

小型衛星による月探査衛星の可能性：今、月で新規性のある科学ミッションは可能か？

# 小型衛星によるLTP及び高速衝突現象観測の提案

齋藤靖之 東京大学大学院 <saito@planeta.sci.isas.jaxa.jp>

高原卓也 総合研究大学院大学 <takahara@isas.jaxa.jp>

## 概要

本提案は小型衛星によるLTP(Lunar Transient Phenomena)や月面衝突発光といった月観測ミッションの実現を検討するものである。

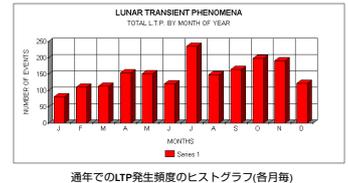
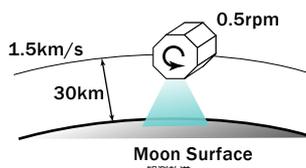
近年、搭載機器の小型化や高効率化により小型衛星でも十分新規性のある観測ミッションが実現されている。現在のところその活動範囲は近地球に限られているが固体モータを搭載した150kg級衛星であればビギンバック方式による月軌道ミッションも可能であるとの検討がなされている。

LTP(Lunar Transient Phenomena)とは、月表面の一部が青みがかったように見えたり、発光が起こったように見える現象である。LTP現象の報告の記録は古く、16世紀から500件以上報告されているが偶発的に発生するために、科学観測がほとんど行われてこなかった。近年になってようやく地上での観測体制が整えられつつある。

月面での流星衝突発光は、1999年11月、獅子座流星体の衝突によるものが、アメリカ合衆国、メキシコ、日本などから観測されたものが初めてである。通常は、1 kg以上の小天体が秒速10 kmで月面の暗い部分(月の夜の部分)に衝突した時に、明るさが数等級の、約0.1秒間の発光として観測される。1999年以降、しし座流星群に伴うものが20個ほど観測されてきたが、2004年8月に、日本のグループ(宮高校地学部、小川村天文台 etc.)によって初めてペルセウス座流星群に伴うものが観測された。

しかしLTPや流星群による月面衝突発光といった「低頻度な現象の観測」は人工衛星による科学観測ミッションとして取り上げるにはリスクが高く、これまで軽視される傾向にあった。本提案はコストの低いビギンバック方式による小型衛星を用いることでこのような問題の解決をはかると共に小型衛星の活動範囲を月軌道まで拡大させることを狙う。

## 観測計画



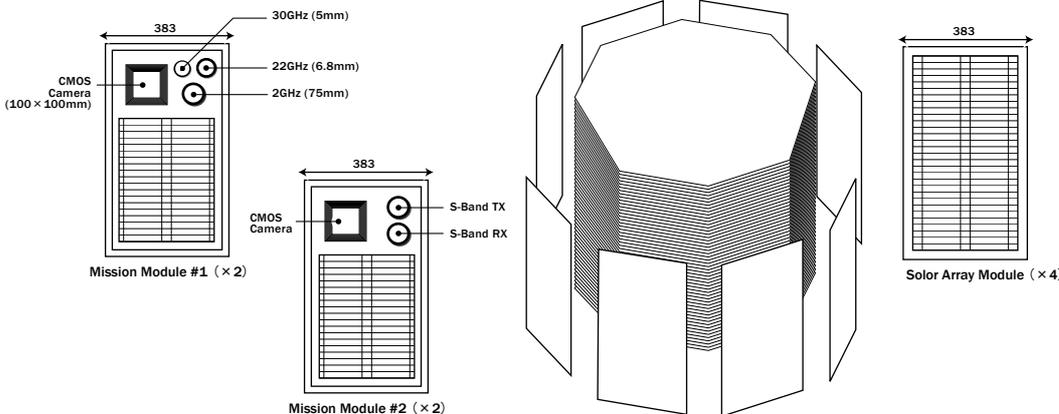
高速衝突発光現象の観測は毎年コンスタントに出現し現象発生回数か最も期待されるペルセウス座流星群に焦点をあわせる。ペルセウス座流星の対月速度は、60km/sと他の流星と比べて大きく、発光や電波強度も強いと考えられる。LTPについてはAristarchos、Platoクレーターにおける観測例が多く、月裏側については観測がされていないため新しい知見が得られる可能性は高い。

現象は共に8月中旬に多く確認されていることからミッションはこの時期を狙って行う。衛星寿命を半年とすれば12月のしぶんぎ座流星群、ふたご座流星群についても観測が期待できる。

観測は軌道高度30kmから電波観測及びCMOSカメラによる可視光の観測を行う。衛星はスピン安定(0.5rpm)とすると軌道速度とスピン周方向速度が相殺され、月直下方向のセンサー視野は静止した状態となる。これにより軌道速度に対する撮像のブレを除去する。

30GHz、22GHz、2GHzのパッチアンテナパターンは視野180[deg]であり、相対する面に設置され視野360[deg]をカバーする。CMOSカメラは衛星構体4面に取り付けられることで360[deg]の視野を確保し、常時監視を実現する。

