

酸性沈着が森林土壌にもたらす影響*

—土壌養分過剰と根圏環境診断—

中 川 吉 弘**・小 林 禧 樹**

キーワード ①窒素過多 ②土壌 pH ③土壌呼吸代謝量 ④閾値

要 旨

六甲山において標高別に林内への酸性沈着量と土壌呼吸代謝量を測定し、土壌微生物の活性度との関係、すなわち根圏環境との関連を見るとともに、窒素の閾値について検討した。その結果、標高とともに、樹葉中の N 濃度は高く、Mg 濃度は低くなり、N/Mg は標高とともに大きくなった。スギ葉中のクロロフィル濃度は標高600m 付近で最大となり、それ以上の標高では低下の傾向を示した。樹葉中の Mg、クロロフィル濃度は土壌中の N 濃度が0.5~0.6mg/g のときに最大となり、それ以上の濃度では低下した。土壌呼吸量は、樹葉中の Mg およびクロロフィル濃度が最大となる土壌中の N 濃度0.5~0.6mg/g で低下の傾向を示した。土壌への N 添加実験から120kg/10a が N の閾値と考えた。

1. はじめに

近年、酸性沈着により森林に負荷される無機態窒素に限られた状態から過剰な状態に変化しつつあることが憂慮¹⁾されている。

窒素化合物の降下量増加は、森林生長量増加と関係が深いとされる。しかし、過大な窒素化合物の降下はやがて植物、土壌両者の窒素含有量を飽和させ、その結果、他の栄養塩類が限定要因となつて必ずしも生長量増加と結びつかなくなる。

山岳地では標高が高くなるにつれ霧の発生頻度が高くなり、降水量としての霧水の寄与²⁻³⁾が大きくなる。霧水は雨に比して酸性度と窒素成分濃度が高いことから、林内土壌への過大な窒素化合物沈着による土壌養分の過剰負荷が土壌微生物相を悪化させ、樹木の生育障害を引き起こす一因になっていると考えられる。

本報では、兵庫県南東部に位置する六甲山を調査地としてスギ林内への酸性沈着量と樹葉および土壌中の無機態窒素、土壌微生物の活性度との関係を見るとともに、一部関東地方の山岳地のデータを加えて窒素の閾値についても検討した。

2. 方 法

2.1 林内雨の採取と分析

六甲山の標高70~845mにあるスギ林7地点で、独自に工夫した簡易採取装置⁴⁾により林内雨を1年間(1997年4月~1998年3月)採取した。試料の分析は、pHはpH計で、NO₃⁻、NH₄⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺等の成分についてはイオンクロマト法により分析した。

2.2 樹葉と土壌の採取と分析

六甲山の林内雨採取のスギ林7地点において樹

* Effect of Acidic Deposition onto the Soil of Forest—Estimation of Soil Overnourishment and Rhizosphere Environment—

**Yoshihiro NAKAGAWA, Tomiki KOBAYASHI (兵庫県立健康環境科学研究センター) The Hyogo Prefectural Institute of Public Health and Environmental Sciences

葉と土壌の採取を行った。スギ葉は7～9月(1998年)に南面する高さ3～4mの位置から採取した。土壌は、A₀層を除き表層から深さ約10cmまでを採取した。調査地の土壌は花崗岩質を母材とする乾性褐色森林土(BB)に分類される。なお、六甲山以外についても兵庫県粟鹿山、神奈川県大山、群馬県赤城山、栃木県男体山で試料を採取し、分析した。

試料の分析は、既報⁵⁾に準じ、前処理の後、無機態窒素はMgOとDevarda合金を用いる蒸留法⁶⁾で分析した。アルカリ金属については湿式分解の後、原子吸光法により分析した。クロロフィルはアセトン抽出の後、Mackinney法⁷⁾により分析した。また、土壌中の無機態窒素は樹葉分析同様、蒸留法によった。pHはpH計により、交換性陽イオンについては酢酸アンモニウム浸出液を原子吸光法により分析した。

