

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 12 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2015

課題番号：25712015

研究課題名(和文) 気候変動に伴う種の損失を補償する機能的冗長性の存在可能性の検証

研究課題名(英文) Testing possible functional redundancy of forest taxa to respond to species loss due to climate change

研究代表者

森 章 (Mori, Akira)

横浜国立大学・環境情報研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90505455

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,300,000円

研究成果の概要(和文)：さまざまな環境変動が、自然に存在する生物種の組み合わせ(群集)を改変することが予測されている。その結果、個々の群集の多様性により発揮される生態系機能に変質する可能性も考えられる。本研究では、知床国立公園の森林生態系を対象としたフィールド調査に基づき、生物多様性を評価することで、気候変動に伴う群集再構成のメカニズムと再構成に伴う生態系機能の変化の双方を解き明かした。

研究成果の概要(英文)：Climate change can substantially alter ecological communities. Here, we explored future communities in terms of taxonomic and functional characteristics. We found that future communities may be novel not simply because climates are changing at unprecedented rates but also because of the synergetic influences of other environmental changes. Thus ecological processes may be more seriously affected in the future than is generally anticipated based on existing climate-change scenarios, with possible consequences for ecosystem functioning.

研究分野：生態系管理学

キーワード：生態系管理 気候変動 生物多様性

1. 研究開始当初の背景

生命科学の主たるテーマとして、地球上にはなぜ生命の多様性があるのか、そして、生命の多様性にはどのような意味があるのかを解き明かすことが挙げられる。2012年の6月には、生物多様性の重要性が国際的に認識されはじめて20年の節目を迎えた。つまり、生物多様性条約を生んだ「地球サミット」が、当時と同じくブラジル・リオデジャネイロにおいて催されたのである。科学界においても、これを記念する動きがみられ、たとえばイギリスのNature誌においては、人類の福利にとっての生物多様性の意義を問う特集が組まれた。そこでは、人間社会が自然より得る公益(生態系サービス、ecosystem services)を保全するにおいて、生物多様性が必要であることが明示された(Cardinale et al. 2012, Nature)。つまり、生態系(原生林、半自然植生、農地生態系などの異なる人為影響下の生態系を含む)に多様な生物種が組み合わさって存在することで、食料生産や気候の安定、災害の低減などといった、人間社会が求める数多くの生態系の機能性(ecosystem functioning)が発揮されるのである(Naeem et al. 2012, Science)。

2. 研究の目的

現在、さまざまな環境変動が、自然に存在する生物種の組み合わせ(群集)を改変することが予測されている。その結果として、個々の群集の多様性により発揮される生態系の機能性が変質する可能性がある。このような(ときに望ましくない)変化を引き起こす要因の一つとして、気候変動が挙げられる。たとえば、温暖化に応じて、すべての生物種が高緯度・高標高方向へと等しく移動する訳ではない。そのため、急速な気候変動の結果として、ある場所に存在する群集の組み合わせは、現在とは異なる可能性が高い。

このような、気候変動に応じた群集の再構成(community re-assembly)が起こると、生態系機能の変化を介して、生態系サービスにも変化が生じる可能性が高い。一方で、過去から現在に向けて、群集の構成種は常に入れ替わり続け、現在と同質な群集は過去には存在し得なかったことも示唆されている(no-analogue community; Jackson & Hobbs 2009, Science)。人為的な影響の乏しい過去においても、気候変動に伴い群集が大きく入れ替わってきた事実は、たとえ現在進行する温暖化に伴って群集の再構成が生じて、生態系の発揮する機能性には顕著な変化が生じない可能性をも示唆している。しかしながら、群集の再構成後の生態系の機能性を推察することは容易ではない。

とくに、長寿の生物である樹木を主体とする森林生態系では、長期観測にも限界があり(仮に100年間観測しても、1本の樹木の寿

命よりも短い時間スケールに過ぎず、植物群集の再構成を直接観測できない)、novel communityにより発揮される機能性を評価することが困難である。そこで本研究では、森林生態系を対象に、「機能的多様性」と呼ばれる新たな生物多様性の評価方法を用いることで、この困難さを克服する。これにより、気候変動に伴う群集再構成のメカニズムと、再構成に伴う生態系機能の変化の双方を解き明かすことを目的とする。

