

令和元年6月21日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00634

研究課題名(和文) 飼料イネ連作水田における土壌機能の実態解明と適地適作を考慮した栽培法の提示

研究課題名(英文) Evaluation of the effects of repeated cultivation of whole crop rice on soil quality toward the proposal of field-specific soil management

研究代表者

森塚 直樹 (Moritsuka, Naoki)

京都大学・農学研究科・助教

研究者番号：10554975

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：熊本県上益城郡御船町の同一農家が管理する水田(8圃場、39地点)を調査地点として、飼料イネ連作が地力と水稻の養分欠乏に及ぼす影響を評価した。その結果、飼料イネ連作水田は食用米水田と比べて、表層土壌の可給態カリウムとケイ素含量が低い値を示した。さらに飼料イネ連作圃場の作土を用いたポット試験では水稻生育が主に窒素とカリウムで制限されていた。土壌の全窒素含量を容易に推定できる手法として、土壌を市販の3%過酸化水素水で抽出し、無機化されたアンモニウムイオンを電気伝導度で検出するというオキシドール法を提唱した。また表層土壌試料の帯磁率を計測し、室内や圃場での迅速簡易土壌診断への利用可能性を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

飼料イネ連作水田で粗放的な管理を続けた時に、土壌中のカリウムの含量が低下し、水稻生育制限要因となりうることを実証した。従来の知見では窒素のみが注目されてきたが、土壌のカリウム肥沃度の維持も重要であることが明らかになった。また、土壌の全窒素含量推定法として市販の過酸化水素水を抽出剤として用いる手法(オキシドール法)を考案した。オキシドール法は実験室や試薬を必要としないため、既存の手法とは異なり生産者自らが比較的容易に実施できる。一方、帯磁率の測定については、携帯型帯磁率計を用いた土壌測定法を室内と現場で確立できた。さらに土壌改良資材として近年注目されている燐炭という用語の由来を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Effects of repeated cultivation of whole crop rice on soil quality and nutrient deficiencies were evaluated at one farmer's paddy fields (8 fields, 39 sites) in Kumamoto prefecture, Japan. Compared to the soils under edible rice production, the soils under whole crop rice production contained less available potassium and silicon. A nutrient omission trial indicated that rice grown in soil collected from a whole crop rice field was limited mainly by nitrogen and potassium. In order to rapidly estimate total nitrogen content in surface paddy soils, an oxydol method was proposed. In this method, soil was extracted with a commercially available 3% hydrogen peroxide solution, and the electrical conductivity of the extract was measured. Measurement of magnetic susceptibility was also applied to the surface soil samples in order to establish a laboratory or field method for rapidly estimating soil properties including those related to soil productivity.

研究分野：土壌肥科学、持続的農業科学

キーワード：水田土壌 飼料イネ 地域研究 簡易評価法 作付体系 カリウム

1. 研究開始当初の背景

日本では、1970年にイネの減反政策が始まり、田畑輪換や転作畑が普及するとともに、それらの研究が進められてきた。一方、転作水田での発酵粗飼料用イネ（以下、飼料イネ）栽培の研究は、1980年頃から行われてきたが（飼料米情報センター編著、1982）その作付面積が急速に拡大したのは2010年頃である。飼料イネの栽培は九州南部で盛んであり、都道府県別作付面積は熊本県が第1位（2015年）である。その中でも熊本県上益城郡御船町は2000年頃に飼料イネを葉タバコの後作として導入し、その後、水田での転作作物として稲作農家にも栽培が広まった。地上部全体が持ち出される飼料イネ栽培において地力を維持するためには持ち出された養分量に応じた施肥が求められるが、少なくとも当地域では、コスト削減や倒伏防止を優先した結果、食用米よりも粗放的な施肥管理が行われてきた傾向がある。したがって飼料イネ連作栽培では、施肥を含めた圃場管理がコスト削減を求める経済収支に影響されることによって、長期的には地力の減耗と収量の減少が懸念される。しかし、地力の長期的推移については定性的記述にとどまり、記述を裏付ける定量的知見がなかった。10年以上の連作を行ってきた御船町の水田を調査地として、これまで評価されてこなかった養分収支や地力に及ぼす影響を把握し顕在化する可能性のある問題を予測することは、当地域だけでなく飼料イネ栽培を新たに導入する地域にとっても有益な情報になりうる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、主に以下の3点である。熊本県上益城郡御船町の水田を調査地として、

- (1) 飼料イネ連作圃場の土壌肥沃度の実態と水稻生育の制限要因を明らかにする。
- (2) 生産物と土壌の質を農家自らが評価できる手法を開発し普及させる。
- (3) 低コスト多収栽培と地力維持を両立させる栽培法を提示する。

3. 研究の方法

(1) 御船町の同一の生産者が管理する水田から4筆の食用米（ヒノヒカリ）連作水田と4筆の飼料イネ（2008年頃からインディカ種のミナミユタカ）連作水田を選定した。基本的に水稲とコムギの二毛作水田である。少なくとも過去20年間は堆肥などの有機質肥料が施用されてこなかった。圃場あたり4~5か所を対角線法によって選び、計39か所の定点を設置した。2014年から隔年でコムギ糊熟期に表層土壌を採取分析した。2016年と2018年には成熟期の水稲を採取分析した。また施肥量と灌漑水質についても調査した。さらに水稻生育の規定要因を明らかにするために、飼料イネ連作水田から採取した土壌試料を用いて養分欠除試験（N, K, Si）を行うとともに、2018年に採取した39点の土壌試料を用いて幼植物検定試験を実施した。栽培試験はいずれも閉鎖系ポットで行い、灌水には蒸留水を使用した。

(2) 上記の定点圃場から採取した表層土壌を含む国内の農耕地表層土壌試料を用いて、土壌全窒素含量を簡便に推定できる手法を探索した。まず土壌の全窒素含量を土の色から推定することを試みたが、高い推定精度を得ることはできなかった。そこで次に市販の3%過酸化水素水（オキシドール）を抽出剤として土壌の全窒素含量を推定する手法（以下、オキシドール法）を考案した。予備試験の結果、風乾した土壌試料5gに対して市販のオキシドール100mLを添加し、25℃で40時間静置した後抽出液の電気伝導度を測定し、このEC(H₂O₂)と全窒素含量との関係性を評価した。

さらに現場での測定可能な土壌分析法の候補として、表層土壌の帯磁率（磁化の強さと磁場の強さの比）の測定方法を室内と現場で検討し、土壌特性値を推定できるかどうかを評価した。予備試験の結果、室内帯磁率は、風乾細土100g以上をプラスチック容器に充填し、帯磁率計（KT-10, Terraplus）のコイルをラップフィルム越しあるいはボトル越しに試料に密着させた状態で測定した。測定後に試料を容器内で混和して新しい測定面を露出させることによって同一試料の帯磁率を複数回測定した。一方、現場帯磁率は、足で地面を踏み固めた後に測定面とコイルの間にラップフィルムを挟んで測定した。現場帯磁率も同一地点で複数回測定を行った。

(3) 低コスト多収栽培と地力維持を両立させる栽培法として、土壌改良資材としての炭化物に注目して、主に国内の文献を収集し、時系列的に取りまとめた。そして熱処理によって人工的に難分解化した有機性廃棄物の施用が農耕地の地力維持や土壌への炭素貯留にも利用できるかどうかを文献調査によって検討した。

4. 研究成果

(1) 2014 2016 2018年の表層土壌特性値の飼料イネ水田/食用米水田比は、低い順に交換態K(0.54 0.54 0.28) 熱硝酸K(0.69 0.66 0.61) 可給態Si(0.73 0.72 0.69) 可給態N(0.80 0.84 0.76) 可給態P(0.80 0.79 0.77)となった(図1)。Kは飼料イネ水田がより低だけでなく、食用米水田との差がさらに広がる傾向にあった。全Cと全Nは0.9~1.0で推移していた。N, P, K, Siについて水稻作での元素収支を計算した結果、食用米栽培ではいずれの元素も収支が正になったのに対して、飼料イネ栽培ではいずれの元素も負の収支

となり、特にカリウムとケイ素は大幅に負の値 ($< -10 \text{ g m}^{-2}$) となった (図 2)。養分欠除試験での完全区のヒノヒカリ地上部乾物重に対する比は、-Si 区 (0.92)、-N 区 (0.62)、-K 区 (0.61) となった。幼植物検定でも地上部乾物重と土壌特性値との相関係数は、0.85 (可給態 N)、0.74 (交換態 K)、0.72 (可給態 Si) となった。飼料イネの漏生を防ぐために土地利用形態が固定されており、生産者が飼料イネ連作水田の地力の低下に気づくことは容易ではない。本研究から、カリウム、ケイ素、窒素を対象とした定期的な土壌診断の重要性が示された。

(2) オキシドールを用いた土壌全窒素含量の推定に関して、全国各地から採取された水田表層土壌の場合、 $\text{EC}(\text{H}_2\text{O}_2)$ の全窒素含量に対する決定係数は、0.37 (全試料 83 点)、0.00 (黒ボク土 11 点)、0.70 (黒ボク土以外 72 点) となり、黒ボク土を除外すると単独の説明変数で比較的高い推定精度が得られた (図 3)。一方、圃場群スケールで得られた決定係数は、0.68 (御船 39 試料)、0.23 (高槻 246 試料、京都大学附属高槻農場の水田表層土壌) となった。そして黒ボク土や一部の高槻試料で見られた低い推定精度は、オキシドール処理による有機態窒素の分解割合が他の土壌よりも低かったことによると考えられた。さらに国内外で市販されている 3% 過酸化水素水の比較試験を行った結果、海外の市販品は国産のものよりも EC が高く ($15 \sim 120 \text{ mS m}^{-1}$)、最も EC が低かった銘柄のみが原法で得られた $\text{EC}(\text{H}_2\text{O}_2)$ とよく一致した。オキシドール法の国際的な普及にはこれらの知見も留意する必要があると考えられた。なお、御船 39 試料では土壌の明度の全窒素含量に対する決定係数は極めて低く (0.00)、明度から全窒素含量を推定することは困難であった。土壌の明度から有機物含量や全窒素含量を迅速に推定するという試みは数多く行われてきたが、その適用条件 (土壌種、スケール) を明らかにする必要がある。

次に帯磁率の測定による土壌特性値の推定に関して、全国各地から採取された 164 点の農耕地表層土壌 (Yanai et al., 2012) の場合、室内測定で得られた帯磁率が比較的高い ($> 0.2 \times 10^{-3} \text{ SI}$ 、以下同様) の試料は、同一試料の繰り返し測定値の変動係数が概ね 10% 未満であり、高い繰り返し精度が得られた。そこで帯磁率 0.2 以上の 132 試料に限定して、さらに既存の分析値が揃っている試料 125 点で解析した結果、室内帯磁率は構造内鉄含量 (全 Fe と Fed の差) や黒ボク特徴の要件 ($\text{Al}_{\text{O}+1/2\text{Fe}_{\text{O}}}$) と正の相関 ($r > 0.65$) を示した (図 4)。 $\text{Al}_{\text{O}+1/2\text{Fe}_{\text{O}}}$ は土壌の非晶質酸化物の量であり、リン吸着の程度を反映することが知られており、帯磁率が土壌分類だけでなく土壌肥沃度診断にも広く利用できる可能性がある。一方、圃場群スケール (御船 39 試料) の場合、室内帯磁率と土壌特性値との相関係数は、砂含量 (0.88)、非交換態 K 含量 (0.67)、K 飽和度 (0.66) となった。御船試料の形態別 Fe 含量や Al_{O} については未測定であり、全国試料の結果と比較するために今後測定する予定である。さらに御船町水田で行われた現場測定では、帯磁率計のコイルと測定面の接触程度が測定値に影響したが、同一地点の測定値の変動係数は平均約 5% であり、帯磁率の圃場間変動と圃場内変動を迅速に評価することができた (2 人 1 組で約 300 地点 \times 2 連/日)。また、地面の帯磁率は土壌水分含量の変動の影響をほとんど受けないことを再確認した。

本研究で考案した手法の普及に関して、日本語の商業誌で水田土壌の簡易診断法の一つとしてオキシドール法を紹介した。国外への発信は遅れており、現在、原著論文にとりまとめている段階である。一方、帯磁率に関する知見は、成果の一部を学会発表にとりまとめている段階であり、まだ原著論文として公表できる状態には至っていない。

(3) 国立国会図書館デジタルコレクションに収録されている資料の検索によって、1910 年頃に小柳津勝五郎氏が初めて「燻炭 (くんたん)」という造語を使用したことを初めて明らかにした。小柳津が普及に努めた燻炭肥料 (様々な植物残渣の炭化物と人糞尿の混合物) は、今日利用されている燻炭 (初穀くん炭) とは全く別物であり、その後の肥科学の教科書の一部では燻炭肥料が人糞尿の加工物の一つとして分類されていたことも見いだした。さらに下水汚泥などの有機性廃棄物に含まれている窒素の無機化速度と肥料効果を熱処理によって制御 (特に抑制) できるという既存の知見を総括した (図 5)。また熱処理物の色から熱処理条件や難分解化程度や窒素無機化速度を推定できる可能性も提唱した。

一方、当初の目的であった調査地の御船町での土壌改良に関しては、具体的な提言を行うことができなかった。葉タバコ栽培面積の減少に加えて、政府主導による減反が 2018 年の作付から廃止されたことに伴って、調査地域での飼料イネの作付面積は減少傾向にある。本研究で選定した定点圃場に関しても 2014 年から調査してきた 4 圃場の飼料イネ水田は、2018 年に 3 圃場、2019 年に 2 圃場に減少した。そこで御船町の水田圃場 (8 筆 39 地点) において隔年で実施してきたモニタリング調査を 2020 年以降も継続して実施することによって、飼料イネ連作水田を食用米水田に戻した時に生じることが期待される地力回復過程を調べる予定である。

< 引用文献 >

飼料米情報センター編著、家の光協会、エサ米 - その思想と栽培、1982

Yanai, J., Okada, T., and Yamada, H. 2012. Elemental composition of agricultural soils in Japan in relation to soil type, land use and region. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 58, 1-10.

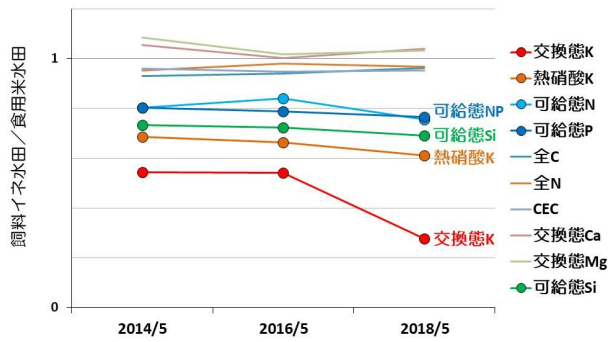


図1 表層土壌特性値の飼料イネ水田/食用米水田比の経年変化

肥料 : 聞き取り調査での10aあたりの施肥量からの推定値
 灌漑水 : 2016年9月に採取した各圃場の灌漑水濃度の平均値 (1500 mmと仮定)
 収穫 : 2016年の飼料イネ水田19地点、食用米水田20地点の各平均値

