

土壤情報閲覧システムを活用したわが国の農耕地作土層中の炭素・窒素賦存量の試算

高田裕介¹・レオン愛¹・中井 信¹・小原 洋¹・神山和則¹

Estimation of carbon and nitrogen content in surface horizon using “Soil Information Web Viewer”

Yusuke TAKATA¹, Ai LEON¹, Makoto NAKAI¹, Hiroshi OBARA¹ and Kazunori KOHYAMA¹

Abstract : The digital cultivated soil map and the Basic Soil - Environmental Monitoring database are one of the most important soil information in Japanese agricultural land. These soil information can be browsed on “Soil Information Web Viewer” which is provided by National Institute for Agro-Environmental Sciences. In this study, we estimated carbon and nitrogen content of soil surface (0 - 14cm) in Japanese agricultural land using these soil inventories, and we also evaluated spatio-temporal variation of soil carbon and nitrogen content during 1979-1998. Organic soil groups and Andosol groups showed high carbon and nitrogen content (Mg ha^{-1}) in surface horizon. And, the temporal variation of soil carbon content was maintained constant in paddy fields, and it increased in orchard and grass land. On the contrary, soil carbon content in upland fields was decreased. And, soil nitrogen content in all land use type was gradually increased, and soil carbon and nitrogen ratio was tended to decrease in all land use type. Total soil carbon and nitrogen stock of surface horizon in Japanese agricultural land had peaked at 235 Tg C and 19.0 Tg N during 1984-1988, and these had decreased to 218 Tg C and 18.4 Tg N during 1994-1998. The spatio-temporal variation of soil carbon and nitrogen stock did not coincide with the fluctuation of agricultural land area.

1. はじめに

土壤の安全保障 (Soil Security) を通して食の安全保障 (Food Security), 温暖化の緩和・適応や土壤劣化防止などの学際的な課題を克服することが世界的にも望まれている (FAO, 2012). これらの今日的な課題に取り組むためには, 持続可能な土地利用の実現を目指している様々なレベルのステークホルダーに土壤情報を広く利用してもらうことが重要となる (FAO, 2012).

持続可能な土地利用の実現の鍵となる土壤情報は一般的に2つの軸 (空間軸と時間軸) に分けて整理されることが多い. 空間軸として重要なのが土壤図であり,

土壤の特性や分類群の空間的な分布状況を示す基盤情報である. 現在わが国において, 全国をカバーし, かつ, 市町村レベルでの土地利用や営農指導に活用できる中縮尺のベクター型デジタル土壤図は農耕地土壤図 (5万分の1縮尺) だけである. この農耕地土壤図は, 農林水産省が実施した地力保全基本調査 (1959-1978年に全国の農耕地において25haに1点の間隔で土壤断面調査を実施)の成果である土壤図をデジタル化したものである. この農耕地土壤図は農耕地土壤分類第2次案によって320の土壤統に分けて分布域が描かれている.

わが国の土壤情報の内, 時間軸で整理された情報の中で重要なのが土壤環境基礎調査 (1979年~) データベースである. この土壤環境基礎調査とは, 時間経過に伴う地力変化とこれに係わる要因を把握する目的で農林水産省により実施されたものである (中井, 2008). 本調査には基準点調査と定点調査がある. とくに定点調査では, 全国の主要な土壤を代表する約2万地点の農地を対象として, 土壤の理化学性が5年ごとにモニタリングされてきた. また, モニタリング圃場では, 耕作者への土地管理に関するアンケート調査が行われ, 土地管理状況別に土壤理化学性の変化を地目別や土壤の分類単位毎に把握できる. この膨大な土壤情報は, 地力増進のための土壤診断基準値の設定, 持続性の高い農業生産方式導入のための減肥指針の策定などの基礎情報として活用されてきた (安西ら, 1999). 定点調査の結果の一部は2008年に冊子「土壤保全調査事業成績書」としてまとめられ, 関係機関等に配布されている (農林水産省, 2008).

これらの空間軸と時間軸に分けられて整理された土壤情報は, 近年, インターネット上で公開され, 様々なレベルのステークホルダーが土壤情報を利用できる環境が整った. 本研究では, わが国で公開されている農耕地土壤情報の利活用手法の一例を示すため, 農業生産および環境科学の両側面から期待が大きい全国農耕地の作土層中の炭素および窒素の賦存量について試算することを目的とした. さらに, 空間軸と時間軸によって整理された土壤情報を組み合わせることにより, 作土層中の炭素および窒素賦存量および総量の時空間変動の解析を試みる.

¹ National Institute for Agro-Environmental Sciences, 3-1-3 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8604, Japan.

Corresponding author : 高田裕介¹ (独) 農業環境技術研究所

2012年12月10日受稿, 2013年2月20日受理

土壤の物理性 123号, 117-124 (2013)

2. 材料および方法

2.1 本研究で用いた農耕地土壌情報データベースの概要

2.1.1 農耕地土壌図

地力保全基本調査の成果として1970年代に整備された農耕地土壌図(縮尺1/5万)は高度経済成長期の農地の拡張・改廃状況が反映されていなかった。農耕地土壌図の情報精度の鍵となる地目情報の更新が遅れたため、土壌図の利活用が制限されてきた。そのため、高田ら(2009)は地理情報システム(GIS)上で1992年に公表された地目情報(ベクター型:第3次土地利用基盤整備基本調査図,農林水産省作成)を農耕地土壌図(ベクター型)に反映させ、かい廃農地ポリゴン(多角形で示された領域)を一括削除し、拡張農地ポリゴンについては、地形・土地利用・地質などの周辺環境の類似性を基に土壌統(農耕地土壌分類第2次案;土壌第3科,1983)を推定し、土壌統属性に土壌統コードを付与することで1992年版全国デジタル農耕地土壌図を作成した。また、高田ら(2011)は同様の手法で2001年に公開された地目情報(第4次土地利用基盤整備基本調査図,農林水産省作成)を用いて2001年版全国デジタル農耕地土壌図を作成した。

