OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Segregation patterns of tree-grass competition system
Author(s)	楊, 剣
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72577
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式3

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (楊 剣)	
論文題名	Segregation patterns of tree-grass competition system (樹木と草の競争システムにおける棲み分けパターンに関する数理的研究)

論文内容の要旨

Tree-grass coexistence and segregation can be observed all around the world. Taking forest-savanna ecotone as example, which is occupying 20% of the Earth surface land, tree or grass gather as forest or grassland patches to alleviate the pressure from interspecific competitions. In such tree-grass segregation ecosystems, forest patches usually show different spatial forest connectivity levels. By taking photographs of the Black Forest in Germany, we can observe spatial patterns formed by forest and grassland patches exhibiting roughly three forest connectivity levels, namely, high-connectivity forests, intermediate-connectivity forests and low-connectivity forests. We are interested in exploring the properties of such tree-grass segregation patterns. Tree-grass coexistence is a precondition for tree-grass segregation. While the mechanisms behind tree-grass coexistence being not yet clear, tree-grass coexistence is thought stable or unstable but can be stabilized by external disturbances. There are many models which can predict tree-grass coexistence with introducing disturbances like grazing, forest fires, etc., however, few models explain the coexistence as the outcome of interactions between trees and grass. We are interested in explaining the coexistence as stable states caused by tree-grass competitions rather than disturbances. In this study, we establish a tree-grass competition model with the age-structured continuous space forest model set as an underlying model. We modify the underlying model by inserting a grass element and tree-grass competition. By incorporating such interspecific competition into this age-structured continuous space model which only considers trees, we also aim to interpret the quadratic mortality function of young age trees in the model, which helps translating the model from one with implicit interspecific competitions to one with explicit interspecific competitions. We introduce an adult tree-grass-young tree hierarchical structure by which adult trees suppress grasses and young trees, while grasses suppress young trees. Therefore, our new model becomes one depicting tree-grass dynamics with explicitly considering interspecific and intraspecific competitions. In addition, because the underlying model considers the space explicitly, so our new model which inherits this feature enables us to study about tree-grass coexistence and segregation spatially. We mathematically analyze the model, ensure that the equations possess stationary solutions which imply tree-grass coexistence, especially inhomogeneous stationary solutions which imply tree-grass segregation. Simple numerical examples are also presented to demonstrate the existence of inhomogeneous stationary solutions to our equations. In further numerically studying the patterns, our model shows too drastically changing behaviors depending on the various parameters. In order to reduce the parameters and have a relatively more handleable model for the numerical simulations, we do a simplification on our model. As an ideal result, we can find the simplified model coincides with the classical age-structured continuous model. This translate our explicit-competition model back to the classical underlying model which includes the competition implicitly. In the numerical simulation on the simplified model, we first construct initial functions which exhibit different tree-grass segregation patterns with different levels of forest connectivity, high connectivity, intermediate connectivity and low connectivity. With each initial state, we regulate only one parameter, the mortality of adult age trees, to see which values can lead the initial state to final stabilized tree-grass coexistence solutions with keeping the spatial patterns appeared in the initial state. The results show a clear correlation between different segregation patterns and different values of the mortality of adult age trees. Relatively high mortality values can only lead the system to high-connectivity forests patterns, while relatively low mortality values can only lead the system to low-connectivity forests patterns. Of course, besides forest connectivity level, the patterns also differ in tree-area ratio. With contrasting experiments, we demonstrate that both tree-area ratio and connectivity level are individual factors influencing the tree-grass coexistence. We also explore the mechanism behind connectivity influencing tree-grass coexistence. As can be observed in the numerical results, seed dispersal is being radically affected by the connectivity level of forest patches. This is also observed in nature by forest ecologists.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名（　楊　剣　）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主 査　教授 副 査　教授 副 査　教授	鈴木　秀幸 藤崎　泰正 森田　浩

論文審査の結果の要旨

樹木と草の空間的な棲み分け現象は世界的に広く観察されている。例えば、コンゴにある「forest-savanna mosaic」において、衛星写真から樹木と草の棲み分けによって形成される空間パターンが観測されている。他にも、ドイツにある「Black Forest」の衛星写真を調べると、草原の中に森林が孤立して存在する森林パッチが形成されている地域もあれば、一方で森林の中に草原が孤立して存在する草原パッチが形成されている地域もあることがわかる。

1994 年に Yu. A. Kuznetsov et al.は「age-structured continuous space model」を提案した。このモデルでは、種子、若木、成木、という三つの要素の間の相互作用をモデリングすることにより、森林成長のダイナミクスが記述されている。このモデルにおいては、成木の密度が低くなるにつれて若木の枯死率が高くなるように若木の枯死率関数が定式化されている。一方、本論文では、このモデルに草の変数を加えることで、樹木と草の種間競争を陽的に表現して、一つの「tree-grass competition system」を構築している。

本論文は「tree-grass competition system」を解析的・数値的に研究し新しい知見を示したもので、その成果は以下のようにまとめられる。

1. 関数解析学の手法を用いてモデル方程式の局所解を構成し、さらに大域解の存在を証明している。続いて、モデル方程式から定まる力学系を構成して、その力学系に有限次元アトラクタが存在することを証明している。さらに数値シミュレーションにより、森林と草原の共存と棲み分けを示す解が存在することを示している。
2. 草の拡散率が樹木の種の拡散率より非常に小さく、草の成長速度が樹木の成長速度より非常に速いという二つの条件の下では、本モデルは Kuznetsov モデルによって非常によく近似できることを示している。これにより、Kuznetsov モデルには草の変数は陽的には含まれていないが、樹木と草の種間競争が陰的に考慮されていることを明らかにしている。
3. 上記の結果を受けて、Kuznetsov モデルの数値シミュレーションを行い、成木の枯死率の値を変えることで、三種類の樹木と草の安定な棲み分けパターン、「high-connectivity forests」、「intermediate-connectivity forests」、「low-connectivity forests」が出現することを示している。さらに、「high-connectivity forests」は成木の枯死率が高い時に出現し、一方で「low-connectivity forests」は成木の枯死率が低い時に出現すること、また「intermediate-connectivity forests」は成木の枯死率が中間である時に出現することを見出している。
4. このような三種類の棲み分けパターンは、実際の観測でも見つかっており、「forest connectivity」は森林生態学の重要な研究テーマとなっている。本論文の成果は、「forest connectivity」と成木の枯死率との密接な関係性を数理的アプローチから初めて示したことにあり、今後の森林生態学への寄与が期待される。

以上のように、本論文では森林−草原競合システムに対して数理モデルを構築し、解析的・数値的研究により、棲み分けパターンを見出し、「forest connectivity」と成木の枯死率の関係性について興味深い知見を得ており、森林生態学と情報科学に寄与するところが大きい。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。