J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 105, p. 5～14 (2007)

農地管理法の違いと土壌炭素

古賀伸久*

Management Practices of Agricultural Soils for Carbon Sequestration

Nobuhisa KOGA*

* Climate and Land-use Change Research Team, National Agricultural Research Center for Hokkaido Region (NARCH), Shinsei, Memuro, Kasai, Hokkaido 082-0071, Japan

Key words : Arable land, CO_2, Field management practice, Global warming, Soil carbon sequestration

1. はじめに

森林や農耕地などの土壌は，地球規模の炭素循環における CO_2（二酸化炭素）の排出または吸収源の一つであり，地球温暖化への影響をいかに小さくするか，あるいは地球温暖化の防止にいかに貢献するかという点において，近年，土壌炭素管理の重要性が世界的に認識されつつある。土壌圏には，大気（750 Gt ; 1 Gt は 10^9 t）や陸域の植生バイオマス（550–700 Gt）を超える膨大な量の炭素（1,200–1,600 Gt）が存在すると推定されている（Paustian *et al.,* 1997）。一方，農耕文明が開花する以前の先史時代には，約 2,000 Gt の炭素が陸域土壌に存在したと見積もられ（木村・波多野，2005），森林や草原の開墾とそれ以降の長期間にわたる農耕地としての土地利用が土壌有機物の分解を促し，いかに大量の土壌炭素を消耗させてきたかということを我々は容易にうかがい知ることができる。このことはまた，大量の CO_2 が土壌から大気へと長い時間をかけて放出されたことを意味している。さらに，近代化された農業では，合成無機肥料を中心とした施肥が行われ，機械化の進展に伴い耕起の頻度や深さ，換言すれば耕起の強度が次第に大きくなった。このような農地管理はさらなる土壌有機物の消耗を加速させてきたと考えられている。

わが国の農耕地全体には，約 230 Mt（1 Mt は 10^6 t）の土壌炭素が存在し，その量はこの 20 年間ではあまり変化していないことが土壌環境基礎調査（定点調査）の結果から明らかにされている（中井，2002）。その理由は詳しい解析を待たねばならないが，長期間農耕地として利用したことが分解性の高い土壌有機物をすでに消耗させてしまったのか，あるいは有機農業の拡大とともに土壌への炭素投入量が増加しつつあることと関係しているかも知れない。その一方で，土壌環境基礎調査は，農耕地の土壌炭素量について地目や土壌タイプに一定の傾向があることも明らかにしている。すなわち，樹園地，牧草地，施設土壌では土壌炭素量が増加する傾向にある一方で，普通畑土壌では減少する傾向にある。また，赤黄色土などの有機物含量が元々低い土壌では増加する傾向があるが，有機物含量が高い黒ボク土や泥炭土では減少する傾向が確認されている。

農耕地土壌における炭素収支は，収穫残さや作物根，有機質肥料などに由来する炭素のインプットと土壌有機物の分解による炭素のアウトプットとのバランスの上に成り立っている。大気中の CO_2 を捕獲し，海洋，森林，土壌等へ長期間貯蔵することは炭素隔離（carbon sequestration）と呼ばれている。農耕地土壌での炭素隔離は，土壌への炭素の投入を介して土壌の炭素蓄積を図ることであり，さらには有機物分解を抑制し，土壌中の炭素を保全することも含まれている（Paustian *et al.,* 1997 ; Franzluebbers, 2005）。わが国の農耕地土壌では，土壌炭素量の増減が全体として平衡状態にあることはすでに述べた。今後は，地球温暖化の防止に貢献するため，どのような手段を用いて土壌の炭素吸収能を発揮させ，土壌炭素のバランスを平衡から蓄積へと変更していくか真剣に検討していかなければならない。本稿では，海外での研究事例や北海道・十勝地域で現在実施中の圃場試験のデータを紹介しながら，土壌への炭素隔離に有効とされる農地管理技術を概観していきたい。

2. 温室効果ガスの排出・吸収源としての土壌

農業分野と関連する温室効果ガスは，主に CO_2，CH_4（メタン），N_2O（亜酸化窒素）の 3 種であり，土壌，家畜，家畜排泄物などが排出または吸収に関与している（環境

* 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター　〒082-0071 北海道河西郡芽室町新生
キーワード：畑作農業，農地管理，二酸化炭素，地球温暖化，土壌炭素隔離

省地球環境局，2006)。畑作生産を一例にとると，図-1 に示すように，作物生産と関わりのある様々なプロセスにおいて温室効果ガスが排出または吸収される。機械作業や生産資材の投入を通して化石燃料の燃焼から CO_2 が直接，間接的に排出される一方で，土壌では土壌有機物の分解・蓄積による CO_2 の発生・吸収，N_2O 発生や CH_4 吸収など土壌微生物が関与する現象が同時に起きている（Koga *et al.*, 2006 ; 古賀・鶴田，2006)。

