

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：13102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560178

研究課題名(和文)GISによる豪雨時のリアルタイム斜面崩壊危険度評価手法の開発

研究課題名(英文)Development of GIS based realtime evaluation method of hazard for wide-area slope collapse during heavy rain

研究代表者

大塚 悟 (Satoru, Ohtsuka)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40194203

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はGISを用いて豪雨時の斜面表層崩壊のリアルタイム危険度評価システムの開発を実施した。はじめに、2004年の中越地震における斜面の広域崩壊事例を実規模模型試験と捉えて逆解析を実施し、斜面の表層強度の逆算を行った。次に、平成16年、23年の福島新潟豪雨災害の斜面被害データを収集し、統計分析を実施した。これらの結果に基づき、時間雨量および実効雨量(土壌雨量指数)の降雨データを用いた斜面のリアルタイム危険度予測モデルを構築した。

研究成果の概要(英文)：In this research, a real-time risk evaluation system of surface slope failure during heavy rain was developed by using the GIS software. First, the shear strength property of soil at slope surface was investigated by reverse analysis of wide-area slope disaster by treating the disaster in 2004 Chuetsu earthquake as a full scale model test. Then, by collecting slope failure datas of 2004 and 2011 Fukushima- Niigata heavy rainfall disasters, statistical analyses of two slope disasters were carried out. Based on these results, the real-time risk evaluation model of slope failure was developed by using rainfall record in time.

研究分野：防災工学

キーワード：斜面災害 豪雨 危険度評価 地理情報システム

1. 研究開始当初の背景

豪雨時の斜面災害の多くは表層崩壊であり、毎年豪雨時に多くの人命が失われている。平成 26 年度にも広島で豪雨災害が有り、甚大な被害の発生したことは記憶に新しい。斜面災害の防止対策はハード対策とソフト対策があるが、危険斜面の個数が多いことからハード対策には限界があり、ソフト対策による防災施策の推進が期待されている。しかし、ソフト対策による防災は長期の視点から推進される施策であり、短期に効果の上げる施策ではない。したがって、ソフト対策の推進の施策は正しい方向であるが、同時にソフト対策の効果が発現するまで発生しうる災害に対して備える必要がある。

豪雨時の斜面防災の重要な視点に警戒・避難体制の充実がある。住民の避難には避難経路体制の確保は勿論、斜面の危険度について適切な情報を提供する必要がある。近年には気象庁で土壌雨量指数が開発され、災害履歴を反映した危険情報がリアルタイムで発表されている。しかし、この情報は広域のエリア情報であり、斜面防災に必要な個々の斜面の時々刻々の危険度に対する情報は与えられない。一方で、現代は情報のデジタル化が急速に進展しており、社会のあらゆる情報がデジタル化され、大量のデータを瞬時に検索、加工できるようになっている。社会基盤データもデジタル化されており、詳細な地形データなどの基盤情報が提供されるほか、災害データもデジタル情報に整理されている。地理情報システム (GIS) は各種のデジタル情報を地図上に格納することが可能であり、個々の斜面の危険度を斜面の様々な属性を素因に用いて、降雨などの誘因に対して瞬時に広域の危険度評価を分析することが可能である。

本研究は上記の社会的背景に基づいて、GISを用いた豪雨時の斜面のリアルタイム危険度評価手法を開発するものである。

2. 研究の目的

豪雨時の斜面崩壊は多数が崩壊深さ 1m 以内の表層崩壊である。斜面の表層には風化層が形成されると、低強度のために豪雨時に崩壊を生じる。崩壊すると、風化層が喪失するために安定になるが、経年変化に伴い風化層が形成されると崩壊する繰り返しが生じる。したがって、災害履歴は斜面危険度の大きな因子であるが、住民は直近の災害にしか興味を示さない。被災した住民が住宅の再建時に被災した住宅と同じ位置に居住するのは、繰り返し見られる傾向である。広島災害で住民の意見を伺った時に、被災地域が斜面崩壊の危険があることを知らなかったり、近年には災害がないので斜面の危険度は低いと考えるのは、上記の斜面崩壊のメカニズムに対する認識の不足を表している。

