

平成 22 年 5 月 14 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19510003

研究課題名（和文）

エアロゾル吸収係数の空間分布を測定しリアルタイム公開するシステムの構築

研究課題名（英文）Development of the system to disclose the spatial distribution of aerosol absorption coefficients in real time.

研究代表者 山形 定 (YAMAGATA Sadamu)

北海道大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：80220242

研究成果の概要（和文）：

研究代表者が開発したテープ式吸収率計を用いて大気エアロゾルの光学的吸収係数を高精度で測定する手法、データをリアルタイムで取得する方法を開発した。札幌市内 5ヶ所に開発したシステムを設置し、吸収係数の時間変化を連続測定した。これより、札幌市内のエアロゾル光学的吸収係数に寄与する成分は、市外から輸送されてくるもの、市内で発生する主に自動車由来のもの 2つであると考えられた。市外から輸送されてくる成分について検討した結果、中国・韓国の都市部・工業地帯由来の気塊が札幌の吸収係数に影響していることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

Techniques for high-precision measurement and automatic data retrieval were developed for the tape-filter type absorption photometer designed by the researcher to measure absorption coefficients of atmospheric aerosol particles. Five systems were installed in monitoring station in Sapporo city to observe the variation of absorption coefficients. They consist of two parts; those transported from outside of the city and those emitted inside the city mainly from automobile. From the statistical back trajectory analysis it was suggested that absorption coefficients in Sapporo is influenced by the air mass transported from big cities and industrial areas in China and Korea.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008 年度	1,200,000	400,000	1,600,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,400,000	1,060,000	4,460,000

研究分野：大気環境科学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析 (2001)

キーワード：環境計測、大気モニタリング、すす、ディーゼル排ガス、光ファイバー、SKYNET

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 研究代表者はこれまで所属する研究室で、あるいは他の研究機関と共同で行なってきたエアロゾルの観測やエアロゾルに関する実験に携わる中で、エアロゾル光学的吸収係数の自動連続測定装置の必要性を認識し、「テープ式吸収率計」(図1)を開発した。これによりデータの取得が無人で可能となり、人為影響の少ないバックグラウンド地域における連続観



図1 テープ式吸収率計の概観

測が可能となった。

(2) この装置は汎用の光ファイバーセンサー、プログラマブルコントローラなどで構成されており、従来の自動エアロゾル観測装置の数分の一の予算で製作可能である。1台のコストが低廉であることから、同一測定器の複数台設置が容易で、建物内、都市域内、そして地球規模でのエアロゾル光学的吸収係数の分布観測が可能となった。

(3) この装置を用いて分布観測を行なう際には、過去のある期間についての情報を得ることも重要であるが、現在の分布がどのようになっているかを明らかにし住民に公開することも意義深い。現況がどのようになっているかを認識することは、呼吸器系疾患を持つ人々にとって外出時の目安となるほか、大気環境への関心を深める契機にもなると期待できる。

## 2. 研究の目的

本研究では以下の4点を目的とする。

(1) 自らが開発したエアロゾル観測機器である「テープ式吸収率計(SPY-02)」から精度の高い吸収係数の連続データを取得するために必要な課題を明らかにすること。

(2) フィールドに設置した複数個のテープ

式吸収率計から得られる計測値を現場で校正する簡便な手法を確立すること。

(3) 実際にテープ式吸収率計を札幌市内に複数個設置し、運用上問題となる点を明らかにすること。

(4) 得られたデータの解析方法について検討し、エアロゾルの空間的分布、発生起源などを明らかにすること。

## 3. 研究の方法

(1) テープ式吸収率計から求められる大気エアロゾルの光学的吸収係数の精度に大きく影響する空気流量および反射光強度の測定値を検討し、可能な改良を加え、データを比較検討する。

(2) 札幌市内に複数個のテープ式吸収率計を設置し、市内の吸収係数分布を求めようとした時に解決しなければならない精度管理の手法を開発する。実際にテープ式吸収率計を設置し、モバイル通信機器経由でデータを回収・送信し、リアルタイムで市内の吸収係数データを取得する。

