

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：82645
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2018～2022
課題番号：18K03731
研究課題名(和文) ひさき衛星惑星間空間ヘリウム分布の光学観測による太陽圏と星間ガスに関わる研究

研究課題名(英文) Study on heliosphere and interstellar gas from optical observations of interplanetary helium distribution by using the Hisaki satellite

研究代表者
山崎 敦 (Yamazaki, Atsushi)
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授

研究者番号：00374893
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：太陽系の勢力範囲(太陽圏)は、太陽系の外側の領域(星間雲)と太陽から放出されるプラズマの流れ(太陽風)の圧力バランスによって決定される。星間雲起源の侵入物質を同定することによって太陽圏内から星間雲の状態を推測でき、太陽圏の現在・過去・未来を考察することが可能となる。本研究では、「ひさき」衛星による極端紫外線観測により、2015～2022年の星間物質の侵入方向を導出し、過去40年間の他衛星観測と比較して、風向は誤差の範囲内で一致し、太陽風と星間雲のバランスは現状は大きな変化はないという結論を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽圏と星間雲は相対運動をしているため、将来的には太陽圏は現在所属する星間雲から隣の星間雲へ移動すると考えられている。本研究は太陽圏内での極端紫外分光観測から中性ヘリウムの散乱光成分を選別し星間雲ヘリウムの物理パラメータを同定する方法であり、約40年前から行われている伝統的な方法である。同じ観測手法で導出した星間雲パラメータを比較・議論することが可能なため、太陽圏と星間雲の相対運動を長期間にわたり観測的に明らかにすることが可能である。

研究成果の概要(英文)：The influence of the Solar System (heliosphere) is determined by the pressure balance between the outer regions of the Solar System (interstellar cloud) and the plasma flow ejected from the Sun (solar wind). By identifying material of interstellar cloud origin, it is possible to infer the state of the interstellar cloud from the heliosphere and to consider the present, past and future of the heliosphere. In this study, the velocity direction of the interstellar material for the period 2015 to 2022 is derived from extreme ultraviolet observations by the HISAKI satellite, and compared with other satellite observations over the past 40 years. It is concluded that the wind direction agrees within the margin of error and that the balance between the solar wind and interstellar clouds is not currently changing significantly.

研究分野：地球惑星超高層物理科学

キーワード：ひさき衛星 惑星間空間ヘリウム分布の光学観測 太陽圏 太陽風と星間雲の相互作用 極端紫外光観測

1. 研究開始当初の背景

太陽系の勢力範囲(太陽圏)は、太陽から放出されるプラズマの流れ(太陽風)と周囲を取り巻くガス(星間ガス)の圧力バランスによって決定される。太陽圏内は、惑星・準惑星・太陽系小天体など個体部分と、太陽から放出されるプラズマでほぼ満たされているが、太陽圏と星間ガスの相対運動の結果として星間ガス起源の物質も侵入していることが理論的・観測的に確認されている [Blum and Fahr, 1970; Axford, 1972; Weller and Meier, 1974]。この侵入の流れを星間風と呼んでいる。侵入物質は星間ガスの特徴を保持しているため、太陽圏内の星間風測定は太陽圏内に居ながら太陽圏外星間ガスを推定することとなる。また、その変化は、太陽圏と星間ガスの圧力バランスが変わり、相対関係が変化することを意味する。

