

## 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25年6月28日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2009～2012

課題番号：21680057

研究課題名（和文） 永久凍土荒廃地図の作成とそのモデル化

研究課題名（英文） Permafrost degradation mapping and modeling.

## 研究代表者

飯島 慈裕（IIJIMA YOSHIHIRO）

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・主任研究員

研究者番号：80392934

研究成果の概要（和文）：近年、東シベリアにおいて、気候の急速な湿潤化が進行している。本研究は、現地観測の展開によって、永久凍土地域の土壌水分量が増加し、同時に地温上昇・表層部の永久凍土融解（活動層厚増加）が顕著に進行し、さらに植生・地形の変化がもたらされた一連の凍土荒廃の物理・生態的プロセスを明らかにした。さらに、衛星データ解析から湿潤化による凍土環境荒廃状況について、その時空間分布の地図化手法の開発と検証を行った。

研究成果の概要（英文）：Wet climate with largely increased in precipitation during summer and snow accumulation during winter had continued in eastern Siberia. In the present study revealed that soil moisture in the active layer had been significantly increased corresponding with thawing of permafrost near the surface, and the perennially water-logged active layer furthermore exacerbated the boreal forest habitat, namely withered and dead forests widely extended in this region. In addition, the study attempted to extract the region of degraded boreal forest in relation to permafrost degradation based on the analyses of satellite data. The method combining field survey and satellite analyses exhibited great possibility to detect permafrost and forest degradation caused by wet climate in eastern Siberia.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	9,500,000	2,850,000	12,350,000
2010年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2011年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2012年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
総計	20,800,000	6,240,000	27,040,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：気候

## 1. 研究開始当初の背景

東シベリアはユーラシア大陸の永久凍土分布の中心地域である。同時にこの地域は南部の山岳地域から北極圏のツンドラ地域にかけてカラマツを主要樹種とする北方林（タイガ）が広がっている。この東シベリアの内

陸地域、特にレナ川中流域では、2004年以降、継続して夏季降水量と冬季積雪量が大きく増加しており、それに対応して、永久凍土層の地表面付近の地温上昇と、夏に融解する地表面層（活動層）内の土壌水分が顕著に増加していることが、現地の長期観測によって

明らかになっている。

その結果、直近の 2006/2007 年冬季ではレナ川に注ぐ支流で、本来完全凍結しているはずの 12 月に河川流出が生じ、またアラスと呼ばれる永久凍土の融解に伴う沈降地形内に過去最大規模に水域が広がり、さらに過湿になったカラマツ林に枯死木が増えるなど、特異ともいえる現象が現れ始めている。東シベリアでの最近 10 年間の森林熱・水収支観測研究からは、最近数年間での土壌水分貯留の大幅な増加が示されており、陸面熱・水循環過程の変化も指摘されている。

この環境変化は、“気候湿潤化が凍土融解に密接に関与する”というこれまでにほとんど注目されていないプロセスによる『新しい凍土荒廃現象』と考えられる。IPCC(2007)の最新の報告によれば、シベリアなど北半球高緯度の大陸上では、温暖化に伴う降水量の増加が予測されている。東シベリアでこの数年間に起きている変化は、近年の北極海氷の急減とも同時的であり、すなわち影響予測に先行して出現している可能性が高い。しかし、実際陸面上で起きる現象については、依然として不明な点が多く、特にユーラシア寒冷圏では観測事実の情報が未だ十分でない。したがって、本研究で、現在の気候変動に回答した陸面環境変化をいち早く見出すことにより、新たに予測精度の向上・検証に大いに資する知見を提供できることになる。

従来、永久凍土の融解の進行は、地球温暖化（気温の上昇）の重要な指標として温暖化そのものと同義的に扱われてきた。しかし、最近の急激な地温上昇は単純な温暖化トレンドでは説明できず、降水パターンの変化を主要因とした水循環変動の一端として現れている。そのため、全く異なった視点からの寒冷圏陸面の気候変動研究が必要とされる。

