関東地方におけるスギの衰退と土壌の酸性化

亀 岡 喜 和 子*
三 沢 彰*
高 橋 啓 二*

Relationship between Decline of Cryptomeria and Soil Acidity in Kanto Plain

Kiwako KAMEOKA
Akira MISAWA
Keiji TAKAHASHI

摘要：関東地方の平野部でみられるスギの衰退、枯死の原因と酸性降下物による土壌の酸性化との関連について研究した。衰退度の異なるスギ林分および個体について、その土壌をサンプリングし、PH等を測定した。その結果根元ほど低PHでAlイオン量が多いことから幹を伝わって酸性降下物が落下し、土壌を酸性化している可能性があること、スギ林の衰退度と土壌PH値との間に一定の関係が見られること等がわかった。

1. 緒 言

スエーデンの Odén により広域的現象である酸性雨の実態が、世界で初めて明かされてから20年、日本において「酸性雨」が社会問題化してから約10年の歳月が流れた。そのあいだ、各国の調査ネットワークの充実や、乾性降下物をも含めた酸性降下物による様々な環境汚染機構に対する調査・研究が行われてきたが、同時に雨水の酸性化・湖沼や土壌の酸性化も進み、特に北欧や北米でそれら酸性雨が原因とみられる淡水魚類の減少・死滅や森林の衰退がますます深刻となってきた²⁾。日本でも近年、関東地方におけるスギ (*Cryptomeria japonica*) の衰退・枯死が顕著となっており、その分布から原因は、酸性降下物 (関口ら：1985他)、中でも、酸性雨 (高橋ら：1986他) の可能性が強いという調査報告がなされている¹⁾

1960年代後半から始まり、特に1970年代に北欧・北米諸国で、雨水調査・土壌調査・植物調査が盛んに行われたが、植物や土壌に対する酸によるもののみの影響に関する予測は大変困難であった。酸性降下物による土壌や植物に対する影響に関する科学的な情報の量は、まだまだ不十分であるといわねばなるまい。しかし、さきに述べた通り、その被害分布から植物や土壌が、酸性降下物 (酸性雨も含めて) の影響を受けていることは大いに予想されることであり、数は少ないものの土壌の酸性化と植物の細根の衰退の関係についての調査報告もなされている。(Ulrich ら：1980 (西独)、環境庁・農林水産省：1986 (日本)、他)^{1) 3) 4)}

そこで、本論では、本論の共同研究者である、高橋らが、その論文「関東地方におけるスギの衰退と酸性降下物による可能性」(1986年、森林立地)他で推察したように関東地方におけるスギ衰退が、酸性降下物によるものであるかどうかを検討するために、関東地方におけるスギの衰退と土壌の酸性化の関係を探ることを試みた。その際特に、1980年 Ulrich により推測されながら1986年の環境庁他の関東地方における調査で否定的見解のた、アルミニウムによる細根の衰退が、高橋らにより報告された関東地方のスギの被害度に伴うものであるかどうかを調査することにした。

2. 調査地、調査方法及び実験方法

1) 調査地及び調査対象木

調査地及び調査対象木は、高橋ら (1987) の調査報告を元に選定した。すなわち、高橋ら (1987他) はスギの被害度を4つに区分しその分布を地図上にプロットし、等値線を求めた (図-1)¹⁾。その際、高橋らは次のように被害度を定めた。

被害度1；健全 被害度2；梢の着葉量が70%以下に減少 被害度3；梢の枝枯れ顕著 被害度4；梢の枯死
調査対象地の平均被害度が1.0~1.4の地域を健全地、1.5~1.9の地域を軽害地、2.0~2.9の地域を中害地、3.0~4.0の地域を激害地とした。¹⁾

