

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02314

研究課題名（和文）サブサハラ・アフリカにおける耕地化と資源保護の相克に関する環境農学的研究

研究課題名（英文）Agro-environmental studies on re-conciliating cropland expansion with nature conservation in sub-Saharan Africa

研究代表者

荒木 茂 (Araki, Shigeru)

京都大学・地球環境学堂・研究員

研究者番号：00158734

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,200,000円

研究成果の概要（和文）：アフリカの急激な人口増加に対応した食料の増産を、資源の持続性が保障される範囲内で行うために「潜在可耕地」の概念を明確化することを目的として研究を行なった。自然環境、農業開発の進展が異なる、カメルーン、マラウイ、ザンビアの現地調査、分析によって、現地の耕地拡大の現状と、土壌特性、養分ダイナミクスが明らかとなり、潜在可耕地を評価する有用な成果がえられた。また、潜在可耕地を、よりマクロな視点で検討するために、サブサハラ7国における1990年から2020年における森林、農耕地の増減、人口、GDPの変化を検討した結果、1人あたりのGDPが小さい国ほど、森林の減少割合が大きくなっている傾向が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、農業開発において用いられてきた潜在可耕地の概念を、より広い、地球環境保全、生物多様性、効果的な資源の投入の見地から再検討をくわえたことに学術的意義がある。アフリカの食料増産も、国別の農業案件ではなく、地球全体でのより公平な資源分配、国際的対策を必要としており、潜在可耕地の概念は、近未来の耕地拡大の是非を検討する有効な手法となる。更に、農業開発は、森林保護、国立公園の動物保護と対立しており、より説得的な住民主体の資源保全のツールとして応用していく道が開けた。

研究成果の概要（英文）：The research was conducted to clarify the concept of "Potential arable land" to achieve the increased food production under limited available resources and environment. Based on field survey and analysis in rural areas of Cameroon, Malawi and Zambia, the status of crop field expansion, soil special characteristics of Oxisols and nutrient dynamics were clarified, and recommendations were made for future sustainable land management. Significance of this research is justified by the fact that the idea of "Potential arable land", which was so far remained within the field of agricultural sciences, extended its conceptual framework to the field of environmental and conservation sciences as negotiating tools that could provide sound basis for long-term sustainable resource management by local populations in the area of conflict between developers and conservationists.

研究分野：農業生態学 地域研究 熱帯土壌学

キーワード：潜在可耕地 サブサハラ・アフリカ システム・ダイナミクス 資源保護 農業開発

様式 C - 19

1. 研究開始当初の背景

可耕地とは、砂漠、岩石地などを除いた、1年生作物の栽培が可能な土地を意味していて、既耕地は含まれない。地球の耕地は現在約16億haで、農業分野では可耕地面積は26億haと評価されている。2050年には96億人に達すると予想される地球人口を養うためには、可耕地のうち5億haを耕地化する必要があるとの予測もある。しかし、人間活動の地球環境にあたる影響があらゆる分野でチェックされる現在、開墾による温暖化ガスの放出や、環境汚染、生物多様性減少を十分配慮した方法が開発されねばならない。コンゴ盆地の熱帯雨林は、アマゾンに次ぐ森林ブロックとして二酸化炭素の貯蔵庫、生物多様性の宝庫、気候緩和作用などの点で国際世論の関心を集め、森林保全を目的とした国際協力が進んでいる。一方、それを取り囲む湿潤サバンナ（年降水量が約600 - 1300mmの地域）では、農業開発計画が盛んである。サバンナはウッドランド（森林の一種）が残存していても、人為的な2次植生とみなされ、生物多様性保存の対象とはなっていない。

2. 研究の目的

地球上の可耕地を推定することの意義、必要性は自明であるが、それが一定の数値であるよりは、様々な要因の影響を受ける社会的な変数であるとしてとらえる必要がある。本研究は、可耕地を一義的な開発実践のための数値としてとらえるのではなく、有限な資源と環境の中で、長期的なランドスケープマネジメントの一環として、可変的な変数として評価することを目的とする。可耕地をこのようにとらえ開発と保全という対立する概念に合理的な妥協点を見出すことによって、はじめに、セクター間、あるいは利害を異にする人々の間での合意形成に貢献することができる。換言すると、地球上の土地を、人間の有効利用という見地ではなく、より広いコンテキストのなかで様々な価値の束（生物多様性、生態系サービス、地球環境の持続性、歴史、文化的価値・遺産など）としてとらえ、人類がその固有の価値を認め、共有していくシステムを創造していくことが重要であるといえる。

