

# 自然教育園内の土塁斜面にみられる地形変化の解析

長田強志<sup>1,\*</sup>・田代 崇<sup>2</sup>・村田智吉<sup>3</sup>・遠藤拓洋<sup>4</sup>・渡邊眞紀子<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京都立大学, <sup>2</sup>日本大学, <sup>3</sup>国立環境研究所, <sup>4</sup>自然教育園

**Tsuyoshi Osada<sup>1</sup>, Takashi Tashiro<sup>2</sup>, Tomoyoshi Murata<sup>3</sup>, Takumi Endo<sup>4</sup>, Makiko Watanabe<sup>1</sup>: Analysis of the topographical variations on the earthwork slope in the Institute for Nature Study. Miscellaneous Reports of the Institute for Nature Study (53): 49–54, 2021.**

<sup>1</sup>Tokyo Metropolitan University, <sup>2</sup>Nihon University, <sup>3</sup>National Institute for Environmental Studies, <sup>4</sup>Institute for Nature Study

## はじめに

土塁 (earthwork) とは、人間が必要とする地形を意図的に成形することで築造した人工的な構造物である。土塁の構成物は、土塁の築造地点以外から持ち込まれた材料や土中の廃棄物なども含んでおり、新たな場所で土塁となる (Sain, 1983)。

旧白金御料地として天然記念物及び史跡に指定されている自然教育園は、東京都港区白金台に位置し、面積約 20 万 m<sup>2</sup> の大規模都市緑地であるとともに、過去における武蔵野の情景を現在に伝える貴重な存在として保存されている。なかでも園内に点在する土塁 (図 1) は、室町時代に白金長者屋敷を取り囲む外壁として、あるいは明治時代には火薬庫、戦時中には防空壕として様々な利用履歴を持ち、都内では数少ない貴重な二次的自然として現在まで保存されている (桜井, 1981)。園内の土塁は、自然教育園の外周を取り囲むように分布する外周土塁、園内部の館跡を取り囲むように分布するものおよび、園路に沿うように分布する内部土塁と大別がなされている。これらの土塁形状に関して、田代ほか (2020) による土塁地形の形状把握を目的とした地形解析によれば、園内の土塁斜面の多くに左右非対称な形状的特徴がみられ、一部の外周土塁における基底面からの比高は築造時の比高と比較し、大きく低下していることが報告されている。また、長田ほか (2020) の報告では、土塁斜面における植生景観の観察をおこない、一部の急崖形成箇所において倒木や土壌侵食に伴う樹木根の露出箇所が多く

見られたことから、土塁毎の斜面形状の差異や中長期的な時間スケール内における土塁形状の変化要因として、倒木など突発的環境要因が契機となる植生環境の変化などが関係している可能性を示唆している。しかしながら、こうした調査結果は一部の土塁斜面に限られており、園内に分布する全ての土塁の詳細な地形的特性や、形状変化に関する環境要因については、いまだ十分な議論がなされていない。そこで本研究では、上述の先行研究において指摘された土塁斜面上の急崖形成箇所や侵食の著しい箇所における斜面形状の特性を明らかにすることを目的とし、GIS を用いた土塁形状の地形解析をおこなった結果を報告する。

## 研究方法

本研究では、2010 年に実施されたレーザー測量により取得された 0.5mDEM を用いて、自然教育園内の各土塁における傾斜量および傾斜方向の解析をおこなった。土塁の分類に関しては、田代ほか (2020) で用いた区分に従い、園外周 (①) と園内部 (②~⑩) の 10 箇所の土塁を対象とした。また、斜面方向の解析結果を踏まえて、土塁斜面の顕著な乱れが確認された土塁①-3の一部を対象にした実踏調査をおこない、植生環境や地形条件の観察をおこなった。

