

偏光ライダーによる北京における黄砂の連続観測

Continuous Measurement of Dust Aerosols with a Dual-Polarization Lidar in Beijing

陳 岩¹、全 浩¹、董旭輝¹、杉本伸夫²、松井一郎²、清水厚²Yan CHEN¹, Hao QUAN¹, Xuhui DONG¹,Nobuo SUGIMOTO², Ichiro MATSUI², Atsushi SHIMIZU²¹日中友好環境保全センター、²国立環境研究所¹China-Japan Friendship Environmental Protection Center, China²National Institute for Environmental Studies, Japan

Abstract: Continuous measurement of dust aerosols with a dual-polarization lidar was performed in Beijing from March to May, 2001. About fifteen major dust events were observed during the period. A method for estimating mass concentration of dust aerosols from the observed extinction coefficient and aerosol depolarization ratio was developed. Using the lidar data and sampling data, we classified the dust events into four types of transport patterns (falling, passing, local, and combination of falling and local).

Keywords: dust event, dust aerosol, dual-polarization lidar.

1. はじめに

近年、北京を含む中国東部において、中国北西部やモンゴル中南部などの乾燥地域が発生源と見られる黄砂の発生頻度が増加傾向にあるといわれている。そこで、北京に飛来する黄砂の発生、輸送機構を解明するために、日中間黄砂共同研究の一環として今年春に、国立環境研究所から北京に偏光ライダーを導入し、3月から5月にかけて日中友好環境保全センターにおいて、ダストエアロゾルを中心に24時間体制の連続観測を行った。

偏光ライダーは後方散乱の高度プロファイルに加え、散乱されたレーザー光の偏光の変化(偏光解消度)を測定することによって、散乱体の非球形性を知ることができる。すなわち、黄砂のようなダストエアロゾルを高感度で検知できる。また、飛来するダストの輸送プロセスやメカニズムを把握するため、大気顆粒物サンプリ

ング(TSP)や地上ダスト計の測定データとライダー観測データとの比較を通じて、ライダーで観測した物理量データを質量濃度に変換することを試みた。これによって、ダストエアロゾルの質量濃度の高度分布を求めた。

2. 装置の概要

ライダー装置は北京市内東北方向に位置する日中友好環境保全センターの屋上にあるガラスの天窗を備えた小屋に収納されている。ガラス窓により天候によらず観測を継続できる他、高濃度ダストイベントから装置を保護することができる。観測は5分間測定10分休止の15分間隔で行い、地上から高度約8kmまでのエアロゾルの鉛直分布や時間的变化などをほぼ昼夜連続的に観測した。

主な装置の仕様はTable1に示す。また、装置の構成はFig.1に示す。

Table1 Specification of the Lidar

Laser	Flashlamp Pumped Nd:YAG laser
Wavelength (nm)	532
Output energy (mJ)	50
Pulse repetition (Hz)	10
Telescope	Schmidt Cassegrain
Receiver Telescope diameter (cm)	25
Receiver Field of view (mrad)	0.5-2

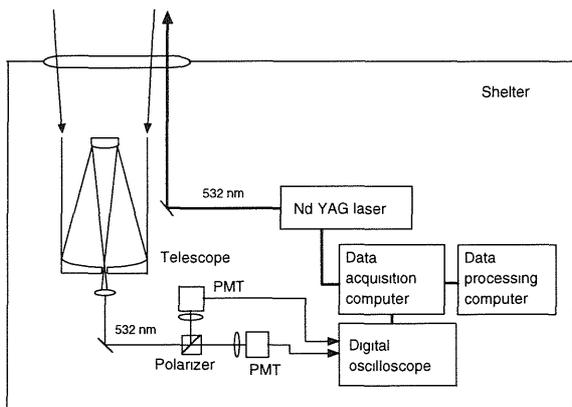


Fig.1 Block Diagram of the Lidar

3. 観測結果と考察

3月から5月にかけて、本偏光ライダーによって15回のダストイベントが観測された。ダストイベントのあった日数は延べ43日で、三ヶ月間の全部観測日数の47%を占めている。イベント発生月別から見れば、15回の内三月に5

回、四月に7回、五月に3回であったことから、2001年の北京におけるダストイベントは三月と四月に集中していたことが分かる。Fig.2に三ヶ月間の観測結果を示す。また、ダストイベントの観測結果はTable2にまとめる。

