

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作物生産力に及ぼす影響

竹内晴信*・東田修司**・市川信雄***・松原一寛****

The Effect of Simultaneous Application of Organic Matter with
 Soil Dressing of Pumice Flow Deposit

(II) The Responce of Crop Yield

Harunobu TAKEUCHI*・Shuji HIGASHIDA**・Nobuo ICHIKAWA*** and Ichimi MATSUBARA****

Hokkaido Pref. Kitami Agric. Exp. Stn. Yayoi, Kunneppu, 099-1496 Hokkaido, JAPAN

(Present : * Central Stn. ** Tokachi Stn. *** Kamikawa Stn. **** Tenpoku Stn.)

Summary

We studied the effect of soil dressing on crop productivities to establish an desirable management of organic matter in the field dressed with Pumice Flow Deposit (PFD).

In the frame experiment, a decrease of crop yield may be mainly caused by dilution of soil chemical fertilities. The application of 40 Mgha⁻¹ barnyard manure and green manure simultaneous with dressing recovered a decrease of crop yield. In the field experiment, changes of crop yield after dressing was influenced by the both of soil chemical and physical properties. The crop yield might not decrease in the field when the soil physical properties were well improved enough to compensate dilution of nutrients and in case that α -glucosidase activities did not decrease to the value estimated.

In order to recover a decrease of crop yield, the application of 40 Mgha⁻¹ barnyard manure would be recommended. More significant effects were obtained in case that 80 Mgha⁻¹ of barnyard manure was applied. Green manure should be additionally cultivated after dressing for the recovery of primary yield downfall. These effects of barnyard manure has continued at least for 3 years.

Key words : soil dressing, barnyard manure, green manure, crop yield recovery

1. はじめに

前報(竹内ら, 2000)では, 畑地への軽石流堆積物客土に伴う土壌理化学性および微生物活性の変化を明らかにし, 化学性や微生物活性の低下に示される地力の低下が, 有機物の施用で回復することを示した。本報告では, こうした土壌特性の変化が作物生産力に及ぼす影響を作物の生育・収量と糖分やでんぷん濃度などの内部品質の変化から検証した。また, 客土効果がより大きく発現す

る条件を明らかにし, 客土施工畑で作物生産性を回復・向上させるためには, どのような有機物管理が望ましいかについて検討を行った。

2. 試験方法

(1) 枠試験

道立北見農業試験場内に設置されたコンクリート製大型無底枠(3m²)に, 1992年春, 表層多腐植質黒ボク土の表土を深さ0.3mまで充填した。ここに軽石流堆積物

北海道立北見農業試験場 〒099-1496 北海道常呂郡訓子府町字弥生52, 現在 *中央農試(〒069-1395 夕張郡長沼町東6北15),

十勝農試, *上川農試, ****天北農試

キーワード: 客土, 堆肥, 緑肥, 収量回復

表-1 枠試験における処理の内容

Table 1 The treatment in the frame experiment

| 処理区 | 処理内容 | (* 現物重) |
|----------|---|---------|
| 無客土 | | |
| 客土 10 cm | 軽石流堆積物を 10 cm 深施用後, 原土 20 cm 深と混合。以下の区も同じ。 | |
| 客土+堆肥 | 客土施工時に「敷藁・作物残渣・牛糞混合堆肥」を 4 kg m^{-2} 施用 | |
| 客土+緑肥 | 初年目収穫後にアカクローバ 170 g m^{-2} 施用 | |
| 客土+N 増 | 基肥に $\text{N} 2 \text{ g m}^{-2}$ 増施 (バレイショは 4 g m^{-2}) | |

表-2 枠試験における有機物施用区の乾物すき込み量およびすき込み養分量

Table 2 The amount of applied organic matter and inorganic compositions in the frame experiment

| 有機物 | 乾物鋤込み量 (g m^{-2}) | 付加された養分量 (g m^{-2}) | | | | |
|-----|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------|-----|-----|
| | | N | P_2O_5 | K_2O | CaO | MgO |
| 堆肥 | 800 | 12.9 | 6.8 | 7.0 | 8.5 | 2.5 |
| 緑肥 | 484 | 11.2 | 2.4 | 4.0 | 8.3 | 2.1 |

表-3 圃場試験における有機物施用区の処理内容

Table 3 The treatment of organic matter and supplement N application in the field experiment

| 処理区名 | 客土量 cm | 有機物種類と現物施用量 (Mgha^{-1}) または N 追肥量 (N kg ha^{-1}) (該当する作物と追肥した月/日) |
|--------|-----------|--|
| 堆肥 4t | 10 | 牛糞麦稈堆肥 |
| 堆肥 8t | 10 | 〃 |
| バーク 4t | 10 | バーク堆肥 |
| 緑肥 3t | 10 | エン麦緑肥 |
| N 追肥 | 10 | 置戸: N 63 (テンサイ 7/14) N 30 (バレイショ 7/18, コムギ 4/26) 留辺藁: N 30 (テンサイ 7/18) N 50 (アズキ 7/18) |

