J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 103, p. 3～12（2006）

砂質火砕流堆積物の客土によるクラスト形成の抑制を主体とした畑土壌の物理性改善技術

横 井 義 雄*

The Technique for Improving Soil Physical Characteristics by Preventing the Formation of Soil Crust by Dressing the Sandy Pyroclastic Deposits

Yoshio Yokoi*

* Hokkaido College of Agriculture, Nishi-senbiri-25-1, honbetu, nakagawa-gun 089-3675, Japan

Abstract

Effects of dressing pyroclastic deposits to the crust forming soils distributing in Biei hill area are summarized as follows.

1) Crust forming soils in Biei hill area shows difficulty in plowing, which becomes the limiting factor for the crop production. This soil is not clayey, but easily dispersed after rain fall, and readily forms crust on drying. This crust forming soil has remarkably large solid percentage, high bulk density, and low coarse porosity. The soil hardness also increases remarkably on drying.

2) Pyroclastic deposits improves these soil physical properties, and the yield of field crops increase steadily by dressing the pyroclastic deposits to the thickness of 5-10 cm. Larger dressing of pyroclastic deposit showed little effect on the yield of field crops due to the decrease of soil fertility.

3) Soil dressing decreased the specific resistance on traction when field is plowed. Soil dressing of 5-10 cm thickness was effective enough to the decrease the specific resistance to the lowest value.

4) Critical thresholds of the necessity of soil dressing for improving the physical properties of soils were evaluated. These values were (1) silt＋clay contents＞0.35 kg kg^{-1}, (2) Crust hardness＞0.8 MPa, (3) bulk density＞1.35 Mg m^{-3}. When either one of the three criteria is applicable, it is judged that soil dressing is necessary. The goal value of the improving soil texture was set at 0.35 kg kg^{-1}.

Key words : crust, pyroclastic deposits, soil dressing, hill area

1. はじめに

北海道上川地方中南部の美瑛町から富良野市にかけては，丘陵地形が発達しており，風光明美な農村風景を有した大規模な畑作農業が展開している。美瑛丘陵地には，細粒質な褐色森林土および灰色台地土が広く分布している（横井ら，2001）。本土壌は，容積重が佐久間・赤沢（1984）らが報告したオホーツク海沿岸の段丘堆積物母材の重粘土と同様に大きいことから，畑作農業で必要となる耕うん作業が困難であり，砕土性に劣る特徴を有している。また，本土壌は，土性が CL～LiC で，北海道北部に分布する重粘土（佐久間ら，1969）に比較して粘土が少なく，砂が多いことから，降雨による土塊の崩壊や団粒の分散が起こりやすく，すぐに軟化するが，乾燥

*北海道農業大学校　〒089-3675 北海道中川郡本別町西仙美里 25 番地 1
*現住所：財団法人 北海道農業近代化技術研究センター　〒074-1271 深川市広里町 4 丁目 1 番 3 号
キーワード：クラスト，火砕流堆積物，客土，丘陵地

により強固な土膜であるクラストが形成する（Tanaka *et al,* 1992, 1995, 1997 a ; 1997 b ; 1999)。強固なクラスト形成は，播種直後の畑作物の出芽に大きな障害となる。さらに，雨水の浸入を低下させ水食や干ばつを助長する。また，乾燥期には耕うん土層の全体が固結して，著しく堅密になることで作物の根伸長や塊茎部の肥大を阻害するため，農作物の生育や収量，品質にまで悪影響を及ぼしている（横井ら，1998)。こうしたことから，本地域では，低地水田地帯よりもクラスト形成が作物生産性を制限する要因となっていることが多い。

重粘土に対する改良としては，古くから深耕や心土破砕などの下層土改良（赤沢，1979）が効果的な方法と提案されているが，自力営農で行うには農業機械の馬力数が小さく問題があった。また，美瑛丘陵地のような北海道を代表する畑作地帯で，土地利用型の大規模農業を推進する場合には，輪作や有機物施用による土壌構造の安定化，耕うんの改善，土壌改良資材での改善など，営農による細やかな土壌管理をしていくことは必要であるが，短期間に効果を上げることは労働力不足および経済性からみて，現実的には困難である。このため，クラスト形成土壌で作物低収要因を改善するためには，下層土改良のほかに，まず，本土壌の不良な作土の物理性を比較的容易に根本から改良する技術が必要である。

本土壌と類似の粘性が強く堅密なオホーツク海沿岸に分布する段丘堆積物母材の重粘土に対しては，砕土・易耕性の改良を目的にした海砂客土の提案がある（千葉，1950)。最近では，海岸砂地の長期連作サツマイモ畑で粒径淘汰による細粒化での排水性悪化に対して砂客土による収量向上の効果を示している（山本，1991)。

しかし，1979年以降，北海道条例により海砂を客土材として利用することは不可能となっているため，これらの成果は適用できない。一方，道内では網走地方の軽石流堆積物の客土が細粒質低地土，表層腐植質黒ボク土などに対して収量，品質向上の効果が報告されている（竹内ら，1994)。粗粒質な資材の客土効果は，それぞれの土壌物理性の不良を改善する要因に違いはあるものの，それらの問題点を改善したと報告している。

筆者は，美瑛丘陵地で問題となる，クラスト形成が激しい土壌に対して，上川地方中南部に広く分布している，十勝岳火山群を起源とする砂質な火砕流堆積物を，客土材として利用することが有効と考え，その効果を明らかにすると共に，適切に客土を実施するための要否判定の指標値を策定した。

