

降水成分の時間変化と降水強度

A Study for Changes of Components and Intensity of Precipitation

佐藤 信俊 北村 洋子 中村 栄一
宮城 英徳 鈴木 康民

Nobutoshi SATO, Yoko KITAMURA, Ei-ichi NAKAMURA
Hidenori MIYAGI, Yasutami SUZUKI

キーワード：酸性雨，自動測定，降水強度，水素イオン濃度比率

Key Words : Acid Rain , Automated Instruments , Intensity of Precipitation ,
Ratio of Hydrogen-Ion Concentration

新たな指標値である水素イオン濃度比率（rH），汚染導電率（ECp）と降水強度との関係について検討したところ，幾つかの典型的な降水について大気汚染の影響を上空，地上に区別して説明できることが分かった。

1 はじめに

酸性雨の生成メカニズムは，雲粒生成に関する上空大気の影響と，成長した雨滴が落下過程で受ける地上付近の大気の影響とに区別して考える必要がある。また，この違いは大気汚染の起源と深く関係する。すなわち，地域で発生する大気汚染物は主に地上付近に拡散し，上空での汚染物は主に大陸など他の地域から移流したものである。

従って，酸性雨を測定することは，地上における大気汚染物の測定だけでは得られない上空大気汚染状況を知るための重要な手段となる。大陸からの酸性化成分の長距離輸送については，近年コンピュータ解析による多くの報告があるが，地域における酸性雨測定結果を元に上空大気汚染状況を考察した例は少ない。また，本県では酸性雨による植物や土壌などへの影響は必ずしも顕在化していないが，地域における大気汚染が酸性雨にどの程度寄与しているかは，大気汚染防止対策を推進する上で重要であり興味深い。

以上の観点から，著者らは降水成分濃度と大気中のSO₂，SPMとの関係について検討し，大気汚染物が降水強度に依存して取込まれることを報告¹⁾²⁾している。今回は，百川ら³⁾，仁平ら⁴⁾が示した指標（rH値；水素イオン濃度比率，ECp；汚染導電率）を用いて，降水中成分の時間変化と降水強度について解析し，降水現象における大気汚染物質の取込みと酸性雨の発生メカニズムについて考察する。

2 方法

降水の測定は，県内2地点（仙台市，丸森町）に設置した酸性雨自動測定装置を用い，降水0.5mmごとに分画して，pH，ECの2項目を自動測定した。酸性雨自動測定装置及び設置場所等は以下のとおりである。

仙台局：DKK製DRM - 200E(S)（仙台市内県警本部庁舎屋上に設置）

丸森局：柴田科学KK製Model AW301（丸森町大内の山村広場脇に設置）

解析に使用したデータは，2000年4月から2002年3月までの降水の中から幾つかの典型的な降水パターンを有する降水を選択した。

また，測定項目であるpHとECは，その降水の特徴を表現するには不都合な点が多いため，仁平ら⁴⁾が酸性雨評価のために導入した指標値ECp及びrHを活用した。なお，指標は，以下の①，②（②'）式によって定義される。

ECpは，通常の導電率（EC）からpH（水素イオン）による導電率を引いた値で，水素イオン以外の総イオン濃度に近似的に比例する。

一方，rHは，②式で示すように陽イオン濃度の総和に対する水素イオン濃度の占める割合である。また，陽イオン濃度の総和と陰イオン濃度の総和は等しいことから，rHはECpとpHだけで表すことができる（②'）。

$$EC_p = EC - \lambda_H [H^+] \quad \text{①}$$

$$r_H = \frac{[H^+]}{[H^+] + \sum [Mi^+]} \quad \text{②}$$

$$\sum [Mj^-] = [H^+] + \sum [Mi^+] \quad (\because \text{陽イオン} = \text{陰イオン})$$

$$EC_p = \sum \lambda_i [Mi^+] + \sum \lambda_j [Mj^-]$$

$$\equiv \lambda_o (\sum [Mi^+] + \sum [Mj^-])$$

よって

$$r_H \equiv \frac{2 \lambda_o [H^+]}{EC_p + \lambda_o [H^+]} \quad \text{②'}$$

EC	:	降水中の電気導電率 (S/cm)
λ_H	:	水素イオンの極限導電率 (=349.8 Scm ² /eq)
λ_i, λ_j	:	陽イオンiまたは陰イオンjの極限導電率
λ_o	:	水素イオン、水酸イオンを除くイオンの平均極限導電率 (=67.19 Scm ² /eq)
[H ⁺]	:	水素イオンの濃度 (eq/cm ³)
[Mi ⁺]	:	水素イオン以外の陽イオンiの濃度 (eq/cm ³)
[Mj ⁻]	:	水素イオン以外の陰イオンjの濃度 (eq/cm ³)

3 結果及び考察

3.1 降水の時系列変化図

図1は丸森局における自動測定結果の時系列図である。それぞれ横軸は降水開始からの時間[h]を表し、縦軸はECpが[μS/cm]、rHが[%]、pHが[×10]のスケールで折れ線グラフ、降水強度は第2軸(右)[mm/h]のスケールで上端からの棒グラフとして表示した。

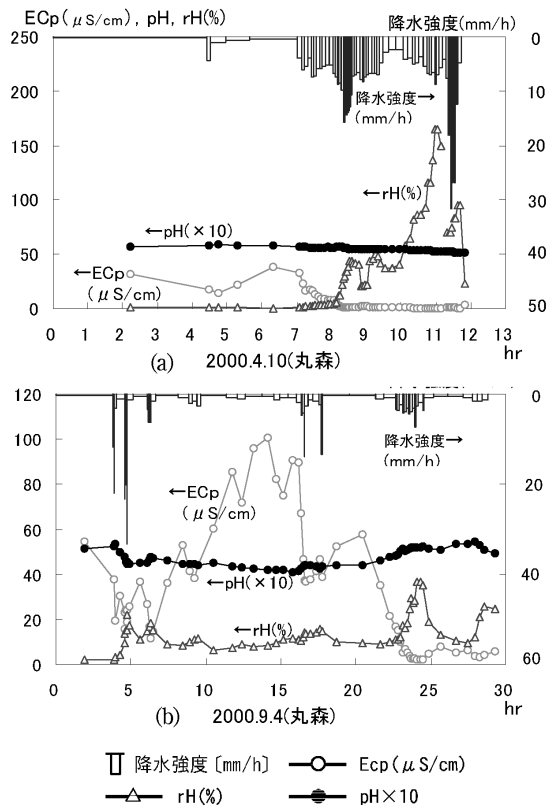


図1 典型的な降水の時系列変化

上図(a)は比較的ECpの変動が小さくrHの変動が大きい例である。降水開始後8時間経過した頃から降水強度の上昇に伴いECpが低下した。一方、rHは同時間帯に急激

に上昇し、降水強度の変化に連動して増減する傾向が認められる。

下図(b)は比較的rHの変動が小さくECpの変動が大きい例である。降水開始後5~20時間のECpを見ると、弱い降水強度の時間が長いほどECpが上昇し、降水強度が強くなると減少することが分かる。

なお、rHは本来100%を超えることはないが、図1(a)では約180%まで上昇した。これは、rHが②'式により近似的に算出された指標であることに起因する。従って、ECが小さくpHが低いほどrHは大きくなり、特にECp=0のときはrH=200%になる。実際には降水強度が増すと、仙台局では特にpHが低目に測定されるため、水素イオンによる導電率が高めに見積もられ、結果としてECpが負になる。しかし、これらの誤差を考慮しても相対的な変動として評価するには十分である。

3.2 降水強度とECp及びrHの関係

ECp、rHと降水強度との相関関係を確認するため、図2,3に典型的な降水事例について、各項目の分布を考慮して両対数で示す。なお、図中の印は降水の始めを示し、降水順に直線で結んだ。

図2は図1(a)と同じ4月10日の仙台局(a)と同日の丸森局(b)の降水であり、2つの局で類似した傾向が見られる。すなわち、(イ)ECp、rH、pHとも降水初期には降水強度に対する変化が少なく、図では 4 から 6 個のデータは横軸に対し平行に推移した。(ロ)その後は、降水強度7~8 mm/h付近でECpとpHは急激に低下、rHは同様に急激に上昇しているのが分かる。また、(ハ)それ以降の強い降水強度ではpHが低下したままで降水初期と同様に横軸に平行に推移し、降水強度には依存しない。ECp、rHについても、丸森局では同様の傾向が認められたが、仙台局ではECpの計算値が負となったことからECp、rHはプロットしていない。

以上のことから、同降水には少なくとも(イ)~(ハ)の3つの異なる過程が存在し、仙台局、丸森局の両局でほぼ同じ現象が発生していたと考えられる。

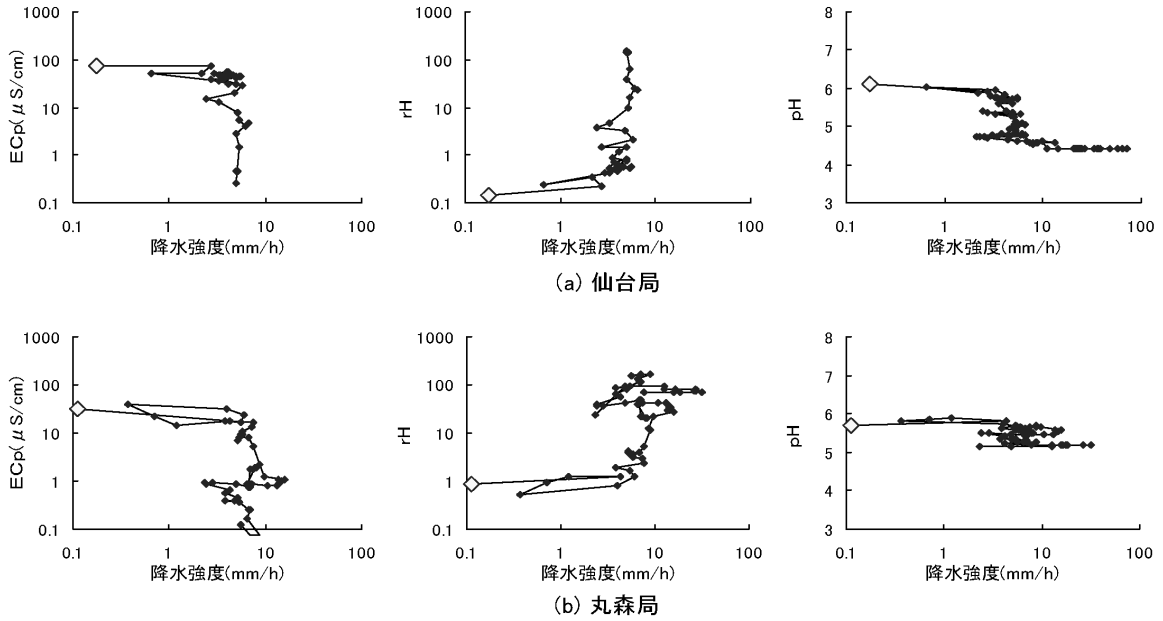


図2 ECp, rH, pHの降水強度変化 (2000年4月10日)

一方、図3では、ECpは降水強度と極めて良い相関関係が認められ、降水強度が強いほど低下した。rHについては、降水初期(~ 4個のデータ)に急激に増加し、その後は降水強度に対してわずかな増加傾向が認められる。pHについては、rHと対照的に降水初期に急激に減少し、その後はrHと同様に降水強度に対してわずかな増加傾向が認められる。なお、これらの現象は降水強度が雲粒を成長させる水蒸気の供給速度に依存すると考えると矛盾がない。

ここでは典型的な2つの降水事例について示したが、他の降水でも図2の初期降水時の傾向を有するものと図3に類似したものが多く見られる。

3.3 pH-EC図

図4に丸森局における典型的なpH-EC図を示した。見やすくするため、図中には式②'でrHを一定(1.0, 0.1, 0.01, 0.001)とするpHとECの関係性をrH曲線として、またECpを一定(0.50, 100, 150 μS/cm)とするpHとECの関係をECp曲線として補助線をプロットした。

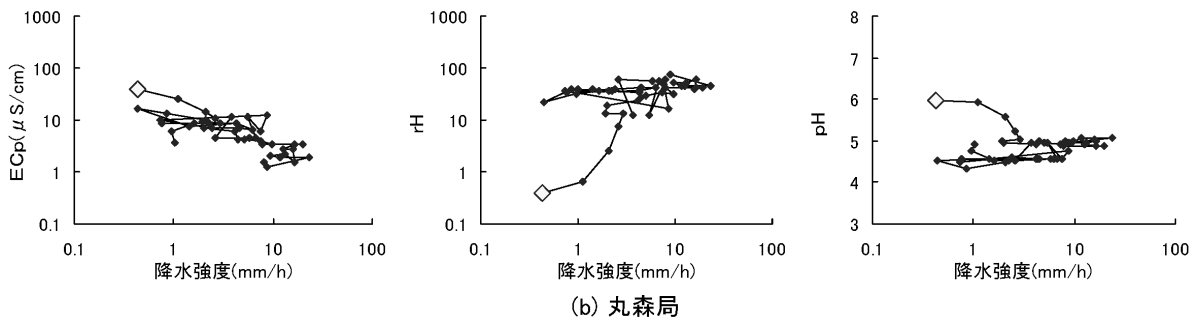


図3 ECp, rH, pHの降水強度変化 (2000年10月23日)

