

講演要旨集

成果報告①

「日本のPM_{2.5}はどこからくるか ～越境汚染の寄与をさぐる～」(金谷 有剛) . . . p1～4

成果報告②

「アジアにおける大気汚染物質の排出実態から越境大気汚染問題を考える」(大原 利眞) . . . p5～8

成果報告③

「東アジアの大気汚染によって影響を受けている私たちの健康」(山下 研) . . . p9～12

成果報告④

「大気汚染対策の気候変動対策との関わりとコベネフィットアプローチ」(秋元 肇) . . . p13～16

成果報告⑤

「越境大気汚染対策の促進に向けた国際的取組」(鈴木 克徳) . . . p17～20

【全体プログラム】

14:00～14:05	開会挨拶 環境省
14:05～14:20	環境省環境研究総合推進費 S-7 全体概要 秋元 肇 (アジア大気汚染研究センター 所長)
14:20～14:50	成果報告①「日本のPM _{2.5} はどこからくるか ～越境汚染の寄与をさぐる～」 金谷 有剛 (海洋研究開発機構地球環境変動領域 チームリーダー)
14:50～15:20	成果報告②「アジアにおける大気汚染物質の排出実態から越境大気汚染問題を考える」 大原 利眞 (国立環境研究所地域環境研究センター センター長)
15:20～15:50	成果報告③「東アジアの大気汚染によって影響を受けている私たちの健康」 山下 研 (アジア大気汚染研究センター 客員研究員)
15:50～16:05	休憩
16:05～16:35	成果報告④「大気汚染対策の気候変動対策との関わりとコベネフィットアプローチ」 秋元 肇
16:35～17:05	成果報告⑤「越境大気汚染対策の促進に向けた国際的取組」 鈴木 克徳 (金沢大学環境保全センター センター長・教授)
17:05～17:15	コメンテーターからのコメント 柳下 正治 (上智大学大学院地球環境学研究科 客員教授)
17:15～17:30	全体質疑
17:30	閉会

成果報告①

「日本のPM_{2.5}はどこからくるか ～越境汚染の寄与をさぐる～」

(海洋研究開発機構) 金谷 有剛

<ポイント>

西日本のPM_{2.5}には中国からの越境大気汚染の寄与が通年で5割以上。寄与率が高いのは懸念すべきことだが、対策が確実に行われれば改善効果も大きい。有機エアロゾルの起源については未把握分が大きく、解明が必要。対照的にオゾンについては、影響が大きい春季だけで計算しても中国寄与は1~2割であり、起源地域が多様である。改善のためには、より多国間での協調的な取り組みが必要。

1. はじめに

我が国では、PM_{2.5}について2009年9月に新たに環境基準が告示されました（年平均値が15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ1日平均値が35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であること）。基準告示後の1年間について、長崎県・五島列島の福江島でPM_{2.5}を測定したところ、日平均値が35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える日が一年で26日もあり、近くに汚染源のない離島でさえ、短期環境基準が満たされていないことが明らかになりました（図1）。その後、2010、2011年度いずれにおいても、全国的な環境基準達成率は約3割にすぎないこと、非達成地域は西日本に偏っていることが環境省から発表された結果から明らかになりました。こうした状況から、国内都市型の汚染に加え、中国での著しい経済発展・排出量の増加に起因した越境大気汚染の寄与が懸念されています。PM_{2.5}については、2013年1月、北京周辺で激甚な汚染が発生し、現地の映像や、時間値で約900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に達する数値が大きく取り上げられ、日本への影響についても急速に国民の関心事となりました。S-7プロジェクトでは、日本の地域別に、どこからPM_{2.5}がやってくるのか、モデルシミュレーションで明らかにしました。その際、日本だけでなく中国・韓国での国際共同観測で得られたデータも用いて、モデルシミュレーションを検証し、信頼度を高めてきました。PM_{2.5}の寄与率について、オゾンの場合と対照させながら、どのような対策が有意義なのか、検討してきました。

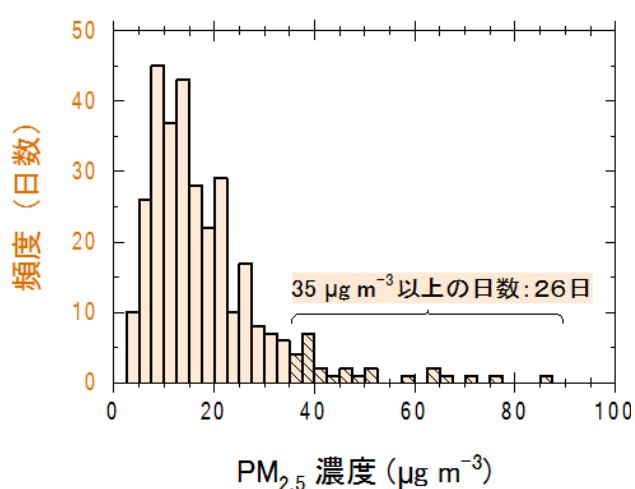


図1 福江島における2009年9月9日から1年間の日平均PM_{2.5}濃度の頻度分布。

2. ソースレセプター解析による越境寄与率の推定

表 1 は 2010 年通年において、日本の地域別に、 $PM_{2.5}$ がどこからやってきたのかをモデルシミュレーションから算出したものです。ここから、大陸に近い九州・四国・中国・近畿といった西日本地域では、中国からの寄与が 5

表 1 2010 年通年での $PM_{2.5}$ 濃度寄与率の推定。

レセプター ソース	九州	中国	四国	近畿	北陸	関東
中国	61%	59%	59%	51%	55%	39%
韓国	10%	11%	8%	6%	5%	0%
日本	21%	25%	23%	36%	33%	51%

標準的なモデルランと比較して、各ソース地域での人為起源排出量を 20%削減した場合に、各レセプター地域において $PM_{2.5}$ 濃度がどれだけ減少するかを算出し、その値を 5 倍したものを寄与濃度とした。その上で、各寄与をそれらの合計で割って寄与率に換算している。

割以上となっており、越境大気汚染の寄与が非常に大きいことがわかりました。一方、東京を含む関東では、国内の寄与の割合のほうが大きいことが示されました。このことは、大陸起源の広域大気汚染が西日本には影響しやすいことを示しています。

高濃度日の寄与率についても九州、関東についてそれぞれ見積もったところ、平均値では通年の寄与率と大きく変わりませんでした。関東では日によって国内の影響が支配的な場合も見られました。

これまでに行ったオゾンでの寄与率解析では、影響の大きい春季だけを取り上げても、日本における中国からの越境の寄与率は平均で 1-2 割でした。それと比較すると、 $PM_{2.5}$ での越境寄与率は大きいことがわかりました。その原因は、オゾンのほうが $PM_{2.5}$ よりも大気中での寿命（滞在時間）が長く、ヨーロッパなどより遠方からの影響も受けるのに対し、 $PM_{2.5}$ は近距離の影響を受けやすいこと、また SO_2 などエアロゾルの前駆気体の発生量が中国で顕著に多いためと考えられます。

今後、単一のモデルだけではなく、国内・海外の複数のモデルでも同様の結果がえられるかどうか、モデル間での相互比較を行うこと

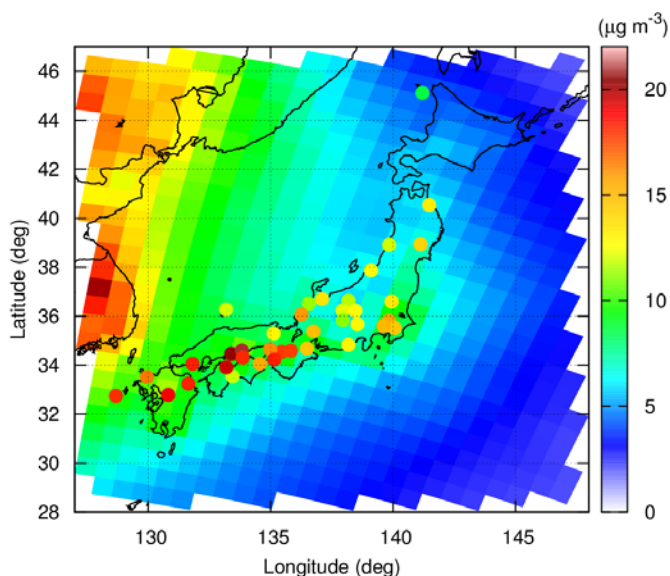


図 2 2010 年の平均 $PM_{2.5}$ 濃度分布。点は観測値（福江は S-7 プロジェクトより。他点は行政モニタリング等より）。背景はモデルシミュレーションによる値。

で、不確かさの幅も含めて寄与率を評価し、国際的に通用する科学的な知見として確立していくことが必要です。

3. 観測によるシミュレーションの検証と課題

上記のようなモデルシミュレーションでは、前駆物質の排出量の分布、気象場、化学反応やガスと粒子の間の平衡などについて、最新の理解に基づいて考慮されているものの、それらが適切かどうか、実際の観測値をもって検証するこ

