

## 過去 30 年間にわたるモンゴル永久凍土分布の変遷を復元

～森林・水資源劣化過程の理解、北極陸域環境の将来予測に貢献～

### ポイント

- ・北東ユーラシア永久凍土帯の最南端に位置するモンゴル全域の永久凍土温度を高解像度で復元。
- ・地表面被覆状態の違いに応じた永久凍土変動特性の多様性を解明。
- ・遊牧を支える生態系資源の動態理解や、将来の北極陸域環境の予測への貢献に期待。

### 概要

北海道大学大学院地球環境科学研究院の石川 守准教授らの研究グループは、複雑に分布するモンゴル永久凍土<sup>\*1</sup>の 1986 年から 2016 年までの変遷を、これまでにない高解像度で復元しました。これは、日本とモンゴルの研究者が協力して蓄積してきた多地点での永久凍土観測データと、ノルウェーの研究者が開発した非定常熱伝導モデルを組み合わせることにより実現されました。モンゴルに点在する永久凍土は、乾燥した大地に樹木を生育させたり地表水を涵養したりするなど、住民の生活基盤となっています。その一方で、モンゴルは永久凍土融解に伴う乾燥化や森林の劣化が世界で最も早く顕在化するところで、その様相は急速に温暖化が進む北極陸域の将来の姿でもあります。

永久凍土はウランバートル周辺の森林地帯、中央部のフブスグールやハンガイ山脈、西部アルタイ山脈など、国土全体の約 30 %に分布することが示されました。中央部の乾燥地域や山岳域では永久凍土温度が顕著に上昇し、活動層<sup>\*2</sup>も厚くなる傾向がみられた一方、森林地帯では温度や活動層の厚さに目立った変化はありませんでした。森林は日射を遮蔽し地中の昇温を抑える一方、永久凍土が保つ湿潤土壌に依存して成立しています。このような永久凍土―森林間での共生関係に関する知見は、シベリアに広がるタイガ林の現状や将来像の予見に役立ちます。さらに、本研究が作成した高い解像度の永久凍土温度分布変遷図は、近年顕在化してきた森林や湧水の劣化メカニズムの理解に大きく貢献します。

なお、本研究成果は、2024 年 5 月 29 日（水）公開の Permafrost and Periglacial Processes 誌に掲載されました。



ウランバートル近郊の典型的な景観。カラマツからなる対岸の森林斜面の地下には永久凍土が存在する。この永久凍土の温度は過去 30 年間にわたってほとんど変化していない。これは森林と永久凍土は共生してお互いを維持しているためである。

## 【背景】

世界各地で多くの研究者が長期的に観測を継続してきたことにより、永久凍土は確実に衰退傾向にあることが分かってきました。その影響が陸面環境に最も早く顕れるのが、北東ユーラシア永久凍土域の最南端に位置するモンゴルです。ここでは不連続的・点的に分布する永久凍土が局所的な湿潤環境を生み出し、乾燥気候であるにもかかわらず森林や草原を成立させたり、河川水や湧水を涵養したりするなど、人々の生活（遊牧）を支えています。本研究では、モンゴルの永久凍土がどのように分布し、どのように変容してきたのかを1986年から2016年までの高解像度永久凍土分布図を作成することによって解明しました。

## 【研究手法・成果】

モンゴル全土を1 km×1 kmのグリッドに細分し、非定常熱伝導モデルにより各グリッドの地温を算出しました。本研究での創意点は、計算上必要な土壌の熱物性値を現地69地点での地温観測結果により精緻に決定したことです。これにより、森林や草原といった多様な土地被覆を考慮したうえで、地下10m深までの鉛直地温プロファイルを空間的にも時間的にも高い解像度で求めました。

その結果、ウランバートル周辺の森林地帯、北部のフブスグールやハンガイ山脈、西部アルタイ山脈など、国土全体の約30%が永久凍土帯であることが分かりました（図1）。また、深度10mでの永久凍土温度は過去30年で最大1.2°C程度上昇し、中央部のハンガイ山脈や東部のヘンテイ山脈では特に顕著に上昇していました（図2）。土地被覆ごとの地温や活動層の厚さの変化をみると、湿潤な森林土壌の地温や活動層の厚さはあまり変化していません（図3）。森林地帯では、樹木による日射の遮蔽や、有機物に富む表層土壌が地下深部への熱伝達を妨げるなどの効果により、永久凍土の温暖化が抑制されます。森林が成立するような比較的湿潤な気候環境下に分布する永久凍土は、乾燥気候下のそれより安定しているといえます。

## 【今後への期待】

本研究によって、永久凍土は地表面の状態や土壌物性などにも応じて多様に変動することが示されました。このことは、温暖化が急激に進行している北極圏陸域の永久凍土、特にシベリアに広範なタイガ林と永久凍土の相互連環を解明することに繋がります。近年のモンゴルでは湧水枯渇や森林衰退が顕在化し、地域住民の生活基盤が脅かされ始めています。研究グループは、本研究の成果をもとに、これら生態系資源劣化と永久凍土変動の関連を詳しく調べています。

## 【謝辞】

本研究はJSPS科研費JP17H1849、JP19H05668、JP20240075、及びHigh-North Programme (HNP-2015/10010)、European Space Agency (4000123681/18/I-NB) の助成を受けたものです。

## 論文情報

論文名 Transient modelling of permafrost distribution from 1986 to 2016 in Mongolia (非定常モデリングによる1986年から2016年までのモンゴル永久凍土変遷の復元)

著者名 Mamoru Ishikawa<sup>1</sup>、Sebastian Westermann<sup>2</sup>、Yamkhin Jambaljav<sup>3</sup>、Avirmed Dashtseren<sup>3</sup>、Tetsuya Hiyama<sup>4</sup>、Nobuhiko Endo<sup>5</sup>、Bernd Etzelmüller<sup>2</sup> ( <sup>1</sup>北海道大学大学院地球環境科学研究院、<sup>2</sup>オスロ大学地球科学系、<sup>3</sup>モンゴル科学アカデミー地理地生態学研究所、<sup>4</sup>名古屋大学宇宙地球環境研究所、<sup>5</sup>海洋研究開発機構)

雑誌名 Permafrost and Periglacial Processes (凍土学、自然地理学の専門誌)

D O I 10.1002/ppp.2231

公表日 2024年5月29日(水)(オンライン公開)

## お問い合わせ先

北海道大学大学院地球環境科学研究院 准教授 石川 守 (いしかわまもる)

T E L 011-706-2221 F A X 011-706-4867 メール mishi@ees.hokudai.ac.jp

U R L <https://sites.google.com/view/mamoru-ishikawa>

## 配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

## 【参考図】

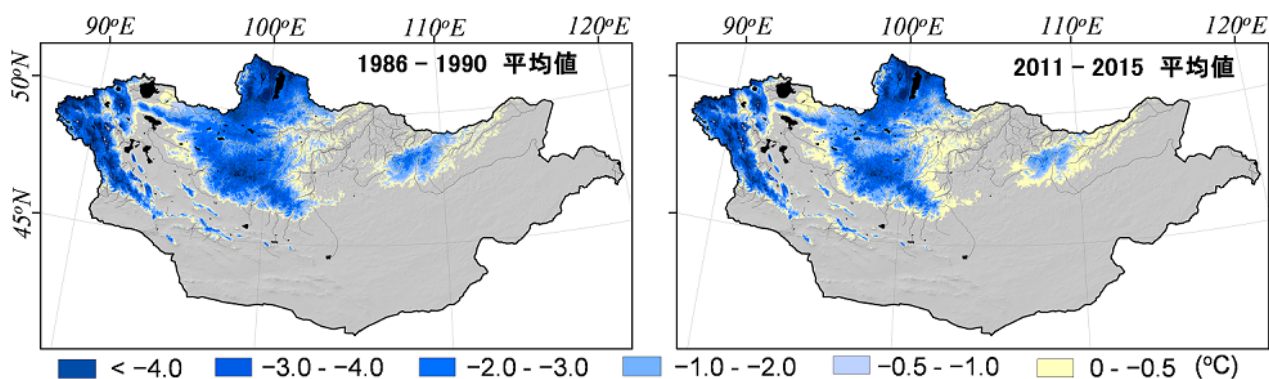


図 1. 深度 10 m の地温分布

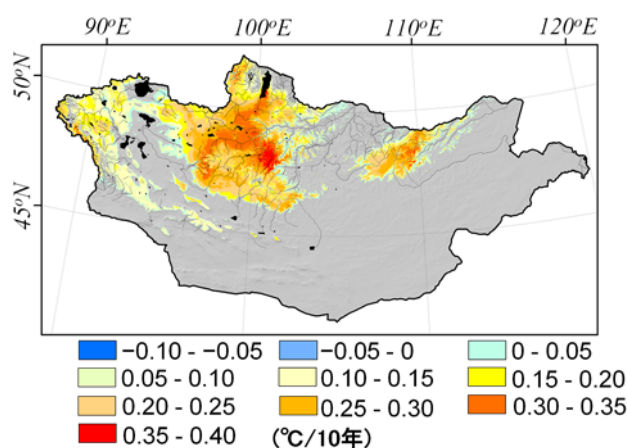


図 2. 1986 年から 2016 年までの深度 10 m 地温の上昇傾向

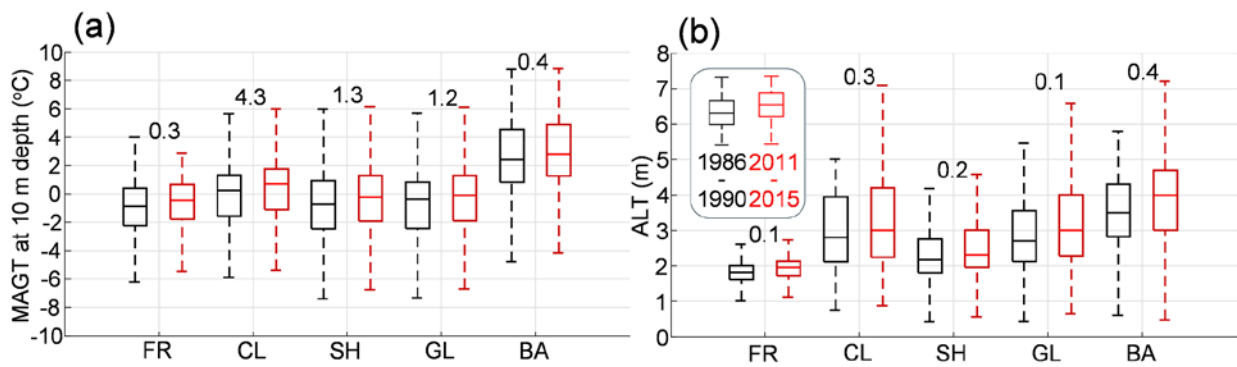


図3. 地表面被覆状態ごとの (a) 10m深地温分布と平均値の変化、(b) 活動層厚分布と増加量、FR: Forest, CL: Cropland, SH: Shrub herbaceous, GL: Grassland, BA: Bare area. 黒い箱ひげ図は1986から1990年までを、赤い箱ひげ図は2011から2015年までを示す。箱ひげ図上に両期間の平均値差を記した。

**【用語解説】**

- \*1 永久凍土 … 2年以上連続して0°C以下を保つ土壌や岩石。
- \*2 活動層 … 永久凍土域で季節的に凍結融解を繰り返す地表層。