

**立教大学学術推進特別重点資金（立教SFR）  
プロジェクト研究（共同プロジェクト研究）**

**2014年度研究【経過・成果】報告書**

<b>研究代表者</b>	所属部局・職		氏名	
	立教大学理学部准教授		亀田真吾 印	
<b>研究課題</b>	太陽系外惑星の物質散逸現象			
<b>研究組織</b>	所属研究機関・部局・職		氏名	
	立教大学理学部教授		田口真	
	明治大学理工学部講師		鈴木秀彦	
	立教大学理学部 PD		長勇一郎	
<b>研究期間</b>	2013年度 ～ 2015年度			
<b>研究経費</b>	2013年度	2014年度	2015年度	総計
(上段：支出金額)	3,699,995 円	1,000,000 円	円	4,699,995 円
(下段：採択金額)	3,700,000 円	1,000,000 円	1,300,000 円	6,000,000 円

**研究の概要** (200～300字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

我々の住む地球、そして太陽系は特別な存在なのだろうか？この根源的な問いに答えるためには、太陽系と系外惑星の比較が必要である。本研究では、太陽系科学で得られた知見から、観測による情報が限定的となる系外惑星系の環境・状態を推定し、太陽系や系外惑星系の性質を探る。特に、太陽系よりも激しい物質散逸が起きていると予想される系外惑星での物質散逸現象に焦点をあて、大気をもつホットジュピター、固体表面がむき出しになっているスーパーアースからの散逸現象について研究を進める。その結果をもとに、系外惑星の物質散逸現象とその時間変動の検出を目指し、可視-紫外線用高分散分光装置の設計・開発を行う。

**キーワード** (研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

[系外惑星] [惑星大気] [分光観測]

## 研究【経過・成果】の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

2014 年度は海外の大型計画の選定状況を調査し、紫外線領域においてホットジュピターや地球型系外惑星の大気を観測する手法を中心に検討を進めた。また、いくつかのスーパーアースにおいて想定される、希薄大気を持つ固体表面からの物質散逸に関し、水星の表面物質と隕石衝突による散逸について研究を進めた。本報告では 2 つの活動の成果を示す。

## ・紫外線宇宙望遠鏡による系外惑星観測の検討

系外惑星が発見されてから数多くの観測が行われ、検出された惑星の数は現時点で 1800 を超えている。そのうちの多くの惑星は太陽系における水星軌道よりも内側を周回しており、主星からの強い紫外線放射で大気が加熱され大規模な大気散逸が起きていると推測される。また、一部の惑星では大気組成に関する情報も得られている。

地球から見て主星の前を惑星が通過する際に、主星の光を遮蔽するトランジット現象を利用して、数多くの惑星が検出されている。大気を持たない惑星においては、トランジット時における主星光の減光率は波長に依存しないが、大気を持つ惑星の場合、大気中に含まれる原子・分子が、特定の波長の光を吸収・散乱するため、分光観測によって大気組成に関する情報が得られる。

HD209458b は、その直径が木星半径の 1.4 倍であるのに対し、公転軌道半径が 0.047AU となっており、ホットジュピターと呼ばれる惑星である。この惑星については、ナトリウム、水素、マグネシウム、H<sub>2</sub>O などの大気成分が検出されている。水素はハッブル望遠鏡による Ly $\alpha$  線の観測により検出されており、トランジット時の減光率から惑星半径の 3 倍まで光学的に厚い水素大気が広がっていることが示されている。このことから、この惑星では太陽系では起きていないような非常に激しい大気散逸現象が起きていることが分かる。他にも大規模な大気散逸現象が予想される惑星が複数見つかっている。

