

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H02503

研究課題名(和文) 階層的空間アプローチによる岩礁潮間帯生物の群集動態の安定性の空間変異性の解明

研究課題名(英文) Spatial variability in the stability of community dynamics of rocky intertidal organisms using the spatial hierarchical approach

研究代表者

野田 隆史 (Noda, Takashi)

北海道大学・地球環境科学研究所・教授

研究者番号：90240639

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：北海道から鹿児島島の太平洋沿岸の6地域、5海岸、5岩礁の計150岩礁において収集された岩礁潮間帯の生物の群集動態データを用い、(1)群集動態の安定性の地域変異、(2)2種の優占種の種間相互作用と個体群動態の地域内変異、(3)岩礁高度が群集アブダンスの時間変動性に及ぼす影響、(4)地形が群集アブダンスの時間変動性に及ぼす影響、および(5)海洋熱波が岩礁潮間帯の生物群集の動態に及ぼす影響、を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により岩礁潮間帯生物群集の動態の安定性とその駆動にはさまざまな空間スケールで変化する環境要因やイベントが重要な役割を果たしていることが明らかになった。人間活動により急速な環境変化が進行しつつある現在において、生態系の安定性の決定機構とその未来予測は極めて社会的・学術的希求性が高い研究課題であるといえる。こうした研究課題に取り組むうえで、本研究で用いられた一連の群集動態の解析アプローチはユニークであり、その適用範囲も岩礁潮間帯固着生物群集に留まらないと考えられることから、海洋生物群集動態の駆動機構の理解と未来予測に大いに貢献することが期待される。

研究成果の概要(英文)：Field censuses were conducted on a total of 150 rocks in six regions, five shores and five rocks along the Pacific coast from Hokkaido to Kagoshima, Japan, to collect data on community dynamics of rocky intertidal sessile organisms. The data obtained were used to assess (1) regional variation in the community stability; (2) spatial variability in dynamics and interaction of the two dominant species within a region; (3) influence of elevation on temporal variability of community abundance; (4) influence of topography on temporal variability of community abundance; and (5) influence of marine heat waves on community dynamics.

研究分野：群集生態学

キーワード：群集動態 安定性 固着生物 潮間帯 海洋 攪乱 生態学的弾性 共存機構

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

群集動態(種組成の時間変化)の安定性とその背後にあるメカニズムの解明は、生態系の管理や保全に大きく資するため生態学の重要な使命である。生態学では群集動態の安定性についての様々な要素(変化速度、工学的弾性、生態学的弾性)が研究の目的に応じて使い分けられてきた。これらは互いに関連し、空間的にも変異すると考えられている。しかしながら、これら群集動態の安定性の各要素が互いにどのように関連しているか? また、どのように空間変異し、それにはどのような要因が関わっているのか? については、明らかになっていない。

2. 研究の目的

北海道から鹿児島島の太平洋沿岸の6地域、5海岸、5岩礁の計150岩礁において収集された岩礁潮間帯の生物の群集動態データを用い、(1)群集動態の安定性の地域変異、(2)2種の優占種の種間相互作用と個体群動態の地域内変異、(3)岩礁高度が群集アバンダンスの時間変動性に及ぼす影響、(4)地形が群集アバンダンスの時間変動性に及ぼす影響、および(5)海洋熱波が岩礁潮間帯の生物群集の動態に及ぼす影響、を評価した。

3. 研究の方法

北海道から鹿児島島の太平洋沿岸の6地域×5海岸×5岩礁(計150岩礁)のほぼ垂直面に隣接して作成された縦1m横50cmの一組の遷移区(自然撓乱を模した人工裸地)と対照区(無操作区)において、2003年から2022年まで固着生物の種別の被度を毎年夏に測定した。以上の調査は北海道では研究代表者が、それ以外の地域では研究代表者と研究分担者と連携研究者が協力して行った。

調査期間中に生じた稀少イベントは、野外調査と気象に関する外部データから確定した。環境データ(波あたり、岩礁高度)はすでに計測済みのデータを用いた。また、種特性を文献データより求めた。

