

徳島県における平成 24 年度酸性雨調査結果について

徳島県立保健製薬環境センター

玉城 武尚・海東 千明・中石 明希・三宅 崇仁

For Fiscal 2012 Acid Deposition Survey Results in Tokushima Prefecture

Takenao Tamaki, Chiaki Kaitou, Aki Nakaishi and Miyake Takahito

Tokushima Prefectural Public Health, Pharmaceutical and Environmental Sciences Center

要 旨

徳島県における平成 24 年度に行った酸性雨調査結果について報告する。

平成 24 年度酸性雨調査の中で、5 月の第 1 週目に pH の低値、電気伝導率の高値、イオン成分のうち酸性成分の高濃度という特異的なイベントが発生した。これら観測されたデータと大気予測モデルを利用して特異的なイベントの要因の解析を行った。大気汚染の要因には様々な現象があげられるが、結果として、今回の 5 月の第 1 週目のような特異的なイベントが発生した要因の 1 つに大陸からの気塊の輸送が起きていたということが推測できた。

Key words : 酸性雨 acid deposition

I はじめに

酸性雨による環境汚染は大気汚染物質の輸送により発生し、国境を越えて影響を及ぼすおそれがあることから、地球規模での問題として扱われるようになってきた。近年、東アジア地域の著しい経済発展に伴う大気汚染物質の排出量増加の影響も懸念されており、生態系への影響も報告されている。

本県は、全国環境研協議会の酸性雨調査に参加しており¹⁾、現在は第5次調査に取り組んでいる。今回、酸性雨調査について平成24年度の結果について取りまとめたので報告する。

II 方法

1 調査期間

平成24年4月～平成25年3月

2 調査地点

調査地点を図1に示す。

3 試料採取

「湿性沈着モニタリング手引き書」²⁾に従い、降水時開放型捕集装置（(株)小笠原計器製作所、AS-300）を用いて、1週間単位で試料を採取した。

4 分析項目及び分析方法

pH、電気伝導率（EC）、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ を表1に示す方法で分析した。



図1 調査地点

表1 分析項目と分析方法

分析項目	分析方法
pH	ガラス電極法
EC (電気伝導率)	電気伝導計法
SO ₄ ²⁻ (硫酸イオン)	イオンクロマトグラフ法
NO ₃ ⁻ (硝酸イオン)	〃
Cl ⁻ (塩化物イオン)	〃
NH ₄ ⁺ (アンモニウムイオン)	〃
Ca ²⁺ (カルシウムイオン)	〃
Mg ⁺ (マグネシウムイオン)	〃
K ⁺ (カリウムイオン)	〃
Na ⁺ (ナトリウムイオン)	〃

Ⅲ 結果及び考察

1 降水量、pHと電気伝導率

平成24年度における毎月の降水量、pHと電気伝導率を図2に示す。降水量は、最低値27.2mm(5月)～最高値399.0mm(6月)の範囲にあり、年平均値は138.0mmであった。これは、5月中旬以降高気圧に覆われていた影響と、6月2日頃の梅雨入り、6月中頃から7月前半にかけての台風や停滞した梅雨前線による大雨の影響が考えられる。

pHは、最低値4.26(5月)～最高値5.09(6月)の範囲にあり、年平均値は4.79であった。pH5.6以下の降水を酸性雨とするが、いずれの降水もpH5.6以下の酸性雨であった。5月に最低値4.26を記録したが、それ以外の月においては、例年と大きな差はなかった。

電気伝導率は、最低値7.95μS/cm(7月)～最高値61.60μS/cm(5月)の範囲にあり、年平均値は16.20μS/cmであった。5月においては、pH低値に伴い電気伝導率の高値が顕著に表れていることがわかる。

