

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 豊永 悟史

降水は地球上の物質循環を考えるうえで重要なプロセスである。雲粒と雨粒は大気中のガスや粒子を吸収し、除去する。雲水に溶解したガスや粒子は化学変化を経て、別の物質を形成する。また、降水によって海域にもたらされるイオン成分が海洋生態系の進化と維持に重要な役割を果たしていることが近年の研究で明らかになってきている。特に東アジアでは、人為的な汚染物質の排出量の増加に伴い、陸域や海域における湿性沈着フラックスが増加しており、これが東シナ海の生物生産の増加に寄与している可能性が指摘されている。

総観規模で見れば、東シナ海の降水は主に温帯低気圧、停滞前線、台風の3種類の気象パターンによってもたらされる。これらの気象パターンは雲を作り出す気団の由来や熱力学的な性質が異なっていることから、降水の化学的性状が異なっていると推測される。長期間の観測データを用いた過去の降水化学や湿性沈着フラックスに関する研究は数多く存在する。しかし、そのほとんどは年や月単位の平均値を用いて評価されており、総観気象パターンとの関連性やその影響については十分な検討がされていないのが現状である。そのため、東シナ海において降水中のイオン変動を左右する要因は十分に解明されておらず、正確な月・季節・年変動の解釈も困難な状況にある。

本研究では、熊本県天草西岸域に設置されている苓北志岐大気汚染常時監視測定局 (32°30'N, 130°03'E; 5 m asl) における1996-2003年の降水中的イオン濃度の観測データを用いて、温帯低気圧、停滞前線、台風による降水化学の特徴を解析し、それらがイオン成分濃度の年変動や月変動、湿性沈着フラックスに与える影響を検証した。

総観気象パターンによる降水化学の違いを調べるために、パターン別のイオン成分濃度を解析した。温帯低気圧による降水中的の nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 nss-Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Cl^- の8年間の平均濃度はそれぞれ 32.1 ± 8.8 、 14.4 ± 3.7 、 15.3 ± 3.5 、 8.3 ± 3.4 、 68.6 ± 33.1 、 $80.9 \pm 40.9 \mu\text{eq l}^{-1}$ であった。対照的に、停滞前線による降水中的の濃度はそれぞれ 18.2 ± 7.5 、 8.1 ± 3.1 、 9.9 ± 4.2 、 4.4 ± 2.7 、 24.9 ± 6.2 、 $30.2 \pm 6.9 \mu\text{eq l}^{-1}$ と低い値であった。台風による降水 (全11事例) 中の Na^+ と Cl^- の濃度はそれぞれ 227.7 ± 518.3 と $275.6 \pm 619.4 \mu\text{eq l}^{-1}$ であり、全イオン濃度の79.2%を占めていた。後方流跡線と統計手法を用いた解析により、温帯低気圧と停滞前線による降水中的イオンの濃度差は、気団の由来と化学プロセスの違いにより生じていることが示唆された。年間の全降水中的の平均イオン濃度は温帯低気圧と停滞前線による降水によって主に決定されていた。SFによる降水量の年変動データを用いた試算から、停滞前線による降水量の年変動が年間の全降水中的の平均イオン濃度に強く影響しうることが示された。これらの結果は、降水化学の地域差の要因推定や正確な将来予測のためには、降水タイプを考慮する必要があることを示している。

各総観気象パターンは季節ごとに発生頻度が明確に異なる。この季節性が、イオン成分濃度の月変動

に与える影響を調べるために、月平均イオン濃度を解析した。温帯低気圧による降水が優占する 11-5 月の nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 nss-Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Cl^- の月平均濃度はそれぞれ 25.1-57.8、9.9-25.0、11.3-31.4、5.5-18.7、24.2-154.9、30.0-178.5 $\mu\text{eq l}^{-1}$ であった。停滞前線による降水が優占する 6-7 月の月平均濃度はそれぞれ 14.4-20.7、7.2-9.5、7.7-12.9、4.1-6.8、21.7-33.6、26.4-40.5 $\mu\text{eq l}^{-1}$ であった。台風による降水が生じる 8-9 月の Na^+ 、 Cl^- の月平均濃度は 97.7-105.3、116.8-122.9 $\mu\text{eq l}^{-1}$ と高い値を示し、他のイオン濃度は低い値を示した。これらの結果は、降水をもたらす総観気象パターンの違いが、降水中イオン濃度の月変動を決定づけていることを示している。各季節の特徴は次のようにまとめられる。晩秋から初春にかけて、降水中イオン濃度は高く、変動が大きい。これに比べて、梅雨の時期は、濃度が低く、変動も小さい。夏から秋にかけては、台風の影響を受けるため、 Na^+ と Cl^- 濃度が高く、他のイオン濃度は低い。

総観気象パターンが湿性沈着フラックスに与える影響を調べるために、各パターンによりもたらされた湿性沈着フラックスを定量的に解析した。陸域由来イオンである nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 nss-Ca^{2+} の平均フラックスはそれぞれ 37.6 ± 7.3 、 16.3 ± 4.2 、 19.0 ± 3.4 、 9.6 ± 4.8 $\text{meq m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ 、海域由来イオンの Na^+ と Cl^- ではそれぞれ 97.0 ± 38.2 と 115.2 ± 48.2 $\text{meq m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ であった。陸域由来イオンについて、温帯低気圧の寄与はほぼ全ての年で 50% 以上を占めていた。これらのイオンについては、停滞前線の寄与も認められたが、基本的に温帯低気圧の寄与に比べて小さい傾向を示した。特に、海の栄養塩として重要な窒素化合物 (NO_3^- 、 NH_4^+) は温帯低気圧の寄与が支配的であった。 Na^+ と Cl^- についても温帯低気圧の寄与が最も大きかったが、これらのイオンの濃度が極めて高い台風も一定の寄与を示した。以上の結果は、東シナ海地域の湿性沈着は温帯低気圧の寄与が支配的であることと、より詳細な経年変化及び地域差の解明のためには総観気象パターンを考慮する必要があることを示している。

本研究によって、東シナ海域における総観気象パターンに依存して降水中のイオン成分濃度が異なっており、各パターンの年変動や季節変動が平均のイオン成分濃度を決定づけていることが示された。これは、湿性沈着フラックスについても同じであり、栄養塩である窒素化合物の供給に温帯低気圧が特に重要な役割を果たしていることが示された。これらの研究成果は、東アジア域に関わっている大気汚染と酸性雨の問題への理解をより深くさせたと共に、降雨による海・島の生態系への影響の評価に大きく貢献するものと考えられる。

よって、豊永悟史君の研究は、博士（環境共生学）の学位に相応しいものと判定する。

主 査 熊本県立大学・教授 張代洲
