

令和 3 年 5 月 28 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05735

研究課題名(和文) カシノナガキクイムシは寒冷地に適応してナラ枯れを北方高標高地へ拡大させるのか？

研究課題名(英文) Does the oak borer, *Platypus quercivorus* get cold resistance and make Japanese oak wilt expand to a northern high altitude place?

研究代表者

北島 博 (Kitajima, Hiroshi)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：70353662

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：カシノナガキクイムシ幼虫の過冷却点は、1月から3月にかけて有意に低下することを明らかにし、過冷却点が耐寒性の指標となることを示した。しかし、過冷却点の地理的変異は見られず、山形県の2月の最低気温が過冷却点の最高温度付近である $-12^{\circ}\text{C}$ を下回らないことから、過冷却点による越冬可能性地域の予測はできないと考えられた。一方、山形県内の異なる標高で越冬後の死亡率を調べた結果、標高の上昇につれて幼虫死亡率は高くなった。高標高域での死亡率の上昇は、積雪前の氷点下の出現が要因である可能性が考えられた。北海道渡島半島におけるナラ枯れ被害ポテンシャルマップを作成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カシノナガキクイムシの過冷却点は、1月から3月にかけて有意に低下することを明らかにしたことは、過冷却点による耐寒性の評価が可能であることを示した。しかし、青森から鹿児島までの個体群の過冷却点には有意な差が見られなかったことから、寒冷地への適応を議論するためにはさらに南の個体群での調査が必要であることも示した。一方、積雪前の氷点下の出現がカシノナガキクイムシの北方への分布拡大予測の要因の一つであるとの新たな知見を示した。北海道渡島半島におけるナラ枯れ被害ポテンシャルマップは、行政のナラ枯れ対策にも活用されると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Supercooling point of *Platypus quercivorus* larvae from January to March were significantly lower than that in September, October, November, December, and April. This result indicates that the supercooling point is an index of cold hardiness. However, no geographical variation of the supercooling point was observed. Moreover, the minimum temperature in February in Yamagata Prefecture was not below  $-12^{\circ}\text{C}$ , which is near the maximum temperature of the supercooling point. Therefore, it was thought that prediction of overwintering area of the beetle using supercooling point was not possible. On the other hand, as a result of investigating the mortality rate after overwintering at different altitudes, the larval mortality rate increased as the altitude increased. It was thought that the increase in mortality at high altitudes was due to the appearance of sub-zero temperatures before snowfall. We drew a potential map of Japanese oak wilt damage on the Oshima Peninsula, Hokkaido.

研究分野：森林害虫

キーワード：カシノナガキクイムシ 耐寒性 過冷却点 ナラ枯れ 被害ポテンシャルマップ

## 1. 研究開始当初の背景

ナラ枯れは、カシノナガキクイムシ（以下、カシナガ）が病原菌を運搬することで枯損が拡大する。1980年代後半の発生以来、被害地は拡大の一途をたどっている。

ナラ枯れの発生は、温暖化によって、南方系のカシナガが寒冷なミズナラ林へ侵入したことが一因ともされる（Kamata et al., 2002）。実際、岐阜県（大橋、2008）福島県（福沢ら、2013）および富山県（Nakajima and Ishida, 2014）の高標高地でも発生しており、今後の温暖化の進行に伴い、北方や高標高地など、寒冷地への被害拡大が懸念される。

寒冷地へのナラ枯れ拡大には、カシナガが冬季の低温で生存が可能であるか（以下、耐寒性）が重要となる。これまでに、被害丸太が積雪下であれば丸太内のカシナガの死亡率が上昇することが報告されているが（松浦、2011）新潟、山形、秋田各県はナラ枯れの激害地かつ豪雪地であり、積雪だけではカシナガの耐寒性の十分な説明はできないと考えられる。カシナガの耐寒性が不明であることは、越冬可能地域の推定を困難にしている。

