



鉄鋼スラグ原料による土壌改良剤の酸性土壌への土壌改良効果

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-01-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 伊藤, 和男, 小林, 孝, 田中, 祐介, 渋谷, 祐貴 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00007501

鉄鋼スラグ原料による土壌改良剤の酸性土壌への 土壌改良効果

伊藤和男^{*1}, 小林 孝^{*2}, 田中祐介^{*3}, 渋川祐貴^{*4}

Improvement Effect of the Soil Conditioner Made from Steel Slag Material on Acidic Soils

Kazuo ITO^{*1}, Takashi KOBAYASHI^{*2}, Yusuke TANAKA^{*3}, Yuki SHIBUKAWA^{*4}

要旨

近畿圏内の歴史ある社寺林において、樹木の衰退と土壌の酸性化が報告されている。さらに、いくつかの社寺林において、樹木の衰退と土壌 pH の間に負の相関が見いだされ、土壌 pH の低下が樹木衰退の原因の 1 つと考えられている。そこで、土壌改良剤を用いて、酸性土壌を中和する実験を行った。対象とした社寺林は、京都市の伏見稲荷大社社寺林、および奈良県の吉野神宮社寺林である。土壌改良剤として、鉄鋼スラグを原料とする副産石灰肥料である土壌改良剤を添加後、2 地点とも、樹木周辺の土壌 pH は上昇した。さらに、重要な栄養塩である、交換性カルシウム、マグネシウムが増加した。さらに、植物にとって有害な交換性アルミニウムも減少し、土壌改良剤の効果が確認された。また、吉野神宮のサクラ土壌で、改良効果の持続性について調べたところ、2 年 5 カ月後では、土壌 pH にはほとんど変化がなかったが、交換性カルシウムおよびマグネシウムの減少が見られた。

キーワード: 土壌改良, 土壌酸性化, 森林土壌, 社寺林, 樹木衰退, スギ, サクラ

1. はじめに

以前の研究により、近畿圏内の、いくつかの歴史的、文化的価値が大きい社寺林に衰退が見られることが明らかになり、そしてその衰退の 1 つの原因として、土壌の酸性化が指摘された^[1~8]。そこで、酸性化した土壌を中和して、健全な土壌に戻すことにより、衰退の進行が抑えられる可能性が考えられる。

樹木の生育には、それぞれの種により最適な pH があり、とくに酸性の強い土壌は、樹木にとって不適切で、一般的に以下のような 4 つの不具合を起こすことが知られている^[9]。1 番目に、酸性が強いと、樹木にとって有害なアルミニウムイオンが溶け出す。アルミニウムイオンは、根からのリン酸の吸収を阻害する。2 番目には、酸性が強くなると、土壌微生物の活性が著しく低下し、根からの窒素の吸収が阻害される。3 番目には、酸性が強い土壌は、重要な養分である、カルシウムやマグネシウムなどが少ない。4 番目は、酸性が強い土壌では、樹木の成長にとつ

て重要な団粒構造が壊れやすくなる。

酸性土壌の中和には、いくつかの土壌改良剤が知られている。例えば、炭酸カルシウム、ケイ酸カルシウム、苦土石灰などが知られている。ここでは、製鋼スラグを原料とする副産石灰肥料を用いた。副産石灰肥料は、製鋼過程におけるリサイクル材である。肥料として多く利用されているが^[10]、ここでは、酸性土壌の中和材としての機能を調べるため、土壌が酸性化している社寺林を選び、土壌中和実験を行った。

2. 研究方法

2. 1 調査地

第一の調査・実験地は、京都府京都市の伏見稲荷大社の社寺林である。伏見稲荷大社は、全国の稲荷大社の中心で、平安時代中期の延喜式神名帳に記載があり、1100 年以上の歴史を有している。また観光地として世界的にも知られている。伏見稲荷大社は広い社寺林を有するが、土壌改良を行ったのは、奥宮の約 200 m 西奥に位置する天照月日之宮の北側のスギ (*Cryptomeria japonica*) 2 本の周辺土壌である。

