

C-051 アジア大陸からのエアロゾルとその前駆物質の輸送・変質プロセスの解明に関する研究
(6) バックグラウンド地域（北部ユーラシア）からの輸送と影響に関する研究

財団法人日本環境衛生センター・酸性雨研究センター

大泉 毅(H17, 18), 家合浩明(H19)

平成 17～19 年度合計予算額 26,280 千円

(うち、平成 19 年度予算額 10,680 千円)

※上記の合計予算額には、間接経費 6,064 千円を含む

[要旨]東シベリア及び沿海州地域の大气環境に関する研究では、欧州からアジア地域への長距離越境大気汚染の評価において重要な位置にあるロシア東シベリア及び沿海州地域の大气環境を把握するため、平成 17 年度から 3 年間、東シベリア地域 3 地点及び沿海州地域 1 地点において、湿性沈着並びに大気中のガス状及び粒子状物質濃度についての通年観測、移流指標物質として環境試料中の鉛濃度、さらに鉛同位体比の測定も行った。

東シベリア及び沿海州地域における降水中の主要な酸性成分は硫酸イオン、主要な塩基性成分は非海塩性カルシウムイオンとアンモニウムイオンであること、これらの湿性沈着量は東シベリア地域においては夏季に多く冬季に少ないという季節変動を示すこと、大気中の粒子状物質のうち、硫酸塩と硝酸塩については降水中とほぼ同様の濃度比を示したが、アンモニウム塩は粒子状物質中で、カルシウム塩は降水中で、より高い割合で検出されていることが確認された。また、東シベリア地域のモンディにおいては、降水量に比して湿性沈着量が少なく、ガス状及び粒子状物質の大気中濃度も低いことから、非常に清浄な地点であることがわかった。

これらの観測結果及び解析手法は、長距離輸送モデル開発における検証データとしてあるいは東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)のデータ解析に有用であると考えられる。

広域輸送モデルの相互比較と北部ユーラシアにおける大気汚染物質輸送のモデルシミュレーションに関する研究では、東アジア各国及び欧米の研究者によって開発されている東アジア規模での大気質や酸性雨を対象とした長距離輸送モデル間での硫黄化合物、窒素化合物及びオゾンなどを対象とした精度比較を実施してきた。これまで、8 つのモデル研究機関の参加により、計算結果の相互比較や詳細な解析が進められ、その状況についてはオーストリアの国際応用システム分析研究所(IIASA)で毎年開催されるワークショップにおいて報告されてきた。平成 19 年度には Phase II プロジェクトにおいて得られた結果について、各研究者がそれぞれ 9 本の論文としてまとめて、雑誌に投稿した。また、IIASA におけるワークショップも開催し、各々の研究の進捗状況の報告及び次期プロジェクト(Phase III)の内容についての検討が行われた。

[キーワード] 北部ユーラシア、大気環境、長距離越境大気汚染、広域輸送モデル、モデル間比較

1. はじめに

ロシアの東シベリア及び沿海州地域はユーラシア大陸東部に位置し、その大気環境は欧州からの影響を受けるとともに、さらにその後、日本列島の大気環境にも影響を及ぼす地理的条件下にある。このことから、当該地域での大気環境の実態を把握し、評価することは、越境大気汚染（特に酸性・酸化性物質に係る大気環境）を評価していくうえで極めて重要なことであると考えられる。大気環境の実態の評価は、酸性・酸化性物質の大気中濃度（ガス状及び粒子状物質濃度）、地上への沈着量（湿性及び乾性沈着量）を把握し、さらに大気中の汚染物質の移流状況を長期間把握する（移流指標物質の測定及び気象解析による。）ことにより可能となる。しかしながら、当該地域では、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）が稼動する前においては、降水成分について測定を実施した報告例は少なく、ガス状及び粒子状物質濃度に関しても、通年での観測データは非常に限られたもののみであった。これらのことを踏まえて、本研究ではロシアの当該地域における大気環境の実態を把握するための研究を試みた。

また、ロシアや中国を含む東アジア全域における大気環境の現状把握及び将来予測に関わる越境大気汚染の国際的合意形成には、観測データを有効に利用して開発された長距離輸送モデルによるシミュレーションが重要な役割を担うものと考えられた。このため、東アジア各国及び欧米の研究者によって開発された長距離輸送モデルの比較研究として、硫黄化合物、窒素化合物及びオゾンなどを対象とした精度比較を実施した。その後、ワークショップを開催し、そこで、各々の研究者による計算結果の比較や解析結果の取りまとめ、今後の進め方などを検討した。

2. 研究目的

ロシアでの観測は、北半球における大陸間の大気汚染物質の輸送を検討する基礎資料を得るため、欧州から東アジアへの輸送経路上に位置する東シベリア及び沿海州地域の 4 地点において大気中のガス状及び粒子状物質濃度及び降水中の成分濃度についての通年観測、また、移流指標物質として環境試料中の鉛濃度及び同位体比の測定を行い、当該地域の大気環境を評価することを目的とした。

また、モデル間比較研究は、東アジア各国及び欧米の研究者によって開発されている東アジア規模での大気質や酸性雨を対象とした長距離輸送モデル間の精度比較を通じて、東アジア地域に適した長距離輸送モデルについて検討することを目的とした。これは今後の国際的合意形成の円滑化に寄与するものと考えられる。

3. 研究方法

（1）東シベリア及び沿海州地域の大気環境に関する研究

東シベリア地域においてはモンディ（Mondy、以下 MO、ロシア・モンゴル国境沿いの Khamar-Daban

山地頂上付近に位置する天文観測所、標高 2000m、遠隔地域）、リストビアンカ（Listvyanka、以下 LI、

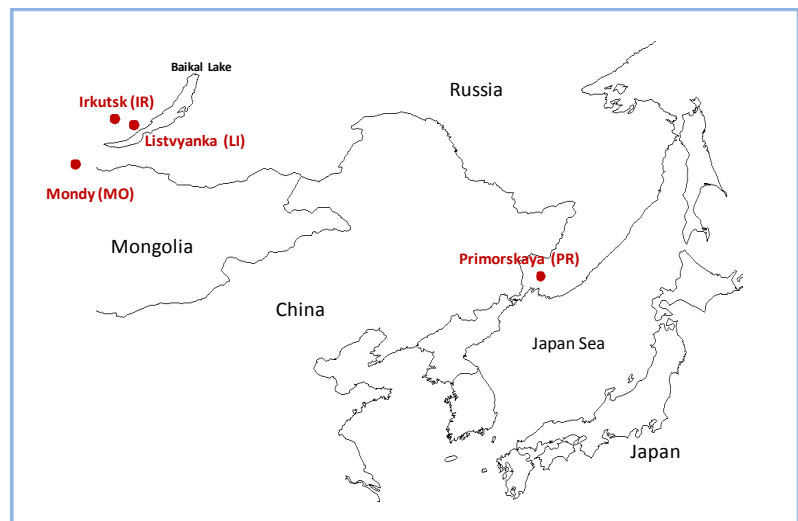


図1 調査地点

バイカル湖南西岸の天文観測所、標高 700m、田園地域) 及びイルクーツク (Irkutsk、以下 IR、イルクーツク市西部に位置するロシア科学アカデミー・シベリア支部の湖沼学研究所構内、標高 400m、都市地域) の 3 地点、並びにそれら地域と比較するための地点として沿海州地域のプリモルスカヤ (Primorskaya、以下 PR、ウラジオストク市北方約 70km の気象観測所、田園地域) 1 地点の合計 4 地点において、降水並びに大気中のガス状及び粒子状物質を通年捕集した。図 1 に調査地点の位置関係を示した。

