

自然教育園内に存在する土塁の土質特性（その2）

—土質理化学性の鉛直特性—

村田智吉^{1,*}・川井伸郎²・遠藤拓洋³・矢野 亮³・田代 崇⁴・渡邊眞紀子⁵

¹国立研究開発法人国立環境研究所, ²株式会社クレアテラ, ³国立科学博物館附属自然教育園, ⁴日本大学,
⁵東京都立大学

Tomoyoshi Murata¹, Nobuo Kawai², Takumi Endo³, Makoto Yano³, Takashi Tashiro⁴, Makiko Watanabe⁵: Soil properties of the earthworks in the Institute for Nature Study, Part 2. –Vertical profiles of soil chemical properties–. Miscellaneous Reports of the Institute for Nature Study (55): 43–52, 2023.

¹National Institute for Environmental Studies, ²Createrra Inc., ³The Institute for Nature Study, ⁴Nihon University,
⁵Tokyo Metropolitan University

はじめに

自然教育園に現存する土塁には中世の居館との関連が示唆されるものから明治期の軍火薬庫との関連があるものなど、様々な歴史を包含している（鶴田・坂元, 1978；桜井, 1981；加瀬, 1994）。これら土塁上には多様な植物が生存し、貴重な二次的自然の構成要素として保全されているが、近年増えつつある都市型豪雨が、特に園内外周に位置する土塁の侵食を促し、周辺樹木の倒木をも引き起こしかねないという懸念がもたれ始めた。これら土塁や植物の効果的な保全策を模索する上で、土塁の土質構造（平山ほか, 1978；岡本, 1984；川井ほか, 2013）および土塁の現状（田代ほか, 2020；長田ほか, 2021；村田ほか, 2021）について詳細に把握する必要がある。このような目的から筆者らは、2020年度より3年間にわたり土塁の構造や土質に関する調査を実施し、既に村田ほか（2021）において土塁土質の断面構造について報告を行った。また、田代ほか（2020）、長田ほか（2021）により、数値標高モデル（DEM）を活用した土塁の地形解析もなされた。今回は土塁の堆積状態について、土質の理化学性やその鉛直特性について考察を行った。特に、土塁の脆弱性や崩壊の危険性のヒントになる

と思われる土塁盛土部分とその直下の台地地山部分との境界付近の状態について着目した。

土塁の分布と土壌調査地点の概要

調査地点は過去の土壌調査事例等に基づき、利用履歴や築造の時期、目的などが推定されている土塁を中心に選定した（平山ほか, 1978；岡本, 1984；浜田, 1972；浜田ほか, 1990；魚井ほか, 2012；川井ほか, 2013）。外周土塁を中心に複数ヶ所、園中央に位置する土塁を3か所選定した。加えて、対照地として台地平坦面から2か所、外周土塁上にあつて2008年のダウンバーストによりエノキ（E109）が根上がり倒木した後に形成された崩落地（萩原・吉野, 2010）から1か所を選定した（図1）。

土壌調査方法

土壌採取方法は既報に示した通りである（村田ほか, 2021）。ルートオーガを用いて鉛直方向に最大3mまで採取した。北側外周部など比高差の大きい土塁地点（図

*E-mail: tmurata@nies.go.jp

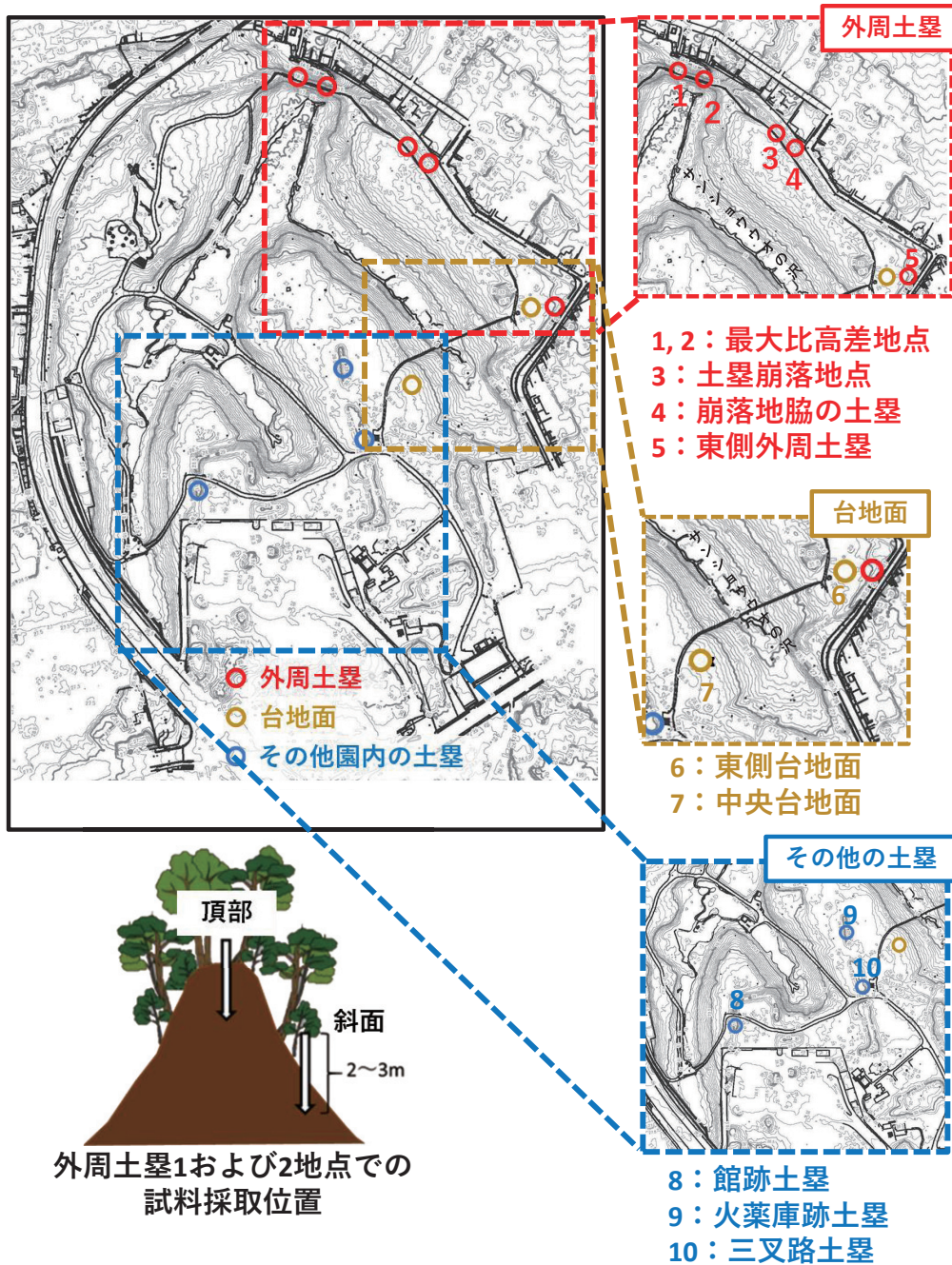


図1. 掘削調査地点.

