

世界と協力して温暖化防止に貢献 「農業由来の温室効果ガス削減技術」

研究コーディネータ 八木 一行

1. はじめに

急激な人間活動の拡大は地球規模での物質循環に影響を与え、大気組成を変化させている。この問題に対し、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の最新の評価報告書は、「我々を取り巻く気候システムの温暖化は決定的に明確であり、人類の活動が直接的に関与している」ことを明示し、あらゆる場面で温室効果ガスの排出を削減する緩和策を実行し、地球温暖化の動きを遅らせ、さらには逆転させることの必要性を強く認識させている¹⁾。

農業生産活動もその例外ではなく、農地からも主として土壤中の微生物活動に起因する温室効果ガス (CO_2 、 CH_4 、 N_2O) が排出される (図1)。全球における農業分野からの温室効果ガス排出量は二酸化炭素換算量で年間 51-61 億トンと見積もられており、人為起源の 13.5% を占めている。このうち、最大の温室効果ガスである CO_2 については、農耕地における発生と吸収の収支は全球でほぼバランスしていると考えられている。しかし、水田や家畜から発生する CH_4 と、農耕地への窒素施肥や家畜排泄物からの N_2O について、農業生態系は、それぞれ、人為起源発生量の半分以上を占めており、重要な排出源となっている。これらに加えて、別に算定されている森林からの温室効果ガス排出 (58 億トン) は、主として、森林から農地への土地利用変化を原因とするものであることから、農業の影響は森林分野にも及んでいると言える。これらを合計すると、農業の関与する温室効果ガス排出量は全人為排出量の約 1/3 を占めることになり、地球温暖化に対する農業の影響はきわめて大きいことが言える¹⁾。

一方、農地管理の改良や家畜の飼料と排泄物管理の工夫により、温室効果ガス排出量を

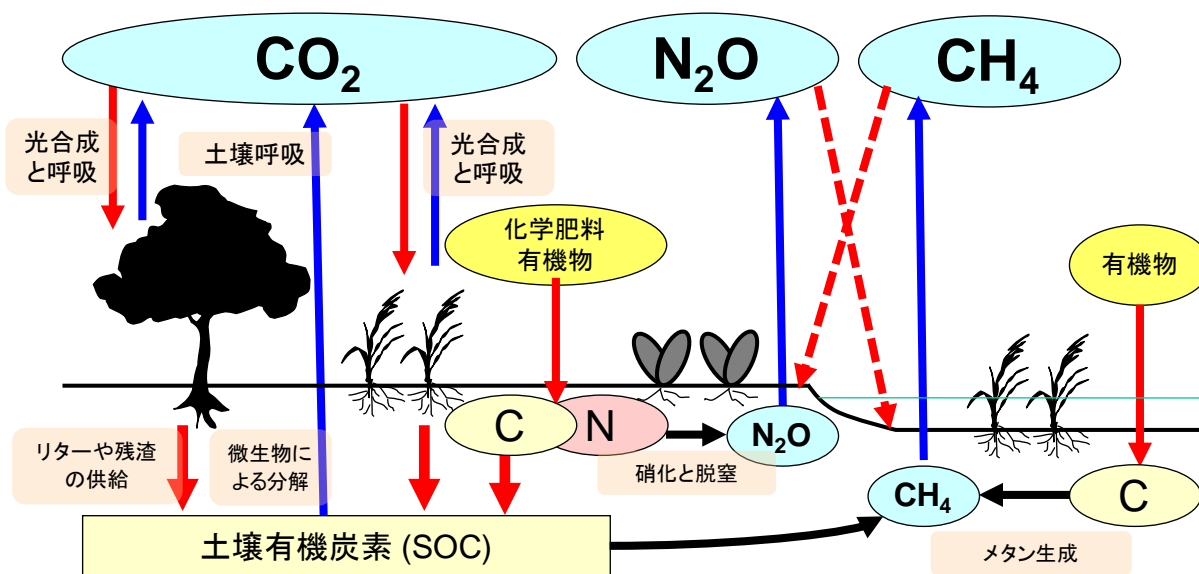


図1. 農業生態系（農地）における温室効果ガスの発生と吸収

大きく削減できる可能性がある²⁾。実際、これまでの研究により農地からの CH_4 および N_2O 発生削減技術の候補は多数提案され、多くについて現地試験等から削減効果が確認されている。加えて、農地への有機物投入量の増加や耕耘強度の低減により、農地土壌の炭素貯留量を増加する、すなわち、農地を大気 CO_2 の吸収源に変えることが可能である。これらの技術を活用し、農地からの温室効果ガス排出量を大幅に減少させ、地球温暖化の緩和に寄与する方策を実行することが求められている。

