

# 堆肥の施用による土壌物理性改良効果の評価

誌名	東京農業大学農学集報
ISSN	03759202
著者名	藤川,智紀 中村,貴彦 駒村,正治
発行元	東京農業大学
巻/号	57巻4号
掲載ページ	p. 267-274
発行年月	2013年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# 堆肥の施用による土壌物理性改良効果の評価

藤川智紀\*・中村貴彦\*・駒村正治\*\*

(平成 24 年 8 月 23 日受付/平成 24 年 10 月 19 日受理)

**要約:** 堆肥による土壌物理性の改良効果については、改良に至るメカニズムや施用方法と効果の定量的な関係が十分に明らかにされているとは言えない。本研究では、より均質な間隙構造の試料を作成できる攪乱土壌と堆肥を混合して土壌物理性を測定し、堆肥の種類、量および土壌の締め固め強度が混合後の土壌の物理性および間隙の量や大きさに与える影響を検討した。牛ふんを原料とする堆肥は、土壌への混合量の増加にとともに、気相率や間隙率が低下するにも関わらず通気係数や飽和透水係数が大きくなった。保水性の測定からは混合量の増加に伴い大きな間隙の割合が増加することが示されており、大きな間隙が通気性や透水性の上昇に寄与したと考えられた。一方、腐葉土を混合した試料の飽和透水係数はもとの土壌より大きくなったものの、通気係数はほとんど変化しなかった。腐葉土を混合した試料では締め固めの強度が大きくなって通気係数や飽和透水係数の低下の割合が小さかった。保水性の測定からは腐葉土の作り出す大きな間隙は圧縮されにくいことが示された。堆肥の形状や大きさによって、作り出される間隙の大きさや量、圧縮への耐性に違いがあることが示唆された。

**キーワード:** 火山灰土, 間隙構造, 室内実験, 攪乱土壌, 土壌改良

## 1. はじめに

古くより畜産廃棄物や収穫残渣を原料とする堆肥には肥料効果があることが知られており、これまでに多くの研究でその効果が検証されてきた<sup>1)</sup>。平成 11 年には「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が制定、平成 19 年には「家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針」が策定され、各地で畜産環境対策の促進が図られると共に、近年ではリサイクル意識の高まりから、食品加工残渣や食品廃棄物（例えば、コーヒー粕<sup>2)</sup>）の堆肥化についても研究および実証が進められている。

堆肥に含まれる肥料成分に対する施肥後作物の生育に有効となる成分の割合は肥効率と呼ばれる。肥効率は土性<sup>3)</sup>や堆肥の理化学性<sup>4)</sup>に影響を受けることが知られており、堆肥の種類に応じた現場での施用量の検討、利用のためのガイドライン策定<sup>5)</sup>や特定の土壌における最大収量を得るための堆肥施用量の検討<sup>6)</sup>が進められている。

一方、堆肥には肥料としての効果だけでなく、土壌の物理的・化学的・生物学的性質を向上させる土壌改良材としての効果も期待される<sup>7)</sup>。青森県の調査<sup>8)</sup>では、農家が堆肥に期待する点として「土壌改良材としての効果」を挙げているが、堆肥の有する土壌改良材としての効果は未だ定性的な議論に留まっている。土壌理化学性の改良効果を定量的に評価し、期待する土壌理化学性の目標値に合わせた堆肥の施肥計画を提案することが今後の堆肥利用を増やすのに有効であると考えられる。

堆肥によって改良される理化学性のうち土壌物理性に注

目すると、一般的に堆肥の施用により土壌が柔らかくなると同時に、透水性や保水性などの土壌水の挙動に関する性質が改良されると言われている<sup>9)</sup>。これらの土壌物理性は土壌粒子の作る土壌間隙の大きさや形状、量（間隙構造）に大きく依存するため<sup>10)</sup>、堆肥の施用後、間隙構造がどのように変化するかが明らかになれば、他の土壌物理性の変化についても予測することができると考えられる。これまでに、堆肥を施用した圃場では施用していない圃場において、乾燥密度が下がること<sup>11,12)</sup>や柔らかくなること<sup>13)</sup>、透水性が上がること<sup>11,13)</sup>、保水性が異なること<sup>12)</sup>が報告されている。物理性の改良効果に関する研究は長期の運用効果に注目する研究が多く、上記の物理性改良効果の原因を団粒構造の発達による間隙構造の変化から考察するものが多い。一方、土壌へ異物となる堆肥を混合した場合、混合直後から堆肥と土壌粒子および堆肥同士の作る空間が新たな間隙となると同時に、多孔質や中空の堆肥の場合は堆肥自身の有する空間が土壌間隙として振る舞い、土壌物理性に変化が生じると考えられる。堆肥には短期間の透水性・排水性の改良も期待されることが多く、この様な施用直後の土壌物理性の変化に関しても効果を明らかにする必要があるが、研究例は少ない。さらに、堆肥施用後の物理性改善効果の時間変化に関しても、堆肥に含まれる有機物が土壌微生物を活性化することで、土壌粒子が団粒化し、透水性、保水力、保肥力が改善される一方で、堆肥が微生物に分解され、堆肥によって新たに作り出された間隙が消失し、土壌物理性の改善効果も徐々に低減することも予想される。この様に、堆肥混合後の土壌物理性の変化を予測するため

\* 東京農業大学地域環境科学部生産環境工学科

\*\* 東京農業大学名誉教授

には、初期に堆肥によって作り出された間隙の影響とその後堆肥自身が分解される影響、微生物による団粒形成の影響のそれぞれを明らかにする必要がある。

これまで、堆肥の肥料効果に関する試験は、主に圃場でおこなわれてきた<sup>11-14)</sup>。圃場での試験では圃場に特有の空間的な不均一性（空間変動性）の影響を相殺するために、多くの反復数が必要となる。通常圃場では土壌物理性の測定のために多量の土壌試料を採取することが困難な場合が多く、そのため、一度の試験における条件数も限られる。また、気温や降雨などの気象条件の変化が堆肥の効果に及ぼす影響も強く、異なる種類の堆肥や土性でその効果を比較することが難しい。それに対し、圃場に存在するマクロな間隙の影響は評価できないものの、より均質な攪乱試料を用いて水分量や温度を制御した室内でおこなうことで、堆肥による土壌間隙および土壌物理性の変化のメカニズムをより詳細に分析する方法が有効になると考えられる。しかし、これまでに室内試験で堆肥の物理性改良効果を評価した例は見あたらず、堆肥の混合方法や土壌の充填方法についての情報はほとんどない。攪乱試料を用いた室内での土壌理化学性評価試験の各種条件と測定データを蓄積することは、堆肥の土壌改良材としての効果を評価する上で意義があると考えられる。

そこで本研究では、攪乱土壌試料を用いた室内実験をおこない、土壌の間隙構造の変化に注目して堆肥施用直後の土壌物理性の変化を明らかにすることにした。

## 2. 試料および方法

### (1) 試料

土壌試料を東京農業大学エコテググリーンハウス<sup>15)</sup>内の圃場から採取した。圃場内の1年以上栽培が行われていない区画において表層0~15cmから採取し、2mmふるいの通過分を実験に用いた。堆肥の混合および充填の作業を行いやすくするために、この試料に採取時の土壌に対して質量ベースで1/10の水を加えた。堆肥として、市販の乾燥牛ふん堆肥（副資材として籾殻を混合、以下、牛ふん堆肥）と腐葉土を用いた。土壌および堆肥の物性値を表1に、粒径組成を表2に示す。土壌は火山灰由来の黒ボク土であり、粒度試験の結果Sandy Loam (SL)と判断された。牛ふん堆肥は籾殻が目に見える形で残っており、全体としても粒状の画分が多く、腐葉土には棒状の茎や平板状の葉が多く含まれており、牛ふん堆肥よりも大きな画分が多

かった。

採取した土壌に、堆肥を所定の質量割合で混合した（以下、混合試料）。本研究では、採取時の水分状態の土壌試料と堆肥の質量の比を混合比と定義した。混合比は、0（堆肥を混ぜない土のみ）と、牛ふん堆肥を混合する条件では0.15, 0.30, 0.45の4種類、腐葉土を混合する条件では0.05, 0.15の2種類とした。なお、混合比0.05は、栽培時の湿潤密度(0.90 g cm<sup>-3</sup>)の土壌に対して、深さ10cmまで堆肥を混合した時に4.5 kg m<sup>-2</sup> (= 4.5 t/10a)の施用に相当し、各条件は堆肥の混合の影響を強調するために、通常の施用量(畑で1.5~4 t/10a: 地力増進基本指針<sup>16)</sup>)よりも多めに設定した。

混合試料を混合試料との接地面積が10cm<sup>2</sup> (直径3.6cm)、質量790g, 1,100g, 2,100gの3種類の円柱を用いてサンプラーに充填した。それぞれの円柱の底面にかかる圧力（以下、締め固め強度）は76, 100, 200 kPa (77, 110, 200 gf cm<sup>-2</sup>)に相当する。締め固め強度は人間の踏圧（体重50kg, 両足の面積400cm<sup>2</sup>で120kPa）を参考に設定した。混合試料約30gを100cm<sup>3</sup>定積コアサンプラー（直径5cm, 高さ5.1cm: 以下サンプラー）に入れ、場所をずらしながら器具を静かに20回置いて締め固めた。一層が締め固まったら次の層との接続を良くするために表面を攪乱し、再度約30gを入れ、同様に締め固めた。この作業を3回繰り返して、サンプラーに試料を満たした。なお、2層目以降、混合試料をサンプラーに入れる際にサンプラーから試料が溢れそうな場合には、空のサンプラーを上重ねてその上から締め固めた。3回目の試料の充填でサンプラーが一杯にならないことが予想される場合には、30gより多くの試料をいれて締め固め、サンプラーから溢れた試料（高さが高くなった分）を削り取り、試料を成形した（以下、充填試料）。締め固め強度76kPaの円柱を用いて圃場から採取した水分状態の土壌試料を充填したところ、湿潤密度は0.95 g cm<sup>-3</sup>と

表1 試料土壌および堆肥の物性値

	含水比 (%)	強熱減量 (%)	土粒子密度 (g cm <sup>-3</sup> )
土	24	18.4	2.65
牛ふん堆肥	167	88.7	—
腐葉土	182	73.1	—

