

酸性雨の傾向（2003年度から2023年度）

椿 隆幸, 堤 清香

Trend of Acid Rain(2003~2023)

Takayuki TSUBAKI, Kiyoka TSUTSUMI

キーワード：酸性雨、経年変化、湿性沈着モニタリング、pH、イオン成分

Key words: Acid Rain Changes over time, wet deposition monitoring, pH, Ionic component

はじめに

酸性雨は、化石燃料の燃焼により大気中に排出された硫黄酸化物や窒素酸化物の一部が、大気中で硫酸および硝酸等の二次生成物質に酸化され、これらの二次生成物質が雨滴生成過程に核として捕捉され、降水に取り込まれることによって起こる。また、酸性雨の原因となる物質は、国内からの出現に加え、大陸からの移流も指摘されている¹⁾。

今回、環境省ホームページ²⁾に掲載された酸性雨調査結果(2003年度から2023年度)を用いて、長期的な経年変化について解析したため報告する。

方 法

環境省ホームページに掲載された長崎県対馬測定所の湿性沈着モニタリングの結果について解析を行った。解析項目は降水量の年合計値、pHの月平均値及び年平均値、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ の各年平均値の10項目及び非海塩性成分を示す nss-SO_4^{2-} 、 nss-Ca^{2+} の2項目である。

pH及び $\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$ 当量濃度比(N/S比)の解析では、他地域の遠隔測定所5か所(利尻測定所(北海道)、佐渡関岬測定所(新潟県)、隠岐測定所(島根県)、えびの測定所(宮崎県)、屋久島測定所(鹿児島県))のデータも使用し、全国的な傾向を比較した。

なお、解析に使用したデータには、有効判定基準で棄却され参考値とされているものを一部含んでいる。

結 果 及 び 考 察

1 pHの傾向

2003年度から2023年度における対馬測定所の月平均pHの階級別の出現頻度及び酸性雨の定義をpH5.6以下とした場合の酸性雨出現率を表1に示す。

期間中の最低値は4.03、最高値は5.46となり、すべ

ての期間でpHは5.6を下回ったため、月平均での酸性雨出現率は100 %となった。

月平均のpHの経年変化の状況を図1、pHの加重平均値の推移を図2に示す。

pHは2003年度から2008年度にかけて緩やかに低下し、2009年度以降は上昇傾向に転じた。

対馬測定所と同じく遠隔測定所に区分されている利尻、佐渡関岬、隠岐、えびの、屋久島の5測定所との年平均のpHの年度別経年変化比較を図3に示す。

5測定所ともに対馬測定所と同様に緩やかな上昇傾向を示しており、全国的に降雨の酸性状態が改善傾向にあることが示唆された。

2 イオン成分濃度

2003年度から2023年度における対馬測定所のイオン成分の年平均値及び降水量の年合計値を表2、 nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 及びN/S比の推移を図4~6に示す。なお、表2の網掛け部分は有効判定基準で棄却された参考値を示す。対馬測定所のN/S比は2019年度に一旦下がった後、2020年度以降は大幅な上昇を示している。一般的に SO_2 は火山活動や越境汚染の影響を受けやすく、 NO_x は国内発生源の影響を受けやすいといわれていることから、越境汚染による影響の割合が低下した可能性がある。また、国際海事機関(IMO)が2020年1月に燃料中の硫黄成分の上限を大きく引き下げたことが、 $\text{PM}_{2.5}$ 中の石油燃料因子の減少に影響しているとの報告もあり³⁾⁴⁾、今回の結果も同様に当該規制の影響が表れている可能性もある。

