

中央丘クレーターの特性 に関する関係式の導出

今福 拓海¹ 大竹 真紀子² 山本 幸生²
荒木 徹也³ 廣田 雅春⁴ 石川 博⁵

1.首都大学東京システムデザイン学部 2.宇宙航空研究開発機構 3.群馬大学理工学部
4.岡山理科大学総合情報学部 5.首都大学東京システムデザイン研究科

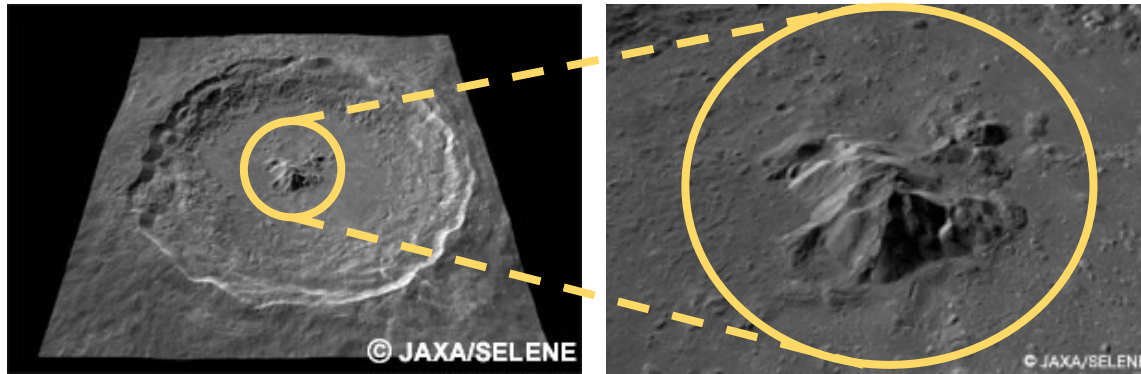
目次

1. 研究背景・目的
2. 提案手法
3. 結果・関係式の比較
4. まとめと今後の課題

目次

1. 研究背景・目的
2. 提案手法
3. 結果
4. まとめと今後の課題

中央丘とは...



- 地質調査における重要な探査地点
- クレーターの中央部分に形成される丘状の地形
- 月の地殻内部の物質が表層に露出

研究背景

中央丘の特徴は大きく分けて2種類

- 地質学的特徴 … 化学組成の調査
- 幾何学的特徴¹… 中央丘自体の形状の解析



クレーターの直径に依存した
中央丘の高さを表す関係式の存在

[1]Friedrich HÅNorz, Richard Grieve, Grant Heiken, Paul Spudis, and Alan Binder.
Lunar surface processes. Lunar sourcebook, pp. 61-120, 1991.

従来(1970~90年代)の幾何学的特徴の研究では

- クレーターごとの測定値や測定基準など、使用されたデータの詳しい情報の記載がない
- クレーターのパラメータは、正確ではない可能性がある
 - … 月面画像から目測で測定
- 当時、月面のDEM（数値標高モデル）がなく、全球の中央丘クレーターを系統だって解析した研究はされていない

