

農地土壌から排出される温室効果ガスについて

資源保全チーム

はじめに

IPCC第5次報告書には、「気候システムの温暖化には疑う余地がなく、また1950年代以降、観測された変化の多くは数十年から数千年にわたり前例のないものである。大気と海洋は温暖化し、雪氷の量は減少し、温室効果ガス濃度は増加している。」と記されています¹⁾。また、同報告書内では人為起源の温室効果ガスの増加が温暖化の原因であるとされています。

人為起源の温室効果ガス排出のうち、農林業分野は24%と約1/4を占めています²⁾ (図-1)。一方で、温暖化は水稲の高温障害や果実の着色不良、病害虫の多発等、農林業への悪影響が大きい可能性があります³⁾。持続可能な農業生産のために、農業分野でも地球温暖化対策を講じる必要があります。近年、農業分野の地球温暖化対策の一つとして土壌管理が注目されています⁴⁾。本稿では農地土壌から排出される温室効果ガスについてQ&A形式で紹介するとともに、資源保全チームの関連研究についても触れます。

Q 1：農地土壌から排出される温室効果ガスには、どのようなものがありますか？また、それらはどの程度排出されていますか？

A 1：主に二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、一酸化二窒素 (N₂O) の3つが挙げられます。これらのガスは単位体積当たりの温室効果が異なるため、CO₂の何倍の温室効果を持つかを表す地球温暖化係数 (GWP) を用いてCO₂換算を行なった後に比較されます。IPCC第5次報告書で公表されているGWPの値は、CO₂、CH₄、N₂Oがそれぞれ1、28、265です (表-1)⁵⁾。図-2に統計データ⁶⁾より算出された、2018年度における日本の農地土壌由来の温室効果ガス排出量 (CO₂換算) を示します。温室効果ガス排出量はCH₄が3種のなかで1番多く約13600kt_{CO2}、次いでN₂Oが約5400kt_{CO2}、CO₂が約3200kt_{CO2}です。詳細は後述しますが、水田はCH₄が発生しやすい環境にあります。そのため、稲作が盛んな日本ではCH₄排出量が1番大きくなったと考えられます。

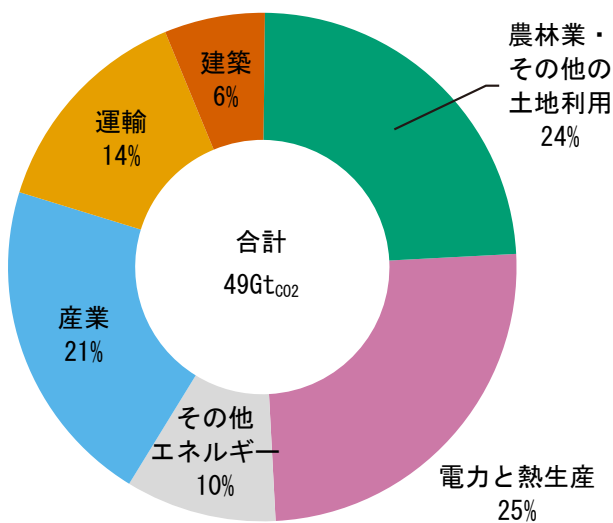


図-1 経済部門別の人為起源の温室効果ガス排出量 (参考文献2より筆者が作図)

表-1 ガス別GWP一覧

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
GWP	1	28	265

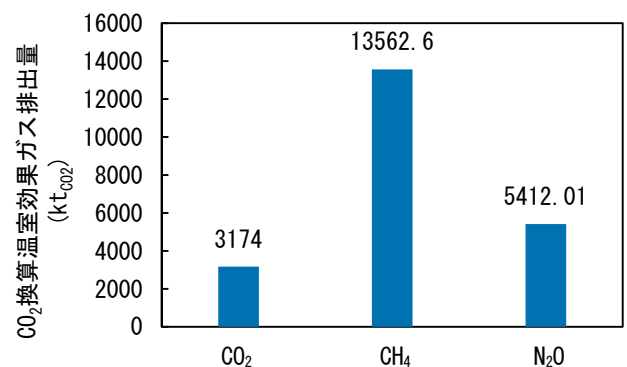


図-2 2018年度における日本の農地土壌由来の温室効果ガス排出量 (参考文献6のデータを基に筆者が作図)

