

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24年6月11日現在

機関番号：82107

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22880041

研究課題名（和文） 高CO₂とイネのソース・シンクバランスが水田からのメタン発生量に与える影響の解明研究課題名（英文） Effects of high CO₂ and source-sink balance of rice on methane emission from paddy field

研究代表者

常田 岳志（TOKIDA TAKESHI）

独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・任期付研究員

研究者番号：20585856

研究成果の概要（和文）：

増加し続ける大気中 CO₂ の上昇は、光合成の促進を通して水田のコメ生産を増加させうる。一方、水田は強力な温室効果ガスであるメタンの発生源でもあり、CO₂ 上昇によってメタン発生量がさらに増加することが危惧されている。本研究では実際の水田において高 CO₂ 条件をシミュレートした圃場で収量とメタン発生量を調査し、大粒系品種はメタン発生量の低減と収量増加を両立させる上で有用な形質を持っていることを示唆した。

研究成果の概要（英文）：

Rising atmospheric CO₂ concentration promotes photosynthesis of rice, which may lead to greater grain production. Meanwhile, high CO₂ may further stimulate emissions of methane, a potent greenhouse gas, from rice paddies. In this study, we measured both rice yield and methane emission from a free-air CO₂-enriched field, and found that greater individual grain size can be a good trait for rice to achieve both greater yield response to high CO₂ and smaller methane emissions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011年度	1,160,000	348,000	1,508,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,420,000	726,000	3,146,000

研究分野：農業環境工学

科研費の分科・細目：農業工学、農業環境工学

キーワード：水田、イネ、メタン、ソース・シンクバランス、高CO₂、気候変動

1. 研究開始当初の背景

水田は世界人口の半数の主食であるコメを提供する重要な食料生産基地であり、増え続ける世界人口を養うために更なる生産量の増加が必要とされている。人間活動がもたらしている急激な大気 CO₂ 濃度の上昇は、光合成を活性化させるといって生産量の増大

に一般に有利に働く。そのためコメ生産の観点からは高 CO₂ による施肥効果を十分に活用・享受できる品種特性を明らかにすることが重要な課題となっている。

一方、水田は強力な温室効果ガスであるメタンの放出源であり、最大で地球全体からのメタン放出量の約 20%を占める（IPCC4 次報

告書)。現在の地球大気に存在するメタンの放射強制力は CO₂ の約 1/3 であるが、間接的な効果（主に対流圏オゾンや成層圏水蒸気の生成）を含めたメタン由来の放射強制力は CO₂ のその 1/2 強に達する (Shindell et al. 2009, Science)。したがって今後も確実視される CO₂ 濃度上昇下でコメ生産を行う際には、CO₂ 施肥効果等を活用した収量増加とメタンフラックスの抑制を両立させ、単位コメ生産量当たりのメタン放出量を低減することが強く求められる。

水田から放出されるメタンの基質の多くは、生育中のイネから根圏に分泌・供給される rhizodeposition と呼ばれる有機物に由来することが分かってきた。さらに、増加し続ける大気 CO₂ 濃度は rhizodeposition の増加を通じてさらにメタン発生量を増大させることが近年明らかになりつつある。これは高 CO₂ がイネの光合成活性を高める一方 (=ソース能向上)、光合成産物の最大の貯留先である子実の容量 (=シンク) には限界があるため、余剰の光合成産物が根圏へ転流されるためと想定される (図 1)。

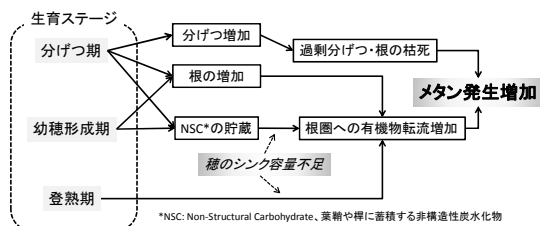


図 1 高 CO₂ 条件下でメタン発生が増加するメカニズム (仮説含む)。高 CO₂ がもたらす成長促進は収量増加に貢献するが、十分な穂のシンクが確保できない場合は、根圏への有機物転流が増加し、メタン発生が増加する。

このように研究開始時点においては、高 CO₂ のインパクトに関しては、コメ収量とメタン発生量の両面における研究が進展し、メタン発生とイネ生育の密接な関係も示されていた。その一方、収量を維持・向上させつつメタン発生を抑制することを目的とした研究は行われておらず、高 CO₂ 条件下で有用なイネの形質に関する知見を得ることが必要とされていた。

2. 研究の目的

そこで本研究は、将来の大気 CO₂ 濃度を想定した開放系大気 CO₂ 濃度増加水田 (FACE 水田) においてコメ生産とメタン発生量を実測し、収量を維持・増加させつつメタン発生を緩和・低減させるイネの形質を明らかにすることを目的とした。具体的にはシンク能力 (子実収量ポテンシャル) の異なる複数の品種・染色体断片置換系統を供試し、イネのソー

