

**北東アジアにおける大気汚染物質の
長距離輸送プロジェクト
第4期（2013～2017年）
サマリレポート**

2019

1. イントロダクション

汚染物質の越境移動のメカニズムの共通理解を確立するため、日中韓3か国は1996年以降、専門家会合を開催してきた。LTPプロジェクトの目的は、大気環境の状況、近隣の国への影響、大気環境を改善する各国の政策立案を調査研究することである。

LTPプロジェクトは、以下の4期で実施されてきた。

- 第1期(2000～2004)：観測およびモデリングの共同研究のための基盤の構築
- 第2期(2005～2007)：3か国で合意された排出データを用いた硫黄化合物のS-R(ソース・レセプター)関係の作成
- 第3期(2008～2012)：排出インベントリのアップデートと窒素化合物への研究対象の拡大
- 第4期(2013～2017)：日本、中国、韓国のPM2.5濃度のソース・レセプター関係に着目した研究

このレポートは、北東アジアにおける大気汚染物質の長距離輸送プロジェクト(LTP)の第4期研究ステージ(2013～2017)の結果を要約したものである。

2. LTP観測の統合と解析

日中韓3か国のモニタリングサイトは、北東アジアの大気汚染物質の越境移動を把握できるように、LTPプロジェクト共同運営委員会の合意のもとで選定された。

2.1 LTPモニタリングサイト

中国では大連、煙台、厦門、韓国では白翎島、江華島、泰安、高山、日本では利尻と隠岐をそれぞれモニタリングサイトとして選定した。

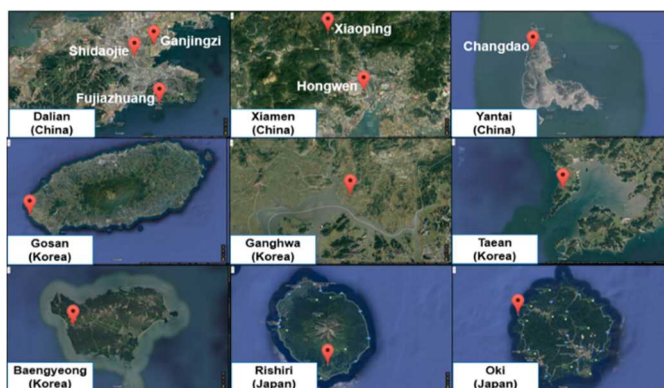


図2.1 LTPプロジェクトにおける3か国のモニタリングサイトの位置(グーグルマップ)

表2.1 3か国のモニタリングサイトの概要

国	地点名	タイプ	データ報告年	北緯	東経	
中国	大連	Shidaojie	都市	2002-2017	38° 57'N	121° 33'E
		Ganjingzi	都市	2002-2017	38° 58'N	121° 36'E
		Fujiazhuang	都市	2002-2017	38° 51'N	121° 37'E
	厦門	Xiaoping	田園	2002-2014	24° 51'N	118° 02'E
		Hongwen	都市	2002-2014	24° 41'N	118° 08'E
	煙台	Changdao	遠隔	2015-2017	38° 11'N	120° 44'E
韓国	高山	遠隔	2000-2017	33° 17'N	126° 09'E	
	江華島	田園	2000-2017	37° 53' N	126° 27'E	
	泰安	田園	2000-2017	36° 44' N	126° 08'E	
	白翎島	遠隔	2013-2017	37° 57' N	124° 37'E	
日本	利尻	遠隔	2000-2017	45° 07'N	141° 14'E	
	隠岐	遠隔	2000-2017	36° 17'N	133° 11'E	

3か国のモニタリングサイトに関する位置、情報は表2.1の通りである。

中国のモニタリングサイトは3都市である。これらのうち、大連と煙台は中国の北部、厦門は南部に位置する。大連市は遼寧省沿岸部に位置し、3か所のモニタリングサイトが含まれる。煙台市は、山東省の沿岸部に位置し、1つのモニタリングサイトが含まれる。厦門市は福建省の沿岸部に位置し、2か所のモニタリングサイトが含まれる。

