

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2012～2015

課題番号：24255019

研究課題名(和文) サブサハラ・アフリカ畑作地生態系における時空間変動を考慮した養分動態モデルの構築

研究課題名(英文) Development of a nutrient dynamics model incorporating temporal and spatial variations in agroecosystems of Sub-Sahara Africa

研究代表者

小崎 隆 (Kosaki, Takashi)

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授

研究者番号：00144345

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,800,000円

研究成果の概要(和文)：サブサハラ・アフリカでの慢性的な食糧問題の解決には、作物の養分要求特性に土壤の養分供給特性を一致させる必要があり、その実現には時空間変動を考慮した養分動態モデルの構築が不可欠である。そこで、生態環境が異なるニジェール・タンザニア・カメルーンにおいて2～4年間の圃場試験を実施し、土壤有機物動態モデルの構築、土壤微生物の増殖・死滅に伴う可給態養分量の時間変動、土壤侵食に伴う土壤有機物と可給態養分の水平方向の空間変動、溶脱に伴う同垂直方向の空間変動を明らかにした。これらの結果に基づき、地域ごとの気候・土壤特性に特徴づけられた養分の時空間変動特性を考慮した新たな養分動態モデルを構築している。

研究成果の概要(英文)：For achieving food security in Sub-Sahara Africa, it is crucial to synchronize the soil nutrient supply pattern with the crop nutrient uptake pattern during a crop growth period. To attain this goal, a nutrient dynamics model incorporating temporal and spatial variations should be developed. In this project, we had conducted the field experiments in Niger, Tanzania, and Cameroon, which have various climate and soil conditions, from 2012 to 2015 and accumulated scientific knowledge about (1) soil organic matter dynamics, (2) temporal nutrient variation caused by fluctuation of soil microbial biomass, (3) spatial nutrient variation caused by soil erosion and nutrient leaching. Then, on the basis of these field data, we are developing a prototype of a nutrient dynamics model incorporating temporal and spatial variations which can be applicable to agroecosystems in Sub-Sahara Africa.

研究分野：環境土壌学

キーワード：土壌学 モデル化 環境 モニタリング 環境調和型農林水産

1. 研究開始当初の背景

2000年の国連ミレニアムサミットで採択されたミレニアム開発目標では、2015年を期限に飢餓人口の半減を目標に掲げているが、サブサハラ・アフリカでは近年むしろ飢餓人口が増加している(WFP, 2008)。Sanchez (2002)はScience誌においてこの食料問題を、厳しい気候と養分が枯渇した脆弱な土壌環境に起因するとしたが、研究代表者らのサブサハラ・アフリカにおけるこれまでの研究から、問題の根幹はむしろ作物の養分要求特性と土壌の養分供給特性の時空間的な不一致(土壌からの養分供給が作物の存在する「場所」と作物が要求する「時」に一致していない)にあることが明らかになりつつある。つまり、サブサハラ・アフリカでの食糧問題を解決するには、作物の養分要求特性に土壌の養分供給特性を一致させるべく、当地域に特有の気候・土壌環境を考慮した養分動態モデルを構築することが不可欠であるが、未だそのようなモデルは存在しない。

2. 研究の目的

サブサハラ・アフリカで上記の様な養分動態モデルを構築するためには、従来行われてきた土壌有機物の分解に伴う可給態養分量の増加を把握するだけでは不十分であり、土壌微生物の増殖・死滅による土壌有機物量および可給態養分量の時間変動や土壌侵食・溶脱によるそれらの空間変動を考慮する必要がある。そこで本研究では、サブサハラ・アフリカを代表する気候・土壌環境を持つニジェール南西部、タンザニア中部、カメルーン東部において圃場試験を実施することで、

