

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K06304

研究課題名（和文）着生基質の違いが海藻類の分散能力及び地理的遺伝構造に与える影響の解明

研究課題名（英文）Elucidation of the influence of differences in epiphytic substrates on the dispersal ability and geographical genetic structure of seaweeds

研究代表者

羽生田 岳昭（Hanyuda, Takeaki）

北里大学・海洋生命科学部・講師

研究者番号：40379334

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）：日本沿岸に広く分布し、近縁種間で主な着生基質が異なる海藻類を対象として、地域集団間及び集団内の遺伝的多様性の違いを基にそれぞれの種の分散能力や地理的遺伝構造を明らかにするとともに、着生基質の違いがもたらす影響を明らかにすることを目的とした。遺伝的解析の結果、セイヨウハバノリには地理的遺伝構造が認められなかった。一方、近縁種であるハバノリには明瞭な地理的遺伝構造が存在した。この結果は、前者が着生基質として他の海藻を利用することにより、本来自らが持つ能力以上の分散能力を得た結果、後者に比べ遺伝的交流が可能な範囲が大幅に広がったことによると推測された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋生物の地域集団間の遺伝的分化の程度や種内の地理的遺伝構造には、分散能力の違いが大きな影響を及ぼすことが明らかになっている。気泡の有無などにより種間の浮力の違いが非常に大きい海藻類は、分散能力の違いと遺伝的分化の関係について研究するのに非常に適した生物であるが、日本沿岸に生育する海藻類の分散能力については未だ不明な点が多い。本研究は、褐藻類の近縁種を対象として比較解析を行い、着生基質の違いによる分散能力の違いが影響したと推測される地理的遺伝構造の有無を明らかにした。この点において学術的な意義があるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The dispersal ability and geographical distribution of several macro algal species were investigated, based on the differences in genetic diversity between and within regional populations. The macro algal species, that are widely distributed along the coast of Japan, and whose main epiphyte substrates differ among closely related species, were focused. The aim was to clarify the genetic structure and the effects of different epiphyte substrates. As the results of genetic analyses, no geographical genetic structure was observed in *Petalonia fascia*. On the other hand, *P. binghamiae*, a closely related species, had a clear geographical genetic structure.

研究分野：大型藻類の系統分類，生物地理，保全

キーワード：地理的遺伝構造 海藻類

1. 研究開始当初の背景

海洋生物の地域集団間の遺伝的分化の程度や種内の地理的遺伝構造には、分散能力の違いが大きな影響を及ぼすことが明らかになっている。分子マーカーを利用した系統地理学的解析により、自律的な遊泳能力を持たないかあるいは遊泳能力が乏しい海洋生物の場合、地域集団間の遺伝的分化の程度や地理的遺伝構造には分散能力の違いが大きな影響をもたらすことが明らかになっている。例えば底生の巻貝の場合、浮遊生活を行う幼生期間の長さや遺伝的分化の程度に相関が見られている(小島 2009)。気泡の有無などにより種間の浮力の違いが非常に大きい海藻類は、分散能力の違いと遺伝的分化の関係について研究するのに非常に適した生物であるが、日本沿岸に生育する海藻類の分散能力については未だ不明な点が多い。

着生基質による遺伝的構造の違いについては、海藻類としては過去にシオグサ属の種に関する研究例がある。近縁種間で見られた地理的遺伝構造の違いについて、シオグサ属では、着生基質の違いが影響を及ぼした可能性が示唆されている。地理的構造が見られない種がしばしば分散能力の高いホンダワラ類に着生する一方、地理的構造が見られた種は他の海藻類への着生が見られなかったのである(丹羽ら 2013)。また近年、申請者らは、褐藻セイヨウハバノリ属の近縁種間において、着生基質の違いがもたらした可能性が示唆される結果を得た。

2. 研究の目的

本研究では、日本沿岸に広く分布し、近縁種間で主な着生基質が異なる海藻類を対象として、地域集団間及び集団内の遺伝的多様性の違いを基にそれぞれの種の分散能力や地理的遺伝構造を明らかにするとともに、着生基質の違いがもたらす影響を明らかにすることを目的とした。比較的近縁な種の間で着生基質の違いが見られる複数の組み合わせを対象として分子系統地理学的な解析を行うことにより、着生基質の違いが海藻類の分散能力及び地理的遺伝構造に与える影響の普遍性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

