

雨水によるイオン降下量の変動について

渡邊 明 (福島大学・理工学群)

1. はじめに

福島大学では 1988 年 4 月より一雨降水毎に雨水を採取し,1994 年から Dionex 社製イオンクロマトグラフを用いて一雨ごとの雨水分析を継続してきた。近年,雨水の酸性化に伴う生態系への影響などが大きな地球環境問題の一つになっており,特に河川や湖沼,土壤に及ぼす雨水酸性化の影響としてのイオン降下量を監視し,その影響を見積もることが重要になっている。ここでは,これまで測定してきた 9 種のイオンの構成が雨水ごとにどのような特徴を有しているか,また,その降下量がどのように変動しているのかを,主に 1996 年から 2004 年までに観測した 394 例の結果を用いて考察した。

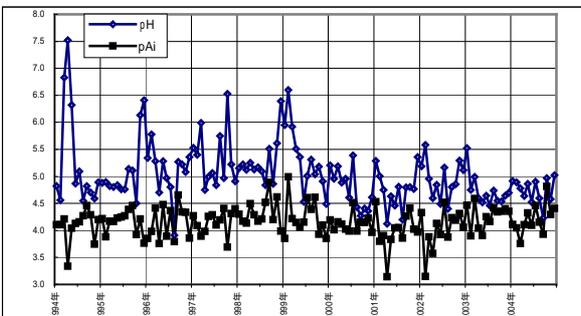
2. 解析方法

1988 年 1 月から SHIBATA 製ろ過式バルクサンプラー(Model W-101)を用いて一雨毎採取し,化学組成を Dionex 社製イオンクロマトグラフ(1994 年から 2001 年 10 月まで MODEL-14,2001 年 10 月から DX-320)で分析して,その変動を調べた。イオンクロマトグラフで分析したイオン種は F⁻,Cl⁻,NO₃⁻,SO₄²⁻,Na⁺,NH₄⁺,K⁺,Mg²⁺,Ca²⁺の 9 種類で,pH から水素イオン濃度を求めている。

また,こうして分析されたイオン種濃度について,S-PLUS 統計解析ソフトを用いて Cluster 分析,主成分分析を行い,雨水酸性化の特徴を考察した。

3. 解析結果

第 1 図に 1994 年 1 月から 2004 年 12 月までの雨水の雨量加重月平均 pH の変動を示す。pH は全体的に

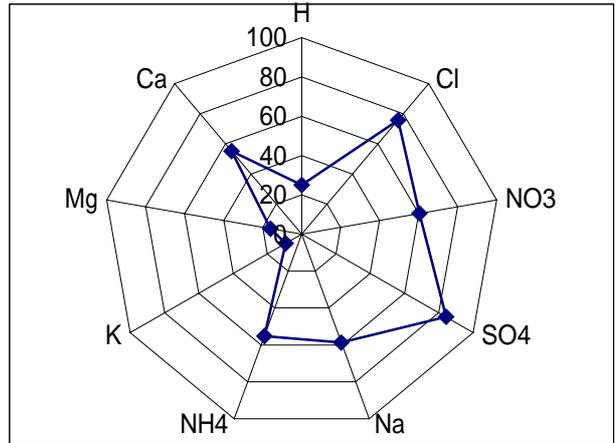


第 1 図雨量加重月平均 pH と pAi の変動

減少傾向を示し,100 年で 0.5pH の割合で酸性化が進行している。特に,大気中で中和成分が存在しない場合の入力酸性度(pAi)は,ほぼ 4.1 を示し,やや上昇傾向を示している。結果として,pH と pAi の差は年々

