

月・惑星探査データ表示・解析システム「WISE-CAPS」

寺菌 淳也^{*1}, 中村 良介^{*2}, 児玉 信介^{*2}, 山本 直孝^{*2},
平田 成^{*1}, 小川 佳子^{*1}, 出村 裕英^{*1}

WISE-CAPS: Browsing and Analyzing System for Lunar and Planetary Exploration Data

Junya TERAZONO¹, Ryosuke NAKAMURA^{*2}, Shinsuke KODAMA^{*2}, Naotaka YAMAMOTO^{*2},
Naru HIRATA^{*1}, Yoshiko OGAWA^{*1} and Hirohide DEMURA^{*1}

Abstract

More and more data is obtained through the lunar and planetary explorations worldwide. Due to overwhelming amount of data and its complex nature, the methodology of the conventional desktop-based approach is becoming a tether. A network-oriented approach is an appropriate solution to solve this problem, and Web-GIS system is the best platform for data browsing, sharing and analyzing online. We are now creating a system called “WISE-CAPS” (Web-based Integrated Secure Environment for Collaborative Analysis of Planetary Science) in the University of Aizu to realize this idea. The system is composed of three servers (web server, database server and experiment server) with 12 Terabytes disk in the backend to ensure large data storage. The system uses FOSS (Free Open Source Software) entirely from the basic operating system to application software to utilize cutting-edge technology and to reduce the system cost. Currently, lunar data obtained by Clementine, American lunar explorer, is used for the base map data, and several image data obtained by Kaguya, Japanese lunar explorer, are added as separated layers. Our system also has user control function to confine data access to authorized users or groups. Utilizing this user control mechanism, users can limit (or permit) browsing of their data to designated users or groups with easy operation. Recently, the WISE-CAPS added several new capabilities. One of the new feature is data registration function from web browsers, enabling data registration to the system using only the web browser. Integrated display of LISM (Lunar Imager and Spectrometer, onboard optical instruments of Kaguya) data is another new feature. In this integrated display page, users can see three different kinds of data in one web browser page in the style of map. These new capabilities are purely unique, only in our WISE-CAPS.

概要

現在、月・惑星探査によって得られるデータは激増の一途をたどっている。これらのデータを研究に利用していく際、従来のようなデスクトップ中心の方法には限界があると考えられる。ネットワークを指向し、ユーザ(研究者)が扱いやすいシステムとして、ウェブGISを基盤とした月・惑星探査の閲覧・共有・解析システムが考えられる。我々は現在、そのようなシステムとして、会津大学内にWISE-CAPS (Web-based Integrated Secure Environment for Collaborative Analysis of Planetary Science) というシステムを構築している。本システムはウェブサーバとデータベースサーバ、そして新規実装試験用サーバの3台のサーバから構成され、バックエンドには12TBの巨大ディスクを装着し、大容量データに対応している。最新の技術を利用するためとシステム構築の費用を抑えることを目的として、システムは基盤からアプリケーションソフトウェアまですべてをオープンソースソフトウェアで構築している。ベースとなっているデータはアメリカの月探査機クレメンタインのデータであるが、その上に一部日本の月探査機「かぐや」によって得られたデータも搭載

*1 会津大学先端情報科学研究センター (CAIST/ARC-Space (Research Center for Advanced Information Science and Technology, Aizu Research Cluster for Space Science), The University of Aizu)

*2 産業技術総合研究所 (AIST, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

している。また、本システムの特徴として、ユーザ管理機能を備えているということがある。これにより、データを一部のユーザだけに公開したり、グループを構成してその中だけで扱うこともできるようになっている。WISE-CAPS はさらに最近になり、いくつかの新しい機能が搭載された。例えば、データをウェブブラウザから登録する機能、「かぐや」の月撮像分光機器 (LISM) のデータ統合表示システムである。このように、WISE-CAPS では月・惑星探査データの解析に特化したユニークな機能を提供し、利用者の益を図ると共に、より強力な機能を装備し、最終的にネットワーク上の「仮想研究室」となることを目指している。

1 はじめに

1.1 月・惑星探査データに存在する問題点

月・惑星探査におけるデータ量は、特に 2000 年代になってから急速に増加しつつある。例えば、1994 年に打ち上げられた月探査機クレメンタインのデータ (探査機から取得された 1 次データ、公開分) は、CD-ROM にして 88 枚であり、データ量とすればたかだか 500GB 程度に過ぎない。一方で、2007 年に打ち上げられた日本の月探査機「かぐや」¹⁾ のデータは、生データに近い「レベル 0/1」データで約 15TB、処理後の「レベル 2」(後述) と呼ばれるデータの量にして 50TB に及ぶ²⁾。さらに、2009 年に打ち上げられ、現在 (2012 年 6 月) も月周回を行いながら観測を続けているアメリカのルナー・リコネサンス・オービター (LRO)³⁾ は、1 年間のデータ量が 133TB にも及ぶ。

他の火星探査なども含め、もはやテラバイトオーダーのデータは月・惑星探査において日常的となっている。今後、センサの高精度化、通信経路の効率化などの技術的な要素が進めば、この傾向はさらに加速度的に進行すると思われ、将来的にはペタバイト、エクサバイトオーダーとなることも想定しなければならない。

また、月・惑星科学データに特徴的なこととして、異なるパラメータによって処理されたプロダクトが多数存在することが挙げられる。

「かぐや」の月撮像カメラ (LISM) のデータの場合、到着したデータからさらに位置情報を補足し、修正を行ったデータとして、レベル 2a データ (L2a) が存在する。カメラに関するデータだけでもこれは 5 種類存在し、合計容量が 2.5TB となっている²⁾。L2a データを元にして、さらに画像をつなぎ合わせて地図上にした controlled mosaic データが作られていく。また、科学的に使用されるデータとして、地形カメラデータを元にした地形図 (DTM: Digital Terrain Map) なども作成される。これら、2 次的なデータは合計で 16TB に及ぶ⁴⁾。このように多種多様なデータセットの存在はさらにデータ量を増大させることへとつながる。

このような大規模データの処理に際し、科学分野、とりわけ月・惑星探査の分野では以下のような事情が存在

し、これが大規模データを利用した科学解析を困難なものにしている。

まず、1 人の研究者、ないしは数人の研究者グループが扱うには、1 人あたりのデータ量が多くなりすぎている。巨大なデータは、閲覧することはもちろん、解析プログラムへ投入することさえ時間と手間を伴う。また、急激なデータ量の増大は、研究者が従来 (主に自分たち自身で) 作成してきたツールでの解析に限界を生じてきている。

また、研究者自身が、どのようなデータが存在するかを把握することに困難を生じている。新たなプロダクトが次々に生み出されていく現状で、それがどのような内容であるのかを把握することは大変な労力を伴う。

データ解析の際、データを移動させることに多くの時間を必要とする。現在、ほとんどのデータ解析用ソフトウェア、プログラムはデスクトップで実行されるものであり、研究者はまずデータ配布用サーバへとアクセスし、データをダウンロードし、それを解析するという手順を踏んでいる。しかし、ネットワークの高速化にもかかわらず、データ量の増大により、データ取得 (ダウンロードなど) にかかる時間は増大しており、そのために貴重な研究のための時間が奪われるという問題が生じている。

研究者の解析データが個々のコンピュータに残ったままになってしまう。月・惑星探査データでは、探査機によって得られる観測データと、そのデータを研究者が解析することによって生じる 2 種類のデータが存在する。このうち、研究者が作り出す解析データは、上記のような問題点から、たいていの場合個々のコンピュータの記憶装置内にとどめられたままになる。しかし、何らかの理由で記憶装置が破損したり、誤って削除したりしてしまった場合、もしバックアップを適切に実施していない場合には、そのデータを回復させる手立てはなくなる。特に、適切にアーカイブされているケースがほとんどである探査データとは異なり、科学者による解析結果のデータは通常は 1 種類のみで、しかも個人のコンピュータの中に存在する場合はほとんどである。そうなると、せっかくの研究成果は永遠に失われてしまう。また、研究者が退職や異動などでそのデータを廃棄したり、時間

