

令和 3 年 6 月 29 日現在

機関番号：14201

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K14803

研究課題名（和文）高空間解像度で低計算コストな植物集団のシミュレーションモデルの開発

研究課題名（英文）Development of simulation model of plant population with high spatial resolution and low computational cost

研究代表者

中河 嘉明（Nakagawa, Yoshiaki）

滋賀大学・データサイエンス教育研究センター・助教

研究者番号：80768614

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,400,000 円

研究成果の概要（和文）：現在の多くの全球植生動態モデルでは、植物集団の空間構造を考慮せず、すなわち葉や植物の空間配置が水平に均質という仮定を置いている。しかし、このような仮定を置いたモデルでは、モデルパラメータを非現実的な値に再設定しない限り、植物集団のダイナミクスを上手く再現できないという問題がある。一方、植物集団の空間構造を考慮したモデル（空間明示個体ベースモデル）もあるが、シミュレートする植物個体数が多いと大きな計算コストが必要になり、広域のシミュレーションには適さないという問題がある。そこで、本研究では植物集団の空間構造を考慮しながらも低計算コストな植物集団のシミュレーションモデルの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案している空間モーメントモデルが全球植生動態モデルに導入された例は国内外でほとんどない。空間モーメントモデルに葉の三次元分布を考慮した光競争モデルを導入した例も国内外でほとんどない。空間モーメントモデルは他の個体群モデルに比べて高空間解像度と低計算コストを両立するものであるため、本研究で開発される個体群モデルは、全球植生動態モデルの高度化や低計算コスト化において役立つと考える。また、葉の三次元空間分布を考慮した光競争モデルの開発を行った。これは、古くから使用されてきた門司と佐伯の群落光合成モデルの空間方向に拡張をしたものに相当する。

研究成果の概要（英文）：Many dynamic global vegetation models do not consider the spatial structure of plant populations, that is, assume that the spatial arrangement of leaves and plants is horizontally homogeneous. However, these models with such an assumption have a problem that the dynamics of plant population cannot be reproduced well unless the model parameters are set to unrealistic values. On the other hand, there is a few vegetation models that considers the spatial arrangement of them (spatial explicit individual-based model). When the number of plant individuals to be simulated is large, these models have a problem that it is not suitable for wide-area simulation because a high calculation cost is required. Therefore, in this study, we developed a vegetation model which can simulate at low calculation cost and can consider the spatial arrangement of leaves and plant.

研究分野：植物個体群生態学

キーワード：植物 個体群 競争

1. 研究開始当初の背景

現在、温暖化などの将来の気候変動による植生変化をシミュレーションするために、全球植生動態モデルが開発されている。全球植生動態モデルの中核には植物個体群モデルが含まれ、植物生理・個体レベルの微視的なプロセスから、植物集団（個体群・群集、より広い空間スケールでは植生）の巨視的なプロセスをシミュレートする。この植物集団ダイナミクスの再現において、太陽光をめぐる植物間の光競争プロセスが重要であることが知られ、古くから光競争のモデル化の研究が行われている。現在の多くの全球植生動態モデルに導入されている植物個体群モデルには、光競争モデルとして群落光合成モデル（門司と佐伯のモデル）が導入されている。このモデルは、群落を高さごとに層に分け、各層において水平均質な葉面積密度を仮定して葉による遮光を計算し、光競争を表現する。このようなモデルでは、同じサイズの植物個体ならば、シミュレーション領域内のどこにいようと獲得できる光量は同じなので、「光競争について平均場近似を行っている」と呼ばれる。近年、研究代表者やその他の研究者の研究によって、上記した光競争に平均場近似を行った個体群モデルでは、モデルパラメータを非現実的な値に再設定しない限り、植物集団のダイナミクスを再現できないことが明らかにされた。また、研究代表者の研究によって、この再現性の低下は、植物個体や葉の空間配置を考慮すれば、改善されることも分かっており、平均場近似を行わず植物個体や葉の空間配置といった植物集団の空間構造を考慮できる植物個体群モデルを開発し、全球植生動態モデルに導入すれば再現性が改善されることが期待される。このような空間構造を考慮できる個体群モデルの代表例として、空間明示個体ベースモデルと呼ばれる個体群モデルがある。しかし、この空間明示個体ベースモデルでは個体ごとにシミュレーションするため、シミュレートする植物個体数が増えると計算コストが急激に増大してしまい、全球植生動態モデルのような広域のシミュレーションには不適であることが知られている。

