

## 酸性雨自動測定に基づく事例解析 (2)

### The Case Study based on the Acid Rain Monitoring (2)

仁平 明 木立 博 高橋 誠幸  
加賀谷秀樹

Akira NIDAIRA, Hiroshi KIDACHI, Seiko TAKAHASHI  
Hideki KAGAYA

酸性雨自動測定結果について、汚染度及び中和度の指標である EC<sub>p</sub> 及び rH を導入して事例解析を行ったところ、①汚染空気が供給され低 pH 化したときは、雲粒に捕集されたエアロゾル、SO<sub>2</sub> を反映した降水中 EC<sub>p</sub> と雲粒に取り込まれず大気中に残存する NO<sub>2</sub> の濃度変化は連動していた。②やませのときの低 pH、高 EC 化は雲が低いところにでき地域汚染の影響をより受けやすいために生じると考えられた。③黄砂が飛来したときの降水は多量に取り込んだ黄砂中の Ca<sup>2+</sup> によって大部分が中和されていた。④西高東低の気圧配置のときに降ったみぞれまたは雪の pH は低下せず日本海側地域の一般的な状況と異なっていた。

キーワード：酸性雨；汚染導電率；水素イオン比

**Key words** : acid rain ; electric conductivity by pollutants ; relative hydrogen

#### 1 はじめに

0.5mm降水毎に pH, EC を連続測定する酸性雨自動測定結果について、前報<sup>1)</sup>で降水の汚染度及び中和度を評価するための指標として pH, EC の関数である汚染導電率 EC<sub>p</sub> と水素イオン比 rH を導入し、大気常時監視データと関連付けた事例解析を行った。降水継続中に追加的な汚染が生じ低 pH が出現した霧雨の事例では、地表付近の大気中で SO<sub>2</sub> は検出されず、NO<sub>2</sub> は降水中の EC<sub>p</sub> と連動した濃度変化を示していた。これは SO<sub>2</sub> がほぼ 100%雲粒に捕集されるのに対し NO<sub>2</sub> は雲粒に取り込まれなかった鶴田ら<sup>2)</sup>の観測事実に整合すると考えられた。また、海塩粒子が海上から輸送され EC<sub>p</sub> が特異的に増大した事例では、海塩粒子は降水中に取り込まれると同時に大気中の SPM としても検出されているようであった。本報では前報に引き続き、汚染空気による低 pH 出現事例、黄砂飛来時の降水事例、やませによる低 pH 出現事例及び西高東低の気圧配置による降水事例について解析する。

#### 2 方法

##### 2.1 解析対象データ等

平成 18 年度酸性雨自動測定結果を解析の対象とした。なお、大気常時監視及び気象の参照データ、並びに酸性雨自動測定地点（保健環境センター及び丸森大気常時測定局）は前報<sup>1)</sup>と同じである。

##### 2.2 EC<sub>p</sub> と rH

降水の性状に関してその汚染度及び中和度を推定評価するための指標 EC<sub>p</sub> と rH については前報に記載したとおりである。

#### 3 結果と考察

##### 3.1 汚染空気による低 pH 出現事例

丸森局では 2006 年 4 月 11 ~ 12 日の降水で 1.0mm 目に pH 最小値 3.75 を記録した。このとき EC<sub>p</sub> は 7.0mS/m、rH は 29% であり、汚染、酸性化が進んでいた。図 1 の降水状況及び NO<sub>2</sub> 変化によれば、11 日 9 時頃に感雨し、時を同じくして NO<sub>2</sub> の増加がみられた。低気圧が対馬付近から日本海へ進んだときの霧を伴う霧雨で、最初の 0.5mm 採取時間は約 13 時間と長かったが、EC<sub>p</sub>、rH はともにこの後の 1.0mm 目に最大となり、pH 最小値が現われている。NO<sub>2</sub> は 1.0mm 目を採取した直前の 21、22 時に極大になっていた。

図 2 は丸森局における 2007 年 2 月 9 ~ 10 日の状況である。低気圧が本州南岸から関東沖に東進したときの降水で、pH 最小値は 3.69 であった。この雨は全体的に降雨強度が小さかった。EC<sub>p</sub> は降り始めの 0.5mm 目に大きく、1.0 ~ 1.5mm 目も多少減衰したものの 0.5mm 目に近い状態を維持していた。rH は全体を通じて数 10% と大きかった。経時的には増大の傾向で降り始めの中和影響は次第に緩和され 1.5mm 目に pH 最小値が現われている。NO<sub>2</sub> は降雨前から pH 最小値が出現するまでの間 10ppb 前後でほぼ一定であった。その後、降水中の EC<sub>p</sub> が減少するのに連動して 5ppb 程度に半減している。SO<sub>2</sub> 及び NO は降雨前及び降雨後に若干の検出があったが、降雨期間中は全く検出されていない。

