

Origin of slope streaks and its relationship to hydrogen abundances and thermal inertia on Mars: a case of Medusae Fossae Formation

Shun Mihira^{1,2}, Trishit Ruj², Tomohiro Usui²

¹The University of Tokyo, ²ISAS/JAXA

Slope streaks are a geological phenomenon on the surface, morphologically, they are narrow linear features showing an albedo considerably darker than their surroundings (Kreslavsky and Head, 2009). They are mainly located on steep slopes in dusty regions in the mid and low latitudes (between latitudes $\pm 40^\circ$) of Mars. There are multiple hypotheses related to the formation process of slope streaks, including a water-free mechanism related to the descent along steep slopes of fine-grained particles, such as sand avalanches (Sullivan et al., 2001, Lange et al., 2022). The avalanche strips away the bright dust layer from the surface, exposing a darker layer from below. On the other hand, one argues the role of water and other volatiles in the formation of streaks and shows that the distribution of slope streaks coincides with areas of high concentration of Water Equivalent Hydrogen (WEH) (Bhardwaj et al., 2017). However, the physical relationship between WEH and slope streaks has not been clear. This study aims to reveal the substantive relationship between slope streaks and WEH to understand the formation mechanism.

We have identified 11,697 slope streaks in 91 areas and measured the thermal inertia of 317 craters in the MFF. Most of the craters with thermal inertia values below $160 \text{ J m}^{-2} \text{ K}^{-1} \text{ s}^{-0.5}$ has slope streaks. In contrast, about half of the craters with thermal inertia values above $160 \text{ J m}^{-2} \text{ K}^{-1} \text{ s}^{-0.5}$ do not have slope streaks. This contrasting feature indicates that slope streaks would occur differently at thermal inertia below and above $160 \text{ J m}^{-2} \text{ K}^{-1} \text{ s}^{-0.5}$. In the areas with thermal inertia of $> 160 \text{ J m}^{-2} \text{ K}^{-1} \text{ s}^{-0.5}$, WEH abundances and slope streak density show a clear negative correlation: the lower the WEH abundances, the higher the slope streak density.

The identity of the substance related to high WEH is unknown, but the non-detection of hydrated salts in the MFF suggests that the WEH signal indicates the possible presence of H₂O-ice (Carter et al., 2013). The negative correlation between slope streak density and WEH abundances suggests that the existence of moisture inhibited the formation of slope streaks by intergranular cohesion. This implication can support the particle flow (dry) mechanism.

Origin of slope streaks and its relationship to hydrogen abundances and thermal inertia on Mars: a case of Medusae Fossae Formation

1. Introduction

火星地表における水の存在を明らかにすることは地球外生命探査の重要な手がかりとなる。**Slope streaks**とは火星の斜面に見られる、幅～数100m、長さ～数10kmに及ぶ、暗いアルベドを示す筋状の特徴のことで、主に火星の中低緯度（緯度±40°の間）地域の斜面に存在する[1]。Slope streaksの形成過程については、地下水の湧出などの液体の水が関与するWetメカニズム[2][3]と、ダストなどの細粒物質が斜面を下降することによって発生するDryメカニズム[1][4]が提案されているが、いまだ明らかにはなっていない。Bhardwaj et al. (2017) [5]は、slope streaksの全球的な分布が水等価水素量（WEH）の高い領域と一致することを報告した。しかし、WEHとslope streaksとの物理的な関係は明らかでない。**本研究では、slope streaksとWEHの本質的な関係を明らかにし、その形成メカニズムを理解することを目的としている。**

