

ISSN 2424-1083

季刊 全国環境研会誌

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL LABORATORIES ASSOCIATION

Vol.48 No.3 2023 (通巻 168 号)



目 次

【巻頭言】

コロナ禍の非日常を経て、今後の環境問題に向けた地方環境研究所の役割…………… 藤崎淳一郎 / 1

【特 集／第6次酸性雨全国調査報告書2021（令和3）年度】

はじめに	/ 2
1. 調査目的	/ 3
2. 調査内容	/ 5
3. 気象概況および大気汚染物質排出量の状況	/ 7
4. 湿性沈着	/ 9
5. 乾性沈着（フィルターパック法）	/ 22
6. 乾性沈着（パッシブ法）	/ 39
7. まとめ	/ 42

…………… 全国環境研協議会 酸性雨広域大気汚染調査研究部会
岩永恵・加藤真美・倉橋雅宗・千島克隆・堤清香・豊岡久美子・
久恒邦裕・宮崎康平・家合浩明・山口高志・風見千夏・工平晴俊・
武蔵沙織

【報 文】

航空機騒音監視システムの構築	……………	大熊 一也 / 43
----------------	-------	------------

C O N T E N T S

Building an aircraft noise monitoring system	Kazunari OOKUMA	/ 43
--	-----------------	------

◆巻 頭 言◆

コロナ禍の非日常を経て、
今後の環境問題に向けた地方環境研究所の役割

宮崎県衛生環境研究所長 藤 崎 淳 一 郎



本年度、九州支部長を担当させていただくことになりました。宮崎県衛生環境研究所の藤崎です。支部長として全国環境研協議会の活動に円滑に取り組めるよう努めてまいりますので、どうぞよろしくお願い申し上げます。

近年、気候変動によるものと考えられる気温上昇や大雨が頻発しており、今年も既に大雨による災害が各地で発生しています。梅雨の終盤に差し掛かる7月には九州北部で線状降水帯の発生に伴う大雨特別警報が発令され、九州北部や中国地方などにおいて浸水や土石流発生等による人的被害や家屋被害のほか、インフラ損壊等の被害が発生しました。また、東北地方においても秋田県を中心に甚大な浸水被害が発生しました。これらの災害により亡くなられた方々の御冥福をお祈りするとともに、御遺族及び被災された皆様に心よりお見舞い申し上げます。

当研究所は、平成2年4月に旧宮崎県衛生研究所及び旧宮崎県公害センターの統合による発足と同時に、宮崎大学が立地する宮崎市学園木花台地区に移転し、企画管理課、微生物部、衛生化学部及び環境科学部の1課3部体制となりました。途中、平成10年4月に食品衛生検査における信頼性確保や食品衛生検査施設に対する内部点検の強化等を目的とした「食品衛生検査管理監」の設置、更に平成21年から26年にかけて保健所の検査部門の統合を経て、現在に至っております。

本協議会会員機関の大半は地方衛生研究所の機能を併有されていますが、当研究所も同様であり、令和2年からの「新型コロナウイルス」の感染拡大に直面して以降、所を挙げてPCR検査体制の強化に取り組んでまいりました。特に微生物部の職員は、休む暇もなくPCR検査に追われることが日常となり、他部の職員も新型コロナウイルスの検査等のサポートに入るなど、全所的に通常業務の実施が困難になりました。同じく感染症対策の最前線たる各保健所においても、感染症担当の職員が日夜問わず感染者の対応業務に追われるなど非常に過酷な状況となる中、環境対策を担当する職員も新型コロナウイルス対策の応援に入る必要が生じたことで、環境対策業務の大きなウェイトを占める特定事業場を対象とする採水立入検査が

困難となるなど、通常業務に多大な支障をきたしました。以上の「非日常」のような状況を経て、昨年からはPCR検査業務が民間検査事業者に移行したことで、当研究所ではゲノム解析を中心に実施できていること、本年5月の2類相当から5類への移行もあつて、市井と同様に当研究所や各保健所はコロナ禍前の状況に戻りつつあると感じております。しかし、新型コロナウイルスそのものが無くなったわけではなく、感染力の強い変異株の出現、5類移行後から夏場にかけて感染者数が増加傾向にあること等を考慮すると、決して油断はできないと感じております。従いまして、特に地方衛生研究所の立場としては、これからも感染状況の動向に注目し、日々情報の収集に努めてまいりたいと考えているところです。

さて、本県は「日本のひなた宮崎県」というキャッチフレーズにあるように、全国有数の温暖な気候のもと、豊かな森林や水資源、更にはそこで育まれる多様な動植物など、素晴らしい自然環境に恵まれております。これらの例として、平成3年以降32年連続で日本一を達成しているスギ素材生産量、ここ20年以上にわたるBOD又はCODに係る環境基準達成率95%超の公共用水域の水質状況などが挙げられます。しかし一方では、化学物質による汚染も大変懸念されており、特に最近の例ではPFOS・PFOA等の人体に有害とされる難分解性化学物質による汚染が国内において確認されています。幸いにして、本県では指針値を超過する汚染事例は確認されておりませんが、このような環境中の化学物質の監視については、今後、我々地方環境研究所の大きな役割になっていくものと考えております。そのためには、予算的に厳しい中での分析機器の整備や人員の確保のほか、異動サイクルの短期化を踏まえた分析技術の継承等様々な課題がありますが、本庁水質保全主管課とも協議を重ねながら目指すべき方向を定め、進んで行きたいと思っております。

このような化学物質による汚染等の対策については、本協議会のネットワークを活用することで、より良い解決に導くことができると思いますので、九州支部長として少しでもお役に立てればと考えております。

＜特 集＞

第6次酸性雨全国調査報告書2021（令和3）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

岩永恵，加藤真美，倉橋雅宗，千島克隆，堤清香，豊岡久美子，久恒邦裕，
宮崎康平，家合浩明，山口高志，風見千夏，工平晴俊，武蔵沙織

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，現在2016年度からの第6次調査を実施しています。

当報告書では，第6次調査の6年目である2021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（パルク）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。この結果，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は，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が示唆されました。

第3次調査（1999～2001年度）では，湿性沈着（降水時開放型捕集装置法）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。この結果，都市部における酸性雨の状況，硫黄酸化物や窒素酸化物の地域特性，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行いました。

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できない窒素酸化物やオゾン濃度等が測定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年度～）では，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段もしくは6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，本部会の取組は，日本における酸性雨調査を面的および项目的に補完しており，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，全国的な情報・知見の集積を行う上で，地方研究機関の役割・貢献が極めて大きいことを示していると思われます。われわれ地方環境研究機関が中心となって独自の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思われます。

最後になりましたが，行財政状況の大変厳しい中，本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と調査担当の皆様，本調査の企画・解析等にご尽力されました各委員，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，（一財）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その他多くの皆様に，この場をお借りしまして，深くお礼申し上げます。引き続き，当部会の活動に皆様のご支援・ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

令和5年9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 青木 政浩

（山形県環境科学センター所長）

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およびNO_x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おかずに第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。調査の目的が果たせたことから2015年度で第5次調査を終了し、第6次調査を2016年度から開始した。

第6次調査は、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のモニタリングを実施している。湿性沈着に関しては、

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）による湿性沈着の把握を、乾性沈着に関しては、大気中のガス/エアロゾル濃度の測定により沈着量の見積りを行う。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パッシブ法、(iii)自動測定機による測定の方法の3つの手法を併用して行う。第6次調査の特徴としては、①第5次調査から準備年をおかずに継続して実施していること、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}）とを分けた採取を推奨していることである。②については、反応性窒素成分である湿性のNO₃⁻およびNH₄⁺、乾性の粒子状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ている。③については、従来の4段ろ紙法の構成に加え、前段にインパクタ（I0ろ紙）を装備した5段構成により行う。この利点として、(i)粒径別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る。

表1.1.1 全国環境研協議会・酸性雨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	
	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	フィルターバック法による原則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	フィルターバ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	バッシブサンプラー（O式およびN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	夏季および冬季の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				
調査対象	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	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：26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		
	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	フィルターバ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	バッシブサンプラー（O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	フィルターバ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、インパクタ装備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	バッシブサンプラー（O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			
	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（2018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.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.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.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.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.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.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.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.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.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.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））								

(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。

なお、第1～5次調査結果および第6次調査のうち2018年度までの結果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/index.html>）に掲載されており、今後も掲載予定である。

go.jp/dataset/acidrain/ja/index.html）に掲載されており、今後も掲載予定である。

表2.1.1 調査地点の属性および調査内容

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	☆	☆	○	☆	46	0.7	3	3	4	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	141.3336	☆	○	○	☆	12	13	8	9	9	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	青森県環境保健センター	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	青森県環境保健センター	0.12	0.61	0.44	NJ	40.7831	140.2382	○				30	0.4	13			都市計画未指定			
	岩手県	盛岡	岩手県環境保健研究センター	0.77	3.24	1.30	NJ	39.6781	141.1328		○			125	70		12		準工業地域			
	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	39.7197	140.1264	○				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	38.5525	139.8650			○		220	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）				
新潟曽根		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				
栃木県		宇都宮 ^{注5)}	栃木県保健環境センター	1.63	6.11	2.54	EJ	36.6004	139.9404	○				140	65	10			住宅地			
埼玉県		さいたま	さいたま市健康科学研究所	3.62	28.04	4.63	EJ	35.8621	139.6455	○				15	35	16			商業地域			
関東・甲信・静岡	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	0.61	0.61	EJ	35.1795	140.2659	○	○			97	4.4	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）		
	川崎 ^{注6)}	川崎市環境総合研究所	11.93	55.66	3.48	EJ	35.5411	139.7540	○				4	3.2	20			準工業地域				
	長野県	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				
	富山県	射水 ^{注7)}	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）			
	近畿・東海・北陸	石川県	金沢	石川県保健環境センター	1.48	3.76	0.95	JS	36.5270	136.7058	○	○			120	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	○			○	12	18	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	35.5706	136.6975	☆	☆		☆	140	58	4	4		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	○	○	▲		19	6	8	8	8	住居地域			
		大崎	愛知県環境調査センター東三河支所	1.29	6.00	3.80	CJ	34.7171	137.3443				○	17	1				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	17		準工業地域			
和歌山県		和歌山 ^{注8)}	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			商業			
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	11			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			
	広島県	広島安佐南	広島市衛生研究所	1.87	7.27	0.99	WJ	34.4615	132.4074	○				73	11	10			住居地域			
	山口県	山口	山口県環境保健センター	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	松山	愛媛県立衛生環境研究所	5.86	9.87	0.89	WJ	33.8382	132.7542	○				17	5	19			商業地域			
		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	曲洲 ^{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	○				4	11	9			第1種住居地域（市街地）		
	九州・沖縄	長崎県	長崎	長崎県環境保健研究センター	0.57	2.91	0.62	WJ	32.7621	129.8629	◇				4	1.3	8			商業地域		
		熊本県	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		
			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)}	熊本市環境総合センター	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	31.8321	131.4161	○	○			14	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				42				調査地点数				53				26	13	15				

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，◇：長崎市からデータ提供，◆：佐世保市からデータ提供，▲：一部実施

注3) FP：インパクト付き5段折紙法または4段折紙法，O式：パンプ法，自動NO_x：常時監視用自動測定装置によるNO_x・NO₂測定結果

注4) 2015/11/2から測定地点変更 注5) 旧名称は河内 注6) 2013/1/23から測定地点変更 注7) 旧名称は小杉

注8) 2017/9/11から測定地点変更(海南市役所→日方小学校)、2018/4から地点変更(海南→和歌山)

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)

2. 調査内容

2.1 調査概要

2021年度の調査参加機関は表2.1.1に示す42機関であり、湿性沈着調査地点は53地点、乾性沈着調査地点は33地点（FP法：26地点、パッシブ法：13地点、自動測定機：15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。

2021年度の調査期間は原則として2021年3月29日～2022年3月28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われた。2021～2022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

季節	月	2021年度	週
春	4	3月29日 ～ 4月26日	4
	5	4月26日 ～ 6月7日	6
夏	6	6月7日 ～ 7月5日	4
	7	7月5日 ～ 8月2日	4
	8	8月2日 ～ 8月30日	4
秋	9	8月30日 ～ 9月27日	4
	10	9月27日 ～ 10月25日	4
	11	10月25日 ～ 12月6日	6
冬	12	12月6日 ～ 1月4日	4
	1	1月4日 ～ 1月31日	4
	2	1月31日 ～ 2月28日	4
春	3	2月28日 ～ 3月28日	4

注）週単位の試料交換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	千葉市環境保健研究所	大塚 正毅	2021	
	〃	西村 正樹	2022	
理事委員	神奈川県環境科学センター	長谷川 陽一	2021	
	〃	池貝 隆宏	2022	
支部委員	山形県環境科学研究センター	渡邊 一史	2021	D
	〃	千島 克隆	2022	D
	茨城県霞ヶ浦環境科学センター	豊岡 久美子	2021-2022	D
	石川県保健環境センター	加藤 真美	2021-2022	D
	島根県保健環境科学研究所	藤井 未希	2021	D
	〃	倉橋 雅宗	2022	D
	長崎県環境保健研究センター	横田 哲朗	2021	D
	〃	堤 清香	2022	D
委員	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	山口 高志	2021-2022	1-3, 6章
	新潟県保健環境科学研究所	家合 浩明	2021-2022	総括, 1-3, 5.3章
	名古屋市環境科学調査センター	久恒 邦裕	2021-2022	4章
	山口県環境保健センター	岩永 恵	2021-2022	1-3, 5.3章
	福岡県保健環境研究所	宮崎 康平	2021-2022	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	2021-2022	
	京都大学	村野 健太郎	2021-2022	
	公立大学法人 北九州市立大学	藍川 昌秀	2021-2022	
	京都大学フィールド科学教育研究センター	徳地 直子	2021-2022	
	国立研究開発法人 国立環境研究所 気候変動適応センター	向井 人史	2021-2022	
	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	2021-2022	
	大気環境学会中国・四国支部	大原 真由美	2021-2022	
	環境省	馬島 貴教	2021	
	〃	吉本 隆寿	2022	
事務局	千葉市環境保健研究所	工平 晴俊	2021-2022	
	〃	武蔵 沙織	2021-2022	
	〃	風見 千夏	2021-2022	

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、全環研として解析を行った。

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週間であった。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法に関するマニユ

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+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小川式パッシブ法（以下、パッシブ法）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か月であった。

SO_2 は NO_x に比べて大気中濃度が低く捕集量が少ない。このため、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、従来のトリメ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、一部は乾性沈着量の評価にも用いた。本データには高濃度地域に対応するための常時監視データも含まれており、一部はFP法より精度が低い場合もあった。

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、目的に応じてデータおよび地点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1km四方）ごとに得られており、調査地点周辺の半径20km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20km以内のものとした。周辺排出量の計算は、（排出量合計）／（半径20kmの円の面積）で行った。

ー 引用文献 ー

- 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（2022.1.6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，28，2-196，2003
- 3) 松本光弘，村野健太郎：インフレーション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/publications/>（2022.1.6アクセス）
- 5) 恵花孝昭，野口泉，樋口慶郎：2009.0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
- 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（2022.1.6アクセス）

uri-kankyo/kankyohozen/kansoku/science/shiryo/sonotahoukokusyo/201008.files/0004_20200821.pdf（2022.1.6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ー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

2021年の概況を表3.1.1に示す。また、黄砂観測日数は2019年度が8日，2020年度が12日に対し，2021年度は，4月に2日，5月に5日および3月に5日観測された²⁾。

表3.1.1 気象概況¹⁾

春	平均気温は全国的にかなり高かった。 3月に日本付近への寒気の南下が顕著に弱かったことなどから、春の平均気温は全国的にかなり高かった。
	日照時間は沖縄・奄美でかなり多かった。 移動性高気圧や太平洋高気圧の影響を受け、梅雨前線の影響が小さかった沖縄・奄美では日照時間がかなり多かった。
	降水量は北日本と西日本太平洋側でかなり多かった。 期間を通して低気圧や前線の影響を受けやすかった北日本と、5月に梅雨前線の影響を受けた西日本太平洋側では降水量がかなり多かった。なお、梅雨前線が平年より早く北上したため、西日本の各地方と東海地方では、平年よりかなり早く梅雨入りしたとみられる。
	北日本の日照時間はかなり多く、気温はかなり高く、北日本日本海側の降水量はかなり少なかった。 7月後半を中心に太平洋高気圧に覆われ、その前後も高気圧に覆われやすかったため、北日本の夏の日照時間はかなり多く、気温はかなり高く、北日本日本海側の降水量はかなり少なかった。
夏	沖縄・奄美の降水量は多く、日照時間は少なかった。 沖縄・奄美では、7月の終わりに台風第6号が沖縄付近をゆっくり進んだのをはじめ、熱帯低気圧や台風の影響をたびたび受けたため、夏の降水量は多く、日照時間は少なかった。
	東日本太平洋側と西日本で降水量がかなり多かった。 東日本太平洋側の7月上旬の梅雨前線による大雨や、8月中旬を中心に本州付近に停滞した前線の大雨で、東日本太平洋側と西日本の夏の降水量はかなり多かった。
	平均気温は北・西日本で高かった。 北日本では、11月を中心に寒気の影響が弱く、加えて低気圧の前面で南から暖かい空気が流れ込みやすかったため、気温が高くなった。また、西日本では、9月から10月にかけて高気圧に覆われて晴れた日が多かったことなどから、気温が高くなった。
秋	日照時間は全国的に多く、北日本日本海側、東日本と沖縄・奄美ではかなり多かった。 日照時間は全国的に多く、9月に高気圧に覆われやすかった北日本日本海側、10月から11月にかけて覆われやすかった東日本、9月から10月にかけて覆われやすかった沖縄・奄美ではかなり多かった。
	降水量は北日本日本海側で多く、東日本太平洋側、西日本と沖縄・奄美で少なかった。 北日本日本海側では、10月から11月にかけて低気圧や前線の影響を受けやすかったため降水量が多くなった。一方、秋雨前線や台風の影響が小さかった東日本太平洋側、西日本と沖縄・奄美では降水量が少なかった。
冬	平均気温は東・西日本で低かった。 東・西日本では12月下旬以降に強い寒気の影響を受けたため、気温が低くなった。
	日照時間は北・西日本と東日本太平洋側で多く、沖縄・奄美で少なかった。 日照時間は、冬の間、断続的に冬型の気圧配置が解消する時期があった北日本と、低気圧の影響を受けにくかった西日本と東日本太平洋側で多かった。寒気や低気圧の影響を受けやすかった沖縄・奄美では少なかった。
	北日本日本海側の冬の降水量はかなり多く、降雪量は多く、西日本の冬の降水量はかなり少なかった。 北日本日本海側では、12月下旬以降の低気圧の通過や冬型の気圧配置の強まりのため、降水量がかなり多く、降雪量は多かった。1月下旬から2月にかけて前線や低気圧の影響を受けやすかった沖縄・奄美でも降水量は多かった。一方、西日本では高気圧に覆われやすく、冬を通して低気圧の影響を受けにくかったことから、降水量はかなり少なかった。

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、中国およびインド、極東ロシアが多い³⁾。図3.2.1に中国のSO₂, 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2020年まで減少傾向であった。今後も傾向を注視する必要がある。

NO_x排出量については、2011年以降減少傾向にある。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⁾。

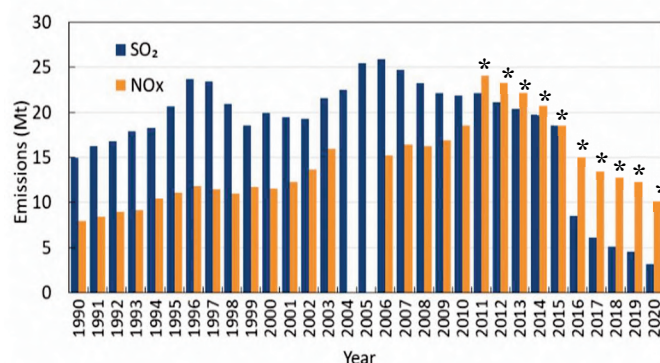


図3.2.1 中国におけるSO₂およびNO_x排出量⁴⁾
(*2011年以降はNO_xに自動車起源が加算)

－ 引用文献 －

- 1) 気象庁報道発表資料, <http://www.jma.go.jp/jma/press/topics.html> (2022.11.2 アクセス)
- 2) 気象庁：黄砂, http://www.data.jma.go.jp/gmd/ev/kosahp/kosa_index.html (2022.11.2 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/> (2022.11.3 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) 大原利眞：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) Kannari A., Tonooka Y., Baba T., Murano K.: Development of multiple-species 1 km × 1 km resolution hourly basis emissions inventory for Japan, *Atmos. Environ.*, **41**, 3428-3439, 2007
- 8) 都市環境学教材編集委員会：都市環境学, 森北出版, 2003

4. 湿性沈着

湿性沈着調査では、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、2021年度のとりまとめについて報告する。

2021年度の湿性沈着調査に対し、42機関53地点の参加があった。ただし、4.1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、他の学術機関との共同研究および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、全国環境研協議会酸性雨広域大気汚染調査研究部会（以下、全環研）で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⁾を参照頂きたい。

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。

2021年度は、月間データでは616個中8データ（1.3 %）が除外され、年間データでは53地点中3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 ）と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616個のデー

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

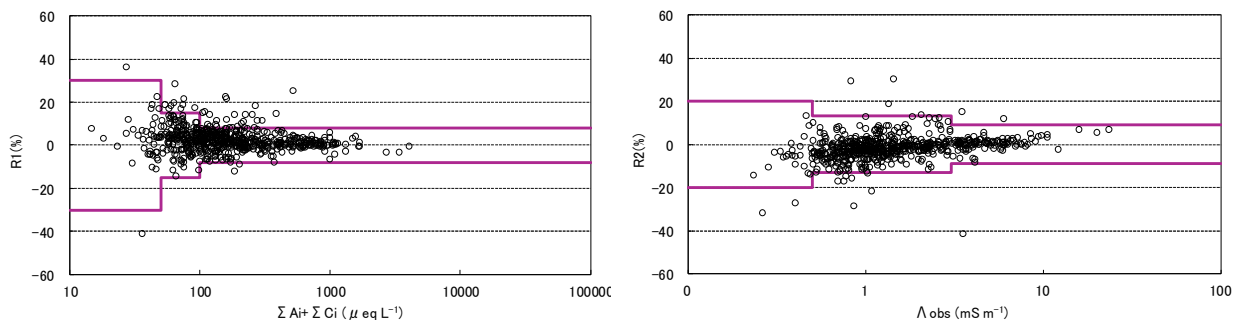


図4.1.1 イオンバランス（ R_1 ）と総イオン濃度（ $\Sigma A_i + \Sigma C_i$ ）および電気伝導率バランス（ R_2 ）と実測値との比較