今回はそのうち、大径木の立木本数がある程度存在する社寺林の中から被害の軽い林分を2箇所、被害の進んだ林分を2箇所選出し、その4箇所全体で、各被害度に

*千葉大学園芸学部

表-1 調査対象の本数

	1	2	3	4
久伊豆神社	1	2	2	2
鷺宮神社		1	2	2
鳥見神社	1	1		
鹿島大神宮	2			

図-1 スギの被害度 (ADD) の分布太線は ADD の等値を示す

A 久伊豆神社 B 鷺宮神社
C 鳥見神社 D 鹿島大神宮

つき4本ずつ、計16本となるように選んだ(表-1)。

なお、調査対象木とした木は胸高直径約50cmの木で、できる限り林内にあるものを選び、当然の事ながら、風害や虫害などの既知の原因による被害木はのぞいた。

なお今回の調査は、1987年の7月下旬から11月上旬にかけて行った。

以下にそれぞれの調査地の概要を示す。

A. 久伊豆神社：埼玉県岩槻市

被害度区分：中害地

壌質・適潤・火山灰土壌⁶⁾

モウソウチク、イヌシデ、ヤブツバキ、アオキ、チャ等を主体とするスギ混合林

B. 鷺宮神社：埼玉県鷺宮町

被害度区分：中害地

強粘質・湿潤・黒泥土壌⁶⁾

サカキ、ヒサカキ、ヤブツバキ、チデミザサ、ツユクサ、スイカズラ等を主体とするスギ混合林

C. 鳥見神社：千葉県印西市

被害度区分：軽害地

腐植含有量高い黒ボク土壌⁶⁾

ヒノキ、シロダモ、ヤブツバキ、アオキ等を主体とするスギ混合林

D. 鹿島大神宮：茨城県鹿島町

被害度区分：軽害地

地下水位低い淡色黒ボク土壌⁶⁾

ムク、シラカシ、サカキ、シュロ、アオキ、ヤツデ

等を主体とするスギ混合林

2) 土壌サンプリング

調査対象木の根元及び樹冠の端を地面に投影した点を4方向にとり、1本の木につき計8箇所土壌サンプリングを行った。サンプリングは、腐植層を取り除いた後、仮比重測定のため10ccの容積重測定器でサンプリングを行ってから、細根が最もよく分布している表層を調査対象とし、縦50cm、横50cm、深さ20cmの穴を掘り、その場で十分縮分して実験室に持ちかえた。

3) 分析項目、方法

①仮比重及び含水率……………常法⁷⁾

②細根量……………2mm以下の細根を取り出し、乾燥重量を求め、既知の仮比重、重量から1㎡*20cm当たりの、細根量を求めた。

③土壌化学性

細根採取後、40℃で48時間おき、乳棒による粉碎を繰り返し、風乾細土とした。

*PH (H₂O) ……………ガラス電極法による⁷⁾

*置換性アルミニウム量……………Yuan 法による⁷⁾。

Kcl 溶液で置換浸出後、NaOH、NaF、Hcl を用い、滴定をおこなった。

*緩衝能(抗塩基抗酸比) ……0.1N・H₂SO₄、0.1N・NaOHを加えていき、PHの変化を見て緩衝曲線を作成した。

なお、本論では便宜上、以下のように略記する。

PH (H₂O) …………… PH

樹冠の端の地上への投影点……………端

3. 結果及び考察

(1) 方向性

各個体において、PH、及び含水率に関して方向性はみられなかった。PH、含水率ともに方向による差よりも、位置(根元、端)による差や、神社間での差の方が大きかった。

(2) PH

表-2にPHと地域、位置、及び被害度との関係を示した(値は、4方向の平均値)。表からも明らかなように、軽害地の値が約4.5~5.2であるのに対し、中害地の値は、3.5~4.6とかなり低い値となっている。すなわち、軽害地ほどPHが高く、このことは酸性降水物の分布

表-2 PHと地域、位置及び被害度との関係

被害度		1	2	3	4
久伊豆神社	根元	4.25	4.23	4.31	4.29
	端	4.54	4.62	4.45	4.43
鷲宮神社	根元		3.52	3.78	3.75
	端		3.78	4.05	4.00
鳥見神社	根元	4.92	4.57		
	端	5.16	5.14		
鹿島大神宮	根元	5.00			
	端	5.21			

