

投稿

月面微小天体衝突発光・閃光現象観測

～LIME(Lunar Impact Monitoring Event)プロジェクト～

友田和美（日本天文愛好者連絡会）、茶木恵子（子ども達に星を観せる会）、
黒柳貴子（日本大学大学院）

1. はじめに

日本時間 2013 年 9 月 7 日（土）12:27、米国航空宇宙局（NASA）月科学研究所 Lunar Science Institute（NLSI）は、月面の大気・チリを観察するため探査機 LADEE（Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer：ラディー）を Minotaur V ロケットで打ち上げました（図 1）。

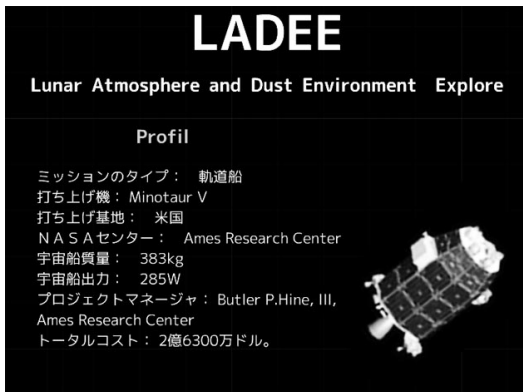


図 1 探査機 LADEE の概要

LADEE は月を周回し、月の薄い大気の成分や隕石が月に衝突した際のチリの成分を調査します。NASA では学生や一般が参画しての様々な観測の企画があり、LADEE との月面観測も、NASA NLSI の広報部長ブライアン・デイ(Brian Day)氏が全世界に呼びかけていました。これを知ったアメリカ在住の浦田伸夫氏が、日本に呼びかけてみることをデイ氏に提案、日本天文愛好者連絡会（JAAA）とつないでくれました。同じ頃、NASA にいた日本大学理工学部生（当時）の黒柳が日本

オリジナルの月面衝突発光現象・閃光観察プロジェクト「LIME（ライム）プロジェクト」を提案し、デイ氏が JAAA に紹介しました[1]。2012 年 7 月、JAAA が日本のアマチュアほか研究者や天文台など天文関係者に呼びかけをし、帰国した黒柳氏とともに LIME プロジェクトをスタート、LIME プロジェクトワーキンググループを発足させました[2]。

2. LADEE と連携ミッション

2.1 NASA のインターンシッププログラムから生まれた LIME プロジェクト

2012 年夏、NASA Ames Academy2012 に黒柳は参加しました。これは国際宇宙教育会議（International Space Education Board）の一環として、日本では（独）宇宙航空研究開発機構（JAXA）が毎年 1 名の学生を選出し NASA にインターンシップ派遣するものです。参加した目的は、日本で Space EPO（Education and Public Outreach：子供から大人までを対象とした宇宙教育、宇宙に興味をもってもらう活動）をどのようにアプローチしたらいいか、NASA と共に何かイベントができないか、というものでした。当時、黒柳が行っていた Ames（米国カリフォルニア州エイムズ研究センター）ではちょうど LADEE という月面探査機が設計開発されていたところでした。その LADEE と共に、地球からも月を観測する必要がある、その観測を日本でも行ってくれないかと、NLSI にいるデイ氏から黒柳に話があり、日本のアマチュア天文学者、宇宙や天文に興味のある学生

に、月面衝突閃光を観測してもらう LIME を立ち上げました。この活動を広めていくことで、宇宙や天文に興味のある人だけではなく、科学に苦手意識を持っている人や興味のない人にも、宇宙って不思議だな、空って綺麗な、ちょっとでも気持ちが宇宙（そら）へ向いてもらえたらと思っています。