図-2 は，北海道・十勝地域の畑作農業について，資料調査や圃場試験のデータから，それぞれの温室効果ガスの排出または吸収量に関するライフサイクルインベントリ分析を行った結果である（Koga *et al.*, 2006)。十勝地域は，わが国を代表する畑作地帯であり，秋まきコムギ，テンサイ，マメ類（アズキ，サイトウ，ダイズ)，バレイショが輪作体系の下で栽培されている。また，1 戸あたりの耕地面積が 30 ha を超える大規模農業であり，多くの作業が機械化されていること，収穫後にプラウ耕起と呼ばれる深耕が一般に行われることもこの地域の畑作農業の特徴である。図-2 中の土壌 CO_2 発生量は，北海道農業研究センター・芽室研究拠点の長期耕起試験圃場（淡色黒ボク土）における 20 年間の土壌炭素の減少量（深さ 0-20 cm）から求めたものである（表-1)。黒ボク土を主要な土壌とし，深い耕起が毎年くり返される十勝地域では，土壌からの CO_2 発生量は，トラクタ作業やコムギの機械乾燥など化石燃料の燃焼に由来する圃場内 CO_2 排出量や窒素施肥に由来する N_2O 発生量よりもはるかに大きいことがわかる（図-2)。以上は，土壌有機物の減少に起因する土壌からの CO_2 発生が最大の温室効果ガス排出源となった事例である。今後，このような農業生産体系において，地球温暖化への影響を最小としていくためには，土壌有機物の分解をいかに抑制し，炭素隔離に有効な農地管理技術をどのように取り入れていくかということが鍵になることを示している。

3. 土壌への炭素隔離に有効な農地管理技術

農耕地土壌への炭素隔離量の増大に有効な農地管理技術として，1）不耕起や省耕起などの保全型耕起法の利用，2）作物残さの還元，3）有機質肥料の施用，4）輪作体系の変更，5）農耕地から牧草地，放牧地への転換などが挙げられている（Paustian *et al.*, 1997 ; Magdoff and Weil, 2004 ; Franzluebbers, 2005)。いずれの農地管理技術も，土壌への炭素投入量を増やすことで土壌炭素の蓄積を図る方法と土壌有機物の分解を抑制することで土壌炭素を保全する方法のどちらかに分類され，2)，3）は前者に，1）は後者に，4)，5）は両者にあたる。表-2 は，Franzluebbers（2005）が，アメリカ合衆国南東部で実施された長期圃場試験の結果を整理し，それぞれの農地管理技術がもつ土壌炭素隔離能を定量的に評価した結果である。ただし，ここで用いられている「土壌炭素隔離量」とは，一般的に行われている農地管理技術を適用す

