

広域都市圏における窒素沈着フラックスの標高別分布

苗村 晶彦*, 倉田 斉**, 楊 宗興**

Altitudinal difference of nitrogen deposition flux, Central Japan. NAEMURA Akihiko>(*Hiraoka Environmental Science Laboratory 5-15-6, Harajuku, Midori-ku, Sagami-hara, Kanagawa 252-0102 Japan) KURATA Hitoshi** & YOH Muneoki**(Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu, Tokyo 183-8509 Japan)

Atmospheric deposition in the bulk precipitation were investigated for total nitrogen (NO_3^- , NH_4^+ , and dissolved organic nitrogen) in the Central Japan with an altitude range of 335-1850 m. Total nitrogen showed a strong altitude dependency and was particularly high in the suburban area due to acidic deposition. An excessive nitrogen deposition causes the nitrogen saturation. It was suggested that the balance of the material cycle in forest ecosystems have collapsed due to the nitrogen saturation.

Keywords

nitrogen deposition, altitude dependency, total nitrogen, nitrogen saturation

窒素沈着, 標高依存, 全窒素, 窒素飽和

1 緒言

森林生態系において窒素は、リターフォール → 無機化および硝化 → 植物による再吸収という内部循環を行っている。樹木の栄養塩となる窒素は、降水から供給され土壌に蓄積される。窒素は森林生態系における供給量が限られているため、樹木成長の制限因子のひとつとして考慮されてきた¹⁾。しかし、近年人間活動の増大に伴い、地球レベルでの窒素循環が大きく変わりつつある²⁾。この窒素循環の変化は、森林生態系への大気からの窒素付加量を増加させ、これによって系内の窒素が限られた状態から過剰な状態に変化しつつあることが欧米で憂慮されている^{3,4)}。森林においては降水が樹冠を通過する際、 NO_3^- のような無機態窒素が乾性沈着の影響を受け、土壌により多く沈着すると

考えられるためである。

降水中の溶存態窒素は、無機態窒素のほかには有機態窒素(DON)が存在する。DONは、生物が利用できる窒素成分として重要であり、森林内の循環に関わる成分として注目を集めているが、降水等の溶存DONに関する研究例は少ない^{5,6)}。また、大気窒素収支を左右する降水からの窒素供給量を広域にわたり山地森林域で正確に計測することは困難である。そこで本研究では、第一に降水からの無機態窒素と有機態窒素の合計を全窒素として、半年間一括して採取する方法と1ヶ月毎に採取して合計半年間採取した方法を比較検討した。降水中の窒素は NO_3^- 、 NH_4^+ とDONに分けられるが、その合計を示した全窒素を評価することで、溶存態中の窒素化合物の変質が起きたとしても、総計として全窒素量の沈着を評価出来るかを検討するためである。

大気からの負荷については、関東地方およびその周辺の25箇所で大気沈着を観測した結果において、関東地方で窒素の沈着量はその周辺の1.7倍に達している⁷⁾。上述した比較検討した結果に基づき、半年間一括採取で、関東地方の広域で窒素沈着がどのように分布

*〒 252-0102 神奈川県相模原市緑区原宿 5-15-6 財団法人平岡環境科学研 E-mail:nae@aw.wakwak.com

**〒 183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8 東京農工大学農学部

しているかを標高差別に調査した。

2 方法

広域都市圏の降水中の全窒素沈着の調査は、千曲川の源流にもあたる大弛峠から、関東山地の南東端の八王子城址まで、標高335-1850mの計6地点(図1①~⑥)。その方法は、簡易降雨採取装置を半年間野外に放置で(半年間一括採取/A方法)、2001年5月下旬~11月下旬の期間に採取した。

半年間放置するにあたり、その精度を検討するため1ヶ月毎の採取で総計として半年間の採取(B方法)も行った。A方法とB方法の同時併行については、調査地を山岳地および都市近郊の丘陵地の2地点に設定した(図1⑦, ⑧)。山岳地として東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター、フィールドミュージアム秩父の演習林内(以下、奥秩父: 標高820m)を、都市近郊の丘陵地として、東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター、フィールドミュージアム多摩丘陵の実験実習施設内(以下、多摩丘陵: 標高140m)を選定した。

A方法では20Lポリエチレン製容器に口径11.5cmのポリエチレン製ロートを取りつけ、ロートにはネットを装着して葉の混入等を防いだ。B方法も同様に20Lポリエチレン製容器に口径20.4cmのポリエチレン製ロートを取りつけ、A方法と同様にネットを装着した。