このような現象を捉えるために、トランジット時に紫外から赤外域までの幅広い領域において分光観測を実施する必要があるが、数年のうちに運用停止を迎える予定のハッブル宇宙望遠鏡以外に紫外域の観測が行える望遠鏡は存在しない。また NASA や ESA で提案されている将来計画においても観測波長域は可視-赤外であり、ロシアが多目的の大型紫外宇宙望遠鏡 (1.7m) の開発を進めているものの、打ち上げ年度は未定である。このような状況の中、我々は超小型深宇宙探査機 PROCYON に搭載されたライマン  $\alpha$  線小型望遠鏡 LAICA の開発を行った。この計画では光学系の開発をメーカーに任せず、大学内で光学設計・接着技術の開発・組立を行った。結果として、打ち上げロケットの振動・衝撃に耐えることを試験で確認し、熱真空試験でも問題がなく接着材による鏡表面の汚染も無視できる量であることを確認した。本研究計画ではこの技術を利用した遠紫外線宇宙望遠鏡の設計検討を行った。これにより、「大気の加熱源となる恒星紫外線の強度変動」に加え、大気分子の解離による吸収断面積の大きい真空紫外領域の観測により「可視赤外を吸収しない分子も含めた惑星大気の全量」の情報が得られる。また、ホットジュピターの継続観測を行うことで「大規模な水素原子散逸現象と恒星紫外線輻射量の時間変動」を捉えることも可能である。

本年の活動の結果、地球電磁気・惑星圏学会を母体とする地球惑星圏電磁気圏グループにより 2015 年 2 月に策定された「太陽地球惑星圏の研究領域の目的・戦略・工程表」に、小型衛星計画候補ミッションの 1 つとして「系外惑星専用紫外望遠鏡」計画が記載された。また、イプシロンロケット 3 号機への搭載を目指す深宇宙探査計画 DESTINY において小型紫外線望遠鏡の搭載を検討し、搭載候補機器となっていたが 2015 年初めに DESTINY 計画自体が不採択となった。

## 研究【経過・成果】の概要 つづき

## ・水星ナトリウム大気散逸と微小隕石衝突

2011年3月に水星探査器 MESSENGER が周回軌道投入に成功し、太陽風粒子・磁場観測を現在も行っている。本研究ではこの好機を生かし、水星表面からの物質散逸量の変動と太陽風活動の関係を明らかにすることを目標として、ハワイ・ハレアカラ観測所において地上観測を行ってきた。水星はナトリウムを主成分とする希薄な大気を有している。ナトリウムは地表から光脱離、太陽風衝突、隕石衝突などによって放出され、数時間飛行したのちに太陽紫外線により電離し、惑星間空間に散逸していくと考えられている。この中で、支配的な生成過程は明らかになっていない。

2014年度までに得られた観測結果から、過去の観測結果は、ナトリウムが南北の高緯度で濃集していることを示しており、これは太陽風粒子が水星磁気圏のカusp領域から侵入し、表面の物質をスパッタリング効果で放出させる、あるいは表層物質の拡散により最表面にナトリウム原子を供給することによって引き起こされる現象であるという説が有力である。この説が正しければ、太陽コロナ質量放出現象が起き、大量の太陽風が水星に衝突した際には大気密度が増加するような現象が捉えられるはずである。しかしながら、2013年度に現地で実施した観測や過去の観測データの解析により、太陽風流量が変動しているにもかかわらず、ナトリウム大気密度が安定しているという現象が示された。一方で、太陽風流量が安定している時にもナトリウム大気密度は安定していた。この結果は、太陽風がナトリウム大気生成に与える影響は大きくないということ強く示唆している。また、MESSENGER のガンマ線分光観測により、北半球では高緯度で地表面に存在するナトリウムの密度が高い、という結果が得られた。この結果は、ナトリウム大気が高緯度で濃集している原因は、必ずしも地表と太陽風の衝突によるものではないという我々の結論を裏付けるものである。

