

# かぐや搭載スペクトルプロファイラデータ分析のための ウェブ地理情報システム「月光」

林 洋平 小川 佳子<sup>\*1</sup> 平田 成<sup>\*1</sup> 寺藺 淳也<sup>\*1</sup> 出村 裕英<sup>\*1</sup>  
松永 恒雄<sup>\*2</sup> 山本聡<sup>\*2</sup> 横田康弘<sup>\*2</sup> 大竹 真紀子<sup>\*3</sup> 大嶽 久志<sup>\*4</sup>

## Web GIS system "Gekko" for data analysis of Kaguya's Spectral Profiler

HAYASHI Yohei, OGAWA Yoshiko<sup>\*1</sup>, HIRATA Naru<sup>\*1</sup>, TERAZONO Junya<sup>\*1</sup>,  
DEMURA Hirohide<sup>\*1</sup>, MATSUNAGA Tsuneo<sup>\*2</sup>, YAMAMOTO Satoru<sup>\*2</sup>,  
YOKOTA Yasuhiro<sup>\*2</sup>, OHTAKE Makiko<sup>\*3</sup>, and OTAKE Hisashi<sup>\*4</sup>

### Abstract:

We developed a web GIS system "Gekko". This paper mainly describes a web GIS system for viewing the hyper-spectral data observed by Spectral Profiler (SP) onboard Kaguya, a Japanese lunar orbiter. Gekko means moon light in Japanese. Users can browse easily the observation points of SP on the lunar image, focusing on the interesting areas. Once an observation point is selected, then the spectral data are displayed in many graphs. The users can download the plotted SP data in the graphs, too. This system was developed by Hayashi and University of Aizu team. The SP data used in the system are provided by Japan Aerospace Exploration Agency and National Institute for Environmental Studies. Gekko will be extended beyond a viewing tool and develop into a new analysis tool which contributes to the science community.

**keywords:** Moon, Kaguya mission, GIS, Spectral Profiler, spectral data, user interface

### 概要

我々は月周回衛星「かぐや」に搭載されたスペクトルプロファイラ (SP) によって観測されたハイパースペクトルバンドのスペクトルデータを閲覧するためのウェブ GIS「月光」を開発した。「月光」では SP の観測点位置を月面の画像上にプロットして表示させている。任意の観測点を選択することにより、観測点の SP スペクトルデータを様々なグラフの形式で確認することができる。グラフで使用している数値データはダウンロードすることもできる。

このシステムは、主に林および会津大学のチームが開発した。システム内で使用している SP データは、宇宙航空研究開発機構および国立環境研究所のチームによってもたらされたデータを利用している。本システムは将来的には科学コミュニティのための分析ツールとして発展させていきたい。

### 1. 開発の背景

月周回衛星「かぐや」によってかつてない精度で観測データがもたらされた。かぐや搭載のスペクトルプロファイラ (SP) は可視から近赤外まで (0.5~2.6 $\mu$ m) の月面からの反射光を 296 バンドで連続的にとらえる分解能を有し<sup>1)2)</sup>、月面の全球を観測している。SP データを利用することによって、月面表層物質の情報が詳細に得られ、月の理解が飛躍的に進むと考えられる。しかしながら SP データ利用は容易ではない。

<sup>\*1</sup> 会津大学先端情報科学研究センター宇宙情報科学クラスター

(Aizu Research Cluster for Space Science, Research Center for Advanced Information Science and Technology, The University of Aizu)

<sup>\*2</sup> 国立環境研究所 (National Institute for Environmental Studies)

<sup>\*3</sup> 宇宙科学研究所 太陽系科学研究系 (Department of Solar System Sciences, ISAS)

<sup>\*4</sup> 月・惑星探査プログラムグループ (JAXA Space Exploration Center)

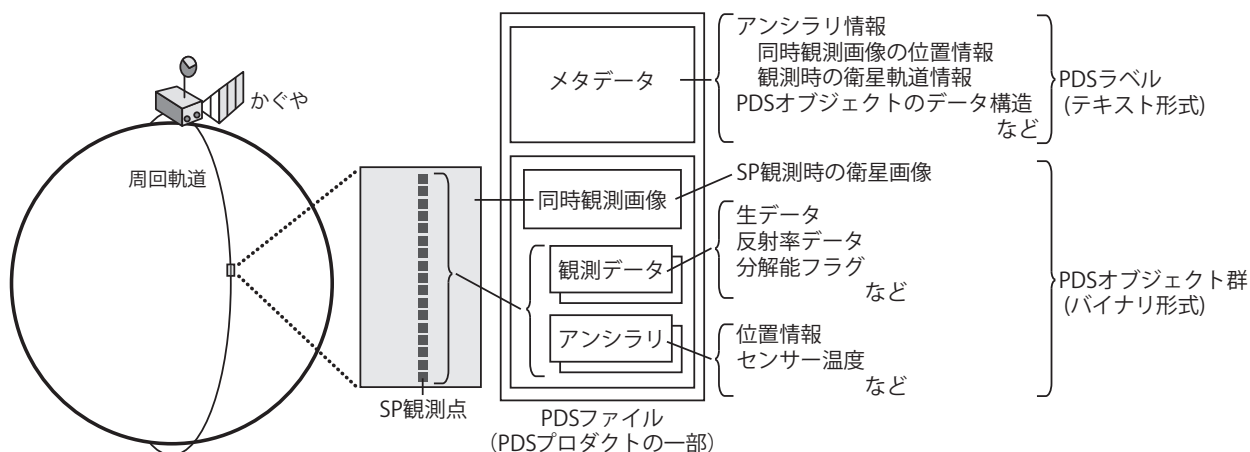


図 1 PDS ファイル (PDS プロダクトの一部) に格納された SP データおよび関連情報。

### 1.1 PDS プロダクト

かぐやによってもたらされた SP による観測データは惑星データシステム (PDS)<sup>3)</sup> のバージョン 3 (通称 PDS3 という) に準拠している。PDS3 では観測機器ごとのデータをプロダクトと呼び、プロダクトは 1 つのファイルの場合もあれば、複数のファイルで構成されることもある。プロダクトはメタデータ部である PDS ラベルとデータ部である PDS オブジェクトから構成されている<sup>4)</sup>。PDS ラベルはオブジェクト定義言語 (ODL) と呼ばれるテキストで記述され、また PDS オブジェクトは所定のフォーマットのデータを格納することができる。本稿ではプロダクトのことを PDS プロダクト、プロダクトを構成するファイルのことを PDS ファイルと呼ぶこととする。

SP における PDS プロダクトは複数の PDS ファイルから構成される。図 1 に示したように 1 つの PDS ファイル内には、1 つの PDS ラベルと複数の PDS オブジェクトが格納されている。メタデータである PDS ラベルには、SP 観測時における同時観測画像 (衛星画像) の位置情報や観測時の衛星軌道情報といったアンシリリ情報、PDS オブジェクトのデータ構造に関する情報が含まれている。同時観測画像および SP によって観測されたデータ、関連データは、それぞれ個別の PDS オブジェクトとして格納されている。これらの観測データには、生データ、反射率データおよび分解能フラグなど、関連データには位置情報やセンサー温度などのアンシリリ情報が含まれている。

### 1.2 データ構造面の利用性

PDS プロダクトはデータ構造が一意に定まらないため、アプリケーションは PDS プロダクトに完全に対応することができない。PDS プロダクト中の PDS オブジェクトを部分的に抽出するプログラムは開発されている。しかしながら SP の PDS プロダクトはデータ構造が特殊であるため既存のアプリケーションでの扱いが難しい。

SP は一回の観測で衛星軌道の直下の一点 (サイズは 500m × 500m) の反射スペクトルを得る。連続した観測による測線は、極軌道をとる衛星軌道に沿う形となり、東西に隣接する軌道の測線とは離れており、面的に広がっていない。これを補うため SP データの PDS では同時観測画像が含まれている。

かぐやの SP データは、単にスペクトル情報のみ抽出することにあまり意味がない。SP データを研究で利用するためには、スペクトルのみならず、観測点と同時観測画像、その他情報を合わせながら、個々のデータの構造を保ちつつ抽出する必要がある。抽出後はさらに、SP データのスペクトルをグラフで表示させたり、同時観測画像上に SP 観測点をプロットさせる必要もある。

PDS 対応を謳っている一般的なアプリケーションは SP データには対応しておらず、データ利用には SP の PDS プロダクトのデータ構造を熟知した上でのコーディングが必要になる。

