

令和元年6月26日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06520

研究課題名(和文) 流況平滑化河川での植生進出と微地形変遷に対する水理学的検討

研究課題名(英文) Hydraulic investigations on expansion of vegetation region and evolution of microtopography on river channels under less disturbed flow regime conditions

研究代表者

赤堀 良介 (AKAHORI, Ryosuke)

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50452503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：切り下げ後の砂州に進出した草本群落が河川景観の微地形に変化を及ぼすプロセスに関し、継続的な観測と定量的な検討を踏まえて、土砂水理学的知見に基づくシナリオを確認した。また比較的簡易な解析手法により、それら領域における微地形変化の空間的な特性を推定する手法を得た。一方で、観測結果は細粒土砂動態の空間および時間的な非均一性を示しており、これら入力条件の複雑さが細粒分の堆積状況の数値的検討を困難なものとし、定量的な予測検討手段を構築するには至らなかった。今後の検討に関しては、これら複数スケールに及ぶ土砂動態の非平衡性に関する理解が必須であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで定性的に推測されていた河道植生の初期の進出メカニズムに関して、高頻度な観測と定量的評価に基づく検討によって、物理的な記述による説明の糸口を与えた。また、空間的な土砂堆積状況について概況を検討し得る簡易な数値モデルを開発した。土砂堆積速度などの定量評価を実施するためには今後のさらなる検討が必要であるが、砂州を切り下げた後に、どこで何が生じ得るか、といった基本的な問いに関しては、土砂水理学の切り口から説明可能な多くの知見を得られたと言える。

研究成果の概要(英文)：In this study, the mechanisms of the expansion of the vegetation regions and the evolution of the microtopography where the vegetation plays important rolls were investigated by applying the knowledge of the sediment hydraulics. The relatively simple numerical method to estimate the spacial characteristics of those vegetation regions were proposed as well. The results confirmed that our proposed mechanisms can basically illustrate the observed phenomena in the field. On the other hand, the integrated numerical model that is able to quantitatively evaluate the mechanisms above was not sufficiently developed.

研究分野：水理学

キーワード：樹林化 微地形 浮遊砂 ウォッシュロード 現地観測 土砂水理学 SfM-MVS

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

河道内に過度に侵入した植生は抗力を生じ水位上昇の一因となるほか、河川本来の営力による河原の更新を阻害し河床低下を促すなど、治水安全度の低下や河川生態系への影響などが危惧されている。このため樹林化の抑制が河川管理上重要な課題となっており、近年になり盛んに研究が進められてきた。これら既往研究に共通する認識として、1)近年の全国的な樹林化の進展における重要な要因を複断面化やダム建設等の人為な河道攪乱頻度の低下(流況の平滑化)に置き(藤田ら、2003)、植生消長モデルの構築に当たっては、2)大規模出水時の物理的要因(主として掃流力)による植生流失と、中小規模出水の継続期間での数理生態的に記述された植生の進出と変遷という、性質の異なる概念を組み合わせる例が多い(前野ら、2014)。

既往研究のうち、藤田ら(2003)、清水ら(1999)、辻本ら(1996)は、中小の出水期間における細粒土砂の堆積が樹林化進行の重要な要因とみなしている。藤田らは先駆的植生がトラップにより細粒分を礫床上に堆積させた層を「表層細粒土層」とし、オギやセアカシアなどの進出が進展していくためのトリガーとした。細粒土砂の堆積は浮遊砂粒子の流水中での沈降特性に基づく物理的な現象である。このような物理的過程を植生侵入過程の指標とすることで、樹林化進展の初期過程を決定論的に記述することが可能であると考えられる。この際、流況平滑化状況での小規模出水に依存した初期の植生進入に関しては、短期的スケールで空間的・時間的に精度の高い検討を行う必要がある。