材料：近縁種間でしばしば着生基質の傾向に違いが見られる種として、褐藻類カヤモノリ科セイヨウハバノリ属の3種(セイヨウハバノリ(*Petalonia fascia*), ハバノリ(*P. binghamiae*), キヌハバノリ(*P. tenuis*)), 及びフクロノリ属の3種(フクロノリ(*Colpomenia sinosa*), ウスカワフクロノリ(*C. peregrina*), *C. claytoniae*)を選択した。セイヨウハバノリ属においては、ハバノリが主に岩に着生するのに対し、セイヨウハバノリは岩以外に他の海藻(ホンダワラ類)や係留ロープなど人工的な気質にもしばしば着生する。2016年に新たに記載されたキヌハバノリはその生態がまだそれほど知られていないが、岩以外に海藻などにも着生するようである。また、フクロノリ属では、フクロノリが主に岩に着生するのに対し、ウスカワフクロノリはホンダワラ類や紅藻類など他の海藻にしばしば着生することが知られている。*C. claytoniae*は2011年に記載された種であり、日本での分布や生態はあまり知られていない。

本研究では、日本各地においてセイヨウハバノリ属海藻類及びフクロノリ属海藻類を採集し、解析に用いた。

方法：採集したサンプルからDNAを抽出し、PCR法によりミトコンドリアゲノムの遺伝子領域を増幅した(セイヨウハバノリ属：*cox3*, フクロノリ属：*cox3*, *atp6*)。アガロースゲル電気泳動により増幅を確認した後、プライマー等を除去する処理を行い、シーケンスを実施した。塩基配列を決定した後、配列を比較してハプロタイプを決定、TCS ver.1.21を用いてスパニングネットワーク樹を作成した。

4. 研究成果

セイヨウハバノリ：日本各地の他、過去に得られていた海外のサンプルのデータを加えて解析を行った結果、23のハプロタイプが認められた。また、スパニングネットワーク樹を作成した結果、種内に3つの遺伝的グループが存在することが明らかとなった(図1)。ハプロタイプの分布を見ると、黒で示した遺伝的グループが、日本の一部(厚岸)と海外(北米、欧州、南米)に広く分布していた。一方、白で示したグループと斜線で示したグループは、日本各地に広く分布し、一部海外(オセアニア、南アフリカ)にも分布していた。また、日本沿岸において、白と斜線のグループは地理的なまとまり(地理的遺伝構造)を示さず、しばしば同じ集団内に同所的に生育していた。

ハバノリ：日本各地で採集されたサンプルのデータをもとに解析を行った結果、35のハプロタイプが認められた。また、スパニングネットワーク樹を作成した結果、種内に2つの遺伝的グループが存在することが明らかとなった(図2)。ハプロタイプの分布を見ると、日本海沿岸から瀬戸内海、及び東海や三陸沿岸にかけて灰色で示した遺伝的グループが広く分布する一方、ドット柄で示したグループが東北南部から東海にかけての太平洋沿岸に分布していた。瀬戸内海や関東、東海の一部に別のタイプが見られるケースがあるものの、基本的には2つの遺伝的グループ