2. 農地における温室効果ガス排出削減技術

(1) 水田からのメタン(CH_4)発生削減

水田からの CH_4 発生削減方策として、中干しや間断灌漑による水管理、稲わらの堆肥化や非湛水期間での分解を促進する有機物管理、肥料または資材の使用、土壌改良など、候補となる技術が数多く提案されている。特に、水管理については、中干し期間を長くして水田土壌をより酸化的事業することによりメタン生成菌の活動を抑制し、水田からの CH_4 発生削減に効果のあることが明らかにされている(図2)。全国9か所で行われた試験では、中干しの前倒し・延長により、慣行に比べて CH_4 発生量を平均30%程度削減できることが示された³⁾。水田の排水にともなって発生する N_2O は無視できるほど小さかったことから、日本の主要水田における温室効果ガス発生の削減に対して、この技術が効果的であることが明らかになった。中干しの強化により、慣行水管理区に比べて精玄米収量が平均4%低下する傾向がみられたが、同時に登熟歩合の向上や蛋白含量の減少など品質の向上が確認された。

同様の水管理による水田からの CH_4 発生削減効果はインドネシアの水田でも確認されている⁴⁾。また、中国の水稲・小麦二毛作田では、小麦わらが直後の水稲作においてきわめて多量の CH_4 発生を生じる原因となっているが、これを水稲栽培期間に土壌表面に適切に設置することにより有効な発生削減技術となることを明らかにした⁵⁾。

このような日本と他のアジア諸国での現地実証試験とともに、統計モデルやプロセスモデルを用いた広域の CH_4 発生量とその削減ポテンシャル評価が進められている。世界の CH_4 発生量実測値データベースの解析からは、統計モデルを用いた発生量算定方法が提案され、2006年版 IPCC ガイドラインにおける世界各国でのインベントリ算定の基礎となっている⁶⁾。この方法で見積もられた2000年における一年間の水田からの CH_4 発生量は全世界で 25.6Tg (2560万トン) であり、常時湛水の灌漑水田への間断灌漑の導入、および稲わらすき込み時期の改善により、それぞれ、年間 4.1Tg (410万トン：二酸化炭素換算量で 1.0億トン) の削減ポテンシャルのあることが推定された⁷⁾。

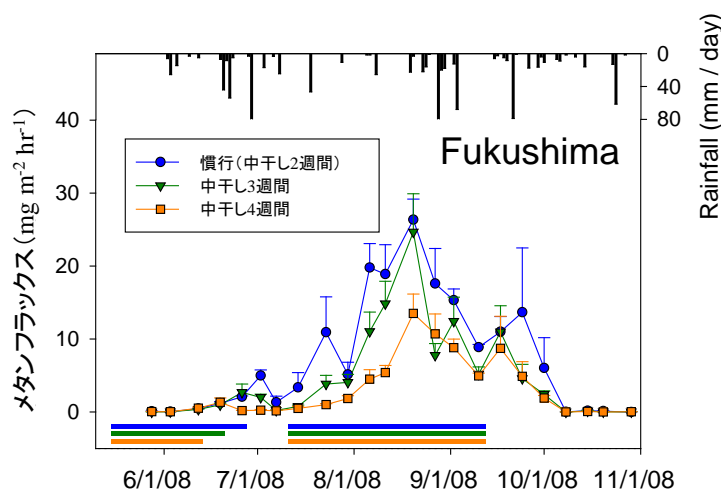


図2. 中干しの強化による水田からのメタン発生削減. 図中の横線は湛水期間を示す

(2) 施肥窒素による一酸化二窒素(N₂O)発生削減

化学肥料や有機物資材として農地に投入された窒素は、土壤中で微生物による硝化・脱窒を受ける過程で副産物として N₂O を生成し、大気へ放出される。その発生を削減する技術として、硝化反応を阻害する硝化抑制剤の有効性が明らかにされた。硝化抑制剤には、DCD (dicyandiamide)、AM (2-amino-4-chloro-6-methyl pyrimidine) など、さまざまな化合物があるが、これらは、もともと、硝化とそれにより生成された硝酸態窒素の損失を軽減し、作物の窒素利用効率向上のために使用されてきた農業資材である。

黒ボク土のニンジン畑圃場における試験では、硝化抑制剤入り肥料を施用することにより、速効性肥料で見られる施肥直後の多量の N₂O 発生を抑制し、その後の発生も低くできることから、大きな N₂O 発生削減効果のあることが示された。同様の結果は、中国東北地域のトウモロコシ畑での試験においても確認されている⁸⁾。

