

④ 自然教育園における 歴史的な人為からの土壌の自然再生

川井伸郎¹・村田智吉²・田中治夫³

Soil regeneration from the situations impacted by the historical man-made alterations in the Institute for Nature Study

Nobuo Kawai¹, Tomoyoshi Murata², Haruo Tanaka³

はじめに

自然教育園は、12万5千年前頃に形成されたとされる下末吉台地のうち淀橋台に位置し、周辺には渋谷川や目黒川が流れ、湧水により台地が浸食され、複雑な地形を形成している（鶴田・坂元、1978）。

自然教育園では、およそ縄文中期以降より、人間生活との密接な関わりが生まれた。室町時代には白金長者の屋敷や土塁、江戸時代の下屋敷、明治時代の火薬庫、大正時代の白金御料地、戦時中の防空壕などの人為による改変があり、昭和24年（1949年）に国の天然記念物および史跡に指定され、自然教育園となるまでの間、土壌もその人為の影響を受け続けてきた。

主に南関東に広く分布する土壌は、給源火山である富士山から噴出された火山噴出物（テフラ）を母材として生成したアロフェン質黒ボク土と呼ばれる土壌である。腐植を多く含む黒土層は、完新世（およそ1万年前以降）に噴出したいくつかのテフラを母材とし、縄文時代の温暖な時期に生成した富士黒土層（町田、1977）、延暦（800～802年）・貞観（864年）大噴火のテフラを主体として生成した完新世第1暗色帯（坂上、1990）、宝永噴火（1707年）以降のテフラを主体として生成した現在の表土からなる。したがって、室町時代の白金長者が屋敷や土塁を築いた時期には、宝永噴火により形成された現表土を除き、概ね現在と同じ土壌層位が形成されていたと推測される。

泥土の花粉分析からは植生の大きな変化を伴う三つの時期（花粉帯Ⅰ～Ⅲ）の存在が推測されている（安田ほか、1980；安田ほか、2001）。

花粉帯Ⅰは中世頃の森林破壊（野焼きなど）による草原化の時期と考えられ、室町時代の白金長者が活躍した時期であり、植生を大きく変える程の改変が行われていたと考えられる。また、花粉帯Ⅱではアカマツの二次林の拡大があったと考えられ、近世初頭の開拓に相当すると推察されている。近世初頭は、江戸時代に向けて織田・豊臣による全国統一が進行していた時期でもある。自然教育園に

¹株式会社クレアテラ, Createrra Inc.

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

³東京農工大学, Tokyo University of Agriculture and Technology

関する歴史的情報は無いが、植生がマツに移り変わった時期に、堆積泥土が泥炭から火山灰質シルトに変化する（周辺の台地部から火山灰質土砂が侵食され堆積する）といった変化が確認された。改変によって発生した切土の埋立てや植生変化による表土流亡などが考えられる。花粉帯Ⅲからは、自然教育園内がおおよそアカマツ林のみであったと推察され、近世中頃のことと考えられている。この頃、増上寺の管理下から寛文4年（1664年）高松藩主松平讃岐守頼重の下屋敷となり、マツの庭園が整備された時期である。

その後も、明治・大正・昭和と、自然教育園内は部分的に幾度と無く人為改変による影響を受けてきた。その都度、自然教育園内の土壌も、人為改変による攪乱を受けていたが、その後の長期的な鎮静化により、自然度が回復したエリアも存在すると報告されている（平山ほか、1978）。

本報告では、土壌生成因子のうち、特に、①切土（掘削）・盛土など地形を変える営力、②樹木伐採など植生を変える営力の2つの『人為』を取り上げた。このような、歴史的に継続した人為を受けてきた自然教育園内の土壌断面を他の類似した地形で人為の比較的少ないと考えられる土壌断面とその形態を比較して考察し、自然教育園内土壌の人為による改変強度、また現在における土壌の自然再生度（以後、土壌再生）の評価を行った。

調査地点と方法

土壌調査地点は、人為を考慮した土地利用の違いにより、4つの調査エリアを設定した。設定した調査エリアを表1にまとめた。また、各調査地点を図1に示した。

土壌調査は、検土杖を用い、方法・記述は土壌調査ハンドブック改訂版（日本ペドロジー学会編、1997）に準じて行った。

自然教育園内の他に比較対照地点として、①同じ地形面である12万5千年頃前に形成された下末吉面上に下から下末吉ローム・武蔵野ローム・立川ロームからなる関東ローム層をのせ、最上層に完新世の黒土が存在する明治神宮内の土壌（以後、明治神宮土壌）（金子ほか、1991）、②およそ2～3万年頃前に形成された立川段丘面上に、立川ロームからなる関東ローム層をのせ、最上層に完新世の黒土が存在する東京農工大学フィールドミュージアム府中内の林地土壌（以後、府中林地土壌）およ

