

平成 31 年 4 月 15 日現在

機関番号：82708

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18739

研究課題名(和文)空間モデルから明らかにする鯨類の種多様性勾配

研究課題名(英文)Patterns of cetacean species diversity revealed from spatial modeling

研究代表者

金治 佑 (Kanaji, Yu)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・国際水産資源研究所・研究員

研究者番号：10455503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：現在世界中には約90種の鯨類が生息しており、海生哺乳類のなかで最も多様に分化した分類群である。本研究は、その多様性を支えるメカニズムとして、種多様性の地理的勾配に着目した。空間モデルとライントランセクト法を統合した、Density Surface Modeling (DSM)の手法を用い、過去四半世紀以上にわたって北太平洋の広域で収集されたデータを解析した。本解析により、北太平洋に分布する19種について、生息個体数の空間分布パターンを明らかにし、それを基に多様度指数の空間パターンを推定し、そのメカニズムについての学説を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、生態系の高次捕食者としての鯨類に着目し、種多様性パターンを明らかにした。その背景にあるメカニズムを考察して、新たな学説を提案した点で学術的意義が高い。私たちが将来生態系サービスを楽しむ維持していくために、生物多様性や生態系機能を科学的に理解することが必要であるが、こと外洋域については圧倒的に情報が不足してきた。生態学の重要な概念である種多様性の緯度勾配について、北太平洋と北西太平洋の2つのスケールで、空間マップとして視覚的に表現した。外洋域生態系の機能と役割を理解するための基礎的情報を提供した点で、社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Currently there are approximately 90 extant cetacean species in the world, these being among the most diversely differentiated marine mammalian clades. The study focused on spatial patterns of species diversity as a mechanism that would sustain species variability of cetacean species. We analyzed the dataset collected in the North Pacific for more than a quarter of a century using Density Surface Modeling (DSM) that integrate spatial modeling and line-transect method. We clarified spatial distribution patterns of 19 species. Based on these results, we then estimated spatial patterns of species diversity indices, and discussed about mechanisms for such results.

研究分野：水産資源学

キーワード：緯度勾配 マイルカ科 ライントランセクト ベイズ 小型鯨類 前線 北太平洋

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生物種の多様性が低緯度から高緯度に向かって減少するパターンは、種多様性の緯度勾配として知られ、生態学における普遍的な概念として捉えられてきた。多くの種、生息域を対象に多様性勾配が研究され、その発生メカニズムについて様々な仮説が提唱されてきた。海洋生物においても同様のパターンが知られているが、鯨類に関しては Whitehead et al. (2008) と Tittensor et al. (2010) によるものを除き、知見が限られてきた。現在世界中には約 90 種の鯨類が生息しており、その半数は私たちにとって最も身近な海洋である、北西太平洋にも広く分布している。海産哺乳類のなかでも鯨類はもっとも多様に分化した分類群であり、その多様性を支えるメカニズムとして、種多様性の地理的勾配はひとつのキープロセスと考えられる。

2. 研究の目的

本課題では、鯨類のなかでも最大の種数を含むマイルカ科鯨類と、さらに本科と生態的地位の類似するネズミイルカ科鯨類も含め、これらの小型鯨類について過去の調査データを再解析することにより種多様性の空間パターンを推定した。

過去の種多様性の研究は断片的な目視・採集記録を集計して導かれたものがほとんどである。一方近年、異なる手法、海域から得たデータセットを統合的に解析し、鯨類の個体数を広域に推定する、空間モデルの手法が開発された (Hedley et al. 2004)。この手法は、ライントランセクト法によって求められる遭遇率と群れサイズを物理環境 (水温、塩分、海底地形など)、生物環境 (基礎生産量、クロロフィル濃度など)、地理座標 (緯度、経度) との関係でモデル化するもので Density Surface Modeling (DSM) と呼ばれる。得られた空間モデルによってグリッド単位 (たとえば緯度経度 1 度単位) に個体数を推定することができる。同時に、最低 1 個体以上の生息が推定された種を各グリッドでカウントすることで、遭遇種数の推定値も得ることができる。そこで本研究では、空間モデルから推定した鯨種別の個体数分布を用い、種数や個体数の空間変動を物理・生物環境との関連で詳細に検討することを目的とした。

