

論文 (Original Article)

関東地方の都市近郊平地林における降水中の成分濃度と負荷量
— 森林総合研究所構内における降水の観測結果 —

伊藤 優子^{1)*}・加藤 正樹¹⁾

Ionic Concentrations and Loads of Rainwater on Forested Land
in a Suburban Area in the KANTO Region, Japan
— The Measurement Results of Rainwater at FFPRI in Tsukuba —

ITOH Yuko ^{1)*} and KATO Masaki ¹⁾

Abstract

Several characters of rainwater chemistry were investigated on forested land in a suburban area in the KANTO region, Japan. Rainwater was collected at FFPRI in Tsukuba, Ibaraki prefecture from 1995 to 2000. The concentrations of bulk precipitation were generally in the order: $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, K^+ and $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$. So, the mean concentrations of NO_3^- and SO_4^{2-} in this area were comparable with those of affected areas by atmospheric pollution. Estimated annual deposition of NH_4^+ , NO_3^- and SO_4^{2-} was 43.3, 32.4 and 25.6 mmol $\text{m}^{-2}\text{yr}^{-1}$, respectively. High N deposition by precipitation was also observed in this area. At the same time, the annual mean of inorganic nitrogen input ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) was 10.6 kg N $\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$. $\text{NH}_4\text{-N}$ composed 58% of inorganic nitrogen input and as such, $\text{NH}_4\text{-N}$ plays a large role in N input at this study site.

Key words : rainwater, SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , suburban area

要 旨

首都圏の周辺地域に位置する平地林での降水の特性を明らかにするために、茨城県つくば市にある森林総合研究所構内で、1995年から2000年にかけて観測した降水中の成分濃度と NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} の負荷量について検討を行った。期間中に採取した降水中の陽イオン濃度の平均は、 $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 、 K^+ の順に高く、陰イオンは、 $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ の順に濃度が高かった。また、本観測地点の降水中の NO_3^- 、 SO_4^{2-} の濃度は、首都圏で発生した大気汚染物質の影響を受けている地点で観測された降水中の濃度とほぼ同程度であった。 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} の年間負荷量の平均値はそれぞれ、43.3、32.4、25.6 mmol $\text{m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ で、降水による窒素負荷量が高かった。また、1995年から2000年の無機態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) の平均年間負荷量は10.6 kg N $\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ であった。本観測地点においては、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の無機態窒素の負荷量に対する寄与率は平均で58%と、窒素の負荷として $\text{NH}_4\text{-N}$ の果たす役割が大きい傾向が明らかになった。

キーワード : 降水、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、都市近郊

原稿受付 : 平成14年12月20日 Received Dec. 20, 2002 原稿受理 : 平成15年4月18日 Accepted Apr. 18, 2003

* 森林総合研究所立地環境研究領域 〒305-8687 つくば市松の里1

Department of Forest Site Environment, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan; e-mail : yuko106@ffpri.affrc.go.jp

1) 森林総合研究所立地環境研究領域 Department of Forest Site Environment, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

1. はじめに

我が国では、1970年代前半に関東地方で酸性の降雨により、多くの人々が眼や皮膚に刺激を訴えた事を契機として、全国的に酸性雨調査の取り組みが始められた(大喜多, 1997)。酸性雨の原因となる酸性化物質は、火山や海洋からの自然発生もあるが、石炭や石油などの化石燃料の消費、銅やニッケルなどの硫化金属の精錬、農業や畜産に伴う排出などが主な排出源とされている。近年、欧米諸国や日本では、脱硫技術の発達や様々な行政的規制により硫酸化物の排出量は減少している。しかしながら、降水の酸性化のもう一方の主要因である窒素酸化物は、自動車の排気ガスの寄与が多く、都市域を中心に増加傾向にある。また、東アジアにおける経済活動の活発化にともない、硫酸化物や窒素酸化物等の排出量が増加しており、長距離越境大気汚染による大陸から我が国への硫黄、窒素化合物の負荷の増加も懸念されている(藤田ら, 2000, 2001)。