表2 試料土壌および堆肥の粒径組成

	粒度 (%)						
	2mm以上	2~1mm	1~0.5mm	0.5~0.2mm	0.2~0.02mm	0.02~0.002mm	0.002mm以下
土	-	12.7	22.1	14.7	33.4	16.1	1.0
牛ふん堆肥	23.7	22.6	27.1	6.0	(20.6)		
腐葉土	63.6	12.9	11.6	4.3	(7.7)		

注1 粒度は0.2mmまでは湿式篩別法、0.2mm以下はピペット法（土のみ）

注2 堆肥粒度の（ ）内の数字は0.2mm以下の画分

なり、圃場の栽培時の湿潤密度  $0.90 \text{ g cm}^{-3}$  より若干高い値を示した。設定した堆肥の混合比、土壌水分量、締め強度の各条件について、充填試料を3試料作成した。

(2) 測定

充填試料の湿潤質量から求めた湿潤密度 ( $\rho_t [\text{g cm}^{-3}]$ ) および含水比 ( $\omega [\%]$ ) 定時の水の密度 ( $\rho_w [\text{g cm}^{-3}]$ ) から、以下の式を用いて乾燥密度 ( $\rho_d [\text{g cm}^{-3}]$ ) および体積含水率 ( $\theta [\%]$ ) を算出した。

$$\rho_d = \rho_t / (1 + \omega/100)$$

$$\theta = \rho_d \times \omega / \rho_w$$

なお、含水比を求めるための炉乾は土壌で一般的に用いられる  $105^\circ\text{C}$ 、24 時間とした。また、実容積計 (DIK-1120) を用いて混合試料の実容積 ( $v [\text{cm}^3]$ ) を測定し、気相率 ( $\alpha [\%]$ ) および固相率 ( $\sigma [\%]$ ) を計算した。

$$\alpha = 100 - v$$

$$\sigma = 100 - \alpha - \theta$$

実容積測定後、通気係数測定装置 (DIK-5001) を用いて通気係数を測定した。通気実験は3回おこない、通気係数の算出に用いる通気時間は平均値を用いた。通気係数測定後、試料を下方から12時間以上飽和し、変水頭法により飽和透水係数を測定した。スタンドパイプによって設定した初期水位は試料上端より  $17.4 \sim 18.5 \text{ cm}$  であり、透水試験の水位差は  $9.8 \sim 10.2 \text{ cm}$  であった。透水試験も3回おこない、その平均値を用いて飽和透水係数を算出した。

飽和透水係数を測定した試料を加圧盤法で加圧、排水し、試料の水分保持特性を測定した。試料に pF2.0, 2.5, 3.0 に相当する  $0.10, 0.32, 1.0 \text{ MPa}$  (それぞれ、 $100, 316, 1000 \text{ cm H}_2\text{O}$ ) の圧力を掛け、余剰水を排水した。加圧した期間は pF2.0 で2~3日、pF2.5 で3~5日、pF3.0 で7日である。それぞれの圧力で加圧した試料の含水比を測定し、この含水比と充填時の乾燥密度からそれぞれの pF に相当する試料の体積含水率を算出した。透水係数の測定や加圧後に試料に最大  $3 \text{ mm}$  程度の収縮が見られたため、収縮の大きい試料 (目安として  $1 \text{ mm}$  以上) については収縮分を体積含

水率の測定時に補正した。

3. 結果および考察

(1) 堆肥の混合量が土壌物理性に及ぼす影響

充填圧  $76 \text{ kPa}$  で充填した試料の混合比と乾燥密度の関係を図1に示す。牛ふん堆肥および腐葉土の混合比が高くなるのに従い、乾燥密度は小さくなった。三相分布の測定結果 (図2) からは、牛ふん堆肥や腐葉土を混合した試料の固相率は元の土壌の気相率より小さくなっていないことが示されており、堆肥の混合による乾燥密度の低下が、混合した堆肥の比重が土壌粒の比重が小さいことに起因すると推測された。堆肥混合による固相率の変化に注目すると、牛ふん堆肥では固相率がほとんど変化しないのに対し、腐葉土では混合比の増加にともない固相率が増加することが明らかになった。土壌粒子より大きな牛ふん堆肥や腐葉土を混合することにより新たな間隙が作られ、より間隙率 ( $100\%$  から固相率を引いたもの) が増加するという予想とは反した結果であった。牛ふん堆肥よりさらに大きな腐葉土を混合したにも関わらず固相率が大きくなった理由として、細い茎や薄い葉を含む腐葉土によって作られた間隙は

