

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 30 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21710026

研究課題名（和文）地形スケールの植生分布パターンと生態学的機序を導入した高分解能植生変動モデル構築

研究課題名（英文）A high-resolution dynamic vegetation model based on ecological mechanisms and the vegetation patterns at the geographic-scale

研究代表者

石井 励一郎（ISHII REIICHIRO）

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・研究員

研究者番号：40390710

研究成果の概要（和文）：中央アジア乾燥域に位置するモンゴル森林-ステップ移行帯で、気象土壌観測データを用いて地形-土壌水分-植物バイオマスの中に存在する相互作用のダイナミクスを解析した。その結果、斜面方位で異なる小さな地表面蒸発量の差が、植物成長と土壌発達を介した降水土壌浸透と被陰・防風による地表面から蒸発散速度抑制という正のフィードバックにより増幅され、土壌水分環境と植生の不連続分布をもたらすことがわかった。さらに植食動物の選択的植食影響を組み込んだ数値モデルから、気候乾燥化と植食が複合的に植生の不連続劣化を促進し、強度の気候の乾燥化が続くと、数十年で南側斜面から森林は一気に草原化がすすみ、たとえ気候条件が回復しても植生は元に戻らない可能性があることも示唆された。

研究成果の概要（英文）：A fine-scale vegetation transition model was developed based on the observation data from Mongolia, where slope aspect-dependent and discontinuous vegetation transition pattern is widely observed. The dynamics of plants' biomass and soil water content (SWC) with biological interactions are calculated in the meshed target space (res=90m). The "facilitation effect" among plants over soil water amplified the difference in SWC caused by the topography and was the key to generate the observed discontinuous vegetation pattern. By adding the herbivory effect with feasible parameters to this model, we could show the possible future projections for vegetation change under various scenarios with changing climate and livestock density. It tells that drastic and irreversible vegetation degradation, deforestation might occur at some critical point of decrease of precipitation and/or increase in livestock.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：理論生態学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：植生変動モデル、地形スケール、生態学的プロセス、衛星画像解析

1. 研究開始当初の背景

生態系機能・生物多様性の気候変動や人間活動の変化に対する応答をマルチスケールで予測することの社会的要請が非常に高まっている。なかでも陸域の生産とバイオマスの大半を占める植生の気候変動に対する応答の正確な予測には、空間スケールに対応して大きく二つの意義が認められている：I) 全球スケールの炭素循環の中でのバイオマス・CO₂シンク能の分布の変化と、それが全球規模の気温・CO₂濃度変化にもたらすフィードバック効果の推定；II) 流域や行政単位に対応する地域スケールでの生物資源などの恩恵(生態系サービス)の分布と持続的利用可能性の予測。近年のI)に関する研究発展は顕著で、植物の生理学的環境応答に基づく炭素吸収能予測モデルと一般循環モデル(GCM)と結合から得られた今後100年の炭素収支変動予測はIPCCレポートに反映されるにいたる。しかし全球モデルの空間解像度は数百キロメッシュ(大スケール)の「気温・降水量」の気候区分までで、数キロ以下スケール(小スケール)での地形や生物に関連する環境要因を取り入れられない。そのため植生分布の微細な変動予測の感度は低く、野外調査など実証研究による検証も非常に困難で、十分な信頼性や実用性を得られていない状況にある。一方II)を目指す研究は、植生の空間分布の変動予測を「生息地変動」の観点から局所的・微視的な環境や土地被覆・利用の実測データを用いて、各対象地域・流域ごとに水循環を軸に収集可能なデータと関心の高い項目についての予測モデルを独自に開発している。しかし時空間分解能は生態学的効果(例 カスケード効果、レジームシフト)を取り込めるほど高くなく、また共通したモデル枠組み構築が後回しになり地域間比較やGCMとの結合が困難な状況にある。今後、高い信頼性を持つ植生変動予測モデル構築にはI)の広域一般性を保持しつつII)の地域スケール以下の高分解能のモデルに環境-生物、生物間相互作用を取り込める枠組みが必要である。複数スケールでの植生パターンの時空間変動を生態学的プロセスモデルから理解を深め、その再現による検証をおこなう本研究はその道を開くことをめざす。

