

学位論文題名

Spatial scale variability of latitudinal gradient of species diversity in rocky intertidal sessile animal assemblages

（岩礁潮間帯固着動物群集における
種多様性の緯度勾配の空間スケール変異性）

学位論文内容の要旨

1章: General introduction

地域レベルの種多様性の緯度勾配は様々なハビタットや分類群で見られる一般的なパターンであるが、種多様性の緯度勾配の空間スケールに伴う変化とその決定機構はよくわかっていない。種多様性の緯度勾配の空間スケール変異性は、ランダムプロセス（地域の種のプールからのランダムな抽出）と生態プロセス（相互作用、ニッチ分割、分散制限など）の両方の影響を受けると考えられる。この2つのプロセスがどのように種多様性の決定に影響を与えているのかを明らかにするための有効なアプローチとして、pattern based approachとprocess based approachがある。前者は、群集や個々の種の非ランダムな分布の程度から、生態プロセスの純効果（種多様性に対する全ての生態プロセスの影響の総和）を推定する方法である。後者は、群集構造や種多様性の空間変異に対する環境要因や空間要因の説明力を直接算出することで、種多様性に対するニッチ分割や分散制限の影響を評価する方法である。この2つの方法を用いることで、種多様性の緯度勾配の空間スケール変異性の原因として、1) 低緯度ほど地域レベルの相対優占度曲線の傾きが緩い、2) 低緯度ほど生態プロセスのnet effectが大きい、の2つのプロセスがどのように働いているのかを検証することが出来る。

本研究では、日本列島太平洋岸の岩礁潮間帯固着動物群集を対象に、種多様性の緯度勾配の空間スケール変異性とその決定プロセスを明らかにすることを目的とした。2章では、種多様性の緯度勾配の空間スケール変異性と、地域レベルの相対優占度曲線の緯度に伴う変化を明らかにした。次に、種多様性の緯度勾配に対する生態プロセスの純効果の役割をpattern based approach（ランダムイゼーションテストと集中分布の指標）を用いて検証した。3章では、process based approach（variation partitioning）を用いて、種多様性の緯度勾配に対するニッチ分割と分散制限の役割を検証した。4章では、多変量解析（RDAとPCA）を用いて、2章と3章で得られた生態プロセスの強さの指標の空間変異を明らかにした。また、生態プロセスの純効果の地域間変異に対するニッチ分割と分散制限の相対的貢献度を明らかにした。

2章: Latitudinal gradient of species diversity in rocky intertidal sessile animal assemblages: mechanisms determining multiscale variability

日本列島太平洋岸の6地域（31°N~43°N）で階層的な空間配置を用いた調査を行った結果、岩礁潮間帯固着動物群集は低緯度ほど種数が多くなる緯度勾配を示し、その勾配は空間スケールの減少に伴って緩やかになってい

た。また、地域レベルの相対優占度曲線は低緯度ほど傾きが緩やかになっていた。種多様性の決定に対する生態プロセスの純効果を検証するためにランダムイゼーションテストを行った結果、実際の群集はランダム群集と有意に異なっていたが、群集レベルの非ランダム分布の程度は緯度に伴った変化をしていなかった。また、集中分布の程度の指標を用いた解析の結果、岩礁潮間帯固着動物群集は各種が集中分布をしているが、種レベルの非ランダム分布の程度は緯度に伴った変化をしていなかった。これらの結果は、生態プロセスの純効果は種多様性の決定に影響を与えているが、生態プロセスの純効果は緯度に伴った変化をしていないことを示している。このことは、種多様性の緯度勾配の空間スケール変異性は、生態プロセスの純効果の影響はほとんど受けず、地域レベルの相対優占度曲線の緯度に伴う変化がランダムプロセスを介して主に反映されていることを示唆している。

3章: The role of niche differentiation and dispersal limitation in determining latitudinal gradient of β -diversity in rocky intertidal sessile animal assemblages

種多様性の緯度勾配に対するニッチ分割と分散制限の役割を検証するために、variation partitioningを用いて、群集構造の空間変異（ β 多様性）に対する環境要因の独立した説明力（ニッチ分割の影響力の指標）と空間要因の独立した説明力（分散制限の影響力の指標）を求めた。環境要因として、岩礁潮間帯固着動物の群集構造の決定に影響を与えることが知られている環境（16種類）を、空間要因として各局所群集の空間的位置を用いた。Variation partitioningの結果、環境要因と空間要因共に群集構造の空間変異に対する有意な説明力を示し、その説明力は地域間で異なっていた。しかし、環境要因と空間要因の説明力と、環境の異質性の程度は緯度に伴って変化していなかった。これらの結果は、ニッチ分割や分散制限は種多様性の決定には影響を与えているが、その影響の強さや生態的特性（ニッチ幅や分散能力）は緯度に伴った変化をしていないことを示している。これらのことから、生態プロセスの強さの緯度に伴う変化ではなく、地域レベルの相対優占度曲線の緯度に伴う変化が種多様性の緯度勾配の空間スケール変異性の主な原因となっていることを示唆している。

4章: General discussion

共通のデータから算出した複数の指標に対して単変量の解析を繰り返す場合、正確な解釈ができない可能性がある。そこで、2章と3章で得られた生態プロセスの強さの指標がどのような空間変異を示すかを明らかにするために、RDAとPCAを用いた多変量解析を行った。その結果、2章・3章と同様に、生態プロセスの純効果、ニッチ分割と分散制限の影響の全てが地域間で変異しているが、緯度に伴った変化をしていなかった。