採取した試料については、メンブランフィルター(ポアサイズ $0.45\mu\text{m}$)で濾過した後、溶存成分について、 NO_3^- 濃度は、DIONEX社のイオンクロマトグラフィー(QIC Ionchrom Analyser)を、 NH_4^+ はMetrom社のイオンクロマトグラフィー(761 Compact IC)を用いて測定した。全窒素は、酸化分解・化学発光法(三菱化学微量窒素分析装置TN-100)を用いて測定した。

3 結果と考察

3・1 全窒素の半年間一括採取と1ヶ月毎の採取の比較

A方法(半年間一括採取)とB方法(1ヶ月毎の採取で総計として半年間)の降水量および降水中の溶存中の全窒素、 NO_3^- 、 NH_4^+ の結果を表1に示した。

A方法で測定した降水量は奥秩父で1412mm、多摩丘陵で1082mmであった。これをB方法による測定結果と比較すると、それぞれ奥秩父98%、多摩丘陵で93%であった。

A方法で若干降水量が少なかったのは、半年間放置していたために若干の蒸発が起こったものと考えられる。

全窒素については、奥秩父においてA方法で半年間あたり 5.66 kg ha^{-1} (以下同様)、B方法で4.28、多摩丘陵においてそれぞれ9.73、7.21であった。両地点ともA方法で約3割増加した。これは、半年間野外に放置したために虫の混入などの影響が考えられる。

無機態窒素においては、 NO_3^- ではA方法とB方法で多摩丘陵においてあまり違いは見られなかったが、 NH_4^+ については両地点ともA方法でB方法の約2.4倍となった。これは、長い間放置した場合 NO_3^- についてはあまり変化が見られないが、 NH_4^+ はDONが菌類等により NH_4^+ に変質して増加したことが考えられた。

以上から、半年間放置するバルク採取は、全窒素について1ヶ月毎の採取に比べて3割ほどの増加が見られたが、 NO_3^- については沈着を評価する方法として有効であると考えられた。また、全窒素の増加分は長期間放置による虫の混入による窒素の溶存態化や懸濁態窒素の影響もあると考えられるため、今後この調査方法を改良し継続することによって、より正確な測定評価を行っていくことができると考えられる。また、 NO_3^- については、安定同位体比を用いた結果からも、半年間放置した場合において降水中の NO_3^- は1ヶ月採取とほぼ変わらないことが示されている⁸⁾。

3・2 広域の降水中の全窒素

A方法による6地点の降水量は調査値毎で大きな差異があり、1270-1802mmとなった。特に生藤山・北東側では、1802mmと、半年間だけで日本の年間降水量に匹敵するほどの量となった。

A方法による広域都市圏の標高と全窒素フラックスとの結果を図2に示した。降水の全窒素量は半年間あたり、標高1850mの大弛峠で最も低く 1.89 kg ha^{-1} 、標高335mの八王子城址で最も高く 17.1 kg ha^{-1} となった。

採取標高地点と全窒素との関係については、標高が低くなるほど増加する傾向が見られた。採取した標高地点と全窒素の関係を指数近似すると、

$$y = 33.9 e^{-0.0015x}$$

となり、相関係数は0.979となった。この結果より、広域都市圏では低標高地域の森林で降水による全窒素の供給が大きいと判断された。また、調査期間は

表1 A方法(半年間放置)とB方法(1ヶ月間採取)の降水中の溶存化学成分の比較

調査地	H ₂ O	TN	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N
	(mm)	(kg ha ⁻¹ 6 month ⁻¹)	(kg ha ⁻¹ 6 month ⁻¹)	(kg ha ⁻¹ 6 month ⁻¹)
A方法				
奥秩父	1412	5.66	1.56	1.37
多摩丘陵	1082	9.73	3.68	5.25
B方法				
奥秩父	1447	4.28	2.01	0.56
多摩丘陵	1167	7.21	3.99	2.12

