

＜特 集＞

酸性雨全国調査報告書2023（令和5）年度

全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会

赤池史子，河野公亮，木戸瑞佳，小竹佑佳，田崎盛也，中島寛則，野村美沙希，久恒邦裕，
宮崎康平，家合浩明，山口高志，山本昇司，黒沼洋太，沼澤聡明，村岡悟，渡邊一史

はじめに

全国環境研協議会による酸性雨全国調査は1991年度からの第1次調査に始まり，2023年度からは長期モニタリングとして全国調査を実施しています。

当報告書では，長期モニタリングの初年度である2023年度の調査結果を報告します。

これまでの調査を振り返ると，第1次調査（1991～1993年度）では，ろ過式採取法（バルク）による調査を行い，全国的な降水の酸性化を明らかにしました。

第2次調査（1995～1997年度）では，夏季および冬季に日単位調査や流跡線解析を行いました。その結果，冬季に日本海側で沈着量が多く，硫酸イオンを多く含む気塊が中国や朝鮮半島を通過していたこと，カルシウムイオンを多く含む気塊が，モンゴルや中国北東部を起源とする場合が多かったことなどを明らかにし，酸性物質の移流の可能性を示しました。

第3次調査（1999～2001年度）では，湿性沈着（降水時間開放型捕集装置法）に加えて，乾性沈着を把握するために，4段ろ紙法（フィルターパック法）によるガス・エアロゾル調査を実施しました。その結果，都市部における酸性雨の状況，硫酸化合物や窒素化合物の地域特性，さらに大気中のガス状成分，粒子状成分について全国的な濃度分布とその季節変化を明らかにするとともに，乾性沈着量の推定を実現しました。

第4次調査（2003～2008年度）では，乾性沈着量の空間分布について，より正確に把握するために，フィルターパック法では測定することのできない窒素化合物やオゾン濃度等の測定が可能であるパッシブ法を導入しました。また，乾性沈着速度を算出するプログラムを共同開発し，乾性沈着量の評価を実施しました。

第5次調査（2009～2015年度）では，これまでの調査に加え，窒素成分のより高度な沈着量の把握やバックグラウンドオゾン濃度の把握などを行いました。

第6次調査（2016～2022年度）からは，フィルターパック法による乾性沈着調査において，従来の4段ろ紙法から

5段ろ紙法への移行を推奨し，さらに高精度かつ広域的な調査を実施しています。調査結果の解析では広域大気汚染についても検討を行っており，今後も継続したデータ収集および解析により，東アジア酸性雨モニタリングネットワークの充実に貢献したいと考えています。

このように，当部会の取組は，日本における酸性雨調査を環境省および国立研究開発法人国立環境研究所と連携して面的・项目的に補完するものです。また，全国的な情報・知見の集積を行う上で，地方環境研究所の役割と貢献が極めて大きいことを示す事例であると考えます。われわれ地方環境研究所が中心となって調査研究を行っていくことは，環境行政の推進に必要不可欠であり，今後も継続していくことが重要であると言えます。

最後になりましたが，行財政状況の大変厳しい中，当部会の活動にご参加いただきました全国環境研協議会会員機関の調査担当の皆様，本調査の企画・解析等にご尽力いただきました部会委員の皆様，有益なご助言・ご指導をいただきました有識者の皆様，本調査に対し多大なご協力・ご支援をいただきました環境省，国立環境研究所，一般財団法人日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センターならびに関係の皆様方に，この場をお借りしまして，深く御礼申し上げます。引き続き，当部会の活動にご支援・ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

令和7年8月

全国環境研協議会

酸性雨広域大気汚染調査研究部会

部会長 野中勇志

（宮崎県衛生環境研究所長）

1. 調査目的

全国環境研協議会（以下、全環研）は、表1.1.1に示すように1991年度から酸性雨全国調査を行ってきた。その結果、全国の湿性および乾性沈着について、地域特性、季節変化、火山・大陸の発生源の影響、乾性沈着速度評価などの多くの知見を得てきた。第1次から第3次調査までは3年間の調査の後、1年間の準備期間を経て次の調査を行ってきた。第4次調査は2003～2005年度の予定で開始したが、急速に増大し始めた中国のSO₂排出量の影響などが懸念されたことから、追加調査として3年、計6年間の調査を2008年度まで実施した。その後は準備期間を設けずに第5次調査を2009年度から実施し、これまでの調査に加え、窒素成分のより高度な沈着量の把握やバックグラウンドオゾン濃度の把握などを行った。

2016年度から第6次調査を開始し、日本全域における大気汚染物質濃度およびその沈着量の把握を目的として湿性沈着および乾性沈着モニタリングを実施した。湿性沈着では、国際標準の方法である降水時開放型捕集装置（ウェットオンリーサンプラー）を用いた湿性沈着の把握を行い、乾性沈着では、大気中のガス/エアロゾル濃度の測

定を行うとともに沈着量の見積りも行った。なお、乾性沈着調査は(i)ガス/エアロゾル濃度の測定を行うフィルターパック法（以下、FP法）、(ii)ガス濃度の測定を行う小川式パッシブ法（以下、パッシブ法）、(iii)自動測定機による測定の3つの手法を併用して行った。第6次調査の特徴としては、①第5次調査から準備期間を設けずに継続して実施したこと、②窒素沈着の実態把握をテーマの一つとしたこと、③FP法において粗大粒子と微小粒子（PM_{2.5}）を分けた採取を推奨したことである。②では、反応性窒素成分である湿性沈着のNO₃⁻およびNH₄⁺、乾性沈着の粒子状NO₃⁻およびNH₄⁺、ガス状のHNO₃（測定されている場合はHONOも含む）、NO₂、NOおよびNH₃を対象に窒素沈着量を評価することを目標にした。③では、従来の4段ろ紙法の構成に加え、前段にインパクト（I0ろ紙）を装備した5段構成の手法も採用した。この手法の利点としては、(i)粒径別での成分の挙動を把握するとともに、乾性沈着量推計において粒径の影響を考慮することができ、(ii)PM_{2.5}成分データを得ることにより、PM_{2.5}対策へ貢献することが可能となる、という点が挙げられる。

2022年度で終了した第6次調査までの傾向としては、湿

表1.1.1 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会による酸性雨全国調査の主な調査内容

	第1次酸性雨全国調査	第2次酸性雨全国調査		第3次酸性雨全国調査			第4次酸性雨全国調査		
調査対象	降水成分	降水成分		湿性沈着	乾性沈着		湿性沈着	乾性沈着	
調査地点数	1991年度：158地点 1992年度：140地点 1993年度：140地点	1995年度：52地点 1996年度：58地点 1997年度：53地点		1999年度：47地点 2000年度：48地点 2001年度：52地点	1999年度：25地点 2000年度：27地点 2001年度：29地点		2003年度：61地点 2004年度：61地点 2005年度：62地点 2006年度：57地点 2007年度：61地点 2008年度：60地点	2003年度：32地点 2004年度：34地点 2005年度：35地点 2006年度：28地点 2007年度：28地点 2008年度：29地点	2003年度：59地点 2004年度：61地点 2005年度：59地点 2006年度：39地点 2007年度：34地点 2008年度：37地点
調査手法	ろ過式採取法（バルク採取）による原則1週間単位の試料採取	バケツ（バルク採取）による1日単位の試料採取		降水時開放型捕集装置（ウェットオンリー採取）による原則1週間単位の試料採取	フィルターパック法による原則1-2週間単位の試料採取		降水時開放型捕集装置（ウェットオンリー採取）による原則1週間単位の試料採取	フィルターパック法によるガスおよび粒子状成分調査、原則1-2週間単位の試料採取	パッシブサンプラー（0式および1式）によるガス成分調査、月単位の試料採取
調査期間	通年調査		夏季および冬の2週間調査	通年調査			通年調査		
データの公表	国立環境研究所地球環境研究センターホームページに掲載 http://db.cger.nies.go.jp/dataset/acidrain/ja/01/index.html		国立環境研究所地球環境研究センターホームページに掲載 http://db.cger.nies.go.jp/dataset/acidrain/ja/02/index.html	国立環境研究所地球環境研究センターホームページに掲載 http://db.cger.nies.go.jp/dataset/acidrain/ja/03/index.html			国立環境研究所地球環境研究センターホームページに掲載 http://db.cger.nies.go.jp/dataset/acidrain/ja/04/index.html		
報告書の公表	全国公害研会誌 VOL.19, NO.2（平成4年度酸性雨全国調査結果報告書） 全国公害研会誌 VOL.20, NO.2（酸性雨全国調査結果報告書（平成3年度～平成5年度））	全国公害研会誌 VOL.21, NO.4（第2次酸性雨全国調査報告書（平成7年度）） 全国公害研会誌 VOL.22, NO.4（第2次酸性雨全国調査報告書（平成8年度）） 全国公害研会誌 VOL.23, NO.4（第2次酸性雨全国調査報告書（平成9年度））		全国環境研会誌 VOL.26, NO.2.（第3次酸性雨全国調査報告書（平成11年度）） 全国環境研会誌 VOL.27, NO.2.（第3次酸性雨全国調査報告書（平成12年度）） 全国環境研会誌 VOL.28, NO.3.（第3次酸性雨全国調査報告書（平成11～13年度））			全国環境研会誌 VOL.30, NO.2.（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 VOL.31, NO.3, 4.（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 VOL.32, NO.3, 4.（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 VOL.33, NO.3, 4.（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 VOL.34, NO.3, 4.（第4次酸性雨全国調査報告書（平成19年度）） 全国環境研会誌 VOL.35, NO.3, 4.（第4次酸性雨全国調査報告書（平成20年度））		
第5次酸性雨全国調査			第6次酸性雨全国調査			酸性雨全国調査			
調査対象	湿性沈着	乾性沈着		湿性沈着	乾性沈着		湿性沈着	乾性沈着	
調査地点数	2009年度：72地点 2010年度：67地点 2011年度：66地点 2012年度：66地点 2013年度：67地点 2014年度：65地点 2015年度：68地点	2009年度：32地点 2010年度：35地点 2011年度：36地点 2012年度：34地点 2013年度：35地点 2014年度：34地点 2015年度：31地点	2009年度：42地点 2010年度：41地点 2011年度：38地点 2012年度：36地点 2013年度：30地点 2014年度：28地点 2015年度：26地点	2016年度：64地点 2017年度：63地点 2018年度：60地点 2019年度：59地点 2020年度：55地点 2021年度：53地点 2022年度：50地点	2016年度：30地点 2017年度：28地点 2018年度：29地点 2019年度：27地点 2020年度：26地点 2021年度：25地点 2022年度：25地点	2016年度：22地点 2017年度：20地点 2018年度：17地点 2019年度：15地点 2020年度：13地点 2021年度：13地点 2022年度：13地点	2023年度：49地点	2023年度：25地点	2023年度：13地点
調査手法	降水時開放型捕集装置（ウェットオンリー採取）による原則1週間単位の試料採取	フィルターパック法によるガスおよび粒子状成分調査、原則1-2週間単位の試料採取	パッシブサンプラー（0式）によるガス成分調査、月単位の試料採取	降水時開放型捕集装置（ウェットオンリー採取）による原則1週間単位の試料採取	フィルターパック法によるガスおよび粒子状成分調査、原則1-2週間単位の試料採取、インパクト装置による粗大粒子と微小粒子（PM _{2.5} ）とを分けた採取を推奨	パッシブサンプラー（0式）によるガス成分調査、月単位の試料採取	降水時開放型捕集装置（ウェットオンリー採取）による原則1週間単位の試料採取	フィルターパック法によるガスおよび粒子状成分調査、原則1-2週間単位の試料採取、インパクト装置による粗大粒子と微小粒子（PM _{2.5} ）とを分けた採取を推奨	パッシブサンプラー（0式）によるガス成分調査、月単位の試料採取
調査期間	通年調査			通年調査			通年調査		
データの公表	国立環境研究所地球環境研究センターホームページに掲載 http://db.cger.nies.go.jp/dataset/acidrain/ja/05/index.html			国立環境研究所地球環境研究センターホームページに掲載（2020年度まで） http://db.cger.nies.go.jp/dataset/acidrain/ja/06/index.html					
報告書の公表	全国環境研会誌 VOL.36, NO.3.（第5次酸性雨全国調査報告書（平成21年度）） 全国環境研会誌 VOL.37, NO.3.（第5次酸性雨全国調査報告書（平成22年度）） 全国環境研会誌 VOL.38, NO.3.（第5次酸性雨全国調査報告書（平成23年度）） 全国環境研会誌 VOL.39, NO.3.（第5次酸性雨全国調査報告書（平成24年度）） 全国環境研会誌 VOL.40, NO.3.（第5次酸性雨全国調査報告書（平成25年度）） 全国環境研会誌 VOL.41, NO.3.（第5次酸性雨全国調査報告書（平成26年度）） 全国環境研会誌 VOL.42, NO.3.（第5次酸性雨全国調査報告書（平成27年度））			全国環境研会誌 VOL.43, NO.3.（第6次酸性雨全国調査報告書（平成28年度）） 全国環境研会誌 VOL.44, NO.3.（第6次酸性雨全国調査報告書（平成29年度）） 全国環境研会誌 VOL.45, NO.3.（第6次酸性雨全国調査報告書2018（平成30）年度） 全国環境研会誌 VOL.46, NO.3.（第6次酸性雨全国調査報告書2019（令和元）年度） 全国環境研会誌 VOL.47, NO.3.（第6次酸性雨全国調査報告書2020（令和2）年度） 全国環境研会誌 VOL.48, NO.3.（第6次酸性雨全国調査報告書2021（令和3）年度） 全国環境研会誌 VOL.49, NO.3.（第6次酸性雨全国調査報告書2022（令和4）年度）					

性沈着については、降水量は年度ごとに変動はあるもののほぼ横ばいで推移していたが、成分濃度では、ほとんどの成分で減少傾向が認められた。また、乾性沈着については、火山活動や森林火災などの事象により、高濃度事例がみられた地点もあるが、概ね減少傾向を示した成分が多数を占めた。これらのことを踏まえると降水の酸性度は低下する方向に向かっていると考えられるが、一部アンモニアなどの成分については、増加する傾向が認められ、大気環境の状態はすべて改善の方向に進んでいるとは言い切れない状況である。

国内では大気汚染物質の排出量が削減され、大気質の

改善の兆候が認められているものの、越境してくる大気汚染物質については、オゾンやPM_{2.5}などの粒子状物質を含め、今後、どのような変化を生じるか、また、気候変動についても、何らかの影響が懸念されるところである。従って、継続的に分析精度を維持しながらモニタリングを実施し、今後起こりうる変化を注視し、それに対処できるようにデータを蓄積していくことが重要であると考えている。そこで、2023年度からはフェーズを区切らずに長期モニタリングとして全国調査を継続実施することとした。

なお、第1次から第5次調査結果および第6次調査のう

表2.1.1 調査地点の属性および調査内容（2023年度）

支部	都道府県名	地点名	調査機関名	排出量 (t km ² y ⁻¹)			地域 区分 (注1)	緯度 (度)	経度 (度)	湿性 (注2)	乾性 ^{(注2) (注3)}			標高 (m)	海岸から の距離 (km)	サンプラー設置位 置地上高(m)			土地利用
				SO ₂	NO _x	NH ₃					FP	O式	自動 NO _x			湿性	FP	O式	
北海道・東北	北海道	利尻	北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所	0.81	0.44	0.02	NJ	45.1200	141.2097	☆	☆	○	☆	47	0.7	10	10	10	未指定（草、笹）
		札幌北	北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所	2.76	14.57	1.16	NJ	43.0818	141.3338	☆	○	○	☆	12	13	12	11	11	住居地域（市街地）
		札幌白石	札幌市衛生研究所	2.72	14.72	1.27	NJ	43.0626	141.3819	○	○			15	16.7	14	14		住居地域（市街地）
	青森県	青森東道	青森県東青地域県民局環境管理部	0.74	2.18	0.42	NJ	40.8303	140.7918					3	0.7	20			住居地域（市街地）
		鯉ヶ沢舞戸	青森県東青地域県民局環境管理部	0.12	0.61	0.44	NJ	40.7831	140.2382	○	○			30	0.4	13			都市計画未指定
	宮城県	涌谷	宮城県保健環境センター	1.02	3.61	2.32	NJ	38.5537	141.1720	○				165	19	3			未指定（草、雑）
	秋田県	秋田千秋	秋田県健康環境センター	3.39	4.16	0.48	NJ	39.7196	140.1262	○				15	5.5	20			第一種住居地域
	山形県	鶴岡	山形県環境科学研究所	0.07	0.38	0.34	NJ	38.5547	139.8618			○		263	26			5	未指定（森林）
	福島県	福島天栄	福島県環境創造センター	0.40	0.64	0.42	EJ	37.2526	140.0445			○		941	84			1	未指定（森林）
		三春 ^(注4)	福島県環境創造センター	0.64	3.61	1.29	EJ	37.4347	140.5194	○		○		423	46	10			工業地域
		小名浜	いわき市環境監視センター	9.47	11.49	0.78	EJ	36.9633	140.8927	○	○	○	○	3	2.5	5		2	住居地域（市街地）
	新潟県	新潟曾和	新潟県保健環境科学研究所	1.42	6.13	1.02	JS	37.8453	138.9443	○	○		○	2	3.1	4	2		市街化調整区域
長岡		新潟県保健環境科学研究所	0.65	2.82	0.59	JS	37.4462	138.8681	○	○		○	27	19	6	7		住居地域	
関東・甲信・静岡	埼玉県	さいたま ^(注5)	さいたま市健康科学センター	3.62	28.04	4.63	EJ	35.8737	139.6241	○				16	35	23			商業地域
	群馬県	前橋	群馬県衛生環境研究所	1.87	7.46	6.76	EJ	36.4044	139.0961	○	○		○	103	110	20	20		市街化調整区域
		市原	千葉県環境研究センター	9.68	36.26	2.76	EJ	35.5259	140.0682	○	○	▲		3	1.2	5	10	10	工業地域
	千葉県	銚子	千葉県環境研究センター	8.59	6.82	3.62	EJ	35.7351	140.7447	○				50	4.5	5			農業地域
		一宮	千葉県環境研究センター	0.11	1.12	0.84	EJ	35.3485	140.3805	○				5	1.0	3			農業地域
		旭	千葉県環境研究センター	8.59	6.93	3.87	EJ	35.7271	140.7202	○	○	▲		58	4.7	1	1	1	農業地域
		佐倉	千葉県環境研究センター	1.75	16.29	2.66	EJ	35.7279	140.2065	○	○	▲		28	19	3	3	3	住居地域
		清澄	千葉県環境研究センター	0.08	0.65	0.86	EJ	35.1634	140.1555	○	○			356	4.5	1	1		未指定（森林）
		勝浦	千葉県環境研究センター	0.09	0.55	0.55	EJ	35.1536	140.2528	○	○			98	1.9	5	3		農業地域
		習志野	千葉県環境研究センター	7.40	31.35	3.70	EJ	35.6858	140.0304	○				14	3.1	3			住居地域
	神奈川県	平塚	神奈川県環境科学センター	0.52	10.36	2.57	EJ	35.3476	139.3514	○				9	3.7	22			準工業地域（市街地）
	長野県	長野	長野県環境保全研究所	0.88	2.63	0.57	CJ	36.6354	138.1786	○	○		○	363	52.5	15	3		第一種住専
東海・近畿・北陸	富山県	射水 ^(注6)	富山県環境科学センター	5.03	11.55	1.43	JS	36.7006	137.0997	○	○	▲	○	25	8	2	14	14	住居地域（市街地）
	石川県	金沢	石川県保健環境センター	1.48	3.76	0.95	JS	36.5272	136.7055	○				112	14	14	14		第2種住居専用地域
	福井県	福井	福井県衛生環境研究センター	1.28	4.47	0.68	JS	36.0741	136.2615	○	○		○	13	18	9	9		市街化調整区域
	岐阜県	伊自良湖	岐阜県保健環境研究所	1.11	3.10	1.24	CJ	35.5725	136.6938	☆	☆		☆	157	58	4	3		山林
	愛知県	豊橋	愛知県環境調査センター 東三河支所	1.42	6.54	3.81	CJ	34.7423	137.3840	○	○	▲	○	20	6	8	8	8	住居地域
		名古屋南	名古屋市環境科学調査センター	8.87	35.36	3.81	CJ	35.0990	136.9156	○	○			0	3	19	19		工業地域
	滋賀県	大津柳が崎	琵琶湖環境科学研究所	1.48	10.63	1.30	CJ	35.0265	135.8671	○				87	53	28			住宅地
	兵庫県	神戸須磨	兵庫県環境研究センター	6.65	18.73	1.12	CJ	34.6487	135.1318	○	○		○	15	0.9	29	29		準工業地域
	和歌山県	和歌山 ^(注7)	和歌山県環境衛生研究センター	8.97	13.33	0.87	CJ	34.2143	135.1626	○				13	1	13			住居地域（市街地）
中国・四国	鳥取県	湯梨浜	鳥取県衛生環境研究所	0.10	0.72	0.80	JS	35.4934	133.8852	○				2	1.3	10			未指定
	島根県	松江	島根県保健環境科学研究所	0.26	1.36	0.49	JS	35.4750	133.0131	○				6	6	1			区域外
	山口県	山口	山口県保健健康センター	1.05	3.34	0.57	WJ	34.1528	131.4335	○				13	13	1			住居地域（市街地）
	徳島県	徳島	徳島県立保健製薬環境センター	1.10	4.60	1.46	CJ	34.0700	134.5608	○				2	3	18			住居地域（市街地）
	愛媛県	東温 ^(注8)	愛媛県立衛生環境研究所	3.84	4.62	1.09	WJ	33.7961	132.8801	○				116	12	13			住居地域（市街地）
		太宰府	福岡県保健環境研究所	2.43	12.87	1.92	WJ	33.5116	130.4995	○	○		○	30	15	18	5		市街化調整区域
	福岡県	曲刈 ^(注9)	福岡市保健環境研究所	1.53	8.98	1.43	WJ	33.4974	130.3072	○				193	9.2	1			市街化調整区域
		城南	福岡市保健環境研究所	1.65	10.79	1.61	WJ	33.5757	130.3699	○				3	2.6	14			商業地域
	佐賀県	佐賀	佐賀県環境センター	1.20	3.89	1.48	WJ	33.2735	130.2727	○				5	11	9			第1種住居地域（市街地）
		宇土	熊本県保健環境科学研究所	1.16	5.03	1.35	WJ	32.6661	130.6531	○				20	2.7	1			未指定
	熊本県	阿蘇一の宮	熊本県保健環境科学研究所	0.15	0.63	1.21	WJ	32.9387	131.1143	○				534	50	12			未指定
		画図町 ^(注10)	熊本県環境総合センター	0.96	4.93	2.85	WJ	32.7642	130.7346	○		▲		5	12	15		15	市街化調整区域
	大分県	大分	大分県衛生環境研究センター	11.58	17.02	1.16	WJ	33.1583	131.6136	○	○			90	11	14	14		住宅地
	宮崎県	宮崎	宮崎県衛生環境研究所	0.31	1.86	1.04	WJ	31.8333	131.4157	○	○			28	3.5	14	14		都市地域（準工業地域）
鹿児島県	鹿児島	鹿児島県環境保健センター	0.96	3.54	1.29	WJ	31.5846	130.5644	○	○			1	0.1	5	21		準工業地	
	沖縄県	うるま ^(注11)	沖縄県衛生環境研究所	10.03	9.22	1.28	SW	26.3772	127.8345	○	○	▲		34	3	10	11	11	未指定
		辺戸岬	沖縄県衛生環境研究所	0.00	0.03	0.33	SW	26.8670	128.2483	☆	☆	▲	☆	60	0.2	2	5	5	特別地域
調査機関数				37				調査地点数				49	25	13	14				

注1) NJ：北部、JS：日本海側、EJ：東部、CJ：中央部、WJ：西部、SW：南西諸島

注2) ☆：環境省の委託事業、▲：一部実施

注3) FP：インパクタ付き5段ろ紙法または4段ろ紙法、O式：パッシブ法、自動NO_x：常時監視局自動測定装置によるNO・NO₂測定結果

注4) 2015/11/2から測定地点変更 注5) 2023/5/30から測定地点変更 注6) 旧名称は小杉

注7) 2017/9/11から測定地点変更(海田市役所→日方小学校)、2018/4から地点変更(海南→和歌山)

注8) 2022/4 から測定地点変更(松山→東温) 注9) 旧名称は福岡

注10) 2016/3/7から測定地点変更(熊本→画図町) 注11) 2017/3/6から測定地点変更 (大里→うるま)

ち、2020年度までの結果については、国立環境研究所地球環境研究センターにおける地球環境データベース (<http://db.cger.nies.go.jp/dataset/acidrain/ja/>) に掲載されており、今後も結果がまとまり次第、掲載していく予定である。

2. 調査内容

2.1 調査概要

2023年度の調査参加機関は表2.1.1に示す37機関であり、湿性沈着調査地点は49地点、乾性沈着調査地点は29地点（FP法：25地点、パッシブ法：13地点、自動測定機：14地点）であった。調査地点は一部、国設局との共用データも含まれる。なお、環境省のデータとは降水量の算出方法（気象データを用いる場合と貯水量を用いる場合）が一部異なるため、数値が一致しない場合がある。

2023年度の調査期間は原則として2023年3月27日～2024年3月25日であり、季節および月の区切りは表2.1.2

に示すとおりである。

本調査および報告書の作成は全環研・酸性雨広域大気汚染調査研究部会が主導して行った。2023～2024年度の部会組織および報告書の担当を表2.1.3に示す。

表2.1.2 調査期間の季節・月区分（2023年度）

季節	月	2023年度		週
春	4	3月27日	～ 4月24日	4
	5	4月24日	～ 6月5日	6
夏	6	6月5日	～ 7月3日	4
	7	7月3日	～ 7月31日	4
	8	7月31日	～ 8月28日	4
秋	9	8月28日	～ 9月25日	4
	10	9月25日	～ 11月6日	6
	11	11月6日	～ 12月4日	4
冬	12	12月4日	～ 1月4日	4
	1	1月4日	～ 1月29日	4
	2	1月29日	～ 2月26日	4
春	3	2月26日	～ 3月25日	4

注）週単位の試料採取日は原則として月曜日とした。

表2.1.3 全国環境研協議会・酸性雨広域大気汚染調査研究部会組織

部会役職	所 属	氏 名	担当年度	報告書等 担当部分
部会長	山形県環境科学研究所	青木 政浩	2023	
	山形県環境科学研究所	前田 学	2024	
理事委員	新潟県保健環境科学研究所	栗林 英明	2023	
	新潟県保健環境科学研究所	葉葦 久尚	2024	
支部委員	新潟県保健環境科学研究所	小竹 佑佳	2023-2024	D
	長野県環境保全研究所	西澤 洋一	2023	D
	長野県環境保全研究所	赤池 史子	2024	D
	名古屋市環境科学調査センター	中島 寛則	2023-2024	D
	山口県環境保健センター	岩永 恵	2023	D
	山口県環境保健センター	野村 美沙希	2024	D
	大分県衛生環境研究センター	河野 公亮	2023-2024	D
委 員	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構	山口 高志	2023-2024	1-3, 5, 6章
	産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所			
	新潟県保健環境科学研究所	家合 浩明	2023-2024	総括, 1-3, 5, 3章
	富山県環境科学センター	木戸 瑞佳	2024	4章
	名古屋市環境科学調査センター	久恒 邦裕	2023-2024	4章
	徳島県立保健製薬環境センター	山本 昇司	2023-2024	1-3, 5, 3章
	福岡県保健環境研究所	宮崎 康平	2024	5.1-5.2章
	沖縄県衛生環境研究所	田崎 盛也	2023-2024	5.1-5.2章
有識者	国立大学法人 東京農工大学 農学部	松田 和秀	2023-2024	
	元 国立環境研究所	村野 健太郎	2023-2024	
	公立大学法人 北九州市立大学	藍川 昌秀	2023-2024	
	京都大学フィールド科学教育研究センター	徳地 直子	2023-2024	
	国立研究開発法人 国立環境研究所 地球システム領域	池田 恒平	2024	
	国立研究開発法人 国立環境研究所 地球システム領域	向井 人史	2023-2024	
	一般財団法人 日本環境衛生センター アジア大気汚染研究センター	弓場 彬江	2023-2024	
	大気環境学会中国・四国支部	大原 真由美	2023-2024	
	環境省	山田 克之	2023-2024	
	〃	吉本 隆寿	2023	
事務局	山形県環境科学研究所	村岡 悟	2023-2024	
	〃	渡邊 一史	2023-2024	
	〃	沼澤 聡明	2023-2024	
	〃	黒沼 洋太	2024	

