

令和元年6月7日現在

機関番号：82645

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K21678

研究課題名(和文) 広視野小口径望遠鏡を用いた可視近赤外多色測光観測：地球近傍小天体の宇宙風化

研究課題名(英文) Visible and near-infrared multicolor photometry using a small-aperture telescope with wide field of view: Space weathering of near-Earth objects

研究代表者

小田 寛 (ODA, Hiroshi)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・HQ部門 追跡ネットワーク技術センター・研究開発員

研究者番号：90714329

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：天体同士の衝突破壊で生成された小天体は太陽系初期の情報を保持しているが、宇宙風化によって表面物質が変性し太陽光反射スペクトルのスペクトル型も変化する。そのため、スペクトル型から太陽系初期の情報を推定するには宇宙風化の影響を考慮する必要がある。本研究では可視光-近赤外領域の多色測光観測を実施し、地球近傍小天体のスペクトル型の判別を行い、その分布を調べる。これにより宇宙風化によって太陽系初期からスペクトル型がどのように変化するのかを明らかにする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

当該研究によって取得した観測データを解析し、太陽系初期の情報を推定することで、現在多種多様な太陽系形成・惑星形成の理論モデルに制約を与えることができる。太陽系形成・惑星形成がどのようにして行われたかは、地球や我々人類がどのようにして誕生したか、また太陽系や惑星が今後どのようにして進化していくかを解き明かす上で重要であり、本研究手法の確立やその成果の学術的意義、社会的意義は非常に大きい。

研究成果の概要(英文)：Small solar system bodies created by collisions have information on the early Solar system. However, the surface properties and spectral types of these solar system bodies change due to the space weathering. Therefore, the effect of space weathering should be considered when we investigate the information on the early Solar system from the spectral types. We perform the visible and near-infrared multicolor photometry of near-Earth objects, identify their spectral types, and investigate their distribution. As a result, we reveal how spectral types change due to the space weathering from the early Solar system.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：地球近傍小惑星 多色測光観測 宇宙風化 可視光 近赤外

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

衝突破壊・再集積で生成された小惑星は太陽系初期の情報を保持しており、その情報は天体表面からの太陽光反射スペクトルから引き出すことができる。しかし小天体は太陽系初期の分布から動径方向に移動すると同時に(図 2)、太陽風や微小隕石・宇宙塵の衝突による宇宙風化の影響を受け表面物質が変成するため、太陽系進化の家庭で太陽光反射スペクトルは変化する。したがって観測されるスペクトルから太陽系初期の情報を推定する際には宇宙風化の影響を考慮する必要がある。

現在、メインベルトの小天体についてはスペクトル型も比較的良く調べられているが、それ以外の領域にある天体についての詳細観測は多くない。観測手法・装置の観点からは、メインベルト以遠では見かけの等級が暗く見かけの移動速度も小さいため大口径望遠鏡が適している。一方で、地球近傍(約 2AU 以内)では見かけの等級は明るい(従って集光力はあまり必要ない)ものの、見かけの移動速度が速いため広い観測視野が要求され、焦点距離を短くできる小口径望遠鏡が適している。

2. 研究の目的

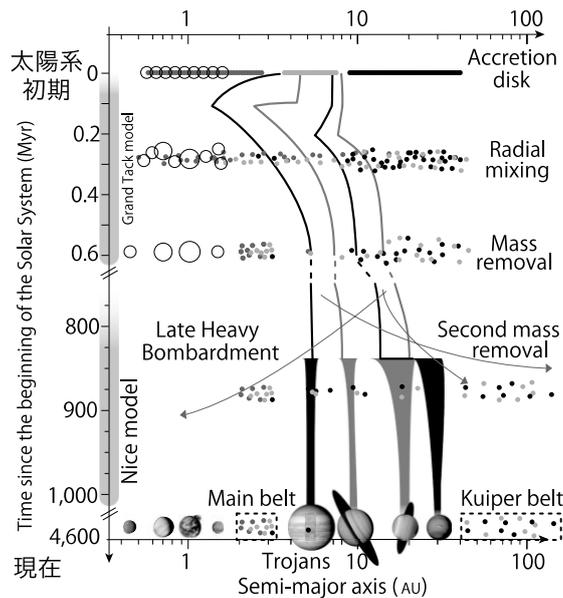


図 2 有力な太陽系進化モデルの模式図(DeMeo, F. E., and Carry, B. 2014, *Nature*, 505, 629)。太陽系初期の天体の分布が動径移動を経て現在の分布になったと考えられている。進化の過程で生成された小天体は宇宙風化を経験する。

