

論文の内容の要旨

Dynamic change of biological interactions and its consequences in ecological systems (生態システムにおける動的な生物間相互作用とその影響)

総合文化研究科 広域科学専攻 広域システム科学系

笠田 実

指導教員: 吉田丈人 准教授

第1章 序論

長い時間スケールでの生物集団の適応が、生物同士の相互作用に影響を与えることは、ダーウィンによる適応進化の概念以降よく研究されてきた。しかし近年、迅速な進化や表現型可塑性など、より短い時間スケールでの適応が注目されるようになってきた。これらの短い時間スケールでの適応は、種分化以上の長い時間スケールでの適応と同様に、形質の変化を通じて生物間相互作用を改変し、群集構成や個体群動態などの生態現象に影響を及ぼす。一方で、短い時間スケールでの適応は、長い時間スケールでの適応と異なり、生態現象と同様のタイムスケールを持つため、その影響を強く受ける。従って、群集構成や個体群動態などの生態現象と、短い時間スケールでの適応の間には、フィードバック相互作用が働き、お互いに影響を及ぼし合っていると考えられる。これにより、生物学的相互作用のネットワークは動的に変化する。この生態と適応のフィードバックを通じた動的な生物間相互作用を理解することの重要性は、近年の多くの研究で指摘されており、進化生物学と群集生態学の双方の分野に発展をもたらすと考えられている。これまでの研究により、生態と適応のフィードバックを通じて、適応がおこる場合は、適応がない場合と異

なる個体群動態や群集構成をもたらすことが解明されてきた。しかし、種内多様性の詳細の違いによって、どのような適応が起こるかは異なるため、適応の有無に留まらず、種内多様性の詳細と、生態と適応のフィードバックの関係を知る必要がある。また、自然界では、迅速な進化、表現型可塑性、学習など、さまざまなやり方で生物は適応しており、それらの生物同士は互いに相互作用している。だが、これまでの研究では、単独の適応メカニズムのみが注目されることが多く、複数の適応メカニズム間の比較が行われることは少なかった。

そこで、本論文では、種内多様性の詳細の違いと、適応メカニズム間の比較という二つの点に着目し、適応と生態のフィードバックについての研究を行った。第2章では、種内多様性の詳細の違いとして、適応トレードオフの形の違いが生態と進化のフィードバックに与える影響について、ケモスタットと呼ばれる連続培養装置を用いて研究を行った。第3章では、適応メカニズム間の比較として、変動環境下での、進化と可塑性という、異なる適応をもつ生物間の競争について数理モデルを用いて明らかにした。第4章では、理論と実験の双方の研究から見えて来た生態と適応のフィードバックのメカニズムについて総合的に捉え、実際の自然生態系の中でそれらがどのように働くのか、そしてどのように研究を発展させ応用させていくことができるのか、についての考察を行った。これらを通じて、本論文では、生態システムにおける動的な相互作用の働き方とその影響について明らかにすることを目的とする。

第2章 異なる適応トレードオフが生態と進化のフィードバックに与える影響

第2章では、種内多様性のあり方の違いが生態と進化のフィードバック関係に与える影響を明らかにするため、ワムシと藻類からなる捕食者-被食者系において、連続培養装置(ケモスタット)を用いた実験を行った。この系では、被食者である藻類が遺伝的多型をもっており、捕食被食の相互作用は藻類の集団内の遺伝子構成が世代ごとに変化すること(迅速な進化)によって動的に変化する。藻類個体群は、増殖力と捕食抵抗性に関して適応トレードオフをもつ2クローンからなり、捕食抵抗性を獲得するためにどれだけ増殖力を犠牲にする必要があるかは、この適応トレードオフの形に依存している。本研究では、増殖速度を大きく損なわなくても捕食者に対する防御形質を獲得することのできる遺伝子構成をもった藻類集団(防御コストの低い藻類)と、捕食者に対する防御形質を獲得するのに増殖速度を大きく下げなければならない遺伝子構成をもった藻類集団(防御コストの高い藻類)を使って、個体群動態と進化動態への影響を比較した。その結果、同じワムシと藻類の捕食者-被食者系であっても、被食者の適応トレードオフのわずかな違いによって、異なる