を 0.1 m 置き土し, スコップで地表面から深さ約 0.3 m まで混和した。また, 客土に加えて, 堆肥, 緑肥を施用した処理区, および毎年の作付け時に窒素増肥する区を設けた (表-1, 2)。供試作物としてインゲンマメ, バレイショ, 秋コムギ, インゲンマメの順で毎年に作付けした。土壌分析の方法は, 前報の圃場試験と同様に行った。

(2) 圃場試験

礫質褐色低地土 (留辺藁町大富) と細粒褐色森林土 (置戸町北光) の各農家圃場に, 1993 年秋に客土を施工し, 1994~1996 年に作物栽培試験を行った。試験区は, 無客土区と客土厚を 5, 10, 15 cm とする客土処理を行った。また, 客土 10 cm に堆肥, バーク堆肥, 緑肥を施用した処理区, および窒素を追肥する区を設けた

(表-3)。施工方法は前報を参照されたい。両圃場における客入土と原土 (無客土区) の土壌分析値を表-4 に, 栽培作物は表-5 に示した。

(3) 根の分布調査

細粒褐色森林土において, 客土施工 3 年目 (1996 年) の夏に土壌断面における根の観察を行った。深さ 0.40 m までの土層断面を 0.08 m メッシュに切り, 根の密度を以下のように相対的に 5 段階で評価した。無客土区を基準として, 根量が極めて多かった 0~0.08 m と 0.08~0.16 m の層を「5」, 0.16~0.24 m と 0.24~0.32 m 土層を「2」, その下の 0.32~0.40 m 土層を「1」とし, これとの比較により各区の根張りを相対的に評価した。

表-4 圃場試験における処理区の土壤理化学性

Table 4 Soil physical and chemical properties in the field experiment

| 土壤 (圃場) | 試料 または 処理区 | pH (H ₂ O) | CEC ¹⁾ cmol (+) kg ⁻¹ | 交換性陽イオン | | | 有効態 ²⁾ リン酸 P ₂ O ₅ mgkg ⁻¹ | リン酸 吸収 係数 | 熱抽 ³⁾ 窒素 Nmgkg ⁻¹ | 腐植 ⁴⁾ mgkg ⁻¹ |
|----------------------|------------------|--------------------------|--|---------|---------------------------|------------------|---|-----------------|---|--|
| | | | | CaO | MgO mgkg ⁻¹ | K ₂ O | | | | |
| 細粒褐色 森林土 (置戸) | 客入土 | 6.5 | 2.1 | 580 | 60 | 190 | 53 | 220 | 13 | 3 |
| | 無客土区 | 6.2 | 14.8 | 2530 | 245 | 398 | 262 | 530 | 56 | 24 |
| | 客土 10 cm 区 | 6.1 | 11.8 | 1990 | 181 | 283 | 166 | 510 | 47 | 20 |
| 礫質褐色 低地土 (留辺藁) | 客入土 | 6.9 | 3.6 | 810 | 120 | 180 | 185 | 140 | 7 | 3 |
| | 無客土区 | 5.3 | 25.4 | 2750 | 375 | 242 | 381 | 770 | 123 | 77 |
| | 客土 10 cm 区 | 5.6 | 10.3 | 1540 | 220 | 226 | 419 | 300 | 46 | 14 |

| 土壤 (圃場) | 処理区 | 容積重 Mg m ⁻³ | 三 相 分 布 ⁴⁾ | | | 孔 隙 率 | | |
|----------------------|------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------|-------|---|--------------------|
| | | | 固相 | 液相 m ³ m ⁻³ | 気相 | 全 | 有効水 ⁵⁾ m ³ m ⁻³ | 高張力水 ⁶⁾ |
| 細粒褐色 森林土 (置戸) | 無客土区 | 1.23 | 0.448 | 0.345 | 0.207 | 0.552 | 0.052 | 0.293 |
| | 客土 10 cm 区 | 1.04 | 0.404 | 0.341 | 0.256 | 0.596 | 0.075 | 0.266 |
| 礫質褐色 低地土 (留辺藁) | 無客土区 | 0.86 | 0.362 | 0.503 | 0.135 | 0.639 | 0.072 | 0.064 |
| | 客土 10 cm 区 | 1.07 | 0.432 | 0.464 | 0.104 | 0.568 | 0.114 | 0.153 |

¹⁾ 陽イオン交換容量 ²⁾ Truog 法 ³⁾ オートクレーブ法による熱水抽出性窒素

⁴⁾ -6.23 kPa における値 ⁵⁾ -6.23~ -98.8 kPa (pF 1.8~3.0) ⁶⁾ -98.8 kPa 以下 (pF 3.0 以上)

表-5 圃場試験における供試作物と品種

Table 5 A crop type and variety cultivated in the field experiment

| 試験年 | 細粒褐色森林土(置戸) | 礫質褐色低地土(留辺藁) |
|------|--------------|--------------|
| 1994 | テンサイ「スターヒル」 | アズキ「エリモショウズ」 |
| 1995 | バレイショ「男爵イモ」 | テンサイ「スターヒル」 |
| 1996 | 秋コムギ「チホクコムギ」 | インゲンマメ「大福」 |

