

平成30年6月20日現在

機関番号：24302

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05247

研究課題名(和文) 熱帯アジア水田における緑の革命50年の土壌肥沃度への影響評価と稲作生産力の再評価

研究課題名(英文) Evaluation of 50-years influence of Green Revolution on soil fertility of paddy fields in tropical Asia

研究代表者

矢内 純太 (Yanai, Junta)

京都府立大学・生命環境科学研究科・教授

研究者番号：00273491

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：「緑の革命」後50年間での熱帯アジアの水田土壌の肥沃度の長期的変化を明らかにすることを目的として、50年前に調査が行われたタイ・フィリピン・マレーシア・バングラデシュにおいてほぼ同一地点で土壌を採取して肥沃度特性を分析した。その結果、いずれの国においても可給態リン酸の大幅な増加が認められ、pHや有機物の変化は顕著ではなかった。また、全カリウムの有意な減少がタイで認められた。従って、全般的な土壌肥沃度の向上は認められたものの、収量増加に伴う養分収奪の増加により加速化されていることが予想される土壌養分の適切な管理が熱帯水田稲作の持続性を確保するためには不可欠であると結論された。

研究成果の概要(英文)：To investigate long-term trend of fertility status of paddy soils in tropical Asia after the “Green Revolution”, soil samples were collected from almost same locations of the previous research about 50 years ago in Thailand, Philippines, Malaysia and Bangladesh, and their fertility-related properties were analyzed. Considerable increase in available phosphorus was observed in all the countries and the changes in pH and organic matter content was not conspicuous. Significant decrease in total potassium was observed in Thailand. As a consequence, it was concluded that fertility status of paddy soils in tropical Asia has increased in general during the past 50 years but soil nutrients whose removal is accelerated due to higher yield of rice should be replenished appropriately to keep rice production in tropical Asia sustainable.

研究分野：土壌学

キーワード：水田土壌 肥沃度 熱帯アジア 緑の革命 長期変動

## 1. 研究開始当初の背景

1960年代、アジアで「緑の革命」が勃興してからすでに半世紀が経過している。1966年に国際稲研究所(IRRI)が高収量品種IR8を開発し、化学肥料や灌漑(農薬、機械を含む場合あり)と組み合わせた多投入型集約農法が普及することで、農業生産性(土地生産性と労働生産性)が飛躍的に高まり、食糧の大幅な増産が可能となった。これにより懸念されていた食糧危機が回避されただけでなく、穀物価格の長期的な低落と余剰労働力の確保により、社会の安定と経済の高度成長を遂げる礎を築いたとも言われている。一方、緑の革命の弊害として、過耕作による土壌劣化、不適切な灌漑による表土の塩類集積、肥料や農薬の過剰投与による環境汚染、多収量品種導入による生物多様性の損失などが報告されている。持続的に生産性を高める新しいパラダイムとして「ポスト緑の革命」への道筋をつけるためにも、過去半世紀に渡って継続した緑の革命の功罪について総括する必要がある。

Kawaguchi & Kyuma (1977) は緑の革命の黎明期である1960年代後半(一部1970年代前半含む)に熱帯アジア10カ国(バングラデシュ、ミャンマー、カンボジア、インド、インドネシア、マレーシア、フィリピン、スリランカ、タイ、ベトナム)の水田土壌(合計434地点)の肥沃度と理化学特性を広範囲に調査している。人口過密地域であり将来的な食糧危機や環境問題の発生が懸念されていた熱帯アジアにおいて、最も重要な食糧生産基盤となっている水田に一早く注目し、土壌肥料学の立場から熱帯アジアの稲作生産力を評価した先駆的な研究であった。その後、緑の革命によって多投入型集約農業が急速に普及したため、現在までおよそ50年に及ぶ緑の革命の影響が土壌に蓄積されてきたことになる。

そこで、Kawaguchi & Kyuma (1977) の追跡調査を実施することで、この累積影響を定量的に評価することが可能になる。これまで1994/95年にバングラデシュ、2003年にインドネシアで追跡調査が実施され、緑の革命後25~35年を経た土壌肥沃度の変化が明らかにされている。しかしながら、緑の革命の導入時期を比較軸に、アジアの複数の国々の土壌肥沃度の推移を体系的に検討評価する研究はこれまで行われてこなかった。

## 2. 研究の目的

本研究は、緑の革命の恩恵を受けて経済成長を続けている熱帯アジア地域において、主食コメの生産基盤である水田に注目して、緑の革命導入後の土壌の肥沃度特性と理化学的性質の変化を明らかにするとともに、過去50年に及ぶ緑の革命を土壌肥料学的見地から評価することを目的とする。同時に、現状での同地域の稲作生産性を土壌の生産力に焦点を当てて再評価することで、「ポスト緑

の革命」における食糧生産の課題と解決策を検討し、当該地域において持続的に食糧を確保するための道筋をつける。

## 3. 研究の方法

「緑の革命」によって過去50年間に普及した多投入型集約農法の環境への影響評価を目的として、熱帯アジア4カ国-緑の革命の導入時期の早かった先発国:フィリピン、マレーシアと、遅かった後発国:タイ、バングラデシュの水田を対象に、およそ50年前の土壌調査の追跡調査を実施し、各地点で水田表層土を採取した。あわせて土壌肥沃度の現状を管理の面から解釈するために、現在の土壌管理・肥培管理について当該圃場の農家への聞き取り調査を実施した。

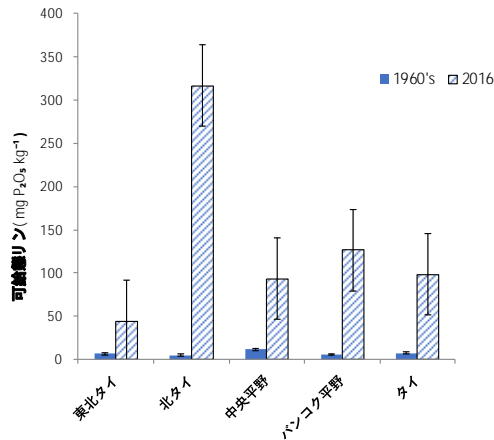
得られた土壌試料については、50年前のKawaguchi & Kyuma (1977) とほぼ同一の手法を用いて、土壌肥沃度に関わる土壌特性として、pH、EC、全炭素、全窒素、交換性塩基(酢安抽出法)、陽イオン交換容量(CEC)、可給態リン(ブレイ準法)、可給態ケイ素(酢酸緩衝液法)、粒径組成、粘土鉱物組成(XRD法)などを測定した。さらに、同一土壌を用いて中・近赤外分光特性の分析を行った。

## 4. 研究成果

### (1) タイ

東北タイ、北タイ、中央平野、バンコク平野から2016年に水田表層土合計65点を採取した。

各種分析を行った結果、現在のタイ全体の一般理化学的の平均値は、pHが5.8、ECが252  $\mu$ S/cm、全炭素が16.4 g/kg、全窒素が1.4 g/kg、CECが13.7 cmolc/kg、交換性Ca、Mg、Na、Kが8.77、3.11、0.88、0.31 cmolc/kg、非交換態Kが133 mg/kg、可給態リンが98.0 mg  $P_2O_5$ /kg、可給態Siが70.5 mg/kg、砂が42.8%、シルトが25.2%、粘土が32.0%となった。一方、東北タイの水田土壌の平均値は、pHが5.37、ECが202  $\mu$ S/cm、全炭素が6.17 g/kg、全窒素が0.50 g/kg、CECが7.07 cmolc/kg、交換性Ca、Mg、Na、Kが3.99、1.08、0.16、0.41 cmolc/kg、非交換態Kが41.8 mg/kg、可給態Pが44.2 mg  $P_2O_5$ /kg、可給態Siが39.3 mg/kg、砂が71.2%、シルトが13.9%、粘土が14.9%となった。東北タイのpH、全炭素、粘土は他地域より有意に低く( $p < 0.05$ )、全窒素、C/N、交換性K、交換性Na、CECは中央平野、バンコク平野より有意に低かった( $p < 0.05$ )。これは、現在の東北タイの土壌肥沃度が他地域より低いことを示すと判断できた。また、1960年代と2016年の比較では、東北タイの可給態リン、交換性Kが有意に増加しており( $p < 0.01$ )、タイ全域では、全窒素、可給態リン(図1)、交換性Kが有意に増加していた( $p < 0.01$ )。この結果から、緑の革命による化学肥料の使用量の増加が東北タイおよびタイ全域で、植物の必須元素である窒素、リン、カリウムの増加をもたらしたことが明らかとなった。一



方、pHの低下や交換性Naの増加傾向も認められ、土壌の酸性化や塩類化の進行が示唆された。また、タイ全域の各調査水田に関する聞き取り情報によって、化学肥料の平均投入量は作当たり250 kg/haにも達し、単収は3.8 t/haと1964年の2.1倍であったこと、東北タイでは土壌肥沃度が最も低いにもかかわらず施肥量が最も少ないことなどが明らかとなった。