これらの事例に共通しているのは、降水中 EC<sub>p</sub> と大気中 NO<sub>2</sub> の変化傾向が酷似していることであり、前報<sup>1)</sup>の追加的な汚染による低 pH 出現事例と同様の現象が起きていた。したがって鶴田ら<sup>2)</sup>の立体調査による観測事実、即ち雲粒によるエアロゾル、SO<sub>2</sub> ガスの捕集率がほぼ 100% であるのに対し、NO<sub>2</sub> は雲粒に取り込まれず雲の中の大気中

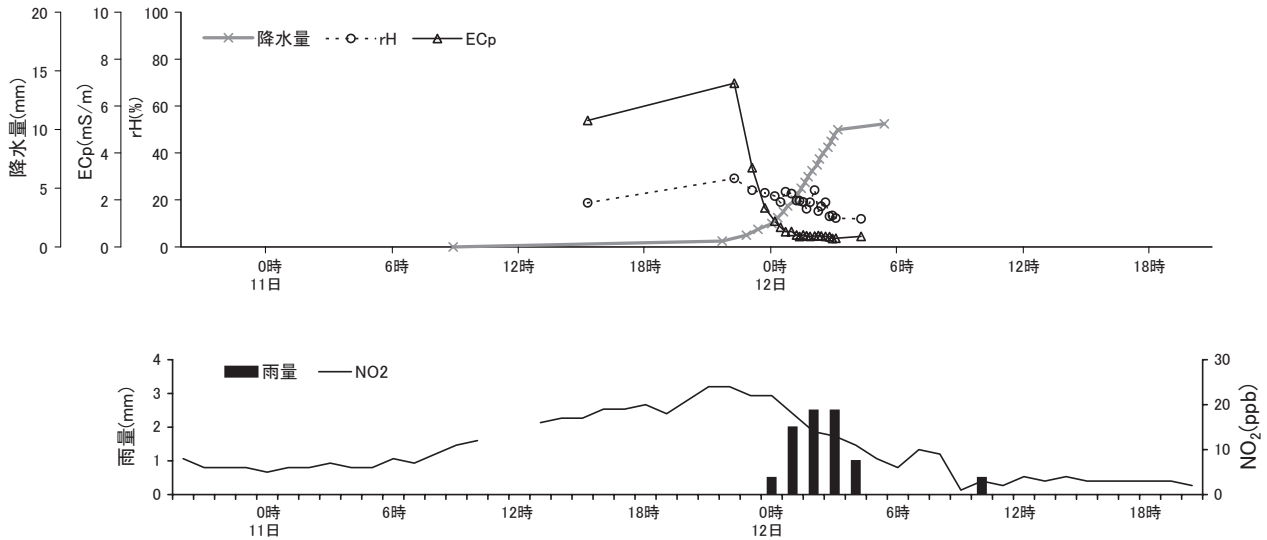


図1 低 pH 出現時の降水状況 (丸森局, 2006 年 4 月 11 日~ 12 日)

