

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780065

研究課題名(和文) インドネシアの火山地帯における土壌粘土鉱物分布の解明とその適正施肥技術への応用

研究課題名(英文) Distribution of clay minerals in volcanic soils of Indonesia and its application to an appropriate fertilization

研究代表者

渡邊 哲弘 (Watanabe, Tetsuhiro)

京都大学・地球環境学堂・助教

研究者番号：60456902

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、インドネシアの畑作地として重要な位置を占めるスマトラ島とジャワ島の火山地帯における、適正な施肥技術の確立を目指して行った。研究成果として、スマトラ島およびジャワ島における肥料成分を吸着する各種土壌粘土鉱物の分布と、地質および気候条件がその分布に与える影響を解明した。また現地実験により、土壌粘土鉱物の異なる圃場における肥料成分(窒素、リン、カリウム)の動態を明らかにし、適正施肥の確立に重要な情報を得た。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study was to establish a proper fertilizer management in volcanic area of Java and Sumatra islands which is the most important upland agricultural area in Indonesia. The distributions of clay minerals which control nutrient dynamics, and effects of geology and climate on the distribution were revealed. Detailed information on nutrient dynamics in the field were also obtained by an experiment. The results obtained will greatly contribute to the establishment of a proper fertilizer management in the area.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農芸化学・植物栄養学・土壌学

キーワード：土壌学 鉱物生成 適正施肥

1. 研究開始当初の背景

インドネシアのカリマンタン島やスマトラ島の大部分には、畑作に向かない強酸性の土壌が広く分布しており、ジャワ島およびスマトラ島の火山地帯における食糧生産は当該国にとって極めて重要な位置を占めている。また、近年の経済発展に伴い水田地帯の宅地化や工業用地への変換が急速に進んでおり、その意味からも畑作地における食糧生産への期待が高まっている。しかし、主要な農地である水田に比して、畑作地での施肥に伴う養分動態に関する知見は未だ十分に蓄積されていない。

ジャワ島・スマトラ島における畑作は、高標高帯 (>1500m) から低標高帯 (<200m) まで行われている。このうち当該地に広く分布する火山灰を母材とする土壌 (火山灰土壌) においては、標高 (あるいはそれと伴に変化する温度・降水量) がもっとも強く粘土鉱物の生成を規定しており、標高に伴い異なる土壌型 (Andosols、Acrisols/Luvisols、Vertisols) が分布している。

これら畑作地に分布する各種粘土鉱物は、例えばアロフェン等の準晶質鉱物によるリン酸の固定や有機態窒素・リンの吸着、パーミキュライトやハロイサイトによるカリウムとアンモニアの固定などの反応を介して、窒素、リン、カリウム等の肥料成分の植物可給度や溶脱に強く影響していることが知られている。しかし、土壌粘土鉱物の生成は、地質、標高の変化に伴う温度・降水量の変化、地形、土壌の生成に要した時間、植生など複数の因子の影響を受けるため、地域ごとに生成の様式が異なり、本地域における粘土鉱物の詳細な分布は解っていない。そのため当該国では、例えば同量のリン酸を施用した場合にアロフェンが多い土壌では可給態量が少なくなりやすく、一方カオリナイトなどが卓越する場合溶脱しやすいなどといった粘土鉱物の組成 (種類と量) を考慮した施肥はほとんど行われていない。その結果、施肥の過剰や不足、また不適切なタイミングでの施用が広く見受けられ、経済的に豊かな農家の畑においては水系の汚染や資源の浪費、肥料の投入量が少ない畑においては低収量の原因となっている。

当該国における畑作地の施肥に関する研究については、施肥量と収穫量の関係を調べたものがほとんどであり、施肥効率や環境負荷に強く関連する溶脱量を測定した研究や、作期中の作物吸収量や可給態養分量の経時変化を調べた研究は少ない。また、施肥効果の地域間比較や、肥料成分の吸着を行っている鉱物に関する情報に欠けている。このため、先進各国と比して、省資源で環境負荷の小さい精緻な畑作を行うための基盤となる情報が貧弱であり、また限られた肥料を効率的に使用できていない。このような状況のもと、より環境への負荷、農家の経済負担の小さい施肥法を確立することが必要とされている。