まずは、湿潤化による陸面環境の変化がどのような規模で生じ、それがどのようなプロセスを通じて凍土荒廃を引き起こしているか、時空間的な過程を明らかにする必要がある。また、従来シベリアでは森林火災の頻発による凍土荒廃が数多く研究されており、それとの荒廃過程の違いも明確にする必要がある。以上のような変動の全体像の理解には各研究分野に絞らず、変化の総体を示す地理学的な統合した解析と地図化が極めて有効と考えられ、本研究を実施するに至った。

## 2. 研究の目的

以上の背景に基づき、本研究では、気象データ解析、現地の水文・気象・生態観測、衛星データ・GIS 解析を統合して、以下の 4 つのテーマから、気候変動に伴う永久凍土荒廃状況のプロセス理解とその地図化を達成することを目的とする。

①東シベリアの気候データ解析によって、気

候湿潤化の原因となる大気変動の実態と長期的気候変動の中での位置づけを解明する。  
②現地の地温・土壌水分・土壌物性観測によって、凍土荒廃現象を解明する。特に、湿潤化が地温上昇、永久凍土の融解を急速に進行させる熱・水循環のメカニズムを解明する。  
③衛星リモートセンシングと現地野外調査から、湿潤化に伴う地表面変化の空間分析を行い、地表面状態変化を地図化する。  
④以上の解析・観測結果を凍土モデルの改良として統合し、その広域適用によって凍土荒廃状況分布図を作成する。

## 3. 研究の方法

本研究では、東シベリアの代表的な連続的永久凍土分布地域であるレナ川流域を対象として、最近 10 年間での気候変動に伴う永久凍土荒廃状況の地図化を行った。H21 年度は観測機材準備と現地観測許可の申請を進めつつ、衛星データ、GIS 解析、気候変動解析によって地表面分類と凍土環境変動要因を解析した。H22-24 年度で現地観測による景観ごとの地温・土壌水分・土壌物性の測定を行い、景観ごとの凍土変化推定と検証を行った。H24 年度は、その結果を GIS 中でモデル化し、レナ川中流域での永久凍土荒廃状況図を作成した。

[調査地域]:

本研究は、東シベリア・レナ川中流域（北緯 50~80 度、東経 90~160 度）を観測研究対象地域とした。レナ川中流域のヤクーツク周辺は気候湿潤化による凍土融解が急速に進行しており、現象解明に理想的な場所であるとともに、10 年以上の観測サイトがすでに維持管理されている。

## 4. 研究成果

### (1) シベリア気候変動の気候データ解析

東シベリアでは、2004 年以降地温が急激に上昇しており、ヤクーツク近郊のポコロフスクでは、3.2m 深の年平均地温が 2006 年には  $-1.2^{\circ}\text{C}$  まで上昇した（1970-2000 年の平均は  $-2.2^{\circ}\text{C}$ ）。この現象は、レナ川中流域の左岸・右岸に海洋研究開発機構とロシア科学アカデミー・永久凍土研究所が共同で展開している地温観測点でも現れていた。この地温上昇の特徴は、2004 年以降で土壌水分量も同時に増加していることであり、これらの観測結果から、ヤクーツク周辺の領域では、土壌湿潤化が進行していると考えられた。

土壌水分増加の要因として、夏季の降水量と、冬季の積雪量の増加が影響していると考えられた。図 1 には、レナ川流域を中心とする北緯 50~75 度、東経 90~150 度の領域内の地上観測点における夏季降水量と最大積雪深の 2004 年~2006 年の偏差平均値の分布

を示す。まず、夏季降水量の $+σ$ を越える正偏差の大きな地点が、ヤクーツクを含む北緯65度付近のレナ川中流域から南部の山岳地域にかけて分布している。7月以降は陸面からの蒸発散量が年間のピークを超えて減少する時期であり、過剰な降水は表層土壤に浸透もしくは滞留しやすくなる。また、冬季の最大積雪深も、夏季降水量に比べて弱くなるものの、レナ川中流域から南部の山岳地域にかけての地点で正偏差となっている。積雪の増加は冬季の土壤凍結を抑える断熱的な効果で融雪水量の増加につながり、春の土壤の湿潤化と関係すると考えられる。これらの結果から、湿潤化はレナ川上流、中流域の広域にわたり現れている可能性がある。

