

埼玉県秩父山地と平野部における8年間の降水のpH, ECと成分の比較

崎尾 均*
埼玉県林業試験場

埼玉県の大滝村(山間地)と寄居町(平地)で8年間、降水のpHとECを測定し、浦和市(都市部)のデータと比較した。8年間におけるすべての降水のpH平均値は大滝村・寄居町・浦和市でそれぞれ5.08, 4.47, 4.53で、山間地の大滝村は他の2カ所より約0.5高かった。8年間のすべてのEC平均値は、大滝村・寄居町・浦和市で、それぞれ10.3, 21.3, 24.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。大滝村のECは8年間を通して他の2カ所のほぼ50%であった。降水の Cl^- 濃度は大滝村・寄居町・浦和市でそれぞれ0.32, 0.75, 0.73mg/L, NO_3^- 濃度はそれぞれ0.79, 1.74, 1.99mg/L, SO_4^{2-} 濃度はそれぞれ0.80, 1.65, 2.34mg/Lで寄居町と浦和市では大滝村の2倍以上の濃度を示した。

寄居町の降水のpHとECは浦和市と差がなかったが、これによって東京湾地域から内陸部に向かって生じた大規模な気流によって大気汚染物質が輸送されていることが裏付けられた。また、山間地に位置する大滝村は、近くに大気汚染物質の発生源がないものの、わずかながら大気汚染物質の流入の可能性が示唆された。しかし、大滝村は他地域のバックグラウンドの降水の性質に匹敵しており、関東地方のバックグラウンド地域の一つと位置づけられる。

Hitoshi SAKIO: Comparison of pH, EC values and ionic components of precipitation for 8 years in the Chichibu Mountains and Kanto Plain in Saitama Prefecture, Japan. Jpn. J. For. Environment 41(1): 13-17, 1999

The pH value and electric conductance (EC) of precipitation were measured in the Chichibu Mountains (Ootaki) and Kanto plain (Yorii) in Saitama Prefecture for 8 years from 1989 to 1996. These data were compared with those of an urban area (Urawa). The average pH values of Ootaki, Yorii and Urawa for 8 years were 5.08, 4.47 and 4.53, respectively. The average EC values were 10.3, 21.3 and 24.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectively. The average concentration of Cl^- in precipitation from 1990 to 1991 were 0.32, 0.75, 0.73mg/L, NO_3^- were 0.79, 1.74, 1.99mg/L, SO_4^{2-} 0.80, 1.65, 2.34mg/L, respectively. The precipitation of Ootaki was cleaner than that of Yorii and Urawa. The fact that there was no difference in the pH and EC values of precipitation between Yorii and Urawa supported the assumption that air pollutants were transported from Tokyo Bay to Yorii by the air stream. On the other hand, there are no sources of air pollutants in Ootaki, but some air pollutants were transported from Tokyo Bay. As a result, Ootaki was a background area of precipitation with few pollutants.

1. はじめに

近年、世界各地において森林の衰退現象がみられるが、ヨーロッパでは酸性降水物もその原因の一つとされている(北島, 1988; 梨本・河野, 1989a; 横堀, 1989)。日本においては、スギ・ヒノキの人工造林地には、今のところ森林の衰退は見られないが、関東地方の社寺林等のスギ衰退現象をはじめ(森川, 1990; 梨本・河野, 1989b; 小川ら, 1992; Sekiguchi et al, 1986; 高橋ら, 1986)、山地帯ではモミ・ブナ(越地ら, 1996; 鈴木, 1992)、亜高山帯においてはダケカンバの衰退が報告されている(島田ら, 1993)。

一般に、樹木に対する酸性降水物の影響は長期間かかって土壤の酸性化を通してあらわれる(Ulrich et al, 1980)。そのため、山間地の森林地帯において酸性降水物の現状を把握し、モニタリングすることは、今後の森林生態系への影響を予測する上で重要である。これまで酸性降水物の調査は、都市部を中心におこなわれ、山間地で長期間にわたる測定の報告は少ない(脇ら, 1990; 佐々木ら, 1991; 安田ら, 1991)。

