

自然教育園における鉛直方向の 土壌硬度と土地利用履歴との関係

魚井夏子¹・渡邊眞紀子¹・村田智吉²

Correspondence of vertical soil hardness and land use history
in the Institute for Nature Study

Natsuko Uoi¹, Makiko Watanabe¹ and Tomoyoshi Murata²

はじめに

人間活動の影響が地球規模でおよぶ現代では、土壌生成に及ぼす人為的影響も大きく、近年関心が寄せられるようになってきた。世界土壌照合基準 (World Reference Base of Soil Resources : WRB, FAO/Unesco/IUSS) は、人間によって管理された土壌を指す Anthrosols に加えて、人工物質を相当量含み、人為の影響を強く受けた土壌として Technosols という土壌群を 2006 年に新たに設けた。これを受けて、国内においても、包括的土壌分類の第 1 次試案として、「造成土」という土壌大群とその下位カテゴリーとして「人工物質土」と「盛土造成土」を設け、さらに亜群によって細かく分類することが提案されている (小原ほか, 2011)。このように近年人為的影響を強く意識した土壌分類を行うのが世界的な流れとなってきている。しかしながら、どのような改変がどのくらい経過すると土壌性状がどのようになるかといった知見は不足している。

自然教育園は、主に庭園として利用されており、明治維新後、戦後もその形態が大きく変わることはなく、武蔵野の自然が保存されている場所である。建築物の存在は室町時代に遡るとされ、現在ある土塁は当時の豪族館の遺跡の一部と考えられている。江戸時代になると、増上寺の管理下に入ったが、寛文 4 年 (1664) には、徳川光圀の兄にあたる高松藩主松平讃岐守頼重の下屋敷となり、園内にある物語の松やおろちの松などの老木は当時の庭園の名残である。明治時代には火薬庫となり、海軍省・陸軍省の管理となった。大正 2 年 (1913) に火薬庫は廃止され、大正 6 年 (1917) 宮内省帝室林野局の所管となり、白金御料地と呼ばれ、大正 10 年 (1921) に御料地の一部が朝香宮の邸地となった。その後、昭和 24 年文部省の所管となり、「天然記念物及び史跡」に指定され、国立自然教育園として広く一般に公開され、昭和 37 年国立科学博物館附属自然教育園として現在に至っている。

このような土地利用履歴をもつ自然教育園において、人間活動の影響が土壌の性状にどのように反映されているかを明らかにすることを目的として、本研究では、土壌の化学的性状に比べて変化しに

¹ 首都大学東京, Department of Geography, Tokyo Metropolitan University

² 独立行政法人国立環境研究所, Center for Regional Environmental Research, National Institute for Environmental Studies

くいとされる土壤の物理的性質の一つとして土壤硬度に着目した。本稿では、2011年5月～11月に行った園内の土壤硬度の鉛直分布の測定の結果を報告する。

自然教育園におけるこれまでの土壤調査

自然教育園は、下末吉面（台地）の北西に浸食谷（谷底低地）が入り込んでおり、20haの面積で標高約16mの湿地から最高33mの土塁まで微地形が複雑に入り込んでいる（坂上ほか、1978）。土地分類基本調査「表層地質図」（東京都、1999）では台地が武蔵野ローム層・武蔵野段丘（M面）堆積層となり、谷底低地（浸食谷）は沖積層（泥層）である。土地分類基本調査「土壤図」（東京都、1999）では「層厚黒ボク土壤・腐植質（林地）」と分類されており、他の都市緑地（北の丸公園、明治神宮、新宿御苑）と分類名上は同じカテゴリーの土壤とされている。

