

酸性雨長期モニタリング報告書の概要

環境省では、我が国の酸性沈着の状況やその影響を把握するため、昭和58年度より酸性雨対策調査を実施し、平成15年度からは酸性雨長期モニタリング計画（14年3月策定）に基づき、湿性・乾性沈着モニタリング（31地点）、湖沼等を対象とした陸水モニタリング（11地点）、土壌・植生モニタリング（25地点）を実施している。

本報告書は、酸性雨対策検討会（座長：秋元肇 海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター大気組成変動予測研究プログラムディレクター）の議論を経て、平成15年度から19年度に実施した酸性雨長期モニタリングの結果、及び周辺土壌等の酸性化が認められる岐阜県伊自良湖集水域において17年度から19年度に実施した重点調査の結果をとりまとめたほか、我が国への越境大気汚染の状況を検討したものである。

1. 酸性沈着と越境大気汚染の状況

(1) 酸性沈着モニタリングの結果

- ・ 降水pHの5年間の地点別平均値はpH4.51（伊自良湖）～pH4.95（小笠原）の範囲（全平均値はpH4.68）にあり、依然として酸性雨が観測されている。植物に対して急性被害が懸念されるpH3.0未満の降水は観測されなかったものの、降水の日捕集を行っている14地点の調査結果を解析したところ、pH4.0未満の強い酸性の降水が全体の4.5%を占めていた。
- ・ 10年以上調査が実施されている地点において、降水pHは年により増減し、近年やや低い地点もあるが、全体として横ばいの状況にあった。また、非海塩性硫酸イオン沈着量は期間を通して変動があるもののほぼ横ばい、硝酸イオン沈着量は1990年代半ば以降横ばいであった。
- ・ 我が国における年間の酸性成分沈着量を計算したところ、非海塩性の硫黄が16～54mmol m⁻² y⁻¹、窒素が22～130mmol m⁻² y⁻¹であった。
- ・ 晩秋から春季にかけて、降水による酸性成分沈着量は本州中北部日本海側及び山陰で増加し、また、大気中の二酸化硫黄濃度が日本海側や西日本で顕著に増加する傾向が見られた。これらの地域では、硫黄や窒素の酸化物の大気中への供給量が晩秋から春季にかけて増加していると考えられ、大陸に由来した汚染物質の流入が示唆された。
- ・ 我が国は降水により沈着する非海塩性硫酸イオンや硝酸イオンの量が欧米より2～3倍多く、これは降水量が多いためである。また、水素イオンの沈着量も欧米より数倍多く、東アジアの中でも最も多い地域であり、これは、降水量が多いことと、大気中あるいは降水中で塩基性物質により中和される酸の割合が低いためである。
- ・ 非海塩性カルシウムイオンの湿性沈着量、PM10濃度及びエアロゾル中のカルシウムイオン濃度が全国的に春季に最大になり、黄砂の影響が示唆された。
- ・ 全国的に春季のオゾン濃度の上昇がみられ、越境汚染の影響が示唆された。また、オゾン濃度の年平均値の経年変化は全国的に漸増傾向であった。

(2) 越境大気汚染に関する調査研究のレビュー

- ・ 我が国における酸性沈着量に対する越境汚染による寄与率は、研究結果によって異なるものの、最近のシミュレーションモデルの計算によれば、年間で非海塩性硫酸イオン

が約30～65%、硝酸イオンが約35～60%と推計されている。

- ・ 我が国のオゾン濃度への越境汚染の影響は、地域、季節、また日によって大きく変動するが、モデル計算によると、本州付近の春季の月平均オゾン濃度に対して概ね10～20数%程度が東アジア起源であると考えられ、また、欧米からも春季に数ppb程度の影響があることが推定された。
- ・ また、モデル計算によれば、中国において現状以上の大気汚染対策がとられず、汚染物質排出量が現状と同様に増加する場合、2020年には、我が国のオゾン濃度の年平均値が2000年に比べて2～6 ppb増加すると予測されている。

2. 生態系への影響

(1) 土壌・植生モニタリングの結果

- ・ 平成19年度には、全25調査地点のうち17地点で何らかの樹木衰退の徴候が見られたが、酸性沈着や土壌酸性化が主要因として断定される衰退木は確認されなかった。
- ・ 伊自良湖では、平成2年度から16年度の間には土壌の表層及び次層においてpH(H₂O)が低下傾向を示しており、16年度の表層は平均pH3.9と、植物の生長に影響を与えるアルミニウムイオンが土壌水中に溶出し得る酸性度であったことから、継続したモニタリングが必要である。
- ・ その他の土壌調査地点では、一部調査項目において経年的な変化が認められたが、各調査項目を総合的にみると土壌の明確な酸性化傾向はみられなかった。

(2) 陸水モニタリングの結果

- ・ 湖沼表層水のpHは5.36～7.34、アルカリ度は0.017～0.512mmol_l.L⁻¹の範囲にあった。双子池・雌池（長野県）、夜叉ヶ池（福井県）及び沢の池（京都府）は、pHが5.8以下、アルカリ度が0.030mmol_l.L⁻¹以下で、特に酸感受性の高い湖沼であると言えるが、全ての湖沼で酸性沈着の明確な影響は確認されなかった。
- ・ 伊自良湖集水域では、流入河川である釜ヶ谷川において、平成8年以降15年までpHは低下傾向にあったが、16年以降についてはpH7付近を推移している。また、伊自良湖表層水及び2つの流入河川水において、硝酸イオン濃度の有意な上昇がみられた。

