

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2012～2016

課題番号：24228007

研究課題名(和文) 熱帯アジア・アフリカにおける生産生態資源管理モデルによる気候変動適応型農業の創出

研究課題名(英文) Study on agricultural systems adapting fluctuating climates using agro-ecological resources management model in tropical Asia and Africa

研究代表者

舟川 晋也 (Funakawa, Shinya)

京都大学・地球環境学堂・教授

研究者番号：20244577

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 155,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究を通して、地質・地形・気候などの土壌生成因子、土壌中の炭素・窒素・鈣質成分フラックス、およびこれら生産生態基盤に対する適応としての各地農耕における営農管理法の連関が明らかとなった。

気候変動に連動した農業の持続性に関する問題は、その多くが農耕地からの溶存成分や土壌粒子の過剰な損失によって発生する。具体的には、1)下層土からの溶存成分の流出、2)土壌表層からのガス成分としての放出、3)土壌侵食を通じた土壌粒子・有機物の物理的損失、の3点が挙げられる。これら3経路による物質等の移動・流出を抑制し、生産生態基盤の劣化を回避する技術的対応を確立することが、農業の持続性確保のために重要である。

研究成果の概要(英文)： This study clarified the linkage among the soil forming factors such as geology (or parent material), topography and climate, the fluxes of carbon, nitrogen and mineral nutrients, and development of agricultural practices in different regions as their adaptation to such production ecological infrastructure.

The issues relating to the sustainability in the agricultural development under fluctuating climates are most closely linked with the "excess loss" of soluble components and/or soil particles from the agricultural ecosystems. They include 1) leaching loss of essential nutrients from the bottom of soils, 2) gaseous emission from soil surfaces, and 3) losses of soil particles and organic materials through soil erosion. It is indispensable to mitigate these losses by applying appropriate techniques, in order to ensure the sustainable development of agriculture.

研究分野：環境農学

キーワード：資源循環バランス 気候変動対応 熱帯農業 生産生態資源管理

## 1. 研究開始当初の背景

気候変動は、森林や農耕地の生態系プロセスを大幅に改変する可能性がある。気候変動/地球温暖化が熱帯地域の農業生態系に及ぼす負の影響は、以下の3点と予想される。1) より高温な条件下における作物生産の低下あるいは各地域における適作物の変化。2) 降雨の不安定化。これは作付適期(雨季)開始など降雨の季節性における不確定性増大と、作付期間中の降雨分布の不安定化の双方を含む。3) 降雨強度の増大と土壌侵食の激化および養分損失(流出損失・土壌有機物分解の双方)の増大。これらの変容は、所与の生産生態環境に依存した熱帯地域の農業生産基盤を脆弱化させる危険性を内包する。

## 2. 研究の目的

地球温暖化の進行がリアリティを増す中で、この変動に適応した社会システムを構築する努力が求められている。なかでも安定した食糧供給の確保は重要課題であるが、経済的基盤が脆弱な熱帯アジア・アフリカの多くの国では、気候変動に対応した農業生産システムの将来像を描き切れていない。本研究は、気候変動に対する持続性対応、技術的対応をそれぞれ構造化した生産生態資源管理モデルおよび可変的作付システムの構築を通して、気候変動条件下における持続的農業生産システムの確立を目指すものである。

## 3. 研究の方法

本課題では、気候変動適応型農業を創出することを目的として、以下述べるような課題群を設定した。

課題1) 農耕地生態系における炭素・窒素・鉍質資源フラックスの同時管理。土壌有機物は土壌肥沃度の担い手として重要である。本課題では、土壌有機物および鉍質資源の過度の減耗を阻止するために、農耕地における炭素・窒素・鉍質資源フラックス同時管理の技術要素を提示する。

課題2) エフェメラル・ニッチ作出による土壌微生物の戦略的利用。フラックスの増大に対応した生態系資源利用戦略として、植物根圏・残渣圏等における一時的な土壌微生物増殖域(エフェメラル・ニッチ)作出によって土壌微生物の養分貯留能を時間的・空間的に強化し、これを作物生育のために積極的に利用しようとする土地管理技術を構築する。