が経って記憶が失われてしまうことで、再解析や検証、さらには解析データを利用した応用解析などに必要となる重要なデータが失われることが発生し、データが存在しても事実上使用できないという問題が生じる恐れがある。

データを用いた共同研究などでの問題点。共同研究の際に、探査機が取得したデータや、実際に解析したデータを持ち寄り、議論するということはよく行われるが、データ量が增大しているために、持ち寄ることは困難になりつつある。また、データを持参することにより、データの破損、既存データとの重複(複製することによりデータが複製され、バージョンなどの管理が困難になる)などの問題点が危惧される。

1.2 これからの時代に求められる月・惑星データ解析システム

以上のような点を考慮すると、これからの時代に求められる月・惑星探査データ解析システムには、以下のようなポイントが必要になると考えられる。1.1節で述べた内容と対比しながら説明する。

- データの内容を一元的に把握できるシステム。特に、月・惑星探査データにおいてデータ量が最大となる画像データについて、それを素早く閲覧できるシステムが必要となる。
データ量が個人または小グループで扱うには大きすぎる場合には、それを適切にナビゲートする、あるいは個人でも把握できる形で提示することが必要となる。地図(画像)という形はナビゲートの面でも、またデータ提示の面でもっとも適切な形であると考えられる。さらには、ある科学データに関連した情報(広義のメタデータ)を容易に把握できるような仕組みもあると望ましい。
- 各ユーザ(科学者)が解析したデータを一元的に閲覧、集積すると共に、必要に応じて共有できるシステム。例えば、論文を執筆する際や、探査機器を開発する際には、グループを組んで作業を行うことが一般的だが、このグループ内では、必要に応じ論文や解析データが閲覧・共有できることが望ましい。一方で、グループに属さない他のユーザからはそれらのデータがみえないことが望ましい。同一の機器のデータを利用している科学者同士であるとはいえ、論文の成果の基盤となるようなデータはそれぞれの論文の執筆グループ、ないしは1つのテーマを解析しているチーム内でのみ閲覧できるようにすべきであるためである。このような柔軟かつ確実なユーザ管理を行えるような

システムが組み込まれていることが必要である。

- 機器を選ばないシステム。近年ではいわゆるパーソナルコンピュータに加え、可搬型ではあってもかなりの性能を発揮する機器、例えば、スマートフォンやタブレット端末などが市場に出回っている。これらの機器は現在のところは閲覧が主であるが、将来的には解析にも使われるようになっていくと考えられる。その場合、現在のようにデスクトップにおける解析を行うことは(少なくとも現在のようなアプリケーションの枠組みでは)到底不可能であって、このことから、サーバに閲覧や解析機能を持たせ、サーバ中心で処理させるシステムが必要となる。
- 研究者の解析データの消失、あるいは解析に必要な情報の消失を防ぐための機構が確立されていること。デスクトップコンピュータはたいていの場合バックアップが備わっていてもあまりそれを実行しないことが多い。そのことを考えると、サーバ上にデータを保管する方がより安全な解決策であるといえる。さらに、分散サーバなどの手法を用いれば、災害などによりサーバに損害が生じた場合でも、残りのサーバからデータを回復させることも可能である。また、データが個人のコンピュータ内に残される問題も、サーバ側にデータが存在することで解決できる。
- 複製・複製などによりバージョン管理が困難になる点については、バージョン管理をデータベースなどで厳密に行うとともに、正本を1つだけとし、それを各地から参照できる形とすることが解決策となる。この場合、正本はネットワーク上、すなわちサーバ上に置かれることになるため、サーバ上のデータをネットワーク経由で参照する形態をとらざるを得ない。また、複製やダウンロードができないようにするか、それらの(ローカル)データはキャッシュ扱いとして正しいデータとみなさないといった工夫も必要となる。

サーバ側にデータを置き、それをクライアント側(ローカル側)では閲覧するという形態をとるとした場合、閲覧するためのソフトウェアの問題が発生する。クライアントには様々なOSが存在するため、それらすべてで、できれば同様のルック&フィール、操作感で実行できるソフトウェアが望ましい。

この点については、どのシステムでも実行できるJavaなどのプラットフォームを用いるNASA WorldWind⁹⁾のようなアプリケーションも存在するが、スマートフォンやタブレット端末など、今後普及が予想される機器への対

応は、これらの小型機器が持つ性能を考えると難しい。また、デスクトップアプリケーションの場合にはその開発にも人的、資金的なリソースが必要となってくる。また、Javaなどをベースにした場合には、基本システムの性能を100%引き出せるわけではないので、パフォーマンスの面でも問題が生じる。

このため、基本システムを選ばない月・惑星探査データ解析システムの原型として、現時点ではウェブベースのGIS、すなわちWeb-GISが最適である。Web-GISは、ウェブサーバを通してデータの閲覧を行うシステムであり、ユーザはウェブブラウザを通してデータを閲覧することになる。従って、ウェブブラウザさえ用意できる(もちろんネットワーク接続が前提であるが)環境であれば、どこでもデータの閲覧が行える。そして、これに共有・解析環境が付加されれば、どこにいても、どのような端末からでも、データの閲覧、さらには解析などが行える。これが、我々の目指す理想的な月・惑星探査データの解析システム形態である。

ただし、現時点では、特に解析についてはWeb-GISはデスクトップベースのGISに劣るのが現状である。ウェブアプリケーションの場合、ブラウザが用意する機能を使用するか、JSP(JavaServer Pages)などを利用して機能を拡張するかどちらかの仕組みを選択して解析などの複雑な仕組みを実装する必要があるが、まだ通常の科学者が行う解析への要求を十分に満たせる状況にないことは確かである。それでも、将来的なウェブ技術の進歩(次々節で触れるようなHTML5などを含む)が進めば、将来的には複雑な解析なども含めてウェブ上に取り込めるのではないかと考えている。

1.3 他のシステム

このような月・惑星探査における大規模データ処理の問題については、日本のみならず世界的にも注目されており、多くのシステムが構築されている。また、その多くが、ウェブ(より正確に言えばHTTPを利用したデータ転送)をベースとしたシステムとなっている。ここでは、主にデータ閲覧を中心として開発されているウェブベースのシステムについて触れる。

古くから存在するシステムとしては、アメリカ地質調査所が公開しているMap-A-Planet⁶⁾がある。Map-A-Planetは、月に限らず、これまで探査が行われてきた多くの惑星、衛星についての地図が用意されており、それらの地図をブラウザ上で見ることができる。いわば月・惑星Web-GISシステムの基本ともいえる形態をとっている。また、解析データについても表示することが可能である。

一方、Web-GISというよりは探査立案・データ処理システムと一体になって開発されてきたシステムとして、LMMP(Lunar Modeling and Mapping Portal)^{7,8)}とJMARS(Java Mission Planning and Analysis for Remote Sensing)^{9,10)}である。名前からみてもわかるとおり、前者は月探査、後者は火星探査に特化した、Web-GISを含む解析・ミッション立案・解析ツールである。なお、JMARSはその姉妹サイトとして、JMOON¹¹⁾という月探査用のアプリケーションも存在する。

LMMPは、Web-GIS環境、スタンドアロンアプリケーションを利用した解析環境などからなる、その意味では月探査データ解析「ポータル」(入り口)を目指したサイトである。

