

マダガスカル中央高地の水田土壌の有機炭素含量は土壌化学性によって規定される

マダガスカル中央高地における熱帯水田土壌を対象とした構造方程式モデルによる初の大規模比較研究の結果は、反応性の高いアルミニウム（活性 Al）と鉄（活性 Fe）の総量が土壌有機炭素(SOC)含量を強く規定し、活性 Al 優占土壌では活性 Al のみが、活性 Fe 優占土壌では活性 Al と活性 Fe の両方が SOC 安定化に寄与することを示す。さらに、土壌 pH が高くなるほど SOC が減少する。これらの成果は、熱帯・亜熱帯地域に分布する水田土壌の炭素蓄積能の評価や、pH 矯正や有機物投入による土壌改良指針の策定に貢献する。

キーワード：炭素隔離、気候変動、水田、サブサハラアフリカ

背景・ねらい

土壌は大気中の二酸化炭素を吸収する陸域最大の炭素貯蔵庫である。そのため、土壌に蓄積した有機炭素(SOC)が長く安定して存在するメカニズムを理解することは、地球温暖化対策に重要である。これまで、SOC 貯留には土壌の細粒質画分の総量が重要な要因であると考えられてきたが、熱帯の畑地土壌では、酸性シュウ酸塩溶液で抽出される反応性の高いアルミニウム（活性 Al）および鉄（活性 Fe）が多いほど SOC が安定的に蓄積することが明らかとなってきた。一方、水田土壌は、季節的な湛水と落水によって酸化還元が繰り返されるため Fe や Al などの無機元素の挙動が複雑であることから、畑地土壌に比べて SOC の安定化機構の理解が遅れている。また、熱帯・亜熱帯地域、特にサブサハラアフリカでは、SOC の安定化機構に関する実測データが乏しく、土壌母材の異なる水田を横断的に比較した研究は極めて少ない。

そこで本研究では、マダガスカル中央高地の 6 地域・306 水田圃場から採取した土壌を対象とし、SOC の安定性を規定する要因を構造方程式モデルによって解析する。火山の影響を強く受けている火山性土壌から、活性 Al と活性 Fe の含量が低い非火山性土壌まで土壌母材が異なる土壌が横断的に含まれており、サブサハラアフリカの熱帯水田土壌における初の大規模比較研究である。

成果の内容・特徴

1. 対象とした水田土壌の SOC 含量は、0.3～13.4%と幅広く、土壌の細粒質画分の総量である粘土+シルト含量($r = 0.61$)よりも、反応性の高い活性 Al と活性 Fe の総量($r = 0.90$)と高い正の相関を示す（図 1）。
2. 活性 Fe より活性 Al が多い活性 Al 優占土壌（主に火山性土壌）では、活性 Al のみが SOC の安定化に寄与する（図 2 上段）。一方で、活性 Al よりも活性 Fe が多い活性 Fe 優占土壌（主に非火山性土壌）では、活性 Al と活性 Fe の両方が SOC の安定化に寄

与する（図 2 下段）。すなわち、活性 Al と活性 Fe の相対的バランスが熱帯水田土壌における SOC の安定化の決定因子となっていることを初めて実証した。

3. 活性 Al 優占土壌と活性 Fe 優占土壌のいずれにおいても、SOC 含量は土壌 pH と負の相関を持つ（図 2）。すなわち、土壌 pH が上昇すると水田の SOC 含量が低下する。

成果の活用面・留意点

1. マダガスカル中央高地における水田土壌の SOC の安定化には、火山の影響の有無や、土壌 pH、活性 Al と活性 Fe の総量および存在比といった地球化学的要因が重要であることを明確に示し、熱帯・亜熱帯地域の水田土壌がもつ炭素隔離ポテンシャルの予測精度向上に活用できる。
2. 土壌改良に伴う人為的な pH 上昇は SOC 含量の低下を引き起こす可能性があることから、熱帯の酸性土壌において pH 矯正と SOC 貯留を両立するための有機物投入などを組み込んだ肥培管理設計に活用できる。
3. 本研究の成果は、マダガスカル中央高地と同様の母材・気候帯・水管理体系をもつ熱帯・亜熱帯地域の水田土壌に適用可能である。
4. 一方で、湛水期間の長い 3 期作水田や、氾濫原のような堆積物によって土壌の特性が変わりやすい水田などでは、追加データによる検証が不可欠である。

その他

予算区分：外部資金 [地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)]

研究実施期間：2017～2022 年度

研究担当者：西垣智弘、辻本泰弘、岡本卓哲、アウンゾーウ（生産環境・畜産領域）、Lyu, H.（東京農工大学）、Rakotonindrina, H.、Andriamananjara, A.、Razafimbelo, T.（アンタナナリボ大学）、Rakotoarisoa, N.M.（FOFIFA）

発表論文等：Nishigaki et al. (2025) *Environmental Research* 284: 122277. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.122277>

