

土壌炭素動態 (RothC) モデルを用いた砂質露地畑における 土壌炭素の変動解析と土壌化学性の変動予測の可能性

中村嘉孝¹⁾・安藤 薫¹⁾・瀧 勝俊¹⁾

摘要：家畜ふん堆肥を連用した黄色土の砂質露地畑における土壌全炭素含量の変動を土壌炭素動態モデル (Rothamsted carbon model、RothCモデル) を用いて解析した。牛ふん堆肥または豚ふん堆肥を施用した試験区の土壌全炭素含量は試験開始から増加したのに対し、堆肥を無施用とした試験区の土壌全炭素含量は減少した。RothCモデル値も同様な変動を示した。各試験区の実測値とRothCモデル値の二乗平均平方根誤差及び平均絶対誤差は小さかったことから、砂質露地畑におけるRothCモデルの適合性は高かった。RothCモデルを用いて、試験土壌で作物残さからの炭素投入量のみで栽培を継続して平衡状態となる土壌全炭素含量を推定すると、土壌有機物の適正基準下限値に達しなかった。このことから、土壌全炭素含量を適正基準下限値まで増加させるためには、堆肥等の有機物の施用が必要であることが明らかとなった。試験を行った砂質露地畑において、土壌全炭素含量は可給態窒素含量及び陽イオン交換容量 (CEC) と正の相関関係にあった。このことから、RothCモデルにより有機物施用に伴う土壌全炭素含量の変動を予測することで、可給態窒素含量やCECの変動を予測できる可能性が示唆された。

キーワード：砂質露地畑、土壌全炭素、Rothamsted carbon model、可給態窒素、CEC

Analysis of Soil Organic Carbon Dynamics in Sandy Upland Fields under Different Management Regimes of Livestock Manure Application Using the Rothamsted Carbon Model and Prediction of Changes in Soil Chemical Properties

NAKAMURA Yoshitaka, ANODO Kaori and TAKI Katsutoshi

Abstract : We simulated a change in soil organic carbon (SOC) in a sandy upland field under continuous application of livestock manure using a soil carbon dynamics model: a rothamsted carbon model (RothC model). The SOC content of a field increased with the application of livestock manure, but decreased in its absence. The SOC estimated by the RothC model showed the same fluctuation as the measured SOC. Both measured and RothC model values showed that the root mean square and mean absolute errors were small. Therefore, the RothC model fits well in a sandy upland field. Using the RothC model, the SOC value estimated from continuous cultivation with the carbon input from the crop residue was less than the appropriate reference value. This indicates that it is necessary to apply manure in a sandy upland field. The SOC content of a field was positively correlated with available nitrogen and cation exchange capacity (CEC). These results suggest that the RothC model can predict a change in available nitrogen content and CEC by predicting a change in the SOC content due to organic matter application.

Key Words : Sandy upland field, Soil organic carbon, Rothamsted carbon model, Available nitrogen, Cation exchange capacity

材料及び方法

緒言

土壤有機物は、土壤化学性、土壤物理性及び生物性に関与するため¹⁾、作物の生産性に大きく影響する。土壤有機物は土壤中で分解に伴って徐々に減少するため、農耕地では堆肥等の有機物を継続的に施用することで土壤有機物の増加や維持が図られている。愛知県における7割の露地畑の土壤有機物含量は、普通畑の土壤有機物の適正基準下限値である30 g kg⁻¹以下と少ない²⁾。このため、愛知県の農耕地土壤における有機物の施用は、土壤の作物生産性を高める上で極めて重要な土壤管理である。

愛知県の有機質資材施用基準³⁾では、水稻や露地野菜といった作物に応じて、稲わらや牛ふん堆肥といった資材ごとに施用基準量が示されている。この施用基準量の策定に当たり、土壤有機物の分解は施用される有機物の種類や施用量だけでなく、土壤の粘土含量や温度、土壤水分等の影響を受ける¹⁾ことから、有機物の施用効果を明らかにするために有機物の連用試験が実施されている。土壤有機物の変化は緩やかに進行するため、有機物の種類や施用量、気象条件、土壤の種類等を変えて連用試験を行うことは、長期にわたり多大な労力を要する。そこで、土壤有機物含量の指標となる土壤全炭素含量の変動を有機物の投入量や分解に関する諸要素の関係からモデル化することが有効である。モデル化することで多様な条件における土壤炭素の変動を解析、予測することができる。英国における畑土壤の長期栽培試験のデータを基に開発されたローザムステッド・カーボン・モデル(Rothamsted Carbon Model、以下、RothCモデルと記す)⁴⁾は、入力パラメータが少なく簡便であり、日本の農耕地土壤の土壤炭素の変動に対する適合性の検証や、改良がなされている⁵⁾。

土壤炭素の変動には粘土含量が影響する。RothCモデルにおいても土壤の粘土含量は入力パラメータの1つである。粘土含量が少なくなるほど有機物の分解は早くなるため、粘土含量の少ない砂質露地畑の土壤有機物含量は少ない。砂質露地畑における作物生産性の向上のためには、有機物の施用が特に重要である。しかし、愛知県の砂質露地畑における土壤炭素の変動は明らかとされていない。