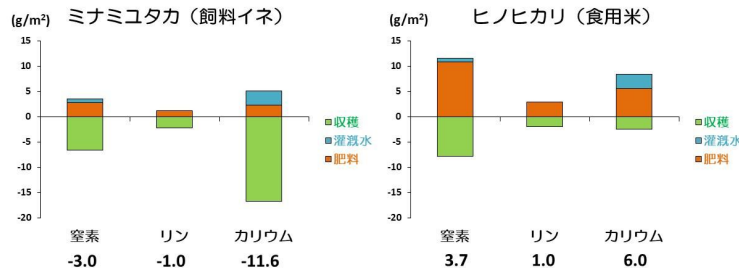


図2 食用米水田と飼料イネ水田での養分収支 (2016年水稲作)

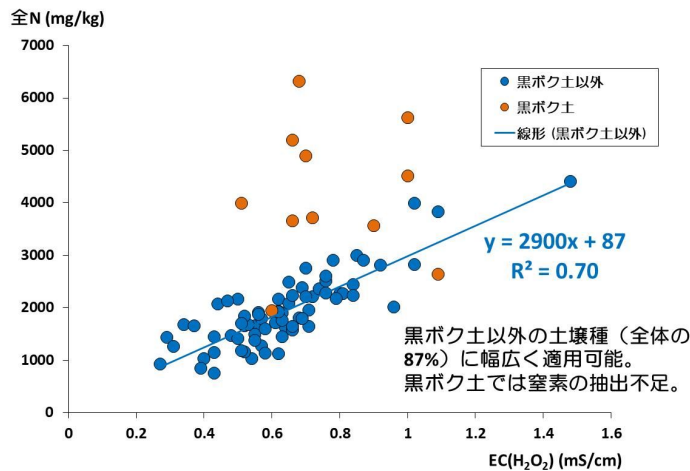


図3 国内各地の水田作土のEC(H₂O₂)と全窒素含量の関係 (n=83)

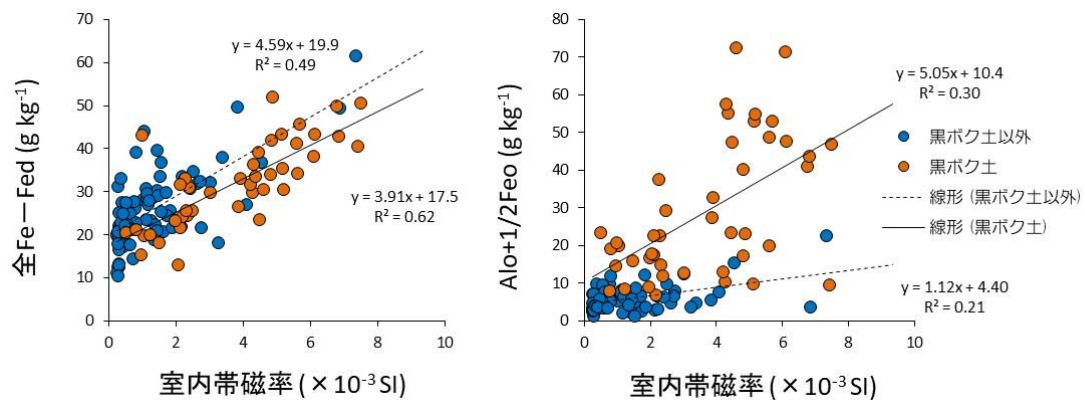


図4 国内の農耕地表層土壌の帯磁率 (室内測定値) と構造内鉄含量 (全 Fe-Fed) や黒ボク特徴 (Alo+1/2Feo) の関係 (n=125; 黒ボク土 44、黒ボク土以外 81)

