

# 北海道耕地土壌の2016～2019年における炭素貯留量

中村 隆一\*<sup>1</sup> 藤井はるか\*<sup>2</sup> 竹内 晴信\*<sup>2</sup>

北海道内各所の圃場に設けた507地点において2016～2019年まで表層30cm深までの土壌炭素貯留量を調べ、2018年における耕地面積により全道の炭素貯留総量を推定した。うち90地点にて2008年～2016年の期間の炭素貯留量の変化を調査した。その結果、土壌区分別の炭素貯留量は泥炭土>火山性土>台地土、低地土で、その平均値は順に191.3, 120.2, 86.4, 85.3 t/haであった。作付作物種別では、草地>普通畑・野菜畑>水田の順で、その平均値は順に121.7, 102.6, 103.7, 88.4tC/haであった。全道耕地の炭素貯留総量は1.3億tCと推定された。炭素貯留量の変化は2008年～2016年の期間に一定の方向性を示さなかった。

## 緒 言

食糧生産の場である耕地は、地球温暖化の一因である二酸化炭素を有機物として貯留する場としても注目されている。全国の耕地土壌の表層14cmにおける炭素貯留量は、1979年～1998年にかけて延べ約2万地点で4巡にわたり調査した結果から、水田は1.0～1.1億tC、畑地は0.5億tC、樹園地は0.2億tC、草地は0.4～0.5億tC、これらを合わせた総量は2.2～2.4億tCと算出されている<sup>1)</sup>。

北海道全耕地土壌の表層30cmにおける炭素貯留総量は、農水省からの受託試験である農地土壌炭素貯留等基礎調査事業（農地機能実態調査）によって2008年～2012年にかけて調査した延べ319地点の結果から1.5億tCと試算されており、これは全国の37%にあたる<sup>3)</sup>。

道内における炭素貯留量の将来予測は十勝地域を対象になされており、作物残渣や堆肥等の炭素投入量を現状維持しても2050年には2011年より3%減るとされる<sup>6)</sup>。ただし、耕地における炭素貯留量の減少は、適切な土壌管理を行えば抑えられる可能性がある<sup>12)</sup>。炭素貯留量に影響する作土の炭素含有率は、水田では1970年～1980年まで、普通畑では2000年まで減少した後変化がない<sup>8)</sup>。一方、野菜畑では1995年以後3.3%まで、草地では2000年以後8.3%までそれぞれ増加した。これら土壌炭素含有率の変動要因は、減少については排水改善による土壌有機物

の分解促進や深耕などによる希釈、増加については有機物施用や草地における植生改善が考えられる。

このように、道内耕地土壌に含まれる炭素貯留量と、これを基に試算した全道耕地の炭素貯留総量は2008年以後変化している可能性がある。そこで、農水省による農地管理実態調査で行った調査データをとりまとめ、道内の炭素貯留量の実態と変化について明らかにした。

## 試験方法

### 1. 調査地点

本報告では各地点の表層30cm深までのha当たり炭素貯留量を、断りのない限り炭素貯留量と略称する。これとは別に、道内耕地土壌に含まれる炭素貯留量の総量を炭素貯留総量と略称する。

本試験では炭素貯留量を2016年～2019年にかけて道内広域に設けた延べ507の観測地点において調査し、その結果を土壌区分と作付作物種毎に整理した（表1）。土壌区分は農耕地の土壌分類第3次改訂版により土壌群を区分し<sup>9)</sup>、北海道施肥ガイド 2020で用いている土壌区分<sup>4)</sup>に当てはめた。作付作物種は、2008年～2019年までに一度でも水稲を作付けた地点は水田とし、普通畑には野菜と畑作物を輪作している地点や、飼料用とうもろこしの作付け地点を含めた。放牧地は草地を含めた。このように地目によらず作付作物種により結果を整理した理由は、転作が増加し作付作物が地目と異なる地点が増えたためである。