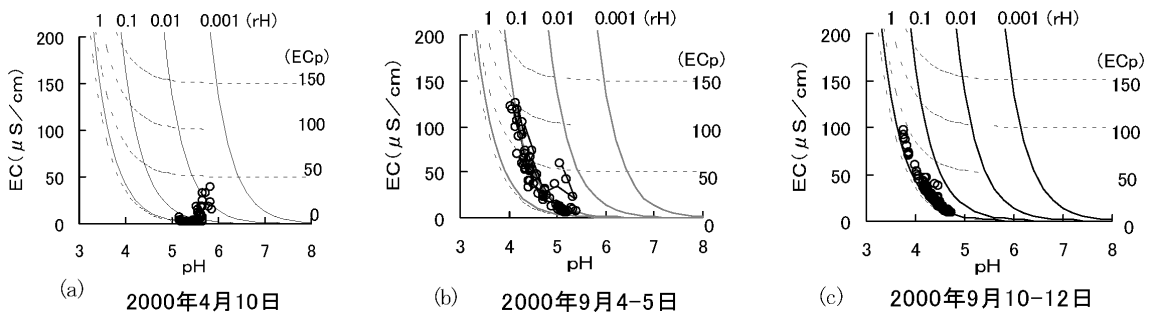


図4 pH-EC図 (丸森)

図4の降水(b),(c)ではrHが異なるものの、それぞれ同じrH曲線に沿って分布している。これに対して、降水(a)は、rH曲線に直交する分布となっており、大きな違いが認められる。また、降水(b)では降水初期(～2mm)に観測された低rHが降水量の増加とともに上昇し、rH=0.1の曲線に沿う一群に合流している。一方、降水(c)は、降水(b)と類似しているが、rH=1.0の曲線に沿って分布している点が違う。

rHの定義は降水中の全陽イオンに対する水素イオンの割合であり、降水中のイオン組成を強く反映する指標である。また、降水(雲粒)は上空大気に含まれる微粒子が核となり形成されることから、同じ起源の汚染大気であれば、汚染粒子の濃度は違っても、構成イオンの組成割合は同じと考えられる。従って、降水中のイオンについても同様であり、イオン濃度が変化しても組成割合つまりrHは変化しないことになる。

図4の(b),(c)のrHの違いは、(b)における降水初期の一部を除けば相似しており、降水(雲粒)を発生させた上空大気中の汚染物も(b)ではrH 0.1,(c)ではrH 1.0のイオン組成であったと推定できる。ただし、降水が大気中を落下する過程でrHを変化させる程の汚染物等の取り込みがない場合である。

地上の汚染大気はいずれ対流等により上空大気と混合することになるが、短い時間には必ずしも混合していない。従って、大まかに見れば地上は地域の汚染、上空は他地域からの移流の影響を強く受けていると考えることができる。

また、大陸等から中長距離を移流し十分に混合・拡散された気団であれば、雲粒が生成される上空大気中の汚染物は、地域レベルで見れば濃度の差は生じて、イオンの組成割合は概ね同じものと考えられる。従って、図

4(a)に見られるようなrHの著しい変化は、前線や低気圧の通過など激しい気象変化によって生じることが考えられる。

以上をまとめると、図4(a)については、はじめrH 0.01の上空大気がrH 1.0の大気と激しく混合し、その後rH 1.0の上空大気に入れ替わった降水、(b)は降水初期に地上付近の汚染大気の影響を受け、地上大気の浄化に伴って、上空大気の影響をそのまま反映した降水、(c)は、地上大気の影響が小さく降水初期から上空大気によるrH 1.0が観測された降水と考えることができる。

4 ま と め

酸性雨自動測定装置の結果から汚染導電率(ECp), 水素イオン濃度比率(rH), pH及び降水強度について考察し、以下のことが分かった。

- (1) 時系列図から、典型的な降水としてrHの変化が大きい場合とECpの変化が大きい場合に区別した。
- (2) 降水強度との相関図から、降水強度に依存する場合と依存しない場合に区別できた。
- (3) pH-EC図から、上空大気による降水への影響について考察することができた。

参 考 文 献

- 1) 「洗浄係数を用いた酸性雨解析」佐藤信俊 他：宮城県保健環境センター年報，15，82(1997)
- 2) 「酸性雨に対する大気汚染物質の影響」佐藤信俊 他：宮城県保健環境センター年報，15，86(1997)
- 3) 「酸性雨自動測定結果について(第2報)」百川和子 他：宮城県保健環境センター年報，9，81(1991)
- 4) 「降水pHの評価に関する一考察」仁平 明 他：宮城県保健環境センター年報，16，68(1998)