

## 学 位 論 文 要 旨

### 乾性沈着推定法を用いた東アジアにおける反応性窒素の大気沈着量評価 Assessment of atmospheric deposition of reactive nitrogen in East Asia using the dry deposition inferential method

環境資源共生科学専攻 環境保全学大講座  
伴 聡美

エネルギーと食料の消費に支えられている人間活動は、化石燃料の燃焼と化学肥料の施肥を通して環境へ過剰な反応性窒素を投入し、自然の窒素循環に深刻な影響を与えている。化石燃料の燃焼からは主に窒素酸化物が、化学肥料を施用した農耕地や家畜排せつ物からは主にアンモニアが排出される。大気へ排出されたこれらの反応性窒素は、大気中で変質しながら輸送されて広い範囲に沈着し、環境の酸性化、富栄養化を引き起こして生態系へ影響を与える。全球規模の化学輸送モデルを用いた数値計算予測により、世界の中で、アジア地域が最も窒素沈着による環境影響の危険性が高い地域であることが指摘されており、当該地域の窒素沈着について、観測に基づいた詳細な評価が行われることが望まれている。本論文では、東アジア地域における窒素沈着の生態系への影響評価に資するために、Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET)の観測結果を用いて、長期的かつ広域的に窒素沈着量を推計し、評価することを目的とした。窒素沈着量は、主に、降水中に存在する  $\text{NO}_3^-$  および  $\text{NH}_4^+$  の湿性沈着量と、ガス成分 ( $\text{HNO}_3$ 、 $\text{NH}_3$ ) および粒子成分 ( $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ ) の乾性沈着量の総和から求められる。本研究では、特に、これまで構築されていなかった乾性沈着推定法 (Inferential 法) の東アジアでの適用法を構築することに重きを置き、当該地域における窒素沈着の実態を明らかにした。

Inferential 法は、乾性沈着への寄与が大きいガス状および粒子状成分の濃度を測定し、各濃度とそれぞれの沈着のしやすさを表す沈着速度の積から乾性沈着量を求めるものである。沈着速度は、沈着面や気象など沈着速度へ影響を及ぼす要素のデータを入力して算出する。本研究では、最初に、EANET のモニタ

リングの現状に即して、長期的かつ広域的に反応性窒素の乾性沈着量を推計できる沈着速度計算条件の検討を行った。沈着速度計算に必要な大気安定度に関し、FM 多摩丘陵における乱流観測をもとに検討を行った結果、大気安定度の日内変動は、沈着速度の2週間平均値へ大きな影響を与えず、すべて中立と仮定した場合と10%程度の差に収まることを明らかにした。これにより、長期的な評価においては、大気安定度を中立と仮定することにより、EANET局で測定されている気象観測項目のみで沈着速度が推計可能と考えられた。さらに、ガスおよび粒子成分の乾性沈着量の総和の推計において、沈着速度算出のために必要な気象入力データに月平均値を用いた場合、1時間値を用いた場合と比べて10%程度の差に収まることが分かり、月平均値の気象データしか有効でないEANET局においても乾性沈着量が推計可能であると考えられた。以上の条件設定により、現時点で有効なデータを活用して Inferential 法による乾性沈着推計を行える手法を構築した。

上記の構築した手法を用いて、東アジアの地域スケールで初めてガス成分( $\text{HNO}_3$ 、 $\text{NH}_3$ ) および粒子成分( $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ )の乾性沈着量を推計し、降水成分( $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ )の湿性沈着量と合わせて、窒素沈着を評価した。評価の際には、モニタリングデータの完全度に注意を払い、推計結果の不確実性を考慮した。まず、モニタリング項目が充実し、データが蓄積されている EANET 国内 8 遠隔局において 2003 年から 2012 年の 10 年間を対象として、乾性沈着量推計を実施し、湿性沈着と合わせた窒素沈着の分布と長期的な変動を評価した。次に、EANET に参加する東アジア 7 カ国 20 局における 2010 年のデータを用いて、乾性沈着推計を実施し、同測定局を含む 26 局の湿性沈着と合わせて窒素沈着の分布を評価した。これらの解析から、窒素沈着量は、東アジアの広い範囲で高いレベルの値を示し、特に中国において極めて高い沈着量が推計された。一方、アジア大陸北方の内陸部（ロシア、モンゴル）や太平洋の離島（小笠原諸島）などの領域外縁部において低い沈着量が推計された。総沈着量に対する乾性沈着量の割合はアジア大陸北方の内陸部で高い値を示し、南方の東南アジアで低い値を示した。また、還元態窒素の割合は大陸全域で高い値を示し、日本の中央部で低い値を示した。日本の中央部では酸化態窒素の沈着が多く、総沈着量を引き上げる要因となっていた。離島における沈着量と排出量の収支解析から、窒素沈着量が比較的低い小笠原諸島の測定局においても還元態窒素の長距離輸送の影響が検出された。国内の対策により、酸化態、還元態窒素ともに排出量は減っているが、日本の遠隔域におけるこれらの沈着量は減っておらず、東アジア広域の発生源の影響を受けている可能性が示唆された。

本研究により、東アジア各地点における観測に基づく窒素沈着量を示し、当該地域の生態系への影響評価に向けて有用なデータベースを構築できたと考えられる。さらに、本研究で新たに構築された乾性沈着の推計手法は、東アジアにおける窒素沈着評価への取り組みを容易にするものであり、今後、東アジア各国へ普及して様々な研究に活用されることが期待される。