

機械学習を用いたエンセラドスのクレーター分布解析ツールの開発とその地形的理解

1250019 井上 昂輝 (宇宙探査システム研究室)
(指導教員 山本 真行 教授)

1. 背景・目的

直径 500 km 程度の小さな土星の氷衛星であるエンセラドスはその内部に大規模な液体の水（内部海）を蓄えていることが探査機カッシーニの探査によって 2007 年に分かった。以降、生命体が存在できる可能性が示唆されたエンセラドスの将来探査への議論が数多く行われてきた。

本研究ではエンセラドスに対する興味から表面地形的な理解を深めるため、機械学習によるクレーター・カウンティングを行うツールを開発し、その結果を用いて地形的な考察を行うことを目的とする。

2. 手法

クレーター・カウンティングとは天体表面のクレーターの数を数えることで重なるクレーターから、天体の表層年代や形成の歴史を推定する指標として使われる。

本研究では YOLOv8 と呼ばれる機械学習モデルを用い、月とエンセラドスのクレーター画像を学習データとして利用し、表面画像からクレーターを自動検出する学習済みモデルを作成する。学習データは、①月のみ、②エンセラドスのみ、③月とエンセラドス両方の 3 種類に分け、どの学習結果がエンセラドス上でのクレーター検出に最適か評価する。そして、最も性能の良いモデルをクレーター自動検出に使用する。さらに、検出結果を用いてエンセラドスのクレーターマップを作成する。

3. 結果および考察

学習済みモデルの性能を総合的に評価する指標として mAP (mean Average Precision) がある。本研究結果では mAP の最大値が①のモデルが 0.26、②が 0.39、③が 0.31 となり、②のモデルが最も性能が良かった。しかし一般的に性能の良いとされるモデルにおける mAP の値 (0.8 程度) には及ばな

かった。

図 1 は②のモデルを使用し NASA データベース[1]の 16 K 画像 PIA18435 を元画像としてエンセラドスのクレーターを検出しモルワイデ図として表示させた結果で、土星に対して同じ面を向け公転しているエンセラドスの表・裏に対応させ、経度 0° (土星側)、 180° (反土星側) についてそれぞれ示す。最も密度の高い部分では 0.0200 個/ km^2 程度のクレーターが存在する。そして、密度の高い地域は経度 0° と東経 180° の線を結ぶように帯状に分布しており、特に 180° 付近でのクレーター密度が高かった。

図 2 は経度ごとのクレーター密度 (青の太い棒グラフ) と平均直径サイズ (赤の細い棒グラフ) を表している。密度の高

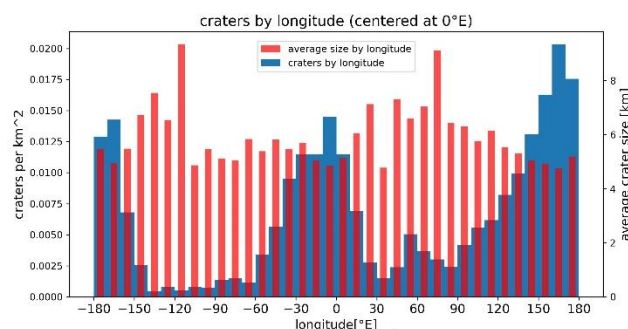


図 2 経度ごとのクレーター密度と平均サイズ

い地域ではクレーターのサイズは比較的小さく、逆に密度の低い地域ではクレーターサイズが大きくなる結果となった。

本研究結果としてもう一つ大事な点は検出対象の画像の解像度であった。旧来の 8 K 画像から検出された 2396 個に対し、データベース上に後に用意された 16K 画像では 5121 個のクレーターが検出された。検出できた最小クレーターの直径は 8 K 画像が 2.20 km、16K 画像では 1.60 km であった。

4. まとめ

本研究では YOLOv8 を用い、クレーターマップ作成には十分な精度でのクレーター検出モデルを作成することができた。過去文献[2]と比較可能なクレーターマップが得られ、同文献の指摘と同じくエンセラドスが潮汐ロックにより土星と同じ面を向け公転している影響や表面氷の変成による影響を示唆する結果が得られた。また、検出元画像の解像度が物体検出において大きな影響を与えることが分かった。

参考文献

- [1]NASA, "PHOTOJOURNAL Image Galleries," <https://photojournal.jpl.nasa.gov/target/enceladus>, (2025/02/07 閲覧)
- [2]Blanco-Rojas et al., "A Novel Approach to Impact Crater Mapping and Analysis on Enceladus, Using Machine Learning," *JGR Planets*, **129**, 2, 6, 2024

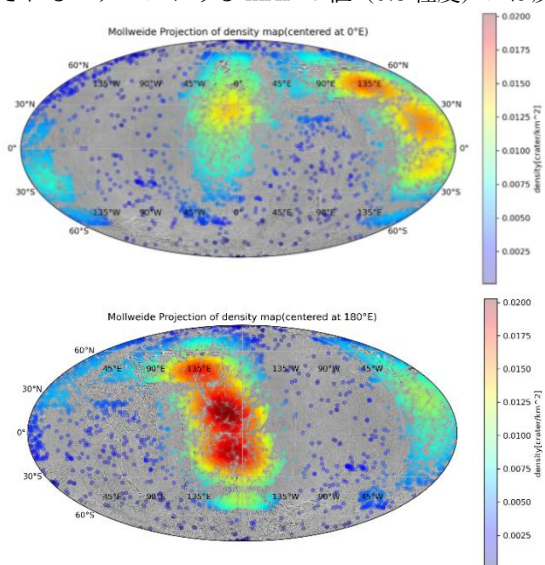


図 1 エンセラドスのクレーター密度分布