## 4. 研究成果

(1) SPY-02 による吸収係数測定上の課題 定流量化

当初 SPY-02 のポンプは小型ダイヤフラムポンプで流量制御機構を持たないため、フィルター上へエアロゾルが蓄積してくると圧損が大きくなり流量低下の原因となっていた。SPY-02 は付属のマスフローセンサーで常時流量をモニターしているが、センサーの精度が不十分なため、吸収係数の精度に影響していることが判明した。この問題を解決するために、現有部品を利用した流量制御機構を新たに開発した(図2)。

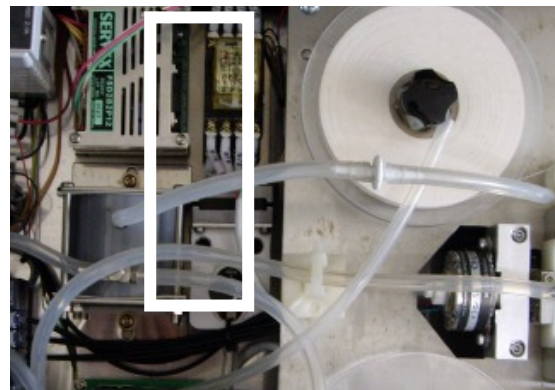


図2 既存のステップモータードライバを使って製作した流量制御機構(□で囲った部分)

この装置の流量安定性を市販の定流量ポンプ(柴田科学 MP-Σ30)とともに図3に示す。SPY-02 に既に搭載されている部品を用いて製作した定流量化機構は、市販のものよりもばらつきが大きいものの数日間の連続運転では、ほぼ一定の流量となっており使用可能であった。ただし、長期間連続運転すると、稼動部分が磨耗し流量制御できなくなる例が見られた。一方、市販のポンプは長時間連続運転用に開発されたものではないものの、数ヶ月間の連続運転で問題が生じなかった。以上の結果より、定流量化は長期間に安定性に優れた市販の定流量ポンプを使用することとした。

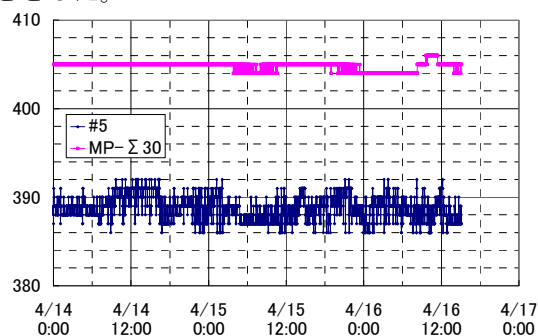


図3 製作した流量制御機構(#5)および市販の定流量ポンプ(MP-Σ30)での流量変化。縦軸はセンサー出力値

#### センサー分解能

吸収係数の精度に影響する因子として流量に次いで重要なものは光センサーの分解能であった。現在用いているセンサー出力は12bitであり、清浄地域においては500mlの大気吸引では最小桁が1分では変化しない。このため、吸収係数の計算時に量子化誤差が発生してしまう(図4)。このセンサー自身は、メーカーの改良により出力精度が数倍に向上したため、新しいセンサーの採用を検討した。しかし、センサーデータを制御器であるPLCに転送する通信ラインの制限から現在のシステムでは得られるデータの分解能を向上することは困難であるとわかった。したがって、センサー分解能の向上による吸収係数制度の改善は断念した。

#### エラーバーの評価

大気エアロゾルの吸収係数の絶対的な測定方法は確立していない。Radiance Research社製 Particle Soot/Absorption Photometer (PSAP)が比較的広く使用されている程度である。そこで、SPY-02の一つを基準器とし、他のSPY-02の測定値をこれに補正することとした。図5にSPY-02と基準器で得られた吸収係数の散布図およびそこから求めた吸収係数(エラーバー付)の時間変化を示す。