このような世界各地で測定された硝化抑制剤入り肥料による N₂O 発生削減のデータを集約し、統計解析を行うことにより、平均的な削減効果の評価を行った。その結果、硝化抑制剤入り肥料の平均的な削減率は慣行肥料の-38%であり、様々な環境の圃場試験においても比較的安定した削減効果がみられることが明らかになった⁹⁾。

(3) 二酸化炭素(CO₂)発生削減と土壤炭素蓄積

農地土壤に炭素を蓄積する、すなわち、農地を大気 CO₂ の吸収源に変える方法のひとつは作物残渣や堆きゅう肥などの有機物を投入することである。この場合、投入された有機物の炭素の大部分は微生物により分解され、大気へ帰って行くが、一部分は土壤中で腐食などの安定な有機物に変換され、その結果、土壤からの CO₂ 発生量は緩和される。さらに、毎年の投入炭素量が分解炭素量を上回れば、土壤有機物としての蓄積量が増加する。このような有機物管理による土壤炭素貯留効果については、わが国全国各地における長期連用試験において実証されている。このほか、不耕起・簡易耕起等、土壤耕起方法の改善、輪作やカバークロップの導入が土壤の炭素蓄積に有効な技術であることが示されている。

このような土壤の炭素蓄積に効果のある農業技術を導入した場合、わが国の農耕地土壤がどの程度の炭素貯留効果、すなわち CO₂ 発生緩和効果を持つか定量評価するため、全国の農耕地と草地における土壤炭素賦存量の分布図を作成するとともに、栽培管理方法を変えた場合の土壤炭素貯留量の将来予測をプロセスモデル (RothC モデル) を用いて行っている。その結果、全国の水田と畑に堆肥を投入した場合、未投入に比べて、25年間で3200万トン、水田に二毛作を導入した場合は1100

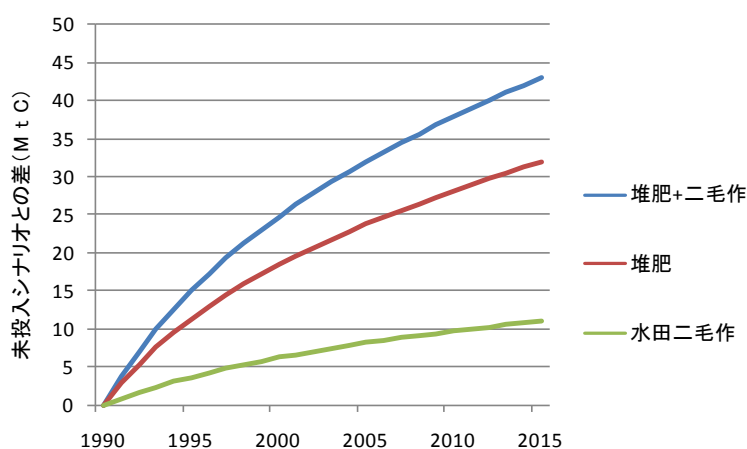


図3. 全国の農地における土壤炭素量の変化予測。未投入との差を示す。堆肥投入量は水田で10 t/ha、畑で15 t/ha

万トン、それぞれ増加することを明らかにした（図3）。堆肥投入と二毛作を合わせた場合の炭素蓄積効果は年間170万トンで、これは京都議定書のわが国の削減義務6%（2000万t）の8.5%に相当する¹⁰⁾。

3. 温室効果ガス排出削減のための国際協力

農業環境技術研究所では、現中期計画期間の目標を目指して、わが国の農業を第一のターゲットとして、他のアジア諸国における研究も含めて、温室効果ガス排出量評価とその削減技術の開発を行ってきた。これらの研究は、常に、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の「京都議定書」や、IPCC とその他の国際研究ネットワークにおける温室効果ガス排出削減の議論を踏まえて実行されてきたものである。今後も、国際的な連携への関与をさらに強め、研究成果を世界に発信して行くべきと考えている。同時に、わが国で開発された技術を世界の他の国にも適用し、より広域での農業由来の温室効果ガス排出削減に寄与することが求められている。特に、農業分野からの排出削減ポテンシャルの多くを占める発展途上地域での適用を推進すべきである。現中期においても、いくつかの海外機関と連携し、途上国の農地における温室効果ガス削減研究が行われてきたが、今後、それらの取り組みをさらに強化すべきである。

国際的研究ネットワークについては、IPCC の設立直後から、評価報告書や国別温室効果ガスインベントリを算定するためのガイドライン⁵⁾に、農業環境技術研究所の研究者が執筆者や査読者として参加してきた。また、温室効果ガスインベントリ算定の基礎データを集約している IPCC 排出係数データベース（EFDB）¹¹⁾には、農業分野の編集委員として参加している。