降水は降水時開放型捕集装置 (冬期にはバケツ捕集を併用) を用いて採取した。SO₂、HNO₃、NH₃ 等を含むガス状及び粒子状物質はフィルターパック法 (テフロンろ紙、ナイロンろ紙、アルカリ含浸ろ紙、酸含浸ろ紙を順に装着した 4 段ろ紙法¹⁾) を用いて採取した。さらに、各地点において、降雨または積雪を採取し、そこに含まれている鉛濃度及び鉛同位体比の測定も併せて行った。MO、LI 及び IR で採取した各試料の分析は湖沼学研究所 (イルクーツク市) において、また、PR で採取した試料の分析はロシア沿海州地域・水文気象環境モニタリングセンター・ウラジオストク支所 (ウラジオストク市) において、それぞれ HPLC を用いたイオン種の分析法や原子吸光法、吸光光度法、ICP-MS 法などを用いて行った。降水水中のイオン成分、ガス状及び粒子状物質濃度の測定における精度保証/精度管理(QA/QC)については、EANET の QA/QC プログラムにしたがって分析機関間精度比較調査²⁾ などに参加することによって実施した。

(2) 広域輸送モデルの相互比較と北部ユーラシアにおける大気汚染物質輸送のモデルシミュレーションに関する研究

本研究は「アジアにおける長距離輸送モデルの比較研究 (Model Inter-Comparison Study in Asia; MICS-Asia)」の Phase II プロジェクトとして、硫黄化合物や窒素化合物、オゾンを対象としたモデルの精度比較研究が 8 つのグループ (米国: 1、スウェーデン: 1、フランス: 1、韓国: 1、中国: 1、日本: 3) の参加により実施された。

その後、2006 年(平成 18 年) 1 月にオーストリアの IIASA で開催されたワークショップで、それぞれの計算結果の相互比較及び解析結果の取りまとめが進められ、Phase II プロジェクトの総括をするとともに、今後もモデルの比較研究を続けていくことが検討された。その後、2007 年 2 月及び 2008 年 2 月に IIASA でワークショップが開催され、各々の研究の進捗状況の報告及び今後の活動内容(Phase III プロジェクト)等についての検討がなされた。Phase II プロジェクトで得られた結果については、各研究者が 9 つの論文にとりまとめた。

4. 結果・考察

(1) 東シベリア及び沿海州地域の大気環境に関する研究

1) 降水量及び湿性沈着量

降水中成分の中で硫酸イオン(SO₄²⁻)とカルシウムイオン(Ca²⁺)の両成分については、平成 17 年度の解析結果に基づき、海塩粒子の影響をほとんど受けないと考えられる東シベリア地域の地点においても海塩由来とそれ以外を分けて解析することとした。

図 2 に 2007 年(平成 19 年)の各成分の湿性沈着量を地点別に示した。図から前年と同様に各地点ともに陽イオンと陰イオンのバランスが非常によく取れていて、測定は高精度で実施されているものと考えられた。特に、HPLC 法による炭酸水素イオン(HCO₃⁻)濃度の測定が高精度に実施されていることが、一般的に

水素イオン濃度(pH)が比較的高く電気伝導率の低い試料においては難しいとされるイオンバランスがよく保たれている原因であると考えられた。

2007 年の年間降水量は MO が 351mm と 4 地点の中で最も少なく、PR が 989mm と最も多かった。また、LI は 408mm、IR は 478mm と 2006 年よりは多くなり、2005 年と同レベルの降水量となった。しかし、PR では 2005 年の 737mm と比較してもかなり多い降水量を記録した。

2007 年の pH の年平均値でみると 4.67(LI)から 5.53(MO)の範囲にあり、これは前年までとほぼ同様であり、酸性雨の一応の目安とされる 5.6 よりは低く、同地域においても降水は酸性化していることを確認した。特に LI や PR では日本における pH の年平均値と同程度の値が観測された。各イオン成分を積算した湿性沈着量でみると沿海州地域の PR で最も多く、東シベリアの 3 地点では $IR > LI > MO$ の順に少なかった。各地点における

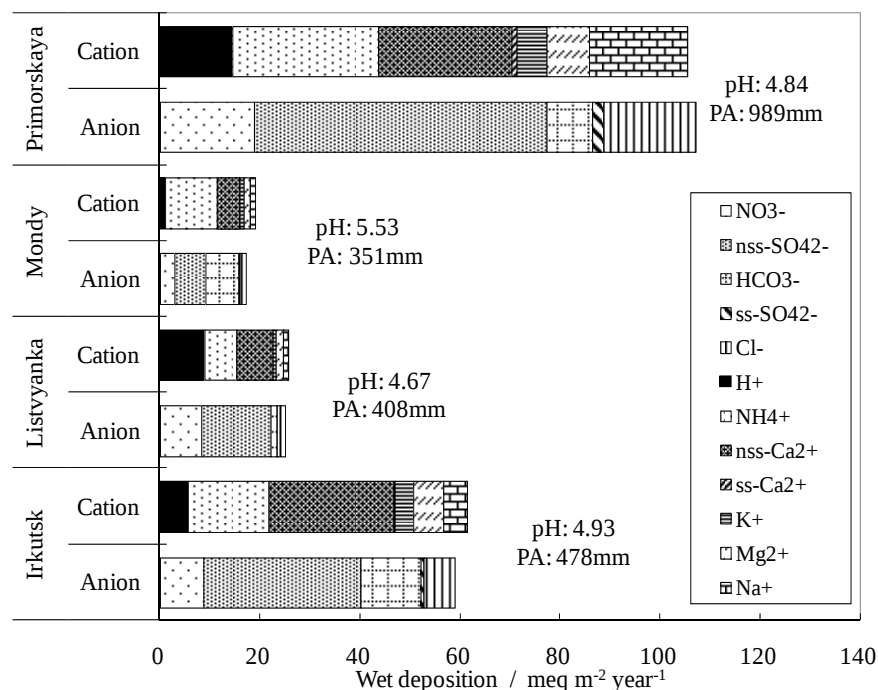


図2 主要イオン成分の年間湿性沈着量(2007 年)