Web-GIS環境は、LROのデータを基本とし、検索機能、マップのカスタマイズ機能などを有する。なお、後述するWMS機能も有しているとのことである。

解析については、Windows及びMacOS X上で利用できるIlliadsというソフトウェアをダウンロードすることによって実現され、本サイトと連動した解析が可能となっている。

LMMPは、LROによる探査をサポートするツールとして2007年にMSFCで開発がスタートし、当初はLMP(Lunar Mapping Project)として構築されていたが、その後解析機能などを付加することで、現在の名称となっている。現在では、NASA エームズ、アリゾナ州立大学、USGS、さらには軍なども加わった開発が進められている。

JMARSは、ミッション立案システムから進化してきたシステムで、アリゾナ州立大学で運営されている。その起源は、1997年のマーズ・パスファインダーミッションにまでさかのぼるとい歴史あるシステムである。

現在では、様々な形での火星データのマッピング(3Dデータ、科学データ、異なる探査機によるデータなど)が行えるようになっており、これはJavaベースで開発されたクライアントプログラムをダウンロードすることにより実現されている。

地球観測分野では、このようなGIS上での解析やデータ共有などを行うシステムとして、ERDAS APOLLO¹²⁾がある。本システムは製品として販売されているものである。データ配信をメインとしているが、後述のOGCプロトコルなどもサポートし、データ共有などを行うことが可能である。

以上のシステムをみると、最終的に表示・解析機能などを実現させるためにどうしてもデスクトップアプリケーションを導入せざるを得ないという点がある。この点は、1.2節でも述べた通り、特に今後モバイル機器が

ネットワークアクセスの主力となった際に大きな問題点となる可能性がある。今後は、機器を選ばないばかりか、アクセス手法さえも選ばないようなシステムが要望されていく可能性は高いといえよう。

また、商品としてシステムが販売される場合、データフォーマットや解析手法などにおいてベンダーが固定されてしまう「ベンダーロックイン」が発生してしまう可能性はどうしても否めない。また、月・惑星探査分野においては、世界中でデータを共有する必要があるだけでなく、探査データの保持に予算が潤沢に投入できる状況ではないことも考えなければならない。

1.4 システムの基本構想

1.2 節中程で述べた通り、これからの時代に向けた月・惑星探査データ解析システムを開発する際には Web-GIS を念頭に置いて実装を進めていくことが適切であると考えられる。

幸い、ウェブ技術はここ数年長足の進歩を遂げている。とりわけ、従来であれば Adobe Flash などのプラグインを必要としてきた高度な画像表示やウェブアプリケーション (RIA: Rich Internet Application) を、基本的なウェブ技術だけで実現する枠組みとして、HTML5¹³⁾ の普及が急速に進んでいる。

HTML5 は単にマークアップとしての HTML 言語だけでなく、周辺の CSS (Cascading Style Sheet) や JavaScript などを含めた包括的なウェブの枠組みを定義したものであり、特に動的なウェブサイト作りにとっては非常に大きな力を発揮すると考えられる。

ここでの「動的」なウェブサイトとは、ユーザからの入力に対して何らかの反応があることが前提となるシステムであり、CGI のようなものから、PHP、JavaScript などによるものまで幅広く含まれる。この分野においては、ユーザからの位置情報をもとにその地点の地図、科学データなどを表示する、あるいは希望する表示位置への表示を行うといったウェブサイト (ウェブページ) になる。

現時点で HTML5 はドラフトであり、すべての機能が実装できているわけではないが、将来的にウェブ技術がその方向に進むことを見越し、これらの、特に動的なウェブを実現させる技術を大いに活かしていくことが重要である。

最終的に、他のシステムでは実現できていない、すべての環境 (解析やデータ共有など) をもウェブにおいて完結させ、「ウェブブラウザさえあれば閲覧から解析まで研究に関わるすべての活動が行える」というようなシステムを目指すのがよいと考えている。

このような技術的な進歩をもとに、将来的な技術 (例えば上述の HTML5 など) を取り込みつつ、できる限りオープンな規格でシステムを実装することがシステム構成の基本である。オープンな規格であれば他のシステムとの連携も容易に行うことができ、また規格は常に残るので (例えば会社内に秘匿されるということはないので)、将来誰かがこの技術を再度利用しようとしたとしても、問題なく行える。これは、何十年後かに再利用される可能性がある月・惑星探査データにおいて重要なポイントでもある。

上記の意味において、ウェブ技術の点からはプラグインなど、ブラックボックスになりがちな技術を除いた形での実装を行っていくことが望ましい。

以上、これからの時代に求められるシステムとしては、ウェブというオープンなプラットフォーム上に、オープンな技術により構築されるシステムであることが望ましいといえる。第 2 章で述べる WISE-CAPS システムは、まさにその思想を体現しているものといえる。

2 システム「WISE-CAPS」

第 1 章で述べた内容を実現させるため、我々は現在、WISE-CAPS (Web-based Integrated Secure Environment for Collaborative Analysis of Planetary Science)^{14,15)} というシステムを構築している。

本章では、システムの要件定義及び実装について述べる。

2.1 システムとして備える要件の定義

第 1 章で触れたシステムの構想に基づいたシステムとして、WISE-CAPS に関しては、以下のような要件を備えることが必要であると定義する。

- 基本的に、研究で行うすべての活動をネット上、とりわけウェブブラウザ上で実施できるようにする。
- 上記を実現するため、月・惑星探査データの閲覧はもちろんのこと、他のユーザとの共有、解析データのアップロード、これらのデータに基づいた議論、さらには解析、他のシステムとの連携が実現できるようにする。
- 利用するユーザは、月・惑星データを扱う研究者 (惑星科学者) を念頭に置く。
- これらのユーザは必ずしもコンピュータやソフトウェアの扱いに秀でていたわけではないことを考え、ユーザビリティを重視したインタフェースを設計する。

- プラグインなどに頼らず、ウェブブラウザが持つ機能でのみシステムを実現する。
- 他のシステムとの連携を考慮し、オープンな規格に準拠する。
- 新しい機能などが加わって行くであろうことを考慮し、システムの拡張性を重視する。また、システム全体(ハードウェア)を一度に整備することは予算規模から考えて困難であることから、将来的に拡張可能なシステムを構築する。

2.2 システムの概要

WISE-CAPS は、Web-GIS を実現するためのシステムであり、システムとしてはウェブサーバ部分とデータベースサーバ部分に分かれる。この両者は、負荷分散や故障の際の互いの代替などを目的として、ハードウェアとして用途を分けてある。

1.4 節で述べた通り、WISE-CAPS では、すべてを(ユーザからみた場合には)ウェブ上、さらにいえばウェブブラウザ上で完結させることを目指している。

このことは、すべての技術を広い意味でのウェブ技術で解決することを目指している。このため、システムはウェブブラウザを選ぶことがなく、標準技術に準拠した内容であれば、どの基本システム上のどのウェブブラウザでも同一のルック&フィール、同一の操作性が保証される。また、プラグインなどを用いないで実現させる方向性は安定性の向上にもつながる。

構成ソフトウェアはすべてオープンソースのソフトウェアを使用しており、優れた拡張性と安価なシステム構築を実現している。また、常に最新のシステムソフトウェアを利用することも利点として挙げられる。

以下、2.2 節ではハードウェアについて、2.3 節ではソフトウェアについて詳細を述べる。

2.3 構成ハードウェア

WISE-CAPS は、現在は 3 台のサーバと、1 台の外付け大型ディスクから構成されている。

3 台のサーバは、それぞれに役割が分担されている。3 台のうち 2 台はペアとなって活動するように設計されており、1 台がウェブサーバ、1 台がデータベースサーバとして動作している。残り 1 台は、新規実装試験用サーバとして、新しいシステムのテストや WISE-CAPS を応用した新しいシステムの導入などのために使用されている。この新規実装試験用サーバでは、ウェブサーバとデータベースサーバが 1 台のサーバ内で実行されている。

