

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01849

研究課題名(和文) 地域生態資源の動態評価に適用できる永久凍土分布図の作成

研究課題名(英文) Creating permafrost map applicable for evaluating local ecosystem services

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：永久凍土は湿潤土壌環境を生み出し乾燥気候下での森林生育や地表水涵養など地域生態資源の維持に重要な役割を果たす。本研究では永久凍土南限域モンゴルにて永久凍土分布図を高い解像度で作成するとともに、地域の生活水となっている湧水の変遷を解明した。永久凍土分布図は2つの手法(非定常熱伝導式・確率統計)により作成された。湧水変遷は1960年代の官製地図、衛星画像、現地踏査によって調べた。多地点での深層地温観測にて検証したところ、作成された永久凍土分布図は現状をよく再現した。他方、地温がほぼ0°となっている永久凍土南限域では観測との不一致が目立つ。ここは湧水の衰退が顕著な地域でもあり今後の改善が求められる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：寒冷圏陸域で顕在化する環境変動の重要因子のひとつが地下に偏在する永久凍土の動態である。しかし地下に潜在し高い空間不均質性を伴う永久凍土の動態を明示的に探究した例は少ない。本研究の学術的意義は、極めて高密度に展開された永久凍土観測結果をもとに従来にない高解像度・高精度で永久凍土の分布を明示し、それと地上での環境変化との関連を探究することである。

社会的意義：永久凍土地帯では永久凍土によって支えられた地域生態系資源に依存する地域社会が成立している。特に半乾燥域のモンゴルでは、不連続に分布する永久凍土が不連続な湿潤土壌環境と森林・湧水を成立させているため、本研究は高い社会的意義を有する。

研究成果の概要(英文)：Permafrost plays an important roles for sustaining local ecosystem service since it produces water rich soils, allowing forest growth and river discharges even under the arid climatic conditions. We created high resolute permafrost maps over Mongolia, and reconstructed transition of spring water since 1960s. The permafrost distribution was modelled with transient heat conduction and statistical-stochastic ways. The past and present states of spring activities were investigated by government maps published in 1960s, satellite images, and field surveys. Validation with deep ground temperature at multiple points showed good agreement between modelled distribution and the observations. However, they disagreed over the southern limit permafrost with ground temperature close to 0 degree. These regions overlap well with the regions experiencing significant degradation of spring water. Further researches i.e., model improvement, increasing the number of field evidences are required.

研究分野：凍土学・自然地理学

キーワード：永久凍土 地域生態系資源 湧水 非定常熱伝導モデル 確率統計モデル 地図化 モンゴル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

寒冷乾燥気候下では地表水や森林といった生態資源の成立には、地下に潜む永久凍土が強く関わっている。しかし、永久凍土地帯の生態・水文・地形過程を対象としたこれまでの研究では、永久凍土の様態は明確に取り扱われてこなかった。例えば、“永久凍土の状態に応じて植生過程が云々”といったよくみられる言説のなかで“永久凍土の状態”が示す対象が曖昧にされたまま議論が展開されている場合がほとんどである。多分野で広く参照されている環北極域永久凍土分布図 (IPA-Map) でも、永久凍土の表現は定性的な面積率や地下水量を極めて粗い解像度にとどまっている。またIPA-Mapは1970年代当時の限られた箇所での観測値を内外挿して描かれたもので、その精度や図化の根拠などが不明確である。

寒冷圏陸域を対象とした環境研究において永久凍土のどのような特性が必要情報とされているのか？また、それはどのような精度・解像度で表現されるべきか？これらは古くから取り残されてきた重要な問いである。国際永久凍土学会は、21世紀になって観測サイトのグローバルな展開によるデータ拡充とIPA-Mapの改良を進めてきた。第11回国際永久凍土会議では、永久凍土マッピング作業グループが組織され、次世代永久凍土分布図の仕様やその気候・生態・工学分野への適用法、さらに世界各地の計約1000地点での観測値を分布図作成に有効利用する方法論などの議論が重ねられている。

永久凍土分布図の精度は境界域において検証されなければならない。北東ユーラシア永久凍土南限モンゴルでは、不連続な永久凍土の分布域に、陸水や森林が成立している (Ishikawa et al. 2004; 石川 2009)。これら地域生態資源と永久凍土の動態を解明するためにほぼ全土を網羅する約100地点にて深度10~30m深地温が観測されている (Ishikawa et al. 2012)。このような他に類を見ない多点高密度観測によって、純粋に観測値に基づいて永久凍土の様態や変動性、さらにそれらの地域性の評価が可能となった。