図2には、2005~2007年の7~9月における短周期擾乱成分の変動を示す。強い正偏差の領域がシベリア中央部の北極海沿岸地域(75°N, 90°E)からレナ川中流域(60°N, 140°E)にかけて延びており、この地域の夏季降水量増加とよく対応している。擾乱成分の正偏差の強まりには、同期間におけるシベリア側の北極海上での非常に強い低気圧性偏差の存在が関係している。この時、水蒸気フラックスはシベリア中央部、北極海沿岸、オホーツク海からレナ川中流域へ向かって収束する傾向が見られた。

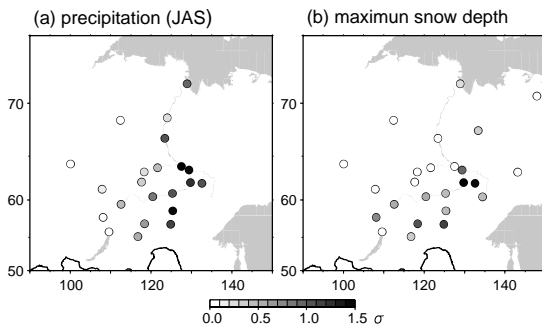


図1 東シベリア地上気象観測における2004年~2006年の(a)夏季(7-9月)降水量と(b)冬季最大積雪深の偏差分布図  
長期平均(1970~2007年)に対する標準化した偏差の平均値。負偏差の地点は白色。

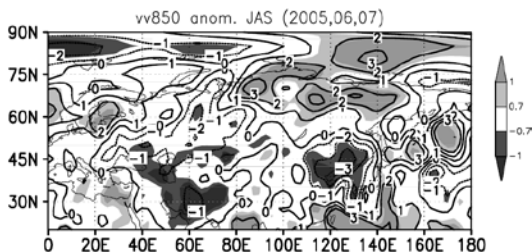


図2 2004年~2006年夏季(7-9月)の短周期擾乱(850hPa面)  
長期平均(1960~2007年)に対する偏差の平均値。等値線は短周期擾乱偏差の値[m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]を示し、陰影は標準化した値を示す。

## (2) 凍土荒廃現象の現地観測

東シベリアのヤクーツク周辺では、2004年以降の冬の積雪、夏の降水の異常増加によって、永久凍土表層の融解が進行して活動層が厚くなると共に、活動層内が急激に湿潤化した。この現象に伴い、カラマツを主要樹種とする北方林(タイガ)では、数年に及ぶ過湿土壤の影響を受けて、枯死する個体が目立ち始めた。

本研究課題では、ヤクーツク近郊のスパスカヤパッド研究林において、2006年(攪乱顕在前)と2009年(顕在後)のGranier法による樹液流測定結果から、気孔コンダクタンスの変化と、活動層湿潤化によるカラマツの攪乱後の蒸散活動の変化を明らかにした。

スパスカヤパッド研究林では、上層木はカラマツ(Larix cajanderi Mayr.)、林床はコケモモが優占していたが近年耐湿性の草本が多く侵入してきている。ここでは1996年から各種気象要素・乱流フラックスが計測されている。本研究では、2006年(攪乱顕在前)と2009年(顕在後)にGranier法による樹液流測定をカラマツ15個体で実施し、各個体の気孔コンダクタンスの変化を調べた。アロメトリー式から攪乱前の葉面積を仮定した単位葉面積あたりの蒸散量を基に、飽差が1kPaでの各個体の気孔コンダクタンスを算定し、蒸散能力変化の指標とした。また、地温と土壤水分の鉛直分布と、カラマツ林調査区内で活動層厚を測定し、枯死木分布との対応を調べた。

