

月探査機かぐや搭載スペクトルプロファイラによって得られた 2次反射光データの解析

学籍番号 47176103 経田 原弘
(指導教員 田中智 准教授)

発表日 2019.2.6(水)

1 研究背景

現在, NASA や JAXA をはじめとした宇宙機関が極域探査を計画しており, 月の極域における研究が注目されている ([1], [2]). 着陸選定基準には, 日照率や傾斜角や付近の揮発性物質などの存在確率 [3] などが挙げられ, 月の極域における地質学的研究はより重要になってくると考えられる. 本研究では月探査機かぐや搭載の光学機器に着目した. 月探査機かぐやは3つの光学機器を搭載したが, 3つの中で波長分解能が最も高いスペクトルプロファイラ (SP) データに着目した. SP データは同じ連続反射スペクトル分光計であるチャンドラヤーン 1 号搭載の Moon Mineralogy Mapper(M³) データよりも S/N 比が高く, 極域の鉱物解析において有効であると考えられる. しかしながら, 極域では日陰領域が多く, さらに2次反射光による影響もあり, 有用性については検討されていない. そのため, 極域などの高緯度地域における鉱物情報については十分な理解が得られていない. この背景を踏まえ, 本研究では極域 (緯度 80 度以上) で取得された SP データから精度の高いスペクトル解析 (鉱物解析) を可能とするデータ処理を行った.

2 研究目的

SP データは補正する際, 光源は太陽光であると仮定する. しかし, 極域では太陽入射角が大きいため, クレーターやボルダーの影響で太陽光が当たらない領域 (日陰領域) が多く存在する. さらに, クレーターのリムやボルダーに反射した光 (2次反射光) は反射点 2 箇所の反射スペクトルの重ね合わせであるため, 正確な鉱物情報の同定が困難である. そこで, 本研究では緯度 80 度以上の極域において取得された各 SP データに対して, SP のフットプリント (500m × 500m) における太陽光が当たった割合 (日照度) を深層学習を用いて推定し, 直射光を光源とするスペクトルと2次反射光を光源とするスペクトルに分離する. さらに, 日照度推定結果に基づいた鉱物解析を行う.

3 日照度の推定

3.1 手法

SP で観測した位置を把握するために同時観測された月面画像 (SP 支援画像) が存在する. 日陰領域はクレーターなどの地形によって形成されることから, SP 支援画像から SP フットプリントにおける日照度を推定することが考えられる. しかし, SP 支援画像の輝度値のみでは太陽光が光源か2次反射光が光源かを区別できない. そこで, 月面標高モデル (DEM), SP が観測した時刻, 太陽の幾何学的条件, 月探査機かぐやの姿勢情報を基にレイトレーシングを行って作成された模擬画像を利用する. これは太陽光が照射している領域のみに輝度値をもつ画像である. この模擬画像を SP が観測した時刻, 太陽照射条件で作成すれば, SP フットプリントにおける日照度が推定できるが, SP データは極域 80 度以上に限っても 1000 万点以上存在しており, すべてを計算するのは現実的ではない. そこで, 本研究では同じ領域の SP 支援画像と模擬画像のペアを深層学習モデル (Fully Convolutional Networks)[4] に教師データとして与えた. その後, 緯度 80 度以上の極域における SP 支援画像を学習済みモデルに与え, SP フットプリントにおける日照度を推定した (図 1).

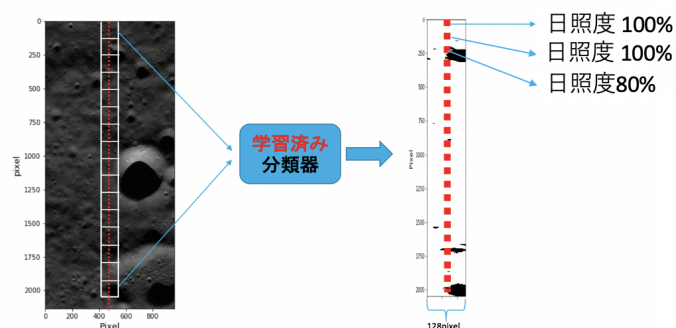


図 1: 学習済み分類器を用いた日照度推定の流れ
入力画像は SP 支援画像で赤い領域は SP フットプリント

3.2 結果と考察

約 4000 ペアの教師データを与えた結果, Loss の収束が確認できた. 次に, 汎化性能の評価を行った. 学習に未使用の SP 支援画像 (検証用画像) を 3 枚用意した. 検証用画像を学習済みモデルに与えた結果得られた予測画像と, 同じ領域の模擬画像をピクセル単位で比較した結果, 正答率は約 98%であった (表 1). 図 2 に示すように, 日陰領域の大域的な特徴の予測には成功している. しかし一方で, 日照と日陰の境界線においては誤判定が多い. 従って, SP フットプリント内が全て日陰判定の SP データ, 全て日照判定の SP データを用いて日陰領域の解析と日照領域の解析を行えば問題ないと考えられる.

