

GMS 熱赤外差画像を用いた黄砂移流の PIV 計測

PIV measurement of Asian dust flow using GMS AVI images

○飯野直子¹・宮内章行²・福原 稔³・鶴野伊津志⁴・木下紀正¹・矢野利明¹

Naoko Iino, Akiyuki Miyuchi, Minoru Fukuhara, Itsushi Uno, Kisei Kinoshita, and Toshiaki Yano

Abstract: The method of particle image velocimetry (PIV) measurement of Asian dust flow was developed and successfully applied to travelling high-pressure type dust phenomenon. The time interval set for the PIV measurement using geostationary satellite images was also examined. It was found that the appropriate averaged vectors were obtained at one-hour and two-hour intervals and it suggested that the method could be extended to the polar orbit satellite images.

Keywords: Particle Image Velocimetry, brightness temperature difference, Aerosol Vapour Index, Kosa, GMS/VISSR

1. はじめに

黄砂現象は近年規模が大きくなってきており、太平洋を越えて北アメリカ大陸に到達することもある。砂塵自体が交通や半導体工場などに影響を及ぼすが、大陸の工業地帯を通過する際に大気汚染物質を捕捉するため、飛来した黄砂による生体への影響がより大きくなることも知られている。2000年~2002年は特に激しい黄砂現象がしばしば観られた。近年、東アジア域において黄砂現象が注目されており、その発生や飛来様態の観測、シミュレーション解析、気候への影響予測などの研究が急ピッチで進められている。

われわれはこれまで、気象衛星の熱赤外差画像により黄砂検出を行ってきた。この方法は夜間の黄砂検出も可能であるため、黄砂の発生や移流の様態を時系列画像で非常によく捉えることができる。特に、静止気象衛星による画像は固定視野であるため、3時間もしくは6時間間隔の時系列画像であっても定性的に黄砂の輸送を捉えることができ、モデル計算による移流解析結果との対応もよいことが確かめられた[1]。

本研究では、一般に室内や野外での流体実験結果の解析に利用されてきた PIV (Particle Image Velocimetry) 計測法を地球規模の静止気象衛星画像に適用し、黄砂をトレーサとしてその移流速度を実測データから明らかにしようとする点の特徴である。これまでに、本手法により低気圧周辺や寒冷前線に流れ込む黄砂の流れをよく捉えられることを確認した[2,3]。ここでは高気圧領域内の黄砂移流の解析結果及び、計測時間間隔を検討した結果を報告する。

2. 使用データと解析方法

静止気象衛星の熱赤外差画像 (AVI 画像) を使用した。GMS/VISSR の熱赤外バンド IR2 (12 μ m 帯) と IR1 (11 μ m 帯) の差画像を求め、 $AVI=IR(2)-IR(1)+100$ により数値化したものを各画像の Aerosol Vapour Index (AVI) 値として定義する。ここで、 $AVI=95\sim 105$ (輝度温度差 2.5 \sim 2.5 $^{\circ}$ C) の範囲で 8 ビットの白黒画像 (600 \times 500 ピクセル、解析領域 [20-55N, 100-165E]) を作成した。黄砂領域は AVI 値が高く、白く表示される。衛星画像は RSI 社の ENVI を用いて解析した。

PIV 計測はライブラリー社の流体画像解析ソフト Flow-vec32 を用いた。画像に示される濃度むらパターンを時間的に追跡する方法により、流れのベクトル解析を行うものである[4]。パラメータは以下の通り設定した。計測点の移動を探索する追跡サイズを 45 ピクセル (約 480km)、計測対象とする輝度範囲を 60 \sim 255 とした。2001年4月14日の黄砂イベントについては、1時間毎の AVI 画像全てを使用し、計測時間間隔を 1 時間とした。計測時間間隔の検討を行う場合は、1 \sim 3 時間で間隔を設定した。過誤ベクトルの削除及び欠落ベクトルの内挿処理も行った。

PIV 計測で得られた速度ベクトル分布及び黄砂の移流速度は、CFORS (Chemical weather FORecasting System) シミュレーションによる結果[5]や AD-net 情報[6]、高層気象観測データ[7]を調べることにより、黄砂の分布・輸送状況や鉛直分布、高度毎の風向風速との関係から検証した。なお、時刻はすべて日本時間で示す。

3. 結果と考察

3.1 2001年4月14日のイベント

AD-net 情報によると、4月14日夜間に中国安徽省の合肥において、高度 3 \sim 7km にダスト層が確認されている。Fig. 1 に同日 18 時 \sim 22 時の AVI 画像から得られた 4 時間の平均速度ベクトルを示す ([25-40N, 100-130E])。図中(a)部の安徽省上空において 71 \sim 123km/h の移流速度が得ら

¹ 正会員 鹿児島大学 ² 鹿児島大学大学院

³ 鹿児島大学 ⁴ 九州大学 応用力学研究所

(所在地 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40)

(連絡先 Tel; 099-285-8246, E-mail; iino@mech.kagoshima-u.ac.jp)

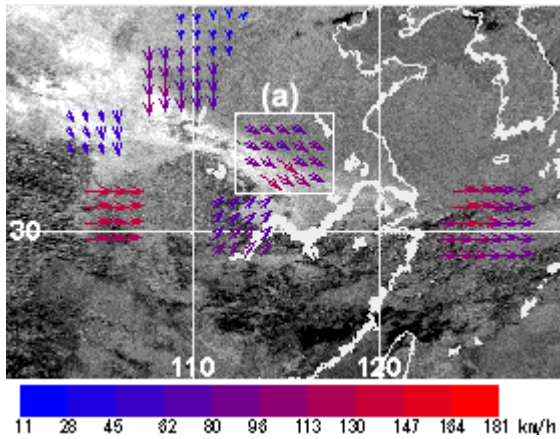


Fig.1 The PIV result during 18-22 JST on 14 April 2001.

れている。高層気象データより、安徽 [30.53N, 117.05E] の高度 3129~7410m の上空で 21 時に風速 61~148 km/h, 風向 285~320° の風が吹いていた。PIV 計測で得られた黄砂の移流速度は高層気象データの風速の範囲内にある。また風向についてもよく対応している。

13 日~15 日の地上天気図及び CFORS シミュレーションの AOD (Aerosol Optical thickness of Dust) 分布より、東進する移動性高気圧領域内のあまり濃くない黄砂が西日本に向かって輸送されている様子が確認できた。長時間の移流過程を解析することで、黄砂がどのルートで移流したかを視覚的に把握できると考え、PIV 計測により 14 日 0 時~23 時の 23 時間の平均速度ベクトルを算出した。中国大陸から九州にかけて北緯 30 度のラインに沿った東向きのベクトルが得られた。PIV 計測結果からも東進する黄砂の輸送ルートが確かめられた。

3.2 計測時間間隔の検討

本手法の極軌道衛星画像への拡張の可能性を調べるために、2 時間毎、3 時間毎と画像を間引いた解析を行い、得られたベクトル分布図を比較した。2001 年 3 月 5 日の 11 時~22 時の GMS AVI 画像を使用した。1 時間毎と 2 時間毎の解析結果は、北緯 40 度・東経 120 度あたりにおいて、低気圧によって巻き上げられた黄砂が東方へ輸送されるベクトルを示した。一方、3 時間毎の結果には南向きベクトルと北向きベクトルが見られ、他の場合とベクトル分布図が大きく異なった。本研究で用いた PIV 解析ソフトの計測アルゴリズムのパターン相関法では、可視化画像の濃淡分布は 2 枚の時系列画像の撮影時間間隔が短く、濃淡のパターンすなわち輝度分布の変化は十分に小さいという前提にもとづき、相関係数を用いて画像の輝度分布の類似度を評価し、流速を求めている。したがって、今回の解析対象のように低気圧によって黄砂が巻き上げられて AVI 値が短時間に上昇した場合には、3 時間の時間間隔画像では輝度分布の変化が大きすぎたことが原因と考えられる。

3 月 5 日 21 時前後の AVI 画像を用いて、1, 2, 3 時間間

隔に設定して得られた速度分布と高層気象データの風データとを比較した。AD-net 情報によると、3 月 6 日の 2 時の合肥において、高度 3.8~5.5km の上空に黄砂イベントの一部と考えられる大きなエアロゾル層が観測された。安徽と太原[37.78N, 112.55E]における 3 月 5 日 21 時の高層風を調べたところ、3~5km 上空において風速 64~122km/h, 風向 255~275° であった。PIV 計測で得られた平均ベクトル速度は、1, 2, 3 時間間隔でそれぞれ 120~124km/h, 93~94km/h, 70~73km/h であり、全て高層風データの風速範囲内である。北緯 30~40 度・東経 110~120 度の速度平均ベクトルに示される移流の方向は、計測時間間隔が大きくなるにしたがって北より成分が増加するが、2 時間間隔までならば高層風の風向と対応していた。以上より、本手法による計測時間間隔の限界は 2 時間であるといえる。

4. おわりに

GMS の 1 時間毎の AVI 画像を用いた PIV 計測によって黄砂の移流速度を得ることができ、長時間の平均ベクトルから travelling high-pressure タイプの黄砂の輸送ルートを把握できることがわかった。また、2 時間間隔の GMS AVI 画像からでも、妥当な速度平均ベクトルを得られることがわかった。これにより、本手法は周回時間が約 100 分の極軌道衛星画像の重複領域にも適用できる可能性が示された。ただし、さまざまな黄砂タイプに対して同様な解析を行う必要がある。

GMS AVI 画像を用いた黄砂の PIV 計測の結果を以下のウェブサイトで公開している。

<http://ese.mech.kagoshima-u.ac.jp/dustPIV/>

謝辞

本研究に対する平成 16 年度鹿児島大学教育改善推進経費のご支援に感謝いたします。

参考文献

- [1] N. Iino et al., Temporal behaviour of Asian dust aerosols observed in 2001 using meteorological satellite data, *Int. J. Environmental Technology and Management* **4**, pp.208-219, 2004.
- [2] 宮内他, PIV 計測法による衛星画像を用いた黄砂移流解析の試み, 日本気象学会 2004 年度秋季大会講演予稿集, p.183, 2004.
- [3] 宮内他, PIV による衛星画像を用いた黄砂の移流解析, 日本機械学会九州支部講演論文集, No.058-1, pp.367-368, 2005.
- [4] 加賀他, 気流分布の画像計測のためのパターン追跡アルゴリズム, *可視化情報* **14**(53), pp.108-115, 1994.
- [5] I. Uno et al., Numerical study of Asian dust transport during the springtime of 2001 simulated with the Chemical Weather Forecasting System (CFORS), *JGR* **109**, D19S22, doi:10.1029/2003JD003997, 2004.
- [6] Asian Dust Network; <http://info.nies.go.jp:8094/AD-Net/>
- [7] University of Wyoming, Dept. Atmospheric Science; <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.