

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H03112

研究課題名(和文) 微小断層変位地形および山体重力変形地形による活断層の連動史の解明

研究課題名(英文) Unraveling cascade rupture history of active faults based on small tectonic-geomorphic and sacking features

研究代表者

金田 平太郎 (Kaneda, Heitaro)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：30415658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：1891年に連動破壊して国内内陸史上最大級の濃尾地震(M 8.0)を発生させた温見(ぬくみ)断層、根尾谷断層、黒津断層を対象に、各活断層上でのトレンチ掘削調査および活断層極近傍の山体重力変形地形におけるビット・コア掘削調査を実施し、これらの活断層の濃尾地震以前の詳細な活動履歴を明らかにした。その結果、黒津断層は過去3-4万年間に2回の活動しか認められない一方、温見断層と根尾谷断層は1000-3000年程度の間隔で活動を繰り返しており、かつ、濃尾地震を含む少なくとも過去3回の活動についてはその時期が重なることが明らかとなった。これら2条の活断層は常に連動破壊している可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

活断層が連動破壊することにより、個々の活断層から想定される規模を大きく超える地震が発生する可能性がある。とくに我が国のような多数の活断層が分布する地域では、こうした現象を適切に評価することが求められるが、実際に連動破壊した活断層群の過去の活動履歴が詳細に明らかにされた例はなく、その評価方法はまだ確立されていない。1891年濃尾地震時に連動破壊した各活断層の過去の活動履歴・連動履歴を初めて詳細に明らかにした本研究の成果は、活断層の連動破壊条件やそこから発生する将来の地震の規模を検討・評価するための重要な基礎資料となると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Targeting at active Nukumi, Neodani, and Kurozu faults that ruptured cascadingly in 1891 and resulted in one of the largest inland earthquakes in the Japanese written history, the M 8.0 Nobi earthquake, we conducted on-fault trench excavations as well as pit excavations and coring at near-fault sacking features to reveal detailed rupture histories of those faults prior to the 1891 event. Our results show that the Kurozu fault ruptured only twice in the last 30,000 to 40,000 years whereas the Nukumi and Neodani faults have a rupture interval of as short as 1000 to 3000 years. In particular, at least the latest three ruptures on those two faults, including the 1891 event, all share timing, suggesting that cascade rupture of the Nukumi and Neodani faults might be a rule rather than an exception.

研究分野：変動地形学・古地震学

キーワード：変動地形 活断層 山体重力変形 連動破壊 濃尾地震 航空レーザー測量

### 1. 研究開始当初の背景

活断層が連動破壊することにより、個々の活断層から想定される規模を大きく超える地震が発生する場合がある。とくに我が国のような多数の活断層が分布する地域では、こうした現象を適切に評価することが求められるが、実際に連動破壊した活断層群の過去の活動履歴が詳細に明らかにされた例はなく、どのような条件の場合に活断層が連動するのかについての基礎的情報が全く不足している状態である。国内における連動破壊の典型事例である 1891 年濃尾地震 (M 8.0) についても、これまでに多数の活動履歴調査が実施されてきたが (岡田, 2002; Kaneda & Okada, 2008), 植生に覆われた山地を活断層が通過することもあり、この地震の際に連動破壊した活断層の過去の活動履歴や連動履歴は十分に明らかになっていなかった。

### 2. 研究の目的

近年の航空レーザー測量技術によって、従来の空中写真判読では困難であった植生下の微地形検出が可能になり、山地の変動地形・活断層研究の環境は以前とは大きく様変わりした。濃尾地震域の山地においても、これまでその存在が知られていなかった植生下の微小断層変位地形が数多く発見されるとともに (佐々木・上田, 2012; Lin et al., 2013), 活断層周辺に多数の山体重力変形地形が分布することが明らかになった (Kaneda & Kono, 2017)。そこで、本研究では、1891 年濃尾地震時に活動した温見 (ぬくみ) 断層, 根尾谷断層の 2 条の主要断層とその間に位置する黒津断層を対象に、植生下の微小断層変位地形および活断層の極近傍の顕著な山体重力変形地形の詳細なトレンチ掘削調査, ピット掘削調査, コア掘削調査などを実施し、これらの活断層の濃尾地震以前の活動履歴や連動履歴を詳細に明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 航空レーザー測量データによる地形判読

