

群落遷移試験地における砂土、赤土、黒土の土壤特性と 裸地から7年後の変化

中村俊彦¹⁾・山本伸行²⁾・横地留奈子²⁾・鈴木英孝³⁾

¹⁾ 千葉県立中央博物館

〒260-8682 千葉市中央区青葉町 955-2

²⁾ (財)千葉県地域整備協会

〒260-0013 千葉市中央区中央 4-17-3

³⁾ サンコー環境調査センター

〒182-0025 東京都調布市多摩川 1-4-1

要 旨 千葉県立中央博物館生態園の群落遷移試験地において、黒土（畑土）、赤土（ローム土）、砂土（山砂）の3タイプの土壌を客土し、植物群落の遷移・成因にかかわる土壌特性について解析するとともに、裸地から7年後の植物群落と各土壌の組成・構造、また3タイプの土壌特性の違いについて調査研究した。砂土は、粗砂と細砂が90%を越え、容積重は3タイプの土壌の中でも最も高かった。また、土壌水分量は最も低い。水分張力は降水量の変動にかかわらず最も安定していた。砂土の全炭素、全窒素、C/N比、強熱減量、腐植、塩基置換容量、交換性塩基(Ca)の値は他に比べ明らかに低く、有効リン酸は他に比べ高い値であった。砂土の裸地表層の最高温度と日較差は土壌3タイプの中で最も高かった。赤土についてはシルトと粘土が60%を越え、三相組成では固相が少なく液相が多かった。土壌水分量は最も高いが、水分張力については降水量の変動に最も大きく影響された。全炭素をはじめ全窒素、C/N比、強熱減量、腐植、塩基置換容量、交換性塩基(Ca)は砂土と黒土のほぼ中間的値を示した。赤土の最高温度は他に比べ低く、日較差も年間を通して20℃を越えることはなかった。黒土は、粒径組成のうえではバランスのとれた土壌で、気相、液相、固相もほぼ三等分であった。土壌水分量および土壌飽和透水係数は砂土と赤土の中間であった。黒土の全炭素、全窒素、C/N比、強熱減量、腐植、塩基置換容量、交換性塩基(Ca)は他に比べ高かった。最高温度と日較差については、砂土と赤土の中間であった。7年後の群落は土壌による違いがみられ、出現種数では赤土の値が他に比べ低く、植被率については砂土で低かった。優占種は、それぞれ、砂土がニセアカシア、赤土はクズ、黒土はススキであった。また、各土壌とも腐植の堆積が顕著になり、A層の発達および全窒素や全炭素の増加が顕著であった。

キーワード: 土壌, 群落, 遷移, 赤土, 黒土, 砂土.

植生の組成や構造を第一義的に規定しているのは、気温や降水量のマクロな気候条件であるが、個々の植物群落の内容は、地形や土壌、人為等のミクロな環境条件と共にその発達状況、すなわち遷移にも影響される(沼田・中村, 1992)。とりわけ、土壌条件は植物群落の基質として重要であるばかりか、群落も基質の土壌に対し様々に影響する。

一方、植生基盤である土壌の形成は、その母材のほかに気候、生物、地形、時間、人間等の営力が大きくかかわっており、その土壌断面の形成、すなわち土壌の分化に直接かかわる営力の中心は、腐植の集積と土の中の水の移動であるといわれている(山根, 1980)。

地形の複雑な日本には様々なタイプの土壌がみられる。山口ほか(1997)は、関東ローム、黒ボク、砂質土、しらす、まさ土の5タイプの土壌の物理・化学的性質について報告している。このような土壌基盤と植生との関係についても様々な研究が報告されている。遷移初期の植物群落と土壌条件との関係については、

Tamura *et al.* (1986, 1991) が、二次遷移に伴う黒ボク土（黒色土）の物理・化学的特性の変化についての詳細な研究成果を報告している。海外の例では、Rebele (1992) が、ドイツのベルリンにおいて表土(topsoil)、荒土(ruderal soil)、砂(sand)の3タイプの土壌条件下の群落遷移の状況を5年間調査し、その群落変化と土壌との関係について報告している。

植物群落と土壌との関係について上記のような調査研究がなされているが、異なる土壌における両者の関係を総合的に調査研究した事例はまだ少ない。そこで我々は、日本の関東地方の平地に最も普通にみられる、黒土（畑土）、赤土（ローム土）、砂土（山砂）の3タイプの土壌について、各群落遷移の状況を詳細に調査解析するとともに、植物群落にかかわる各土壌特性の違い及び群落遷移による土壌の変化について調査研究中である。この研究の植物群落の動態については中村(1995)、Nakamura(1996)、岩瀬ほか(1998)に一部報告したが、これらはあくまでも予報的なもので、

その詳細については現在、調査データの解析中である。今回は、3タイプの土壌の特性についての解析結果及び、裸地からの群落遷移7年後の各土壌区での植物群落及び土壌の組成、構造的変化についての調査結果を報告するとともに、土壌と遷移に関する若干の考察を加えたものである。

調査地概要

調査は、千葉市の中心部にほど近い千葉県立青葉の森公園内の千葉県立中央博物館生態園内の生態実験園(北緯 35°35′ 東経 140°3′)の標高約 20 m の台地上で実施した。生態園とその周辺は、1917 年から 1980 年まで農林省畜産試験場であったが、現在はその大部分が 54 ha の都市公園となり、その中に生態園が位置する。

この地は暖温帯常緑広葉樹林(照葉樹林)域に位置し、年平均気温は 15.0℃、年降水量は 1250 mm である(気象庁, 1991)。周辺の潜在自然植生は、斜面から台地にかけてはシラカシ群集の典型群集又はケヤキ亜群集、また、谷底低地はクヌギ・ハンノキ群集または、ヨシ群落と判断されている(井出, 1982)。生態実験園は台地上にあり、下総層群の砂層の上の関東ローム層の上に褐色からやや淡い褐色の粘質の黒ボク土壌が覆っている(山口・中村, 1994)。

調査方法

1. 土壌条件の設定

調査を行った土壌は、砂土(山砂)、赤土(ローム

土)、黒土(畑土)の3タイプである。これらの土壌は1990年3月に生態園内の生態実験園の圃場に厚さ45 cm から70 cm で客土された。面積は砂土及び赤土が430 m²、黒土が438 m²である(図1)。砂土は1990年3月に青葉の森公園の造成時に地下約10 m から掘り出された成田層のもの、赤土及び黒土はともに千葉県八街町産の購入土である。赤土は造成地の関東ローム層から掘り出された土、黒土は台地上の黒ボク土起源の落花生畑の土壌である。

2. 群落調査

客土してから約1週間後、各土壌区に2 m×2 m の方形区を5ヵ所ずつ設定し、1990年4月から1996年10月まで年4回方形区内の植物群落の調査を実施した。調査項目は、出現種数、群落調査区全体の植被率、出現するすべての種についてのそれぞれの植被率及びそれぞれの最も高い個体の高さである。今回は1996年10月の調査結果のみを解析したが、各土壌区における出現種の平均植被率と平均植物高の値の積を算出し、これを出現各種の植物量として用いた。

出現種数、植被率、植物高のそれぞれについて、分散分析により土壌区間での比較を行った。試料数はいずれも5である。

3. 土壌断面調査

客土から約7年経過した1997年2月22～23日に各土壌区ごとに群落調査区の外で、また群落調査で踏圧されていないところを3地点ずつ合計9地点選定

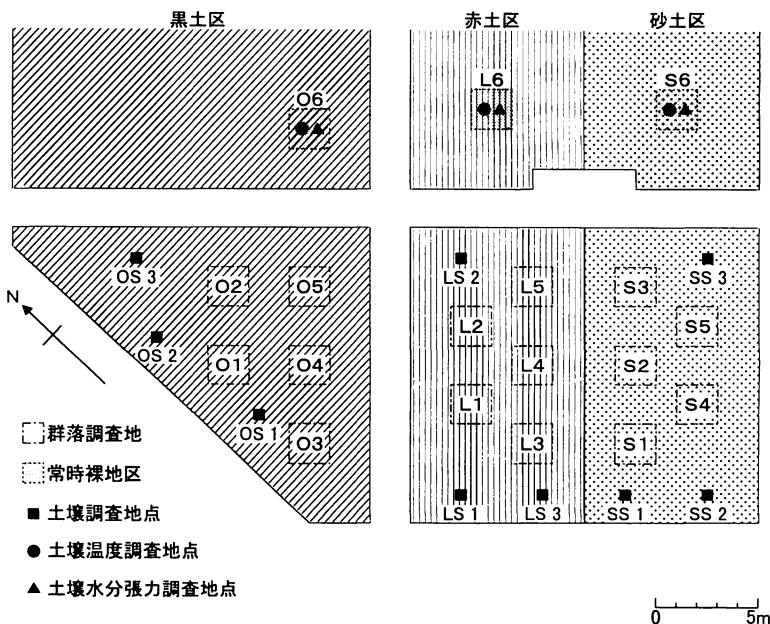


図1. 調査地の設定。

し、そこに幅1 m 深さ1 m 奥行き1 m の試坑を掘り土壌断面調査を実施した。それぞれの試坑断面のA層、B層と基盤土壌を確認し、各層の土壌構造、土色、土性、植物根、土壌硬度について調査記録した。土壌硬度は山中式硬度計を用いて、その貫入幅(mm)を記録した。