\*E-mail: osada-tsuyoshi@ed.tmu.ac.jp

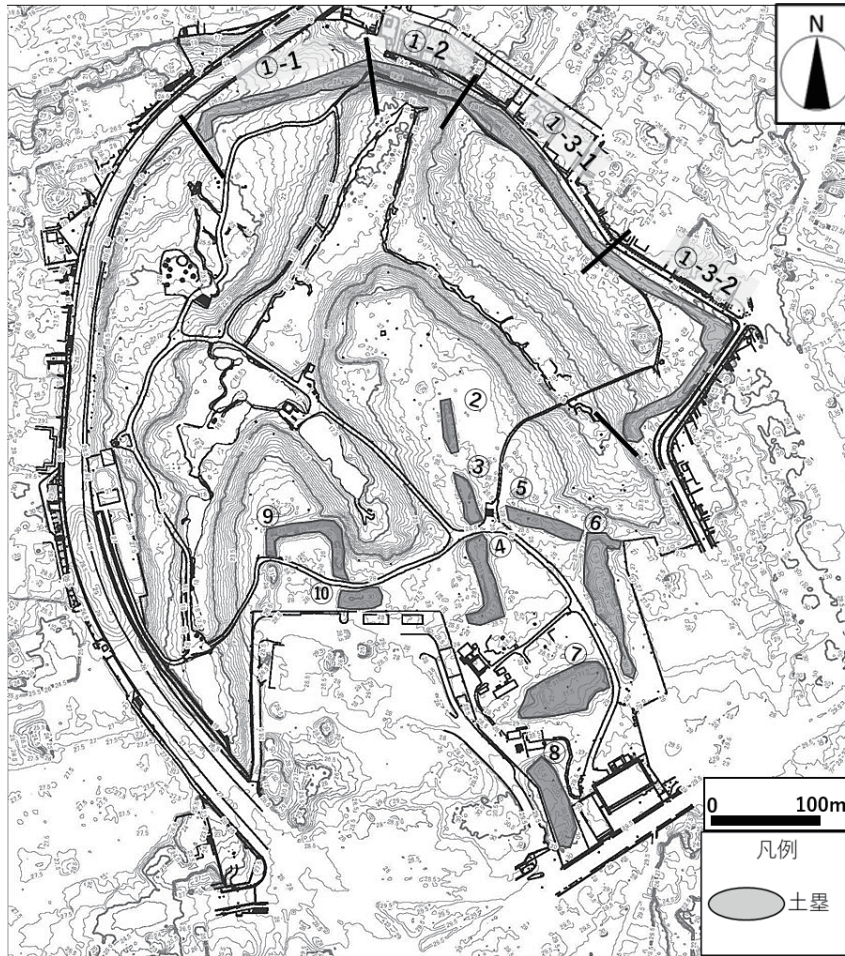


図1. 本研究で地形解析の対象とした土塁の位置図.

## 研究結果

自然教育園内の傾斜量の解析結果を図2に示す。ここでは、傾斜量を30°以上、20°以上30°未満、10°以上20°未満、10°未満の4つに区分して表示した。これによれば、斜面の平均傾斜角度が30°を超える斜面は、園外周土塁では園北端部に位置する土塁①-1北東部分の北側斜面と土塁①-2の南北両斜面全体と土塁①-3南東端付近の南東側斜面に確認された。園内部土塁では、土塁②の東-西側斜面全体と土塁④の南側斜面の一部、土塁⑨の東西斜面及び北側斜面に確認された。斜面の平均傾斜角度が20°以上30°未満に分類された箇所は、園外周土塁では土塁①-1の南北両斜面の全体と土塁①-3北西および南東端の南北両斜面の一部および北西方向から南東方向に分布する土塁中間部分に点在している。園内部土塁では、土塁③の西側斜面、土塁④の東側斜面、土塁⑦の南側斜面、土塁⑧の全体を除く全ての斜面に確認された。斜面の平均傾斜角度が10°以上20°未満に分類され

た箇所は、上記2分類以外の残りの土塁斜面が相当した。さらに、園内の土塁以外の地形については、台地斜面の平均傾斜角度は、概ね10°~20°であったが、20°以上の傾斜角度をもつ斜面も確認された。また、低地部と台地上の平坦地の平均傾斜角度は、10°未満に分類された。

傾斜方向の解析結果を図3に示す。ここでは、傾斜方向を、北西(NW)-北東(NE)、北東(NE)-南東(SE)、南東(SE)-南西(SW)、南西(SW)-北西(NW)のそれぞれの成分をもつ4つの方向に区分して図示した。これにより明らかとなった土塁斜面の傾斜方向特性を以下に記す。園内の土塁は築造当時、東西南北の向かい合う各斜面が対称的な形状に造られた可能性が高く、二等辺三角形に似た形状を呈していたと考えられる。本結果においては、前述の推定される築造時の土塁形状と図3に示される現在の形状とを比較し、その差異を記す。園外周土塁のうち土塁①-1と①-2については、全ての斜面上において、傾斜方向の乱れは確認されなかった。一方で、土塁①-3については、南東部分の南北両斜面