得られたデータを用い、統計解析によって(1)群集動態の安定性の地域変異、(2)2種の優占種の種間相互作用と個体群動態の地域内変異、(3)岩礁高度が群集アバンダンスの時間変動性に及ぼす影響、(4)地形が群集アバンダンスの時間変動性に及ぼす影響、および(5)海洋熱波が岩礁潮間帯の生物群集の動態に及ぼす影響、を評価した。

4. 研究成果

(1) 群集動態の安定性の地域変異

生物群集の生態学的弾性を評価することは、様々な自然撓乱から回復能力を予測するために極めて重要である。生態学的弾性の定量方法は種組成の時間変化の「軌道」を解析することで、群集の生態学的弾性を「線型動態」、「可逆的動態」、「安定的動態」、および「非線型動態」の4類型に類別可能であり、これらの4類型ごとの動態パラメータを比較することで生態学的弾性の大きさを評価できる。しかし、このようにして、群集の生態学的弾性を解析するのデータを得るためには、きわめて長期間の調査が必要である。これに対し、群集の時間不変動性は、短期間の調査によって様々な測度を比較的容易に推定することができる。従って、群集の時間不変動性から生態学的弾性を推定することができれば、管理・保全の観点から非常に有益であると考えられるが、両者の関係を調べた研究例はほとんど無い。そこで本章では、日本の太平洋沿岸6地域

(北海道東部、北海道南部、三陸、房総、南紀、大隅)の141の岩礁潮間帯固着生物群集の長期センサデータを分析することによって、4つの生態学的弾性の異なる側面(線型動態、可逆的動態、安定的動態、および非線型動態)を表す群集動態の長期軌道のパターンと種数、種組成、群集現存量の尺度で定量した時間不変動性の空間変異およびそれらの相互依存性を調べた。また、空間変異を引き起こす要因として、黒潮と親潮の海流系の違いとその流路の変動性の影響に注目し、これらの海流系の違いと海流の流路の変動性が6地域間での固着生物群集の動態に及ぼす影響を評価した。その結果、岩礁潮間帯固着生物群集の種組成の時間変化の「軌道」は安定的動態が最も多く、これは陸上植物群集の結果と一致していた。このように、生態学的弾性の類型の大部分は安定的な動態を示したが、地域間で群集動態の軌道にかなりの差があり、低緯度地域では定常平衡状態への回復が早いことがわかった。さらに、海流変動の強さによって、軌道や時間不変動性の様々な測度も地域間で異なることがわかった。また、群集の時間不変動性と種組成の時間変化の「軌道」との間には有意な関係性は認められなかった。この研究から時間不変動性の複数の測度間で、海流系と海流変動への応答に不一致があることも明らかになった。具体的に、種組成の時間不変動性は親潮付近よりも黒潮付近の方が低く、群集現存量の時間不変動性はその逆であった。また、海流の変動パターンが大きい地域では、種数と種組成の時間不変動性は小さく、群集現存量の時間不変動性は大きかった。このことは海流の変動の上昇は種の置換率の上昇をもたらすが、群集現存量の時間不変動性の減少はもたらさなかったことを示唆している。

(2) 2種の優占種の種間相互作用と個体群動態の地域内変異

群集動態の安定性には優占種群の個体群動態が大きく関わっている。岩礁潮間帯固着生物群集は、しばしば、ごく少数の優占種と多数の希少種から構成されているため、とくに優占種群の個体群動態を解析することで、群集動態の駆動機構に関する理解を深めることができる。そこで、北海道東部から得られた固着生物群集の時系列データを用い、この地域の岩礁潮間帯固着生物群集における2種の優占種(フクロフノリとキタイワフジツボ)の個体群動態パラメータ(内的自然増加率、種内競争と種間競争の強度)の空間変異性を解析した。その結果、両種とも種内競争と種間競争の強度は、自種の内的自然増加率の増加と共に低下する一方で、競争相手であるもう一方の種の内的自然増加率とはほとんど独立であることが明らかになった。また、いずれの種でも種内競争の強度は、その種がもう一方の種に及ぼす種間競争の強度よりも10倍程度強いこと、そのような種内競争の種間競争に対する卓越性は、2種の内的自然増加率の広範な組み合わせで一貫していることが明らかになった。このような個体群動態のパラメータ間の相互関連性のパターンは、2種の共存において安定化メカニズム(ニッチの違い)が特に重要であること、また、一方の種の内的自然増加率が低く、もう一方の種の内的自然増加率が高い場所では、両種の共存可能性が低下する(内的自然増加率の高いほうの種による競争排除が生じやすい)可能性を示している。