とが必要です。我々は、PM_{2.5}の分布と季節性、内訳の評価、輸送の検証の観点で、以下のような検証を進めてきました。図2は、2010年におけるPM_{2.5}年平均値の濃度分布について、観測とモデルを比較したものです。いずれも、西日本から東日本にかけて濃度が低下する、「西高東低」の傾向が共通して見られ、まず濃度分布については一致度が高いことがわかりました。また、福江や他地点での季節変化のパターンも、観測とモデルで非常によく一致していることがわかりました。しかしながら、絶対値はモデルシミュレーションのほうが4割程度過小となることがわかりました。その差の一部は、PM_{2.5}の実測値のほうに残っている水分で説明される可能性があります。水分以外では、有機エアロゾルの量をモデルが過小評価していることが重要な原因と考えられています(図3)。このような成分別の濃度測定とモデル比較は、福江島だけでなく中国・江蘇省の如東(Rudong)、韓国・済州島でも両国の研究者と共同で実施し、同様にモデルが顕著に有機エアロゾル濃度を過小評価する傾向を見出しました。このことは、上記のソースレセプター解析結果の値を大きく左右することはありませんが、有機エアロゾルの起源を明らかにし、モデルで適切に表現できるようになることは今後の課題です。輸送に関する検証は、済州島と福江島で同時に測定されたPM_{2.5}データを用いて行いました。寒冷前線が西から東へと通過するのに伴って、前線の背面に存在する汚染気塊が、済州島から250 km 風下の福江島へわずか5～8時間で運ばれてくる事例が繰り返し確認されました。この点はモデルシミュレーションでも良く再現されたことから、大陸方面からの輸送は、モデルシミュレーションでも適切に表現されていることが示唆されました。

4. 効果的な対応策の検討

PM_{2.5}の国内基準を満たすためには、どの程度の国内・国外の削減が必要なのか、概算する

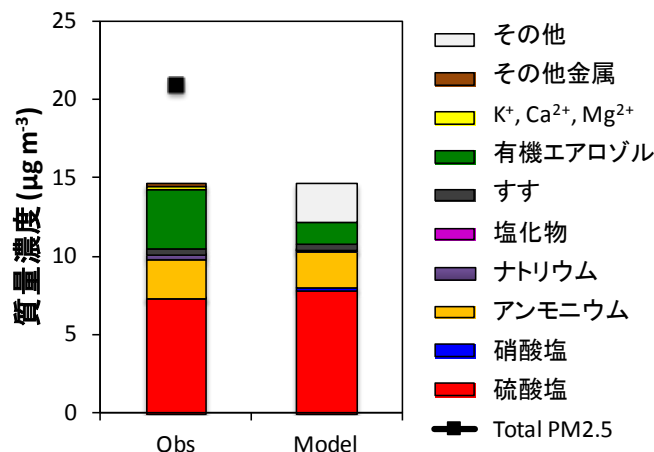


図3 2009年春季、福江島での平均PM_{2.5}化学成分の濃度内訳。左が観測、右がモデルシミュレーション結果。

ことが、対応策の検討の第一歩となります。中国・韓国で仮に人為起源物質の排出量を 20% 削減させたシナリオでは、福江島での $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は 20% 近く減少し、 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過日数が大幅に減少しうることがモデルシミュレーションからわかりました。このことは、越境大気汚染の寄与率が大きいため、その対策が十分になされれば、削減効果も大きく表れることを意味しています。20% 排出削減であれば、省エネなどによって取り組む道も開けます。

中国でも独自の対策が始まっています。2011 年、北京のアメリカ大使館による $\text{PM}_{2.5}$ 濃度のリアルタイム発表などが契機となり、中国で $\text{PM}_{2.5}$ に対する国民の関心が高まり、たとえば北京市では 2015 年までに $\text{PM}_{2.5}$ を 6% 削減、2030 年に環境基準達成を目指すとの目標が掲げられました。さらに、2013 年の激甚汚染を受けて、同年 9 月には新たな目標として、2017 年までに $\text{PM}_{2.5}$ の量を現在より 25% 減らす「宣戦布告」を発表しました。この新しい目標が達成されれば、西日本へ飛来する大陸からの $\text{PM}_{2.5}$ の影響も、中国自国の努力によって自然と低下してくるかもしれません。しかしながら、この新たな目標の実現には困難も予想されるため、今後も 10 年規模で推移を注視するとともに、国際協力等によって加速的な改善を図る必要があります。

このことは、上述したオゾンの場合と対照的です。日本上空のオゾンでは、中国からの寄与率が春季でも 1~2 割であるため、その寄与分の部分的な削減だけでは大きな効果は得られません。つまり、起源地域が多様なことから、改善のためには、より多国間での協調的な取り組みが必要となります。我々の結果からは、日本の上空のオゾンについて、米国環境保護庁 (USEPA) の環境基準 (8 時間 75ppb) を達成することを指標とすると、日本・中国・韓国で 3 割以上の人為起源前駆物質の排出量を削減しなければならないことが指摘されています。 $\text{PM}_{2.5}$ は脱硫などの取り組みやすい対策によって減少しうるのに対し、オゾンの場合は、より高い経済発展段階でも削減がなされにくい NO_x , VOC が前駆物質となることも、対策の難しさにつながっています。

NO_x , VOC が発生する主な発生源の部門には、家庭・産業・発電・輸送があり、どの部門に対策を講じるとオゾンの効果的な削減が期待できるのか、モデルシミュレーションから試算を行いました (図 4)。その結果、中国での発電・輸送に対する対策が、日本への越境オゾン汚染軽減に対しても、また中国国内でのオゾン濃度減少に対しても、効果的であることがわかりました。同時に、 $\text{PM}_{2.5}$ など他の物質についても効果を把握したうえで、将来目指すべき総合的な対応策へ組み込むことを提言します。

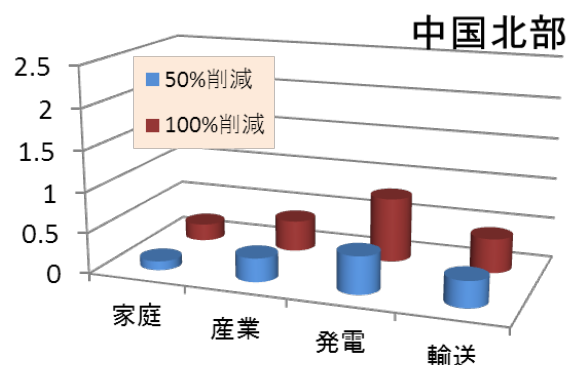


図 4 中国北部で部門別の排出量削減を行った際に期待される、日本中心部のオゾン高濃度日 (日最高 8 時間値が 75ppb を超える日数 (4~8 月)) に対する削減効果 (縦軸の単位は日数)。

成果報告②

「アジアにおける大気汚染物質の排出実態から越境大気汚染問題を考える」

(国立環境研究所) 大原 利眞

<ポイント>

アジアでは、発電所や工場などでの化石燃料やバイオマスの燃焼などによって、大気汚染物質が大量に大気中に放出されている。このような大気汚染物質は 1980 年代後半から急増して PM_{2.5} やオゾンなどの深刻な大気汚染を引き起こし、風下に位置する日本の大気質にも大きな影響を及ぼしている。しかし、中国の大気汚染物質排出量は、最近、増加が鈍化したり減少し始めており、今後の変化に注目する必要がある。

1. はじめに

アジアでは、火力発電所や工場、家庭、自動車などにおける化石燃料やバイオマス燃料の燃焼などによって、窒素酸化物 (NO_x) や二酸化硫黄 (SO₂)、非メタン揮発性有機化合物 (NMVOC)、微小粒子状物質 (PM_{2.5}) などの大気汚染物質が大量に大気中に放出されています。このような大気汚染物質の排出量は、アジア諸国の経済成長とともに急増しており、PM_{2.5} やオゾンなどによる深刻な大気汚染を引き起こしています。アジア大陸で発生した PM_{2.5} 等の大気汚染物質は、風下に位置する日本列島に運ばれ、日本の大気質に大きな影響を及ぼしています (成果報告①)。日本国内では、このような越境汚染に国内汚染が上乗せされて環境基準を超過するような濃度レベルになっていると考えられます。本報告では、アジア、特に中国における大気汚染物質の排出実態を紹介し、越境大気汚染問題について考えていきたいと思います。

2. アジアの大気汚染物質の排出実態

アジア、とりわけ中国における大気汚染物質の排出量は、急速な経済成長によって 1980 年代後半から急増しています。例えば、1980～2003 年において、エネルギー消費量は 3 倍以上増え、SO₂ 排出量は 2.5 倍、NO_x 排出量は 4 倍に増加しました。図 1 は、2008 年における人為起源の大気汚染物質排出量の地域分布を示します。図中の NO_x、NMVOC、PM_{2.5} 及び SO₂ は何れも PM_{2.5} やオゾンの原因となる代表的な大気汚染物質です。この図から、中国東部