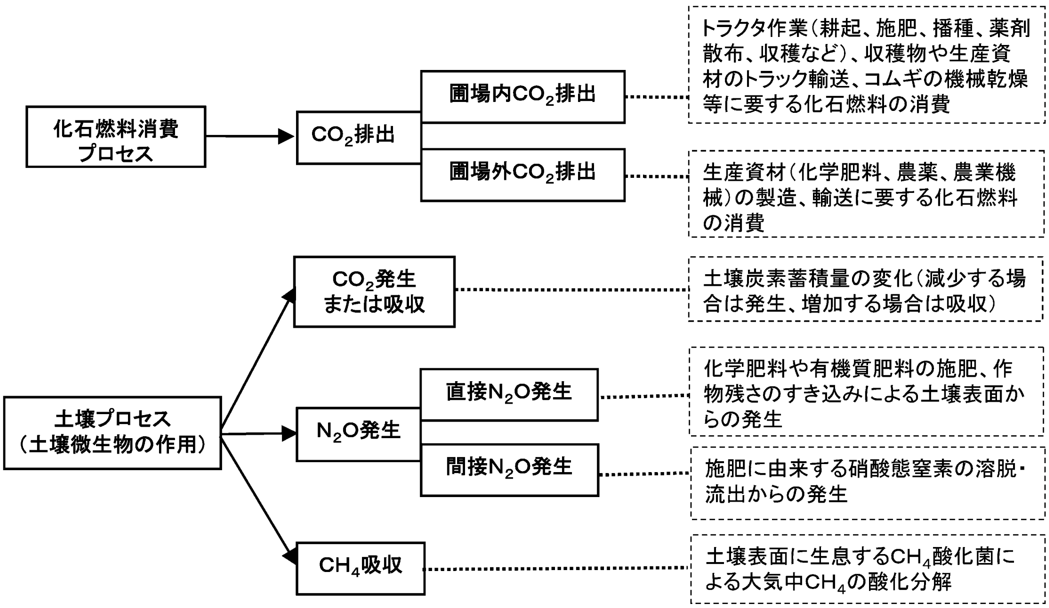


図-1 畑作生産における主な温室効果ガスの排出および吸収源

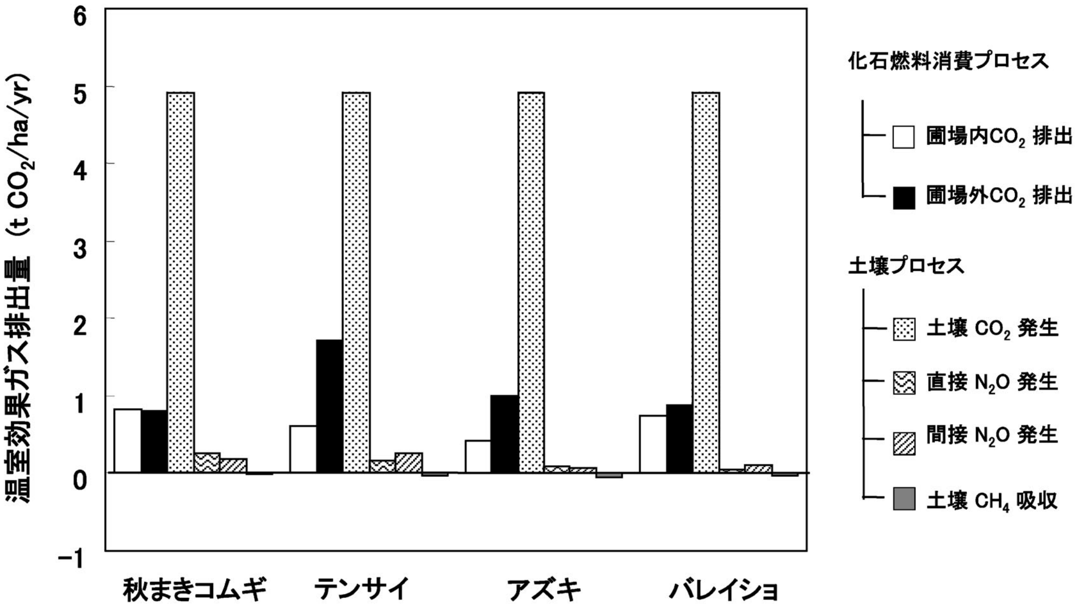


図-2　十勝地域の一般的な農地管理体系における作物別の総温室効果ガス排出量
一般的な農地管理体系とは，収穫後にプラウ耕起を行い，収穫残さを土壌中にすき込む体系を指す。CH_4 および N_2O の発生または吸収量は，それぞれ 23 倍および 296 倍の地球温暖化ポテンシャル（Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001）を用いて CO_2 換算した。

表-1　十勝地域の一般的な農地管理体系における土壌炭素蓄積量の減少と CO_2 発生量（北海道農業研究センター・長期耕起試験圃場）

土壌炭素蓄積量		土壌炭素減少率	CO_2 発生量
1981 年	2001 年		
t C/ha		t C/ha/yr	t CO_2/ha/yr
81.5	54.8	1.34	4.91

土壌炭素量の減少がすべて CO_2 発生に寄与したと仮定して，CO_2 発生量を計算した。十勝地域の一般的な農地管理体系とは，収穫後にプラウ耕起を行い，収穫残さを土壌中へすき込む体系を指す。Koga *et al.*（2006）から引用した。

る場合の土壌炭素量を基準としている点に注意が必要である。したがって，図-3 に示す不耕起の例のように，正味の土壌炭素量が減少していても，慣行の農地管理法よりも土壌炭素量が大きくなるのであれば，土壌炭素隔離量は正として評価される。

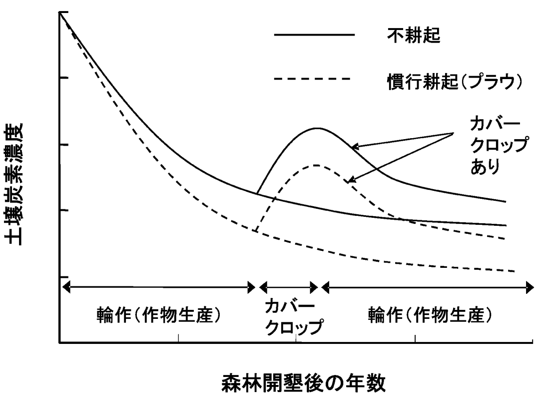
耕起法は，地温，土壌水分，通気性など土壌の物理的環境に影響を及ぼし，土壌有機物の分解速度を左右する。また，作物残さや有機質肥料が土壌中に投入される深さ，さらにはその後の分解速度や腐植物質の生成にも影響する（Paustian *et al.*, 1997）。図-3 は耕起法と土壌炭素濃度の関係を模式的に示したものである。通常，プラウなどの深耕は土壌有機物の分解を促進する。土壌の物理的攪乱が小さくなる不耕起は，その分解を抑制し，土壌有機物を保全する効果がある。さらに，不耕起では収穫残さの多くが土壌表面に残されるため，地温上昇の抑制などマルチ的効果が土壌有機物の分解を抑制するとされている。また，土壌有機物の一部は団粒によって物理的に保護された状態にあり，団粒構造を破壊し，土壌を細粒化する耕起作業は，土壌有機物の分解を加速させると考えられている（Lal, 1997）。

収穫残さや作物根，有機質肥料は，土壌への重要な炭素投入源となる。これらの有機物に含まれる炭素の一部は土壌中での分解過程を経て腐植物質などの安定した土壌有機物へ変換され，土壌中に蓄積する。収穫残さの場合，圃場へ還元されるバイオマス量が重要であり，圃場へ還元するか持ち出すかと言った基本的な残さ管理は土壌炭素の蓄積に大きく影響する。また，作物の種類によって収穫残さ発生量は大きく異なるため，栽培する作物の種類も重要な要因となる。有機質肥料の施用，窒素の増肥，かんがいなど作物の生育量を増大させる管理は，収穫残さの発生量も増加させ，土壌への炭素投入量を間接的に増やす効果がある。収穫残さの成分との関係