表 1: 3 枚の検証用画像に対して行った汎化性能の評価

file	日照 (正) →日照	日陰 (正) →日陰	全体の正答率
例 1	0.992	0.924	0.981
例 2	0.987	0.929	0.976
例 3	0.947	0.983	0.979
平均	0.975	0.945	0.979

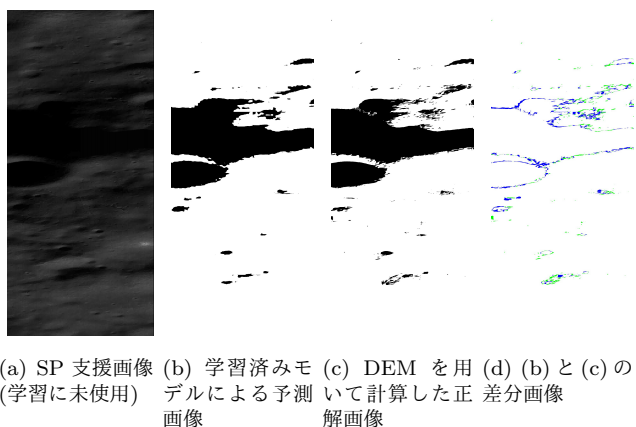


図 2: SP 支援画像と同じ領域の模擬画像の比較結果 (例 1) (d) では, 日照 (正解) →日陰 (予測) の領域を緑色, 日陰 (正解) →日照 (予測) の領域を青色で表している.

4 日照度の推定結果を用いた研究

4.1 太陽光を光源とするスペクトルと 2 次反射光を光源とするスペクトルの比較

理論的には 2 次反射光を光源とするスペクトルは太陽光を光源とするスペクトルを 2 乗したスペクトルで表せる [5]. そこで, 同じ領域で取得した太陽光を光源とするスペクトルと 2 次反射光を光源とするスペクトルの比較を行った. その結果, 近赤外の波長帯 (1300nm 以上) においては, 2 次反射光を光源とするスペクトルの傾きは有意に小さかった. この違いは SP フットプリントにおける温度

差だけでは説明できなかったが, 2 次反射光を光源とするスペクトルを反射率に補正するための基礎データを得た.

4.2 永久日陰内における宇宙風化度合いの推定

宇宙風化の影響を受けると鉄ナノ粒子が増え月面が赤化する [6]. また, 永久日陰内は宇宙風化作用の影響をうけにくいという指摘がある [7]. しかし, 永久日陰内におけるスペクトルの傾きと永久日陰外における日陰判定のスペクトル傾きを比較した際, 有意な差は見られなかった. このことから, 永久日陰領域とそれ以外の領域における宇宙風化度合いには有意な差がないと考えられる.

4.3 極域における水氷に着目した研究

日照度 0% の SP データから, 水氷の吸収帯 (1260nm, 1500nm) に吸収をもつスペクトルを抽出した. その結果, 本研究で初めて SP データから水氷の存在を示唆するデータを見出した (図 3). しかし, 迷光などによる人工的な原因が否定できず, 水氷の存在を確定させるには至っていない.

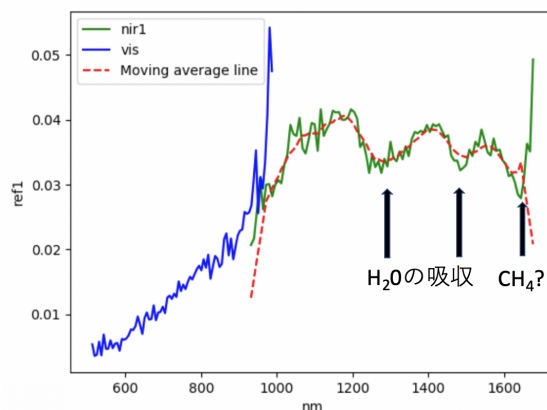


図 3: 抽出条件を満たした拡散反射率スペクトルの例 赤い点線は NIR1 の波長帯に対して, 幅 80nm で移動平均を取っている. 1300nm 弱, 1500nm 弱に明確な吸収帯が存在する.

5 まとめ

本研究では, SP フットプリントにおける日照度を定量化したデータを生成した. この結果を用いることにより, 極域における入射光源の区別, 入射光量が推定可能となり, 精度の高いスペクトル解析を可能にした.

参考文献

[1] Heldmann, Jennifer L., et al. (2016) Acta Astronautica, 127, 308-320. [2] Ivanov, M. A., et al. (2015) Planetary and Space Science, 117, 45-63. [3] Sanin et al., 2016, Icarus 283 20-30. [4] Long et al., 2015, arXiv:1411.4038v2. [5] Nimura et al., 2008, Earth Planets Space, 60, 271-275. [6] Lucey et al., 2000, Journal of Geophysical Research, 105, E8, 20,377-20,386. [7] Lucey et al., 2013, J. Geophys. Res. Planets, 119,1665-1679.