特集・酸性雨による森林生態系等への影響

各種の林分における降水、樹幹流および
樹冠通過雨の pH と EC

片山 幸士*・岸田 多代*

1. はじめに

近年、温暖化、オゾン層の破壊、酸性雨などが地球規模での環境問題となっており、それらは緊急に解決しなければならないと考えられている。この中の酸性雨については、1970年代になると、欧米で森林の衰退や破壊、湖沼の生物相の変化などの被害が顕在化しており¹⁾、日本でも関東地方で針葉樹林の衰退が見られるようになってきているとの報告がある²⁾。

ところで、降水が樹冠部に達すると、遮断、樹幹流および樹冠通過雨の3つの成分に分かれるが、そのうち樹幹流と樹冠通過雨が林内に入り、それらが土壌を通過し、最終的には流出水として林外に出ていく。森林内での降水の流れについては3つの成分のうち、直接林床に達するのは樹幹流と樹冠通過雨の2つであるため、それらの化学的性質の変化を明らかにすることは、林内の植物相や土壌、さらには流出水が流れ込む下流河川の水質への、降水をはじめとする各成分が与える影響を知る上で、非常に重要である。とくに、国土の7割を森林が占めている我が国の環境問題にとって、この課題の意義は大きい。

これまでに、樹幹流や樹冠通過雨における物質濃度の変化についての報告は数多くなされている^{3,4)}。しかし、物質濃度には様々な要因、たとえば林分の違い、人間活動、季節変動、降水量の変化等が影響する。本稿では、森林内における降水の化学的な性質が、樹幹流と樹冠通過雨でどのように変化するかを知るために、同一環境下にあり、ほぼ純林に近い多数の林分での降水、樹幹流および樹冠通過雨の pH と EC（電気伝導度）について述べる。

2. 調査地の概要

京都市北区に位置する京都大学農学部附属演習林上賀茂試験地を試料採取地とした。試験地は、京都市内にあるにもかかわらず、近隣に農村地帯も残っており、付近には教育施設や住宅地がある程度で、交通量も多くはない。また、大規模、あるいは中小規模の工場も存在していない。

試験地の1964年から1993年の30年間の年平均気温は14.5℃、年間降水量は1598mm（1128～2200mm）であり、例年10cm程度の積雪が1～2回みられたが、近年、降雪は少なくなっている。ただし、今回の調査期間中では、1995年12月26日、27日の2日間にわたり、30cmの積雪を記録した。

試料採取地点は、おもに試験地内の育成林を選んだが、それ以外では、他の樹種からの影響が少なくなるよう、できるだけ同一樹種の多い場所で採取した。

3. 試料の採取と分析方法

降水は直径30cmのポリエチレン製漏斗をつけた20ℓのポリ容器で採取した。樹幹流は地上高約1.5mの部位に厚さ0.3mmのポリシートを巻き付け、そのあいだに挟んだ漏斗と直径10mmの塩化ビニル製チューブを通して20ℓのポリ容器に採取した。また、樹冠通過雨は降水と同じ容器を樹冠直下に置いて採取した。

試料の採取は1995年11月から1996年6月までの計10回、原則として2週間おきに行った。降水は試験地内の離れた3ヶ所で採取した。また、広葉樹9種、針葉樹10種の計19種から樹幹流および樹冠通過雨を各樹種1点ずつ採取した。落葉の有無に関わらず、樹冠直下で採取した試料については、樹冠通過雨として取り扱った。採取試料を孔径0.45μmのミリポ

* 京都大学大学院農学研究科
Yukio KATAYAMA, Kazuyo KISHIDA

アフィルターでろ過した後、さらに孔径 $0.22\mu\text{m}$ のミリポアフィルター通過分をpHとECの測定に供した。

4. 林内における降水のpH変化

降水3点、全樹種における樹幹流および樹冠通過雨の採取日ごとのpHの平均値の季節変動を図-1に示す。測定期間中、降水のpHは4.47~6.51の範囲にあった。日本における酸性雨の基準は、環境庁がpH5.6以下と定めている。降水試料30点のうち5.6以下のものが18点で、測定期間中の試料の半分以上が酸性雨に相当した。

