

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01369

研究課題名（和文）航空レーザーデータを活用した森林の根系発達の推定と斜面崩壊予測に関する研究

研究課題名（英文）Research about estimation of roots condition in forest using LiDAR data and slope collapse prediction

研究代表者

小荒井 衛 (KOARAI, Mamoru)

茨城大学・理工学研究科（理学野）・教授

研究者番号：50419876

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 15,810,000円

研究成果の概要（和文）：樹木の根系発達に表層崩壊の抑止効果があると考えられていることから、航空レーザー測量データから樹高、樹木本数、胸高直径などの森林三次元構造を求め、そこから樹木の根系発達を推定して斜面災害リスクを評価する手法の開発を目指した。伐採地における根系発達調査により、直径と根の横幅には弱い相関があることが分かった。また、航空レーザー測量データと伐採地での毎木調査結果を比較して、樹木密度の推定が可能であることがわかった。そのため、樹高と樹木密度から求まる根系強度指数を加味して斜面崩壊リスクの評価を行った結果、根系強度指数が大きいメッシュでは崩壊は発生していないことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでのリモートセンシングでの斜面崩壊リスク評価では、地形情報のみか土地被覆情報を加味して行われることが多かったが、航空レーザーで地形情報を取得する際にフィルタリング処理で除去されてしまう樹木に当たった点群データを活用することで、森林の三次元構造を求め、樹木の根系発達の状況を推定することが可能であることが分かった。その結果を、斜面崩壊リスク評価に活用することが可能であり、航空レーザーデータの森林管理分野への活用を促進させる研究成果であった。

研究成果の概要（英文）：It is believed that the development of tree roots has the effect of preventing surface landslides. Therefore, the three-dimensional structure of forests, such as tree height, number of trees, and diameter at breast height, is obtained from airborne laser survey data, and the development of tree roots is estimated from these information. This research was carried out with the goal of developing a method to evaluate slope disaster risk by estimating the development of tree roots. Investigation of root development in harvested areas revealed a weak correlation between tree diameter and root width. It was also found that tree density can be estimated by comparing airborne laser survey data with ground truth surveys based on quadrates in the logging area. Therefore, the slope disaster risk was evaluated by adding the root strength index obtained from tree height and tree density to topographical information. As a result, landslides did not occur in the mesh with a large root strength index.

研究分野：地形学

キーワード：航空レーザー 斜面崩壊 根系発達 森林三次元構造 地形解析 花崗岩 阿武隈山地 八溝山地

## 1 . 研究開始当初の背景

斜面崩壊に対して樹木の根系が抑止効果を持つとされているが、樹木の根系を調べるためには樹木の根を掘り返さなければならず、必ずしもその実態が解明されている訳では無い。一方で、航空レーザ測量技術の高度化により樹高をはじめとする植生の三次元構造を面的に捉えることが容易になってきている。岡谷ほか ( 2013 ) などでは森林の三次元構造を明らかにして、斜面の安定性を評価しようと試みているが、樹木の三次元構造と根系との関係は必ずしも明確にはなっていない。そこで、実際のフィールドで、樹木の三次元構造と根系の発達状況が広域に観察できる場所で両者の関係を明らかにすることが重要となってきている。

## 2 . 研究の目的

本研究では、航空レーザ測量のデータから森林の三次元構造を把握し、そこから樹木の根系発達状況を広域かつ面的に推定し、その結果と航空レーザ測量で得られる詳細地形の情報や地質の風化状況の情報を組み合わせて、斜面の安定性・脆弱性の評価を行えるシステムを開発することを目的とする。

## 3 . 研究の方法

研究対象地域は、福島県阿武隈山地中部の花崗岩もしくは花崗閃緑岩分布域の伐採地 5 箇所 ( 矢大臣山地区、鬼ヶ城地区、小白井地区、川内地区、差塩地区 ) と八溝山地のジュラ系堆積岩地域の栃木県那珂川町の伐採地 1 箇所である。阿武隈山地の対象伐採地の分布と地質を図 1 に、八溝山地の伐採地の位置を図 2 に示す。植生は両地区ともスギが主体であり、阿武隈山地はそれにアカマツが混じる。

