造成地における未熟土の性状とバーク堆肥施用が土壤改良および4樹種の苗木の初期成長に与える効果

高砂裕之^{*1)}・高山晴夫¹⁾

1) 鹿島建設株式会社 技術研究所 Kajima Technical Research Institute

摘要: 造成地において生じた森林土壌の下層土を起源とする未熟土を対象として土壌分析を行った結果、未熟土は pH 4.9 と酸性で、植栽基盤の整備目標値と比較して養分に乏しく、また、礫含量が多く保水性も低かった。この未熟土にバーク堆肥を 10 vol% と 20 vol% 混合すると、養分含量が高まり、有効水分保持量も高まった。また、この未熟土にバーク堆肥（配合量；3, 6, 9 L/株）と肥料を施用し、アカマツ、コナラ、エノキ、クスノキの苗木による 2 年半の植栽試験を行った。アカマツはバーク堆肥施用量が多いほど樹高と枝張りの相対成長率が高くなったが、株元直径の成長にはあまり差がなかった。一方、エノキは 6 L 区で最も成長が良いなど、バーク堆肥施用量と苗木成長における資源配分との関係や樹種による違いが明らかとなった。

キーワード: 未熟土, バーク堆肥, 土壤改良, 苗木, 初期成長

TAKASUNA Hiroyuki and TAKAYAMA Haruo: **Properties of immature soil in developed land and effects of bark compost on soil improvement and initial growth of four species tree seedlings.**

Abstract: Immature soil originated from the subsoil of forest in developed land had high gravel content, and it was acidic and poor in nutrients. When the soil was mixed with 10 vol % or 20 vol % of bark compost, the content of nutrients and the available water retention capacity were improved. *Pinus densiflora*, *Quercus serrata*, *Celtis sinensis* var. *japonica* and *Cinnamomum camphora* were planted on the immature soil mixed with bark compost (3, 6, 9 L / plant) and fertilizer, and their initial growth was observed for 2.5 years. In case of *Pinus densiflora*, the relative growth rate (RGR) of height and crown diameter increased as the amount of bark compost application increased, however the RGR of the stem diameter did not change. The experimental results showed the relation between the amount of bark compost application and the resource allocation in the initial growth of each tree species.

Key words: immature soil, bark compost, soil improvement, seedling, initial growth

1. はじめに

森林植生や樹林地の再生において、植栽基盤の整備は導入植物の長期に亘る安定した成長や植生遷移の進行を支える重要な要素の一つである。これまでに、公園緑地や工場緑地などにおける環境保全林の造成について多くの研究や実施例が報告されているが、これらの環境保全林の造成における事例においても、厚さ 50~100 cm 以上の客土により植栽基盤を確保している例がみられる^{6,12)}。

植生や地形の変更を伴う造成工事の場合、有機物に富み、埋土種子を含んだ表土を緑化の際の植栽基盤として活用することが望ましい。しかし、土量のバランス、保管場所、建設期間、費用などの制約上、表土の下層に位置し、土壌としては未熟な状態にある B 層や C 層を起源とした未熟土を、植栽基盤として利用せざるを得ないケースも少なくない。造成地で発生する未熟土の性状は、地質や母材の種類によって様々であるが、一般に有機物や養分に乏しく、保肥性、保水性が

低いなど、植栽基盤として不適切な場合が多い。このような未熟土を植栽基盤とした緑化については、治山や鉱山、採石事業等により形成された造成地、岩屑地などを対象とした事例がみられ、耐乾性や瘠悪地に対する適応性が高いマツ類や、ヤマハンノキやヤシャブシなど肥料木と呼ばれる樹種が多く利用されている⁷⁾。近年、生物多様性に対する関心が高まり、緑化においても自生種や地域性系統を用いた自然回復型の緑化が求められている⁹⁾。瘠悪な土壌条件において、肥料木や先駆性樹種以外の自生種を用いた試験報告もみられるが^{13,15)}、その数はまだ少ないのが現状である。また、バーク堆肥は有機質系土壌改良材であり、土壌の膨軟化や保肥力の増大、透水性改善等に効果があるとされ¹⁰⁾、緑化植物や苗木の生育に対する施用効果に関する報告がある^{3,4,5)}が、瘠悪な未熟土に対するバーク堆肥の施用が緑化樹の生育に与える効果に関する研究は少なく、適切な配合量についても課題である。

