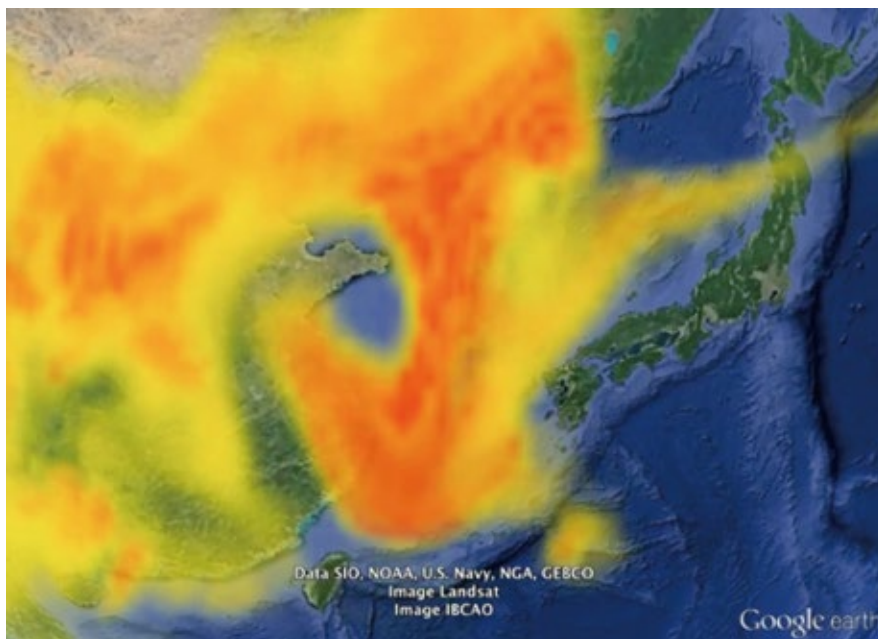




わが国のPM_{2.5}に対する国内外発生源の寄与を評価

— 国外人為源由来が国内人為源由来を上回ることが判明 —



越境するPM_{2.5}の数値シミュレーション結果(Google earthを利用して作成したマップ)

PM_{2.5}とは、大気中を浮遊する粒子状物質のうち、粒径が2.5マイクロメートル(μm : 1000分の1ミリメートル)以下の微小粒子状物質を指します。PM_{2.5}は呼吸器や循環器への影響が懸念されることから、わが国では2009年9月に環境基準が設定され、2010年度より濃度の監視が行われています。PM_{2.5}は様々な化学成分で構成され、それぞれに多種多様な発生源があり、大気中での生成や消滅の過程も複雑です。このため、PM_{2.5}の対策を効果的に進めるには、主要な発生源を見極め(発生源寄与解析)、原因物質の排出抑制によるPM_{2.5}低減効果を予測することが重要です。そこで、高精度の数値モデルを用いて、国内外の発生源寄与を評価した結果、わが国のPM_{2.5}の半分近くは国外の人為源由来であることがわかりました。

PM_{2.5}環境基準達成状況と対策検討

PM_{2.5}の環境基準達成状況

大気中には様々な大きさ、形、性状の粒子状物質が浮遊していますが、粒径別に濃度を測定すると一般に約1 μmを鞍部とする二山の分布となります(図-1)。このうち粒径の大きい粗大粒子(黄砂や海塩粒子など)は、おもに機械的な作用(破碎、破裂など)で生成します。一方の微小粒子には燃焼で生成したすす粒子や、燃焼や蒸発で発生したガス状成分が変質・粒子化した二次生成粒子などがあります。PM_{2.5}はこの微小粒子に該当します。

米国では1997年に、世界で初めてPM_{2.5}の環境基準が設けられました。約15年間にわたり8,000人あまりを追跡した疫学調査などで、PM_{2.5}の健康影響を強く示唆する結果が得られたことが根拠になりました。わが国ではこうした動きに対応して、2009年9月にPM_{2.5}の環境基準(年平均値15μg/m³以下、日平均値35μg/m³以下)が環境省で告示されました。翌2010年度に開始された濃度監視の結果によれば、2015年度の環境基準達成率(測定局で基準を満たす達成局の割合)は一般環境大気測定局^{*1}で74.5%(図-2)、自動車排出ガス測定局^{*2}で58.4%でした。この結果は前年度までに比べて大幅な改善となりましたが、2015年度は気象的な要因が大きかったことが示唆されており、排出抑制対策の強化は引き続き検討が必要とされています。

