表土移植工法により造成された皇居東御苑の
雑木林土壌の理化学的性質の変化高橋輝昌¹・生原喜久雄²・峰松浩彦²

摘要：皇居東御苑二の丸に雑木林を造成する際に、森林土壌の表層部をできるだけ攪乱せずに造成緑地に移植する表土移植工法が採用された。二の丸雑木林に移植された表層土壌が、造成後約 10 年間でどのように変化したのかを検討するために、土壌の理化学的性質を二の丸雑木林と表土採取地の雑木林（武蔵野林）で比較した。二の丸雑木林土壌は武蔵野林土壌と比べて pH が高く、炭素および窒素濃度が低く、交換性塩基濃度が高かった。これらの原因の一つとして造成地周囲からの粉塵の影響が考えられた。二の丸雑木林土壌の化学的性質の変化は植生や土壌生物の組成・数に影響を及ぼすと考えられ、さらに調査していく必要がある。

キーワード：都市緑地、土壌の化学的性質、雑木林、土壌の理学的性質、植栽基盤、表土移植工法

Takahashi, Terumasa, Haibara, Kikuo and Minematsu, Hirohiko : Changes in physical and chemical characteristics of soil of coppice forest made using transference intact surface soil in the Higashi Imperial Gardens

Abstract: Transference intact surface soil is the new method which transfer forest surface soil without disturbance as much as possible for preparation of artificial urban open space. We investigated physical and chemical characteristics of soils in coppice forest which was made using transference intact surface soil on Higashi Imperial Gardens (T) about 10 years ago and natural coppice forest (N) which established near the collecting area of surface soil for the transference and compared these characteristics between T and N to examine the changes in T soil for about 10 years. Thickness of transferred soil on T soil was approximately 10 cm. The soil acidities of T soils transferred were higher than N soils. The carbon and nitrogen concentrations of T soils were considerably lower than N soils. The exchangeable bases concentrations of T soils shows tendency to exceed them of N soils. It seemed that soil organic matter in T were decreased. It seemed that the transferred soil on T were affected by deposition and so on. Because it is expected that those changes in the characteristics of T soil affect vegetations and soil organisms, further investigations concerning them are needed.

Key words: artificial urban open space, chemical characteristics of soil, coppice forest, physical characteristics of soil, planting ground, transference intact surface soil

1. はじめに

都市緑地の役割として、ヒートアイランド現象・騒音・大気汚染等の緩和機能が古くから認識されている。近年、都市化の進行や都市住民の価値観の変化・多様化に伴い、都市緑地に対して求められる新たな役割として、多様性と固有性を持った生態系の保全・復元がある。このため、各地に自然環境の保全や復元を目的とした多自然型河川、ビオトープ、都市自然公園等の多様な緑地の造成が試みられている⁷⁾。このような緑地において、植生の早期繁茂と健全な生育を図り、維持するためには植栽基盤（土壌）を適切な状態に造成・維持することが不可欠である。

植栽基盤の工法には、造成する緑地の形態、目的、土壌の性質等に応じて様々なものが考案されている⁵⁾。

人工緑地の造成に広く用いられている、重機による地面の踏み固めや表層土壌の除去を伴う工法は、土壌の理化学的性質を悪化させ、植物の生育や回復にとって好ましくないこと

が指摘されている⁶⁾。

森林の表層土壌（表土）は腐植物質を多く含むことから、膨軟で高い養分保持能や有機物の分解能をもち、植物の生育に適している。このような表土の性質に着目した、緑地の造成に際して造成予定地の表土をあらかじめ保存し、植栽地に撒き出す工法である「表土保全」は、我が国では昭和 40 年代から行われ始めた²⁾。表土保全の効果として、植栽樹木の生育の向上が挙げられている¹⁰⁾。一般に、表土保全工法では表土採取にブルドーザーを用い、採取した表土を 3 ~ 6 年堆積させるため、採取した土壌の攪乱・構造の破壊や下層土の混入は避けられない^{10,16)}。このため、本来表土が持つ肥沃さが植物の生育に十分に利用されない欠点を持つ。表土には多くの場合、埋土種子が含まれていることから、道路の法面緑化の際、早期に植生を回復させる目的で表土保全が用いられることがある²⁾。しかし、表土を撒き出す際に埋土種子の上に多量の土壌が堆積すると、埋土種子の発芽が抑制される。

近年、森林表土を利用する新たな工法として、森林表土を

¹ 千葉大学園芸学部, Fac. of Hort., Chiba Univ.

² 東京農工大学農学部, Fac. of Agric., Tokyo Univ. of Agric. and Technol.

できるだけ攪乱せずに造成緑地に移植する「表土移植工法」が試みられ、表土を採取した森林における主要な構成植物種が根や埋土種子として運ばれ、移植後も高い割合で維持されていることが報告されている⁸⁾。この表土移植工法は森林土壌の最も肥沃な部分のみを土壌構造をできるだけこわさず移植するために、土壌の理化学的性質の維持が期待される。

そこで、本研究では表土移植工法の有効性について検討する一環として、およそ10年前に武蔵野の雑木林の表土を表土移植工法で移植して新しく造成された雑木林の土壌と、表土を採取した付近の雑木林の土壌の理化学的性質を比較し、表土移植工法で移植された土壌の変化を明らかにすることを目的とした。

2. 調査地の概況

調査地は東京都千代田区の皇居東御苑二の丸に造成された面積8,200 m²の雑木林（二の丸雑木林）と神奈川県相模原市にある「こもれびの森」の雑木林（武蔵野林）である（図-1）。

二の丸雑木林は武蔵野の雑木林の復元を目的として、芝生広場であったところに、1982年から1985年にかけて以下に述べるような表土移植工法⁹⁾によって造成された。二の丸雑木林の表土には東京都町田市、神奈川県相模原市のコナラ、クヌギ、イイギリ、イヌシデ等が高木層を占める雑木林で10 cm程度までの深さから、そこにある植物の根も含めてできるだけ構造を保ったまま採取し、浅い木箱（トロ箱）に入れて搬出・運搬したものを用いた。二の丸雑木林の造成予定地の在来地盤を50 cmの深さまで耕耘し、赤土（火山灰土壌の心土）を造成前後の地形に応じて0～80 cm盛土した上に町田市、相模原市で採取した雑木林の表土を構造をできるだけ保ったまま10 cm程度の厚さに移植した。

二の丸雑木林に移植した樹木は主として栃木県内で採取された武蔵野の雑木林を代表する落葉広葉樹（コナラ、ヤマザクラ、エゴノキ、クヌギ等）である。また、町田市と相模原市で採取された地被類も土壌ごと移植された。これらの移植は1982年3月と1983年3月に行われた。植栽に際して施肥は行われていない。1996年には二の丸雑木林内で植物が270種確認され、植栽された植物（約100種類）の他に、移植した表土中の根や埋土種子などからも多く発生している⁸⁾。

武蔵野林は二の丸雑木林への移植土壌採取地域に隣接しており、現在、面積73 haの雑木林として管理されている。

3. 調査方法

1996年9月に二の丸雑木林内の3カ所（断面1～3、二の丸土壌）、武蔵野林内の2カ所（断面4、5、武蔵野土壌）（図-1）で土壌断面調査を行い、理化学的性質を調べるための試料の採取を層位ごとに行った。いずれの断面でも70 cm程度までの土壌試料を採取したが、断面1、2については土壌中の礫含有量が多く、理化学測定用の試料を土壌深40 cmまでしか採取できなかった。採取した試料について、以下の測定を行った。

三相組成を100 ml 採土円筒で採取した試料について、土壌三相計を用いて測定した。土壌の透水性を400 ml 採土円筒で採取した試料について、真下式透水試験装置⁹⁾を用いて測定した。pH(H₂O)（生土：H₂O = 1：2.5）をガラス電極法で、全炭素（C）、全窒素（N）濃度をCNコーダー法で、交換性カリウム（K）、カルシウム（Ca）、マグネシウム（Mg）濃度を1N-CH₃COONH₄による抽出後、原子吸光法でそれぞれ測定した³⁾。

1997年9月に二の丸雑木林の移植土壌のpH(H₂O)分布を調査するために、二の丸雑木林全体を10 mメッシュに区切

図-1 調査地の位置

Fig. 1 Location of study sites.