そこで、本研究では、森林土壌の B 層、C 層を起源とする未熟土を植栽基盤として森林植生の再生を行う際の土壌改

* 連絡先著者 (Corresponding author) : E-mail : takasuna@kajima.com

良法と、自生種の未熟土に対する適用性に関する基礎的な知見を得ることを目的として、造成地における未熟土の植栽基盤としての理化学的特性を明らかにするとともに、未熟土へのパーク堆肥施用が土壌改良と4樹種の苗木の初期成長に与える効果を評価するために行った植栽試験の結果について報告する。

2. 材料ならびに方法

2.1 試験場所の概要

植栽試験は和歌山県にある土砂採取事業地内で行われた。当試験地は、標高220～280 mの丘陵内にあり、地質は中生代白亜紀後期の堆積岩類と和泉層群と呼ばれ、主に砂岩と泥岩の互層よりなる。敷地内の土壌は残積性未熟土壌の四石山統と、乾性褐色森林土（黄褐色系）の根来1統および褐色森林土（黄褐色系）の根来2統で、A層、B層が薄く、場所によってC層が50 cm前後の比較的浅いところから出現する傾向が確認されている。当試験地に最寄りの気象観測所（和歌山）における観測データによると、試験期間の年（2001～2003年）の年平均気温は16.6～17.0℃、最高気温は37.8℃、最低気温は-2.2℃、年降水量は946～1,660 mmで、植栽試験2年目の年降水量が946 mmと少なかった。

2.2 土壌分析

土砂採取事業で生じた森林土壌の下層土を起源とする現地発生土の植栽基盤としての性状を調べるため、土壌の理化学的分析¹⁾を行った（試料数7点）。分析項目はpH(H₂O)、電気伝導率、全炭素、全窒素、可給態リン酸、陽イオン交換容量、交換性塩基（カルシウム、マグネシウム、カリウム）、有効水分量（pF1.8～3.0）、仮比重、礫含量とした。腐植については、全炭素に1.724を乗じて求めた。また、発生した未熟土にパーク堆肥を混合した場合の土壌改良効果を調べるため、パーク堆肥（日本パーク堆肥協会品質認定商品；比重0.5、全窒素1.71%、全リン酸2.3%、全カリウム0.24%、C/N比7.8、水分51%）を体積比で10%および20%混合した試料を製作し（試料数各2点）、pH(H₂O)、電気伝導率、全炭素、全窒素、可給態リン酸、陽イオン交換容量、交換性塩基（カルシウム、マグネシウム、カリウム）、有効水分量（pF1.8～3.0）の分析・測定を行った。

2.3 植栽試験

土砂採取事業開始前に事業地内で確認された主な森林植生は、アカマツモチツツジ群集、コナラアベマキ群集、クスノキ群落、ウバメガシ群落などヤブツバキクラス域の代償植生であった。本試験では上記森林植生の主要構成種の中からアカマツ（*Pinus densiflora* Siebold et Zucc.）、コナラ（*Quercus serrata* Thunb. ex. Murray）、エノキ（*Celtis sinensis* Persoon var. *japonica* (Planch.) Naka）、クスノキ（*Cinnamomum camphora* (L.) Presl）の4種類を対象とした。植栽試験は主にB層、C層に由来する現地発生土を平坦地に約70 cm厚で敷設した植栽試験地を設置して行った。バ