2. 調 査 方 法

2.1 分析方法

試験研究の対象地域は，上川地方中南部の十勝岳火山群の山麓で旭川市から富良野市までの丘陵地帯である。改良の対象となる土壌は，細粒質な褐色森林土および灰色台地土で，試験圃場は地力保全基本調査土壌図に基づき踏査し，クラスト形成の激しい灰色台地土である美瑛町北瑛試験地（以下，北瑛試験地）とやや形成の軽い褐色森林土である富良野市富丘試験地（以下，富丘試験地）を選定した（図-1)。

各試験地において，作物収穫後に土壌採取し，土壌物理性として国際法による粒径組成と土性，崩落率，0.1 L採土管による容積重と土壌固相率，粗孔隙量（0～－3.1 kPa)，有効水孔隙量（－3.1～－98.1 kPa)，微細孔隙量（－98.1 kPa～）の測定を行った（農業土木学会，1983)。試験圃場での層位別の土壌硬度は山中式土壌硬度計により，表面に形成したクラストの硬度はクラスト硬度計（大起理化製作所製，0.98 N mm^{-1} 赤色バネ使用時の指示値）により計測を行った。また，プラウ耕うん時に機械の牽引比抵抗を測定した（農業機械学会，1977)。

土壌化学性としてpH（H_2O)，陽イオン交換容量（CEC)，交換性カリウム・カルシウム・マグネシウム含量，リン酸吸収係数，有効態リン酸含量（Truog法)，0.1 N塩酸可溶性銅および亜鉛含量を分析した（土壌標準分析・測定法委員会，1986)。

2.2 客土試験の概要

客土材として使用する火砕流堆積物の特徴を明らかにするため，分布図（池田・向山，1983）に基づき美瑛町と富良野市から2種類を採取し，上記と同様の土壌化学性の分析を行った。

富丘試験地および北瑛試験地において，作土の物理性を改良するため上記の火砕流堆積物を客土して改善効果を査定した。客土量を変えた処理区は，北瑛試験地と富丘試験地に，無客土区と客土5 cm, 10 cm, 15 cmの処理区を設けた。客土の攪拌は，深さ30 cmまでをプラウ耕うんした後，ロータリ耕うんで混和した。

栽培試験に供試した作物は，北瑛試験地でダイズ（1986)，バレイショ（1987)，アズキ（1988)，富丘試験地でニンジン（1985)，バレイショ（1986)，テンサイ（1987）である。栽培試験規模は，両試験地とも1処理区の面積を100 m^2 とした。栽培管理は現地の農家慣行による。農作物調査は，各処理区の収量を現地の出荷基準を用い比較した。

3. 結果および考察

3.1 美瑛原土の土壌理化学性

本クラスト形成土壌の土壌物理性を見ると，粒径組成は，砂0.29～0.64 kg kg^{-1}，シルト0.18～0.37 kg kg^{-1} と

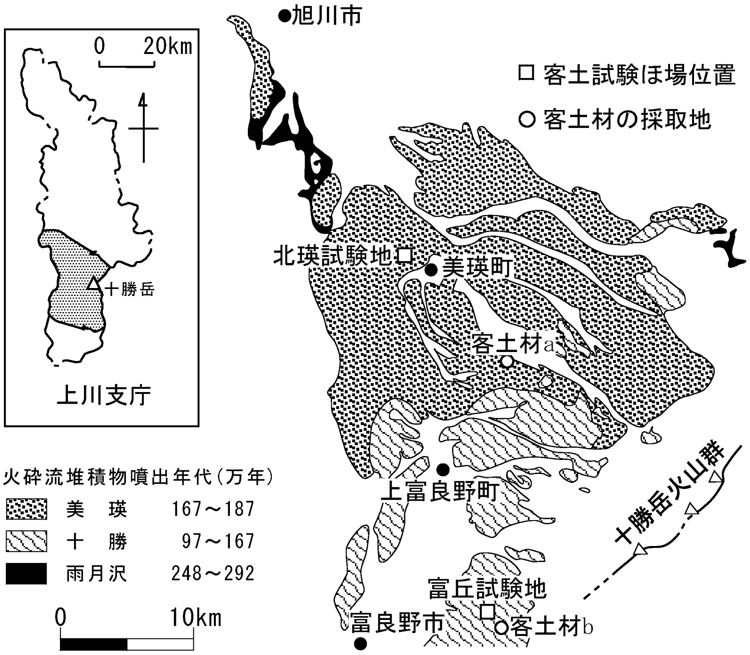

図-1　上川地方中南部の美瑛丘陵地を形成する火砕流堆積物の分布
（池田・向山，1983より作図）

Fig. 1　Distribution of pyroclastic deposits covering the Biei hill area in the middle-south part of Kamikawa district (mapped according to Ikeda and Mukaiyama, 1983).