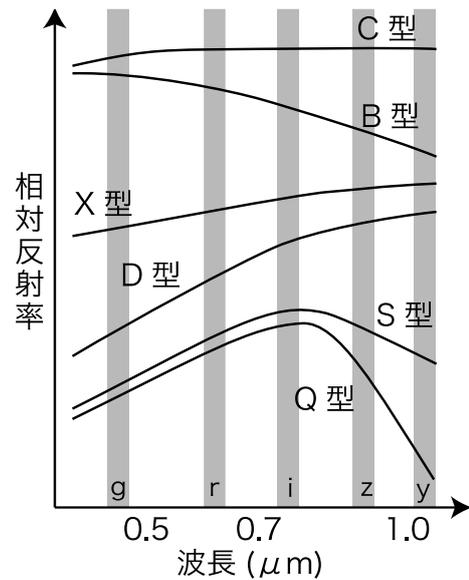


図 1 小天体の代表的なスペクトル型(Q, S, C, B, D, V)の概形の模式図。灰色の網掛け領域は代表的なカラーフィルター(g, r, i, z, y)の中心波長。

小天体のスペクトル型には大別して S, Q, B, C, D, X 型があり(図 1)、S 型は火星・木星間のメインベルト内(約 2~3.5AU)の領域内側、C 型はそれよりやや外側、D 型と X 型はメインベルト内の外側領域で観測されることが多い。Q 型は地球に飛来した普通コンドライト(石鉄隕石)のスペクトルに酷似しており、かんらん石(olivine)由来の $1\mu\text{m}$ 付近の深い吸収線が特徴である。宇宙風化によりこの吸収線は浅くなり、S 型に変化するという説が有力である(e.g., Binzel et al. 2004, *Icarus*, 170, 259)。C 型小天体の表面は炭素質コンドライトで構成され、宇宙風化によってスペクトルが全体的に青化するという説(松岡ら、2014 年日本惑星科学会秋季講演会 08-05)があり、B 型に変化する可能性もあるが、よく解っていない。その他のスペクトル型についても起源や宇宙風化の影響はよく解っていない。

本研究では地球近傍小天体に焦点を当て、広視野小口径望遠鏡を複数台用いて地球近傍小天体の可視光から近赤外領域の多色測光観測を行い、これにより小天体のスペクトル型の判別および分布を調査し、その結果から宇宙風化によるスペクトルの変化(特に「Q 型→S 型」と「C 型→B 型」)を明らかにする。

地球近傍小天体の大半はメインベルトの内側領域から供給されると考えられている(e.g., Bottke et al. 2002, *Icarus*, 156, 399)。したがって地球近傍とメインベルトで宇宙風化の進行に差異がなければスペクトル型の分布は類似するはずである。しかしメインベルトよりも太陽に近い地球近傍では太陽風の影響を受けやすく、宇宙風化がより速く進行する可能性がある。本研究では、まず宇宙風化との関連付けがある程度確立している S 型と Q 型の分布を重点的に調査し、特に波長 $1\mu\text{m}$ 付近の吸収線の深さを測ることで地球近傍での宇宙風化の度合いを調べる。この宇

宙風化の度合いは他のスペクトル型の小天体にも反映されることが期待される。例えば C 型が宙風化して B 型に変化するのであれば、地球近傍ほど B 型が多くなることが予想される。他のスペクトル型に対してもメインベルトでの分布と地球近傍での分布を比較することで、スペクトル型と宙風化の関連付けを試みる。

3. 研究の方法

観測には研究代表者の所属機関(JAXA)所有の入笠山光学観測施設(長野県)を利用する(本研究申請・採択時に部署異動となったため、別部署の観測施設となったが、利用は許可された)。当該施設では所属機関の通常業務としてスペースデブリ観測および地球近傍天体の発見・探査を目的とした観測を実施している。当該施設の望遠鏡に、新たに調達した近赤外 CCD カメラ(センサーに浜松ホトニクス社製 S10140-1009 を搭載した FLI 社製 ML1109)およびカラーフィルターを取り付け多色測光観測を行い、その観測画像を解析することで、観測天体のスペクトル型を判別する。

試験観測として、地球近傍小天体のうち詳細観測がすでに行われ位置・軌道およびスペクトルの詳細が把握されている天体を試験観測し、導入した観測システムの評価・調整を行う。