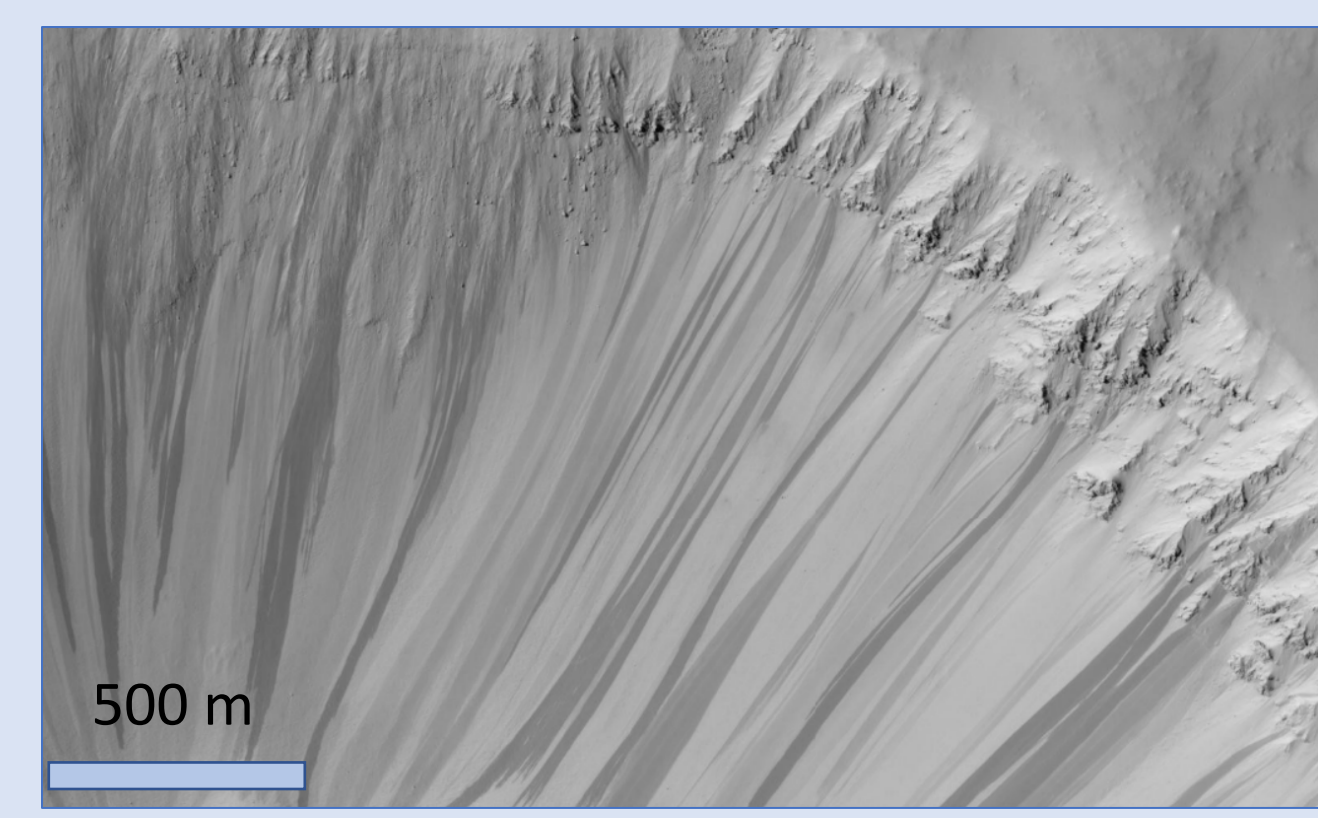


Fig 1. Slope streaks (ESP_063204_1800)