韓国の4か所のモニタリングサイトは、西海岸(白翎島、江華島、泰安)、済州島(高山)に位置する。白翎島モニタリングサイトは、韓国の西海岸の北部に位置する。江華島モニタリングサイトは、ソウルの西部に位置し、首都圏から移動する大気汚染物質を評価することができる。泰安モニタリングサイトは、韓国の中西部地域に流入する大気汚染物質を観測することができる。高山モニタリングサイトは、北部アジアのバックグラウンドの代表地点であり、済州島の西海岸に位置している。

日本のモニタリングサイトは、2つの島に位置している。利尻は日本の北部の北海道の北西の島である。日本の南西部にある隠岐モニタリングサイトは、日本と朝鮮半島の間にある島に位置している。

2.2 モニタリング結果

2.2.1 長期間のモニタリング結果

2017年のSO₂の平均濃度は、中国4.8ppb、韓国2.6ppb、日本0.2ppbであった。中国では2007年以降、急激に減少しており、韓国では2011年以降微減、2015年以降微増となっている。日本では比較的低い濃度を示しており、明らかな減少傾向はみられず、一定の濃度を示している。(図2.2)

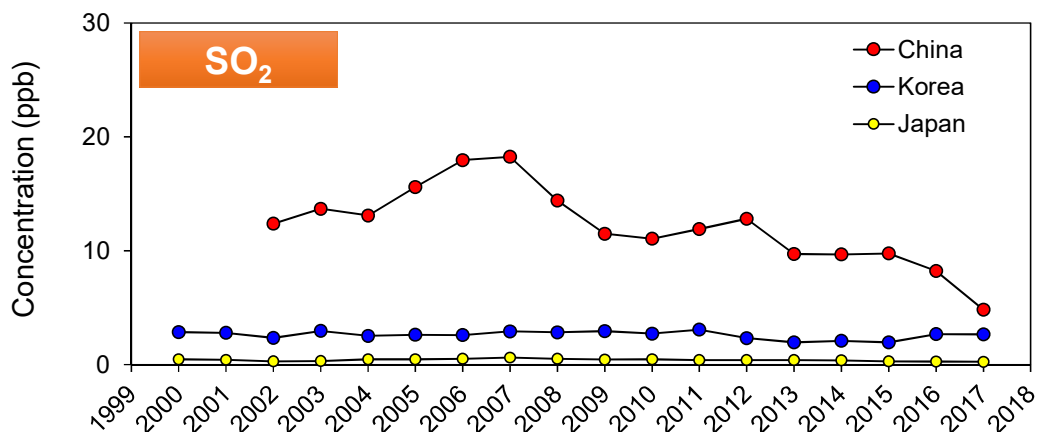


図2.2 長期モニタリング期間における日中韓のSO₂年平均濃度(個々のサンプリング地点の濃度の平均値)

2017年のNO₂の平均濃度は、中国9.8ppb、韓国7.2ppb、日本0.8ppbであった。遠隔地のNO₂は、いくらかのPAN及びHNO₃を含みうることに留意すべきである。中国の平均濃度は2011年まで増加し続けていたが、その後顕著に減少し、日本と韓国は比較的安定し、僅かな年変動を示した。しかし韓国の平均濃度は近年僅かに増加している。(図2.3)

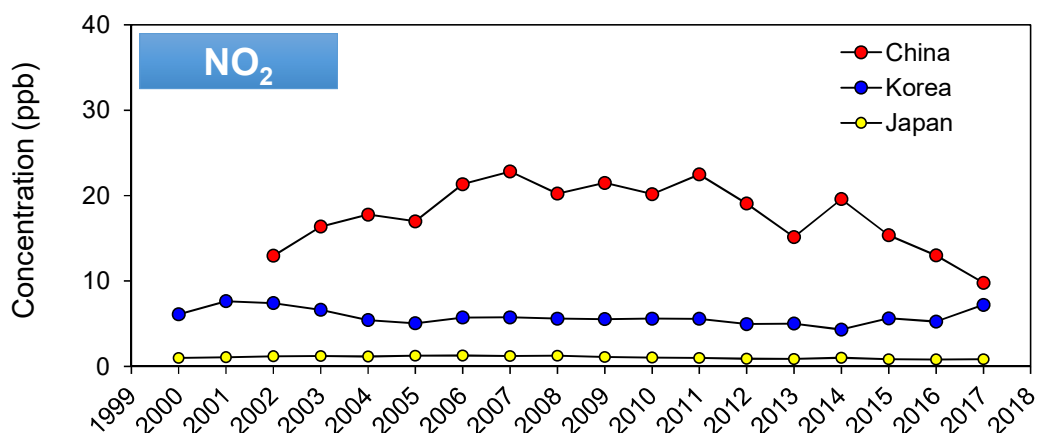


図2.3 長期モニタリング期間における日中韓のNO₂の年平均濃度(個々のサンプリング地点の濃度の平均値)