とスギの被害分布とが一致するものであるということと矛盾しないものであるとおもわれる。また、位置による差を見ると、ほとんど全てのサンプルにおいて、根元の方が、端よりも低い値を示した。しかし、同一調査地内のスギ個体の被害度と、PHの間には特に傾向はみられなかった。

(3) 置換性アルミニウム量

表-3に置換性アルミニウム量と、地域、位置そして被害度との関係を示した。(値は、2方向の平均値)なお、計測したアルミニウムの形態は、環境庁他の調査(1986)により置換性アルミニウムが、PHの高低に支配され、PH=4.7~4.8以下になると、急激に活性化することが明らかにされていること⁴⁾、及び今回の調査における土壌サンプリングのPHが概ねその活性点以下であったことから置換性アルミニウムを選んだ。本研究においてもPHと置換性アルミニウム量は図2に示したように、負の相関関係にあった。(PH、置換性アルミニウム共に2方向の平均値。)

置換性アルミニウム量に関しても、PHと似たような事が言えると思われる。軽害地では、1.2~6.7me/100gであるのに対して、中害地では3.3~12.6me/100gと高い値を示している。また、位置による差を見ると、ほとんど全てのサンプルにおいて、根元の方が端よりも高い値を示した。

しかし同一調査地内のスギ個体の被害度との関係を見ると一貫した傾向は見られなかった。

(4) 細根量、E/R値

生育する土壌の物理化学性や、個体差などが大きく影響するので、細根量の絶対値を比較するのは無意味であると思われる。そこで比較する際の各個体の代表値として、次の値を求めた。

E/R値……スギの根元における値に対する端の土壌における値の割合

更に調査地間の土壌の性質の差が大きいため、調査地毎に細根の分布がかなり異なるものと思われるので、調査地間の比較のために次の値を求めた。

図-2 PHと置換性アルミニウム量

表-3 置換性アルミニウム量と地域及び被害度との関係

被害度		1	2	3	4
久伊豆神社	根元	3.32	7.19	7.23	9.53
	端	3.29	4.96	5.97	7.41
鷲宮神社	根元		12.57	10.58	10.67
	端		10.00	9.62	10.00
鳥見神社	根元	2.21	6.71		
	端	2.38	2.43		
鹿島大神宮	根元	2.82			
	端	2.77			

E/R 比……各神社毎に、被害度 2 の時の E/R 値を、1 としたときの E/R 値の相対値（全ての調査地で、見られた被害度 2 のものを、比較の基準とした。）

ただし、E/R 値、E/R 比ともに 4 方向の平均値である。

これらの細根に関する値を、図-3 に示す。久伊豆神社の被害度 4 の E/R 比が 0.89 と多少低いものの、調査地別にみて、細根量の E/R 比は被害度が高いほど高い値を示した。

なお、置換性アルミニウム量も E/R 値を求めたところ、細根量 E/R 値と、置換性アルミニウム量 E/R 値との間には、正の相関関係が、見られた（図-4）。

更に、2 方向の平均値で求めた PH の E/R 値と置換性アルミニウム量の E/R 値との関係を神社別に求めたところ、負の相関がみられたものの、久伊豆神社では、相関係数 -0.52 と低かった。PH と置換性アルミニウム量の間には負の相関が明らかに認められたにも係わらず、この相関係数が低かったのは、PH の E/R 値の変化が少ないためと思われる。なお、PH の E/R 値の各神社別平均値は、どこでも 1.07 前後であった。

(5) 緩衝能

抗塩基抗酸化（PH 3 及び 11 になるのに必要とする酸と塩基の量の比）の値から、緩衝能もスギ個体の被害度間での差よりも、地域間での差の方が大きい（表-4）。

また、この差は、PH や、置換性アルミニウム量に見られた傾向と異なり、同じ中害地間の差（久伊豆神社と鷲宮神社）の方が、軽害地と中害地との間の差（久伊豆神社と鳥見神社）よりも大きかった。