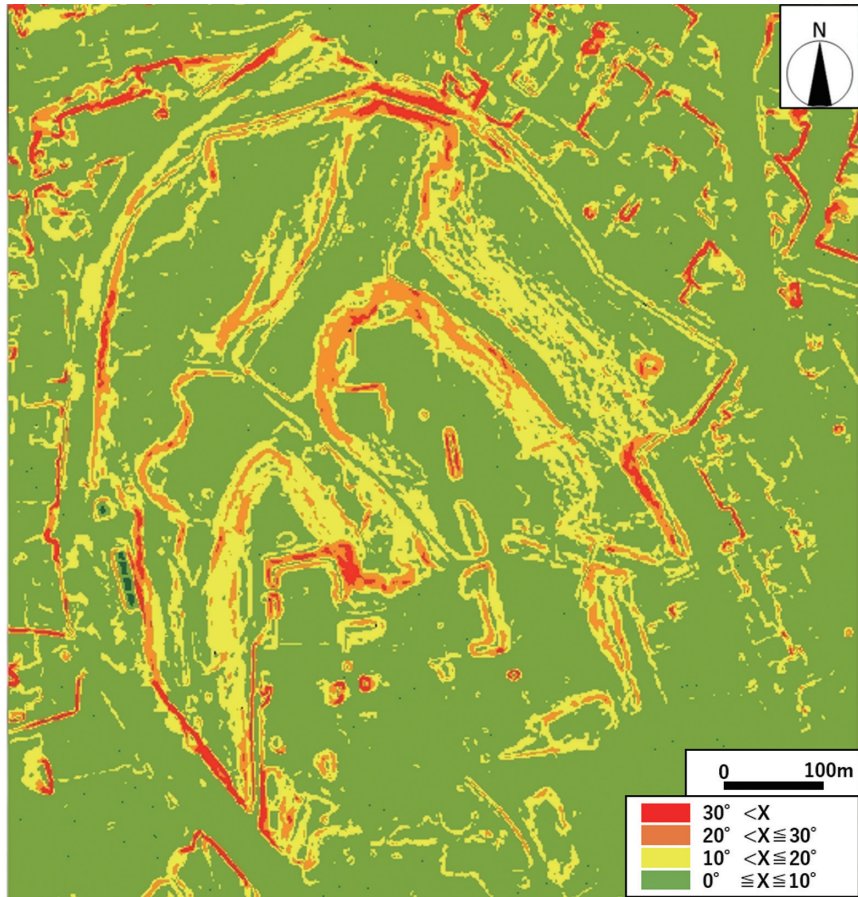


図2. 園内の傾斜量区分図.

