

## ④ 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

川井伸郎\*・村田智吉\*\*・渡邊眞紀子\*\*\*・田中治夫\*\*\*\*

History of man-made alterations in the Institute for Nature Study:  
A case study using carbon stable isotope ratio and melanic index of soil organic matter

Nobuo Kawai\*, Tomoyoshi Murata\*\*, Makiko Watanabe\*\*\*, Haruo Tanaka\*\*\*\*

### はじめに

都市緑地を対象に生態系や生物多様性といった観点の研究(沼田, 1980)やヒートアイランド関連の研究(三上ほか, 2011;清水ほか, 2011)が盛んに行われている。しかし、土壌に関しては、環境アセスメントとしての表土保全調査や植栽を行う際の植栽基盤評価が実施される以外は、研究対象にされる事例は極めて少なく、日本各地にある都市緑地の土壌の性状は十分な把握はできていない。都市緑地では切盛造成により、狭い範囲で土壌が掘削、搬出、埋めもどし、均平化されたりするものの、その改変履歴の詳細に関する記録が残っていないことが多い。また、土壌の取り扱いや管理が時代や事業主体ごとに異なることがほとんどである。また、何らかの理由により土壌が大量に他の地から搬入されるような場合においても、そのような情報が保管されていないことや、保管情報の散逸など、関連情報の入手も困難であることから、研究対象となり難い状況であると考えられる。

自然教育園は、歴史沿革が整理されており、過去には、野焼き(火入れ)による草地維持管理(奈良・平安時代)、屋敷建築や土塁形成、植栽(室町時代、江戸時代)、火薬庫などの軍施設建設や宮内省の御料地(明治~昭和)、農耕や樹木伐採などが行われていたことがわかっている(鶴田・坂元, 1978)。また、植生も時代により変化していたことが花粉分析などから明らかにされている(安田ほか, 1980;安田ほか, 2001)。また、土壌(特に表層の黒土層)の厚さなどが場所により大きく異なっていることから、園内の広い範囲で切盛造成などの土壌を掘削・搬出する人為改変(人間活動)が行われたことも分かっている(平山ほか, 1978)。しかし、自然教育園が天然記念物指定された1949年以

---

\*株式会社クレアテラ, Createrra Inc.

\*\*国立研究開発法人国立環境研究所, National Institute for Environmental Studies

\*\*\*首都大学東京, Tokyo Metropolitan University

\*\*\*\*東京農工大学, Tokyo University of Agriculture and Technology

降, 多くの園内区域は森林として維持管理されるようになった。その結果, 新鮮な落葉枝からなる堆積有機物層が形成され, 表層では土壌団粒などの土壌構造が発達していることが確認され, 森林土壌に特徴的な性状に自然再生していることが確認された(川井ほか, 2013)。

本研究では, 自然教育園について保管されている歴史情報とともに, 園内の土壌から垣間見える情報や様々な分析結果から, この園内がどのように人為的な改変(土木的造成など)を受け, この地に関わる人々の暮らしがどのように変遷してきたかを推察することを目的とした。具体的には, 自然教育園の土地利用履歴や植生履歴に関する歴史情報に, 現地の土壌特性を重ね合わせ, この地に纏わる人々の営みが土壌の生成や性状におよぼした影響の評価を試みた。

## 調査地点の概要と調査方法

園内は平坦な台地地形であるが, 室町時代に土壌を積み重ねて築造した土塁が存在する。土塁は防衛面で重要な施設であったことに加え, 防風防火樹に役立つ常緑樹のスダジイを植栽したと考えられる。したがって, このような目的において土塁が安定して維持されていた時代においては, 森林のような状況であったと推察される。そのため, 土塁上を本園の人為改変履歴を持つ代表的な箇所として調査エリアの一つに設定した。

台地は, 平坦で変化の少ない地形であるが, 時代ごとに異なる人為の影響を受けてきたいくつかのエリアが存在する。クロマツやアカマツのマツ林は江戸時代に庭園として整備された。マツ林は庭園として楽しむだけでなく, スダジイ同様に防風林として役立ち, 燃料にもなったであろう。すなわち, マツ林はこの地が人の暮らしと密接な関係にあった証と考えられ, 土塁のスダジイ林に次いで長い期間, 森林として維持されてきた。園内には, この他にも人の暮らしと関係の深いコナラ林も存在する。コナラは, 落葉広葉樹であり, 里山や雑木林の主要な樹木である。木材や落ち葉は燃料となり, 常緑樹に遷移しないように管理されてきた樹種である。ただし, 園内のコナラ林の詳細な成立時期は不明である。現在は, 園内が天然記念物に指定されており, 里山的な人為管理が行われていないため, 植生がコナラの純林から他の植生に遷移する途上にある。この他, 室町時代の屋敷跡地や明治時代以降の火薬庫などの建設跡地は, 現在ミズキ林となっている。ミズキは, 落葉広葉樹で成長速度が速く, 裸地・伐採跡地に侵入する先駆種として知られている。施設などの建造物が撤去され放棄されていた空間や倒木などにより生まれた空間に侵入したものと考えられる。1949年の天然記念物指定以降に侵入したものが大半と考えられるため, 古いものはもはや樹齢70年以上となるだろう。

