

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：11501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23658188

研究課題名（和文）活性窒素除去特性の機能強化と食料・資源・環境トリレンマ問題の同時解決の実証

研究課題名（英文）A New Approach to Reactive Nitrogen Removal : Theory and Practice in a New Multi-Purpose Paddy Field

研究代表者

石川 雅也 (ISHIKAWA MASAYA)

山形大学・農学部・准教授

研究者番号：30313068

研究成果の概要（和文）：閉鎖型構造を有する汎用化圃場では、高品質・安定・多収と同時に、水土資源と窒素環境の保全が可能であることを、長期間におよぶ野外圃場試験から実証した。転換畑地では、一般畑地と比べて2倍以上の温室効果ガスの放出量削減効果を発揮した。同時に、硫黄循環における脱窒強度特性に着目することで、土壌水分環境条件と活性窒素除去量との要因解析に成功した。今後、微生物資材の開発、関連研究・産業分野への応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：Compared with general upland fields, the effect could be expected that nitrous oxide emission would be reduced as the twice or more. Soil moisture condition was shown toward decreasing of greenhouse emissions and strengthening of water quality purification capacity. The farmland was defined, "New Multi-Purpose Paddy Field". In the New Multi-Purpose Paddy Field, it was proven not only to the environmental conservation of reactive nitrogen, but also to be able to preserve soil and water resources with steady crop yield for each unit area. Additionally, the amount of denitrification was derived by using quadratic function type of which the variable was underground water temperature.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：水質汚濁、水環境、温暖化影響

### 1. 研究開始当初の背景

窒素施肥量の加速度的増大に伴う活性窒素種(反応性窒素)による地球環境問題は、水質汚染や砂漠化だけでなく、最近の研究では生物多様性の損失、ガンや感染症等の発病率と地球温暖化の進展も指摘されている。農村空間が必要な食料生産機能を向上しつつ、水土資源の保全や環境改善も同時に達成する方法のひとつとして、研究代表者は作土からの浸透水を心土層に貯めた地下水層帯での生物学的脱窒作用を利用する方法を着想し、ほとんど現存しない構造を有する汎用化圃場への適用を試みた。本研究開始に至るまで、

その圃場構造条件と環境条件を満たす試験場での作物生育試験と水質浄化試験を6年間行うとともに、その間に温室効果ガス放出・抑制試験を3年間行い、以下の結果を得た。

(1) 健全かつ安定した生育状態の持続と高い収量を維持した。

(2) 圃場系内の心土層地下水層帯の溶存態全窒素濃度が『森林からの渓流水濃度程度』まで低減した。

(3) 窒素除去要因の70%以上が独立栄養型脱窒菌(硫黄酸化細菌)による脱窒作用の可能性が示唆された。

(4) 独立栄養型脱窒菌によって、浸透水に溶

解している亜酸化窒素ガス気泡の 99%除去に成功した。

(5) 地下水層帯から発生したメタンガスが地表からはほとんど放出されないことを確認した。

(6) 独立栄養型脱窒菌の脱窒活性を高めるためには、心土層地下水層帯を強還元層にするような地下水位管理（雨水や灌漑排水）が有効であることが示唆された。

以上の研究結果から、今後は圃場の実用化と応用に向けて、農業土木学および実学的な水土管理の観点から、独立栄養型脱窒菌による活性窒素種の除去機能とその発現・増殖メカニズムの解明を行うとともに、当機能を制御し、強化するための具体的な方法の明示とその実証が急務である。

## 2. 研究の目的

『作物の高品質かつ安定・多収』と『生態系保全用水程度まで圃場内での活性窒素種（亜酸化窒素と硝酸）の除去』を前提として、独立栄養型脱窒菌を対象に、互に関連する研究目的を掲げる。

