

令和 5 年 4 月 25 日現在

機関番号：83811

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K06378

研究課題名(和文) コマッコウ属鯨類に探る、海産羊膜類の外洋における種分化に関する研究

研究課題名(英文) Speciation in the open ocean: how aquatic amniotes have diverged underwater

研究代表者

岸田 拓士 (Kishida, Takushi)

ふじのくに地球環境史ミュージアム・学芸課・准教授

研究者番号：40527892

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)：わずか8種しか存在せず、ほとんど種分化が見られないエラブウミヘビ類に関して、生息地の分断による地域固有種が誕生しても、広域に分布する近縁種と生息地が接触するとすぐに交雑によって遺伝的な再均一化が進行するため、種分化が抑制される。一方で、氷期による日本海の閉水化のような地史的なイベントが、海洋生物の種分化に重要な役割を果たしてきた。大型海洋動物は、その移動能力にもかかわらず、陸上動物よりも強い定住性を示す傾向にあり、この習性が海洋環境における種分化に重要な役割を果たしている。本研究では、こうした結果を複数の論文にまとめて投稿した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、明瞭な地理的分断が存在しない海洋環境における種分化のメカニズムの一端を明らかにした。特に、高い移動能力を持つにもかかわらず、少なくとも過去5000年に渡って複数種の小型鯨類の母系群の生息地が変わらない事実は、これらの種の保全を考える上で重要である。また、本研究では、ウミヘビを例として、形態が異なる地域個体群であっても、必ずしも別種に分けることが妥当ではなく、過去の種間交雑によって説明される例を示した。本結果は、生物の分類を考える上で重要な事例となることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Speciation in the open ocean has long been studied, but it remains largely elusive what factors promote or inhibit speciation in such an open environment. There are only eight species of sea snakes of the genus *Laticauda*, and broad distribution of major species combined with genetic mixability might have prevented laticaudins from genetic isolation and speciation. On the other hand, geohistorical events such as the closing of the Sea of Japan during the glacial period have played an important role in the speciation of marine animals. Large marine animals tend to be more strongly sedentary than terrestrial animals despite their migratory ability, and this habit plays an important role in speciation in the marine environment. These results were submitted in several papers.

研究分野：進化遺伝学

キーワード：種分化 海洋環境 エラブウミヘビ類 小型鯨類 地理的分断

1. 研究開始当初の背景

生物多様性は、種分化の繰り返しによって創出される。種分化は生物の進化と多様性を理解するための重要なカギであり、そのメカニズムに関してダーウィン以来現在に至るまで精力的に研究が行われてきた。だが、そうした研究の多くは陸上の生物を対象としている。海は生物多様性の根源であり、特に動物においては、およそ50ある門のうち半数以上が海にしか存在しない。海産生物の種分化機構の解明は、生物多様性を考える上で非常に重要な課題である。しかし、陸地と比べて明瞭な地理的分断の存在しない大洋における種分化のメカニズムは、未だにほとんど解明されていない。

2. 研究の目的

鯨類などの海棲羊膜類は、海洋進出の起源が明瞭であるために多様化の研究に適しており、かつ興味深い種分化パターンを示す。ウミガメ類など、生活史の一部を陸に依存する両棲的なグループはほとんど種分化しない(ウミガメ類は7種しか記載されていない)一方で、鯨類など直接陸地を必要としないグループは著しく種分化する傾向にある。両棲種と海棲種の両方が現存する唯一の海産羊膜類グループであるウミヘビ類においても、卵生で産卵のために陸を必要とする両棲エラブウミヘビ亜科はわずか8種しか記載されないが、胎生で生涯を海中で過ごす海棲ウミヘビ亜科は60種以上が記載されている。どうして種分化しやすいグループとそうでないグループが存在するのか。本研究では、特に鯨類に着目して、海棲羊膜類の種分化とその遺伝的・生理的背景を探ることを目的とした。

3. 研究の方法

- エラブウミヘビ類4種(太平洋広域に分布する3種および南太平洋バヌアツ固有種1種)のゲノム解読およびペアワイズ連続マルコフ合祖法(PSMC法、Li & Durbin 2011)などの集団ゲノミクス解析を行い、地域固有種と広域分布種の遺伝的多様性の違いなどを解析した。
- 太平洋と日本海に分布するカマイルカのゲノム解析を行い、最終氷期に日本海が孤立した地史的影響とカマイルカの日本海個体群と太平洋個体群との遺伝的な分化との関係を解析した。
- 最終氷期に日本海が孤立した事実は、陸地から見れば、日本列島が大陸とつながったことを意味する。陸上大型動物にとってのこうした地史イベントの影響を調べるために、ニホンツキノワグマのゲノム解析を行った。
- 大洋に棲息する大型動物は、長い時間で見るとどの程度の移動を行うのかを知るために、東京湾に面した縄文中期の貝塚から出土した鯨類骨のDNA抽出およびミトコンドリアDNA解読を行い、現生個体群との比較解析を行った。

なお、本研究の当初の予定では、当初は北米東海岸に漂着するコマッコウ属2種の鯨類を主な研究対象にする予定であったが、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の影響で米国に滞在しての研究が困難となったため、研究対象をウミヘビ類および他の鯨類などに変更した。

4. 研究成果

エラブウミヘビ類のゲノム解析の結果、地域固有種のゲノムには、同所的に生息する近縁な広域分布種のゲノムの対規模な混入が確認された。これは、現在進行形で大規模な交雑が起きていることを示唆しており、地理的な分断のない大洋では種として遺伝的な独立を維持することは困難であることが示唆された(Kishida et al. 2021)。

