

平成 30 年 5 月 23 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26242026

研究課題名(和文) 植生景観構造を考慮した東ユーラシア永久凍土変化の広域評価

研究課題名(英文) Permafrost mapping under changing environment in eastern Eurasia

研究代表者

飯島 慈裕 (Iijima, Yoshihiro)

三重大学・生物資源学研究科・准教授

研究者番号：80392934

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,100,000円

研究成果の概要(和文)：東ユーラシアの永久凍土分布地域において、植生調査、活動層分布と永久凍土融解地形の測量、水文分析などの現地調査、衛星データ解析による地形変動や植生変化領域の解析、陸面過程・河川流出モデルの改良に基づく、凍土荒廃プロセスの地域特性と空間分布の評価を行った。特筆すべき成果として、植生構造の変遷が凍土(活動層)変動と密接に関係し、衛星・近接リモセンの併用で凍土融解による地形変化現象の詳細な構造を示すとともに、永久凍土の荒廃状況を凍土水文分析から初めて示したこと、凍土温度変化に地表の植生層と地下水の効果を加味したモデルを開発し、その適用可能性を広げたことが上げられる。

研究成果の概要(英文)：This research project clarified spatial and temporal variations in degradation processes in permafrost region in eastern Eurasia, based on comprehensive analyses utilizing field work for vegetation-permafrost relationship, leveling on active layer and topographical change along permafrost degradation combining remote sensing technics, permafrost hydrological analyses and improved land-surface modeling. Notable results are summarized as follows. Spatial variation in active layer thickness was closely related with vegetation changes. Spatial structure of thermokarst development precisely mapped along with vegetation and active layer conditions. The permafrost degradation was also found in water-resource form geochemical composition in spring water. Based on these findings from field work, effect of snow depth, soil organic and moss layer in land surface model were sufficiently improved the performance to simulate permafrost temperature and active layer thickness in this region.

研究分野：自然地理学

キーワード：永久凍土 森林科学 水文 GIS 地図化

1. 研究開始当初の背景

現在進行している北半球寒冷圏の気候変動において、2000年以降の北極海氷の急減はすでによく知られた事実である。その一方、北極環境変化に同調するように、ユーラシア大陸の永久凍土地帯では、下記のような異常現象が顕在化してきた：(1) 北極海沿岸の低気圧活動の活発化に伴う大陸降水量の増加、(2) シベリア6大北極流入河川の淡水流出量の増加、(3) シベリア大河川流域での陸域貯水量の増加、(4) 気候湿潤化によるシベリア永久凍土表層の急激な融解、(5) 過剰な陸水貯留による北方林の生育阻害と植生構造の変化。これらは永久凍土地域で気候・植生・水文が連鎖する相互作用現象である点が注目される。

凍土分布の理解の現状と問題点として、現在広範に使われている北半球の永久凍土分布が、国際永久凍土学会の「Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground Conditions」(1998年)であることに注目する。これは凍土と地下水の存在比率を定性的に分類した地図であり、その分布のみが各種気候予測研究の検証に用いられ、上記の環境変動に対応した凍土変化の定量的理解には適応していない。

ユーラシア大陸上の凍土は、植生、特に北方林下に存在する。加えて、気候・植生・水文変化は、いずれも『活動層の深化』、すなわち永久凍土表層の環境変化にあたる。したがって、植生・有機物(土壌)・土壌水分の変動との相互作用を精査しない限り、凍土の安定性評価は不可能である。

永久凍土表層の変化は、気候・植生・水文という地表の現象から伝播して起こり、そのメモリが地表環境にフィードバックする寒冷圏の陸域システム変化の中核と考えられる。永久凍土地域では、とりわけ既存の衛星データや気象データでは抽出し難いとされる、植生内や地下の変化に起因する現象が多い。これは、現在の気候予測モデルでは表現できていない未知の変化過程がまだ数多く潜在していることを強く示唆する。

以上の背景から、本研究では、凍土・植生・水文研究において、東ユーラシアで築かれた集中観測地点、観測網に基づく観測研究交流の実績を最大限に生かし、植生景観の構造全体を定量的に考慮した永久凍土環境の広域評価を着想するに至った。

2. 研究の目的

本研究は、永久凍土分布の中心である東ユーラシアの凍土変化について、植生変化(熱・水・炭素循環と有機物堆積の複合過程)、地形変化(サーモカルストおよびアラス地形の発達)、水文変化(活動層とアラス湖沼の貯留量変動、地下水の流出過程)のメカニズムを解析し、永久凍土環境が、地表付近の変化に対してどれだけ安定/不安定であるかを、定量的に評価すると共に、その地理的