課題3) 土壌鉍物性対応型侵食抑止技術の確立。土壌の鉍物学的特性と降雨強度が表面流去水発生/土壌侵食発生の臨界条件に与える影響を地域ごとに定量評価した上で、厳密な意味での土壌侵食リスクを明示する。

課題4) 低肥料適応型品種の作出。イネを用いて、高温・低養分環境下である程度収量が確保でき、同時に環境負荷低減を達成しうる低肥料適応型品種の作出を試みることを通して、これを品種改良における熱帯農業のあるべき適応策の一つとして明示したい。

課題5) 広域レベルにおける生産生態資源管理モデルの開発。農耕地生態系の持続性を保証する諸要素を地理情報システム(GIS)によって持続性対応技術として構造化し、広域レベルにおける生産生態資源管理モデルを構築する。

課題6) 栽培技術の最適化と可変的作付システムの開発。複数の作物に関して潜在収量とその制限要因を広域的なスケールで評価・解析した上で、課題1)~4)で検討した技術的要素を加えGISによって構造化し、栽培技術や作物種を最適化する可変的作付モデルを開発する。

これらの課題群は、図1のような関係としてまとめられる。

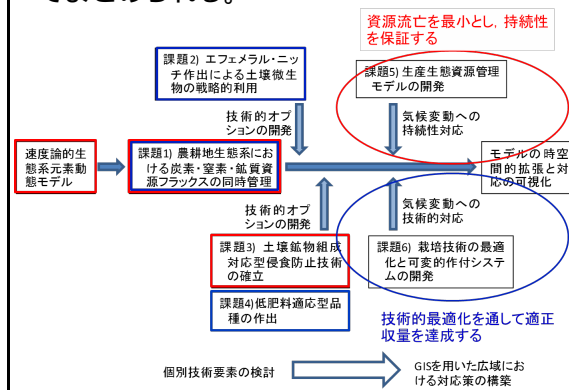


図1. 本研究における課題群

## 4. 研究成果

### 課題1) 農耕地生態系における炭素・窒素・鉍質資源フラックスの同時管理

1) インドネシア・東ジャワ州の Andosols と Inceptisols 耕地における無機養分フラックスにおいては、Andosols において土壌からのリン流出が明らかに少なかったこと、窒素については両地点ともに相当量が流亡しうることが示された。

2) インドネシア・リアウ州の Histosols における無機養分フラックスが、一義的に泥炭層の深さ(鉍質層までの距離)によって規定されていることが明らかとなった。

3) タンザニア各地の農耕地における養分フラックスを観測した結果、年降水量が 700~800 mm 以下程度の地域では、そもそも作土層からの土壌水流出がほとんどみられなかったこと(モロゴロ州各調査地)、それ以上の地域(イリング州砂質土壌、ムベヤ州粘土質土壌)においては、水・養分の下方流出に関して土性の影響がきわめて大きいことが明らかとなった。

4) カメルーン東部州の森林・サバンナ境界帯においては、特に森林および森林を開墾した耕地双方において、強い酸性条件下であるにもかかわらず、硝酸化成が活発で、硝酸イオンの下方流出が森林でさえも大きくなることが明らかとなった(図2)。

これらの結果より、土壌下方への物質流出量管理の面からは、これを考慮すべき降水量・土性の閾値が存在すること、また土壌の

鉍質成分の流亡を支配する硝酸化成能が、土壌によって大きく異なり、その理由がおそらく土壌微生物群集機能にあることが明らかとなった。

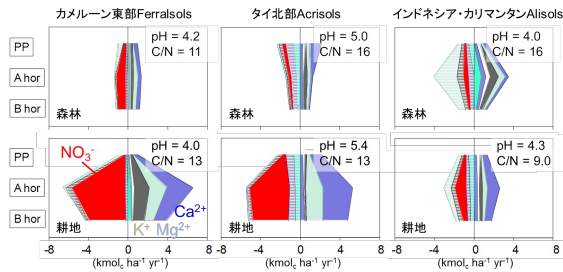


図2. カメルーン、タイ、インドネシア森林・耕地生態系における年間イオンフラックス  
PP: 降雨, A hor: A層通過土壌水, B hor: B層通過土壌水

