

かくや(SELENE)レポート

～「かくや」の打ち上げから最初のデータ取得を振り返って～

春山 純一¹

1. はじめに

「かくや」は現在、順調に月周回観測を行い、続々と成果をもたらしています。それらは、これまでの学会、研究会等で発表・議論されてきています。また、いくつかの広報記事や画像もプロジェクトのホームページ [1]や画像ギャラリー [2]にて公開中です。(次号以降本誌上で、各機器の成果などがレポートされる予定ですので、是非楽しみにお待ちください。)

今回のレポートでは、少し古くなりますが、打ち上げ、月軌道への投入、そして、私の関わる観測機器の最初のデータ取得、いくつかのタイミングで私が自分の観測機器チーム等仲間に出したメールを紹介させていただきます。

月探査「かくや」(SELENE)が、宇宙科学研究所のワーキンググループからの探査提案として立ち上げに至ったのは1996年で、それ以来、ここまで10年以上を費やしてきました。やっとここまで来ました。月惑星探査の醍醐味は、そんな長い年月を、仲間と協力しあい、一人では成し遂げられないようなことを成し遂げられる、ということであり、それを実感できた10年でもあったかと思います。打ち上げ直後のメールを今見返すと、そんな自分の気持ちがよくわかります。細かな言葉の解説は敢えてしません。内容も不正確なところがあるかもしれませんが、しかし、あまり修正せずそのとき書いた勢いを優先させていただきます。ただ、理解のため少しだけ説明しておきますと、PIとはPrincipal Investigator (主責任研究者)のことで、科学要求の設定、機器の仕様設定、開発、地上処理系の開発、解析研究、と全てのことに責任を持ちます。私に関わるのは、LISM(Lunar Imager/SpectroMeter:



図1: 2007年9月14日10時31分、「かくや」を載せて打ち上がるH2-A 13号機。直前まで打ち上げは、13日で「13が続く」とちょっと嫌な気分がしていたが、一日延期され、翌日仕切り直しの結果、轟音とともに月へと向かった。(画像: JAXAホームページ フォトアーカイブPhoto No. P-001-14435)

月面撮像/分光機器)です。10m立体視撮像カメラであるTC(Terrain Camera:地形カメラ)、可視-近赤外9バンド分光撮像カメラであるMI(Multi-band Imager:マルチバンドイメージャ)、可視-近赤外連続分光観測機であるSP(Spectral Profiler:スペクトルプロファイラ)で、TC、MI、SPのそれぞれのPIは、春山、大竹真紀子さん(JAXA)、松永恒雄さん(国立環境研)です。(詳細は「かくや」ホームページをご覧ください[1])。

1. 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部

2. 9月14日：打ち上げ成功

「LISM, 関係メーカ各位

皆様には既にご存知のことかと思いますが、「かぐや」SELENEは、本日10時31分予定通り打ち上げられその後ロケットより正常に分離され、打上げは成功いたしました。これから、月へはまだまだ苦難の道のりが続くかと思いますが、とりあえず、「かぐや」SELENEは、第一歩を踏み出しました。これからもうろしくお願いいたします。」(同日17時31分)

朝方の小雨も止んで、「かぐや」は無事打ち上がりました(図1)。しかしながら、私のメールは殆ど、内容の無いコメントですね。それまでにも打上げは成功したものの、衛星にトラブルなどが生じることも多々あり、浮かれたコメントなどできない状況です。しかし、第一難関を突破したことは確かです。

「「かぐや」SELENE打上げ成功です。

岡田君の解説よかったですね。結構、「かわいい」という評判でした。岡田君の奥さんに、最初会ったときに酔った勢いで「彼のどこに惚れたの?」と失礼なことを聞いたら、「彼の笑顔」と答えていたのを改めて思い出しますね。(そういう彼も今子育て真っ最中)

さて、会津大学では400人もの人たちを集めたそうで、さすが、です。宇宙研でも職員・学生さんたちが大勢集まり成功を見守りました。打上げを大勢の人と見るこのはらはら感、ときどき感、そして打上げ後のホッとの一息、こみ上げるうれしさは、衛星プロジェクトの醍醐味ですね。

多くの人から祝辞をもらいましたが、ずっと昔に仕事をした人からのお祝いのメールを、先ほどもらったときなんか、わけなく、泣けてきました。とにかく長かったですけど、これからです。

