

霧水中の不溶性成分と可溶性成分の相互関係と輸送経路

菊地 良栄¹、吉村 啓司¹、尾関 徹²

世良 耕一郎³、梶川 正弘¹、小川 信明¹

¹秋田大学工学資源学部

010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1

²兵庫教育大学

673-1494 兵庫県加東郡社町下久米 942-1

³岩手医科大学サイクロトロンセンター

020-0173 岩手県岩手郡滝沢村字留が森 348-58

1. はじめに

我々の研究グループは、降水・霧の酸性化・汚染機構を明らかにするため、1997年から秋田八幡平で霧の採集を継続している。2000年までの八幡平の結果によると、霧は nss-SO_4^{2-} と NO_3^- によって同時期の雨よりも著しく酸性化されていること、全イオン濃度は粒径が大きくなるにつれて減少し、その log-log プロットの傾きは、雲凝結核 (CCN) だけを汚染物質として霧粒が大気中の水蒸気の拡散によって成長する時 (単純水希釈機構成長の理論) の傾き、 -3 に近いことから、霧粒は主に単純水希釈機構によって成長すること、そして、空気塊が中国北部・モンゴルの砂漠地帯から秋田八幡平に達するとき、霧水は最も酸性化されること等を明らかにしてきた¹⁾⁻³⁾。

また我々は、1997年から八幡平で採集した霧水の不溶性成分を PIXE 法によって分析し、1977年に盛岡に飛来した黄砂の成分⁴⁾と比較し、空気塊が中国北部・モンゴルの砂漠地帯から秋田八幡平に達するときの霧水中に黄砂が含まれる場合があることを明らかにした⁵⁻⁷⁾。しかし、霧水中の不溶性成分に関してはまだ未解明なことが多く、また、不溶性成分と可溶性成分との関係についての報告は非常に少ない。

そこで、本研究ではこれまでの化学分析結果に加え、それらのデータの主成分分析および 850 hPa 高層天気図を用いた 72 時間後退流跡線から、不溶性成分を中心に可溶性成分との関係を考慮し、霧水の汚染化機構について化学的、気象学的に検討することを目的とする。

2. 試料の採集と実験方法

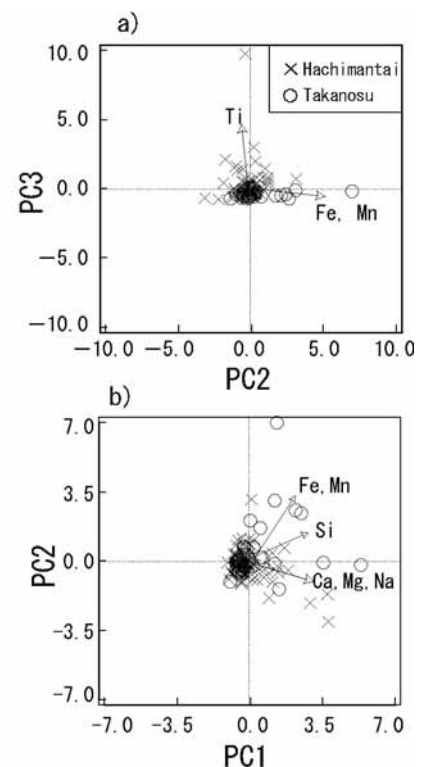
本研究における霧水は、秋田八幡平もっこ岳登山口付近(39° 39' 56" N, 140° 50' E, 1465m a. s. l.)において1997年8月～9月, 1998年6月～9月, 1999年6月～9月, 2000年6月～7月に、また鷹巣町の米代川と小猿部川の合流地点付近(40° 12' N, 140° 21' E, 37m a. s. l.)においては2000年10月～11月, 2001年10月～11月, 2002年10月～11月に(株)臼井工業研究所製細線式パッシブ捕集器(FWP-500)およびアクティブ捕集器(FWG-400F)を用いて採集した。電気伝導度、pHは電気伝導度計(東亜電波CG-511C型)、pHメーター(東亜電波HM-30S型)を用いて、イオン濃度はイオンクロマトグラフ装置(東亜電波ICA-5000型)を用いて測定した。不溶性成分は、仁科記念サイクロトロンセンターでPIXE法を用いて元素分析を行い、Si, Fe, K, Mg, Na, Ca, Ti, Mnの元素についてAlに対する組成比を求めた。さらに、不溶性成分の比較試料として、これまでの研究同1977年2月に盛岡に飛来した時の黄砂を解析に加え、さらに中国甘粛省、中国寧夏回族自治区における黄土の組成比⁸⁾も加えて解析し、検討した。主成分分析には、EXCEL統計2002を用いた。

