兵庫県三田市の社寺林におけるツクバネガシの衰退と土壌酸性化

伊藤和男*，城津卓己，三好洸希*****

Tree Decline and Soil Acidification in the Tsukubanegashi (*Quercus sessilifolia*) Forest at the Shrine in Sanda City, Hyogo Prefecture, Japan

Kazuo ITO*, Takuki SHIROTSUand Mitsuki MIYOSHI*****

要旨

関西圏の社寺林の衰退状況および社寺林土壌の酸性化について調査を続けている。その結果多くの社寺林で衰退が観測され，その土壌は酸性化していた。ここでは，兵庫県三田市の社寺林について調査し，すでに報告されている兵庫県内の他の社寺林と比較した。調査した三田市の社寺林は，ひょうごの森百選に選ばれている，貴重なツクバネガシ林であり，調査の結果，多くのツクバネガシに衰退が観測された。また，その土壌は，ｐＨ が低く酸性化の傾向が認められた。兵庫県内の他の社寺林と比べて，土壌ｐＨ の平均値が低く，交換性陽イオン量の平均値も少ない結果となった。なお，ツクバネガシの衰退指数と土壌 pH には相関が認められなかったが，衰退指数と胸高直径には統計的に有意な相関が認められた。

キーワード：樹木衰退， 社寺林， 土壌酸性化，兵庫県， 土壌ｐH，ツクバネガシ

１．はじめに

都市域では，宅地開発の進行に伴い，緑地が大幅に減少してきた。しかし，都市域の緑地は，都市公園法に書かれているように，人々のレクリエーションの空間，良好な都市景観の形成，都市環境の改善，都市の防災性の向上，生物多様性の確保，豊かな地域づくりに資する交流の空間の提供としての重要性がある。そのため，国や地方自治体は緑地の保存整備を進めている。そのような状況において，長い間維持されてきた都市域の社寺林の重要性が注目されている。

しかし，社寺林の衰退が各地で観測されている[1,2,3]。そこで，その衰退の原因を明らかにして，社寺林の衰退を防ぎ，保全を進めることが求められている。

兵庫県内での調査でも，宍粟市[4]，神戸市[5]，朝来市[6]，西宮市[7]等の社寺林で衰退が観測されている。そして，その社寺林土壌のｐHが低く，栄養塩量（交換性カルシウム，マグネシウム，カリウム量）も少なく，土壌の酸性化が，衰退の原因の 1 つである可能性が指摘されている。

北米[8]およびヨーロッパ[9]の研究でも，土壌酸性化による樹木の衰退が指摘されている。そしてその酸性化の原因は酸性雨である可能性が指摘されている[10]。

そこで，本研究では，六甲山系の北側にあたる三田市の社寺林について調査した。また，この社寺林は，ひょうごの森百選に選定されており，ツクバネガシが主要樹種で，希少性のある森林であるため，調査地とした。

２．調査地点および方法

2.1　調査地点

兵庫県三田市の御霊神社の社寺林について調査を行った。社殿奥に広がる社寺林を調査し、その面積は約 18000㎡である。主要樹種はツクバネガシで，兵庫県のレッドデータブックでは，C ランクで，準絶滅危惧種に相当し，兵庫県内において存続基盤が脆弱な種と位置付けられている。三田市の大規模なニュータウンに囲まれており，ニュータウン住民の憩いの場になっている。社寺林の周辺は，西および南側は住宅地，北側は公園および住宅地，そして東側は農地である。土壌タイプは，土色調査[11]および森林土壌図[12]より褐色森林土と推定した。

2020 年　9 月 14 日 受理

*　現在，総合工学システム学科　環境物質化学コース　名誉教授
（Dept. of Technological Systems:Environmenntal & Materials Chemistry Course）
**　現在，総合工学システム学科　環境物質化学コース
***　現在，ツジカワ株式会社（Tsujikawa.Co.Ltd.）

2.2　調査方法

調査は，社寺林のツクバネガシのうち，20 本を選んで行った。調査木を平均化するため，約 5 m 間隔で選定した。まず，選定したツクバネガシの衰退指数を決定した。衰退指数は，環境省の基準（葉量，樹皮の健全性，枝ぶり等より判断）により，0.0～4.0 の数値で求められるが，ここでは，有効数字 1 ケタの数値で表わした[13]。衰退指数 0 は健康木，1 は軽度の衰退，2 は中程度の衰退，3 は顕著な衰退，4 は枯損木に相当する。