砂とシルトが多いものの広範囲に分布している。土性はSCL〜LiCで細粒である。本土壌は，粘土含量が多いもので0.74 kg kg^{-1}，少ないもので0.18 kg kg^{-1}と広範囲で，佐久間ら（1969）が調査した重粘土の0.50 kg kg^{-1}より少ない粘土含量の場合でも，著しく物理性が不良となる。また，土壌団粒の安定性の指標としている団粒径5 mm未満の崩落率は，本土壌で0.502〜0.650 kg kg^{-1}と高く，団粒の安定性が極めて弱い。これは，本土壌が，砂が多いため崩落率が高く，また，佐久間ら（1969）が報告している重粘土より，降雨による団粒の分散がしやすいため，その後の乾燥により，クラストが形成する条件を作り出していると予想できる。また，クラスト形成の要因である分散性は，土壌水分条件が湿潤領域における雨滴の衝撃や削剥によるインパクト型，乾燥領域における沸化作用によるスレーキング型に分類されている（田中，2000）。分散性について，本地域の土壌では，耕うん時の土壌が湿っている状態よりも乾燥している場合にクラスト形成が激しいことがAsgedom and Hasegawa（2005）の試験から推察される。これらのことから，本土壌における強固なクラスト形成は，スレーキングの影響が大きいと推察できた。クラスト形成は，必ずしも粘土含量が多いことのみが形成の要因とならないことを示唆していた。土壌の固結性については，土壌の締固め程度に粒径が影響していることをCasagrande（1948）が示しており，砂から粘土までが均等に含まれる土壌で，容積重が高まりやすいとしている。本土壌の粒径組成の特徴は，砂，シルト，粘土が比較的均等に含まれている。このことが，乾燥による圧密でのクラスト形成程度に寄与していると推察できる。

クラスト形成について，マサ土では，クラスト非形成土に比較してクラスト形成土の粗砂が少なく，細砂およびシルトが増加している。雨滴によって分散したシルトの一部が流去せず，土壌表面に沈着して粗孔隙が消失しやすい（坂西，1997）との報告もある。北海道における重粘土でのクラスト形成を見ると，オホーツク沿岸地域の重粘土においては，クラストが形成しにくい。これは，ペッド生成過程で，土層全体が粘質で固結し，連結状構造のため，土塊も降雨によってすぐには崩壊しないことによる。このように土壌分類的に同一土壌タイプでも，土壌の特性によりクラスト形成に差がでる。

本クラスト形成土壌の作土の物理性は，固相率が0.51〜0.62 m^3 m^{-3}と著しく大きく，粗孔隙量は0.05〜0.14

$m^3 m^{-3}$と少なく，容積重は，1.28〜1.63 $Mg\ m^{-3}$と道内に存在する重粘土と比較しても大きい値である。本土壌の特徴には，堅密性もあり，プラウ耕うん後の大土塊は，乾燥による土壌水分の低下に伴い土壌硬度が高まり，著しく堅密化する（表-1）。

乾燥によって作土の固結しやすい土壌では，耕うんや砕土の状態，その後のクラスト形成が土壌管理にとって大きな問題となっている。農業者は，プラウ耕うん後にロータリ耕うんするタイミングの判断に迷う場合が多い。土壌水分が多ければ可塑性が大きく，砕土作業はできず，逆に土壌が乾燥し過ぎると大土塊ができ，適切な播種床の鎮圧ができず播種後の出芽率が低下する。また，播種直後に降雨があると，表土がスレーキングを起こし土塊や団粒が分散し，その後，晴天が続き土壌表面が乾燥すると強固なクラストができる。クラスト形成は，畑作物のダイズ，アズキ，サイトウなどの豆類の出芽に悪影響を及ぼす。特に，ダイズの出芽は，クラストが形成されると発芽した茎が地表下で折れ，欠株が多発し栽植本数が確保できなかったり，遅れて出芽しても生育が遅延してしまうため，大きな障害となる。

化学性は，pH 5.5程度，CEC 10 cmol（＋）kg^{-1}前後，リン酸吸収係数500〜700と小さく，リン酸固定力は低いが，土壌肥沃度は中程度の土壌である。0.1 N塩酸可溶性銅および亜鉛含量も低い（横井ら，2004）。しかし，化学性は土壌診断に基づく施肥で対応可能な範囲にあり，土壌物理性よりも大きな低収要因となっていない（美瑛町農業協同組合ほか，1989）。

したがって，上川中南部丘陵地の灰色台地土では，クラスト形成の抑制が重要となる。さらに，重粘土の特徴である粘質で堅密な土壌物理性の改善が必要である。

3.2　客土材として用いた火砕流堆積物の概要

上川地方には，客土材として有効に活用できる火砕流堆積物として，十勝火砕流，美瑛火砕流，雨月沢火砕流の3種類が存在している（図-1）。本試験では，各火砕流堆積物の分布図（池田・向山，1983）から運搬コストを考慮して，経済的に採算が得られる十勝火砕流および美瑛火砕流堆積物を用いた。

十勝火砕流堆積物は，噴出年代が97〜167万年前と同地域に分布する火砕流堆積物のなかで新しく，上富良野町以南に分布する。また，発泡孔隙が少なく砂質部分が多いため保水性が低い。美瑛火砕流堆積物は，噴出年代が167〜187万年前で古く，美瑛町を中心に分布している。また，発泡孔隙が多く，軽石質で細孔隙に富んでおり，保水性が高い。両火砕流堆積物の理化学性は，砂含量が0.90 $kg\ kg^{-1}$，粘土含量が0.05 $kg\ kg^{-1}$程度で，土性はLSと粗粒であった。また，容積重は1.1 $Mg\ m^{-3}$とクラスト形成土壌より軽い。両火砕流堆積物の化学性は，pH 5〜6の範囲で，CECが4 cmol（＋）kg^{-1}程度，交換性塩基の含量が少なく，リン酸吸収係数が小さく，有効態リン酸が少なく，養分的に希薄であった。また，微量要素である銅，亜鉛はいずれも少なかった。

