

平成22年 5月28日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19580276

研究課題名（和文）水田水管理による温室効果ガス放出抑制型栽培法に関する研究

研究課題名（英文）Effective water management on paddy fields for reduction of greenhouse gas emission with stable rice production

研究代表者

飯田 俊彰 (IIDA TOSHIAKI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・講師

研究者番号：30193139

研究成果の概要（和文）：水田からの温室効果ガス放出を、農家による簡便な水管理操作によって抑制する方法を探求することを目的としている。暗渠排水の利用を想定し、地下水位の調節による浸透状況や浸透速度の違いが水田土壌からのメタン放出量の違いへ及ぼす影響について検討した。その結果、空気浸入が起こって開放浸透になるとメタン放出量が大きく減少することや、浸透速度とメタン放出量との間には強い負の相関があることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：This study is conducted to try to find practical water management on paddy fields by farmers for reduction of greenhouse gas emission. Assuming that underdrain systems are available, the effect of changes in percolation patterns and percolation rates by manipulation of the groundwater level on the methane emission from paddy soil was investigated. It was revealed that the methane emission was considerably low when the water percolates in an open system and that there was a strong negative correlation between the percolation rate and the methane emission.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：温室効果ガス削減、環境調和型農業、水田水管理、メタン放出、浸透

1. 研究開始当初の背景

(1) 水田からの温室効果ガスの放出

農地面積の拡大に加え、多肥多投型農業の拡大により、農地からの温室効果ガス放出が増加している。水田は東および南アジアで農

地の大きな部分を占め、日本の東北地方でも水田が農地に占める割合は高い。水田から放出される温室効果ガスとしてメタンと亜酸化窒素が注目されており、いずれも近年の大気中濃度の上昇が報告されている。

メタンと亜酸化窒素は互いに異なった環境で生成し、その抑制のためには異なった方策が求められる。メタンは嫌気的環境で土壌中のメタン生成古細菌により生成される。また、メタン放出はイネの生育状態によって左右される。一方、亜酸化窒素は好気的環境での硝化、嫌気的環境での脱窒の、両方の過程で副産物として生成される。水田からのメタンと亜酸化窒素放出の同時削減法について、多くの研究者が研究を進めている。

(2) 温室効果ガスの放出に及ぼす水田水管理の影響

自然条件に加え、農家による様々な栽培管理行為が、温室効果ガス放出を大きく左右する。水管理は、施肥と並んで、これらのガス放出に大きく影響する。水田土壌の水分状態は、土壌の酸化還元状態を規定し、そこでの微生物活動を支配するからである。

中干しはメタンの放出を抑えるものの、土壌中アンモニア態窒素が多い状態での中干しは亜酸化窒素の放出を増加させることが示されており、分割施肥と土壌のアンモニア態窒素濃度の定期的測定が推奨されている。しかし、土壌中アンモニア態窒素量の厳密な制御や定期的測定は農家には困難であり、また窒素不足による減収といった現実的な問題が起こる。間断灌漑にはメタン発生の抑制効果があるが、その一方で、間断灌漑による土壌の酸化促進に起因すると考えられる一時的な亜酸化窒素の放出が報告されている。研究代表者はこれまでに、間断灌漑時の現場水田からのメタンと亜酸化窒素の放出を同時観測し、2種のガス放出の増減が湛水落水のタイミングから時間遅れを伴って起こることを明らかにした。

こうした水田水管理の違いによって、各圃場からの温室効果ガスの放出量は大きく異なると考えられるが、年間を通じた水田からの温室効果ガス放出量を正確に推定するとともに、これを制御するために、実測データを蓄積しガス放出の変動要因を明らかにすることが、重要な課題となっている。

(3) 暗渠排水による温室効果ガス放出抑制の可能性

日本の平野部のほとんどの水田では、圃場整備事業が完了し、暗渠排水が整備されている。この暗渠排水を利用して水田土壌の水分状態を管理することにより、温室効果ガスの放出を抑制する方法が考えられるが、この観点からの既往の研究例は無い。

湛水期間中には水田の成層土壌中を水が降下浸透するが、その状況は工学的に開放浸透と閉鎖浸透とに分類される。開放浸透は下層に透水性の高い層がある場合や地下水位の低い場合に起こり、開放浸透が起こって

る層では空気浸入が起こって好気的狀態が作られる。従って、開放浸透が起こると水田土壌の主として心土層は好気的となる。メタンは作土層で生成されるが、心土層の好気的状態はメタン生成に影響を及ぼす可能性がある。つまり、土層条件によっては、暗渠排水を用いることにより心土層を好気的状態とし、メタン生成を抑制できる可能性がある。また、このような浸透条件の違いが亜酸化窒素生成に及ぼす影響については、既往の研究が無い。

2. 研究の目的

水田からの温室効果ガス放出を、土壌水分状態の工学的制御によって抑制する方法を探索する。本研究では、農家による簡便な操作で現実的に実現可能であり、広域的に展開できる可能性のある方法を検討の対象とする。また、環境保全型水田の構築といった、広域的に行われる圃場整備事業と合わせて実現できる可能性がある方法を検討の対象とする。

具体的には、間断灌漑、中干しによる作土層の水分調節による温室効果ガス放出抑制効果を検討する。さらに、暗渠排水を用いた地下水位の調節による浸透状況の制御による温室効果ガス抑制への効果を検討する。

最終的に、これらを組み合わせて、現場水田での実際の農家による簡便な操作で、広域的に実行できる温室効果ガス放出抑制法について考察する。

3. 研究の方法

(1) 実験装置

本研究は室内実験によって進められた。

Fig.1 のような水田の成層土壌を再現した土柱模型(乾燥密度:作土層 0.78g/cm^3 , 耕盤層 1.10g/cm^3 , 心土層 1.52g/cm^3)を4本作成し、気温が約 30°C に保たれた恒温室内で実験を行った。作土層、耕盤層には、山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター高坂農場水田試験地でそれぞれに該当する土層から採取された土壌を 2mm ふるいにかけて砂利などを取り除いたものを用いた。心土層には豊浦砂を用いた。作土層の上に湛水カラムを設け、一定の湛水深 (7.5cm) で湛水した。

(2) 実験方法

土柱模型の上面から放出されるガス試料を採取し、そのメタン濃度をガスクロマトグラフィーにより分析した。クローズドチャンバー法によりメタンフラックスを算出した。加えて、メタンフラックスに関連すると考えられる地温、水温、気温、土壌の酸化還元電位 (Eh)、排水の TOC を測定した。さらに、浸透状況に関連する土中水の水圧、浸透量を

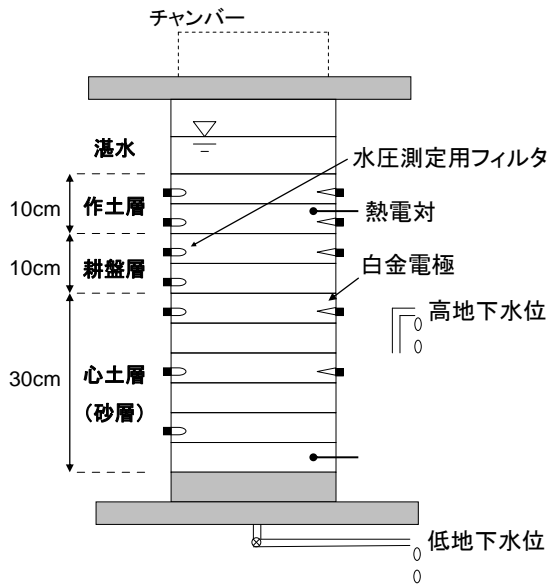


Fig.1. 実験装置
Experimental apparatus

測定した。地温, Eh, 水圧の測定箇所を Fig.1 に示した。

以下には, 本研究での代表的な結果が得られた2つの実験について, 実験1および実験2として述べる。

(3) 実験 1

地下水位を地表面下 25cm にした実験区 (閉鎖区) と地表面下 75cm にし心土層に通気孔を設けた実験区 (開放区) を設定した。湛水には蒸留水を用いた。湛水開始後すべての土柱模型の地下水位を地表面下 25cm とし, 浸透状況が安定した時点でメタン生成の基質としてグルコースを添加した。その後, 土柱模型2本をそのままとし, 残り2本の地下水位を地表面下 75cm に変更した。

(4) 実験 2

湛水開始後すべての土柱模型の地下水位を地表面下 0cm とし, 浸透状況が安定した湛水開始後 15 日目以降, 地下水位を段階的に

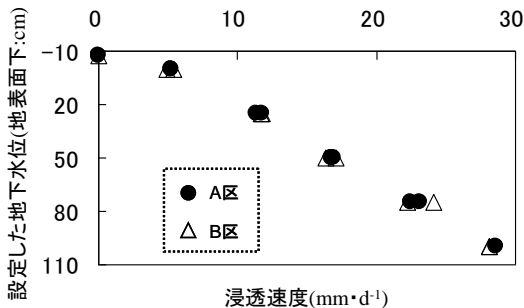


Fig.2. 浸透速度と設定した地下水位との関係
Relation between percolation rate and groundwater level

変更した。土柱模型の2本では, 地下水位を地表面下 0cm から 25cm ずつ下降させ, 100cm まで到達した後, 25cm ずつ 0cm まで上昇させ, その後浸透を止めた (A 区)。土柱模型の残りの2本では, 地下水位を地表面下 100cm から 25cm ずつ上昇させていき, 0cm まで到達した後, 25cm ずつ 100cm まで下降させ, その後浸透を止めた (B 区)。各地下水位で浸透速度やメタンフラックスが安定した時点で次の地下水位へ変更した。なお, 設定した地下水位と浸透速度との関係を Fig.2 に示す。本実験では, 日本の通常の水田の浸透速度の範囲を再現した。