3. 試験結果

(1) 黒ボク土(梓試験)

施工後4年目の収穫跡地の土壤分析値を表-6に示した。客土区は原土(黒ボク土)に比べて腐植含量や交換性カルシウム、CECが大きく低下した。熱水抽出性窒素も低下したがその程度は小さかった。有効態リン酸はむしろ増加した。

客土区の作物収量と窒素集積量を表-7に示した。客土区の収量は、無客土区に比べて施工後1,2年目には20%前後、3,4年目には約7%減収し、作物の窒素集積量も1,2年目は大幅に低下した。緑肥を施用した区では初年目のみ無客土区なみの収量が得られた。堆肥4t区では初年目に無客土区以上の収量が得られ、2~3年目には

も無客土区の収量には及ばないものの客土のみの区に比べて増収する傾向が見られた。

これらのことから、客土によって肥沃度が低下した圃場では、有機物を施用することで作物収量の低下を回避する可能性が示された。また、窒素の増肥によっても収量性が無客土区並に回復したことから、堆肥の効果の大きな部分が窒素の肥効に由来すると考えられた。

(2) 細粒褐色森林土(置戸)

細粒褐色森林土における3年間の生育・収量調査結果を表-8に示した。客土5cm及び10cm区では、初年目のテンサイの生育が抑制されたが、収穫期の茎葉がやや増収する傾向があった。2年目のバレイショと3年目の秋コムギの収量は無客土に比べ10%程度高まった。これは、前報で示したような土壤物理性の改善が、養肥分

表-6 黒ボク土 (枠試験) における処理区の土壌化学性

Table 6 Soil chemical properties in the frame experiment

| 分析時期 | 試料 または 処理区 | pH (H ₂ O) | CEC ¹⁾ cmol (+) kg ⁻¹ | 交換性陽イオン | | | 有効態 ²⁾ リン酸 P ₂ O ₅ mgkg ⁻¹ | 熱抽 ³⁾ 窒素 Nmgkg ⁻¹ | 腐植 mgkg ⁻¹ | 全窒素 mgkg ⁻¹ |
|-----------|------------------|--------------------------|--|---------|---------------------------|------------------|---|---|--------------------------|---------------------------|
| | | | | CaO | MgO mgkg ⁻¹ | K ₂ O | | | | |
| 施行時 | 客入土 | 6.5 | 5.0 | 300 | 97 | 96 | 110 | — | — | 0.25 |
| | 原土 | 5.6 | 38.7 | 1830 | 147 | 153 | 150 | — | — | 4.27 |
| 3年目 跡地 | 無客土 | 5.2 | 23.1 | 2060 | 148 | 345 | 200 | 126 | 90 | — |
| | 客土10cm | 5.2 | 14.2 | 1350 | 142 | 333 | 286 | 103 | 52 | — |
| | 客土+堆肥 | 5.3 | 16.0 | 1560 | 167 | 372 | 384 | 113 | 59 | — |
| | 客土+緑肥 | 5.2 | 16.0 | 1510 | 150 | 370 | 338 | 101 | 58 | — |

¹⁾ 陽イオン交換容量 ²⁾ Truog 法 ³⁾ オートクレーブ法による熱水抽出性窒素

表-7 黒ボク土 (枠試験) における作物収量と窒素集積量

Table 7 Crop yield and the amount of N accumulation in the frame experiment

| 処理区 | 作物収量 ¹⁾ (g m ⁻²) | | | | N 集積量 ²⁾ (g m ⁻²) | | |
|---------------------|---|-------|------|--------|--|-------|------|
| | 1年目 | 2年目 | 3年目 | 4年目 | 1年目 | 2年目 | 3年目 |
| | インゲンマメ | バレイショ | 秋コムギ | インゲンマメ | インゲンマメ | バレイショ | 秋コムギ |
| 無客土 | 199 | 213 | 380 | 136 | 5.2 | 7.6 | 11.3 |
| 客土10cm | 164 | 169 | 353 | 127 | 4.4 | 5.7 | 10.5 |
| 客土+堆肥 | 242 | 186 | 375 | 158 | 7.3 | 6.6 | 11.8 |
| 客土+緑肥 ³⁾ | — | 217 | 349 | 144 | — | 7.5 | 12.4 |
| 客土+N増 | 200 | 204 | 349 | 162 | 5.8 | 7.9 | 11.4 |