湿性沈着量については、遠隔地域に位置する MO の湿性沈着量は、PR の 1/5、IR の 1/3 と非常に少なく、これらの調査地点の中では非常に清浄な地点であると考えられた。一方、沿海州地域である PR の湿性沈着量は、田園地域に位置しているにもかかわらず、東シベリア地域での都市地域の位置する IR に比較して約 2 倍と多く、その主たる成分は非海塩性硫酸イオン($nss-SO_4^{2-}$)、アンモニウムイオン(NH_4^+)及び非海塩性カルシウムイオン($nss-Ca^{2+}$)であることがわかり、この傾向が沿海州地域の特徴であると考えられた。

主要なイオン成分についてみると、酸性成分としてはこれまでの結果と同様に、各地点とも $nss-SO_4^{2-}$ が硝酸イオン(NO_3^-)に比較して多く含まれていることから、降水を酸性化する物質としては硫酸が主に寄与していると考えられた。また、塩基性成分としては、各地点とも NH_4^+ と $nss-Ca^{2+}$ が占める割合が大きく、また、それぞれがほぼ同程度の割合で存在していて、この 2 成分が降水の中和に主に寄与していると考えられた。塩基性の 2 成分を比較すると MO だけ NH_4^+ の割合が大きいため、他地点と異なる別の発生源の存在も推測された。また、水素イオン(H^+)の沈着量は PR と LI で多く、特に LI では他の東シベリア地域の地点と比較するとかなり多いことから、これは LI における中和成分の寄与が小さいことを反映していると考えられた。

2005 年から 2007 年までの湿性沈着量とそこに含まれる主要なイオン成分量の推移を図 3 に示す。湿性沈着量は沿海州地域の PR が非常に多く、次いで東シベリア地域、その順は $IR > LI > MO$ と 3 年間にわたる年についても同様の傾向であった。3 年間の経年変化では 2006 年にやや減少している地点があるもの

の、概ね各地点とも増加する傾向が認められた。特に IR での増加傾向は他の地点に比べて顕著であった。含まれている主要なイオン成分については 2005 年からほぼ同じ割合で推移していて、酸性成分としては

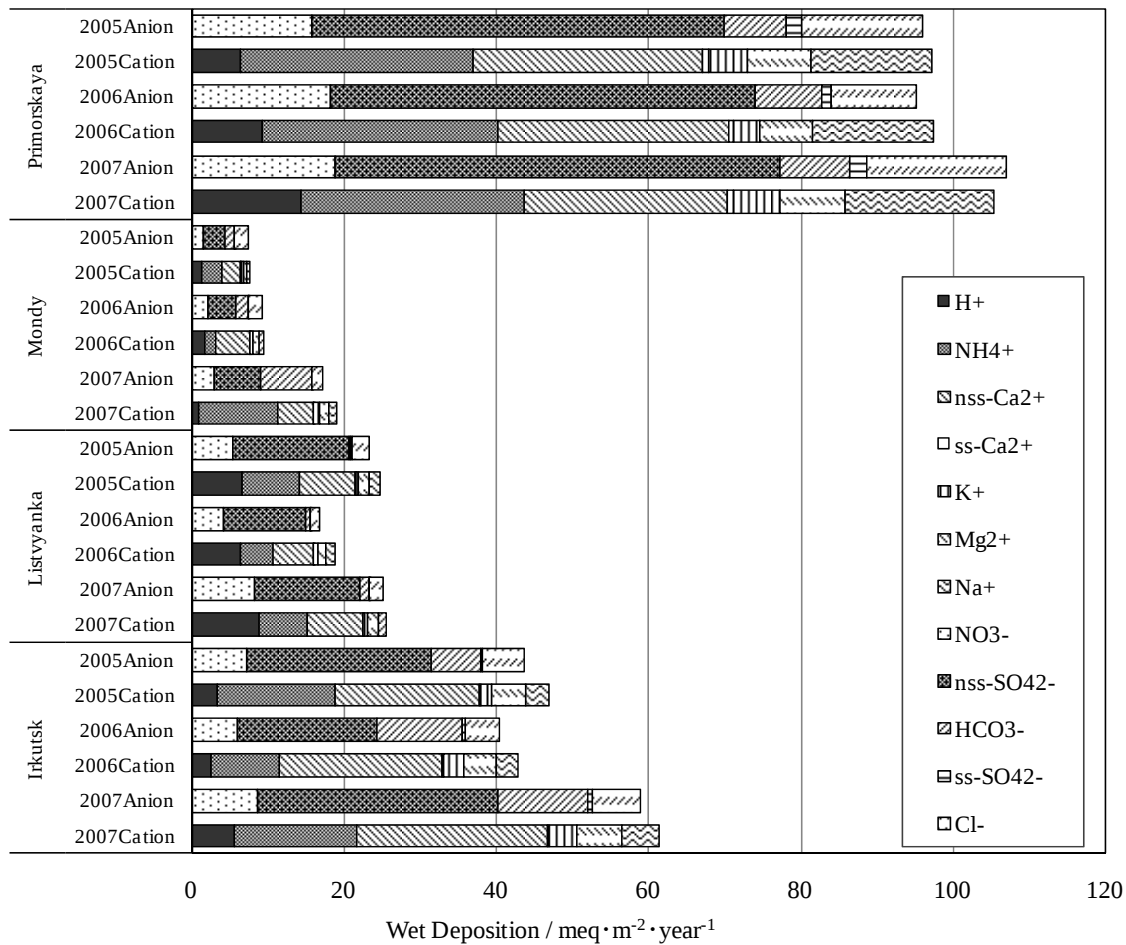


図3 主要イオン成分の年間湿性沈着量の推移(2005-2007 年)

nss-SO_4^{2-} が、塩基性成分としては NH_4^+ と nss-Ca^{2+} が大きな割合を占めていた。この傾向はこの地域の特徴を表しているものと考えられた。また、IR、MO、PR では、比較的高い pH の値を反映して、 HCO_3^- が陰イオンの中で高い割合を占めていることが特徴的となっている。その他としては PR と LI では H^+ の沈着量が増加傾向にあり、今後の推移を見ていく必要があると考えられた。