### (2) フィリピン

ルソン島、パナイ島、レイテ島、ミンダナオ島から2016~2017年に水田表層土合計37点を採取した。

各種分析を行った結果、現在のフィリピン全体の一般理化学性の平均値は、pHが6.8、ECが124 μS/cm、全炭素が18 g/kg、全窒素が1.7 g/kg、CECが30.5 cmolc/kg、交換性Ca, Mg, Na, Kが18.6, 7.8, 0.57, 0.41 cmolc/kg、非交換態Kが175 mg/kg、可給態Pが149 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg、可給態Siが306 mg/kg、砂が23.1%、シルトが44.6%、粘土が32.3%となった。全体的に土壌肥沃度は高いが、火山灰の影響で可給態Pが13地点で欠乏していた。1960年代のデータと比較すると、約50年間の有意な変化として、施肥による可給態P欠乏の大幅な改善、交換性Caおよび火山灰によると考えられるCECと可給態Siの増加がみられた。地域別では、可給態Pの有意な増加とTNと交換性Kの増加傾向から、IRRIのあるルソン島中部で最も緑の革命の影響が大きいことが示された。

### (3) マレーシア・バングラデシュ

マレーシアでは、2017年度にマレー半島の西岸ならびに東岸より水田表層土合計42点を採取した。一方バングラデシュでは、2016~2017年度に水田表層土と下層土を合計28地点から採取した。現在、肥沃度に関する一般理化学性の分析を進めているところであり、タイやフィリピンと同様の結果が得られつつある。詳細の解析は、分析がすべて終了してから行う予定である。

### (4) 中・近赤外分光特性データを用いた肥沃度特性値の推定

上記土壌試料に対して、中・近赤外分光特

性の測定を行った。土壌の肥沃度特性値との関係解析ならびに推定式の算出を行うための基礎情報を集めることができた。

### (5) 総合考察

タイ、フィリピン、インドネシア、バングラデシュの4か国間で水田土壌の一般理化学性を比べると、現在の肥沃度はフィリピン>タイ>インドネシア、バングラデシュの順だと考えられた。一方で、過去50年間の肥沃度の向上はもともとの肥沃度の低かったタイで最も顕著で、フィリピンでもある程度認められた。さらに、タイならびにフィリピンでは緑の革命を経た約50年間で土壌肥沃度が向上し、特に可給態Pの欠乏が顕著に改善されたが、地点によっては未だに欠乏状態であり、今後の肥料投入により更なる肥沃度の向上が期待できると判断された。

以上の結果、緑の革命から50年経った現在の土壌には、農業技術の発展により、植物の必須元素である窒素、リン、カリウムの増加が認められ、収量にも大きく影響することが示されたが、それに伴う土壌の酸性化や塩類集積の進行も一部で明らかとなった。従って、全般的な土壌肥沃度の向上は認められたものの、収量増加に伴う養分収奪の増加により加速化されていることが予想される土壌養分の適切な管理が熱帯水田稲作の持続性を確保するためには不可欠であると結論された。

### 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0件)

〔学会発表〕(計4件)

Yanai, J., Hirose, M., Sakamoto, K., Tanaka, S., Dejbhimon, K., Sriprachote, A., Kanyawongha, P., Lattirasuvan, T., Abe, S. and Nakao, A.: Long-term changes of fertility status of paddy soils in tropical Asia during 50 years of the Green Revolution. 2018 Joint Seminar on Soil Science and Plant Nutrition between National Taiwan University and Kyoto University, 2018.3.15.

Hirose, M., Yanai, J., Sakamoto, K., Tanaka, S., Dejbhimon, K., Sriprachote, A., Kanyawongha, P., Lattirasuvan, T., Abe, S. and Nakao, A. 2017: Fertility re-evaluation of paddy soils in tropical Asia after 50 years of the Green Revolution (FREPS 50) ~ A case study in Thailand ~. The 13th Conference of East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies, Pattaya, Thailand. 2017.12.12-15.

廣瀬美奈、矢内純太、阪本啓太、田中壮太、Dejbhimon, K., Sriprachote, A., Kanyawongha, P., Lattirasuvan, T., 阿部進、中尾淳: 熱帯アジアの水田土壌における「緑の革命」後50年間の肥沃度変化(その1)~タイにおける地域間比較(2016年)~、日本土壌肥料学会

2017 年度大会（仙台） 2017.9

阪本啓太、田中壮太、廣瀬美奈、矢内純太、  
Lattirasuvan, T., Dejbhimon, K., Sriprachote, A.,  
Kanyawongha, P., 阿部進、中尾淳：熱帯アジ  
アの水田土壌における「緑の革命」後 50 年  
間の肥沃度変化（その 2）～タイにおける時  
間的変化の解析～、日本土壌肥料学会 2017  
年度大会（仙台） 2017.9

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

矢内 純太 (Yanai Junta)  
京都府立大学・生命環境科学研究科・教授  
研究者番号：00273491

### (2) 研究分担者

田中 壮太 (Tanaka Sota)  
高知大学・総合人間自然科学研究科・教授  
研究者番号：10304669  
阿部 進 (Abe Susumu)  
近畿大学・農学部・講師  
研究者番号：40708898  
中尾 淳 (Nakao Atsushi)  
京都府立大学・生命環境科学研究科・准教  
授  
研究者番号：80624064

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

## (4) 研究協力者

( )