

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 5 月 31 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21310001

研究課題名（和文）

永久凍土変動の実態

研究課題名（英文）

The actual states of permafrost degradation

研究代表者

石川 守 (ISHIKAWA Mamoru)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・准教授

研究者番号：50373452

研究成果の概要（和文）：

本研究は、永久凍土の温度や変動の実態を国際的な観測網への貢献を通して解明することを目的としている。モンゴル、スバルバル、日本の高山帯などを主な研究対象地域として、現地観測や数値モデリングなどを並進した。モンゴルでは広範に実施した深度10mまでの深層地温観測の結果から、永久凍土温度は南北傾度の気候帯を一義的としつつも、地域スケールでの地理的差異（地形・地下水量・植生）にも対応していることが示された。また、永久凍土の温暖化傾向には地域差が見られ、気温の上昇程度よりはむしろ凍土中の不凍水含有量に依存していることが示された。本研究によって展開された観測網は、他国と比しても極めて高密度であり、国際永久凍土学会も重要観測地域として注目するようになった。大雪山では国内の永久凍土帯では最深となる地温の連続観測を実施した。その結果、これまで考えられてきたよりも厚く熱的に安定した永久凍土が存在することを示した。全球気候モデル上での土壌の凍結・融解過程の表現が改善され、過去数千年程度での永久凍土分布を議論するような新たな研究の展開がみられた。モデルの検証には過去に永久凍土が存在したことを裏付ける化石周氷河現象が有効となる。そのために様々な周氷河地形がどのような気候環境下で形成されるのかということの理解を深めなければならない。これをうけ、フロストウェッジやフロストクリープなどの周氷河プロセスおよびそれらの長期変動に関する知見をスイスアルプス、南アルプス、スバルバルなどでの長期観測で蓄積した。

研究成果の概要（英文）：

This study aims to clarify thermal state of permafrost especially on Mongolia, Svalbard and Japanese high mountains under the umbrella of global permafrost network. In Mongolia we found occurrences of the colder permafrost on the northerner territories and large spatial differences in temperatures even within small areas. We deduced that permafrost warming is strongly controlled by the rate of unfrozen water contents. Recently the international permafrost association has paid special attention of Mongolian permafrost observatories, since number of research borehole has been significantly increased by our study. The deepest, 10m-permafrost-research-borehole among Japan has been installed on the permafrost, Daisetsu Mountains, Hokkaido. The low ground temperature, -2°C at 10m, indicate the presence of thermally stable permafrost. The modeling schemes were improved especially for soil freezing and thawing processes in the GCM, and have been applied to reconstruct paleo-permafrost distribution. For verification we referred the distribution of fossil periglacial phenomena. The realistic verification needs for deeper understanding of concurrent relation between climate and periglacial processes. In this context we studied concurrent climatic situations for the frost wedge and frost creep, and paleo-permafrost development of pingo.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2011年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境変動・永久凍土

1. 研究開始当初の背景

近年顕在化してきた寒冷圏陸面での様々な環境変動（例えば北極海流入大河川流量の経年増加、湖底からのメタンガス放出）の要因は、永久凍土の融解に帰されることが多い。しかし、地上から目視できない永久凍土が衰退しているという直接的な証拠は極めて少なく、モデルによって描かれた将来の永久凍土の姿は不完全な計算結果に基づく推測に過ぎない。この現状に対し、国際永久凍土学会(IPA)は、①今世紀初頭における永久凍土温度を観測に基づいて可能な限り多地点で得ること、②観測体制を整備・拡張・恒久化すること、③観測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的とした Thermal State of Permafrost(TSP)プロジェクトを多国間の協働で開始した。このプロジェクトに参加した研究者の大部分は欧米の出身者であったため、観測地点は北米や欧州に偏っていた。中央アジアから極東にかけての観測網の整備・展開に対する日本の貢献が期待されていた。

2. 研究の目的

本研究は気候変動に対し永久凍土がどのような要因で、どのように変化してきたか(するか)、ということの解明に貢献する。そのために以下2点の目的を設定した。

① 永久凍土変動の実態を観測的事実に基づき時空間的に評価する。

②活動層内での伝熱過程を精査し、凍土変動をシミュレートするモデルの精度向上を目指す。

3. 研究の方法

研究は凍土動態に関するデータの収集、現地観測、気候モデリングなどを並進して実施した。観測対象地はモンゴル、北海道大雪山およびアラスカとした。海外での観測は現地の共同研究者と協働した。

アラスカでは活動層伝熱動態に関わる地温と土壌水分の連続観測をツンドラ（連続的永久凍土分布域）、森林帯（不連続永久凍土帯）および非永久凍土帯などの3地点で開始した。