本研究の目的は豪雨時の斜面崩壊に対する危険度を豪雨に対してリアルタイムに評

価する方法を開発することにある。新潟県では平成 16、23 年に福島・新潟水害が発災し、山間地を中心に多くの斜面災害が発生した。これらの災害データを活用して、GISを用いた統計分析を実施して、災害予測モデルの開発を行う。

3. 研究の方法

研究は 2 つの分析により構成される。1 つは豪雨時の斜面崩壊特性の分析であり、平成 16、23 年に発生した福島・新潟水害の斜面災害の特性を分析する。もう 1 つは斜面の表層崩壊メカニズムに関する検討であり、斜面表層風化土の強度特性の検討である。平成 16、23 年に発生した福島・新潟水害の被災地域は新潟県中越地域に位置しており、平成 16 年がやや北部、23 年がやや南部に位置する。一方、平成 16 年には両被災地に挟まれる地域で新潟県中越地震が発生し、甚大な斜面災害が発生した。中越地震の斜面災害は多くの調査研究が行われており、斜面災害の発生場所や規模については航空写真を基にデジタル化されている。本研究では地震と水害による斜面災害の分析により構成する。

具体的には、平成 16、23 年に発生した福島・新潟水害の被災データに関して、地質、斜面傾斜角、時間雨量、実効雨量 (土壌雨量指数) の相関関係を調査し、斜面の危険評価モデルを構築する。また、統計分析では上記の指標以外の斜面危険度の評価に有効な指標の抽出と適用性の検討を行う。

また、中越地震では表層崩壊の逆解析により斜面風化土の強度特性を調べる。地震による斜面の広域災害は、見方を変えると広域で実規模模型試験を実施したと考えることができ、現実に存在する様々な条件下の斜面の崩壊・非崩壊事例から様々な現実的な情報を抽出することが可能である。表層崩壊は風化土の強度と斜面傾斜角、地震入力加速度で表現できることから、これらの指標の平均値とばらつきを考慮して逆解析を実施する。合わせて、中越地震における斜面災害の特徴を統計分析して、逆解析の適用性に関する照査を行う。

4. 研究成果

4. 1 とりまとめ

本研究は GIS を用いて豪雨時の斜面表層崩壊のリアルタイム危険度評価システムの開発を試みた。システム開発の基礎資料として、先ず斜面の表層強度の逆算を実施した。

平成 16 年の中越地震における斜面の広域崩壊事例を実規模模型試験と捉えて逆解析を実施した。表層崩壊に関する崩壊率を求めると、地質による斜面の崩壊率の変化は小さく、堆積岩を主体とする山間地では地質の影響が小さく、ほぼ同様の表層強度を有することが確認できた。

次に、新潟県で発災した平成 16 年、23 年

の福島新潟豪雨災害の斜面崩壊事例の統計分析を実施した。新潟県および国土交通省と協力して斜面被害データを収集し、崩壊地の面積に着目した崩壊率を定義して、統計分析を行った。平成16年災害では西山丘陵と東山丘陵で発災したが、統計分析では西山丘陵は物理モデルと整合する結果が得られるのに対して、東山丘陵は整合しない結果が得られた。災害データの統計分析はデータに依存するために、有意な分析結果が得られない結果となった。一方、平成23年災害に関して、被災データの統計分析とともに、降雨データを用いて時間雨量および実効雨量（土壌雨量指数）を用いた整理を実施して、雨量データと崩壊発生率との相関関係を調査した。分析結果に基づいて、雨量データを用いた斜面のリアルタイム危険度予測モデルを構築した。しかし、モデルの構築上の問題は斜面の崩壊時刻が不明な点であり、研究結果については今後適用性の検証が必要である。被災データの更なる追跡調査を通して、モデルの高度化を図る予定である。

4.2 中越地震の広域斜面災害の統計分析と逆解析による斜面表層強度の検討

平成16年に発災した中越地震の斜面崩壊状況を図1に示す。図は防災科学技術研究所による航空写真を用いた崩壊斜面の抽出結果をGIS上に整理したものである。図には深層崩壊（141件、271万 m^2 ）、浅層崩壊（609件、125万 m^2 ）、表層崩壊（4504件、262万 m^2 ）の崩壊形態に分けて整理している。斜面崩壊のインパクトを面積で計測することとして、面積比で崩壊率を求めると、図1の断層線の東西方向の距離による斜面発生率の