宇宙研には、小学校を休ませて見学に来られた方がおられたそうです。勝手な事を言えば、打上げを実際に、大勢の人とみて、なんだかよく分からないけれど、成功と一緒に喜ぶ、という体験は、小学校の一時間や二時間の授業などより、ずっといい経験になったのではないかな、と思います。一方で、こうしたプロジェクトにかかる一般の方々の期待に、あらためて身が引き締まる思いです。渡部(潤一)さんの至言「広報で最も重要なのは、メディアや役人にどうするかというが、

そうではない。家族や身近な人に、自分がやっていることを日々、語ることだ」を思い出しました。しかし、家族に、となると... うーん、それがなかなかできてない... 反省。「(中村)良介! (佐々木)晶さん! 自分ばっか、打上げ見に行っていないで、奥さんや、子供たちをちゃんと相手したら?!」とはいえないですねえ(笑)。では!」(同日21時45分)

打上げ成功が、ニュースで流れました。そのせいか、続々と知り合いからお祝いのメールをもらいました。みなさんの心からの素直な祝意を感じました。さて、そのこともあり、少し弁が軽やかになっていますね。メンバーの一人は小学校を休ませてまでして子供を連れて種子島に行って打ちあげを見ました。お子さんが興奮している様子をビデオでみました。横で打上げ成功に喜ぶ大竹さんが泣いていました。

3. 10月4日：月軌道投入

「昨日、「かぐや」は月軌道への投入に成功しました。メインエンジンによる逆噴射がうまくいったことを意味します。実のところ、衛星の開発の終わりにもなって、もし、エンジンの逆噴射がうまくいかなかったらどうするんだ?との指摘を受けて、急遽、リスクを減らすために、月への道のりを数日から一ヶ月に代えたという経緯などもあります。月軌道への投入は、非常に難しいところであり、関係者はホッとしたところだったかと思います。打上げと、月軌道投入は、非常に重要なイベントで、これらを乗り切ったことは、大きな前進です。

朝からドキドキしていましたが、どうやらうまくいったという報告を受けホッとし、さらに、運用関係者が落ち着いた頃を見計らって運用室に行きました。メーカの担当の方々やJAXAの衛星管制の方々は、疲労の中にも安堵の色が見受けられました。私の顔をみて、「なんとかここまできましたよっ!」とか、「もう少しで、観測機器ですね」、とか、言うていただきました。

10年来の友人もいました。(多くは、まだ皆独身の頃の遊び仲間だった人たちです。今や白髪も少しある、おっちゃんになっていたりしますが...)ともかく、感謝の気持ちで、握手をさせていただきました。しかし、さすが皆プロです。そのあと、皆さん、まだまだ、これからもある、という顔になり、持ち場へと戻られて

いきました。

観測機器は、段々プレッシャーは大きくなります。そして、運用コマンド作成、テレメトリチェック、地上系処理、校正、そして、何にもまして、解析研究、どれも準備は、まだまだ、衛星関係者の努力に応えるべく、協力して、がんばっていきましょう。

LISMのファーストライトは(ファーストダークかもしれないが)、11月3日です。」(10月5日22時45分)

月軌道投入の成功は、打ち上げに続く衛星システムにとっての最大の難関でした。これが成功したことは、日本の月惑星探査にとっての大いなる前進でした。この運用では、私が旧宇宙開発事業団にいたときの遊び仲間達も、今や中心的な運用などの地位で活躍していました。彼らと一緒に仕事ができる、そんな喜びも感じました。ただそれはそれとして、観測機器はまだです。これからです。いよいよ自分たちの番です。だんだん緊張も高まってきました。

4. 11月3日：LISMファーストライト

「まずは無粋なコメントですが、SELENE/LISMに関わる情報については、昨今の情報管理に対する認識の高まりから非常に厳しい管理を求められています。今後、PIsから適宜情報を流していきますが、よろしくご協力ください。

さて、11月3日(JST)早朝、LISMの最初の月面撮像が行われ、3機器ともに良好な機能を確認するとともに、すばらしい画像、スペクトルを得ることに成功しました。皆様にこの場を借りてご報告いたすとともに、ともに成功を祝いたいと思います！

一ヶ月かけて放射線帯を抜けて月にたどり着いた「かぐや」SELENEは、順調に軌道を100kmへと下げるとともに、各種イベントをこなし、ついに昨日11月3日早朝、LISMの撮像をむかえました。私は、数日前から、どういう画像だろう？放射線で欠陥素子はできてないだろうか、露光モードの計算はあっているだろうか？TCなどのような浅い焦点深度ではピンぼけがすごいのではないだろうか、SPの回折格子は熱的劣化などしていないだろうか、レスポンスは変わっていないだろうかなど、この10年の開発の困難だったところが思い起こされ、期待より不安が高まってきましたが、幸か不幸か、そんなことを考えている暇のない

