

## 畑地に対する深耕と堆肥施用が土壌特性と作物生育に及ぼす影響

東田 修司\*<sup>1</sup> 山神 正弘\*<sup>2</sup>

淡色黒ボク土に対する深さ55cm程度の深耕は耕盤層部分および心土を膨軟化し、その効果は施工4年後にも持続することが認められた。また、作土の有効態リン酸、熱水抽出性窒素、微生物活性は心土の混入によって低下したが、心土部分の肥沃度は高まった。堆肥鋤込みは作土の微生物活性の低下を緩和し、心土の膨軟化程度を大きくしたものの、10t/10a以上の堆肥鋤込みは施工翌年に作物収量の低下をもたらした。この減収は施工2作目以降にはみられなかったが、施工時堆肥20t/10aを鋤込んだ処理では土壌乾燥時のpF値が高めに推移した。

深耕は心土における作物根の伸長を促進し、かつ作物根の養分吸収活性を高めた。スイートコーン、パレイシヨの収量は深耕のみでは向上しなかったが、4~10t/10a程度の堆肥を併用した処理では増収が得られた。これに対し、テンサイの収量、秋まきコムギの生育、収量は深耕単独でも向上した。深耕は作土深拡大や耕盤層破碎の効果がある一方、作土の養分が心土の混入で希釈されるので、これを補填するため、4t/10a程度の堆肥施用が有効であった。

### 結論

十勝地方中央部の畑地帯には土壌保全分級式Ⅱ以下に位置付けられる本来生産力の低い火山性土が広く分布する。菊池<sup>1)</sup>はこれらの土壌の問題点を整理し、改良対策を提案した。改良対策のうち営農の中で取り組めない部分は基盤整備事業の中で改善が図られてきた。これまで混層耕、心土肥培耕、客土などの土層改良や明暗渠の整備など排水対策が実施され、それらは生産性と作業性の改善に大きく寄与した。

現在、畑作物の価格が据え置かれあるいは引き下げられるなかで、農家の収益を確保するためには、これまで以上に高生産かつ適期作業が保証されるような圃場条件が必要になる。しかし、基盤整備直後の圃場では施工に伴う土壌の練り返しや大型機械の走行による団粒や粗孔隙の減少<sup>8)</sup>、及び不良な下層土、養分分の乏しい客入土の混入による一時的な生産力の低下が指摘されている<sup>14, 16)</sup>。一方、基盤整備事業のなかで堆肥の施用が可能になり、農家でも実施希望が多い。基盤整備後、農家へ

引き渡す段階で生産力の高い圃場を提供する立場からは、堆肥を活用するなどして、基盤整備にともなうマイナス要因を極力消去することが求められる。網走地方で広く実施される軽石流堆積物の客土でも、堆肥の施用が施工当初の一時的な生産力低下を回避する手段として有効なことが明らかにされた<sup>17, 18)</sup>。

一方、十勝地方の畑地帯で淡色黒ボク土は最も広い面積を占める。淡色黒ボク土は作土が薄くかつ、窒素、リン酸、カリウム、マグネシウムの供給力を中心とする肥沃度が低い。しかし、作土の化学性は営農の努力によりかなり改善されつつある。特に、塩基類はほとんど問題ないレベルに達した<sup>19)</sup>。ただし、心土の改良と作土厚の拡大は心土肥培耕等による改善が一部でなされたが、十分とはいえない。加えて、腐植の少ない淡色黒ボク土は毎年繰り返されるプラウ耕によって根域を制限する耕盤層が形成されやすい<sup>5)</sup>。そこで耕盤層を破碎するとともに従来の耕起層以下の肥沃度を抜本的に高めることを目的に55cm程度の深耕を行い、その際薄まった作土の肥沃度を補填するために堆肥を併用し、その効果を検討した。

2002年7月5日受理

\*<sup>1</sup> 北海道立十勝農業試験場 (現:北海道立中央農業試験場, 069-1395 夕張郡長沼町)

E-mail:higashid@agri.pref.hokkaido.jp

\*<sup>2</sup> 同上 (現:北海道農政部, 060-8588 札幌市中央区)

表1 供試作物と耕種法

年度	供試作物 (品種)	栽植密度 (畦幅×株間 cm)	窒素施肥量 (標肥/減肥 kg/10a)	施肥 播種日	収穫日
1998	テンサイ (ストーク)	66×25	23.2/16	4/25	10/ 9
1999	スイートコーン (アイダホスイート84)	99×30	14 /10	5/14	9/18
2000	秋まきコムギ (ホクシン)	30cm 条播	11 / 9	9/18	7/23
2001	バレイショ (トヨシロ)	72×27	7.4/ 5.6	5/ 4	9/ 6

試験方法

1. 供試土壌

芽室町伏古台地の淡色黒ボク土を供試した。作土の層厚は35cm, 全炭素含量は2.4%, 土性はSLであり, 次層はそれぞれ0.6%, Lである。

2. 施工方法と試験処理

1997年秋菜豆(金時)跡に所定の量の堆肥を散布し, 混層耕プラウ30"×1連にて55cm程度耕起し, ディスクハロー24"×24で整地した。深耕前の堆肥の施肥量は0, 4, 10, 20t/10aの4段階とし, 深耕後堆肥施用区には毎年3t/10aの堆肥を連用した。深耕前無堆肥区にも毎年堆肥3t/10aを施用する区としない区を設けた。対照として深耕区と同量の堆肥を施用し, 通常のプラウで耕起した普通耕区を併置した。普通耕区, 深耕区それぞれ深耕, 普通耕と略記し, 普通耕区, 深耕区それぞれの全区を対象に論議するときには普通耕系列, 深耕系列とした。堆肥処理は「M」の後ろに施工時の堆肥施肥量t/10aを記し, 「+」の後に毎年連用した堆肥の量(t/10a)を記した。従って「M10+3」は施工前に堆肥10t/10aを施用し, 施工後に3t/10aを毎年連用施用したことを示す。