2. Method

1. WEHの解像度(1° × 1°)に合わせた調査エリアを抽出

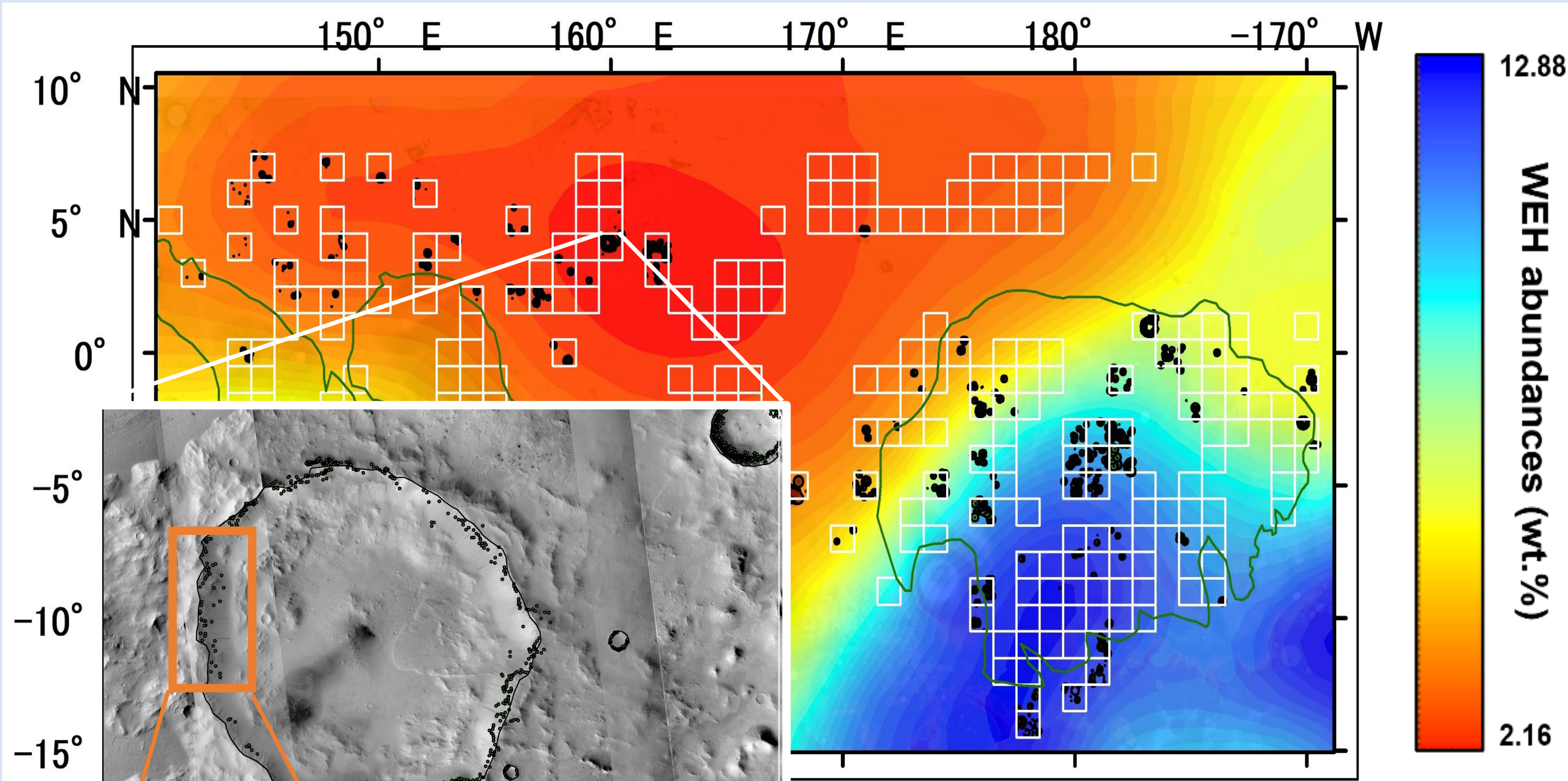


Fig 2. 低緯度地域の水素とslope streaksの分布マップ

ExoMarsに搭載された中性子分光計データ[6]の解像度に合わせて91カ所の調査エリアを抽出し、11,697本のslope streaksを同定した。

Fig 3. 調査エリアの一例

2. 各エリアのSlope streaksの数とクレーターリムの長さを計測

CTX[7]の画像データを用いてslope streaks数、クレーターリムの長さを計測し、各エリアのslope streak密度を算出した。

Slope streak 密度: N/L [/m]

N: 各エリアに存在するslope streaksの数
L: 各エリアのクレーターリムの長さの合計

3. 各クレーターの熱慣性値を計測

熱慣性の高い地域にはslope streaksが形成されない[1]ため、THEIMS[8]のデータから熱慣性値を計測し、slope streaksの数に影響を与える熱慣性の閾値を決定した。