布を体系化することで、今後の地球環境変動研究に資する永久凍土環境変化の広域評価を行うことを目的とする。

そのために、この地域に特有な植生・土壌パラメータを精査した上で、現地の集中観測地点・分布観測網による観測データ解析で凍土変化との関係を評価する。そして、凍土荒廃の典型的な事象である、植生変化・サーモカルスト・アラス湖沼の地形変化の空間解析と、凍土・生態過程を組み込んだ陸面モデルの改良・検証を進めてそれらを統合し、その気候帯・植生帯ごとへの適用によって永久凍土の変化過程を統合的に理解し体系化する。

3. 研究の方法

本研究は、永久凍土の広域評価に向けて各分野(4グループ)の成果を統合し、最終的に全体のモデル化・地理情報化を達成する、自然地理学をベースとした学融合的な体制をとる。4グループの分担は、植生・凍土相互作用研究(太田・小谷)、水文・凍土相互作用研究(檜山・石川)、空間分布研究(石川・齊藤)、広域評価モデル研究(朴・飯島)である。

シベリア・モンゴルにかけての植生、土壌有機層、土壌熱特性(伝導率、比熱)のパラメータデータを編集・整備する。森林タワーにおける凍土の集中観測データ解析と、活動層内の水文過程解析から熱・水・炭素循環と凍土(活動層)変動の応答関係を定量化し、凍土の安定性を観測ベースで明らかにする。凍土地温・土壌水分の分布型観測データと、マイクロ波衛星データを組み合わせ、凍土変動の空間特性を明らかにする。植生・凍土過程の生物物理的表現を改良・検証し、パラメータデータと現地観測データに基づく凍土変動特性の陸面モデル実験を行う。そのパフォーマンスを確認したのち、空間特性のデータを取り入れて東ユーラシアの主要な植生景観、地形条件に基づく永久凍土の現在気候条件における安定性の評価を行い、地理情報化して取りまとめる。

4. 研究成果

(1) 植生・凍土相互作用研究

東シベリア・ヤクーツク周辺では、2005~08年の気候湿潤化によって、カラマツを優占種とする北方林の上層木が枯死・衰退する現象が起きた。この期間には、永久凍土表層の活動層が深くなり土壌水分が過剰となる状態が複数年継続しており、活動層内の土壌環境が変わることで起きた「湿潤ストレス」がこの森林荒廃をもたらしたと考えられる。本研究では、湿潤ストレスを受けたスパスカヤパット・カラマツ林における、異常な湿潤状態の発生から10年間の活動層および植生の変化過程を地上観測により明らかにした。

1998年から継続されている地温と土壌水分のプロファイル測定によると、気候湿潤化後2009年から平年並みに戻った降水と夏季

蒸発散により活動層表層は乾燥傾向にあるが、約 60cm 以深の活動層下部は気候湿潤化以前よりも湿潤な状態が維持され、さらに季節融解速度が増加していた。林分スケールの活動層厚調査から、気候湿潤化直後（2009 年）には微地形の谷や平滑面で深くなっていた活動層は、その後 10~20cm 程度浅くなり凍土が回復していたのに対し、微地形の斜面上部や尾根上の比較的浅い活動層は逆に 10~20cm 程度深くなり、この傾向はその後も維持されている状態が明らかとなった。

気候湿潤化で活動層厚が比較的大きくなった凍土面の谷部には、湿潤ストレスによると考えられる葉量を落としたり（一部は未着葉）カラマツの成木が集中していた。一方で、カラマツ成木のギャップとなる場所にはカンバやヤナギが分布し、気候湿潤化を契機に、これらの低木やカラマツ稚樹の成長と耐湿性をもつ草本の侵入が顕著にみられた。このような下層植生の発達、表層土壌水分の増加による乾燥ストレスの低減と、上層カラマツの葉量減少に伴う林内光環境の向上によるものと考えられ、気候湿潤化後から現在に至るまで、下層群落の総一次生産量と生態系呼吸量は増加し続けている。一方、スパスカヤパットと同様の樹種構成であるエルゲイ・カラマツ林では、降水量や土壌物理性の違いから活動層内の水分が多くなり、同期間に湿潤ストレスによる森林荒廃が顕在化しなかった。多雨夏や融雪後に湛水することの多い活動層の浅い場所にはカンバやヤナギ、比較的活動層が深い場所にカラマツが立地しており、湿潤環境への適応の一端と考えられる。