東京を中心とする関東地域では、周辺部の赤城、日光、丹沢などの山域で樹木衰退が報告されており、その原因として酸性の降水や霧を含む大気汚染物質の森林への影響の可能性が指摘されている(池田ら, 1995; 島山ら, 1996; 井川ら, 1999)。一方、内陸部の森林流域では大気からの窒素沈着量の増加により窒素飽和が問題になっている(Ohruiら, 1997)。このように、森林をとりまく環境は年々変化しており、様々な公益的機能を持つ森林を健全に維持していくためにも、都市域および近郊地域での酸性雨を含む環境汚染物質の森林生態系への影響の解明が必要とされている。森林総合研究所では1990年から酸性雨等の広域汚染の森林生態系への影響の解明と影響予測法の確立を目的として、全国8カ所にモニタリング・センターステーションを設定し、酸性雨モニタリングを行っている。このうち、森林総合研究所(茨城県つくば市)では、大都市近郊の森林への酸性雨等の影響を明らかにするため、降水の観測を行ってきた。本研究においては、茨城県つくば市の森林総合研究所構内で1995年から2000年にかけて観測した酸性雨モニタリング調査の観測データを基に、首都圏の周辺地域に位置する平地林での降水の特性を明らかにすることを目的とし、降水中の成分濃度、及びその負荷量について検討を行った。

2. 方法

2.1 採水地点

降水は森林総合研究所(茨城県つくば市、北緯36度0分22秒、東経140度8分1秒)構内の、仰角45度以内に障害物のない芝地において採取した(Fig.1)。採取地点は都心から北東約60kmに位置し、海岸から約40kmほど離れている。森林総合研究所周辺は平地林、畑地、水田および住宅がモザイク状に分布する地域である。



Fig.1. 降水の採取地
Location of sampling site.

2.2 採取方法

降水の採取は、直径210mmのポリロートおよび5リットル容のポリタンクをビニールチューブで接続した装置で行った。試料は1降雨毎に回収した。降水の採取期間は1995年1月から2000年12月である。

2.3 測定方法

採取した試料は速やかにpH(ガラス電極法、HORIBA D-13)、EC(白金電極法、HORIBA ES-12)を測定した。また、成分濃度は試料をメンブレンフィルター(ADVANTEC DISMIC-25cs、孔径0.45 μ m)で濾過後、イオンクロマト法(横河アナリティカルシステムズIC 7000)で測定した。採取した降水のpH、ECおよび溶存成分濃度の平均値は降水量で重み付けを行い加重平均値を算出した。また、分析値の精度管理については、電気的中性の原理からの確認(イオンバランス法)と導電率の計算値と測定値の比較による確認(導電率法)の2方法に基づき(玉置, 1993)、データのチェックを行った。イオンバランス及びEC値を検討し、その許容範囲(±20%程度)を超える試料については参考値とした。

3. 結果

3.1 年降水量および降水のpH、EC

1995年から2000年の年降水量および降水のpH、ECの年平均値をFig. 2に示す。森林総合研究所(茨城県つくば市)における採取期間中の年降水量は、1005mm~1583mmで6年間の平均値は1239mmであった。1997年は1000mm程度と少雨であったが、翌年の1998年は1600mm弱で、全国的にも多雨の年であった。また、日本全国の年降水量の平均値1720mm程度(国土省編, 1997)と比較すると、本観測地点の平均年降水量は480mmほど少なかった。また、11月から2月の冬期にかけて特に降水量が少なく、関東地方の太平洋岸気候特有の傾向を示した。

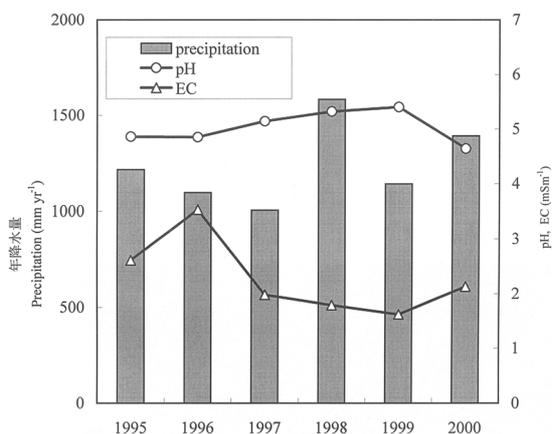


Fig.2. 年降水量およびpH、ECの変化
Variations in annual amounts of precipitation, pH and EC values.