タ中、 R_1 が許容範囲内にあったデータは575個（適合率93.3%）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599個（適合率97.2%）であった。 R_1 および R_2 の分布を図4.1.1に示す。2012～2021年度における R_1 および R_2 の適合率は、 R_1 :92～97%、 R_2 :97～99%の範囲にあり高いレベルで保たれている^{1,3-12)}。ただし、近年は以前と比較すると R_1 が下がっている。各機関において、連続して許容範囲を外れる場合などには、分析手順等の見直しの機会として頂きたい。

次に、分析精度管理調査について検討した。環境省が国設酸性雨測定所（以下、国設局）を有する自治体を対象に行っている酸性雨測定分析機関間比較調査は、全環研から環境省への要望により、国設局以外の希望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）として実施されている。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、2021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（以下、国設局管理機関）15機関を除き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（以下、全環研報告機関）は24機関であった。

精度管理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、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク（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際には、酸性雨測定分析機関間比較調査結果報告書¹³⁾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が付いた機関は無かった。また、低濃度試料では、DQOを満たすデータが93.4%、フラグEが付いたデータは5.0%で、フラグXが付いた機関は1.6%であった。フラグ付与率は高濃度試料、低濃度試料ともに2020年度¹²⁾から増加した。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2020年度¹²⁾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

		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	0	0	1	0	0	2	1	2	0
	フラグX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	相対標準偏差	2.5	2.2	2.6	3.6	3.1	3.6	7.4	5.0	5.4	4.1
		(n=31)	(n=31)	(n=32)	(n=31)	(n=32)	(n=32)	(n=32)	(n=31)	(n=31)	(n=32)
低濃度試料	フラグE	0	0	0	2	0	1	5	1	5	2
	フラグX	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0
	相対標準偏差	2.3	3.3	4.3	6.1	4.2	5.0	9.0	6.6	7.6	4.6
		(n=32)	(n=32)	(n=32)	(n=31)	(n=32)	(n=31)	(n=31)	(n=31)	(n=31)	(n=31)

表4.1.3 定量下限値が精度管理目標値を満たしていない機関数、およびその機関のうち分析精度管理調査でフラグが付与された機関数

	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
定量下限値がDQOsを満たしていない機関数	0	0	0	2	0	3	1	0
上記機関のうち、高濃度試料のフラグがついた機関数	0	0	0	0	0	1	0	0
上記機関のうち、低濃度試料のフラグがついた機関数	0	0	0	0	0	1	0	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

一方、国設局管理機関（15機関）の2021年度分析精度管理調査¹³⁾では、高濃度試料でDQOを満たすデータは99.3%，フラグEが付いたデータは0.7%であり、フラグXが付いたデータはなかった。また、低濃度試料では、DQOを満たすデータは98.0%，フラグEが付いたデータは2.0%，フラグXが付いたデータはなかった。高濃度試料、低濃度試料ともpHおよび陰イオンにフラグが付与されたデータはなかった。

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。2021年度の相対標準偏差は、高濃度試料は陰イオン：2.6～3.6%，陽イオン：3.6～7.4%，低濃度試料は陰イオン：4.2～6.1%，陽イオン：4.6～9.0%であり、2020年度¹²⁾と同様に K^+ 、 Ca^{2+} および Mg^{2+} のバラツキが大きかった。国設局管理機関における2021年度分析精度管理調査¹³⁾の相対標準偏差は、高濃度試料では陰イオン：1.2～1.7%，陽イオン：1.9～5.0%，低濃度試料では陰イオン：2.3～4.1%，陽イオン：3.1～8.2%であった。

以上の結果から、フラグ付与率および相対標準偏差は、全環研報告機関のほうが国設局管理機関より高かった。

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、低濃度試料では陽イオンであり、陽イオン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：2.5%，低濃度試料：2.3%）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。イオン成分の定量下限値が定量下限値に係るDQOを満たしていない機関数と、その機関のうち分析精度管理調査でフラグが付与された機関数について表4.1.3に示した。定量下限値がDQOを満たしていない機関数は、 Ca^{2+} で3機関と最も多く、 Na^+ で2機関および Mg^{2+} で1機関であった。定量下

限値がDQOを満たしていない機関のうち、分析精度管理調査の高濃度試料と低濃度試料でフラグが付与された機関数は、定量下限値がDQOを満たしていない機関があったての測定項目において1機関のみであった。フラグが付与されたからといって定量下限値>DQOであるということではなかった。

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いての R_1 および R_2 の管理だけにとどまらず、酸性雨測定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「標準参照試料」として利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と考える。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、各機関にて捕集装置の洗浄確認等の自主管理が実行できるようにとの目的から、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、採取装置の洗浄を徹底し、チューブの交換などを実施することで、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、流路からの汚染が少なく保たれているか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、2021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⁾を参照頂きたい。

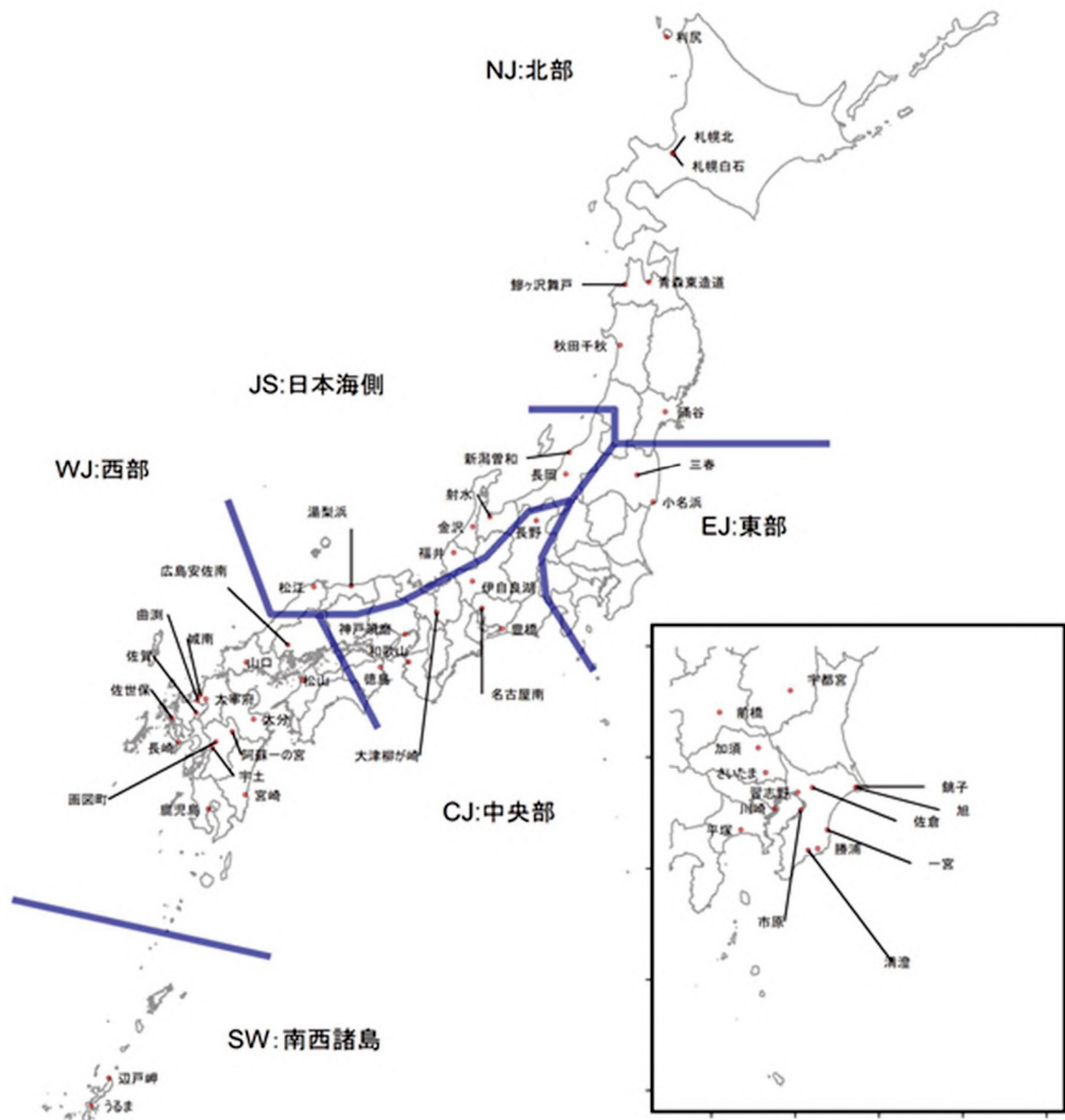


図4.2.1 地域区分

4.2.2 pH, ECおよびイオン成分濃度の年加重平均値

2021年度の年間データが有効となった地点(50地点)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、地域区分別に箱ひげ図を図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。

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項目について、2021年度の季節変動（中央値）を地域区分別に図4.2.3に示す。

ほとんどの地域において夏季に濃度が低下し、冬季に多くの物質の濃度が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、2005年度までは、この大陸からの越境大気汚染を示唆する傾向は、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³⁾、2007～2021年度も引き続き同様の傾向がみられた⁴⁻¹²⁾。

4.2.4 イオン成分濃度の経年変動

重要と考えられる項目の経年変動について、図4.2.4に示す。各年度の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、2012～2021年度の10年間のうち7年以上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。

表4.2.1 湿性イオン成分等の地点別加重平均濃度

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⁻	ns-s-SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	ns-s-Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺
		SO ₂	NO _x	NH ₃														
利尻	NJ	0.81	0.44	0.02	854	5.04	4.30	22.4	8.9	15.7	249.2	18.0	222.0	5.7	10.2	5.2	27.2	9.0
札幌北	NJ	2.76	14.57	1.15	1087	5.04	2.44	13.2	6.7	9.5	127.0	12.3	108.6	3.0	5.2	2.8	13.3	9.2
札幌白石	NJ	2.72	14.72	1.27	1157	5.09	2.48	13.8	6.8	9.0	135.5	12.4	114.1	2.8	5.5	2.9	13.1	8.1
青森東遼道	NJ	0.74	2.19	0.42	1315	5.08	4.25	22.5	9.2	17.8	266.1	16.2	219.4	4.6	8.0	3.1	24.4	8.3
磐ヶ沢舞戸	NJ	0.12	0.61	0.44	(833)	(5.02)	(5.95)	(30.3)	(9.2)	(18.2)	(418.1)	(15.2)	(346.6)	(7.5)	(10.8)	(3.1)	(38.7)	(9.7)
涌谷	NJ	1.07	3.64	2.28	964	5.17	0.99	5.5	3.7	7.8	34.7	8.6	29.8	0.9	2.2	1.5	3.2	6.8
秋田千秋	NJ	3.40	4.17	0.48	1701	5.18	3.21	18.2	8.7	17.6	181.8	21.6	158.2	3.7	6.9	3.4	18.0	6.7
三春	EJ	0.64	3.60	1.29	1302	5.29	0.53	4.7	4.3	9.7	8.0	10.5	6.2	0.6	3.2	3.1	1.5	5.1
小名浜	EJ	9.47	11.50	0.78	1365	5.05	1.26	9.5	6.9	8.0	53.0	7.7	43.8	0.9	2.3	1.3	4.6	8.8
新潟曾和	JS	1.41	6.04	1.00	1890	5.03	3.06	15.8	7.1	15.7	166.9	15.5	144.2	3.8	6.3	3.1	16.7	9.4
長岡	JS	0.66	2.83	0.59	1825	5.03	3.09	17.4	8.7	17.2	164.6	19.0	142.7	3.6	6.3	3.1	16.6	9.3
宇都宮	EJ	1.63	6.12	2.53	1598	6.08	0.79	6.7	6.1	15.4	11.5	21.4	9.7	0.5	2.3	2.1	1.2	0.8
さいたま	EJ	3.70	28.65	4.67	1509	5.12	0.99	7.7	6.8	18.3	17.3	21.4	14.3	0.5	3.3	3.0	1.9	7.6
前橋	EJ	1.89	7.58	6.83	1067	5.51	0.87	7.1	6.6	19.1	11.1	34.1	9.1	0.8	2.8	2.6	1.4	3.1
市原	EJ	9.71	36.61	2.79	1512	5.44	1.07	11.6	9.8	6.8	36.1	11.2	29.5	1.2	7.3	6.6	4.4	3.6
銚子	EJ	8.61	6.89	3.67	1312	5.81	2.32	10.7	3.4	5.4	142.9	15.9	119.0	3.3	4.1	1.4	14.1	1.6
一宮	EJ	0.11	1.12	0.85	1757	5.57	1.35	7.3	3.6	6.2	71.8	8.7	60.6	1.8	3.2	1.9	7.1	2.7
旭	EJ	8.59	6.93	3.87	2492	6.28	2.09	9.5	4.6	10.1	209.8	38.5	79.6	1.7	5.2	3.4	8.7	0.5
佐倉	EJ	1.72	15.47	2.54	1864	5.25	0.86	5.8	4.6	9.8	25.8	9.6	18.5	0.4	6.2	5.8	2.3	5.6
清澄	EJ	0.08	0.64	0.84	2076	5.68	1.80	10.6	6.0	10.3	91.9	8.1	76.1	6.8	6.6	4.9	9.9	2.1
勝浦	EJ	0.09	0.60	0.60	1233	5.68	1.34	7.0	3.2	5.4	73.7	5.6	62.0	3.5	3.9	2.5	7.5	2.1
習志野	EJ	7.35	31.11	3.69	1515	5.30	0.95	7.7	6.3	11.1	28.5	12.1	23.4	0.9	4.1	3.6	3.0	5.1
平塚	EJ	0.52	10.46	2.61	1708	5.45	1.10	7.0	4.6	10.9	47.0	12.9	38.8	1.2	4.1	3.2	4.5	3.5
川崎	EJ	11.95	55.76	3.48	1835	5.87	0.96	8.7	6.9	8.0	37.6	14.8	28.3	5.9	4.8	4.1	3.5	1.4
長野	CJ	0.87	2.64	0.57	995	5.29	0.62	5.3	5.0	10.8	7.2	12.9	5.5	0.5	2.5	2.4	0.9	5.1
射水	JS	5.03	11.55	1.43	2428	4.95	2.55	14.5	8.3	17.6	119.7	16.8	103.5	2.8	5.7	3.4	12.3	11.2
金沢	JS	1.49	3.78	0.97	2669	4.91	2.76	14.3	7.4	16.5	126.4	15.1	113.4	2.9	5.9	3.4	13.0	12.4
福井	JS	1.31	4.50	0.68	2526	4.96	2.72	15.3	8.2	17.9	132.8	14.9	116.5	2.9	5.0	2.4	13.5	11.1
伊自良湖	CJ	1.12	3.14	1.25	3715	5.06	0.82	5.7	4.8	9.7	18.0	9.3	15.1	0.5	1.9	1.6	2.0	8.6
豊橋	CJ	1.42	6.49	3.81	2051	5.52	0.93	6.4	4.6	8.0	37.0	9.1	29.0	1.3	3.3	2.6	4.8	3.0
名古屋南	CJ	8.83	35.50	3.82	1650	5.30	0.95	7.5	6.5	10.8	20.6	15.2	16.4	1.2	2.8	2.5	1.9	5.0
大津柳が崎	CJ	1.46	10.52	1.29	1997	5.08	0.71	3.8	3.3	8.7	8.3	10.1	8.3	1.0	2.5	2.3	1.3	8.3
神戸須磨	CJ	6.64	18.72	1.13	1409	4.83	1.26	8.2	5.9	11.0	43.7	8.9	36.9	1.1	2.6	1.8	4.1	15.0
和歌山	CJ	8.97	13.33	0.87	1705	5.04	1.21	7.6	5.4	8.5	43.1	7.6	35.9	1.0	2.7	1.9	4.4	9.2
湯梨浜	JS	0.10	0.72	0.77	1960	4.99	3.60	18.2	7.1	16.3	202.5	17.0	183.1	4.3	7.1	3.0	19.5	10.2
松江	JS	0.26	1.38	0.50	2114	4.86	2.53	13.6	7.4	16.9	116.3	16.1	102.1	2.8	5.4	3.1	11.9	13.8
広島安佐南	WJ	1.89	7.35	0.99	2394	4.87	1.09	7.9	6.8	11.6	20.0	8.8	17.7	0.6	1.8	1.4	2.1	13.4
山口	WJ	1.17	7.33	0.57	1993	5.12	1.01	10.1	8.6	12.4	25.2	10.3	25.0	1.0	3.0	2.4	2.7	7.5
徳島	CJ	1.10	4.60	1.46	1397	5.08	1.16	7.0	4.8	10.6	43.0	11.4	36.5	1.1	2.6	1.8	4.4	8.4
松山	WJ	5.86	9.87	0.89	1554	4.85	1.05	8.4	7.5	10.0	16.4	11.5	14.7	0.7	2.4	2.1	2.2	14.3
大宰府	WJ	2.44	12.89	1.92	(1802)	(5.26)	(0.56)	(5.4)	(4.8)	(8.3)	(12.4)	(9.9)	(10.3)	(0.8)	(2.3)	(2.1)	(1.1)	(5.4)
曲淵	WJ	1.52	9.07	1.44	2539	5.10	1.10	7.2	5.0	9.1	40.6	8.6	35.6	1.2	2.3	1.5	4.2	7.9
城南	WJ	1.65	10.79	1.61	1947	5.09	1.14	7.7	5.6	10.4	39.7	11.7	34.7	1.0	2.4	1.6	4.1	8.1
佐賀	WJ	1.20	3.87	1.46	2412	4.98	0.79	7.3	6.6	8.3	15.5	9.6	12.2	0.5	2.1	1.8	1.7	10.6
長崎	WJ	0.57	2.86	0.61	2315	5.07	1.11	8.1	6.3	9.4	34.4	8.9	28.7	1.0	2.6	2.0	3.8	8.6
宇土	WJ	1.19	5.04	1.36	2289	4.78	0.91	6.3	5.5	7.3	16.7	8.4	13.7	0.8	1.5	1.2	1.7	16.6
阿蘇一の宮	WJ	0.15	0.63	1.21	1797	4.67	1.17	11.1	10.7	6.8	14.2	16.9	7.8	0.9	2.3	2.1	1.2	21.2
画図町	WJ	0.95	4.88	2.72	2477	4.96	0.78	6.9	6.3	7.9	12.2	10.2	9.5	0.9	2.1	1.9	1.4	10.9
大分	WJ	11.58	17.02	1.16	1683	4.89	0.97	8.6	8.1	10.1	13.5	7.7	7.5	0.4	1.8	1.6	1.1	13.0
宮崎	WJ	0.31	1.84	1.02	3556	5.21	1.10	7.7	5.3	6.1	43.9	7.4	39.0	0.9	2.2	1.3	4.6	6.2
鹿児島	WJ	1.00	3.55	1.31	1703	4.55	2.08	13.4	11.1	8.9	56.2	11.3	38.0	1.2	3.4	2.6	4.2	27.9
うるま	SW	10.14	9.25	1.28	2471	5.40	2.13	11.2	4.9	8.7	120.5	8.8	103.7	2.3	8.8	6.4	13.0	4.0
辺戸岬	SW	0.00	0.03	0.32	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
最 低 値					854	4.55	0.62	3.8	3.2	5.4	7.2	5.6	5.5	0.3	1.5	1.2	0.9	0.5
最 高 値					3715	6.28	4.30	22.5	11.1	19.1	266.1	38.5	222.0	6.8	10.2	6.6	27.2	27.9
加重平均値※					1723	5.08	1.6	9.9	6.3	11.1	68.9	12.9	58.5	1.9	4.0	2.7	6.9	8.2

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)