Table2 Observed major dust events

No.	Event Period	Continued Time (h)	Highest Height (m)
1	3/1-3	56	3000
2	3/4-6	53	3500
3	3/8-9	37	3000
4	3/12-14	51	5000
5	3/19-24	122	5000
6	4/2-4	66	2000
7	4/6-8	51	4000
8	4/9-11	41	4000
9	4/17-19	48	5000
10	4/21	6	1000
11	4/22-23	18	3000
12	4/30-5/1	24	3500
13	5/3-6	64	4000
14	5/14-17	74	5000
15	5/18-19	27	1000

三月の5回に対し、四月は7回で発生回数は上回っているが、持続時間では三月は17日間延べ300時間余りに対し、四月は約250時間とやや短かった。従って、今年の場合は三月のダストイベントが北京の大気顆粒物濃度や大気質に最も大きな影響を与えたと考えられる。

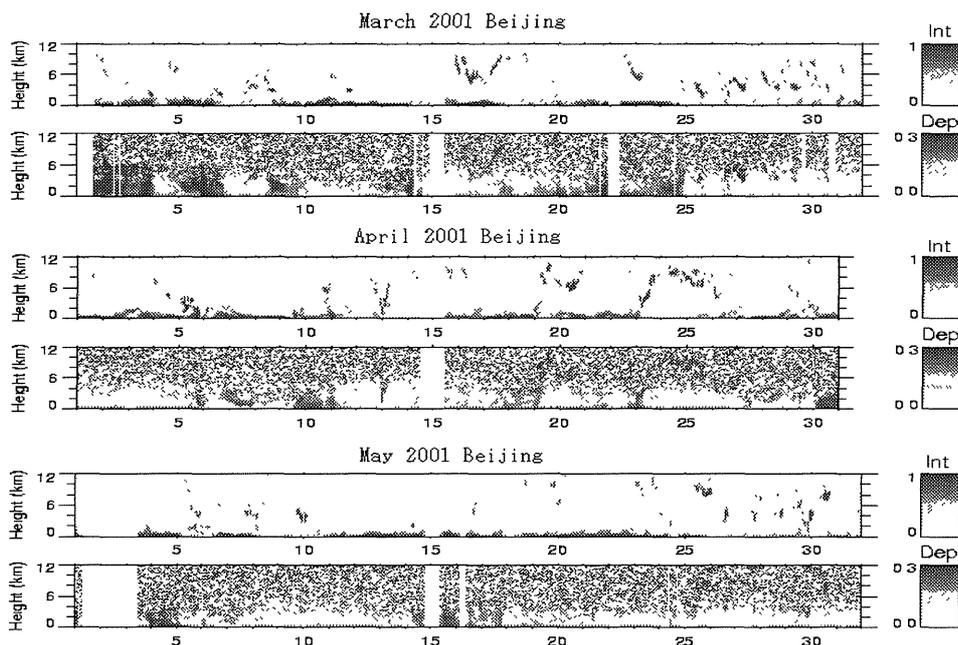


Fig.2 Time-height indication of range-corrected intensity (upper) and depolarization ratio (lower) for March, April and May, 2001.

この研究はダストイベントが北京にいかなる影響を与えるかを主眼にするため、ダストの質量濃度を知ることが重要である。ここで大気顆粒物濃度 (TSP) や地上ダスト計の測定データとライダー観測データとの換算を通じて、ライダーで観測した消散係数を質量濃度に変換することを試みた。また、消散係数に占めるダストエアロゾルの割合を外部混合を考えて導出した次式により推定した。

$$R = \frac{(1 - \delta_2') \delta - \delta_2'}{(\delta_1' - \delta_2')(1 + \delta)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\delta_1' = \delta_1 / (1 + \delta_1) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\delta_2' = \delta_2 / (1 + \delta_2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 δ は測定されたエアロゾル偏光解消度で、 δ_1 はダストエアロゾルの偏光解消度、 δ_2 はその他の大気エアロゾルの偏光解消度を示す。ここで経験的に $\delta_1 = 0.35$ 、 $\delta_2 = 0.05$ とした。Fig.3 に質量濃度に換算した結果を示す。