2.3 土壌呼吸代謝量

既報⁸⁾に準じ、スギの根元近くでポリ容器(内径11.7cm)を地面に伏せ、内部に装着したCO₂吸収剤(ソーダライム)により呼出のCO₂を捉え、吸収剤の重量変化から土壌呼吸代謝量(gCO₂/m²day)を求めた。また、Nの閾値について検討するため六甲山山頂近くの一画に実験区を設け、NH₄NO₃を用いてNとして0～360kg/10aの範囲の累積負荷量(酸性沈着)と土壌呼吸量との関係について検討した。

3. 結果と考察

3.1 六甲山における林内沈着量の標高分布

図1から、林内雨量は430m以上で林外雨量(標高150m地点で1,494mm, 800m地点で1,760mm)を上回り、800m地点では林外雨量の2倍以上に達した。

H⁺、NO₃⁻の林内沈着量は標高とともに増えたが、800m以上の地点でのH⁺沈着量の増加は顕著であった。一方、NH₄⁺の沈着量は標高とともにやや減少もしくは横ばいの傾向が見られた。このように、標高とともに林内雨量が増し、酸性沈着量も増加することがわかった。また、これら酸性沈着量の増加は、樹冠への霧水沈着²⁾によってもたらされていると考えられた。

スギ樹冠への酸性沈着の標高分布の測定例は少

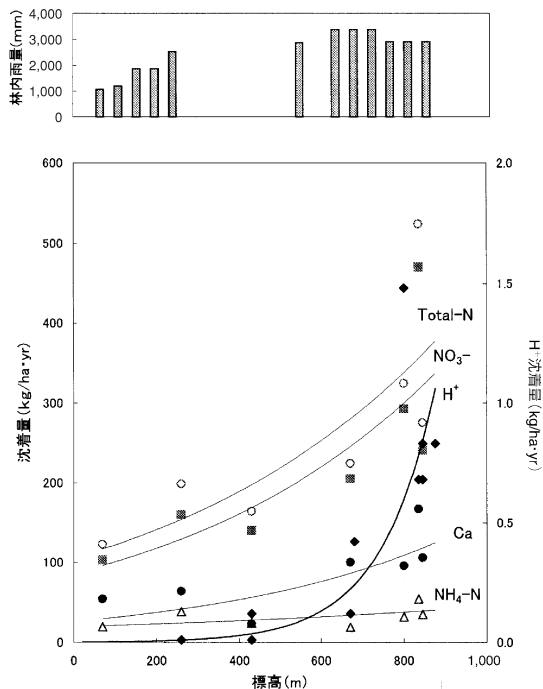


図1 標高別に見た林内降水量および沈着量の変化

ないが、大河内³⁾は丹沢大山(標高500～1,250m)における測定から500～900mにおいてはH⁺、NO₃⁻の林内沈着量が標高とともに増加すると報告した。本報の結果はこれらとよく一致しており、六甲山のスギ林への酸性沈着量が関東地方の山岳地並かそれ以上に多いことを示している。

3.2 土壌中N、H⁺、塩基カチオン濃度の標高分布

図2は、六甲山における標高別に見た土壌中の無機態NならびにH⁺、塩基カチオン濃度を示した。N濃度ならびにH⁺濃度は標高とともに増加したが、塩基カチオンCa²⁺、Mg²⁺、K⁺の濃度は減少した。

また、図示はしなかったが形態別に見た無機態窒素濃度の変化は、NH₄⁺+Nには標高との間に大きな濃度の変化が見られなかったのに対し、NO₃⁻+Nの変化はバラツキが大きいものの標高とともに明らかな濃度の増加傾向を示すことがわかった。

図3は、全国各地から採取した土壌中の窒素濃度を標高との関係でプロットしたものである。多項式近似に基づくNH₄⁺+N濃度は標高とともにわずかに増加傾向を示し、NO₃⁻+N濃度は1,200

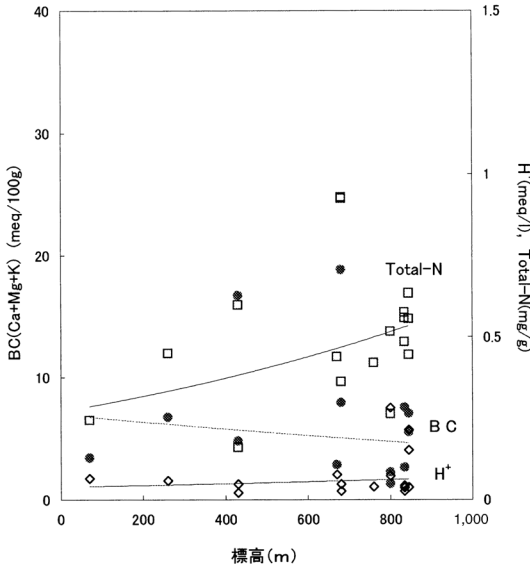


図2 土壌中の無機態N, H⁺, 塩基カチオン濃度の標高別濃度
BCは塩基カチオンCa²⁺Mg²⁺K⁺の含有量を示す

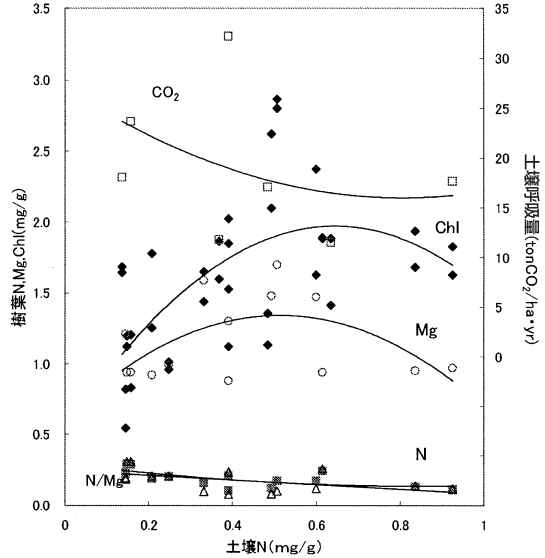


図4 土壌中N濃度と樹葉中N, Mg, Chl濃度との関係

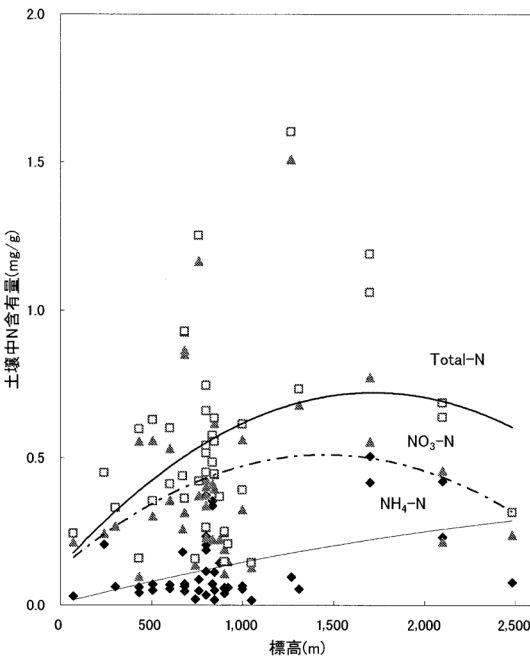


図3 土壌中N含有量と標高との関係

～1,500mで最高濃度を持つ分布を示すことがわかった。Total-N濃度では、標高1,500～1,700mで最高濃度を示した。このときの土壌中のN含有量は土壌呼吸量の低下(図4)が見られる0.5mg/gから最高濃度は1.5mg/gを超える濃度を示

したものであった。

吉野⁹⁾によれば、日本の山岳における海拔高度と霧日数との関係を見たとき1,500m付近に極大をもつ曲線となるとしている。また、大河内³⁾は丹沢大山の標高700～1,000m付近でNH₄⁺, NO₃⁻降下量が多くなる現象と、この高度付近が頻繁に霧に覆われることとの関連性を指摘している。これらのことを考え合わせると、N(NH₄⁺, NO₃⁻)の起因するところは酸性霧によるものと考えられ、土壌中のこれら高濃度Nは土壌呼吸量の低下、すなわち土壌微生物相の悪化をもたらし、樹木の生育障害を引き起こす一因となっていると考えられる。

3.3 土壌中無機態N濃度とスギ樹葉中成分濃度との関係

図5は、樹葉中のN, Mg, クロロフィル濃度およびN/Mg比を標高との関係について見たものである。図から、樹葉中のN濃度は標高とともに増加し、Mgは低下することがわかった。結果、N/Mg比は増加した。クロロフィル濃度は標高500～600m付近までは増加し、その後減少することがわかった。

図4は、図5のデータをもとに樹葉中のN, Mg, クロロフィル濃度を土壌中のN濃度に対してプロットし直したものである。その結果、樹葉中の

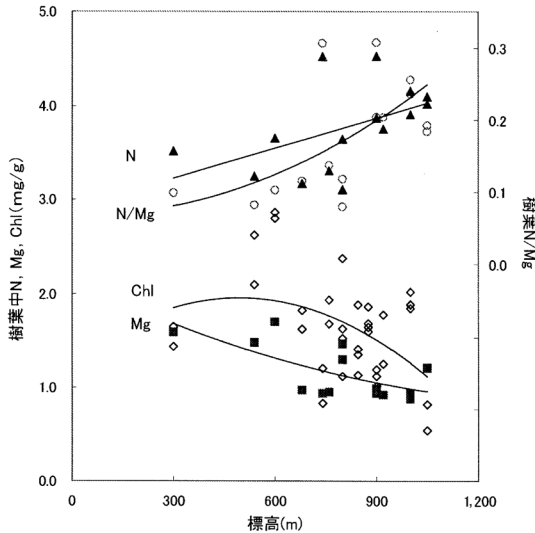


図5 標高と樹葉中Chl, N, Mg, N/Mgとの関係

Mgおよびクロロフィル濃度は土壌中のN濃度がそれぞれ0.5、0.6mg/gまで増加し、以降低下する。樹葉中のN濃度は土壌中のN濃度が高くなるとともに低下の傾向を示すことがわかった。また、樹葉中のクロロフィルやMgで最大値の見られた土壌中のN濃度0.5mg/g付近を境に土壌呼吸量(CO₂)は低下することがわかった。

3.4 N添加実験による閾値の検討

図6は、土壌へのN(NH₄⁺+NO₃⁻)添加による土壌のpHの変化を示した。土壌へのNの添加量とともに、土壌のpH(H₂O)、pH(KCl)ならびにpH(H₂O)-pH(KCl)はいずれも低下した。

図7は、土壌へのN添加による土壌中のN濃度、土壌中での硝化率(NO₃-N/Total-N)、H⁺濃度の変化を見た。土壌中のN濃度、硝化率(NO₃-N/Total-N)、H⁺濃度はNの添加量とともに増加した。このことは、下式によりNH₄⁺1molに対し2molのH⁺が生成する反応に基づくことを示唆している。



図8は、土壌へのNの累積添加量と土壌呼吸量との関係を示した。その結果、土壌呼吸量は土壌中への累積N濃度120~130kg/10aを境に低下することがわかった。

千葉ら¹⁰⁾は、土壌呼吸活性と無機態窒素濃度に負の相関を認め、無機態窒素濃度が土壌微生物活

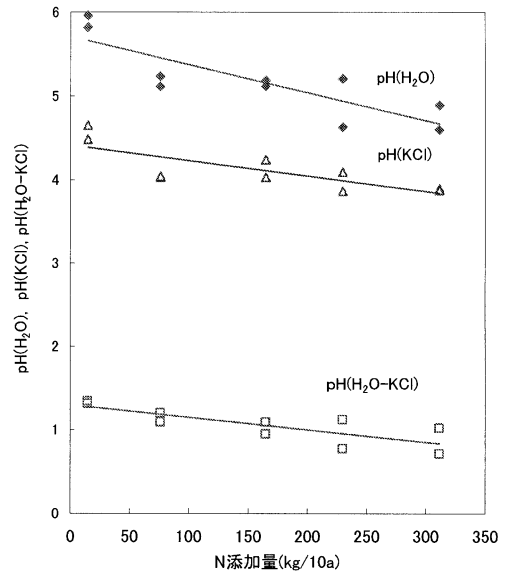


図6 土壌へのN添加による土壌pHの関係

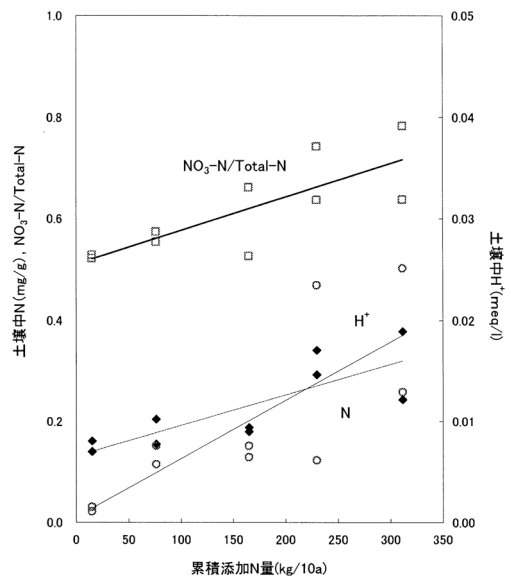


図7 累積添加N量と土壌中N、NO₃-N/Total-N、H⁺濃度の関係

性の低下要因となることを示した。その結果によれば、無機態窒素の120kg/10a、240kg/10aの施肥実験区でのほうれん草の収量はそれぞれ79%、18%に、土壌の糸状菌微生物相の多様性指数は76%、72%にそれぞれ低下したとしている。これらの結果は、農作物と樹木の違いがあるものの、筆者らが閾値とする120~130kg/10a値と一

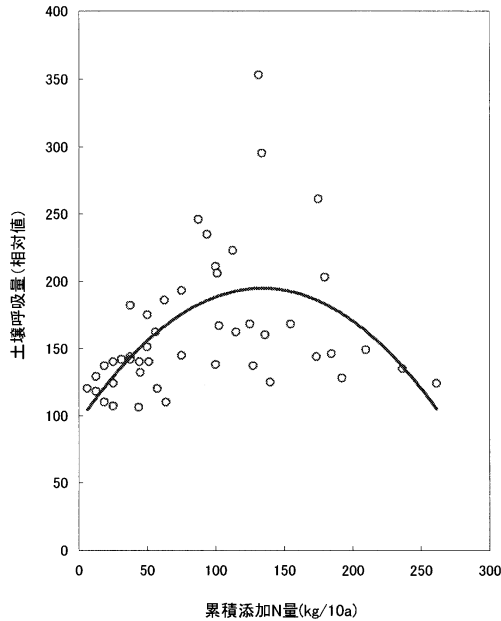


図8 累積添加N量と土壌呼吸量（相対値）との関係

致するものである。千葉らはまた、土壌の無機態窒素量は10~20kg/10a(0~20cm深さ)程度あれば十分で、それ以上は施肥による増収効果は少ないとしている。

中路¹¹⁾は、土壌11当たり0~300mg(0~340kgN/ha)の窒素を添加した土壌により窒素過剰の影響について検討した。最大濃度処理区でアカマツ苗の細根と枝乾重量はそれぞれ42%および46%低下するとともに、針葉におけるMg濃度が有意に低下し、N/P比とN/Mg比が有意に増加したとしている。すなわち、土壌への窒素負荷量の増加によって、根を介した養分元素の吸収の阻害により窒素に対するPやMgの濃度が低下し、栄養状態にアンバランスが生じることを示唆した。

筆者ら¹²⁾は、兵庫県下における地域ごとの窒素としての面積当たりの排出量を試算したところ、東播磨、西・北神、阪神北摂の各地域で窒素飽和が生ずるとされる25kg/ha・yrを超える48.7~63.5kg/ha・yrを得た。Wilsonら¹³⁾は若いトウヒ林に人為的にNH₄⁺-NおよびNO₃⁻-Nを添加し、Nの過剰流入の影響を調べた結果から、65kgN/ha・yrまでの添加量ではNH₄⁺-Nの大部分は植物に吸収されるが、125kgN/ha・yrでは54%吸収された。NO₃⁻-Nでは約60%が吸収されたとし、こ

の結果をもとに限界負荷量はNH₄⁺-N 60~120kg, NO₃⁻-N 30~60kgと推定している。

これらの結果を当てはめて考えると、兵庫県下の窒素の汚染はWilsonら¹³⁾によって提示された限界負荷量の約1/2であると見積もられ、今後の継続したモニタリングの必要性が考えられた。

謝 辞

本論文は、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「東アジアにおけるエアロゾルの大気環境インパクト」、課題番号14048213の支援を受けました。ここに謝意を表します。

なお、快く試料の提供ならびに試料採取に協力くださった森林総合研究所の吉武孝氏、神奈川県森林研究所の越地正専門研究員に心より感謝いたします。

—引用文献—

- 1) Ohri K. and Mitchell M. J.: Nitrogen saturation in Japanese forested watersheds, *Ecological Applications.*, 7 (2), pp. 391-401, 1997
- 2) 小林禎樹, 中川吉弘, 玉置元則, 平木隆年, 藍川昌秀: 六甲山におけるスギ樹冠への酸性沈着の標高分布, 兵庫県立公害研究所研究報告, No. 30, pp. 41-50, 1998
- 3) 大河内博, 大庭敏記, 井川学: 丹沢大山における酸性降下物とその森林生態学への影響, 環境科学会1995年会講演要旨集, pp. 112-113, 1995
- 4) 小林禎樹, 中川吉弘: 1ヶ月間採取法による雨水水中水銀のモニタリング, 兵庫県立公害研究所研究報告, No. 23, pp. 21-26, 1991
- 5) 中川吉弘, 小林禎樹: 六甲山に生育するスギ葉中成分濃度の季節変動および標高分布, 兵庫県立公害研究所研究報告, No. 30, pp. 73-76, 1998
- 6) 土壌養分測定法委員会編: 土壌養分分析法, 養賢堂, 1970
- 7) Mackinney, G.: Absorption of light by chlorophyll solutions, *Jour. Biol. Chem.*, 140, pp. 315-322, 1941
- 8) 中川吉弘, 小林禎樹, 藍川昌秀, 平木隆年, 玉置元則: 土壌呼吸代謝量測定による根圏環境の評価, 兵庫県立公害研究所研究報告, No. 32, pp. 99-103, 2001
- 9) 吉野正敏著: 新版小気候, pp. 1-128, 地人書館, 東京, 1986
- 10) 千葉佳朗, 武田良和, 土壌の呼吸活性および微生物層に及ぼす土壌養分濃度の影響, 東北農業研究, 50, pp. 205-206, 1997
- 11) 中路達郎: 樹木に対する窒素過剰の影響, 平成12年度関東支部植物影響部会講演要旨集 pp. 3-8, 2001
- 12) 中川吉弘, 大気汚染物質と植物—兵庫県における窒素(NH₃, NOx)排出の推計—, 全国環境研会誌, 26 (3), pp. 185-192, 2001
- 13) Wilson, E. J. and Skeffington, R.A.: The effects of excess nitrogen deposition on young Norway spruce trees. Part 1 The Soil, *Environ. Pollut.* 86, pp. 141-151, 1994