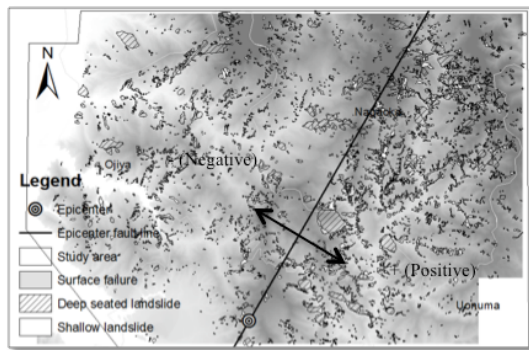


図1 中越地震の斜面災害

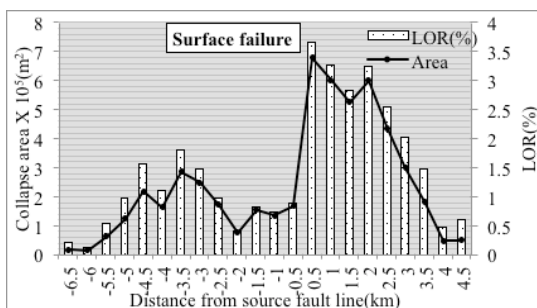


図2 表層崩壊と断層線との関係

差異は図2に表される。図2は地質の影響の小さい、表層崩壊に着目している。中越地震が断層の西側地盤が隆起する逆断層地震である。したがって、断層線の西側の斜面崩壊の発生率が高い結果となった。地質分布による表層崩壊の発生率と調べたところ、地質による発生率の差異は見られず、ほぼ同様の発生率が確認された。図3は深層崩壊、浅層崩壊、表層崩壊の断層線からの距離に対する崩壊発生率を示す。表層崩壊、浅層崩壊は断層線からの距離に比例して崩壊率が減少するのに対して、深層崩壊は相関の低い結果が得られ、地質や地形などの影響の大きいことが分かる。図4に表層崩壊の斜面傾斜角による発生率を示す。斜面の発生面積では斜面角度40-45°の発生が最も高い結果となったが、面積比による斜面崩壊発生率では斜面確度が大きいほど発生率が高くなる傾向があり、従来にない知見が得られた。図5に表層崩壊に関する斜面傾斜角度と断層線からの距離と崩壊発生率との相関を示す。実測データではややバラつきのあるものの、比較的明瞭な相関関係が示された。

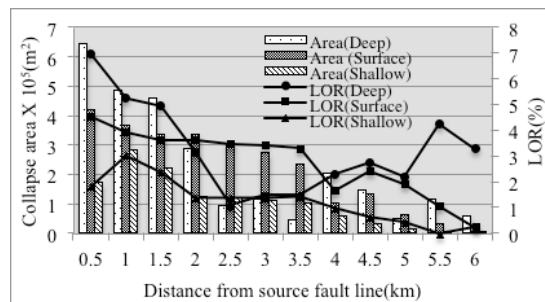


図3 断層線からの距離と斜面崩壊発生率

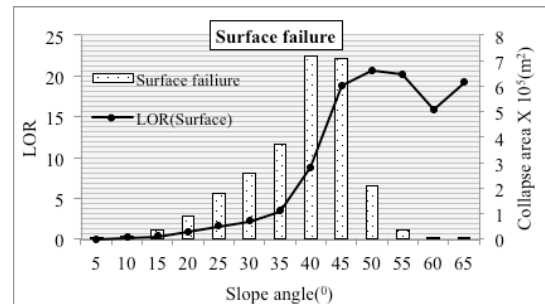


図4 斜面傾斜角による表層崩壊発生率

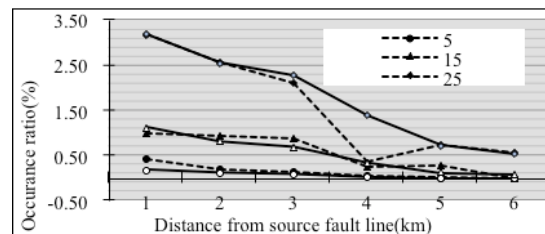


図5 表層崩壊の斜面傾斜角・断層線からの距離による崩壊発生率

本研究では以上の研究成果に基づいて、表層崩壊斜面の逆解析による斜面表層地盤の強度について検討する。地盤の強度の統計的なバラツキについては、多くの研究が有り、正規分布に従うことが知られている。本研究