4. 理化学分析用試料のサンプリング

理化学分析用の土壌のサンプリングは客土の直後と客土約7年後の2回行った。第1回目のサンプルは、1990年3月27～29日に各土壌区において客土土壌のひきならし直後に約100 ml ずつ3ヵ所、計9ヵ所で採取した。第2回目は土壌断面調査の試坑を掘る際の1997年2月22日～23日に以下の方法で採取した。物理特性分析用の試料のサンプリングは各調査地点ごとに上層部(0～10 cm)、下層部(30～40 cm)の2ヵ所から合計18サンプルを採取した。この際、上層部はリターの層を除去した後に内容積100 ml の実容積測定用の試料円筒により採取し、下層部は深さ30 cm の地点より上層部と同じ円筒で採取した。化学特性分析用の試料のサンプリングは物理特性分析用試料と同様に土壌断面の試坑を掘る際に各調査地点ごと上層部(0～10 cm)、下層部(30～40 cm)の2ヵ所から合計18サンプルを採取した。上層部はリターの層を除去した後に約500 g を採取し、下層部は深さ30 cm の地点より約500 g を採取した。

5. 理化学分析手法

土壌の理化学特性の分析は、土壌標準分析・測定法委員会(1986)及び土質試験法第3回改訂版編集委員会(1990)に準じて実施した。

物理特性の分析は以下の方法で行った。三相分布は実容積測定法。土壌水分量(pF0, pF1.8, pF3.0)は砂柱法及び加圧板法。粗大孔隙はpF値より算出した(pF1.8のときの気相の割合)。有効水分はpF値より算出した(土壌水分量pF3.0とpF1.8との差)。飽和透水係数は定水位法・変水位法。粒径組成はJIS A 1204(ふるい法及び沈降法)。圃場容水量はpF1.8のときの土壌水分量。

化学特性の分析は以下の方法で行った。pH(試料の2.5倍のH₂O及びKCl)はガラス電極法。塩基交換容量はセミマイクロローレンベルガー法。交換性カルシウムは原子吸光法。交換性カリウムは炎光光度法。腐植は土質工学会基準JSF T 232-1990。全炭素は乾式燃焼法(CNコーダーによる)。全窒素はケルダール法。有効磷酸(可給態磷酸)はトルオーグ法及びブレイ法。電気伝導度は1:5水浸出法。強熱減量は土質工学会基準JSF T 221-1990。

化学特性結果の各項目については、3タイプの土壌の上層、下層あわせた分散分析を行った。さらに全て

の分析結果は、各土壌ごとに、1990年の上層と1997年の上層との間、また1997年の上下の層間についてそれぞれt検定をおこなった。試料数はいずれも3である。

6. 土壌温度・気温・土壌水分張力調査

土壌温度の測定は、各土壌区ごとに1地点ずつ随時除草を行う裸地区(2 m × 2 m)を設け、その地表部(深さ2 cm)にサーミスタセンサ(JIS規格6 kΩ/0℃)を1991年7月22日に設置し、全天候型測定データ記録装置(KADEC-U コーナシステム(株))により30分ごとの値を1991年8月1日から1992年10月31日まで連続測定した。土壌温度の最高値、最低値、平均値等の値は30分ごとの値より求めた。ただし、土壌の日温度較差はこのデータの1時間平均値の日最高値と日最低値の差として求めた。

土壌水分張力は、各土壌区ごとに1地点ずつ真空式テンシオメーター(竹村電気製作所DM-8)を1991年7月22日に設置し、地下20 cm の水分張力を1991年7月25日から1991年12月27日までの期間毎日1回おおむね13時に測定した。

気温及び雨量の値は生態園総合気象観測装置(由良, 1994)による1991年8月1日から1992年10月31日までの連続測定値を利用した。気温の最高値、最低値、平均値等はこの連続測定値の毎正時ごとのデータより求めた。この観測装置は土壌調査地点から北西に約50 m のほぼ等しい標高の地点にある。

なお、今回の土壌の温度及び水分に関する継続的調査は、あくまでも植被の無い状況での測定であり、群落と土壌の温度・水分との関係については別途調査が必要である。

結 果

1. 7年後の植物群落

約7年間放置された場所の植物群落の状態は、各土壌区によって大きな違いを示した(表1)。分散分析の結果、出現種数と植被率には土壌区間で有意な差がみられた(いずれも $p < 0.001$)が、植物高では有意差がなかった($p > 0.05$)。

出現種数の平均値は大きい順に、黒土区、砂土区、赤土区であり、黒土区と砂土区は同程度で両者に有意差は認められなかったが、赤土区ではこれらに比べて明らかに少なかった。植被率の平均値は赤土区が最も高く、黒土区、砂土区の順であった。この赤土区と黒土区の間には有意差は認められなかったが、砂土区ではこれに比べ明らかに低い値を示した。また、植物高は、砂土区が最も高く、つづいて黒土区、赤土区の順であったがその違いは有意な差ではなかった。

植物量の合計は、黒土区が最も大きく、次いで赤土区、砂土区の順であり、赤土区、黒土区に比べて砂土

表 1. 各土壌区の 7 年後の群落の状態. 調査日: 1996 年 10 月 23~24 日.

土壌区	砂 土			赤 土			黒 土		
	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果
出現種数(/4m ²)	14.6	(4.6)	a	4.6	(1.1)	b	16.0	(3.1)	a
植被率(%)	68.0	(13.0)	a	97.0	(1.9)	b	94.0	(6.5)	b
植物高(cm)	232	(105)	a	130	(16)	a	186	(22)	a

優占種	順位	種名	植物量※	種名	植物量※	種名	植物量※
	1	ニセアカシア	2,580	クス'	9,838	ススキ	6,370
	2	ヨモギ'	769	ススキ	2,352	フジ'	5,578
	3	セイタカアワダチソウ	527	セイタカアワダチソウ	1,484	ヌルデ'	2,400
	4	ススキ	502	ヨモギ'	547	チガ'ヤ	1,697
	5	チガ'ヤ	288	アス'マネサ'サ	532	セイタカアワダチソウ	1,480
	6	ハマスゲ'	112	トコロ	5	ヨモギ'	518
	7	セイハ'ンモロコシ	109	—	—	セイハ'ンモロコシ	126
	8	クス'	98	—	—	ネコハキ'	73
	9	メマツヨイク'サ	91	—	—	イタ'リ	72
	10	キ'ョウギ'シハ'	90	—	—	ムラサキシキブ'	40
	計		5,165	計	14,758	計	18,354

※: 植物量 (100cm³/m²) = 植被率平均 (100cm²/m²) × 植物高平均 (cm). a, b: post hoc テストの Fisher's PLSD による危険率 1% 検定による類別.

区は低い値を示した. 各土壌で植物量の高かった種は, 砂土区では, ニセアカシア, ヨモギ, セイタカアワダチソウ, ススキであり, 赤土区ではクス, ススキ, セイタカアワダチソウで, 黒土区ではススキ, フジ, ヌルデ, チガヤ, セイタカアワダチソウであった.