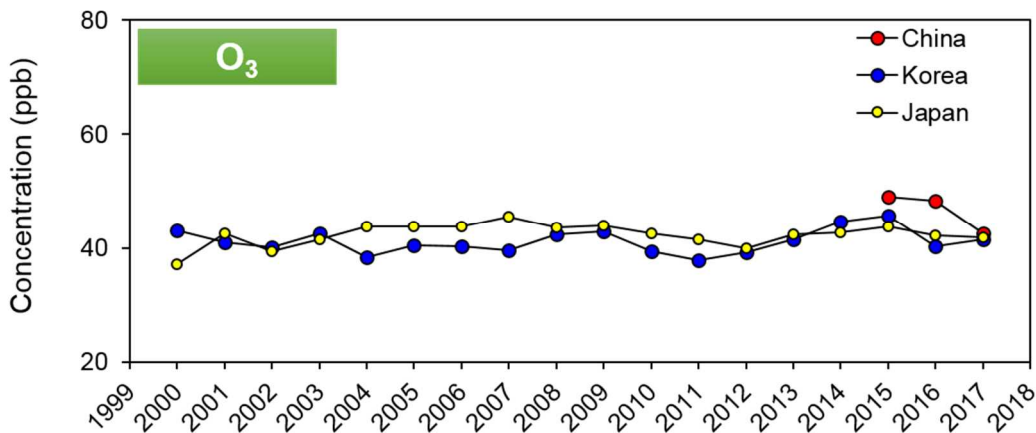


図2.4 長期モニタリング期間における日中韓のO₃の年平均濃度(個々のサンプリング地点の濃度の平均値)

2017年のO₃の平均濃度は、中国42.6ppb、韓国41.6ppb、日本41.9ppbで類似していた。中国は観測開始以降減少傾向を示している。日本では明確は年々変動はない。韓国の場合、2011年以降増加傾向であるが、全体的には比較的一定で推移している。(図2.4)

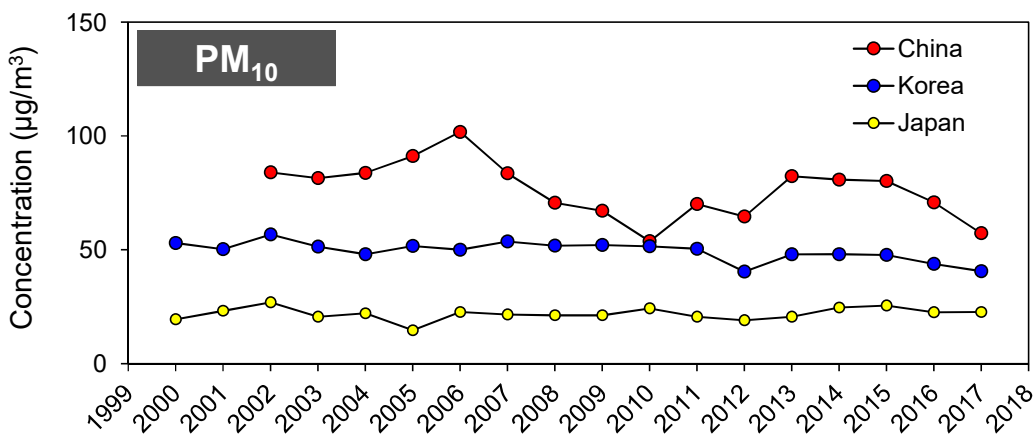


図2.5 長期モニタリング期間における日中韓のPM10の年平均濃度(個々のサンプリング地点の濃度の平均値)

PM10の平均濃度は、中国57.3 µg/m³、韓国40.6 µg/m³、日本22.7 µg/m³であった(図2.5)。中国と韓国の年間の環境基準がそれぞれ70 µg/m³(国の基準の第2レベル)、50 µg/m³であることを考慮すると、中国の最近の濃度は基準を超過していない。中国の濃度は2006年以降減少の傾向を示しており、2010年から2013年に一時的に増加し、2013年以降は再び減少傾向を示している。韓国と日本では、減少傾向を示し、かつ濃度は減少し続けている。

