

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26252021

研究課題名(和文) 東シベリア・レナ河における加湿状態が森林の蒸発散・光合成に与える影響

研究課題名(英文) Influences of forest evapotranspiration and photosynthesis under the humidification in the Lena river basin, eastern Siberia

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 29,800,000円

研究成果の概要(和文)：東シベリア・レナ河で2005年～2008年の急激な加湿状態における森林環境特性と森林蒸発散・光合成の影響について、森林生理学的反応(A反応)、森林生態学的反応(B反応)、凍土物理学的反応(C反応)、河川水文学的反応(D反応)毎に調べた。

その結果、A反応、B反応、C反応は加湿条件の影響が森林特性に表れ、加湿状態が進みすぎると蒸発散・光合成特性が減少し、森林特性が変化することが分かった。また、D反応については加湿状態による森林の反応がなく、これは流域流出量の発生場が原因と考えられた。

1つ小さなまたは大きなグループ間での相違は、蒸発散、光合成、永久凍土の違いにより認められた。

研究成果の概要(英文)：In the Lena river basin of eastern Siberia, the characteristics of forest evapotranspiration and photosynthesis are changed by forest environments in waterlogging during 2005-2008, and the influences of damages for waterlogging are studied in forest physiology (A), forest ecology (B), permafrostlogy (C), and river hydrology (D).

The influences of the responses for the A, B, and C processes were appeared by the characteristics of forests, and the evapotranspiration and photosynthesis are decreased by permafrost conditions in the waterlogging. The influences for the D response was not issued at all and was not changed by forest conditions in the waterlogging period. This phenomena is considered in the place of occurrence for the river discharge.

The influences of the responses for the smaller or the bigger groups are appeared by evapotranspiration, photosynthesis, and permafrost characteristics.

研究分野：森林気象水文学

キーワード：環境変動 北方林 加湿状態 カラマツ林 永久凍土

1. 研究開始当初の背景

今、地球では温暖化が進行している。その中で、森林は蒸発散・光合成によって大気と地表面間の水循環、炭素循環を支えている。森林が何らかの外力によって破壊されると、地球上の多くの生物にとって好ましくない状態になる。森林が乾燥状態に置かれるとどのように環境破壊を引き起こすかについては、多くの論文がある。しかし、日本の風上側に位置する東シベリアの森林は、近年、乾燥状態ではなく湿潤状態に置かれている。そして、森林における湿潤状態は、どのような影響を生態系にもたらすかについては、まだ明らかにはされていない。本研究は、東シベリア・レナ河における森林に対して湿潤化を環境変動として捉え、森林における「湿潤化による生態系の破壊」として、森林生理学、森林生態学、凍土物理学、河川水文学からの見方により現象の理解を深めようとするものである。

その上でなぜ東シベリアで、このような仕事を行うのかについて考えてみたい。広範な気候条件下での気象ネットワーク化は、ヨーロッパ、南北アメリカ、アジアなどで始まっている。その結果、ヨーロッパや北アメリカでは干ばつ熱波により森林生態系の破壊が報告されており、「乾燥化による生態系の破壊」が広がっている。そして、東シベリアでは先ほども述べたように、「湿潤化による生態系の破壊」が中心である。そして、地球温暖化による現象に対して、「乾燥化による生態系の破壊」のみでなく「湿潤化による生態系の破壊」にも明確な答えを得る必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、主に東シベリア・レナ河を中心とするカラマツ林における18年にわたる森林の蒸発散特性、光合成特性と森林環境特性の違いを中心に調べた。その一部は、レナ河全体における流出量の把握や日本におけるカラマツ林の樹木特性も含んでいる。