注）「報告書担当部分」におけるDはデータ収集、数字は報告書の章を表す。

2.2 調査方法

2.2.1 湿性沈着

調査は通年調査とし、1週間単位での採取を原則とした。2週間単位あるいはそれ以上での採取も可とし、その場合、冷蔵庫の設置等による試料の変質防止対策を推奨した。試料採取日は原則月曜日とした。得られた試料の測定データを表2.1.2に示す月単位に集計して解析に用いた。

降水の捕集装置は降水時開放型であり、降雪地域においては、移動式の蓋の形状変更や凍結防止用ヒーターの装備などの対策をとることが望ましいが、ヒーターの使用が無理な場合は、冬季間バルク捕集となることも可とした。また、ロート部および導管部の洗浄については、月単位の切れ目の日に実施することとし、洗浄後にフィールドブランク試料を採取し精度管理指標とした。

降水量は、貯水量を捕集面積で割って算出し、その他の測定項目、分析方法および手順については、湿性沈着モニタリング手引き書（第2版）¹⁾に従った。また、イオンバランス（ R_1 ）および電気伝導率バランス（ R_2 ）が許容範囲を超える場合は再分析を行うなど、値の信頼性を確保した。分析精度の確保に関しては、環境省のモニタリングネットワークの測定局を対象に行われている分析機関間比較調査に本調査参加機関も多数参加した。

2.2.2 乾性沈着

乾性沈着調査はFP法、パッシブ法および自動測定機による方法を採用した。FP法およびパッシブ法における捕集ろ紙を表2.2.1に示す。

2.2.2.1 フィルターパック法

FP法は、1段目で粒子状物質を、2段目で HNO_3 などを、3段目で SO_2 と HCl を、4段目で NH_3 を捕集する従来の4段ろ紙法^{2, 3)}の構成に加え、前段にインパクト（I0ろ紙）を装備し、粗大粒子と $\text{PM}_{2.5}$ 成分とを分けて採取する5段構成のFP法を推奨した。なお、従来の4段ろ紙法による採取も可とした。さらに、それらに HONO 測定を加えた構成（F2で採取された妨害分の一部の NO_2 ガス量を評価するためのF2'ろ紙をF2の後段に加える）をオプションとして設定した。

調査地点は可能な限り湿性沈着調査地点と同一地点を選定することとし、通年調査で採取単位は1週間～2週間とした。なお、解析に用いたデータは月単位とした。試料採取は表2.2.1に示した5種または4種のろ紙を装着し、吸引速度はインパクトを用いた場合は指定された流量である 2 L min^{-1} で、その他の場合は $1 \sim 5 \text{ L min}^{-1}$ の範囲で設定して連続採取を行い、積算流量計あるいは平均流量から採気量を求めた。

なお、全環研の4段ろ紙を用いたFP法に関するマニュアルは東アジア酸性雨モニタリングネットワーク（以下、

EANET）でも英訳されて用いられている。詳細な手順などはこれまでの報告²⁾およびEANETの技術資料⁴⁾などを参照されたい。

表2.2.1 FP法およびパッシブ法の捕集ろ紙

構 造		捕集ろ紙名
F P 法 4 段	1段目（F0）	テフロン(PTFE)
	2段目（F1）	ポリアミド
	3段目（F2）	K_2CO_3 含浸セルロースろ紙
	4段目（F3）	リン酸含浸セルロースろ紙
F P 法 5 段	1段目（I0）	ポリカーボネート製 $\text{PM}_{2.5}$ インパクト +石英繊維ドーナツろ紙
	2段目（F0）	テフロン(PTFE)
	3段目（F1）	ポリアミド
	4段目（F2）	K_2CO_3 含浸セルロースろ紙
	5段目（F3）	リン酸含浸セルロースろ紙
項 目		捕集ろ紙名
パ ッ シ ブ 法	NO_2	トリエタノールアミン(TEA)含浸ろ紙
	NO_x	(TEA+有機酸化剤(PTIO))含浸ろ紙
	NH_3	クエン酸含浸ろ紙
	O_3	($\text{NaNO}_2+\text{K}_2\text{CO}_3$)含浸ろ紙

2.2.2.2 パッシブ法

パッシブ法は、目的のガス成分を捕集する試薬、あるいは目的のガス成分と反応する試薬が含浸されたろ紙を一定期間大気に暴露させることにより、大気中ガス濃度を求める方法である。本調査では、分子拡散の原理に基づいたパッシブ法（小川式）を用いており、風速や粒子状物質による汚染の影響を除くために捕集器材の前面に細孔を設けている。測定したガス成分の捕集量と理論的に証明されている計算式により、大気中ガス濃度が算出される。

パッシブ法の調査地点は大都市（例えば県庁所在地）、工業地域、中小都市地域、田園地域および山林地域などから目的に応じ1地点以上選定することとしている。複数地点を選定する場合は、可能ならば1地点はFP法または自動測定機による測定地点とすることとしている。調査は通年であり、採取単位は原則1か月とした。

SO_2 は NO_x に比べて大気中濃度が低く捕集量が少ない。そのため、都市部以外では精度の高い測定が困難であり、本調査では測定対象としていない。しかし、従来のトリエタノールアミンに代わり、 K_2CO_3 により改良された低濃度用ろ紙による SO_2 の測定結果と従来法との換算式が報告され⁵⁾、 K_2CO_3 含浸ろ紙が市販されている。これを受け、従来のマニュアル⁶⁾に加えて、マニュアルとは異なる点を含む全環研用マニュアル改定版を作成した。詳細については全環研用パッシブ法のマニュアル改定版を参照されたい。

2.2.2.3 自動測定機の特徴

自動測定機による測定値は、大気汚染常時監視測定局データなどを概ね月単位に集計し用いた。本データはFP法およびパッシブ法による測定結果の精度確認のために用いた。また、一部の項目については乾性沈着量の評価にも用いた。

2.2.3 調査地点の属性および調査内容

広域的な環境調査データを解析する場合、目的に応じて地点および測定項目を選択することが有効である。

環境省の酸性雨モニタリング、EANETなどでは、モニタリングの目的、あるいは発生源（都市域）からの距離に応じて調査地点を区分している。これは、モニタリングデータを解析する場合に、この区分に応じて、近隣の発生源の影響などを考慮し、対象地点を選択して解析するためである。

本調査では、福井ら（2014）⁷⁾による2010年度ベースのSO₂、NO_x排出量およびNH₃発生量の情報を用いて、必要に応じて排出量別の解析を実施した。排出量は3次メッシュ（約1 km四方）ごとに得られており、調査地点周辺の半径20 km内のメッシュの排出量から算出した。なお対象メッシュは測定地点からメッシュの中心点までの距離が20 km以内のものとした。周辺排出量の計算は、（排出量合計）/（半径20 kmの円の面積）で行った。

一 引用文献

- 1) 環境省地球環境局環境保全対策課，酸性雨研究センター：湿性沈着モニタリング手引き書（第2版），2001，http://www.env.go.jp/air/acidrain/man/wet_deposi/index.html（2025.1.8 アクセス）
- 2) 全環研：第3次酸性雨全国調査報告書（平成11～13年度のまとめ）．全国環境研会誌，28，（3），126-196，2003
- 3) 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．日本化学会誌，1998，（7），495-505，1998
- 4) Acid Deposition Monitoring Network in East Asia：Technical Manual for Air Concentration Monitoring in East Asia，<https://www.eanet.asia/wp-content/uploads/2019/04/techacm.pdf>（2025.1.8 アクセス）
- 5) 恵花孝昭，野口泉，樋口慶郎：0式パッシブサンプラー法におけるSO₂捕集剤の検討（第2報）．第50回大気環境学会年会講演要旨集，p.437，2009
- 6) 平野耕一郎，斉藤勝美：短期暴露用拡散型サンプラーを用いた環境大気中のNO，NO₂，SO₂，O₃およびNH₃濃度の測定方法（改訂版），2010年8月，

https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/kankyohozen/kansoku/science/shiryo/sonotahoukokusyo/201008.files/0004_20200821.pdf（2025.1.8 アクセス）

- 7) 福井哲央，國領 和夫，馬場 剛，神成 陽容：大気汚染物質排出インベントリ—EAGrid2000—Japanの年次更新．大気環境学会誌，49，117-125，2014

3. 気象概況および大気汚染物質排出量の状況

3.1 気象概況

2023年度の気象概況を表3.1.1に示す。また，黄砂観測日数は2020年度が12日，2021年度が5日，2022年度が5日であったが，2023年度は2023年4月12～14日，16日，21～22日，5月22～23日，11月23～24日，11月28日および12月7～8日の延べ13日観測された²⁾。

表3.1.1 気象概況¹⁾（2023年度）

春	平均気温は全国的に高く、特に北・東・西日本でかなり高かった。 寒気の影響を受けにくく、暖かい空気に覆われやすかったため、平均気温は全国的に高く、特に北・東・西日本でかなり高かった。北・東日本では1946年の統計開始以降、春として1位の高温となった。
	日照時間は全国的に多く、特に北・東日本日本海側でかなり多かった。 高気圧に覆われやすかったため、春の日照時間は全国的に多く、特に北・東日本日本海側でかなり多かった。東日本日本海側では1946年の統計開始以降、春として1位の多照となった。
	降水量は西日本日本海側でかなり多く、東日本日本海側と西日本太平洋側で多かった一方、沖縄・奄美で少なかった。 低気圧や前線の影響でまとまった雨が降った日があったため、春の降水量は西日本日本海側でかなり多く、東日本日本海側と西日本太平洋側で多かった。一方、低気圧や前線の影響を受けにくかったため、春の降水量は沖縄・奄美で少なかった。
夏	平均気温は北・東・西日本でかなり高くなった。日本の平均気温は1898年以降で夏として最も高かった。 北日本を中心に暖かい空気に覆われやすく、南から暖かい空気が流れ込みやすかったため、夏の平均気温は北・東・西日本でかなり高かった。1946年の統計開始以降、夏として北日本と東日本で1位、西日本で1位タイの高温となった。また、15地点の観測値による日本の平均気温偏差は+1.76℃となり、1898年の統計開始以降で最も高かった2010年（+1.08℃）を大きく上回り、夏として最も高かった。
	日照時間は北・東日本日本海側と北・東日本太平洋側でかなり多かった。一方、沖縄・奄美で少なかった。 高気圧に覆われやすかったため、夏の日照時間は北・東日本日本海側と北・東日本太平洋側でかなり多かった。一方、8月上旬に台風第6号の影響を受けた沖縄・奄美で少なかった。
	降水量は東・西日本太平洋側と沖縄・奄美で多かった。一方、北日本太平洋側で少なかった。 梅雨前線や台風第6号、第7号などの影響を受けたため、夏の降水量は東・西日本太平洋側と沖縄・奄美で多かった。一方、高気圧に覆われやすかったため、夏の降水量は北日本太平洋側で少なかった。
秋	平均気温は全国的に高く、特に北・東・西日本でかなり高かった。 全国的に暖かい空気に覆われやすかったため、北・東・西日本でかなり高く、沖縄・奄美で高かった。北・東日本では、1946年の統計開始以降、それぞれ秋として1位の高温となった。
	日照時間は全国的に多く、特に東・西日本太平洋側、西日本日本海側、沖縄・奄美でかなり多かった。 全国的に高気圧に覆われやすかったため、東・西日本太平洋側、西日本日本海側、沖縄・奄美でかなり多く、北・東日本日本海側と北日本太平洋側で多くなった。東・西日本太平洋側と西日本日本海側では、1946年の統計開始以降、それぞれ秋として1位の多照となった。
	降水量は東・西日本太平洋側と沖縄・奄美でかなり少なかった一方、北日本日本海側でかなり多かった。 低気圧や台風の影響を受けにくかったため、東・西日本太平洋側と沖縄・奄美でかなり少なかった。西日本太平洋側では、1946年の統計開始以降、秋として1位の少雨となった。一方、低気圧や寒気の影響を受けた時期があったため、北日本日本海側でかなり多く、1946年の統計開始以降、秋として1位の多雨となった。
冬	平均気温は北日本、東日本、西日本、沖縄・奄美ではかなり高かった。 冬の気圧配置が長続きせず、寒気の流れ込みが弱かった。また、2月を中心に南から暖かい空気が流れ込んだ時期があったため、気温は全国でかなり高かった。
	日照時間は北日本、東日本日本海側、沖縄・奄美では多かった。 寒気の流れ込みが弱かった北・東日本日本海側と平年に比べ高気圧に覆われて晴れた日が多かった北日本太平洋側で多かった。沖縄・奄美では寒気の流れ込みが弱かったことに加えて、低気圧や前線の影響を受けにくかったため、日照時間が多かった。
	降水量は東日本日本海側、西日本では多かった。沖縄・奄美では少なかった。 12月に寒気と低気圧の影響を受けやすかった東日本日本海側と、2月に低気圧や前線の影響を受けやすかった西日本で多かった。一方、低気圧や前線の影響を受けにくかった沖縄・奄美では少なかった。

3.2 SO₂, NO_xなどの排出量のトレンドと分布

北東アジアにおける人為起源のSO₂およびNO_x排出量は、中国、インドおよび極東ロシアが多い³⁾。図3.2.1に中国のSO₂およびNO_x排出量のトレンド^{4,5)}を示した。NO_x排出量は2011年からMinistry of Ecology and Environment of the People's Republic of Chinaの報告において自動車起源が加算されたため、グラフに*印を付けて示した。

中国のSO₂排出量については、1990年代半ばから2000年頃までは排出量がやや停滞したがその後再び増加し、2007年以降漸減したとの報告⁶⁾があり、図3.2.1より、その排出量は2006年から2023年まで減少傾向であった。

NO_x排出量については、2011年から2022年まで減少傾向であったが、2023年は2022年からわずかに増加した。今後も傾向を注視する必要がある。

国内における人為発生源由来のSO₂およびNO_x排出量は関東から北九州にかけての工業地帯および高速道路などの幹線道路近傍の排出量が多い⁷⁾。またNH₃発生量は酪農などを含む農業部門からの排出も多い傾向がみられている。なお、1995年度の分布と比べると幹線道路近傍のSO₂排出量は減少しており、軽油の硫黄分削減効果が認められている⁸⁾。

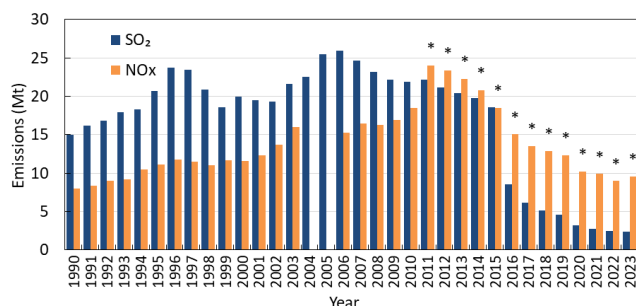


図3.2.1 中国におけるSO₂およびNO_x排出量⁴⁾
(*2011年以降はNO_xに自動車起源が加算)

－ 引用文献 －

- 1) 気象庁：報道発表資料，<http://www.jma.go.jp/jma/press/topics.html>（2025.1.8 アクセス）
- 2) 気象庁：黄砂，https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/kosahp/kosa_index.html（2025.1.8 アクセス）
- 3) Kurokawa J., Ohara T., Morikawa T., Hanayama S., Janssens-Maenhout G., Fukui T., Kawashima K., and Akimoto H.: Emissions of air pollutants and greenhouse gases over Asian regions during 2000-2008: Regional Emission inventory in Asia (REAS) version 2. *Atmos. Chem. Phys.*, **13**, 11019-11058, 2013
- 4) Annual report on ecological environment statistics: Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, <https://www.mee.gov.cn/hjzl/>（2025.1.8 アクセス）
- 5) Tian H., Hao J., Nie Y.: Recent trends of NO_x Emissions from energy use in China. *Proceeding of 7th International Conference on Acidic Deposition*, **32**, 2005
- 6) 大原利真：東アジアにおける広域越境大気汚染モデリングの最新動向. *水環境学会誌*, **35**, 6-9, 2013
- 7) 福井哲央，國領 和夫，馬場 剛，神成 陽容：大気汚染物質排出インベントリEAGrid2000-Japanの年次更新. *大気環境学会誌*, **49**, 117-125, 2014
- 8) 都市環境学教材編集委員会：都市環境学，森北出版，東京，2003

4. 湿性沈着

湿性沈着調査は、日本全域における湿性沈着による汚染実態を把握することが主目的である。ここでは、湿性沈着調査における、2023年度のとりのまとめについて報告する。

2023年度の湿性沈着調査に対し、36機関49地点の参加があった。ただし、4.1章で示すとおりデータの精度が基準を満たしていない地点については、参考値として扱い、解析からは除外した。

なお、報告値の一部には国設局との共用データも含まれている（表2.1.1参照）。

4.1 データの精度

地域別・季節別のイオン成分の挙動等について解析する前に、各機関の測定データの精度について、以下の評価を行った。

4.1.1 データの完全度

各機関から報告されたデータにおいて、月間または年間データ同士を比較検討する場合、欠測を考慮したデータの完全度が高いことだけでなく、各データ間の測定（試料採取）期間のズレ（適合度）が小さいことも重要である。そこで、各機関から報告されたデータについて、全環研が指定した月区切りに基づいて、完全度（測定期間の適合度を含む）の評価を行った。定義については、既報¹⁾を参照いただきたい。

完全度を基に、月間データの場合は60%未満、年間データの場合は80%未満のデータについては解析対象から除外した。ただし、月間データの完全度は基準以下であるがデータが存在する場合、年間データの集計には用いている。

2023年度は、月間データでは558個中8データ（1.4%）が除外され、年間データでは49地点中4地点が除外された。除外されたデータは参考値として扱った。なお、装置の故障等により、ある期間において常時開放捕集となった地点についても、原則としてその期間のデータを参考値扱いとした。

4.1.2 イオンバランス（ R_1 ）および電気伝導率バランス（ R_2 ）並びに分析精度管理調査結果

表4.1.1に示すように、「湿性沈着モニタリング手引き書（第2版）」²⁾に従って、イオンバランス（以下、 R_1 ）および電気伝導率バランス（以下、 R_2 ）による2つの検定方法を用い、測定値の信頼性を評価した。なお、各機関における試料の採取および分析は、原則週単位で行われているため、本来、 R_1 および R_2 は個々の試料毎に評価すべきである。しかし、全環研への報告値は月区切りを採用しているため、本報告では月単位の加重平均値を用いて、 R_1 および R_2 を評価した。

完全度の基準を満たした地点の月間データにおいて、 R_1 による評価では、全ての項目が測定された558個のデータ中、 R_1 が許容範囲内にあったデータは504個（適合率

表4.1.1 イオンバランス（ R_1 ）および電気伝導率バランス（ R_2 ）の許容範囲

$\Sigma C_i + \Sigma A_i$ ($\mu\text{eq L}^{-1}$)	$R_1(\%) =$ $\{(\Sigma C_i - \Sigma A_i) / (\Sigma C_i + \Sigma A_i)\} \times 100$	Λ_{obs} (mS m^{-1})	$R_2(\%) =$ $\{(\Lambda_{\text{cal}} - \Lambda_{\text{obs}}) / (\Lambda_{\text{cal}} + \Lambda_{\text{obs}})\} \times 100$
< 50	± 30	< 0.5	± 20
50~100	± 15	0.5~3.0	± 13
> 100	± 8	> 3.0	± 9

$\Sigma A_i = [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-] + [\text{Cl}^-]$ 但し、当量濃度（ $\mu\text{eq L}^{-1}$ ）

$\Sigma C_i = [\text{H}^+] + [\text{NH}_4^+] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$ 但し、当量濃度（ $\mu\text{eq L}^{-1}$ ）

Λ_{cal} ：測定対象イオンの当量濃度に極限等量電気伝導率を乗じた積算値

Λ_{obs} ：降水試料の電気伝導率測定値

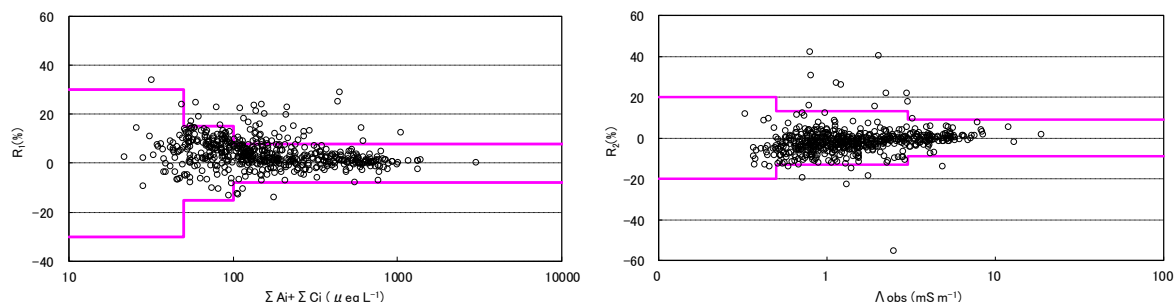


図4.1.1 イオンバランス（ R_1 ）と総イオン濃度（ $\Sigma A_i + \Sigma C_i$ ）および電気伝導率バランス（ R_2 ）と実測値との比較（2023年度）

90.3 %)であった。同様に、 R_2 による評価では、 R_2 が許容範囲内にあったデータは539個(適合率96.6 %)であった。 R_1 および R_2 の分布を図4.1.1に示す。2014～2023年度における R_1 および R_2 の適合率は、 R_1 :89.1～96.6 %, R_2 :96.6～99.2 %の範囲にあり高いレベルで保たれている³⁻¹¹⁾。ただし、近年はやや R_1 および R_2 の適合率が下がる傾向にあるため、各機関においては、連続して許容範囲を外れる場合などには、分析手順等の確認や見直しの機会としていただきたい。

次に、分析精度管理調査について検討した。環境省は国設酸性雨測定所（以下、国設局）を管理する自治体を対象に酸性雨測定分析機関間比較調査を行っている。全環研は、国設局を有していないが希望する自治体についても分析精度管理調査（分析機関間比較調査）に参加できるよう環境省に要望し、現在、実施されている。同調査は、模擬酸性雨試料（高濃度および低濃度の2種類）を各機関に配布し、その分析結果を解析することにより、分析機関に存在する問題点や測定の信頼性の評価を行っている。環境省の協力のもと、2023年度は全環研会員の自治体のうち国設局を管理している機関を除く32機関（以下、精度管理参加機関）がこの調査に参加した。こ

のうち全環研の酸性雨全国調査に参加している機関は26機関であった。

精度管理参加機関による測定成分毎のフラグ数と相対標準偏差を表4.1.2に示す。フラグ数は、EANETの精度管理目標値（DQO：Data Quality Objectives、分析の正確さ：±15 %）を用い、DQOの2倍まで（±15 %～±30 %）の測定値にはフラグEを、DQOの2倍（±30 %）を超える測定値にはフラグXを付けて判定した。相対標準偏差を求めるときには、分析機関間比較調査結果報告書¹²⁾の方法に従い、平均値から標準偏差の3倍以上はずれている測定値は棄却した。高濃度試料ではDQOを満たすデータが98.1 %、フラグEが付いたデータは1.9 %で、フラグXが付いたデータは0.0 %であった。また、低濃度試料では、DQOを満たすデータが95.6 %、フラグEが付いたデータは4.1 %で、フラグXが付いたデータは0.3 %であった。フラグ付与率は高濃度試料で、2022年度¹³⁾から減少した。フラグが陽イオン（特に低濃度試料）に多く付与される傾向は2022年度¹³⁾と同様であった。

表4.1.2 分析精度管理調査におけるフラグ数と相対標準偏差（2023年度）

		pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
高濃度試料	フラグE	0	1	1	1	0	0	3	0	0	0
	フラグX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	相対標準偏差	1.6 (n=32)	2.4 (n=32)	3.1 (n=32)	3.4 (n=32)	4.7 (n=32)	3.2 (n=32)	8.4 (n=32)	3.7 (n=32)	4.4 (n=32)	3.4 (n=32)
低濃度試料	フラグE	0	0	1	1	2	0	6	3	0	0
	フラグX	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	相対標準偏差	2.1 (n=32)	2.8 (n=32)	5.2 (n=32)	4.8 (n=32)	4.8 (n=32)	3.9 (n=32)	12.0 (n=32)	6.2 (n=32)	6.2 (n=32)	4.9 (n=32)

表4.1.3 定量下限値および検出下限値に係る精度管理目標値(DQOs)について

	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
定量下限値に係るDQOs(μmol L ⁻¹)	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.6	1.0	3.0
検出下限値に係るDQOs(μmol L ⁻¹)	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.3	0.8