デジタル農耕地土壌図の各ポリゴンには、属性として土壌統コード、地目名およびポリゴン面積が収録されており、ESRI社のシェープ・ファイル形式により都道府県単位で管理されている。

2.1.2 作土層の理化学性データベース

定点調査は全国の主要な土壌を代表する約2万地点の農地を対象とし、土壌理化学性の変化などの土壌実態調査と生産者への土壌管理実態調査(アンケート調査)によって行われた。定点調査は同一地点において、5年に1度(1巡目:1979-1983,2巡目:1984-1988,3巡目:1989-1993,4巡目:1994-1998)行われた。土壌実態調査の結果は「土壌保全調査事業成績書(農林水産省,2008)」としてまとめられており、作土層(第1層)の層厚、ち密度(以下全て作土層)、仮比重、三相(気相・液相・固相)、pF水分、pH、置換酸度(Y1)、電気伝導度(EC)、全炭素、全窒素、陽イオン交換容量(CEC)、置換性塩基、可給態リン酸、可吸態窒素、可吸態ケイ酸について、60の土壌統群毎に地目別の平均値、中央値、標準偏差およびサンプル数が算出されている。

2.1.3 土壌情報の公開とその利活用状況

農耕地土壌図および作土層の理化学性データベースについては、(独)農業環境技術研究所がインターネット上で公開している「土壌情報閲覧システム(http://agrimesh.dc.affrc.go.jp/soil_db/)」に収録されている。「土壌情報閲覧システム」とは、地理空間情報に関する専門知識をもたない利用者でもインターネット上で容易に土壌図を活用できるようにWeb-GISを用いて構築されたものである。利用者はインターネット上で住所や緯度経度情報などから容易に農耕地土壌図を検索・閲覧することができる。なお、本システムで閲覧できる農耕地

土壌図の図示単位は土壌統群であり、320の土壌統を60の統群にまとめたものである。なお、農耕地土壌図についてはGISデータの提供なども行っている。このシステムには2010年4月の公開以降2年間で100万件を超えるアクセス数があり、公立の農業改良普及所や農業試験場をはじめ、大学や民間企業などで土壌情報の活用が広がっている(高田,2012)。さらに、「土壌情報閲覧システム」をiPhoneでも利用できる「Soilなう(<http://www.yushiomote.org/soilnow/>)」がアップル・ストアから無償でダウンロードできる。

2.2 作土層中の土壌炭素および窒素賦存量とその総量の算出手法

2.2.1 作土層中の土壌炭素および窒素平均賦存量(Mg C ha⁻¹)の算出

土壌情報閲覧システムの作土層の理化学性データベースを用いて、作土層の土壌炭素および窒素の平均賦存量の算出を行った。農林水産省(2008)によると、全国の水田、普通畑、樹園地および牧草地の作土層の平均値(単位:cm)はそれぞれ、14.4(2巡目)~14.8(1巡目)、18.7(2巡目)~18.9(4巡目)、16.7(4巡目)~19.0(1巡目)および14.0(2巡目)~17.0(1巡目)の範囲であり、地目や巡目毎に作土層の層厚は異なっている。そのため、同一の地目においても、巡目が異なると炭素および窒素賦存量の経時的な変化を解析することは公開データのみからは難しくなる。本研究の目的は、公開されている土壌情報を用いて、作土層中の土壌炭素および窒素賦存量や総量の経時的な変化(時間軸)を土壌の種類毎(空間軸)に解析することである。各地目の平均作土層厚の最低値は水田および牧草地の14cmであった。そのため、14cm、までの深さであれば、地目、土壌統群および定点調査の巡目に関係なくほぼ均質に耕起されていると仮定し、本研究では、作土層の厚さを14cmに設定した。ここで、炭素および窒素賦存量の算出を次式により地目毎の土壌統群別に行った。

$$\text{土壌炭素(窒素) 賦存量 (Mg C (N) ha}^{-1}\text{)} = \text{平均炭素(窒素) 含有率 (kg C (N) kg}^{-1}\text{)} \times \text{仮比重平均値 (Mg m}^{-3}\text{)} \times 0.14 \text{ (m)} \times 10,000 \text{ (m}^2\text{)}$$

なお、定点調査でカバーされていない土壌統群と地目との組み合わせについては、地目の違いを考慮せずに、土壌統群のみで算出した作土層の炭素(窒素)含有率や仮比重の平均値を用いた。土壌統群毎に算出した土壌炭素および窒素賦存量の平均値およびTable 1の土壌統群毎の分布面積を用いて、地目別に高次のカテゴリーである16の土壌群毎に炭素および窒素賦存量の平均値を再集計した。

2.2.2 基準年における地目別の土壌統群分布面積の算出および作土層中の炭素・窒素総量の算出

本研究では、5年毎に行われた定点調査の基準年をそれぞれ、1巡目:1981年、2巡目:1986年、3巡目:1991年および4巡目:1996年と定めた。それぞれの基準年に

Table 1 定点調査の第1巡目から第4巡目までの調査地点数および農耕地土壌の土壌統計群毎・地目毎の分布面積(千ha).