### 1.3 PDS ファイルの探索面における利用性

ユーザは必要な SP データを探しだすため、かなり面倒で時間のかかる状況におかれている。SP データを利用するためには、ユーザにとって関心のある領域のデータが含まれる PDS ファイルを探す必要がある。

SP における PDS プロダクトは、探査機の一週回分、またはそれをさらにいくつかに分割した時系列単位で PDS ファイルとして分割されている。地理的に隣り合った周回軌道の SP データは別の PDS ファイルに格納されていることになる。このように、地理的な単位としてはまとまっていない。ある特定の地域の SP データが必要な場合、ユーザはその地域を観測した SP データを含む複数の PDS ファイルを探し出す必要がある。月に見られる直径 100km クラスのクレーターのよう広い地域の場合、対象となる PDS ファイルが数百～千程度になることもある。さらにこれらの PDS ファイルから観測条件が良くユーザが期待しているような SP データを含む PDS ファイルを探し出すことは容易ではない。

#### 1.4 既存の取り組み

これらの要因により、データ利用者の幅は狭められている。エンドユーザに限らず、かぐやミッション分光観測器関係者であってもデータを利用しにくい環境となっている。このような状況に対して、いくつかの先行的な取り組みが挙げられる。

寺蘭ら<sup>5)</sup>は月・惑星探査データの表示・解析を目指した「月・惑星データ協働解析システム (WISE-CAPS)」を開発した。このシステムはクライアント・サーバー型の GIS ウェブアプリケーションとして実装されている。SP データの観測点を地図上にプロットすることができ、個々の観測点のスペクトルをグラフで表示させることができる。ただしデータ閲覧に先立って、該当地域の観測点が含まれる PDS ファイルを用意し、これらの PDS ファイルを紐解いて、ウェブ経由で SP データを予め当システムへアップロードしておく必要がある。また SP データ特有のデータ構造は反映されていない。データの配信よりは、ネットワーク上での研究者間の研究促進に重点が置かれている。

三菱スペースソフトウェアは、かぐやミッションにおける SP データの PDS ファイルをプレビューするためのアプリケーション「LISM Data Viewer」<sup>6)</sup>を開発し配布している。このアプリケーションは Java で開発されており、ローカル環境で動作する。かぐやにおける SP の PDS ファイルを直接扱える。同時観測画像に SP データの観測点をプロットさせた画像を表示させることができ、SP データをグラフで表示させることができる。一方で、複数の PDS ファイルを同時に扱うことはできず、同一の画面上に複数の PDS ファイルにまたがる SP データの観測点をプロットすることはできない。また、関心領域の PDS ファイルのファイルは別途用意する必要がある。このアプリケーションはファイルのプレビューを主目的としており、この目的においては十分な機能を有している。

Hayashi Yuuki ら<sup>7)</sup>は SP データから鉱物情報を抽出し可視化するプログラムを開発している。このプログラムは IDL<sup>8)</sup>で開発されており、IDL がインストールされているローカル環境で動作する。SP データをプログラムから直接扱うことができ、同時観測画像に SP データの観測点をプロットし、スペクトル吸収帯の特徴量をマッピングすることができる。一方で LISM Data Viewer と同様、複数の PDS ファイルにまたいで同一地図上に SP データの観測点をプロットすることができず、PDS ファイルも別途用意する必要がある。このプログラムはかぐやの SP データから鉱物情報を自動抽出することを目的としている。

このようにいくつかの取り組みがあるものの、SP データの特殊性を考慮しつつ、全データを容易に利用できるようなシステムはない。

## 2. ウェブアプリケーション「月光」

林および会津大学のメンバーはかぐやによる SP データ閲覧に特化した月面ウェブ GIS「月光」を開発した。「月光」は、取り扱うデータが月面であり、光の情報を取り扱うことから命名した。英語名も「Gekko」と表記している。

「月光」はインターネットの環境および Firefox などのブラウザがあれば利用できるウェブアプリケーションである。利用にあたって特別なプラグインなどは必要なく、OS も選ばない。利用にあたってはユーザ登録、データ利用規約に従う必要はあるが無料で開放している。サーバは会津大学に設置しており、URL は次のとおりである。

[http://fructus.u-aizu.ac.jp/gekko\\_info/](http://fructus.u-aizu.ac.jp/gekko_info/)

システムの管理・運用は会津大学先端情報科学研究センター宇宙情報科学クラスターが行っている。

#### 2.1 システムの主な特徴

「月光」は上記に掲げた SP データへのアクセシビリティの問題を改善するために開発された。データ獲得後の SP データの解釈は個々のユーザに委ねている。「月光」を利用するためには近赤外分光のデータを読み解く能力が求められる。それ以外はデータに興味があれば容易に利用できることを設計思想に置いている。

「月光」には主に 3 つの特徴がある。第一に「月光」はユーザ主体の設計思想で構築されており、直感的に使いやすい。システム利用にあたって特別なアプリケーションの操作方法を学習しなくとも使用できる。より少ない操作でユーザが必要とする情報を閲覧できる。第二に、校正関係者からエンドユーザまでの幅広いユーザ層に対して、どのユーザであっても必要な情報が即座に得られる仕組みとなっている。ユーザは SP における PDS プロダクトの複雑なデータ構造を理解していなくとも、データ構造を保ちつつ SP データおよび関連情報を閲覧できる。第三に、快適なインタラクティブ環境を実現している。システムの最適化によりすべての処理のレスポンス時間を数秒以内におさめている。そのことによってユーザーにとってレスポンス待ちによるストレスのない快適な操作を実現している。

#### 2.2 PDS ファイルと「月光」

「月光」では、SP の PDS ファイルが持つ複雑なデータ構造を活かすようにデータを取り扱っている。「月光」の大きな特徴の一つでもある。SP の PDS ファイルが複雑な構造となっているのは、SP データだけでなく SP データを取り扱うときに必要な関連情報を 1 ファイルにまとめているためである。

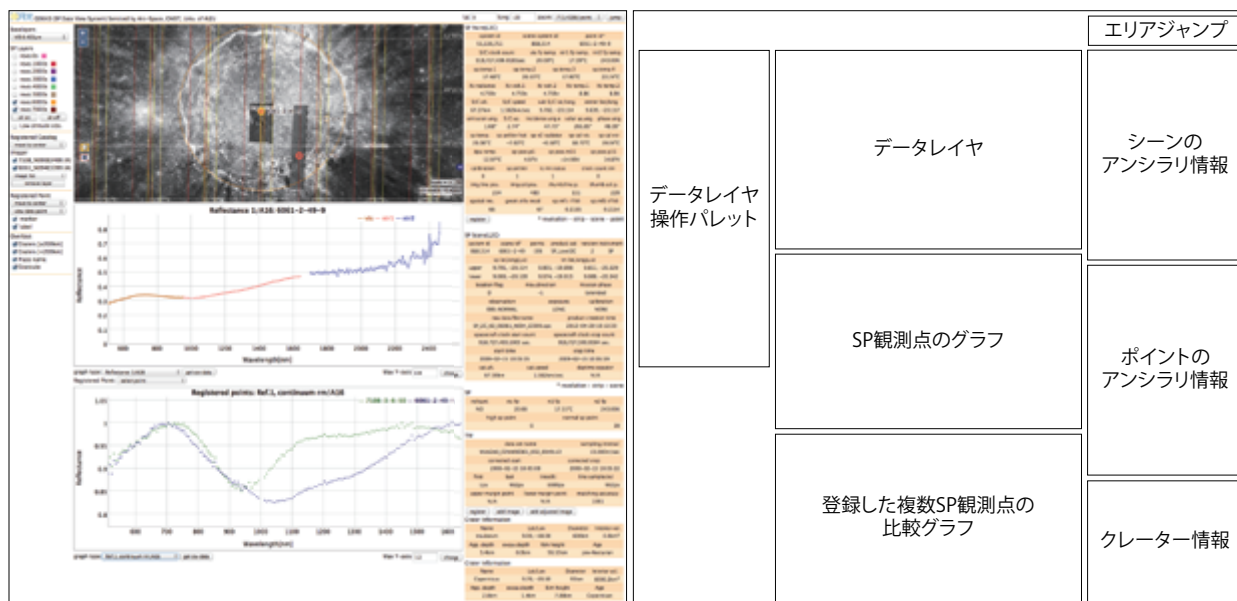


図2 「月光」のGUI（左）およびその構造（右）。

SPのPDSファイルは2種類の情報粒度のデータに分けることができ、「月光」では粒度別にデータを取り扱っている。粒度の小さい方はSPデータの観測点に関連するデータ群であり、「月光」では「ポイント」と呼んでいる。「ポイント」には、アンシラリー情報、観測地点の位置情報、SPセンサーでとらえた生データ、分解能フラグ、反射率データなどの情報がある。粒度の大きい方のデータ群は1つのPDSファイルに含まれる全「ポイント」に関連するデータであり、SPのPDSプロダクトでは「シーン」と呼んでいる。「月光」でもこれにならって「シーン」と呼んでいる。「シーン」には、1つのPDSファイルにおける全観測期間中におけるアンシラリー情報および、同時観測画像などの情報がある。