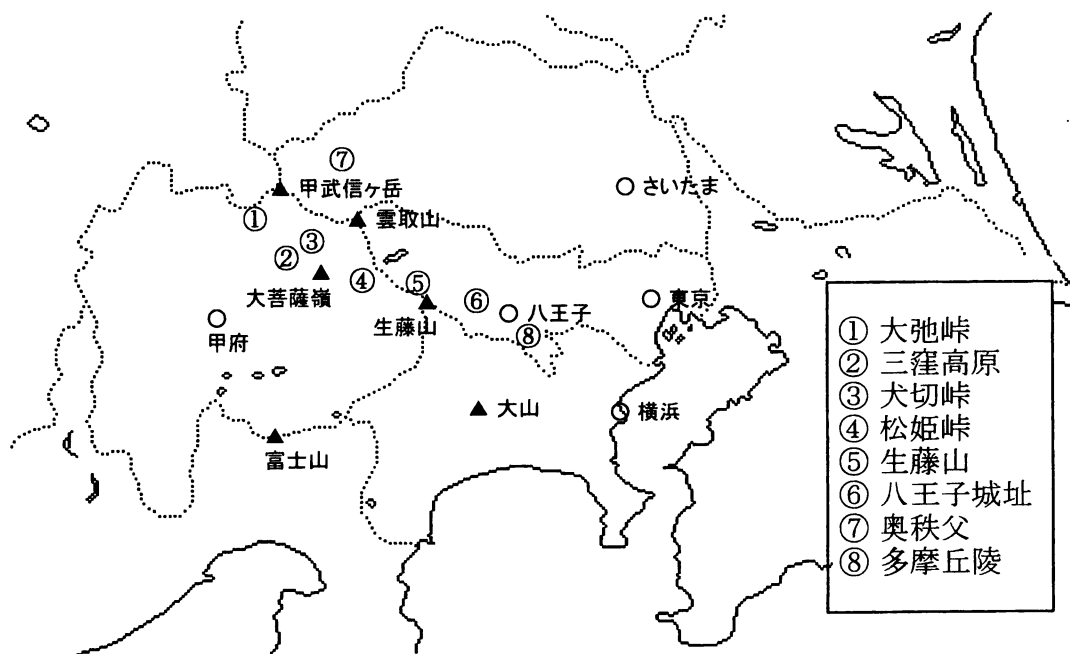


図1 大気沈着の採取地点

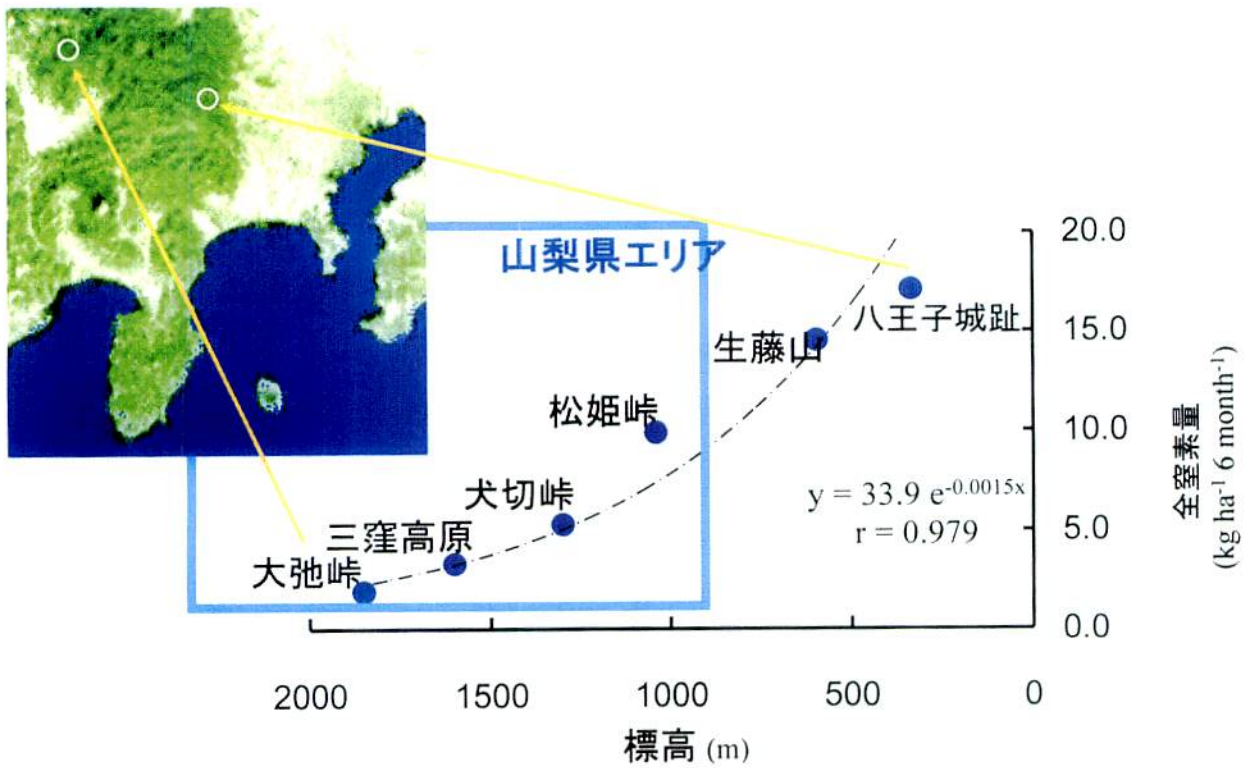


図2. 降水採取地の標高と降水中の全窒素フラックスとの関係

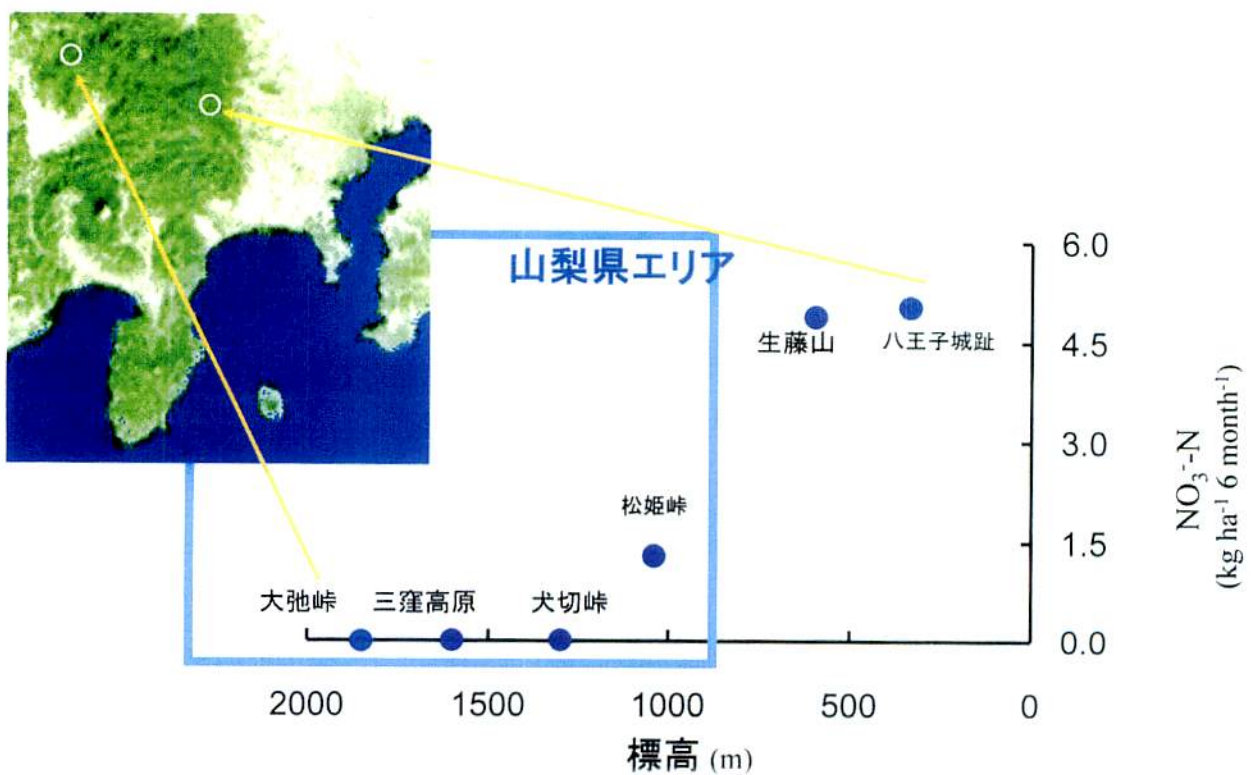


図3. 降水採取地の標高と降水中のNO₃⁻-Nフラックスとの関係

半年であったが年間フラックスとして乗じると、最も低い大弛峠で $3.79 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、最も高い八王子城趾で $34.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ と算定された。今後とも調査を継続し降水による広域の全窒素量をより正確に算定していくことが非常に重要である。これまでデータが極めて少なかった山岳地の全窒素量の沈着を評価することで、より一層の森林生態系における窒素の物質循環の研究が発展していくものと思われる。

