

超音速流れを利用した微小大気エアロゾルの高速サンプリング

(金沢大・工) ○ 中尾裕一

(金沢大院・自然科学研究科) 清水良保・坂野健夫・(正) 古内正美

1. はじめに

近年、大気中に浮遊している全粒子状物質（以下 TSP）の中で、人体に悪影響を及ぼす化学成分は、主に $0.1\mu\text{m}$ 以下の微粒子側に偏在していることが報告されており、その健康影響の大きさが注目されている。それらを高時間解像度で、かつ大量にサンプリングする技術を確立することは化学成分の発生源の影響を評価する上で重要である。

そのための技術として、これまで本研究ではラバールノズルで形成される超音速気流中の粒子に大きな慣性力を作用させ、ナノ粒子を浮遊状態で高速に分級・濃縮する「超音速インパクター」について基礎的検討を加えている。しかし、超音速流れを利用した大気エアロゾルのサンプリングでは、水蒸気を含む粒子状・ガス状汚染物質の凝縮、核生成などの影響が予想されるものの、分級後の捕集粒子の特性（大きさ・成分）の変化についてはほとんど解明されていないのが現状である。

本研究ではそれらを考慮するために、超音速インパクターを組み込んだサンプリング装置による大気エアロゾルのサンプリングを行い、その成分分析を行うことにより、超音速流れ場が捕集粒子の特性に及ぼす影響について検討を行った。

2. サンプリングおよび分析方法

本研究で用いた超音速インパクターの概要を図-1 に示す。装置は、ラバールノズルと捕集板および捕集板周辺の流路で構成されている。ラバールノズルで超音速に加速されたエアロゾル粒子は、捕集板の直前に形成される定在衝撃波を通過する際に大きな慣性力が作用し、慣性力の大きな粒子が捕集板に、慣性力の小さな粒子が捕集板下流のバックアップフィルタ（以下 BF）に運ばれて分離される。サンプリング箇所は捕集板・BF とし、常時温度・湿度を測定している大気エアロゾルを吸引し、ディフュージョンドライヤ（以下 DD）を通過させて湿度コントロールを行った上で超音速インパクターへ導入する方法でサンプリングを行った。図-2 にその概要を示す。また、インパクター入口までの粒子損失を調べるために、ノズル入口部に一時的にフィルタを設置し、インパクター直前のサンプリングを行った。さらに、携帯ハイボリュウムエアサンプラーを用いて大気エアロゾルのサンプリングを同時に行い、それぞれの結果を比較した。なお、サンプリングした捕集粒子は成分分析を行うが、分析対象とした成分は、健康影響の大きさ・環境影響評価への有効性・粒子の存在形態の多様さを考慮し、高速液体クロマトグラフィにより PAHs を、CHNS により炭素成分を、ICP 発光分析装置により重金属を、イオンクロマトグラフィにより水溶性成分の分析を行った。

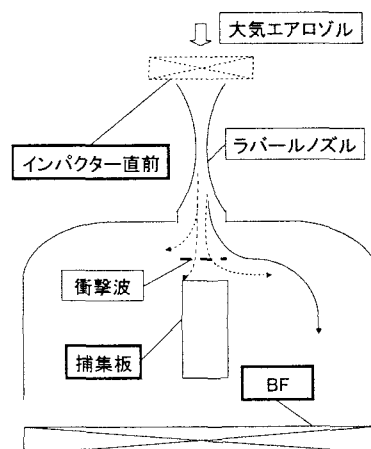


図-1 超音速インパクター概要図

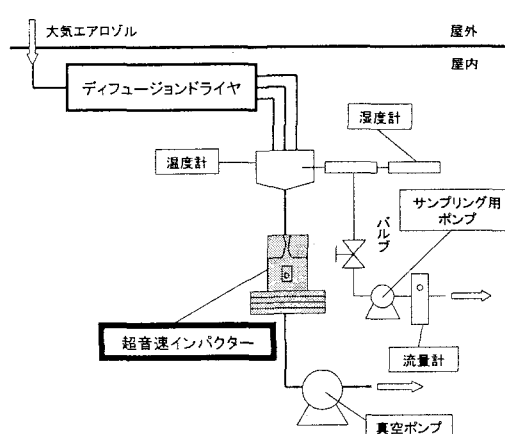


図-2 大気エアロゾルサンプリング装置

3. 結果と考察

大気エアロゾルサンプリング装置の各部分における捕集粒子濃度を図-3に示す。外気（TSP 濃度）とインパクター直前の粒子濃度の比較により、DD を通過する際に TSP の約 50% の粒子損失が確認できた。さらに、インパクター直前と捕集板+BF を比較することにより、インパクターに流入する粒子の約 30% がインパクター装置内壁に付着したことがわかる。