DQOs：精度管理目標値

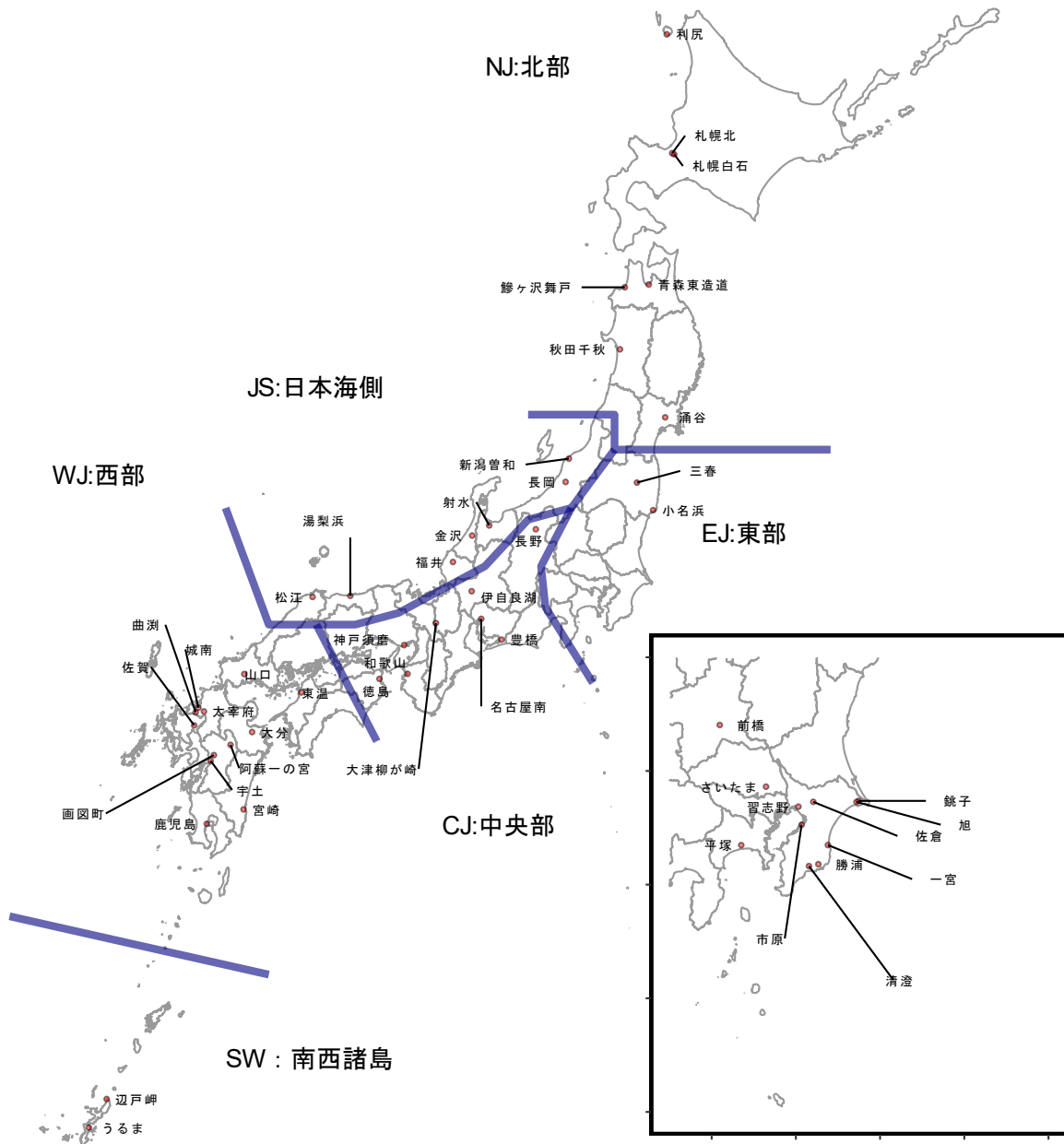


図4.2.1 地域区分（2023年度）

次に、精度管理参加機関間でバラツキの大きな成分を確認するため、各成分の測定結果の相対標準偏差を比較した(表4.1.2)。2023年度の相対標準偏差は、高濃度試料は陰イオン：3.1～4.7%，陽イオン：3.2～8.4%，低濃度試料は陰イオン：4.8～5.2%，陽イオン：3.9～12.0%であり、2022年度¹³⁾と同様に K^+ 、 Ca^{2+} および Mg^{2+} のバラツキが大きかった。

以上の結果から、模擬酸性雨試料はどの機関もおおむね精度よく測定が実施されているが、各機関において分

析精度管理調査結果を有効に利用することでさらなる改善が期待できる。特に低濃度試料の陽イオンに関してはより一層の改善が望まれる。

精度管理参加機関の測定結果で相対標準偏差が大きい成分は、表4.1.2に示すように、低濃度試料では K^+ など陽イオンであり、 K^+ および Ca^{2+} にフラグの付与数が多かった。これらの項目の分析精度のさらなる向上により、全体の精度改善に繋がることが期待される。また、pHはフラグが付与されたデータはなく、相対標準偏差も小さい（高

濃度試料：1.6%，低濃度試料：2.1%）が、 H^+ 濃度に換算すると大きなバラツキが予想される。 R_1 および R_2 の計算過程では H^+ 濃度として効いてくること、実際の降水試料の評価では H^+ 沈着量としての評価も重要であることなどから、pHについては、 H^+ 濃度として機関間のバラツキがより小さくなるよう努力していく必要性が考えられる。

続いて、イオン成分の定量下限値とフラグ付与の関係について調べた。定量下限値は、イオン成分分析用検量線を作成する際の最低濃度標準液を5回以上の繰り返し測定したときの標準偏差(s)から求められる。検出下限値は $3s$ ($\mu\text{mol L}^{-1}$)、定量下限値は $10s$ ($\mu\text{mol L}^{-1}$)として計算される。このため、定量下限値は、イオン類測定の際の定量値のバラツキ度合いとみなすことができる。基準となるイオン成分の定量下限値および検出下限値に係るDQOsについては、表4.1.3に示した。定量下限値がDQOsを満たしていないことでフラグがついたり、フラグが付与されたりしたことで、定量下限値>DQOsであるということではないが、DQOsを満たすことが一つの基準となるため、定量下限値がDQOsを超える場合には、必要に応じて分析手順等の確認や見直しを行うことが望ましい。

さらなる分析精度向上のためには、日常の実降水試料測定における R_1 および R_2 の管理だけにとどまらず、分析精度管理調査を積極的に活用し、配布される模擬酸性雨試料などを「参照試料(RM)」として活用した日常的な分析精度の管理を実施していくことが望ましい。また、分析に関する質問などがある場合には、当部会の相談窓口や各支部の担当者会議を活用していただきたい。

4.1.3 フィールドブランク

フィールドブランク（以下、FB）試験を実施する毎に、各機関において、捕集装置の洗浄状況の確認等の自主管理が実行できるように、FB試料濃度の上限值（暫定）を提案した⁴⁾。

FB試料から高濃度が検出された場合や、鳥の糞、黄砂、虫、植物片、種子などの汚染に気付いた際は、捕集装置の洗浄を徹底し、適宜、チューブの交換などを実施することで、捕集流路からの汚染を低減化する必要があると考えられる。また、現場においてはFB試料に濁りや不溶性のコンタミネーションがみられないかを目視で確認することや、ポータブルの電気伝導率計により電気伝導率を測定することにより、捕集流路からの汚染が少なく保たれていることをチェックすることが望ましい。各機関にてFB試験を実施し、捕集装置の自主管理を実行することを推奨する。

4.2 ECおよびイオン成分濃度

ここでは、2023年度の湿性沈着調査におけるpH、ECおよびイオン成分濃度について報告する。

解析対象は、4.1.1章で示したとおり、完全度（測定期間の適合度を含む）が、月間データで60%以上、年間

データで80%以上の地点のデータを有効とした。なお、試料採取時にオーバーフローがあり、降水量の算出ができない試料については、近接の気象観測所等の降水量データを採用した。

4.2.1 降水量および酸性成分濃度による地域区分

地域毎の特徴を把握するために、全国に分布する調査地点を、「北部（NJ：Northern Japan area）」「日本海側（JS：Japan Sea area）」「東部（EJ：Eastern Japan area）」「中央部（CJ：Central Japan area）」「西部（WJ：Western Japan area）」および「南西諸島（SW：Southwest Islands area）」の6つの地域区分に分類した。地点毎の地域区分を、図4.2.1および表4.2.1に示す。なお、地域区分の設定方法等については、既報¹⁾を参照いただきたい。

4.2.2 pH、ECおよびイオン成分濃度の年加重平均値

2023年度における降水量および湿性イオン成分濃度等の年加重平均濃度について、年間データを表4.2.1に示す。また、主要イオン成分濃度について、地域区分別の箱ひげ図を図4.2.2に示す。なお、“nss-”は「非海塩性(nss：non sea salt)」を表し、海塩性イオン(Na^+ をすべて海塩由来として海塩組成比から算出)を差し引いた残りであることを示している。なお、年間データが参考値扱いとなった地点のデータは括弧で表示した。

表4. 2. 1 湿性イオン成分等の地点別年加重平均濃度（2023年度）

地点名	地域 区分 ¹⁾	排出量(t km ⁻² y ⁻¹)			降水量 (mm)	pH	EC (mS m ⁻¹)	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	nss-Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺
		SO ₂	NO _x	NH ₃														
札幌北	NJ	2.76	14.57	1.16	1028	5.12	2.30	15.1	9.1	14.6	117.7	18.8	99.6	3.2	6.8	4.5	11.8	7.5
利尻	NJ	0.81	0.44	0.02	(1132)	(5.18)	(2.13)	(11.7)	(6.1)	(11.8)	(106.6)	(13.8)	(91.7)	(2.9)	(4.6)	(2.5)	(10.8)	(6.6)
札幌白石	NJ	2.72	14.72	1.27	1071	5.14	2.00	12.4	7.8	13.4	88.6	17.8	76.0	2.3	6.6	4.9	8.9	7.2
青森東道	NJ	0.74	2.18	0.42	1281	5.03	3.62	19.7	8.9	18.2	210.8	19.4	177.0	4.5	7.7	3.8	20.5	9.4
磐ヶ沢舞戸	NJ	0.12	0.61	0.44	(34.0)	(6.2)	(3.1)	(21.4)	(12.1)	(15.4)	(185.9)	(18.4)	(153.2)	(4.3)	(20.0)	(16.5)	(18.6)	(0.7)
涌谷	NJ	1.02	3.61	2.32	1073	5.17	0.73	5.1	4.3	8.4	15.6	10.6	13.3	1.1	2.6	2.3	2.1	6.7
秋田千秋	NJ	3.39	4.16	0.48	2306	5.01	2.68	16.2	8.1	14.0	150.1	17.0	132.8	3.2	6.5	3.5	14.8	9.8
三春	EJ	0.64	3.61	1.29	1155	5.29	0.60	6.8	6.3	10.0	9.7	10.9	8.1	1.0	3.7	3.5	1.5	5.1
小名浜	EJ	9.47	11.49	0.78	1379	4.99	1.29	8.8	6.5	7.1	48.6	9.3	38.5	1.3	2.0	7.2	4.5	10.3
新潟曾和	JS	1.42	6.13	1.02	2068	5.06	2.78	14.6	6.7	13.6	151.8	14.5	130.9	3.1	6.6	3.7	16.2	8.6
長岡	JS	0.65	2.82	0.59	2486	5.06	2.79	14.9	6.6	12.4	159.2	13.2	135.7	3.2	5.7	2.7	16.9	8.8
さいたま	EJ	3.62	28.04	4.63	1277	5.22	0.81	6.2	5.5	13.4	15.9	15.0	12.4	0.5	3.1	2.8	1.8	6.1
前橋	EJ	1.87	7.46	6.76	1102	5.63	0.87	7.7	7.2	17.9	11.4	34.8	9.1	0.8	4.0	3.8	1.5	2.3
市原	EJ	9.68	36.26	2.76	1407	5.46	1.46	18.1	16.0	15.0	42.5	16.7	35.7	2.4	15.1	14.3	5.7	3.5
銚子	EJ	8.59	6.82	3.62	1323	5.87	2.22	12.8	6.5	9.0	123.9	28.9	104.0	4.6	7.1	4.7	12.5	1.3
一宮	EJ	0.11	1.12	0.84	970	5.56	1.22	6.8	3.4	4.7	68.1	7.0	56.4	2.1	3.6	2.3	6.4	2.8
旭	EJ	8.59	6.93	3.87	1735	6.12	1.97	11.1	7.1	11.4	84.1	35.1	64.9	4.7	4.8	3.3	7.4	0.8
佐倉	EJ	1.75	16.29	2.66	1554	5.48	0.80	7.0	6.0	8.7	20.6	9.1	16.7	1.0	4.9	4.5	3.1	3.3
清澄	EJ	0.08	0.65	0.86	1623	5.74	2.32	14.0	7.9	11.4	120.8	8.4	99.8	9.9	8.2	5.9	12.4	1.8
勝浦	EJ	0.09	0.55	0.55	988	5.57	2.02	10.0	4.0	7.5	120.8	5.5	98.6	5.0	6.9	4.7	12.2	2.7
習志野	EJ	7.40	31.35	3.70	1024	5.72	0.79	7.7	6.3	8.2	27.3	9.9	22.4	1.8	9.8	9.3	3.3	1.9
平塚	EJ	0.52	10.36	2.57	1509	5.26	0.92	6.0	4.4	9.4	31.9	9.1	27.4	0.9	2.4	1.8	3.0	5.5
長野	CJ	0.88	2.63	0.57	920	5.28	0.59	5.0	4.8	9.3	4.7	10.4	3.4	0.5	2.9	2.8	0.8	5.2
射水	JS	5.03	11.55	1.43	2630	5.03	2.22	12.3	7.0	14.2	105.7	13.2	88.4	2.3	4.8	2.8	10.5	9.4
金沢	JS	1.48	3.76	0.95	2825	4.99	2.85	14.5	7.1	15.9	135.4	15.0	123.0	3.3	6.0	3.3	14.3	10.3
福井	JS	1.28	4.47	0.68	2368	4.99	2.33	14.4	8.3	15.7	117.2	20.1	100.7	5.8	4.9	2.7	11.7	10.2
伊自良湖	CJ	1.11	3.10	1.24	4564	4.86	1.00	7.9	7.2	10.1	14.8	10.1	12.2	0.5	1.9	1.6	1.6	14.0
豊橋	CJ	1.42	6.54	3.81	(1732.0)	(5.3)	(0.9)	(7.5)	(5.9)	(6.9)	(32.0)	(7.6)	(26.6)	(0.7)	(2.0)	(1.4)	(3.9)	(5.2)
名古屋南	CJ	8.87	35.36	3.81	1369	5.18	0.96	7.6	6.7	10.7	18.2	14.3	14.3	1.0	4.6	4.3	2.4	6.7
大津柳が崎	CJ	1.48	10.63	1.30	1659	5.00	1.10	6.3	5.5	9.9	12.6	12.7	12.0	0.8	3.2	2.9	1.8	9.9
神戸須磨	CJ	6.65	18.73	1.12	1180	5.11	1.29	9.9	7.8	13.8	41.6	12.2	35.0	1.1	3.9	3.1	4.2	7.7
和歌山	CJ	8.97	13.33	0.87	1335	5.10	1.33	10.0	7.8	12.5	43.7	12.1	35.8	1.2	7.7	6.9	5.8	8.0
湯梨浜	JS	0.10	0.72	0.80	2259	4.96	2.72	14.6	6.9	13.9	145.6	15.9	128.3	4.3	5.7	2.9	14.4	11.0
松江	JS	0.26	1.36	0.49	2216	4.85	2.60	14.8	8.9	18.4	112.0	18.1	97.4	2.7	5.8	3.6	11.5	14.0
山口	WJ	1.05	3.34	0.57	2229	5.27	1.23	10.1	8.5	13.0	25.9	12.9	27.5	1.4	3.0	2.4	2.9	5.4
徳島	CJ	1.10	4.60	1.46	1805	4.74	1.08	7.5	5.7	8.6	33.9	10.8	29.6	1.0	2.6	1.9	3.6	18.2
東温	WJ	3.84	4.62	1.09	1544	4.86	1.16	9.4	8.5	14.3	17.8	14.3	15.7	0.7	2.9	2.6	2.1	13.9
太宰府	WJ	2.43	12.87	1.92	2105	4.96	1.21	9.3	8.0	13.5	26.0	14.4	22.0	1.0	3.2	2.7	2.6	11.0
曲淵	WJ	1.53	8.98	1.43	2461	4.90	1.47	9.6	7.0	11.9	48.2	12.1	42.3	1.4	2.5	1.6	4.7	12.6
城南	WJ	1.65	10.79	1.61	1877	4.91	1.29	9.3	7.6	13.0	31.5	15.8	27.3	0.9	2.4	1.8	3.1	12.3
佐賀	WJ	1.20	3.89	1.48	2309	4.70	1.19	11.0	9.7	10.8	24.7	13.5	20.3	0.9	2.5	2.1	2.5	20.0
宇土	WJ	1.16	5.03	1.35	2171	4.79	1.04	7.9	7.1	8.6	17.0	10.9	13.3	1.2	1.7	1.4	1.7	16.2
阿蘇一の宮	WJ	0.15	0.63	1.21	2459	4.61	1.33	10.6	10.1	7.0	17.9	14.6	7.8	0.7	1.4	1.2	1.0	24.5
画図町	WJ	0.96	4.93	2.85	1847	4.86	0.99	8.8	8.2	9.4	13.2	15.5	9.9	1.2	1.7	1.4	1.7	13.7
大分	WJ	11.58	17.02	1.16	1905	4.83	1.18	10.6	9.9	10.5	14.9	8.7	11.3	0.5	1.8	1.6	1.5	14.6
宮崎	WJ	0.31	1.86	1.04	3179	5.07	1.19	8.8	6.5	6.5	43.9	7.2	37.1	0.9	2.6	1.8	4.4	8.5
鹿児島	WJ	0.96	3.54	1.29	1071	4.73	4.29	17.5	13.5	8.0	117.2	11.5	66.3	1.9	4.5	3.0	8.3	74.2
うるま	SW	10.03	9.22	1.28	1921	5.46	7.46	31.4	4.4	7.1	518.3	7.3	445.1	10.0	14.4	4.4	50.6	3.5
辺戸岬	SW	0.00	0.03	0.33	(168.0)	(4.8)	(2.2)	(12.9)	(8.5)	(13.1)	(83.7)	(14.7)	(72.4)	(2.4)	(3.4)	(1.8)	(8.7)	(17.0)
最低値					920	4.13	0.59	5.0	3.4	4.7	4.7	5.5	3.4	0.5	1.4	1.2	0.8	0.8
最高値					4564	6.12	7.46	31.4	16.0	18.4	518.3	35.1	445.1	10.0	15.1	14.3	50.6	74.2
加重平均値※					1644	4.98	1.80	11.3	7.4	11.6	75.7	13.9	64.1	2.3	4.6	3.1	7.7	10.7

¹⁾地域区分（NJ：北部、JS：日本海側、EJ：東部、CJ：中央部、WJ：西部、SW：南西諸島）

※降水量は、単純平均値

最大値：白抜き

最小値：斜体

参考値：括弧

4.2.3 イオン成分濃度の季節変動

湿性沈着による汚染実態を把握するのに重要と考えられる成分について、2023年度の季節変動（中央値）を地域区分別に図4. 2. 3に示す。

多くの成分の濃度は、ほとんどの地域において夏季に低下し、冬季に高くなる傾向が確認された。地理的要因や冬季の風向等を考慮すると、大陸からの汚染物質の移流が示唆された。なお、この大陸からの越境大気汚染を示唆する傾向は、2005年度までは日本海側で顕著であった¹⁾が、2006年度にはその傾向が西部でも確認され、以降も引き続き同様の傾向がみられた³⁻¹¹⁾。

4.2.4 イオン成分濃度の経年変動

重要と考えられる成分の経年変動について、図4. 2. 4. 1および図4. 2. 4. 2に示す。各年度について、すべての測定地点の年平均値を箱ひげ図として示した。また、2014～

2023年度の10年間のうち7年以上、全国調査に参加している地点を用いて年度ごとの平均値を計算し、赤丸と折れ線グラフで示した。一定年数以上の参加地点のみを平均の対象としたのは、年度ごとの地点の変動による影響を緩和するためである。

降水量については、いずれの地点においても一定の範囲内で推移していた。多くの成分および地域において、経年的に減少または横ばい傾向が確認できるが、CJおよびWJにおいて2021年度以降、微増している成分があり、今後の傾向を注視する必要がある。