## 課題2) エフェメラル・ニッチ作出による土壌微生物の戦略的利用

本課題では、一時的な土壌微生物バイオマスの増殖域(エフェメラル・ニッチ)が、気候や土壌特性が異なる農耕地生態系においてどのように管理可能かを検討するために、タイ(Awで粘土質圃場と砂質圃場)、タンザニア(Awで粘土質圃場と砂質圃場)、ニジェール(Bsで砂質圃場)において、乾湿変動に伴う土壌微生物バイオマスの増減を実測したほか、タンザニア(同上の2地点)とカメルーン(Amで粘土質圃場)において、年間を通じた土壌微生物バイオマスの季節変動を土地管理の影響も踏まえて実測した。これらの結果に加え、他の温帯半乾燥地(カザフスタン、ハンガリー)での結果も合わせて解析したところ、乾湿変動による明瞭なエフェメラル・ニッチの形成・作出が起きた地域としては、熱帯で、かつ何らかの有機物施用を実施していた圃場であり、特に、積極的な有機物施用を実施していた砂質圃場で顕著なエフェメラル・ニッチの形成が確認できた。その一方で、有機物施用を全く実施していない砂質圃場では、エフェメラル・ニッチの形成はおろか降雨に伴う有機物分解もほとんど起きないことも発見し、砂質圃場における有機物管理を通じた土壌微生物の利用の重要性を示した。また、エフェメラル・ニッチの季節変動を解析した結果、乾湿変動の激しいタンザニアでは、土地管理(例えば播種前の有機物施用など)によって土壌微生物バイオマスをエフェメラル・ニッチとして利用可能なことを示した(図3参照:播種の17日前に作物残渣を施用することで、土壌微生物が保持する窒素(MBN)が一時的に増加し、その結果、生育後期(70日目~87日目にかけて)の作物生育に貢献した。すなわち通常であれば溶脱していた硝酸態窒素を土壌微生物に一時的にとりこませることで土壌中に保持し、その窒素を作物生育に利用できた)。その一方、タンザニアより湿潤なカメルーンにおいては、土壌微生物バイオマスの季節変動は少なく、エフェメラル・ニッチとしてより

は、むしろ恒常的な養分プールとして土壌微生物を利用したほうが得策であることを明らかにした。

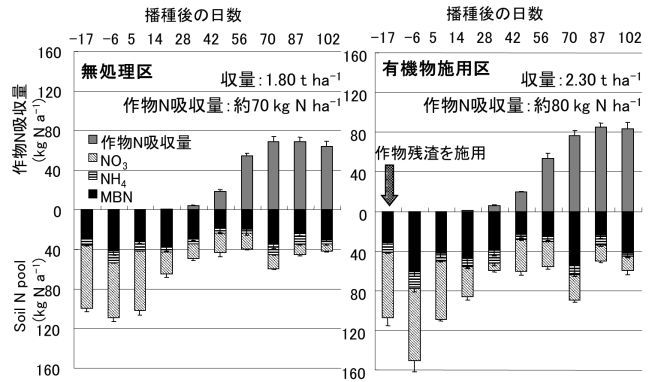


図3. タンザニア(Aw粘土質圃場)における有機物施用を用いたエフェメラル・ニッチの作出・利用

## 課題3) 土壌鉍物性対応型侵食抑止技術の確立

1) インドネシア・カリマンタン島における土壌鉍物分布を、母材特性(けい長質か苦鉄質か)と温度条件という2つの生成条件から統一的に記述した(図4)。

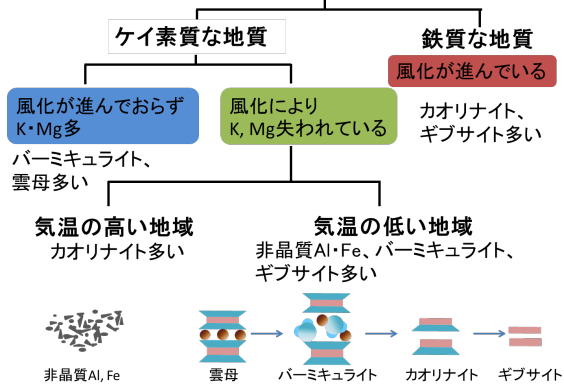


図4. カリマンタンの粘土鉍物組成とその生成条件

2) 表面流去水と土壌損失量に影響を与える要因を解明するために、タンザニア(4地点)、カメルーン(1地点)において、表面流去水ならびに土壌侵食発生過程のモニタリングを行った(図5)。

タンザニア・モロゴロ州の調査地点4点は、それぞれ中粒質土壌(雲母+カオリン)の緩傾斜面(S地点)、砂質土壌の緩傾斜面(M地点)、中粒質土壌(雲母+カオリン)の急傾斜面(T地点)、極細粒質土壌(カオリン主体)の急傾斜面(N地点)である。表面流去水は土壌の水飽和の結果として(特にN地点)、あるいは表面クラストの形成に伴い(N地点・S地点)、発生量は顕著に増大した。

カメルーン東部サバンナ・森林境界帯のOxisols圃場では、当地域の高い降雨強度にもかかわらずクラスト形成が認められず、土壌構造の安定性の高さが示された。さらに、降雨イベント中の水収支を解析した結果、降雨水が下層土まで速やかに浸透していることが確認された。対照的に、同じ強風化土壌であるタンザニアのAlfisols圃場(N地点、

S 地点)では、表層土の粗孔隙量が Oxisols に比べて小さいため透水性が低く、下層土まで降雨水が浸透しなかったことから、平均流出率が Oxisols 圃場の 2 倍と大きかった。このことから、Oxisols が有する非常に発達した物理構造が、排水を促進し、表面流去水発生を抑制に大きく寄与していたことが明らかとなった。

また、Oxisols 圃場のキャッサバ畑では、休閒植生残渣を用いたマルチが、土壤侵食量を 49%減少させ、土壤保全管理策として非常に有効であることが明らかとなった。一方、表面流去水量は大きく変化しなかったことから、Oxisols における土壤侵食を駆動する因子としては、表面流去水よりも雨滴による飛散が卓越していることが考えられた。

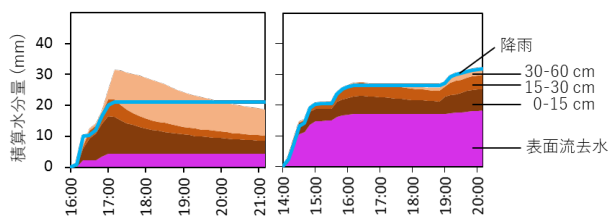


図 5. オキシソル(左)とアルティソル(右)における降雨イベント中の降雨・表面流去水・土壌水分の積算変化量

なおここで検討したタンザニア Alfisols およびカメルーン Oxisols は、粘土鉱物組成としては図 4 で示したカリマンタン諸土壤のうち、それぞれ「ケイ素質な地質より生成した風化のあまり進んでいない土壤」、「鉄質な地質より生成した風化の進んだ土壤」に対応し、体系的に理解された風化段階と併せて実際に圃場で適用できる技術要素の根拠となる知見である。

#### 課題 4) 低肥料適応型品種の作出

熱帯作物は多岐にわたるが、ここではイネを用いて、高温・低養分環境下である程度収量が確保でき、同時に環境負荷低減を達成できるような低肥料適応型品種の作出を試みた結果、窒素低投入、カリウム低投入でも収量がそれほど低下しない系統の選抜を得た。

良食味ジャポニカ米コシヒカリと多収インディカ米タカナリの交雑種から選抜された染色体部分置換系統群を窒素肥料低投入で栽培し、相対的に収量の高かった系統を選抜したところ、コシヒカリ背景にタカナリの染色体が部分的に置換された系統には有望な系統がなく、タカナリ背景にコシヒカリの 12 番染色体断片が置換された系統群に有望な系統 1337, 1338 を見出した。図 6 に示したように、これらの系統は母本となった高収量性品種タカナリよりも窒素吸収量が高く、もみ収量が有意に高かった。収量構成要素を検討したところ、穂数が多いことが高収量の要因と考えられた。これらの系統は無窒素区での生育が特に良い。イネ生育初期の窒素肥効は分けつ数の増進に顕著に見られるので、低窒素でも分けつが盛んになる形質の原因

遺伝子の同定を進める。

さらに最近の国際イネ研究所の推奨インディカ種である IR64 に低カリウム耐性を与えるコシヒカリ由来の OsHKT2;1 遺伝子を従来の交配法で導入し、低カリウム土壌での栽培試験を行った。その結果は図 7 に示すとおり、IR64-コシヒカリ OsHKT2;1 遺伝子導入株 (IR64CSSL)はカリウム無施用区、カリウム施用区共に母本となった IR64 よりももみ収量が有意に増加した。

