

## 越境大気汚染の日本への影響

独立行政法人 国立環境研究所 大原利真

### 1 はじめに

アジア地域では、火力発電所・工場・自動車による化石燃料の燃焼などによって、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）や硫黄酸化物（SO<sub>x</sub>）、揮発性有機化合物（VOC）のような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の排出量は、中国を始めとするアジア諸国における経済成長に伴って1980年代から急増し、様々な大気汚染を引き起こしている。さらに、中国やインドでは、今後とも著しい経済成長が予想されることから、大気汚染が一層深刻化して、健康や食料生産、生態系に影響を及ぼすことが懸念される（図1）。

一方、アジア大陸の風下に位置する日本には、中国などから大量の汚染物質が流れ込んでおり、光化学スモッグ（オゾン）や酸性雨などの越境大気汚染が問題となっている。

### 2 オゾンの発生と汚染の特徴

地表近くのオゾン（O<sub>3</sub>）は、NO<sub>x</sub>とVOCが太陽からの日射（紫外線）を受けて光化学反応を起こすことによって生成される。光化学反応は、紫外線が強く高温の時に活発となるため、季節的には春～夏にオゾンができやすい。光化学反応によって生成される酸化性物質が光化学オキシダント（O<sub>x</sub>）であり光化学スモッグの指標とされているが、この光化学O<sub>x</sub>の大部分はオゾンである。オゾンは、喘息などの健康影響、農作物や森林の生育障害、大気放射への影響などをもたらす。

日本の地表近くのオゾンは、東アジア地域における気象の季節変化に大きな影響を受けている。すなわち、オゾン濃度は、①春から初夏にかけて、日射と気温の上昇とともに増加し、②清浄な海洋

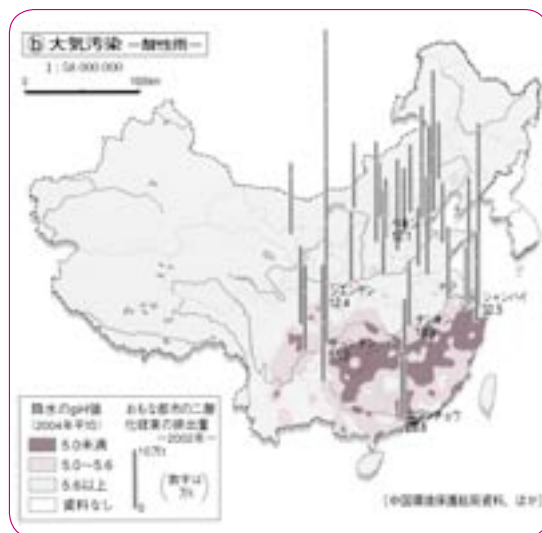


図1 『新詳高等地図(初訂版)』p.114②  
⑤大気汚染—酸性雨—

性気団の影響が強まる盛夏には減少し、③海洋性気団の影響が弱まる（汚染された大陸性気団の影響が強まる）秋季に再上昇して、④日射や気温が低下する冬季に減少する、という特徴的な季節変化を示す。日射（紫外線）と気温の変化はオゾンの光化学生成量に影響し、気流の変化は日本列島が清浄気塊（海洋性気団）と汚染気塊（大陸性気団）のどちらの影響を受けるのかを左右する。また、大都市の周辺地域では、このようなオゾンの変化をベースに、都市大気汚染によって作られたオゾンが夏季に上乘せされた形で季節変化する。

日本のオゾン濃度は1980年代後半から上昇している。また、光化学スモッグ注意報（光化学O<sub>x</sub>濃度が120ppbを継続して超過すると判断される場合に発令）を発令した都道府県数は、2007年には28都府県に達して過去最多となり、汚染が広域化している。さらに、離島や山岳のような清浄地域でも、オゾン濃度の上昇が観測されている。このようなオゾン上昇の要因として、大陸からの越境汚染の影響が考えられる。