土壌群名	調査地点数			土壌統計群名			分布面積(1991年:千ha)			分布面積(1986年:千ha)			分布面積(1996年:千ha)			
	1巡目	2巡目	3巡目	4巡目	水田	普通畑	牧草地	樹園地	水田	普通畑	牧草地	樹園地	水田	普通畑	牧草地	樹園地
岩屑土	46	46	41	41	1	1	0	0	2	2	0	0	0	0	0	2
砂丘未熟土	189	187	190	178	2	2	2	2	2	2	1	3	2	2	1	2
黒ボク土	4,077	4,029	3,935	3,779	1	56	32	10	1	56	35	10	1	55	37	11
					2	38	14	2	2	37	95	13	2	36	97	11
					11	80	37	24	10	81	38	23	10	81	39	20
					12	223	65	61	12	228	67	57	12	228	68	49
					7	112	42	30	7	117	44	29	6	116	44	23
多湿黒ボク土	1,075	1,071	1,088	1,025	29	29	16	1	28	30	17	3	27	29	15	0
					59	10	14	3	57	10	15	3	56	10	15	2
					31	7	4	1	31	7	4	1	30	7	4	1
					166	22	5	7	162	22	5	6	159	21	5	5
					22	4	2	1	21	4	2	1	20	4	2	1
黒ボクグライ土	167	162	165	154	9	1	0	0	9	1	0	0	9	1	0	0
					37	4	0	0	36	4	0	1	35	4	0	1
					2	1	2	0	2	1	2	0	2	1	2	0
					10	87	49	106	10	88	57	102	9	88	59	90
					3	36	15	29	3	37	21	28	3	37	22	24
					3	32	23	38	3	32	25	36	3	31	26	32
					59	25	27	5	57	27	29	5	55	27	30	4
					8	4	2	1	8	4	2	1	7	4	2	1
					15	3	3	2	15	3	3	2	14	3	4	2
					0	6	0	1	0	6	0	0	0	6	0	0
					56	5	2	1	53	5	2	1	51	5	2	1
					2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
					9	1	1	0	9	1	1	0	9	1	1	0
					2	14	2	18	2	15	2	17	2	15	2	14
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					0	4	0	5	0	4	0	5	0	4	0	4
					23	45	4	54	22	46	4	48	21	46	3	41
					3	5	0	11	3	5	0	10	3	5	0	7
					4	6	1	13	3	7	1	12	3	7	1	10
					112	11	1	15	108	11	1	13	104	11	1	12
					10	1	0	1	9	1	0	1	9	1	0	1
					26	2	0	6	24	2	0	5	23	2	0	4
					3	13	2	4	3	14	2	4	3	14	2	3
					0	13	0	7	0	14	0	0	0	14	0	0
					26	36	16	7	25	38	18	5	24	38	19	5
					24	42	10	6	22	42	11	6	22	39	11	5
					20	41	22	10	19	42	24	9	18	38	25	8
					48	8	1	7	46	8	1	6	45	8	1	5
					28	14	0	4	27	14	1	3	26	14	1	3
					44	4	1	3	42	4	1	3	41	4	1	2
					251	20	8	9	243	21	10	8	234	20	10	7
					142	12	5	5	135	12	6	4	129	12	6	4
					158	10	1	8	152	10	1	7	146	10	1	6
					194	19	5	7	188	19	5	6	179	19	5	6
					156	12	3	5	150	12	3	5	145	12	3	4
					94	11	3	5	91	11	3	4	88	11	3	3
					29	2	1	1	28	2	1	1	28	2	1	1
					10	1	0	0	9	1	0	0	9	1	0	0
					14	19	8	4	13	19	10	4	13	19	10	4
					335	20	4	8	324	20	5	7	314	20	5	6
					160	10	1	2	155	10	1	2	150	10	1	2
					37	3	1	1	36	3	1	1	34	3	1	1
					208	11	2	7	201	12	3	6	195	12	4	6
					86	6	2	2	83	7	2	2	80	7	2	2
					1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
					46	5	3	1	44	5	3	1	43	5	3	1
					67	5	1	1	66	5	1	1	65	5	1	1
黒泥土	251	246	253	260	108	17	33	1	104	19	38	1	101	19	40	1
泥炭土	241	242	229	214												

おける炭素および窒素総量を算出するため、地目別の土壌統計群分布面積を1992年版農耕地土壌図、2001年版農耕地土壌図および各基準年の「耕地及び作付面積統計(農林水産省)」を用いて以下の手順で算出した(Fig. 1).

農耕地土壌図では、農道や水利施設なども農地として描かれているため、農地面積を過大評価している。また、地目情報は10年毎にデータ更新が行われていることから、基準年毎に地目別の土壌統計群分布面積を算出することはできない。そのため、定点調査1巡目、2巡目および3巡目については、1992年版土壌図から得た市町村毎の地目別面積と各基準年の統計値との比を求め、この比を土壌図による土壌統計群毎の地目別面積に乗じて、当

該年の地目別土壌統計群分布面積を得た(Fig. 1)。4巡目についても、2001年版農耕地土壌図と1996年度の統計値を用い、同様の手法で地目別土壌統計群分布面積を算出した(Fig. 1)。

各基準年において、地目別の土壌統計群毎の土壌炭素および窒素賦存量と地目別の土壌統計群毎の分布面積を掛け合わせることで、作土層中(14 cm)の土壌炭素および窒素総量(Tg)を算出した。