4. 研究成果

(1) 実験 1

グルコースを添加して安定した後, 地下水位を変化させた日を経過日数の 0 日目とした。

地下水位を変化させ, 心土層に通気孔を設けたところ, 開放区のメタン放出量は閉鎖区のそれと比べて約1/5になった (Fig.3)。このとき, 開放区の心土層 (深さ20~35cm付近) の水圧がほぼ一定となったことから開放浸透が起きたことが確認された。また, 心土層のEhは大きく上昇したが, メタン生成に大きく関与すると考えられる作土層のEhには影響を与えなかった。さらに, 開放区の浸透量は閉鎖区のそれと比べて約6倍になった。

データは示さないが, 心土層に通気孔を設けない実験も行った。心土層への空気侵入の有無に拘らず, 地下水位を低下させても作土層の Eh に変化は見られないが, メタンフラックスは減少することが明らかになった。さらに, 浸透量が増加する割合と, メタンフラックスが減少する割合との関係性の存在が示唆された。メタンフラックスの低下の理由として, 表層土壌における酸化層の発達によりメタンの酸化が起こったことや, メタンが浸透水に溶解し下方移動したことなどの可能性が指摘された。

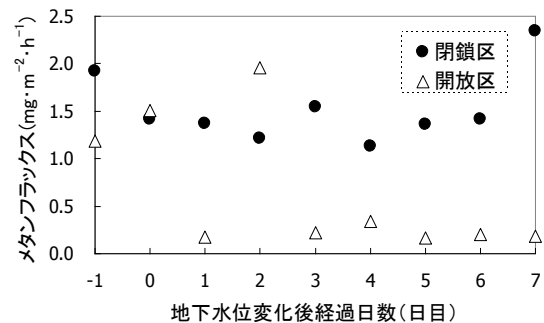


Fig.3. メタンフラックスの経時変化
Variation in CH₄ flux

(2) 実験 2

浸透速度とメタンフラックスとの関係を Fig.4 に示す。A, B 両実験区ともに、両者には強い負の相関があり、両者の関係は 2 つの直線で近似された。地下水位を初期の 0cm から 100cm にする過程 (Fig.5) と、その後の過程 (Fig.6) とでは、浸透速度とメタンフラックスとの関係が異なることが明らかになっ

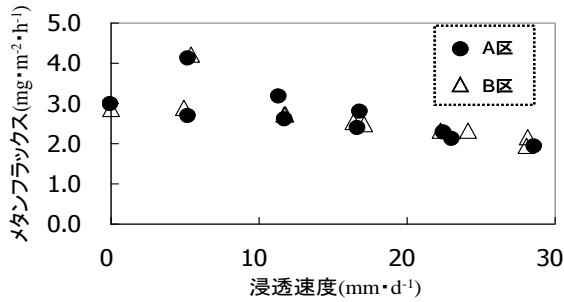


Fig.4 浸透速度とメタンフラックスとの関係
Relation between percolation rate and methane flux

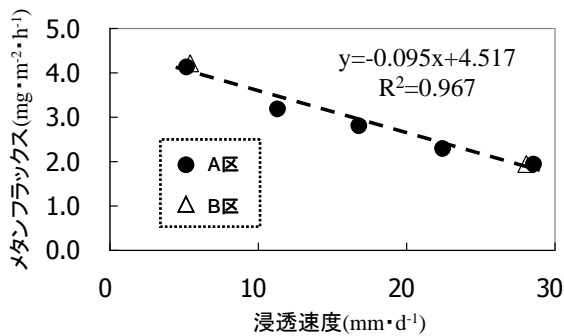


Fig.5 初期の浸透速度上昇過程での浸透速度とメタンフラックスとの関係
Relation between percolation rate and methane flux during initial percolation rate increase

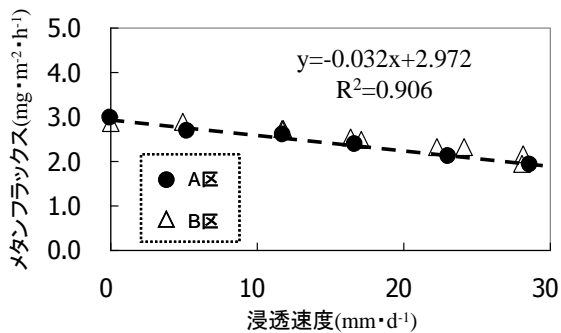


Fig.6 初期の浸透速度上昇後の浸透速度とメタンフラックスとの関係
Relation between percolation rate and methane flux after the initial percolation rate increase