1上の地点 No.1 および No.2) では、土塁頂部の他、頂部から鉛直方向に1~3m相当下った斜面部でも採取を行った。こうすることにより、頂部から深さ4~6mまでの構造を調査できるものと判断した。尚、土塁の掘削調査の際は、文化庁および東京都港区教育委員会の許可を得て、同教育委員会の立会いのもと実施した。

採取した土壌試料は実験室に持ち帰り、風乾後、孔径0.5mm以下に粉碎し、各種分析に供した。盛土部分と地山の境界部を探るには、地山の表土相当部(埋没黒土層)を探査することが有効と考え、深度別試料中の全炭素含

量、メラニックインデックス(土の黒色度)、黒ぼく特徴(火山灰由来の構成鉱物量)を分析するとともに断面形態(土色)の観察も併せて行った。分析方法は以下のとおりである。

全炭素含量：風乾試料を用いて乾式燃焼法(Thermo Fisher Scientific FLASH EA1112型)により定量した。

メラニックインデックス(MI)：土壌有機物の黒色味の強さを光学的に示した指標であり、土壌からアルカリ溶液(0.1mol L⁻¹ 水酸化ナトリウム)で抽出された抽出成分の450nmと520nmの吸光度比から得られる

(Honna *et al.*, 1988)。この値が小さいほど黒色味が強いことを意味する。

黒ぼく特徴 ($Al_0 + 0.5Fe_0$ %) : 土壌から 0.2 mol L^{-1} シュウ酸アンモニウム溶液 (pH3) で抽出されたアルミニウム (Al_0)、鉄成分 (Fe_0) を誘導結合プラズマ発光分光分析装置 (ICPE-9820, 島津製作所製) にて定量した (土壌環境分析法編集委員会編, 1997)。これらアルミニウムや鉄は、火山灰性土壌特有の鉱物であるアロフェン、イモゴライト、フェリハイドライトに加え、アルミニウム-有機物複合体に由来した成分である。土壌中の重量割合として $Al_0 + 0.5Fe_0$ の値が2%を超えるものを黒ぼく特徴を有する土壌とみなす (日本ペドロジー学会 第五次土壌分類・命名委員会, 2017)。一般的に、この値は火山灰由来の鉱物成分が多くなるほど高くなるが、有機物を多く含む表層域では相対的に低くなる特徴がある。

結果及び考察

北側外周土壘 (最大比高差地点; 地点1 および地点2) の土質理化学性と鉛直特性

園内北側に位置し最大比高差を示す地点1および地点2の土壘の土質鉛直特性を図2～4に示した。尚、地点1の頂部と斜面部の比高差は300cm程度、地点2の頂部と斜面部の比高差は100cm程度である。図2-1、図2-2より、地点1の斜面部の深さ150cm付近 (点線で囲った部分)、すなわち頂部から換算すると深さ450cm付近から全炭素含量が高くなる厚い層位が認められた。同様に地点2の斜面部の深さ200cm付近、すなわち頂部から換算して深さ300cm付近からおよそ70cmの厚さにわたって全炭素含量が6%を超える高い層位が認められた。

同様に図3-1、図3-2のメラニックインデックスの鉛直推移からも同様の特徴が認められた。すなわち、地点1の斜面部の深さ150cm付近からメラニックインデックスが1.7を下回る黒色味の非常に強い層位が100cm以上にわたって認められた。地点2の斜面部からも深さ200cm付近からメラニックインデックスが1.6を下回る黒色味の強い厚い層位が認められた。

図4-1、図4-2の黒ぼく特徴の鉛直推移からも同様の特徴が認められた。ただし、全炭素含量やメラニックインデックスほどの明瞭な傾向でなく、地点2の斜面部

外周土壘 (地点1)

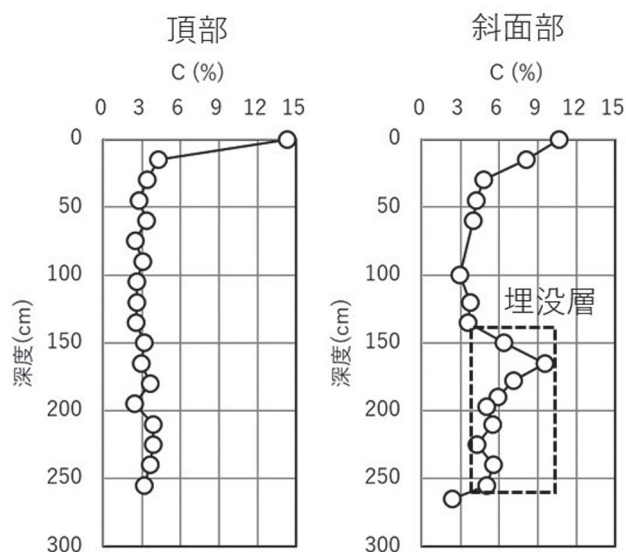


図2-1. 土壌全炭素含量の鉛直分布 (北側外周土壘; 地点1) 点線の囲みは埋没黒土層と思われる地山の表層部を示す。

外周土壘 (地点2)