(1) 土壤水分環境条件と活性窒素除去量との要因解析による発現特性と増殖メカニズムの解明。

(2) 活性窒素除去能力を最大限に引き出すための圃場内水流量の経時変動予測式の導出に資する生物学的脱窒量の新たな算定法の導出。

(3) 節水を考慮した持続的かつ効率的な圃場内水土管理方法の提案と実地圃場における実証。

本研究では当新型圃場で多肥転換畑を想定した長期野外栽培試験と室内実験を行い、活性窒素種の除去機能の強化に資する水土管理方法の検討と実証を行った。

## 3. 研究の方法

野外圃場試験では、隣接するライシメータを4基使用し、試験区3基（無植生区：化肥有・作物無、一般畑区：化肥有・作物有、転換畑区：化肥有・作物有）と対照区1基（化肥無、作物無）とした。TRAMに基づいて灌水量を設定した。なお、一般畑区とは、心土層では貯水せずに暗渠を通じて常時排水させる、通常の汎用農地での畑地である。2010年12月7日～2012年12月6日の2年間、各季でハウレンソウを栽培し、計8作を連作した。試験区の作土層に、冬作期および夏作期では燐硝安加里を  $145 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  施肥した。春作期および秋作期では燐硝安加里を  $42 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  施肥し、牛糞完熟堆肥を  $116 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  投入した。内径  $30 \times 30 \times 30 \text{ (cm)}$  の透明アクリル製チャンバーを用いて地表ガスを採取し、 $\text{N}_2\text{O}$  ガス濃度を測定した。地表面下10 cm 毎に埋設された暗渠から土壤水を採水し、へ

ッドスペース・ガス分析法によって溶存  $\text{N}_2\text{O}$  濃度を測定した。隔週定刻にガスおよび土壤水の採取と採水を行った。

室内実験では、地下水層帯静水状態での独立栄養型脱窒菌による生物学的脱窒作用に着目し、水温・地下水濃度・水分不飽和土層厚さを変数として、土壤水中の各種溶解物質濃度および亜酸化窒素・メタンガス気泡濃度の経時変化から、土壤水分状態に対する、脱窒強度メカニズムと亜酸化窒素ガス・メタンガス放出メカニズムの影響について追究した。

(1) 土壤水分環境条件と活性窒素除去量との要因解析による発現特性と増殖メカニズムの解明：温室効果ガス抑制機能の強化可能性を検討した。

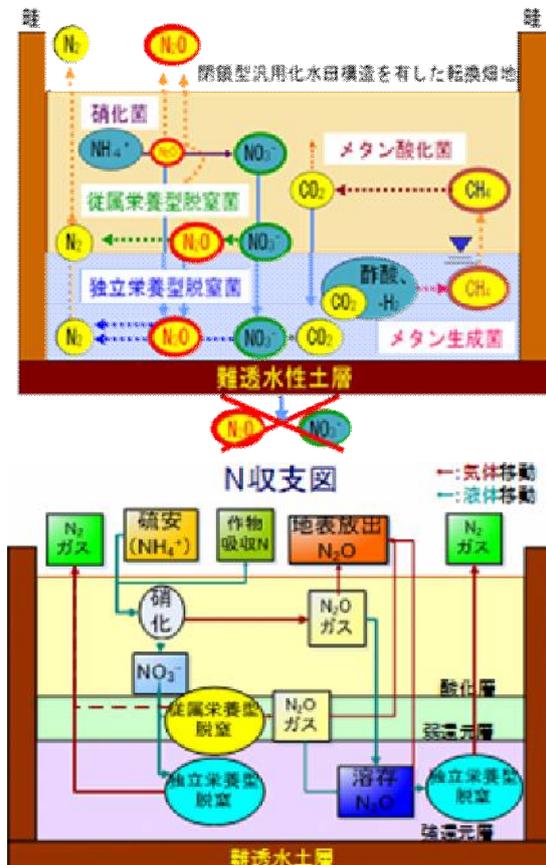


Fig.1 閉鎖型汎用化水田構造を有した転換畑地の温室効果ガス発生と抑制メカニズム

### ① 温室効果ガス発生と抑制メカニズム

(Fig. 1)：窒素肥料である硫酸を土層に鋤き込むことで、酸化層では硝化によって亜酸化窒素が生成される。易分解性有機物と溶存態硝酸が存在する弱還元土層では従属栄養型脱窒菌が亜酸化窒素ガスを放出する。溶存態硝酸が存在する強還元土層では独立栄養型脱窒菌が窒素ガスの生成と放出を行うと同時に、その土壤水中に分散している亜酸化窒素気泡も還元化し、窒素ガスを放出すると考えられる。メタンガスは強還元土層で発生

するが、その上部に存在する酸化土層でメタン酸化菌が二酸化炭素に分解するので、地表面からは放出されない。このとき発生した二酸化炭素（無機態炭素）の多くは降雨または灌漑による浸透水に溶解した後、強還元土層に運ばれ、独立栄養型脱窒菌が行う生物学的脱窒作用に使用されるものと考えられる。