2. 研究の目的

本研究では、植物集団の空間構造を考慮した光競争のシミュレーションができると同時に低計算コストを実現できる植物個体群モデルの開発を目指す。植物集団の空間構造としては植物個体の空間配置だけでなく葉の空間配置も考える。このモデルを開発することによって、全球植生動態モデルの高度化と計算コストの低減が可能になると考える。植物集団のダイナミクスを、従来のモデルのように植物個体ごとにシミュレートするのではなく、植物個体のサイズ分布や個体や葉の空間配置を多次元分布としてとらえ、その多次元分布の時間変化としてシミュレートできるモデルを開発する。

3. 研究の方法

植物個体群モデルの開発:

植物個体群モデルに空間モーメント近似を適用する。この近似は、空間明示個体ベースモデルのように1個体ずつ計算するのではなく、植物個体のサイズ分布の時間変化を計算する。これによって、低計算コストが実現できる。従来のサイズ分布を使った近似では、個体の空間分布を考慮できないが、この近似ではサイズクラス間の植物個体数の空間相関を考慮することによって、植物個体の空間配置やその変化が植物個体のサイズ分布へ及ぼす影響を正確に計算できる(図1)。その際、計算コスト低減のため、1辺 W m の格子を設定し、個体が存在する格子を個体の存在する位置とした。

葉の三次元空間配置を考慮した光競争・成長モデルの開発:

上記の空間モーメント近似を行った個体群モデル（以下では空間モーメントモデルと呼ぶ）に導入可能な葉の三次元空間配置を考慮した光競争・成長モデルを開発する。まず、葉の三次元空間配置を計算する。空間モーメントモデルでは、各植物個体の位置がシミュレーション領域上の格子レベルでは分かるが格子内の詳細な位置までは分からないため、図2のように二次元平面上の各高さの樹冠（樹木の枝や葉の茂っている部分）の存在確率を計算する。各高さで計算するのは植物種ごとの樹形を考慮するためである。これを全ての高さで計算することによって、各個体の葉の三次元配置が近似計算できる。次に空間モーメントモデルで計算した個体の空間分布情報を使用して、各個体の葉の三次元配置を空間的に分布させ、群落全体の葉の三次元配置を確率的に表現する。この群落全体の葉の三次元配置に様々な角度からの複数の光線を透過させ、光の減衰を計算して植物間の光競争を表現する。さらに各個体が獲得できる光量から光合成量や成長量や枯死率を計算する。

開発したモデルの妥当性の検証:

開発したモデルの妥当性を検証するために、空間モーメントモデルの出力結果を、研究代表者のこれまでの研究で開発した空間明示個体ベースモデルの出力結果と比較する。空間モーメントモデルと空間明示個体ベースモデルは使用されている成長や枯死モデルなどのサブモデルが共通の場合、植物サイズ分布などの計算結果は同じになることが先行研究で理論的に明らかになっているためである。

4. 研究成果

植物個体や葉の空間配置を考慮でき、計算コストを低減できる空間モーメントモデルを開発した。さらに、そのモデルの妥当性を検証するために空間明示個体ベースモデルも開発した。両モデルの出力を様々な条件で比較し、両モデルの計算コスト（計算に要する時間）や空間モーメントモデルがうまく空間明示個体ベースモデルを近似できなくなる条件を調べた。

(1) 対象植生の面積の植生ダイナミクスや計算コストへの影響

まず、対象植生の面積が、植生ダイナミクスや計算コストに与える影響を調べた。植生ダイナミクスとしては植物のサイズ分布(植物の胸高直径のヒストグラム)を用いた。また個体密度は0.05個体/haとした。図3にさまざまな面積における空間モーメントモデルと空間明示個体ベースモデルのサイズ分布の結果を示した。1haのときは空間明示個体ベースモデルの結果とずれるが、これは個体数が少ないためである。調査したすべての面積の条件で、空間モーメントモデルの結果は空間明示個体ベースモデルとほぼ一致した。これは、対象植生の面積に関わらず、空間モーメントモデルが精度良く空間明示個体ベースモデルをエミュレートできていることを意味する。図5Aに両モデルの対象植生の面積の様々な条件における計算コストを示した。空間明示個体ベースモデルでは対象植生の面積が増大すると計算コスト(計算にかかる時間)がべき乗的に増大した。一方、空間モーメントモデルではほとんど計算コストは増大しなかった。これは、対象植生の面積が大きい場合に、空間モーメントモデルが、空間明示個体ベースモデルに比べ大幅に計算コストを低下できることを意味する。

(2) 個体密度の植生ダイナミクスや計算コストへの影響

次に、個体密度が、植生ダイナミクスや計算コストに与える影響を調べた。対象植生の面積は9haとした。図4にさまざまな個体密度における空間モーメントモデルと空間明示個体ベースモデルのサイズ分布の結果を示した。調査したすべての個体密度の条件で、空間モーメントモデルの結果は空間明示個体ベースモデルとほぼ一致した。これは、個体密度に関わらず、空間モーメントモデルが精度良く空間明示個体ベースモデルをエミュレートできていることを意味する。図