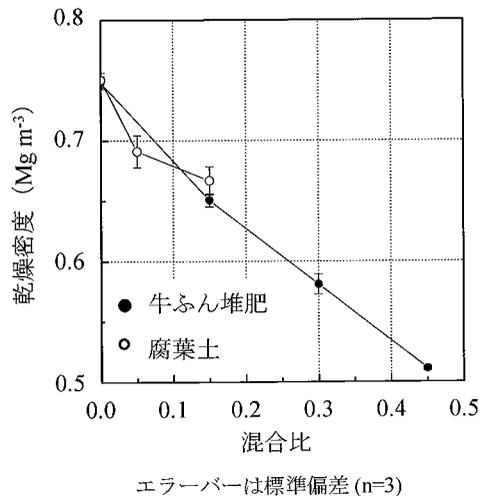


図1 堆肥の混合比と充填試料の乾燥密度

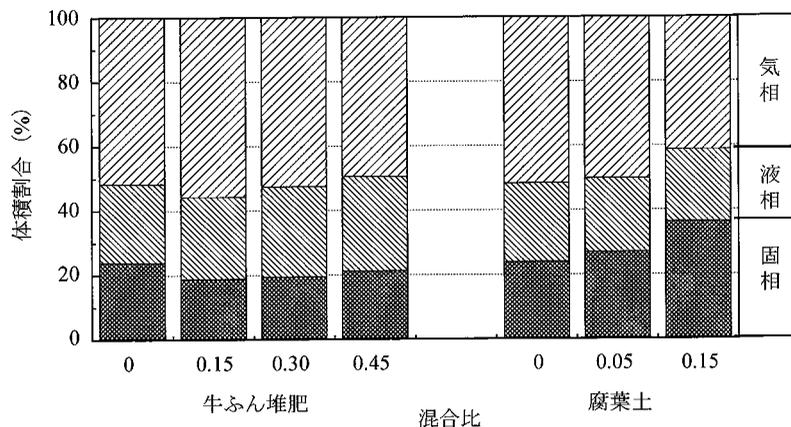


図2 堆肥の混合比と充填試料の三相分布

粒状の牛ふん堆肥によって作られる間隙より構造が単純で土壌粒子が内部まで容易に入ることができた可能性や茎や葉が変形しやすく充填時に間隙が消失した可能性が考えられる。さらに腐葉土の混合時に混合比の増加に伴って混合試料の間隙率が小さくなった原因として、堆肥の水分による土壌水分量の増加によって土壌が締め固められた可能性や、充填時に堆肥が収縮・変形もしくは破壊している可能性があげられる。

混合比と通気係数および飽和透水係数の関係を図3に示す。牛ふん堆肥については混合比が上昇するに伴い、通気係数や飽和透水係数が大きくなった。混合比0.45において、通気係数はもとの土壌の17倍に、飽和透水係数は2.4倍になった。一般的な施用量よりも極端に多い量を混合しているにもかかわらず、透水性の上昇が2倍程度と小さかった原因として、今回試験に用いた土壌が火山灰由来の黒ボク土であり充填時の乾燥密度が小さく、間隙率が高かったために、堆肥によって新たに生じた間隙の効果があまりでなかったと考えられる<sup>17)</sup>。同様の試験を粘土質土壌のような充填時の密度が大きく、充填後の間隙が小さい土壌でおこなう場合には、堆肥混合の透水性や通気性の効果がより明確に表れると予想される。一方、腐葉土を混合した場合、通気係数に関しては元の土壌よりも大きくなったものの、飽和透水係数はほとんど変化せず、逆に小さくな

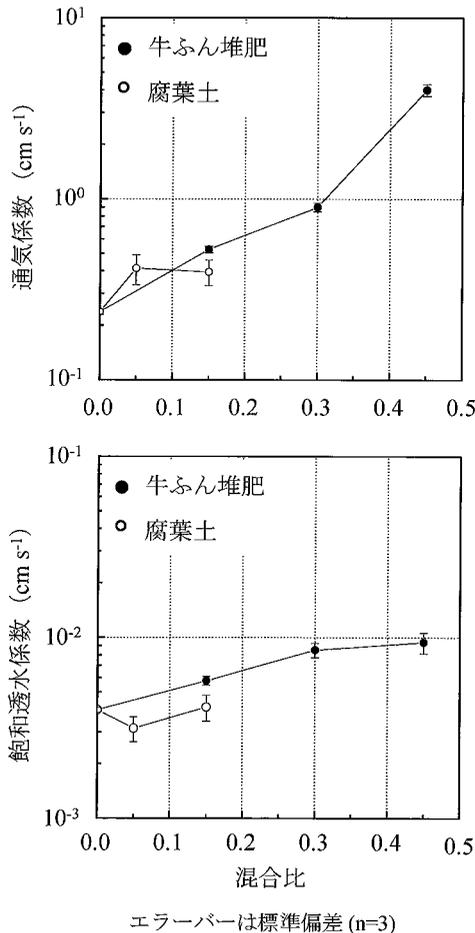


図3 堆肥の混合比と充填試料の通気係数および飽和透水係数

ることがあった。堆肥の施用に関する既往の研究ではこのような結果は見られないものの、工業用水の浄化時に排出される浄水ケーキを土壌改良材として土壌に混合した場合にも飽和透水係数が低下する現象が観察されており<sup>18)</sup>、混合する資材の大きさや施用量によっては期待する効果と反対の効果が現れる危険性があることが示唆されたと言える。