個体群動態と進化動態を示すことがわかった。さらに、同じ遺伝的組成をもつ藻類個体群であっても、ケモスタットの希釈率などのわずかな環境条件の違いによって、定性的に異なる2種類の個体群動態および進化動態を示す場合があることもわかった。これらの結果から、初期の種内多様性の違いが、生態と適応のフィードバックを通じて、進化と個体群のダイナミクスに影響を与えることがわかった。

第3章 変動環境下での進化と可塑性の比較

表現型可塑性は、第2章で扱った迅速な進化と並び、短い時間スケールでの形質変化を引き起こす重要な適応メカニズムの一つである。第3章では、進化により適応する生物と表現型可塑性により適応する生物の間の競争が、環境変動の時間スケールに応じてどう変化するかを、数理モデルを用いた理論研究によって明らかにした。進化と表現型可塑性は共に形質変化を引き起こすメカニズムであるが、形質変化の時間スケールと自然選択の有無に大きな違いがある。進化は世代を超えた時間スケールの変化であるのに対し、表現型可塑性は世代内でも形質の変化が起こりうる。また、進化は自然選択によって形質が変化していくのに対し、表現型可塑性は環境応答によって自然選択なしに形質の変化が起こる。本章では、自然選択によって進化する生物と、自然選択なしに環境応答によって形質が可塑的に変わる生物を、変動環境下で競争させる数理モデルを構築した。進化と表現型可塑性の間での形質変化速度の違いは、選択圧に応じて変化する進化速度と、表現型可塑性の環境応答の速さ（定数パラメータ）として表した。数値計算の結果、進化と可塑性のどちらが集団中に優占するかは、可塑性に伴うコストと環境変動の時間スケールに応じて、複雑に変化することが分かった。非常に速く変動する環境のもとでは進化が優占しやすいが、環境変動の時間スケールが長くなるにつれて可塑性が優占した。さらに環境変動が遅くなると、進化が優占するが、非常に環境変動が遅い場合には、再び可塑性が優占した。また、これらの結果は、環境変動の時間スケールに応じて、異なるメカニズムによって引き起こされていることがわかった。

第4章 総合考察

本論文の目的は、適応と生態とフィードバックを通じて、どのように動的な生物間相互作用が生態システムに影響を与えるかを、種内多様性のあり方と、適応間比較という2つの観点から明らかにすることであった。第2章から、種内多様性のあり方の違いが、被食者の迅速な進化による動的な被食捕食相互作用の変化を通じて、異なる個体群動態と進化動態を引き起こすことが分かり、生態と進化のフィードバックにおける具体的なメカニズムを明らかにした。また、第3章から、変動環境下では、異なる適応メカニズムを持つ集

団中で、優占する適応が変動環境の時間スケールに応じて変化することがわかった。形質変化を通じた動的な生物間相互作用は、単に遺伝的多様性の有無に留まらず、種内の遺伝型構成の違いや、適応の仕方の違いに応じて、生態系に様々な影響をもたらすと考えられる。本論文では、特に、種内変異としてトレードオフの形の違いが重要であること、異なる適応メカニズムをもつ集団において、どのような適応をもつ生物が優占するかは、環境変動の時間スケールが重要であることを明らかにした。

種内の変異として、本論文では2クローンからなるトレードオフの形を扱ったが、より一般的には、マルチクローンや形質分布を考える必要がある。また、本論文では適応として、進化と表現型可塑性に的を絞ったが、その他の適応についても注目して比較する必要がある。加えて、野外生態系での動的な相互作用の役割を理解するためには、多数種からなる系への拡張は必要不可欠であり、大きな課題である。これらのことが明らかになれば、生態系における、生物多様性の意味とは何か、がより深く理解されるであろう。そして、それは、より良い生物保全の指標や、個体数予測のための礎となる。