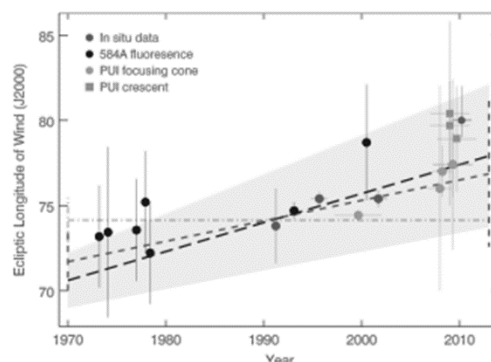
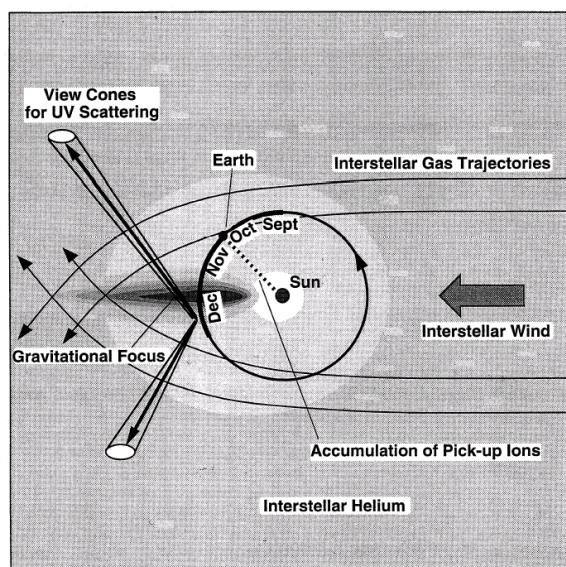


図1 この40年間の星間風方向(黄経)の変化 [Frish et al., 2013]。

近年 IBEX 衛星が星間ガス起源の太陽圏内プラズマを観測し、太陽圏と星間ガスの相対関係の変化に迫る成果を得た。Frish et al. [2013] で最近40年間の星間風方向の変化(図1)が示されたものの、後に2010年前後のデータの再解析が実施され太陽風磁場方向の変動が原因で太陽圏内プラズマ分布の変化の補正がなされ、星間風方向は変化していないと訂正された [Moebius et al., 2015; Schwadron et al., 2015]。この研究の重要なポイントは、太陽圏内に留まりながら星間ガス起源のプラズマ・中性粒子を観測すると星間ガスの状態変化を議論できる点にある。現在の太陽圏は密度が不均一な星間ガスのうち高温・低密度の星間雲の隙間領域に位置していると考えられているが、将来的には低温・高密度の星間雲内に移動することが予測されている。太陽圏と星間ガスの相互作用と太陽圏周囲の星間ガス構造を明らかにするためには、太陽圏内の星間ガス起源物質の分布を継続的にモニタリング観測しその変化を検出することが必要不可欠である。

2. 研究の目的

ヘリウム原子はイオン化エネルギーが高く太陽放射圧を受けにくいいため、星間ガス起源のヘリウム原子は、イオン化されることなく星間風に乗って中性物質のまま太陽圏中心部まで運ばれる。その軌道は太陽重力により曲げられ、風下側に密度の高いヘリウムコーンと呼ばれる領域を形成する(図2の濃い色の領域)。1970年代から続く歴史の長い研究課題であるが、直接観測の困難な星間ガスの温度・密度などのパラメータを太陽圏内での観測から導出する唯一の観測手段であり、現在でも観測意義が高い。米国も2008年に太陽圏と星間ガスの相互作用の解明を主目的とした IBEX 衛星を打上げ、星間ガス起源の太陽圏内プラズマ観測を実施したことは、その重要性を示している。本研究では、ヘリウムコーンに集まる星間ガス起源のヘリウム原子の極端紫外共鳴散乱光を計測することにより、星間風方向を観測的に明らかとすることを目的とする。



(Moebius et al., 1995)

図2 惑星間空間のヘリウム原子の流れとヘリウムコーンの形成(中央左の黒い「Gravitational Focus」と書かれた領域)の模式図。12月の地球の位置に存在することがわかる。

3. 研究の方法

本研究では、惑星分光観測衛星「ひさき」の極端紫外分光観測データ解析から中性ヘリウムの星間ガスパラメータを導出することを実施する。光学観測では、視線方向に観測データの情報が縮退することは「のぞみ」探査機データ解析時に経験済み [Gloeckler et al., 2004; Yamazaki et al., 2006; Nakagawa et al., 2008] であるので、「ひさき」観測のコンフィグレーション上感度の高い星間風方向を同定する。「ひさき」の軌道高度は 1000km 程度であり、地球超高層大気がジオコロナとして発光している高度であるため、ノイズ成分として前景光が混入する。そのため、前景光混入を可能な限り避けるために、太陽光の当たらない地球の影の方向（反太陽方向）と平行に「ひさき」の観測視野を向けたコンフィグレーションとし、地球の影を「ひさき」が飛翔している時間帯のみのデータを用いてヘリウムコーン発光を同定した。1 日 1 回約 30 分の観測を実施し、1 日約 1 度変化する地球の公転運動を利用して、ヘリウムコーン発光の経度方向の広がり測定した。ヘリウムコーン発光観測量と、ヘリウムコーン分布モデル [Yamazaki et al., 2006] を再構築して計算したヘリウムコーン発光計算値について、経度方向への広がりを χ 二乗検定にて評価し、星間風方向の最適値を導出した。