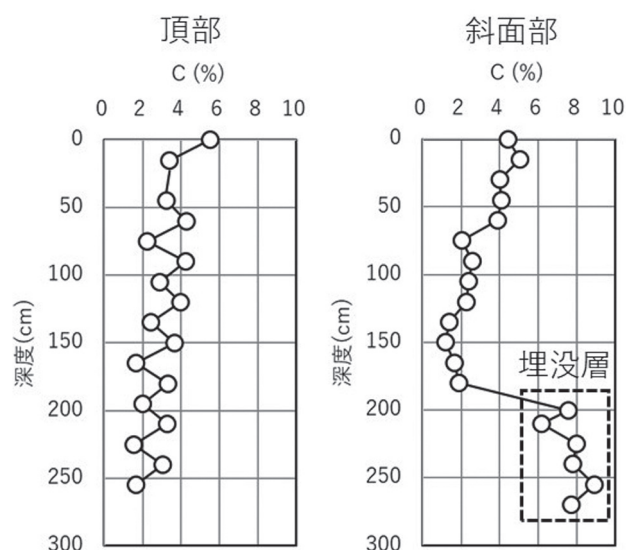


図2-2. 土壌全炭素含量の鉛直分布 (北側外周土壘; 地点2) 点線の囲みは埋没黒土層と思われる地山の表層部を示す。

部の深さ200cm付近からは表層土の特徴らしき低い値を示す層位が認められたものの、地点1の斜面部では明瞭に低くなる層位は認められなかった。

地点2を例に土壘頂部および斜面部で得られた断面形態を図5に表した。まず頂部断面図の土色推移をみると、表層から深さ75cmまでは極暗褐色の表層土を基調に褐色のローム土の小土塊が斑状に混じる構造を成してい

外周土塁 (地点1)

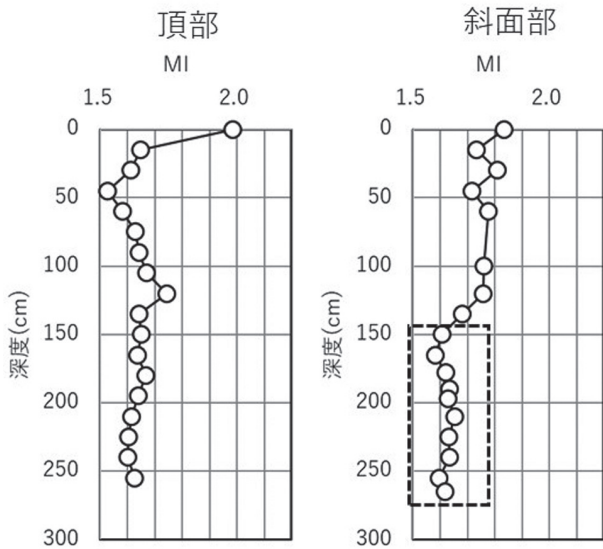


図3-1. メラニックインデックスの鉛直分布 (北側外周土塁; 地点1) 点線の囲みは埋没黒土層と思われる地山の表層部を示す。

外周土塁 (地点1)

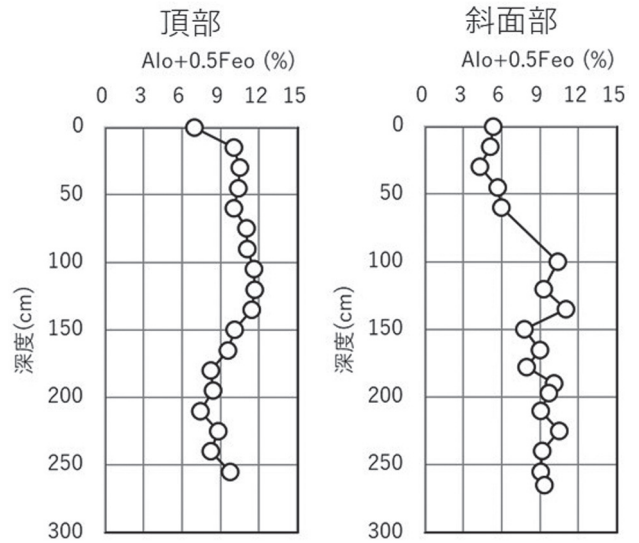


図4-1. 黒ぼく特徴の鉛直分布 (北側外周土塁; 地点1) 点線の囲みは埋没黒土層と思われる地山の表層部を示す。

外周土塁 (地点2)

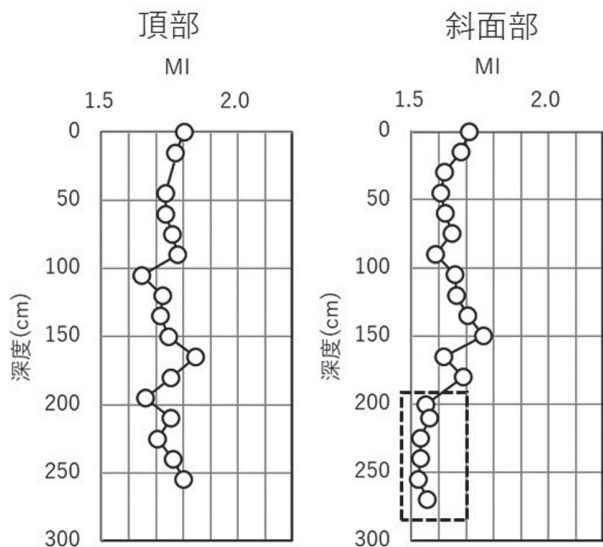


図3-2. メラニックインデックスの鉛直分布 (北側外周土塁; 地点2) 点線の囲みは埋没黒土層と思われる地山の表層部を示す。

外周土塁 (地点2)

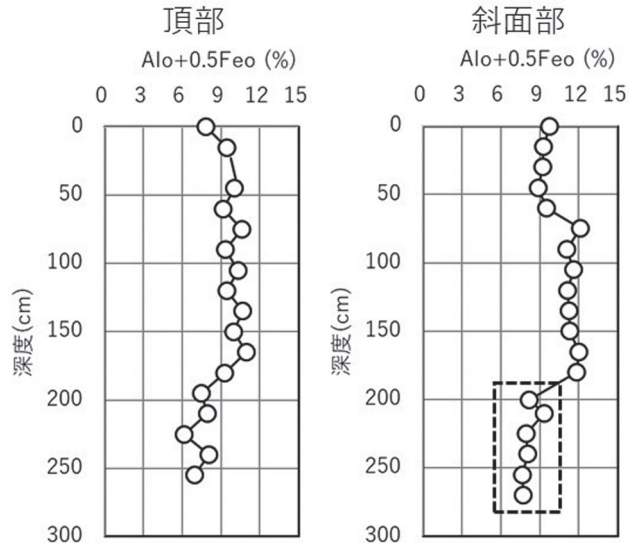


図4-2. 黒ぼく特徴の鉛直分布 (北側外周土塁; 地点2) 点線の囲みは埋没黒土層と思われる地山の表層部を示す。

た。75cm 以深では、褐色のローム土を基調に暗褐から極暗褐の小土塊が混じる構造を成していた。これらは自然に生成した土色構造ではなく、人為的に盛土した際に混和した状態を示しているのだろう。一方、斜面部では斜面上を崩落して再堆積したと思われる極暗褐色表土が60cm ほど堆積したのち、その下層の75cm から165cm くらいまでは土層の基調と異なる土色の小土塊が混じる