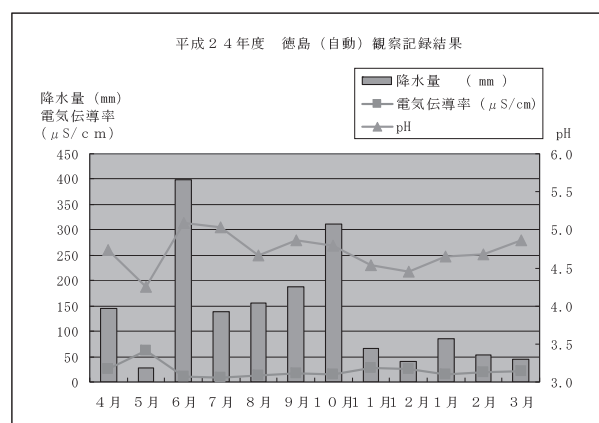


図2 降水量、pHと電気伝導率

2 イオン成分の濃度

平成24年度における降水中のイオン成分の濃度(月毎)を表2に示す。平成20年度からの過去5年の調査結果を表3に示す。酸性雨の原因となる酸性成分としては、SO₄²⁻、NO₃⁻が挙げられ、NH₄⁺及びCa²⁺はその中和成分とされる。また、降雨中のSO₄²⁻、Ca²⁺には、海塩由来と非海塩由来のものがああり、降雨の酸性化に寄与する酸・塩基は非海塩由来の濃度で評価する必要がある。nss (non-sea salt) とは、Na⁺がすべて海塩由来であると仮定して補正したもので、非海塩由来であることを示し、ss (sea-salt) とは海塩由来であることを示す^(註)。つまり、nssとssのイオン濃度を比較して、ssイオン濃度が高ければ海塩由来、nssイオン濃度が高ければ非海塩由来の寄与が大きいと推測できる。

各イオン成分の濃度の年平均値においては、過去の徳島県での結果と同程度であった。毎月の結果においても、pHが低く、電気伝導率の高かった5月を除いては過去の結果と同程度であった。

表2 平成24年度調査結果

項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間平均
降水量 (mm)	146.0	27.2	399.0	138.0	155.6	187.8	311.5	66.7	39.5	85.4	53.5	45.4	138.0
電気伝導率 (μS/cm)	25.50	61.60	10.07	7.95	13.74	17.95	15.10	26.67	25.02	15.31	20.06	20.98	21.15
pH	4.74	4.26	5.09	5.03	4.67	4.86	4.79	4.53	4.45	4.65	4.68	4.86	4.79
Cl ⁻ (μg/ml)	2.43	1.40	0.51	0.24	0.69	2.66	1.00	2.50	1.27	0.89	0.71	0.66	1.23
NO ₃ ⁻ (μg/ml)	1.41	4.97	0.33	0.46	0.50	0.60	0.56	1.58	1.65	0.90	1.51	1.52	1.29
SO ₄ ²⁻ (μg/ml)	1.99	8.45	0.48	0.65	1.03	0.95	0.85	1.96	2.20	1.24	1.91	2.39	1.94
Na ⁺ (μg/ml)	1.35	0.73	0.24	0.11	0.38	1.48	0.54	1.36	0.74	0.51	0.38	0.36	0.68
NH ₄ ⁺ (μg/ml)	0.47	2.13	0.13	0.20	0.17	0.20	0.19	0.43	0.53	0.31	0.44	0.59	0.46
K ⁺ (μg/ml)	0.10	0.33	0.04	0.02	0.06	0.16	0.06	0.10	0.12	0.06	0.05	0.08	0.10
Mg ²⁺ (μg/ml)	0.15	0.18	0.02	0.01	0.04	0.17	0.05	0.17	0.08	0.05	0.04	0.05	0.08
Ca ²⁺ (μg/ml)	0.27	1.70	0.02	0.03	0.06	0.13	0.05	0.23	0.19	0.08	0.10	0.39	0.26
nss-SO ₄ ²⁻ (μg/ml)	1.65	8.26	0.42	0.63	0.93	0.58	0.71	1.62	2.02	1.11	1.82	2.30	1.77
nss-Ca ²⁺ (μg/ml)	0.22	1.67	0.01	0.02	0.04	0.07	0.03	0.18	0.17	0.06	0.09	0.37	0.23