また、ヤクーツク周辺は2005年～2008年における急激な湿潤化により、森林をはじめとする陸域特性が変わってきていると考えられる。すなわち、1998年～2017年にわたる20年の間に、森林の植物生理学的側面、植物生態学的側面が変わってきたと考えられる。そして、これら両側面は永久凍土帯での土壌物理学的側面と河川流出水の発生場に関する問題へと発展してきているように思える。それらを考え、a)森林生理学的反応、b)森林生態学的反応、c)凍土物理学的反応、d)河川水文学的反応による研究目的は、以下ようになった。

a) 森林生理学的反応

個葉スケールでの蒸発量、光合成量の解析を生理応答解析によって求める。また、マイクロスケールのグラニエ型センサによる導管流計測システムを開発する。

b) 森林生態学的反応

このグループは、夏期の永久凍土が融解する活動層厚と蒸散量、光合成量の関係を導き出すことが目的である。そのために、複数の地点において、永久凍土の活動層厚と蒸発散量、光合成量の関係について調べる。このことにより、活動層厚の変動幅の大小と蒸発散量、光合成量の大小の関係が導かれる。

c) 凍土物理学的反応

このグループは、植生、凍土の時間的変動を、現地観測と衛星データで得られる広域データを用いて、植生、気候帯で異なる地域での生態系と水循環の特性の変動を評価する。そして、湿潤化による生態系の破壊に、どう関わるのかを理解する。

d) 河川水文学的反応

レナ河の植生が湿潤化による生態系の破壊を受け、レナ河の流出量にどう影響するのかについての検討を加える。

3. 研究の方法

2. で述べた4つの反応を調べるために、次の4つの地域で「湿潤化による生態系の破壊」の影響を調べた。また、1つ上または下のグループとの連携も以下に述べる方法で調べた。

a) 森林生理学的反応グループ

栃木県北西部男体山の西斜面に、枯れ川サイトと対照区サイトをもうけた。標高は約1400m、平均気温7.1℃、平均降水量2236mm(1995~2014. 奥日光气象台)である。現地観測では、それぞれのサイトで稚樹5個体ずつから毎年の葉量、主軸生長量、当年長枝長さ、短枝長さ等を調べた。また、室内実験として光合成量測定(CO₂濃度:400ppm、気温:25℃、湿度:80%程度)を行った。

また、マイクロスケールのグラニエ型センサによる導管流計測では、プローブ長1mm、プローブ径0.3mmのプローブを作成し、東京大学においてセンサ出力-流速関係の実験を行った。

b) 森林生態学的反応グループ

ロシア・東シベリアに位置するスパスカヤ・パッド(以下,SPA)とエレグイ(以下,ELG)で、現地観測を行った。立地条件は、SPAが標高220m、平均気温-8.7℃、平均降水量230mmである。ELGは標高225m、平均気温-8.8℃、平均降水量290mmである(1986-2004)。気温は両者ほぼ等しいが、降水量はELGの方がSPAよりも20~30%高い。植生は、上層木は両者カラマツであるが、中低層木はSPAがカンバの方がヤナギよりも優勢だが、ELGでは反対の傾向にある。土質は、SPAは砂質ロームであり、ELGは沈泥質壤土である。

この2つのサイトでの測定項目は、タワー観測による蒸発散量、光合成量のほか、タワーを中心にした樹液流観測による単木蒸散量、簡易貫入試験による活動層厚の分布などである。

c) 凍土物理学的反応グループ

ロシア・東シベリアでヤクーツクおよびチ

ユラプチャにおいて、簡易貫入試験を行った。そして、活動層厚、土壌水分量、熱伝導率、熱容量が測定された。そして、降水量と地温変動との解析を行った。また、東シベリアにおける気候解析を行い、降水場、気温場、水蒸気圧場、気圧場そして地温場との関連が調べられた。

d) 河川水文学的反応グループ

レナ河全体のスケールを扱うために、2002年から2016年のGRACEの衛星データと再解析データGLDASを用いて、北極域の陸水貯留量の変動と流域流出量の解析を行った。

4. 研究成果

4-1. 各グループで得られた結果

a) 森林生理学的反応グループ

SPAで生育しているカラマツと同様のカラマツ個体を栃木県日光市で選び、そのカラマツの主軸や長枝の伸長量を計測したところ、冠水地ではそれらは抑制されていた一方で、短枝の密度を増加させることによって着葉量を維持していた。個体レベルの光合成能は、冠水地では抑制されていたが、窒素利用効率は維持された。これらは、冠水ストレスによる生産性の低下を補償する構造的・生理的機構と判断された。冠水地の葉の黄化は対照地よりも早い傾向にあり、冠水によって早期落葉が促進される可能性がある(Ichiihashi and Kobayashi, 2017)。