2.2 探査機 LADEE とそのミッション

LADEE の目的は、月の希薄な大気や塵、粉塵環境を観察するというものです。月表面大気塵物質の密度や組成、隕石などの小天体の月面衝突などによるこれまでの月面大気の変化に関するデータを取得し、大気中の微粒子のサイズ、電荷、静電輸送ダストの空間分布などを観測します。更なる目的として、アポロ宇宙飛行士の報告した情報通りの環境や現象がどうであるかなどを判断し、宇宙基地建设やロボットによるミッション（観測、建設など）において大気中のチリの影響や隕石などの衝突頻度を明らかにすることがあります。LADEE には、質量分析計 (Neutral Mass Spectrometer: NMS)、紫外・可視分光計 (UV Spectrometer: UVS)、ダスト検出器 (Lunar Dust EXperiment: LDEX) が装備され、月軌道上で複数のミッションを行います (図 2)。搭載機器による地球・月間の大容量レーザー通信実験 (Lunar Laser Communication Demonstration: LLCD) も 51~622Mbps で行う計画で、10 月に入り 622Mbps で最大通信速度の実証に成功したことが報じられました[3]。LADEE は打ち上げ後 30 日で月上空に到達し、その後 30 日をかけて月大気を観測できる一定の月軌道にのり、その後 100 日間かけて観測を行います。実際には、30 日かけて周回軌道にのせながら遠目で月を観察し、その後 30 日で月に近づきながら月上空 250km を周回観察し各種テストを実施、その

後、100 日間、月上空 20~75km の位置で大気観察し終了となります。一度は、100 日間観測後も可能な範囲で観測期間を延長し最後は宇宙空間のはるかかなたを彷徨う予定になった LADEE ですが、打ち上げまで残り数週間というところで観測期間が 100 日に戻され、100 日間観測後は月に自ら衝突、衝突直前まで月大気を観測しデータを送信し続けることになりました。LADEE は本格事業のための事前情報収集を目的とした探査機で、ミッション成功後は本格的な月探査と月面開発のための計画が動き出すことになっています。

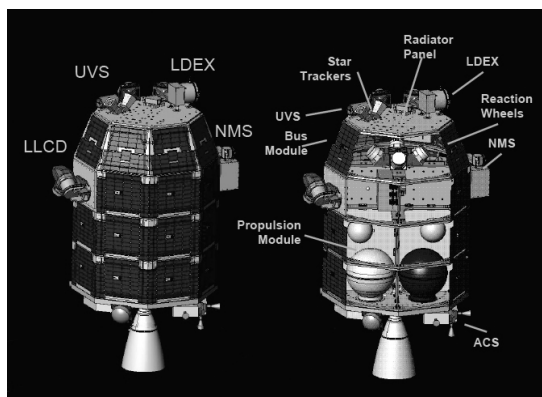


図 2 LADEE に搭載された観測機器

2.3 LIME プロジェクト WG

LIME プロジェクトの提案者・黒柳はプラズマ物理学の研究学生で、月面衝突発光現象の研究状況や観測条件等に関する知識を持っていませんでした。また、LIME プロジェクトに参画することを表明した日本の天文アマチュアたちも LADEE が何者かもわかりませんでした。そこで、興味関心を持つ仲間を少しずつ増やしながら仕事の合間をぬってのミーティングを行い、ワーキンググループを発足させました。こうして、徐々に LADEE、閃光観測、NASA 推奨の観測条件について勉強し、日本での観測条件や解析方法、報告方

法を検討しました。また、InOMN [4] との連携が NASA からのプランで示されておりましたので、一般の人にも月に親しんでもらう企画を検討し、月を楽しむ企画として、国際お月見ナイトの連携を組み込み、動き始めました。そして、2013 年晩春より一層の情報共有と情報発信を図るため各々の立場でいくつかのホームページ (図 3) や掲示板を設置し、日本版推奨機材・観測条件設定のためのプレ観測を開始し 11 月中旬からの本観測期間に向けて準備を進めています。

観測計画の日時は、初期予定でも幅があったのですが、幾分変動しています。これは、LADEE に微小な不具合が途中で起きたこと、打ち上げ直後の米国議会紛糾による米国政府機関閉鎖が影響していると思われます。