このような課題に関連し、原田(分担者)は、揖斐川の高水敷掘削後に再堆積した土砂と植物の定着状況を詳細に調査した結果、堆積土砂の粒度分布に時間的変遷が存在すること、現状の植生以前に侵入した先駆的草本類により細粒分の堆積が促進され、植生の進出および水域と陸域の分化が進んだ可能性があることなどを示した。また赤堀(代表者)は、狭窄部や水制付近での浮遊砂輸送の数値解析結果から、局所流による渦の構造が浮遊砂の輸送に影響を与え得る事を示した。さらに、植生を想定した杭群の密度や杭の直径などをパラメータとし、実験水路での浮遊砂挙動を検討した結果、浮遊砂粒子の乱れに対する応答特性(応答スケール)と後流のスケールの相対的な関係が、植生域での細粒土砂堆積にとって重要なパラメータであることを示した。ここで赤堀が示した局所流構造や植生域後流に対する土砂堆積機構の依存性は、原田の示した結果において実現象として示されていると推測された。これより、水理学的な情報(微地形依存の局所流の乱れ、あるいは植生後流の周波数と浮遊砂の関連性)から初期の樹林化の進展の可否を判別し得ると着想するに至った。

参考文献：藤田ら、土木学会論文集、No. 747/II-65、pp. 41-60、2003.；前野ら、土木学会論文集 B1(水工学)、Vol. 70、No. 4、I_1369-I_1374、2014.；清水ら、水工学論文集、43巻、pp. 971-976、1999.；辻本ら、水工学論文集、40巻、pp. 1003-1008、1996

2. 研究の目的

前述の通り、樹林化の初期段階では裸地あるいは先駆的な草本類周辺での細粒土砂堆積が重要であることが指摘されており、河川管理にあたって植生周辺での浮遊砂挙動の理解が必須となる。またこのような土砂の堆積が、中小規模の出水時におけるわずかな比高差から生じる水理条件の差に依存している可能性が指摘されており、河道内の微地形の影響の検討は、植生域での浮遊砂堆積機構の解明において不可避である。本研究では、現地観測および水理実験による検討から、河道周辺の微地形が浮遊砂輸送機構にもたらす影響、および植生が河道内の浮遊砂輸送にもたらす影響を解明し、樹林化進行の初期段階の機構を土砂水理学の立場から物理的に記述した予測的検討手法の構築を試みた。ここでは、以下の4項目により、樹林化初期段階に研究対象を絞り、現象を可能な限り物理的に記述した。

(1)微地形による局所流と細粒土砂堆積の関連性の検討：中小規模の出水のみが発生している期間を流況が平滑化された状況と捉え、このような期間での微地形変化と細粒土砂堆積に関して観測・検討を行った。

(2)植生群後流と浮遊砂粒子応答スケールの比に対する浮遊砂堆積条件の一般化：既往研究より浮遊砂粒子の植生域での堆積が、植生後流のスケールと粒子の応答スケールとの比に応じて生じていることが判明している。この現象に関して現地観測から実河川環境下での一般化を行い、植生域内での浮遊砂粒子の堆積条件を定めた。

(3)初期植生進入過程の物理的機構によるシナリオの確定：実河川での(1)、(2)の要素的検討と、植生進入過程の時系列的な観測を総合的に検討することにより、モデル化を前提とした現象のシナリオを確定した。

(4)初期の植生進入に対する物理的機構に基づく解析手法の確立：微地形による流れ-浮遊砂-植生進入の3者を連成させた数値解析モデルを構築し、物理的記述に基づいた植生進入の予測検討を可能とする手段の構築を試みた。

3. 研究の方法

研究全体を前述の4項目に還元し、観測サイトの特性に応じて詳細計測から全体的傾向の把握まで検討スケールのレンジを変化させた。以下、項目ごとの具体的な研究手法を述べる。

(1)微地形による局所流と細粒土砂堆積の関連性の検討、および(2)植生群後流と浮遊砂粒子応答スケールの比に対する浮遊砂堆積条件の一般化：

詳細観測サイト(札内川)：人為的制御による中小規模出水が観測し得ること、高精度な観測

結果を入手し得ることを優先し、十勝川水系札内川を選定した。札内川では平成 25 年から融雪出水期の礫河原再生事業が行われている。この本来の目的は、融雪期の札内ダムへの貯留を利用して、中小規模の計画出水により植生の流失と礫河原の再生を試みるものである。本計画の開始時点で、既に先行して実施された計画出水前後の ADCP による断面流速分布やレーザー航空測量などの詳細なデータが取得されていた。それに加えて本計画では評定箇所を設け、GNSS/GPS 等を併用して水面下の測量を補助的に行うことで、試験出水前後での詳細観測的な河道内の面的測量を効率良く実施することを目指した。しかしながら、平成 28 年 8 月北海道豪雨災害により対象河川が被災し、本計画実施期間中に再度試験出水が実施されることは無かった。このため札内川に関しては既存のデータを用いた検討のみ実施した。