炭素貯留量の経年変化は、507地点のうち2008年～2012年の5カ年と2014年、2016年の計7カ年、継続調査した90地点を対象に解析した。

2023年10月11日受理

\*<sup>1</sup> （地独）北海道立総合研究機構中央農業試験場（現：同上川農業試験場，078-0397 上川郡比布町）

E-mail: Nakamura-ryuuichi@hro.or.jp

\*<sup>2</sup> 同上，069-1395 夕張郡長沼町

表1 炭素貯留量を調査した観測地点の土壌区分と作付作物種の内訳 (2016~2019年)

土壌区分	土壌群	調査地点数				計
		水田	普通畑	野菜畑	草地	
火山性土	黒ボク土	1	70	21	61	153
	多湿黒ボク土	2	22	1	10	35
台地土	褐色森林土	-	17	3	9	29
	灰色台地土	14	14	2	15	45
	グライ台地土	1	2	-	-	3
	黄色土	-	9	-	-	9
低地土	褐色低地土	18	43	29	33	123
	灰色低地土	9	29	13	2	53
	グライ土	8	10	2	-	20
泥炭土	泥炭土	9	10	6	12	26
計		62	226	77	142	507

## 2. 炭素貯留量の測定方法

土壌炭素貯留量は、表層30cm深までの土層毎に炭素含有率、土層の厚さと仮比重を乗じ、その値を合算して求めた。

炭素含量率は、各地点にて断面の3方向から土層毎に土壌を約500g採取して風乾、根などの粗大有機物を除去した後2mm目で篩別して得た土壌部分のみを分析試料とし、これを乾式燃焼法 (Elementar社製Vario MAX, 2008年度のみVario EL) により定量した。

仮比重は、分析試料を採取した各土層から100ml容試料円筒により3点ずつ採取した無攪乱土壌を用い測定した。

なお、草地では試料採取位置が年次により異なり、2008年と2009年は表層から耕起深までとそれ以下に分けて採取したが、2010年以降は0cm~5cmのルートマットと、それ以下に分けて採取した。ただし、何れの方法でも表層30cm深までの炭素貯留量は定量可能であった。

## 3. 炭素貯留総量の算出方法

炭素貯留総量は、土壌区分および作付作物種別の炭素貯留量の平均値と耕地面積を乗じて算出した。

作付作物種別耕地面積は以下により求めた。水田は2018年の各振興局のデータを基に求めた<sup>2)</sup>。草地は北海道の内部資料による2018年の振興局別の牧草作付面積に日本草地畜産種子協会が公開している全国公共牧場マップから公共草地等の放牧地の面積を加えて求めた。畑の面積は、各振興局の耕地土壌面積<sup>2)</sup> から、水田と草地の面積を差し引き求めた。畑地は野菜畑、施設、飼料用とうもろこし、無作付け地等も含む。

次に、以上で得た振興局別の作付作物種別耕地面積に、地力保全基本調査による地目毎の土壌群別面積比率<sup>4)</sup> を乗じて、振興局別に作付作物種・土壌区分別耕地面積を求め、これを基に全道の作付作物種・土壌区分別耕地面積を求めた (表2)。

なお、石狩、渡島、檜山、後志、空知、上川、胆振においては低地土と泥炭土が水田として、また、オホーツク、十勝においては低地土が普通畑や野菜畑として利用されている可能性が高いため、これらの地区において草地の土壌区分別耕地面積を算出する際にこれら土壌を除外した。

表2 北海道農耕地の土壌区分、作付作物種別面積内訳 (単位: ha)

土壌区分	水田	畑地	草地	計
火山性土	10,900	221,726	272,745	505,371
台地土	13,263	126,509	92,704	232,476
低地土	59,615	259,677	42,244	361,536
泥炭土	19,246	51,511	26,387	97,144
計	103,024	659,423	434,080	1,196,527

注1) 2018年の各種統計値等を用いて算出した。

注2) 畑地は普通畑と野菜畑の合計値。

4. 土壌炭素貯留量の経年変化

炭素貯留量の経年変化は2008年～2016年の期間に7カ年調査した90地点についてEquivalent soil mass法（以下、EMS法と略記）<sup>7)</sup>を適用して解析した。

EMS法は、耕起等により仮比重が変化して30cm深までの土壌重量が変わり、その結果土壌炭素貯留量が変わることを防ぐ方法である。具体的には、7年分の30cm深までの単位面積当たり土壌重量を、最も軽かった年の重量と同じになるように層厚を減らした。複数土層がある地点では最下層の層厚を減らした。このようにして各年の土壌重量を揃えて炭素貯留量を求め、その経年変化を評価した。

あわせて炭素貯留量に及ぼす影響が大きいと考えられる有機物管理の実態を調べるため、2016年～2019年に炭素貯留量を調査した前出の507全観測地点において各調査年の施用有機物の種類と量、作物残渣すき込みの有無、後作緑肥栽培の有無についてアンケートにより調査した。

結果および考察

1. 炭素貯留量の実態

2016年～2019年に調査した炭素貯留量を土壌区分、土壌群別に表3に、作付作物種別に表4に示した。

土壌区分別の炭素貯留量の平均値をみると、泥炭土は191.3tCと最も多く、次に火山性土が119.0tCと多く、台地土と低地土はそれぞれ86.4tC、83.0tCと少なかった。土壌群別では泥炭土と多湿黒ボク土がそれぞれ191.3tC、157.9tCと多く、これらに比べて他の土壌群は黒ボク土の111.4tCからグライ台地土の52.4tCと少なかった。このように、炭素貯留量は泥炭土、リン酸吸収係数の高い火山性の土壌で多かった。

作付作物種別の炭素貯留量の平均値をみると、草地は121.7tCと最も多く、野菜畑や普通畑は103.7tC、102.6tCと続き、水田は88.4tCと少なかった。

表3 北海道内農耕地に設けた観測地点の土壌区分・土壌群別炭素貯留量 (2016～2019年)

土壌区分	土壌	n	炭素貯留量 (tC/ha)		
			平均値	最大値	最小値
土壌区分	火山性土	188	119.0 b	357.7	16.4
	台地土	86	86.4 c	253.5	40.0
	低地土	196	83.0 c	330.7	18.5
	泥炭土	37	191.3 a	377.8	66.6
土壌群	黒ボク土	153	111.4 z	262.5	16.4
	多湿黒ボク土	35	157.9 y	357.7	29.5
	褐色森林土	29	81.5 z	196.3	40.1
	灰色台地土	45	94.0 z	253.5	44.3
	グライ台地土	3	52.4 z	62.3	40.5
	黄色土	9	64.8 z	101.7	44.7
	褐色低地土	123	80.9 z	330.7	24.2
	灰色低地土	53	94.4 z	245.9	18.5
	グライ土	20	99.1 z	174.0	38.5
	泥炭土	37	191.3 y	377.8	66.6
	全土壌	37	106	377.8	16.4

注1) 表層30cm深までの値。

注2) 表中のアルファベットは多重比較 (Steel-Dwass, 危険率5%) の結果を表す。アルファベットが同じ土壌区分または土壌群の中央値は統計上、有意差がない。

表4 北海道内農耕地に設けた観測地点の土壌区分・作付作物種別の炭素貯留量 (2016～2019年)

土壌区分	炭素貯留量 (tC/ha)											
	水田			普通畑			野菜畑			草地		
	n	平均値	標準偏差	n	平均値	標準偏差	n	平均値	標準偏差	n	平均値	標準偏差
火山性土	3	116.5	35.0	92	120.7	57.4	22	117.5	64.9	71	120.4	40.4
台地土	15	75.3	14.6	42	74.5	22.5	5	89.9	21.5	24	109.5	61.4
低地土	35	80.2	36.3	82	88.3	50.3	44	85.4	43.0	35	89.7	49.0
泥炭土	9	132.5	26.0	10	172.9	76.2	6	199.6	50.7	12	246.7	79.9
全土壌	62	88.4b	36.3	226	102.6b	56.1	77	103.7ab	58.2	142	121.7a	65.0