遠隔測定所6か所のN/S比の推移を図7に示す。えびの、屋久島は横ばい、他4か所は上昇傾向となった。

表1 月平均pHの階級別出現頻度及び酸性雨出現率

pH階級	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
3.60-3.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.00-4.59	3	0	4	6	10	10	9	3	5	5	5	6	2	2	2	2	0	1	0	1	0
4.60-4.99	6	8	3	3	2	2	3	6	6	7	6	5	6	8	10	7	9	6	7	5	8
5.00-5.59	3	0	2	1	0	0	0	2	1	0	1	1	4	2	0	3	3	5	5	6	4
5.60-5.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
サンプル数	12	8	9	10	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
酸性雨出現率 (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
最低 pH	4.37	4.64	4.33	4.03	4.13	4.17	4.06	4.24	4.21	4.27	4.45	4.22	4.57	4.50	4.40	4.40	4.67	4.45	4.72	4.58	4.64
最高 pH	5.31	4.87	5.32	5.00	4.76	4.65	4.71	5.25	5.32	4.98	5.21	5.00	5.12	5.18	4.97	5.21	5.31	5.20	5.12	5.46	5.16
年平均 pH	4.83	4.78	4.62	4.59	4.51	4.49	4.53	4.77	4.65	4.66	4.75	4.72	4.81	4.81	4.86	4.82	4.96	4.91	4.94	5.04	4.91
加重平均 pH	4.80	4.80	4.68	4.55	4.38	4.38	4.42	4.75	4.63	4.59	4.63	4.59	4.88	4.80	4.71	4.84	4.92	4.96	5.00	5.00	4.96