本研究の目的

パラメータの中でもまだ正確な測定があまり行われておらず、今後利用されやすいと考えられる中央丘の高さに関する関係式の見直し

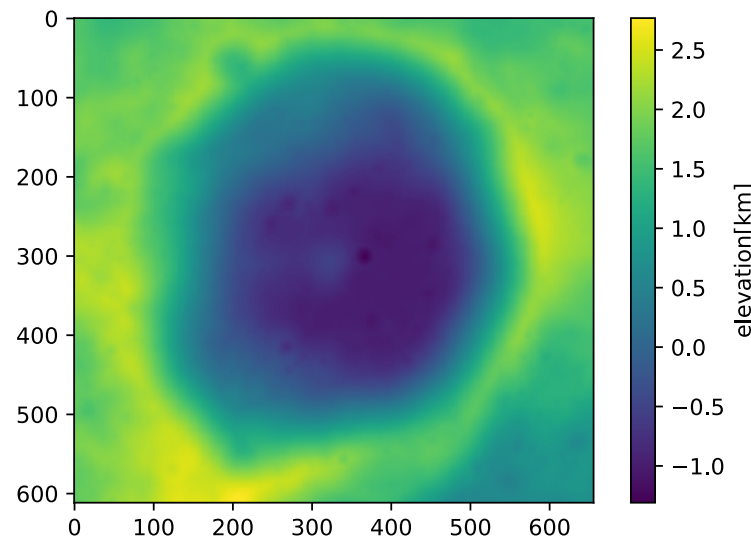
目次

1. 研究背景・目的
2. 提案手法
3. 実験
4. まとめと今後の課題

提案手法の流れ

1. 中央丘の高さの抽出
 - ・ 中央丘の高さの定義
 - ・ フロアーの標高の決定
 - ・ 中央丘の頂上の決定
2. 回帰分析による関係式の導出
 - ・ 既存の関係式を基にした非線形回帰分析
 - ・ 線形回帰分析

DEM (Digital Elevation Model : 数値標高モデル)



縦軸, 横軸 : ピクセル数

DEMは, ピクセルごとに標高値を持つ

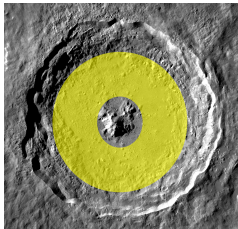
標高値の基準は月面における緯度経度 0 の地点

1.1 中央丘の高さの定義

中央丘の高さには明確な定義や計測基準がないため以下に定義

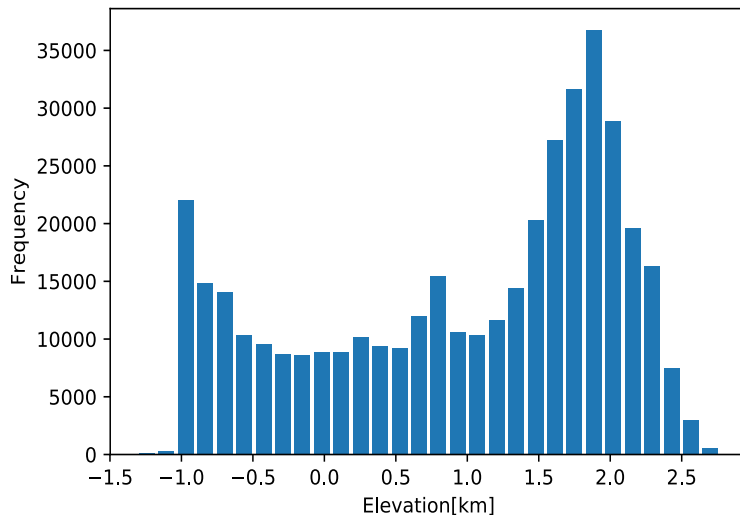
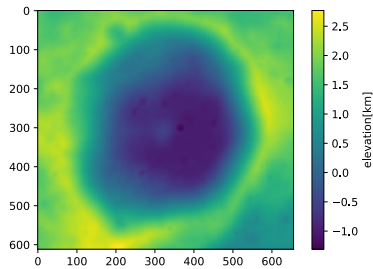
“中央丘の高さ” =

“中央丘の頂上の標高” — “フロアーの標高”