表3 過去5年（平成20年度～平成24年度）調査結果

項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間平均
降水量 (mm)	34.2 ~ 146	27.2 ~ 398.5	170.6 ~ 399	66.1 ~ 301.7	25.8 ~ 362.2	41.2 ~ 1015.4	129.6 ~ 321.6	43.7 ~ 952.3	19.3 ~ 60.2	1.5 ~ 85.4	48.3 ~ 89.1	41.0 ~ 141.7	1.5 ~ 1017.5
垂直伝導率 ($\mu S/cm$)	13.3 ~ 30.3	8.8 ~ 61.6	9.9 ~ 16.2	8.0 ~ 33.3	5.4 ~ 24.5	18.0 ~ 21.9	10.3 ~ 22.0	9.5 ~ 26.7	22.6 ~ 37.9	15.3 ~ 39.4	18.6 ~ 27.0	18.3 ~ 31.6	5.4 ~ 61.6
pH	23.5	23.4	12.0	16.8	16.0	19.2	14.6	18.3	27.1	31.1	23.1	24.2	20.8
	4.52 ~ 4.87	4.26 ~ 4.94	4.57 ~ 5.09	4.32 ~ 4.87	4.42 ~ 4.73	4.41 ~ 5.07	4.37 ~ 4.85	4.5 ~ 4.94	4.29 ~ 4.55	4.23 ~ 4.77	4.42 ~ 4.68	4.43 ~ 4.86	4.23 ~ 5.40
	4.65	4.74	4.82	4.87	4.73	4.7	4.7	4.69	4.43	4.46	4.51	4.60	4.66
Cl ⁻ ($\mu g/ml$)	0.92 ~ 3.92	0.27 ~ 3.28	0.34 ~ 0.76	0.24 ~ 0.66	0.39 ~ 2.49	0.55 ~ 3.29	0.67 ~ 1.03	0.70 ~ 2.50	0.74 ~ 2.21	0.66 ~ 4.29	0.57 ~ 1.30	0.50 ~ 1.45	0.24 ~ 4.29
	2.09	1.15	0.47	0.39	0.93	1.78	0.84	1.44	1.63	1.62	0.89	0.86	1.17
NO ₃ ⁻ ($\mu g/ml$)	0.77 ~ 1.44	0.56 ~ 4.97	0.33 ~ 0.94	0.36 ~ 1.62	0.15 ~ 2.04	0.20 ~ 1.60	0.56 ~ 1.23	0.46 ~ 1.90	1.36 ~ 3.16	0.90 ~ 4.10	1.18 ~ 1.97	1.09 ~ 2.36	0.15 ~ 4.97
	1.19	1.64	0.65	0.97	0.86	0.92	0.76	1.12	2.10	2.56	1.55	1.59	1.33
SO ₄ ²⁻ ($\mu g/ml$)	1.03 ~ 2.47	0.82 ~ 8.45	0.48 ~ 1.53	0.65 ~ 1.66	0.29 ~ 2.02	0.88 ~ 1.75	0.61 ~ 1.56	0.61 ~ 2.34	1.46 ~ 2.67	1.24 ~ 4.77	1.60 ~ 2.54	1.79 ~ 2.54	0.29 ~ 8.45
	1.94	2.62	0.92	1.05	1.21	1.32	0.96	1.38	2.15	3.08	2.00	2.21	1.74
Na ⁺ ($\mu g/ml$)	0.41 ~ 2.32	0.13 ~ 1.66	0.18 ~ 0.39	0.06 ~ 0.28	0.23 ~ 1.15	0.24 ~ 1.50	0.35 ~ 0.54	0.34 ~ 1.366	0.41 ~ 1.22	0.35 ~ 2.19	0.30 ~ 0.71	0.32 ~ 0.80	0.06 ~ 2.32
	1.16	0.6	0.24	0.16	0.47	0.99	0.44	0.78	0.86	0.82	0.46	0.47	0.62
NH ₄ ⁺ ($\mu g/ml$)	0.28 ~ 0.56	0.27 ~ 2.13	0.13 ~ 0.32	0.14 ~ 0.66	0.03 ~ 0.61	0.10 ~ 0.50	0.15 ~ 0.34	0.16 ~ 0.61	0.28 ~ 0.7	0.31 ~ 1.60	0.40 ~ 0.62	0.43 ~ 0.73	0.03 ~ 2.13
	0.41	0.72	0.22	0.33	0.25	0.29	0.21	0.32	0.52	0.83	0.48	0.55	0.43
K ⁺ ($\mu g/ml$)	0.04 ~ 0.13	0.02 ~ 0.33	0.03 ~ 0.08	0.02 ~ 0.08	0.02 ~ 0.17	0.04 ~ 0.16	0.02 ~ 0.06	0.02 ~ 0.10	0.04 ~ 0.39	0.06 ~ 0.24	0.04 ~ 0.10	0.07 ~ 0.16	0.02 ~ 0.39
	0.1	0.13	0.05	0.04	0.08	0.08	0.04	0.05	0.17	0.12	0.07	0.09	0.09
Mg ²⁺ ($\mu g/ml$)	0.07 ~ 0.20	0.02 ~ 0.25	0.02 ~ 0.08	0.01 ~ 0.07	0.02 ~ 0.15	0.02 ~ 0.22	0.02 ~ 0.06	0.03 ~ 0.17	0.05 ~ 0.15	0.05 ~ 0.28	0.04 ~ 0.09	0.05 ~ 0.10	0.01 ~ 0.28
	0.13	0.11	0.03	0.03	0.07	0.11	0.04	0.08	0.11	0.11	0.05	0.07	0.08
Ca ²⁺ ($\mu g/ml$)	0.17 ~ 0.33	0.11 ~ 1.70	0.02 ~ 0.13	0.02 ~ 0.16	0.02 ~ 0.21	0.07 ~ 0.13	0.03 ~ 0.05	0.03 ~ 0.23	0.13 ~ 0.38	0.08 ~ 1.14	0.10 ~ 0.34	0.33 ~ 0.42	0.02 ~ 1.70
	0.25	0.51	0.07	0.08	0.1	0.10	0.05	0.13	0.27	0.47	0.22	0.36	0.22
nss-SO ₄ ²⁻ ($\mu g/ml$)	0.93 ~ 2.32	0.79 ~ 8.27	0.42 ~ 1.49	0.63 ~ 1.62	0.23 ~ 1.95	0.40 ~ 1.66	0.52 ~ 1.46	0.52 ~ 2.12	1.28 ~ 2.37	1.11 ~ 4.46	1.49 ~ 2.46	1.59 ~ 2.46	0.23 ~ 8.27
	1.65	2.47	0.86	1.01	1.09	1.07	0.85	1.18	1.94	2.87	1.89	2.09	1.58
nss-Ca ²⁺ ($\mu g/ml$)	0.13 ~ 0.30	0.10 ~ 1.67	0.01 ~ 0.13	0.02 ~ 0.15	0.01 ~ 0.17	0.03 ~ 0.10	0.02 ~ 0.04	0.02 ~ 0.19	0.10 ~ 0.34	0.06 ~ 1.05	0.09 ~ 0.32	0.30 ~ 0.4	0.01 ~ 1.67
	0.21	0.49	0.06	0.08	0.08	0.06	0.03	0.10	0.24	0.44	0.20	0.34	0.19