*1:地域の汚染状況を把握する測定局、*2:車による大気汚染を把握する測定局

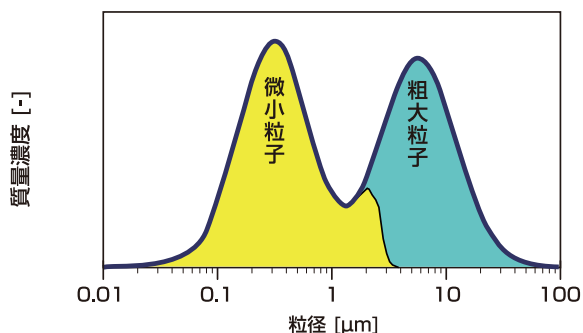


図-1 典型的な二山の粒径分布とPM_{2.5}(黄色の範囲)

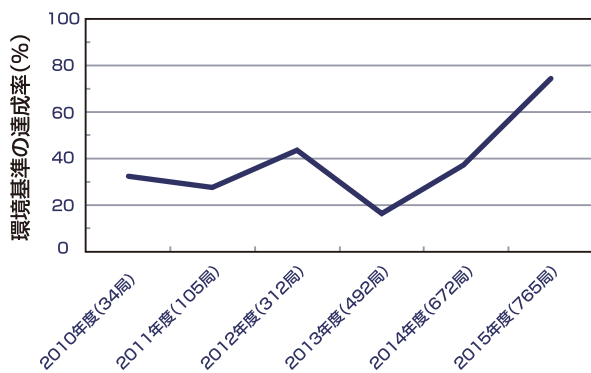


図-2 一般局における環境基準の達成状況(カッコ内は有効測定局数、環境省HP:「平成27年度 大気汚染状況について」より抽出)

PM_{2.5}対策検討のための大気質モデル

PM_{2.5}の対策を検討するには、原因物質がどこでどのくらい発生し、どのように運ばれてきたかを解明し、PM_{2.5}の大気中濃度と関係づける必要があります(発生源解析)。PM_{2.5}は、主に無機イオン成分(硫酸塩、硝酸塩、アンモニウム塩)と炭素成分(無機炭素、有機炭素)から成りますが(図-3)、無機炭素以外の4成分は大気中で数多くの化学成分が関与する複雑なメカニズムで生成します。また、これらが粒子化すると大気中に数日以上滞留し、距離にして数百~数千kmを移動することがあるので、広範囲の発生源が関与することとなります。しかも、昇温・乾燥などにより揮散する粒子成分もあり、粒子化してからも挙動は複雑です。このため、PM_{2.5}の発生源解析には、大気中の物理・化学過程を考慮して多種多様な物質の挙動を数値計算により求める大気質モデル(図-4)が使われています。具体的には、水平方向に数千km四方、地表から高さ数十km程度までの空間を、細かな三次元仮想格子でメッシュ状に区切り、原因物質の発生、移流・拡散、化学反応、粒子生成・成長・揮散、降水による除去(湿性沈着)、地表面への付着(乾性沈着)による物質収支を計算して、濃度の時間変化を求めています。

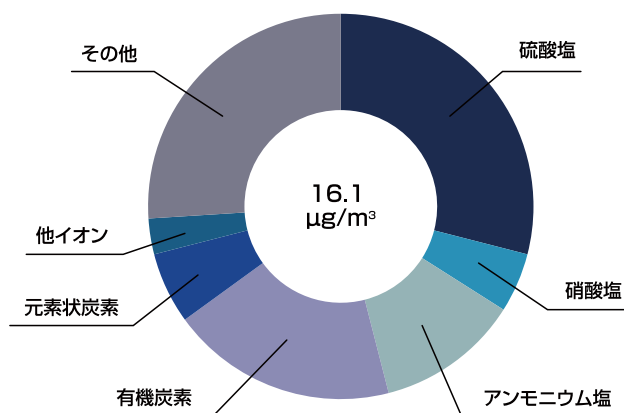


図-3 PM_{2.5}の化学組成(2015年度環境省調査:環境省HP)

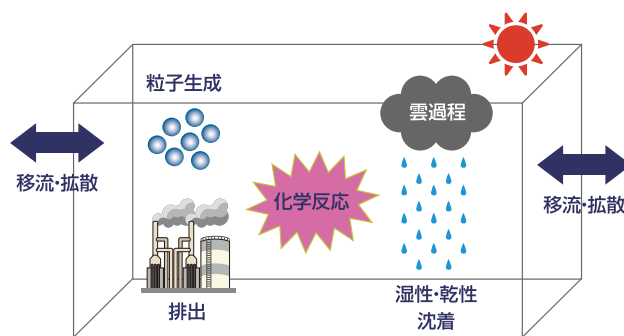


図-4 大気質モデルの各計算格子で考慮される物理・化学過程

2

PM_{2.5}の発生源解析

大気質モデルの再現性検証

当研究所では、米国で開発された大気質モデルCAMx (Comprehensive Air quality Model with eXtensions) にトレーサ法³を付加してPM_{2.5}の発生源解析を進めています。具体的には、数値気象モデルにより作成した詳細な気象データと、各種発生源からの原因物質排出量データをすべての仮想格子に入力し、2010年度の毎時刻の濃度を求めました。その結果を実際の観測データと比較して、計算結果の妥当性を検証しました。図-5では、2010年度に全国で測定されたPM_{2.5}濃度の月平均濃度をCAMxの計算結果とともに示しています。これによると、計算結果は観測結果よりも夏に高く、冬に低いものの、季節変化をほぼ再現しています。また、化学成分別(図-6)にみると、計算結果は観測結果よりも有機炭素は少なく、硝酸塩は多いといった課題はあるものの、他の成分はほぼ観測値に一致していることから、CAMxの計算結果は概ね妥当であることが確認できました。

³:発生源から排出された大気汚染物質に目印をつけ、それを追跡(トレース)することで寄与を評価する手法

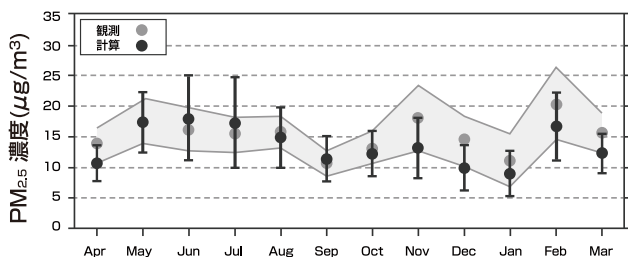


図-5 PM_{2.5}の全国月平均濃度
(図中のハッチと線幅:観測と計算の各数値の標準偏差、図は板橋・速水2016から引用)

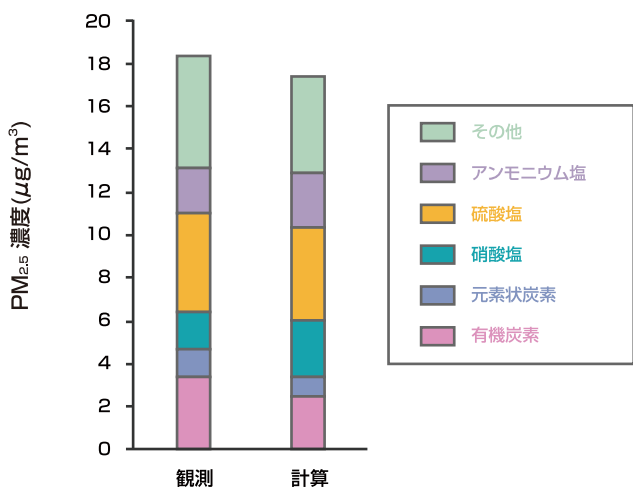


図-6 PM_{2.5}の平均組成
(図は板橋・速水 2016から引用)

わが国PM_{2.5}の発生源寄与

このCAMxにより推計した2010年度のわが国のPM_{2.5}に対する国内外発生源の寄与率は(図-7)、国内人為源が34%であるのに対し、国外人為源は合計44%であり、わが国のPM_{2.5}の半分近くが国外人為源由来であることがわかりました。国内人為源では、発電所とその他固定源が13%、自動車が7%で、アンモニアを発生する農業・畜産が8%でした。また、CAMxの計算結果を使用して、環境基準を達成しなかった測定局におけるPM_{2.5}の発生源を解析したところ、九州地方では中国・韓国・その他(国外)の発生源の寄与が大きく、関東地方では日本国内の寄与(内訳は、自動車が最大、次に製造業)が支配的であることがわかりました(図-8)。