図4に各地点の降水量と降水中の主要な6種のイオン成分の沈着量について季節変動を示した。東シベリア地域の3地点における降水量は、以前の結果と同様に6月～8月に多く、1月～3月、10月～12月に少ない傾向であった。特にMOではその傾向が最も顕著で、4月～7月と9月にまとまった降水量が記録されたが、それ以外の月ではほとんど降水は観測されなかった。しかし、沿海州地域では9月、10月の降水量が非常に多く、また、3月、5月の降水量が比較的多いなど変動に目立った特徴は認められなかった。主要成分を積算した沈着量についてみると、東シベリア地域の3地点においては概ね降水量の変動に依存していて、夏季に多く冬季に少なくなっていた。沿海州地域のPRでは9月と10月に降水量が多かったが、特に9月の沈着量は少なく、むしろ降水量の少なかった3月から7月の沈着量が多いという状況となっていた。構成しているイオン成分については、酸性成分である nss-SO_4^{2-} と NO_3^- の比率は各地点共に年間を通じ

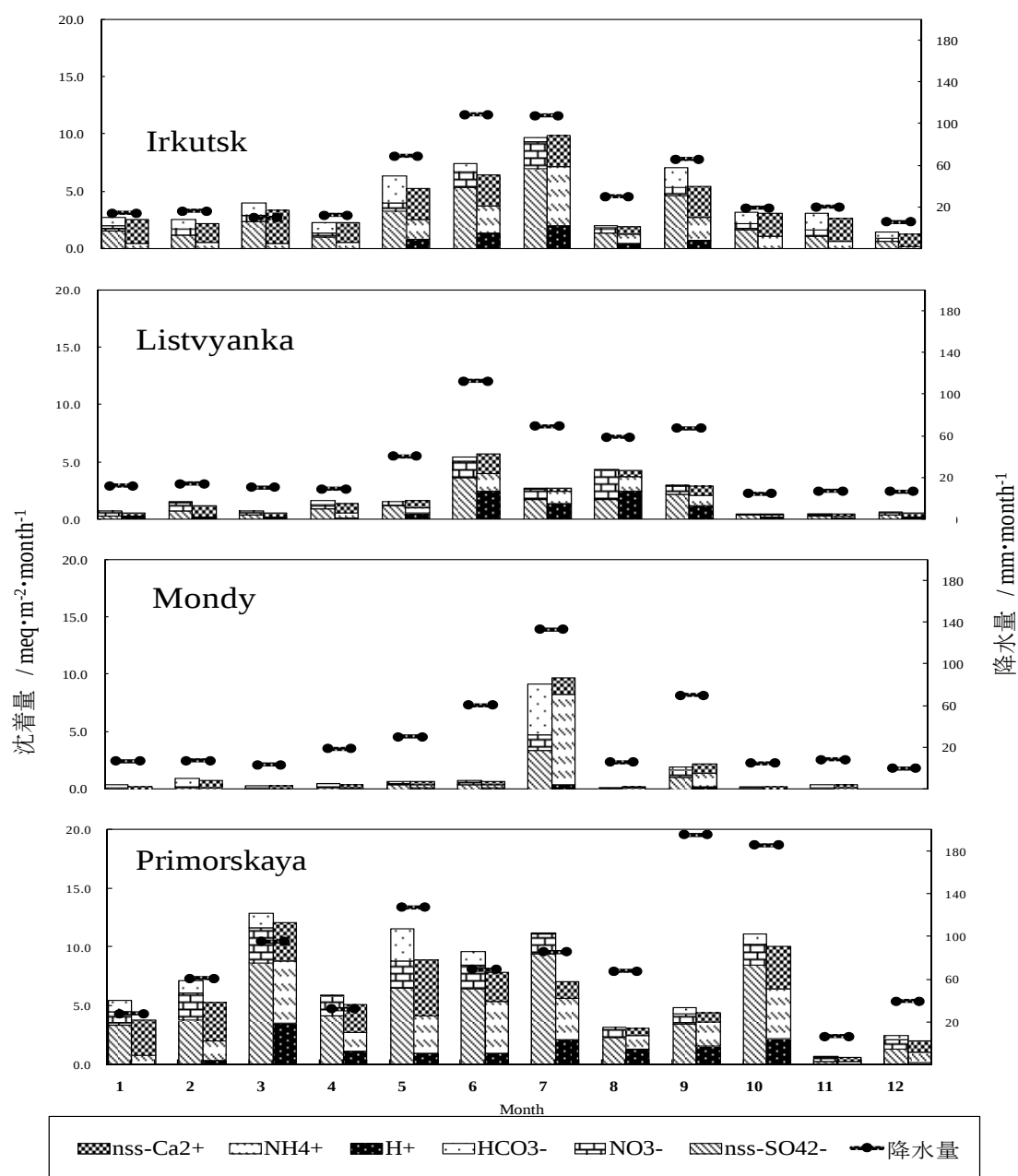


図4 降水量と主要6イオン成分の湿性沈着量の経月変動(2007年)

てそれほど大きな変動を示さず、 nss-SO_4^{2-} が年間を通じて NO_3^- より大きな沈着量を示していた。一方、塩基成分である nss-Ca^{2+} と NH_4^+ については、概ね nss-Ca^{2+} の割合が大きい傾向であるが、7月~8月にはいずれの地点でも NH_4^+ の割合が大きくなっていて、特に MO の 7月のデータはその傾向が特に顕著であった。

2) ガス状成分及び粒子状物質中成分

フィルターパック法で採取したガス状成分及び主要な粒子状物質中の成分について、地点別年平均濃度を表1に示した。

地点	採取間隔	ガス状成分				粒子状物質中成分			
		SO ₂	HNO ₃	HCl	NH ₃	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	nss-Ca ²⁺
Irkutsk	週毎	99.8	6.5	9.7	154.1	30.0	9.9	50.7	15.7
Listvyanka	週毎	45.5	1.4	1.9	102.9	15.8	3.0	17.8	5.4
Mondy	2週毎	13.5	1.5	1.5	36.3	2.1	0.1	1.1	0.6
Primorskaya	2週毎	28.7	3.9	9.8	149.5	50.0	16.5	78.4	9.7

2006 年における SO₂ の年平均濃度は LI が 137.3nmol・m⁻³、IR が 127.3nmol・m⁻³ と高値であったが、2007 年は IR が 99.8nmol・m⁻³ とやや高かったものの、LI は 45.5nmol・m⁻³ と 1/3 の濃度まで低下した。同様に HNO₃ の年平均濃度は 2006 年に PR だけが 18.6nmol・m⁻³ と高値を示したが、2007 年は IR だけが前年より高い 6.5nmol・m⁻³ であった。また、NH₃ の年平均濃度は LI では 2006 年の 1/2 の濃度であったが、IR では逆に 2 倍の濃度となった。粒子状物質中の成分では、2006 年と比較すると IR において nss-SO₄²⁻、NH₄⁺ 及び nss-Ca²⁺ 濃度が増加したが、その他の地点ではほぼ同レベルであった。MO においてはガス状及び粒子状いずれの成分においても前年より低い濃度となり、さらに清浄度が増している状況となっていたが、逆に IR においては SO₂ 以外のすべての成分はすべて前年より高い濃度となっていた。

図 5 に 2005 年から 2007 年までの SO₂、SO₄²⁻ 及び nss-SO₄²⁻ 濃度の月平均濃度の変動を示した。SO₂ 濃度についてはいずれの地点とも、2005 年から 2006 年の初めまで高濃度で推移していた。特に東シベリアの 3 地点では、11 月から 1 月にかけて MO も含めて非常に高濃度の SO₂ が観測されていた。しかし、その後、2006 年の半ば頃から減少し、2007 年では IR は 4 月と 8 月から 10 月に濃度上昇が認められた以外は低濃度で推移していた。この SO₂ の高濃度現象については同時期のモンゴル等でも認められたが、その原因について特定することはできなかった。

2007 年の特徴としては、MO と PR では 12 月から 2 月頃までやや高値を示していて、濃度は低いながらも前年の結果と同様の傾向を示した。

SO₄²⁻ 及び nss-SO₄²⁻ 濃度については、東シベリアの 3 地点では SO₂ 濃度に比較しても非常に低い濃度であった。また、SO₄²⁻ 及び nss-SO₄²⁻ 濃度ともほぼ同値であり、海塩粒子の影響はほとんど認められなかった。一方、沿海州地域の PR においては、SO₂ 濃度は清浄地域と考えられる MO より高濃度であったが、他の 2 地点よりは低く、SO₄²⁻ 及び nss-SO₄²⁻ 濃度は東シベリア地域よりも高濃度であった。上空の大気の流れは東シベリアから東方向に向いていることから東シベリア地域を含むユーラシア大陸西部等で発生した SO₂ の一部は PR までの移流する途中 SO₄²⁻ に変化して、粒子状物質中に存在することも推測される。また、PR における SO₄²⁻ 及び nss-SO₄²⁻ 濃度差については東シベリア地域よりは若干の違いはあるものの、海塩粒子の影響はほとんど認められなかった。

図 6 に 2005 年から 2007 年までの NH₃ 及び NH₄⁺ 濃度の月平均濃度の変動を示した。NH₃ 濃度は SO₂ 濃度の変動とは異なり、4 地点とも 2005 年はやや低濃度であったが、2006 年、2007 年と 7 月から 9 月頃の暖かい時期に濃度の上昇が顕著に認められた。MO では、2006 年 4 月から濃度が上昇し、8 月に最高値となる 250nmol・m⁻³ の濃度を記録したが、それ以外の期間では濃度変動は小さかった。NH₄⁺ 濃度については、

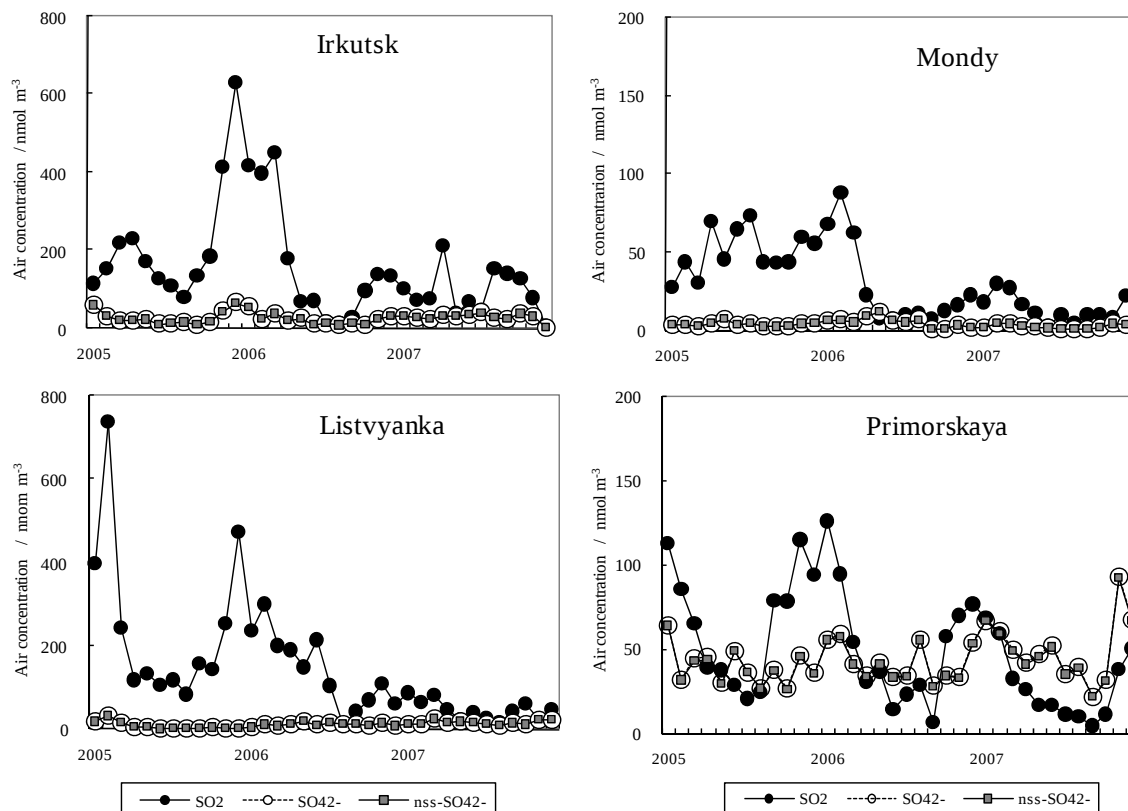


図5 大気中の SO_2 、 SO_4^{2-} 及び nss- SO_4^{2-} 濃度の経月変動 (2005-2007 年)