本研究では、土壌浸透水を心土層の地下水飽和土層帯に貯水させ、同時に地下水位を人為的に設定できる環境を創出することによって、地下に強還元土層の貯水空間を設けた。これより、作物に悪影響が及ばないように、酸化土層の占める割合を自由に調整できる。その強還元層における独立栄養型脱窒作用による亜酸化窒素放出の抑制強化を想定した長期試験を行った。

②硝酸態窒素除去量の導出と解析：硝酸態窒素除去量をより正確に求めるために、硫黄循環の脱窒強度特性に着目した解析を行った。独立栄養型脱窒菌と従属栄養型脱窒菌の両者について検討した。

(2) 活性窒素除去能力を最大限に引き出すための圃場内水利量の経時変動予測式の導出：強還元～弱還元～酸化土層における水温、硝酸イオン・硫酸イオン・TOC 濃度から求める生物学的脱窒量について検討した。

活性窒素種削減効果を厳密に数値化して評価するため、生物学的脱窒量に関する精度の高い算出方法が必要不可欠である。そのため、独立栄養型脱窒菌と従属栄養型硫酸還元菌との長期にわたる共生関係に着目することで、独立栄養型脱窒量と従属栄養型硫酸還元菌の  $\text{CH}_2\text{O}$  消費量の関係式を新たに求めた。また、地下水温と投入肥料の種類や量が従属栄養型硫酸還元菌の  $\text{CH}_2\text{O}$  消費量に与える影響を分析し、最終的に、地下水の平均水温を変数とした、独立栄養型脱窒量予測式の導出を試みた。

解析には過去に行った試験データも援用した。2003年8月から2012年12月の試験結果（水サンプル数 計 6,471 本）を用いて、化学量式と数学的帰納法に着眼した独立栄養型脱窒菌脱窒量の算定法の考案を試みた。

(3) 節水を考慮した持続的かつ効率的な圃場内水土管理方法の提案と実地圃場における実証：『新型圃場での年間における亜酸化窒素ガス削減効果を明確にすること』と『節水を考慮した持続的かつ効率的な圃場内水土管理方法を提案すること』。

近年、畑地表面からの  $\text{N}_2\text{O}$  ガスの直接排出とは別に、施肥窒素を起源として生成され、 $\text{NO}_3^-$ -N 水中に溶存した  $\text{N}_2\text{O}$  ガス気泡（溶存  $\text{N}_2\text{O}$ ）が、 $\text{NO}_3^-$ -N 水とともに農地系外に溶脱・流出した際に大気へ  $\text{N}_2\text{O}$  ガスが放出される、いわ

ゆる  $\text{N}_2\text{O}$  ガスの間接発生が指摘されている<sup>1)2)</sup>。本研究では、間接排出を考慮することによって、当圃場における、年間の  $\text{N}_2\text{O}$  ガス削減効果を実証した。

以上を総括し『節水を考慮した持続的かつ効率的な圃場内水土管理方法』を提案した。

#### 4. 研究成果

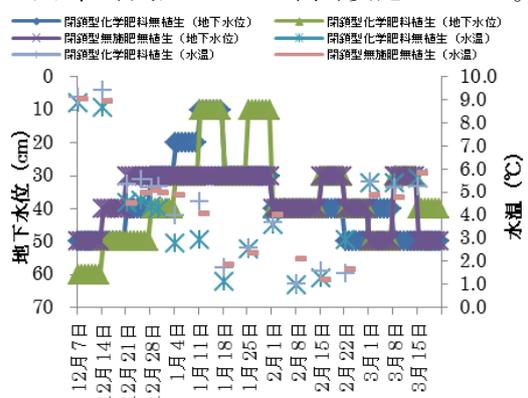
(1) 土壌水分環境条件と活性窒素除去量との要因解析による発現特性と増殖メカニズムの解明：温室効果ガス抑制機能の強化可能性を検討した。

① 冬季栽培期間における各種変動：亜酸化窒素ガス放出量の総量の内訳は、従属栄養型脱窒由来が硝化由来の約 2 倍と試算されたが、投入窒素量に対する亜酸化窒素ガス放出量は極めて小さい値であった。また、溶存亜酸化窒素ガス気泡の独立栄養型脱窒菌による吸収利用が示唆された。

これより、これまでは冬期の低温期に活性窒素種の除去は不可能とみられていたが、本新型圃場の活用によって、活性窒素種の除去が可能となることを実証した。今後は、周年にわたる活性窒素種の除去が期待できる。