自然教育園の土壤調査を行った平山ほか（1978）では、黒色層の厚さ（cm）、表層の土壤構造、軟らかい層の厚さ（cm）にもとづいて園内の土壤図と、土壤からみた環境自然度の図を作成した。これは、人間の活動の影響が強いと思われる表層の土壤構造、軟らかい層の厚さ（cm）を組み合わせ、過去の人間活動による攪乱からの自然状態への回復度を自然度として4段階で表現したものである。黒色層の厚さは森林下において退色現象を示すことから区分基準として使用できないため採用していない。自然度Ⅰは、人間活動の影響が強く、回復が遅れている地域である。より自然な土壤は、下層の心土が表層近くの浅いところに出ることはあまりないはずであるということから、検土杖を軽く入れられる厚さ（軟らかい土層の厚さ）が10cm以下のものが相当し、その分布は主に土塁付近や休憩所、中央鉄塔付近にみられた。自然度Ⅱは、人間活動の影響からほとんど回復した地域である。このランクでは、土壤構造と軟らかい土層の厚さを主体としている。検土杖で軽く入れられる厚さ（軟らかい土層の厚さ）が30cm以下のものと表層の土壤構造がくず粒状、塊状構造のものが分類されている。15cm以深は壁状構造として統一している。微細くず粒状構造は一朝一夕にできないため、より自然度の高い自然度Ⅳへと分類している。これらは館跡を含み、過去に何らかの形で人間の影響が入り後に回復してきたと考えられる地域であるとされている。自然度Ⅲは、自然度Ⅰ、Ⅱ、Ⅳに分類されない地域がまとめられているカテゴリーであり、自然がよく残っている地域である。人間活動の影響があった場所では、くず粒状構造や塊状構造が主に観察されており、本来の生成的土壤構造とは異なる土の塊であると判断されている。このことから、微細くず粒状構造をもつ場所は、最も自然がよく残っている地域であると判断されている。また、くず粒構造やくず粒塊状構造が観察される場所では、軟らかい土層の厚さが30cm以下である点からも人間活動の影響を受けた地域としている。防空壕跡は土壤図作成上除外されているが、自然度によってランク付けする場合にはⅠ～Ⅱに相当する。しかしながら、自然度は相対的な指標であり、他の場所との比較が難しいこと、また人間活動の影響を知るには表層だけでなく下層土や、土層の発達形態にも着目する必要があると述べている。

坂上ほか（1978）では、園内の代表植生において土壤と水分環境について調べた。自然教育園の土壤は火山灰性黒ボク土で本来的には含水量が多いものの、堆積腐植層が薄いため表面流去の割合が高く、また気温が高く蒸発散量が多いことが考えられるため、森林土壤としては適潤性よりやや乾燥気味の土壤であることを指摘している。

浜田ほか（1990）では、園内の南東に位置する斜面において、地形条件の違いによる土壤の水分の違いが土壤の断面形態、理化学性、微生物的性質にどのように反映されるかを調べた。その結果、斜

面下部では最も湿潤になり、斜面上部で最も乾燥しており、地形の違いが土壌の水分状態に反映されていることを報告している。しかし、火山灰土の無機質層位の層位分化には数百年の時間経過が必要なこと、園内では過去に人為の影響を受けていることから、自然教育園内の土壌断面形態は、過去の土地利用履歴を強く反映していると述べている。

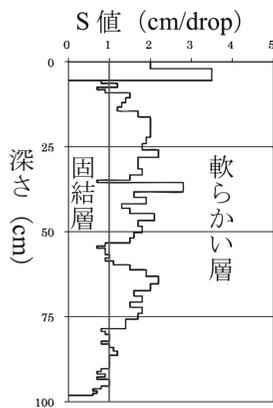
田中ほか（1990）では、浜田ほか（1990）によって調査された斜面において、堆積有機物層（O層）を除去したA層の表層10cm以浅の土壌を採取し、土壌の炭素、窒素含有量と腐植組成および土壌糖の組成を調べた。一連の土壌の炭素、窒素、土壌糖量は高い値であったが、特に斜面上部の土壌ほど、腐植酸化度は低く、糖組成では主に植物起源の糖の割合が多かった。しかし、各地点の土壌炭素含量が全般に高いこと、土色の黒色味が強いことは現在の立地条件における有機物の集積だけで説明されるものではなく、過去に黒ボク土が生成されたときの集積環境にも依存すると述べている。

平山ほか（2001）では、坂上ほか（1978）において調査された園内の代表的植生における土壌水分環境が、20数年経ってどのように変化したのかを調べた。坂上ほか（1978）から変化はほとんど見られなかったが、今後都市化によって乾燥化がより進む可能性が高いことを示唆している。