表1 調査エリアの土地利用、地形、林相と土壌に影響する人為

記号	土地利用	地形	現在の主な林相	人為*
A	屋敷跡エリア	台地平坦面から 谷底平野緩斜面	マツ林、雑木林	屋敷跡（室町時代）
B	火薬庫跡・防空壕跡・ 鉄塔エリア	台地平坦面から 谷底平野緩斜面	雑木林	火薬庫（明治時代）・防空壕 （戦時中）・鉄塔（現在）
C	庭園・広場エリア	谷底平野平坦面 （段丘化）	アカマツなど	松平讃岐守下屋敷庭園（江戸時 代）・広場（現在）
D	土塁群エリア	—（盛土）	スダジイなど	土塁（室町時代）

*鶴田・坂元（1978）を参考にした



図1 自然教育園内の調査地点位置

び同敷地内の人為（耕作）が現在も継続的に加えられている畑地土壌（以後、府中畑地土壌）（Tanakaほか，2008）の3点を堆積年代や層序を検討するため選択した。明治神宮土壌は，もともと旧井伊家の屋敷林であった土地を，大正9年に明治神宮の森として造営し，その後，植栽された樹木は剪定や除・間伐等の作業は基本的に行われず，林内の落葉清掃も行われていない。また，立ち入りは禁止されている。府中林地土壌は，戦時中に一部耕起された以外は顕著な人為は認められない（土壌版レットデータブック作成準備委員会，2000）。

結果および考察

1. 基準断面形態について（対照土壌より）

対照土壌である明治神宮土壌，府中林地土壌の断面模式図を図2に示した。

対照土壌である明治神宮土壌，府中林地土壌の層序は，地形面の違いによらず，第1層（表層）は宝永噴火テフラから形成されたと考えられる層，第2層は延暦・貞観噴火テフラから形成された層，第3層は縄文時代の噴火テフラから形成された富士黒土層，第4層は更新世から完新世への移行時期の噴火テフラから形成された漸移層，第5層は更新世の噴火テフラから形成された関東ローム層の自然時系列を示す堆積からなる層序を示し，1～3層目は腐植に富み黒味が強く，4層目は腐植に富み暗褐色，5層目は腐植の少ない褐色といった色調の特徴があった。

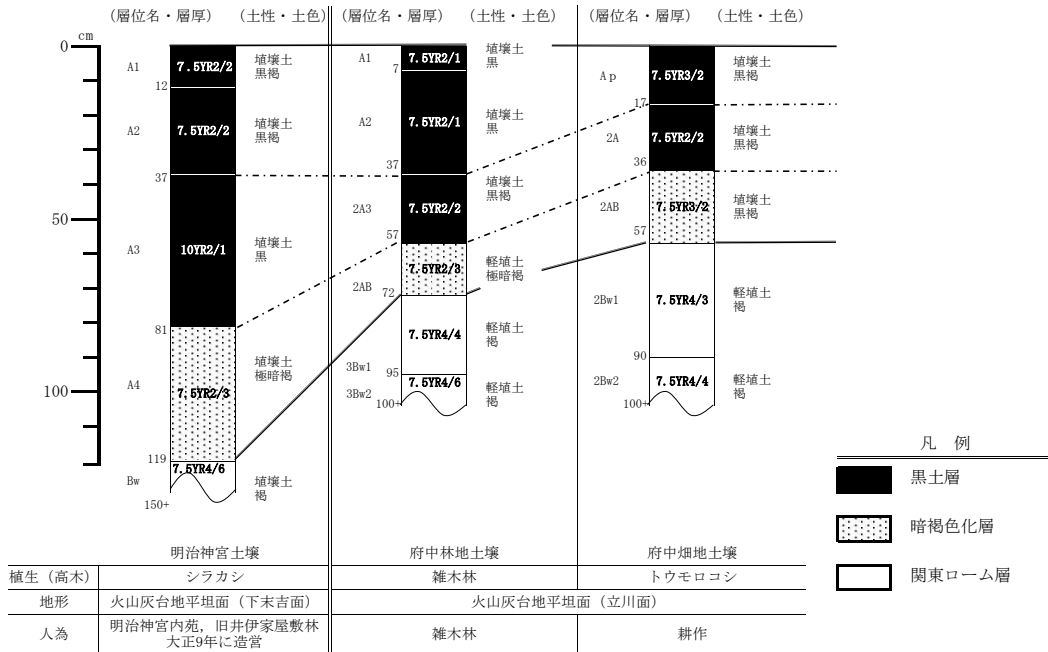


図2 対照土壌（明治神宮土壌，府中林地土壌，府中畑地土壌）の土壌断面模式図

府中林地土壌と同畑地土壌を比較すると、人為の少ない林地では自然な堆積状態の層序が認められるが、畑地では耕作の影響で層序の境界が不鮮明となり、1層目と2層目の層界は区別がしがたく、土色も明るくなっていた。人為の及ぶ範囲により異なるが、層序は乱れ、均一化することが認められた。