本研究開始前に、既存の航空レーザー測量データによる予察的地形判読および調査候補地の抽出を行っていたが、詳細な調査に先立ち、航空レーザー測量データの再解析、詳細地形判読および地形学図作成を実施し、調査候補地を絞り込んだ。航空レーザー測量データによる地形判読には、本研究において開発した MPI 赤色立体地図ステレオペアおよびその計算プログラム (Kaneda & Chiba, 2019) を使用した。

#### (2) 現地地形・地質調査

地形判読結果を基に現地地形・地質調査を実施するとともに、ハンドコアラによる予察的掘削調査等を実施し、詳細な掘削調査を実施する地点を決定した。決定した調査地点は、黒津断層上の黒津サイト、根尾谷断層上の温見白谷上流サイト、温見断層上の砂利谷サイトと、根尾谷断層北端極近傍に集中する山体重力変形地形 (若丸山サイト) の計 4 サイトである (図 1)。

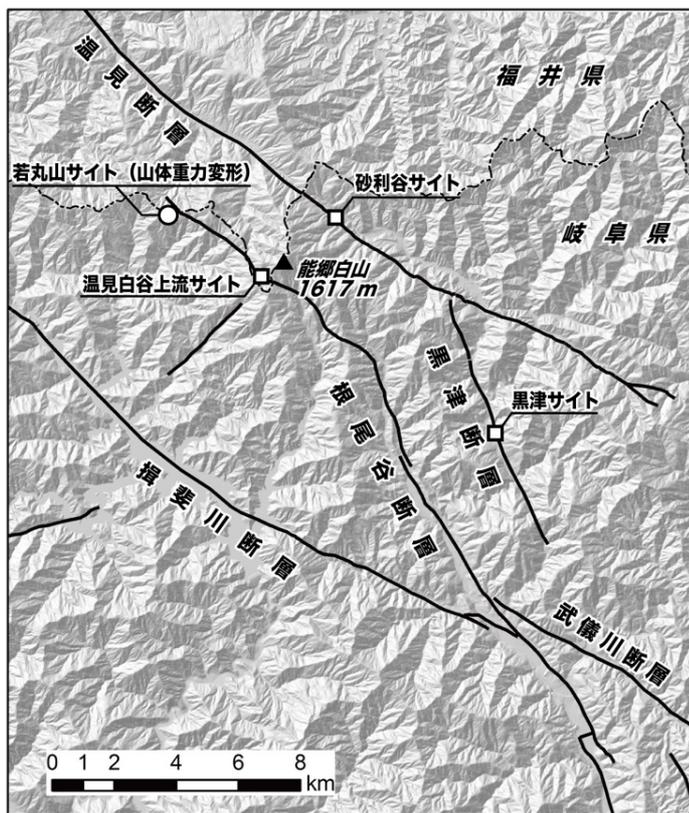


図 1 本研究における調査実施地点

#### (3) トレンチ・ピット・コア掘削調査

黒津サイトおよび温見白谷上流サイトおよび砂利谷サイトにおいてはそれぞれ 1 ヶ所のトレンチ掘削調査, 若丸山サイトにおいては 3 ヶ所のピット掘削調査および計 25 ヶ所のコア掘削調査を実施した。これらのサイトのうち、温見白谷上流サイトおよび若丸山サイトは、現地へのアクセスに半日以上の徒歩移動が必要とされるため、サイト近くにベースキャンプを設置し、野営による 4~8 日間の調査をそれぞれ 4 回実施した。