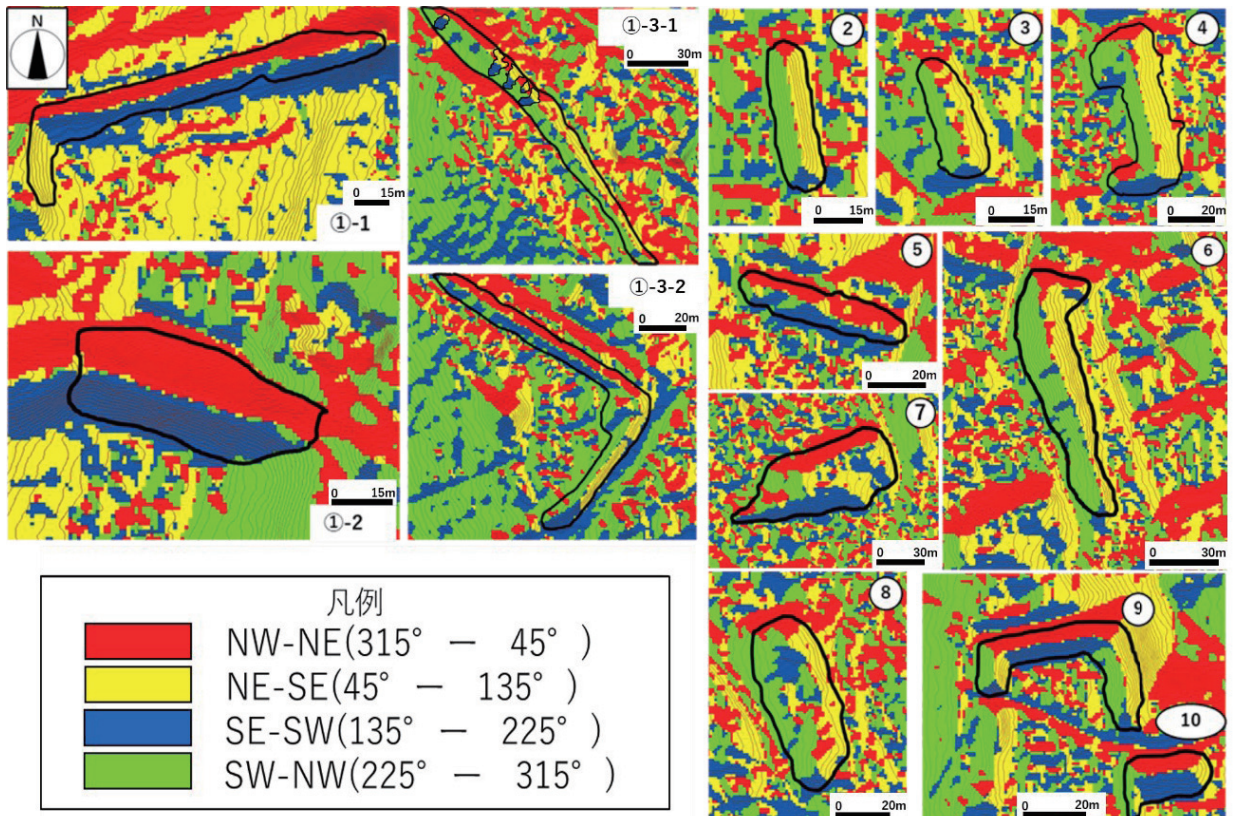


図3. 園内における土塁の傾斜方向区分図 (①～⑩は図1の土塁番号に対応).