表–2　アメリカ合衆国南東部の長期試験における農地管理法と土壌炭素隔離量との関係

農地管理法	土壌炭素隔離量（tC/ha/yr）	補足事項
不耕起	0.42±0.46	継続年数10±5年，休耕期間にカバークロップを組み合わせることでさらに増加
輪作体系の変更	0.22	1輪作あたりの作物数を1.7±0.8から2.9±0.7に変更した場合。
有機質肥料（鶏糞）の施用	0.72±0.67	継続年数5～21年
牧草地，放牧地への転換	1.03±0.90	

Franzluebbers（2005）より作成



図–3　森林開墾後の農地管理（不耕起およびカバークロップの導入）と土壌炭素濃度との関係（概念図）Paustian *et al.*（1997）より作成した。

については，リグニン含量が土壌中での分解性や腐植物質の生成に影響する重要な質的要因と報じられている（Paustian *et al.*, 1997）。収穫残さはその成分の面においても様々であるが，収穫残さの質的差異と土壌有機物の形成との関係についてはまだ解明されていない部分が多いようである。有機質肥料の場合，家畜ふん尿堆肥を例にすると，易分解性の有機物が堆肥熟成の期間に分解するため，難分解性有機物を主に含むという特徴がある（Paustian *et al.*, 1997）。アメリカ南東部での鶏糞の長期連用試験では，比較的大きな炭素隔離量（0.72±0.67 tC/ha/yr）が得られ，施用された鶏糞由来炭素の17±15％が土壌有機態炭素になったと計算されている（表–2）。

輪作体系の変更には，収穫残さ発生量が大きな作物，牧草などの多年生作物を導入することが含まれる。収穫残さの発生量が大きい作物を輪作体系に導入することは，すでに述べたように土壌への炭素投入量の増加につながる。一方，多年生作物の導入は，収穫後に残される刈り株や根が有機物として土壌に供給されることに加えて，耕起の頻度が大幅に減少することが関係している（Magdoff and Weil, 2004）。また，1回の輪作における作物数を増やすことも，不耕起や有機質肥料の施用ほどの効果はないが，炭素隔離量の増加が認められている（表–2）。主に休耕期間を短縮し，農地の利用率が上がることで，収穫残さや根に由来する炭素投入の総量が増加することに起因すると考えられている。また，土壌の侵食や乾燥の防止，雑草繁茂の抑制技術として利用されているカバークロップにも，1回の輪作あたりの作物数を増やすことと類似の効果がある。

耕作地を牧草地や放牧地へ転換することには，大きな炭素隔離効果が認められている（表–2）。耕起など土壌の物理的に攪乱する作業が大幅に減少すること，牧草の刈り残しや家畜ふんが有機物として土壌に供給されることがその理由として考えられている。

4.　十勝地域における畑地管理法と土壌炭素量との関係

北海道農業研究センター・芽室研究拠点では，耕起処理と残さ・堆肥投入処理を組み合わせた農地管理方法が，土壌炭素量（深さ0–30 cm）に及ぼす影響を明らかにするため，2003年から圃場試験（淡色黒ボク土）を実施している。この試験では，春まきコムギ，テンサイ，ダイズ，バレイショを4年輪作により栽培し（十勝地域では，コムギ作付けの多くが秋まきコムギであるが，この試験では収穫後のプラウ耕起作業を容易にするため，春まきコムギを試験の対象としている。），面積あたりの土壌炭素量の算出に必要な土壌炭素濃度と容積重のほか，作物収量，収穫残さ（根を除く）の発生量，収穫残さや堆肥に由来する炭素投入量などを調査している。

耕起処理は，この地域で一般的に行われる慣行耕起（春の整地2回と収穫後のプラウ耕起（深さ約25 cm）: Conventional tillage（CT））と省耕起（春の整地1回（深さ約10 cm）のみ : Reduced tillage（RT））である。

十勝地域では，輪作体系の中にテンサイやバレイショなど地下部を収穫部位とする作物があり，収穫後には土壌表面が凹凸状態となるため不耕起の適用は困難であると考え，省耕起を試験の対象としている。残さ・堆肥投入処理には，収穫残さをすべて持ち出す処理（N），収穫残さを圃場へ還元する処理（R），収穫残さを還元し，さらに麦わら入り牛糞堆肥を秋（FM）または春（SM）に 20 t FW/ha/yr（平均 1.6 t C/ha/yr）の割合で施用する処理が含まれる。さらに，表–3 に示す輪作体系における作付け順序が 4 通りあり，以上の組み合わせを 2 反復で行っているため，合計 64 の試験区（耕起処理 2 通り×残さ・堆肥投入処理 4 通り×作付け順序 4 通り×反復 2）が試験圃場に配置されている。

