

農地における温室効果ガスの発生量推定と発生削減技術

秋山博子*

〔キーワード〕：一酸化二窒素，メタン， N_2O ， CH_4 ，
温室効果ガスインベントリ

1. 農地土壌と温室効果ガス

主要な温室効果ガスには、二酸化炭素(CO_2)、メタン(CH_4)および一酸化二窒素(N_2O)がある。 CO_2 の主な発生源は化石燃料であるが、土地利用の変化(森林の減少等)も重要な発生源となっている。農地土壌は、土壌炭素蓄積量の増加により CO_2 の吸収源となる可能性がある一方で、 CH_4 および N_2O の排出源ともなっている。 CH_4 は CO_2 の 27 倍の温室効果をもつ温室効果ガスであり、世界の人為的 CH_4 発生量の約 1 割は水田が発生源となっている。また N_2O は CO_2 の 273 倍の温室効果をもつ温室効果ガスであり、またオゾン層の破壊の原因物質でもある。世界の人為的 N_2O 発生量の約半分を農業が占めており、農業は最大の人為的発生源となっている。

2. 水田から発生する CH_4 とその削減

水田土壌のような嫌氣的(酸素がない)条件では、メタン生成古細菌が稲わらや根からの分泌物などの有機物を分解して CH_4 が生成される。生成された CH_4 の一部はメタン酸化菌によって酸化され、一部は大気中に放出される。水田土壌の表面には酸化的な層があり、 CH_4 酸化が行われている。また、イネの根には地上部から根へ酸素を送るための通気組織がある。このため、イネの根の表面も酸化的であり、 CH_4 酸化が行われている。

メタン生成は嫌気条件でおこるため、湛水期間を短縮して水田を酸化的に経過させる期間が長くなれば、 CH_4 排出量を削減できる。日本の多くの地域で昔から慣行的に行われている「中干し」は田植えから約 1 か月後に一時的に湛水を中断する作業であり、中干しによるコメの増収効果が認められている。中干し期間は 1~2 週間程度が一般的だ

が、中干し期間を地域の慣行よりも約 1 週間延長すると、 CH_4 排出量を平均で 3 割程度削減できることが明らかになっている(Itoh et al., 2011)。この技術は「長期中干し」「中干し期間の延長」として普及が進んでいる。また、稲わらを春にすき込むと湛水によって還元的分解されて CH_4 が生成するが、秋にすき込むと冬の間に稲わらの好氣的分解が進むため、 CH_4 の排出量を平均で 5 割程度削減できることが明らかになっている(Kajiura et al., 2018)。

3. 農地から発生する N_2O とその削減

工業的窒素固定(ハーバーボッシュ法)が 1910 年代に工業化され、化学窒素肥料は農業生産の飛躍的な増大をもたらしたが、同時に窒素循環に大きな影響を及ぼしてきた。現在では、工業的窒素固定により人為的に固定された窒素量は自然固定窒素量に匹敵し、地球規模での窒素循環量は、工業的窒素固定が発明される以前の約 2 倍になったと考えられている。人為的に固定された大量の窒素は、水質汚染や大気中の N_2O 濃度の増大といったさまざまな環境問題を引き起こしている。

農耕地において、 N_2O は主に化学肥料および有機肥料の施用により発生している。化学肥料の使用量の 9 割以上はアンモニア態および尿素が占めている。尿素は土壌に施用された後、速やか加水分解されてアンモニウムイオン(NH_4^+)となる。土壌に供給された NH_4^+ は好氣的条件において微生物の働きにより硝酸イオン(NO_3^-)となり(硝化)、 NO_3^- はさらに嫌氣的条件において窒素ガス(N_2)へと変換される(脱窒)。この硝化と脱窒の両方の過程において N_2O が生成している。農地からの N_2O 発生削減のためにはまずは窒素施肥量の適正化が重要であるが、農業生産において窒素肥料は不可欠であり、人口増大に伴い農業生産および肥料生産も増加すると予測されており、世界全体の窒素施肥量の削減は容易ではないと考えられる。一方、

これまでの研究により、硝化抑制剤入り肥料および被覆肥料により、慣行の肥料と比較して N_2O 発生量を平均で 3 割程度削減可能であることが明らかになっている (Akiyama et al., 2010). 硝化抑制剤入り肥料とは、アンモニア態の肥料に硝化抑制剤を添加した肥料であり、また、被覆肥料とは肥料成分を樹脂などでコーティングすることにより肥料成分がゆっくりと溶出する肥料であり、いずれもすでに市販されている肥料である。