ーク堆肥を施用する試験区として、苗木1株あたりパーク堆肥（日本パーク堆肥協会認定商品；全窒素0.70%、全リン酸0.33%、全カリウム0.20%、C/N比23、水分63%）を3 L、6 L、9 L施用する区を各樹種に設定した。試験区共通の土壌改良資材として1株あたり炭酸カルシウム60 g、過リン酸石灰20 g、緩効性肥料（全窒素13%、水溶性リン酸16%、水溶性カリウム10%）100 gを施用した。比較対象として、肥料を含めたすべての土壌改良材を施用しない試験区（無処理区）を設定した。土壌改良材の混合・撈拌は小型パワーショベルと人力で行い、極端に大きな石塊は取り除いた。資材の混合範囲は40 cm四方と深さ30 cmを目安とした。この混合範囲の目安を用いると、前述のパーク堆肥施用区の混合割合（3 L、6 L、9 L）はそれぞれ約5.9、11、16 vol%となる。また、株元は麻不織布のマルチング資材で被覆した。植栽試験では健全なポット苗（樹高約100 cm、ポット径約15 cm）を各試験区に3個体ずつ使用した。各個体は1 m間隔で植栽した。植栽を2001年4月に実施した後、同年6月と10月、翌年10月および翌々年10月に生育調査を行った。生育調査では各個体の樹高、株元直径、枝張りを計測した。枝張りは最大箇所と最小箇所を目視で判断して測定し、解析にはそれらの平均値を枝張りとした。また、散水は行わず、除草は適宜行った。

3. 結果

3.1 土壌分析結果

事業地内で採取されたB層、C層を起源とする下層土の分析結果を表-1に示す。また、表-1には植栽基盤の整備目標値^{10,14)}を併せて記した。土壌のpHは4.9と酸性であった。電気伝導度は0.04 dS m⁻²と、かなり低い値であることから土壌中の養分が不足している状態にあることが推測された。腐

表-1 森林土壌のB層、C層を起源とする未熟土の分析結果と植栽基盤整備目標値^{10,14)}

Table 1 Analytical results of immature soil originated from B layer, C layer of forest soil and target values for planting ground^{10,14)}

Items	Average values ±S.D	Target values for planting ground
pH(H ₂ O) —	4.9 ±0.2	5.6～6.8
Electric conductivity (dS m ⁻¹)	0.04 ±0.03	0.2>
Total carbon (g kg ⁻¹)	4.1 ±1.2	—
Humus (g kg ⁻¹)	7.1 ±2.0	100<
Total nitrogen (g kg ⁻¹)	0.68 ±0.15	1.2<
Available phosphoric acid (mg kg ⁻¹)	7.9 ±3.8	200<
Cation exchange capacity (cmol _e kg ⁻¹)	12.9 ±1.7	20<
Exchangeable cation Ca (cmol _e kg ⁻¹)	0.66 ±0.28	5<
Mg (cmol _e kg ⁻¹)	2.9 ±0.98	2<
K (cmol _e kg ⁻¹)	0.39 ±0.13	1.5<
Available water retention capacity (L m ⁻³)	43.8 ±14.2	120<
Gravel content (Wt%)	29.2 ±11.5	20>
Apparent specific gravity (Mg m ⁻³)	1.4 ±0.03	—

表-2 バーク堆肥を混合した未熟土の土壌分析結果

Table 2 Analytical results of immature soil mixed with the bark compost

Items	Control	Compost application rate	
		10 vol%	20 vol%
pH(H ₂ O) -	5.1	5.2	5.2
Electric conductivity (dS m ⁻¹)	0.03	0.05	0.07
Total carbon (g kg ⁻¹)	3.6	6.9	12.3
Humus (g kg ⁻¹)	6.2	11.9	21.1
Total nitrogen (g kg ⁻¹)	0.45	0.65	0.90
Available phosphoric acid (mg kg ⁻¹)	8.0	81.5	151
Cation exchange capacity (cmol _c kg ⁻¹)	11.6	12.4	13.6
Exchangeable cation Ca (cmol _c kg ⁻¹)	0.60	1.6	2.7
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	3.7	4.1	4.3
K (cmol _c kg ⁻¹)	0.3	0.6	0.9
Available water retention capacity (L m ⁻³)	51	98	83