通気係数に影響すると考えられる試料の気相率と通気係数の関係および、飽和透水係数に影響すると考えられる試料の間隙率(100%から固相率を引いたもの)と飽和透水係数の関係を図4に示す。通常は気相率や間隙率の上昇に伴い通気係数や飽和透水係数は大きくなるが、牛ふん堆肥を混合した試料では通気係数も飽和透水係数も小さくなった。通気係数や飽和透水係数は空気や水の通り道となる気相や間隙の量だけでなく、その太さや曲がり具合(屈曲度)にも影響を受ける<sup>19)</sup>。特に太さに関しては、通気や透水現象の流れはハーゲン・ポアズイユ則に従い、同じ断面積(間隙率)であれば管の太さが太いほど、本数は少なくとも流量が大きい。牛ふん堆肥の混合によって気相率や間隙率が小さくなったにもかかわらず、通気係数や飽和透水係数が大きくなったことから、堆肥の混合後の試料内にできた間隙が、全体積は元の土壌よりも小さいが、太く、屈曲度が小さかったと推測される。

pF試験による土壌の水分特性を表3に示す。堆肥を混合することにより、pF2.0の体積含水率が増加しているが、pF2.5の体積含水率の変化は小さい。間隙を毛管と仮定し

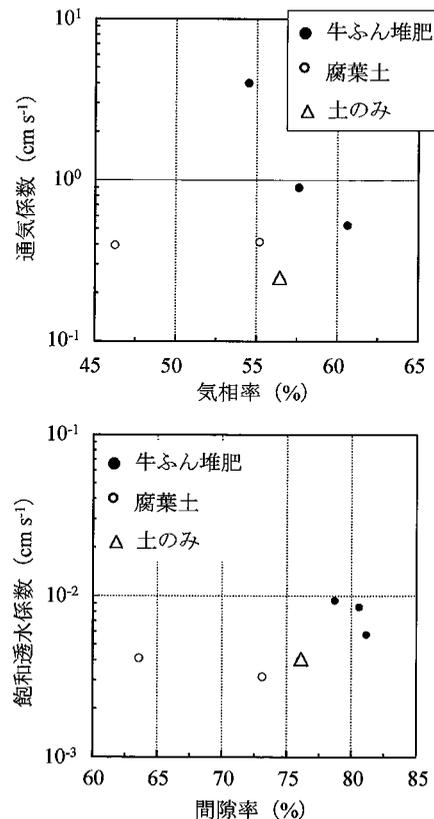


図4 充填試料の気相率と通気係数および間隙率と飽和透水係数

表 3 混合比の変化に伴う充填試料の水分特性の変化

混合比	間隙率 (%)	体積含水率 (%)			保水量 (%)		
		pF 2.0	pF 2.5	pF 3.0	~pF 2.0	pF2.0~2.5	pF 2.5~3.0
土のみ (0)	76.1	43.0	36.6	27.6	33.1	6.3	9.1
牛ふん堆肥	0.15	81.2	46.5	35.4	27.5	34.6	11.1
	0.30	80.6	46.4	35.2		34.2	11.2
	0.45	78.7	40.7	33.3		38.2	7.4
腐葉土	0.05	73.1	50.2	36.6	31.9	22.9	13.6
	0.15	63.6	43.9	35.5	28.5	19.7	8.4

注1 保水量はそれぞれのpF範囲の上限と下限の体積含水率の差から計算

注2 牛ふん堆肥混合率0.30, 0.45はpF3.0の測定結果が欠損

た場合、間隙径と保水力には反比例の関係があり<sup>20)</sup>、pF2.0, 2.5, 3.0に相当する間隙の間隙径はそれぞれ $1.2 \times 10^{-2}$ ,  $3.8 \times 10^{-3}$ ,  $1.2 \times 10^{-3}$ mmと考えられる。それぞれのpFの間で保持される水分量(保水量)を計算すると、牛ふん堆肥を混合した試料ではpF2.0以下およびpF2.0~2.5の保水量が増加することが分かった。この結果は通気係数や透水係数の測定から牛ふん堆肥を混合することにより太い間隙が増加していると考えた仮説を支持している。一方、腐葉土の腐葉土を混合した試料ではpF2.0以下の保水量は減少しpF2.0~2.5の保水量が増加した。小さい画分の多い牛ふん堆肥の方が腐葉土より大きな間隙を多く作り出したことから、堆肥の混合によって作られる間隙の大きさは堆肥自身の大きさだけでなく、粒状、棒状、平板状といった形状にも影響を受けることが示唆された。pF2.0とpF3.0の体積含水率の差で表される生長有効水分量(植物の根が利用可能と考えられる土壌水分量)は牛ふん堆肥(混合比0.15で19.0%)、腐葉土(混合比0.05で18.3%)ともに混合することで土のみ(15.4%)よりも大きくなった。しかし、腐葉土では混合比を増やしたときに生長有効水分量も減少する傾向がみられ、多量の施用が特定の物理性の改善にとって逆効果になる危険性が改めて指摘された。今後、さらに多くの土壌、堆肥で同様の測定をおこなうことにより、堆肥の大きさや形状、自身に含まれる空隙が、混合後の間隙構造にどのような影響を与えるかを明らかにすることが期待される。

## (2) 土壌の締め固めに対する堆肥混合の影響

土のみ(混合比0)、牛ふん堆肥(混合比0.15)および腐葉土(混合比0.05)を充填した試料の締め固め強度と乾燥密度の関係を図5に、締め固め強度と三相分布を図6に示す。より大きな力を用いて締め固めをおこなった既往の研究<sup>21)</sup>同様、どの試料についても、締め固め強度が大きくなるのに従い、乾燥密度と固相率は大きくなった。牛ふん堆肥を混合した試料の乾燥密度が締め固め強度の増加に対して直線的に増加したのに対し、土のみの試料と腐葉土を混合した試料では締め固め強度100kPaと200kPaの乾燥密度の差が小さく、また、それぞれの強度における土のみの試料と腐葉土が混合した試料の乾燥密度の差も変化していない。締め固め強度76kPaと200kPaの間隙率の差を取ると、牛ふん