図 3 MOON.J(LIME プロジェクト詳細案内版)
<http://moonjapan.wordpress.com/>

3. LIME プロジェクト

3.1 月面発光・閃光観測

LIME プロジェクトでは、一定レベルでのデータ取得のため、科学の手法にのっとり一定の観測条件下での観測とデータ処理が求められています。しかし、この LADEE のための高度観測のほか、多くの人に月観察に参画してもらうための月観察プログラムも実施し、高校生や中学生、一定規格の機材を持っていない方の参加も募集しています。

【観測条件】 月に微小天体が衝突した時の

発光を捕える上で、まず大事なことは月齢になります。当然ですが、満月前後の月面の明るい状態では、発光を見ることは困難です。月面が 10~55% 見えている時を NASA は推奨しています。55% 以上では明るすぎ、10% 以下では高度も低く、正確なデータも取り難いようです。従って、月齢 3-8, 22-27 の辺りでの観測が望まれます。月齢 3-8 は日入後、22-27 は日出前になります (表 1)。

表 1 LADEE 本格観測期間中の観測好機

	観測好機	月齢	時刻	LIME DAY
1	11/6-11/10	3.0-7.0	夕方	11/9,10
2	11/26-12/1	23.0-28.0	明け方	
3	12/5-12/9	2.5-6.5	夕方	12/7,8
4	12/25-12/30	22.5-27.5	明け方	
5	1/3-1/7	1.7-6.7	夕方	1/4,5
6	1/24-1/29	22.7-27.7	明け方	1/25,26
7	2/2-2/6	2.2-6.2	夕方	
8	2/11-2/27	22.2-27.2	明け方	

LIME プロジェクトでは、観測に最適な土日を選び、全国一斉に観測を呼びかけると同時に、月を見て楽しもうという「LIME DAY」を設けています (表 2)。

表 2 LIME DAY — 全国一斉に月を見よう —

月日	月齢	観測推奨時刻
2013 年 11 月 9 日(土)	6.0	19:00-21:00
2013 年 11 月 10 日(日)	7.0	19:00-22:00
2013 年 12 月 7 日(土)	4.5	18:00-20:00
2013 年 12 月 8 日(日)	5.5	19:00-21:00
2014 年 1 月 4 日(土)	2.9	18:00-19:00
2014 年 1 月 5 日(土)	3.9	18:00-20:00
2014 年 1 月 25 日(土)	23.3	02:00-05:00
2014 年 1 月 26 日(日)	24.3	03:00-05:00

尚、LIME プロジェクトのウェブサイトには、LIME や天体観測向けの月齢カレンダーも掲載されています。一回限りの参加でも歓迎です。本格的観測でなく、お気軽観測や撮影も良いでしょう。参加される場合、LIME プロジェクトに登録をしていただくと、情報

交換や観測ノウハウを共有できます。

問合せ参加連絡先 ladee2013@gmail.com

(1) 高度な観測

実際の観測方法をご紹介します。ここでは NASA 推奨のスペックを基準に、日本で用いられている機材での例や観測手順、観測報告、取りまとめについて、東亜天文学会 (OAA) の長谷部孝男氏 (図 4) と池村俊彦氏がまとめたものを簡単に紹介します。

【観測に必要な機材】

- ・天体望遠鏡(*1) (口径 20cm 以上推奨)
- ・架台 (自動追尾できるもの)
- ・高感度ビデオモジュール(*2)、又は動画撮影可能な高感度デジタル一眼レフカメラ等
- ・動画取り込みや処理のための PC
- ・時刻や観測位置を正確に確認できるもの。(GPS、タイムエンコーダー、シグナルエンコーダー、PC 時刻補正ソフト『さとくん』等)
- *1) 7~8 等級の 0.1 秒間の発光撮影可能な明るく、且つ広視野の光学系が理想的
- *2) WAT 100,120,902,VixenC0014-3M 等



↑ 接眼部
CCDカメラ



図 4 本格観測機材例

望遠鏡 : C11 D=280mm+自作レデューサー 合成
焦点距離 394mm F=1.41 改造 DFK21AU04 USB
2.0 Color Camera