### 2.3 ユーザインターフェース

「月光」は図2に示すGUIを持っている。画面の構造は図2右に示したようになっており、「データレイヤ操作パレット」、「データレイヤ」、「エリアジャンプ」、「シーンのアンシラリー情報」、「ポイントのアンシラリー情報」、「クレーター情報」、「SP観測点のグラフ」、「登録した複数SP観測点の比較グラフ」のボックスによって構成されている。「月光」のすべての機能はこの8つのボックスのいずれかに集約されている。

ユーザは次に示すフローでの操作を行うことになる。

1. 特定の地域へ移動する。
2. SPデータの観測点を選ぶ。
3. 特定の観測点の情報を閲覧する。

ユーザは上記の一連の操作を無意識のうちに行うことが可能である。各ボックスはユーザをサポートするように必要に応じて現れるように実装されている。

「月光」を立ち上げた直後は「データレイヤ操作パレット」、「データレイヤ」、「エリアジャンプ」のみ表示される。ユーザは自ずと「データレイヤ」上でかぐやのマルチバンドイメージャ (MI)<sup>9)</sup> のリモートセンシング画像（低解像度モザイク画像、後述2.10参照）を閲覧するように誘い出されている。「データレイヤ」における各種レイヤの表示、非表示は「データレイヤ操作パレット」で行うことができる。「データレイヤ」上である一定の縮尺に拡大されるとSPの観測点が自動で表示される。そこで「データレイヤ」上でSPの観測点をクリックすると、状況に応じて「シーンのアンシラリー情報」、「ポイントのアンシラリー情報」、「SP観測点のグラフ」、「登録した複数SP観測点の比較グラフ」が表示される。クリックした観測点は、黄色のハイライトでマーキングされる。現在表示されている各ボックスのデータがどの地点のものなのかが一目瞭然となっている。さらにクレーター内をクリックすると、「クレーター情報」が表示される。

ユーザは関心ある場所を「データレイヤ」上で探索しながら、SPデータおよび関連情報をみることができる。それぞれのボックス内の機能は事項以降で述べる。

### 2.4 地理情報システム (GIS)

「月光」には地図閲覧ソフトが備えている機能を一通り備えている。「月光」はデータ利用に重点をおいており、データの編集機能は搭載していない。データの新規登録、削除および変更・修正はデータファイルを直接編集する必要がある。シ



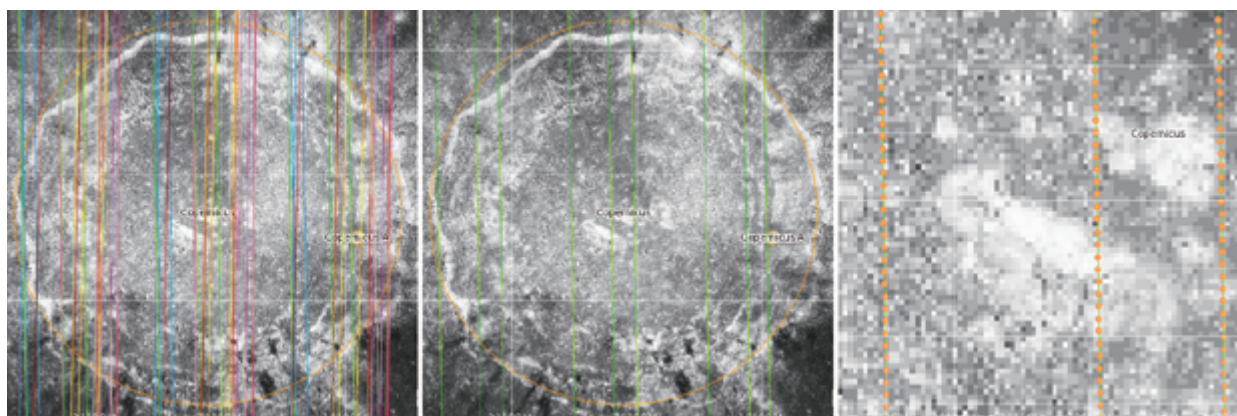


図 3 SP 観測点の記号表示. 左と中は縮尺 200 万分の 1. 右は 42 万分の 1. コペルニクスクレーター（北緯 9 度, 西経 20 度, 直径 90km）

システム上一般ユーザには編集を許可しておらず, そのような GUI も実装していない. 「月光」上で取り扱われるデータは全てあらかじめ登録してある.

GIS で使用している地図投影法は正距円筒図法のみである. 北極と南極の閲覧に適しているステレオ投影には対応していない. GIS 上で極付近をステレオ投影で表示させた場合, 表示させなければならない SP 観測点は正距円筒図法に比べて桁違いに多くなる. かぐや衛星は極軌道のため, 低緯度～中緯度に比べて高緯度～極域は桁違いに観測点が多いことによる. 現時点の「月光」ではステレオ投影を使用した場合, 数秒以内でのオンライン処理は困難である.

「データレイヤ」には背景画像および地名などの図形情報を表示させている. 背景画像はデフォルトの状態ではかぐや MI の VIS 0.415 $\mu$ m を表示させている. 地名はアメリカ地質調査所が作成しているデータ<sup>10)</sup>を使用している. クレーターに関しては地名に加え, おおよそのクレーター外縁部に沿った塗りつぶしをしていない円図形（無数の線で構成されたポリゴン）で表示させている. クレーターのポリゴンは, Losiak ら<sup>11)12)</sup>が作成したクレーターデータベースにおけるクレーター中心の緯度・経度と半径のデータを用いて作成した. クレーター上でクリックすると「クレーター情報」ボックスが現れ, クレーターの直径や深さ, 年代などを確認できる. これらの情報も Losiak らによるクレーターデータベースを活用している. 地名およびクレーターのポリゴンは非表示にすることができる.

縮尺の変更は「データレイヤ」左上の [+][−] ボタンを使用するかマウスのスクロールで操作できる. 表示されているエリアの変更はマウスで行うことができる. またあらかじめターゲットとする地域の位置情報が分かっているならば, 「エリアジャンプ」によって緯度・経度の入力および縮尺を選択することによって直接ジャンプすることができる.

## 2.5 データレイヤ上の SP 観測点

SP による観測点は全月面上に万遍なく分布し, その数は約 7,000 万点にもおよぶ. 月面全球の範囲で観測点をプロットした場合, 観測点で塗りつぶされることになる. 一方で狭域においては, 観測点は限られており, どこが観測されているのかに価値がある.

そこで「データレイヤ」上で観測点の記号表示を縮尺によって切り替えている (図 3). 観測点の記号には「シーンレベルの観測点群」と「ポイントレベルの観測点」のスタイルを用意している.

まず月面の広域を表示させているときは観測点の情報は表示されない. 縮尺が 200 万分の 1 以下になると「シーンレベルの観測点群」が線で表示される (図 3 左). 複数のシーンは連なり長い 1 本の線のようにになっている. さらに 42 万分の 1 以下になると「ポイントレベルの観測点」がオレンジの丸で表示される (図 3 右).

「シーンレベルの観測点群」には「周回軌道単位」および「シーン単位」の 2 系統の色づけがなされている. 前者の系統は周回軌道番号を 1,000 ごとに区切って色分けをして表示している. 例えば, 周回軌道が 1,000 番台は赤線, 6,000 番台は黄色といった具合である. かぐやは約 1 年半の観測期間で約 7,000 回ほど極軌道を周回している. これは SP データは周回軌道, つまり観測時期によってデータの品質や性質が異なっているためユーザが選択的にデータをみられるようにする配慮である. 後者の系統は周回軌道の色に対して同系色で濃淡をつけて表示させている. 例えば 3,000 番台の周回軌道は青色で表示しているが, シーン単位に青色と空色を交互に表示している.