4. 研究成果

2015 年から 2021 年の「ひさき」のヘリウムコーン発光観測値と、ヘリウムコーン分布モデルによる計算値を図 3 に示した。横軸は、観測時の「ひさき」の黄経（地球の黄経とほぼ同じ）を示す。モデル計算値には太陽光強度を考慮した。 χ 二乗検定にて評価した、ヘリウムコーンの中心軸（星間風方向）の黄経を各グラフの上部に数字で記した。また、過去数十年との比較のため、図 1 [Frish et al., 2013] の上に、「ひさき」の結果をオーバープロットした (図 4)。

「ひさき」の観測した 7 年間について、星間風方向黄経は 73 から 79 度であり、観測誤差の範囲内で一定であった。また、過去 50 年間にわたる星間風方向も、各観測誤差の範囲内で一定であり、太陽圏と星間ガスの相対関係は安定していることが判明した。

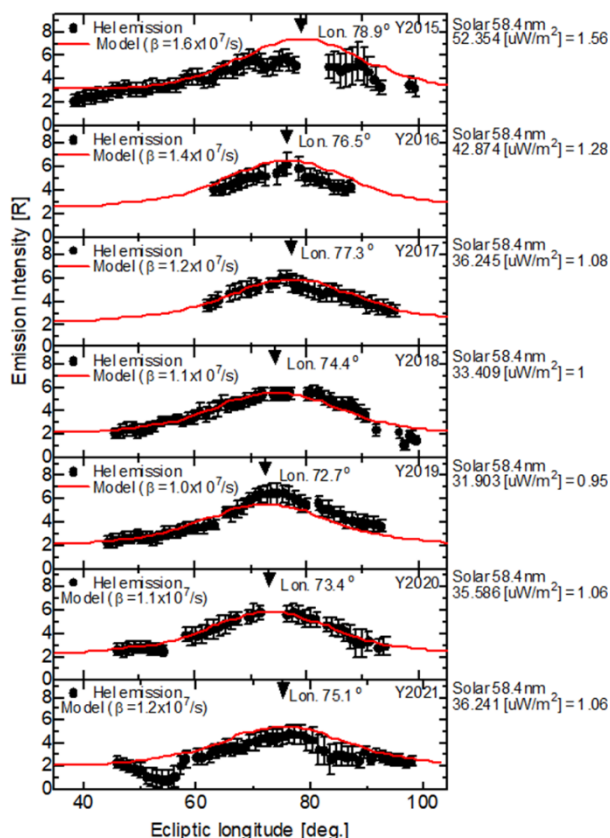


図 3 2015 - 2021 年の中性ヘリウム共鳴散乱光強度。「ひさき」観測（黒点）と、ヘリウムコーン分布モデルからの計算値（赤線）を示す。各グラフの上部には星間風方向の黄経が示されている。