第二の調査地は、奈良県吉野町の吉野神宮社寺林である。吉野山の中腹あり、吉野山全体が世界文化遺産に登録されている。サクラの名所で、開花の時期には、世界中から観光客が訪れる。土壌改良を行ったのは、吉野神

2017 年 8 月 21 日 受理

*1 総合工学システム学科 環境物質化学コース

(Dept. of Technological Systems: Environmental & Materials Chemistry Course)

*2 現在, 第一三共プロファーマ(株)(Daiichi Sankyo Propharma Co. Ltd.)

*3 現在, 日本農薬株式会社 (Nihon Nohyaku Co. Ltd.)

*4 現在, 京セラ株式会社 (KYOCERA Corporation)

宮参道脇のヤマザクラ (*Prunus spp.*) 2本の周辺土壌である。土壌タイプは、どちらも、日本の森林で一般的な褐色森林土である^[11]。

表 1には、調査地および調査木の概要をまとめて示した。また、図 1および2には、調査地での衰退したスギ、およびヤマザクラの写真を示した。

表 1 調査地, 調査木の概要

調査地	社寺林所在地	周辺状況	樹種	土壌タイプ	調査木衰退指数	胸高直径 (cm)
伏見稲荷大社社寺林	京都府京都市伏見区	住宅地	スギ	褐色森林土	スギA:3	41
					スギB:3	46
吉野神宮社寺林	奈良県吉野町	山林	ヤマザクラ	褐色森林土	サクラC:4	57
					サクラD:5	52



図 1 伏見稲荷大社社寺林のスギ衰退木



図 2 吉野神宮の衰退したヤマザクラ

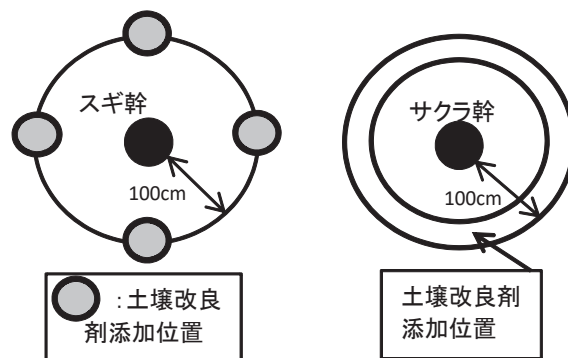


図 3 土壌改良剤の添加方法 (右: 吉野, 左: 伏見)

表 2 土壌改良剤の代表的化学組成 (wt%)

CaO	SiO ₂	MgO	MnO	FeO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅
45.8	11.0	6.5	5.3	17.4	1.9	1.7

2. 2 調査および分析方法

伏見稲荷での調査・実験では、調査地で標準的と考えられる 2本のスギを選んで行った。まず、選定したスギの衰退指数を決定した。衰退指数は、環境省の基準を元にして、1.0~5.0 の数値で測定されるが^[12]、ここでは、有効数字 1 ケタの数値として表わした。衰退指数 1 は健康木, 2 は軽度の衰退, 3 は中程度の衰退, 4 は顕著な衰退, 5 は衰退が激しく、枯損に近い状態に相当する。

次に、スギ周辺の土壌を採取した。土壌採取は、調査木の幹から約 100 cm の距離で 0-20 cm の深さの土壌とし、調査木 1 本につき 1 試料とした。採取した土壌の化学分析を行った後、土壌改良剤を添加した。使用した土壌改良剤は、鉄鋼スラグを原料とした、副産石灰肥料である。その代表的な化学組成^[10]を表 2 に示した。

改良剤の添加は、スギの幹から約 100cm 離れた円周上の東西南北方向、4ヶ所の表面土壌を採取して、土壌と改良剤を混合して、また元に戻した (図 3)。また、改良剤の添加量を 40~80 g まで変化させて加え、最適量の推定を行った。幹から 100 cm としたのは、スギ樹木の樹冠の端にあたり、根へのダメージが少ないと考えたためである。土壌改良剤の添加は、2011 年 8 月に行った。そして、3 カ月後の 2011 年 11 月に土壌を採取して、土壌改良の効果調べた。