このように、自然教育園内において現在までに様々な土壌調査が行われており、共通の認識として、自然教育園は過去に人為の影響を受けた場所であり、その影響が現在の土壌性状にも依然として反映されていると考えられている。平山ほか（1978）では、特に人為の影響と土壌性状の関係について述べようとしたが、人間活動の強度の客観的指標として「検土杖を軽く入れられる軟らかい層の厚さ」を採用するに止めている。表層の軟らかさだけでなく、下層土や堅くしまった土層に人間活動の影響が何らかのかたちで反映されているのではないかと示唆している。

調 査 方 法

本研究では、過去の人間活動の影響が現れていると推測される下層土も評価するために、深さ1mまでの鉛直方向の土壌硬度の測定を行った。測定には長谷川式土壌貫入計（以下、貫入計）（H-100ダイトウテクノクリーン）を用いた。長谷川式土壌貫入計とは、2kgの重りを落下させ、そのエネルギー



S値 (cm/drop)	根の侵入の可否	軟らかさ（堅さ）の表現
0.7 以下	多くの根の侵入が困難	固結
0.7～1.0	根系の発達に阻害あり	硬い
1.0～1.5	根系発達阻害樹種あり	締まった
1.5～4.0	根系発達に阻害なし	軟らか
4.0より大	根系発達に阻害なし 低支持力、乾燥	膨軟過ぎ

日本造園学会 緑化環境工学研究委員会（2000）による長谷川式貫入計による軟らかさ（硬さ）の判定基準より作成

図1. 長谷川式土壌貫入計の測定によって得られるS値グラフと判定の基準等。縦軸は深さ（cm）、横軸はS値（cm/drop）。S値 \leq 1が固結層、S値 $>$ 1が軟らかい層。

ギーによって貫入ポールを土壤中に貫入させ、その時の貫入抵抗から相対的な硬さを把握する測定機器である。山中式土壌硬度計との相関関係も極めて高く、土壌断面を作成せずとも土壌硬度の測定が可能である。貫入計は、主に土壌を植栽の支持基盤として評価するために用いられており、根の侵入可否を判定する基準がある（日本造園学会 緑化環境工学研究委員会, 2000）。本研究では、S 値 (cm/drop) ≤ 1 を固結層とし、S 値 (cm/drop) > 1 を軟らかい層として表現した（図1）。土壌硬度の測定は、街路、街路より 50cm 以内、湿地・沼地より 1m 以内を避けて、園内 33 地点で行った（図2）。次に 33 地点をグラフ化し、その形態によって土壌硬度の分類を行った。



図2. 鉛直方向の土壌硬度の測定地点.

結 果

園内で測定した鉛直方向の土壤硬度を形態的特徴から以下の A から C の 3 つのグループに分類した。図 3 に分類された 33 地点の土壤硬度鉛直の全プロファイルを示す。