害虫被害の広域ハザードマップの有用性は認知され、我々も本州以南の「ナラ枯れハザードマップ」に加え（Kondoh et al., 2015）翌年の被害拡大範囲を予測する「ナラ枯れリアルタイム予測システム」を開発した（山中・近藤、2014）。このシステムは、利用者がサーバー上のソフトウェアを操作して、被害データベースの作成や、このデータベースに基づく広域～狭域の被害拡大予測地図の閲覧ができるものであり、現在も行政の被害予防指針の策定に大きく寄与している。しかし、両者とも、カシナガの寄主であるコナラ属が広く分布する北海道では未着手である。このため、これらを北海道まで拡大することに加え、青森県、本州中部など寒冷地での精度を向上させることは、予測技術的にも、行政的にも意義が大きい。

## 2. 研究の目的

虫体が凍結する温度である過冷却点は、耐寒性の指標の一つとされ、凍結によって死亡する種では越冬可能地域の推定の重要な要素となっているほか、マツノマダラカミキリでは高緯度の個体群ほど過冷却点が低く、寒冷地へ適応していると考えられている（Tian et al., 2008）。一方、積雪下では0の状態が維持されるともされるため、耐寒性の評価には、0前後に長期間暴露した時の生存率の解明も必要である。

また、ナラ枯れでは、予防と初期防除が重要とされる。このため、「ナラ枯れハザードマップ」や「ナラ枯れリアルタイム予測システム」に、カシナガの寒冷地への適応や、寒冷地特有のナラ枯れの動態等の情報を組み込めば、寒冷地での被害拡大予測の精度を上げることができると考えられる。

これらのことから、本研究の当初の目的を、(1)カシナガの耐寒性の解明、(2)野外寒冷条件下での生存率の実証、(3)寒冷地特有のナラ枯れの発生動態の解明を行い、これらを既存の「ナラ枯れハザードマップ」と「ナラ枯れリアルタイム予測システム」に組み込むことで、(4)北方、高標高などの寒冷地へのナラ枯れ拡大予測の精度を飛躍的に向上させることとした。また、北海道へのナラ枯れの発生が危惧されることから、研究期間中に北海道南部のナラ枯れポテンシャルマップを作成することを目的に加えた。

## 3. 研究の方法

### (1) カシナガの耐寒性としての過冷却点

カシナガの主な越冬態である幼虫の過冷却点を、冬季を中心に測定した。過冷却点の測定には、熱電対データロガー（T and D コーポレーション製 MCR - 4 TC）に、銅 - コンスタント熱電対（二宮電線工業株式会社製、T タイプ L-700 ピニール被覆熱電対（T タイプ 0.32T-G））を接続して用いた。シリコンオイル（東レ・ダウコーニング株式会社製、HVG 高真空用グリース）を少量用いて、熱電対の先端に供試個体を付着させ、ガラス管（径 11 × 長さ 75mm）にシリコセンをしたものに収めた。このガラス管を、ポリスチレンフォーム（厚さ 20mm）で内張をした発泡クーラーボックス（175 × 230 × 高さ 180mm）に入れて、冷凍庫（福島工業株式会社製 FMF-038F1）に入れた。冷凍庫の温度を -15 ~ -30 まで適宜調節して、0 以下の温度下降が 0.2 /分 以下となるように温度を低下させた。その間に、虫体温度が急激に上昇した時の温度を過冷却点とした。

過冷却点が耐寒性の指標であるかを確認するために、山形県の個体群を用いて、過冷却点の季節変化を調べた。ナラ枯れ被害木を 2018 年 9 月に伐倒し、同年 9 ~ 2019 年 4 月に月 1 回森林総合研究所（茨城県つくば市）へ運搬した。運搬後、速やかに割材して幼虫を採集して、実験に供試した。過冷却点を測定後、幼虫の頭幅を実顕顕微鏡下で測定した。カシナガ幼虫の過冷却点の推移を、アメダスデータより取得した山形市の平均気温の推移と比較した。