【観測手順】

Step1 撮影

- ・機材をセットし月を導入し、月の欠けた部分の地球照が確認できる程度まで調整。
- ・可能な限り、撮影開始時にタイムスタンプが押されるようにする。(*3)
- *3) ファイル名の中に自動で時刻がスタンプされる仕組み。

Step2 編集

- ・撮影した動画を PC に取り込み、月面発光を検出する (図 5)。検出には NASA 提供の月面閃光検出ソフト 'Lunar Scan' [5] を利用する。Lunar Scan の日本語での大まかな使い方は MOON.J (LIME プロジェクト詳細案内版) [1] で公開している。
- ・閃光のあった部分を前後込みで切り取る。
- ・動画から発光部分とその前後のフレームを静止画像として取り出す。
- ・発光部分の動画は保存しておく。
- ・できれば発光部分を一枚の静止画に編集する。できなければ、バラのままで良い。

Step3 報告

- ・発光部分の前後のフレームも含め、静止画像で LIME プロジェクト報告サイトに報告する。報告方法詳細は東亜天文学会 (OAA) の報告サイトに明記されている。

報告先 <http://zetta.jpn.ph/OAA/>

この中の 掲示板 > 15.LIME > 観測報告。

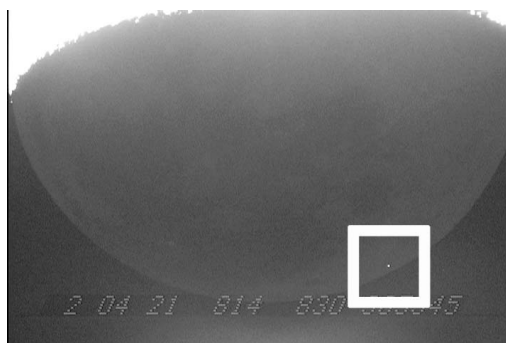


図 5 報告例 : 四角内が閃光 2008/3/13

02:04:21UT.NASA Meteor Environment Office 撮影

・同時同地点での閃光観測が報告された場合、NASA Meteoroid Environment Office (NMEO)に LIME-WG から報告する。観測者の直接報告も可能である。

(2) よりハードルの低い観測

前述のような機材が無くとも、月面発光観測は可能です。例えば口径 10cm 程度の屈折望遠鏡でも、地球照を動画で撮影できるレベルの機材であれば、明るい閃光を捕える事は決して難しくはありません。実際、図 6 に利用した機材でも 9 等台の恒星まで確認できており、閃光観測は十分可能です。また、一眼レフデジカメの動画機能を利用すれば、長焦点の機材でも広視野が確保できます。更に、古い機材やアナログビデオカメラでも、閃光観測には使えます。NASA 推奨タイプのワテック社の白黒カメラモジュール「120N」などは、黄色のアナログビデオ端子で映像出力なので、アナログビデオカメラやビデオデッキで録画すれば、撮影中放置もしやすく、撮影後スロー再生で確認するというのも一つの手です。

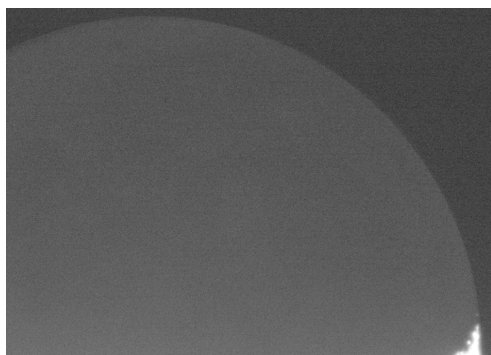


図 6 Pentax105 D=105mm + reducer F:4.82
f1=504mm DMK21AU618 60fps exposure:1/30sec

手持ちの機材を組み合わせ工夫して、是非観測にチャレンジしてみましょう。その一例として武島祐季氏（帝京大学天文部 OB）の Vixen のカラービデオモジュールを使った例が週刊アスキー[6]と関連情報サイト「週刊ア