フロアー：クレーターの円状に土地が低くなった盆地
フロアーの標高にも定義はない

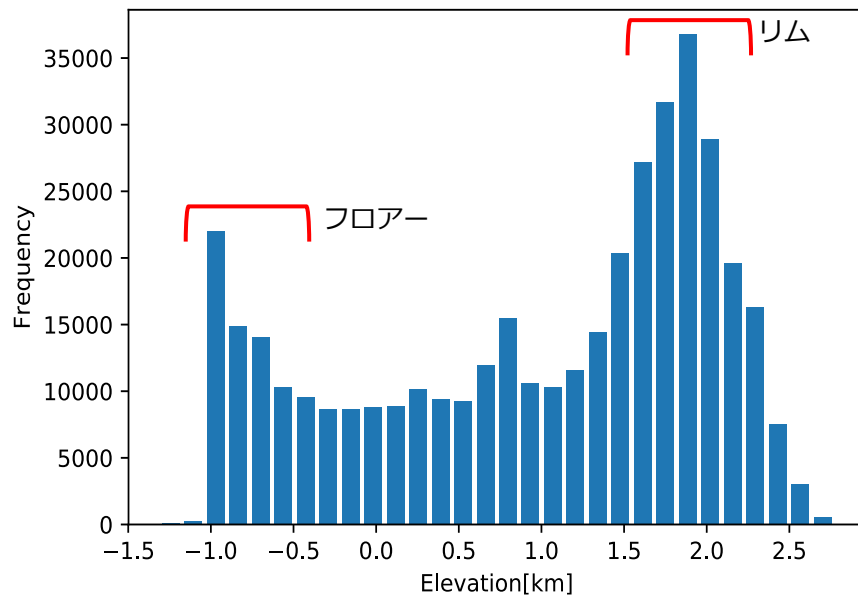
1.2 フロアーの標高の決定



1つのクレーターのDEMから
ピクセルごとの標高値を取得し
ヒストグラム化する

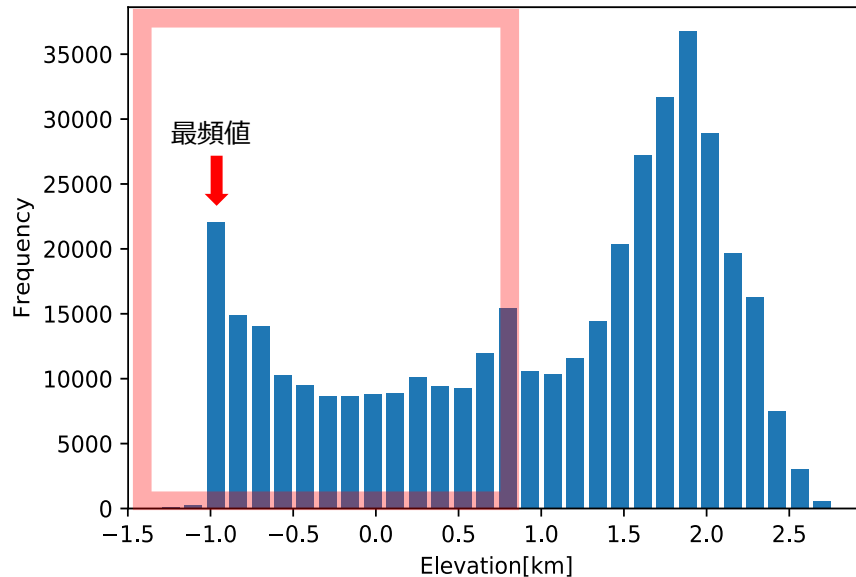
横軸（階級値）：標高値
縦軸：標高値に対するピクセル数
Binの幅（横軸の間隔）：0.1[km]

1.2 フロアーの標高の決定



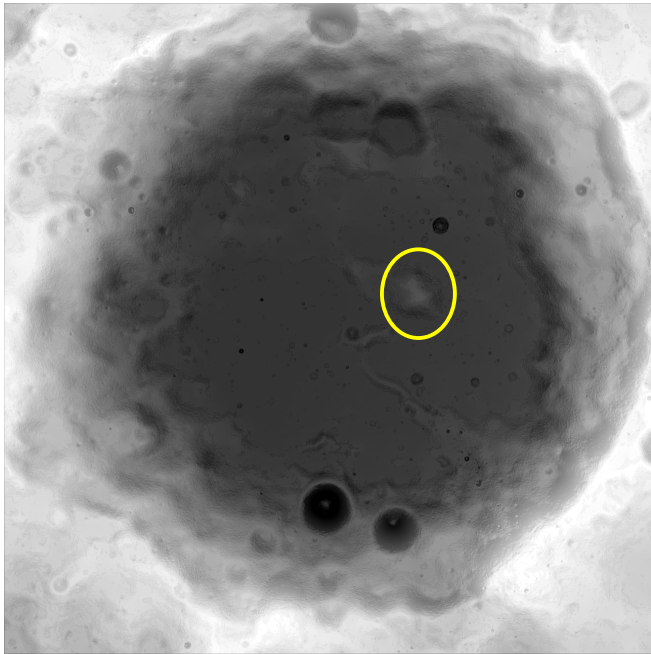
多くのクレーターは標高の
高い部分と低い部分で
頻度の高い部分が表れる
それぞれをクレーターのリムと
フロアーとみなす