3.3　クラスト形成土壌に対する火砕流堆積物の客土効果

粗粒質な土壌の客土について千葉（1950），山本（1991），竹内ら（1994）が検討したことから，このような粗粒質な客土に期待する効果は，土性を変えるほど砂分を増加させ，①土壌の破砕強度，クラストや土塊の固結程度を緩和することで，易耕性を高め，播種床や作土の土壌物理性を良好に維持できるようにする。②これにより，農業機械作業性を高める。③作土の透水性や保水性，粘着性などの土壌物理性が改善でき，農作物の生育や農産物の品質を良好にすることである。

客土の効果は，客入地や客土材の条件により異なるが，ここでは本地域で容易に入手でき，安価な客土材と客入地の組合わせでの効果を把握する。なお，各試験地における客土後の土壌物理性を2作目収穫後で比較する。

3.3.1　火砕流堆積物客土の土壌物理性改善効果

火砕流堆積物客土により粒径組成は大きく変化した（表-2）。北瑛試験地では，砂が多くなり，シルトが原土区で0.231 $kg\ kg^{-1}$，客土10 cm区で0.154 $kg\ kg^{-1}$，粘土が原土区で0.199 $kg\ kg^{-1}$，客土10 cm区で0.092 $kg\ kg^{-1}$と少なくなり，客土量を増すに伴いさらに砂が多く，シルトと粘土が少なくなった。土性はCLからSLの範囲まで粗粒化した。この傾向は富丘試験地でも同様である。北瑛試験地では原土の容積重が1.63 $Mg\ m^{-3}$と著しく大きかったものが，客土により軽くなる効果が顕著であった。北瑛試験地では，原土区で土壌固相率が0.624 $m^3 m^{-3}$であったものが客土の投入量の増加にしたがい，客土5 cm区で0.557 $m^3 m^{-3}$，客土15 cm区で0.458 $m^3 m^{-3}$まで低下していった。これは粗孔隙量が，原土区で0.055 $m^3 m^{-3}$であったものが客土5 cm区で

表-1　プラウ耕うん後の大土塊の水分と土壌硬度

Table 1　The moisture content of large soil clod and the soil hardness after plowing up.

含水比	土壌硬度	
（$kg\ kg^{-1}$）	（MPa）	指示値（mm）
0.20	1.4	（24）
0.15	6.2	（32）
0.05	49.0	（40）

表–2　クラスト形成土壌への火砕流堆積物客土が土壌物理性に与える影響

Table 2　Effect of dressing pyroclastic deposits to the crust forming soils on the physical properties of soils.

試験地	客土厚 (cm)	粒径組成($kg\,kg^{-1}$) 砂	シルト	粘土	土性 (国際法)	土壌固相 ($m^3\,m^{-3}$)	粗孔隙量 ($m^3\,m^{-3}$)	有効水孔隙量 ($m^3\,m^{-3}$)	微細孔隙量 ($m^3\,m^{-3}$)	容積重 ($Mg\,m^{-3}$)	崩落率 ($kg\,kg^{-1}$)	クラスト硬度計 (MPa)
北瑛試験地	0(原土)	0.570	0.231	0.199	CL	0.624	0.055	0.025	0.296	1.63	0.650	9.36
	5	0.642	0.181	0.177	SCL	0.557	0.073	0.072	0.298	1.41	—	1.34
	10	0.754	0.154	0.092	SL	0.519	0.138	0.115	0.228	1.28	—	0.56
	15	0.809	0.117	0.074	SL	0.458	0.175	0.182	0.185	1.02	—	0.35
富丘試験地	0(原土)	0.381	0.331	0.289	LiC	0.505	0.137	0.059	0.299	1.28	0.502	4.14
	5	0.442	0.282	0.276	LiC	0.426	0.272	0.060	0.242	1.20	—	1.82
	10	0.505	0.258	0.237	CL	0.429	0.300	0.077	0.194	1.22	—	0.87
	15	0.564	0.220	0.217	CL	0.396	0.355	0.081	0.168	1.15	—	0.48
美瑛火砕流堆積物	客土材a	0.880	0.076	0.045	LS	—	—	—	—	1.10	—	—
十勝火砕流堆積物	客土材b	0.889	0.062	0.048	LS	—	—	—	—	1.18	—	—

1）北瑛試験地には客土材 a を，富丘試験地には客土材 b を客土した。
2）粗孔隙量は 0〜−6.2 kPa, 有効水孔隙量は−6.2〜−98.1 kPa, 微細孔隙量は−98.1 kPa 未満とした。

表–3　クラスト形成土壌への火砕流堆積物客土が土壌化学性に与える影響

Table 3　Effect of dressing pyroclastic deposits to the crust forming soils on the chemical properties of soils.

試験地	客土厚 (cm)	pH (H_2O)	CEC (cmol(+)kg^{-1})	交換性塩基($cg\,kg^{-1}$) CaO	K_2O	MgO	有効態リン酸 トルオーグ法 ($mg\,P_2O_5\,kg^{-1}$)	リン酸吸収係数	0.1 N 塩酸可溶性 銅 ($mg\,kg^{-1}$)	亜鉛 ($mg\,kg^{-1}$)
北瑛試験地	0(原土)	5.8	8.8	140	40	24	20	500	1.35	2.4
	5	6.1	8.6	101	72	28	17	480	1.30	2.2
	10	5.9	7.8	62	61	26	13	380	1.25	2.1
	15	5.9	6.9	51	32	18	6	290	1.20	1.7
富丘試験地	0(原土)	5.2	12.4	158	70	32	27	690	1.12	2.2
	5	5.3	9.4	121	46	30	15	680	1.05	2.0
	10	5.3	8.6	110	40	22	12	540	0.82	1.5
	15	5.2	7.4	79	35	12	7	410	0.71	1.3
美瑛火砕流堆積物	客土材a	5.2	4.8	59	15	20	2	180	0.29	0.6
十勝火砕流堆積物	客土材b	5.8	3.8	151	13	18	4	110	0.59	1.0