3. 供試作物

処理区にテンサイなど畑作物を栽培し, その生育収量などを調査した(表1)。栽培法は現地農家の慣行とした。堆肥を施用した区は3割をめどに減肥した。

4. 調査分析法

(1) α-グルコシダーゼ活性: 東田ら<sup>4)</sup>の方法によって測定した。

(2) 易分解性有機物量: 生土を30°Cで20日間培養し, 発生した炭酸ガス量を易分解性有機物量とした<sup>2)</sup>。

(3) 臭化ルビジウム吸収による根活性の測定: 川内らの方法に準じて分析した<sup>9)</sup>。臭化ルビジウム溶液(15g/100ml) 5mlを7月6日に株間20及び50cm深に注入し, その時点で十分展開した最も新しい葉をマーキングした。7日後にマーキングした葉, その上に新たに展開した葉, およびマーキングした葉の直下の葉を別々に採取し, 直ちに乾燥した。葉に含まれるルビジウムを0.2N塩酸溶液で抽出し原子吸光で定量した。調査対象作物はスイートコーンである(1999年)。

(4) 根密度の観察: 1999年7/22日にスイートコーン作付け条件で試抗を掘り, 根の密度を観察した。株を中心に幅10cmの格子状に断面を区切り, 移植ごてで土壌を数ミリ崩して, 目視観察された根の密度に合わせて0~5の6段階に区分した。

(5) 理化学性: 土壌の物理性, 化学性の分析は「土壌および作物栄養の診断基準—分析法(改訂版): 1992年」によった。土壌緻密度の測定は大起製買入式土壌硬度計(DIK-5520)を用いた。

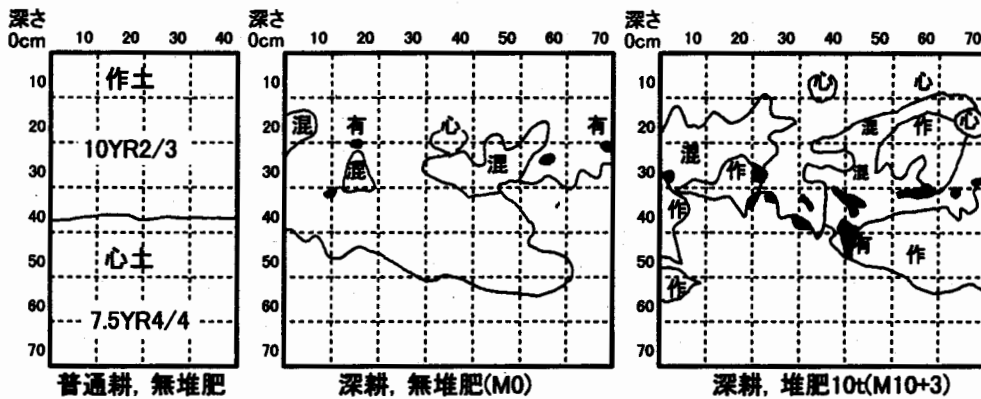


図1 深耕と堆肥施用が土壌の断面形態に及ぼす影響

注) 有: 堆肥・作物残作, 作: 作土, 心: 心土, 混: 作土と心土の混合  
普通耕には土色(マンセン式)を表示した。

結果

1. 土壌物理性

断面形態と土壌硬度、容積重：普通耕の腐植層の厚さは35cm程度であり、心土との境界は明瞭であった。深耕を行うことにより、作土と心土が混合した(図1)。以降、便宜上深耕系列でも0-35cmを「作土」、その下55cmまでを「心土」とする。

断面中に点在する黒色の有機物片は堆肥の鋤込み量が多い区の方がより高頻度で認められた。また、堆肥の鋤込み量の多い区の方が作土と心土の混じり方が複雑化する傾向にあった。農家で実施するプラウの耕起深は30cm程度であり、ロータリーなどにより攪乱されるのは最大15cm程度なので、それよりも浅い土層は経年的に混和されるが、30cm以深は図1に示したような作土と

心土がモザイク状に分布する形態を保ち続けた。

混合された作土と心土の境界面および有機物片周辺では土壌硬度の低下が観察された。貫入式抵抗計での測定によると普通耕では35~45cm深に耕盤層が認められた(図2)。深耕ではその部分の抵抗値が低く、耕盤層が破壊されたことが示された。耕盤層以深の心土の抵抗値も低下し、その程度は深耕に堆肥を組み合わせた区でより顕著であった。

作土の容積重、固相率は深耕により僅かに高まる傾向だった。これに対し、心土の容積重、固相率は深耕で低下し、特に堆肥を多量施用した処理でその傾向が大きかった(表2, 図3)。心土の透水係数は深耕によって高まる傾向にあった。深耕は耕盤層と心土を膨軟化し、その傾向は堆肥施用により顕在化することが明らかになった。