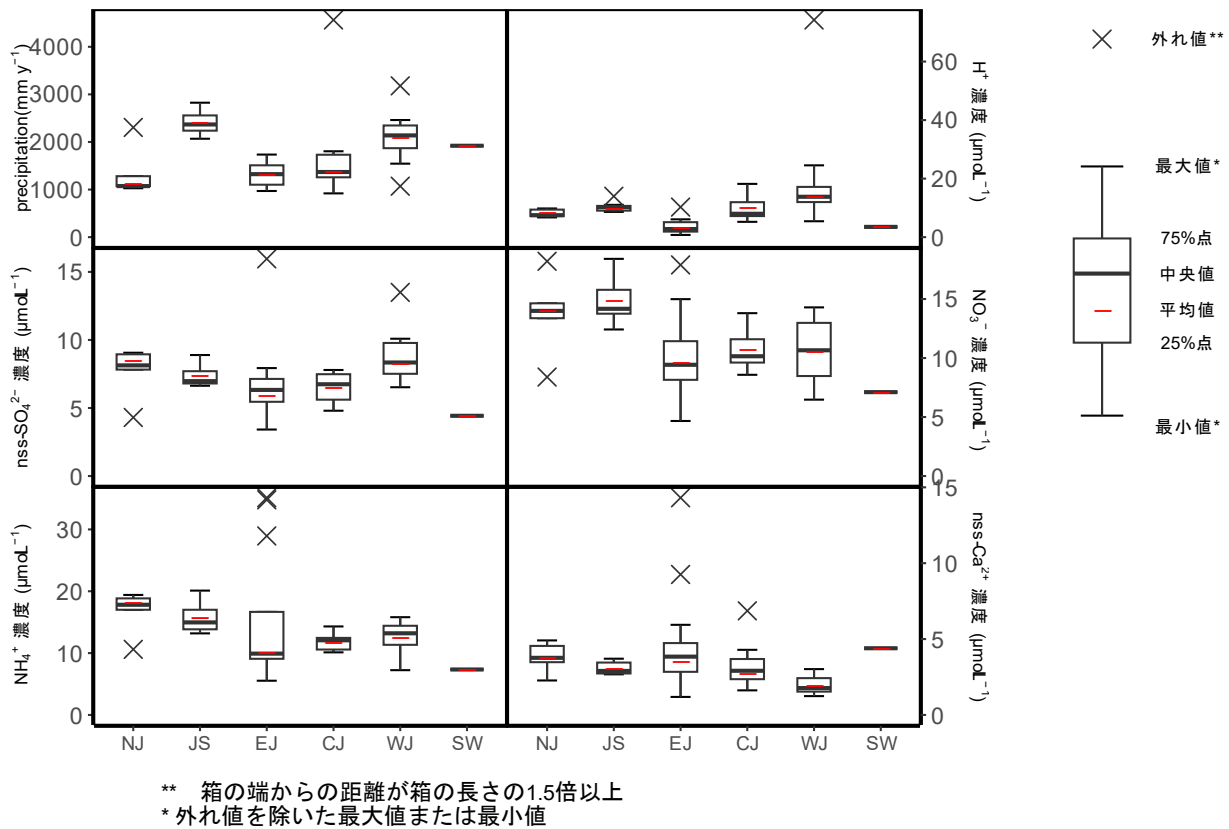


図4.2.2 主要イオン成分の年加重平均濃度の分布（2023年度）

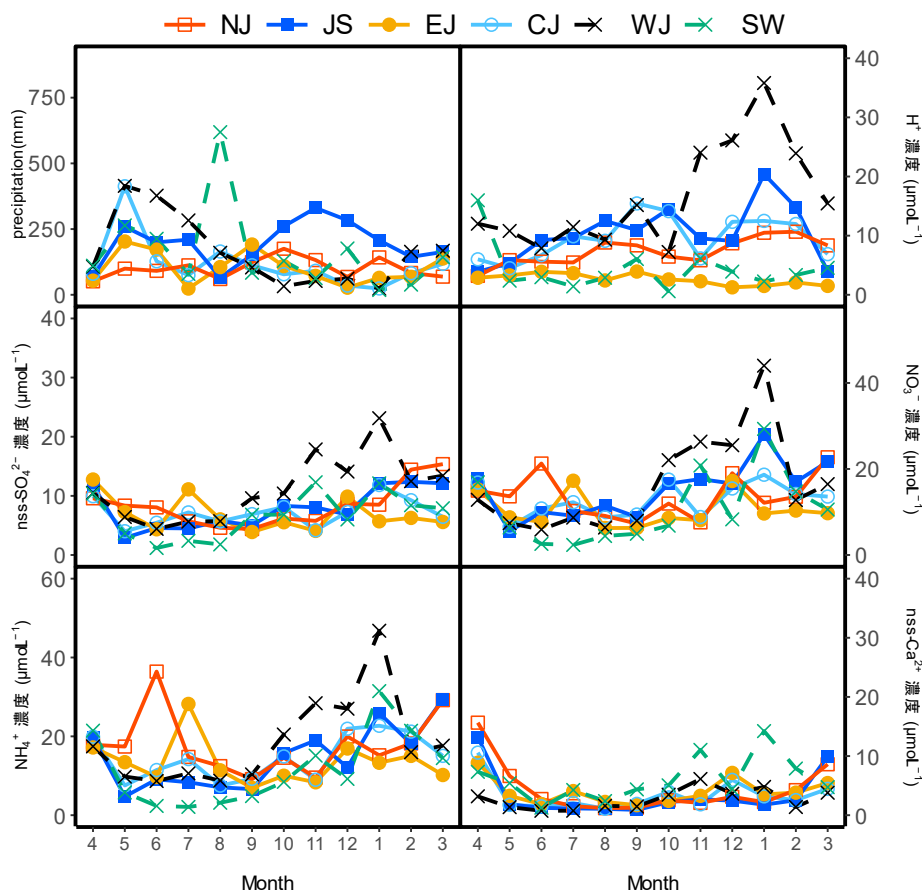


図4.2.3 主要イオン成分濃度の地域別季節変動（中央値）（2023年度）

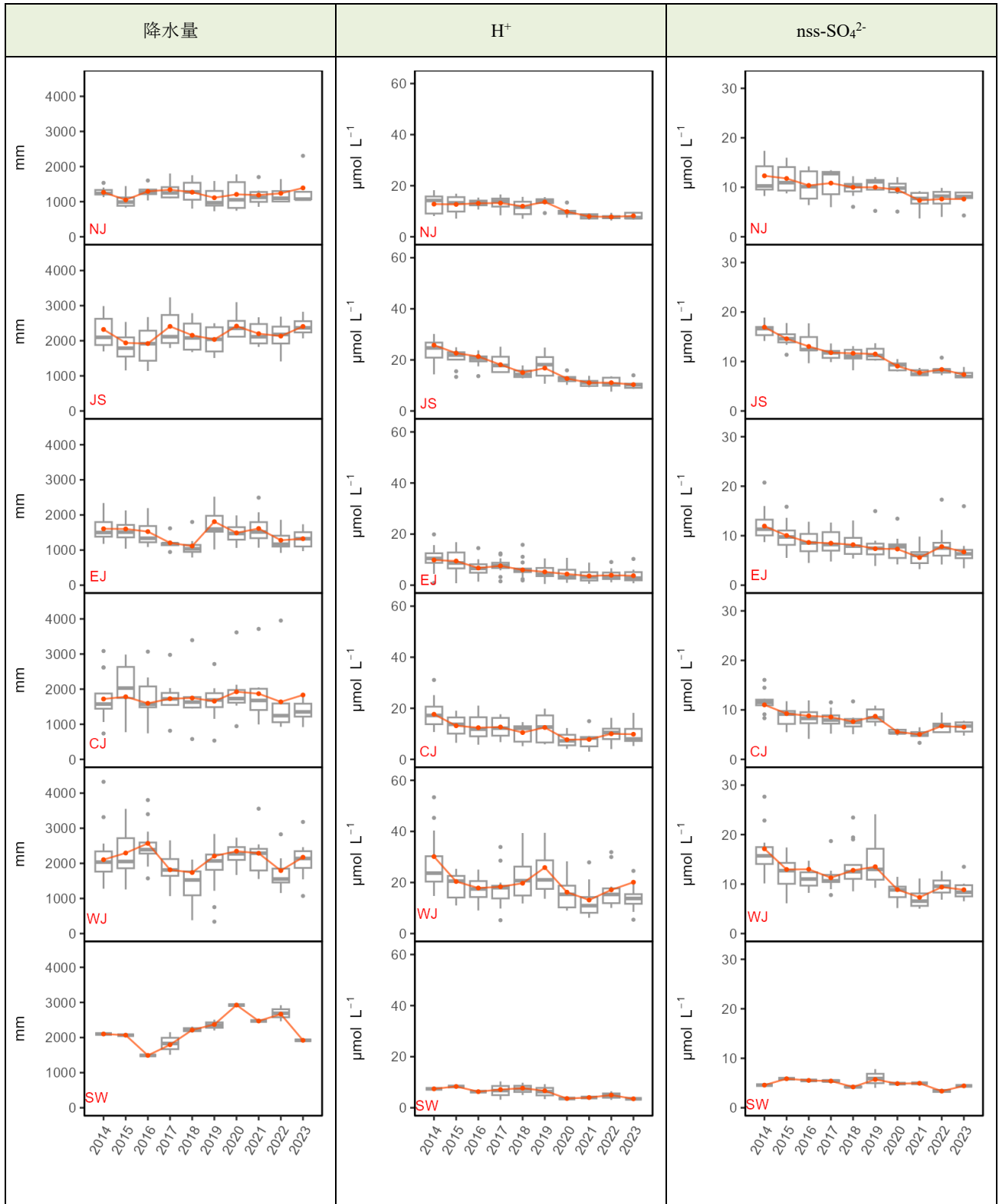


図4.2.4.1 主要イオン成分濃度の地域別経年変動（降水量，H⁺，nss-SO₄²⁻）

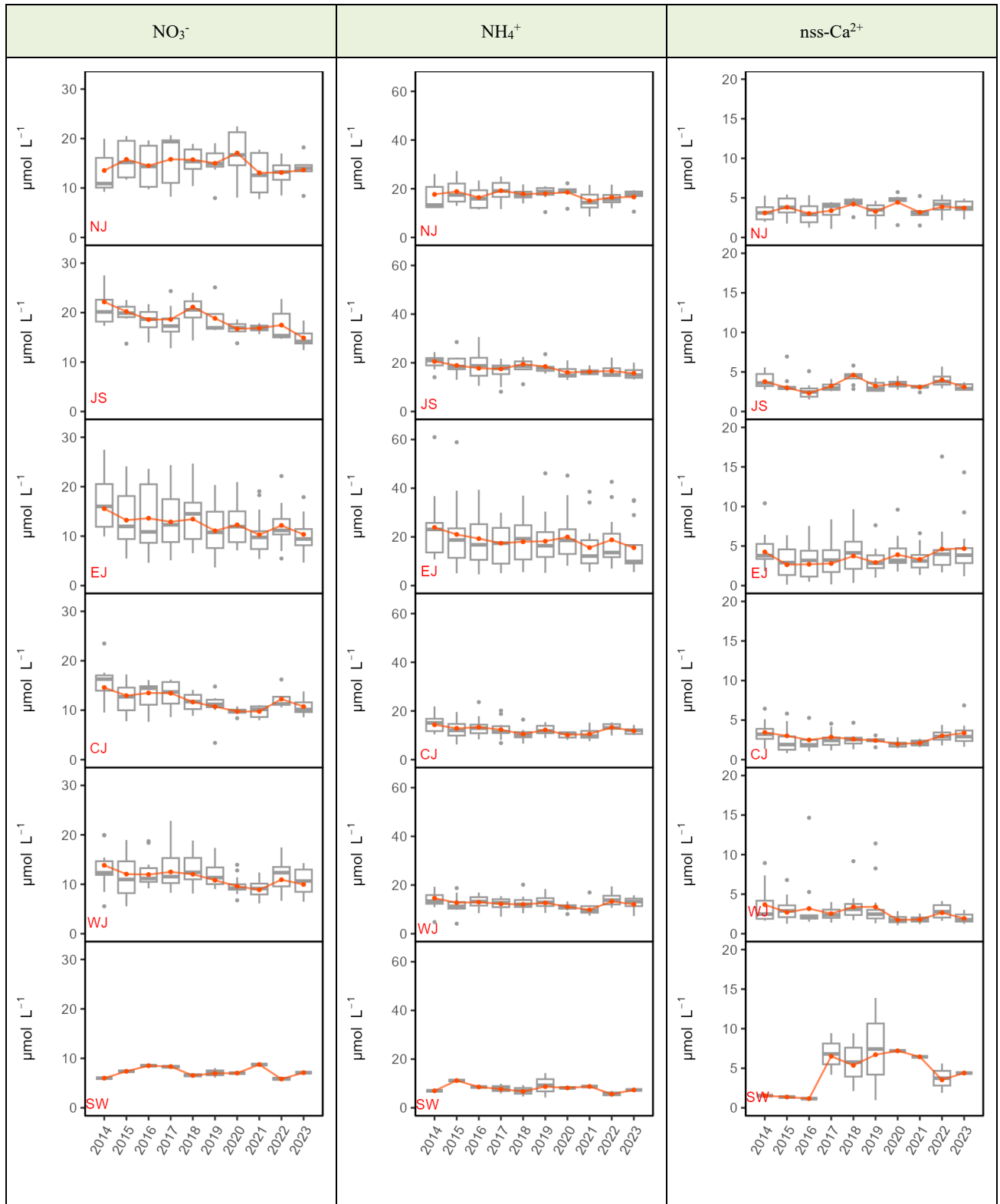


図4.2.4.2 主要イオン成分濃度の地域別経年変動 (NO₃⁻, NH₄⁺, nss-Ca²⁺)

4.3 イオン成分湿性沈着量

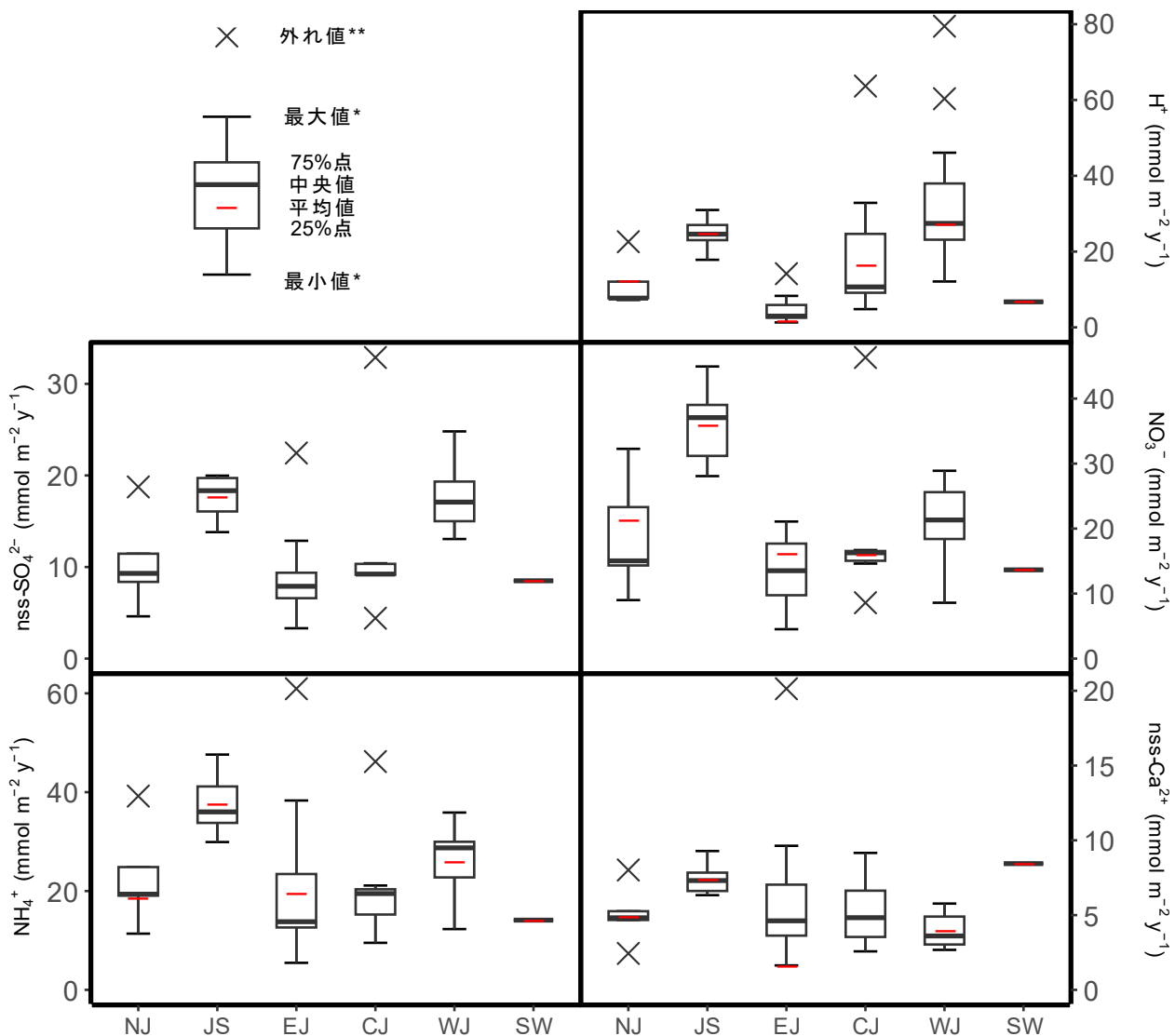
イオン成分の年間沈着量や月間沈着量の、地点間や地域間の比較を行った。解析対象は4.2章と同様に扱った。

4.3.1 年間沈着量

2023年度の年間データが有効となった45地点における主要イオン成分の年間沈着量について、表4.3.1に要約した。また、図4.3.1には主要イオン成分の沈着量について、地域区別に箱ひげ図を示した。なお、年間沈着量は、年平均濃度に年間降水量を掛け合わせることで算出した。

表4.3.1 降水量および主要イオン成分の年間沈着量（2023年度）

項目	(単位)	中央値	最小値 最大値	(地点名) (地点名)
降水量	(mm y ⁻¹)	1623	920 4564	(長野) (伊自良湖)
nss-SO ₄ ²⁻	(mmol m ⁻² y ⁻¹)	11.5	3.3 32.9	(一宮) (伊自良湖)
NO ₃ ⁻	(〃)	17.3	4.5 46.3	(一宮) (伊自良湖)
NH ₄ ⁺	(〃)	21.1	5.5 60.9	(勝浦) (旭)
nss-Ca ²⁺	(〃)	4.8	1.6 20.1	(小名浜) (市原)
H ⁺	(〃)	12.1	1.3 79.5	(旭) (鹿児島)



** 箱の端からの距離が箱の長さの1.5倍以上

* 外れ値を除いた最大値または最小値

図4.3.1 主要イオン成分年間沈着量の分布（2023年度）

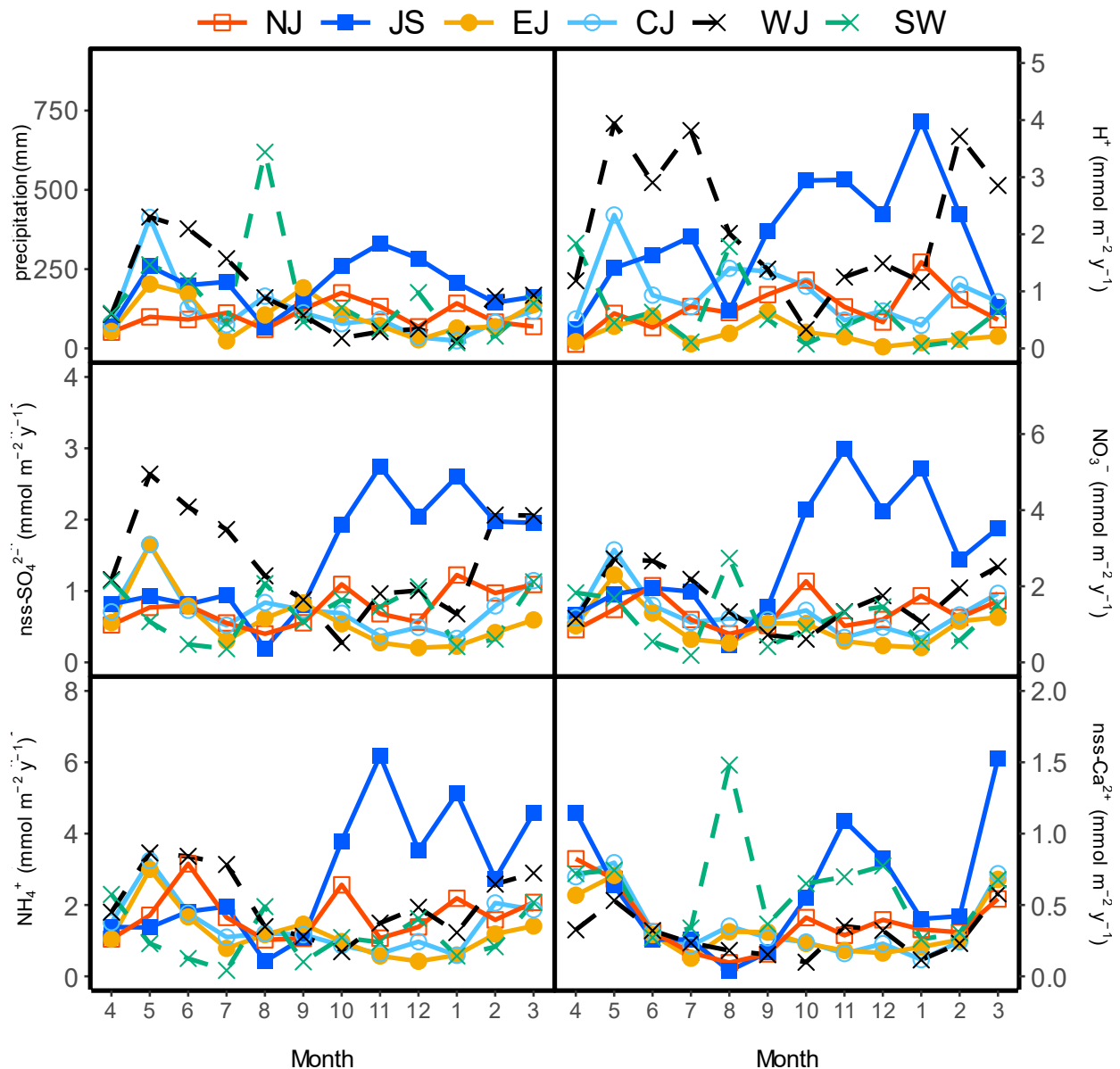


図4.3.2 主要イオン成分沈着量の地域別季節変動（2023年度）

4.3.2 沈着量の季節変動

地域別の降水量（再掲）および主要イオン成分沈着量の季節変動を図4.3.2に示す。4.2.3章と同様に、月間代表値として中央値を採用した。

例年同様に、 H^+ については春季および夏季にWJで高い値を示した。また、JSでは、冬季にイオン成分の沈着量が増加し、これも例年同様の結果となった。

4.3.3 沈着量の経年変動

地域別の降水量（再掲）および主要イオン成分沈着量の経年変動を図4.3.3.1および図4.3.3.2に示した。箱ひげ図および平均の折れ線グラフについては、4.2.4章と同様の地点の選定方法を用いた。

WJでは H^+ 、 $nss-SO_4^{2-}$ および NH_4^+ が、CJについては H^+ お

よび $nss-SO_4^{2-}$ が、直近3年間で微増傾向が見られており、今後の推移を注視する必要がある。

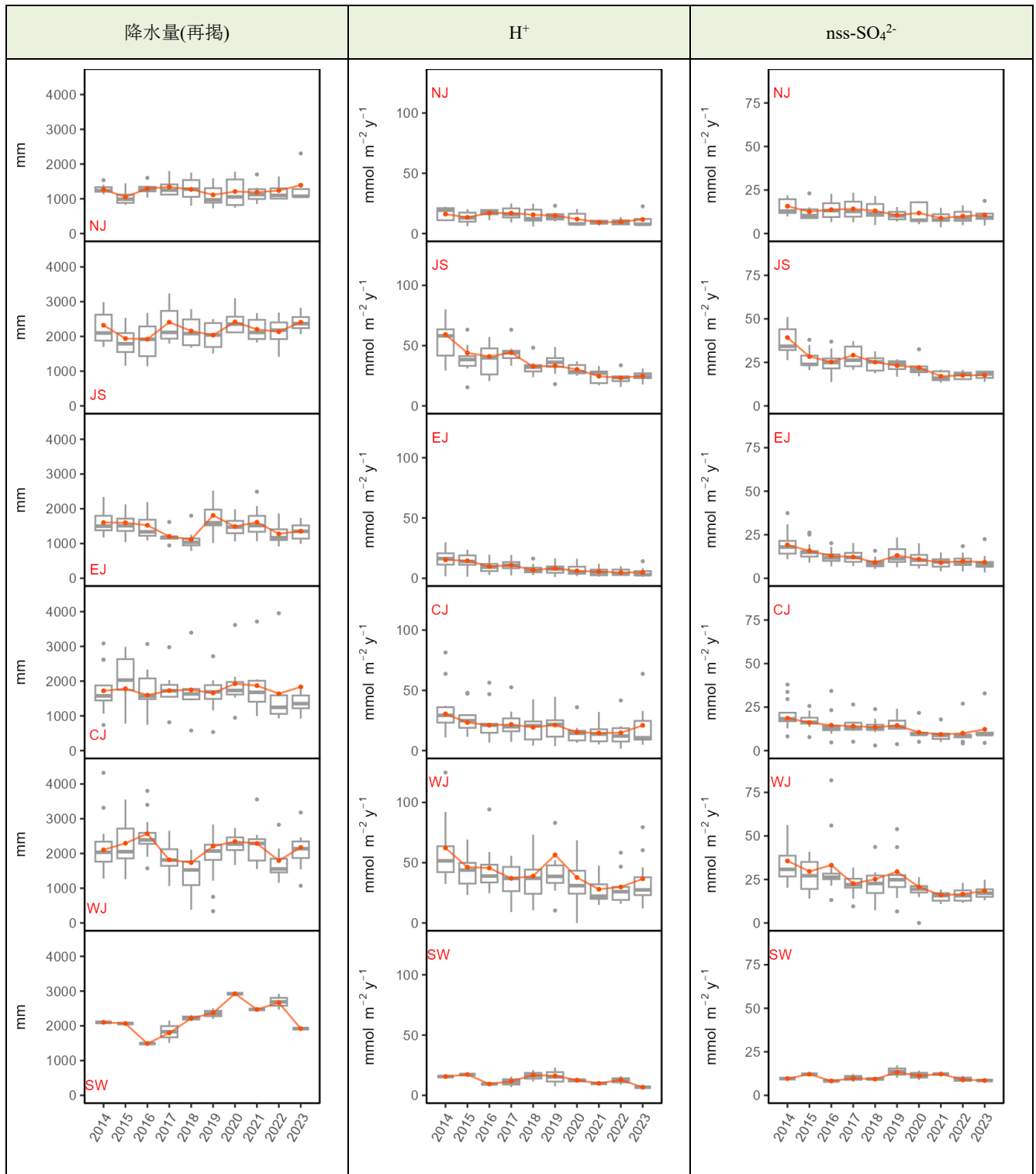


図 4.3.3.1 主要イオン成分沈着量の地域別経年変動（降水量， H^+ ， $nss-SO_4^{2-}$ ）

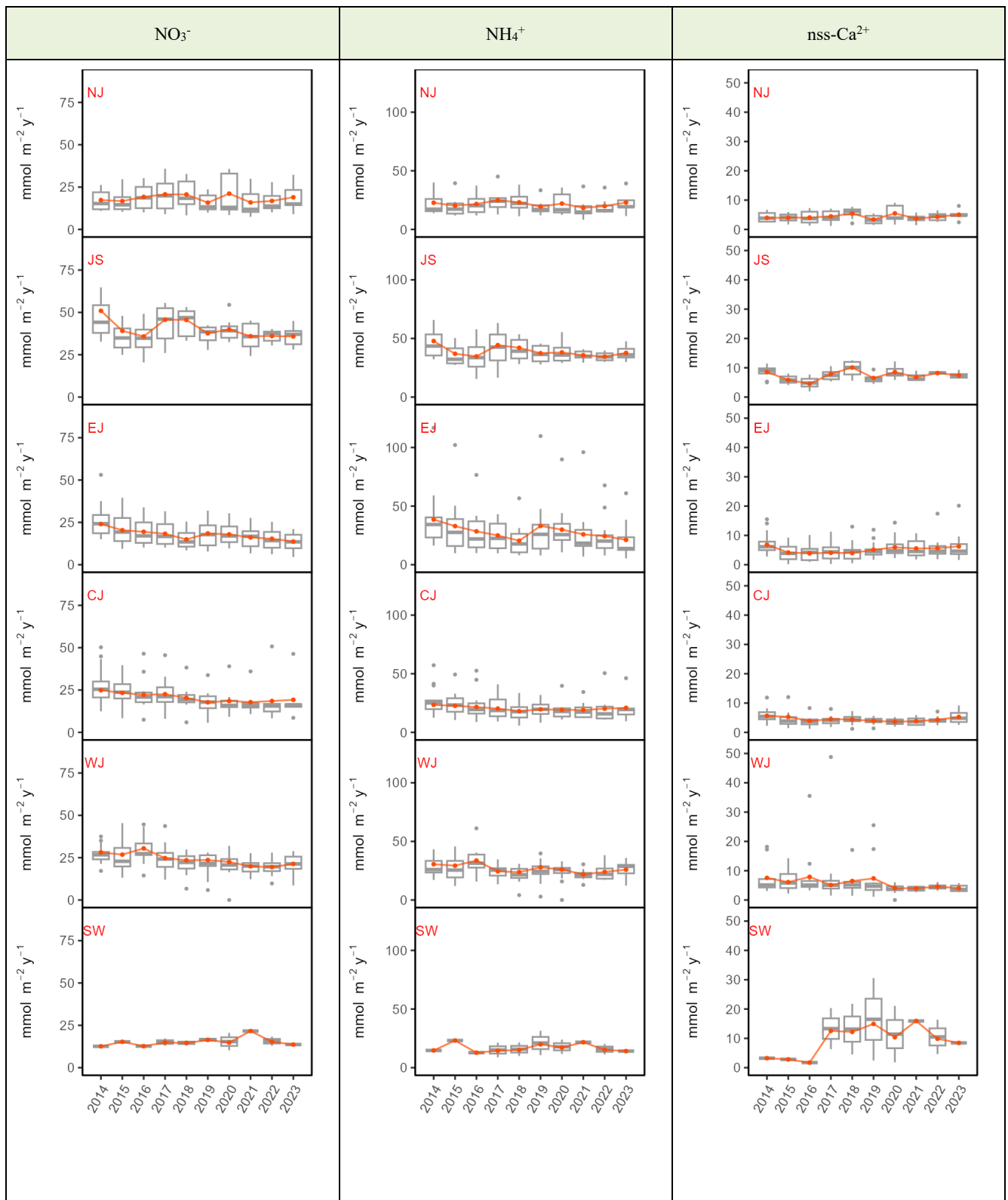


図 4.3.3.2 主要イオン成分沈着量の地域別経年変動 (NO₃⁻, NH₄⁺, nss-Ca²⁺)

－ 引用文献 －

- 1) 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**，78-152，2007
- 2) 環境省地球環境局環境保全対策課，酸性雨研究センター：湿性沈着モニタリング手引き書（第2版），2001，
http://www.env.go.jp/air/acidrain/man/wet_deposition/index.html（2025.8.5アクセス）
- 3) 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第5次酸性雨全国調査報告書（平成26年度）．全国環境研会誌，**41**，（3），2-37，2016
- 4) 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第5次酸性雨全国調査報告書（平成27年度）．全国環境研会誌，**42**，（3），83-126，2017
- 5) 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第6次酸性雨全国調査報告書（平成28年度）．全国環境研会誌，**43**，（3），79-119，2018
- 6) 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第6次酸性雨全国調査報告書2017（平成29年度）．全国環境研会誌，**44**，（3），74-115，2019
- 7) 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第6次酸性雨全国調査報告書2018（平成30年度）．全国環境研会誌，**45**，（3），85-121，2020
- 8) 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第6次酸性雨全国調査報告書2019（令和元年度）．全国環境研会誌，**46**，（3），75-114，2021
- 9) 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第6次酸性雨全国調査報告書2020（令和2年度）．全国環境研会誌，**47**，（3），97-138，2022
- 10) 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第6次酸性雨全国調査報告書2021（令和3年度）．全国環境研会誌，**48**，（3），87-127，2023
- 11) 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第6次酸性雨全国調査報告書2022（令和4年度）．全国環境研会誌，**49**，（3），116-158，2024
- 12) 一般財団法人日本環境衛生センター アジア大気汚染研究センター：令和5年度酸性雨測定分析機関間比較調査結果（降水・全国環境研協議会会員機関）．2024
- 13) 一般財団法人日本環境衛生センター アジア大気汚染研究センター：令和4年度酸性雨測定分析機関間比較調査結果（降水・全国環境研協議会会員機関）．2023

5. 乾性沈着（フィルターパック法）

2023年度のフィルターパック法（以下、「FP法」）による調査地点および地域区分を図5.1.1に示す。調査は全国25地点で実施した。地域区分は、湿性沈着と同様に、北部[NJ]、日本海側[JS]、東部[EJ]、中央部[CJ]、西部[WJ]および南西諸島[SW]の6地域とした。

なお、調査結果には国設局との共用データが含まれているが、データ確定を部会の基準（5.1章に後述）で行ったため、環境省が公表したデータ¹⁾と異なる場合がある。

なお、成分名に付してある(g)はガス状成分を、(p)は粒子状成分を表す。

5.1 データ確定

5.1.1 完全度および流量変動による判定

FP法の有効データ数を表5.1.1に示す。データ確定においては、完全度（測定期間の適合度を含む）を指標として、月データで60 %以上、年データで80 %以上の場合を有効データとし、それ以外を参考値として解析対象から除外した。ただし、月データの完全度が60 %未満でも、年データが80 %以上であれば、年平均値は解析対象とした。また、サンプリングや測定に不具合があると考えられた場合は参考値または欠測とした。