植, 全窒素, 可給態リン酸, 陽イオン交換容量ともに植栽基盤の整備目標値と比較して低かった。わが国の森林土壌のB層の腐植と窒素の含有率は, それぞれ 20~100 g kg⁻¹ と 1~5 g kg⁻¹ が目安¹¹⁾とされ, 本供試土壌はこれらよりも低い値であり, C層を起源とする土壌の混入割合が高いと推測された。交換性塩基についてみると, マグネシウムは目標値より高かったが, カルシウムとカリウムが目標値と比較してかなり低い値であった。これらの結果から, 対象とした土壌は腐植と保肥力が少なく, 栄養の乏しい状態にあることが示された。

土壌物理性についてみると, 有効水分保持量は 48.3 L m⁻³ と目標値よりも低く, 保水力が低い土壌であることを示している。礫含量は 29.2 %で植栽基盤の目標値である 20 %以下を上回っていることから, 保水力が低いことは礫含量が高いことも関係しているものと推測された。仮比重は 1.4 で, 黒

図-1 各試験区の樹高, 株元直径, 枝張りの推移

Fig. 1 Changes of height, stem diameter and crown diameter

ボク土が0.6~0.7²⁾であることと比べて高く、有機物が少ないことを反映していると考えられた。

本土壌にパーク堆肥を混合した土壌試料の分析結果を表-2に示す。堆肥の混合により土壌のpHはあまり変化しなかった。電気伝導率、全炭素、全窒素、可給態リン酸、陽イオン交換容量、交換性塩基はいずれもパーク堆肥の混合により上昇した。これはパーク堆肥の混合による腐植分の増加と養分供給、保肥力向上の効果が直接現れた結果と考えられる。有効水分保持量は、堆肥を混合した場合に高くなったが、パーク堆肥の混合割合が10%の場合と比較して20%の方が有効水分保持量の増加は小さかった。この結果から、供試した未熟土に対するパーク堆肥の施用により、保水性の向上効果が期待されるものの、パーク堆肥の混合割合と保水性の向上は必ずしも比例関係にはないことが示された。

3.2 植栽試験の結果

3.2.1 4樹種の樹高、株元直径、枝張りの推移

植栽試験における樹高、株元直径、枝張りの平均値の推移を図-1に示す。アカマツの初期調査時の樹高は100 cm前後であったが、2年4ヶ月が経過した時点で、パーク堆肥9 L区で最も高く約160 cmまで伸長し、無処理区でも約140 cmまで伸長した。株元直径についてみると、他の樹種では2年

目から3年目にかけてグラフの傾きがやや下がり、肥大成長が鈍化するケースが多かったが、アカマツは前年とほぼ同様の傾きを示し、4 cm 前後まで成長した。枝張りも継続的に成長し、100 cm 前後まで達した。コナラは、無処理区で樹高の成長がほとんど認められず、枝張りも1年目の10月以降は成長が小さかった。パーク堆肥施用区では、いずれの試験区でも樹高、株元直径、枝張りについてほぼ継続的な成長がみられたが、3 L 区の2年目から3年目の樹高の成長は僅かであった。エノキは、コナラと同様に、無処理区で樹高の成長が悪かった。パーク堆肥施用区では、6 L 区で樹高、株元直径、枝張りのいずれにおいても他試験区より高い成長を示した。しかし、枝張りは1年目の10月以降、パーク堆肥3 L 区を除いて、小さくなる傾向であった。クスノキは、枝張りの成長はある程度みられたものの、樹高の成長が小さく、特にパーク堆肥3 L 区では3年目に大きく後退した。その要因は特定出来なかったが、植栽初期においては、肥料やパーク堆肥による養分供給により地上部が成長したものの、根の生育不良や土壌の保水力不足、肥料切れなどの複合要因により地上部を支えきれず、先枯れを生じたもの推測される。株元直径は、2年目までいずれの試験区でも成長が認められたものの、2年目から3年目にかけての成長は小さかった。

図-2 パーク堆肥の施用量と樹高、株元直径、枝張りの相対成長率との関係 (エラーバーは標準誤差(n=3))。異なる英小文字は有意差があることを示す (Duncan's test, P<0.05)。*は示された処理間で有意差があることを示す (t 検定, P<0.05)。

Fig. 2 Relation between bark compost application quantity and relative growth rate of height, stem diameter and crown diameter. Error bars show standard error (n=3). Different alphabets mean significant difference (Duncan's test, P<0.05). * means significant difference between pointed treatments (t-test, P<0.05).