耐水性団粒：団粒の発達は保水性、通気性、排水性を

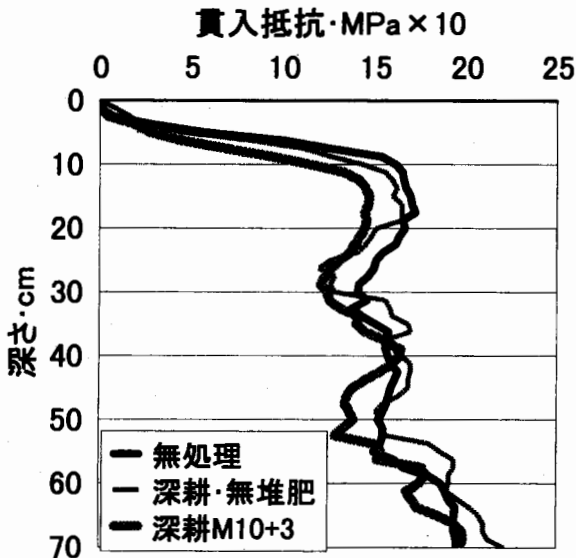


図2 深耕と堆肥施用が土壌硬度に及ぼす影響(貫入式抵抗計)  
注) 2000年秋まきコムギ収穫後測定

表2 深耕が土壌の物理性に及ぼす影響 (1999年)

耕起層	現地容積重	固相率	飽和透水係数
処理位	g/100ml	%	10 <sup>-5</sup> mm/sec
普通耕 作土	95.4	35.8	3.9
深耕 心土	97.5	35.7	2.0
普通耕 作土	96.5	37.7	1.8
深耕 心土	92.2	35.3	22.0

注) 堆肥施用を込みにした平均値

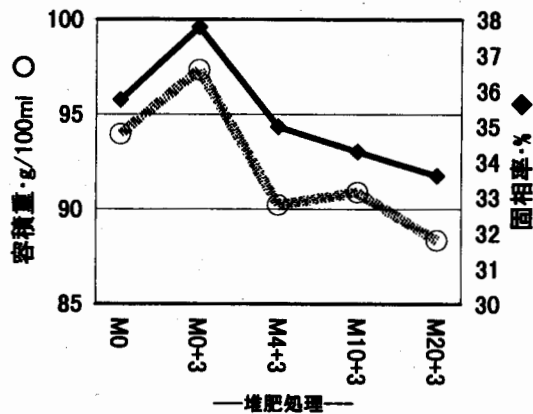


図3 堆肥の施用が心土の物理性に及ぼす影響  
注) 「M」の後は深耕時、「+」の後は毎年連用の堆肥量 t/10a

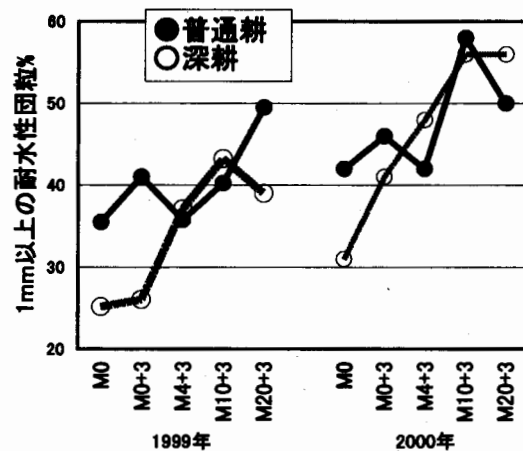


図4 深耕と堆肥の組み合わせが耐水性団粒に及ぼす影響  
注) 「M」の後は深耕時、「+」の後は毎年連用の堆肥量 t/10a

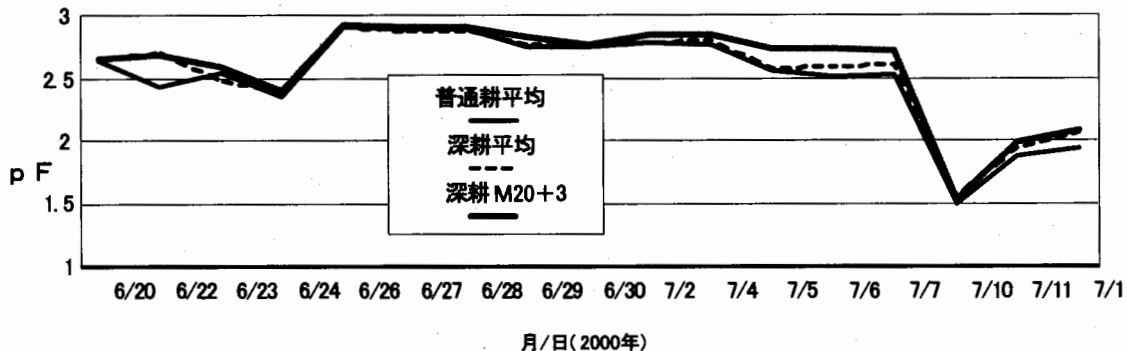


図5 土壤乾燥時期における pF 推移の処理間差異

注) 測定部位：20cm 深

表3 深耕と堆肥施用が土壤化学性に及ぼす影響 (1999年測定)

耕起 処理	部位	トモダ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	全 炭素 %	全 窒素 %	熱水 抽出性 窒素*	交換性塩基 mg/100g			易分解性 有機物 mg/100g
						K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	
普通耕平均	作土	12.2	2.4	0.24	4.6	45	109	31	40
深耕平均	作土	9.2	2.1	0.24	3.7	33	114	26	33
普通耕平均	心土	Trace	0.5	0.09	1.1	59	94	23	19
深耕平均	心土	7.6	1.7	0.23	2.6	48	112	25	28