高頻度観測サイト(庄内川、揖斐川、長良川): これまでに浮遊砂粒子の植生域での堆積が、植生後流のスケールと粒子の応答スケールとの比に応じていることが判明している。この実河川での一般化を目的として、植生域の土砂堆積状況の観測を行なった。対象としては、2000 年の東海豪雨や 2011 年の出水で大規模に植生が消失した後に、現在再び樹林化が進んでいる庄内川、2006 年から 2011 年までに約 7km 区間の高水敷掘削を行った揖斐川を主要な対象とした。さらに流域の土砂動態の特性の違いを検討するため、同じく木曾三川に含まれる長良川での観測を実施した。また補足的に大井川や庄内川支川の香流川の観測を実施した。上記河川より、観測サイトとして幾つかのリーチスケール程度の区間を選定した。これらを対象に最近の中小規模の出水時流況を数値解析的に推測し、その際の土砂堆積の進展を採取した土砂から検討することで、植生後流スケールと浮遊砂粒子応答スケールの関係による堆積状況の変化について検討を試みた。

水理実験サイト(寒地土木研究所): 寒地土木研究所において補足的な室内水理実験を行った。植生模型周辺での流況を PIV により解析し、浮遊砂モデルの樹脂粒子の堆積状況を計測した。

(3) 初期植生進入過程の物理的機構によるシナリオの確定:

近年急速に普及している写真測量を実施し、景観の変化をデジタル的な標高モデルで追跡することで、総合的、空間的な現象把握を試みた。当初は UAV の使用を主体と想定したが、庄内川周辺が人口集中地区であることから代替案として作業用ポール(7m 程度)の先端に取り付けたカメラの使用を提案した。計画では、上記写真測量により 3 次元的地形データを取得し、画像解析を行うことで、微地形の影響を含め、草本類を主体とした植生進出状況を空間分布として把握した。頻度の高い観測を行うことで微地形と植生分布の時空間的な変遷を包括的に捕らえることを目指した。

(4) 初期の植生進入に対する物理的機構に基づく解析手法の確立:

流れ-浮遊砂輸送-初期植生進入を連成させた数値解析モデルの構築を目指した。流れと基本的な河床変動の解析については既往のモデル(iRIC software、<http://i-ric.org/ja/>)の利用を想定していた。結果的には、既往のモデルによる計算結果が示す水理量を GIS 上で整理・評価する手法を中心としたほか、システム化には至らないが、数値解析的なアプローチによる評価手法を複数提案した。

4. 研究成果

上記の 4 項目に関し、それぞれの成果を記述する。

(1) 微地形による局所流と細粒土砂堆積の関連性の検討:

土砂の流送特性(河床材料の粒度分布、河川流況)が異なる揖斐川、庄内川の自然堤防帯区間について現地調査を行い、高水敷掘削後のサイトにおける土砂の再堆積状況、微地形の特徴、微地形と植生の関係性について検討を行った。現地調査の結果、両河川に共通して見られる植物種の生態や形態が、土砂堆積に及ぼす影響の観点からいくつかのタイプに分類できる可能性が示唆された。これら河川を対象に、出水期の土砂再堆積状況をモニタリングした。揖斐川では掘削後 10 年以上が経過してもシルト・粘土クラスの堆積が継続しているのに対し、長良川では掘削後数年経過しても堆積が進んでいないことが確認された。この結果に基づき現地調査及び測量成果の解析を行い、各工区における堆積速度及び堆積土砂の粒度分布等について把握を行った。さらに、国土交通省木曾川上流河川事務所の協力を得て実施した洪水時の採水調査により、揖斐川と長良川のウォッシュロード濃度の把握を行った。この結果、同じ流量規模では長良川に対して揖斐川の方が 1 オーダー程度土砂濃度が高いことが確かめられた。これらの一連の調査結果より、自然堤防帯河道の高水敷掘削後に堆積する土砂の量と質(粒度)は、掘削地の高さや掘削形状よりも、河川毎の土砂流送特性による影響をより強く受けていることを明らかにした。

庄内川の自然堤防帯の切り下げ部において、草本の進出した河道での微地形の変遷について検討を行った。H28 年 9 月の出水の前後で SfM-MVS に基づく微地形測量を実施し、地形変化の状況を高解像度で把握した。この際、UAV の使用が困難な状況でも対応可能なポール取り付け型のカメラによる高所撮影を適用した。観測期間における上記手法で作成された対象地点のオルソ画像の変化を図-1 に示す。数値解析との比較から、堆積傾向領域では草本が倒伏した上で主たる河床材料に被覆され得ること、侵食傾向領域では進出した草本が細粒土砂を保持し微高地の群落を維持し得ることがわかった。結果から、草本による植生群が、捕捉した細粒土砂を出水期間中保持する傾向があることが確認された。また出水後の粒度分布の空間的な差異を検討し、細粒分が草本域での堆積に限られ、むしろ浮遊砂と掃流砂の両形態をとり得る砂分の堆

積がリーチスケールの流れの空間的な構造に依存する可能性が示唆された。また補足的に実施した愛知県長久手市内を流下する中小河川である香流川の改修後の裸地の観測から、細粒分(粘土、シルト)の堆積は草本域以外ではほぼ見られず、かつ土砂濃度の局所性が堆積量評価に影響することが示された。なお、上記観測で重要な手段としたポールカメラについては、手法自体の発展が進み、愛媛県西予市の桂川溪谷において、平成30年7月豪雨に伴う土砂災害の発生地において礫で埋没した河床及びその周辺の3次元地形データを作成するなどの成果を得た。

急流河川である札内川の高水敷において、フラッシュ放流前後の粒径分布の変化を確認するとともに、水理実験によって急流な河道における細砂の流下過程に関する実験を実施し、急流河川の高水敷における樹木群の浮遊砂補足効果について検討を行った。その結果、樹木による浮遊砂の捕捉効果はある程度確認されたが、いずれのケースもすぐに動的平衡状態に達し、樹木による捕捉効果は限定的であることが確認された。砂粒子の移動形式を考察したところ、掃流・浮遊の混在領域に分類される条件下であった。このことより、急流河川では、細砂の移動形態が掃流・浮遊の混在領域に分類される条件下になり得るため、樹木域であっても細砂が地形変化には大きく影響することがないことが確認された一方で、上流から浮遊形態で運ばれてきた細砂が高水敷の樹林域を掃流形態に近い状態で輸送されることから、表層の粒度変化には大きく影響すると考えられる。

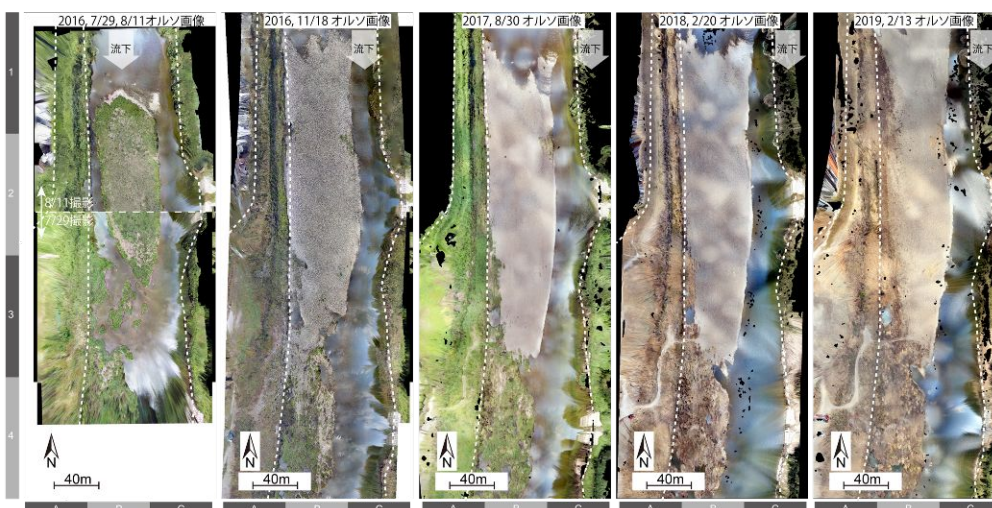


図-1 庄内川 28km 付近のポールカメラ画像によるオルソ画像 (2016 年 7 月から 2019 年 2 月) : 対象地点砂州上流側では裸地が維持され下流側で草本域が維持された様子が示される