2004年以降の湿潤化・地温上昇がもたらす活動層厚の深化は微地形の起伏による空間的差異が大きかった。カラマツ林観測サイトの50x50mの調査区は、緩やかに北東に傾斜する平面上にあるが、微地形の谷・凹地形において、活動層厚が厚くなる傾向が明らかとなった。谷の中では、2009年の活動層厚が150cmを超え200cm近くに達した。地形面から活動層厚を引いた、永久凍土面の分布から、凍土面で谷となる場所で過剰な土壤水分が滞留し、そこに立地するカラマツは展葉しなくなり枯死する傾向が顕著である(図3)。

Granier法によるカラマツの樹液流測定結果から、2006年と2009年の7月15日~9月15日で約12%の流速の低下が確認された。飽差で基準化した気孔コンダクタンスを両年で比較したところ、2009年に大きく低下する個体が現れた。これらの個体は実際の葉面積が大きく低下したことが主因と考えられる(図4)。コンダクタンスの低下した個体で樹高15m以上の成木は、活動層が深化した位置に多く立地しており、過湿土壤の影響を強く受けていると考えられた。

同時期に渦相関法で測定されたカラマツ観測サイトの群落上と林床での蒸発散量から、2006年以降の群落全体の夏季の蒸発散量

が減少している様子が明らかとなった。一方、林床の蒸発散量には大きな差は認められないことから、カラマツ林からの蒸散の減少が、群落全体の蒸発散量減少に寄与していると推察できた。これは樹液流測定に基づく個体レベルの湿潤ストレスが広域的に及んでいる可能性を示唆している。

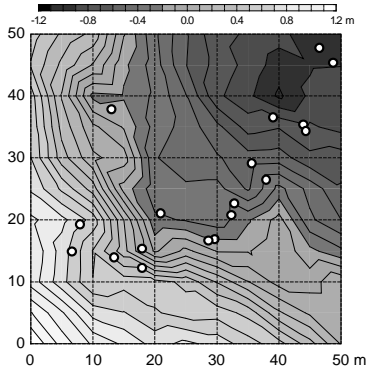


図3 ヤクーツク・カラマツ林の永久凍土面とカラマツの分布  
調査区は50x50m。2009年9月の活動層厚測定に基づく。等値線は10cm間隔の比高を示す。黒丸は枯死状態のカラマツを示す。

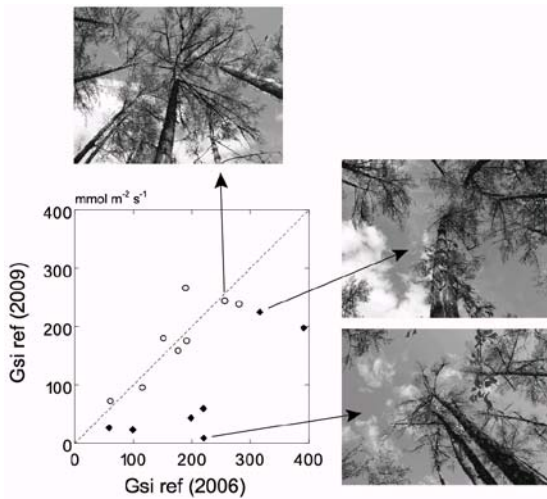


図4. カラマツ個体の気孔コンダクタンス変化  
Gsirefは各個体の樹冠気孔コンダクタンスの飽差1kPaにおける値。Gsirefは2006、2009年夏季の樹液流観測に基づく。-20%以上の大きく低下した個体(◆)は過湿によりダメージを受け、葉面積を減らしている(写真参照)。

### (3) 地表面状態変化を地図化、さらに凍土荒廃状況分布図を作成

上記で明らかにしたように、東シベリア・レナ川中流域では、2004年冬以降、冬季の積雪と夏季の降雨が例年に無く増加した湿潤的な気候が3年間継続した。その結果、永久凍土表層の融解を伴って活動層(地表面直下の凍結融解土壌層)が厚くなると共に、活動層内の土壌水分量が大幅に増加した。この土壌の過剰な湿潤化によって、谷や平坦地、アラス周辺といった水が集まりやすい地形では、長期的に湛水状態が継続する事態となっ