これまでの調査結果から、FP法は吸引流量の変動が大きいと異常値になりやすいことがわかっている²⁾。そのため、設定流量の変更等の明確な理由がないにも関わらず

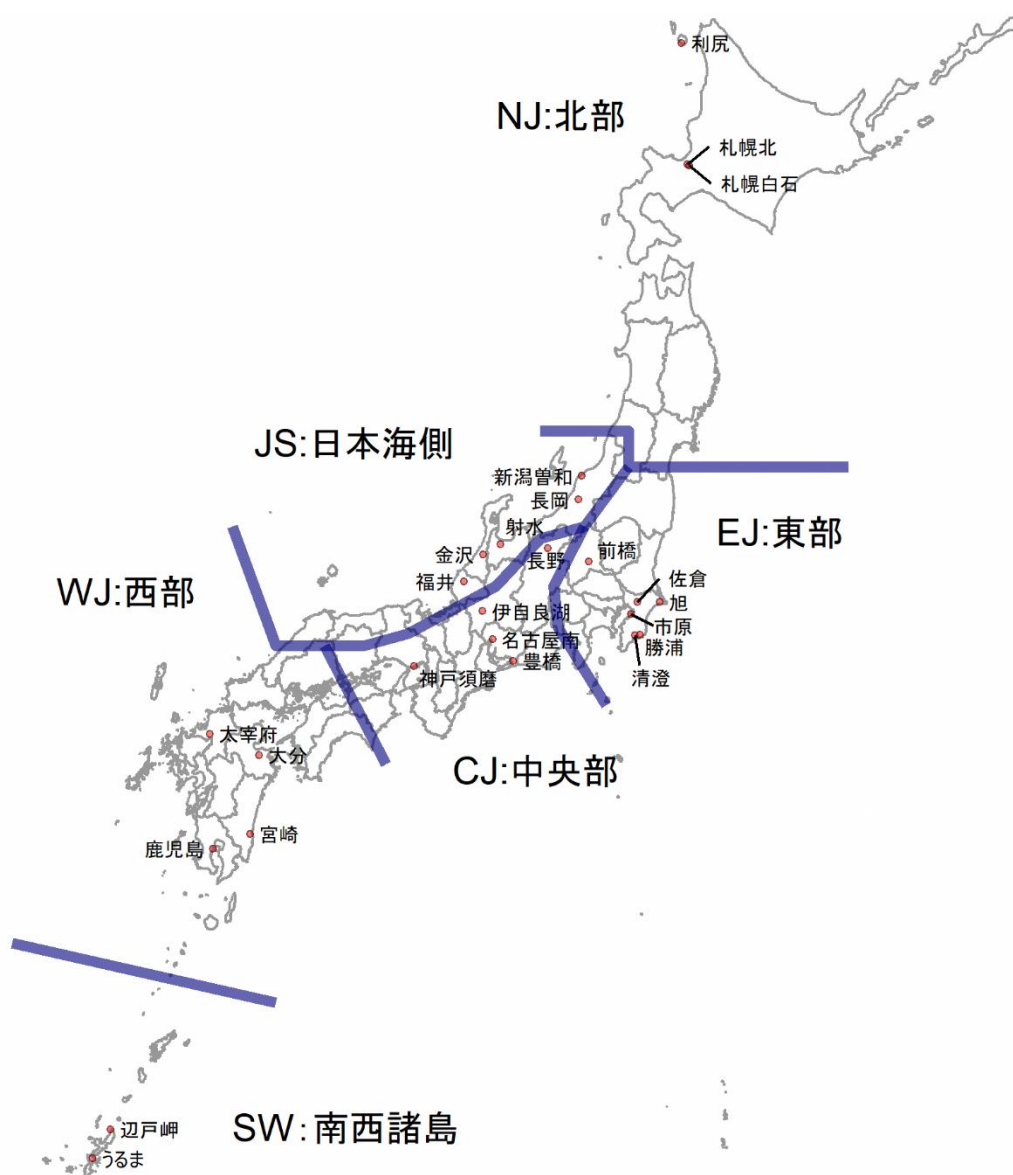


図5.1.1 FP法の調査地点（2023年度）
（地域区分は表2.1.1のとおり）

表5.1.1 FP法による調査結果の有効データ数（2023年度）

成分	地点数	月平均濃度							年平均濃度						
		欠測数	データ数	完全度 60%未満	その他 参考値	適合数	定量下限 値未満	有効データ 割合(%)	欠測数	データ数	完全度 80%未満	その他 参考値	適合数	定量下限 値未満	有効データ 割合(%)
HNO ₃ (g)	25	4	296	8	12	276	68	93	0	25	1	1	23	4	92
SO ₂ (g)	25	4	296	8	12	276	10	93	0	25	1	1	23	0	92
HCl(g)	25	4	296	8	12	276	10	93	0	25	1	1	23	0	92
NH ₃ (g)	25	4	296	8	12	276	0	93	0	25	1	1	23	0	92
SO ₄ ²⁻ (p)	25	4	296	8	12	276	0	93	0	25	1	1	23	0	92
NO ₃ ⁻ (p)	25	4	296	8	12	276	0	93	0	25	1	1	23	0	92
Cl ⁻ (p)	25	4	296	8	12	276	2	93	0	25	1	1	23	0	92
Na ⁺ (p)	25	4	296	8	12	276	0	93	0	25	1	1	23	0	92
K ⁺ (p)	25	4	296	8	12	276	0	93	0	25	1	1	23	0	92
Ca ²⁺ (p)	25	4	296	8	12	276	0	93	0	25	1	1	23	0	92
Mg ²⁺ (p)	25	4	296	8	12	276	1	93	0	25	1	1	23	0	92
NH ₄ ⁺ (p)	25	4	296	8	12	276	1	93	0	25	1	1	23	0	92

流量変動が大きかった場合（年間の平均流量と標準偏差から算出した変動係数が30 %以上の場合、さらにインパクト付きでは積算流量から計算した平均流量が吸引流量の許容範囲（例：流量2.0 L min⁻¹の許容範囲は1.5～3.0 L min⁻¹）を外れた場合）は年間を通して参考値として扱うこととしている。なお、2023年度は流量変動を理由として解析対象から除外された調査地点はなかった。

5.1.2 定量下限値の設定

定量下限値は東アジア酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）³⁾の基準値（粒子：0.01 μg m⁻³，ガス：0.1 ppb）を用いた。吸引流量は1 L min⁻¹を基準とし、X L min⁻¹の場合は1/X倍した値を定量下限値とした。

なお、定量下限値の判定は月および年平均濃度に対して行い、定量下限値未満の場合は解析対象から除外した。

5.1.3 非海塩成分の算出

SO₄²⁻(p)およびCa²⁺(p)については、試料中のNa⁺(p)濃度と海水中でのモル濃度比を用いて、以下の式により非海塩(nss: non sea salt)由来成分濃度を算出した。

$$\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p}) = \text{SO}_4^{2-}(\text{p}) - 0.0607 \times \text{Na}^+(\text{p})$$

$$\text{nss-Ca}^{2+}(\text{p}) = \text{Ca}^{2+}(\text{p}) - 0.0224 \times \text{Na}^+(\text{p})$$

5.1.4 ガス・粒子間反応の測定結果への影響

サンプリング期間中、大気中と同様に、フィルター上ではガスと粒子の間で様々な可逆あるいは不可逆反応が生じていると考えられるが、フィルターに捕集された後に生じるこれらの反応によるアーティファクトを分別して評価することは困難である。そこで、前年度⁴⁾までと同様に、平衡関係にあると考えられるガスと粒子については、全硝酸(HNO₃(g)+NO₃⁻(p))、全アンモニア(NH₃(g)+NH₄⁺(p))、全塩化物(HCl(g)+Cl⁻(p))のようにガスと粒子の総計でも評価した。

5.2 大気中のガス状および粒子状成分濃度

5.2.1 年平均濃度の地域特性

5.2.1.1 ガス状成分

ガス状成分について、地点別年平均濃度を表5.2.1に、地域区分別の年平均濃度の箱ひげ図を図5.2.1に示す。箱ひげ図は各地域区分の地点別年平均濃度の25%点と75%点がボックスの両端で表され、そのボックス内の黒線は中央値を、赤線は平均値を表す。エラーバーは最小値と最大値を表し、箱の端からの距離が箱の長さの1.5倍以上の値は外れ値として×で示されている。

各成分の傾向は次のとおりである。全国中央値を前年度と比較すると、NH₃(g)は8 %増加し、HNO₃(g)はほぼ同じ、HCl(g)は11 %、SO₂(g)は1 %とそれぞれ減少した。

SO₂(g)

WJで高く、JSで低い傾向は例年と同様であった。

WJの中でも鹿児島、宮崎および大分が高濃度であり、火山ガスの影響を受けたと考えられた。

また、2番目に濃度が高い市原は重油ボイラーが多く存在する工業地帯の影響が考えられた。

HNO₃(g)

CJおよびWJで高く、NJおよびSWで低い傾向は例年と同様であった。

HCl(g)

例年同様、EJ、CJ、WJおよびSWで高く、NJおよびJSで低かった。

NH₃(g)

EJで高い傾向は例年と同様であった。中でも旭および前橋の2地点が特に高く、畜産業が盛んな地域であるため、その影響を受けていると考えられた。

これらの特に高値であった地点(旭および前橋)を除くと、東日本から西日本にかけて徐々に濃度が上昇していく傾向がみられた。

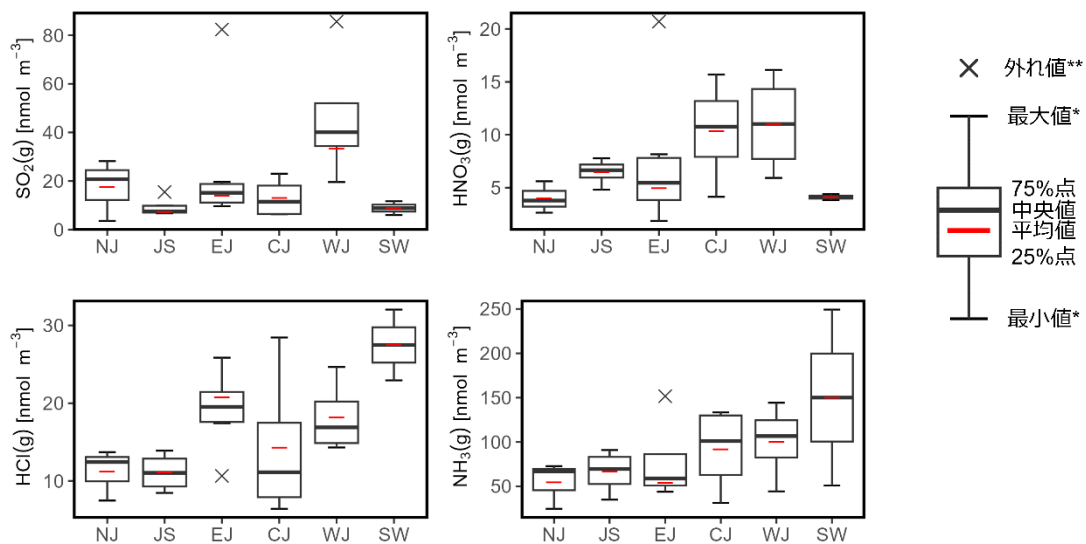
表5.2.1 ガス状成分の年平均濃度（地点別，2023年度）

No.	都道府県市	地点名	SO ₂ (g)	HNO ₃ (g)	HCl(g)	NH ₃ (g)
			(nmol m ⁻³)			
1	北海道	利尻*	3.6	2.6	13.7	24.6
2	北海道	札幌北*	28.2	5.6	12.4	66.7
3	札幌市	札幌白石*	20.8	3.8	7.5	72.8
4	新潟県	新潟管和	7.1	6.3	13.9	80.6
5	新潟県	長岡	7.9	7.8	9.6	91.0
6	群馬県	前橋	10.2	20.7	17.4	544.4
7	千葉県	旭	9.7	1.9	10.6	2374.5
8	千葉県	勝浦	14.1	4.2	21.0	53.2
9	千葉県	清澄	16.2	3.7	18.1	43.9
10	千葉県	市原	82.4	8.2	25.8	151.6
11	千葉県	佐倉	19.6	6.8	21.6	64.6
12	長野県	長野	6.3	9.2	8.4	73.3
13	富山県	射水*	(12.4)	(5.6)	(9.6)	(53.0)
14	石川県	金沢*	6.7	4.8	8.5	34.9
15	福井県	福井	15.5	7.0	12.5	58.5
16	岐阜県	伊自良湖	6.5	4.1	6.4	31.3
17	愛知県	豊橋*	16.5	12.4	13.8	133.4
18	名古屋市	名古屋南	23.0	15.7	28.4	128.9
19	兵庫県	神戸須磨*	(24.9)	(3.1)	(15.8)	(33.4)
20	福岡県	太宰府*	19.6	16.1	15.1	144.2
21	大分県	大分*	39.4	13.7	14.3	44.4
22	宮崎県	宮崎	40.8	5.9	18.7	118.0
23	鹿児島県	鹿児島*	85.6	8.3	24.7	95.4
24	沖縄県	うるま*	11.7	4.4	22.9	249.3
25	沖縄県	辺戸岬*	6.0	3.8	32.0	50.9
全国最低値			3.6	2.6	6.4	24.6
全国最高値			85.6	20.7	32.0	2374.5
全国中央値			15.5	7.0	14.3	73.3
全国平均値			21.6	8.6	16.4	205.7

注) 全国最低値は網掛け，全国最高値は白抜き，定量下限値未满是斜字，参考値は（ ）で示した。

注) 定量下限値未満および参考値は最低値，最高値，中央値，平均値から除外した。

注) *はインパクタ付きフィルターパック法によりPM_{2.5}を採取した地点を示す。



** 箱の端からの距離が箱の長さの1.5倍以上

* 外れ値を除いた最大値または最小値

NH₃は旭（2375 nmol m⁻³）および前橋（544 nmol m⁻³）の影響が大きいため，これらの値を除外した箱ひげ図を示す。

図5.2.1 ガス状成分の年平均濃度の分布（地域区分別，2023年度）

5.2.1.2 粒子状成分

粒子状成分について、地点別年平均濃度を表5.2.2に、地域区分別の年平均濃度の箱ひげ図を図5.2.2に示す。

全国中央値を前年度と比較すると、 $\text{nss-Ca}^{2+}(\text{p})$ が17 %、 $\text{Ca}^{2+}(\text{p})$ が19 %、 $\text{Na}^+(\text{p})$ が14 %とそれぞれ増加し、 $\text{NH}_4^+(\text{p})$ は14 %減少した。他の成分の変動は少なかった。

主な成分の傾向は次のとおりである。

$\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$

WJで高く、NJで低い傾向は例年どおりであった。

$\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$ 濃度の西高東低の分布は、藍川ら⁵⁾が指摘しているとおおり、アジア大陸の汚染大気の流れの影響を反映していると考えられた。

$\text{NO}_3^-(\text{p})$

EJおよびWJで高く、NJとJSで低い傾向は例年どおりであった。

$\text{NH}_4^+(\text{p})$

例年どおりWJで高い傾向にあった。また、JS、EJおよびCJでは近年、減少傾向が続き、NJおよびSWではおおむね横ばいで推移している。そのため、2018年ごろまでよくみられたNJおよびSWが低いという傾向から、WJ以外の地域間の濃度差が少なくなっている。

表5.2.2 粒子状成分の年平均濃度（地点別，2023年度）

No.	都道府県市	地点名	$\text{SO}_4^{2-}(\text{p})$	$\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$	$\text{NO}_3(\text{p})$	$\text{Cl}(\text{p})$	$\text{Na}^+(\text{p})$	$\text{K}^+(\text{p})$	$\text{Ca}^{2+}(\text{p})$	$\text{nss-Ca}^{2+}(\text{p})$	$\text{Mg}^{2+}(\text{p})$	$\text{NH}_4^+(\text{p})$
(nmol m ⁻³)												
1	北海道	利尻*	18.3	13.9	10.1	69.8	71.9	3.2	3.7	2.1	8.6	18.0
2	北海道	札幌北*	19.9	18.2	17.4	27.9	28.5	2.6	4.9	4.2	3.8	37.4
3	札幌市	札幌白石*	19.8	18.2	16.7	24.8	26.1	1.5	4.4	3.9	3.5	38.5
4	新潟県	新潟曾和	18.7	16.2	13.7	30.5	40.5	2.5	4.6	3.7	5.3	21.1
5	新潟県	長岡	18.1	16.4	14.7	20.5	28.4	2.4	4.8	4.1	3.9	25.3
6	群馬県	前橋	22.1	20.8	34.3	9.9	22.1	4.3	11.4	10.9	3.8	42.6
7	千葉県	旭	18.8	15.6	27.6	55.0	52.2	5.5	7.4	6.2	7.2	37.6
8	千葉県	勝浦	22.5	16.9	19.0	77.1	92.5	3.7	13.0	10.9	11.5	12.2
9	千葉県	清澄	18.6	15.7	17.0	30.9	48.4	3.0	6.4	5.3	6.5	11.2
10	千葉県	市原	28.6	24.4	36.2	57.4	68.6	3.7	28.8	27.3	10.7	30.2
11	千葉県	佐倉	21.8	19.7	27.7	19.8	34.5	4.6	8.0	7.2	4.4	24.4
12	長野県	長野	15.5	14.9	10.8	3.9	11.1	1.9	3.7	3.4	1.5	22.9
13	富山県	射水*	(17.1)	(15.5)	(12.2)	(18.9)	(25.6)	(2.2)	(3.0)	(2.4)	(3.3)	(26.1)
14	石川県	金沢*	18.1	16.9	9.6	12.6	19.8	1.7	4.3	3.9	3.6	26.5
15	福井県	福井	20.1	17.6	17.1	34.7	41.5	3.1	8.3	7.4	5.3	28.2
16	岐阜県	伊自良湖	15.8	15.1	7.2	3.2	11.4	2.1	3.1	2.8	1.7	19.5
17	愛知県	豊橋*	23.3	20.8	28.2	31.0	41.3	2.4	7.7	6.8	6.7	38.2
18	名古屋市	名古屋南	21.5	19.3	29.3	23.2	35.5	2.7	10.2	9.4	4.2	35.5
19	兵庫県	神戸須磨*	(29.5)	(26.0)	(63.0)	(55.7)	(57.6)	(2.4)	(7.0)	(5.8)	(6.3)	(81.9)
20	福岡県	太宰府*	31.4	29.1	35.5	26.9	37.5	2.8	8.0	7.2	4.2	65.6
21	大分県	大分*	30.6	29.2	20.2	14.1	23.9	2.2	5.7	5.2	3.5	48.8
22	宮崎県	宮崎	31.2	27.8	26.6	40.9	55.4	2.9	6.9	5.7	6.9	59.3
23	鹿児島県	鹿児島*	34.0	31.5	20.1	43.5	41.2	4.1	8.5	7.6	6.8	58.7
24	沖縄県	うるま*	30.1	23.5	26.6	104.2	108.5	4.0	11.5	9.1	12.8	39.4
25	沖縄県	辺戸岬*	32.9	22.7	23.0	166.8	169.0	5.0	8.2	4.4	19.5	28.4
全国最低値			15.5	13.9	7.2	3.2	11.1	1.5	3.1	2.1	1.5	11.2
全国最高値			34.0	31.5	36.2	166.8	169.0	5.5	28.8	27.3	19.5	65.6
全国中央値			21.5	18.2	20.1	30.5	40.5	2.9	7.4	5.7	5.3	30.2
全国平均値			23.1	20.2	21.2	40.4	48.2	3.1	8.0	6.9	6.3	33.5

注) 全国最低値は網掛け、全国最高値は白抜き、参考値は（ ）で示した。

注) 参考値は最低値、最高値、中央値、平均値から除外した。

注) *はインパクタ付きフィルターパック法によりPM_{2.5}を採取した地点を示す。

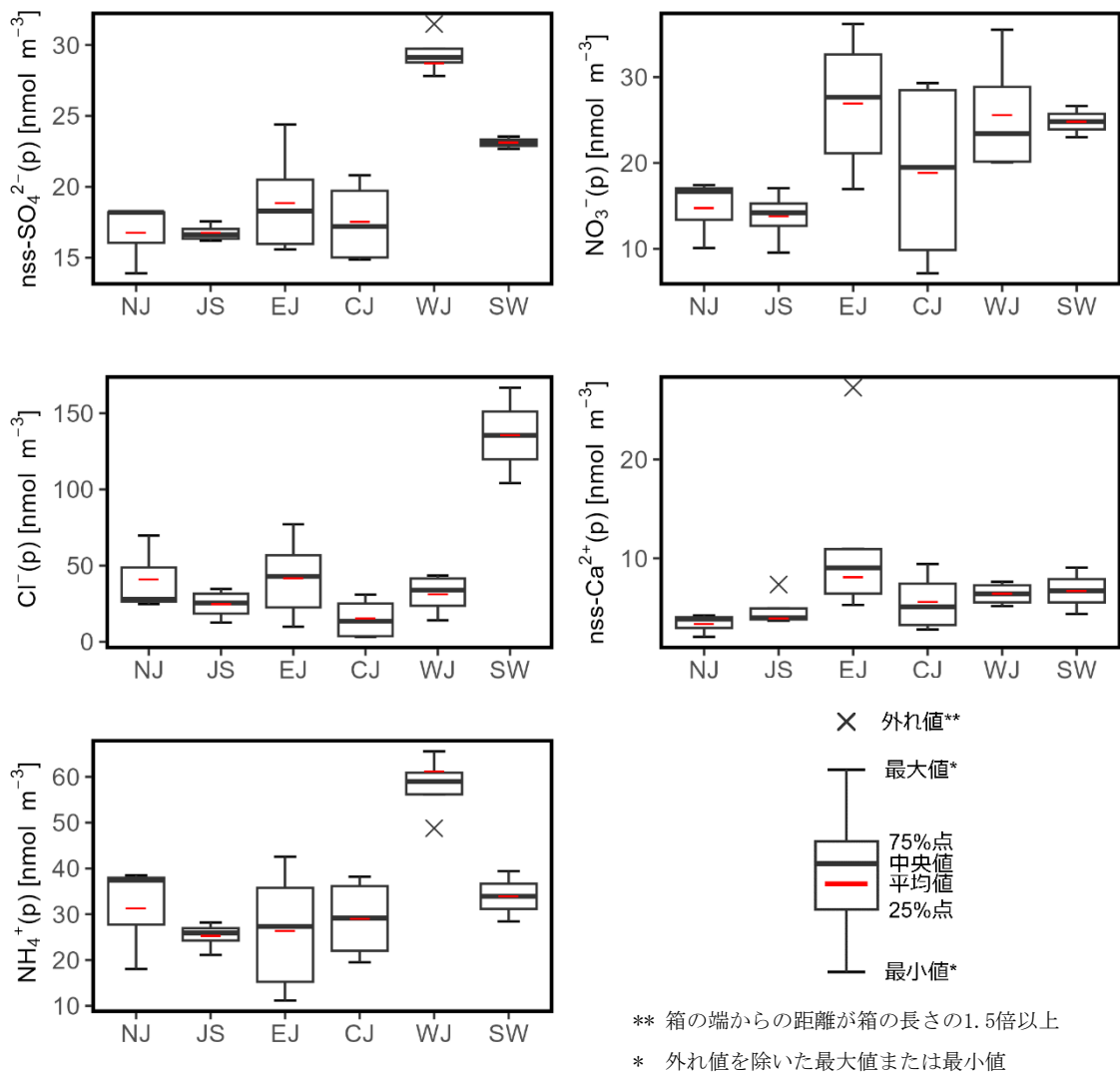


図5.2.2 主な粒子状成分の年平均濃度の分布（地域区別，2023年度）

5.2.1.3 ガス状および粒子状成分濃度の総計

ガス状および粒子状成分の総計について，地点別年平均濃度を表5.2.3に，地域区別の年平均濃度の箱ひげ図を図5.2.3に示す。

各成分の傾向は次のとおりである。

$\text{SO}_2(\text{g})+\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$

WJで高い傾向は例年どおりであった。

$\text{HNO}_3(\text{g})+\text{NO}_3^-(\text{p})$

WJ, EJおよびCJで高く，NJ, JSで低い傾向は例年と同様だが，SWがこれまでよりも高い傾向にあった。

$\text{HCl}(\text{g})+\text{Cl}^-(\text{p})$

SWで高い傾向は例年どおりであった。

$\text{NH}_3(\text{g})+\text{NH}_4^+(\text{p})$

EJの旭や前橋，SWのうるまのように周辺に立地する畜産業の影響を受けている地点や都市部で高い傾向がみられた。これらの3地点においては，他の地点よりもガス状として捕集される割合が高く，特に旭ではその割合が98 %と非常に高かった。

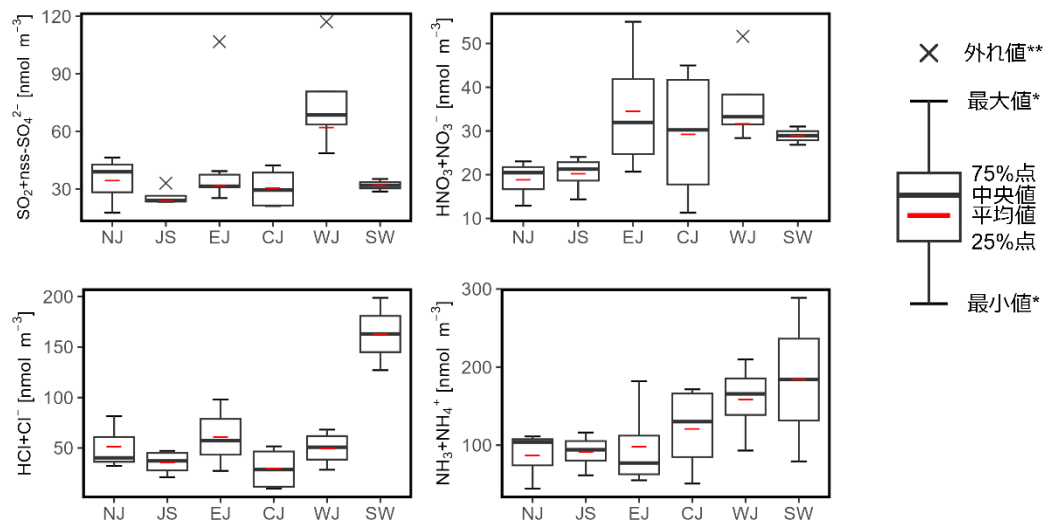
表 5.2.3 ガス状および粒子状成分の総計の年平均濃度（地点別，2023年度）

No.	都道府県市	地点名	全硫黄	全硝酸	全塩化物	全アンモニア
			SO ₂ (g)+ms-SO ₄ ²⁻ (p)	HNO ₃ (g)+NO ₃ ⁻ (p)	HCl(g)+Cl ⁻ (p)	NH ₃ (g)+NH ₄ ⁺ (p)
(nmol m ⁻³)						
1	北海道	利尻*	17.5	12.7	83.5	42.7
2	北海道	札幌北*	46.4	23.0	40.3	104.1
3	札幌市	札幌白石*	39.0	20.5	32.3	111.3
4	新潟県	新潟曽和	23.3	20.1	44.4	101.7
5	新潟県	長岡	24.3	22.5	30.1	116.3
6	群馬県	前橋	30.9	55.0	27.3	586.9
7	千葉県	旭	25.3	29.5	65.6	2412.1
8	千葉県	勝浦	31.0	23.1	98.1	65.4
9	千葉県	清澄	31.9	20.7	49.0	55.1
10	千葉県	市原	106.8	44.3	83.2	181.9
11	千葉県	佐倉	39.3	34.5	41.4	89.0
12	長野県	長野	21.2	19.9	12.3	96.1
13	富山県	射水*	(27.9)	(17.8)	(28.4)	(79.0)
14	石川県	金沢*	23.6	14.4	21.1	61.5
15	福井県	福井	33.0	24.0	47.2	86.7
16	岐阜県	伊自良湖	21.5	11.3	9.7	50.8
17	愛知県	豊橋*	37.3	40.6	44.8	171.6
18	名古屋市	名古屋南	42.4	45.0	51.6	164.3
19	兵庫県	神戸須磨*	(50.9)	(66.1)	(71.5)	(115.4)
20	福岡県	太宰府*	48.7	51.6	41.9	209.8
21	大分県	大分*	68.5	33.9	28.4	93.1
22	宮崎県	宮崎	68.7	32.6	59.7	177.3
23	鹿児島県	鹿児島*	117.1	28.4	68.2	154.0
24	沖縄県	うるま*	35.2	31.0	127.1	288.7
25	沖縄県	辺戸岬*	28.7	26.8	198.8	79.3
全国最低値			17.5	12.7	9.7	42.7
全国最高値			117.1	55.0	198.8	2412.1
全国中央値			33.0	28.4	44.8	104.1
全国平均値			41.8	30.6	56.8	239.1

