

論文内容の要旨

森林科学 専攻

平成 22 年度博士課程 進学

氏 名 今 村 直 広

指導教員名 大 手 信 人

論文題目 Study on atmospheric inputs of dissolved ions to temperate forests on the Kanto Plain, Japan

(関東平野の森林における溶存イオンの大気降水物としての流入機構に関する研究)

本研究は、我が国の温帯林における溶存イオンの大気降水物としての流入機構を明らかにするために、関東平野の大気環境の異なる 2 つの温帯林の常緑針葉樹林と落葉広葉樹林において林内雨、樹幹流等の大気降水物量の観測を実施し、1) 大気から供給される溶存イオンの起源、2) 溶存イオンの森林への供給過程における、常緑針葉樹と落葉広葉樹の違いがもたらす影響、3) 溶存イオンの森林への供給過程における、針広混交林と常緑針葉樹林の違いがもたらす影響の 3 点に関し考察をおこなったものである。

第 1 章では、現在の我が国にもたらされる大気降水物の特徴と、溶存イオンの森林への供給過程に影響していると考えられる要因を整理し、本研究の目的を提示した。

今後、経済発展に伴う人為起源の物質の排出量の増加が予想される東アジア地域に位置する我が国の森林生態系において、物質循環や河流水質への影響を予測するうえで、大気から森林への大気降水物の量的・質的把握と樹冠や林床への流入機構を把握することは、益々重要になると考えられる。

我が国では、林内雨、樹幹流の観測を用いて、これまで様々な場所で森林への溶存イオンの供給過程に関する研究が行われてきた。しかし、我が国では風向や気温等の気象条件が季節的に変化するため、森林における典型的な大気からの溶存イオンの供給量や供給過程を明らかにするためには、海洋起源の物質であれば、日本海と太平洋からの輸送の影響が検出できる観測、人為起源の物質と土壌起源の物質であれば、大陸からの長距離輸送と近傍の都市域からの輸送の影響が検出できる観測が必要となる。また、降水の組成と酸性度は、樹冠での溶存イオンの吸収や溶脱に影響するため、森林への大気降下物の供給源が季節的に変化する場合、常緑樹林か落葉樹林かの違いが、それに影響を与えている可能性も考えられる。そこで本研究は、関東平野を例とし、日本の温帯林における溶存イオンの湿性沈着、乾性沈着、樹冠での吸収・溶脱等の森林へ流入機構を明らかにすることを目的とした。

第2章では、本研究で対象とする観測地及び観測、分析、解析方法の詳細を述べた。

観測は、埼玉県西部に位置する東京大学秩父演習林内の針広混交林とスギ人工林（以下、秩父）、東京都西東京市に位置する東京大学田無演習林内の落葉広葉樹林とスギ人工林（以下、田無）において行った。両サイトに設置したタワーを用い、樹冠上の一般気象要素（風速、風向、気温、湿度、日射量）と大気中のガスと粒子状物質を測定した。また、秩父ではブナ、イヌブナ、ツガ林分を対象に、2009年から2012年の4カ年にわたって、スギ林分を対象に、2011年から2012年の2カ年にわたって、田無ではスギ、クヌギ林分を対象に、2010年から2012年の3カ年にわたって、林外雨、林内雨、樹幹流の主要無機イオン沈着量の観測を実施した。両サイトの乾性沈着量と樹冠での吸収・溶脱量は、溶存イオンごとの化学的な特性を考慮する Canopy Budget Model を用い、観測された湿性沈着量、林内雨沈着量、樹幹流沈着量から算出した。本解析では、溶存イオンの起源から、湿性沈着量と乾性沈着量は、海洋起源の物質（ Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} ）、人為起源の物質（ SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ ）、土壌起源の物質（ Ca^{2+} 、 K^+ ）に区分し、溶存イオンの化学的な特性から、樹冠から溶脱する溶存イオン（ K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} ）、樹冠内で吸収される溶存イオン（ H^+ 、 NH_4^+ 、 NO_3^- ）に区分し、検討を行った。

第3章では、秩父と田無における、湿性沈着量、各林分の林内雨沈着量、樹幹流沈着量、林床へ供給される全沈着量、乾性沈着量、樹冠での吸収・溶脱量、ガスと粒子状物質による乾性沈着量の年間の総量と季節変化の観測結果を示した。

年間の湿性沈着量とスギへの乾性沈着量は、人為起源の物質である SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ で、環境省による日本の全国平均値に比べ、秩父で低く、田無で高かった。また、多くの溶存イオンで、湿性沈着量の季節変化は、秩父と田無で類似していたが、スギへの乾性沈着量の季節変化は、秩父と田無で異なっていた。また、粒子状物質による乾性沈着量は、秩父よりも田無の方が多かった。年間の溶脱量と吸収量は、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ で、両サイトにおいてスギより広葉樹の方が多く、それらの季節変化は、全ての樹種で休止期よりも生育期の方が多かった。

第4章では、上記の観測結果をふまえ、以下の3点の考察を行った。

(1) 秩父と田無における、湿性沈着量とスギ林分への乾性沈着量の季節変化と気象条件から、関東平野における大気降下物としての溶存イオンの供給源の季節変化を考察した。