ウェブサーバとデータベースサーバは、共に、外付け

の大型ディスクに接続されている。この大型ディスクは、合計 48 台のハードディスクドライブを RAID 5 方式で統合して使用する形で、論理容量(実際にファイルシステムとして使用できる容量)として約 12TB の容量を確保している。但し、本サーバが採用している基本システムである CentOS(次節で詳細を述べる)で使用しているファイルシステム形式である ext3 のパーティション最大確保容量が約 6TB であるため、その限界に従う形で、ディスクを 2 分割し、6TB ずつをそれぞれのサーバにマウントして運用している。

なお、外付けディスクと 2 台のサーバ間は、それぞれを 4Gbps のファイバーチャネル(光ファイバー接続)で結ぶことで高速なディスクアクセスを可能としている。

外部とのネットワーク接続については、大容量のデータのやりとりが行われることを考慮し、JGN-X (Japan Gigabit Network eXtreme)¹⁶⁾との接続を行っている。但し、日常的なメンテナンスなどの便を考え、JGN-X に加え、会津大学内のネットワークにも接続している。

これらの装置は、会津大学情報センターの建屋内に設置されており、ハーフハイトのラック内に機器が納められている。

2.4 構成ソフトウェア

本システムの特徴として、基本システムからフレームワーク部分まで、すべてをオープンソースソフトウェアで実装している点が挙げられる。

ベースとなる基本システムは、Linux ディストリビューションの中でも幅広いシェアを占めている CentOS を使用している。現在、2 台のサーバ(ウェブサーバ、データベースサーバ)は CentOS 5、1 台の新規実装試験用サーバについては CentOS 6 を導入している。

この基本システムの上に、基本的なサーバソフトウェアが搭載されている。ウェブサーバは Apache httpd、データベースサーバについては、基本的には PostgreSQL を使用しているが、新規実装試験用サーバでは MySQL も併用している。

PostgreSQL は、後述する WFS プロトコルを使用するために、PostGIS を同時にインストールしている。なお、Apache httpd は後述するユーザ管理フレームワーク(GridSite)のためにバージョン 2.0 系列をインストールしている。PostgreSQL は現時点では 8.4 系列を使用している。

以上の基本システムの上に、Web-GIS を実現するためのアプリケーション、及びフレームワークを実装している。ここでは、MapServer¹⁷⁾と OpenLayers¹⁸⁾について述

べる。

MapServer は、Web-GIS におけるマッピング機能を提供の中核的アプリケーションである。ここでいうマッピングとは、画像ファイルを、別途提供される画像の座標情報や、投影方法に応じた形で表示することをいう。MapServer 自身は CGI として動作し、マップファイルと呼ばれる、レイヤー名や座標、マッピングすべきウィンドウの大きさなどを記載したファイルの内容を元に、レイヤーのマッピングを行う。マップファイルに記載された元画像の座標情報を元にして、指定された縮尺でのマッピングを行うため、画像の拡大縮小やタイリング処理などを行う。

また、MapServer の大きな特徴として、OGC (Open Geospatial Consortium)¹⁹⁾ が提唱する、各種のデータ交換用共通プロトコルに対応しているという点が挙げられる。OGC では、Web-GIS 間のデータ相互流通性を向上するために、システム間での共通プロトコルを提唱している。その中には、画像データの相互流通性を保証する WMS (Web Map Service)²⁰⁾、地図上に存在する各種の物体 (地物データ、地球の GIS では建物や道路などの、自然地形以外の情報を指す) の相互流通性を保証する WFS (Web Feature Service)²¹⁾ などが含まれている。現在、WISE-CAPS で実装している MapServer は、WMS、WFS を有効としている。従って、WMS をサポートする他のサーバとのデータ交換が行えるようになっている。

MapServer を使用するためには様々なライブラリが必要であるが、これらのライブラリもすべてオープンソースである。画像変換ライブラリの GDAL²²⁾ や幾何解析ライブラリの geos²³⁾、座標変換ライブラリの proj4²⁴⁾ などが MapServer を使用するためには必要になるが、これらはいずれもオープンソースである。システムを構築する際には、これらのライブラリをソースから順次コンパイル、インストールした後、最終的に MapServer をインストールするという形をとっている。

一方、OpenLayers は、オープンソースのレイヤ管理フレームワークである。OpenLayers は JavaScript を使用しており、サーバ側への負担がかからない。また、WMS や WFS などのプロトコルをサポートしているため、MapServer などをはじめとする、OGC のデータ標準をサポートする GIS サーバと連携して動作することが可能である。

また、OpenLayers では、レイヤをオブジェクトとして定義することができる。このため、レイヤを表示しようとする HTML ファイル内に JavaScript でオブジェクトとしてレイヤを定義し、名前や表示枠の大きさなどのパラ

メータを定義することにより、表示が簡単に行えるという利点がある。

さらに、表示されるレイヤーの拡大・縮小、移動などは、画面に用意されたスケールをクリックすることで行うことができ、さらにその際にはブラウザでページを再読込する必要がない。この機能は Ajax (Asynchronous JavaScript and XML) テクノロジーを用いて実現されているが、このコア部分は OpenLayers 内部に記述されているため、ユーザは Ajax に関するコードを意識することなく、この機能を利用することができる。

2.5 ユーザ管理フレームワーク

WISE-CAPS では、ユーザ管理システムを導入し、データ閲覧に際して制限を設けたり、グループ内でデータの閲覧を可能にするような枠組みを設けている²⁵⁾。

このユーザ管理システムの中核をなすものが、GridSite²⁶⁾ という、Apache httpd のモジュールである。

GridSite は、サーバ内のディレクトリに設置された GACL (Grid Access Control List) というファイルを読み取り、ユーザがそのディレクトリにアクセスしてよいかどうかを判断する。この際に、GridSite はユーザの証明書を読み取り、そのユーザが本人であるかどうかをチェックする。

証明書をウェブブラウザにインストールしていれば、職場であれ自宅であれ、あるいは PC であれタブレット端末であれ、どのようなコンピュータからでも認証を行うことができ、限定されたページにアクセスすることが可能である。

さらに、GridSite の特色として、ユーザでグループを組むことが可能となっている。このグループは VO (Virtual Organization) と呼ばれ、例えばある論文の共著者のグループ、開発中の機器の担当グループといったような形で、ユーザがグループに入ることが可能である。なお、1人のユーザは複数のグループに入ることが可能である。

このように、GridSite を利用することにより、柔軟なユーザ管理を実現することができるが、ここで問題となるのがデジタル証明書である。日本ではコンピュータ、あるいはウェブブラウザ内に自身のデジタル証明書を保持しているユーザはそれほど多くない。このため、証明書がないために利用できないという事態が発生することが考えられる。

このような状況に対応するため、ID とパスワードによる認証によって、証明書を発行する中間的なプロキシサーバ (OGC Proxy) が用意されている。WISE-CAPS のユーザ制限がかけられている部分にアクセスする際、

OGC Proxy でまず認証を行う。ID とパスワードでユーザ確認が取れた時点で、このプロキシサーバはリクエストを証明書つきで WISE-CAPS へリダイレクトする。これにより、WISE-CAPS ではユーザ管理システムが動作し、必要なコンテンツの閲覧が行えるというシステムである。