佐々らの盛岡市周辺の森林における調査結果⁵⁾では、降水と樹幹流で、どちらのpHが大きいかは関係なく、樹冠通過雨(林内雨)のpHは常に降水(林外雨)と樹幹流の間に位置していた。すなわち、降水<樹冠通過雨<樹幹流、あるいは樹幹流<樹冠通過雨<降水ということである。しかし、岩井⁶⁾、真田ら^{7,8)}、片山ら⁹⁾等の結果は、必ずしも上記のような関係にはなかった。今回の実験でも、広葉樹では、樹

幹流と樹冠通過雨はともに、降水よりもpHがやや高くなる傾向にあったが、常に一定の関係は得られなかった。一方、針葉樹では、樹幹流と樹冠通過雨は、ともに、降水よりも低いpHを示した。また、広葉樹、針葉樹とも、樹幹流は樹冠通過雨よりも低い値を示した。

樹幹流のpHの平均値の範囲は、広葉樹で4.67~5.61、針葉樹で3.61~4.50であった。樹冠通過雨は、それぞれ、4.82~6.36、4.44~5.25の範囲にあった。これらは、降水の4.47~6.51に比べ、かなり小さい。そこで次に、降水、各樹種ごとの樹幹流および樹冠通過雨におけるpHの変動幅を、それぞれ、図-2と図-3に示す。ここでは測定結果を、その範囲と中央値で示し、樹種は、落葉広葉樹、常緑広葉樹、落葉針葉樹および常緑針葉樹の4つに大別し、その中ではpHの中央値の順に並べた。

樹幹流におけるpHの中央値の最大値はサクラの5.58、最小値はスラッシュマツの3.56であった。また樹冠通過雨におけるpHの中央値の最大値はアオハダの6.20、最小値はヒマラヤゴヨウマツの4.49であった。樹幹流、樹冠通過雨ともに、広葉樹のほうが針葉樹よりもpHは高い傾向にあった。

とくにイチイガシ、マテバシイといった常緑広葉樹の樹冠通過雨でpHの変動幅が大きいのは、降水と葉の接触面積や接触時間の違いによるものと考えられる。さらに、ヒメシャラ、ツクシネリコといった落葉広葉樹の樹冠通過雨でpHの変動幅が大きいのは、試料採取時期が落葉期と開葉期の両方に重なっているため、葉をつたって落ちてくる場合と、枝のみにあたって落ちてくる場合の両方が含まれることが原因であると考えられる。したがって、これらのことを確認するため、現在も試料採取を継続しているので、今後、季節変動による影響を明らかにすることができる。

5. 林内における降水のEC変化

降水3点、全樹種における樹幹流および樹冠通過雨の採取日ごとのECの平均値の季節変動を図-4に示す。針葉樹における樹幹流の欠損値は、試料の量が少なく測定できなかったためである。

調査期間中、樹幹流および樹冠通過雨のECは降水より高い値を示していることから、林内での試料水中の溶存物質質量が増加していることは明らかである。

図-1 降水、樹幹流および樹冠通過雨のpHの季節変動
(a)広葉樹 (—▲—降水, —■—樹幹流, —●—樹冠通過雨)
(b)針葉樹 (—▲—降水, —□—樹幹流, —○—樹冠通過雨)

図-2 各樹種の樹幹流と降水の pH

(a)落葉広葉樹 (b)常緑広葉樹
(c)落葉針葉樹 (d)常緑針葉樹

図-4 降水、樹幹流および樹冠通過雨の EC の季節変動

(a)広葉樹 (—▲— 降水, —■— 樹幹流, —●— 樹冠通過雨)
(b)針葉樹 (—▲— 降水, —□— 樹幹流, —○— 樹冠通過雨)

図-3 各樹種の樹冠通過雨と降水の pH

(a)落葉広葉樹 (b)常緑広葉樹
(c)落葉針葉樹 (d)常緑針葉樹

また、12月11日の樹冠通過雨と1月6日に採取した樹幹流のECは他に比べかなり高い。12月11日の試料は、非常に降水量の少ない期間中のものであり、1月6日の試料は、12月後半の積雪が溶けたものであった。すなわち、これらの試料は他の採取期間に比べて、著しく異なる気象条件下にあったといえる。このことより、電気伝導度が、降水量や降雪の影響

を受けることは明白である。

樹幹流のECの平均値の範囲は、広葉樹で29.6~233.4 μ S/cm、針葉樹で92.0~364.7 μ S/cmであった。樹冠通過雨はそれぞれ、17.7~206.6 μ S/cm、24.1~223.1 μ S/cmの範囲にあった。これらは降水の5.7~66.3 μ S/cmよりかなり大きい。そこでpH同様、樹種ごとの違いをみるために、樹幹流および樹冠通過雨におけるECの変動幅をそれぞれ図-5と図-6に示す。pHと同様ECについても、測定結果を、測定値の範囲と中央値で示した。

樹幹流における中央値の最大値はスラッシュマツの172.3 μ S/cm、最小値はマテバシイの15.4 μ S/cmであった。そして樹冠通過雨における中央値の最大値はヒマヤゴヨウマツの65.5 μ S/cm、最小値はツクシネリコの23.7 μ S/cmであった。

樹幹流のECは、樹冠通過雨に比べ中央値が高く、樹種ごとの差も大きい。これは、葉と幹とでは、表面からの溶脱物質量や、付着物質の洗い出し量に違いがあるためと推測される。また、各樹種ごとでも、同様の違いのあることがわかる。

図一五 各樹種の樹幹流と降水のEC
(a)落葉広葉樹 (b)常緑広葉樹
(c)落葉針葉樹 (d)常緑針葉樹

図一六 各樹種の樹冠通過雨と降水のEC
(a)落葉広葉樹 (b)常緑広葉樹
(c)落葉針葉樹 (d)常緑針葉樹

また、ECは、pHに比べ、非常に高い値があり、その結果、測定した10点での変動幅が非常に大きくなっている。これらの値は、上に述べたように12月11日、あるいは1月6日の測定値であるため、ECにあたる降水量や降雪等の影響は大きいと考えられる。

6. おわりに

降雨量、降雨密度、樹種、樹齢等によって変動するが、ある程度、森林が完成すれば降水量に対して、クローネ遮断量5～25%、樹冠通過雨量70～90%、樹幹流量～10%である。林地に達する量は樹冠通過雨は樹幹流の約10倍である。しかし、針葉樹では、樹冠通過雨に比べて樹幹流のpHは平均して1、水素イオン濃度で10倍大きい。したがって、この2つの媒体によって林地に達する水素イオン量はほぼ等しい。樹幹流量は樹冠通過雨量の10%程度であるが物質の濃度が高いので、負荷量は大きい。また、ここでは示さなかったが同一樹種の樹幹流について、pHは個体差は小さいが、ECではかなり大きい結果を得ている。このように林地への各種イオンの負荷量は、樹種、季節、降水・降雪等に加えて、同一樹種でも個体によって差異がある。現在、これらの要因を考慮した実験を継続中であり別の機会に報告する。

引用文献

- 1) B. Ulrich, Environmental Science & Technology, 24, 436 (1990).
- 2) 八木久義他, 資源環境対策, 29(2), 139 (1993).
- 3) 岩坪五郎他, 京大演報, 39, 110 (1967).
- 4) 井上克弘他, 日本土壤肥料学雑誌, 64(3), 265 (1993).
- 5) 佐々朋幸他, 森林立地, 32(2), 43 (1991).
- 6) 岩井宏寿他, 日林論, 104, 377 (1993).
- 7) 真田勝他, 森林立地, 33(1), 8 (1991).
- 8) 真田勝他, 日林論, 103, 257 (1992).
- 9) 片山幸士他, 環境科学会1995年会講演要旨集, 104 (1995).