(1) 土壌有機物動態モデルの構築

(2) 土壌微生物の増殖・死滅に伴う可給態養分量の時間変動に関する定量評価

(3) 土壌侵食に伴う土壌有機物量および可給態養分量の空間変動に関する定量評価

(4) 溶脱に伴う可給態養分量の空間変動に関する定量評価

を実施し、その結果に基づき、(5) 時空間変動を考慮した養分動態モデルを構築する。

3. 研究の方法

本研究では、サブサハラ・アフリカの畑作地生態系における養分動態を、同一評価軸で包括的に理解するため、ア) 気候条件(主に降水量)、イ) 土壌条件、ウ) 土壌有機物量および可給態養分量の時空間変動に与える

各種要因の影響が異なるニジェール南西部(年降水量が約500mmで、土壌有機物が極端に少ない砂質土壌(Arenosols)が分布)、タンザニア中部(年降水量が約1000mmで、比較的肥沃な粘土質土壌(Acrisols)と貧栄養な砂質土壌(Arenosols)の両方が分布)、カメルーン東部(年降水量が約1400mmで、無機元素に乏しい土壌(Ferralsols)が分布)において、2-4年間の作物栽培試験を含む現地試験を実施した。

圃場試験を行うに当たっては、気象ステーションを設置し、降水量、気温、地温、土壌水分含量、風向・風速、日射・反射量、相対湿度などの情報を2-4年間にわたって収集するとともに、後述する方法で各種の測定を行った。

(1) 土壌有機物動態モデルの構築

土壌有機物動態モデルを構築するため、ニジェール、タンザニアの粘土質土壌と砂質土壌、カメルーンの畑作地において、土壌炭素放出速度をクロードチャンパー法により、年間を通して2-8週間ごとに定期的に測定した。得られた土壌炭素放出速度と温度・土壌水分との関係式を地域毎に作成することで、測定している気象データから年間の土壌炭素分解量を算出した。

(2) 土壌微生物の増殖・死滅に伴う可給態養分量の時間変動に関する定量評価

土壌微生物の増殖・死滅に伴い時間変動する可給態養分量の動態を解明するため、顕著な時間変動(季節変動)がおけると予想されるタンザニアの2地点およびカメルーンにおいては、年間を通して4-8週間ごとに定期的に土壌試料を採取し、その土壌中に存在する土壌微生物炭素・窒素量(カメルーンではリン量も測定)について、クロロホルム燻蒸法などを用いて分析し、季節変動を実測した。これらに加えて、一度の降雨による土壌の短期的な乾湿変動をもたらす土壌微生物に由来する可給態養分量の時間変動を解析するため、この効果が大きいと予想される半乾燥地、すなわちニジェールとタンザニアの2地点では、人工降雨実験を行い、短期的な乾湿変動に伴う土壌微生物量の増減とそれに伴う土壌中の可給態窒素量の変動を分析した。

(3) 土壌侵食に伴う土壌有機物量および可給態養分量の空間変動に関する定量評価

土壌侵食に伴い空間変動する養分動態を解明するため、ニジェール、タンザニア2地

点、カメルーンの畑作地において、以下の方法で水食ならびに風食の測定を行った（後者は影響が大きいニジェールのみで実施）。すなわち、水食に関しては侵食量測定プロットを設置し、表面流出量を一定間隔で測定するとともに、流亡土砂量を 1-2 週間ごとに回収・秤量し、侵食量を明らかにした。さらに、土砂中の炭素・窒素含量を測定し、水食によって移動した養分量を算出した。風食に関しては、Ikazaki et al. (2011)の方法を用いて嵐毎に侵食量を測定するとともに、侵食された土壌中の炭素・窒素含量から風食によって移動した養分量を算出した。

（４）溶脱に伴う可給態養分量の空間変動に関する定量評価

溶脱に伴い空間変動する可給態養分量の動態を解明するため、ニジェール・タンザニア 2 地点・カメルーンの畑作地において、以下の方法で溶脱する土壌溶液を採取・分析した。すなわち、深根性の作物であるトウジンビエを栽培しているニジェールにおいては直径約 2 m、深さ 2 m のライシメータを設置し、2 m 以深に浸透する土壌溶液を採取し、その溶液中の窒素濃度を分析することで、浸透量との積から養分移動量を算出した。タンザニアにおいては、キャピラリーライシメータを圃場に埋設することで表層 30 cm 以深に浸透する土壌溶液を採取し、その溶液中の窒素濃度を分析することで、浸透量との積から養分移動量を算出した。カメルーンにおいては、パンライシメータを圃場に埋設することで表層 30 cm 以深に浸透する土壌溶液を定期的に採取しその窒素濃度を分析するとともに、Hydrus-1D で計算した下方浸透水量を基に、移動した養分量を算出した。