4. 温室効果ガスインベントリ

気候変動枠組条約 (UNFCCC ; United Nations Framework Convention on Climate Change) に基づき、日本を含む加盟国は国別の温室効果ガス排出・吸収目録 (インベントリ) を報告する必要がある。このインベントリの作成に際しては気候変動に関する政府間パネル (IPCC ; Intergovernmental Panel on Climate Change) のガイドラインに従って算出することとなっている。

2006 年版 IPCC ガイドラインが発行されてから 10 年以上が経過し、研究の進捗を反映したより正確な温室効果ガスインベントリ算定のため、2019 年版改良 IPCC ガイドラインが発行された。筆者は本ガイドラインの執筆者の一人として、世界の水田における CH_4 排出量算定法 (Wang et al., 2018) および N_2O 排出係数 (Akiyama et al., 2006)、草地における放牧家畜排泄物から発生する N_2O 排出係数 (Cai and Akiyama, 2016) および窒素の流亡に伴う間接 N_2O 発生排出係数 (農地由来窒素の硝酸流亡により地下水および河川に流出した硝酸から発生する N_2O ; Tian et al., 2019) についてデフォルトの算定法ならびに排出係数を提示した。

一方、IPCC ガイドラインにおいては、各排出源の算出方法についてデータの入手可能度からいくつかの段階 (Tier) が設定されており、各国の状況に応じて算出方法を選べるようになっている。すなわち、データがない、または、充分でない場合には、IPCC がデフォルト値として定めた排出係数を用いて排出量を算出できる (Tier 1)。また各国の状況に応じた独自のデータに基づいた算出方法がある場合には、十分な説明を加えて報告すること (Tier 2 または 3) が推奨されている。例えば、化学肥料の施用による N_2O の排出係数は、IPCC のデ

フォルト値では施用窒素量の 1% とされている。しかし、国により気候、作物、圃場管理の方法などが異なることから、各国の状況に応じた測定データをもとに排出係数を算出することが望ましいといえる。

日本温室効果ガスインベントリ報告書 (環境省, 2024) の農業分野の算定においては、可能な限り日本の気候や土壌の状況を反映した算定を行っている。筆者らは窒素施用からの N_2O 排出係数 (Akiyama et al., 2006) および硝化抑制剤による N_2O 削減係数を算定 (Akiyama et al., 2010) している。また、日本の農耕地における有機物施用からの N_2O 排出係数を算定している (Akiyama et al., 2023)。

5. おわりに

2020 年には、「長期中干し」が農林水産省環境保全型農業直接支払い交付金の全国共通取組に採用され、さらに 2023 年には「中干し期間の延長」が J-クレジット方法論に採用されるなど、農業分野における温室効果ガスの削減の取り組みが進んでいる。そのほかにも多くの温室効果ガス削減の可能性のある技術が研究されており、将来的に農業分野からの温室効果ガスの削減が進んでいくことが期待される。

引用文献

- Akiyama, H., Sano, T., Nishina, K., Sudo, S., Oura, N., Fujimori, M., Uezono, I., Yano, S., Ohkoshi, S., Fujita, Y., Shiratori, Y., Tsuji, M., Hasukawa, H., Suzue, Y., Yamada, Y., Mizukami, H., Matsumoto, T., and Yagi, K. 2023. N_2O emission factors for organic amendments in Japan from measurement campaign and systematic review. *Sci. Total Environ.*, 864, 161088.
- Akiyama, H., Yan, X., and Yagi, K. 2006. Estimations of emission factors for fertilizer-induced direct N_2O emissions from agricultural soils in Japan: Summary of available data. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52, 774-787.
- Akiyama, H., Yan, X., and Yagi, K. 2010. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N_2O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Glob. Change Biol.*, 16, 1837-1846.
- Cai, Y., and Akiyama, H. 2016. Nitrogen loss factors of nitrogen trace gas emissions and leaching from excreta patches in grassland ecosystems: A summary of available data. *Sci. Total Environ.*, 572, 185-195.
- Itoh, M., Sudo, S., Mori, S., Saito, H., Yoshida, T., Shiratori, Y., Suga, S., Yoshikawa, N., Suzue, Y., Mizukami, H., Mochida, T., Yagi, K. 2011. Mitigation of methane

- emissions from paddy fields by prolonging midseason drainage, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141(3-4) 359-372.
- Kajiura M., Minamikawa K., Tokida T., Shirato Y., Wagai R. 2018. Methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in Japan: An assessment of controlling factor using an intensive regional data set, *Agriculture Ecosystems & Environment*, 252 51-60.
- Tian, L., Cai, Y., and Akiyama, H. 2019. A review of indirect N₂O emission factors from agricultural nitrogen leaching and runoff to update of the default IPCC values. *Environ. Pollut.*, 245, 300-306.
- Wang J., Akiyama H., Yagi K., Yan X. 2018. Controlling variables and emission factors of methane from global rice fields, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(14) 10419-10431.