構造を成していた。さらにその下層の200cm 付近から混じり気のない黒褐色の厚い埋没黒土層が出現した。この黒褐色の埋没黒土層が出現する深度や層厚は、全炭素含量 (図2-2)、メラニックインデックス (図3-2)、黒ぼく特徴 (図4-2) の鉛直特性とよく符合し、全炭素含量が高く、メラニックインデックスが低く、黒ぼく特徴も相対的に低い層位で構成されていた。つまり、地

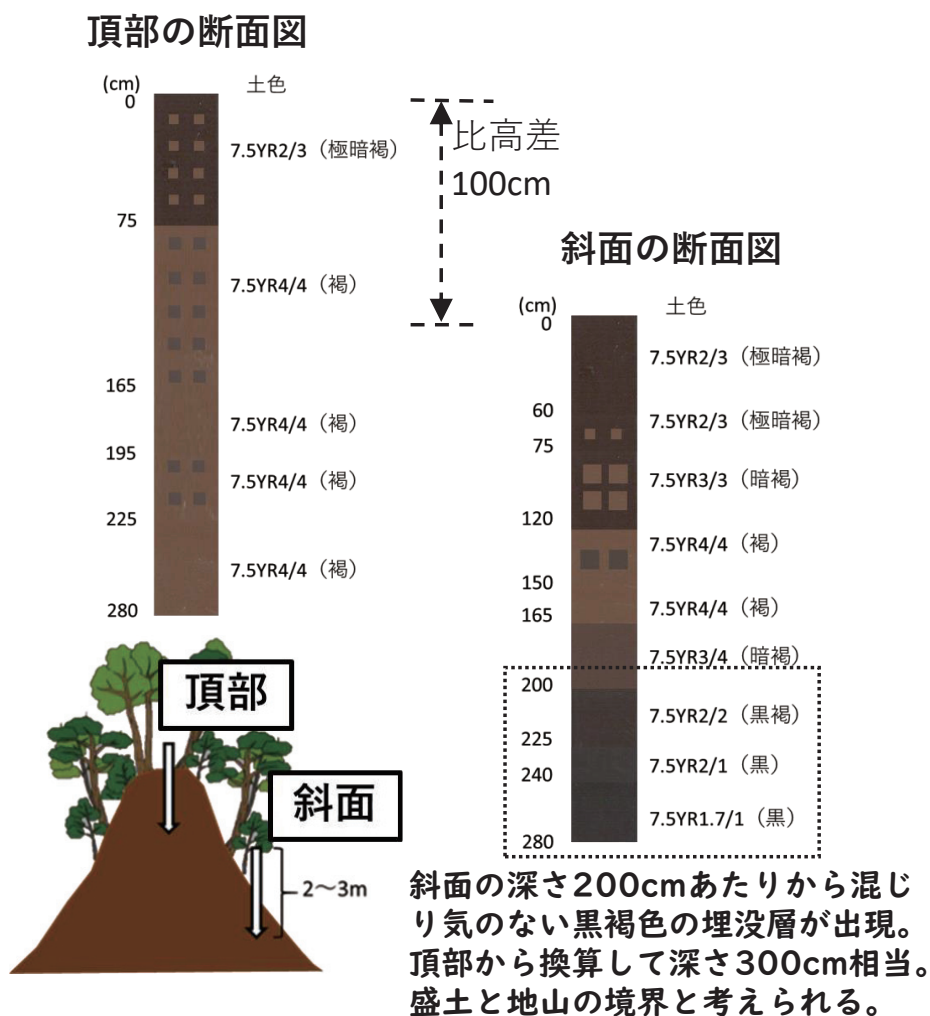


図5. 外周土塁地点2の土壤断面模式図.

点2において斜面部の深さ200cm、頂部からの換算で300cmのあたりが、かつての地山表層部分と上部盛土部分の境界を成すあたりと推測される。地点1も同様に、斜面部の深さ150cm、頂部からの換算で450cmのあたりが地山と盛土の境界部分と推測される。要するに盛土厚は300～450cm程度と推測される。

根上がりにより崩落した外周土塁付近 (地点3および4)の土質理化学性と鉛直特性

外周土塁線上に位置する地点3は2008年のダウンバーストによりエノキの大木が根上がり倒木して形成された崩落部地点であり、隣接する土塁(地点4)とは200cm以上の比高差を成すところである。両地点の全炭素含量、メラニクインデックス、黒ぼく特徴の鉛直特

性について図6～8に示した。また、図6には断面模式図を併記した。

まず、全炭素量の鉛直特性についてみると、地点4の土塁頂部の深さ90cmから150cmあたりに埋没層と思われる全炭素含量の高い層が認められた(図6)。メラニクインデックスについても同層厚で1.7を下回る黒色味の強い層が認められた(図7)。黒ぼく特徴についても同層厚で低い値を示した(図8)。一方、地点3の崩落部からは下層に埋没層らしき特徴は認められず、下層土的特徴を示すのみであった。このような結果から、図6の断面模式図に示した通り、このあたりの盛土と地山の境界は土塁頂部から90cm付近ではないかと推測された。そのように考えると崩落部の現表面は推定される地山表面から100cm以上も比高差がある。おそらく根上がり倒木により深く大きく土塁が崩壊したためと推測される。