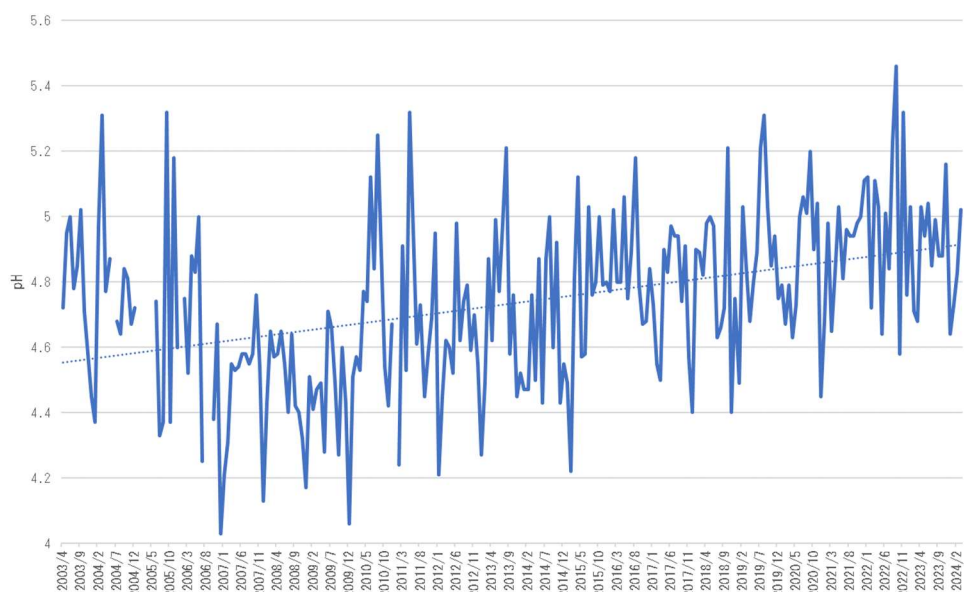


図1 対馬測定所月平均pHの経年変化

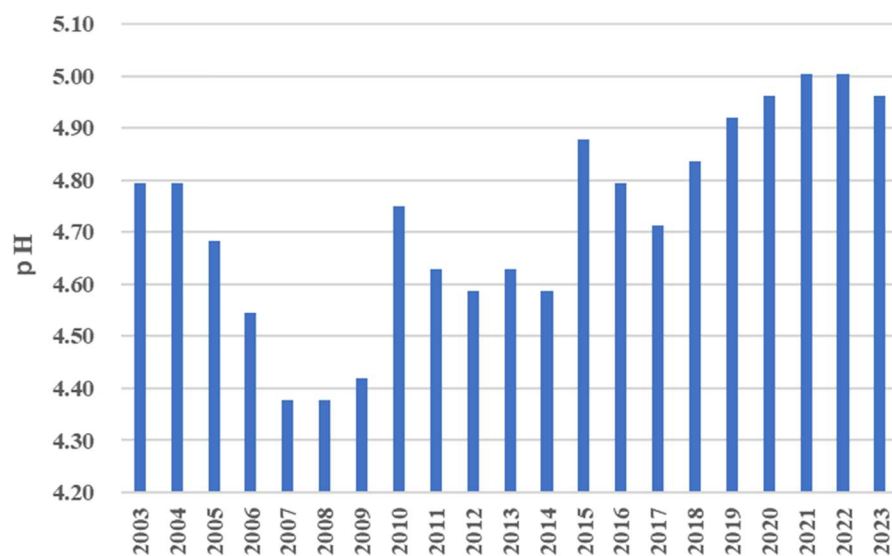


図2 対馬測定所月平均pH加重平均値の推移

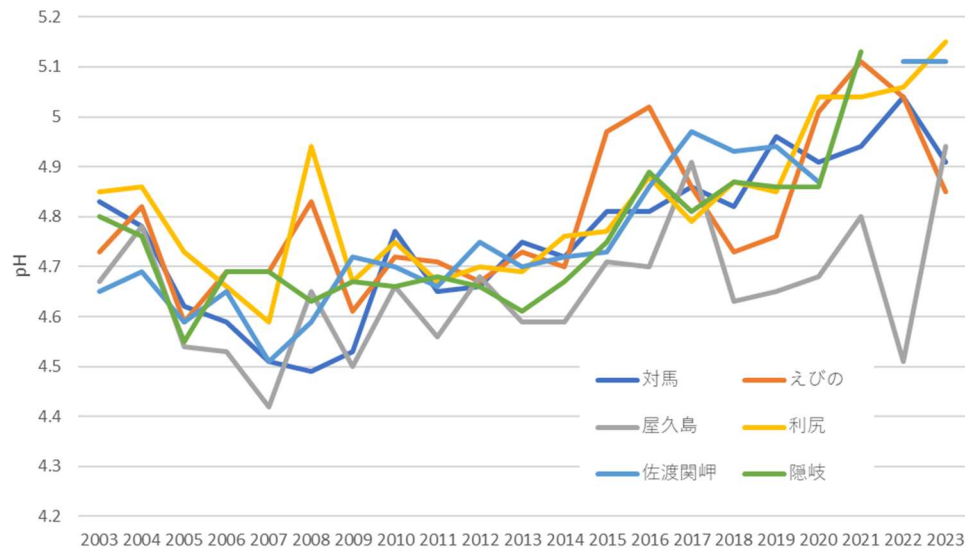


図3 遠隔測定所6か所の年平均pHの経年変化(年度別比較)

表2 対馬測定所イオン成分濃度年平均値($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)及び年降水量