2. 研究の目的

以下2点を研究目的とする。

(1) 永久凍土安定性・脆弱性の空間的な定量化

多様な地理気候環境下でこれまで得た地温観測値を基に、活動層厚、永久凍土の深層温度、年周期地温変動の到達深度、地温鉛直勾配といった関連現象解明に必要な情報となりうる永久凍土の安定度指標を導出し、その地域性を見出すとともに、これらを地図化し、既存のIPA-Mapに変わって、地域生態資源の動態評価に適用可能な“永久凍土安定度分布図”を作成する。

(2) 地域生態系サービス劣化の実態と永久凍土動態との関連の解明

モンゴルでは森林・湖沼域の縮小や湧水の枯渇、地下氷消失に伴う地盤陥没(サーモカルスト)が顕在化している (Miyazaki et al. 2014, Ishikawa et al. 2016)。これらはどのような時空間規模で起きているのか？永久凍土がどのような状態のところでこれらが顕著に進行しているのか？これら地表層環境の変容を詳細に地図化し、それと永久凍土安定度分布図とを対比することによって評価する。

3. 研究の方法

モンゴル永久凍土帯に特徴的に見られる湧水やサーモカルストといった地表層現象の変容を過去数十年にわたって地図化する。これらは、LANDSAT、ALOS、ALOS2、MODIS、CORONA衛星データや1960年代に発行された官製地図などの時系列解析と現地検証によって行う。サーモカルストはSAR衛星画像干渉解析により広域動態を把握するほか現地写真測量によって局所的に変化量を詳細に見積もる。永久凍土安定度分布図は、既設の観測網から得られる地温データ、土壌熱物性・気候・地形・土地被覆などの地理情報、物理・統計・経験則モデルなどを統合して多様な形式と指標で作成する。

4. 研究成果

(1) 永久凍土分布

永久凍土分布図を 2 つの異なる手法で作成した。1つはオスロ大研究協力者とともに非定常熱伝導物理モデルに基づいて作成した。モデル入力値は再解析データを、測候所観測値を参照しつつ 1x1km グリッドに変換したものである。深層地温観測の結果と 1次元熱伝導モデル(CryoGrid2)を用い ESACCI のランドカバーカテゴリー毎に土壌熱物性パラメータを決定した。これらを全球永久凍土分布モデル(CryoGrid_CCI)に適用してモンゴル全土を網羅した地温分布を見積もった(図1)。

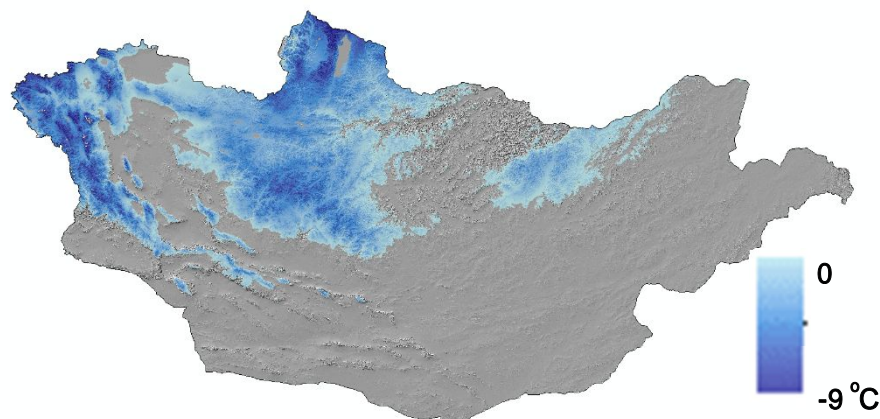


図1. 10m深地温 (2012-2016 平均)

モンゴル中央部ハンガイ山脈を対象に永久凍土の存在確率分布図を作成した。最暖季に 1m 深地温を多地点で取得し、これらと地形・植生パラメータとの関連を多変量解析で定式化した。永久凍土有無を示す閾値となる最暖季 1m 深地温を深層地温から求めた(図2)。