PM2.5の年平均濃度は、中国34.3 µg/m³、韓国20.1 µg/m³、日本9.5 µg/m³であった。中国は2014年以降、韓国は2013年以降、減少傾向を示している。(図2.6)

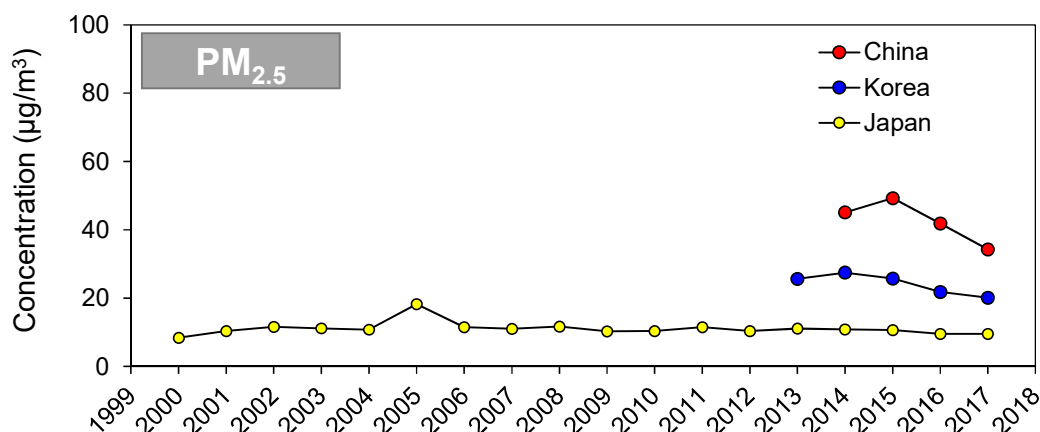


図2.6 長期モニタリング期間における日中韓のPM2.5の年平均濃度(個々のサンプリング地点の濃度の平均値)

2.2.2 集中モニタリングの結果

2015～2017年の集中モニタリング期間における、中韓の5つのサイトのPM2.5の重量濃度と水溶性イオン濃度の日々の変動によると、主に自動車、工場、住宅等の人為的な発生源から排出された SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ が、東アジアのPM2.5の主要な化学成分であることが明らかである。更に顕著であるのは、中国と韓国において、PM2.5の総量に対する8種の水溶性イオンの構成割合が、徐々に増加している。

2.2.3 各国のPM2.5の傾向

近年、大気汚染物質の排出を削減するために、3か国によって相当の努力がなされた。中国の338都市のモニタリングデータによると、2015年から2018年にかけて、PM2.5濃度は全国的に約22%と大きく減少している。日本では2015年の $13.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ から、2017年には $11.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に減少し、僅かな減少傾向を示している。韓国でも、2015年の $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ から2018年に $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に減少しており、大気環境の改善の取組において、韓国政府は、国のPM2.5の環境基準を2018年に $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ から $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に強化した。各国のPM2.5の傾向は図2.7に示されている。

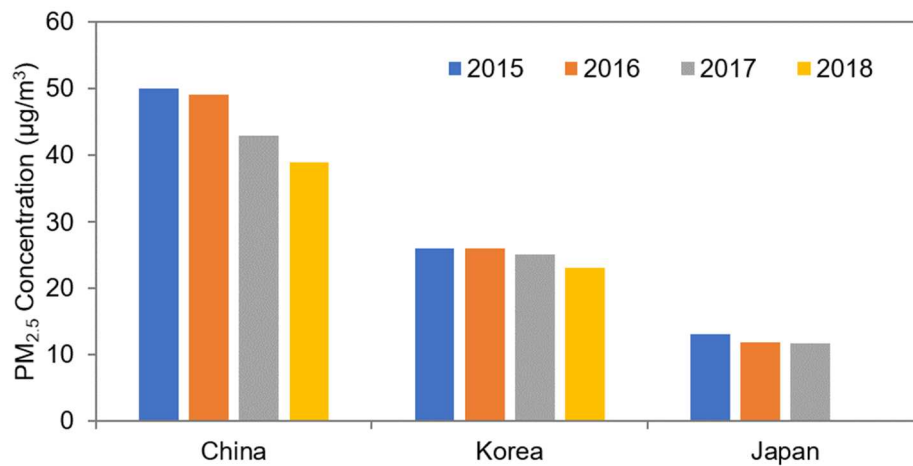


図2.7 3か国のPM2.5の平均濃度の推移(2018年の日本の値は、報告書作成時点で未確定で図に含まれていない)

