

氏名	中河 嘉明		
学位の種類	博 士 (理 学)		
学位記番号	博 甲 第 7530 号		
学位授与年月日	平成 27年 7月 24日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Collective Phenomena of Competing Plants (競争する植物の集団現象)		
主査	筑波大学准教授	博士(理学)	廣田 充
副査	筑波大学教授	理学博士	沼田 治
副査	筑波大学教授	理学博士	濱 健夫
副査	静岡大学教授	学術博士	横沢 正幸

論 文 の 要 旨

本研究は、生態系における重要な素過程である個体間の競争によって植物個体群が創発する集団現象（個体の空間分布、競争に係わる個体のサイズ構造、間接的ファシリテーション）について数理モデルを利用して解析したものである。本論文は5つの章より構成されている。

第1章ではまず、本研究の基本モデルとなる植物集団の競争-成長過程を記述する数理モデルを提示した。モデルの構造はSchneider et al. (2006)をベースとして、孤立個体の場合にGompertz成長モデルを仮定し、それに個体間競争を表す競争カーネル関数を加えた個体ベースモデルである。競争カーネル関数は、植物の個体間競争に関する次の5つの基本的性質を仮定したものである：1) 近隣個体のサイズが大きいほど競争影響は大きい、2) ある一定距離以上離れた個体同士は競争を行わない、3) 距離に伴って競争影響は減少する、4) 個体のサイズに対する非対称性がある、5) 周辺個体数が多いほど競争影響は大きい。モデルのパラメータは北海道のトドマツ実験林で実測された毎木データに基づいて推定した。枯死率は競争作用の総和 (competition intensity) を変数とするロジスティック関数で与えられると仮定し、このパラメータも実測データから決定した。シミュレーションの結果、時間経過に伴い、小サイズ個体が大サイズ個体の近傍に集中分布することが示された。これまでの研究では、個体密度の高い場所では競争によって個体は間引き合い、一様な空間分布が形成されると考えられてきた。そこで、competition intensityの「場」(competition intensityの時空間分布) を解析した結果、大サイズ個体の周囲にcompetition intensityの弱い場所が形成され、小サイズ個体の枯死が抑制されることが分かった。この場所をCompetition-induced Shelter (CiS) と名付けた。

第2章および第3章では、CiSが生起する条件を調べるために、競争カーネル関数を変化させて空間分布に与える影響を調べた。第2章では競争の非対称性 (性質4) を変化させた。第3章では距離による競争効果の減衰様式 (性質3) を変化させた。その結果、3つのタイプの空間分布の形成が示された。競争の非対称性が小さく、距離による減衰度も小さい場合には、空間分布は一様になった。非対称性が大きい場合には、第1章で示したように、大サイズ個体の近傍に小サイズ個体が集中する分布が形成された。距離による減衰度が大きく非対称性が小さい場合には、大サイズ個体の近傍に大

サイズ個体が集中する分布が形成された。これは、個体間競争の影響が遠距離まで及ばないため、C_iSが形成されない場合でも、互いにある程度離れて生存可能であるためと考えられた。

第4章では、植物集団を個体、競争の有無、競争の強さを、それぞれノード、リンク、リンクの重みとする「個体間競争ネットワーク」(Competition-Among-Individuals Network: CAIN)と見なし、バイナリ出次数、重み付き出次数をネットワークの性質を表す指標として解析した。その結果、両次数分布ともに時間経過に伴いファットテイルを持つ分布(べき乗分布や対数正規分布)を形成することが分かった。これは、少数の大サイズ個体が多数の個体にきわめて大きな負の影響を与えている一方、多くの個体は少数の個体に小さな負の影響しか与えていないことを意味する。このような分布を持つ系は次数の大きいノードへの選択的攻撃に脆弱であることが知られている。すなわち、伐採や病害虫などによる大サイズ個体の選択的排除は集団のダイナミクスに劇的な影響をもたらすと予想された。

第5章では、競争による間接的ファシリテーションについて調べた。競争によって、ある個体Aから近隣の個体Bへ(生存や成長に対する)負の影響が与えられると、その負の影響を受けた個体Bの枯死や成長抑制は、さらに近隣個体Cへの負の影響を和らげる場合がある。このような個体Bを介した個体Aから個体Cへの正の効果を間接的ファシリテーションとした。これを定量化するために上の例では、個体Aが存在しない場合と個体Aが存在した場合について、ある時間ステップにおける個体Cのサイズの差を指標(Absolute Interaction Intensity: AII)とした。すなわち、 $AII > 0$ の場合は個体Aから個体Cへは正の効果(間接的ファシリテーション)があり、 $AII < 0$ の場合は個体Aから個体Cへは負の効果があることを示す。初期密度と空間分布を変えてシミュレーションした結果、密度が高く集中度が高く場合ほど、間接的ファシリテーションは大きいことが示された。

審 査 の 要 旨

生態学において競争は古くかつ重要な概念であるとともに基本的な素過程である。植物集団における競争過程の理解は、個体の空間分布、集団におけるサイズ構造そして共存可能性の理解に重要であるが、その定量的かつ解析的な研究は数少ない。本研究は、競争過程の基本的性質を仮定し数理モデルを利用して、生成される個体の空間分布と個体サイズ構造との関係を調べた。その際、「場」と「ネットワーク」という新しい視点を導入することにより、植物の集団現象を個体間競争から説明することに成功している点は独創的である。2つの個体間だけを見れば競争過程は互いに成長や生存を阻害する負の影響が目につくが、それらが集合して集団競争系としてみると、競争効果の重ね合わせにより、大サイズ個体の近傍に小サイズ個体が生存可能な領域が形成されることを示した点はきわめてオリジナリティの高い結果である。また、ファシリテーションは競争とは相容れない概念として捉えがちであるが、競争系における間接的個体間相互作用を考慮に入れることにより、競争過程のみからでもファシリテーションを説明できることを示した点も高く評価されることである。

平成27年6月1日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士(理学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。