

令和 3 年 6 月 25 日現在

機関番号：21602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03732

研究課題名(和文) 表層の鉱物組成・岩石種から推定する水星の形成過程

研究課題名(英文) Formation mechanism of Mercury based on surface composition and mineralogy

研究代表者

大竹 真紀子(Ohtake, Makiko)

会津大学・コンピュータ理工学部・教授

研究者番号：30373442

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：水星の形成過程の理解に向けて、探査機(MESSENGER)により取得されたマルチバンド分光画像(反射スペクトル)データを用いて水星表層の鉱物組成・岩石種の推定を行った。解析手法として、月の反射スペクトルを用いて鉄量の推定に用いられる手法(反射率と吸収強度を組み合わせた手法)を適用し、水星においても表層を異なる鉱物組成・岩石種の領域に分類が可能であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々の住む地球がどのように誕生したのかを知ることは地球・惑星科学の大きな目標の一つである。地球のような天体がどのように形成したのかを知るためには、太陽系の他の岩石天体の形成過程を調べ、地球と比較する比較惑星学という手法が用いられる。本研究は、地球と同じように岩石表面を持つ惑星でありながらも、地球とは大きく異なる表層環境を持つ水星の表層地質を調べる手法を開発し、その手法を用いて水星の形成過程の推定につなげようとする研究である。成果として、月の地質解析に用いられる手法を水星にもある程度まで適用可能であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：We investigated mineralogy and rock type of Mercury's surface by using remote sensing multiband imaging data obtained by MESSENGER mission. Data analyses method similar to the commonly for iron abundance estimation of the lunar surface were used and we confirmed that the method is able to distinguish different mineralogical units.

研究分野：惑星科学

キーワード：水星 月 マルチバンド画像 リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

これまで我々の太陽系の惑星形成と進化過程は、太陽からの距離に応じた同心円状の傾向に従う、非常に単純化したモデルで理解されてきた。この理解に従うと、水星、金星、地球、火星といった岩石を主成分とする地球型惑星において、揮発性元素の含有量が木星以遠の惑星に比べて極めて低いのは、地球型惑星の形成領域は太陽に近いため、惑星形成当時は比較的温が高く、岩石成分が凝縮や集積によって惑星を形成する過程で、揮発性成分は気体状態で存在していたために惑星に取り込まれにくかったことに起因すると理解される。

ただし、2010年代に入って米国の水星探査機により初めて表層の元素組成が正確に測定されると、従来の理解に反し、水星表層は地球に比べて10倍以上も炭素や硫黄など揮発性元素に富み(Nittler et al., 2011; Peplowski et al., 2016)、中程度・難揮発性元素の比であるカリウムとトリウム比(K/Th)は地球や火星と同程度であり(Peplowski et al., 2011)、水星は揮発性元素の含有量が特に地球と大きく異なっていることが解った(図1)。このような水星の組成は、従来のシンプルな同心円状の惑星形成モデルでは説明ができないことから、揮発性成分に富み、かつ地球に比べて大きな鉄の核を持つ水星の形成過程の解明が必要となっている。この解明により地球と水星の間に見られる差異、すなわち地球型惑星の多様性形成過程の理解につながると期待できる。

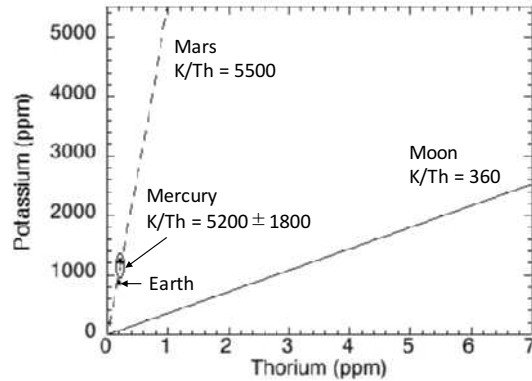


図1 水星と他の固体天体のK/Th比 (Peplowski et al., 2011より改編) 楕円で囲った領域がMESSENGERによる観測から推定される範囲。月(実線)および火星(破線)の直線はそれぞれLunar Prospector, Mars Odysseyのガンマ線分光計による表面観測データから。黒い三角は地球の海洋地殻の値。