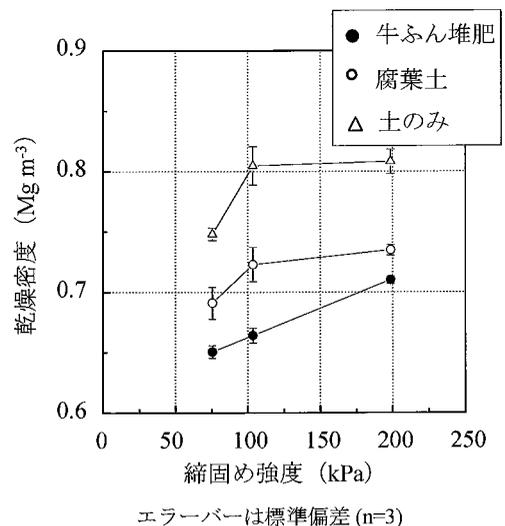


図 5 締め固め強度と充填試料の乾燥密度

堆肥を混合した試料の間隙率の低下(81.2%から61.8%)が最も大きく、土のみの試料(76.1%から61.8%)、腐葉土を混合した試料(73.1%から71.7%)の順となった。堆肥の種類によって、締め固め強度と乾燥密度、間隙率の関係が異なることが明らかになった。

締め固め強度の変化に伴う充填試料の通気係数と飽和透水係数の変化を図7に示す。各混合試料の通気係数、飽和透水係数共に、締め固め強度が大きくなるに従い減少した。通気係数は牛ふん堆肥を混合した場合も腐葉土を混合した場合も、土のみの試料よりも大きくなった。土のみの試料と牛ふん堆肥を混合した試料では締め固め強度に対して直線的に通気係数や飽和透水係数が減少するのに対し、腐葉土を混合した試料の通気係数と飽和透水係数は締め固め強度が大きくなってでもそれ程減少しなかった。飽和透水係数については締め固め強度76kPaでは腐葉土を混合した試料が最も小さかったが、締め固め強度200kPaでは土のみや牛ふん堆肥を混合した試料よりも大きくなった。

表4に示す各試料の水分特性からは、土のみの試料では締め固め強度が76kPaから100kPaになると急激にpF2.0以下の保水量が低下するのに対して、牛ふん堆肥を混合した試料では76kPaから100kPaと100kPaから200kPaで

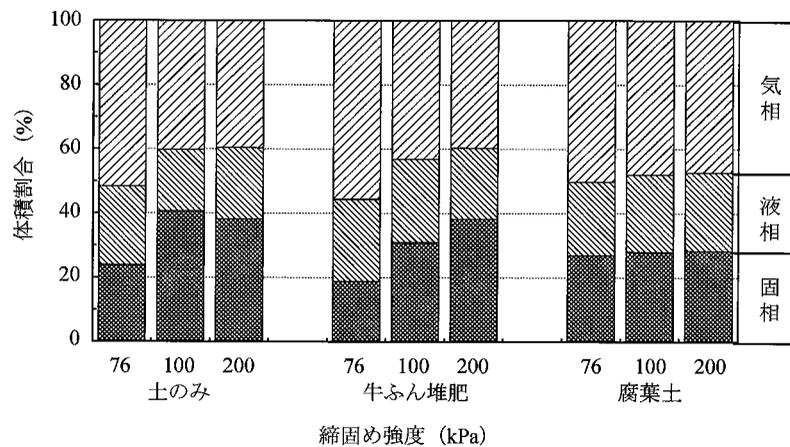
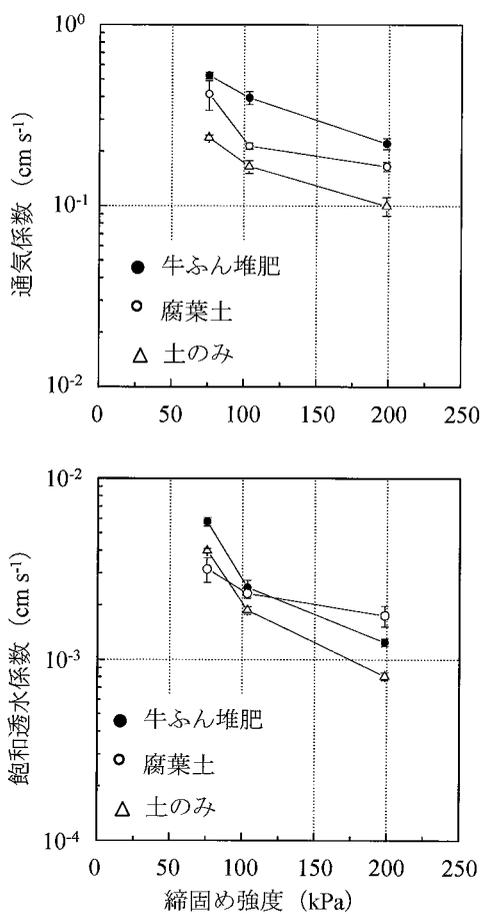


