

令和元年6月16日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(A)（海外学術調査）

研究期間：2013～2017

課題番号：25257417

研究課題名（和文）国際河川・青ナイル川流域における土壌侵食・土壌流亡緩和のための土地管理

研究課題名（英文）Sustainable land management to mitigate soil erosion and sediment yield in the Upper Blue Nile Basin

研究代表者

恒川 篤史（TSUNEKAWA, Atsushi）

鳥取大学・乾燥地研究センター・教授

研究者番号：60227452

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,100,000円

研究成果の概要（和文）：エチオピア・青ナイル川上流域における土壌・水保全策の効果をフィールド実験と数値モデルを用いて実証的に明らかにした。流出削減効果の高い土壌・水保全策は、農地における植栽されたソイルバンドおよび草地におけるトレンチであった。さまざまな土壌・水保全策を効果的に組み合わせることで、流出削減効果が高まることが明らかになった。また、小規模農家の土壌侵食に関する認識と土壌・水保全技術の採用がどのような社会経済的、生物物理学的、制度的、農場関連の要因によって条件付けられているかを示し、小規模農家による自発的な土壌・水保全技術の採用を促進するための提言を導いた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

深刻な土壌侵食が進行する当該地域において、土壌・水保全策の効果および土壌・水保全技術の導入に関して高い学術的知見を広げた。フィールド観測から現地環境に即した流出曲線指標（Curve Number）値をモデルに適用することにより、今後の土壌・水保全策の検討の際、その精度が向上することが期待される。

研究成果の概要（英文）：Field experiments and model simulation were conducted to evaluate the effects of soil and water conservation interventions in the Upper Blue Nile Basin of Ethiopia. Soil and water conservation measures that have high runoff reduction effects were a soil bund combined with a vegetation strip installed on cultivated land and trenches installed on grazing grassland. The runoff reduction effects were found to be enhanced by combining various measures of soil and water conservation. In addition, small-scale farmers' perceived soil erosion severity and adoption of soil and water conservation technologies were conditioned by socio-economic, biophysical, institutional and farm related factors. These findings allow deriving policy recommendations to enhance voluntary uptake of soil and water conservation technologies by small-scale farmers.

研究分野：環境農学

キーワード：土壌侵食 土壌流亡 持続可能な土地管理 青ナイル川流域 エチオピア 対照流域法 流出係数 トレンチ

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

1. 研究開始当初の背景

(1) アフリカ乾燥地域では、土地・水資源へのわずかな干渉でさえも、生態系サービスの持続的利用に深刻な影響を与え得る。深刻な植生劣化によって土壌侵食が加速し、それがさらに土地・水資源の長期的な退行を招いている。土壌侵食問題の緩和策を講じるためには、土地管理の主役となる地域住民が、管理施策が地域社会の生活と農業生態系に与える将来的な影響を十分に理解することが必要である。

(2) エチオピア高地では、雨季の激しい降雨変動によって小流域スケールの土壌侵食が年間1800t/km²にも達すると推定され、住民の8割以上が生業とする小規模農業にとって土壌侵食が最大の問題である。これまで、さまざまな土壌・水保全対策の効力および社会的受容の実例が報告されている。例えば、傾斜耕地におけるストーンバンド(等高線石堤防)による土壌流亡削減)や土壌肥沃度改善などがある。

(3) 天水農業が主体であるエチオピアでは、小規模ダムを導入が作物生産の向上に有効である。一方で、貯水ダムの耐用年数に影響する土砂堆積の削減が不可欠である。しかし、青ナイル川上流域では、これまで土地管理方法の系統的研究が行われていないため、農地の土壌侵食、湖への土壌堆積、そして、これらが引きがねとなって将来起こる問題について、科学的知見がほとんど得られていないのが実情である。

2. 研究の目的

(1) 青ナイル川上流域での流出応答にはさまざまな要因が関わり、流出応答は地域環境により異なる。そのため流出応答の異なるさまざまな農業生態系で導入されている土壌・水保全策の効果の解明は、当該地域での持続可能な水資源管理戦略に欠かせない。そこで本研究では、青ナイル川上流域での水資源管理のために、異なる土地利用や傾斜における土壌・水保全策に対する流出応答の違いを分析することを目的とした。具体的には、各土壌・水保全策の流出削減および土壌水分保持効果の解明、各土壌・水保全策に対する流出曲線指標(Curve Number: CN)の決定とCN法による土壌・水保全策の流出削減効果の推定、対照流域の水文応答の分析および将来シナリオを用いた土壌・水保全効果の推定に取り組んだ。