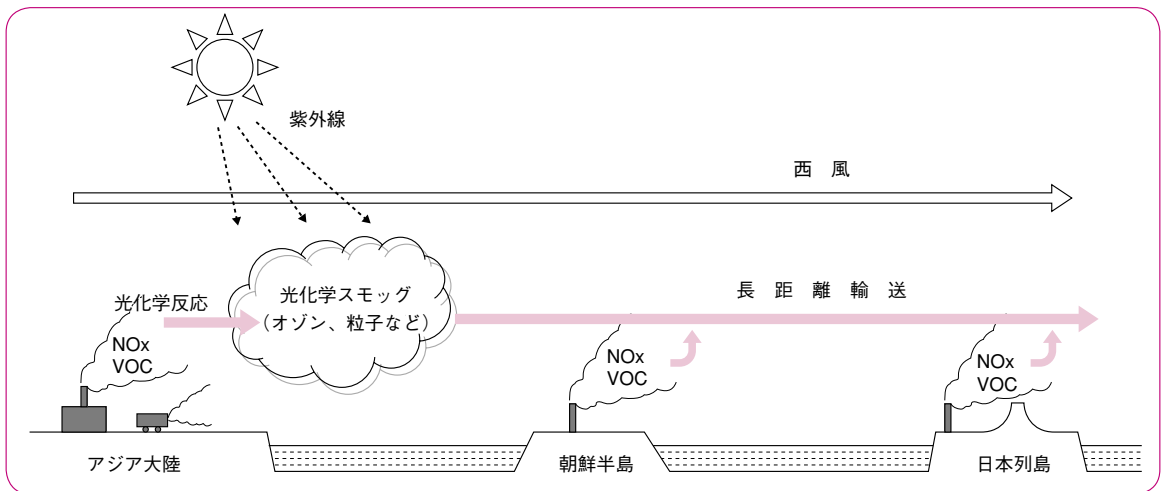


図2 光化学スモッグの越境汚染の概念図

### 3 オゾンの越境汚染

中国の沿岸地域には、北京・上海などの巨大都市や大規模な石炭火力発電所・工場などの多数の汚染発生源が存在し、NO<sub>x</sub>やVOCを大気中に放出している。これらの汚染物質から生成したオゾンは、大陸から西風が吹いている場合には、東シナ海や黄海などの海上を通過して日本上空まで運ばれ、越境汚染を引き起こす（図2）。

2007年5月8日から9日にかけて、九州から西日本を中心とする広い範囲で光化学スモッグ注意報が発令され、近くに大きな発生源がない九州北部の離島でも光化学O<sub>x</sub>が高濃度となり、大きな社会問題となった。図3には、その時の地上オゾン濃度分布の数値シミュレーション結果を示す。中国東岸から流れ出した汚染気塊が、東シナ海に位置する移動性高気圧の北側の西風によって、朝鮮半島南部を経て日本列島に運ばれ、九州北部から東日本の広い範囲に高濃度のオゾン域を形成する様子が表現されている。形成された高濃度の汚染気塊は、水平スケールが東西500kmを超えるもので、中国国内の汚染物質のみでなく、韓国や日本国内の影響も受けていると考えられる。そのうち、中国の寄与率は地域と期間によって異なるが、最大で数10%程度と見積もられる。また、別の計算結果によると、地上オゾンの4月平均濃度は、本

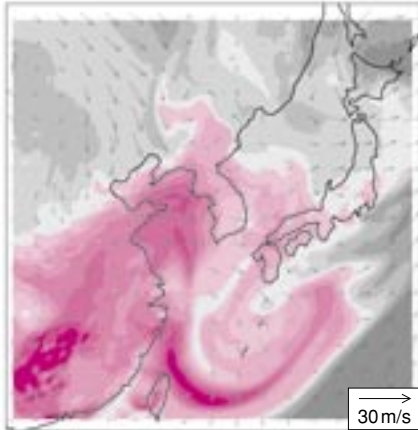
州を含む日本海周辺地域の広い範囲で日本の環境基準（1時間平均濃度で60ppb）を超過しており、そのうちの10～20%程度が中国・韓国起源であることが判明している。

### 4 酸性雨に対する越境汚染の影響

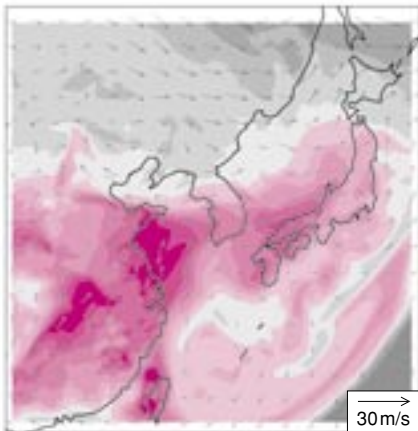
大気中に放出されたSO<sub>x</sub>やNO<sub>x</sub>が大気中で酸化されて硫酸や硝酸になり、最終的には、降水に溶解したり、ガスやエアロゾル（粒子）の状態でも地表面に沈着する。これが、いわゆる「酸性雨」である。図4は、シミュレーション結果により得られた日本の硫酸沈着量の発生源地域別割合を示す。全国の沈着量の発生源地域別割合は、中国が49%と最も多く、次いで日本21%、火山13%、朝鮮半島12%の順となっている。このように、日本における硫酸沈着量のうち約半分は、中国の火力発電所や工場から排出されたSO<sub>x</sub>を起源としている。さらに、他の国の影響も含めると、越境汚染の寄与率は約2/3に達する。

