

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：84508

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H03040

研究課題名（和文）地上部植生と地中レーダを用いて広葉樹林における根の崩壊防止力を知る

研究課題名（英文）Using above ground vegetation and ground penetrating radar to understand soil reinforcement by roots in a broad-leaved forest

研究代表者

山瀬 敬太郎（YAMASE, Keitaro）

兵庫県立農林水産技術総合センター・森林林業技術センター・管理研究者

研究者番号：90463413

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：六甲山系のアカマツ・広葉樹林を対象に、アカマツ、ヒサカキ、ヤブツバキ、タムシバの根系を掘り取り、根の本数及び直径のデータを取得した。

次に、崩壊発生源における根による土壌補強強度を把握するために、樹種間の中央部で地中レーダ探査を行い、探査時に、根束の影響は引き抜き抵抗力の推定において過小評価となり、すなわち安全側へのエラーのみにつながることが分かった。

また、アカマツと他樹種の根による土壌補強強度が算出できるVegetationRBモデルを構築し、アカマツ・ヒサカキの立木間において、根の土壌補強強度の合計値に占めるヒサカキの割合は2～35%の範囲であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

RBモデルは、国際的に根による土壌補強強度を評価するのに妥当なモデルと位置づけられている。このモデルを日本に紹介することで、国内でもRBモデルの利用が広がるとともに、複数樹種で構成される広葉樹林における根による土壌補強強度の評価が出来るようにVegetationRBモデルを作成した。

また、これらの成果は、根系の崩壊防止力を考慮した管理指針を作成するための科学的根拠となり、近年多発する豪雨災害により、人口密集地に隣接する広葉樹林において、防災機能を向上させるための植生管理方法の開発が可能となる。

研究成果の概要（英文）：Root systems of *Pinus densiflora*, *Eurya japonica*, *Camellia japonica*, and *Magnolia salicifolia* were excavated in a broad-leaved forest in Mt Rokko, and a data set of root number and root diameter was obtained.

Next, Ground-penetrating radar (GPR) surveys were conducted in the center of gaps among individual trees to determine the soil reinforcement by roots of the collapse source. During GPR surveys, the effect of root bundles was found to be underestimated in the estimation of pullout resistance, i.e., leading only to errors to the safe side.

VegetationRB model was constructed to calculate the soil reinforcement by roots of *Pinus densiflora* and other tree species, and it was found that the percentage of the total soil reinforcement by roots ranged from 2 to 35% in the center of gaps among *Pinus densiflora* and *Eurya japonica*.

研究分野：森林科学、生態工学

キーワード：崩壊発生源 アカマツ・広葉樹林 植生 樹木根 地中レーダ Wuモデル RBモデル VeRBモデル

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 極端気象に伴うゲリラ豪雨の増加により、山地斜面の表層崩壊リスクが高まっている。これら山地斜面の多くでは、森林植生が斜面の不安定化を軽減しているが、住宅地に近い斜面の崩壊は甚大な被害をもたらすことから、表層崩壊防止機能を高める森林づくりへの国民の要望は従来にないほど高まっており、森林の減災機能を高めるための適切な対策が求められていた。

(2) 森林の減災機能を高めるために、これまで土を掘らずに根の分布をみる地中レーダ (GPR) 法の研究開発を行ってきた。スギ林においては、GPR 法を使って土を掘らずに根の本数や直径を推定する (Yamase et al. 2018) とともに、近年、国際的に高い評価を得ていた Root Bundle Model (RB モデル) (Schwarz et al. 2010) を適用して、根による土壌補強強度 (崩壊防止力) を算出した (Yamase et al. 2019)。

(3) しかし、GPR 信号から樹種の違いを見分けることはできなかった (Tanikawa et al. 2016)。また、RB モデルは同一樹種のみが存在するスギ林のような単純林を想定しており、複数樹種から成る森林には適用できなかったことから、アカマツ・広葉樹林における GPR + RB モデル法の適用は困難であった。

