



東アジア域の人的活動による窒素化合物の日本周辺海域への影響を解明

経済発展が目覚ましい中国では、人的活動による窒素化合物 (NOx) の排出量が 2000 年から 2010 年で 2 倍以上に増加しています。NOx からは硝酸ガスや硝酸塩などさまざまな反応性総窒素化合物 (以下、窒素化合物) が生成され、国境を越えて運ばれてくる途中、東シナ海や日本海などの海洋へも沈着し、海洋生態系にも大きな影響を与えることが危惧されています。九州大学応用力学研究所と電力中央研究所の研究グループは、大気中の大気汚染物質の動きが詳細にわかる化学輸送モデルを用いて、日本周辺海域における、大気から海洋への窒素化合物沈着量を解析しました。

本研究では、海洋から発生する粒子径の大きな海塩粒子 (波しぶきが蒸発して残った塩分) の表面での硝酸ガスの取り込み・沈着に着目しました。その結果、黄海・東シナ海・日本海の合計で、2002-2004 年の年間平均の窒素化合物沈着量は 733 Gg-N/年 (日本東岸の北西太平洋域では 730Gg-N/年) でした。これは海塩粒子による取り込みを含まない場合の約 2 倍です。

中国の人的活動による NOx 排出量は 5377 Gg-N/年で、中国国内 (陸上) では 2317 Gg-N/年の窒素化合物が沈着し、周辺の海域では窒素化合物として全体の 27%が沈着しています。このことから、中国から流れ出す窒素化合物のほぼ 1/2 が、中国東岸から日本東岸の全海域にかけて沈着していることがわかります。本研究により、海塩粒子に取り込まれた中国起源の窒素化合物が国境を越えて運ばれ、沈着することの重要性が初めて明らかとなりました。

本研究成果は、2016 年 5 月 27 日 (金) にアメリカ地球物理学連合 (American Geophysical Union) の研究レター誌「Geophysical Research Letters」のオンライン版に掲載されました。

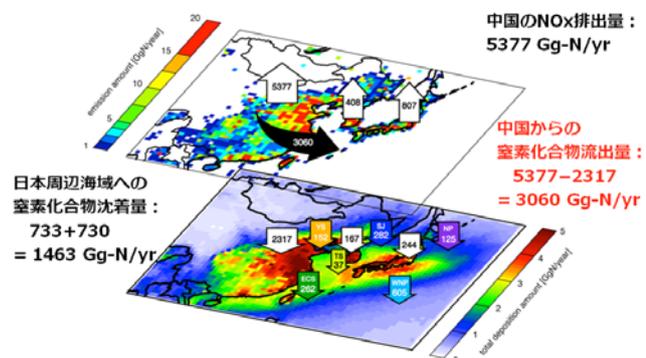
研究者からひとこと：

本研究では 2002-2004 年の解析を行いました。2010 年には NOx の発生量は 2 倍以上に増加し、それに伴い沈着量も増加していると考えられます。硫酸塩やススが中心の PM_{2.5} 越境大気汚染に社会の関心が集中していますが、硝酸塩のように PM_{2.5} より大きい粒子の越境汚染や沈着に伴う環境インパクト研究も進める必要性を指摘したいと思います。



板橋 秀一 電力中央研究所主任研究員 (左)、鶴野 伊津志 主幹教授 (右)

日本周辺海域への窒素化合物沈着量



日本周辺海域への窒素化合物沈着量は中国の排出量の27%に相当
日本周辺海域への窒素化合物沈着量は中国からの流出量の48%に相当

(参考図)

上段：中国・韓国・日本からの NOx の年間排出量と中国から流れ出す窒素化合物の年間総量。

下段：陸上・各海域へ沈着する年間総量。単位は窒素換算量。YS は黄海、ECS は東シナ海、TS は対馬海峡、SJ は日本海、WNP は北西太平洋、NP は北太平洋域での沈着量を示す。

【お問い合わせ】 応用力学研究所 主幹教授 鶴野 伊津志 (うの いつし)