(6) 考 察

PH、置換性アルミニウム量ともに、同一調査地内の被害度との間には相関がみられなかったが、軽害地と中害地という地域間の差は大きかった。スギ枯れの問題は近年に至って急に顕在化したこと、置換性アルミニウム量の E/R 値や細根量の E/R 値が被害度と相関を示すこと、土壌の緩衝能が被害度と相関を示さないことから、PH、置換性アルミニウム量の差が単に土壌本来の差に由来する、すなわち単なる地域差に由来するものではないと考えられる。今回の調査において、同一調査地内で被害度と PH、置換性アルミニウム量に相関がみられなかったのは、樹木の個体差などが考えられるが、その他に、高橋ら（1986）が解説するように、酸性降下物によると思われる衰退木では、塩風害、冬季燥害、風害

図-3 細根量の E/R 比と被害度

図-4 置換性アルミニウム量と細根量の E/R 値

表-4 抗塩基抗酸比

久伊豆神社	被害度 1	2.95
	被害度 2	3.37
	被害度 4	2.88
鷲宮神社	被害度 2	12.32
鳥見神社	被害度 2	2.09

などの外部からインパクトに対し、枝葉が一斉に反応を示すのと異なり、枯死年の異なった枯枝がみられることから、衰退の機構はきわめてゆっくりとした漸次的なものであると考えられ¹⁾、被害そのものが、まだ進行中であり、連続したものであることから、同一調査地内の被害度間に PH、置換性アルミニウム量の顕著な差が現れなかったのではないかと考えられる。

以上の事から、スギの衰退の進んだ地域ほど、低 PH で、置換性アルミニウムが多いと言うことができ、このことは、スギの衰退の分布と、酸性降下物の分布が一致するということに矛盾しないと考えられる。

細根量の E/R 値と置換性アルミニウム量の E/R 値には正の相関がみられ、また、細根量の E/R 比は被害度が高いほど、高い値を示した。細根と置換性アルミニウム量の間にはなんの関係も見られなかったが、これは細根量を支配する要因は、置換性アルミニウムによる阻害よりも、個体差や土壌の物理性などの方が大きく関与する為と思われる。絶対量の間に相関関係がみられなかったことから E/R 値は正の相関は示したが、それぞれの持つ意味は決してパラレルには考えられない。表-3 からもわかるように、置換性アルミニウム量は、根元の方が多く、端の方が増加率が高く、根元と端の置換性アルミニウム量の差が小さくなる（すなわち、分子の E が大きくなる）為に E/R 値が被害度と共に高くなっている。細根量の E/R 値が被害度と共に高くなっていくのは、やはり元来、根元の方が根量が多いにも関わらず、根元の根が減少していく（すなわち分母の R が小さくなる）為ではないかと考えられる。

以上の事から、スギの衰退と置換性アルミニウム量、細根量の間には、その増減に時間的な差がみられ、根元の細根量の減少により、衰退は進み、既にそのとき、端における置換性アルミニウム量が増加していると思われる。

PH、置換性アルミニウム量はともに、根元と端という位置による差、中害地と軽害地という地域による差が大きかったが、PH と置換性アルミニウム量は相関関係にあったことから、この置換性アルミニウム量の位置による差、地域による差の出現は当然 PH の差に起因するものと思われる。

以上のことから、PH は置換性アルミニウム量とともに細根量と関係があり、軽害地と中害地との間にみられた PH や置換性アルミニウム量の差は、単に本来の土壌の差ではなく、軽害地ほど、高 PH であることから関口ら（1985 ほか）や、高橋ら（1986 ほか）により推定されたようにスギの被害分布と一致している酸性降下物の分布の差によるとみて矛盾が無いと考えられる。

4. 結 論

関東地方におけるスギの衰退の進んだ地域では、衰退

の度合がより軽い地域に比べて、土壌 PH が低く、土壌中の置換性アルミニウム量が多いことがわかった。その土壌酸性も単に本来の土壌の性質でなく、スギの衰退と一致した分布を示す酸性降下物の影響を受けていると考えられた。その機構としては、まず根元の土壌 PH が下がる。そこで置換性アルミニウム量が、活性化、増加し、根元の細根が、何らかの形で生長阻害され減少し、徐々に目に見える形で被害が現れる。そして、被害が進むにつれて置換性アルミニウム量は端の方でも増加していくと考えられた。

1986 年の環境庁他の調査において、細根量と被害との関連がみられなかったのは、その絶対量をくらべてしまったためでわなかったと思われる。

また、同一調査地内における、スギの被害度と、土壌酸性化の関係は、明らかにすることはできなかった。

しかし、スギ個体の細根の分布と置換性アルミニウムの分布とは関係があり、かつ置換性アルミニウム量と PH は相関関係にあったことから、細根の衰退に、土壌酸性が、寄与していることが予想された。

以上が本研究より得られた結論である。これらの結論より関東地方における酸性降下物によるスギの衰退機構の一側面が、明らかにすることができたと思うが、今回の調査では、対象本数、対象地数などでデータ数が決して十分ではないことや、Ulrich もあげているように、アルミニウムの毒性 1 つとってみても、窒素循環など他の要因が大きく関連していることから、今後ともより詳細な調査が続けられることが必要であろう。

更に、湿性・乾性の酸性降下物のそれぞれの影響による差や、被害を受ける木の個体差が立地の微地形・微気象の影響など本研究で及ぶことのできなかった詳細な調査が行われていくことが望まれる。

いずれにせよ、酸性降下物によるスギの衰退は進行中であることを常に念頭において、それらの樹勢回復や、おそらくスギに限らず全植物、全生物、生態系に対するであろう悪影響の防止対策の確立が、必要であると思われる。

そのための基礎的資料として、本研究が一助となれば、幸いである。

参 考 文 献

- 1) 高橋啓二ほか 2 名 (1986): 関東地方におけるスギの衰退と酸性降下物による可能性・森林立地, 第 28 号, 11~17
- 2) R・ハワード, M・パーレイ (田村明監訳) (1986): 酸性雨・新曜社, pw 289
- 3) B. Ulrich, R. Mayer, P. K. Khanna (1980) Chemical Changes due to Acid Precipitation in a Loss - Derived Soil in Central Europe・

Soil Science, vol1130, 193~199

- 4) 環境庁大気保全局, 水質保全局, 農林水産省林野庁
(1986): 昭和60年度関東地方におけるスギ林の衰退
と酸性降下物の影響に関する緊急実態調査報告書・
pp 72
- 5) 高橋啓二ほか2名(1987): 関東甲信地方における

スギの衰退と大気二次汚染物質の分布・第98回日本
林学会大会発表論文集, 177~180

- 6) 経済企画庁総合開発局(1972): 縮尺20万分の1土
地分類図付附属資料, 千葉, 茨城, 埼玉
- 7) 土壤養分測定法委員会編(1970): 土壤養分分析法,
養賢堂, pp 430

Summary : This paper is concerend with the relationsip between decline of *Cryptmeriae* (*Cryptmeria japonica*) and soil acidity in kanto plain.

The results of this study are as follows ;

- 1) PH are lower and values of exchange aluminium (Ex - Al) are less at the soil of the root or the heavy declining grade direction.
- 2) E/R value of fine roots increases in proportion to E/R value of Ex - Al.
- 3) E/R rate of fine roots is higher at the heavy declining grade of *Cryptmeria*. For results mentioned above, it is expectable and prisipitation caught at the crown flows down along the main shoot of *Cryptmeria* and soil acidity affects decline of the grow of the tree.