¹⁾ 収量は、インゲンマメと秋コムギは子実重、バレイショは上イモ重。

²⁾ N 集積量は、インゲンマメは子実+莢莖、バレイショは塊茎、秋コムギは子実+莖葉での値。

³⁾ 緑肥施用効果を経年で見ると、他の区より1年遅れで比較すること。

の希釈による負の影響をカバーしたためと考えられる。客土15cm区では、各年とも収量の増加が見られず、無客土区と同等かあるいは下回った。表-9には3年目の秋コムギの根の相対的な密度を示した。客土15m区では、客入土および客入土と原土が混合した土層と、客入土をほとんど含まない0.20m以下の土層との界面で根の伸長が密な部分があった。これらの界面では土壌が膨軟で崩れ易い状態で、根が伸長しやすい条件であったと考えられる。このため、0.16~0.32m土層の根密度は他の区よりやや多くなったと判断された。

表-8の有機物施用処理について見ると、堆肥4t区では、客土10cm区と比べて増収効果が明らかでなかった。テンサイと秋コムギでは生育後半の伸びが見られず、バレイショは6月末の早い時期から客土10cm区を下回る生育となった。収穫期におけるテンサイの根中糖分含有率、バレイショでん粉価も堆肥4t区がやや低かった。

堆肥8t区では、2年目のバレイショを除いて増収となった。堆肥施用でバレイショの生育が停滞した要因は明らかではないが、一般にバレイショでは窒素の過剰施用により倒伏が早まり、塊茎の肥大が阻害される例がある。バレイショのでん粉価は堆肥8t区で明らかに低下しており、このことから2年目においても当初施用した堆肥由来の窒素を過剰に吸収した可能性が強い。初年目のテンサイも糖分含有率が若干低下しており、堆肥由来の過剰な窒素供給が品質に悪影響を及ぼしたと考えられる。土壌断面調査の結果では、堆肥8t区では堆肥由来と思われる黒色の有機物片が認められ、その部分で作物根の密度が高いことが観察されており、0.24~0.32m土層の根の発達が無客土よりも良好であった。

パーク4t区では、客土による減収を補償する効果が小さく、堆肥4t区はもとより、客土10cmのみと比較してもテンサイや秋コムギの収量が劣った。パーク堆肥は養分補給効果が一般に低いといわれており、施用量が

表-8 細粒褐色森林土（置戸）における作物の生育と収量・品質および窒素集積量
Table 8 Crop yield and N uptake in the field experiment (the field of Fine-textured Brown Forest soils)

| テンサイ (1994年) | 8月1日 | | 10月20日 | | | |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|
| | 乾物重 Mgha ⁻¹ | 茎葉重 Mgha ⁻¹ | 根重 Mgha ⁻¹ | 根中糖分 % | 糖量 Mgha ⁻¹ | N集積量 kg ha ⁻¹ |
| 無客土 | 10.3 | 32.6 | 55.4 | 15.7 | 8.67 | 177 |
| 客土5cm | 7.6 | 33.5 | 55.6 | 16.1 | 8.95 | 193 |
| 客土10cm | 7.3 | 35.1 | 55.4 | 16.1 | 8.99 | 230 |
| 客土15cm | 6.9 | 29.9 | 51.1 | 15.6 | 7.99 | 161 |
| 堆肥4t | 11.0 | 32.8 | 54.1 | 14.8 | 8.00 | 205 |
| 堆肥8t | 11.3 | 51.6 | 61.9 | 13.7 | 8.45 | 318 |
| バーク4t | 7.2 | 27.2 | 46.7 | 16.3 | 7.61 | 142 |
| 緑肥3t | 8.2 | 24.1 | 60.6 | 16.0 | 9.69 | 225 |
| N追肥 | 7.4 | 35.4 | 62.5 | 15.6 | 9.75 | 210 |

| バレイショ (1995年) | 6月28日 | | 9月1日 | | |
|------------------|----------|---------------------------|----------------------------|-----------|----------------------------|
| | 茎長 cm | 乾物重 Mgha ⁻¹ | 上イモ重 Mgha ⁻¹ | でん粉価 % | でん粉重 Mgha ⁻¹ |
| 無客土 | 15.9 | 0.45 | 45.0 | 13.9 | 5.80 |
| 客土5cm | 14.7 | 0.38 | 52.5 | 13.6 | 6.61 |
| 客土10cm | 17.1 | 0.43 | 50.6 | 14.1 | 6.62 |
| 客土15cm | 18.2 | 0.50 | 46.3 | 15.3 | 6.61 |
| 堆肥4t | 14.5 | 0.37 | 51.8 | 13.6 | 5.28 |
| 堆肥8t | 16.2 | 0.36 | 42.5 | 12.4 | 4.83 |
| バーク4t | 24.0 | 0.46 | 51.0 | 13.9 | 6.57 |
| 緑肥3t | 15.1 | 0.42 | 52.0 | 14.4 | 6.99 |
| N追肥 | 19.5 | 0.53 | 54.1 | 14.1 | 7.07 |

| 秋コムギ (1996年) | 4月26日 | 6月20日 | 8月7日 | | | |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| | 乾物重 Mgha ⁻¹ | 乾物重 Mgha ⁻¹ | 茎葉重 Mgha ⁻¹ | 子実重 Mgha ⁻¹ | 穂数 本 m ⁻² | N集積量 kg ha ⁻¹ |
| 無客土 | 0.48 | 3.53 | 5.01 | 3.05 | 533 | 93 |
| 客土5cm | 0.51 | 4.04 | 5.66 | 3.39 | 546 | 117 |
| 客土10cm | 0.46 | 3.71 | 5.75 | 3.37 | 524 | 118 |
| 客土15cm | 0.48 | 3.42 | 4.83 | 2.88 | 511 | 94 |
| 堆肥4t | 0.52 | 3.66 | 5.00 | 3.40 | 533 | 111 |
| 堆肥8t | 0.53 | 3.90 | 6.65 | 3.84 | 581 | 142 |
| バーク4t | 0.41 | 3.78 | 5.51 | 3.21 | 502 | 109 |
| 緑肥3t | 0.50 | 3.55 | 5.25 | 3.13 | 537 | 101 |
| N追肥 | 0.49 | 3.76 | 6.07 | 3.61 | 530 | 118 |

40 Mgha⁻¹では充分な上壤生産力の回復ができなかった可能性がある。このため、客土畑の肥沃度低下対策としては、麦稈や敷わらを主体とした一般の堆肥の方がより好ましいと考えられる。

緑肥3t区では、初年目に10%以上の増収をもたらした

が、その効果は年次を経るに従い急速に低下した。緑肥は易分解性の有機物を多く含むため分解が比較的速やかに進み、効果が持続しないと考えられた。

(3) 礫質褐色低地土（留辺蘂）

礫質褐色低地土では、表-10に示したように、客土区

表-9 細粒褐色森林土(置戸)の断面観察による土壌中コムギ根の相対的密度

Table 9 The relative index of wheat root density on the soil profile estimated by observation at the field of Fine-textured Brown Forest soils.

| 深さ (m) | 無客土 (基準) | 客土 5cm 区 | 客土 10cm 区 | 客土 15cm 区 | 堆肥 8t 区 |
|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|------------|
| 0.00~0.08 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 0.08~0.16 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 0.16~0.24 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 0.24~0.32 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 0.32~0.40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

の作物収量が3年間を通して無客土区より低下しており、その程度は客土量が多い程大きく、特に初年目のアズキで減収が最も激しかった。2年目の客土5cm区では、テンサイの根重は無客土区並に回復する傾向を示したが、3年目のインゲンマメでは明らかでなかった。このことから、客土による養肥分希釈の影響は、根圏の浅い豆類がより受けやすいと推察された。また、客土区では、作物生育の後半の伸長量が少ないことや、窒素集積量が大幅に低下していることから、窒素肥沃度の低下による影響が大きいと判断された。

有機物施用の効果について見ると、堆肥4t区でも初年目の大幅な減収は回避されたが、2~3年目には客土のみの区より改善されたものの無客土区の収量には及ばなかった。窒素集積量についても同様であり、窒素肥沃度の十分な回復が成されていないと推定された。堆肥8t区では初年目の数値が得られていないが、堆肥4t区を上回る収量回復効果を示し、3年目には無客土と比較しても10%程度増収する結果となった。また窒素、リン酸の集積量も高まっており、根張りが良くなったことを反映すると考えられる。パーク4t区での回復効果は堆肥4t区と比較して小さく、緑肥3t区の収量回復効果が初年目のみであったことは細粒褐色森林土と同様の傾向である。窒素の追肥は収量を高めたが、その程度は堆肥施用に比べ小さいと判断された。また、具体的データはないが、3年目のインゲンマメ(大福)の根を生育盛期に観察した結果、根全体の発達程度は、客土量が多くなるに従って根量が減っていると思われた。堆肥8t区やパーク4t区では根の生育が促進される傾向があった。

以上の結果から、客土畑に対する堆肥の施工時80 Mgha⁻¹以上の多量施用は、窒素を中心とする土壌の養分供給量を増加させ、作物の根系を発達させると共に生育を促進し、その効果は少なくとも施用後3年目までは持続することが明らかとなった。

4. 考 察

(1) 客土効果の土壌間差異

軽石流堆積物には無機養分や有機物はほとんど含まれていない。このため、前報で示したように、客土後の単位土壌重量当たりの養分量は希釈により明らかに低下する。しかし、作土全体に存在する養肥分の総量は客土によっても変わらないはずである。枠試験では一般に根張りが良好となり、希釈された作土全体に根が張られていると考えられるが、それにもかかわらず客土区で減収したことは、養分希釈の影響が大きかったことを示す。枠試験では黒ボク土の表土を用いたので、物理性の改善効果はほとんど期待できないことから、土壌化学性低下の影響、特に窒素肥沃度の低下が大きく影響し、20%もの減収を招いたと考えられる。これに対して、細粒褐色森林土のように、原土の容積重が1.20 Mgm⁻³、有効水孔隙量が0.05 m³m⁻³程度、土壌硬度が25と、物理性がかなり劣悪な土壌では、有機物施用を併用しなくとも客土のみによって増収が得られた。一方、礫質褐色低地土では、有効水孔隙量は小さいものの、水分供給が作物生育を規制する状況になっておらず、土壌硬度や排水条件が細粒褐色森林土よりも良好であることなど、土壌物理性が比較的良好なため、客土による増収効果が得られなかったものと考えた。