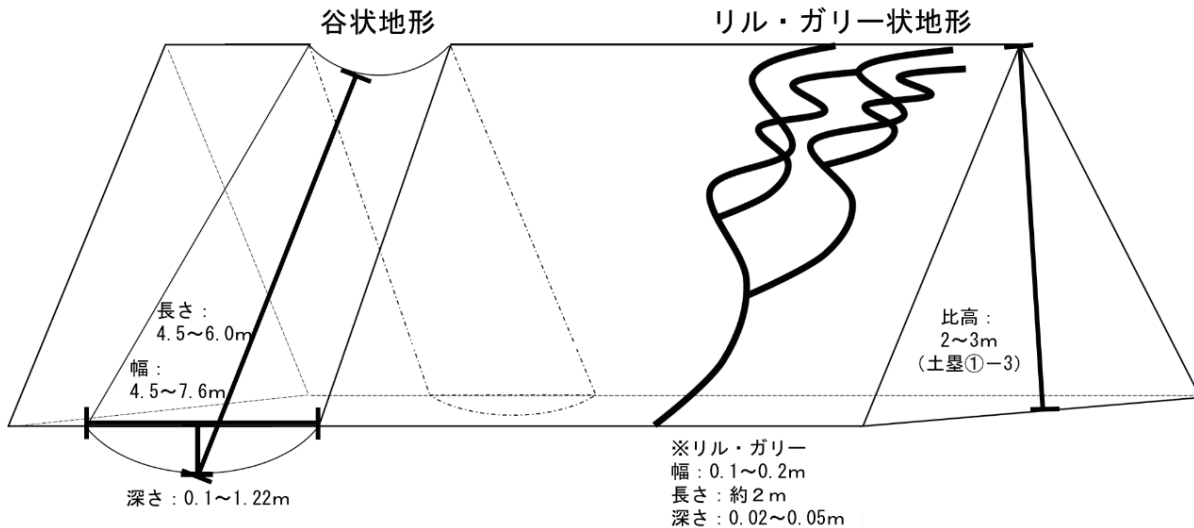


図4. 土塁上の谷状地形とガリー状地形の模式図。

を除く全ての箇所では北側斜面中に東側斜面、南側斜面中に西側斜面の要素が確認された。また、これらの箇所においては、北側斜面では東方向へ約90°、南側斜面では西方向へ約90°の方向へ傾斜する斜面が形成されており、稜線と直交する方向への傾斜面の乱れが発生していることが確認された。一部の箇所においては、北側斜面から南側斜面へと稜線を跨ぎ土塁の逆側斜面にまで繋がる斜面方向の乱れが形成されている箇所も確認されており（図3中①-3-1, ①-3-2）、こうした稜線を跨る形で形成される傾斜方向の乱れは、一定の間隔を空けて点在している状態が認められた。園内部土塁では、土塁②, ③, ④, ⑤, ⑨, ⑩以外の土塁において、特定の狭い範囲内において本来の斜面方向ではない方角への傾斜が複数存在する地点も確認された。土塁⑥においては、西側斜面の一部に土塁①-3と同様な稜線と直交する方向に北方向の乱れが確認された。土塁⑦および⑧においては、土塁頂部を中心とした斜面中部にかけての広い範囲に面的な乱れが確認された。

傾斜方向の解析結果より斜面方向の乱れが多く確認された土塁①-3の一部を対象に実施した実踏調査結果では、図3中土塁①-3-1と土塁①-3-2中に示される稜線に直交した斜面方向の乱れが確認されている地点において、水流により形成されたと推定されるガリー状の地形や谷の形成が確認された（図4, 図5）。土塁①-3と土塁①-2の境界部分に形成されている急崖付近では、図5の(A)に見られる南北両斜面を跨る谷が形成されていた。図5の(A)における谷状地形について、南側の形状は幅5.8~7.6m、長さ6.0m、高さ(=溝の

深さ) 0.1~1.22mとなっており、北側の形状は、幅4.5~7.6m、長さ4.5m、高さ(=溝の深さ) 0.22~1.22mとなっていた。南側斜面では稜線と直交するS30°W方向へ形成されており、北側斜面でも同じく稜線と直交する方向であるN38°E方向へ形成されていた。その他の斜面においては、表層付近に落枝や落葉が厚く堆積しており、これに隠れた下部において傾斜角度が20°以上の斜面を中心に図5の(C)に見られるリルもしくはガリー状の微地形が多く形成されている様子が観察された。ガリーとは、雨水による地表面の侵食形態の一つであり、強い降雨などにより形成されたリル(細溝)が、継続する水流により谷頭侵食を起こし、その長さや幅を増長することで形成される(小池, 1981)。土塁①-3において観察されたガリー状の地形は、南北両斜面で相当数の確認がされており、最も形状が明確なガリー3点を対象に計測をおこなった。計測したリルもしくはガリー状地形の幅は約0.1~0.2m、長さは約2m、高さ(=溝の深さ)は約2~5cmとなっており幅・長さ・高さ共に小規模となっていた。また、いずれのリルもしくはガリーも土塁稜線より各土塁斜面の下部へかけて緩やかに蛇行した形状となっており、直線的な形状を取るものは確認されなかった。また、ガリー状地形の形成地点の表層には、根茎が密に発達している場合が多く、発達した根茎に沿った流路を形成した結果、蛇行した形状になった可能性が考えられる。また、傾斜角度が10°以上20°未満の地点中で樹木根の露出が発生している箇所では、本来の土塁斜面の傾斜方向(南西方向)とは異なる方向の斜面が形成されている箇所が多く確認された。



図5. 土塁上に見られる地形.

- (A) 土塁稜線を侵食する谷状地形。  
 (B) 谷状地形縁辺部に見られる朽木および倒木 (A を別方向から撮影)。  
 (C) 土塁斜面に見られるリルおよびガリー状の侵食地形。

## 考 察

傾斜量の解析結果による園外周土塁上の平均傾斜角度は、改修履歴の確認されている土塁①-2を除く多くの地点で $10^{\circ}$ 以上 $20^{\circ}$ 未満となっており、園内部土塁では、土塁②および土塁⑨(館跡土塁)を除く多くの地点で $20^{\circ}$ 以上 $30^{\circ}$ 未満となっていた。傾斜方向の解析結果では、園外周の土塁①-3および園内部の土塁⑥, ⑦, ⑧に狭い範囲での斜面方向の乱れが確認された。土塁①-3を対象に実施した実踏調査結果では、土塁稜線に直交する斜面方向の乱れが確認されている地点において、谷やガリー状の地形が多く確認された。小池(1981)によれば、ガリー形成に関わる侵食作用は、植物被覆の少ない軟弱層や降雨時に容易に雨水流が発生する斜面上で進行しやすいことが指摘されている。実踏調査を実施した土塁①-3北西部の稜線部分は、園内の土壤特性調査(平山, 1978)において乾燥かつ軟らかい層の厚さが $30\sim 60\text{cm}$ 程度であることが示されていることから、本対象地における土塁斜面はガリー侵食の起こりやすい条件が整って

いることも挙げられる。

ガリー状地形の分布地点およびその周辺は、田代ほか(2020)や長田ほか(2020)の報告において樹木根の露出や倒木が多く発生している箇所と分布の一致がみられる点で興味深い。川井ほか(2013)によれば、土塁上に生育するスダジイの根系伸長とこれに伴う粗孔隙の増加により、一部の土塁内部においては表層より $1\text{m}$ 深程度の乾燥状態が報告されている。また、自然教育園内の土壤硬度の鉛直分布を調べた魚井ほか(2012)によれば、土塁では膨軟な土層が形成されていることを明らかにしている。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指摘される。実踏調査をおこなった土塁①-3においても、土塁の稜線部分には広くスダジイが分布しており、重力性の恒常的土砂移動による土塁形状の経年的変化のみではなく、倒木発生を契機とし、樹冠が開けた地点における直達雨量や表面流出量の増加とこれに伴う侵食谷の形成が予測される。中長期的な土塁形状の変化を考える場合は、これらの現象が軟弱な支持層の形成を促

してきたことで倒木の発生を誘発し、倒木による直接的な土壌の削剥などが更なる誘因となり土壌侵食を加速させた可能性も考えられる。

土塁稜線部にみられる、向かい合う両斜面に跨り形成される斜面方向の乱れについては、付近に朽木や倒木(図5の(B))が分布する地点である場合が多く、稜線で発生した倒木や樹木の衰退に伴う支持層の軟弱化により土塁形状が崩壊した痕跡と考えられ、これにより両斜面に水流の集中する地形的起伏が形成されたことで谷状の地形が発達したと推定される。上述の先行研究内においても指摘されるように、土塁内部の乾燥は稜線部分において最も著しいことが示されており、樹齢200年以上のスダジイが数多く生育する土塁上において、膨軟な土壌下における支持力の低下が素因となり、成長したスダジイの自重による倒木の発生が誘因となることで斜面崩壊が促された可能性が指摘できる。

## おわりに

本研究では、土塁斜面の形状特性を明らかにする目的で、DEMを用いた園内の傾斜量および傾斜方向の解析をおこなった。土塁は設計された形状に築造された人工的な地形であるが、降雨による侵食作用や樹木の成長に関連した崩壊を繰り返し起こしてきたと考えられ、一連の現象の長期的な影響により支持力の低下した土塁斜面上において倒木や更なる表層堆積物の流出が繰り返し発生しうることが予想される。また、こうした現象の要因や変化過程に関しては、同地点において根上がりや倒木の発生が確認されていることから、林分構成や土塁の材

料特性、土壌構造など多方面から土塁の斜面形状を構成する要素を定量的に把握することが求められる。また、土塁形状に関する発達史地形的解釈を深めることにより、景観保全策への有用な成果が期待される。

## 引用文献

- Charles, H. Sain. 1983. Earthwork. Frederick S. Merritt ed, Standard Handbook for Civil Engineers Third Edition, McGraw-Hill Book Company, Section13-1.
- 桜井信夫. 1981 『自然教育園』. 88pp. 東京都公園協会監修東京公園文庫 22, 郷学舎, 東京.
- 田代 崇・長田強志・村田智吉・遠藤拓洋・矢野亮・渡邊真紀子 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, 33: 7-12.
- 長田強志・田代 崇・村田智吉・渡邊真紀子 2020. 地形解析による土塁斜面の侵食に関わる環境要因の考察. 日本地理学会秋季学術大会発表要旨集. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/ajg/2020a/0/2020a\\_135/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ajg/2020a/0/2020a_135/_article/-char/ja/).
- 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自然再生. 自然教育園報告, 44: 25-36.
- 小池一之(1981)『地学辞典』. 219pp. 平凡社, 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: 47-49.
- 魚井夏子・渡邊真紀子・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.