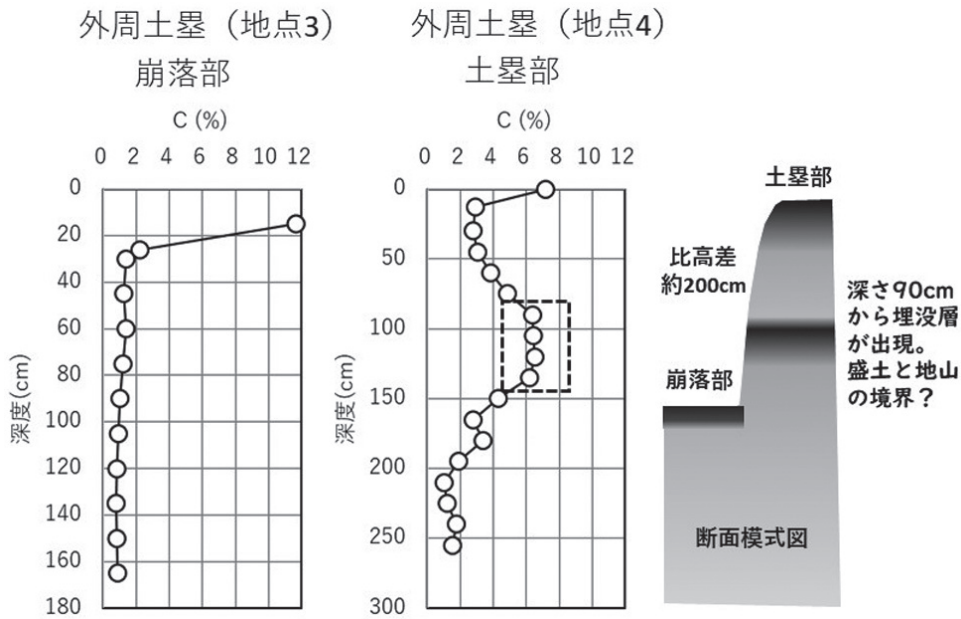


図6. 土壌全炭素含量の鉛直分布（外周土塁;地点3および4）点線の囲みは埋没黒土層と思われる地山の表層部を示す.

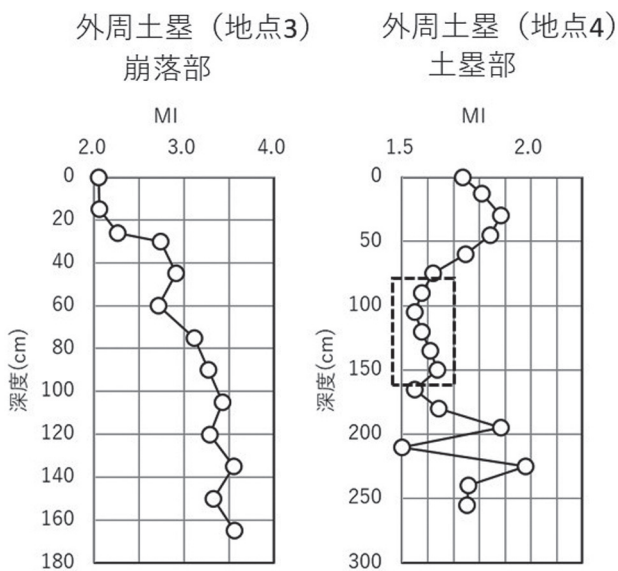


図7. メラニックインデックスの鉛直分布（外周土塁 地点3および4）点線の囲みは埋没黒土層と思われる地山の表層部を示す.

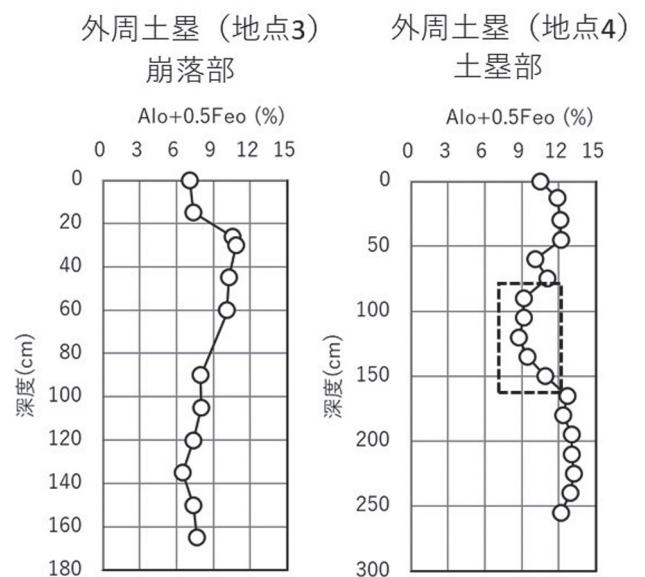


図8. 黒ぼく特徴の鉛直分布（外周土塁 地点3および4）点線の囲みは埋没黒土層と思われる地山の表層部を示す.

園内東側外周土塁部と隣接する 台地平坦部の土質理化学性と鉛直特性

地点5および6は園内東側に位置する外周土塁部と隣接する台地平坦部である。園内の東側は比較的標高の高い区域であり、この両地点の比高差は比較的小さく100～150cm程度であった。両地点の土質鉛直特性を図9～11に示した。

他の土塁部同様、地点5では深さ60cm付近から100cm付近の間が全炭素含量の高い層位であった(図9)。この層位はメラニックインデックスからも黒色味の強い層位であることが認められた(図10)。また、黒ぼく特徴はやや異なる傾向を示し、深さ60cmから140cmの間で相対的に低い値、すなわち、埋没黒土層の特徴を示した(図11)。これらの結果から盛土は60cm程度であり、それ以下が地山に相当するものと推測された。