腐植に富む層（土色が3/3を除き、明度 ≤ 3 、彩度 ≤ 3 の土層）（以後、黒土層と呼ぶ）の層厚は、明治神宮土壌で119cm、府中林地土壌で72cmであった。そのうちの富士黒土層の厚さは、明治神宮土壌で44cmと厚く、府中林地土壌では20cmであった。

以上の層序や厚さを、自然教育園内の土壌断面と比較する。

2. A：屋敷跡エリア

屋敷跡エリアにて観察された土壌の断面模式図を図3に示した。

黒土層は平坦地において10～25cm程度であり、下層はやや褐色味のある暗褐色の層（明度3で、腐植層ではないものとする）（以後、暗褐色化層と呼ぶ）が40～80cmまで続いていた。さらにその直下の層位にはいわゆる関東ローム層の褐色土層が出現した。屋敷跡土壌（A-③）は黒土層が厚く堆積し、盛土または周辺からの黒土などを敷均したものと考えられる。コナラ林斜面（A-⑥）は、暗褐色化層が10～80cmと厚く、膨軟であった。膨軟であることから崩積や逕行による土砂の移動の影響と考えられる。一方、斜面下部（A-⑦）は斜面上部から土壌が崩積し、黒土層は100cm以上と厚くなっていた。

明治神宮土壌と比較すると、平坦地の黒土層+暗褐色化層の層厚は30～80cmと一定ではなく、黒土層は表層のみであった。富士黒土層は確認できず、自然層序は認められなかった。黒土層は切土(削

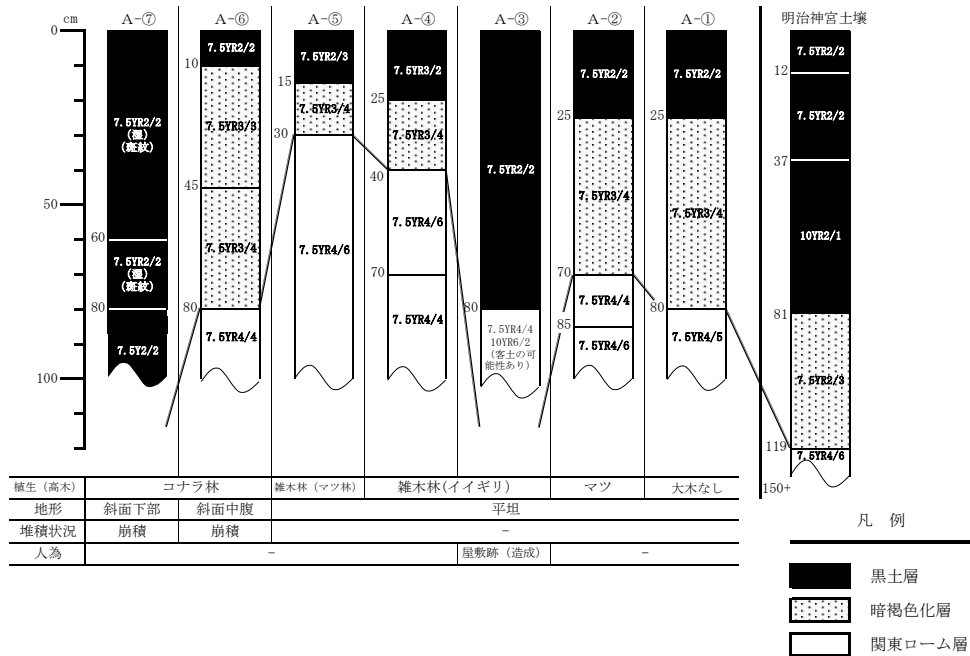


図3 屋敷跡エリアにおける土壤断面模式図

剥) 改変されている可能性がある。

平坦地の暗褐色化層は40cm以上と厚い地点も存在する。この層は黒味が弱いため、明治神宮土壌や府中林地土壌における富士黒土層下の漸移層と比定されると考えられるが、かなり厚いことが分かる。

黒ボク土の黒色味の強い腐植の給源は草本植生であり、人為により森林が破壊されて草原が形成され、黒ボク土の黒色を呈する土層が形成されたと考えられている(浜田, 1990)。一方、田村ほか(1993)は、黒ボク土の黒色が、ススキ草原からアカマツ林、落葉広葉樹林へと変化すると、およそ 10^2 年のオーダー、早ければ200～300年で退色するのではないかと報告している。これは、黒ボク土の退色化現象の主要因、すなわち落葉や枯死根の多量の混入が黒色味の強い土色を希薄化させているためと考えられる。

