

SELENEレポート

～月周回衛星かぐやの運用と解析～

山本 幸生¹

(要旨) 月周回衛星「かぐや (SELENE)」に搭載された観測機器の運用とデータ解析の概要について説明する。運用は計画立案と状態監視に大別されており、観測機器チームは与えられた条件を元に事前に観測計画を練り、想定通り動作しているか状態監視を行う。

複数の観測機器が個々に立案した計画のマージ作業や整合性チェックは衛星システムと呼ばれるチームが行い管理している。取得したデータは、JAXAが保有するアンテナから運用系のシステムと解析系のシステムへとそれぞれ伝送される。観測機器チームは解析系のシステムからデータを取得し各々解析を行い、最終的に公開系と呼ばれるL2DBシステムに登録し、公開の準備を進める。

1. はじめに

「The Moon Race」という言葉がある。これはアメリカとソ連が冷戦を繰り広げていたさなか、月探査を通じて各々の技術力の高さを誇示していた時代のことである。あれから30年以上経過し、日本を始めとして中国、インド、アメリカによって再び月探査ブームが繰り広げられている。

その中でも日本が打ち上げる「かぐや」はアポロミッション以後、最大の月探査ミッションとして位置付けられている。13ヶ月の運用期間を経て、「かぐや」が地球へと送信する科学データは生データで5テラバイトを超える。この大容量データを得るために必要な運用や地上系のシステムについて説明する。

2. 観測機器運用

衛星を運用する場合には、衛星全体を管理する「衛星システム」と呼ばれるチームが組織される。このチームは衛星をよく理解し、一方で観測機器のことも幅

広く理解した上で、常に観測機器がより良い状態で観測できるように意識して行動している。衛星が死んだ場合には観測は一切できずプロジェクトとしては失敗である。一方衛星が生きていたところで観測データが全く取れていない状況では、プロジェクトは成功したとは言えない。そのため衛星システムと観測機器チームは常に連携して運用を行っていく必要がある。

衛星の運用は「計画立案」と「状態監視」の2つに大別される。観測機器チームが自分たちの欲しいデータを取るためには、衛星の軌道や太陽高度などを考慮した上で、観測機器を適切なタイミングで適切なモードに設定する必要がある。この作業を計画立案と呼ぶ。一方状態監視では、立案した通りに動作している事の確認を始め、不測の事態に陥っていないかどうかを確認し、必要であれば適切なモードに変更するなどの処置を行う。

観測機器に指令を送るためのデータを「コマンド」といい、観測機器から送られてくるデータを「テレメトリ」と呼んでいる。地上のアンテナから衛星が見えない場合にはコマンドを送信することができないため、通常衛星は指定時刻にコマンドを発行する「タイムライン」と呼ばれる機能を備えている。「かぐや」において「計画立案を行う」

1. 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部

表1：ミッションデータのデータ伝送量

データ種別	観測機器	コンポーネント / モード	最大データレート	備考
高速データ	LISM	TCステレオ視観測時	3.3Mbps	
		MI	3.4Mbps	
		SP	0.014Mbps	
	LRS	低速(常時観測)	176kbps	
		高速(波形伝送モード)	492kbps	
	HDTV	高速	7.97Mbps	
低速		100kbps		
低速データ	XRS	常時観測	32.768kbps	
	GAP	常時観測	24.756kbps	
	MAP	常時観測	49.152kbps	
	UPI	常時観測	49.152kbps	
	LALT	常時観測	N/A	HKとして出力

ということは「観測機器へのコマンドをタイムライン上に計画する」とこととほぼ同意である。

衛星の都合上観測できない期間の計画の禁止や、行っていない動作を誤って立案することを未然に防ぐために、観測機器チームは運用要求言語と呼ばれる衛星運用に特化した特別な言語を用いて運用計画を立案する。各観測機器から提出された運用計画を衛星システム側でまとめコンパイルすることによって、全体として矛盾のない計画を作り上げる。

テレメトリは観測機器が正常に動作しているかを確認するための「House Keepingテレメトリ (HK)」と観測機器の観測データである「ミッションデータ」に分類される。HKには観測機器の温度や電圧、観測機器の動作モードの他に、衛星の姿勢情報など、運用に必要な情報が含まれている。これらの情報はQuick Look (QL) と呼ばれるテレメトリを可視化して表示するソフトウェアを用いて確認を行う。「かぐや」の通常運用ではこのQLを用いて24時間体制で状態監視を行い、何か問題があった場合には、衛星システムから観測機器チームへと連絡する体制が整備されている。

3. ミッションデータ

ミッションデータの多くはLISMと呼ばれる地形カメラ (TC) やマルチバンドイメージャ (MI) の画像データである。次いでレーダサウンダ (LRS)、そし

てその他の観測機器データと続く (表1参照)。「かぐや」ではこれらの観測機器をデータ量の観点から「高速データ」と「低速データ」と分類している。NHK製作のハイビジョンカメラ (HDTV) も搭載されており高速データに分類されるが、常時観測は行わず、発生データ量としては他の観測機器へ大きく影響を与えない予定である。

観測機器がデータを取得する際に、常に日本のアンテナと衛星間で通信が取れるとは限らない。この期間を非可視と呼び、非可視期間中のデータについてはミッションデータレコーダ (MDR) と呼ばれる記録装置に記録される。アンテナと衛星の間の通信が確立されると、運用者によるMDRの再生操作を行い、非可視中の観測データが地上へと送信される。MDRの再生を行っている最中も観測機器は観測を行っているため、地上では非可視中のデータと可視中のデータが同時に受信されることになる。