##### ① 地下水位と水温の変動 (Fig. 2)

2011年12月7日から2012年3月15日までの地下水位と水温の変動グラフが Fig. 2 である。冬期間の地下水位は概ね地表面下 30～50cm で安定して推移し、水温は 1.0～9.0°C であり、外気温と比べて高く安定していた。



対象期間 (2011年12月7日～2012年3月15日)

Fig. 2 地下水位と水温の変動

##### ② $\text{N}_2\text{O}$ フラックスの変動 (Fig. 3)

地表面からの  $\text{N}_2\text{O}$  放出量の変動グラフが Fig. 3 である。その結果、 $\text{N}_2\text{O}$  放出量の単純平均値は、閉鎖型化学肥料無植生区が  $59 \text{ N}_2\text{O-N } \mu\text{g m}^{-2}\text{hr}^{-1}$  で、閉鎖型化学肥料植生区が  $22 \text{ N}_2\text{O-N } \mu\text{g m}^{-2}\text{hr}^{-1}$  であり、植生による  $\text{N}_2\text{O}$  ガスの削減が認められた。また、開放型化学肥料植生区における  $\text{N}_2\text{O}$  放出量の単純平均値は  $10 \text{ N}_2\text{O-N } \mu\text{g m}^{-2}\text{hr}^{-1}$  となり、閉鎖型化学肥料植生区と比較して低い数値となった。この理由は、牛糞完熟堆肥の投入による従属栄養型脱窒菌活性の影響だと推察された。

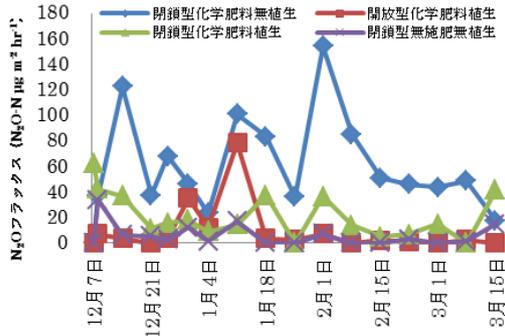


Fig. 3 N<sub>2</sub>O フラックスの変動

③閉鎖型化学肥料植生区の N<sub>2</sub>O 放出量の内訳 (Fig. 4, 5)

閉鎖型化学肥料植生区と開放型化学肥料植生区の N<sub>2</sub>O 放出量について、対照区を考慮した差し引きから、硝化及び従属栄養型脱窒由来の N<sub>2</sub>O 放出量を試算した。2011 年 12 月 7 日から 2012 年 3 月 21 日までの N<sub>2</sub>O 放出量の総量は、硝化由来が 0.17 N<sub>2</sub>O-N kg ha<sup>-1</sup> で、従属栄養型脱窒由来が 0.31 N<sub>2</sub>O-N kg ha<sup>-1</sup> となり、従属栄養型脱窒由来が硝化由来の約 2 倍と試算された。

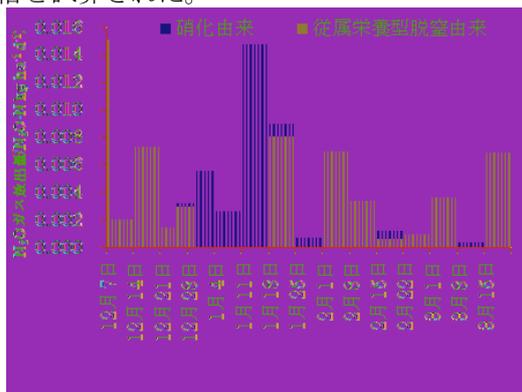


Fig. 4 閉鎖型化学肥料植生区の N<sub>2</sub>O 放出量の内訳 (日別)

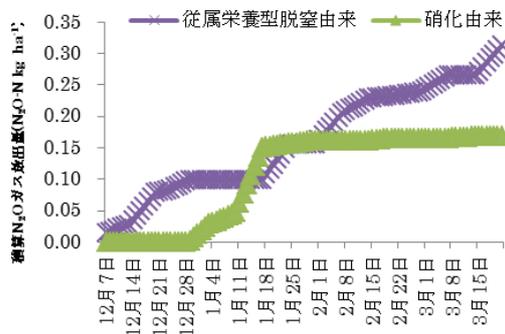


Fig. 5 閉鎖型化学肥料植生区の N<sub>2</sub>O 放出量の内訳 (積算)

②脱窒強度の精緻化による正確な脱窒量の算出：脱窒定量方法の一般化を試みた。

新たに開発した独立栄養型脱窒菌の脱窒量算出方法(新式)とは、硫酸イオン存在量から算出する脱窒量を見直し、硫黄循環をより考慮した方法である。この結果、旧式に比べ多くの独立栄養型脱窒菌の脱窒量を算出することが可能となり、独立栄養型脱窒菌が優先種であることを示唆できた。同様に、従属栄養型脱窒菌の脱窒量算出方法に関しても、T-N 減少量から独立栄養型脱窒菌の脱窒量を差し引くことで、脱窒量を層ごとに比べた時、弱還元層でより多くの脱窒が行われていることを確認することができた。したがって、両脱窒菌の脱窒特性を反映した、より実際の値に近い脱窒量が得られる可能性が認められた。今後は、脱窒定量方法の一般化の精緻化のために、脱窒菌による脱窒速度を把握することが必要であると考えられる。

具体的には、本研究では既往の研究により明らかにされた式に、新たに従属栄養型については有機化量を、独立栄養型についてはより詳しく硫黄循環を考慮することで、脱窒特性と土壤環境条件との整合性が認められた。

2011 年 4 月 6 日～2011 年 11 月 23 日に行われた室内実験の結果、硝酸態素除去量は従属栄養型では、旧式 14.159kg/ha、新式 199.860kg/ha、独立栄養型では、旧式 1796.633kg/ha、新式 2267.728kg/ha と算出され、独立栄養型による脱窒量が顕著である可能性が示唆された。また、既往の研究(旧式)では、それぞれの脱窒量は実際より少なく算出されており、土層毎に検討した場合、それぞれの脱窒菌の生態に合致しない傾向が認められた。

(2)活性窒素除去能力を最大限に引き出すための圃場内水利量の経時変動予測式を導出：強還元～弱還元～酸化土層における水温、硝酸イオン・硫酸イオン・TOC 濃度から求める生物学的脱窒量について検討した。

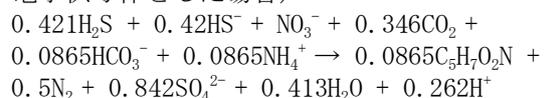
2003 年 8 月から 2012 年 12 月の試験結果を用いた数値解析処理を行なった結果、地下水の平均水温から、独立栄養型脱窒菌の脱窒量を求めることに国内外で初めて成功した。

今後、地下水の平均水温だけでなく、投入肥料の種類と量を変数とした、独立栄養型脱窒量の導出式への展開可能性が示唆された。

具体的な手順は以下の通りである。

独立栄養型脱窒量と従属栄養型硫酸還元菌の CH<sub>2</sub>O 消費量の関係式を化学量式から新たに導出した。

独立栄養型脱窒菌の脱窒化学反応式(S<sup>2-</sup>を電子供与体とした場合)



この脱窒化学反応式から、次式①のように定式化できる。

独立栄養型脱窒菌による脱窒量 ( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )  
 = (係数 A × TOC 減少量 ÷ 0.625 +  $\text{SO}_4^{2-}$  増減量)  
 × 0.173 ……①

ただし、係数 A とは『「硫酸還元菌による  $\text{CH}_2\text{O}$  消費量」 ÷ 「TOC 減少量」』と定義した。

式①では係数 A、TOC 減少量、 $\text{SO}_4^{2-}$  増減量が変数であるが、これらの変数（実測値）と地下水の平均水温との回帰直線式は次式で求められ、それぞれ高い相関が認められた。係数 A =  $-0.807X + 12.0$  ( $R^2 = 0.800$ )、 $\text{SO}_4^{2-}$  増減量 =  $3.24X - 20.1$  ( $R^2 = 0.922$ )、TOC 減少量 =  $0.0378X + 1.87$  ( $R^2 = 0.881$ ) ただし、X：地下水の平均水温 (°C)。それぞれ、式①に代入して整理すると、独立栄養型脱窒菌の脱窒量 ( $\text{kg} \cdot \text{N} / \text{ha}$ ) =  $-0.00846X^2 - 0.855 X + 9.73$

( $1.03 \leq X \leq 26.1$ ) という、地下水の平均水温のみを変数とする二次関数に近似できた。この結果、地下水水温から推測による補完を伴わない脱窒量を求めることが可能となった。