(3) 岩礁高度が群集アバンバンスの時間変動性に及ぼす影響

一般に群集の安定性(群集アバンバンスの時間変動性)は、種多様性と種組成によって変化するため、種多様性と種組成の恒久的な空間変異を生じさせる環境条件は、群集の安定性の空間変異を生じさせると考えられる。岩礁潮間帯では、そのような環境条件の候補として岩礁高度があげられる。そこで、藻類群集と固着動物群集を対象に、岩礁高度が群集アバンバンスの時間変動性に及ぼす影響とその背後にあるメカニズムを評価した。その結果、いずれの群集においても岩礁高度の上昇は群集アバンバンスの時間変動性を上昇させたが、そのメカニズムは両群集で異なる

ることが明らかとなった。すなわち、岩礁高度とともに群集アバンダンスの時間変動性が上昇したのは、藻類群集では岩礁高度の上昇が種多様性の低下をもたらしたことが原因であったのに対し、固着動物群集では、岩礁高度の上昇は種多様性の上昇をもたらさなかったものの、各種の個体群変動性を大きくしたことが原因であった。また、いずれの群集でも、種多様性が群集アバンダンスの時間変動性を低下させることが明らかになった。以上の結果は、種多様性は群集アバンダンスの時間変動性を低下させたものの、その影響は交絡要因(岩礁高度)よりも小さいかったことを示唆している。このことから一般に多地点から得られたデータを元に種多様性が群集アバンダンスの時間変動性に及ぼす影響を評価する際には、交絡要因を組み込んだ因果モデルで検証することが効果的であることが示唆された。

(4) 群集アバンダンスの時間変動性に地形が及ぼす影響

岩礁潮間帯では、多くの場合地形は長期にわたって変化が乏しいため、群集構造や動態の規定因子となっている予想されるが、これまで群集アバンダンスの時間変動性に及ぼす地形の影響が評価されたことはなかった。そこで、藻類群集を対象に地形特性(開放度、碎波帯の幅、岩礁面の海面までの距離、岩礁面の傾き、岩礁面の起伏度)が群集アバンダンスの時間変動性に及ぼす影響を評価した。その結果、地形特性が群集アバンダンスの時間変動性に及ぼす影響は地形特性の空間スケールによって異なり、景観スケールでの地形特性(開放度、碎波帯の幅)は群集アバンダンスの時間変動性へ影響を及ぼしていた一方で、局所的な地形特性(岩礁面の海面までの距離、岩礁面の傾き、岩礁面の起伏度)は群集アバンダンスの時間変動性にほとんど影響を及ぼしていないことがわかった。

