

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350416

研究課題名(和文) 確率モデリングによる境界永久凍土分布図の作成

研究課題名(英文) Statistic-based modeling for mapping marginal permafrost

研究代表者

石川 守 (Ishikawa, Mamoru)

北海道大学・地球環境科学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50373452

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：ユーラシア永久凍土帯の南限に位置するモンゴルを対象に地下に潜む永久凍土の分布を表現する方法論的な展開を図るのが本研究の目的である。同国では緯度、高度、植生状態や土地起伏など様々な要因が複雑に絡み合って永久凍土の維持形成に寄与している。本研究では同国の様々な地点で実施した地温観測から、永久凍土の有無を多点で調べ、それらと地理的要素との対応を多変量解析し、地理要素を説明変数、永久凍土有無を結果変数とする統計的に有意なモデルを構築した。このモデルによって永久凍土の分布が不確実性も含めて表現される。さらに将来の永久凍土衰退やそれに伴う生態系サービスの劣化を定量的に予測することに利用される。

研究成果の概要(英文)：This study aims to enhance conceptual framework for displaying the distribution of invisible permafrost, discontinuously distributed over southern marginal zone of Eurasian permafrost, Mongolia. Permafrost distribution is strongly controlled by several geographic factors such as latitudes, altitude, land cover type, and topographic concavities both in domestic and local scales. We have acquired numerous evidences related to permafrost yes/no through ground temperature measurements, and analyzed correlation among them through the multivariate analysis. Statistical model, representing relation between permafrost occurrence and geographical parameters was developed. The model is not only for predicting future permafrost dynamics but for quantitative analysis of degrading ecosystem services such as forest and river discharge.

研究分野：凍土学

キーワード：永久凍土分布 統計モデル モンゴル 不連続永久凍土帯 生態系サービス

1. 研究開始当初の背景

(1)地上から視認できない凍土・永久凍土の分布や変動についての理解は氷河や海水など他の雪氷要素に比べて大きく立ち遅れている。凍土は地中で氷と土壌の混合物として存在するが、このことが衛星による直接観測や、単物性値を仮定した数値計算による広域評価などを進める上で大きな障害となっている。そのため、これまで気温や積雪などを指標として推定された結果を、限られた観測値で検証するといった間接的な評価にとどまっていた。地道に観測値を増やす一方で凍土の分布を表現する新たな概念が求められる。

(2)国際永久凍土学会(International Permafrost Association, IPA)は、絶対的に不足している観測値を増やすべく、全球永久凍土温度観(Thermal State of Permafrost, TSP)プロジェクトを多国間の協働で推進している。このプロジェクトは、21世紀初頭における永久凍土温度を深層地温観測から可能な限り多地点で収集すること、観測体制を整備恒久化すること、結果を様々な分野で共有し次世代研究者に引き渡すことなどを目指しており、現在では北極圏を中心に約800地点のボアホールからなる地温観測網が完成している。

(3) IPA-TSPに貢献すべく、申請者は北東ユーラシア永久凍土帯南限域のモンゴルにて、過去の観測値を発掘する一方、同国永久凍土帯のほぼ全域を網羅する81地点でのボアホール深層地温観測網を構築した。温暖化に脆弱とされる地域で他国と比べても卓越した観測密度であることからIPA-TSPも重要観測域として注目している。これによって永久凍土の動態を純粋に観測値からかつ統計的有意性に基づいて議論できるようになった。これまでに永久凍土温度と地形・植生や衛星観測値などの有意な対応関係を見出している。さらにこの観測網を基礎に様々な地理情報や気象データを統合することで、永久凍土の分布や将来像を高分解能で議論できると考えた。

2. 研究の目的

(1) これまでに築いた観測網によってもたらされる結果を基に、従来連続的(面積率90%以上)・不連続的(同50-90%)・点的永久凍土帯(同10-50%)といった大まかで定性的な凡例区分しかされてこなかった同国の永久凍土分布図を、定量的かつ詳細な凡例区分、特にあいまいさを定量化する確率論に基づいて描き直すことである。

3. 研究の方法

(1) 多変量解析としてロジスティック回帰分析を適用し、永久凍土分布確率モデリング

を実施する。結果変数として永久凍土のありなし(2値情報)を、説明変数として標高・可能日射量・地形曲率(土壌水分環境を反映)・森林分布・気温・降水などを用いる。回帰分析における結果変数データ数を増やすため、ハンドオーガーで掘削可能な深度の地温を多点で取得し、それらと稼働中の深層ボアホール地温観測結果とを対比して永久凍土のありなしを判定する。

(2)説明変数は数値地形図(DEM)・官製地図・気候値のダウンスケーリングなどからグリッド化しGIS上で処理する。凍土分布確率地図の検証は、衛星観測(MODIS-地表面温度、永久凍土温度との有意な相関を確認済み)、および永久凍土存在の指標地形(ピング、構造土など)や水文現象(湧水)などの分布を参照して行う。

4. 研究成果

(1)まず、永久凍土有無に関わる実測値を約300地点で得た。これは世界に類を見ないほどの高密度であり、統計解析を進める上で十分なデータ数である。

(2)永久凍土の発達維持メカニズムを現地観測に基づき議論した。まず、永久凍土温度に与える森林の影響を取りまとめ、2編の論文として国際専門誌に投稿・受理された。これらでは、森林と永久凍土の熱的な相互依存関係(Dashtseren et al., 2014)や、シベリアタイガ林南限でのカラマツ林と大気間での水・熱・二酸化炭素等の交換過程(Miyazaki et al., 2013)を議論した。

