

令和 4 年 9 月 2 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02978

研究課題名(和文) 海洋島における外来生物の侵略性：植物の栄養利用特性と生態系の土壌特性との相互作用

研究課題名(英文) Invasiveness of alien plants on oceanic islands: Interactions between nutrient use characteristics of plants and soil characteristics in an ecosystem

研究代表者

可知 直毅 (KACHI, NAOKI)

東京都立大学・理学研究科・客員教授

研究者番号：30124340

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：小笠原諸島の外来植物のアカギ、トクサバモクマオウ、ギンネムの侵略性について、植物の栄養利用特性と土壌の化学特性との相互作用に着目して検討した。特に、小笠原諸島母島においてアカギが侵略的となる要因として、アカギの栄養特性と土壌のリン濃度や酸性土との相互作用がかかわることを示唆した。また、3種の生息適地モデルの解析により、アカギはギンネム、トクサバモクマオウと比べて特有の環境要求性を持っていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小笠原諸島における侵略的外来植物について、その土壌養分要求特性に注目し、侵入先となる生態系を特徴づける成立要因とどのように相互作用するかを栽培実験、土壌分析、空間解析により検討した。本研究は、自然界での植物の分布における植物の土壌養分要求特性の役割を明らかにしたものであり、その成果は、小笠原諸島における外来植物の制御に直接貢献するだけでなく、植物栄養学に対しても新たな研究課題を提示できると期待される。

研究成果の概要(英文)：We investigated invasiveness of woody plants (*Bischofia javanica*, *Casuarina equisetifolia* and *Leucaena leucocephala*) which invaded on the Ogasawara Islands, focusing on interactions between their nutrient usage and soil chemical characteristics. Particularly, it was suggested that interactions between nutrient usage of *Bischofia javanica* and available soil phosphorus and soil pH are possible causal factors for the high invasiveness of the species on Haha-jima Island. Analysis of species distribution modeling of the three species revealed that *Bischofia javanica* has unique habitat requirements compared with the other two species.

研究分野：植物生態学

キーワード：外来生物 外来植物 海洋島 侵略性 土壌条件 小笠原

1. 研究開始当初の背景

一般に、侵入種の侵略性には、その種の繁殖特性と移動拡散能力（散布体圧 Propagule pressure）が大きくかわる。例えば植物においては、種子を多数生産し、それを広範囲に散布するという形質が侵略性と強く関連する。これら侵略性に関連する形質にもとづいて外来生物による影響をリスクとして事前に推定し、リスク値が高い種について、侵入を防ぐ努力ならびに侵入が確認されたら優先的に駆除を進めるという考え方が、外来生物に対する事前リスク推定である。

しかし、事前リスク推定で低リスクと判断された種であっても、深刻な被害をもたらす場合がある。世界自然遺産に指定され、外来生物対策に積極的に取り組んでいる地域である小笠原諸島において深刻な被害をもたらしている外来植物であるアカギは、既存のリスク推定手法によると、比較的 low リスクと評価される。逆に、高リスクと評価される種であっても、その影響が限定的となる場合もある。これらの傍証は、外来生物が侵略性を発揮する過程において、既存のリスク推定では説明できないメカニズムが存在することを示唆する。

2. 研究の目的

本研究では、海洋島である小笠原諸島において侵略的に振舞っているアカギ (*Bischofia javanica*)、トクサバモクマオウ (*Casuarina equisetifolia*)、ギンネム (*Leucaena leucocephala*) という3種の本木を用いて仮説を検証する。これら3種を比較することで、これまで考慮されてこなかった外来生物の侵略性を決める要因を明らかにできる可能性がある。そこで、「この違いは植物種の栄養利用特性と生態系の土壌特性との相互作用によって顕在化する」という仮説を検証する。

仮説1：植物の形質（土壌養分要求特性）と侵入先の生態系の土壌特性が一致する場合に侵略的となる

仮説2：植物の形質（土壌改変能力）によって侵入先の栄養塩環境が改変された結果、侵略性が発揮される

3. 研究の方法

(1) 実験および野外調査によるメカニズム検証

① 栽培実験（乾物成長）

媒島から採取した強酸性・貧栄養土壌を用いて、 CaCO_3 （以下C）、 H_3PO_4 （以下P）、 KNO_3 （以下N）を添加または添加しない計8処理（Control, P, N, PN, C, CP, CN, CPN）の土壌を調製し、各処理10ポットの条件でアカギとギンネムの栽培実験を行った。

