

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710281

研究課題名(和文) 樹木との共進化を考慮した植食性昆虫群集の多様性形成機構の解明

研究課題名(英文) Community assembly and host-specificity of herbivorous insects in cool-temperate forests

研究代表者

平尾 聡秀 (Hirao, Toshihide)

東京大学・農学生命科学研究科・講師

研究者番号：90598210

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、樹木との共進化プロセスを考慮して、冷温帯林における植食性昆虫の多様性の維持・形成機構を明らかにするために、樹木と植食性昆虫間の相互作用を分析した。その結果、樹木種間の系統的距離が大きくなるほど、植食性昆虫の多様性が増加する傾向がみられ、樹木の系統的制約が植食性昆虫の多様性に寄与していることが明らかになった。本研究から、優占する樹木種だけでなく、系統的に孤立した樹木種が失われる場合でも、植食性昆虫の多様性が減少する可能性があることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study examined tree-herbivore interactions to understand community assembly and host-specificity of phytophagous insects in cool-temperate forests. Statistical analyses indicated that phylogenetic distance between host tree species significantly increased with beta diversity of phytophagous insects. The result suggests that loss of phylogenetically isolated tree species as well as dominant tree species decline diversity of phytophagous insects in forest ecosystems.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：資源保全学

キーワード：拡散共進化 系統的保守性 共種分化 生態系保全 生物多様性 相互作用 冷温帯林

1. 研究開始当初の背景

生物多様性を定量的に評価し、その形成機構を解明することによって、生物多様性の保全に有効な生態系管理シナリオを提案することは、資源保全上重要な研究テーマである。森林生態系は陸上で最も生物多様性が高い生態系の1つであり、植物・哺乳類・鳥類の種多様性については、多くの場所で定期的なモニタリングが行われている。しかし、森林生態系において最も多様性が高い分類群である昆虫類については、多様性を定量的に評価し、その形成機構を解明するという取り組みがまだ十分に行われていない。

森林生態系において、植食性昆虫は樹木との密接な相互作用を通じて拡散共進化し、高い多様性が形成されてきたと考えられる。植食性昆虫の多様性は膨大な生物資源であり、捕食者など高次栄養段階の生物多様性を支える機能をもつ。しかし、その一方で植食性昆虫の多様性が急速に減少している可能性も指摘されている。植食性昆虫の多様性については、樹木と植食性昆虫間の相互作用や、森林構造と植食性昆虫の多様性の関係が明らかにされてきたが、今後はさらに樹木との系統関係を考慮して植食性昆虫の多様性の維持・形成機構を解明することが課題である。

なお、植食性昆虫の多様性に関する研究は熱帯林で先行しており、温帯林では一部の森林害虫を除いて、必ずしも十分な研究が行われていない。これは、植食性昆虫の多様性の高さが熱帯林において注目されるようになったという歴史的な経緯に由来する。しかし、温帯林であっても、樹冠の植食性昆虫の多様性は極めて大きく、その定量的な評価と形成機構の解明は、温帯林の生物多様性の保全に取り組む上で必要な知見となる。

これまで、植食性昆虫の多様性の維持機構として、資源としての植物の質(ニッチ分化)と樹木の空間配置(分散制限)の重要性が明らかにされてきた。しかし、ニッチ分化と分散制限のみでは、植食性昆虫の多様性を十分には説明できず、樹木の系統的制約と植食性昆虫の食性進化、すなわち樹木と植食性昆虫の共進化プロセスを考慮して、多様性の形成機構を解明することが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、秩父山地を中心とした冷温帯林において植食性昆虫の多様性を調査し、樹木との共進化プロセスを考慮して、植食性昆虫の多様性の維持・形成機構を明らかにする。具体的には、近年の研究から、植食者の多様性に影響を及ぼす進化的プロセスとして提案されている、次の3つの仮説を検証する。

(1) 樹木の系統的制約

系統的な分岐年代の古い樹木種ほど、その樹木種を寄主とする植食性昆虫に多くの種

分化が起こるため、植食性昆虫の種多様性が高くなると予想される。また、植食性昆虫の植食に対する樹木の防御反応は系統的に近縁な種間ほど似ているため、樹木種間の系統的距離が大きいほど、植食性昆虫群集の種構成の違いが大きくなると予想される。

