

牛ふんコンポスの積載・灌水による 土壌の化学性と水浸透性の変化

南條正巳*・山田恵子*

Changes in Chemical Properties and Water-percolation of Soils Overlaid with Cattle Manure Compost

Masami NANZYO* and Keiko YAMADA*

* Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University 1-1,
Tsutsumidori-Amamiyamachi, Aobaku, Sendai 981-8555, Japan

Abstract

An overlay of cattle manure compost, several centimeters thick, on a lowland soil-column with a depth of 24 cm, and watering at a rate of 39 mm a day resulted in significant reduction of water-percolation in one or two weeks. With watering, large amounts of dissolved or dispersed organic matter and K^+ were released from the compost. The K^+ was exchanged with Ca^{2+} in the soil column and the degree of Ca^{2+} -saturation of the organic matter increased with downward movement and the organic matter was retained in the soil. The precipitated or flocculated organic matter with Ca^{2+} might have clogged the capillary pores of the soil. Formation of bubbles due to biological activities and swelling of soil colloids with increased K^+ saturation might also have been involved in the reduction of water-percolation. No significant reduction of water-percolation occurred when an Ap horizon soil of nonallophanic Andisol was placed in the column. Ion exchange of Ca^{2+} with K^+ proceeded less in the nonallophanic Andisol than in the lowland soil. Aggregates are more stable and bulk density was lower in the nonallophanic Andisol than in the lowland soil. These properties were favorable for the nonallophanic Andisol to keep its high water-percolation. Other changes in soil chemical properties were an increase in labile P and a pH rise. The increase in labile P took place in the upper part of the nonallophanic Andisol column due to its high P retention capacity whereas an increase in the labile P was also observed in the lower part of the lowland soil column.

Key words : lowland soil, volcanic ash soil, compost, ion exchange, water-percolation

1. はじめに

近年、わが国の家畜ふん尿に含まれる窒素の総量は化学肥料として消費される窒素の量に比肩し(西尾, 2002)、家畜ふん尿の適切な処理と農地における循環利用が求められている。多くの場合、良質な有機質資材は窒素、リン、カリウムなど作物が必要とする諸元素を含み、団粒の安定性を高め、作土の物理性を良好に保つ効果、微生物相の多様性を維持する効果などを持ち、その

適量施与により作土の物理性、化学性、生物性の改善が認められている(加藤・米田, 2001; Kato *et al.*, 2001; 後藤・郡司掛, 2002)。ただし、有機物施用の留意点として腐熟度の十分なものを使うこと、重金属等の有害成分を含まないことなども重要である。

しかしながら、有機物施与により土壌の排水が悪化したとの農業者の声も無いわけではない。上記のように、有機質資材からは様々な無機(後藤・江口, 1997)、有機成分が放出される。その速度は無機塩類、有機化合物の

* 東北大学大学院農学研究科, 〒981-8555 仙台市青葉区堤通雨宮町 1-1
キーワード: 低地土, 火山灰土, コンポスト, イオン交換, 水浸透

特性に応じて緩急様々である。これらの物質はイオン交換、収着、コロイド画分の分散・凝集、微生物活動を伴って土壌に様々な影響を与え、その度合いは土壌の特性により変化する。微生物養分に富む溶液を土壌に流した場合には、その活動で土壌の透水性を低下させるバイオクロッキング現象も指摘されている (Miyazaki, 1993; Seki *et al.*, 1998)。その内容は (i) 細菌や糸状菌による孔隙の目詰まり、(ii) 代謝生成物質による目詰まり、(iii) 微生物が発生する気泡による目詰まりなどである。また、有機質資材から放出された有機高分子電解質がイオン強度の低い状態で膨軟な凝集体 (足立, 2003a, b) となることによる目詰まりなども考えられる。

この他、有機質資材に含まれる無機成分由来の土壌影響も考えられる。堆肥中のリンは主に無機態であり (Yokota *et al.*, 2003)、土壌のリン保持能に応じて収着、移動の度合いは変化する。また、牛ふんコンポスト (伊藤・二瓶, 1999)、牛ふん尿処理液 (遠藤ら, 2004)、食品残渣などにはアルカリ金属イオンを高濃度で含むものがある。これらの無機成分もコロイドの分散、膨潤 (Iwata *et al.*, 1994) を介して土壌の水浸透に影響する可能性がある。

本研究ではカラム試験により、牛ふんコンポストを主とする有機質資材を褐色低地土の作土と非アロフェン質黒ボク土作土に積載して灌水し、土壌の化学性および水浸透性に与える影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 供試土壌と牛ふんコンポストの性質

土壌は物理性、化学性の異なる非アロフェン質黒ボク土 (以下、黒ボク土) 1 種類と褐色低地土 (以下、低地土) 1 種類の計 2 種類を用いた。非アロフェン質黒ボク土は東北大学大学院農学研究所科附属複合生態フィールド科学教育研究センター (川渡) 畑圃場 Ap 層を用いた。褐色低地土は宮城県古川市の畑圃場から採取した。そして、同上教育研究センター (川渡) 産の牛ふんコンポスト (以下、コンポスト) を用いた。以上の土壌、コンポスト試料は風乾後、弱く粉碎し、粒径 2 mm 以下の画分を分離して、特性分析とカラム試験に用いた。

土壌の粒径組成は過酸化水素処理後、篩別法とピペット法により測定した。土壌 pH (H₂O) は土:純水=1:2.5 でガラス電極法により測定した。電気伝導度 (EC) は土:純水=1:5 で測定した。交換性イオンの抽出、陽イオン交換容量 (CEC) は 1 M 酢酸アンモニウム溶液 (pH 7) と自動抽出装置を用いるセミマイクロショウレンベルガー法によった。可給態リン含量はブレイ II 準法により測定した。有機炭素、全窒素含量は NC アナライ