機能的多様性とは、各生物種の「機能特性(あるいは機能形質)」に着目して評価する多様性である(Petchey & Gaston 2006, Ecology Letters)。たとえば、樹木でも巨大な葉をつけるものと小さな葉しかつけないもの、鳥でも泳げるものと泳げないもの、節足動物でも飛ぶものと飛ばないものがあるといった具合に、種ごとに特性がある。機能的に似た生物種は、似通った環境応答を示しがちであるので、環境による制限の厳しい場所では、機能的に限られた種しか存在し得ないことがある(環境フィルタリング)。また逆に、機能的に似ているがために同様の資源をめくり競争することで似通った種が排除され、結果として、機能的にバラエティに富んだ種の集まりが形成されることもある(競争排除)。機能的多様性の情報は、種多様性からだけでは得ることのできない、生物が長い進化過程の中で身に付けてきた特性の豊かさを表現している。

さらには、生態系が担う一次生産、窒素固定、気候調整などの多くの機能は、その場に存在する各々の生物種がどのような形態的あるいは生理的な特性を持っているのかによって決定される(Diaz et al. 2007, Proceedings of National Academy of Sciences of the United States)。それゆえに、ある特定の機能タイプの生物種が失われること(機能的多様性の損失)は、生態系の維持に必要なプロセスの一部が無くなることにつながり得る(例:菌根菌との共生植物の消失は、生態系の有する窒素固定機能の消失につながる; St John et al. 2012, Journal of Ecology)。

森林は陸域の生物相の約65%を支え、多くの分類群が森林において最も高い多様性を示す。そのため、森林における生物多様性を保全することは、多くの分類群を同時に保全することにつながる(Lindenmayer et al. 2006, Biological Conservation)。一方で、生物多様性にはさまざまな側面があり、単にたくさんの生物種がいること(種数の豊富さ)だけが生物多様性の絶対的指標ではない(Devictor et al. 2010, Ecology Letters)。生態系が保有する機能性の多様さがあることが、有機的な自然本来の姿である。本研究では、森林生態系の多様性を、種の豊かさだけにとどまらず、機能性をも考慮して多角的に評価する。申請者は、これまでに生物多様性の多面性について概念的な整理を行ってきた(Mori et al. 2013, Biological Reviews)。この経験を生かし、基礎

科学的にも応用科学的にも意義のある生命の多様性について実際のフィールドデータをもとに探求する。

本研究の対象地域は、ユネスコ世界自然遺産に登録されている北海道・知床半島の天然林生態系である。具体的には、森林性の植物と土壌動物の機能的特性に着目する。植物は一次生産をはじめとする生態系プロセスの基盤を担っており、土壌動物は有機物の分解をはじめとする生物化学的なプロセスに大きく貢献している。機能的多様性に着目することで、気候変動に伴う生態系の変化を推察できると考えている。当地では、国際自然保護連合（IUCN）による視察時に、「気候変動対応」を求められている。それゆえ、本研究で提示する知見は、貴重な世界遺産の自然環境の保全に資するものである。

3. 研究の方法

本研究では、分類群の枠を超えた機能群の組み合わせが、気候変動に伴い再構成されることによって、生態系の機能性にどのような変化が生じるのかをフィールド観測に基づき評価する。そのために、現地（知床国立公園）において、標高勾配に沿って調査区を設定した。各調査区において、多くの分類群にまたがる動植物の多様性のデータを取得し、さらには、多くの出現種の機能的特性のデータを取得した。これらを基にして、標高経度に伴う種多様性と機能的多様性の変化速度（ベータ多様性）にミスマッチが生じるのかどうかを検証した。

本研究ではベータ多様性と呼ばれる指標を用いた。ベータ多様性を用いると、生物種の移り変わり、入れ替わりの速度を求めることができる（Anderson et al. 2010, *Ecology Letters*）。そこで、標高経度に沿って群集構成が入れ替わる現象をもとに、それぞれの生物群がどのような速度で高標高側へと分布推移できるのかを定量化した。これにより、気候変動が群集をどのように変えるのかを評価した。たとえば、ベータ多様性を種と機能群で求めた場合では、前者では群集が入れ替わっているように見えても（novel communityの出現）機能的な群集組成には影響が見られない。このことは、ある種がいなくなっても、機能的に同等な別種（機能的冗長種と呼ばれる）が代わりに入ることで、機能的多様性は保たれていることを示唆している。このような種多様性と機能的多様性のミスマッチを実証するという方法により、自然要因による長期的な過去の気候変動に伴う群集の再構成の繰り返しの中でも、生態系の発揮する機能やサービスは、維持されてきたのかどうかを推察した。

4. 研究成果

以上の研究計画に基づき野外調査と室内

分析を継続的に実施した。研究対象地である知床国立公園の標高傾度に沿った森林性の多分類群の野外調査データの取得、各種の機能特性データの取得、群集の再構成の解析、英文論文の作成、学会発表、国際学術誌への論文発表を行った。また、得られた成果のメディアリリースや新聞報道を通して、環境変動下での生物多様性と生態系機能の保全戦略についての意見を提示した。以下に、主な成果（Mori et al. 2015, *Journal of Biogeography*）の概要を示す。