そこで、本研究では、愛知県の砂質露地畑における有機物施用による土壤管理技術の確立を目的として、家畜ふん堆肥を連用した砂質露地畑におけるRothCモデルの適合性について検証を行った。あわせて、家畜ふん堆肥の施用が土壤化学性の変動に及ぼす影響について、土壤全炭素含量の変動から予測できる可能性を検討したので報告する。

表1 試験ほ場の概要

緯度	経度	作土深	粘土	初期SOC	IOM
N	E	(cm)	(%)	(t ha ⁻¹)	
35° 09	137° 03	20	5.0	27.0	2.09

初期SOC：試験開始時の土壤全炭素含量
IOM：初期不活性炭素 (Falloon ら¹⁵⁾)

1 試験ほ場及び解析期間

試験は、愛知県長久手市(愛知県農業総合試験場)の既報^{6, 7)}と同じほ場で行った(表1)。本ほ場は野菜畑として20年以上利用された露地畑で、堆肥の連用試験を2002年から継続している。土壤は典型山地黄色土⁸⁾で、地表下1.0 mまでの土性は砂土～砂壤土である(図1)。7月下旬～8月中旬に家畜ふん堆肥を施用し、夏作はスイートコーンを、冬作はキャベツを栽培した。

作土の土壤全炭素含量の解析は、堆肥の連用試験を開始した2002年から2018年までとした。深さ別に採取した土壤の化学性の解析は2019年に行った。

2 試験区

愛知県の有機質資材施用基準³⁾である牛ふん堆肥3.0 kg-FW m⁻²を連用する試験区を牛ふん堆肥区、豚ふん堆肥2.0 kg-FW m⁻²(2002～2003年のみ3.0 kg-FW m⁻²)を連用する試験区を豚ふん堆肥区、堆肥を施用しない試験区を堆肥無施用区とした。両堆肥とも水分含有率を50%換算で施用量を算出した。反復は設けなかった。供試した牛ふん堆肥の副資材はオガクズで、豚ふん堆肥の副資材はもみがらであった。2002～2018年までの牛ふん堆肥の年間平均炭素投入量は5.74 t ha⁻¹(表2)、年間平均窒素投入量は0.36 t ha⁻¹でC/N比は16.5であった。2002～2003年までの豚ふん堆肥の年間平均炭素投入量は6.98 t ha⁻¹、年間平均窒素投入量は0.99 t ha⁻¹でC/N比は7.1であった。2004～2018年までの豚ふん堆肥の年間平均炭素投入量は4.25 t ha⁻¹、年間平均窒素投入量は0.56 t ha⁻¹でC/N比は7.6であった。2005年までは収穫後の地上部の作物残さはほ場外へ持ち出したが、2006年からは地上部の作物残さはすべてほ場にすき込んだ。

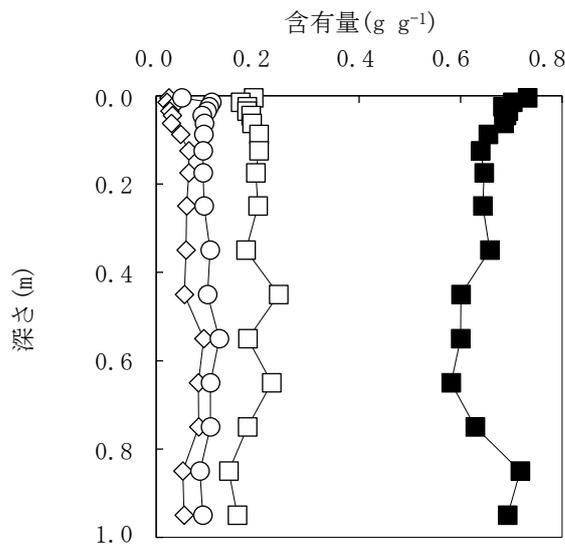


図1 試験ほ場の深さ別の粒径組成

図中の■は粗砂、□は細砂、○はシルト、◇は粘土を示す

3 作物体及び堆肥の炭素含量、作土または深さ別の土壤化学性

(1) 作物体及び堆肥の炭素含量

作物体は各試験区から地上部を刈り取り、収穫部位と残さに分けて乾物重を測定した。その後、乾物試料を粉碎し、炭素含有率を乾式燃焼法で測定した。部位別の乾物重に炭素含有率を乗じて地上部の各部位における炭素含量を算出した。根の炭素含量は、小川ら⁹⁾による各種作物の部位別乾物重構成比を用いて、各作物の収量から根の乾物重を算出し、炭素含有率を40%として算出した。