また、吉野神宮社寺林では、衰退の進んでいる 2本のヤマザクラを選んだ。2014 年 5 月に、幹から 100 cm 離れた地点の改良前の土壌を採取して、化学分析を行った。そして同日に、土壌改良剤を添加した。土壌改良剤は、幹から 100 cm 離れた円周状に添加した (図 3)。添加量

はサクラ 1 本に対して 400 g である。5 カ月後の 2014 年 10 月に、土壤改良効果を確認するため、土壤を採取して土壤分析を行った。さらに、改良効果の持続性を確認するため、2016 年 10 月に土壤採取を行い、化学分析を行った。

土壤化学分析の前に、定法に従い最表層の落葉層、小石、根などを除去した^[13]。土壤 pH も定法により（乾燥土壤：水、が重量%で 1 : 2.5）、pH メーター（堀場製作所）で測定した^[13]。交換性陽イオンは、亀和田および柴田（1997）^[14] による、簡便法（Sr 振とう法）により測定した。交換イオンとしては、Matsue and Wada（1985）により、Sr を用いている^[15]。イオンの測定は、結合プラズマ原子発光分析法（ICP-AES：ICP-7000、島津製作所）を用いた。交換性アルミニウムは、KCl 溶液抽出後、滴定法により測定した^[16]。土壤改良及び土壤調査は 2014 年 5 月に行った。また、2014 年 10 月、及び 2016 年 10 月にも調査を行った。

3. 結果と考察

3. 1 伏見稲荷大社のスギの土壤改良

図 4 は、調査対象であるスギ 2 本（スギ A およびスギ B）について、土壤改良による土壤 pH の変化である。図 4 より、改良により土壤 pH が明らかに増加したことがわかる。

スギ A では、4 つの試料の平均土壤 pH が改良前の 3.56 から、改良材添加後 3 カ月には、4.39 になり、0.83 増加した。また、スギ B では、4 つの試料の平均土壤 pH が 3.67 から 5.11 に、1.44 増加した。しかし、添加量の増加と土壤 pH の増加には、明確な関係は見られなかった。

一般にスギの生育に適する土壤 pH は 5.5~6.5 とされ、土壤 pH 4.5~7.0 でも相当に生育するとされている^[17]。また、Izuta et al., (1997) は、スギ苗の実験から土壤 pH が 4.5 を下回ると、スギの生長量が減少することを示した^[18]。したがって、伏見稲荷のスギ周辺土壤の pH の増加量は、まだ不十分であったが、スギ B では相当に生育する範囲に入っていた。

図 5 は交換性カルシウムの変化である。土壤改良剤は、カルシウムを多く含むため、土壤の交換性カルシウムが増加することが期待された。実験の結果、交換性カルシウムが大幅に増加した。スギ A では、4 つの試料の平均の交換性カルシウム量は 1.66 cmol/kg から 3.49 cmol/kg に、1.83 cmol/kg 増加した。また、スギ B では、4 つの試料の平均は、1.37 cmol/kg から 5.34 cmol/kg に、3.97 cmol/kg 増加した。スギ B での増加が顕著であった。しかし、pH と同様に、添加量の増加による、カルシウム量の増加傾向は、明確ではなかった。

スギの衰退が激しい、兵庫県、伊和神社社寺林の交換性カルシウムの平均値として、1.01 cmol/kg の値が報告

されている^[4]。また、同様にスギの衰退が見られる、奈良県、春日大社社寺林では、交換性カルシウムの平均値として、0.3 cmol/kg が報告された^[7]。

環境省の全国調査において、衰退が顕在化していない、スギ土壤（70 試料）の交換性カルシウムの平均値として、8.1 cmol/kg の値が報告されている^[19]。