図 6 締め固め強度と充填試料の三相分布



エラーバーは標準偏差 (n=3)

図 7 締め固め強度と充填試料の通気係数および飽和透水係数

の低下量がほぼ同じこと、腐葉土を混合した試料では低下量が小さいことが明らかになった。このような締め固め強度に対する堆肥の効果の違いの原因として、堆肥の大きさや堅さの影響が考えられる。枝や葉といった、大きく堅い画分が多い腐葉土では腐葉土同士、または腐葉土と土の間に生じる大きな間隙が圧縮に強く、締め固め後も大きな間隙が残ったために、大きな力で締め固めても飽和透水係数が

あまり減少しなかったと考えられる。堆肥の種類によって、作り出す間隙の大きさだけでなく、締め固めへの抵抗も異なることが明らかになった。混合物によっては充填圧が変わると透水性が最大となる混合量も変化することも指摘されており<sup>18)</sup>、圃場において堆肥の効果を予想する際には、どれくらいの締め固めがあるか、例えばトラクターの大きさや畝立ての有無、耕盤層の有無にも注意が必要と言える。

#### 4. まとめ

堆肥の混合に伴う土壌の間隙構造の変化が通気性や透水性、保水性に与える影響を明らかにするために、より均質な間隙構造の試料を作成できる攪乱土壌と堆肥を混合して土壌物理性を測定し、以下の知見を得た。

牛ふんを原料とする堆肥と腐葉土を土壌に混合したところ、混合量が増加するのに従い乾燥密度は低下した。牛ふん堆肥を混合した試料の通気係数や飽和透水係数も混合量の増加に伴い大きくなったが、腐葉土を混合した試料の飽和透水係数はもとの土壌より大きくなったものの、通気係数はほとんど変化せず、混合量によっては小さくなることがあった。気相率と間隙率および通気係数と飽和透水係数の関係からは、通常の土壌と異なり、牛ふん堆肥の混合により気相率や間隙率が低下しているにもかかわらず通気係数や飽和透水係数が大きくなることが明らかになった。保水性の測定からは、牛ふん堆肥を混合することにより、径の大きな間隙が増加することが示されており、このことが間隙の全体積が減少したにもかかわらず透水性が上昇した原因であると考えられる。

堆肥を混合した試料を異なる圧力で締め固めたところ、牛ふん堆肥を混合した試料に比べ、腐葉土を混合した試料では締め固めの強度が大きくなって通気係数や飽和透水係数の低下の割合が小さかった。保水性の測定からは、腐葉土の作り出す大きな間隙は締め固めの強度を大きくしても圧縮されにくいことが示されており、堆肥の形状や大きさによって、作り出される間隙の圧縮への耐性にも違いがあることが示された。

今後の課題として、異なる土性の土壌や異なる種類の堆肥を用いた測定を行い、堆肥の大きさや形、混合量と土壌

表 4 締固め強度の変化に伴う充填試料の水分特性の変化

	締固め強度 (kPa)	間隙率 (%)	体積含水率 (%)			保水量 (%)		
			pF 2.0	pF 2.5	pF 3.0	~pF 2.0	pF2.0~2.5	pF 2.5~3.0
土のみ	76	76.1	43.0	36.6	27.6	33.1	6.3	9.1
	100	59.3	51.3	37.9	36.4	8.0	13.4	1.5
	200	61.8	52.0	41.0	37.7	9.8	11.1	3.3
牛ふん 堆肥	76	81.2	46.5	35.4	27.5	34.6	11.1	7.9
	100	69.1	45.8	35.3	34.0	23.3	10.5	1.3
	200	61.8	54.1	43.8	41.4	7.7	10.3	2.4
腐葉土	76	73.1	45.5	36.8	29.5	27.6	8.7	7.3
	100	72.0	49.7	37.2	34.0	22.3	12.5	3.1
	200	71.7	50.1	39.1	34.8	21.6	11.0	4.3

注 保水量はそれぞれのpF範囲の上限と下限の体積含水率の差から計算

物理性の関係のデータを蓄積すると共に、堆肥施用から長時間経過したときの間隙構造の変化や土壌物理性の変化を明らかにすることがあげられる。また、今回攪乱試料で得られた結果と現場の土壌における効果の関係についても明らかにする必要がある。