3.2.2 4 樹種の各測定部位の相対成長率

長坂ら⁸⁾は、自生種の道路法面への適応性に関する研究において、相対樹高成長率 (RHGR) を指標の一つとして用いている。本研究ではこの手法を参考とし、植栽年の 6 月から 2 年 4 ヶ月が経過した 3 年目の 10 月までの樹高、株元直径、枝張りについて相対成長率 (RGR) を求めた。相対成長率の求め方は式 (1) に示す。

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (\Delta T) \quad (1)$$

RGR: 相対成長率, $\ln$: 自然対数, W_1 : 初期調査の測定値, W_2 : 初期調査から 2 年 4 ヶ月後の測定値, ΔT : 経過年数

求めた相対成長率を樹種毎に表したものが図-2 である。アカマツについて、まず無処理区とバーク堆肥 3 L 施用区を比較すると、バーク堆肥 3 L 区の方が株元直径の相対成長率がやや高く、樹高と枝張りの成長率がやや低い傾向がみられる。次にバーク堆肥の施用量と各測定部位の相対成長率との関係を見ると、バーク堆肥施用量の増加に伴い、樹高と枝張りの相対成長率は高くなる傾向を示したが、株元直径の成長にはあまり差がなかった。コナラでは樹高の相対成長率が 6 L 区で最も高かったが、株元直径と枝張りでは 6 L 区よりも 3 L 区と 9 L 区の方が高かった。エノキでは樹高、株元直径、枝張りのいずれもバーク堆肥 6 L 区で相対成長率が最も高い傾向を示した。クスノキでは 6 L 区で枝張りの相対成長率が高い傾向が認められた。樹高では 3 L 区でマイナス成長となり、6 L 区、9 L 区でも無処理区と同様に低い成長率であった。

材積を表す指標の一つである D^2H を株元直径 (D) と樹高 (H) から算出し、 D^2H の相対成長率を求めて、樹種別に表したものが図-3 である。アカマツは、いずれの試験区においても、4 種の中で D^2H の相対成長率が最も高かった。無処理区と比べてバーク堆肥施用区の成長率がやや高かったが、バーク堆肥施用量の違いによる差は小さかった。コナラの相対成長率は、アカマツと比較してやや小さかった。試験区内の差は顕著ではなかったが、無処理区が小さく、バーク堆肥 3 L 区が最も高かった。エノキは、バーク堆肥 6 L 区で成長率が最も高くなる傾向を示した。クスノキは、樹高が低下した 3 L 区で最も成長率が低く、他の試験区については顕著な差異はみられなかった。

4. 考察

本研究では、造成工事に伴って発生した森林土壌の B 層、C 層に由来する未熟土を対象に、植栽基盤としての性状を把握するための土壌分析を行った。その結果、対象となった未熟土は酸性で、植栽基盤の整備目標値と比較して腐植と窒素、リン酸、カルシウムなどの養分に乏しく、また、礫含量が多く保水性が低い性状であることが明らかとなった。わが国の土壌は、降水量の多い気候条件下にあって土壌中の塩基の溶

図-3 バーク堆肥の施用量と D^2H 相対成長率との関係
エラーバーは標準誤差 (n=3)

Fig. 3 Relation between bark compost application quantity and D^2H relative growth rate (Error bars show standard error (n=3))

