太平洋、主に日本沖の JAMSTEC 付近、カナダ沖の Ocean Networks Canada の設置場所付近、モンレー湾とその周辺の MBARI 付近からのものであったので、この地域のプレゼンス・データを刈り込んで、最も近い対応する深度層ごとに 1°緯度/経度あたり 1 つの観測だけを残し、したがって、使用した総観測数を 1444 から 624 に減らした(Verhaegen et al. 2023)。

## 4. 研究成果

解析及びモデリングを実施した結果、剛クラゲ類の代表種とも言われるカップクラゲの最適生息環境は低酸素濃度海域に偏り、地球環境変動では分布域を拡大する可能性があることが分か

った。しかし、入手可能な中層域のデータのほとんどが太平洋北部からのものであるため、このサンプリング・バイアスが生態ニッチモデルの出力に反映されていることは間違いなく、慎重に評価する必要がある。この研究課題の結果は査読付き論文を *Limnology and Oceanography* 誌に発表した。また、様々な国際及び国内ワークショップやシンポジウムに口頭発表にて発表した（Deep Sea Biology Symposium, Marine Imaging Workshop, Jellyfish Blooms Workshop, SCAR Open Science Conference etc.）。カッパクラゲ以外でも、いくつかの研究の中で剛クラゲ類の隠蔽種の存在が確認された。高品質なモデリングを行うためには、異なる生理学的特性をもつ可能性がある隠蔽種を特定する必要がある。

本研究は、クラゲ類が生息する生物地理学的領域を 3D 空間として扱うモデリングをするために、画像やビデオ撮影記録を含むオンライン・データベースの価値を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4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 3件）

1. 著者名 Hidaka, M., Nishikawa, J., & Lindsay, D. J.	4. 巻 16(1)
2. 論文標題 Gelatinous zooplankton community around a hydrothermally active deep-sea caldera: results from ROV video records	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plankton and Benthos Research	6. 最初と最後の頁 40-58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3800/pbr.16.40	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Verhaegen, G., Cimoli, E., & Lindsay, D. J.	4. 巻 9
2. 論文標題 Life beneath the ice: jellyfish and ctenophores from the Ross Sea, Antarctica, with an image-based training set for machine learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biodiversity Data Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3897/BDJ.9.e69374	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Hidaka Mitsuko, Nishikawa Jun, Lindsay Dhugal J.	4. 巻 16
2. 論文標題 Gelatinous zooplankton community around a hydrothermally active deep-sea caldera: results from ROV video records	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plankton and Benthos Research	6. 最初と最後の頁 40~58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3800/pbr.16.40	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Reimer, J.D., Yanagi, K., Kise, H., Polisen, A., Kushida, Y., Saeedi, H. and Lindsay, D.J. (Editors: Saeedi Hanieh, Brandt Angelika)	4. 巻 -
2. 論文標題 Cnidaria and Ctenophora: Review of deep-sea Cnidaria and Ctenophora fauna in the NW Pacific Ocean	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biogeographic Atlas of the Deep NW Pacific Fauna	6. 最初と最後の頁 67-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3897/ab.e51315	査読の有無 無
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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Verhaegen, G., Cimoli, E., Lindsay, D.J.
2. 発表標題 Life beneath the ice: jellyfish and ctenophores from the Ross Sea, Antarctica, with an image-based training set for machine learning
3. 学会等名 10th Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) Open Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Lindsay, D.J., Friedman, A., Sangekar, M., Bergman, L.A., Montenegro, J., Bachtel, T., Seid, C., Thuesen, E., Hidaka, M., Hosono, T., Drazen, J.
2. 発表標題 SquidJam - a video annotation tool for the analysis of challenging video datasets: A case study on a midwater Environmental Impact Assessment in the Clarion-Clipperton Zone
3. 学会等名 Fourth Marine Imaging Workshop. Brest, France (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sangekar, M., Friedman, A., Hidaka, M., Hosono, T., Lindsay, D.J.
2. 発表標題 SquidJam: A video annotation ecosystem
3. 学会等名 International Symposium on Underwater Technology (UT23), Tokyo, Japan (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Verhaegen, G., Sangekar, M., Hoving, H-J., & Lindsay, D.
2. 発表標題 Ecological niche modelling in three dimensions and ecomorphology of a widespread midwater Narcomedusan genus
3. 学会等名 16th Deep Sea Biology Symposium. Brest, France (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lindsay, D.J., Hidaka, M., Sangekar, M., Hosono, T., Matsuoka, D., Sugiyama, D., Friedman, A., & Hopcroft, R.
2. 発表標題 Deep Learning and Deep Arctic Jellies: a case study pipelining real-time ROV video annotations, post-cruise analysis, data dissemination and production of machine-learning training sets
3. 学会等名 16th Deep Sea Biology Symposium. Brest, France (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関