海洋起源の物質である Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} の湿性沈着量と乾性沈着量は、両サイトにおいて、晩春から秋季に太平洋からの南風と台風により増加したが、晩秋から春季に日本海側からの強い季節風にも関わらず急激に増加しなかった。このことから、関東平野における海洋起源の物質は、年間を通して太平洋から供給されている割合が高いことが示唆された。人為起源の物質である SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ の湿性沈着量と乾性沈着量は、田無において晩春から秋季に増加した。この内、 NH_4^+ の乾性沈着量は SO_4^{2-} と NO_3^- の乾性沈着量と相関関係を示した。これらから、晩春から秋季の関東平野には、東京湾岸の工業地帯から排出された NO_x , SO_2 が酸化し、 NH_3 と反応した2次エアロゾル (NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) が、南風により供給されていることが示唆された。一方、秩父における SO_4^{2-} と NH_4^+ の乾性沈着量は晩秋から春季に増加し、両者の間に相関関係は見られなかった。このことから、晩秋から春季の関東平野には、大陸起源の $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ が、強い季節風により供給されていることが考えられるが、大陸から日本海を経る長距離輸送の過程で、気塊中の SO_4^{2-} が NH_4^+ に対して相対的に増加するために両者の相関が弱くなっているものと考えられる。土壌起源の物質である Ca^{2+} の乾性沈着量は、両サイトにおいて、黄砂の飛来が確認されている月よりも他の月の方が大きかった。このことは、 Ca^{2+} の乾性沈着の起源が、黄砂である可能性が低いことを示している。

(2) 秩父と田無におけるスギ林分と落葉広葉樹林分（ブナ、クヌギ）を比較することにより、常緑針葉樹と落葉広葉樹の樹冠の違いが乾性沈着量と吸収・溶脱量に与える影響を考察した。

落葉広葉樹の着葉期（展葉期、成熟期、紅葉期）では、海洋起源の物質である Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} と土壌起源の物質である Ca^{2+} , K^+ の乾性沈着量は、両サイトにおいて、落葉広葉樹よりもスギの方が多かった。また、人為起源の物質である SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ の乾性沈着量は、秩父においてスギより落葉広葉樹の方が多く、田無において落葉広葉樹よりスギの方が多かった。人為起源の物質の乾性降下物はガス状と粒子状物質で構成される。そのため、乾性沈着の総量が少ない秩父では、着葉期にガス状の物質が高い湿潤度を持つ広葉樹葉面に沈着するメカニズムによる乾性沈着の方が顕著に観測されることが考えられた。一方、落葉期では、すべての溶存イオンの乾性沈着量は、両サイトにおいて、落葉広葉樹よりもスギの方が多くなり、少しでも乾性沈着があれば、落葉した樹冠よりも常緑針葉樹の樹冠の乾性沈着量が多くなることが明らかとなった。

溶脱への影響として、 K^+ と Mg^{2+} の溶脱量は、両サイトにおいて、展葉期と成熟期でスギよりも落葉広葉樹の方が多く、紅葉期と落葉期で落葉広葉樹よりスギの方が多かった。これは、展葉期と成熟期には、スギに比べ落葉広葉樹の生葉が K^+ と Mg^{2+} を高濃度で含有しているため、また、紅葉期と落葉期には、落葉広葉樹の葉が光合成に関連するガス交換を行

えないため、相対的にスギの方が大きくなると考えられた。また、 Ca^{2+} の溶脱量は、両サイトにおいて、全ての期間で落葉広葉樹よりもスギの方が多かった。これは、スギの生葉が高濃度で Ca^{2+} を含有しているためと考えられた。また、樹冠における吸収については、 NH_4^+ の吸収量は、秩父においてスギよりも落葉広葉樹の方が多く、田無において落葉広葉樹よりスギの方が多かった。一般に、粒子状の乾性沈着が多いほど植物表面に水の被膜が形成されやすく、それによってガス状の乾性沈着が増加する。その結果、葉の表面と内部の溶存ガス濃度に差が生じ、吸収量が増加することが知られている。 NH_4^+ の吸収量が、秩父においてスギより落葉広葉樹の方が多く、田無において落葉広葉樹よりスギの方が多かったのは、このメカニズムよると推測された。

(3) 秩父においてブナ、イヌブナ、ツガからなる針広混交林の生育期と休止期の乾性沈着量と吸収・溶脱量を、スギの人工林と比較することにより、針広混交林と常緑針葉樹林の林分構造の違いの影響を考察した。

針広混交林内のツガとスギの乾性沈着量の比較から、針広混交林の落葉広葉樹が落葉する休止期において、 Cl^- を除く全ての溶存イオンの乾性沈着量は、スギよりもツガの方が多く、生育期と休止期における乾性沈着量の差は、同様にスギよりツガの方が大きかった。このことは、休止期、強い北西の季節風があることと、針広混交林内の落葉広葉樹が落葉し、林分内の風速や渦に変化が生じて、乾性沈着量が同じ林分内のツガで増加することよると推測された。

第5章では、以上の観測結果と考察をまとめ、結論とした。