堆肥の乾物重を測定後、乾燥試料を粉碎して炭素含有率を乾式燃焼法で測定した。堆肥の乾物重に炭素含有率を乗じて堆肥の炭素含量を算出した。

(2) 作土の土壤全炭素含量

作土の土壤試料は既報^{6,7)}と同じ試料または同様に採取したものをを用いた。すなわち、毎夏作後に各試験区から深さ10 cmまでの土壤を採取し、風乾して目開き2 mmで篩別後、乳鉢で粉碎して土壤全炭素含量の分析に供試した。土壤全炭素含量は乾式燃焼法により測定した。

(3) 深さ別に採取した土壤の化学性

2019年2月5日に各試験区から深さ60 cmまでの土壤を10 cmごとに採取し、風乾して目開き2 mmで篩別後、各分析に供試した。土壤全炭素含量は篩別後の土壤を乳鉢で粉碎して乾式燃焼法により測定した。可給態窒素含量は最大容水量の40%となるように水を添加し、30°C4週間培養後に無機化された窒素量として測定した¹⁰⁾。CECはセミマイクロ Schollenberger 法で測定した¹⁰⁾。

4 ローザムステッド・カーボン・モデル (Rothamsted Carbon Model) による作土の土壤炭素の変動解析

(1) RothCモデルと入力パラメータ

作土の土壤全炭素含量の変動解析は、ローザムステッド・カーボン・モデル (RothCモデル)⁴⁾のバージョンはRothC-26.3¹¹⁾で行った。

表2 堆肥または作物残さからの炭素投入量

年	試験区	堆肥	作物残さ	
			夏作	冬作
(t ha ⁻¹)				
2002 ~2003	牛ふん堆肥区	5.74	0.29	0.04
	豚ふん堆肥区	6.98	0.30	0.04
	堆肥無施用区	0.00	0.29	0.04
2004 ~2005	牛ふん堆肥区	5.74	0.29	0.04
	豚ふん堆肥区	4.25	0.30	0.04
	堆肥無施用区	0.00	0.29	0.04
2006 ~2018	牛ふん堆肥区	5.74	2.13	1.41
	豚ふん堆肥区	4.25	2.23	1.46
	堆肥無施用区	0.00	2.20	1.37

2005年までは地上部の作物残さはほ場外へ持ち出した2006年からは地上部の作物残さをほ場にすき込んだ2002~2005年の作物残さからの炭素投入量において根からの炭素投入量は小川ら⁹⁾による部位別乾物重構成比と炭素含有率を40%として算出した

入力パラメータである、月別平均気温、月別平均降水量は、試験ほ場の近隣にある気象庁豊田観測点の観測データ¹²⁾を用いた(表3)。月別の水面蒸発量は、Thorntwaiteの可能蒸発散量¹³⁾から算出した。月別の植被は過去の栽培履歴から求めた。

(2) 各炭素画分の初期値と特性値

試験開始時点で土壤全炭素含量が平衡に達していたと仮定し、RothCモデルの10000年間の繰り返し計算(Equilibrium)によって、計算に必要な4つの炭素画分である、Decomposable plant material (DPM)、Resistant plant material (RPM)、Microbial biomass (BIO) 及び Humified organic matter (HUM) の初期値を逆推定¹⁴⁾した。Inert organic matter (IOM)はFalloonらの提案した土壤全炭素含量とIOMの関係式($IOM=0.049 \times SOC^{1.139}$ 、SOCは土壤全炭素含量)¹⁵⁾を用いて推定した。

作物由来の炭素画分の構成比(DPM:RPM比)は農作物及び改良された草地におけるRothCモデルの既定値である1.44(DPM=59%、RPM=41%)¹¹⁾を用いた。堆肥由来の炭素画分の構成比は、牛ふん堆肥及び豚ふん堆肥ともにRothCモデルのFarmyard manure (FYM)の既定値(DPM=49%、RPM=49%、HUM=2%)¹¹⁾を用いた。

堆肥連用開始の2002年を1年目として、2018年までの各試験区の作土における土壤全炭素含量の変動を推定した。解析シナリオは、各試験区における有機物の施用管理が異なる時点で変更した。すなわち、豚ふん堆肥区における豚ふん堆肥の施用量を変更した2002~2003年、地上部の作物残さを持ち出した2004~2005年、地上部の作物残さをすき込んだ2006~2018年で行った(表2)。

作物残さからの炭素投入量は、2002~2005年は根からの炭素投入量の平均値を、2006~2018年は地上部の残さと根からの合計炭素投入量の平均値を用いた。牛ふん堆肥からの炭素投入量は2002~2018年の平均値を用いた。豚ふん堆肥からの炭素投入量は堆肥の施用量が大きく異なる2002~2003年の平均値と、2004~2018年の平均値で分けて用いた。

表3 試験ほの気象データ

月	月別平均気温 (°C)	月別平均降水量 (mm)
1	3.3	44.0
2	4.1	59.2
3	7.8	112.1
4	13.4	116.8
5	17.9	149.1
6	21.9	202.9
7	25.6	187.1
8	26.8	115.7
9	23.2	212.0
10	16.9	120.3
11	11.0	71.9
12	5.7	43.2