* 上段：最小値～最大値、下段：平均値

3 5月第1週目のイベントについて

pH, 電気伝導率, イオン成分 (特に酸性成分) のすべての結果において他の月と大きく異なる結果を示した5月の週毎における結果を図3に示す。

図3より, 5月におけるpHの低値, 電気伝導率の高値, イオン成分の酸性成分の高濃度の現象が主に5月の第1週目(5/7~5/14採取分)により引き起こされていることがわかる。さらにpHにおいては, pH4を下回っていた。

5月の第1週目にどのような大気現象が起きていたのかを徳島県大気常時観測局 (以下「テレメータ」という。) データ, 後方流跡線解析, CFORSの硫酸塩エアロゾル分布予想図により考察した結果を以下に示す。

まずは, 鳴門局と徳島局におけるテレメータの風向・風速, SO₂・NO_xの5/6~5/10データを図4に示す。

鳴門局のテレメータデータから5/8午前8時にSO₂の値の上昇が観測されているのが確認できる。さらに風向・風速においては, 同日午前9時までは北方向の風が吹いて風速も弱くなり, 午前9時を境に風向が南方向の風に切り替わり風速も徐々に強まっていることが観測できる。徳島局のテレメータデータから5/8午前11時にSO₂の値の上昇が観測されているのが確認できる。さらに, 風向・風速においても同様にその時間を境に北方向の風が少しずつ弱まっていき, 南方向の風に切り替わり風速も少しずつ強まっていることが観測できる。このことより, SO₂を含んでいる気塊が鳴門から徳島に移動していることが推測できる。次に, CFORS³⁾の硫酸塩エアロゾル分布予想図を図5に示す。