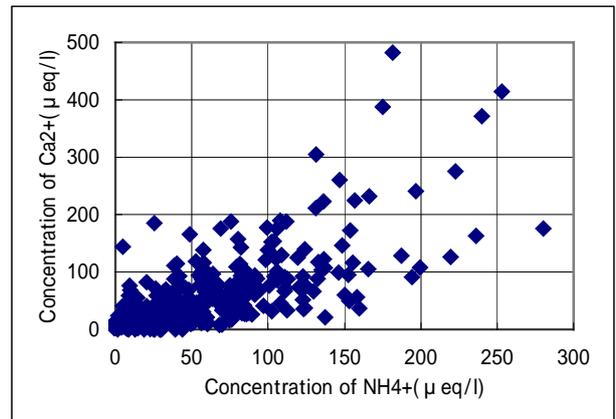
小さくなり,酸性化が進んでいる。このことは pH が 2000 年以降季節変動も小さくなっていることとも関連している。

第 2 図に 1996 年から 2004 年までの 394 回の一雨降水の各種イオンの平均濃度を示す。主に海塩起源の



第 2 図 全平均イオン濃度 (μeq/l)

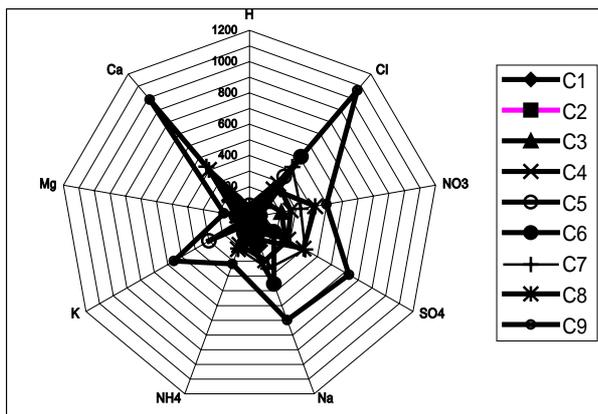
イオン種を除けば,陰イオンでは SO₄²⁻,NO₃⁻が,陽イオンでは NH₄⁺,Ca²⁺が高濃度を示している。雨水としては,SO₄²⁻,NO₃⁻による pH 低下を NH₄⁺,Ca²⁺で中和する形になっている。Ca²⁺の増加は渡邊ほか(1998)が指摘しているように土壤粒子に依存していることが考えられる。そこで NH₄⁺と Ca²⁺の濃度相関図を第 3 図に示す。両イオンは,ほぼ同様な濃度を示



第 3 図 NH₄⁺と Ca²⁺の濃度の相関

すと同時に正の相関を有し,その係数も 0.71 と有意な値を示している。すなわち,Ca²⁺の増加は同様に NH₄⁺の増加をもたらしていることになる。藤田ほか(2003)は,近年,中国南部,東南アジアでの農業活動が NH₄⁺

の増加の原因である事を指摘し、黄砂等に付着した輸送過程を指摘しているが、この結果は、一部それを支持する結果になっている。しかし、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} は黄砂現象が発生していない季節にも同様な相関があり、測定地点周辺での NH_4^+ が付着した土壌起源も考えられる。そこで、こうしたイオン種の濃度特性を検討するため 394 個の測定値を用いて Cluster 分析を行い、イオン組成の特徴を調べた。第 4 図は各観測値のイオン濃度の分散を指標として、Cluster 区分の臨界値を 266