生態プロセスの純効果の地域間変異に対するニッチ分割と分散制限の相対的貢献度を明らかにするために、純効果を応答変数、ニッチ分割と分散制限の強さの指標を説明変数とする重回帰分析を行った。その結果、群集間の種構成の違いに関しては分散制限の方が、群集間の現存量の違いに関してはニッチ分割の方が生態プロセスの純効果の地域間変異に対して相対的に重要な影響を与えていることが示唆された。

本研究の結果から、1) 空間スケールの縮小に伴って種多様性の緯度勾配は緩やかになる、2) 低緯度ほど相対優占度曲線の傾きが緩やかになる、3) 生態プロセスの純効果、ニッチ分割の強さ、分散制限の強さはそれぞれ地域間で変化をするが、緯度に伴った変化をしない、の3点が明らかとなった。これらの結果は、空間スケールの縮小に伴って種多様性の緯度勾配が緩やかになるのは、相対優占度曲線の緯度に伴う違いが主な原因であることを示唆している。本研究で得られた結果は、「どのような進化的・歴史的プロセスが地域スケールの相対優占度曲線が低緯度で緩やかにするのか?」「地域群集間で種多様性維持機構がどのように違い、何がその違いを作り出すのか?」という種多様性に関する根源的な疑問に繋がるものである。

学位論文審査の要旨

主 査 准教授 野 田 隆 史

副 査 教 授 東 正 剛

副 査 教 授 齋 藤 隆

副 査 教 授 岩 熊 敏 夫

副 査 教 授 甲 山 隆 司

副 査 准教授 仲 岡 雅 裕 (千葉大学大学院理学

研究科)

学 位 論 文 題 名

Spatial scale variability of latitudinal gradient of species diversity in rocky intertidal sessile animal assemblages

(岩礁潮間帯固着動物群集における
種多様性の緯度勾配の空間スケール変異性)

低緯度ほど生物群集内の種数が多くなるという種多様性の緯度勾配は、様々なハビタットや分類群に共通して認められる現象である。このような種多様性の緯度勾配は、大空間スケールでは顕著であるのに対し、小スケールでは勾配は緩やかかつ曖昧になる傾向があることが知られている。しかし、その原因についてはよくわかっていない。

申請者は、このような種多様性の緯度勾配の空間スケール変異性を生じさせるメカニズムとして、1) 低緯度ほど地域レベルの相対優占度曲線の傾きが緩くなる、2) 低緯度ほど小スケールでの共存種数を制限する各種生態プロセス（相互作用、ニッチ分割、分散制限など）が強く働く、という相互排他的ではない2つの仮説を提示し、これらを検証する方法を示した(1章)。これらの仮説と検証方法は、他のさまざまな生物群集にも適用可能であることから、学術的な意義は大きいと評価できる。

そして、この検証方法を日本列島太平洋岸の6地域 (31° ~43° N) の岩礁潮間帯固着動物群集に適用し、種多様性の緯度勾配の空間スケール変異性とその決定プロセスを明らかにした(2~4章)。まず、種多様性の緯度勾配の空間スケール変異性と、地域レベルの相対優占度曲線の緯度に伴う変化を明らかにした(2章)。ついで低緯度ほど小スケールでの共存種数を制限する各種生態プロセス（相互作用、ニッチ分割、分散制限など）の純効果が強く働

いているかをランダム抽出群集と実際の群集の種多様性の比較と各種の分布集中分布の指標を用いて検証した（2章）。さらに生態プロセスのうち、ニッチ分割と分散制限が種多様性の緯度勾配に及ぼす影響を、16種類の環境要因、調査地点の位置情報、および地点間の種組成の違いをもとにvariation partitioningを用いて評価した（3章）。最後に、各種生態プロセスの純効果に対するニッチ分割と分散制限の相対的貢献度を多変量解析（RDAとPCA）を用いて明らかにした（4章）。

その結果、日本列島太平洋岸の岩礁潮間帯固着動物群集では、1) 低緯度ほど種数が多くなるという種多様性の緯度勾配が認められ、その勾配は空間スケールの減少に伴って緩やかになる、2) 地域群集の相対優占度曲線の傾きは低緯度ほど緩やかになる、3) 局所共存種数を制限する機構（生態プロセスの純効果）の働きには緯度に伴う明瞭な変化は認められない、4) ニッチ分割や分散制限の強さには緯度に伴った明瞭な変化は認められない、ことが明らかになった。これらの事実は、岩礁潮間帯固着動物群集では、空間スケールが縮小するほど種多様性の緯度勾配が緩やかになるのは、低緯度ほど地域レベルの相対優占度曲線の傾きが緩くなることが主な原因であり、小スケールでの共存種数を制限する生態プロセス（相互作用、ニッチ分割、分散制限など）が低緯度ほど強く働くからではないことを示唆している。

得られた結果から、種多様性の緯度勾配の形成と維持を理解するために本質的かつ重要な問いが新たに2つ提示されたとみなせる。いかなる進化的歴史的プロセスによって地域スケールの相対優占度曲線が緩やかになるのか？低緯度では、どうして局所共存種数を制限する機構（生態プロセス）の働きが強くないにも関わらず、多数の種が共存できるか？である。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。