2. 土壌断面

客土してから 7 年後, 各土壌とも A 層と B 層の分化が確認された. また, 各土壌とも上から, 植物リターの集積した A₀ 層があり, 基質土と腐植がまざり合っている A 層については, 腐植が極めて多い A₁₁ 層とその下部の A₁₂ 層とに区別された (図 2, 図 3, 図 4).

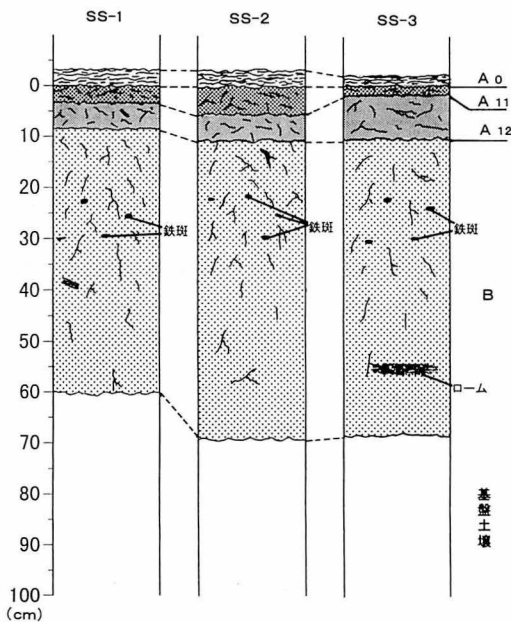


図 2. 砂土区の遷移 7 年目の土壌断面.

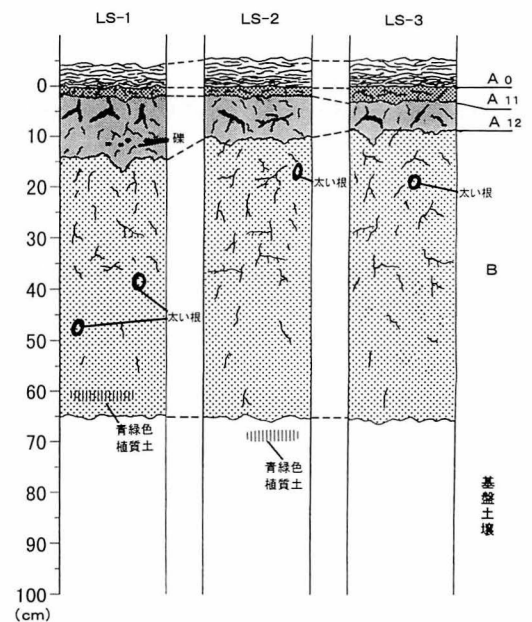


図 3. 赤土区の遷移 7 年目の土壌断面.

砂土区の土壌は、厚さは60～68 cmの砂質壤土(SL)であった。A₀層は厚さ3～5 cm、A₁₁層は厚さ2～6 cm、A₁₂層は厚さ5～8 cmであり、A₁₁・A₁₂層の土色は黒褐色(乾燥時には黄褐色)で、土壌構造はA₁₁層が小団粒状構造発達弱、A₁₂層が単粒状構造であった。A層より下は基盤土壌までB層で、厚さは52～58 cm、土色は黄褐色(乾燥時は褐色)、構造は単粒状構造であった。A₁₁層及びA₁₂層を含むA層全体の厚みは他の土壌に比べて若干薄かった。植物根は、B層上部の深さ約20 cmまで多くみられ、これ以下の層では細、小の根が他の土壌に比べて多かった。また、深さ20～30 cmの所には斑鉄や、客土時に含まれていたと思われるローム塊がみられた。土壌硬度は、上層が6～9 mm、下層8～12 mmで他の土壌に比べ上層下層とも硬度は最も低かった。

赤土区は、軽埴土(LiC)で下層では重埴土(HC)もみられた。客土された厚さは約65 cmであり、A₀層の厚さが4～5 cm、A₁₁層は厚さ2～3 cm、A₁₂層は厚さ5～12 cmであった。A₁₁・A₁₂層の土色は黒褐色(乾燥時は褐色)であり、団粒構造の発達がみられた。A層より下は基盤土壌までB層で、厚さは51～57 cm、土色は褐色(乾燥時は黄褐色)、構造は小亜角塊状発達弱から中亜角塊状発達弱であった。植物根は深さ20 cm程度まで多くみられたが、細、小の根は砂土区、黒土区に比べて少なかった。また、深さ40 cm程度までアズマネザサの根が比較的多くみられ、所々にクズの太い根もみられた。また、一部、深さ60～70 cmの所に青緑色の埴質土がみられた。土壌硬度は、

上層は13～14 mm、下層は17～20 mmであった。

黒土区は、客土の厚さは54～60 cmであった。上層のA₁₁・A₁₂層が埴壤土(CL)、下層のB層は軽埴土(LiC)が認められた。層位の状況は、A₀層は厚さ3～4 cm、A₁₁層は厚さ4～5 cm、A₁₂層については厚さ6～13 cmでばらつきがみられた。A₁₁・A₁₂層の土色は黒褐色で、団粒状構造の発達がみられた。A層より下は基盤土壌までB層で、厚さは38～44 cm、土色は黒褐色(乾燥時は暗褐色)で、構造は中亜角塊状発達弱であった。植物根は、A₁₂層については厚さ5～12 cmまで多くみられ、表層部では細根を中心に3つの土壌の中では最も根の量が多かった。特に、深さ10 cmまでは細、小の根がかなり多くみられた。しかし、20 cmより下の層では細い根がわずかにみられたが、他の土壌に比べると根の量は少なかった。また、深さ70～80 cmの基盤土壌にまで達する根もあった。客土時に含まれていたと思われるロームがところどころにみられた。土壌硬度は、上層は12～16 mm、下層は23～26 mmで他の土壌に比べ最も硬い状態であった。

3. 物理特性

3タイプの土壌の物理特性についての分析結果を表2、表3及び図5に示した。

1) 容積重

容積重はサンプル間で有意な差が認められた($p < 0.001$)。各土壌とも上層より下層で高い値を示した。黒土では層間に有意差が認められたものの、砂土、赤土では有意差は認められなかった。全体的に砂土の値が他に比べて高く、黒土と赤土との間に大きな差はみられなかった。

2) 粒径組成

各粒径の分散分析結果で、粗砂(0.2～2 mm)、細砂(0.02～0.2 mm)、シルト(0.002～0.02 mm)、粘土(0.002 mm以下)のいずれについてもサンプル間で有意な差がみられた($p < 0.001$)。

砂土は粗砂の割合が約70%を占め、次いで細砂、シルト、粘土の順であった。上層は下層に比べて粗砂が減少し、細砂およびシルトが増加することが示された。赤土はシルトの割合が約35%と最も高く、次いで粘土、細砂が同程度、粗砂が少量含まれていた。層間には有意な差は認められなかった。黒土は細砂の割合が最も高く約35%を占め、次いで上層ではシルト、下層では粘土が多く、粗砂は少なかった。層間では粘土において有意な差が認められた。

以上の粒径組成の分析等により、土性はそれぞれ、砂土が上層部、下層部とも砂質壤土(SL)、赤土は上層部、下層部とも軽埴土(LiC)、黒土は、上層部については埴質壤土(CL)、下層部については上層部より粘土の割合が高いため軽埴土(LiC)と判定された。

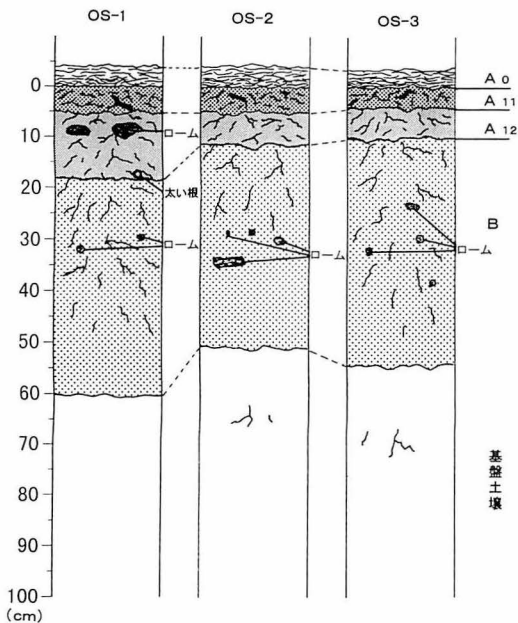


図4. 黒土区の遷移7年目の土壌断面。

表 2. 土壌の土色、構造等.