次に，ツクバネガシ幹周辺の土壌を採取した。土壌採取は，調査木の幹から 50 cm の距離で 0～20 cm の深さの土壌層とし，調査木 1 本につき 1 試料とした。土壌化学分析の前に，日本土壌肥料学会の方法[14]に従い最表層の落葉層，小石，根などを除去した。土壌 pH も日本土壌肥料学会の方法により（乾燥土壌：水，が重量%で 1：2.5），pH メーター（堀場製作所）で測定した[14]。交換性陽イオンは，亀和田および柴田（1997）による，簡便法（Sr 振とう法）により測定した[15]。陽イオンの測定は，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。なお，ストロンチウムの干渉を補正するために，マトリックスマッチング法を用いている[16]。なお，調査日は 2018 年 10 月である。

3. 結果および考察

3.1　調査対象のツクバネガシの衰退状況

図 1 に，偏りを少なくするため，約 5m 間隔に選定したツクバネガシ 20 本の衰退指数を示した。図 1 よりわかるように，多くの樹木が衰退していた。健康木は 10%，軽度の衰退木が 30%に対して，中程度の衰退木が 25%，顕著な衰退木が 30%，そして枯損木が 5%であった。平均の衰退指数は 1.9 であった。

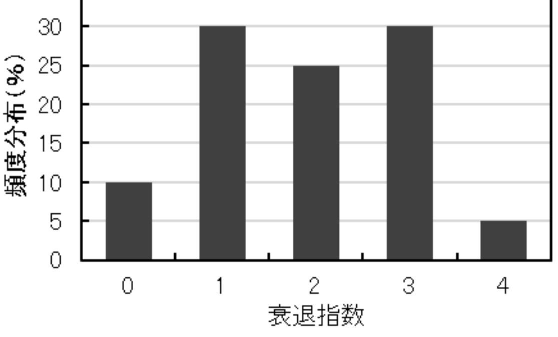

図1　ツクバネガシの衰退指数分布

3.2　調査対象のツクバネガシの胸高直径

図 2 は，調査したツクバネガシの胸高直径の分布である。胸高直径は，最小 12.5cm，最大 69.9cm で，大部分の樹木が 10～30cm の範囲にあり，30cm 以上の樹木は 3 本であった。平均値は 22.3±3.1cm（信頼区間）となった。

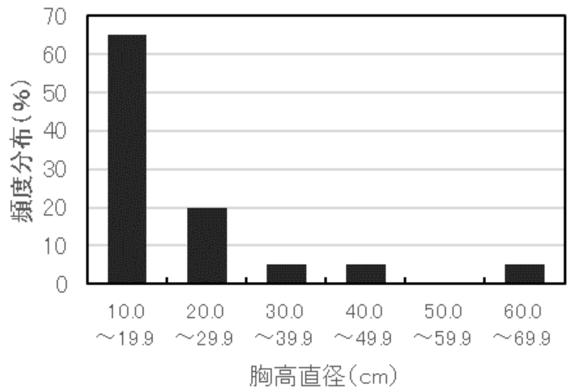

図2　ツクバネガシの胸高直径分布

3.3　ツクバネガシ幹周辺の土壌pH

測定した 20 本のツクバネガシの幹周辺の土壌 pH は，図 3 に示すように，最小 3.76，最大 4.46 で，平均は，4.13±0.04 となり，狭い範囲内に分布していた。調査樹木間の差異が小さかった。

幹周辺の土壌 pH は，それぞれ値の異なる，樹幹流の pH，樹冠通過雨の pH および林外雨の pH のバランスが影響すると考えられる。例えば，幹周辺土壌面に勾配があれば，樹幹流の流れが変化する。また，土壌面が平面でなく，くぼみがあれば，くぼみ部分に樹幹流などが集まると考えられる。例えばスギの場合は，樹幹流の pH は樹冠通過雨の pH より低いことが知られている[17]。また，樹冠通過雨の pH は，林外雨の pH より低いことが報告されている[17]。したがって樹幹流の流入が多いところでは土壌 pH が低くなると考えられる。

ツクバネガシについては，樹幹流の pH，樹冠通過雨の pH は報告されていないが，土壌 pH の値が平均化された結果になったのは，ツクバネガシの樹幹流の pH，樹冠通過雨の pH および林外雨の pH にあまり差異がないためではないかと考えられる。

調査地点の土壌 pH の平均値，4.13 は，環境省の全国調査[18]での平均値，5.0 と比較すると，相当低い値であった。

ツクバネガシの生育に最適な pH 範囲についてのデータはないが，都市再生機構による緑地の客土についての基準では，一般的樹木の生育に悪影響を与えない土壌 pH を，pH5～7 としている[19]. 御霊神社社寺林の土壌 pH は，調査試料すべて 5 以下であり，ツクバネガシの生育に不適切な程度に酸性化していたと考えられる。