なお、これらの過程で、通信経路はセキュアプロトコル (HTTPS) で秘匿化されている。

以上の概念図を図 1 にまとめた。

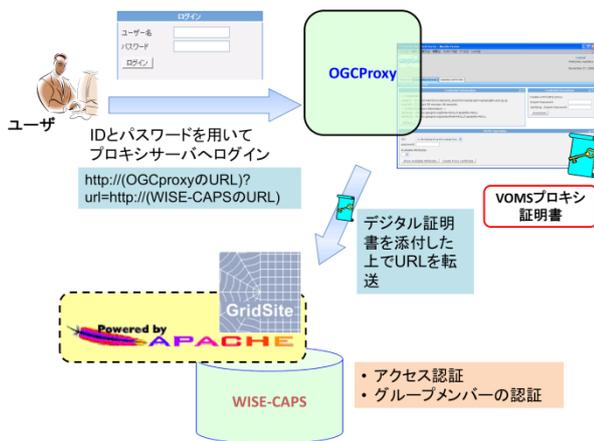


図 1 WISE-CAPS で採用しているユーザ管理フレームワークの概念図。ユーザからの ID/パスワード情報を OGC Proxy へ転送、デジタル証明書を付加して WISE-CAPS サーバへ転送するという構造になっている。

3 実際のシステムの内容

現在のシステムについては、参考文献^{14,15)}に詳細が記述されているので、ここではシステムを利用した代表的な例を記述する。

なお、本章で使用されている「マッピング」という言葉については、2.4 節の最初の部分で説明されているものと同一である。

3.1 システムの実際の例

図 2 には、WISE-CAPS の典型的な利用例として、月面の Diricilet クレーター及び Jackson クレーター周辺のマッピング例を示す。

本例では、アメリカのクレメンタイン探査機が取得した、UVVIS カメラの 750nm ベースマップ画像 (USGS にてモザイク化されたもの)²⁸⁾をベースマップとし、その上に、「かぐや」マルチバンドイメージャーが取得したこの地域の画像を重ね合わせている。それぞれが別レイヤーとなっている。

マッピングに際しては、OpenLayers の機能を用いて透明度を調整できるようになっており、複数レイヤーを重ね合わせた場合でも容易に下の地形との整合をとることができるようになっている。

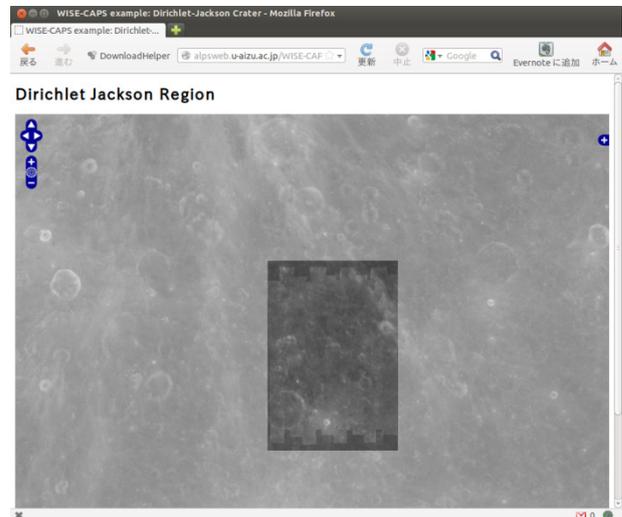


図 2 Dirichlet クレーター及び Jackson クレーター周辺のマッピング例。中央部にある詳細な画像が「かぐや」取得の画像。ベースマップはクレメンタイン UVVIS 画像。透明度は、画面下 (図ではウィンドウの下にあってみえない) の透明度ツールで調整できる。

図 3 では、より多くのレイヤーのマッピング、及びユーザ管理を行っているレイヤーマッピングの例として、Jackson クレーターのマッピング例を示す。

ベースマップは図 1 と同様であるが、その上に、「かぐや」の地形カメラによる画像を重ね合わせ、さらにその上に「かぐや」マルチバンドイメージャーの画像 (本図では後述する比演算画像に重なってしまっていて見えない)²⁷⁾、そして同じくマルチバンドイメージャーのデータを利用した比演算画像 (図 3 ではカラーで示されている縦に伸びる帯状の画像。疑似カラーで着色されている) を表示している。

なお、この比演算画像及びマルチバンドイメージャーの画像は、ユーザ管理システムにより、特定のグループに属する人のみが表示可能となっている。また図 1 と同様に、それぞれの画像 (レイヤー) について透明度調整が可能である。レイヤー表示については、OpenLayers の表示レイヤー選択機能を用いており、この機能を使えば、透明度調整とは別に、直接表示したいレイヤーを指定することができる。

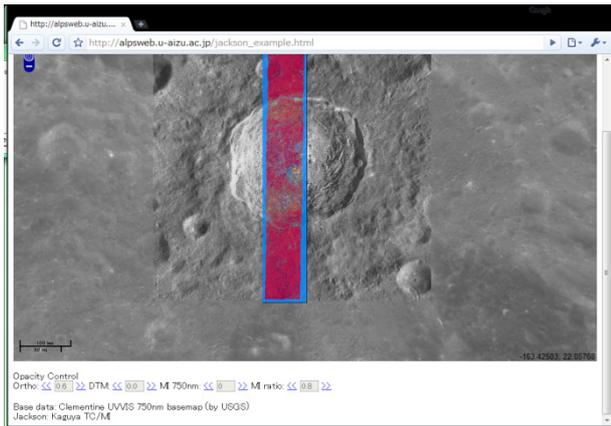


図3 Jackson クレーター周辺をプロットした例。ベースマップは図2と同様、クレメンタイン UVVIS 画像。写真中央部のより詳細な白黒画像は、Jackson クレーター周辺の TC 画像。中央部には、MI 画像より作成された比演算画像（上図カラー部分）が重なっている。本ページで合計 4 枚のレイヤーが重ね合わさっている。

4 新たな実装

本章では、WISE-CAPS の枠組みを利用して作成された、新たなシステムについて述べる。

4.1 LISM データ統合表示システム

LISM (Lunar Imager and SpectroMeter)²⁸⁾(月撮像分光機器)とは、「かぐや」に搭載されていた、カメラ及びスペクトロメータの総称である。

これらの装置とは、地形カメラ (TC: Terrain Camera), マルチバンドイメジャー (MI: Multiband Imager), そしてスペクトルプロファイラー (SP: Spectral Profiler) である。

TC 及び MI は画像 (ラスターデータ) を取得するタイプの機器である。一方、SP は月面の 1 点において、波長分解能が非常に高いスペクトルデータを取得することを目的としている。すなわち、得られるデータは測定位置及びスペクトルデータ (ベクトルデータ) となる。また、MI はその名の通り、マルチバンド、すなわち複数波長のスペクトル画像データを取得することを目的とした装置であり、単波長の画像を取得する TC とも異なる。

このように、LISM という 1 つの機器セットの中に、異なるタイプの機器が存在しており、しかも、特に MI と SP は、相互のスペクトルデータを結びつけて科学的な議論を行う「統合サイエンス」の要ともいえる機器である。にもかかわらず、従来この 3 種のデータを 1 つの画面上で統合して表示するというシステムは存在しなかった。

今回、WISE-CAPS に備わる基盤システムを利用し、

これらのデータを統合表示するシステムの作成を行った²⁹⁾。このシステムでは、TC、MI データをラスター (画像) レイヤーとして、そして SP データについてはその上に表示される測点をクリックすることでスペクトルグラフとして表示することが可能である。

図4にシステム概要を示す。TC、MI の画像データは、ウェブサーバ側に実際の画像データとして格納されている。これらのデータは、表示したい場所や縮尺に応じて MapServer で加工され、OpenLayers を利用して表示される。