また, 周回軌道 1,000 ごとに表示, 非表示を切り替えることができる (図 3 中: 図は 4,000 番台のみ表示させたところ). 低高度の「ポイントレベルの観測点」に関しては, 周回軌道番号に関係なく高度 90km 以下の観測点のみ表示する機能も設けている. 高度が低軌道だとセンサーの感度が良く分解能が高いデータが多い. これはかぐや衛星の後期運用として行われた約 4ヶ月分のデータに相当する.

## 2.6 アンシラリー情報

「月光」では SP データ観測時におけるアンシラリー情報を確認できる。表示されるアンシラリー情報は、PDS ファイル中に含まれるデータとなる。アンシラリー情報はシーンとポイントのそれぞれにある。前者は「データレイヤ」上で「シーンレベルの観測点群」をクリックすると「シーンのアンシラリー情報」ボックスに表示される。後者は「データレイヤ」上で「ポイントレベルの観測点」をクリックすると「ポイントのアンシラリー情報」ボックスに表示される。

「シーンのアンシラリー情報」ボックスでは同時観測画像の位置情報などのメタデータや平均移動速度や高度などかぐや衛星の状態に関する情報が示される。また、ボックス内にはクリックにて選択中の「シーンレベルの観測点群」の同時観測画像を「データレイヤ」上に表示させるためのボタンが表示される。ユーザは必要に応じてボタンを押すことによって同時観測画像を表示することができる。

「ポイントのアンシラリー情報」ボックスでは SP 観測時における分光計の温度や観測高度、太陽照射幾何条件などに関する情報が示される。SP データの校正に用いられる重要な情報となる。また、ボックス内にはデータ登録ボタンが表示される。データの登録をすることによって、複数のポイント間の参照が容易になる。

## 2.7 SP 観測データ

「月光」で使用している SP データの源泉は「SP Level2C (SP L2C)」という SP の PDS プロダクトである。この PDS プロダクトは、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所および国立環境研究所によって 2012 年 3 月 28 日～4 月 21 日に作成された。SPL2C は、「かぐや (SELENE) データアーカイブウェブサイト」<sup>13)</sup> で公開される予定であり、2014 年 6 月現在準備が進められている。SPL2C のデータに関する詳細は、プロダクトフォーマット記述書より参照できる。記述書は同ウェブサイトからダウンロード可能となっている。

本システムで用いている SPL2C 由来のデータは、かぐや衛星の SP センサーがとらえた生データ、校正に必要な各種データ、反射率データがある。反射率に関するデータは、生データに対して高アルベド物質用位相角補正をおこなった反射率スペクトルおよび、低アルベド物質用位相角補正をおこなった反射率スペクトルの 2 種類ある。SP の PDS プロダクト内では前者を反射率 1、後者を反射率 2 と呼んでいる。

さらにアポロ 16 号着陸サイト校正係数<sup>14)</sup> による補正をおこなったデータも使用している。この係数はアポロミッションで採取したサンプルのスペクトルと同地点のかぐやミッションによるスペクトルとの差について、アポロミッション側のスペクトルにかぐやミッションのスペクトルを合わせるためバンドごとに導き出された係数である。この補正をかけたデータを用いると、かぐや以前の月探査機が得た可視～近赤外スペクトルデータと直接的に比較することができる。

## 2.8 グラフによる SP 観測データの表示とデータの取得

本システムでは、おおまかに分けて反射率のスペクトルに関するグラフと校正に関するデータのグラフとの 2 種類を表示できる。「データレイヤ」上で「ポイントレベルの観測点」をクリックした場合、「ポイントのアンシラリー情報」に加えて「SP 観測点のグラフ」ボックスが現れ SP データに関するグラフ (図 4～6) が表示される。

