

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	金 普文
論文題目	Theoretical Studies on Plant Competition and Cooperation for Belowground Resources (地下資源をめぐる植物の競争と協力に関する理論研究)		
(論文内容の要旨)			
本博士論文は、植物が地下資源をめぐり他個体と競争する状況で示す成長パターンについて、その進化的な背景を理論的な手法によって解析したものである。論文は2つの研究を含んでいる。 一つ目の研究は、「植物における共有地の悲劇」として知られる現象に関するものである。いくつかの植物では、単独で栽培した場合と土の量（地下栄養量）を2倍にして2個体を隣接させて栽培した場合では、1個体あたりの栄養量は両方で同一であるにも関わらず、2個体で栽培した方が根の増大を示しつつ繁殖量は減少してしまうことが報告されている。こうした現象が生じる背景を、植物の成長パターンに注目して理論的に解析した。一年生の植物を想定し、植物の地上部（光合成と繁殖に関わる）と地下部（地中の栄養獲得に関わる）のバイオマスと、植物個体の生育場所の地下の栄養量の3つを時間とともに変化する変数として、その時間変化を追いかける。植物は各時点で、光合成産物と地下から吸収した栄養で成長のための資源を合成し、それを地上部と地下部に割り振って各部位を成長させる。この各時点での資源の配分比が植物の戦略であり、最終時刻での地上部のバイオマスを最大化する戦略がどのような資源配分スケジュールになるのかについて、動的最適化の手法である最大原理を用いて解析した。その結果、最適なスケジュールでは一般的にシーズン中期に地上部と地下部への投資を同時に行う期間が現れ、その後、地上部のみへの投資に切り替わることがわかった。そして、同時配分における配分比そのものは単独の場合と競争相手がいる状況で違いはないが、競争相手がいる状況では同時配分の期間がより長い戦略が進化的に安定な解となることがわかった。その結果として、「植物における共有地の悲劇」に相当する現象が理論的に再現された。本研究により、植物個体の相互作用のパターンが、植物の成長の季節変化を通じて規定されることが示された。 二つ目の研究は、同種の植物個体間の競争にみられる血縁特異性に関するものである。ある種の植物では、隣接する競争相手が自分と近縁である場合には自身の根の成長を抑制して、結果として競争を緩和することが報告されている。この「血縁個体間の協力」とみなせる現象について、血縁認識の広さと種子分散を考慮した1次元空間上のシミュレーションによって、血縁者と非血縁者に対する根のサイズの進化を解析した。シミュレーションの結果、血縁者と非血縁者に対する反応は、血縁認識の広さと種子分散距離の組み合わせによっていくつかのタイプに分類されることがわかった。相手を血縁とみなす条件が緩く、同時に種子分散距離が小さい場合は、「血縁」と認識した相手に対する根のサイズの縮小と、「非血縁」と認識した相手に対する根のサイズの増大が顕著になる。それに対して種子分散距離が大きい場合には、両者の差が小さくなる。さらに、相手を血縁とみなす条件が厳しい場合、「非血縁」とみなした個体に対しても比較的寛容になり、根を小さくすることが示された。 これら二つの研究を通じて、植物が同種個体に対して示す様々な反応を、時空間的な進化動態の観点から幅広く捉えるための理論基盤を提案することができた。			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

様々な植物で、近接する同種他個体の存在によって個体の成長パターンが変化することが報告されている。金普文氏はそれらの実証研究を踏まえ、隣接する他個体の状態に応じた成長パターンを植物の適応的な反応と捉え、その進化力学を数理モデルを用いて理論的に解析した。博士論文では2つのトピックを扱っている。

第1章General Introductionに続く第2章では、植物個体が他個体と隣接して生育する場合に、1個体あたりの資源量は同一であっても、単独で生育する場合に比べて根をより伸ばす一方、地上部の生育が抑制されて結果的にパフォーマンスが低下する現象を扱っている。論文では、こうした成長パターンの変化を、与えられた状況に対する適応的な反応であると捉えて解析した。その結果、競争相手の存在下では、相手のもとにある資源を収奪するためにより根を張り、その結果、地上部のバイオマスが低下しうることが示された。またその場合、根の伸長は単純な資源投資の増大というよりも、根の成長期間の延長によって実現されるという予測を得た。この解析は、植物間の相互作用における成長の変化を、バイオマスの単純な分割の結果として捉えるのではなく、シーズン内での成長スケジュールの動的な変化として捉えるという新しい視点を提案し、同時に実証研究に対して大きな示唆を与えるものである。引き続き第3章では、隣接する個体との血縁的な距離に応じて、植物が根の成長量を変化させる現象を理論的に解析している。こうした現象は複数の植物で報告されているが、その基盤になる血縁認識機構は未だ不明である。この研究では、植物は競合個体が共通祖先から何世代離れた個体であるかを何らかのメカニズムで知ることができると仮定し、ある世代数(血縁距離閾値)よりも近いものを近縁個体であるとみなすと考えた。その仮定のもとで、種子分散を考慮した一次元の空間構造を想定した進化シミュレーションモデルを構築し、根の伸長の血縁関係依存性の進化を調べた。その結果、近接個体との血縁関係による根の伸長の差は種子の分散距離が小さい場合に大きくなり、その際、血縁距離閾値は結果にあまり影響をおよぼさないことがわかった。また、血縁距離閾値が非常に小さい場合には、種子の分散距離によらず血縁個体と非血縁個体のいずれに対しても根のサイズは小さくなり、結果として競争的相互作用が弱まることがわかった。これらの結果は、植物の血縁個体と非血縁個体に対する根の成長の反応のパターンが、血縁認識のメカニズムと個体の分散過程に強く依存することを示唆する。すなわち、顕著な血縁関係依存性を示す成長パターンが進化するには、特定の条件が必要であることが示された。以上の研究は、植物の同種個体間の相互作用を、時空間的な進化動態の観点から捉えるための理論基盤を提案するもので、その成果は植物の成長戦略の解明とその進化力学の理解に貢献すると判断される。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和8年1月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降