上が5/7の予想図, 下が5/8の予想図を示している。この図によると, 四国上空に硫酸塩エアロゾルが存在しているのがわかり, さらに硫酸塩エアロゾルの気塊が大陸より輸送されてきているのが推測できる。

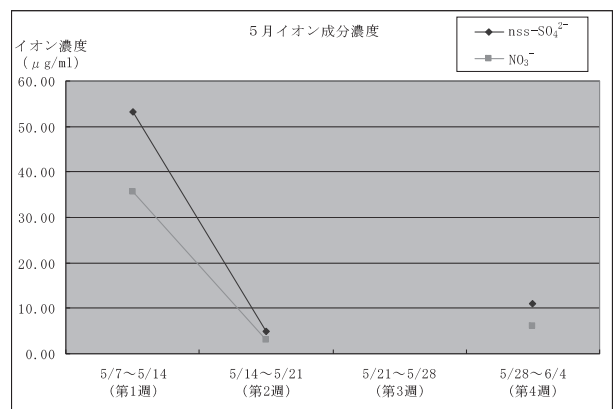
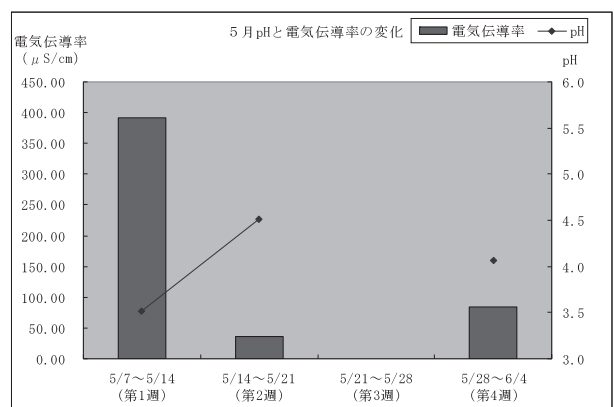
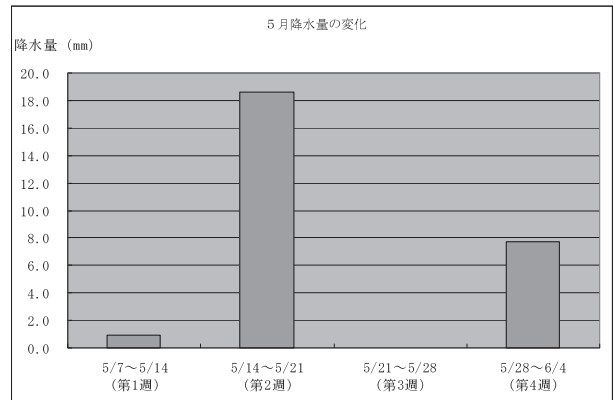


図3 5月の週毎における結果

(注) ss-SO₄²⁻は, 観測された降水中のNa⁺がすべて海塩由来であると仮定し, その量に平均的な海水における組成比0.251を乗じて算出する。nss-SO₄²⁻は, SO₄²⁻からss-SO₄²⁻を差し引いて求める。nss-Ca²⁺についても, 同様の考え方で算出する。計算式は以下の通りである。

海塩由来 $[ss - SO_4^{2-}] = 0.251 \times [Na^+]$
 非海塩由来 $[nss - SO_4^{2-}] = [SO_4^{2-}] - [ss - SO_4^{2-}]$
 海塩由来 $[ss - Ca^{2+}] = 0.038 \times [Na^+]$
 非海塩由来 $[nss - Ca^{2+}] = [Ca^{2+}] - [ss - Ca^{2+}]$

経時変化図 (局別)