また、太平洋広域に分布するエラブウミヘビ類のうち、沖縄沿岸に棲息する個体(図1)は、南太平洋に棲息する個体(図2)よりも、黒色の横縞の幅に対する青色の横縞の幅が狭い。本研究の副産物として、南太平洋のヒロオウミヘビ個体のゲノムには、種間交



図1. 沖縄沿岸に棲息するヒロオウミヘビ

雑に起因する青色の横縞の幅が広い近縁種アオマダラウミヘビ (図 3) の DNA 配列が混入していることが示唆された。アオマダラウミヘビのゲノムの混入が、南太平洋と沖縄のヒロオウミヘビ個体群の形態の違いを生み出したことが示唆された (Kishida et al. 2021)。

日本海に分布するカマイルカの中に、太平洋に棲息する個体とは異なる顔付の個体がいることが、以前から知られていた。両者のゲノムを比較した結果、太平洋と日本海の個体群はおよそ 10 万年前に遺伝的に分化したことが示唆された。この時期はちょうど最終氷期がはじまって日本海が閉じた時期と一致しており、大洋においても、地理的な分断が種分化に重要な役割を果たすことが示唆された (Suzuki et al. 2023)。

一方で、陸上に棲息するニホンツキノワグマは、最終氷期最大期の頃に大陸に棲息するウスリースキノワグマや (当時ベーリング海に陸橋が形成されてアメリカ大陸とも陸続きだったため) アメリカクロクマとの交雑が示唆された。海が分断されると陸がつながるため、海洋生物と陸上生物とは、地理的隔離による種分化のパターンが相補的となることが示唆された (Kishida et al. 2022)。

東京湾に面した縄文時代中期の貝塚から出土したミナミハンドウイルカ、カマイルカ、およびオキゴンドウの骨からの DNA 抽出とミトコンドリア DNA の解読に成功した。いずれの種からも、現在の東京湾周辺に棲息している個体を持つハプロタイプと同じものを持つ個体が確認された。特にミナミハンドウイルカはメスが出自群に残る母系群を形成するが、母系としては、少なくとも 4~5 千年にわたって同じ場所に棲息し続けていることが解明された。一方で大型陸上哺乳類の多くは、群れの生息地自体が少しずつ動くことが知られており、移動能力が高い海洋動物の方が強い定住傾向を示すことが示唆された (Kishida et al. 投稿中)。



図 2. バヌアツに棲息するヒロオウミヘビ



図 3. アオマダラウミヘビ

引用文献

- Kishida T, Toda M, Go Y, Tatsumoto S, Sasai T, Hikida T (2021) Population history and genomic admixture of sea snakes of the genus *Laticauda* in the West Pacific. *Mol. Phylogenet. Evol.* 155:107005.
- Kishida T, Ohashi M, Komatsu Y (2022) Genetic diversity and population history of the Japanese black bear (*Ursus thibetanus japonicus*) based on the genome-wide analyses. *Ecol. Res.* 37:647-657.
- Li H, Durbin R (2011) Inference of human population history from individual whole-genome sequences. *Nature* 475:493-496.
- Suzuki M, Ohno K, Sawayama E, Morinaga S, Kishida T, Matsumoto T, Kato H (2023) Genomics reveals a genetically isolated population of the Pacific white-sided dolphin (*Lagenorhynchus obliquidens*) distributed in the Sea of Japan. *Mol. Ecol.* 32:881-891.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kishida Takushi, Toda Mamoru, Go Yasuhiro, Tatsumoto Shoji, Sasai Takahide, Hikida Tsutomu	4. 巻 155
2. 論文標題 Population history and genomic admixture of sea snakes of the genus <i>Laticauda</i> in the West Pacific	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecular Phylogenetics and Evolution	6. 最初と最後の頁 107005 ~ 107005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ympcv.2020.107005	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 -
1. 著者名 Kishida Takushi	4. 巻 383
2. 論文標題 Olfaction of aquatic amniotes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cell and Tissue Research	6. 最初と最後の頁 353 ~ 365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00441-020-03382-8	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 -
1. 著者名 Kishida Takushi, Go Yasuhiro, Tatsumoto Shoji, Tatsumi Kaori, Kuraku Shigehiro, Toda Mamoru	4. 巻 286
2. 論文標題 Loss of olfaction in sea snakes provides new perspectives on the aquatic adaptation of amniotes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences	6. 最初と最後の頁 20191828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rspb.2019.1828	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 Kishida Takushi, Ohashi Masataka, Komatsu Yosuke	4. 巻 37
2. 論文標題 Genetic diversity and population history of the Japanese black bear (<i>Ursus thibetanus japonicus</i>) based on the genome wide analyses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 647 ~ 657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1440-1703.12335	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 岸田拓士
2. 発表標題 標本のゲノムが物語ること：博物館におけるゲノム研究
3. 学会等名 第53回種生物学シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸田拓士, 戸田守, 笹井隆秀, 疋田努
2. 発表標題 両棲ウミヘビ類はなぜ8種しかいないのか？ 全ゲノム配列に基づくLaticauda属ウミヘビ類の系統地理と種間交雑に関する研究
3. 学会等名 日本進化学会第21回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takushi Kishida
2. 発表標題 Population history and genomic admixture of sea snakes in the West Pacific
3. 学会等名 CETBio Symposium on evolution and biodiversity (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸田拓士
2. 発表標題 Loss of the olfactory receptor genes in cetaceans based on the genomic and fossil evidences
3. 学会等名 第20回日本進化学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岸田拓士
2. 発表標題 縄文時代の鯨骨DNAに探る先史時代の鯨類の遺伝的多様性
3. 学会等名 日本進化学会第24回大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究紹介 https://sites.google.com/view/tkishida ウミヘビ類のゲノム解読に成功 - 海洋環境への適応進化の分子的基盤を探る - http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2019/190911_1.html
--

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
---------	---------