0.073 $m^3\,m^{-3}$，客土 15 cm 区で 0.175 $m^3\,m^{-3}$ まで増加したためである。また，有効水孔隙量は客土量の増加に伴い大きく増加したが，微細孔隙量は減少した。このことは，客土材に発泡孔隙が多く，軽石質で孔隙に富んでいる美瑛火砕流堆積物であることに起因している。

一方，富丘試験地のように原土区が 1.28 $Mg\,m^{-3}$ と比較的軽い土壌では，客土による容積重の変化は少ない。客土により土壌固相率が低下，粗孔隙量が増加したが，さらに客土量を増やしても，容積重の変化は少ない。富丘試験地では，原土区で土壌固相率が 0.505 $m^3\,m^{-3}$ であったものが，客土 5 cm 区で 0.426 $m^3\,m^{-3}$ と低下するものの，客土 15 cm 区で 0.396 $m^3\,m^{-3}$ と客土量を増やしても土壌固相率の変化は少なかった。さらに，粗孔隙量が原土区で 0.137 $m^3\,m^{-3}$ であったものが客土 5 cm 区で 0.272 $m^3\,m^{-3}$，客土 15 cm 区で 0.355 $m^3\,m^{-3}$ まで増加するものの，北瑛試験地より有効水孔隙量に大きな増加が

なく，微細孔隙量の変化も少なかった。このことは客土材が，発泡孔隙が少ない砂質部分が多く，保水性が低い十勝火砕流堆積物であることに起因している。

このように客土による土壌物理性の改善効果は，客入地の土壌物理性の不良程度により異なる。さらに，客土材の孔隙特性が，物理性の改善程度に違いを与える。

客土により改善が求められる土壌表面のクラスト形成について，北瑛試験地では，クラスト硬度が，原土区で 9.4 MPa が，客土 10 cm 区で 0.6 MPa まで大幅に低下し，客土量の増加に伴って低下した。一方，富丘試験地では，クラスト硬度が原土区で 4.1 MPa が，客土 10 cm で 0.9 MPa まで低下し，こちらも客土量の増加に伴ってさらに低下した（図-2）。本試験において，火砕流堆積物の客土によってクラスト形成は弱くなることを認めたが，その原因は客土により粗砂が多くなり，シルトや粘土が相対的に減少し，スレーキングによってシルトや粘土が，粗大な粒子の隙間を埋めつくすことができなくなり，土粒子間の連結度が弱くなったためと思われる。

なお，客土後の土壌の化学性は，表-3 のように，客土量の増加とともに CEC，交換性塩基，有効態リン酸が顕著に減少した。また，pH の変化は小さいものの，リン酸吸収係数は低下した。これは，客土材に用いた火砕流堆積物が養分的に希薄で，客土の投入量も多いことに起因している。さらに，銅や亜鉛といった微量要素も客土により減少したが，なかでも客土材の性質を反映して，亜鉛が大きく低下する。本客土試験の普及に伴い，最近の生産者が要望する客土量である 10 cm 以上では，交換性塩基やリン酸の低下とともに，亜鉛や銅含量の低下による微量要素欠乏症の発生に注意が必要と考え，客土後の圃場の土壌診断による施肥対応が重要となる（横井ら，2004）。

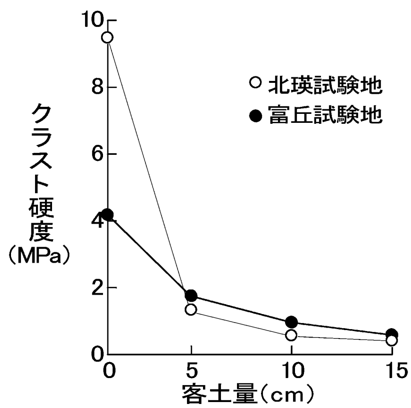

図-2　客土量とクラスト硬度の関係

Fig. 2　The relationship between the amount of dressed soil and the hardness of soil crust.

3. 3. 2　農作物の生育収量，品質に及ぼす影響

クラスト形成によって出芽が抑制されやすい作物にダイズがある。ダイズの出芽率は，クラストが形成しやすく，クラスト硬度が高い，北瑛試験地の原土区で 18％ と低値であったが，客土 5 cm 区で出芽率 70％ と高まり，客土 10 cm 区で主要作物種子法による適正な出芽率 80％（全国瑞穂食糧検査協会，2005）を超える 92％ と著しく改善された。したがって，クラスト形成を抑制する客土量は，客土 5 cm 区から客土 10 cm 区の中位の量で，クラスト硬度では 0.8 MPa（15 mm）程度と考えられた。ダイズの収量は，原土区で 2.5 Mg ha^{-1} が客土 5 cm 区で 3.1 Mg ha^{-1} と 24％ の増収であった。しかし，客土量が 15 cm になると収量が低下した。これは客土による化学成分の希釈により，土壌肥沃度が低下したためと考える。同じ豆類のアズキの収量は，客土 5 cm から 10 cm までが増収傾向で，客土 10 cm 区が 2.86 Mg ha^{-1} で，原土区の 28％ 増収と良好であった。しかし，ダイズと同様に客土量が 15 cm になると増収率が減少した。テンサイでは，客土 5 cm 区で糖量が増加した。しかし，客土量が 10 cm を超えると増収効果は判然とせず，土壌肥沃度の低下の影響が大きいと考えられた。ニンジンでは，規格内収量が，原土区で 36.8 Mg ha^{-1} で規格内割合が 74％ に対し，客土により早期裂根や分岐根が少なくなり，客土 5 cm 区で規格内収量が 45.0 Mg ha^{-1}，規格内割合が 80％ 以上となった。バレイショの規格内収量は，北瑛試験地の原土で 12.1 Mg ha^{-1} と低値であったが，客土量の増加とともに著しく高まった。客土 10 cm 以上で 33 Mg ha^{-1} 台を示したが，客土量が 10 cm で増収率は頭打ちであった。富丘試験地では，客土 5 cm 区と 15 cm 区の増収率に差はなかった。塊茎の形状は，原土区で砕土率の低さと土塊の堅密性が影響して凹凸が多いが，客土により砕土性が改善され膨軟となった結果，丸みをおびてきた。