ザーにより測定した。測定法は、酸性シュウ酸塩可溶 Al (Al_o)、Fe (Fe_o) 含量を含め、土壌環境分析法 (土壌環境分析法編集委員会, 1997) によった。牛ふんコンポストについては pH (H₂O)、EC、交換性陽イオン、可給態リン含量、有機炭素含量、全窒素含量、Al_o、Fe_o を土壌と同様に測定した。測定結果は 105°C 乾燥重量当たりで表示した。なお、純水はミリポア社製 Elix S で調製した。

2.2 カラム実験

内径 70 mm、高さ 30 mm のアクリル樹脂製円筒 8 個 (全容積=923 mL) を縫ぎ目にワセリンを薄く塗り、ビニールテープを巻いて組み立て、孔径 1 mm と 0.05 mm のナイロンメッシュで二重に底を付けた。これらのカラムに黒ボク土 1.0 kg (土柱の厚さ=240 mm; 乾燥密度=1.05 Mg m⁻³; 孔隙率=0.58) または低地土 1.1 kg (乾燥密度=1.18 Mg m⁻³; 孔隙率=0.55) を詰めて純水を流し、カラム内の土壌全体に水を含ませた (黒ボク土の初期含水率推定値=0.36; 低地土の初期含水率推定値=0.32)。また、同様にアクリル樹脂円筒を 3 個連結し、孔径 1 mm のメッシュで底を付けて牛ふんコンポストを 100 g 詰めた。このコンポストだけのカラム、土壌だけのカラム、およびコンポストカラムを土壌カラムの上に取り付けたものを各 2 本ずつで合計 10 本、ガラス室内に設定した。いずれのカラムもアルミフィルムを巻いて遮光し、カラム上部はパラフィルムで蒸発を抑制した。

これらのカラムに毎日 1 回 150 mL の純水を土壌表面を乱さないように静かに加え、カラムの底から出る浸透水をロートで受け、ポリ容器に 7 日分ずつまとめて採取した。この灌水量は日降水量 39 mm に相当する。7 日間の灌水量は 1,050 mL で土壌カラムの孔隙容積の約 2 倍に相当する。純水はカラムの水浸透が低下しない場合は 4 週間、水浸透が極端に低下した低地土では 2~3 週目分まで追加した。その浸透水を用いて溶存・懸濁物質重量、pH、EC を測定した。溶存・懸濁物質重量は、浸透水 20 mL を取り、その 105°C における乾燥重量とした。さらに、600°C で 6 時間加熱し放冷後の減量 (灼熱減量) を測定した。浸透水の一部は 0.45 μm のメンブランフィルタを通過させた後、Na、K 含量を炎光光度法、Ca、Mg を C₂H₂-N₂O 炎による原子吸光光度法、全リン含量を過塩素酸分解-アスコルビン酸還元モリブデンブルー法、全窒素含量をデバルダ合金-硫酸分解法、有機炭素含量を重クロム酸化法で測定した。有機炭素、全窒素含量は土壌標準測定・分析法 (土壌標準測定・分析法編集委員会, 1986) により、その他は土壌環境分析法 (土壌環境分析法編集委員会, 1997) により分析した。

灌水終了後土壌カラムを解体し、土壌試料を厚さ 3 cm 毎に取り、風乾細土を調製し、表 1 の項目を上記土

表-1 土壌と牛ふんコンポストの性質

Table 1 Properties of soils and cattle manure compost

	非アロフェン質 黒ボク土 Ap 層	褐色低地土 Ap 層	牛糞コンポスト (川渡農場)
粒径組成	粗砂, g kg ⁻¹	259	65
	細砂	307	427
	シルト	238	319
	粘土	196	188
pH (H ₂ O)	6.0	6.3	8.3
EC, dS m ⁻¹	0.06	0.08	12.4
CEC, cmol(+) kg ⁻¹	41.6	20.2	
交換性 Na, cmol(+) kg ⁻¹	0.1	0.3	20.2
K	0.8	1.6	111
Ca	19.0	13.1	44.2
Mg	1.4	1.6	11.2
ブレイ II 準 P ₂ O ₅ , g kg ⁻¹	1.0	0.5	7.9
全 C, g kg ⁻¹	91.2	16.0	260
全 N	5.3	1.4	28.6
C/N	17.1	11.5	9.1
酸性シュウ酸塩可溶 Al, g kg ⁻¹	16.9	1.2	0.3
Fe	8.0	6.3	3.1

壤に関する方法により分析した。

3. 結果と考察

3.1 供試土壌と牛ふんコンポストの性質

供試した低地土と黒ボク土の化学性、物理性には類似点もあるが、相違点も大きい(表1)。両土壌の pH (H₂O)、EC はほぼ同様だが、黒ボク土の有機炭素含量は低地土の 5.7 倍、黒ボク土の酸性シュウ酸塩可溶 Al 含量は低地土の 14 倍である点が大きく異なった。この黒ボク土の酸性シュウ酸塩可溶 Al の主要部分は Al-腐植複合体である(Shoji *et al.*, 1993)。黒ボク土の CEC が大きいのもその高い腐植含量のためと推察される。粘土含量は両土壌ともほぼ同様だが、低地土は粗砂含量が少なく、細砂、シルト含量が高い傾向であった。また、交換性イオン組成は Ca > Mg ≥ K と、一般的農耕地作土と同様であった。この黒ボク土は未耕地の場合 pH (H₂O) は 5 付近、交換性イオン組成は Ca, Mg, K が少なく Al が多い(Shoji *et al.*, 1993) が、耕地化に伴い、pH (H₂O) は上昇し、交換性イオン含量は増加したと考えられる。一般的農耕地土壌と同様に、この黒ボク土の C/N 比も低地土より高い値を示した。

