

資料 (Data)

神奈川県における最近 6 年間の酸性雨の状況 (2015 年 4 月～2021 年 3 月)

川原一成, 濱邊一弥, 代田 寧

(調査研究部)

Observational study of the last six years of acid rain in Kanagawa(2015.4-2021.3)

Kazunari KAWAHARA, Kazuya HAMABE and Yasushi DAITA

(Research Division)

キーワード： 酸性雨, pH, イオン, 非海塩性由来

1 はじめに

酸性雨とは、石油や石炭等の燃焼によって発生した大気汚染物質により雨水が酸性化し、健康被害や森林の衰退、人工物の劣化腐食をもたらす環境問題である。19 世紀のイギリスでの産業革命より始まったとされ、日本でも 1970 年代に関東地方に酸性度の強い雨が降り、目の痛み等の健康被害や農作物被害が発生したことにより問題が表面化した。先進国のみならず、近年では中国や東南アジア等の途上国にも広がりを見せている。

そのような状況を背景として、神奈川県では国に先立ち、1974 年度から県内の自治体の協力を得て酸性雨調査を開始した。1991 年度からは、地方公共団体の環境研究所による組織である全国環境研協議会（全環研）で新たに始まった全国酸性雨調査にも参画している。

本報ではその枠組みの中で、県が観測した雨水（いわゆる湿性沈着）の水素イオン指数（pH）や含有する各種イオンの状況について、前回 2015 年の報告¹⁾に続き最近 6 か年分を紹介する。

2 調査方法

2. 1 調査期間

調査期間は 2015 年 4 月 6 日～2021 年 3 月 29 日の 6 か年である。

2. 2 調査地点

調査地点は平塚市の神奈川県環境科学センターの建屋屋上（地上高 22m）である。当センターは海岸から 3.7km、準工業地域の標高 9m の平地に位置している。また、風向は当センターより東南東 9.5km のアメダス辻堂観測所のデータを使用

した²⁾。それによると、最大風速時の風向としては通年にわたって概ね南南西であった。

図 1 に本報に関する県内の地点を示す。



図 1 神奈川県内の位置関係
(★が調査地点)

2. 3 採取及び分析方法³⁾

雨水の採取は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。これは降雨時のみ採取口が開き、捕集された雨水はポリタンク内で冷蔵保存される仕組みとなっている。これを原則 1 週間毎に回収し、分析試料とした。

分析は、試料の一部で pH 及び電気伝導率（EC）を測定し、残りを 0.45 μ m フィルターでろ過を行った後にイオンクロマトグラフィーにて各種イオンを定量した。対象イオンは、硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）、硝酸イオン（ NO_3^- ）、塩化物イオン（ Cl^- ）の陰イオン 3 種、及びアンモニウムイオン（ NH_4^+ ）、ナトリウムイオン（ Na^+ ）、カリウムイオン（ K^+ ）、カルシウムイオン（ Ca^{2+} ）、マグネシウムイオン（ Mg^{2+} ）の陽イオン 5 種とした。

表 1 に使用機器類を示す。

表1 装置概要		
	型 式	メーカ
雨水捕集装置	US-330H	株式会社原計器製作所
pH計	F-71, 9615S	株式会社堀場製作所
電導度計	CM-40S, CG-511B	東亜電波工業株式会社
イオンクロマトグラフィー	DIONEX AQUION	サーモフィッシャー サイエンティフィック(株)
分離カラム (陰イオン)	Dionex IonPac AS22-Fast	
分離カラム (陽イオン)	Dionex IonPac CS12A	

3 調査結果及び考察

3. 1 総イオン成分濃度と海塩由来成分

図 2 に検出された雨水中の各イオン濃度の合算値及び EC の推移を月平均で示す。月平均は、毎週採取分のイオン濃度について、各週の降水量を考慮した加重平均として算出した。

図 2 では、総イオン濃度は EC とほぼ連動する形で月によって大きく変化し、最大でおよそ 40 倍の差が生じた。また、2019 年 10 月を筆頭に突出した月がいくつか見られ、いずれも成分の内訳では Cl⁻ と Na⁺ が大部分を占めていた。これらの月は台風の上陸や接近、もしくは降雨時に強い海からの風が確認されており、海岸に近い当センターに