3. 研究の方法

北太平洋全域を対象とした種多様性パターンの推定

1983-2006 年の夏季 (7-9 月) に実施された 93 航海のデータを抽出し、一般化加法モデル (GAM) ベースの空間モデルを用いた解析から種多様性の推定を試みた。当該調査期間中、マイルカ科 16 種およびネズミイルカ科 3 種の観察・記録があった。空間モデル推定に必要な十分なデータ数のある 14 種を抽出し、解析に用いた。その他 5 種は生息個体数が少なかったため、空間モデル推定には用いなかった。しかしこれらの多くは、もともと生息種数の多い亜熱帯域あるいは沿岸域に分布したため、多様性指数の空間パターンを推定する際に大きく影響しないと考えられた。14 鯨種別に推定した空間モデルから、北太平洋広域に緯度経度 1 度グリッド別の個体数推定値を得た。この値を用いて、各グリッドに Simpson 多様性指数を計算した。同様に、推定個体数 1 以上を当該種の出現と定義し、各グリッドの出現種数を推定した。さらに感度解析として、推定個体数 10 および 100 以上とした場合についても出現種数を計算し、これら推定値を広域にマッピングした。

空間モデルによる個体数推定の妥当性評価

動物の個体数推定値は、対象種の保護・管理のための基礎情報として重要である。これまで鯨類の管理には、従来型のライントランセクト法が主に用いられており、我が国でも DSM による推定値が管理に用いられた例はない。このように、DSM による推定結果の妥当性については十分な評価がなされていない。本課題で推定される個体数推定や生息種数、種多様性の推定値の信頼性を担保するためには、従来型ライントランセクト法と DSM による推定値が大きく異なることを確認しておくことが必要である。そこで、調査ブロックに共通性があり、年別の推定が可能な 1985、1992、2006、2007、2014、2015 年の調査データを抽出し、従来型ライントランセクト法、GAM ベースの DSM、ベイズモデルによる DSM により、個体数推定値を得て、それらの違いを比較した。データが長期に亘り豊富に蓄積されている日本沿岸東方の北西太平洋を対象とし、DSM による推定結果は次のようにも活用した。

北西太平洋を対象とした空間分布推定と種多様性パターン

課題では、主に北太平洋全域で種多様性の空間パターンを推定し、主に南北方向に勾配について議論した。しかし、広大な外洋域までを含む北太平洋全体を対象としたケースでは、低解像度のデータのみを用いたことから、環境変動の大きな沿岸域の特徴を捉えきれず、沿岸・沖合間の勾配についてはさらに検討が必要であった。そこで、日本周辺を中心とした北西太平洋海

域での鯨類目視調査データを抽出し、高解像度の海洋物理環境データを用い、空間モデルの解析を進めた。

4. 研究成果

北太平洋における種多様性指数の空間パターン

DSM により、14 種について生息個体数の空間分布を明らかにし、さらにその結果をもとに、生息種数と Simpson 多様度の推定を行った。閾値を 1 とした場合の空間パターン推定図を図 1 に示す。これらには、マイルカ科・ネズミイルカ科両方を含む 14 種を用いた場合と、マイルカ科 13 種の場合の 2 パターンを推定した。また、東経 150 度、165 度、180 度における各種の個体数密度の緯度勾配を明らかにした(図 2)。一連の解析から明らかにされた種多様度の空間パターンは以下のように纏められ、それぞれのメカニズムを考察した。

(1) 高緯度域に生息する種は分布域内に高密度に分布する一方、低～中緯度に分布する種の密度は相対的に低かった。このパターンは、餌資源のバイオマスの南北差に関連すると考えられた。

(2) 各種の分布域は海洋前線を境に明瞭に分かれ、例えば亜寒帯境界以南・以北では生息する種構成が異なっていた。こうした海域別の生息種数が全体の種多様度パターンに関連すると考えられた。