反射率のスペクトルに関するグラフは、反射率のグラフ (図 4) および、反射率に連続接線を引いて処理を行ったデータ

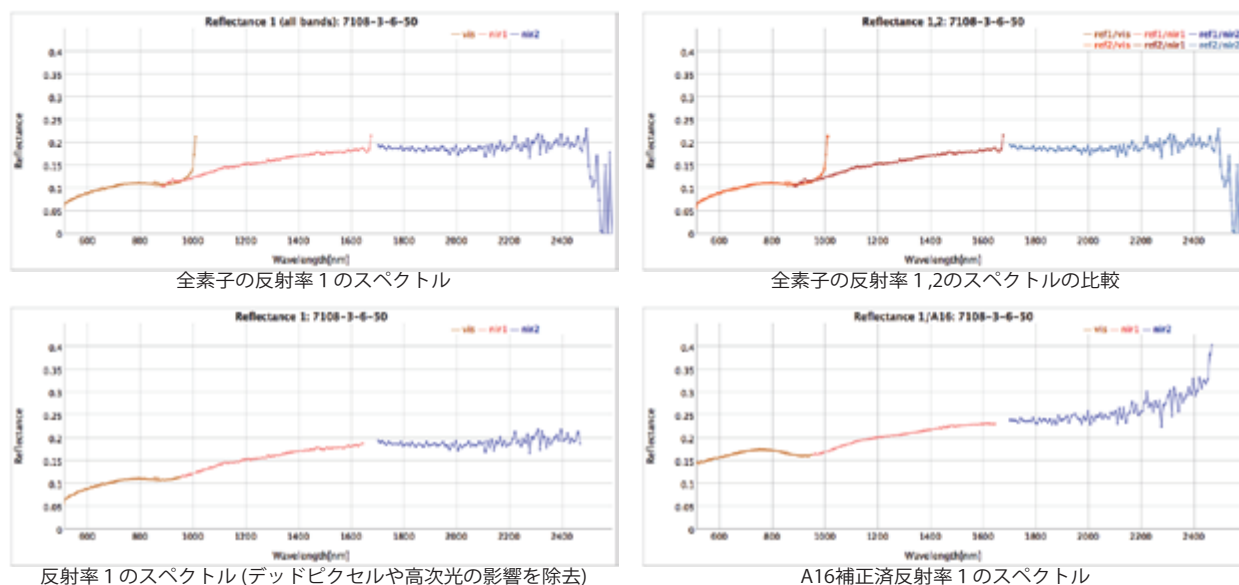


図 4 SP データに基づく反射率のグラフ。観測点はコペルニクスレータ南東部 (北緯 8.814 度, 西経 19.409 度)。

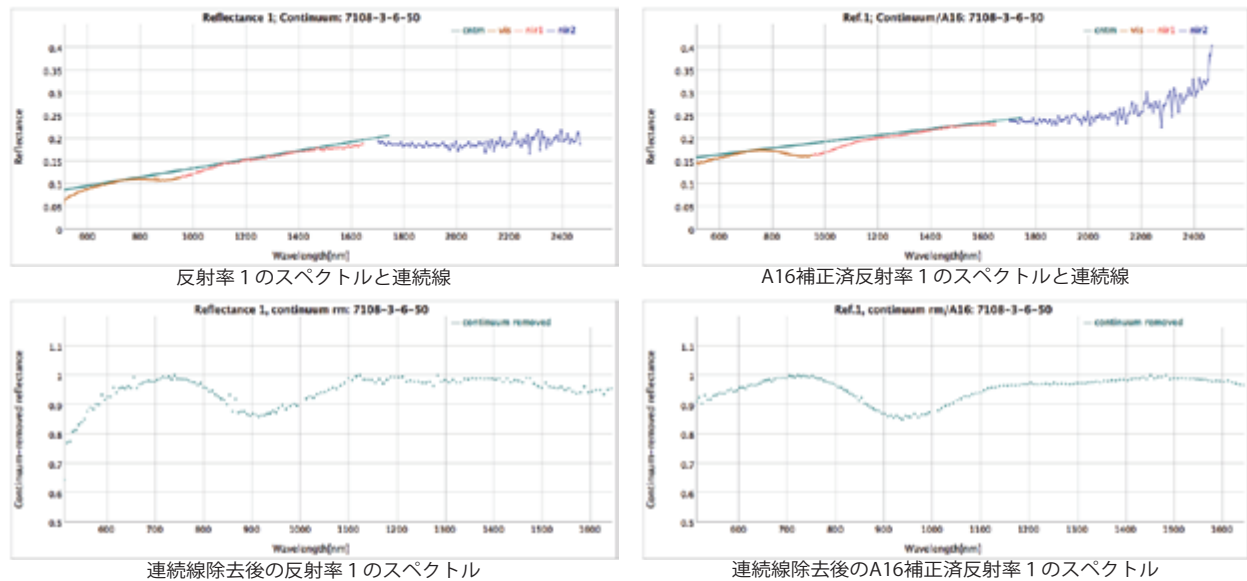


図 5 反射率に連続線を引いたグラフおよび連続線の傾きを除去したグラフ。観測点は図 4 と同地点。

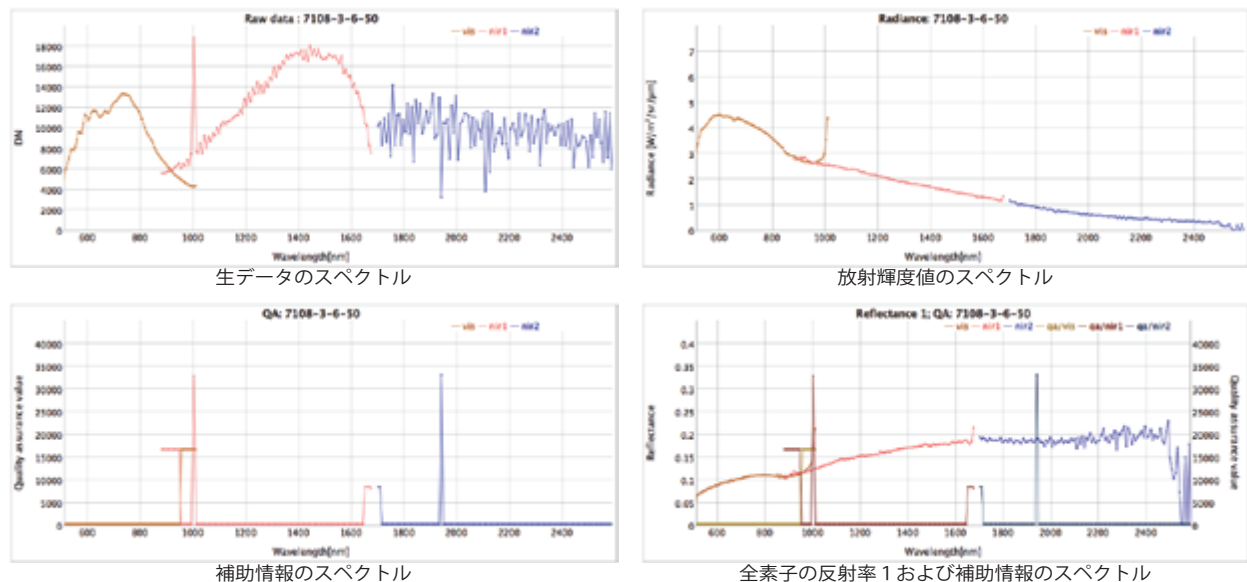


図 6 SP データの校正に必要なグラフ。観測点は図 4 と同地点。

を利用したグラフ（図 5）がある。それぞれのグラフごとに反射率 1 および反射率 2 のグラフを表示できる。さらにアポロ 16 号着陸サイト校正係数で補正したグラフも表示できる。

前者には「全素子の反射率のスペクトル」（図 4 左上）と「反射率のスペクトル」（図 4 左下）のグラフがある。「全素子の反射率のスペクトル」のグラフは、VIS (512.6~1010.7nm) , NIR1 (883.5~1676.0nm) , NIR2 (1702.1~2587.9nm) の 3 つの SP センサーの反射率の単純な重ね合わせのグラフになる。SPL2C の反射率のデータをそのまま使用している。さらに反射率 1 と反射率 2 を重ねあわせたグラフ（図 4 右上）も表示できる。反射率 1 および反射率 2 の違いを確認することができる。「反射率のスペクトル」のグラフは「全素子の反射率のスペクトル」からデッドピクセルや回析の高次光の影響を取り除いたものになる。さらにアポロ 16 号着陸サイト校正係数で補正したグラフ（図 4 右下）も用意している。エンドユーザにとって意味のあるグラフは「反射率のスペクトル」のグラフになる。

後者には「反射率のスペクトルおよび連続線」（図 5 左上）および「連続線除去後の反射率のスペクトル」（図 5 左下）のグラフがある。「反射率のスペクトルと連続線」は「反射率のスペクトル」のグラフ上に VIS および NIR1 の反射率データを用いて接線を引いたものになる。「連続線除去後の反射率のスペクトル」は「反射率のスペクトルと連続線」における接線の傾きをゼロにした VIS および NIR1 のみのグラフになる。反射率に連続線を引いてその傾きをゼロにする方法によって得られるデータは鉱物を特定する際によく用いられている。それぞれアポロ 16 号着陸サイト校正係数で補正したグラフも用意している（図 5 右上, 右下）。



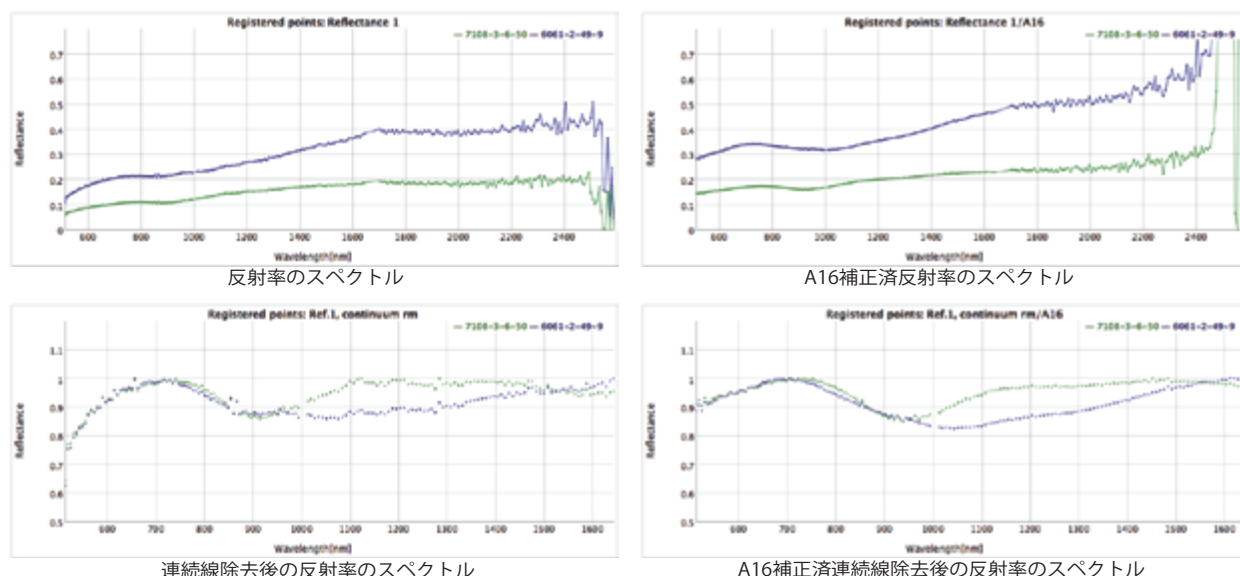


図 7 登録データの比較グラフ。全て反射率 1。グラフにおける緑線の観測点はコペルニクスレーター南東部（北緯 8.814 度，西経 19.409 度：図 4 と同地点），青線の観測点は同中央部（北緯 9.639，西経 20.117）。

校正に関するデータのグラフは、「生データのスペクトル」，「放射輝度値のスペクトル」，「補助情報のスペクトル」，「全素子の反射率および補助情報のスペクトル」の 4 つがある（図 6）。「生データのスペクトル」（図 6 左上）は校正前のセンサーがとらえたデータそのものになる。「放射輝度値のスペクトル」（図 6 右上）は輝度値，「補助情報のスペクトル」（図 6 左下）はデータの信頼性を表すグラフになる。「全素子の反射率および補助情報のスペクトル」（図 6 右下）は「全素子の反射率のスペクトル」と「補助情報のスペクトル」を重ねあわせたグラフである。「全素子の反射率のスペクトル」は反射率 1 および反射率 2 があるのでそれぞれグラフで表示できる。

さらに「ポイントのアンシリ情報」ボックス内において，ポイントの登録をおこなった場合，「登録した複数 SP 観測点の比較グラフ」ボックスが現れ，登録データを比較できるグラフ（図 7）が表示される。表示されるグラフは登録した複数の地点を重ねあわせた「反射率のスペクトル」（図 7 左上）および「連続線除去後の反射率のスペクトル」（図 7 左下）のグラフとなる。それぞれアポロ 16 号着陸サイト校正係数で補正したグラフ（図 7 右上，右下）も用意している。