でも平均値および分散を未知数として斜面に適用する。地震による入力静的震度法を用いる。震度係数は断層線からの距離により変化するものとして、正規分布を仮定して平均値と分散を与えた。震度係数の分散は断層から等距離であっても斜面の方位により、入力地震動が異なること、応答特性による差異などによるバラツキに相当する。解析結果を図5に示して、中越地震における斜面被害データと比較したが、ほぼ合理的に説明する崩壊発生率が得られている。その結果、斜面の表層強度は平均10kPa、分散0.2が得られた。この結果は表層破壊の崩壊深度が1mとすると、内部摩擦角が30°に相当し、妥当な結果といえる。また、震度係数は断層線からの距離に応じて図6のように得られた。

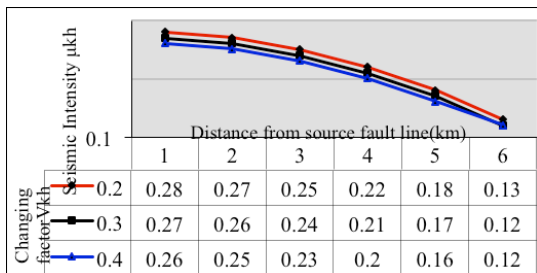


図6 震度係数の逆算結果

4. 3 H23 福島新潟水害の統計分析

平成 23 年の福島新潟水害における中越地域南部の六日町市近郊の斜面災害について統計分析を実施した。斜面災害データは国土交通省湯沢砂防事務所にて整理した、斜面災害データを用いた。また、標高データは湯沢砂防事務所が作成した 1m メッシュの高解像度 DEM データ、降雨データは気象庁作成の 1km メッシュ全国合成レーダデータを用いる。

図7に崩壊斜面の崩壊長さを示す。図では20-30mの崩壊が最も多く、表層崩壊が多数を占めている。

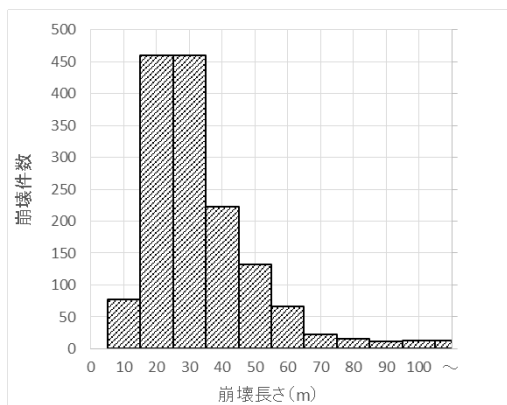


図7 崩壊斜面の崩壊長さ

斜面傾斜角度による斜面崩壊の割合を示すために、崩壊斜面の総面積を図8に示すが、50-65°の高角度斜面で崩壊の多いことが分かる。この結果は中越地震の被災地の表層崩壊の状況(図4)とずい分と異なる。しかし、面積比による崩壊発生率で整理すると、傾斜角度と高い相関関係が見られる。図9に地質

図と斜面崩壊の分布を示す。当該地区は中央やや西側に六日町断層が有り、西側地区と東側地区で地質が異なる。西側地区は中越地震の被災地と同様にフォッサマグナに当たる堆積岩であるのに対して、東側は年代の古い深成岩が分布する。そのために地質により、表層破壊の発生率に差異が見られる結果となった。