個葉蒸散速度の計測から、冠水地では気孔コンダクタンスを抑え水利用効率を高めている傾向が示唆された。従って、加湿条件では葉量の変動の有無にかかわらず導管流が低下している可能性がある。そこで、枝先レベルにおける導管流の計測を行った。予備実験において直径数mm程度の植物体を対象に流速の計測が可能であることを確認し、東シベリア観測のためのシステムを提案した。

b) 森林生態学的反応グループ

b-1) 湿潤化影響の顕在化したカラマツ林

(スパスカヤ・パッド SPA)

SPAでは、2005-2008年に豊水年となり、湿潤化が起こった。森林群落スケールでの表面コンダクタンスが2007年から、総一次生産量(GPP)が2008年から、土壌水分量(SWC)との応答が低下した(Ohta et al., 2014)。カラマツでは、加湿ストレスが翌年の葉量やシュート・樹冠の構造的な変化、それらに伴う光合成生産や蒸発散の機能的変化が検出される可能性があり、上記結果はそのような予測と矛盾しない。

湿潤期間後の2009年から夏期降水量が減少し、日射量、気温、大気飽差が湿潤期間に比べ高くなり、-20cmまでの表層SWCは低下したが、-20cm以下のSWCは湿潤な状態が維持された。また、カラマツ林内の下層群落では、この期間に生態系正味交換量(NEE)は放出から吸収に近づき、GPPと生態系呼吸量(ER)が増加した。加湿ストレスによって翌年以降の葉量が低下すると、1)カラマツの

NEE低下が生じる一方で群落全体ではERが増加し、それに連動したGPPの増加が生じ、2)林冠LAIの低下が下層への放射と下層群落の光合成生産を活性化させる、と言った現象が生じる可能性がある。

b-2) 湿潤度の異なるカラマツ林の比較

(スパスカヤ・パッド SPA とエレゲイ ELG)

SPAでは、群落の蒸発散・光合成フラックスの年々変動はSWCと変動があること、湿潤化前後では両者の関係の傾きが変化している(Ohta et al., 2014)。SPAよりもSWCが多く年変動幅が小さいELGでは、両フラックスとSWCとの相関は小さかった。両サイトともフラックスと土壌の活動層厚の相関は小さく、植物活動期に根の集中する深度よりも深く融解層の進行が進むと、根系層内に水が貯留せず、吸水を促進しない可能性が考えられる。

また、多雨夏と少雨夏におけるカラマツ蒸散(T)と森林蒸発散(ET)の変動に対する影響を解析した。両サイトの共通点は、地温(T_g)とSWCへの影響は、ETよりもTに現れる事であった。相違点としては、以下の点が挙げられる。SPAでは多雨夏にTとETの両方に対するSWCとT_gの影響が小さく、少雨夏に対してはTに対してT_gからの影響のみが現れた点である。SWCとT_gの異なる深度間の影響は小さく、SPAでは鉛直方向に不均質な土質、SWC分布が示唆された。ELGではSPAのような多雨年、少雨年に関する比較は出来なかったが、SPAとは異なりSWCとT_gの異なる深度間の影響があり、鉛直方向に均質な土質、SWC分布が示唆された。

c) 凍土物理学的反応グループ

気候データ解析により、東シベリアでは2004-2008年にかけて7-9月の夏期降水量の大幅な増加と、積雪の増大が連続して進行していた(Iijima et al., 2017)。これは、北極海に現れる気圧場のダイポール構造に伴うシベリア沿岸域の低気圧活動の強化と対応していた。ダイポール指標の長期変動から、低気圧強化は1998年以降に顕著であり、2004-2008年にピークとなっていた。そして、東シベリア上の水蒸気フラックスの収束が強まり、夏期降水量と初冬積雪が増加した。この湿潤期間に、ヤクーツク周辺地域のSWCは高くなり、活動層厚も深くなる変化が発生していた。