(2) 植生群後流と浮遊砂粒子応答スケールの比に対する浮遊砂堆積条件の一般化 :

庄内川、香流川での観測結果から、ウォッシュロード分のような細粒分の堆積が草本域にほぼ限定されることが確認された。一方で既往の水理実験から得られた植生後流周波数と粒子応答スケールの関係性に着目し庄内川における H27 年 9 月出水の数値解析結果と現地細粒土砂堆積の比較を実施した結果からは、植生後流周波数と堆積土砂粒径の関係性が、水理実験ほど明確に示されないことが確認された。その後、対象地点の物理的環境の再現性を高めるために、冠水した草本を対象として水理実験を実施した。この結果からは、土砂濃度フラックスの鉛直分布の差が草本域の局所的細粒分堆積の一因であることを推測された。

(3) 初期植生進入過程の物理的機構によるシナリオの確定 :

揖斐川、長良川での一連の調査結果より、自然堤防帯河道の高水敷掘削後に堆積する土砂の量と質(粒度)は、掘削地の高さや掘削形状よりも、河川毎の土砂流送特性による影響をより強く受けていることを明らかにした。また、庄内川、香流川での検討から、草本域の維持が主たる河床材料の被覆を受けない領域で生じていること、草本域での細粒分の堆積が流下方向における濃度フラックスの鉛直分布の差異に依存すること、さらにその細粒分の濃度分布自体の局所性が重要であることが示された。また庄内川、札内川での検討から、草本進出域における細粒分の堆積以外にも、浮遊砂と掃粒砂の両形態をとり得る砂分の堆積が微地形の形成過程に与える影響が大きいと推測されることが示された。

これらを踏まえた中流域河川での植生域に形成された微地形形成のシナリオとして、1)河床を構成する主たる河床材料による地形変化の影響、特に大規模な河床上昇による被覆を受けにくい領域において、2)砂分が浮遊砂状態から掃流砂状態に遷移しやすい領域を形成している場合に自然堤防的な微高地が成立し、3)その後背地に草本域の維持されやすい領域が形成され細粒分の補足が進展する、といったプロセスが改めて示唆された。さらに、このプロセスの全体としての時間的なスケールは流域の土砂流送特性に依存していることが推測されたほか、草本域自体の堆積の定量的な評価は局所的な細粒土砂濃度のフラックスに依存する可能性が示された。

(4) 初期の植生進入に対する物理的機構に基づく解析手法の確立 :

揖斐川、長良川について、簡易な浮遊砂モデルにより堆積傾向の分析を行なった。揖斐川の堆積土砂の粒度構成はモデルにより良好に表現されたが、長良川については良好に再現されず、流域から供給されるウォッシュロード濃度に違いがある可能性が示唆され、(1)に述べたように、洪水時の観測によってこの可能性は裏付けられた。また庄内川を対象とした一般的な平面2次元解析により、リーチスケールでの礫分の堆積状況が説明可能であった。さらに同様な解析結果に対して植生領域での流速分布を求める簡易な計算式を適用することで、草本域の存在を仮定した場合の浮遊砂・掃流砂の形態を取りえる範囲の算定が可能となった。この手法を適用した結果、おおよその砂分の堆積域の判定が可能であった。

研究全体を通して：

切り下げ後の砂州に進出した草本群落が河川景観の微地形に変化を及ぼすプロセスに関し、継続的な観測と定量的な検討を踏まえて、土砂水理学的知見に基づくシナリオを確認した。また比較的簡易な解析手法により、それら領域における微地形変化の空間的な特性を推定する手法を得た。一方で、観測結果は細粒土砂動態の空間および時間的な非均一性を示しており、これら入力条件の複雑さが細粒分の堆積状況の数値的検討を困難なものとし、定量的な予測検討手段を構築するには至らなかった。今後の検討に関しては、これら複数スケールに及ぶ土砂動態の非平衡性に関する理解が必須であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7件)