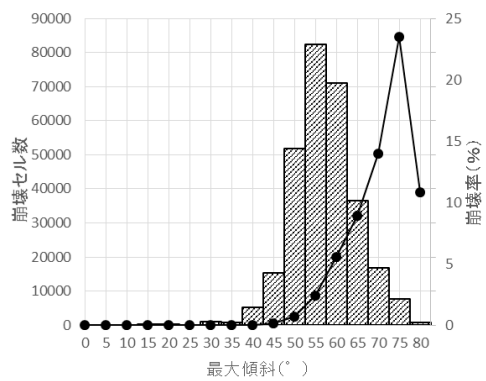


図8 崩壊斜面の傾斜角度による面積と発生率

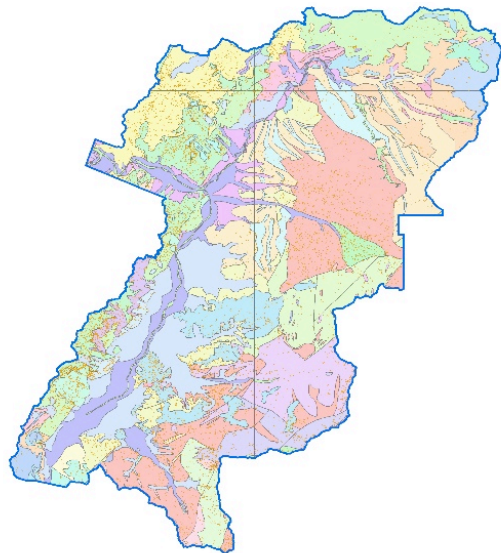
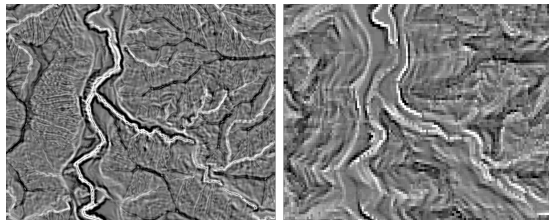


図9 地質分類崩壊斜面の分布

斜面崩壊は地形の影響を受けるために、一般に遷急線や遷緩線との相関が指摘されることが多い。本研究では斜面の地形的な凸性や凹性に注目して、遷急線や遷緩線を標高データから抽出する方法を調べた。GIS上での操作時間を考慮して、データはラスタ形式データで解析することとして、3×3の検索窓を設定し、窓内の9点の標高を用いて対象点における地形変化量 Δh を求めた。検索窓の大きさは可変とし、3×3、9×9、27×27の検索窓を用いる。 Δh の値が正の場合は凸型、負の場合は凹型、0に近い場合は平坦な斜面と評価する。検索窓の大きさを可変にした理由は、高解像度のDEMデータを使用して Δh の計算を行った場合に、細かい起伏が抽出され、目的の地形変換点が抽出されない問題があることによる。図10に検討結果を示すが、1mDEMデータを用いて、27×27の検索窓を用いる場合に、遷急線や遷緩線をシャープに評価することができた。抽出した遷急線や遷緩

線を用いてバッファ距離により、斜面の崩壊確率を整理した。有意な関係は認められるが、崩壊確率の予測には更なる高度利用に関する検討が必要である。



(1) 27*27 (1mDEM) (2) 3*3 (10mDEM)

図10 地形データによる遷急線、遷緩線の抽出
 表層崩壊の形状は図11に示すように様々な形状がある。異なる崩壊形状の生じた理由を明確にするために、崩壊形状ごとに崩壊斜面の自動分類を試みた。ここでは同周長円面積比や重心ズレ率を算出し、図12のように整理した。地形データから抽出した様々な指数を用いて整理を試みたが、図12の結果が最も各崩壊形態の差異を明確に示す結果となった。得られた崩壊形態の差異を用いて崩壊斜面の諸性質との相関関係の調査を行ったが、破壊形態の差異による顕著な地形的な特徴は見出だせなかった。GISを用いた地形分析に関する学術的な成果は得られたが、斜