関東ローム層は、調査の結果、膨軟ではなく緻密であったので、耕作等の人為の影響は無いと考えられる。

3. B：火薬庫跡・防空壕跡・鉄塔エリア

火薬庫跡・防空壕跡・鉄塔エリアにて観察された土壌の断面模式図を図4に示した。

黒土層は平坦地において10～25cm程度であり、下層には暗褐色化層が40～80cm以上の厚さで続いている。しかし、明治神宮土壌の漸移層に比定されると考えられる暗褐色化層が欠如している地点が多く存在した。さらに黒土層直下より、関東ローム層が出現する地点も存在した。

鉄塔周辺土壌(B-④, B-⑤)は膨軟で黒土層+暗褐色化層厚や土壌層位も地点ごとに異なっていた。

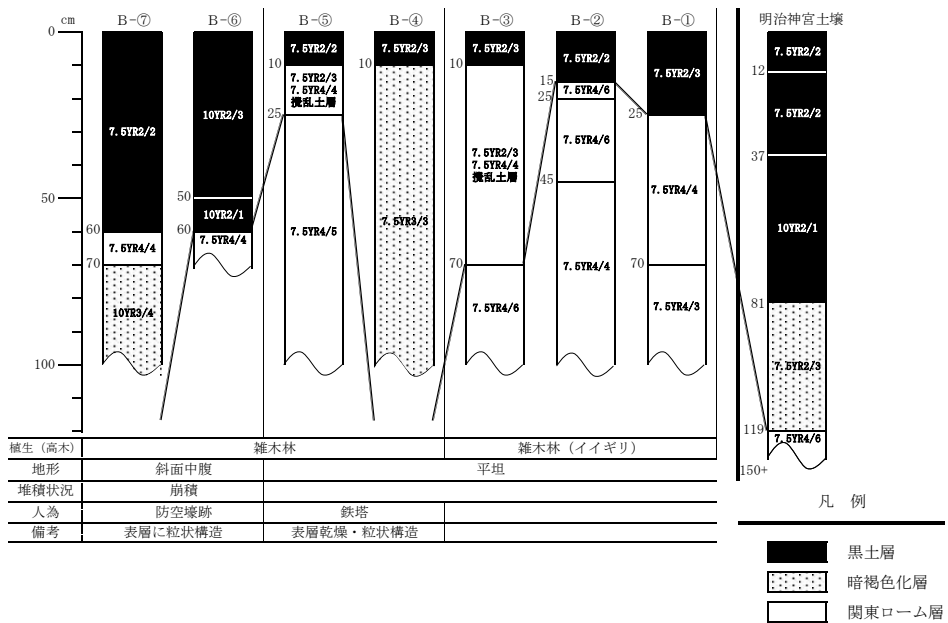


図4 火薬庫跡・防空壕跡・鉄塔エリアにおける土壌断面模式図

この地点は火薬庫跡であり、鉄塔もあることから、広範囲に掘削・敷均しを行っているためと考えられる。

防空壕跡は斜面上でもあるため、B-⑦のように黒土層の下に関東ローム層が出現し、その下部にやや黒味のあるローム層が出現した。埋め戻しなど(鶴田・坂元, 1978)の人為の影響か、崩積による影響かは不明である。

斜面上土壌(B-⑥)では、50cm 辺りから表層と比べ黒味の強い層が出現する。埋没腐植層と考えられるが、崩積による再堆積の影響と考えられる。

火薬庫跡・防空壕跡・鉄塔周辺の土壌は、明らかに明治神宮土壌と異なり、黒土層は表層にわずかに認められる程度であった。黒土層は切土(削剥)改変されている可能性がある。また、表層の黒土層では、屋敷跡エリアで認められたような黒土層の黒色味の退色現象が見られなかった。主な人為は戦後であり、人為的な攪乱が無くなってから以降の期間も短いため、黒土層の退色化が認められなかったと考えられる。

4. C：庭園・広場エリア

庭園エリアにて観察された土壌の断面模式図を図5に示した。

江戸時代の庭園として整備されたと考えられるマツ林は、黒土層が15cmと薄く、2層目の暗褐色化層が15～20cm、3層目に関東ローム層の褐色土層が出現していた。1層目は、鉦質土壌層というよりむしろ落葉枝未熟分解物を中心とした堆積有機質層としての性状を強く示していた。“マツは痩せた土壌を好む”と思われていた風潮もあるため、マツ林とするために黒土層を剥ぎ取り、マツ林として庭園を整備したとも考えられる。このことは、植生がマツに移り変わった時期に、堆積泥土が泥