いほど、運用に関連しての準備課題が次から次へと発生し、各所から、あれはどうなっている？これはどうするんだ？早く××を準備してくれ、万が一のために××の対応を考えておくように... と、そんな悠長な不安と感慨にふけっている暇などない状態に陥っていました。

LISMの最初の撮像は3日午前2時(以下JST)すぎ、最初のチェックアウトなどで時間がおし、TCによる最初の日照撮像をしそこねました(オプションでしたが)。しかし、がっかりしている暇なく、TC、MI、SPと機能試験を兼ねた撮像がおこなわれます。最初のTAKE(撮像)は、極を通過して日陰に入ってしまう。TAKEコマンドが打たれ、そしてカウントアップが認められたとき、おもわず、「カウントアップしました」と、叫んでしまいました。その後、MI、SPと次々にTAKEによるカウントアップを認め、PIsの顔にまずは安堵の感がひろがります。しかし、一方で、コマンド打ちの時間が想定よりどんどんおし、さらに、思わぬところで問題が出て、その対処にあたふたするなど、最初のTC日照域撮像ができるか、などという悠長な状況から一変、全体のチェックアウト計画を途中で変更せざるを得ない状況か？などという事態になってきました。しかし、本田君によるFD(フライトディレクタ)である宇宙研岡田君への冷静な指示もあり、SP、TCによる初日照観測を含む最初の周回軌道の表側の運用を、なんとか予定通り終了しました。

データはおりてきて、各機器確認。開くと... きちんと暗時でした。

LISMは、特に素子に欠陥もない状態で我々に、10年以上かけて開発された成果を見せてくれました。実はこれがファーストライト... というよりファーストダークでした。暗時のレベルも打ち上げ前想定通り、まずはクリアです。ただ、「これで明るいところもだいじょうぶだね？」というものを知らない人の言葉に、大竹さんが「これではまだ、ちゃんととれているかはわからないです」と、冷静に一釘打っていたのに、私も大きくうなずいてしまいました。まだ、露光やピントのことはわからないのです。

そして、明時のデータです。明時はTCが先でした。TCのデータが、横田君らに準備され、私に画像を開く最初のクリックをする栄誉、というか大任が与えられました。そして、クリック。ぱっと出てきたのは、

美しく鮮明な月の詳細な画像でした！おお というどよめきに私もうれしさと安堵でいっぱいの気持ちでした。レベルはきっと暗いだろうから、とレベル補正のつもりでいた私は、ちょっと焦ってしまいました。

SPは松永さんがチェック、いつもの冷静さが崩れ、自分でもインタビューで「まいあがっている」と答えるほど喜びにあふれていました。しかし、完全に喜べません。MIが残っているからです。大竹さんもTC、SPと成功した中、期待とともに、不安もたかまっていたかと思います。そして、計画上一時間ほど後の撮像となったMIのファーストライト。

まずは確実な(?)VIS750(可視域750nmバンド画像)です。大竹さんがクリックすると、そこに現れたMIの画像も、非常に美しいものでした。スミアもまったくといっていいほど見えません。心配された露光の低さも杞憂でした。詳細な画像ということではTCにひけをとらないすばらしさです。そして、MI-NIR、NIR(近赤外バンド画像)は、クレメンタインでS/N(信号ノイズ比)に問題を起こした鬼門。そんな心配しているのは私だけか、大竹さんは、ひょいとクリック。そして、出てきたのは月の画像でした。月です。クレメンタインのNIRは、なんだかかわからないピンぼけ画像でしたが、くっきりと月面が見え、TCやVISともそう見劣りしないものでした(多少、暗時オフセットによるグラデーションがありますが、補正が可能ですから気になりません)。とにかく3機器、ファーストライトに成功をみとめ、3機器PIs手に手をとって喜びありました。[3]

ここまでたどり着いたのは本当にすごいです。衛星探査は、取り返しがつきません。ちょっとまずかったといって直すことがほとんどできません。どこのどれひとつをミスっても致命的になることも多いです。そして、観測機器だけではありません。衛星開発、打ち上げ、軌道計画、とやはりどれも、それぞれの担当をこなして、はじめて、この画像だったのです。関係各位に謝意と敬意の念をお伝えしたいです。)同日(11月4日11時19分)(この後、仲間への感謝を表させてもらっていますが割愛させていただきます)。