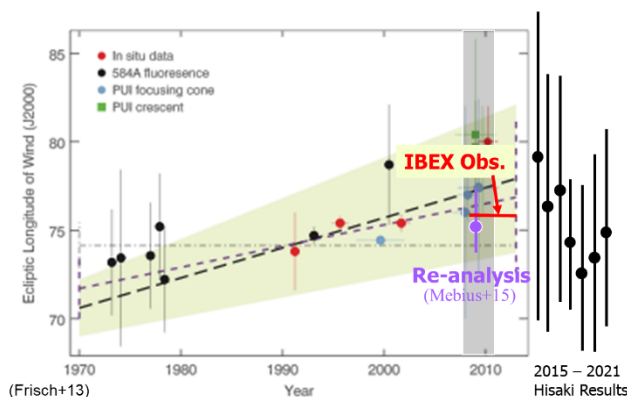


図 4 図 1 [Frish et al., 2013] に、IBEX の再解析結果 [Mebius et al., 2015] と「ひさき」観測結果をオーバープロットしたもの。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 山崎 敦, 村上 豪, 吉岡 和夫, 木村 智樹, 土屋 史紀, 北 元, 桑原 正輝, 益永 圭, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 寺田 直樹, 笠羽 康正, 吉川 一朗, ひさき (SPRINT-A) プロジェクトチーム
2. 発表標題 「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム光学観測
3. 学会等名 第150回地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 総会および講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎 敦, 村上 豪, 吉岡 和夫, 木村 智樹, 土屋 史紀, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 寺田 直樹, 笠羽 康正, 吉川 一朗, ひさき (SPRINT-A) プロジェクトチーム
2. 発表標題 5期にわたる「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム分布光学観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会 (JpGU2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎 敦, 村上 豪, 吉岡 和夫, 木村 智樹, 土屋 史紀, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 寺田 直樹, 笠羽 康正, 吉川 一朗, ひさき (SPRINT-A) プロジェクトチーム
2. 発表標題 5期にわたる「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム分布光学観測
3. 学会等名 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 総会および講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Atsushi Yamazaki, Go Murakami, Kazuo Yoshioka, Tomoki Kimura, Fuminori Tsuchiya, Masato Kagitani, Takeshi Sakanoi, Naoki Terada, Yasumasa Kasaba, Ichiro Yoshikawa and Hisaki (SPRINT-A) Project team
2. 発表標題 5-Season's Optical Observation of Neutral Helium in Interplanetary Space by Hisaki
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎 敦, 村上 豪, 吉岡 和夫, 木村 智樹, 土屋 史紀, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 寺田 直樹, 笠羽 康正, 吉川 一朗, ひさき (SPRINT-A) プロジェクトチーム
2. 発表標題 4期にわたる「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム分布光学観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎 敦, 村上 豪, 吉岡 和夫, 木村 智樹, 土屋 史紀, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 寺田 直樹, 笠羽 康正, 吉川 一朗, ひさき (SPRINT-A) プロジェクトチーム
2. 発表標題 4期間にわたる「ひさき」衛星による惑星間空間ヘリウム分布の光学観測
3. 学会等名 第146回地球電磁気・地球惑星圏学会総会および講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Yamazaki, Go Murakami, Kazuo Yoshioka, Tomoki Kimura, Fuminori Tsuchiya, Masato Kagitani, Takeshi Sakanoi, Naoki Terada, Yasumasa Kasaba, Ichiro Yoshikawa and Hisaki (SPRINT-A) Project team
2. 発表標題 Optical observation of neutral helium distribution in interplanetary space by Hisaki satellite
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎 敦, 村上 豪, 吉岡 和夫, 木村 智樹, 土屋 史紀, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 寺田 直樹, 笠羽 康正, 吉川 一朗, ひさきプロジェクトチーム
2. 発表標題 3年にわたる「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム分布光学観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎 敦
2. 発表標題 ひさき衛星によるヘリウムコーンの観測
3. 学会等名 第378回生存圏シンポジウム「実験室宇宙・天体プラズマ物理学に関する研究集会」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎 敦, 村上 豪, 吉岡 和夫, 木村 智樹, 土屋 史紀, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 寺田 直樹, 笠羽 康正, 吉川 一朗, ひさきプロジェクト チーム
2. 発表標題 「ひさき」衛星光学観測による惑星間空間ヘリウムの分布
3. 学会等名 第144回 SGEPSO総会および講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsushi Yamazaki, Go Murakami, Kazuo Yoshioka, Tomoki Kimura, Fuminori Tsuchiya, Masato Kagitani, Takeshi Sakanoi, Naoki Terada, Yasumasa Kasaba, Ichiro Yoshikawa, Hisaki team
2. 発表標題 3-seasons optical observations of neutral helium distribution in interplanetary space by the Hisaki satellite
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

「ひさき」(SPRINT-A)プロジェクトサイト http://www.isas.jaxa.jp/home/sprint-a/

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
---------	---------