(4) さらに、樹種ごとに個体あたりの幹数よる根の広がりや、根が発達する表層の土壌崩壊防止力に関する情報は、国際的にも明らかにされていなかった。

### 2. 研究の目的

(1) 兵庫県六甲山系の崩壊地と未崩壊地を含む森林斜面のアカマツ・広葉樹林を調査地 (約 1ha) とし、生育する樹木種の個体サイズについてデータベース化する。

(2) 調査地内に出現する代表的な樹種について、樹種ごとに幹中心からの距離による根の太さ別の本数を把握する。また、既存のRBモデルを改良し、樹種の組合せによるVegetationRB (VerB) モデルを構築する。

(3) 放置されたアカマツ・広葉樹林にみられるヒサカキについて、単数幹と複数幹の個体に着目し、根系分布や斜面安定に果たす役割を明らかにする。

### 3. 研究の方法

(1) 調査地全域に生育する樹高 1.3 m 以上の全ての樹木種を対象に、毎木調査を実施した。

(2) アカマツ・広葉樹林で高頻度に出現する高木種アカマツと、小高木種或いは低木種のヒサカキ、ヤブツバキ、タムシバの計 4 樹種を対象に、幹中心から同心円状に GPR を用いて探査した。また、探査個体の掘り取りを行い、幹中心からの距離による根直径と本数を計測した。さらに、アカマツと他の 3 樹種で構成された立木間で、土壌断面上にみられる根の種類と本数、直径を計測した。

(3) 胸高直径が異なる単数幹と複数幹のヒサカキを選び、直径 1 mm 以上の根が攪乱されないように、根の位置と直径を計測した。最終的に根系全体を掘り取り、地上部と地下部の重量と、根株中心から同心円状に 5 cm 間隔で根の位置と直径を計測した。

### 4. 研究成果

(1) 44 樹種 1662 個体の樹種の同定と立木位置、胸高直径、樹高、幹数のデータベースを構築した。アカマツ (全個体数の 13.0 %)、タムシバ (12.7 %)、ヒサカキ (12.6 %)、ヤブツバキ (12.5 %) の 4 樹種で、調査地に生育する半数以上の個体数を占めていた。

(2) 根による土壌補強強度を把握するために、樹種間の中央部で GPR 探査を行った。探査時の根束の影響は、補強強度の推定において過小評価となり、すなわち安全側へのエラーのみにつながる事が分かった。また、アカマツと他樹種の補強強度が算出できる VeRB モデルを構築した。この VeRB モデルを用いて、アカマツ - ヒサカキの立木間中央で、合計値に占めるヒサカキ根の土壌補強強度の割合を推定したところ、2~35%の範囲であることを明らかにした。

(3) 複数の幹断面積合計量が単数の幹断面積と同じならば、地上部及び地下部の重量はほぼ等しく、個体あたりの幹数を問わず、幹断面積の合計量が大きいほど重くなる強い関係性がみられた。一方、最大の根の広がり、水平、深さ共に、個体の最大幹直径が大きいほど広く深くなる強い関係性がみられた。また、複数の幹を持つヒサカキでは、後に再生してきた幹成長に伴う新しい根の成長が、根株中心近くで競争して妨げられるため、地上部に対する地下部重量が単数幹より減少した。さらに複数幹の根による土壌補強強度は、単数幹に比べ、土壌崩壊までに根が動く距離を大きくし、滑り面の形成をより促進する可能性を示した。以上のことから、伝統的な森林管理、すなわち個体に複数ある幹を間引いて単数の幹とする作業は、長期的に斜面の安定効果を発揮し、土壌崩壊に対する抵抗力を高める可能性があることが分かった (図 1)。

### 引用文献

Schwarz M., Cohen D., Or D. Root-soil mechanical interactions during pullout and failure of root bundles. J. Geophys. Res. 115, 2010, F04035

Tanikawa T., Ikeno H., Dannoura M., Yamase K., Aono K., Hirano Y. Leaf litter thickness, but not plant species, can affect root detection by ground penetrating radar. Plant Soil 408, 2016, 271-283

Yamase K., Tanikawa T., Dannoura M., Ohashi M., Todo C., Ikeno H., Aono K., Hirano Y. Ground-penetrating radar estimates of tree root diameter and distribution under field conditions. Trees 32, 2018, 1657-1668