コンポストは pH (H₂O)、EC とも高い値を示し、交換性 K⁺ 含量も高い値を示した。EC が高いことから、交換

性 K⁺ のうち一部は遊離の塩として存在すると推察された。C/N 比は低く、腐熟度は充分と見られた。ブレイリン含量は土壌より高かった。酸性シュウ酸塩可溶 Al 含量は特に高くはなかった。

3.2 カラム浸透水の性質

カラムの水浸透の経過は詰めた土壌の種類とコンポスト積載の有無により変化した。コンポストカラム、黒ボク土カラム、コンポスト積載黒ボク土カラム、低地土カラムは 4 週目まで 1 日の灌水が 1 日以内にカラムを通過し、図 1~5 の結果は 2 連の平均値で表示した。コンポスト積載低地土カラムでは水浸透が大きく低下した。そのため、2 本の内の 1 本は 2 週目分まで、もう一本は 3 週目分まで期間を延長して灌水し、それぞれの灌水分の浸透水を採用した。しかし、その後はさらに水浸透が遅くなったため、灌水と浸透水の採取を中断した。これらのコンポスト積載低地土カラムについて、2 週目相当分の浸透水は 2 連の平均値、3 週目相当分は一連のみの値で図 1~5 の結果を表示した。7 回灌水ごとの採取水量には、大きな変化が無く、921~1,109 mL (平均 1,004 mL, 標準偏差 24 mL) であった。このカラムで 1 日間に 150 mL の浸透水があり、カラム上の灌水深を無視し、土柱の高さ = 全水頭差とすれば、透水係数は 4.5×10^{-5} cm s⁻¹ である。

3.2.1 浸透水の pH, EC

コンポスト浸透水の pH は 7.9~8.4 で浸出期間中に大きな変動はなかった。一方、土壌のみのカラムからの浸透水 pH は時間と共に上がる傾向で、黒ボク土では初期に 6.3 であったが、4 週目には 7.1 となり、低地土では 6.8 から 7.7 に上昇した。これらに対して、コンポストを積載した土壌では、より pH の高いコンポスト浸透水の影響で土壌のみより pH は上昇傾向となり、黒ボク土では 6.3 から 7.7 に、低地土では 6.8 から 3 週目の 8.9 に上昇した。

コンポスト浸透水の EC は 1 週目で高かったが 2 週目以降低下した (図 1)。土壌のみからの浸透水は電解質濃度が低く、EC はごく低いままで推移した。コンポストを積載した土壌カラム浸透水の EC は 1 週目でコンポスト浸透水より大きく低下した。2 週目以降はコンポスト浸透水と同程度であった。

3.2.2 K, Na, Ca, Mg 濃度

1 週目のコンポスト浸透水中の K^+ 濃度は土壌のみに比べて非常に高かった (図 2)。 K^+ は 1 週目で 4 週間分の内 81% が流出しており、コンポストに含まれる遊離の K^+ 塩のためと推察される (後藤・江口, 1997)。これに対してコンポスト積載土壌浸透水の K^+ 濃度は土壌のみよりやや高かったが、コンポストのみからの浸透水濃度より大きく減少した。コンポストから 4 週間に溶出した K^+ 3.35 g のうち黒ボク土カラムに 68%、低地土カラムに 78% が保持された。 Na^+ も同様の傾向を示した。

Ca^{2+} 溶出量は K^+ , Na^+ とは逆の傾向を示し (図 3)、土壌のみ、コンポストのみからの溶出量は少なく、コンポスト積載土壌カラムからの溶出量は土壌のみの浸透水に比べて大きく増加した。これは土壌カラム中でコンポストから溶出した K^+ , Na^+ とイオン交換して溶出したためである。2 週目以降の Ca^{2+} , Mg^{2+} の溶出量は大きく減少したので、陽イオン交換溶液の主要部分は 1 週目、即ち、孔隙容積の約 2 倍分で溶出した。 Ca^{2+} , Mg^{2+} の溶出量は黒ボク土 (合計 Ca^{2+} : 510 mg, Mg^{2+} : 52 mg) より低地土 (合計 Ca^{2+} : 780 mg, Mg^{2+} : 150 mg) の方が多く、低地土の交換性 Ca^{2+} , Mg^{2+} の方が交換溶出しやすいと考えられる。浸透水中の Ca^{2+} 濃度は $C_2H_2N_2O$ 炎を使う原子吸光法で測定したので有機複合体として溶出した Ca^{2+} も含まれている。

3.2.3 有機炭素, 全窒素

コンポストからは有機炭素も多量に溶出し、1, 2 週目の浸透水の色はほぼ同様で濃暗褐色、3 週目はわずかに薄くなり暗褐色、4 週目は明らかに薄くなり褐色となった。この目視による色の変化は有機炭素浸出量と傾向は同様であったが、有機炭素浸出量の減少幅は 1 週目から 2 週目において大きかった (図 4)。コンポスト積載土壌からの浸透水もコンポスト浸透水に近い着色を示したが、その有機炭素濃度は図 4 のように 1 週目においてはコンポスト浸透水より大幅に減少したので、浸透水の色と有機炭素濃度の単純な対応はなかった。

コンポストから 4 週間に放出された溶存・懸濁物質の

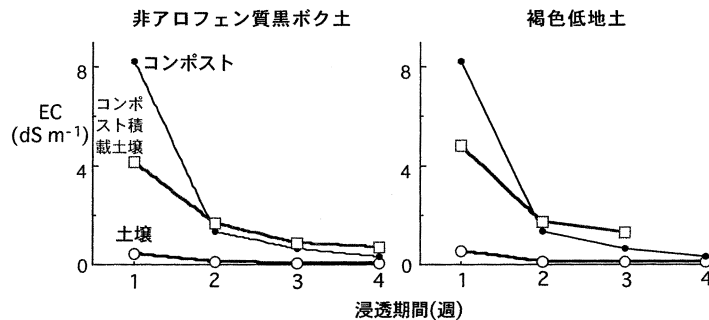


図-1 コンポスト (●), コンポスト積載土壌 (□), 土壌 (○) 浸透水の電気伝導度 (EC) の推移。エラーバーは 2 連の値の差を示す。エラーバーが無い場合には 2 連の測定値の差がシンボルより小さい。エラーバーに関しては以下の図 2~9 でも同様である。但し、図 1~5 における褐色低地土第 3 週目の浸透水については 1 連のみの結果である。