以上のような活動層土壌水分や植生の経年変化は、森林群落スケールの水・炭素循環を変化させると考えられる。群落スケールのフラックスに対して相対的寄与の大きなカラマツへの湿潤ストレスの顕在化による機能低下で、群落蒸発散の効率をあらゆる表面コンダクタンスや総一次生産量の土壌水分への応答が低下した。しかし、成長する下層植生の寄与の増大を原因として、生産量の低下は枯死発生直後にとどまっている。活動層の変化に対して森林構成種が異なる応答をすることで、森林生態系全体のレジリエンスが高められたと考えられるが、活動層下部の凍土面付近には土壌水分が蓄積される状態が続いており、今後再び降水量が増加する場合には、2000 年代と同様の活動層湿潤化および森林荒廃を引き起こす可能性があり、引き続き注視が必要である。

（2） 水文 - 凍土相互作用研究

永久凍土帯の南限域に位置するモンゴルでは、近年、湧水の枯渇や流出量の減少が顕在化しており、凍土融解によって地下水に急激な変化が生じている可能性がある。そこで本研究では、永久凍土を地温だけでなく水の観点から捉え、永久凍土融解の実態把握を行

い、水文トレーサーを用いた永久凍土の脆弱性を調査した。研究対象地域は、ユーラシア永久凍土帯南限で凍土と湧水の分布が良く対応しているモンゴル・ハンガイ山脈とその周辺域である。研究対象地域に点在する複数の湧水を採取し、水試料をモンゴルから輸送し、名古屋大学で前処理した後、(株)地球科学研究所でトリチウム濃度と CFCs (CFC-12, CFC-11, CFC-113) 濃度を定量した。

水試料の分析と解析の結果、ハンガイ山脈の北麓と南麓に点在するサーモカルスト (Chuluut および Galuut) で得られた湧水のトリチウム濃度と CFC-12 濃度は非常に低く、地下水の融解水を主な起源とする湧水であることがわかった。一方、サーモカルストに付随しない湧水のトリチウム濃度と CFC-12 濃度は比較的高く、近年の降水により涵養された比較的若い湧水であることがわかった。ただし、ハンガイ山脈南部に位置する Bayanbulag 村の唯一の水源地である湧水年代は比較的古く、地下水の融解水がかなり多く混合している可能性が示唆された。

東シベリアの湧水を調べた Hiyyama et al. (2013) の研究と比較した場合、モンゴル・ハンガイ山脈周辺域の湧水年代は非常にバラエティーに富み、地下水融解水起源の古い地下水が湧出しているものもあることから、地下水水文学的観点において、地球温暖化の影響を受けやすい脆弱な地域であることがわかった。

（3） 凍土変動の空間分布解析研究

サーモカルスト沈降の評価

サーモカルストの微地形とその発達を計測するためには、従来の航空機・衛星リモートセンシングでは空間解像度が不十分であり、また現地計測では面的な計測に限界がある。そこで本研究では、小型無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle) による近接リモートセンシングの利点を活かし、サーモカルストの微地形の空間分析を行った。

対象としたのは、レナ川右岸のチュラブチャに位置する空港跡地 (3.0 ha) と耕作放棄地 (6.3 ha) である。チュラブチャ周辺は広域的なサーモカルストが顕著であり、両対象地域もソ連崩壊後の 1990 年代以降にサーモカルスト発生した場所である。また両対象地域は約 2.5 km 離れており、同一の段丘上に位置する。現地に置いて、DJI Phantom4 を用いて対地約 100 m から写真を撮影した。また、Reach RTK を用いて地上基準点を測量した。データは Agisoft Photoscan Pro による SfM 多視点ステレオ写真測量を用いて処理し、空間解像度 4.0 cm のオルソ画像と、空間解像度 8.0 cm の数値地形モデルを得た。得られたデータからサーモカルストのポリゴン (High-centered polygon) の空間分布を計測し、サーモカルストに伴う沈降量を推定した。

その結果、空港跡地では 174 個のポリゴン

が分布していた。平均直径は 11.6 m、平均面積は 111.2 m² であり、分布密度は 57.6 個/ha であった。また沈降は最大で 2.0 m に達し、空間平均は 0.6 m であった。推定される沈降速度の最大値と空間平均は、それぞれ 7.6 cm/year と 2.1 cm/year であった。耕作放棄地では、867 個のポリゴンが分布していた。平均直径は 7.4 m、平均面積は 46.8 m² であり、分布密度は 137.8 個/ha であった。また沈降は最大で 3.2 m に達し、空間平均は 1.1 m であった。推定される沈降速度の最大値と空間平均は、それぞれ 11.9 cm/year と 3.9 cm/year であった。