埼玉県は、関東平野の中心部に位置し、東部は標高が低く都市化しており人為活動が活発で、西部は秩父盆地を中心として丘陵地から標高2,000mの山岳地帯へと続いている。都

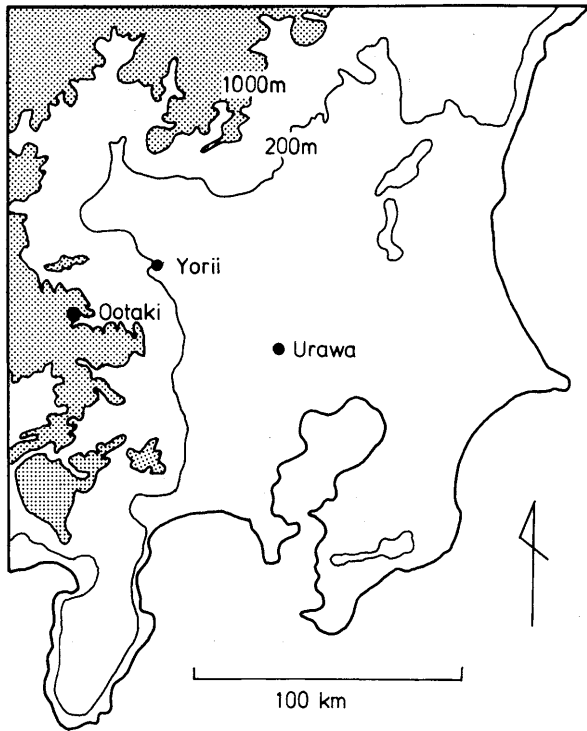
市部での酸性降水物の測定は埼玉県公害センターによって行われているが、大気汚染の影響がもっとも少ないと考えられている山間地(大滝村)の降水の現状は不明である。本報告は、山間地(大滝村)の降水中のpH・ECを1989年から1996年の8年間にわたり測定した結果をもとに、平地(寄居町)と都市部(浦和市)の測定結果とも比較し、地域性について検討した。また、降水中の Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} の3種のイオン濃度についても年間測定し比較を行った。

2. 調査方法

2.1 降水採取地点

埼玉県内2カ所に採取地点を設定した(図-1, 表-1)。採取地点の大滝村中津川(彩の国ふれあいの森分室)は秩父盆地の奥に位置する森林地帯で標高700m, 秩父市街から西に25km離れ、人家や交通量も少ない。また、都心から約100km離れ秩父山地によって関東平野から遮られている。寄居町(埼玉県林業試験場)は都心から70km離れており、畑作を中心とした農業地域で、秩父盆地と関東平野の境にあたり標高100mである。さらに都市部と比較するために浦和市(埼玉県公害センター: 標高10m)で測定されたデータを用いた(埼玉県環境部大気保全課1989-1997)。浦和市は都心から20kmに位置する市街地で、交通量の多い道路網が発

* 埼玉県林業試験場 Saitama Prefectural Forest Experiment Station, Yorii, Saitama 369-1224, Japan



図—1 降水採取位置図

Location of sampling sites. Dotted areas show mountains above 1000m a.s.l.

表—1 降水採取地と採取回数 (8年間)

Sampling point and the number of sampling for eight years

Sampling point	Altitude	The number of samplings
Ootaki	700m a.s.l.	469 samples
Yorii	100m a.s.l.	570 samples
Urawa	10m a.s.l.	636 samples

達している。調査期間は1989年1月から1996年12月の8年間である。

2.2 降水採取方法

降水の採取には、直径300mmのポリ製ロートおよび5リットルのポリビンで作った装置を木製の箱にに入れて、開空度45度以上のオープンスペースに設置した。この採取装置では、降水量で最大80mmまでの降水が回収できる。降雪の採取はロート内に積もった雪を室内で溶かして採取した。試料の回収頻度は、一日1回で、朝9時に回収した。ただし、土・日曜日や祭日の場合は翌日にまとめて採取した。