期間 : 平成24年 (2012年) 5月 6日 1時~平成24年 (2012年) 5月10日24時
 測定局 : 鳴門

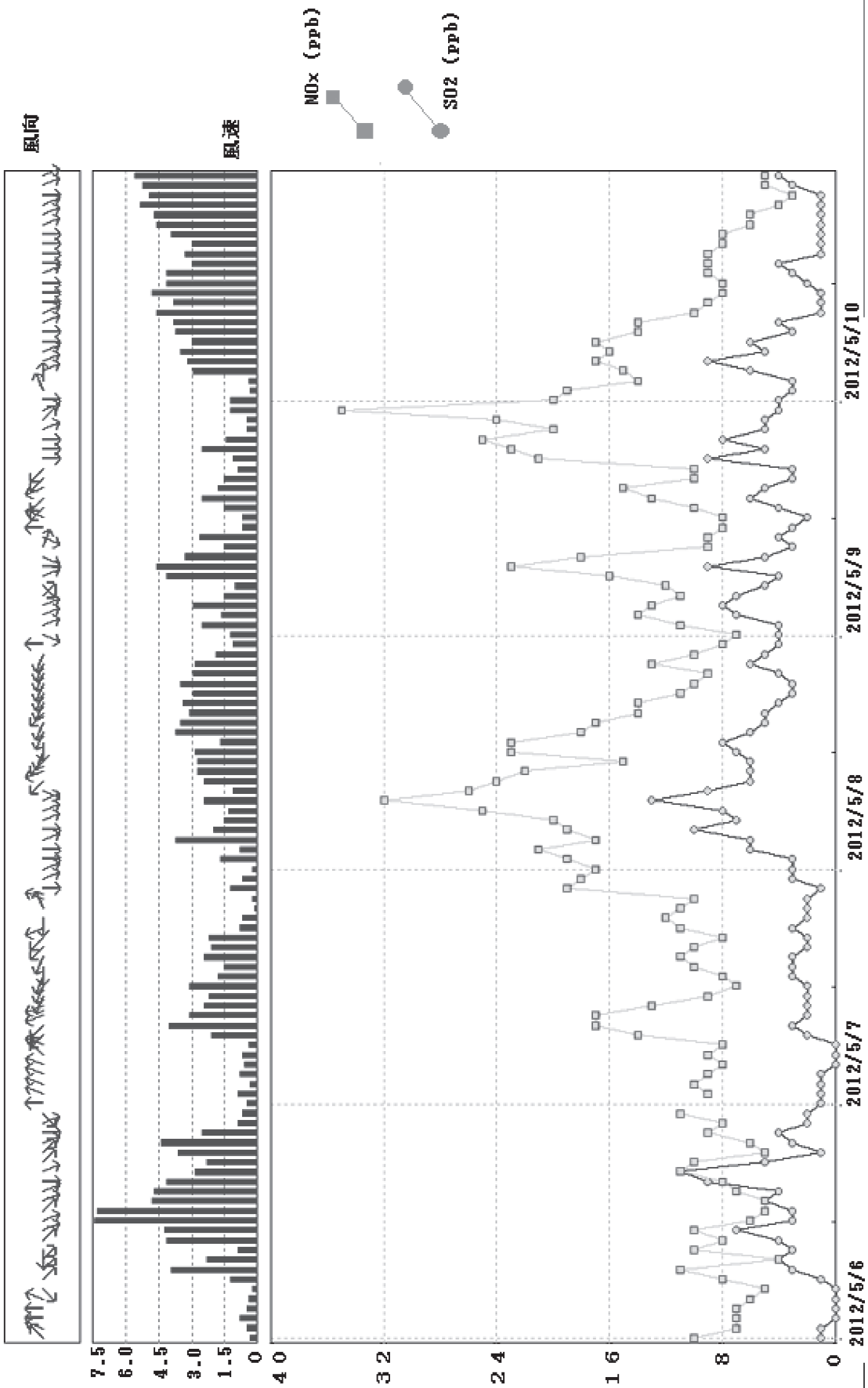


図4 テレメータデータ (鳴門局)

種時変化図 (局別)

