

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 25 日現在

機関番号：64303

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2013～2016

課題番号：25304003

研究課題名(和文) モンゴル高分解能生態系変動予測モデルの構築と気候/人間活動変動への応答予測研究

研究課題名(英文) Quantification of high-resolution ecosystem model for predicting changes in climate and human activity in Mongolia

研究代表者

石井 励一郎 (ISHII, Reiichiro)

総合地球環境学研究所・研究基盤国際センター・准教授

研究者番号：40390710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,100,000円

研究成果の概要(和文)：モンゴル北部の常緑針葉樹林-草原移行帯において、相互の植生間の遷移と土壌の生成・消失がの相互作用の時空間スケールを野外調査・分析(放射性炭素同位体・組成分析)から調べ、植生変動モデルの定量的パラメータを取得した。現生の林木の樹齢が150年程度であり、両植生の土壌中の有機物などを行った結果、草原と森林で共通する土壌深度まで平均約600-800年経ていること、森林の最深部の65cmでは6000年近く経過していること、当該地域の植生は、数百年から千年のスケールの間、人為的伐採、森林火災、気候変動により森林と草原が何度か入れ替わっている可能性、水平的な有機物の移動の可能性が推察された。

研究成果の概要(英文)：Field observation in Mongolian forest-steppe transition zone and analysis of its soil organic components were conducted to obtain feasible quantitative parameters for vegetation transition model. We clarified following quantitative features for the interactions between the two vegetation types and between vegetation development and soil formation: 1) Forest vegetation has been present there at least for 150 years while the soil organic matters aged 600-800 years in grass-covered area and about 6500 years in forest stand, which could provide quantitative parameters for time-scale of the vegetation transition; 2) Soil organic matters sampled from either vegetation types not always exhibit clear identity of the current vegetation type, from which we could expect that several vegetation transitions might have been occurred in the thousands years' past possibly induced by human activity or forest fire.

研究分野：a

キーワード：植生変動 生物多様性機能 時空間スケール 同位体分析 土壌生成プロセス

## 1. 研究開始当初の背景

急速な気候・人間活動の変動下で生態系機能と生物多様性の分布変化予測は困難であり、複数要因に関する生物-環境間相互作用を取りこめる植生変動モデルの高分解能化・定量化がそのブレークスルーであった。申請者らは、乾燥域の植生において、土壤水分-植物現存量、植物現存量-耐被食生残率の2つの“正のフィードバック”が、これまでより高分解能である地形スケールで顕著な不連続な植生の時空間変動のメカニズムの鍵であることを理論モデルから提案していたが、いずれも定性的な結果であったため、自然環境での定量化の作業をおこなう必要があった。モンゴル北部の森林-草原移行帯には地形スケール(<100m)で森林と草原が不連続に隣接している調査区が異なる植生に既設の気象観測装置(気温、湿度、風速、土壤水分、地温)が利用可能であり、植生についても構成種、バイオマスに関する基礎情報が揃っていたため、本研究で取得を目指すモデルのパラメーターについて、この調査区を中心に、植生、土壤、さらに各地点の土壤の有機物の炭素放射性同位体<sup>14</sup>C分析を行うことで、土壤-植物現存量効果の時間スケール推定が可能となることを見込まれたため、ケーススタディの生態系をこの地域に設定した。当初は、上記地点より南部に位置する2つの植生帯での調査も予定していたが、自動気象観測装置の不具合、現地での研究協力者の都合などから省略した。

## 2. 研究の目的

モンゴルなど乾燥域の植生では、土壤水分-植物現存量、植物現存量-耐被食生残率の2つの“正のフィードバック”が、急激な砂漠化・森林劣化など、非線形な植生応答のメカニズムの鍵であることが代表者らの理論的研究から示唆された。本研究では、環境傾度と植性の関係が比較的明確なモンゴルの広域の植

生を対象に 1) 乾湿傾度に沿う3植生帯10地点の自動気象観測装置と各地点の土壤有機物の<sup>14</sup>C分析による土壤形成の時空間スケール推定、2) 操作実験による家畜密度-生残率の定量的関係推定、3) 高解像度衛星画像解析と気象/産業統計資料によるスケールアップと空間分布検証をおこなうことで、従来の低分解能モデルで不可能だった水環境-植物現存量-植食圧の相互作用に基づく中央アジアの植生移行帯をカバーできる高解像度高感度植生モデルを構築し、シナリオベースでの生態系機能・生物多様性分布変動予測を可能とする植生変動モデルを高度化することを目的とする。