3. 研究の方法

カメルーン、マラウイ、ザンビアにおいて各1調査地を設け、現地調査、土壌分析、統計資料解析、土地利用図を作成ののち、総合的な可耕地評価を行なう。3調査地は以下のとおりで、これまで研究代表/分担者が継続調査を行ってきた。

(1)カメルーン：東部州ベルトア地域（荒木）、森林-サバンナ境界地域におけるキャッサバ栽培。

柴田は、村内の森林帯、サバンナ帯において、開墾後のトウモロコシ栽培における土壌の水・養分ダイナミクスを明らかにするため、ライシメーター試験を行なった。渡邊は、東部州に広く分布するオキシソル（強風化ラテライト性土壌）と、北西部の火山灰土壌（アンディソル）の有機無機複合体の比較をおこない、土地利用区分に必要なデータを得た。

(2)マラウイ北部州ムジンバ県（真常）山間緩傾斜地における、トウモロコシ栽培。真常は、ドローンを用いたリモートセンシングによる測量をおこなったのち、トウモロコシ圃場から土壌の採取と化学分析を行なった。またGPSを使って作物種類ごと、所有者ごとに圃場の測位をおこない、住民への聞き取り調査もおこなった。

(3)ザンビア：北部州ムピカ県（荒木、渡邊、柴田）チテメネ焼畑によるシコクビエ栽培。Covid-19により、渡航の機会が大幅に制限されたため、ネットによる統計資料の取得、Google Earthによる現地の焼畑開墾状況の観察をおこない、過去の調査データと比較して、土地利用の変化を明らかにした。

4. 研究成果

(1)カメルーンにおける養分動態

降雨、有機物層、深さ15、30cmの土壌水を、2作季のトウモロコシ栽培期間に月1回採取し、日本に持ち帰って分析を行なった。開墾前の植生では、森林区の有機物層で硝酸イオンと塩基類が生成し、下層に流下するが、30cm以内の根によって回収された。サバンナ区では、硝酸イオンの生成は少なく、下層に流出するイオンは、ごくわずかであった。一方、トウモロコシを栽培すると、30cm以内の層位で、硝酸イオンが多量に生成し、塩基類とともに30cm以下へと

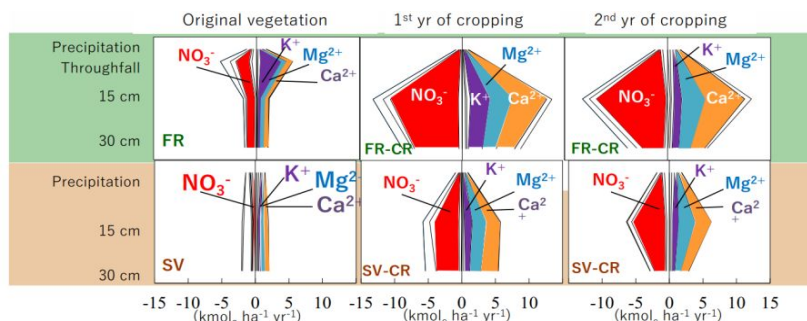


図1. 森林区 (FR) とサバンナ区 (SV) における土壌溶液をとおした養分移動

流出した。その量は、森林開墾区で多く、サバンナ区で少なかった。このことは、森林区では樹木の落葉による窒素の供給が十分にあり、良好な作物生育を支えるが、同時に下層へ流去する塩基 (Ca, Mg, K) も多く、土壌養分が枯渇する危険をともなっていた。2年間の栽培で、森林区では、カリウムのロスが、サバンナ区よりも大きく、森林区のカルシウム、カリウム、サバンナ区のカルシウムのロスは、土層中の全カルシウム、カリウムの4%以上に及んでいた。したがって、森林帯での農業は、畑地に転換するのではなく、林と共存させた形での農法が適していると考えられた。在来の焼畑農業においても樹木を皆伐せず、有用樹や日陰樹をのこして、森林の再生を促進する方法がとられているし、カカオの栽培においても日陰樹によってカカオの稚樹を保護したアグロフォレストリーの手法がとられている。一方、サバンナ帯では、草地を焼き払ったあと、トウモロコシ、落花生の混作ののち、キャッサバ栽培がおこなわれているが、キャッサバが地表をカバーするまでの6か月での土壌流亡を防ぐマルチング、キャッサバ栽培による養分枯渇を防ぐ、緑肥の導入が考えられた。このように、植生帯による養分ダイナミクスの違いを明らかにしたことは、長期的な土地利用の観点から、森林帯への農地拡大は推奨されないこと、特に機械化を伴った大規模開発を防ぐべき実証的論拠を提供することができた。