3. 結果と考察

3. 1 不溶性成分の主成分分析

不溶性成分の主成分分析の結果、主成分1は、Si, K, Mg, Na, Ca、主成分2はFe, Mn、主成分3はTiであった。図1aに主成分2と3の、bには主成分1と2のスコアプロットを示した。図1Aから八幡平ではTiの寄与が鷹巣よりも高いことがわかる。八幡平では採集地点付近に溶岩が存在しているが、Tiやその他の元素の組成比が霧水中の不溶性成分の組成比と似ていた。このことから八幡平の霧水中には主に周辺の溶岩成分が多く含まれたと考えられる。図1Bから鷹巣ではSiの寄与が高い試料が多いことがわかる。鷹巣町は珪藻土の産地として知られているが、その組成比が鷹巣町の霧水中の不溶性成分の組成比と似ていた。このことから、鷹巣町の霧水中には主に珪藻土が多く含まれていたと考えられる。

3. 2 可溶性成分の主成分分析



可溶性成分の主成分分析の結果、主成分1は、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 Na^+ そして Cl^- であり、主成分2は Ca^{2+} と K^+ であり、主成分3は H^+ と Cl^- であった。主成分1は主に雲凝結核として作用する成分と酸性化物質としての硫酸と硝酸であり、主成分2は植物起源、主成分3は酸性化物質の塩酸であると考えられる。図2aとbに主成分3と2のスコアプロットを示した。bはaの拡大図である。図2aから鷹巣町の試料の中で主成分3の寄与の高い試料が幾つか見られる。これらの試料は塩酸によって酸性化されていると考えられるが塩酸の期限は現在のところ特定できていない。図2bから、八幡平の試料が鷹巣町に比べて雲凝結核の寄与が高いことがわかる。これは鷹巣町では盆地内に汚染物質が滞留しており、霧粒の成長過程においても周囲に汚染物質が大量に存在していることから、その汚染物質を大量に取り込み、雲凝結核の影響が現われにくくなったのに対して、八幡平では鷹巣町のように汚染物質が滞留していないことから雲凝結核の影響が強く現われたと考えられる。

3. 3 汚染物質の輸送経路

図3に黄土や黄砂に似た組成を持つ試料の空気塊の輸送経路と盛岡市で黄砂が観測されたときの輸送経路を示した。空気塊が中国大陸の内部から輸送されてくるときの霧水中には、不溶性成分として黄土や黄砂と似た組成を持っていた。このときの霧水は中国大陸の影響と考えられる非海塩型の硫酸が全試料の平均値の2~4倍含まれていた。これらのことから、空気塊が中国大陸内部と工業地帯を通る場合は、不溶性成分と可溶性成分の両方が中国大陸の影響を受けると考えられる。

結論

霧水中の不溶性成分と可溶性成分の化学分析の結果と流跡線解析そして主成分分析の結果を合わせて我々は以下のように結論づけることが出来る。

1. 八幡平と鷹巣の霧水中の不溶性成分は主に、それぞれ溶岩と珪藻土を含んでいた。
2. 鷹巣町の霧水の中で塩酸の影響を受けているものがあつた。八幡平では雲凝結核の影響が鷹巣町よりも強く現われていた。
3. 空気塊が中国内部と工業地帯を通るとき、不溶性成分と可溶性成分は共に中国大陸の影響を受けていた。