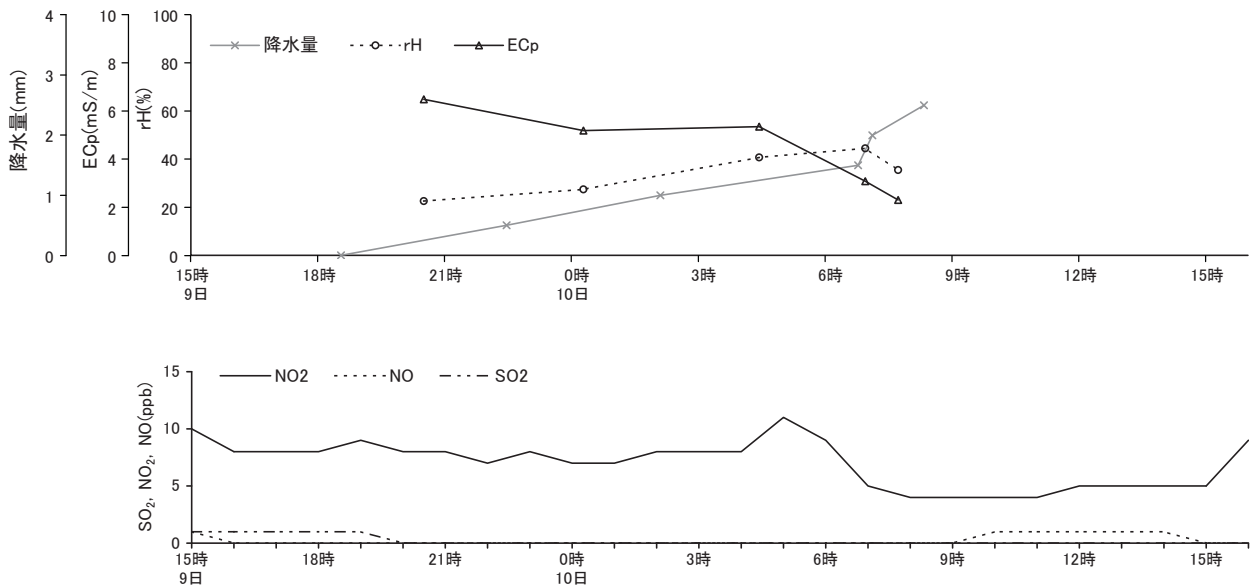


図2 低 pH 出現時の降水状況 (丸森局, 2007 年 2 月 9 ~ 10 日)

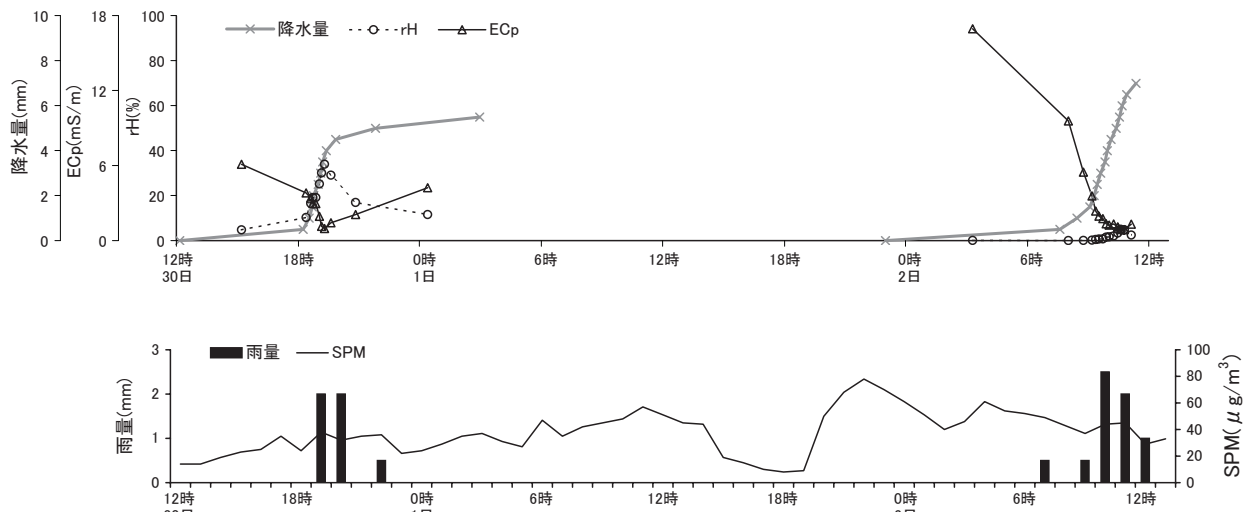


図3 黄砂飛来時の降水状況 (丸森局, 2006 年 5 月 1 日)

に存在していることが可能であったことを根拠に推察すれば、汚染空気が供給されたときに雲粒に捕集されたエアロゾル、SO<sub>2</sub>ガスは降水中のEC<sub>p</sub>に反映し、大気に残ったNO<sub>2</sub>と連動した変化を示すと解釈される。

### 3.2 黄砂飛来時の降水事例

図3は2006年5月1日に黄砂が飛来したときの丸森局における事例である。SPM変化をみると、5月1日15～19時に減少した地表付近のSPMは黄砂の影響により20時から増加し始め、22時に極大となった後、漸減している。酸性雨自動測定ではSPMが極大となった直後の23時頃に感雨し、最初の0.5mmを採取したのは翌2日の7時半過ぎであった。このときのEC<sub>p</sub>は17.0mS/mと大きく、rHは0.1%以下でH<sup>+</sup>をほとんど含んでいなかった。これは0.5mmの採取に8時間以上を要するなど降雨強度が極めて小さい状況下で、雲の中または雨水の落下中に黄砂を多量に取り込み、その結果Ca<sup>2+</sup>によって大部分が中和されたものと推定される。その後雨が強まるに従って降水中のEC<sub>p</sub>は急激に減少したが、地表付近のSPMは急減していなかった。

なお、丸森局では4月30日12時～5月1日10時の間にも5.5mmの降水があった。図3のようにこの降水のrHは黄砂時のものよりも大きく異質であり、したがって5月1日15時以前のSPMは黄砂の影響によるものではないと思われた。

### 3.3 やませによる低pH出現事例

丸森局において2006年7月8～10日に降った雨の0.5mm目にpH3.43が出現した。同時にEC<sub>p</sub>も9.5mS/mを記録するなど酸化性物質による汚染が顕著であった。図4はそのときの状況で、8日9時過ぎに感雨し約30時間を要して翌9日15時頃に最初の0.5mmを採取している。その後1.5mm目までは降雨強度の小さい状態が続き、9日22時頃から雨が強まっていた。rHは降雨強度が小さかった降り始めから1.5mm目まで30～40%程度と大きく降水初期の中和作用は働いておらず、rHはEC<sub>p</sub>と同様に降水の継続とともに減少していた。

当時の気象条件は、前半の降雨強度の小さい雨はオホーツク海の高気圧からの湿った東寄りの風、所謂やませの影響による霧雨であり、後半の強まった雨は東北南部に北上し停滞した梅雨前線の影響によるものである。やませの場合は冷たく湿った風が大気の下層に流れ込むため、図5の気象衛星画像のとおり可視画像で東北地方の太平洋沿岸海上にある雲は、赤外画像では薄っすらとしか写っておらず、雲は低いところでできている。

やませの影響が支配的だった期間中の降水は低pH、高ECの状態であった。オホーツク海から汚染空気が流入するとは思えない。低い雲のため地域汚染の影響をより受けやすいことが考えられ、これによって雨水は酸性化したのではないかと推察される。梅雨前線の影響を受け

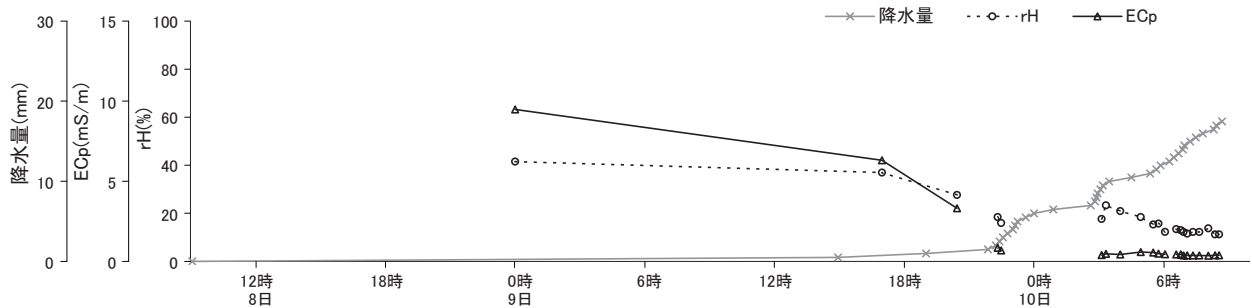
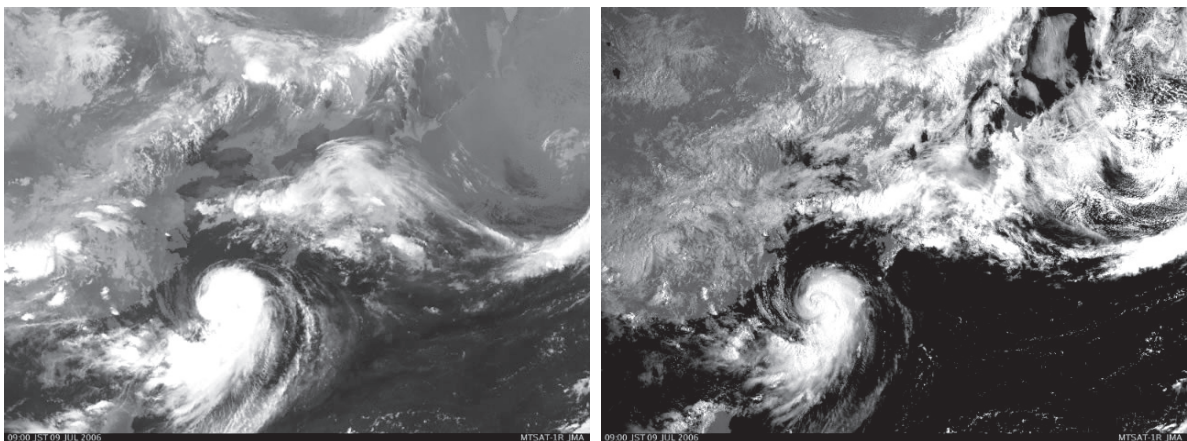


図4 やませによる低pH出現状況(丸森局, 2006年7月8日～10日)



(a) 赤外画像

(b) 可視画像

図5 気象衛星画像(2006年7月9日9時) ※気象庁ホームページから引用した

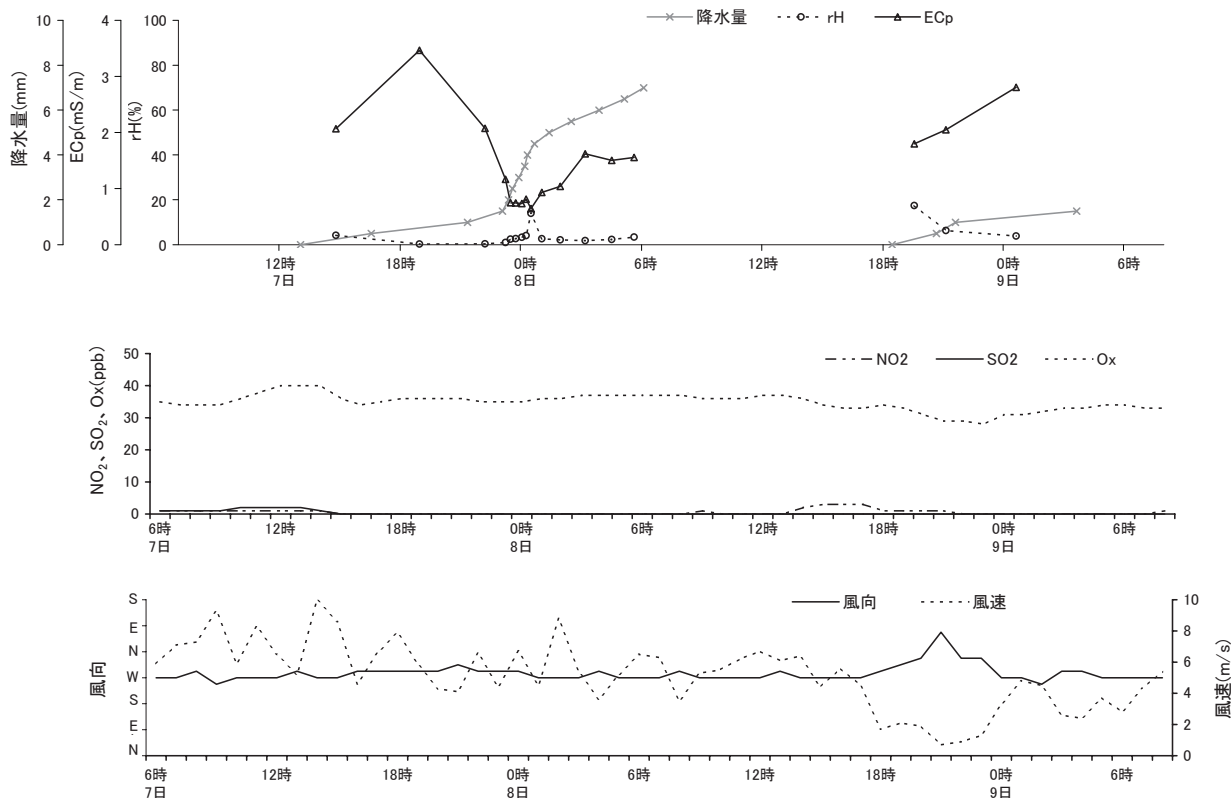


図6 西高東低の気圧配置による降水状況 (丸森局, 2007年1月7~9日)