② 栽培実験（栽培土壌のNとPの変化）

侵略的な外来木本が侵入先の土壌環境を変化させる能力の有無を調べるため、栽培実験後の土壌中の栄養塩（NおよびP）の分析を行った。

③ 栽培実験（植物体のNとPの濃度）

植物中各部位における栄養塩の動態を調べて個体成長における各栄養塩の重要性を評価するため、燃烧法による全窒素の分析、およびICP-OESによるPとKの含有量分析を実施した。

④ 3種が優占する土壌の特性

Hiradateら（2015）を参照し、小笠原諸島において3種が優占する地域、存在しながらも優占しない地域、未侵入地域それぞれの表層土壌の化学的特徴を整理した。

⑤ トクサバモクマオウの侵入が土壤水分環境に及ぼす影響

トクサバモクマオウの優占度およびその時間変化と土壤含水率の時間変化との関係を明らかにするため、トクサバモクマオウの優占の程度が異なる森林における 2007 年と 2019 年の植生データおよび 2019 年から 2 年間計測した表層土壤の含水率データを用いて解析を行った。

(2) 空間解析によるパターン検証

アカギ、ギンネム、トクサバモクマオウの分布データから生息適地モデルを構築し、侵入成功に関わる環境要求性と土壤環境の関係を検討した。3 種の生息適地モデルを地形要因という安定的かつ土壤環境に影響しうる要因で構築し、予測結果と実際の分布の関係および、3 種の生息適地モデル間の違いを考察した。

4. 研究成果

(1) 実験および野外調査によるメカニズム検証

① 栽培実験（乾物成長）

アカギ、ギンネムともに強酸性（pH 4.7）で貧栄養の土壤条件（Control, P, N）では実生の成長量が小さく、富栄養の土壤条件（PN, CPN）ではいずれの土壤 pH（4.7 あるいは 6.6）でも成長量が大きかった（図 1）。2 種ともに栄養塩添加や土壤 pH の変化が実生の成長量に有意な効果が認められた。栄養塩間の交互作用にも有意な効果があり、P と N の両方が添加されたとき、どちらか単独の場合に比べてより高い成長を促した。

アカギは、N 添加区以外では、土壤 pH を 4.7 から 6.6 に上昇させても成長量は有意に増加しなかったことから、アカギは土壤酸性に対して広く適応していると考えられた。一方、ギンネムは、土壤 pH を 4.7 から 6.6 に上昇させると、栄養塩無添加区、P のみ添加区、および N のみ添加区において成長量が有意に大きくなったことから、土壤酸性によって広く生育抑制を受けていることがわかった。しかし、P と N が豊富に存在する場合には、土壤酸性による生育抑制は受けなくなり、成長量も大きくなることがわかった。このことから、ギンネムは酸性土壤では広く生育抑制を受けているが、P と N が豊富に存在すれば蔓延するリスクが高まると考えられた。

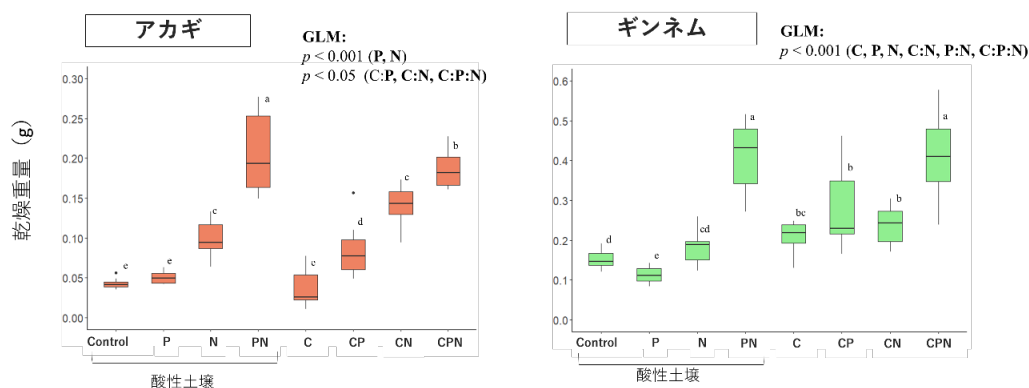


図 1 アカギ・ギンネム栽培実験の結果（植物体全体）

異なる alphabet は多重検定の有意差を示す (Welch t-test, Bonferroni method, $p < 0.05$)

② 栽培実験（栽培土壤の N と P の変化）

栽培実験後の土壤中全窒素含量は、 KNO_3 を添加したことによる増加は認められなかった。ギンネムでは、植物体が土壤酸性による生育障害を受けにくい C, CP, CN で土壤中全窒素含量がやや低下する傾向があった。ギンネム栽培後の土壤中可給態リン酸量は、P 無添加区内では差が無く、P 添加区では植物体が土壤酸

性による生育障害を受けにくいCP、CPNで低下した。このことから、ギンネムは、土壤中の窒素やリンを可給化する能力は高くないと判断された。一方、アカギでは全ての処理で土壤中全窒素含量は同等であった。また、アカギ栽培後の土壤中可給態リン酸量は、P無添加区内では差が無く、P添加区ではアカギの生育が最も旺盛なPN区で有意に増加していた。このことから、アカギは土壤中可給態リン酸を増加させる可能性が考えられた。酸性土壌中では、リン酸は鉄やアルミニウムによって強く吸着された状態として不可給化されやすいが、アカギはこのような土壌中のリン酸を積極的に可給態へと変換させている可能性がある。

③ 栽培実験（植物体のNとPの濃度）

ギンネムの栽培実験においては、葉中N濃度は1.3~2.6%の範囲内にあり、葉中P濃度は0.05~0.83%の範囲内にあった。最もギンネムの成長量が大きかったCPN区で、葉中N濃度が1.33%、葉中P濃度が0.05%と、本実験中では最低濃度レベルにあった。このことから、ギンネムの成長にはNとPの両方が十分に高い体内濃度（N:1.3%、P:0.05%）に達している必要があり、いずれかが不十分だと、それによってギンネムの成長量が制限されるものと考えられた。

アカギの栽培実験においては、葉中N濃度は1.1~2.3%の範囲内にあり、葉中P濃度は0.06~0.16%の範囲内にあった。最もアカギの成長量が大きかったPN区およびCPN区で、葉中N濃度が1.8~2.3%、葉中P濃度が0.08~0.14%であり、これらがアカギの成長に必要な体内濃度であると考えられた。ギンネム同様、アカギでもその成長にはNとPの両方が十分に高い体内濃度（N:1.8%、P:0.08%）に達している必要があり、いずれかが不十分だと、それによってギンネムの成長量が制限されるものと考えられた。

④ 3種が優占する土壌の特性

アカギは、土壤中可給態リン酸含量が高い土壌に出現しやすかった（図2）。また、土壌pH(H₂O)が低く土壌酸性が強い土壌にも分布していた。アカギは、母島において優占し蔓延している場所が散見されるが、父島においては分布していながらも優占・蔓延していなかった。トクサバモクマオウは、弱酸性~中性域の土壌に分布しやすく（図2）、土壤中可給態リン酸含量の高い環境は要求していないと考えられた。トクサバモクマオウは、弱酸性である海岸沿いの崖など土層の薄い場所にも分布することから、養分吸収能力および水分吸収能力が高く、貧栄養的な環境でも生育できると考えられた。一方で、強酸性土壌には分布しにくいと考えられた。

アカギは、土壌pH(H₂O)が弱酸性~弱アルカリ性域の土壌にも分布できるものの、可給態リン酸含量が低い環境では、優占・蔓延できるほど旺盛に生育できない可能性が考えられた。可給態リン酸含量が高い環境では、アカギが侵入・優占・蔓延することで土壤中可給態リン酸含量が低下し、土壌環境が貧栄養化することで、生態系を大きく変質させる恐れがあると考えられた。

⑤ トクサバモクマオウの侵入が土壌水分環境に及ぼす影響

乾燥期間における表層土壌の体積含水率の最小値のばらつきは、体積含水率の初期値、森林タイプ、乾燥期間の日数および二次の交互作用によって有意に説明された。体積含水率の初期値、最小値および初期値あ