## 3. 研究の方法

モデルの高度化に用いるモンゴルに調査地を設置し、同地での野外調査およびサンプルの分析をおこなう。

### [重点研究調査区]

地形スケールでの森林と草原が不連続植生パターンを示す地域で、植生、土壤、気象データの取得、および衛星リモートセンシングデータによる植生分布の推定を、同一の調査区で行うことが必要であるため、主要設備である自動気象観測装置が既設である以下の3点を調査区として設定した。Gachuurt 谷の矩形領域( : N47.9765 ° -N48.0823 ° ; E107.126 ° -E107.234 °、標高: 1,430-2,083 m, 平均斜面勾配: 9 ° )を設定した。特に、自動気象観測装置を設置している4地点( : 同標高、同勾配で斜面方位のみ異なり相互に約 300m離れたカラマツ林内地点と草原地点、及び、それぞれの斜面下方約 100mの草原2地点)の近傍で下記の調査をおこなった。斜面上部2地点では、森林部と草原部の植生-土壤相互作用の比較を、斜面下部草原2地点では、それぞれの植生に斜面上部の植生の違いが与える影響の比較を行う。

### [調査項目と方法]

植生: 林内1地点では、森林部主要構成種の

カラマツ、トウヒの林木の樹齢を成長錐を用いて測定。草原3地点では、草本の種組成を1m 方形区を用いて調査。植物サンプルの炭素、窒素安定同位体比を測定。

土壌：斜面上部の林内、草原各地点で土壌最深部（林内：65cm、草原：15cm）まで5cmごとの深度別にサンプルし、土壌の起源となる植物を植物遺骸のリグニン組成分析から、炭素の回転速度を土壌中の炭素量から、土壌生成年代の推定を土壌有機物の<sup>14</sup>C分析からそれぞれの推定する。

気象・土壌環境：4地点の自動気象観測装置は、地上部では気温、湿度、地表面温、風速を、地下部では深度ごと（林内・草原とも0、5、10、15cm、林内さらに20、30、50、65cm）に土壌含水率と地温を測定する。

これらのモンゴルでの野外調査・分析により取得したデータをもとに、植生の存在によって土壌水分が増加/減少している地点と時期を明らかにし、植生が土壌水分に対して与える「正負のフィードバック」の程度と、それが大きくなる時の条件を推定する。

正のフィードバックが起こる生態学的プロセスのうち、短期的に発現する降水が植物の茎や根を伝うことで地下まで浸透しやすくなる効果、地表表面を被陰することで地表面温度を低下させ、植物体が障害となり地表面での風速が遅くなることで蒸発を減らす効果は食性ごとの水利用特性を取り入れた水収支モデルから推定する。

#### 4. 研究成果

現地調査から、得られた主な成果を以下に挙げる。

森林の林木調査から、当該域の森林が少なくとも150年以上は森林として存在していたことがわかった。また同地の土壌深度に沿って土壌中植物遺骸についてのリグニン含有量、被子植物・裸子植物特異的リグニン比、木材組織・非木材組織特有リグニン比の測定から、森林と草原の土壌の組成についてそれぞれ

現在の地上部の植物と、土壌を構成する起源となった植物に、本調査地点では明確な対応が見つからないことが明らかになった。また同じく、土壌有機物中の<sup>14</sup>C分析から、草原と森林で共通する土壌深度（15cm）まで平均約600-800年経ていること、森林の最深部の65cmでは6000年近く経過していることが推定された。このことは、調査範囲と分析サンプル数は限られているが、本研究が目的とするタイガ南端での植生発達と土壌形成の相互作用についての時間スケールについて、重要な知見である。全炭素量分析結果から、森林・草原共通する深度15cmまでの土壌中では、林内の方が炭素が多く溜まっていることが、また有機物の組成については森林の方が難分解性の有機物が多く溜まっていることがわかり、これが上記のように深度15cmまでを比較しても、森林内に古い炭素が溜まっている理由の一つと考えられる。森林は一次生産が高いので、それらが大量に供給されていて、しかも微生物活性も高いので難分解性炭素が固定されやすくなると推測される。

これは研究計画の当初においていた仮説とは一部異なる結果であり、当該地域の植生は、数百年から千年のスケールの間に、森林と草原が何度か入れ替わっている、あるいは、水平的な有機物の移動が起こっていることなどが推察される。ただしリグニンごとの分解速度のばらつきを与える要因などについては再検討に必要がある。