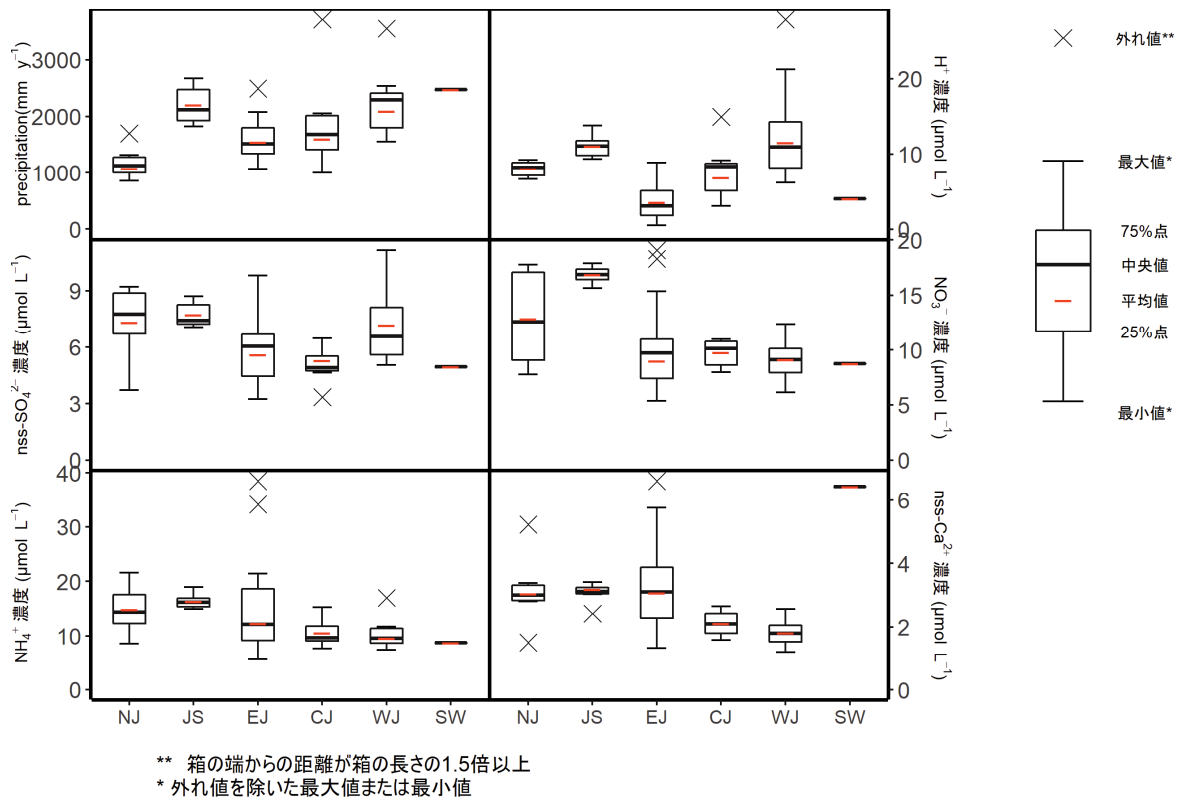


図4.2.2 主要イオン成分の年加重平均濃度の分布

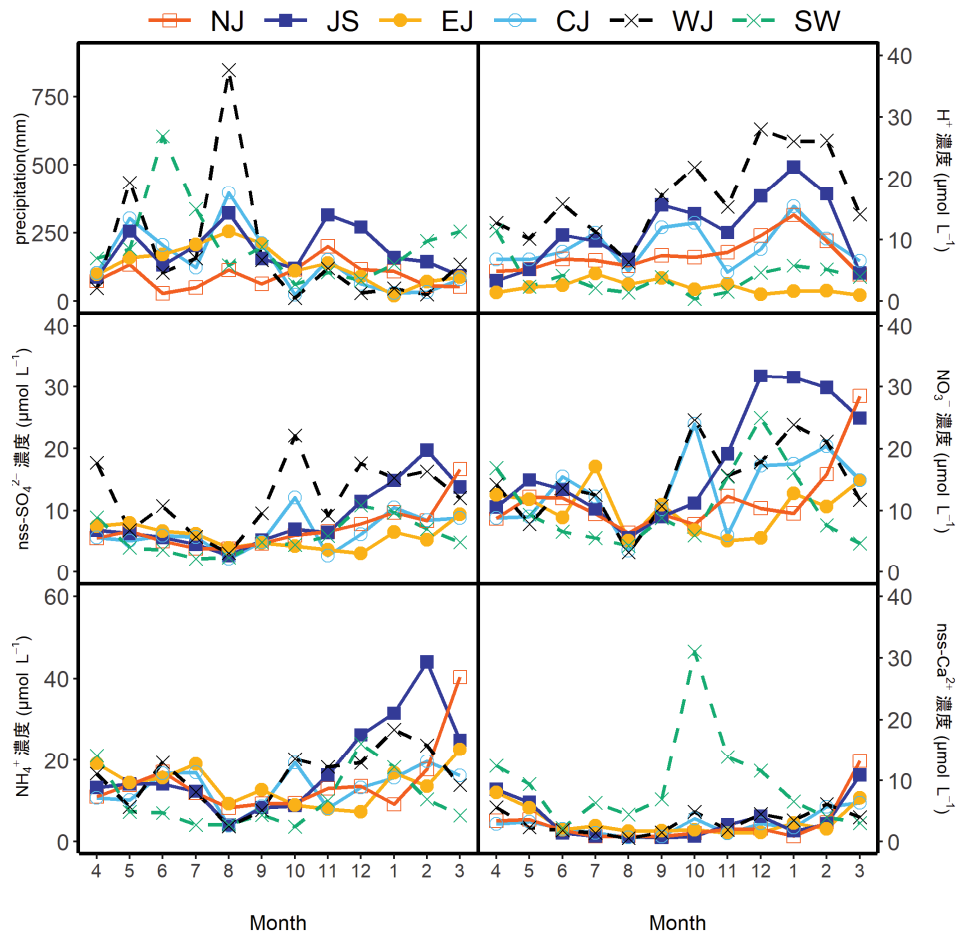


図4.2.3 主要イオン成分濃度の地域別季節変動（中央値）

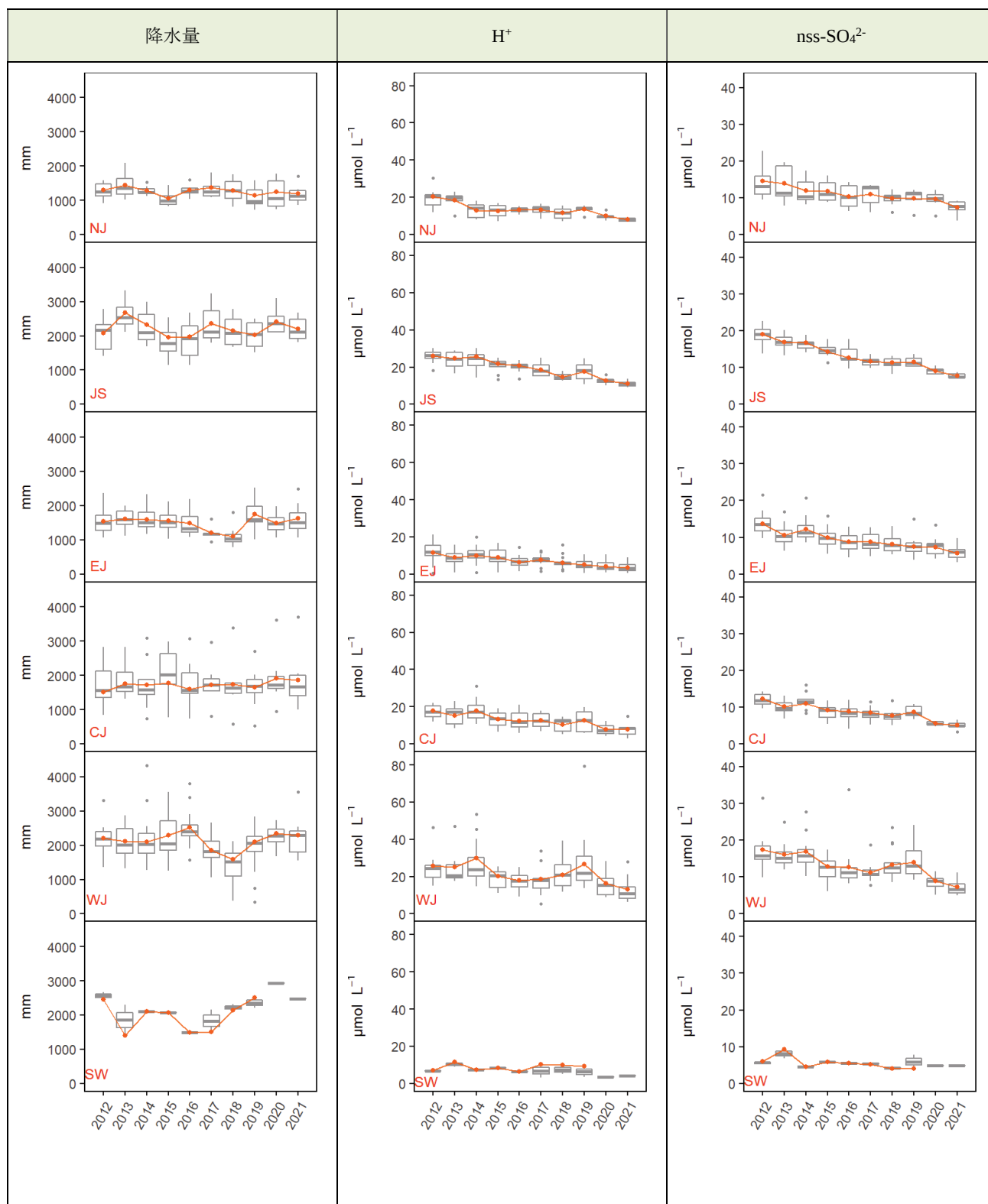


図4. 2. 4イオン成分濃度の地域別経年変動（降水量，H⁺，nss-SO₄²⁻）

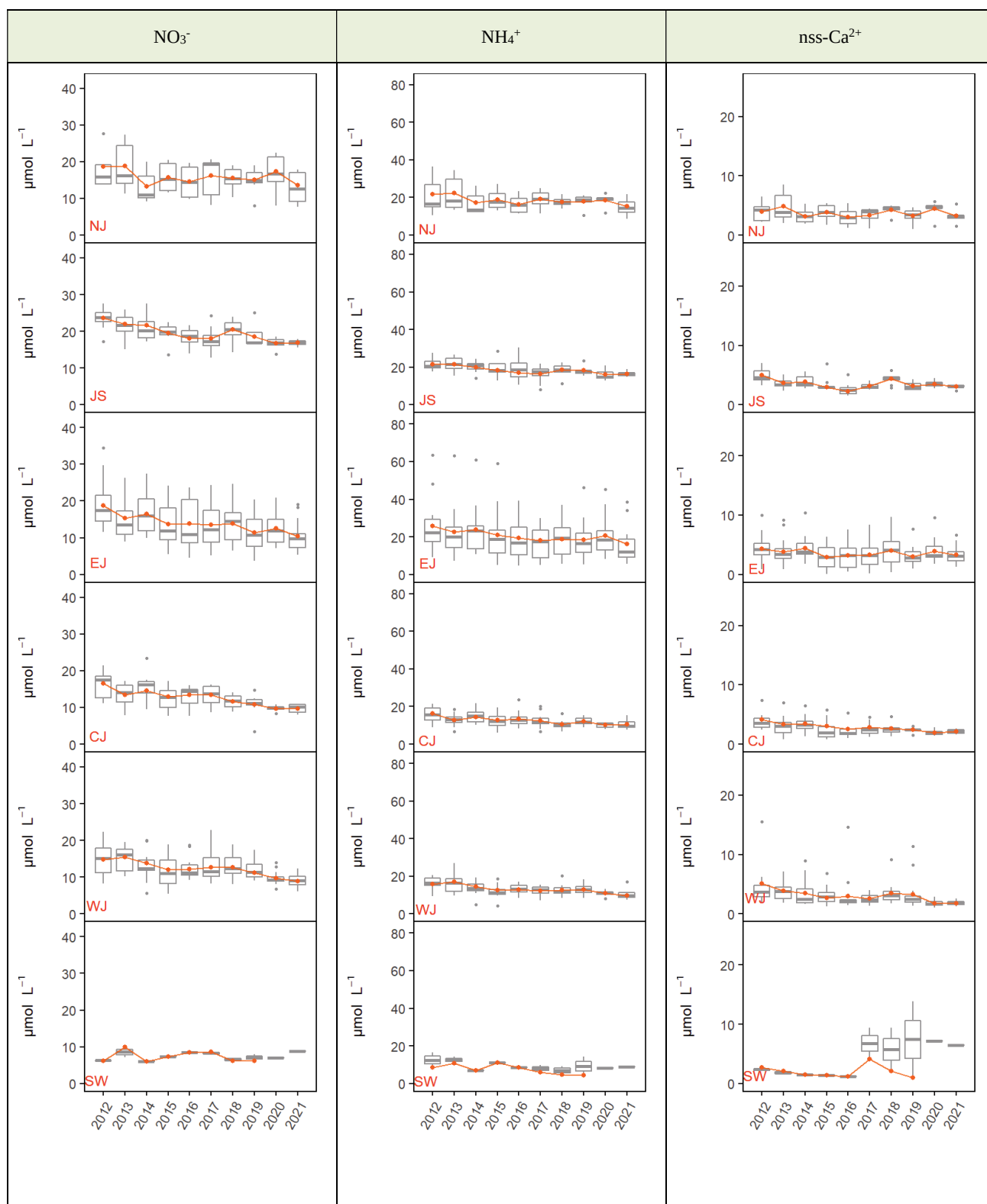


図4.2.4 イオン成分濃度の地域別経年変動(NO_3^- , NH_4^+ , nss-Ca^{2+})

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と同様に扱った。

4.3.1 年間沈着量

2021年度の年間データが有効となった50地点における年間降水量および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、地域区分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 降水量と主要イオン成分の年間沈着量

項目	(単位)	中央値	最小値	(地点名)
			最大値	(地点名)
降水量	(mm y ⁻¹)	1732	854	(利尻)
			3715	(伊自良湖)
nss-SO ₄ ²⁻	(mmol m ⁻² y ⁻¹)	11.6	3.6	(涌谷)
			20.8	(福井)
NO ₃ ⁻	(〃)	18.0	6.7	(勝浦)
			45.2	(福井)
NH ₄ ⁺	(〃)	20.7	6.9	(勝浦)
			96.0	(旭)
nss-Ca ²⁺	(〃)	4.4	1.5	(涌谷)
			15.9	(うるま)
H ⁺	(〃)	11.6	1.3	(旭)
			47.5	(鹿児島)

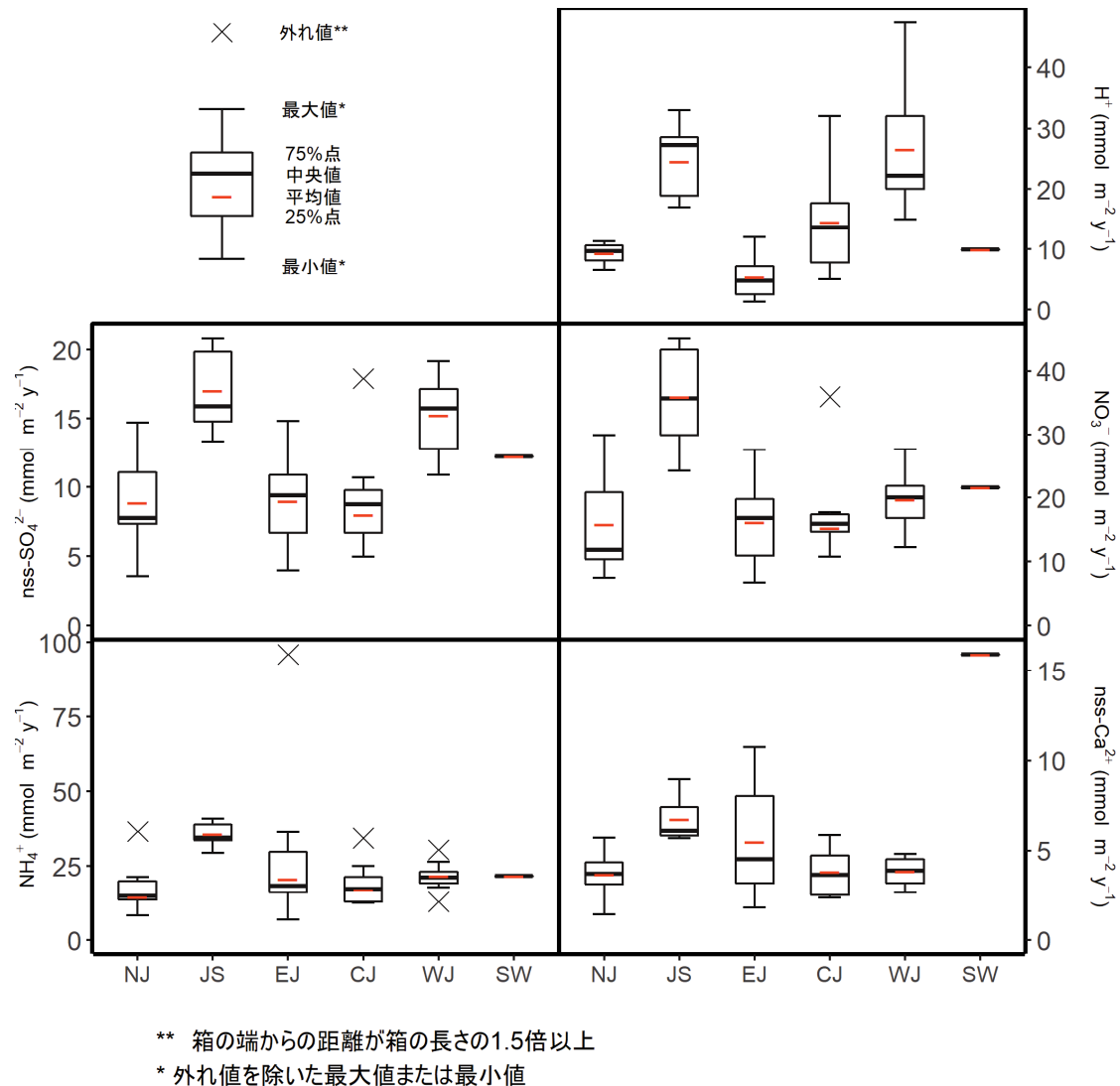


図4.3.1 主要イオン成分年間沈着量および降水量の分布

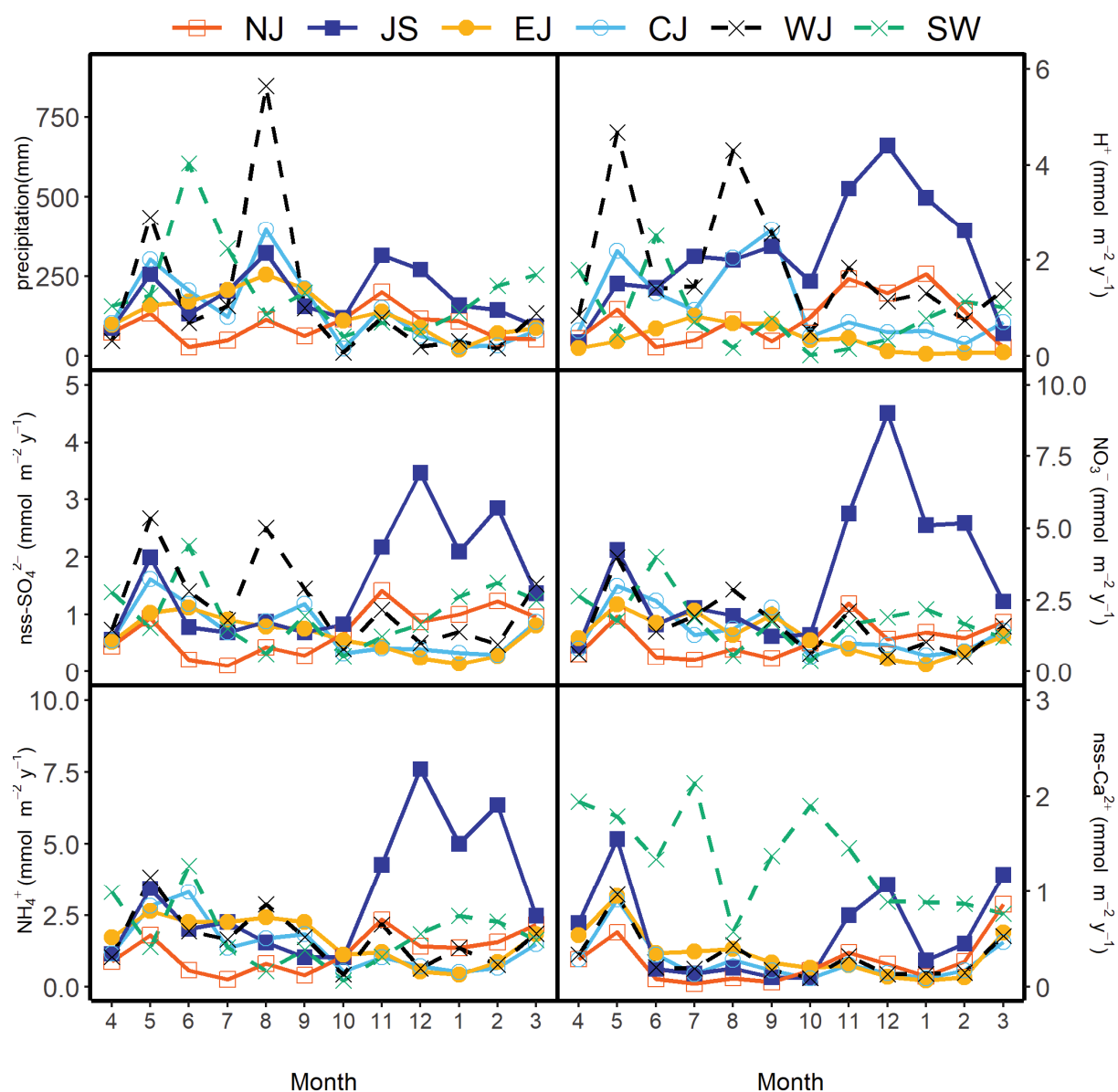


図4.3.2 イオン成分沈着量の地域別季節変動

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。

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については図4.3.3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。