Yamase K., Tanikawa T., Dannoura M., Todo C., Yamamoto T., Ikeno H., Ohashi M., Aono K., Doi R., Hirano Y. Estimating slope stability by lateral root reinforcement in thinned and unthinned stands of *Cryptomeria japonica* using ground-penetrating radar. Catena 183, 2019, 104227

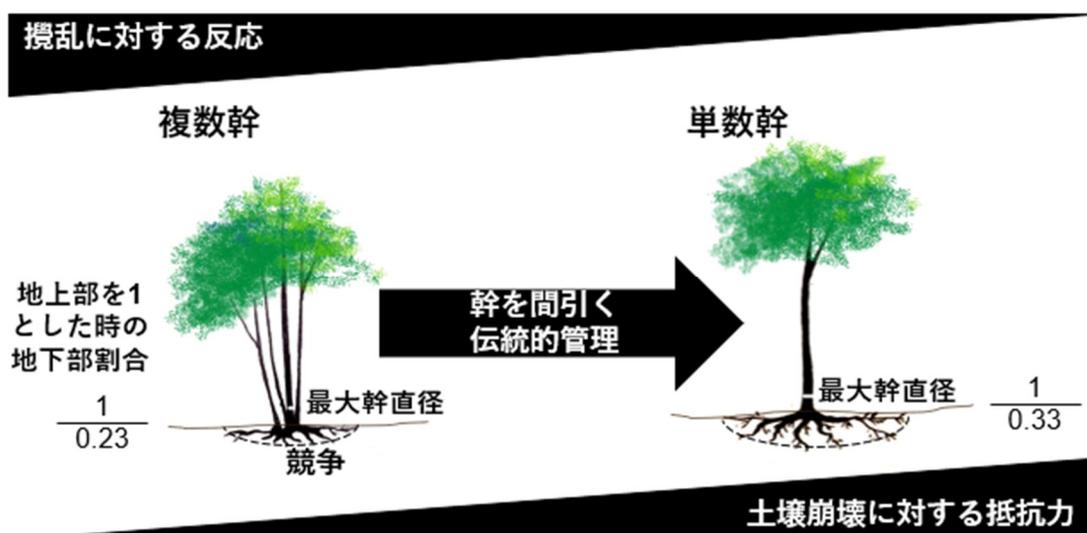


図 1 複数の幹をもつヒサカキを単数幹化する伝統的管理。 複数幹化は攪乱に対する反応である一方、伝統的管理による単数幹化によって、土壌崩壊に対する抵抗力を高める

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 山瀬敬太郎	4. 巻 48
2. 論文標題 非高木種の根による土壌補強強度とその利用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本緑化工学会誌	6. 最初と最後の頁 600-603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7211//jjsrt.48.600	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 山瀬敬太郎、大橋瑞江、池野英利、谷川東子、藤堂千景、檀浦正子、堀田紀文、平野恭弘	4. 巻 98
2. 論文標題 持続可能な都市山管理 - 六甲山の減災を考える -	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 森林科学	6. 最初と最後の頁 38-39
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 Yamase Keitaro, Ikeno Hidetoshi, Hotta Norifumi, Imawaka Mai, Ohashi Mizue, Tanikawa Toko, Todo Chikage, Dannoura Masako, Hirano Yasuhiro	4. 巻 238
2. 論文標題 Effect of sprouting and corresponding root distribution of the shrub species Eurya japonica on slope stability	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 CATENA	6. 最初と最後の頁 107869 ~ 107869
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catena.2024.107869	査読の有無 有
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 Okamoto Yuki, Ikeno Hidetoshi, Hirano Yasuhiro, Tanikawa Toko, Yamase Keitaro, Todo Chikage, Dannoura Masako, Ohashi Mizue	4. 巻 477
2. 論文標題 3D reconstruction using Structure-from-Motion: a new technique for morphological measurement of tree root systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 829 ~ 841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-022-05448-8	査読の有無 有
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 山瀬敬太郎、藤堂千景、鳥居宣之、谷川東子、山本智究、池野英利、大橋瑞江、檀浦正子、平野恭弘	4. 巻 387
2. 論文標題 里山林伐採後の樹木根による土壌補強強度の変化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 水利科学	6. 最初と最後の頁 1~17
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 Tanikawa Toko, Ikeno Hidetoshi, Yamase Keitaro, Dannoura Masako, Aono Kenji, Hirano Yasuhiro	4. 巻 468
2. 論文標題 Can ground-penetrating radar detect adjacent roots and rock fragments in forest soil?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 239 ~ 257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-021-05116-3	査読の有無 有
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 谷川東子・池野英利・藤堂千景・山瀬敬太郎・大橋瑞江・岡本透・溝口岳男・中尾勝洋・金子真司・鳥居厚志・稲垣善之・中西麻美・平野恭弘	4. 巻 383
2. 論文標題 スギ根系が抱きかかえている土壌の量はどのぐらい? - 台風21号が地上に残した根鉢の解体 -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 水利科学	6. 最初と最後の頁 1-14