年度	SO_4^{2-} (a)	nss- SO_4^{2-} (b)	b/a*100 (%)	NO_3^-	Cl	NH_4^+	Ca^{2+} (c)	nss- Ca^{2+} (d)	d/c*100 (%)	Na^+	Mg^{2+}	K^+	$\text{NO}_3^-/\text{nss-}\text{SO}_4^{2-}*100$ (%)	年降水量 (mm)
2003	16.6	12.9	77.71	11.9	69.1	17.6	3.3	2.0	60.61	61.5	7.0	3.6	92.25	2921
2004	17.6	14.0	79.55	13.2	68.1	15.8	4.0	2.7	67.50	60.6	7.7	2.6	94.29	2390
2005	25.9	21.2	81.85	19.4	81.1	29.3	5.7	4.1	71.93	78.9	7.8	4.8	91.51	1781
2006	29.6	26.3	88.85	22.8	59.9	25.6	6.6	5.4	81.82	54.9	6.9	3.4	86.69	2767
2007	28.4	26.3	92.61	25.9	37.5	32.5	4.6	3.9	84.78	34.9	4.7	3.2	98.48	2123
2008	22.4	20.4	91.07	21.0	36.8	17.7	3.9	3.1	79.49	33.0	4.1	2.0	102.94	1739
2009	19.6	17.2	87.76	16.6	44.8	18.5	3.3	2.5	75.76	40.2	5.0	1.9	96.51	1744
2010	14.2	12.0	84.51	13.0	38.1	13.1	3.7	2.9	78.38	35.1	4.1	1.9	108.33	1570
2011	17.0	14.7	86.47	14.9	41.2	15.1	3.2	2.4	75.00	38.0	4.5	1.7	101.36	1809
2012	20.1	17.1	85.07	15.6	57.2	15.6	3.3	2.2	66.67	50.2	5.9	1.7	91.23	2087
2013	18.8	14.8	78.72	14.0	75.8	14.8	3.5	2.1	60.00	66.6	7.7	2.3	94.59	2025
2014	17.0	15.0	88.24	14.5	38.1	16.5	2.5	1.8	72.00	33.6	4.2	1.6	96.67	1877
2015	13.7	12.2	89.05	10.8	27.7	10.8	2.1	1.6	76.19	24.0	3.1	1.6	88.52	2917
2016	14.5	12.7	87.59	12.4	34.0	13.6	2.1	1.4	66.67	30.4	3.8	1.5	97.64	2123
2017	11.3	8.8	77.88	10.5	47.1	8.0	1.7	0.8	47.06	41.3	4.5	1.1	119.32	1544
2018	13.0	10.6	81.54	10.4	51.4	10.1	1.9	1.0	52.63	47.1	4.6	1.5	98.11	2502
2019	11.4	9.4	82.46	7.2	38.0	9.6	1.4	0.7	50.00	32.7	3.5	1.0	76.60	2600
2020	10.3	8.4	81.55	11.4	35.9	11.7	1.8	1.2	66.67	31.1	3.6	1.1	135.71	2338
2021	9.6	7.3	76.04	11.0	42.8	9.2	1.9	1.1	57.89	37.2	4.3	1.3	150.68	2051
2022	12.0	6.6	55.00	10.6	105.4	9.6	3.2	1.2	37.50	89.7	10.0	3.0	160.61	1601
2023	11.7	8.9	76.07	13.2	53.8	12.4	2.5	1.6	64.00	45.7	5.2	1.6	148.31	2010

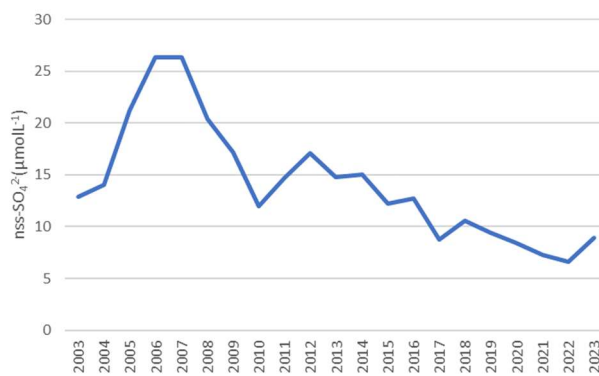


図4 対馬測定所nss- SO_4^{2-} の経年変化(年度別)

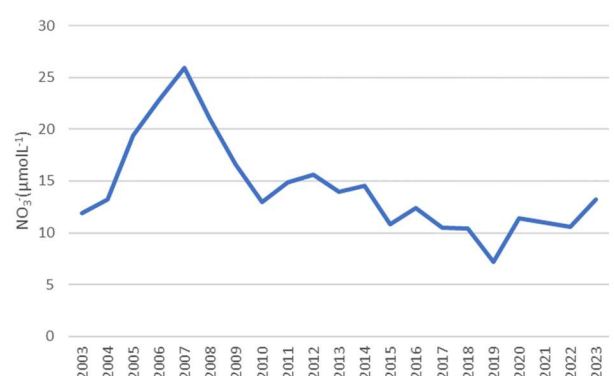


図5 対馬測定所 NO_3^- の経年変化(年度別)

