

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：21602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400458

研究課題名(和文)月探査データに基づく月面鉱物マップの作成とWeb-GISでの解析による月表層研究

研究課題名(英文) Mapping of surface mineral distribution on the Moon and lunar Web-GIS study based on lunar exploration data

研究代表者

小川 佳子(Ogawa, Yoshiko)

会津大学・コンピュータ理工学部・准教授

研究者番号：90372656

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：日本の月周回衛星「かぐや」等によって得られた高精度で多様な月探査データに対して、簡便な可視化・解析を可能とする、月面Web地理情報システム(Web-GIS)「月光」を構築し、公開した。「月光」を用いることにより、誰でもインターネット環境さえあれば、ブラウザ上で、月面分光データを閲覧・可視化し、鉱物情報を抽出するための基礎的な統計解析をリアルタイムで実施することができるようになった。「月光」のユーザは、現在5カ国13機関に及ぶに至る。また、「月光」を活用し、様々な種類の探査データを横断的に利用した統合的な月表層解析を実施した。従来研究より効率的に月面物質の分布特性を明らかにできることを示した。

研究成果の概要(英文)：This research developed a lunar Web-GIS “GEKKO”, which specializes in handling the hyper spectral data and also cross-referring to other kinds of exploration data. “GEKKO” means moonlight in Japanese. The GEKKO is a unique system for distributing the hyper-band spectral data through web browser. The GEKKO mainly focuses on viewing the reflectance spectra of the Moon observed by the Spectral Profiler (SP) onboard Kaguya satellite. The client accesses the system via a web browser and can select any area of the whole Moon. The client can view, plot and download the SP data observed at the corresponding location on the referenced lunar images on the browser very simply and conveniently. The system also provides statistical analyses functions practically used for spectral data. We extended the system to examine the surface minerals on the Moon and to combine various kinds of data from lunar explorations.

研究分野：惑星科学

キーワード：月探査 地理情報システム かぐや スペクトルプロファイラ データの可視化 可視 近赤外スペクトル 鉱物 宇宙風化

1. 研究開始当初の背景

月は現在の惑星科学の根幹を支える研究対象と位置づけられている。特に、月の表層科学は現在の惑星科学の根幹を支える大事な原点に位置づけられる。月は地球と異なり、大気や水による地形の浸食や風化がないため、月が形成された初期の状態がそのまま保存されている。現在の月の様子を詳しく調べれば、月がこれまでどのような熱的過程を経て今の内部構造を持つに至ったのかを知ることができる。地球も月と同様の進化過程を辿ったと考えられており、月表層の理解は、かつての地球を明らかにすることにつながる。

月の表層を知る上で最も基本的で重要な情報は、地表面の岩石鉱物組成を知ることができるデータである。月周回衛星「かぐや」の可視-近赤外域ハイパースペクトル分光計（スペクトルプロファイラ: SP）によって全球域で観測されたスペクトルデータを用いれば月面の鉱物組成を知ることができる。このような、月全球の高精度可視-近赤外スペクトルデータセットは、世界的に他に類をみない。「かぐや」のスペクトルデータが月表層科学を進める上で重要なデータであるにもかかわらず、これまでは、一定基準で選別された、一部のデータが研究に用いられてきたにすぎない。月全球のスペクトルデータに対して網羅的に解析を行えば、新しい知見が発見できる可能性が十分にある。大量のデータをいかに効率良く運用・解析しながら有意義な情報を取り出せるかが、大きな課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究は、日本の月周回探査機「かぐや」等によって得られた高精度で多様なリモートセンシングデータに対して、リアルタイム解析を可能とする、Web 地理情報システム (Web-GIS) を開発する。この Web-GIS を用いることにより、月全球域規模での物質分布・宇宙風化過程について、既往の研究方法では実現不可能だったハイパースペクトル・標高・磁場などのデータ横断的な様々な可視化と解析を試みる。効率的・効果的に月表層物質の分布特性を明らかにすることを目指す。月地殻物質の形成や宇宙風化過程を理解することにつなげていきたい。作成するシステムやプロダクトは適時月科学研究者に開放し、月研究の進展に貢献したい。

3. 研究の方法

日本の月周回探査機「かぐや」によって得られた高精度のリモートセンシングデータを活用して、月面全球の物質分布・地殻活動について理解を進めるためには、様々な種類の探査データを横断的に利用した統合的な

月表層解析を実施する必要がある。そのために、具体的に下記に取り組んだ。(1) 可視-近赤外波長域連続スペクトル解析に基づいた、全球を範囲とした高分解能をもつ月面主要鉱物マップを作成するためのアルゴリズム開発と計算処理高速化。(2) 月探査データの効率的・効果的な可視化・解析を実現するための月面 Web 地理情報システム(Web-GIS)の構築。

