

氏名 蓮川 博之

**題目：水田農業における温室効果ガス排出量削減技術の開発と
その定量評価に関する研究**

本研究は、アジアで最も主要な穀物であるコメを主体とした水田農業において、農業経営で最も重要である作物の収量・品質を維持しながら、温暖化防止に貢献する技術を開発評価し、水田農業における温暖化防止と生産性の確保の両立を図ることを目的とした。

第1章：序論

農耕地から排出される温室効果ガスとしては、二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄) および一酸化二窒素 (亜酸化窒素: N₂O) がある。その中でも、水田農業における CH₄ と N₂O の発生量は、世界的な水田耕作の拡大と窒素肥料の施肥量の増加により過去半世紀以上にわたって急激に増加していることが指摘されている。

また、地球温暖化の影響により水稻の品質低下やムギ・ダイズでの収量低下等が認められており、収量および品質の維持向上は農業経営面から重要な課題である。

そこで本研究は、温暖化防止と生産性の確保の両立を目指した水田の土壌施肥管理技術を開発し、その両面を評価することを目的とした。まずは温室効果ガス排出削減技術として、水田の土地利用体系の一つとして取り組みの多い田畑輪換に着目し、田畑輪換による温室効果ガス排出削減と土壌炭素貯留も含めた正味の収支を水稻連作と比較評価した。次いで、田畑輪換体系における水稻栽培での中干し期間の延長やコムギ・ダイズ栽培での被覆肥料等の活用による温室効果ガス排出削減効果を評価した。さらに、被覆硝酸性肥料と減肥を組み合わせによる一層の温室効果ガス排出削減効果を明らかにした。各管理技術における生産性も併せて評価した。以上により、水田農業における温室効果ガス排出削減技術の削減効果と生産性への影響を総合的に評価した。

第2章：水稻連作と田畑輪換におけるメタンおよび一酸化二窒素排出量と土壌炭素貯留量の合計としての温室効果ガスの正味の収支の比較

第2章では、コムギ・ダイズを組み入れた田畑輪換体系 (コムギ・ダイズ-水稻-水稻の3年4作) における温室効果ガス (CH₄ と N₂O) 排出量を水稻連作と比較し、田畑輪換体系の温室効果ガス排出削減効果を評価した。また、田畑輪換に伴う土壌炭素量の変化を水田土壌用改良 Rothamsted Carbon (RothC) モデルにより試算し、温室効果ガスの正味の収支について評価した。調査は2012年から2015年まで3か年実施した。

その結果、調査3か年を通じた田畑輪換圃場における総 CO₂eq 排出量は 1.81 Mg CO₂eq ha⁻¹ year⁻¹ となり、水稻連作圃場 (7.42 Mg CO₂eq ha⁻¹ year⁻¹) より 76%削減された。また、RothC モデルで試算された土壌炭素予測では、田畑輪換および水稻連作圃

場の土壌炭素の減少がそれぞれ 0.57 および 0.09 Mg CO₂eq ha⁻¹ year⁻¹ となった。そのため、田畑輪換および水稲連作圃場における温室効果ガスの正味の収支は、それぞれ 2.38 および 7.51 Mg CO₂eq ha⁻¹ year⁻¹ であると推定された。以上の結果から、水稲連作圃場から田畑輪換圃場への転換により、全体的な温室効果を 68%削減できることを明らかにした。

第3章：灰色低地土の水田転換畑のコムギ・ダイズ作体系における被覆肥料等を活用した一酸化二窒素排出量削減効果

第3章では、灰色低地土の水田転換畑のコムギ・ダイズ作において、被覆肥料等の活用が N₂O 排出量と収量性に及ぼす影響を 2010 年から 2013 年まで 3 か年調査し、温暖化緩和策としての有効性を評価した。

その結果、水田転換畑のコムギ・ダイズ作において被覆肥料の活用や基肥への石灰窒素併用等の施肥改善により、収量を確保しつつ、年間（コムギ作+ダイズ作）を通じた N₂O 排出量を概ね安定的に削減できることを明らかにした。これによる N₂O 排出量の削減率は 24~47%の範囲にあり、平均 32%であった。

また、コムギ作においては、基肥に被覆肥料を活用することで、速効性窒素成分量が削減でき、基肥時の顕著な N₂O フラックスのピーク上昇が抑制され、N₂O 排出量削減が可能となった。その一方でダイズ作においては、基肥の被覆肥料の活用により基肥施用後の N₂O 排出量は有意に削減できたが、その削減割合と速効性窒素成分の削減割合が一致しない調査年もあり、より安定した N₂O 排出量削減のため減肥等の施肥改善も組み入れた技術の体系化が必要であると考えられた。

