

生物多様性を維持する新しい理論の提示 —密度に応じた資源配分が希少種の存続を許す—

概要

京都大学フィールド科学教育研究センターの小林和也講師は、植物の生物多様性維持には花粉と種子の生産バランスが重要な役割を果たしているとの新しい理論を発見しました。光や水といった光合成に必須の資源について、利用可能な量が種によって異なる状況を模したシミュレーションを用いて理論を検証したところ、実際のフィールドで観察される生物多様性をうまく再現できました。

地球上に見られる多種多様な生物がなぜ共存できるのかという問いは生態学における重要な未解決問題の一つです。本研究では、多種共存が生じるメカニズムとして種子と花粉の生産比（性比）に着目しました。

性比の理論研究では、花粉が届く範囲に多数の同種他個体がいる場合には1：1の生産比になり、低密度の時には花粉の生産を抑えて種子を多く生産すると予測しています。この理論が正しいとすると、ある地域で種によって得られる資源の量が異なっていた場合、利用できる資源の多い種は高密度となって種子と花粉に等しく配分するのに対し、利用できる資源の少ない種は低密度となって資源の多くを種子生産に回すようになります。植物の増殖効率は種子生産量に強く依存しますが、花粉生産量には影響されないため、結果として種間で種子生産量が均一になることが期待されます。

この仮説を検証するためシミュレーションモデルを構築し、予想通り密度に応じた種子と花粉への資源配分が起こること、それによって種子生産量が種間で均一化し 600 種を超える多種共存が可能であることを示しました。さらに、このモデルで得られた結果は実際の生物群集に見られる種数と個体数の関係とよく一致しました。本研究成果は、2017年3月6日午後7時（日本時間）に英国の総合学術誌 *Scientific Reports* に掲載されました。



光を巡って競争している植物群集

1. 背景

生物多様性の維持メカニズム解明は生態学における重要な未解決問題の一つです。似たような資源を利用し、互いに競争関係にある複数種の共存は理論上難しいとされています。しかし、例えば植物群集を見てみると、多様な植物が光や空間を巡って競争しながら長期的に共存しています。従来、これらの一見競争関係にある種の間でも多少なりとも形態や性質が異なっていることから、利用している資源や環境が互いに少しずつ異なっていることで競争が緩和され、長期的に共存できるのだとされてきました。すなわち、他種と異なっていることが種の存続に重要だと考えられてきました。一方で近年、形態や性質といった種の違いを考慮しなくても生物多様性が説明できるという中立説(Hubbell 2001)が提唱されています。種の違いを考慮しないシミュレーションによって生物群集に見られる種数と個体数の関係を精度良く再現したことで、生物の特徴に意味があるのかどうか大きな論争が起きています。

2. 研究手法・成果

本研究ではそれぞれの個体が行う種子と花粉の生産比（性比）に着目しました。花粉の生産へ資源を配分しても次世代の個体数が直接増えるわけではないため、種子と花粉の最適な生産バランスは個体数の動向と密接な関係があると考えられます。しかし、一般に多くの動物でオスとメスがほぼ1 : 1であるように植物の性比も常に1 : 1であると考えられていたため、主に種間関係を扱う群集生態学分野では性比の影響が見過ごされてきました。一方で種内の競争や進化を扱ってきた進化生態学では、数学的モデルから最適と予測した性比が実際の生物の性比と良く合致したことから、性比に関する研究が進んでいます。

性比理論では、花粉が届く範囲に多数の個体がいる場合には種子と花粉への資源配分は1 : 1になり、低密度の時には花粉を最小限に抑えて種子を多く生産すると予測しています。理論が正しいとすると、ある地域を見た時に種間で利用できる資源・環境の量が異なっていとしても、利用できる資源の多い種は高密度となって種子と花粉に等しく配分するのに対し、利用できる資源の少ない種は低密度となって資源の多くを種子生産に回すようになります。植物の増殖効率は種子生産量に大きく影響を受けませんが、花粉生産量には影響されないため、結果として種間で増殖率が均一になることが期待されます。つまり、性比を考慮すると最終的に生物種間には増殖効率の違いが全く無くなるという非現実的な仮定が生じる可能性もありました。

生物群集での種ごとの個体数変化と性比に関連があるという仮説を検証するため、本研究では個体ベースのシミュレーションモデルを構築しました。それぞれの個体は種ごとに異なる量の資源を種子と花粉に配分し、より多くの花粉を作るとそれだけ多くの種子を受粉させることができ、より多くの種子を作るとそれだけ多く次世代に子孫を残すことができます。このシミュレーションによって、仮説通り密度に応じた種子と花粉への資源配分が起こること、それによって種間差があっても相殺され増殖率が均一化するため、長期間にわたる安定共存が起きることを示しました(図1)。加えて、このモデルは600種を超える多種共存を実現し、実際の生物群集に見られる種数と個体数の関係を再現できました(図2)。つまり、一見非現実的と思われた生物多様性の中立説の仮定(生物種間には増殖効率の違いが無い)は、実際に利用可能な資源量が種間で異なっていたとしても花粉と種子への資源配分を考慮することで生じうることを示しています。