Fig. 1 Changes in electric conductivity (EC) of percolating water from cattle manure compost (●), soil overlaid with the cattle manure compost (□) and soil (○) with time. Error bars show the differences between values of duplication. Some error bars are smaller than the symbols. Notes on error bars of Figs. 2 to 9 are the same as those of Fig. 1. One plot for the percolation water at the 3rd week of the brown lowland soil overlaid with the cattle manure compost has exceptionally no error bar in Figs. 1 to 5.

合計は 14.1 g でそのうち 11 g (78%) は 1 週目に溶出した。1 週目の溶存・懸濁物質のうち 5.9 g (53%) は 600°C 加熱残渣で、牛ふん尿処理液中の主要アニオンが塩化物イオン (遠藤他, 2004) であるとすれば、これらは KCl

(5.1 g) と NaCl (0.9 g) でほぼ説明可能である。600°C 加熱減量 5.1 g のうち 3.1 g は 0.45 μm メンブランフィルタを通過した有機物 (図 4) で残りの 2.0 g はメンブランフィルタに濾別された有機物やメンブランフィルタを通

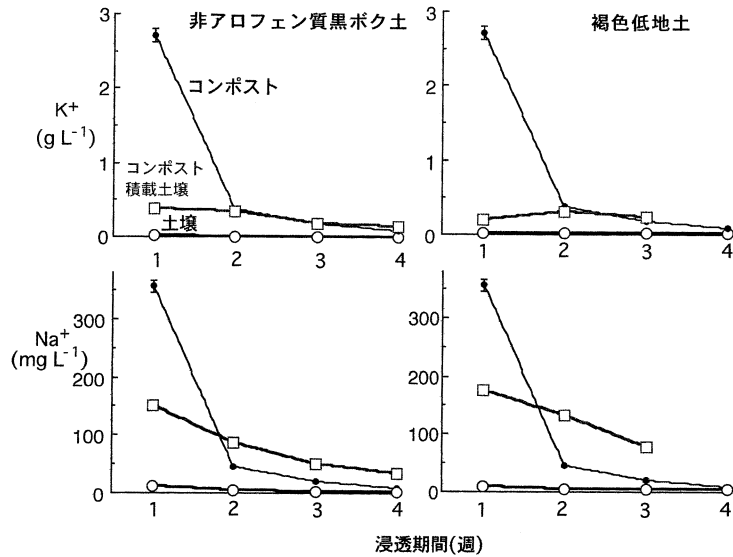


図-2 コンポスト (●), コンポスト積載土壌 (□), 土壌 (○) 浸透水中の K⁺ と Na⁺ 濃度の推移

Fig. 2 Changes in K⁺ and Na⁺ concentration of percolating water from cattle manure compost (●), soil overlaid with the cattle manure compost (□) and soil (○) with time.

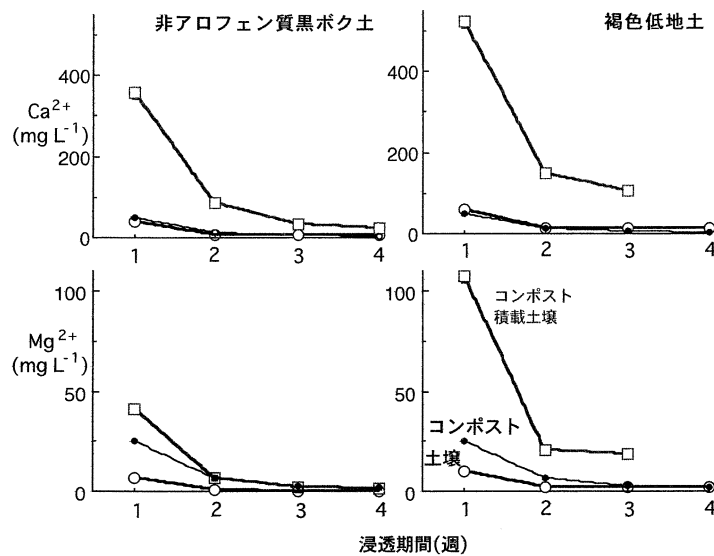


図-3 コンポスト (●), コンポスト積載土壌 (□), 土壌 (○) 浸透水中の Ca²⁺ と Mg²⁺ 濃度の推移

Fig. 3 Changes in Ca²⁺ and Mg²⁺ concentration of percolating water from cattle manure compost (●), soil overlaid with the cattle manure compost (□) and soil (○) with time.

過しても重クロム酸酸化法では評価されなかった有機物などに相当する。

これに対して土壌のみのカラムから溶出した有機炭素はごく少量であった。コンポストを積載した両土壌からの有機炭素溶出は土壌のみのカラムに比べて有機炭素溶出量の増加はあまり大きくなく、1週目にコンポストから溶出した有機物の大部分は土壌に保持された。コンポスト積載土壌からの有機物溶出は1週目より2週目にわずかに増加し、土壌中の移動が遅い有機画分が少量あると見られる(図4)。コンポスト由来の K^+ 、 Na^+ による Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の交換溶出部分は1週目にほぼ溶出し終わった(図2, 3)。コンポスト浸透水とコンポスト積載土壌カラム浸透水を比べると、土壌カラムを通過することによるEC低下も1週目に認められた(図1)。このEC低下には、KClより $1/2CaCl_2$ のモル伝導率が約20%低い(日本化学会, 1993)ことに加え、コンポストから溶出した有機物と土壌から K^+ 、 Na^+ と交換溶出した Ca^{2+} 、 Mg^{2+} との複合体形成による可能性も含まれる。そして、