(3) 一般的な概念とは異なり、中緯度域で小型鯨類の種多様性が高くなる傾向を示した。中緯度域では複雑な物理環境特性を持ち、冷水性と温水性の海域由来の種が混合するため、種多様度が高くなると考えられた。

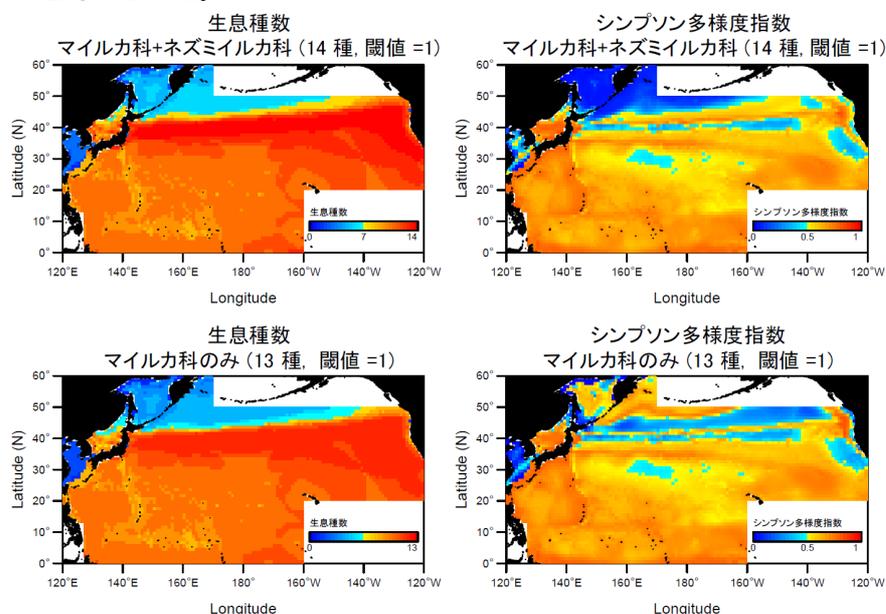


図 1. 種多様度の推定結果 (Kanaji et al. 2017 を改変)

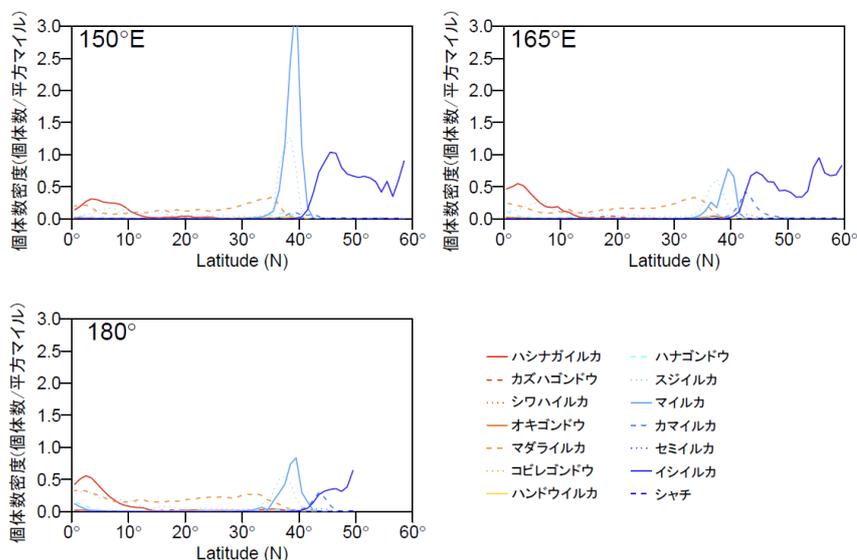


図 2. 個体数密度の緯度勾配 (Kanaji et al. 2017 を改変)