図-4は図-3に示したサンプリング装置各部の総 PAHs 濃度を示したグラフである。外気とインパクター直前の総 PAHs 濃度を比較すると大きな差は見られないことから、DD での粒子状 PAHs の損失は無視できると考えられる。また、捕集板上より BF 上に捕集された総 PAHs 濃度が高いのは、微小粒子側に偏在している慣性力の小さい PAHs 粒子が BF 上に捕集されたためと考えられる。さらに、外気より BF での PAHs 濃度が高いのは、導入された外気が超音速流れの影響で断熱膨張を起こし、インパクター内が急激な温度低下に伴って過飽和状態となり、半揮発性・ガス状の PAHs が粒子化して捕集されたためと考えられる。

次に、図-4 の PAHs を構成する各成分の装置各部における濃度を図-5に示す。Nap, Ace, Fle はベンゼン環が 2 環の成分、Phe は 3 環の成分であり、ベンゼン環が 3 環以下の成分は低沸点・半揮発性で、ガスとして存在する割合が無視できない。本研究では粒子のみ

をサンプリングしているため、定量的な議論は困難であるが、Ace, Phe の BF での濃度が外気における濃度より高くなっていること、Nap, Phe は BF において、他の成分より高い濃度を示していること、Ace, Fle は捕集板の濃度が低く、BF での濃度が高くなっていたことなどが分かる。以上の結果より、Nap, Ace, Fle, Phe などの半揮発性物質は超音速インパクター内で超音速流れにより形成される過飽和雰囲気を利用して、粒子化を促進させることにより、BF に捕集されることが示唆された。また、高沸点成分 IDP に着目してみると、相対的に捕集板濃度が高くなっていることが分かる。これは、超音速インパクター内の過飽和雰囲気により、粒子を核とした液滴凝縮・成長が起こり、本来 BF で捕集されるべき微小粒子が捕集板で多く捕集されているためであると考えられる。

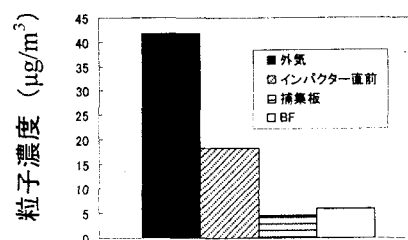


図-3 インパクターにおける粒子濃度

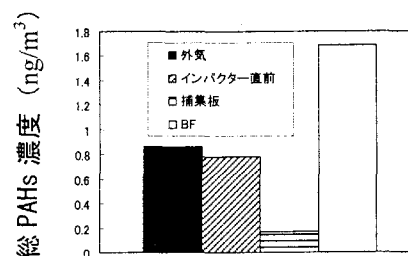


図-4 総 PAHs 濃度

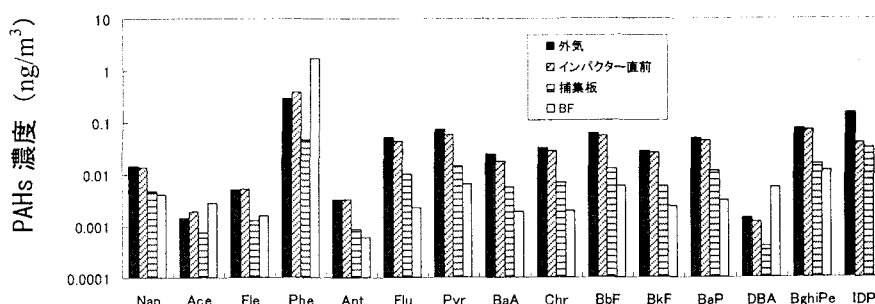


図-5 PAHs の各成分濃度

3. まとめ

- 1) 超音速インパクター内では、超音速流れによる過飽和状態の影響により、粒子の特性が変化する。
- 2) 超音速流れを利用して、半揮発性・ガス状物質を濃縮して捕集可能であることが示唆された。
- 3) 他の分析対象成分（重金属成分・水溶性成分・TC, EC, OC）を考慮することで、超音速流れ場が大気中浮遊粒子状物質に及ぼす影響を総合的に評価する必要がある。