

水田からのメタンガス発生抑制技術

Suppression of Methane Gas Emission from Paddy Fields

伊藤 公夫*
Kimio ITO

抄 録

メタンガスは炭酸ガスに次いで二番目に地球温暖化に寄与している温室効果ガスである。メタンは土壌や水の酸素がない嫌気性環境に生息している嫌気性微生物のメタン生成古細菌により生成される。地球上のメタン発生量のうち約11%が水田由来である。特に東南アジアをはじめとする温暖な水田の多い地域でメタンガスの発生量が多い。製鋼スラグから溶出する鉄分が土壌の環境を酸化的にすることで、還元的な環境を好むメタン生成古細菌の活動を抑えられる可能性がある。ベトナムの水田で製鋼スラグ施用によるメタンガス発生抑制と収量への効果を調べるための実証試験を行った。製鋼スラグの施用により、17作中12作で収量が上がり、10作中9作でメタンガス発生量の減少がみられた。

Abstract

Methane (CH₄) is the second largest greenhouse gas following to CO₂. Methane is produced by methanogen in anaerobic soil and water. About 11% of methane emission comes from paddy fields. Iron eluted from steelmaking slag has potential to improve soil environment from reductive to oxidized condition to suppress activities of methanogen. We examined effect of steelmaking slag on both methane emission suppression and rice grain yield in the actual paddy fields in Vietnam. Rice grain yield was increased in 12 of 17 crops and methane emission was suppressed in 9 of 10 crops by application of steelmaking slag.

1. 緒 言

2014年3月、米国のオバマ大統領は、温室効果ガスであるメタンガスの削減に今後注力することを表明した¹⁾。地球上で発生するメタンガスのうち約11%は水田土壌由来である²⁾。特に東南アジアの水田から発生するメタンガスの排出量が多い³⁾。鉄鋼スラグによる水田からのメタン発生抑制で先駆的な研究^{4,5)}をすすめてこられた千葉大学 犬伏教授の指導を受けながら、2009年より東南アジアの水田において、製鋼スラグを原料とする肥料を用いたメタン発生抑制の実証試験を実施した。水田からのメタンガスの発生メカニズムと、なぜ製鋼スラグの施用がメタンガス発生抑制に有効であることが期待されるかについて、実証試験の結果も踏まえて紹介する。

1.1 地球温暖化と水田から発生するメタンガス

地球温暖化は今後解決されなければならない喫緊の課題である。温室効果ガスとして二酸化炭素 (CO₂) がよく知

られている。二酸化炭素は生物の酸素呼吸や化石燃料などの有機物の燃焼による酸化によって排出される温室効果ガスであり、地球上では年間約345億トン放出されている⁶⁾。二酸化炭素は地球温暖化に最も寄与すると考えられている温室効果ガスである。二酸化炭素に次いで地球温暖化に寄与すると考えられる温室効果ガスがメタン (CH₄) である。メタンは土壌や水の酸素のない嫌気性環境、あるいは動物の腸内などに棲息する嫌気性微生物のメタン生成古細菌によって生成される。

メタンは地球上で年間5億3千万トン (炭素換算) 放出されている⁷⁾。ただし、メタンガスの地球温暖化係数は二酸化炭素の21倍である。つまり、等モルで比較した場合、メタンは二酸化炭素の21倍、温室効果への寄与が大きいことになる。三番目に地球温暖化への寄与が大きいと考えられている温室効果ガスは亜酸化窒素 (N₂O) である。亜酸化窒素も土壌や水環境、あるいは動物の腸内などに棲息する微生物によって生成される。亜酸化窒素は地球上で年間1600万トン (窒素換算) 放出されている⁸⁾。亜酸化窒

* 先端技術研究所 環境基盤研究部 主幹研究員 工学博士 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

素の地球温暖化係数は二酸化炭素の310倍である。

図1に水田におけるメタンガスの発生メカニズムを示した。メタンを発生するメタン生成古細菌は嫌気性の微生物である。メタン生成古細菌は有機物の分解等で得られる HCO_3^- 、や CH_3COO^- などを電子受容体、 H_2 を電子供与体としてメタン(CH_4)を発生する。水田土壌の嫌気性環境で発生するメタンは土壌表面から大気に直接放出されるものもあるが、多くは稲の通気組織をとおして大気に放出されると考えられている⁷⁾。