項 目	層 別	土 色 (マンセル記号)				土 性 名 (国際法)	硬 度 山中式(mm)	構 造	植 物 根	
		湿潤土 (現場土)		乾燥土 (風乾土)						
砂 土	A層	黒褐色	7.5YR2~3/2	にぶい黄褐色	10YR4/3~3.5	SL	砂壤土	6~9	小団粒構造発達弱	多
	B層	黄褐色	10YR5/6	褐色	10YR4/3~4	SL	砂壤土	8~12	単粒構造	有
赤 土	A層	黒褐色	7.5YR2/2~1.5	褐色	10YR4~4.5/4	LiC	軽埴土	13~14	小団粒構造発達中	多
	B層	褐色	7.5YR4/6	黄褐色	10YR4.5/6	LiC, HC	軽埴土, 重埴土	17~20	中亜角塊状発達弱	有
黒 土	A層	黒褐色	7.5YR2/2	黒褐色	10YR3/2	CL	埴壤土	12~16	小団粒構造発達中	多
	B層	黒褐色	7.5YR3/2	暗褐色	10YR3/3	LiC	軽埴土	23~26	中亜角塊状発達弱	有

表 3. 物理特性分析結果.

項 目	深さ(cm)	容積重(g/cm³)			粒径組成(%)											
					粗砂				細砂				シルト			
		平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果
砂 土	0~10	1.47	(0.076)	a	69	(3.21)	a	23	(1.15)	ab	5	(1.53)	a	3	(0.58)	a
	30~40	1.51	(0.031)	a	77	(1.53)	b	18	(1.00)	a	3	(1.00)	a	2	(0.58)	a
赤 土	0~10	1.13	(0.035)	b	6	(1.15)	c	31	(0.58)	c	36	(2.08)	b	27	(1.15)	b
	30~40	1.14	(0.065)	b	7	(1.53)	cd	26	(5.51)	bc	37	(1.53)	b	30	(5.86)	bc
黒 土	0~10	1.12	(0.021)	b	11	(1.53)	d	36	(1.00)	cd	31	(1.15)	bc	23	(1.53)	bd
	30~40	1.23	(0.032)	b	11	(0.00)	d	34	(6.81)	cd	25	(5.77)	c	30	(1.73)	bc

項 目	深さ(cm)	三相分布(%)												粗大孔隙(ml/100ml)		
		気相			液相			固相								
		平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果
砂 土	0~10	37.2	(2.97)	a	12.3	(1.31)	a	50.5	(2.75)	a	15.8	(3.20)	a	—	—	—
	30~40	36.3	(0.95)	ab	11.2	(1.22)	a	52.5	(1.44)	a	19.6	(1.08)	a	—	—	—
赤 土	0~10	28.8	(2.22)	bc	45.3	(2.01)	b	26.0	(0.93)	b	17.4	(2.02)	a	—	—	—
	30~40	25.7	(5.89)	c	50.2	(4.92)	b	24.1	(1.24)	b	17.7	(4.63)	a	—	—	—
黒 土	0~10	32.8	(2.58)	abc	36.9	(2.37)	c	30.2	(0.95)	c	19.4	(3.23)	a	—	—	—
	30~40	26.5	(2.31)	c	41.5	(3.04)	c	32.0	(1.75)	c	18.6	(2.41)	a	—	—	—

a,b,c,d: post hoc テストのFisher's PLSD による危険率1%検定. t検定: *,P<0.05; **,P<0.01.

表4. 土壌水分条件分析結果.

項 目	深さ(cm)	土壌水分量(ml/100ml)												有効水分(ml/100ml)			飽和透水係数 (cm/sec)		
		pF 0			pF1.8			pF3.0											
		平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果
砂 土	0~10	38.8	(1.07)	a	33.7	(3.84)	a	10.9	(0.70)	a	22.8	(3.14)	a	0.022	(0.0015)	a	—	—	—
	30~40	34.5	(0.71)	b	27.9	(1.44)	a	9.5	(0.36)	a	18.4	(1.76)	b	0.015	(0.0026)	a	—	—	—
赤 土	0~10	65.5	(1.00)	c	56.6	(1.16)	bc	44.5	(1.13)	b	12.1	(0.78)	c	0.011	(0.0031)	a	—	—	—
	30~40	66.9	(0.83)	c	58.2	(3.46)	b	50.4	(4.85)	bc	7.8	(1.93)	cd	0.015	(0.0126)	a	—	—	—
黒 土	0~10	59.4	(2.38)	d	50.3	(2.80)	cd	35.3	(2.23)	c	15.0	(0.70)	bc	0.020	(0.0049)	a	—	—	—
	30~40	59.5	(0.46)	d	49.4	(1.95)	d	42.4	(2.21)	d	7.0	(0.85)	d	0.011	(0.0072)	a	—	—	—

a,b,c,d: post hoc テストのFisher's PLSD による危険率1%検定. t検定: *,P<0.05; **,P<0.01.

遷移試験地の土壌特性と7年後の変化

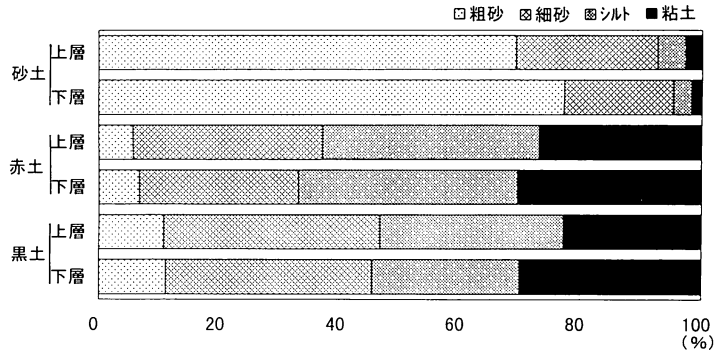


図5. 各土壌の粒径組成.

3) 三相分布

気相 ($p < 0.005$), 液相 ($p < 0.001$), 固相 ($p < 0.001$) のいずれについてもサンプル間で有意な差が認められた.

気相について, 上層部, 下層部の平均値は, 砂土, 赤土, 黒土ともに上層の方が高かった. しかし, 層間で有意差が認められたのは黒土のみであった. 全体的に砂土の値が最も高く, 黒土と赤土の間に大きな差はなかった.

液相について, 上層部, 下層部の平均値は, 砂土は上層が高く, 赤土と黒土については下層が高かった. ただし, いずれの土壌でも層間に有意差は認められなかった. 全体的に赤土の値が最も高く, 黒土, 砂土がつづき, 特に砂土の値は低かった.

固相について, 上層部, 下層部の平均値はそれぞれ, 砂土と黒土は下層が高く, 赤土については上層が高かった. 層間の有意な差は赤土のみで認められた. 全体的に砂土の値が最も高く, つづいて黒土, 赤土の順で, 土壌タイプによる明らかな違いがみられた.

4) 粗大孔隙

粗大孔隙についてはサンプル間での有意差はみられなかったが, 上層部, 下層部の平均値は, 砂土では下層で高く, 赤土では上下層ともほぼ同じ, 黒土では上層で高い値を示した.

4. 水分特性

3タイプの土壌の水分特性の調査分析結果を表4及び図6に示した.

1) 土壌水分量

分散分析の結果は, pF0 (-0.098 kPa), pF1.8 (-6.1 kPa), pF3.0 (-98 kPa) とともにサンプル間に有意差を示した (いずれも $p < 0.001$). pF0, pF1.8, pF3.0 とともに, 土壌水分量は赤土, 黒土, 砂土の順で高い値を示した. とりわけ砂土の値はどの pF でも極めて低い値であった. 層間の違いについては, 砂土は pF0 と pF1.8 において上層が有意に高く, また黒土では pF3.0 において下層が有意に高かった.