以上のように肥料低投入でも収量がそれほど低下しないイネを育種できる可能性が示された。今後、タカナリや IR64 が栽培されている熱帯でこの染色体部分置換系統の低投入栽培を試みる予定である。

2016年度  
SL1337, SL1338低窒素栽培試験結果

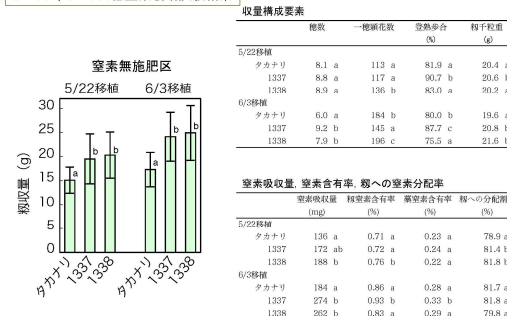


図 6. 低窒素栽培試験の結果

高ナトリウム吸収-IR64の低カリウム土耕栽培試験結果

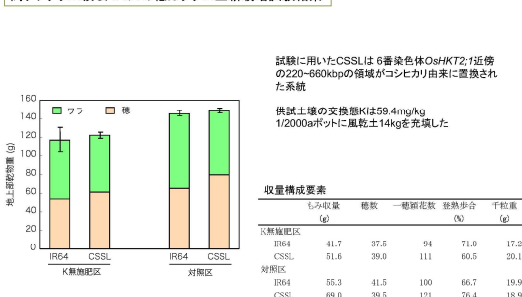


図 7. 低カリウム栽培試験の結果

#### 課題 5) 広域レベルにおける生産生態資源管理モデルの開発

本課題では、まず以下のような基盤データの整備を行った。

1) 調査対象地域における土壤特性、特に土性、土壤鉱物組成、土壤有機物含量、土壤酸性等に関するデータベースを作成した。

2) 課題 6) と共通項目として、各地域の気象データの収集を行った。

課題 1) ~ 4) で得られた個別成果と、これら基盤データを組み合わせ、資源流亡を最小とし、持続性を保証するような技術要素の抽出を行った。以下に概要をまとめる。

1) 土壌がきわめて砂質な場合、広く認識されているように、低い土壤肥沃度あるいは水管理の困難さを反映して土地生産性は高くはない。このような条件下では、有機物施用などを通じた戦略的な微生物 - 養分動態の同時管理(エフェメラル・ニッチの作出等)

を目指した技術の重要性が高いといえる。サヘル地域やタイ東北部の一部が該当する。

2) 降水量がおおよそ年間 700 mm を下回る場合、土壌水の下方流出およびそれに伴う養分損失は小さい。また降水量に応じて、作物収量、一次生産量、土壌有機物の投入量、土壌有機物分解量のいずれもが小さい値を示す。一方で、鉱物風化があまり進行していない場合も多く（例えばタンザニア乾燥地域）、鉱物起源の必須元素供給能は中・長期的に保証されている土壌も多い。これらを反映して、土壌肥沃度、作物生産ともに低位安定であるといえる。この場合、土地生産性の急速な低下をもたらす主要因は、風食、水食などの土壌侵食であるので、マルチング等これを低減させる努力が必要である。

3) 降水量が蒸発散量を上回る地域（年間降水量がおおよそ 800 ~ 1200 mm）では、土壌は中程度の酸性を示し、農耕地生態系における硝酸化成およびそれに伴う硝酸イオン/陽イオンの溶脱損失が活発である場合が多い（例えばタイ北部）。概して土壌肥沃度が高いが、農耕に伴う肥沃度の低下も顕著であるという特徴を持つ。農地への積極的な有機物投入など、中長期的な肥培管理が重要である。

4) 降水量が蒸発散量を大きく上回る地域（年間降水量が 1500 mm を超えるような熱帯季節林～多雨林地帯）は、通常土壌酸性が強く、一年生作物（特に穀物）の栽培には適さないが、鉱物風化が進行した Oxisols と相当量の 2:1 型 Ultisols では物質動態およびこれに対する農耕技術的対応が異なる。

Oxisols は、通常土壌の鉱質成分に関わる肥沃度が低い、物理性が良好であり、排水能も高い。また 2:1 型鉱物に起因する土壌の酸塩基緩衝能が低い、土壌酸性を改善することが容易であり、良好な物理性と相まって、石灰施用・施肥など通した土壌の化学的改良は容易である。そしてこれらの条件が、おそらくブラジルで近年農業発展が達成された理由の一つである（また先住民がガーデン的土地利用を好んでいた理由でもあろう）。しかし活発な硝酸化成と養分元素の流亡損失の加速が懸念されるという意味では、上記 3) と共通する課題を持つ。

一方 Ultisols では、2:1 型鉱物の存在により、Oxisols よりも養分元素供給能が高いが、土壌酸性が強度・容量ともに大きい、また土壌の物理性に関しては、バイパス流が確保されなければ透水不良となりやすく、表面流去の加速を通した土壌侵食の危険が顕在化しやすい。このように、一年生作物を対象とした土壌改良は概して困難であるといえる。このような諸条件が、インドネシア熱帯雨林帯で従来より焼畑移動農耕的な土地利用が好まれ、また現在樹木作物によるプランテーションが選ばれている主要な理由であろう。

以上のように本課題では、異なる気候・土壌条件下において農業生産の持続性を担保するような諸条件の特定を行った。

## 課題 6) 栽培技術の最適化と可変的作付システムの開発

1) タイにおける作物生産力推定のため、好適なサトウキビ生産モデルを確立し、圃場において検証を行って有用性を示した。他の重要な畑作物（トウモロコシ、キャッサバ）及びイネについては、既に開発しているモデルを改良した。

2) 開発した作物モデルと気象データベースを組み合わせて、潜在収量及び達成可能収量を広域で推定する生産力モデルを開発し、タイ西部及び中部のサトウキビ潜在収量地図を作成し、それぞれの品種の、域内での適応性の地域差を明瞭に視覚化した。

3) 中部・北部・東北部タイの日射量、降雨量の日データから、気象データベースを構築し、気温、日射量、降雨量とも域内変動があり、特に降雨量で大きいこと、気温と日射量では年変動が小さいが、降雨量の年変動は大きいことを明らかにした。なお、他の地域においては、気象の日データの入手が難航し、地図化に必要なデータを用意できなかった。

4) タイ中部において、約 6,000 筆の畑作圃場を対象として、作付体系動態の解析を行い、その結果を GIS を用いて地図化した。その結果、近年、伝統的なトウモロコシを中心とした穀物・マメ類の二期作・二毛作から、サトウキビやキャッサバなどの、環境ストレスに耐性のある、栽培期間の長い作物を中心とした作付パターンに移行していることを明らかにした。

5) ミャンマー中部ドライゾーンにおいて、近年の作付体系の変遷の解析を行った結果、降雨の不安定性の増加・商品作物価格の変動等の原因によって、地域住民が新たな作目を導入するなど、作付体系を多様化していることを明らかにした。

## まとめ

本研究の結果を総合し、地質・地形・気候などの土壌生成因子、土壌中の炭素・窒素・鉱質成分フラックス、およびこれら生産生態基盤に対する適応としての各地伝統的農耕における営農管理法の連関を、以下のような仮説として提示する（図 6）。

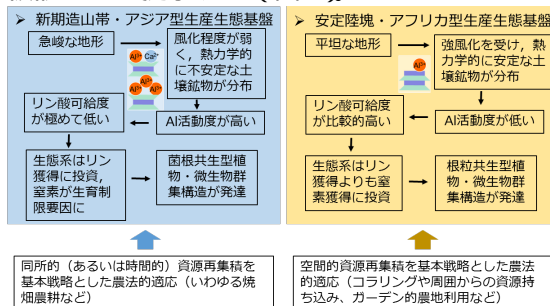


図 6. 生産生態基盤の地域特異性に関する仮説

これを踏まえた上で、気候変動への持続性対応、技術的対応が具備すべき条件として、以下の点を強調したい。

気候変動に連動した農業の持続性に関する

る問題は、その多くが農耕地からの溶存成分や土壌粒子の過剰な損失（流出）によって発生する。具体的な経路として、1)下層土からの溶存成分の流出、2)土壌表層からのガス成分としての放出、3)土壌侵食を通じた土壌粒子・有機物の物理的損失、の3点が挙げられる。すなわちこれら3経路による物質等の移動・流出を抑制し、生産生態基盤の劣化を回避することが、農業の持続性確保のための方策となる。また技術的対応を進める上で、時間因子として市場動向を包含した形で、GIS等を用いて面的把握・視覚化を進めることが有効である。