アジアを中心に経済活動の活発化が今後見込まれる。アジアの人口約42億人のうち6割の約27億人が米を主食としているといわれている⁸⁾。今後もアジアでは人口の増加が予想されることから、水田の面積も増加することが考えられる。2009年の水田の面積はタイでは1094万ヘクタール、フィリピンでは441万ヘクタール、ベトナムでは742万ヘクタール、インドネシアでは1210万ヘクタールと報告されている⁹⁾。これら温暖な地域ではメタン生成古細菌による水田からのメタン発生も活発に起こっていることが考えられる³⁾。

鉄鋼プロセスから生成する製鋼スラグはけい素やカルシウムなどの肥料有効成分のほかに鉄を含む¹⁰⁾。鉄は土壌中で溶出して空気酸化されることで三価の鉄イオン Fe^{3+} となり、酸化剤として機能することが期待できる。三価の鉄イオン Fe^{3+} は周囲の環境の酸化還元電位を高め、酸素がない嫌気性で酸化還元電位が低い環境を好むメタン生成古細菌

の働きを抑制できる可能性がある。古川と犬伏はポット試験での結果ではあるが、鉄鋼スラグを10～100t/ha施用することにより、水稻栽培土壌からのメタン発生を抑制できることを報告している^{4,5)}。

製鋼スラグを水田に施用することによって、水田からのメタン発生を抑制でき、かつ、スラグに含まれるけい素やカルシウムの作用によって、米の増収と品質を高めることを両立できる可能性がある。このような期待から、東南アジア(ベトナム)において実際の水田に製鋼スラグを施用することによるメタン発生抑制と米収量増加の実証を試みたので、以下に紹介する。

2. 本 論

2.1 試験方法

試験した製鋼スラグ肥料

名古屋製鉄所の溶銑予備処理脱りんスラグを原料とするけい酸肥料を試料として用いた。表1に試験に用いた肥料の組成を示す。なお、肥料の組成の表記には注意する点がある。Ca, Si, Mg, P, Alについては酸化物であるCaO, SiO_2 , MgO, P_2O_5 , Al_2O_3 に換算して含有量(質量%)を表記する慣習がある。ただし、Mn, FeについてはMn, Feそのものの含有量(質量%)で表記する慣習がある。また、CaOを石灰、 SiO_2 をけい酸、MgOを苦土、 P_2O_5 をりん酸と慣習的に呼ぶ。