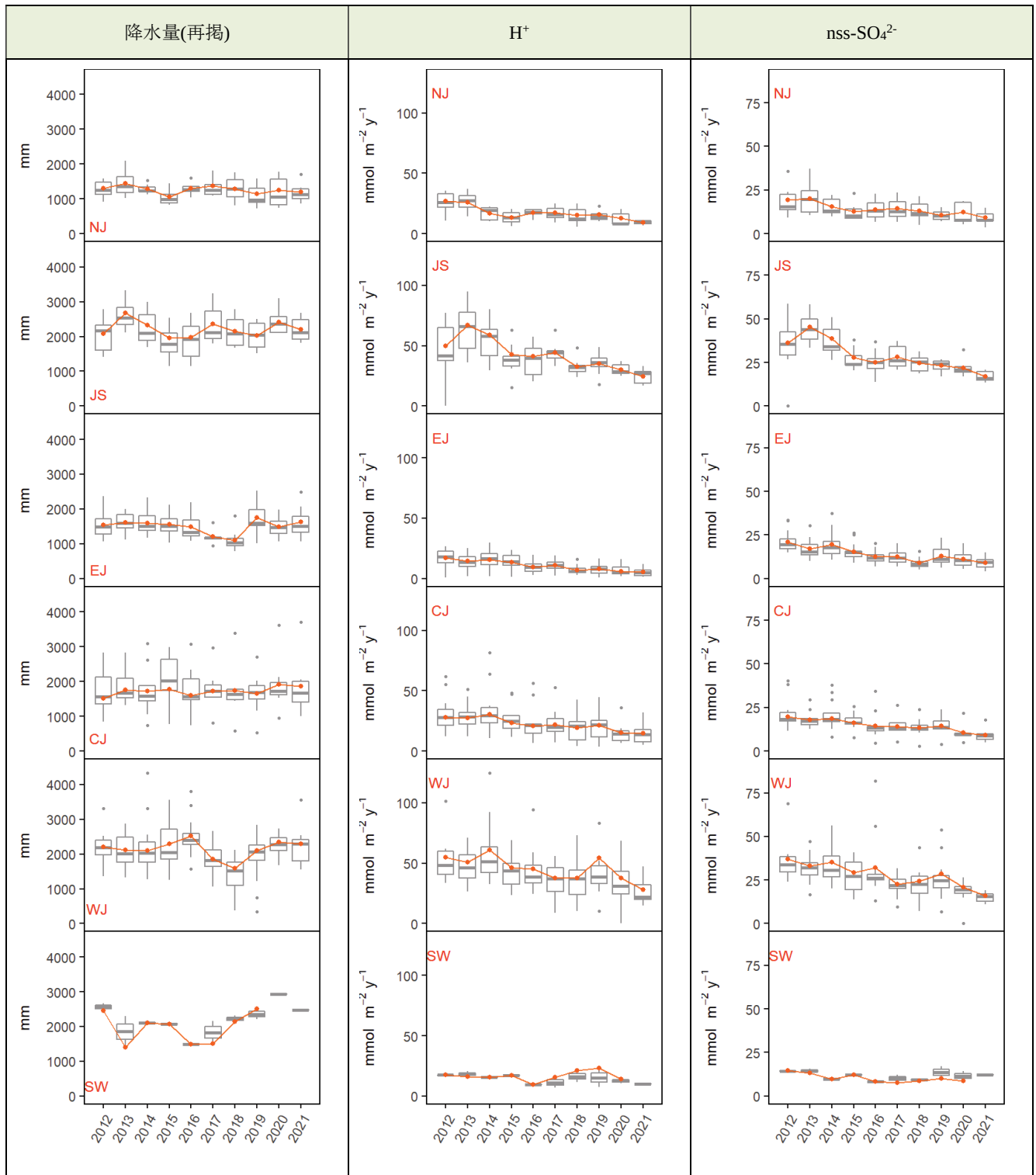


図 4.3.3 イオン成分沈着量の地域別経年変動（降水量， H^+ ， $nss-SO_4^{2-}$ ）

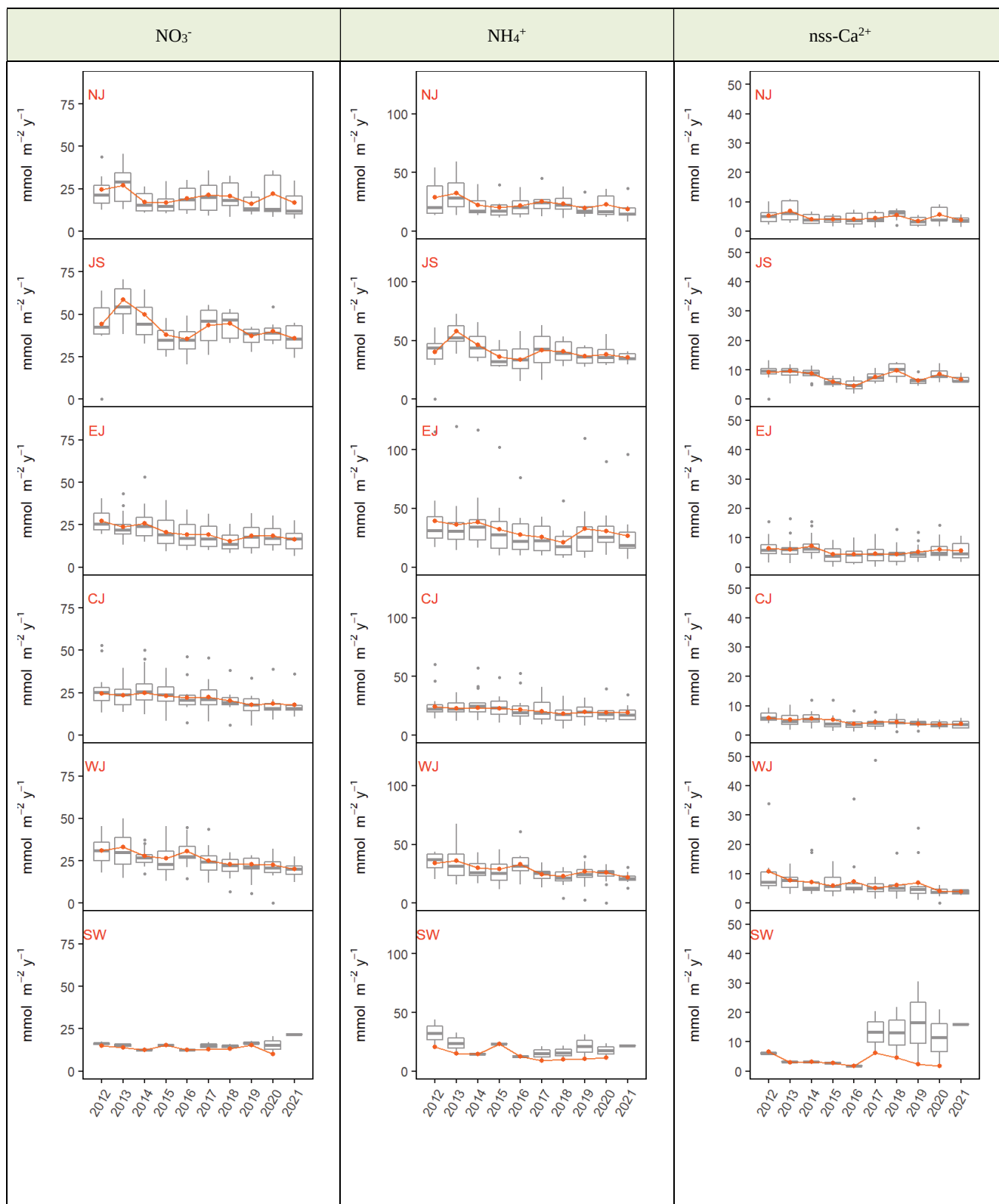


図 4.3.3 イオン成分沈着量の地域別経年変動 (NO₃⁻, NH₄⁺, nss-Ca²⁺)

－ 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），全国環境研究会誌，**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
- 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23年度），全国環境研究会誌，**38**，84-126，2013
- 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24年度），全国環境研究会誌，**39**，100-146，2014
- 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5次酸性雨全国調査報告書（平成25年度），全国環境研究会誌，**40**，98-142，2015
- 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5次酸性雨全国調査報告書（平成26年度），全国環境研究会誌，**41**，3，2-37，2016
- 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5次酸性雨全国調査報告書（平成27年度），全国環境研究会誌，**42**，3，83-126，2017
- 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（平成28年度），全国環境研究会誌，**43**，3，79-119，2018
- 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2017（平成29年度），全国環境研究会誌，**44**，3，74-115，2019
- 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2018（平成30年度），全国環境研究会誌，**45**，3，85-121，2020
- 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2019（令和元年度），全国環境研究会誌，**46**，3，75-114，2021
- 12) 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），全国環境研究会誌，**47**，3，97-138，2022
- 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3年度酸性雨測定分析機関間比較調査結果（大気系），2022

5. 乾性沈着（フィルターパック法）

2021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26地点で実施した。地域区分は、湿性沈着と同じく、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および他の学術機関との共同研究データが含まれているが、データ確定を部会基準（5.1に後述）で行ったため、特に国設局については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⁾。

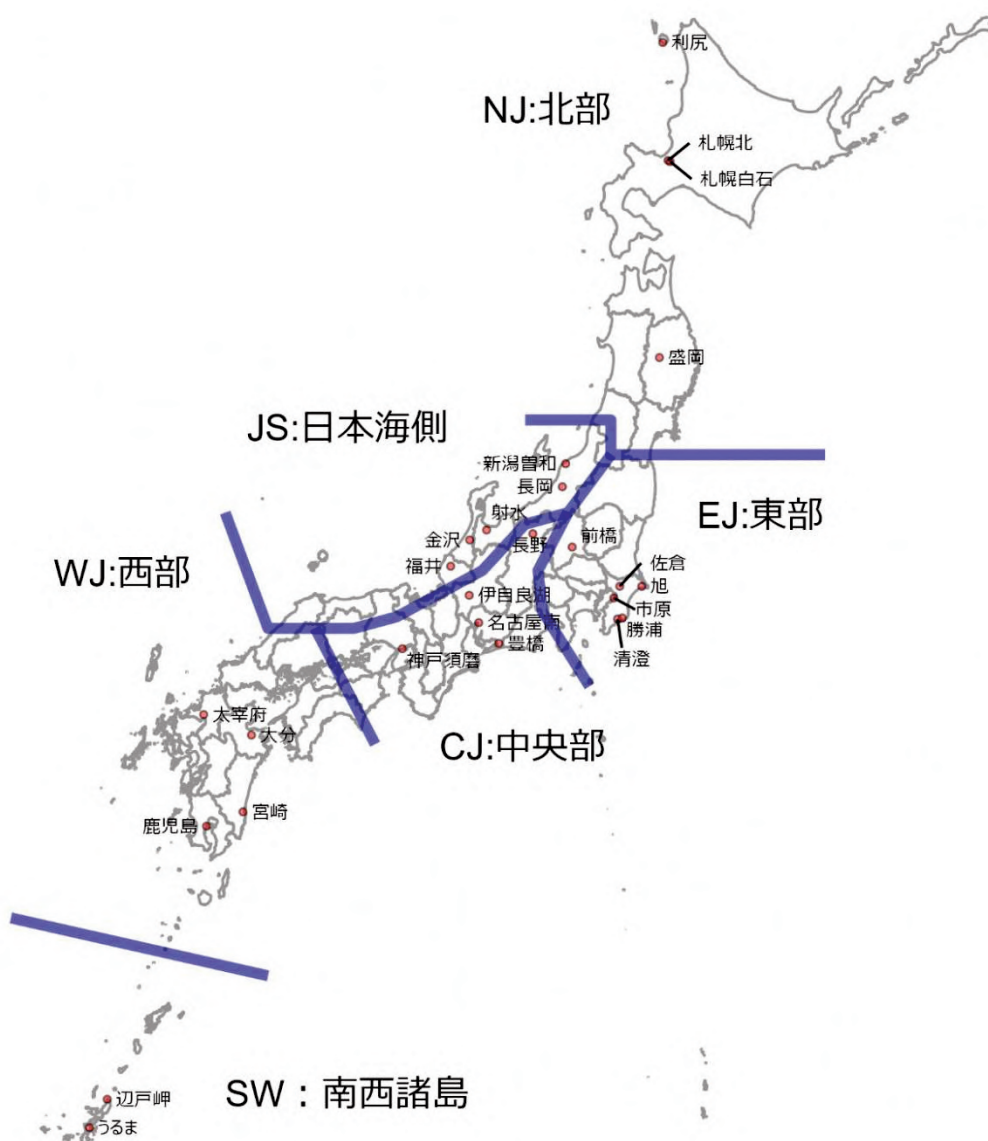


図 5.1.1 FP 法の調査地点（地域区分は表 2.1.1 のとおり）

表 5.1.1 FP 法による調査結果の有効データ数

成分	地点数	欠測数	データ数	月平均濃度				有効データ割合(%)	年平均濃度						
				完全度 60%未満	その他 参考値	適合数	定量下限 値未満		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)	26	4	308	14	0	294	58	95	0	26	0	0	26	3	100
SO ₂ (g)	26	4	308	14	0	294	9	95	0	26	0	0	26	0	100
HCl(g)	26	4	308	14	0	294	13	95	0	26	0	0	26	0	100
NH ₃ (g)	26	4	308	14	0	294	1	95	0	26	0	0	26	0	100
SO ₄ ²⁻ (p)	26	4	308	16	0	292	0	95	0	26	0	0	26	0	100
NO ₃ (p)	26	4	308	16	0	292	0	95	0	26	0	0	26	0	100
Cl ⁻ (p)	26	4	308	16	0	292	1	95	0	26	0	0	26	0	100
Na ⁺ (p)	26	4	308	16	0	292	0	95	0	26	0	0	26	0	100
K ⁺ (p)	26	4	308	16	0	292	0	95	0	26	0	0	26	0	100
Ca ²⁺ (p)	26	4	308	16	0	292	0	95	0	26	0	0	26	0	100
Mg ²⁺ (p)	26	4	308	16	0	292	1	95	0	26	0	0	26	0	100
NH ₄ ⁺ (p)	26	4	308	16	0	292	0	95	0	26	0	0	26	0	100

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。2021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、EANET³⁾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、それぞれSO₂(g)は13 %, HCl(g)は10 %, HNO₃(g)は2%減少し、NH₃(g)は約1%増加した。

SO₂(g)

WJで高く、JSで低い傾向は例年と同様であった。

WJの中でも大分および鹿児島が高濃度であり、火山ガスの影響を受けたと考えられる。

また、2番目に濃度が高かった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る。

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見られた。

表 5.2.1 ガス状成分の年平均濃度（地点別）

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*	4.0	2.6	12.7	13.7
2	北海道	札幌北*	30.4	5.2	10.6	53.8
3	札幌市	札幌白石*	25.3	4.1	9.2	67.6
4	岩手県	盛岡*	7.5	6.8	12.1	104.1
5	新潟県	新潟管和	11.3	4.5	12.1	72.0
6	新潟県	長岡	11.8	7.9	10.8	84.5
7	群馬県	前橋	9.0	20.4	17.3	500.5
8	千葉県	旭	7.1	3.4	4.8	2949.0
9	千葉県	勝浦	12.3	3.6	19.0	48.8
10	千葉県	清澄	15.2	3.9	19.2	46.5
11	千葉県	市原	66.4	10.5	29.0	156.7
12	千葉県	佐倉	9.2	8.1	14.4	65.2
13	長野県	長野	11.1	10.1	8.8	72.8
14	富山県	射水*	10.2	8.9	12.5	79.5
15	石川県	金沢	8.6	5.3	12.1	38.2
16	福井県	福井	13.6	7.9	15.9	59.4
17	岐阜県	伊自良湖	5.6	5.2	6.4	36.6
18	愛知県	豊橋*	16.6	13.2	20.6	138.6
19	名古屋市	名古屋南	31.8	22.1	48.6	152.9
20	兵庫県	神戸須磨*	25.0	22.6	29.6	77.1
21	福岡県	太宰府*	21.9	16.0	15.6	156.5
22	大分県	大分*	51.4	18.3	17.2	67.9
23	宮崎県	宮崎	28.2	4.7	13.3	103.0
24	鹿児島県	鹿児島*	71.4	10.1	26.3	96.8
25	沖縄県	うるま*	13.4	3.0	15.8	234.3
26	沖縄県	辺戸岬*	8.6	2.7	21.0	43.9
全国最低値			4.0	2.6	4.8	13.7
全国最高値			71.4	22.6	48.6	2949.0
全国中央値			12.9	7.3	15.0	75.0
全国平均値			20.3	8.9	16.7	212.3

注) 全国最低値は網掛け、全国最高値は白抜き、定量下限値未満は斜字、参考値は()で示した。

注) 定量下限値未満及び参考値は最低値、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。

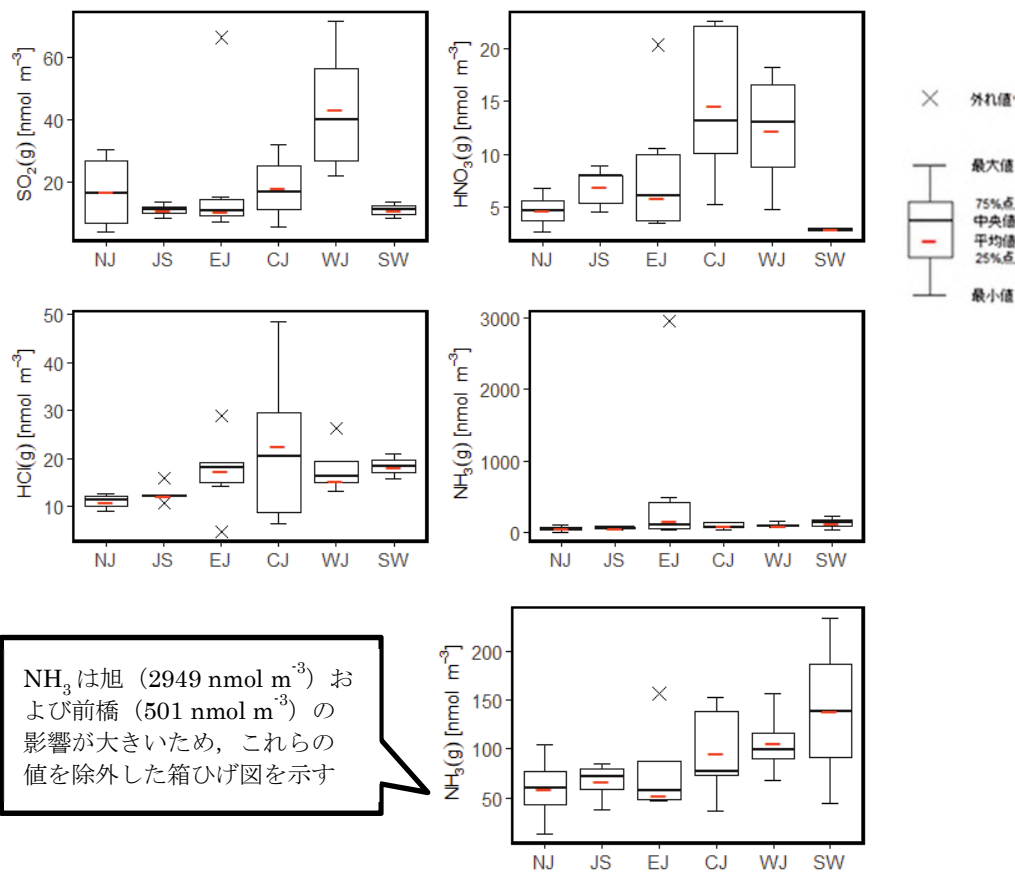


図 5.2.1 ガス状成分の年平均濃度の分布（地域区分別）

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、 $\text{NH}_4^+(\text{p})$ が17 %、 $\text{SO}_4^{2-}(\text{p})$ が16 %減少し、その他の成分は数%の変動であった。

各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、大陸の汚染大気の移流の影響を反映していると考えられた。

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

EJ, CJおよびWJで高く、NJで低い傾向は例年どおりであった。

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

SWで高い傾向は例年どおりであり、海塩の影響を大きく受けていると考えられた。

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

例年どおりWJで高い傾向にあった。また、前年度に引き続き、NJで2018年度までより高い傾向がみられた。

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、地域区分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。

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

WJにおいて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およびSWで低い傾向は例年と同様であった。

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

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成分として捕集される割合が高く、特に旭はその割合が98 %と非常に高かった。

表 5.2.2 粒子状成分の年平均濃度（地点別）

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*	16.8	12.0	9.2	74.7	78.8	2.8	3.3	1.5	9.2	15.4
2	北海道	札幌北*	19.7	17.8	17.6	29.9	31.2	2.5	4.8	4.1	4.0	39.1
3	札幌市	札幌白石*	17.1	15.4	16.4	25.9	28.9	1.5	3.7	3.0	3.2	32.9
4	岩手県	盛岡*	15.9	14.7	15.1	15.3	19.6	2.2	2.5	2.1	2.2	31.5
5	新潟県	新潟曽和	15.2	12.8	13.2	30.5	39.0	2.2	3.3	2.5	4.5	17.7
6	新潟県	長岡	15.8	14.3	15.0	15.9	24.4	2.1	3.6	3.1	2.9	22.8
7	群馬県	前橋	20.3	19.0	36.1	11.5	21.4	3.5	9.7	9.3	3.3	46.8
8	千葉県	旭	16.7	12.5	29.6	74.9	69.8	4.1	9.1	7.5	8.5	48.1
9	千葉県	勝浦	19.4	15.0	19.2	63.2	72.9	3.5	10.0	8.3	9.5	15.5
10	千葉県	清澄	18.8	15.7	21.0	35.5	51.4	3.1	6.6	5.4	6.9	15.9
11	千葉県	市原	25.1	21.6	36.5	46.9	57.7	3.8	17.9	16.6	8.6	36.3
12	千葉県	佐倉	17.1	15.0	23.8	20.4	35.3	3.3	7.8	7.0	4.6	27.6
13	長野県	長野	15.2	14.6	13.3	3.1	10.1	1.7	3.1	2.9	1.2	24.4
14	富山県	射水*	20.1	18.5	16.6	17.4	26.8	2.6	4.4	3.8	3.4	37.1
15	石川県	金沢	15.3	13.8	12.4	13.4	23.7	1.9	3.8	3.3	3.1	20.7
16	福井県	福井	21.3	18.7	21.8	37.9	43.9	3.2	7.7	6.7	5.2	31.3
17	岐阜県	伊自良湖	16.5	15.8	8.4	2.1	10.7	1.9	2.8	2.6	1.5	22.4
18	愛知県	豊橋*	22.3	20.3	27.9	24.5	33.2	2.9	6.6	5.9	5.3	42.6
19	名古屋市	名古屋南	27.1	24.8	38.7	24.3	38.0	3.5	10.5	9.7	4.8	45.1
20	兵庫県	神戸須磨*	27.0	24.1	42.9	30.8	47.7	2.5	6.9	5.9	5.7	48.3
21	福岡県	太宰府*	30.4	28.1	41.6	26.0	38.3	2.3	8.8	7.9	3.7	68.3
22	大分県	大分*	30.3	28.7	25.8	15.4	26.8	2.7	7.0	6.4	4.0	51.5
23	宮崎県	宮崎	25.2	21.5	25.2	47.0	61.5	2.4	5.8	4.4	6.3	50.3
24	鹿児島県	鹿児島*	33.8	30.5	32.1	43.8	54.0	4.5	8.9	7.7	6.8	62.7
25	沖縄県	うるま*	23.5	17.2	20.3	102.0	103.7	3.3	11.6	9.3	13.4	25.1
26	沖縄県	辺戸岬*	27.5	18.2	19.8	151.9	152.4	4.3	7.5	4.0	19.1	20.3
全国最低値			15.2	12.0	8.4	2.1	10.1	1.5	2.5	1.5	1.2	15.4
全国最高値			33.8	30.5	42.9	151.9	152.4	4.5	17.9	16.6	19.1	68.3
全国中央値			19.9	17.5	20.6	27.9	38.2	2.8	6.8	5.6	4.7	32.2
全国平均値			21.3	18.5	23.1	37.8	46.2	2.9	6.8	5.8	5.8	34.6