2. 研究の目的

本研究では、気候変動への応答感度が高いと考えられる中央アジア植生移行帯(モンゴル)をサンプル領域とし、複数の高解像度衛星データと現地観測に基づいた2段階のモデルの高分解能化を行なう。このことにより、観測システム増強の負担を最小限に抑え、一般循

環モデル(GCM)と連結性を保ちながら、空間解像度の1~2桁上昇と重要な生態学的プロセスの導入を実現し、植生変動モデルの大幅な高度化のためのブレークスルーの獲得を本研究の目的とする。

(1) 全球統一手法で地形スケール(30-90m)での[温度・土壌水分]で定義される潜在的植物生息環境を評価するアルゴリズムの開発；

(2) 1.と斜面~大陸の複数スケールでの観測植生の比較検討から、地域・スケール特異的な環境-生物間相互作用プロセスの抽出とその定量化モデル導入による同スケールでの実現植生の推定。さらに将来サンプル領域以外の地域への同スキームの適用を目指す。

3. 研究の方法

[地形-気候-植物間相互作用]を組み込んだ「高分解能植生変動予測モデル」の構築に向け、2つのサブプログラムを開発、サンプル地域での較正・検証の後、広域への応用に関する考察を行う。サブモデル1は地形-水収支フィルタープログラムを、サブモデル2は土壌水分-植物相互作用プログラムとして実装し、それらを組み込んだ数値モデルで、衛星・実測データによる中央アジア域での検証をおこなう。その後、植食モジュール、永久凍土モジュールをv)広域植生変動予測プラン。

4. 研究成果

モンゴルの南北の降水両傾度に沿ってみられる森林-草原移行帯に整備した気象・土壌環境観測システムを用いて植生の水収支に関連するデータを取得し、局所的な地形が植生の水収支に与える影響および、土壌水分と植物バイオマスの間にある正負のフィードバック作用の評価をおこなった結果、以下のことがわかった。

(1) 夏季の気候要素の植生間の比較：水収支に関して唯一のインプットとなる降水量、および気温については有意な差は見られなかった。他の気候要素については、森林内部は林外の草原と比較して、地表面温度、風速の値が定常的に小さい。また地表面での放射収支では、下向き短波長成分で草原の値が林内の値を大きく上回っていた。またこれに関連して大気中の湿度は常に高く保たれていることがわかった。

(2) 日~週単位での気候要因間及び土壌水分の相関：草原では平均風速は2m/sを超え、常に大気中の鉛直混合が起こり気温と地表面温度に差は見られない。一方森林内の風速は草

原と同期しているが平均値は0.3m/s以下と小さく、森林内で気温の鉛直勾配ができやすいが、日平均風速が0.5m/sを超えるとのみ大きく鉛直混合が起こっている。土壌水分はいずれの震度でも降水に即応して上昇するが、その変動幅は深度が小さいほど大きい。

以上の結果を踏まえたバルク法による水熱収支推定によると、森林内部が草原に比べて、土壌からの蒸発速度が小さいことが示唆された。これは観測から示唆された植物バイオマスが土壌の保水能に正の効果をもつことで、土壌水分-植物間相互作用に正のフィードバックが働いていることを、さらに補強する結果である。本研究の気象・土壌環境観測システムを用いて高度化した“地形水収支フィルターサブプログラム”“土壌水分・植物相互作用サブプログラム”“植食作用サブモデル”を組み込んだ。とくに既存の植生変動モデルと比較して大きく進んだ点は、観測調査からわかった土壌水分-植物相互作用と草本へ偏った植食作用に、正のフィードバックがあることをモデルに取り込めたことで、これまで再現が不可能であった、「地形スケールでの不連続な植生移行」を、現実的なパラメータを用いたメカニスティックモデルで再現できたことである。

このモデルフレームワークに基づいて植生変動予測が可能な数値モデルを構築したことにより、数十メートルの解像度で植生変動予測を、気候変動、人間活動の両フォーシングを複合的にシナリオとして取り入れて予測を行うことが可能になった。植生が地形スケールで示す変化は、降水量のみを現在の値から最大-30%まで段階的に減少させる場合と、これに家畜密度を最大50%まで増加させた影響を加えた場合では大きく異なり、複合的に評価することの重要性が示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Reiichiro Ishii & Noboru Fujita (2012) A possible picture of future Mongolian forest-steppe vegetation under climate change and increasing livestock: Results from a new vegetation transition model at the topographical scale. Chapter in *Environmental Issues in Mongolia Ecosystem Network under Climate and Social Changes*. (査読有り)
- ② Satoh, T., M. Sugita, T. Yamanaka, M. Tsujimura & R. Ishii (2012) Water dynamics

within a soil-vegetation-atmosphere system in a steppe region covered by shrubs and herbaceous plants. Chapter in *Environmental Issues in Mongolia Ecosystem Network under Climate and Social Changes*. (査読有り)