た。その結果、湛水した地表面上では、その上に成立する北方林(タイガ:カラマツを優占種とする)の生育環境を悪化させ、森林の荒廃が進行した。これら一連の現象の連鎖は、気候湿潤化に伴ってレナ川中流域に広域的に生じていると考えられる。すなわち、過湿な地表面と森林が枯死・荒廃した地域を特定することによって、この湿潤気候の期間に進行した永久凍土荒廃現象の空間的広がりが示されることになる。

以上の観測・解析結果に基づき、ヤクーツク近郊のレナ川右岸・左岸での衛星データ解析と現地調査結果を用いて、湿潤化による水域の拡大状況と、それによる永久凍土・活動層変化を伴う北方林変化域の抽出を試みた。

レナ川中流域で活動層内土壌水分の過剰な湿潤化が進行した2006~2009年の夏季のALOS-PALSARおよびAVNIR2画像を利用した。研究対象地域は、レナ川左岸のスパスカヤパッド地域と、右岸のユケチ地域である(図5)。

PALSAR画像データは、ジオコーディングとノイズ軽減の平滑化処理を行った後、マイクロ波の後方散乱係数の閾値に基づく水域(地表面の湛水地域を含む)の教師付分類を行い、複数年度の水域分布の変化を抽出した。また、同期間のAVNIR2画像から、土地被覆状態として、草原と北方林の教師付分類を行い、同様に複数年度の分類図から、北方林が草原に変化した領域を抽出した。

レナ川左岸スパスカヤパッド地域は、地下水が少ない砂質ロームからなる河岸段丘上に北方林が広がっており、永久凍土融解に伴うアラス湖沼は少ない。この地域では、2006~2009年にかけて段丘を刻む谷筋に沿って水域が拡大し、その谷筋に森林の変化域が抽出された。これは、左岸では谷や地形的に平坦になった地域の土壌水分飽和度が高く、カラマツが選択的に枯死していた現地観測結果とよく一致した。

一方、レナ川右岸ユケチ地域は、凍土氷を多く含む平地が広がり、アラス湖沼の密度が非常に高い。そこでは、同期間にアラス湖沼の面積が拡大し、湖沼の周囲を囲むように、森林の変化域が広がる様子が抽出された(図6)。右岸では閉鎖水域のアラス湖沼に多くの融雪水と降水が流入し、水域面積が拡大すると共に縁辺部の永久凍土が融解して崩壊した斜面でカラマツが倒伏、枯死しており、この解析結果もこれらの現地の観察状況とよく一致した。

以上から、ALOS衛星データによる、水域・森林変化域を抽出し複合させる手法によって、湿潤化が永久凍土、森林荒廃をもたらす一連の現象を広域的に捉えることができ、地形や凍土状態の異なる地域で特徴的な荒廃状況を示すことが確認された。

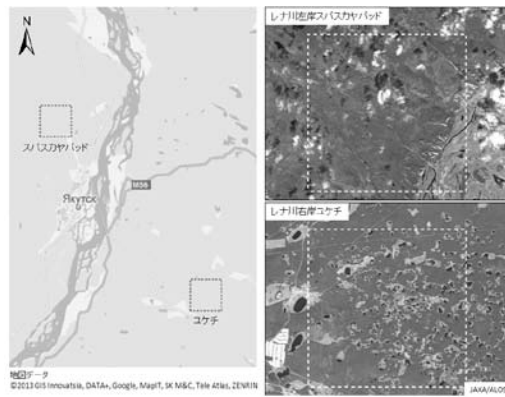


図5 スパスカヤパッド地域とユケチ地域

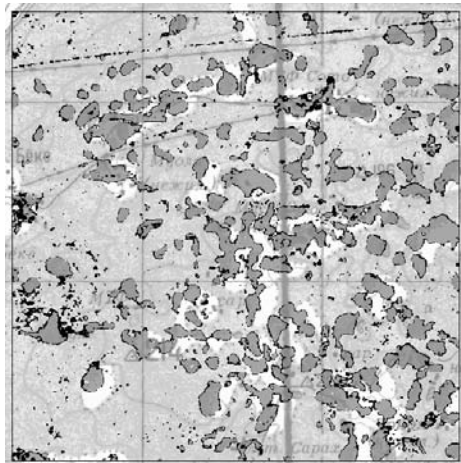


図6 ユケチ地域の水域変化(2009年9月の水域(濃灰)と2007年9月からの拡大域(黒)を示す。)

## 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9件)

① Iijima, Y., Sap flow changes in relation to permafrost degradation under increasing precipitation in an eastern Siberian larch forest. *Ecohydrology*, 査読有, 2013, in press.

