

LCROSS探査によるejecta量の推定

The estimate of the amount of ejecta in LCROSS mission

岡村 奈津子^{1*}, 杉田 精司¹, 洪 鵬¹, 関根 康人¹, 河北 秀世², 寺田 宏³, 高遠 徳尚³,
早野 裕³, 布施 哲治³, 古荘 玲子³, 渡部 潤一³, 春山 純一⁴, 中村 良介⁵, 黒澤 耕介¹,
羽村 太雅¹, 門野 敏彦⁶

Natsuko Okamura^{1*}, Seiji Sugita¹, Peng Hong¹, Yasuhito Sekine¹, Hideyo Kawakita²,
Hiroshi Terada³, Naruhisa Takato³, Yutaka Hayano³, Tetsuharu Fuse³, Reiko Furusho³,
Jun-ichi Watanabe³, Junichi Haruyama⁴, Ryosuke Nakamura⁵, Kosuke Kurosawa¹,
Taiga Hamura¹, Toshihiko Kadono⁶

¹東京大学 大学院新領域創成科学研究科, ²京都産業大学 理学部, ³国立天文台, ⁴宇宙航空研究開発機構,
⁵産業技術総合研究所, ⁶大阪大学レーザー研

¹Department of Complexity Science and Eng, ²Faculty of Science, Kyoto Sangyo Univer,

³National Astronomical Observatory of Ja, ⁴Japan Aerospace Exploration Agency,

⁵National Institute of Advanced Science and Tech, ⁶Osaka University Institute of Laser Engi

LCROSS (Lunar CRater Observation and Sensing Satellite) とは、月における水の有無を調べるために打ち上げられたNASAの衝突実験・探査であり、月の南極付近に2009年10月9日に衝突した。月の南極にある Cabeus crater には永久影が存在し、そこに水氷があると考えられている。LCROSS探査では Cabeus crater に重量の異なる機体を2機衝突させ、月面から放出する ejecta の分析を行い水の有無を調べた。本研究では、すばる望遠鏡によって観測された、クレーターの高さを越える ejecta 量の推定を行った。ejecta の観測は近赤外線分光撮像装置 IRCS (Infrared Camera and Spectrograph) を用いて行われた。この装置は「分光」と「撮像」という2種の手法が可能である。分光は、ejecta があると予想される場所に局所的にスリットを当て、ejecta の散乱光を確認する手法である。他方、撮像はクレーターを含めた広域的な領域において月面の空間分布のデジタル画像(1024 pix×1024 pix)を撮る手法である。ejecta の飛散は水平方向に置かれたスリットの幅を大きく超えると予想されていたことから、本研究では広域的に捉えられる手法である撮像を用いて以下の解析を行った。また、大気の影響をより軽減させるため Kp バンドを用いた。

まず、追尾誤差を補正するために同地点における異時刻の画像の差分を取り、スリット部分での誤差が最も小さくなるように手動で補正を行った。この補正の結果、追尾誤差による画像のずれは 1 pix 程度と判断できるレベルまで誤差を抑えることができた。この値はかなり精度の高いものであるが、実際に追尾誤差補正を施したものの2枚の画像で差し引きを行うと、撮像された月地形の陰影を正確に合わせることができないことも判明した。この原因としては LCROSS 衝突の日に見られた高層雲による光散乱状態の時間変化の影響が考えられる。そこで我々は、明るい領域と暗い領域の境界における光の強度値の傾きから各画像における高層雲の影響を見積もった。これは傾きが大きいほどシラスの影響が少なく、クリアな画像であることを示している。以下の解析では、本観測で得られた中で最もクリアな画像10枚を用いて ejecta の有無を調べた。

我々は衝突前後の画像の重ね合わせ・差し引きを行い、さらに大気中の水分による影響の除去などを行ったが、有意な ejecta の反射光は観測できなかった。LCROSS 観測は Gemini や Keck などマウナケア大望遠鏡を含む多くの望遠鏡が参加したが、LCROSS 衝突による ejecta の観測が地上望遠鏡で成功している報告は現在のところ他にない。そこでなぜ ejecta が観測できなかったか

原因を考えるために、我々はクレーターの高さを越えたejectaの質量上限値を見積もった。まずejecta反射光は、ejectaが放出すると考えられる領域においてLCROSS衝突から90秒間のカウントちの変動幅(=観測誤差。標準偏差 3σ まで考慮)と、標準星(BS1140)の測光データを用いて 1.31×10^{-11} Wと導出された。この光量と、月のレゴリスのサイズ分布(1 μ m~1mm) [1]を用いてejecta粒子の総断面積を求めた。最後に粒子の総質量分布から、我々はクレーターの高さを越えるejectaの上限値として、我々は 1×10^3 kgを得た。この上限値は事前推定値[2]の1/20である。

この上限値はまだ予備段階ではあるが、なぜLCROSS衝突によって放出されたejectaの質量が、事前推定値よりこれほど少なかったのか考察する。いくつか可能性が考えられるが、最も高い可能性としては、(1) cut-off velocityが事前推定よりも小さい速度であった、(2) ejectaの放出角度が45度よりもかなり低かった、の2つが挙げられる。この2つの可能性は衝突の物理に関する問題であり、この問題を解決するためにはさらなる衝突の研究が必要である。言い換えれば、LCROSS衝突はまだ理解されていない衝突の物理過程を含んでいることを我々の観測結果は示している。

References :

[1] Heiken, G.H. et al. (1991) , Lunar Sourcebook, Cambridge Univ. Press

[2] Korycansky D.G. et al. (2009), MAPS , 44, 603.