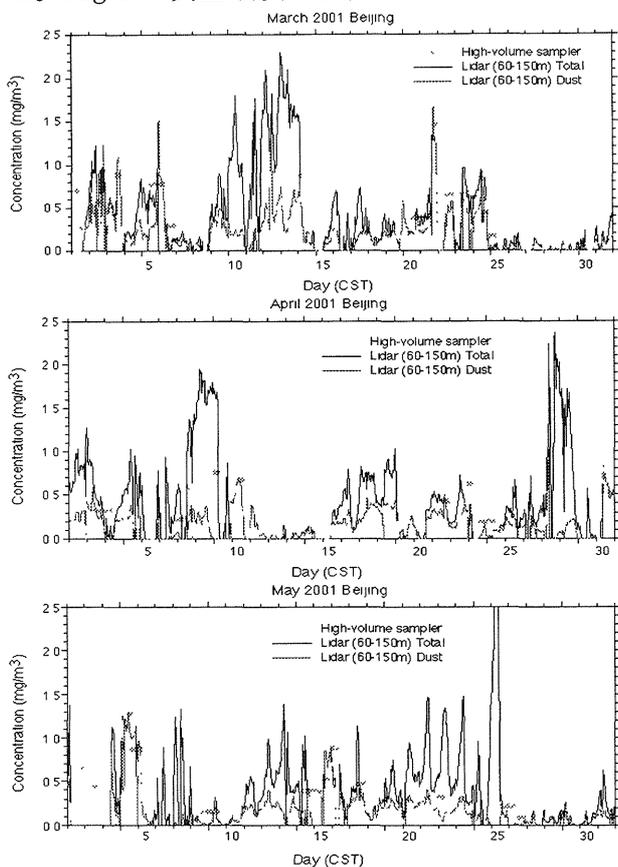


Fig.3 Mass concentration estimated from results of total aerosols and dust. Total suspended particles (TSP) measured with a high-volume sampler.

Fig.3 の濃い実線は地上 60-150m のライダーデータから求めたトータルのエアロゾルの濃度、薄い点線はダストエアロゾルの濃度、グラフ中の横棒はハイボリュームサンプラーで測定した TSP 濃度とそのサンプリング継続時間を示す。

トータルのエアロゾル濃度の内、ダストエアロゾルの占める割合を見れば、ダストイベントの発生した場合は、ダストエアロゾルの割合が極めて高く、ほぼ 100% に到達した例も観測され、ダストイベントが発生した時にダストエアロゾルは北京の大気質に大きな影響を与えていることが分かった。例えば、3月6日、3月21日、4月10日、5月4日などが挙げられる。それに対し、通常 (ダストイベントが発生していない) の場合は、エアロゾル濃度が全般的に低いことと共に、ダストエアロゾルの割合が比較的 low、エアロゾル全体の濃度の 20% に達していないものが多く観測されている。例えば、3月10日、4月7日、4月28日などが挙げられる。

Lidar 観測により、さまざまなダストイベントのパターンが観測された。そこで、イベントのプロセスの特徴を表現するために、高空輸送沈降型、高空輸送通過型、地元舞上り型、高空輸送沈降/地元舞上り混合型などの四つのパターンに分類した。

3月5-6日のダストイベントは典型的な「高空輸送沈降型」である。Fig.4 の左側の図を見ると、5日未明約 3500m の高度からダストが北京上空に侵入し、深夜になって濃度が約 $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に増加し、ピーク濃度の高度は 1000m に維持していた。その後、時間の経過に伴って濃度ピークは地面に着き、濃度値も $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたことが分かる。粒径分布は $0.7 \mu\text{m}$ と $5.0 \mu\text{m}$ に集中しているが、 $0.7 \mu\text{m}$ のピークは北京地元の大気汚染物、 $5.0 \mu\text{m}$ のピークは北西部から遠距離輸送されてきたダストの貢献を示していると考えられる。また、 $5.0 \mu\text{m}$ に集中することからこのパターンのダストが比較的粒径が小さいことが分かった。