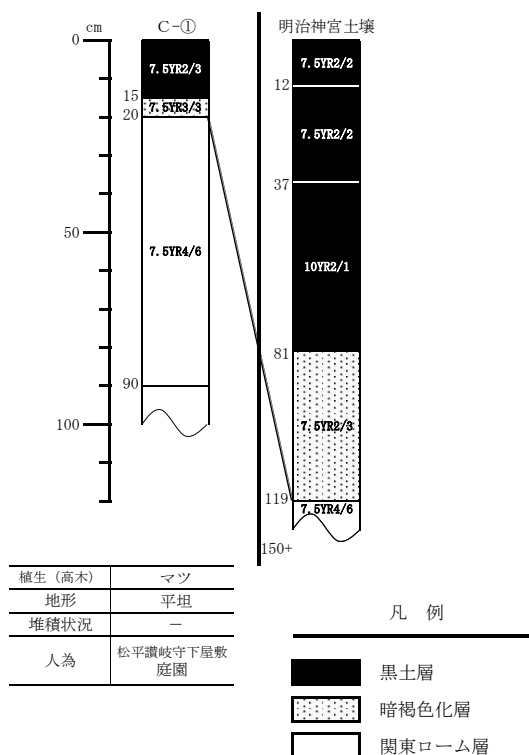


図5 庭園エリアにおける土壌断面模式図

炭から火山灰質シルトに変化（安田ほか，1980；安田ほか，2001）したことと関連があると考えられるが，詳細は不明である。

また，近年整備された広場は，90cmより関東ローム層が出現し，その上部には造成の影響を強く受け，堅密化した土壌が存在した。

5. D：土塁群エリア

土塁群にて観察された土壌の断面模式図を図6に示した。

土塁エリアでは盛土材料の種類により土壌断面は異なっていた。

土塁周辺の土壌（D-⑥）では，黒土層が15cm，暗褐色化層が15～55cm，その直下に関東ローム層が出現した。この土塁周辺土壌は，他のエリアと同様に，黒色層—暗褐色化層—関東ローム層といった構成であった。しかし，土塁土壌はD-③やD-⑤のように黒色土と関東ローム層の攪乱土からなる土層が存在するなど，各層位の土壌が土塁形成時のままの状態であるのか，土塁形成後に土壌生成が進み，暗褐色化層や関東ローム層に類似した土層に変化したのか判断はできなかった。土塁土壌は，他のエリアに分布する土壌と異なり，土塁上に成立する土壌であるため，対照土壌や他のエリア土壌と比較することはできなかった。

土塁土壌の表層である1層目の黒土層は，盛土材としての黒土と落葉枝の未熟分解物が混和し，鉍

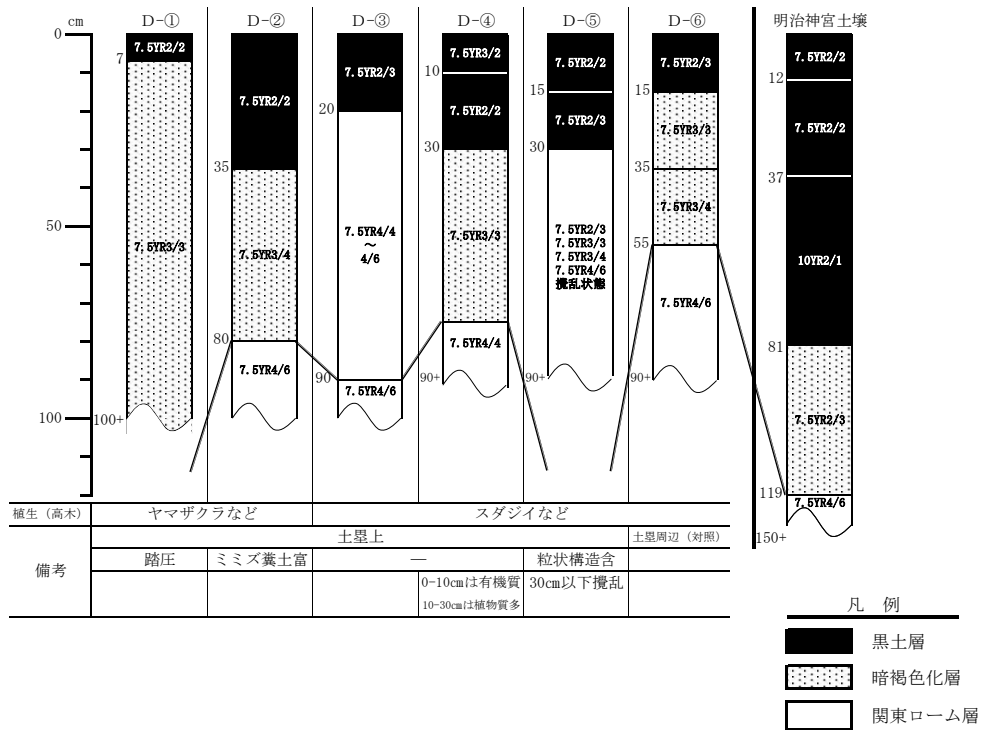


図6 土塁群エリアにおける土壌断面模式図

質土層（層位名ではA層）と堆積有機物層（層位名ではO層）両層の特徴を有している層（層位名としてはOA層）であった。堆積有機物層は、土塁形成後、スダジイなど樹木の影響により形成された層と考えられる。このことから、この有機質表層（OA層）の存在は、土塁形成といった人為からの解放の始まりを示唆し、土壌再生と考えられる。

土塁上のスダジイは、深根性の樹木で地表面の栄養根を広く分布させるだけでなく、支持根として地中深くにまで根を分布させる樹木である。湿地を除く園内に分布する土壌は、黒ボク土と言われ、有機物の集積量が多く、非常に軽く、保水性が高く、締め固まり難い土壌である。つまり、植物の根系伸長にとっては望ましい環境にあるといえる。しかし、膨軟である反面、スダジイの根系伸長の影響も加わり土塁内部深くにまで連続した粗孔隙が形成される。また、盛土のため地下水位から離れており、粗孔隙が多くなることで毛管現象が途絶え、地下水からの水分補給が少ない。このようなことが原因となり土塁内部の水分が蒸発し、乾燥してしまうことが懸念される。土塁土壌内部(1m深程度)まで乾燥している土塁も一部で認められた。

自然教育園内土壌の人為による改変強度とその土壌再生について

教育園内土壌は、明治神宮土壌や府中土壌よりも黒土層が薄く、大きな特徴として完新世第1暗色帯や富士黒土層といった明瞭な黒味の強い層が認められなかった。

「自然教育園沿革史」(鶴田・坂元, 1978) に、「戦時中の①園内自然林中の防火用井戸や防空壕の掘削、戦後の②立木の伐採、③園内の各平坦地の畑地開墾により自然林は荒廃寸前であった」と記録されている。耕作や樹木伐採の影響で、地表面は露出し、傾斜地では表土は流亡し、黒土層厚が薄くなっているものと推測される。また、戦時中の施設撤去などで黒土層を切土・掘削(削剥)や敷均すことで、薄くなっていることも考えられる。戦後の耕作や樹木の伐採・伐根の影響で攪乱や層位間の混和が起き、層序が乱されているものと推察した。

その人為の程度は、エリアごとに異なっており、各エリアの特徴を以下にまとめた。

I：屋敷跡周辺エリアは、切盛土・敷均しといった人為的な黒土層の改変があり、土壌層序は乱れていた。その後、本エリアが二次林化し、人為が長期間加わらなくなることで、黒色層が退色したと考えられる。これは長期樹林植生の安定維持によりもたらされた人為の影響からの土壌再生であるといえる。

黒色層の退色による黒ボク土の褐色森林土化に200～300年を要すること(田村ほか, 1993)を考慮すると、江戸時代末期頃から本エリアは人為が薄れ、二次林となり、土壌は新たな層位が形成したと考えられる。すなわち、人為による改変強度は弱く、江戸時代末期以降の人為的改変は少なかったと推察される。

II：火薬庫・防空壕・鉄塔周辺エリアや庭園・広場エリアは、大規模な人為的改変があり、土壌削剥・土壌攪乱の程度が大きく、土壌層位分化は認められなかった。

しかし、一部の場所では、平山ほか(1978)が自然生成のものとしている微細くず粒状構造に相当すると考えられる土壌の粒状構造が認められた。戦後のおよそ70年の間、二次林として人為から解放され、新たに土壌構造の形成が起きたと考えられる。

人為による改変強度は強く、およそ70年前までは人工的改変が強く頻繁であったと推察される。

III：土塁群は、土塁形成時の盛土の影響が強く、土塁形成後の土壌層位分化は不明であった。厚い黒褐～暗褐色土層は確認されているが、黒色層の退色による影響か、盛土材料としての基色であるのかの判断はできなかった。

魚井ほか(2012)は、土塁土壌に関して盛土造成土から自然土壌へ物理的性状の変化が起き、自然土壌に近い土壌硬度の形態を示していると報告している。土壌の膨軟化の物理的変化も人為からの土壌再生と言える。

土壌の膨軟化と粒状構造が認められたことから、新たに土壌構造の形成・孔隙組成の変化が認められた。

人為による改変強度は強く、盛土材は不規則に混和され、盛られたことが原因にあるかと思われる。

自然教育園内の土壌は、文科省管轄となり、樹林が維持されているため、樹林内の土壌は樹木の根系伸長によりほぐされ、植物基盤としての土壌構造が成立し、軟らかさを維持することで、さらに樹林が成長を続けている。そのため、落葉・落枝は堆積し、生物活動による土壌と地上部の物質循環が長期にわたり適切に維持され、過去の人為による土壌の堅密化が薄れていったものと思われる。

自然再生度の評価—土壤再生への過程とその概念について—

本報告では、自然再生度を評価するために、自然教育園内土壤の土壤再生を以下に示すように考えた。前提として、新たな人為は皆無または軽微であった場合とした。

- ① 人為的に堅密化した土壤を基盤として植物が成育することで、植物根の伸長により堅密化した土壤がほぐされ、緻密であり孔隙の少なかった土壤に大小様々な大きさの孔隙が土壤断面において多数認められること（初期の物理的再生）。
- ② 切盛土や樹木伐採により土壤を中心とする生態系が失われた後に、土壤-植物（落葉枝含む）-土壤動物・微生物が相互に係りあった物質循環が確立し、表層に落葉枝の未熟分解物を中心とした有機質層やくず粒・団粒構造の生成が確認されること（初期の循環再生）。
- ③ 土壤層序が乱された後に、表層の落葉枝の未熟分解物と生物が中心となり、今後の土壤生成過程が進むべき方向性を決定付け、黒土の退化化といった腐植組成の変質、新たなる有機物の集積などといった二次的な土壤生成作用が始まること。そして、その土壤生成作用が土壤断面において観察され、化学的データにおいても認められること。また、樹林が成熟するための基盤となること。

土壤再生の概念図を図7と8に示した。図7は、樹林内への立ち入りや、林内の落葉掃きが行われない場合であり、土壤再生が進行する場合の図である。その新たなる土壤生成過程の方向性は、人為改変直後の土壤の性質・性状が基となり、新たに形成された地形・植生・生態系などにより決定付けられると推察される。

一方、図8は、落葉掃きが行われ、立ち入りもある場合であり、土壤の堅密化など劣化が進行することで、将来的には鎮守の森ではなく、樹林の不健全化が進むと思われる概念図である。