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 Yamase Keitaro, Todo Chikage, Torii Nobuyuki, Tanikawa Toko, Yamamoto Tomonori, Ikeno Hidetoshi, Ohashi Mizue, Dannoura Masako, Hirano Yasuhiro	4. 巻 162
2. 論文標題 Dynamics of soil reinforcement by roots in a regenerating coppice stand of Quercus serrata and effects on slope stability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecological Engineering	6. 最初と最後の頁 106169 ~ 106169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecoleng.2021.106169	査読の有無 有
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 Tanikawa Toko, Ikeno Hidetoshi, Todo Chikage, Yamase Keitaro, Ohashi Mizue, Okamoto Toru, Mizoguchi Takeo, Nakao Katsuhiro, Kaneko Shinji, Torii Atsushi, Inagaki Yoshiyuki, Nakanishi Asami, Hirano Yasuhiro	4. 巻 35
2. 論文標題 A quantitative evaluation of soil mass held by tree roots	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Trees	6. 最初と最後の頁 527 ~ 541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00468-020-02054-y	査読の有無 有
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 谷川東子、山瀬敬太郎、藤堂千景、池野英利、大橋瑞江、檀浦正子、金澤洋一、平野恭弘	4. 巻 374
2. 論文標題 地中レーダがもつ樹木の根系可視力を減災に生かす試み	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 水利科学	6. 最初と最後の頁 87 ~ 112
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 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 山瀬敬太郎、今若舞、大橋瑞江、池野英利、藤堂千景、檀浦正子、堀田紀文、谷川東子、平野恭弘
2. 発表標題 根系による土壌補強強度の樹種間比較
3. 学会等名 第54回日本緑化工学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今若舞、山瀬敬太郎、平野恭弘、池野英利、谷川東子、檀浦正子、藤堂千景、大橋瑞江
2. 発表標題 地中レーダ法を用いた斜面崩壊防止力の定量評価手法について
3. 学会等名 第58回根研究集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中優斗、山瀬敬太郎、藤堂千景、今若舞、平野恭弘、谷川東子、大橋瑞江、檀浦正子、池野英利
2. 発表標題 立木間の樹木根系計測に対するSfM/MVSの適用
3. 学会等名 第58回根研究集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今若舞、山瀬敬太郎、平野恭弘、谷川東子、池野英利、檀浦正子、藤堂千景、大橋瑞江
2. 発表標題 二次林の異なる樹種がもたらす斜面崩壊防止力の比較
3. 学会等名 第135回日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 藤堂千景、山瀬敬太郎、池野英利、谷川東子、大橋瑞江、檀浦正子、平野恭弘
2. 発表標題 スギ林における根の土壌補強強度を推定する
3. 学会等名 第135回日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 今若舞、山瀬敬太郎、平野恭弘、谷川東子、池野英利、檀浦正子、藤堂千景、大橋瑞江
2. 発表標題 兵庫県六甲山系の二次林の立木間中央がもたらす斜面崩壊防止力の定量評価
3. 学会等名 第71回日本生態学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yamase Keitaro, Tanikawa Toko, Dannoura Masako, Todo Chikage, Yamamoto Tomonori, Ikeno Hidetoshi, Ohashi Mizue, Aono Kenji, Doi Ryusei, Hirano Yasuhiro
2. 発表標題 Ground penetrating radar can nondestructively estimate soil reinforcement by roots in managed forests
3. 学会等名 8th International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Imawaka Mai, Yamase Keitaro, Hirano Yasuhiro, Tanikawa Toko, Ikeno Hidetoshi, Dannoura Masako, Todo Chikage, Ohashi Mizue
2. 発表標題 Evaluation of slope stability at the center of standing trees composed of different species