3. 結果および考察

3.1 作土層中の炭素および窒素賦存量の空間分布

最も年次が新しい第4巡目について、作土層中の地目

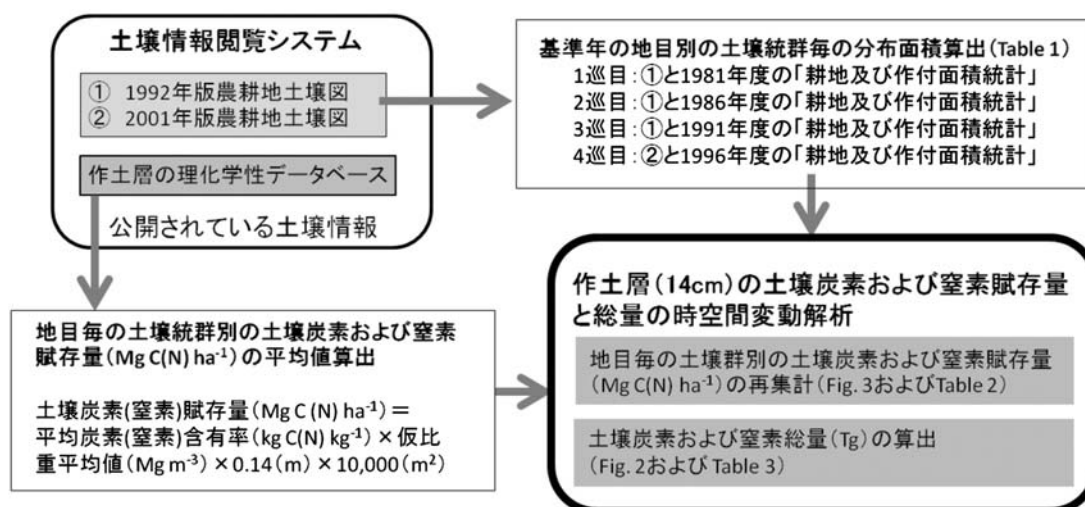


Fig. 1 作土層中の炭素および窒素賦存量の算出方法のフローチャート.

Table 2 定点調査第4巡目(1994-1998年)の各土壌群における地目別の作土層中の平均炭素および窒素賦存量および炭素/窒素比.

土壌群名	FAO/UNESCO	炭素賦存量(Mg C ha ⁻¹)					窒素賦存量(Mg N ha ⁻¹)					炭素/窒素比				
		水田	普通畑	樹園地	牧草地	全耕地	水田	普通畑	樹園地	牧草地	全耕地	水田	普通畑	樹園地	牧草地	全耕地
岩層土	Lithosols	44.1	28.2	45.0	44.1	40.4	4.75	2.88	4.79	4.75	4.29	9.28	9.77	9.40	9.28	9.4
砂丘未熟土	Regosols	26.6	13.3	23.1	47.7	18.4	1.76	1.12	1.81	3.11	1.41	15.1	11.9	12.8	15.3	13.1
黒ボク土	Andosols	66.7	51.1	69.4	71.4	59.9	4.88	3.86	5.67	5.22	4.51	13.7	13.2	12.2	13.7	13.3
多湿黒ボク土	Andosols	59.8	65.7	60.0	64.7	61.4	4.64	4.85	5.51	5.06	4.74	12.9	13.6	10.9	12.8	12.9
黒ボクグライ土	Andosols	49.2	52.5	53.1	63.4	50.3	4.04	4.24	4.32	4.89	4.11	12.2	12.4	12.3	13.0	12.2
褐色森林土	Cambisols	33.2	35.5	45.4	46.7	41.8	2.78	3.22	4.46	4.17	3.88	11.9	11.0	10.2	11.2	10.8
灰色台地土	Gleysols	33.0	43.3	40.4	80.9	47.9	3.11	3.55	3.96	8.30	4.58	10.6	12.2	10.2	9.75	10.5
グライ台地土	Gleysols	31.6	43.3	33.7	67.9	34.5	2.83	2.84	3.00	6.67	3.04	11.2	15.2	11.2	10.2	11.4
赤色土	Acrisols	29.8	23.4	40.6	22.0	30.8	3.07	2.19	3.93	3.81	3.14	9.69	10.7	10.3	5.77	9.8
黄色土	Acrisols	34.9	29.3	43.8	41.5	35.8	3.24	2.72	4.34	3.86	3.38	10.8	10.8	10.1	10.7	10.6
暗赤色土	Acrisols	22.2	21.2	28.8	44.8	24.0	2.31	2.28	2.73	4.92	2.55	9.62	9.29	10.6	9.11	9.4
褐色低地土	Fluvisols	32.7	28.0	44.2	52.6	34.7	3.01	2.55	4.14	5.35	3.27	10.8	11.0	10.7	9.8	10.6
灰色低地土	Gleysols	32.9	32.3	39.8	76.3	34.6	3.12	2.73	3.94	5.54	3.19	10.6	11.8	10.1	13.8	10.9
グライ土	Gleysols	33.0	29.5	34.6	43.1	33.0	2.98	2.51	3.09	3.48	2.96	11.1	11.7	11.2	12.4	11.1
黒泥土	Histosols	45.4	39.9	45.6	45.6	45.0	3.64	2.68	3.67	3.67	3.57	12.5	14.9	12.4	12.4	12.6
泥炭土	Histosols	57.5	75.7	70.0	132	78.7	3.98	5.08	3.40	6.99	4.88	14.4	14.9	20.6	18.9	16.1

毎の土壌群別に土壌炭素および窒素賦存量および炭素/窒素比の平均値を Table 2 に示した. 作土層の炭素賦存量は 13.3 (砂丘未熟土・普通畑) ~ 132 (泥炭土・牧草地) Mg C ha⁻¹ の範囲であり, 窒素賦存量は 1.12 (砂丘未熟土・普通畑) ~ 6.99 (泥炭土・牧草地) Mg N ha⁻¹ の範囲であった. 同一の地目で土壌群を比較すると, 泥炭土, 黒ボク土, 多湿黒ボク土および黒ボクグライ土で作土層中の炭素および窒素賦存量は高かった. また概して, 同一の土壌群では普通畑で低く, 牧草地で高くなる傾向を示した.

全耕地の土壌群毎の炭素および窒素賦存量の平均値は砂丘未熟土, 暗赤色土, 赤色土および黄色土で低く, 有機質土壌グループ(泥炭土, 黒泥土)および黒ボク土グループ(多湿黒ボク土, 黒ボク土, 黒ボクグライ土)で高くなった. Batjes (1996) は FAO/UNESCO の土壌単位毎に表層下 30 cm の炭素および窒素賦存量の平均値を算出した結果, Regosols や Acrisols で低く, Histosols や Andosols で高かったことを報告しており, 本研究結果 (Table 2) と一致した傾向であった. 水で飽

和された有機質土壌グループでは, 土壌有機物の分解が遅いため, 炭素・窒素賦存量が高くなり (Batjes, 1996), 黒ボク土グループはアロフェンや活性アルミニウムによる土壌有機物の分解遅延 (Shoji et al., 1993; Shirato et al., 2004) により炭素および窒素賦存量が高くなったと考えられた.

