

# 飛砂飛散計測のための Sand Particle Counter (SPC) による砂漠からの飛散量の精密観測

## Measurement of saltation process over gobi and sand dunes in the Taklimakan Desert China with newly developed Sand Particle Counter

三上正男<sup>1)</sup>、山田豊<sup>2)</sup>、石塚正秀<sup>3)</sup>、曾凡江<sup>4)</sup>、高衛東<sup>4)</sup>

Masao Mikami<sup>1)</sup>, Yutaka Yamada<sup>2)</sup>, Masahide Ishizuka<sup>3)</sup>, Fanjiang Zeng<sup>4)</sup>, Weidong Gao<sup>4)</sup>

1) 気象研究所 Meteorological Research Institute

2) 理化学研究所 RIKEN

3) 和歌山大学 Wakayama University

4) 新疆新疆生態与地理研究所 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS

### Abstract

To understand the wind erosion process and its relation to the meteorological and soil physical parameters, a new Sand Particle Counter (SPC) was newly developed to precisely measure the saltation process. The SPC detects a signal change when a saltation particle passes through the slit between the Laser beam transmitter and receiver. From this signal change, we can measure saltating particles from 30 to 667  $\mu\text{m}$  in diameter with 32 bin classes and the particle number of each bin class every second. We have operated this SPC together with automatic weather station in the field, and it proved to be useful for the saltation process study when data corrections and calibration were properly made.

During the observation period (April 1 to 21, 2002), a total of eight dust events occurred; we analyzed the April 5 and 14 events. The results can be summarized as follows: (1) Total saltation fluxes in the April 5 case from 1223 to 1430 UT were 37.93  $\text{Kg}/\text{m}^2$  for the gobi site at 30 cm height, 43.71  $\text{Kg}/\text{m}^2$  for the gobi site at 20 cm height, and 2.61  $\text{Kg}/\text{m}^2$  for the dune site at 30 cm height. (2) Saltation flux at the gobi site in the April 5 case is one order of larger than that of the sand dune, though the distance between the sites is 4 km. This is because the number of the parent soil particles around 80  $\mu\text{m}$  at the gobi site is more than 10 times greater than that of the dune site. (3) Height dependency of saltation particle size and number was found in the gobi site, i.e., the saltation particle size distributions at the gobi sites in the April 5 case indicate that the number size distribution of the coarse particles, 117 to 554  $\mu\text{m}$ , at 20 cm height is greater than that at 30 cm height. This size-height dependency is reasonable from a physical point of view. However, present theory cannot explain this well.

### 1. はじめに

大陸の乾燥域から舞い上がる風送ダストの大気中への供給量を評価し、ダスト粒子による放射強制力効果を通じた気候へのインパクトを全球スケールで評価することを目標として、日中共同研究 ADEC が 2000 年 4 月より開始された。ダストの大気中への供給量評価のために、ADEC では中国現地におけるダストの舞い上がり過程の詳細なプロセス研究が目標の一つとなっており、著者らは中国タクラマカン砂漠に於いて飛砂(直径数十〜数百  $\mu\text{m}$ )の飛散過程の集中観測を行った。ダスト飛散過程のモデル化のためには飛散過程に関わる諸量(粒径別飛散量、気象要素、土壌物理要素)を現実の砂漠で観測することが必要である。しかし、これまで使われてきた測定手段は、飛砂をサンプリングする Sand Trap (Fryrear, 1986; White, 1982) と呼ばれるパッシブサンプラーや、SENSIT とよばれるピエゾ感圧素子を利用して飛砂の運動エネルギーに比例した信号を取り出すことにより飛砂の粒径と個数を測定するものである (Stockton and Gillette, 1990)。しかし SENSIT は、原理的に粒子の質量と飛散速度を分離できないため、個々の粒子の飛散過程を直接測定できないという欠点がある。このため、著者らは飛散粒子を直接測定するための装置として Sand Particle Counter (SPC) を開発し、ADEC の IOP1 期間中の 2002 年 4 月にタクラマカン砂漠南部の策勒郊外の砂礫砂漠と砂砂漠上で最初の集中観測を行った。

### 2. Sand Particle Counter (SPC) の概要

飛砂粒子 1 個 1 個の粒径を測定し、その粒径毎の個数を正確に計測するために、我々は時間応答特性に優れたレーザー発振子を利用したシステムを新たに開発した(図 1)。本システムで利用したレーザー発振子による方法は、発振子と受光部との間隙を飛砂が通過する際に、粒子の断面積に比例して受光部に到達するレーザー光の面積が減少し、その結果

受光部で得られる入力信号が減少する原理を利用している。このため、非常に早い時間応答特性を持つレーザー信号受光部を用いることにより、発振子と受光部の間隙を通過する粒子の断面積に対応する信号変化を1個1個独立に計測することが可能となった (Yamada et al., 2002)。当初、開発した1号機は、信号処理回路の時定数が大きかったため、微小粒子の計測や高速での計測が出来なかったが、その後改良を加えた結果、約40 $\mu\text{m}$ から600 $\mu\text{m}$ までの飛砂粒子を1秒ごとに32粒径クラスに分けてそれぞれ計数することが可能となった。この装置のセンサー部に使われたレーザー計測装置は、Schmidt (1977) が開発し、木村・佐藤 (1988) が改良を加えた地吹雪粒子測定用のセンサーをベースとしており、砂漠での長期観測とデータの自動記録を目的とした改良を加えたものである。レーザー発振子には波長670nmの半導体レーザーを用い、発振部は1mmの直径のレーザー光を発振する。実際の測定にあたっては、発信部本体の温度特性の補正、エッジ効果の補正、測定前後の検定装置による検定等を行っている。

### 3. 結果と考察

集中観測期間中の2002年4月1~21日にかけて8回のダストストームの発生が風速と視程の観測から確認された。この内、4月5日と14日のダストストームについて解析を行った。

図2は、4月5日のダストストーム時に毎秒毎に計測したゴビ上(高さ30cm)の飛砂飛散数の時間変化を示し、21秒移動平均の時間変化も太線で示している。地表面近傍の乱流によって引き起こされる粒子数の細かい時間変動も良く再現されており、SPCが飛砂計測に必要な十分な時間・粒径分解能を有している事が分かる。

4月5日のダストイベント時には、砂砂漠上には1台のSPCを、ゴビ砂漠上では20cmと30cmの高さに2台のSPCを設置し、比較測定を行った。図3は、その時の30 to 667  $\mu\text{m}$ の全粒径の飛砂飛散フラックスの時系列である。これによれば、ゴビ上では20cmの方が30cmの飛散量よりも数パーセント少ないフラックスになっている。一方、ゴビと砂砂漠のフラックスを比較すると、ゴビの方が砂砂漠よりも10倍以上もの大きい値を示している。このイベント時の1223から1430UTの全飛砂輸送量は、砂砂漠で2.61  $\text{Kg}/\text{m}^2$  ゴビ砂漠では37.93  $\text{Kg}/\text{m}^2$  (高さ30cm)と43.71  $\text{Kg}/\text{m}^2$  (高さ20cm)であった。両観測点の距離はおおよそ4kmほどであり、シノプティックな気象条件は同一と考えて良い。従って、ゴビと砂砂漠の飛砂輸送量の相違を気象条件の差に求めるのは困難である。図4は、マイクロトラックFRA (Leed & Northrup Co. Ltd.)を用いて測定したゴビと砂砂漠の完全攪乱後の地表面土壌粒径分布である。同装置は0.12から704  $\mu\text{m}$ の粒径を50粒径クラスに分けて粒度分布を測定する。これによれば、砂砂漠の最大粒径頻度は200  $\mu\text{m}$ となっており、ゴビのそれ80  $\mu\text{m}$ に比べてかなり大きい。Bagnold (1941)の古典的飛砂理論やGreeley-Inversen (1985)の飛砂理論によれば飛砂がもっとも起こりやすい粒径は80  $\mu\text{m}$ 前後の粒子であると言われている[Shao, 2000]。このことから、ゴビと砂砂漠の飛散量の差は主に表面の土壌粒径の差によるものであると考えられる。タクラマカン砂漠はその中央部の大部分が砂砂漠で占められているが、飛砂の飛散とそれによるダストの発生は、中央部よりもゴビが大部分を占める周縁部からの発生が主である可能性がある。

また、図5に示すように、ゴビ上の2高度(20cmと30cm)で計測した飛砂粒子の個数粒径分布は、もっとも飛散数が多い粒径は約70 $\mu\text{m}$ と同じものの、100 $\mu\text{m}$ 以上の大粒子は低い高度の方が多くなっている。一方、図では省略するが、ゴビと砂砂漠の同じ高さで測定された飛砂粒子の個数粒径分布②は、このような粒径の差は見られない。これは、大きい粒子ほど重力の効果を強く受け、高くまで舞い上がりにくいという意味で合理的ではあるが、既存の飛砂理論はこのことを考慮しておらず、飛砂を高さと粒径双方の関数として表す新しい理論展開が必要である事が観測で確かめられた。

### 謝辞

本研究を進めるのにあたり、長島秀樹博士(東京海洋大学)、青木輝夫博士並びに栗田進博士(気象研究所)の各氏から多くの助言とコメントを戴いた。ここに感謝いたします。また本研究は、文部科学省による科学技術振興調整費「風送ダストの供給量評価と気候への影響」により行われた。

### 引用文献

- Bagnold, R. A. (1941), *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*, Methuen, London.
- Fryrear, D. W. (1986), A field dust sampler, *Journal of Soil and Water Conservation* 41, 2, 117-120.
- Greeley, R., and J. D. Inversen (1985), Wind as a Geological Process on Earth, Mars, Venus and Titan, *Cambridge University Press*, New York.
- Kimura, T. and A. Sato (1988), Shinjo-I type SPC. (in Japanese), *Proceedings of the annual meeting of the Japan Soc. of Snow and Ice*, 136p.

Mikami, M., Y. Yamada, M. Ishizuka, T. Ishimaru, W. Gao, and F. Zeng (2004), Measurement of saltation process over gobi and sand dunes in the Taklimakan Desert China with newly developed Sand Particle Counter, *J. Geophys. Res.*, (in submit).

Schmidt, R. A. (1977), A system that measures blowing snow, *USDA Forest Service Paper*, RM-194, 1-80.

Shao, Y. (2000), *Physics and Modeling of Wind Erosion*, Kluwer Academic Pub., 393pp.

Stockton, P. H., and Gillette, D. A. (1990), Field measurement of the sheltering effect of vegetation on erodible land surfaces, *Land Degrad. Rehab.*, 2, 77-85.

Yamada, Y., M. Mikami, and H. Nagashima (2002), Dust Particle Measuring System for Streamwise Dust Flux, *Journal of Arid Land Studies*, 11-4, 229-234.

White, B. R. (1982), Two-phase measurements of saltating turbulent boundary layer flow, *Int. Multiphase Flow*, 5, 459-473.



Fig.1 Sand Particle Counter

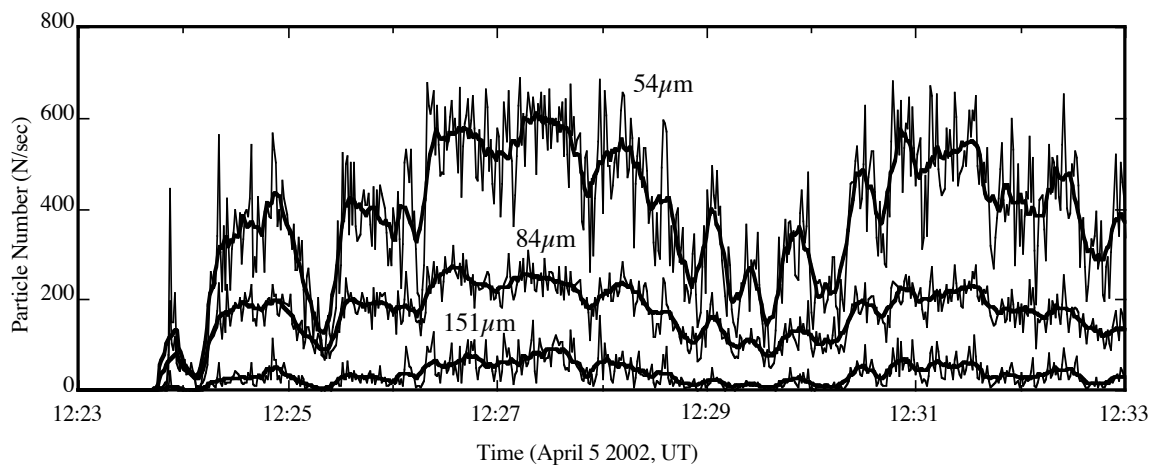


Fig. 2 Time variations of the saltating particle numbers in one second intervals (thin lines) and 21-second moving averages (thick lines) at 30 cm height for the gobi site from 1223 to 1233 UT, April 5, 2002 (Mikami et al., 2004)

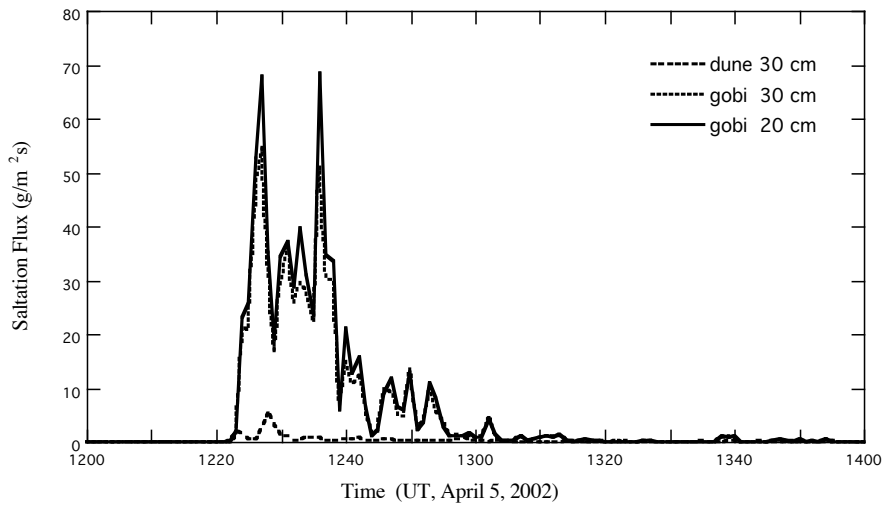


Fig. 3 Time variation of the saltation flux in g/m<sup>2</sup>s, from 30 to 667  $\mu$ m, for the dune site at 30 cm height and for the gobi sites at 20 cm and 30 cm height during the April 5 dust event (Mikami *et al.*, 2004).

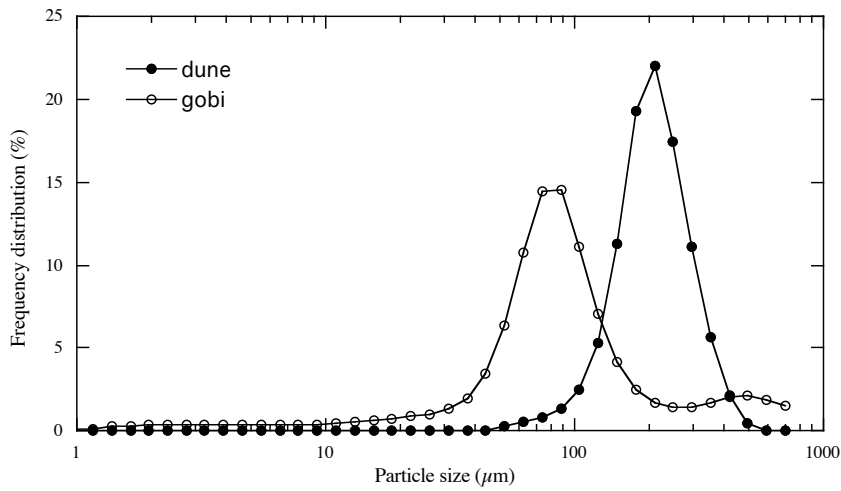


Fig. 4 Parent soil particle size distribution in % of weight basis for the dune site and the gobi site. The data of the gobi site is the average value of three samples taken at different places around the site (Mikami *et al.*, 2004).

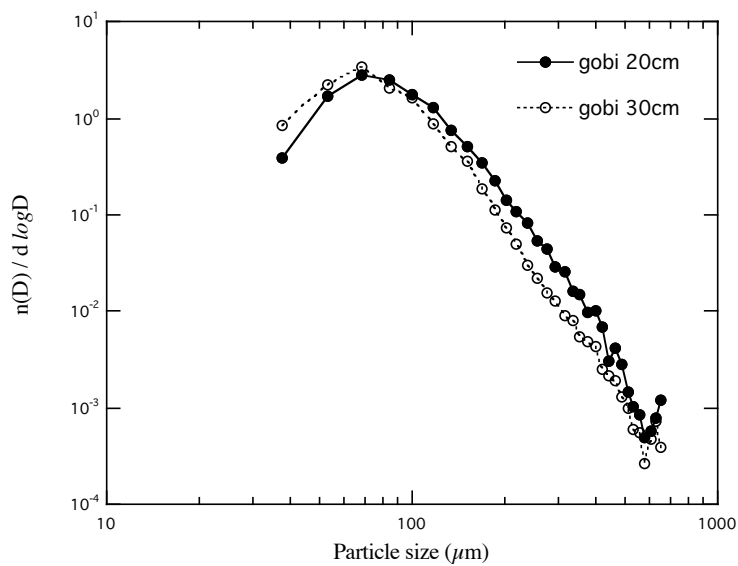


Fig. 5 Particle size distribution of the saltating particles. Relationship between the gobi sites for 20 cm and 30 cm height (Mikami *et al.*, 2004).