において強風で巻き上げられた海水等が混入したものとされた。特に 2019 年 10 月の台風 19 号（令和元年東日本台風）の上陸は、暴風のみならず、相模川上流の城山ダムが 1965 年の竣工以来初の緊急放流を実施する程の降雨をもたらした特異的なものであった。

このように、海水が直接的に、又は海塩粒子として雨に取り込まれると、Cl⁻、Na⁺のみならず SO₄²⁻、K⁺、Ca²⁺及び Mg²⁺の濃度にも大きな影響を及ぼすため、詳細な評価のためには、これらの海塩由来分を取り除いて考えることが有効である。具体的には、含まれる Na⁺が全て海塩由来であると仮定して、既知の海塩組成比の割合で該当イオンの海塩由来分を算出し、残りを非海塩性由来（non-sea salt : nss-）とした⁴⁾。以後本報では、該当イオンは nss-の値を主に掲載することとする。

3. 2 nss-イオン成分濃度と降水量

図 3 に nss-各イオン濃度の合算量（月平均）と各月の降水量の推移を示す。海塩由来分を除外したため、濃度差は図 2 より縮まり 12 倍であった。

降水量は夏季に多く冬季は少ない傾向にあっ

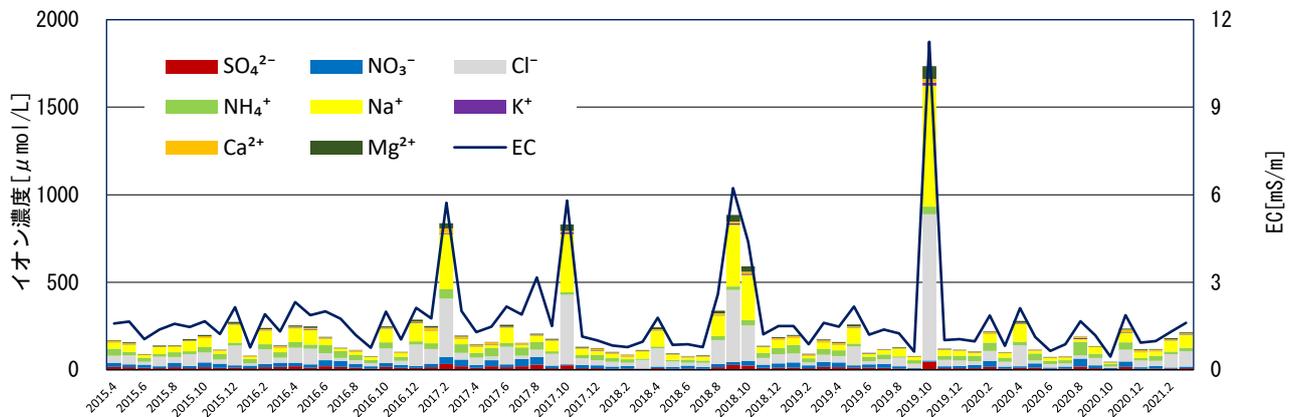


図2 イオン合算濃度及びECの月別推移

