

「満月」に吹く「地球からの風」

～地球から流出し月に到達した酸素の直接観測に成功！～

【研究成果のポイント】

- ◇月周回衛星「かぐや」の観測データを解析し、月に地球起源の高いエネルギーの酸素イオンが到達していることを発見
- ◇長年謎であった月表土の複雑な酸素同位体組成を理解する画期的な知見を獲得
- ◇今後、多くの人々の自然観や科学観に大きな影響を与える可能性がある

❖ 概要

大阪大学大学院理学研究科の寺田健太郎教授が率いる共同研究チーム(JAXA 宇宙科学研究所、名古屋大学)は、月周回衛星「かぐや」^{※1} 搭載のプラズマ観測装置^{※2} を用い、太陽活動によって地球の重力圏から流出した酸素が、38 万 km 離れた月に到達していることの直接観測に成功しました。

観測された酸素イオンのエネルギーは 1-10keV(キロ電子ボルト)と高く、地球高層のオゾン層で見られる¹⁶O(酸素同位体)に乏しい成分が、「地球風」として月面まで運ばれ、月表土の表面数十ナノメートルの深さに貫入している可能性を観測的に示しました。

本研究成果は、日本時間の 2017 年 1 月 31 日(火) 1 時に英国科学誌「Nature Astronomy」にオンライン公開されました。

❖ 研究の内容

地球は、地球磁場によって太陽風や宇宙線から守られています。太陽と反対方向(夜側)では、地球磁場は彗星の尾のように引き延ばされ、吹き流しのような形をした空間(磁気圏^{※3})が作られ、その中央部には熱いプラズマがシート状に存在している領域があります(プラズマシート^{※4} 図 1、図 2 参照)。

本研究チームは、月周回衛星「かぐや」搭載のプラズマ観測装置が取得した、月面上空 100km のプラズマデータを解析し、月と「かぐや」がプラズマシート(図 2 のシャドー部分)を横切る場合にのみ、高エネルギーの酸素イオン(O⁺)が現れることを発見しました(図 3 のスペクトルの赤線部分 約 10⁴count/cm²/sec に相当)。これまで、地球の極域より酸素イオンが宇宙空間に漏れ出ていることは知られていましたが、本研究では「地球風」として、38 万 km 離れた月面まで運ばれていることを、世界で初めて観測的に明らかにしました。

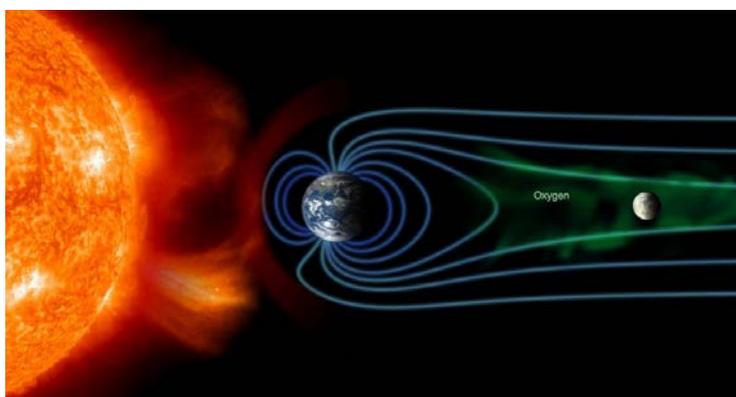


図1: 太陽と地球磁気圏と月の位置関係の概念図(黄道面から見たところ)

Credit: Osaka Univ./NASA

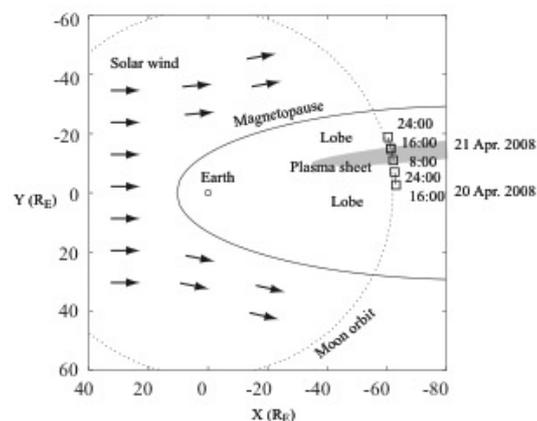


図2: 今回、プラズマ観測した時の地球磁気圏と月の位置関係(黄道面の垂直方向から見たところ)

特筆すべきは、検出した O^+ イオンが 1-10keV という高いエネルギーをもっていたことです。このようなエネルギーの酸素イオンは、金属粒子の深さ数 10 ナノメートルまで貫入することが可能です。このことは、長年、謎であった月表土の複雑な酸素同位体組成を理解するにあたり非常に重要な知見となりました。