表–4 は，各々の農地管理処理における面積あたりの収穫残さの発生量とそれに含まれる炭素量を示している。収穫残さの発生量および炭素量は，ともに春まきコムギやテンサイで大きく，バレイショでは小さい。農地管理処理別に見ると，収穫残さを還元する R 区と比較して，堆肥を施用する FM や SM 区では，残さの発生量，炭素量がともに約 1 割増加し，CT では残さを持ち出す N 区においてわずかながら減少する傾向が認められた。また，CT と RT 間の平均値（N，R，FM，SM 区）を比較すると，収穫残さの発生量および炭素量は，春まきコムギではRT で大きくなり，テンサイではCT で大きくなった。ダイズやバレイショでは耕起法間に明確な差は認められなかった。

毎年 6 月上旬に 4 層（深さ 0–5，5–10，10–20，20–30 cm）に分けて採取した土壌について，容積重と土壌炭素濃度を測定し，各処理区における表層から 30 cm までの土壌炭素量を計算した。この試験では容積重の経年変化が認められたため，各処理区における乾燥土壌量（深さ 0–30 cm）が試験開始前年（2002 年）のそれと同じになるように 2003 年以降の対象深を調整した。図–4 は，容積重の経年変化を見たものである。0–5 cm の層は，毎年春に整地を行うため CT，RT 間に容積重に明確な差はないが，5–10 cm および 10–20 cm 層で容積重が有意に CT よりも RT で大きくなる年次があった。表–5 は，試験開始前年（2002 年）の土壌炭素濃度と 2002 年から 2006 年までの土壌炭素濃度の変化率を示している。残さを持ち出す処理（CT-N，RT-N 区）では，残さを還元する処理（CT-R，RT-R 区）よりもすべての深さで減少率が大きかった。また，堆肥を施用する FM，SM 区では，CT，RT ともに，R 区よりも減少速度が小さくなるか，土壌炭素濃度は増加を示していた。とくに，省耕起と堆肥施

表–3　農地管理試験における作付け順序（北海道農業研究センター・芽室研究拠点）

作付け順序	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
A	バレイショ	ダイズ	テンサイ	春まきコムギ
B	ダイズ	テンサイ	春まきコムギ	バレイショ
C	テンサイ	春まきコムギ	バレイショ	ダイズ
D	春まきコムギ	バレイショ	ダイズ	テンサイ

表–4　各農地管理処理における収穫残さの発生量と収穫残さに含まれる炭素量（2003〜2005 年の平均値）（北海道農業研究センター・芽室研究拠点）

農地管理処理	収穫残さ発生量（t DW/ha/yr）[a]					収穫残さ炭素量（t C/ha/yr）[b]				
	春まきコムギ	テンサイ	ダイズ	バレイショ	4作物平均	春まきコムギ	テンサイ	ダイズ	バレイショ	4作物平均
CT-N	4.14	5.15	2.50	0.59	3.10	1.74	1.93	1.09	0.18	1.24
CT-R	4.63	5.25	2.55	0.56	3.25	1.95	2.03	1.12	0.17	1.32
CT-FM	4.85	5.99	2.80	0.66	3.58	2.03	2.26	1.19	0.21	1.42
CT-SM	4.96	5.58	2.71	0.67	3.48	2.09	2.12	1.20	0.23	1.41
RT-N	4.32	4.97	2.65	0.60	3.14	1.85	1.93	1.16	0.20	1.29
RT-R	5.01	4.31	2.52	0.58	3.11	2.12	1.71	1.11	0.19	1.28
RT-FM	5.36	5.39	2.86	0.58	3.55	2.28	2.09	1.26	0.21	1.46
RT-SM	5.41	5.28	2.77	0.57	3.51	2.30	2.08	1.22	0.19	1.45
CT 平均	4.65	5.24	2.64	0.62	3.35	1.95	2.09	1.15	0.20	1.35
RT 平均	5.03	4.99	2.70	0.58	3.33	2.14	1.95	1.19	0.20	1.37

[a] 春まきコムギ：茎葉，テンサイ：茎葉，ダイズ：茎葉，さや，バレイショ：茎葉
[b] CT-N，RT-N 区では，収穫残さをすべて持ち出すため，収穫残さから圃場への炭素投入量は皆無となる。