2.3 測定方法

採取した降水の量・pH・EC (電気伝導度) を採取後すぐに測定した。pHはSIBATAデジタルpH計6071型で、ECはHORIBAカスターニーLAB導電率計DS-12型で測定した。大滝村で採取した降水は採取後、冷暗所に保存し原則として1週間以内にpHとECを測定した。pHの平均値の算出は、各降水のpHをH⁺濃度へ変換し、降水量を加重して求めた。ECの平均値は、降水量を加重して求めた。

また、1990年4月から1991年3月の1年間の降水については、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻の3種のイオン成分を測定した。採

取した降水は、フィルター (NIHON MILLIPORE KOGYO社製, HV type, 0.45 μm) で濾過した後、分析を行った。測定は、イオンクロマトグラフ法を用い、埼玉県公害センターのイオンクロマトグラフィックアナライザー (YOKOGAWA HOKUSHIN ELECTRIC IC 500) を用いた。

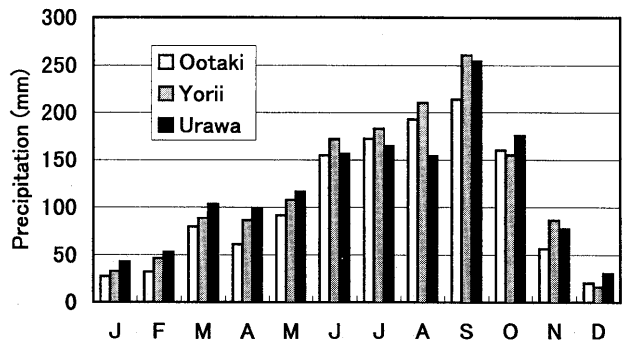
3. 結果

3.1 調査期間中の降水状況

調査期間中の降水状況は、典型的な太平洋側の気候を示し、6月中旬から7月下旬にかけては梅雨で、梅雨明けから10月にかけては台風の影響で降水量が多かった (図—2)。また、梅雨明けから8月にかけては夕立による集中豪雨、9月中旬からは秋雨による降雨も加わった。一方、12月から2月にかけては北西の季節風が強く (熊谷地方気象台, 1989-1996)、降水量が著しく少なかった。降水量は年によって差があったが、8年間の年間平均降水量は大滝村・寄居町・浦和市でそれぞれ1,261, 1,444, 1,426mmと、大滝村では他より少ない傾向にあった。

3.2 pH・ECの頻度分布

8年間における降水のpHの頻度分布を図3—1に示す。山間地の大滝村では頻度分布のモードがpH5.5~6にあるのに対し、寄居町と浦和市ではモードがpH4.0~4.5にあった。8年間にpH3.5以下の非常に強い酸性の降水が寄居町では9回、浦和市では6回測定されたのに対し、大滝村



図—2 平均月別降水量

Monthly average precipitation at each site.

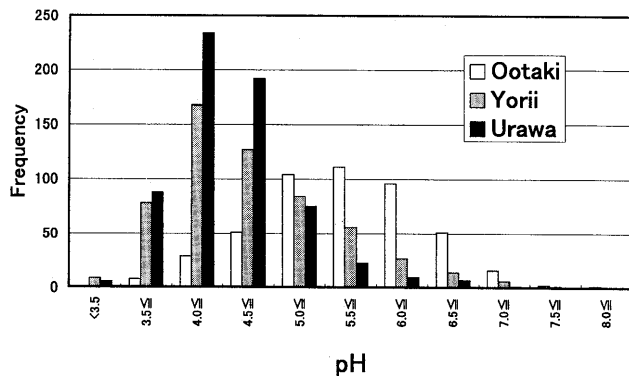


図3—1 pHの頻度分布

Frequency distribution of pH values of precipitation at each site.