## 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 56 件)

Watanabe T, Hasenaka Y, Hartono A, Sabiham S, Nakao A, Funakawa S 2017: Parent materials and climate control secondary mineral distributions in soils of Kalimantan, Indonesia. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 81, 124-137, DOI: 10.2136/sssaj2016.08.0263, 査読有。

Nishigaki T, Shibata M, Sugihara S, Mvondo-Ze AD, Araki S, Funakawa S 2017: Effect of mulching with vegetative residues on soil water erosion and water balance in an Oxisol cropped by cassava in East Cameroon. *Land Degrad. Develop.*, 28, 682-690, DOI: 10.1002/ldr.2568, 査読有。

Sawada K, Funakawa S, Kosaki T 2016: Short-term respiration responses to drying-rewetting in soils from different climatic and land use conditions. *Appl. Soil Ecol.*, 103, 13-21, DOI: 10.1016/j.apsoil.2016.02.010, 査読有。

Sugihara S, Funakawa S, Kadono A, Takata Y, Sawada K, Fujii K, Kosaki T 2015: In situ short-term dynamics of CO<sub>2</sub> flux and microbial biomass after simulated rainfall in dry croplands in four tropical and continental ecosystems. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 61, 392-403, DOI: 10.1080/00380768.2015.1018800, 査読有。

Fujii K, Funakawa S, Hayakawa C, Sukartiningih, Kosaki T 2013: Fluxes of dissolved organic carbon and nitrogen in cropland and adjacent forest in a clay-rich Ultisol of Thailand and a sandy Ultisol of Indonesia. *Soil Till. Res.*, 126, 267-275, DOI: 10.1016/j.still.2012.08.007, 査読有。

〔学会発表〕(計 120 件)

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.

2015, Morogoro, Tanzania.

舟川晋也 2014: 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, 2015 年 9 月 11 日, 京都大学(京都)。

Shibata M, Sugihara S, Mvondo Ze A, Araki S, Funakawa S 2014. Nitrogen fluxes in the soil profile of tropical seasonal forests in Cameroon. 20th World Congress of Soil Science, 8-13 June 2014, Jeju, South Korea.

Nishigaki T, Sugihara S, Kilasara M, Funakawa S 2014. Effect of application method and quality of crop residues on soil nitrogen dynamics in maize croplands with contrasting soil texture in Tanzania. 20th World Congress of Soil Science, 8-13 June 2014, Jeju, South Korea.

〔図書〕(計 11 件)

Funakawa S (Ed) 2017: Soils, Ecosystem Processes, and Agricultural Development: Tropical Asia and Sub Saharan Africa. Springer, pp.392.

Funakawa S, Fujii K, Kadono A, Watanabe T, Kosaki T 2014: Could Soil Acidity Enhance Sequestration of Organic Carbon in Soils? In Soil Carbon. Eds. A. Hartemink and K. McSweeney, p.209-216, Springer.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.soils.kais.kyoto-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

舟川 晋也 (FUNAKAWA, Shinya)  
京都大学・大学院地球環境学学堂・教授  
研究者番号: 2 0 2 4 4 5 7 7

(2) 研究分担者

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: 0 0 1 4 4 3 4 5

間藤 徹 (MATOH, Toru)  
京都大学・大学院農学研究科・教授  
研究者番号: 5 0 1 5 7 3 9 3

縄田 栄治 (NAWATA, Eiji)  
京都大学・大学院農学研究科・教授  
研究者番号: 3 0 1 4 4 3 4 8

渡邊 哲弘 (WATANABE, Tetsuhiro)  
京都大学・大学院地球環境学学堂・助教  
研究者番号: 6 0 4 5 6 9 0 2

杉原 創 (SUGIHARA, So)  
東京農工大学・農学研究院・准教授  
研究者番号: 3 0 5 9 4 2 3 8