注1) 表層30cm深までの値。

注2) 表中のアルファベットは多重比較 (Steel-Dwass, 危険率5%) の結果を表す。アルファベットが同じである平均値は統計上、有意差がない。

注3) 普通畑と野菜畑を合わせた平均値は、泥炭土182.9、火山性土120.1、台地土76.1、低地土87.2tC/ha。

2. 全道耕地土壌の炭素貯留総量の試算

道内耕地の土壌区分別・作付作物種別の炭素貯留量(表4)と、道内耕地の土壌区分別・作付作物種別の面積(表2)を基に求めた全道の炭素貯留総量は1.3億tC(131.2TgC)であった(表5)。

この値は、2008年に示された値の1.5億tC(147.3TgC)<sup>3)</sup>より1割程度少なかった。この差の理由は、前報では調査地点が限られ、単位面積当たり炭素貯留量として一部推定値を用いざるをえなかったためと推察された。

炭素貯留総量を土壌区分毎にみると、火山性土は炭素貯留量が多く耕地面積も他の土壌区分より広いため(表3)、炭素貯留総量の5割弱を占めた。泥炭土は炭素貯留量が多いものの、全耕地面積に占める比率が小さいため、炭素貯留総量の1割強であり、台地土も同様であった。低地土はこれらの中で2割強であった。

作付作物種別に炭素貯留総量をみると、水田は作付面積と炭素貯留量がともに少ないため炭素貯留総量の1割弱と最も少なかった。畑地は作付総面積が広く炭素貯留総量の5割強と最も多かった。草地はこれらの中で4割強であった。

表5 道内の全耕地土壌における炭素貯留総量試算値(2018年)

土壌区分	土壌炭素貯留総量(億 t C)			
	水田	畑地	草地	計
火山性土	0.013	0.266	0.328	0.607
台地土	0.010	0.096	0.102	0.208
低地土	0.048	0.227	0.038	0.312
泥炭土	0.026	0.094	0.065	0.185
計	0.096	0.683	0.533	1.312

注1) 畑地は普通畑と野菜畑の合計値。

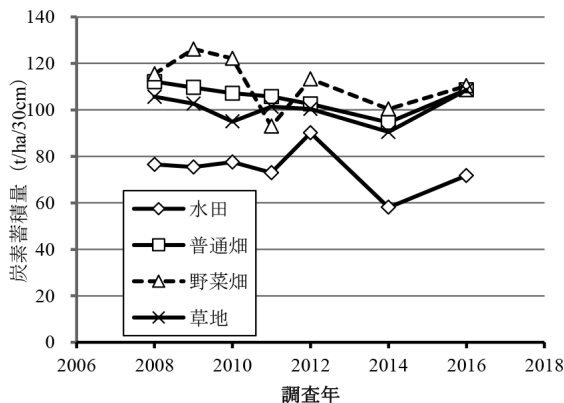


図1 北海道耕地における炭素貯留量の経時変化

注1) 2008年~2012年, 2014年, 2016年に継続調査された90地点の炭素貯留量の平均値。  
注2) 30cm深までの土壌重量は、地点毎にEMS法により調整した。

3. 炭素貯留量の変動解析

2008年~2016年の期間における炭素貯留量の経年変化を作付作物種毎にみると、いずれの作付作物種ともその変化に一定の方向性は認められなかった(図1)。

地点毎にみても統計上危険率5%水準で明らかに減少したのは3地点であり、危険率水準を10%まで拡大しても増加傾向および減少傾向の地点がそれぞれ17および23地点あり、炭素貯留量の変動に一定の方向性は認められなかった。

また、炭素貯留量変動への影響が大きいと考えられる2016~2019年にアンケート調査した有機物管理と炭素貯留量増減量との関係も判然としなかった(図2)。

これらの原因としては、圃場管理法が圃場で異なることやアンケート実施年以外の有機物管理が不明なことに加え、地温、施用有機物のC/N比が地点で異なること、土壌炭素含有率や土壌タイプが有機物分解に影響すること<sup>12)</sup>、堆肥を始めとする有機物は一定期間連用されると施用有機物中の炭素量と同程度の炭素が無機化して平衡状態に達する<sup>10)</sup>等の多様な要因が考えられる。