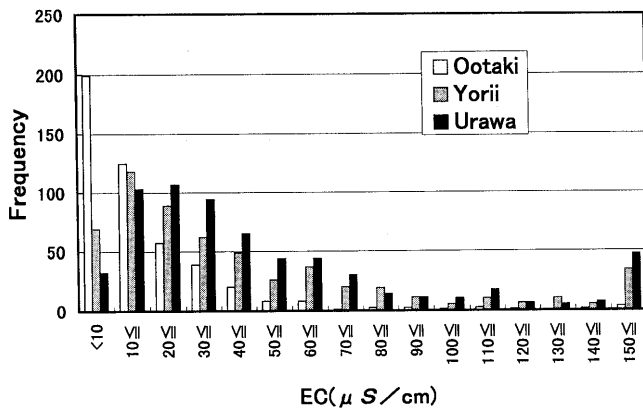


図3-2 ECの頻度分布

Frequency distribution of EC values of precipitation at each site.

では一回も測定されなかった。

大滝村ではECの頻度分布モードが0~10 μS/cmにあり、ECが増加するにつれて頻度は減少した。一方、寄居町ではモードが10~20 μS/cmに、浦和市では20~30 μS/cmと大滝村と比較してECの高い降水が測定された(図3-2)。また、8年間でECが70 μS/cm以上の降水が大滝村では13回しか観測されなかったのに対し、寄居町では120回、浦和市では147回も観測された。

3.3 pH・ECの平均月別値・経年変化

pHの平均月別値は3カ所とも同じ傾向を示し、春から夏にかけて低く、秋から冬にかけて高くなった(図4-1)。一年間を通して、大滝村のpHが他地点より高く、寄居町と浦和市では顕著な差は見られなかった。ECの平均月別値も3カ所とも同様の傾向を示し、春に高く、秋に低い値をとっていた(図4-2)。また、ほとんどの月で大滝村のECは、他の2地点の50%程度であった。

8年間のすべての降水pHの平均値は大滝村・寄居町・浦和市でそれぞれ5.08, 4.47, 4.53で、大滝村は他の2カ所より約0.5高かった。pHの経年変化はあるものの、8年間で大きな変動は見られなかった(図5-1)。8年間を通して、変動パターンは3カ所ではほぼ一致しており、大滝村の値はどの年でも、他の2カ所より高い値をとっていた。寄

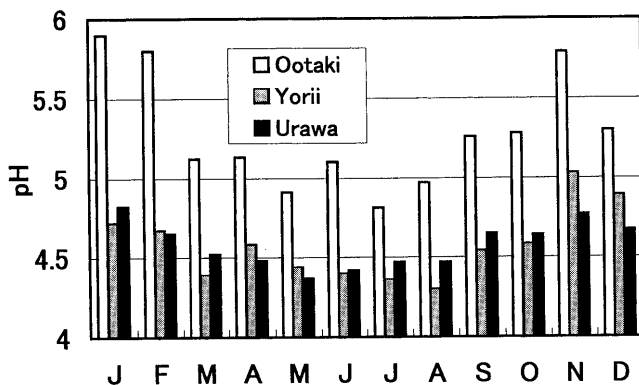


図4-1 pHの平均月別値

Monthly average values of pH at each site.

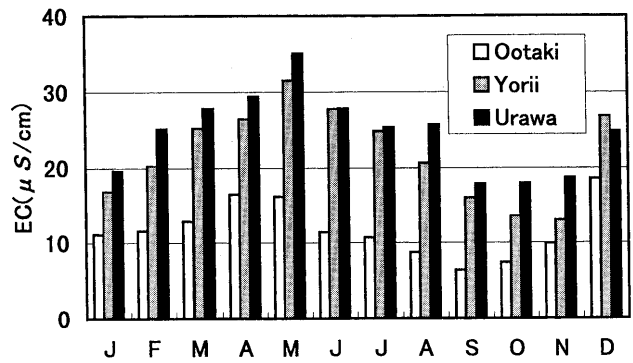


図4-2 ECの平均月別値

Monthly average values of EC at each site.