3. モデリング結果の統合と解析

LTPプロジェクトの一環として、3か国のソース・レセプター関係を明らかにするために大気環境のモデリング研究が実施された。2017年を基本年とする3か国の結果は以下の通り要約できる。

3.1 モデルとモデリング領域

LTPの第4期におけるPM2.5のソース・レセプター関係が、2017年を基本年として3か国において推定された。気象と大気質のモデルについて、WRF-CAMx(中国)、WRF-CMAQ(日本と韓国)のモデルが使用された。排出データは、3か国から提供された排出インベントリ(中国:CRAES提供、韓国:NIER提供、日本:ACAP提供)を統合して使用した。

LTPの領域は、北東アジアのおおよそ東経70度から150度、北緯20度から55度をカバーしており、したがって3か国の多くの部分、モンゴルとロシアの一部、東南アジアの一部を含む。中心点を北緯37度、東経123度にセットされたランベルト正角円錐図法が地図投影法として使用された。ソース・レセプター解析のための12のレセプター都市が表3.1の通り合意された。

表3.1 ソース・レセプター解析における12のレセプター都市とその位置

国	レセプター都市	代表地点	
		北緯	東経
中国 (CHI)	北京 (BEI)	39° 58' N	116° 24' E
	天津 (TIA)	39° 04' N	117° 18' E
	上海 (SHA)	31° 13' N	121° 24' E
	青島 (QIN)	36° 06' N	120° 24' E
	瀋陽 (SHE)	41° 45' N	123° 24' E
	大連 (DAL)	39° 03' N	121° 44' E
韓国 (KOR)	ソウル (SEO)	37° 32' N	126° 55' E
	大田(DAE)	36° 21' N	127° 22' E
	釜山(BUS)	35° 10' N	129° 04' E
日本 (JPN)	東京 (TOK)	35° 41' N	139° 43' E
	大阪 (OSA)	34° 36' N	135° 29' E
	福岡 (FUK)	33° 35' N	130° 24' E

3.2 排出データ

2017年に対するLTP排出インベントリを作成した(LTP-2017排出量)。3か国の排出データは、中国はCRAESから2017年のデータが、韓国はNIER、日本はACAPから2015年のデータが提供され、LTPモデリング領域に統合された。各国の排出データは、同じ排出源カテゴリーシステムと統一するために、共通のテンプレートが使用された。また領域を通して36kmの水平解像度の時間排出量を作成するために、各国の排出をモザイク状に組み合わせた。自然からのガス状の生物起源の排出データとして、MEGAN2が利用された (Guenther et al., 2006)。

3.3 PM2.5のソース・レセプター(S-R)関係

2017年のPM2.5のS-R関係の年平均が計算された。2017年のS-R関係のシミュレーションの結果は、濃度が高かった日を含め、自国の排出が、各主要都市のPM2.5濃度の多くを占めていたことを示している。自国の寄与は、中国91.0%、韓国51.2%、日本55.4%であった。

PM2.5濃度は日中韓の各国で相互に影響を及ぼしている。中国の寄与は、韓国の主要都市で32.1%、日本の主要都市で24.6%、韓国の寄与は、日本の主要都市で8.2%、中国の主要都市で1.9%、日本の寄与は中国の主要都市で0.8%、韓国の主要都市で1.5%である。

3.4 不確実性

PM2.5のシミュレーションは、CAMxとCMAQのモデルで行われ、全体的に、12のレセプター都市における全ての測定値に対し、いくらかの過小評価を持つことが確認された。また、モデリングの過程において、以下のようないくつかの制約が見られた。

- 1) S-R関係のモデリング方法論と気象場における不確実性
- 2) 排出インベントリと、粗いグリッド解像度における不確実性
- 3) 化学反応、エアロゾル過程、及び気象のメカニズムにおける不確実性