注)\* : mg/100g

高め、土壤の生産力に關与する要因の1つである。団粒は有機物の施用に伴う微生物の働きによって形成される<sup>10)</sup>。

普通耕系列では堆肥の施用にともなう1mm以上の比較的大きい耐水性団粒の割合(以降これを単に「団粒割合とする」)が増加した(図4)。一方、深耕M0における団粒割合は普通耕M0に比べて低かった。これは深耕によって団粒未発達的心土が混入したこと、大型機械による耕起時にブラウ面の圧力が団粒の一部を破壊したためと思われる。深耕での堆肥施用は団粒割合の低下を回復させる働きがあり、深耕M4+3の団粒割合は普通耕M0に遜色なかった。10t以上の施用区ではさらに団粒形成が促進され、この傾向は最終年まで持続した。深耕区で堆肥の団粒形成効果が継続した要因は、毎年堆肥が連用されたことによるものと思われる。

pF値：施工後3年目の秋まきコムギ作付け時に土壤のpF値を測定した。深耕系列と普通耕系列の平均値を比較すると、深耕系列の方が僅かではあるが高いpF値を示すことが多かった。その中でもM20+3は特に高い値で推移した。深耕M20+3では鋤込まれた堆肥により心土膨軟化の程度が大いため、毛管水が切断されて土壤乾燥時の下層からの水供給が幾分弱まったものと推察される。この結果は深耕後3年目に得られたものであり、深耕直後では膨軟化の影響はより大きかったものと考えられる。

2. 化学性、微生物活性

普通耕の分析値から、施工前には心土の腐植、熱水抽出性窒素、有効態リン酸、易分解性有機物及びα-グルコシダーゼ活性は作土に比べて明確に低いことが示された(表3, 図6)。これらの分析値は深耕によって心土で高まり、逆に作土では低下した。腐植の希釈程度から作土への心土の混合率、心土への作土の混合割合はそれぞれ約1/4と見積もられた。

堆肥はカリウムと易分解性有機物を多量に含むことが多くの事例から明らかにされており、その施用によってこれらの項目の分析値が高まることが報告されている<sup>6)</sup>。本試験では、堆肥の施用量にともなう心土の交換性カリウムと熱水抽出性窒素が高まったが<sup>7)</sup>、他の成分及び土層には堆肥の施用による明確な変化は得られなかった。

十勝地方の火山性土におけるα-グルコシダーゼ活性の標準値は550-750pmol/g/min.であり<sup>4)</sup>、普通耕M0のα-グルコシダーゼ活性はその下限に位置する(図6)。深耕により心土が混入し、作土のα-グルコシダーゼ活性は標準値以下まで低下した(深耕M0)。これに対し、堆肥の施用は作土、心土ともα-グルコシダーゼ活性を高める方向に働いた。その結果、深耕前に堆肥を4t以上施用した区の微生物活性は普通耕M0を上回った。深耕系列での微生物活性向上効果は、施用量による差が縮小するものの、試験後期の3、4年目でも継続して観察された。

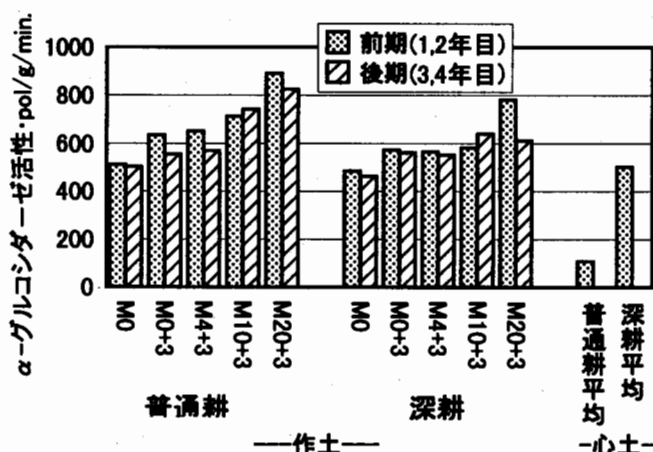


図6 深耕と堆肥施用が土壤微生物活性に及ぼす影響

注) 「M」の後は深耕時, 「+」の後は毎年連用の堆肥量 t/10a

心土のα-グルコシダーゼ活性は深耕により著しく高まったものの(図6), 堆肥用量間の差異は明確でなかった。その要因は図1に示したように深耕区では土層内が不均一であり, それが経年的に解消されないためと考えられる。

3. 作物の生育・収量に及ぼす影響

テンサイ(施工後初年目): 深耕系列では作土の養肥分が薄まったにもかかわらず, 堆肥を施用しない条件でも,

深耕M0の根重は普通耕M0を上回った。一方, 普通耕系列では施工時の堆肥鋤込みによって増収が得られたが, 深耕の根重は堆肥を10t/10a以上施用した区でむしろ低下した。減収した深耕M20+3およびM10+3のテンサイには7月の寡雨時に水分ストレスと思われる症状が観察された。このため, 施工1年目に深耕系列で増収が得られた施工時堆肥鋤込み量は4t/10aまでであった。