炭素/窒素比の平均値は有機質土壌グループや黒ボク土グループで高く, 赤色土や黄色土で低くなる傾向が認められた. 赤色土や黄色土は樹園地として利用されることが多く (Table 1), その分布域は主に温暖な西南地域であり, 土壌生成年代も比較的古い. 化学肥料による窒素投入量は茶畑で極めて高く, また果樹園においても水田や普通畑に比べて高い傾向であった (Mishima et al., 2010). また温暖な地域で土壌生成年代が古くなると土壌の有機物分解程度は進行して土壌炭素・窒素比が低下することも知られている (Swift et al., 1979). これらの要因により, 土壌炭素賦存量に比べて窒素賦存量が相対的に高くなった可能性がある.

Fig. 2 に第4巡目の作土層中の炭素および窒素賦存量

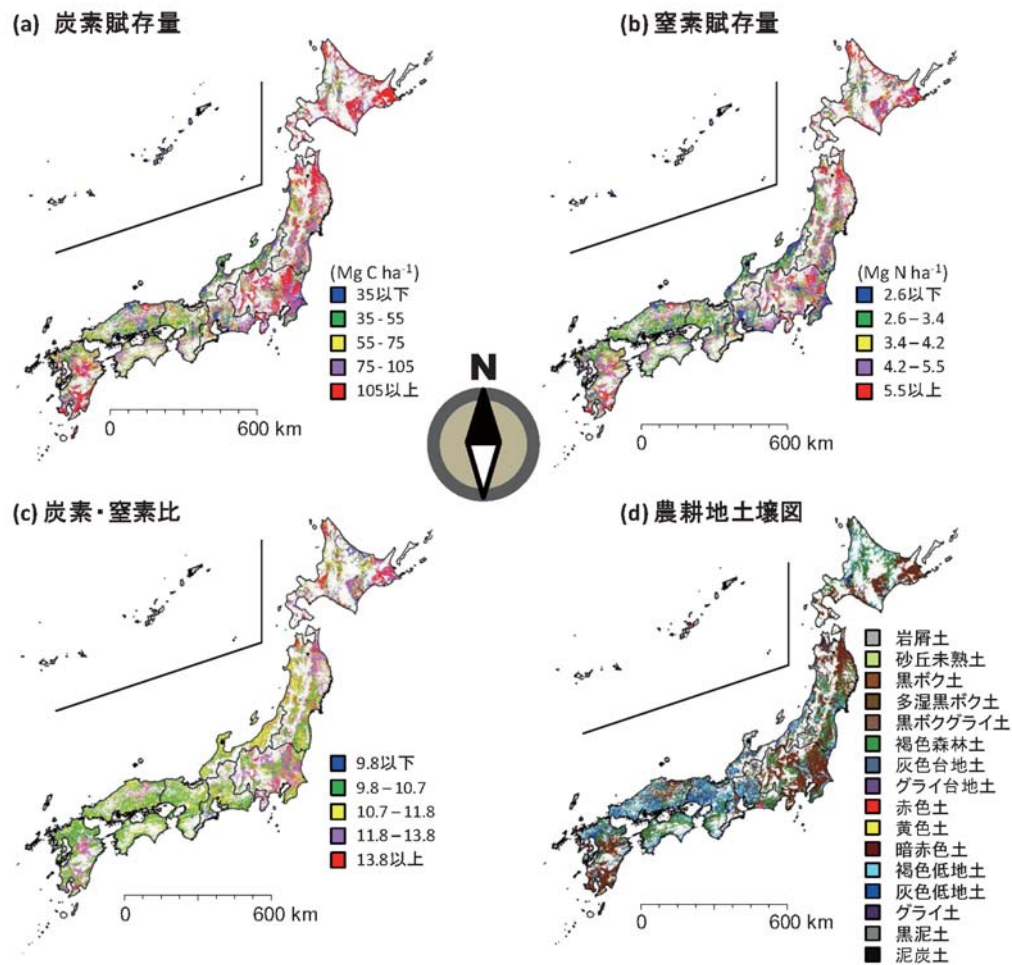


Fig. 2 定点調査第4巡目(1994-1998年)の作土層中の平均炭素賦存量(a), 平均窒素賦存量(b), 平均炭素／窒素比(c)および農耕地土壤図(d).

の平均値, 炭素／窒素比の平均値および農耕地土壤図を示した。北海道, 東北地方東部, 関東地方および九州地方の黒ボク土グループが分布する地域で炭素および窒素賦存量が高かった。また, 北海道の石狩地方および宗谷地方の一部地域で炭素および窒素賦存量が高かった。これらの地域には泥炭土が分布しており, 石狩地方では水田として, 宗谷地方では牧草地として主に利用されている。他方, 中部・北陸地方や中国地方などのように褐色森林土や低地土グループが優占して分布する地域では, 炭素および窒素賦存量は低かった。

3.2 作土層中の炭素および窒素賦存量の経時的変化

Table 1 から水田, 普通畑, 牧草地および樹園地について, 分布面積が大きい上位5土壤群をそれぞれ選択し, 1巡目から4巡目までの炭素および窒素賦存量と炭素／窒素比の平均値推移を地目毎に Fig. 3 に示した。水田に特徴的な土壤群は, 多湿黒ボク土, 黄色土, 褐色低地土, 灰色低地土およびグライ土であり, 全水田面積の86%を占める。他方, 普通畑, 牧草地および樹園地に特徴的な土壤群は, 黒ボク土, 多湿黒ボク土(または黄色土), 褐色森林土, 褐色低地土および灰色低地土であり, 各地目内でのそれら土壤群の面積占有率はそれぞれ79%,