❖ 本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

酸素は、私たちの生命活動に必要な不可欠な元素です。地球大気の約 20% を占める酸素は、20-30 億年にわたる植物の光合成によって生成されてきました。今回の発見は、(1) 磁場のない火星や金星同様、地球環境は太陽活動に対して脆弱で恒常的に翻弄されていること、(2) 地球の生命活動が遠く離れた月に直接影響を与えていること、(3) 月-地球システムは、数十億年にわたって「力学的」だけでなく「化学的」にも影響を及ぼしあって共進化していること、を明らかにしました。このような発見は、研究者の新たな探究心を駆り立てるだけでなく、一般の人たちの自然観や科学観に大きな影響をあたえるものです。

2015 年、JAXA は長期ビジョンとして火星衛星のサンプルリターン(MMX: Martian Moons eXplorer)を発表しました。磁場のない火星では、地球よりも遥かに大量の大気が宇宙空間に流れ出ていることが、最近の火星探査から明らかになっています。本研究は、MMX が火星大気を直接採取しなくとも、衛星の表土を回収することで火星大気の情報得られることを示唆しており、惑星大気科学の大きな進展が期待されます。

❖ 特記事項

本研究は、寺田健太郎(大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻 教授)、横田勝一郎(JAXA 宇宙科学研究所 助教)、齋藤義文(JAXA 宇宙科学研究所 准教授)、北村成寿(JAXA 宇宙科学研究所 宇宙航空プロジェクト研究員)、浅村和史(JAXA 宇宙科学研究所 助教)、西野真木(名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻 特任助教)によって行われ、日本時間の 2017 年 1 月 31 日(火)1 時に英国科学誌「Nature Astronomy」にオンライン公開されました。

論文タイトル: Biogenic oxygen from Earth transported to the Moon by a wind of magnetospheric ions

著者: Kentro Terada, Shoichiro Yokota, Yoshifumi Saito, Naritoshi Kitamura, Kazushi Asamura, Masaki Nishino

DOI: 10.1038/s41550-016-0026

❖ 用語説明

※1 月周回衛星「かぐや」

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の月周回衛星。2007 年 9 月に打ち上げられ、2009 年 6 月に月面に計画衝突するまでの約 1 年 6 ヶ月、軌道周期 2 時間で月を極周回しながら、様々な科学データを取得した。

※2 プラズマ観測装置

月の周りの電子を計測する電子分析器 2 台 (ESA-S1 と ESA-S2)、太陽風イオンを計測するイオン分析器 1 台 (IEA)、そして月周辺のイオンを計測するイオン質量分析器 1 台 (IMA) から構成される。月周回軌道における、電子やイオンのエネルギー、密度、速度、温度、質量等の測定を行った。

※3 磁気圏

宇宙空間の中で地球が持つ磁場の勢力が及ぶ領域。太陽風の影響により、太陽方向では潰れ、地球の夜側に向かって引き延ばされた形をしており、この磁気圏内では、地球は太陽風や銀河宇宙線から守られる。

※4 プラズマシート

地球磁気圏において、黄道面付近に位置する、熱いプラズマの密度が濃く、磁場が弱いシート状の領域。

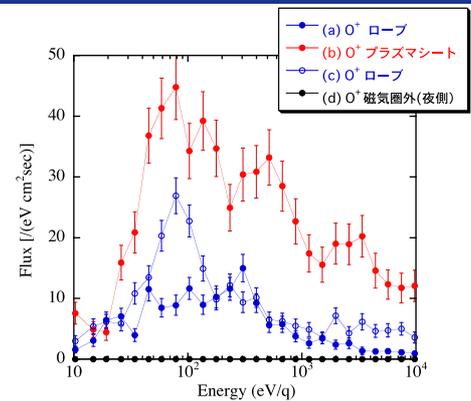


図 3: 「かぐや」が観測した酸素イオンのエネルギースペクトル。プラズマシート通過時に、 10^3 - 10^4 eV の有意な酸素イオンを観測。

【研究者のコメント】

「お月見」、「かぐや姫」、「潮の満ち引き」など、私たちの暮らしにとっても馴染み深い「月」。惑星科学的に見ると、衛星／惑星比の非常に大きい特異な衛星であることがわかっています。このような大きな月が公転することで、生命を育む地球環境が安定に維持されていることは知られていましたが、そうした生命活動(光合成)で作られた酸素が、地球風として 38 万 km 離れた月に到達し、月環境に影響を与えているという知見が得られたことは、我々自身、驚きでした。今回の研究成果をきっかけに、多くの一般市民の、自然(科学)への畏敬の念や好奇心を誘発することができれば、望外の喜びです。