現地調査では、根系発達調査として、樹木切り株の直径・根の幅・根の深さとその地点の風化層厚 ( 土壌層・強風化層・中風化層・弱風化層に区分 ) の計測と地形状況 ( 尾根・谷の区分、遷急線上部・下部の区分 ) の把握を行った。航空レーザデータとの比較のために 1 伐採地あたり数箇所の方形区 ( 10m×20m 程度 ) を設置して、毎木調査 ( 切り株の位置、直径の計測 ) を行った。

航空レーザ測量データの解析に関しては、樹木本数と胸高直径に着目した。樹木本数については、点群データ処理ソフト ENVI LiDAR を用いて樹木を抽出する方法と、ArcGIS で DCHM ( Digital Canopy Height Model ) を作成して樹木を抽出する方法の 2 つを用いて、毎木調査で得られた樹木位置との比較を行うと共に、毎木調査による樹木本数 ( 実測本数 ) と航空レーザ測量で計測された樹木本数 ( 推定本数 ) とを比較した。胸高直径については、方形区面積に対する樹木断面積の総和の割合を求め、レーザ透過率との関連性の解析を行った。

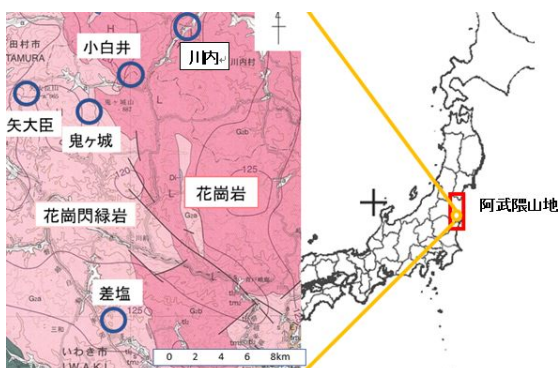


図 1 阿武隈山地の調査伐採地の分布と地質



図 2 八溝山地の伐採地の位置

#### 4. 研究成果

##### (1) 根系発達調査の結果

阿武隈山地の5伐採地をまとめた結果、樹木の根系発達については切り株直径と根の幅、切り株直径と根の深さ、根の幅と深さ)の間に相関係数0.3から0.5程度の弱い相関が見られた。風化層に関しては地質別に比較すると、花崗岩地域よりも花崗閃緑岩地域の方が厚いことが分かった。

八溝山地の堆積岩地域の結果は、切り株直径と根の横幅には正の相関がみられた。地形と風化層の関係については、地形からある程度の土壌や風化層の厚さが推定できる可能性が示唆された。

##### (2) 樹木密度の推定

阿武隈山地の鬼ヶ城・小白井・差塩の3伐採地において、ENVI LiDARを用いて樹木を抽出するよりも、DCHMを求めて樹木を抽出する方法の方が、抽出率が良い結果となった。全方形区において適合率が高く再現率は低い傾向であり、誤抽出は少ないが未抽出は多いことを示している。また、直径20cm以上の樹木に限定するとほとんどの方形区において再現率が上昇し、F値も良化することが分かった。

樹木本数について毎木調査による実測と航空レーザ測量データからの推定とを比較した。その結果、各方形区の推定樹木本数は実測樹木本数に比べると過小評価されてはいるものの、ばらつきはあまり大きくない。阿武隈山地の3伐採地に八溝山地の伐採地を加えた全ての方形区で、毎木調査による直径20cm以上の樹木本数と航空レーザ測量データの解析で推定した樹木本数を比較したものを図3に示す。本数的にはあっていないものの、樹木本数の大小という視点では傾向は捉えられている。樹木の抽出率が悪いのは傾斜が急な影響と予測し、傾斜30°以上の方形区で抽出本数を傾斜のcosで割る補正を行うことで、樹木抽出に改善がみられた。航空レーザ測量データに関しては、抽出本数で見たとき、樹木密度が高いほど樹木の被覆により過小抽出が大きくなり抽出率が下がることがわかった。樹木本数が少ない場合には、実測本数と推定本数はほぼ1対1の対応をしていると考えられる。樹木本数の大小の傾向は捉えられているので、樹木密度のメッシュマップを作成した。

##### (3) 透過率と樹木の直径の関係

方形区単位で両地域のレーザ透過率と樹木断面積割合の関係について、阿武隈山地の4地区に八溝山地の伐採地の結果を加えたものを図4に示す。岡谷ほか(2013)で示されたような負の相関が、弱いながらも確認できた。幾つかの方形区で外れ値を示す結果となっているが、その理由としては、オリジナルデータの点群密度が高すぎる可能性があり(計測コースの重複エリアのため)何らかの補正手法が必要である。樹木直径の情報については、レーザ透過率との負の相関が弱いので、樹高と直径の関係から求めた方がより正確だと判断された。

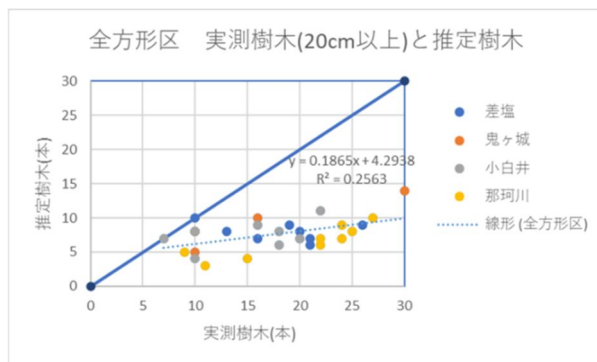


図3 全方形区の推定樹木本数と実測樹木(20cm以上)本数の関係

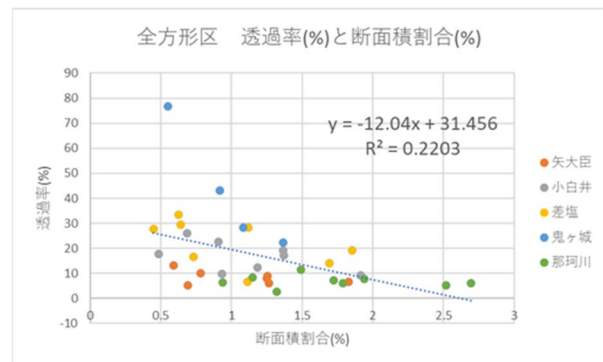


図4 全伐採地でのレーザ透過率と樹木断面積割合との関係



#### (4) 他の花崗岩地域での検証

これまでの結果を踏まえ、斜面崩壊リスク評価に使えるデータは樹高と樹木密度の2つとした。この2つを中心に斜面崩壊のリスクを評価する方法として、根系強度指数を用いる方法を検討した。樹木の引き抜き強度は胸高直径・樹間距離に比例するとされている。胸高直径は樹高に比例し、樹間距離の2乗は樹木密度に反比例する。よって、根系強度(樹根が土壌を保持する力)は、 $(樹高) \times (疎密度平方根)$ に比例すると推定できる。この樹高と樹木密度の平方根を掛けた新たな斜面崩壊に関するパラメータを根系強度指数とした[2]。この指数は樹高と樹木密度の情報があれば導けるので、今回航空レーザ測量データから求めた樹木に関する情報で斜面崩壊リスク評価が可能と考えた。

阿武隈山地では近年豪雨による斜面崩壊が発生していないため、同じ花崗岩地域で2018年7月の西日本豪雨災害で崩壊が発生している広島県坂町の航空レーザ測量データを用いて検証を行った。2018年西日本豪雨によって崩壊した場所と崩壊していない場所について、災害発生前の航空レーザデータを用いて地形的情報のみで判定したものと、植生の情報を加えた判定したもので比較した。地形的情報のみでの判定方法は、集水面積と崩壊地傾斜で表される地形的滑動力指数Fを用いた[3]。地形的滑動力指数は、傾斜 $\theta$ の $\tan$ に集水面積Aの1/3乗を乗じたもので、傾斜や集水面積が大きいと斜面変動が起きやすい。

対象地域の傾斜と集水面積の関係を崩壊・非崩壊でグラフに示したものが図5である。一般に右上ほど崩壊しやすく左下ほど崩壊しにくくなるのだが、図5ではその傾向が明確には読み取れない。

地形的滑動力指数と根系強度指数の関係を崩壊・非崩壊でグラフに示したものが図6である。その結果、地形情報に植生情報を加えても崩壊・非崩壊の傾向に大きな違いは見られなかった。しかし、一定以上の樹高や根系強度指数があると崩壊は起きていなかったため、根系の状況が崩壊・非崩壊に寄与していることは間違いないと考えられる。

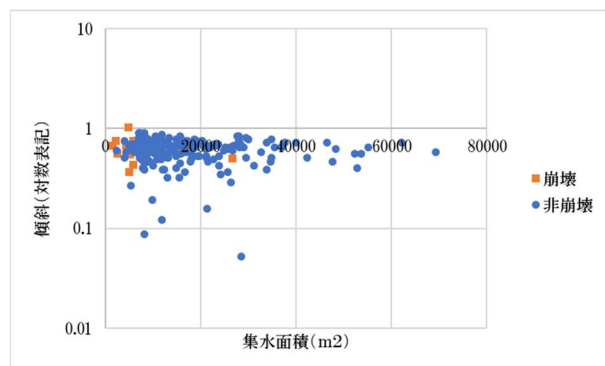


図5 広島県坂町における2018年西日本豪雨の崩壊・非崩壊と地形との関係

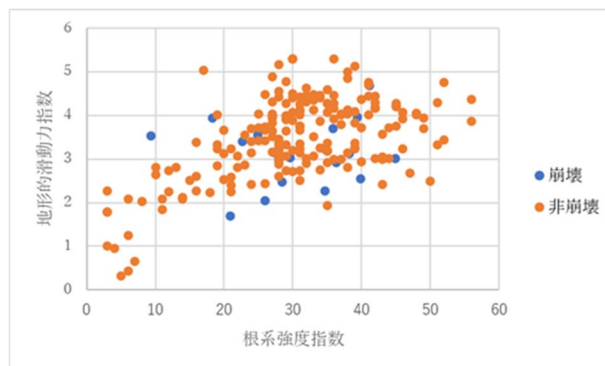


図6 広島県坂町における2018年西日本豪雨の崩壊・非崩壊と地形・根系との関係

#### (5) 航空レーザ測量データの解析による地形と成立する植生の成長量との関係

福島県の阿武隈山地の花崗岩斜面における伐採跡地を対象に、伐採前に成立していた植生の生育状況と地形との関係を明らかにするための調査を行った。樹高は、0次谷の中央部において相対的に高く、また0次谷と谷壁斜面の境界となる遷緩線付近では相対的に低くなる傾向があった(図7)。

2017年の九州北部豪雨で発生した崩壊は0次谷で発生しているものが多いが、この崩壊地における地形と樹高のデータを検討したところ、崩壊範囲と崩壊していない範囲では樹高分布に差異があることが認められた[4]。特に、崩壊地の縁辺部、すなわち0次谷とそれにつながる谷壁斜面、およびその境界(遷緩線)付近で、樹高の分布に差異があることが認められた。このことは0次谷とそれにつながる谷壁斜面、およびその境界(遷緩線)付近において同一樹種、樹齢の林分において地形状況の違いによる根系

の発達状況に差異が生じていることを示唆するものである。

この理由についてはおそらく地形状況の違いによる土壌・土質および水分条件の違いが根系の成長・分布に影響を及ぼし、それが樹高（成長量）の違いとなって表れたものと推測される。これらのことから、崩壊の発生要因として、斜面の微地形（0次谷および遷緩線、遷急線等）と成立する樹木（樹高、樹齡、樹種）との関係をほかの環境因子（地質、土壌、水分条件等）と併せて具体的に把握・検討することが、樹木根系の斜面崩壊の抑止効果を検証するためには重要であることが示唆された。

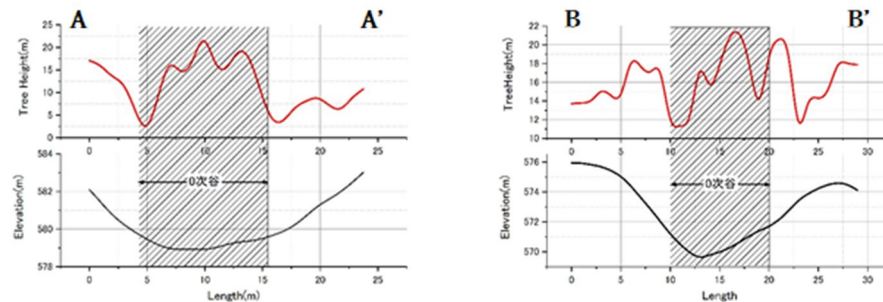


図7 0次谷の横断面図（下：黒線）および樹高の分布（上：赤線）

A-A'、B-B'の位置は図1に示している。斜線で囲った範囲が0次谷

#### （6）地形特性と衛星画像を用いた表層崩壊に伴う流木発生危険箇所予測の可能性

那珂川町の伐採跡地を対象に、山地災害危険地区調査要領（平成28年7月改正，林野庁）における山腹崩壊危険地区調査実施要領に基づき、地質、地形および林況による山腹崩壊危険度判定を行った。項目ごとに点数化されており、この点数表に従って山腹崩壊危険度判定を行った。

那珂川町において危険度が100～115点に収まっており、危険度が低いことが分かった。山腹崩壊危険度判定の結果、危険度があまり低い地点で地すべりが発生していることが分かった。したがって、樹木の種類や降雨量等の有効な評価項目を検討し、精度を向上させる必要があると考えた。

樹木の種類等、動的な情報を検討結果に盛り込むことを目指し、Sentinel-2（2021.11.13観測）データを使用し、現地の動的な情報を表現する植生情報として正規化植生指標（NDVI: Normalized Differential Vegetation Index）を計算した。「傾斜度、縦断面形、横断面形、土層深、齡級、（NDVIの有無）」を説明変数とし、危険地域（伐採地）を1、安全地域（森林）を0とする重回帰分析を行い、決定係数の改善効果を評価した。重回帰式の検討に留まるが、動的な植生情報を付与することにより、決定係数の大幅な改善効果を得ることができた。

#### 引用文献

- [1] 岡谷隆基・乙井康成・中埜貴元・小荒井衛，2013，新潟県出雲崎地区における航空レーザ計測データによる森林の3次元要素の抽出．写真測量とリモートセンシング，52巻，第2号，pp.56-68．
- [2] Iwahashi J., Okatani T., Nakano T., Koarai M. and Otoi K., 2014, Landslide susceptibility analysis by terrain and vegetation attributes derived from pre-event LiDAR data: a case study of granitic mountain slopes in Hofu, Japan. INTERPRAEVENT 2014, P20(CD-ROM)
- [3] 羽田野誠一，1974，崩壊性地形（その2）．土と基礎，22-11，pp.85-93.
- [4] 村上亘，2020，2017年九州北部豪雨にともなう崩壊斜面の崩壊前の植生状況の推定．日本地すべり学会研究発表会講演集，59-75.

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 M. Koarai, I. Murayama, K. Watanabe, Y. Kurihana and A. Narikiyo	4. 巻 Volume XLIII-B3-2022
2. 論文標題 ESTIMATING 3D FOREST STRUCTURE USING LIDAR DATA FOR RISK ASSESSMENT OF SLOPE COLLAPSE CONSIDERING ROOT SYSTEM DEVELOPMENT	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences	6. 最初と最後の頁 907-912
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-907-2022	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14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 成清茜・小荒井衛・村上巨・小川泰浩
2. 発表標題 斜面崩壊予測のための航空レーザによる森林構造の把握について
3. 学会等名 日本写真測量学会令和元年度年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 成清茜・小荒井衛・村上巨・小川泰浩
2. 発表標題 阿武隈山地における航空レーザデータを用いた森林三次元構造の把握について
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小荒井衛・成清茜・村上巨・桑原祐史
2. 発表標題 航空レーザデータを用いた森林の三次元構造と根系発達の推定
3. 学会等名 2019年度日本地図学会定期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Koarai, A. Narikiyo and W. Murakami
2. 発表標題 Estimation of three dimensional structure of forest and development of roots of trees using LiDAR data
3. 学会等名 International Cartographic Conference 2019 Tokyo ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田口智大・鴻野智崇・桑原祐史
2. 発表標題 急峻な山岳地帯を対象とした干渉SAR技術の応用による斜面災害域抽出
3. 学会等名 土木学会第74回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤梓・佐久間東陽・桑原祐史
2. 発表標題 地形特性と衛星画像を用いた表層崩壊に伴う流木発生危険箇所予測の可能性
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 栗花優衣・小荒井衛・村上亘・小川泰浩
2. 発表標題 航空レーザー測量を活用した樹木の根系発達の推定への課題
3. 学会等名 日本写真測量学会令和2年度年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小荒井衛・村山いであ・渡辺啓太・栗花優衣・成清茜
2. 発表標題 樹木の根系発達を考慮した斜面崩壊リスク評価のための 航空レーザによる森林構造の推定
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第70回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村山いであ・小荒井衛・渡辺啓太・栗花優衣・成清茜
2. 発表標題 LiDARデータを活用した地形及び花崗岩風化と根系発達の関係
3. 学会等名 日本写真測量学会令和3年度秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺啓太・小荒井衛・村山いであ
2. 発表標題 八溝山地中部の堆積岩地域における航空レーザ計測データによる森林の3次元要素の抽出
3. 学会等名 CSIS DAYS 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Koarai, I. Murayama, K. Watanabe, Y. Kurihana and A. Narikiyo
2. 発表標題 ESTIMATING 3D FOREST STRUCTURE USING LIDAR DATA FOR RISK ASSESSMENT OF SLOPE COLLAPSE CONSIDERING ROOT SYSTEM DEVELOPMENT
3. 学会等名 ISPRS (国際写真測量学会) 2022年パリ大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 村山いであ・小荒井衛・渡辺啓太・栗花優衣・成清茜
2. 発表標題 LiDARデータを用いた森林3次元構造の推定
3. 学会等名 CSIS DAYS 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺啓太（指導教員：小荒井衛）
2. 発表標題 八溝山地中部における堆積岩風化・地形と根茎発達の関係と航空レーザ測量データによる森林三次元構造把握の高精度化の検討
3. 学会等名 第14回学生SDGsフォーラム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小荒井衛・村山いであ・渡辺啓太・村上亘・桑原祐史
2. 発表標題 航空レーザ測量から推定した森林構造情報の斜面災害リスク評価への活用可能性
3. 学会等名 日本写真測量学会令和5年度年次学術講演会
4. 発表年 2023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	村上 亘  (MURAKAMI Wataru)  (10353880)	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)	

6. 研究組織（つづき）

	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	桑原 祐史  (KUWAHARA Yuji)  (80272110)	茨城大学・大学院理工学研究科（工学野）・教授     (12101)	

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