- ③ N. Yamamura, Y. Kobayashi, R. Ishii & Y. Saito (2012) A mathematical model of population shift between urban and rural areas. Chapter in *Environmental Issues in Mongolia Ecosystem Network under Climate and Social Changes* (査読有り)
- ④ Hyodo, F., Nishikawa, J., Kohzu, A., Fujita, N., Saizen, I., Tsogtbaatar, Javzan, C., Enkhtuya, M., Gantomor, D., Amartuvshin, N., Ishii, R. & Wada, E. (2011) Variation in nitrogen isotopic composition in the Selenga river watershed. *Limnology* doi:10.1007/s10201-011-0351-7 (査読有り)
- ⑤ Reiichiro Ishii & Michael J. Crawley (2011) Herbivore-induced coexistence of competing plant species. *Journal of Theoretical Biology* 268 50-61 doi:10.1016/j.jtbi.2010.07.042 (査読有り)
- ⑥ Supannika Potitthep, Reiichiro Ishii and Rikie Suzuki (2010) The potential of the normalized difference soil index for soil moisture estimation in Mongolia *Asian Journal of Geoinformatics* 10 39-43 doi:10.1080/01431160903527421 (査読有り)

[学会発表] (計 9 件)

- ① Reiichiro Ishii & Noboru Fujita "To predict vegetation transition at the topographical scale under global changes" 2012年3月26日 Excel Convention Centre (London)
- ② Reiichiro Ishii & Noboru Fujita "A Vegetation Transition Model with Positive Feedback Process between Plant-Soil Water Condition at the Topographical Scale: A Case Study in Forest-Steppe Zone in Mongolia" The International Conference "Plant Growth, Nutrition & Environment Interactions" 2012年2月19日 University of Veterinary Medicine (Vienna)
- ③ Reiichiro Ishii & Noboru Fujita "A new mechanistic model scheme for vegetation transition at the topographical scale: Spatio-temporal tran-

sition in Mongolian forest-steppe vegetation under climate change and increasing livestock” iLEAPS OSC 2011-Science Conference 2011年9月22日 Garmisch-Partenkirchen Congress Centre (Garmisch-Partenkirchen)

④ 石井 励一郎

“生態系・生物多様性観測の現状と将来：現地調査とリモートセンシング、モデリングをつないで生態学の空間スケールを広げる” 生態研セミナー(#229) 2011年9月14日 京都大学生態学研究センター (京都)

⑤ Reiichiro Ishii

“Global Change and Biodiversity” 第5回 日仏先端科学シンポジウム (Japanese-French Frontier of Science: JFFOS) 2011年1月22日 晴海グランドホテル (東京)

⑥ 石井 励一郎

“生物多様性を空間構造の中で捉え、その変動を予測するには” 第7回 京都大学地球環境フォーラム「空から地球の歴史と環境をみる～リモートセンシングと地理情報システム～ 2010年9月4日 京都大学百周年時計台記念館 (京都)

⑦ 石井 励一郎

“生物多様性のリモートセンシング” JAXA ALOS-2/3ワークショップ 2010年3月25日 秋葉原コンベンションセンター (東京)

⑧ Reiichiro Ishii

“Remote sensing for biodiversity/ecosystem observation: Recent activities and future perspectives of RS working group, J-BON” The 4th GEOSS Asia-Pacific Symposium, Towards a Global Earth Observation System of Systems that supports the societal benefit areas of climate and biodiversity 2010年3月11日 Sanur Paradise Plaza (Denpasar)

⑨ Reiichiro Ishii

Toward the prediction of vegetation transition at the topographical scale: Example study in the forest-steppe ecotone in Mongolia. Vulnerability and Resilience of Land Systems in Asia. Global Land Project 2009年6月17日 CAS (Beijing)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石井 励一郎 (ISHII REIICHIRO)

海洋研究開発機構・地球環境変動領域・研

究員

研究者番号：40390710