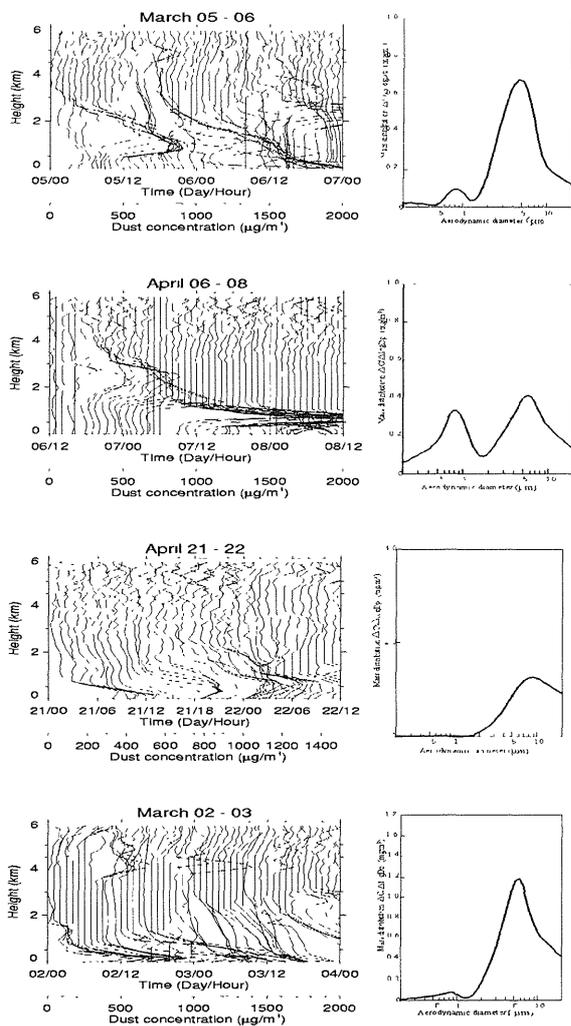


Fig.4 Four patterns of dust events (falling, passing, local, and local/falling combination). Temporal variation of dust concentration (left) and particle size distribution measured with an Anderson sampler.

4月6-7日のダストイベントは非常に典型的な「高空輸送通過型」である。6日15時頃から約4000mの高度からダストが現れ、時間経過と共に濃度が高くなりながら濃度ピークの高度が下がりにつつあった。7日昼に最低高度の700mに至ってから水平方向移動に移り、結局濃度ピークが地面に着かず北京から移出したことが分かる。粒径分布から見ても北京の通常の日とほぼ同じような分布特徴を表している。また、Fig.3に示している当時のダストエアロゾル濃度の占める割合が20%を超えていないことから、ダストが地面にほとんど沈降しなかったことが明らかになった。

4月21日のダストイベントは「地元舞上り型」

に属する。21日未明、地面から濃度が約 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ のダストが観測され、当日16時頃に濃度がピーク値に至り約 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ となったが、高度が700m以下に維持し、「高空輸送沈降型」とは明らかな区別が付けられた。また、粒径分布が $9\mu\text{m}$ に集中し「高空輸送沈降型」より遥かに荒い方向に移動していることから、地元の大きい土壌粒子の貢献を証明した。

「高空輸送沈降/地元舞上り混合型」に属するのは3月1-3日のイベントであった。1日午後、高空輸送によってダストが約3000mの高度から北京に侵入しながらだんだんと地面に到達したことが観測され、「高空輸送沈降型」と判断されたが、イベントの進行中の3日午前中地面から高濃度ダストが現れ、数時間後濃度ピークが再び地面に戻り、「山形」構造が確認された。粒径分布は $0.7\mu\text{m}$ と $7.0\mu\text{m}$ に集中しているが、ダストを意味する $7.0\mu\text{m}$ のピークは地元の大きい粒子と遠距離輸送されてきた小さい粒子との混合した効果と考えられ、「高空輸送沈降型」と「地元舞上り型」との二つのパターンの共同影響によるものであったことが認められた。

4. まとめ

三ヶ月間のライダー連続観測により合計15回のダストイベントが観測された。今年の場合、ダストイベントの発生は三月に集中し、「高空輸送沈降型」に属するイベントが約75%の割合を占めていたことが分かった。この結果より、春季の北京の大気颗粒物濃度に大きく影響したのは主に遠距離輸送されてきたダストであるといえる。しかし、「地元舞上り型」のダストの影響も2番目に大きく、無視できないことが分かった。

参考文献

1. 杉本伸夫、「ライダーネットワークによる黄砂観測について」、第42回大気環境学会年会、pp.196-197、2001
2. 松井一郎、杉本伸夫、「小型ミー散乱ライダーによる雲・エアロゾルの連続観測」、第18回レーザセンシングシンポジウム、pp.171-172、1997