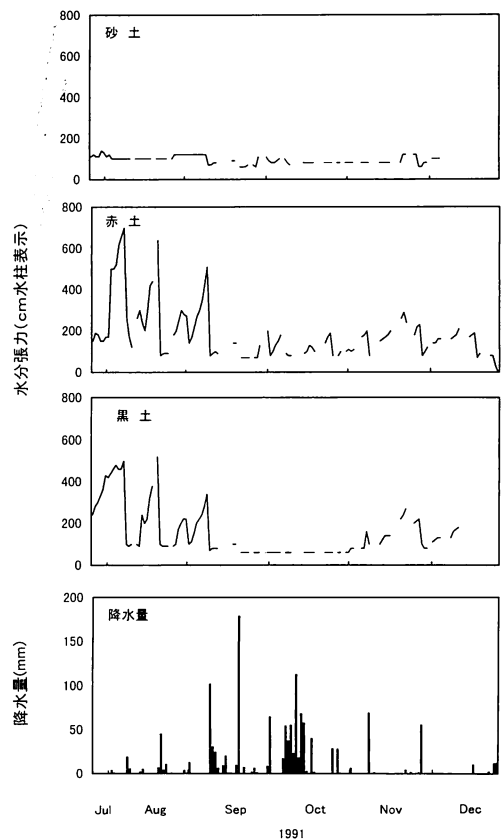


図6. 土壌水分張力と降水量の変動.

2) 有効水分

有効水分についてはサンプル間で有意差がみられた ($p < 0.001$). どの土壌タイプとも上層が下層より高い値を示し, 各層間の差はいずれも有意であった. また, 全体的に, 砂土が赤土, 黒土に比べて高い値であった.

3) 飽和透水係数

分散分析では飽和透水係数についてはサンプル間の有意差は認められなかった ($p > 0.1$).

飽和透水係数の平均値は 0.011 cm/sec から 0.022

表 5. 化学特性分析結果.

項 目	深さ (cm)	pH						全炭素(%)			全窒素(%)			C/N比							
		H ₂ O			KCl			平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果					
		平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果														
砂 土	1990(0~10)	6.9	(0.06)	a	*	—	(—)	—	0.03	(0.005)	a	**	0.01	(0.001)	a	**	4.4	(0.51)	a	—	
	0~10	6.8	(0.12)	ab	—	5.7	(0.06)	a	—	0.16	(0.015)	a	**	0.03	(0.006)	a	**	5.0	(0.81)	a	—
	30~40	6.9	(0.17)	ab	—	5.8	(0.06)	ab	—	0.02	(0.006)	a	**	0.00	(0.001)	a	**	4.8	(0.58)	a	—
赤 土	1990(0~10)	6.3	(0.03)	d	**	—	(—)	—	1.10	(0.005)	b	*	0.10	(0.002)	b	*	11.4	(0.08)	b	**	
	0~10	6.7	(0.06)	bc	*	5.8	(0.00)	ab	—	2.48	(0.369)	c	*	0.19	(0.026)	c	*	13.0	(0.12)	c	**
	30~40	6.5	(0.00)	cd	*	5.8	(0.00)	ab	—	1.40	(0.099)	b	*	0.12	(0.006)	b	*	12.0	(0.31)	bc	**
黒 土	1990(0~10)	6.4	(0.05)	d	*	—	(—)	—	3.37	(0.422)	d	*	0.23	(0.022)	d	*	14.5	(0.54)	de	—	
	0~10	6.6	(0.06)	bc	*	5.9	(0.06)	b	—	4.44	(0.208)	e	*	0.29	(0.015)	e	*	15.1	(0.15)	e	—
	30~40	6.8	(0.06)	abc	*	6.0	(0.06)	c	—	3.48	(0.100)	d	**	0.25	(0.010)	de	*	13.9	(0.21)	cd	**

項 目	深さ (cm)	強熱減量(%)			腐植(%)			塩基置換容量 (me/100g)			交換性塩基(me/100g)										
		平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	K			Ca							
											平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果					
砂 土	0~10	3.0	(0.62)	a	—	0.2	(0.06)	a	**#	6.1	(0.32)	a	*	0.7	(0.10)	a	**	1.0	(0.06)	a	*
	30~40	2.1	(0.20)	a	—	<0.1	(—)	a*	5.4	(0.06)	a	*	0.2	(0.00)	bc	**	0.9	(0.06)	a	*	
赤 土	0~10	13.2	(0.95)	b	*	1.6	(0.20)	b	**	21.3	(0.57)	b	**	2.0	(0.10)	d	**	3.0	(0.06)	b	**
	30~40	11.7	(0.72)	c	*	0.8	(0.10)	c	**	17.7	(0.30)	c	**	0.6	(0.38)	ac	**	1.6	(0.12)	c	**
黒 土	0~10	15.1	(0.06)	d	**	2.6	(0.10)	d	*	27.3	(1.02)	d	—	1.8	(0.20)	d	**	5.2	(0.12)	d	—
	30~40	14.2	(0.15)	bd	**	2.0	(0.15)	e	*	26.2	(1.34)	d	—	0.1	(0.06)	b	**	5.2	(0.20)	d	—

項 目	深さ (cm)	有効磷酸(mg/100g)						電気伝導度(mS/m)					
		トルオーグ法			ブレイ法			電気伝導度(mS/m)			電気伝導度(mS/m)		
		平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果	平均値	標準偏差	検定結果
砂 土	0~10	2.3	(0.38)	a	**	2.1	(0.15)	a	**	1.6	(0.15)	a	—
	30~40	1.2	(0.12)	b	—	1.0	(0.10)	b	**	1.8	(0.00)	a	—
赤 土	0~10	<1.0	(—)	c*	—#	0.5	(0.06)	c	*	3.4	(0.15)	b	*
	30~40	<1.0	(—)	c*	—#	0.4	(0.00)	c	*	4.2	(0.12)	c	*
黒 土	0~10	1.2	(0.10)	b	**#	1.6	(0.10)	d	***	3.5	(0.31)	b	*
	30~40	<1.0	(—)	c*	**#	0.8	(0.06)	e	***	4.5	(0.10)	c	*

a,b,c,d,e: post hoc テストのFisher's PLSD による危険率1%検定. t検定: *, P<0.05; **, P<0.01; ***, P<0.001.

#: 測定限界以下は数値を0として検定.

cm/sec の範囲であった。層間については砂土で有意差が認められた。赤土の上層が他に比べ低い値であったが、全体的に土壌間の差は顕著でなかった。

4) 土壌水分張力

調査期間における各土壌の土壌水分張力の最大値は、砂土が $1.4 \times 100 \text{ cmH}_2\text{O}$ (-13.72 kPa)、赤土が $7.0 \times 100 \text{ cmH}_2\text{O}$ (-68.60 kPa)、黒土が $5.2 \times 100 \text{ cmH}_2\text{O}$ (-50.6 kPa) であり、砂土では小さな値を示した(図6)。これにくらべ赤土、黒土では比較的大きな値を示した。調査期間全体の各土壌の土壌水分張力をみると、砂土は低い値で安定しており、赤土、黒土は少雨期において土壌水分張力が高くなり、これは特に赤土で顕著であった。

5. 化学特性

3 タイプの土壌の化学特性の調査分析結果を表5に示した。

1) pH

分散分析の結果、 H_2O 、 KCl の場合とも pH についてサンプル間に有意差が認められた($p < 0.001$)。土壌に水を加えた懸濁液の pH は、客土直後と7年後の2回調査した。7年後の上層の値は客土直後と比べて、砂土は低下、赤土及び黒土では高くなっていた。

7年後の pH 値は、砂土と黒土は上層より下層が高く、赤土では上層が高かった。この層間の違いは赤土および黒土で有意差が認められた。また、全体的に砂土の値が高く、赤土、黒土はやや低い傾向にあった。

土壌に KCl 溶液を加えた懸濁液の pH は、7年後のみの調査であったが、上層、下層の平均値は、砂土及び黒土では下層が高く、赤土では全く同じ値であった。また層間での有意な差は認められなかった。全体的に水を用いた場合と比較すると $0.7 \sim 1.1$ 低い値を示したが、土壌タイプ等による違いはさほど顕著ではなかった。

2) 全炭素

分散分析の結果、サンプル間に有意差が認められた($p < 0.001$)。客土直後と比べ7年後の上層部の値は、各土壌とも明らかに高い値であった。

7年後については、各土壌とも上層は下層より高い値を示し、いずれの層間について有意差が認められた。全体的に黒土の値が最も高く、赤土、砂土とつづき土壌間の違いも顕著であった。