両対象地域は近接し地形・地質、気候条件はほぼ同様であり、また 1990 年代以降にサーモカルストが発達した場所である。それにもかかわらず、ポリゴンのサイズと分布には違いが見られた。特に耕作放棄地は空港跡地と比較して、ポリゴンのサイズは 1/2 であり、また分布密度は 2 倍であった。両対象地域ではアイスウェッジの分布が異なっており、その結果、サーモカルストの発達とそれに伴う地形変化が異なっていることを示唆している。また対象地域の周辺で長期観測されたサーモカルストに伴う沈降は 1.5-7.0 cm (1992-2016 年、地点データ) であり、本研究の結果とも調和的である。このことは、小型無人航空機を用いた近接リモートセンシングによる面的なサーモカルストの地形計測の有用性を示している。サーモカルストの発達は時空間的に不均一であることが知られており、小型無人機を用いた長期観測によって、サーモカルストに伴う土地荒廃のリスク評価を行うことが今後の課題となった。

モンゴル凍土分布状態の評価

2000 年代初めよりモンゴルの永久凍土帯をほぼ網羅するよう計 80 地点にて深度 10 ~ 30m までの地温の観測網を構築してきた。ここ数年になって十分な質・量のデータが利用できるようになった。これに基づいて同国永久凍土の様態(深さ、活動層厚、温度、季節融解深、気候応答性)やその地域性を解明した。

年平均地温(MAGT) 地温勾配をみると、MAGT が-3 を下回るような寒冷で安定した永久凍土は連続的分布域であっても、アルタイ・ハンガイ山脈の高標高域や同国最北部のフスグールといった地域に限られる。その他ほとんどの地域では永久凍土は不安定な状態で、MAGT は 0 に近くまた昇温傾向にある。永久凍土境界部のいくつかの観測地点ではタリク(永久凍土中の未凍結層)が確認された。

活動層厚や MAGT はモンゴル国土規模で見ると、気温と良い相関があるが、点在・孤立的永久凍土帯になるとばらつきが大きくなる。このことは、孤立点在域では植生・土壌湿度・斜面方位といった地域的な地理条件の地温への影響が気候(気温)に対し相対

的に高いことを示している。

MAGT が-1 を上回る温暖な永久凍土では、地温が年振幅する深度(Depth of zero annual amplitude)が浅く、地表部での温度変化が深部に伝わりにくい。すなわち、地表面と活動層底部との地温差(Thermal offset)から、永久凍土は北部寒冷域では気候条件によって駆動され(climate-driven permafrost)、中南部温暖域では生態系によって駆動され(ecosystem-driven permafrost)形成されていることが示された。

フスグール及びハンガイ山脈を対象に、深層地温の連続観測値と多地点での浅層地温観測値を目的変数に、地形(斜面方位・傾斜、集水度)、植生、緯度、高度といった地理生態要素を説明変数とした多変量解析によって、両者の関係を定式化した。永久凍土分布を支配する要因を解明するとともに永久凍土の分布を図化した。

フスグールでは、永久凍土の有無を決める支配要因として緯度の違いが相対的に高い。その一方で、ハンガイ山脈では標高の効果が大きい。前者では永久凍土の分布様式は極域永久凍土のそれに、後者ではアルプスや北米中緯度高山帯に見られる山岳永久凍土に類似する。

以上の結果に基づき、モンゴルの永久凍土分布を高い解像度で描きなおした。ハンガイ山脈では、斜面方位や標高の依存性や、盆地や湿地に選択的に分布する形態を再現した。これは従来の環北極域永久凍土分布図(IPA-Map)では表現されていなかったモンゴル永久凍土分布の特徴である。

これまでの寒冷圏陸面の環境研究において、永久凍土は遍在するにもかかわらず、その情報の提示は極めて限られることがほとんどであった。本研究では統計的有意性にも言及できる多くの実観測値を提示したうえで永久凍土の様態・分布を解明した。これを基に今後、同国で顕在化しつつある永久凍土荒廃と生態系サービス劣化の実態・要因の包括的な理解が可能となる。