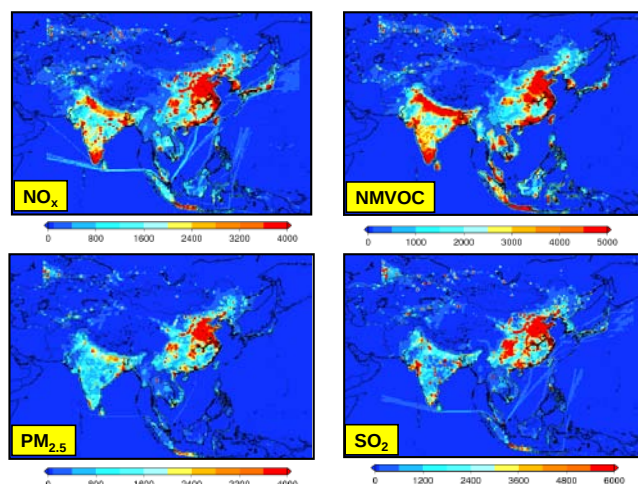


図 1 アジアの大気汚染物質排出量分布
(2008 年、単位はトン/年/経緯度 0.5 度メッシュ)

や韓国、日本などの北東アジア、インド、タイやインドネシアなどの東南アジアにおいて排出量が多いことがわかります。その他にも、陸上におけるホットスポット（都市や火力発電所など）や海洋のラインソース（航路上の船舶）があります。物質によって排出量の多い地域が異なるのは、物質によって発生源が異なるためです。

図2は、中国の2008年における発生源種別・燃料種別の内訳を示します。NO_xは火力発電所からの排出が最も多くて40%、次に工場24%、自動車などの輸送機関21%となっています。また、火力発電所と工場のほとんどは石炭燃焼に伴う排出であり全体で60%を占めることがわかります。また、SO₂の主要発生源は工場（43%）と火力発電所（37%）で、全体の80%を占めていますが、そのほとんどが自国で採掘される石炭の燃焼に伴う排出です。一方、PM_{2.5}に関しては、レンガ製造等の工業プロセスからの排出が半分に達し、その他には、家庭におけるバイオマス燃料や石炭の燃焼が30%、石炭火力発電所が12%を占めるのに対して、自動車や工場などからも排出は少ないのは特徴です。このようにPM_{2.5}の排出構造は、SO₂やNO_xとは大きく異なります。一方、NMVOCは様々な発生源から排出されます。中国における発生源は、自動車等の輸送機関29%、溶剤使用24%、塗装と家庭（バイオマス燃料燃焼による排出が多い）が各々14%となっており、溶剤使用や塗料などの蒸発発生源からの排出が半分程度を占めます。このようにNMVOCの発生源は多様であり、また、群小発生源が多いことから、NMVOC削減対策を進めるのは簡単ではありません。

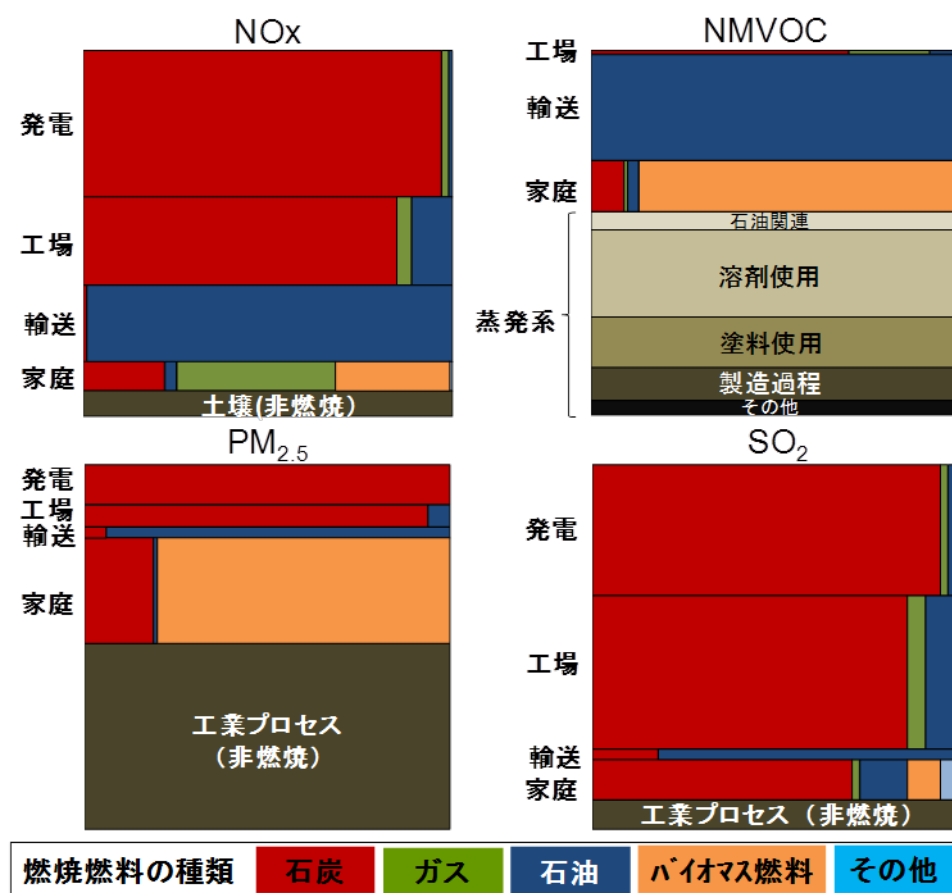


図2 中国の大気汚染物質排出量のセクター別・燃料種別構成（2008年）

3. 増えている大気汚染物質、減っている大気汚染物質

それでは、大気汚染物質の最近の変化を見てみましょう。図3は、2000～2008年にアジア（東アジア、東南アジア、南アジア、ロシアのアジア地域、中央アジア）で排出された人為起源の大気汚染物質排出量の経年変化を示します。

NO_xは2000～2008年にアジア全域で約50%増加しています。特に中国では、エネルギー消費量の増加に伴いほぼ倍増していますが、近年、その増加率がやや小さくなっています。この原因としては新設発電所や自動車に対する排出規制が進んでいることなどがあげられますが、発電所や工場への脱硝装置の導入が進んでないことや自動車台数が急増しているため、排出量が増加し続けています。一方、SO₂についてはアジア全体の排出量は2000～2006年の間に約40%増加しましたが、2006年以降は、アジア全量の6割を占める中国における排出量の減少を反映して若干減少しています。中国では、1980年以降、火力発電所や工場等からのSO₂排出量が増加し続けていましたが、第11次五か年計画（2006～2010年）が開始した2006年以降、発電所等への排煙脱硫装置の普及等の対策が急速に進み、排出量が減少に転じました。一方、発生源から直接排出されるPM_{2.5}とNMVOCは、NO_xとSO₂の経年変化の中間的な傾向を示しています。具体的には、PM_{2.5}は2000～2008年にアジアで1.4倍に増加し、中国でも1.5倍に増加しています。また、NMVOC排出量はアジアで1.5倍に、そのうちの40%を占める中国からの排出量は1.7倍に増加しています。しかし、これらの物質の中国からの排出量は、2007年以降、横ばいもしくは微減しています。中国において、GDPやエネルギー消費量が増加しているにもかかわらず、排出量がこのような傾向を示すのは、発生源対策等が進んでいるためと考えられます。

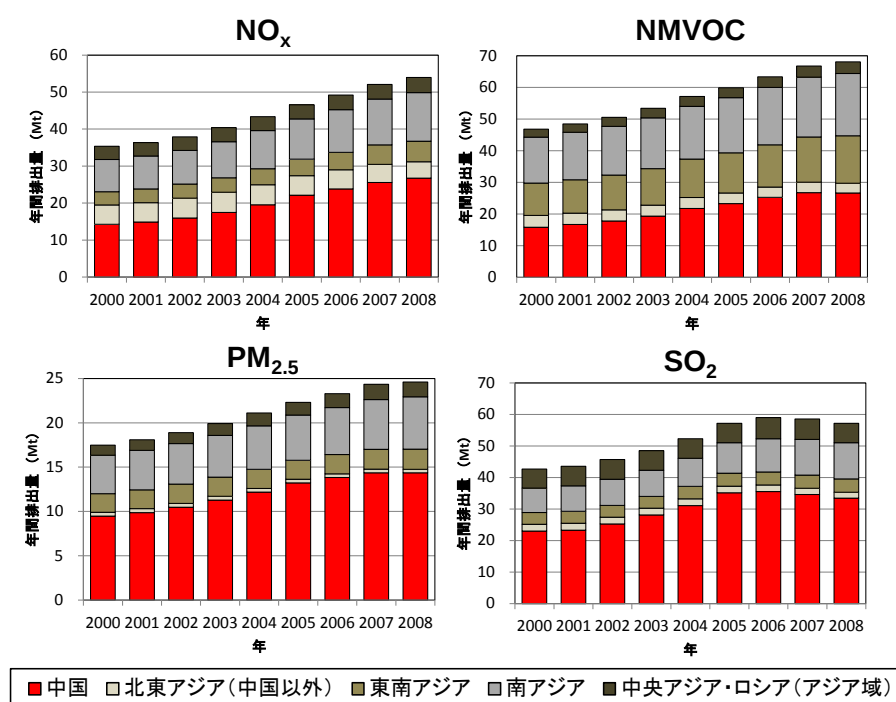


図3 アジアの大気汚染物質排出量の経年変化

以上のように、中国では多様な発生源から大気汚染物質が排出され、急速な経済成長に伴って、その排出量が増加しています。一方、国を挙げて対策に取り組んでいることも事実であり、最近では、SO₂に示されるように減少に転じたり、増加傾向が鈍化しつつあります。しかし、全体的に見れば大幅に改善しているような状況ではなく、汚染対策の進捗が大気汚染物質排出量の増加に追いついていないのが現状です。