より効果的な発生源対策のために、当研究所では大気質モデルの一層の予測精度向上に取り組んでいます。

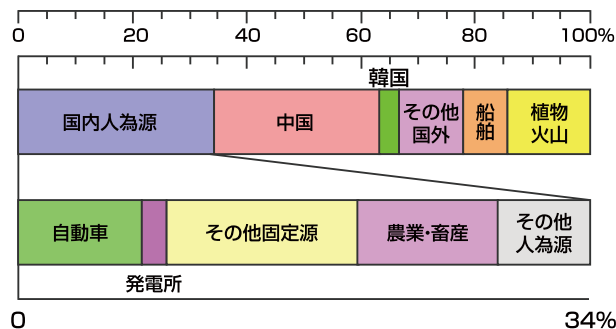


図-7 2010年度のわが国のPM_{2.5}に対する発生源寄与率

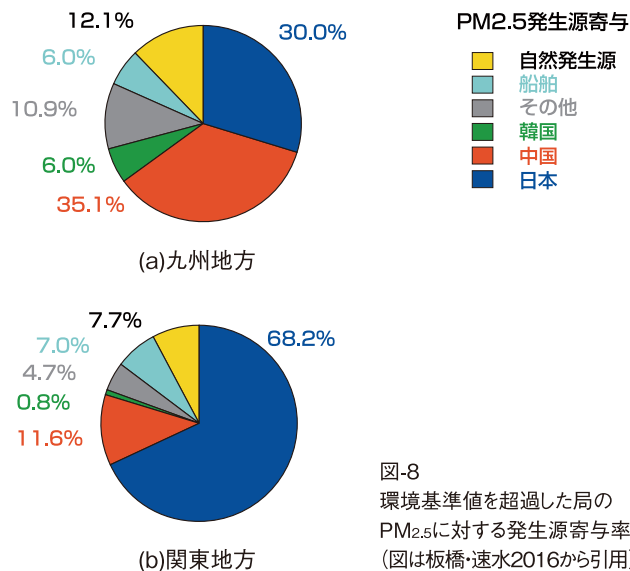


図-8 環境基準値を超過した局のPM_{2.5}に対する発生源寄与率
(図は板橋・速水2016から引用)

大気質モデルの予測精度の改善に向けて

大気質モデルの比較計算研究

前述のように、大気質モデルはPM_{2.5}の化学成分比率の予測精度を高めることが課題となっていることから、当研究所では国立環境研究所などと協力して大気質モデルの予測精度改善のための研究プロジェクトを企画しました。このプロジェクトは環境省環境研究総合推進費の研究課題として採択され、現在、予測誤差の評価と精度改善のための比較計算研究と、モデルを構成する部品の精度検証のための観測研究が行われています。

比較計算研究では、様々な大気質モデルを使用している参加者に、モデルへの入力データを配布し、計算結果を提出してもらって相互比較を行ないます。現在、国内の大学、国・地方公共団体・民間の研究所、コンサルタント会社が参加しています。

また、各国の研究者が参加する国際的な比較研究を行なうことも重要です。わが国のPM_{2.5}に対する国外発生源寄与率は約5割ですから、対策を進めるうえで関係各国の協力は不可欠です。そこで当研究所は、各国の研究者が相互に理解し、共通認識を醸成することを目的とした比較計算の国際プロジェクト(MICS-Asia)^{*4}にも参加しています。

^{*4}: 当所と国際応用システム分析研究所(オーストリア)で立ち上げた、東アジアを対象とするモデルの比較計算を行う国際プロジェクト

モデル検証・改善のための観測

大気質モデルの検証・改善には観測データが必要ですが、水平方向に比べると高さ方向のデータはきわめて少ないです。そこで当研究所は東京スカイツリーを利用して上空と地表付近のPM_{2.5}濃度を連続測定しています(図-9上)。また、PM_{2.5}が地表面に付着する速度(乾性沈着速度)の精密測定を目指しています(図-9下)。つくば市の水田で行われた観測では、地上から5.5mのPM_{2.5}濃度に変化がないのに、同1.5mの濃度だけがほぼ一定速度で減少する様子を捉えました。こうしたデータから乾性沈着速度を推計し、予測精度を高めていきます。



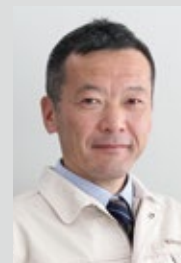
図-9 鉛直観測の様子
上:スカイツリーの観測
下左:水田に設置したマスト
下右:マスト内部のサンブラ



ひとこと

当研究所では、米国でPM_{2.5}の環境基準が設定された直後の1998年に、PM_{2.5}研究に着手しました。いまだに不確定なことは多いですが、最新の知見と技術をフルに活用し、科学的に正しい情報を提供し、それらがPM_{2.5}濃度の改善につながれば、との思いで研究を続けています。

環境科学研究所 副研究参事 速水 洋



| 関連する論文等 |

・板橋・速水:2010年度を対象としたトレーサー法によるわが国の微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の発生源寄与評価, 大気環境学会誌 51巻,197-217, 2016.