Q 2 : なぜ農地土壌からCO₂、CH₄、N₂Oが排出されるのでしょうか？

A 2 : CO₂とCH₄は土壌中に存在する有機態の炭素(C)が土壌微生物の作用によって分解されることで発生します。CO₂は畑のような土中に酸素が供給される酸化条件下で発生しやすく(図-3左)、CH₄は水田のような酸素が供給されない還元条件下で発生しやすいです(図-3右)。CO₂やCH₄の基となる有機態Cは、有機肥料や作物残渣によって土壌に供給されます。

N₂Oは、土壌中に存在するアンモニア態窒素(NH₄⁺)が硝酸態窒素(NO₃⁻)に変化する硝化と、NO₃⁻が窒素ガス(N₂)に変化する脱窒の途中で発生します(図-4)。N₂Oの基となる無機態Nは有機態Nの無機化や化学肥料によって土壌に供給されています。土中で発生したこれらの温室効果ガスは、土壌や植物を介して大気へと放出されます。

温室効果ガス排出量は、微生物活性や投入した有機物や肥料の量によって変化します。微生物活性は気象条件による土壌水分量や地温の変化、酸素濃度などに影響を受けます。たとえば、気温が高いと地温も上昇して微生物の活動が活発になります。そのため、冬よりも夏の方が温室効果ガス排出量は大きくなる傾向にあります。また、投入した有機物や肥料の量が多い場合にも、温室効果ガス排出量が大きくなります。