20世紀後半から現在にかけて、降水量とT_g変動との関係を現地観測結果から見た。冬期積雪とは常に正相関であるのに対し、夏期降水とは1990年代を境とし前半は負相関、後半は正相関になった。20世紀中は降水の多雨から少雨はその夏の冷夏から暑夏に対応しており、気温による影響を反映している。2000年以降は、多降水年かつ暑夏年の事例が増加しており、SWCの増加と合わせて気温上昇と複合してT_g上昇に関与していると考えられた。環北極域を対象にした陸面過程モデル(CHANGE)によるT_gと夏期降水量との関

係を見たところ、東シベリアの広範囲で同様に負相関から正相関に転じた地域が広がっており、降水に対する陸面環境応答が無視できない規模で広がっていることが示された。

2014-2015年にSPAとレナ川右岸(チュラブチャ)で実施した簡易貫入試験での活動層厚の調査から、2005-2008年の湿潤年から年月が経過しているにもかかわらず、活動層の下層(約1m以深)では湿潤な土層が維持されており、高い熱伝導率を示した。これは、長期的に気候湿潤期の影響が活動層内に保たれていることを示しており、活動層の深化(永久凍土の融解)が進みやすい土壌の物理的性質があることを示している。

d) 河川水文学的反応グループ

重力観測衛星 GRACE と再解析データ GLDAS を用いて、北極域の陸水貯留量の変動を推定した。2002-2016年にかけて夏期温暖化が北極ツンドラ域で進行し、蒸発散量の増加によって乾燥化が生じていた。北極域三大河川流域(レナ河、ユーコン河、マッケンジー河)を対象とした解析では、流域の80%以上が永久凍土帯のレナ河の場合、9月から翌年5月までの河川流出量と陸水貯留量には有意な正相関があるが、流域の20%程度が永久凍土帯であるマッケンジー河については両者に有意な関係はなかった。このことは、連続的に永久凍土が存在していることによって陸水貯留と河川流出には季節スケールでのメモリー効果が生じているが、不連続的にしか永久凍土が存在する場合にはSWCが速やかにETによって大気に戻るか、速やかに河川に流出することが考えられる。

本研究の中心であったレナ河中流域における加湿条件に着目した場合、2005-2008年まではレナ河中流域で陸水貯留量が全ての季節において増加しているものの、2002-2016年にかけての増加傾向は統計的に有意ではなく、2005-2008年までの加湿条件は一時的であることが分かった。

4-2. グループ間で得られた結果

a) 森林生理学的反応

森林生態学的反応

SPAにおけるカラマツ個体の蒸散コンダクタンスへの湿潤化の影響を見たところ、2006年から2009年に蒸散コンダクタンスが減少した個体は、葉面積量が減少している個体であることが分かった(Iijima et al., 2014)。日光市の冠水地のカラマツにおける生理的、構造的反応からは、軽度な冠水ストレスおよびそれに順化した条件では葉量の減少は必ずしも伴わず、光合成生産量や水利用効率を維持する傾向が認められた。一方、SPAでは葉量と蒸散コンダクタンスが低下しており、重度またはそれに順化できないストレスが生じていたものと判断できる。2009年夏期の降水量、気象要素の測定値は平年並みであり乾燥する夏となったが、2005-2008年の湿潤な活動層の影響が残り、土壌は湿潤で生育良好な個体にはス

トレスが小さかったと考えられる。2010-2015年の蒸散コンダクタンスの減少は、表層SWCの減少に対応すると考えられ、生育良好な個体は2006、2009年と同程度の蒸散コンダクタンスとなった。2015、2016年には、大気飽差が低いときの蒸散コンダクタンスが低下しており、SWCの減少に対するカラマツ個体の順化が進行し、大気飽差にかかわらず蒸散を抑制し水利用効率が改善している可能性がある。

b) 森林生態学的反応

凍土物理学的反応

東シベリア・ヤクーツク周辺の2005-2008年の森林荒廃は、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」と考えられる。