グラフの元となった数値データはその場でダウンロードすることができる。「月光」の機能にはない統計解析などの分析を行いたい場合は，数値データをダウンロードした後，解析ソフトなどを使用すれば良い。

## 2.9 データレイヤ上への同時観測画像表示

「月光」では必要に応じて背景画像の上に SP データ観測時の画像（同時観測画像）を表示させることができる。

同時観測画像を表示させることは 3 つの点で重要である。第一に，SP データの品質確認という点で重要である。同じ地点であっても観測時の太陽高度，向きによって照明条件は異なる。図 8 の左と中の画像は同じエリアだが，中央部分の同時

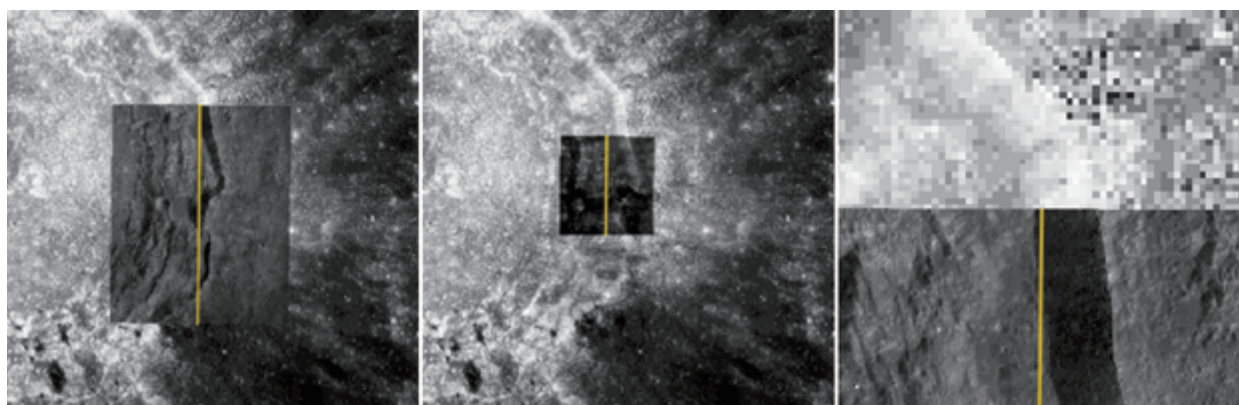


図 8 背景画像（MI VIS 0.415 $\mu$ m 低解像度モザイク画像）にマッピングした同時観測画像。コペルニクスレーター（北緯 9 度，西経 20 度）の外縁。オレンジのラインはシーンレベルの観測点群（1 PDS ファイルに含まれる全 SP 観測点）を示す。



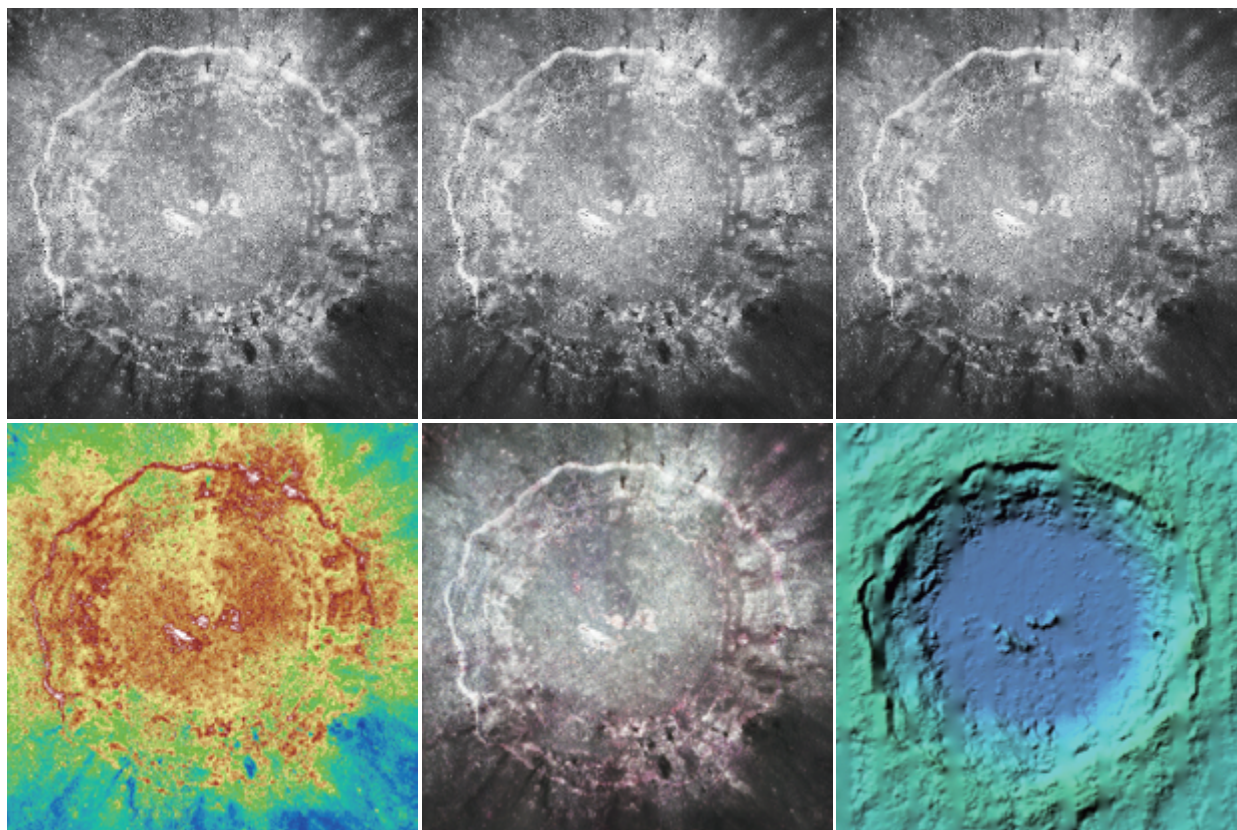


図 9 背景画像. コペルニクスクレーター（北緯 9 度, 西経 20 度）.

観測画像は観測条件が異なるので異なる画像となっている。光の向き、鏡面反射状態や明るさなどを確認することができる。第二に、位置情報の確認という点で重要である。SP の位置情報は軌道情報などから算出されている。月面は地球のように位置情報を正すためのランドスケープがないため、位置補正が難しい。かなり正確な値が求まっているが、すべての SP データの位置情報が正しいわけではない。背景画像として使用している MI モザイク画像（後述 2.10 参照）の位置情報は SP データの位置情報よりもかなり正確に求まっている。背景の MI モザイク画像と同時観測画像を照らし合わせることによって、SP データの位置情報の正確性を確認することができる。第三に、SP データが同時観測画像上どこを示しているかという点で重要である。2 番めに挙げた理由に関連するが、同時観測画像と SP データの位置情報が絶対位置として誤っていたとしても、この 2 点の相対的な位置という意味で正確である。SP データのポイントおよびその周囲の地形などの情報は背景の MI モザイク画像ではなく同時観測画像で正確に知ることができる。このような位置ずれは「月光」上でいくつか確認された。

なお「月光」で使用している同時観測画像は PDS ファイルに含まれるものに編集を加えている。元の画像はセンサーが走査した順に上から下へ作られている。観測したときの状況次第で画像は鏡像になったり上下が回転していたりする。そのため、あらかじめ「月光」へデータを搭載する段階で正しい像に変換をおこなっている。

また、「データレイヤ」にマッピングされる同時観測画像の大きさは常に一定ではない。図 8 左および中は同じ地点で同縮尺だが、それぞれの同時観測画像のサイズは同じでない。まず、同時観測画像のピクセルサイズは撮像した観測器の種類（マルチバンドイメージャあるいは地形カメラ）とその時の観測モードによって変化する。さらに撮影時の衛星の高度は一定ではないため刈幅が異なり、縮尺に対する解像度はまちまちとなっている。高い高度の同時観測画像は刈幅が広いが分解能は悪く、低い高度の同時観測画像は刈幅は狭いが分解能が良い関係となっている。ミッション後期の運用においては、衛星の高度が低く縮尺に対する解像度は高くなっている。概して、背景画像よりは同時観測画像のほうが高解像度となっている（図 8 右：図 8 左の上方を「月光」で拡大したところ）。