一方、SP のデータは、観測地点の緯度・経度、及びその点の観測データが、データベースサーバ (PostgreSQL/PostGIS) に格納されている。このデータは、WFS プロトコルによってデータベースから引き出される。

引き出された測点データは MapServer 側の WFS 機能によって別レイヤーとして地図上 (TC、MI と同一の枠内) にプロットされる。そして、クリックするとその位置のスペクトルデータが読み出され、別枠にグラフとしてプロットされる。このグラフプロットは、JavaScript により記述されたウェブ用画像描画ライブラリである Dygraphs³⁰⁾ を使用している。

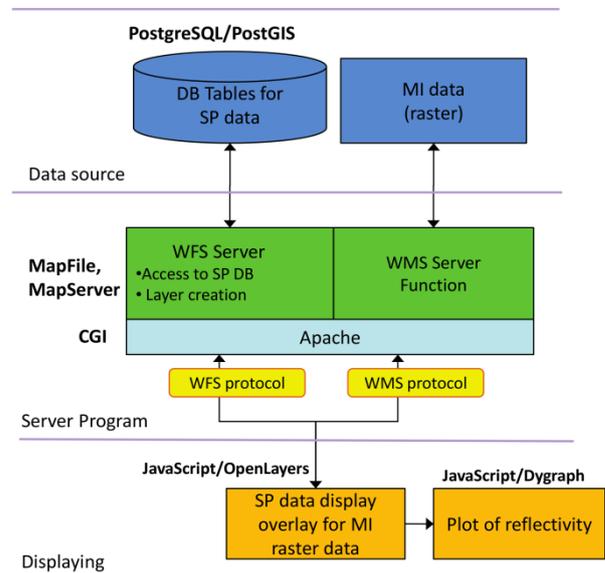


図4 LISM 統合表示システム構成図

以上の説明からもわかるように、本システムは Flash などを含めた追加のプラグインを一切使用せずに実現されており、事実上どんなウェブブラウザでも表示することが可能である。

実際のプロットの例は図5に示した。

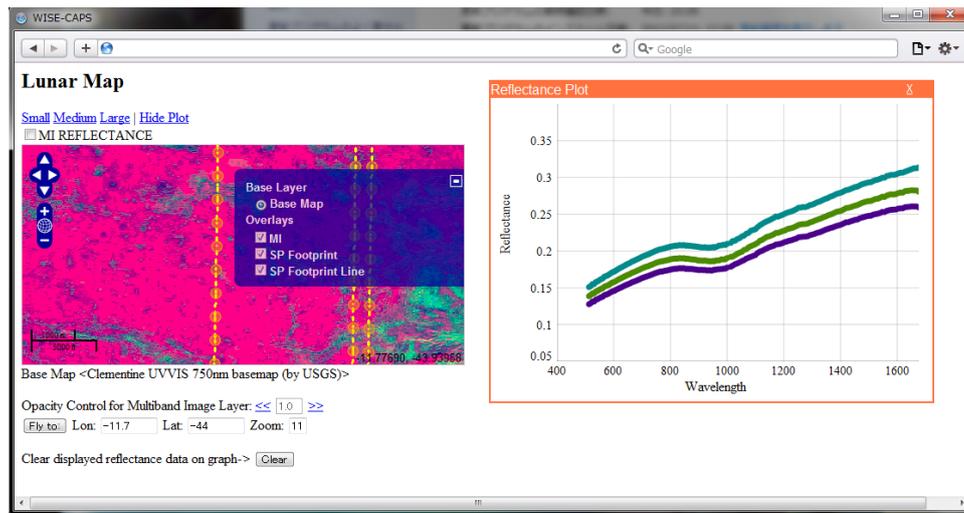


図 5 LISM 統合表示システムの例。左側には、ベースマップ（実際には隠れている）、及び MI による比演算画像（カラーの絵）が表示され、図の中心部には上下に SP の測線が走っている。測線には測点がプロットされ、それをクリックすることで右側のグラフ部分にスペクトルが表示される。この例では 3 点をクリックして、表示を重ねている。表示している部分は Tycho クレーター近辺。

4.2 データアップロードシステム

WISE-CAPS でユーザがデータをサーバにアップロードする際に問題となるのが、データの転送方法である。

現在、WISE-CAPS 上にデータを転送するためには、SFTP、または SCP などのセキュアファイル転送プロトコルを用いて、目的のサーバ上にデータを転送しなければならない。もちろん、サーバのどのディレクトリにファイルを設置すべきであるかといったことをユーザに対してあらかじめ伝えておかなければならない。

一方、システム管理者にとっては、このような状況はセキュリティ上あまり望ましくない。

まず、システムを本格的に使うことがないユーザのためにわざわざ UNIX アカウントを付与するということが自身がセキュリティの問題につながりかねない。例えば、UNIX アカウントをユーザに付与することにより、ユーザが弱いパスワードを使っていたりすれば、重大なセキュリティホールともなり得る。また、サーバ内部の構造をユーザに知らせることは、セキュリティホールにつながる可能性もある。

このような点を考えると、UNIX アカウントを使用せず、別のユーザ管理メカニズムを使った上で、SFTP や SCP などを使わないでファイルを転送できることが望ましい。

このようなシステムとして、ウェブブラウザ経由でファイルをアップロードするシステムを開発した³¹⁾。このシステムは単にファイルをアップロードするだけでな

く、ウェブブラウザ上でマップファイルや HTML ファイルなど、テキストファイルの編集も行うことができる。

MapServer を使って画像表示を行う場合、必要となるファイルの種類は以下の通りである。

- 図として表示したい画像ファイル (1 つとは限らない)
- 上記画像ファイルの四隅の位置 (緯度・経度)、及び画像の傾きを記した「ワールドファイル」
- レイヤー名や表示ウィンドウの大きさなど、マッピングに必要な情報を記した「マップファイル」
- 実際のマッピングの際に使用する HTML ファイル

なお、HTML ファイルは MapServer による画像表示とは直接関係しないが、表示させる画像や、OpenLayers によるレイヤー表示などの際に必要なとなる。

これらのファイルを数クリックの手順でウェブブラウザ上からアップロードすることが可能である。図 6 にそのインタフェース画面を示す。

図 6 では、各ファイルについて、そのファイルを指定してアップロードができるようになっている。なお、画像ファイルについては複数になる場合もあるため、ZIP 書庫としてアップロードすることもでき、その場合にはサーバ内で展開されて保存される。

アップロードしたファイルについて、特にマップファイルについては、正しくマッピングされない場合には再度編集することが必要である。従来であればローカルで



図 6 ファイルアップロード用ページの画面

編集してサーバへアップロードし、正しいかどうかを確認した上で、正しくない場合には再度編集の上サーバへアップロードするという手順を繰り返すことになる。この手間を省くため、サーバ上のファイルを直接編集するシステムも導入している。この画面を図7に示す。

このシステムを利用することによって、マップファイルを編集し、表示させることができるようになってきている。また、同じシステムによって、HTMLファイルを編集することもできるので、HTMLファイルをアップロード後、修正が必要な場合でも、このシステムを使ってサーバ上のHTMLファイルを直接編集することができる。

後述するように、現在、サーバ上のレイヤー名の規約などが整っていないため、システムは試作段階にとどまっているが、規約などが固まり次第、早急にシステムを改良し、実用に供したいと考えている。

また、本システムはユーザ管理システムとも本来連動すべきものであるが、連動部分がまだ完成していないため、当面は切り離して運用することになる予定である。

アップロードによってユーザのデータがサーバを圧迫する可能性も考えられるが、現時点で想定されている利用法は、ベースデータのような大規模データではなく、ある領域を解析した科学データのような、小規模(大きくても数GBレベル)のデータを想定しているので、大規模バックエンド(数十TBレベル)を用意できれば、大きな問題とはならないと考えられる。なお、ユーザ増加などにより、データ領域が逼迫してきた場合には、