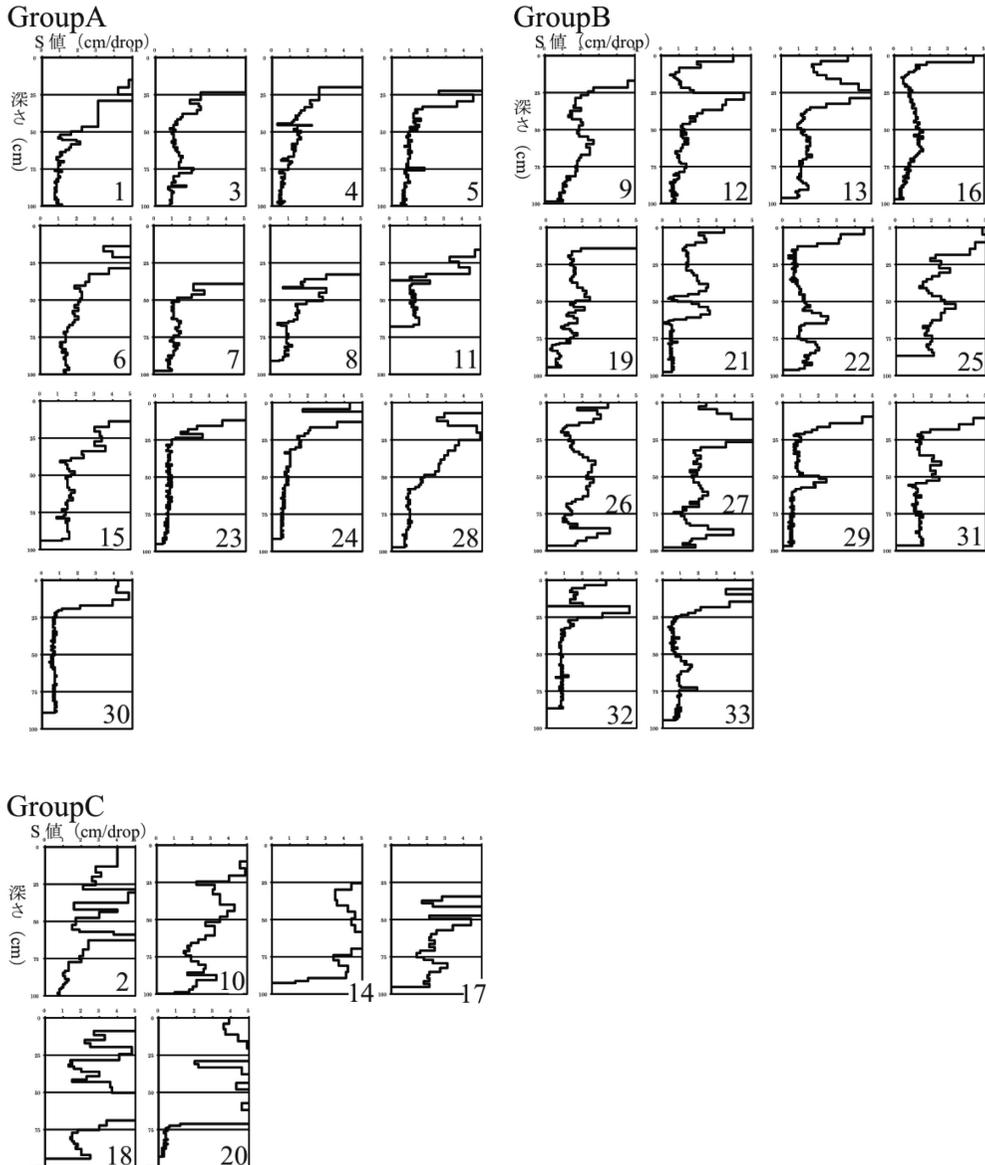


図 3. 鉛直方向の土壤硬度の分類 (グループ A ~ C). A: 表層 30cm 付近まで軟らかく、これより下層に向かって S 値が漸減する。一般的な森林土壤でみられる自然土壤に近い形態をもつタイプ。B: 軟らかい層と固結層が交互に現れる。館跡や土塁上、路傍植物園近く、現業舎近く、園路近くでみられるタイプ。C: 膨軟な層が連続して現れる。台地縁辺部でみられるタイプ。

グループ A

グループ A は、0cm から約 25 ~ 30cm 深で概ね S 値 > 3 と軟らかく、約 30cm 深から徐々に S 値が減少し、固結する傾向がみられた。地点 1 と 8 は、0cm から約 40 ~ 50cm 深まで S 値が大きい。また、どの地点でも固結層はみられなかった。グループ A に分類された地点は上層から下層にかけて S 値が漸減する形態をもつ。この特徴は、一般的な森林土壌でみられる形態であり、下層土が上層の土の重みにより、徐々に硬度が増す自然の圧密作用によるものである(土壌物理学会編, 2002)。地点 1, 3, 4, 5, 15, 28 は土塁近くの地点であり、地点 6, 7 は土塁上であった。地点 23 は園路からの近い地点であり、地点 24 は教研跡地の近くであった。地点 23, 24, 30 は、他の地点より浅い、約 20cm 深から土層が固くなる傾向がみられた。