その複合体の溶解性が低ければ土壌カラム中で沈殿する。その結果、1週目の有機炭素溶出量が低かったと考えられる。

全窒素の溶出経過も全炭素含量と類似したが、コンポストおよびコンポスト積載土壌の1週目における溶出量は2週目より少し多く、カラム中での有機物沈殿の影響は有機炭素ほど極端でなかった。これはコンポストから溶出した窒素に無機態も含まれていたため(伊藤・二瓶, 1999)と見られる。

3.2.4 全リン

コンポストカラムから溶出した全リンは1週目に多く、次第に減少した(図5)。1週目に溶出した全リンは4週間の合計のうちの63%でKの場合の81%より少なかった。したがって、リンは K^+ より遅れて溶出する部分が多く、コンポスト中にはやや溶解性の低いリンも含まれることを示唆している。土壌のみおよびコンポスト積載土壌カラムから溶出した全リンは微量で、コンポストから溶出したリンのほぼ全部は土壌に保持された。

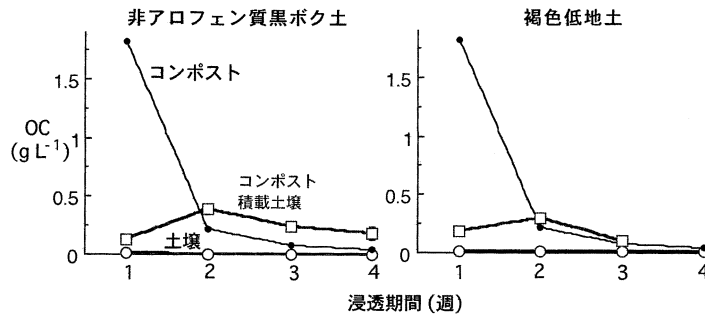


図-4 コンポスト (●), コンポスト積載土壌 (□), 土壌 (○) 浸透水中の有機炭素 (OC) 濃度の推移

Fig. 4 Changes in organic C (OC) concentration of percolating water from cattle manure compost (●), soil overlaid with the cattle manure compost (□) and soil (○) with time.

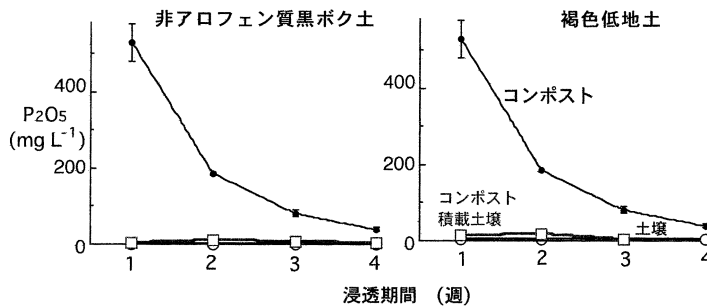


図-5 コンポスト (●), コンポスト積載土壌 (□), 土壌 (○) 浸透水中の全 P_2O_5 の濃度の推移

Fig. 5 Changes in total P_2O_5 concentration of percolating water from cattle manure compost (●), soil overlaid with the cattle manure compost (□) and soil (○) with time.

3.3 牛ふんコンポスト積載・灌水による土壌の変化

水のみを流した土壌とコンポストを積載・灌水したカラム中の土壌に関する垂直方向の特性変化を比較した。そして、コンポスト積載・灌水が土壌に与える影響とコンポスト積載による水浸透低下要因を考察した。なお、コンポスト積載黒ボク土最下部試料を調製時に失い、欠測となったが、今回の研究目的に大きな影響はなかった。

3.3.1 土壌 pH, EC, CEC の垂直分布

土壌 pH は水のみを流した場合よりもコンポスト積載により上昇した。水のみを流した黒ボク土の pH は 7.0~7.1 であったものが 7.7~8.2 に上昇し、低地土では水のみを流すと 7.1~7.2 でコンポストを積載すると 7.5~8.6 になった。これらの土壌 pH 値の垂直分布に明確な傾向は認められなかった。

EC もコンポスト積載により上昇した。水のみを流した黒ボク土では 0.03~0.05 dS m⁻¹ であったが、コンポストを積載すると 0.2~0.27 dS m⁻¹ に上昇した。低地土では 0.05~0.06 dS m⁻¹ であったが、コンポストを積載すると 0.16~0.2 dS m⁻¹ に上昇した。これらの EC 値の垂直分布にも明確な傾向は認められなかった。

CEC もコンポスト積載により微増傾向にあった (図 6)。黒ボク土では水のみを流した場合の CEC は 41~42 cmol (+) kg⁻¹ であったが、コンポスト積載により、45~53 cmol (+) kg⁻¹ に上昇し、特にカラムの最上部 0-3 cm でやや増加が大きかった。この CEC の増加は有機炭

素含量の増加も影響していると推察されたが、黒ボク土の有機炭素含量が高いためにコンポスト積載による有機炭素含量の相対的分はわずかであった。CEC のカラム上部における増加傾向は有機炭素の上昇よりも可給態リンの増加と似ており、リン酸イオンの収着に伴い CEC が増加した可能性 (南條, 1989; Nanzyo, 1991) がある。さらには pH 上昇に伴い Al-腐植の一部が Al(OH)₃ として沈殿し、フリーのカルボキシル基が不可逆的に増加した可能性も考えられる。

低地土では水のみを流したカラムの CEC は 21~22 cmol (+) kg⁻¹ であったが、コンポストを積載すると 22~23 cmol (+) kg⁻¹ とわずかに増加した。しかし、低地土の可給態リンの増加は黒ボク土のように局部的でなく、かつ、その増加量も 1/3 程度であり、リン酸イオン収着の CEC に与える影響は強くないと見られた。このわずかな CEC 増加には有機物の増加効果も含まれる可能性がある。