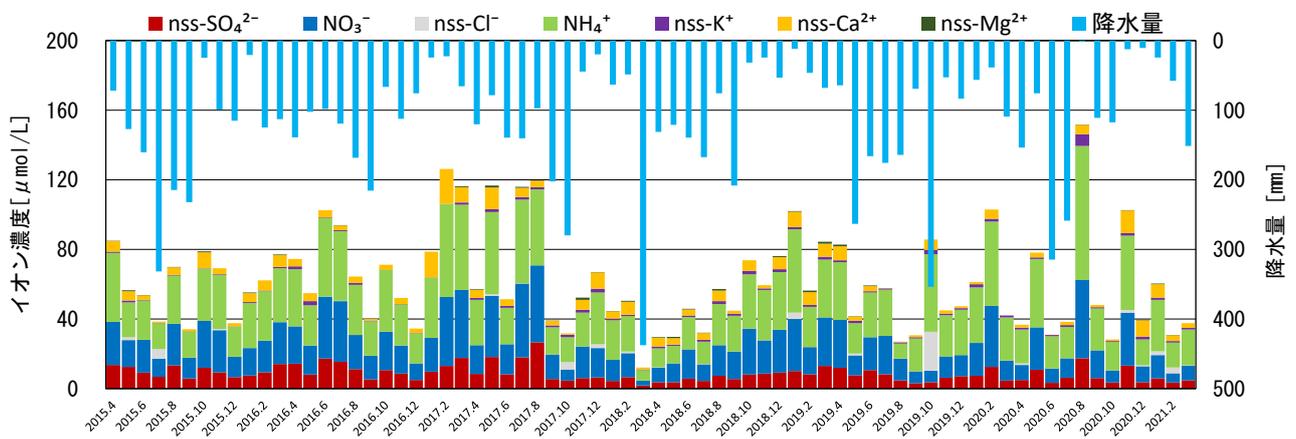


図3 nss-イオン合算濃度及び降水量の月別推移

た。また、降水量が少ない月はイオン濃度が高くなる傾向が見られた。降水量が最も少なかった2020年8月(2mm)と反対に最も多かった2018年3月(438mm)が代表例である。なお、両者はそれぞれ1946年の気象庁の統計開始以来、東日本太平洋側では同月としては1位の少雨⁵⁾と1位の多雨⁶⁾の月であった。

このことは、雨の降り始めには大気中の汚染物質を多く取り込んで濃くなり、降雨が続くにつれて大気が洗われて薄まってくると考えられた。

3.3 pH と nss-イオン成分濃度

図4にpH、図5にnss-陰イオン濃度及び図6にnss-陽イオン濃度の月別推移を、図7にpHの年度別推移を示す。年度別平均(年平均)も、月平均と同様に降水量に基づく加重平均とした。

また、図5には神奈川県が大気汚染常時監視測定のために設置している測定局のひとつである、茅ヶ崎市役所(当センターより東南東5.1km)における二酸化硫黄SO₂及び窒素酸化物NO_xのデータ⁷⁾も参考として示した。図7にはpHの月平均値が5.6を超えた月数を併せて示した。

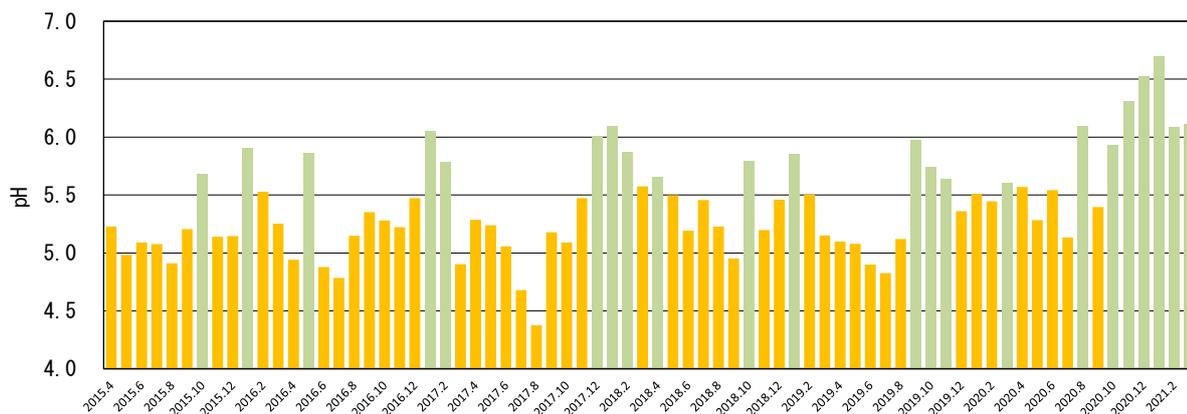


図4 pHの月別推移 (緑色は5.6を超えた月)