しかしながら、これらのシミュレーションは、大気質の状況を分析し、診断するためには依然として合理的であると考えられる。

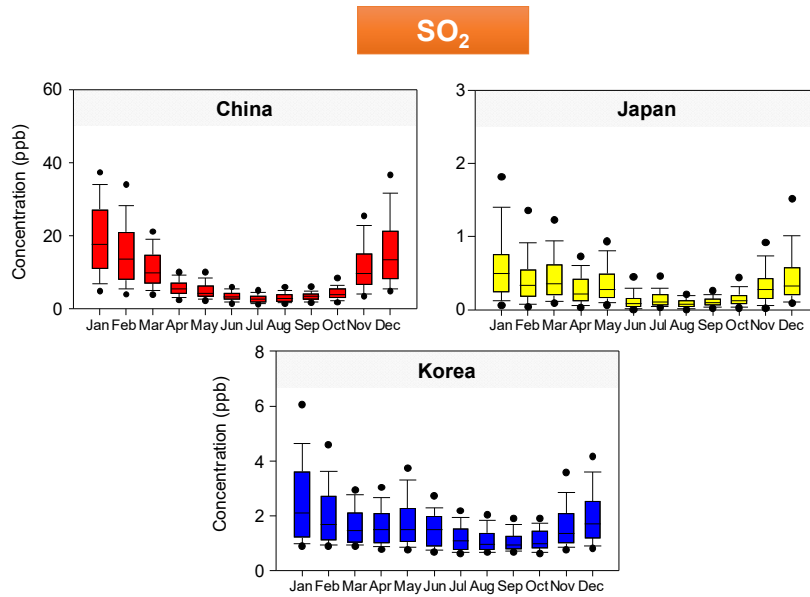
4. 要約と提言

大気汚染物質の越境移動のメカニズムの共通理解を確立するために、日中韓3か国の専門家がデータと情報を共有し、モニタリングとモデリングの結果について議論した。現在までに各国は、LTPプロジェクトを通して、観測、モデルの改良、モデルシミュレーションを実施してきた。第22回専門家会合において共有された結果が報告され、一方で専門家は方法論において更なる改善が必要であるとの見解を共有した。

以下のモニタリング、モデリングに関する結論が強調された。

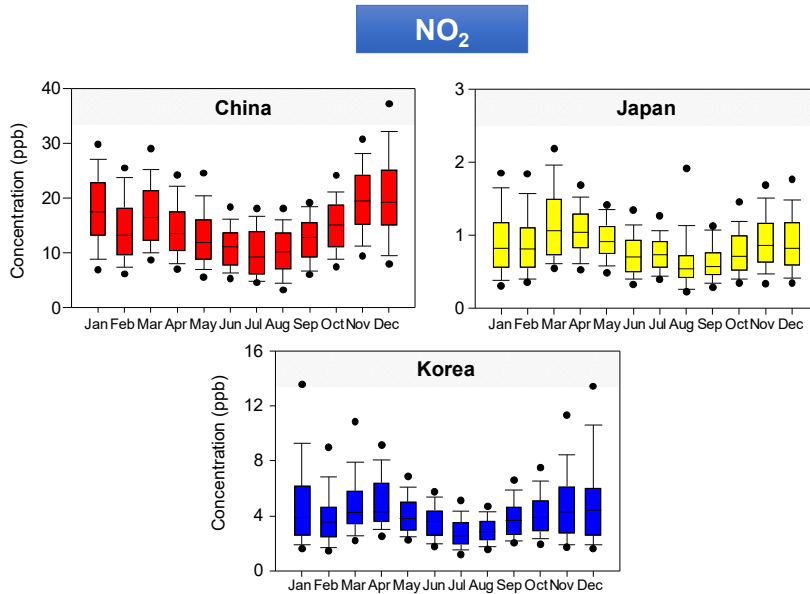
1. 北東アジアにおける長距離越境大気汚染に関し、3か国によって、TEMMのための最初のサマリーレポートが共同で作成された。大気汚染の性質を調査するため、LTP会合を通じて作成された最近の同じ排出インベントリをベースとして、3か国がモデルシミュレーションを実施した。
2. SO₂、NO₂、PM2.5、PM10の年平均濃度は、日中韓のLTPモニタリングサイトにおいて近年減少の傾向を示した。
3. モデリングの不確実性とモニタリングの制約が存在するとしても、3か国は、北東アジアにおける大気汚染の減少傾向を首尾よく診断したことについて合意した。
4. 3か国のモデリングの結果は、いくつかの例外を除きよく類似しているし、モニタリングデータや北東アジアの基本的な自然条件に沿ったものになっている。
5. 各国の汚染物質濃度への支配的な寄与は、一般的に国内の発生源からであり、国内および北東アジア地域の大气環境を改善するためには、発生を削減することが重要であることを強調した。
6. 成分をターゲットにしたモニタリング及び発生量の削減に関する更なる研究は、3か国の継続的な協力を通して、効果的に大气環境を改善することに貢献するであろう。