実際にはこのデータが撮れたあと、致命的ではないのですが、問題に見舞われ、その対応に追われました。運用室に入れない仲間には、大竹さんと松永さんが対応されましたが、私は、他の数人と奔走していました。

無事事なきを得て、やっと落ち着いた翌日、このメールを出すことができました。

「かぐや」には、我々のカメラ以外にモニタカメラ、NHKのHDTVカメラが積まれています。それらに対して、LISMは「科学観測に耐える、より高精度なカメラ」を謳っています。しかし、実際にはデータがどうなるのか。素晴らしいはずだと、紙の上でのスペック(性能)ではわかっているはずなのですが、いざとれてみるまで、緊張も高かった、というところが正直なところでした。そのあたりは、宇宙研のメルマガ(2007年11月20日号)に書かせてもらっています[4]。ともかくもデータが撮れました。それも素晴らしいデータでした。このプロジェクトに参加した多くの完璧な作業の結晶だと感じました。撮れた画像については、すぐさま処理され、また場所の特定や3次元画像、比演算画像作成、解説検討などが行われ、2007年11月16日にプレスリリースされました。(図2)

5. その後とこれから

最初のデータはとれたものの、その後が大変です。機器の運用は、カメラのデータはデータ量が多いだけに、事細かにモードを変えたりして行うため気を抜けません。宇宙研研究員の諸田さんが毎週首っ引きでコマンド作成に当たってくれています。一方、地上処理もしなければなりません。広報レベルならともかく、科学的な解析に耐えるようにするには、多くのことがあります。圧縮されてきたデータを解く作業、ラベルを付ける作業、さらに、正しい値付けをする作業、何年もかけて準備してきたつもりでしたが、いざデータが撮れてみると、インターフェース(他のシステムとの取り決め)が違っていたり、得体の知れないバグが発生したり...で混乱を極めました(極めています?)...

そして、やっと最近なんとか全量の処理の目処が立ちはじめました。これまでの(外国を含めた)探査のグループはこんな大変なことをしてきたのか、と思うことしばしばです。アメリカなどでは、わずか数ヶ月でデータを公開するところまで来ていますが、それには、準備の周到さもさることながら、経験というものが大事だと痛切に感じる今日この頃です。ともかく、やっと大量に解析をできる準備が整いつつあります。