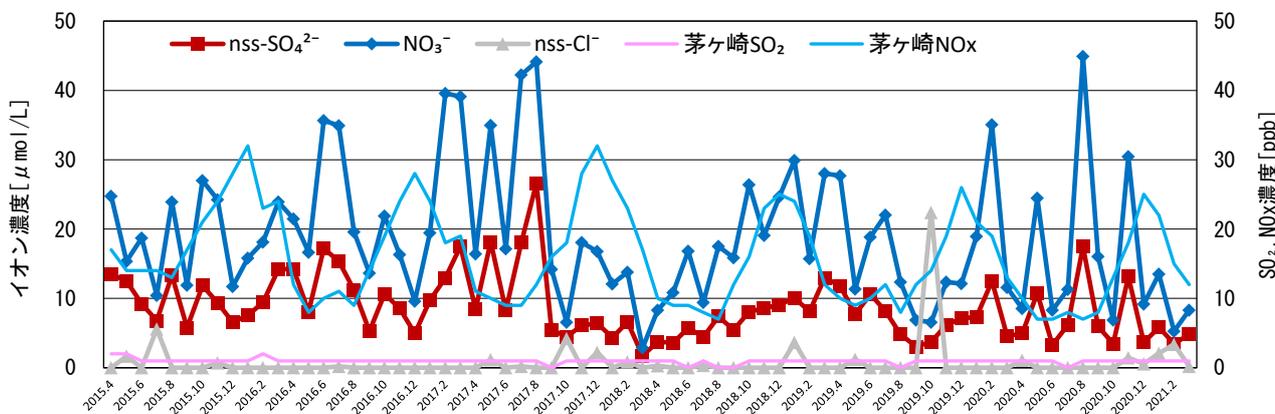


図5 nss-陰イオン濃度及び大気中SO₂, NO_x濃度の月別推移

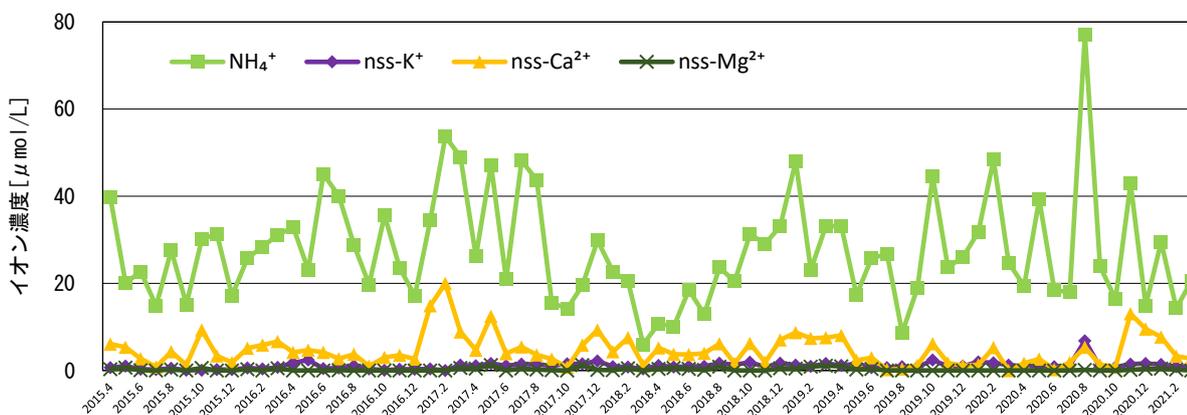


図6 nss-陽イオン濃度の月別推移

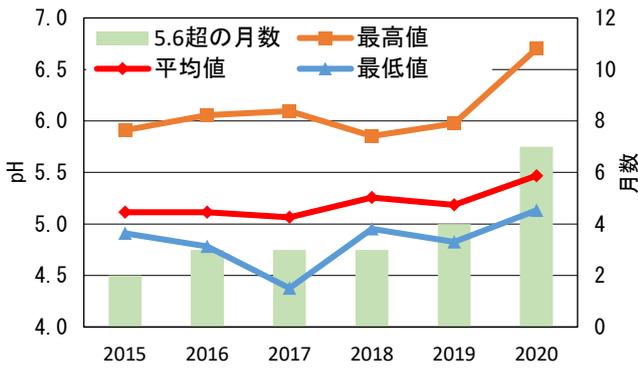


図7 pHの年度別推移

3. 3. 1 pH

値 7.0 が中性を意味する pH は、5.6 以下で酸性雨と定義され、4.0 以下で酸性度の強い降水、3.0 以下では植物に対し急性被害が懸念される数値とされている⁸⁾。

最近 6 か年では、pH の月平均値は 4.38～6.70 の範囲であり、4.0 を下回ることはなかった。また、pH は夏季に低く冬季に高くなる傾向にあった。

最も低い値となったのは 2017 年 8 月であった。当月は、例年にないオホーツク海高気圧による北東風の日が多かったため、風上となる東京湾沿岸の工業地帯等からの汚染物質の移流があったと考えられた。実際、nss-SO₄²⁻濃度は最も高かった。一方、2019 年度の pH は、例年とは異なり 9 月が最も高かった (5.97)。この時は台風の影響もあり、同月の最大風速時の風向は、6 か年で唯一の北北西、即ち内陸の山間部からの風であったため、大気中の汚染物質が少なかったと推測された。以上より、pH の高低には、季節のみならず風向が大きく寄与していると考えられた。

pH 全体としては、年度別推移 (図 7) から明らかなように上昇傾向であった。また、最終の 2020 年度が年平均値のみならず、年度毎の最高値、最低値及び 5.6 を超えた月数の比較においても、例年と比較して一年を通じてかなり上昇しており、酸性雨の改善が認められた。