り、合計 89 地点から土壌深 0～10 cm の土壌を採取し、pH (H_2O) を測定した。また、二の丸雑木林の南西に約 300 m 離れた富士見櫓～富士見多聞の樹林地内 (図-1) で 20 地点から土壌深 0～10 cm の土壌を採取し、pH (H_2O) を測定した。富士見櫓～富士見多聞の樹林地は 1966 年 11 月から 1967 年 3 月にかけて造成され、ほとんど人手を加えられていない。

4. 結果と考察

4.1 土壌断面

土壌断面調査の結果を表-1 に示す。土色をみると、断面 1 では土壌深 70 cm まで暗褐色であり、70 cm 以深では褐色であったのに対して、断面 2 と 3 では土壌深 7 cm までの移植された部分が極暗褐色～暗褐色、それより下層が褐色、さらにその下層が黒褐色～暗褐色であった。二の丸土壌の断面では雑木林造成に伴って形成された、土壌表層から下層にかけての移植土壌 (0～10 cm) - 赤土の盛土 (20～70 cm) - 造成前の在来土壌という構造が造成後 10 年以上経っても保たれていた。武蔵野土壌は、断面 4、5 とともにいずれの層でも黒褐色の典型的な黒ボク土 (火山灰土壌) であった。二の丸土壌の水湿状態は、断面 1 では全ての層で潤であったが、断面 2 と 3 では移植土壌 (0～7 cm) が潤、それより下層が乾であった。武蔵野土壌の水湿状態は、断面 4、5 とともに全ての層で潤であった。水湿状態の潤と乾は、土壌水の張力特性 (pF) の 2.5～3.0、3.0～4.2 にそれぞれ相当する¹⁾。このことから、二の丸雑木林の移植土壌は植物の生育に適度な水分を保持している。しかし、移植土壌より下層の土壌水分は毛管連絡切断水分点 (pF 3.0) 以下の植物に利用されにくい状態にある。土性はいずれの土壌でも微砂質壤土であった。堅密度には二の丸土壌と武蔵野土壌で明らかな違いはみられなかった。

4.2 土壌の理学的性質

各土壌断面における土壌深 0～10 cm の三相分布を図-2 に示す。二の丸雑木林の移植土壌 (土壌深 0～7 cm または 10 cm) の固相率は 16～25% であり、武蔵野林 (土壌深 0～10 cm) の固相率 (25, 29%) に比べて低かった。また、土

壌深 0～10 cm の液相率は二の丸雑木林 (移植土壌) で 30～34% であるのに対して、武蔵野林では 36, 41% であった。このように、武蔵野林から二の丸雑木林への表層土壌の移植に伴い多少の土壌構造の破壊がおり、土壌孔隙量が増加している。

土壌の透水速度を図-3 に示す。造成緑地の植栽基盤の透水速度は $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$ で「不良」、また、 $10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$ 以下で「極不良」と評価される¹⁴⁾。本調査地の透水速度はいずれの断面、土壌深でも $4.0 \times 10^{-3} \sim 2.2 \times 10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$ 以上であり、樹木の生育に適した範囲であった。二の丸雑木林の移植土壌の透水速度は移植後約 10 年経っても武蔵野林の表層土と同様の $1.4 \sim 2.0 \times 10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$ の範囲に保たれていた。

4.3 土壌の化学的性質

各調査地の土壌 pH (H_2O) を図-4 に示す。どの断面でも土壌 pH (H_2O) は表層部で低くなる傾向にあった。二の丸雑木

図-2 土壌深 0～10 cm の三相分布

○：断面 1，△：断面 2，□：断面 3，●：断面 4，▲：断面 5

Fig. 2 Three-phase distributions of soil 0-10 cm depth.

○：Profile 1，△：Profile 2，□：Profile 3，●：Profile 4，▲：Profile 5.