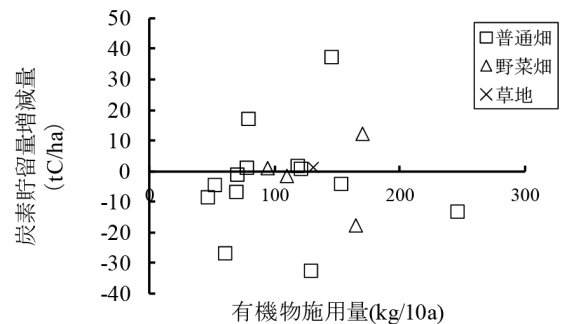


図2 観測地点における有機物施用量と炭素貯留量増減量の関係

注1) アンケート調査を実施した延べ90点のうち回答を得られた26地点の結果を示す。  
注2) 炭素貯留量増減量は2008を基準とした2016年の増減量。  
注3) 有機物は堆肥, 鶏糞, スラリー・尿で、施用量はアンケート調査時の年間現物施用量の平均値を示す。

表6 観測地点における作物残渣処理および主な有機物施用状況（2016～2019年）

	n	残渣鋤込み 割合 (%)	有機物施用 割合 (%)	施用農地に おける施用 量平均値	有機物施用量（現物kg/10a）		
					堆厩肥	鶏糞	スラリー・尿
水田	56	88	5	103	0 (0)	103 (5)	0 (0)
普通畑	165	71	22	3,053	2,975 (18)	158 (2)	7,667 (2)
野菜畑	66	77	39	1,601	1,920 (32)	133 (10)	0 (0)
草地	123	-	47	3,631	2,779 (24)	0 (0)	3,680 (25)

注1) アンケート調査を実施した延べ507点のうち回答を得られた410地点の結果を示す。

注2) 有機物施用量は施用地点における施用量の平均値。

注3) 括弧内の数値は各有機物の施用割合（%）を示す。

有機物施用量を作物種別に比較すると、草地はアンケート回答123地点中5割弱の58地点において有機物を施用しており、その施用量は平均すると現物3,631kg/10aであった（表6）。普通畑はアンケート回答165地点中2割強の37地点、野菜畑は同66地点中4割弱の23地点において両者の平均で2,454kg/10aの有機物が施用されていた。これらに比べると水田における有機物施用量はアンケート回答56地点中3地点において平均103kg/10aと少なく、鶏糞のみの施用であった。これら施用量を有機物無施用農家も含めて平均すると、草地では1,712kg/10a、普通畑と野菜畑は634kg/10a、水田6kg/10aであった。

有機物無施用農家も含めた有機物施用量の平均値は1970年～1995年の値<sup>1)</sup>と比較すると、普通畑と野菜畑では928～1,213kg/10aから634kg/10aへと減少している一方で、草地においては1,219～1,349kg/10aから1,712kg/10aへと増加していた。このような作物種別の有機物施用量の多少は作物種別の炭素貯留量の多少と同順であり、また、その変動は約50年の長期間にわたり全道で調査した作物種毎の作土炭素含有率の変動方向とも一致していた<sup>8)</sup>。

このように、長期的にみると有機物施用が炭素貯留量の変動にあたる影響は調査を継続することで明らかにできると考えられたが、2008年～2016年の短期間では炭素貯留量の変化を解析できず、解析するためには炭素貯留に影響する多様な要因についての調査解析が今後必要と考えられた。

謝辞 本報告は、全道の農地土壌炭素貯留等基礎調査事業（農地機能実態調査）に携わった道総研農業研究本部各試験場の多くの土壌肥料関係者が長期間にわたり現場で採取・調整した試料を分析し、その結果をまとめたものです。現場での調査に当たっては、当該農家と全道の農業改良普及センターの職員にご協力をいただきました。これら関係者の多大な努力に敬意と感謝の意を表します。