(2)カメルーンにおける有機・無機複合体の性質

土壌に付加される有機炭素は、土壌中の Al, Fe と結合して微生物の分解に抵抗し、安定な有機無機複合体を形成するが、これらは土壌の養分保持能力を増大させる重要な働きを持っている。特に養分の乏しい熱帯のオキシソルでは、表層作土の保全が重要で、下層土には、交換態のカチオンが0である例もみられる。カメルーンには、北西部州から東部、南部につながる火山帯があり、南部から東部にかけて、Andisol から、Ultisol, Oxisol へと、風化の進んだ火山灰に由来する土壌が分布している。

Andisol の特徴は、軽石、火山ガラスの初期の風化によって生成するアロフェン、イモゴライトという準晶質鉱物を含むことで、ナノカプセル(3-5nm)の中空状の構造により比表面積が大きく、比重が軽い性質をもっている。アロフェン、イモゴライトは、シュウ酸(Oxalic acid)に溶けて、Al, Si イオンが生ずるが、この試薬は同時に、前述の有機無機複合体も溶出して、土壌炭素、Fe、Al イオンを生じ、これらが有機無機複合体に由来するのか、アロフェン、イモゴライトに由来するのかを区別することができなかった。本研究によって、標高により温度、湿度条件の異なる火山灰土壌を分析することによって、Andisol から、Oxisol に向かって、シュウ酸で溶出する Fe, Al, Si の系統的变化が明らかになった(図2)。Sio は、準晶質鉱物に由来するが、Sio は、Alo から Alp(ピロリン酸ナトリウム)によって溶出する Al を減じたものと強い相関を示すことがその証拠となる。また、Sio, Alo-Alp は、因子分析による風化度因子(全分析の Si/Al 比、全塩基と負の相関をもつ)と、負の相関をもつことが、準晶質鉱物が風化の初期に生成することを示している。一方、Si の溶出を伴わない、Alp, Fep は、気候因子(高い年平均気温、および標高が高く湿潤な条件)と、相関が高いことが特徴づけられた。

