

Patterns and Processes of Insect Community Assembly in Cool-Temperate Deciduous Forest

（温帯落葉樹林における昆虫群集形成のパターンとプロセス）

学位論文内容の要旨

野外で観測される種数や種構成など群集構造のパターンを形成するプロセスの解明は、30年以上前から活発に議論されてきた群集生態学の最も重要なテーマである。当初、生物群集に見られるパターンの背景には1つの重要なプロセスが存在し、「集合規則」として群集形成を制約していると考えられた。しかし、現在では分散、環境そして群集内部の制約という3つのプロセスが同時に作用し群集構造のパターンが形成されると考えられている。群集内の種個体群はニッチ分割や中立性など群集内部の制約の影響を受ける。このとき、同時に移入率などの分散の制約と攪乱などの環境の制約が群集動態に影響を及ぼし、観測される群集構造のパターンが現れる。このような群集形成のプロセスの相互作用から、相対種個体数や β 多様性、食物網構造などのパターンが生成されると予測される。

本研究では、温帯落葉樹林における昆虫群集形成のパターンとプロセスの解明に取り組んだ。寄主-寄生蜂群集、鱗翅目・甲虫目群集、林冠・林床・飛翔性昆虫群集を対象とした。これらは群集形成のパターンとプロセスの異なる側面を捉えている。第1部では、寄主-寄生蜂群集について、食物網構造と種多様性のパターンを生成するプロセスとして中立性とニッチ分割（群集内部の制約）の作用を検討した。第2部では、鱗翅目・甲虫目群集について、相対種個体数や β 多様性のパターンを生成するプロセスとして、移入（分散の制約）と環境異質性（環境の制約）の作用と共に時空間スケールの効果を検討した。第3部では、林冠・林床・飛翔性昆虫群集について、 α 多様性と β 多様性のパターンを生成するプロセスとして、攪乱による環境異質性（環境の制約）の作用と共に空間スケールの効果を検討した。

第1部の第1章では、量的食物網構造から、寄主と寄生蜂の相互作用により寄主間の見かけの競争が潜在的に生じる可能性があり、この系では種間相互作用が重要であることを明らかにした。第2章では、寄生蜂群集が中立性により維持されているときに予測される仮説、すなわち寄生蜂種間の寄生率のばらつきが種数と共に小さくなるかどうかを検証した。群集内の寄生率のばらつきは寄生蜂の種数と共に大きくなり、中立仮説は支持されなかった。この結果は寄生蜂群集が何らかのトレードオフにより維持されている可能性を示唆している。第3章では、林冠スケールで寄生率と寄主密度の変動に対する応答の速さの間にトレードオフが存在するという仮説を検証した。トレードオフが存在する証拠は見つからず、また寄生蜂は寄主密度に対して有意な応答を示さなかった。これは寄生蜂の密度依存的応答が異なる空間スケールで現れる可能性を示唆しており、林冠スケールでの寄生蜂の共存は仮説とは異なるメカニズムによって維持されていると考えられる。

第2部の第1章では、相対種個体数と季節間の β 多様性を鱗翅目群集と甲虫目群集を比較することによって、

群集内の希少種割合と種構成の時間的変動を検討した。甲虫目群集は鱗翅目群集よりも多くの希少種を含み、種構成の時間的回転が遅いことが明らかになった。これは、鱗翅目昆虫より甲虫目昆虫の寿命が長いことが貯蔵効果として機能し、観察されるパターンを生み出していることを示唆している。第2章では、時間・空間スケールに沿った β 多様性と共に、生息時間・場所選好性を検討した。共に季節間では有意な種構成の回転が見られ、甲虫目群集では林冠と林床の間で有意な回転が見られた。この結果は、寿命の短い、あるいは特定の場所に出現するスペシャリスト種の存在によって種の回転が駆動されることを示唆している。第3章では、移動能力の差が種多様性に影響を及ぼすという仮説を検証した。甲虫目昆虫は時間と共に誘引・捕獲される種の多様性が増大したが、鱗翅目昆虫は常に誘引・捕獲される種の多様性は変化しなかった。この結果は気象条件の影響は受けていない。この結果は、甲虫目昆虫と比べて鱗翅目昆虫の移動能力の高いことが質量効果として作用し、観察されるパターンを生み出すことを示唆している。第4章では、温帯林では環境異質性が小さいため、林冠と林床の間で昆虫群集の種多様性に違いが生じないという仮説を検証した。鱗翅目群集では常に林床で多様性が高く、甲虫目群集では種多様性や種構成の回転について有意なパターンは見られなかった。このことは、温帯林でも環境異質性と空間スケールの効果が重要であることを示唆している。第5章では、林冠と林床のどちらが大きな種プールを維持しているかを中立モデルから予測した。これらの群集の相対種個体数は中立モデルによくあてはまり、熱帯林の先行研究とは反対に、林床に有意に大きい種プールが存在すると予測された。これらの結果から、温帯林での昆虫群集の多様性に影響を及ぼす要因として寿命や移動能力、選好性の生活史特性の違いと共に時空間スケールが重要な役割を果たしていることを示唆される。一方、中立理論から予測されるパターンも同時に示しており、極めて多様な群集では近似的に中立性を示す可能性がある。