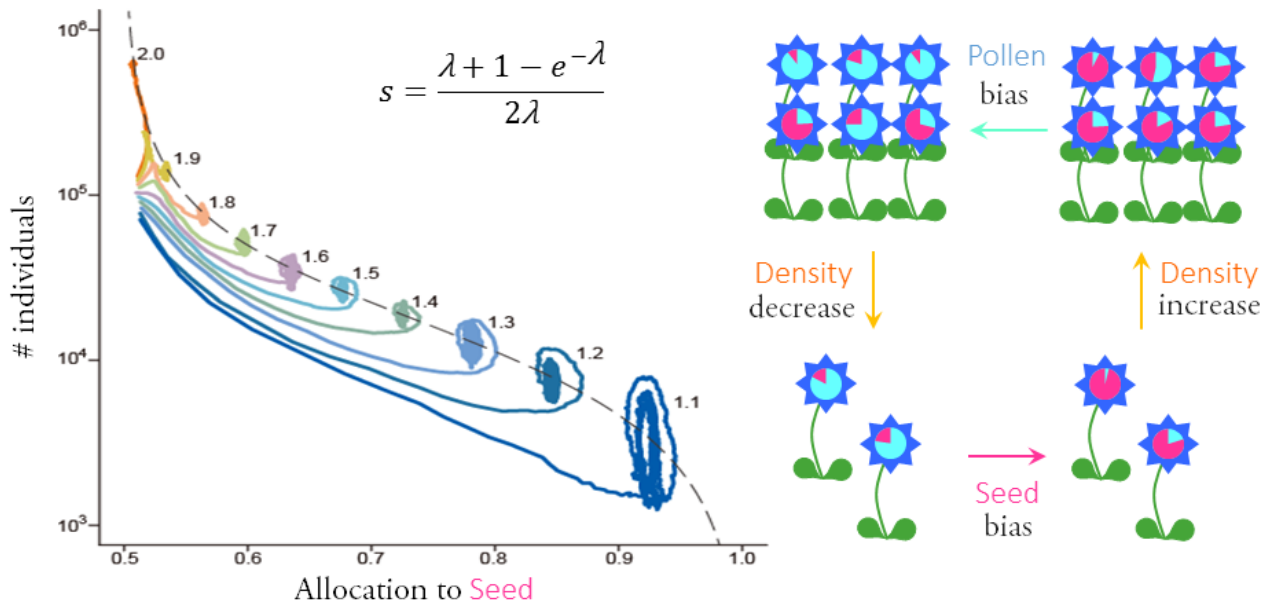


図1. シミュレーションで生じた利用できる資源量の異なる10種の長期安定共存

左図では縦軸に個体数、横軸に種子生産に投じた資源量の割合をとり、色のついた線はそれぞれ異なる種の進化・個体数動態を示し、傍にある数字はその種が利用できる資源量を示しています。利用できる資源量が少ない種は個体数が減少しつつ、投資が種子に偏っていきます。ある閾値を超えたところで、個体あたりの種子生産量が同じ地域内で高密度に生息している他の種よりも大きくなり、減少し続けていた個体数が増加へ転じます。するとその種の密度が回復するため、種内で花粉を多く作ることが有利になって、種子生産量が減少します。すると再び閾値を下回るため密度が減少に転じます。点線は性比理論が予測した密度と性比の関係式(図中の数式)を示します。

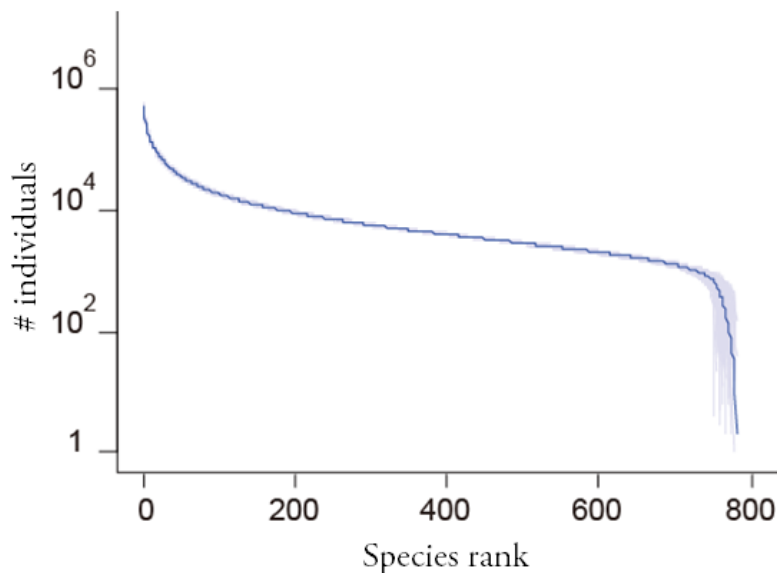


図2. シミュレーションで得られた1万世代後の種数と個体数の関係

1000種からシミュレーションをスタートし、1万世代後に絶滅していなかった種を個体数の多い種から順番に左から右に並べたもの。実際の生物群集ではS字のカーブを描くことが知られており、本研究のモデルはそれをうまく再現しました。

3. 波及効果、今後の予定

このモデルは、花粉にほとんど投資せず、種子ばかり作っている個体が別の地域に侵入し、十分な資源を得た場合、新しい突然変異によってより多く花粉に投資する個体が現れるまでの間、急激に個体数を増やし侵略的外来種のように振る舞うことを予想します。更に、新しい突然変異でより多く花粉を生産する個体が現れると個体あたりの増殖率が落ち着くことで、在来種への影響を弱めることが予測されるなど、保全生態学上重要な予測を与えています。本研究成果は種内の個体間相互作用を考慮することが生物群集や生態系の理解に重要であることを示唆しています。

4. 研究プロジェクトについて

日本学術振興会特別研究員PDとして特別研究員奨励費(no. 14J00916)の支援を得て研究を行いました。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Sex allocation promotes the stable co-occurrence of competitive species

著者：小林和也

掲載誌：Scientific Reports