

火星ローバ搭載用 LED ミニライダーを用いた飛翔粒子の観測と解析

伊藤 ケイン¹, 千秋 博紀², 乙部 直人³,
はしもと じょーじ⁴, 椎名 達雄¹

¹千葉大学(〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

²千葉工業大学 惑星探査研究センター(〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1)

³福岡大学(〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8 丁目 19-1)

⁴岡山大学(〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 1 丁目 1-1)

Particle flow analysis by using the LED mini-lidar for Mars rover

Kein Ito¹, Hiroki Senshu², Naohito Ootobe³, George Hashimoto⁴ and Tatsuo Shiina¹

¹Chiba Univ., 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8522

²Chiba Institute of Technology Planetary Exploration Research Center, 4-17-1 Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba 275-0016

³Fukuoka Univ., 8-19-1 Nanakuma, Zyonan-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka 814-0180

⁴Okayama Univ., 1-1-1 Tsushimanaka Kita-ku Okayama-shi, Okayama 700-8530

Abstract: We conducted a demonstration experiment to observe sand and fog dynamics of particles with different sizes by using the LED mini-lidar that meets the size and power consumption which will be mounted on the Mars rover. We took field measurement of sand dust on Tottori Sand Dunes in Japan and observed its dispersion and fog flow dynamics was observed by using this LED mini lidar. These measurement results revealed that there are differences in the unique behavior of particle flow dynamics due to substance specification.

Key Words: LED, LIDAR, Mars, Dust, Fog

1. はじめに

近年、宇宙開発では環境や資源の調査を目的とした火星での探査が注目されている。火星地表面ではダストデビルと呼ばれるつむじ風のような自然現象が発生し、火星の気象や気候に影響を与え得ると予測されている¹⁾。そこで、ライダーによる観測によって飛翔するダストの量や分布を評価することで、ダストデビルの構造や挙動のメカニズムを解明することが期待できる²⁾。先行研究では、その目的に立って近距離・高速測定が可能な LED ミニライダーを開発した。本研究では、ローバに搭載するための大きさや消費電力などの制約を満たした LED ライダーを用いて、異なる粒径の粒子である砂と霧の挙動を観測する実証実験を行った。

まず、鳥取砂丘で砂塵の実地計測を行い、砂塵の飛散を観測した。ライダーの測定結果から得られた砂塵の飛散している時間と移動距離から粒速を算出し、風速との関係を得た。風速と粒速が線形の関係であったことから、粒径を推定し、結果が顕微鏡の結果を一致した。

次に、この LED ミニライダーを用いて、砂塵に見立てて、砂塵とは異なる粒径や比重を持つ粒子である霧の挙動を観測した。壁の信号強度の変化から透過率を算出し、そのときの霧の数密度から粒径を算出した。

これらの測定結果から、物質の特性により粒子の挙動に特徴的な違いがあることを考察した。

2. ライダー構成

本ライダーはローバに搭載するために、光学送受信系部分が 10cm³、重さが 1kg 以下、消費電力が 1W であるという制約のもと、本ライダーはこの制約を満たすように開発された³⁾。ライダーの外見を Fig.1 に示す。ライダーの受光系および送信系の仕様は Table.1 に示す。本ライダーの光源波長は地球でのソーラーブラインド領域である 265nm を選択している。ソーラーブラインド領域の光を用いることで、太陽光によるノイズを減らすことが出来る。パルス出力が 17.5mW と低出力であるため、繰り返し周波数を 1.09MHZ と高くすることで、近距離・高速測定を実現した⁴⁾。

3. 鳥取砂丘での砂塵の実地計測

8月29日鳥取市鳥取砂丘月面実証フィールドで火星での測定を想定した砂塵の実地計測を行い、砂塵の飛散を観測した。高さ1m、測定距離76.8mで測定を行った。測定時、風が弱く、自然に砂が舞うような状況ではなかったため、ライダーからの距離10mの地点で砂を1分おきに30秒間巻き上げ、人工的に砂の流れを発生させて、砂塵の計測を行った。測定の様子をFig.2に示す。この測定では、ライダー測定中に、気象センサーを用いて、風速の計測を行った。ライダーの測定結果をFig.3に示す。横軸が測定開始からの時間、縦軸がライダーからの距離を示している。16時46分30秒～16時47分30秒と16時48分～16時49分の時間に砂の信号が確認できた。ライダーが捉えた砂塵の時間と移動距離から粒速を算出し、風速との関係を得た。気象センサーの測定結果から得た風速とライダー測定結果から得た砂塵の粒速の関係をFig.4に示す。

Fig.4より、風速と粒速が線形の関係であることから、測定した砂塵は同一の粒子であると考えられる。空気抵抗のある運動方程式から導いた式(1)より、風速と粒速の傾きから砂塵粒子の質量を求め、比重と体積より粒径が390 μm と算出できた。

$$V = V_0 \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{k}{m} t \right) \right\} \quad (1)$$

V は流速、 V_0 は風速、 k は空気抵抗定数、 m は砂の質量である。

砂丘で採集した砂から実際に粒径の測定を行ったところ、352 μm であることがわかり、ライダー測定による粒径と概ね一致した。

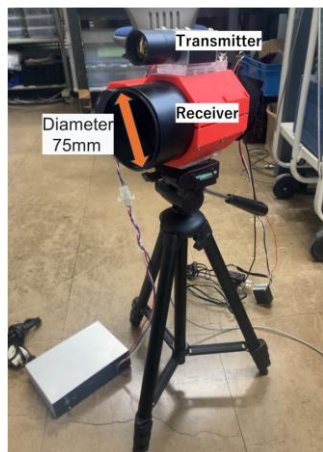


Fig. 1 Appearance of LED mini-lidar

Table. 1 Specification of LED mini-lidar

Component	Qualification	Specification
Transmitter	Light Source	LED
	Wavelength	265nm
	Pulse Width	13.4ns
	Pulse Energy	17.5mW
	Repetition Frequency	1.09MHz
Receiver	Beam Diameter	30mm
	Telescope	Newton
	Diameter	75mm
	Field of View	8mrad
	Detector	PMT

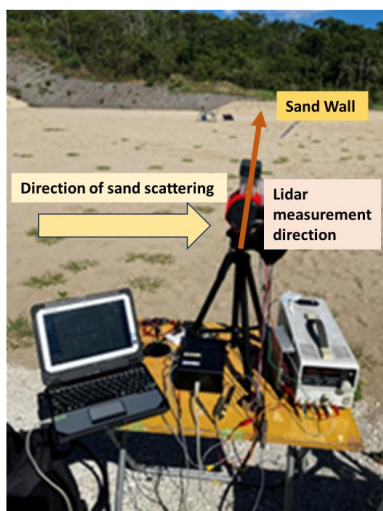


Fig. 2 Measuring sand dust in Tottori Sand Plume on August 29, 2023

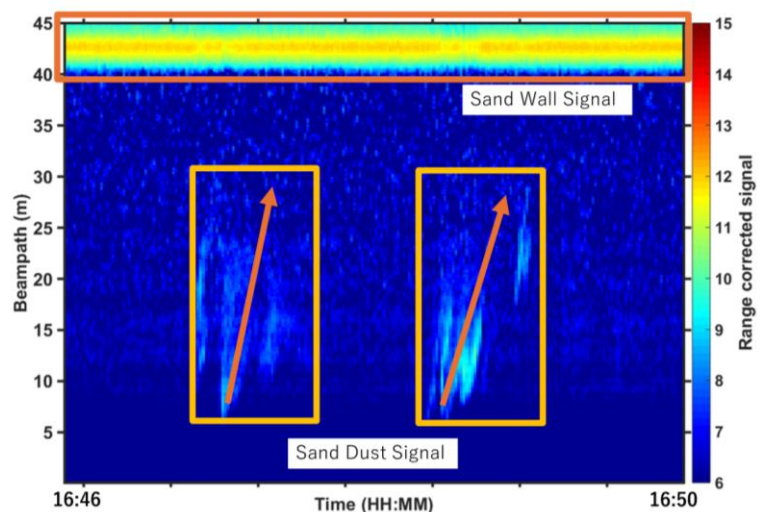


Fig. 3 Sand dust observation result in Tottori Sand Dune

4. 千葉大学での霧の測定

5月29日, 千葉大学総合研究棟の9階で, フォグマシーンを使って砂塵に見立てて, 粒径や比重の異なる粒子である霧の風による挙動の測定を行った. 測定の様子を Fig. 5に示す. フォグマシーンをライダーから10m の位置に設置して, 2分おきに30秒間霧を出した. 高さ1.2m, 測定距離38.4m で測定を行った. 測定結果をFig. 6に示す. 18時8分30秒~18時10分と18時11分~18時12分に霧の信号が確認できた. 霧を出していない時の壁の信号を基準として, 霧を出したことによる壁の信号強度の変化から, 透過率を算出し, 10m~30m の霧カウント数の総数と比較を行った. 結果を Fig. 7に示す. Fig. 7より, 透過率と霧のカウント数は線形の相関を示した. 霧の粒径は, 顕微鏡での測定により, 10 μ m であった. 透過率が0.8の場合, 式(2)より数密度が1.42 $\times 10^7$ と推定することが出来る.