4. 研究成果

本研究は、日本の月周回探査機「かぐや」等によって得られた高精度で多様なリモートセンシングデータに対して、簡便な解析を可能とする、Web 地理情報システム(Web-GIS)の構築を目指した。そして同時に、この Web-GIS を用いて、月面全球の物質分布・構造・地殻活動について、月探査データを存分に活用することにより、明らかにすることを目指した。作成するシステムやプロダクトは適時月科学研究者に開放・提供することを掲げ、実現させた。

様々な種類の探査観測データを横断的に利用した、効果的な可視化と効率的な解析の実現に向けた重要なステップはほぼ完了した。

1. 月面 Web-GIS 「月光」の運用開始・拡張

(http://fructus.u-aizu.ac.jp/gekko_info/ ;

後述 5 [雑誌論文](1)-(4), [学会発表](1)(3)(5) (6)(7)(8)(10), および[その他]参照)

月面 Web-GIS 「月光」の公開・正式運用を 2014 年 8 月より開始した。その後、2015 年 9 月の日本惑星科学会秋季講演会における口頭発表等を通じて、「月光」は日本の惑星科学コミュニティに浸透し始め、ユーザが着々と増加した。そして、各学術論文の謝辞に掲載されるに至った。ユーザは月科学研究者が中心である一方、若干名のサイエンスコミュニケーターも含まれている。また、「月光」で参照・搭載するデータを随時追加し、システムを拡張・運用した。そして、2015 年 9 月には英語版「GEKKO」の公開を行った

(http://fructus.u-aizu.ac.jp/gekko_info/en/index.html)。英語版「GEKKO」は、1 つの国際学会招待講演を含む計 3 つの国際学会・ワークショップで口頭発表し、欧米の惑星科学コミュニティに積極的にアピールし、ユーザ拡大をはかった。早速 NASA Lunar Mapping and Modeling Portal (LMMP) より collaboration の打診を受けるなど、好評価を得た。その後、2016 年度には、「月光」に、さらに、種々の統計解析機能(類似度分析、主成分分析、クラスター分析など)、SP データから鉱物情報を抽出する実用的な解析機能を新たに実装した。ユーザがデータを閲覧し、さらに、目的に応じたリアルタイム解析を実施するためのシステムとして拡張した。現在「月光/GEKKO」は、アジア・欧米の惑星科学コミュニティに浸

透し、ユーザは5カ国13機関に及ぶに至った(2017年5月現在)。

2. 様々な種類の探査観測データを横断的に利用した統合的な月表層解析を可能にするためのアルゴリズム開発・計算処理高速化(後述5 [学会発表](2)(4)(9)参照)

膨大な量の探査データ処理や解析を可能にするためのハイパフォーマンス・コンピューティングに着眼した。計算機内部で並列演算を実現する装置である汎用計算用GPU (Graphics Processing Unit: 画像処理装置)を導入した。本研究課題で対象とするスペクトル分解の数値計算において並列計算が有効であると考えた。また、様々な種類の探査観測データを横断的に利用した統合的な月表層解析を可能にするためのアルゴリズム開発を進める上で、深層学習に着目した。月面swirlと呼ばれるアルベド特徴をテストケースとして、「かぐや」の分光・画像データを主に用いながら、アメリカの月探査機の高度観測データを取り入れ、統合的な月探査データ解析を実施し、統合解析における深層学習の有効性の評価を試みた。今後Web-GIS「月光」に深層学習解析機能を搭載する可能性を模索していきたいと考えている。

なお、(1)(2)両方に関連して、学生と若手研究者を対象とした、かぐや/SPデータ解析実習会(3日間)を、日本惑星科学会・月惑星探査育英会・惑星探査データ解析実習会の枠組みにおいて、実施した。参加者は「月光」を用いてデータを可視化する演習などに取り組み、最終日には参加者それぞれが実際に解析した結果を紹介する発表会を行った。本実習会において、研究代表者は、講師および世話人代表を務めた。当日の実習資料および参加者自身の感想・実習成果レポートなどはウェブサイト上で公開されている

(https://www.cps-jp.org/~tansaku/wiki/top/?school_mission-7report; 後述5 [その他]参照)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

(1) 林洋平、山本幸生、小川佳子、平田成、出村裕英、寺園淳也、松永恒雄、適切かつ高度なデータ処理環境を提供するためのウェブインターフェース“Web Processing Catalog”かぐや搭載スペクトルプロファイラデータを事例として、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: 第5号、JAXA-RR-15-006, pp. 111-122, 2016-03-10.

(2) Hayashi, Y., Ogawa, Y., Hirata, N., Terazono, J., Demura, H., Matsunaga, T., Ohtake, M., Otake, H., "GEKKO" for Hyperspectral Data Distribution: A New Method for Utilizing the Advantages of a Web Map Service, Proc. Lunar

Planet. Sci. Conf. 47th, LPI Contribution No. 1903, p.1920, 2016.