ナラ枯れの北上に伴い、カシナガが寒冷地へ適応しているかを考察するために、青森県、岩手県、山形県、東京都、および鹿児島県のカシナガ個体群を用い、厳冬期である 1 ~ 2 月の幼虫の過冷却点を測定した。各地の幼虫の測定年度は、青森県と岩手県は 2019 年、山形県は 2015 年、2018 年、2019 年、2020 年、東京都は 2020 年、鹿児島県は 2015 年であった。カシナガには、大きく分けて日本海型と太平洋型の 2 タイプが存在するが、日本海型のみを対象とした。各地で被害木を伐倒後、森林総合研究所へ運搬し、上記と同様に幼虫を実験に供試した。

### (2) 野外寒冷条件下での生存率

山形県森林研究研修センター試験林内のナラ林で、2018 年 10 月 18 日にナラ枯れ被害木を伐

採した。伐根部は 20～30cm、樹幹は 40cm の長さに玉切り、丸太の保護と保湿のために 20 メッシュの網戸用ネットで被覆した。これらを冬季間静置するための気温や積雪環境が異なる 4 地点、すなわち、

標高 145m、山形県森林研究研修センター敷地内（センター）

標高 420m、山形県森林研究研修センター試験林内（試験林）

標高 820m、山形県立自然博物館内（ネイチャー）

標高 1100m、月山リフト駐車場付近国有林内（姥沢）

を選定した。標高 820m および 1100m では、ナラ枯れの発生は見られていなかった。

各地点に、それぞれ伐根 1、樹幹 4 の計 5 個を、同年 10 月 26 日に設置した。設置場所は、丸太が乾燥しにくい西日が当たらない場所を選び、被覆した丸太を地面に密着させた。設置する丸太の試験地における温度条件を測定するために、各試験地に設置する丸太のうち、伐根の被覆ネット内に温度ロガー（T and D コーポレーション製、おんどとり Jr）を 1 個入れた。

翌春、消雪後に回収した丸太から高さ 5cm 程度の円盤を切り取り、2019 年 5 月 10 日～5 月 23 日に割材して、円盤内の成虫・幼虫の生死を調べた。

### （3）北海道南部のナラ枯れポテンシャルマップの作成

環境省の植生調査データを用い、北海道南部のナラ類の分布地を推定する地図を作製した。この地図をもとに渡島半島を踏査し、地図の精度を確認するとともに、ミズナラの分布を中心にナラ枯れの危険度を考察した。

## 4．研究成果

### （1）カシナガの耐寒性としての過冷却点

図 1 に、2018 年 9 月～2019 年 4 月に測定した、山形県のカシナガ幼虫の頭幅と過冷却点との関係を示した。過冷却点は個体によるばらつきが大きかったが、幼虫のサイズとは特定の関係は見られなかった。このため、各地域個体群の過冷却点の平均値を、幼虫サイズを考慮せずに計算した。

図 2 に、山形市の 2018 年 9 月～2019 年 4 月までの平均気温の推移およびカシナガ幼虫の過冷却点の平均値の推移を示した。平均気温は 12 月から 1 月にかけて低かった。一方、過冷却点は 1 月～3 月にかけて有意に低くなり、特に 4 月の過冷却点の平均値は最も高かった。また、平均気温は 3 月には上昇するものの、過冷却点の平均値は 2 月と変わらなかった。これらのことは、カシナガが耐寒性を高めていることが過冷却点に表れていることを示唆し、したがって、過冷却点は耐寒性の指標になると考えられた。