グループ B

グループ B は、固結層と軟らかい層が 1m の土層内に交互に現れ、不連続な土壌硬度形態をもつグループである。固結層と軟らかい層が出現する深度は地点によって異なる。地点 9, 16, 19, 21, 22, 25, 26, 29, 31, 33 は、表層 0 cm から 20 ~ 25cm が軟らかく、その直下に固結層が現れ、その後再度軟らかくなる。地点 9, 16, 29, 31 は、下層で軟らかい層が出現するのは 1 回であり、地点 19, 21, 22, 25, 26, 33 は、軟らかい層が下層で 2 回またはそれ以上みられた。また、軟らかい層の出現と同様に固結層の出現回数も多い。これらの地点は、園路近くで測定した地点であった。地点 12, 13, 27, 32 は、表層のやわらかい層が 0 から 10 ~ 15cm であった。地点 12, 13, 32 は、下層での軟らかい層が出現するのは 1 回であり、地点 27 は 2 回であった。グループ B は、過去に人為的改変を受けたと考えられる場所や園路の近くで測定された地点が多く分類された。地点 26 は館跡であり、地点 27 は土塁上であった。また、地点 32 は路傍植物園近く、地点 33 は現業舎近く、地点 19, 21, 22, 25 は、園路近くであった。これらの地点は、軟らかい層の出現回数が、地点 32 以外は 2 回以上であった。

グループ C

グループ C は、日本造園学会 緑化環境工学研究委員会 (2000) によって根の支持基盤として「低支持力、乾燥」である S 値 > 4.0 が下層まで連続するグループである。地点 2 以外は、北西の樹林地で測定した地点が分類された。地点 14, 17, 20 は、75 ~ 100cm まで膨軟層が連続している。地点 14, 17, 18 は土塁上または、土塁近くであり、台地の縁辺部でみられた。地点 20 は、武蔵野休憩所の脇であった。

考 察

グループ A は、一般的な森林土壌でみられる自然土壌の形態に近い土層をもつグループであった。土塁上や土塁近くで測定した地点が 13 地点中 8 地点含まれていた (地点 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 28)。岡本 (1984) によれば、土塁は 7 層に分かれており、そのうち上層の 5 層までが人工的な盛土であると述べている。その土塁に 400 年から 500 年前にシイの木を植栽している。昭和 24 年 (1949 年) に天然記念物および史跡に指定されてから、人為的な改変を受けていないとすれば、人工的な盛土が 400 年余りの年月を経て、崩壊を伴いながらも、盛土造成土から自然土壌へ物理的性状の変化が起き

ていると考えられる。

グループBは、軟らかい層と固結層が交互に現れるグループである。S値<1.0となる固結層を下層にもつ地点が14地点中10地点あった。また、下層で軟らかい層の出現回数が2回以上の地点があった。軟らかい層の出現回数が2回以上の地点、同様に固結層の出現回数が多い地点は、館跡や土塁上、路傍植物園近く、現業舎近く、園路近くで測定した地点であった。この結果から、鉛直方向の土壌硬度で軟らかい層と固結層が交互に出現し、その繰り返しが多い形態は、過去または現在において土壌に対して人間活動の影響の頻度を反映したのと考えられる。一方で、土塁上で測定した地点23, 24, 27, 30もBグループに分類されており、約20cm深から固い場合や、下層土が他の地点よ

