

令和 4 年 6 月 29 日現在

機関番号：15101
研究種目：若手研究
研究期間：2019～2021
課題番号：19K13434
研究課題名(和文) Development of precision estimation method of rainfall erosivity for better understanding of soil erosion in data-sparse regions
研究課題名(英文) Development of precision estimation method of rainfall erosivity for better understanding of soil erosion in data-sparse regions
研究代表者
FENTA AYELE・ALMAW (FENTA, Ayele)
鳥取大学・乾燥地研究センター・特命助教
研究者番号：00836984
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：東アフリカ地域の年間平均降雨侵食性は、 $3,246 \pm 1,895$ MJ mm ha⁻¹h⁻¹yr⁻¹と推定された。この地域の水侵食による年間平均総土壌損失は40億トンと推定されており、そのうち約50%がエチオピアで発生していることが判明した。エチオピアの約25% (28 × 106 ha) の土壌侵食率は10 t ha⁻¹ yr⁻¹を超えており、早急な管理介入が必要である。事前分析により、適切な土地管理手法を実施することで、平均土壌侵食率を16.5 tha⁻¹yr⁻¹から5.3tha⁻¹ yr⁻¹ (平均で約68%) に減らすことができることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、東アフリカ地域の水食の空間パターンを解析するために、長期水文ゲージデータと衛星データを統合することにより、新しい降雨侵食モデルを開発した。本研究の成果は、降雨侵食力と土壌侵食程度の空間パターンの理解を深めるだけでなく、土壌侵食の影響をもっとも受けやすく、土地管理の優先的な地域を特定するのに役立つことができる。さらに、本研究の成果は、土壌・水資源の持続可能な利用と管理に向けた適切な土地管理慣行と適切な土地利用計画の実施の促進など、環境管理に関連する国および地域の政策の調整を改善するのにも貢献する。

研究成果の概要(英文)：For the East Africa region, the mean annual rainfall erosivity was estimated at $3,246 \pm 1,895$ MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹, implying that the region is subject to a potentially high water erosion risk. The mean annual gross soil loss by water erosion for the East Africa region is estimated at 4 billion t, of which ca. 50% was found to originate in Ethiopia. About 25% of Ethiopia (28 × 106 ha) has soil erosion rates above 10 t ha⁻¹ yr⁻¹, which requires immediate management intervention. Ex-ante analysis revealed that implementation of suitable land management practices could reduce the mean soil erosion rate from 16.5 t ha⁻¹ yr⁻¹ to 5.3 t ha⁻¹ yr⁻¹ (mean, by ca. 68%).

研究分野：Geography-related

キーワード：Rainfall intensity Rainfall erosivity Satellite rainfall Soil erosion

1. 研究開始当初の背景

降雨による土壌侵食は、東アフリカ地域の主要な環境問題の一つである。したがって、降雨侵食力などの要因を理解することは、土壌侵食の研究および土壌・水資源保全計画にとって最も重要である。降雨侵食力は、高い時間分解能の降雨データから求めることができる。しかし、地球上の多くの地域では、短い時間間隔で降雨を測定する観測所が限られている。降雨による土壌侵食の定量的な把握は、多くの研究がなされているにもかかわらず、未だ困難な状況にある。本研究では、入手可能な最良のデータセットを用いて、東アフリカ地域における水による侵食と保全の空間的パターンを解析した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、(1) 長期的な観測データと衛星データを統合して降雨侵食力モデルを開発すること、(2) 東アフリカ地域における水食による土壌損失の範囲と深刻度を推定すること、(3) エチオピアをケーススタディとして土地被覆タイプ、農業生態系ゾーン、主要河川流域に応じた土壌損失推定値を分析すること、(4) 土地管理を導入すべき侵食傾向のある地域を特定し、(5) 土地被覆や農業生態系固有の土地管理手法が土壌損失削減にもたらす可能性についてシミュレーションすることである。

3. 研究の方法

降雨侵食力モデルは、東アフリカ地域のゲージベースの測定値から作成した複数年平均降雨侵食力 ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{yr}^{-1}$) と衛星降雨データに基づいて算出した平均年間修正 Fournier 指数の関係から作成された。土壌被食性は、国際土壌文献情報センターの SoilGrids データベースの表土(深さ 0-30cm)の特性(土性、有機物、構造、透水性)に基づいて計算された。斜面の長さや傾斜は、Shuttle Radar Topographic Mission Digital Elevation Model から 2次元地形学的なアプローチで求めた。被覆と管理は、耕作地と非耕作地についてそれぞれ計算された。耕作地の被覆と管理は、主要作物種の構成と輪作を考慮して計算され、非耕作地については、被覆の種類と植生密度の複合的な効果が考慮された。土地管理は、傾斜クラスに基づいて、農地での等高線耕作について作成された。土地管理手法の影響に関する事前分析は、土地被覆タイプ(作物地または非作物地)と農業生態学的ゾーンに応じた適切な土地管理手法を提案することに基づいて行われた。土地管理の影響を評価するために、エチオピアの先行研究によって提案された土地被覆および農業生態学に特有の土地管理手法(水平堤、傾斜堤、トレンチ、トレンチや堤防と組み合わせた牧柵)の値に基づいて土地管理係数を調整し、侵食モデルを再演算した。

4. 研究成果

降雨侵食力 (R-factor) は、東アフリカ地域の長期 (1981 ~ 2016 年) のゲージベースの侵食量値と気候ハザードグループ赤外線観測所 (CHIRPS) 由来の侵食指数との間に確立した関係に基づいて推定された。この地域の年平均侵食係数は $3,246 \pm 1,895 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ と推定され、この地域は潜在的に高い水侵食リスクにさらされていることを示唆している (図 1)。降雨侵食の研究に基づき、RUSLE モデルが東アフリカの土壌侵食の深刻度を推定するために適用された (Fenta *et al.*, 2020a)。モデルの結果、水食による年間平均総土壌損失量は 40 億トン、平均土壌侵食量は $6.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ で、そのうち約 50% がエチオピアに由来することがわかった (図 2)。土地被覆の観点から見ると、降雨による土壌侵食の約 50% は耕作地 (平均土壌侵食量 $18.4 \text{ t ha yr}^{-1}$) から発生しており、調査地域の総面積の約 15% に及んでいることがわかる。東アフリカの約 10% は、中程度または高い水食リスク ($>10 \text{ t ha yr}^{-1}$) にさらされており、優先的な管理介入が必要である。降雨による土壌侵食の推定値の大きさは、プロットスケールで測定されたデータの範囲内である。さらに、土砂生産量は流域内の異なる土壌侵食と土砂堆積のプロセスを統合しているにもかかわらず、土砂生産量と土壌侵食量の推定値には強い相関が見られた。さらに、地球規模の生態系サービス価値係数と、サハラ以南のアフリカにおける長期的なバイオマス生産性低下の指標として、年差正規化植生指数の長期トレンド (1992-2015) を用いて、土地劣化のコストを推定した。土地劣化のホットスポットはサハラ以南のアフリカの約 5% を占め、土地劣化のコストは約 560 億米ドル yr^{-1} と推定され、そのうちの 65% 近くは森林と農地の劣化に起因するものであった。

さらに、エチオピアを事例として、土壌侵食と土壌侵食軽減のための様々な流域管理手法の可能性について詳細に調査した。エチオピアにおける降雨による土壌侵食の平均速度は $16.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ と推定され、年間の総土壌損失は約 $1.9 \times 10^9 \text{ t}$ 、そのうち正味の土壌損失は約 $410 \times 10^6 \text{ t}$ (総土壌損失量の 22%) と推定された。土壌侵食力は、6 つの土地被覆タイプ、15 の農業生態学的ゾーン、

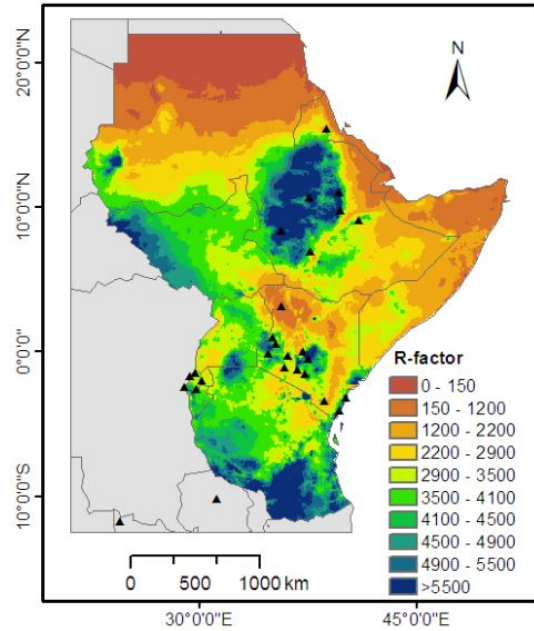


図 1. 1981 ~ 2016 年の期間に CHIRPS データから算出された修正 Fournier 指数に基づき、分位数に対応する 10 の侵食度クラスに細分化した R ファクターマップ ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)。三角形は、文献から R 係数の値が得られた箇所を示す。

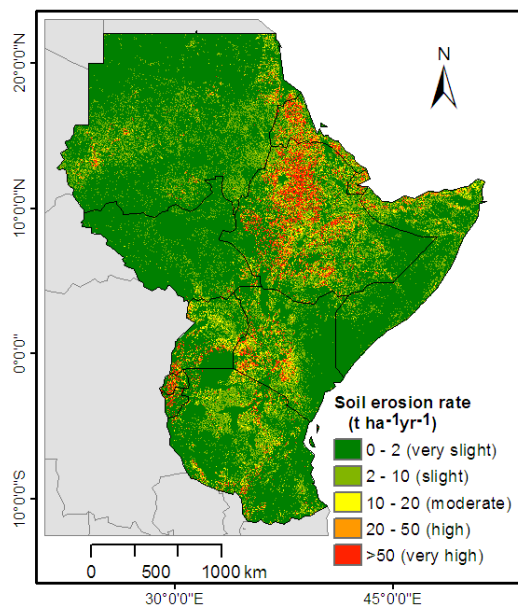
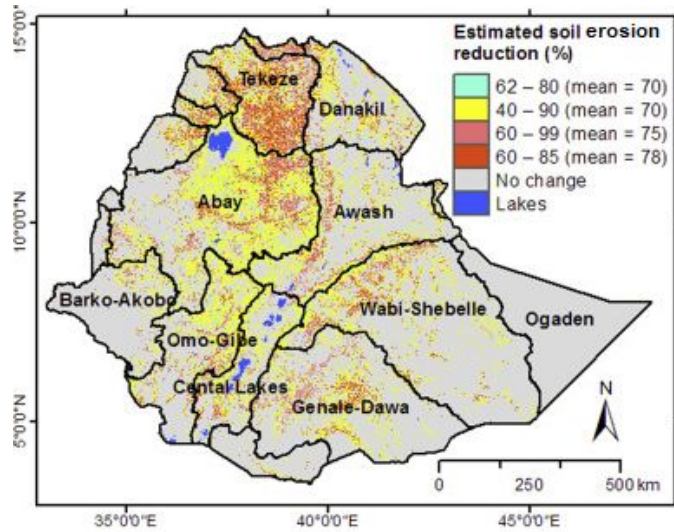


図 2. 東アフリカ地域で推定された降雨による土壌侵食速度の空間分布とそれに対応する侵食の深刻度クラス。

10 の河川流域で異なり、それぞれの分析で主に貢献したのは、耕作地（エチオピア全体の約 23%、総土壌損失の 50%、平均土壌侵食速度は $36.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）、*Moist Weyna Dega*（それぞれ 10%；20%； $33.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）、および the Abay basin（それぞれ 15%；30%； $32.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）であった。さらに、エチオピアの約 25%（ $28 \times 10^6 \text{ ha}$ ）の土壌侵食速度が $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ を超えており、エチオピアの土壌侵食許



容限界値を超えていることが示された。事前分析によると、このような地域で土地被覆や農業生態学に特化した土地管理手法（水平堤、傾斜堤、トレンチ、トレンチや堤防と組み合わせた牧柵）を実施すると、平均土壌侵食速度を $16.5 \text{ t ha yr}^{-1}$ から $5.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ に減らすことができる（平均約 68%、範囲 65-70%、図 3）。

図 3. エチオピアの河川流域で、土壌損失が中程度から非常に深刻な地域（ $>10 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）で、土地被覆と農業生態学に特化した流域管理手法を実施した結果、土壌侵食が減少した場合の推定値（%）。

特に侵食の激しいアバイとテケゼ流域、デガとウェйна・デガの農業生態系における適切な土地管理の実践は、土壌侵食の推定値の約 50%と 70%を占めると考えられる。

降雨侵食量と土壌侵食の研究結果は、土壌侵食による土地の劣化の程度と、土壌侵食の軽減と水文学的反応の変化に対する流域管理手法の潜在的効果について、新しい洞察を与える。政策立案者や土地管理者の意識を高め、土壌と水資源の持続可能な利用と管理を実現するために、適切な環境修復と保全策を考案するのに貢献すると期待される。

出版物

Fenta, A.A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Poesen, J., Tsubo, M., Borrelli, P., Panagos, P., Vanmaercke, M., Broeckx, J., Yasuda, H. and Kawai, T., 2020. Land susceptibility to water and wind erosion risks in the East Africa region. *Science of the Total Environment*, 703, p.135016.

Fenta, A.A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Tsubo, M., Yasuda, H., Shimizu, K., Kawai, T., Ebabu, K., Berihun, M.L., Sultan, D. and Belay, A.S., 2020. Cropland expansion outweighs the monetary effect of declining natural vegetation on ecosystem services in sub-Saharan Africa. *Ecosystem Services*, 45, p.101154.

Fenta, A.A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Tsubo, M., Yasuda, H., Kawai, T., Ebabu, K., Berihun, M.L., Belay, A.S. and Sultan, D., 2021. Agroecology-based soil erosion assessment for better conservation planning in Ethiopian river basins. *Environmental Research*, 195, p.110786.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ayele Almaw Fenta; Atsushi Tsunekawa; Nigussie Haregeweyn; Jean Poesen; Mitsuru Tsubo; Pasquale Borrelli; Panos Panagos; Matthias Vanmaercke; Jente Broeckx; Hiroshi Yasuda; Takayuki Kawai; Yasunori Kurosaki	4. 巻 703
2. 論文標題 Land susceptibility to water and wind erosion risks in the East Africa region	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2019.135016	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 該当する

1. 著者名 Ayele Almaw Fenta; Atsushi Tsunekawa; Nigussie Haregeweyn; MitsuruTsubo; Hiroshi Yasuda; Takayuki Kawai; Kindiye Ebabu; Mulatu Liyew Berihun; Dagnenet Sultan; Ashebir Sewale Belay; Jain Sun	4. 巻 45
2. 論文標題 Cropland expansion outweighs the monetary effect of declining natural vegetation on ecosystem services in sub-Saharan Africa	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecosystem Services	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecoser.2020.101154	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 該当する

1. 著者名 Ayele Almaw Fenta; Atsushi Tsunekawa; Nigussie Haregeweyn; MitsuruTsubo; Hiroshi Yasuda; Takayuki Kawai; Kindiye Ebabu; Mulatu Liyew Berihun; Ashebir Sewale Belay; Dagnenet Sultan	4. 巻 195
2. 論文標題 Agroecology-based soil erosion assessment for better conservation planning in Ethiopian river basins	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Research	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.envres.2021.110786	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 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Fenta, A. A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Poesen, J., Tsubo M., Borrelli, P., Panagos, P., Vanmaercke, M., and Broeckx, J.
2. 発表標題 Assessment of water and wind erosion risk over the Eastern Africa region
3. 学会等名 Global Symposium on soil erosion (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------