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。

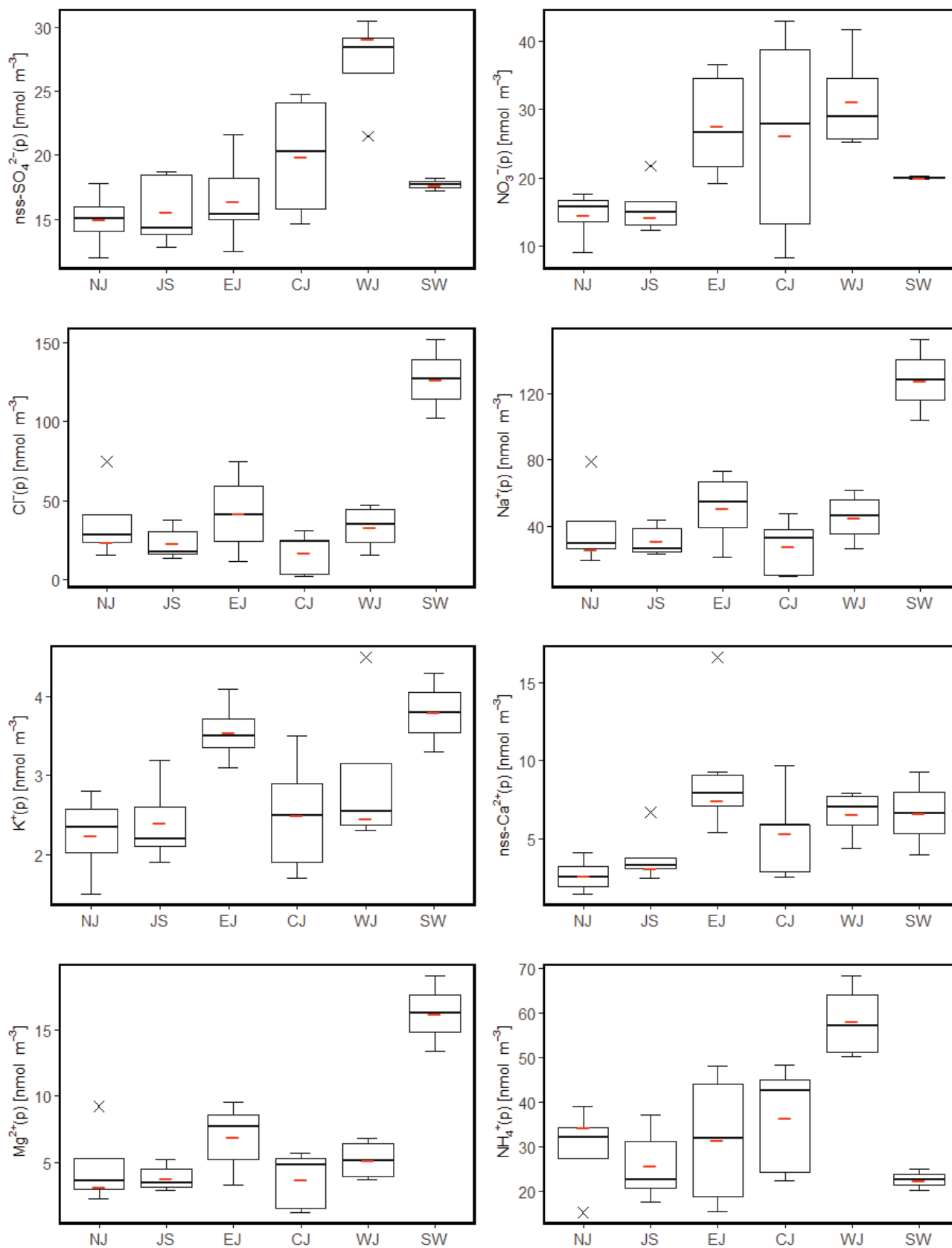


図 5.2.2 粒子状成分の年平均濃度の分布（地域区分別）

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）

No.	都道府県市	地点名	全硫黄 $\text{SO}_2(\text{g})+\text{msc}\cdot\text{SO}_4^{2-}(\text{p})$	全硝酸 $\text{HNO}_3(\text{g})+\text{NO}_3^-(\text{p})$	全塩化物 $\text{HCl}(\text{g})+\text{Cl}^-(\text{p})$	全アンモニア $\text{NH}_3(\text{g})+\text{NH}_4^+(\text{p})$
			(nmol m ⁻³)			
1	北海道	利尻*	16.1	11.8	87.4	29.1
2	北海道	札幌北*	48.2	22.8	40.4	92.9
3	札幌市	札幌白石*	40.7	20.5	35.1	100.5
4	岩手県	盛岡*	22.1	21.9	27.4	135.7
5	新潟県	新潟管和	24.1	17.7	42.6	89.7
6	新潟県	長岡	26.1	22.9	26.7	107.3
7	群馬県	前橋	28.1	56.5	28.8	547.3
8	千葉県	旭	19.6	32.9	79.8	2997.0
9	千葉県	勝浦	27.3	22.7	82.1	64.3
10	千葉県	清澄	30.9	24.9	54.8	62.4
11	千葉県	市原	88.0	47.1	75.9	193.0
12	千葉県	佐倉	24.1	31.9	34.8	92.8
13	長野県	長野	25.7	23.5	11.9	97.3
14	富山県	射水*	28.7	25.5	29.9	116.6
15	石川県	金沢	22.4	17.7	25.5	58.8
16	福井県	福井	32.3	29.7	53.8	90.7
17	岐阜県	伊自良湖	21.4	13.6	8.5	58.9
18	愛知県	豊橋*	37.0	41.1	45.1	181.2
19	名古屋市	名古屋南	56.5	60.9	72.9	198.0
20	兵庫県	神戸須磨*	49.1	65.5	60.4	125.4
21	福岡県	太宰府*	50.0	57.6	41.5	224.8
22	大分県	大分*	80.1	44.0	32.6	119.3
23	宮崎県	宮崎	49.7	29.9	60.3	153.3
24	鹿児島県	鹿児島*	101.9	42.2	70.1	159.4
25	沖縄県	うるま*	30.6	23.3	117.8	259.4
26	沖縄県	辺戸岬*	26.8	22.5	172.9	64.1
全国最低値			16.1	11.8	8.5	29.1
全国最高値			101.9	65.5	172.9	2997.0
全国中央値			29.6	25.2	43.9	112.0
全国平均値			38.8	31.9	54.6	246.9

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バック法によりPM_{2.5}を採取した地点を示す。

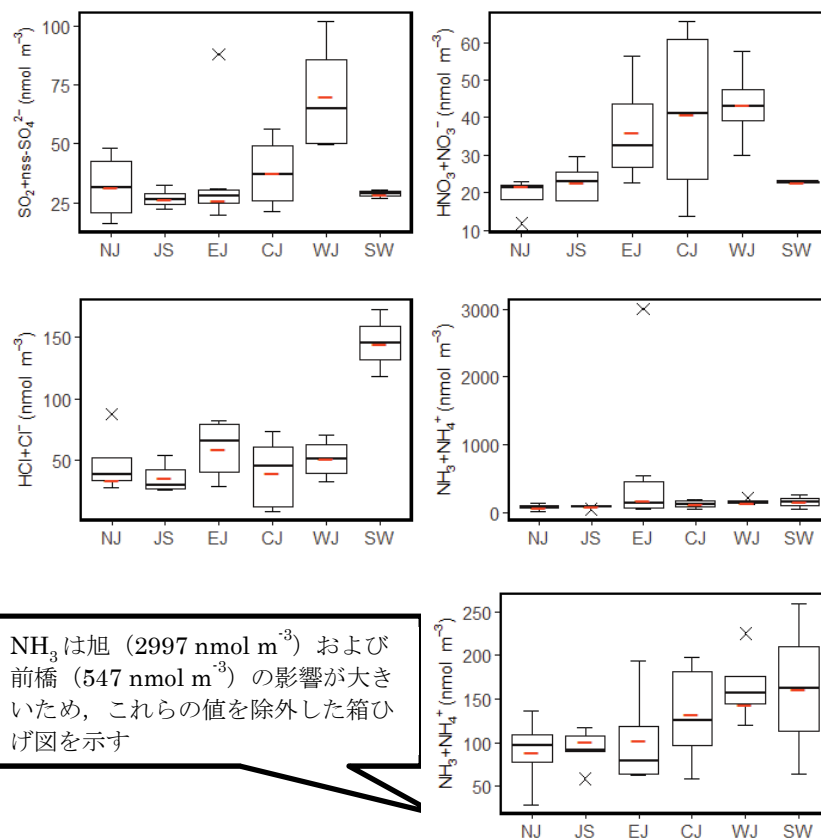


図 5.2.3 ガス状および粒子状成分の総計の年平均濃度の分布（地域区分別）

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。

$\text{SO}_2(\text{g})$

WJおよびJSを除いて冬季から春季に高くなる傾向がみられた。また、CJにおいて7月に濃度が上昇した。

WJでは通年で最も高く、大陸起源の $\text{SO}_2(\text{g})$ 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る。

$\text{HNO}_3(\text{g})$

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 $\text{HNO}_3(\text{g})$ への酸化が促進されることや、揮発性粒子である NH_4NO_3 の解離が進むことなどが考えられる。

$\text{HCl}(\text{g})$

冬季に低くなる傾向がみられた。 $\text{HCl}(\text{g})$ 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などが知られている。

また、WJおよびSWにおいては、夏季に低くなる傾向もみられた。

$\text{NH}_3(\text{g})$

SWおよび7月を除いて、夏季に高く冬季に低くなる傾向があった。このことから、 $\text{NH}_3(\text{g})$ 濃度の季節変動は、気温が上昇すると NH_4NO_3 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起因する可能性が示唆された。

一方、SWおよび7月のEJ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た。

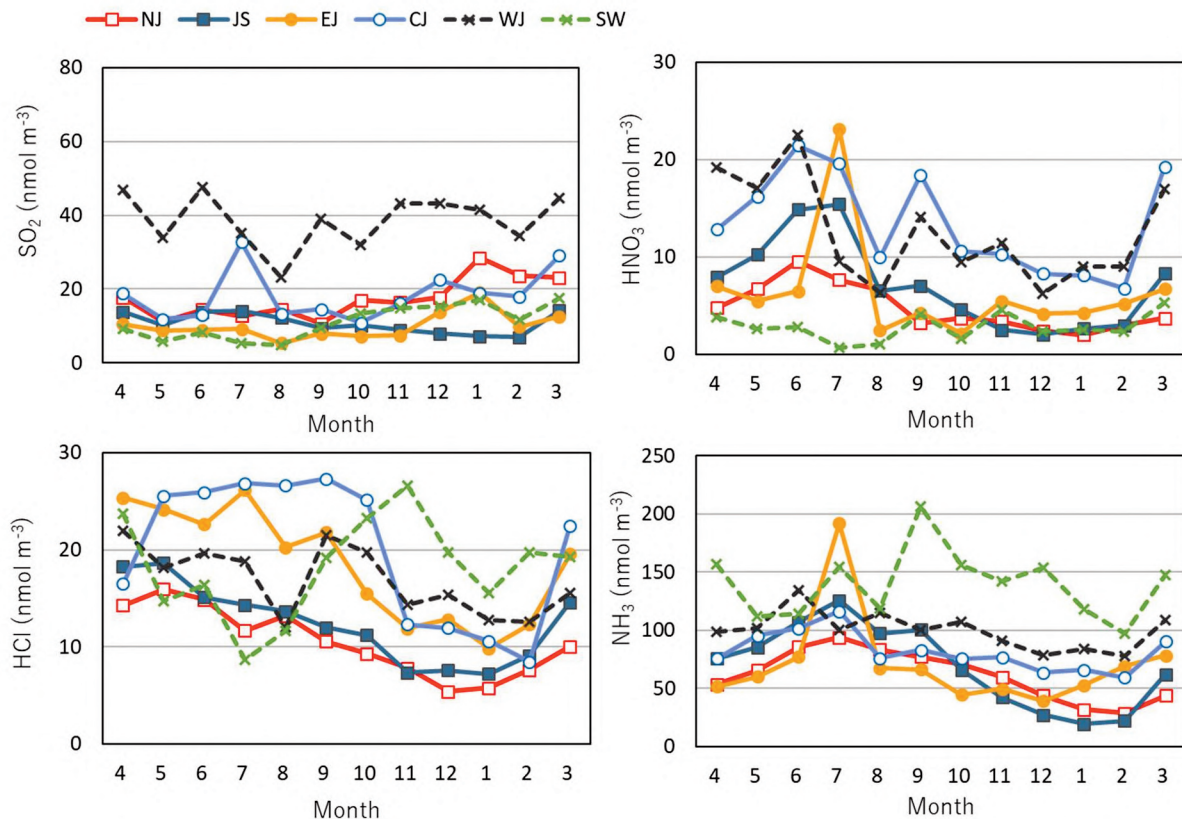


図 5.2.4 ガス状成分の経月変化（地域区分別）

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概ね同量程度（±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概ねとれていた。

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においては、他の地点と比べて陰イオンの中で Cl^- が占める割合も高かった。

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において、夏季に低く、春季に向けて徐々に高くなる傾向があった。これらの地域においては季節ごとのトレンドに加えて月ごとの変動も大きいことから、大陸からの越境移流に加えて、火山活動の影響が複合的に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る。

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

WJおよびSWにおいて、冬季を除いて経月変化が $\text{nss-SO}_4^{2-}(\text{p})$ 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。

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

全体として冬季～春季に高い傾向がみられた。2021年4月および5月、2022年3月に気象庁によって黄砂が観測されており⁸⁾、黄砂の飛来の影響を受けて $\text{nss-Ca}^{2+}(\text{p})$ 濃度が高くなったと考えられた。

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

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。1年を通してSWで高かった。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いと考えられた。

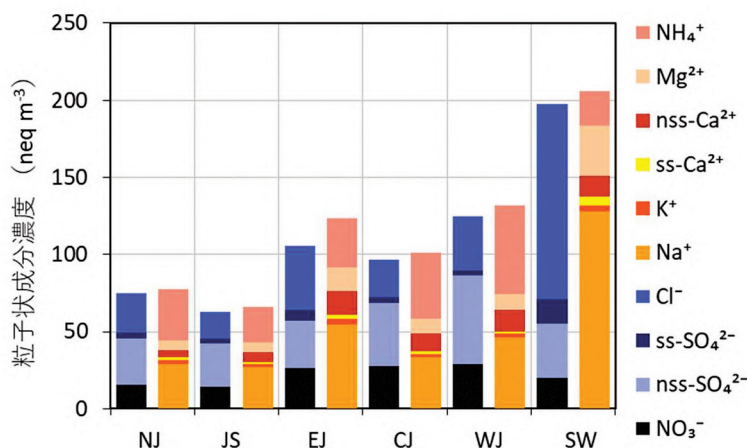


図 5.2.5 粒子状成分の年平均当量濃度（地域区分別）

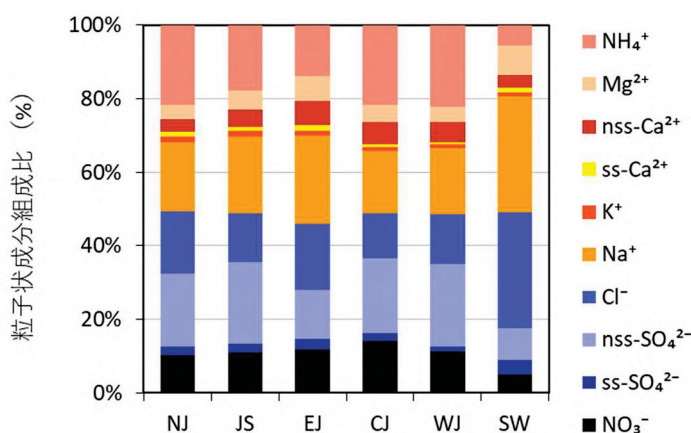


図 5.2.6 粒子状成分の年平均組成比（地域区分別）

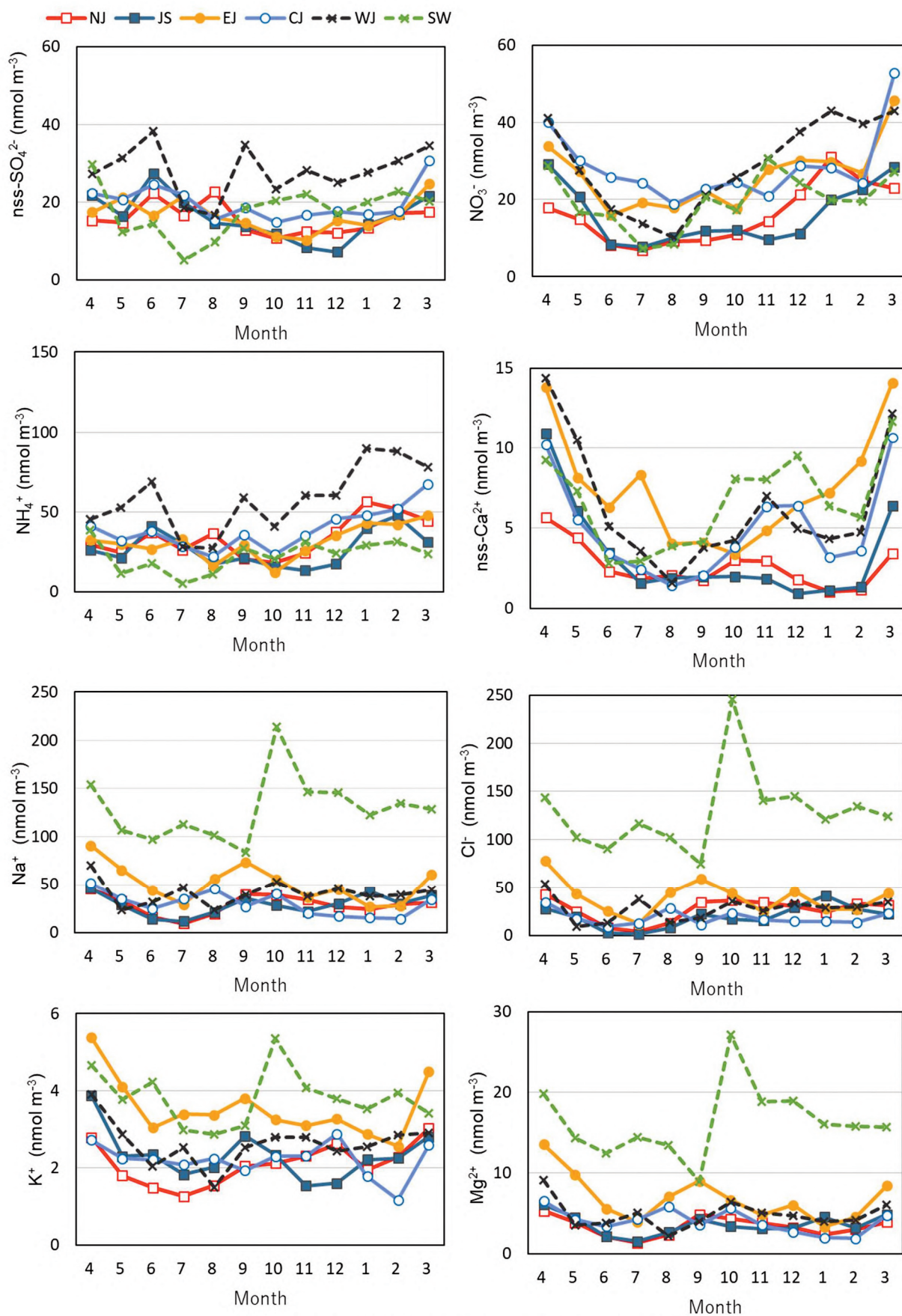


図 5.2.7 粒子状成分濃度の経月変化（地域区分別）

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。

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

7月のCJを除いて全国的に冬季から春季に高く、夏季から春季に低い傾向にあった。

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

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。

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

NJ, JS, EJおよびCJにおいて、夏季に高く秋季から冬季にかけて低い傾向がみられた。

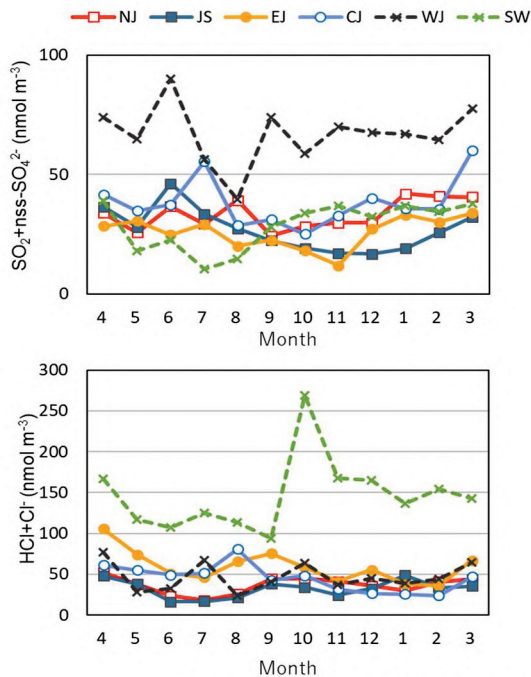


図 5.2.8 ガス状及び粒子状成分濃度の総計の経月変化（地域区分別）

5.2.2.4 微小粒子（PM_{2.5}）状成分

インパクタを装着した5段ろ紙法では、ドーナツ型ろ紙に捕集された粒子は粗大粒子として、後段のF0ろ紙に捕集された粒子はPM_{2.5}としてそれぞれの粒径に分けて測定することができる。ここでは、粗大粒子とPM_{2.5}とを粒径別に捕集した12地点（利尻、札幌北、札幌白石、盛岡、射水、豊橋、神戸須磨、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。

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。PM_{2.5}イオン成分濃度の範囲は1.9~4.9 $\mu\text{g m}^{-3}$ （平均値3.2 $\mu\text{g m}^{-3}$ ）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。全体として沖縄県の2地点を除いて東日本よりも西日本で高値であり、特にWJの地点で高値であった。

また、その組成比は、PM_{2.5}のイオン成分重量濃度に対

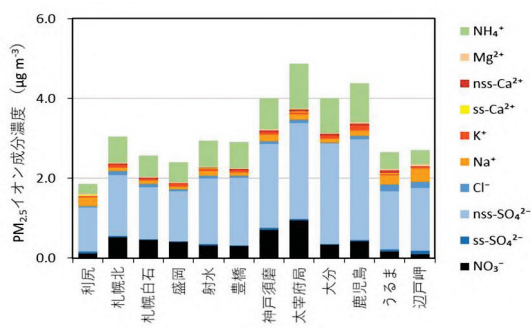


図 5.2.9 PM_{2.5}イオン成分の年平均濃度（地点別）

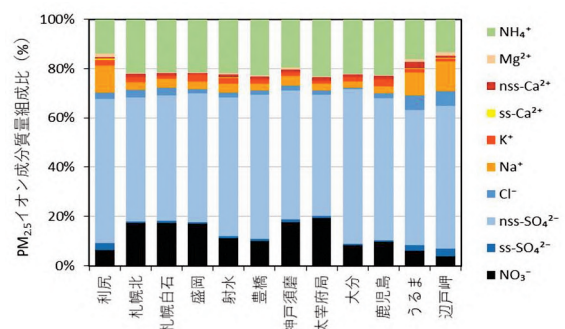


図 5.2.10 PM_{2.5}イオン成分の年平均組成比（地点別）

して、どの地点も nss-SO_4^{2-} （49～63 %）の寄与が最も大きく、次いで NH_4^+ （13～23 %）の寄与が大きかった。札幌白石、札幌北、盛岡、神戸須磨および太宰府では、他の地点と比べて NO_3^- の割合が高い（13～19 %）傾向があった。

続いて、 $\text{PM}_{2.5}$ 成分濃度の経月変化を図5.2.11に示す。各成分の傾向は次のとおりであった。

nss-SO_4^{2-} (p)

夏季に低くなり、春季に向けて徐々に上昇していく傾向がみられた。

NO_3^- (p)

ほとんどの地点で冬季に高く、夏季に低い傾向にあった。

NH_4^+ (p)