3. 伊自良湖集水域重点調査の結果

- ・ 昭和63年度から平成14年度までの調査により、伊自良湖集水域の流入河川や周辺土壌において、pHの低下等酸性沈着の影響が疑われる変化が認められたこと（酸性雨対策調査総合とりまとめ報告書（16年6月））から、酸性化徴候やそのプロセスを定量的に明らかにするため、17年度から19年度にかけて集水域への流入量・流出量調査及び増水時河川集中観測等を重点的に実施したものである。
- ・ 以下のi～iiiの知見を基に、伊自良湖集水域では、酸性雨など大気からの酸性沈着により土壌に蓄積した硫黄（S）や窒素（N）が溪流に流出し、集水域の酸性化が継続していると考えられた。
 - i 伊自良湖集水域におけるNの総沈着量は、欧米における渓流水への硝酸イオン流出の指標である10 kg-N ha⁻¹ y⁻¹を超える18.2～28.7 kg-N ha⁻¹ y⁻¹と推計され、90年代半ば以降は硝酸イオンの流出も高濃度で維持されている。この多量のN沈着に伴う硝酸イオンの流出が河川の酸性化に寄与していると考えられた。

- ii 集水域の物質収支を推計した結果、Sの流出量が流入量の約2倍であり、過去に土壌に蓄積されたSによる河川の酸性化への寄与が考えられた。
- iii 増水時における硫酸イオン及び硝酸イオンの濃度上昇の傾向から、集水域内の地表面付近に蓄積しているSとNの流出が示唆された。
- ・ 一方、伊自良湖集水域の酸性化のメカニズムは複雑であり、科学的に解明すべき余地が残されていることから、将来の酸性化の進行を定量的に示すことは現時点では困難である。
- ・ 現時点で、直ちに人の健康及び生態系に何らかの影響を及ぼす状況にはないものの、将来的な影響の発現や、伊自良湖集水域と同様な条件の他の地域の酸性化が懸念されることから、酸性化のリスクの高いホットスポットにおける調査が必要である。

4. 今後の酸性雨対策の課題

(1) 長期モニタリングの実施

- ・ 酸性雨による影響は長期継続的なモニタリング結果によらなければ把握しにくく、また、湖沼や土壌の緩衝能力が低い場合には一定量以上の酸性物質の負荷の集積により急激に影響が発現する可能性があること等から、今後とも長期モニタリングを着実に実施していく必要がある。

(2) 国際的な取組の推進

- ・ 東アジア酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）の活動スコープを、従来の酸性沈着モニタリングから東アジア地域における大気環境管理へ拡大することを目指すなど、大気汚染を防止するため国際的な協力関係を構築し、地域協力を推進する必要がある。

(3) 越境大気汚染問題への取組

- ・ 光化学オキシダント注意報発令地域の広域化やその濃度の漸増傾向の一因として東アジア大陸からの越境汚染が指摘され、また、黄砂の飛来頻度が増加傾向にあることなどから、酸性沈着のみならず、オゾン及びエアロゾル等を統合した越境大気汚染モニタリングを実施していくことが必要である。