スキープラス」で取り上げられています[7]。また、これら機材での観測例、OAA の今谷拓郎氏がまとめて下さった京都ミーティングで話し合われた観測と解析のためのノウハウメモや情報は、MOON.J (LIME プロジェクト) のサイトで入手可能です。

NASA および連携機関が捉えた月面衝突発光現象は 7 年間で約 300 個で、決して多いとはいえません。一つでも多くの現象を捉えるためには、多くの観測者と観測時間が必要なため、NASA 推奨の機材および観測基準に満たない観測記録でも、現象を捉えたものについては検証に利用するとともに、NASA 報告の対象とすることを WG では検討しています。望遠鏡 2 本でそれぞれ離れた位置で現象を観測し捉えることができれば、捉えたものがノイズかどうかの確認をすることができます。また、月面での発光現象なのか流星や人工衛星などによるものなのかを確認することができます。そのため、推奨される機材で捉えた現象であるかどうかにかかわらず、2 点以上で観測された現象かどうかであることが、時として求められるためです。

(3) 別角度からの観測参画！検出役募集中

機材を全く持ち合わせていないけれど、観測に協力しても良いという方は、他の形で参画も可能です。それは閃光検出の担当です。撮影された映像から閃光を検出するソフトが、なかなかくせもので、上手く働いてくれない時もあるようですし、ソフトで検出されたけれど、ノイズかもしれないという時には、人の眼での確認が必要になります。この検出役をして下さる方、あるいはグループを募集しております。数分に小分けしたファイルを、みんなで分け合い、みんなでチェック。これも一つの楽しみ方と思ひましょう。

3.2 月を楽しむ企画

LIME プロジェクトでは、月を本格的に観

察するプログラムのほかに、月を見たり写真を撮って『月を楽しむ』企画も展開しています。月を撮ったら是非、『LIME 月を見よう！撮ろう！描こう！掲示板』[8]にご投稿下さい。月のある風景も歓迎です。過去のものでも構いません、月のイラストや絵画もスキャンして、是非ご投稿下さい。JAAA2014 で皆様の『月』をお待ちしています。

また、LIME プロジェクトを「オタク的に楽しむ企画」として、探査機を擬人化し LADEE ちゃんというアイドルを育成する非公式盛り上げ企画も行っています(図7)。打ち上げ当日、東京の飛不動尊で飛行安泰と月探査成就のお願いをする「いきなり神頼み企画」を行うなど LADEE の応援をしています(図8)。前項(3)の検出支援参画者の募集も非公式応援プロジェクトサイト「みんなでいっしょに月面(の欠けてるとこ)探査!望遠鏡がなくても大丈夫!オブザーバーさん募集中」のページで受け付けています[9]。

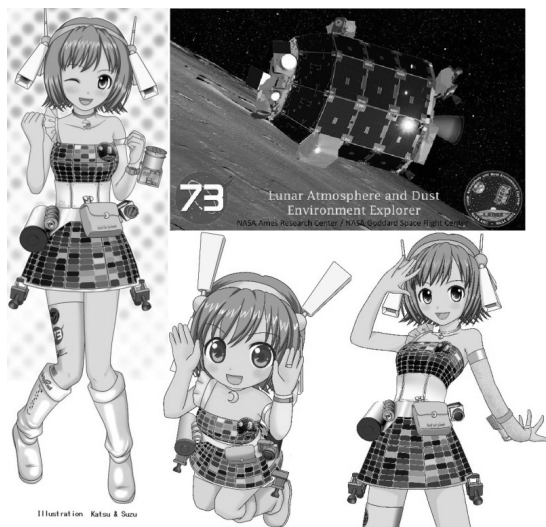


図7 探査機 LADEE と擬人化アイドル LIME M@STER ラディー・オービター(イラストレーション Katsu & Suzu、プロデュース 友田哲)



図8 LADEE の飛行安泰・月探査成就祈願

4. LIME プロジェクトの意義

LIME プロジェクトの実施にあたって、これまで木星や月の閃光観測を行ってきた研究者・天文アマチュアなどの高度観測者からは、観測機材の問題、観測期間の短さ、検出の難易度と検出率の問題などから、多く助言が寄せられました。そこで、LIME プロジェクトは観測隊をいくつかのレベルにわけて実施・募集することにしました。それが、3.節に書いた各プランです。閃光観測はじめ流星観測、月惑星観測などを行ってきている天文ファンや研究者・学生と、「見ること」や「撮影すること」を中心に行ってきた天文ファンや学生では、観測技術にも差があります。しかしその差にとらわれず機会を生かすこと、参加したい、面白そうという思いを大切にすることを、NASA への報告による月開発・宇宙開発支援とともに、LIME プロジェクトではしたいと考えています。

1 人でも多くの人と月を見たいと思います。皆様の参加、心よりお待ちしております。

文 献

- [1] NASA ホームページ内「LIME プロジェクト募集要項(日本語)」
<http://lunarscience.nasa.gov/citizen-science/impact/ja/>
- [2] 藤由嘉昭「天文教育」2013 年 5 月号,p.37,

投稿「LIME プロジェクト」

[3] LUNAR LASER COMMUNICATION
DEMONSTRATION (LLCD) 公式サイト
<http://esc.gsfc.nasa.gov/267/271.html>

[4] International Observe the Moon
Night(InOMN)のホームページ (英語)
<http://observethemoonnight.org/>

日本語説明支援サイトは国際お月見ナイト
(InOMN ; International Otsuki-Mi Night)
として情報発信中。

<https://sites.google.com/site/inomn-japan/>

[5] Lunar Scan Detection Software v1.5
LUNAR SCAN の圧縮ファイル無料ダウン
ロード先 (NASA サイト内)。

<http://www.gvarros.com/lunarscan15.zip>

[6] 秋山文野(2013)「週刊アスキー」2013 11/5
号,p.48,「2013 年 宇宙の旅 月探査機
LADEE といっしょに月を眺めよう」

[7] 週刊アスキー+ (プラス) ホームページ
「月探査機 LADEE といっしょに月を眺め
る MOON.J プロジェクトって？」

<http://weekly.ascii.jp/ele/000/000/178/178286/>

[8] 『LIME 月を見よう！撮ろう！描こう！

掲示板』

<http://6249.teacup.com/limemoon/bbs>

[9] LIME プロジェクト応援企画 (非公式)
The LIME M@STER のホームページ
<http://ladee.web.fc2.com/>



LIME プロジェクト WG メインメンバー

左から武島祐季, 藤由嘉昭, 茶木恵子, 友田 哲,
黒柳貴子, 菅野さちこ, 友田和美。撮影: 米田 晃

LIME プロジェクト詳細案内サイト

<http://moonjapan.wordpress.com/>

編集部 註

「月には空気がない」と教わってきた編集子には、記事の中に「LADEE は月の薄い大気や塵を調べる」と書いてあることに、少々、衝撃を受けました。Wikipedia の「月の大気」(<http://ja.wikipedia.org/wiki/月の大気>)を見ると、月の大気は、アルゴンやヘリウムなどからなり、原子の数にして 1cm^3 あたり約 80000 個であると書いてあります。結構多そうなきもしますが、地球大気の 10^{-14} 倍 (1000 万分の 1 の、更に 1000 万分の 1) に過ぎないので、やはりほとんど真空ですね。月の大気はこのように非常に薄いため、流星が一つ月に落ちて、月の大気の組成や密度、塵の量などに、変動が生じるのかもしれませんが。このため、LADEE の探査中は、月面の流星の観測が重要であると考えられます。「身近な天体」と言われる月ですが、まだまだ謎が多そうです。

なお、LADEE の探査については、

http://www.nasa.gov/mission_pages/ladee/main/

(LADEE のメインページ)

<http://www.spaceref.com/news/viewsr.html?pid=27450>

(SpaceRef 社提供のページ)

なども参考になります。