ユーラシア永久凍土帯南限のモンゴルでは、永久凍土温度の時空間動態を把握すべく10m深程度までの地温観測を広範(約80地点)に展開するとともに、過去データの発掘を行った。北海道大雪山では、国内では最深となる10m深までの地温連続観測を開始し、山岳永久凍土の熱的安定性に関わる知見を得た。

4. 研究成果

モンゴルで展開した観測点のうちこれまでに46地点での深層地温観測の結果がえられた。それらの結果から、永久凍土温度は南北傾度の気候帯を一義的としつつも、地域的な地理的条件(地形・地下水量・植生)にも対応していることが明らかとなった。また、地下水量が多い国土北部の寒冷な永久凍土は顕著に温暖化する一方、不凍水が多い温暖永久凍土には温暖化はみられないこと、一部では過去20年間で永久凍土が消失したこと、凍土温度と気温の上昇程度の間には有意な相関がないことなどがわかった。これらはグローバルな永久凍土変動の類型化にも繋がる知見である。さらに、MODISによる1x1kmグリッドでの高解像度地表面温度と永久凍土温度の観測値には統計的に有意な対応が見出され、今後の高精度分布モデリングへの展望が開かれた。本研究が同国に展開した永久凍土観測網の管理は現地協力者に委託され、今後の長期観測の礎が築かれた。ここでの観測密度は他国と比しても極めて高く、国際永久凍土学会も同国を重要観測地域として注目している。これに関連して、研究代表者の石川は同学会全球永久凍土観測委員会のアジア地域担当委員として推薦された。

全球気候モデル上での土壌の凍結・融解過

程の表現が改善された。これに基づき、過去数千年程度での永久凍土分布を議論するような新たな研究の展開がみられた。モデルを検証するのに過去の永久凍土存在の指標とされる化石周氷河現象が有効となる。このことをより強固に裏付けるには、様々な周氷河地形がどのような気候環境下で形成されるのかということの理解を深めなければならない。

これに関連して、フロストウェッジやフロストクリープなどの周氷河プロセスおよびそれらの長期変動に関する知見がスイスアルプス、南アルプス、スバルバルなどでの長期観測で蓄積された。さらに、モンゴル北部の連続永久凍土帯に分布するピンゴでは深度 35m のボーリング調査が行われ、内部構造と地下水分布が記載された。さらに地下水に含まれる水安定同位体比のプロファイルと数深度での炭素年代試料を得た。ここはかつて湖底であり、湖水面の後退過程が既存の第四紀学的な研究で示されているが、この知見と今回のボーリング調査結果を併せて、ピンゴおよび永久凍土の発達史を過去 4 万年にわたって詳細に編むことができた。

北海道大雪山では、深度 10m の永久凍土温度プロファイルをはじめとして、斜面方位や積雪条件を異にする数地点での活動層の温度プロファイルの観測体制が整備された。10 m の深さでも地温は -2°C 程度と低く、ここでの山岳永久凍土は従来考えられてきたよりも厚いことや、熱的に安定していることなどが初めて示された。

これら地温観測孔を設置する際に、掘削コアを回収し、そこに含まれる地下水の同位体組成を調べた。特に北向き斜面での永久凍土中の地下水の安定同位体比は現在の香水に含まれるそれよりも極めて低くなっており、この地下水は現在よりも寒冷な時期に形成されたことが示唆された。

同山域の山稜部に点在する湧水の給源・経路を明らかにすべく、暖候期を通じて水温、流量、水安定同位体組成などを観測するとともに、降水や積雪中の水安定同位体比も観測した。これらの結果に、上記の地下水の水安定同位体比も併せた結果、湧水の多くは融解期に土壤中に浸透した融雪水に涵養されており、季節凍土の融解に応じて経路が深化していくことが示された。

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 5 件)

Ishikawa M., Sharkhuu N., Jambaljav Y, Davaa G., Yoshikawa K., Ohata T. Mongolian permafrost thermal states, Proceedings of 10th International Conference on

Permafrost, Salehard, Russia. 2012, in press.

Batbold A, Sato T, Ishikawa M., Tsogt J. Performance of dynamic downscaling for extreme weather event in eastern Mongolia: Case study of severe windstorm in 26 May 2008, SOLA, 7, 117-120. 2011.

Watanabe M, Kadosaki G, Kim Y, Ishikawa M., Kushida K, Sawada Y, Tadono T, Fukuda M, Sato M. Analysis of the sources of variation in L-band backscatter from terrains with permafrost. Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 50, 44-54, 2012.