1.2 フロアーの標高の決定



ヒストグラムの左半分を取り出し、
その中で最頻値となる階級値（標高値）
にbinの幅の値を足したものを
フロアーの標高値とする

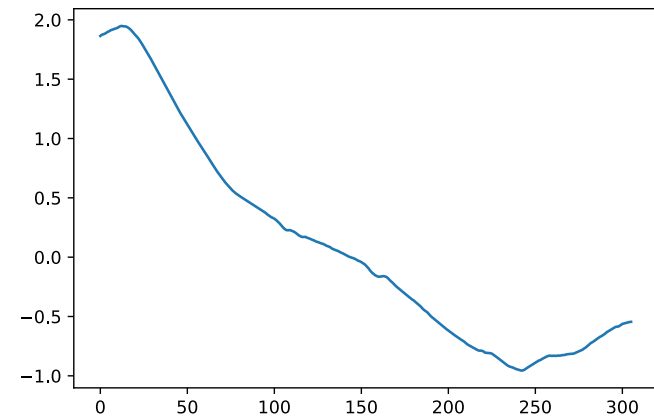
1.3 中央丘の頂上の決定



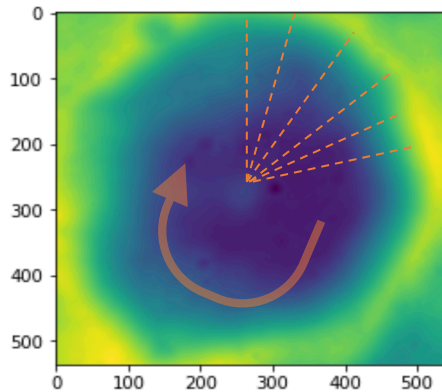
中央丘はクレーターの中心からずれた位置にある場合がある



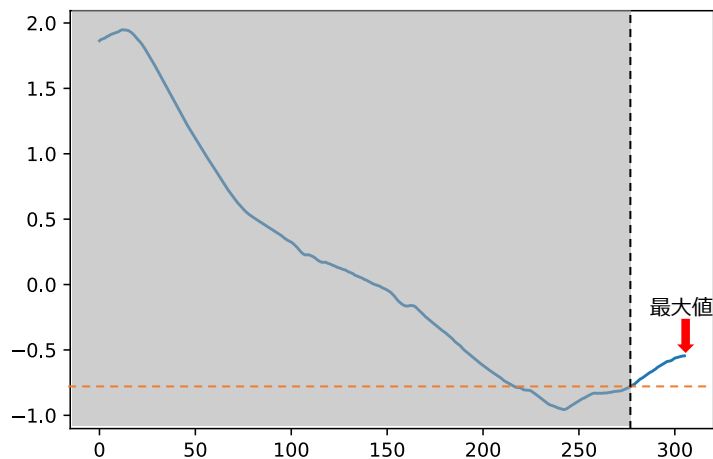
断面図の利用



1.3 中央丘の頂上の決定



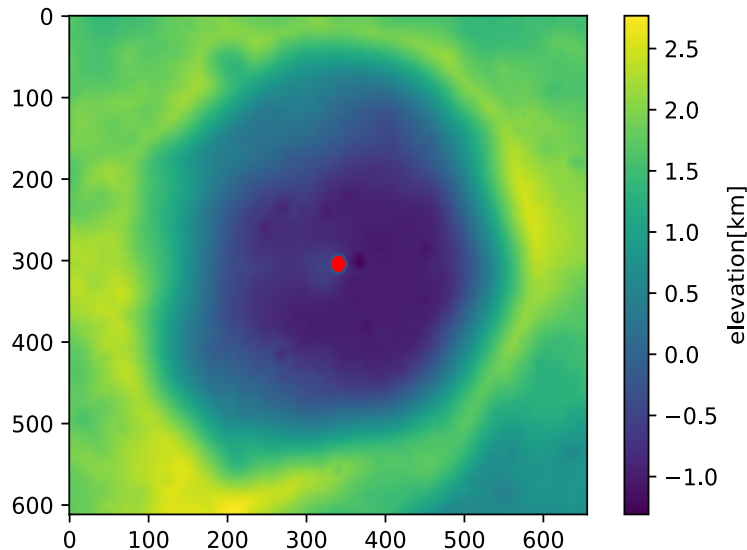
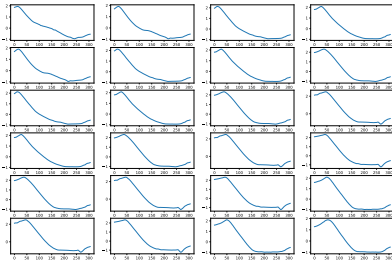
DEMの中心から端までを 15° ずつ
計24枚切り出す