4. 研究成果

（１）土壌有機物動態の解明

ニジェール、タンザニア、カメルーンの畑作地で実測した気象および土壌水分量のデータから、土壌炭素放出速度の関係式をそれぞれの地点で作成し、土壌有機物動態モデルを構築した。この結果、1 年間当たりの炭素分解量は、ニジェールで約 0.2~0.7 MgC/ha、タンザニアで約 1.5~2.5 MgC/ha、カメルーンで約 3.2~4.4 MgC/ha であることを明らかにした。また、それぞれの地域で、温度・水分が土壌炭素放出速度に与える影響は大きく異なり、特に気温が高く降水量が少ないニジェールでは主に水分が土壌有機物の分解に寄与するのに対し、降水量が多いカメル

ンでは、温度と水分の両方が土壌有機物の分解に寄与することを明らかにした。

（２）土壌微生物の増殖・死滅に伴う可給態養分量の時間変動に関する定量評価

タンザニア、カメルーンの畑作地で実測した気象データと土壌微生物量の季節変動を解析した結果、タンザニアでは雨季と乾季で明確な季節変動が観測された。その一方で、カメルーンでは明確な季節変動が観測されず、土壌微生物が保持する養分量は年間を通してほぼ一定であることが明らかになった。このことは、降水量が少なく、明確な乾季と雨季を持つタンザニアでは土壌微生物の量的変動に伴う可給態養分量の時間変動が重要である一方で、降水量が比較的多く、乾季が短いカメルーンでは、土壌微生物は顕著な量的変動を見せず、結果として土壌微生物の増減による可給態養分量の時間変動をほとんど考慮する必要がないことを示している。

一度の降雨が引き起こす短期的な乾湿変動に伴う土壌微生物由来の可給態養分の時間変動をニジェールおよびタンザニアにおいてそれぞれ解析した結果、十分な炭素基質を添加した条件下では、ニジェール、タンザニアともに、急激な湿潤化に伴い土壌微生物が土壌中の可給態養分を体内に保持し、その後の土壌の乾燥に伴い、一旦取り込んだ養分を土壌へ放出していることが明らかになった。このことは、炭素基質が十分な条件下では、土壌微生物の増殖による養分の取り込みが、急激な降雨によって引き起こされる養分の溶脱を緩和する機能を持つことを示している。一方で、砂質土壌が分布し土壌中の炭素含量が非常に少ないニジェールでは、通常の条件下では、炭素基質が不十分であるため降雨に伴う土壌微生物の量的変動は観測されなかった。

以上のことから、土壌微生物の量的変動に伴う土壌養分量の時間変動は、ニジェール・カメルーンではモデル内でほとんど考慮する必要はないものの、タンザニアでは十分に考慮されねばならないことが示された。

（３）土壌侵食に伴う土壌有機物量および可給態養分量の空間変動に関する定量評価

ニジェール、タンザニア、カメルーンの畑作地で実測した水食・風食に伴う土壌有機物量の空間変動を解析した結果、1 年間当たりの土壌有機物移動量（損失量）は、ニジェールで約 0.5~0.7 MgC/ha、タンザニアの砂質土壌で約 0.07 MgC/ha、同粘土質土壌で約 0.2

MgC/ha、カメルーンで約 0.7 MgC/ha であることを明らかにした。さらに、土壤窒素の移動量に関しても、ニジェールで約 40~50 kgN/ha、タンザニアの砂質土壌で約 11 kgN/ha、同粘土質土壌で約 17 kgN/ha、カメルーンで約 63 kgN/ha であることを明らかにした。また圃場試験で得られた結果から、これらの土壤侵食は主に雨季初期に発生していることも明らかとなった。このことは、土壤侵食による養分の移動が、作物が養分を盛んに吸収する栄養生長期後半~生殖生長期前半より以前に起こっており、作期中の土壤養分の枯渇に寄与していることを示している。