松岡憲知・池田 敦, スイスアルプスの周氷河環境と地形変動—15 年間の観測の総括と展望—, 地学雑誌, 120, 502-535.

岩花 剛, 澤田結基, 片村文崇, 石川 守, 曾根敏雄, 大雪山系における永久凍土観測—2005~2010 年—, 北海道の雪氷, 30, 147-150, 2011.

[学会発表] (計 16 件)

石川 守, Ya Jambaljav, 酒井貴悠, モンゴル北部ダルハッド盆地での古永久凍土発達史, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会

Ishikawa M., Jambaljav Y. Permafrost and periglacial environments of the Darhad basin, northern Mongolia. The Second international symposium on mountain and arid land permafrost, Ulaanbaatar, Mongolia, 2011.

宮崎 真, 石川 守, N. Bilgebaatar, S. Damdinsuren, Y. Jambaljav, モンゴル北部永久凍土域のカラマツ林における水文気象・生態・年輪年代の長期モニタリングの初期解析, 日本地理学会 2012 年春大会.

石川 守, モンゴル永久凍土の温度動態, 日本地理学会 2012 年春大会.

Saito, K., S. Marchenko, N. Bigelow, V. Romanovsky, K. Yoshikawa, J. Walsch, Paleo-permafrost dynamics in the late Quaternary -Thermally-conditioned reconstruction from Global Climate Modeling. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会.

斎藤和之. 第四紀後期の永久凍土動態 全球気候モデル地表面気温からの推定-, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会.

Saito, K., S. Marchenko, D. Trombotto, N. Bigelow, V. Romanovsky, K. Yoshikawa, and J. Walsh, Permafrost-snow-ecosystem in the late Quaternary climate: Distribution and interactions examined by global system modeling, WCRP Open Science Conference, Denver, CO, USA, 2011.

斎藤和之 第四紀後期の永久凍土動態 III

ー北東アジアと日本列島での潜在的分布ー,
2011年日本雪氷研究大会,
松岡憲知, 南アルプスにおけるフロストク
リープの動態観測, 日本地形学連合 2011 年
秋季大会.

Ishikawa M., Jambaljav Y., Ohata T.
Permafrost Observatories over Mongolia.
Second International Symposium on the
Arctic Research, 2010.

Adiya S., Ishikawa M., Jambaljav Y.
Thermokarst lake changes on the permafrost
distribution region in Mongolia, Second
International Symposium on the Arctic
Research, 2010.

Ishikawa M., Jambaljav Y, Avirmed D, Ohata
T, Sharkhuu N, Permafrost dynamics over
Mongolia-Initial results of new
countrywide observatories-,
International Polar year Oslo Scientific
Conference. Oslo, 2010.

新井秀典, 前田剛宏, 石川 守, 岩花 剛, 杉
本敦子, 北海道大雪山永久凍土帯における
水循環の定量化, 雪氷研究大会, 2009.

前田剛宏, 新井秀典, 岩花 剛, 石川 守, 北
海道大雪山永久凍土帯における時空間熱分
布の評価, 雪氷研究大会, 2009.

石川 守, Ya Jambaljav, 酒井貴裕, モンゴ
ル北部ダルハッド盆地の永久凍土環境, 日
本地理学会 2010 春大会.

助野実樹郎, 石川 守, モンゴル北部ヘンテ
ィ山地におけるカラマツ林の構造と立地環
境, 日本生態学会, 2010.

斎藤和之 全球気候モデル表面温度から見た
第四紀後期の凍土分布, 2009 年日本雪氷研究
大会

[図書] (計 2 件)

Saito K. Modeling freezing and thawing of
subsurface soil layers for global climate
models, In Leonard M. Druryan (ed),
Climate Model, ISBN 979-953-307-338-4,
InTec.2011.

石川 守, 2009. モンゴル北部の永久凍土の
変動と森林の衰退 -気候変動と人為的影響を
探る-, 温暖化と自然災害ー世界の六つの現場
から, 古今書院, 109-128.

[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・大学院地球環境科学研究院・准
教授

研究者番号 : 50373452

(2) 研究分担者

斎藤 和之 (SAITO Kazuyuki)

独立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 : 70419133

岩花 剛 (IWAHANA Go)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・特
任助教

研究者番号 : 70431327

松岡 憲知 (MATSUOKA Norikazu)

筑波大学・生命環境科学研究科・教授

研究者番号 : 10209512

杉本 敦子 (SUGIMOTO Atsuko)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教
授

研究者番号 : 50235892

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :