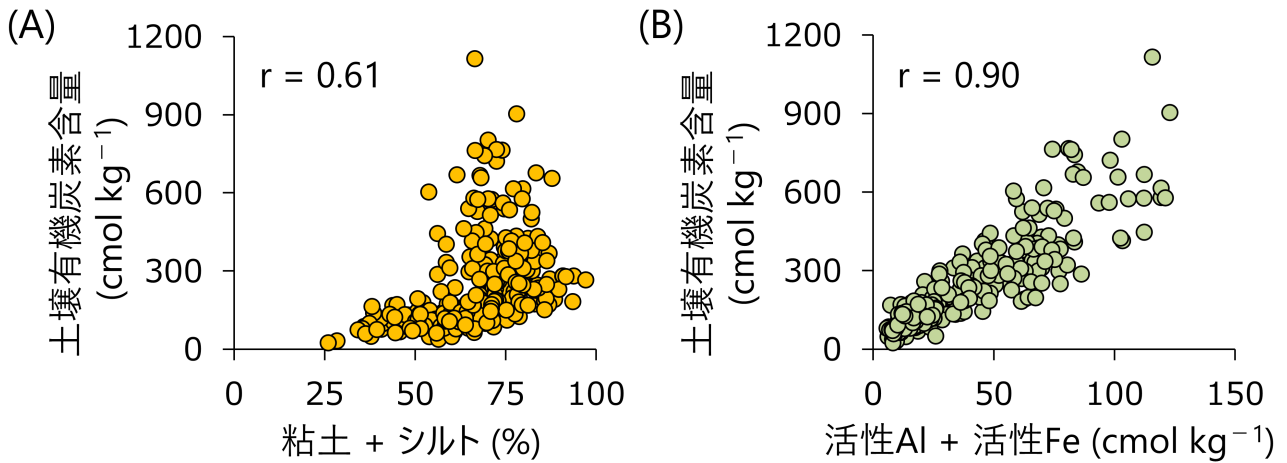


図1 土壤有機炭素含量と粘土+シルト含量 (A)および活性Al+活性Fe含量 (B)の関係

図中のrは相関係数を示す。土壤有機炭素含量 (cmol kg⁻¹)は、炭素の原子量 (12.01 g mol⁻¹) / 1,000 を乗ずることで、単位を%に換算できる。

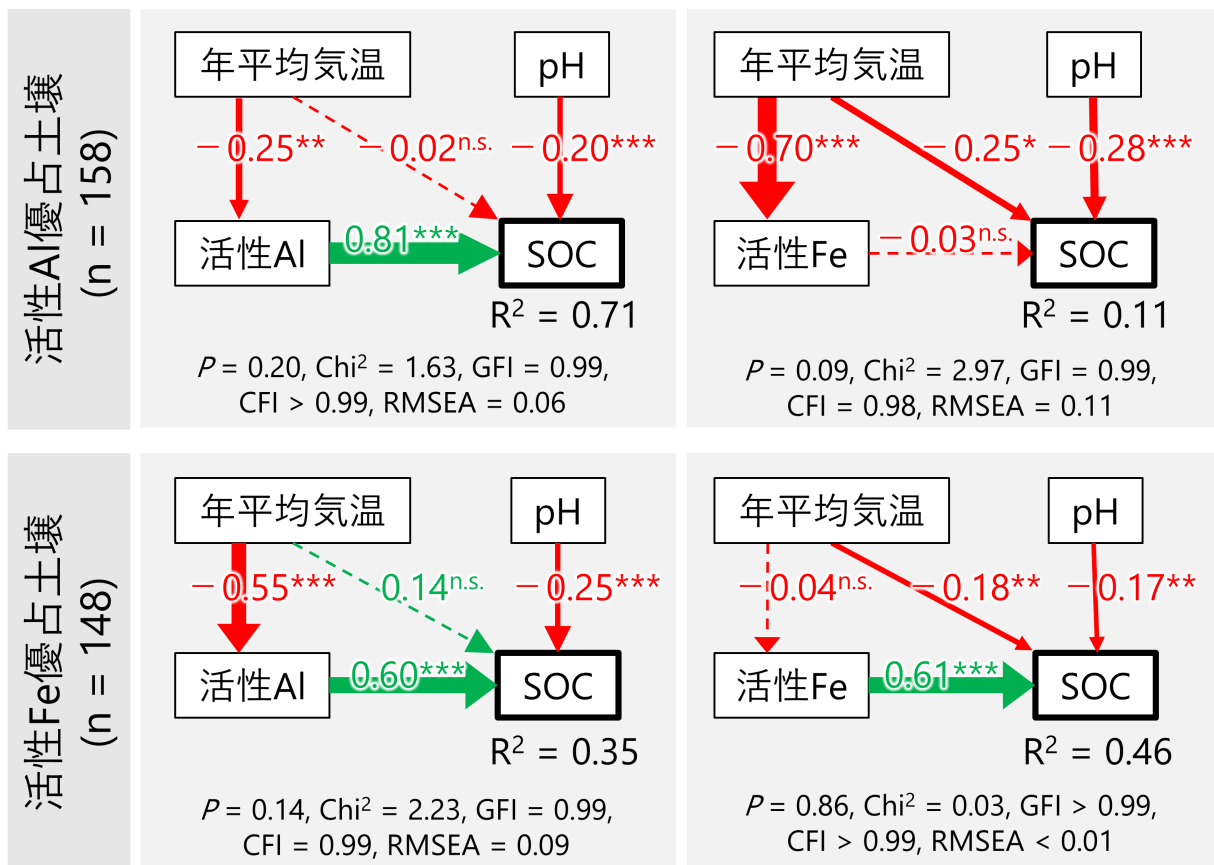


図2 活性Al優占土壤（上段）および活性Fe優占土壤（下段）における土壤有機炭素(SOC)含量の変動に関する構造方程式モデル

赤矢印は負の効果、緑矢印は正の効果を示す。矢印上の数値は標準化パス係数を示し、有意水準は以下で表す：*** $P < 0.001$ 、** $P < 0.01$ 、* $P < 0.05$ 、n.s.（非有意）。矢印が実線の場合は有意な効果、破線の場合は非有意な効果を示し、矢印の太さは相関の強さに比例する。 R^2 はSOCについてモデルが説明する分散の割合を示す。モデル適合指標には P 値、カイ二乗値 (Chi^2)、適合度指数(GFI)、比較適合指数(CFI)、近似誤差平方根(RMSEA)が含まれる。

図は Nishigaki et al. (2025) © Elsevier B.V. 2025 より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）