脱が進行し、褐色森林土の pH は 4.5~5.5 の範囲に入ることが多く¹¹⁾、本研究で対象となった土壌もその特性を示していた。また、交換性のカルシウム、カリウムと比較して、マグネシウムが高かったが、これは母材の特徴を表したものと考えられる。カルシウム/マグネシウム比 (当量比) を求めると 0.2 であった。植栽基盤に関するカルシウム/マグネシウム比の基準はみられないが、一般作物の栽培を行う農地土壌の場合には概ね 2~6 が望ましい¹²⁾とされていることと比較すると、本土壌のカルシウム/マグネシウム比はかなり小さい。pH が低く、酸性であることと併せて考えると、土壌改良においては、炭酸カルシウムなどの施用により pH の矯正とカルシウムの供給を図ることが有効と考えられ、植栽試験に反映させた。しかし、交換性塩基のバランスと緑化樹の苗木の生育との関係についてはあまり研究例がなく、今後の課題である。

バーク堆肥は、緑化造園工事で広く用いられている有機物系土壌改良資材であり、土壌の化学性と物理性の改良を同時に期待して使用されている³⁾。本研究においては、供試した未熟土にバーク堆肥を混合した土壌の分析結果から、養分供給と保肥性、保水性の改善効果が確認された。しかし、バーク堆肥の施用量と保水性の向上は、比例関係にはなかった。今後、さらにデータを積重ねる必要があるが、この結果は、バーク堆肥による土壌の保水性改善効果が、バーク堆肥自体の保水力だけに依るものではないことを示唆している。バーク堆肥と土壌を混合すると、バーク堆肥を構成する有機物分と混合先の土壌の土壌粒子とが接することで、新たな微細構造が生じ、これが土壌全体としての保水性に影響していることが推測される。

また、バーク堆肥の施用量と植物の生育に関しては、マサ土を対象とした場合、施用量 (0~60 vol%) を増やすほど、ヘデラヘリックスとトウネズミモチの生育が良くなった例⁵⁾が報告されている。その一方、越地⁴⁾は、火山灰を母材とす

る砂壤土質の土壌にパーク堆肥を施用して ($0\sim 8\text{ kg m}^{-2}$)、スギ苗による5年間の生育試験を行ったところ、3年目の高温少雨時にパーク堆肥の施用量が増加するほどスギの生育が低下する傾向がみられ、その要因として、パーク堆肥がある程度以上に乾燥した場合に湿り難くなる性質を持っていることによる乾燥害が生じたものと考察している。

本研究においても、苗木の生育試験において、2年4ヶ月間の相対成長率から、エノキの場合にはパーク堆肥6L区より9L区の方が成長が抑制される傾向がみられた。また、枝張り、植栽2年目以降、3L区はほぼ横ばいとなったが、より施用量の多い6L区と9L区は低下した。気象条件をみると、2年目の年降水量が946 mmと平年値(年1,335mm)と比較して少なかったことなどから、エノキの成長において、越地⁴⁾が考察しているパーク堆肥による乾燥害が、生育抑制の一つの要因となった可能性も考えられる。その一方、耐乾性が高いとされるアカマツの場合は、9L区でも成長が抑制される傾向はみられなかった。アカマツは深根性であり、深根性の樹種は瘠悪な土壌条件に対する適応性が高いとの報告¹³⁾もある。エノキは浅根性の樹種であることから、礫含量が高く、保水性の低い未熟土への適応性が低い樹種であることも考えられ、この特性の違いがパーク堆肥を混合した場合の成長の差にも現れたものと推測される。

過度な乾燥が進んだ場合に生じると考えられるパーク堆肥の撥水性が土壌の保水性に与える影響は、通常行われる加圧板法¹⁾による有効水分保持量の測定では評価が難しく、他の手法によって検証する必要がある。パーク堆肥の施用量と保水性、植物の生育との関係については、施用対象となる土壌の性状、樹種との関係も含め、今後さらなる研究が望まれる。