(3) 林洋平、小川佳子、平田成、寺園淳也、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、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: 第4号、JAXA-RR-14-009, pp. 91-103, 03/2015.

(4) 小川佳子, 出村裕英, 平田成, 本田親寿, 北里宏平, 山本哲生, 諸田智克, 小林直樹, 第7回月惑星探査データ解析実習会参加者, 第7回月惑星探査データ解析実習会報告、遊星人、日本惑星科学会誌 Vol. 23, No. 2, pp. 164-167, 2014.

[学会発表](計10件)

(1) Ogawa, Y., Hayashi, Y., Hirata, N., Terazono, J., Demura, H., Matsunaga, T., Yamamoto, S., Yokota, Y., Ohtake, M., Otake, H., A Web-GIS Called GEKKO (Moonlight in Japanese) for Examining the Surface Minerals on the Moon, 13th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society, China National Convention Centre, Beijing, China, 31 July - 5 August, 2016 (invited talk).

(2) Sugawara, S., Y. Ogawa, H. Demura, Distribution of phyllosilicates on Utopia Planitia, Mars, Japan Geoscience Union Meeting 2016, Makugari Messe, Chiba City, Japan, May 22-26, 2016 (invited talk).

(3) 飯村彰太、小川佳子、林洋平、平田成、寺園淳也、出村裕英、松永恒雄、山本聡、横田康弘、大竹真紀子、大嶽久志、スペクトルプロファイラデータ可視化 Web-GIS「月光」への統計解析機能の導入: 分光データに基づく月面鉱物マッピングに向けて、日本惑星科学会2016年秋季講演会、ノートルダム清心女子大学、岡山県岡山市、9月12-14日、2016年.

(4) 加藤裕明、小川佳子、林洋平、平田成、出村裕英、寺園淳也、大竹真紀子、大嶽久志、ディープラーニングを利用した月面スワール探索: 月面模擬画像と実観測画像の一致度評価、日本惑星科学会2016年秋季講演会、ノートルダム清心女子大学、岡山県岡山市、9月12-14日、2016年.

(5) Y. Ogawa, Y. Hayashi, N. Hirata, J. Terazono, H. Demura, T. Matsunaga, S. Yamamoto, Y. Yokota, M. Ohtake, H. Otake, A Web-GIS "Gekko" (which means moonlight in Japanese): a viewer of the data from the Spectral Profiler onboard Kaguya, The 2015 Annual Planetary Geologic Mappers Meeting, University of Hawaii

at Manoa, Honolulu, HI, June 20 to 25, 2015.

(6) Ogawa, Y., Hayashi, Y., Hirata, N., Terazono, J., Demura, H., Matsunaga, T., Yamamoto, S., Yokota, Y., Ohtake, M., Ootake, H., A Web-GIS for the Kaguya/Spectral Profiler data, "GEKKO" (moonlight in Japanese): toward comprehensive mapping of the surface minerals on the Moon, European Planetary Science Congress 2015, id.EPSC2015-468, La Cité des Congrès, Nantes, France, 27 September - 2 October, 2015.

(7) 林洋平、山本幸生、小川佳子、平田成、出村裕英、寺園淳也、オブジェクト指向的概念を用いた観測データ提供方法の提案、宇宙科学情報解析シンポジウム、宇宙科学研究所、相模原市、2月13日、2015.

(8) 小川佳子、林洋平、平田成、寺園淳也、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ラデータを閲覧・表示するためのWeb-GIS「月光」のユーザ拡大に向けて、日本惑星科学会2014年秋季講演会、東北大学、9月24-26日、2014.

(9) 小川佳子、春山純一、松永恒雄、大竹真紀子、中村良介、廣井孝弘、林洋平、横田康弘、山本聡、佐々木晶、月面 swirl 地域における主要鉱物分布と風化過程への制約～Mare Ingenii 地域を中心に～、日本惑星科学会2014年秋季講演会、東北大学、9月24-26日、2014.

(10) 杉本紘平、林洋平、小川佳子、平田成、寺園淳也、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ラ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、日本地球惑星科学連合2014年大会、横浜パシフィコ、横浜市、4月28日-5月2日、2014.

〔その他〕

ホームページ等

・月面 Web-GIS 「月光」「GEKKO」

http://fructus.u-aizu.ac.jp/gekko_info/
http://fructus.u-aizu.ac.jp/gekko_info/en/index.html

・第七回惑星探査データ解析実習会

https://www.cps-jp.org/~tansaku/wiki/top/?school_mission-7

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 佳子 (Ogawa Yoshiko)

会津大学・コンピュータ理工学部・准教授

研究者番号：90372656

(4) 研究協力者

林 洋平 (Hayashi Yohei)

(当時)産業技術総合研究所→(現在)国立情報学研究所