降雨量が多いカメルーンでは、水食により大量の養分損失が起きていることが判明した一方で、畑地開墾時にできる雑草等を被覆材として土壤表層に設置することにより、土壤侵食を約 49%抑制できることを発見した。また、ニジェールでは土壤侵食による養分の空間変動がほぼ風食によって引き起こされるが、研究分担者らは「耕地内休閑システム」という新たな風食対処技術の開発に成功するとともに、都市ごみを活用した土壤養分の空間的な偏在を解消する新技術の開発にも成功した。

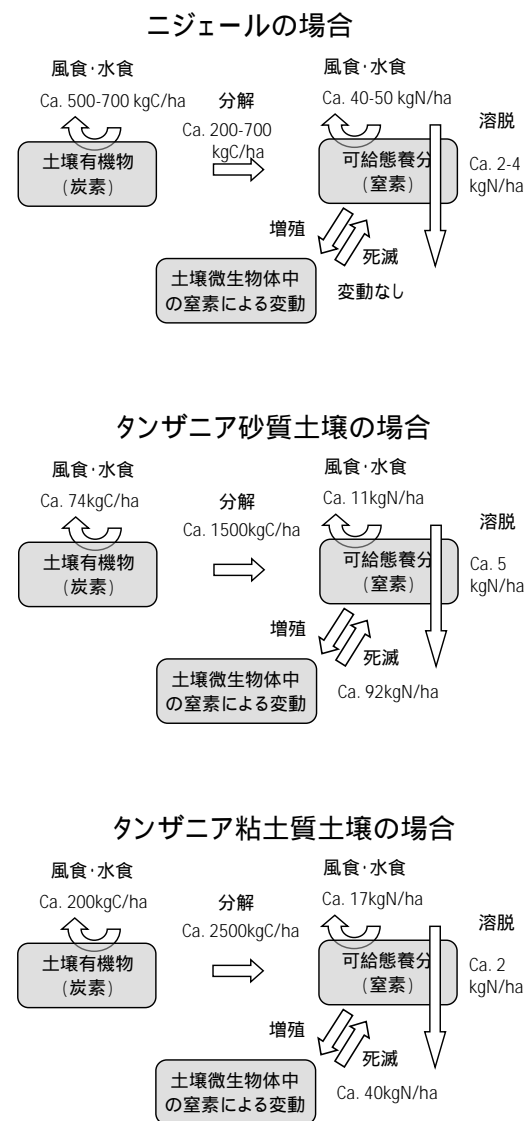
(4) 溶脱に伴う可給態養分量の空間変動に関する定量評価

ニジェール、タンザニア、カメルーンの畑作地で実測した溶脱に伴う可給態養分量の空間変動を解析した結果、一作期中の溶脱による可給態養分移動量(損失量)は、ニジェールで約 2.0~4.4 kgN/ha、タンザニアの粘土質土壌で約 1.1~3.0 kgN/ha、同砂質土壌で約 2.0~7.9 kgN/ha、カメルーンで 55~105 kgN/ha であることを明らかにした。予想通り降水量が大きいカメルーンで空間変動が大きい結果となった一方で、予想に反してタンザニアでは空間変動が小さい結果となった。この理由としては、タンザニアでは実験を行った 2013 年~2015 年に例外的に降水量が少なかったことが考えられる(雨季中の降水量が、平常時の 1/2~2/3 程度だった)。また、降水量が大きいカメルーンでは、休閑植生の種類によって溶脱量が大きく異なることが明らかになった。すなわち、サバンナ植生を開墾した場合の溶脱量が約 55 kgN/ha であったのに対して、森林植生を開墾した場合の溶脱量は 2 倍の約 105 kgN/ha であった。この違いは、森林では空中窒素固定能を有するマメ科の樹種が多かったことを反映し、土壤窒素の蓄積量がサバンナと比較して有意に高