したがって、衰退が顕著で、交換性カルシウム量の少ない酸性土壤と比較すると、相当量の交換性カルシウムの増加が見られた。しかし健全土壤と比べると、まだ不十分だと考えられる。

図 6 は、同様に交換性マグネシウムの変化である。土壤改良剤には、マグネシウムも相当量含むため、土壤の交換性マグネシウムの増加が期待された。実験の結果、交換性マグネシウムが増加した。スギ A では、4 つの試料の平均交換性マグネシウム量は 0.36 cmol/kg から 0.57 cmol/kg に、0.21 cmol/kg 増加した。また、スギ B では、4 つの試料の平均は、0.33 cmol/kg から 0.65 cmol/kg に、0.32 cmol/kg 増加した。スギ B の増加が大きかった。しかし、カルシウムと同様に、添加量の増加

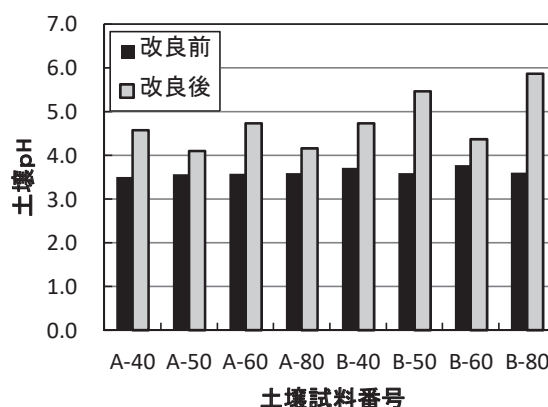


図 4 2 本のスギの改良前後での土壤 pH 変化
土壤試料番号は、樹木記号と改良剤添加量を示し、A-40 は、スギ A、改良剤 40g を表わす。

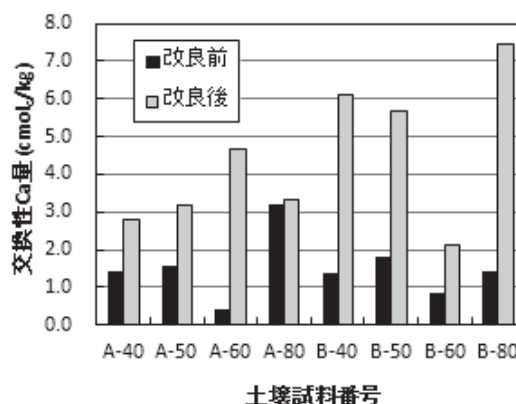


図 5 2 本のスギの改良前後での交換性 Ca 量変化

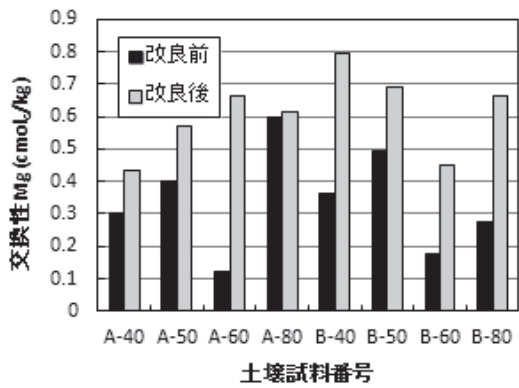


図 6 2本のスギの改良前後での交換性Mg量変化

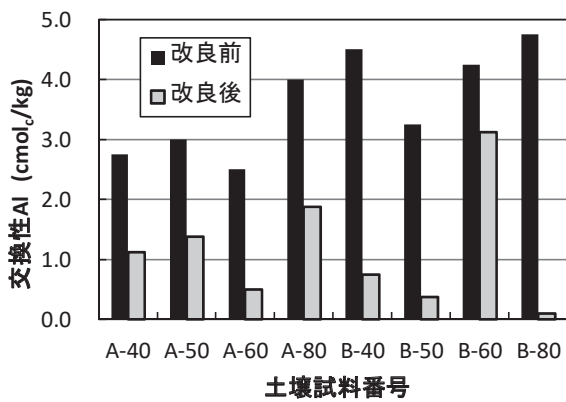


図 7 2本のスギの改良前後での交換性Al量変化

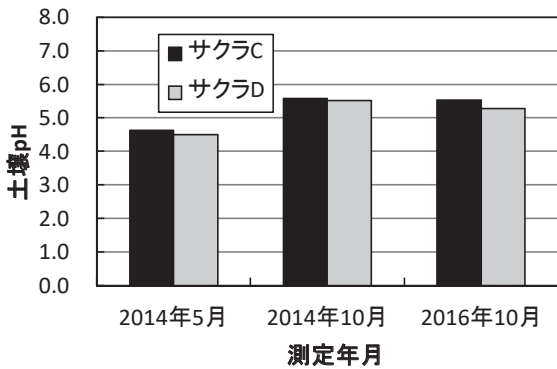


図 8 2本のサクラの改良前後での土壌pH変化