3.3.2 交換性 Na, K, Ca, Mg 含量の垂直分布

コンポスト浸透水には土壌浸透水よりも多量の Na⁺, K⁺ が含まれていたため、両土壌とも交換性 Na⁺, K⁺ が増加し、交換性 Ca²⁺, Mg²⁺ は減少傾向であった (図 7)。

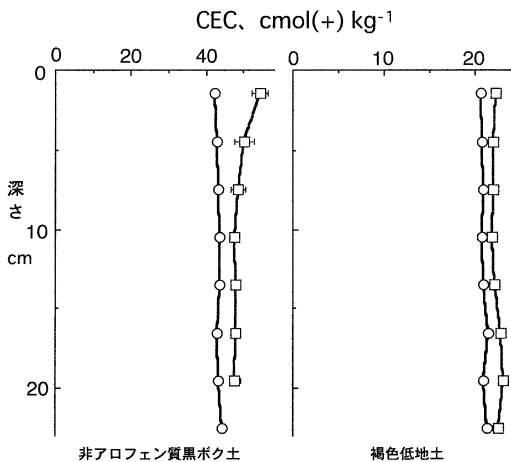


図-6 土壌の陽イオン交換容量(CEC)に対する牛ふんコンポスト積載の影響 (□). ○: コンポスト積載なし.

Fig. 6 Vertical distribution of CEC values with (□) and without (○) cattle manure compost.

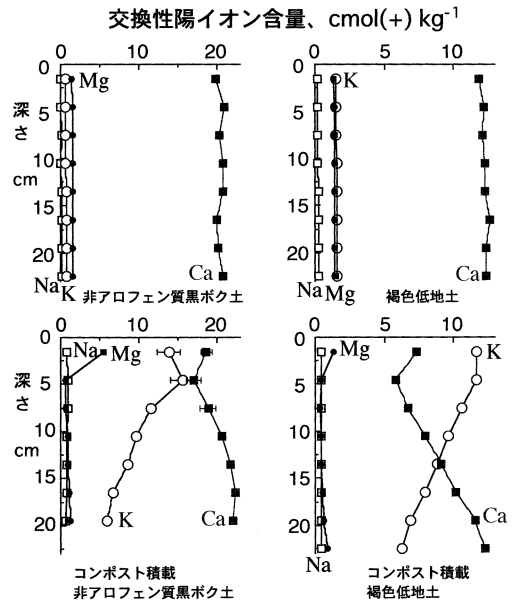


図-7 牛ふんコンポスト積載・灌水に伴う土壌の交換性イオン組成の変化. 上段: コンポスト積載なし. 下段: コンポスト積載.

Fig. 7 Vertical distribution of exchangeable cations with (lower) and without (upper) cattle manure compost.

この結果はカラム浸透水の分析結果 (3.2.2) と対応する。特にコンポスト浸透水の主要な陽イオンである K^+ と土壌の主要な交換性陽イオンである Ca^{2+} の交換が顕著に認められた。これらのイオン交換の度合は黒ボク土よりも低地土で、かつ、カラム上部で大きく進む傾向であった。相対的に黒ボク土でこのイオン交換が進みにくかったのは多量に含まれる腐植の Ca^{2+} に対する親和性が強い (和田, 1981) と解釈される。また、下部より上部で多くイオン交換が進んだのは、コンポスト積載土壌の浸透水の K^+ 濃度は1週目から大きく低下しており、カラム上部のイオン交換で大部分が土壌に保持されたためである。今回の実験条件ではカラム下部まで交換が進まなかった。

3.3.3 有機炭素, 全窒素含量の垂直分布

土壌カラムの有機炭素 (図8), 全窒素含量はコンポスト積載により両土壌ともわずかに増加傾向であった。しかし、黒ボク土は有機炭素含量が高く、コンポスト積載による増加はカラムの下部でごくわずかにあるかも知れない程度であった。これに対して低地土では土壌の有機炭素含量が 16 g kg^{-1} と少なく、カラム下部における絶対値の増加量は 3 g kg^{-1} (相対増加量は20%) であった。このカラム下部における有機炭素含量の増加はコンポストから溶出した K^+ 飽和度の高い有機物が土壌とのイオン交換で Ca との複合体を形成し、有機物の Ca 飽和度が上がるにつれて沈殿したものと推察される。コンポ

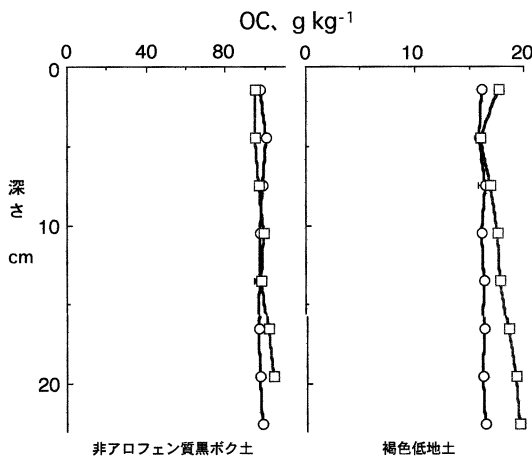


図-8 土壌の有機炭素量 (OC) に対する牛ふんコンポスト積載の影響 (□). ○: コンポスト積載なし.

Fig. 8 Vertical distribution of CEC values with (□) and without (○) cattle manure compost.

トから溶出した窒素には有機態が少なくないと見られ、全窒素含量の垂直分布も全炭素含量の垂直分布と同様の傾向を示した。

3.3.4 ブレイリン含量の垂直分布

土壌のブレイン含量に対するコンポスト積載の影響は2種類の土壌の Al_0 含量の違い (表1) を反映する結果となった (図9)。可給態リン含量の指標の一つであるブレイン含量は Al_0 型リンが重点的に評価されやすい方法であり、 Al_0 含量の違いによるリン酸イオン収着能の差を示しやすいと考えて測定した。浸透水の分析から両土壌ともコンポスト浸透水中のリンはそのほとんど全部が土壌に保持された (図5)。しかし、黒ボク土は Al_0 含量が多いためにブレイン含量の増加は表層6 cmに留まり、下層に変化はほとんど認められなかった。低地土でもコンポスト積載によりブレイン含量は増加したが、その増加量は黒ボク土表層よりわずかであった。その増加はカラム上部から下部に向かって減少したが、カラム下部でも認められ、コンポストから溶出したリンはこの低地土カラムをわずかだが、通過し始めつつある状態であった。

3.4 牛ふんコンポストの積載・灌水による土壌の化学性および水浸透の変化

以上のように、この牛ふんコンポストの積載・灌水に伴い、黒ボク土と低地土にはpHの上昇、ECの増加、イオン交換、有機物含量の微増、リンの収着などの化学的

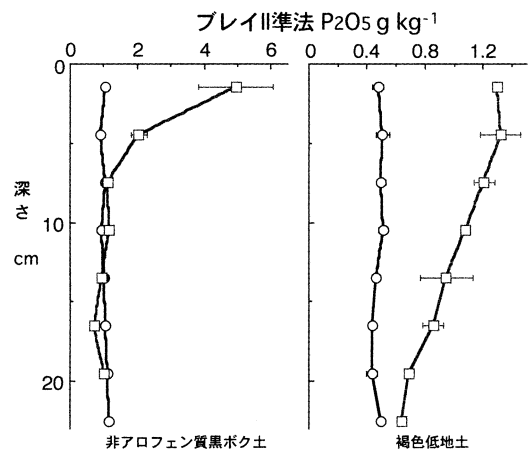
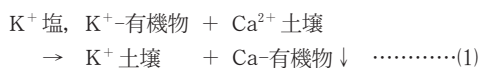


図-9 土壌のブレイン準法 P_2O_5 含量に対する牛ふんコンポスト積載の影響 (□). ○: コンポスト積載なし.

Fig. 9 Vertical distribution of modified Bray P_2 values with (□) and without (○) cattle manure compost.

変化と低地土における水浸透の低下が認められた。

このカラム実験の土壌中で起こった主な反応は次のようにまとめられる。



K^+ 塩と K^+ 飽和度の高い分散または溶存有機物が土壌カラムを下方に移動しながらイオン交換が進み、有機物の Ca^{2+} 飽和度が高まり、有機物の溶解性または分散性が低下して(足立, 2003 b) 低地土の毛管孔隙を詰めたと思われる。

この他にも低地土の水浸透低下に関与しうる要因として粘土や沈殿した有機物の膨潤状態、気泡発生などが合わせて作用したかも知れない。交換性イオンが Ca^{2+} から K^+ へ変化し、その後のイオン強度の低下により、粘土の膨潤性が高まった可能性がある。また、沈殿または凝集体となった Ca-有機物複合体の凝集状態もイオン強度が下がったために膨潤的で毛管孔隙を詰めやすかった可能性もある。雨ざらし状態での有機質資材の野積みは窒素負荷発生源となるだけでなく、土壌の水浸透を下げる問題も発生しうる。今回のコンポスト積載厚は数 cm だが、厚くなれば、その影響はさらに強まる。

コンポストの C/N 比は 9.1 と低く、腐熟度は高いが、その浸透水には栄養塩類とある程度の易分解性有機物は含まれると思われる、実験中に微生物活動があったと考えられる。灌水 4 週後のカラムにはバイオクロッキング現象の一つとして気泡が目視で認められた。粗孔隙のかなりの部分は気泡で占められ、水浸透の低下に寄与したと見られた。しかし、この気泡は低地土だけでなく黒ボク土にも認められた。一般に低地土の団粒安定性は黒ボク土に比べて低く、気泡の発生とその移動に伴い低地土は繰り返されるような影響を受け、水浸透の低下が助長された可能性も考えられる。この低地土における水浸透の低下に寄与した原因を実験的に特定するにはさらに検討が必要である。

これらに対して、黒ボク土は腐植含量が多く、かつ、分子量の大きな腐植酸の割合が高く、団粒の安定性は高いので、容積重の小さい、孔隙率の大きい状態が維持されやすい。また、腐植の Ca^{2+} に対する親和性が高く(和田, 1981), K^+ とのイオン交換も低地土より進行しにくく、交換性 Ca^{2+} の量も高く維持された(図 7)。その結果、黒ボク土の膨潤傾向は弱く、有機物が沈着してもこの実験条件では水浸透の明らかな低下には至らなかったと考えられる。

有機物を施与すると団粒の安定性が高まり、透水性、保水性、通気性などが改善され、概ね良好な結果となる

(加藤・米田, 2001; Kato *et al.*, 2001; 後藤・郡司掛, 2002)。通常、有機物は作土と耕起により混合される。当コンポストの適正施与量は 20 t ha^{-1} と見られ(伊藤ら, 2001), 今回の実験は 260 t ha^{-1} に相当するので適正施与量の 10 倍以上である。今回のコンポスト積載カラム実験で $\text{K}^+ - \text{Ca}^{2+}$ のイオン交換が強く起こったのは深さ 15 cm 以内であった。従って、施与量を適正に保てば、イオン交換の顕著な部分は土壌のごく一部に留まり、施与後の耕起により土壌が混合され、一旦毛管孔隙に有機物が詰まっても、乾湿を繰り返す過程で団粒の安定化方向に機能を転じる可能性も考えられる。