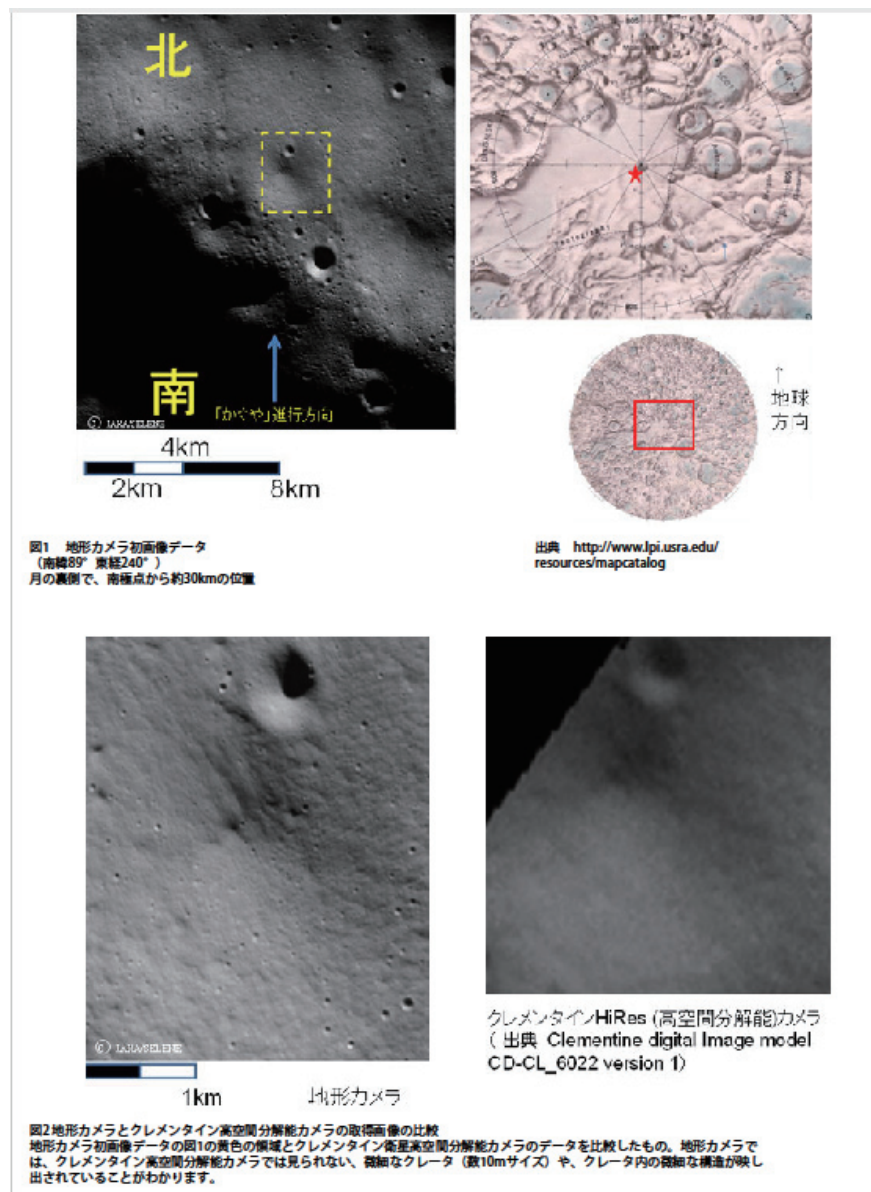


図2： プレスリリースされたLISM／地形カメラの画像。実際には11月3日撮像のもので、その処理はすぐに行われたが、プレスリリースされたのは11月16日。これだけのプレスリリースを作るのにも、多くの人から助言をいただくとともに、繰り返し繰り返し意見交換を重ねてやっと目の目になることになる。（画像：JAXAホームページ 2007年11月16日プレスリリースより）

月探査「かぐや」に掛けてきた10年以上ですが、こんな素晴らしい経験はそうそうできないことがないかと実感しています。観測機器チームの仲間達(特に大竹さんや松永さん)と、土日はおろか、年末年始とゴールデンウィークと試験に明け暮れました。時にはケンケンがぐがくと議論口論してきました。或いは、かつて

の昼休みの野球仲間やテニス仲間に協力してもらって難問の解決策を一緒に考えてもらったりしました。そうやってとにかくにも前に進んできました。そして今、21世紀の月科学の基礎データとなる重要な科学データを得つつあります。人類で初めて目にしているものもあります。こうした体験とデータ、そして共に

歩んできた仲間達は、私の宝かと思っています。

さて、データが、とにかく撮れた、という余韻に浸っていたのは遠い過去です。「かぐや」の各観測機器は、探査を趣味にしている人が、なんか一生懸命、一緒にやったな、という個人の満足感を得るためだけに作られた機器ではありません。データから、月惑星科学の発展に大いに貢献できる解析研究結果を出すために開発されたものです。各機器のメンバーは開発だけを担う開発屋ではありません。各観測機器チームの本領が発揮されるのは、これから続く解析研究の分野です。元宇宙研の水谷先生からは、「10年間分の論文を書くように」と叱咤激励されています。我々 LISM チームでは、メンバーにより解析ツールも整いつつあります。この稿を読んでくださった方、是非一緒に解析研究をしませんか。

LISM チームの宣伝にだけなって申し訳ありませんが、以下に、LISM のサイエンスコアメンバーが所属する大学・研究機関をお知らせしておきます(各機関一名のみを代表として記載させてもらっています。機関によっては、複数の方がおられるところもあります)。興味がおありの方は、自分の大学や近隣の大学・研究機関の研究者の方々に是非コンタクトをとってみてください。特に若く、野望にあふれる学生の方々の参加をお待ちしています。

秋田大学	秋山 演亮
会津大学	浅田 智朗
東京大学	宮本 英昭
大阪大学	佐伯 和人
大阪市立大学	南 繁行
名古屋大学	山口 靖
京都大学	山路 敦
ブラウン大学	廣井 孝弘
国立環境研	松永 恒雄
JAXA	春山 純一
	(敬称略)
	以上

参考文献

[1] かぐや」ホームページ http://www.Selene.jaxa.jp/index_j.htm

[2] 「かぐや」画像ギャラリー http://wms.selene.jaxa.jp/index_j.html

[3] JAXA ビデオギャラリー http://jda.jaxa.jp/jda/v1_j.php
(ビデオNo: V-044-0083「遥かなる月へ「かぐや」の軌跡」)

[4] JISAS メールマガジン <http://www.Isas.jaxa.jp/j/mailmaga/index.Shtml>