4. 越境大気汚染問題を考える

最後に、日本への越境大気汚染問題を幾つかの視点から考えてみましょう。

前述したように、中国における大気汚染物質排出量の増加傾向は、最近、様々な対策によって落ち着きつつあります。このことは、対策を更に進めれば、大気環境が改善する可能性があることを示しており、この動きを加速することが重要です。日本でも1960年代の高度成長期に激甚な大気汚染が各地に発生し、四日市喘息などの公害問題が発生しました。当時は今よりも10倍程度のPM_{2.5}濃度レベルであったと考えられます。このように汚染を改善してきた経験や技術、制度や政策を中国等に移転することは東アジアの大気汚染問題を解決する上で重要です。中国等において大気汚染が減れば、自国での深刻な汚染問題の解決になるのは勿論のこと、日本への越境汚染も減ることになり、双方の国によってメリットがあります。

一方、グローバル経済の中、世界の工場となっている中国の環境問題は、日本にとっても他人事では済まされません。中国で排出されるNO_x排出量の数%程度が日本経済に関係しているという研究結果もあり（東野ら、2012）、越境汚染の原因の一部は日本にも責任があることを考慮する必要があります。また、PM_{2.5}やオゾンの原因として越境汚染の影響が目が行きがちですが、足元の国内対策も依然として重要です。例えば、東京都内のPM_{2.5}のうち1/3以上は関東地方の工場・自動車などの発生源が原因であると推計されています（東京都微小粒子状物質検討会、2011）。国内でしっかりと対策を進めて汚染を減らし、その知見を発展途上国に移転することによって、東アジアでの大気汚染、日本への越境汚染も減らすといった道筋を我が国は考える必要があります。

オゾンやPM_{2.5}は、大気中の寿命が数時間～数か月程度と長いために、都市スケールから国スケール、大陸スケール、更には地球スケールまで広がるポテンシャルを持っています。このことを踏まえ、コベネフィット（成果報告④）の視点も考慮しつつ、世界中で都市・地域・国内対策と国際的な取組（成果報告⑤）を進めることが求められています。

成果報告③

「東アジアの大気汚染によって影響を受けている私たちの健康」

(アジア大気汚染研究センター) 山下 研

<ポイント>

東アジア地域の $PM_{2.5}$ とオゾンによる深刻な大気汚染は、人の健康に悪影響を及ぼすために、改善が急がれている。現在の悪影響の度合いを正確に把握し、近い将来にどれだけ大気汚染を改善すればどれだけの効果があるのか、またそれには費用がいくらかかるのか、を定量的に示すことは、多くの人の関心事であるだけでなく、環境政策を決定する過程で極めて重要な情報となる。

1. はじめに

東アジアにおける大気汚染問題は、近年のこの地域の著しい経済発展とともに、深刻な問題となってきました。大気汚染問題の解決のためには、大気汚染の原因と過程及び影響を科学的に正確に捉えることが最初のステップとして重要ですが、次のステップとしては、実施可能な対策の選択肢を、その効果/便益と費用との比較を行いながら検討することが必要となります。大気汚染問題の中で最も問題となるのは人の健康への影響であり、さらには生態系への影響も重要です。しかし、それらの影響を正確に推定することは簡単ではなく、どうしてもある不確実性を伴います。

2. 人の健康影響の定量的測定の考え方とその経済的評価

$PM_{2.5}$ は粒径が小さいので、吸入すると細気管支や肺泡レベルまで到達して、肺内に沈着し、呼吸器疾患だけでなく循環器疾患を引き起こすことが、主に欧米の研究によって明らかにされています。また、 $PM_{2.5}$ の濃度が高い地域では、そうでない地域よりも死亡率が高いことも報告されています(図 1)。例えば、米国東部 6 都市で 1970-80 年代に 14-16 年間追跡した調査によると、 $PM_{2.5}$ の濃度レベルの最も高い都市の調整死亡率は最も低い都市の 1.26 倍でした。

オゾンは刺激性ガスであることから、吸入すると呼吸器系に対する炎症性変化が生じることが暴露実験などから明らかになっています。また、 $PM_{2.5}$ と同様に、オゾン濃度が高い日は死亡率が上昇することが報告されています(図 2)。

そこで、本研究ではこれまで学術雑誌や欧米の政府機関、WHO などの国際機関のレポートで発表されてきた、人の健康影響に関連する研究の成果等も使って、日本を含む東アジアの国々の人々への健康影響を定量的に推定しました。

東アジアの $PM_{2.5}$ とオゾンの濃度分布は、成果報告①で説明される長距離化学輸送シミュレーションモデル(CMAQ)を使用して計算しました。CMAQ の入力データである発生源インベントリは、成果報告②で説明される研究の成果を使用しています。 $PM_{2.5}$ とオゾンの暴露

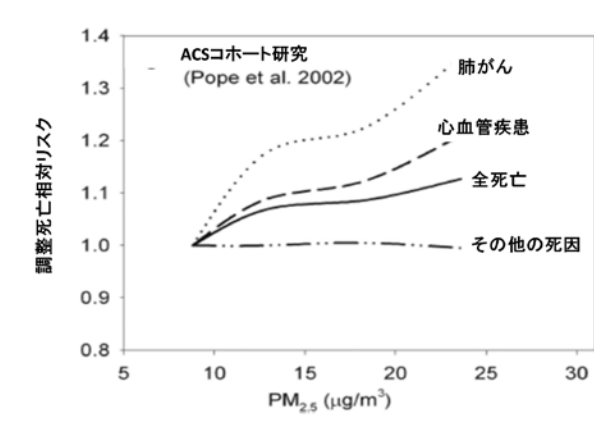


図1 PM_{2.5} 濃度と相対リスク (Pope and Dockery, 2006 より筆者作成)

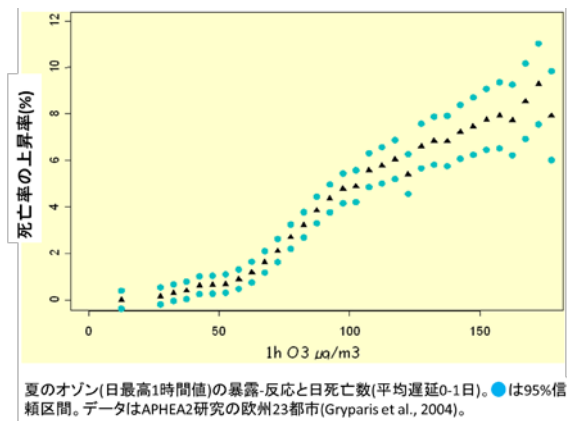


図2 オゾン濃度と死亡率(WHO, 2008 より筆者作成)

による早期死亡のリスクは、年平均値が $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の $\text{PM}_{2.5}$ の濃度に対して、 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ の増加の相対リスク(基本死亡率からの隔たり: RR)が $1.04(95\% \text{信頼区間(CI): } 1.01-1.08)$ 、日毎の8時間値平均値の最高値(SOMO35)が 35ppb 以上のオゾンに対して、 5ppb の増加の RR 値が $1.003(95\% \text{CI: } 1.001-1.004)$ を基に計算しました。ここで、影響の計算対象範囲について、 $\text{PM}_{2.5}$ を $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上としたのは、それ以下の濃度ではよくわかっていない部分があるからで、オゾンを 35ppb 以上としたのは、それ以下の濃度での影響がよくわかっていないからです。これらのデータと人口分布データを地理情報システム(GIS)を使って、影響の一つの指標である早期死亡(その年齢の平均余命よりも早い死亡)数を、年齢が30歳以上の人口に対する影響として計算しました。

図3は、東アジアの国々の $\text{PM}_{2.5}$ とオゾンの暴露による早期死亡数の推定結果です。2020年は3つのシナリオについて計算してあります(PSC:排出を最も厳しく規制, REF:現状維持, PFC:排出規制がありません)。これらの結果より、東アジアで最も $\text{PM}_{2.5}$ とオゾンの影響を受けている国は中国で、次に韓国、日本と続き、2005年の早期死亡数は中国で46万7千人、韓国で1万7千人、日本で1万5千人、2020年のPFCシナリオでは、中国で93万5千人、韓国で3万4千人、日本で2万6千人となっています。ベトナムやタイなどの東南アジアの国々でも影響を受けていますが、2020年のPFCシナリオではベトナムとタイの早期死亡数はそれぞれ6,100人と1,700人となっているように、比較的に小さい数字となっています。

3. オゾンと $\text{PM}_{2.5}$ の影響、及びその改善のための費用と便益

$\text{PM}_{2.5}$ とオゾンの暴露による早期死亡を、確率的生命価値(VSL)の考え方をを用いて貨幣換算し、経済評価を行いました。確率的生命価値とは、死亡する確率がわずかに減ったことに対して人々がいくら支払う意志があるかを統計的に示した数値です。研究によって確率的生命価値の値にはばらつきがありますが、ここでは米国環境保護庁が使用している740万ドル(2006年)の値を用いました。東アジアの国々と米国では、経済の状況がかなり違うので、一