DOI: 10.1002/eco.1366

② Fedorov, A. N., P. Gavriliev, P. Konstantinov, T. Hiyama, Y. Iijima, G. Iwahana, Water balance of thawing lakes in Central Yakutia during the last decades. *Ecohydrology*, 査読有, in press.

DOI: 10.1002/eco.1378

③ Ueta, A., A. Sugimoto, Y. Iijima, H. Yabuki, T. C. Maximov, T. A. Velivetskaya, A. V. Ignatiev, Factors controlling diurnal variation in the isotopic composition of atmospheric water vapour observed in the taiga, eastern Siberia, *Hydrological Processes*, 査読有, in press.

DOI: 10.1002/hyp.9361

④ Park, H., J. Walsh, A. N. Fedorov, A. B. Sherstiukov, Y. Iijima, T. Ohata, The influence of climate and hydrological variables on opposite anomaly in active layer thickness between Eurasian and North American watersheds. *The Cryosphere*, 査読有, 6, 2013, 631-645.

DOI: 10.5194/tc-7-631-2013

⑤ 飯島慈裕, モンゴル森林-草原斜面における凍土環境と水循環. *水文科学会誌*, 査読有, 42 2012, 119-130.

⑥ Iijima, Y., A. N. Fedorov, T. Ohta, A. Kotani, T. C. Maximov. Recent hydrological and ecological changes in relation to permafrost degradation under increased precipitation in Eastern Siberian boreal forest. The proceedings of 10th International Conference on Permafrost, 査読有, 1, 2012, 161-166.

⑦ Konstantinov, P. Y., A. N. Fedorov, T. Machimura, G. Iwahana, H. Yabuki, Y. Iijima, F. Costard, Use of automated recorders (data loggers) in permafrost temperature monitoring. *Earth Cryosphere*, 査読有, 15, 2011, 23-32.

⑧ Park, H., Y. Iijima, H. Yabuki, T. Ohta, J. Walsh, Y. Kodama, and T. Ohata. Coupled hydrological and biogeochemical model (CHANGE) and modeling of energy, water, and CO<sub>2</sub> exchange over a larch forest in eastern Siberia. *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 116, 2011, D15102.

DOI: 10.1029/2010JD015386

⑨ Iijima Y., Abrupt Increases in Soil Temperatures following Increased Precipitation in a Permafrost Region, Central Lena River Basin, Russia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 査読有, 21, 2010, 30-41.

DOI: 10.1002/ppp.662

[学会発表] (計18件)

① 飯島慈裕・A. N. フェドロフ・阿部このみ・伊勢紀・増澤直, 東シベリア・ヤクーツク周辺の永久凍土・森林荒廃の空間的特徴, 日本地理学会春季学術大会, 2013年3月30日, 立正大熊谷キャンパス, 埼玉.

② 飯島慈裕, A. N. フェドロフ, 阿部このみ, 伊勢紀, 増澤直, 東シベリアにおける湿潤化による永久凍土荒廃とカラマツ林変化. 第60回日本生態学会静岡大会, 2013年3月7日, 静岡コンベンションアーツセンター・静岡.

③ Iijima, Y., A. N. Fedorov, P. Y. Konstantinov, H. Park, Soil moisture and permafrost conditions at newly established Yakutsk-Villuy transect. Third International Symposium on the



Arctic Research, 2013年1月16日, 日本科学未来館・東京.

④ Iijima, Y., A. N. Fedorov, A. Kotani, T. Ohta, T. C. Maximov, Permafrost ecohydrological changes manifested by wet climate in eastern Siberia. AGU 2012 Fall Meeting, 2012年12月7日, Moscone Center, San-Francisco, USA.