表4 深耕と堆肥施用が作物収量と窒素吸収量に及ぼす影響

耕起 処理	堆肥 処理	施肥 処理	1998年テンサイ		1999年サイトコーン		2000年秋まきコムギ			2001年バレイショ	
			根 重 kg/10a	窒素 吸収量 kg/10a	有効 雌穂重 kg/10a	窒素 吸収量 kg/10a	子実 重 kg	窒素 吸収量 kg/10a	倒伏 面積 %	規格内 重 t/10a	窒素 吸収量 kg/10a
普通	M0	標肥	6.58	27.9	859	15.2	553	12.9	10	4.66	11.1
	M0+3	減肥	97	86	111	103	103	104	0	111	113
	M4+3	標肥	106	116	115	103	108	126	15	96	111
	M4+3	減肥	110	120	97	88	112	120	0	107	123
	M10+3	減肥	117	116	112	95	105	110	0	103	122
	M20+3	減肥	107	113	111	105	111	111	0	98	120
深耕	M0	標肥	113	124	102	86	107	110	15	91	104
	M0+3	減肥	108	100	132	116	113	133	40	114	133
	M4+3	標肥	106	102	135	114	104	124	50	114	120
	M4+3	減肥	108	108	122	101	115	126	10	113	130
	M10+3	減肥	89	106	123	116	108	121	30	128	136
	M20+3	減肥	102	100	117	109	105	102	0	114	118
普通耕平均			6.99	30.3	925	15.0	589	14.4	4	4.78	12.7
深耕平均			98	98	113	109	102	107	24	110	108

注) ゴシック太字は普通M0に対する100分比, 窒素吸収量は収穫期「M」の後は深耕時, 「+」の後は毎年連用の堆肥量 t/10a

スイートコーン(施工後2年目): 深耕M0での有効子穂重はほぼ普通耕M0と同等であった。堆肥を施用した区の増収率は普通耕系列で-3~15%であったが、深耕系列では17~35%であり、深耕でより大きな増収率を示した。ただし、深耕M20+3は前年のような減収には至らなかったものの、同M10+3よりも低収であった。

秋まきコムギ(施工後3年目): 深耕M0は普通耕M0に比べて7%増収した。さらに施工前に堆肥を4t施用した区では増収率が高まったが、深耕M10+3, 同M20+3では深耕M4+3に比べてむしろ減収した。この結果、深耕系列の平均子実収量は普通耕系列とほぼ同等であった。

深耕系列において堆肥を施用したほとんどの区では、7月上旬の早い時期に倒伏がみられ、千粒重が低下した。このことから、生育が促進された深耕系列で増収が得られなかった要因は、倒伏によるものと理解される。深耕系列の堆肥施用区では本実験で実施したよりも大幅な減肥が可能と推察される。

バレイシヨ(施工後4年目): 両系列のM0を比較すると、深耕系列の方が低収であった。しかし、堆肥を施用した条件では深耕区の方が増収程度が大きく、バレイシヨにとっても深耕と堆肥の組み合わせが有効と判断された。

根張への影響: 施工後2年目のスイートコーン作付け時に試抗を掘って根を観察するとともに、ルビジウムを用いて根の養分吸収活性を測定した。

両系列のM0間の根張りを比較すると、深耕の方が普通耕よりも指数で4~5の部位数が多く、作土の根の分布が密であった(図7)。普通耕では堆肥の施用量を増すに従って作土の根の密度が高まったが、深耕ではその傾向は明確でなかった。一方、深耕の根の分布がみられなかった部位の数は堆肥鋤込み量にかかわらず普通耕に比べて少なく、心土部分の根張りが深耕によって改善されたことが示された。この際、深耕の特性として、作土と心土の界面や堆肥の部分で根の分布密度が高まることが観察された。

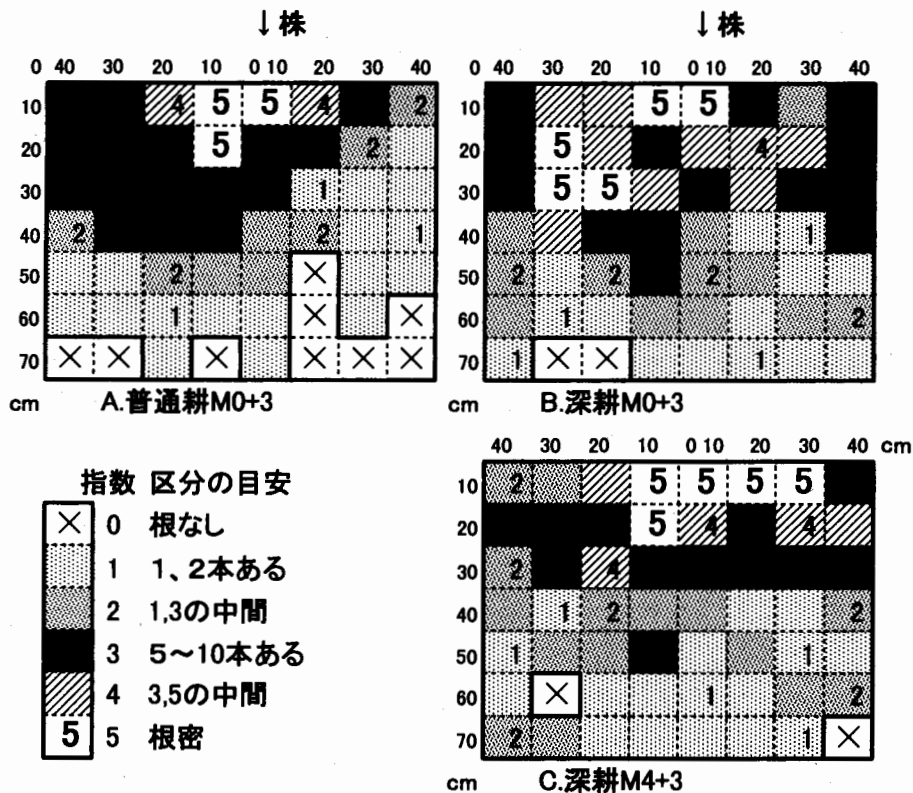


図7 スイートコーンの根の分布 (1999年測定)