すべてのサイトは掘削重機の搬入が困難な場所に位置するため、トレンチ・ピット掘削および埋め戻しはすべて人力で実施した。コア掘削調査は、打撃式ハンドコアラおよび本研究におい

て新たに開発したエンジン駆動式ハンドブレーカーによるコアリングシステム（可搬型パーカッションコアリングシステム；金田ほか，2018）を使用した．また，これらの掘削調査で採取した試料について，テフラ分析および放射性炭素年代測定を実施した．

なお，これらの調査のうち，研究期間最終年度（2020 年度）の砂利谷サイトのトレンチ調査については，主として他の研究経費によって実施し，本研究経費は補助的に使用した．

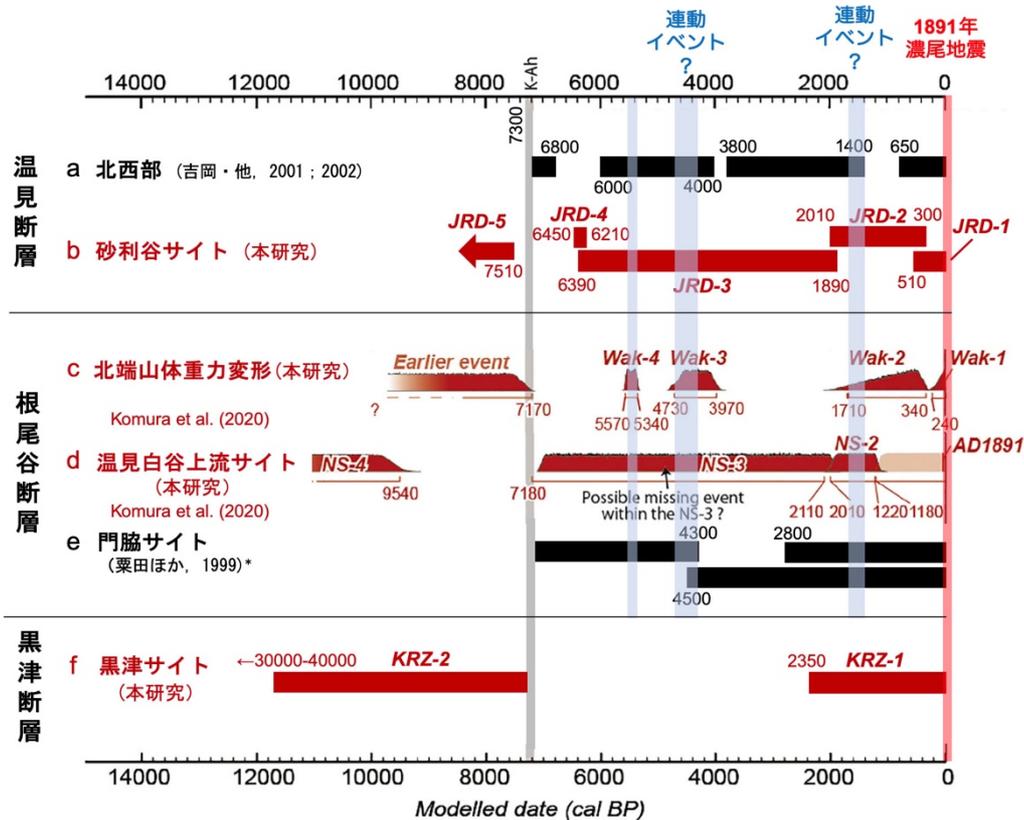
#### 4. 研究成果

各サイトにおける掘削調査によって明らかになった温見断層，根尾谷断層北端極近傍の山体重力変形（若丸山サイト），根尾谷断層および黒津断層の活動履歴・進行履歴を先行研究によるトレンチ調査結果と併せて図 2 にまとめた．