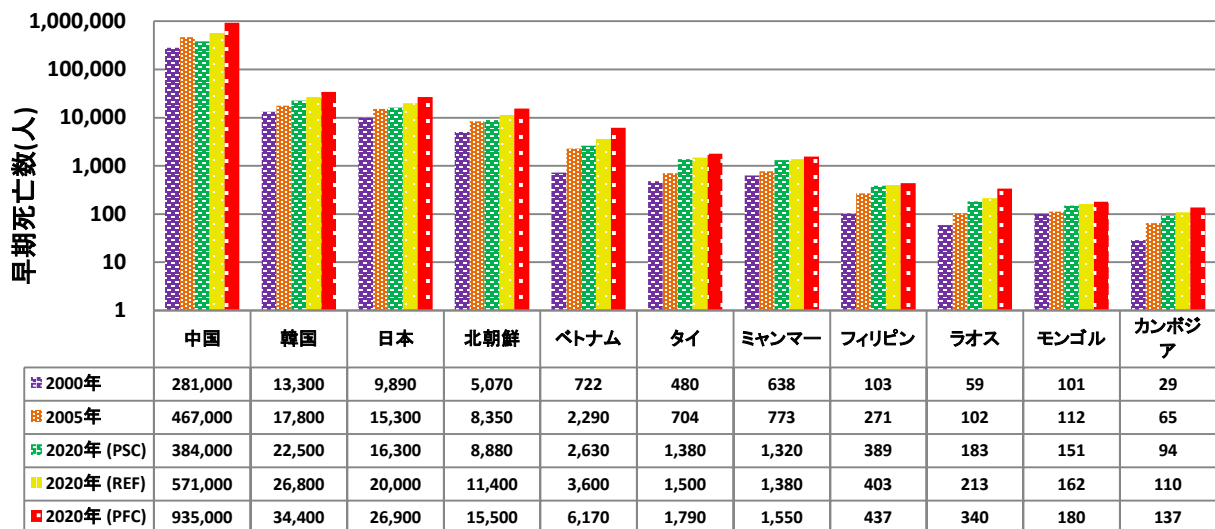


図3 2000, 2005, 2020年(PSC, REF, PFC シナリオ)のPM_{2.5}とオゾンの曝露による早期死亡数

人当たりの国民総生産(GDP/C)を使って、各国の経済状況に合わせた値を計算しています。また、購買力平価(PPP)という指標も使って、各国での貨幣の価値を等しくなるようにしています。これらの補正をした各国の確率的生命価値を使って、PM_{2.5}とオゾンによる早期死亡の損失を貨幣換算した結果が図4です。

図4によると、中国の損失が最も多く、2005年で3,680億ドル、2020年のPFCシナリオでは7,370億ドルとなっており、日本でも2005年で808億ドル、2020年のPFCシナリオでは1,420億ドルとなっています。2020年のPFCシナリオで比較すると、中国の次に日本、韓国、その次にベトナムとタイが多く、さらにミャンマー、フィリピンの順で確率的生命価値の損失額が多くなっています。

次に、PM_{2.5}とオゾンの原因物質の排出削減をした場合の費用を、統合アセスメントモデル(GAINS-China, IIASA)の費用関数データを利用して計算しました。ここで使用した発生源インベントリの2020年の3つのシナリオは、中国での排出量のみを変えたシナリオなので、PM_{2.5}と窒素酸化物(NO_x: オゾン生成の原因物質)のPFCシナリオからPSCシナリオでの排出量にまで削減した時の中国の排出量削減費用と、その場合に得ることのできる確率的生命価値を計算しました。ただし、オゾン生成のもう一つの主要な原因物質である揮発性有機化合物(VOCs)の削減については、GAINS-Chinaに費用データがないこと、欧州のGAINSモデルのデータでは費用が発生していないことから、費用の計算には入れていません。計算の結果は図5に示しましたが、便益(確率的生命価値)は削減費用に比べて、中国では28倍、日本では3.7倍、韓国では3.2倍大きくなりました。従って、この費用便益分析からは、中国のPM_{2.5}とオゾンに関する排出ガス削減対策を実施することは有意義であるという結果が得られました。

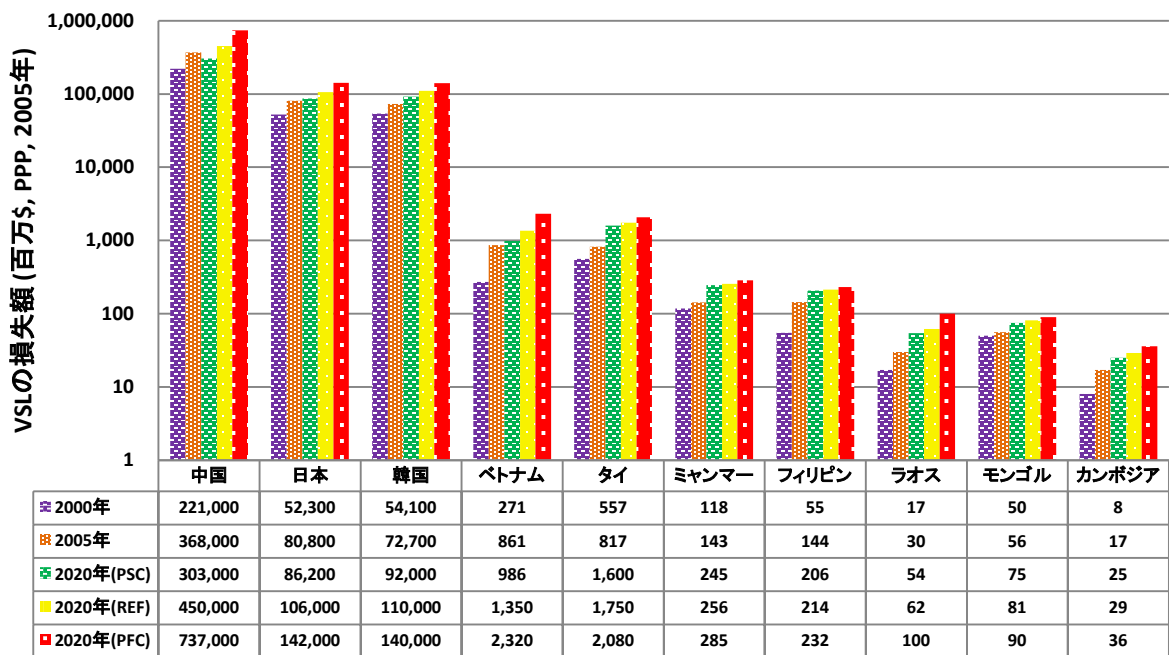


図4 PM_{2.5}とオゾンの暴露に伴う各国の早期死亡による確率的生命価値(VSL)の損失額

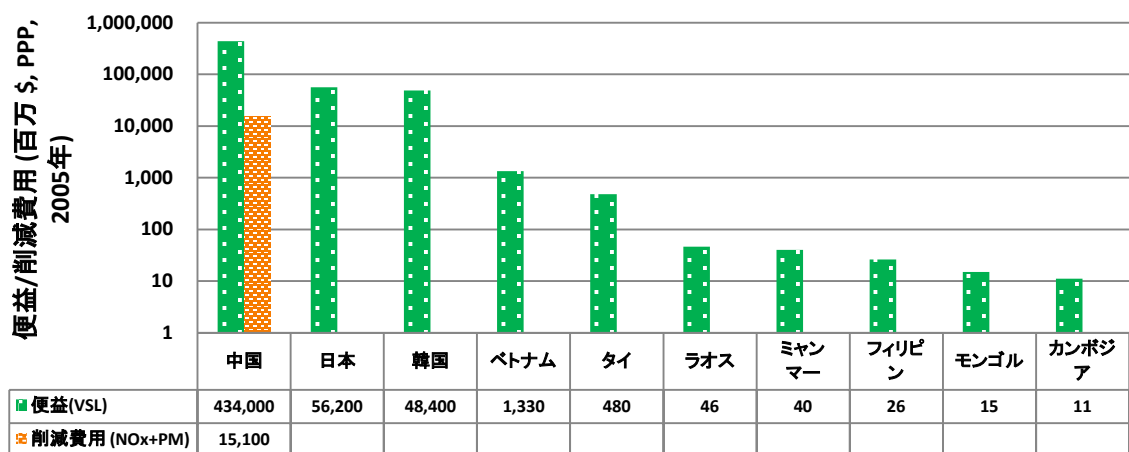


図5 便益(確率的生命価値:VSL)と大気汚染物質(NO_x, PM_{2.5})削減費用

4. 国際協調による大気環境改善

本研究の成果によると、東アジアで最もPM_{2.5}とオゾンの被害を受けているのは、早期死亡数で比較すると、中国、その次に韓国、日本であるということがわかりました。また、同時に東南アジアの国々もかなりの被害を受けています。次に、その被害を減らすための中国での大気汚染対策は、その費用をはるかに超える便益を東アジア地域にもたらすこともわかりました。

成果報告④ではもう一つの人類最大の環境問題である地球温暖化と同時に対策を進めるに当たっての基本的な考え方を、また、成果報告⑤ではこれらの結果を踏まえてどうやって国際的取組を進めるかを御説明しています。