表5 ルビジウム吸収法による根活性の比較

耕起	堆肥	施肥	葉身Rb濃度(ppm・無施用との差で表示)					
			20cm 深*			50cm 深*		
			新葉	中	下葉	新葉	中	下葉
普通	M0	標肥	32	34	38	27	14	11
深耕	M0	標肥	77	58	58	126	58	42

注) 新葉=注入後の展開葉, 下葉=注入時展開葉の下の葉  
 中葉=注入時展開葉  
 1999年7月測定, 供試作物スイートコーン  
 \*: ルビジウム施用深

ルビジウムはカリウムと同様に作物根の近傍からのみ吸収され, 根の養分吸収活性の指標として用いられる<sup>9)</sup>。ただし, ルビジウムの吸収はカリウムと競合するので, M0のみで深耕の影響を検討した(表5)。普通耕, 深耕とも打ち込み処理後に生長した新葉の方が処理時にすでに展開していた中葉, 下葉よりもルビジウム濃度が高い傾向が認められた。普通耕に比べ深耕の方が20cm, 50cm 処理とも新葉のルビジウム濃度が高まった。中葉も同様の傾向だった。深耕による物理性の改善効果がほとんどない20cm 処理でも深耕の方が高いルビジウム濃度を示した要因は, 深耕によって作土の養分が希釈され, それを補うために根の発達が促されたためと考えられる。50cm 深で深耕の方が明確に高いルビジウム濃度を示したことは図7の観察結果とも一致し, 土壌の膨軟化に対応する。以上から, 深耕は作土と心土の根の密度, 養分吸収活性を高めることが示された。

## 考察

### 1. 堆肥施用による微生物活性の向上

堆肥施用が土壌の生産力を向上させることは広く認識されている。堆肥を数年以上連用した場合にはその影響を熱水抽出性窒素など土壌分析を通じて評価することができるが<sup>12)</sup>, 単年度施用および2, 3年の連用では土壌の分析値に堆肥の影響が現れないことが多い。本報告では深耕前に堆肥を最大20t/10a 施用し, さらに3t/10a を数年連用したが, 堆肥施用量間の化学性の分析値に一定の傾向を見いだせなかった。一方, 微生物活性の指標である $\alpha$ -グルコシダーゼ活性は堆肥の施用で明確に高まることが認められた。

堆肥施用の影響が現れやすい分析項目である条件は, その要素が土壌に含まれる量に比べて, 堆肥に含まれる量が多いことである。この点を比較検討するため, 表6に10a 当たりの土壌が含有する各種成分量と堆肥1t 中に含まれる量を併記した。土壌と堆肥の含量の比が小さい成分の方が, 堆肥に含まれる量が相対的に大きく堆肥施用による変化が現れやすい。本報で分析した項目の中で, 土壌と堆肥に含まれる量の比が最も小さいのは易分解性有機物量であった(表6)。

表6 土壌と堆肥の各種成分含有量の比較

項目	土壌中	堆肥中の	①/②
	の	含量	
	含量①*	t 当たり②	
全炭素(t)	6.8	0.073	94
熱水抽出N(kg)	13.1	0.080	164
K <sub>2</sub> O(kg)	128	4.0	32
CaO(kg)	311	3.5	89
MgO(kg)	88	4.0	22
易分解性有機物(kg)	81	8.6	9

注) \*: 作土30cm, 10a 当たりの含有量

物理性が一定の条件下では易分解性有機物量は $\alpha$ -グルコシダーゼ活性と正の相関を有する<sup>4)</sup>ので, 基質以外の微生物活性規制要因が小さな土壌では $\alpha$ -グルコシダーゼ活性を測定することで堆肥施用の影響を最も鋭敏に評価することができる。本報告でも $\alpha$ -グルコシダーゼは堆肥の施用で数十%高まった。有機物施用で $\alpha$ -グルコシダーゼ活性が明確に高まった例は, 他にも報告されている<sup>6)</sup>。本報告では微生物活性の向上に伴って団粒の形成も促進されることが認められた(図4)。これらの結果から,  $\alpha$ -グルコシダーゼ活性は堆肥の施用を評価する分析項目として最も適切なものの1つであるといえる。

十勝地方の火山性土における $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の標準値は550-750pmol/g/min.であり, 適切な土壌理化学性を維持しつつ, 適切な有機物管理条件下にある圃場の $\alpha$ -グルコシダーゼ活性はこの標準値内の値を示すことが多い<sup>4)</sup>。本報告で供試した圃場の $\alpha$ -グルコシダーゼ活性はほぼ標準値の下限であった(図6 普通耕 M0 区参照)。深耕により心土が混入したことから活性は低下したが, 堆肥の施用はこの低下分を回復させる効果があった。図6の結果から施工前堆肥4t/10a と3t/10a の連用で数年にして $\alpha$ -グルコシダーゼ活性は普通耕の水準に回復し, 施工時10t/10a 施用ではさらに $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の向上効果が得られた。このことから微生物活性の面からのみ判断すると, 深耕に伴う活性の低下を補うためには堆肥10t/10a 程度の施用が望ましいと思われる。