根尾谷断層の温見白谷上流サイトにおけるトレンチ掘削調査では，約 7300 年前の鬼界-アカホヤ（以下，K-Ah）テフラ以降に濃尾地震も含めて少なくとも 3 回（おそらく 4 回）の活動が認められるとともに，これまで約 4500 年前以降としか判明していなかった 2 回前の活動時期が約 2200~1200 年前と初めて明確になった（図 2d）．一方，根尾谷断層北端極近傍に位置する山体重力変形（若丸山サイト）では，重力性湿地の堆積物に未分解の葉片・種子・小枝などが大量に含まれていたことから，山体重力変形の進行時期が高精度に推定された（図 2c）．変形進行イベントの回数は，やはり K-Ah テフラ以降 4 回であり，その時期はすべて温見白谷上流サイトにおける根尾谷断層の活動時期と重なることから，この場所における山体重力変形が根尾谷断層の活動と同期して進行してきたものと考えられる（Komura et al., 2020）．

温見断層の砂利谷サイトにおけるトレンチ掘削調査においても，K-Ah テフラ以降に 4 回の活動が認められ，これまでほとんど分かっていなかった温見断層南東部の活動履歴の詳細が初めて明らかとなった（図 2b）．従来は，濃尾地震時には温見断層北西部のみが活動したと考えられてきたが（松田，1974 など），本調査から明らかになった同断層南東部の最新活動時期は 510 年前（西暦 1440 年）以降の歴史時代であり，佐々木・上田（2012）がすでに指摘している通り，濃尾地震時には温見断層北西部とともに南東部も活動した可能性が高い．同断層北西部においてすでに行われていたトレンチ掘削調査（吉岡ほか，2001；2002）においても K-Ah テフラ以降に 4 回の活動が認められており（図 2a），このうち最近 3 回の活動については温見断層南東部の最近 3 回の活動時期と矛盾しない．さらに，これらの 3 回の活動時期は，温見白谷上流サイトにおける根尾谷断層の活動時期や根尾谷断層北端極近傍の山体重力変形の進行時期とも重なる（図 2）．

以上から，少なくとも過去 3 回の地震については，温見断層および根尾谷断層が常に連動破壊し，これに伴って根尾谷断層北端近傍の山体重力変形地形も成長していた可能性が考えられる．



\* 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2005）の再解釈による

図 2 本研究によって明らかになった温見断層，根尾谷北端極近傍の山体重力変形（若丸山サイト），根尾谷断層および黒津断層の活動履歴・進行履歴．先行研究による調査結果も併せて示した．

このことが事実であれば、連動破壊の時期は、1891年（濃尾地震）、1710～1400年前、4730～4300年前といずれも狭い範囲で絞り込まれる（図2）。これらに加えて、5570～5340年前についても連動破壊が発生していた可能性がある。

一方、温見断層から南東に枝分かれする形で延びる黒津断層の黒津サイトにおいては、過去3～4万年間で濃尾地震も含めて2回の活動が認められるのみであり、温見断層や根尾谷断層とは異なって非常に長い活動間隔をもつことが明らかとなった（図2f）。濃尾地震時には、温見断層、根尾谷断層に加えて黒津断層も活動したが、黒津断層は温見断層や根尾谷断層の破壊の際に稀に「お付き合い」する副次的な断層と考えられる。

本研究により、温見断層と根尾谷断層は、少なくとも過去3回の地震においては濃尾地震と同様に連動破壊していた可能性が明らかとなった。このことは、活断層の連動破壊条件やそこから発生する将来の地震の規模を検討・評価するための重要な基礎資料となると考えられる。ただし、年代測定の精度から、有史以前の地震については、1つの地震で連動破壊したのか、あるいは年代の推定範囲内で連鎖的に複数の地震が発生したのかを年代の比較のみから区別することは難しい。断層上のある地点における地震時変位量を比較することで連動破壊と単独破壊を区別できる可能性があるため、横ずれ地形の年代決定を詳細に行って古地震イベントごとの変位量を解明することが今後の課題である。