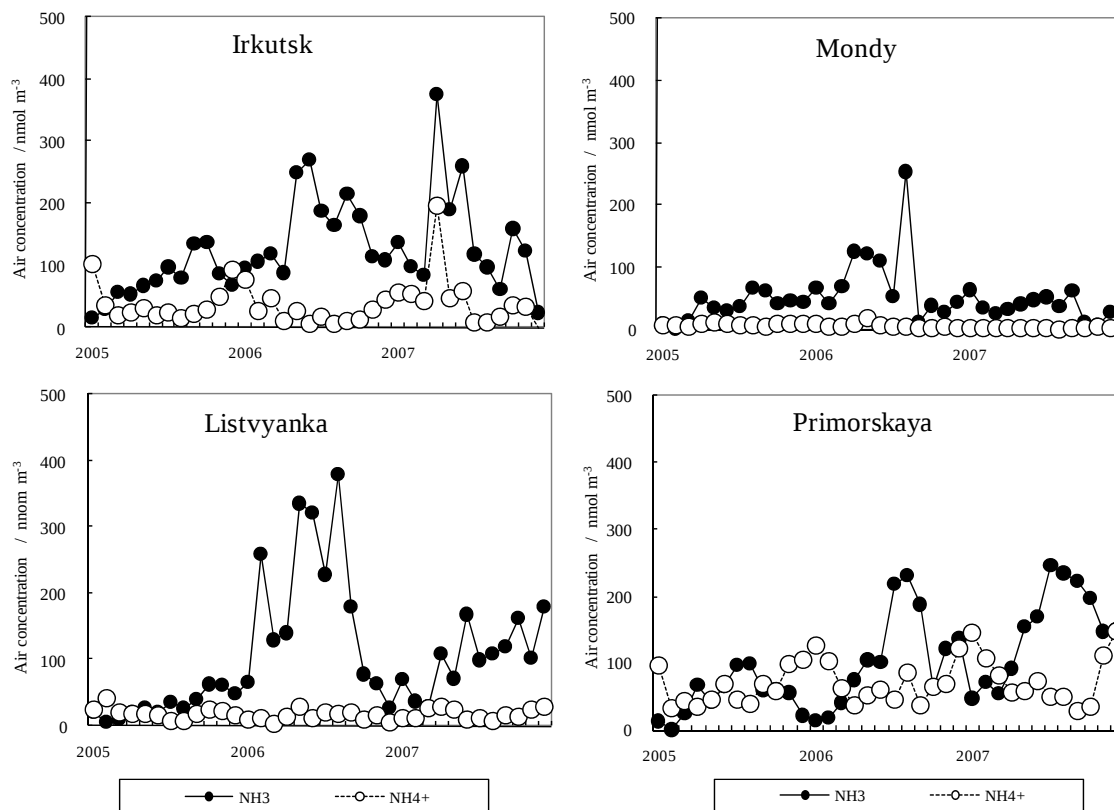


図6 大気中の NH_3 及び NH_4^+ 濃度の経月変動 (2005-2007 年)

MO 及び LI では他の地点と比較して低濃度であり、また、ほとんど濃度変動せずに推移しているが、IR 及び PR ではそれぞれ異なった変動を示した。特に PR では NH_3 濃度とは反対に暖期にやや低濃度となり、寒期に濃度が上昇するという SO_2 の濃度変動に似た傾向を示していた。

次に、これらの大気中の粒子状物質及び降水中の成分濃度の関係を比較、検討するため、2007 年の結果について、それぞれの成分濃度比を算出し、図 7 に示した。酸性成分では nss-SO_4^{2-} 及び NO_3^- の比は 4 地点ともほぼ一定範囲内にあり、特に IR 及び PR は共に 1:1 の線の近くに分布していることから、大気中の粒子状成分においても降水中においても両成分の存在比に大きな違いはないものと考えられる。しかし、塩基性成分での NH_4^+ では、4 地点のうち MO だけが降水中の成分側に、また、 nss-Ca^{2+} でも MO だけが粒子状物質中の成分側に、それぞれ相対的に高い存在比率を示した。この状況は 2005 年、2006 年の状況とは異なっていて、この原因については現段階では説明が付かない。今後、その他気象等の解析データ及び他の地域において得られたデータなどと比較することにより、より詳細な検討を行うこととする。

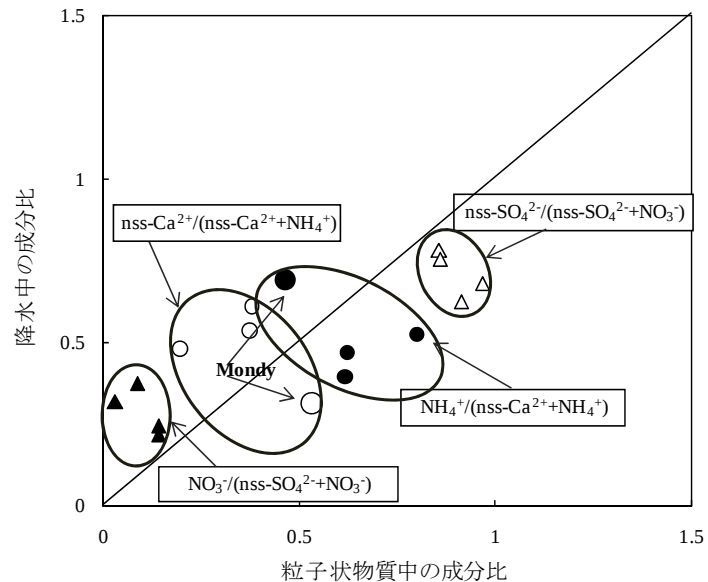


図 7 粒子状物質及び降水中の成分濃度

3) 降水中の鉛濃度及び鉛同位体比

東シベリア及び沿海州の計 4 地点で 2006 年から 2007 年にかけて降水を採取し、その中に含まれている鉛濃度を測定した。その結果を図 8 に示した。2005 年には PR が他の地点に比較して、高い濃度を記録していた (最高値: $11.5 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、平均値: $2.15 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)。しかし、2006 年から 2007 年については、PR の 1 試料 ($4.52 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) のみ $2 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ を超える濃度であった。その他では $1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ を超える試料が LI で 4 試料、PR で 1 試料あったが、ほとんどがそれ未満の濃度であり、これらの値は向井らが日本各地で採取・測定した降水中濃度³⁾より低い濃度であり、鉛に関しては非常に清浄な地域であると考えられた。

降水中の鉛の同位体比については、試料中の鉛濃度が非常に低く、分析精度の確保が困難であったが、図 9 にこれらの試料中の鉛の同位体比の分布を示した。図中に示した範囲は、向井らが日本の積雪中の鉛同位体比とその降雪をもたらした気団の流入経路との関係を解析した結果³⁾である。この 2006 年から 2007 年の測定データは、この解析においてほとんどが“中国北部からバイカル”の範囲に含まれていて、日本で観測された鉛の同位体比から得られた流入経路の結果とも一致するものであり、向井らの観測結果を支持するものとなっていた。