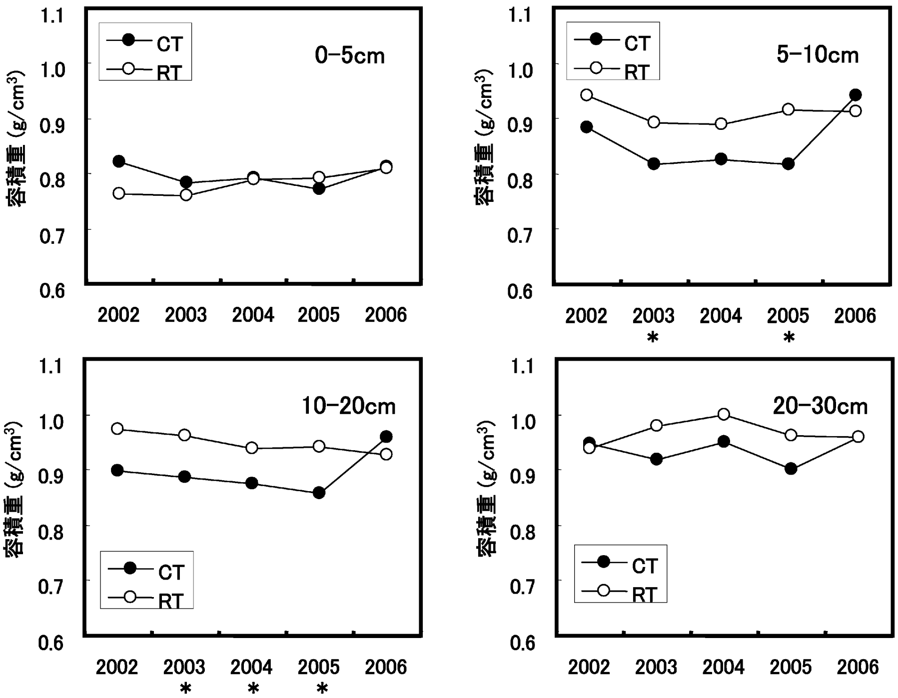


図-4　CT および RT における容積重の変化（北海道農業研究センター・芽室研究拠点）
CT および RT の容積重（毎年6月に調査）は，それぞれ10地点の平均値である。
調査年の下に * がある場合，CT と RT 間に5% 水準で有意差があることを示す。

表-5　各農地管理処理における土壌炭素濃度の変化（北海道農業研究センター・芽室研究拠点）

農地管理処理	試験開始前年（2002年）の土壌炭素濃度（gC/kg）				土壌炭素濃度の変化率（gC/kg/yr）（2002-2006年）				
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	4層の平均
CT-N	33.7	34.2	34.7	32.9	−0.53	−0.60	−0.80	−1.81	−0.93
CT-R	34.4	34.3	34.5	34.1	−0.44	−0.41	−0.41	−1.30	−0.64
CT-FM	33.5	34.0	34.9	33.5	0.02	−0.31	−0.42	−0.92	−0.41
CT-SM	33.7	33.2	34.7	33.7	0.37	0.07	−0.23	−0.78	−0.14
RT-N	35.8	35.9	35.0	30.5	−0.31	−0.46	−0.34	−1.45	−0.64
RT-R	36.0	35.5	35.6	31.3	−0.04	−0.23	−0.44	−1.10	−0.45
RT-FM	35.7	35.2	34.2	32.6	0.69	0.01	−0.21	−1.11	−0.15
RT-SM	36.0	36.2	35.7	33.6	0.72	−0.12	−0.46	−1.20	−0.26
CT 平均					−0.15	−0.31	−0.46	−1.20	−0.53
RT 平均					0.27	−0.20	−0.36	−1.21	−0.38

各項目の数値は，8試験区（4作付け順序と2反復）の平均値

用を組み合わせた処理（RT-FM, RT-SM 区）の浅い層（深さ0-5，5-10 cm）では，この層に収穫残さや堆肥が集中的に供給されるため，土壌炭素濃度が明らかに上昇していた。また，20-30 cm の層を除き，CT よりも RT において土壌炭素の減少率が小さくなる傾向が認められた。

容積重と土壌炭素濃度から求めた土壌炭素量の1年あたりの変化率（下段）と収穫残さおよび堆肥として供給

された炭素量（上段）を図-5に示す。試験開始前年である2002年には，各区において91〜97 t C/haの土壌炭素（深さ0–30 cm）が存在した（データ省略）。十勝地域の一般的な農地管理法に近いCT-R区では，土壌炭素量は1.93 t C/ha/yrの割合で減少したのに対し，残さをすべて持ち出すCT-N区では減少がさらに大きく（2.88 t C/ha/yr），CT-R区の土壌炭素量の減少率を基準とした場合の土壌炭素隔離量は負となった（表-6）。同様の傾向はRTでも確認された。また，CT，RTともに堆肥施用には土壌炭素量の減少を抑制する効果が認められ，その土壌炭素隔離量は0.58〜1.20 t C/ha/yrと計算された。以上のように，収穫残さや堆肥は，土壌炭素隔離のための炭素供給源として重要な役割を果たしていることが確認された。また，耕起法に着目すると，CTとRTにおける土壌炭素量の減少率（N, R, FM, SM区の平均）は，それぞれ1.72，1.44 t C/ha/yrであり，RTにも土壌炭素隔離効果があると考えられた。

以上の結果が示すように，十勝地域においても，収穫残さや堆肥からの土壌への炭素投入，保全型耕起法の利用は，土壌炭素隔離のための農地管理技術として有効であることが明らかとなった。しかしながら，堆肥施用と省耕起を組み合わせたRT-FMやRT-SMなどの農地管理処理において土壌炭素量が増加する（土壌が炭素の吸収源となる）ことを期待していたが，結果を見ると土壌炭素量は減少し，炭素の排出源となっていた。RT-FMやRT-SMでは，浅い層（深さ0–5 cm，5–10 cm）の土壌炭素濃度は増加するか，大きく減少していなかったが，耕起による土壌の攪拌が及んでいないはずの20–30 cm層において土壌炭素濃度が急速に減少していたことがその主な原因であり，当該試験圃場の排水性が極めて良好であることも関係していると思われる。そして，この結果は深い層にいかに有機物を供給し，この部分での炭素