期間 : 平成24年 (2012年) 5月 6日 1時~平成24年 (2012年) 5月10日24時
 測定局 : 徳島

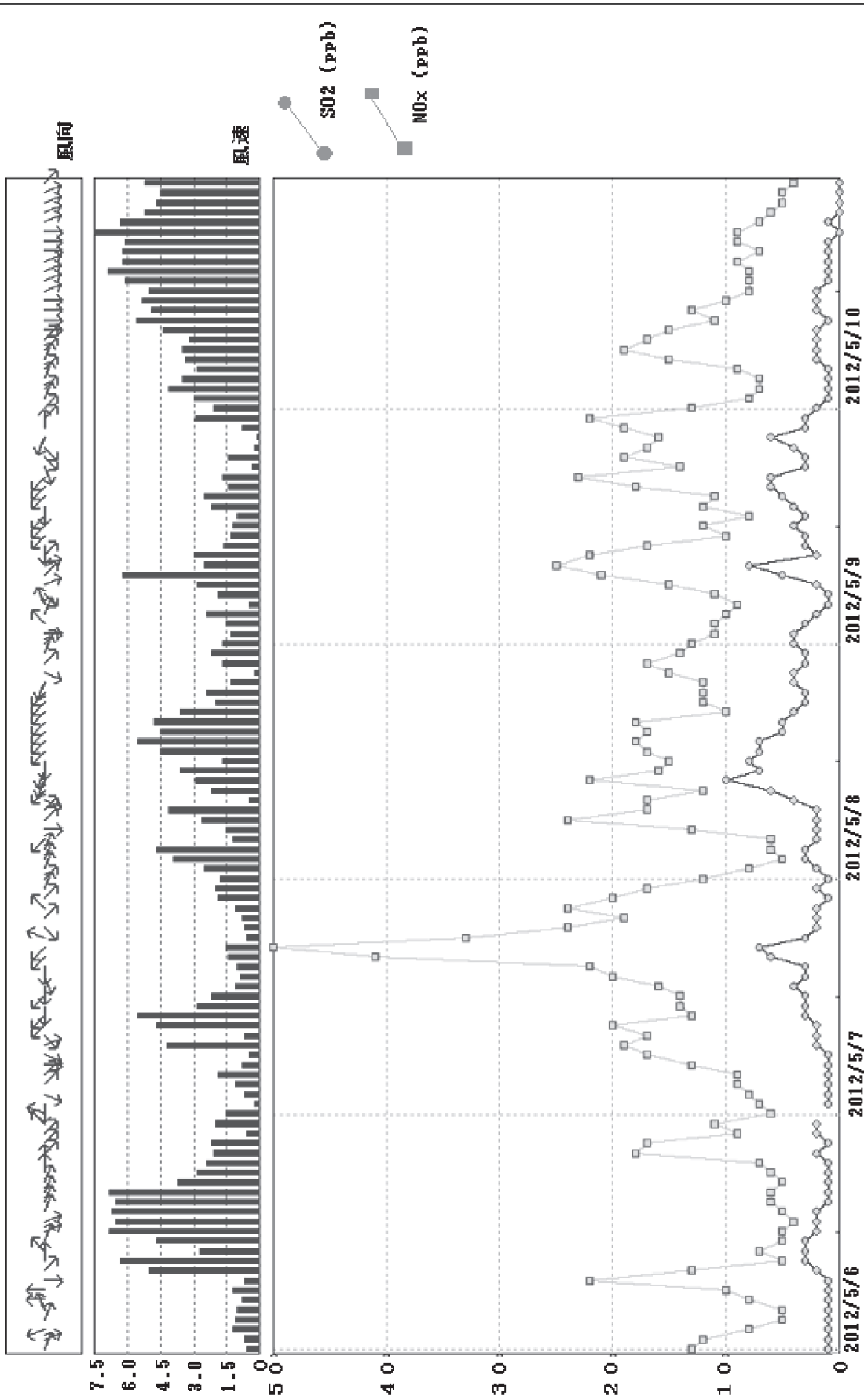


図4 テレメータデータ (徳島局)