注）全国最低値は網掛け，全国最高値は白抜き，定量下限値未満を含む場合は斜字，参考値は（ ）で示した。

注）定量下限値未満を含む場合および参考値は最低値，最高値，中央値，平均値から除外した。

注）*はインパクタ付きフィルターパック法によりPM_{2.5}を採取した地点を示す。



** 箱の端からの距離が箱の長さの1.5倍以上

* 外れ値を除いた最大値または最小値

NH_3 は旭（2412 nmol m⁻³）および前橋（587 nmol m⁻³）の影響が大きいため，これらの値を除外した箱ひげ図を示す。

図 5.2.3 ガス状および粒子状成分の総計の年平均濃度の分布（地域区分別，2023年度）

5.2.2 経月変化および地域特性

ここでは、地域区分の特徴を捉えるため、地域区分別の成分ごとの外れ値を除いた平均値をもとに、経月変化や包括的な地域特性を述べる。なお、気象庁の予報用語⁶⁾に従い、春季(春)は3～5月、夏季(夏)は6～8月、秋季(秋)は9～11月、冬季(冬)は12～2月をそれぞれ指す。

5.2.2.1 ガス状成分

地域区分別のガス状成分濃度の経月変化を図5.2.4に示す。各成分の傾向は次のとおりであった。

SO₂(g)

SWを除いて冬季から春季に高くなる傾向がみられた。NJにおいては、暖房等の使用に伴う地域汚染の影響で12月に高値となった可能性が考えられた。WJでは通年で最も高く、大陸起源のSO₂(g)の影響と活発な噴火活動が継続する桜島や阿蘇山等の活火山を起源とする火山ガスの影響⁷⁾を複合的に受けて高濃度であった可能性が高いと考えられた。

HNO₃(g)

春季から夏季にかけて、特にCJおよびWJで高く、秋季から冬季にかけて低くなる傾向は昨年と同様であった。春季から夏季に高くなる要因としては、気温の上昇によって光化学反応が活発になり窒素酸化物からHNO₃(g)への酸化が促進されることや、揮発性粒子であるNH₄NO₃の解離が進むことなどが考えられた。

HCl(g)

冬季に低くなる傾向がみられた。HCl(g)の発生源としては、廃棄物焼却施設、海塩粒子のクロリンロス^{8, 9)}などが知られている。SWにおいて、8月に高値となったのは台風の強風による海塩粒子の供給増と台風接近に伴う大陸からの酸性ガスの移流によるクロリンロスの複合的な影響であると考えられた。

NH₃(g)

EJおよびSWを除くと、夏季に高く冬季に低くなる傾向があった。このことから、NH₃(g)濃度の季節変動は、気温が上昇するとNH₄NO₃などの揮発性粒子が解離することによりガス化し、逆に気温が低下すると粒子化することに起因する可能性が示唆された。

一方、EJおよびSWでは測定地点周辺に立地する畜産業の影響を受けていると考えられ、SWの8月の高値はその影響であると考えられた。

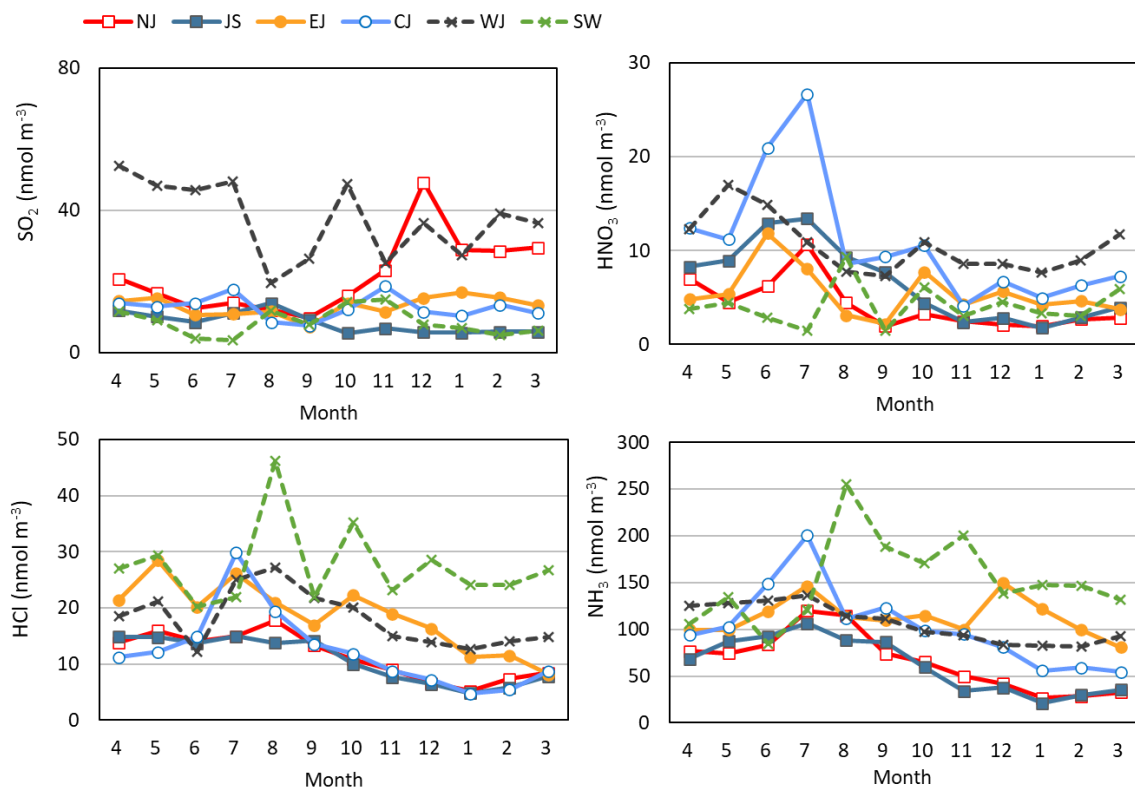


図5.2.4 ガス状成分の経月変化（2023年度、地域区分別中央値）

5.2.2.2 粒子状成分

粒子状成分の地域別年平均当量濃度を図5.2.5に、年平均組成比を図5.2.6に示す。

いずれの地域においても陰イオンと陽イオンはおおむね同量程度（±10%の範囲内）におさまっており、分析した8成分でイオンバランスはおおむねとれていた。

また、総当量濃度については、SWで最も高かった。SWでは他の地点と比べて Na^+ と Cl^- の占める割合が特に高く、海塩粒子の寄与が大きいと考えられた。SWを除く地域では、陰イオンは SO_4^{2-} 、陽イオンは NH_4^+ および Na^+ の占める割合が高かった。EJおよびJSにおいては、SWを除く他の地点と比べて陽イオンの中で Na^+ が占める割合が高かった。

粒子状成分濃度の経月変化を図5.2.7に示す。各成分の傾向は次のとおりであった。

$\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$

WJおよびSWを除くと、夏季から秋季にかけて低くなり、春季に高くなる傾向があった。WJは年間を通して高く、SWでは月ごとの変動が大きいことから、大陸からの越境移流に加えて、WJでは火山活動の影響、SWでは台風接近による顕著な汚染の移流等が影響している可能性が示唆された。

$\text{NO}_3^-(\text{p})$

夏季に低く、冬季に高くなる傾向があった。 NH_4NO_3 などの揮発性粒子がガス化した影響が考えられた。

$\text{NH}_4^+(\text{p})$

全体として冬季を除き経月変化が $\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$ 濃度とよく類似していた。このことから、気温が高い夏季等は $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ として存在しており、冬季は硝酸との大気中における反応によって $\text{SO}_4^{2-}(\text{p})$ 濃度と乖離した可能性が考えられた。

$\text{nss-Ca}^{2+}(\text{p})$

全体として春季に高い傾向がみられた。2023年4月に広域で気象庁によって黄砂が観測されている¹⁰⁾。4月に $\text{nss-Ca}^{2+}(\text{p})$ 濃度が高いのは、黄砂の飛来の影響を受けた影響であると考えられた。

$\text{Cl}^-(\text{p})$, $\text{Na}^+(\text{p})$, $\text{Mg}^{2+}(\text{p})$, $\text{K}^+(\text{p})$

SWを除いて、変動は小さいものの夏季に低い傾向がみられた。SWでは1年を通して高かった。これは、SWの調査地点は海に近いので、海塩粒子の影響が大きく、特に8月の高濃度は台風の接近で風速が強く、海塩粒子が生成しやすい状況であったためであると考えられた。

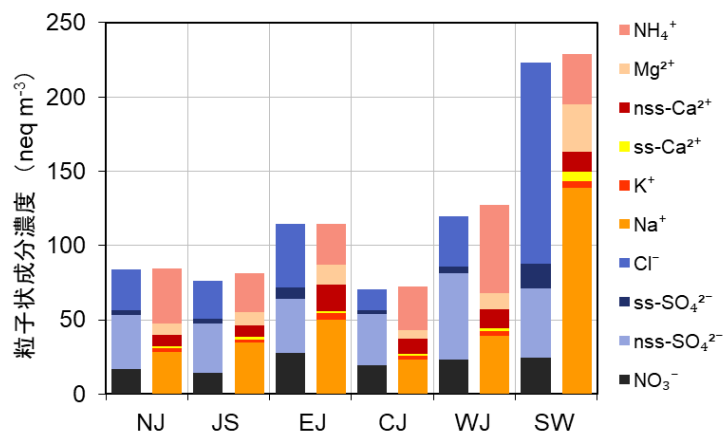


図5.2.5 粒子状成分の年平均当量濃度（地域区別，2023年度）

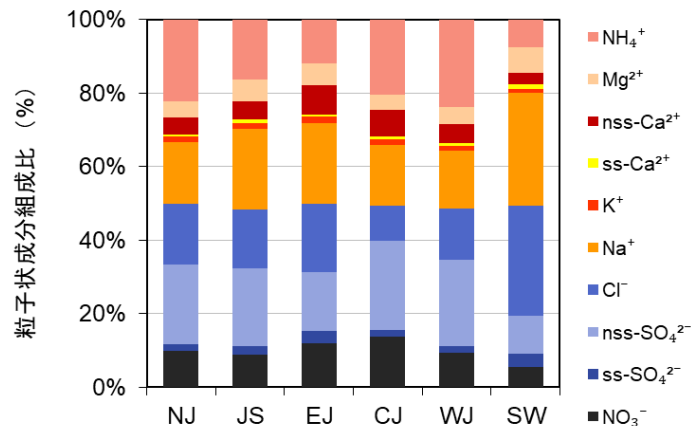


図5.2.6 粒子状成分の年平均組成比（地域区別，2023年度）

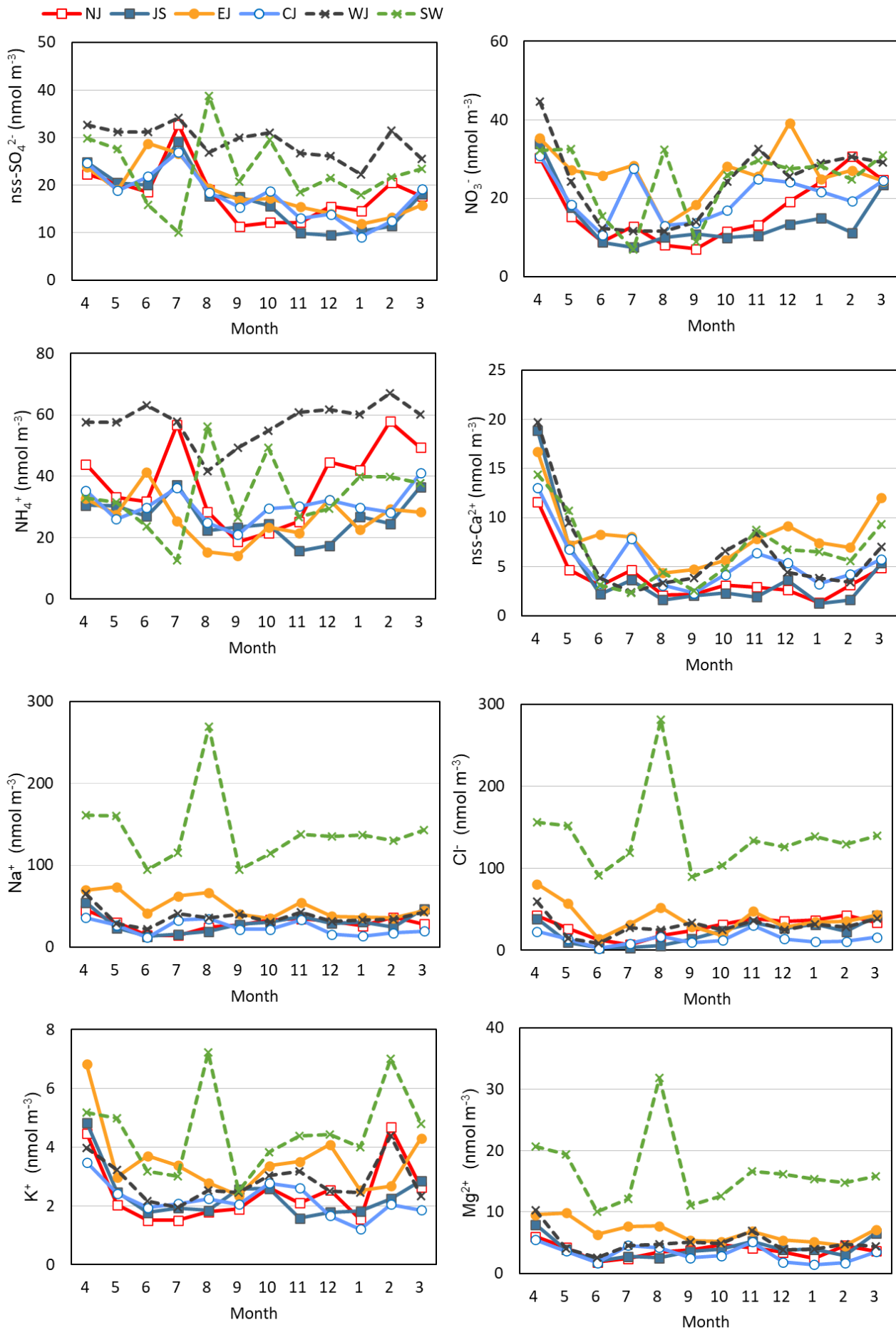


図5.2.7 粒子状成分濃度の経月変化（2023年度，地域区分別中央値）

5.2.2.3 ガス状および粒子状成分の総計

非海塩由来の全硫黄 ($\text{SO}_2(\text{g}) + \text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$), 全硝酸 ($\text{HNO}_3(\text{g}) + \text{NO}_3^-(\text{p})$), 全塩化物 ($\text{HCl}(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{p})$) および全アンモニア ($\text{NH}_3(\text{g}) + \text{NH}_4^+(\text{p})$) 濃度の経月変化を図5.2.8に示す。各成分の傾向は次のとおりであった。

$\text{SO}_2(\text{g}) + \text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$

経月変化は明確でなかった。WJは他の地域と比べて高濃度であった。

$\text{HNO}_3(\text{g}) + \text{NO}_3^-(\text{p})$

冬季から春季に高くなる傾向にあった。

$\text{HCl}(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{p})$

経月変化は明確でなかった。SWは他の地域と比べて高濃度であった。

$\text{NH}_3(\text{g}) + \text{NH}_4^+(\text{p})$

夏季に高く秋季から冬季にかけて低い傾向がみられた。

5.2.2.4 微小粒子 ($\text{PM}_{2.5}$) 状成分

インパクトを装着した5段ろ紙法では、これまでの4段ろ紙法ではF0ろ紙に全粒子として捕集されていた粒子を、I0のドーナツ型ろ紙に捕集された粒子を粗大粒子として、後段のF0ろ紙に捕集された粒子を $\text{PM}_{2.5}$ として、それぞれの粒径に分けて捕集することができる。この方法を用い

ることでアーティファクトが軽減されるほか、粒径の情報を得ることで発生源の推定に役立てることもできる。

ここでは、粗大粒子と $\text{PM}_{2.5}$ とを粒径別に捕集した11地点（利尻、札幌北、札幌白石、射水、金沢、豊橋、太宰府、大分、鹿児島、うるまおよび辺戸岬）の結果について述べる。ただし、射水については年間完全度が判断基準未満のため月平均値のみ解析対象とした。

$\text{PM}_{2.5}$ イオン成分の地点別年平均濃度を図5.2.9に、各地点の組成比を図5.2.10に示す。 $\text{PM}_{2.5}$ イオン成分濃度の範囲は $2.0 \sim 4.8 \mu\text{g m}^{-3}$ (平均値 $3.3 \mu\text{g m}^{-3}$) であり、昨年度と同程度であった。最高値は太宰府、次いで鹿児島であり、最低値は利尻であった。全体として東日本よりも西日本で高値であった。

また、その組成比は、 $\text{PM}_{2.5}$ のイオン成分重量濃度に対して、どの地点も nss-SO_4^{2-} (51~66 %) の寄与が最も大きく、次いで NH_4^+ (14~23 %) の寄与が大きかった。そのほか、他の地点と比べて NO_3^- の割合が高い (17~18 %) 傾向にある地点は札幌白石、札幌北、豊橋および太宰府であった。

次に、 $\text{PM}_{2.5}$ 成分濃度の経月変化を図5.2.11に、全粒子状物質に占める $\text{PM}_{2.5}$ の割合の経月変化を図5.2.12に示す。各成分の傾向は次のとおりであった。

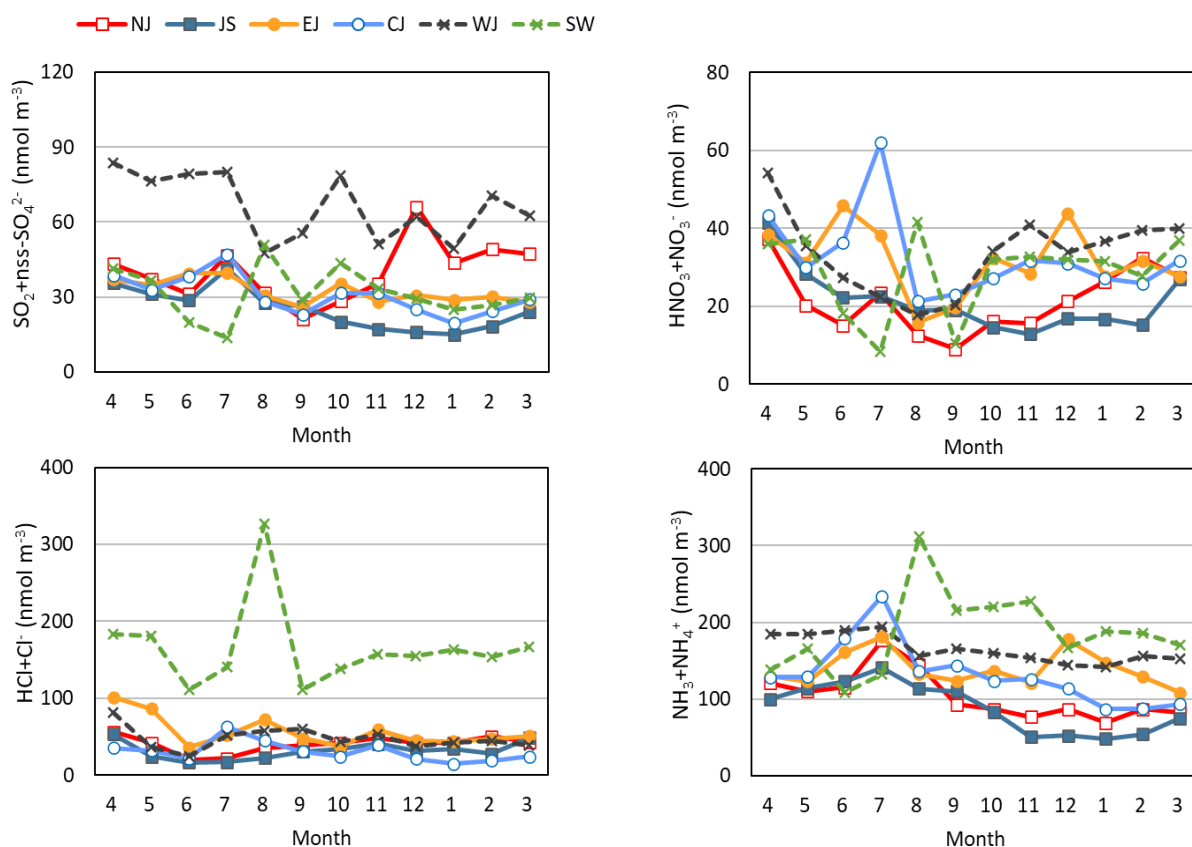


図5.2.8 ガス状及び粒子状成分濃度の総計の経月変化（2023年度、地域区分別中央値）

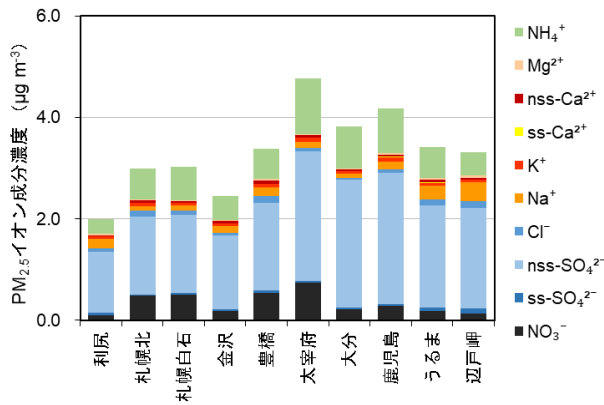


図5.2.9 PM_{2.5}イオン成分の年平均濃度
(地点別, 2023年度)

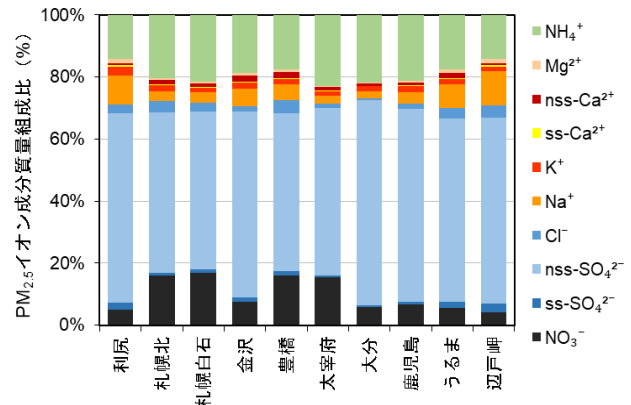


図5.2.10 PM_{2.5}イオン成分の年平均組成比
(地点別, 2023年度)

SO₄²⁻(p), nss-SO₄²⁻(p), NH₄⁺(p)

nss-SO₄²⁻(p)は秋季や冬季にやや濃度が低い傾向がみられた。NH₄⁺(p)も同様に変動する傾向がみられたが、nss-SO₄²⁻の変動よりも高濃度で推移していた。また、SO₄²⁻(p)およびNH₄⁺(p)は年間を通してPM_{2.5}の割合が高く、PM_{2.5}に占める割合もこの2つの成分でほぼ7割以上を占めていた。

NO₃⁻(p)

ほとんどの地点で冬季に高く、夏季に低い変動となっていた。粒径でみると夏季には8割が粗大粒子にあり、冬季には辺戸岬、うるまを除く地点では、PM_{2.5}中の割合が大きくなっていた。

Ca²⁺(p), nss-Ca²⁺(p)

濃度は低いものの、春季に高くなる傾向があった。年間を通して、粗大粒子の割合が多かった。

Cl⁻(p), Na⁺(p), Mg²⁺(p), K⁺(p)

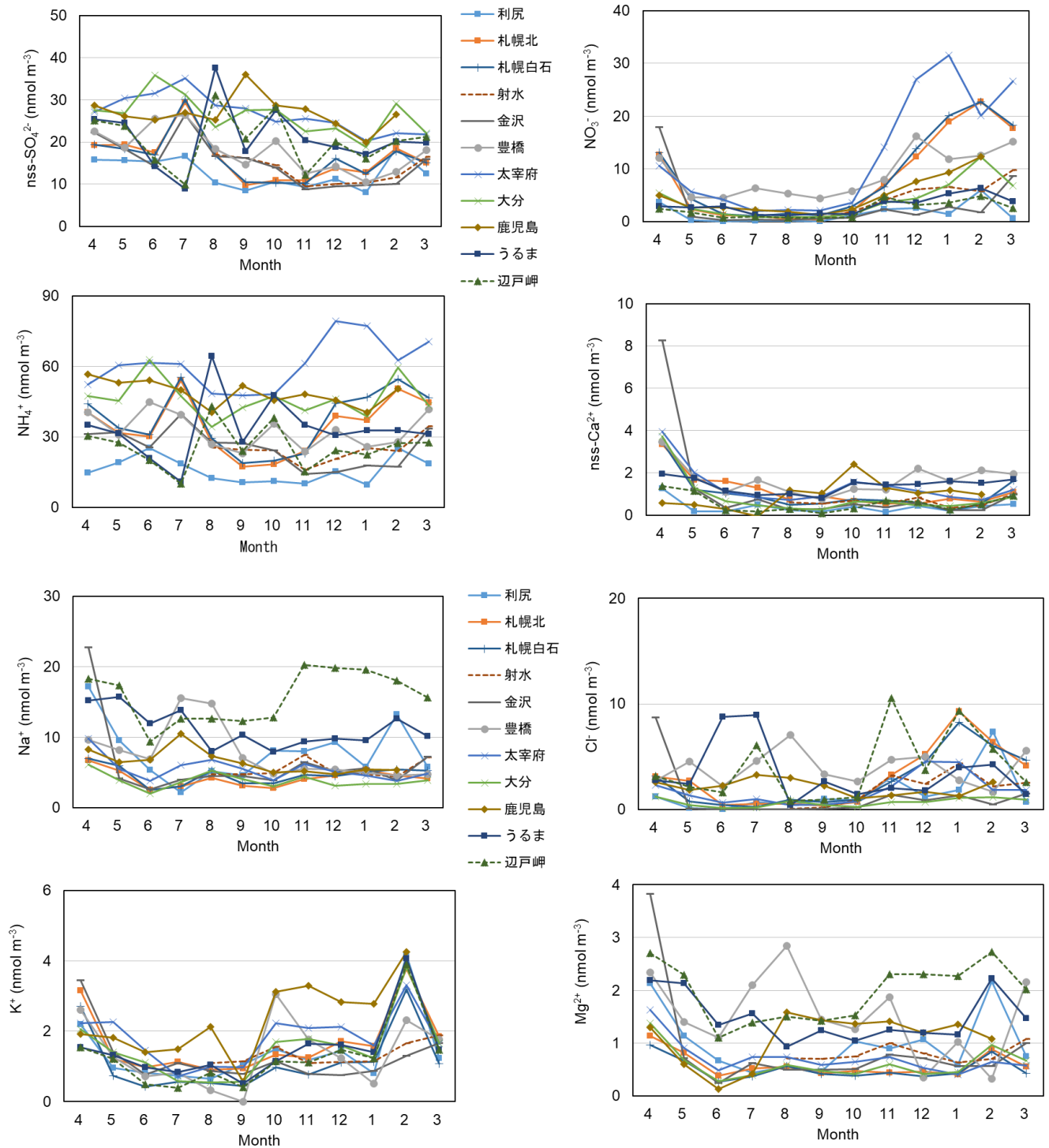
これらの成分は全体として冬季に濃度が上昇する地点が多かった。また、金沢では4月にいずれの成分も高濃度となり、うるまでは6、7月に辺戸岬では11月にCl⁻(p)が、豊橋では8月にMg²⁺(p)が高濃度となるなど、地点により変動が大きくなる現象がみられた。