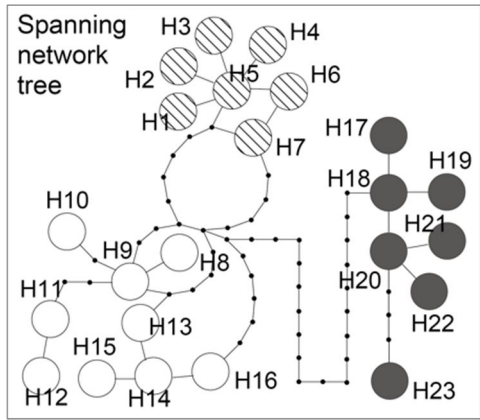
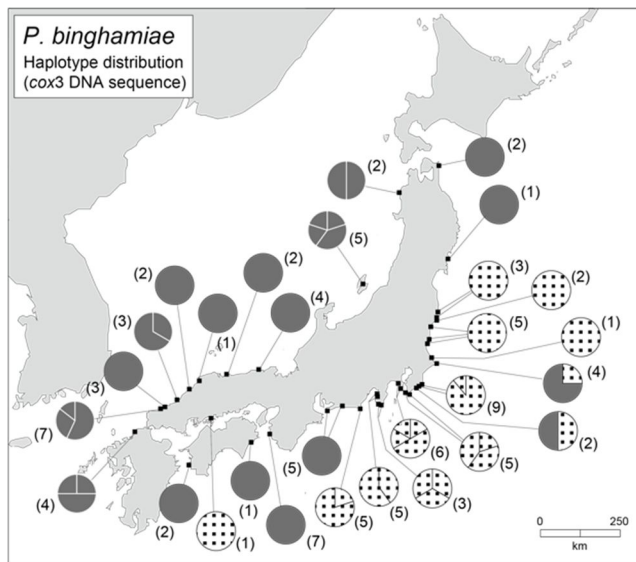
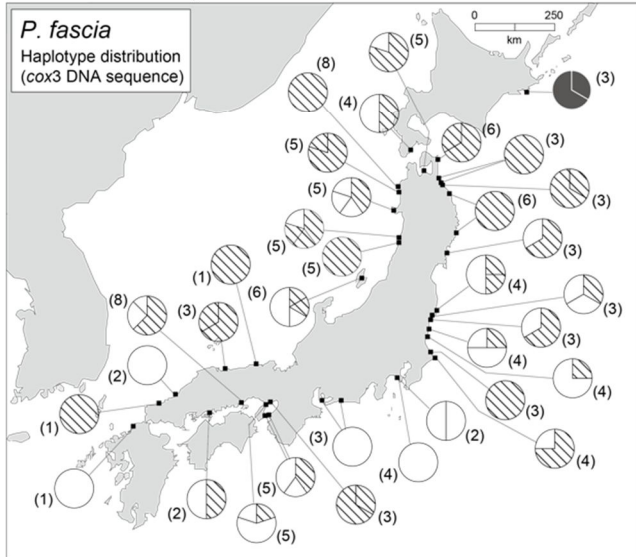
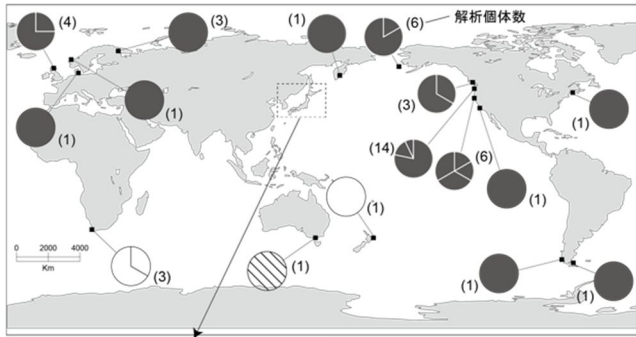


図 1. セイヨウハバノリのハプロタイプネットワーク及びハプロタイプの分布

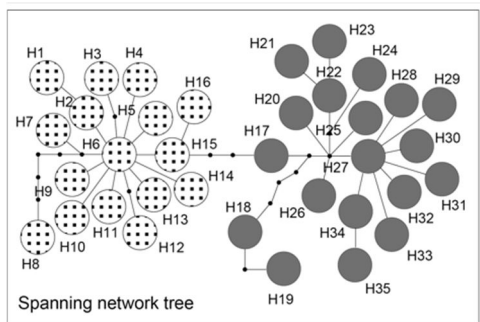


図 2. ハバノリのハプロタイプネットワーク及びハプロタイプの分布

プの分布域が異なっており、地理的遺伝構造の存在が認められた。

キヌハバノリ：日本各地で採集されたサンプルのデータをもとに解析を行った結果、13 のハプロタイプが認められた。また、スパンニングネットワーク樹を作成した結果、種内に 6 つ程度の遺伝的グループが存在することが明らかとなった（図 3）。キヌハバノリについては、新種記載が 2016 年と比較的最近であることもあり、これまでタイプ産地を含む関東以外での分布が明確ではなかった。本研究により、関東以南の太平洋沿岸や瀬戸内海、そして南西諸島沿岸にも分布することが明らかとなった。ハプロタイプの分布を見ると、灰色の遺伝的グループが主に関東から東海に分布、白色のグループが近畿から九州の太平洋沿岸に分布するなど、緩やかな地理的遺伝構造が認められた。

フクロノリ：日本各地で採集されたサンプルのデータをもとに解析を行った結果、21 のハプロタイプが認められた。また、スパンニングネットワーク樹を作成した結果、種内に 2 つの遺伝的グループが存在することが明らかとなった（図 4）。