低速データに分類される機器についてはデータ容量が少ないため、可視・非可視中の全てのデータがMDRに記録される。高速データに分類される機器についてはデータ容量が大きすぎるため、非可視中のみのデータをMDRに格納し、可視中のデータについてはMDRに格納しない。したがって可視中にトラブルで通信が途絶えた場合、観測中のデータについては失われることになり、別の観測機会をまって再度観測するなどの処置が必要となる。

4 アンテナ

これまで旧宇宙科学研究所 (ISAS) が行ってきた科学衛星では、ISASの保有する臼田局と内之浦局のアンテナを主戦力として用いてきた[1]. 「かぐや」は旧宇宙開発事業団 (NASDA) とISASの共同プロジェクトとして開始されているため、他の科学衛星と異なり、双方が所有するアンテナを始めから利用することを前提に地上システムが開発されている。コマンドの送信、HKの取得については全てのアンテナを利用することが可能であり、観測データの受信については臼田局と内之浦局のアンテナが利用可能である。その他、NASAのDSN局を利用してコマンドの送信、HKテレメトリを取得する事が可能となっている (表2参照)。

5. テレメトリ伝送方式

観測機器の運用ではリアルタイム性を要求されることが多々ある。データの伝送量が多すぎて速度的に間に合わない場合には、データを部分的に捨ててもよいので、常に最新のデータを表示したいという要求である。一方データ解析を行う場合には、取得する時間は多少かかっても構わないので、完全なデータセットを求めることが多い。これらの要求に答えるために、地上システムのデータ伝送方式として、リアルタイム伝

送とレートバッファ伝送の2つの方式がある。

テレメトリを可視化するソフトウェアをQuick Look (QL) と呼んでいるが、リアルタイム伝送とレートバッファ伝送を区別するために、リアルタイム伝送を利用して表示することをQL、レートバッファ伝送を利用して表示することをDelay Look (DL) と呼ぶこともある。

観測機器のデータを取得しようと考えた場合、「データ取得日はいつか」「対象観測機器は何か」「データレコーダーに入るか、入らないか」「利用するアンテナ局はどれか」「QLかDLか」「HKかミッションデータか」を指定する必要がある。これらはISASが開発したSDTPと呼ばれる専用プロトコルを利用して取得することができ、ソフトウェア開発用にC言語で記述されたライブラリが存在する。

6 解析系/公開系

これまでのISASが開発してきた科学衛星の場合、運用者と解析者は同一のことが多いため、上記のSDTPライブラリを利用してQLソフトウェアをまず開発し、そのソースコードを流用するなどして解析データの取得ソフトウェアの開発を行っていた。しかし「かぐや」では運用と解析は完全に切り離され、データ解析を行うものはSDTPライブラリを用いたソフトウェアを開発しなくとも、通常のメールを用いた解析系システムを利用することでデータを取得することが

表 2: かぐや使用地上局

所属	局名	表記	コマンド	HK	ミッションデータ
JAXA 相模原	臼田	UDSC	○	○	○
	内之浦	USC	○	○	○
JAXA 新GN局(国内)	沖縄	OKN	○	○	—
	増田	MSD	○	○	—
	勝浦	KTU	○	○	—
JAXA 新GN局(海外)	サンチャゴ	SNT	○	○	—
	マスパロマス	MSP	○	○	—
	パース	PRT	○	○	—
NASA DSN	マドリッド	MAD	○	○	—
	ゴールドストーン	GDS	○	○	—
	キャンベラ	CAN	○	○	—

可能となっている。

解析系は処理レベルに応じてL0/1システム, L2DBシステムと大別される。L0/1システムを利用することにより、観測機器が出力したフォーマットのまま観測データの取得が可能である。L0/1システムの内部ではSDTPを用いて運用系からデータを取得しており、ユーザに対してはメールアドレスでデータの検索や取得が可能なインターフェースを提供している。

L2DBシステムは観測機器チームが解析した結果得られた中間データや最終データを登録するためのシステムである。L0/1システムで取得したデータを観測機器チームが解析し、予め定められた形式でL2DBシステムに登録する。最終的に公開されるデータはL2DBに登録されたデータの一部であり、「かぐや」の公開データを利用したいと考える人はウェブサイトを通してダウンロードすることができる。

「かぐや」では「小惑星探査機はやぶさ」でも提供した「SPICEカーネル」を提供する[2]。「SPICEカーネル」はNASAが開発した衛星の位置情報や姿勢情報、さらには観測機器の視野などを統合管理するためのツールであり、これを利用することにより解析者は月面上のフットプリントや、太陽の方向などを正確に簡単に取り扱うことができる。

7. 将来に向けた準備

いよいよ打ち上げが間近となり緊張感が高まる中、着々と準備が進められている。観測機器チームは数年に渡る設計・開発・試験を乗り越え、ようやくここまで辿り着いた。打ち上げ後の運用も決して楽なものではないが、真っ先に取得したデータを解析できるという楽しみを胸に頑張っている。取得したデータを2年後に世界中に発信し、恒久的な人類の遺産として残すためにも、ミッション終了まで気を抜く事はできない。

謝 辞

本稿を書くに辺り、「かぐや」ミッションを支えてくれている関係者の皆様に感謝致します。

参考文献

- [1] 金尾美穂, 2003,遊星人 vol. 12,108.
- [2] NAIFホームページ
<http://naif.jpl.nasa.gov/naif/>