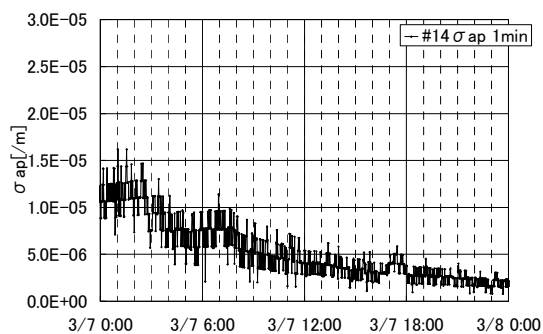


図4 吸収係数が低い場合に見られる量子化誤差。吸収係数の変動が滑らかではなく離散的になっている。

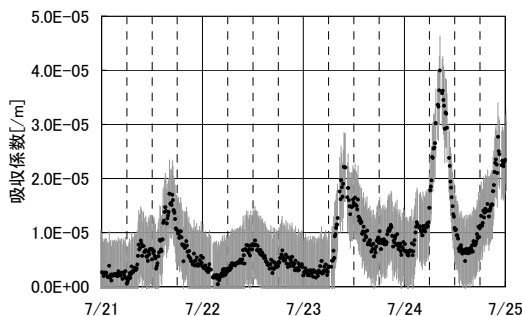
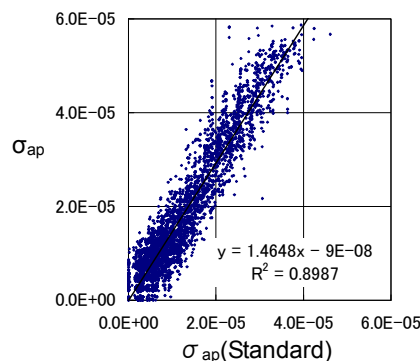


図5 基準器と並行運転したSPY-02で得られた吸収係数の散布図(上)および信頼区間95%としたエラーバーを表示した吸収係数の時間変化(下)

空間的な広がりを持った領域で吸収係数の測定を行ない、その分布図を作成する場合には、それぞれの測定器の計測した値が持つ精度を明らかにしておくことが必要である。以上のプロセスによってSPY-02測定値が相互比較可能となった。

#### (2) 簡便なSPY-02校正手法の確立

図5(上)に示した校正用散布図を作成することは、設備の整い時間的制約の少ない実験室で行なうことは比較的容易である。しかし、SPY-02をフィールドに配置し長時間連続運転させる場合には、一定期間ごとにSPY-02を実験室に戻して一斉に校正を行なうことは対象機器が増えるほど時間労力を要する

上、それぞれの測定系の取り外し・再設置に伴う条件変化がトラブルのもとになる可能性も考えられる。そこで、基準器をそれぞれの測定現場に運び、1つずつ校正を行なう「持ち回り校正法」(図6)の確立を行なった。

基準器と並行運転することによって校正は可能であるが、測定対象試料空気の吸収係数が一定程度の広い濃度範囲で変化しなければ校正にならない。そこで、校正対象となる SPY-02 の配置されているフィールドサイトの吸収係数がどのような濃度であろうと一定の濃度範囲の吸収係数を実現できるシステムを構築した。

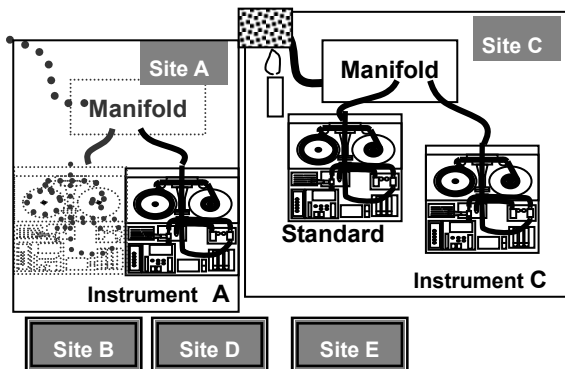


図6 「持ち回り校正法」の概念図。AからEまでのサイトを標準器とスス発生・希釈装置を持って巡回しそれぞれのサイトでSPY-02を校正する。図はCサイトで校正中

大気エアロゾル中で大きな吸収係数を持つものは燃焼由来のスス粒子(エレメンタルカーボンEC、ブラックカーボンBCなどと呼ばれる)であることから、スス粒子発生源として入手容易なローソクを用いた。ローソク炎中の高濃度ススをサンプリング後に徐々に希釈する図7に示す系を組んだ。ローソクを燃焼させ、1秒程度炎の中にインレットを挿入すると、高濃度のススがバッファ内に導入される。その後低吸収係数の空気をバッファ内に導入し続ければ、バッファ内空気の吸収係数は徐々に低下し最終的には周辺空気の吸収係数になる。図8に繰り返し行なった実験で吸収係数が徐々に低下していく様子を示す。