成果報告④

「大気汚染対策の気候変動対策との関わりとコベネフィットアプローチ」

(アジア大気汚染研究センター) 秋元 肇

<ポイント>

東アジアにおける O_3 と $PM_{2.5}$ 対策のためには、 NO_x /VOC と CH_4 の両方を削減することが有効であり、これは、 CO_2 の削減対策のみでは成し得ない中期未来（2030-2050 頃）における地球温暖化の抑制にも貢献する。アジアでは、大気汚染対策と気候変動対策を統合したアプローチが、越境大気汚染を究極的に解決するためにも有効であることを示唆。

1. はじめに

これまで長いこと大気汚染と地球温暖化・気候変動は別個の環境問題として扱われ、それらの対策も全く独立になされてきました。しかし最近の研究からは、これらは互いに密接な関係にあり、地球温暖化防止のためには大気汚染物質の削減が必要であり、一方、越境大気汚染の抑止のためには、アジアの各国に CO_2 と大気汚染物質の同時削減を促す国際的な取組がより有効であるという考え方が浮上しています。地球温暖化・気候変動をもたらす大気汚染物質のことを「短寿命気候汚染物質, SLCP (Short-Lived Climate Pollutants)」と呼んでいますが、具体的には対流圏オゾン(O_3)とブラックカーボン(BC)が対象です。S-7 プロジェクトでは、これらの削減によって大気汚染と気候変動を同時に抑制する SLCP コベネフィットアプローチを東アジア(北東アジア+東南アジア)で確立するための基本的な考え方を研究してきました。

2. 東アジアにおけるコベネフィットアプローチの考え方

図1は2008年時点での NO_x と CO_2 のグローバル排出量に対する地域別の比率を示したものです。 NO_x 排出量は1990年代以降欧米では低下しているのに対し、東アジアを含む途上地域では増加し続けており、東アジアの寄与率は世界の30%に達しています。一方、 CO_2 の排出量は、北米、欧州・旧ソ連がそれぞれ23%であるのに対し東アジアが33%、これに南アジア、中東を加えるとアジア全体では44%に達します。

このことから地球温暖化の抑制にはアジアからの CO_2 排出量を削減することが必要なのは明確ですが、 CO_2 排出量を今いくら厳しく削減しても、それによって大気中の CO_2 濃

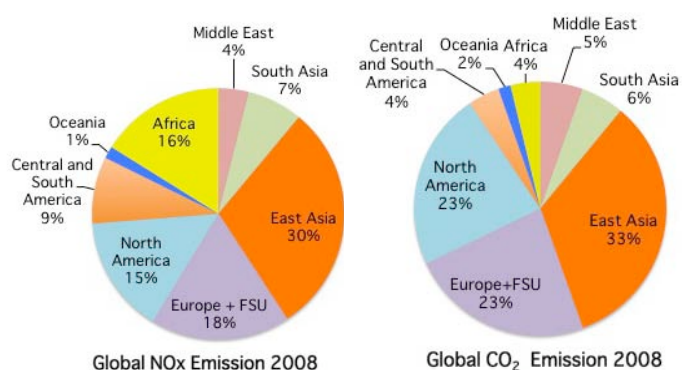


図1 2008年における NO_x と CO_2 の地域別排出量。
それぞれ EDGAR(v.4.2)と CDIAC のデータにより作成。

度増加が抑えられ、温暖化抑制への効果が出るのは今から 30 年後以降です。けれども気候変化による環境影響は現在既に喫緊の課題であり、効果が現れるのを 30 年間待っているわけにはいきません。当面、中期未来の温暖化を抑制するには SLCP を削減するしかないことが分かってきました。

一方、NO_x の排出量からも推定されるように、オゾンや PM_{2.5} による大気汚染は、現在東アジアにおいて世界で最も深刻であり、この地域の国にとって大気汚染対策は自国民の健康を守るという人道的見地から、社会的インセンティブは高いものと思われます。従ってアジアにおいて大気汚染と地球温暖化を同時に抑制しようという SLCP コベネフィットアプローチを成功させるためには、オゾン前駆体やブラックカーボンの排出削減を、地表付近の O₃ や PM_{2.5} による大気汚染の解決につなげることが必要条件です。

3. オゾン濃度低減に対する CH₄ と NO_x/VOC 削減の効果

温室効果ガスとしての対流圏オゾンの濃度低減のため、UNEP レポート(2011 年)では欧米の考え方を反映して、メタン(CH₄)のみの排出削減を提言しています。これに対して S-7 プロジェクトでは、北東アジアで NO_x/VOC の人為排出量を半減した場合、CH₄ を半減した場合、更にこの両者を共に半減した場合に地表付近の O₃ 濃度がどのように変化するかを調べました。図 2 はこの結果に基づいて O₃ の 8 時間平均値が 75 ppb を超える日数について、現状(2005 年)との比較を示

したものです。図に見られるように CH₄ 半減実験では、現状に比べて高濃度 O₃ の日数はほとんど変化しないかむしろ微増するのに対し、NO_x/VOC 半減実験では、O₃ 高濃度の日数は顕著に減少することが分かります。更に、NO_x/VOC と CH₄ を同時に半減した場合は、O₃ の高濃度日は更に一層顕著に減少することが分かりました。

一方、これらオゾン

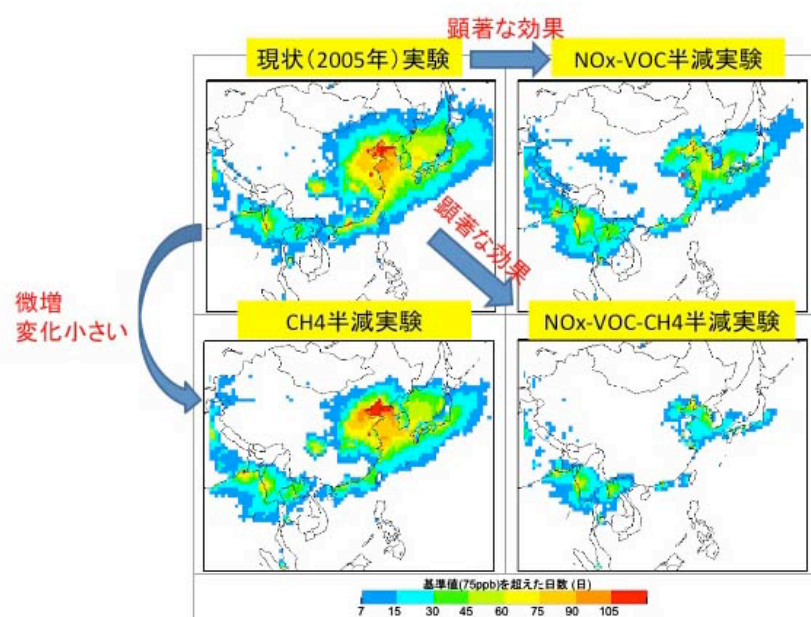


図 2 北東アジアの NO_x/VOC, CH₄ をそれぞれ、及び両者を同時に半減した場合の、地表付近 O₃ の 8 時間平均値が 75ppb を超過する日数の現状(2005 年)からの変化。

前駆体物質の削減に伴う温暖化影響を評価するために、圏界面での放射強制力(RF)の変化を計算した結果を図 3 に示します。図の左端は CH₄ の濃度変化による RF の変化を示していま

すが、NO_x/VOC のみの半減では CH₄ 濃度にはほとんど影響がないので、RF の変化はほとんどゼロであるのに対し、CH₄ 半減及び NO_x/VOC と CH₄ の同時半減では温室効果ガスとしての CH₄ の濃度変化による RF の減少が非常に大きく見積もられます。同様に、その右は O₃ 濃度の変化による RF の変化を示していますが、NO_x/VOC の半減による O₃ 濃度の低減が、RF の大きな減少をもたらすことが分かります。CH₄ 半減の場合も主として自由対流圏の O₃ の低減によって RF は減少しますが、NO_x/VOC と CH₄ の同時半減では NO_x/VOC のみの半減に比べて更に大きな RF の減少がもたらされることが分かりました。他方、NO_x の削減は NO_x からの粒子状 NO₃ 濃度の減少をもたらし、エアロゾル濃度の減少により正の RF が見積もられ、これは温暖化を促進することを意味します。こうしたプラス・マイナスを合わせた SLCP 削減効果を合計した RF が図の右端です。NO_x/VOC のみの削減では小さな正の値になりますが、CH₄ との同時削減では CH₄ による効果が効いて大きな負の値が得られます。

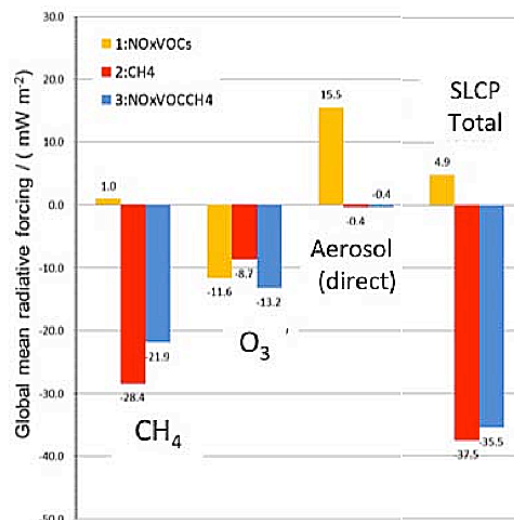


図 3 北東アジアにおいて NO_x/VOC、CH₄ をそれぞれ、及び NO_x/VOC、CH₄ を同時に半減したときの放射強制力の変化。

このように、地表オゾン濃度の低減には NO_x/VOC の削減が、RF の低下には逆に CH₄ の削減が有効であること、O₃ 濃度、RF のいずれに対しても NO_x/VOC と CH₄ の同時削減が、それぞれ単独の削減より更に有効であることが分かりました。これらの結果から S-7 プロジェクトでは、アジアにおける SLCP コベネフィットアプローチとしては NO_x/VOC の削減と CH₄ の削減を同時に行うべきことを提言します。