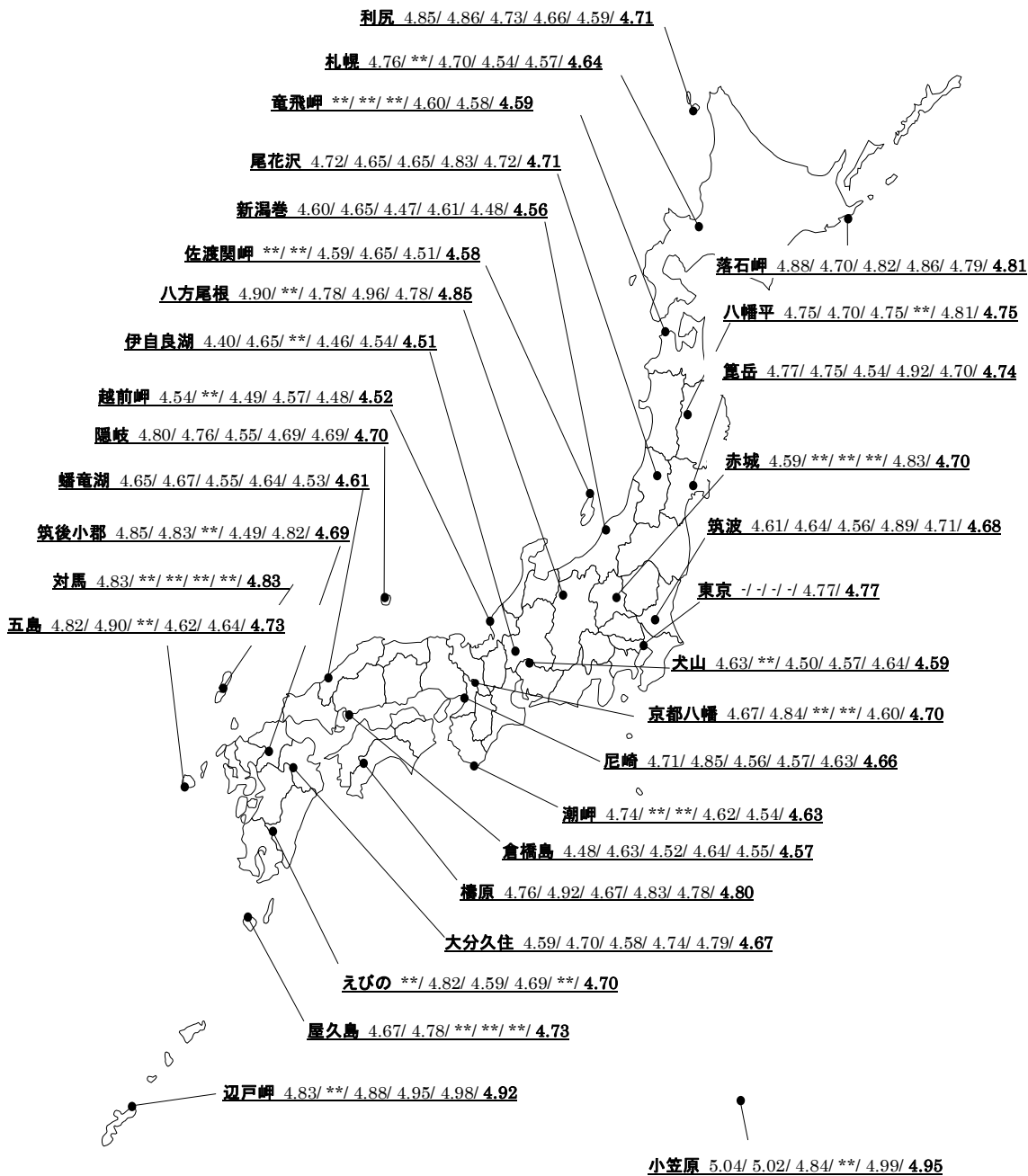
(4) 調査研究の推進

- ・ 今後、長距離越境大気汚染の状況やその影響を把握するため、大気シミュレーションモデルの精緻化及び排出インベントリの高精度化、土壌・植生及び陸水の感受性指標の検討、酸性化リスクの高いホットスポットの抽出等の調査研究の推進が必要である。

平成20年度酸性雨対策検討会 名簿

座長	秋元 肇	海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター 大気組成変動予測研究プログラムディレクター
	植田 洋匡	財団法人日本環境衛生センター酸性雨研究センター所長
	太田 誠一	京都大学大学院農学研究科教授
	小倉 紀雄	東京農工大学名誉教授
	小田 孝	全国環境研協議会酸性雨調査研究部会長 (高知県環境研究センター所長)
	加藤 久和	名古屋大学名誉教授
	後藤 良三	社団法人日本環境技術協会酸性雨部会長 (東亜ディーケーケー株式会社)
	佐竹 研一	立正大学地球環境科学部環境システム学科教授
	土器屋 由紀子	江戸川大学社会学部ライフデザイン学科教授
	戸塚 績	財団法人日本環境衛生センター酸性雨研究センター技術顧問
	袴田 共之	浜松ホトニクス株式会社顧問
	原 宏	東京農工大学農学部教授
	堀井 一雄	新潟県県民生活・環境部副部長
	村野 健太郎	法政大学生命科学部環境応用化学科教授