5B に両モデルの様々な個体密度条件における計算コストを示した。空間明示個体ベースモデルでは個体密度が増大すると計算コスト（計算にかかる時間）がべき乗的に増大した。一方、空間モーメントモデルでは、800 個体/9ha までは微増したが、それ以降は計算コストは増大しなかった。これは、植物個体が高密度な場合に、空間モーメントモデルが、空間明示個体ベースモデルに比べ大幅に計算コストを低下できることを意味する。

(3) 空間モーメントモデルにおける解像度とモデル精度

さらに、空間モーメントモデルにおける解像度とモデル精度の関係を調べた。空間モーメントモデルの解像度として格子の一边の長さ W （セクション 2- を参照）を変化させて、空間モーメントモデルと空間明示個体ベースモデルのサイズ分布を比較した。図 6 にさまざまな解像度における空間モーメントモデルと空間明示個体ベースモデルのサイズ分布の結果を示した。解像度が高い場合（すなわち、格子の一边の長さ W が 4m 以下の場合）空間モーメントモデルの結果は空間明示個体ベースモデルとほぼ一致した。一方、解像度が低い場合（すなわち、格子の一边の長さ W が 4m より大きい場合）空間モーメントモデルの結果は空間明示個体ベースモデルと乖離した。これは、 W が 4m 以内の解像度では、空間モーメントモデルが精度良く空間明示個体ベースモデルをエミュレートできるが、 W が 4m より大きい解像度では、空間モーメントモデルが空間明示個体ベースモデルをうまくエミュレートできないことを意味する。また、この結果は、4m 以内の植物個体や葉の空間配置といったマイクロな構造が、個体群ダイナミクスや植生ダイナミクスに影響を与えており、それらの再現や予測のためには、このようなマイクロな構造の情報が重要であることを意味する。

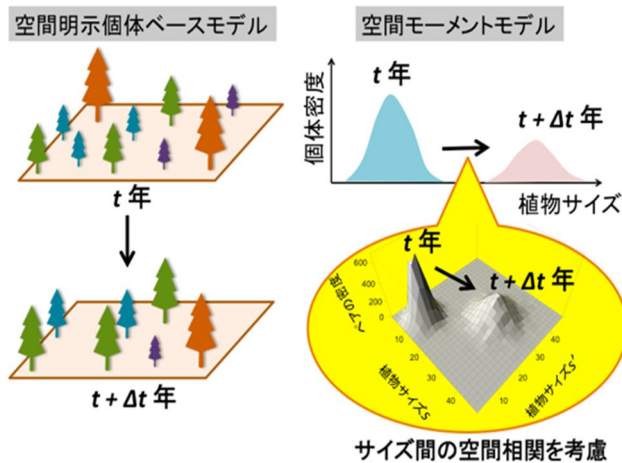


図 1. 空間明示個体ベースモデルと空間モーメントモデルの違い

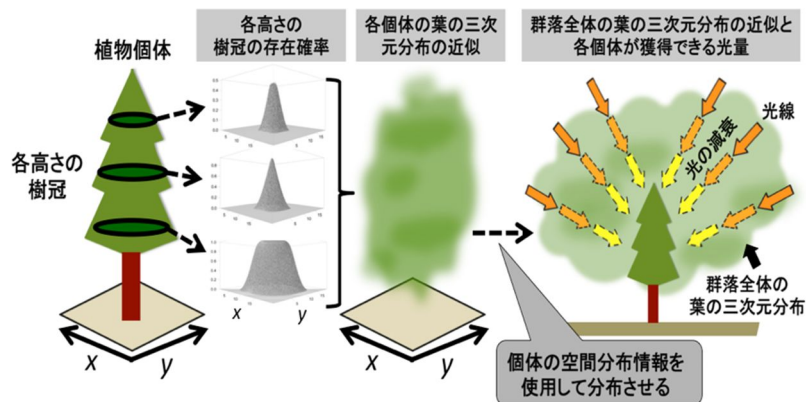


図 2. 葉の三次元配置と光競争の近似スキーム

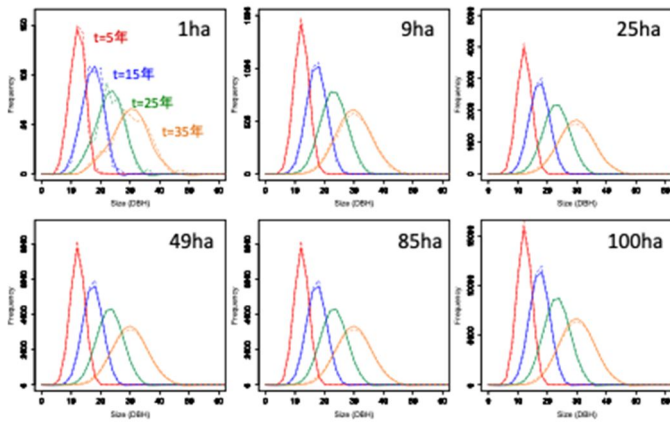


図3. 対象植生の面積の様々な条件における植物サイズ分布の時間変化

実線と点線は、それぞれ、空間モーメントモデルと空間明示個体ベースモデルのサイズ分布である。先の色はシミュレーションにおける時間(年)を表し、赤、青、緑、橙色はそれぞれ5年、15年、25年、35年を表す。

