西日本4地点で取得したライダプロファイルの比較にもとづく黄砂輸送経路の推定

Estimation of trajectory of Asian dust according to lidar profiles acquired simultaneously at four lidar sites in western Japan

五百旗頭健吾[1], 豊田啓孝[1], 古賀隆治[1], 杉本伸夫[2], 松井一郎[2], 清水厚[2], 荒生公雄[3]
Kengo Iokibe[1], Yoshitaka Toyota[1], Ryuji Koga[1],
Nobuo Sugimoto[2], Ichiro Matsui[2], Atsushi Shimizu[2], and Kimio Arao[3]

[1]岡山大学工学部 [2]国立環境研究所 [3]長崎大学環境科学部
[1]Faculty of Engineering, Okayama University,
[2]National Institute for Environmental Studies,
[3]Faculty of Environmental Studies, Nagasaki University

Polarization lidar profiles including Asian dust layers were examined to estimate trajectory of the layers in western Japan. The lidar profiles were obtained simultaneously at Okayama, Matsue, Nagasaki, and Fukue during the 6days from Apr. 30 to May 5, 2005 (UTC). Four layers of Asian dust were confirmed to travel southward by comparing the lidar profiles for Matsue and Okayama. Lidar profiles for the remaining lidar sites showed that a dust layer prevailing east and west also passed southward above the both sites. The results suggest that simultaneous lidar measurement at two sites 100 km apart from each can produce our awareness of Asian dust layers in their transporting directions over the lidar sites.

1 はじめに

岡山大学では毎年3月から5月にかけて、黄砂を偏光ミーライダによりモニタリングしている。また松江、長崎、福江島では国立環境研究所ライダグループが同じく偏光ミーライダにより黄砂モニタリングをしている。黄砂については、その輸送経路の推定が数値解析[1,2]、あるいは人工衛星データを使った分析[3]によって試みられている。また衛生データに基づく経路分析結果のライダプロファイルに拠る検証も為されている[2,4]。本報告では2005年4月30日から5月5日に観測された黄砂層に関し、上記4地点で取得したライダプロファイルにもとづく輸送経路の推定を試みる。

2 ライダ装置および観測地点

観測地点をFig. 1に示す。松江の観測地点から岡山の観測地点への方位は 154.0 度であり、距離は98.6km である。同様に、福江から長崎へは方位 83.2 度および距離は97.2km、長崎から岡山へは方位61.3度および距離 388.9km である。松江から岡山はおおよそ南南東に、福江から長崎はほぼ西に、どちらも約100km 離れている。

上記4地点で観測に用いたライダは、偏光ミーライダである。使用したレーザ波長は 532nm であり、鉛直上方へ向けて観測している。時間分解能は 15 分である。

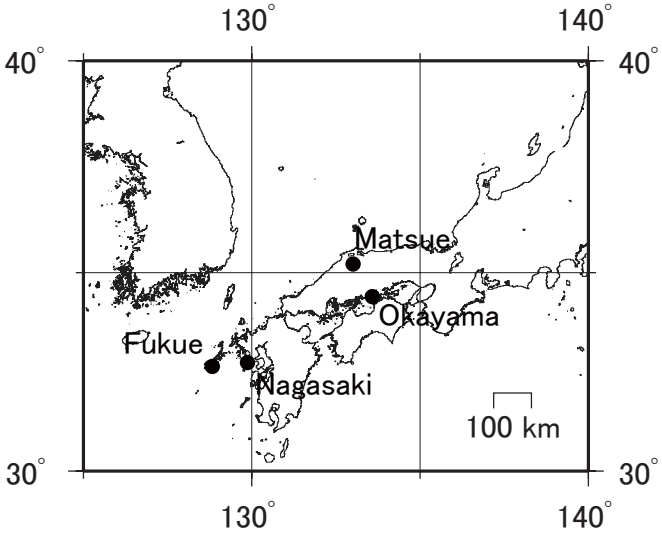

Fig. 1 The four lidar sites in western Japan: Okayama (E133.57, N34.41), Matsue (E133.01, N35.21), Nagasaki (E129.86, N32.78), and Fukue (E128.83, N32.68).

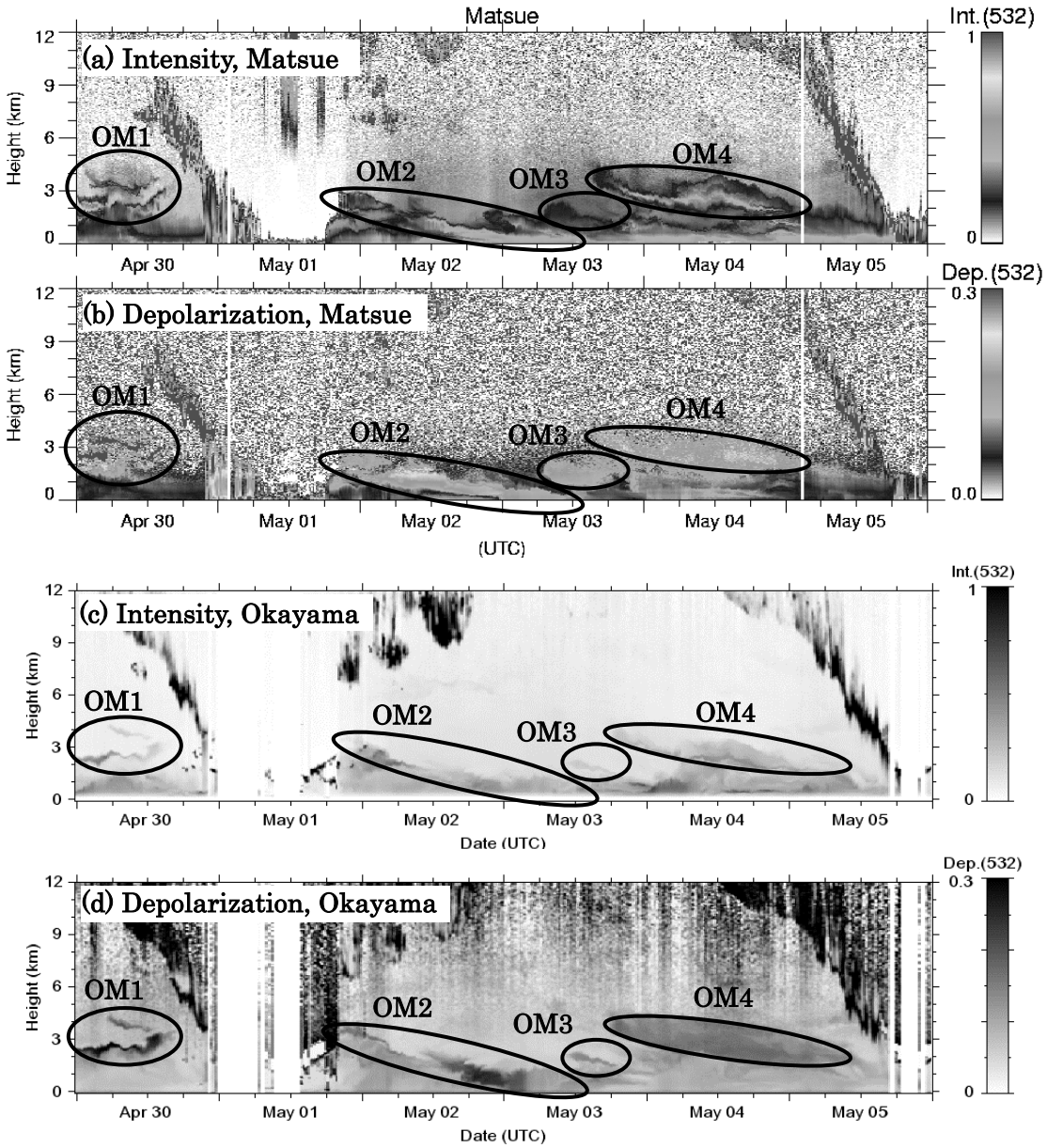

Fig. 2 Lidar profiles of range-corrected signal intensity and depolarization ratio measured during the period from Apr. 30 to May 5 at the four lidar sites: (a) and (b) Matsue, (c) and (d) Okayama, (e) and (f) Fukuejima, and (g) and (h) Nagasaki.