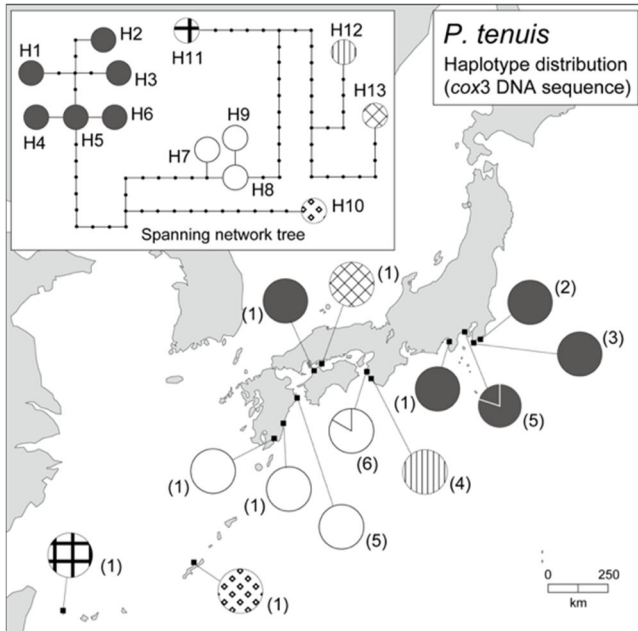


図 3. キヌハバノリのハプロタイプネットワーク及びハプロタイプの分布

ハプロタイプの分布を見ると、灰色の遺伝的グループが東海から九州にかけての太平洋沿岸、瀬戸内海、そして北陸から山陰にかけての日本海沿岸に分布していた。一方、ドット柄のグループは奄美大島から沖縄本島にかけての南西諸島沿岸に分布しており、地理的遺伝構造が明確であった。

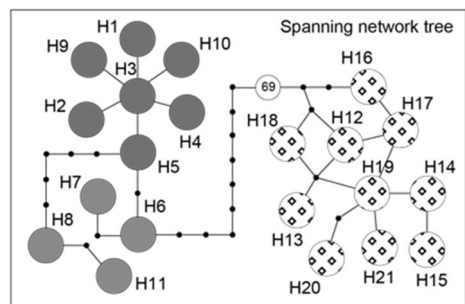
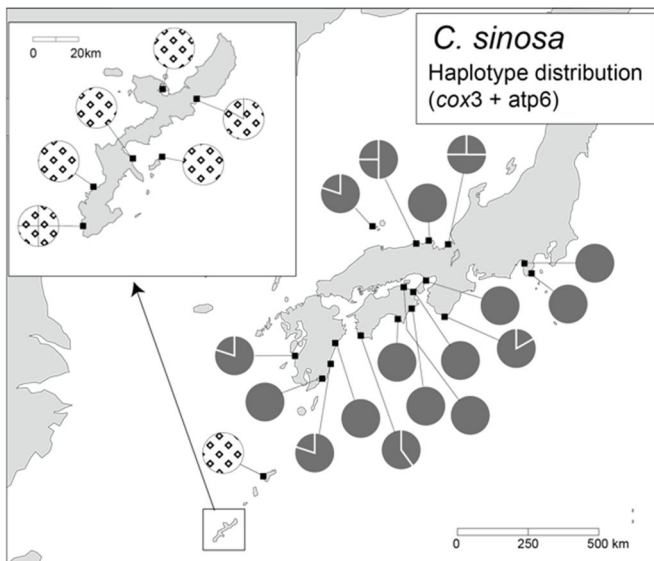


図 4. フクロノリのハプロタイプネットワーク及びハプロタイプの分布

ウスカワフクロノリ: 日本各地で採集されたサンプルのデータをもとに解析を行った結果、26 のハプロタイプが認められた。また、スパンニングネットワーク樹を作成した結果、種内に 3 つの遺伝的グループが存在することが明らかとなった (図 5)。ハプロタイプの分布を見ると、白色の遺伝的グループが三陸沿岸のみに分布、灰色のグループが東北から近畿にかけての日本海沿岸や瀬戸内海、そして九州の一部に分布していた。また、横線で示したグループは東北南部や東海の太平洋沿岸、瀬戸内海、そして日本海の一部に分布していた。いくつかの集団において、灰色と横線のグループが同所的に生育していたものの、全体で見ると地理的遺伝構造が存在していると考えられた。

C. claytoniae: 日本各地で採集されたサンプルのデータをもとに解析を行った結果、19 のハプロタイプが認められた。また、スパンニングネットワーク樹を作成した結果、種内に複数の遺伝的グループの存在が示唆された。本種の日本における分布はこれまではっきりしていなかったが、本研究により、東海から四国、九州にかけての太平洋沿岸や瀬戸内海、そして近畿から山陰にかけての日本海沿岸に分布することが明らかとなった。