人間社会が自然から得ている恵み（生態系サービスと呼ばれる）を保全するためには、多様な生物種が存在が必須である、ということが知られるようになってきた。多様な生物が生態系の中で各々の役割（機能）を発揮することによって、生態系サービスは維持されている。温暖化など気候変動が著しい現在、生物多様性自体の存続はもちろんのこと、生物多様性に支えられる生態系機能や生態系サービスの存続が危惧されている。このような背景のもと、本研究では、知床国立公園内の森林において、植物（樹木、草本、シダ、コケ）、土壌動物（クモ、ササラダニ）といった複数の分類群を対象とした大規模な生物相調査を行った。この調査から得られたデータを元に、温暖化が生物多様性の変化を介して生態系機能に与える影響を評価した。その結果、気温の上昇に伴って生物種の構成は変化するものの、生態系機能はある程度維持されるということが分かった。

しかしながら、温暖化に伴って増加すると考えられるエゾシカによる食害を考慮に入れたシミュレーションを行うと、生物多様性だけでなく生態系機能が低下し、生態系が脆弱化し得ることが示された。現在、知床では、エゾシカ個体群の過剰な増大による植生被害が顕著である。エゾシカの増加は、近年の温暖化に伴い冬季のエゾシカ生存率が上昇していることが要因のひとつとして挙げられる。人為に起因する温暖化がエゾシカ個体群の増大に一役買っているとも言える。エゾシカは選択的に植物を食べるので、エゾシカの好む植物種が優先的に衰退する可能性がある。そこで、温暖化に伴い増幅するエゾシカ食害により、エゾシカ選好種が著しく消失し植物種の多様性が改変された場合でも、生態系の機能性がまだ維持されうるのかを、シミュレーションを用いて推定した。その結果、エゾシカ食害による特定の植物種の消失は、生物多様性だけでなく生態系機能をも低下させ、生態系を脆弱化させ得ることが示された。

この研究成果は、地球温暖化という危機に直面している現状の生物多様性を恒久的かつ包括的に保全するための重要な知見を提示している。（メディアリリースより抜粋）

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

1. Nishizawa K, Tatsumi S, Kitagawa R, Mori AS (2016) Deer herbivory affects functional diversity of forest floor plants via changes in competition-mediated assembly rules. Ecological Research : in press.
2. Okimura T, Koide D, Mori AS (2016) Differential processes underlying the roadside distributions of native and alien plant assemblages. Biodiversity and Conservation 25: 995-1009.
3. Mori AS, Shiono T, Haraguchi TF, Ota AT, Koide D, Ohgue T, Kitagawa R, Maeshiro R, ToeToeAung, Nakamori T, Hagiwara Y, Matsuoka S, Ikeda A, Hishi T, Hobara S, Mizumachi E, Frisch A, Thor G, Fujii S, Osono T, Gustafsson L (2015) Functional redundancy of multiple forest taxa along an elevational gradient: predicting the consequences of non-random species loss. Journal of Biogeography 42: 1383-1396.
4. Mori AS, Fujii S, Kitagawa R, Koide D (2015) Null model approaches to evaluating the relative role of different assembly processes in shaping ecological communities. Oecologia 178: 261-273.

〔学会発表〕(計3件)

1. 西澤啓太、辰巳晋一、北川涼、森 章、自然攪乱としてのシカ採食の役割—林床植物の群集集合プロセスからの評価。2016年3月22日 第63回日本生態学会年次大会。仙台国際会議場
2. 沖邑時代、小出大、森 章、知床国立公園における道路に沿った外来および在来の植物群集の分布パターンと競合。2016年3月22日 第63回日本生態学会年次大会。仙台国際会議場
3. Mori AS, Shiono T, Haraguchi TF, Ota AT, Koide D, Ohgue T, Kitagawa R, Maeshiro R, ToeToeAung, Nakamori T, Hagiwara Y, Matsuoka S, Ikeda A, Hishi T, Hobara S, Mizumachi E, Frisch A, Thor G, Fujii S, Osono T, Gustafsson L. Realistic species loss alters functional redundancy of ecological communities under a changing climate. 2013年8月22日 11th INTECOL Congress. London, UK.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
○出願状況(計0件)

〔その他〕
ホームページ等
<http://akkym.net/shiretoko/>
朝日新聞科学欄での報道(2015年4月)

6. 研究組織

(1)研究代表者

森 章 (MORI, Akira)
横浜国立大学・環境情報研究院・准教授
研究者番号：90505455