3) 全窒素

分散分析の結果、サンプル間に有意差が認められた($p < 0.001$)。客土直後と比べ7年後の上層部の値は、各土壌とも明らかに高い値であった。

7年後については、各土壌とも上層は下層より高い値を示し、いずれの層間について有意差が認められた。全体的に黒土の値が最も高く、赤土、砂土とつづき土壌間の違いも顕著であった。

4) C/N 比

分散分析の結果、サンプル間に有意差が認められた($p < 0.001$)。各土壌とも、客土直後と比べて7年後の上層の値は高くなっていたが、有意差が認められたのは赤土のみであった。

7年後については、各土壌とも上層は下層より高い値を示し、この層間の違いについては赤土と黒土で有意差が認められた。全体的に黒土が最も高く、赤土、砂土とつづき、特に砂土の値の低さは顕著であった。

5) 強熱減量

分散分析の結果、サンプル間に有意差が認められた($p < 0.001$)。3タイプの土壌とも上層が下層より高い値を示し、層間の違いは赤土と黒土で有意差が認められた。全体的に黒土が最も高く、赤土、砂土とつづくが、砂土の低さは顕著であった。

6) 腐植

分散分析の結果、サンプル間に有意差が認められた($p < 0.001$)。各土壌タイプで上層が下層より高い値を示し、この層間の差はいずれも有意であった。全体的に黒土の値が最も高く、つづいて赤土、砂土であり、土壌タイプによる違いが顕著であった。

7) 塩基置換容量

分散分析の結果、サンプル間に有意差が認められた($p < 0.001$)。7年後の土壌において、各タイプともに上層が下層より高くなっており、この層間の差は砂土と赤土で有意であった。全体的に黒土の値が最も高く、赤土、砂土とつづき土壌タイプによる違いが顕著であった。

8) 交換性塩基

交換性カリウム(K)、カルシウム(Ca) いずれについても分散分析の結果、サンプル間に有意差が認められた($p < 0.001$)。

交換性カリウム(K)について、各土壌とも上層が下層より高い値を示し、この層間の差はいずれのタイプも有意であった。上層、下層とも赤土が最も高い値であったが、土壌タイプによる違いは明瞭ではなかった。

交換性カルシウム(Ca)については、赤土、砂土では上層が下層より高い値を示したが、黒土では層間の有意差は認められなかった。全体的に黒土の値が最も高く、赤土、砂土とつづき土壌タイプによる違いが顕著であった。

9) 有効リン酸

トルオーグ法、ブレイ法いずれについても分散分析の結果、サンプル間に有意差が認められた($p < 0.001$)。

トルオーグ法による分析では、赤土の上層、下層および黒土の下層では測定限界以下であった。砂土と黒土において上層が下層より高い値を示し、ともに層間に有意差が認められた。上層、下層ともに砂土の値

が最も高かった。

ブレイ法による分析では、各土壌タイプも上層が下層より高い値を示し、この層間の差はいずれも有意であった。全体的に砂土の値が最も高く、黒土、赤土とつづき、土壌タイプによる違いも顕著であった。

10) 電気伝導度

分散分析の結果、サンプル間に有意差が認められた($p < 0.001$)。各土壌タイプとも下層が上層より高い値を示し、黒土および赤土の層間で有意差が認められた。全体的に、砂土は黒土、赤土に比べ明らかに低い値を示したが、黒土と赤土の差は小さかった。

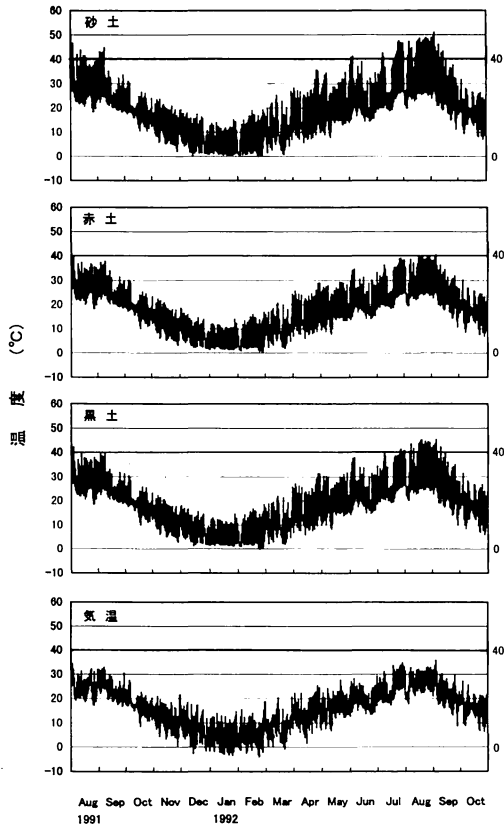


図 7. 土壌温度及び気温の変動。

6. 温度特性

3 タイプの土壌の温度の調査結果を図 7 に示した。

1) 平均土壌温度

調査期間(1991 年 8 月 1 日～1992 年 10 月 31 日)を通じての土壌温度の平均値は、砂土区が 18.2℃、赤土区が 17.2℃、黒土区が 17.7℃、気温の平均値は 16.1℃であった。また、土壌温度の月別平均値と気温の月別平均値(図 8)を比較すると、春から秋にかけては各土壌の温度及び気温の間に差が見られ、温度の高いほうから砂土、黒土、赤土、気温の順であった。一方、秋から春にかけてはそれぞれの間にほとんど差がみられなかった。

2) 最高土壌温度

調査期間における土壌温度の最高値は、砂土区が 91 年は 51.4℃ (8 月 1 日 13 時 24 分)、92 年は 50.9℃ (9 月 4 日 13 時 04 分)、赤土区が 91 年は 41.0℃ (8 月 1 日 13 時 30 分)、92 年は 40.4℃ (9 月 4 日 13 時 50 分)、黒土区が 91 年は 43.5℃ (8 月 1 日 13 時 31 分)、92 年は 45.3℃ (9 月 4 日 12 時 18 分)。一方、気温の最高は 91 年は 34.2℃ (8 月 1 日 13 時 00 分、14 時 00 分及び 8 月 2 日 14 時 00 分)、92 年は 35.7℃ (9 月 4 日 13 時 00 分)であった。土壌の最高温度は砂土、黒土、赤土の順で高い値を示し、砂土と赤土の間には、91 年に 10.4℃、92 年に 10.5℃ の差がみられた。また、各土壌の最高温度と最高気温を比較すると、91 年は 17.2～6.8℃、92 年は 15.2～4.7℃ いずれも土壌温度の方が高い値を示した。

調査期間における土壌温度及び気温の月別最高値をみると、ほぼ調査期間全体を通じて温度の高い方から砂土、黒土、赤土、気温の順であり、春から秋にかけてその差が顕著であった。

3) 最低土壌温度

調査期間における土壌温度及び気温の最低値は、砂土区は 0.0℃ (92 年 2 月 23 日 6 時 34 分)、赤土区は 0.5℃ (92 年 2 月 26 日 6 時 48 分)、黒土区は -0.2℃ (92 年 2 月 23 日 6 時 48 分)、気温は -3.9℃ (92 年 2 月 23 日 7 時 00 分)であった。土壌間の最低温度の差はわずかであったが、土壌と気温の最低温度間には

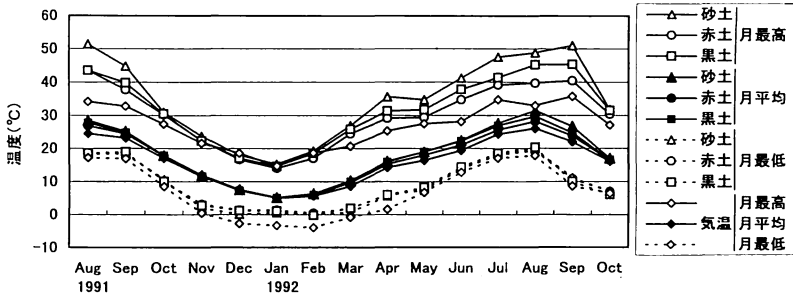


図 8. 土壌温度及び気温の月最高、月平均、月最低値。

比較的大きな差が認められた。

調査期間の土壤温度及び気温の月別最低値をみると、調査期間を通じて土壤間での差はきわめて小さかった。全体的に土壤温度と気温を比較すると、土壤温度は気温より若干高い傾向であり、これは特に秋から春にかけて顕著であった。

4) 土壤日温度較差

調査期間における各土壤温度及び気温の日較差の平均値は(図9, 図10), 砂土区が11.9℃, 黒土区が10.5℃, 赤土区が9.6℃, 気温が7.9℃であった。日温

度較差の最大値は砂土区の25.1℃(92年6月4日)であった。20℃以上の温度差があった日数は砂土区が42日, 赤土区が0日, 黒土区が4日, 気温が0日であった。また, 15℃以上の温度差があった日数は砂土区が138日, 赤土区が36日, 黒土区が81日, 気温が2日であった。冬期には各土壤とも比較の日温度較差が小さくなる傾向がみられ, 一方, 気温は冬期に大きくなる傾向がみられた。

考 察

今回の研究によって, 砂土, 赤土, 黒土の3タイプの土壤には植物群落の基質としての観点から様々な違いが示された。3タイプの土壤間での差が顕著な物理特性としては, 三相分布の液相及び固相での違いがあげられた。水分特性としては, 土壤水分量のpF0があげられ, 土壤水分張力については, 砂土が赤土, 黒土に比べて著しく異なっていた。化学的性質としては, 全炭素, 全窒素, 腐植, 塩基置換容量, 交換性塩基のCa, 有効リン酸(ブレイ法)において土壤間での差が顕著であった。さらに, 土壤温度特性でも土壤間での差がみられ, 最高値と日較差の違いはとりわけ顕著であった。今回の調査研究で明らかになった各土壤の特性は以下の通りである。

砂土は, 粗砂と細砂が90%を越え, 容積重が3タイプの土壤の中でも最も高い。また, 他に比べ固相と気相が多い反面, 液相が少なく, 土壤水分量は最も低い。しかし, 水分張力は降水量の変動にかかわらず最も安定している状況であった。化学的特性では全炭素をはじめ全窒素, C/N比, 強熱減量, 腐植, 塩基置換容量, 交換性塩基(Ca)の値は他に比べ明らかに低い。ただし有効リン酸については他に比べ高い値であった。温度特性については最高温度と日較差が3タイプの土壤の中で最も高く, 夏期の土壤温度は50℃を越え, 日較差も最高25℃を越えた。

赤土は, 粗砂と細砂の割合が最も少なく, シルトと粘土が60%を越える。三相組成では3タイプの土壤の中でも最も固相が少なく, 反対に液相は最も多い状

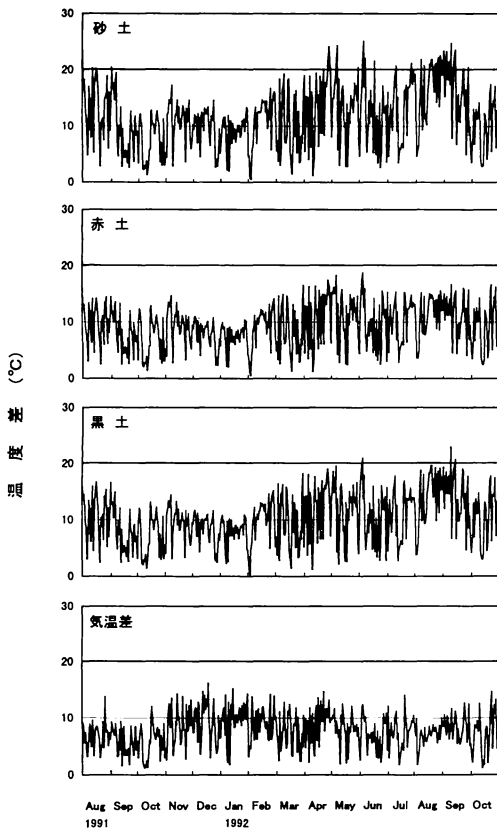


図9. 土壤温度及び気温の日較差の変動。

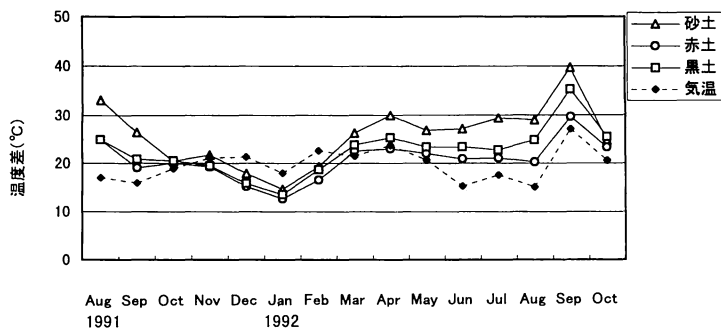


図10. 土壤温度及び気温の月最高値と月最低値の差の変動。

態である。土壌水分量は3タイプの土壌の中では最も高いが、水分張力については降水量の変動に最も大きく影響される状況であった。化学的特性では全炭素をはじめ全窒素、C/N比、強熱減量、腐植、塩基置換容量、交換性塩基(Ca)は、砂土と黒土のほぼ中間的値を示した。ただ、有効リン酸については他に比べ低い値であった。温度特性については最高温度と日較差が低く、日較差も年間を通して20℃を超えることはなかった。

黒土は、他の土壌に比べ細砂が多いものの、粒径組成のうえではバランスのとれた土壌である。これは三相組成にも反映され、気相、液相、固相はほぼ三等分された状態である。また、土壌水分量および土壌飽和透水係数は砂土と赤土の中間にあり、水分張力は降水量に影響されるものの赤土ほどではない。化学的特性では、全炭素をはじめ全窒素、C/N比、強熱減量、塩基置換容量、腐植、交換性塩基(Ca)の値は他に比べ高い値であった。最高温度と日較差については、砂土と赤土の中間的な状態であった。

山口ほか(1997)は、砂質土、関東ローム、黒ボクについての土質および成分分析等を実施しているが、これらはそれぞれ今回の砂土、赤土、黒土とほぼ同様の解析結果を示している。

土壌の違いは、これを基盤とする植物群落の発達・遷移に影響する(Rebele, 1992; 中村, 1995; 岩瀬ほか, 1998; Singh *et al.*, 1998)。土壌の中に埋土種子が含まれていればその種子の発芽は遷移の初期の状態を規定する。また、種子の発芽に対しては土壌の水分特性や温度特性との関係が大きいと考えられる。さらに、物理的特性や化学的特性は、種子の発芽・定着にも関係すると考えられるが、栄養吸収の観点からも植物の生長に対してかわかりが生じてくるものと考えられる。

今回の調査において、砂土、赤土、黒土の3タイプの土壌条件下での7年後の植物群落の状況は、各土壌特性を反映して大きな違いがみられた。7年後の植物量では、砂土から赤土、黒土と増加するが、これは特に全窒素量等の土壌の栄養物質の含有量の違いによるものと考えられる。全窒素量が最も多い黒土では、植物量だけでなく出現種数も多く、一方、窒素量の極めて低い砂土では、植物量が最も少ないばかりか7年後の植被率も平均70%未満の状態であった。

7年後の群落で最も優占していた種は土壌タイプで異なり、砂土はニセアカシア、赤土はクズ、黒土はススキであった。砂土のニセアカシアの優占は、この種の窒素固定能力の高さが栄養物質の乏しい環境での競争力の強さを引き出した結果と考えられる。また、赤土ではクズの繁茂が極めて顕著であり、他の植物の生育を抑圧する状況もみられた。クズも窒素固定能力が高く、しばしば日当たりの良い造成地などで繁茂し植

栽木などを枯らす被害をもたらす種である。しかし、赤土のどのような性質がこの繁茂を促したかは定かではない。クズと赤土との関係については詳しい生理生態学的研究が求められる。ススキは、全ての土壌タイプで出現しているが、とりわけ黒土の優占が顕著である。ススキと土壌タイプとの生態学的関係については、今後の群落遷移の経緯をふまえた詳しい解析に基づき考察していきたいと思う。

土壌は、そこに成立する植物群落の遷移に影響するとともに、植物群落からの影響も受ける。植物群落の落葉落枝の堆積や根系の生長は土壌に様々な変化をもたらす。一般に植物群落の発達・遷移の進行に伴って、土壌は地表からの有機物質の集積に加え根系のはたらきによって腐植や孔隙量、窒素、炭素を増加させA層を発達させていく(Tamura *et al.*, 1991; 田村ほか, 1991, 1993a, b; 鈴木ほか, 1998)。