赤堀良介、山口里実、佐藤大介、冠水した植生域における浮遊砂の鉛直方向濃度分布の検討、土木学会論文集 B1(水工学)、査読有、Vol. 74、No. 5、2018、I_949-I_954

赤堀良介、溝口敦子、石黒聡士、網状流路を有する大井川における植生域消失と流路変動の関係、河川技術論文集、査読有、第24巻、2018、215-220

原田守啓、角田美佳、赤堀良介、永山滋也、自然堤防帯河川の高水敷掘削後の土砂再堆積～揖斐川と長良川の相違点とその要因～、河川技術論文集、査読有、第24巻、2018、173-178

山口里実、柏谷和久、谷瀬 敦、渡邊康玄、赤堀良介、急流河川における浮遊砂の高水敷および樹木域への堆積過程に関する水理実験、河川技術論文集、査読有、第24巻、2018、101-106

赤堀良介、豊田貴紀、松浦涼介、面的観測手法による植生と河道内微地形の短期間での変遷の検討、土木学会論文集 B1(水工学)、査読有、Vol. 74、No. 4、2018、I_553-I_558

山口里実、久加朋子、清水康行、泉典洋、渡邊康玄、岩崎理樹、河道内の土砂動態と流路変動の関係、土木学会論文集 B1(水工学)、査読有、Vol. 74、No. 4、2018、I_1153-I_1158

赤堀良介、原田守啓、石黒聡士、青島正和、中田詞也、SfM-MVS を応用した出水前後の微地形変遷の検討、河川技術論文集、査読有、第23巻、2017、203-208

〔学会発表〕(計 8件)

井手窪利樹、石橋 匠、赤堀良介、香流川における細粒土砂堆積量の検討、平成30年度土木学会中部支部研究発表会、2019

石黒聡士、川瀬久美子、平成30年7月豪雨による愛媛県における浸水被害と斜面崩壊の特徴、日本地理学会2018年秋季学術大会(日本地理学会における緊急シンポジウム)、2018

赤堀良介、溝口敦子、大井川下流部における出水時消失植生の要因に関して、土木学会全国大会 第73回年次学術講演会、2018

原田守啓、アマナトウラサヴィトリ、角田美佳、自然堤防帯を流れる河川高水敷掘削後の土砂再堆積過程に流域特性が与える影響、ELR2017、2017

赤堀良介、青島正和、中田詞也、SfM-MVS による橋脚周辺での河床変動の検討、土木学会全国大会 第72回年次学術講演会、2017

山口里実、久加朋子、側岸の植生が流路変動に与える影響について、土木学会全国大会 第72回年次学術講演会、2017

山口里実、渡邊康玄、中島康博、河道の分岐特性を利用した札内川ダムの中規模フラッシュ放流による礫河原再生の試み、第19回河川生態学術研究発表会、2016

赤堀良介、野田翔平、堀金広富貴、庄内川の河道内植生域における出水期前後での細粒土砂堆積の傾向について、土木学会全国大会 第71回年次学術講演会、2016

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：原田 守啓

ローマ字氏名：HARADA, Morihiro

所属研究機関名：岐阜大学
部局名：流域圏科学研究センター
職名：准教授
研究者番号（8桁）：00647042

研究分担者氏名：川村 里実（山口 里実）
ローマ字氏名：KAWAMURA, Satomi (YAMAGUCHI, Satomi)
所属研究機関名：国立研究開発法人土木研究所
部局名：土木研究所（寒地土木研究所）
職名：主任研究員
研究者番号（8桁）：70399583

研究分担者氏名：石黒 聡士
ローマ字氏名：ISHIGURO, Satoshi
所属研究機関名：愛媛大学
部局名：法文学部
職名：講師
研究者番号（8桁）：90547499

研究分担者氏名：片桐 浩司
ローマ字氏名：KATAGIRI, Koji
所属研究機関名：国立研究開発法人土木研究所
部局名：土木研究所（つくば中央研究所）
職名：研究員
研究者番号（8桁）：90608069

(2)研究協力者
研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。