第4章：灰色低地土の3年4作田畑輪換体系を通じた水稲作での中干し期間の延長とコムギ・ダイズ作での被覆肥料活用による温室効果ガス排出量削減効果

第4章では、コムギ・ダイズを組み入れた 2012 年から 2015 年までの 3 か年の田畑輪換体系を通して、水稲栽培での中干し期間の延長と、コムギ・ダイズ栽培での被覆肥料の活用による、温室効果ガス排出量削減効果を評価した。

その結果、これらの緩和策の導入により、慣行と同水準の収量を確保しつつ、調査 3 か年の田畑輪換体系を通じた CH₄ と N₂O に由来する総 CO₂eq 排出量は有意に削減された。調査 3 か年の削減率は 30~50%の範囲にあり、平均 36%であった。

田畑輪換体系のダイズ跡水稲作（復元田 1 年目）および次作水稲作（復元田 2 年目）では、中干し期間の 1 週間延長（中干し期間：2 週間以上）により、中干し後の CH₄ フラックスのピーク上昇が 2 か年ともに抑制された。特にダイズ跡水稲作では、中干し期間の延長により、CH₄ 積算排出量が慣行より有意に少なくなった。また、コムギ・ダイズ作での被覆肥料の活用により、基肥施用直後の顕著な N₂O フラックスのピーク上昇が抑制され、N₂O 積算排出量は慣行より有意に少なくなった。

以上より、水稲連作と比較して温室効果ガス排出削減効果が認められる田畑輪換体系に緩和策を導入することで、さらなる温室効果ガス排出量を削減できることを明らかにした。

第5章：水田転換ダイズ畑からの一酸化二窒素排出量に対する肥効調節肥料と減肥の影響

第5章では、第3章の水田転換コムギ・ダイズ畑の結果から、N₂O 排出量削減効果が不安定であったコムギ跡ダイズ畑において、肥効調節肥料として硝化過程の N₂O 発生がない被覆硝酸性肥料を活用するとともに、それら肥料の減肥も含めた N₂O 排出量削減効果を 2017 年から 2020 年まで 3 か年評価した。また、収量との関連性についても評価した。

その結果、被覆硝酸性窒素の年間 N₂O 排出量は、調査 1 年目と 2 年目では慣行よりも有意に減少し、3 年目では有意差が認められず、3 か年の削減率は 17~32% となった。また、収量は 3 か年を通して同水準を確保した。一方、被覆尿素の年間 N₂O 排出量は、慣行と有意差が認められなかったが 3 か年ともに減少傾向にあり、削減率は 14~19% となった。これらのことから、N₂O 生成が脱窒過程のみである被覆硝酸性肥料が N₂O 排出削減により有効と考えられた。また、被覆尿素-減肥、被覆硝酸性窒素-減肥の N₂O 排出量は、慣行に対する削減率が 22~37%、24~41% となり、減肥によるさらなる削減傾向が認められた。さらに、肥効調節肥料による収量あたりの N₂O 排出量は調査 3 か年とも減少傾向にあり、減肥に伴いさらに減少した。

以上の結果から、被覆硝酸性肥料と減肥の組み合わせは、水田転換ダイズ畑における“気候変動にも配慮した”最適な土壌管理と位置づけることができた。

第6章：総合考察

本研究により、水田農業において生産性を維持しながら、温室効果ガス排出削減が可能な技術を開発し、その削減効果を定量的に評価できた。

水稲連作からコムギ・ダイズを組み入れた3年4作の田畑輪換を導入することで、水稲連作と同水準の収量を確保しつつ、CH₄ と N₂O に由来する総 CO₂eq 排出量 (Mg CO₂eq ha⁻¹ year⁻¹) を 76%削減できた。また、水稲栽培での中干し期間の延長やコムギ・ダイズ栽培での被覆肥料等の活用を組み合わせることで総 CO₂eq 排出量を 84%削減できた。さらに、N₂O 排出量がコムギ栽培より多いものの削減効果の不安定であるダイズ栽培において被覆硝酸性肥料と減肥の組み合わせを追加導入することで、総 CO₂eq 排出量を 85%削減することができた。

また、土壌からの炭素消耗 (CO₂ 放出) も考慮した温室効果ガスの正味の収支改善効果は、水稲連作では +751 g CO₂eq 量 m⁻² year⁻¹ であったが、田畑輪換の導入により +238 g CO₂eq 量 m⁻² year⁻¹ に削減された。さらに、田畑輪換にダイズ作の被覆硝酸性窒素肥料と減肥も含めた緩和策まで導入することにより +168 g CO₂eq 量 m⁻² year⁻¹ の削減効果 (削減率 78%) が得られると試算された。これらの知見は、モンスーンアジアも含めた水田農業における“気候変動にも配慮した (climate-smart)”取組に対して極めて有用であると結論づけられた。