平成15年度/ 16年度/ 17年度/ 18年度/ 19年度/ 5年間平均



—: 未測定

** : 年判定基準で年平均値が棄却されたもの

注) 平均値は降水量加重平均とした。

図1 全国の降水のpH分布

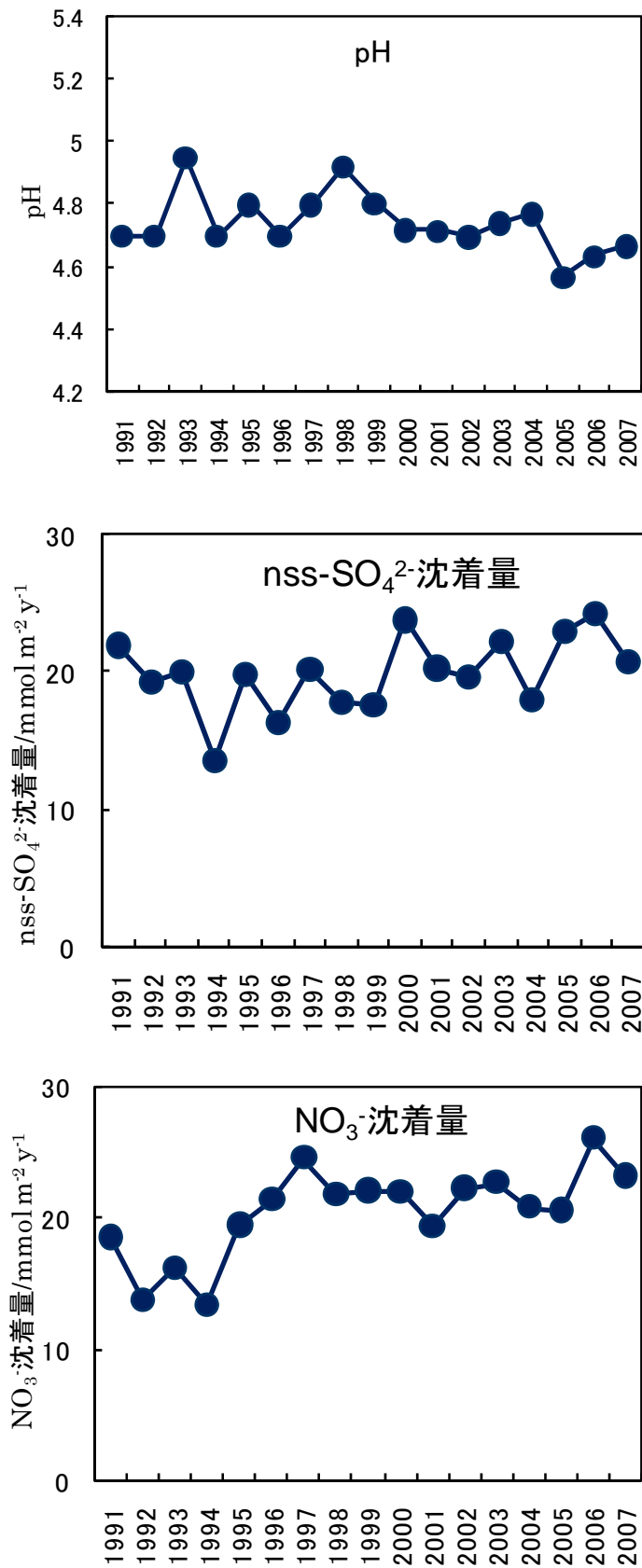


