

# 学 位 論 文 要 旨

氏 名 烏尼木仁

題 目 水田および畑状態下における窒素および無機養分の動態解析  
(Dynamic Analysis of Nitrogen and Inorganic Nutrients Under Paddy and Upland Conditions)

根圏は植物が養分や水分を摂取する場であり、根圏における養分の動態を明らかにすることは作物の生育や作物への施肥方法を知る上で重要である。

本研究では、水田および畑状態下における窒素および無機イオンの動態を明らかにするために、鹿児島県に広く分布しているシラス土壤に硝酸またはアンモニウムに  $^{15}\text{N}$  でラベルした  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  と硝化抑制剤を加え、これらを充填したライゾボックスの中心(根圏)に水稻又はピーマンの種子を播種し、湛水又は畑状態で6週間栽培した。得られた結果は以下の通りである。

土壤 pH は栽培前より水田状態では上昇し、根圏で最も高かったが、畑状態では低下し、根圏で最も低かった。

土壤全窒素含量は、栽培前に比べて水田および畑状態とも非根圏では減少したが、水稻の根圏ではほぼ同じ値を示し、ピーマンの根圏では増加した。この根圏における土壤全窒素の増加は、水稻では施肥  $\text{NH}_4\text{-N}$  の有機化に依存する部分が大きかったが、一方、ピーマンでは非根圏で生成した可溶性窒素化合物の根圏への移動・集積によるものであった。

土壤  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度は、水田状態では栽培前に比べて脱窒により著しく低下したが、根圏では非根圏よりも高かった。一方、畑状態では根圏に近いほど上昇したが、根圏近傍 1mm の範囲で著しく減少した。また、根圏に存在した  $\text{NO}_3\text{-N}$  は、水稻では 93% は土壤窒素に、一方、ピーマンでは 69% は施肥  $\text{NO}_3\text{-N}$  に由来した。

土壤水溶性および交換性  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度は、水田および畑状態とも根圏に近い程低下したが、水田では畑状態に比べて著しく低く、根圏では水溶性  $\text{NH}_4\text{-N}$  は検出されなかった。また両者の割合は水稻では 1:9 であったのに対し、ピーマンでは 3:7 であった。根圏に存在した  $\text{NH}_4\text{-N}$  は、水稻では 85% は土壤窒素に由来したのに対し、ピーマンでは 47% は施肥窒素に由来した。

畑状態では、土壤水溶性  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  濃度は非根圏から根圏に向かって上昇したのに対し、水溶性  $\text{K}^+$  とリン酸濃度は根圏に近いほど低下した。一方、水田ではリン酸を除くこれらイオンの推移は畑状態に類似したが、 $\text{Cl}^-$  および根圏の  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  を除き、量的に畑状態に比べて少なかった。水田における土壤水溶性リン酸濃度は根圏で上昇したが、硫酸アンモニウムの施肥では低下した。

以上の結果より、水稻の根圏における窒素の無機化・有機化活性はピーマンのそれに比べて著しく高いこと、および各イオンの非根圏から根圏への挙動のメカニズムは基本的に畑状態と同じであることが明らかになった。しかし、水溶性イオンの多くは量的に畑状態に比べて少なかったが、これは水田の還元状態に深く関係していると推定された。

# 学 位 論 文 要 旨

氏名 Wunimuren

題目 Dynamic Analysis of Nitrogen and Inorganic Nutrients Under Paddy and Upland Conditions  
(水田および畑状態下における窒素および無機養分の動態解析)

The rhizosphere is the zone where the plant absorbs nutrition and moisture. Therefore, it is important to elucidate the behavior of nutrition in the rhizosphere for better plant growth and fertilization.

Attempts were allowed to investigate behavior of nitrogen and inorganic nutrients under paddy and upland conditions, using the rhizobox system filled with a shirasu soil applied with  $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$  or  $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Rice (*Oryza sativa* L.) and sweet pepper (*Capsium annuum* L.) were sowed in the center of compartment (Rhizosphere) of the rhizobox and grown for six weeks. The results were as follows:

The soil pH became higher in the paddy condition and the highest in the rhizosphere during cultivation. While, that of upland condition became lower and the lowest in the rhizosphere.

The soil total-nitrogen (T-N) content of non-rhizosphere decreased in both paddy and upland conditions, while that of rhizosphere did not change in paddy condition and increased in upland condition. The increase of T-N was due to the immobilization of fertilizer nitrogen in the rhizosphere of paddy condition, due to the movement of the soluble nitrogen compound the non-rhizosphere in upland condition.

Soil  $\text{NO}_3\text{-N}$  significantly decreased compared to that of paddy bulk soil, but it was higher in the rhizosphere than that in the non-rhizosphere. In the upland condition,  $\text{NO}_3\text{-N}$  increased from non-rhizosphere to the rhizosphere, then rapidly decreased in the rhizosphere. Moreover, the ratio of  $\text{NO}_3\text{-N}$  derived from soil reached 94% in the rhizosphere of paddy condition, but 69% of  $\text{NO}_3\text{-N}$  in the sweet pepper rhizosphere came from fertilizer  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

In both paddy and upland conditions, water-soluble and exchangeable  $\text{NH}_4\text{-N}$  decreased towards the rhizosphere. However, their content remarkably lowered in the paddy condition than in the upland condition. Water-soluble  $\text{NH}_4\text{-N}$  was not detected in the rhizosphere of paddy condition. The ratio of water-soluble  $\text{NH}_4\text{-N}$  to exchangeable  $\text{NH}_4\text{-N}$  was about 1:9 in the non-rhizosphere of paddy condition, while that of upland condition was about 3:7 in both rhizosphere and non-rhizosphere.

In the rhizosphere, the ratio of  $\text{NH}_4\text{-N}$  derived from soil reached 85% in the paddy condition and 53% in the upland condition.

In the upland condition, the water-soluble  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations increased from non-rhizosphere toward rhizosphere, the opposite was true for water-soluble  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  concentrations. In the paddy condition, water-soluble ions except  $\text{PO}_4^{3-}$  showed a similar current to those of upland condition, while the contents of those ions were lower than those of upland condition except the  $\text{Cl}^-$ , and  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  in the rhizosphere. Although the concentration of  $\text{PO}_4^{3-}$  increased in the rhizosphere, it significantly decreased in an experiment applying ammonium sulfate.

These results indicate that the mineralization and immobilization of nitrogen are more active in the rhizosphere of paddy condition than that of upland condition. It also clarifies that the mechanism of ion movement current from non-rhizosphere to rhizosphere in paddy condition was similar to those in upland condition. However, the concentrations of most water-soluble ions in paddy condition were lower than those in the upland condition because of reduction state in paddy condition.

## 学位論文審査結果の要旨

学位申請者 氏名	烏 尼 木 仁
審査委員	主査 鹿児島 大学 教授 稻 永 醇 二
	副査 鹿児島 大学 准教授 樗 木 直 也
	副査 佐 賀 大学 教授 井 上 興 一
	副査 琉 球 大学 教授 渡 嘉 敷 義 浩
	副査 鹿児島 大学 教授 浜 崎 忠 雄
審査協力者	
題 目	水田および畑状態下における窒素および無機養分の動態解析 (Dynamic Analysis of Nitrogen and Inorganic Nutrients under Paddy and Upland Conditions)
<p>一般に、植物は根から水分と養分を吸収して生育するが、根が養分を吸収できる範囲（根圏）は著しく限定されており、植物の生育を維持するためには他の区域（非根圏）から養分が供給される必要がある。本研究は、アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)又は硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)に<sup>15</sup>Nでラベルした硝酸アンモニウムをシラス土壤に施肥し、これを充填したライゾボックスに水稲又はピーマンの種子を播種し、6週間栽培した後、土壤を採取し、水田および畑状態における養分の動態について窒素を中心に比較検討したものである。</p> <p>得られた結果は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 非根圏から根圏までの土壤pHの推移は、水田と畑状態では著しく異なった。すなわち、水田状態では栽培前のpHよりも高く推移し、根圏で最も高かったのに対し、畑状態では栽培前よりも低く、根圏に向かって低下し、根圏で最も低い値を示した。水田状態で硫酸アンモニウムを用いて検討した結果、畑状態と同じ推移を示したことから、水田におけるpHの上昇は主にNO<sub>3</sub>-Nの脱窒に起因することを明らかにした。</li> <li>2. 土壤全窒素(T-N)は、水田、畑状態とも非根圏区域では栽培前よりも低く、畑状態では根圏に向かって増加し、根圏で最も高くなった。一方、水田の根圏におけるT-Nは、非</li> </ol>	

根圏区域より高く、栽培前と同じ値まで回復した。このような根圏における T-N の上昇は、 $^{15}\text{N}$  の解析の結果から水田では非根圏域から根圏へ移動した施肥  $\text{NH}_4\text{-N}$  の有機化に依存したのに対し、畑状態では非根圏域の土壤有機物の分解により生じた可溶性窒素化合物の根圏への移動・集積に由来することを明らかにした。

3. 土壤中の無機態窒素についてみると、水田状態では  $\text{NO}_3\text{-N}$  は非根圏区域から根圏に向かって増加したが、その量は脱窒により栽培前よりも著しく減少した。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$  は非根圏区域から根圏にむけて漸減し、根圏で最も低い値を示し、特に水溶性  $\text{NH}_4\text{-N}$  は根圏では検出されなかった。根圏における  $\text{NO}_3\text{-N}$  および交換性  $\text{NH}_4\text{-N}$  は施肥窒素よりも土壤窒素由来のものが多かった。

一方、畑状態では  $\text{NO}_3\text{-N}$  は非根圏区域から根圏に向かって増加し根圏近傍から急減し、根圏で著しく低下した。また  $\text{NH}_4\text{-N}$  は非根圏区域から根圏に向かって漸減し、根圏で最も低くなった。根圏における  $\text{NO}_3\text{-N}$  および  $\text{NH}_4\text{-N}$  とも土壤窒素よりも施肥窒素に由来するものが多かった。

これらの結果から、根圏における窒素の有機化・無機化作用は畑よりも水田で活発に行われているものと結論づけた。

4. 非根圏区域から根圏への無機養分の推移についてみると、水田・畑状態とも  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  は  $\text{NO}_3\text{-N}$  と同様に非根圏区域から根圏に向かって増加し、畑状態の  $\text{NO}_3\text{-N}$  を除いて根圏で最も高い値を示した。一方、 $\text{K}^+$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$  は  $\text{NH}_4\text{-N}$  と同様に非根圏区域から根圏に向かって減少し、根圏で最も低かった。ただし、水田の  $\text{PO}_4^{3-}$  は pH の影響により根圏で最も高くなった。以上の結果は、非根圏区域から根圏への無機養分の供給のメカニズムが、水田・畑状態とも基本的には同じであり、前者のイオン類はマスフローに、後者のそれらは拡散により供給されることを示した。

以上のように、本研究は、 $^{15}\text{N}$  をラベルした硝酸アンモニウムを用いて、これまでほとんど報告のない水田状態下における非根圏から根圏への養分の動態について窒素を中心に、畑状態と比較しながら詳細に解析したもので、本論文が博士（農学）の学位論文として十分に価値があるものと判断した。

最終試験結果の要旨	
学位申請者 氏名	烏 尼 木 仁
審査委員	主査 鹿児島大学 教授 稲 永 醇 二
	副査 鹿児島大学 准教授 檮 木 直 也
	副査 佐賀大学 教授 井 上 興 一
	副査 琉球大学 教授 渡嘉敷 義 浩
	副査 鹿児島大学 教授 浜 崎 忠 雄
審査協力者	
実施年月日	平成 20 年 1 月 31 日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと。) <input type="checkbox"/> 口答・筆答	
<p>主査および副査の5名は、平成20年1月31日の公開審査会において学位申請者に対して、学位論文の内容について説明を求め、関連事項について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答が得られた。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者が博士(農学)を受けるに必要な十分の学力並びに識見を有するものと認めた。</p>	

学位申請者 氏名	烏尼木仁
質問 1	根圏で土壤全窒素が増加したのは、ピーマンでは土壤由来窒素化合物によると説明されたが、その正体は？
回答：	確かに、 $^{15}\text{N}$ の解析から、ピーマンの根圏における土壤全窒素の増加は土壤由来窒素化合物の集積によるものと考えられます。しかし、それがなんであるかは特定していませんが、可溶性の有機体窒素としては、可溶性の蛋白、アミノ酸、ペプチドなどではないかと思えます。
質問 2	水田ではそれらの化合物は生成されないのか？
回答	水稻の根圏でそれらの物質が蓄積していないのは、水稻の根圏では窒素の無機化が活発に行われることから、 $\text{NH}_4\text{-N}$ にまで分解されてしまったと考えられます。 もうひとつの可能性として、ピーマンの有機物に対する吸収の能力が低いのに対し、水稻は有機物に対する吸収能力が優れているため、水田では移動してきた窒素化合物がそのまま吸収されるため、水稻の根圏では集積しなかった可能性があります。
質問 3	本文の中では、リン酸について、「リン酸」と書いたり、化学式で書いたりしているが、それは意識して区別しているのか？
回答	意識して区別したわけではありません。それについては、訂正の上統一いたします。
質問 4	水田で陽イオン量が畑よりも少なかったのは、陽イオンの土壤固相への再吸着も原因だといわれましたが、実際に交換性の陽イオン量は増加していますか？
回答	グラフに示したように、交換性の陽イオン（酢酸アンモニウム抽出量から水溶性量を差し引いて計算した）は増加し、特に交換性 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ の増加が大きかったです。
質問 5	これら陽イオンの減少量と植物吸収量は一致していますか？
回答：	ほぼ一致しています。
質問 6	畑では、土壤 pH が根圏で最も低かったことは理解できるが、非根圏から根圏に向かって漸次低下したことの理由は？
回答	いろいろ考えられますが、土壤中に存在する陽イオンと陰イオンのバランスの変化が主な原因であると考えられます。
質問 7	$\text{NO}_3^-$ はマスフロー、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は拡散によって根圏へ供給されると論じていますが、実際はいずれも水の流れにより供給されるのでは？
回答	養分の根圏への動きはいずれも 拡散・マスフロー両方あると思います。しかし、根圏付近における養分の分布から、硝酸は主にマスフロー、アンモニアは主に拡散である

と判断しました。

質問8 これらの結果を実際の施肥方法においてどう活かしますか？

回答 実際のほ場では、養分の溶脱などがあるため、養分の動きはもっと複雑であると思いますが、養分が非根圏から根圏へはどう動くかはこの実験結果から証明できたと思います。また、ほかの養分に比べてリン酸は動きにくいことが明らかであるため、リン酸の施肥は根に近いところで施肥しなければ効果がないということを示唆しています。