83%および70%である。

3.2.1 水田

水田に特徴的な土壤群の平均炭素および窒素賦存量の推移は類似した傾向を示し, 平均炭素賦存量はほぼ増減が無く, 平均窒素賦存量は第2巡目から第4巡目にかけて緩やかに増加していた。そのため, 炭素／窒素比の平均値は第2巡目から第4巡目にかけて低下した。Leon et al. (2012) は第1巡目から第4巡目までの水田への有機質資材投入量の平均値が7.62から6.49 Mg(生重) ha⁻¹に減少していることを報告している。また, Mishima et al. (2010) は同時期の水田への窒素投入量と窒素持ち出し量を各種統計値から推定した結果, 窒素投入量の方が多いことを報告している。水田のように嫌気的な条件下では土壤有機物の分解が他の地目と比較して5倍程度遅くなる(Shirato et al., 2012)。そのため, 水田への有機質資材投入量が減少しても炭素賦存量は変化せず, 窒素投入過多のため窒素賦存量が増加し, 炭素／窒素比が低下した可能性がある。

3.2.2 普通畑

普通畑における第1巡目から第4巡目までの有機質資材の平均投入量は20.9から14.8 Mg(生重) ha⁻¹に減少

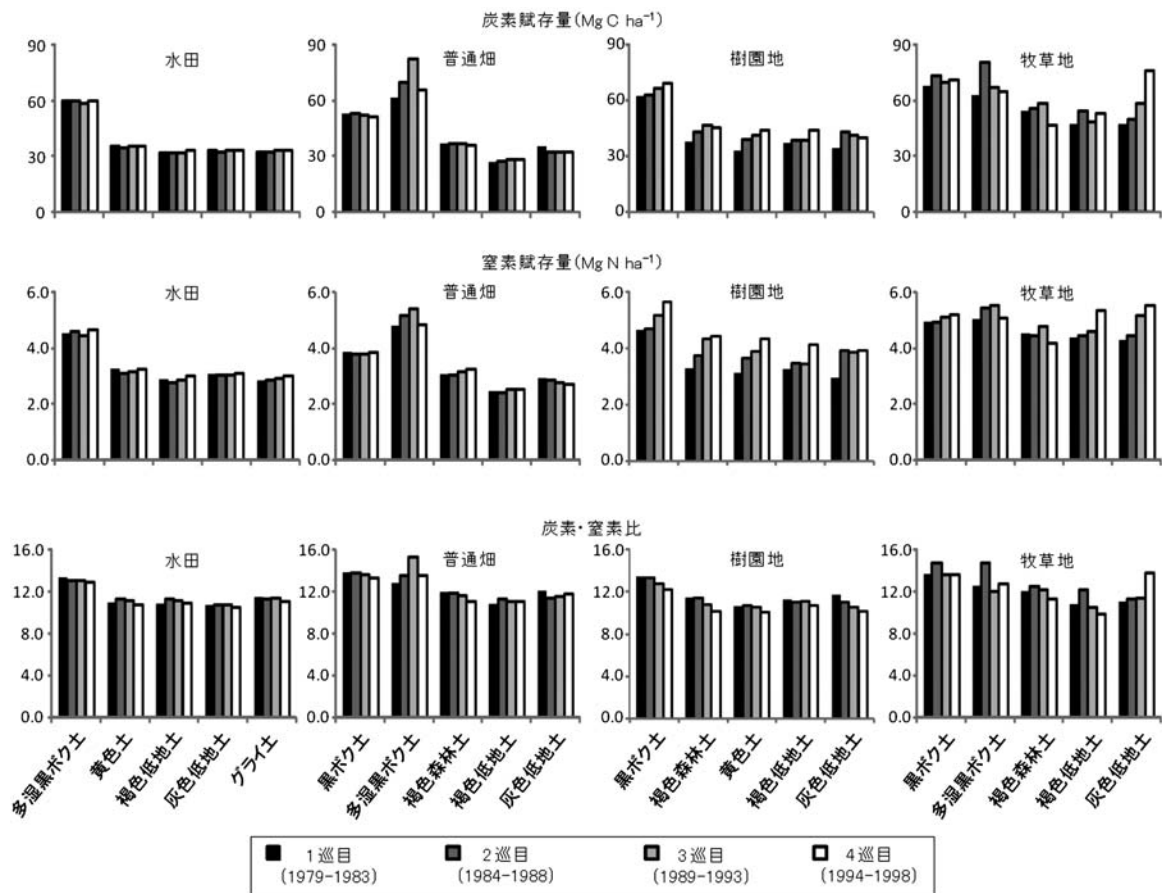


Fig. 3 作土層中の炭素賦存量平均値 (上段), 窒素賦存量平均値 (中段), 炭素/窒素比平均値 (下段) の地目毎・主要土壌群毎の時系列変化.

Table 3 わが国の農耕地作土層の炭素および窒素総量の時系列変化と耕地面積推移.