現在、発見・軌道決定されている小天体は約 40 万個(発見されているが軌道の不確実性が大きいものも含めると 70 万個)程度あるが、そのうち多色測光観測・分光観測などが行われスペクトル分類されているものは 1~2 割程度である。本研究ではまず、軌道は既知だがスペクトル分類されていない地球近傍小天体に対して、多色測光観測を行い、スペクトル分類およびその分布を調べ、宙風化の度合いを測定する。軌道が既知のものを主な対象とするため、一般に軌道決定の際に要求されるような複数回の位置観測をする必要はない。

まずは関連付けがある程確立している「Q 型→S 型」の宙風化(かんらん石に起因する $1\mu\text{m}$ 付近の吸収線の深さで特徴付けられる)を重点的に解析し、地球近傍での宙風化の度合いを調べる。これらの解析結果を踏まえて「C 型→B 型」の宙風化(可視光-近赤外領域の反射スペクトルの傾きで特徴付けられる)の可能性について探る。

4. 研究成果

入笠山光学観測施設にて口径 18cm 望遠鏡に近赤外 CCD カメラを搭載し、小惑星 Phaethon の測光観測を実施した。図 3 および図 4 に補正用画像、図 5 に観測画像の一部を示す。



図 5 ダーク画像



図 4 フラットフィールド画像

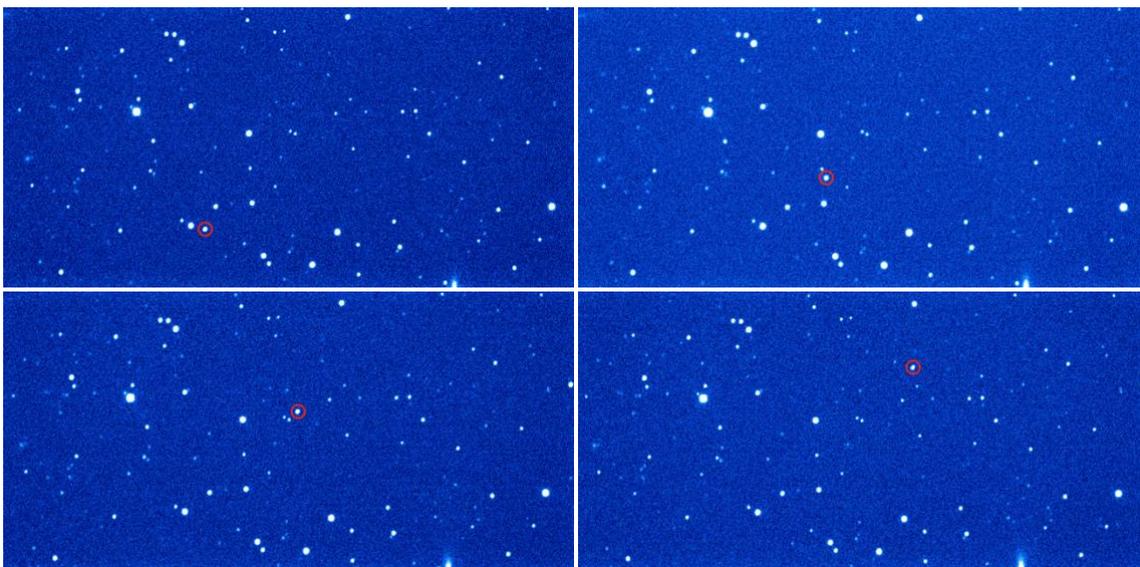


図 3 小惑星 Phaethon の観測画像。時系列順に左上→右上→左下→右下。赤丸で囲った部分が Phaethon で、画像左下から右上に向かって移動。

当該光学観測システムで小惑星を十分検出可能であることを確認した。残念ながら所属機関の部署異動に伴い研究時間を確保できず、観測および解析が不十分であるが、今後はこれらの観測画像データを解析し、測光データを抽出し光度変動解析を行う。また継続してその他の小惑星についての観測を行い、観測データを蓄積し、スペクトル型の分布を探る。

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〕

○出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8 桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：柳沢 俊史

ローマ字氏名：Toshifumi Yanagisawa

研究協力者氏名：黒崎 裕久

ローマ字氏名：Hirohisa Kurosaki

研究協力者氏名：伊藤 孝士

ローマ字氏名：Takashi Ito

研究協力者氏名：吉田 二美

ローマ字氏名 : Fumi Yoshida

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。