かったことが原因として考えられる。なお、3 地域において観測された溶脱は、降水量の少ないニジェールを除き、雨季初期(=作物生育初期)にその大部分が観測された。よって、土壤侵食と同様に、雨季初期の溶脱抑制が、土壤からの養分供給時期と作物の養分吸収時期を一致させるためには重要であることが示された。

(5) 時空間変動を考慮した養分動態モデルの構築

上述した成果をまとめることで、時空間変動の影響を考慮した地域毎の養分動態が明らかになった(下図参照)。



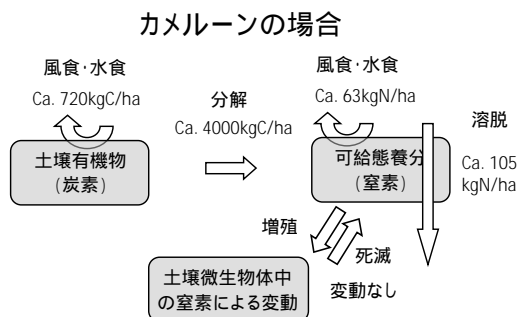


図. サブサハラ・アフリカの畑作地における時空間変動を考慮した年間の養分動態

今後さらに、圃場で施用した安定同位体（重窒素： ^{15}N ）の移行経路およびその量に関する分析・解析を進めることで、特に土壌有機物分解に伴う窒素動態に関する知見が深まる。これらの知見から、より正確な時空間変動を考慮した養分動態モデルを構築する予定である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 2 1 件)

- (1) Nishigaki, T., Sugihara, S., Kilasara, M., Funakawa, S. (2016) Surface runoff generation and soil loss under different soil and rainfall properties in the Uluguru mountains, Tanzania. Land Degradation and Development. In press. 査読有 .
- (2) Sugihara S, Funakawa S, Kadono A, Takata Y, Sawada K, Fujii K, Kosaki T. (2015) In situ short-term dynamics of CO₂ flux and microbial biomass after simulated rainfall in dry croplands in four tropical and continental ecosystems. Soil Science and Plant Nutrition. 61, 392-403. 査読有 .
- (3) Ikazaki K. (2015) Desertification and a New Countermeasure in the Sahel, West Africa. Soil Science and Plant Nutrition. 61, 372-383. 査読有 .
- (4) Sugihara S, Shibata M, MvondoZe A,

Araki S, Funakawa S. (2015) Effect of vegetation on soil microbial C, N and P dynamics in a tropical forest and savanna of central Africa. Applied Soil Ecology. 87, 91-98. 査読有 .

- (5) Oyama, S. (2014) Farmer-herder conflicts, land rehabilitation, and conflict prevention in Sahel region of West Africa. African Study Monographs supplementary. 50, 103-122. 査読有 .
 - (6) Sugihara S, Funakawa S, Ikazaki K, Shinjo H, Kosaki T. (2014) Rewetting of dry soil did not stimulate the carbon and nitrogen mineralization in croplands with plant residue removed in the Sahel, West Africa. Tropical Agriculture and Development. 58(1), 8-17. 査読有 .
 - (7) Ikazaki K, Shinjo H, Tanaka U, Tobita S, Funakawa S, Iwai K, Kosaki T. (2012) Soil nutrient loss from a cultivated field during wind erosion events in the Sahel, West Africa. Pedologist. 55(3), 355-363. 査読有 .
 - (8) Sugihara S, Funakawa S, Nishigaki T, Kilasara M, Kosaki T. (2012) Dynamics of fractionated P and P budget in soil under different land management in two Tanzanian croplands with contrasting soil textures. Agriculture, Ecosystems and Environment. 162, 101-107. 査読有 .
- 〔学会発表〕(計 6 4 件)
- (1) Sugihara, S., Funakawa, S., Nishigaki, T., Kilasara, M., Kosaki, T. (2015) Evaluation and improvement of soil carbon, nitrogen and phosphorus dynamics in Tanzania. 28th Soil Science Society of East Africa. 23-27 Nov., Morogoro, Tanzania. 【基調講演】
 - (2) 舟川晋也 (2015) アフリカの土壌はアジアとは異なるのか？ 日本土壌肥料学会 2015 年度大会公開シンポジウム .9 月 11 日, 京都大学 (京都府京都市).
 - (3) Oyama S. (2015) Reverse thinking and action research. SGAS (Swiss Society for African Studies)-SAGUF (Swiss Academic