----- フロアーの標高値

断面図のリム側から（横軸0）から
標高値を走査しフロアーを下回って
からの最大値を取る。
これを24枚分行う

1.3 中央丘の頂上の決定



断面図24枚分の最大値の中で更に
最大値を取る一点を一旦仮の中央丘の
頂上とする

そこに対応するDEM上の位置の周辺で
最大値を取る点を中央丘の頂上とする

2. 回帰分析による関係式の導出

- 既存¹の関係式

$$Y = aD^b$$

Y : クレーターの特徴量[km](本研究では中央丘の高さ)

D : クレーターの直径[km]

a, b : クレーターの特徴量に応じた定数

(Y が中央丘の高さのとき, $a = 0.589 \times 10^{-3}$, $b = 1.969$)

[1]Friedrich HÅNorz, Richard Grieve, Grant Heiken, Paul Spudis, and Alan Binder.
Lunar surface processes. Lunar sourcebook, pp. 61-120, 1991.

2. 回帰分析による関係式の導出

- 既存の関係式を基にした非線形回帰分析

レーベンバーグ・マーカット法 (Levenberg-Marquardt)
による非線形関数の近似
実装にはpythonのライブラリであるscikit-learnを用いる

- 線形回帰分析

最小二乗法による線形関数の近似
こちらも実装にはpythonのライブラリであるscikit-learnを用いる

関係式の評価

関係式の評価指標として決定係数を用いる

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - f_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$

R^2 : 決定係数

y : 実測値 (今回抽出した値)

f : 回帰モデルによる推定値

目次

1. 研究背景・目的
2. 提案手法
3. 結果・関係式の比較
4. まとめと今後の課題

データセット

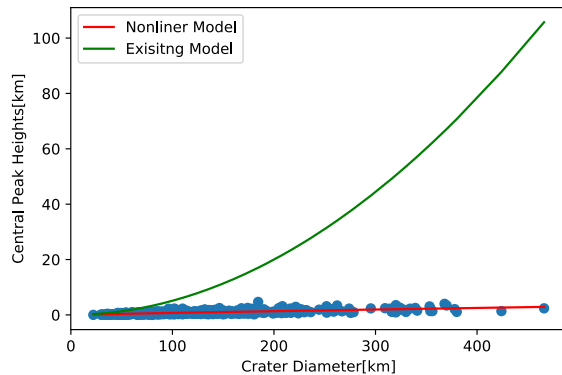
中央丘クレーターのDEM²

- 524件
- 直径の値（専門家による正確な計測³）
- 解像度：約60m/pix

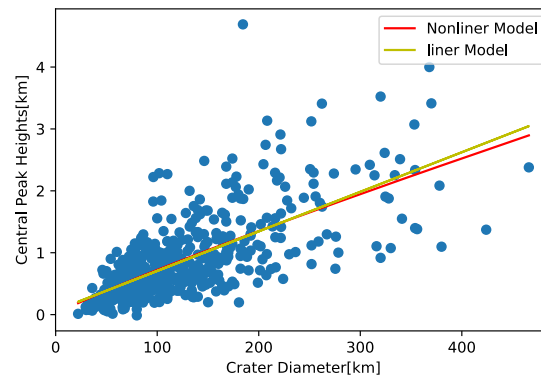
[2] 原 聡志, 山本 幸生, 荒木 徹也, 廣田 雅春, 石川 博: かぐや DEM を用いた, 機械学習による中央丘クレーター識別, 宇宙科学情報解析論文誌, Vol. 8, pp. 1-10 (2019.3)

[3] Bandeira L, Salamuniccar G, Hare TM (2014) Global crater catalogues of the Moon, Mars and Phobos. Lunar and Planetary Science Conference

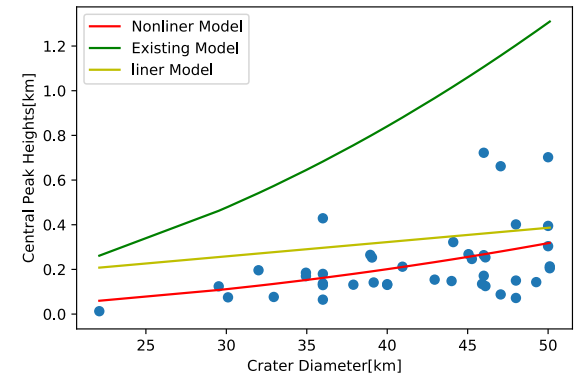
結果・関係式の比較



非線形モデル(赤)と既存モデル(緑)