4. 温暖化対策シナリオと大気汚染対策シナリオの結合

これまでに CO₂ の排出を厳しく削減する地球温暖化対策シナリオがいくつか提言されています。それらの中から本プロジェクトでは、将来のグローバル平均気温上昇を 2℃以下に抑えることを目指した「CO₂-equivalent 450ppm 安定化シナリオ (450ppm シナリオ)」を例に、コベネフィットアプローチの考え方を検討しました。図 4 には IIASA (国際応用システム分析研究所) との共同研究で提供された 2005 年を基準年(左端)とした各種シナリオによる 2030 年の東アジアにおける NO_x、NMVOC、BC、CH₄ の排出量を示したものです。図中の CLE, MFR, 450 はそれぞれ、現状規制、最大削減、CO₂-eq 450 ppm シナリオを、CNTR は 450ppm シナリオをベースに更に NO_x/VOC、BC の大気汚染対策を強化したシナリオをそれぞれ意味しています。図に見られるように、450ppm シナリオでは東アジアにおける 2030 年の NO_x 排出量は 2005 年からほとんど減少していません、NMVOC、BC は CO₂ 削減と同時に、2005

年に対しそれぞれ約 50%, 25%減少しています。

これらの排出量を用いて大気汚染の最も激しい中国中東部の地表付近の O_3 と $PM_{2.5}$ の濃度の季節変化を計算した結果を、図 5 に示します。

図 5 の上図に見られるように 450 ppm シナリオでは夏季の高濃度 O_3 は

2005 年に比べほとんど改善されません。VOC が半減しているのに O_3 がほとんど減少しないのは、領域規模の O_3 に対しては NO_x が制限因子になっているからです。一方、図 5 の下図に見られるように $PM_{2.5}$ は 2005 年に比

べある程度の改善は見られますが、冬季の高濃度はあまり改善されません。

アジアにおいてコベネフィットアプローチを推進するためには、 O_3 , $PM_{2.5}$ の高濃度汚染が改善されることが必須です。450ppm シナリオにさらに大気汚染対策シナリオを結合したのが 450 ppm-CNTR シナリオです。450ppm-CNTR では、450ppm シナリオから東アジアにおける NO_x を約 40-50%、VOC と BC を約 30%更に削減しています。このシナリオに従った場合、中国中東部の大気汚染は特に 7 月の O_3 ピークと、冬季の $PM_{2.5}$ のピークに大きな改善がみられることが分かりました。

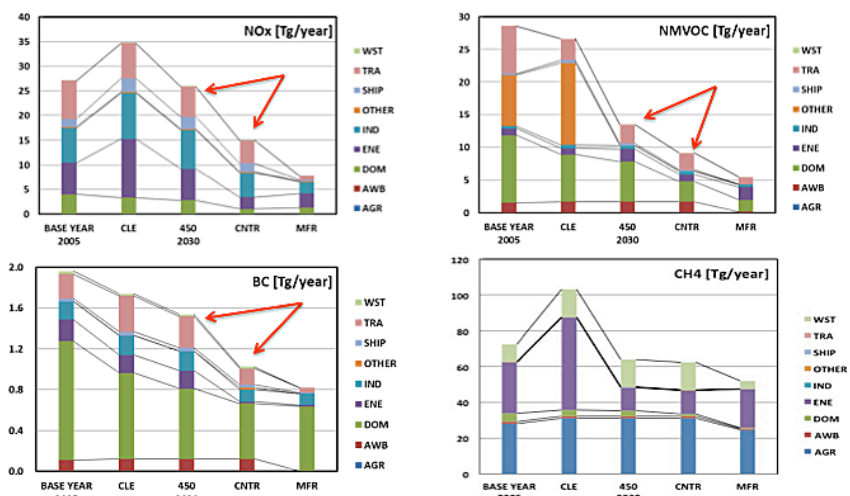


図 4 2005 年を基準年とした 2030 年における NO_x , NMVOC, BC, CH_4 の排出量。CLE: Current Legislation, MFR: Maximum Feasibility Reduction, 450: CO_2 -eq 450 ppm Stabilization, CNTR: Air Pollution Control 450 ppm Scenario.

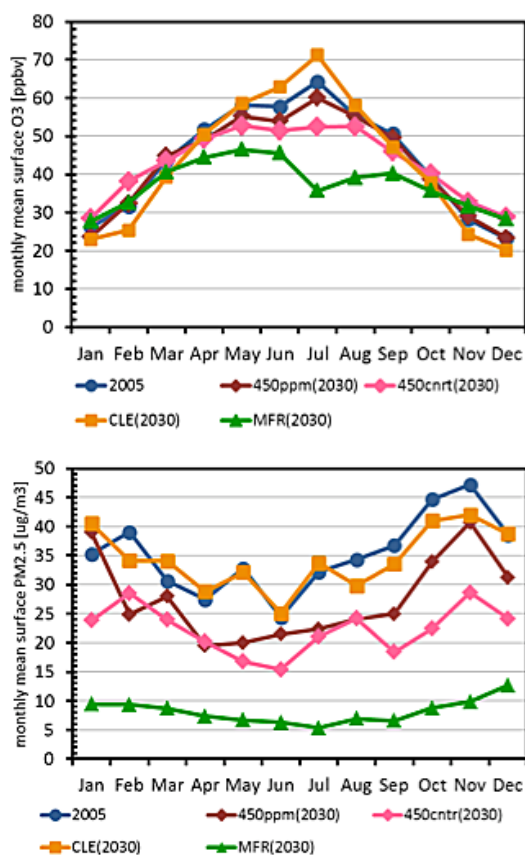


図 5 それぞれのシナリオに従った時の 2030 年中国中東部における地表 O_3 (上図)、 $PM_{2.5}$ (下図)濃度季節変化の 2005 年との比較。

成果報告⑤

「越境大気汚染対策の促進に向けた国際的取組」

(金沢大学) 鈴木 克徳

<ポイント>

アジアでは様々な大気汚染関係の協力枠組みが構築されているが、現在中国で顕在化しているような深刻な大気汚染に対処するためには、既存の枠組みだけでは不十分。国際協力の推進という観点から、既存の各種の枠組みをできるだけ整理統合するとともに、気候変動対策とのコベネフィットを推進するような枠組みが必要。そのための第一歩として、共通の科学的知見に基づいた各国の政策推進を可能とするような、アジアの大気関係の科学パネルの設立が有効。

1. はじめに

これまでに行われた①～④の成果報告から、次のようなことがわかりました。

- ・PM_{2.5}やオゾンなどの大気汚染については、越境して飛来する汚染物質の影響があり、その解決に向けて、中国及びその他の国を含む多国間での協調的な取組が必要です。
- ・アジアでは、1980年代後半から大気汚染物質が急増し深刻な大気汚染問題を生じていますが、物質によっては、中国における国内対策の進展等により、排出量の増加傾向が鈍化したり、減少傾向に転じています。
- ・PM_{2.5}やオゾンにより深刻な健康影響が懸念されており、中国では数十万人の早期死亡数になるとの試算もあります。それらの被害と改善のための費用とを比較すると、改善費用の方がはるかに安価であると試算されます。
- ・アジアでの大気汚染の改善に向けては、大気汚染対策と気候変動対策とを統合するようなコベネフィットアプローチが有効です。

これらから、越境大気汚染問題の解決に向けて、東アジア地域全体を視野に入れた国際的に協調した取組が重要であることがわかります。

2. 大気汚染問題に関する既存の地域的取組

近年、大気汚染問題の世界的な深刻化を踏まえ、世界の各地域において大気汚染対策のためのネットワークが形成されつつあります。図1は、大気汚染に関する世界の各地域のネットワークを示しています。

1979年に越境大気汚染条約に合意した欧州・北米だけでなく、アジア、アフリカや中南米においても大気汚染対策のための地域ネットワークが形成されています。グローバルな大気汚

