

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 12 日現在

機関番号：24302

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22580070

研究課題名（和文） 日本の農耕地土壌の窒素環境の多面的評価－規定要因の解析とアジアにおける位置づけ

研究課題名（英文） Multi-dimensional evaluation of the nitrogen status of agricultural soils in Japan - analysis of the controlling factors and comparison with other Asian countries.

研究代表者

矢内 純太（YANAI JUNTA）

京都市立大学・大学院生命環境科学研究科・教授

研究者番号：00273491

研究成果の概要（和文）：

日本の農耕地土壌 147 点について、気温を考慮した実効無機化窒素量を算出し、気温が中程度の地域で最大となることを示した。長期連用圃場の土壌を用い、形態別窒素に及ぼす施肥管理の影響を明らかにした。形態別窒素の規定要因として、土壌型、土地利用、一般理化学性の影響を明らかにした。さらにアジア諸国の土壌との比較により、日本の農耕地土壌は温帯気候下で特に火山灰の影響を受けた土壌であり、比較的肥沃な窒素環境にあることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

The contents of effective organic mineralizable nitrogen were evaluated for 147 agricultural soils in Japan based on the mean annual temperature and found to be relatively high at medium temperature regimes. Effects of inorganic and organic fertilizer management on soil nitrogen fractions were evaluated. Soil nitrogen fractions were considerably affected by soil type, land use and soil physico-chemical properties. Soil nitrogen status in Japan was evaluated to be relatively fertile among Asian countries, reflecting temperate climate conditions and influence of volcanic materials.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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、窒素、日本、形態別定量、規定要因

1. 研究開始当初の背景

我が国の土地利用が、農業生産性を最大にするところから農業と環境とのバランスを取

ることへその目標を変換させてきたことに伴い、各種土壌養分に関する評価も、「可給態量」のみを推定することから、生産性ととも環境安全性を考慮した「持続性」を評価できるようなものへと推移しつつある。その中でも、窒素は植物の多量必須元素であり植物生育に最も影響を与える元素であるとともに、環境への負荷も最も懸念されている元素である。そのため、土壌窒素肥沃度に関しては、いわゆる可給態画分について従来数多くの研究がなされ、無機化特性の評価を中心とした多くの知見が存在し、環境負荷軽減に関しても、圃場スケールから地域・国スケールにいたるまで多くのスケールで窒素収支の評価という視点で様々な研究が進められている。しかしながら、前者には物質収支からの視点が欠けており、一方後者には土壌窒素の化学的性質への考慮が少なく、例えば土壌がどれ程の窒素を保持しているのか、あるいは土壌が可給態窒素をどの程度植物に供給できるのか、についての認識が欠落している。その意味で、土壌窒素の現状についてフロー（可給態）とストック（安定態：非可給態）の両面を考慮した上で多面的に評価することが求められている。すなわち、わが国の農耕地土壌の窒素環境の現状に関しては、形態別窒素の網羅的評価を進めることがまずは求められる。

また、日本という生態環境において土壌の窒素環境がどのように規定されているかを明らかにするためには、例えばアジアというより広域を対象とした調査の中にわが国の状況を位置づけるという作業が必要になる。これにより、様々な生態環境における土壌窒素の状況が明らかになるとともに、それらの中での日本の特殊性あるいは一般性が浮き彫りになるものと考えられる。

研究者は、以上のような認識に基づき、無機態・有機態のそれぞれを可給態・非可給態画分に分類する形態別定量法を確立し、日本の農耕地土壌に適用することによりその定量評価を行い（Sano et al. 2004）、また、特に有機可給態画分（潜在的窒素無機化量）と従来の可給態画分評価法との関わりについても検討を加えてきた（Sano et al. 2006）。従って、日本の農業生産ならびに生態環境の基盤である農耕地土壌に関して、このような形態別定量評価法を利用することにより、上述の未解明の諸問題について検討出来る状況が整っていた。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、日本の農耕地土壌の窒素環境を多面的に評価することを目的とした。すなわち、(1) 日本全国から集めた約 150 点の農耕地土壌を用いて、「全窒素」

に加え、「無機可給態」「有機可給態（潜在量および実効量）」「無機非可給態」「有機非可給態」という形態別窒素を定量し、フローとストックの両面から窒素環境を定量評価するとともに、その詳細を化学的に検討する。

(2) 同一地点で長期間管理の異なる土壌 5 点の形態別窒素を定量し、管理の影響を明らかにする、(3) 上記の形態別窒素の規定要因解析を行う、(4) アジアの各種気候帯に属する数ヶ国から土壌試料を採取し、その形態別窒素の分析を行うとともに、その結果との比較によりアジアにおける日本の窒素環境を位置づけることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 日本全国における農耕地土壌の形態別窒素の精密評価

① 形態別窒素の広域評価：日本の農耕地土壌（計約 147 点）について土壌の「全窒素」を、「無機可給態」「有機可給態（潜在量）」「無機非可給態」「有機非可給態」に形態別に定量したものと、と簡便評価法による定量値との関係解析を行った。

② 気温を考慮した実効有機可給態量の算出：長期培養により求めた有機可給態窒素量（潜在量）から、各土壌の採取地の月別平均気温から求めた各月の温度依存係数を用いて、その地点で 1 年間に実際に発現する可給態窒素量すなわち「有機可給態量（実効量）」の推定を行った。

(2) 同一地点における長期間異なる管理を受けた農耕地土壌の形態別窒素の評価

形態別窒素に及ぼす施肥管理の影響評価：有機態および無機態肥料の長期連用圃場（京都府亀岡市：京都府農林水産技術センター農林センター）を用いて、各種施肥管理が土壌の形態別窒素の含有量およびその割合に及ぼす影響を明らかにした。ここで、全窒素は乾式燃焼法で求め、形態別窒素として 2M KCl で抽出される無機可給態、2:1 型粘土鉱物中に固定されている無機非可給態、長期培養法による無機化量から一次反応式で算出される有機可給態をそれぞれ常法により定量し、微生物分解を受けにくい有機非可給態を全窒素から 3 形態を差し引いて求めた。

(3) 各種形態別窒素量の規定要因の解析

① 土壌型・土地利用・管理の影響評価：全窒素および有機可給態窒素（潜在量・実効量）のデータに対して多変量解析を行い、その規定要因として、土壌や気候で決まる自然因子と、土地利用や管理の影響で決まる人為因子の寄与を評価した。

② 土壌の理化学性の影響評価：pH、全炭素、土性、粘土鉱物組成などの土壌一般理化学性との関係解析を行った。

(4) アジアにおける日本の農耕地土壌の窒

素環境の位置づけ

① 異なる自然環境下の他国の窒素環境の定量評価：自然環境の異なるアジア数ヶ国の農耕地表層土壌に対し、前述の形態別窒素の定量評価を行った。すなわち、日本の気候がおよそ温帯多雨気候（ケッペン気候区のCf）と亜寒帯湿潤気候（Df）であるのに対し、同じCfである韓国（3点）と、ステップ気候（BSk）のカザフスタン（16点）、砂漠気候（BWh）のインドラジャスタン、サバナ気候（Aw）のタイ（10点）、さらには熱帯雨林気候（Af）のインドネシア（46点：2012年2月～3月に採取）の合計78点を供試試料とした。

② 日本の窒素環境の特徴づけ：日本を含むアジア全域のデータセットについて多変量解析を行い、気候から判断した日本の特徴を示した。また、これにより土壌型や土地利用（管理）の日本の特殊性の抽出も試みた。

4. 研究成果

（1）日本全国における農耕地土壌の形態別窒素の精密評価

① 日本の農耕地土壌の形態別窒素は、平均で全窒素 2593、無機可給態 37、有機可給態 159、無機非可給態 124、有機非可給態 2273mg/kg であること、それらは土壌型や土地利用（水田・畑）の影響も受けること、などが明らかとなっていたが（Sano et al. 2004）、特に長期培養法により求めた有機可給態と、簡便法で求めたリン酸緩衝液抽出態窒素との間に、有意な正の相関は認められなかった。これは、長期培養法が数ヶ月にわたり無機化する画分の総量を算出するのに、簡便法では比較的短期的に無機化する画分を抽出しているためと判断された。また、リン酸緩衝液抽出で得られる有機物質の分子量分布を測定したところ、全窒素量の高い黒ボク土は沖積土や赤色土よりも高分子画分の割合が比較的高く、有機可給態窒素の主な給源は、低分子画分を主体としつつも比較的多様な分子量分布を持つ一連の有機物であると推定された。

② 各種形態別窒素量の規定要因の解析：日本の農耕地土壌 147 点について、有機可給態窒素の結果と Lloyd and Taylor (1994) の温度依存式、さらには各地の月別平均気温を用いて年間の実効無機化窒素量を算出したところ、日本の実効無機化量は、平均値 90.0 mg kg⁻¹y⁻¹、中央値 71.2 mg kg⁻¹y⁻¹、最大値 385 mg kg⁻¹y⁻¹、最小値 0 mg kg⁻¹y⁻¹ となり、有機可給態に対する割合は平均 63 % となった。地域別では、北海道の気温が低い地域（温度レジーム：frigid：平均 43.3）や気温が高い沖縄（hyperthermic：平均 40.4）で低い傾向を示し、気温が中程度の本州（thermic：平均 83.6, mesic: 110）で比較的高い傾向を示した（図 1）。

これは高温では有機可給態が少ないこと、低温では無機化が進みにくいことを反映した結果となり、現場での窒素無機化量のより正確な評価が可能になったと考えられた。

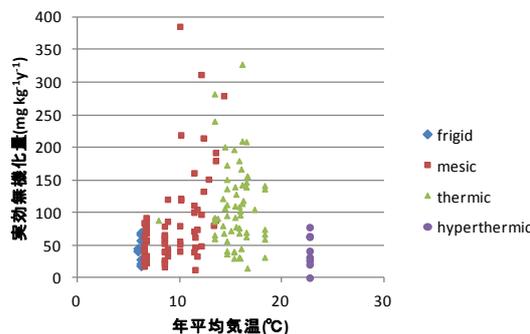


図 1 日本の農耕地土壌の実効窒素無機化量と現地の年平均気温との関係

（2）同一地点における長期間異なる管理を受けた農耕地土壌の形態別窒素の評価

1975 年以来連用試験を続けている水田圃場の表層土（低地水田土）で、無窒素区（K1）・化学肥料区（K2）・稲わら区（K3）・稲わらケイカル区（K4）・牛糞区（K5）の 5 処理区の形態別窒素を定量した結果、全窒素量は K1 から K5 でそれぞれ 1.32, 1.45, 1.71, 1.92, 3.57 g kg⁻¹ であり、有機物施用により顕著に高まった。形態別では、無機可給態は 3.4～5.4 mg kg⁻¹（全窒素の 0.2%）で処理の影響は見られなかった。有機可給態は K1 から K5 でそれぞれ 55.7, 68.0, 87.4, 83.8, 163.3 mg kg⁻¹（同 4.2～5.1%）となり、化学肥料・有機物いずれの効果も確認された（図 2）。

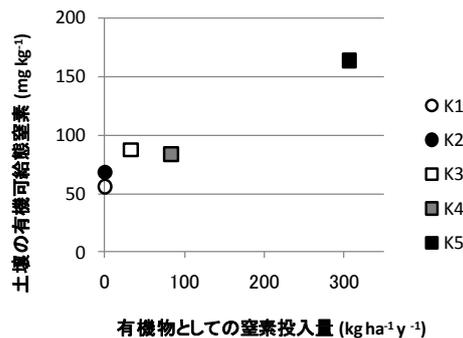


図 2 長期連用圃場における有機物としての窒素投入量と有機可給態窒素量との関係

また、1/15M リン酸緩衝抽出液の有機態窒素および 420nm での吸光度と本法の有機可給態窒素に、有意な正の相関が認められた。一方、無機固定態は K1 から K5 でそれぞれ 96.6, 93.8, 111.2, 105.0, 111.2 mg kg⁻¹（同 3.1～7.3%）となり、有機物施用に伴う粘土鉱物

中の固定態 N の増加が認められた。以上の結果、形態別定量法によって、施肥管理の土壤窒素への各種影響を適切に評価できることが示された。従って、同じ地点での管理の違いによる窒素環境の幅を評価でき、上記の広域評価の情報を補完・充実させることができたものと結論した。

(3) 各種形態別窒素量の規定要因の解析

① 日本の農耕地土壤の形態別窒素と土地利用との関係性を評価した結果、全炭素と無機非可給態、有機非可給態では水田と畑で有意な違いは認められなかったが、無機可給態では畑で有意に高く、一方有機可給態および実効有機可給態はいずれも水田で有意に高かった。従って、土壤管理の影響は、特に可給態画分に顕著に現れることが実効有機可給態も含め明らかに示された。一方、土壤型との関係性を評価した結果、全窒素や無機非可給態、有機非可給態などで土壤による違いが顕著であったものの、有機可給態や実効有機可給態は土壤型による有意な違いは認められなかった。従って、土壤型は安定態画分を強く規定していることが確認された。

② さらに、土壤の一般理化学的としては、有機物の指標である全炭素、粘土含量、さらには非晶質物質の指標である Al_0 などが主要な規定要因として抽出され、土壤の特性が形態別窒素の蓄積状況に大きく関与していることが示された。

(4) アジアにおける日本の農耕地土壤の窒素環境の位置づけ

① 日本と同様に火山灰の影響を受けているが熱帯気候に属するインドネシア・ジャワ島における農耕地土壤 46 点の形態別窒素の平均値は、全窒素 2.06 g kg^{-1} 、無機可溶態 25.8 mg kg^{-1} (全窒素の 1.3%)、無機固定態 99.1 mg kg^{-1} (4.8%)、有機可給態 103 mg kg^{-1} (5.0%)、有機安定態 1.83 g kg^{-1} (89%) であった。土壤型別では、火山灰母材の Andosols で全窒素と有機可給態が他の土壤より高くなった。ジャワ島の農耕地土壤は、火山灰の特徴である非晶質が多く含まれ有機物が蓄積しやすいため、熱帯環境にもかかわらず、その窒素肥沃度が比較的高いものと判断された。また、日本の形態別窒素と比較したところ、ジャワ島の全窒素、無機可給態、無機非可給態、有機可給態、有機非可給態は、平均でそれぞれ日本の 80, 69, 90, 65, 80% となった (表 1)。

表 1 インドネシア・ジャワ島と日本の農耕地土壤の形態別窒素の比較

	全窒素	無機可溶態	無機固定態	有機可給態	有機安定態
	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	g kg^{-1}
日本 (n=147)	2.59	37.2	124	159	2.27
ジャワ島 (n=46)	2.06	25.8	99.1	103	1.83
ジャワ島/日本(%)	79.5	69.4	89.5	65.0	79.4
有意差	5%有意	1%有意	なし	1%有意	5%有意

従って、熱帯環境下での窒素の減耗は、特に可給態画分で顕著であることも明瞭に示された。

さらに、アジア各国の形態別窒素を比較した (表 2)。その結果、全窒素量は、カザフスタン 2.63 g kg^{-1} 、日本 2.59 g kg^{-1} 、インドネシア 2.06 g kg^{-1} 、韓国 1.51 g kg^{-1} 、タイ 0.32 g kg^{-1} 、インド 0.16 g kg^{-1} となった。有機可給態、有機非可給態もほぼ同様の傾向を示した。従って、全窒素および有機可給態は、寒帯 > 温帯 > 熱帯の順となった。また、火山性母材のある日本とインドネシアでは、気温の割に全窒素や有機可給態の値が相対的に高くなることも明瞭に示された (図 3、図 4)。一方無機可給態は顕著な傾向は認められず、無機非可給態は乾燥地のカザフスタンで高く熱帯環境で比較的低い傾向を示した。これは風化の進行に伴いアンモニウムイオンの固定を引起す 2:1 型粘土鉱物の存在割合が低くなることと対応するものと判断された。

表 2 アジア諸国の農耕地土壤の形態別窒素

国名	全窒素 g kg^{-1}	無機可溶態 mg kg^{-1}	無機固定態 mg kg^{-1}	有機可給態 mg kg^{-1}	有機安定態 g kg^{-1}	k
カザフスタン (n=16)	2.63	18.2	139	262	2.21	0.200*
日本 (n=147)	2.59	37.2	124	159	2.27	0.102
インドネシア (n=46)	2.06	25.8	99.1	103	1.83	0.120
韓国 (n=3)	1.51	133	108	78.5	1.19	0.137
タイ (n=10)	0.32	5.7	9.9	24.7	0.28	0.073
インド (n=3)	0.16	9.8	56.3	25.9	0.07	0.108

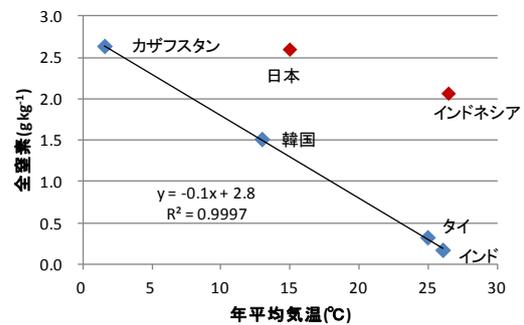


図 3 アジア諸国の農耕地土壤の全窒素と年平均気温との関係

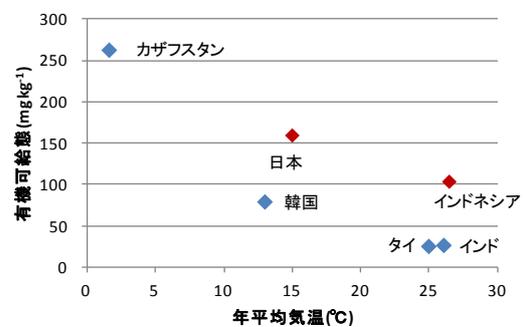


図 4 アジア諸国の農耕地土壤の有機可給態窒素と年平均気温との関係

② 以上の結果から、アジアの農耕地土壌の窒素環境は主に気候と母材の影響を強く受けていること、また、日本の農耕地土壌は温帯気候下で特に火山灰の影響を受けた土壌であるため有機物を蓄積しやすく、総合的に判断するとアジアにおいて比較的肥沃な窒素環境にあることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

矢内純太、石賀小百合、山田秀和、松本静治、藤井孝夫、中島博道、小西あや子：長期連作水田圃場における土壌の形態別窒素量に及ぼす施肥管理の影響、日本土壌肥料学雑誌、査読有、82、2011、283-289.

〔学会発表〕(計3件)

① 矢内純太、公手友季絵、山田秀和、可給態窒素の化学抽出評価法で得られる土壌抽出液の分子量分布と特性評価、日本土壌肥料学会関西支部会 2012 年度大会、2012.12.6、倉敷

② 大本太一・Arief Hartono・小山華奈・中尾淳・矢内純太、インドネシア・ジャワ島における農耕地土壌の形態別窒素の定量評価、日本土壌肥料学会関西支部会 2012 年度大会、2012.12.6、倉敷

③ Yanai, J., Omoto, T., Nakao, A., Koyama, K., Hartono, A. and Anwar, S. Evaluation of nitrogen status of agricultural soils in Java island, Indonesia. 11th International Conference of East and SouthEast Asia Federation of Soil Science Societies. 2013.10.21, Bogor, Indonesia.

〔図書〕(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢内 純太 (YANAI JUNTA)

京都府立大学・大学院生命環境科学研究科・教授

研究者番号：00273491