このように, 園内を地形や土地改変, 植生の履歴を考慮し, ①土塁, ②台地—マツ, ③同一コナラ, ④同一ミズキの4つに分類し(表1), 調査地点を複数点選定した(図1参照)。

それぞれの調査地点に, 検土杖を挿し, 採取された土壌の色や粘りなどの違いを土壌調査ハンドブック(日本ペドロロジー学会編, 1997)に従い調査し, 層位に分けた。また, 各層の土壌を分析用試料として採取した。

採取した土壌については以下の項目について化学分析を行った。

炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ ): 植物の炭素固定経路(光合成)にはC3回路とC4回路と呼ばれる二種類があり, 一般的な陸上植物は主にC3回路をもつC3植物といわれ, 同位体効果と言って, 質量数13の炭素( $^{13}\text{C}$ )よりも軽い質量数12の炭素( $^{12}\text{C}$ )を好んで取り込む。一方, C4回路を持つC4植物は, 同位体効果が弱く, 大気二酸化炭素に近い炭素安定同位体比を示すことがわかっている。

表1 土地利用や植生履歴による調査エリア分類

調査エリア分類	土地利用変遷				現存植生 (奥田, 2001)	樹林期間	地点 No.	土壌の特徴 (川井ほか, 2013)
	室町時代 -	江戸時代 -	明治時代 -	1949 - 現在				
土塁	・土塁築造 ・スダジイ 植栽管理	・土塁改修 ・スダジイ 植栽管理	・土塁改修 ・スダジイ 植栽管理	・改変なし	ヤブコウジ - スダジイ 群集	室町時代 - 現在 (長期)	1-6	・黒土最表層は30cm程度 ・2層目は、黒土と赤土 (関東ローム) の混合層
マツ	・詳細不明	・土木改変 ・樹木伐採 ・マツ植栽 (庭園)	・マツなど 植生管理	・改変なし	アカマツ-クロマツ 植林	江戸時代 - 現在 (中間)	7-10, 17	・黒土最表層は20cm程度
コナラ 台地	・詳細不明	・土木改変 ・樹木伐採 ・マツ植栽 (庭園)	・コナラなど 植生管理	・改変なし	イギリ-コナラ 群落	江戸時代 - 現在 (中間)	15, 16, 18	・黒土最表層は10-20cm程度 程度 ・2層目は、暗褐色の土壌層
ミズキ	・一部区域で 土木改変 ・樹木伐採 ・屋敷など建設	・土木改変 ・樹木伐採 ・マツ植栽 (庭園)	・一部区域で 土木改変 ・樹木伐採 ・火薬庫など 施設の建設 ・農耕	・改変なし	ミズキ群落	1949 - 現在 (短期)	11-14	・黒土最表層の厚さは10 - 80cmと異なる ・黒土層が厚い地点は、盛 土の可能性あり ・2層目が暗褐色層や黒土と 赤土 (関東ローム) の混 合層の地点あり