5. 付属資料



図A.1 日中韓のモニタリングサイトにおけるSO₂の5年間(2013~2017)の月平均濃度の推移

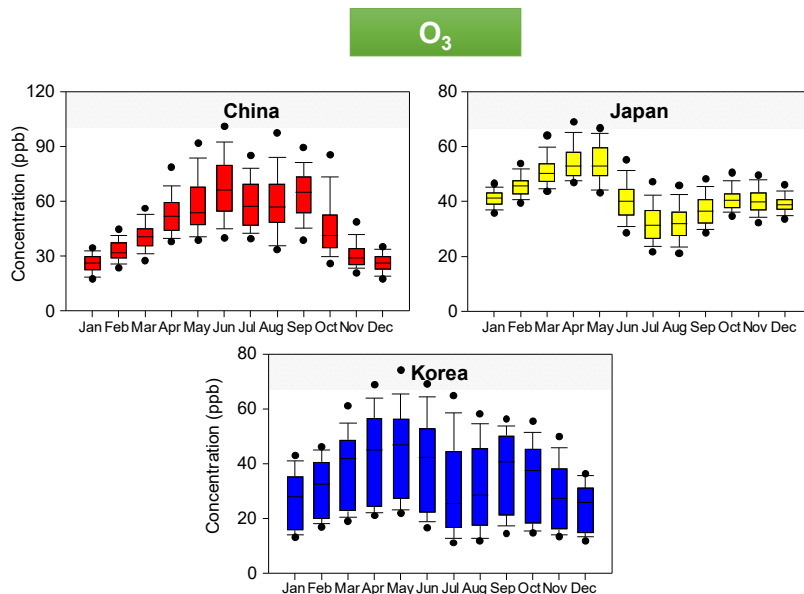
3か国のSO₂濃度は、典型的な季節変化を示している(冬に高く、夏に低い)。冬季の暖房のための化石燃料の燃焼、燃焼過程における燃料に含まれる硫黄の酸化、それと好ましくない(汚染が起こりやすい)気象条件が一般的にSO₂濃度の増加をもたらす(図A.1)。



図A.2 日中韓のモニタリングサイトにおけるNO₂の5年間(2013~2017)の月平均濃度の推移

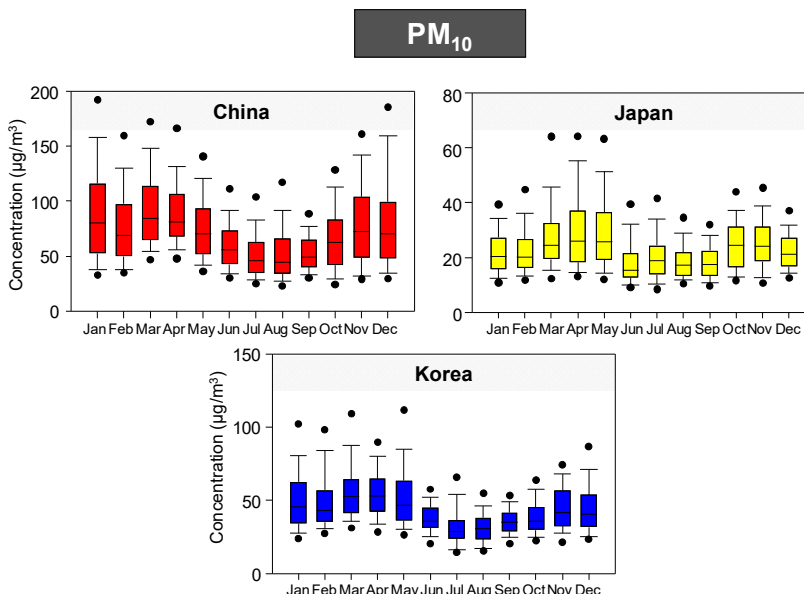
3か国のNO₂濃度も、1次排出により典型的な季節変化を示している(冬に高く、夏に低い)(図A.2)。しかしSO₂ほど季節変化は顕著ではない。SO₂に比べNO₂は、暖房用の燃料を含