(3)モンゴル北部のDarhad盆地にてピング中の地下氷を深度30mまで採取し、その組成(粒度分布)や水安定同位体比、炭素年代などを調べた。地下氷の形成過程や地下氷が存在することが地温に与える影響などを議論した。

(4)1960年代以降、世界各地での永久凍土温度動態を取り扱った多くの論文が発表されている。これらを俯瞰し、高緯度帯での寒冷な永久凍土ほど近年地温上昇が激しいが、中緯度帯の温暖な永久凍土では地温はほとんど変わっていないことがわかった。このことを取りまとめたレビュー論文(石川, 2014)を執筆、出版した。

(5)特に高密度にデータが得られたモンゴル中南部のハンガイ山脈を対象として永久凍土の有無と緯度・高度・地形凹凸・可能日射量・土地被覆状態といった様々な地理要素との間で多変量ロジスティック回帰分析を行った。その結果、統計的に有意な永久凍土分布ロジスティックモデルを構築した。

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5件)

Ishikawa M., Jambaljav Y. 2015. Formation chronology of Arsain pingo, Darhad basin, Northern Mongolia. Permafrost and Periglacial Processes, in press. (査読有)

石川 守 2014. 『北半球寒冷圏陸域の気候・環境変動(飯島慈裕・佐藤友徳 編)』. 第9章 気候変動と永久凍土 - 全球規模での永久凍土観測網による知見, 気象研究ノート, 第230号, 114-134. (査読有)

Dashtseren A., Ishikawa M., Iijima Y., Jambaljav Y. 2014. Temperature regimes of the active layer and seasonally frozen ground under a forest-steppe mosaic, Mongolia. Permafrost and Periglacial Processes, 25, DOI:10.1002/ppp.1824. (査読有)

山下哲平・石川 守 2014. 環境リテラシーアプローチ - モンゴルにおける実践 -, 人間科学研究, 11, 158-168. (査読有)

Miyazaki S., Ishikawa M., Baatarbileg N., Damdinsuren S. Ariuntuya N., Jambaljav Y. 2013. Interannual and seasonal variations in energy and carbon exchanges over the larch forests on the permafrost in northeastern Mongolia. Polar Research, 8(2), 166-182 <http://dx.doi.org/10.1016/j.polar.2013.12.004>. (査読有)

[学会発表](計8件)

Ishikawa M., Jambaljav Y., Westermann S., Etzelmueller B. 2014. Vulnerability of Mongolian Permafrost. European Conference on Permafrost 2014, Evora, Portugal, 21/June, 2014. 2014/6/21.

Iijima Y., Dashtseren A., Jargaltulga T., Jambaljav Y., Ishikawa M. 2013. Water cycle and frozen ground interaction in northern Mongolian Mountain, 2013 International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 20 December, Shinbashi, Tokyo. 2013/12/20.

Dashtseren A., Ishikawa M., Iijima Y., Jambaljav Y., Jargaltulga T. 2013. The

effect of vegetation cover on the ground temperatures and solar radiation distribution at the southern edge of Eurasian permafrost in Mongolia. 2013. International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 20 December, Shinbashi, Tokyo.

Miyazaki S., Ishikawa M., Baatarbileg N., Damdinsuren S., Ariuntuya N., Jambaljav Y. 2013. Interannual variation of seasonal course in energy and carbon fluxes over larch forest on the permafrost of northeastern Mongolia, 2013 International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 20 December, Shinbashi, Tokyo.

Yamashita I., Ishikawa M., Jambaljav Y., Westermann S., Etzelmueller B. 2013. Probability mapping of Mongolian permafrost, 2013 International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 20 December, Shinbashi, Tokyo.

Ishikawa M., Jambaljav Y., Westermann S. 2013. Vulnerability of the boundary permafrost. International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 2013 International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, 20 December, Shinbashi, Tokyo.

石川 守, 酒井貴裕, Jambaljav Y. (2013) モンゴルのピンゴ-分布・形態・構造・形成史-, 2013 雪氷研究大会, 北見, 北海道. 2013年9月18日.

石川 守, Jambaljav Y., 山橋いよ, Westermann S., Etzelmueller B. 2013. 境界永久凍土の分布モデリング, 2013年度雪氷学会北海道支部研究発表会, 札幌. 2013年5月18日.

[図書](計2件)

石川 守 印刷中. 「凍土」, 「凍土学」, 「ゼロカーテン」, 「サーモカルスト」等, 地形の辞典, 日本地形学連合編, 朝倉書店.

石川 守 2013. 『図説地球環境 - 観測・予測 -, (秋元, 阿部, 大畑, 才野, 佐久間, 鈴木, 時岡, 野田, 深澤, 村田, 安成, 吉崎, 和田, 渡邊 編)』, 8.6 凍土 242-243, 朝倉書店, 378p. 分担執筆

[産業財産権]
出願状況(計0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0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

石川 守 (ISHIKAWA Mamoru)
北海道大学 地球環境科学研究所・准教授
研究者番号： 50373452

(2) 研究分担者

佐藤 友徳 (SATO Tomonori)
北海道大学 地球環境科学研究所・准教授
研究者番号： 10512270

(3) 連携研究者

()

研究者番号：