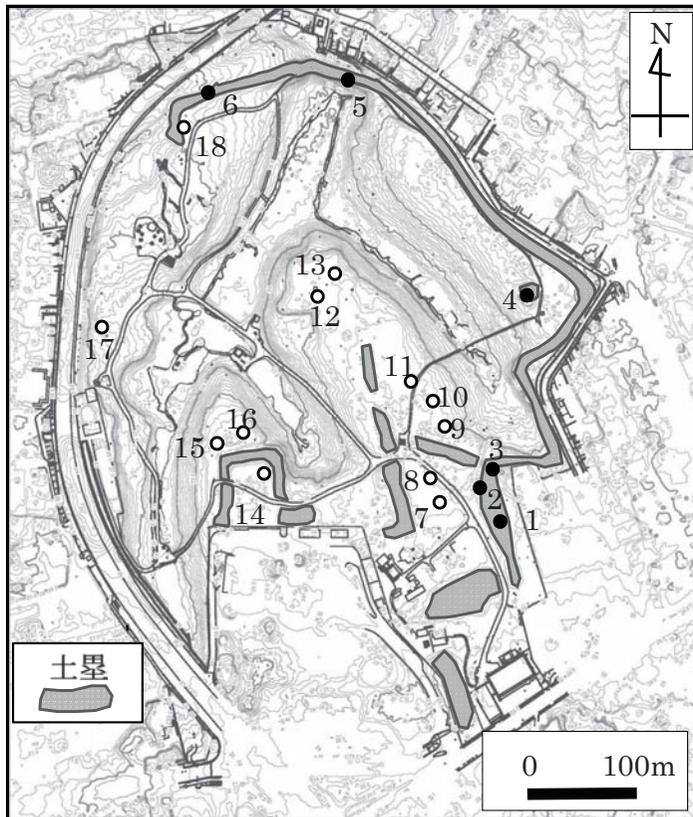


図1 調査地点 (●: 土塁, ○: 台地面)

そのため、陸生植物の大多数である C3 木本植物の炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) は、およそ  $-27\%$  であり、一方、草本植物の中でもススキなどの C4 植物の  $\delta^{13}\text{C}$  値はおよそ  $-13\%$  と報告されている (O'Leary, 1995; Yoneyama *et al.*, 2001)。このように炭素安定同位体比は土壤有機物の起源植生がわかる指標として用いることができる。

メラニックインデックス (MI) : 土壤有機物の黒色味の強さを光学的に示した指標であり、土壤からアルカリ溶液 ( $0.1\text{mol L}^{-1}$  水酸化ナトリウム) で抽出された抽出成分の  $450\text{nm}$  と  $520\text{nm}$  の吸光度比から得られる。経験的にこの値が小さいほど黒色味が強くなることが明らかにされている。本研究では、黒色味の背景となる過去の野焼きの影響の指標として用いた。

## 結果および考察

代表的な土壤断面の模式図を図 2 に示した。

図 3 に、土壤有機物の起源植生 (土壤  $\delta^{13}\text{C}$  値) と黒色味の強度 (MI 値) の関係について示した。

土壤  $\delta^{13}\text{C}$  値は、MI 値と強い負の相関関係にあった。つまり、土壤有機物が木本植生 (C3 植物) に由来する度合いが強いほど ( $\delta^{13}\text{C}$  値が小さい)、土壤有機物の黒色味が弱くなることが示された (MI 値が大きい)。一方、土壤有機物が草本類の C4 植物に由来する傾向が強くなるほど、黒色味が強くなった (MI 値が小さい)。

一般に園内を覆っている火山灰性の土壤 (黒ボク土) においては、草本植生下で生成した土壤有機物は黒色味が強く、木本植生下の土壤有機物とは黒色味が異なることが知られている (Imura *et al.*, 2010; Ishizuka *et al.*, 2014)。草本植生の維持には、野焼きなどの火入れによる植生管理が必要とされており、人為的に維持されなければ、本園が属する冷温帯環境下では植生が森林に遷移することが予想される。したがって、黒色味が強い土壤有機物の存在は、草本植生と人為的な火入れの関与が重要と考えられている。ただし、草本類はススキ (*M. sinensis*) のような C4 植物からササ類のような C3 植物まで様々考えられるが、関東の草原は概ねススキなどの C4 植物が主体だったと推定されている (Ishizuka *et al.*, 2014)。

中世以降、園内では草原維持や野焼きは行われなくなったため、黒色味が強い表層土壤が生成されなくなったと推察される。その間に、園内には森林 (土塁やマツ林など) の成立や、施設構造物 (火薬庫など) の建設による土壌改変が行われた。森林の地表面には木本由来の落葉枝が堆積し、分解された有機物は草本植生期に生成した黒土表層土壌と混ざり、黒色味の弱いものに変化していった。ここで示す黒土層は「マンセル表色系に準じた標準土色帖の明度 3 以下、彩度 3 以下 (一部 4 も含む) を示す色調の土層」と定義する。一方、施設地や裸地の一部では、新たな有機物の供給が少ないので、草本植生期に生成した黒色味の強い土壤有機物が比較的強く残存していたと考えられる。