## 2.10 データレイヤの背景画像

「データレイヤ」上の背景画像は、上述のとおり SP データと不可分な関係にある。

背景画像は切り替えて表示させることができる（図 9）。現時点ではかぐやの MI センサによる「MI モザイク画像（低解像度）」、「色強調した MI モザイク画像（低解像度）」、「3 バンドの MI 合成画像」などの画像を掲載している。

MI 低解像度モザイク画像は共著者である大竹から提供された画像を利用している。この画像は大竹が MI 観測画像<sup>9)</sup>からマージして作成しており、全球をカバーしている。画像サイズは 46,080×23,040 ピクセルであり、MI センサーの最高解像

度の 1/16 の空間解像度となっている。MI センサはマルチバンドであり、VIS 0.415 $\mu\text{m}$ , 0.75 $\mu\text{m}$ , 0.9 $\mu\text{m}$ , 0.95 $\mu\text{m}$ , 1.0 $\mu\text{m}$ , NIR 1.0 $\mu\text{m}$ , 1.05 $\mu\text{m}$ , 1.25 $\mu\text{m}$ , 1.55 $\mu\text{m}$  の各バンド画像がある。9つのバンドの全球 MI モザイク画像に対して、「MI モザイク画像」(図 9 上段：左から 0.75 $\mu\text{m}$ , 1.0 $\mu\text{m}$ , 1.25 $\mu\text{m}$ )、「色強調した MI モザイク画像」(図 9 下段左：0.75 $\mu\text{m}$ ) の 2 種類のタイプで表示させている。また、0.75 $\mu\text{m}$ , 1.0 $\mu\text{m}$ , 1.25 $\mu\text{m}$  を使用した「3 バンドの MI 合成画像」(図 9 下段中) を背景画像として用意している。

かぐや衛星によらない背景画像、例えば「LOLA によるカラー陰影起伏図」(図 9 下段右)なども「月光」では採用している。これは「月光」がかぐやのデータ配信を目指しているわけではなく、SP データの閲覧およびそのデータの解釈を重要視しているからである。「LOLA によるカラー陰影起伏図」はアメリカ地質調査所が WMS で配信しているデータ<sup>15)</sup> を利用している。

### 3. システム構成

「月光」は既存のオープンライセンスのアプリケーションを利用してシステムを組んでいる。既存のシステムでは足りない部分に対してプログラムにより実装を加えている。本システムはリレーショナルデータベース (RDB) とファイルシステムをデータリソースとして利用したクライアント・サーバー型のウェブアプリケーションである。GIS の機能はサーバ側は MapServer, クライアント側は OpenLayers および独自開発した Gekko Library を用いている。本システムを利用するにあたってユーザが必要とするものは、クライアントとなるコンピュータおよびウェブブラウザ、「月光」に接続するためのネットワーク環境である。

#### 3.1 データ通信

サーバとクライアントの通信はインターネットを介しておこなう。地図データのリクエスト/レスポンスは、地図データの通信を規定したプロトコルである Web Map Service (WMS)<sup>16)</sup> を用いている。

クライアントとサーバ間のおおまかなシーケンスは以下のとおりになる (図 10)。

1. ユーザは OpenLayers および Gekko Library の操作を通じて OpenLayers にデータ取得のリクエストを行う。
2. クライアント側の OpenLayers はユーザのリクエストを WMS 形式に変換し、サーバ側データの取得を行う。その際、座標データおよび Mapfile のパスを引き渡す。
3. サーバ側の MapServer は指定された Mapfile に定義されている条件に従いデータリソースからデータの取得を行う。
4. MapServer は取得したデータを Mapfile に定義されている形式に変換を行う。
5. MapServer は OpenLayers へリクエストに従ったデータを引き渡す。
6. OpenLayers および Gekko Library はデータの内容ごとに GUI 上にデータを表示する。

個々の詳細は事項以降で述べる。

#### 3.2 クライアント側処理

クライアント側のフロントは OpenLayers<sup>17)</sup> を用いている。OpenLayers は WMS プロトコルに対応した地図描画アプリケーションで、JavaScript でできている。ユーザの「データレイヤ」上の操作を通じて、新たにデータ取得が必要な際、WMS プロトコルを用いサーバへリクエストを行いデータを取得する。Ajax で通信をするので、画面遷移なしに地図情報の更新を行うことができる。

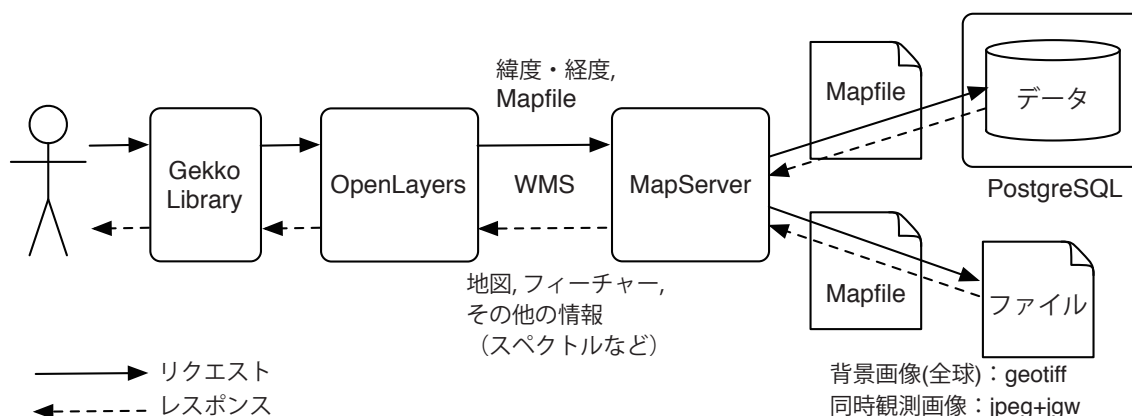


図 10 システム内のデータ通信。

ただし、OpenLayers だけだと上述の「データレイヤ」の複雑な操作や同時観測画像の表示、グラフ表示などができない。そこで、OpenLayers の機能を JavaScript で独自に拡張し、これを Gekko Library と呼ぶこととした。「データレイヤ」以外のボックスは Gekko Library を用いて処理をおこなっている。

SP データのグラフ表示は Gekko Library に加えて Dygraphs<sup>18)</sup> を使用している。Dygraphs はブラウザ上でグラフを描画するための JavaScript のライブラリである。Gekko Library は OpenLayers から Dygraphs へ引き渡すためデータ変換を行っている。

### 3.3 サーバ側処理

サーバ側のフロントは MapServer<sup>19)</sup> を用いている。MapServer は WMS プロトコルに対応した地図配信アプリケーションである。クライアントのリクエストに応じて、データリソースからデータを取り出し、測地系などの画像変換をおこないクライアントにデータを渡す処理を行っている。

データリソースへのアクセスは MapServer が仲介するプロキシ形式をとっており、クライアントが直接データリソースへアクセスすることはできない。MapServer を通じてデータリソースへアクセスする場合、Mapfile と呼ばれる定義ファイルを参照することになる。Mapfile では、データリソースの投影法、クライアントに渡す投影法、描画スタイルなどが定義されている。

クライアントは、MapServer に対して特定の Mapfile のパスおよび緯度・経度などの情報を渡すことによってトリガーを引くことになる。逆に言えば、クライアントは Mapfile に定義されていないリソースにアクセスすることはできない。Mapfile の追加、編集などは「月光」では我々管理者のみしか行うことはできなようにしている。

MapServer はユーザによる Mapfile に基づいたリクエストに対して、データリソースへアクセスを行い条件にあったデータの取得を行う。データリソースについては次項で述べる。そして MapServer は Mapfile の定義に従い、ラスターデータであれば投影変換を行い、ベクターデータであればオブジェクトの色や線幅などの描画スタイルに基づいた画像描画をおこなう。その後、クライアントへ処理されたデータを引き渡す。

### 3.4 データリソース

「月光」で利用するデータリソースはベクターデータとラスターデータとの2種類の形式がある。

ベクターデータは PostGIS<sup>20)</sup> で管理している。PostGIS は、リレーショナルデータベースである PostgreSQL に GIS の機能拡張をしたものである。PostGIS には、約 7,000 万点にも及ぶ「ポイント」の座標データ、SP データおよび関連情報、約 110 万点の「シーン」の座標データやアンシリ情報などを格納している。

MapServer は PostGIS に緯度・経度を条件として渡し、PostGIS は該当する SP データを MapServer へ引き渡している。PostgreSQL に専用サーバ1台をあてがい、パフォーマンス・チューニングを行うことにより、数秒以内のレスポンスを可能としている。

ラスターデータである同時観測画像や背景画像は Linux のファイルシステムで管理している。同時観測画像は jpeg フォーマットであり座標情報を持たないためそのままでは MapServer で扱うことができない。そこで緯度・経度を格納したワールドファイル（拡張子が jgw）<sup>21)</sup> を付随させている。背景画像は geotiff フォーマットであり、ファイル中には緯度・経度が含まれている。そのため MapServer で直接取り扱える。

## 4. 現システムの課題および今後の開発の方向性

「月光」は SP 観測データを容易に閲覧することを可能とした。「月光」によって SP データへのアクセシビリティは飛躍的に向上したと考えている。一方で、データ閲覧に関して課題も残る。

### 4.1 アクセシビリティに関する課題

現「月光」ではデータのスクリーニングを行っておらず、明らかに利用に適さないデータも表示される。特に高緯度～極域では照明条件が安定せず、利用可能なデータの比率が極端に少なく、選別がされていないとユーザの負担が大きい。また、前述（2.4）のとおりに「月光」ではステレオ投影の地図を導入していないため、極域のデータ閲覧に難がある。これらは今後の課題として挙げられる。

### 4.2 今後の開発の方向性

ところでユーザにとってデータ取得は手段であり、関心ごととは月面表層の状態を理解することにある。そこで、近い将来のうちに「直感的な知識発見」が可能なシステムへ発展させていきたい。そのために次に示す機能実装を計画している。

1. SP 分析に必要な関連データを追加する。
2. 全球域の SP データを用いた分析結果を背景画像として追加する。



### 3. 局所域での解析機能を実装する.

SP 分析に必要な関連データについては、例えば最新の月全球高度データなどを考えている。全球域の SP データを用いた分析結果については例えば Hayashi Yuuki ら<sup>7)</sup>による修正ガウシアンモデル<sup>22)</sup>を使用した鉱物情報抽出方法を用い、鉱物マップを作成し、背景画像として搭載したいと計画している。局所域での解析機能については杉本<sup>23)</sup>が「月光」をベースに用い、試験的に解析機能の実装を行っている。現時点においては、研究開発段階にある。これらの機能はユーザの研究活動を支援する位置づけにあり、新しい知識発見に向けた環境を提供していきたい。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 23740342 および 25287114 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- 1) 宇宙航空研究開発機構. 月周回衛星「かぐや (SELENE)」 - 観測ミッション - TC,MI,SP. [http://www.kaguya.jaxa.jp/ja/equipment/tc\\_j.htm](http://www.kaguya.jaxa.jp/ja/equipment/tc_j.htm) (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 2) Matsunaga T., M. Ohtake, J. Haruyama, Y. Ogawa, R. Nakamura, Y. Yokota, T. Morota, C. Honda, M. Torii, M. Abe, T. Nimura, T. Hiroi, T. Arai, K. Saiki, H. Takeda, N. Hirata, S. Kodama, T. Sugihara, H. Demura, N. Asada, J. Terazono, and H. Otake. Discoveries on the lithology of lunar crater central peaks by selene spectral profiler. *Geophysical Research Letters*, Vol. 35, No. 23, 2008. DOI:10.1029/2008GL035868.
- 3) National Aeronautics and Space Administration. Welcome to the Planetary Data System. <https://pds.jpl.nasa.gov/> (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 4) 山本幸生. 日本の月惑星探査と科学データアーカイブ (第 1 回 PDS と日本の現状). *PLAIN News*, No. 188, 2009.
- 5) 寺藺淳也, 中村良介, 児玉信介, 山本直孝, 平田成, 小川佳子, 出村裕英. 月・惑星探査データ表示・解析システム「WISE-CAPS」. 宇宙航空研究開発機構研究開発報告, 宇宙科学情報解析論文誌, Vol. 2, pp. 89–102, 2013.
- 6) 三菱スペースソフトウェア. LISM Data Viewer (beta version). [http://www.mss.co.jp/technology/LISM\\_Data\\_Viewer\\_Download\\_E.htm](http://www.mss.co.jp/technology/LISM_Data_Viewer_Download_E.htm) (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 7) Hayashi Yuuki, Y. Ogawa, T. Matsunaga, R. Nakamura, Y. Yokota, S. Yamamoto, T. Hiroi, M. Ohtake, Yohei Hayashi, J. Haruyama, and J. Terazono. Development of new analysis tool for the data from Spectral Profiler onboard Kaguya/SELENE based on the Modified Gaussian Model(MGM). In *Proc. of ISAS Lunar and Planet. Sympo. 46th*, 2013.
- 8) EXELIS. IDL Software - Data Visualization Software | Exelis VIS. <http://www.exelisvis.com/ProductsServices/IDL.aspx> (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 9) Ohtake M., T. Matsunaga, J. Haruyama, Y. Yokota, T. Morota, C. Honda, Y. Ogawa, M. Torii, H., Miyamoto, T. Arai, N. Hirata, A. Iwasaki, R. Nakamura, T. Hiroi, T. Sugihara, H. Takeda, H. Otake, C. M. Pieters, K. Saiki, K. Kitazato, M. Abe, N. Asada, H. Demura, Y. Yamaguchi, S. Sasaki, S. Kodama, J. Terazono, M. Shirao, A. Yamaji, S. Minami, H. Akiyama, and J.L. Josset. The global distribution of pure anorthosite on the moon. *Nature*, Vol. 461, No. 7261, pp. 236–240, 2009. DOI: 10.1038/nature08317.
- 10) United States Geological Survey. Target: The moon, gazetteer of planetary nomenclature. <http://planetarynames.wr.usgs.gov/Page/MOON/target> (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 11) Losiak A., T. Kohout, K. O'Sullivan, K. Thaisen, and S. Weider. Lunar Impact Crater Database (2011), LPI Lunar Exploration Intern Program (2009), 2009. Revised in 2011 by T. Öhman. [http://www.lpi.usra.edu/lunar/surface/Lunar\\_Impact\\_Crater\\_Database\\_v24May2011.xls](http://www.lpi.usra.edu/lunar/surface/Lunar_Impact_Crater_Database_v24May2011.xls) (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 12) Losiak A., D.E. Wilhelms, C.J. Byrne, K.G. Thaisen, S.Z. Weider, T. Kohout, K. O'Sullivan, and D.A. Kring. A new lunar impact crater database. In *Lunar and Planetary Science Conference*, Vol. 40, p. 1532, 2009.
- 13) 宇宙航空研究開発機構. かぐや (SELENE) データアーカイブ. <https://12db.selene.darts.isas.jaxa.jp/> (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 14) Yamamoto S., T. Matsunaga, Y. Ogawa, R. Nakamura, Y. Yokota, M. Ohtake, J. Haruyama, T. Morota, C. Honda, T. Hiroi, and S. Kodama. Calibration of NIR 2 of Spectral Profiler Onboard Kaguya/SELENE. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, pp. 6882–6897, 2014.
- 15) United States Geological Survey. Astrogeology WMS Map Layers. <http://astrowebmaps.wr.usgs.gov/webmapatlas/Layers/maps.html> (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 16) Open Geospatial Consortium. Web Map Service. <http://www.opengeospatial.org/standards/wms> (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 17) The OpenLayers Dev Team. OpenLayers: Home. <http://openlayers.org/> (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 18) Dygraphs developer team. dygraphs. <http://dygraphs.com/> (2014 年 5 月 1 日アクセス) .

- 19) University of Minnesota. Welcome to MapServer: open source web mapping. <http://mapserver.org/> (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 20) PostGIS Project Steering Committee, PSC. PostGIS — Spatial and Geographic Objects for PostgreSQL. <http://postgis.net/> (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 21) Environmental Systems Research Institute, Inc. 17489 - What is the format of the world file used for georeferencing images? <http://support.esri.com/en/knowledgebase/techarticles/detail/17489> (2014 年 5 月 1 日アクセス) .
- 22) Jessica M. Sunshine, Carle M. Pieters, and Stephen F. Pratt. Deconvolution of mineral absorption bands: An improved approach. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)*, Vol. 95, No. B5, pp. 6955–6966, 1990.
- 23) 杉本紘平, 林洋平, 小川佳子, 平田成, 寺菌淳也, 出村裕英, 松永恒雄, 山本聡, 横田康弘, 大竹真紀子, 大嶽久志. かぐやスペクトルプロファイルデータを動的に解析するためのウェブアプリケーション開発. 2014 年日本地球惑星科学連合大会, 5 月.