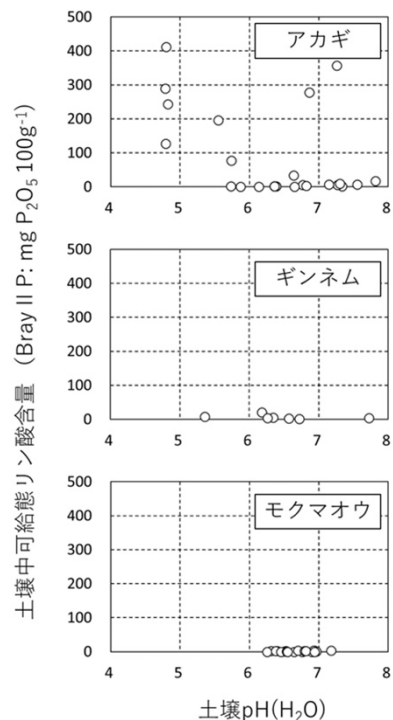


図2 アカギ、ギンネム、モクマオウが分布する土壌の土壌pH(H₂O)値および土壤中可給態リン酸含量 (Bray II P) 値。

たりの最小値は、モクマオウ林のほうが在来林よりも小さい傾向がみられた。体積含水率の初期値あたりの最小値は乾燥期間の日数が長くなるにつれて低下する傾向がみられた。測定期間中の乾燥期間（1日の降水量が10mm以下の10日以上連続した期間）における表層土壌の体積含水率の最小値は、各森林における2007年と2019年のモクマオウの胸高断面積合計（バイオマスの指標）および2007年と2019年の胸高断面積の差（バイオマスの増加量の指標）と有意な負の関係がみられた。これらの結果は、トクサバモクマオウの優占は乾燥に伴う表層土壌中の水の消失を促進する可能性を示唆する。

また、トクサバモクマオウのBAおよびその増加の程度と乾燥期間における土壌含水率の最小値との間に負の関係がみられたのは、トクサバモクマオウの優占が高まることで乾燥に伴って土壌からの水の消失が促進されたことによる可能性が考えられた。

(2) 空間解析によるパターン検証

モデルの予測精度を示すAUCは、アカギが0.771、ギンネムが0.785、トクサバモクマオウが0.739と、一定の予測精度を示した。構築した3種の生息適地モデルを図3に示す。全体的な傾向として、アカギは生息適地が局所的、ギンネムとトクサバモクマオウは全域に広がっていた。アカギは海からの距離が、ギンネムとトクサバモクマオウは標高が最も重要な要因であった。また、ギンネム、トクサバモクマオウともに海からの距離が2番目に重要な要因であった。

3種の生息適地モデルを静的な要因から検討した結果、アカギはギンネム、トクサバモクマオウと比べて特有の環境要求性を持っていることが示唆された。アカギについて最も重要な環境要因である海からの距離は、波による浸食作用や塩の影響を通して土壌の性質に影響する可能性がある。

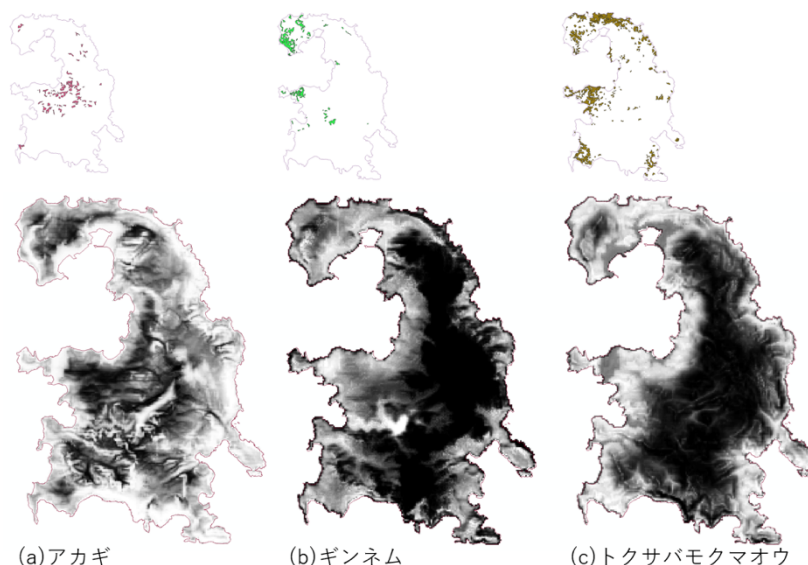


図3 アカギ (a)、ギンネム (b)、トクサバモクマオウ (c) それぞれの生息適地モデル

色が濃いほど存在確率が高いことを意味する。上部の小さい地図は実際に各種が生育していた地点を示す。

<引用文献>

Hiradate, S., Morita, S., Hata, K., Osawa, T., Sugai, K. & Kachi, N. (2015) Effects of soil erosion and seabird activities on chemical properties of surface soils on an oceanic island in Ogasawara Islands, Japan. *Catena*, 133, 495 - 502.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Sato, N.	4. 巻 23
2. 論文標題 Recent control of invasive alien animals in the Bonin Islands	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Global Environmental Research	6. 最初と最後の頁 9-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