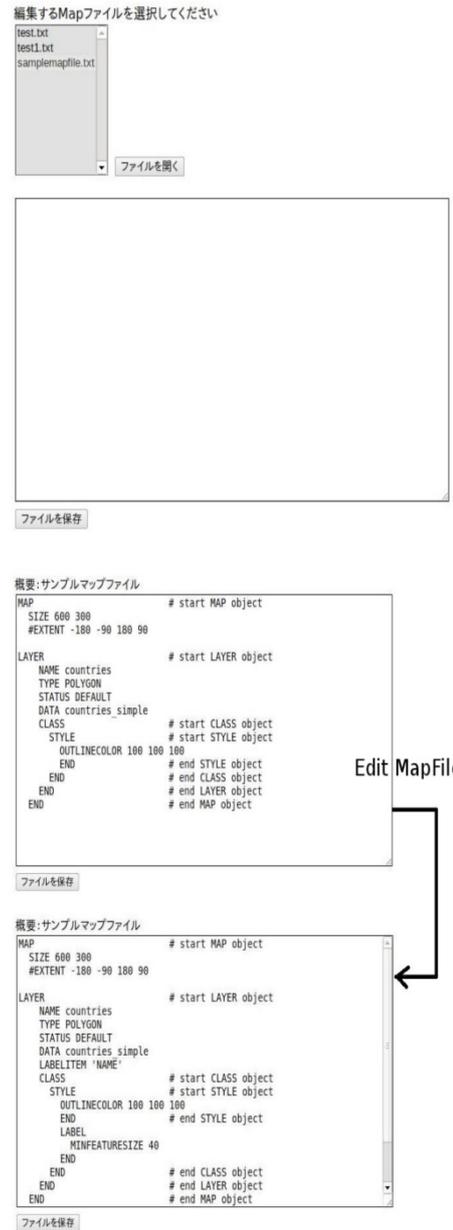


図 7 編集するマップファイルを開く画面(上)と、実際に開いたマップファイルを編集する画面。ここではサンプルのファイルを編集している。画面左下には「ファイル保存」ボタンがあり、編集が終了したファイルはこのボタンを押すことでサーバ上に保存される。

Quotaのような機能を導入して一時的な制限を設けることも考えなければならない。

現時点では登録するデータについてマップ表示に必要なファイルのみに言及されているが、研究目的、あるいは永続的な保存などのためには、データに付随するメタデータの保存などの機能も将来的には実装したい。ユーザのフロントエンドをWikiベースにできれば、Wikiページをそういったメタデータ記述の場所とすることも可能

である。

また、データ量の増大だけでなく、誤ったデータ登録に対応するためにも、削除機能、及び削除・変更すべきデータなどを一覧できる機能を、将来に向けて準備しておくべきと考えられる。

5 将来的な展開

以上、WISE-CAPS システムの現状について述べてきたが、実際には本システムはまだまだ初歩的な機能の実装が完了しているという段階に過ぎない。

例えば、4.1 節で述べた統合表示システムは、現在のところ月面の一部領域でのみ稼働するだけでなく、対応ブラウザも Safari のみとなっており、他のブラウザで表示すると、プロットがずれたりするというような問題点を抱えている。一部領域での稼働となっている理由は、全データが膨大なためすべてをまだデータベースに投入し切れていないことと、データが膨大になった場合に現在のシステムで十分なパフォーマンスが出るかどうか不明なためという 2 点が大きな理由であり、この点については現在改良を進めている。将来的には月面全体で利用できるようにシステムとする予定である。

4.2 節で述べたデータアップロードシステムも、数クリックでレイヤーを登録できるという状態には未だ至っていない。これは、WISE-CAPS のレイヤー命名規則などが整っていないこともあり、どのような名前でもレイヤーを登録すべきであるかが確定していないことも大きな理由である。

レイヤーの名前を決定するのはマップファイルであるが、現在の仕組みではユーザが任意のレイヤー名をマップファイル内に指定することができるようになってしまっている。そのため、同じレイヤー名が別のマップファイル内に存在した場合、OpenLayers でレイヤーを指定する場合に問題が発生する可能性がある。このため、異なるユーザに対しても確実に一意で決定できるレイヤー名が指定できることが必要である。

WISE-CAPS が使用しているユーザ管理フレームワーク GridSite については、Apache httpd の 2.0 系列で安定して動くものの、2.2 系列(現在の主流)ではやや不安定であり、将来的に主流となる 2.4 系列では動作しないという欠点を抱えている。

また、ユーザ管理についても、現在は内部サーバで行うことができず、外部サーバにユーザの登録や削除などを委託しなければならないという状況で、自由な運用が行いにくい。

課題のいくつかについて述べてきたが、これらについて現在、鋭意解決策の用意を始めている。

ユーザ管理フレームワークについては、現在 OpenSSO³²⁾ についての検討を開始している。これは異なるシステムへのシングルサインオンを実現することができ、基本的なユーザ管理は LDAP (OpenLDAP) を利用している。LDAP が基盤となっていることからユーザ管理を内部で行うことも難しくなく、信頼性の高いシステムを構築することができると思われる。現に LMMP の内部で使用されているユーザ管理フレームワークが OpenSSO であり、類似システム使用の実績もあることから、今後ユーザ管理フレームワークを採用する際の選択肢として加えていきたい。

現在、WISE-CAPS 拡張として力を入れているのが、Web API の整備と、プログラミング環境の構築である。

Web API は、Google Earth や Google Map などでも使われているような枠組みで、サーバ側に用意されている JavaScript(など) を利用することで、そのサーバに用意されている機能を使用することができる機構である。例えば、表示されている地図の一部を取り込んだり、表示されているデータを数字(物理量)の形式で表示させたりすることも可能である。

Web API があれば、WMS や WFS のようなサーバ連携の仕組みとは別に、より多くのサーバで WISE-CAPS を使用してもらうことが可能になる。Google Maps でよく行われているように、地図の一部、あるいは該当領域を表示したり、必要なレイヤーだけを表示する、といったことが可能になる。

一方、サーバ上でのプログラミング環境は、WISE-CAPS の「A」、すなわち解析環境に欠かせないものである。具体的には、サーバ上にプログラムを書ける環境と、ある程度のライブラリ(初歩的な画像処理やデータ解析など)を用意した上で、サーバ上のデータを解析し、それを新しいデータとして蓄積できるような仕組みである。枠組みとしては Google App Engine³³⁾ に近いが、あくまでも月・惑星探査データに特化した枠組みでのプログラミング環境である。

これが整えば、データをローカルのコンピュータにダウンロードし、アプリケーションで解析する必要もなく、解析までもがすべてサーバ側で実施できる環境が整う。さらに、解析済みのデータをも共有できるようにすれば、データの閲覧、解析、そして議論をすべて WISE-CAPS 上で行うことができる。ここにコミュニケーション機能が実装できれば、WISE-CAPS はまさにネット上の「仮想研究室」として、地理的、時間的に離れた研究

者同士を結びつけて、月・惑星探査データの解析やその結果についての議論を行う場としての環境が整うことにある(もちろん、コミュニケーション機能は別途存在してもよい。例えば、Skypeなどを使えば現在でもリアルタイムで議論することは行える。ただ、実際のデータを前提とした、より研究用途に特化したコミュニケーションシステムは存在してもよい)。

ただ、この場合の問題点として、システムが巨大化することによって、サーバ等(CPU資源やディスク資源など)が大量に必要となり、結果的にコストの増大を招く恐れも否定できない。このような問題に対処するためにはいくつかの方法が考えられる。