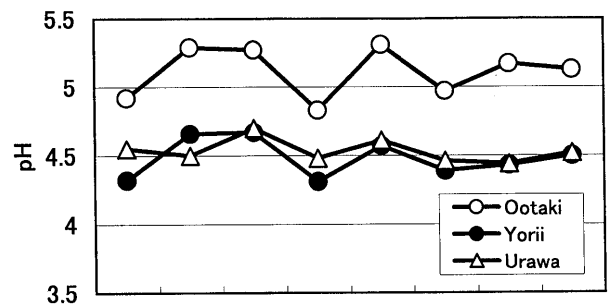


図5-1 pHの経年変化

Yearly average values of pH at each site.

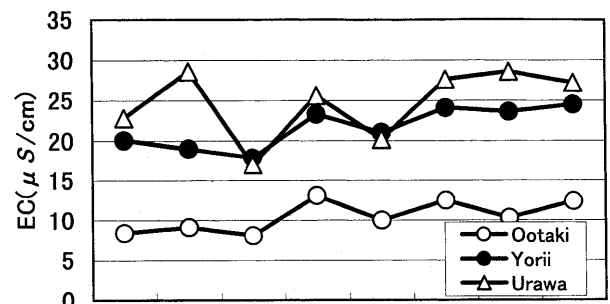


図5-2 ECの経年変化

Yearly average values of EC at each site.

居町と浦和市のpHには大きな違いは見られなかった。

8年間におけるすべてのECの平均値は、大滝村・寄居町・浦和市で、それぞれ10.3, 21.3, 24.1 μS/cmであった。寄居町と大滝村のECは同じような経年変化を示したのに対し、浦和市ではわずかに大きな経年変化を示した。また、8年間で3カ所ともわずかに増加する傾向があった(図5-2)。大滝村のECは8年間を通して他の2カ所のほぼ50%であった。

3.4 降水成分の年変化

Cl⁻濃度の年平均値(降水量による加重平均)は、大滝村・寄居町・浦和市でそれぞれ0.32, 0.75, 0.73 mg/Lであった。5月に寄居町で非常に高いCl⁻濃度をしめしたほかは、年間をとおして大きな差は見られなかった(図6-1)。ま

森林立地41 (1), 1999

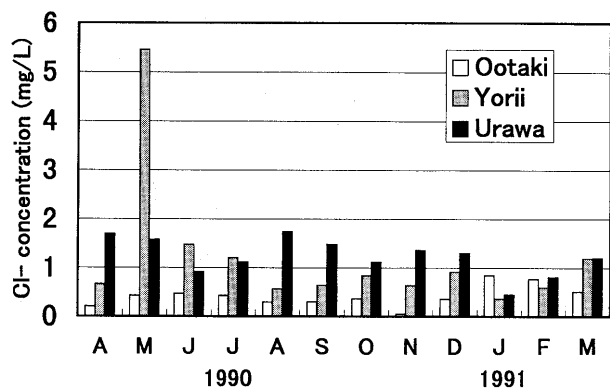
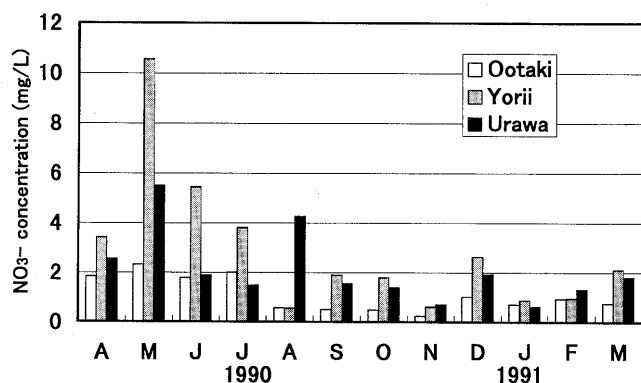
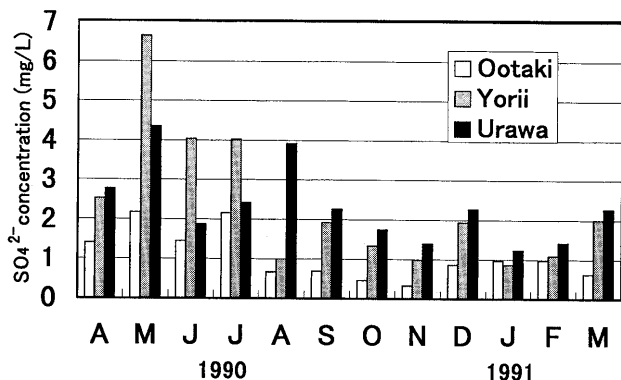