ス・シンクバランスと光合成産物の根圏への転流の観点から仮説を設定した。すなわち「ソース強化が見込まれる高 CO₂ 環境に見合ったシンクを確保することにより、光合成産物の転流先を子実により集中させ、根圏への炭素フローとそれに起因するメタン発生を低減させることができる」という仮説を設定した。

3. 研究の方法

茨城県つくばみらい市に設置された、未来の高 CO₂ 環境を模した「開放系大気 CO₂ 濃度増加 (FACE) 水田」(図 2) において、シンク能力の異なる複数の品種 (コシヒカリや大粒系品種など) およびコシヒカリの染色体断片置換系統からのメタン発生量を測定した。それによって「シンク容量の制限によって高 CO₂ によるメタン放出量の大きな増加が生じる」という仮説を検証し、高い CO₂ 施肥効果とメタン発生量の増加抑制の両立を実現する上で有用なイネの形質を明らかにすることを狙った。実験は 2010 年および 2011 年の二カ年に渡って行い、基本的に同一品種・系統を用いた。

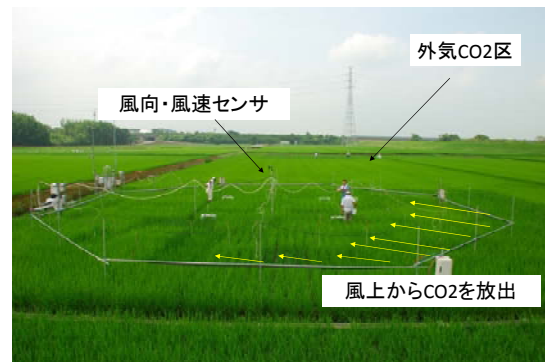


図 2 つくばみらい市の農家圃場に設置された FACE 実験圃場。写真は二番目のブロックのもの。「リング」と呼ばれる 8 角形状の CO₂ 放出チューブのうち風上にあたる部分から純 CO₂ を放出する。CO₂ 濃度は中心部分が外気 CO₂ 区よりも 200 ppm 高くなるようにコントロールした。

高 CO₂ 区は CO₂ 放出チューブを正 8 角形の各辺に配置した内側とし、差し渡し 17 m の大きさとした。風向・風速に応じて CO₂ の放出・位置と強度を制御し、リング中心の CO₂ 濃度が外気区と比べて 200 ppm 高くなるように制御した (図 2)。同一の水田に外気 CO₂ 区と高 CO₂ 区を配置し、4 枚の水田を使って試験を行った。区制は 4 反復分割区法で、主区を CO₂ 濃度、副区が品種・系統とした。

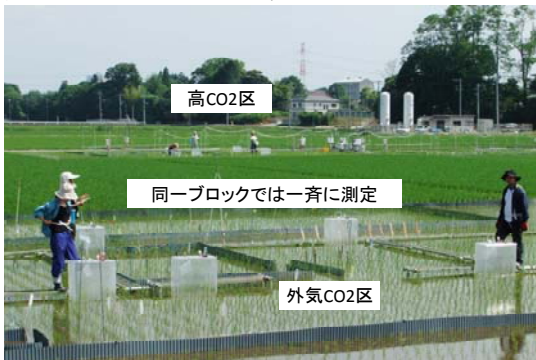
供試品種はコシヒカリをコントロール品種として、大粒系 1 品種、コシヒカリの一種粒数を増加させた 2 つの系統を比較した。一種粒数を増加させた系統は、コシヒカリの染

色体の一部をインディカ品種で置換したものをを用いた。

移植は両年とも 5 月 25 日頃で窒素施肥量は尿素 2 g m^{-2} 、LP100 4 g m^{-2} 、LP140 2 g m^{-2} とした。水管理は移植から収穫前の落水（8 月 20 日頃）まで常時湛水とし、中干しは行わなかった。

メタン放出量は 1-2 週間毎にクローズドチャンバ法で測定した（図 3）。1 つの品種・系統につきイネ 4 株を覆う 1 つのチャンバを用いた。土壌有機物・イネ残渣の不均一性から来る誤差を避けるため、各ブロックのメタン測定株の作土は一旦取り出して均一に混ぜたものを充填しなおした。日変化の影響を防ぐため、同一ブロックにおいては、すべての品種・系統を一斉に放出量を測定した。収量調査には最低 12 株を確保した。

図 3 クローズドチャンバ法によるメタン



フラックスの測定。手前が外気 CO₂ 区で奥が高 CO₂ 区。メタン放出量には大きな日較差があるため、異なる品種・系統および CO₂ 処理区で同時に測定を行った。