非線形モデル(赤)と線形モデル(黄)



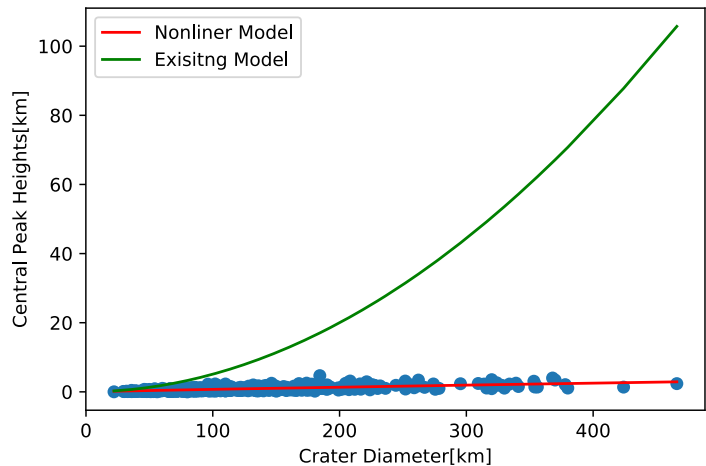
クレーター直径17~51kmにおける比較
赤：非線形，黄：線形，緑：既存

非線形の関係式

$$Y = aD^b$$

	既存モデル	非線形モデル	線形モデル
データ数	15	524	524
a	0.000589	0.011382	(傾き =) 0.0064
b	1.969	0.901	(切片 =) 0.0667

結果・関係式の比較



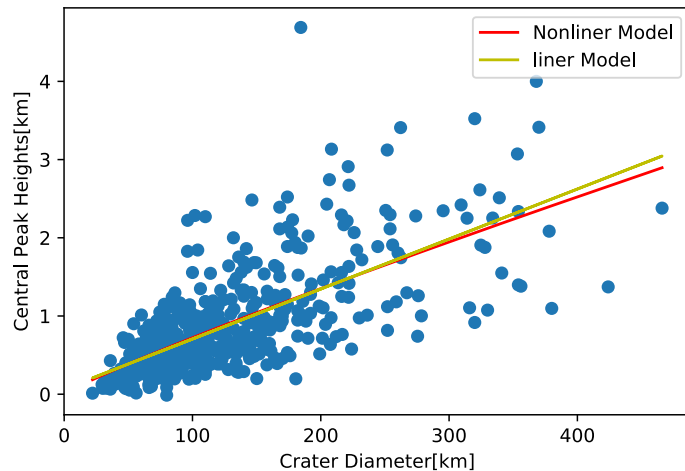
非線形モデル(赤)と既存モデル(緑)

	既存モデル	非線形モデル	線形モデル
決定係数	-579.59	0.48775	0.48434
決定係数 (直径17~51km)	-20.889	-0.24754	-0.29763

既存モデルはクレーターの直径が51km以降の範囲で明らかに実測値と離れている

既存モデルが51kmまでのデータを基に導出されたため

結果・関係式の比較



非線形モデル(赤)と線形モデル(黄)

	既存モデル	非線形モデル	線形モデル
決定係数	-579.59	0.48775	0.48434
決定係数 (直径17~51km)	-20.889	-0.24754	-0.29763

非線形回帰モデルと線形回帰の比較により
クレーターの直径と中央丘の高さは線形な
関係ではないかと推測できる
クレーターの直径が大きくなると誤差が大
きくなる

目次

1. 研究背景・目的
2. 提案手法
3. 結果・関係式の比較
4. まとめと今後の課題

まとめ

- 本研究では、中央丘の高さの抽出と回帰分析による関係式の導出を行った
- 結果として、非線形モデルと線形モデルが類似しており、クレーターの直径と中央丘の高さが線形な関係の可能性が推測される

今後の課題

- データ抽出のより高度な基準設定
- クレーターから抽出する特性の種類の増加
- 関係式が多項式化