2. 研究の目的

水星探査機による観測データが得られて以降、揮発性成分に富みかつ大きな鉄の核を持つ水星の特徴を説明するために、以下のような水星形成説が提案されている。1) 水星近傍では強い還元条件のために元素の凝縮過程が地球近傍の酸化条件下とは大きく異なり、地球近傍に比べて相対的に揮発性成分と鉄に富む成分(揮発性成分以外はエンスタタイトコンドライトと呼ばれる隕石と類似)が凝縮・集積を繰り返して成長した。2) 表層で観測される炭素や硫黄など揮発性成分は水星形成後に付加された外来性物質であり、水星は地球-月系と同様に巨大衝突により形成し、その後の天体衝突で表層が研削され、相対的に大きな鉄の核が残った。これらの仮説ごとに、形成される水星表層の組成、特に揮発性成分以外のケイ酸塩鉱物・岩石組成が異なることから、これら説の中でどれが正しいのか(またはいずれも正しくないのか)を知るためには、水星表層に存在するケイ酸塩鉱物・岩石組成の把握が有効である。

本研究では、提案者の有する可視・近赤外波長域の分光観測データを用いたケイ酸塩鉱物・岩石組成の推定技術と、地球型惑星の形成・進化過程に関する知見を最新の水星探査データに応用し、水星の表層および地下の鉱物・岩石組成を推定する手法の確立を目指す。この手法を確立することにより、水星の形成過程理解につなげる。

3. 研究の方法

水星探査機メッセンジャーによるγ線・X線観測データから、炭素や硫黄など揮発性元素の表層濃度分布が報告されているが、同じ探査機に該当する観測機器が搭載されているにも関わらず、比較して議論すべきケイ酸塩鉱物・岩石組成ははまだ報告されていない。その理由は、水星表層に炭素や硫化物が多く存在するために、大部分を占めるケイ酸塩鉱物に起因する吸収を覆い隠しており、吸収形状の把握が困難であることが挙げられる。この課題に対し、本提案では、提案者がこれまでに月研究のために開発・実施してきた解析技術(吸収の見えづらいつ反射分光データに対するバックグラウンド除去処理、吸収形状のフィッティング処理など)と、水星表層の模擬物質の反射分光データを地上実験で取得し、実観測データと模擬データを比較する、という両方を組み合わせるアプローチで研究を行う。

4. 研究成果

水星の形成過程の理解に向けて、探査機(MESSENGER)により取得されたマルチバンド分光画像(反射スペクトル)データを用いて水星表層の鉱物組成・岩石種の推定を行った。解析手法として、月の反射スペクトルを用いて鉄量の推定に用いられる手法(反射率と吸収強度を組み合わせる手法)を適用し、水星においても表層を地質に分類が可能であることを確認した。また、それ

ら区分とガンマ線等他の観測機器によって得られた水星の元素分布とを比較し、該当の手法の妥当性について検証した結果、反射スペクトルによる地質区分と元素分布とにある程度の相関があり、該当手法の有効性を確認した。

次に各地質領域の物理・化学特性（岩石・鉱物の種類、元素組成、形成年代、地形特徴）の抽出を行った結果、該当的手法による地質区分と元素組成との間には確かに相関があるものの、例外領域も存在することがわかった。さらに地形特徴や形成年代（具体的にはクレータや盆地）との比較から、相対的に新しく形成されたクレータの周辺では両者に明瞭な相関が見られる一方で、形成後時間が経過しているクレータの周辺では相関が弱い傾向にあることがわかった。この原因の1つは水星では月に比べて太陽に近く、太陽風の照射により起こる宇宙風化作用が強くクレータ周辺での放出物による地質的な（反射スペクトル上の）特徴が弱まる可能性があると考えられる。