1. 著者名 Osawa, T.	4. 巻 23
2. 論文標題 Establishing a strategic management plan for alien invasive plants in the Ogasawara Islands	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Global Environmental Research	6. 最初と最後の頁 21-28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

1. 著者名 Hiadate, S.	4. 巻 23
2. 論文標題 Properties of soils of the Ogasawara Islands: Keys to understand past nature and find adequate management for future	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Global Environmental Research	6. 最初と最後の頁 29-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

1. 著者名 Hata, K.	4. 巻 23
2. 論文標題 Loss of ecosystem functions caused by severe disturbances in the Ogasawara Islands can limit restoration: Implications for a new framework of practical restoration of disturbed ecosystems after eradication of feral goats	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Global Environmental Research	6. 最初と最後の頁 37-44
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

1. 著者名 Hata, K., Osawa, T., Hiradate, S. and Kachi, N.	4. 巻 27
2. 論文標題 Soil erosion alters soil chemical properties and limits grassland plant establishment on an oceanic island even after goat eradication	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Restoration Ecology	6. 最初と最後の頁 333-342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/rec.12854	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 -

1. 著者名 Osawa, T., Akasaka, M. & Kachi, N.	4. 巻 21
2. 論文標題 Facilitation of management plan development via spatial classification of areas invaded by alien invasive plant	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biological Invasions	6. 最初と最後の頁 2067-2080
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10530-019-01958-2	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 -

1. 著者名 Yoshida, K., Hata, K., Kawakami, K., Hiradate, S., Osawa, T. & Kachi N.	4. 巻 413
2. 論文標題 Ecosystem changes following the eradication of invasive species: Evaluation of various eradication scenarios by computer simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ecological Modeling	6. 最初と最後の頁 108831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecolmodel.2019.108831	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 -

1. 著者名 畑 憲治・可知直毅	4. 巻 86
2. 論文標題 海洋島における野生化ヤギ駆除後の生態系の変化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 森林科学	6. 最初と最後の頁 7-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 平館俊太郎	4. 巻 47
2. 論文標題 北硫黄島に分布する土壌	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ogasawara Research	6. 最初と最後の頁 61-72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Onozuka, M. & Osawa, T.	4. 巻 195
2. 論文標題 Utilization potential of alien plants in nature-based tourism sites: A case study on <i>Agave americana</i> (century plant) in the Ogasawara Islands	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ecological Economics	6. 最初と最後の頁 107362-107362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecolecon.2022.10	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 -

1. 著者名 小野塚瑞季・大澤剛士	4. 巻 45
2. 論文標題 小笠原父島における外来植物アオノリュウゼツランの利用可能性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 小笠原研究年報	6. 最初と最後の頁 29-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 畑 憲治・川上和人・阿部 真・可知直毅
2. 発表標題 小笠原諸島における外来樹木の侵入と駆除に伴う土壌含水量と植物群集構成の変化
3. 学会等名 日本生態学会第66回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 臨・平舘俊太郎・畑 憲治・大澤剛士・可知直毅
2. 発表標題 小笠原における外来樹木アカギ・ギンネムの侵略性：土壌化学特性に対する反応の種間差
3. 学会等名 日本生態学会第68回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 斎藤星花・和田信一郎・森 裕樹・平舘俊太郎
2. 発表標題 小笠原諸島・媒島および父島に分布する土壌の分散性
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2021年度北海道大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 畑 憲治
2. 発表標題 海洋島における侵略的外来木本種の侵入に伴う土壌水分環境と森林動態との関係
3. 学会等名 日本生態学会第69回大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 可知直毅	4. 発行年 2021年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 196
3. 書名 世界自然遺産小笠原諸島：自然と歴史文化（第8章、第11章）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

海洋島外来生物侵略ホームページ
<https://www.comp.tmu.ac.jp/bioinvasion/>

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	大澤 剛士 (OSAWA Takeshi) (40554332)	東京都立大学・都市環境科学研究科・准教授 (22604)	
研究分担者	平舘 俊太郎 (HIRADATE Syuntaro) (60354099)	九州大学・農学研究院・教授 (17102)	
研究分担者	畑 憲治 (HATA Kenji) (60468147)	日本大学・商学部・准教授 (32665)	

	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
研究協力者	佐藤 臨 (SATO Nozomu)		

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
---------	---------