3. 3. 2 nss-イオン成分濃度

一般に雨水において、nss-SO₄²⁻や NO₃⁻は化石燃料の燃焼もしくは火山活動等により放出された SO₂や NO_xが、大気中で光化学反応を起こして生成した硫酸や硝酸が由来である。一方、NH₄⁺は農業分野等から発生したアンモニアが由来とされる。

測定イオンの中では、NH₄⁺、NO₃⁻及び nss-SO₄²⁻

の 3 成分は、ほとんどの場合でこの順番で濃度が高く、また、図 5、6 の月別推移からも挙動及び濃度比も概ね一致していた。このことより、NH₄⁺と NO₃⁻又は SO₄²⁻は主にそれぞれ対イオンとして存在していることが推測された。

一方で、図 5 において茅ヶ崎市役所における大気中の NO_x 濃度は、一般的な傾向と同様に季節によって変動し、冬季に高くなる傾向にあった。また、SO₂ 濃度は通年にわたってほぼ一定であったため、NO_x との濃度比は変動していたことになる。このことは、雨水中の NO₃⁻及び nss-SO₄²⁻の濃度の挙動とは連動せず、濃度比がほぼ一定であることも整合していないため、酸性雨の汚染の過程が複雑であることを示唆しているといえた。

3. 4 nss-イオン成分沈着量

各イオン成分濃度と降水量から雨に溶け込んだ各イオンの絶対量、即ち地上への沈着量 (降水量) を求めることができる。図 8 に nss-陰イオン沈着量、図 9 に nss-陽イオン沈着量の月別推移を示す。水素イオン H⁺の沈着量は pH 値より換算した。濃度の挙動とはまた異なるものとなった。

nss-SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺及び H⁺の 4 成分は、夏季に多く冬季に少なくなる傾向があった。これは主に降水量が反映されたものと考えられた。

nss-Cl⁻はほとんどの月においてごくわずかであった。そのため、当地点の周辺では焼却炉由来の人為的な塩化水素等の影響は大きくないとみられた。その中で 2015 年 7 月の沈着は、6 月 29 日から 7 月 1 日にかけて発生した、ごく小規模ながらも観測史上初となる箱根山噴火の火山ガスが原因と推定された。これまでも、2000～2001 年の三宅島火山の噴火の際に nss-Cl⁻の上昇が確認されている⁹⁾。箱根山は当センターから西南西 32km の比較的近距离であるが、同様に火山ガス起源の二酸化硫黄に由来する nss-SO₄²⁻は、元々 nss-SO₄²⁻自体が多い時期であったため、顕著な変化は認められなかった。それ以外の nss-Cl⁻の沈着の多かった月は、主に台風による土壌等の巻き上げが原因と思われた。

その他の陽イオンでは、土壌中の石灰等が由来とされる nss-Ca²⁺が春季に多くなる傾向が見られた (図 9-2)。アジア大陸から偏西風によって飛来する黄砂の時期と重なり、一般的には日本の表層土よりもカルシウムの含有量の高いことが黄砂粒子の特徴とされていることから¹⁰⁾、その影響も

受けた可能性が考えられた。

また、生物由来とされる nss-K^+ だけでなく、 Na^+ と同様に主に海塩由来とされる Mg^{2+} の非海塩性由来の沈着量は、6 か年にわたりごく少量であった。

最後に図 10、11 に降水量と併せて沈着量の年度別推移を示す。2019 年度は特異的な台風の影響で大きく増加したイオンがあったものの、 nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 nss-Ca^{2+} 及び H^+ はこの 6 か年で概ね減少傾向を示し、いずれも直近となる 2020 年度が最も少なかった。

4 おわりに

最近 6 年間で雨水の pH は危険を及ぼす値になることはなく、中性に向かって上昇の傾向を示した。各種のイオンにおいても、大気汚染物質の指標として特に重要な nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 nss-Ca^{2+} 及び H^+ の沈着量は減少の傾向となった。これらはいずれも直近の 2020 年度が最も低い値となった。