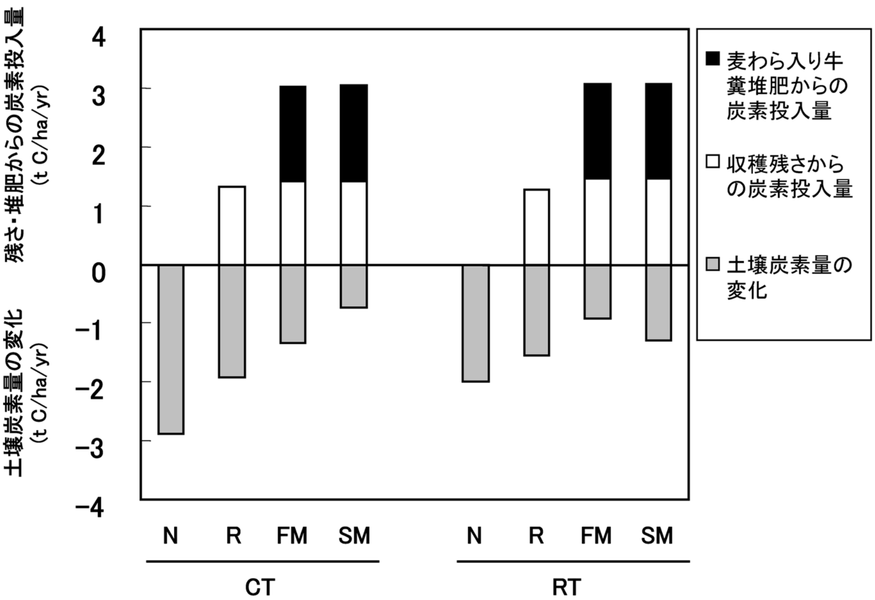


図-5　土壌炭素量の変化率と収穫残さおよび堆肥からの炭素投入量との関係
（北海道農業研究センター・芽室研究拠点）
それぞれの数値は，8試験区（4作付け順序と2反復）の平均値

表-6　各農地管理処理の土壌炭素隔離量（北海道農業研究センター・芽室研究拠点）

	CT-N	CT-R	CT-FM	CT-SM	RT-N	RT-R	RT-FM	RT-SM
土壌炭素量の減少率（t C/ha/yr）	2.88	1.93	1.35	0.73	1.98	1.54	0.93	1.30
土壌炭素隔離量[a]（t C/ha/yr）	−0.95	0.00	0.58	1.20	−0.05	0.39	1.00	0.63

[a] CT-R区の土壌炭素量の減少率を基準とした場合の土壌炭素隔離量

蓄積をどう進めるかという問題を提示しているように思える。北海道農業研究センターでは，今後，堆肥施用量の増加，収穫残さ発生量が大きい作物種の導入（収穫残さ発生量が小さいバレイショから発生量が大きいスイートコーンへ），秋まきコムギ栽培後の後作緑肥の導入等の効果について検討を進め，土壌への炭素蓄積効果が高く，十勝地域において適用可能な農地管理技術を開発する予定としている。

5. おわりに

土壌のもつ炭素吸収源としての潜在的な能力に多くの関心が寄せられている。わが国においても，地球温暖化問題への貢献という観点から，これまでに紹介した炭素隔離に有効とされる農地管理技術を活用し，土壌有機物の蓄積あるいは保全に積極的に取り組んでいかなければならない。しかし，これらの農地管理技術がどの地域でも一様に適用できるかということを考えると，話はそう単純ではないように思える。例えば，重粘土壌地帯では，土壌を膨軟にするための耕起は必須の作業であって，不耕起の適用は難しいかもしれない。また，家畜ふん尿やわらなどの有機物資源は偏在しており，堆肥を継続的に利用したいと思っても，近隣にこれらの有機物資源がなければ，それは実現困難となる。土壌，気象，作目，有機物資源の入手の容易さなど，地域の条件に見合った実現可能な農地管理方法を選択し，適用していくことが，日本の農耕地全体で土壌炭素の蓄積を進めるために必要かと思われる。

これと同時に，農地管理法の変更が土壌炭素量に及ぼす影響を国や地域といった広域なスケールで評価することも今後の重要な課題として残されている。その広域評価には，土壌，気象，作目，栽培法などの地理情報化と信頼性の高い予測モデルの開発が不可欠である。そこで，農地管理法の変更による土壌炭素量の変化を予測した一つの事例を紹介したい。Zhang *et al.*（2006）は，中国陝西省の農耕地（約300万ha）にDNDCモデルを適用し，現行シナリオ（収穫残さの還元率は15%）では，農耕地は0.5 Tg（1 Tgは10^{12} g）の炭素のソースであるのに対し，収穫残さの還元率を90%に上昇させるシナリオあるいは堆肥を500 kg C/ha/yrの割合で施用するシナリオでは，それぞれ2.1，0.2 Tgの炭素のシンクとなることを予測している。日本では，主要土壌の一つに特殊な土壌有機物の蓄積・分解過程を呈する黒ボク土壌が存在し，黒ボク土壌に適した土壌炭素モデルを開発しなければならないという特別な事情があるが，ここで紹介した中国での事例のように，わが国の農耕地土壌においても，土壌炭素の広域評価モデルを用いたシミュレーションを早急に行う必要がある。実現可能かつ土壌炭素の蓄積に有効な農地管理方法の具体的なメニューを早急に提示することがわれわれ研究者に求められているところである。