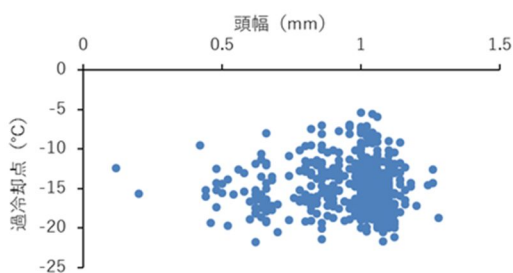


図 1 山形県の 2018 年 9 月から 2019 年 4 月のカシナガクイムシ幼虫の頭幅と過冷却点との関係

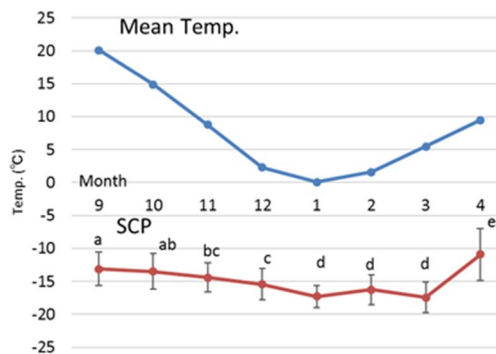


図 2 山形市の 2018 年 9 月から 2019 年 4 月の平均気温（上）と山形県のカシナガクイムシ幼虫の過冷却点の平均値（下）の推移

図 3 に、各地域個体群の幼虫の過冷却点の平均値を示した。また、図 4 に枯死木採集地の緯度と幼虫の過冷却点の平均値との関係を示した。各地域における過冷却点の平均値は、-16.3 ～ -20.0 と地域によってばらついた。しかし、緯度と過冷却点の平均値との間に相関関係は見られず ( $R=0.607$ )、緯度に依存する一定の傾向は見られなかった。また、山形県の個体群の過冷却点の平均値は、調査年度によって -16.4 ～ -18.6 とばらついた。このことは、幼虫の過冷却点が冬季の低温あるいは秋季から冬季の気温低下の程度などによって変動する可能性を示す。これらのことから、今回調べた地域内ではカシナガ幼虫の過冷却点には地理的変異はなく、寒冷地ほど過冷却点が低下することで耐寒性を高めているという適応は見られないと考えられた。

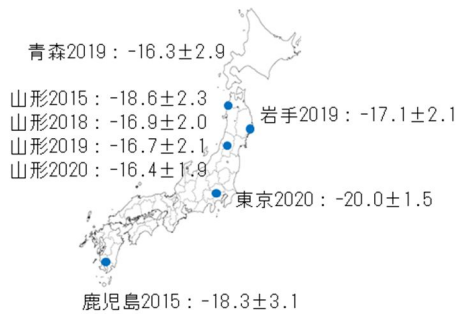


図3 カシノナガキクイムシ幼虫の過冷却点の地理変異(平均値±SD)

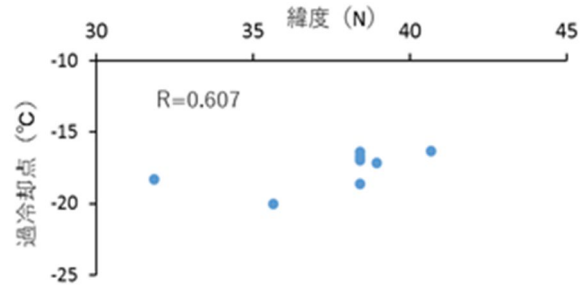


図4 緯度とカシノナガキクイムシ幼虫の過冷却点との関係

山形県では2月の最低気温平年値が-12以下になる地域はほとんどない。この温度はカシナガ幼虫の過冷却点より高いため、最低気温とカシナガの過冷却点との関係が、カシナガの越冬可能性を制限する要因ではないと考えられた。したがって、過冷却点を用いた「ナラ枯れハザードマップ」と「ナラ枯れリアルタイム予測システム」の向上は困難であると結論した。

(2) 野外寒冷条件下での生存率

図5に、異なる標高に冬季間静置した丸太内のカシナガの死亡率を示した。死亡率は標高が高いほど高くなり、標高と死亡率との間には相関関係が認められた( $R = 0.967$ )。