また、農業分野の温室効果ガスに関する研究ネットワークであるグローバル・リサーチ・アライアンス（GRA）についても積極的な取り組みを進めている。GRA は昨年12月にコペンハーゲンで開催された UNFCCC 締約国会議（COP15）の際に設立され、その目的を農業生産における温室効果ガス排出の削減や土壌炭素貯留の可能性に寄与することとしている¹²⁾。そのなかの、水田研究グループについては、わが国がコーディネート国として承認され、農業環境技術研究所は中核研究機関として活動に貢献している。

世界各国の研究機関との研究協力については、上述した温室効果ガス研究をはじめ、環境資源評価、温暖化適応策、重金属や残留性有機汚染物質、生物多様性、侵略的外来生物など、農業環境に関わるさまざまな課題について各国機関との連携を図っている。これらのうち、特に、モンスーンアジア地域における農業環境研究に関するイニシアチブを確保することを目指している。わが国を含むモンスーンアジア地域は、水田を共通の食料生産基盤とし、水田を取り巻く生物多様性の豊かな農業生態系に恵まれているという点で共通するところがある。その一方で、急速な経済発展に伴う農業を巡る環境の変化、昨今の気象変動、グローバル化に伴う外来生物侵入などの農業環境に関わる共通の問題を抱えている。これらの問題の解決のため、モンスーンアジア地域の研究者が共同して農業環境研究の課題に取り組むための「モンスーンアジア農業環境研究コンソーシアム（Monsoon Asia Agro-Environmental Research Consortium、略称 MARCO）」が2006年に開催された NIAES 国際シンポジウムにおいて設立された¹³⁾。農業環境技術研究所はその主催機関として、国際シンポジウム等の研究情報交換の場の定期的な提供、コンソーシアムの情報交

換の場としてのウェブサイトの提供、およびコンソーシアムの下での活動を担う人材の育成への貢献を図っている。MARCO には、現在、モンスーンアジア地域の 9 か国 17 機関が参加しており、毎年、農業環境研究をテーマとした国際シンポジウム等の会合を開催している（図 4）。今後も、MARCO メンバー機関やその他のパートナー機関との連携を強化し、温室効果ガス排出削減やその他の農業環境課題について国際協力を推進する。