図2 pH、非海塩性硫酸イオン及び硝酸イオン沈着量の全国中央値の経年変化

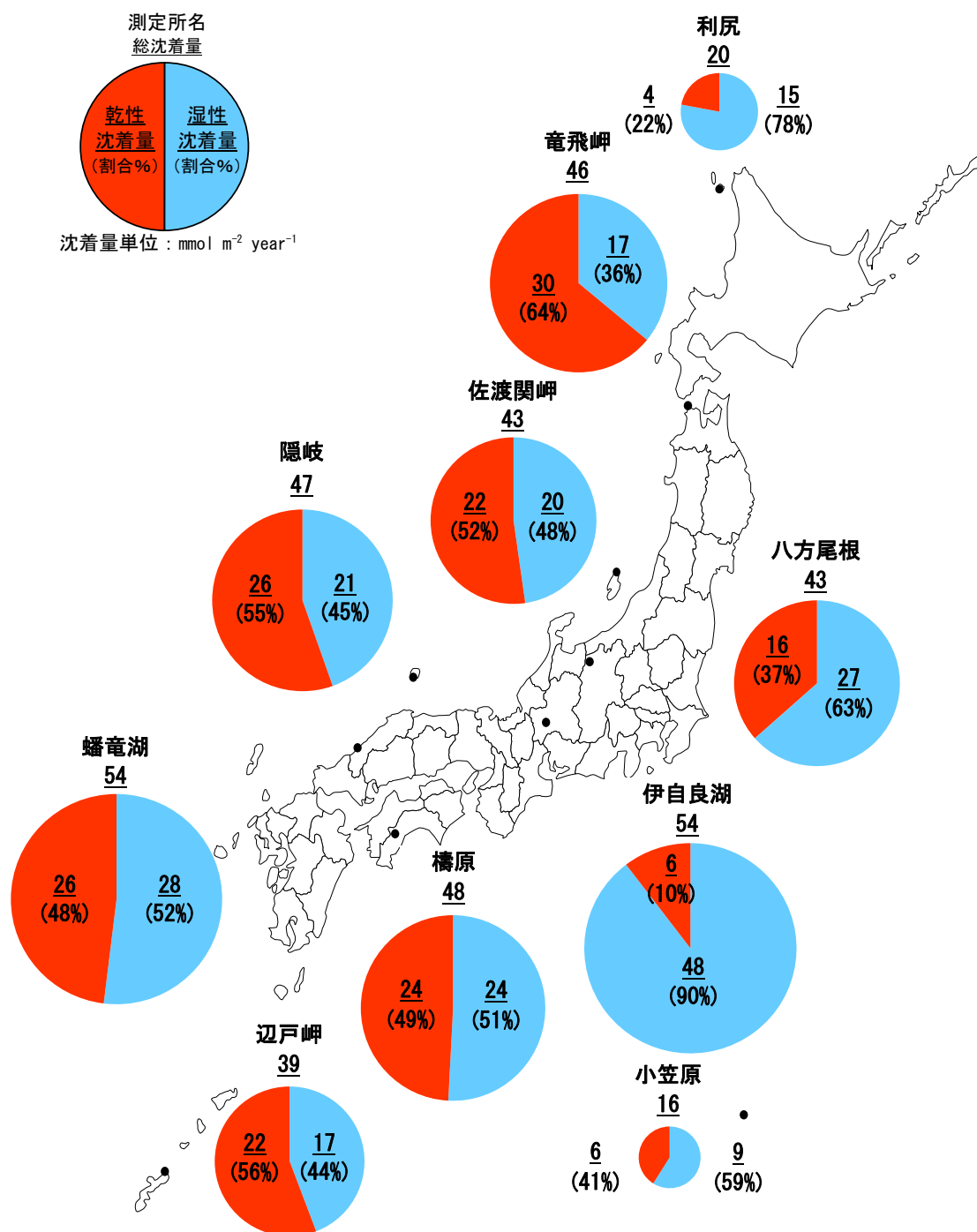


図3 硫黄（非海塩由来）の年間沈着量（平成15～19年度平均）

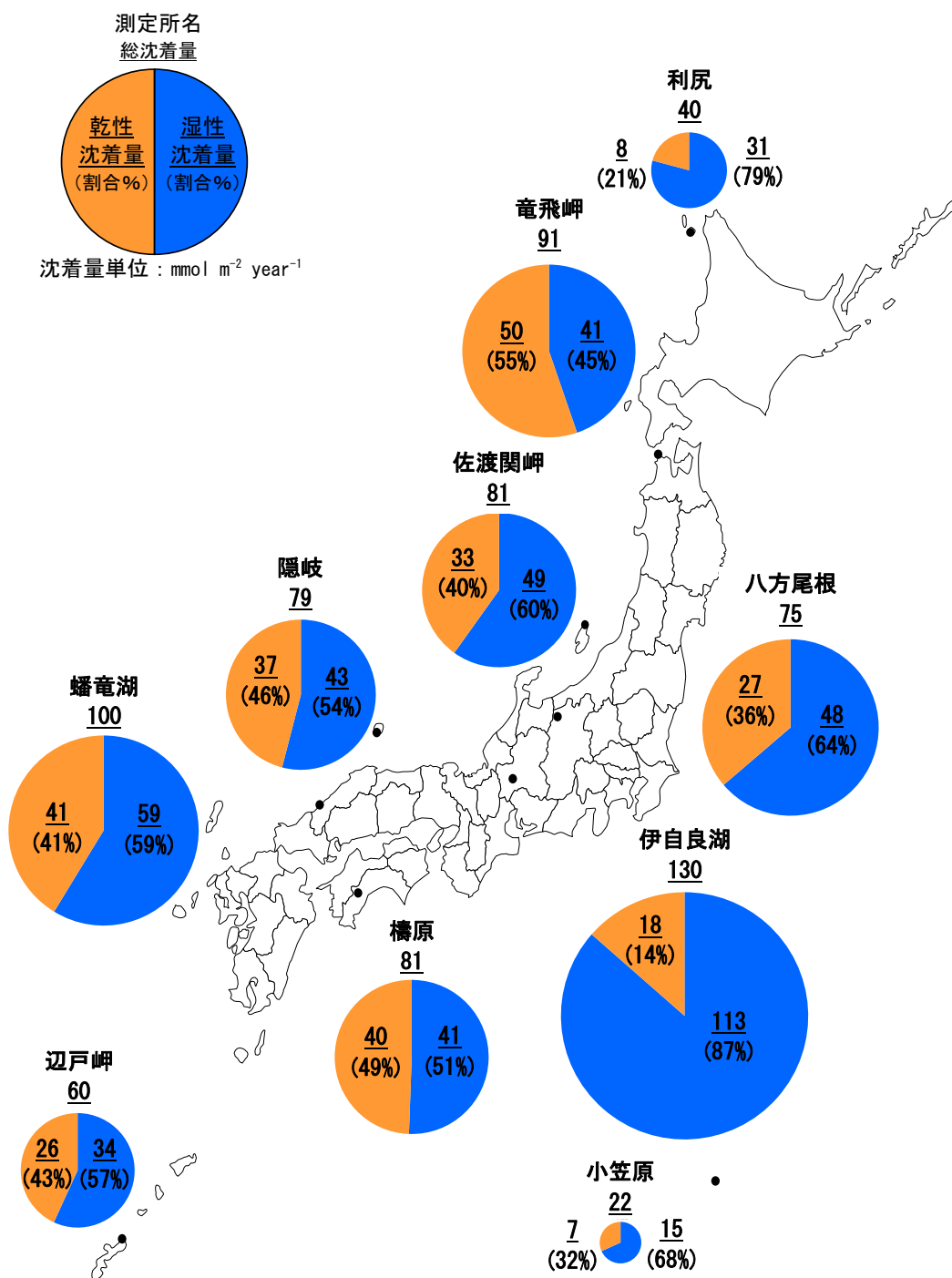


図4 窒素の年間沈着量 (平成15~19年度平均)