客土が作物の生育・収量面で良い影響をもたらすかどうかは、主に原土の土壌物理性がどの程度まで生育を規制しているかによって決まる。言い換えると、客土によって肥沃度が低下しても、物理性の改善効果が大きければ、作物生育に対してプラスの効果を得られることになる。試験を行った土壌間の物理性の比較から、作物の増収をもたらす客土効果が得られるか否かは、原土の物理性で、容積重が1.20と0.80 Mgm⁻³、固相率が0.45と0.30 m³m⁻³、土壌硬度が25と20の間に、その分岐点が

表-10 礫質褐色低地土（留辺藁）における作物の生育と収量・品質および窒素集積量
 Table 10 Crop yield and N uptake in the field experiment (the field of Gravelly Brown Lowland soils)

| アズキ (1994年) | 7月7日 | 8月3日 | 9月22日 | | | | |
|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|----------|------------------------------|
| | 乾物重 Mgha ⁻¹ | 乾物重 Mgha ⁻¹ | 茎葉重 Mgha ⁻¹ | 子実重 Mgha ⁻¹ | 莢数 ヶ 株 ⁻¹ | 百粒重 g | N 集積量 kg ha ⁻¹ |
| 無客土 | 111 | 259 | 1.76 | 4.69 | 74.6 | 13.3 | 174 |
| 客土 5cm | 142 | 245 | 1.50 | 3.88 | 74.2 | 13.6 | 153 |
| 客土 10cm | 143 | 242 | 1.71 | 2.72 | 57.8 | 13.6 | 124 |
| 客土 15cm | 142 | 219 | 1.76 | 3.00 | 81.9 | 13.3 | 103 |
| 堆肥 4t | 107 | 293 | 3.03 | 4.82 | 106.9 | 13.6 | 203 |
| バーク 4t | 160 | 332 | 1.97 | 1.88 | 57.4 | 11.6 | 80 |
| 緑肥 3t | 151 | 234 | 1.62 | 3.87 | 78.1 | 14.7 | 151 |
| N 追肥 | 148 | 237 | 1.37 | 2.72 | 53.4 | 14.6 | 110 |

| バレイショ (1995年) | 6月28日 | 8月21日 | 10月20日 | | | | |
|------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------|--------------------------|------------------------------|
| | 乾物重 Mgha ⁻¹ | 乾物重 Mgha ⁻¹ | 茎葉重 Mgha ⁻¹ | 根重 Mgha ⁻¹ | 根中糖分 % | 糖量 Mgha ⁻¹ | N 集積量 kg ha ⁻¹ |
| 無客土 | 2.30 | 9.57 | 20.1 | 53.8 | 18.3 | 9.85 | 148 |
| 客土 5cm | 2.64 | 11.18 | 19.6 | 55.3 | 18.1 | 10.01 | 139 |
| 客土 10cm | 2.42 | 9.30 | 14.9 | 47.8 | 18.1 | 8.65 | 120 |
| 客土 15cm | 2.21 | 9.58 | 10.5 | 36.4 | 18.2 | 6.63 | 80 |
| 堆肥 4t | 2.74 | 12.80 | 18.2 | 49.2 | 18.9 | 9.30 | 126 |
| 堆肥 8t | 2.80 | 13.99 | 20.0 | 53.8 | 18.3 | 9.85 | 148 |
| バーク 4t | 2.73 | 10.93 | 16.4 | 52.5 | 18.4 | 9.66 | 131 |
| 緑肥 3t | 2.89 | 13.56 | 15.8 | 47.6 | 18.1 | 8.61 | 135 |
| N 追肥 | 2.60 | 12.14 | 14.3 | 50.1 | 18.0 | 9.02 | 129 |

| インゲンマメ (1996年) | 7月15日 | 9月25日 | | | | |
|-------------------|----------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|----------|------------------------------|
| | 莖長 cm | 茎葉重 Mgha ⁻¹ | 子実重 Mgha ⁻¹ | 莢数 ヶ 株 ⁻¹ | 百粒重 g | N 集積量 kg ha ⁻¹ |
| 無客土 | 155 | 1.76 | 3.49 | 135 | 89.1 | 105 |
| 客土 5cm | 151 | 1.57 | 3.12 | 116 | 82.9 | 93 |
| 客土 10cm | 142 | 1.51 | 3.18 | 101 | 86.0 | 99 |
| 客土 15cm | 129 | 1.30 | 2.72 | 93 | 86.1 | 82 |
| 堆肥 4t | 148 | 1.53 | 3.30 | 119 | 90.7 | 101 |
| 堆肥 8t | 160 | 1.72 | 3.80 | 120 | 89.8 | 120 |
| バーク 4t | 151 | 1.54 | 3.11 | 121 | 84.9 | 92 |
| 緑肥 3t | 140 | 1.44 | 2.81 | 116 | 82.2 | 81 |