個体数推定値のモデル間比較

日本沿岸東方の北西太平洋に主要な生息域を持つ、ハンドウイルカ、コビレゴンドウ、ハナゴンドウ、カズハゴンドウ、シワハイルカ、マダライルカについて、従来法と GAM ベースの DSM により個体数推定値を行った。従来法については、のべ 6 か年のデータを用いたが、全域で推定値の得られた年のうち最新年である 2014 年の結果を示すと、シワハイルカ 5029 頭 (変動係数=1.24)、ハンドウイルカ 44529 頭 (0.57)、マダライルカ 130718 頭 (0.43)、ハナゴンドウ 144163 頭 (0.69)、コビレゴンドウ 31569 頭 (0.65)、カズハゴンドウ 56522 頭 (0.56) であった (Kanaji et al. 2018)。複雑な構造を持つ沿岸域にも適用可能な空間モデルを構築するため、調査データを高解像度データとして再整備し、さらに調査設計の異なる年のデータも時系列情報として用いて、DSM による推定を行った。この結果、種によっては 2~3 倍程度の違いがあるケースもみられるが、DSM では調査設計の異なる年のデータも含め 10 か年分のデータを用いており、さらに年トレンドを考慮に入れたことで、年々の変動が平滑化されていること、またもともと目視調査で得られる個体数推定値は大きな分散を持つことを考えれば、概ね妥当な推定値と考えられた。さらに、少ないデータでも柔軟な空間モデル推定が行えるベイズ型 DSM を開発し、ハナゴンドウに適用した。本手法は計算に必要な時間が長いことから、ハナゴンドウ以外の種には未適用であり、今後の課題であるが、推定値そのものは従来法、GAM ベースの DSM とほぼ同様の値が得られている。一連の分析結果から、空間モデルより個体数と多様度を推定する手法の妥当性が検証できた。

北太平洋における種多様性指数の空間パターン

上記の課題では、日本~北米沿岸までに至る北太平洋広域での種多様性パターンを推定し、そのメカニズムを検討した。一方、これまでに種多様性には緯度勾配だけでなく、沿岸から沖合にかけての勾配も指摘されてきた。日本沿岸には年々で大きな流路変動を示す黒潮が存在し、海洋物理環境や餌生物など生物環境はより複雑な構造を示す。この課題では、高精度データを用いて、日本沿岸域を中心とした空間モデルを構築したことから、この結果を用いて、緯度経度 0.1 度グリッド別の出現種数と Simpson 多様度指数を推定した。ここでは、閾値を 0.1、1、10 とした場合を計算し、このうち閾値=1 の結果を図 3 に示す。日本周辺の北西太平洋に分布する小型鯨類は、沿岸域と沖合域を主生息域とする種に二分され、両者の境界域となる黒潮流

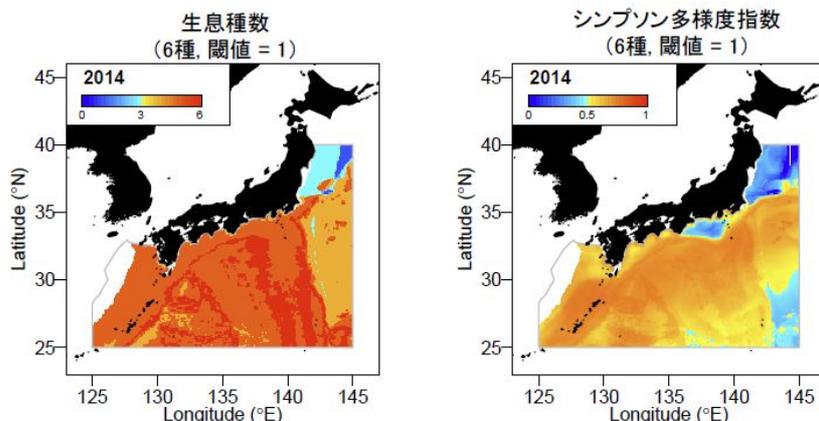


図 2. 北西太平洋を対象とした種多様度の推定結果

域周辺で多様度が高くなる傾向が示された。さらに種数で見れば、伊豆・小笠原諸島や九州・パラオ海嶺に沿った海域にとくに高い推定値が示された。種多様度の東西勾配が、こうした沿岸-沖合の分布パターンとしてもたらされることが示唆された。