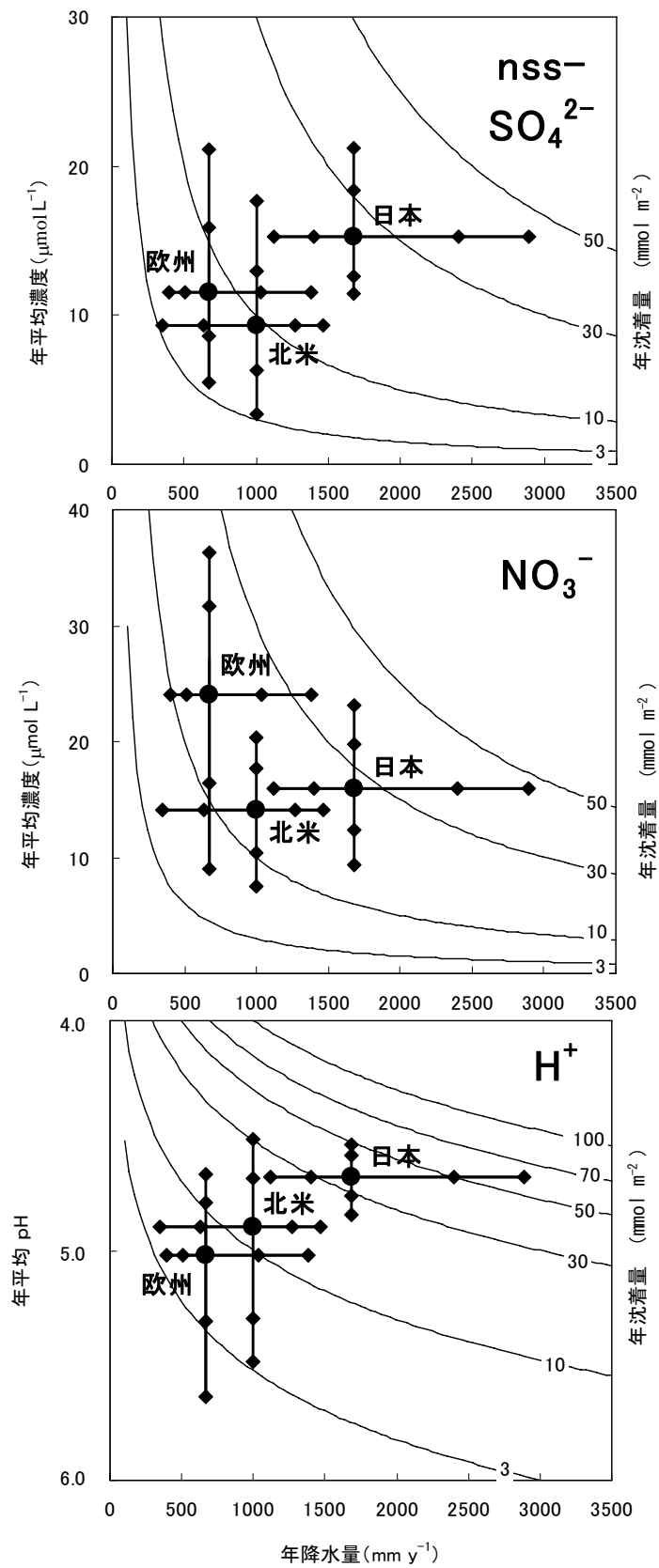


図5 我が国と欧米との湿性沈着量の比較 (2003~2006年)

1. 日本：本調査+全国環境研協議会調査[データ数68]、北米：NADP[250]、欧州：EMEP[97]
2. 日本、北米及び欧州の分布を10、25、50、75及び90パーセンタイル値で表記

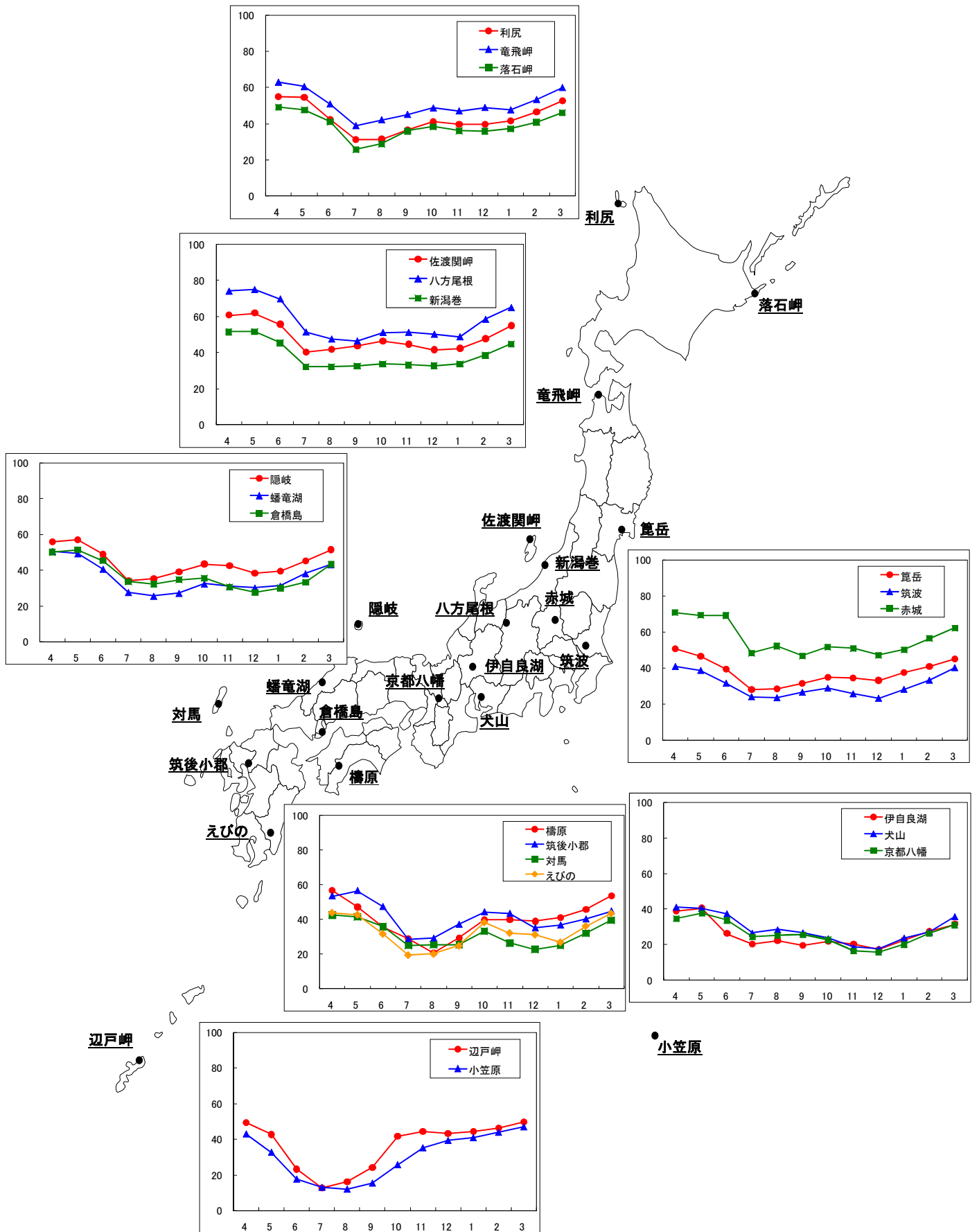
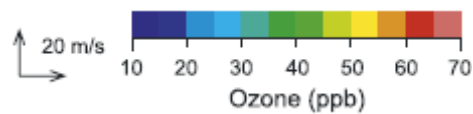
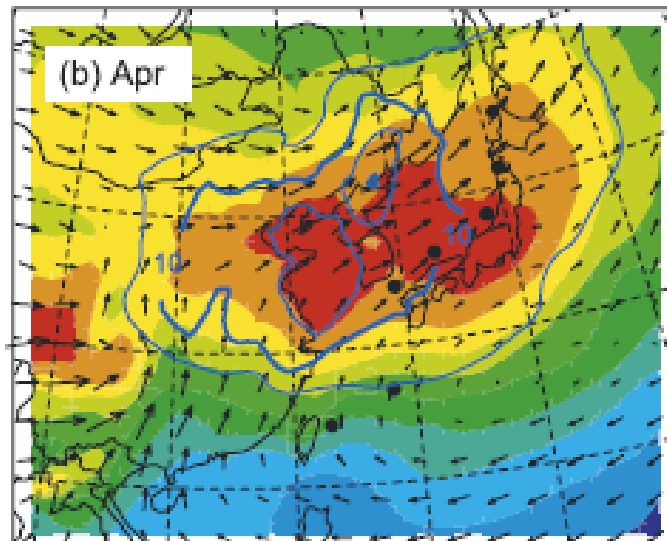