春季から夏季にかけて、 nss-SO_4^{2-} と同様に変動する傾向がみられた。また、秋季から冬季にかけて、 nss-SO_4^{2-} の変動よりも高濃度で推移する傾向にあった。

nss-Ca^{2+} (p)

春季に高くなる傾向にあった。

Cl^- (p)

全体として冬季に上昇する傾向にあった。鹿児島、うるまおよび辺戸岬において7月に上昇した。

Na^+ (p), Mg^{2+} (p), K^+ (p)

全体として明瞭な濃度変動は見られなかった。

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。

SO_4^{2-} (p), NH_4^+ (p)

1年間を通して $\text{PM}_{2.5}$ の割合が高く、全粒子状物質に占める割合もこの2成分で7割以上を占めた。

NO_3^- (p)

夏季に低く、冬季に高い傾向にあった。 NO_3^- (p)は夏季には粗大粒子に、冬季には $\text{PM}_{2.5}$ に多く存在した。

K^+ (p)

割合の変動が一定ではなく、大きく変動する様子が窺えた。

Na^+ (p), Cl^- (p), Ca^{2+} (p), Mg^{2+} (p)

1年を通して $\text{PM}_{2.5}$ の割合が低かった。

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。

－ 引用文献 －

- 1) 環境省：令和3年度酸性雨調査結果について、
<http://www.env.go.jp/air/acidrain/monitoring/r03/index.html>（2023.2.13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**，126-196，2003
- 3) Acid Deposition Monitoring Network in East Asia：東アジアにおけるフィルターパック法に関する技術資料，http://www.eanet.cc/jpn/docea_f.html
- 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2020（令和2）年度，全国環境研会誌，**47**，3，97-138，2022
- 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（2022.1.7アクセス）
- 7) 気象庁：令和2年（2020 年）の日本の主な火山活動，https://www.data.jma.go.jp/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_report/2021y.pdf（2023.1.11アクセス）
- 8) 気象庁：[地球環境のデータバンク] 黄砂，https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/kosahp/kosa_data_index.html（2023.1.13アクセス）

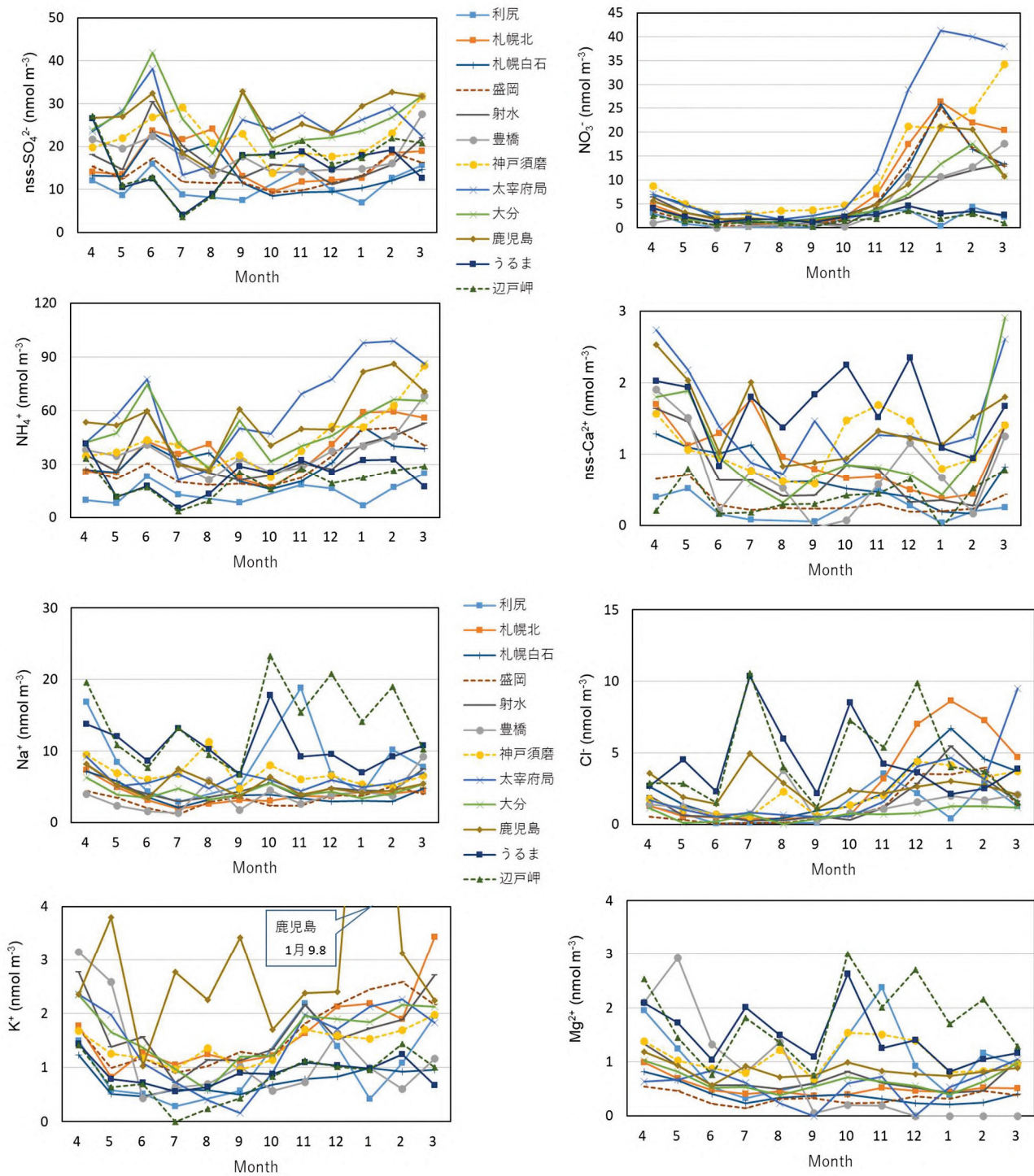


図 5.2.11 $PM_{2.5}$ 成分の経月変化（地点別）

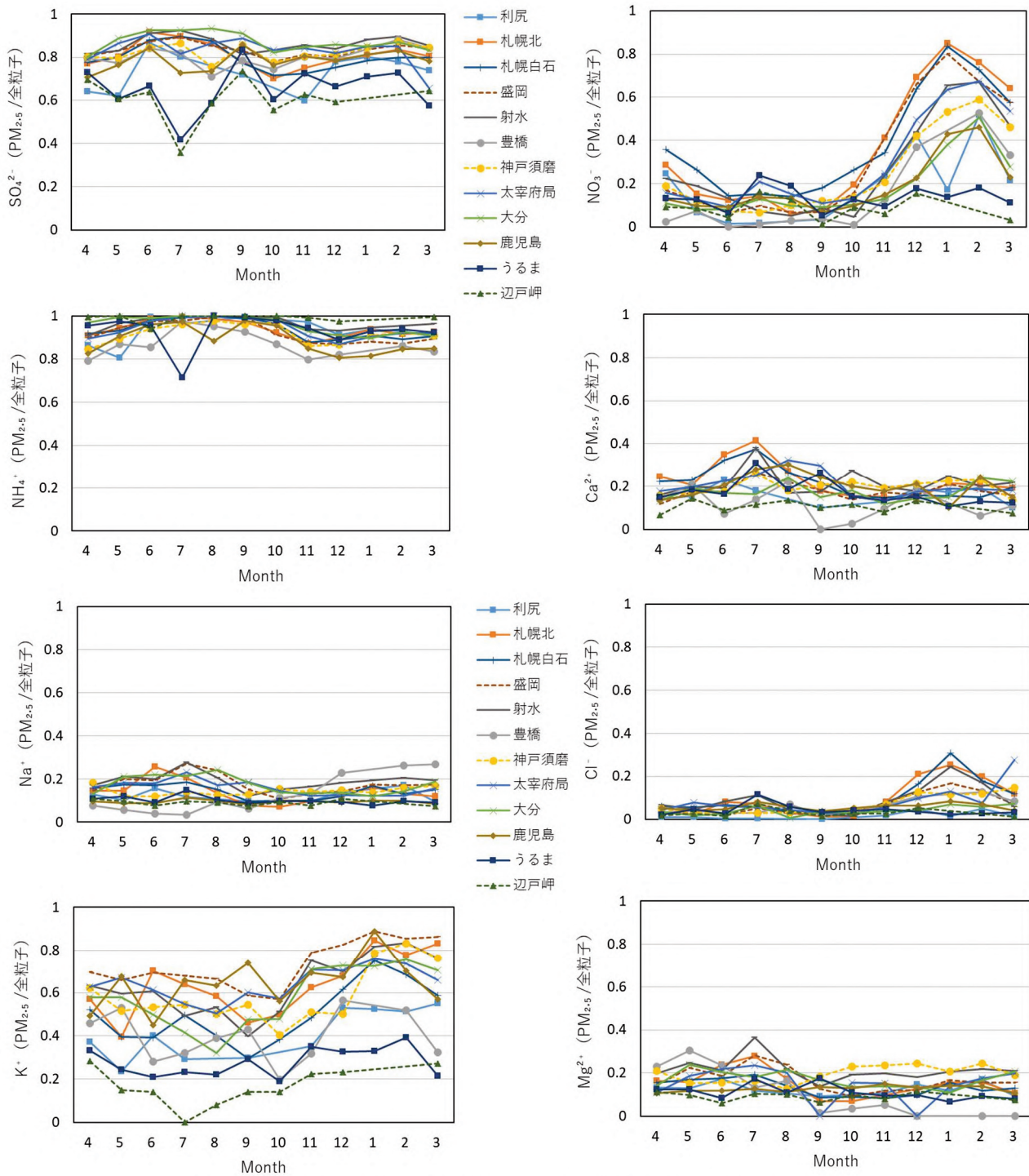


図 5.2.12 全粒子状物質に占める $PM_{2.5}$ 成分の割合の経月変化（地点別）

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(MS 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26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、温度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1km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20km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(2021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	4.7	0.048	0.031	5.3E-09
森林地域	0.59	0.86	0.65	1.4	4.2	0.56	0.11	0.0027
農地	0.14	0.14	0.14	0.67	1.3	0.41	0.15	0.0023
草地	0.17	0.17	0.17	0.72	1.7	0.37	0.10	0.0023
積雪	0.11	0.11	0.11	0.43	0.44	0.48	0.0015	0.00030
水面	0.089	0.089	0.089	0.30	0.30	0.32	0.0012	0.00024

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 (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。

ガス状成分の乾性沈着量は、 $\text{SO}_2(\text{g})$ が0.6(伊自良湖)～16.3(鹿児島)(平均値 4.5) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 $\text{HNO}_3(\text{g})$ が1.2(伊自良湖)～26.7(神戸須磨)(平均値 8.5) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 $\text{NH}_3(\text{g})$ が2.7(利尻)～436.7(旭)(平均値 27.4) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 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)～5.9(宮崎)(平均値 1.9) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 $\text{NO}_3^-(\text{p})$ が0.3(伊自良湖)～10.0(宮崎)(平均値 3.1) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 $\text{NH}_4^+(\text{p})$ が0.5(伊自良湖)～15.1(宮崎)(平均値 3.6) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 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)～20.6(宮崎)(平均値 6.5) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 NO_x (= $\text{NO}_2 + \text{NO}$)を含まない酸化態窒素成分($\text{HNO}_3(\text{g}) + \text{NO}_3^-(\text{p})$)が1.5(伊自良湖)～31.2(神戸須磨)(平均値 11.7) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、還元態窒素成分($\text{NH}_3(\text{g}) + \text{NH}_4^+(\text{p})$)が

3.7(伊自良湖)～440.9(旭)(平均値 31.9) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ だった。

NO_x 測定地点の NO_2 乾性沈着量は0.5(利尻)～15.1(神戸須磨)(平均値 6.1) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、 NO 乾性沈着量は0.002(辺戸岬)～0.029(豊橋)(平均値 0.015) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 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2.2(伊自良湖)～46.3(神戸須磨)(平均値 18.3) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 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26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、盛岡、太宰府および辺戸岬の3地点については湿性沈着の数値がないため、乾性沈着量のみとした。ここで、総沈着量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 、 NO 測定を実施した地点の NO_x の乾性沈着量は、酸化態窒素成分と合わせて示した。

表5.3.2 年間乾性沈着量 (2021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}								
1	北海道	利尻	1.4	3.0	2.7	2.2	3.1	2.3	3.0	0.5	0.002
2	北海道	札幌北	4.7	4.7	4.8	1.1	1.2	1.3	2.5	5.9	0.022
3	札幌市	札幌白石	3.9	3.4	6.0	0.9	1.0	1.2	2.0	—	—
4	岩手県	盛岡	2.3	6.7	18.4	1.5	1.7	2.1	3.6	—	—
5	新潟県	新潟曾和	2.1	3.5	7.5	0.8	0.9	0.9	1.1	5.9	0.015
6	新潟県	長岡	3.3	6.5	12.4	1.6	1.8	2.4	2.9	5.2	0.011
7	群馬県	前橋	1.3	14.4	41.1	1.2	1.3	2.8	3.2	6.8	0.008
8	千葉県	旭	2.3	4.0	436.7	1.0	1.4	3.0	4.2	—	—
9	千葉県	勝浦	4.4	4.1	8.5	2.2	2.8	4.1	2.4	—	—
10	千葉県	清澄	4.6	4.1	8.2	2.3	2.8	4.4	2.5	—	—
11	千葉県	市原	9.0	9.9	10.2	1.2	1.5	2.5	2.2	—	—
12	千葉県	佐倉	1.4	6.7	5.1	1.1	1.2	1.9	2.0	—	—
13	長野県	長野	2.7	8.2	9.1	1.2	1.2	1.4	2.1	5.8	0.018
14	富山県	射水	2.1	6.7	9.5	1.2	1.3	1.3	2.4	6.1	0.025
15	石川県	金沢	1.8	4.5	4.0	1.1	1.2	1.3	1.7	—	—
16	福井県	福井	3.6	6.4	8.7	1.0	1.6	2.3	2.5	6.0	0.020
17	岐阜県	伊自良湖	0.6	1.2	3.1	0.3	0.4	0.3	0.5	0.8	0.008
18	愛知県	豊橋	3.8	15.8	16.9	2.2	2.4	3.8	5.0	10.8	0.029
19	名古屋市	名古屋南	3.2	21.9	8.0	1.2	1.4	2.1	2.3	—	—
20	兵庫県	神戸須磨	4.2	26.7	5.5	2.1	2.3	4.5	4.2	15.1	0.022
21	福岡県	太宰府	3.3	14.6	11.8	2.4	2.6	4.4	6.1	11.1	0.013
22	大分県	大分	10.9	16.2	7.9	2.4	2.6	2.8	4.7	—	—
23	宮崎県	宮崎	14.7	8.6	21.6	5.9	7.1	10.0	15.1	—	—
24	鹿児島県	鹿児島	16.3	8.8	10.6	2.3	2.5	3.1	4.9	—	—
25	沖縄県	うるま	5.7	6.3	26.4	3.6	4.7	5.4	5.2	4.2	0.009 PS
26	沖縄県	辺戸岬	4.7	4.6	8.7	4.9	7.5	7.7	6.0	0.8	0.002
最低値			0.6	1.2	2.7	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.002
最高値			16.3	26.7	436.7	5.9	7.5	10.0	15.1	15.1	0.029
中央値			3.5	6.6	8.7	1.4	1.6	2.5	2.7	5.9	0.014
平均値			4.5	8.5	27.4	1.9	2.3	3.1	3.6	6.1	0.015

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

総沈着量の年間値は、非海塩由来硫黄成分が8.9(長野)～39.4(宮崎)(平均値 18.9) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、酸化態窒素成分が14.9(勝浦)～53.8(福井)(平均値 33.1) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 、還元態窒素成分が17.8(勝浦)～536.9(旭)(平均値 58.9) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ だった。NO_xの乾性沈着量を含めた酸化態窒素成分は19.3(利尻)～61.8(神戸須磨)(平均値 41.6) $\text{mmol m}^{-2} \text{y}^{-1}$ 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5%(伊自良湖)～62%(勝浦)(平均値 33%)、NO_xを除く酸化態窒素成分が4%(伊自良湖)～67%(神戸須磨)(平均値 36%)、還元態窒素成分が10%(伊自良湖)～82%(旭)(平均値 40%)だった。

対象とした23地点を6つの地域区分(北部(NJ, 3地点), 日本海側(JS, 5地点), 東部(EJ, 6地点), 中央部(CJ, 5地点), 西部(WJ, 3地点), 南西諸島(SW, 1地点))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WJで、酸化態窒素成分はCJおよびWJで、還元態窒素成分はWJおよび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。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。経年変化では、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 $\text{NH}_4^+(\text{p})$ の減少は顕著であった。その他の地点では概ね横ばい、または

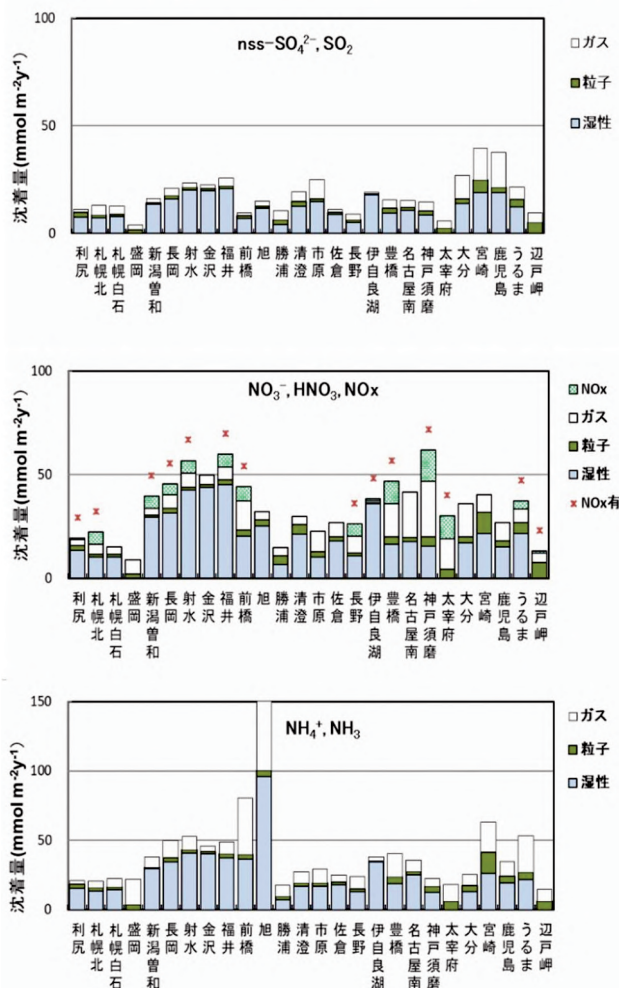


図5.3.1 調査地点の年沈着量 (2021年度)

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、盛岡、太宰府、辺戸岬は乾性沈着量のみ表示した。

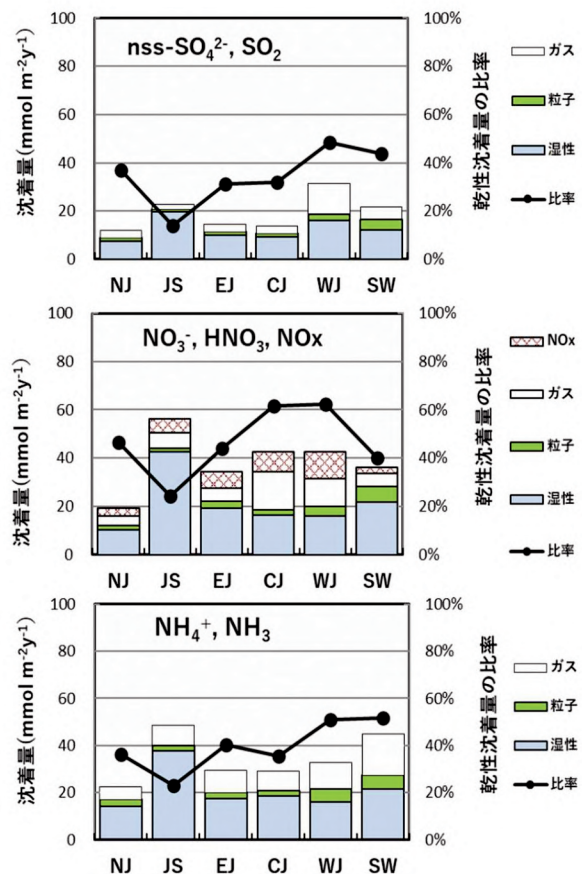


図5.3.2 各地域区分別の年沈着量 (2021年度中央値)

注) 総沈着量に占める乾性沈着量の割合 = 乾性沈着量 / (乾性沈着量 + 湿性沈着量), 中央値より求

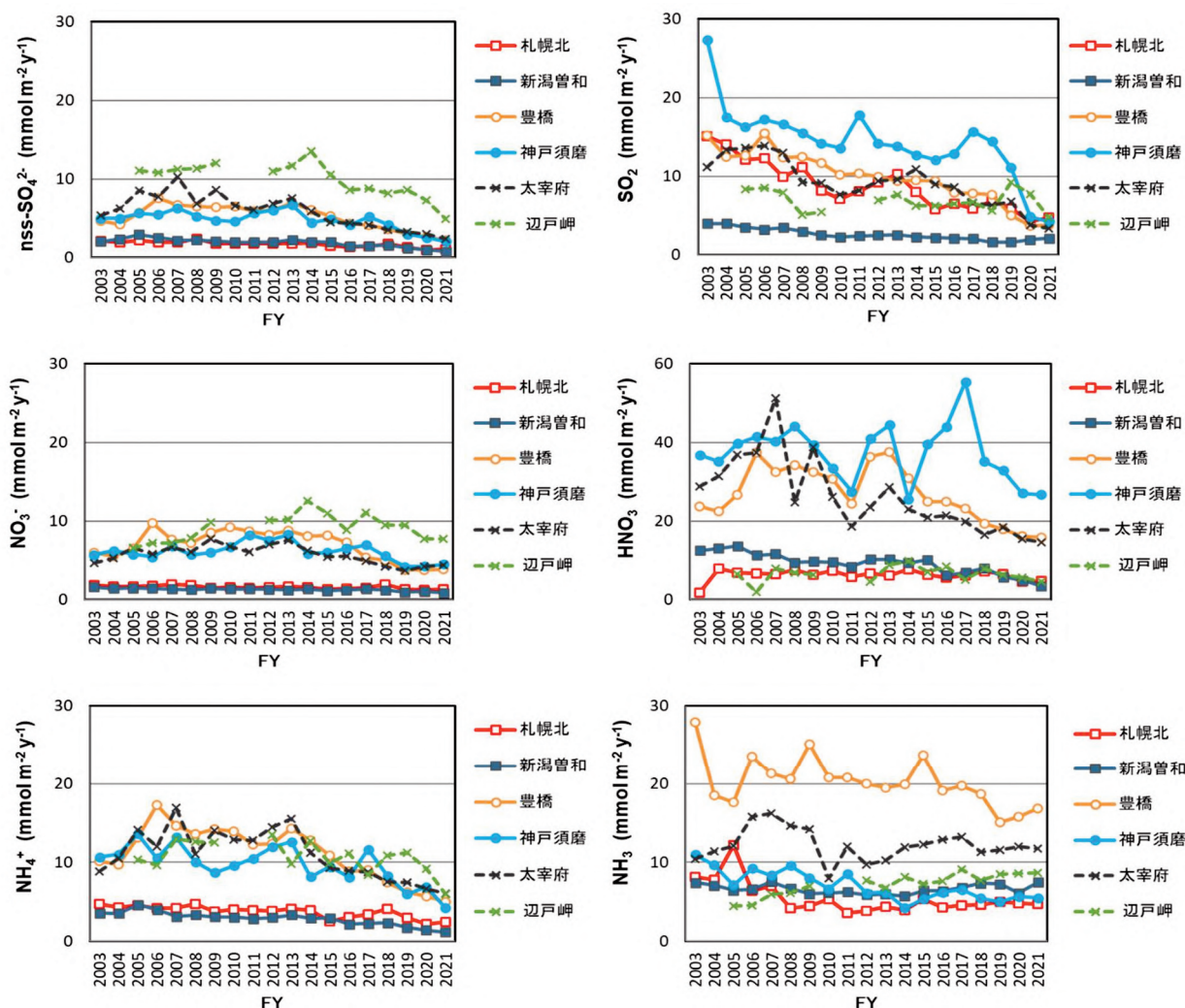


図5.3.3 継続調査地点における乾性沈着量の経年変化
(2003～2021年度)