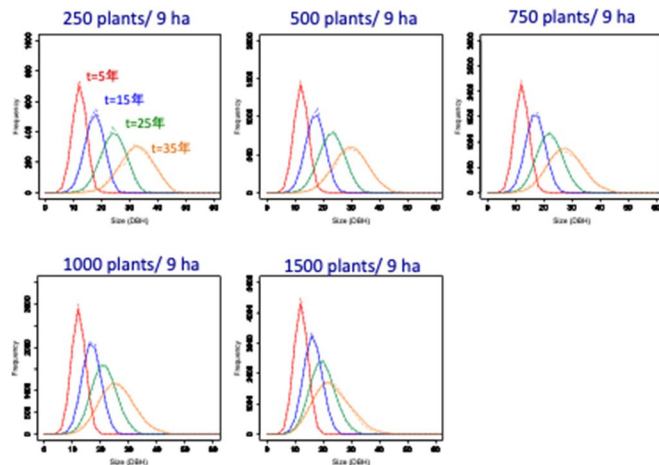


図4. 個体密度の様々な条件における植物サイズ分布の時間変化

実線と点線は、それぞれ、空間モーメントモデルと空間明示個体ベースモデルのサイズ分布である。先の色はシミュレーションにおける時間(年)を表し、赤、青、緑、橙色はそれぞれ5年、15年、25年、35年を表す。

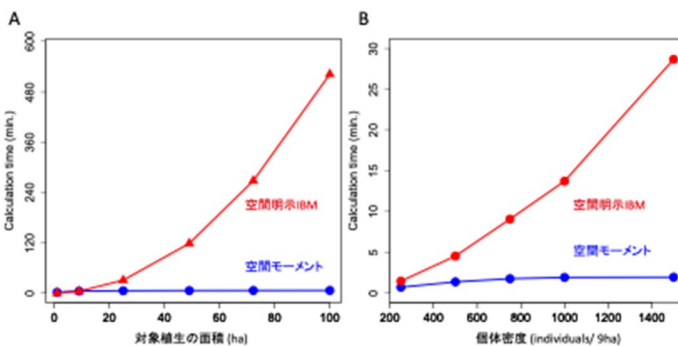


図5. 計算コストと対象植生の面積又は個体密度の関係

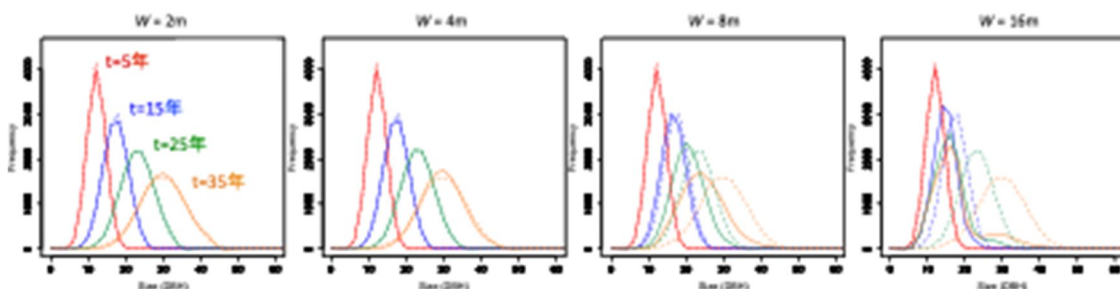


図6. 様々な解像度の条件における植物サイズ分布の時間変化

実線と点線は、それぞれ、空間モーメントモデルと空間明示個体ベースモデルのサイズ分布である。先の色はシミュレーションにおける時間(年)を表し、赤、青、緑、橙色はそれぞれ5年、15年、25年、35年を表す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Nakagawa Yoshiaki., Yokozawa Masayuki, Hara Toshihiko
2. 発表標題 The effect of disturbance size distribution on vegetation dynamics
3. 学会等名 Fin-Jpn Joint Seminar: Predicting Effects of Climate Change on Ecosystem Services (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中河嘉明
2. 発表標題 光競争と地下部競争を導入したサイズ構造モデル
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------