あわせて調査を継続実施させて頂いている農水省および農研機構農業環境研究部門の関係職員にも深く謝意を表します。

末尾ですが、校閲の労を頂いた小野寺政行農業環境部長、細淵幸雄研究主幹に御礼申し上げます。

付記 本研究は、北海道農政事務所からの委託事業「農地土壌炭素貯留等基礎調査事業（農地管理実態調査）」の成果の一部である。

## 引用文献

- 1) 橋本均. 土壌環境基礎調査における土壌理化学性推移の実態と長期モニタリング調査の今後の課題. ペドロジスト, 44(2), 147-154 (2000)
- 2) 北海道農政部農政課編. 平成30年度北海道農業・農村統計表. 北海道, 札幌市, 2018, 3p
- 3) 北海道農政部. 普及奨励および指導参考事項 平成26年. 北海道, 札幌市, 2014, p.133-135
- 4) 北海道農政部. 北海道施肥ガイド2020. 地方独立行政法人他移動率総合研究機構 農業研究本部, 長沼町, 2020, p.11
- 5) 北海道立中央農業試験場. 北海道土壌区一覧（改訂版）. 北海道立農業試験場資料, 37, 2008, p.161-162
- 6) 古賀伸久. 農地への有機物由来炭素投入量の推定と農地土壌蓄積量のモデリング. 土壌の物理性, 234, 89-92 (2013)
- 7) Junpei Toriyama, Tsuyoshi Kato, Chairil Anwar Siregar, Harris Herman Siringoringo, Seiichi Ohta, Yoshiyuki Kiyono. Comparison of depth - and mass - based approaches for estimating changes in forest soil carbon stocks: a case study in young plantations and secondary forests in West Java, Indonesia. Forest Ecology and Management, 262(9), 1659-1667 (2011)

- 8) 中村隆一, 藤井はるか, 甲田裕幸, 竹内晴信. 2018年における北海道耕地土壌の理化学性と減肥可能量. 北農. 89(2), 107-113 (2022)
- 9) 農耕地土壌分類委員会. 農耕地土壌分類第3次改定版. 農林水産省農業環境技術研究所, つくば市, 1995, 79p
- 10) 志賀一一. 水田の有機物施用基準について. 日本土壌肥科学雑誌, 55(4), 374-380 (1984)
- 11) 高田裕介, レオン愛, 中井信, 小原洋, 神山和則. 土壌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. 土壌の物理性. 123, 117-124 (2013)
- 12) 上沢正志. 化学肥料・有機物の連用が土壌・作物収量に与える影響の全国的解析. 農業技術, 46, 393-397 (1991)

# Carbon Storage in Arable Land soil in Hokkaido from 2016 to 2019

Ryuichi NAKAMURA<sup>\*1</sup>, Haruka FUJII<sup>\*2</sup>, and Harunobu TAKEUCHI<sup>\*2</sup>

## Summary

Carbon storage in arable land soil to a depth of 30 cm was investigated from 2016 to 2019 at 507 observation sites located in a wide area of Hokkaido. With this data, total carbon storage of arable land in Hokkaido was estimated. The changes in total carbon storage from 2008 to 2016 were also investigated with 90 sites using the EMS method.

The results were as follows. The carbon storage per hectare was the highest in peat soil, followed by volcanic soil, and upland and lowland soil had less compared to peat soil or volcanic soil, with mean storage values of 191 tC, 119 tC, 86.4 tC and 83.0 tC in that order. Comparing carbon storage by crop type, grassland had the highest, followed by field crops or vegetables, and paddy field had the lowest. The carbon storage of all arable lands in Hokkaido to a depth of 30 cm was estimated to 130 million tons. The variation in carbon storage between 2008 and 2016 did not show a constant trend.

<sup>\*1</sup> Hokkaido Research Organization Central Agricultural Experiment Station (Present; Hokkaido Research Organization Kamikawa Agricultural Experiment Station, Pippu Hokkaido, 078-0397 Japan)  
E-mail: nakamura-ryuuichi@hro.or.jp

<sup>\*2</sup> ditto. Naganuma, Hokkaido, 069-1395 Japan