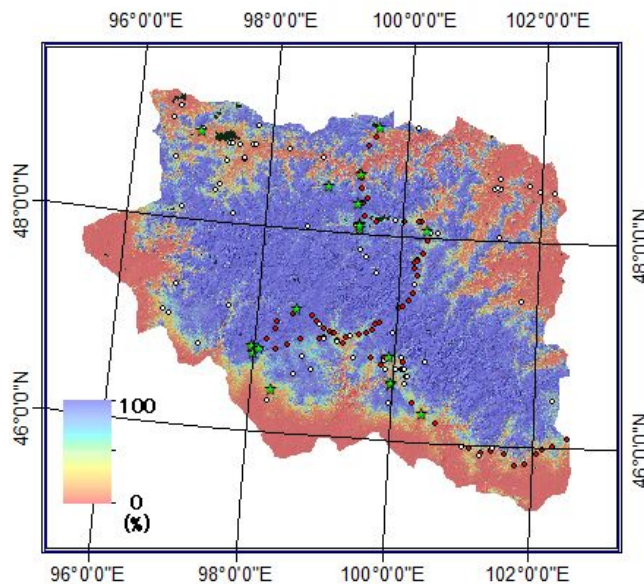


図2. ハンガイ山脈における永久凍土存在確率分布図

(2) 1960年代からの湧水変遷

1960年代に発行された官製地図には当時の湧水地点が記載されている。ハンガイ山脈を対象に、この地図上の湧水位置を GIS データ化した。現地踏査や地域住民への聞き取り、および Google Earth 等の衛星画像を参照して、これら湧水の現況を調べた(図3)。

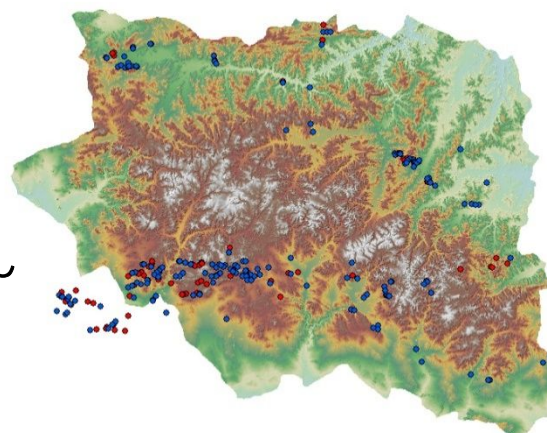


図3. 現地調査による湧水現況、赤丸は枯渇したもの、青丸は現在でも湧水となっている

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ishikawa, et al.,	4. 巻 29
2. 論文標題 Thermal states, responsiveness and degradation of marginal permafrost in Mongolia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Permafrost and Periglacial Processes	6. 最初と最後の頁 271-282
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ppp.1990	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hiyama, Dashtseren, Asai, Kanamori, Iijima, Ishikawa	4. 巻 16
2. 論文標題 Groundwater age of spring discharges under changing permafrost conditions: the Khangai Mountains in central Mongolia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Research Letters	6. 最初と最後の頁 15008
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1748-9326/abd1a1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Ishikawa M., Jambaljav M., Dashtseren A.
2. 発表標題 Permafrost of the marginal area-Thermal states and Distribution-
3. 学会等名 JSPS Japan-Norway Symposium 2017（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ishikawa M., Iijima Y., Dashtseren A., Jambaljav Y., Miyazaki S., Baatarbileg N.
2. 発表標題 Multi-scaled observations of boundary permafrost over Mongolia
3. 学会等名 International Conference on Environmental Sciences and Technology（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ishikawa M., Jambaljav Y., Dashtseren A.
2. 発表標題 Spatial Modelling of Mongolian Permafrost-Statistical and Stochastic approaches-
3. 学会等名 雪氷研究大会
4. 発表年 2017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
研究分担者	檜山 哲哉 (Hiyama Tetsuya) (30283451)	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授 (13901)	
研究分担者	飯島 慈裕 (Iijima Yoshihiro) (80392934)	三重大学・生物資源学研究所・准教授 (14101)	
研究分担者	アバタル ラム (Avtar Ram) (90648057)	北海道大学・地球環境科学研究所・助教 (10101)	

	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
研究協力者	ウェスターマン (Westermann Sebastian)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	ジャンバルジャン (Jambaljav Yamkhin)		
研究協力者	エツェルミュラー (Etzelmueller Bernd)		
研究協力者	アヴィアメッド (Avirmed Dashtseren)		

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			
モンゴル	モンゴル科学アカデミー			
ノルウェー	オスロ大学			