林分スケールの植生と活動層厚の空間分布について、活動層が比較的大きい場所はカラマツ成林の立地と重なり、SPAの湿潤年ではそのような場所でカラマツへの加湿ダメージが集中した(Iijima et al., 2014)。SPAにおいて、2014年9月に実施した活動層厚調査から2009年の湿潤年直後の結果と比較したところ、湿潤年間に微地形の谷や平滑面で活動層厚は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活動層は逆に10-20cm程度深くなっており、これは経年的なSWC移動による凍土構造の変化によるものと考えられた。SPAでは、活動層厚の比較的浅い(1m程度以浅)場所にはカンバやヤナギが立地し、湿潤年の地表面湛水と合わせてこれらの低木と林床の草本の成長が顕著に見られた。ELGでも活動層厚の浅い場所では地表面湛水が見られたが、カラマツの枯死には至っていなかった。また、SPAではフラックス観測サイト周辺1kmの範囲で植生や土壌タイプおよび地形に変動があり、これらに対応した活動層厚の変動が見られた。一方で、平坦で比較的均一なカラマツ林の広がるELGにおいては活動層厚の変動幅がSPAに比べて小さかった。以上のことから、植生、土壌タイプ、地形が変化している方が活動層厚に変動が見られ、その事がカラマツの加湿による生理過程の衰退に結び着いたと考えられる。

また、JAXAの地球観測衛星ALOS-PARSAR, ALOS2-PALSAR2を用いて、地表面の湛水状態の有無と植生変化との関係を解析する方法を、レナ河中流域において適用した。その結果、レナ河中流全体の約7%がストレスによる影響を受けており、森林荒廃が進んでいると考えられた。そこでは、枯死したカラマツのギャップが点在し、その林床ではカラマツ実生や草本類、低木層を構成するカンバやヤナギ類が生長していた。そして、従来のカラマツとコケモモを優占種とした単純な森林構造から新たな遷移過程となる様子が観察された。このように、地表下の構造が複雑に

なることで SWC の平面的な分布がより明らかになり、活動層厚の分布特性の空間的相違が生まれる可能性がある。

c) 凍土物理学的反応

河川水文学的反応

東シベリア・レナ河中流域では、2005 年以降気候湿潤化に伴い、地表付近の温度上昇による永久凍土の表層と凍土氷の融解(活動層の深化)に加えて、水域の拡大が進行した。その 1 つは、最終氷期以降の凍土融解に伴う地表面の沈降(サーモカルスト現象)で、形成されたアラスと呼ばれる凹地形の草原地形内において水域が広く拡大したことによる。一方で、現代の温暖化に伴い、凍土氷の融解と流出によって進行中のサーモカルストもレナ河中流域で広範に現れており、沈降とともに新たな湖沼が多数形成されつつある。これは、地下氷(エドマ層)が融解して形成された湖沼であるため、エドマ湖と呼ぶ。

レナ河中流域(右岸)のユケチ地域において、1940 年代～2010 年代までの経年的な航空写真判読による水域面積変動および現地の水域面積測定結果から、アラス湖とエドマ湖の違いによって、長期的な水域面積変動に違いがあることが判明した。アラス湖は、気象条件の違いによって、湿潤期には拡大を、乾燥期には縮小をするのに対して、エドマ湖は形成から一貫して面積を拡大し続ける傾向にある。その中で、2000 年以降の水域変化量は、1960 年代後半にあった湿潤期に次ぐ大きさである。1960 年後半当時と比べて温暖化傾向が強まっていることを考慮すると、凍結・融解と水域拡大が連動している時期に相当していると考えられる。また、レナ河全体の流出量と比較すると、流出量は 2002 年以降増加傾向を示しており、これは凍土物理学的反応グループが調べたエドマ湖の現象に一致する。このように、レナ河の流出量はアラスよりも深い層に存在しているのかもしれない。

サーモカルストによる湖沼の発達、地形変化を伴う凍土荒廃現象である。その進行は、凍土そのものの変化にとどまらず、生態系、水文過程、地域の気候変化を通じて現地の生活環境にまで影響が連鎖する(Crate et al., 2017)。また、その時空間的変動の理解は、本研究によって永久凍土の広がる寒冷圏にとり環境変動を予測する上で重要性が高いことが理解された。

計画開始当初は「湿潤化による生態系の破壊」と「乾燥化による生態系の破壊」という新しい観点からの比較も行うとなっていた。しかし、「乾燥化による生態系の破壊」に関しては時間がなく行えなかった。この点に関しては、今後の課題とする。

引用文献

Crate et al., 2017. Permafrost livelihoods: A

transdisciplinary review and analysis of thermokarst-based systems of indigenous land use. *Anthropocene*, 18, 89-104.