引 用 文 献

Franzluebbers, A.J. (2005) : Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA. Soil Till. Res., **83** : 120–147.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2001) : Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Cambridge University Press

環境省地球環境局（2006）: 日本国温室効果ガスインベントリ報告書．Available at URL : http : //www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html

木村眞人・波多野隆介（2005）: 土壌圏と地球温暖化．名古屋大学出版会，名古屋．

Koga, N., Sawamoto, T. and Tsuruta, H. (2006) : Life cycle inventory-based analysis of greenhouse gas emissions from arable land farming systems in Hokkaido, northern Japan. Soil Sci. Plant Nutr., **52** : 564–574.

古賀伸久・鶴田治雄（2006）: 北海道の畑作農業から発生する温室効果ガスのライフサイクルインベントリ分析．農業および園芸，**81** : 1101–1109.

Lal, R. (1997) : Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO_2-enrichment. Soil Till. Res., **43** : 81–107.

Magdoff, F. and Weil, R.R. (2004) : Soil organic matter management strategies. *In* Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture, pp. 45–65, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA

中井　信（2002）: 平成13年度温室効果ガス排出削減定量化法調査報告書．p 49–61，農業技術協会

Paustian, K., Andrén, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., Van Nooedwijk, M. and Woomer, P.L. (1997) : Agricultural soils as a sink to mitigate CO_2 emissions. Soil Use Manage., **13** : 230–244.

Zhang, F., Li, C., Wang, Z. and Wu, H. (2006) : Modeling impacts of management alternatives on soil carbon storage of farmland in Northwest China. Biogeosciences Discuss., **3** : 409–447.

要　　旨

農耕地土壌が本来もつ炭素吸収能を最大限に利用し，地球温暖化の防止に貢献しようとする試みが世界的に広がりを見せつつある。農耕地の土壌炭素量は，土壌や作物の管理法によって大きく変化する。とりわけ畑作農業では，耕起や施肥法，栽培する作物種，作物残さの管理など農地管理の選択肢が比較的豊富にあり，工夫の次第によって畑地土壌は大きな炭素の吸収源となる可能性を秘めている。わが国においても，畑地を含む農耕地土壌全体にどれだけの炭素吸収能があるのか，どのような農地管理が有効であるのかということに関心が集められるようになった。そこで，北海道・十勝地域の黒ボク土輪作畑において，省耕起，堆肥の施用，作物残さ還元などの農地管理技術の適用が土壌炭素量に及ぼす影響を調査した。収穫後にプラウ耕起を行い，作物残さを土壌にすき込むこの地域の一般的な管理体系において，土壌炭素量は急激に減少していた。作物残さを圃場から持ち出すことは土壌炭素量の減少をさらに大きくした一方で，麦わら入り牛ふん堆肥の施用は，土壌炭素の減少を小さくした。また，プラウ耕起を行わない省耕起の適用は，土壌炭素の減少を小さくする効果があった。北海道の畑土壌においても，堆肥や作物残さによる炭素の供給と耕起の軽減による土壌有機物の分解抑制が土壌炭素の蓄積あるいは保全に有効であることが明らかにされた。

受稿年月日：2006 年 10 月 30 日
受理年月日：2006 年 12 月 5 日

古賀伸久氏講演に関する質疑

質問：

投入される有機物のどの程度が土壌に貯まっていると考えて良いか。

回答：

発表の中で紹介した鶏糞を施用し続けたアメリカでの長期試験の結果では，鶏糞中の炭素の17％が土壌有機物炭素になっていた。私が，研究センター（芽室町）で行っている圃場試験では，まだきちんとデータ解析が終わっていないが，おおまかに言うと堆肥，残さともに3割程度か。ただし，この評価については，もっと長期的な検討が必要かも知れない。また，土壌炭素蓄積量の大小に応じて，有機物からの炭素蓄積量も変わるようである。

質問：

簡易耕起栽培では，作物残さが土壌表面で越冬し，この間作物残さは乾燥・再湿潤化，凍結・融解を受けるという話が発表の中にあったが，この寒い期間にも作物残さは分解していると考えているか。

回答：

てん菜のような窒素を多く含む残さを土壌表面において越冬させると，土壌凍結が融解する時期に大量の亜酸化窒素が発生したことがあった。この時，作物残さは物理的にぐちゃぐちゃになっていて，作物残さに由来する有機物が脱窒を促進したかもしれない。脱窒による亜酸化窒素の発生は土壌微生物の作用による訳だが，気温や表面の地温が0度に近い状態であっても，この時期有機物の分解というのは思いのほか盛んのようだ。

質問：

この20年間の日本の土壌炭素量が減っているのはどうしてか。

回答：

発表の中でお話しした土壌環境基礎調査・定点調査の結果によると，日本全体ではこの20年間の土壌炭素量はあまり変わっていない。ただ，この話は全体のことであって，お話したように，地域や土壌タイプにより，増える傾向，減る傾向があると言うことだ。