(5) 海洋熱波が岩礁潮間帯の生物群集の動態に及ぼす影響

海洋熱波は表面海水温が5日以上の期間にわたり定義された閾値を上回る異常に暑いイベントで、近年では、その発生頻度や発生期間も増加している。そのため、海洋熱波に対する海洋生物の応答を理解することが急務となっている。海洋熱波は年間を通じて継続する場合や短期間で繰り返し発生する場合があるが、海洋熱波が生物に与える accumulative carryover effect(海洋熱波の発生から経過年数に応じて現存量が継続的に増加または減少すること)はこれまで評価されてこなかった。そこで海流変動によって2010~2016年の夏に発生した海洋熱波に対する北海道南東部の岩礁潮間帯生物群集の応答を評価した。その結果、海洋熱波の accumulative carryover effect は各生物種の現存量で検出され、それを無視すると海洋熱波の効果が過小評価される可能性があることが明らかになった。また、藻類の群集現存量は、海洋熱波発生中に増加し、海洋熱波の発生後2年後まで減少していた。さらに、海洋熱波の発生中と発生後に、冷温種の現存量が減少し、暖水性の種の現存量が増加した。海洋熱波による暖水性の種の現存量の増加は、accumulative carryover effect を考慮した場合にのみ、より高い垂直ニッチを持つ種でより顕著になることが示唆された。これらの結果は、accumulative carryover effect を考慮した場合でも、海洋熱波に対する生物の応答を評価する必要があることを強調するものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Ishida Ken, Tachibana Michikusa, Yao Yuan, Wada Yoko, Noda Takashi	4. 巻 110
2. 論文標題 The impact of marine heatwaves on rocky intertidal communities: Evidence of accumulative carryover effects of marine heatwaves	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	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） 10.3389/fmars.2023.1146148	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 Ishida Ken, Tachibana Michikusa, Hori Masakazu, Okuda Takehiro, Yamamoto Tomoko, Nakaoka Masahiro, Noda Takashi	4. 巻 11
2. 論文標題 Quantifying the dynamics of rocky intertidal sessile communities along the Pacific coast of Japan: implications for ecological resilience	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16073
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-95348-1	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 Yao Yuan, Fukaya Keiichi, Noda Takashi	4. 巻 -
2. 論文標題 A new framework to understand context dependence of two-species population dynamics: A case study of rocky intertidal sessile assembly	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Authorea Preprints	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） 10.22541/au.161700683.30663350/v1	査読の有無 無
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 Kanamori Yuki, Iwasaki Aiko, Oda Sayaka, Noda Takashi	4. 巻 35
2. 論文標題 Interspecific differences in the recovery of rocky intertidal zonation after the 2011 Great East Japan Earthquake	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 95～105
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/1440-1703.12085	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 Noda Takashi, Ohira Masashi	4. 巻 8
2. 論文標題 Transition in Population Dynamics of the Intertidal Barnacle Balanus glandula after Invasion: Causes and Consequences of Change in Larval Supply	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Marine Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 915 ~ 915
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jmse8110915	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 Kanamori, Y., Iwasaki, A., Oda, S., and Noda, T.	4. 巻 35
2. 論文標題 Interspecific difference in the recovery of rocky intertidal zonation after the 2011 Great East Japan Earthquake	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 95-105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1440-1703.12085	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 -