K⁺(p)を除くと1年を通してPM_{2.5}の割合が低かった。これは、これらの成分は海塩粒子や土壌粒子に多く含まれているという特徴を反映していると考えられた。K⁺(p)については地点や季節により割合が大きく異なっていたが、その要因はわからなかった。

粒径別の季節変化については、乾性沈着量の推定や発生源を推定する際に有用な情報となるため、今後も調査を継続しデータを蓄積していく必要がある。

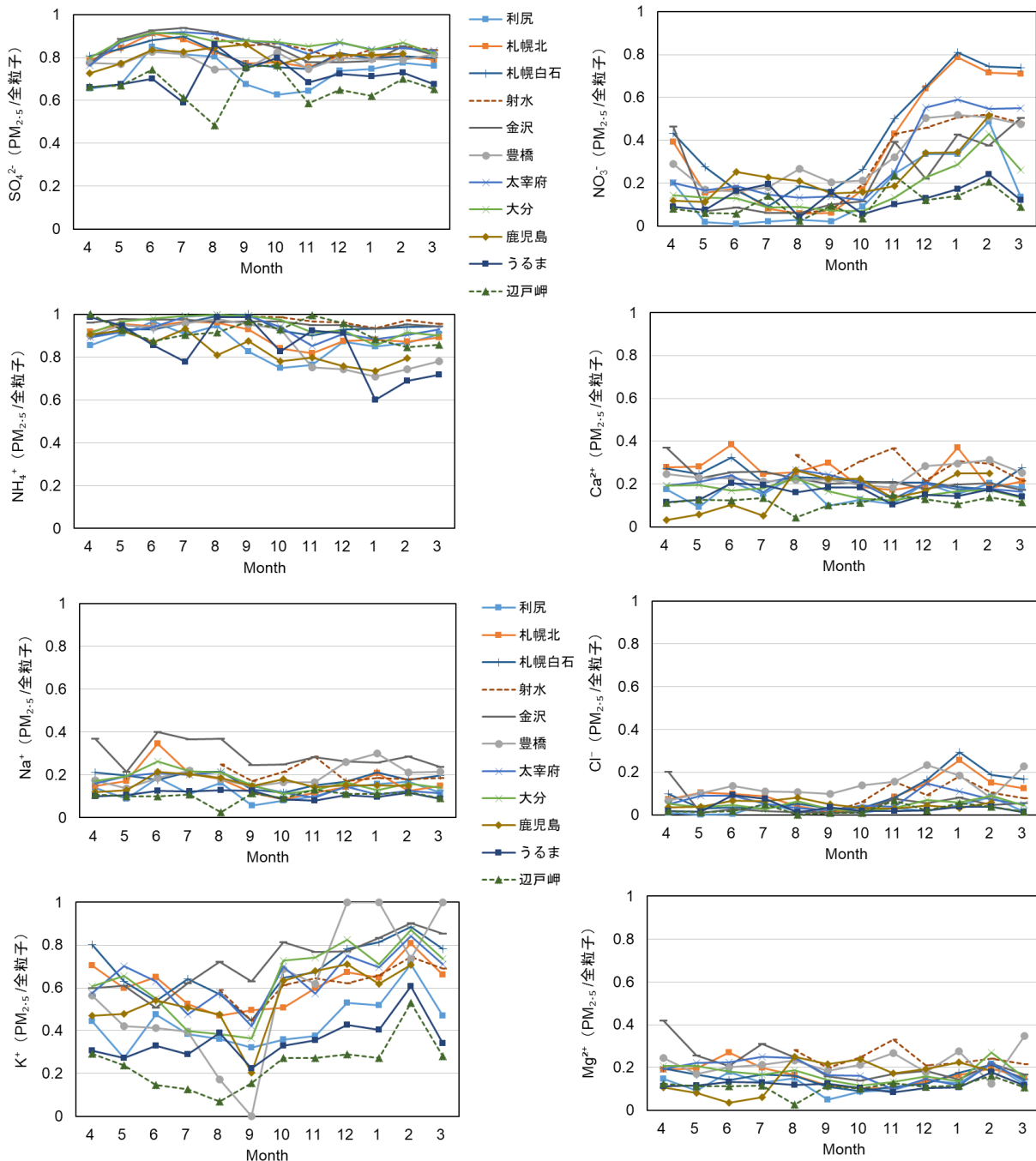
5.2.3 ガス状および粒子状成分の経年変化

各項目の経年変動について、図5.2.13に示した。箱ひげ図および平均の折れ線グラフについては、図4.2.4と同様の地点の選定方法を用いた。10年間の傾向としてはいずれの成分も減少または横ばいの傾向にあり、増加の傾向がある地域や成分はみられなかった。全地域で減少傾向となった成分はSO₂(g)およびnss-SO₄²⁻(p)であり、HNO₃(g), NO₃⁻(p)およびNH₄⁺(p)は多くの地域で減少傾向、NH₃(g)についてはEJおよびSWを除くと横ばいで推移していた。5.2.1.2章でも述べたようにJS、EJおよびCJにおけるNH₄⁺(p)については減少傾向が続いているが、NJおよびSWでは横ばいに推移していることが2018年までとの違いを生んでいると考えられた。また、減少が続いていたnss-SO₄²⁻(p)については前年度には上昇の気配がみられたものの、今年度の結果をみる限りこれまでの減少トレンドに変化があったのか不明瞭だった。これらのことについても今後の傾向を注視していく必要がある。



以下の理由によりいくつかの地点の月の値はデータがない。
射水5, 6月：欠測, 射水4, 7月：完全度60%未満のため参考値, 鹿児島3月：完全度60%未満のため参考値

図5.2.11 PM_{2.5}成分の経月変化（地点別，2023年度）



以下の理由によりいくつかの地点の月の値はデータがない。
射水5, 6月：欠測, 射水4, 7月：完全度60%未満のため参考値, 鹿児島3月：完全度60%未満のため参考値

図5.2.12 全粒子状物質に占めるPM_{2.5}成分の割合の経月変化（地点別，2023年度）

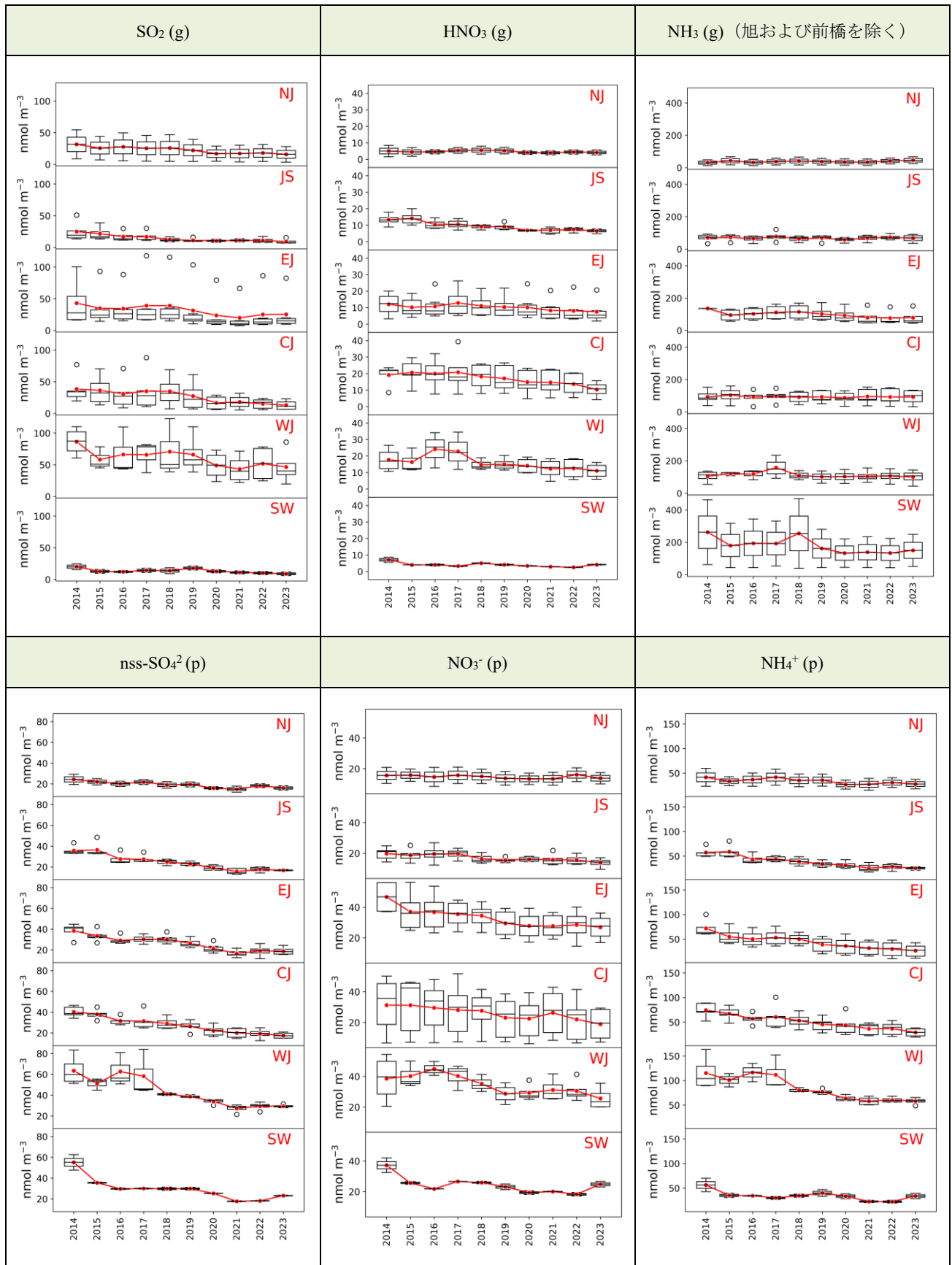


図 5.2.13 ガス状および粒子状成分の地域別経年変化 (SO₂(g), HNO₃(g), NH₃(g) (旭および前橋を除く), nss-SO₄²⁻(p), NO₃⁻(p), NH₄⁺(p))

－ 引用文献 －

- 1) 環境省：令和5年度酸性雨調査結果について，
<https://www.env.go.jp/air/acidrain/monitoring/r05/index.html>（2025.4.30アクセス）
- 2) 全国環境研協議会 酸性雨調査研究部会：第3次酸性雨全国調査結果．全国環境研会誌，**28**，（3），126-196，2003
- 3) Acid Deposition Monitoring Network in East Asia：Technical Manual for Air Concentration Monitoring in East Asia，<https://www.eanet.asia/publications/>（2025.1.26アクセス）
- 4) 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会：第6次酸性雨全国調査報告書2022（令和4）年度．全国環境研会誌，**49**，（3），116-158，2024
- 5) M. Aikawa et al.：Significant geographic gradients in particulate sulfate over Japan determined from multiple-site measurements and a chemical transport model：Impacts of transboundary pollution from the Asian continent. *Atmos. Environ.*，**44**，pp.381-391，2010
- 6) 気象庁：予報用語，http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/mokuji.html（2025.1.26アクセス）
- 7) 気象庁：令和5年（2023年）の日本の主な火山活動，https://www.data.jma.go.jp/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_report/2023y.pdf（2025.1.26アクセス）
- 8) 田中茂，小田切幸成，加藤利明，橋本芳一：海洋大気中の汚染物質による海塩粒子からの塩素の脱離．日本化学会誌，**1982**，（12），1946-1952，1982
- 9) 藤田慎一，三浦和彦，大河内博，速水洋，松田和秀，櫻井達也：越境大気汚染の物理と化学 3訂版，p117，成山堂書店，東京，2025
- 10) 気象庁：黄砂のデータ集，https://www.data.jma.go.jp/env/kosahp/kosa_data_index.html（2025.2.18アクセス）

5.3 乾性沈着量の推計

5.3.1 乾性沈着推計ファイル

インファレンシャル法による乾性沈着量の推計を行った。インファレンシャル法は気象データなどから沈着速度(V_d)を算出し、乾性沈着量を求める方法である¹⁾。

このモデルは以下の式で表される。

$$F = V_d(z) \times C$$

F: 沈着面への沈着物質のフラックス(沈着量)

$V_d(z)$: 基準高さ z における沈着速度

C: 沈着物質の大気中濃度

このことから、 V_d が決定されれば、大気中の物質濃度から乾性沈着量が求められる。 V_d は沈着成分の輸送されやすさ、沈着しやすさによって変化し、風速や気温などの気象データ、また対象成分の溶解度や地表面の被覆状況(土地利用状況)などから推定する。

V_d の算出には、野口らが表計算ソフト(Microsoft Excel)のファイルとして開発した乾性沈着推計ファイル Ver. 4-2を用いた²⁾。このファイルは、地方独立行政法人北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所のHPで公開されており³⁾、ダウンロードが可能である。ファイルの詳細についてはそちらを参照していただきたい。

この乾性沈着推計ファイルは、現在も改良が続けられているため、今回用いたVer. 4-2による計算は、過去に報告した計算結果と必ずしも一致しない。また、乾性沈着推計ファイルVer. 4-2では、市街地の粒子状物質の V_d に上限値が設定されているが、本報告では上限値を設定せずに計算した。

5.3.2 乾性沈着量の推計方法

乾性沈着量の推計は、FP法により大気濃度測定を行った25地点で実施し、さらに、FP法の調査地点のうち自動測定機またはパッシブ法により NO_2 、 NO 測定を行った14地点については NO_2 、 NO の沈着量も同様に推計した。

V_d の算出において、乾性沈着推計ファイルに入力する気象データ(風速、気温、湿度、日射量、雲量)は、調査実施機関が指定する各調査地点に近い気象官署、アメダス⁴⁾、大気汚染常時監視測定局の1時間値を用いた。

季節区分(春、夏、秋、冬(積雪なし)、冬(積雪あり))は、温量指数と季節区分指標を用いる方法とした。

V_d は表面の状況により異なるため、土地利用状況別に、粒子状成分(SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、以後(p)をつけて表示)およびガス状成分(SO_2 、 HNO_3 、 NH_3 、 NO 、 NO_2 、以後(g)をつけて表示)の V_d をそ

れぞれ算出した。

このようにして算出した各調査地点における成分ごとの土地利用状況別 V_d (沈着速度、 cm s^{-1})を集計して年間平均値を求めた結果を参考として、表5.3.1に示した。

乾性沈着量は土地利用状況別 V_d を調査地点周辺の土地利用割合で加重平均し、大気濃度との積により求めた。環境省の長期モニタリング報告書(平成15～19年度)⁵⁾では、測定局周辺約1 kmの森林と草地の利用割合で計算されているが、本報告書では測定局周辺半径約20 kmを推計対象として、土地利用の分類を市街地(建物用地、幹線交通用地、その他)、森林地域(森林)、農地(田、その他の農用地)、草地(ゴルフ場などの草地、荒地)、水面(河川および湖沼、海浜)とした。土地利用状況によって V_d が大きく異なるため(表5.3.1)、土地利用の割合は推計結果に大きな影響を及ぼす。市街地は V_d 推計のためのパラメーターが十分に検証されていないなど不確実な部分が多いが、調査地点の多くが市街地にあることから、土地利用分類を上記のように設定した。また、気象データの測定点がFP法の測定地点と異なる地点が多いことから、測定局周辺半径20 kmを対象とした。土地利用割合は国土地理院のデータ⁶⁾からFP法の測定地点周辺の海を除く半径20 kmにかかるメッシュ値を抽出して求めた。最多頻度の季節が冬(積雪あり)となった月については、農地、草地の V_d の代わりに、積雪の V_d を推計に用いた。なお、これらの条件設定については、さらに検討していく必要がある。

大気濃度は、FP法により測定した $\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$ 、 $\text{NO}_3^-(\text{p})$ 、 $\text{NH}_4^+(\text{p})$ 、 $\text{SO}_2(\text{g})$ 、 $\text{HNO}_3(\text{g})$ 、 $\text{NH}_3(\text{g})$ 、自動測定機またはパッシブ法により測定した $\text{NO}_2(\text{g})$ 、 $\text{NO}(\text{g})$ の月平均濃度を用いた。月ごとに乾性沈着量を求め、それらを合計して年間乾性沈着量を算出した。

FP法ではガス状成分と粒子状成分の完全な分別捕集は難しい。しかし、乾性沈着ではガス状成分と粒子状成分の沈着速度が異なるため、FP法で得られた $\text{HNO}_3(\text{g})$ と $\text{NO}_3^-(\text{p})$ 、 $\text{NH}_3(\text{g})$ と $\text{NH}_4^+(\text{p})$ 濃度を用いて乾性沈着量を算出している。そのため、これらの乾性沈着量はFP法におけるアーティファクトの影響を受けている可能性がある。

表5.3.1 土地利用状況別の平均沈着速度(2023年度)

	(単位: cm s^{-1})							
	$\text{SO}_4^{2-}(\text{p})$	$\text{NO}_3^-(\text{p})$	$\text{NH}_4^+(\text{p})$	$\text{SO}_2(\text{g})$	$\text{HNO}_3(\text{g})$	$\text{NH}_3(\text{g})$	$\text{NO}_2(\text{g})$	$\text{NO}(\text{g})$
市街地	0.16	0.16	0.16	0.18	4.6	0.047	0.031	5.2E-09
森林地域	0.59	0.86	0.65	1.4	4.1	0.59	0.11	0.0029
農地	0.14	0.14	0.14	0.65	1.3	0.40	0.15	0.0024
草地	0.17	0.17	0.17	0.70	1.7	0.37	0.11	0.0025
積雪	0.11	0.11	0.11	0.41	0.41	0.45	0.0014	0.00029
水面	0.089	0.089	0.089	0.28	0.28	0.30	0.0011	0.00023

注) 各調査地点で対象成分ごとに土地利用別に算出した沈着速度 $V_d(\text{cm s}^{-1})$ の年間平均値

5.3.3 乾性沈着量の推計結果

各地点の年間乾性沈着量の推計結果を表5.3.2に示した。なお、射水と神戸須磨についてはFP法の調査結果が参考値扱いとされていることから、ここでの集計・解析からは除外した。

ガス状成分の乾性沈着量は、 $\text{SO}_2(\text{g})$ が0.6(伊自良湖)～19.4(鹿児島)(平均値 5.1) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 $\text{HNO}_3(\text{g})$ が0.8(伊自良湖)～15.3(名古屋南)(平均値 7.4) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 $\text{NH}_3(\text{g})$ が2.7(伊自良湖)～294.9(旭)(平均値 23.7) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ だった。

粒子状成分の乾性沈着量は、 $\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$ が0.3(伊自良湖)～7.4(辺戸岬)(平均値 2.3) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 $\text{NO}_3^-(\text{p})$ が0.2(伊自良湖)～11.6(辺戸岬)(平均値 3.2) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 $\text{NH}_4^+(\text{p})$ が0.4(伊自良湖)～15.6(宮崎)(平均値 3.9) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ だった。

ガス状と粒子状成分を合わせた乾性沈着量については非海塩由来硫黄成分($\text{SO}_2(\text{g})+\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$)が0.9(伊自良湖)～25.8(宮崎)(平均値 7.4) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 NO_x (= NO_2+NO)を含まない酸化態窒素成分($\text{HNO}_3(\text{g})+\text{NO}_3^-(\text{p})$)が1.0(伊自良湖)～20.0(宮崎)(平均値 10.6) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、還元態窒素成分($\text{NH}_3(\text{g})+\text{NH}_4^+(\text{p})$)が3.1(伊自良湖)～

297.7(旭)(平均値 27.6) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ だった。

NO_x 測定地点における NO_2 の乾性沈着量は0.5(利尻)～12.8(神戸須磨)(平均値 5.8) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 NO の乾性沈着量は0.002(利尻)～0.038(豊橋)(平均値 0.017) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ だった。酸化態窒素成分に NO_x を加えた窒素酸化物成分は2.5(伊自良湖)～30.1(豊橋)(平均値 13.1) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ だった。

5.3.4 乾性沈着量と湿性沈着量との比較

乾性沈着量を推計した23地点について、湿性沈着(以後(wet)をつけて表示)と乾性沈着を合わせた総沈着量を図5.3.1に示した。なお、利尻、豊橋および辺戸岬の3地点は、湿性沈着データが参考値扱いのため、乾性沈着量のみ表示した。総沈着量については非海塩由来硫黄成分($\text{SO}_2(\text{g})$ 、 $\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$ 、 $\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{wet})$)、酸化態窒素成分($\text{HNO}_3(\text{g})$ 、 $\text{NO}_3^-(\text{p})$ 、 $\text{NO}_3^-(\text{wet})$)および還元態窒素成分($\text{NH}_3(\text{g})$ 、 $\text{NH}_4^+(\text{p})$ 、 $\text{NH}_4^+(\text{wet})$)に分類して考察した。

また、 NO_2 および NO 測定を実施した地点は、 NO_x の乾性沈着量として、酸化態窒素成分と合わせて示した。

総沈着量の年間値は、非海塩由来硫黄成分が6.8(長野)～46.5(宮崎)(平均値 21.3) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 NO_x を除く酸化態窒素成分が16.4(勝浦)～50.4(金沢)(平均値

表5.3.2 年間乾性沈着量（2023年度地点別）

No.	都道府県市	地点名	SO_2 (g)	HNO_3 (g)	NH_3 (g)	nss-SO_4^{2-} (p)	SO_4^{2-} (p)	NO_3^- (p)	NH_4^+ (p)	NO_2 (g)	NO (g)
mmol m ⁻² y ⁻¹											
1	北海道	利尻	1.4	3.7	6.3	3.1	4.1	3.2	4.3	0.5	0.002
2	北海道	札幌北	4.2	4.6	5.6	1.0	1.1	1.2	2.2	5.8	0.021
3	北海道	札幌白石	3.1	3.0	6.0	1.0	1.1	1.1	2.2	—	—
4	新潟県	新潟曽和	1.1	4.0	7.3	0.9	1.0	0.8	1.1	6.0	0.014
5	新潟県	長岡	2.1	6.4	13.5	1.7	1.9	2.2	3.0	4.6	0.009
6	群馬県	前橋	1.2	15.2	34.1	1.4	1.5	2.6	2.9	5.9	0.002
7	千葉県	旭	2.8	2.0	294.9	1.2	1.4	2.4	2.9	—	—
8	千葉県	勝浦	5.7	4.9	9.7	2.5	3.4	4.3	2.1	—	—
9	千葉県	清澄	5.8	4.1	9.4	2.5	3.0	3.9	1.9	—	—
10	千葉県	市原	12.1	7.9	10.7	1.4	1.8	2.5	1.9	—	—
11	千葉県	佐倉	4.2	5.7	7.7	1.5	1.7	2.5	1.9	—	—
12	長野県	長野	1.2	7.4	8.9	1.2	1.3	1.1	1.9	5.1	0.016
13	富山県	射水	(2.1)	(3.6)	(5.0)	(0.8)	(0.9)	(0.7)	(1.4)	5.3	0.015
14	石川県	金沢	1.6	4.3	3.8	1.4	1.5	1.1	2.3	—	—
15	福井県	福井	3.8	5.6	8.2	1.3	1.5	1.8	2.3	5.2	0.015
16	岐阜県	伊自良湖	0.6	0.8	2.7	0.3	0.3	0.2	0.4	1.4	0.015
17	愛知県	豊橋	3.8	15.0	17.6	2.6	2.9	4.5	5.1	10.6	0.038
18	名古屋市	名古屋南	2.2	15.3	6.4	1.0	1.1	1.6	1.8	—	—
19	兵庫県	神戸須磨	(4.2)	(3.5)	(2.3)	(2.2)	(2.5)	(6.6)	(7.2)	12.8	0.023
20	福岡県	太宰府	3.9	14.3	13.8	2.5	2.7	4.0	6.0	10.3	0.027
21	大分県	大分	8.7	11.5	5.2	2.4	2.5	2.2	4.2	—	—
22	宮崎県	宮崎	19.0	10.6	22.2	6.8	7.7	9.3	15.6	—	—
23	鹿児島県	鹿児島	19.4	7.2	10.6	2.3	2.5	2.0	4.6	—	—
24	沖縄県	うるま	5.0	9.7	27.0	4.8	6.0	7.1	8.5	2.5	0.028 PS
25	沖縄県	辺戸岬	5.4	6.5	13.6	7.4	11.0	11.6	10.7	(0.1)	(0.002)
最低値			0.6	0.8	2.7	0.3	0.3	0.2	0.4	0.5	0.002
最高値			19.4	15.3	294.9	7.4	11.0	11.6	15.6	12.8	0.038
中央値			3.8	6.4	9.4	1.5	1.8	2.4	2.3	5.3	0.015
平均値			5.1	7.4	23.7	2.3	2.7	3.2	3.9	5.8	0.017

注) 全国最低値は網掛け、全国最高値は白抜きで、参考値は()で示した。また、右欄外のPSはパッシブ法で測定した NO_2 、 NO を示す。

31.7) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、還元態窒素成分が17.2(勝浦)～358.7(旭)(平均値 53.8) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ だった。NO_xを含めた酸化態窒素成分は22.2(長野)～56.9(太宰府)(平均値 38.8) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ だった。

総沈着量に占める乾性沈着量の比率(=乾性沈着量/(乾性沈着量+湿性沈着量)×100(%))は、非海塩由来硫黄成分が3%(伊自良湖)～67%(勝浦)(平均値 33%)、NO_xを除く酸化態窒素成分が2%(伊自良湖)～56%(勝浦)(平均値 34%)、還元態窒素成分が6%(伊自良湖)～83%(旭)(平均値 41%)だった。

対象とした20地点を6つの地域区分(北部(NJ, 2地点)、日本海側(JS, 4)、東部(EJ, 6)、中央部(CJ, 3)、西部(WJ, 4)、南西諸島(SW, 1))に分類して集計した年間総沈着量の中央値を図5.3.2に示した。NO_xの乾性沈着量については酸化態窒素成分に合わせて示した。

総沈着量は、非海塩由来硫黄成分はWJで、酸化態窒素成分および還元態窒素成分はJSで多かった。

中央値から算出した総沈着量に対して乾性沈着量が占める割合は、非海塩由来硫黄成分はSWで、酸化態窒素成分

分はSW, CJおよびWJで、還元態窒素成分はSWで大きく、JSはすべての成分で小さかった。

5.3.5 乾性沈着量の経年変化

FP法による大気濃度測定の実施を継続して実施している地点のうち、札幌北、新潟曽和、豊橋、神戸須磨、太宰府および辺戸岬の6地点について、2003年度からの乾性沈着量の経年推移を図5.3.3に示した。なお、神戸須磨の2023年度のデータは参考値となったことからプロットしていない。粒子状成分の乾性沈着量は、3成分とも辺戸岬が多く、札幌北および新潟曽和で少なかった。経年変化をみると、3成分とも沈着量の多い地点では、2014年以降減少傾向がみられ、特に2019年以降、辺戸岬の $\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$ および $\text{NH}_4^+(\text{p})$ の減少傾向は顕著であったが、2023年度は増加に転じた。その他の地点では概ね横ばい、またはやや減少傾向で推移していた。

ガス状成分の乾性沈着量の経年変化では、 $\text{SO}_2(\text{g})$ については、全地点とも減少傾向で推移し、特に沈着量の多い神戸須磨では近年の減少傾向が顕著であった。