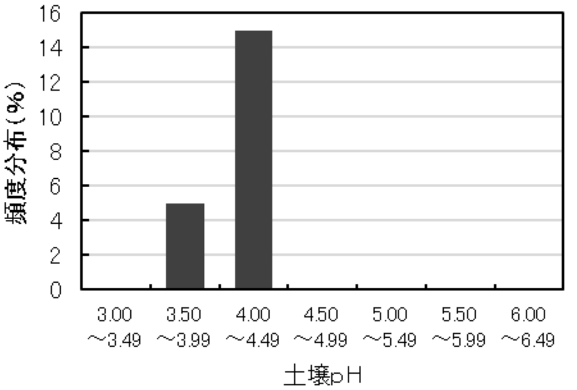

図3 ツクバネガシ幹周辺の土壌pH 分布

3.4 ツクバネガシ幹周辺土壌の栄養塩量

土壌の肥沃状態の指標として，交換性カルシウム量，交換性マグネシウム量，交換性カリウム量の測定が行われている。図4は，ツクバネガシ幹周辺土壌，20 試料の測定値である。各イオンの最低値と最高値（左)，および平均値（右）である。カルシウムでは，最低値と最高値の差が，他のイオンと比較して大きい。平均値は，カルシウムで，0.41±0.05 $cmol_c/kg$，マグネシウムで 0.49±0.02 $cmol_c/kg$，カリウムで 0.23±0.01 $cmol_c/kg$ であった。カルシウムとマグネシウムは同程度で，カリウムはその半分程度であった。環境省の全国調査[18]での平均値は，Ca で，6.1 $cmol_c/kg$ ，Mg で，3.2 $cmol_c/kg$ ，K で，0.4 $cmol_c/kg$ であった。本調査での値は，全国平均より相当少ない結果となった。なお，全国調査の値は，本調査と同様な土壌タイプである，褐色森林土の，0～20cm 層の平均である。ただし，測定法が少し異なり，交換イオンとして，アンモニウムを用いているので，厳密な比較はできない。

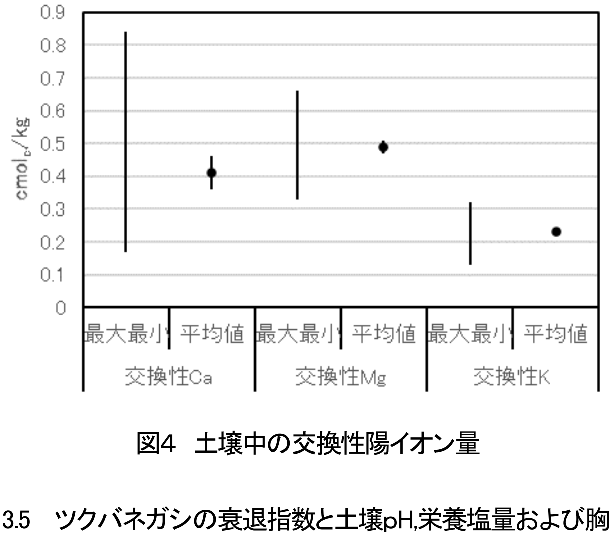

図4 土壌中の交換性陽イオン量

3.5 ツクバネガシの衰退指数と土壌pH,栄養塩量および胸高直径との関係

ツクバネガシの衰退と相関性のある因子を見出すために，相関係数を計算した。表1は，ツクバネガシの衰退指数と土壌pH,栄養塩量および胸高直径のピアソンの相関係数（r）である。その結果，衰退指数と相関性が認められたのは，胸高直径のみであった。衰退指数と胸高直径の間の相関は，r=0.60 で，中程度の正の相関が認められた。また，統計的に十分有意な値であった（$p<0.05$)。胸高直径と樹齢に正の相関があると仮定すると、樹齢の大きいツクバネガシほど衰退が進んでいることになる。

その他の因子では，統計的に有意な関係は見られなかった。他の多くの調査[3, 4, 5, 6]では，衰退指数と土壌pHの間に負の相関性が認められているが，本調査林のツクバネガシでは,衰退指数と土壌pHの間に相関性認められなかった。これは、本調査林の土壌では，測定試料の土壌pHが，狭い範囲に分布して，その差が小さく，pH変化の影響が見えにくくなっていたことが理由かもしれない。

表1 衰退指数と土壌pH,栄養塩量および胸高直径との相関

	衰退指数	土壌 pH	Ca+Mg+K	胸高直径
衰退指数	1			
土壌 pH	0.06	1		
交換性 Ca+Mg+K ($cmol_c/kg$)	0.31	0.22	1	
胸高直径 (cm)	0.60*	−0.16	0.04	1

(*: $p<0.05$)