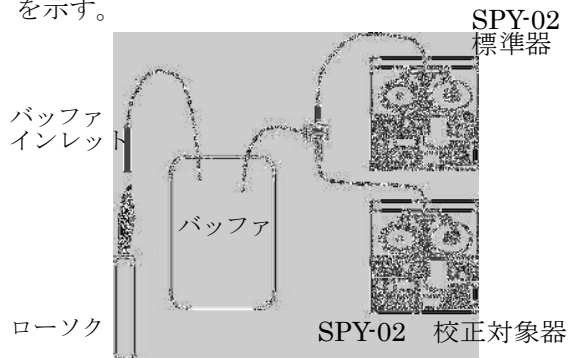


図7 広範な吸収係数を調整するための系

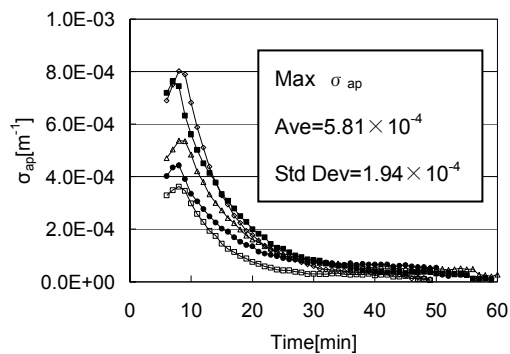


図8 ローソク炎中のススをバッファ導入後周辺空気を導入した場合の吸収係数の時間変化

この系を用い基準器と校正対象器から得られた吸収係数の散布図を図9に示す。札幌中心部で車の往来が多く最も汚染されていると考えられるサイトでは吸収係数は  $5 \times 10^{-5} [m^{-1}]$  程度であるが、この系を用いて校正を行なうと、それよりも高い  $1.0 \times 10^{-4} [m^{-1}]$  程度までの散布図を作成することが可能であった。ローソクのススをバッファ内に導入し、数十分連続測定するだけであることから、この持ち回り校正法は現場で十分実用可能であることがわかった。

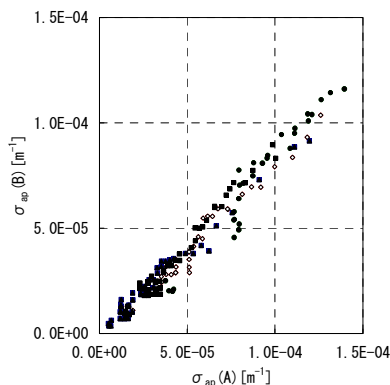


図9 持ち回り校正法で作成された散布図

### (3) 無線通信

PHS (WILLCOM, WS007SH) の OS として採用されている WindowsMobile5.0 上で、テープ式吸収率計のシリアルデータ受信からメール送信まで行うプログラムを Visual Studio 2005 を用い作成した。このプログラムは、テープ式吸収率計から1分ごとにシリアル通信で送られるデータを受信、1時間毎に1つのファイルとしてメール添付で送信する。

分布作成時には正確な時刻合わせが必要となるが、これには無料公開されているアプリケーションソフト simple HTTP ntp を用いた。図10に本システムのプログラムのフローチャートを示す。送付されたメールは POP サーバー上に蓄積されていくが、このメールの添付ファイルからデータベースを自動作