表-1 土壌断面調査の結果

Table 1 Soil profiles

調査地	断面番号	土壌深 (cm)	土色	腐植	水湿状態	堅密度
皇居東御苑二の丸雑木林 (二の丸土壌)	1	0～70	7.5YR3/3 (暗褐色)	含む	潤	軟
		70 以深	7.5YR4/4 (褐色)	含む	潤	堅
	2	0～7	7.5YR2/3 (極暗褐色)	富む	潤	しょう～軟
		7～65	7.5YR4/4 (褐色)	含む	乾	軟～堅
		65 以深	7.5YR3/2 (黒褐色)	富む	乾	堅
こもれびの森 (武蔵野土壌)	3	0～7	7.5YR3/3 (暗褐色)	富む	潤	しょう～軟
		7～30	7.5YR4/6 (褐色)	乏しい	乾	軟
		30 以深	7.5YR3/2 (暗褐色)	富む	乾	堅
	4, 5	0～7	10YR2/2 (黒褐色)	頗る富む	潤	しょう
		7～40	10YR2/2 (黒褐色)	頗る富む	潤	軟
		40 以深	10YR3/1 (黒褐色)	富む	潤	堅

図-3 土壌の透水性
凡例は図-2 と同じ。

Fig. 3 Vertical changes in hydraulic conductivities of soil.
Legends are the same as in Fig. 2.

図-4 土壌 pH(H₂O)
凡例は図-2 と同じ。

Fig. 4 Vertical changes in soil pH (H₂O).
Legends are the same as in Fig. 2.

林の土壌 pH(H₂O) はいずれの土壌深でも武蔵野林よりもおよそ 1 高く、6 以上であった。二の丸土壌の移植土壌における pH(H₂O) の分布をみると (図-5)、林縁部に高い pH(H₂O) が分布している。二の丸雑木林と同様に、都市域の緑地で林縁部の土壌 pH の上昇を辰巳¹⁷⁾ も報告している。雨水のイオン成分について重回帰分析を行った松本・板野¹¹⁾ によれば、雨水の H⁺ イオンを増加させる作用として働くイオン成分は SO₄²⁻、NO₃⁻ であり、H⁺ イオンを減少させる作用として働くイオン成分は NH₄⁺、Ca²⁺ である。また、東京都内の道路沿道で大気中の粉塵物質を測定した溝畑ら¹²⁾ によれば、粒状物質中の Ca²⁺、NH₄⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻ の濃度はそれぞれ 5.45%、0.97%、0.18%、0.16% であった。このように H⁺ イオンを増加させるイオンよりも減少させるイオンが多いことから、都市部の道路で発生する粉塵には酸を中和する作用があると考えられる。真田ら¹⁵⁾ も都市域での大気からの降下粉塵による降水の酸の中和を報告している。皇居内の二の丸雑木林の周囲は車道になっているため、粉塵の吹き込みやすい林縁部では、長期にわたる粉塵等により移植土壌の酸が中和されたと考えられる。富士見櫓～富士見多間にある樹林地の表層土 (土壌深 0～10 cm) の pH(H₂O) は 5.70±0.38 であり、二の丸雑木林の移植土壌の pH(H₂O) よりも低い傾向にあった。

土壌の C、N 濃度を図-6 に示す。土壌深 0～10 cm の C 濃度は武蔵野土壌で 130、170 g kg⁻¹、二の丸雑木林 (移植土壌) で 80～110 g kg⁻¹ であった。土壌深 0～10 cm の N 濃度は武蔵野土壌では 7、10 g kg⁻¹、二の丸雑木林 (移植土壌) で 5～7 g kg⁻¹ であった。土壌深 0～10 cm の C/N 比は武蔵野土壌、二の丸雑木林 (移植土壌) のいずれでも 16～18 であった。二の丸雑木林の移植土壌の C、N 濃度は武蔵野土壌表層部よりも低い。この原因の一つとして、二の丸雑木林では前述したような土壌 pH(H₂O) の中性化が微生物による有機物分解 (無機化) を促進させ、土壌有機物量を減少させた

図-5 二の丸雑木林の表層土壌 (土壌深 0～10 cm) における pH(H₂O) の分布

Fig. 5 Distribution map of pH (H₂O) at soil depth 0-10 cm in the coppice forest on Ninomaru.

■ : pH(H₂O) ≤ 6, ▨ : 6 < pH(H₂O) ≤ 6.5, ▩ : 6.5 < pH(H₂O) ≤ 7, □ : 7 < pH(H₂O).

ことが推察される。

土壌中の交換性塩基濃度を図-7 に示す。二の丸雑木林の移植土壌の交換性 Ca は 12.1～16.2 cmol(+) kg⁻¹ であり、武蔵野土壌 (土壌深 0～10 cm) (3.6～4.5 cmol(+) kg⁻¹) よりも多かった。また、二の丸雑木林の移植土壌の交換性 Mg は 1.4～2.5 cmol(+) kg⁻¹ であり、武蔵野土壌 (土壌深 0～10 cm) (1.1、1.2 cmol(+) kg⁻¹) よりも多かった。武蔵野林では、二の丸雑木林に比べて pH の低い表層土壌 (図-4) で交換性 Ca、Mg が溶脱され、下層土壌に移動・集積されていると考えられる。土壌深 0～10 cm までの交換性 K は武蔵野土壌と二の丸雑木林の移植土壌でそれぞれ 0.9、1.0 と 0.7～1.4 cmol(+) kg⁻¹ であり、大差なかった。K は雨水によって植物体から溶脱されやすく、雨水による循環が落葉落枝による循環を上回る元素である¹⁸⁾。交換性 K は二の丸土壌、武蔵野土壌

図-6 土壌の炭素 (C)・窒素 (N) 濃度, C/N 比
凡例は図2と同じ。

Fig. 6 Vertical changes in carbon concentration, nitrogen concentration and C : N ratio.
Legends are the same as in Fig. 2.

図-7 土壌の交換性カリウム (Exch. K), カルシウム (Exch. Ca), マグネシウム (Exch. Mg) 濃度
凡例は図-2と同じ。

Fig. 7 Vertical Changes in exchangeable potassium, exchangeable calcium and exchangeable magnesium concentrations.
Legends are the same as in Fig. 2.

ともに表層より下層で少なかった。表層土壌では植物からの溶脱によって K が供給されているため、交換性 K 濃度は高い。しかし、交換性 K は交換性 Ca, Mg よりも土壌中の陽イオン交換基に保持されにくい¹⁹⁾、武蔵野土壌の下層では流亡により減少していると考えられる。二の丸雑木林周辺の降雨に伴う Ca^{2+} 供給量 (湿性沈着量) は $740 \sim 760 \text{ mol(+) ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ であり、 Mg^{2+} ($130 \sim 230 \text{ mol(+) ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) や K^+ ($19 \sim 44 \text{ mol(+) ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) よりも多い⁴⁾。前述のように道路で発生する粉塵には Ca が多く含まれる¹²⁾。また、自動車による大気汚染の程度を示す一月あたりの NO_2 濃度の 0.1 ppm 超過時間数 (1978 年 12 月現在) は、二の丸雑木林のある東京都心で 120 時間、武蔵野林のある相模原市で 20 時間以下であった¹³⁾。これらのことから、二の丸雑木林では武蔵野林に比べて道路粉塵による Ca 供給量が多いと推察される。二の丸雑木林の移植土壌の交換性 Ca が武蔵野土壌より

りも顕著に多くなった原因の一つとして、このような大気中からの Ca 供給量の多さが考えられる。二の丸土壌では断面間の交換性塩基濃度のばらつきが武蔵野土壌よりも大きく、人工的につくられた土層の特徴である造成ムラによるものであろう。

以上の結果をまとめると、表土移植工法を用いて 10 cm 程度の表土を移植して造成した二の丸雑木林では、造成後約 10 年経っても、造成に伴って形成された土壌の層構造が保たれていた。移植された土壌は水分状態を移植前と同様の植物の生育に適した状態に保っていたが、C, N 濃度を減少させており、土壌 pH (H_2O) と交換性塩基濃度を概ね増加させていた。

5. おわりに

表土移植工法の緑地造成法としての有効性について検討す

るために、皇居東御苑二の丸に表土移植工法によって造成され、約10年経過した雑木林と、移植土壌採取地近くの雑木林で土壌の理化学的性質を比較した。

本研究の結果から、緑地の面積が小さい場合、表土移植工法によって森林土壌を都市緑地に移植しても周囲の影響で移植土壌の性質は変化する。二の丸土壌の性質が武蔵野土壌と大きく異なることから、二の丸雑木林の植生や土壌生物が武蔵野林と異なった状態に変化していく可能性もあり、今後の調査が必要である。移植表土の有効性の維持や、土壌環境も含めた雑木林の早期復元のために、今後、必要な造成地の面積や周辺環境の影響について検討していく必要がある。

土壌養分特性の評価は土壌のみならず、目的物としての植物の生育の面からも評価されるべきである。今後は植物の生育状況や種組成の調査も行い、土壌養分特性との関連について検討し、表土移植工法の効果について総合的に評価する必要がある。

本研究を行うにあたり、現地でご指導いただいた宮内庁管理部庭園課の渡辺忠明氏、荻野久夫氏、飛島雄史氏、常富豊氏に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 相場芳憲 (1992) 森林土壌, 川名 明ら共著, 造林学—三訂版—, 朝倉書店, pp. 40–52.
- 2) 番匠康夫 (1989) 生態系のリサイクル, 亀山 章ら編, 最先端の緑化技術, ソフトサイエンス社, pp. 295–307.
- 3) 土壌養分測定法委員会 (1987) 肥沃度測定のための土壌養分分析法, 養賢堂, 440 pp.
- 4) 原 宏 (1992) 降水, 日本化学会編, 陸水の化学, 学会出版センター, pp. 69–78.
- 5) 長谷川秀三 (1998) 植栽基盤工, 興水 肇・吉田博宣編, 緑を創る植栽基盤—その整備手法と適応事例—, ソフトサイエンス社, pp. 98–105.
- 6) 長谷川秀三・田畑 衛・小澤徹三・佐藤吉之 (1984) 重機造成地の植栽基盤の物理性と活力度の関係について—高速道路植栽地を例として—, 造園雑誌, 48(2): 104–122.
- 7) 亀山 章 (1993) 都市緑地の計画, 井手久登・亀山 章編, ランドスケープ・エコロジー緑地生態学, 朝倉書店, pp. 52–64.
- 8) 亀山 章・作野由紀子・倉本 宣 (1997) 表土移植, 日本造園学会学会広報, 9(2): 24–25.
- 9) 河田 弘 (1976) 土壌の理化学的性質の分析方法, 河田弘・小島俊郎編, 環境測定法Ⅳ—森林土壌—, 共立出版, pp. 79–92.
- 10) 興水 肇 (1987) 客土と表土保全, 造園雑誌, 51: 27–34.
- 11) 松本光弘・板野龍光 (1985) 雨水成分の統計的解析, 大気汚染学会誌, 20: 12–22.
- 12) 溝畑 朗・伊藤憲男・楠谷義和 (2000) 道路沿道における大気浮遊粒子状物質の物理的・化学的性質, 大気環境学会誌, 35: 77–102.
- 13) 森口 實・千秋鋭夫・小川 弘 (1990) 環境汚染と気象—大気環境アセスメントの技術—, 朝倉書店, 249 pp.
- 14) 日本造園学会環境緑化学研究委員会 (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: 224–241.
- 15) 真田 勝・大友玲子・真田悦子 (1994) 札幌市羊ヶ丘における過去10年間の降水のpHについて, 日本林学会北海道支部論文集, 42: 261–263.
- 16) 関口万有・沖中 健・沼達健一・太田清澄 (1982) 緑地工, 関口万有編著, 造園工学, 地球社, pp. 201–235.
- 17) 辰巳修三 (1975) 緑地環境機能論, 地球社, 274 pp.
- 18) 堤 利夫 (1987) 森林の物質循環, 東京大学出版会, 124 pp.
- 19) 和田信一郎 (1997) 土壌の化学性, 久馬一剛編, 最新土壌学, 朝倉書店, pp. 73–95.

(2001.5.13 受理)