Tamura *et al.* (1986)による黒ボク土壌における二次遷移と土壌変化に関する詳細な研究では、初期4年間は全窒素及び有機炭素は減少するが、その後は両者とも増加する傾向が明らかにされている。今回の客土直後と7年後の土壌解析の比較だけではその途中の変化は明確でないが、どの土壌においても窒素と炭素、C/N比が増加し、A層の形成も顕著であった。

植物群落の土壌に対する影響は当然地表面に近いほど大きく、これに対し下部では客土時の性質を留めているものと推察される。今回の調査研究における各土壌の上下の層間において顕著な性質の違いは、砂土では、上層の土壌水分量pF0をはじめ細砂、交換性塩基(カリウム)、腐植、有効リン酸等の増加、また赤土については、上層のpH(H₂O)をはじめ塩基置換容量、交換性塩基、腐植の増加に電気伝導度の減少、そして黒土については、有効水分をはじめ交換性塩基のカリウム、強熱減量、腐植、有効リン酸の増加と上層の容積重をはじめ電気伝導度、粒径組成の粘土の減少があげられた。これらの違いは、群落遷移に伴う土壌の変化を示唆するものと考えられるが、遷移と土壌の関係については詳細な研究が必要である。

謝 辞

本調査研究の実施にあたっては、千葉県立中央博物館生態・環境研究部の由良 浩博士、尾崎煙雄氏には多くの御指導をいただき、本論文の原稿に対してもいろいろな助言をいただいた。また、試験地での調査にあたっては(財)千葉県地域整備協会の方々にお世話になり、資料の化学・物理的分析に関してはサンコーコンサルタンツ株式会社にお世話になった。各位に対し厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 土壌標準分析・測定法委員会(編). 1986. 土壌標準分析・測定法. 354 pp. 博友社, 東京.
- 土質試験法第3回改訂版編集委員会(編). 1990. 土質試験の方法と解説. 615 pp. 地盤工学会, 東京.
- 井出久登(編). 1982. 千葉中央総合公園植生調査報告書. 93 pp. 千葉県都市部計画課.
- 岩瀬 徹・川名 興・中村俊彦. 1998. 新校庭の雑草. 166 pp. 全国農村教育協会, 東京.
- 気象庁. 1991. 日本気象表その1: 月別平均・極値. 479 pp. (財)日本気象協会, 東京.
- 中村俊彦. 1995. 雑草群落の遷移. 大沢雅彦・大原 隆(編), 生物・地球環境の科学: 南関東の自然誌, pp. 90-94. 朝倉書店, 東京.
- Nakamura, T. 1996. Ecological relationships between seedling emergence and litter cover in the earliest stage of plant succession on sandy soil. *Ecol. Res.* 11: 105-110.
- 沼田 眞・中村俊彦. 1992. 気象・気候条件に係わる最近の植物生態学の研究. *生気象学会誌* 29: 83-87.
- Rebele, F. 1992. Colonization and early succession on anthropogenic soils. *Journal of Vegetation Science* 3: 201-208.
- Singh, J. S., D. G. Milchuna and W. K. Lauenroth. 1998. Soil water dynamics and vegetation patterns in a semiarid grassland. *Plant Ecology* 134: 77-89.
- 鈴木創三・千代延尚子・青池真也・小館誓治・井波芳夫・藤嶽暢英・大塚紘雄. 1998. エコロジー緑化工法造成における植生と土壌の経年変化第2報: 土壌の経年変化. *ペドロジスト* 42(1): 33-43.
- 田村憲司・永塚鎮男・大羽 裕. 1991. 黒ボク土(黒色土)の諸特性に及ぼす植栽樹種の影響. *森林立地* 33(2): 86-91.
- 田村憲司・永塚鎮男・大羽 裕. 1993a. 黒ボク土の一般理化学性に及ぼす植生遷移の影響. *日本土壌肥科学会誌* 64(2): 166-176.
- 田村憲司・永塚鎮男・大羽 裕. 1993b. 黒ボク土の微細形態に及ぼす植生遷移の影響. *日本土壌肥科学会誌* 64(2): 183-189.
- Tamura, K., I. Hayashi, and H. Iwaki. 1986. Changes of properties in early stages of secondary succession in cool temperate region in Japan. *Acta Ecologica/Ecologia Plantarum* 7(21): 75-85.
- Tamura, K., S. Nagatuka and Y. Oba. 1991. Development of surface of andosol in early stages of secondary succession at Sugadaira, central Japan. *Pedologist* 35(2): 104-116.
- 山口 剛・中村俊彦. 1994. 生態園整備に伴う地形, 土壌, 植被の変化. 千葉中央博自然誌研究報告特別号(1): 19-31.
- 山口晴幸・馬場文啓・大高和歌子・福田 誠. 1997. 機器分析を導入した地盤環境試験法の体系化. *地盤工学会誌* 45(7): 21-24.
- 山根一郎. 1980. 土の種類と生成. *科学* 50(9): 573-580.
- 由良 浩. 1994. 生態園総合気象観測装置の概要及び観測結果. 千葉中央博自然誌研究報告特別号(1): 33-44.
- (2000年1月18日受理)

Physical and chemical properties of sandy, loamy and Ando soils and the changes in the successional stands after seven years

Toshihiko Nakamura¹⁾, Nobuyuki Yamamoto²⁾, Lunako Yokochi²⁾ and Hidetaka Suzuki³⁾

¹⁾Natural History Museum and Institute, Chiba 955-2 Aoba-cho, Chuou-ku, Chiba 260-8682, Japan

²⁾Chibaken-Chiikiseibi-kyoukai 4-17-3 Chuou, Chuou-ku, Chiba 260-0013, Japan

³⁾Sanko Environmental Research Center 1-4-1 Tamagawa, Choufu City, Tokyo 182-0025, Japan

Physical and chemical properties of three different soil types, i.e. sandy, loamy and Ando soils were studied in relation to the succession of plant communities in the Ecology Park, Natural History Museum & Institute, Chiba, Japan. The three types of soil were laid out at a depth of about 50 cm over area of 1300 m² in the ecological experimental garden in 1990. The physical and chemical properties of initial soils of three types were analyzed. These soil properties and soil profile, the structure and composition of plant communities were measured and analyzed in the 7-years stand of plant succession. The sandy soils were yellowish brown to brown colored. Coarse and fine sands were occupied more than 90% of the total weight, and bulk density was the highest among the three soil-types. The water content was the lowest, but the water tensile strength was the most stable regardless of the change in the precipitation. Total nitrogen content, total carbon content, C/N ratio, ignition loss, humus content, base-exchange capacity and exchangeable base (Ca) marked the lowest, while available phosphate was the highest among the three soil-types. On the bare surface of the sandy soils, the highest temperature was sometimes over 50°C in summer, and the daily range of temperature reached 25°C. The loamy soils were brown to yellowish brown colored. The content of coarse and fine sand was the lowest among the three soil-types, but that of silt and clay was the highest, exceeding 60% of the total weight. The solid phase was the lowest, while the liquid phase was the highest. The chemical properties, total nitrogen content, total carbon content, C/N ratio, ignition loss, humus content, base-exchange capacity, exchangeable base (Ca) showed intermediate value between the sandy and Ando soils, except available phosphate was the lowest. The highest temperature was low, and the daily range of temperature never exceeded 20°C. The Ando soil was andosol colored brownish black to dark brown.

The soils were most balanced not only in three-phases distribution, but also in particle size formation. Water content and saturated hydraulic conductivity showed intermediate values between the sandy and loamy soils. The change in water tensile strength of the Ando soils were influenced by precipitation, but not as much as that of the loamy soils. Most chemical properties including total nitrogen content, total carbon content, ignition loss, base-exchange capacity and exchangeable base (Ca) showed the highest among the three soil-types. Values of the highest temperature and

the daily range of temperature were at the middle of the other two soil-types. Dominant species of plant communities of 7-years stands were *Robinia pseudo-acacia* on the sandy soils, *Pueria lobata* on the loamy soils and *Miscanthus sinensis* on the Ando soils, respectively. The plant coverage and species richness stood the lowest in sandy and loamy soils, respectively. The results suggest that the development of plant community was strongly influenced by the soil-types in the early stages of succession.