

K7-80

深宇宙探査機エクレウス搭載カメラ・デルフィヌスによる月面衝突閃光の観測 Observing Lunar Impact Flash using DELPHINUS onboard EQUULEUS

○布施綾太¹, 阿部新助², 柳澤正久³, 矢野創⁴, 船瀬龍⁵*Ryota Fuse¹, Shinsuke Abe², Masahisa Yanagisawa³, Hajime Yano⁴, Ryu Funase⁵

Abstract: When a meteoroid impacts the moon, a flash can be observed as a lunar impact flash. The lunar impact flash observed from the ground is biased due to short term observation and atmospheric extinction. DELPHINUS (DEtection camera for Lunar impact PHenomena IN 6U Spacecraft) onboard EQUULEUS will be launched by SLS in 2018. Advantages of DELPHINUS are (1) continuous long duration observations (2) quantitative detections. Our estimation of detectable lunar impact flash considering EQUULEUS orbit shows that approximately 300 flashes which NASA detected in 7 years can be observed in 3 months.

1. 概要

EQUULEUS (エクレウス) は東京大学と JAXA が中心となり開発中の 6U サイズの深宇宙探査機であり、2018 年に NASA の新型ロケット SLS により打ち上げ予定である。エクレウスは地球と月の重力が釣り合う 5 つの点の 1 つである、地球-月系ラグランジュ点 L_2 (EML₂) へ航行し、EML₂ 到達後、月面から約 3 万~9 万 km の高度を維持するハロー軌道を描く。エクレウスにはカメラシステム・DELPHINUS (デルフィヌス) が搭載され(Fig 1), 月面衝突閃光と地球近傍小惑星 (NEO), 地球重力圏捕獲天体 (TCO) を観測する。中でも観測の中心となるのは月面衝突閃光の観測である。

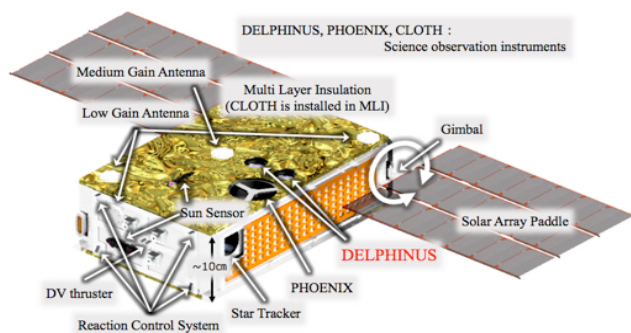


Figure 1. Appearance of EQUULEUS

月面衝突閃光とは流星物質 (メテオロイド) が月面に衝突する際に、可視-近赤外線領域で観測される発光現象であり、^[1] その明るさは衝突の運動エネルギーにより変化する。この月面衝突閃光の観測により、地上の望遠鏡で観測される直径数 10m サイズ以上の小天体 (小惑星や彗星) と、流星観測やレーダーで観測される直径 μm -mm サイズのダストを繋ぐ、直径 cm-m サイズの空白領域を埋めることができる。また、地球や月へ衝突するメテオロイドの数の時間変化 (フラックス) を評価することで、今後の宇宙開発で検討されている月面での有人活動や月面基地の設計においても貢

献できると期待される。

そこで本稿では、エクレウスの暫定軌道計画と月面衝突閃光の地上観測データ^[2]をもとに、デルフィヌスによる月面衝突閃光の観測可能性について検討した。

2. 月面衝突閃光観測の検討

月面衝突閃光の観測は月に直接太陽光が当たらない夜側領域で行う(Fig 2)。EML₂ から月面衝突閃光を観測することのメリットとしては、太陽光が地球に反射し、その光が月に投影される地球照を無視できることと、地上観測では不可能な長時間連続観測からの定量評価が行えることがあげられる。地球からの月面衝突閃光の観測では、月の夜側領域は地球照による約 13 等級の背景光が乗るため^[1], 少なからず閃光観測の妨げとなるが、地球から見て月の裏側に位置する EML₂ では地球照の影響はなくなる。また、宇宙では地球の自転による観測の制約や大気減光、天候不順の影響も受けないため、24 時間以上の連続的定量評価が行える。

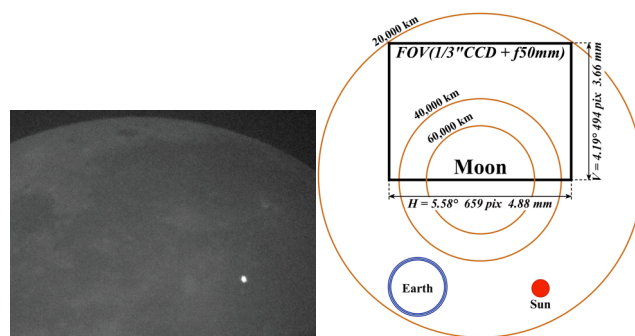


Figure 2. Lunar impact flash and DELPHINUS field of view

宇宙からの月面衝突閃光の観測を満足以達成するために、デルフィヌスには 2 つの工夫が施されている。

1 つ目は、太陽と地球の直射光がレンズに入射する迷光を防ぐため、バップルを用いた遮光レンズで構成されている点である。レンズ内に迷光が入り込むと、

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・教員・航宇 3 : 電気通信大学・教員 4 : JAXA/ISAS 5 : 東京大学・教員

デルフィヌスの検出限界等級を低下させてしまうことから、この迷光をできる限り抑えるが重要となる。したがって、このバップルにより視線方向から 45 度以上の入射光を遮光し、迷光を抑える設計を行う。

2 つ目は、月面衝突閃光とは関係のない、カメラのノイズと宇宙線と呼ばれる高エネルギー粒子による誤検出を防ぐためにカメラシステムを 2 台搭載する点である。2 台での同時観測を行うことで、閃光発生時の時刻と場所による同時性と同位置性の確認を行うことで、誤検出の検出確率を低下させることが可能になる。

以上より、月面衝突閃光観測に適した条件を検討し、迷光による影響などを考慮した結果、以下の条件を満たす期間での観測を行う。(以下、デルフィヌス=DLP)

- (1) DLP への視線方向に対する地球入射角 45 度以上
- (2) DLP への視線方向に対する太陽入射角 60 度以上
- (3) DLP から見た月夜側領域が月面全体の 25%以上
- (4) エクレウスから月面までの距離が 6 万 km 以下

この条件を満たさない期間と EML₂ 到達までは月面を視野に入れずに NEO,TCO の観測を計画している。

3. 検討の評価

エクレースの暫定軌道計画と Suggs et al.(2014)の月面衝突閃光の地上観測データ^[2]に基づき、観測条件(1)～(4)を満たすエクレースから観測可能な月面衝突閃光の検出確率を見積もる。月面とエクレースの距離が 10 万 km 以下になる期間(86 日間)をミッション期間とする。ミッション期間で観測条件を満たす期間は 16 日間あり、観測条件(1)～(3)と観測可能期間を塗りつぶした図を Fig 3 に示す。この 16 日間で検出可能な月面衝突閃光の数を、デルフィヌスの検出限界等級別に棒グラフで表した図を Fig 4 に示す。また、限界等級別のミッション期間での総検出数を Table 1 にまとめる。

Suggs et al.(2014)による観測での、1 日の閃光検出数は 1~8 回であったのに対し、エクレースのミッション期間での 1 日の閃光検出数は限界等級 4.0 等級で 4~34 回、5.0 等級で 12~63 回、6.0 等級で 22~102 回となった。また、特定の流星群発生時の数時間では、月面衝突閃光のフラックスが 1 桁以上上昇することが地上観測から確認されているため(6 月上旬のみずがめ座流星群はデルフィヌスで観測可能)、さらなる検出が期待できる。Table 1 の結果から、NASA の口径 350mm 望遠鏡を使った地上観測による 7 年で取得した約 300 の閃光を、デルフィヌスの口径 35.7mm の超小型カメラを使った約 3 ヶ月(観測期間は 16 日)のミッション期間で十分に達成できることがわかった。

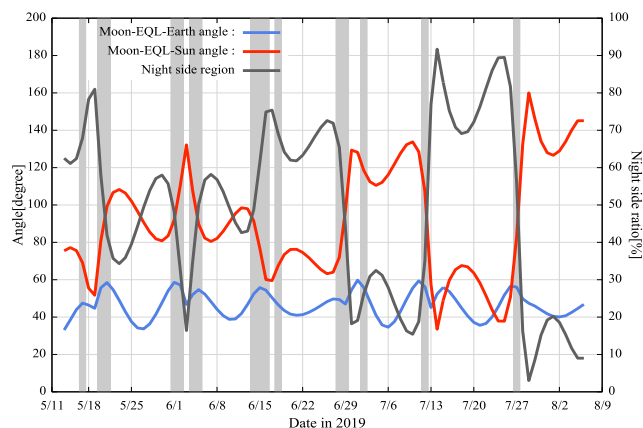


Figure 3. Moon-EQUULEUS-Earth and Sun angle

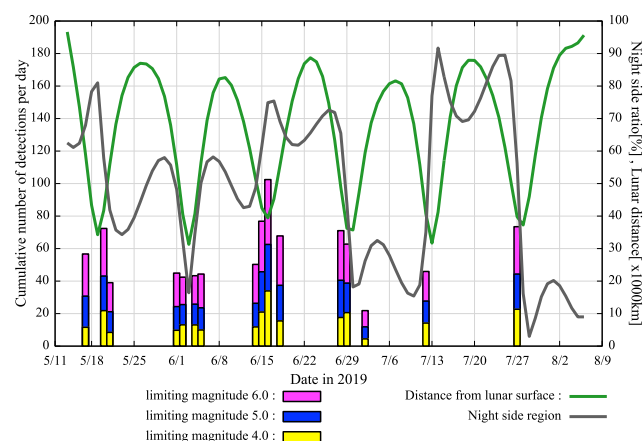


Figure 4. EQUULEUS mission phase

Table 1. Total detecting number

	Lmag=4.0	Lmag=5.0	Lmag=6.0
Total number	249	530	916

4. 今後の方針

デルフィヌスによる月面衝突閃光の観測では、観測要求を提示し多くの軌道候補の中から観測に適した軌道を選定することと、観測条件を緩めることで検出数の向上が期待できる。今後の方針としては流星群発生時と通常検出時での閃光検出の差を解析・評価し、検出数と信頼性を高める、検出アルゴリズムを中心としたソフトウェアの開発を進める。また、複数の軌道候補の中から各軌道別に観測条件を変化させ、観測・運用においての最適な軌道の選定も進めていく。

5. 参考文献

- [1]阿部新助:「超小型深宇宙探査機によるシス・ルナ空間の宇宙資源探査」, 第 60 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2E03, JSASS2016-4228, pp2, 2016.
- [2] Suggs R.M et al. : “The flux of Kilogram-sized Meteoroids from Lunar Impact Monitoring”, Icarus, Vol238, pp23-36, 2014