注) 1994年の堆肥8t区は虫害のため調査不能。1996年のN追肥区は処理を設定せず。

であると推定したが、具体的な改善指針として示すには至らなかった。

ところで、従来客土の施工に当たっては、客土材をできるだけ原土と均一に混合することが望ましいとされてきたが、それに対し、置戸試験圃の断面調査結果（前報）から、良く混じらない客入土と原土の界面が土壌硬度の

低下に効果的であり、かつ、その位置で作物根の伸長が盛んであった。この部分が水路として機能することも予想され、適度に混ざらない部分のあることが物理性改善の効果をより大きくする可能性が考えられた。客入土を完全に混合せず、「不均一性」と「界面」を維持することの有効性についても、今後目を向ける必要がある。

(2) 客土施工畑への有機物施用の意義

礫質褐色低地土のように、客土によって肥沃度が低下し、ひいては生産性低下に結びつく恐れのある大きな土壌条件では、収量低下を回避するためには少なくとも堆肥 40 Mgha⁻¹ 程度の施用が必要と考えられるが、長期的に見れば堆肥 80 Mgha⁻¹ の施用がより効果的である。一方、客土単独で増収が得られた細粒褐色森林土では、堆肥 40 Mgha⁻¹ 施用では明確な増収効果が見られない。通常の畑条件では堆肥 40 Mgha⁻¹ の施用で窒素 40 kg ha⁻¹ 程度の肥効が期待できるとされるが、客土区での窒素 30~63 kg ha⁻¹ 程度の追肥では十分な増収効果が見られなかったことから、堆肥 40 Mgha⁻¹ の施用では不十分とも考えられる。大塚ら(1994)が報告しているように、有機物をほとんど含まない新期の火山灰では当初有機物の集積が急速に進むという考えから、軽石流堆積物と混合された有機物は安定腐植として土壌に蓄積される割合が高く、堆肥の窒素肥効を小さくする方向で働いた可能性もある。従って、堆肥 40 Mgha⁻¹ 程度の施用は、客土に伴う肥沃度低下を補填する対症療法的な対策と位置づけ、北海道施肥標準(北海道農政部, 1995)に示されているような減肥対応を行わないことが適当と考えた。ただし、堆肥 80 Mgha⁻¹ の施用では2年目までテンサイの糖分やバレイショのでん粉価を低下させたので、40 Mgha⁻¹ を越える量については減肥の対象とする必要がある。

施用する有機物としてのバーク堆肥の効果は、堆肥と比較して小さく、特に初年目には客土単独施用よりも減収する傾向があった。このことは、C/N比が高いなどバーク堆肥そのものの品質面に問題を抱えていたことも考えられるが、バーク堆肥が分解する過程で窒素が利用され、施用年においては窒素飢餓のような状態になった可能性が高い。施用後2年目には、バーク堆肥の分解が進むことによって収量低下は回復したものと判断された。ただし現地試験の結果(表-8, 10)では、施用後3年目には作物収量や窒素集積量が客土のみの区と比較してそれほど高まっていなかったことから、バーク堆肥の効果持続年限、特に施用後3年目以降についてさらに検討を続ける必要がある。

緑肥については、枠試験および圃場試験の結果で明らかのように、鋤込んだ初年目のみ効果が大きく(表-7, 8, 10)、その効果は堆肥 40 Mgha⁻¹ よりも高いと思われる。しかし2年目以降はその効果が判然としておらず、赤クローバやエンバクが共に易分解性の有機物として速やかに分解し、即効的な窒素養分として利用された結果であると考えられる。

一方、前報で示したように、本試験圃場での土壌微生物

物活性(α -グルコシダーゼ活性)は、客土のみでやや低下したが、堆肥の施用でより高まっており、各試験区の作物収量の変化傾向と一致する。東田ら(1996)は、土壌酵素活性は土壌の環境を総合的に反映したもので、作物、特にテンサイ収量との関連も認められると報告しており、有機物を施用した客土圃場で作物生産力が向上していることは疑いないと言える。

以上の結果から、客土に伴う肥沃度低下の影響を補償する対策として、40 Mgha⁻¹ 程度の堆肥施用が望ましく、80 Mgha⁻¹ では更に大きな効果が継続的に期待できる。また、施工初年目の収量の大きな落ち込みを回避するためには、施工直後の緑肥作物の導入が望ましい。堆肥の入手が困難な場合にも緑肥での対応が強く望まれるが、客土の施工は晩秋になることが多いので緑肥の生育量を確保することは難しく、この点で緑肥の利用は限られたものとならざるを得ないであろう。またバーク堆肥の利用は、作物生産の安定性から見て避けた方が良いと判断される。これらの有機物による対策は、基本的に土壌(原土)の性質によらず一律に適応できると考えるが、特に客土による土壌物理性の改善効果が明らかでなく作物収量の低下が見込まれるような土壌では、多めの堆肥投入がより有効であると考えられる。