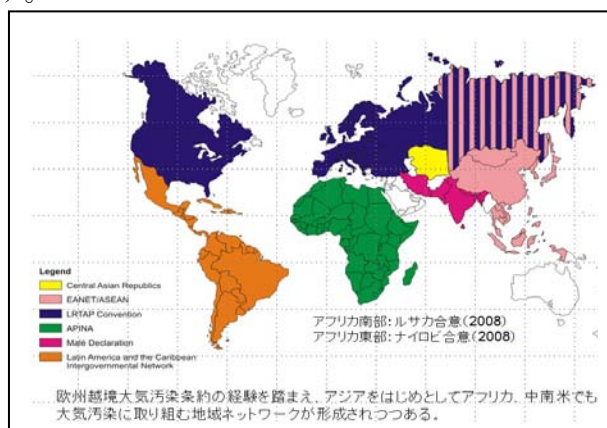


図1 大気汚染に関する世界の地域ネットワーク

染対策は、世界共通の原則や手法を踏まえつつ、これらの地域ネットワークを活用して進められることが適切と考えられます。

アジアは、アフリカや中南米などに比べて早くから越境大気汚染問題に取り組んできました。1998 年には、東アジアで「東アジア酸性雨モニタリングネットワーク」の試行稼働が、南アジアで「南アジアの大気汚染とその越境的影響の制御と防止に関するマレ宣言」に基づく活動が開始されました。アジアでは、2000 年代に入り、さらに煙霧や黄砂などに関するネットワークも形成され、現在は表 1 に示されるような、多様な大気関係のイニシアチブが活動しています。

表 1 アジアの大気汚染に関連するイニシアチブ（例）

イニシアチブの名称	対象地域	対象活動
東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET)	北東アジアと東南アジアの 13 か国	酸性雨モニタリング
南アジアの大気汚染とその越境的影響の制御と防止に関するマレ宣言	南アジア諸国	越境大気汚染防止のためのモニタリング及び対策
越境煙霧汚染に関する ASEAN 協定	ASEAN 加盟国	越境煙霧汚染 (Haze)
中央アジア環境基本条約	中央アジア諸国	大気汚染対策全般
日中韓 3 か国環境大臣会合 (TEMM)	日、中、韓	環境政策全般: 光化学大気汚染等に関する協力
大気汚染物質長距離輸送プロジェクト (LTP)	日、中、韓	越境大気汚染物質のモニタリング、モデリング
北東アジア準地域環境協力プログラム (NEASPEC)	日、中、韓、モンゴル、ロシア、北朝鮮	北東アジアの越境大気汚染問題に取り組むことを検討
大気中の茶色い雲 (ABC)	アジア諸国	エアロゾルを中心とする科学ネットワーク
クリーン・エア・アジア (CAA)	アジア諸国	主として都市大気汚染対策に関するマルチステークホルダーネットワーク
アジアコベネフィットパートナーシップ (ACP)	アジア諸国	アジアでコベネフィットアプローチを推進しようとするマルチステークホルダーネットワーク

東アジアでの大気汚染対策に関する地域協力を進めるためには、このような既存のイニシアチブの整理・統合を進めつつ、グローバルな大気汚染対策への取り組みとの調整、大気汚染対策と気候変動対策との統合といった新たに生じつつある課題に的確に対処することが求められています。

3. 地域協力推進に向けた新たな原則

越境大気汚染に関しては、1930 年代のアメリカとカナダが関わるトレイル精錬所判決、1972 年の国連人間環境宣言の原則 21 を経て、国際環境法の原則が確立しました。国連人間環境宣言の原則 21 では、環境に対する国の権利と責任に関し、「各国はまた、自国の管轄権内又は支配下の活動が他国の環境又は国家の管轄権の範囲を越えた地域の環境に損害を与えないよう措置する責任を負う。」としています。欧州における深刻な酸性雨影響を踏まえて

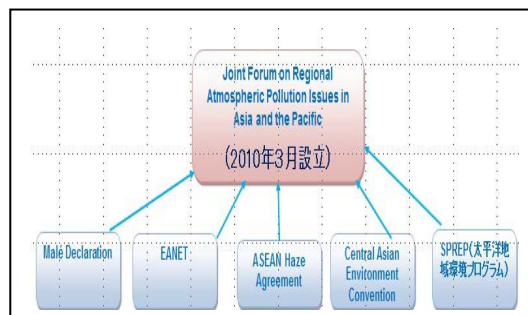
1979年に採択された欧州「越境大気汚染条約」及びその後に採択された削減議定書は、この原則を踏まえて策定されています。この原則は、ほぼ同じ内容で1992年のリオ宣言の中にも組み込まれています（リオ宣言第2原則）。

他方、環境問題に関する途上国の関わりが深まる中、多国間環境条約（MEAs）の世界では、ある国の非遵守を厳しく責めるのではなく、遵守が可能になるような支援措置を重視する傾向が強まっています。これまで越境大気汚染問題を議論する際には、既に確立された国際法原則として、国連人間環境宣言の原則21を基本としてきましたが、アジアにおける越境大気汚染問題の実情を考える場合、排出国における大気汚染対策の推進が他国への越境大気汚染対策としても大きな効果を有することから、各国が一丸となって地域全体としての大気汚染物質の排出削減を目指すような、新たな原則に基づく地域協力の枠組みが求められるようになっていっていると言えます。

4. 新たな国際協力の枠組みに向けて

(1) 既存の枠組みの整理統合

表1に示されるように、アジアでは既に多くの大気汚染関連の協力枠組みが構築されています。それらは、それぞれ異なる背景、目的のもとに創設されたものですが、その目的や活動に重複が見られること、参加する各国の関係者が同一である場合も多いこと等から、可能な範囲で整理統合を推進することが、求められています。それらの協力枠組みは、事務局や推進機関が異なることから、皆が集まって議論をするための場として、国連環境計画が創設した「アジア太平洋地域の大気環境に関する合同フォーラム」などを活用することが期待されます。そのような話し合いを通じて、例えば EANET、LTP、NEAS



2011年3月第2回合同フォーラム

PECなどの整理・統合の議論を進めることが可能になると考えられます。

(2) 科学を基盤とした政策決定の推進

アジア諸国の越境大気汚染問題に関する認識について、日本、中国、韓国、タイを対象とした調査を実施ところ、各国の大気環境政策は進展強化されつつあるものの、大気環境管理対策が断片的であることや実施上のギャップがある国も見られること、対策の優先順位について、国内対策の進展状況等に応じ国の間で差異があることなどが明らかになりました。各国とも越境大気汚染問題に関する認識はあるものの、国によっては国内大気汚染対策を優先するとの姿勢が明確でした。これは、アジアでは越境大気汚染対策を国内大気汚染対策と切り離して議論することが困難なことを示唆しています。また、汚染物質の越境移動など、政策決定の基盤をなすべき科学的事実に関する関係者間の認識の不一致が枠組み構築の障害要

因の一つになっていることもこの調査から明らかになりました。

そのような政策決定者間の認識のギャップを埋め、東アジアの政策決定者が共通の科学的認識に立って国際協調を進められるようにするためには、国の違いにかかわらず、東アジアの大気環境問題に関して科学者間の認識が共有される必要があります。S-7 プロジェクトは、そのための具体的な方策として、アジアの大気環境問題に関する半独立の科学者パネル（仮称：大気と気候問題に関するアジア科学パネル：Asian Science Panel on Air and Climate: ASPAC）を提案しています。ASPAC は、例えば大気汚染物質のグローバルな移送とその東アジアへの影響、大気汚染による人の健康や環境への影響、大気汚染対策と気候変動対策とのコベネフィットアプローチの必要性・有効性等に関し、一国を超えた共通の科学者としての見解を各国の政策決定者に伝えることが期待されます。

ASPAC 提案については、これまでに様々な国際会議の場で提案し、各国の科学者から基本的な支持を得ていますが、その具体的な仕組みについては、更なる検討が必要です。そのような検討を実施し、東アジアの政策決定者に対する強力なメッセージを送るため、ASPAC 設立に至る第一段階として、アドホックなハイレベルの科学者による会合を早急に開催するよう、関係機関に働きかけています。

(3) 具体的な対策の促進に向けた支援の仕組み

国内大気汚染問題と越境大気汚染問題が同時並行的に進みつつあるアジアでは、越境大気汚染問題を国内大気汚染問題と分離して議論することは困難です。現在最も深刻な大気汚染問題を抱える中国では、本年 9 月に国務院通知として「大気污染防治行動計画」を策定する等、大気汚染対策の早急な強化に向けて全力を挙げています。この行動計画は、2017 年までに全国の一定規模以上の都市の PM₁₀ の濃度を 2012 年比で 10%以上低下させる、北京市の PM_{2.5} の濃度を 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ にする等の目標を定め、その達成に向けて固定発生源、移動発生源対策の強化やクリーンテクノロジーの導入、産業構造の転換など 10 項目の措置を取ることとしています。それらの措置を速やかに実現するためには、中国の国内努力に加え、国際協調による技術的、資金的支援措置が必要です。そのような支援は、極めて深刻な健康被害が懸念される隣国中国の人々に対する人道的支援との観点に加え、我が国への越境汚染の減少にもつながる一石二鳥の政策です。現時点では、即効性が高いと期待される自治体間の協力や民間協力を中心に支援が進められていますが、今後の展開として、2012 年 2 月に米国が中心となり立ち上げ、我が国も参加している「短寿命気候汚染物質削減のための気候と大気同盟 (Climate and Clean Air Coalition to Reduce Short-Lived Climate Pollutants Initiative: CCAC)」を活用し、SLCP 対策の一環として、①NO_x や VOC、ブラックカーボン等を含む SLCP 削減国家行動計画 (SNAP) の策定、②SNAP に基づくプロジェクトへの世界銀行、アジア開発銀行等による支援のような、大気汚染と気候変動に係るコベネフィット推進に向けた支援の仕組みを構築することが期待されます。