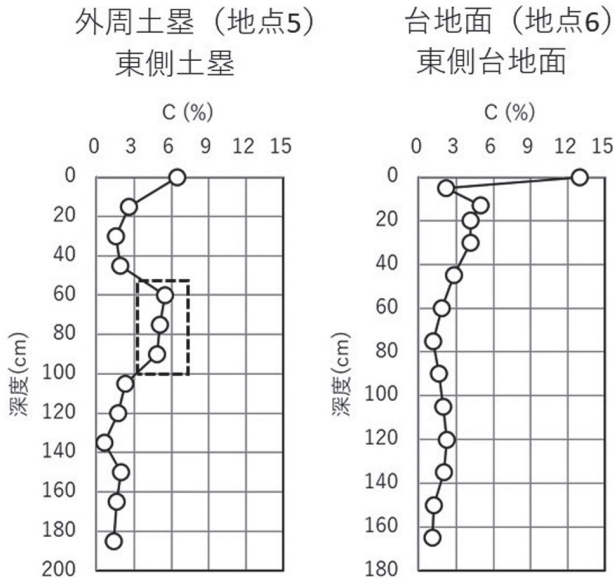


図9. 土壤全炭素含量の鉛直分布（東側外周土塁；地点5および東側台地面；地点6）点線の囲みは埋没黒土層と思われる地山の表層部を示す。

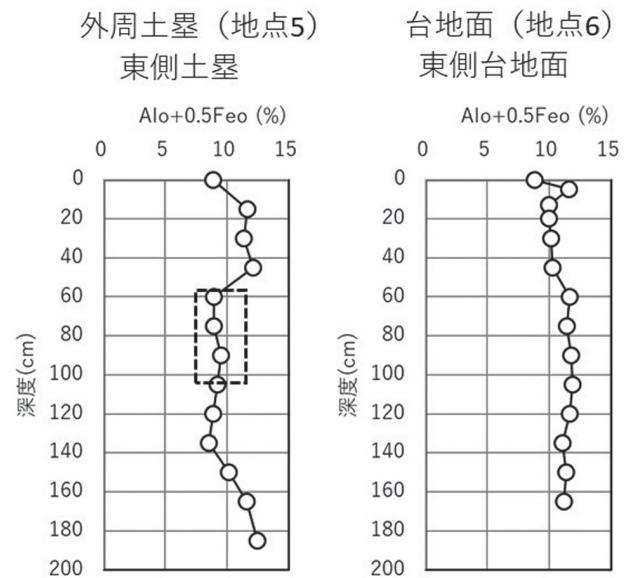


図11. 黒ぼく特徴の鉛直分布（東側外周土塁；地点5および東側台地面；地点6）。

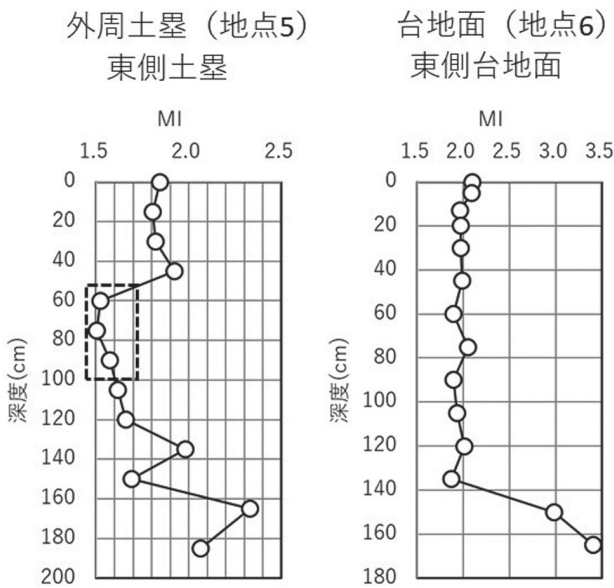


図10. メラニクインデックスの鉛直分布（東側外周土塁；地点5および東側台地面；地点6）点線の囲みは埋没黒土層と思われる地山の表層部を示す。

一方、地点6の台地平坦部では全炭素含量が4%を超える層が表土付近で40cm程度存在するものの、地点3の崩落部同様に埋没層的特徴を示す層位は存在しなかった。上記の通り土塁部からは埋没黒土層が認められたことから、台地上にもかつては厚い黒土表層があったものと推測される。おそらく、かつての黒土表土部分が何らかの理由で削剥された可能性が考えられる。

尚、地点7の園内中央部に位置する台地平坦部のデータは、地点6と類似の傾向を示したことから結果の掲載は割愛した。

園内中央部に存在するその他の土塁の土質理化学性と鉛直特性

外周土塁とはやや特徴を異にするいくつかの土塁が園内にはある。その代表的なものが中世の館跡との関連が示唆されている館跡土塁（地点8）や明治期の軍施設との関連が示唆されている火薬庫跡土塁（地点9）である。その他、設置の意図は不明だが、園内中央三叉路付近にある火薬庫跡土塁と同一線上に位置する土塁（ここでは三叉路土塁と称する）とあわせこれら3か所を調査対象にした。土質鉛直特性は図12～14に示した。

ここでは分析項目別の詳細な記述は割愛することとする。これらの土質鉛直特性からわかることを要約すると、館跡土塁（地点8）は鉛直方向に土質の均一性がなく、幾度も補修が行われたか、もしくは様々な混和状態の土質が盛土に利用されたと推測される。一方、火薬庫跡土塁は鉛直方向にはほぼ全層位で均質な土質特性を示し、土色も全層位で黒色味が強いものが用いられていた。これらのことから比較的土塁周辺に分布していた黒色表土を集中的に用いて築造したものと想像される。三叉路土塁は、外周土塁斜面部で得られた鉛直特性にやや類似して、

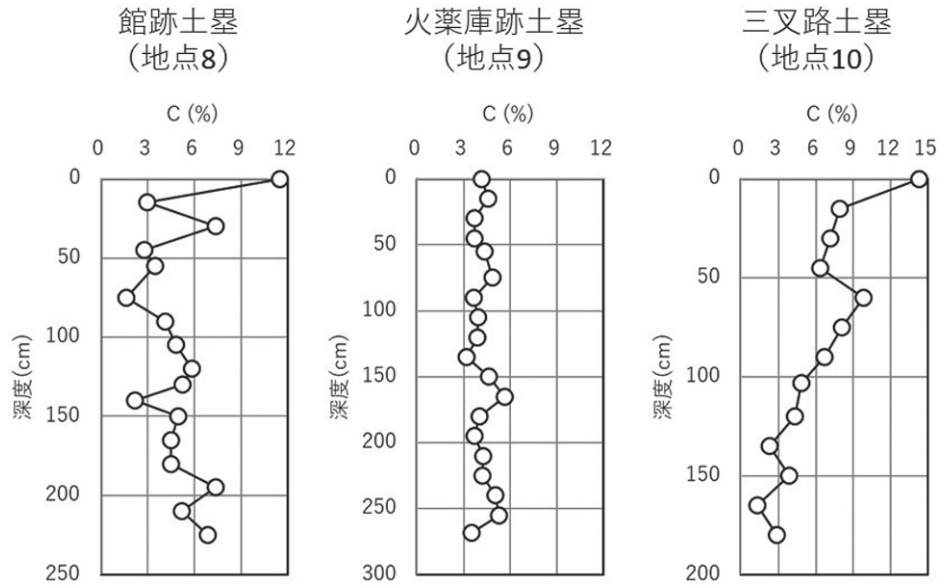


図 12. 土壌全炭素含量の鉛直分布 (館跡土壘；地点 8, 火薬庫跡土壘；地点 9, 三叉路土壘；地点 10).