た。すなわち、浸透速度を一度 30mm·d⁻¹ 程度の大きな値に設定すると、その後浸透を止めてもメタンフラックスは初期の値には戻らないことが明らかになった。両実験区とも、浸透速度の履歴に関係なく地下水位と浸透速度がほぼ 1 対 1 に対応したこと (Fig.2) や、作土層の Eh や排水中の TOC が実験期間を通してほぼ変わらなかったことから、30mm·d⁻¹ 程度の大きな浸透速度によって、今回測定されなかった何らかの土壌の生物学的、化学的变化が起こったものと推察された。

Fig.5 で得られた近似直線を用いると、稲のない水田土壌の浸透速度を 5mm·d⁻¹ から 30mm·d⁻¹ に変更すると、約 0.6kg·ha⁻¹·d⁻¹ のメタン放出を削減できると試算された。

(3) 成果の国内外における位置づけ

浸透パターンや浸透速度とメタン放出量との関係を定式化した例はこれまでに国内外に無い。本研究で得られた成果は、暗渠排水システムを利用して浸透を制御することによるメタン放出削減の道を切り開く可能性を示しており、環境保全型農業の推進やその広域的展開の観点から、社会へのインパクトが大きいと考えられる。

(4) 今後の課題

今後の課題として、イネを栽培した場合における定式化が、最も重要である。水田からのメタン放出の大部分はイネの作物体を通して放出される分であり、イネのある場合には、メタン放出の状況がイネの無い場合と大きく異なる。

また、メタンとともに農地から放出される温室効果ガスとして重要な亜酸化窒素についての測定と検討が必要である。

本研究で、浸透量とメタンフラックスとの関係で傾きの異なる近似直線が得られたことに関しては、土壌の生物学的、化学的見地からのさらなる検討が必要であると思われる。

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 5 件)

- ① Iida, T., Inkhamseng, S., Yoshida, K., Tanji, H. (2008): Factors affecting water quality variation in the Mekong River at Vientiane, Lao PDR, Proceedings of the 3rd International Symposium on Sustainable Development in the Mekong River Basin, 11-12 September 2008, Khon Kaen, 17-25, 査読無。
- ② Pathak, B. K., Iida, T., Kazama, F. (2007): Denitrification as a component

of nitrogen budget in a tropical paddy field, Global NEST Journal, 9(2), 159-165, 査読有.

- ③ Iida, T., Deb, S.K., Kharbuja, R.G. (2007): Nitrous oxide emission measurement with acetylene inhibition method in paddy fields under flood conditions, Paddy and Water Environment, 5(2), 83-91, 査読有.

[学会発表] (計9件)

- ① 出井宏樹, 飯田俊彰 (2009): 水田土壌試料からのメタン放出への浸透状況が及ぼす影響, 平成21年度農業農村工学会大会講演会, 2009年8月5日, 筑波大学筑波キャンパス.
- ② 東望, 飯田俊彰 (2009): メタン発酵消化液施用による水田土壌試料の透水性への影響の検討, 平成21年度農業農村工学会大会講演会, 2009年8月4日, 筑波大学筑波キャンパス.
- ③ 出井宏樹, 飯田俊彰 (2008): 水田土壌試料からのメタン放出への浸透状況が及ぼす影響, 平成20年度農業農村工学会大会講演会, 2008年8月28日, 秋田県立大学秋田キャンパス.
- ④ 長谷川晃彦, 石川雅也, 梶原晶彦, 下田陽介, 飯田俊彰 (2008): 閉鎖型汎用化水田構造を有した転換畑地からの温室効果ガス削減方法, 平成20年度農業農村工学会大会講演会, 2008年8月28日, 秋田県立大学秋田キャンパス.
- ⑤ 飯田俊彰, 岡田麻希 (2007): 早期中干しおよび間断灌漑を行った水田からの温室効果ガス放出, 平成19年度農業農村工学会大会講演会, 2007年8月30日, 島根大学松江キャンパス.
- ⑥ 下田陽介, 石川雅也, 梶原晶彦, 飯田俊彰 (2007): 転換畑野菜栽培下における化学量式を用いた脱窒量の算出, 平成19年度農業農村工学会大会講演会, 2007年8月30日, 島根大学松江キャンパス.

[図書] (計1件)

- ① 飯田俊彰 (2010): わが国における治水の歴史, In「坂上潤一, 中園幹生, 島村聡, 伊藤治, 石澤公明編, 湿地環境と作物—環境と調和した作物生産をめざして—」, 養賢堂, 215-220.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯田 俊彰 (IIDA TOSHIAKI)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・講師
研究者番号: 30193139