2. 研究の目的

本研究はより環境への負荷、農家の経済負担の小さい施肥法の確立に向けて、下記を目的として行った。

(1) 火山灰土壌が分布するジャワ島・スマトラ島における粘土鉱物の生成・分布の規定要因を解明すること

(2) ジャワ島の粘土鉱物組成の異なる 2 圃場において肥料成分の動態を明らかにすること

(3) インドネシアにおいて、火山灰土壌以外の主要な土壌である泥炭土壌および堆積岩等に由来する強酸性土壌の性質を調べ、火山灰土壌の特徴を明確にすること

3. 研究の方法

(1) スマトラ島とジャワ島の火山帯の 40 地点 (標高 100 m ~ 1900 m) より採取した次表層土壌を供試した。粘土鉱物組成を、X 線回折分析、示差熱分析、選択溶解法により調べた。また、各鉱物の熱力学的安定性を評価するため、土壌水抽出液 (土液比 1:2、25 °C、1 週間静置) を採取し、その組成を分析した。

(2) ジャワ島の代表的な土壌粘土鉱物組成を有する 2 圃場において、当地で重要な養分供給源である牛糞に含まれる N、P、K の動態を調べた。圃場 A は、平均気温 26 度、年平均降水量 3,800 mm で標高 100 m に位置し、土壌型は Ultisol、圃場 B は、平均気温 20 度、年平均降水量 3,600 mm で標高 1,250 m し、土壌型は Andisol であった。慣行に従い播種 2 週間前に牛糞を施用した後、トウモロコシの栽培実験を行った。牛糞施用区 (20 t ha⁻¹) と無施用区をそれぞれ 3 連で設け、経時的に土壌中の無機態 N、有効態 P、交換性 K と、トウモロコシの N、P、K 吸収量および収量をそれぞれ調べた。またリターバック試験を行い、牛糞からの N、P、K の放出速度を測定した。

(3) 強酸性土壌が広く分布するカリマンタン島において、上記(1)と同様の手法を用いて、その粘土鉱物の分布とその生成・分布の規定要因を調べた。また泥炭土壌においては、灰分量、交換性塩基量、全元素量、可給態 P 量を測定し、土壌中の無機養分量を泥炭の厚さとの関係において調べた。

4. 研究成果

(1) 酸性シウ酸塩可溶の Al、Fe、Si 量は、地域によらず高標高で多かった。これは鉱物の結晶化が低温条件下で抑制されるためと考えられる。パーミキュライトはスマトラ島に分布しており、珪長質な母材中に存在する雲母から生成したと考えられる。土壌溶液から析出生成すると考えられる、ギブサイト、カオリン鉱物、スメクタイトについて、ギブ

サイトはスマトラ島に多く、一方スメクタイトはジャワ島東部の一部の土壤に存在した。また、カオリン鉱物はいずれの地域にも分布していた。土壤水抽出液のケイ酸活動度と pH は、年中湿潤で母材が珪長質なスマトラ島北部で共に低く、ギブサイトの安定性に寄与しており、一方乾季が明瞭で母材が苦鉄質なジャワ島東部で共に高く、スメクタイトの安定性に寄与していた。溶液組成は、降水に伴いケイ酸の溶脱と酸性化が進むこと、珪長質な母材は風化抵抗性が高くケイ酸の放出が遅いことを反映していると考えられる。

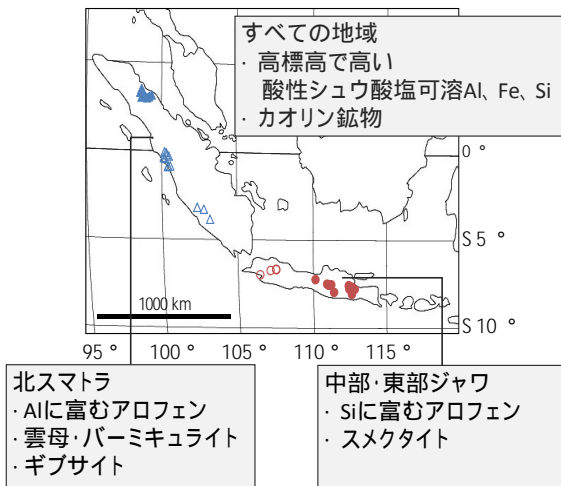


図1 ジャワ島、スマトラ島の火山帯における粘土鉱物の分布

(2) トウモロコシの出芽は牛糞施用後 3~4 週目であり、根は 6 週間で約 25 cm となり、その後の伸長は緩やかであった。植物高は、圃場 A の施用区と無施用区でそれぞれ 290 cm と 230 cm、圃場 B の施用区と無施用区でそれぞれ 260 cm と 220 cm であった。

リターバック試験の結果より、施用後 1 週間のうちに 30% の N と P、70% の K が牛糞より放出されていた。また、出穂までに牛糞の 45% および 60% が圃場 A と B でそれぞれ減少しており、N、P、K の 45%、40%、90% が圃場 A で、55%、60%、95% が圃場 B で放出されていた。これらの放出は温帯域で報告されているものよりも速かった。

土壤中の無機態 N 量は、両圃場でリターバック試験より推定された牛糞からの放出量と比べて非常に少なく、土壌からの溶脱が考えられた。可給態 P 量は両圃場で、牛糞施用区で有意に多く、特に施用後 4~5 週までが顕著であった。4~5 週目において施用された牛糞中の P のうち圃場 A で約 1/5、圃場 B で約 1/10 が可給態として存在していた。圃場 B で可給態量が少ないのは酸性シュウ酸塩可溶の Al、Fe 量が多い粘土鉱物組成のためと考えられた。交換態 K 量も牛糞施用区で有意に多く、特に施用後 4 週目までが顕著であった。4 週目において施用された牛糞中の K の

うち圃場 A で約 1/2、圃場 B で約 1/5 が交換態 K として存在していた。

牛糞の分解速度は温度が低くても低下することはなく、生物相や通気性などの他の影響が強いと考えられた。N はトウモロコシの生育期間を通して牛糞から放出されていたが、放出された無機態 N は土壤にほとんど保持されなかった。P も N と同じく、生育期間を通して放出されていたが、土壤によって保持されており、それがトウモロコシに吸収されたと考えられた。K の多くは牛糞施用後 1 週間で放出され、交換態として土壤中に保持されたものがトウモロコシに吸収されたと考えられた。P と K とともにトウモロコシの根が伸長し終わり、バイオマス量が増加する施用後 6~8 週目まで土壤中の可給態量が多かった。

いずれの圃場においても、N のトウモロコシによる吸収が活発になる前、特に播種前までの溶脱量が大きかった。また、K については、粘土鉱物組成により溶脱の程度が異なり火山灰土壌では窒素と同様に溶脱が起きていた。これらの点を考慮して、今後の施肥を適正化していく必要があると考えられた。

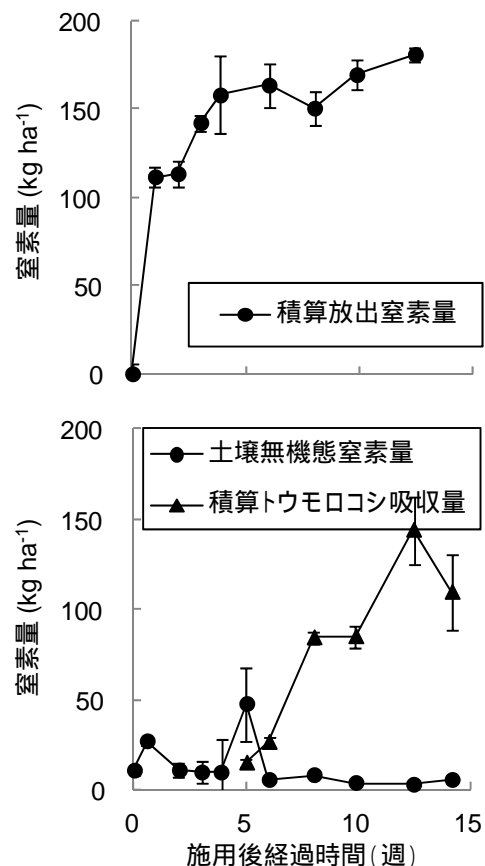


図2 圃場 A におけるリターバック試験による牛糞からの積算窒素放出量(上)と土壌中の無機態窒素量および積算植物吸収窒素量(下)

(3) カリマンタン島の鉱物組成は、各元素の全量を反映し、Fe グループ、Si・K・Mg グル

ープ、Siグループに分かれた。Feグループの土壌は、粘土含量が高く、遊離 Fe、カオリナイト、ギブサイトが多かった。また、水抽出液中のケイ酸濃度は低かった。Feグループの土壌は、風化が進み易い苦鉄質の母材から生成しており、脱ケイ酸が進んでいると考えられた。Si・K・Mgグループの土壌は、雲母とパーミキュライトが比較的多く、水抽出液のケイ酸濃度は高かった。堆積岩や花崗岩を母岩としており、侵食・堆積作用のために2:1型鉱物が多く残存していると考えられた。Siグループの土壌は、上述の鉱物全てを含んでおり、堆積岩や花崗岩を母岩としているが、より風化が進んでいると考えられた。Siグループでは気候条件により鉱物組成が異なり、気温の低い地域の土壌でギブサイトがより多く、またその水抽出液のケイ酸濃度は低かった。気温の低い地域では、溶脱により土壌溶液のケイ酸濃度が低く保たれ、ギブサイトが安定であると考えられた。ジャワ島・スマトラ島の鉱物組成と比較すると、いずれのグループの鉱物組成も、pHが低く酸性シュウ酸塩可溶のAl、Fe量が少なかった。Si・K・Mgグループ、Siグループの土壌は、スマトラ北部の土壌に近い鉱物組成を有しており、両者の近似性が明らかとなった。