有機物施用による効果持続年限については、本試験では、施用後3年を経過しても上層内に堆肥由来と思われる有機物片が認められ、その部位では作物根の伸長が旺盛であった。また、施用後3年目でも堆肥の増収効果が認められた。三木(1993)は、北海道北部の灰色台地土と褐色森林土において、堆肥 100~200 Mgha⁻¹ の施用効果が7年目でも継続することを報告している。これは毎年耕起されない草地での研究であるが、本試験の場合でも作土の下層に存在する堆肥の分解は、それが数年で消滅するほど速いものではないと思われる。加えて、堆肥が存在する部位では根張りが良く、その根が分解して翌年の作物の根が伸びる膨軟な部位を提供するようなサイクルがあれば、堆肥の効果はかなり長い間期待できると考える。しかし、作土部分に施用された有機物は比較的速く分解されると推定されるため、客土施工時に40 Mgha⁻¹ 以上の堆肥を施用した場合でも、北海道施肥標準に示される毎年10 Mgha⁻¹ 程度の堆肥施用が特に望まれる。

以上の客土による作物収量の変化と有機物施用対策を、土壌タイプと土壌物理性の一般的な関係に対応させ、模式的にまとめて図-1に示した。土壌の作物生産性維持の面から大まかに判断するなら、台地土では客土時に40 kg ha⁻¹、火山性土では80 kg ha⁻¹の堆肥施用が望まれ、低地土では土壌物理性のレベルに応じて堆肥投入

| 土壌タイプ | 原土(作土)の土壌物理性 ¹⁾ | 客土による作物増収効果 | 客土時に望まれる有機物施用対策 | |
|-------|----------------------------|--------------------|---------------------------------------|-------|
| 台地土 | 悪 ↑ ↓ 良 | 増収 ↑ ↓ 減収 | (堆肥) | (緑肥) |
| 低地土 | | | 40Mgha ⁻¹ 程度 ²⁾ | 一律に必要 |
| 火山性土 | | | 80Mgha ⁻¹ 程度 | |

¹⁾ 作物生育に対する作土の容積重、固相率、土壌硬度、粘着性、砕土性、保水性等から見た総合的な物理性。

²⁾ 増収効果のある場合でも80Mgha⁻¹程度を施用することでさらに土壌生産力を高めることができる。

図-1 土壌特性に対応した客土後の作物増収効果と有機物施用対策

Fig. 1 Effect of soil dressing with PFD on crop yield at different soil types and a recommendation of manure application.

量を判断すべきと考えた。

5. おわりに

軽石流堆積物の客土は、オホーツク沿海の畑作地帯ではかなり普遍的に施工されている基盤整備の一つである。この背景には、劣悪な土壌物理性を示す畑土壌が広く分布していることが挙げられる。しかし、客土が一つのブームの如く行われる中で、客土によって必然的にもたらされることの多い施工後の生産力低下は、客土時に堆肥 40 Mgha⁻¹以上を施用することによって安定的に肥沃度低下の影響をカバーできることが明らかとなり、施工当年については緑肥の効果も認められた。一方、本試験の結果から客土による根圏の環境の変化と有機物施用の影響を、単に土層の理化学性変化や窒素収収から見

るのではなく、土壌微生物活性を用いて不均一な根圏環境の土壌を総合的に評価できる可能性が示された。堆肥の施用は従来より営農範疇での「土づくり」として行われてきたが、客土施工時の施用によって、客土のメリットを生かしつつ、生産性を維持・向上させる方向が見いだされた。こうした技術の確立で一層効率的に耕地生産力の向上を図ることが期待される。

謝 辞

本試験の実施にあたり、試験圃場を提供して下さった置戸町の森篤史氏と留辺蘂町の加藤昭義氏、並びに試験に協力いただいた両町の関係者と北海道網走支庁の皆様には心より感謝申し上げます。また、本稿の御校閲をいただいた中央農試農業土木部長前田要博士、同環境化学部長沢口正利博士、同奥村正敏研究員、並びに図作成に協力いただいた中央農試の北川巖研究員には、記して厚く謝意を表します。

引用文献

大塚絳雄・君和田健二・上原洋一 (1994) : 新鮮火山灰においてススキ、ササ、カシワの植物遺体から無菌的環境下で生成される腐植酸の生成過程, 土肥誌, 65, p. 629~636.

竹内晴信・東田修二・市川信雄・松原一實 (2000) : 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および微生物活性に及ぼす影響. 土壌の物理性, 84, p. 21~29.

東田修司・田村 元・山神正弘 (1996) : 畑土壌の微生物活性とその規制要因, 道立農試集報, 70, p. 17~26.

北海道農政部 (1995) : 北海道施肥標準

三木直倫 (1993) : 寒冷地における草地土壌の有機物並びに窒素の経年的動態とそれに基づく窒素施肥管理法に関する研究, 道立農試報告, 79, p. 62~65.

受稿年月日: 1999年11月8日
受理年月日: 2000年3月18日