- 仮想化サーバの積極的な活用. CPU資源などの消費の問題については、必要なときにのみ稼働する形での仮想化サーバを活用することによって、効率的な運用を行うことが可能である。
- 商用プラットフォームの利用. 商用クラウドプラットフォームは現在非常に多くの会社が展開しており、価格も劇的に下がりつつある。上記の仮想化ソリューションとも関連するが、例えば一時的に多量のディスク領域が必要になった場合には商用クラウドプラットフォームからディスク領域を購入するという手段を執ることによって、管理コストと整備コスト両方を押さえることが考えられる。
- クライアント側リソースの利用. グリッド的な考え方であるが、クライアント側もシステムに組み込むことによって、クライアントのCPUやディスク資源を一時的に利用させてもらうことも考えられる。この場合のポイントは、ユーザ側にクライアント側を利用しているということ意識させてはならないということである。例えば、あらかじめクライアント側の資源を提供してもらい、それを分散型ファイルシステムやMapReduceのようなグリッド指向のシステムで結びつけることにより、十分に高速・大容量になったパーソナルコンピュータの資源を活用させてもらうことも可能である。ただしポイントは、あくまでもデータは中央(クラウド的なサーバ)に集中しているということであり、クライアント側(ローカル)には保存されていない、あるいは保存されていないようにみえるということがポイントである。

以上のような機能強化により、WISE-CAPSは、日本の月・惑星探査環境にマッチした月・惑星探査データシステムとしての進化を遂げ、より多くの人に使われるシステムとなっていくであろう。

また、機能拡張以外にもWISE-CAPSで行うべきことはまだまだ多数ある。例えば、データの登録数の増加、より新しいデータの登録なども行いたい。このようにデータの種類や数が増えることで、多くのユーザにとって魅力的なシステムともなるであろう。

WISE-CAPSを作り上げていく過程では、ユーザである惑星科学者からのフィードバックを得る必要があることはいままでのない。

我々は今後も、よりユーザが使いやすく、研究に貢献し、研究のための効率を上げることができるシステムを目指し、随時実装を重ねていく予定である。

謝辞

本システムのベース画像は、アメリカ地質調査所(USGS)が配布している³⁴⁾、クレメンタイン探査機の画像をベースとしたGIS用画像を使用している。また、「かぐや」画像は、JAXAが配布しているデータを使用している²⁹⁾。

参考文献

- 1) 「かぐや」プロジェクトウェブサイト, <http://www.kaguya.jaxa.jp>
- 2) Hirokazu Hoshino, Yukio Yamamoto, Shin-ichi Sobue, Katsuhide Yonekura, Mina Ogawa, Iwana, Kai Matsui, Hayato Okumura and Manabu Kato, Data Processing at KAGUYA Operation and Analysis Center, Space Science Reviews, vol. 154, No. 1-4, pp. 317-342, 2010.
- 3) Lunar Reconnaissance Orbiter, <http://www.nasa.gov/lro>
- 4) Naru Hirata, Jun'ichi Haruyama, Makiko Ohtake, Tsuneo Matsunaga, Hirohide Demura and LISM working group, Ground Data Processing of Lunar Imager/Spectrometer (LISM): A System Design and Core Algorithms, Proc. 23rd International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), 2002
- 5) NASA WorldWind, <http://worldwind.arc.nasa.gov>
- 6) Map-A-Planet, <http://www.mapaplanet.org>
- 7) Cohen, B. A., Nall, M. E., French, R. A., Muery, K. G., Lavoie, A. R., The Lunar Mapping and Modeling Project (LMMP), 39th Lunar and Planetary Science Conference, #1391, 2008.
- 8) Lunar Mapping and Modeling Portal, <http://lmmpp.nasa.gov>
- 9) JMARS (Jaav Mission Planning and Analysis for Remote Sensing), <http://jmars.asu.edu>

- 10) Dickenshied, S., Christensen, P. R., Edwards, C. S., Prashad, L. C., Anwar, S., Engle, E., Noss, D., Jmars Development Team, Collaborative Planetary GIS with JMARS, American Geophysical Union, Fall Meeting abstract #IN32A-08, 2010.
- 11) JMOON (beta), <http://jmars.asu.edu/node/2055>
- 12) ERDAS APOLLO (日本インターグラフ株式会社), <http://www.erdas.jp/products/ERDASAPOLLO/>
- 13) HTML5, A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML, W3C Working Group, <http://www.w3.org/TR/2011/WD-html5-20110525/> (Working Draft as of Nov 25, 2011)
- 14) Junya Terazono, Ryosuke Nakamura, Shinsuke Kodama, Naotaka Yamamoto, Hirohide Demura, Naru Hirata, Yoshiko Ogawa, Jun'ichi Haruyama, Makiko Ohtake, Tsuneo Matsunaga. WISE-CAPS: Web-based Interactive Secure Environment for Collaborative Analysis of Planetary Science. Masatoshi Yoshikawa, Xiaofeng Meng, Takayuki Yumoto, Qing Ma, Lifeng Sun, Chiemi Watanabe (Eds), Database Systems for Advanced Applications: 15th International Conference, DASFAA 2010, International Workshops: GDM, BenchmarX, MCIS, SNSMW, DIEW, UDM, Tsukuba, Japan, April 2010, Revised Selected Papers, LNCS (Lecture Note in Computer Science) 6193, Springer-Verlag, pp.58-68, 2010
- 15) Junya Terazono, Ryosuke Nakamura, Shinsuke Kodama, Naotaka Yamamoto, Hirohide Demura, Naru Hirata, Yoshiko Ogawa, Tomoetsu Sugawara. WISE-CAPS: Data Archiving, Browsing and Analyzing Environment for Lunar and Planetary Data: Current Enhancement and Future Prospect. Proc. of 43rd Lunar and Planetary Science Conference, 2012
- 16) JGN-X (情報通信研究機構), <http://www.jgn.nict.go.jp/>
- 17) MapServer website, <http://www.mapserver.org>
- 18) OpenLayers website, <http://www.openlayers.org>
- 19) OGC, <http://www.opengeospatial.org>
- 20) Web Map Service, <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>
- 21) Web Feature Service, <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>
- 22) GDAL, <http://www.gdal.org>
- 23) geos, <http://geos.osgeo.org>
- 24) proj4, <http://trac.osgeo.org/proj/>
- 25) 山本直孝, 田中良夫, 小島功, 関口智嗣, Tsukuba-GAMA: e-サイエンスのためのユーザ管理システムの設計と実装, 電子情報通信学会論文誌, 第 J93-D 巻, 10 号, 2292-2301 頁, 2010
- 26) GridSite, <http://www.gridsite.org>
- 27) かぐや (SELENE) データアーカイブ, JAXA 科学衛星運用・データ解析センター (C-SODA), <http://l2db.selene.darts.isas.jaxa.jp>
- 28) http://www.selene.jaxa.jp/ja/equipment/tc_j.htm
- 29) Tomoetsu Sugawara, Web-GIS Application for Analysis of Reflectance Spectra of Surface Materials on the Moon, Master Thesis, The University of Aizu, 2012.
- 30) Dygraphs JavaScript Visualization Library, <http://dygraphs.com>
- 31) Daisuke Tochigi, Fully Web-based Data Management System for Lunar and Planetary GIS, Graduate Thesis, The University of Aizu, 2012.
- 32) Oracle OpenSSO, <http://www.oracle.com/technetwork/jp/content/opensso-155204-ja.html>
- 33) Google App Engine, <https://developers.google.com/appengine/>
- 34) Lunar Clementine Basemap version 2, USGS, http://webgis.wr.usgs.gov/pigwad/down/moon_clementine_750nm_basemapV2.htm