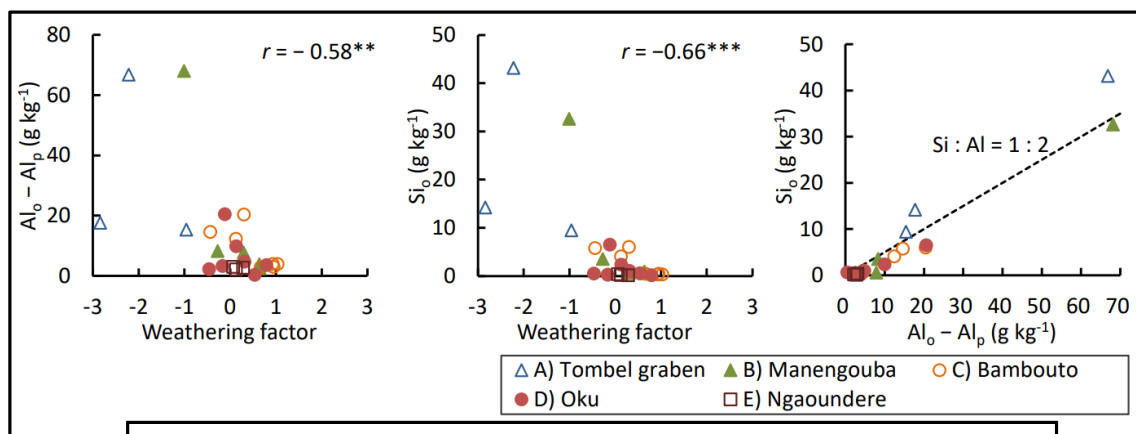


図2. 風化度と $Al_o - Al_p$ 、 Sio の関係、および $Al_o - Al_p$ と Sio の関係

(3)マラウイにおける耕地拡大の現状

マラウイは、主食のトウモロコシに依存する割合が高く、過去においても干ばつによる食料援助に依存した1990年の例もあって、安定したトウモロコシの生産、供給が課題である。本研究は、遠隔地であるマラウイ北部の村において(図3)、世帯における土地利用と、他の生業との関係を明らかにすることによって、食料自給のメカニズムを明らかにすることを目的とした。ドローンによる高解像度写真測量をおこない(図4)、圃場面積と作付け状況の現地調査、圃場ごと土壌試料採取、24世帯を対象とした聞き取り調査を行なった結果、以下の事柄が明らかとなった。耕地の90%以上が、トウモロコシ生産に充てられるが、耕作に適する緩傾斜な土地には耕地を拡大できる余地を残している。世帯の耕地面積は、0.1~1haの範囲にあり、一人あたり0.2haの耕作が可能であった。自給可能なトウモロコシ量は200kg/人/年とすると、

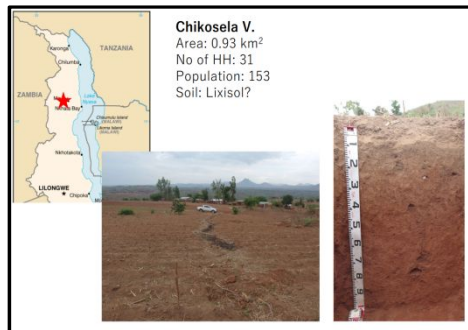


図3 . 調査村の位置、景観、

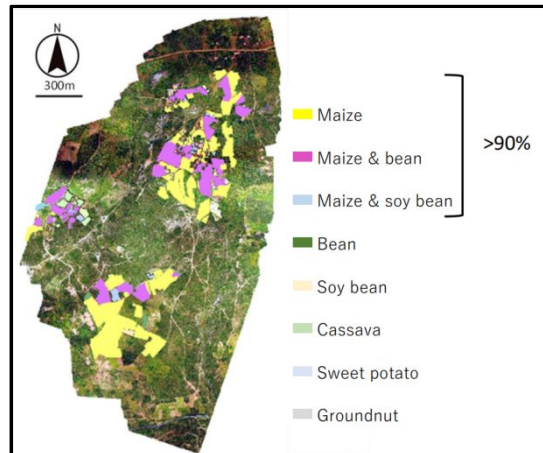


図4 . ドローン映像と作物の種類

耕地は 0.12ha/人が必要であり（図5）このレベルを達成した世帯は、余剰トウモロコシを販売することが可能であった。そのレベルは、雇用労働によって達成され、商店経営者など資金に余裕のある世帯の投資先となっていた。雇用労働によって自給を達成している世帯は、現金獲得手段が必要であるが、レンガ造り、碎石場での石割りなどに従事していた。自給を達成していない12世帯は、出稼ぎに外にでる、あるいは村内で現金収入を得たあと、食料を購入するという方法をとっていた。

⑥遠隔地で、労働力と資金の不足した状況下で労働生産性を上げるためには、外部からの初期投資が必要であるが、食料安全保障にもとづく国の政策や、都市と農村をつなぐ商人ネットワークの形成が必要であり、そのための土地評価を必要としている。

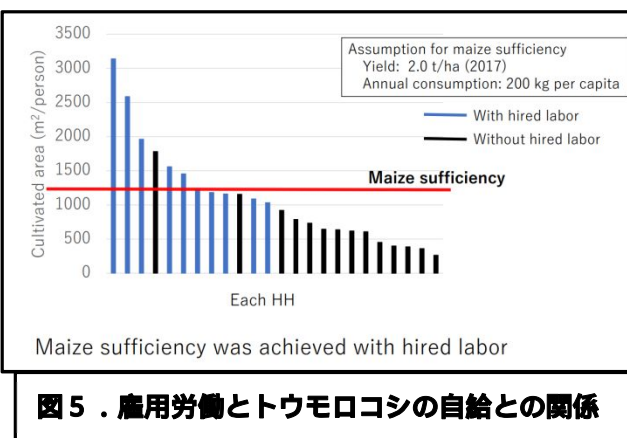
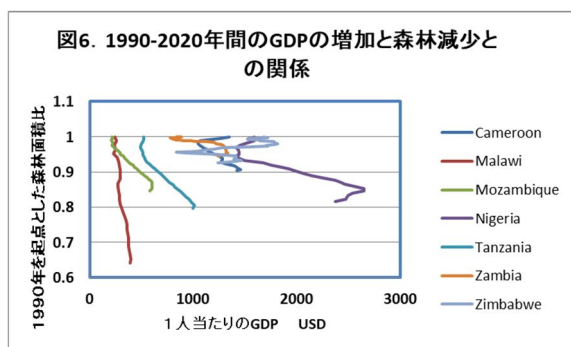