4. ま と め

特性の異なる二種類の土壌に対する牛ふんコンポスト積載の影響をカラム試験で検討した。カリウム塩含量の高い牛ふんコンポストを褐色低地土作土のカラム(長さ 24 cm)に数 cm 積載し、1 日当たり 39 mm 灌水すると 1~2 週間後には明らかに水浸透が低下した。この過程でコンポストからは多量の溶存または分散状態の有機物と K^+ が放出された。これらは土壌中に入り、土壌の Ca^{2+} と交換して K^+ は土壌に保持され、有機物は次第に Ca^{2+} 飽和度が上昇して溶解性を失うか凝集状態となり毛管孔隙を塞いで透水性が低下したと推察した。この他に、コンポストを積載した褐色低地土の透水性低下には、気泡発生、 K^+ 飽和度の高まった粘土の膨潤などの関与も考えられた。非アロフェン質黒ボク土では $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{K}^+$ の交換が進みにくく、団粒の安定性が高く、容積重が小さく、今回の条件では透水性の明らかな低下は認められなかった。この他、土壌カラムには牛ふんコンポストから放出されたリン酸イオンの収着によるブレイリンの増加や pH 上昇などが認められた。活性 Al 含量の多い非アロフェン質黒ボク土ではブレイリンの増加がカラム上部でのみ認められたのに対し、褐色低地土ではブレイリンの増加が、その程度は小さいがカラム全体に渡り、上部から下部にかけて漸減する垂直分布を示した。

謝 辞

非アロフェン質黒ボク土と牛ふんコンポストは複合生態フィールド科学教育研究センター(川渡)(センター長: 三枝正彦教授)より提供を受けた。また、この研究には科学研究費補助金(代表: 筑波大学足立泰久助教授, 課題番号 13556035)を受けた。以上の方々に厚く謝意を表す。

引用文献

足立泰久(2003 a): 水溶性高分子のコロイド現象におけ

- る機能, 足立泰久・岩田進午編著土のコロイド現象—土・水環境の物理化学と工学的基礎, pp. 175-199. 学会出版センター, 東京.
- 足立泰久 (2003b): 腐植物質の凝集, 同上, pp. 404-405.
- 土壌環境分析法編集委員会 (1977): 土壌環境分析法, p. 427, 博友社, 東京.
- 土壌標準分析・測定法編集委員会 (1986): 土壌標準分析・測定法, pp. 77-104, 博友社, 東京.
- 遠藤昌伸・切岩祥和・糠谷 明 (2004): 牛糞尿処理液のトマト灌水同時施肥栽培への利用, 農業技術体系, 土壌施肥編, 6-①, 技術 124 の 24-28.
- 後藤逸男・郡司掛則昭 (2002): 土壌改良資材. 土肥誌, **73**: 699-703.
- 後藤 忍・江口 洋 (1997): 圃場条件における緑肥および有機質肥料からの塩基類の溶出. 土肥誌, **68**: 640-644.
- 伊藤豊彰・二瓶 章 (1999): 東北大学農学部附属農場の発酵施設における牛ふんコンポストの製造とその品質評価. 川渡農場報告, **15**: 27-34.
- 伊藤豊彰・橋本三尚・井上博道・三枝正彦 (2001): デントコーン栽培における附属農場産牛ふんコンポストの肥料代替効果および適正投入量. 川渡農場報告, **17**: 1-8.
- Iwata, S., Tabuchi, T. and Warkentin, B.P. (1994): Effect of clay dispersion and swelling on permeability to water. *In Soil-Water Interactions - Mechanism and Applications*, pp. 194-197, Marcel Dekker, Inc., New York.
- 加藤哲郎・米田和夫 (2001): 堆肥の長期連用が黒ボク土の理化学性ならびにキャベツとダイコンの収量に及ぼす影響. 土壌の物理性, **87**: 3-17.
- Kato, W., Kobayashi, H., Sugiura, T. and Baba M. (2001): Improvement of physical condition of soil with cattle slurry fertilization-mechanical strength and water-stability of soil aggregates. *J. Jpn. Soc. Soil Phys.*, **86**: 11-18.
- Miyazaki, T. (1993): Effect of microbiological factors on water flow in soils. *In Water Flow in Soils*, pp. 197-220, Marcel Dekker, Inc., New York.
- 和田光史 (1981): 土壌粘土によるイオンの交換・吸着反応, 日本土壌肥料学会編, 土壌の吸着現象—基礎と応用—, pp. 5-57, 博友社, 東京.
- 南條正巳 (1989): 土壌とリン酸イオンの化学的反応に関する研究. 農業環境技術研究所報告, **6**: 19-73.
- Nanzyo, M. (1991): Stoichiometry for the decrease in the amount of phosphate-induced negative charges of clay fractions of Andisols. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **37**: 357-361.
- 日本化学会 (1993): 電解質溶液の電気伝導率と電解質およびイオンのモル伝導率, *In 化学便覧基礎編. 改訂4版*, pp. 445-454, 丸善, 東京.
- 西尾道徳 (2002): 土壌微生物と物質循環 1. 物質循環に起因した農業環境問題と土壌微生物. 土肥誌, **73**: 185-191.
- Seki, K., Miyazaki, T. and Nakano, M. (1998): Effects of microorganisms on hydraulic conductivity decrease in infiltration. *Eur. J. Soil Sci.*, **49**: 231-236.
- Shoji, S., Nanyo, M. and Dahlgren, R.A. (1993): Melanic Andisol, *In Volcanic Ash Soils—Genesis, Properties and Utilization—*, pp. 23-27, Elsevier, Amsterdam.
- Yokota, T., Ito, T. and Saigusa, M. (2003): Measurement of total phosphorus and organic phosphorus contents of animal manure composts by the dry combustion method. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **49**: 267-272.

受稿年月日: 2004年9月6日

受理年月日: 2004年11月29日