	炭素総量 (Tg C)					窒素総量 (Tg N)					耕地面積 (x1000ha)				
	水田	普通畑	樹園地	牧草地	全耕地	水田	普通畑	樹園地	牧草地	全耕地	水田	普通畑	樹園地	牧草地	全耕地
第1巡目	113	53.5	24.7	36.5	227	9.71	4.16	2.06	2.79	18.7	3026	1245	580	577	5427
第2巡目	108	54.8	24.9	47.6	235	9.32	4.22	2.10	3.32	19.0	2920	1270	535	629	5354
第3巡目	106	54.7	22.4	43.1	226	9.10	4.21	1.96	3.36	18.6	2826	1257	463	647	5193
第4巡目	102	51.0	19.5	45.1	218	9.00	4.08	1.80	3.49	18.4	2722	1207	391	659	4979
第1巡目から第4巡目 までの減少率 (%)	9.0	4.6	20.8	△ 23.6	4.0	7.2	1.9	12.8	△ 25.2	1.8	10.0	3.0	32.6	△ 14.3	8.3

している (レオンら, 2012). この平均投入量は水田に比べてかなり大きい値だが, 黒ボク土や褐色森林土では炭素賦存量は減少傾向を示した. 普通畑は通常, 年に複数回の耕起が行われており, 好気的な条件が保たれることから, 土壌有機物の分解が水田に比べてかなり速いことが考えられる. そのため普通畑の炭素賦存量は有機資材の投入量の減少とともに低下した可能性が示唆された. 他方, 同時期の普通畑の窒素バランスは投入過多であり (Mishima et al., 2010), 窒素賦存量が増加傾向を示した可能性がある. 炭素賦存量の減少と窒素賦存量の増加傾向を反映して, 普通畑で特にひろく分布する黒ボク土および褐色森林土では, 炭素/窒素比の減少傾向が認められた.

3. 2. 3 樹園地

Mishima et al. (2010) は, 果樹園, 茶園および牧草

地 (飼料畑を含む) への有機質資材由来の窒素投入量を 1985 年から 2005 年まで 5 年ごとに家畜飼養頭数などの統計値から推定した結果, 投入量のピークは茶園では 1995 年であり, 果樹園では 1985 年から漸減していたと報告している. 本研究では樹園地を果樹園と茶園に分けてはいないが, 樹園地に占める茶園のサンプル数の割合は 17% 程度である. そのため, 樹園地で土壌炭素賦存量が第 1 巡目から第 4 巡目にかけて高くなるのは, 有機質資材の投入の影響よりも, 不耕起の割合が高いことや, 草生栽培および落葉や剪定枝 (Sekikawa et al., 2003) などからの炭素投入が影響していると推察された. 他方, 樹園地の窒素賦存量の増加は同時期の窒素投入過多 (Mishima et al., 2010) によるものと思われる. なお, 樹園地の炭素/窒素比は全ての土壌群で低下傾向を示していることから, 化学肥料の施用による土壌中への窒素

の蓄積の方が有機質資材や農地管理による土壤中への有機物の蓄積よりも相対的に速く進行していることが示唆された。

3.2.4 牧草地

牧草地における炭素および窒素賦存量はいずれの土壤群においても他の地目と比較して高い値で推移していた。また、牧草地への有機質資材投入量のピークは1985年と1995年に認められているが (Mishima et al., 2010), 牧草地の炭素および窒素賦存量は、定点調査サンプル数が少ない多湿黒ボク土を除き増加傾向が認められた。

3.2.5 水田と畑 (普通畑・樹園地・牧草地) との比較

普通畑、樹園地および牧草地の土壤炭素および窒素賦存量の経時的な増減幅は水田と比較して大きいことが特徴的であった。特に普通畑および牧草地の多湿黒ボク土や牧草地の灰色低地土で本傾向は顕著である。これは、普通畑、牧草地および樹園地では、有機質資材の投入量が水田と比較して多く (Mishima et al., 2012), さらに作土層は好気的な条件下にあるため、土壤有機物の分解・蓄積量が水田と比較して相対的に大きく変動する可能性が示唆された。

3.3 わが国の農耕地作土層中の炭素および窒素総量の時空間変動

わが国の農耕地作土層中の炭素および窒素総量と全耕地面積の推移を地目別に Table 3 に示した。全耕地の炭素および窒素総量は第2巡目 (235 Tg C および 19.0 Tg N) で最も高く、第4巡目 (218 Tg C および 18.4 Tg N) で最も低くなった。一方、全耕地面積は第1巡目 (5427 千 ha) で最も大きく4巡目 (4979 千 ha) にかけて減少した。第1巡目から第4巡目までの地目別の炭素総量と農耕地面積の減少率を比較すると、普通畑を除く全ての地目で炭素および窒素総量の減少率が農耕地面積の減少率を下回り、作土層中の炭素および窒素総量の推移は耕地面積の推移と必ずしも一致していないことが明らかとなった。このことから、適切な土壤管理によって、耕地面積の減少による炭素および窒素賦存量の減少を抑制できることが示された。また、いずれの地目においても窒素総量の減少率が炭素総量の減少率よりも下回ったことから、わが国の農耕地の作土層における炭素／窒素比は減少傾向にあることが明らかとなった。

Kimura et al. (2011) は、わが国において1年間に生成される作物残渣および堆肥由来の炭素総量をそれぞれ6.1 および 2.3 Tg C と算出しており、その内4.9 および 1.9 Tg C を農耕地に投入していると推定している。そのため、第4巡目において作土層中に蓄えられている炭素総量 (218 Tg) は1年間に農耕地に投入される炭素量の32倍程度となる。また、年間で1.6 Tg C の作物残渣および堆肥由来の炭素が未利用とされており、農耕地の作土層から20年間で失われた炭素総量 (9 Tg C, すなわち1年当たり0.45 Tg C) を大きく上回っている。未利用となっている作物残渣および堆肥由来の炭素資源を効果的に活用できるような農地管理体系の構築が今後

の環境保全的な農地管理を行う上で重要な課題となるであろう。

本研究では、公開されている土壤情報やGISデータ (農耕地土壤図) のみを用いることで、作土層中の炭素および窒素の賦存量やその総量の時空間変動解析を全国スケールで行った。今後、様々なレベルの研究者が公開されている土壤情報を用いて、農耕地生態系における様々な土壤特性値の分布状況の広域的な解析ができるようになるだろう。また、土壤情報と気象情報や地形情報などの他分野の公開GISデータなども組み合わせることで、陸域生態系における様々な物質動態などを解析することが可能となるであろう。