第 4 図 各 Cluster の平均イオン組成

として、9 つのに区分した時の各 Cluster の平均イオン組成を示したものである。各 Cluster の特徴を見ると、C1 は海塩起源イオン種(NaCl)が特に多く、冬季の降水の Cluster になっている。C2 は、平均的な暖候期の降水のイオン組成で、相対的に各種イオンの濃度は低いが、組成は第 2 図に示した全平均に最も類似している。この Cluster に 326 例が含まれている。C3 は K^+ 、 Mg^{2+} を除いて高濃度を示す事例、C4 は低 K^+ 降水の事例で、C5 は C3、C4 とは異なり KCl が相対的に多い降水の事例が含まれ、秋季に発現している。また、C6 は C1 に類似し、 NaCl が相対的に多く含み、他のイオンも C1 の数倍高濃度であるが、全て冬季の降水になっている。C7、C8 は黄砂に関連しているイオン組成で、各イオン種とも全平均の 4 倍から 5 倍程度の濃度を示す事例である。いずれも春季に発現している。なお、C7 と C8 の差異は、 NaCl 起源と考えられるイオン濃度が異なり、C7 は C8 の倍の濃度になっている。さらに C9 は特別各種イオン濃度が大きい事例 CaCl_2 に由来すると考えられるイオン種が特に高濃度を示す降水事例で、1977 年 1 月 2 日に発現している。これは凍結防止剤の雨水への混入が考えられる事例である。

さらに、これらの観測値を用いて主成分分析を行った。その結果を第 1 表に示す。第 1 主成分が 66.1%、第 2 主成分が 16.4%の寄与率をもち、第 2 主成分までで 82.5%の累積寄与率が得られ、降水の化学組成はこの 2 つの成分でほぼ指標化できると考えられる。第 1

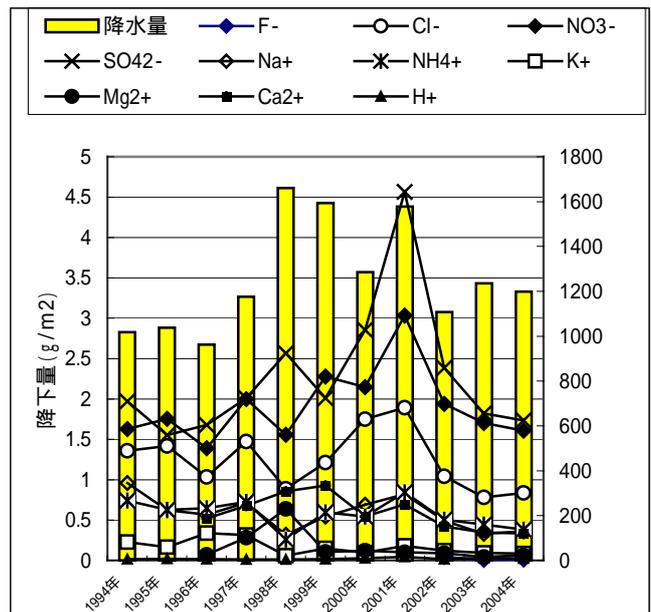
主成分は全て正の値を示し、いずれかが大きくなっても第 1 主成分の得点が大きくなることから、これは「雨

表 1 各イオン組成の固有ベクトル値

	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
第 1 主成分	0.09	0.33	0.39	0.40	0.34	0.39	0.08	0.39	0.35
第 2 主成分	0.18	-0.48	0.39	0.23	-0.53	0.39	1	-0.27	0.08

水の総合的汚染度」を示す因子と考えられる。これは松本ら(1985)の結果とも一致する。また、第 2 主成分の固有ベクトル値は F^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} が正の固有ベクトル値を示し、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} が負の固有ベクトル値を示しており、「雨水中のイオン成分の発生源寄与(人為的発生・自然的発生)」を示している。

以上のように発生起源や季節によってイオン組成は変化するものの、降水現象を通して、生態環境に与える影響を考える場合は、その降水量が問題になる。そこで、年毎にどのようにイオン降水量が変動するかを求めたのが第 5 図である。降水量としても NO_3^- 、



第 5 図各イオン種の年降水量の変動

SO_4^{2-} の降水量が相対的に多く、特に三宅島での火山活動が活発だった 2001 年は急増していることが分かる。

4. まとめ

これまでの解析結果をみると、雨水による酸性化は明確に進行しており、酸性物質の降水量も増加している。また、中和成分も減少しており、森林、河川、湖沼等生態系の影響も考えられる。さらに継続して観測することによって、自然生態系への物質循環への寄与について検討したいと考えている。