図6 オゾン濃度の季節変動 (ppb、平成15~19年度平均)

表1 日本の酸性沈着量の発生源地域別寄与率の比較

実施主体	発表年	基準年	モデル種類	寄与率(%)					
				日本	火山	中国	朝鮮半島	その他	
酸性雨研究センター ¹⁾	2008	2002	グリッド	54		28	4	13	
東京大学 ²⁾	2008	2001	グリッド	18	50	15	4	13	
国立環境研究所 ³⁾	2005	1995	グリッド	21	13	49	12	5	
nss-SO ₄ ²⁻ 電力中央研究所 ⁴⁾	2001	1995	トラジェクトリ	26-29	24-32	29-32	12-13	1-2	
		1990		27-30	25-31	24-27	17-19	1-2	
世界銀行(RAINS-Asia) ⁵⁾	1995	1990	トラジェクトリ	38	45	10	7	0	
電力中央研究所 ⁶⁾	1998	1988-1989	ハイブリッド	40	18	25	16	1	
大阪府立大学 ⁷⁾	1997	1988	グリッド	37	28	25	10	0	
NO ₃ ⁻	東京大学 ⁸⁾	2008	2001	グリッド	56		21	15	8
	国立環境研究所 ⁹⁾	2005	1995	グリッド	39		34	18	9
	コロンビア大学 ¹⁰⁾	2002	1990	グリッド	65		18	15	2
	大阪府立大学 ⁷⁾	1997	1990	グリッド	76		13	11	1



[青色のコンターが東アジア（中国及び韓国）起源のオゾン濃度]

図7 2002年4月の地表オゾン及び東アジア起源のオゾンの月平均濃度分布

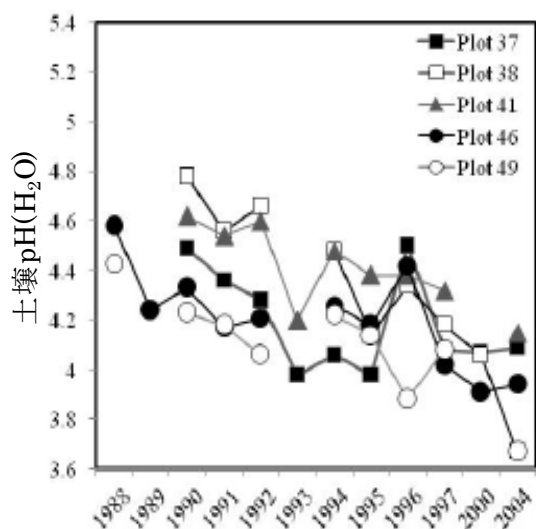


図8 伊自良湖集水域の長期モニタリング地点における土壌pH(H₂O)の経年変化

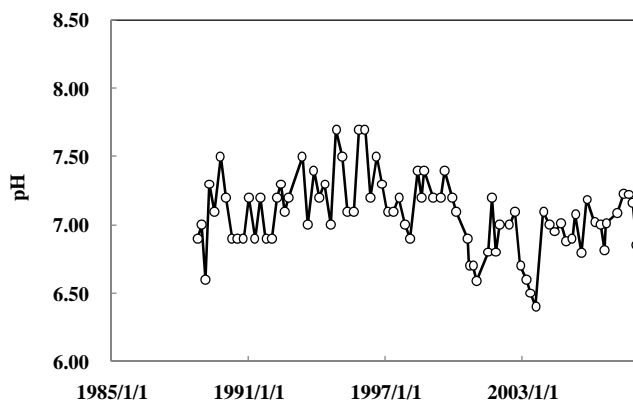


図9 釜ヶ谷川（伊自良湖流入河川）におけるpHの経年変化

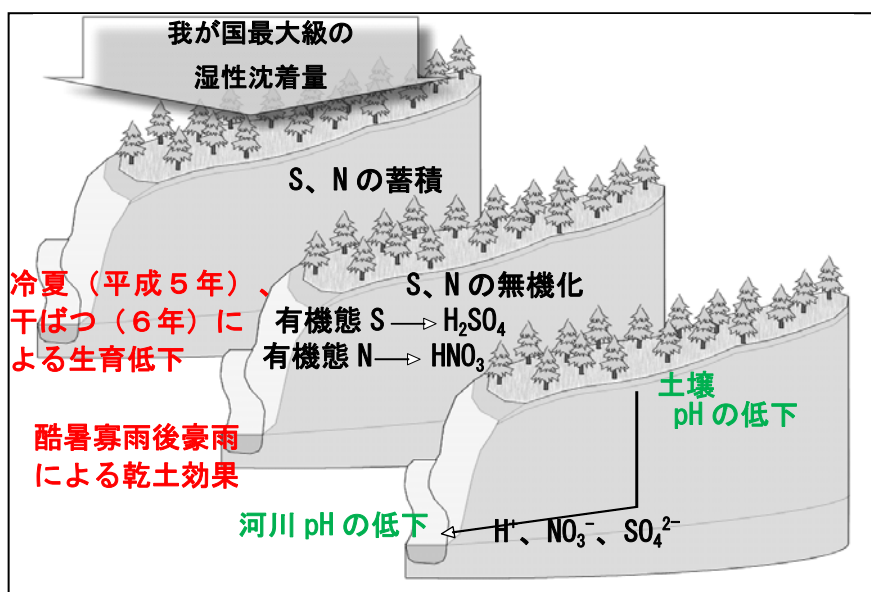


図10 考えられる伊自良湖集水域酸性化のプロセス

(出典)

○図5のデータ

- 全国環境研協議会、第4次酸性雨全国調査報告書(平成15年度)、全国環境研会誌、30(2)、19-37、2005
- 全国環境研協議会、第4次酸性雨全国調査報告書(平成16年度)、全国環境研会誌、31(3)、13-33、2006
- 全国環境研協議会、第4次酸性雨全国調査報告書(平成17年度)、全国環境研会誌、32(3)、3-31、2007
- 全国環境研協議会、第4次酸性雨全国調査報告書(平成18年度)、全国環境研会誌、33(3)、2-72、2008
- NADP, 2008. Data access. National Atmospheric Deposition Program (NADP), <http://nadp.sws.uiuc.edu/sites/ntnmap.asp?>
- EMEP, 2008. EMEP measurement online. EMEP Chemical Coordinating Centre at NILU, <http://www.nilu.no/projects/ccc/emepdata.html>

○表1の文献

- 1) The secretariat of LTP project, The 11th Expert Meeting for the Long-range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia: Proceeding (2008).
- 2) Lin, M. et al. (2008). Long-range transport of acidifying substances in East Asia-Part II:Source-receptor relationships. *Atmospheric Environment*, 42, 5956-5967.
- 3) 井上雅道ら(2005) 数値シミュレーションモデルRAMS/HYPACTによる東アジアにおける硫黄化合物の年間ソース・リセプター解析, *エアロゾル研究*, 20, 333-344.
- 4) Ichikawa, Y. et al. (2001). Forecast sulfur deposition in Japan for various energy supply and emission control scenarios, *Water, Air, & Soil Pollution*, 130, 301-306.
- 5) Carmichael G. R. et al. (1995) Chapter 5, ATMOS module, Long range transport and deposition of sulfur in Asia (Rains-Asia: An assessment model for air pollution in Asia, Foell, W. et al., Report on the World Bank Sponsored Project "Acid Rain and Emission Reductions in Asia"), V51-V58.
- 6) Ichikawa, Y. et al. (1998) A long-range transport model for East Asia to estimate sulfur deposition in Japan, *J. Applied Meteorology*, 37, 1364-1374.
- 7) 池田有光ら(1997) 東アジア地域を対象とした酸性降下物の沈着量測定(Ⅱ)―発生源寄与を中心とした検討―, *大気環境学会誌*, 32, 175-186.
- 8) Lin, M. et al. (2008). Long-range transport of acidifying substances in East Asia-Part I:model evaluation and sensitivity studies. *Atmospheric Environment*, 42, 5939-5955.
- 9) Ohara, T. et al. (2005). Annual source-receptor relationships of sulfur and nitrogen oxides in East Asia using a regional transport modeling system coupled with a meteorological model, *Conference abstracts of Acid Rain 2005*, 57.
- 10) Holloway, T. et al. (2002). Transfer of reactive nitrogen in Asia: development and evaluation of a source-receptor model, *Atmos. Environ.*, 36, 4251-4264.

○図7の文献

- Tanimoto, H. et al., Significant latitudinal gradient in the surface ozone spring maximum over East Asia, *Geophysical Research letters*, 32, L21805, doi:10.1029/2005GL023514, 2005.