によるマグネシウム量の増加は、明確ではなかった。

スギの衰退が激しい、兵庫県、伊和神社社寺林の交換性マグネシウムの平均値は、0.23 cmol_c/kg であった^[4]。また、同様にスギの衰退が見られる、奈良県、春日大社社寺林では、交換性マグネシウムの平均値が、0.03 cmol_c/kg であった^[7]。

さらに、環境省の全国調査において、衰退が顕在化していない、スギ土壌 (70 試料) の交換性マグネシウムの

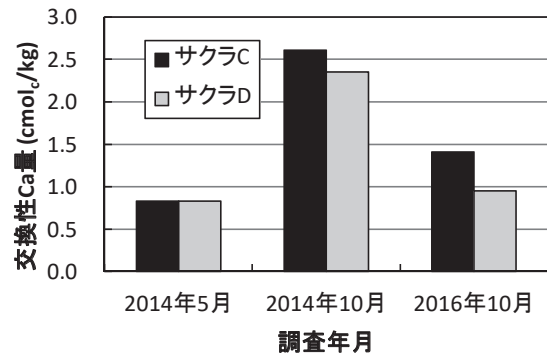


図 9 2本のサクラの改良前後での交換性Ca量変化

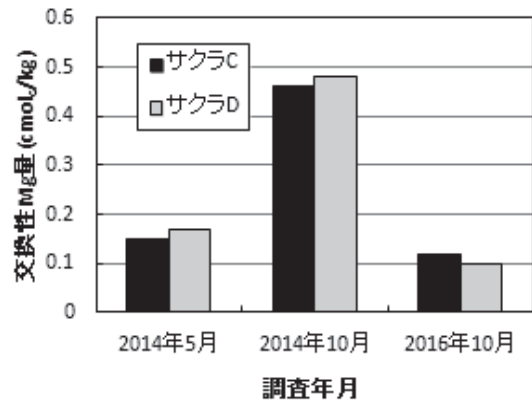


図 10 2本のサクラの改良前後での交換性Mg量変化

平均値は、3.9 cmol_c/kg であった^[19]。

衰退が顕著で、交換性マグネシウム量の少ない、酸性土壌と比較すると、相当量の交換性マグネシウムの増加が見られた。しかし、健全土壌と比べると、まだ不十分だと考えられる。

次に、交換性Alの変化を図7に示した。アルミニウムは、植物にとっては有害な金属であり、一般に土壌が酸性化すると、アルミニウム量が増加する傾向がある。改良剤の添加によりアルミニウム量の減少が期待された。実験の結果、アルミニウム量は大きく減少した。スギ A では、4つの試料の平均の交換性アルミニウム量は3.06から1.22に、1.84減少した。また、スギBでは、4つの試料の平均は、4.19から1.09に、3.10減少した。同様に、スギBでの減少が顕著であった。しかし、カルシウムと同様に、添加量の増加による、アルミニウム量の減少には、明確な傾向はなかった。

スギの衰退が激しい、兵庫県、伊和神社社寺林の交換性アルミニウム平均値として、4.98 cmol_c/kgの値が報告されている^[4]。また、環境省の全国調査において、衰退が顕在化していない、褐色森林土の交換性アルミニウムの平均値として、1.9 cmol_c/kgの値が報告されている^[19]。

土壌改良の結果、交換性アルミニウムの値は、全国平

均レベルに減少した。

3. 2 奈良吉野山, 吉野神宮のヤマザクラの土壤改良

次に, 奈良県吉野山のヤマザクラ社寺林について, 実験を行った。図 8 は, 土壤改良剤を添加した 2 本のサクラ (サクラ C およびサクラ D) 周辺土壤の pH 変化である。サクラ C では, 土壤改良前には, pH が 4.5 程度であったが, 改良剤添加後には, pH が上昇して 5 を越え, 土壤中和効果が見られた。土壤改良後 2 年 5 カ月後では, 土壤 pH は高いまま維持されていた。同様にサクラ D でも, 改良後は pH が上昇して 5 を越えていた。また改良後 2 年 5 カ月後でも, 5 を越えていた。ただし, サクラ D では, 少しの pH 減少が見られた。

サクラの適正 pH は, 5.5~6.5 とされている^[20]。土壤改良の結果, サクラ C, D とともに, 5.5 を上回り, 適正 pH 範囲に入った。ただし, サクラ D では, 2 年 5 カ月後には, 僅かに 5.5 を下回った。

図 9 は, 土壤中の重要な栄養塩の 1 つである, 交換性カルシウムの変化である。サクラ C では, 土壤改良前に, カルシウムが 0.83 cmol_e/kg であったが, 改良剤添加後には上昇して 2.61 cmol_e/kg と, 約 3 倍になった。土壤改良後 2 年 5 カ月後では, 交換性カルシウムは, 1.41 cmol_e/kg と, 改良 5 が月後の値の約半分に減少した。また, サクラ D でも, 改良後の交換性カルシウム量は, 約 3 倍に上昇した。しかし, 2 年 5 カ月後では, 約 40%に減少していた。

図 10 は, 同じく土壤中の重要な栄養塩の 1 つである, 交換性マグネシウムの変化である。サクラ C では, 土壤改良前には, マグネシウムが 0.15 cmol_e/kg であったが, 改良剤添加後には, 上昇して 0.46 cmol_e/kg と, 約 3 倍になった。土壤改良後 2 年 5 カ月後では, 交換性マグネシウムは, 0.12 cmol_e/kg と, 改良 5 が月後の値とほぼ同程度に減少した。また, サクラ D でも, 改良後は交換性マグネシウム量が, 約 3 倍に上昇した。しかし, 2 年 5 カ月後では, 大幅に減少していた。

したがって, 吉野の社寺林のサクラ土壤においても, 土壤改良剤の効果が認められ, 土壤が中和された。また, 改良効果は時間とともに減少すると考えられる。土壤 pH の上昇は, 2 年 5 カ月後にも, 持続されていたが, 交換性カルシウム量およびマグネシウム量は, 2 年 5 カ月後に相当程度, 減少していた。

以上をまとめると, 土壤が酸性化している, 京都市, 伏見稲荷大社スギ社寺林および奈良県, 吉野神宮サクラ社寺林の土壤について, 製鋼スラグを原料とする副産石灰肥料である, 土壤改良剤を添加したところ, 土壤 pH が上昇し, 土壤が中和された。また, 交換性カルシウム等の栄養塩が増加し, 土壤改良効果が確認された。またその効果は, 2 年程度は持続していた。

謝辞

本論文は, 大阪府立大学高専の卒業研究として行われた測定データを精査して, まとめ直したものです。調査, 測定に協力してくれた, 著者以外の多くの卒業研究生に, 深く感謝致します。

また, 社寺林の調査にご協力頂きました, 伏見稲荷大社および吉野神宮の皆様には, 深く感謝致します。

最後に, 本研究を進めるに当たり, 鐵鋼スラグ協会よりの委託研究費を利用させて頂き, また土壤改良剤の提供を受けました。深く感謝致します。

参考文献

- [1] Ito, K., Uchiyama, Y., Kurokami, N., Sugano, K., and Nakanishi, Y., 2011, Soil acidification and decline of trees in forests within the precincts of shrines in Kyoto (Japan). *Water, Air, Soil Pollution*. 214, 197~204.
- [2] 伊藤和男, 慈幸真志, 竹内康晃, 岡田和也, 2015, 和泉葛城山ブナ林の衰退と土壤化学性の劣化, 地域自然史と保全, 37, 115~124.
- [3] 伊藤和男, 福島 航, 2017, 美多彌神社 (大阪府堺市) のシリブカガシ林の衰退と土壤化学性の劣化, 社叢学研究, 15, 80~88.
- [4] 伊藤和男・谷野弘樹, 2017, 歴史的なスギ樹木の衰退と土壤酸性化の関係 —兵庫伊和神社社寺林について—, 環境情報科学 学術研究論文集 31, 283~286.
- [5] 伊藤和男, 小田翔太, 山本浩嗣, 河邑満希, 2017, 四国香川県における歴史的社寺林の衰退状況と土壤化学性, 大阪府立大学高専 研究紀要, 51, 15~20.
- [6] 伊藤和男, 坂 隆裕, 岡田賢治, 福島洋太, 2017, 兵庫県神戸市におけるコナラ, マテバシイ社寺林の衰退状況と土壤酸性化, 大阪府立大学高専 研究紀要, 51, 21~26.
- [7] 伊藤和男, 児玉良太, 安部太一, 植村修平, 2018, 奈良春日大社社寺林 (社叢) のスギ衰退と土壤酸性化, 社叢学研究, 16, 64~72.
- [8] Ito, K. and Nishioka, K., 2018, Tree Decline and Soil Acidification in the Japanese Cypress (*Chamaecyparis obtusa*) Grove at the Awaga Shrine in Hyogo, Japan *Journal of Environmental Information Science*, No.1, (in press).
- [9] 伊藤和男・久野章仁・小出宏樹, 2017, 例題で学ぶ環境科学 15 講, コロナ社, 東京. pp86.
- [10] 伊藤公夫, 2014, 鐵鋼スラグの肥料用途, 新日鉄住金技報, 399, 132~138.
- [11] 河田 弘, 1989, 森林土壤学概論, 博友社, 東京.

- [12] 環境省, 土壌・植生モニタリング手引書, 2.4 森林モニタリング手法. https://www.env.go.jp/air/acidrain/man/soil_veget/index.html (参照9月20日, 2018).
- [13] 日本土壌肥料学会, 1986, 土壌標準分析・測定法, 土壌標準分析・測定法委員会, 博友社, 東京.
- [14] 亀和田國彦・柴田和幸, 1997, 陽イオン交換容量の測定を要さない土壌試料のための簡易な交換性陽イオンの浸出法. 日本土壌肥料学雑, 68, 61~64.
- [15] Matsue, N. and Wada, K., 1985, New equilibration method for cation-exchange capacity measurement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49, 574~578.
- [16] Acid Deposition Monitoring Network in East Asia, 2000, Technical Documents for Soil and Vegetation Monitoring in East Asia, Second Interim Scientific Advisory Group Meeting.
- [17] 大政正隆, 1935, スギ人工林土壌の酸度並びに塩基飽和度に就て, 林試報告, 3, 1~42.
- [18] Izuta, T., Ohtani, T. and Totsuka, T., 1997, Growth and nutrient status of *Cryptomeria japonica* seedlings grown in brown forest soil acidified with H_2SO_4 solution, *Environmental Science*, 5, 177~189.
- [19] Acid Deposition and Oxidant Research Center, 2003, Data Sets of Japan Acid Deposition Survey 20, Ministry of the Environment.
- [20] 東京都農林総合研究センター, 園芸コーナー <http://www.tokyo-aff.or.jp/center/chishiki/01/tuchitukuri/kiso.htm>. (2018, 8 参照)