## 概観図



## 重量見積

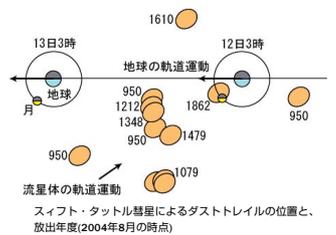
サブシステム	機器	重量 (kg)	備考
推進系	固体モータ #1	44.0	アゴシ上採用 (680m/s)
	固体モータ #2	36.0	月軌道投入用 (700m/s)
	燃料タンク	9.0	tear drop tank (4-?)
	弁、配管	8.0	
	N2H4 FUEL	12.4	軌道維持用 / 月周軌道保持 (180m/s)
構造系	中子	21.0	MINVT を含む
	中子	21.0	
姿勢軌道制御系	ISAS(2-?)	0.6	
	ACM	0.4	加速度計
	ND	0.4	ニューテーションアンテナ
	RW	1.5	1軸のみ Dynacon 搭載
	FOG	1.0	3軸
	中子	3.9	
	中子	5.0	
電力系	KEU	5.0	
	中子	5.0	
通信系	SRX	0.5	
	S1X	1.0	
	S-RXB(2-?)	0.4	
	S-ANT(TX,RX)	0.8	
	BPF(2-?)	0.2	
	中子	2.6	
電源系	SAP	5.4	実装面積による
	PCU	2.0	
	CWV	3.0	
	SHNT	0.5	
	BAT	5.0	
中子	18.7		
観測系	30 GHz observation	2.0	ANT, SVB, BPF, 電磁波を含む
	22 GHz observation	2.0	ANT, SVB, BPF, 電磁波を含む
	2 GHz observation	2.0	ANT, SVB, BPF, 電磁波を含む
	CMOS Camera(8-?)	6.0	計装機、レンズ、CMOS 素子を含む
観測計装	中子	12.0	
	中子	6.0	
観測装置	中子	1.0	
	中子	1.0	
搭載機合計		169.6	

## 観測意義

LTP自体、発光現象全般をさすものなので、ここでは流星体の衝突発光を除いたものと定義する。LTPの多くが特定のクレーターの中央丘や火山性地形を示す地域で多く観測されていることから、なんらかの共通したメカニズムが働いているものと考えられる。たとえば月内部の気体が潮汐応力や、太陽による過熱・膨張によって表面に噴出することなども考えられる。あるいは月震が直接、働きかけているのかもしれない。月の潮汐応力は深発月震のトリガーとしての役割を果たすが、広く受け入れられており、ごく表層での応力も4000 Pa程度の範囲で変化していることから、影響がないとは言い切れない。また大気のない月の温度環境は地球と比べて極めて酷酷である。月表面では夜間に100 K程度まで下がるが、日の出とともに400 Kまで急激に上昇する。LTPの起こるタイミングも、月表面での太陽位相角との関係も指摘されており興味深い。

月面衝突発光についてはこれまでしし座流星群に伴うものしか確認されてこなかったが、2004年8月にペルセウス座流星群による月面衝突発光が初めて確認された。他の流星群に伴うものも期待できることから、今後観測機会がさらに増えることが予想される。またペルセウス座流星群は毎年コンスタントに出現する3大流星群のうちのひとつである。しし座流星群は、年による流星群の数が大きく変化する。これは流星群の起源である母彗星(テンペル・タトル)が回帰する際に形成する「ダストレイル」に地球が遭遇する状況が毎年大きく異なることによる。

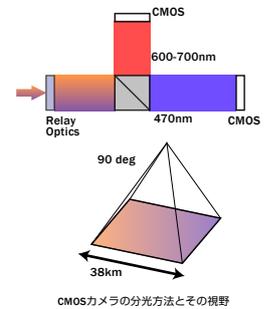
また現在では衝突発光強度の観測から、プロジェクトイルの質量や衝突速度を見積もることしか出来ませんが、観測回数を増やせば流星体の質量分布や、ダストレイル中の数密度など統計的な議論が行えるようになる。また流星体による高速衝突現象の観測によって得られる電磁波の性質が得られれば、破壊メカニズムの解明や衝突発光時のエネルギー分配など、物理的にほとんど知られていない新しい結論が導き出されると期待できる。また地上観測では、大気や月齢などの状態によって観測できなかった信号も受信できることが期待できることから、流星群による新しい流星体の衝突現象を発見できる可能性も高い。



## 観測機器

CMOSカメラは分解能よりも視野を広く取ることを優先し、視野角90[deg]とする。CMOSカメラに100x100pixの素子を用いた場合、その分解能は0.38km/pixとなる。LTP検出のため波長470nm(青)と600~700nm(赤)で分光を施す。カメラ開口面は0.1m x 0.1mとするが低軌道から撮像するため十分な光量を得られる(3.18 x 10<sup>-5</sup> J/pix程度)。衛星重量、容積の制限から月センサーと併用することも検討中である。

30GHz、22GHz、2GHzのパッチアンテナパターンは視野180[deg]において均等の利得が得られるよう設計する。これにより各周波数帯における受信強度及び時間変化を捉えるほか、CMOSカメラからの映像から衝突位置を特定する。観測は常時行われるが、記録はCMOSカメラの局所的な輝度変化の検出、もしくはアンテナの瞬間的な受信強度の変化をトリガに行い、データ容量の縮小をはかる。



## まとめ

本提案では、これまで50年以上まえから観測されつつも議論が積極的になれなかったLTPや1999年に初めて観測された流星衝突発光に着目し、小型衛星の適用を検討した。衛星を用いて観測を行うことで地球からは観測できなかった月表面の観測が可能になるほか、夜側における観測機会の増加、位置分解能の向上を期待している。小型衛星はリソースの制限から多くの観測機器を搭載することは難しいが、むしろ結果をフィードバックさせながら短い周期で繰り返し観測を行うことで、衛星もその都度新技術の適用が可能であり、時代に即した観測データの提供を目指すには適したプラットフォームだと考える。本検討中には新規開発が必要な項目も含まれ解決しなければならぬ課題も多い。しかし、本提案のように低頻度現象の観測にも着目することで小型衛星でも新規性のあるミッションが十分可能であると考えている。