成するシステムの開発は外部委託した。外部委託したこのシステムはLINUX上で開発され、データベースとしてオープンソースのPostgreSQLを用いている。

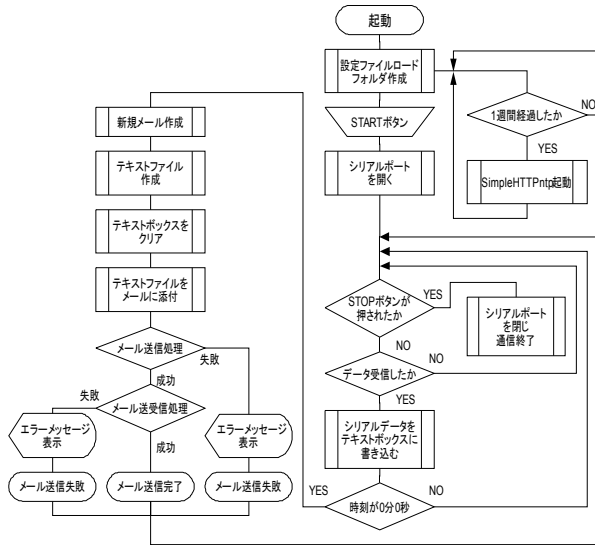


図 10 シリアルデータ受信・1時間毎のメール送信プログラムのフローチャート

(5) 札幌市内の吸収係数測定  
札幌市内にある大気測定局の5ヶ所(図11)にSPY-02を設置し、連続測定を行なった。札幌市は西に手稲山系があるため、風向はこの山系に沿って北西あるいは南東が一般的である。篠路測定局を除く4つの測定局と北海道大学工学部は、ほぼ風向に沿って並んでいる。



図 11 SPY-02 を設置した5ヶ所の札幌市大気測定局

それぞれの測定局舎内にSPY-02を設置し外部から試料大気を導入した。図12に東月寒測定局(しらかば台小学校敷地内)の局舎内の様子および試料大気取り込み口とした換気扇開口部の外部フード状況を示す。試料大気は直接SPY-02に導かれている。篠路測定局以外の得られたデータは(3)に述べたPHS無線通信システムでデータを送信した。図13に篠路以外の市内4つの測定局における大気エアロゾル光学的吸収係数の経時変化を示す。5ヶ所の吸収係数はベースライン

は類似しているものの、北一条と手稲の吸収係数は他の測定点より高い値を示すことが多かった。これは、北一条測定局は札幌の中心部に位置し、自動車交通量が非常に多い上、測定局が駐車場内にあり駐車場を出て行く自動車の排気ガスによる影響を受けやすいこと、手稲測定局は幹線道路沿いに位置し、道路と測定局の間に空気の流れを遮るものがないため、自動車排気ガスの影響を受けやすいことが原因と考えられる。したがってこの2測定局では、札幌市全体に渡るエアロゾル吸収係数変化に加え、近隣排出源である自動車が大きく影響していると考えられる。このことから札幌市内における吸収係数は、市外から輸送されるベースラインに、市内で発生する局所的なエアロゾルが上乘せされて決まること、そして、市内の発生源で吸収係数に大きく寄与する成分は自動車由来のものであることが示唆された。



図 12 測定局に設置したSPY-02(左、○部分)の状況、試料大気を導入した換気扇開口部(左、□部)および外部の換気扇フードから見た試料大気インレット部(右、○部)

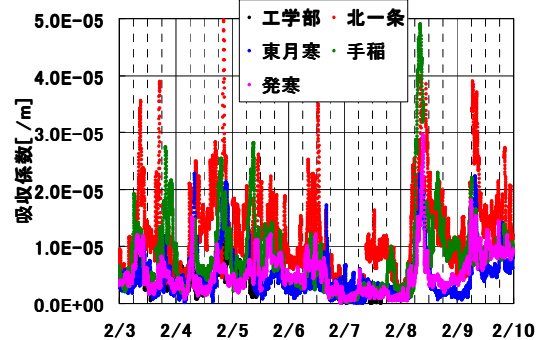
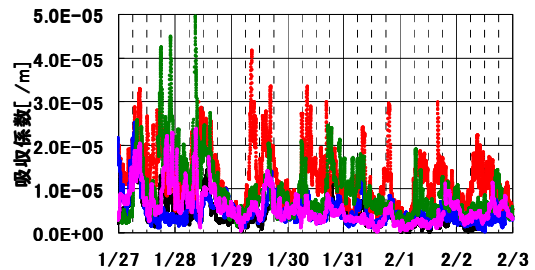