泥炭土壌については、灰分量、交換性Ca、Mg量、全Mg、K、Fe量は、泥炭の厚さと負に相関した。一方で、交換性K、Na、可給態P、全Ca、P量は無相関だった。泥炭の厚さが3m以下の地点すなわち泥炭ドームの端部に置いては、無機養分の含量が極めて高い地点があった。断面においては、灰分量、交換性Ca、Mg、K、Na量は表層0.5mと無機土壌との境から上1-2mで多かった。植物による吸収と表層における蓄積を考えると、この断面内での分布は、泥炭の厚さ3m以下で無機養分量が多くなることとよく一致した。これらの養分分布に基づき施肥量を調整できる可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Sabiham, S., Marwanto, S., Watanabe, T., Funakawa, S., Sudadi, U., Agus, F., Estimating the relative contributions of root respiration and peat decomposition to the total CO₂ flux from peat soil at an oil palm plantation in Sumatra, Indonesia. *Tropical Agriculture and Development*, 査読有, 2014, in press.

Watanabe, T., Hasenaka, Y., Suwondo, Sabiham, S., Funakawa, S., Mineral nutrient distributions in tropical peat soil of Riau, Indonesia with special reference to peat thickness. *Pedologist*, 査読有, 57, 2013, 64-71.

〔学会発表〕(計10件)

Watanabe, T., Ota, Y., Nakao, A., Hartono, A., Funakawa, S., Distribution of clay minerals and their formation conditions in volcanic soils of Java and Sumatra islands, Indonesia. *Proceedings of 11th International Conference of the East and Southeast Asian Federation of Soil Science*, 2013, 165-166.

Funakawa, S., Watanabe, T., Hasenaka, Y., Nakao, A., Hartono, A., Clay mineral composition in soils developed under different geological and climatic conditions of Kalimantan, Indonesia. *Proceedings of 11th International Conference of the East and Southeast Asian Federation of Soil Science*, 2013, 167-168.

Watanabe, T., Urayama, S., Sugihara, S., Nakao, A., Funakawa, S., Kosaki, T., Araki, S., Preservation of organic carbon in humid tropical soils by active Al and Fe. *Global Soil C Conference Abstracts*, 2013, 65.

Funakawa, S., Fujii, K., Hayakawa, C., Sawada, K., Watanabe, T., Kosaki, T., Could soil acidity enhance sequestration of organic carbon in soils?. *Global Soil C Conference Abstracts*, 2013, 80.

Watanabe, T., Okumoto, H., Hartono, A., Sopha, G. A., Funakawa, S., Nutrient release from cow manure and its fate in two upland fields of Indonesia. *Proceedings of 10th Conference of the East and Southeast Asian Federation of Soil Science*, 2011, 301-302.

渡邊哲弘、長谷中洋輔、中尾淳、Arief Hartono、舟川晋也、インドネシア・カリマンタン島の異なる地質・気候条件下で発達した土壌の粘土鉱物組成。日本土壤肥料学会、2013

浦山慧美、渡邊哲弘、杉原創、中尾淳、舟川晋也、熱帯湿潤アフリカおよびアジアにおいて活性Al、Feが炭素蓄積に与える影響。日本土壤肥料学会関西支部会、2012

渡邊哲弘、太田頼子、中尾淳、Arief Hartono、舟川晋也、インドネシアの火山性土壌における二次鉱物の分布と生成条件。日本土壤肥料学会、2012

長谷中洋輔、渡邊哲弘、スピアンディ・サビハム、舟川晋也、インドネシア・リアウ州における熱帯泥炭の深度が無機養分量に及ぼす影響の解明。日本土壤肥料学会、2012

太田頼子、渡邊哲弘、中尾淳、Arief Hartono、舟川晋也、インドネシアの火山灰母材土壌における二次鉱物組成の標高に伴う変化．日本土壌肥料学会、2011

〔図書〕(計2件)

Funakawa, S., Watanabe, T., Kadono, A., Nakao, A., Fujii, K., Kosaki, T., CRC Press, Soil resources and human adaptation in forest and agricultural ecosystems in humid Asia. In World Soil Resources and Food Security, 2011, 53-167.

Funakawa, S., Watanabe, T., Nakao, A., Fujii, K., Kosaki, T., CRC Press, Pedogenetic acidification in upland soils under different bioclimatic conditions in humid Asia. In World Soil Resources and Food Security, 2011, 169-269.

6．研究組織

(1)研究代表者

渡邊 哲弘 (WATANABE, Tetsuhiro)
京都大学・大学院地球環境学堂・助教
研究者番号：60456902