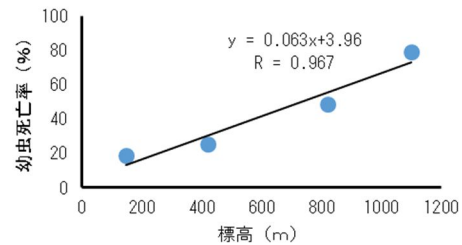


図5 異なる標高に冬季間静置した丸太内のカシノナガキクイムシの死亡率

図6に、冬季の丸太設置場所の日平均気温推移を示した。標高145mでは、12月から2月にかけても0から5の間を変動した。標高420mでは、12月の初旬から4月にかけて1から0にかけて徐々に温度が低下し、1月から3月にかけては温度が0付近で維持された。標高420m以上では、12月からは気温の変動がなくなり、積雪の影響があったことが推察された。それでも、標高420mでは標高820m以上よりも気温が高かった。また、標高1100mでは積雪前に氷点下に低下した日が見られたことが標高820mと異なった。

標高毎の気温とカシナガ幼虫の生存率との関係を考えて、冬季に0となる日が少なかった標高145mではカシナガ生存率が高く、積雪の影響を強く受けたと思われる標高820mでは標高420mより生存率が低くなったと考えられた。標高1100mの気温が標高820mと異なったのは、積雪前の氷点下の出現だけであり、このことがカシナガ生存率の低下に大きく影響したことが推察された。

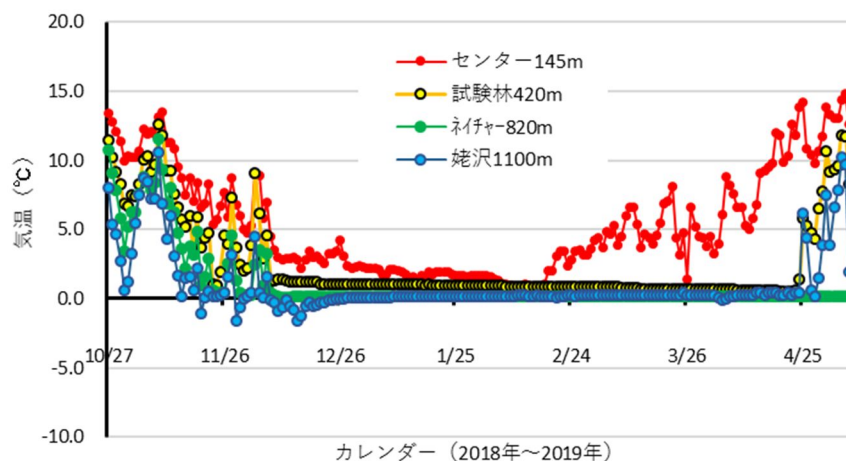


図6 冬季の丸太設置場所の日平均気温の推移

(3) 北海道南部のナラ枯れポテンシャルマップの作成

上記(1)から、過冷却点を用いた「ナラ枯れハザードマップ」と「ナラ枯れリアルタイム予測システム」の向上は困難であると結論したこと、(2)では積雪前の氷点下の出現がカシナガ生存率の低下に大きく影響したことが推察されたが、氷点下の出現の程度とその影響との関係は解明できなかったことから、研究目的の(3)寒冷地特有のナラ枯れの発生動態の解明、およ

び本研究で得られた知見を既存の「ナラ枯れハザードマップ」と「ナラ枯れリアルタイム予測システム」に組み込むことで、(4) 北方、高標高などの寒冷地へのナラ枯れ拡大予測の精度を飛躍的に向上させることについては計画を変更し、ナラ枯れ被害の北方への拡大を予測するため、今後、被害拡大が危惧されている北海道南部地方を中心に、被害発生ポテンシャルマップを作成した。

図7に、北海道南部のナラ枯れポテンシャルマップを示した。渡島・檜山・後志支庁管内では、ナラ枯れ被害を受けるミズナラは海岸部を中心に存在していた。これらの支庁の内陸部ではミズナラは少なくなり、ブナおよび針葉樹人工林が多く存在していた。胆振・石狩・空知支庁管内では、ミズナラを中心とした林分が広がっていた。樹種構成では、エゾイタヤやシラカンバと混交していたが、ミズナラが70%程度で優占していた。高標高になると、ミズナラは優占しているが、エゾイタヤの比率が高まるとともに、シラカンバにウダイカンバが混交していた。このように、北海道南部から中央部には、ミズナラを優占した林分が広がっており、ナラ枯れ被害拡大の潜在力は高く、嚴重に注意する必要がある。本課題で作成した、北海道南部から中央部の樹種分布を示したナラ枯れ被害ポテンシャルデータベースはナラ枯れリアルタイム予測システムにおける被害発生予測マップ作成の基礎データとして利用される。