#### <引用文献>

- 栗田泰夫・苅谷愛彦・奥村晃史，古地震調査にもとづく1891年濃尾地震断層系のセグメント区分，地質調査所速報，EQ/99/3，115-130，1999。
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会，濃尾断層帯の長期評価，49p，2005。
- Kaneda, H. and A. Okada, Long-term seismic behavior of a fault involved in a multiple-fault rupture: insights from tectonic geomorphology along the Neodani fault, central Japan, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 98, 2170-2190, 2008.
- Kaneda, H. and T. Kono, Discovery, controls, and hazards of widespread deep-seated gravitational slope deformation in the Etsumi Mountains, central Japan, *J. Geophys. Res. Earth Surface*, 122, 2370-2391, 2017.
- 金田平太郎・柏原真太郎・小村慶太郎，山上湿地掘削のための可搬型パーカッションコアリングシステム，月刊地球，号外69，112-120，2018。
- Kaneda, H. and T. Chiba, Stereopaired morphometric protection index red relief image maps (Stereo MPI-RRIMs): effective visualization of high-resolution digital elevation models for interpreting and mapping small tectonic geomorphic features, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 109, 99-109, 2019.
- Komura, K., H. Kaneda, T. Tanaka, S. Kojima, T. Inoue, and T. Nishio, Synchronized gravitational slope deformation and active faulting: A case study on and around the Neodani fault, central Japan, *Geomorphology*, 365, 107214, 2020.
- Lin, Z., H. Kaneda, S. Mukoyama, N. Asada, and T. Chiba, Detection of subtle tectonic-geomorphic features in densely forested mountains by very high-resolution airborne LiDAR survey, *Geomorphology*, 182, 104-115, 2013.
- 松田時彦，1891年濃尾地震の地震断層，地震研究所研究速報，13，85-125，1974。
- 岡田篤正，濃尾活断層帯の諸性質，村松郁栄・松田時彦・岡田篤正『濃尾地震と根尾谷断層帯－内陸最大地震と断層の諸性質－』，古今書院，191-330，2002。
- 佐々木俊法・上田圭一，活断層の連動性評価のための指標の抽出（その1）－変動地形学のおよび地表地質調査に基づく断層分布形状と変位分布の検討－。電力中央研究所報告，N11046，26p，2012。
- 吉岡敏和・栗田泰夫・下川浩一・石本裕己・吉村実義・松浦一樹，濃尾地震断層系・温見断層の活動履歴調査，活断層・古地震研究報告，1，97-105，2001。
- 吉岡敏和・栗田泰夫・下川浩一・石本裕己・吉村実義・松浦一樹，トレンチ調査に基づく1891年濃尾地震断層系・温見断層の活動履歴，地震2，55，301-309，2002。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Komura Keitaro, Kaneda Heitaro, Tanaka Tomoki, Kojima Satoru, Inoue Tsutomu, Nishio Tomohiro	4. 巻 365
2. 論文標題 Synchronized gravitational slope deformation and active faulting: A case study on and around the Neodani fault, central Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geomorphology	6. 最初と最後の頁 107214 ~ 107214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geomorph.2020.107214	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 Kaneda. H. and T. Chiba	4. 巻 109
2. 論文標題 Stereopaired morphometric protection index red relief image maps (Stereo MPI-RRIMs): effective visualization of high-resolution digital elevation models for interpreting and mapping small tectonic geomorphic features	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bull. Seismol. Soc. Am.	6. 最初と最後の頁 2370-2391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0120180166	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 Kaneda. H. and T. Kono	4. 巻 122
2. 論文標題 Discovery, controls, and hazards of widespread deep-seated gravitational slope deformation in the Etsumi Mountains, central Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Geophys. Res. Earth Surface	6. 最初と最後の頁 2370-2391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2017JF004382	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 金田平太郎・柏原真太郎・小村慶太郎	4. 巻 69
2. 論文標題 山上湿地掘削のための可搬型パーカッションコアリングシステム	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 月刊地球, 号外	6. 最初と最後の頁 112-120
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12件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kaneda, H. and T. Chiba
2. 発表標題 Stereopaired morphometric protection index red relief image maps (Stereo MPI-RRIMs): effective visualization of high-resolution digital elevation models for interpreting and mapping small tectonic geomorphic features
3. 学会等名 Seismological Society of America 2019 Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaneda, H. and T. Chiba
2. 発表標題 Stereopaired morphometric protection index red relief image maps (Stereo MPI-RRIMs): effective DEM visualization for interpreting and mapping tectonic geomorphic features
3. 学会等名 International Union for Quaternary Research 2019 Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小嶋 智・前村優仁・桑添拓磨・金田平太郎
2. 発表標題 美濃山地，揖斐川中流域に発達する二重山稜地形の発達過程
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金田平太郎
2. 発表標題 航空レーザー測量データによる詳細地形判読 - 濃尾活断層系およびその周辺を例として -
3. 学会等名 京都大学防災研究所一般研究集会「リモートセンシング技術の進展と活断層・内陸地震研究」（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Komura, K., H. Kaneda, S. Kashihara, T. Nishio, S. Kojima
2. 発表標題 Deformation history of sackung features concentrated around the northern tip of the active Neodani Fault, central Japan
3. 学会等名 The 8th International Workshop on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高木颯汰・金田平太郎・石村大輔・高橋大地
2. 発表標題 濃尾活断層系，黒津断層の活動履歴 ～運動破壊におけるその役割～
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中知季・金田平太郎・井上 勉
2. 発表標題 能郷白山付近における根尾谷断層北部の断層変位地形と活動履歴
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計8件