電話：092-583-7771 FAX:092-583-7774

Mail: uno@riam.kyushu-u.ac.jp

■背景

中国内陸の乾燥域からの黄砂の越境輸送は古くから知られ、また、硫酸塩は酸性雨の問題と関連して1980年代後半から微小粒子状物質による越境汚染の影響が問題視されて来た。2009年9月には、微小粒子状物質PM_{2.5}の大気環境基準が制定されたが、長崎県の離島でもPM_{2.5}環境基準の未達成が報告され越境汚染の影響が指摘されている。特に、2013年1月には、北京など中国の広範囲の都市域で、健康被害をもたらすPM_{2.5}の超高濃度スモッグが発生し、「甚大な大気汚染」が報じられ、我が国への越境大気汚染による影響が危惧されている。PM_{2.5}は粒子径が2.5μm以下の微小な粒子を意味し、その主成分は硫酸塩(SO₄)、アンモニウム塩、黒色炭素(スス)、有機炭素、微小黄砂、微小硝酸塩である。一方、粒子径が2.5μmより大きな粗大な粒子も越境輸送されている。その代表は黄砂であるが、粗大硝酸塩も輸送されているがその動態は良くわかっていない。これらの物質は、最終的に乾性沈着や雨・雲による湿性沈着により地上に沈着し、陸上や海上生態系などにインパクトを与える。

日本周辺海域への窒素化合物の沈着について、我々は先行研究として東シナ海に沈着する窒素化合物の総量(140Gg-N/年)は揚子江から流入する負荷量に相当することを報告した(Uno et al., 2007)。しかし、先行研究ではPM_{2.5}以下の微小粒子による影響を検討したもので、粗大粒子の影響は含まれていなかった。海洋からは大量の海塩粒子(主成分はNaCl)が発生し、その表面では、 $\text{NaCl} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{HCl}$ なる化学反応で、大気中の硝酸ガスHNO₃が海塩粒子に取り込まれることが知られているが、この反応プロセスが東アジア域でどの程度の窒素化合物の越境輸送に重要かは知られていない。本研究では、海塩粒子に代表される粗大粒子による取り込み・沈着過程も考慮した検討を行い、東アジア域への窒素化合物の越境輸送と沈着分布と、中国からの窒素酸化物排出量との関係を示した。

■内容

研究には、米国環境保護庁(EPA)が開発・公開している化学輸送モデルCMAQ (Community Multi-Scale Air Quality Model)を利用した。アジア域の大気汚染質排出量として、REAS推計値を利用した。モデル計算は、検証のための観測データの整理されている2002-2004年の3年間を対象とした。図1に示した通り、東アジア域の排出量は中国が8割以上を占める。観測データとしては、東アジア酸性雨モニタリングネットワークや長崎県五島列島、学術研究船白鳳丸による地上観測データの大気中濃度や湿性沈着量を用いており、モデル結果と比較して、化学輸送モデルの結果の良好な再現性を確認した。

モデル計算により大気経由で海洋上に沈着する窒素化合物の年間総量を求めた。対象とした海域は黄海、東シナ海、対馬海峡、日本海、日本南岸の北西太平洋、北太平洋域である。海域毎に沈着する窒素化合物は窒素換算で図1に示した通りである。今回のモデル計算で見積もると、粗大海塩粒子に取り込まれる硝酸塩は、微小硝酸塩粒子のみの場合に較べて、東シナ海から日本海平均で1.6倍、北西太平洋では2倍に増加していた。例えば、東シナ海へは262Gg-N/年の沈着があり、これは先行研究の推計値の1.87倍に達し、粗大海塩による窒素化合物の取り込み・沈着の寄与が大きく、物質収支の観点からも粗大粒子による越境寄与の解析が重要であることを示している。

■今後の展開

沈着量は、中国からのNO_xの排出量の経年変化に比例することが先行研究で確認されている。今回のモデル計算は2002-2004年レベルのNO_x排出量与えているが、中国の急激な経済発展でのため現在のNO_xの排出量は2000年初めの水準の2倍以上に増加し、それに比例して沈着量も増加し、海洋や陸上生態系への大気経由の窒素供給が増大している。生態系への影響を考えた場合には、アンモニア態窒素(NH₄)の沈着も窒素の起源としては重要で、今後は、アンモニア態窒素を含めた研究展開も必要である。

■論文

タイトル : Importance of coarse-mode nitrate produced via sea salt as atmospheric input to east Asian oceans.

著者 : S. Itahashi, H. Hayami, I. Uno, X.L. Pan, M. Uematsu

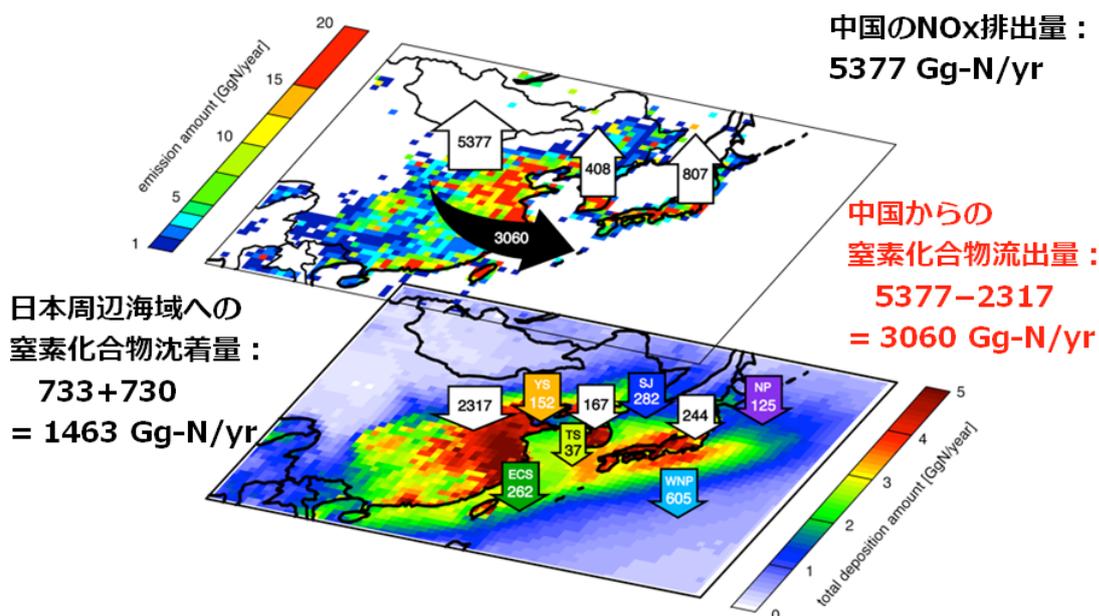
掲載雑誌 : Geophysical Research Letters, 43, doi:10.1002/2016GL068722 (2016).

タイトル : Numerical study of the atmospheric input of anthropogenic total nitrate to the marginal seas in the western North Pacific region

著者 : Uno I., M. Uematsu, Y. Hara 他

掲載雑誌 : Geophysical Research Letters, 34, L17817, doi:10.1029/2007GL030338, (2007)

日本周辺海域への窒素化合物沈着量



日本周辺海域への窒素化合物沈着量は中国の排出量の27%に相当

日本周辺海域への窒素化合物沈着量は中国からの流出量の48%に相当

図 1

上段：中国・韓国・日本からの NOx の年間排出量と中国から流れ出す窒素化合物の年間総量。
下段：陸上・各海域へ沈着する年間総量。単位は窒素換算量(Gg は 10^9 g で 1000 トンに相当)。
YS は黄海、ECS は東シナ海、TS は対馬海峡、SJ は日本海、WNP は日本南岸の北西太平洋（北緯 25 度から 35 度）、NP は日本東岸の北太平洋域（東経 150 度まで）での沈着量を示す。

■用語解説

化学輸送モデルCMAQ：

Community Multi-Scale Air Quality Model の略称で、米国環境保護庁が開発・公表している。大気中の化学物質の発生・輸送・化学反応・沈着の諸過程を物理・化学法則に基づいて計算し、その挙動を解析することができる。

反応性総窒素化合物：

窒素酸化物 ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) からは、大気におけるさまざまな化学反応過程を経て硝酸ガス (HNO_3) や硝酸塩 (NO_3^-) が、また、量的には少ないが三酸化窒素 (NO_3)、亜硝酸 (HNO_2)、五酸化二窒素 (N_2O_5)、硝酸ペルオキシアセチル (PAN) などが生成される。これらを総称して反応性総窒素化合物 (NO_y) と呼ぶ。

東アジア酸性雨モニタリングネットワーク：

東アジア域の酸性雨問題への共通理解を形成し、その環境影響を防止するための政策決定に有益な情報を提供することを目的として 1998 年に設けられた政府間の枠組みを指す。大気汚染物質の大気中濃度や沈着量などの観測ネットワークを展開しており、現在では中国や韓国、東南アジア諸国など計 13 カ国が参加している。

アジア域排出量インベントリ REAS：

Regional Emission inventory in ASia の略で、アジア域の大気汚染物質の排出量データベースのこと。アジア域を空間解像度として緯度経度格子で 0.25 度、毎月の窒素酸化物 NO_x や硫黄酸化物 SO_x など全 30 種類の化学物質について産業や自動車、発電所などの全 24 区分からの排出量が整備されている。