斜面下部2地点における草原の調査の結果、草原の出現する草本種の種組成はそれぞれの斜面上部の植生とは明確な対応が見られなかったが、共通する10種についての炭素窒素安定同位対比の測定結果から上部植生に応じて、窒素と炭素の安定同位体比ともに有意差あり、窒素のみ有意差、ともに有意差なしの3群にわけられた。種によって炭素窒素安定同位体比にさが見られるものとそうでないものがある理由については以下のような仮説が成り立

つ：森林下の草原に森林から供給される土壌水の窒素安定同位体比は小さく、その供給を受ければ窒素の安定同位体比は小さくなり、水ストレスは緩和され、炭素の安定同位体比が小さくなる。水の吸収だけで同位体効果が生じる窒素に対し、炭素は水ストレスを介して光合成によって同位体効果が生じるので感度が小さくなり、水ストレスの緩和が小さい（窒素の安定同位体比の差が小さい）と窒素は有意差だが、炭素は有意差なしになる。森林からの土壌水の供給は深さによって異なり、土壌水分データから、夏季の平均土壌水量は深度40cm程度で最も高いことから、草本では根系の深い種は供給量が大きく、ともに有意差を生じ、根系の浅い種はともに有意差なし、中間だと窒素のみ有意差と考えられる。

これらの分析結果と考察に基づき、植生変動モデルを以下の点について高度化した：i) 土壌形成プロセスに関するパラメーター（リター供給速度、土壌流出速度、垂直・水平方向の攪拌速度）などの取り込み。ii) 草原・森林植生間の移行が過去数千年にわたって複数回生じたという可能性として、人為的伐採、森林火災、気候変動の可能性をそれぞれシナリオとして導入した。i)の部分については学会発表を経て論文執筆中であり、ii)の部分については、2017年度中の論文作成を目指している。

#### 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 2 件)

“Collapse and Restoration of Ecosystem Networks under Human Activity”, Reiichiro Ishii, Shoko Sakai, Noboru Fujita, Takao Itioka & Norio Yamamura, *Global Environmental Research*, vol. 18, 133-143, 2015

“Addressing urban expansion using feature-oriented spatial data in a peripheral area of Ulaanbaatar, Mongolia”, Tsutsumida Narumasa,

Saizen Izuru, Matsuoka Masayuki & Ishii Reiichiro, *Habitat International*, vol.47 196-204, 2015

〔学会発表〕(計 6 件)

「資源利用を介した生態系と人間活動の相互作用の多様性と類型化の試み」, 石井 励一郎, 日本生態学会第64回全国大会(国際学会), 2017/3/14 - 3/18, 早稲田大学

“Overview of regional and national BON activities”, T. Nakashizuka, R. Ishii, 9th GEOSS (Global Earth Observation System of Systems) Asia-Pacific Symposium (招待講演) (国際学会), 2017/1/11-1/13, Tokyo International Exchange Center

“Developing a site network of long-term biodiversity observation in AP region”, R. Ishii, 8th meeting of the Asia Pacific Biodiversity Observation Network (招待講演) (国際学会), 2016/9/12-9/13, Academia Sinica, Taipei

“A vegetation transition model for Mongolian vegetation with estimated timescale”, R. Ishii, F. Hyodo, N. Fujita, M. Matsuoka, *EcoSummit 2016 Ecological Sustainability: Engineering Change* (国際学会), 2016/8/29-9/1, Le Corum, Montpellier, France

“What we could know with current observation techniques”, Reiichiro Ishii, *The 7th GEOSS Asia-Pacific Symposium* (招待講演), 2014/5/26-5/28, 東京

“A new vegetation model at the topographic scale in Mongolia under human activity and climate change”, Reiichiro Ishii, Masayuki Matsuoka, Noboru Fujita, *AGU-fallmeeting 2013*, 2013/12/10, Moscone Center, San Francisco, USA

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

石井 励一郎 (ISHII, Reiichiro)  
総合地球環境学研究所・研究基盤交際センター・准教授  
研究者番号：40390710

##### (2) 研究分担者

兵藤 不二夫 (HYODO, Fujio)  
岡山大学・異分野融合先端コア・准教授  
研究者番号：70435535

##### (3) 研究分担者

松岡 真如 (MATSUOKA, Masayuki)  
高知大学・自然科学系・准教授  
研究者番号：50399325