1. 著者名 金田平太郎・杉戸信彦・田力正好・中田 高	4. 発行年 2018年
2. 出版社 国土地理院	5. 総ページ数 1
3. 書名 1:25,000活断層図「大野」	

1. 著者名 金田平太郎・石村大輔・田力正好・中田 高	4. 発行年 2018年
2. 出版社 国土地理院	5. 総ページ数 1
3. 書名 1:25,000活断層図「冠山」	

1. 著者名 金田平太郎・石村大輔・熊原康博・中田 高	4. 発行年 2018年
2. 出版社 国土地理院	5. 総ページ数 1
3. 書名 1:25,000活断層図「能郷白山」	

1. 著者名 中田 高・金田平太郎・鈴木康弘・中埜貴元	4. 発行年 2018年
2. 出版社 国土地理院	5. 総ページ数 1
3. 書名 1:25,000活断層図「谷汲」	

1. 著者名 岡田篤正・金田平太郎・杉戸信彦・中田 高	4. 発行年 2018年
2. 出版社 国土地理院	5. 総ページ数 29
3. 書名 1:25,000活断層図 濃尾断層帯とその周辺「大野」「冠山」「能郷白山」「谷汲」「美濃」「岐阜」解説書	

〔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
研究協力者	小村 慶太郎  (Komura Heitaro)	一般財団法人電力中央研究所    (82641)	
研究協力者	高木 颯汰  (Takagi Sota)		
研究協力者	田中 知季  (Tanaka Took)		
研究協力者	柏原 真太郎  (Kashihara Shintaro)		
研究協力者	林 星和  (Hayashi Hoshikazu)		
研究協力者	井上 勉  (Inoue Tsutomu)		
連携研究者	小嶋 智  (Kojima Satoru)  (20170243)	岐阜大学・工学部・教授    (13701)	
連携研究者	杉戸 信彦  (Sugito Nobuhiko)  (50437076)	法政大学・人間環境学部・教授    (32675)	

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
連携研究者	石村 大輔  (Ishimura Daisuke)  (00736225)	東京都立大学・都市環境科学研究科・助教    (22604)	
連携研究者	松四 雄騎  (Matsushi Yuki)  (90596438)	京都大学・防災研究所・准教授    (14301)	

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