

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔令和2（2020）年度 研究進捗評価用〕

平成29年度採択分  
令和2年3月31日現在

「ミニマム・ロスの農業」実現を目指して  
Establishment of “Minimum-loss” agriculture

課題番号：17H06171

舟川 晋也（FUNAKAWA, SHINYA）

京都大学・大学院地球環境学堂・教授



研究の概要（4行以内）

本研究では、近代農業の拡大に伴い顕在化してきた「農業生産の持続性の危機」および「農業起源の環境問題の拡大」を回避・解決するために、「ミニマム・ロスの農業」を構想する。自然生態系やこれまで持続性を担保されてきた伝統的農耕における生態学的・農耕技術的プロセスを広く探索・解明し、近代農業の文脈で適用可能な技術要素として再構築した上で提示する。

研究分野：環境農学

キーワード：環境調和型農業、生態系、伝統農耕、土壌微生物

1. 研究開始当初の背景

近代農業は、主として外部からのエネルギー投入（化学肥料や農業機械）によって、多収と経済性を第一義的に目指して推進されてきた。その結果食糧生産はめざましく増大したが、同時に土壌侵食や土壌有機物減耗といった土地劣化に起因する「農業生産の持続性の危機」、あるいは硝酸汚染の増大や炭酸ガス放出を通じた気候変動への影響など「農業起源の環境問題」が急速に顕在化した。これらの問題を回避・解決するためには、関連する技術開発の主たる方向性を、「多収・経済性」から「持続性の担保・環境負荷の抑制」へ転換しなければならない。

2. 研究の目的

本研究では、基本的考え方として、「ミニマム・ロスの農業」を構想する。ミニマム・ロスとは、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・有機物の物理的除去、を最小にすることである。そのためにミニマム・ロスの文脈で規範となり得る自然生態系、および比較的長期間にわたって持続性を担保されてきた伝統的農耕における生態学的・農耕技術的プロセスを広く探索・解明し、これらを近代農業の文脈で適用可能な技術要素として再構築した上で提示する。

3. 研究の方法

アジア・アフリカ各地の森林および農耕地生態系において、以下の5課題を設定する。

1) 生態系の資源獲得戦略（対窒素・リン）から見た植物／微生物共生成立過程と窒素フラックス規定要因の解明、2) 植物／微生物共生等によるエネルギー変換・生化学反応の解明、3) 在来作物品種の養分要求特性の解明、4) 水収支等水文過程の詳細実測および在来農耕における降雨特性・土壌特性に対する適応としての異なる表土管理の評価、5) 在来農耕／多品種同時栽培の再評価である。次にここまで得られたプロセス群に技術的解釈を加え整理した上で、「ミニマム・ロスの農業」の文脈における技術要素の再構築を行う。

4. これまでの成果

1) タンザニア南部高原の2圃場（砂質なアルフィソルとアンディソル）において、施肥窒素量の違いや窒素肥料と植物残渣の混合施用が、土壌-植物系における窒素の分配や作物収穫量に与える影響、さらにはアンモニア揮散、硝酸流亡、亜酸化窒素の放出といった異なる経路による窒素損失に及ぼす影響について、2年間の現地圃場試験に基づき検討した結果、窒素肥料の投入効果が漸減し、環境負荷（硝酸流出・亜酸化窒素放出）が指数関数的に増大しはじめる環境負荷発生閾値が特定された。農業生産と環境負荷低減を両立させるために、この閾値を引き上げる技術的革新が求められる。

2) 土壌有機物含量が低い熱帯土壌（インドネシア、タイ、タンザニア、カメルーン）においても、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>成分が土壌有機物含量を規定しているとの結論を得た。

3) カメルーンのおキシソル分布域において、耕作放棄地の植生遷移過程における土壌有機物集積過程で、初期の草本植生が重要な役割を果たすことを、炭素安定同位体比を用いた測定によって明らかにした。従来単に劣化植生とみられていた湿潤地における草本植生の意義を再評価する重要な成果である。

4) カメルーン森林のおキシソルでは、同地域やインドネシアのアルティソルと比べてより大きな窒素フラックスが確認されており、この状況は森林開墾後3年程度は耕地においても継承されていた。

5) 基質添加に対する微生物応答に基づいて生態系における窒素制限・リン制限を検討した結果、アルティソルの天然林では強いリン制限であったが、おキシソルの天然林ではリン制限は見られず、貧栄養土壌とされているおキシソルにおいて、特に土壌微生物はリン獲得の有効な手段を有していることが示唆された。4)の結果と合わせて、おキシソル上の生態系では窒素を優先した資源獲得戦略が、アルティソル上ではリンを優先した戦略が、微生物あるいは微生物/植物共生系によって選ばれているという仮説が得られた。

6) 泥炭湿地上のアブラヤシ農園において、開墾より時間を経た段階では泥炭の分解速度は  $12.2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  と通常の熱帯林よりやや高い程度であること、地下水位管理はむしろ易分解性有機物に富んだ泥炭次表層の分解を抑制するために重要であることを示した点に新規性がある。

7) タンザニア北部北部キリマンジャロ山麓部（アンディソル）および北西部カゲラ県カマチュム郡の台地上（アルティソル）におけるバナナ在来種を含む家畜フン施用を伴う有機農法について調査した結果、熱帯高標高地（1000～1500 m）における有機農法では、土壌有機炭素のように投入とともに分解損失も活発な元素では投入効果が保存されないのに対し、リンのように可動性の小さな元素は土壌に集積するという結果が得られた。今後窒素やリン等の養分元素に関して、内部充足度あるいは外部投入への依存度、資源利用効率あるいは環境負荷率というような概念で評価したいと考えている。このような視点は、環境農学における定量的な農法評価の概念として有用であると考えられる。

8) ラオス北部およびベトナム中部の中山間地に小スケールの土壌侵食測定プロットを設定し、表面流去水量、侵食土壌量を測定するとともに、10分間隔で降水量、土壌水分量、表面流去水量をモニタリングし、表面流去水および土壌侵食の発生条件を検討した。その結果両地域に共通して、1) 雨季初期にはしばしば土壌が水飽和されておらず降雨速度が土壌への水の浸透速度を上回る際に表面流去が発生すること、2) 雨季中期以降には土壌は常に圃場容水量レベルにあり表面流

去水量が発生しやすいこと、3) 雨季後期にはクラスト形成のため常に表面流去水が発生しやすいこと、4) 植物資材による土壌表面被覆は、表面流去や土壌侵食の発生を抑制するために有効なことなどが示された。

## 5. 今後の計画

以上の結果を、以下の3つの観点に関する技術要素として整理する（段階2）。1) フラックス制御の重要性に関わる技術要素、2) 物質・粒子移動の空間的制御の可能性、3) 物質・粒子移動の時間的制御の可能性、である。引き続き、「ミニマム・ロスの農業」の文脈における技術要素の再構築（段階3）を行い、研究の目的で提示した損失の3経路、すなわち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の損失を抑止しうる技術要素として再構築する。

## 6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

Sugihara, S., Shibata, M., MvondoZe, A.D., Tanaka, H., Kosaki, T., Funakawa, S. 2019: Forest understories controlled the soil organic carbon stock during the fallow period in African tropical forest: a  $^{13}\text{C}$  analysis. *Scientific Reports*, published online.

Marwanto, S., Sabiham, S., Funakawa, S. 2019: Importance of  $\text{CO}_2$  production in subsoil layers of drained tropical peatland under mature oil palm plantation. *Soil & Tillage Research*, 186, 206–213.

Ichinose, Y., Nishigaki, T., Kilasara, M., Funakawa, S. 2019: Central roles of livestock and land-use in soil fertility of traditional homegardens on Mount Kilimanjaro. *Agroforestry Systems*, published online

Zheng, J., Qu, Y., Kilasara, M.M., Mmari, W.N., Funakawa, S. 2019: Nitrate leaching from the critical root zone of maize in two tropical highlands of Tanzania: Effects of fertilizer-nitrogen rate and straw incorporation. *Soil & Tillage Research*, 194, published online.

Sugihara, S., Fujimori, Y., Shibata, M., Sawada, K., Tanaka, H., Mvondo Ze, A., Araki, S., Kosaki, T., Funakawa, S. 2018: Effects of 3-year cultivation on the soil nutrient status in a tropical forest and savanna of Central Africa, as determined by the microbial responses to substrate addition. *Soil Science and Plant Nutrition*, 64, 728–735.

## 7. ホームページ等

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