3.6 兵庫県の他の社寺林との比較

表２は, 兵庫県内で調査された, 他の社寺林の衰退状況と土壌化学性の測定結果[4,5,6,7]である。測定条件や測定方法は, すべて同一である。本研究の三田市でも, 兵庫県内の他の測定地と同様に, 樹木の衰退が観測された。衰退指数は, 他の５地点の平均値(1.9)と同じであった。土壌pHは, 他の５地点の平均値(4.38)より低く, より酸性寄りであった。また, 交換性陽イオンの和は, 他の5地点の平均値(2.73)より低く, 栄養塩が少なかった。

６地点と, 測定数が少ないが, この表には以下の傾向がみられる。樹種の違いを見るため, 広葉樹(上の４地点)と針葉樹(下の２地点)の違いを比較した。衰退指数は, 1.8(広葉樹)と2.1(針葉樹)とほぼ同じ程度であった。土壌pHは, 4.59 $cmol_c/kg$(広葉樹)と3.85 $cmol_c/kg$(針葉樹)であり, 広葉樹の方が高く, 酸性度が低い傾向がみられる。交換性の陽イオン量では, 3.32(広葉樹)と0.76(針葉樹)であり, 広葉

樹の方が大きく，栄養塩が多い傾向が見られた。

また，地理的位置関係で比較すると，上の4地点は，兵庫県南部にあたり，下の2地点は，兵庫県中・北部にあたる。したがって，兵庫県の中・北部の方が，南部より，土壌pHが低く，栄養塩が少ない傾向が表れている。これらの結果からは，樹種による違いか，地域による違いなのかは判断できないが，どちらか一方，または両方の因子が，関係している可能性があるかもしれない。

表2　兵庫県内の他の社寺林との比較

調査地	植生	平均衰退指数	土壌pH	交換性陽イオン和 (Ca+Mg+K) $cmol_c/kg$
御霊神社 (三田市)	**ツクバネガシ**	**1.9**	**4.13**	**1.12**
妙法寺[5] (神戸市)	コナラ	1.2	4.42	1.37
多井畑神社[5] (神戸市)	マテバシイ	1.8	4.82	4.40
日野神社[7] (西宮市)	クスノキ	2.2	4.99	6.39
伊和神社[4] (宍粟市)	スギ	1.7	4.00	1.29
粟鹿神社[6] (朝来市)	ヒノキ	2.4	3.69	0.22

謝辞

社寺林の調査を許可頂きました，兵庫県三田市の御霊神社の皆様には，深く感謝致します。

参考文献

[1] 梨本　真，高橋啓二，芦原昭一，1993，関東・甲信地方におけるスギ社寺林の衰退地と健全地の土壌化学性の比較，環境科学会誌，6，121~130.

[2] 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.

[3] 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壌化学性の劣化，地域自然史と保全，37，115~124.

[4] 伊藤和男，谷野弘樹，2017，歴史的なスギ樹木の衰退と土壌酸性化の関係　－兵庫県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，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壌酸性化，大阪府立大学高専研究紀要，51,21~26.

[6] 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, 2018-1,73~79.

[7] 伊藤和男，三好洸希，城津卓己，2019，兵庫県西宮市，日野神社社寺林のクスノキの衰退と土壌化学性，大阪府立大学高専研究紀要，53,7~10.

[8] Driscoll, C. T., Driscoll, K. M., Mitchell, M. J., Raynal, D. J.,2003, Effects of acidic deposition on forest and aquatic ecosystems in New York State. Environmental Pollution. 123(3), 327~336.

[9] Schulze, E.D., Lange, O.L. and Oren, R.,1989, Forest decline and air pollution: A study of spruce (*Picea abies*) on acid soils, Springer-Verlag, New York.

[10] Tamm, C.O. and Hallbacken, L.,1988, Changes in soil acidity in two forest areas with different acid deposition: 1920s to 1980s, Ambio, 17,56~61.

[11]農林水産省農林水産技術会議事務局，(財) 日本色彩研究所，2003，標準土色帖，農林水産省 (東京).

[12]森林立地懇話会編，1972，日本森林立地図，森林土壌図.

[13] 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10日，2020).

[14]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.

[15]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，日本土壌肥料学雑誌，68，61~64.

[16]井田　巌，小塚祥二，望月　正，2008，原子スペクトル法，ぶんせき，2008，206~214.

[17]片山幸士，岸田多代，1996，各種の林分における降水，樹幹流および樹冠通過雨の pH と EC，環境技術，25，589~592.

[18] Acid Deposition and Oxidant Research Center, 2003, Data Sets of Japan Acid Deposition Survey 20, Ministry of the Environment.

[19]都市再生機構，2000，客土品質基準，技術資料 No.02-5-2，平成12年度.