以上のことから，クラスト形成土壌に対する火砕流堆積物の客土によって，畑作物の収量や品質は向上する。しかし，多量な客土は土壌の化学的な肥沃度を低下させ，作物生産性にも影響する。

3. 3. 3　農業機械の作業性に及ぼす影響

客土による農業機械作業への影響を把握するため，農作業機械にかかる牽引抵抗の負荷が大きい，プラウ耕うん作業時の牽引比抵抗値を客土後 3 年目に比較した。図-3 に示すように，原土区では 60 kPa と非常に大きな牽引比抵抗が，客土量の増加に伴い低下し，客土 5 cm 区で

表-4　クラスト形成土壌への火砕流堆積物客土が作物生産性に与える影響

Table 4　Effect of dressing pyroclastic deposits to the crust forming soils on the yields of field crops.

客土厚（cm）	収量（Mg ha^{-1}）						出芽率(%)
	北瑛試験地			富丘試験地			北瑛試験地
	ダイズ（子実重）（1986）	バレイショ（上イモ重）（1987）	アズキ（子実重）（1988）	ニンジン（規格内根重）（1985）	バレイショ（上イモ重）（1986）	テンサイ（糖量）（1987）	ダイズ（1986）
0(原土)	2.48（100）	12.1（100）	2.24（100）	37.8（100）	28.1（100）	10.0（100）	18
5	3.11（125）	27.8（203）	2.59（116）	45.0（119）	32.1（114）	10.5（105）	70
10	2.54（102）	33.3（275）	2.86（128）	39.8（105）	28.7（102）	9.9（ 99）	92
15	2.41（ 97）	33.5（277）	2.44（109）	35.5（ 94）	32.5（116）	9.8（ 98）	98

1）各収量の後に記載した（　）内の数値は，客土厚 0 cm（原土）を 100 とした時の原土に対する収量比を示す。

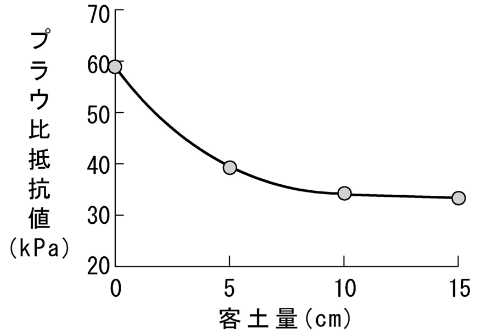

図-3　客土量とプラウ耕うん時の牽引比抵抗

Fig. 3　Relationship between the amount of dressed soil and the specific resistance of traction.

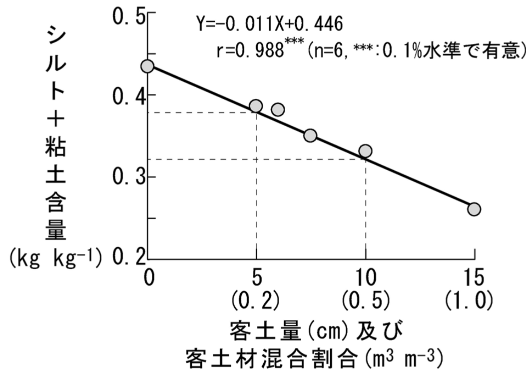

図-4　客土量とシルト＋粘土含量の変化

Fig. 4　Change in contents of silt + clay in proportion to the amount of dressed soil.

も 40 kPa, 客土 10 cm 区で牽引比抵抗の低減が下限付近まで低下する。これらから，客土量が 5 cm 程度の少量でも易耕性の向上に大きく寄与し，客土により農業機械の作業性は改善が図られる。

4.　火砕流堆積物客土の要否判定

粗粒質な土壌の客土量については，前述の海岸砂地畑に対する砂客土は 3〜5 年毎に海砂 30〜60 Mg m^{-1} としている（山本，1991）。北海道北部の重粘土に対する海砂の客土量は，トウモロコシでは客土 3 cm が適量であった（岩間，1989）。この効果は，作土の土性を粗粒質に変えるというより，粘質な粗土塊の周りに砂粒子が不均一に付着したり，土塊間に存在したりすることで，土層の透水性や通気性が改善するものである。一方，網走地域での軽石流堆積物の客土量としては，客入地の土壌に応じて，低地土で 5〜10 cm, 褐色森林土と黒ボク土で 3.6〜7 cm が望ましい値として示し（竹内ら，1994），海砂客土の 3 倍程度まで厚くなっている。客土量が増加したことは，耕うんや砕土により客土資材と土塊が分離して，土壌物理性改善効果が小さくなる問題点を解決するため，土性自体を粗粒質に変え，根本的な土壌の性質を変える観点が強くなったことによる。このような 10 cm 前後の比較的厚い客土では，原土と客土資材の混和が可能な心土耕に深耕ロータリを組み合わせた攪拌機（北海道農業開発公社，2001）により作土全体の粒径を均質する処理が普及している点からも通気性や透水性の改善のみではなく，作土層そのものの性質を変える要望が強いことがうかがえる。