土塁を築造する時に用いた土壤は、おそらく台地上で野焼きの影響を受けて生成した土壤有機物を多く含む土壤だったと考えられる。しかし、その後のスダジイ植栽後の森林期間が比較的長い間、木本植物の落葉枝の影響が強くあらわれる結果となった ( $\delta^{13}\text{C}$  値が小さい: 地点 No.1 - 6)。このような傾向は黒土最表層部で特に顕著に表れたが、下層部では過去に生成した土壤有機物の特徴を残しており、高い  $\delta^{13}\text{C}$  値と低い MI 値を示していた。また、木本由来の有機物が多量に存在する黒土最表層と野焼きの影響が強い草本由来の土壤有機物が残存する下層は、樹木根系の成長や土壤動物の活動を通して混ざりあう影響もあっただろう。そのため最表層から下部に向かい、MI 値は徐々に低

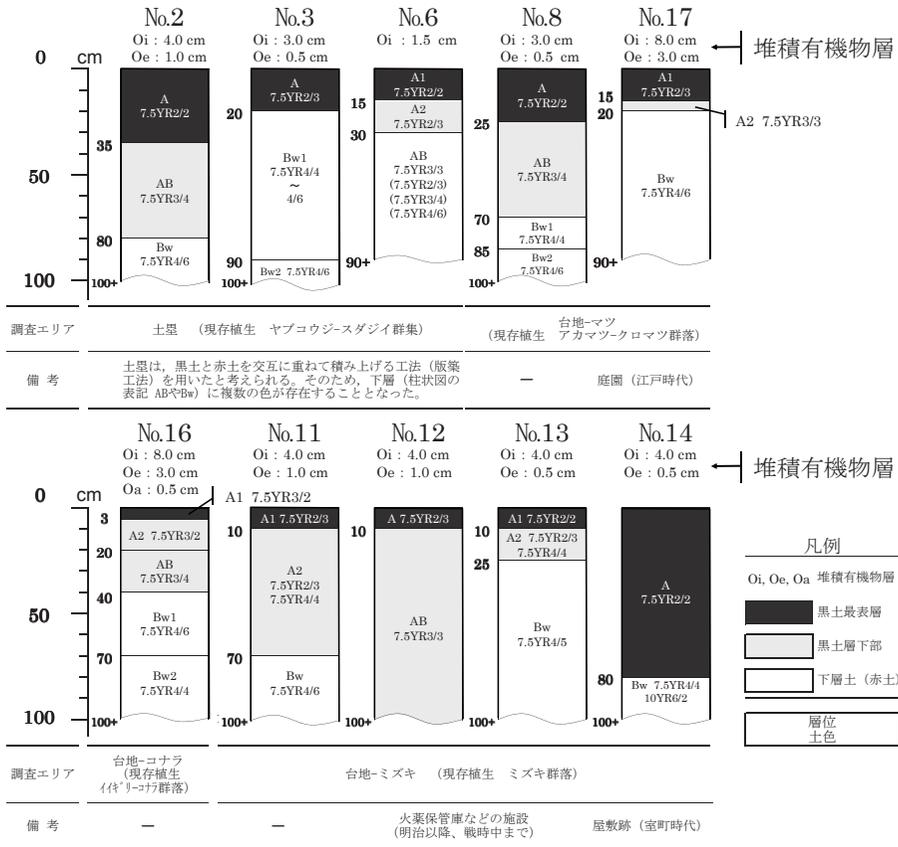


図2 土壌断面柱状図

\*脚注

- 1 現存植生は、奥田(2001)より。
- 2 堆積有機物層は、落葉枝が堆積した層のことであり、新鮮な物を Oi、繊維状にまで分解したものを Oe、粉々にまで分解したものを Oa という。
- 3 層位名のうち、A 層とは有機物が集積し黒色を呈する土壤層を示し、Bw 層とは有機物集積は無いが風化し粘土含量が多くなった層を示す。AB 層とは A 層と B 層の中間的な特徴を持った層を示し、同一層が細分化される場合は A1 や A2 と層位名をつけた。
- 4 土色は、マンセル表色系に準じた標準土色帖を用い、色相、明度、彩度の三属性で示す。色相の R (Red) より黄色み 7.5 の強さを色相 7.5YR と示す。明度・彩度が小さいほど黒く、鮮やかさが無い色となり、大きいほど白く鮮やかな色となる。7.5YR3/4 とは、黄褐色のうち黒味があり鮮やかな暗褐色を表す。
- 5 土塁の黒土最表層は、森林となってから生成した土壤層で 30cm 程度。やや植物繊維が多い傾向にある。土塁の黒土層下部は、複数の土色からなる層であるため(版築工法の影響)、土塁形成時に積み上げられた土壌と考えられる。土塁形成時期が室町時代であるため、積み上げられた黒土は、当時の草本植生下で生成した土壌(以下、草本由来黒土)と考えられる。
- 6 台地マツの黒土最表層は、森林となってから生成した土壤層で 20cm 程度。土塁の黒土最表層の厚さより若干薄い。マツ林は江戸時代からであるため、森林期間は土塁よりも短い。そのため、黒土最表層が若干薄いと考えられる。台地マツの黒土層下部の厚さは場所により異なっていた。マツ林庭園とするために掘削切土などを行ったためと考えられる。黒土層の下には、下層土(赤土)が存在していた。
- 7 台地コナラの黒土最表層は、森林となってから生成した土壤層で 10~20cm 程度。最表層の厚さは、土塁や台地マツよりも薄い。森林期間の影響や里山(雑木林)管理による落葉掃きなどの可能性もある。台地マツと同様に、黒土層下部は過去の掘削切土などの影響により、薄くなっていた。
- 8 台地ミズキの黒土最表層は、森林となってから(1949 年以降のため、70 年)生成した土壤層で 10cm 程度。台地ミズキのうち、地点 No. 14 (屋敷跡)の黒土最表層は 80cm と厚い。埋戻しによるためと考えられる。黒土層下部の厚さは様々であり、複数の土色からなる層も存在していた。掘削・埋戻し・攪乱の影響や耕作の影響によるものと考えられる。このような人為は、森林になる前に行われているため、扱われている黒土は草本由来黒土と考えられる。人為の影響で、草本由来黒土と下に存在する赤土が攪乱のため混ざった可能性もある。



軍施設時代に支持基盤として活用した場所では、現存植生の影響を受けることが少なかったため、かつての草本植生下において生成した土壌有機物の特徴を強く残していた。

現在の自然教育園は、自然環境の維持といった趣旨で主に森林植生下で維持されている区域が多い。すなわち、野焼きを通してススキなどの草本植生が過去に維持された区域においても、現存の木本植生を由来とする特徴をもった土壌層位、特に最表層が、今後広がり行く可能性がある。これも一つの自然再生の様子とみることができだろう。

## 謝 辞

国立科学博物館附属自然教育園からは土壌調査の機会をいただき、心より感謝いたします。特に、矢野亮様には現地調査にあたり大変お世話になりました。

## 引用文献

- 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.
- Imura, Y., Fujimoto, M., Hirota, M., Tamura, K., Higashi, T., Yonebayashi, K. & Fujitake, N. 2010. Effects of ecological succession on surface mineral horizons in Japanese volcanic ash soil. *Geoderma*, 159 : 122-130.
- Ishizuka, S., Kawamuro, K., Imaya, A., Torii, A. & Morisada, K. 2014. Latitudinal gradient of C4 grass contribution to Black Soil organic carbon and correlation between  $\delta^{13}\text{C}$  and the melanin index in Japanese forest stands. *Biogeochemistry*, 118 : 339-355.
- 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.
- 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.
- 三上岳彦・菅原広史・清水昭吾・成田健一・萩原信介. 2011. 自然教育園と周辺市街地における夏季の気温移動観測, 自然教育園報告, 42 : 25-29.
- 日本ペドロロジー学会編. 1997. 土壌調査ハンドブック改訂版. 博友社. 東京.
- 沼田真. 1980. 自然教育園生態系特別調査を終わって—総合考察—. 自然教育園報告, 11 : 1-2.
- 奥田重俊. 2001. 自然教育園の現存植生図. 自然教育園報告, 33 : 71-79.
- O'Leary, M. H. 1995. Environmental effects on carbon isotope fractionation in terrestrial plants. In Wada, E., Yoneyama, T., Minagawa, M., Ando, T. & Fry, B. D. (eds.) *In Stable Isotopes in the Biosphere*, 78-91. Kyoto University Press, Tokyo.
- 清水昭吾・菅原広史・成田健一・三上岳彦・萩原信介. 2011. 自然教育園における冷気のにじみ出し現象, 自然教育園報告, 42 : 39-47.
- 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.

- 安田喜憲・三寺光雄・菅原十一. 1980. 自然教育園の泥土の花粉分析的研究 (I). 自然教育園報告, 11 : 123-131.
- 安田喜憲・福澤仁之・藤木利之・中川毅・山口健太郎・五反田克也・山田和芳・井上靖志・浦崎康宏. 2001. 自然教育園の泥土の花粉分析的研究 (II). 自然教育園報告, 33 : 445-459.
- Yoneyama, T., Nakanishi, Y., Morita, A. & Liyanage, B.C. 2001.  $\delta^{13}\text{C}$  values of Organic Carbon in Cropland and Forest soils in Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 47 : 17-26.