副次的成果

鯨類は高次捕食者として海洋生態系の重要な構成種である。本研究で得られた個体数分布の情報を Ecopath モデルのパラメータとして提供することにより、北西太平洋の生態系モデル構築にも寄与した (Watari et al. 2018)。また、本課題で用いた分析手法を広く普及させるため、個体数推定手法や空間分布推定手法に関する総説を公表した (金治 2017, 村瀬ら 2018)。

< 引用文献 >

- Hedley, S.L., Buckland, S.T., Borchers, D.L., 2004. Spatial distance sampling models. In: Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JK, Borchers DL, Thomas L (eds.) Advanced Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Population, Oxford University Press, Oxford, 48-70.
- Tittensor, D.P., More, C., Jetz, W., Lotze, H.K., Ricard, D., Berghe, E.V., Worm, B., 2010. Global patterns and predictors of marine biodiversity across taxa. Nature 466, 1098-1101.
- Whitehead, H., McGill, B., Worm, B., 2008. Diversity of deep-water cetaceans in relation to temperature: implication for ocean warming. Ecol. Lett. 11, 1198-1207.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

- Kanaji Y, Okazaki M, Miyashita T. 2017. Spatial patterns of distribution, abundance, and species diversity of small odontocetes estimated using density surface modeling with line transect sampling. *Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography* 140: 151-161. 査読有
DOI: 10.1016/j.dsr2.2016.05.014
- 金治 佑. 2017. 海棲哺乳類の保全・管理のための調査・解析手法【9】個体数推定. *海洋と生物* 39: 512-522. 査読無
http://www.seibutsukenkyusha.com/publications/aquabiology/aquabiology_2017.html
- Kanaji Y, Miyashita T, Minamikawa S, Yoshida H. 2018. Abundance estimates of six species of Delphinidae cetaceans off the Pacific coast of Japan between 1985 and 2015. *Marine Mammal Science* 34: 1034-1058. 査読有
DOI: 10.1111/mms.12502
- Watari S, Murase H, Yonezaki S, Okazaki M, Kiyofuji H, Tamura T, Hakamada T, Kanaji Y, Kitakado T. 2018. Ecosystem modeling in the western North Pacific using Ecopath, with a focus on small pelagic fishes. *Marine Ecology Progress Series*. 査読有
DOI: 10.3354/meps12508
- 金治 佑, 袴田 高志, 服部 薫, 小林 万里, 北門 利英, 加藤 秀弘. 2018. 海棲哺乳類の個体数推定手法—現状と将来課題—. *哺乳類科学* 58: 83-84. 査読無
https://www.jstage.jst.go.jp/article/mammalian-science/58/1/58_83/_pdf
- 村瀬 弘人, 金治 佑, 佐々木 裕子. 2018. 海棲哺乳類の保全・管理のための調査・解析手法【11】空間モデル. *海洋と生物* 40: 255-264. 査読無
http://www.seibutsukenkyusha.com/publications/aquabiology/aquabiology_2018.html

〔学会発表〕(計 4 件)

- 金治 佑, Tim Gerrodette. 2017. 階層ベイズ型空間モデルによるハナゴンドウの個体数推定. 2017 年度水産海洋学会研究発表大会.
- Kanaji Y, Sasaki H, Setou T, Miyashita T, Minamikawa S, Yoshida H. 2017. Spatial distribution of six species of Delphinidae in the western North Pacific between 1985 and 2015. 22nd Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals.
- 金治 佑, 宮下富夫, 南川真吾, 吉田英可. 2017. 1985-2015 年の船舶目視調査データを用いた小型鯨類 6 種の個体数推定. 日本哺乳類学会自由集会 海棲哺乳類の個体数推定手法 現状と将来課題 .
- Kanaji Y, Sasaki H, Setou T, Yoshida H. 2018. Long-term trends in distribution and abundance of small cetaceans estimated in relation to oceanographic and topographic variables in the waters off the Pacific coast of Japan. CLIoTOP 4th Symposium.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：

国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。