2014年度からは、隕石衝突による大気生成への寄与を評価するために、水星の軌道上の位置に応じて集中的に観測を実施し、黄道面に集中していると推定される惑星間空間ダストと水星の衝突による大気生成量に関する研究を進めた。結果として、水星が黄道面付近に位置するときにナトリウム大気密度が上昇していることが分かった。黄道面付近には惑星間空間ダストが集中していると考えられるため、ダスト衝突によって大気放出が起きているということが示唆される。一方で、ダスト密度は太陽距離に反比例すると考えられているが、水星ナトリウム大気密度は水星が遠日点に位置する時の方が高くなっている。内惑星、特に水星近傍のような太陽に近い位置ではダスト分布を示す黄道光の観測が困難であり、モデルに不確定性がある。2015年度はダスト分布の推定を行い、ナトリウム大気密度の変動との関係を明らかにすることを目標とする。

**研究発表** (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①~④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

- ①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

④ \*Kameda, S.; Fusegawa, A.; Suzuki, H.; Kagitani, M.; Sugita, S., Sodium exosphere on Mercury, Moon and Asteroids, European Planetary Science Congress 2013, 8<sup>th</sup>-13<sup>th</sup> September, 2013. London, UK

\*布施川 綾花, 亀田 真吾, 鍵谷 将人, 岡野 章一、水星ナトリウム大気と太陽風、SGEPSS2013秋期講演会、11月5日、高知大学

\*亀田 真吾, 布施川 綾花、ひのでSOTによる昼面水星大気分布観測、SGEPSS2013秋期講演会、11月3日、高知大学

\*亀田真吾, 布施川綾花, 鈴木秀彦 (立教大理), 鍵谷将人 (東北大), 杉田精司 (東大)、月・水星・小惑星のナトリウム大気、2013年惑星科学会秋期講演会、11月22日、沖縄

\*TAKAHIRO IWATA, YASUHIRO KAWAKATSU, GO MURAKAMI, YUICHIRO EZOE, SHINGO KAMEDA, KUNIHIRO KEIKA, TOMOKO ARAI, TAKESHI IMAMURA, KAZUNORI OGOHARA, AKIRA OYAMA, TOSHINORI IKENAGA, and DESTINY Working Group, Solar System Explorations using DESTINY: the Demonstration and Experiment of Space Technology for Interplanetary Voyage, AOGS 2014, Sapporo

\*安田 竜矢, 亀田 真吾, 鍵谷 将人, 米田 瑞生, 岡野 章一、水星ナトリウム大気の長期時間変動、SGEPSS2014秋期講演会、11月1日、信州大学

\*池澤祥太 亀田真吾、系外惑星大気観測装置のための基礎実験、SGEPSS2014秋期講演会、11月2日、信州大学

亀田真吾、\*村上豪、成田憲保、生駒大洋、杉田精司、関根康人、DESTINY応用：紫外線望遠鏡による太陽系外惑星観測ミッション、第58回宇宙科学技術連合講演会 2014/11/13, 長崎

\*亀田真吾、生駒大洋、成田憲保、村上豪、関根康人、吉川一朗、杉田精司、系外地球型惑星が受ける紫外線放射の観測検討、2014/12/15、地球圏研究会、立教大

\*T. Iwata, Y. Kawakatsu, G. Murakami, Y. Ezo, S. Kameda, K. Keika, T. Arai, S. Matsuura, T. Imamura, and K. Ogohara, Solar System Sciences using DESTINY, Symposium on Planetary Science (惑星圏研究会) 2015 @Tohoku U. Feb., 2015

\*S. Kameda, G. Murakami, N. Narita, M. Ikoma, Y. Sekine, I. Yoshikawa, S. Sugita, UV Space Telescope for exoplanetary system, Symposium on Planetary Science (惑星圏研究会) 2015 @Tohoku U. Feb., 2015

\*T. Iwata, Y. Kawakatsu, G. Murakami, Y. Ezo, S. Kameda, K. Keika, T. Arai, S. Matsuura, T. Imamura, and K. Ogohara, Studies on solar system explorations using DESTINY: the Demonstration and Experiments of Space Technology for INterplanetary VoYage, 46th LPSC LPSC2015-1727 (358), Mar. 19, 2015, Houston, US