(2) 小規模農家は土壌侵食問題を広く認識しているが、土壌・水保全技術はわずかにしか活用されていないことから、小規模農家の土壌侵食に対する認識と土壌・水保全技術の選択に関する決定要因を明らかにすることも目的とした。具体的には、農家の土壌侵食に関する認識およびその決定要因の解明、土壌・水保全技術の採用に影響する要因の分析、生計向上の重要な手段となっているアグロフォレストリを導入するにあたっての農家の動機と決定要因の解明に取り組んだ。

3. 研究の方法

(1) 三つの対照的な農業生態系(高地: Guder、中間地: Aba Gerima、低地: Dibatie)(図1)を対象として、異なる農業生態環境下での土壌・水保全策の効果を実験を用いて分析した。土地利用型(農地/非農地)や斜面の傾斜(急傾斜/緩傾斜)の違いに応じた実験プロットを設置した。次に、高地(Gudar)で5種類の土地利用型と2種類の斜面傾斜(急傾斜/緩傾斜)に対して土壌・水保全策が異なる18の実験プロット(30m×6m)を設置し、日単位の降雨・流出量を計測した。CNモデルを用いて、土壌・水保全策の流出削減効果を分析した。

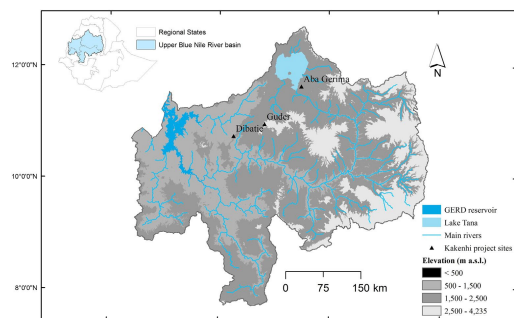


図1 エチオピアの研究調査地(高地: Guder、中間地: Aba Gerima、低地: Dibatie)(Haregeweynら 2017)

(2) 高地(Gudar)でさまざまな土壌・水保全策に対する流域スケールの流出応答を分析した。対照流域法にしたがい、土壌・水保全策が広く導入されている小流域(Kasiry)と、それに隣接し、土壌・水保全策がほとんど導入されていない小流域(Akusity)における流出応答を比較した。さらにKasiry小流域を対象にCNモデルを用いて、異なる将来シナリオに対する流出削減効果を検討した。

(3) 農家の土壌侵食に関する認識およびその決定要因を解明するために、三つの流域(高地、中間地、低地)に暮らす300世帯の小規模農家を対象とした聞き取り調査および1010の農地プロットに関する実地調査を行った。記述統計と部分比例オッズモデルを適用して、プロットレベルでの農家の土壌侵食に関する認識に影響を与える要因を分析した。土壌・水保全技術の採用に影響する要因の分析するために、上述した農家および農地を対象にさらに調査を行い、記述統計および計量経済的手法を用いてデータを分析した。

(4) 土壌・水保全策であるアグロフォレストリを導入するにあたっての農家の動機と決定要因を解明するため、200 世帯を対象に聞き取り調査を行った。トービット回帰モデルを用いて、農家がアカシア・デカレンス (*Acacia decurrens*) を植えるためにどの程度の土地を割り当てるか、またどの程度の栽植密度で植林するかの決定に関わる要因を分析した。

4. 研究成果

(1) 対照プロットの雨季流出量は、高地で 214 ~ 560mm、中間地で 75 ~ 253mm、低地で 119 ~ 200mm だった。3 種類の土壌・水保全策 (ソイルバンド、ファニャジュ、植栽されたソイルバンド) (図 2) を導入した農地での流出削減効果は 32 ~ 51% 向上した。高地 (Guder) では植栽されたソイルバンドと草地でのトレンチ (図 2) がもっとも高い流出削減効果を示した。プロット間での流出応答の差は大きく、土壌・水保全効果も大きく異なった。したがって、適切な土壌・水保全策を導入するには、当該農業生態環境下での地域特性の理解が必要である。



図 2 土壌・水保全策 (a) ソイルバンド、(b) ファニャジュ、(c) 植栽されたソイルバンド、(d) トレンチ (Sultan ら 2018)

(2) 高地 (Guder) の土壌・水保全策を導入した土地では流出が大きく削減された。エチオピアでは、これまで米国農務省により作成された CN 値が広く用いられてきたが、本プロット実験により得られた CN 値 (図 3) はこれと大きく異なっており、その土地固有の CN 値を適用することの必要性が指摘された。Kasiry 小流域と Akusity 小流域間で、土壌・水保全策の効果は他の要因に隠れ、明確な識別は困難だった。Kasiry 小流域の農地でソイルバンド、放牧地および植林地でトレンチを導入すると、小流域全体で最大 34% の流出削減が可能であることが示された。一方、低木地や天然林での土壌・水保全策の導入はほとんど効果が認められなかった。

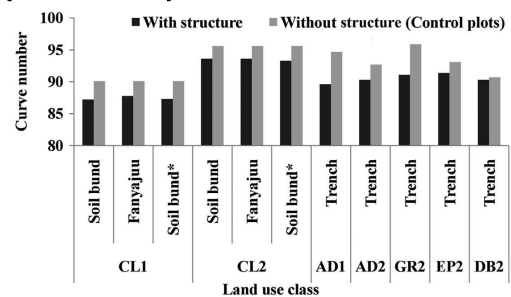


図 3 ソイルバンド (Soil band)、ファニャジュ (Fanyajuu) 植栽されたソイルバンド (Soil band*)、トレンチ (Trench) の CN 値 (CL1: 5% 傾斜農地、CL2: 15% 傾斜農地、GR2: 急傾斜放牧地、AD1: 緩傾斜アカシア植林地、AD2: 急傾斜アカシア植林地、EP: 急傾斜ユーカリ植林地、DB2: 急傾斜荒地) (Sultan ら 2017)

(3) 聞き取り調査および実地調査の結果から、居住地からプロットまでの距離、プロットの形状および斜面上の位置などの変数が、農家の土壌侵食の重大性に関する認識に影響を与えていたことが明らかとなった。また、農民の農業普及員とのやりとりもまた農家の土壌侵食の認識に影響を与えた。教育歴や所有されている家畜の数は、農家の土壌侵食の認識に影響を与えなかった。農家の認識は、土壌侵食の決定要因に関する経験的および理論的な知見と概ね一致しており、土壌侵食と劣化土地の回復に関する土地に根ざした専門知識を得るうえで農民は重要なパートナーとみなすことができる。農家の土壌・水保全技術の採用は、技術自体の特性に加えて、社会経済的要因および農業関連の要因に依存することが示された。例えば、農地プロットの大きさと労働供給可能性、世帯主の性別などが採用される土壌・水保全技術に影響を与えた。どのような土壌・水保全技術が選択されるかは、小さな地域内であっても非常に多様であり、農業従事者の経済的適応能力によって、地域ごとに異なる土壌・水保全技術が採用されていた。この結果は、地域によって、またターゲットグループによって異なる土地管理の方針とプログラムを個別に設計する必要があることを示している。すなわち土壌・水保全技術の普及にあたっては、一般的で画一的な手法や一律的な戦略は効果的ではないと考えられた。

(4) アカシア植栽の重要な動機は、収入、土壌肥沃度管理、および土壌・水保全であった。家長が男性の世帯、市場への距離が遠いこと、および限界地などの条件では、アカシア圃場への土地配分がより多かった。男性が家長の世帯、金融へのアクセスがあること、限界地といった条件では栽植密度が高かった。世帯主の年齢は植林地への土地配分と栽植密度の両方と負の関係があったが、農地面積は両者と逆 U 字型の関係にあった。これらの結果は、農業技術指導や、小口融資、道路整備などを通じて小規模農家の市場へのアクセスや資金調達を容易にすることが、アカシア植林の普及につながる可能性を示唆している。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 15 件)