Society for Environmental Research and Ecology) Conference for Participatory and Integrative Approaches in Researching African Environments. 23 Oct., Berne, Switzerland. 【招待講演】

(4) 小崎 隆 (2015): 国際土壌年によせて - 私たちは土壌劣化 から何を学んだか - 土と肥料の講演会 . 4月4日, 東大山上会館 (東京都文京区). 【基調講演】

(5) Ikazaki K. (2015) Practical technique for desertification control affordable by local people . Joint seminar : What we learnt from the interrelations between livelihood and ecological environment in arid and semi-arid Africa . 16 Oct., Paris, France .

〔図書〕(計17件)

(1) 小崎 隆 (2016) 100億人時代における土壌の役割、日本農学会編 『国際土壌年2015 と農学研究 社会と命と環境をつなぐ』 pp1-16(177pp). 養賢堂.

(2) 大山修一 (2015) 『西アフリカ・サヘル
の砂漠化に挑む - ごみ活用による緑化と
飢餓克服、紛争予防』 315pp. 昭和堂 .

(3) 伊ヶ崎健大 (2015) 砂漠化と風食-アフリカ・サヘル地域-, 日本土壌肥料学会編集 『世界の土・日本の土は今』 pp17-23(126pp). 農文協 .

〔その他〕

主な受賞:

(1) 第25回「日経地球環境技術賞」・優秀賞 . 「暮らしを支える生業活動を通して実施可能な砂漠化対処技術の開発」(受賞者: 田中樹、伊ヶ崎健大、真常仁志、飛田哲) 日本経済新聞社、2015年11月6日 .

(2) 第13回日本農学進歩賞 . 「西アフリカ・サヘル地域における砂漠化メカニズムの解明と省力的砂漠化対処技術の開発及び普及」(受賞者: 伊ヶ崎健大) 農学会、2014年11月28日 .

(3) 第41回「環境賞」・環境大臣賞および優秀賞 . 「風による土壌侵食の抑制と収量向上を両立させる砂漠化対処技術」(受賞者: 田中樹、伊ヶ崎健大、真常仁志、飛田

哲) 日立環境財団・日刊工業新聞、2014年5月20日 .

(4) 第32回奨励賞 . 「西アフリカ・サヘル地域における砂漠化の現状評価とそれに基づく省力的対処技術の開発および普及」(受賞者: 伊ヶ崎健大) 日本土壌肥料学会、2014年4月4日 .

(5) 2013年英文誌論文賞 (SSPN Award). 「"Fallow Band System," a land management practice for controlling desertification and improving crop production in the Sahel, West Africa」(受賞者: Ikazaki K., Shinjo H., Tanaka U., Tobita S., Funakawa S., Kosaki T.) 日本土壌肥料学会、2013年4月4日 .

6 . 研究組織

(1)研究代表者

小崎 隆 (KOSAKI, Takashi)
首都大学東京・都市環境科学研究科・教授
研究者番号: 00144345

(2)研究分担者

舟川 晋也 (FUNAKAWA, Shinya)
京都大学・地球環境学堂・教授
研究者番号: 20244577

伊ヶ崎 健大 (IKAZAKI, Kenta)
国立研究開発法人・国際農林水産業研究センター・生産環境畜産領域・研究員
研究者番号: 70582021

大山 修一 (OYAMA, Shuichi)
京都大学・アジア・アフリカ地域研究科・准教授
研究者番号: 00322347

杉原 創 (SUGIHARA, Soh)
東京農工大学・農学研究科・准教授
研究者番号: 30594238