宇宙風化作用に加えて水星と月の表層構成物質の違い（水星は月に比べて炭素の含有量が高いと推定されている）も該当手法による地質区分に影響する可能性があるため、その効果を確認するため炭素を含む隕石資料を用いた室内実験を行う予定であったが、出張困難など理由から該当の部分は終えられていない。この影響度合いの定量化ができれば水星表層の炭素濃度等への制約が可能となり、そこから水星と月の形成過程の相違について考察が可能となる。既に試料順準備等は実施しており、今後も引き続き実験研究を続ける予定である。

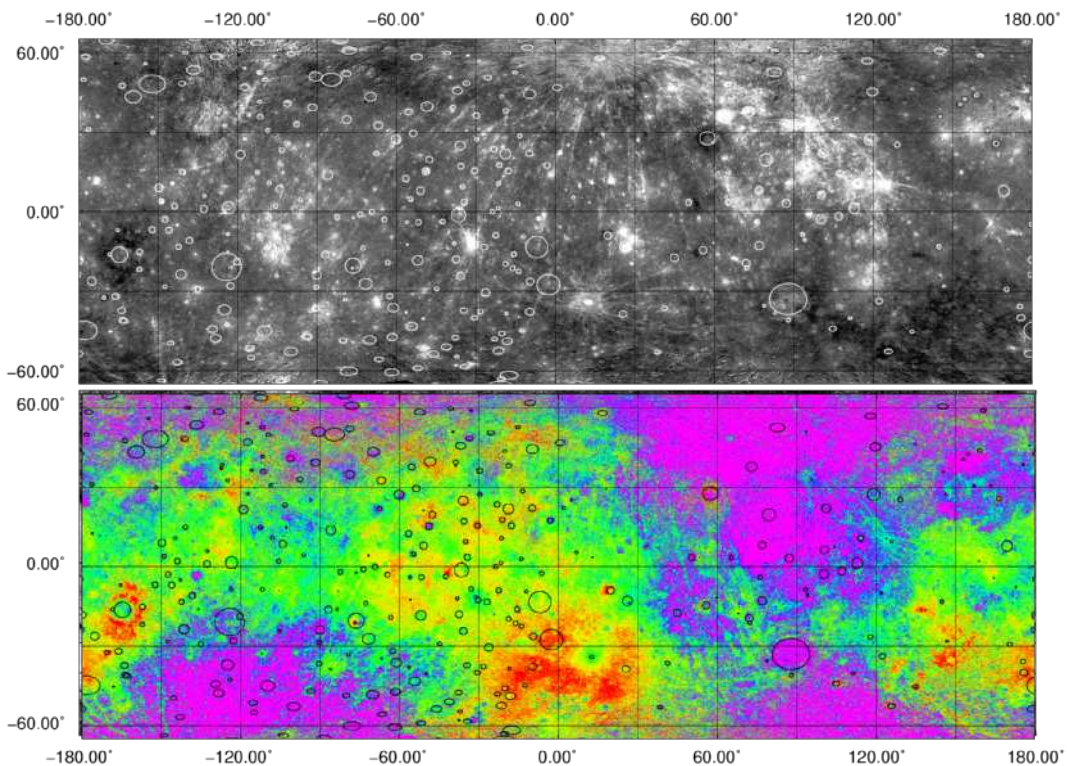


図2 水星探査機メッセンジャー搭載可視・近赤外分光観測データを用いた表層地質区分(あるパラメータ処理結果の例)

上: 750 nmバンドの反射率, 白い円・楕円はクレータの位置とサイズ, 下: 750と950 nmの反射率・吸収強度を用いた地質区分. 反射率だけでは均一に見える領域についても、本手法を適用することで複数の領域区分が出来ていることがわかる。地質区分と元素組成との間には確かに相関があるものの、例外領域も存在することがわかった。さらに地形特徴や形成年代（具体的にはクレータや盆地）との比較から、相対的に新しく形成されたクレータの周辺では両者に明瞭な相関が見られる一方で、形成後時間が経過しているクレータの周辺では相関が弱い傾向にあることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------