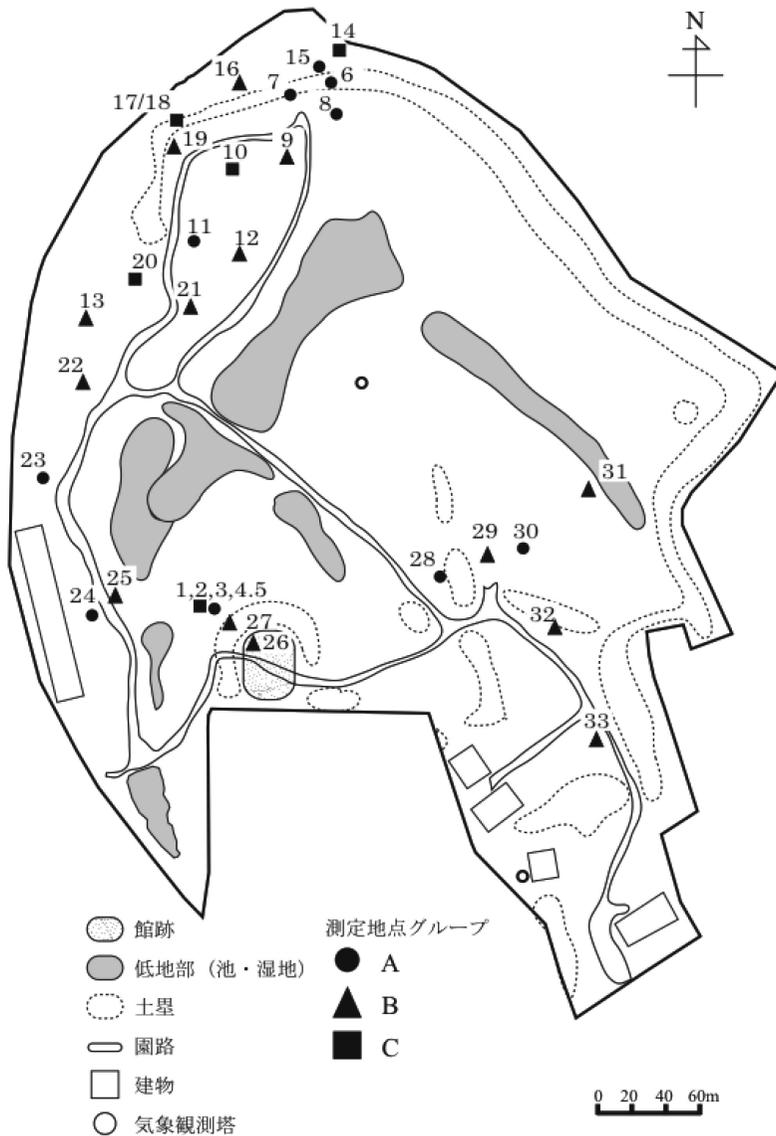


図4. 土塁等の土地利用履歴と土壌鉛硬度の測定地点.

り固い傾向がみられた。地点23は、園路からの近い地点であり、地点24は、教研跡地の近くであったことから、人間活動の影響が現在も及ぶ場所や改変の歴史が浅い場所では、下層土が固結することが考えられる。これは、平山ほか(1978)において、人間活動の影響が強いほど硬い土層を形成すると述べたことと一致する。

膨軟層は土塁上で測定した地点にみられた。浜田ほか(1990)で土塁の斜面上部では最も土壌が乾燥していたと述べていることから、土塁上の土壌では乾燥化が進行し、樹木根の伸長や土壌の崩落を伴いながら膨軟な土層を形成していることが推測される。膨軟層は、根の伸長に対する影響はないが、樹木の支持基盤としては軟弱であるため、倒木などの危険性がある。グループAに分類された地点は、地点30以外は、上層が膨軟層であった。とくに土塁のようなやせ尾根をもつ地形においては、今後乾燥化が進行することにより、樹齢の大きいスダジイの存在や造成後の経過時間など複合的な影響により、膨軟な層が下層まで形成されることが示唆される。

本研究によるグルーピングの結果と平山(1978)の自然度区分を地点ごとに対応させたところ、つぎのような結果となった。自然度Ⅰに位置する地点は、グループA、Bは、それぞれ1地点、自然度ⅡではグループA、Bは、それぞれ7地点、グループCは3地点であった。自然度ⅢはグループAが5地点、グループBが4地点、グループCが3地点であった。自然度Ⅳは、グループBが1地点、防空壕はグループBが1地点であった。この結果から、自然度の区分(Ⅰ、Ⅱ)と本研究で行った土壌硬度のグルーピング(A、B、C)の結果には対応がみられなかった。例えば、防空壕跡は自然度ではⅠまたはⅡになっているが、本研究では、防空壕跡と重なる地点はグループBである。防空壕跡のように、人為的攪乱が及んだ場所で、その歴史が10年のオーダー(100年未満)である場合には、鉛直方向の土壌硬度形態は、改変に伴う軟らかい層と固結層が交互に出現する土層形態が維持されていると考えられる。