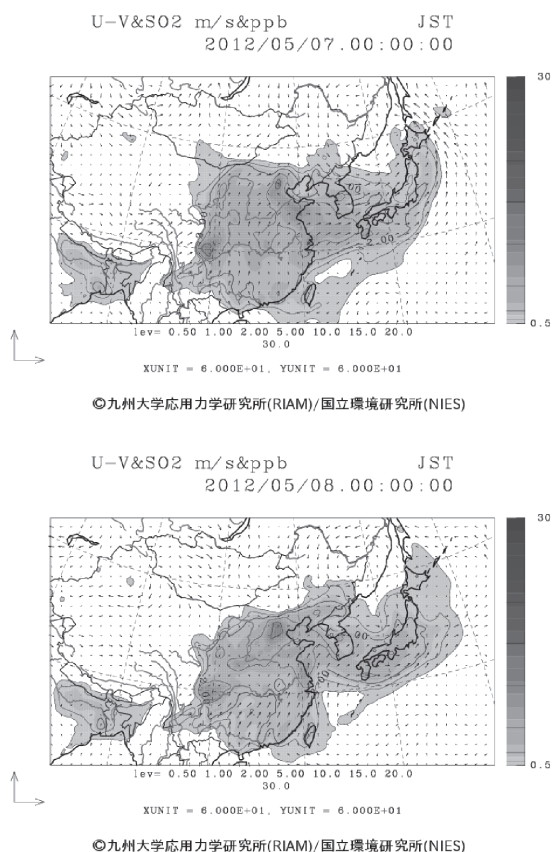


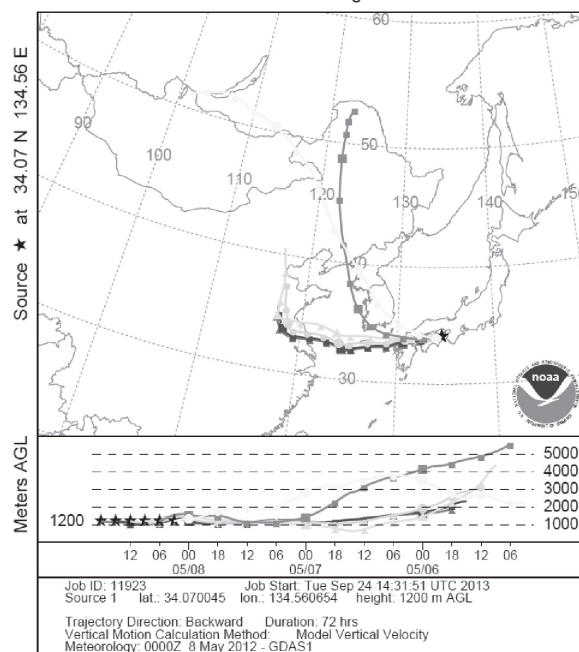
図5 CFORSによる硫酸塩エアロゾルの分布予想

最後に、米国海洋大気局（NOAA）が開発した流跡線解析プログラム（HYSPLIT）⁴⁾を用いて後方流跡線解析を行った。その結果を図6に示す。図6より、大陸からの気塊の輸送の影響があったことが推測できる。

IV まとめ

徳島県における平成24年度酸性雨調査において5月の第1週目を除いて、例年と同程度の酸性雨の状況であった。5月の第1週目において、pHの低値、電気伝導率の高値、イオン成分の酸性成分の高濃度などの現象が起きた要因の1つとして大陸からの気塊の輸送が示唆される。今回のイベントにおいては硫酸塩エアロゾルを含む気塊の輸送が考えられるため、酸性雨の測定結果としてpHの低下と SO_4^{2-} の高値が見られたと考えられる。

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1800 UTC 08 May 12
GDAS Meteorological Data



起点：徳島市新蔵町（東経 134° 56′ 北緯 34° 07′）
高度：1200 m

図6 後方流跡線解析

ただし、自動車や工場からの排ガスなどによる大気汚染が起きていた可能性も考えられる。これら現象の詳しい解析のためには、大気中無機元素などの測定結果も必要となるため、今後このような現象が予測される時には無機元素等サンプリングが必要である。

参考文献

- 1) 新居厚子 他：徳島県における酸性雨調査について、徳島県保健環境センター年報，24，39-41 (2006)
- 2) 環境省地球環境局環境保全対策課：湿性沈着モニタリング手引き書（第2版）（2001）
- 3) CFORS：九州大学/国立環境研究所，化学天気予報システム：<http://www-cfors.nies.go.jp/~cfors/index-j.html>
- 4) NOAA：NOAA ARL HYSPLIT MODEL：<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>