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、ほぼすべての地点が減少傾向で推移し、特に沈着量の最も多い神戸須磨では近年の減少傾向が顕著であり、2021年では他の地点とほぼ同レベルとなった。

$\text{HNO}_3(\text{g})$ については、神戸須磨、豊橋および太宰府の沈着量が多く、特に変動の大きい神戸須磨も含めて、2018年以降はすべての地点とも減少傾向が認められた。

$\text{NH}_3(\text{g})$ 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。その他の地点については、ほぼ横ばいの傾向であった。

一 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) 全国環境研協議会: 乾性沈着推計ファイルVer. 4-2
<https://www.hro.or.jp/list/industrial/research/eg/development/publications/pub026.html>
(2023. 5. 15 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>
(2022. 12. 10 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>
(2022. 12. 10 アクセス)

6. 乾性沈着（パッシブサンプラー）

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。

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なるが、小さくて電源を要しないため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、PS法により常時監視局の少ない郊外や山岳部でO₃濃度測定を行い、都市部よりも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、FP法ではNH₃(g)とアンモニウム塩粒子(NH₄⁺(p))を分離して測定している。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。このため、FP法で測定されたNH₃(g)測定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、パッシブサンプラーは原理的にはNH₃(g)のみを捕捉するため、FP法の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、期間適合度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。

6.1 測定方法

調査は通年でを行い、試料捕集周期は1ヶ月(4週間または6週間)とした。

地点情報

各地点の位置と年平均濃度を図6.1.1に、項目ごとの地点数および欠測数を表6.1.1に示す。欠測の理由は月期間適合度が60%未満、年期間適合度が80%未満もしくはサンプラーの紛失や測定上の問題などである。

2021年度の地点数はNH₃、NO_x、O₃がそれぞれ13、6、5地点だった。各地点により測定項目は異なり、NO_x、O₃の測定地点の多くは北海道・東北地域に位置し、NH₃は北

海道から沖縄まで分布している(図6.1.1)。NH₃は各測定地点周辺の畜舎などの発生源の影響を強く受けていると思われる。

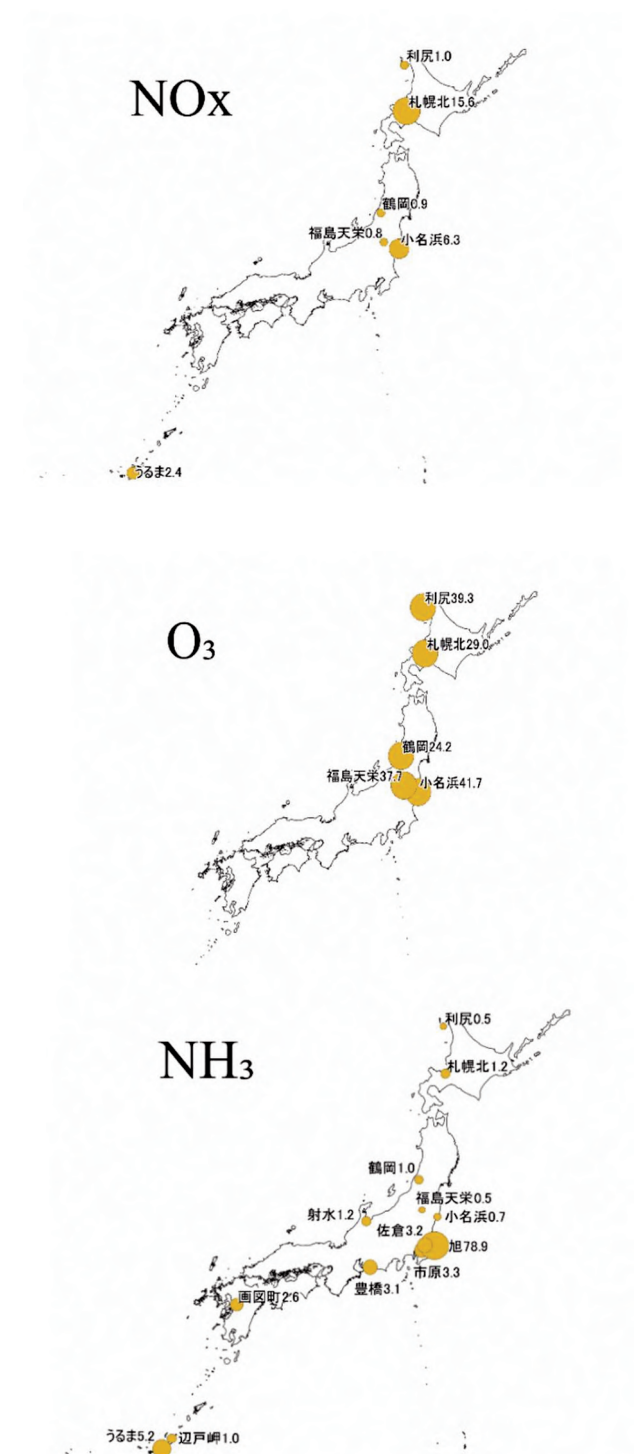


図 6.1.1 各測定項目の地点と年平均濃度 (ppb)

表 6.1.1. パッシブ法による調査地点数と有効データ数

項目	地点数	月有効データ数	月欠測数	月有効割合 (%)	年有効データ数	年欠測数	年有効割合 (%)
NH ₃	13	155	1	99.4%	13	0	100.0%
NO	6	71	1	98.6%	6	0	100.0%
NO ₂	6	71	1	98.6%	6	0	100.0%
NO _x	6	71	1	98.6%	6	0	100.0%
O ₃	5	59	1	98.3%	5	0	100.0%

6.2 測定結果

測定結果の図表は以下のとおりである。おおむね例年どおりの結果となった。

- ・図 6.2.1：各地点の月平均 NO_x 濃度（上：全地点，下：札幌以外）
- ・図 6.2.2：各地点の月平均 O_3 濃度
- ・図 6.2.3：各地点の月平均 NH_3 濃度（旭を除く）
- ・図 6.2.4： NH_3 周辺発生量と年平均濃度の関係
- ・表 6.2.1：地点別年平均濃度（ppb）

NO_x

年平均濃度では例年どおり，札幌北の15.6 ppbが最も高かった。札幌が都市部のため排出が多いことと，特に冬は暖房などの排出量増加と逆転層の形成など気象要因により高濃度になると考えられる。札幌北以外は10 ppb未満と低く，小名浜は札幌北と同様に冬季に高いが，利尻やうるまは明瞭な季節変化がないなど地点によって傾向は異なる。年平均濃度の最低地点は福島天栄の0.8 ppbだった。

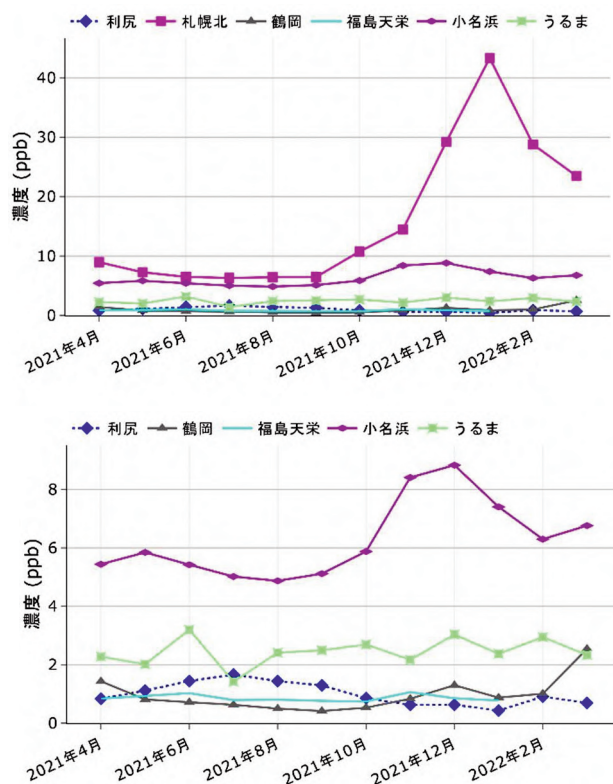


図 6.2.1 各地点の月平均 NO_x 濃度
（上：全地点，下：札幌以外）

O_3

年平均濃度では小名浜の41.7 ppbが最も高い。小名浜は春季に約60 ppbと高濃度になったことが原因と考えられる。一方，最も低いのは鶴岡の24.2 ppbだった。鶴岡

は山間部の谷に位置するため， O_3 が周辺森林などと反応し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(2～5月)に40～60 ppbと高く，6～7月に減少し30 ppb未満となったあと，9～10月に増加する傾向だった。札幌北は例年とは異なり，2022年の3月はあまり増加しなかった。近年，越境汚染の影響が少なくなっていることが原因の一つに考えられる。



図 6.2.2 各地点の月平均 O_3 濃度

NH_3

年平均濃度では旭の78.9 ppbが最も高く，次に高いのはうるまの5.2 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。年平均濃度が最も低いのは利尻の0.5 ppbだった。濃度の高い豊橋や佐倉、低濃度の利尻や射水，小名浜，鶴岡，福島天栄で共通して夏季に高く冬季に低い傾向にあり，気温および積雪などの影響が考えられる。一方で，うるまや市原，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。

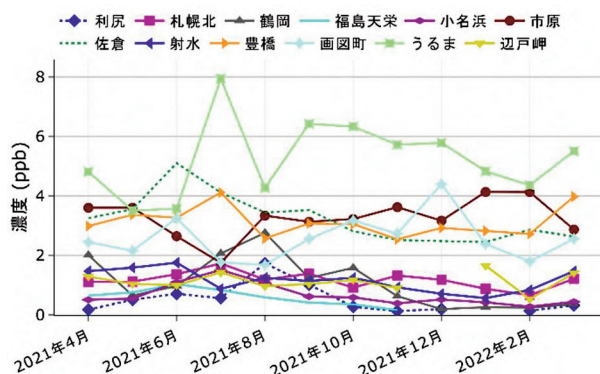


図 6.2.3 各地点の月平均 NH_3 濃度（旭を除く）

NH_3 周辺発生量と年平均濃度の関係

旭は他地点よりきわめて濃度が大きいため除外した。測定地点から半径20km円内の周辺発生量³⁾と年平均濃度

の関係は、うるまを除くと従来どおり高低がよく一致する。近傍の発生源の影響が少なければ、大気中NH₃年平均濃度は半径20km円内の発生源でおおむね決定されと考えられる。

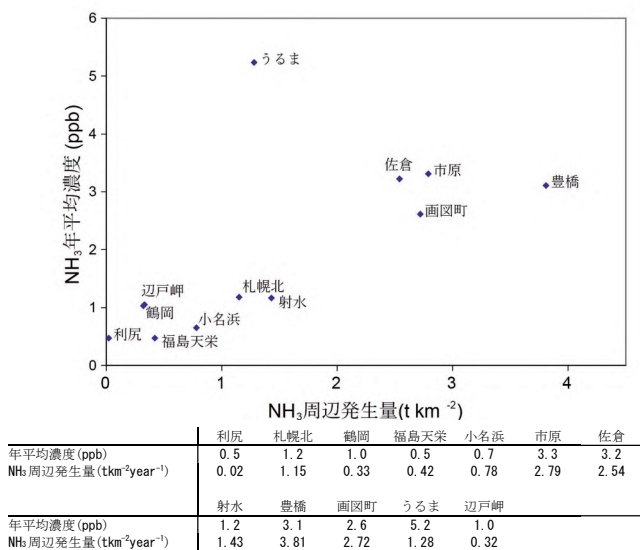


図 6.2.4 NH₃ 周辺発生量と年平均濃度の関係

表 6.2.1 地点別年平均濃度 (ppb)

地点	NO ₂	NO	NO _x	O ₃	NH ₃
利尻	0.3	0.7	1.0	39.3	0.5
札幌北	10.3	5.3	15.6	29.0	1.2
鶴岡	0.5	0.4	0.9	24.2	1.0
福島天栄	0.6	0.2	0.8	37.7	0.5
小名浜	6.2	0.2	6.3	41.7	0.7
市原					3.3
旭					78.9
佐倉					3.2
射水					1.2
豊橋					3.1
画図町					2.6
うるま	2.0	0.5	2.4		5.2
辺戸岬					1.0

一 引用文献一

- 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, 596, 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, 244-245, 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ーEAGrid2000-Japanの年次更新. 大気環境学会誌. 49, 117-125, 2014.

7. まとめ

2021年度酸性雨全国調査の結果概要は以下のとおりである。

7.1 湿性沈着

地点ごとの年加重平均濃度について、 H^+ は西部で高かった。 $nss-SO_4^{2-}$ は北部、日本海側および西部で高く、いずれも例年同様であった。 NO_3^- は日本海側で高かったが、北部および東部では地点ごとのばらつきが大きかった。 NH_4^+ は北部および日本海側で高く東高西低の傾向を示し、東部でばらつきが大きかった。季節別では、例年同様に夏季に濃度が低下する地点が多かった。

沈着量をみると、 H^+ をはじめ、多くの成分で日本海側や西部において、高い値が観測された。

7.2 FP法によるガスおよびエアロゾル濃度

全国26地点で調査を実施した。中央値を前年度と比較すると、ガス状成分では $SO_2(g)$ は13 %、 $HCl(g)$ は10 %、 $HNO_3(g)$ は2 %減少し、 $NH_3(g)$ は約1 %増加した。

粒子状成分では、 $NH_4^+(p)$ が17 %、 $SO_4^{2-}(p)$ が16 %減少し、その他の成分は数 %の変動であった。

12地点においてインパクタを使用して粗大粒子と微小粒子（ $PM_{2.5}$ ）を分けて採取した結果、 $PM_{2.5}$ 中イオン成分

濃度の年平均値の範囲は $1.9 \sim 4.9 \mu g m^{-3}$ であり、いずれの地点も $nss-SO_4^{2-}$ の割合が最も高く、 $PM_{2.5}$ イオン濃度のうち49～63 %を占めた。次いで多いのはいずれの地点も NH_4^+ （13～23 %）であった。

7.3 乾性沈着量

FP法など乾性沈着の測定データから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。ガス状成分と粒子状成分を併せた乾性沈着量の全国平均値は、非海塩由来硫黄成分が $6.5 mmol m^{-2} y^{-1}$ で西部が多く、 NO_x を含まない酸化態窒素成分が $11.7 mmol m^{-2} y^{-1}$ 、還元態窒素成分が $31.9 mmol m^{-2} y^{-1}$ だった。いずれの成分とも北部と日本海側は少なかった。

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 NH_3 （13地点）、 NO_x 、 NO_2 （6地点）、 O_3 （5地点）の月平均濃度の測定を行った。年平均濃度が最も高かった地点は NO_x では札幌北（15.6 ppb）、 O_3 では小名浜（41.7 ppb）、 NH_3 では旭（78.9 ppb）だった。濃度や季節変動などはおおむね例年どおりだった。

<報 文>航空機騒音監視システムの構築

航空機騒音監視システムの構築*

大熊 一也**

キーワード ①航空機騒音 ②システム構築 ③オンライン化 ④AI技術 ⑤データ精査作業

要 旨

仙台空港周辺に航空機騒音通年測定局を4局増設することに伴い、既存の通年測定局3局と松島飛行場周辺の通年測定局3局を含めてオンラインで測定データを収集するシステムを構築した。システム構築にあたっては、航空機騒音測定・評価マニュアル¹⁾（令和2年3月環境省）に準拠したうえ、航空機騒音の自動監視に重要な機能に着目して、最新の技術を検討してシステム構築した。

1. はじめに

仙台空港周辺地域は、県及び周辺市が航空機騒音の常時監視を行っている。令和3年2月、産業基盤の強化と地域振興の飛躍を期待し、仙台空港の運用時間を14時間から24時間化することが決まったが、生活環境への影響が危惧されたことから通年測定局4局を令和4年度に新設し、航空機騒音の監視体制を強化することとなった。このため、毎月測定局に出向き、USBメモリでデータを回収した上で、パソコンにデータ取込する従来の作業方法を見直し、オンラインで測定データを収集するシステムを構築することとした。

システム化にあたっては、既存の通年測定局3局のほか、松島飛行場周辺の通年測定局3局を含めることとし、航空機騒音自動監視に求められる機能を検討してシステム構築したので、その概要を報告する。

2. 航空機騒音監視システムの必要性

県では、航空機騒音の環境基準達成状況の把握と環境基準が適用される地域が適切かどうかを確認するために、航空機騒音の通年測定を行っている。対象となる仙台空港、松島飛行場の位置を図1に示す。

2.1 仙台空港

仙台空港にはA滑走路（1200m R/W 12/30）とB滑走路（3000m R/W 09/27）が設置されており、A滑走路は小型機やヘリコプターが使用し、B滑走路は定期便や航空大学校の訓練機が主に使用している。主な滑走路であるB滑走路では、海側から着陸し、山側に離陸するケース



図1 仙台空港及び松島飛行場位置

が多い。

県の既存の通年測定局は3局あり、B滑走路延長線上の山側で空港に近い1地点（本郷局）、同じく山側に1地点（館腰局）及びB滑走路の北側側方に1地点（杉ヶ袋局）を設置している。

2.2 松島飛行場

松島飛行場は、主滑走路（2700m R/W 07/25）と副滑走路（1500m R/W 15/33）が設置されており、主に主滑走路が使用され、パイロット養成の訓練が行われている。所属機種は、支援戦闘機F-2B型、中等練習機T-4型（ブルーインパルス含む。）、捜索機U-125A型、救難機（ヘリ）UH-60Jとなっている。

県の既存の通年測定局は3局あり、主滑走路延長上の北東側に1地点（石巻局）、南西側に1地点（鳴瀬局）及び副滑走路延長上に1地点（矢本局）を設置している。

*Building an aircraft noise monitoring system

**Kazunari OOKUMA（宮城県保健環境センター）Miyagi prefectural institute of public health and environment

2.3 従来の業務フロー

仙台空港周辺及び松島飛行場周辺の通年測定局は、リオン(株)社製の航空機騒音観測装置NA37が設置されており、航空機騒音イベントごとの最大騒音レベルLA, Smax, 音の到来方向²⁾データ等が装置内に収集される。このデータを毎月測定局に出向き、USBメモリにコピーした後、回収したデータを保健環境センターにあるノートPCにデータ取込していた。その後、データ処理ソフトにより、観測装置が航空機騒音とそれ以外に自動で識別した結果を確認していた。このデータ精査作業では、全ての騒音イベントごとのデータを確認した上、飛行機の運行情報も参照し、航空機騒音と妨害音とを分別して、帳票作成を行っていた。

2.4 仙台空港周辺の航空機騒音測定強化

仙台空港周辺に新設する通年測定局4局については、空港周辺自治体の要望や飛行経路を踏まえて設置することとなった。その位置を図2に示す。詳細な設置場所については現地踏査や事前の騒音測定を行い決定した³⁾。

事前の騒音測定は、航空機騒音の短期測定に準拠し、夏季(6月～9月)と冬季(1月, 2月)の2季節で行い、測定期間は7日間とした。

測定結果から、通年測定に必要な航空機以外の騒音を除外するための閾値(設定レベル)及び継続時間(最大騒音レベルより10dB低いレベルを継続して超えている時間)を整理した。新設通年測定局の特徴と騒音測定結果を表1に示す。

2.5 航空機騒音監視システムの必要性の検討

通年測定局4局新設に伴い、従来の業務フローでは業務量が膨大となることから、それぞれの通年測定局と保健環境センターに設置する中央局とをオンラインで接続するシステム化を図ることとした。

オンライン化により、測定データがリアルタイムで収集されるため、これまでであった停電やマイク不具合による長期欠測を防止することが期待された。

また、データ精査作業の精度及び信頼性向上を図るため、騒音をデジタル録音する機能を観測装置に付加する

表1 新設通年測定局設置場所における測定結果

名称	測定時期	Lden(dB)	ピークレベルハワー平均(dB)	1日あたりの平均騒音発生回数	測定条件 (閾値, 継続時間)	通年測定局設置場所と航空機騒音観測状況
耕谷局	夏	46	66.7	63	57dB, 4秒	A滑走路の延長線上にある。設置場所は集会所の広場。上空を通過する訓練機が主で、山側へ離陸する定期便や数は少ないが海側へ離陸する定期便も観測された。妨害音としては、鳥の鳴き声・ゴミ収集音・風・西側高速道路を走行する救急車などがある。
	冬	47	67.5	78		
杉前局	夏	57	77.8	95	65dB, 5秒	環境基準Ⅱ類型内地点として選定された。設置場所は民間倉庫敷地内。滑走路に近く定期便・訓練機・ヘリの離着陸のほか、リバース音やタキシング音も観測された。妨害音としては、鳥の鳴き声・北側県道の暴走車・倉庫車両音・風などがある。
	冬	61	81.6	119		
矢野目局	夏	47	68.4	40	62dB, 5秒	山側へ離陸した航空機が海側へ旋回する飛行経路下にある。設置場所は集合住宅屋上。山側へ離陸する訓練機が主で、山側へ離陸する定期便や上空を通過するヘリが観測された。主な妨害音は、東側市道の大型車で、西側県道の大型車の自動車騒音もある。
	冬	49	69.2	35		
玉浦局	夏	46	68.1	27	60dB, 10秒	新興住宅地があるため選定された。設置場所は中学校3階。航空機騒音は少ないが上空を通過する訓練機が確認でき、定期便の上空通過も観測された。主な妨害音は、南側県道を走行する大型車の自動車騒音である。
	冬	48	69.8	36		