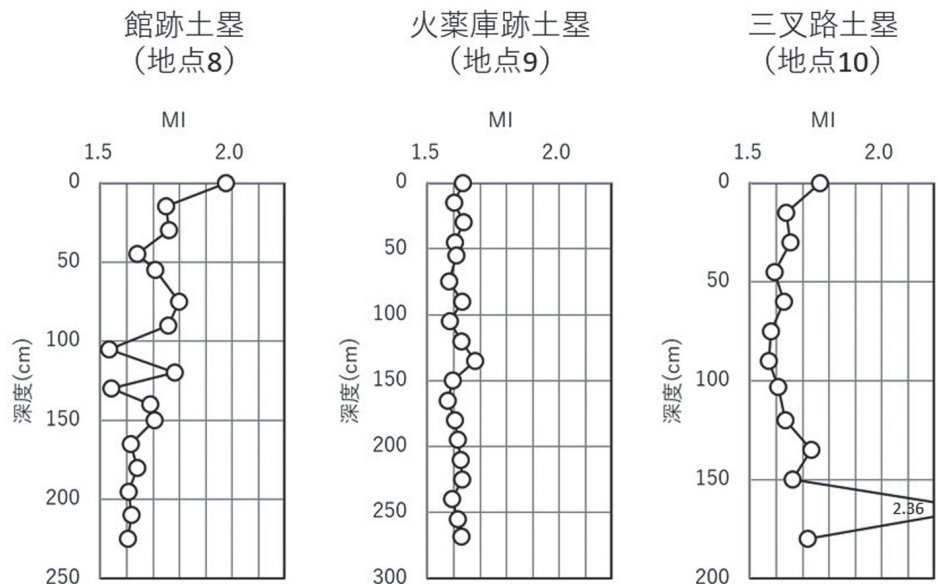


図 13. メラニックインデックスの鉛直分布 (館跡土壘；地点 8, 火薬庫跡土壘；地点 9, 三叉路土壘；地点 10).

全炭素含量は表層から 50cm までは漸減し、60cm あたりでいったん増加したのち、徐々に 150cm 付近まで漸減する傾向を示した (図 12)。この土壘は隣接する台地平坦部との比高差が 200cm 程度はある。しかし、鉛直特性から推察すると盛土相当部分はおそらくと上位の 60cm 程度のみで、その直下は地山部分かもしれない。地点 6 の東側台地面と同様に考えるならば、三叉路土壘に隣接する台地面においてもかつての黒土表土がかなりの深さまで削剥された可能性も考えられるだろう。

自然教育園内で施された土地の人工改変に関して

今回の調査を通じて疑問に感じる点がある。それは、何故土壘以外の台地平坦部や土壘崩落部からは土壘の埋没層で観察されるような黒色味の強い厚い層位が表層付近にすら存在しないのかという点である。土壘の埋没層がかつての地山表層部分を意味しているならば、現在の台地平坦部にも同様の層位が存在していても不思議ではない。同様の指摘は、既に川井ほか (2013；2016)、

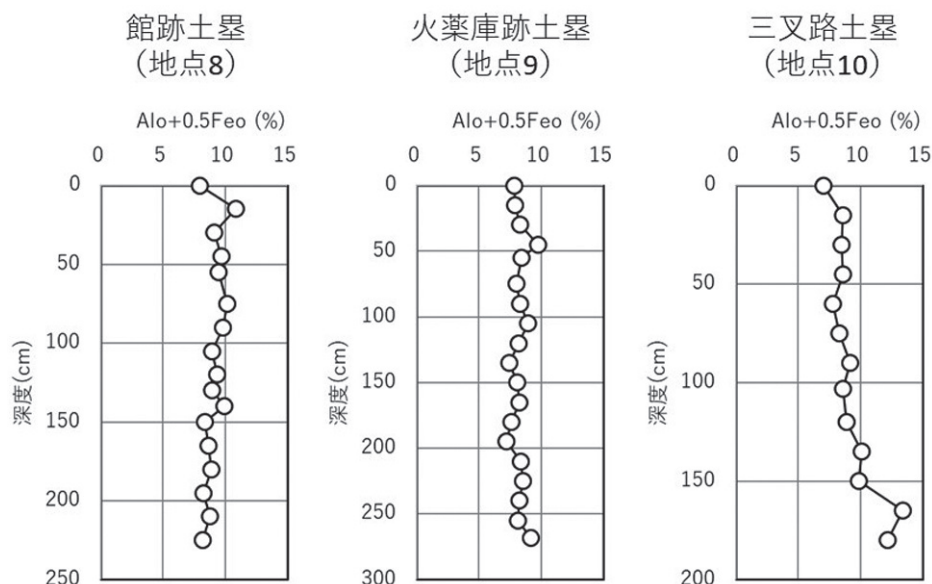


図 14. 黒ぼく特徴の鉛直分布（館跡土塁；地点 8，火薬庫跡土塁；地点 9，三叉路土塁；地点 10）。

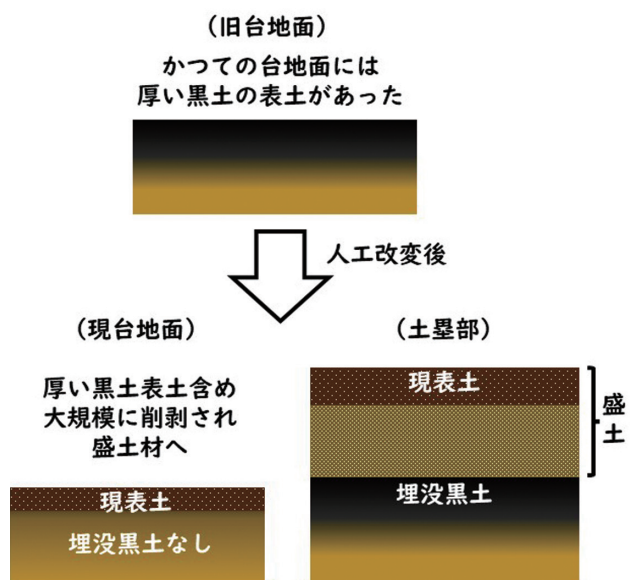


図 15. 人工改変前後の自然教育園内の土壌堆積形態（仮説）。

土が削剥されて盛土材に転用されたものと想像される。その結果、現在の台地平坦面では厚い黒土層が存在せず、一方、土塁の深層にはかつてから存在した厚い黒土表層土が見いだされたものと考えられる。