始めた9日22時以降は、ECは急速に減少し、pHは5.4前後に収束していた。

3.4 西高東低の気圧配置による降水事例

2007年1月7~8日及び8~9日は西高東低の冬型の気圧配置となり、みぞれまたは雪が降った。図6がこのときの丸森局における経時変化図である。8日18時~9日0時にNW~Eの風に弱まった期間以外はW寄りの5m/s前後またはそれ以上の風が持続していた。Oxは35ppb程度でほぼ一定の状態であった。これは大陸のバックグラウンドOxと考えられ、強いW寄りの風によって当地域に大陸の大気が流入していたことを示している。ECpは7~8日の場合は降り始めの1.5mmまでは増加がみられその後減少していた。8~9日の場合も前降水の初期とほぼ同レベルで、このときは降水の継続とともに増大していた。しかしながら、rHは一時的に20%近くまでになったことはあるが、ほとんどは数%以下で中和が著しく、pHは8~9日の降水の0.5mm目に4.59を記録したほかはすべて5.00以上であった。

日本海側の地域では西高東低の気圧配置が卓越する冬季にpHが低下する<sup>3)</sup>といわれるが、少なくとも丸森局では大陸の大気が流入し、また図7のレーダーエコーのとおり日本海側で発生した雪雲が太平洋側に流れ込んでいるにもかかわらず、pHの低下現象は認められなかった。ただし、このときに日本海側でpHが低かったのかについては定かでない。

なお、今冬、西高東低の気圧配置となりみぞれまたは

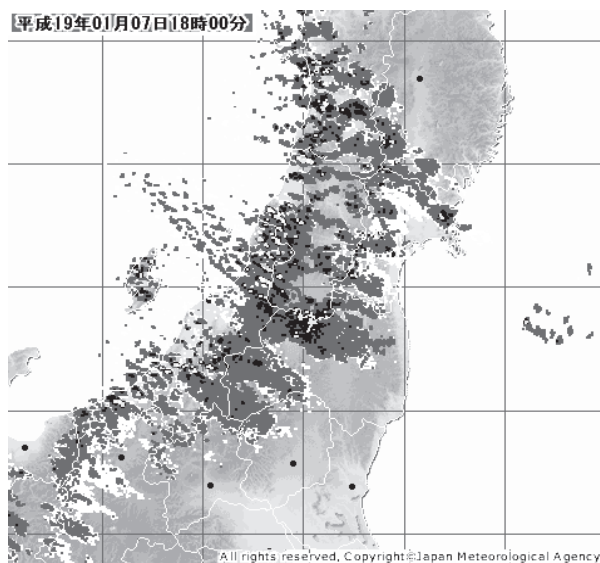


図7 レーダーエコー図 (2007年1月7日18時) ※気象庁ホームページから引用した

雪が降ったのは他に3降水あるが、いずれのpHも8~9日の降水で観測した4.59を下回るものはなかった。

4 まとめ

前報に引き続き、酸性雨自動測定機によるpH、EC測定結果をもとにECp、rHを導入して事例解析を行った。丸森局ではpHが低下したときに降水中ECpと大気中NO<sub>2</sub>が酷似した変化傾向を示す場合を改めて確認

した。前報<sup>1)</sup>の追加的な汚染が生じたときと同様な状況であり、汚染空気が供給されたときに起きる低pH化現象と解釈された。また、やませのときは雲が低いところにできるため地域汚染の影響をより受けやすいと思われる、雨水は低pH、高EC化するのではないかと推察された。

次に、黄砂が飛来したときの降水はrHが0.1%以下でH<sup>+</sup>をほとんど含んでいなかった。雲の中または雨水の落下中に黄砂を多量に取り込みCa<sup>2+</sup>によって大部分が中和されていたと推定される。更に西高東低の気圧配置のときに降ったみぞれまたは雪のrHはほとんどが数%以下でpHは低下せず、日本海側地域の一般的な状況<sup>3)</sup>とは異なっていた。

ECp, rHを導入し大気常時監視及び気象のデータと

関連付けて解析することにより、降水酸性化の様子がみえるようになってきた。本報で扱った事例だけでも4種類の降水の形があり複雑である。更に事例数を増やし、その中から普遍性や規則性を見出すことによって酸性雨の発生機構を追究していくのが今後の課題である。

## 参考文献

- 1) 仁平明, 高橋正人, 中村栄一, 北村洋子, 加賀谷秀樹: 宮城県保健環境センター年報, 24, 84 (2006)
- 2) 鶴田治雄, 草野一, 加藤善徳, 大田正雄, 平野耕一郎: 酸性雨に関する調査研究報告書 (横浜市環境科学研究所), 1993, 119
- 3) 全国環境研協議会: 全国環境研会誌, 31, 3, 118 (2006)