参考文献

- 1) Ogawa, N, R. Kikuchi, T. Okamura, T. Adzuhata, M. Kajikawa and T. Ozeki "Cloud droplet size dependence of the concentrations of various ions in cloud water at a mountain ridge in northern Japan" *Atmos. Res.*, **51**, (1999) 77-80.
- 2) Ogawa, N, R. Kikuchi, T. Okamura, M. Kajikawa, T. Adzuhata, Y. Iwata and T. Ozeki "Chemical characterization of acid precipitation and fog of Akita

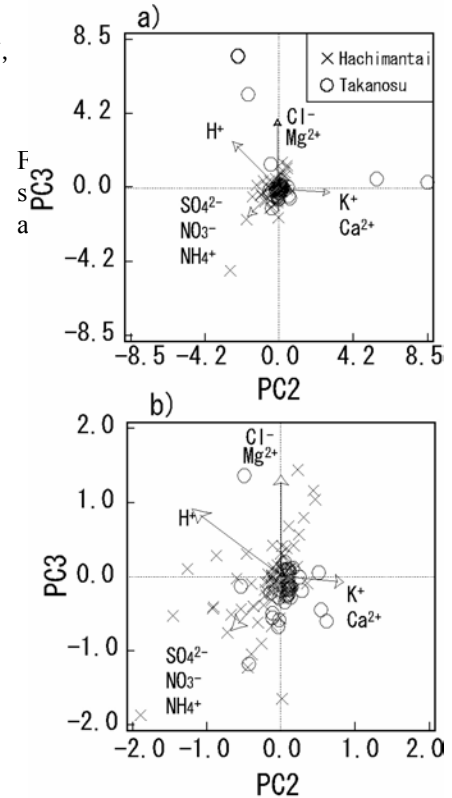


Fig.2 Score plots by PCA for soluble ionic substances in two sampling sites. a):PC3 vs. PC2, b): magnification of a).

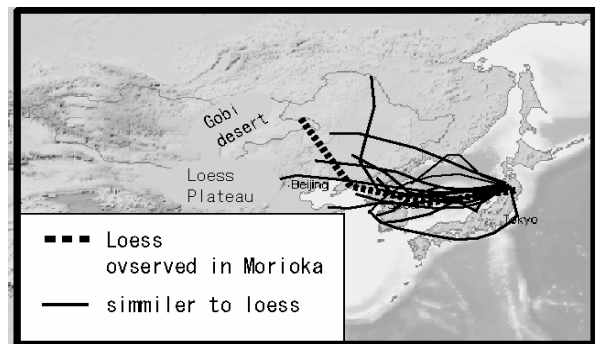


Fig. 3 Back trajectories for fog events.

- Prefecture in Japan” *Int. J. of Mat. Eng. For Resources*, **7**, (1999) 282-295.
- 3) Adzuhata, T, J. Inotsume, T. Okamura, R. Kikuchi, T. Ozeki, M. Kajikawa, and N. Ogawa “Evaluation of Ionic Pollutants of Acid Fog and Rain Using a Factor Analysis and Back Trajectories” *Anal. Sci.* **17**, (2001) 71-76.
 - 4) 井上克弘、吉田稔 “岩手県盛岡市に降った赤雪中のレスについて” *日本土壤肥料化学雑誌*, **49** (1978)、229-230.
 - 5) Kikuchi, R, T. Adzuhata, T. Okamura, T. Ozeki, M. Kajikawa and N. Ogawa “A Pollution of Fog by Ionic Components and Insoluble Substances at Akita Hachimantai Mountain Range” *Int. J. of Mat. Eng. for Resources* **9**, (2001) 28-31.
 - 6) 菊地良栄, 預幡哲也, 岡村朋子, 岩田吉弘, 尾関徹, 世良耕一郎, 梶川正弘, 小川信明 “秋田八幡平における降水及び霧水中の化学組成と後方流跡線の関係” *天気*, **6** (2002) 457-464.
 - 7) R. Kikuchi, J. Inotume, K. Yosimura, M. Kajikawa, N. Ogawa, K. Sera and T. Ozeki “Transport Course of Insoluble and Soluble Substances of Fog Water in Akita Prefecture in Northern Japan” *Int.J.PIXE*, **13**, (2003) 81-87
 - 8) 中国国家環境分析測試中心標準物質委員會認證試料,(株)ゼネラルコーポレーション