3. 学会等名 8th International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Okamoto Yuki, Ikeno Hidetoshi, Hirano Yasuhiro, Tanikawa Toko, Yamase Keitaro, Todo Chikage, Dannoura Masako, Ohashi Mizue
2. 発表標題 Acquisition of the 3D morphological data from 2D images using SfM-MVS
3. 学会等名 8th International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山瀬敬太郎、今若舞、大橋瑞江、池野英利、藤堂千景、伊東康人、檀浦正子、谷川東子、平野恭弘
2. 発表標題 非高木種ヒサカキとヤブツバキの根系構造と土壌硬度
3. 学会等名 ELR2022つくば三学会合同大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山瀬敬太郎
2. 発表標題 非高木種の根による土壌補強強度とその利用
3. 学会等名 ELR2022つくば三学会合同大会（自由集会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Imawaka Mai、Yamase Keitaro、Hirano Yasuhiro、Tanikawa Toko、Ikeno Hidetoshi、Dannoura Masako、Todo Chikage、Ohashi Mizue
2. 発表標題 Evaluation of slope stability at the center of gap among canopy and understory tree species in a secondary forest in Mt. Rokko
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡本祐樹、池野英利、平野恭弘、谷川東子、山瀬敬太郎、藤堂千景、檀浦正子、大橋瑞江
2. 発表標題 SfMを用いた樹木根の形態計測におけるノイズ除去法の影響
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今若舞、山瀬敬太郎、平野恭弘、谷川東子、池野英利、檀浦正子、藤堂千景、伊東康人、大橋瑞江
2. 発表標題 兵庫県南部のアカマツ二次林における二つのモデルでの斜面崩壊防止力の評価
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuki Okamoto、Hidetoshi Ikeno、Yasuhiro Hirano、Toko Tanikawa、Keitaro Yamase、Chikage Todo、Masako Dannoura、Mizue Ohashi
2. 発表標題 An efficient method for estimating tree root structure using SfM
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡本祐樹・池野英利・平野恭弘・谷川東子・山瀬敬太郎・藤堂千景・檀浦正子・大橋瑞江
2. 発表標題 SfMによる樹木根系の三次元再構成におけるノイズ処理の検討
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今若舞・山瀬敬太郎・平野恭弘・谷川東子・池野英利・藤堂千景・大橋瑞江
2. 発表標題 地中レーダ法を用いたアカマツ二次林における立木間中央の根系推定
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山瀬 敬太郎
2. 発表標題 樹木根の発揮する減災機能
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池野 英利、澤志 萌、平野 恭弘、藤堂 千景、山瀬 敬太郎、谷川 東子、檀浦 正子、大橋 瑞江
2. 発表標題 二周波地中レーダを用いた高深度解析による海岸林クロマツの根系構造推定
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本 祐樹、大橋 瑞江、平野 恭弘、谷川 東子、山瀬 敬太郎、藤堂 千景、檀浦 正子、池野 英利
2. 発表標題 SfMを使用した樹木根系構造の三次元再構成と形態計測
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 平野 恭弘、野口 享太郎、大橋 瑞江（編） 檀浦 正子、菱 拓雄、牧田 直樹、小林 真、松田 陽介、福澤 加里部、谷川 東子、藤井 沙織、中路 達郎、山瀬 敬太郎（著）	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 376
3. 書名 森の根の生態学	

〔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	谷川 東子  (Tanikawa Toko)  (10353765)	名古屋大学・生命農学研究科・准教授   (13901)	

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	大橋 瑞江  (Ohashi Mizue)  (30453153)	兵庫県立大学・環境人間学部・教授    (24506)	
研究分担者	堀田 紀文  (Hotta Norifumi)  (00323478)	東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・准教授    (12601)	

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