着生基質と分散能力: 近縁種間で着生基質にしばしば違いが見られる 2 種 (セイヨウハバノリ, ハバノリ) の間に、地理的遺伝構造の違いが見られることが明らかとなった。しばしば他の海藻などに着生する前者については、日本沿岸での地理的遺伝構造が認められないのに対し、着生基

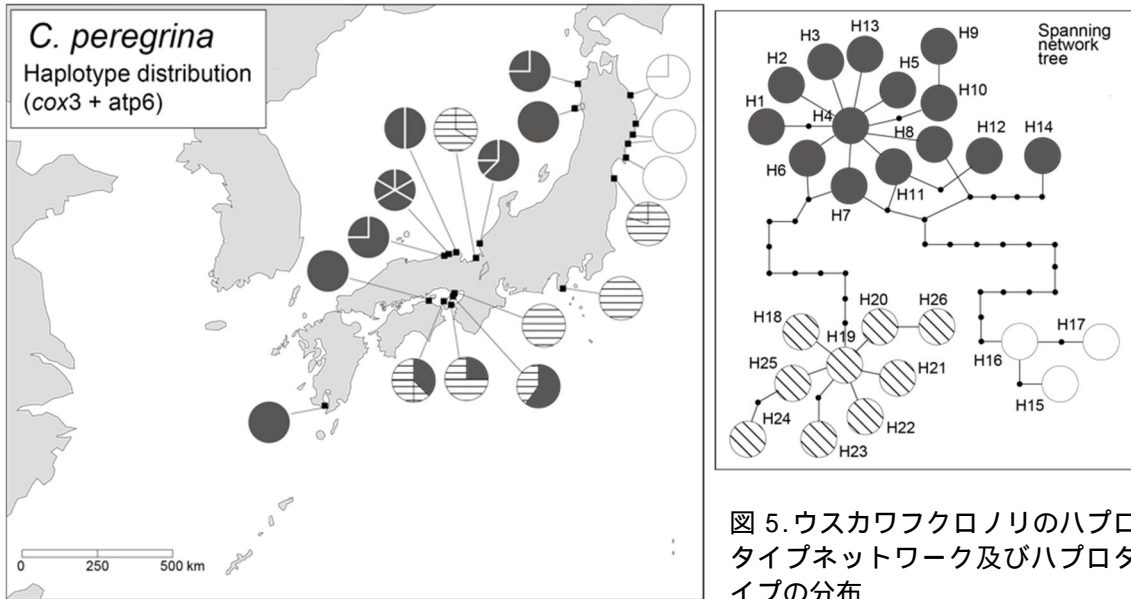


図 5. ウスカワフクロノリのハプロタイプネットワーク及びハプロタイプの分布

質として他の海藻などを利用しない後者については、明瞭な地理的遺伝構造が認められた。この結果は、前者が着生基質として他の海藻を利用することにより、本来自らが持つ能力以上の分散能力を得た結果、後者に比べ遺伝的交流が可能な範囲が大幅に広がったことによると推測された。

セイヨウハバノリと同様にしばしば他の海藻に着生するウスカワフクロノリについても、セイヨウハバノリと同様に地理的遺伝構造が認められない可能性が高いと考えていた。しかし、ウスカワフクロノリについては地理的遺伝構造が認められた。例えば三陸沿岸において、ウスカワフクロノリは分散能力が高いホンダワラ類よりも、分散能力が低いと推測される紅藻類に着生している様子が多く観察された。今後より詳細に調べる必要があるものの、着生する海藻の種類の違いが地理的遺伝構造の有無に関係している可能性がある。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Kawai Hiroshi, Hanyuda Takeaki, Akita Shingo, Uwai Shinya	4. 巻 3
2. 論文標題 The macroalgal culture collection in Kobe University (KU-MACC) and a comprehensive molecular phylogeny of macroalgae based on the culture strains	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Phycology	6. 最初と最後の頁 159 ~ 166
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/26388081.2020.1745685	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2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 北山太樹・鈴木雅大・羽生田岳昭
2. 発表標題 小笠原諸島父島で食用にされている海藻「ハバノリ」（褐藻綱カヤモノリ目）について
3. 学会等名 日本水産学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 羽生田岳昭
2. 発表標題 海藻類の越境移入・東日本大震災と付着生物の移動
3. 学会等名 日本付着生物学会（招待講演）
4. 発表年 2023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
---------	---------