3　観測結果

2005 年 4 月 30 日から 5 月 5 日(UTC)の 6 日間に上記 4 地点で偏光ミーライダにより取得した距離補正信号強度および偏光解消度の高度分布を Fig. 2 に示す。岡山と松江では時期をほぼ同じくして偏光解消度の高い層を検出した。Fig. 2 では検出した偏光解消度の大きい層を OM1～OM4 および FN1 の 5 層に分類し示している。

これら 5 層は非球形粒子を含んでいる。ミー散乱理論によると粒子が球形であるならば偏光解消度は 0 である。したがって偏光解消度が 0 でなければ粒子は非球形である。上述した 4 つの層は偏光解消度が 0.1 以上と大きいので、この層を構成する粒子は非球形である。あるいは非球形粒子を含でいる。非球形粒子の種類として考えられるのは、風により吹き上げられた土壌粒子や都市ダスト、そして氷雲粒子である。

土壌粒子としては春季に日本各地で観測される黄砂の可能性がある。次に都市ダストや観測地点近くの土壌粒子であるが、検出した非球形粒子がそれらである可能性は次の理由により排除する。これらローカルな粒子が風により巻き上げられたならば、地上付近の境界層において観測されるはずである。しかし OM2 および FN1 を除く 3 層はいずれも 1km より上空に存在している。OM2 ついて観察すると、松江では 5 月 1 日の夜に 2～3km に出現し、その後時間経過とともに降下し 3 日の午前に地上付近に達している。したがってこの層はローカルなダストが吹き上げられたの

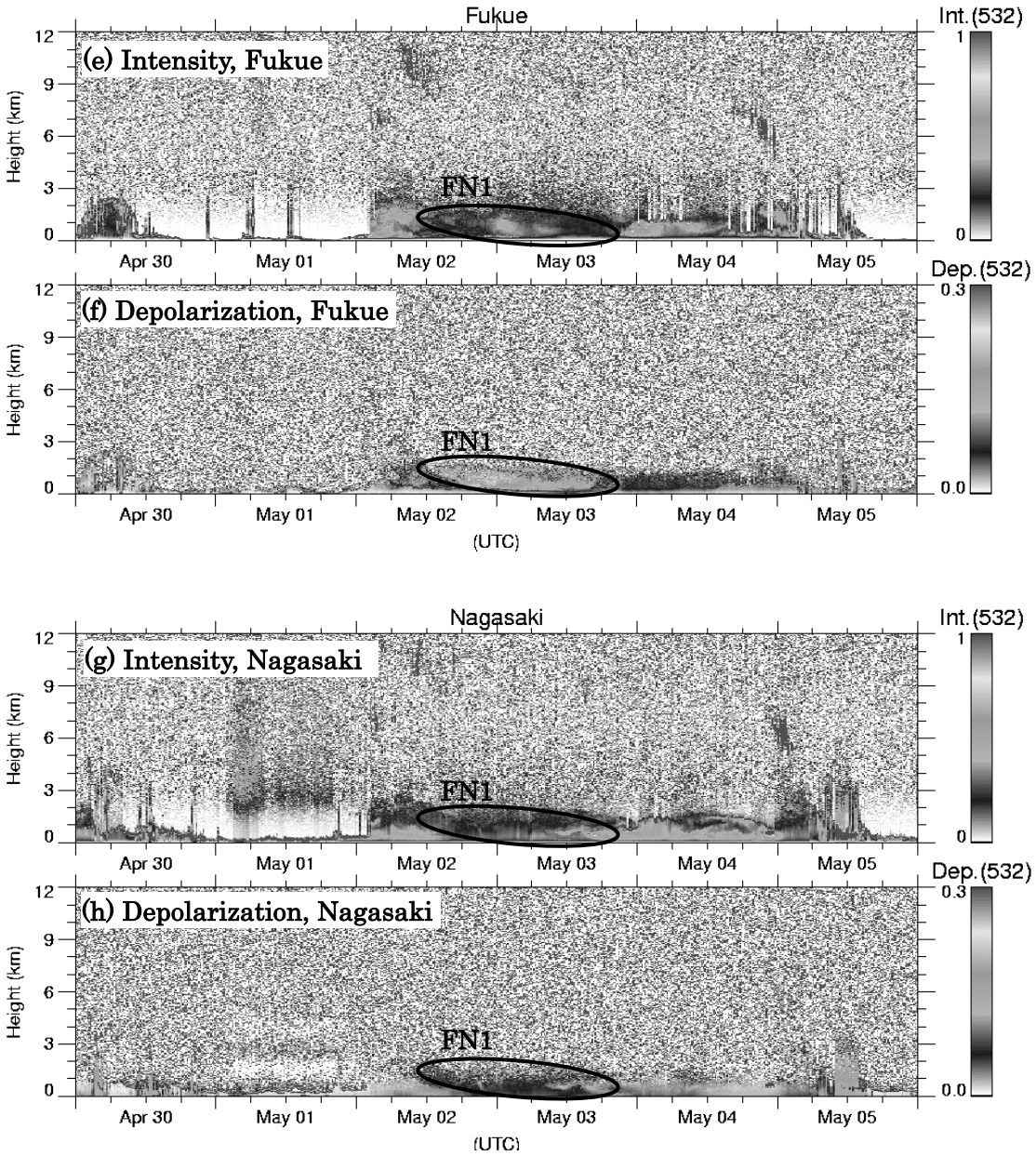

Fig. 2 Continued.

ではなく、遠隔地より輸送されてきたエアロゾル層が徐々に下降したと理解するのが妥当である。岡山の OM2 については、5 月 1 日夜から 2 日朝に掛けて地上付近の偏光解消度が 0.1 程度と高くなっているが、松江と同様に時間とともに下降する傾向も見られる。FN1も同様である。したがって、岡山の OM2 に限ってはローカルなダストを含む可能性はあるが、OM2 および FN1 においては遠隔地より輸送された粒子が支配的であると推測できる。最後に氷雲粒子の可能性は低い。なぜならこれらの 5 層は信号強度が弱く雲ではないと推定できる。また高度も概ね 3km 以下と低いため、氷粒子である可能性が低い。以上より、Fig. 2 で示した OM1～OM4 および FN1 のエアロゾル層は黄砂である可能性が最も高い。

松江と岡山の比較

松江と岡山では 4 つの黄砂層をそれぞれ、近い時期にほぼ同じ高度で観測した。また偏光解消度も同程度であった。まず OM1 では両観測地において、高度 1.5～3km に、厚みが 1km 以下の黄砂層を 2 層確認できる。偏光解消度は両地点ともに 0.15 以上であり、0.25 以上も観測されている。次に OM2 を見ると、高度 3－4 km から地上まで下降する黄砂層を 1 日の夜から 3 日午後に掛けて両観測地で確認できる。偏光解消度は松江で 0.15－0.25、岡山で 0.1－0.25 である。OM3 は松江では 3 日の 9 時に、岡山では同 11 時に高度 1－2 km に出現している。黄砂層の厚みは松江で約 1 km、岡山で約 0.5 km と異なっている。偏光解消度は松江、岡山ともに 0.15－0.2 である。最後に OM4 を見

ると、松江、岡山ともに高度 4 km に出現しゆっくりと降下した。偏光解消度層の高度分布で確認すると、黄砂層の厚みはともに 3 km と一致した。黄砂層が出現した時刻は松江が岡山より約 3 時間早かった。偏光解消度は両地点とも 0.15－0.2 強であった。

福江と長崎の比較

福江と長崎では同じ期間に黄砂層(FN1)を観測した。ただし黄砂層の偏光解消度は、松江と岡山でよく一致したのと比べ、値の開きが大きかった。福江の偏光解消度を見ると、5 月 2 日 14 時から 3 日 17 時まで高度 1 km 以下の偏光解消度が 0.1－0.25 と高くなっている。したがって、FN1 は黄砂層であると推定する。同じ期間の長崎の結果を見ると、その値は 0.1 以下ではあるが、この期間の前後と比較すると偏光解消度が高くなっている。したがって、この期間はエアロゾル粒子の非球形性が増しており、西に 100 km 離れた福江で黄砂が観測されていることから、エアロゾル層 FN1 は黄砂であると推測している。

4　輸送経路の推定

この期間の黄砂は南南東方向へ輸送されたと推測できる。Fig.2 (a)－(d)によると、松江と岡山では偏光解消度および信号強度の高度分布がよく似た黄砂層が観測された。また黄砂層 OM4 が松江上空に現れた 3 時間後に岡山上空にも現れていることから、この黄砂層が松江から岡山の方角へ輸送されたと推測できる。なおこの推測に従うと黄砂層の輸送速度は 30 km/hour である。一方、Fig.3 (e)－(g)によると、福江と長崎で観測された黄砂層は出現時刻と収束時刻が一致している。両観測地点の間には松江--岡山間と同じく約 100 km の距離がある。したがって福江の黄砂層が西へ輸送され長崎で観測された、またはその逆の状況は考え難く、東西方向に分布した黄砂層が福江と長崎の上空を同時に通過したと考えるのが妥当である。

つまり、4 月 30 日から 5 月 5 日には東西方向に分布した黄砂層が概ね北から南へ向け、西日本上空を通過した。その結果、松江とその南南東 98.6 km に位置する岡山では、よく似た高度分布を有する黄砂層が 3 時間の時間差をもって観測された。また、福江とその東 97.2 km に位置する長崎では偏光解消度の異なる黄砂層が同期間に観測された、と解釈できる。

Figure 2 で示したライダプロファイルでは黄砂と同時に寒冷前線に伴う雲も観測されている。松江と岡山では、5 月 4 日の正午から 5 日の夕方にかけて降下する雲が見える。福江では 4 日夕から雲が見え始め、5 日未明には雨が降り出している。長崎では福江に 5－6 時間遅れ 5 日 0 時頃から雲が見え始め同 11 時頃から雨となっている。これらの結果から寒冷前線に伴う雲は南北ではなく東西寄りの経路を取ったと推測し得る。

5　まとめ

西日本における 4 地点、岡山、松江、長崎、福江島において偏光ミーライダにより取得した受信信号強度および偏光解消度を比較し、黄砂層の輸送経路を推定した。2005 年 4 月 30 日から 5 月 5 日の期間に西日本上空で観測された黄砂層は、東西方向に分布し、北から南へ向けて輸送されたと推定した。なお、同じ期間に観測された寒冷前線に伴う雲は、東西方向に移動したと推定でき、黄砂層と方角が異なった。これらの推定は、人工衛星による観測データを分析した結果や天気図と照合し検証が必要ではあるが、約100km 離れた2地点でライダ同時観測することにより、それら地点の上空において黄砂層がどの方角へ移動したかを知り得ることを示している。

謝辞

福江島のライダは総合地球環境学研究所の早坂忠裕教授により設置された。また松江のライダは島根県保健環境科学研究所が設置し管理している。ここに謝意を表します。

参考文献

1) 名古屋大学水圏科学研究所編, 大気水圏の科学―黄砂, 34-43, 古今書院, 1991.
2) I. Uno *et al.*, *J. Geophys. Res.*, 106, D16, 18331-18344, 2001.
3) N. Iino *et al.*, *Proc. SPIE, 4895*, 18-27, 2002.
4) T. Murayama *et al.*, *J. Geophys. Res.*, 106, D16, 18345-18359, 2001.