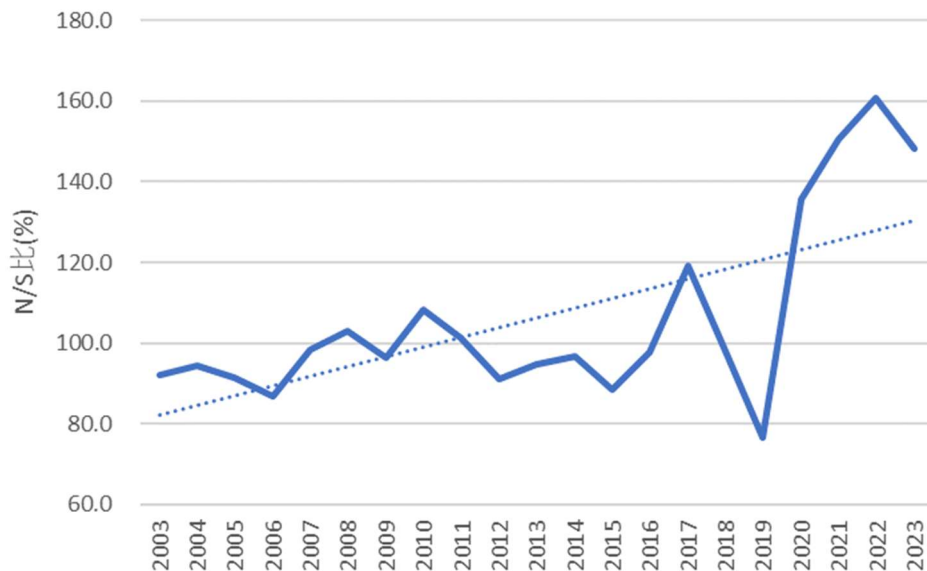


図6 対馬測定所N/S比の経年変化

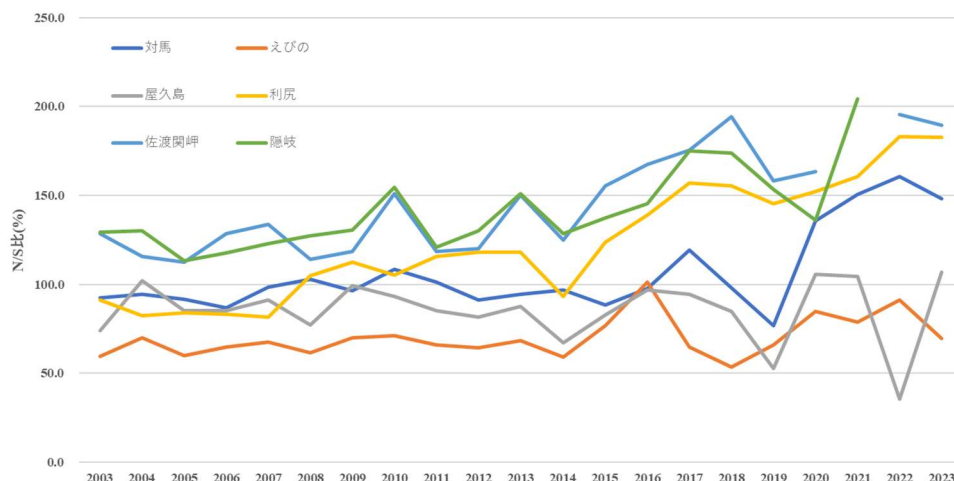


図7 遠隔測定所6か所のN/S比の年度別推移比較

ま と め

対馬測定所の2003年度から2023年度の酸性雨の傾向を解析したところ、期間中のpHの月平均での酸性雨出現率は100 %となった。一方でpHの値は全国的に緩やかな上昇傾向が見られた。

N/S比の経年変化を見ると、対馬測定所では2020年度付近から急激な上昇(nss-SO₄²⁻の減少)が見られた。これは、国際海事機関(IMO)による燃料中の硫黄成分の上限引き下げの効果が出ている可能性がある。しかし、遠隔測定所6か所のN/S比の比較では、国際海事機関(IMO)による規制強化の前後の時期ではっきりとした差が表れたのは対馬測定所のみとなっているため、より詳細な要因の分析が必要と思われる。

参 考 文 献

- 1)環境省:酸性雨長期モニタリング報告書(平成15～19年度), 101-128(2009)
- 2)環境省:越境大気汚染・酸性雨対策調査
<https://www.env.go.jp/air/acidrain/index.html>
(2025年8月4日アクセス)
- 3)大分県におけるPM2.5発生源由来の調査, 第49回九州衛生環境技術協議会, 23-24
- 4)長崎県における微小粒子状物質に関するPMF解析 第50回九州衛生環境技術協議会, 19-20