(4) 広域評価モデル研究

地表面熱・水収支、及び植生の生化学的応に基づいた陸面過程モデルは、温暖化する気候の中での凍土の変化と関連する諸過程を適切に評価・予測できるように改良が進められている。しかし、実際の観測値と比較した場合、ほとんどのモデルは活動層を過大評価、年平均地温を過少評価する傾向を示す。これらのバイアスは、モデル内のパラメータ、入力強制データなどの相違による影響以外に、地表面の断熱プロセスに対するモデルの不足を表す。水・熱フラックスに対する土壌有機物の影響は既にモデル化されたが、地表面上に存在するコケ層の断熱効果が考慮されていない。そのため、陸面過程モデル CHANGE において水・熱に対するコケ層の影響をモデル化して、ティクシ観測サイトに

そのモデルを適用した。

地表面のコケ層の被覆により、夏季の最大地温は 1.1-2.6 低下して、活動層が 15-33cm 浅くなることを確認した。活動層が浅くなることは、植物が利用できる土壌水分量が相対的に少なくなり、植物の生産活動が低下することを意味する。実際、コケ層の被覆によって植物の総生産量が $20 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 低減した。これらの結果は、極域における水・熱プロセスに対するコケ層の役割を強調する一方、現行での多くの陸面過程モデルによる将来予測の結果は過大評価の可能性であることを示唆する。

寒冷圏陸域の地温に対する積雪の断熱効果は大きい。温暖化の中、シベリアにおいて積雪増加による永久凍土の温暖化が観測されている。地温に対する積雪の寄与を評価するため、降雪量と降雪のタイミングに変化を与えるモデル実験を陸面モデル (CHANGE) によって行った。その結果、地温に及ぼす積雪変化の影響は、季節凍土域より永久凍土域 (北緯 $60-78^\circ$) また冬季より秋季において顕著であったことが明らかになった (Park et al., 2015)。真冬の積雪深が深いため、積雪が変化しても地温に及ぼすその影響は、積雪が少ない秋季に比べて大きくない。一方、凍土域は冬が長く、降雪量が少ない。そのため、地温に対する積雪の影響が大きい。

20 世紀において凍土の地温が上昇トレンドにあることを陸面モデルで実験し、検証した。その上昇には気温上昇の影響だけではなく、積雪増加の影響もある。多重回帰の統計手法を用いて地温に対する気温と積雪の寄与度を評価した。気温と積雪の両者間の影響は取り除いた。季節凍土域では地温に対して気温の影響が著しく、気温が主要影響因子であったことが分かった。永久凍土域で積雪の影響は気温と等しいか、上回っていた結果が得られた (Park et al., 2015)。温暖化の中、極域の積雪の増加が予測されている。気温上昇の影響に積雪の断熱効果が加わることによって永久凍土の衰退は強まることが予想される。本研究からは、永久凍土の熱環境に対して積雪がいかに重要であるかを明らかにすることができた。

<引用文献>

- Hiyama, T., K. Asai, A.B. Kolesnikov, L.A. Gagarin, and V.V. Shepelev (2013): Estimation of the residence time of permafrost groundwater in the middle of the Lena River basin, eastern Siberia. *Environ. Res. Lett.*, 8, 035040
- Park H., A.N. Fedorov, M.N. Zheleznyak, P.Y. Konstantinov, and J.E. Walsh (2015) Effect of snow cover on pan-Arctic permafrost thermal regimes. *Clim. Dyn.*, 44, 2873–2895

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 7 件)

Iijima, Y., H. Park, P. Ya. Konstantinov, G. G. Pudov, A. N. Fedorov, Active layer thickness measurements using a handheld penetrometer at boreal and tundra sites in eastern Siberia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 査読有 2017, 28, 306–313. DOI: 10.1002/ppp.1908

Park, H., Y. Yoshikawa, D. Yang, K. Oshima, Warming water in Arctic terrestrial rivers under climate change. *Journal of Hydrometeorology*, 査読有, 2017, 18, 1983-1995. DOI:10.1175/JHM-D-16-0260.1

Hiyama, T., H. Fujinami, H. Kanamori, T. Ishige, K. Oshima, Recent interdecadal changes in the interannual variability of precipitation and atmospheric circulation over northern Eurasia, *Environmental Research Letters*, 査読有, 2016, 11, 65001. DOI: 10.1088/1748-9326/6/065001

Iijima, Y., T. Nakamura, H. Park, Y. Tachibana, and A. N. Fedorov, Enhancement of Arctic storm activity in relation to permafrost degradation in eastern Siberia. *International Journal of Climatology*, 査読有, 2016, 36, 4265–4275. DOI:10.1002/joc.4629

Dashtseren, A., M. Ishikawa, Y. Iijima, and Y. Jambaljav, Temperature regimes of the active layer and seasonally frozen ground under a forest-steppe mosaic, Mongolia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 査読有, 2014, 25, 295–306.