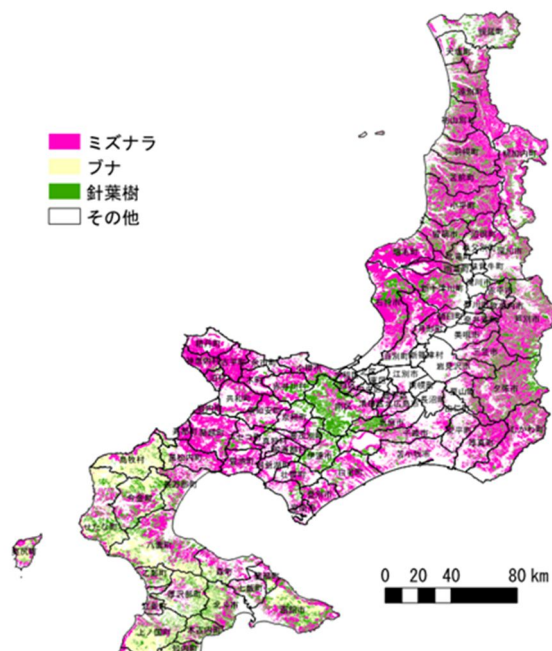


図7 北海道南部のナラ枯れポテンシャルマップ

<引用文献>

福沢朋子、逢沢峰昭、大久保達弘、栃木県周辺地域におけるナラ枯れの分布状況、宇大演報、49、2013、1-8

Kamata N., Esaki K, Kato K, Igeta Y and Wada K, Potential impact of global warming on deciduous oak dieback caused by ambrosia fungus *Raffaelea* sp. carried by ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae) in Japan, Bull. Entomol. Res., 92, 2002, 119-126

Kondoh H, Yamanaka T, Saitoh S, Shoda-Kagaya E, Makino S, Development of an early detection system for oak wilt disease in Japan, Agricultural and Forest Entomology, 17, 2015, 205-213

松浦崇遠、カシナガは雪に弱い?、「ナラ枯れ」Q&A、富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究レポート、2、2011、10

Nakajima H and Ishida M, Decline of *Quercus crispula* in abandoned coppice forests caused by secondary succession and Japanese oak wilt disease: Stand dynamics over twenty years, For. Ecol. Manage., 334, 2014, 18-27

大橋章博、岐阜県におけるナラ類枯損被害の分布と拡大、岐阜県森林研研報、37、2008、23-28

Tian J, Hao S-G, Kong W-N, Ma R-Y, Kang L, Cold tolerance and cold hardening strategy of the Japanese pine sawyer *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), Insect Sci., 15, 2008, 307-316

山中武彦、近藤洋史、最新 ICT を活用したナラ枯れリアルタイム被害発生予測システムの開発、森林防疫、63(6) 2014、36-39

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kenichi Ozaki, Akira Ueda, Sawako Tokuda, Hisayuki Wada & Hiroshi Kitajima	4. 巻 26(2)
2. 論文標題 First report of an ambrosia beetle, <i>Platypus quercivorus</i> , vector of Japanese oak wilt, in Hokkaido, northern Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/13416979.2020.1860453	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 北島博
2. 発表標題 カシノナガキクイムシの過冷却点の地域変異
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 斉藤正一・古澤優佳・千葉 翔
2. 発表標題 山形県において近年発生した森林被害
3. 学会等名 東北森林科学会第24回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北島博、斉藤正一
2. 発表標題 カシノナガキクイムシの過冷却点の季節変化
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	近藤 洋史  (Kondoh Hiroshi)  (10353690)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等   (82105)	
研究 分担者	齊藤 正一  (Saito Shoichi)  (80502583)	山形県森林研究研修センター・森林生態保全部・主幹   (81503)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------