日本国内の地域別に見ると、北海道や東北では中国からの寄与率が50～60%と高く、半分以上を占めている。とくに、冬季には、北西季節風によって大陸から汚染物質が運ばれ、日本海側地域の降雪によって地上に沈着しやすくなるため、越境汚染の影響が大きくなる。一方、九州や中国・四国・近畿地方では、桜島などの九州地方の活火山から

(a) 2007年5月7日 15時



(b) 2007年5月8日 15時



(c) 2007年5月9日 15時

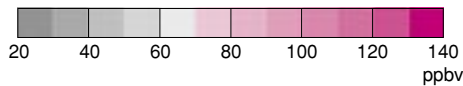
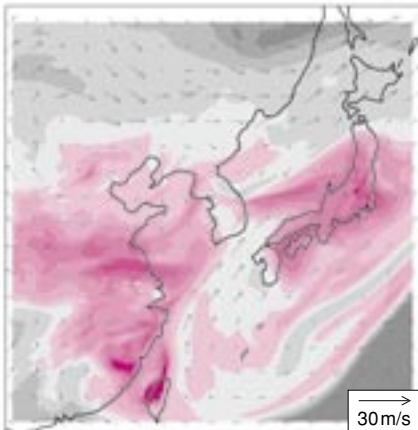


図3 2007年5月7～9日の地上オゾン濃度分布 (シミュレーション結果)

放出されたSO<sub>x</sub>の影響を受け、火山の寄与率が約20%と高い。これらの西日本地域では、南よりの風が吹き、桜島などの火山の風下になる暖候期に火山の影響が大きくなる。また、大きな都市や工業地域を含む中部・関東や中国・四国・近畿地方では自国の影響が大きく、その割合は約1/3を占める。

## 5 おわりに

以上、見てきたように、日本の大気質は、中国などからの越境汚染の影響を強く受けていると考えられる。しかし、未知の問題・課題も残されており、また、国際的な共通理解も充分には得られてないことから、越境汚染に関する科学的な知見を集積することが重要である。また、本稿では、越境汚染を東アジア起源の側面からのみ論じたが、ヨーロッパや北米からの越境汚染（大陸間輸送）の重要性も指摘されている。

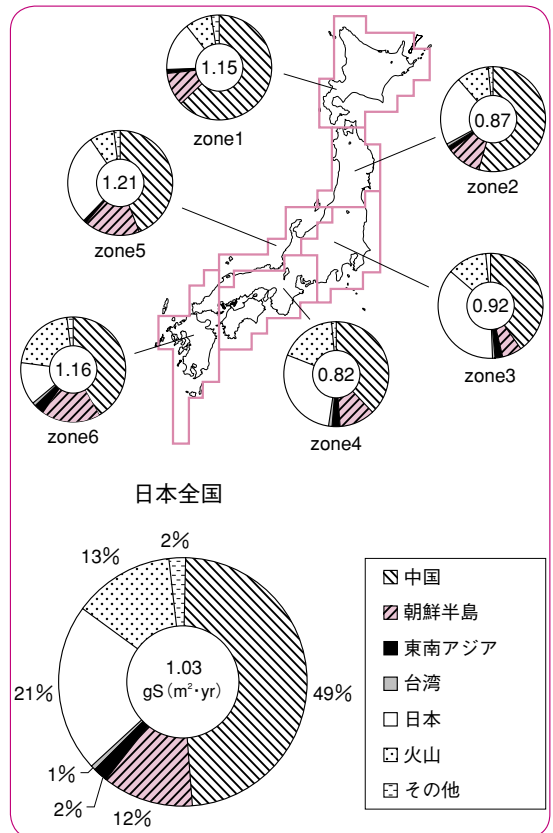


図4 硫酸沈着量(gS/(m<sup>2</sup>・yr))の発生源地域別割合 (1995年の結果；井上ほか(2005)による)