図5 . 雇用労働とトウモロコシの自給との関係

(4)システム・ダイナミクスを援用した、森林減少、耕地拡大、人口増加と GDP の増大、の相互関係の解析

調査地における土地利用の変遷を、未来に向けた時間軸にそってモデル化するためには、世帯農家の詳しいデータを用いる必要があり、またそのようなモデルの有用性も限られている。それ故、よりマクロな単位である、県、国、地域、大陸などの統計資料をもとに、数種の変数の相互関係を検討し、よりミクロな解析を可能とするような変数の探索を目的とした。統計資料として用いたものは、FAOSTAT と、Our



World in Data で、いずれもネットで容易にアクセスが可能である。FAO で定義された森林の国別面積変化データ、Agricultural land (放牧地と畑地、樹園地の合計)、国別人口、GDP、丸太材の輸出、穀物畑、作物別生産面積と生産量、などが検討され、以下の点が明らかとなった。人口増加と GDP は、ともに年とともに指数関数的に増大する傾向が大きく、将来予測にも有用である。森林減少量は、農地の拡大と負の関係にあるが、国別では森林面積、人口密度に大きな変異があり、一般化はむずかしい。人口増加は、農業生産の増大と調和的であったが、農地の増大とは相関関係が弱い。数少ない相互関係として図5に示した。縦軸は、1990年を起点として、2020年までの森林減少比率を、横軸には一人あたりの GDP の値を示した。1人あたりの GDP の低い、マラウイから、タンザニア、カメルーン、ナイジェリアに至るにつれて、曲線の傾きが緩くなる傾向を示した。このことは、一人あたりの GDP が低い国ほど、森林に依存し、破壊に至る傾向が強いことを意味すると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Sugihara, S., Fujimori, Y., Shibata, M., Sawada, K., Tanaka, H., Mvondo Ze, AD., Araki, S., Kosaki, T., Funakawa, S.	4. 巻 64
2. 論文標題 Effects of three years cultivation on the soil nutrient status in a tropical forest and savanna of central Africa, as determined by the microbial responses to substrate addition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 728-735
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2018.1517585	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 Shibata, M., Sugihara, S., Mvondo Ze, DA., Araki, S., Funakawa, S.	4. 巻 257
2. 論文標題 Effect of original vegetation on nutrient loss patterns from Oxisol cropland in forests and adjacent savannas of Cameroon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Agriculture, Ecosystems and Environment	6. 最初と最後の頁 132-143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.agee.2018.01.031	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 Sugihara, S., Shibata, M., Mvondo Ze, AD., Tanaka, H., Kosaki, T., Funakawa, S	4. 巻 9
2. 論文標題 Forest understories controlled the soil organic carbon stock during the fallow period in African tropical forest: a 13C analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9835
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42832-020-0042-6	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 Ashida, K., Watanabe, T., Urayama, S., Hartono, A., Kilasara, M., Mvondo Ze, A. D., Nakao, A.	4. 巻 155
2. 論文標題 Quantitative relationship between organic carbon and geochemical properties in tropical surface and subsurface soils	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biogeochemistry	6. 最初と最後の頁 77-95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10533-021-00813-8	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 1.Watanabe, T., Ueda, S., Nakao, A., Mvondo Ze, A., Dahlgren, R., Funakawa, S.	4. 巻 430
2. 論文標題 Disentangling the pedogenic factors controlling active Al and Fe concentrations in soils of the Cameroon volcanic line	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geoderma	6. 最初と最後の頁 116289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geoderma.2022.116289	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 Watanabe, S., Shibata, M., Kosugi, Y., Marrayana, L., Fukushima, K., Hartono, A., Funakawa, S.	4. 巻 5(3)
2. 論文標題 Investigating drivers of active nitrification in organic horizons of tropical forest soils	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Soil Ecology Letters	6. 最初と最後の頁 220167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42832-022-0167-x	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17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Shinjo, H. Kannno, M., Teshirogi, K., Nakashima, K., Tanaka, U. and Malima, B.
2. 発表標題 Agricultural practices and soil properties controlling crop production in sandy soils under semiarid tropical climate
3. 学会等名 14th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe, T., Miyachi, A., Chen, Y-F, Zheng, J., Hartono, A., Pachikin, K., Funakawa, S.
2. 発表標題 Soil properties controlling accumulation of C from plant residue
3. 学会等名 14th International Conference of the East and Southeast Asia Fede (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Watanabe, T., Miyachi, A., Hartono, A., Funakawa, S.