肥料の組成をみるとわかるように、この肥料は、有効成

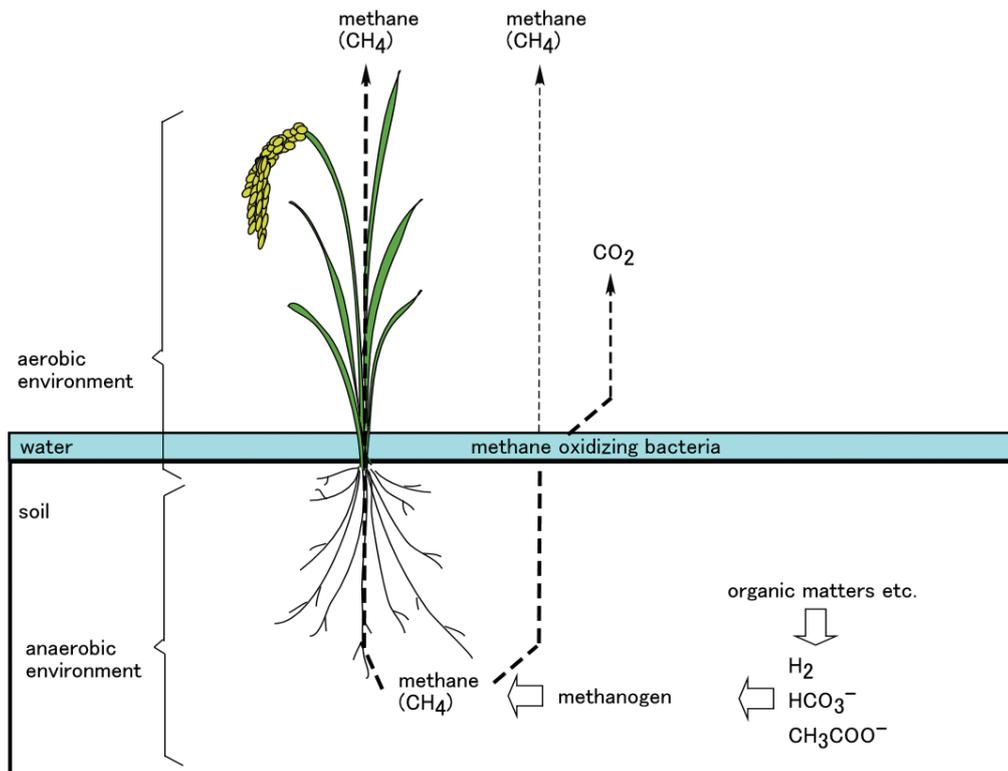


図1 水田土壌でのメタンガス発生メカニズム
Mechanism of methane gas emission from paddy field

分であるけい酸、石灰、苦土、マンガンなどのほかに、鉄を10%程度含んでいる。

試験地域

ベトナムの北部2研究機関、南部2研究機関で試験した。試験を実施した研究機関と試験地を表2および図2に示す。ベトナム北部では4試験地、南部では2試験地で試験した。

試験方法

湛水する前の水田土壌に製鋼スラグを原料とする肥料を通常日本で施用されるのと同程度の量である0.5～2t/haとなるように撒いて、作土と混合した。約2週間後、各地域で栽培されている種類の水稲の苗を植え付けた。NPK(窒素、りん酸、カリウム)肥料については各地域の農家の標準的な施用方法に従った。NPK肥料+製鋼スラグを原料とする肥料を施用した試験区のほか、NPK肥料のみを施用

した試験区を対照区として試験を実施した。田植えから2週間ごとにチャンバー法により稲体をとおして発生するメタンガスを採取し、GC-MSによりメタンガス濃度を分析した(図3)^{4,5,11)}。

2.2 試験結果と考察

ベトナムの6試験地(北部4試験地、南部2試験地)で計17作、水稲の試験を実施した。図4は製鋼スラグを原料とする肥料を無施用の対照区で得られた米の収量を1とした場合の、製鋼スラグを原料とする肥料を施用した試験区の相対的な収量を示す。ベトナム北部では、12作中9作で、南部では5作中3作で製鋼スラグを原料とする肥料の施用による増収効果を示す結果が得られた¹²⁻¹⁴⁾。

図5に水田からのメタンガスの発生量を調べた10作(北部8作、南部2作)について、同一収量あたりのメタン発生量の結果を示した。製鋼スラグを原料とする肥料を無施用の対照区のメタン発生量を1とした場合の、製鋼スラグ

表1 水田に施用した製鋼スラグを原料とする肥料の組成 Compositions of tested fertilizer made of steelmaking slag (%)

CaO	SiO ₂	MgO	Mn	Fe	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃
47	24	4	3	10	2	4

表2 ベトナムでの試験実施機関と試験地 Research institutes and test sites in Vietnam

Research Institutes	Test sites	Soil type
Vietnam Academy of Agricultural Science (VAAS)	Tu Liem (Hanoi)	Fluvisols
	Hiep Hoa (Bac Giang)	Acrisols
Hanoi University of Agriculture (HUA)	Gia Lam (Hanoi)	Eutric fluvisols
	Gia Loc (Hai Duong)	Dystric fluvisols
Institute of Agriculture South Vietnam (IAS)	Go Dau (Tay Ninh)	Acrisols
Can Tho University (CTU)	Vinh Hoa (Soc Trang)	Sand dune regosol