本試験における苗木の成長には、無処理区を除いてパーク堆肥と共に供給された肥料が大きく寄与していると考えられるが、加えて、パーク堆肥による養分供給と土壌の保肥力、保水力向上による根からの養分吸収量の増加や、根圏の生育環境改善が、未熟な土壌条件における生育向上に寄与したものと推測される。パーク堆肥の施用量と苗木の成長との関係は、樹種によってその土壌改良効果の現れ方に違いがみられたが、その差異は樹高、株元直径、枝張りの成長の仕方に現れた。アカマツの場合、パーク堆肥の施用量増加による養分供給や土壌改良効果は、主幹の肥大成長よりも枝葉の伸長成長と水平方向の成長に作用したことが示された。これに対してエノキの場合、いずれの測定部位でも6L区で最も相対成長率が高くなった。コナラとクスノキについては、傾向がやや不明瞭であったが、コナラでは6L区で樹高の相対成長率が最も高く、クスノキでは6L区で枝張りの相対成長率が最も高かった。このように、パーク堆肥の施用量と測定部位の相対成長率との関係から考察すると、パーク堆肥の施用量は、苗木の成長における各器官への資源配分に影響を与えると共に、資源配分の仕方は樹種によって異なることが示唆された。これには樹種による養分利用特性の違いも関係しているもの

と考えられる。今後は、各器官の生体量を直接計測する手法等を用い、より詳細な評価を行うことが課題である。

近年、良質の客土を大量に確保することは環境保全の点から困難である。植物の生育に不適な土壌が生じるケースが多い造成地では、パーク堆肥などの有機物施用による土壌改良により、初期に導入する緑化樹の適応性を高めることができれば、有機物資源と現地発生土の有効活用の点でも有意義であると考えられる。

謝辞：本研究を行うにあたり、青木あすなる・鹿島建設共同企業体関係者に多大なご協力を賜りました。ここに記し、感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 土壌環境分析法編集委員会編(1997)土壌環境分析法, 博友社, 427 pp.
- 2) 藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎編(1998)土壌肥料用語辞典, 農文協, 338 pp.
- 3) 長谷川秀三・川九邦雄(1983)有機質土壌改良資材(パーク堆肥と汚泥類)の緑化樹に対する施用効果について, 造園雑誌 46(5):176-181.
- 4) 越地 正(1983)パーク堆肥による苗畑土壌改良試験, 神奈川林試研究報告 9号:19-32.
- 5) 増田拓朗(1990)植栽基盤としてのマサ土の問題点と改良法, 香川大学農学部紀要 54巻:1-77.
- 6) 宮脇昭ほか(1993)ふるさとの木によるふるさとの森づくり, 横浜国立大学環境科学研究センター紀要 19-1:73-107.
- 7) 村井 宏, 堀江保夫(1975)新編治山・砂防緑化技術, ソフトサイエンス社, 332 pp.
- 8) 長坂晶子・長坂有・鈴木 玲・小野寺賢介・今 博計(2008)北海道産木本 17 種を用いた道路路面の植栽試験—樹種特性からみた植栽の確実性—, 北海道林業試験場研究報告第 45号:9-20.
- 9) 日本緑化工学会(2002)生物多様性保全のための緑化植物の取り扱い方に関する提言, 日本緑化工学会誌, 27(3):481-491.
- 10) (社)日本造園学会, 緑化環境工学研究委員会(2000)緑化事業における植栽基盤整備マニュアル, ランドスケープ研究 63(3):224-241.
- 11) 農林水産省林業試験場土壌部監修(1982)森林土壌の調べ方とその性質, 林野弘済会, 328 pp.
- 12) 佐々木剛・森本幸裕・今西純一(2007)施工後30年経過した大規模造成樹林地の林分構造と土壌条件, ランドスケープ研究 70(5):413-418.
- 13) 関口秀一(2009)郷土樹種による採石跡地の早期緑化技術, 茨城県林業技術センター研究成果解説 No.45.
- 14) 建設省都市局公園緑地課都市緑地対策室監修(1999)植栽基盤整備技術マニュアル(案), 財団法人日本緑化センター, 167 pp.
- 15) 柳井清治(2002)積雪寒冷地帯の岩屑地における森林造成法の開発—植栽後9年間の成長と生残—, 日本緑化工学会誌, 27(3): 519-525.

(2011.6.8 受理)