## 2. 深耕と堆肥施用の組み合わせ効果

深耕は土壌を膨軟化し(図2)、心土の化学性を向上させた(表3)。一方、作土の養分は心土の混入によって希釈された。深耕によってテンサイ、秋まきコムギでは堆肥を施用しない場合でも普通耕M0に比べて生育、収量の向上が得られたが、スイートコーンはほとんど増収せず、バレイショはむしろ減収した。このように深耕のみの効果には作物間差が認められた。テンサイ、秋まきコムギ<sup>20)</sup>は根の展開力が強く下層まで深く根を張る性質をもつ。これに対し、スイートコーン、バレイショは畑作物の中では根が浅い作物といわれる。テンサイ、コムギには下層に根を張るために作土の養分希釈のマイナス影響に比べて、下層の膨軟化、肥沃向上の好影響が大きかったと考えられる。スイートコーンなど根の浅い作物では養分希釈の悪影響を大きく受けやすい。養分をほとんど含まない軽石流堆積物を物理性改善のために客土し、作土の養分が希釈された例でもマメ類、タマネギのように根の浅い作物では減収程度が大きかった<sup>16)</sup>。このように、深耕処理のみの収量反応には作物間差があり、その違いは作物ごとの根張り程度に支配されるものと判断される。

根の浅いスイートコーン、バレイショでも堆肥を施用することにより、普通耕M0よりも増収するのみならず、初年目を除き多くの場合、普通耕で同量の堆肥を施用した区に比べても増収した。これは施工前の堆肥施用によって養分が付加され、心土による作土の養分希釈の影響が消えないし緩和されたためと理解される。

しかし、初年目のテンサイは施工前に堆肥10t(深耕M10+3)及20t/10a(深耕M20+3)を施用した区ではむしろ減収した。また、その後のスイートコーン、秋まきコムギ、バレイショでも深耕M20+3の収量は同M10+3に比べて劣るなど、深耕に堆肥の大量施用を組み合わせた処理ではむしろ減収傾向にあった。初年目テンサイの堆肥大量施用区で干ばつ害とみられる症状が観察されたことから、大量の堆肥が鋤き込まれることにより心土が極端に膨軟になり、干ばつ時に下層からの毛管水上昇が遮断された可能性が指摘される。火山性土壌では最大4mmもの毛管水の上昇が見込まれ<sup>15)</sup>、これが遮断されると干ばつ時の作物生育が停滞する恐れがある。施工後2年目のスイートコーン作付け時でもM20+3では普通耕と他の深耕に比べて高いpF値で推移した。過膨軟の

影響は、深耕を施工した直後のテンサイ作付け時に最も激しく現れたものと推察される。

この影響は土壌の圧密が進むにつれて緩和し、2年目以降、深耕M10+3ではむしろ高い収量を得た。しかし、施工直後から高い生産性を有する圃場を供給する立場からは、深耕に先立ち10t/10a以上の堆肥を施用することは好ましくないと判断した。結論として、深耕に伴う堆肥の施用量は4t/10a程度が適切である。ただし、深耕による作土の有機物希釈を補填するために、その後数年間にわたって3t/10a程度の積極的な堆肥連用が望ましい。

## 3. 深耕の適用条件

これまで深耕は心土を膨軟化するばかりでなく、その肥沃度を高めること、堆肥施用は希釈された養分を補填すること、それらの結果として作物根が活性化されることを明らかにした。根張りが良くなることは、窒素など無機成分の吸収が円滑化するばかりでなく、土壌水分の利用面でも有利であり、これらが複合して増収をもたらしたと考えられる。深い土層までの根の発達、施肥効率を高め、近年問題視される硝酸流亡を縮減する方向に働くと推察される。

ただし、心土の粘性が強く、それが作土に混じることによって碎土性などの悪化に懸念がある場合、また、心土に礫がある場合にはこの工法の導入に当たっては十分な検討が必要である。

一方、農家では深耕を含め、客土など作土に新たな土壌が混合する効果として“作土のリフレッシュ”を期待する例が多い。その内容には連作障害軽減を意識したものも含まれると思われる。畑輪作地帯で大きな問題であるジャガイモそうか病にとって、深耕の実施はy1の低い下層土が作土に混入することで、むしろ発病しやすい条件をもたらす恐れがある<sup>11)</sup>。心土の混入が作土のy1を大幅に引き下げる可能性がある場合には、そうか病への配慮も含めて施工実施の判断を行うことが必要である。

また、作土への心土の混入は作土の肥沃度を低下させることが一般的である。本報の事例は作土のリン酸肥沃度、微量元素含量とも極端に低くなかったため、それらは減収要因とならなかった。しかし、深耕を実施した場合にはリン酸や微量元素を含めて土壌診断を行い、その結果に基づいた施肥対応が必要となる。