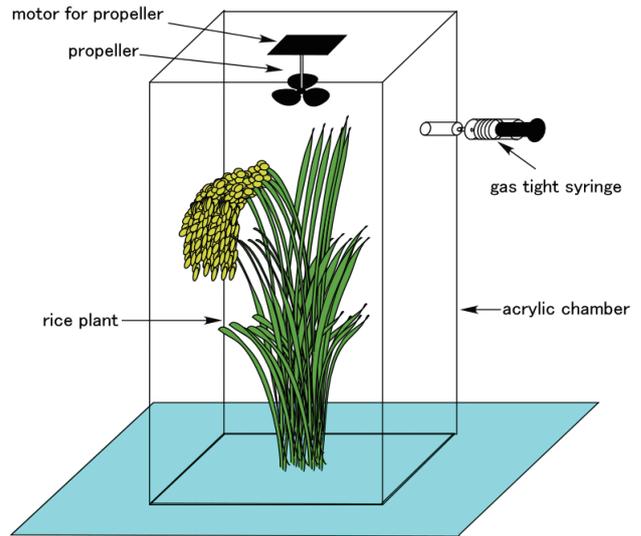


図3 チャンバー法によるメタンガスの採取 Collection of methane gas by closed chamber method



VAAS



IAS



HUA



Can Tho Univ

図2 水田からのメタンガス発生抑制の試験地 (ベトナム) Test sits for suppression of methane emission from paddy fields in Vietnam

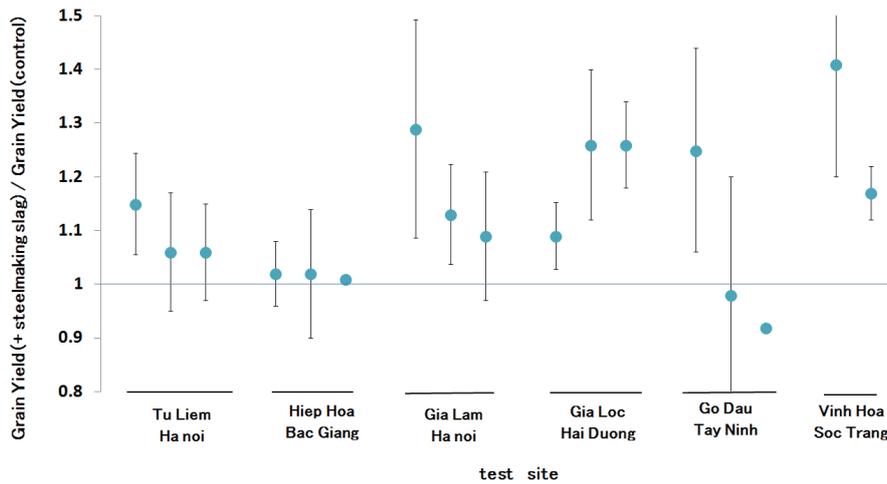


図4 製鋼スラグを原料とする肥料の施用による米収量への影響
Effect of fertilizer made of steelmaking slag on rice grain yield

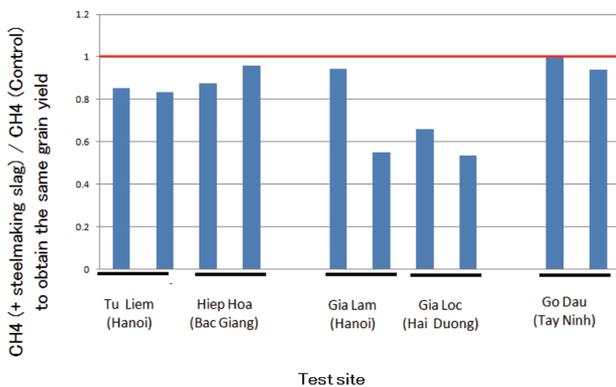


図5 製鋼スラグを原料とする肥料の施用による水田からのメタン発生量への影響
Effect of fertilizer made of steelmaking slag on methane emission from paddies

を原料とする肥料を施用した試験区の相対的なメタン発生量で示した。ベトナム北部では8作すべてで、南部では2作中1作で、製鋼スラグを原料とする肥料の施用により同一収量あたりのメタン発生量が減少したことを示す結果が得られた¹²⁻¹⁴⁾。

図4、図5の結果より、製鋼スラグを原料とする肥料の施用が、米収量の増加とメタンガス発生抑制に有効であることが考えられる。

なお、本試験では製鋼スラグを原料とする肥料として溶銑予備処理脱りんスラグを原料とする肥料を使用した。表1に組成を示したようにけい酸の含有量が24%程度と比較的高いが、鉄の含有量は10%程度である。同じく製鋼スラグを原料とする肥料のうち、転炉スラグを原料とする肥料は、溶銑予備処理脱りんスラグを原料とする肥料より多くの鉄分(20%程度)を含む。