図 13 札幌市内4ヶ所の大気測定局および北大工学部に設置したSPY-02で得られた吸収係数の時間変化の一例

(6) 測定データの解析

札幌市におけるエアロゾル吸収係数のベースラインを決める要因について考察するために 2010 年 1 月 19 日～1 月 20 日に得られた各地点の吸収係数時間変化を図 14 に示す。この図からわかるように、19 日 18 時から 20 日 6 時にかけて、吸収係数が  $8.0 \times 10^{-6} [m]$  程度以上の高い値で推移していた。20 日 16 時ころからは吸収係数が低下していることもわかる。深夜の吸収係数が高い 20 日 3 時から吸収係数が下がり始めた 20 日 15 時頃まで、札幌は寒冷前線と温暖前線の間に位置し、20 日 15 時に札幌付近を寒冷前線が通過していた。この間、南よりの風が卓越してしたが、寒冷前線通過時に風向が南東から北東へと変化し、吸収係数の減少が見られた。

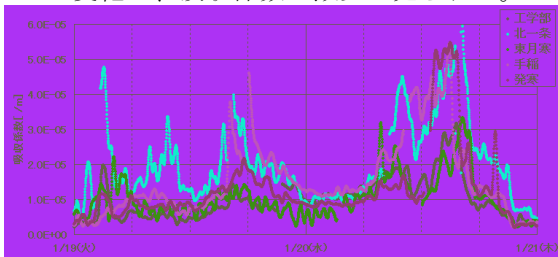


図 14 2010 年 1 月 19 日～1 月 20 日に札幌市内 5 ヶ所で測定された吸収係数時間変化

吸収係数のベースが高い 1 月 19 日・20 日の気塊が通過した経路を求める後退流跡線解析を、吸収係数のベースが高く降水が観測されなかった 19 日 18 時～20 日 6 時について行ない得られた計 5 本の流跡線を図 15 に示す。高い吸収係数を与えた気塊は上海付近の中国沿岸部や中国北東部の工業地域、釜山などの都市部を通過して札幌に到達したことがわかる。これらの地域は図中に示した BC 排出が多い地域であり、これらの地域で発生した燃焼由来の BC が札幌に影響していることが示唆された。

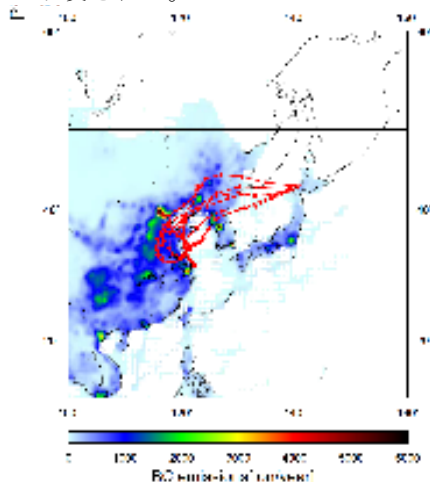


図 15 札幌で高い光学的吸収係数が観測された日の後退流跡線。地図上の色はブラックカーボン(BC)排出量の分布を示す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 山形 定、千葉星雄、太田幸雄、村尾直人、エアロゾル吸収係数測定装置の校正システムの構築、26回エアロゾル科学・技術研究討論会、2009.8.21、岡山。
- ② 小濱大輔、村尾直人、山形 定、太田幸雄、CWT 法を用いたエアロゾル吸収係数の連続測定の解析第、26 回エアロゾル科学・技術研究討論会、2009.8.19、岡山。
- ③ 山形 定、篠崎 健、村尾直人、太田幸雄、エアロゾルの光学的吸収係数測定法の改良とリモート地域における連続観測、第 25 回エアロゾル科学・技術研究討論会、2008.8.20、金沢。
- ④ 長谷川拓紀、山形 定、村尾直人、太田幸雄、モバイル通信機器を利用した自動データ回収システムの開発、第 25 回エアロゾル科学・技術研究討論会、2008.8.20、金沢

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山形 定 (YAMAGATA SADAMU)

北海道大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：80220242

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし