

火星のダスト巻き上げと静電場

神戸大学理学研究科惑星学専攻流体地球物理学研究分野
市田春菜

目次

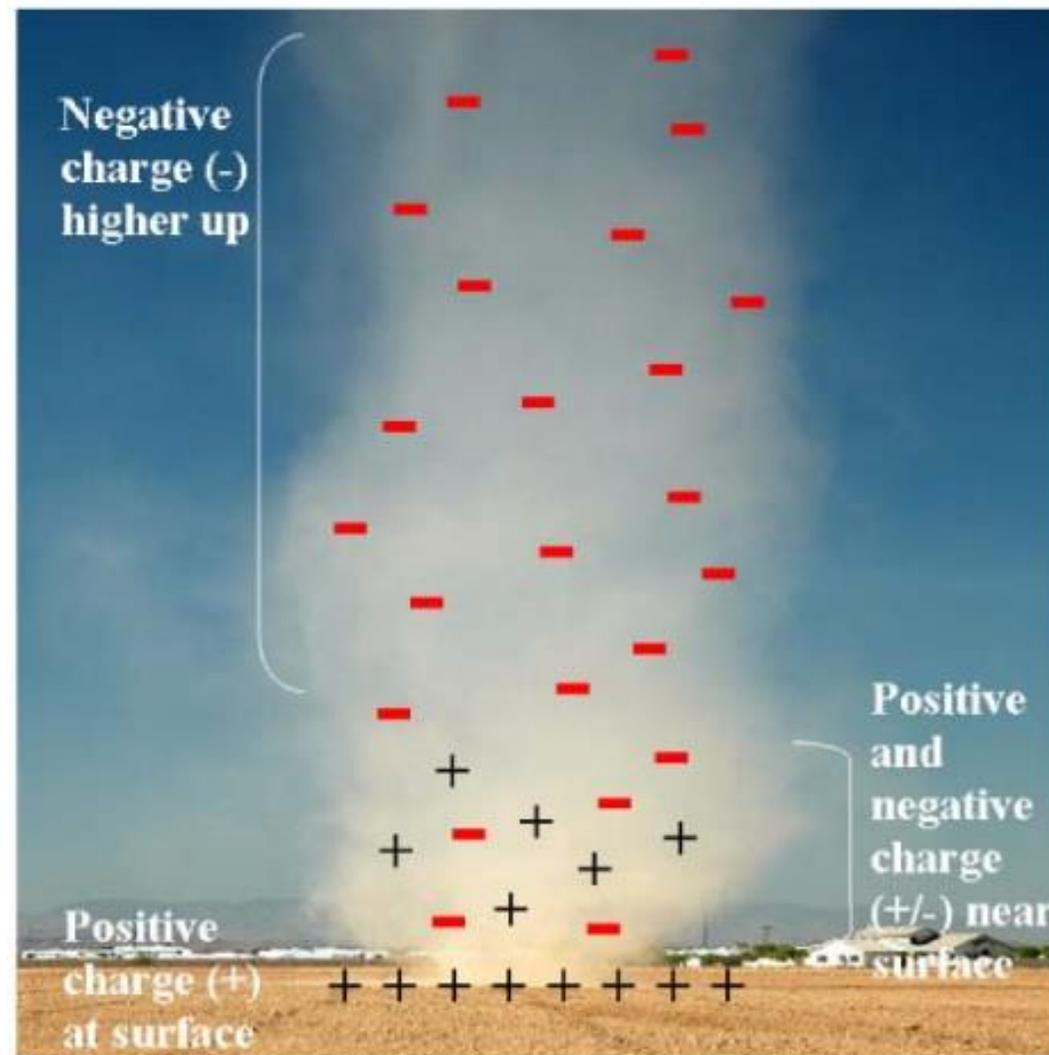
- ・研究背景、目的
- ・研究内容、結果
 - ・火星での粒子が持ち上げられる際の電場のしきい値
 - ・電氣的な力を含めた臨界摩擦速度
 - ・臨界摩擦速度と火星での実際の摩擦速度の発生率
- ・まとめ

研究背景

- ・地球、火星など様々な惑星で砂や塵(ダスト)の巻き上げの現象が観測
- ・ダスト現象(ダストストームやダストデビルなど)に伴い電場が発生
- ・火星のダストの持ち上げでの電場の影響は定量的にわかっていない

研究目的

- ・火星のダスト現象中の静電場がダストの持ち上げに与える影響を検討する



KoK and Renno[2008]Fig1

ダスト現象での電場発生の仕組み KoK and Renno[2006]

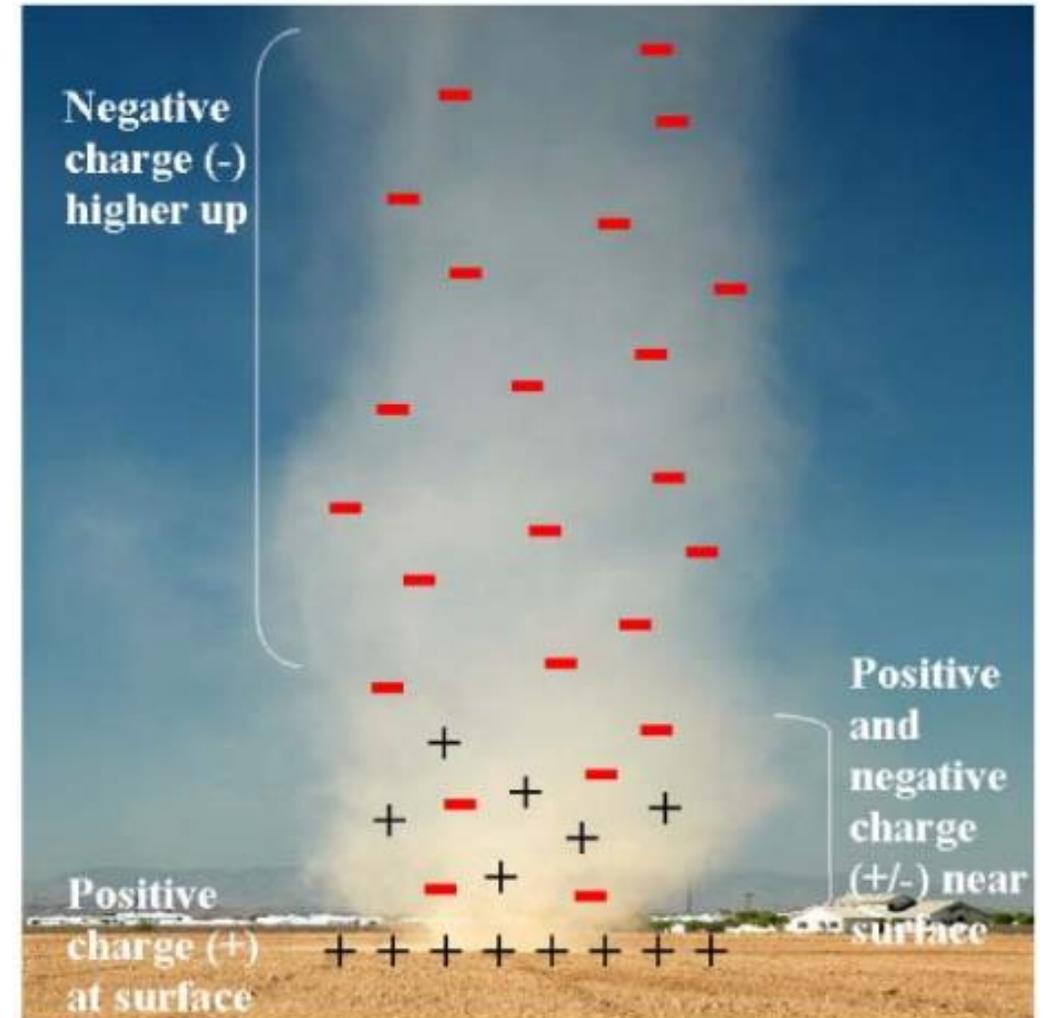
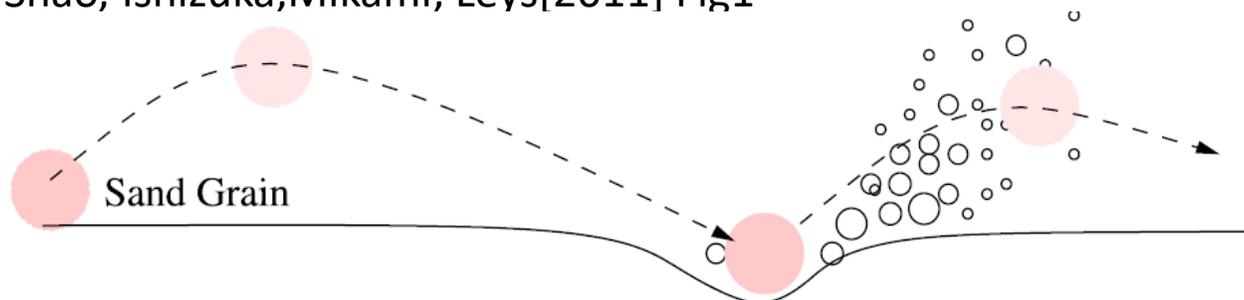
「サルテーション」によりダスト同士の衝突が起きる

→大きい粒子が正に、小さい粒子が負に帯電する
(※粒子の帯電の詳細はわかっていない)

→重力と大気力学的な力で重たく正に帯電した
粒子と軽く負に帯電した粒子に分かれる

→上向きの電場が発生

Shao, Ishizuka, Mikami, Leys[2011] Fig1



KoK and Renno[2008]Fig1

• Shao, Ishizuka, Mikami, Leys[2011] “Parameterization of size-resolved dust emission and validation with measurements”

• KoK and Renno[2006] “Enhancement of the emission of mineral dust aerosols by electric force”

研究の流れ

- ・電場と粒子の粒径の関係を調べる
 - ・電場と摩擦速度の関係を調べる
 - ・火星で発生する各摩擦速度での発生率を調べ、臨界摩擦速度の理論値の風がどれくらいの確率で発生するのかを求める。
- 電場の粒子の持ち上げへの影響を検討する。

火星での粒子が持ち上げられる際の電場のしきい値

地面から飛び出してる土壌粒子にかかる力と電場 Shao and Lu [2000]

- 電場による電氣的な力 Lebedev and Skalskaya, [1962]

$$F_{elec} = \frac{1.37\pi\epsilon_0}{C_s} E_{tot}^2(0)d^2 \dots (1)$$

- 重力

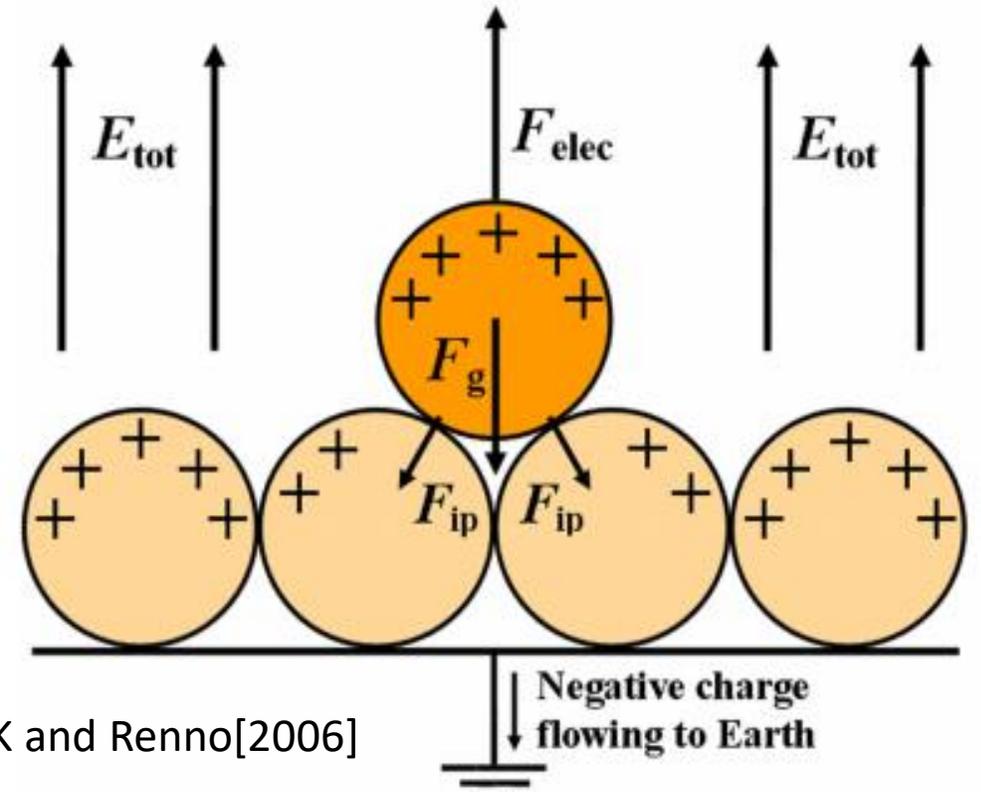
$$F_g = \frac{\pi}{6} d^3 \rho_{part} g \dots (2)$$

- 粒子間力の垂直成分 Shao and Lu [2000]

$$F_{ip} = \beta d \dots (3)$$

- 粒子が浮き上がる際のしきい値電場

$$E_{thr}(d) = \sqrt{C_s \left(\frac{\beta}{1.37\pi\epsilon_0 d} + \frac{\rho_{part} d g}{8.22\epsilon_0} \right)} \dots (4)$$



d : 粒子の直径、粒子間力の定数: $\beta(10^{-5} \sim 10^{-3} kg/s^2)$
 C_s : 非球性の定数 (球 $C_s = 1$, 非球 $0 < C_s < 1$) $\sqrt{C_s} = 0.69 \pm 0.02$
 ρ_{part} : 典型的な固体粒子の密度 $\approx 2600 kg/m^3$, g : 重力加速度

• KoK and Renno[2006] “Enhancement of the emission of mineral dust aerosols by electric force”

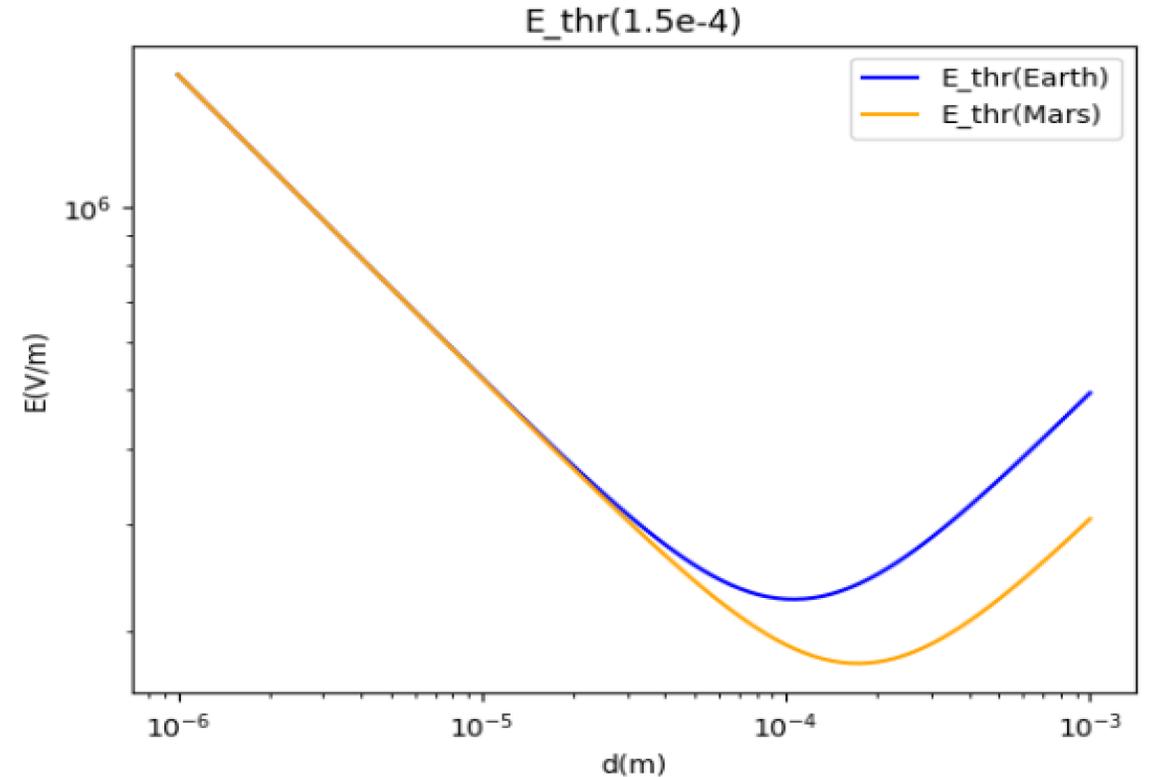
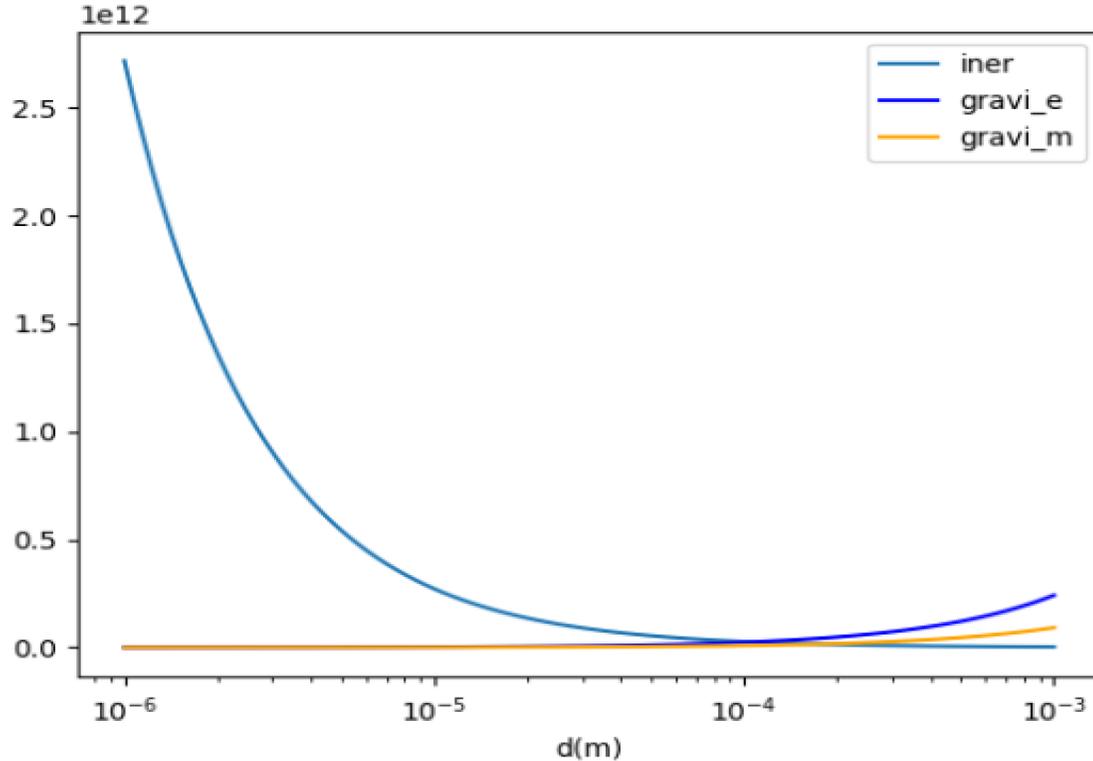
• Shao and Lu [2000] “A simple expression for wind erosion threshold friction velocity”

地球と火星でのダストが持ち上がる際の電場のしきい値

$$E_{thr}(d) = 0.69 \sqrt{\left(\frac{\beta}{1.37\pi\epsilon_0 d} + \frac{\rho_{part} d g}{8.22\epsilon_0}\right)} \dots (4)$$

($\beta: 1.5 \times 10^{-4}$)

(項ごとに分けた図)



→ 火星の砂に 10^{-4} mの粒径は多く存在するため、電場によりダストが浮き上がりやすくなっている可能性がある。

・電氣的な力を含めた臨界摩擦速度の式

Shao and Lu [2000], Kok and Renno[2006] Kok and Renno et al.[2006]

風を受けて粒子が浮き上がる条件:

風から受ける力 > 重力 + 粒子間力 + 電氣的な力

風から受ける力:

$$F_t = K_t \rho_{air} u^{*2} \quad \dots (5)$$

K_t : レイノルズ数に依存する定数

ρ_{air} : 大気密度

u^* : 摩擦速度、 d : 粒子の粒径

u_{thr}^* : 臨界摩擦速度

$$u_{thr}^* = \sqrt{\frac{A_n}{\rho_{air}} \left(\rho_{part} g d + \frac{6\beta G}{\pi d} - \frac{8.22 \epsilon_0 E_{tot}^2(0)}{c_s} \right)} \quad \dots (6)$$

A_n : 大気力学的なパラメータ $A_n \approx 0.0123$

d : 粒子の直径、 β : 粒子間力の定数 ($10^{-5} \sim 10^{-3} kg/s^2$)

C_s : 非球性の定数 (球 $C_s = 1$, 非球 $0 < C_s < 1$)

$\sqrt{c_s} = 0.69 \pm 0.02$

G : 地質学的な定数 $G = 1$

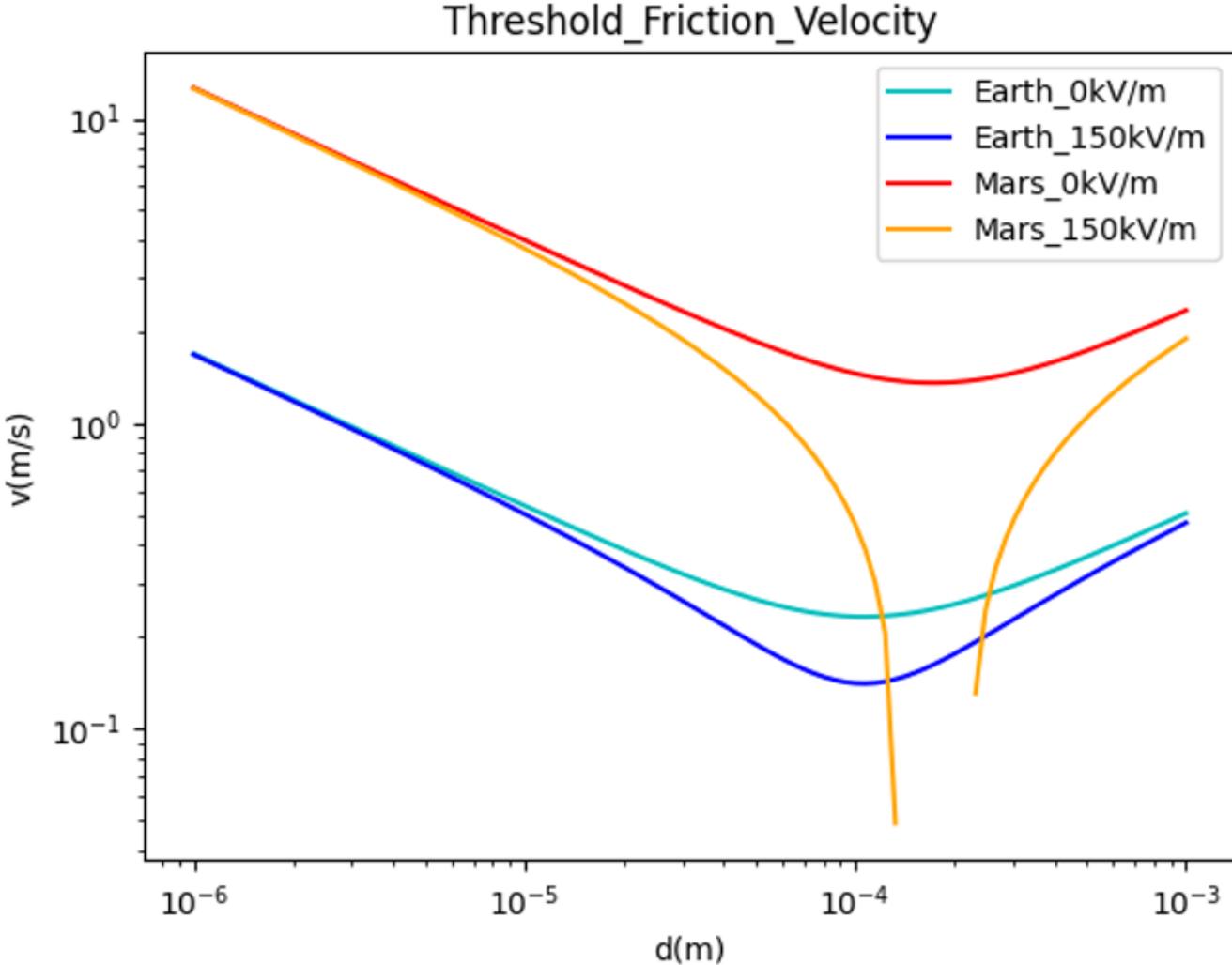
g : 重力加速度、 $E_{tot}(0)$: 地面付近の電場

地球と火星での理論的な臨界摩擦速度 (Kok and Renno et al.[2006])

$$u_{thr}^* = \sqrt{\frac{A_n}{\rho_{air}} \left(\rho_{part} g d + \frac{6\beta G}{\pi d} - \frac{8.22 \epsilon_0 E_{tot}^2(0)}{c_s} \right)} \dots (6)$$

粒子にかかる地表面での電場 : $E_{tot}(0)$

→150kV/mの電場があり、粒径が
 10^{-4} m付近の粒子の場合は
理論的には風がなくても電場から
生じる電氣的な力によって、
直接地面から持ち上げられる可能
性がある



・臨界摩擦速度と火星の実際の風の摩擦速度の発生率

Kok and Renno[2008]の理論値を使い、火星大気密度での臨界摩擦速度を求める

火星探査機「インサイト」が観測した、水平方向の風速データを摩擦速度に変換

$$u^* = 0.4 U \left(\log \frac{z}{z_0} \right)^{-1} \quad (7)$$

z : 高度 z_0 : 粗度 U : 風速

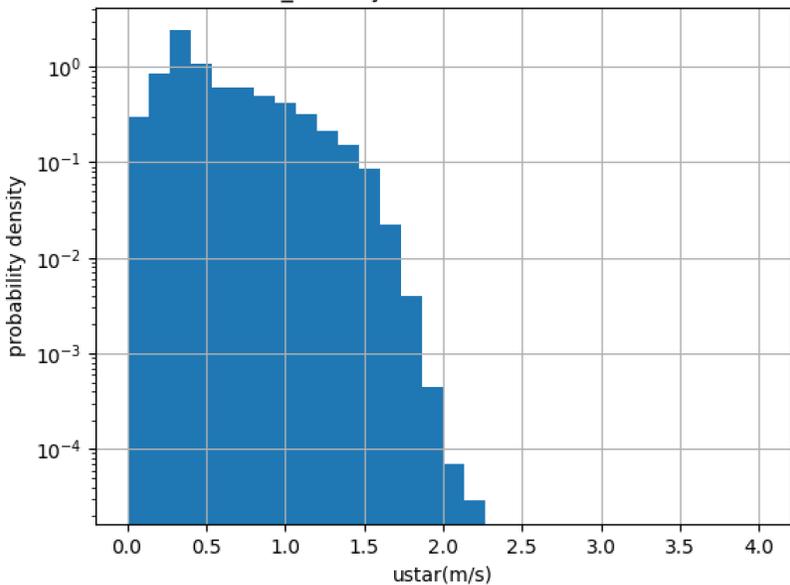
Greeley and Iversen et al (1987)

	火星大気密度での臨界摩擦速度(m/s)
0kV/m	$1.463 \leq u_{thr}^* \leq 1.883$
50kV/m	$1.386 \leq u_{thr}^* \leq 1.770$
100kV/m	$1.146 \leq u_{thr}^* \leq 1.446$
150kV/m	$0.469 \leq u_{thr}^* \leq 0.599$

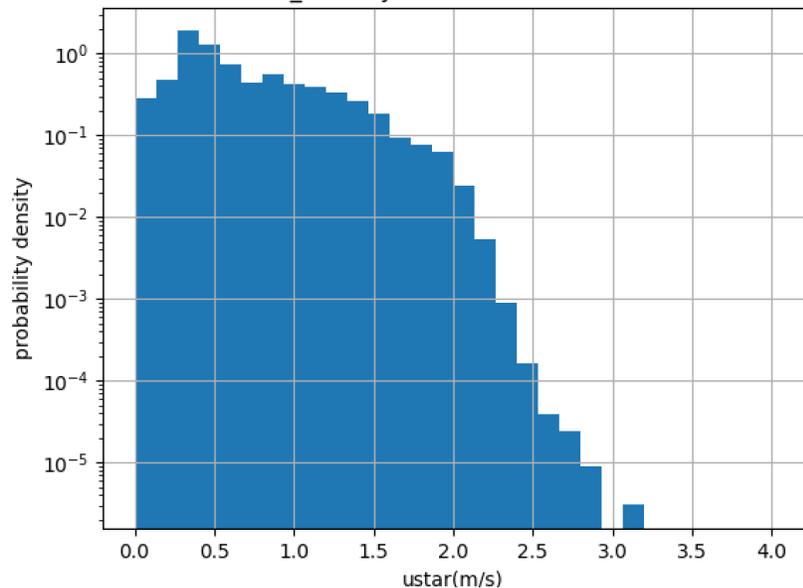
→各電場での臨界摩擦速度の理論値の風が火星でどれくらい発生するのか

火星の風速データから求めた各摩擦速度での発生確率密度

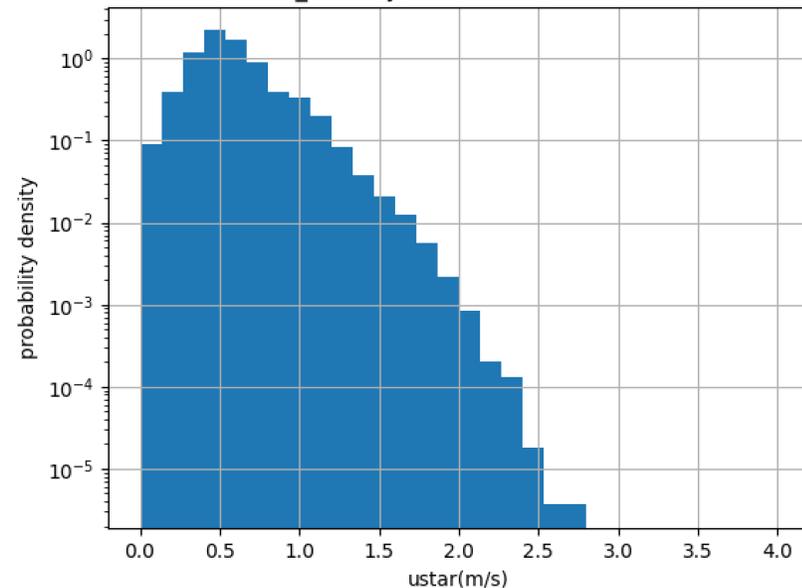
Friction_Velocity(2019-07-07;2019-08-07,)



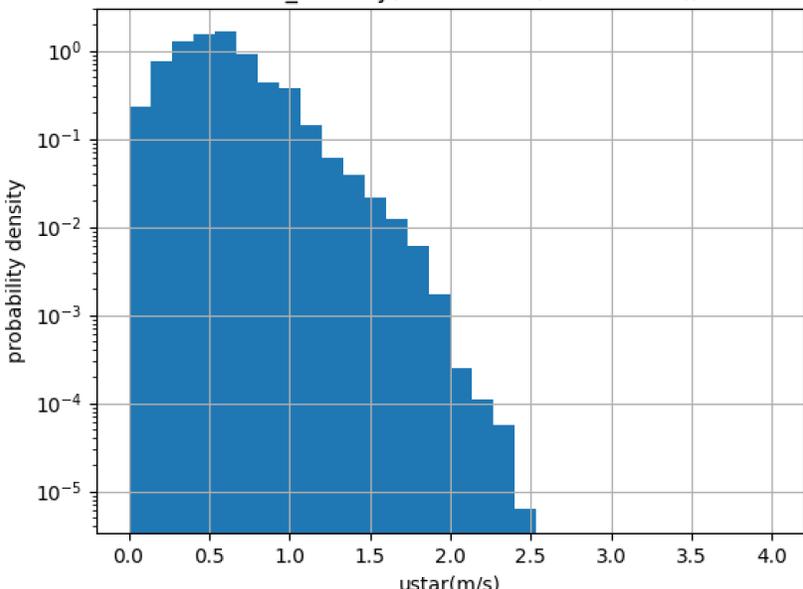
Friction_Velocity(2020-01-07;2020-02-07,)



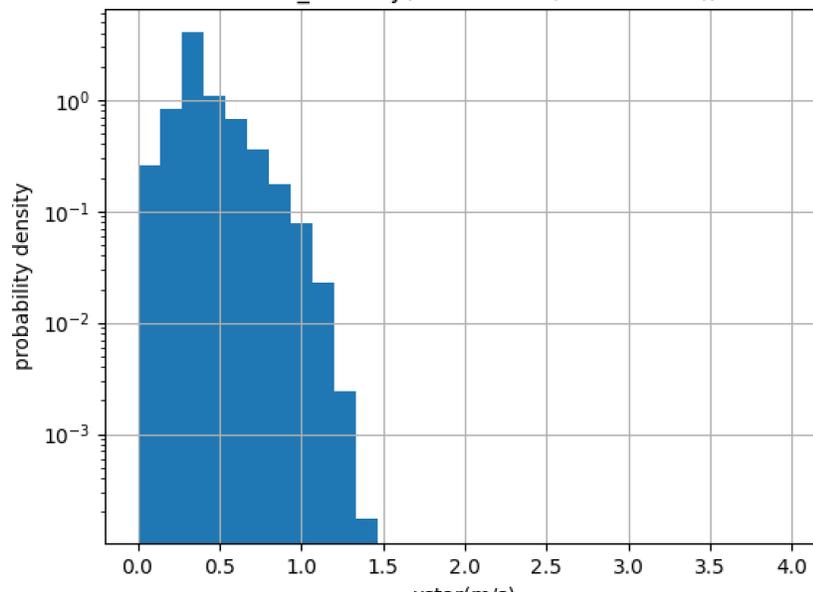
Friction_Velocity(2020-06-07;2020-07-07,)



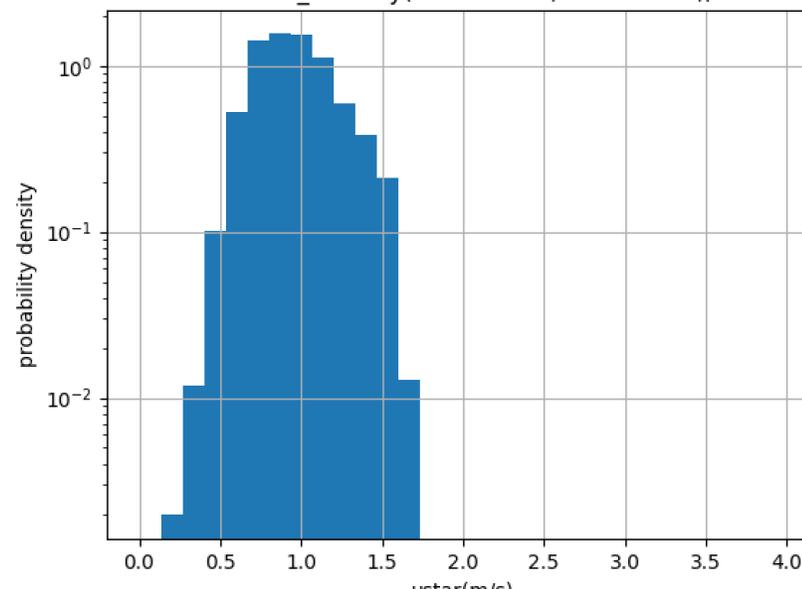
Friction_Velocity(2020-11-07;2020-12-07,)



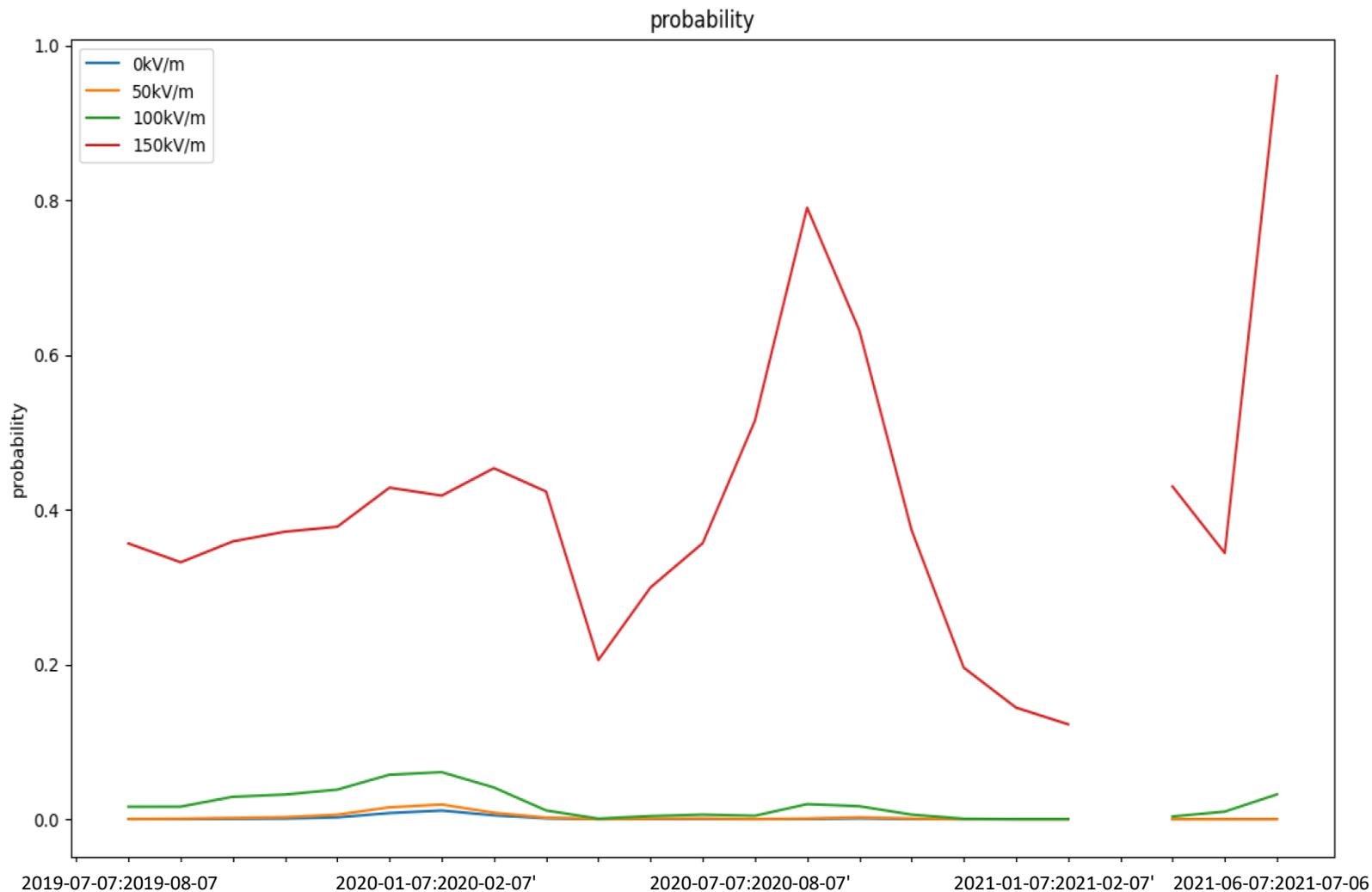
Friction_Velocity(2021-02-07;2021-03-07,)



Friction_Velocity(2021-06-07;2021-07-06,)



火星で臨界摩擦速度の理論値を超える確率



・電場が増加すると臨界摩擦速度が下がり、火星で発生しやすい風速になる

・150kV/mの電場があるときは著しく臨界摩擦速度が下がり、火星環境でも発生しやすい摩擦速度になっている

・まとめ

- ・粒子の粒径が $10^{-4}m$ の場合には、ダストが持ち上がるのに必要な電場が下がる
- ・ダスト現象により電場が発生した場合には、ダストが持ち上がるのに必要な臨界摩擦速度が小さくなり、特に150kV/mの時には臨界摩擦速度が著しく下げる
- ・電場が存在する場合には臨界摩擦速度が下がることで火星環境下で発生しやすい摩擦速度になり、ダストの持ち上げに影響をする。
- ・ほかの臨界摩擦速度の理論値でも同様の結果が得られるのかを検証したい

参考

- Bagnold, R. A. [1941], “The Physics of Blown Sand and Desert Dunes, Methuen”, New London, 265pp
- J.F. Kok, N.O. Renno [2006] ,“Enhancement of the emission of mineral dust aerosols by electric force”
- Kawamura [1951], “Study on Sand Movement by Wind”, Institute of Science and Technology, Tokyo, Report 5, pp95-112
- Kind, R.J[1976], ”A critical examination of the requirements for model simulation of wind-induced erosion/deposition phenomena as snow drifting”, Atmospheric Environment, 10, 219-27
- Lebedev, N. N., and I. P. Skalskaya [1962], “Force acting on a conducting sphere in field of a parallel plate condenser”, Sov. Phys. Tech. Phys., Engl.Transl., 7, 268 – 270.
- Lettau, K & H.H. Lettau, [1978], “Experimental and micrometeorological field studies of dune migration”, In: H.H. Lettau & K. Lettau, editors, Exploring the world’s Driest, University of Wisconsin-Madison, Institute for Environmental Studies, IES Report 101, pp110-47

- Maegley, W. J, "Saltation and Martian sandstorms". Reviews of Geophysics and Space Physics, 14, 135-42
- N.O. Renno , J.F. Kok [2008]
"Electrical Activity and Dust Lifting on Earth, Mars, and Beyond", Planetary Atmospheric Electricity p419-434
- Ronald Greeley & James D Iversen "Wind as a geological process on Earth, Mars, Venus and Titan"
- Shao Y, Lu H[2000], "A simple expression for wind erosion threshold friction velocity", Journal Of Geophysical Research, Vol. 105, 22,437-22,443
- Y. Shao, M. Ishizuka, M. Mikami, & J. F. Leys [2011], "Parameterization of size-resolved dust emission and validation with measurements"

ダストストーム、ダストデビル

- ・ 視界が1km以下になる吹き溜まり現象、砂嵐
地表付近の塵を大気中に巻き上げる突風のこと

引用) KoK and Renno[2006]

九州大学「火星ダストデビルの性質を解明 —火星天気予報や火星有人探査への一歩—」

摩擦速度とは

- ・ 風のせん断応力を空気の密度で割った値の平方根。単位は速度と同じだけど、速度とは違う。

引用) KoK and Renno[2008]

せん断応力

- ・ 物質に力を加えたとき、力を加えた作用面に対して接線方向に働く単位面積当たりの力

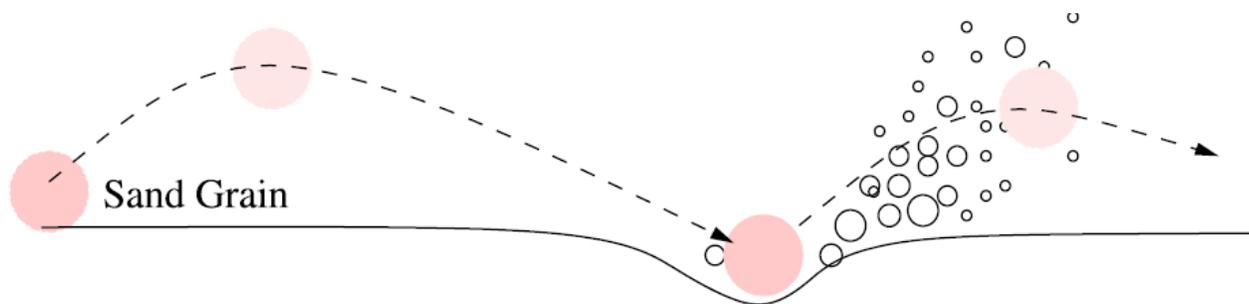
引用)旺文社 物理辞典

しきい値、臨界

- ・ ある現象や反応を起こさせるために外部から系に加えなければならない最小の物理量。

引用)旺文社 物理辞典

Shao, Ishizuka, Mikami, Leys[2011] Fig1



サルテーション

- ・粒子が風に押されて地面を跳ね、ほかの粒子をまき上げる現象

- ・サルテーションフラックス(水平方向で単位時間当たり単位長さあたりを通過する粒子の質量)、 臨界摩擦速度の理論値を集める

→サルテーションフラックスの式が14個、摩擦速度の式を1つ見つけた

- ・様々な組み合わせでグラフにプロットし、それぞれの式での理論値から粒子が浮く摩擦速度などを見る

Shao, Ishizuka, Mikami, Leys[2011] Fig1