NO_3^- については全窒素と同様な傾向があり低標高で高く、1000mを境に低標高で顕著に高くなった(図3)。例えば、松姫峠では全窒素量に対する NO_3^- は13%であるのに対し、生藤山では34%に達した。これは、標高1000m以下では、東京湾流域の平野部で人為的に生成された大気中のガスやエアロゾルが多く存在し、ウォッシュアウトによって降水にエアロゾル等が取り込まれるためであると考えられる。一方、標高1300m以上では、降水中の NO_3^- が検出されなかったため、犬切峠から大弛峠にかけての高標高地域は NO_3^- 汚染が非常に小さいと考えられる。

3・3 降水および乾性沈着による窒素飽和

大気からの窒素沈着には降水だけでなくガス態による乾性沈着もある。 NO_3^- について、林内中の成分を降水、乾性沈着および溶脱・吸収に分けた物質収支のシミュレーション結果では、 NO_3^- について奥秩父では吸収、多摩丘陵では溶脱が認められた⁹⁾。人為起源物質の影響が少ないと思われる奥秩父では、降水中の NO_3^- のような窒素成分は葉から樹木へ養分として吸収されると考えられる。一方、多摩丘陵では1976-2000年の間に降水中の無機態窒素が増大していることが報告されており¹⁰⁾、その影響によって、多摩丘陵では過剰の窒素が見かけ上溶脱している可能性がある⁹⁾。また多摩丘陵では奥秩父に比べてガスやエアロゾルのような乾性沈着も多いと考えられる。

多摩丘陵においては、1987年7月14日～8月15日にスギ林とコナラ林の沈着量についての調査が行われ、単位面積当たりの沈着量はスギ林の方が大きく、 NO_3^- の沈着量は約1.5倍であった¹¹⁾。この結果からも、奥秩父と多摩丘陵における NO_3^- の乾性沈着量の大きな差異は、都市近郊では人為的影響によってエアロ

ゾル等が増加することと、スギ林では樹冠にエアロゾルが付着しやすいことが原因と考えられる。このように、エアロゾルの生成や森林生態系に対する沈着は、樹種による樹冠への付着過程の違いなど非常に複雑な問題を内包している¹²⁾。乾性沈着の評価は難題ではあるが、本調査地の八王子城址や多摩丘陵では、過剰な窒素の供給によって窒素飽和が生じ、森林生態系における物質循環のバランスが崩れていることが示唆される。従って、降水や乾性沈着のより一層の調査や解析が求められる。

引用文献

- 1) Vitousek, P.M. & Howarth, R.H.: *Biogeochemistry*, **13**, 87-115 (1991).
- 2) Galloway, J.N., Schlesinger, W.H., Levy, H., Michaels, A. & Schnoor, J.L.: *Global Biogeochem. Cycles*, **9**, 235-252 (1995)
- 3) Skeffington, R.A (ed.): *Environ. Pollut.*, **54**, 159-298 (1988).
- 4) Aber, J.D., Nadelhoffer, K.J., Steudler, P. & Melillo, J.M.: *Bio Science*, **39**, 378-386 (1989).
- 5) Church, M.B., & Driscoll, C.T.: *Global Biogeochem. Cycles*, **11**, 613-616 (1997).
- 7) Fukuzaki, N. & Ohizumi, T.: *Proceedings of International Congress of Acid Snow and Rain*, p.217-222 (1997).
- 8) 倉田 斉: 東京農工大学農学研究科修士論文 (2003).
- 9) Naemura, A., Yoshikawa, T., Yoh, M., Ogura, N. & Dokiya, Y.: *Nat. Envir. Sci. Res.*, **20**, 13-17 (2007).
- 10) 吉川 哲生, 苗村 晶彦, 土器屋由紀子: “多摩丘陵の自然と研究—フィールドサイエンスへの招待” (土器屋由紀子, 小倉紀雄, 安富六郎, 内川武編), 58-68 (2001), (けやき出版).
- 11) 大喜多敏一: “酸性雨” (大喜多敏一監修), 77-85 (1996), (博友社).
- 12) 土器屋由紀子, 苗村 晶彦: エアロゾル研究, **16**, 30-32 (2001).

(2010年7月15日受付, 2010年10月18日受理)