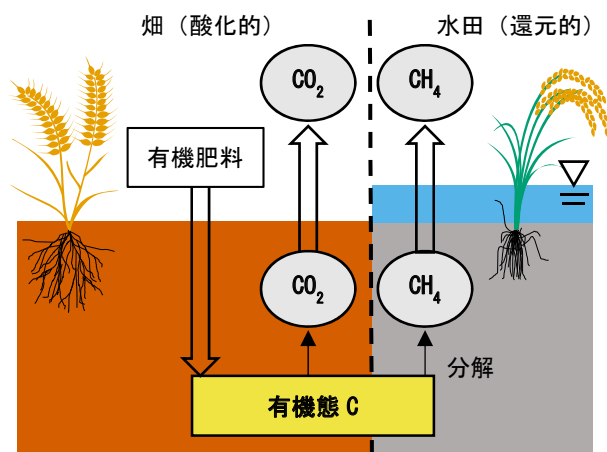


図-3 農地土壌からのCO₂、CH₄排出過程の模式図

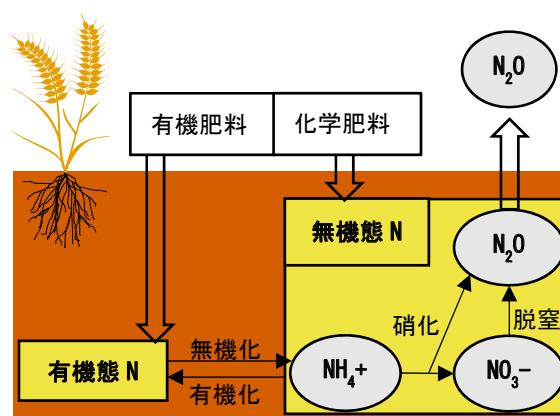


図-4 農地土壌からのN₂O排出過程

Q 3 : 農地土壌からの温室効果ガス排出量を抑制するためには、どうすればいいのでしょうか？

A 3 : 温室効果ガス排出量を抑制するための対策として、①「直接排出量削減」と②「農地土壌の炭素貯留」が挙げられます。

まず、①「直接排出量の削減」に関する技術を紹介します。稲の生長期中に水田の水を抜いて土壌中に酸素を供給させる⁷⁾中干しは、CH₄の発生量抑制に有効です。さらに、中干し期間を慣行(10日程度)より1週間程度延長させることで、CH₄の発生量を約30%削減できることが研究により示され⁸⁾、技術として確立しています⁹⁾。収穫後の刈り株や稲わらを、秋のうちに土壌へすき込んだり、発酵させて堆肥にしたりして、水稻の苗を田に植える翌春までに分解を進めることもCH₄排出を抑制出来ます¹⁰⁾。また施肥量の適正化は、N₂Oの排出抑制対策として挙げられています⁴⁾。作物に吸収されない過剰な窒素肥料はN₂Oになるため地球温暖化の原因になり得ます。水田におけるN₂O排出の

抑制には、施肥管理よりも適切な水管理(中干しを行わず常時湛水を保つ)が重要であるとの報告¹¹⁾もあります。農地土壌における温室効果ガス排出には、CH₄が減少してもN₂Oの排出が増加する¹²⁾等、トレードオフの関係があります。そのため、1つのガスに注目するのではなく、総合的な温室効果を最小化することが重要であるといえます。

次に、②「農地土壌の炭素貯留」について紹介します。土壌に稲わらや家畜排せつ物などの有機物を投入すると、有機物の炭素は分解されCO₂やCH₄となり大気へと排出されますが、一部は腐植物質と呼ばれる安定な有機物へと変換されます。炭素換算で考えた有機物の投入量が排出量より大きくなる時、大気中のCO₂が減少したと考えることが出来ます。また土壌のかく乱を最小限にする不耕起栽培や省耕起栽培も、農地土壌の炭素貯留手法として期待されています。不耕起栽培では土を耕さないため、有機物の分解を抑制することが出来ます¹³⁾。ただし、高温多湿である日本では、不耕起栽培によって雑草が生えやすくなる場合があるため

注意が必要です。また、十勝地域における黒ボク土の圃場では、4年間の省耕起栽培を行った場合に、明らかな炭素貯留の変化は見られなかったという報告もあります¹⁴⁾。不耕起・省耕起栽培が農地土壌への炭素貯留を促進するかについては、さらなる検討が必要であると考えられます。

Q 4：資源保全チームでは、温室効果ガスの排出についてどのような研究を行っているのですか？

A 4：当チームでは、「国営農地再編整備事業」で導入された地下水水位制御システム（図-5）が整備された農地を対象として、温室効果ガス排出の評価を行っています。新しい栽培技術である地下かんがいの利用が、農地土壌からの温室効果ガス排出に与える影響を調べることを目的としています。

水稲移植圃場で登熟期後半に地下かんがいを実施し、水稲への水分供給と地耐力および温室効果ガス排出への影響を調査しました¹⁵⁾。8月中旬から下旬に地下水水位を15cm程度に維持することで、登熟期の水稲への水分供給と収穫期に必要な地耐力の確保が両立できることを確認しました。しかし、登熟期における地下かんがいはメタン排出量を増大させる傾向があることが分かりました。

また、泥炭を基盤とする圃場における下層の泥炭土を用いた室内試験で、土の水分量が温室効果ガス排出量に与える影響を調べました¹⁶⁾。その結果、土が飽和状態だと総合的な温室効果が最小になりました。このことから、地下水水位制御システムを用いて下層の泥炭土の飽和状態を保つことは、農地土壌からの温室効果ガス排出量の最小化に有効である可能性が示唆されました。

当チームでは今後も現地調査や室内実験を引き続き行い、営農に支障の無い範囲で、農地土壌からの温室効果ガス排出量を最小化する地下水水位制御システムの運転方法について検討を進めていきます。

（文責：奥田 涼太）

参考文献

1) 気象庁：気候変動に関する政府間パネル 第5次評価報告書 第1作業部会報告書 気候変動2013 - 自然科学的根拠、2013. http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_spm_jpn.pdf (2020年11月19日確認)