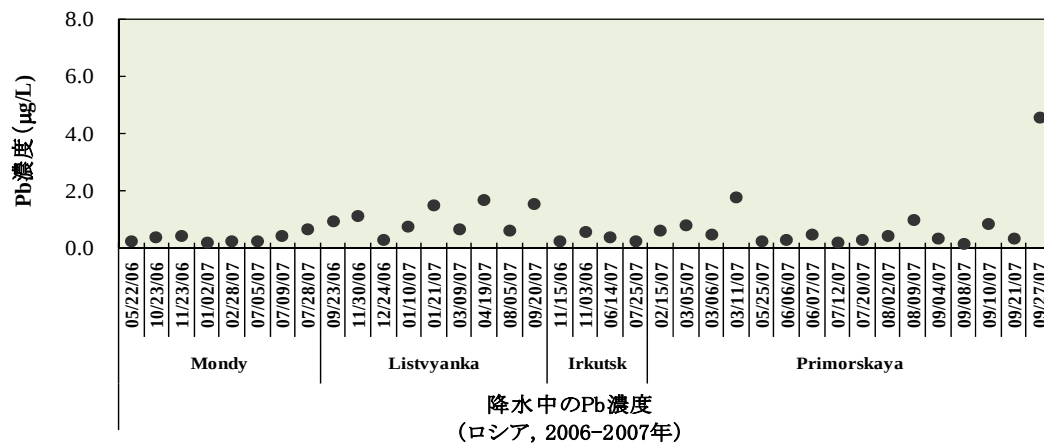


図8 降水中の鉛濃度(2006-2007 年)

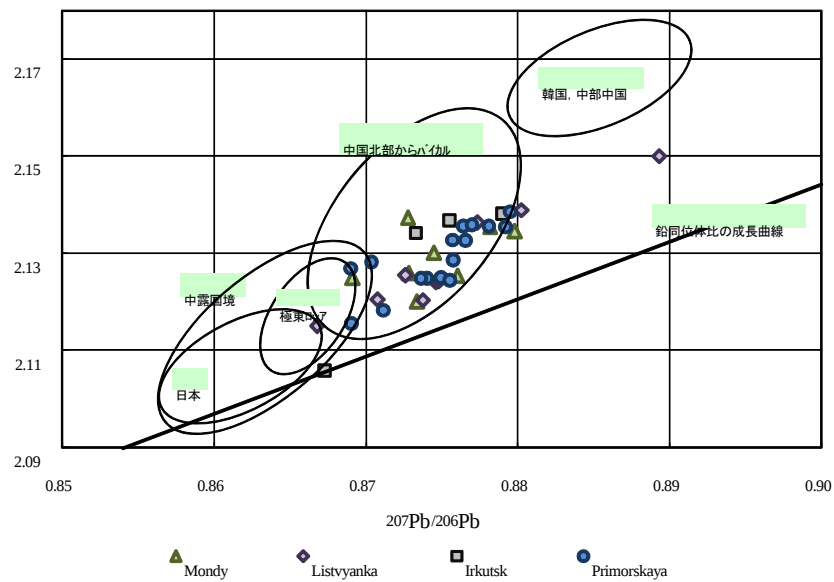


図9 降水中の鉛同位体比 (ロシア、 2006～2007 年)

(2) 広域輸送モデルの相互比較と北部ユーラシアにおける大気汚染物質輸送のモデルシミュレーションに関する研究

2008年2月18-19日、オーストリアの国際応用システム分析研究所(International Institute of Applied System Analysis; IIASA)において、第10回 MICS-Asia ワークショップを開催した。本ワークショップにおいて、欧米アジアから参加した研究者は、前回のワークショップで課された Phase II で実施した研究・解析の補完、モデルの性能向上、計算パラメーターの最適化等について、それぞれの進捗状況の説明及び次期活動(Phase III プロジェクト)の内容について発表し、検討を行った。この議論の結果、以下の5つの課題が設定された。

- (i) 全球モデルの結果から得られる東アジアへの汚染物質流入量の検証
- (ii) 東アジアにおける発生源寄与率の検証
- (iii) 複数モデルによる大気汚染現象のアンサンブル評価
- (iv) 汚染物質と気候変動との因果関係
- (v) 東アジア域における新規エミッションインベントリーの作成

それぞれの課題を実行するために、参加した研究者を中心としたチームを構成し、今後1年間はチーム毎に活動を進め、次のワークショップにおいて活動の成果を報告することとなった。

第10回ワークショップにおいて Phase III における活動内容の詳細が決定し、その時点でプロジェクトが開始された。しかし、MICS-Asia の活動は参加者のボランタリーな貢献に支えられているため、Phase II プロジェクトでは、それぞれのモデル結果を比較した内容だけに留まっていて、モデル性能の改善にまで踏み込んだ検証は行われていない。そのため、それらモデルの結果を政策決定に反映できるほどの精度が得られてはいないのが現状である。今後は、各々のモデルに対してより深く評価を行うため、各研究者に共通した方向性及び研究課題を見だし、結果及び計算パラメーターの最適法等の情報を共有していくという方向性が重要である。

なお、今後の活動ではシベリア地域を含めたアジア地域における最新のエミッションインベントリーを、アルゴン国立研究所の Streets 博士が中心となって作成していく計画である。エミッションインベントリーの対象年は2004年を予定している。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

東シベリア及び沿海州地域の大気環境に関する研究では、東シベリア及び沿海州地域で湿性沈着及び大気中ガス状・粒子状物質濃度の通年観測、移流の指標物質として環境試料中の鉛濃度、さらに鉛同位体比の測定を行った。降水に含まれる主要な酸性成分は非海塩性硫酸イオン、また、塩基性成分はアンモニウムイオンと非海塩性カルシウムイオンとなっていた。これらの成分の湿性沈着量は概ね降水量の変動に依存し、夏季に多く冬季に少なくなるという季節変動を示した。また、水素イオン濃度が高い東シベリア地域では炭酸水素イオンの占める割合が硝酸イオンよりも大きくなっていた。大気中の二酸化硫黄、アンモニアのガス濃度については、年間を通じての変動が大きく、その要因を推測するためには今後とも大気環境に係るモニタリングを継続実施することが必要であることがわかった。粒子状物質中の成分比を降水のそれと比較した結果、硫酸塩と硝酸塩は降水とほぼ同様の濃度比を示した。また、降雨及び積雪の鉛同位

体比は、日本における観測結果を強く支持する測定値を示し、同地域と日本の大気環境が密接に連携していることが確認された。

（２）地球環境政策への貢献

広域輸送モデルの相互比較と北部ユーラシアにおける大気汚染物質輸送のモデルシミュレーションに関する研究では、東アジア各国及び欧米の研究者によって開発されている東アジア規模での大気質や酸性雨を対象とした長距離輸送モデル間での硫黄化合物、窒素化合物、オゾンなどを対象とした精度比較を行った。

モデルによる評価は政策決定にとって大きな役割を担う。しかしながらモデルによる解析・評価を進めていく場合、1つのモデルによる結果では、各国の合意は得られないことが示唆される。これに対し、MICS-Asiaの活動では、複数のモデルが同一の現象について再現計算を行うため、ある程度の幅を持った結果から評価・解析を行うことが可能となる。欧米においても、モデル間比較研究は越境大気汚染の解決のために欠くことのできない活動と考えられているため、今後もMICS-Asiaを継続することは重要であると考ええる。加えて、モデル計算の精度向上のためには、上述したロシアにおける大気環境に係る観測結果に代表される実際のモニタリングデータを用いた検証作業が必要不可欠である。

環境省が中心となり2001年の1月から正式に移動した東アジア酸性雨モニタリングネットワークの科学諮問委員会などに本研究結果を提示し、同ネットワーク全体の評価に貢献した。

6. 引用文献

- 1) 松本光弘, 村野健太郎, インファレンシャル法による樹木等への乾性沈着量の評価と樹木衰退の一考察—奈良市における通年観測—, 日本化学会誌, 1998, 495-505 (1998) .
- 2) Acid Deposition and Oxidant Research Center, Report of the Inter-Laboratory Comparison Project 2004 on Wet Deposition (2005).
- 3) 向井人史, 田中敦, 藤井敏博, 降雪中の鉛同位体比と汚染の長距離輸送との関係, 大気環境学会誌, 34, 86-102 (1999).

7. 国際共同研究等の状況

ロシアにおける観測では、ロシア科学アカデミー・シベリア支部の湖沼学研究所及びロシア沿海州地域・水文気象環境モニタリングセンター・ウラジオストク支所と東アジア酸性雨モニタリングネットワークに関する共同観測を実施している。カウンターパートは湖沼学研究所のTamara Khodzher博士であり、大気環境以外にも、土壌・植生および陸水に対する酸性沈着の影響について、東シベリア及び沿海州地域を対象とした観測を継続展開している。

モデル比較研究においては、アジアや欧米から20研究機関が参加する「東アジアにおける長距離輸送モデルの比較研究（MICS-Asia：Model Inter-Comparison Study in Asia）」プロジェクトPhase II（2003年から）を立ち上げ、モデルの精度比較を進めている。2008年からはPhase IIIの活動が開始される予定となっている。各モデルによる計算結果は、提供されたデータ・プロトコルに従って報告され、毎年1回オーストリアの国際応用システム分析研究所（IIASA）で開催されるMICS-Asiaワークショップにて、取りまとめ及び比較に関する解析結果が報告されている。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) T. Holloway, T. Sakurai, Z. Han, S. Ehlers, et al.: Atmospheric Environment,
“MICS-Asia II: Impact of global emissions on regional air quality in Asia” (in press)
- 2) G. R. Carmichael, T. Sakurai, D. Streets, Y. Hozumi, et al.: Atmospheric Environment,
“MICS-Asia II: The model intercomparison study for Asia Phase II methodology and overview of findings”
(in press)
- 3) Z. Han, T. Sakurai, H. Ueda, G. R. Carmichael, et al.: Atmospheric Environment,
“MICS-Asia II: Model intercomparison and evaluation of ozone and relevant species” (in press)
- 4) H. Hayami, T. Sakurai, Z. Han, H. Ueda, et al.: Atmospheric Environment,
“MICS-Asia II: Model intercomparison and evaluation of particulate sulfate, nitrate and ammonium” (in
press)
- 5) G. R. Carmichael and H. Ueda: Atmospheric Environment,
“MICS-Asia II: The model intercomparison study for Asia phase II” (in press)
- 6) J. S. Fu, C.J. Jang, D. G. Streets, Z. Li, et al.: Atmospheric Environment,
“MICS-Asia II: Modeling gaseous pollutants and evaluating an advanced modeling system over East
Asia” (in press)
- 7) A. Kannari, D.G. Streets, Y. Tonooka, K. Murano, et al.: Atmospheric Environment,
“MICS-Asia II: An inter-comparison study of emission inventories for the Japan region” (in press)
- 8) K. N. Sartelet, H. Hayami and B. Sportisse : Atmospheric Environment,
“MICS-Asia phase II- Sensitivity to the aerosol module” (in press)
- 9) Z. Wang, F. Xie, T. Sakurai, H. Ueda, Z. Han, et al.: Atmospheric Environment,
“MICS-Asia II: Model inter-comparison and evaluation of acid deposition” (in press)

<その他誌上発表（査読なし）>

なし

(2) 口頭発表（学会）

- 1) 大泉毅、向井人史、村野健太郎、T.Khodzher、東シベリア、沿海州地域における降水成分およびガス・粒子状成分濃度(第3報)、第46回大気環境学会年会講演要旨集、P322 (2005)
- 2) 小南朋美、大泉毅、村野健太郎、T.Khodzher、東シベリア、沿海州地域における降水成分およびガス・粒子状成分濃度(第4報)、第46回大気環境学会年会講演要旨集、P323 (2005)
- 3) 桜井達也、植田洋匡、松田和秀、速水洋、MICS-Asia, 東アジア長距離輸送モデル比較研究の結果概要、第46回大気環境学会年会講演要旨集、P585 (2005)
- 4) 穂積祐、植田洋匡、桜井達也、松田和秀、速水洋、MICS-Asia, 気象場における比較研究、第46回大気環境学会年会講演要旨集、P586 (2005)

- 5) K. Murano, T. Ohizumi, K. Matsuda, L. Golobokova, T. V. Khodzher, “Evaluation of atmospheric environment in East Siberia and Primorsky Region in Russia” , Acid rain 2005, 7th International Conference on Acid Deposition, Prague, (2005)
 - 6) K. Murano, T. Ohizumi, T. V. Khodzher, N. Fukuzaki, H. Mukai, “Wet deposition and gas/aerosol concentration in the atmosphere in east Siberia and Primorsky region, Russia” , 11th international joint seminar on regional deposition processes in the atmosphere, Jejudo, Korea (2005)
 - 7) 大泉毅、畠山史郎、村野健太郎、T.Khodzher、東シベリア、沿海州地域における降水成分およびガス・粒子状成分濃度(第5報)、第47回大気環境学会年会講演要旨集、P36 (2006)
 - 8) 小南朋美、大泉毅、村野健太郎、T.Khodzher、東シベリアにおけるガス・粒子状成分濃度の特性、第47回大気環境学会年会講演要旨集、2C1000 (2006)
 - 9) 家合浩明、大泉毅、畠山史郎、T.Khodzher、東シベリア、沿海州地域における降水成分およびガス・粒子状成分濃度(第6報)、第48回大気環境学会年会講演要旨集、P503 (2007)
-
- (3) 出願特許
なし
 - (4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）
なし
 - (5) マスコミ等への公表・報道等
なし