Iijima, Y., T. Ohta, A. Kotani, A. N. Fedorov, Y. Kodama and T. C. Maximov, Sap flow changes in relation to permafrost degradation under increasing precipitation in an eastern Siberian larch forest. *Ecohydrology*, 査読有, 2014, 7, 177–187. DOI: 10.1002/eco.1366

Ohta T., A. Kotani, Y. Iijima, T.C. Maximov, S. Ito, M. Hanamura, A.V. Kononov. A.P. Maximov, Effects of waterlogging on water and carbon dioxide fluxes and environmental variables in a Siberian larch forest, 1998 – 2011. *Agricultural and Forest Meteorology*, 査読有, 2014, 188, 64-75. DOI: 10.1016/j.agrformet.2013.12.012

〔学会発表〕(計 7 件)

Ishikawa, M., Y. Iijima, A. Dashtseren, Y. Jambaljav, S. Miyazaki 2018. Multiple-scaled permafrost observations over Mongolia. The fifth International Conference on Arctic Research, Hitotsubashi-Kodo, Tokyo, Japan, 17 January, 2018 (Poster).

Iijima, Y., H. Park, H. Saito, P.Y. Konstantinov, N.B. Basharin, A. N. Fedorov, 2017. Hycentered polygon development during recent decade in central Yakutia, Russia. The 2nd Asian Conference on Permafrost, Sapporo, Japan, 5 July, 2017 (Oral).

Saito, H., Y. Iijima, A. N. Fedorov, 2017. Detection of thermokarst developments using UAV and SFM-MVS photogrammetry. The 2nd Asian Conference on Permafrost, Sapporo, Japan, 5 July, 2017 (Oral).

飯島慈裕, 齋藤仁, 藤岡悠一郎, 後藤正憲, 中田篤, 高倉 浩樹, 2017. 東シベリアで永久凍土荒廃が引き起こす景観変化: 地域社会との認識と行動に向けて. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ 千葉, 2017年5月22日(招待講演)

Hiyama, T., H. Fujinami and K. Suzuki Decadal changes in the atmospheric water cycle and the terrestrial water storage in Northern Eurasia, JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (日本地球惑星科学連合 2017年大会), 幕張メッセ, 2017年5月20日、口頭(招待講演)

飯島慈裕, 檜山哲哉, 高倉浩樹, 2016. 「永久凍土と文化」からみる、環境変動研究の協働. 地球惑星連合大会, 幕張, 2016年5月22日.(招待講演)

Iijima, Y., T. Nakamura, H. Park, Y. Tachibana, A. N. Fedorov, 2015. Climatological conditions of enhanced Arctic storm activity in relation to permafrost degradation in eastern Siberia. AGU Fall Meeting 2015, San Francisco USA, 15 December 2015. (招待講演)

〔図書〕(計 3 件)

檜山哲哉・藤原潤子(編) 京都大学学術出版会、環境人間学と地域 シベリア - 温暖化する極北の水環境と社会、2015、511

檜山哲哉(分担執筆) 風媒社、草原と都市 - 変わりゆくモンゴル(石井祥子・

鈴木康弘・稲村哲也 編) 2015、192-194

飯島慈裕・佐藤友徳(編) 飯島慈裕・石川守、檜山哲哉、小谷亜由美、朴昊澤(分担執筆) 日本気象学会、気象研究ノート第 230 号 北半球寒冷圏陸域の気候・環境変動、2014、

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ: 観測データ(一部)の公開
<http://ads.nipr.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯島 慈裕 (Iijima, Yoshihiro)
三重大学・生物資源学研究所・准教授
研究者番号: 80392934

(2) 研究分担者

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

太田 岳史 (Ohta, Takeshi)
名古屋大学・生命農学研究科・教授
研究者番号: 20152142

小谷 亜由美 (Kotani, Ayumi)
名古屋大学・生命農学研究科・助教
研究者番号: 80447242

齋藤 仁 (Saito, Hitoshi)
関東学院大学・経済学部・准教授
研究者番号: 00709628

朴 昊澤 (Park, Hoatek)
国立研究開発法人海洋研究開発機構・
北極環境変動総合研究センター・
ユニットリーダー代理
研究者番号: 10647663

檜山哲哉 (Hiyama, Tetsuya)
名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授
研究者番号: 30283451