1995年から2000年に採取した全降水試料のpHの値は3.88~6.22の範囲であった。1997年、1998年、1999年の年平均pHは5より高かった。一方、2000年の年平均pHは4.64と低い値であった。また、全降水試料のEC値は0.4~17.8mS⁻¹の範囲であった。1996年の年平均値は3.5mS⁻¹と高い値を示したが、他の年は2.0mS⁻¹前後であった。

3.2 降水中の成分濃度

本観測地点において1995年から2000年にかけて、1降雨毎に採取した全降水の平均イオン濃度において、陽イオンの濃度は、NH₄⁺>Na⁺>Ca²⁺、H⁺>Mg²⁺、K⁺の順に高く、NH₄⁺が陽イオンの約30%を占めた。陰イオンの組成は、Cl⁻>NO₃⁻>SO₄²⁻の順に濃度が高く、Cl⁻が陰イオンの約45%を占めた (Table 1)。

1995年から2000年に観測された降水中の主要陽イオン (Na⁺、NH₄⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺) と主要陰イオン (Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻) 濃度の年平均値の変動をFig. 3、4に示す。全降水試料中のNa⁺濃度は2.6~1525.1 μmolL⁻¹の範囲であった。Na⁺濃度の年平均値は最大値が44.8 μmolL⁻¹ (1998年)、最小値が21.3 μmolL⁻¹ (2000年) であった。全降水試料中のNH₄⁺濃度は5.5~1039.4 μmolL⁻¹の範囲であった。NH₄⁺濃度の年平均値は最大値が53.2 μmolL⁻¹ (1996年)、最小値が26.1 μmolL⁻¹ (1999、2000年) であった。全降水試料中のCa²⁺濃度は0.0~805.9 μmolL⁻¹の範囲であった。Ca²⁺濃度の年平均値は最大値が23.5 μmolL⁻¹ (1995年)、最小値が7.5 μmolL⁻¹ (1997、1998年) であった。全降水試料中のMg²⁺濃度は0.0~205.7 μmolL⁻¹の範囲であった。Mg²⁺濃度の年平均値は最大値が7.4 μmolL⁻¹ (1995年)、最小値が4.1 μmolL⁻¹ (2000年) であった。全降水試料中のK⁺濃度は0.0~368.6 μmolL⁻¹の範囲であった。K⁺濃度の年平均値は最大値が7.9 μmolL⁻¹ (1997年)、最小値が2.8 μmolL⁻¹ (2000年) であった。

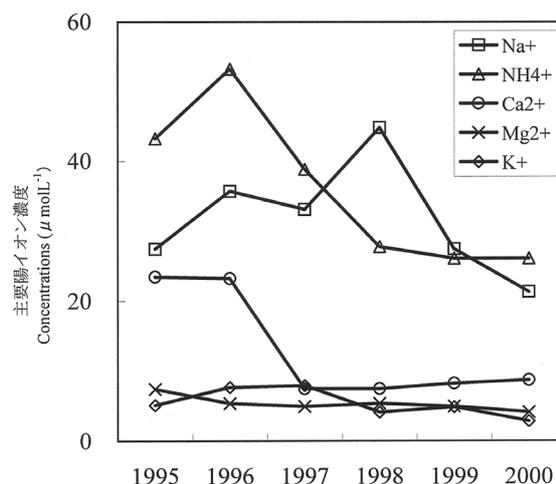


Fig.3. 降水中の主要陽イオン濃度の年変動
Variations in annual mean concentrations of Na⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and K⁺ in bulk precipitation.