Ichihashi and Kobayashi. 2017. Growth and photosynthesis characteristics of invading larch sapling in an occasionally flooded dry steam bed in cool-temperate Japan. *Journal of Forest Research*, 22. 2017. 314-319.

Iijima et al., 2014. Sap flow changes in relation to permafrost degradation under increasing precipitation in an eastern Siberian larch forest. *Ecohydrology*, 7, 177-187.

Iijima et al., 2017. Active layer thickness measurements using a handheld penetrometer at boreal and tundra sites in eastern Siberia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 28, 306-313.

Ohta et al., 2014. Effects of waterlogging on water and carbon dioxide fluxes and environmental variables in Siberian larch forest, 1998-2011. *Agric. For. Meteorol.* 188, 64-75.

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)

Ichihashi R, Kobayashi T. Growth and photosynthesis characteristics of invading larch sapling in an occasionally flooded dry steam bed in cool-temperate Japan. *Journal of Forest Research*, 査読有. 22. 2017. 314-319.

Iijima Y, Park H, Konstantinov PY, Pudov GG, Fedorov AN. Active-layer thickness measurement using a handheld Penetrometer at boreal and tundra sites in eastern Siberia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 査読有. 28. 2017. 306-317.

Suzuki K, Matsuo K, Hiyama T. Satellite gravimetry-based analysis of terrestrial water storage and its relationship with runoff from the Lena River in eastern Siberia. *International Journal of Remote Sensing*, 査読有. 37. 2016. 2198-2210..

Kotani A, Kononov AV, Ohta T, Maximov TC. Temporal variations in the linkage between the net ecosystem exchange of water vapour and CO₂ over boreal forests in eastern Siberia. *Ecohydrology*. 査読有. 7. 2014. 209-225.

Ohta T, Kotani A, Iijima Y, Maximov TC, Ito S, Hanamura M, Kononov AV, Maximov AP. Effects of waterlogging on water and carbon dioxide fluxes and environmental variables in a Siberian larch forest, 1998 - 2011. *Agric. For. Meteorol.* 査読有. 188. 2014. 64-75.

〔学会発表〕(計 5 件)

Ono A, Yoneda A, Tao Y, Terao K, Takao H, Ichihashi R, Kobayashi T, Kataoka I, Shimokawa F. Macroscale phloem sap extraction sensor device for measuring biological information in plant branches. IEEE Sensors 2016. 2016年11月5日. USA. Hiyama T, Ohta T, Kotani A, Iijima Y. Park H. Changes in hydrologic cycle under current global warming in eastern Siberia. ILTS international Symposium on Low Temperature Science. 2015年11月30日. 北海道. Suzuki K, Matsuo K, Hiyama T. 12 years' changes of terrestrial water storage in Lena river basin, eastern Siberia detected by GRACE. ISAR-4. 2015年5月28日. 富山. Kotani A, Ohta T, Kononov AV, Maximov TC. Role of soil texture and canopy composition on evapotranspiration and CO₂ exchanges over larch forest. The 8th annual international symposium on "C/H₂O/energy" balance and climate over boreal and arctic regions with special emphasis on eastern Siberia. 2014年11月10日~13日, The Netherland. Iijima Y. Fine scale mapping of permafrost and forest degradation using ALOS image. Workshop on Permafrost Dynamics and Indigenous Land Use. 2014年4月6日~7日. Finland.

〔図書〕(計 2 件)

Hiyama T, Takakura H. Springer. Global Warming and Human-Nature Dimension in Northern Eurasia. 2017. 224.
飯島慈裕, 他. 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. 218.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

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

(2)研究分担者

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

(3)研究分担者

小林 剛 (KOBAYASHI Tsuyoshi)
香川大学・農学部・准教授
研究者番号: 70346633

(4)研究分担者

飯島慈裕 (IJIMA Yoshirihō)
三重大学・生物資源学研究科・准教授
研究者番号: 80392934

(5)研究分担者

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