⑤ 飯島慈裕, ユーラシア草原における干ばつメモリ. 日本地理学会秋季学術大会シンポジウム「ゾドと遊牧知」, 2012年10月7日, 神戸大学・兵庫.

⑥ 飯島慈裕・猪上淳・堀正岳・高谷康太郎, ユーラシア大陸冬季の寒気形成と接地逆転層の発達・衰退. 日本気象学会春季大会, 2012年5月26日, つくば国際会議場・茨城.

⑦ 飯島慈裕・小谷亜由美・太田岳史・T.C. マキシモフ, 東シベリアにおける永久凍土活動層の湿潤化と森林生態水文変化. 日本地理学会春季学術大会, 2012年3月28日, 首都大学東京・東京.

⑧ Iijima, Y., A. N. Fedorov, A. Kotani, T. Ohta, T. C. Maximov, and S. Vey, Eco-hydrological changes in relation to permafrost degradation under humidified conditions in central Yakutia. The 1st International Conference on “Global Warming and the Human-Nature Dimension in Siberia: Social Adaptation to the Changes of the Terrestrial Ecosystem, with an Emphasis on Water Environments”, 2012年3月6日, 総合地球環境学研究所・京都.

⑨ 飯島慈裕, 寒冷圏陸域の地温・土壌水分メモリ, 日本気象学会 第10回統合的陸域圏研究連絡会(招待講演), 2011年5月18日, 国立オリンピック記念青少年総合センター・東京.

⑩ 飯島慈裕・堀正岳・立花義裕, ユーラシア大陸の接地逆転層発達と寒気流出. 日本地理学会春季大会, 2011年3月29日, 明治大学・東京.

⑪ 飯島慈裕・小谷亜由美・太田岳史・T.C. Maximov 東シベリアにおける永久凍土活動層の湿潤化とカラマツの水利用変化. 第59回日本生態学会, 2011年3月9日, 札幌コンベンションセンター・北海道.

⑫ Iijima, Y., A. N. Fedorov, T. C. Maximov, Recent ecohydrological changes in relation to permafrost degradation in eastern Siberian Larch forest. 2010 AGU Fall Meeting, 2010年12月16日, Moscone Center, San-Francisco, CA, USA.

⑬ Iijima, Y., A. N. Fedorov, T. C. Maximov, Recent ecohydrological changes in relation to permafrost degradation in eastern Siberia. The second International Symposium on Arctic Research, 2010年12

月8日, 一ツ橋会館・東京.

⑭ 飯島慈裕・堀正岳・立花義裕, 2009-10年冬季のユーラシア大陸の寒気と接地逆転層発達. 日本気象学会秋季大会, 2010年10月29日, 京都テルサ・京都.

⑮ 飯島慈裕, 北ユーラシアの積雪変動から見た北極圏気候変動. 日本気象学会 極域・寒冷域研究連絡会(招待講演), 2010年10月27日, 京都テルサ・京都.

⑯ Iijima, Y., A. N. Fedorov, Y. Tachibana, and T. Ohata, Recent hydroclimatic changes in relation to permafrost degradation in eastern Siberia. The International Polar Year Oslo Science Conference, 2010年6月10日, Norway Trade Fairs, Oslo, Norway.

⑰ 飯島慈裕, 東シベリアの気候湿潤化による永久凍土活動層と植生の変化. 日本地理学会春季学術大会, 2010年3月27日, 法政大学・東京.

⑱ 飯島慈裕, 東シベリアにおける近年の気候変動に伴う凍土・水循環過程の変調. 日本気象学会秋季大会, 2009年11月25日, アクロス福岡・福岡.

〔図書〕(計1件)

① 飯島慈裕(共著者), 極圏・雪氷圏と地球環境. 二宮書店. 2010. 254.

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

無し

○取得状況(計0件)

無し

〔その他〕

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・北半球寒冷圏研究プログラム Web サイト

<http://www.jamstec.go.jp/rigc/nhcp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

独立行政法人海洋研究開発機構・

地球環境変動領域・主任研究員

飯島 慈裕 (IIJIMA YOSHIHIRO)

研究者番号: 80392934