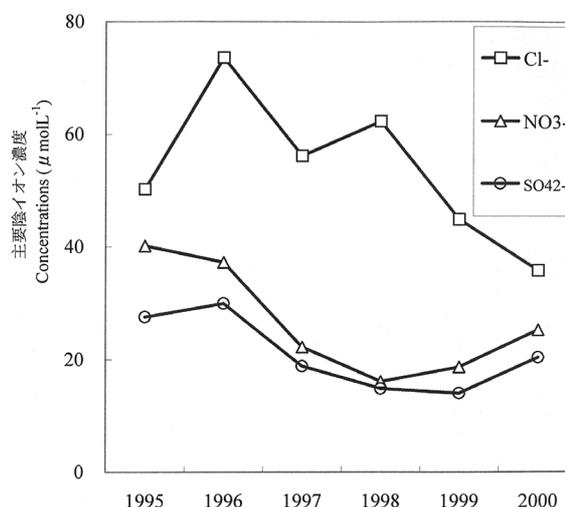


Fig.4. 降水中の主要陰イオン濃度の年変動
Variations in annual mean concentrations of Cl⁻, NO₃⁻ and SO₄²⁻ in bulk precipitation.

全降水試料中のCl⁻濃度は6.5~2851.5 μmolL⁻¹の範囲であった。Cl⁻濃度の年平均値は最大値が73.6 μmolL⁻¹ (1996年)、最小値が35.8 μmolL⁻¹ (2000年) であった。全降水試料中のNO₃⁻濃度は2.1~1637.1 μmolL⁻¹の範囲であった。NO₃⁻濃度の年平均値は最大値が40.2 μmolL⁻¹ (1995年)、最小値が16.1 μmolL⁻¹ (1998年) であった。全降水試料中のSO₄²⁻濃度は1.5~854.8 μmolL⁻¹の範囲であった。SO₄²⁻濃度の年平均値は最大値が30.0 μmolL⁻¹ (1996年)、最小値が14.1 μmolL⁻¹ (1999年) であった。

3.3 酸性物質および酸性化物質の林地への負荷量

排出源から大気中に放出された硫黄酸化物や窒素酸化物は、大気中で酸化され酸性雨の主な原因物質であるNO₃⁻やSO₄²⁻になる。また、大気中のNH₄⁺は地上に沈着した後、酸性化物質として作用する (和田, 1997)。そこ

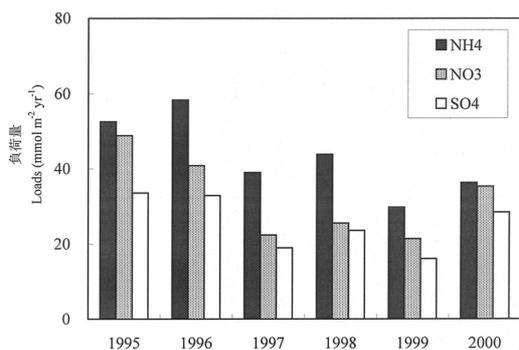


Fig.5. 降水によるNH₄⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻の負荷量
NH₄⁺, NO₃⁻ and SO₄²⁻ loads in bulk precipitation.

で、生態系への酸性化物質の影響を評価するために、NO₃⁻やSO₄²⁻に加え、NH₄⁺の負荷量を算出した (Fig. 5)。観測期間中のNH₄⁺の年間負荷量は29.7~58.3mmol m⁻²yr⁻¹の範囲で、NH₄⁺の6年間の平均年間負荷量は43.3mmol m⁻²yr⁻¹であった。NO₃⁻の年間負荷量は21.4~48.9mmol m⁻²yr⁻¹の範囲で、NO₃⁻の6年間の平均年間負荷量は32.4mmol m⁻²yr⁻¹であった。SO₄²⁻の年間負荷量は16.0~33.6mmol m⁻²yr⁻¹の範囲で、SO₄²⁻の6年間の平均年間負荷量は25.6mmol m⁻²yr⁻¹であった。また、NH₄⁺の負荷量は1995年、1996年に多く、1999年に少なかった。一方、NO₃⁻とSO₄²⁻の負荷量は1995年、1996年に多く、1997年、1999年に少なかった。

4. 考察

4.1 酸性物質および酸性化物質の濃度と負荷量

1) 酸性物質および酸性化物質の濃度

本観測地点における結果と、環境庁による全国規模の降水データである酸性雨対策第三次調査 (1993~1997年、環境庁) の結果、および、埼玉県内で観測された降水データの結果の比較を行った (Table 1)。環境庁によ

る酸性雨対策第三次調査は、1993年~1997年において、都市域、農村地域、遠隔地域を含む全国48箇所で実施され、これらの調査結果の平均値は、降水の化学性に関する全国平均値と考えられる。本観測地点の結果は、酸性雨対策第三次調査の全地点の平均値 (但し、酸性雨対策第三次調査の値は湿性沈着のみである。)と比較して、NO₃⁻、NH₄⁺の濃度が高く、Na⁺、Cl⁻の濃度は低かった。また、SO₄²⁻濃度は同程度であった。本観測地点の降水中の溶存成分は、酸性雨対策第三次調査の平均値に比べると、海塩性由来の割合が少なく、非海塩性成分が多いと考えられる。

また、崎尾 (1999) は、本観測地点と同じ関東地域の埼玉県内で、1989年~1996年において降水の観測を行った。観測を行った浦和市は都心から約20キロの都市域に位置し、寄居町は都心から約70キロの農村地域に位置している。寄居町で観測された降水のpH、ECおよびイオン濃度は、都市域の浦和市で観測された降水の値に匹敵する値であり、東京湾地域で発生した大気汚染物質が気流により、寄居町まで輸送されたためとされる。また、埼玉県の浦和市や寄居町において観測された降水中のNO₃⁻、SO₄²⁻濃度と、本観測地点のそれらの濃度は、ほぼ同程度であった。降水に含まれるNH₄⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻の起源は、自然発生によるもの以外に、人為的な発生源からのものが多いとされている (藤田ら, 2000)。本観測地点は、寄居町と同様に農村地域であり、都心からの距離もほぼ同じであり、本観測地点の降水成分濃度が都市域の影響を受けた地域の降水と同程度の値となったのは、都市域で発生した窒素酸化物や硫黄酸化物を主体とする大気汚染物質が、本観測地点を含む、関東地方の都市周辺地域に向かって移動、拡散し、降水中のNH₄⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻濃度に強い影響を与えたと考えられる。

Table 1. 各採取地点における降水中の平均イオン濃度
The average ionic concentrations of precipitation at various sites.

採取地点 Site	本研究 This study	第3次調査 ^{a)} JEA3	寄居 ^{b)} YORII	浦和 ^{b)} URAWA
採取期間 Survey period	1995-2000	1993-1997	1989-1996	1989-1996
採取方法 Collector type	バルク Bulk	湿性のみ Wet-only	バルク Bulk	バルク Bulk
濃度 Concentration (μ mol L ⁻¹)				
NH ₄ ⁺	35.9	17.9		
Na ⁺	31.6	77.6		
Ca ²⁺	13.1	6.5		
nss-Ca ²⁺	12.4	4.9		
Mg ²⁺	5.4	9.6		
K ⁺	5.4	5.2		
Cl ⁻	53.8	94.1	21.2	20.6
NO ₃ ⁻	26.6	14.4	28.1	32.1
SO ₄ ²⁻	21.0	19.3	17.2	24.4
nss-SO ₄ ²⁻	19.1	14.6		
PH	4.9	4.8	4.5	4.5
年降水量 Annual precipitation volume (mm yr ⁻¹)	1239	1493	1444	1426

a)酸性雨対策第三次調査 環境庁 (1999)
Japan Environment Agency Acid Deposition Survey Phase-III

b)崎尾 (1999)
Sakio (1999)

2) 酸性物質および酸性化物質の負荷量

酸性雨対策第三次調査（1993～1997年、環境庁）の年間負荷量の全国平均値（湿性+乾性沈着量）は、 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$ の順で多かったが、本研究の結果は $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ の順に多くなった（Table 2）。本研究と酸性雨対策第三次調査では降水試料の捕集方法が異なる。本研究の値は常時開放型の装置で採取した試料の値である。一方、酸性雨対策第三次調査では、降水時開放型の装置で湿性沈着を採取し、非降水時の乾性沈着を別に採取した。同じ地点で採取した場合、本研究で用いた方法で採取した降水中の成分濃度は、酸性雨対策第三次調査で用いた方法で採取した試料（湿性+乾性）より低くなる傾向がある（Howardら, 1994）。よって、降水による負荷量も少なくなると考えられる。本観測地点における NH_4^+ の負荷量は酸性雨対策第三次調査の平均値の1.67倍、 NO_3^- の負荷量は1.35倍の値を示し、酸性雨対策第三次調査の平均値よりも多くなった。一方、 SO_4^{2-} の負荷量は酸性雨対策第三次調査の値の0.83倍の値を示し、酸性雨対策第三次調査の平均値よりも少なかった。これは、 SO_4^{2-} の両平均濃度が同程度であったため、年間降水量の少ない本観測地点において、 SO_4^{2-} 負荷量が酸性雨対策第三次調査の平均値より少なくなったと考えられる。しかしながら、非海塩性成分の SO_4^{2-} 負荷量は本観測地点と酸性雨第三次調査の年間負荷量が同程度であった。本観測地点において、主に人為起源によるとされる非海塩性の SO_4^{2-} 負荷量は、全国の平均的な値であった。

Table 2. 各イオンの年間負荷量
The average ionic loads at each sites.

採取地点 Site	本研究 This study	第3次調査 ^{a)} JEA3
採取期間 Survey period	1995-2000	1993-1997
採取方法 Collector type	バルク Bulk	湿性+乾性 Wet+Dry
負荷量 Load ($\text{mmol m}^{-2}\text{yr}^{-1}$)		
NH_4^+	50.2	30.1
Na^+	47.2	149.0
Ca^{2+}	16.4	17.1
nss- Ca^{2+}	15.4	13.9
Mg^{2+}	7.7	18.6
K^+	7.8	11.3
Cl^-	78.1	178.1
NO_3^-	36.6	27.2
SO_4^{2-}	29.5	35.7
nss- SO_4^{2-}	26.6	26.7

a) 酸性雨対策第三次調査 環境庁(1999)
Japanese Environment Agency Acid Deposition Survey
Phase-III

4.2 窒素の森林への負荷

1) 無機態窒素の負荷

1995年から2000年の降水による無機態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) の年負荷量の平均値は、7.2～14.2 $\text{kg N ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ の範囲で、平均値は10.6 $\text{kg N ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ であった（Fig. 6）。窒素酸化物の発生源は主に大規模な固定排出源である工場や発電所、および、移動排出源の自動車と考えられる。これらの発生源は大都市域で多く、東京の窒素酸化物の濃度は全国で最も高いことが知られている（原, 1992）。また、1970年代前半を境に我が国では大気への窒素酸化物の排出量が硫酸化物を上回る傾向を示している（外岡, 1990）。大気中に放出された窒素化合物は大都市周辺の広い地域へ拡散、輸送され湿性および乾性沈着物として林地へ負荷されていると考えられる。本研究で観測された降水の無機態窒素負荷量は、窒素飽和の目安となる無機態窒素の負荷量10 $\text{kg N ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ （Ohruiら, 1997）と同等、ないしは上回っており、関東平野周辺で観測された降水の結果も同様の傾向を示している（小柳ら, 2002 ; Hayashiら, 2002）。また、関東地域の一部の森林流域においては、年間を通じた渓流水中の NO_3^- 濃度が高い現象がすでに観測されており、流域の窒素飽和の結果とされている（Ohruiら, 1997）。今後、このような大気からの窒素の高負荷が続くことにより、土壌や陸水の酸性化や富栄養化、また、生物多様性の減少等が生じることが危惧されている（佐竹, 2000）。