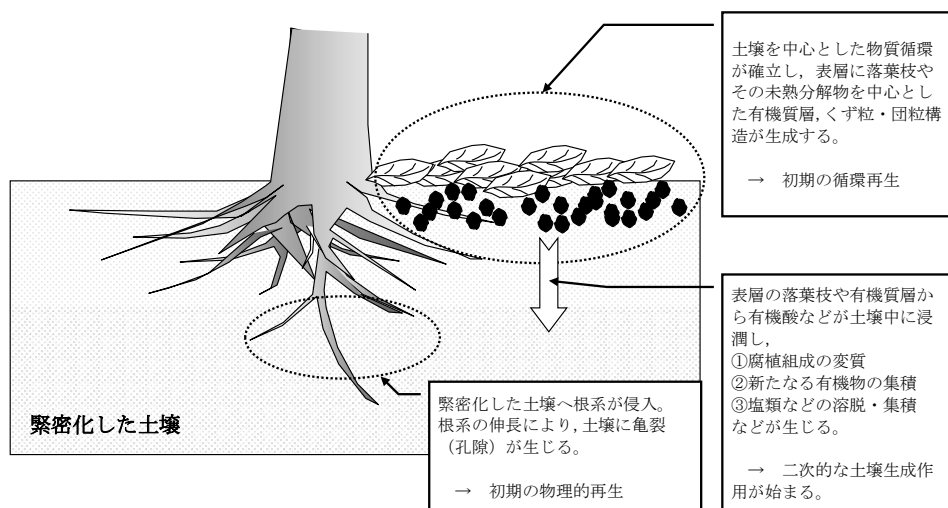


図7 土壤再生の概念図（樹林立ち入り、林内の落葉掃きが行われない場合）

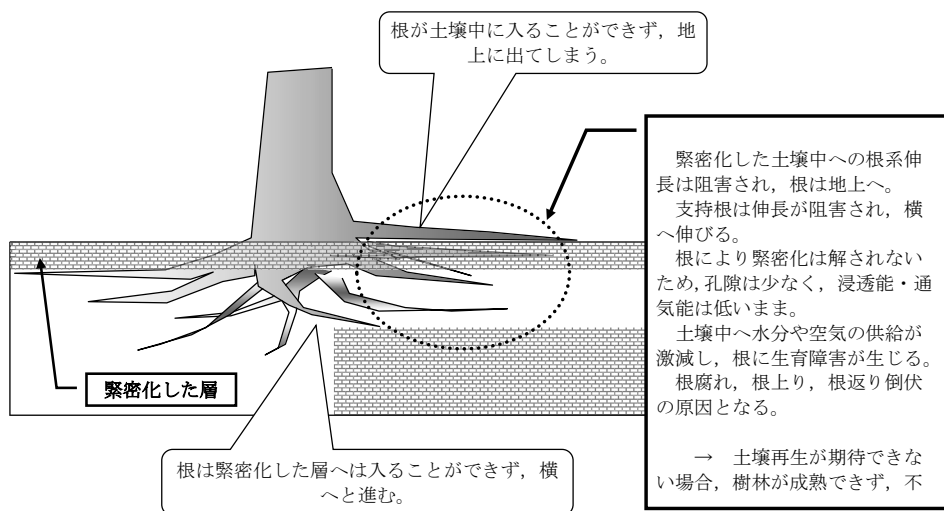


図8 樹林の不健全化の概念図（樹林立ち入り、林内の落葉掃きが行われる場合）

土壌再生を以上のように考えた場合、自然教育園内の土壌再生は、概ね初期の物理的再生か初期の循環再生にあると推察された。

土壘土壌は、土壘形成後からの人為から解放された期間がおよそ400年と最長であると考えられるが、土壌再生の程度は低かった。再生までに要する時間は人為の程度や解放されてからの時間などにより異なった。

また、一部のエリア（屋敷跡周辺）では、二次的な土壌生成作用が始まっていると推察された。

現時点においては、対照土壌とした明治神宮土壌などで観察される土壌層序は失われてしまっていた。将来的にも土壌層序が対照土壌の層序となることは無い。しかし、現在の根系分布や地表面に堆積する有機物層が新たな土壌層位分化に寄与していることに間違いは無く、人為の影響から解放され、再生する過程の土壌生成を学ぶ際の非常に価値の高い土壌が認められた。

要 約

自然教育園は、古くは縄文時代より人の生活と密接な関係をもち、時代毎に異なった程度の人為を受けてきた。本研究では、歴史的継続した人為を受けてきた園内土壌を他の比較的人為の影響の少ない土壌と比較し、その特徴を示すことを目的とした。園内を人為の程度が異なると考えられるエリアに分け、土壌調査を実施し、その結果を対照地域の土壌と比べた。園内の土壌は人為の影響から、対照土壌よりも黒土層厚が薄く、自然層序が認められなかった。園内土壌の土壌再生は、概ね初期の物理的再生や循環再生にあると推察された。土壘土壌は、土壘形成後より園内最長の解放時間があったが、再生程度は低かった。

樹林内の土壌は、人為の過度の影響から解放され、土壌・植物・生物との相互循環が確立・維持され、新たな方向性を持った土壌生成が進行していると考えられる。したがって、土壌層序が自然の

元の土壌層序に戻ることは無いが、園内土壌の中には人為の影響から解放され、再生する過程を経ている土壌もあり、それらの土壌生成過程を学ぶことにおいて非常に価値の高い土壌が存在する。また、その再生過程は、近隣の類似した土壌をもつ地域における自然再生の指標になりうると期待される。

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、感謝の意を表す。特に、矢野亮様には現地調査にあたり大変お世話になった。この場をかり、記して感謝の意を表す。また、本研究の一部は平成 21 年度日本生命財団環境問題研究助成「環境との持続調和を可能とするための都市土壌環境に求められる機能の評価法構築に向けた基盤的研究」によって実施された。

引用文献

- 浜田竜之介. 1990. 人為因子, 土壌地理学 (浅海重夫編), 83-91, 古今書院, 東京.
- 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.
- 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.
- 町田洋. 1977. 火山灰は語る. 蒼樹書房. 東京.
- 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.
- 土壌版レッドデータブック作成準備委員会編. 2000. わが国の失われつつある土壌の保全をめざして ~レッド・データ土壌の保全~. 55pp. 日本ペドロロジー学会.
- 坂上寛一. 1990. 黒ボク土 - 火山灰土成熟化の要因, 土壌地理学 (浅海重夫編), 186-194, 古今書院, 東京.
- 田村憲司・永塚鎮男・大羽裕. 1993. 黒ボク土の腐植の形態に及ぼす植生遷移の影響. 日本土壌肥料学雑誌, 64 : 177-182.
- Tanaka, H., Araki, Y., Yoshikawa, M., Sunaga, K., and Matsumura, S. 2008. Comparison of soil profiles and chemical characteristics between the uncultivated and cultivated Andosols. In The 9th International Symposium for Environmental Issues in Korea and Japan (Min, J., JH, Min, Y., JO., Kato, M., and Okazaki, M. eds.), 15-20, Kyong Hee University.
- 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.
- 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.