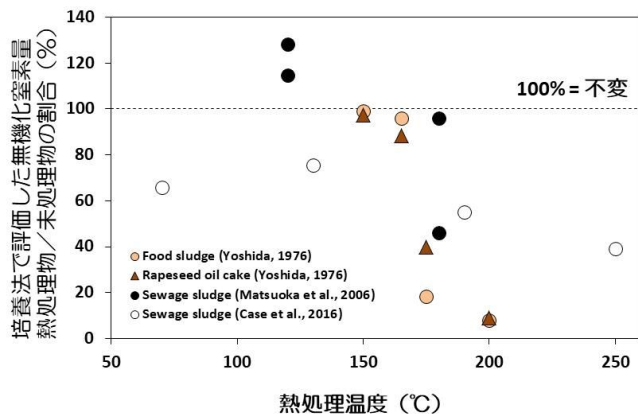


図5 有機性廃棄物中の有機態窒素の無機化速度に及ぼす熱処理温度の影響 (Food sludge; 食品汚泥、Rapeseed oil cake; ナタネ油粕、Sewage sludge; 下水汚泥)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

森塚 直樹、稲作農家のための簡易土壌診断法の開発に向けて(研究紹介)、アグリバイオ、査読無、第2巻、2018、43-47

森塚 直樹、松岡 かわり、桂 圭佑、佐野 修司、矢内 純太、過酸化水素処理後の電気伝導度測定による水田表層土壌の全窒素含量の推定、日本土壌肥料学雑誌、査読有、第88巻、2017、327-335

森塚 直樹、二十世紀初頭に普及された小柳津式天理農法燻炭栽培の盛衰(資料)、日本土壌肥料学雑誌、査読無、第87巻、2016、289-296

〔学会発表〕(計6件)

森塚 直樹、松岡 かわり、佐野 修司、矢内 純太、簡易迅速土壌診断を目的とした農耕地表層土壌の帯磁率の測定、日本土壌肥料学会静岡大会、2019

森塚 直樹、齊藤 大樹、田島 亮介、高橋 行継、平井 英明、水田土壌の全窒素含量簡易推定法(オキシドール法)の圃場群スケールでの適用可能性、日本土壌肥料学会神奈川大会、2018

森塚 直樹、松岡 かわり、水田土壌肥沃度に及ぼす飼料イネ連作の影響 - 熊本県上益城郡御船町の事例 -、日本土壌肥料学会関西支部講演会、2018

Moritsuka, N., Matsuoka, K., Katsura, K., Sano S. and Yanai J., Estimation of total nitrogen content in surface paddy soils by measuring their electrical conductivity after a hydrogen peroxide treatment. 13th ESAFS, 2017

森塚 直樹、松岡 かわり、帯磁率の現場測定による水田作土の砂含量の簡易推定 - 熊本県上益城郡御船町の事例 -、日本土壌肥料学会仙台大会、2017

森塚 直樹、松岡 かわり、桂 圭佑、オキシドール処理後の電気伝導度測定による水田表層土壌の全窒素含量の推定、日本土壌肥料学会佐賀大会、2016

〔図書〕(計3件)

Moritsuka, N. and Matsuoka, K., IntechOpen, An overview of the effects of heat treatments on the quality of organic wastes as a nitrogen fertilizer (Chapter 4 in Nitrogen in Agriculture - Updates), 2018

森塚 直樹、農山漁村文化協会、水田の土の色・粒径組成の調査とその意義(最新農業技術土壌施肥 vol.9) 2017

Moritsuka, N. and Matsuoka, K., IntechOpen, An overview of the studies on biochar fertilizer carried out at the beginning of the twenties century in Japan (Chapter 9 in Organic Fertilizers from Basic Concepts to Applied Outcomes), 2016

〔その他〕

京都大学教育研究活動データベース

<https://kyouindb.iimc.kyoto-u.ac.jp/view/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：松岡 かおり

ローマ字氏名：MATSUOKA, Kaori

所属研究機関名：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

部局名：果樹茶業研究部門

職名：契約研究員（2016年度まで）

研究者番号（8桁）：10720774

研究分担者氏名：桂 圭佑

ローマ字氏名：KATSURA, Keisuke

所属研究機関名：東京農工大学

部局名：農学研究科

職名：准教授

研究者番号（8桁）：20432338

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。