Ebabu K, Tsunekawa A, Haregeweyn N, Adgo E, Meshesha DT, Aklog D, Masunaga T, Tsubo M, Sultan D, Fenta AA, Yibeltal M (2019) Effects of land use and sustainable land management practices on runoff and soil loss in the Upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Science of the Total Environment* 648:1462-147. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.273

査読有

- Meshesha DT, [Tsunekawa A](#), [Haregeweyn N](#) (2019) Influence of raindrop size on rainfall intensity, kinetic energy, and erosivity in a sub-humid tropical area: a case study in the northern highlands of Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology* 139: 1221-1231. DOI: 10.1007/s00704-018-2551-0 査読有
- Ebabu K, [Tsunekawa A](#), [Haregeweyn N](#), Adgo E, Meshesha DT, [Aklog D](#), Masunaga T, Tsubo M, Sultan D, Fenta AA, Yibeltal M (2018) Analyzing the variability of sediment yield: a case study from paired watersheds in the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Geomorphology* 303: 446-455. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.12.020 査読有
- Sultan D, [Tsunekawa A](#), [Haregeweyn N](#), Adgo E, Tsubo M, Meshesha DT, Masunaga T, [Aklog D](#), Fenta AA, Ebabu K (2018) Efficiency of soil and water conservation practices in different agro-ecological environments in the Upper Blue Nile Basin of Ethiopia. *Journal of Arid Land* 10: 249-263. DOI: 10.1007/s40333-018-0097-8 査読有
- Sultan D, [Tsunekawa A](#), [Haregeweyn N](#), Adgo E, Tsubo M, Meshesha DT, Masunaga T, [Aklog D](#), Fenta AA, Ebabu K (2018) Impact of soil and water conservation interventions on watershed runoff response in a tropical humid highland of Ethiopia. *Environmental Management* 61: 860-874. DOI: 10.1007/s00267-018-1005-x 査読有
- Nigussie Z, [Tsunekawa A](#), [Haregeweyn N](#), Adgo E, Cochrane L, Floquet A, Abele S (2018) Applying Ostrom's institutional analysis and development framework to soil and water conservation activities in north-western Ethiopia. *Land Use Policy* 71: 1-10. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.11.039 査読有
- [Haregeweyn N](#), [Tsunekawa A](#), Poesen J, Tsubo M, Meshesha DT, Fenta AA, Nyssen J, Adgo E (2017) Comprehensive assessment of soil erosion risk for better land use planning in river basins: Case study of the Upper Blue Nile River. *Science of the Total Environment* 574: 95-108. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.019 査読有
- Nigussie Z, [Tsunekawa A](#), [Haregeweyn N](#), Adgo E, Nohmi M, Tsubo M, [Aklog D](#), Meshesha DT, Abele S (2017) Factors affecting small-scale farmers' land allocation and tree density decisions in an *Acacia decurrens*-based taungya System in Fagita Lekoma district, north-western Ethiopia. *Small-scale Forestry* 16: 219-233. DOI: 10.1007/s11842-016-9352-z 査読有
- Nigussie N, [Tsunekawa A](#), [Haregeweyn N](#), Adgo E, Nohmi M, Tsubo M, [Aklog D](#), Meshesha DT, Abele S (2017) Factors influencing small-scale farmers' adoption of sustainable land management technologies in north-western Ethiopia. *Land Use Policy* 67: 57-64. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.05.024 査読有
- Nigussie Z, [Tsunekawa A](#), [Haregeweyn N](#), Adgo E, Nohmi M, Tsubo M, [Aklog D](#), Meshesha DT, Abele S (2017) Farmers' perception about soil erosion in Ethiopia. *Land Degradation & Development* 28: 401-411. DOI: 10.1002/ldr.2647 査読有
- Sultan D, [Tsunekawa A](#), [Haregeweyn N](#), Adgo E, Tsubo M, Meshesha DT (2017) Analyzing the runoff response to soil and water conservation measures in a tropical humid Ethiopian highland. *Physical Geography* 38: 423-447. DOI: 10.1080/02723646.2017.1302869 査読有
- [Haregeweyn N](#), [Tsunekawa A](#), Tsubo M, Meshesha D, Adgo E, Poesen J, Schütt B (2016) Analyzing the hydrologic effects of region-wide land and water development interventions: a case study of the Upper Blue Nile river basin. *Regional Environmental Change* 16: 951-966. DOI: 10.1007/s10113-015-0813-2 査読有
- Meshesha DT, [Tsunekawa A](#), [Haregeweyn N](#) (2016) Determination of soil erodibility using fluid energy method and measurement of the eroded mass. *Geoderma* 284: 13-21. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.08.006 査読有
- Meshesha DT, [Tsunekawa A](#), Tsubo M, [Haregeweyn N](#), Tegegne F (2016) Evaluation of kinetic energy and erosivity potential of simulated rainfall using Laser Precipitation Monitor. *Catena* 137: 237-243. DOI: 10.1016/j.catena.2015.09.017 査読有
- [Haregeweyn N](#), [Tsunekawa A](#), Nyssen J, Poesen J, Tsubo M, Meshesha DT, Schütt B, Adgo E, Tegegne F (2015) Soil erosion and conservation in Ethiopia: A review. *Progress in Physical Geography* 39: 750-774. DOI: 10.1177/0309133315598725 査読有

[学会発表](計6件)

- [Haregeweyn N](#), [Tsunekawa A](#), Yibeltal M, Liyew M, Ebabu K, Tsubo M, Meshesha DT. The dynamics and counter measures of land degradation: a comparative study of three paired watersheds in northwest Ethiopia. *The International Soil Erosion Research Forum*, 2018, Yangling, China.
- [Tsunekawa A](#). Sustainable Land Management (SLM) to reduce soil erosion in the Upper Blue Nile basin, Ethiopia. *International Soil Erosion Research Forum*, 2018, Yangling,

China.

Tsunekawa A. Sustainable Land Management (SLM) to combat desertification: a case study of the Upper Blue Nile basin, Ethiopia. Forum on Innovation and Development of Desertification Control and Ecological Restoration, 2018, Dunhuang, China.

Sultan D, Tsunekawa A, Haregeweyn N, Adgo E, Tsubo M, Meshesha DT, Masunaga T, Aklog D, Fenta AA, Ebabu K. Watershed runoff response to soil and water management interventions in a tropical humid highland of Ethiopia. Asia-EC JRC Joint Conference 2017, 2017, Seoul, Korea.

Haregeweyn N, Taye G, Sultan D, Ebabu K, Tsunekawa A, Poesen J, Adgo E, Meshesha D, Tsubo M, Aklog D, Nyssen J. Effectiveness of soil and water conservation measures in two contrasting environments of the Ethiopian highlands. TropiLakes 2015 Conference - Tropical lakes in a changing environment: water, land, biology, climate and humans, 2015, Bahir Dar, Ethiopia.

Haregeweyn N, Tsunekawa A, Tsubo M, Meshesha D, Adgo E, Poesen J, Schütt B. Modeling the hydrologic effects of land and water development interventions: a case study of the upper Blue Nile river basin (poster). European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2014, 2014, Vienna, Austria.

〔図書〕(計1件)

Haregeweyn N, Tsunekawa A, Poesen J, Tsubo M, Nyssen J, Vanmaercke M, Zenebe A, Meshesha DT, Adgo E (2015) Sediment yield variability at various spatial scales and its hydrological and geomorphological impacts on dam-catchments in the Ethiopian highlands. In Billi P (Ed.), Landscapes and Landforms of Ethiopia, World Geomorphological Landscapes. Springer. pp. 227-238. ISBN: 978-94-017-8025-4.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名 : Nigussie Haregeweyn

ローマ字氏名 : (HAREGEWEYN, nigussie)

所属研究機関名 : 鳥取大学

部局名 : 国際乾燥地研究教育機構

職名 : 特命准教授

研究者番号 (8桁) : 30754692

研究分担者氏名 : Dagnachew Aklog

ローマ字氏名 : (DAGNACHEW, aklog)

所属研究機関名 : 鳥取大学

部局名 : 国際交流推進機構

職名 : 准教授

研究者番号 (8桁) : 40403381