

二国間交流事業 共同研究報告書

令和5年5月24日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
鳥取大学・国際乾燥地研究教育機構
[職・氏名]
特命教授・アイエフ スグセハラガウエイ
[課題番号]
JPJSBP 120212201

1. 事業名 相手国: ベルギー (振興会対応機関: F.R.S-FNRS) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) より良い土地管理のためのガリー侵食モデルの開発

(英文) Developing a gully erosion model for better land management

3. 共同研究実施期間 2021年4月1日 ~ 2023年3月31日 (2年 ヶ月)【延長前】 年 月 日 ~ 年 月 日 (年 ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

University of Liege・Professor・Prof. Hubert, Aurélia

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		1,053,746 円
内訳	1年度目執行経費	22,110 円
	2年度目執行経費	1,031,636 円
	3年度目執行経費	円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	9名
相手国側参加者等	6名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	0	0	()
2年度目	2	2	1(0)
3年度目			()

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣: 委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入: 相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

本研究交流は、気候や土地利用の変化と関連したガリ侵食の理解を深めることを主目的とした。具体的には、(i)介入を必要とする侵食ホットスポットの優先順位付けのために、ガリ侵食の時間的・空間的パターンをシミュレートするモデルを開発し、(ii)将来の土地利用や気候変化の潜在的シナリオの下で適切な土地管理戦略を特定することが目的であった。

本研究交流では、エチオピアの3つの対照的な一対の小流域(アバガリマ、グダール、ディバテ)について、次の研究活動を行った。①高解像度衛星画像を用いた大規模なガリマッピングの実施、②機械学習モデルの開発および、それを利用した侵食感受性と制御因子の特定、③ランドプランナーモデルをアバガリマ流域の現地条件に適用し、土地利用や気候要因がガリ谷頭の発達に与える影響の評価、④広範なガリの発生と拡大のデータセットを用いた、グダール流域の Curve Number(CN)法に基づくガリ侵食モデルの校正と検証。これらの成果は、キックオフミーティングや定期的なオンライン会議、フィールドおよびリモートセンシングデータの収集、データ分析や論文執筆、若手研究者が積極的に参加したセミナー、ワークショップ、研究・交流訪問など、研究参画者間での研究計画の改良を行ってきたことで達成することができた。特に、新型コロナウイルスの世界的流行による海外渡航制限が緩和された 2022 年には、ベルギー側と日本側の研究者が交流訪問を実施したほか、2022 年 8 月 10 日～22 日、ルーヴェン・カトリック大学の Vanmaercke 教授の学生である DeGeeter 氏が、エチオピアのデブラ・マルコス大学を訪問し、鳥取大学が以前から実施しているガリ侵食研究のサイトを視察したり、実際ガリ侵食が発生した箇所の調査などを実施したりすることができた。研究成果について、数回の合同オンライン会議、3 回の対面会議、1 回のオンラインワークショップ、および 1 回の国際会議においてそれぞれ議論や発表が行われた。それに加えて、2022 年 9 月 27 日から 10 月 7 日にかけて、鳥取大学がベルギー側代表者の現所属機関であるルーヴェン・カトリック大学を訪問した際、両大学間での学術交流協定の締結についての協議など、両大学が緊密に連携するきっかけとなった。

しかし、主に次の2つの理由により 2021 年度に予定していた活動が 2022 年度に延期となった。①予定していたベルギー側、日本側の出張が、各国の渡航制限により 2021 年度に実施できなかったこと、②ベルギー側の助成機関である学術研究財団(F.R.S-FNRS)との研究継続に関する交渉に時間を要したこと。具体的には、ベルギー側代表者である Matthias Vanmaercke 教授が 2021 年 9 月にリエージュ大学を退職し、同年 10 月にルーヴェン・カトリック大学に着任したことに伴って、最終的に学術研究財団(F.R.S - FNRS)は、リエージュ大学の Aurélie Hubert 氏を代表者とする一方で、Vanmaercke 教授が新たな所属先であるルーヴェン・カトリック大学を拠点として研究を継続することを認め、以後もプロジェクトを円滑に進めることができた。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

本研究交流の成果として、Geomorphology (Elsevier) 誌および Land (MDPI) 誌にそれぞれ1本の論文を投稿中であるほか、2本の論文について、2022 年アメリカ地球物理学連合(AGU)学会で口頭発表を行った。さらに、もう1本の論文を国際誌へ投稿するため現在原稿の準備を進めている。詳細は以下のとおりである。

第一に、Geomorphology 誌に投稿中の研究では、高解像度リモートセンシングプロダクトと詳細なフィールド調査データを統合し、エチオピアの青ナイル上流域の対照的な農業生態環境(高地、中間地、低地)にある 6 つの代表的な流域において、ガリ侵食感受性を評価し、その制御要因をランダムフォレスト(RF)モデルを用いて特定した。具体的には、地理情報システム環境において、0.5～30m の 8 種類のピクセル解像度のデータセットから、20 種類の制御因子のデータを抽出し、流出パラメータを含む 7 つの主要なガリ侵食感受性制御因子を特定した。観測データに対して優れた性能を発揮した RF モデルによる解析結果から、ガリ侵食の影響を受けやす

い土地は、排水網から水平・垂直方向に短い距離にある、流出生成能力の高い敏感な土壌を持つ低地の放牧地や耕作地であることが明らかになった。流出 CN-II がガリ侵食を制御する最も重要な要因の一つであることを明らかにしたことは、プロセスベースのガリ侵食モデルの改良に有用な新しい知見である。

第二に、Land 誌に投稿中の研究では、エチオピアの青ナイル上流域にある中間地の 2 つの流域(ケチャとラグナ)において、土地利用・土地被覆(LCLU)の変化および降雨の変動がガリ侵食に与える影響を、集中的な現地観測と統合した LANDPLANER モデルを使った調査を実施した。過去(2005 年)、現在(2021 年)、未来の CN のそれぞれについて、4 つの降雨シナリオ(10、30、60、100mm)下でのガリ侵食を、動的侵食指標)、静的地形、侵食チャネルの閾値を用いてシミュレーションを行った。両流域とも 10mm 降雨の侵食誘発ポテンシャルはごく僅かであったが、60mm、100mm 降雨シナリオでは 30mm 降雨シナリオの 4.20~5.49 倍、10.02~16.95 倍の侵食誘発ポテンシャルがあることが明らかになった。土壌・水保全(SWC)が実施されていないラグナ流域では LULC 変化により、2005 年から 2021 年の間に降雨の影響が 0.25~1.57%しか増加しなかったのに対し、SWC が実施されているケチャ流域では LULC 変化と SWC 実践の組み合わせにより、降雨の影響を 64.36~78.93%大幅に減少した。同様に、ケチャのガリ発生面積は 28.51%減少した(2005 年の 33.45%から 2021 年の 4.94%)が、ラグナではわずかに 0.35%増加した(2005 年の 42.27%から 2021 年の 42.63%)。この研究結果については、近日中に Land Degradation and Development (Wiley) 誌に投稿する予定である。

第三に、2022 年 12 月に AGU 学会にて発表した研究では、青ナイル川上流のチェモガ流域の地形的・気候的に対照的な中規模流域について、ガリの分布を示し、この分布と地域気候や岩相単元などの考えられる説明要因との関連性を明らかにし、さらに、青ナイル川上流のチェモガ流域におけるガリ侵食に対する景観の感度を評価するために、重要な説明因子を含む複合指標を作成した。オンスクリーン・デジタイゼーション手法を用いて、高解像度の衛星画像からガリ侵食範囲をデジタル化し、地図化した。流域のガリの総面積は約 884ha で、全流域面積の約 10%を占めていることが明らかになった。予測されるガリの面積と割合分布を、9 つの制御因子について分析した結果、中傾斜地(10-15%)に位置し、土壌が細かい Haplic Alisols が支配的な最上部トラップ玄武岩層で、岩片被覆の少ない箇所がガリの発生に最も敏感な地域であることが判明した。さらに、ガリ侵食の 90%近くは、最上部トラップ玄武岩層で発生していることが明らかになった。流域の侵食・土砂堆積速度を評価するためには、風化度合いや構造的な連結性といった岩相単元の貢献度について、現地でのさらなる定量的な研究が必要である。

第四に、前述の研究とともに AGU 学会にて発表したこの研究では、エチオピアの青ナイル上流域の対照的な農業生態環境(高地、中間地、低地)にある 6 つの代表的流域において、土壌侵食量の推定とガリ侵食感受性の予測に数値標高モデル(DEM)の解像度が及ぼす影響について、高解像度リモートセンシングプロダクトと現地調査を統合して調査した。各農業生態環境は、土壌や水質保全の処理条件が相対的に異なる対の流域で構成される。高精細版 DEM を地理情報システム環境で集約し、0.5~30m の空間分解能の異なる 8 つのデータセットを作成した。土壌侵食の推定には RUSLE モデル、ガリ侵食深刻度の予測にはランダムフォレスト(RF)をそれぞれ用いて、各ガリデータセットのデータの約 70%と 30%をそれぞれ訓練と検証の目的で無作為に選択した。標高、方位、流域規模に関する流域の地形特性は、RUSLE の斜面長(L)、傾斜度(S)、地形係数(LS)の因子に加え、DEM 分解能が影響することを確認した。L 因子と S 因子を別々に解析した結果、より粗い解像度で集計した場合には、最も細かいピクセル解像度と比較して、それぞれ 150%の過大評価と 50%の過小評価が見られた一方、LS 因子を用いた解析では、流亡土量の推定値が最大で 85%上の過大評価となった。一方、ガリ侵食感度の予測は空間分解能の向上とともに改善され、最も細かい分解能のデータセットを使用した場合、RF は優れた性能(Kappa 値 > 96%、感度 > 97%、特異度 > 99%、総合正確度 > 98%)を示している。DEM の空間分解能は、流域の地形属性、流亡土量の推定、ガリ侵食深刻度の予測に影響を与えるということが明らかになった。したがって、流域の地形や地形的な表面プロセスに焦点を当てた研究では、正確な推定や予測を行うために、

利用可能な最も細かい空間分解能の DEM を使用することを検討する必要があると結論付けた。

第五に、エチオピアのグダール流域におけるガリの発生と拡大を予測する CN 法の性能について、詳細な分析を行い、ガリ谷頭の位置とそれに対応する拡大率の詳細なデータセットを集中的に校正・検証し、単純かつ有用なガリ侵食モデルを開発している。具体的には、まず初めに、日本側チームが詳細な土地利用や土壌のデータから推測した CN 値を用いて、ピーク流出値(プロキシ)のモデルシミュレートを行う際、斜面の勾配に関する情報とあわせると、ガリ谷頭における流出水のせん断応力のプロキシを算出することができる。次に、これらのせん断応力プロキシを、ある個所でのガリの発生や拡大の危険性を示すことができるよう、土壌の局所的な臨界せん断応力の指標と照らし合わせる。ガリの発生や拡大を CN 値のみで説明することは難しいが、地域の地形や土壌・植生特性との統合により、ガリの発生を予測することが可能であり、10m の解像度で開発したガリ侵食モデルは、現時点で有用と判断できた。今後、同様の手法でガリ膨張の予測が可能かどうかについても検証する。このモデルは、既存の広く利用されているモデルの概念を基に構築したが、今後、ガリに関する完全なデータセットで徹底的に検証し、機能的なモデルを構築することとしている。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

メール連絡、オンラインミーティング、2 回の半日オンラインワークショップ、2 回の対面セミナー(鳥取、ベルギー各 1 回)、交流訪問 1 回、さらにエチオピア国内のガリ侵食地点の共同視察、アメリカ地球物理学連合(AGU)の会議への参加などを実施した。詳細は以下のとおり。

2022 年 2 月 24 日と 25 日に、(1)ガリ侵食の評価、実験、モデル化に関する研究の進展について、(2)2022 年度の活動計画について、(3)鳥取大学、リエージュ大学、ルーヴェン・カトリック大学間のガリ等の侵食および土地劣化研究における更なる協力の可能性について、の 3 点について、それぞれ半日のオンラインワークショップを開催した。鳥取大学から 11 名、リエージュ大学およびルーヴェン・カトリック大学から 5 名、デブラ・マルコス大学(エチオピア)から 3 名、延世大学校(韓国)から 1 名の計 20 名が参加した。参加者全体のうち、14 名が若手研究者や博士課程の学生であった。オンラインワークショップは、著名な土壌侵食学者であるルーヴェン・カトリック大学の Jean Poesen 教授の基調講演に始まり、ガリ等の侵食について様々な側面について扱った論文 8 本についての発表の後、鳥取大学の恒川篤史教授の閉会挨拶で閉会した。

2022 年 9 月 27 日～10 月 7 日 鳥取大学関係者がルーヴェン・カトリック大学の地理・観光学科を訪問し、以下の活動を行った。(1) 恒川教授および Haregeweyn 特命教授による地球環境科学科の博士課程の学生や研究者向けのセミナー発表、(2)Vanmaercke 教授の博士課程学生 6 名によるセミナー発表、(3)ルーヴェン・カトリック大学副学長 Gerard Govers 教授との研究教育面での連携についての協議。副学長は、Haregeweyn 教授のルーヴェン・カトリック大学在学中、博士課程の副指導教員でもあったことから、将来的にルーヴェン・カトリック大学と鳥取大学との間で学術・研究協定を締結する用意があることを表明した。さらに、ルーヴェン・カトリック大学は鳥取大学と長年にわたる協力実績のあるエチオピアのバハルダール大学とも良好な協力関係を築いていることから、ベルギー、エチオピア、日本の三国間協力が実現する可能性がある。

2022 年 10 月 5 日～11 月 11 日、当初リエージュ大学に在籍しており、Vanmaercke 教授のルーヴェン・カトリック大学へ編入し、現在も Vanmaercke 教授の担当博士課程学生である Sofie DeGeeter 氏が研究のため鳥取大学を訪問した。滞在中は、鳥取大学が設置したエチオピアのグダール流域実験サイトについて、CN 法を用いたガリ発生および時間的ガリ後退のモデリングに関する研究を行った。この間、鳥取大学の Haregeweyn 特命教授と恒川教授の指導のもと、Tadesual Asamin Setargie 氏など、鳥取大学博士課程の学生との緊密に連携して研究を行なった。グダール流域についての研究を開始した DeGeeter 氏にとって、日本側がグダール流域について保持しているデータや専門知識は、研究効率を上げる有益なものであった。また、恒川教授と Haregeweyn 特命教授の研究室セミナーにも参加し、ガリ侵食のモデリングに関して DeGeeter 氏が実施した過去の研究や

現在の研究内容について発表した。DeGeeter 氏の鳥取大学滞在は非常に充実したものとなった。

2022 年 8 月 10 日～22 日、ルーヴェン・カトリック大学の Sofie DeGeeter 氏が長きにわたり鳥取大学と研究を行うデブラ・マルコス大学の Tafere Tafesse 学長や、同じく鳥取大学の長きにわたる研究協力機関であるバハルダール大学の若手研究者らと共に、鳥取大学のエチオピアガリ侵食研究サイトにおける調査に参加した。この際、ガリ侵食の深刻さと、それが地域社会や土地資源に甚大な影響を及ぼしていることを再確認することができた。ガリ谷頭の急速な拡大により、住宅地が脅かされていた。このエチオピアでの現地調査は、数年前からリモートセンシングデータを用いてアフリカのガリ侵食を研究している DeGeeter 氏の博士課程研究にとって重要なものとなった。この現地調査は、エチオピアのガリ侵食の様々な破壊的性質を目の当たりにする重要な機会となったほか、DeGeeter 氏が研究対象とするグダール流域についての論文を執筆する際に有用となる知識を得る機会となった。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

過放牧などの人間活動により、ガリ侵食が加速している(参考:下記 2017 年の Google earth 画像(A)と(B)の比較)。本研究交流の研究結果を受け、鳥取大学はデブラ・マルコス大学および地域コミュニティと共同で、ガリ管理の介入を実施している(以下に、介入前(C)と介入後(D)の影響の写真を示す)。



A. Google earth image, 2017



B. Google earth image, 2022



C. Photo- June-2022



D. photo-November-2022

Google Earth から入手した 2017 年(A)と 2022 年(B)のガリの状態を示すガリ管理活動:鳥取大学は、デブラ・マルコス大学および地域コミュニティと協力し、チェモガ流域のイネチフォで、大規模なガリ拡大により生産性の高い土壌が流亡し畑が崩壊していた区域(C)に、研究・教育のためのガリ管理実証サイトを設置した。Sesbania や Napier grass などの多目的樹種・牧草で囲い 1 シーズン禁牧した後のガリは、すぐに回復し始めた(D)。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

両国から計 3 名の博士課程学生が、共同研究、会議、セミナー、ワークショップに参加した。特に鳥取大学の Tadesual Asamin Setargie 氏と Sofie DeGeeter 氏は、二国間交流事業の一環として各自の博士研究を実施した。

その一環として、2022 年 10 月から 11 月にかけて、共同研究のため、鳥取大学に滞在した。また、Tadesual 氏は、2022 年 12 月 12 日～16 日まで米国シカゴで開催されたアメリカ地球物理学連合学会に参加し、研究発表を行った。さらに、他の若手研究者や博士課程の学生数名が共同ワークショップやセミナーに参加した。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

上記(4)で述べたが李管理に関する活動は、地域コミュニティ、開発協力者、研究者が、コミュニティの生産性(樹木や牧草)を維持しながらガリ侵食問題を軽減するために、管理の取り組みを普及するための非常に良い例となることが期待される。

(7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

例:大学間協定の締結、他事業への展開、受賞など

ルーヴェン・カトリック大学の副学長は、鳥取大学と土地劣化と管理に関する分野で研究・学術協定を締結する意向を表明し、詳細については、研究代表者らで別途協議することとした。特にガリ侵食の発生における表面および中間流出プロセスの役割を理解するために継続して研究を実施する必要があるため、本格的な研究計画を作成することや両機関共同で応募可能な研究資金源について協議中である。

Vanmaercke 教授と Haregeweyn 特命教授をはじめ、両機関の研究者は本研究課題に近い分野で様々な共同研究を実施しているため、この二国間交流事業の枠組みを超えた研究者や国との科学的ネットワークの拡大にもつながった。

- Haregeweyn, N; Tsunekawa, A; Tsubo, M; Fenta, AA; Ebabu, K; Vanmaercke, M; Borrelli, P; Panagos, P; Berihun, ML; Langendoen, EJ; Nigussie, Z; Setargie, TA; Maurice, BN; Minichil, T; Elias, A; Sun, J; Poesen, J. 2023. Progress and challenges in sustainable land management initiatives: A global review. Science of the Total Environment. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160027>
- Ebabu, K; Taye, G; Tsunekawa, A; Haregeweyn, N; Adgo, E; Tsubo, M; Fenta, AA; Meshesha, DT; Sultan, D; Aklog, D; Admasu, T; Van Wesemael, B; Poesen, J. 2023. Land use, management and climate effects on runoff and soil loss responses in the highlands of Ethiopia. Journal of Environmental Management. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.R4.116707>
- Borrelli, P; Panagos, P; Alewell, C; Ballabio, C; Fagundes, HD; Haregeweyn, N; Lugato, E; Maerker, M; Poesen, J; Vanmaercke, M; Robinson, DA. 2022. Policy implications of multiple concurrent soil erosion processes in European farmland. Nature Sustainability. <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-022-00988-4>