第3部の第1章では、多様性と各分類群の個体数に対して攪乱の影響が生じる機能的空間スケールを評価した。多様性に対する機能的空間スケールは見出されなかったが、各分類群に対しては機能的空間スケールが見出されその空間スケールが大きく変動することが明らかになった。この結果は、分類群での機能的特性が攪乱に対する応答と強くかかわっていることを示唆する。第2章では、群集の種構成に対して攪乱の影響が生じる機能的空間スケールを検討した。飛翔性昆虫群集では林冠・林床性昆虫群集よりも機能的空間スケールが大きいことが明らかになり、移動能力が攪乱に対する応答の空間スケールに影響を及ぼしていることが示唆された。これらの結果から、移動能力などの生活史特性と環境異質性、空間スケールが相互に作用し、群集形成に影響を及ぼしていると考えられる。

本研究では、群集内部の制約として中立性のみでは昆虫群集に見られるパターンが十分に説明できないことが明らかになった。そして、移動能力などの生活史特性と関係する分散の制約と環境の制約、さらに時空間スケールが相互作用することにより、群集形成に影響を及ぼすことが示された。今後、これらのプロセスと時空間スケールの効果を統合した群集形成のプロセスを検討していくことが求められる。特に、貯蔵効果と質量効果はこのようなスケール依存的なメカニズムとして経験的な観点からさらに評価される必要がある。また、これらの統合を進めるために、複雑なシステムを解析するベイズ推定などの手法を導入することも重要であると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 戸 田 正 憲

副 査 教 授 日 浦 勉

副 査 助 教 村 上 正 志

学 位 論 文 題 名

Patterns and Processes of Insect Community Assembly in Cool-Temperate Deciduous Forest

(温帯落葉樹林における昆虫群集形成のパターンとプロセス)

森林生態系は、陸上でもっとも多様性に富む生態系であり、その中でも、昆虫群集は、非常に高い種多様性を示すことが知られている。このように多様性に富む群集が、いかにして、創出され維持されているかは、生態学においてもっとも興味を持たれている問題の一つである。種数や種構成など群集構造のパターンを形成するプロセスの解明は群集生態学の本質的なテーマである。種個体群はニッチ分割や中立性など群集内部の制約の影響を受ける。このとき、同時に移入率などの分散の制約と攪乱などの環境の制約が群集動態に影響を及ぼす。これらプロセス間の相互作用から、群集構造のパターンが生成されると予測される。申請論文は、森林生態系において、1) リーフマイナー-寄生蜂群集、2) 鱗翅目と甲虫目群集、3) 攪乱地における昆虫群集、の種多様性の維持機構について、群集形成 (community assembly) の概念を中心にして研究を行っている。

結果として、第一部では寄生蜂群集の種多様性と種間の寄生率のばらつきの関係は中立仮説を支持しなかったが、競争能力と資源獲得能力の単純なトレードオフは見出せず、群集形成におけるその他のプロセスと観測スケールの重要性が示唆された。第二部では、鱗翅目・甲虫目群集について、相対種個体数や β 多様性のパターンを生成するプロセスとして、寿命や移動能力、生息場所選好性などの生活史特性の違いと共に時空間スケールが重要な役割を果たしているとし唆された。第三部では、森林性昆虫群集について、多様性パターンを生成するプロセスとして、攪乱による環境異質性と空間スケールの効果を検討し、移動能力などの生活史特性と環境異質性、空間スケールが相互に作用し、群集形成に影響を及ぼしていることが示されている。

各部を通じて、群集集合の概念に沿って、群集構造に対する、群集内部の機構、分散の制約、環境の制約、歴史的な制約の影響を検討し、それぞれの重要性を、未だ断片的にはあるが示すことを試みている。また、これまであまり扱われてこなかった、多種系の昆虫群集データ (57 種: リーフマイナー-寄生蜂群集の寄生蜂、892 種: 鱗翅目群集、355 種: 甲虫群集) をもちい、その多種の中に見られる群集のパターンの解析を通じて、直接的に示そうと試みる手法は非常に進歩的かつ妥当なものである。生物多様性の重要性についての、具体的な意義付けが求められている中で、本研究で

示されたアプローチは、今後、様々な群集、生態系において、検討されるべきものである。

また、これら成果は、7本の学術論文として国内外の学術雑誌に受理発表されている。

審査員一同は、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取得単位なども併せ、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断する。