(2) 植食性昆虫の食性幅

樹木の系統的多様性が低い森林ほど、特定の樹木種に特化する選択圧が強いため、食性の狭いスペシャリスト種の植食性昆虫が多くなると予想される。逆に、樹木の系統的多様性が高いほど、特定の資源に特化する選択圧が弱い場合、食性の広いジェネラリスト種の植食性昆虫が多くなると予想される。

(3) 樹木と植食性昆虫の共種分化

植食に対する樹木の誘導防御反応と、防御を打破する植食性昆虫の生理機能は、密接に相互作用しながら拡散共進化しており、樹木と植食性昆虫の系統関係はある程度対応する。樹木の系統的多様性が低い森林ほど、特定の樹木種に特化する選択圧が強いため、系統関係の一致度が大きく、系統的多様性が高い森林ほど、特定の資源に特化する選択圧が弱い場合、一致度が小さいと予想される。

また、これらの結果を考慮し、植食性昆虫の多様性の動態モデルを構築する。このモデルから、樹木種構成の変化が植食性昆虫の多様性に及ぼす影響をシミュレートし、森林伐採や人為攪乱に伴う樹木種構成の変動が植食性昆虫の多様性に及ぼす影響を予測する。

3. 研究の方法

(1) 樹木と植食性昆虫の多様性の評価

秩父山地を中心とした原生的な冷温帯林において、20 × 20 m の大きさの調査区を20ヶ所設置した。これらの調査区に生育する胸高直径5 cm以上の樹木個体を同定し、樹木個体ごとに3枝を採取して、鱗翅目昆虫を中心とした植食性昆虫を採集した。採集した植食性昆虫のソーティング・同定を行った後、樹木と植食性昆虫の相互作用を記述することによって、植食性昆虫の食性幅を評価した。

(2) 系統関係の推定

調査区に出現した樹木の系統関係については、種ごとに葉緑体DNA上のmatK領域の部分塩基配列を決定した。そして、APGの科レベルの系統樹を樹形制約として、最尤法により樹木の系統関係を推定した。また、採取された鱗翅目昆虫の系統関係については、形態種ごとにミトコンドリア上のCOI領域の部分塩基配列を決定した。そして、既知の科レベルの系統樹を樹形制約として、最尤法により鱗翅目昆虫の系統関係を推定した。

(3) 樹木の形質の測定

樹木種の個体ごとに、採取した葉の LMA・CN・総フェノール量・縮合タンニン量・リグニン量、採取した枝の材密度を測定した。

(4) 統計解析

仮説に対応して、次の3つの解析を行った。

樹木の系統的制約

一般化線形モデルによって、樹木種の分岐年代と形質が植食性昆虫の多様性に及ぼす影響を推定した。また、行列回帰モデルによって、樹木種間の系統的距離と形質が植食性昆虫の多様性に及ぼす影響を推定した。

植食性昆虫の食性幅

一般化線形モデルによって、樹木の系統的多様性が植食性昆虫のスペシャリスト/ジェネラリスト比に及ぼす影響を推定した。

樹木と植食性昆虫の共種分化

共種分化モデルによって、樹木の系統的多様性が樹木植食性昆虫の系統樹の一致度に及ぼす影響を推定した。

(5) 植食性昆虫の多様性の動態モデル

樹木の系統的制約・植食性昆虫の食性幅・樹木と植食性昆虫の共種分化を考慮し、植物との相互作用に基づいて、植食性昆虫の多様性の動態モデルを構築した。そして、シミュレーションを行い、森林に攪乱が生じ、樹木の種構成が変化した場合に、それらが植食性昆虫の多様性に及ぼす影響を分析・予測した。

4. 研究成果

(1) 樹木の系統的制約

植食性昆虫の多様性に対する樹木の系統的制約を解析した結果、樹木種の系統的分岐年代と植食性昆虫の多様性に正の相関はみられなかった。そのため、系統的に古い樹木種ほど、その樹木種を寄主とする植食性昆虫に多くの種分化が起こり、植食性昆虫の多様性が高くなるという種分化時間の効果は検出されなかった。しかし、樹木の葉の形質(LMA・総フェノール量・縮合タンニン量)は、植食性昆虫の多様性に有意な影響を及ぼしていた。それに対して、樹木種間の系統的距離と植食性昆虫の多様性には、有意な正の相関がみられた。樹木種間の系統的距離の効果は樹木種間の形質の違いを考慮しても有意だった。そのため、系統的に離れた樹木種ほど、植食性昆虫に対する防御反応が異なっており、植食性昆虫の多様性が高くなるという系統的保守性の効果が検出された。