さらに，客土材が，孔隙の少ない海砂（岩間，1989）から孔隙に富む軽石流堆積物や火砕流堆積物に変わってきたことも大きな特徴である。畑地への軽石質の客土については，オホーツク海沿岸地域の重粘土の実験で，能

表–5 砂質火砕流堆積物客土が必要となる土壌の物理性
Table 5 Critical physical properties of soils indicating the necessity for the dressing of pyroclastic deposits.

項　目	判定値
シルト含有率＋粘土含有率（$kg\,kg^{-1}$）	0.35以上
クラスト硬度計指示値（MPa）	0.8 以上
容積重（$Mg\,m^{-3}$）	1.35以上

取軽石の客土が，粗孔隙と毛管孔隙を増加させることが明らかとなっている（古畑，1980)。本試験の火砕流堆積物は，軽石質であり，孔隙に富み保水性も良好である。特に，美瑛火砕流堆積物は，十勝火砕流堆積物よりも軽石質である。したがって，客土に当たっては軽石質の土取り場を選定することが客土後の保水性の面から有利である。しかし，客入地と土取り場の距離で客土の費用が異なるため，経済性から保水性にやや劣る客土材を用いる場合あるが，この場合でもクラスト形成抑制効果は認められる。

以上の試験結果を基に，クラスト形成を抑制することを目的とする場合に活用可能な客土要否判定指標を策定した。

表–4の農作物の収量で効果的な客土量が概ね5〜10 cmであった。また，プラウ耕うんの牽引抵抗が客土5〜10 cmで下限値付近まで低下する。したがって，この範囲の客土量が，総合的に妥当と判断した。

また，粒径組成の目標値は，クラスト形成が激しく，土壌物理性が最も劣悪な北瑛試験地を基準とすることで，上川地方中南部に分布するクラスト形成土壌に適応できると考える。図–4に示す北瑛試験地の土壌と客土材を混合した試験の結果から客土5〜10 cmにおける中間値の7.5 cmは，シルト＋粘土含量を求めると概ね0.35 $kg\,kg^{-1}$となり，改良目標の土性の目安とした。さらに，シルト＋粘土含量のみならず，本土壌のクラスト形成を判断するクラスト硬度計指示値を0.8 MPa（15 mm指示値相当）として，これ以上の値で客土が必要とした。さらに，堅密かつ粘質な土壌での野菜作では，土壌物理性が作物生産性や土壌微生物活性に影響し，容積重1.35 $Mg\,m^{-3}$未満であることが望ましい（小野寺ら，2004）ことから，容積重の重要性が推察できるため，本土壌においては，客土による改善可能範囲を勘案し1.35 $Mg\,m^{-3}$以上で改善が必要とした。これらから，客土要否判定の指標値を表–5のとおり策定した。また，この知見は現在，増加している粘質な汎用田での畑作・野菜導入おいても活用可能な情報と考えられる。なお，客土材はいずれも土壌養分の少ない土壌であるため，客土後の土壌管理は土壌診断によって適正に改良することが必要となる。

5. 要　　約

美瑛丘陵に分布するクラスト形成土壌の特性およびこれらの土壌に対する火流堆積物客土の効果は，以下のとおりである。

1） 美瑛丘陵地のクラスト形成土壌は，耕うんに支障があり，作物生産性の制限要因となっている。本土壌は，粒径が粘質でなく，降雨により土壌分散しやすいため，その後の乾燥に伴いクラストが容易に形成する。このクラスト形成土壌は，土壌固相率と容積重が著しく大きく，粗孔隙量が少ない。土壌硬度も乾燥に伴い著しく高まる。

2） これらの物理性を改善する火砕流堆積物客土は，畑作物に対し，客土5〜10 cmで収量が安定的に向上する。それ以上の客土量では，土壌肥沃度の低下から増収率は低かった。

3） 客土はプラウ耕うん時の機械への牽引比抵抗を軽減し，客土5〜10 cmで下限値付近まで軽減した。

4） 本土壌の物理性改良を目的とする客土を適切に実施するために策定した要否判定の項目は，① シルト＋粘土含量0.35 $kg\,kg^{-1}$以上，② クラスト硬度0.8 MPa以上，③ 容積重1.35 $Mg\,m^{-3}$以上であり，これらのいずれかを満たすことで客土が必要と判断できる。

謝　　辞

元帯広畜産大学教授　菊地晃二博士（(株)ズコーシャ顧問）にはご校閲いただきお礼申し上げる。(財)北海道農業近代化技術研究センター技術参与　坂本宣崇博士，(株)片倉チッカリン技術主管　長谷川進氏には，試験実施にご協力いただき厚くお礼申し上げる。

引 用 文 献

赤沢　傳（1979）：北海道の特殊土壌—生成，分布と土地改良—，重粘土の土地改良．北海道開発局，特殊土壌農地化調査報告書，pp. 249–263.

Asgedom, G.G. and Hasegawa, S. (2005) : The effect of raindrop impact and initial soil conditions on surface crust. J. Jpn. Soc. Soil Phys., **100** : 65–75.

美瑛町農業協同組合ほか（1989）：美瑛町の土壌と農業，pp. 107–112.