気象庁の豊田観測点 1981~2010年の平均値¹²⁾

(3) 実測値とRothCモデル値の適合性の評価

土壤全炭素含量の実測値とRothCモデル値の二乗平均平方根誤差(RMSE)及び平均絶対誤差(MAE)を計算した。

(4) 土壤炭素の変動解析

土壤全炭素含量の変動が対照的であった牛ふん堆肥区と堆肥無施用区について、RothCモデルを用いて土壤炭素の変動解析を行った。

試験土壤の作土において、平衡状態の土壤全炭素含量が適正基準下限値である 41.76 t ha^{-1} (土壤有機物の適正基準下限値である 30 g kg^{-1} を、土壤有機物中の炭素含有率を58%として炭素に換算)となる場合の作物残さの炭素投入量を、繰り返し計算により逆推定した。

試験土壤において、試験開始から作物残さと牛ふん堆肥(3.0 kg-FW m^{-2})を施用した場合に土壤全炭素含量の適正基準下限値である 41.76 t ha^{-1} に達する期間を推定した。また、その後牛ふん堆肥を、施用基準量の7割、施用基準量の4割と施用量を変えた場合の土壤全炭素含量の変動を推定した。

牛ふん堆肥区及び堆肥無施用区において、土壤全炭素含量が平衡状態となった時の土壤全炭素含量を繰り返し計算により推定した。

試験結果

1 家畜ふん堆肥を連用した砂質露地畑における RothC モデルの適合性

牛ふん堆肥区の作土の土壤全炭素含量の実測値は経時的に増加した(図2)。豚ふん堆肥区の作土の土壤全炭素含量の実測値は、年次間でのばらつきが大きいものの、試験開始から増加した(図3)。一方、堆肥無施用区の作土の土壤全炭素含量の実測値は試験開始から減少し、2006年からは 21 t ha^{-1} 前後で推移した(図4)。各試験区におけるRothCモデル値も、実測値と同様の変動を示した。

作土の土壤全炭素含量の実測値とRothCモデル値から求めたRMSEは堆肥無施用区が3.7で小さく、豚ふん堆肥区が4.8で大きかった(表4)。MAEも堆肥無施用区が3.1で小さく、豚ふん堆肥区が3.8で大きかった。

2 RothC モデルを用いた土壤炭素の変動解析

試験土壤の作土において、平衡状態の土壤全炭素含量が適正基準下限値(41.76 t ha^{-1})となる場合の作物残さからの炭素投入量は1年間で 6.3 t ha^{-1} と推定された。

試験土壤において、試験開始から作物残さをすき込み、かつ牛ふん堆肥を連用した場合、16年後には土壤全炭素含量の適正基準下限値と同程度の 41.75 t ha^{-1} に達すると推定された。その後、牛ふん堆肥を施用基準量で連用し続けた場合は増加するのに対し、施用基準量の7割とした場合は適正基準下限値と同程度で推移し、施用基準量の4割とした場合は減少すると推定された(図5)。堆肥無施用区における平衡状態となる土壤全炭素含量は 23.7 t ha^{-1} と推定された。牛ふん堆肥区における平衡状態となる土壤全炭素含量は 64.3 t ha^{-1} と推定された。

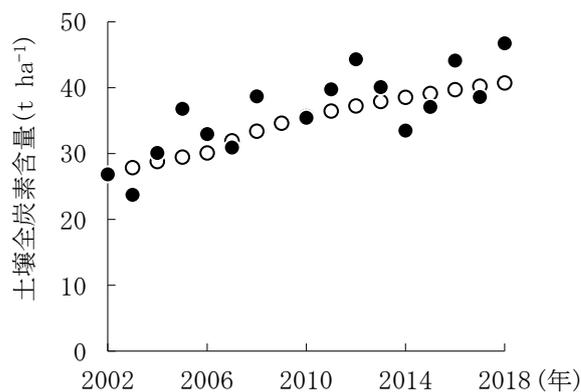


図2 牛ふん堆肥区の作土における土壤全炭素含量の実測値(●)とモデル値(○)の年次変化

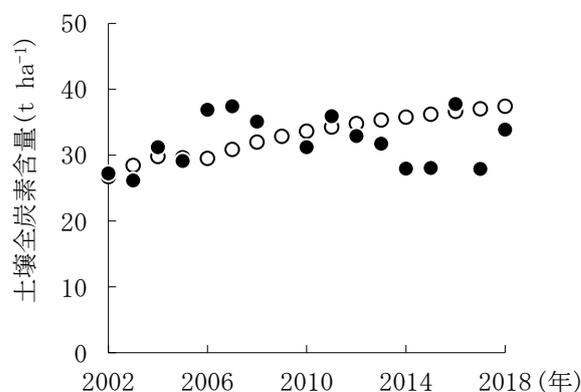


図3 豚ふん堆肥区の作土における土壤全炭素含量の実測値(●)とモデル値(○)の年次変化

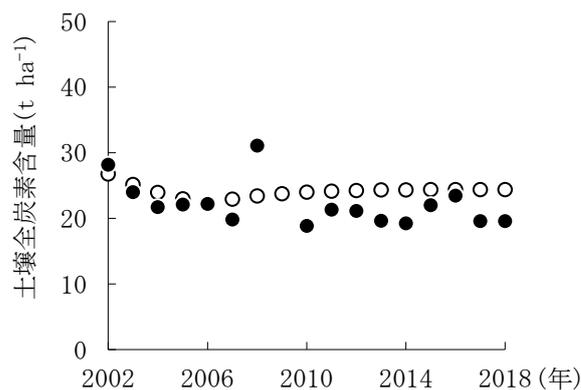


図4 堆肥無施用区の作土における土壤全炭素含量の実測値(●)とモデル値(○)の年次変化

表4 実測値とモデル値の適合程度を示す統計量

試験区	統計量	
	RMSE	MAE
牛ふん堆肥区	4.1	3.4
豚ふん堆肥区	4.8	3.8
堆肥無施用区	3.7	3.1

RMSE：二乗平均平方根誤差 MAE：平均絶対誤差

3 深さ別に採取した土壌の土壌全炭素含量と可給態窒素含量またはCECの関係

深さ別に採取した土壌の土壌全炭素含量、可給態窒素含量及びCECはいずれの試験区も地表面に近いほど高く、深くなるほど低かった(図6~8)。深さ別に採取した土壌の土壌全炭素含量($g\ kg^{-1}$) (x)と可給態窒素含量($mg\ kg^{-1}$) (y_1)の直線回帰式は、 $y_1=2.99\ x+0.33$ で、有意な正の相関を示した(図9)。また、同土壌の土壌全炭素含量($g\ kg^{-1}$) (x)とCEC($cmol_c\ kg^{-1}$) (y_2)の直線回帰式は、 $y_2=0.33\ x+3.23$ で有意な正の相関関係を示した(図10)。

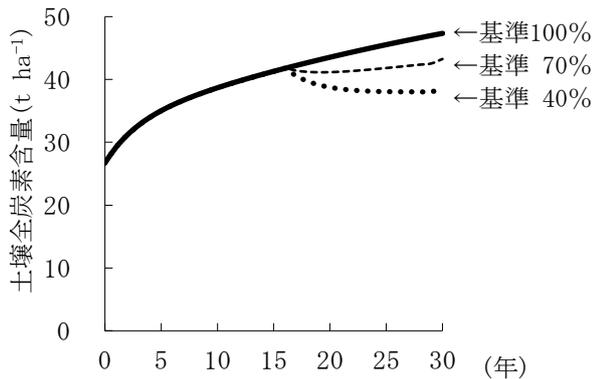


図 5 試験ほ場における牛ふん堆肥施用のシナリオ解析結果

- 基準 100% : 供試堆肥を施用基準量連用した場合
- 基準 70% : 供試堆肥を施用基準量で 16 年間連用後、17 年目から施用基準量の 7 割に減らした場合
- 基準 40% : 供試堆肥を施用基準量で 16 年間連用後、17 年目から施用基準量の 4 割に減らした場合

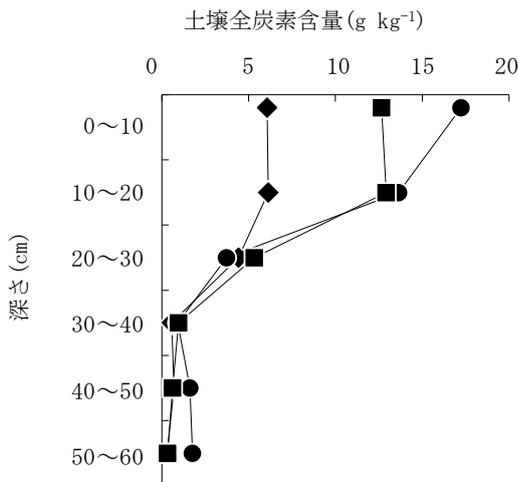


図 6 深さ別に採取した土壌の土壌全炭素含量の分布
図中の●は牛ふん堆肥区、■は豚ふん堆肥区、◆は堆肥無施用区を示す
両堆肥区は 2002 年から 2018 年まで堆肥を連用
2019 年 2 月 5 日に土壌を採取

考察

RothCモデルでは、粘土含量が土壌有機物の分解に及ぼす影響を二酸化炭素放出(CO_2)と土壌に残存する炭素画分(BI0、HUM)の分配比($CO_2/(BI0+HUM)=1.67(1.85+1.60exp(-0.0786x))$)、 x は粘土含量)としている¹¹⁾。式が示すとおり、粘土含量が少ないほど有機物が分解される割合は高く、粘土含量が土壌有機物の分解に与える影響は大きい。

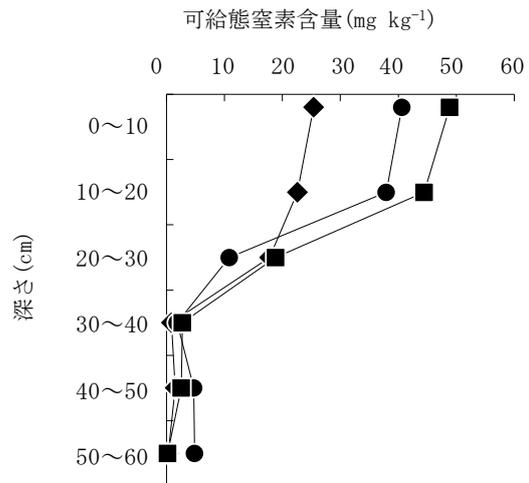


図 7 深さ別に採取した土壌の可給態窒素含量の分布
図中の●は牛ふん堆肥区、■は豚ふん堆肥区、◆は堆肥無施用区を示す
両堆肥区は 2002 年から 2018 年まで堆肥を連用
2019 年 2 月 5 日に土壌を採取

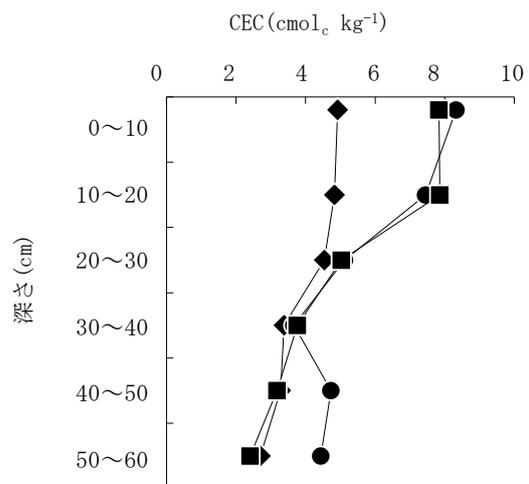


図 8 深さ別に採取した土壌の CEC の分布
図中の●は牛ふん堆肥区、■は豚ふん堆肥区、◆は堆肥無施用区を示す
両堆肥区は 2002 年から 2018 年まで堆肥を連用
2019 年 2 月 5 日に土壌を採取

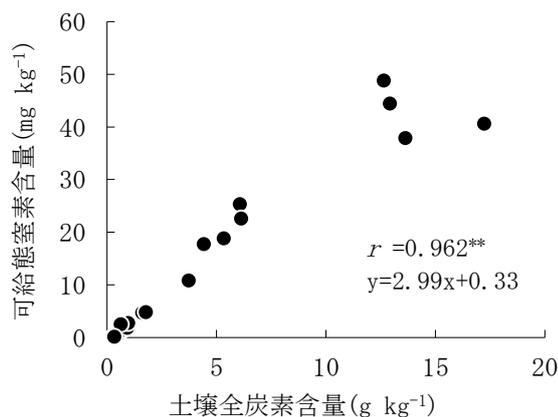


図9 深さ別に採取した土壤の土壤全炭素含量と可給態窒素含量の関係

** 1%水準で有意性あり

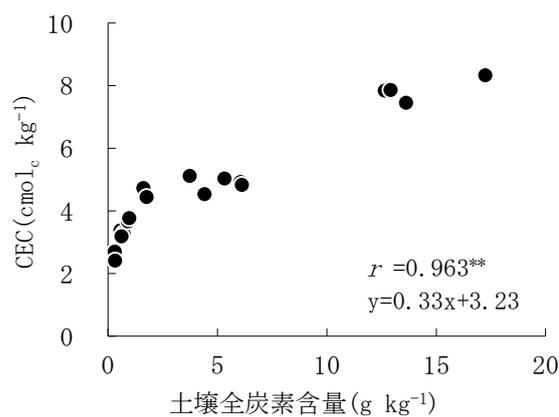


図10 深さ別に採取した土壤の土壤全炭素含量とCECの関係

** 1%水準で有意性あり

有機物の分解が早い砂質露地畑で実施された本試験において、堆肥無施用区の土壤全炭素含量は試験開始後に減少した。一方、牛ふん堆肥区及び豚ふん堆肥区の土壤全炭素含量は試験開始後に増加した。これらのことから、砂質露地畑における施用基準量の家畜ふん堆肥の施用による土壤有機物の増加効果が認められた。各試験区で異なる土壤全炭素含量の変動に対して、RothCモデル値は同様な増減傾向を示した。実測値とモデル値の適合程度の指標として求めたRMSEについて、RothCモデルを日本国内の水田向けに改良したRMSEは9.3であった⁵⁾のに対し、本試験においてRMSEが最も大きかった豚ふん堆肥区のRMSEは4.8で小さかったことから、実測値とモデル値の誤差は十分に小さいと考えられた。これらのことから、試験土壤におけるRothCモデルの適合性は高いと考えられた。

堆肥無施用区の土壤全炭素は、2006年から増減傾向を示さずに同程度で推移したが、RothCモデル値も同様の変動を示した。堆肥無施用区における炭素投入源は、作物残さのみであったことから、作物由来の炭素画分の構成比(DPM/RPM比=1.44)¹¹⁾の適合性は高いと考えられた。

RothCモデルの入力パラメータに土壤pHはないが、土壤pHの違いは有機物の分解に影響する。沖積土において苦土石灰を無施用とした土壤のpHは4.2まで低下し、堆肥の分解が抑制されていた可能性が指摘されている¹⁶⁾。試験開始の2002年における豚ふん堆肥区の土壤pH(H₂O)は6.7であったが、窒素の多投入に伴う硝酸化成によって、2014年には5.2まで経時的に低下した⁷⁾。しかし、豚ふん堆肥区における実測値とRothCモデル値の誤差は小さかったことから、試験期間における豚ふん堆肥区の土壤pHの変動の範囲内では、土壤pHが有機物の分解に及ぼす影響は小さかったと考えられた。

供試した家畜ふん堆肥のC/N比の違いから、牛ふん堆肥の分解性は豚ふん堆肥よりも低いと考えられた。しかし、RothCモデルで牛ふん堆肥と豚ふん堆肥の炭素画分の構成比を同一のFYMの既定値¹¹⁾として計算を行ったところ、土壤全炭素含量の実測値とRothCモデル値の誤差

は小さかった。豚ふん堆肥や牛ふん堆肥等の家畜ふん堆肥を施用した国内の非黒ボク土畑(粘土含量は11.8~27.7%)におけるRothCモデルの適合性は高いことが報告されている⁵⁾。分解特性が大きく異なる有機物についてはさらなる検討が必要であると考えられるものの、砂質畑土壌におけるRothCモデルの家畜ふん堆肥に対するFYMの既定値¹¹⁾の適合性は高いと考えられた。

これらのことから、RothCモデルは本試験土壤における土壤全炭素含量の変動解析に用いることができると判断された。また、英国で開発されたRothCモデルが、開発国とは異なる気象条件下の愛知県において、投入有機物が異なり、粘土含量が少ない条件においても高い適合性が認められた。このことから、RothCモデルは、県内の他の砂質露地畑の土壤全炭素含量の変動も精度良く予測できると考えられた。

堆肥無施用区において、作物残さをすき込んだ2006~2018年の年間平均炭素投入量は3.57 t ha⁻¹で(表2)、土壤有機物の適正基準下限値(炭素換算で41.76 t ha⁻¹)に必要な作物残さ量(炭素換算で6.3 t ha⁻¹)よりも少なかった。また、愛知県における露地野菜の中で最も作付面積の広いキャベツ¹⁷⁾の目標収量は50~60 t ha⁻¹で、その作物残さからの炭素投入量を試算すると1.9~2.2 t ha⁻¹である(表5)。1年間でキャベツを2作栽培し、作物残さを全てすき込んだ場合でも炭素投入量は最大で4.4 t ha⁻¹と推定されるため、作物残さからの投入だけでは土壤有機物含量を適正基準下限値に達成することはできないと考えられた。このことは、砂質露地畑における作物生産性向上のための土壤管理において、堆肥等の積極的な有機物の施用が必要であることを示している。

砂質露地畑において、環境負荷物質である窒素やリンの溶脱量が多いことが報告されている⁶⁾。このため、施用基準量の堆肥の連用により土壤有機物含量を目標まで増加させた後は、堆肥の施用量を減らして土壤有機物含量を適正基準下限値で維持しつつ、窒素やリンの溶脱量を減らすことも有効と考えられる。そこで、試験土壤において作物残さを全てすき込み、牛ふん堆肥を施用基準

表 5 愛知県の露地作物の作付面積上位 5 品目における目標収量からみた残さ由来炭素投入量

品目	作付面積 ¹⁾ (ha)	目標収量 ²⁾ (t ha ⁻¹)	残さ由来炭素投入量の推定値 ³⁾ (t ha ⁻¹)
キャベツ	5340	50~60	1.9~2.2
ブロッコリー	940	15	2.2
だいこん	585	50~80	1.4~2.2
たまねぎ	573	60~80	0.3~0.4
スイートコーン	534	16	2.7

1) 平成 30 年産野菜生産出荷統計¹⁷⁾

2) 農作物の施肥基準³⁾

3) 収量に対する残さ乾物重は部位別乾物重構成比⁹⁾から水分含量は 90% (スイートコーンは 85%) として乾物重を推定し乾物重中の炭素含量を 40% として算出

量で連用したと想定すると、16 年後に土壤全炭素含量は土壤有機物の適正基準下限値に達した。その後、施用基準量の 7 割とすれば適正基準下限値を維持できると推定できた。このことから、RothC モデルを用いれば目標とする土壤有機物含量へ増加させるために必要な有機物の施用量と期間を推定でき、かつ環境負荷を軽減できる土壤管理に活用できると考えられた。

各試験区の深さ 60 cm までの土壤全炭素含量は、可給態窒素含量または CEC と有意な正の相関関係にあった。家畜ふん堆肥の施用は、可給態窒素含量や CEC の増加に寄与する¹⁸⁾。このため、有機物が分解しやすく、土壤全炭素含量が少ない砂質露地畑において、家畜ふん堆肥の施用による土壤全炭素含量の増加は可給態窒素含量や CEC を大きく増加させると考えられた。

土壤全炭素含量と可給態窒素含量(図 9)または CEC の直線回帰式(図 10)から、堆肥の有無を継続した土壤管理により土壤全炭素含量が平衡状態となった場合の可給態窒素含量と CEC を推定した。作物残さのみの有機物を投入した堆肥無施用区における平衡状態の土壤全炭素含量は 23.7 t ha⁻¹ (9.9 g kg⁻¹)、可給態窒素含量は 31 mg kg⁻¹、CEC は 6.4 cmol_c kg⁻¹ と推定された。一方、作物残さと牛ふん堆肥の有機物が投入される牛ふん堆肥区の平衡状態の土壤全炭素含量は 64.3 t ha⁻¹ (26.8 g kg⁻¹)、可給態窒素含量は 81 mg kg⁻¹、CEC は 12.0 cmol_c kg⁻¹ と推定された。牛ふん堆肥の施用を継続すると、堆肥を施用しない場合に比べて、可給態窒素含量は 2.7 倍、CEC は 1.9 倍まで増加すると推定された。土壤全炭素含量と可給態窒素や CEC の直線回帰式は本試験ほ土壤で得られたものであるため、県内の砂質露地畑における適合性は検討が必要であるものの、RothC モデルの活用によって、土壤全炭素含量の変動の推定だけでなく、可給態窒素や CEC 等の土壤化学性の変動を推定できることが明らかとなった。

引用文献

1. 松中照夫. 土壤学の基礎生成・機能・肥沃度・環境.

農文協. 東京. p.1-389(2003)

- 愛知県農林水産部農業経営課. 農作物の施肥基準. 愛知県. p.1-117(2011)
- 愛知県農林水産部農業経営課. 農作物の施肥基準. 愛知県. p.1-281(2016)
<http://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/210027.pdf>(2019.2.20 参照)
- Jenkinson, D. S. and J. H. Rayner. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science*. 123, 298-305(1977)
- 白戸康人. 日本およびタイの農耕地における土壤有機物動態モデルの検証と改良. 農業環境技術研究所報告. 24, 23-94(2006)
- 中村嘉孝, 恒川歩, 糟谷真宏. 家畜ふん堆肥を連用した砂質畑土壌における収支、溶脱量及び土壌蓄積量からみた窒素、リン、カリウムの動態. 愛知県農業総合試験場研究報告. 48, 17-28(2016)
- 中村嘉孝, 恒川歩, 糟谷真宏. 家畜ふん堆肥を連用した砂質畑土壌における土壌 pH の低下要因. 日本土壌肥料学雑誌. 89, 227-231(2018)
- 農耕地土壌分類委員会. 農耕地土壌分類第 3 次改訂版. 農業環境技術研究所資料. 17, 1-79(1995)
- 小川和夫, 竹内豊, 片山雅弘. 北海道の耕草地におけるバイオマス生産量及び作物による無機成分吸収量. 北海道農業試験場研究報告. 149, 57-91(1988)
- 土壤環境分析法編集委員会. 土壤環境分析法. 博友社. 東京. p.1-427(1997)
- Coleman, K. and D. S. Jenkinson. RothC-26.3-A model for the turnover of carbon in soil. *Evaluation of Soil Organic Matter Models: Using Existing Long-Term Datasets*, Ed. by D. S. Powlson, P. Smith and J. U. Smith. p.237-246(1996). Springer. Berlin
<https://www.rothamsted.ac.uk/rothamsted-carbon-model-rothc>(2019.6.5. DL)
- 気象庁. 過去の気象データ検索. (2019)
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>(2019.2.20 参照)
- 久保次郎. 蒸発散位とその推定. *天気*. 2, 21-24(1955)
- Jenkinson, D. S., J. Meredith, J. I. Kinyamario, G. Warren, M. T. F. Wong, D. D. Harkness, R. Bol and K. Coleman. Estimating net primary production from measurements made on soil organic matter. *Ecology*, 80, 2762-2773(1999)
- Falloon, P., P. Smith, K. Coleman and S. Marshall. Estimating the size of the inert organic matter pool from total soil organic carbon content for use in the Rothamsted carbon model. *Soil Biology Biochemistry*. 30, 1207-1211(1998)
- 村田智吉, 田中治夫, 坂上寛一, 六本木和夫, 浜田

- 龍之介. 沖積土における稲わら堆肥連用と四要素試験が土壤微生物バイオマス量・可給態窒素量および中性糖組成に及ぼす影響. 日本土壤肥科学雑誌. 68, 257-264(1997)
17. 農林水産省. 平成 30 年産野菜生産出荷統計. (2018)
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500215&tstat=000001013427&cycle=7&year=20180&month=0&tclass1=000001032286&tclass2=000001032933&tclass3=000001135323> (2020. 3. 9 参照)
18. 中津智史, 東田修司, 山上正弘. 淡色黒ボク土壌における堆きゅう肥の連用が畑作物の収量・品質および土壤環境に及ぼす影響. 日本土壤肥科学雑誌. 71, 97-100 (2000)