土壌への鉄の供給がメタンガス発生抑制に関わることを考えると、溶銑予備処理脱りんスラグを原料とする肥料よりも転炉スラグを原料とする肥料のほうが鉄分を多く

含むため、より効率的にメタンガス発生を抑制できることが考えられる。SinglaとInubushiは、千葉県九十九里の水田土壌を用いた水稲のポット試験で、溶銑予備処理脱りんスラグを原料とする肥料と転炉スラグを原料とする肥料をそれぞれ施用した場合についてメタンガス発生量を比較し、転炉スラグを原料とする肥料のほうが溶銑予備処理脱りんスラグを原料とする肥料よりもメタンガス発生を抑制できたことを報告している¹⁵⁾。

3. 結 言

ベトナムの水田において、製鋼スラグを原料とする肥料の施用が、メタンガス発生抑制と米収量の増加に有効であることを示す結果が得られた。地球温暖化対策としてのメタンガス排出抑制は、米国の動きをはじめとして今後、ますます重要性を増すものと考えられる。水田からのメタンガス発生量は、地球上のメタンガス発生量の約11%を占めることから、メタンガス発生抑制と米収量の増加を両立できる製鋼スラグを原料とする肥料の東南アジア各国水田での普及がのぞまれる。

なお、本稿で紹介したベトナムにおける水田からのメタンガス発生抑制の試験結果は、新日本製鐵(株)(当時)と千葉大学、住友商事(株)およびベトナムの研究機関(Vietnam Academy of Agricultural Science (VAAS), Hanoi University of Agriculture (HUA), Institute of Agriculture South Vietnam (IAS), Institute of Tropical Biology (ITB), Can Tho University (CTU))が実施した共同研究“水田における製鋼スラグによるメタンガスの発生抑制及び肥料効果の検証”(2009年～2011年)の成果によるものである。

参考文献

- 1) White House Statement & Release Fact Sheet: Climate Action Plan – Strategy to cut Methane Emissions. 28 March, 2014
- 2) 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

- 3) JAXA, 国立環境研究所, 環境省プレスリリース: “いぶき” (GOSAT) の観測データを用いた全球の月別メタン収支の推定結果について. 2014年3月27日
- 4) Furukawa, Y., Inubushi, K.: *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 64, 193-201 (2002)
- 5) Furukawa, Y., Inubushi, K.: *Soil Sci. Plant Nutr.* 50, 1029-1036 (2004)
- 6) オランダ環境評価庁 (Netherlands Environmental Assessment Agency, NEDA) 報告書. 2013年10月
- 7) 八木一行: 農耕地からの温室効果ガス発生削減の可能性. シリーズ 21 世紀の農学 地球温暖化問題への農学の挑戦 (日本農学会編). 養賢堂, p. 127-148
- 8) 田淵俊雄: 世界の水田 日本の水田. 農山漁村文化協会, 1999
- 9) 農林水産省 海外需給レポート 米. 2012年5月
- 10) 鉄鋼スラグ協会ホームページ: 鉄鋼スラグの化学特性
<http://www.slg.jp/slag/character.html>
- 11) Amkha, S., Sakamoto, A., Tachibana, M., Inubushi, K.: *Soil Sci Plant Nutr.* 55, 772-777 (2009)
- 12) Ito, K., Endoh, K., Inubushi, K., Thanh, N.H., Ha, T.T., Ha, P.Q., Thang, V., Cong, P.T., Quynh, N.T., Tinh, T.K.: 土壤肥料学会講演要旨集. 2011
- 13) Inubushi, K., Saito, H., Arai, H., Shimada, S., Ito, K., Endoh, K., Iswandi, A., Amkha, S., Chidthaisong, A., Thanh, N.H., Ha, T.T., Ha, P.Q., Thang, V., Cong, P.T., Quynh, P.T., Tinh, T.K.: *Proceedings of 10th Conference. East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies*, 2011
- 14) Thanh, N.H., Ha, T.T., Hung, N.D., Endoh, K., Ito, K., Inubushi, K.: *Science and Technology Journal of Agriculture & Rural Development (Ministry of Agriculture & Rural Development, Vietnam)*. 1, 51-58 (2013)
- 15) Singla, A., Inubushi, K.: *Paddy Water Environ.* DOI 10.1007/s10333-013-0405-z (2013)



伊藤公夫 Kimio ITO
 先端技術研究所 環境基盤研究部
 主幹研究員 工学博士
 千葉県富津市新富20-1 〒293-8511