形状名	円	楕円	流出型	V字型
形状				

図11 斜面崩壊形状による分類

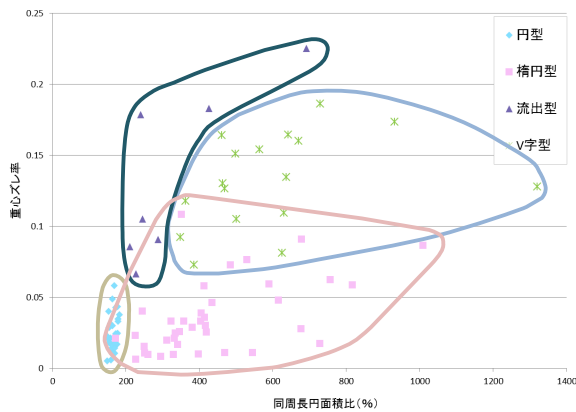


図12 斜面崩壊形状による分類

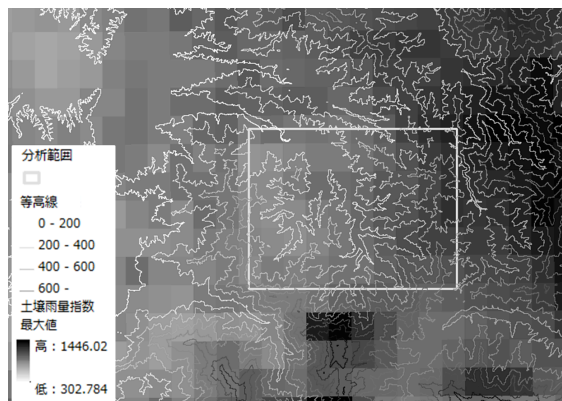


図13 被災地の地形と土壌雨量指数分布

面災害の防止については継続した検討が必要である。

斜面崩壊に及ぼす降雨の影響について時間雨量と実効雨量を用いた検討を行った。実効雨量については気象庁の提案する土壌雨量指数を用いて、降雨データにより、時々刻々の指数を算出して斜面崩壊に及ぼす因子(地質、斜面傾斜角度)との重回帰分析を実施した。予測モデルは斜面の危険度を表現するが、前述するような崩壊斜面の地形情報の導入などの更なる予測精度の向上が必要である。図13は地域の各点における土壌雨量指数の最大値の分布を示すが、斜面の崩壊時刻が不明なことからデータの有意性にやや欠ける問題がある。今後、被災データの更なる追跡調査を通して、モデルの高度化を図る必要が課題に残された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4件)

(1) Surangi Bandara and Satoru Ohtsuka: Spatial distribution of landslides triggered by the 2004 Mid Niigata prefecture earthquake in Japan, 14th International Conference of the International Association on Computer Methods and Advances in Geomechanics, 査読有, USB, 2014.

(2) Surangi Bandara and Satoru Ohtsuka: Seismic Landslide Hazard Assessment and Evaluation of Factors Controlling Landslides In 2004 Chuetsu Earthquake, The 3rd International GIGAKU Conference in Nagaoka, 査読なし, S0-1, P.90, 2014.

(3) Surangi Bandara and Satoru Ohtsuka: Inverse analysis of surface slope failures caused by 2004 Mid-Niigata prefecture earthquake, International Workshop on Geotechnology for natural Disasters-6th Japan-Taiwan Joint Workshop on Geotechnical Hazards from Large earthquakes and Heavy Rainfalls, 査読なし, 19-20, 2014.

(4) Surangani BANDARA, Satoru OHTSUKA, Tsukasa IWABE, Yasuyuki MIYAKI and Koichi ISOBE: Analysis of geological and geomorphological characteristics of landslides triggered by 2004 Chuetsu earthquake in Japan, INTERPRAEVENT International Symposium 2014, 査読有り, USB.

[学会発表] (計 3件)

(1) 加藤大佑・大塚悟:平成23年7月新潟・福島豪雨の事例解析による広域斜面危険度予測手法の基礎的研究,第32回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集,土木学

会, pp. 198-199, 2014.

(2) 中川新地・関孝文・大塚悟・磯部公一・宮木康幸・山岸宏光：7・13 新潟福島水害の事例解析による広域斜面危険度予測手法の基礎的研究, 第 49 回地盤工学研究発表会, 地盤工学会, pp1831-1832, 2014.

(3) 加藤大佑・大塚悟：高解像度 DEM データを用いた豪雨時斜面崩壊の地形要因分析, 第 50 回地盤工学研究発表会, 地盤工学会, 2015. (掲載決定)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://cde.nagaokaut.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大塚 悟 (OHTSUKA, Satoru)

長岡技術科学大学大学院・技学研究院・教授

研究者番号：40194203

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし