

愛知県の田畑輪換を含めた水田土壌における全炭素含量と窒素に関する土壌特性の関係解明及び全窒素含量の将来予測

中村嘉孝¹⁾・日置雅之²⁾・尾賀俊哉³⁾・久野智香子⁴⁾・大橋祥範⁵⁾・安藤 薫⁶⁾・大竹敏也⁷⁾

摘要: 愛知県の田畑輪換を含めた水田土壌における有機質資材による土壌管理技術の確立に向けて、全炭素(TC)含量と全窒素(TN)含量または湿潤土湛水培養無機化窒素(MN)含量(湿潤土を30°C4週間湛水条件で培養後に発現するアンモニア態窒素含量)の関係を解明した。有機質資材施用基準内の施用量では、TN含量(g kg^{-1}) $=0.087 \times \text{TC含量}(\text{g kg}^{-1}) - 0.013$ の推定式が得られた。一方、TC含量とMN含量の関係はばらつきが大きく、TC含量からMN含量の推定は困難であった。土壌の種類や粘土含量、有機質資材の施用歴が異なる水田土壌において、土壌炭素動態モデル(Rothamsted Carbon Model及びこれを水田用に改良したモデル、田畑輪換水田はこれら2モデルを組み合わせたモデル)によるTC含量の予測値と得られた推定式からTN含量を予測した結果、本予測手法の適合性は高いことが示唆された。

キーワード: 水田土壌、土壌炭素動態モデル、全窒素含量、全炭素含量、将来予測

Prediction of Total Nitrogen Content in Paddy and Paddy-Upland Rotation Soils in Aichi Prefecture Based on the Relationship Between Total Carbon Content and Soil Nitrogen Characteristics

NAKAMURA Yoshitaka, HIOKI Masayuki, OGA Toshiya, KUNO Chikako,
OHASHI Yoshinori, ANDO Kaori and OTAKE Toshiya

Abstract: To establish soil management technology using organic materials in paddy and paddy-upland rotation soils in Aichi Prefecture, we clarified the relationship between soil total carbon (TC) content and soil total nitrogen (TN) content or available nitrogen (AvN: Amount of ammonia nitrogen after cultivating moist soil at 30°C for 4 weeks under flooded conditions). Excluding the instance where a large amount of organic material was applied, TN content (g kg^{-1}) $=0.087 \times \text{TC content}(\text{g kg}^{-1}) - 0.013$. However, the relationship between the TC and AvN content varied widely. Furthermore, we demonstrated the value of the method for predicting the TN content based on expected TC content using a soil carbon dynamics model (the Rothamsted Carbon Model and an improved version of this model for paddy fields). In paddy soils with various soil types, clay contents, field rotation histories, and organic material application histories, TN content was predicted using a regression equation between TC content and TN content based on the predicted value of TC content from a soil carbon dynamics model. The results confirmed the suitability of this prediction method.

Key Words: Paddy soils, Soil carbon dynamics model, Total nitrogen content, Total carbon content, Prediction

¹⁾環境基盤研究部(現普及戦略部) ²⁾作物研究部(現環境基盤研究部) ³⁾作物研究部(現西三河農林水産事務所) ⁴⁾環境基盤研究部(現作物研究部) ⁵⁾環境基盤研究部(現研究戦略部) ⁶⁾環境基盤研究部 ⁷⁾環境基盤研究部(退職)

緒言

愛知県の水田の土壌有機物含量は全国の平均値に比べて少ないことが報告されている¹⁾。土壌有機物は土壌から作物へ供給される窒素の供給源であるため、土壌からの窒素供給量が少ない場合は有機質資材を施用し、土壌有機物含量の増加を通じた土壌からの窒素供給量を増やすことが重要である。これは、土地生産性を高めるとともに、化学肥料の低減にもつながる重要な土壌管理である。しかし、有機質資材の施用に伴う土壌有機物含量の変化は緩やかで、その施用効果は施用後の1作の栽培期間だけでなく、長期間に及ぶ。このため、水稻栽培における過剰な有機質資材の施用は、窒素の供給過剰による倒伏の助長や、コメの食味を低下させるタンパク含量の増加につながり²⁾、生産性や品質を低下させるおそれがある。これらのことから、有機質資材の施用による過剰な窒素供給を抑制するために、その施用に伴う土壌からの窒素供給量の変化を予測したうえで、その施用量を決定する必要がある。

愛知県の畑土壌では、土壌有機物含量の指標とされる全炭素含量と、土壌からの窒素供給量の指標とされる全窒素含量や風乾土畑条件培養無機化窒素含量(風乾土を30°C4週間畑条件で培養後に発現する無機態窒素含量)の定量的な関係が明らかにされており³⁾、土壌炭素動態モデルである Rothamsted Carbon Model⁴⁾を用いた全炭素含量の変化予測から風乾土畑条件培養無機化窒素含量を予測できることが報告されている⁵⁾。これまでに、愛知県の田畑輪換も含めた水田土壌における全炭素含量の将来予測について、土壌炭素動態モデル(Rothamsted Carbon Model⁴⁾及びそれを水田向けに改良したモデル⁶⁾、田畑輪換水田ではこれら2モデルを組み合わせたモデル⁷⁾が適合することが明らかにされている⁸⁾。しかし、愛知県の施肥基準⁹⁾に基づいて水稻の窒素施肥量を加減する場合、全窒素含量及び湿潤土湛水培養無機化窒素含量(湿潤土を30°C4週間湛水条件で培養後に発現するアンモニア態窒素含量)を指標として用いている。このため、有機質資材の施用に伴う全炭素含量の変化から、全窒素含量または湿潤土湛水培養無機化窒素含量の関係を予測できれば、適切な窒素施肥管理に資すると考えられるが、水田土壌における全炭素含量とこれらの土壌特性値との定量的な関係は明らかにされていない。

そこで、本研究では愛知県の田畑輪換も含めた水田土壌における有機質資材による土壌管理技術の確立に向けて、過去に実施された有機質資材の施用試験や土壌調査のデータを用いて、全炭素含量と全窒素含量または湿潤土湛水培養無機化窒素含量の関係を明らかにするとともに、生産者が管理する水田における土壌炭素動態モデルによる全炭素含量の予測値から全窒素含量を予測する手法の適合性についても明らかにした。

材料及び方法

1 全炭素含量と窒素に関する土壌特性の関係

(1) 全炭素含量と全窒素含量の関係

解析には、愛知県農業総合試験場が長久手市、日進市及び安城市の水田において実施した有機質資材の連用試験¹⁰⁻¹⁵⁾(表1)と、1998年から2005年に県内15地域において実際に生産者が管理する水田ほ場について広域的に調査(表2)したデータを用いた。

全炭素含量を説明変数、全窒素含量を目的変数として単回帰分析を行った。

表2 広域調査した水田の地区

調査年	市町村・地区	調査ほ場数
1998	日進市・藤島	124
	美和町 ¹⁾ ・篠田	50
1999	日進市・岩崎	27
	日進市・赤池	98
	碧南市・前浜	69
2000	西尾市・小間	71
	西尾市・田貫 豊田市・枳塚東	63 102
2001	新城市・富岡	106
	津島市・中一色	109
2002	豊明市・沓掛	99
2003	立田村 ²⁾ ・山路	66
2004	常滑市・神明	56
	八開村 ²⁾ ・鶴多須	78
2005	設楽町・東納庫	99

1) 2010年に合併し「あま市」へ

2) 2005年に合併し「愛西市」へ

表1 有機質資材の連用試験の概要

試験番号	試験地	土壌	解析期間(年)	施用有機質資材 ¹⁾
試験1(文献10)	安城市	黄色土	1976-2017	稲わら堆肥(7.5、22.5 t ha ⁻¹ y ⁻¹)
試験2(文献11)	日進市	灰色低地土	1977-1982	稲わら(5.0 t ha ⁻¹ y ⁻¹)、家畜ふん堆肥(10.0 t ha ⁻¹ y ⁻¹)
試験3(文献12)	日進市	灰色低地土	1984-1997	稲わら(5.0 t ha ⁻¹ y ⁻¹)、家畜ふん堆肥(10.0 t ha ⁻¹ y ⁻¹)
試験4(文献13)	長久手市	灰色台地土	1978-1980	もみがら(5、10、20 t ha ⁻¹ y ⁻¹)
試験5(文献14)	長久手市	灰色台地土	2015-2020	牛ふん堆肥(20、30、40 t ha ⁻¹ y ⁻¹)を2年に1回施用
試験6(文献14)	長久手市	灰色台地土	2009-2020	牛ふん堆肥(20 t ha ⁻¹ y ⁻¹)*
試験7(文献15)	長久手市	灰色台地土	1975-1978	おがくず混合牛ふん堆肥(30、80、160 t ha ⁻¹ y ⁻¹)*
				おがくず混合豚ふん堆肥(30、80、160 t ha ⁻¹ y ⁻¹)*
				おがくず ²⁾ (80 t ha ⁻¹ y ⁻¹)

いずれの試験も有機質資材を無施用とした処理区を含む

1) 現物施用量。印(*)がある場合は、処理区によって有機質資材の施用年が異なる。

(2) 全炭素含量と湿潤土湛水培養無機化窒素含量の関係

解析には、広域調査した水田のデータ(表2)を用いた。

全炭素含量を説明変数、湿潤土湛水培養無機化窒素含量を目的変数として単回帰分析を行った。

2 土壤炭素動態モデルを用いた全窒素含量の予測手法の検証

(1) 継続調査した水田の概要

検証には、愛知県内で生産者が管理する同一ほ場で継続的な調査(土壤環境基礎調査(1979~1997年)、土壤機能モニタリング調査(1999~2007年)及び農地管理実態調査(2009~2016年))が実施された、水稻連作水田と田畑輪換水田の計26ほ場の調査データを用いた(表3~4、図1)。

(2) 土壤炭素動態モデルを用いた全炭素含量の予測

作土の全炭素含量の予測値は、既報⁹⁾と同様に算出した。すなわち、土壤炭素動態モデル(Rothamsted Carbon Model⁴⁾及びRothamsted Carbon Modelを水田向けに改良したモデル⁶⁾を用いて、夏作が水稻の場合は水田向けに改良したモデルを、夏作が畑作物の場合はRothamsted Carbon Modelを適応⁷⁾したモデルを用いた。土壤炭素動態モデルにおける入力パラメータの月別平均気温、月別平均降水量は、継続調査した水田の近隣にある気象庁観測所の観測デ

ータ¹⁶⁾(表3)を用いた。月別の水面蒸発量は、Thornthwaiteの可能蒸発散量¹⁷⁾から算出した。月別の植被の有無は栽培履歴から求めた。

(3) 全炭素含量の予測値からの全窒素含量の予測

1(1)で得られた土壤全炭素含量と全窒素含量の回帰式(全窒素含量(g kg^{-1}) $=0.087 \times$ 全炭素含量の予測値(g kg^{-1}) -0.013)を用いて、全炭素含量の予測値から作土の全窒素含量を予測した。



図1 継続調査した水田ほ場の所在地(●)

表3 継続調査した水田の概要

ほ場 番号	所在 市町	土壌	解析期間 (年)	粘土含量 (%)	作土深 (cm)	乾燥密度 (g cm^{-3})	予測開始時		近隣の 気象観測 地点 ¹⁾
							全炭素 (t ha^{-1})	全窒素 (t ha^{-1})	
1	小牧市	褐色低地土	1979-2014	21.9	13.5	1.1	46	3.8	名古屋
2	犬山市	低地水田土	1984-2014	30.9	13.4	1.0	38	3.5	美濃加茂
3	犬山市	灰色台地土	1979-2014	23.8	13.8	1.2	38	3.4	美濃加茂
4	半田市	グライ低地土	1979-2014	17.7	14.1	1.2	21	2.3	東海
5	美浜町	未熟低地土	1984-2014	16.2	15.4	1.1	14	1.2	南知多
6	豊田市	灰色低地土	1985-2016	16.0	15.1	1.1	23	1.9	豊田
7	豊田市	黄色土	1985-2016	30.7	14.4	1.2	22	2.4	豊田
8	豊田市	黄色土	1980-2016	33.6	13.5	1.3	24	2.1	豊田
9	安城市	黄色土	1985-2016	20.3	15.5	1.3	27	2.8	岡崎
10	安城市	黄色土	1980-2016	26.7	13.5	1.3	22	1.9	岡崎
11	安城市	灰色台地土	1980-2016	11.3	15.5	1.3	21	2.1	岡崎
12	西尾市	グライ低地土	1980-2010	24.0	14.0	1.0	26	2.1	蒲郡
13	豊田市	灰色低地土	1980-2016	13.9	15.0	1.0	24	2.3	豊田
14	安城市	灰色低地土	1980-2016	13.8	17.0	1.2	30	2.6	岡崎
15	西尾市	グライ低地土	1980-2010	11.5	14.8	1.0	25	2.2	蒲郡
16	豊川市	褐色森林土	1981-2014	23.3	16.4	0.7	65	5.3	豊橋
17	豊橋市	低地水田土	1981-2014	24.1	13.9	1.1	34	3.6	豊橋
18	豊橋市	低地水田土	1986-2014	11.8	14.3	1.2	11	1.6	豊橋
19	田原市	低地水田土	1986-2014	20.9	15.0	1.2	26	3.1	伊良湖
20	あま市	灰色低地土	1982-2015	14.3	14.1	1.1	17	1.1	名古屋
21	稲沢市	灰色低地土	1982-2015	17.3	13.9	0.9	18	1.9	愛西
22	愛西市	灰色低地土	1982-2015	9.6	15.8	0.9	23	2.2	愛西
23	愛西市	グライ低地土	1982-2015	18.2	16.1	0.9	20	2.0	愛西
24	愛西市	グライ低地土	1982-2015	5.8	14.3	1.2	16	1.6	愛西
25	愛西市	グライ低地土	1982-2015	8.6	16.5	1.0	14	1.3	愛西
26	弥富市	グライ低地土	1982-2015	8.5	15.9	0.9	20	1.9	愛西

1) 解析に用いたほ場の近隣にある気象庁観測所の観測地点¹⁶⁾

3 土壌化学性の分析法

土壌の全炭素含量はチューリン法または乾式燃焼法で、全窒素含量はケルダール法または乾式燃焼法で測定した。湿潤土湛水培養無機化窒素含量は、湿潤土を30°C4週間の湛水条件で培養後に発現したアンモニア態窒素含量を塩化カリウム溶液で抽出後、蒸留法またはインドフェノール青吸光度法で測定した値から、培養0日目のアンモニア態窒素含量を同様に測定した値を差し引いて求めた。

4 予測値と実測値の適合性の評価

各予測値と実測値の二乗平均平方根誤差(RMSE)を算出し、土壌炭素動態モデルによる全炭素含量の予測値から全窒素含量を予測する手法の適合性を評価した。

表4 継続調査した水田の解析に用いた炭素投入量

ほ場 番号	炭素投入量(t ha ⁻¹)				家畜ふん 堆肥 ²⁾
	水稻 ¹⁾	コムギ	ダイズ	キャベツ	
1	2.87				
2	2.76				
3	2.70				
4	2.70				
5	2.41				
6	2.89				
7	2.79				
8	2.25	2.86	1.01		0.97(鶏)
9	2.85				1.65(牛) 2.48(牛)
10	2.78	3.81			
11	2.80	3.33			
12	2.11	3.33	0.75		
13	2.54	1.71			
14	2.72	3.49	0.50		3.31(牛)
15	0.14 2.25	4.28	1.01		
16	2.40	4.28	1.51		0.72(豚)
17	2.88				
18	0.13 2.36				
19	0.15 2.75		1.15		3.31(牛) 4.96(牛)
20	0.14 2.60				3.31(牛)
21	0.15 2.81				
22	0.16 3.03				
23	0.16 3.02				
24	0.15 2.82				
25	0.13 2.53				
26	0.15 2.86				

1) 2つの値がある場合はわらのすき込みの有無でわけた
2) 括弧内は畜種。2つの値がある場合は年次によって
施用量に違いあることを示す。

結果及び考察

1 全炭素含量と土壌窒素肥沃度の関係

(1) 全炭素含量と全窒素含量の関係

稲わらや家畜ふん堆肥等が施用され、かつ田畑輪換の水田を含む供試土壌において、全炭素含量と全窒素含量は有意な正の相関関係を示し、決定係数も0.915と高かった(図2)。このことから、土壌の全炭素含量から全窒素含量を推定できると考えられる。しかし、試験4のもみがらまたは試験7のおがくず混合家畜ふん堆肥を施用した土壌の全炭素含量と全窒素含量の関係は、他の土壌とは異なり、全炭素含量に対する全窒素含量の割合は低かった。もみがらやおがくずは窒素をほとんど含まず、これらの炭素含有量と窒素含有量の比(C/N比)は高く、水田条件下における分解率は低い¹⁸⁾。このため、これらを施用した土壌におけるC/N比が他の有機質資材を施用した場合とは異なると考えられる。

ただし、愛知県の有機質資材施用基準⁹⁾は、「水稻、麦、豆類・雑穀」のもみがらで5 t ha⁻¹ 年⁻¹(現物)、牛ふん堆肥で20 t ha⁻¹ 年⁻¹(現物)、豚ふん堆肥で「水稻」は5 t ha⁻¹ 年⁻¹(現物)、「麦、豆類・雑穀」は10 t ha⁻¹ 年⁻¹(現物)とされている。もみがらまたはおがくず混合家畜ふん堆肥を多量に施用した土壌における全炭素含量と全窒素含量の関係はさらなる検討が必要であるが、試験4のもみがらや試験7のおがくずまたはおがくず混合家畜ふん堆肥の施用量は施用基準を超過しており、その施用量は推奨されない。そこで、もみがらやおがくず混合家畜ふん堆肥のデータを除いて、土壌の全炭素含量と全窒素含量の回帰式を求めると、その結果、全窒素含量(g kg⁻¹)=0.087×全炭素含量(g kg⁻¹)-0.013で、決定係数は0.934と高かった。これらのことから、有機質資材施用基準⁹⁾内の施用量であれば、土壌の種類によらず、全炭素含量から全窒素含量を推定できると考えられる。

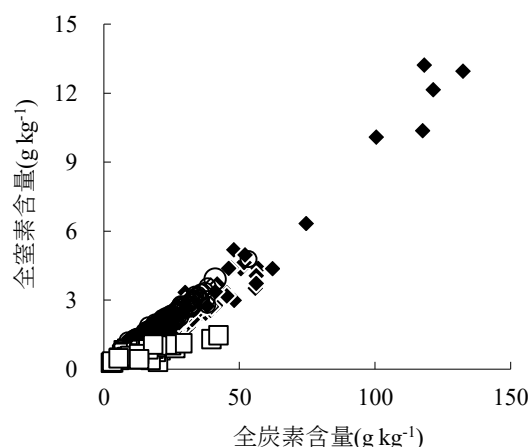


図2 水田土壌の全炭素含量と全窒素含量の関係
○は試験4(もみがらを施用)と試験7(おがくず混合家畜ふん堆肥を施用)以外のデータ、□は試験4と試験7のデータ、◆は継続調査のデータを示す
全土壌: $y = 0.086x - 0.011$ ($n = 1640, R^2 = 0.915, P < 0.001, RMSE = 0.251$)
試験4(もみがらを施用)と試験7(おがくず、おがくず混合家畜ふん堆肥を施用)を除いた土壌: $y = 0.087x - 0.013$ ($n = 1574, R^2 = 0.934, P < 0.001, RMSE = 0.221$)

(2) 全炭素含量と湿潤土湛水培養無機化窒素含量の関係

供試した水田土壌の全炭素含量と湿潤土湛水培養無機化窒素含量は正の相関関係を示したが、その決定係数は0.368と低く(図3)、RMSEは20.0とばらつきが大きかった。水稻栽培では窒素管理が大きな課題とされている²⁾。有機質資材の施用により土壌有機物を増加させることで湿潤土湛水培養無機化窒素含量が増加することが示されたものの、全炭素含量から湿潤土湛水培養無機化窒素含量の推定精度は低いことから、推定した湿潤土湛水培養無機化窒素含量から窒素施肥量を加減することは適さないと考えられる。

愛知県の灰色低地土及びグライ土において、それぞれの土壌統群ごとに全炭素含量と風乾土湛水培養無機化窒素含量(風乾土を30°C4週間湛水条件下で培養後に発現するアンモニア態窒素含量)¹⁹⁾を検討した結果、有意な正の相関関係であったことが報告されている²⁰⁾。今後、全炭素含量からの湿潤土湛水培養無機化窒素含量の推定についても土壌の種類ごとに推定式を作成することで、より推定精度の高い推定式を作成できる可能性が考えられる。また、戸上ら²¹⁾は、土壌の分光反射率から推定される炭素含量は微生物による分解を受けにくい安定な腐植であるとし、実測した全炭素含量と分光反射率から推定される腐植の差から、湿潤土を30°C10週間培養後に発現する窒素含量を推定できることを報告している。愛知県の施肥基準⁹⁾において、水稻の窒素

施肥量を加減する診断のための湿潤土湛水培養無機化窒素含量は10 mg kg⁻¹ごとに設定されている。したがって、湿潤土湛水培養無機化窒素含量を施肥診断できるほどの高い精度で推定するためには、湛水条件下で無機化されてくる易分解性の有機態窒素化合物に関連する土壌特性を把握することが必要であると考えられる。

2 土壌炭素動態モデルを用いた全窒素含量の予測手法の検証

(1) 土壌炭素動態モデルの適合性の検証

愛知県の水田土壌における土壌炭素動態モデルの適合性を検証した既報⁸⁾に比べて、土壌の種類や地域、田畑輪換の有無、有機質資材や作物残さからの炭素投入量が異なったが、粘土含量が33.6%と多いほ場(ほ場番号8)や5.8%と少ないほ場(ほ場番号24)であっても、全炭素含量の予測値は実測値と同程度で推移した(図4)。一方、予測開始時の全炭素含量が65 t ha⁻¹と最も多かったほ場(ほ場番号16)における実測値は増加傾向を示したのに対し、予測値は予測開始時と同程度で推移したが、その予測値と実測値のRMSEは12.6であった。

全国各地の水田における土壌炭素動態モデルのRMSEの平均値は水稻単作⁶⁾で9.3、田畑輪換⁷⁾で9.26と報告されている。さらに、愛知県で実施された有機質資材の連用試験における同モデルの予測値と実測値のRMSEは1.5~7.5であった⁸⁾。ほ場番号16の全炭素含量は他のほ場よりも多かったことからRMSEが大きかったと考えられるものの、全炭素含量の予測値と実測値のRMSEの平均値は5.5で(表5)、水田における土壌炭素動態モデルの適合性に関する既報⁶⁻⁸⁾のRMSEと同程度であった。

これらのことから、愛知県の水田における土壌炭素動態モデルの適合性が高いことが改めて示された。

(2) 全窒素含量の予測の検証

全炭素含量の予測値から予測した全窒素含量の予測値と実測値は同程度で推移し(図5)、予測値と実測値のRMSEのRMSEの平均値は0.52であった(表5)。また、ほ場番号16を除くと、各ほ場の全炭素含量の予測値と実測値のRMSEが大きいくほど、全窒素含量の予測値と実測値のRMSEも大きくなる傾向であった(図6)。さらに、ほ場番号16以外の全炭素含量のRMSEと全窒素含量のRMSEの比の平均値は11.3で(表5)、本研究で供試した土壌の予測開始時のC/N比の平均値は10.7(表3)における各ほ場の予測開始時の全炭素含量と全

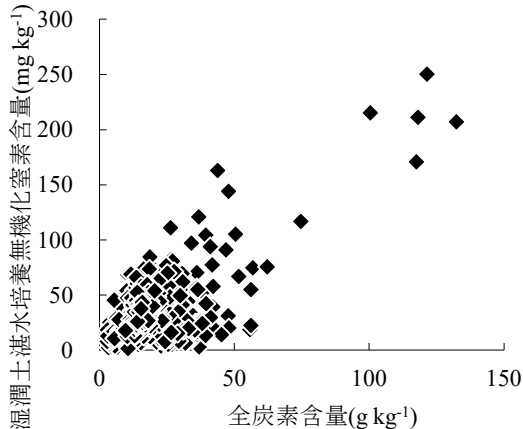


図3 水田土壌の全炭素含量と湿潤土湛水培養無機化窒素含量の関係

$$y = 1.15x + 11.75 \quad (n = 1217, R^2 = 0.368, P < 0.001, \text{RMSE} = 20.0)$$

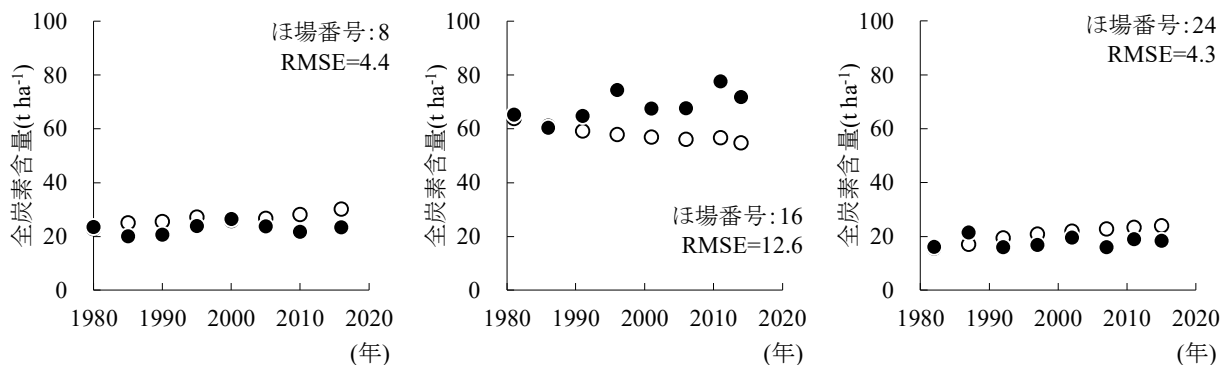


図4 継続調査した水田(ほ場番号 8、16、24)における全炭素含量の実測値(●)と予測値(○)の経時変化

窒素含量から算出)と同程度であった(図7)。これは全炭素含量と全窒素含量の相関関係が強いためと考えられる。

そこで、この予測開始時の実測値のC/N比(10.7)を用いて、全炭素含量のRMSEから全窒素含量のRMSEの妥当性を検証した。既報⁶⁾における土壌炭素動態モデルの全炭素含量のRMSEの平均値の9.3からC/N比を10.7として推定した全窒素含量のRMSEは0.87で、本研究で得られた全窒素含量のRMSEの平均値(0.52)の方が小さかった。すなわち、既報⁶⁾におけるC/N比からみて、本予測手法の適合性は高いと

考えられる。ほ場番号16における全炭素含量の予測値と実測値のRMSEは12.6で最も大きかったが、全窒素含量の予測値と実測値のRMSEは0.32で全炭素含量のRMSEとC/N比から推定した全窒素含量のRMSEの平均値(0.87)よりも小さく、全窒素含量の推定精度は高かった。ほ場番号16の全炭素含量と全窒素含量のRMSEの関係が異なった要因として、ほ場番号16のみが褐色森林土で他のほ場と土壌の種類が異なったこと、さらに施用された有機質資材が豚ふん堆肥であったことが考えられる。全炭素含量からの全窒素含量の

表 5 継続調査した水田における全炭素含量(TC)及び全窒素含量(TN)の予測値と実測値の二乗平均平方根誤差(RMSE)とそれぞれの RMSE の比

ほ場番号	RMSE		TC の RMSE/ TN の RMSE
	TC	TN	
1	6.4	0.53	12.1
2	6.0	0.69	8.6
3	5.6	0.63	8.9
4	6.7	0.83	8.0
5	3.6	0.28	12.9
6	1.8	0.27	6.6
7	6.4	0.61	10.6
8	4.4	0.24	18.3
9	4.2	0.60	7.6
10	5.1	0.30	16.6
11	5.1	0.45	11.2
12	5.1	0.43	12.0
13	1.8	0.31	5.9
14	4.9	0.74	6.6
15	7.6	0.65	11.8
16	12.6	0.32	39.1
17	3.4	0.31	10.7
18	8.4	0.95	8.8
19	12.3	1.25	9.8
20	5.2	0.44	11.7
21	5.7	0.54	10.4
22	4.3	0.53	8.1
23	3.7	0.45	8.2
24	4.3	0.46	9.5
25	4.1	0.45	9.0
26	3.9	0.33	11.9
平均値	5.5	0.52	11.3
最小値	1.8	0.24	5.9
最大値	12.6	1.25	39.1

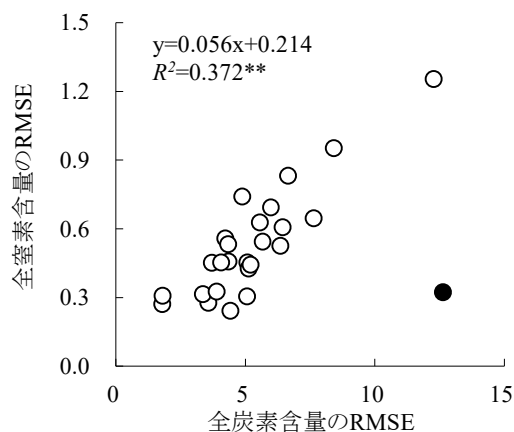


図 6 全炭素含量の RMSE と全窒素含量の RMSE の関係
** 1%水準で有意性あり
図中の●はほ場番号 16、○はほ場番号 16 以外

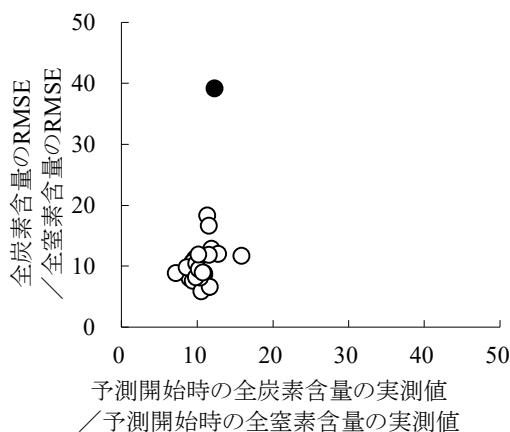


図 7 実測した全炭素含量/全窒素含量と全炭素含量の RMSE/全窒素含量の RMSE の関係
図中の●はほ場番号 16、○はほ場番号 16 以外

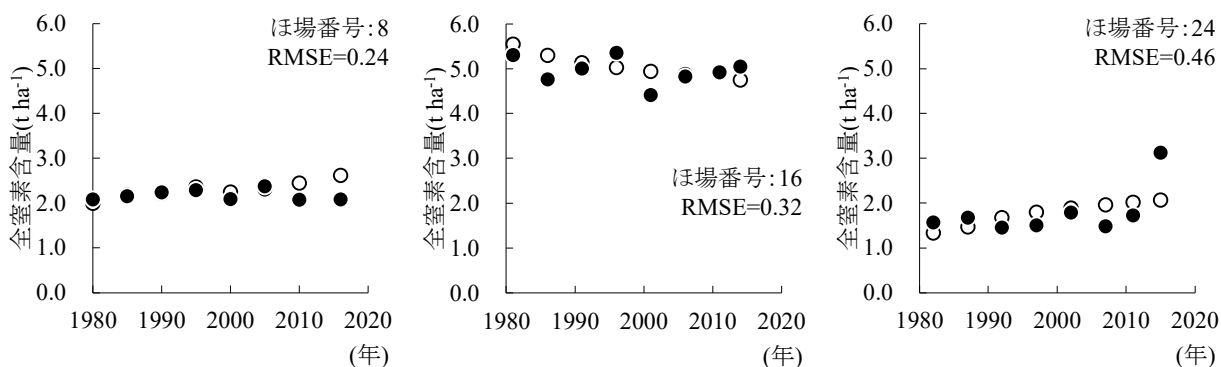


図 5 継続調査した水田(ほ場番号 8、16、24)における全窒素含量の実測値(●)と予測値(○)の経時変化

予測手法の適合性を向上させるうえで、ほ場番号16の全炭素含量と全窒素含量のRMSEの関係が異なった要因の解明は重要であり、今後の課題としたい。

3 土壤炭素動態モデルを用いた有機質資材の施用効果の将来予測に向けて

本研究の結果から田畑輪換を含む水田土壌において、土壤炭素動態モデルと全炭素含量量からの全窒素含量の推定式を用いれば全窒素含量の将来を予測につなげることができることが明らかとなった。、本手法は簡便な手法であり、その有効性は高いと考えられる。一方、全炭素含量と湿潤土湛水培養無機化窒素含量の関係はばらつきが大きく、推定精度の向上が必要であると考えられる。このことから、湿潤土湛水培養無機化窒素含量の推定には、全炭素含量以外の土壤特性を踏まえた予測手法の検討が必要である。県内で実施されてきた土壤調査事業における水田の可給態窒素は、風乾土湛水培養無機化窒素含量¹⁹⁾が採用されており、湿潤土湛水培養無機化窒素含量のデータの蓄積は少ない。今後、湿潤土湛水培養無機化窒素含量の推定精度を高めるためには湿潤土湛水培養無機化窒素含量自体の分析データを蓄積することも必要である。

また、田畑輪換水田で、コムギやダイズの畑作物を栽培する場合は風乾土畑条件培養無機化窒素含量が土壤窒素肥沃度の指標¹⁴⁾とされる。畑土壌における全炭素含量と風乾土畑条件培養無機化窒素含量の関係は明らかにされているが³⁾、田畑輪換水田において畑土壌の全炭素含量と風乾土畑条件培養無機化窒素含量の関係が適応できるかは検討が必要である。

引用文献

- 加藤保. 有機物施用を中心とした土壌管理による土壌への炭素蓄積-愛知県における調査成績から-. 土肥誌. 74(1), 99-104(2003)
- 近藤始彦. コメの品質, 食味向上のための窒素管理技術(1)-水稲の高温登熟障害軽減のための栽培技術開発の現状と課題-. 農業および園芸. 82(1), 31-34(2007)
- 中村嘉孝, 山本拓, 久野智香子, 大橋祥範, 安藤薫, 大竹敏也. 愛知県の畑土壌における土壤全炭素含量と土壤全窒素含量または土壤可給態窒素含量の関係解明. 愛知農総試研報. 54, 107-110(2022)
- Jenkinson, D. S. and Rayner, J. H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science*. 123(5), 298-305(1977)
- 中村嘉孝, 山本拓, 久野智香子, 大橋祥範, 安藤薫, 瀧勝俊, 大竹敏也. 土壤炭素動態モデルを用いた愛知県の畑土壌における土壤化学性の将来予測技術の開発. 土肥誌. 94(3), 192-195(2023)
- Shirato, Y. and Yokozawa, M. Applying the Rothamsted Carbon Model for long-term experiments on Japanese paddy soils and modifying it by simple tuning of the decomposition rate. *Soil Science and Plant Nutrition*. 51(3), 405-415(2005)
- Shirato, Y., Yagasaki, Y. and Nishida, M. Using different versions of the Rothamsted Carbon model to simulate soil carbon in long-term experimental plots subjected to paddy-upland rotation in Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*. 57(4), 597-606(2011)
- 中村嘉孝, 日置雅之, 尾賀俊哉, 久野智香子, 大橋祥範, 安藤薫, 大竹敏也. 愛知県の水田における土壤炭素動態モデルの適合性の検証. 愛知農総試研報. 54, 21-28(2022)
- 愛知県農業水産局農政部農業経営課. 農作物の施肥基準. 愛知県. (2021) <https://www.pref.aichi.jp/soshiki/nogyo-keiei/sehikijun.html>. (2023.2.25参照)
- 塩田悠賀里, 稲垣明, 長谷川徹, 沖村逸夫. 四要素及び堆肥の長期施用による水田土壌の理化学性と水稲の生育について. 愛知農総試研報. 12, 52-60(1980)
- 愛知県農業総合試験場. 昭和50~57年度土壤環境基礎調査(基準点調査)成績書. p.113-157(1983)
- 愛知県農業総合試験場. 昭和59年度~平成9年度土壤保全関係試験成績概要集. p.35-61(1998)
- 岩田久史, 森健治郎, 澤田守男, 今川正弘, 加藤裕司, 加藤虎治. もみがらの多量連用施用が水稲生育に及ぼす影響. 愛知農総試研報. 14, 40-45(1982)
- 久野智香子, 浅野智也, 小田紫帆里, 森崎耕平, 武井真理, 瀧勝俊, 大竹敏也. 2年3作輪作体系のダイズ作を対象とした地力改善指標の確立. 愛知農総試研報. 53, 17-24(2021)
- 岩田久史, 沢田守男, 森健治郎, 加藤虎治. 水稲作へのおがくず混合家畜ふん堆肥の利用(第1報)多量施用が水稲生育及び土壌に与える影響. 愛知農総試研報. 12, 45-51(1980)
- 気象庁. 2019. 過去の気象データ検索. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>. (2020.10.30参照)
- 久保次郎. 蒸発散位とその推定. 天気. 2(10), 21-24(1955)
- 前田乾一, 志賀一一. 水田条件下における各種有機物資材の分解経過. 土肥誌. 49(6), 455-460(1978)
- 農林水産省農蚕園芸局農産課. 土壤環境基礎調査における土壌, 水質及び作物体分析法. 土壤保全調査事業全国協議会. 1-202(1979)
- 池田彰弘, 山田良三, 田中武夫, 田島英男, 瀧勝俊, 沖野英男. 愛知県耕地土壌の地力変化の実態地域及び土壌類型別の地力実態と経時変化. 愛知農総試研報. 20, 329-338(1988)
- 戸上和樹, 高本慧, 高橋智紀. 有機物連用水田の空撮により取得された土壌の分光反射率と全炭素含量を用いた可給態窒素の推定法. 土肥誌. 93(2), 69-76(2022)