(3) 節水を考慮した持続的かつ効率的な圃場内水土管理方法の提案と実地圃場における実証：新型圃場での年間における亜酸化窒素ガス削減効果を明確にすることで、節水を考慮した持続的かつ効率的な圃場内水土管理方法を提案した。

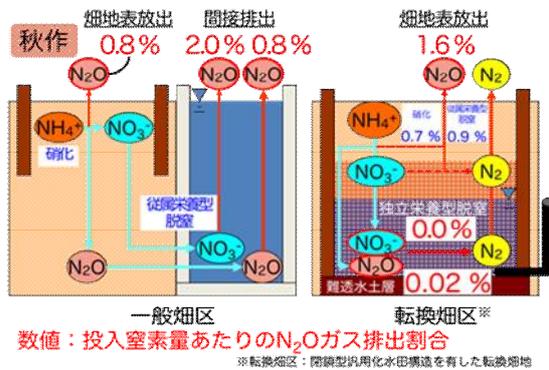


Fig. 6  $\text{N}_2\text{O}$  ガス排出割合 (秋作期)

①投入窒素量あたりの  $\text{N}_2\text{O}$  ガス排出割合：秋作期における投入窒素量あたりの  $\text{N}_2\text{O}$  ガス排出割合を Fig. 6 に示した。一般畑区では、畑地表面からの放出は 0.8% と測定された。溶脱した  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  水を由来とする  $\text{N}_2\text{O}$  ガスの間接排出については、わが国の基準<sup>2)</sup>を参考にした。多肥作物栽培下での試験を考慮すると、その割合は 2.0% で示された。また、溶存  $\text{N}_2\text{O}$  の揮散を由来とする  $\text{N}_2\text{O}$  ガスの間接排出は地表面からの放出量と同等であると指摘されている<sup>1)</sup>ので、この割合は 0.8% で示された。転換畑区では、畑地表面からの放出は 1.6% と測定された。この値は一般畑区の 2 倍の排出割合であった。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  水は生態系保全水程度まで土層で除去できたので、この由来は

0% になる。試験終了後に地下水層帯に残存していた溶存  $\text{N}_2\text{O}$  が全てガス化して大気へ放出された場合を想定すると、この由来は 0.02% と測定された。以上により転換畑区では、全栽培期において地下水中の溶存  $\text{N}_2\text{O}$  は微小であると認められた。

②転換畑区の  $\text{N}_2\text{O}$  ガス削減効果：Table. 1 は各期及び年間の投入窒素量あたりの  $\text{N}_2\text{O}$  ガス排出割合である。転換畑区の一般畑区に対する  $\text{N}_2\text{O}$  ガス削減効果は、冬作期 3.8 倍、春作期 5.5 倍、夏作期 1.2 倍、秋作期 2.2 倍と示され、全栽培期で転換畑区の  $\text{N}_2\text{O}$  ガス削減が認められた。年間の投入窒素量あたりの  $\text{N}_2\text{O}$  ガス排出割合は一般畑区 3.5% に対して転換畑区 1.6% であり、一般畑区に対する  $\text{N}_2\text{O}$  ガス削減効果は 2 倍以上であると認められた。

Table. 1 転換畑区の  $\text{N}_2\text{O}$  ガス削減効果

時期	$\text{N}_2\text{O}$ ガス排出項目	一般畑区	転換畑区 <sup>※</sup>	時期	$\text{N}_2\text{O}$ ガス排出項目	一般畑区	転換畑区 <sup>※</sup>
冬作	畑地表面	0.9%	0.9%	夏作	畑地表面	1.2%	3.4%
	間接排出 ( $\text{N}_2\text{O}$ 気泡)	0.9%	(0.1%)		間接排出 ( $\text{N}_2\text{O}$ 気泡)	1.2%	(0.2%)
	間接排出 ( $\text{NO}_3^-$ )	2.0%	0.0%		間接排出 ( $\text{NO}_3^-$ )	2.0%	0.0%
	合計	3.8%	1.0%		合計	4.4%	3.6%
春作	畑地表面	0.1%	0.4%	秋作	畑地表面	0.8%	1.6%
	間接排出 ( $\text{N}_2\text{O}$ 気泡)	0.1%	(0.01%)		間接排出 ( $\text{N}_2\text{O}$ 気泡)	0.8%	(0.02%)
	間接排出 ( $\text{NO}_3^-$ )	2.0%	0.0%		間接排出 ( $\text{NO}_3^-$ )	2.0%	0.0%
	合計	2.2%	0.4%		合計	3.6%	1.6%
※転換畑：閉鎖型汎用化水田構造を有した転換畑地				1年間	畑地表面	0.7%	1.6%
					間接排出 ( $\text{N}_2\text{O}$ 気泡)	0.7%	(0.0%)
					間接排出 ( $\text{NO}_3^-$ )	2.0%	0.0%
					合計	3.5%	1.6%