$$\sigma = \pi r^2 N Q \quad (2)$$

σ は消散係数, N は数密度, Q は消散効率因子である。

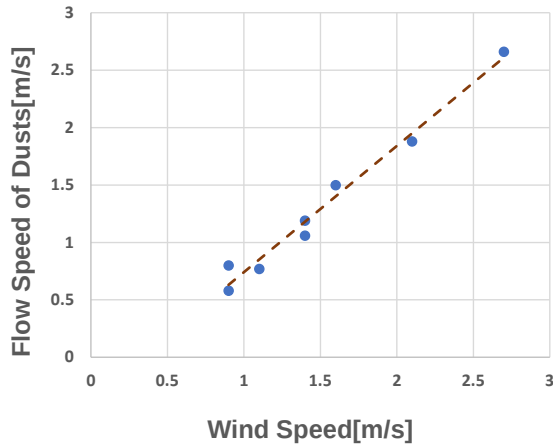


Fig.4 Relationship between flow speed of dust and wind speed

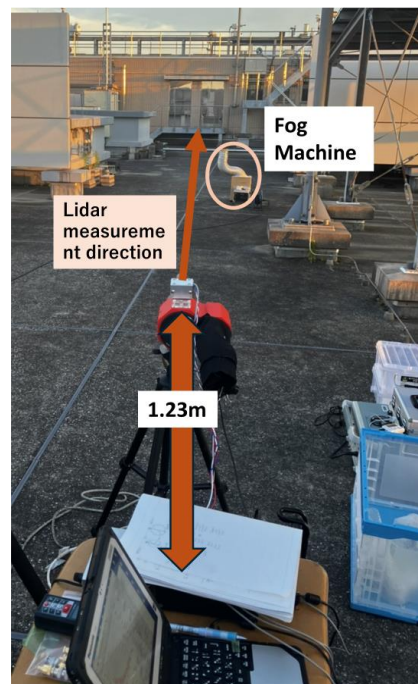


Fig. 5 Measuring fog in Chiba University on May 29, 2024

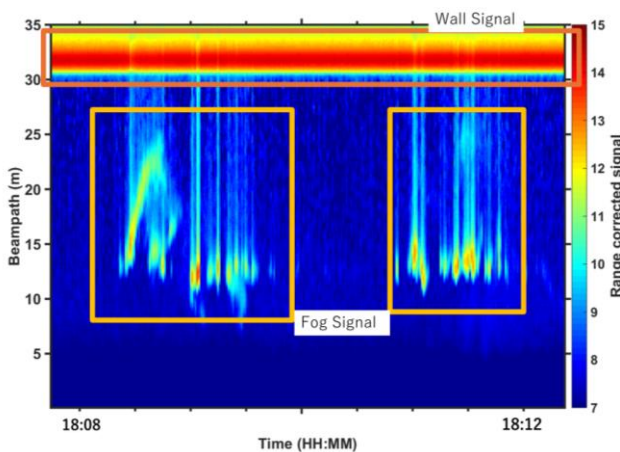


Fig. 6 Fog observation result in Chiba University

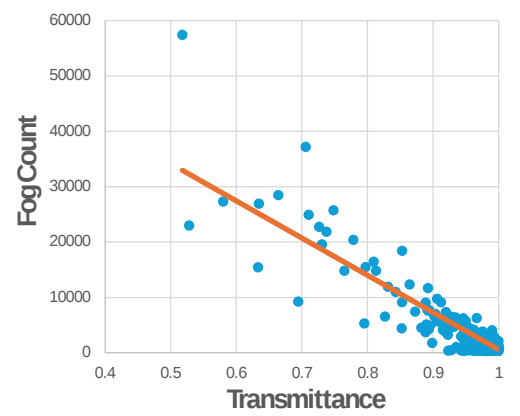


Fig. 7 Relationship between transmittance and fog count

4. まとめ

本研究では、火星ローバ搭載用 LED ミニライダーを用いた砂塵および霧の測定を行った。鳥取砂丘での砂塵の測定では、ライダー測定結果から得られた砂塵の粒速と気象センサーから得られた風速の関係により、砂塵の粒径を算出し、顕微鏡での測定結果と一致していた。

霧の測定では、壁の信号の変化から算出した透過率と霧のカウント数に相関があることを確認した。また、顕微鏡で測定した粒径から、測定時の霧粒子の数密度を推定することが出来た。砂塵の測定結果より気象センサーのデータを用いることで粒径の推定を行い、霧の測定結果よりライダー測定結果から数密度の推定を行った。今後は、ライダー測定結果から、粒径が算出できるような測定方法および解析方法を考察していく。

謝辞

本研究の一部は鳥取砂丘月面実証フィールド「ルナテラス」で行われました。プロジェクトへの協力に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Y.Han, et al: “Dust aerosols: A possible accelerant for an increasingly arid climate in North China”, *Journal of Arid Environment*, Vol. 72, Issue 8, 1476-1489, 2008
- 2) Matt Balme, Ronald Greeley: “Dust devils on Earth and Mars”, *Reviews of Geophysics*, Vol. 44, Issue 3, 2006
- 3) 椎名達雄・千秋博紀・乙部直人・はしもとじょーじ・川端康弘:ローバ搭載用 LED ミニライダーの開発とダストの挙動観測、*Journal of The Remote Sensing Society of Japan*, 38、317-324、2018
- 4) Tatsuo Shiina: “LED Mini Lidar for Atmospheric Application”, *Sensors*, 19(3), 2019