農地への土壌炭素貯留と温室効果ガスの削減のために

独立行政法人農業環境技術研究所

白戸　康人

１．　はじめに

急速な人間活動の増大により、二酸化炭素（CO_2）、メタン（CH_4）、一酸化二窒素（N_2O：亜酸化窒素）などの温室効果ガスの大気中濃度が増加し、それが原因となって地球温暖化が進行している。日本国内に限れば、排出されている温室効果ガスのほとんどは農業以外のセクターから排出されており、農業分野の寄与はわずか３％程度である。しかし、世界に目を向ければ、農業や林業の寄与は大きく、全排出量の 1/3 程度を占める。したがって、農業分野においても、できるだけ温室効果ガスを排出しない営農が望まれるし、日本だけでなく世界に向けての波及効果を考えれば農業からの温室効果ガス削減の効果は大きな規模になると言える。ここでは、上記３つの温室効果ガス（CO_2、CH_4、N_2O）について、発生（または吸収）のメカニズムと、発生の軽減にはどのような対策が考えられるのかを簡単に解説する。

２．　土壌の炭素貯留

農地では、植物が光合成をして CO_2 を吸収し、その植物が土壌にすき込まれ、土壌中の微生物により分解されて二酸化炭素が大気に出る、というように、大気、植物、土壌の間で炭素（C）の循環が行われている（図１）。したがって、土壌中に有機物として存在する土壌炭素量が減少するなら農地は CO_2 を排出しており、増加な吸収していると考えることができる。土壌炭素量を増加させるためには、土壌にすき込む堆肥や緑肥などの有機物の

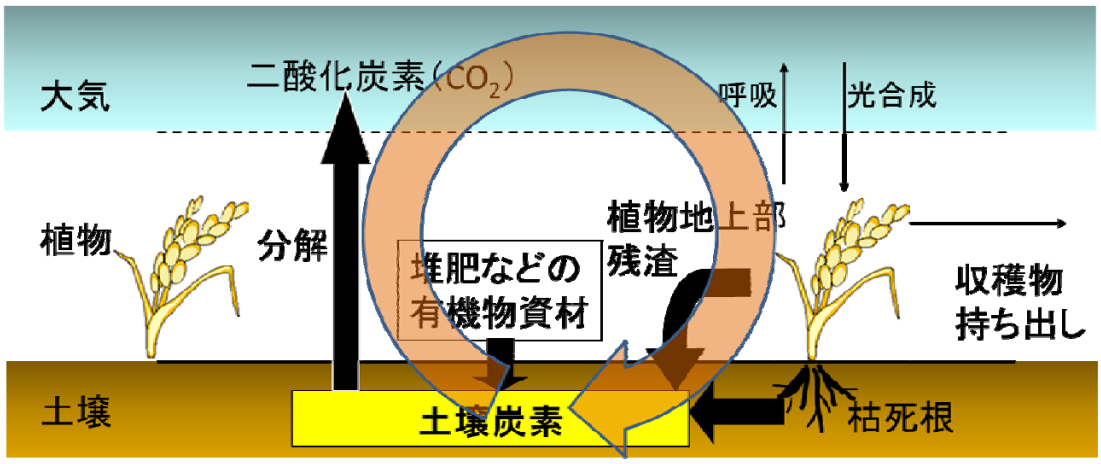

図１　農地における炭素循環と土壌の炭素貯留
炭素は土壌～植物～大気の間を循環しているが、土壌炭素（有機物）は、もともと植物が光合成で大気から吸収した炭素に由来するので、土壌中の炭素の量が増えると、その分だけ大気中の CO_2 が減少した勘定になる。これを「土壌の炭素貯留」と呼ぶ。

量を増やす管理をするか、不耕起栽培に切り替えたりするなど、土壌有機物の分解を遅くする管理が有効である。土壌炭素量が、土壌肥沃度のおおざっぱな指標となりうることで、多くの場合、土壌炭素を増やすような管理は、地力の維持増進という観点からも重要であるということができる。つまり、土壌炭素を増やすことによる CO_2 の吸収、つまり温暖化の緩和と、地力の維持増進による農地の生産力向上は、いわゆる Win-win の関係にあり、土壌の炭素貯留を進めることは、生産にも環境にも良いということになる。

一方、土壌炭素の分解と蓄積は、気候、土壌、農地管理などいくつかの要因が複雑に関係するため、自分の圃場でどのような管理をすれば土壌炭素が増えるのか減るのか？を知るには、そのメカニズムを取り込んだ数値モデルが便利な道具となる。モデルの研究では欧米が先行していたが、私たちは、英国で開発された土壌炭素動態モデルを日本の農法や土壌に適用できるように改良し、「改良 RothC モデル」を開発した。さらには、このモデルに全国の気象・土壌・土地利用変化などの環境情報を入力し、農業活動などのシナリオに応じて将来の土壌炭素量の増減を、100m の解像度で全国の農地について計算するシステムを開発した（農業環境技術研究所、2014：図２）。現在、この全国計算システムを用いて、国の温室効果ガス排出量を報告する準備が進められている。

また、このモデルを使った計算を誰でも web 上で簡単に行えるサイトが公開されている（土壌の CO_2 吸収「見える化」サイト：http://soilco2.dc.affrc.go.jp/）。地図上で場所をクリックし、メニューから作物を選ぶだけで気軽に計算することができるので、ぜひ試していただきたい（農業環境技術研究所、2013a）。

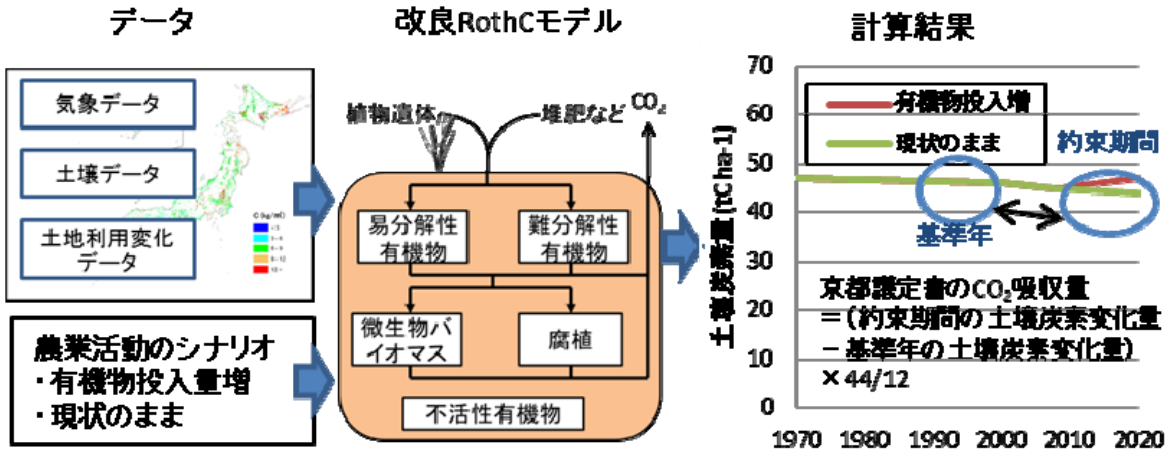

図１．農地土壌の炭素貯留量の算定システム

気象・土壌・土地利用変化などの環境情報を「改良 RothC モデル」に入力し、農業活動などのシナリオに応じて将来の土壌炭素量の増減を、100m の解像度で全国の農地について計算するシステムを開発した。

３．　メタンおよび一酸化二窒素の削減

メタンは、水田に水を張ることで土壌が還元状態になると、メタン生成菌の働きによって発生する。また、新鮮な有機物が多く存在するほど発生量が多くなる。そこで、たとえば、水田の水を落とす中干しの期間を長くすると、還元状態を弱めることができ、メタン

を減らすことができる。この管理方法の実証実験を全国８県９カ所で２年にわたり行った結果、中干し期間を慣行からさらに１週間程度延長すれば、コメ収量への影響を抑えつつメタンの発生量を約30%削減できることがわかった(農業環境技術研究所､2013b:図３)。これは、特に追加の労力や資材を必要としないこともあり、簡単で有効な対策技術と考えられる。他にも、新鮮なワラのすき込みから堆肥のすき込みに切り替えたり、すき込みの時期を春から秋に切り替えたりするなどの管理をすると、メタンの発生を少なくする効果がある。

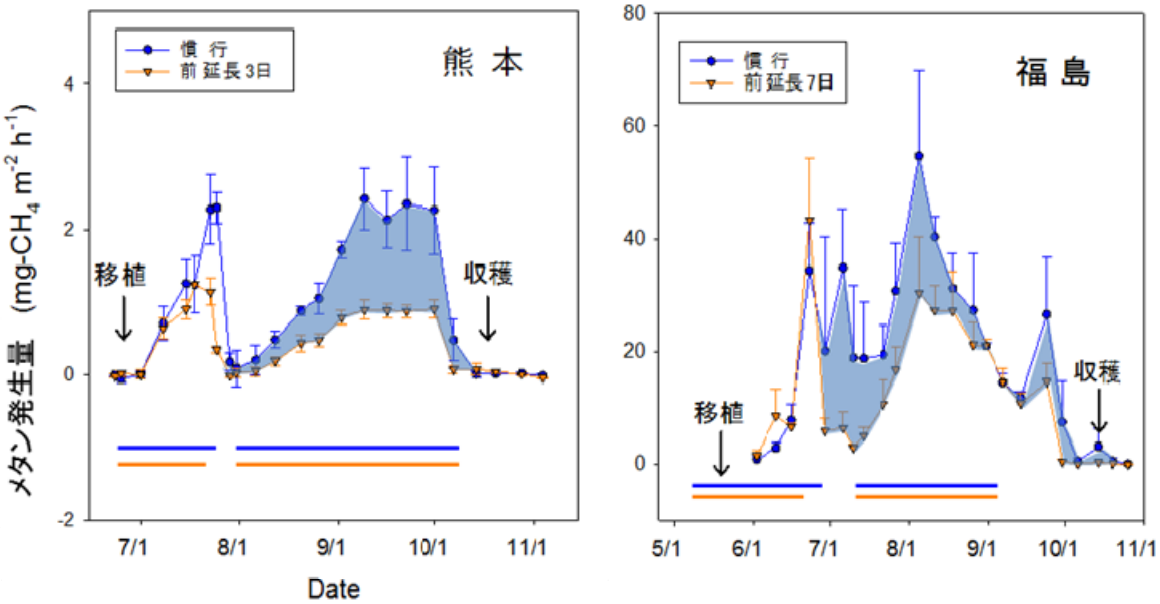

図２．中干し期間の延長により水田からのメタン発生の削減。下部の二色の横棒は湛水期間で、7 月付近の空白期間が中干しを示す。水色の部分の面積が減少したメタン量に相当する。

N_2O については、化学肥料や有機物として投入される窒素の量が多いほど、発生量が多くなるので、無駄な窒素肥料の施用を抑える減肥や、肥効を良くするための局所施肥や分施（ぶんし）が発生量を減らすのに効果的である。さらに、硝化抑制剤入り肥料など新しいタイプの肥料も発生量抑制に効果があることがわかっている（農業環境技術研究所、2010)。

このように、個別のガスについてはその発生メカニズムが解明されるとともに、数値モデルによる予測が可能になりつつあり、排出削減のためのメニューも徐々に出そろいつつある。

４．総合的に評価することの重要性

ここまで、３つの温室効果ガスについて個別に説明してきたが、一つのガスを減らすと他のガスが増える場合があるので注意が必要である。これはトレードオフと呼ばれる。たとえば、有機物の投入量を増やすと土壌炭素量が増加するというプラスの効果が期待されるが、N_2O の発生を増加させるというマイナスの効果も予想される。水田では、さらにメ

タンの増加というマイナス要因も考えられる。このように、どれか一つのガスだけに注目するのではなく、３つの温室効果ガスを総合的にみて排出量を減らすことが実際には重要となる。

さらには、農業の現場では、土壌から出入りする温室効果ガスだけでなく、農業機械の燃料などから発生する CO_2 もあるため、それも含めて総合評価することが必要となる。たとえば、有機物の施用で土壌炭素が増加するとしても、堆肥の製造や運搬、散布などに土壌への炭素蓄積効果以上の CO_2 排出があっては意味がない。

このような、「総合的に見て結局どうなのか？」という問いに答えるためには、LCA（ライフサイクルアセスメント）の考え方が重要になる。温室効果ガスだけについていえば、異なる種類のガスを温暖化への寄与の大きさ（CH_4 と N_2O は CO_2 のそれぞれ 25 倍、298 倍）を示す地球温暖化係数（GWP）を用いて CO_2 に換算することで一つの「ものさし」にすることができ、総合評価が可能となっている。今後は、温室効果ガスだけではなく、硝酸性窒素による地下水汚染など異なる種類の環境負荷とのトレードオフや、環境負荷だけではなく例えば生物多様性などの「便益」も考慮した農法の総合評価が求められ、それに答えられるような評価手法の開発が必要となるだろう。

引用文献

農業環境技術研究所　（2014）農地土壌における炭素貯留量算定システムの開発、研究成果情報、p.2-7、30、http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/result/result30/result30_02.html

農業環境技術研究所（2013a）プレスリリース「土壌の CO_2 吸収量「見える化」サイトを公開 ― 農地の土壌炭素量の増減を予測 ― 」http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/press/131002/

農業環境技術研究所　（2013b）水田の中干し延長によるメタン発生量の削減、研究成果情報、29、p2-6、http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/result/result29/result29_02.html

農業環境技術研究所（2010）農耕地から発生する亜酸化窒素の削減効果を定量的に評価 ― 硝化抑制剤入り肥料の平均的な削減率は-38% ― 研究成果情報 26、p46-47、http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/result/result26/result26_46.html