[学会発表] 計24件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 佐藤 洸紀・石田 拳・野田 隆史
2. 発表標題 太平洋沿岸における岩礁潮間帯生物群集の20年間の時間的トレンド: 気候変動の影響
3. 学会等名 日本生態学会第70回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小川 日咲乃・石田 拳・野田 隆史
2. 発表標題 メタ群集レベルにおける潮間帯固着生物種の時空間分布を決定する要因
3. 学会等名 日本生態学会第70回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新井 慧・野田 隆史
2. 発表標題 北海道東部における岩礁潮間帯固着生物群集の時間変動性に地形が及ぼす影響
3. 学会等名 日本生態学会第70回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 立花 道草・野田 隆史
2. 発表標題 岩礁潮間帯群集における多様性安定性関係の機能群間での比較
3. 学会等名 日本生態学会第70回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 姚 遠・野田 隆史
2. 発表標題 Impact of harmful algal bloom in 2021 off southeastern Hokkaido on rocky intertidal community
3. 学会等名 日本生態学会第70回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 姚遠・野田隆史
2. 発表標題 The influence of a harmful algal bloom occurred in 2021 on rocky intertidal community in eastern Hokkaido
3. 学会等名 日本生態学会北海道地区大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuan YAO, Keiichi FUKAYA, Takashi NODA
2. 発表標題 Context dependence of population dynamics in rocky intertidal sessile assembly: using intrinsic growth rate as a proxy of environmental suitability
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田拳, 立花道草, 堀正和, 奥田武弘, 山本智子, 仲岡雅裕, 野田隆史
2. 発表標題 太平洋沿岸の岩礁潮間帯固着生物群集の動態: 海流系と海流変動の影響
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新井慧
2. 発表標題 岩礁潮間帯固着生物群集の時間変動性に与える地形の影響
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田拳, 野田隆史
2. 発表標題 P1-045 潮間帯固着生物群集の遷移の軌道: 非攪乱群集への漸近、群集変化の速度と方向
3. 学会等名 日本生態学会第68回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 立花道草, 野田隆史
2. 発表標題 P1-285 高度の上昇に伴う潮間帯海藻群集の時間安定性の低下
3. 学会等名 日本生態学会第68回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 姚遠, 深谷肇一, 野田隆史
2. 発表標題 P1-052 A new framework to understand context dependence of two species population dynamics: a case study of rocky intertidal sessile assembly
3. 学会等名 日本生態学会第68回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 姚遠, 深谷肇一, 野田隆史
2. 発表標題 2種系における個体群動態の環境依存性を理解する新しい枠組み：岩礁潮間帯固着生物群集についての事例研究
3. 学会等名 日本生態学会北海道地区大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野田隆史
2. 発表標題 岩礁潮間帯の固着生物群集への東北地方太平洋沖地震の影響
3. 学会等名 日本付着生物学会シンポジウム「三陸における付着生物研究」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀正和
2. 発表標題 水産研究機関における海洋観測網：成果と今後の展開
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 立花道草，堀正和，山本智子，野田隆史
2. 発表標題 岩礁潮間帯固着生物群集における共存可能性の緯度変化
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石田拳，仲岡雅裕，山本智子，堀正和，奥田武弘，金森由妃，野田隆史
2. 発表標題 日本列島太平洋沿岸における潮間帯固着生物群集の動態の定量：生態学的弾性との関連性
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林由佳理，野田隆史，仲岡雅裕，山本智子，奥田武弘，堀正和，金森由妃
2. 発表標題 太平洋沿岸における潮間帯の外来固着生物：16年間の分布変化と侵入成功に影響する要因
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小松江梨子, 立花道草, 野田隆史
2. 発表標題 潮間帯固着生物間の競争－促進バランスの岩礁高度に伴う変化
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yao Yuan, Tachibana Michikusa, Noda Takashi
2. 発表標題 The variation in interaction strength between <i>Gloiopeltis furcata</i> and <i>Chthamalus challenger</i> along vertical gradient in intertidal sessile assemblage
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 立花道草, 野田隆史
2. 発表標題 潮間帯生物群集における共存機構の高度変化：加入ニッチと遷移ニッチの種差の役割.
3. 学会等名 日本生態学会第66回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石田拳, 奥田武弘, 金森由妃, 立花道草, 藤井玲於奈, 岩淵邦喬, 小林由佳理, 竹中映美, 彭燁帆, 野田隆史.
2. 発表標題 「移動モデル」による潮間帯生物群集の動態の定量化：生態学的弾性の解釈.
3. 学会等名 日本生態学会第66回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩淵邦喬, 野田隆史, 仲岡雅裕, 岩崎藍子, 金森由妃.
2. 発表標題 三陸沿岸のムラサキインコガイの個体群動態に対する東北地方太平洋沖地震の影響.
3. 学会等名 日本生態学会第66回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林由佳理, 野田隆史, 仲岡雅裕, 山本智子, 奥田武弘, 堀正和, 金森由妃.
2. 発表標題 日本列島太平洋沿岸の岩礁潮間帯における外来固着生物の15年間の分布変化.
3. 学会等名 日本生態学会第66回全国大会
4. 発表年 2019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
研究分担者	堀 正和 (Hori Masakazu) (50443370)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(横浜)・グループ長 (82708)	

	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
研究協力者	仲岡 雅裕 (Nakaoka Masahiro) (90260520)	北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授 (10101)	
研究協力者	深谷 肇一 (Fukaya Keiichi) (30708798)	国立研究開発法人国立環境研究所・生物多様性領域・主任研究員 (82101)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	山本 智子 (Yamamoto Tomoko) (80305169)	鹿児島大学・水産学部・教授 (17701)	

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