$\text{HNO}_3(\text{g})$ については、神戸須磨、豊橋および太宰府の

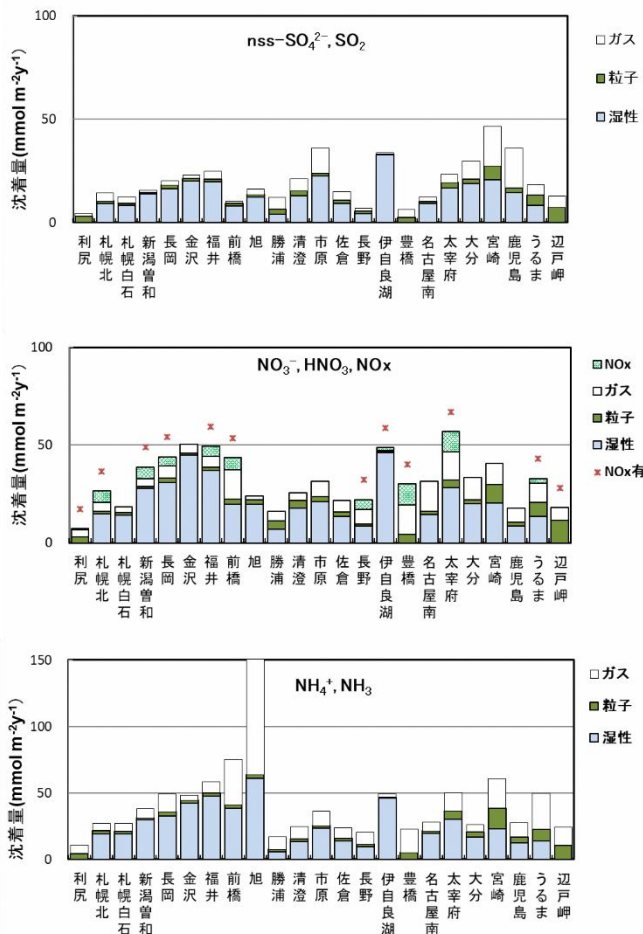


図5.3.1 調査地点の総沈着量（2023年度）

注) フィルターパック法による対象測定項目の年間値がすべて有効となった調査地点。なお、利尻、豊橋および辺戸岬は乾性沈着量のみ表示した。

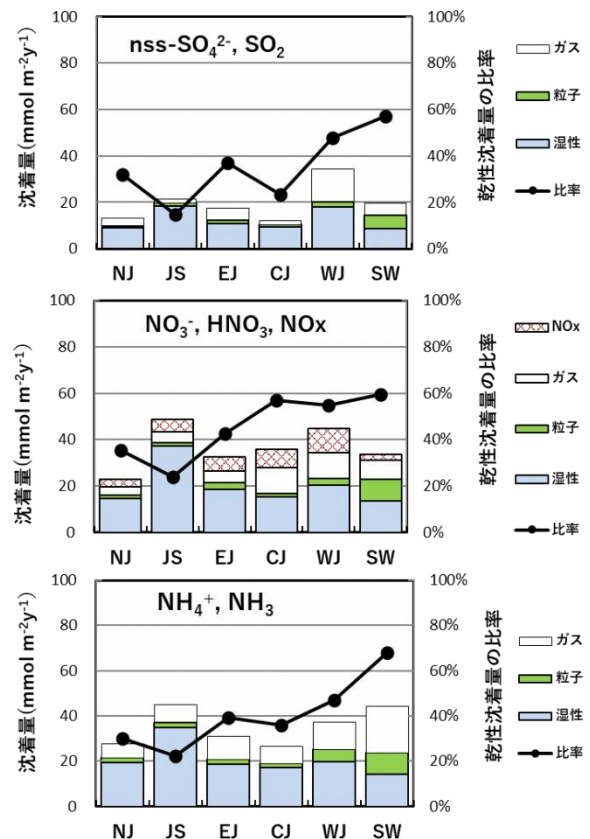


図5.3.2 各地域区別の総沈着量（2023年度中央値）

注) 乾性沈着量の比率 = 乾性沈着量 / (乾性沈着量 + 湿性沈着量), 中央値より求めた。

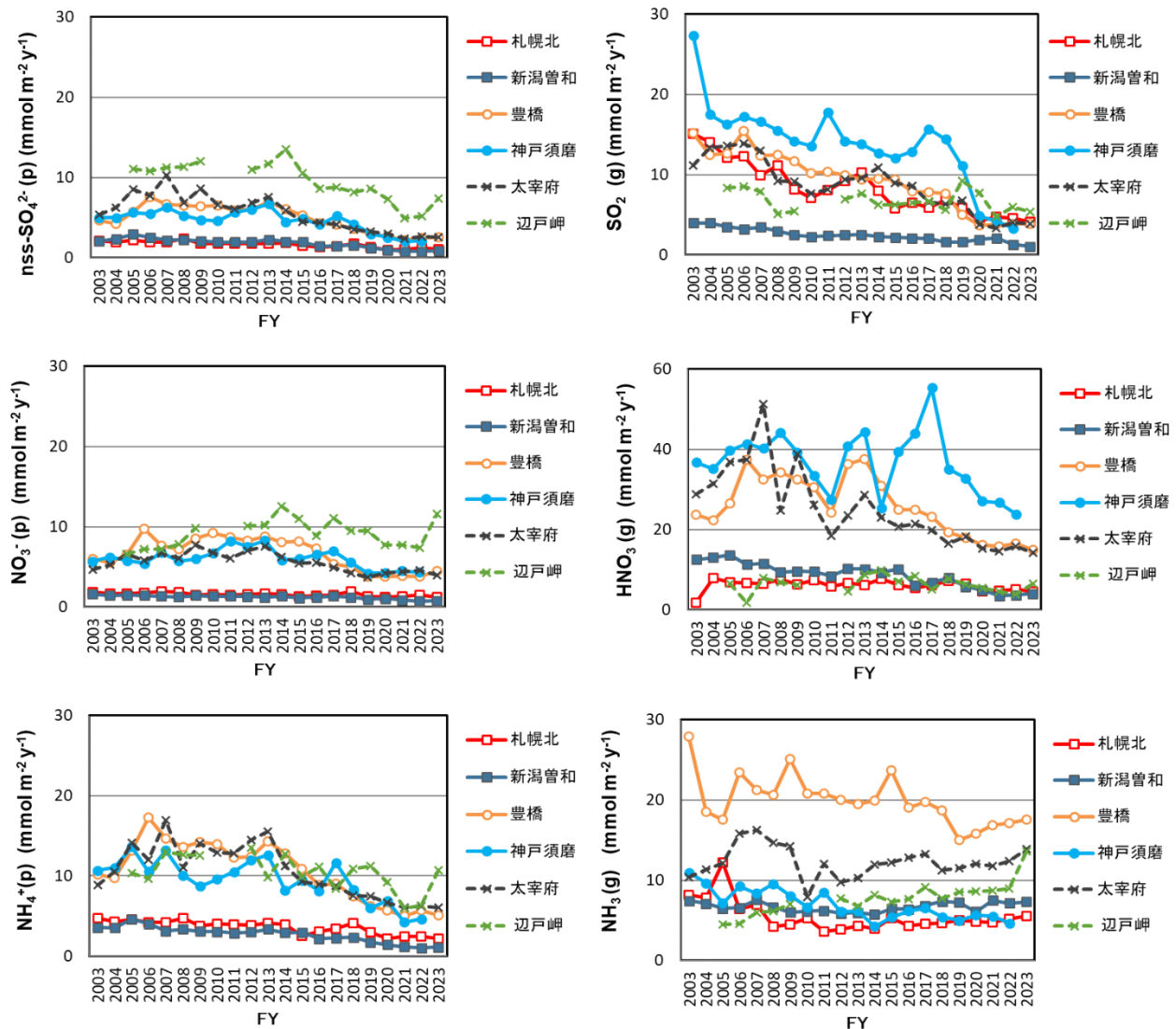


図5.3.3 継続調査地点における乾性沈着量の経年変化
(2003～2023年度)

沈着量が多かった。特に変動の大きい神戸須磨では顕著に減少しているが、その他の地点では2021年度以降、わずかに増加する傾向も認められた。

NH₃(g)については、豊橋の沈着量が最も多く、2019年まではやや減少傾向にあったが、その後、やや増加傾向で推移している。また、辺戸岬では、粒子状成分と同様に2023年度に増加傾向に転じた。その他の地点では、神戸須磨を除くと、ほぼ横ばい、またはわずかに増加する傾向が認められた。

－ 引用文献 －

- 1) Network Center for EANET: Technical Manual on Dry Deposition Flux Estimation in East Asia, Asia Center for Air Pollution Research, Niigata, 2010
- 2) 野口泉, 松田和秀: 乾性沈着ファイルの開発.
北海道環境科学研究センター所報, **30**, 23-28, 2003

- 3) 北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所ホームページ: 環境科学研究センター所報 第1号, 沈着速度推計プログラムv. 4. 2,
<https://www.hro.or.jp/industrial/research/eeg/development/publications/pub026.html> (2025.6.23 アクセス)
- 4) 気象庁ホームページ: 各種データ・資料,
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html> (2025.6.23 アクセス)
- 5) 環境省: 長期モニタリング報告書(平成15～19年度), 2009
- 6) 国土交通省国土政策局国土情報課: 国土数値情報ダウンロードサービス,
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html> (2025.6.23 アクセス)

6 乾性沈着（パッシブ法）

パッシブ法（以下、PS法）ではフィルターパック法（以下、FP法）で測定できないNO₂、NO_x、O₃と、FP法と共通で測定できるNH₃濃度の測定を行っている。

PS法で用いるパッシブサンプラーは1か月など比較的長期間の平均濃度の測定に使われるが、装置自体は小さくて電源を要しないことから、設置場所が自由に選べることで、安価であることから多地点での測定に有用な測定方法である。このため、大気常時監視局の少ない郊外や山間部において、PS法でO₃濃度測定を行った結果、都市部よりもO₃濃度が高い傾向が明らかになるなどの成果が得られている¹⁾。

NH₃については、FP法ではガス態のNH₃(g)と粒子態のNH₄⁺(p)を別々に捕集・測定している。しかし、気温が高いと捕集されたNH₄⁺(p)の一部がNH₃(g)に変化するため、測定されたNH₃(g)濃度が大気中濃度よりも高くなる場合が指摘されている²⁾。一方、PS法については、原理的にはNH₃(g)のみを捕捉するため、FP法で得られた結果への検証材料としても使用できる。

測定値について、いずれの項目も定量下限値としてEANETにおける定量下限値(0.1 ppb)を用いた。データの有効判定はFP法と同様に、完全度60%以上を有効とした。測定方法については第5次調査と同様とした。

なお、調査は通年で行い、試料捕集周期は1か月(4週間または6週間)とした。

6.1 データ確定

PS法による調査地点数および有効データ数等を表6.1.1に示す。欠測の理由としては、月データの完全度が60%未満、年データの完全度が80%未満、もしくはサンプラーの紛失や測定上の問題などがあった。

6.2 PS法による結果

PS法による結果について、調査地点および年平均濃度を図6.2.1および表6.2.1に示す。

測定項目により調査地点は異なっている。NO_x、O₃の測定地点の多くは北海道・東北地域に位置しているが、NH₃は北海道から沖縄まで広く分布している。

表 6.1.1 PS法による有効データ数（2023年度）

項目	地点数	月			年		
		データ数	欠測数	有効データ割合(%)	データ数	欠測数	有効データ割合(%)
NO	6	68	4	94.4	6	0	100
NO ₂	6	68	4	94.4	6	0	100
NO _x	6	68	4	94.4	6	0	100
O ₃	5	56	4	93.3	5	0	100
NH ₃	13	151	5	96.8	13	0	100

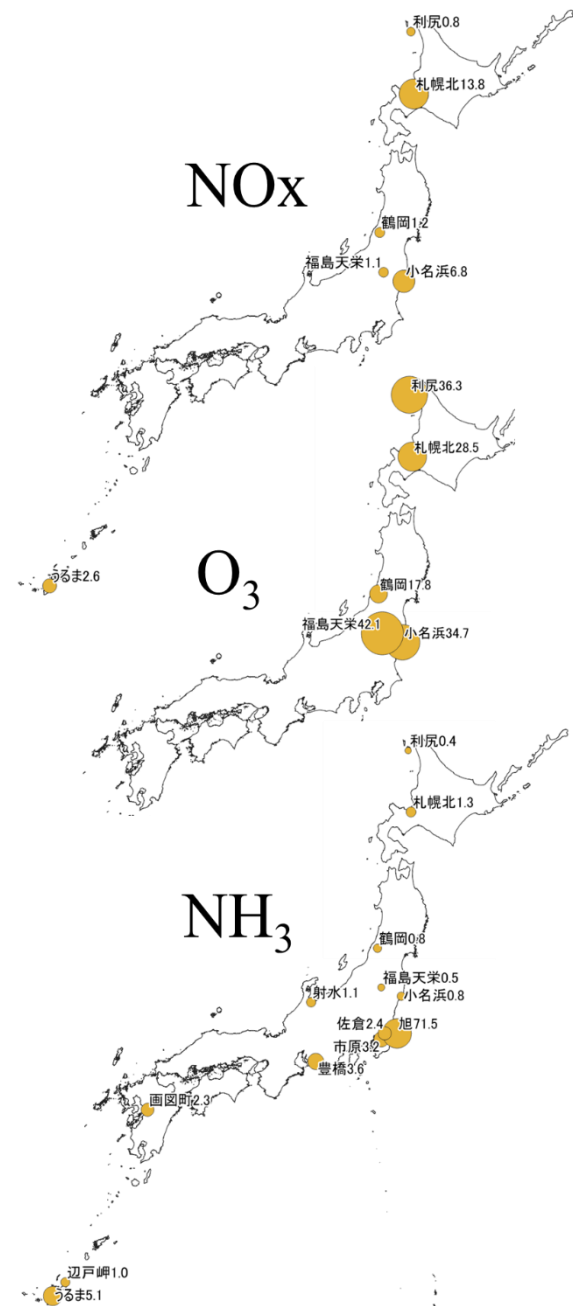


図 6.2.1 調査地点および年平均濃度(ppb)（2023年度）

表 6.2.1 PS法による年平均濃度（2023年度）

地点名	NO ₂ (ppb)	NO (ppb)	NO _x (ppb)	O ₃ (ppb)	NH ₃ (ppb)
利尻	0.3	0.6	0.8	36.3	0.4
札幌北	9.3	4.5	13.8	28.5	1.3
鶴岡	0.4	0.9	1.2	17.8	0.8
福島天栄	0.6	0.6	1.1	42.1	0.5
小名浜	6.0	0.8	6.8	34.7	0.8
市原					3.2
旭					71.5
佐倉					2.4
射水					1.1
豊橋					3.6
画図町					2.3
うるま	1.9	0.7	2.6		5.1
辺戸岬					1.0

6.2.1 NO_x

NO_x の月平均濃度の推移を図 6.2.1.1 に示す。

年平均濃度は例年と同様に、札幌北の 13.8 ppb が最も高かった。これは都市部に位置することと、特に冬に高濃度となるためで、これは暖房などの NO_x 排出量の増加と逆転層の形成などの気象要因によると考えられる。また、小名浜も札幌北に比較すると濃度は低いものの秋～冬季に高い傾向が見られた。その他の地点は年間を通して 4 ppb 未満と低く、また、明瞭な季節変化がないなど地点によって傾向は異なっていた。年平均濃度の最も低い地点は利尻の 0.8 ppb だった。

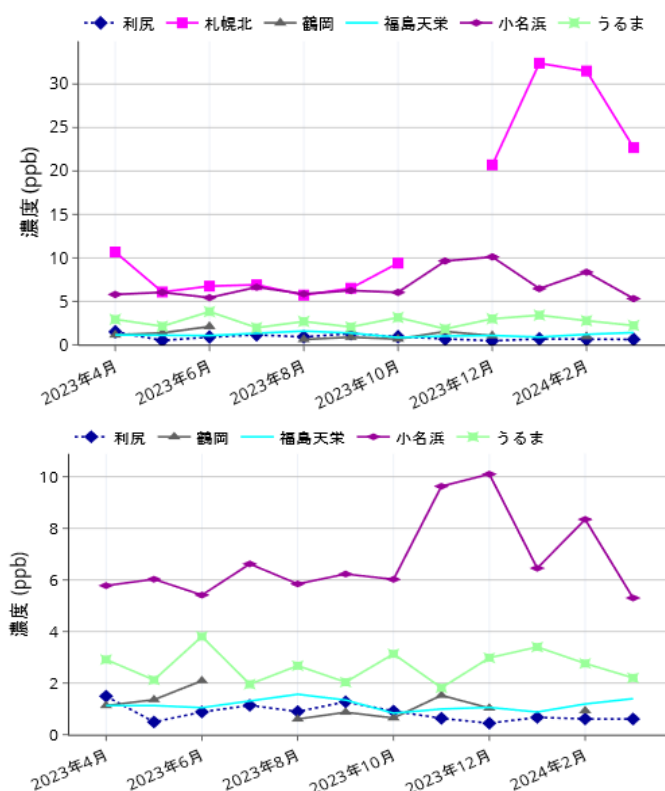


図 6.2.1.1 NO_x 月平均濃度 (ppb) (2023 年度)
(上段：全地点，下段：札幌北を除く地点)

6.2.2 O₃

O₃ の月平均濃度の推移を図 6.2.2.1 に示す。

年平均濃度は福島天栄の 42.1 ppb が最も高く、鶴岡の 17.8 ppb が最も低かった。福島天栄は 2、3 月に 60 ppb を超えるなど冬～春季に高濃度だった。一方、鶴岡は調査地点が山間地域の谷に位置しており、O₃ が周辺森林などと反応したために低濃度となったと考えられる。

月平均濃度では例年どおり冬～春季(2～4 月)に 40～50 ppb と高くなるが、その後は 9 月にかけて 20 ppb 未満と低くなり、また、9～10 月に増加する傾向だった。札幌北は 2022 年度に引き続き 2023 年度の 3 月もあまり増加しなかったが、近年、越境汚染の影響が少なくなったことが原因の一つと考えられる。

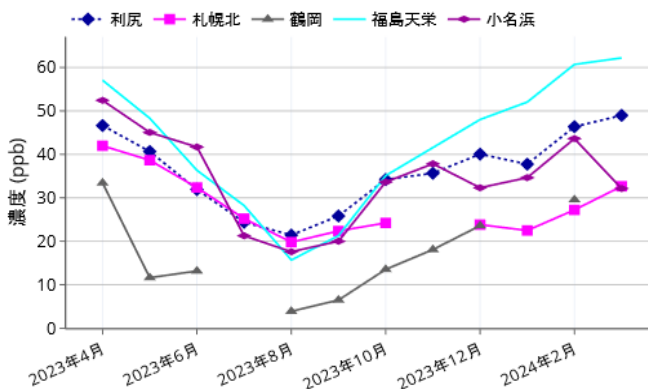


図 6.2.2.1 O₃ 月平均濃度 (ppb) (2023 年度)

6.2.3 NH₃

NH₃ の月平均濃度の推移を図 6.2.3.1 に示す。

年平均濃度は旭の 71.5 ppb が最も高く、次に高いのはうるまの 5.1 ppb だった。高濃度の地点は近傍の養鶏や酪農業等の影響を強く受けていると考えられる。最も低い年平均濃度は利尻の 0.4 ppb だった。季節変動では佐倉や利尻、射水、札幌北および福島天栄で春～夏季に高く、冬季に低い傾向がみられ、気温および積雪などの影響が考えられる。一方で、豊橋、市原および画図町は明確な季節変動がなく、これは近傍の発生源からの影響が季節風や位置関係により変化するためと思われる。うるまの 8 月から 10 月にかけて濃度が高いことも風向の変化が要因の可能性はある。

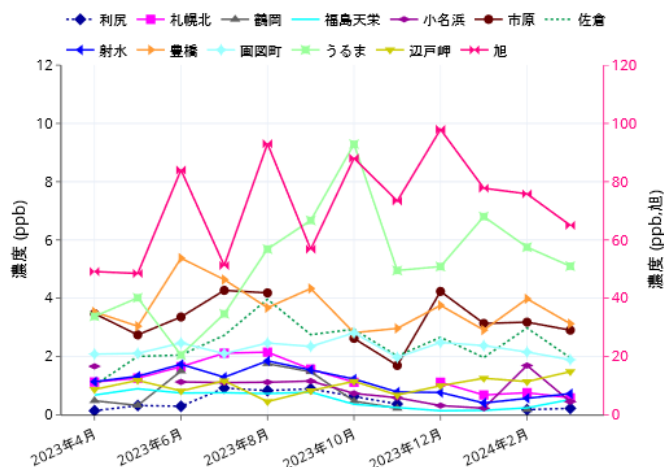


図 6.2.3.1 NH₃ 月平均濃度 (ppb) (2023 年度)
旭については右 Y 軸で示す

次に NH₃ の年平均濃度と周辺発生量の関係について、図 6.2.3.2 に示した。なお、旭は他の地点より極めて濃度が高いため除外した。

測定地点から半径 20 km 円内の周辺発生量³⁾と年平均濃度の関係は、うるまを除くと、これまでと同様に相関関係があると考えられ、近傍の発生源の影響が少なければ、大気中 NH_3 年平均濃度は半径 20 km 円内の発生源でおおむね決定されると考えられる。

－ 引用文献 －

- 1) 北村洋子，大泉毅，野口泉，家合浩明：全国酸性雨調査(65)：乾性沈着(0式パッシブサンプリング法によるオゾン濃度の動向)．第50回大気環境学会年会講演要旨集，p596，2009
- 2) 野口泉：ガス状および粒子状アンモニアの捕集測定方法(拡散デニューダ法，フィルターパック法およびパッシブ法)．第48回大気環境学会年会講演要旨集，p244-245，2007
- 3) 福井哲央，國領和夫，馬場剛，神成陽容：大気汚染物質排出インベントリEAGrid2000-Japanの年次更新．大気環境学会誌，49，117-125，2014

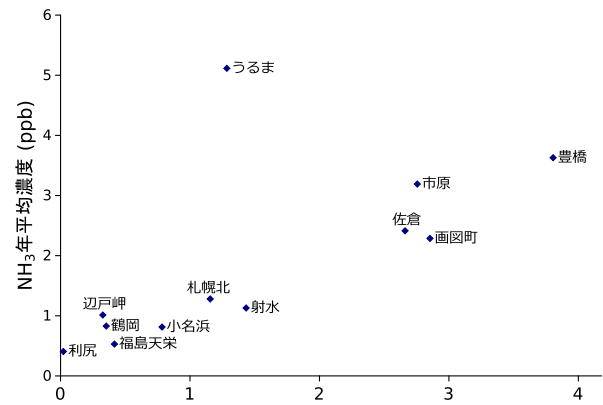


図 6.2.3.2 NH_3 年平均濃度 (ppb) と周辺発生量の関係 (2023 年度)

7. まとめ

全国環境研協議会による酸性雨全国調査は、第6次調査を2022年度に終了し、2023年度からはフェーズを区切らずに長期モニタリングとして実施することとした。

2023年度の酸性雨全国調査は、37機関において、湿性沈着が49地点、乾性沈着のうちFP法が25地点、パッシブ法が13地点、自動測定機による観測が14地点で実施された。調査結果の概要は以下のとおりである。

7.1 湿性沈着

湿性沈着調査については、49地点で実施した。

イオン成分濃度の年加重平均をみると、 H^+ は西部でやや高く、 $nss-SO_4^{2-}$ は北部と西部で高く、南西諸島で低かった。 NO_3^- は日本海側で高く、東部では地点ごとのばらつきが大きかった。 NH_4^+ は北部で高く、東部でばらつきが大きかった。また、イオン成分濃度は夏季に低く、冬季に高くなる傾向が確認された地域が多く、大陸からの汚染物質の移流が示唆された。特に2005年度までは、この傾向は日本海側で顕著であったが、2006年度には西部でも確認され、それ以降も引き続き同様の傾向がみられた。

経年的にみると、降水量はいずれの地点においても一定の範囲内で推移し、多くの成分および地域では減少または横ばい傾向が確認できるが、中央部および西部では2021年度以降、やや増加する傾向にある成分があった。

沈着量では、例年と同様に日本海側において、冬季に増加した。経年的には成分濃度と同様にほとんど横ばい傾向で推移していた。 H^+ 、 $nss-SO_4^{2-}$ および NH_4^+ では近年、微増傾向の地域がみられた。

7.2 FP法によるガスおよびエアロゾル濃度

FP法により25地点で調査を実施した。

ガス状成分では、 $SO_2(g)$ は西部で、 $HNO_3(g)$ は中央部および西部で高かった。 $HCl(g)$ は北部および日本海側で低かった。また、 $NH_3(g)$ については旭と前橋の2地点が特に高く、この地点を除くと東日本から西日本にかけて徐々に濃度が上昇していく傾向がみられた。

粒子状成分では、 $nss-SO_4^{2-}(p)$ は西部で、 $NO_3^-(p)$ は東部および西部で、 $NH_4^+(p)$ は西部で高かった。

FP法による調査を実施した25地点のうち、12地点については、インパクタを使用して粒子状成分を粗大粒子と微小粒子($PM_{2.5}$)に分けて採取した。参考値となった地点を除いて解析した結果、 $PM_{2.5}$ 中イオン成分濃度の範囲は $2.0 \sim 4.8 \mu g m^{-3}$ (平均値 $3.3 \mu g m^{-3}$)であり、昨年度と同レベルであった。最高値は太宰府、次いで鹿児島で、最低値は利尻であった。いずれの地点も $nss-SO_4^{2-}$ (51~66%)の寄与が最も大きく、次いで NH_4^+ (14~23%)であった。また、札幌白石、札幌北、豊橋および太宰府の4地点では、他の地点と比べて NO_3^- の割合が高かった。

季節変動では、特に $NO_3^-(p)$ について、ほとんどの地点で冬季に高く、夏季に低い傾向が顕著に認められた。

7.3 乾性沈着量

FP法により大気濃度測定を行った25地点について、乾性沈着の測定データを用いてインフレンシヤル法による乾性沈着量の推計を行った。

ガス状と粒子状成分を合わせた乾性沈着量については、非海塩由来硫黄成分の平均が $7.4 mmol m^{-2} y^{-1}$ となり、西部が多く、中央部が少なかった。 NO_x を含まない酸化態窒素成分については平均 $10.6 mmol m^{-2} y^{-1}$ 、また、還元態窒素成分については平均 $27.6 mmol m^{-2} y^{-1}$ となり、いずれも南西諸島が多く、北部は少なかった。

湿性沈着量と合わせた総沈着量でみると、非海塩由来硫黄成分は西部で、酸化態窒素成分および還元態窒素成分は日本海側で多かった。総沈着量のうち乾性沈着量が占める割合については、非海塩由来硫黄成分は南西諸島で、酸化態窒素成分は中央部、西部および南西諸島で、還元態窒素成分は南西諸島で大きく、日本海側はすべての成分で小さかった。

7.4 パッシブ法によるガス成分濃度

パッシブサンプラーにより O_3 (5地点)、 NO_x 、 NO_2 (6地点)、 NH_3 (13地点)で調査を実施した。年平均濃度が最も高かった地点は NO_x では札幌北(13.8 ppb)、 O_3 では福島天栄(42.1 ppb)、 NH_3 では旭(71.5 ppb)だった。各成分とも、濃度や季節変動などはおおむね例年どおりの傾向であった。