図6—1 Cl濃度の平均月別値

Monthly average values of Cl⁻ concentration at each site.図6—2 NO₃濃度の平均月別値Monthly average values of NO₃⁻ concentration at each site.図6—3 SO₄²⁻濃度の平均月別値Monthly average values of SO₄²⁻ concentration at each site.

た、1、2月を除けば大滝村のCl⁻濃度は他の2カ所より小さな値を示した。NO₃⁻濃度の年平均値(降水量による加重平均)は、大滝村・寄居町・浦和市でそれぞれ0.79、1.74、1.99mg/Lであった。NO₃⁻濃度は春から夏にかけて高く、秋から冬にかけて低くなる傾向にあった(図6—2)。ほとんどの月において、大滝村の濃度は他の2カ所より低かった。SO₄²⁻濃度(降水量による加重平均)は、大滝村・寄居町・浦和市でそれぞれ0.80、1.65、2.34mg/Lで、季節変化はNO₃⁻濃度とほぼ同じ傾向を示し、春から夏にかけて高く、秋から冬にかけて低くなる傾向にあった(図6—3)。3種のイオン濃度とも、年平均値は寄居町と浦和市では大滝村の

2倍以上の濃度を示した。

4. 考 察

8年間の測定結果から、山間地の大滝村はpHの平均値が5.08であった。一方、寄居町では大滝村の値より平均で0.5ほど低く、8年間のpHの平均値が4.47であった。これは、浦和市で測定された4.53に匹敵する値であった(埼玉県環境部大気保全課, 1989-1997)。ECは、大滝村の8年間の平均値が10.3μS/cmであったのに対し、寄居町では21.3μS/cmと約2倍の値を示した。この値も浦和市で測定された24.1μS/cmに匹敵する値であった。また、1990年4月から1991年3月の1年間の降水の、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻の濃度の年平均値を比較しても、寄居町と浦和市のイオン濃度は大滝村の2倍以上の値を示した。これらのことから、大滝村(秩父山地)の降水には寄居町や浦和市と比較して大気汚染物質の溶け込みが少ないことが明らかになった。

山間地における酸性雨の報告例(脇ら, 1990; 佐々木ら, 1991)はきわめて乏しく、短期間の測定のうへ、山間地と都市部の降水を同時にしかも長期間にわたって調査した報告例はほとんどない。安田ら(1991)は富山県における酸性降下物を市街地と山間地で比較し、市街地の降水は山地よりイオン成分濃度が高いことを明らかにした。海岸近くの市街地から山地にかけて順次降水中の総イオン量が減少したが、これは人為活動の活発な市街地の狭域的な汚染の影響であると結論づけた。埼玉県においては、大滝村(山間地)より寄居町や浦和市のほうが降水のCl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻濃度が高いために低いpHと高いECを示したが、その原因の一つには都市を中心として多く発生している大気汚染物質が降雨によってウオッシュアウトされたためと考えられる。