東京都内のほとんどの土地では既に大規模な人工改変が施されてしまっている。したがって、都内では自然堆積した土壌断面を観察できる機会は極めて希少となってしまった。今回の調査で土塁の深層から見いだされた厚い黒色味の強い黒土層の存在は、本来都内で見られるはずの自然堆積した表層黒土層を示しているものと思われる。この埋没黒土層の発見は自然教育園という史跡に新たな価値を見出したものといえるだろう。

まとめ

Kawai *et al.* (2015) でも報告されている。一方で、武蔵野台地上に位置する明治神宮内で行われた過去の調査からは表層付近に厚い黒土層が確認されている（金子ほか，1991）。これらを照らして総合的に考えると図 15 に示したような園内で施された土地改変に関する仮説が考えられる。

図に示した通り、もともと園内の旧台地上には明治神宮内で認められたように厚い黒土層が存在したものと考えられる。その後園内で様々な歴史を経ていく中で、館や土塁の築造を通して、下層土の一部を含む大量の表

近年増えつつある都市型豪雨が、特に園内外周に位置する土塁の侵食を促し、周辺樹木の倒木をも引き起こしかねないという懸念がもたれ始めたことから、これら土塁や植物の効果的な保全策を模索する上で、土塁の土質構造やその現状について調査を実施した。特に、土塁の脆弱性や崩壊の危険性のヒントになると思われる土塁盛土部分とその直下の台地地山部分との境界付近の状態に着目した。そこで土塁の土質や堆積状態を検証するため、土壌の全炭素含量、メラニックインデックス、黒ぼく特徴の分析と断面形態の観察を行った。

その結果,

- 外周土塁の下層には黒色の埋没層が存在した。一方、台地や土塁崩落地では埋没層が認められなかった。
- 埋没層の出現深がおおよそ盛土と地山の境界と考えられた。その境界深は比高差が最大になる北側土塁地点で 300 ~ 450 cm 程度、最も標高の高い園内東側の土塁で 60 cm と推測された。
- かつて園内の台地面には厚い黒色の表土が存在したものと推測される。その黒土表土は一部の下層土とともに削剥されて、盛土の材料になったものと推測された。

謝 辞

自然教育園、文化庁および東京都港区教育委員会の関係者の皆様には、本調査に対しご協力や様々なご意見を賜り心より感謝申し上げます。

引用文献

土壤環境分析法編集委員会編. 1997. 第V章 15. 選択溶解法による可溶性鉄・アルミニウム・ケイ素 B. 酸性シュウ酸塩溶解法, 土壤環境分析法, p.291-293. 博友社, 東京.

萩原信介・吉野 勲. 2010. 2008年7月12日のダウンバーストによる自然教育園の樹木被害. 自然教育園報告, 41: 71-77.

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.

浜田龍之介. 1972. 都市生態系と土壌, 文部省特定研究「都市生態系の特性に関する基礎的研究」沼田真編, p.111-120.

平山良治・山崎美津子・坂上寛一・浜田竜之介. 1978. 自然教育園の土壌図. 自然教育園報告, 8: 39-59.

Honna T., Yamamoto S., Matsui K. 1988. A Simple Procedure to Determine Melanic Index that is Useful for Differentiating Melanic from Fulvic Andisols. *Pedologist*, 32 (1), 69-78.

金子真司・田中永晴・高橋正通. 1991. 明治神宮の土壌 —都市の中の自然土壌—. 森林立地, 33: 92-98.

加瀬文雄. 1994. 白金館址と柳下氏. 港区立郷土博物館研究紀要, 3: 1-17.

川井伸郎・村田智吉・田中治夫. 2013. 自然教育園における歴史的な人為からの土壌の再生. 自然教育園報告, 44: 25-36.

川井伸郎・村田智吉・渡邊眞紀子・田中治夫. 2016. 自然教育園における土壌有機物の炭素安定同位体比とメラニックインデックスからみる人為改変の歴史. 自然教育園報告, 47: 53-60.

Kawai N., Murata T., Watanabe M., Tanaka H. 2015. Influence of historical manmade alterations on soil-forming processes in a former imperial estate (Shirogane-goryouchi), the Institute for Nature Study: Development of a soil evaluation technique and importance of inventory construction for urban green areas. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61, 55-69.

村田智吉・川井伸郎・遠藤拓洋・矢野亮・田邊玲奈・渡邊眞紀子. 2021. 自然教育園内に存在する土塁の土質特性. 自然教育園報告, 55: 43-48.

日本ペドロジー学会 第五次土壌分類・命名委員会. 2017. <https://pedology.jp/img/Soil%20Classification%20System%20of%20Japan.pdf>

岡本東三. 1984. 自然教育園(旧白金御料地)外周土塁の調査. 自然教育園報告, 15: 33-42.

長田強志・田代 崇・村田智吉・遠藤拓洋・渡邊眞紀子. 2021. 自然教育園内の土塁斜面にみられる地形変化の解析. 自然教育園報告, 53: 49-54.

桜井信夫. 1981. 『自然教育園』. 東京都公園協会監修東京公園文庫, 郷学舎, 22, p.88.

田代 崇・長田強志・村田智吉・遠藤拓洋・矢野 亮・渡邊眞紀子. 2020. 自然教育園内における土塁の地形的特性. 自然教育園報告, 52: 7-12.

鶴田総一郎・坂元正典. 1978. 自然教育園沿革史. 自然教育園報告, 8: 1-19.

魚井夏子・渡邊眞紀子・村田智吉. 2012. 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. 自然教育園報告, 43: 37-45.