め様々な発生源から年間を通して比較的コンスタントに排出された。



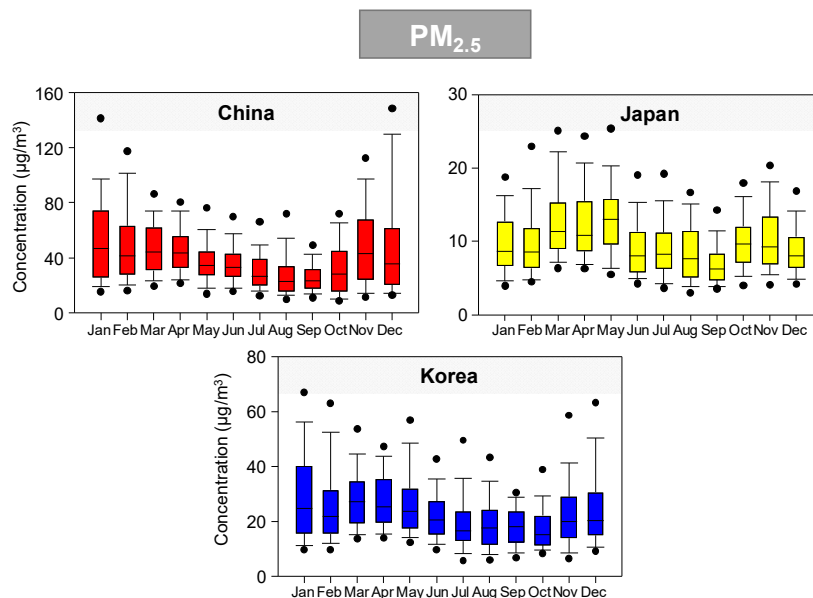
図A.3 日中韓のモニタリングサイトにおけるO₃の3年間(2015～2017)の月平均濃度の推移

中国では、O₃濃度は夏季に最も高く、冬に最も低い。韓国及び日本では、O₃濃度は春季に最も高く、夏季に最も低い。それから秋季に増加し、冬季に減少する傾向となっている(図A.3)。夏季においては、清浄な空気の塊が南風によって移動し、O₃濃度の低下をもたらす。太陽の日射と気温の影響は、前駆物質の濃度よりも大きい可能性がある。



図A.4 日中韓のモニタリングサイトにおけるPM10の5年間(2013～2017)の月平均濃度の推移

PM10の月平均濃度は、冬季、春季に高く、夏季に低い。これらの濃度変化は、冬季における燃料の消費量の増加及び長距離移動、夏季の降雨、春季の黄砂が原因となって発生した可能性がある(図A.4)。加えて、季節にかかわらず濃度の上昇が観測され、これらはバイオマス燃焼を含む様々な局地的な発生源に影響されている可能性がある。



図A.5 日中韓のモニタリングサイトにおけるPM2.5の3年間(2015～2017)の月平均濃度の推移

PM2.5の月平均濃度は、PM10と同様、冬季、春季に高く、夏季に低い(図A.5)。しかしPM10と異なり、PM2.5の濃度は秋季より夏季に高くなる。これは夏季の光化学反応による2次生成の影響によるものである。加えて、2000年までは、季節変化がPM10と類似していたが、2000年以降は様々な季節に高濃度現象が発生した。これは、2次生成と長距離の大気輸送の影響と考えられる。

頭文字

LTP	Long-range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia
PAN	Preoxyacetyl nitrate
ACAP	Asia Center for Air Pollution Research
CRAES	Chinese Research Academy of Environmental Sciences
NIER	National Institute of Environmental Research
WRF	Weather Research and Forecasting Model
CAMx	Comprehensive Air Quality Model with Extensions
CMAQ	Community Multiscale Air Quality Modeling System
MEGAN	Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature
S-R	Source-Receptor
TEMM	Tripartite Environment Minister's Meeting