#### 引用文献

- 1) 羽賀清典 (2009) 家畜ふん尿の新処理・利用技術と課題 1. 連載開始にあたって. 土肥誌. 81 (4) : 410-412.
- 2) 若澤秀幸, 高橋和彦, 望月一男 (1998) コーヒー粕とパークの混合堆肥化. 土肥誌. 69 (1) : 7-11.
- 3) 三浦憲蔵, 西尾 隆 (2004) ニンジン作の窒素収支と土壌溶液硝酸態窒素濃度に及ぼす有機質資材施用と土壌タイプの影響. 土肥誌. 75 (4) : 459-465.
- 4) 佐藤紀男 (2010) コマツナの連続栽培による各種有機質肥料の窒素肥効特性. 土肥誌. 81 (6) : 557-562.
- 5) 中央農業総合研究センター, 主な家畜ふん堆肥の窒素肥効とその有効利用法, ([http://taihi.dc.affrc.go.jp/doc/documents/how\\_to\\_use.pdf](http://taihi.dc.affrc.go.jp/doc/documents/how_to_use.pdf)) (最終アクセス 2012年8月23日)
- 6) 荒川祐介, 原 貴洋, 住 秀和, 高峰 (山口) 典子, 照屋寛由, 生駒泰基 (2011) 南西諸島の極酸性土壌における家畜ふん堆肥がソバの養分吸収と跡地土壌の化学性に及ぼす影響. 土肥誌. 82 (5) : 381-388.
- 7) 犬伏和之, 安西徹郎 (2001) 土壌学概論. 朝倉書店, 東京.
- 8) 小野嘉久 (2005) 堆肥利用推進のための問題点とその解決方法. 畜産環境情報. 30 : 16-20.
- 9) 土壌物理学会編 (1974) 土壌の物理性と植物生育. 養賢堂, 東京.
- 10) 宮崎 毅, 長谷川周一, 粕淵辰昭 (2005) 土壌物理学. 朝倉出版, 東京.
- 11) SINGH G, JALOTA S K, SINGH Y (2007) Manuring and residue management effects on physical properties of a soil under the rice-wheat system in Punjab, India. *Soil Till. Res.* 94 : 229-238.
- 12) 中津智史, 田村 元 (2008) 30年間の有機物 (牛ふんパーク堆肥および収穫残さ) 連用が北海道の淡色黒ボク土の全炭素, 全窒素および物理性に及ぼす影響. 土肥誌. 79 (2) : 139-145.
- 13) IQBAL M, KHAN A G, HASSAN A U, RAZA M W, AMJAD M (2012) Soil organic carbon, nitrate contents, physical properties and maize growth as influenced by dairy manure and nitrogen rates. *Int. J. Agric. Biol.* 14 : 20-28.
- 14) 北村明久, 久保田増栄 (1985) 鉍質畑の地力に対する有機物連用の影響 第一報 土壌中における各種有機物の分解と集積並びに土壌理科学生の変化と作物生育. 高知県農林技術研究所研究報告 17 : 63-77.
- 15) 駒村正治, 中村貴彦, 藤川智紀, 伊川 綾, 谷藤祥子, 中村好男 (2010) 点滴灌漑による灌漑水量と消費水量および灌漑効果—エコテックハウスにおける雨水利用と節水灌漑に関する基礎的研究 (その1)—. 東京農大農学集報. 54 (5) : 248-255.
- 16) 農林水産省, 地力増進基本指針の公表について, ([http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_dozyo/pdf/chi4.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/pdf/chi4.pdf)) (最終アクセス 2012年8月23日)
- 17) 六本木和夫, 石上 忠, 武田正人 (1993) 稲わら堆肥の連用が沖積畑土壌の理化学性に与える影響. 土肥誌. 64 (1) : 27-33.
- 18) 佐藤裕隆, 角田真一, 野中 晃, 浅野義人 (2000) 浄水ケキの施用が土壌の物理性・科学性およびクレーピングベントグラスの生育に及ぼす影響. 日緑工誌. 25 (4) : 361-366.
- 19) JURY W A, GARDNER W R, and GARDNER W H (1991) *Soil Physics*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- 20) 中野政詩, 宮崎 毅, 塩沢 昌, 西村 拓 (1995) 土壌物理環境測定法. 東京大学出版会, 東京.
- 21) 木村陽登, 藤原多見夫 (1995) 造成樹園地土壌の物理性改良効果持続に關する要因の検討. 土壌の物理性. 72 : 13-17.

# Estimation of Effects of Composts Mixing on Soil Physical Properties

By

Tomonori FUJIKAWA\*, Takahiko NAKAMURA\* and Masaharu KOMAMURA\*\*

(Received August 23, 2012/Accepted October 19, 2012)

**Summary** : A comprehensive understanding of changes in physical properties in soil after the mixing of compost is still lacking. The objectives of this study are to estimate the effects of the amount of cattle manure compost and leaf mold, and the compaction intensity of mixed soil, on soil physical properties and pore structure, such as pore volume and size distribution. Values of air permeability and saturated hydraulic conductivity increased with increase in the mixing compost, although the air filled porosity and total pore volume decreased. The inconsistency in the relationships between these porosities and air permeability and hydraulic conductivity is explained in terms of the increase in the fraction of large pores, which contributed to these conductivities greatly, increased by the compost mixing. The values of hydraulic conductivity of soils mixed with leaf mold increased with the increase of the mixing leaf mold but the changes in air permeability were negligibly small. The decreases in air permeability and hydraulic conductivity of the leaf mold-mixed soil with increases in the compaction intensity were smaller than those of the compost-mixed soil. The large pores made after mixing of leaf mold were more difficult to be compressed than those made by the compost. It is suggested that the shape and size of the mixing materials affect the structure of the pores that are made by the mixing and the physical properties of mixed soil.

**Key words** : Volcanic Ash Soil, Pore Structure, laboratory experiments, disturbed soil, soil improvement

---

\* Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

\*\* Emeritus Professor, Tokyo University of Agriculture