一般畑区に対する  $\text{N}_2\text{O}$  ガス削減効果は 2 倍以上。

③転換畑区の窒素収支：年間の窒素収支が Fig. 7 である。わが国における一般畑での投入窒素に対する  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  溶脱率である 30% を用いると、一般畑区からは  $168 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  の  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  水が溶脱すると推定された。一方、転換畑区では  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  水の溶脱はほぼゼロであったため、新型圃場は硝酸水汚染にも有効であることが示唆された。転換畑区の脱窒量を試算した結果、その量は  $476 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  と算出され、この 5 分の 4 は独立栄養型脱窒菌による脱窒量であると試算された。両区における作物の窒素吸収量は同程度と実測された。

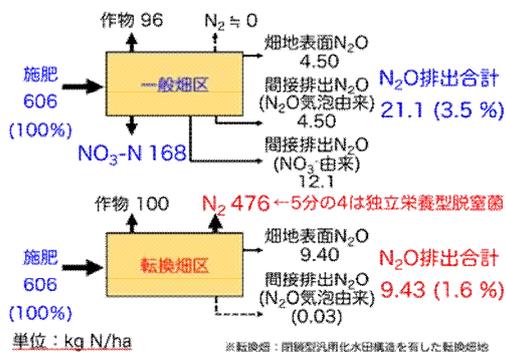


Fig. 7 年間の窒素収支 (4 作期 365 日間)

④節水を考慮した持続的かつ効率的な圃場内水土管理方法の提案：新型圃場では、従来型圃場と比較して、灌漑水量が40%程度節水された。さらに転換畑では、従来通りの肥培管理と土壌管理を行えば、良好かつ安定した作物収量が確保され、同時に、温室効果ガスの削減とNO<sub>3</sub>-N水除去が可能となる。独立栄養型脱窒菌の脱窒活性を高めるためには、心土層地下水層帯を強還元層にするような地下水位管理（雨水や灌漑排水）が有効であることを確認した。

#### 【参考文献】

- 1) 糟谷真宏・山田良三(1997)：野菜畑地帯の排水路における地下水湧出に伴う亜酸化窒素の放出, H9年度日本土壌肥料学会講演要旨集.
- 2) Sawamoto, T., Nakajima, Y., Kasuya, M., Tsuruta, H., and Yagi, K. (2005) : Evaluation of emission factors for indirect N<sub>2</sub>O emission due to nitrogen leaching in agro-ecosystems. Geophys. Res. Let., 32, L03403, doi:10.1029/2004GL021625.

#### 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2件)

- (1) Y. C. Chang, R. S. Chen, K. H. Lin, Y. C. Cheng, J. I. Hu, E. Yamaji, K. Yoshino, E. Shima, H. Fujisaki and M. Ishikawa 2011 (平成23年) Adapting the Water Management Practice to the Double Exposure: The System of Rice Intensification in Taiwan, Proceedings of PAWEES 2011 International Conference, 2011108, 54-55, Taiwan. 【査読有】
- (2) E. Yamaji, K. Yoshino, E. Shima, H. Fujisaki, M. Ishikawa, E. Suhartanto, B. Setiawan, and M. Harianto, Harry 2011 (平成23年) Agricultural Land Use and Prospect in Brantas River Basin in Indonesia, Proceedings of PAWEES 2011 International Conference, 2011096, 92-93, Taiwan. 【査読有】

[学会発表] (計1件)

- (1) 長谷川晃彦、石川雅也、飯田俊彰、梶原晶彦 (2011)：閉鎖型汎用化水田構造を有した転換畑地における温室効果ガスの削減効果、農業農村工学会要旨集、平成23年9月7日、九州大学.

[その他]

ホームページ等

<http://www.tr.yamagata-u.ac.jp/zensen/ishikawa%20lab.pdf>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

石川 雅也 (ISHIKAWA MASAYA)

山形大学・農学部・准教授

研究者番号：30313068