2) アンモニア態窒素の負荷

本観測地点において、1995年～2000年の降水による $\text{NH}_4\text{-N}$ の無機態窒素の負荷量に対する割合は平均で58%と、林地への窒素の負荷として $\text{NH}_4\text{-N}$ の寄与が $\text{NO}_3\text{-N}$ より大きかった。アンモニアの排出源は主に、農畜産起源として家畜、化学肥料などがあり、人為起源として自動

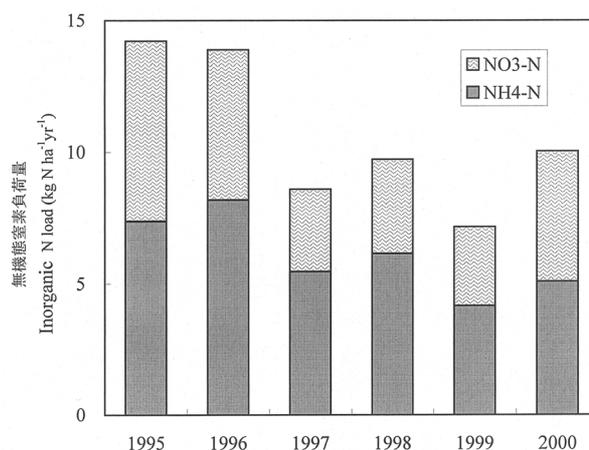


Fig.6. 降水による無機態窒素の負荷量
Annual amounts of inorganic N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) in bulk precipitation.

車、産業活動、浄化槽と下水処理施設などが重要な排出源である(原, 1997)。また、わが国におけるアンモニアの全発生量に対する各起源の排出量は、農畜産起源が56%、人為起源が41%、自然起源は3%とされており、都市化が広がる関東地域では人為起源の発生量がしめる割合が無視できないものとされている(櫻井ら, 2002)。また、関東地域の大气中のアンモニア濃度は他の地域と比べると高い傾向にあることが報告されている(Muranoら, 1995)。本観測地点の周辺には農地が点在しており、アンモニアの起源は農畜産起源の寄与が多いと考えられる。しかしながら、農畜産起源の周辺大气では暖候期に濃度が高くなる傾向があるが(櫻井ら, 2002)、本観測地点の降水中の NH_4^+ 濃度に明確な季節変動はなく、年間を通じて濃度レベルが高かった。よって、本観測地点においては、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の負荷に、観測地点周辺の農畜産業に伴う寄与以外に、アンモニア発生量の多い都市域からの年間を通じた流入による影響が示唆される。

NH_4^+ は降水の中では酸を中和する成分として働くが、林地に負荷された後、土壤中で微生物の作用により硝化し、プロトン(H^+)を放出することから酸性化物質として作用する(和田, 1997)。したがって、本観測地点において、無機態窒素の負荷として NH_4^+ の負荷量が多いことは、降水による森林土壌の酸性化の潜在的な可能性を示している。

5. まとめ

森林総合研究所構内(茨城県つくば市)において、1995年1月から2000年12月の6年間に観測された降水中の成分濃度と NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} の負荷量について検討を行った。その結果、

(1) 本研究で観測された降水中の陽イオンの平均濃度は、 $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{H}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 、 K^+ の順に高く、 NH_4^+ が陽イオンの約30%をしめた。また、陰イオンは、 $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ の順に濃度が高く、 Cl^- が陰イオンの約45%をしめた。

(2) NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} の年間負荷量の平均値は、それぞれ $43.3\text{mmol m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ 、 $32.4\text{mmol m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ 、 $25.6\text{mmol m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ であった。関東地域の都市近郊平地林に隣接する本観測地点の降水中の溶存成分は窒素化合物(NH_4^+ 、 NO_3^-)濃度が高かった。また、降水による無機態窒素の負荷量は平均で $10.6\text{kg} \cdot \text{N ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ であった。

我が国の硝酸態窒素の湿性沈着量のうち約76%が国内起源で、約24%が国外起源と推定されている(池田ら, 1997)。今後さらに、東アジアからの長距離輸送による大気汚染物質の負荷が懸念される。また、陸域生態系の酸性化の影響を考える上でも、硫酸化合物や窒素化合物だけでなく、アンモニア態窒素の動態が重要と考えられる。よって、酸性雨モニタリングの長期観測により、大気から森林への酸性化物質の沈着量の変動を観測すると共に、それらの物質の森林生態系内における動態の解明

が森林生態系への影響予測、対策を考える上で重要になると考えられる。

引用文献

- 藤田慎一・高橋 章・速見 洋・櫻井達也(2000) 日本列島における硝酸イオンとアンモニウムイオンの湿性沈着量, 環境科学会誌, **13**(4), 491-501.
- 藤田慎一・市川陽一・速見 洋(2001) 酸性物質の広域輸送, 酸性雨の総合評価, 電中研レビュー, No.43, 20-31.
- 原 宏(1992) 降水, “陸水の化学”, 日本化学会編, **14**, 69-78.
- 原 宏(1997) 日本の降水の化学, 日本化学会誌, **11**, 733-748.
- 畠山史郎・村野健太郎(1996) 奥日光前白根山における高濃度オゾンの観測, 大気環境学会誌, **31**(2), 106-110.
- Hayashi, K. and Okazaki, M.(2002), Effect of Volcanic Fumes from Mt.Oyama, Miyakejima Island, on Atmospheric Deposition, Soil Solution, and Soil Properties in Kumagaya, Central Japan, Soil Sci. Plant Nutr., **48**(3), 401-411.
- Howard B. Ross and Steven E. Lindberg (1994) Atmospheric Chemical Input to Small Catchments, “Biogeochemistry of Small Catchments”, WILEY, p66-69.
- 井川 学(1999) 酸性降下物と生態系影響, 丹沢・大山における森林衰退と酸性霧, 環境科学会誌, **12**(2), 233-240.
- 池田有光・安田龍介(1995) 赤城山で発生する酸性霧と大気汚染の解析, 大気汚染学会誌, **30**(2), 113-125.
- 池田有光・東野晴行(1997) 東アジア地域を対象とした酸性降下物の沈着量測定(II) - 発生源寄与を中心とした検討-, 大気環境学会誌, **32**, 175-186.
- 日本の水資源 - 平成9年版 - (1997) 国土庁編, p.279.
- 小柳信宏・浦川梨恵子・生原喜久雄・戸田浩人(2002) スギ・ヒノキ壮齡人工林小流域における降雨の移動に伴う溶存有機態窒素および溶存有機態炭素の動態, 森林立地, **44**(1), 11-20.
- Murano, K., Hatakeyama, S., Mizoguchi, T. and Kuda, N. (1995) Gridded Ammonia Emission Fluxes in Japan, Water, Air and Soil Pollution, **85**, 1915-1920.
- 大喜多敏一(1997) 酸性雨問題の歴史と現状, “酸性雨”, 環境庁地球環境部監修, 中央法規, p.28.
- Ohroi, K. and M. J. Mitchell (1997) Nitrogen saturation in Japanese forested watersheds, Ecological applications, **7**(2), 391-401.
- 崎尾 均(1999) 埼玉県秩父山地と平野部における8年間の降水のpH、ECの比較, 森林立地, **41**(1), 13-17.
- 櫻井達也・清野能弘・中江茂・藤田慎一(2002) 関東

- 地方におけるアンモニアの動態解析, 大気環境学会誌, **37**(2), 155-165.
- 酸性雨対策第三次調査データ集 (大気系) (1999) 環境庁, 265p.
- 佐竹研一 (2000) 酸性雨研究と環境試料分析 - 環境試料の採取・前処理・分析の実際 -, 愛智出版, pp291.
- 外岡豊 (1997) 酸性雨原因物質の排出量および降下量の状況と予測, “酸性雨”, 中央法規, p.33.
- 玉置元則 (1993) データの精度管理, “酸性雨調査法”, ぎょうせい, p.296-297.
- 和田信一郎 (1997) 酸性降下物が土壌に及ぼす影響, “土壌圏と地球環境問題”, 木村真人編, 名古屋大学出版会, p169-172.