大気汚染常時監視測定結果報告書(埼玉県環境部大気保全課, 1996)によれば、大気中の二酸化窒素濃度の年平均値では寄居町が0.013ppmに対し、浦和市では0.027ppm、二酸化硫黄では寄居町が0.004ppmに対し浦和市では0.007ppmと、都市部の浦和市においてより大気汚染が進んでいる。しかもこの測定値は、過去5年間でほとんど変化していない。しかし、浦和市と比較して大気汚染物質の発生が少ないはずの寄居町において、降水のpH及びECが浦和市に匹敵する値をとっていた。また、浦和市に近い川口市と、寄居町に近い本庄市で測定された降水でもpHとECに大きな差はみられなかった(埼玉県環境部大気保全課, 1989-1997)。降水中のNO₃⁻濃度の年平均値は、寄居町と浦和市でそれぞれ1.74、1.99mg/L、SO₄²⁻濃度はそれぞれ1.65、2.34mg/Lであった。このように寄居町と浦和市の降水中のイオン濃度の差は、大気中の二酸化窒素や二酸化硫黄濃度の差と比較すると小さかった。鈴木・河村(1989)によれば、暖候季の4月から8月の日中には大規模な海風が発達し、東京湾から関東平野を通り、高崎市から長野県に向かう気流パターンが優占する。この気流によって東京湾地域で発生した大気汚染物質が平野部に向かって移動し、碓氷峠をこえて長野県へ侵入する(栗田・植田, 1986; Kurita and Ueda, 1986)。そ

Jpn. J. For. Environment 41 (1), 1999

の途中で汚染物質は、寄居町、深谷市から高崎市にかけて大量に地面に沈着する(植田, 1990)。寄居町の降水のpH, ECおよびイオン濃度が、都市部の浦和市と匹敵する原因は、これらの気流による汚染物質の輸送を原因とする可能性が高い。また、4月から8月にかけて寄居町と浦和市の降水中のイオン濃度が高く、低いpHと高いECを示すのも、このような汚染物質の輸送がこの時期に大量に行われるからと考えられる。一方、9月から3月にかけても同じような海風は頻度が低いものの出現しており、寄居町では浦和市に匹敵する降水中のイオン濃度が測定されている。

埼玉県の西部に位置する大滝村は、近くに大気汚染物質の発生源がないのに、海拔2,000m近い奥秩父連山によって関東平野から隔てられている。そのために、大気汚染物質が山脈を越えて東京湾地域から直接輸送されることはないと考えられる。しかし、降水のpH・EC・NO₃⁻、SO₄²⁻濃度の季節変化は寄居町・浦和市のそれとほぼ一致しており共通の原因があると考えられる。東京湾から関東平野を通り、高崎市から長野県に向かう気流パターンが出現するときには、寄居町から秩父盆地に向かって東風が吹き込む。この風によって濃度が低くなった大気汚染物質が大滝村へ流入している可能性が高い。しかし、大滝村におけるECの平均値10.3 μS/cmは、富山県のバックグラウンド地域である有峰(海拔1,000mの山地)で測定された降水のECの年平均値9.77 μS/cm(安田ら, 1991)に匹敵しており、また太平洋側の清浄な地域とされる大台ヶ原で測定された1984年11月の14.79 μS/cm(松本ら, 1986)より低かった。降水が東京湾地域の大気汚染物質の影響をわずかに受けている可能性があるものの、他地域の降水の性質と比較すると、大滝村を関東地方のバックグラウンド地域の一つと位置づけることが可能である。

5. 謝 辞

本研究をまとめるにあたり、埼玉県公害センターの小川和雄博士には有益なご助言と原稿の校閲をいただくとともに、イオン分析のためにイオンクロマトグラフィックアナライザーを使用させていただいた。富山県林業技術センター林業試験場の安田洋氏と電力中央研究所の梨本真博士には有益なご助言をいただいた。また、千島禎子氏、二ノ宮喜八郎氏、江原洋夫氏、後藤克己氏、浅見明氏、福田忠彦氏、込田明広氏、五味正人氏および埼玉県林業試験場の高柳載雄主任、田口茂主任、福島和孝主任、島田孝行技師、井上昇午技師、武政直夫技師には降雨・降雪の採取に当たり御協力いただいた。これらの方々に心から感謝の意を表したい。なお、研究費の

一部は林野庁林業普及情報活動システム化事業「酸性降下物等の森林生態系に及ぼす影響」によった。

引用文献

- 北島薫(1988):中央ヨーロッパ森林衰退の現状と研究状況. 日本生態学会誌38: 269-277.
- 越地正・鈴木清・須賀一夫(1996):丹沢山地における森林衰退の調査研究(I)ブナ, モミ等の枯損実態. 神奈川森林研究所研究報告22: 7-18.
- 熊谷地方気象台(1989-1996):埼玉県気象月報. 熊谷.
- 栗田秀実・植田洋匡(1986):沿岸地域から内陸の山岳地域への大気汚染物質の輸送および変質過程. 大気汚染学会誌21(5): 428-439.
- Kurita H. and Ueda H. (1986): Meteorological conditions for long-range transport under light gradient winds. Atmospheric Environment 20(4): 687-694.
- 松本光弘・西川喜孝・西川雅隆・溝口次夫(1986):山岳地域である大台ヶ原における雨水成分濃度. 大気汚染学会誌21(2): 165-172.
- 森川靖(1990):平地スギ林の衰退. 第31回大気汚染学会講演要旨集: 178-179.
- 梨本真・河野吉久(1989a):ヨーロッパにおける森林衰退とその研究の現状. 電力中央研究所報告U89015: 37.
- 梨本真・河野吉久(1989b):スギ衰退とオキシダント, 降雨量の分布に関する一考察. 電力中央研究所報告U89017: 1-12.
- 小川和雄・松本利恵・高野利一(1992):埼玉県平地部におけるスギの衰退とその要因. 人間と環境18(2): 61-69.
- 埼玉県環境部大気保全課(1989-1997):大気環境調査事業報告書(昭和63年度-平成8年度). 浦和.
- 埼玉県環境部大気保全課(1996):大気汚染常時監視測定結果報告書(平成7年度). 浦和.
- 佐々木重行・高木潤治・西尾敏(1991):福岡県の山間部における降水および渓流水のpHと数種の成分について. 森林立地33(1): 1-7.
- Sekiguchi K., Hara Y. and Ujiie A. (1986): Dieback of *Cryptomeria japonica* and distribution of acid decomposition and oxidant in Kanto district of Japan. Environmental Technology letters 7: 263-268.
- 島田和則・吉武孝・後藤義明・岡野通明・森澤猛(1993):男体・白根山における樹木枯損現状と考察. 第44回日本林学会関東支部大会発表論文集: 67-69.
- 鈴木清(1992):神奈川県大山のモミ林枯損経緯とその周辺地域の年輪幅の変化. 神奈川県林業試験場研究報告19: 23-42.
- 鈴木力英・河村武(1989):中部日本における地上の気流パターンの季節性およびその総観規模の気圧場との関係. 地理学評論62A-5: 375-388.
- 高橋啓二・沖津進・上田洋匡(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28(1): 11-17.
- 植田洋匡(1990):酸性雨. (講座「地球環境」第1巻 地球規模の環境問題〈1〉, 大来佐武郎監修, 390pp, 中央法規出版, 東京). 185-244.
- Ulrich, B., Mayer, R. and P.K. Khanna (1980): Chemical changes due to acid precipitation in a Loess-derived soil in Central Europe. Soil Science 130: 193-199.
- 脇孝介・車戸憲二・松橋達也(1990):山地地域における雨水の酸性化の実態について. 第101回日本林学会大会発表論文集: 253-254.
- 安田洋・藤井國博・岡本玲子(1991):富山県における降水中の酸性降下物質の特徴. 森林立地32(2): 59-64.
- 横堀誠(1989):酸性降下物等の森林に対する影響—中部欧州での森林枯損の実状とその原因について—. 森林と肥培142: 17-19.