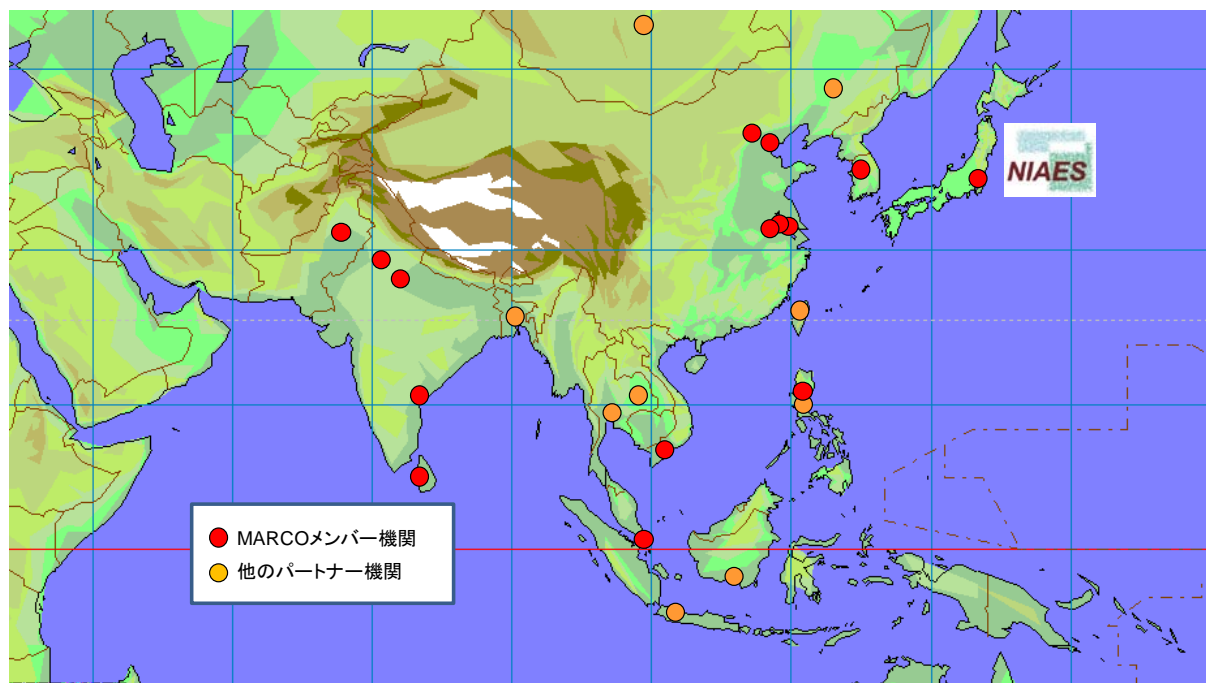


図 4. MARCO メンバー機関と他の主なパートナー機関

4. おわりに—農業環境技術研究所の今後の取り組み

農業環境技術研究所では、現中期計画（平成 18～22 年度）において、温暖化緩和策 RP（リサーチ・プロジェクト）を設置し、栽培・土壌管理技術による温室効果ガス発生抑制効果を定量的に評価することによって、効率的な負荷軽減技術体系を提示することを目指してきた。その成果は、わが国全国の農地からの温室効果ガス排出量を定量評価するとともに、わが国の農業において活用可能な削減技術とその削減可能量を提示するに至っている。

今後の研究においては、わが国を対象とした温室効果ガス排出量とその削減可能性について、新たな研究成果を加えてその評価結果をさらに精緻化し、わが国の地球温暖化防止施策に一層の寄与を行うことが求められる。それに加えて、わが国で開発された発生量評価手法と削減技術を世界の他の国にも適用し、その国際的な展開を図ることがもうひとつの重点課題となる。

世界においても農業分野での温室効果ガス排出削減策（緩和策）に対する期待は大きい。特に、農業分野での排出割合の大きな発展途上国において重要な課題となっている。これらの国においては、緩和策の適用について、持続的開発政策と一致させることにより、削減の可能性をいっそう前進させると予測されている。たとえば、水田の中干しは CH_4 発生を削減すると同時に、わが国の水稲作で経験されたように水稲生産性を増加させること

が可能である。堆肥等有機物資材の土壌還元は土壌炭素蓄積とともに、土壌の肥沃度を維持増進し、持続的な生産性の向上につながる。N₂O 削減技術は、アンモニア揮散や硝酸流出・溶脱による他の窒素環境負荷と窒素肥料の損失を同時に軽減するものである。このように、多くの温室効果ガス排出削減技術は、農業生産の増加にも同時に寄与出来る相乗便益効果（コベネフィット）を有している。農業環境技術研究所の研究成果を世界に発信・展開することにより、農業における温暖化防止に大きく貢献できると考えている。

引用文献・情報

- 1) IPCC (2007): IPCC Fourth Assessment Report (AR4): Climate Change 2007, Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch/>
- 2) 八木一行 (2009) : 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」, 養賢堂, p. 127-148
- 3) Itoh, M. et al. (2010): Mitigation of methane emissions from paddy fields by prolonging mid-season drainage, *Agric. Ecosys. Environ.*, 投稿中
- 4) Hadi, A. et al. (2010): Effect of water management on greenhouse gas emissions and microbial properties of paddy soils in Japan and Indonesia, *Paddy Water Environ.*, 8, 319-324
- 5) IPCC (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/methodology-reports.htm>
- 6) Ma, J. et al. (2008): Methane emission from paddy soils as affected by wheat straw returning mod, *Plant Soil*, 313, 167-174
- 7) Yan, X. et al. (2009): Global estimations of the inventory and mitigation potential of methane emissions from rice cultivation conducted using the 2006 IPCC Guidelines *Glob. Biogeochem. Cycles*, doi:10.1029/2008GB003299
- 8) Xu, H. et al. (2007): Mitigation of N₂O emission from a maize field by applying commercially available fertilizer additives containing nitrification and urease inhibitors, *Abstracts of Nitrogen 4th Conference*, p. 258
- 9) Akiyama, H. et al. (2000): N₂O and NO emissions from soils after the application of different chemical fertilizers, *Chemosphere -Global Change Science*, 2, 313-320
- 10) Yokozawa, M. et al. (2010): Use of the RothC model to estimate the carbon sequestration potential of organic matter application in Japanese arable soils, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 56, 168-176
- 11) IPCC 排出係数データベース (EFDB) : <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>
- 12) 農業分野の温室効果ガスに関するグローバル・リサーチ・アライアンス (GRA) : <http://www.globalresearchalliance.org/>
- 13) モンスーンアジア農業環境研究コンソーシアム (MARCO) : http://www.niaes.affrc.go.jp/marco/index_j.html