2 . 発表標題 Effects of active Al and Fe and degree of carbon saturation on organic matter accumulation
3 . 学会等名 14th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Watanabe, T., Lyu, H., Funakawa, S.
2 . 発表標題 pH, silicic acid activity, and weathering index link soil forming factors and clay mineral composition
3 . 学会等名 ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Watanabe, T., Ueda, S., Nakao, A., Mvondo Ze, A., Dahlgren, R., Funakawa, S.
2 . 発表標題 Disentangling the pedogenic factors controlling active Al and Fe concentrations in soils of the Cameroon volcanic line
3 . 学会等名 22nd World Congress of Soil Science (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Watanabe, T., Ueda, S., Nakao, A., Mvondo Ze, A., Dahlgren, R., Funakawa, S.
2 . 発表標題 Disentangling the pedogenic factors controlling active Al and Fe concentrations in soils of the Cameroon volcanic line
3 . 学会等名 22nd World Congress of Soil Science (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Watanabe, T., Lyu, H., Funakawa, S.
2 . 発表標題 pH, silicic acid activity, and weathering index link soil forming factors and clay mineral composition
3 . 学会等名 ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Shinjo, H. Kannno, M., Teshirogi, K., Nakashima, K., Tanaka, U. and Malima, B.
2 . 発表標題 Agricultural practices and soil properties controlling crop production in sandy soils under semiarid tropical climate
3 . 学会等名 14th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Sharda, KC and Shinjo, H.
2 . 発表標題 Use of urine and excreta could improve vegetable production and soil fertility in central Nepal
3 . 学会等名 14th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Watanabe, T., Miyachi, A., Chen, Y-F, Zheng, J., Hartono, A., Pachikin, K., Funakawa, S.
2 . 発表標題 Soil properties controlling accumulation of C from plant residue
3 . 学会等名 14th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Lyu, H., Watanabe, T., Hartono, A., Kilasara, M., Funakawa, S.
2. 発表標題 Distribution of soil organic carbon and its controlling factors in tropical volcanic regions
3. 学会等名 14th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe, T., Miyachi, A., Hartono, A., Funakawa, S.
2. 発表標題 Effects of active Al and Fe and degree of carbon saturation on organic matter accumulation
3. 学会等名 14th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊哲弘, 宮地新, Yu-Fang Chen, Jinsen Zheng, Arief Hartono, Konstantin Pachikin, 舟川晋也
2. 発表標題 土壤特性が植物残渣の分解と蓄積に与える影響
3. 学会等名 日本土壤肥料学会2019年度静岡大会, 於: 静岡大学, 静岡
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe, T., Lyu, H. and Funakawa, S.
2. 発表標題 Weathering sequence of clay-size minerals based on wethering index and silicic acid activity
3. 学会等名 21st World Congress of Soil Science at Rio de Janeiro, Brazil (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ashida, K., Watanabe, T., Hartono, A., Kilasra, M., Mondo Ze, A. and Funakawa, S.
2. 発表標題 Factors controlling organic carbon storage in tropical soils
3. 学会等名 21st World Congress of Soil Science at Rio de Janeiro, Brazil (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinjo, H., Ando, K., Nakashima, K., Umetsu, C., Tanaka, U., Sokotela, S. and Malima, B.
2. 発表標題 How can we mitigate impact of climatic variability on crop production in the semiarid tropics of Africa ?
3. 学会等名 21st World Congress of Soil Science at Rio de Janeiro, Brazil (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chisambi, C. and Shinjo, H.
2. 発表標題 Formation processes and properties of soils in central and northern Malwi
3. 学会等名 日本熱帯農業学会第125回講演会
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
研究分担者	渡邊 哲弘 (Watanabe Tetsuhiro) (60456902)	京都大学・地球環境学堂・准教授 (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	真常 仁志 (Shinjyo Hitoshi) (70359826)	京都大学・地球環境学堂・准教授 (14301)	
研究分担者	柴田 誠 (Shibata Makoto) (40799607)	京都大学・地球環境学堂・助教 (14301)	
研究分担者	岡本 侑樹 (Okamoto Yuki) (00635500)	京都大学・地球環境学堂・特定助教 (14301)	

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