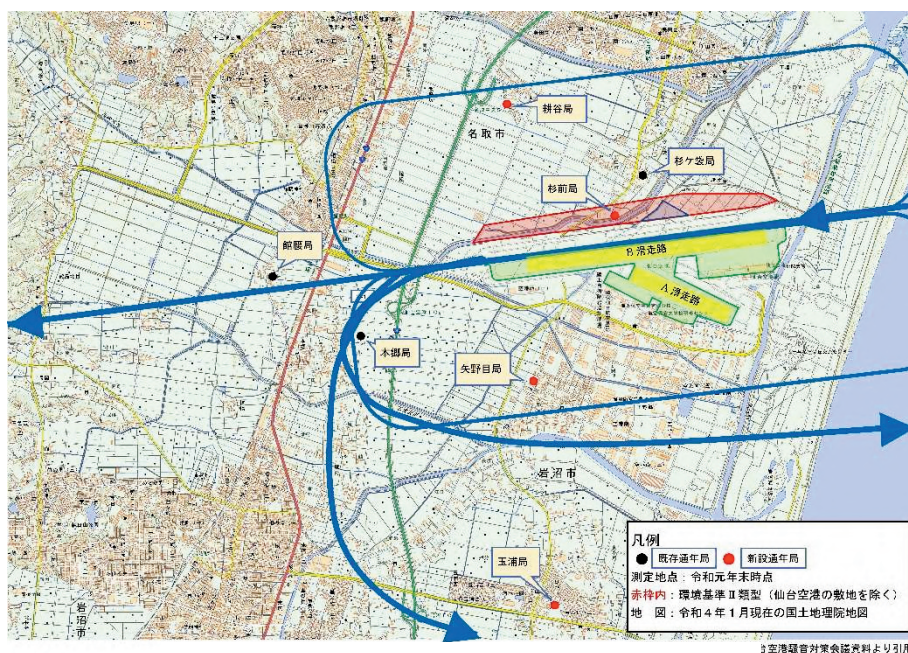


図2 航空機騒音通年測定局及び主な飛行経路

とともに中央局でデータ収集し、精査作業時に再生しながら航空機騒音以外を除外することを可能とした。

測定局が4局増設され10局となること、仙台空港の運用時間が14時間から24時間になることから、データ精査作業が大幅に増加することが見込まれたため、データ精査作業の効率化を図ることを検討した。

近年では、航空機が発信するADS-Bという電波を利用したflightradar24⁴⁾という航空機レーダー追跡サイトが知られており、航空機の航跡情報と騒音イベントデータを突き合わせすることで、航空機騒音以外を確実に除外でき、効率化できる可能性が考えられた。さらに、受動型二次監視レーダ（PSSR）を利用することにより、ADS-Bを発信しない航空機においても航跡情報を収集できるシステムが実用化されていた⁵⁾。

しかしながら、航空機騒音と妨害音が重畳する場合には、航跡情報を利用したとしても、航空機騒音と識別された全ての騒音イベントを確認する必要があること、音の到来方向による観測装置の識別では、上空からの音と地上音とを精度よく判定できるため航跡情報による効率化の効果が十分見込めないこと、また、コスト面からも、その採用は見送ることとした。

そこで、次にAI技術の活用を検討した。航空機騒音の録音データをAIに学習させることにより、音を元にした航空機騒音の判定が可能となる⁶⁾。観測装置の識別結果とAIによる判定が異なる部分のみを抽出し、抽出された騒音イベントに対してデータ精査作業を行うことで効率化が図られることを想定し、AI技術を導入することとした。

3. 航空機騒音監視システムの概要

3.1 ネットワークの構成

測定局と中央局とのネットワーク構築にあたっては、

モバイルネットワークを利用し通信することとし、各測定局には、NTTdocomoの4G回線を利用できるLTE端末としてYAMAHA製LTEアクセスVoIPルーターを設置することとした。中央局については、各測定局からのデータを収集することで通信量が多くなることが見込まれたため、光回線を敷設することとした。

測定局と中央局との通信においては、安定性とセキュリティ対策としてIPsecを使用したVPN接続とした。システム構成図を図3に示す。

3.2 中央局の概要

中央局には、各測定局からリアルタイムでデータ収集するほか、日報データとして集計する機能、データベースのバックアップ、機器の不具合を検出してメールを送信する機能を持たせた。AI技術による録音データの処理には、一般的にGPUが必要となるが、リオン(株)社製のAIによる音源分類技術では、録音データを先鋭化する処理が行われるため、不要であった。導入したサーバー等のスペックを表2に示す。

表2 中央局機器スペック一覧

サーバー	OS	Windows Server 2019 Standard
	CPU	Xeon E-2378 2.6GHz 1P8C
	メモリー	32GB (16GB×2)
	ディスク	960GB SATA SSD×2 1TB SATA HDD×2 RAID1
	UPS	BN75T (OMRON) 出力容量750VA
NAS	デュアルコアCPU搭載 ネットワーク接続	
	ハードディスク(NAS) 4TB (I-O DATA)	
	UPS	BW40T (OMRON) 出力容量400VA
PC	OS	Windows11Pro downgrade 10 (64bit)
	CPU	Intel(R) Core(TM) i7-12700T (12C/1.4GHz/25M)
	メモリー	16GB (8GBx2)
	ディスク	256GB SSD
	ディスプレイ	23.8インチワイド

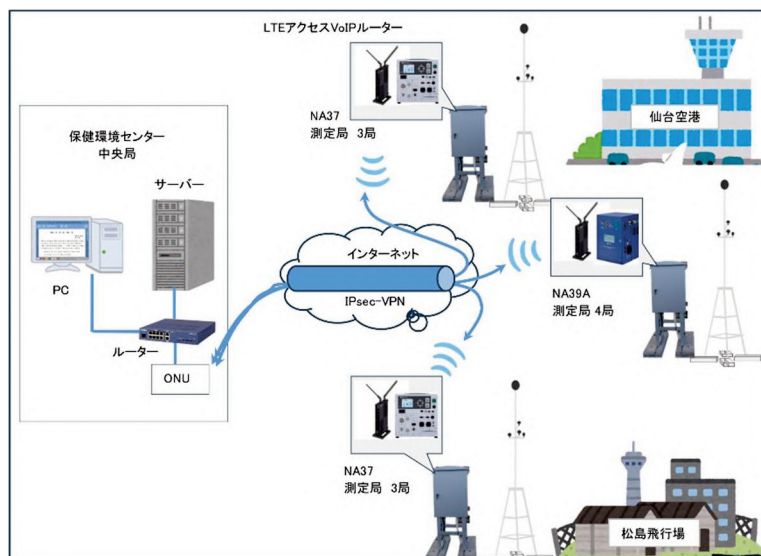


図3 システム構成図

3.3 測定局の概要

新設した通年測定局4局には、リオン(株)社製の航空機騒音観測装置NA39Aを設置した。NA39Aは、騒音計である環境騒音装置NA-39Aと音到来方向識別装置AN-39D、SSR受信装置AN-39Rで構成されており、騒音レベルが閾値以上で、音の到来方向が上空音とした場合、その騒音イベントを航空機騒音と判定する仕組みとなっている。また、航空機が発信するトランスポンダを受信し騒音イベントと航空機情報とを対応させることができる。

時刻管理についてはGPSを利用できるほか、マイクロホンに内蔵音源をもち、毎日マイクロホンの動作確認を行うことができる。その概要を図4に示す。

3.4 航空機騒音管理ソフトウェア

航空機騒音観測装置からデータを収集し、集計するソフトは、リオン(株)社製AS-51を導入し、AI技術による音源の種類分類を自動で行う機能を付加させた。また、帳票出力項目も増やし(有効測定日、環境基準超過日数、編集済イベント回数など)カスタマイズしている。

AI判定機能は、1日分のデータを深夜に判定するバッチ式で、GPUを必要とせず、サーバーに長時間負荷がかからない方法で実行される。AI技術には、一般的に学習データの質と量が重要とされており⁷⁾、導入したAI判定機能は、実際の測定局の録音データを学習させることで信頼性を向上することができる。航空機騒音は、季節によりその特徴が変化するため、季節ごとの録音データに聴取した内容のラベル(例:ジェット機、戦闘機、プロペラ機、緊急車両、自動車、鳥など)を付加し、学習させる予定としている。AI判定の結果表示については、表3に示すケースにおいて誤判定となる場合がある。その可能性

を考慮し、正解をより効果的に出力するため、判定結果の確度から判定結果表示は、AIR, OTH, UNK=判別不能の3パターンとなっている。

表3 AI判定の評価

		実際に航空機	航空機でない
AI判定	航空機判定	正解	不正解
	非航空機判定	不正解	正解

図5に示す通り、航空機騒音観測装置による音の到来方向による航空機騒音の識別結果とAI判定による判定結果が異なるイベントを抽出する機能をもたせることとした。

ユーザ	状態	測定局	実音	観測日時	LASmax [dB]	LAE [dB]	騒音時間 [s]	騒音値 [dB]	音源	AI	コメント
o		本郡局	■	2023/04/07 14:17:19	68.7	74.8	10.5	45.0	AIR	AIR	
		本郡局	■	2023/04/07 12:19:25	71.2	81.3	28.5	42.0	AIR	UNK	
		本郡局	■	2023/04/07 15:56:19	65.9	76.8	30.8	45.0	AIR	UNK	

図5 観測装置の識別結果とAI判定

4. 航空機騒音監視システムの評価・結果

4.1 オンライン化の効果

測定局からリアルタイムでデータ収集されるため、毎月のデータ回収作業が不要となったほか、従来は前月分のデータ精査作業を翌月にまとめて実施しており、月報報告に時間を要していたが、その都度実施できるため、月報報告を早めることが可能となった。

また、マイクロホンの動作確認結果や、時刻管理状況を中央局で確認できるため、観測装置の不具合にすぐに

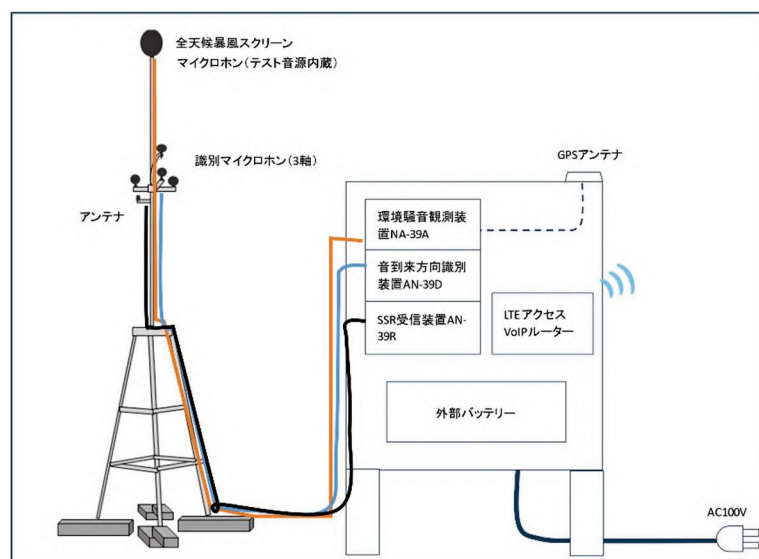


図4 測定局の概要

対応できる。2023年4月の各測定局のマイクロホンの動作確認状況を図6に、時刻管理状況を図7に示す。マイクロホン動作確認結果は、基準となる114.0dBに対して、113.8～114.4dBの範囲にあり、騒音測定に支障がないことが確認された。各測定局の時刻については、中央局のサーバーに対して±1秒以内であった。

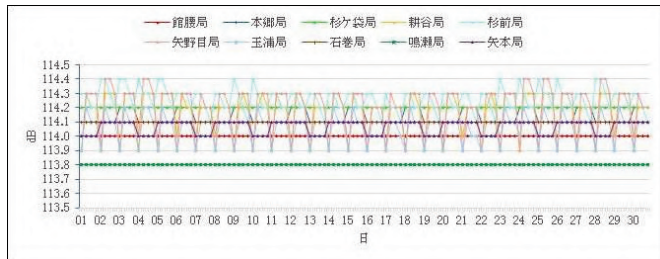


図6 マイクロホンの動作確認結果

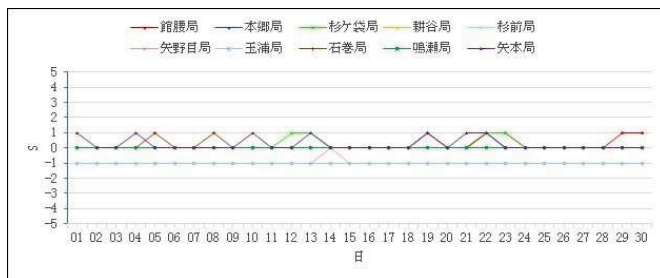


図7 時刻管理

4.2 データ精査作業の精度向上

航空機騒音管理ソフトでは、従来どおり観測装置が測定した音の到来方向が軌跡として表示される。図8に示すとおり、航空機騒音と自動車騒音が重畳した場合においても、それぞれの軌跡が表示されデータ精査作業において、録音データの聴取によらず精査が可能であった。

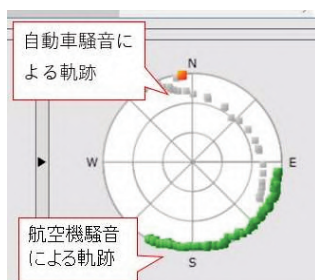


図8 音の到来方向表示

この方法で不明な騒音イベントについては、録音データを聴取して精査が可能となった。これまで妨害音の内容は不明であったが、緊急車両や雷が一定程度妨害音として存在することが確認された。

L_{Aeq} 1秒のグラフ表示においては、複数の測定局のデ

ータを並べて表示することができ、同一の航空機による騒音であることが一目で確認することができる。図9にグラフ表示を示す。



図9 複数測定局のグラフ表示

4.3 航空機騒音の識別結果

信頼性がある測定結果を得るためには、データ精査を適切に実施することが重要である。

録音データの聴取と詳細なデータ精査が可能となったため、航空機騒音識別率の算出を試みた。AI判定機能は、現在録音データを学習する期間であるため、判定精度を評価しがたいため、ここでは、航空機観測装置の音の到来方向による識別結果を表4に示す。2023年5月の測定結果において、 L_{den} 及び騒音発生回数（月平均）に近い L_{den} 及び騒音発生回数（日平均）であった日を、各測定局を代表する日として選定し、識別率等を整理した。

表4 観測装置の識別結果

測定局	全回数	識別数			精査後			識別率 (%)
		航空機	妨害音	L_{den} (dB)	航空機	妨害音	L_{den} (dB)	
館腰局	68	57	11	52.8	60	8	52.8	96
本郷局	65	63	2	55.3	64	1	55.3	98
杉ヶ袋局	121	117	4	52.1	119	2	52.5	97
耕谷局	98	57	41	46.2	57	41	46.2	96
杉前局	184	151	33	59.6	168	16	59.8	90
矢野目局	62	48	14	48.9	49	13	49.0	98
玉浦局	61	39	22	47.2	43	18	47.4	96
石巻局	113	39	74	62.0	44	69	62.0	96
鳴瀬局	53	49	4	62.4	53	0	62.4	92
矢本局	107	55	52	52.0	56	51	52.1	92

10局全ての測定局において、識別率は90%を超え、良好な識別結果であった。データ精査後の L_{den} は、観測装置の識別結果（データ精査前）と比較して、0.0～+0.4dBの範囲であり、航空機騒音の発生回数では、0～+17回であった。

5. まとめ

保健環境センターに中央局を設けて、仙台空港周辺の通年測定局7局と松島飛行場周辺の通年測定局3局をオンラインで接続するシステムを構築した。システム化により、以下の点で効果があった。

- ・ 毎月のデータ回収作業が不要
- ・ リモートでのマイクロホンの動作確認
- ・ リモートでの時刻管理
- ・ バックアップの自動化
- ・ 機器障害時のメール通知
- ・ データ精査作業の精度向上
- ・ データ精査作業の効率化

今後は、AI判定の判定率や、データ精査作業の効率化について評価していく予定である。

6. 引用文献

- 1) 環境省：航空機騒音測定・評価マニュアル，2020
- 2) 廻田恵司（リオン株式会社）：航空機騒音モニタリング装置．日本音響学会誌，**72**，9，596，2016
- 3) 大熊一也：航空機騒音通年測定局の測定条件調査．第48回全国環境研協議会北海道・東北支部研究連絡会議，2023
- 4) Flightradar24 AB：flightradar24，<https://www.flightradar24.com/52.52,13.39/4>（2023.7.18アクセス）
- 5) 廻田恵司（リオン株式会社）：航跡観測システムR-TRACKのご紹介．小林理研ニュース，3，**155**，2022
- 6) 大島俊也：航空機騒音測定における深層学習による音源識別の利用と課題．航空環境研究，**24**，1-8，2020
- 7) 斎藤康毅：ゼロから作る Deep Learning Python で学ぶディープラーニングの理論と実装，オライリー・ジャパン，東京，2018．等多数

＜支部だより＞

東海・近畿・北陸支部

全国環境研東海・近畿・北陸支部の活動として、第37回支部研究会について報告します。

(支部事務局：石川県保健環境センター)

1. 開催日：令和5年1月～2月

2. 開催方法：書面開催

3. 事務局：岐阜県保健環境研究所

4. 発表演題：19題

① LC/MS/MSを用いた化学物質の一斉分析法の開発に関する研究

(富山県環境科学センター)

② 石川県沿岸海域における水質変動の概況

(石川県保健環境センター)

③ 固相抽出による地下水中のPCBスクリーニング検査法の改良

(石川県保健環境センター)

④ 石川県内の地下水中に含まれる価数別無機ヒ素濃度及び鉄濃度の調査結果

(石川県保健環境センター)

⑤ 石川県海域の海水及び魚類中における東京電力福島第一原子力発電所事故由来のセシウム-137

(石川県保健環境センター)

⑥ 志賀原子力発電所周辺陸水中のストロンチウム-90調査について

(石川県保健環境センター)

⑦ 福井県におけるPM_{2.5}成分濃度の沿岸部から内陸部への変化について

(福井県衛生環境研究センター)

⑧ GC/MS自動同定定量システム(AIQS)による県内河川水中の化学物質のスクリーニング分析

(愛知県環境調査センター)

⑨ 愛知県における近年の光化学オキシダント等の変化傾向

(愛知県環境調査センター)

⑩ 気象による琵琶湖水質の特異変動について

(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)

⑪ ジフェニルカルバジド吸光光度法におけるクロム(VI)分析における試料中夾雑物質の影響と妨害除去方法の検討

(京都府保健環境研究所)

⑫ GC-MS/MSによる酸化エチレン分析法の検討

(京都府保健環境研究所)

⑬ 南海トラフ巨大地震にともなう化学物質漏洩リスクの推計

(地方独立行政法人

大阪府立環境農林水産総合研究所)

⑭ 大阪府におけるナノ粒子中の多環芳香族炭化水素類の濃度について

(地方独立行政法人

大阪府立環境農林水産総合研究所)

⑮ 奈良県における光化学オキシダント(Ox)生成に寄与する揮発性有機化合物(VOC)調査

(奈良県景観・環境総合センター)

⑯ 大和川水系における河川マイクロプラスチック汚染の実態調査

(奈良県景観・環境総合センター)

⑰ LC-MS/MSによる水質中の塩化ベンザルコニウム塩の分析法の検討

(和歌山県環境衛生研究センター)

⑱ 窒素キャリアガスGC-ECDによるPCB分析条件の検討

(京都市衛生環境研究所)

⑲ 岐阜県におけるPM_{2.5}中のレボグルコサン濃度について

(岐阜県保健環境研究所)

編集後記

まだまだ暑い日が続いています。「今年の夏はこれまでで最も暑かった…」と毎年のように思っていますが、実際のところどうだったのでしょうか。調べてみると、『気象庁の検討会では「要因で歴代と比較しても圧倒的な高温で異常気象だといえる」と結論づけた』、との記事がありました。また、暑さだけではなく、大雨、台風などの自然災害も頻発しており、被災された方々には心からお見舞い申し上げます。

地方環境研究所の職員としては、気候変動適応への取り組みや災害時対応は重要であると感じる夏でした。

当研究所では、令和4年度から災害時等における化学物質の網羅的簡易迅速測定法を活用した緊急調査プロトコルの開発（Ⅱ型共同研究）に参加しており、環境分析という点で、災害時に対応できる体制作りを進めています。また、今年度から、市内の公共用水域における化学物質の平常時データを蓄積する調査研究を開始しました。

市民の安全・安心を確保するとともに、将来に渡って私たちの環境を守っていくため、これらの調査研究を通じて分析技術の維持・向上に努めていきたいと思ってお

ります。

一方、今年の夏、世間を賑わせた街路樹の枯死に関する土壌調査の検査依頼が当研究所にもありました。当研究所では、通常業務として土壌分析を行っていないため、多少の苦労もありましたが、職員の知恵と技術を結集して、無事分析を終えることができました。分析技術の維持・向上も重要であるに加え、チームワークも重要であると改めて認識した仕事でした。

最後になりましたが、巻頭言を執筆していただいた宮崎県衛生環境研究所長の藤崎様、特集の「第6次酸性雨全国調査報告書2021（令和3）年度」を担当していただいた山形県環境科学研究センター様、報文を投稿していただいた皆様、「支部だより」を執筆していただいた石川県保健環境センター様、お忙しいところご協力をいただき、ありがとうございました。また、全国各支部会員の皆様におかれましては、今後とも会誌への積極的な投稿についてご協力をお願いいたします。

（北九州市保健環境研究所）

令和5年度

全国環境研協議会広報部会

< 部 会 長 > 北九州市保健環境研究所長
< 広報部会担当理事 > 福岡県保健環境研究所長

季刊 全国環境研会誌 Vol.48 No.3(通巻168号)

Journal of Environmental Laboratories Association

2023年9月25日発行

発行 全国環境研協議会

編集 全国環境研会誌 編集委員会