## 引用文献

- 1) 菊地晃二. “十勝地方における土壌類型区分図とその土壌改良対策への応用”. 北海道立農試報告. 34, 1-118(1981).
- 2) Higashida, S., Takao, K. “Seasonal fluctuation patterns of microbial numbers in the surface soil of a grassland”. *Soil Sci. Plant Nutr.* 31, 113-121(1985).
- 3) 東田修司. “土壌酵素活性による畑地生産力の評価”. *土と微生物*. 48, 17-23(1996).
- 4) 東田修司, 山神正弘. “土壌酵素活性による畑地生産力の評価”. 北海道立農試集報. 71, 7-16(1996).
- 5) 北海道立十勝農業試験場土壌肥料科. “十勝地方における耕盤層の判定基準と改善対策”. 昭和61年度北海道農業試験会議資料. 1986, p.1-4.
- 6) 北海道立十勝農業試験場土壌肥料科. “畑作物に対する堆肥の連用限界量の設定と減肥対応”. 平成10年度北海道農業試験会議資料. 1998, 14p.
- 7) 北海道立十勝農業試験場, 同北見農業試験場. “畑土壌に対する心土改良耕の導入と堆肥施用の組み合わせ効果”. 平成13年度農業試験会議資料. 2001.49p.
- 8) Ishiwate, T., Okita, Y., Shishido, N. “Changes in soil physical properties of four different fields during and after upland reclamation that involved grading”. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42, 573-586(1996).
- 9) 川内郁緒. “小麦根系の発達と機能”. 北海道土壌肥料研究通信. 91, 1-6(1989).
- 10) 美園繁, 木下彰. “土壌構造に関する研究Ⅲ. 土壌団粒の生成に関する研究”. *農業技術研究報告*. B7, 123-159(1956).
- 11) Mizuno, N., Nizamidin, K., Yoshida, H., Tadano, T. “Effects of deep plowing and cutting and banking practice on the concentration of water-soluble aluminum and allophane content in andosols: implication for recent incidence of potato common scab in Abashiri Area”. *Soil Sci. Plant Nutr.* 44, 571-578(1998).
- 12) 中津智史, 東田修司, 山神正弘. “淡色黒ボク土における堆きゅう肥の連用が畑作物の収量・品質に及ぼす影響”. *日土肥誌*. 71, 97-100(2000).
- 13) 新田恒雄, 松口龍彦. “有機物施用による根圏生態系の改善が畑作物の生育・収量に及ぼす影響に関する研究”. 北海道農試研報. 152, 33-89(1989).
- 14) 大矢朋子, 宍戸信貞, 山田園雄. “堅密固結性土壌に対する砂質火砕流堆積物の客土効果”. *開発土木研究所月報*. 519, 24-29(1996).
- 15) 竹内晴信. 未発表.
- 16) 竹内晴信, 大山毅. “北海道網走地域の畑地における軽石流堆積物客土の問題点”. *土壌の物理性*. 70, 55-65(1994).
- 17) 竹内晴信, 東田修司, 市川信雄, 松原一實. “軽石流堆積物客土畑における有機物施用効果 第1報 客土と有機物施用が土壌理化学性に及ぼす影響”. *土壌の物理性*. 84, 23-31(2000).
- 18) 竹内晴信, 東田修司, 市川信雄, 松原一實. “軽石流堆積物客土畑における有機物施用効果 第2報 客土と有機物施用が土壌の生産力に及ぼす影響”. *土壌の物理性*. 84, 33-41(2000).
- 19) 十勝管内土壌診断事業推進協議会. “十勝地域土壌分析結果報告書(1982~1991年度)”. *土壌診断の会報*. 44, 1-2(1997).
- 20) 山口淳一. “作物生産における根系発達の量的意義”. 北海道土壌肥料研究通信第36回シンポジウム. 1989, p.33-48.

# Effects of Deep Plowing with Concomitant Application of Farm Yard Manure on the Productivity of Arable Crops

Shuji HIGASHIDA\*<sup>1</sup> and Masahiro YAMAGAMI\*<sup>2</sup>

## Summary

At light-colored andosols, one of major soil types in an arable land of the Tokachi district, has a thin surface soil and a plow pan layer, which restrict crop productivity. In order to reclaim the drawbacks, a deep plowing combined with application of farm yard manure was induced and its effects on soil properties and crop yield were surveyed. In this field experiment, 0,40,100,200t of manure per ha was applied before deep plowing at 55cm depth.

The deep plowing destroyed plow pan layer, which had been appeared at 30-40cm depth and decreased hardness of subsurface soil. The deep plowing also caused decrease in carbon content, nitrogen supplying ability, available phosphate, and microbial activity in surface soil because of mixed poor subsurface soil, whereas these factors were improved in subsurface soil. An application of farm yard manure distinctively alleviated the decrease of microbial activity at the surface soil. An amount of water stable soil aggregates also decreased with deep plowing, while application of manure recover the decline of aggregates as well. The deep plowing also decrease bulk density and increase water permeability in subsurface soil. The soil microbial activity measured by  $\alpha$ -glucosidase activity increased with the amount of applied manure, although chemical measures such as carbon content didn't coincide well with the rate of manure applied. So,  $\alpha$ -glucosidase might be the easiest and the keenest criteria to evaluate the organic amendment.

A large amounts of manure, more than 100t/ha however reduced the crop yield especially in the year just after the manure was incorporated in subsurface soil with deep plowing. That might be due to the disturbance of capillary water movement from deep soil layer to crops especially at the dry season, as pF values of surface soil in the plot, where 200t/ha of manure was combined with deep plow, tended to high even 3 years after the treatment. The evident adverse effect of manure to crop yield however disappeared next year.

In deep plowed plots, root growth of the crop at subsoil was enhanced as well as the root activity measured by Rb absorption. Increases of yields in sweetcorns and potato were not obtained at deep plowing without manure, while the yields increased with manure application. Growth of sugarbeets and winter wheat were promoted with deep plowing itself. These two crops have a rich root system that can absorb nutrient effectively from deep plowed top soil, so that beneficial effects of improvement in soil compactness could make up with the dilution of nutrient elements at surface soil. A difference in response of crops to deep plowing might be attributed to the root systems. Our results indicate that deep plowing combined with manure application of 40t/ha can improve the productivity of a light colored andosols that doesn't have heavy clay nor gravels at subsurface layer.

\*<sup>1</sup> Hokkaido Tokachi Agricultural Experiment Station (Present; Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-1395 Japan)

E-mail:higashid@agri.pref.hokkaido.jp

\*<sup>2</sup> *ibid.*, (Present; Department of Agriculture, Hokkaido Government, Sapporo, Hokkaido, 060-8588 Japan)