4. 研究成果

CO₂ 濃度との交互作用は認められなかったが、メタン発生量は水稻の品種・系統により有意な差があった。二カ年を通して大粒系品種はコシヒカリと比べてメタン発生量が少ない傾向にあった。特に、穂重あたりのメタン発生量は CO₂ 濃度にかかわらずコシヒカリより 25-28% 少なかったことから、大粒系品種はメタン発生量の低減と収量増加を両立させる上で有用な形質を持っていることが示唆された（図 4）。

染色体の一部置換により一穂粒数を増やした系統に関しては、2010 年はコシヒカリよりもメタン発生量が少ない傾向にあり、単位収量あたりのメタン放出量ではその傾向がより顕著となった。しかし 2011 年はそのような傾向は見られず、年次間差が生じた（図 4）。今のところ年次間差要因は不明であり、今後さらなる研究が望まれる。

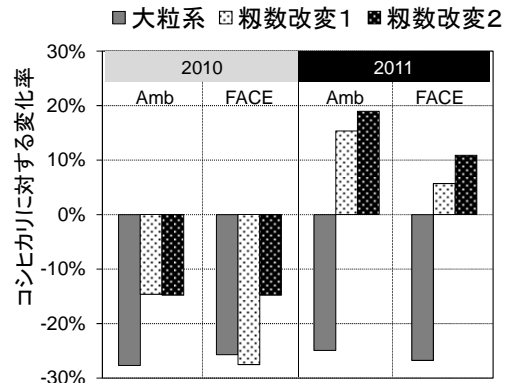


図 4：穂重あたりのメタン放出量。コシヒカリと比べ大粒系品種では年次・CO₂ 処理を問わず 25-28% 低かった。粒数を増加させた改変系統（2 系統）は、2010 年はコシヒカリよりも低かったものの、2011 年はむしろ高くなった。

一方、高 CO₂ がメタン発生量に与える影響は品種・系統を問わず生育初期に +30% 程度と大きく、生育に伴って低下することが観測された（図 5）。本研究のソース・シンクバランス仮説は主に収穫期以降の高 CO₂ 影響に着目したものであったが、今後は、より早い生育ステージにおける高 CO₂ 影響にも注意を払う必要があることがわかった。

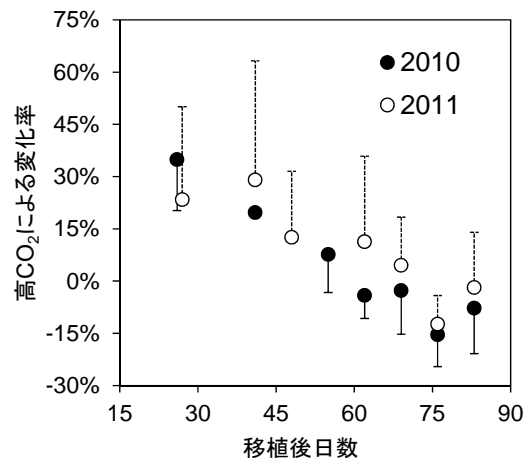


図 5 高 CO₂ によるメタン発生量の経時変化。5 つの副区（品種・系統）の平均値から計算。バーは標準誤差（2010 は n=3、2011 は n=4、見やすさを優先して片側のみ示す）。

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. Tokida, T., Adachi, M., Cheng, W., Nakajima, Y., Fumoto, T., Matsushima, M., Nakamura, H., Okada, M., Sameshima, R., and Hasegawa, T., Methane and soil CO₂ production from current-season photosynthates in a rice paddy exposed to elevated CO₂ concentration and soil temperature. *Global Change Biology*, 17, 2011, 3327-3337. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02475.x. 査読有り.

2. Tokida, T., Fumoto, T., Cheng W., Matsunami, T., Adachi, M., Katayanagi, N., Matsushima, M., Okawara, Y., Nakamura, H., Okada, M., Sameshima, R., and Hasegawa, T. Effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) and soil warming on CH₄ emission from a rice paddy field: Impact assessment and stoichiometric evaluation. *Biogeosciences*, 7, 2010, 2639-2653. DOI: 10.5194/bg-7-2639-2010. 査読有り.

[学会発表] (計2件)

1. 常田岳志、酒井英光、臼井靖浩、氏家 和広、石丸健、中村浩史、長谷川利拓 開放系大気 CO₂ 濃度上昇が一穂粒数を増加させた染色体断片置換イネの収量に与える影響、日本作物学会、2012年3月29日、東京農工大学.

2. 常田岳志、安立美奈子、程 為国、中島泰弘、麓 多門、松島未和、中村浩史、岡田益己、鮫島良次、長谷川利拓 水田から発生するメタンに占める栽培中のイネ由来炭素の重要性—開放系大気 CO₂ 濃度増加実験に伴う炭素安定同位体ラベルの利用—. 土壤肥料学会. 2010年9月9日. 北海道大学.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.niaes.affrc.go.jp/outline/face/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

常田 岳志 (TOKIDA TAKESHI)

独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・任期付研究員

研究者番号：20585856