坂西研二（1997）：裸地斜面におけるクラストの形成とその侵食への影響に関する研究．農環研報，**14** : 49–95.

Casagrande, A. (1948) : Classification and Identific-

ation of Soils. Trans. ASCE, 113, pp. 901-991.
千葉　登（1950）：重粘土に於ける砂客土の効果．北農，**17**：169-172.
土壌標準分析・測定法委員会（1986）：土壌標準分析・測定法，pp. 191-205，博友社，東京．
古畑　哲・岩間秀矩（1980）：重粘性土壌に対する各種資材の孔隙組成改良効果，―特に能取軽石の効果―．土壌の物理性，**42**：33-40.
北海道農業開発公社（2001）：スティアップロータリ．農用地整備用機械便覧，北海道農業開発公社：pp. 34-35.
池田保夫・向山　栄（1983）：北海道富良野―旭川地域の火砕流堆積物の層序と対比．地質学雑誌，**89**（3）：163-172.
岩間秀矩（1989）：北海道北部に分布する重粘土の物理性不良要因とその改良．北農試研報，**150**：91-198.
農業土木学会（1983）：土壌の理工学性実験ガイド，pp. 62-82，pp. 123-124.
農業機械学会（1977）：農業機械施設試験方法便覧Ⅰ，pp. 24-25，農業機械学会，東京．
小野寺政行・中本　洋・奥村正敏（2004）：粘質野菜畑土壌におけるα-グルコシダーゼ活性に基づいた土壌管理指標．平成15年度　新しい研究成果―北海道地域―，北海道農業試験研究推進会議，北海道農業研究センター，pp. 113-119.
佐久間敏雄・赤沢　傳（1984）：日本の特殊土壌（その8），―重粘土（畑）―．農土誌，**52**：233-239.
佐久間敏雄・齋藤万之助・北川芳男（1969）：疑似グライ土における構造の生成過程に関する1考察．ペドロジスト，**13**：70-85.
竹内晴信・大山　毅・宮脇　忠・菊地晃二（1994）：北海道網走地域の畑地における軽石流堆積物客土の効果と問題点．土壌の物理性，**70**：55-65.
田中　樹（2000）：土壌クラストの形成機構および土壌荒廃過程への影響に関する研究．土肥誌，**71**（3）：315-316.
Tanaka, U., Yokoi, Y. and Kyuma, K. (1992) : Morphological characteristics of soil surface crusts formed under simulated rainfall. Soil Sci. Plant. Nutr., **38** (4) : 655-664.
Tanaka, U., Wada, T., Yokoi, Y. and Kyuma, K. (1995) : Evaluation of crusting susceptibility of some Japanese soils based on water permeability and morphology of crusts. Soil Sci.Plant Nutr., **41** : 263-274.
Tanaka, U., Yokoi, Y., Kyuma, K. and Kosaki, T. (1997 a) : Mechanisms and processes of crust formation : I. Effect of initial moisture conditions on aggregate stability and crusting. ibid., **43** : 99-107.
Tanaka, U., Yokoi, Y., Kyuma, K. and Kosaki, T. (1997b) : Mechanisms and processes of crust formation : II. Effect of slaking and impact of raindrops on crusting under different moisture conditions. ibid., **43** : 109-115.
Tanaka, U., Yokoi, Y., Kosaki, T. and Kyuma, K. (1999) : Mechanisms and processes of crust formation : III. Relations between natural rainfall characteristics and degree of crusting. ibid., **45** : 537-549.
山本英記（1991）：砂客土（手入れ砂）による良品質根菜類の生産．農業技術，**46**（3）：17-21.
横井義雄・長谷川進・坂本宣崇（1998）：北海道上川地方の堅密固結性土壌に対する砂質火砕流堆積物の客土効果．土肥誌，**69**（6）：644-648.
横井義雄・北川　巖・菊地晃二（2001）：十勝岳火砕流堆積物を母材とする美瑛丘陵地の土壌生成．ペドロジスト，**45**（2）：105-111.
横井義雄・長谷川進・菊地晃二（2004）：上川地方における丘陵地土壌の銅および亜鉛欠乏の実態と資材施用効果．北海道立農試集報，**86**：57-63.
全国瑞穂食糧検査協会（2005）：農産物規格規定大豆，農産物検査手帳，p. 183.

要　　旨

美瑛丘陵地では，灰色台地土および褐色森林土に形成するクラストが，作物生産性向上において制限要因となっている。本土壌は，粒径組成がCL～LiCと段丘堆積物母材の重粘土に比較し，粘土含量が少ない傾向にあり，降雨によりスレーキングを起こし，分散性が高いため，その後の乾燥に伴いクラストが容易に形成する。そのクラスト形成土壌は土壌固相率と容積重が著しく大きく，粗孔隙量が少なく，

土壌硬度も乾燥に伴い著しく高まる特徴がある。

このクラスト形成土壌に対する，砂質火砕流堆積物客土の効果は，畑作物に対して客土 5〜10 cm で収量が安定的に向上した。農業機械作業に対しても，プラウ耕うん時の牽引比抵抗を軽減する。

クラスト形成土壌の物理性改良を目的とする客土の要否判定項目は，① シルト＋粘土含量 0.35 kg kg^{-1} 以上，② クラスト硬度 0．8 MPa 以上，③ 容積量 1.35 Mg m^{-3} 以上で，これらのいずれかで客土が必要と判断できる。

受稿年月日：2005 年 9 月 14 日
受理年月日：2006 年 2 月 3 日