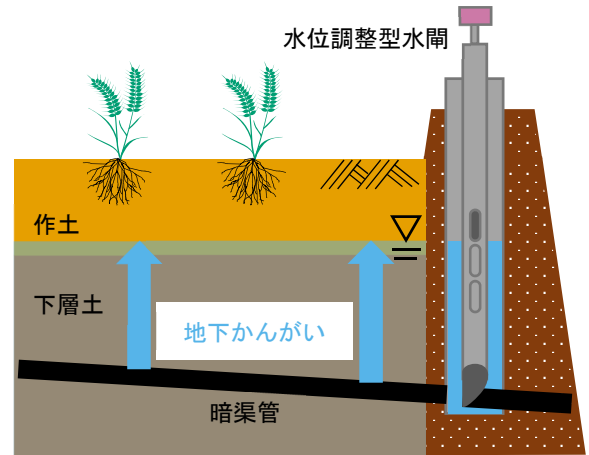


図-5 地下水水位制御システムの概要

（図は集中管理孔方式の地下水水位制御システム。任意の地下水水位を一定に保つことが出来る。）

2) 経済産業省：気候変動に関する政府間パネル 第5次報告書 第3作業部会報告書 気候変動2014 - 気候変動の緩和、2014. http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th_pdf/ipcc_5th_report_wg3.pdf (2020年11月19日確認)

3) 農林水産省：農林水産省地球温暖化対策総合戦略、2008. https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/s_ondanka/pdf/all.pdf (2020年11月19日確認)

4) 農林水産省：農林水産省地球温暖化対策計画、2017. https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/s_ondanka/attach/pdf/senryaku-2.pdf (2020年12月7日確認)

5) IPCC: Fifth Assessment Report - Climate Change 2013, 2013. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf (accessed 2020.12.07)

6) 国立環境研究所：日本国温室効果ガスインベントリ報告書、2020. http://www.gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/2020/NIR-JPN-2020-v3.0_J-GIOweb.pdf (2020年12月7日確認)

7) 農業農村工学会：農業農村工学標準用語辞典 改訂6版、2019.

8) 農業環境技術研究所：平成21年度水田土壌由来温室効果ガス計測・抑制技術実証普及事業報告書、2010.

9) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構：水田メタン発生抑制のための新たな水管理技術マニュアル、2012. http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/methane_manual

pdf (2020年12月7日確認)

- 10) 篠田正彦、八槨敦、安西徹郎：水田から発生するメタンの現況とその抑制対策、千葉農試研報、40、pp.55-64、1999.
- 11) Kritee, K., Nair, D., Zavala-Arazia, D., Proville, J., Adhya, T.K., Loecke, T., Esteves, T., Balireddygari, S., Dava, O., Ram K., S. R. A., Madasamy, M., Dokka, R.V., Anadraj, D., Athiyaman, D., Reddy M., Ahuja, R. and Hamburg, S. P.: High nitrous oxide fluxes from rice indicate the need to manage water for both long - and short - term climate impacts, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, Vol.115, No.39, pp.9720-9725, 2018.
- 12) Kritee, K., Rudek, J., Hamburg, S.P., Adhya, T.K., Loecke, T. and Ahuja R.: Nitrous oxide emissions from rice and their mitigation potential depend on the nature of intermittent flooding, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, Vol.115, No.48, pp.E11206-E11207, 2018.
- 13) Dick, W.A.: Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol.47, No.1, pp.102-107, 1983.
- 14) Koga, N.: Tillage, fertilizer type, and plant residue input impacts on soil carbon sequestration rates on a Japanese Andisol, *Soil Sci. Plant Nutr.*, Vol.63, No.4, pp.396-404, 2017.
- 15) 清水真理子、長竹新、横川仁伸：泥炭地大区画水田における水稻登熟期の地下灌漑操作が温室効果ガス排出に与える影響、寒地土木研究所月報、812、pp.10-13、2020.
- 16) 奥田涼太、長竹新、清水真理子、横川仁伸：異なる温度・水分条件下で培養した泥炭土からの温室効果ガス排出速度、2020年度土壤物理学大会講演要旨集、pp.33-34、2020.