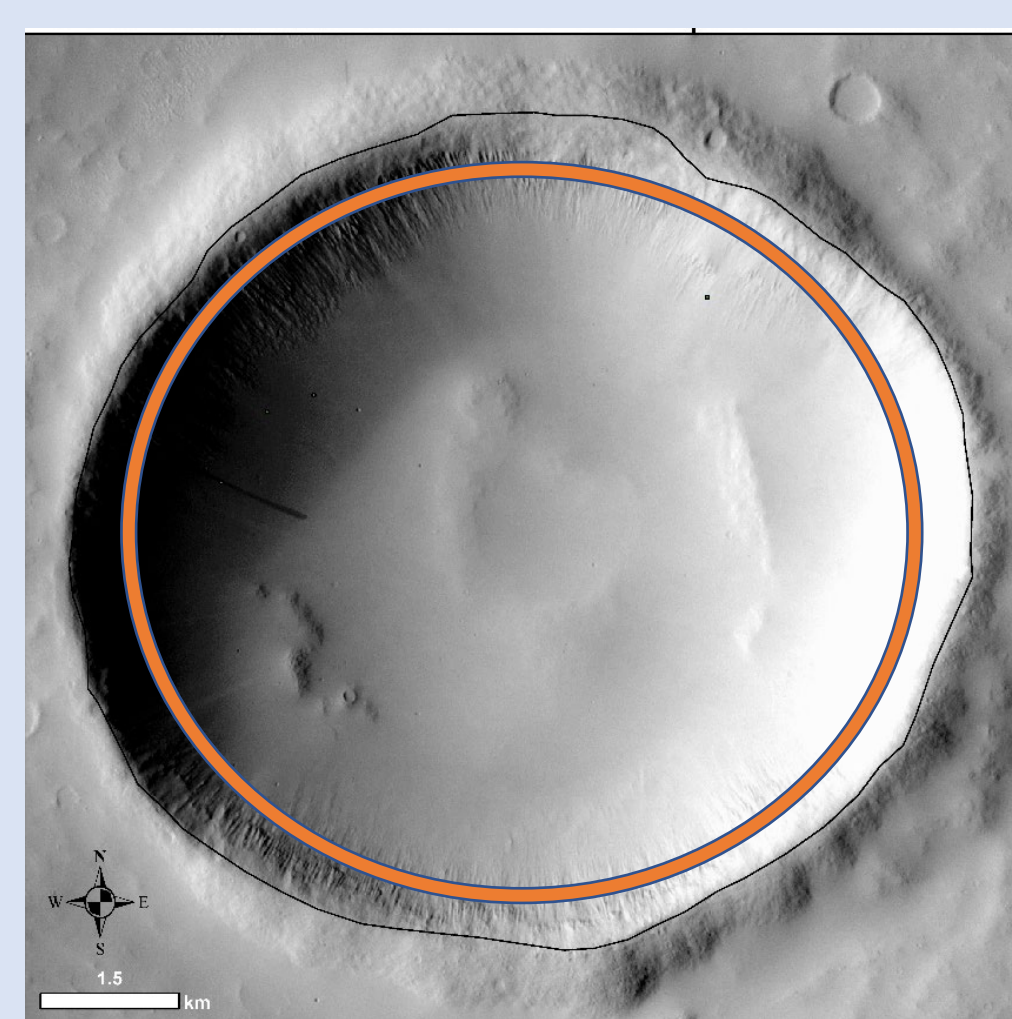
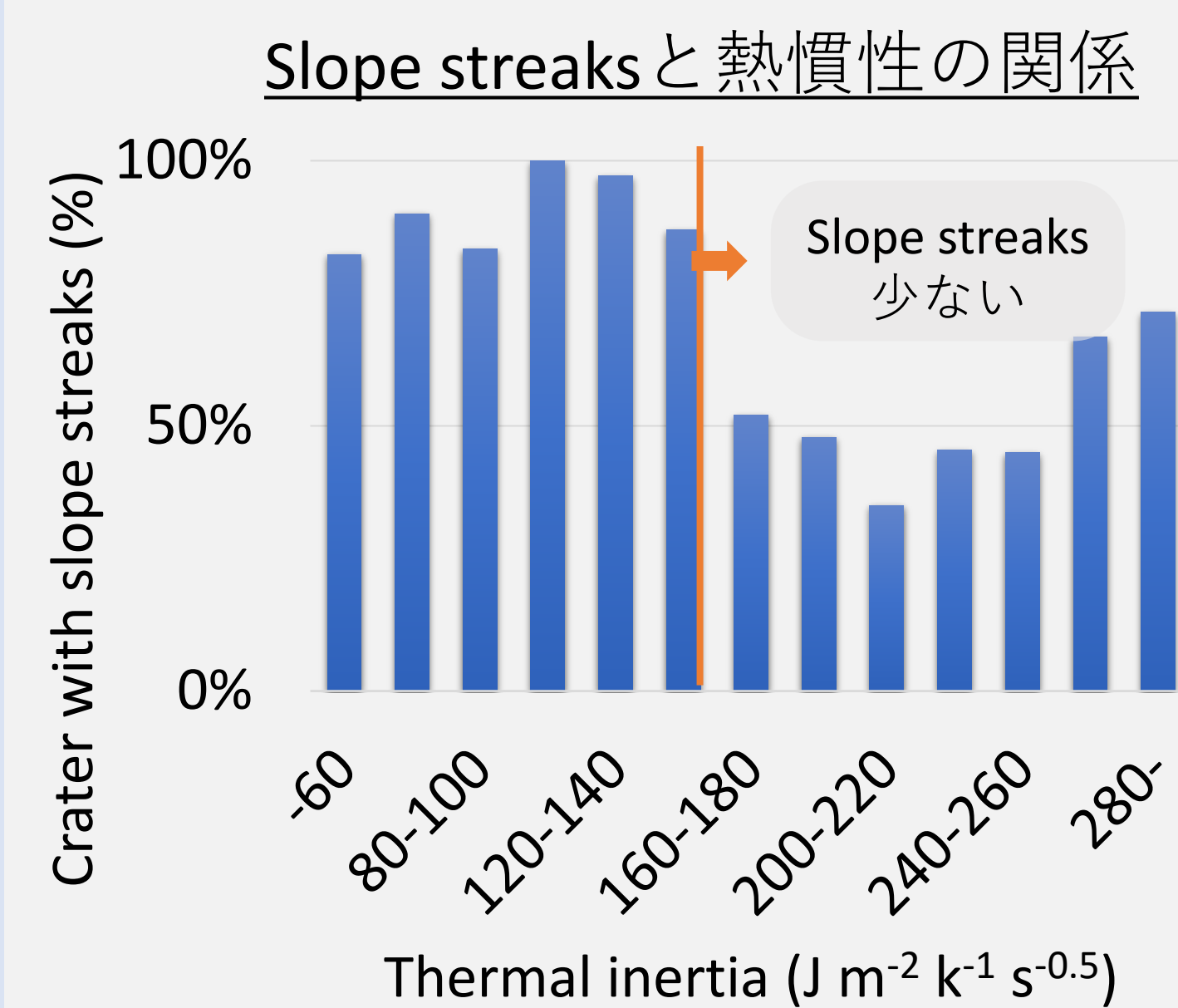