(2) 植食性昆虫の食性幅

調査区の樹木の多様性と植食性昆虫の食性幅の関係を解析した結果、樹木の系統的多様性と植食性昆虫のスペシャリスト/ジェネラリスト比に有意な相関はみられなかつ

た。そのため、樹木の系統的多様性が高い森林ほど、特定の資源に特化する選択圧が弱く、食性の広いジェネラリスト種の植食性昆虫が多くなるという拡散共進化の効果は検出されなかった。この結果は、必ずしも樹木との相互作用が植食性昆虫の食性幅を決定していないことを示唆している。

(3) 樹木と植食性昆虫の共種分化

調査区の樹木と植食性昆虫の系統関係の対応を解析した結果、樹木の系統的多様性と系統関係の一致度に有意な相関はみられなかった。そのため、樹木の系統的多様性が高い森林ほど、特定の資源に特化する選択圧が弱く、系統関係の一致度が小さくなるという共種分化の効果は検出されなかった。この結果は、植食性昆虫の多様性が、必ずしも植食に対する樹木の防御反応と、防御を打破する植食性昆虫の生理機能の密接な相互作用によって形成されていないことを示唆する。

これらの結果により、食性幅と共種分化は樹木と植食性昆虫の相互作用全体に影響していないが、樹木の系統的制約が植食性昆虫の多様性に寄与していることが明らかになった。今後は、時空間スケールや分類群の解像度の違いを考慮した調査を行い、共進化プロセス(樹木の系統的制約・植食性昆虫の食性幅・樹木と植食性昆虫の共種分化)が作用するスケールと解像度を特定する必要があると考えられる。

また、植物との相互作用に基づく、植食性昆虫の多様性の動態モデルをシミュレートした結果、森林攪乱によって優占する樹木種が失われる場合だけでなく、系統的に孤立した樹木種が失われる場合でも、植食性昆虫の多様性が減少する可能性があることが予測された。この結果は、植食性昆虫の多様性を保全するために、樹木種構成の変化を適切に制御した森林生態系管理を行う必要があることを示唆している。

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5件)

Ryosuke Nakadai, Masashi Murakami & Toshihide Hirao, Effects of phylogeny, leaf traits, and the altitudinal distribution of host plants on herbivore assemblages on congeneric *Acer* species, *Oecologia*, 査読有, 2014, in press.

Yasuhiro Kubota, Toshihide Hirao, Shin-jiro Fujii, Takayuki Shiono & Buntarou Kusumoto, Beta diversity of woody plants in the Japanese Archipelago: roles of geohistorical and ecological processes, *Journal of Biogeography*, 査読有, 2014, in press, DOI: 10.1111/jbi.12290.

Kenji Watanabe, Masashi Murakami, Toshihide Hirao & Naoto Kamata, Species diversity estimation of ambrosia and bark beetles in temperate mixed forests in Japan based on host phylogeny and specificity. *Ecological Research*, 査読有, 29, 2014, 299-307, DOI: 10.1007/s11284-013-1123-0.

Toshihide Hirao, Masashi Murakami & Yasuhiro Kubota, Species abundance distributions of moth and beetle assemblages in a cool-temperate deciduous forest, *Insect Conservation and Diversity*, 査読有, 6, 2013, 494-501, DOI: 10.1111/icad.12006.

平尾聡秀・久保田康裕・村上正志, 生物多様性の維持機構の解明に中立理論が果たす役割, *生物科学*, 査読有, 64, 2013, 242-249.

〔学会発表〕(計3件)

岩城常修・平尾聡秀, 鳥類とコウモリ類が下層木の葉食性昆虫に与える影響, 第125回日本森林学会大会, 2014年3月28日, 大宮ソニックシティ.

渡邊謙二・村上正志・平尾聡秀・鎌田直人, 植物の進化履歴が材食性昆虫のホスト特異性に与える影響, 第61回日本生態学会大会, 2014年3月16日, 広島国際会議場.

Toshihide Hirao, Species diversity of moth and beetle assemblages in a cool-temperate deciduous forest, 5th Symposium of Asian University Forest Consortium, 2012年9月27日, 東京大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平尾 聡秀 (HIRAO TOSHIHIDE)

東京大学大学院農学生命科学研究科・講師
研究者番号：90598210

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし