

食料生産の向上と地球温暖化の抑制に関わる水田土壌の有機物蓄積プロセスを解き明かす

矢内純太
(京都府立大学)

1. 水田土壌の有機物の重要性

土壌は陸域生態系の基盤であり、食料生産や陸域環境の保全に大きな役割を担っています。土壌の固相成分は、岩石由来の一次鉱物、土壌中で生成される二次鉱物、そして土壌に付加された動物植物遺体が土壌中で様々に化学的変化を受けて生成する土壌有機物から構成されています。そのうち土壌有機物は、土壌粒子の集合体である土壌団粒の発達や保水性向上などの物理的機能から、養分保持能や緩衝能の向上および植物への各種養分の供給などの化学的機能、さらには土壌微生物の活性化などの生物的機能にいたるまで、土壌に様々な機能を付与しています (Brady and Weil, 2007)。

水田は、「瑞穂の国」と呼ばれる日本の稲作文化を支えるとともに、モンスーンアジアを中心にコメを主食とする国々の食料生産基盤として機能して世界人口の約2/3を支えるなど、日本においても世界においても非常に重要な役割を果たしています。そのため、水田土壌は、かけがえのない土壌資源であると言えるでしょう。さて、そのような水田の土壌有機物は、分解に伴って各種養分をイネに供給することによりイネの生育を促進し収量を向上させるとともに、大気中の炭素を土壌中に隔離しているという点で地球温暖化の抑制にも貢献していると考えられています (Lal, 2004)。たとえば、世界の農耕地土壌に毎年0.4%ずつ炭素を蓄積することで、大気中の二酸化炭素の濃度上昇はゼロにできると試算されています (Minasny et al., 2017)。また、水田土壌は、一定期間湛水条件におかれることから、微生物による

有機物分解が抑制され、森林・草地・畑地などの土壌と比べ土壌有機物が蓄積されやすいことも知られています。これらのことを総合的に捉えると、水田において土壌有機物を適切に蓄積させることは、食料生産の面でも環境保全の面でも望ましいことと考えられます。

2. 土壌有機物の理化学性に基づく分画

さて、本来であれば微生物に分解されてしまう有機物が土壌中で分解されないのは、土壌団粒中に閉じ込められたり土壌鉱物に吸着されたりして、「保護」されているためであると考えられています (Six et al., 2004; Zimmermann et al., 2007)。そのため、土壌有機物を保護の仕組みによって分画し、それぞれの特徴を評価すれば、土壌有機物全体を総体として評価するよりも土壌有機物の実態がより詳細に検討できることが期待されます。そこで本研究では、土壌有機物を「①保護なし (Light Fraction: LF)」「②団粒内に保持 (Heavy Fraction: HF)」「③土壌鉱物に吸着 (Oxidizable Fraction: OxF)」「④特に化学的に難分解構造で土壌鉱物に吸着 (Non-Oxidizable Fraction: NOxF)」の4種類に分画しました (図1)。ここで、水田土壌試料としては、東北農業研究センター(秋田県)、愛知県農業総合試験場、滋賀県農業技術振興センターにおける、化学肥料と有機質肥料の管理を組合わせた長期連用水田圃場の、表層土(0-15 cm)を用いました。

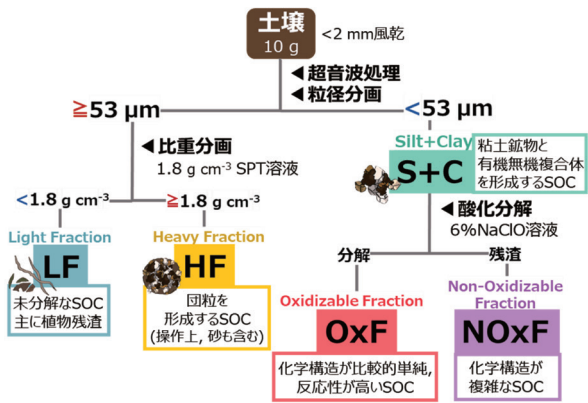


図1. 保護機構に対応した、理化学性に基づく土壌有機物の分画

3. 水田土壌の有機物の画分別存在量

さて、土壌有機物量は、一般に土壌有機炭素量の約1.7倍として求めることができます。そこで、画分ごとの重量と炭素濃度をそれぞれ測定し、それらの積として画分ごとの炭素蓄積量を算出しました。その結果、全炭素蓄積量は、秋田、愛知、滋賀の平均値でそれぞれ22.4、13.0、8.8 gC/kgでした。すなわち、土壌重量の約1～2%が土壌炭素であり、土壌重量の約2～4%が土壌有機物であることが確認されました。また、秋田、愛知、滋賀の画分ごとの存在割合は、全般的には、「③土壌鉱物に吸着 (OxF)」が45%、「④特に難分解構造で土壌鉱物に吸着 (NOxF)」が35%、「①保護なし (LF)」 「②団粒内に保持 (HF)」が10%ずつでした (表1)。このことは、水田中の土壌有機物は保護機構に対応しておよそ固有の存在割合をもち、物理的あるいは化学的に保護されているものの方がより多く存在することを示しています。それでは、これら画分ごとの有機物はどれほどの期間土壌中に存在するのでしょうか？

表1. 愛知・滋賀・秋田の水田土壌の画分別炭素蓄積割合 (平均値)

蓄積C (%)	愛知	滋賀	秋田
LF	7.9	13	9.4
HF	5.5	6.6	8.6
OxF	46	52	43
NOxF	41	29	39

4. 水田土壌の有機物の画分別平均滞留時間

そこで、有機物が平均でどの程度の期間土壌中に留まるかを表す「平均滞留時間」を、画分ごとに評価しました。すなわち、ある程度の平均滞留時間が見込まれる、「②団粒内に保持 (HF)」 「③土壌鉱物に吸着 (OxF)」 「④特に難分解構造で土壌鉱物に吸着 (NOxF)」に対し、炭素の同位体分析に基づいた¹⁴C年代測定により平均滞留時間を調べたところ、以下のような結果が得られました。

まず、画分別に比較すると、いずれも圃場や管理によって異なるものの、「④特に難分解構造で土壌鉱物に吸着 (NOxF)」では約1～3千年を示したのに対し、「③土壌鉱物に吸着 (OxF)」では非常に若いものから約2千年を、「②団粒内に保持 (HF)」は非常に若いものから約千年を示し、より強い保護機構により守られている画分ほど長い平均滞留時間を取ることがはっきりと示されました。従って、保護機構は、画分別有機物の存在量のみならず平均滞留時間にも大きな影響を与えていました。

続いて肥培管理の影響を比較すると、画分によらず、無施肥区の平均滞留時間が最も長いのに対し、化学肥料の施用により幾分短くなり、有機肥料の施用によりさらに短くなることが示されました。有機物の動態において、比較的新鮮な有機肥料を施用することで平均滞留時間が短くなることは想定されていましたが、炭素を含まない、窒素・リン・カリウムの化学肥料を施用することでも土壌有機物の平均滞留時間が短くなることは、管理の上でも非常に興味深いものでした。これは、化学肥料の施用によりイネの生育が向上し、結果として土壌に還元されるイネの根などの有機物量が増加したためと考えることができます。

さらに、圃場間で比較すると、全般的に、愛知 > 滋賀 > 秋田の順番になりました。これは、愛知と秋田が細粒質土壌であるのに対し滋賀が団粒を作りやすく鉱物への吸着もしにくい砂質土壌であること、秋田の土壌が火山灰の影響を受けていて

有機物との反応性の高い非晶質鉱物を多く含むこと、秋田の年平均気温が愛知と滋賀より低いこと（低温ほど有機物分解は進みにくい）、などを反映し、土壌有機物の比較的分解を受けやすい画分が、秋田でもっとも多く分解されずに土壌に留まっていたためと考えられました。

5. まとめ

以上みてきたように、水田の土壌有機物は、保護機構に基づいて様々な画分から構成されていて、それぞれ存在量も平均滞留時間も異なることが明らかとなりました。強調しておきたいのは、このような保護機構は、土壌の鉱物や微生物と有機物との相互作用の下で、土壌そのものがシステムとして自然に発現させているということです。従って、土壌が持つこのような保護機能をうまく活用すれば、我々は水田により多くの土壌有機物をより持続的に蓄積することができ、食料生産の向上と地球温暖化の抑制という我々の生存に関わる21世紀の重大な課題にも貢献できると考えられます。

謝辞

貴重な長期連用圃場の土壌試料をご提供くださった、東北農業研究センター、愛知県農業総合試験場、滋賀県農業技術振興センターの皆様と、ともに研究を進めてくれた研究室のメンバーに、心より感謝申し上げます。

文献

- Brady NC, Weil RR (2007) *The Nature and Properties of Soils* (14th ed.), Pearson.
- Lal R (2004) Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623–1627.
<https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Minasny B et al. (2017) Soil carbon 4 per mille. *Geoderma* 292: 59–86.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>
- Six J, Bossuyt H, Degryze S, Denef K (2004) A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research* 79: 7–31.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>
- Zimmermann M, Leifeld J, Schmidt MWI, Smith P, Fuhrer J (2007) Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the RothC model. *European Journal of Soil Science* 58: 658–667.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00855.x>

著者情報



矢内純太（京都府立大学大学院生命環境科学研究科教授）京都大学大学院農学研究科博士課程修了、博士（農学）。京都大学農学部助手、大学院地球環境学助、京都府立大学大学院農学研究科助教授を経て、2011年より現職。専門分野は土壌学。土壌肥沃度の評価と管理、陸域生態系の持続的管理などに取り組んでいる。

(2022年3月31日掲載)