Fig 5. クレーター壁の熱慣性の測定法

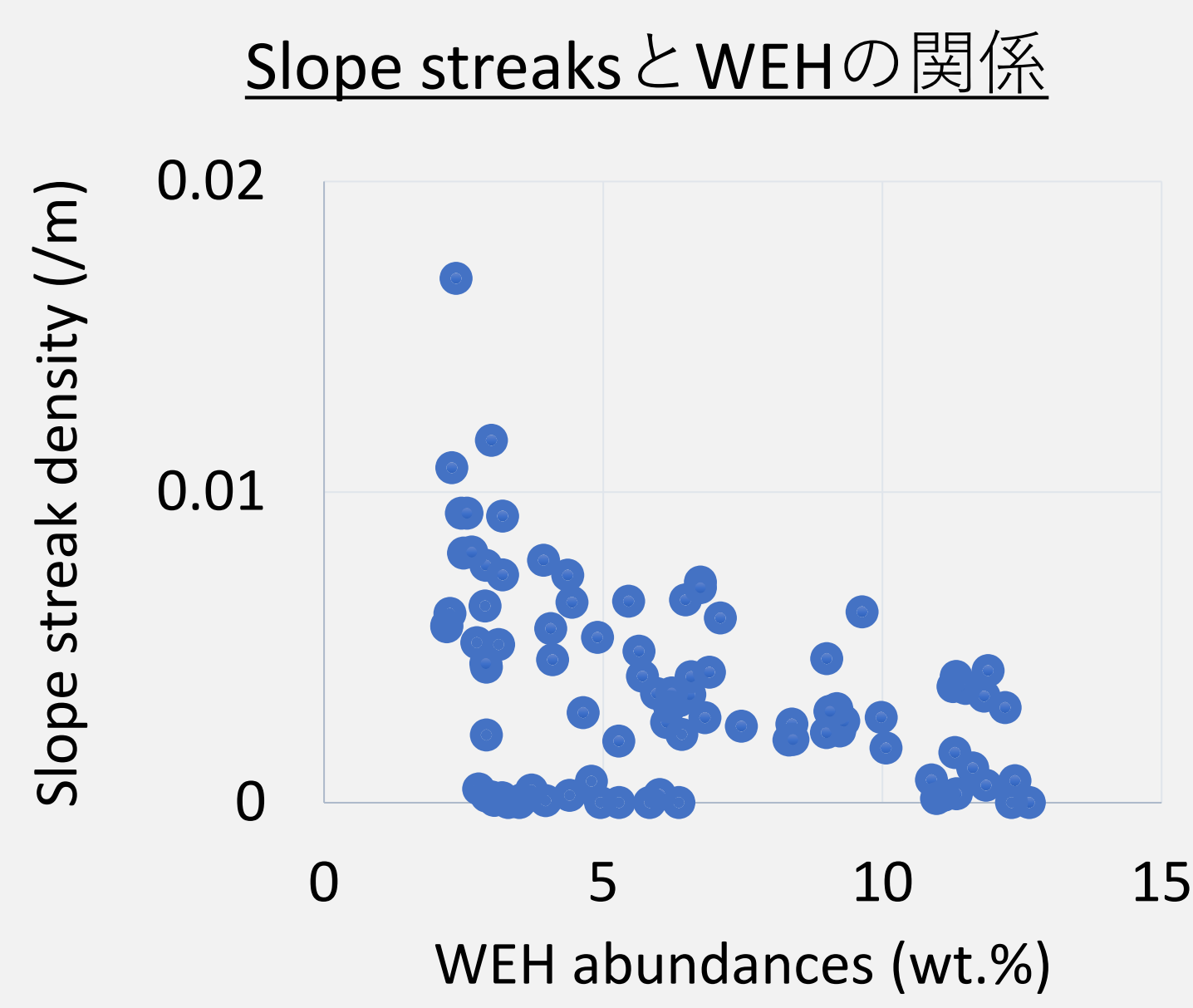
4. 各エリアのSlope streaksの密度とWEH量、熱慣性値を比較

各エリアのWEH量に対して、slope streak密度がどのように変化するかを比較する。

3. Results



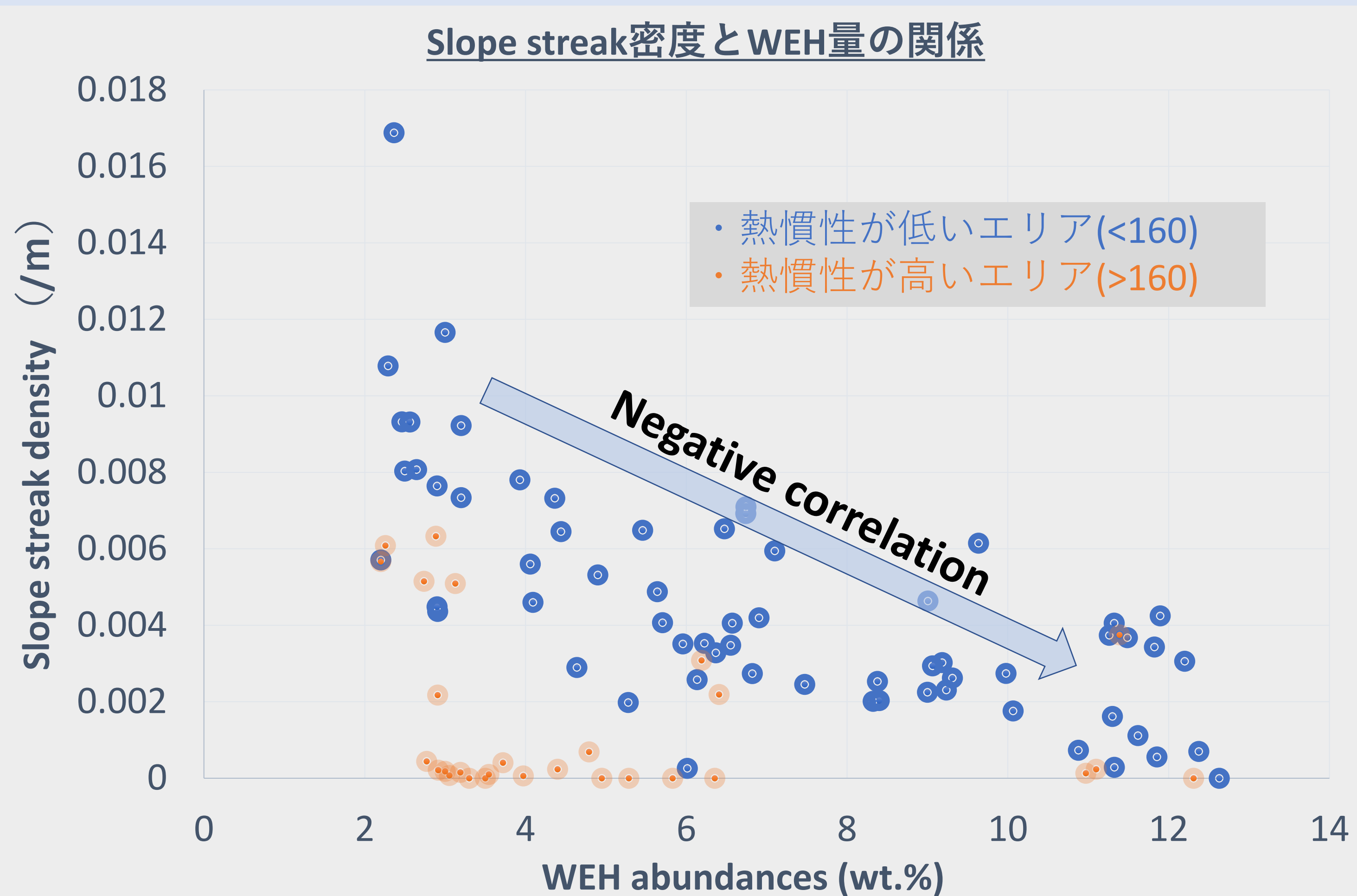
熱慣性の値が $<160(J m^{-2} k^{-1} s^{-0.5})$ の地域ではslope streaksが形成されにくい。



Slope streak密度とWEH量の間には明確な相関は見られない。

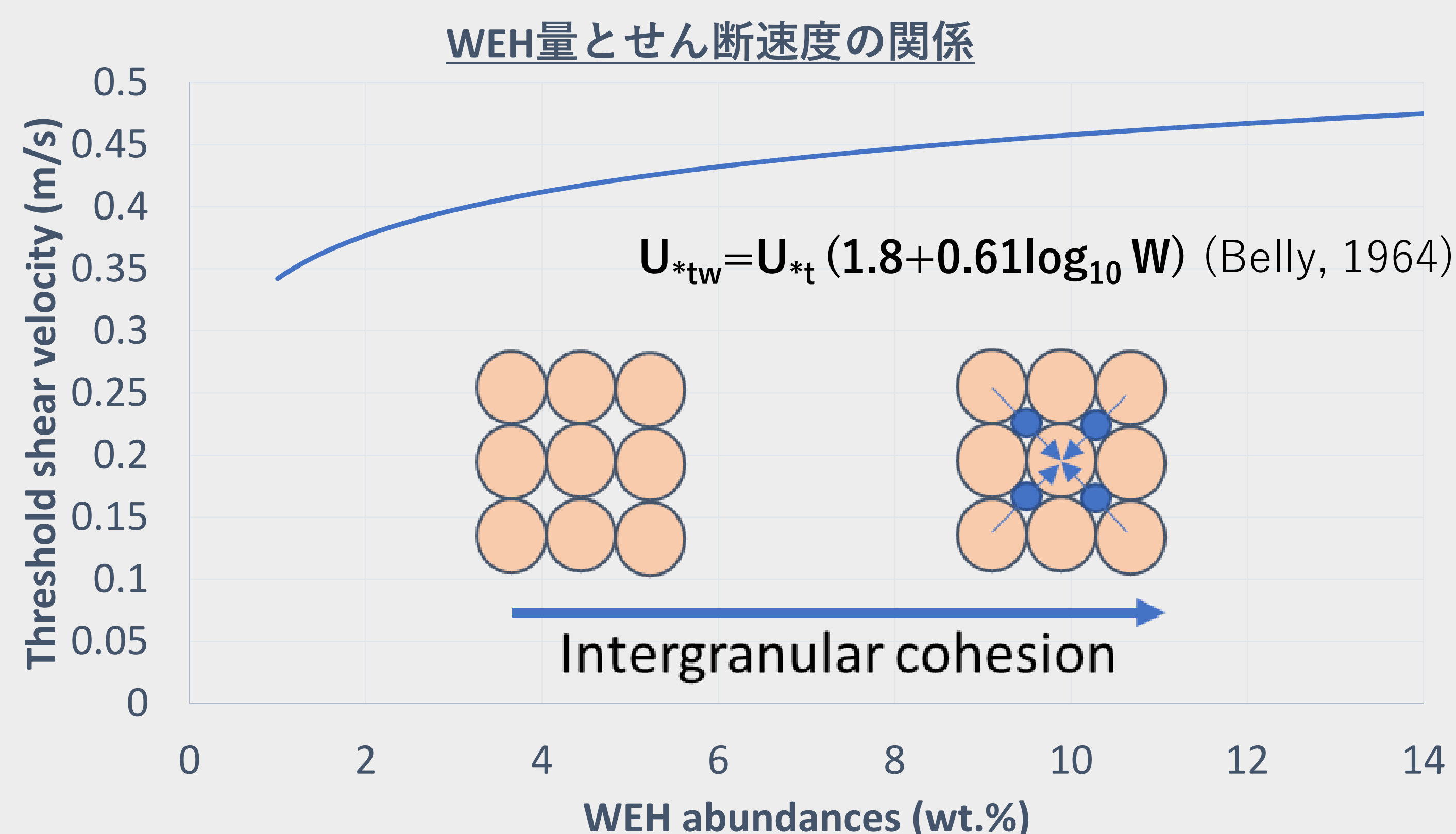
4. Discussion

1. Slope streaksとWEHと熱慣性の関係



熱慣性の高いエリアではslope streaksとWEHは負の相関関係を示す。

2. なぜslope streaksは水素の少ないエリア程多く存在するのか



粒子間の水分量が上昇すると、粒子を移動させるのに必要なせん断速度が上昇する (Belly 1964) [9]。

Slope streaksはせん断速度の閾値が低い地域で形成しやすい。

Dryメカニズムを示唆する。

5. Conclusion

熱慣性 $<160 J m^{-2} k^{-1} s^{-0.5}$ の領域でWEHとslope streaksの分布を比較したところ、両者には明確な負の相関があることが明らかになった。レゴリス間に存在する水分の存在は物質の移動を開始するのに必要なせん断速度を上昇させる効果があるため、この性質がslope streaksの形成を妨げている可能性がある。この結果はslope streaksが粒子の移動によって形成されるとするDryメカニズムを支持するものである。一方でこの研究結果はslope streaksの形成が水に関与することを否定せず、むしろMFFの表層には粒子の空隙を埋める水または氷が存在することを示唆している。

6. References

- [1] Sullivan et al. (2001) *JGR*, VOL. 106, NO. E10, 23,607-23,633, [2] Schorghofer et al. (2002). *GRL*, 29(23): 41-1-41-44. [3] Kreslavsky and Head. (2009) *Icarus* 201(2): 517-27. [4] Lange et al. (2022) *JGR Planets*, 127(4), e2021JE006988. [5] Bhardwaj et al. (2017) *Sci. Reports*, 7(1), 7074 [6] Mitrofanov et al. (2018) *Space Sci. Rev.* 214(5): 1-1. [7] Malin et al. (2001) *JGR Planets* 106(E10): 23429-570. [8] Christensen et al. (2003) *Sci.* 300(5628): 2056-61. [9] Belly (1964) *U.S. Army Corps of Engineers*.