平山ほか(1978)の報告が示すように、自然教育園のように樹林地が自然に近い状態で維持されている場所では、土壌の表層の構造や硬度は現植生をもとに比較的早い速度で回復・再生していくとみられる。しかしながら、過去に何らかの人為の影響を受けた箇所の下層における再生速度は緩慢であることが予想される。今回の調査により、自然教育園における過去の人為的影響は1メートル深の土壌硬度プロファイルの形態に残されているという結果が示された。さらに、その影響は、改変の規模と改変を受けてからの時間に依存して変化することが示唆された。過去の土地利用履歴や過去または現在の利用や管理状況が人工造成土をどのように特徴づけているか、鉛直方向の土壌硬度特性に着目して、今後さらに検討していきたい。

要 約

自然教育園において、人間活動の影響が土壌性状にどのように反映されているかを明らかにすることを目的として、園内合計33地点で鉛直方向の土壌硬度を測定し、形態にもとづいて3つのグループに分類した。その上で、鉛直方向の土壌硬度と土地利用履歴の対応を検討した。その結果、グループAは自然土壌に近い土壌硬度の形態、グループBは固結層と軟らかい層の互層からなる形態、グループCは、膨軟層(S値>4.0)が連続する形態となった。グループAは土塁上で多く、グループBは土塁上や館跡、園路脇など過去または現在に人間活動の影響があったと考えられる場所で多くみられた。グループCは、台地縁辺部でみられた。グループAの土塁上の地点は、人為的改変を受け

てから400年以上の長期にわたって人間活動の影響を受けなかったため自然土壌に近い特性になっていると考えられた。一方で、土壘形成よりも後に人間活動の影響があった地点では下層が固結するなど造成などの履歴を留めていると考えられた。自然教育園のように樹林地として長期間にわたって自然に近い状態が維持されている場所では、表層土の自然回復が進んでもなお、過去の人為的攪乱の影響が1メートル深の土壌硬度プロファイルの形態に残されているという結果を得た。

謝 辞

自然教育園における現地調査や資料提供において、研究主幹の萩原信介様には大変お世話になりました。この場をかりてお礼申し上げます。

引 用 文 献

- 土壌物理学会編. 2002. 『新編土壌物理用語事典』 p.180. 養賢堂.
- 浜田龍之介・田中治夫・村田智吉・坂上寛一. 1990. 自然教育園内のハイドロカタナの土壌(1) - 水分条件と断面形態 -. 自然教育園報告, 21: 87-96.
- 平山良治・須永薫子. 2001. 自然教育園の代表的植生の土壌水分環境変化. 自然教育園報告, 33: 437-444.
- 平山良治・山崎美津子・坂上寛一・浜田龍之介. 1978. 自然教育園の土壌図. 自然教育園報告, 8: 39-59.
- 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.
- 小原洋・大倉利明・高田祐介・神山和則・前島勇治・浜崎忠雄. 2011. 包括的土壌分類第1次試案. 農業環境技術研究所報告, 29: 1-73.
- 岡本東三. 1984. 自然教育園(旧白金御料地)外周土壘の調査. 自然教育園報告, 15: 33-42.
- 坂上寛一・山崎美津子・平山良治・浜田龍之介. 1978. 自然教育園の代表的植生の土壌と水分環境. 自然教育園報告, 8: 20-38.
- 竹迫 紘. 2001. 土壌分析法. 浅海重夫編『大学テキスト土壌地理学』122pp-147pp. 古今書院.
- 田中治夫・今木恵美・坂上寛一・浜田龍之介. 1990. 自然教育園のハイドロカタナ土壌(2) - 理化学性と土壌有機物の腐植組成と糖組成. 自然教育園報告, 21: 97-108.
- 東京都. 1999. 土地分類基本調査「東京東北部」「東京東南部」5万分の1 土壌図. 東京都.