このように全体的には改善の傾向にあることが判明したが、酸性雨の定義からも問題は未だ解決には至っていない。また降雨の調査は、pH 以外にも環境中で何が起きているかを確認する有効な手段であることを、箱根山の噴火による火山

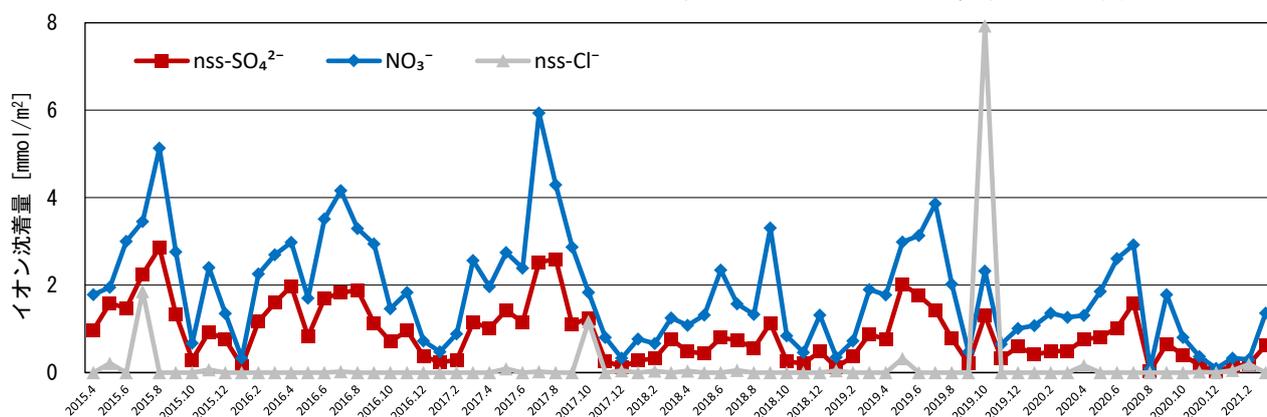


図8 nss-陰イオン沈着量の月別推移

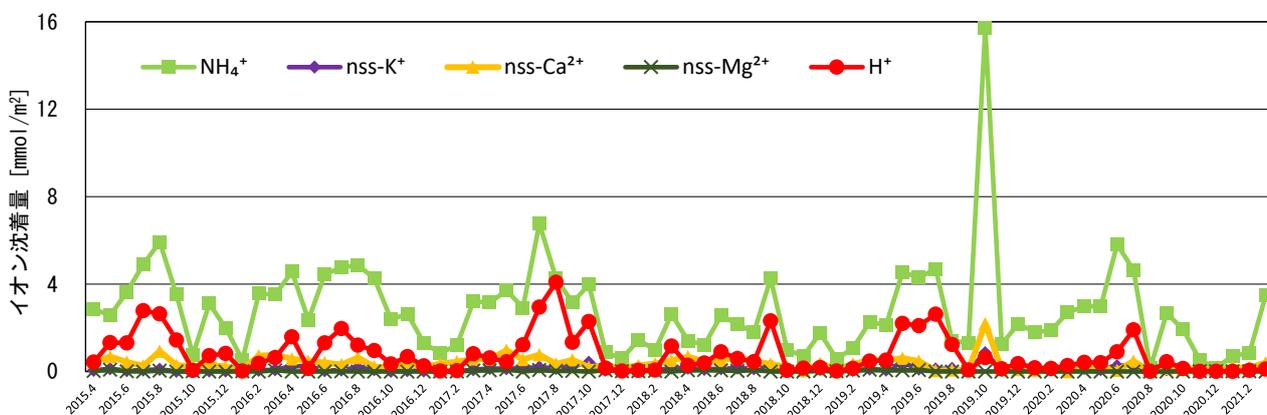


図9-1 nss-陽イオン沈着量の月別推移

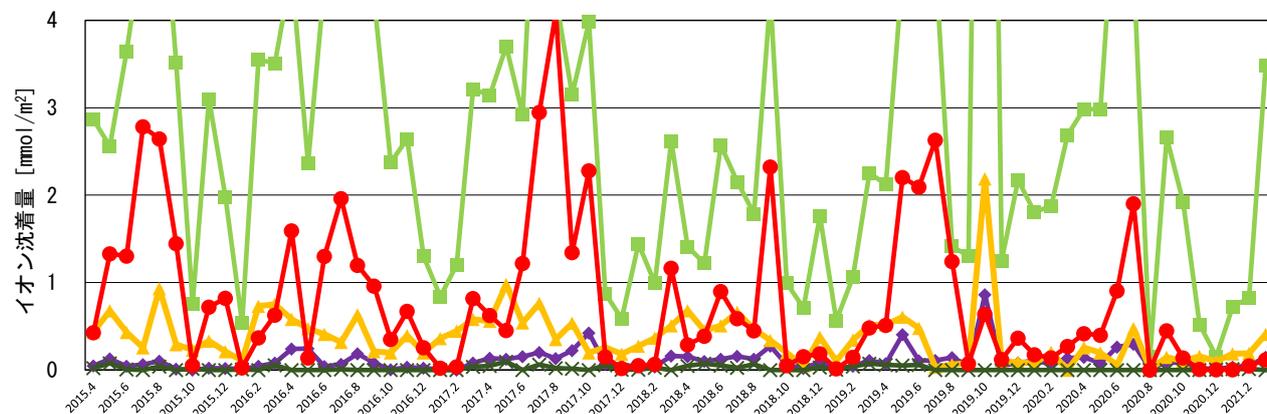


図9-2 nss-陽イオン沈着量の月別推移 (拡大)

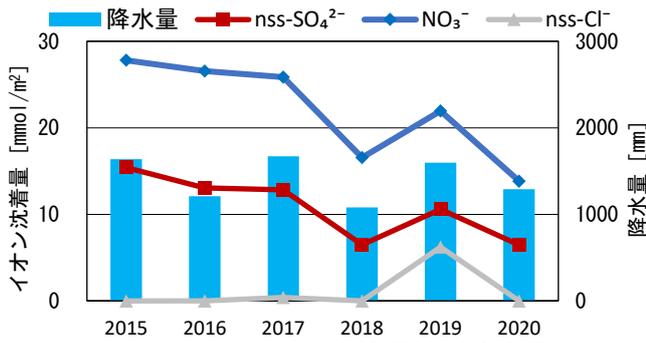


図10 nss-陰イオン沈着量及び降水量の年度別推移

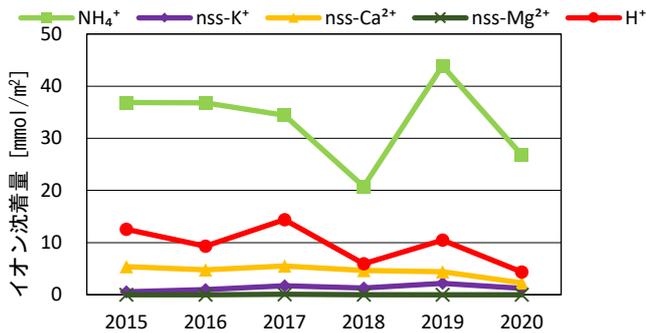


図11 nss-陽イオン沈着量の年度別推移

ガスを検出した事例等でも改めて示された。今後も調査を継続していく必要がある。

参考文献

- 1) 十河孝夫・池田佳代・岡敬一：県内における酸性雨イオン成分の変遷，神奈川県環境科学センター研究報告, 38, 27-33 (2015)
- 2) 気象庁：過去の気象データ検索，<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (参照; 2021.9)
- 3) 環境省：湿性沈着モニタリング手引き書（第2版）(2001)
- 4) 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, 227, 成山堂書店 (2014)
- 5) 気象庁：報道発表資料，<https://www.jma.go.jp/jma/press/2009/01a/tenko2008.html> (参照; 2021.9)
- 6) 気象庁：報道発表資料，<https://www.jma.go.jp/jma/press/1804/02a/tenko1803.html> (参照; 2021.9)
- 7) 神奈川県：大気汚染常時監視測定結果，<https://www.pref.kanagawa.jp/sys/taikikanshi/kanshi/download/index.html> (参照; 2021.9)
- 8) 環境省：酸性雨長期モニタリング報告書（平成15～19年度）(2009)
- 9) 武田麻由子・小松宏昭・岡敬一・阿相敏明：西丹沢における大気汚染物質及び酸性雨の状況

(1996～2011)，神奈川県環境科学センター研究報告, 36, 27-35 (2014)
 10) 環境省：黄砂問題検討会報告書，<https://www.env.go.jp/air/dss/report/02/index.html> (参照; 2021.9)