引用文献

- 安西徹郎, 上沢正志, 金野隆光 (1999) : 土壤診断の新段階 : 土壤生産力評価から環境保全型農業にむけて. 日本土壤肥料学雑誌, 70 : 468-474.
- Batjes, N.H. (1996) : Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.*, 47 : 151-163.
- 土壤第3科 (1983) : 農耕地土壤の分類—土壤統の設定基準および土壤統一覧表一, 第2次案改訂版, pp. 1-75. 農業技術研究所化学部
- FAO (2012) : Terms of Reference of the Global Soil Partnership. FAO, Roma
- Kimura, S. D., Mishima, S. and Yagi, K. (2011) : Carbon resources of residue and manure in Japanese farmland soils. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 89 : 291-302.
- Leon, A., Kohyama, K., Mishima, S., Ohkura, T., Shirato, Y., Takata, Y., Taniyama, I. and Obara, H. (2012) : Factors controlling organic amendment application rate and long-term change in application rate in Japanese paddy field using longitudinal questionnaire survey data set (the Basic Soil Environment Monitoring Project, Stationary Monitoring, 1979-1998). *Soil Sci. Plant Nutr.*, 58 : 104-120.
- レオン愛, 神山和則, 大倉利明, 高田裕介, 小原洋 (2012) : 普通畑への有機質資材投入量を制御する要因と投入量の長期変動 (土壤環境基礎調査 1979-1998). 日本ペドロロジー学会講演要旨集, p64.
- Mishima, S., Endo, A. and Kohyama, K. (2010) : Nitrogen and phosphate balance on crop production in Japan on National and prefectural scales. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 87 : 159-170.
- Mishima, S., Kimura, S. D., Eguchi, S. and Shirato, S. (2012) : Estimation of the amounts of livestock manure, rice straw, and rice straw compost applied to crops in Japan : a bottom-up analysis based on national survey data and comparison with the results from a top-down approach. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 58 : 83-90.
- 中井信 (2008) : 農耕地土壤調査の現状と課題. 大日本農会編, 土壤資源の今日的役割と課題—土壤資源の現状と維持・保全のあり方に関する研究会報告書—, pp. 70-91.
- 農林水産省生産局 (2008) : 土壤保全調査事業成績書, pp.1-483. 農林水産省, 東京.
- 小原洋 (2000) : 定点調査データの概要と農耕地土壤の全国的な傾向. *ペドロジスト*, 44 : 134-142.
- ペドロジスト懇談会土壤分類・命名委員会 (1990) : 1/100万日本土壤図. 内外地図株式会社, 東京.
- Sekikawa, S., Kibe, T., Koizumi, H. and Mariko, S. (2003) : Soil carbon sequestration in a grape orchard ecosystem in Japan. *J.JASS*, 19 : 141-150.
- Shirato, Y., Hakamata, T., Taniyama, I. (2004) : Modified Rothamsted carbon model for Andosols and its validation : Changing humus decomposition rate constant with pyrophosphate-extractable Al. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 50 : 149-158.
- Shirato, Y., Yagasaki, Y., Nishida, M. (2012) : Using different variations of the Rothamsted Carbon model to simulate soil carbon in long-term experimental plots subjected to

- paddy-upland rotation in Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 57 : 597-606.
- Shoji, S., Dahlgren, R. and Nanzyo, M. (1993) : Genesis of volcanic ash soils. In S.Shoji, M. Nanzyo and R.A. Dahlgren (eds.) *Volcanic Ash Soils*, p37-71. Elsevier, Amsterdam.
- Swift, M. J., Heal, O. W. and Anderson, J. M. (1979) : The influence of the physico-chemical environment on decomposition process. In Anderson D.J., Greig-Smith P. and Pietenka F. A. (eds.) *Decomposition in terrestrial ecosystems*, pp 220-266. *Studies in ecology*, vol5, University of California Press, Berkeley.
- 高田裕介, 中井信, 小原洋 (2009) : 1992年の農耕地分布に基づくデジタル農耕地土壌図の作成. *日本土壌肥科学会誌*, 80 : 502-505.
- 高田裕介, 小原洋, 中井信, 神山和則 (2011) : 1973年から2001年までの地目改変に伴う土壌群分布面積の変動特性の解析. *日本土壌肥科学雑誌*, 82 : 15-24.
- 高田裕介 (2012) : 土壌インベントリーの利活用状況. *日本土壌肥科学会講演要旨集*, 58 : 204.

要 旨

わが国の農耕地における土壌情報で特に重要なものがデジタル農耕地土壌図と土壌環境基礎調査データベースである。本研究では、公開されている土壌情報の利活用の一例を示すために、土壌情報閲覧システムに収録されている農耕地土壌図および作土層の理化学性データベースを用いて炭素および窒素賦存量の全国試算を行い、それらの時空間的な変動を解析した。作土層中の炭素および窒素賦存量の平均値は有機質土壌グループおよび黒ボク土グループで高かった。また、炭素賦存量の主たる土壌群毎の経時変化は、水田で一定、普通畑で減少傾向、樹園地および牧草地で増加傾向にあった。他方、窒素賦存量の平均値は全ての地目において増加傾向であり、炭素／窒素比は減少傾向となった。作土層中の炭素および窒素総量は235から218 Tg Cへ、また窒素総量は19.0から18.4 Tg Nへと減少したが、農耕地面積の減少傾向とは一致しなかった。本結果は適切な土壌管理によって、耕地面積の減少による炭素および窒素賦存量の減少を抑制できることを示している。

キーワード：時空間変動解析, デジタル土壌図, 炭素賦存量, 窒素賦存量, 土壌情報閲覧システム