

地球月系ラグランジュ点 EML2 からの月面衝突閃光の観測

○布施綾太, 阿部新助 (日本大学)

EQUULEUS(EQUilibriUm Lunar-Earth point 6U Spacecraft)は東京大学と JAXA を中心に, 日本大学・電気通信大学などの複数の大学・組織により共同開発され, NASA の SLS ロケットによる打ち上げが予定されている深宇宙探査機である. EQUULEUS ミッションでは, 地球月系ラグランジュ点 L2 への航行を通じて, 6U(30x20x10[cm])サイズの超小型宇宙機による地球月圏軌道制御技術の実証に加え, 理学観測機器による地球, 月の観測を予定している.

理学観測機器の 1 つである DELPHINUS (DEtection camera for Lunar impact PHenomena IN 6U Spacecraft)は月面衝突閃光の観測を目的としたモノクロカメラシステムである. 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発生する運動エネルギーの一部が光エネルギーに変換され, 可視近赤外線領域で観測される短時間(0.01-0.1 秒程度)の発光現象である. 閃光は月面上の太陽光が当たらない夜側領域で観測される. 月面衝突閃光の観測により, 直径数 10m サイズ以上の小天体と, 直径 μ m-mm サイズのダストを繋ぐ, 直径 cm-m サイズの未知の空白領域を埋めることが可能になる. 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, 将来の月面有人活動や月面基地建設に向けたリスク評価への貢献が期待される.

本研究では, DELPHINUS カメラシステムによる EQUULEUS ハロー軌道候補から月面衝突閃光観測に適した最適ハロー軌道を導出し, 最適ハロー軌道と地上観測による閃光検出データから, DELPHINUS による月面衝突閃光の検出数概算結果について論じる.

まず, DELPHINUS からの観測において, 以下の 4 つの観測条件を設け, 全ての条件を満たした場合に限り閃光観測を行うこととする. ただし, DELPHINUS の光軸は常に月の夜側をトラッキングしていると仮定する. また, 観測条件を満たさない期間では, DELPHINUS は小惑星の観測を計画している.

1. DELPHINUS カメラシステムの光軸への地球入射角(地球離角)が 45 度以上
2. DELPHINUS カメラシステムの光軸への太陽入射角(太陽離角)が 45 度以上
3. DELPHINUS から見た月面夜側領域が月面全体の 25%以上
4. EQUULEUS から月面までの距離(月面高度)が 60,000[km]以下

次に EQUULEUS 軌道系で検討されている 8 つの L2 滞在ハロー軌道候補に対して 4 つの観測条件を満たす期間(観測可能期間)を導出することで, 月面衝突閃光観測における最適ハロー軌道が得られる. 8 つの軌道候補から求めた観測可能期間・観測可能割合を表 1 に示す. ただし, 軌道候補名の 4 桁の数字は地球月間の距離を 1 としたときの地球ハロー軌道間の距離(例:1040→1.040), 2 桁の数字は約 180 日間でのハロー軌道周回数, S・N は月に対する探査機の位置(South, North)を意味する. したがって, ハロー軌道候補は 4 つのハロー軌道の形と探査機位置 S・N からなる合計 8 つの軌道候補で構成されている.

表 1 ハロー軌道候補

軌道候補	ミッション期間	観測可能期間	観測可能割合
1040_26N	194 日 18 時間	75 日 11 時間	38.75%
1040_26S	194 日 19 時間	74 日 16 時間	38.33%
1120_14N	176 日 1 時間	32 日 15 時間	18.53%
1120_14S	176 日 3 時間	31 日 11 時間	17.86%
1160_12N	171 日 10 時間	24 日 6 時間	16.48%
1160_12S	171 日 7 時間	24 日 3 時間	16.42%
1177_12N	182 日 18 時間	0 時間	0%
1177_12S	182 日 19 時間	0 時間	0%

表 1 より、観測可能割合が最も高い 1040_26N が最適ハロー軌道であることが明らかとなった。

次に最適軌道 1040_26N での観測条件を満たした 1 日(刻み幅 1 時間で 24 時間の合計値)当たりの検出数を求めた。その結果を図 1 に、ミッション期間(2019 年 5 月 7 日-2019 年 11 月 17 日)での検出数の合計値(総検出数)と、総検出数を観測可能期間で割った値(検出効率)を表 2 に示す。

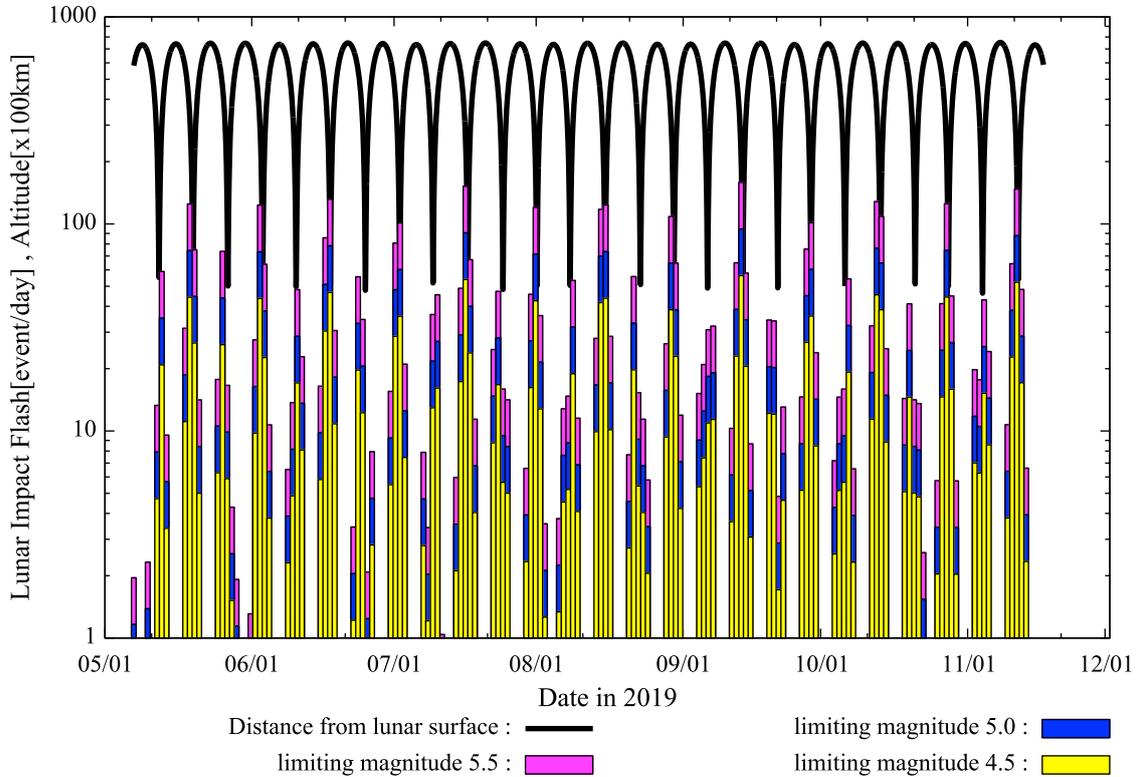


図 1 閃光検出数の累積個数分布

表 2 ミッション期間における総検出数

	総検出数[個]	検出効率[個/時間]
4.5 等級	1607	0.887
5.0 等級	2699	1.490
5.5 等級	4534	2.504

図 1, 表 2 より、約 6 ヶ月間のミッション期間で総検出数は 1607~4534 個となった。1 日当たりの検出数が多い期間は周期性があることが図 1 から見て取れる。これは月面高度の低高度期間と一致しており、検出数上昇の理由としては、EQUULEUS が低高度に遷移するとカメラ限界等級が良くなり、暗い閃光が検出可能になったことが起因している。したがって、月面高度が低いほど多くの閃光検出が期待されることが示された。

以上より、限界等級 4.5~5.5 等級において DELPHINUS カメラでは、約 6 ヶ月間で 1607~4534 個の閃光が検出されることが明らかとなった。さらに、地上観測では検出が難しい暗い閃光を検出可能であることから、1 時間当たりの検出効率は従来の値に比べて、2 倍以上になることを示した。DELPHINUS による宇宙からの月面衝突閃光観測により、NASA の約 12 年 405 個の閃光検出に対して、約 6 ヶ月間でその 4 倍以上の閃光検出数が得られることが期待され、効率的に月面衝突環境評価(フラックス評価)を行うことが可能であると考えられる。