

R006-06

B 会場 : 11/26 PM2 (14:50-16:20)

16:05~16:20:00

UHR 電子密度データ更新後の Arase 衛星における衛星電位－電子密度の相関

#川瀉 桂也¹⁾, 笠羽 康正¹⁾, 新堀 淳樹²⁾, 城 剛希¹⁾, 土屋 史紀¹⁾, 風間 洋一³⁾, 中川 朋子⁴⁾, 加藤 雄人¹⁾

(¹⁾ 東北大学, (²⁾ 名古屋大学, (³⁾ 台湾中央研究院天文及天文物理研究所, (⁴⁾ 東北工業大学

Correlation of spacecraft potential to the latest electron density data observed by Arase

#Keiya KAWAGATA¹⁾, Yasumasa KASABA¹⁾, Atsuki SHINBORI²⁾, Koki TACHI¹⁾, Fuminori TSUCHIYA¹⁾, Yoichi KAZAMA³⁾, Tomoko NAKAGAWA⁴⁾, Yuto KATOH¹⁾

(¹⁾Tohoku University, (²)Nagoya University, (³)Academia Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics, Taiwan, (⁴)Tohoku Institute of Technology

Recently, the electron density derived from the upper hybrid resonance (UHR) frequency onboard the Arase has been fully updated, leading to a significant improvement in reliability. Using this latest data, we have re-examined the correlation between spacecraft potential and electron density, with low-energy electron data.

Since March 2017, Arase has been orbiting in Geospace for about 7 years, continuously providing diverse datasets that contribute to determining electron density and temperature. These plasma parameters are fundamental for understanding the structure of the ionosphere, plasmasphere, and magnetosphere. Those are also important to control wave dispersion, growth, damping, and propagation paths. On Arase, UHR frequencies are identified by a combination of automated detection and visual inspection from the PWE/HFA (Plasma Wave Experiment/High-Frequency Analyzer) electric field spectra (10 kHz – 10 MHz), with a time resolution of 1 min. Electron density is derived from UHR frequency with the background magnetic field strength measured by MGF. This method enables accurate determination of electron density, including low-temperature electrons below 37 eV (the lower detection limit of the LEPe set from May 2017). However, difficulties arise in regions where strong waves appear near the UHR frequency, or in low-density environments with weak UHR signals. Other previous satellites have used direct particle measurements of low-energy ions (and electrons), but such instruments are generally hard to capture cold populations. Cold plasma dominates in the inner magnetosphere, so the density estimation by particle instruments require some assumptions for cold populations below the detection limit.

Spacecraft potential itself can serve as a rough indicator of electron density. The floating potential in plasma is determined by the balance between photoelectron emission due to solar UV radiation and incoming plasma electron current. As it depends on surface materials, secondary electron yield, spacecraft geometry and attitude, as well as ambient electron temperature, the accuracy of density inferred from spacecraft potential is limited. However, it offers a useful density proxy except in eclipse conditions as a direct measurement at 1-spin (~ 8 s) resolution without assumptions or visual identification. Moreover, it may provide estimates of the temperature of cold electrons not measured by LEPe.

Previously, correlations between spacecraft potential and UHR-derived density appeared excessively poor in the low-density regions (<1 /cc ; corresponding to electron plasma frequencies below ~10 kHz). Consequently, the UHR electron density data was comprehensively updated in 2024, yielding significantly improved reliability. In this study, we use the updated datasets (April 2017 - December 2024) to re-evaluate potential – density correlations, incorporating low-energy electron data.

First, we re-evaluated the correlation between spacecraft potential and UHR density after the update. Specifically, we divided the MLT into 8 sectors and are investigating the correlations in each sector. Whereas the previous data showed large scatter in the low-density regime (<1 /cc), the updated densities display much stronger convergence. A robust correlation between spacecraft potential and log (electron density) is clearer in the dayside where hot electrons are not so many. Nevertheless, in the nightside and outside the plasmasphere, deviations persist at low densities, where spacecraft potential tends to appear lower than expected. This could be explained by enhanced inflowing electron currents in the plasma sheet.

Accordingly, we started the quantitative evaluation with LEPe moment data for electron density and temperature above 37 eV, for the influence of thermal conditions on spacecraft potential. Furthermore, we intend to investigate the relationship with solar UV flux, which can affect the photoelectron outflow current.

The stability of probe potential is critical for the accurate electric field measurements in magnetospheric and ionospheric plasmas. The present study will also provide a basis for the measurement accuracy of electric field and electron density observations by similar probes onboard the BepiColombo/Mio Mercury orbiter, which commenced its orbital observations in 2026. Both Arase and Mio are equipped with relatively short antennas (15 m, compared with 50 m on Geotail and Cluster). In low-density regions where the Debye length exceeds the antenna length, the probe potential may become biased toward the spacecraft potential rather than the ambient plasma potential, leading to an apparent underestimation of the spacecraft potential. Furthermore, the operational strategy of Arase, in which the bias current supplied to the probes had been limited to 50% of the photoelectron emission current, may have enhanced this effect. Since June 2025, the bias current has increased to 80% of the photoelectron emission current, and a reassessment of these effects will be conducted once the updated UHR electron density data become available.

最近 Arase 衛星における UHR（高域ハイブリッド共鳴波動）周波数を用いた電子密度は全面更新され、その信頼性が大きく向上した。このデータを用いて、衛星電位－電子密度の相関について低エネルギー電子データも併せた再評価を行った。

Arase 衛星は、2017 年 3 月以降、約 7 年間に渡りジオスペースを飛翔し、この領域の電子密度・温度決定に資する多様なデータを取得し続けている。密度・温度は電離圏・プラズマ圏・磁気圏の構造を決める基本情報であり、波動の分散関係やその成長・減衰、伝搬経路をも左右する。Arase 衛星では、PWE/HFA（プラズマ波動計測器/高周波受信部）の電場スペクトル（10 kHz～10 MHz）から UHR 周波数を自動判定と目視の組み合わせで同定し（時間分解能：1 min）、背景磁場強度と併せて電子密度を決定してきた。この方法は、電子計測器（LEPe）の下限エネルギー（2017/5 以降：37 eV）の低温成分を含む電子密度を高精度で決定できるが、UHR 周波数近傍に他の強い波動が見られる領域や UHR 強度が弱い低密度領域の場合にはその決定は難しい。他衛星ではプラズマ密度として低エネルギーイオン・電子の直接計測データが併用されてきたが、粒子計測器では低温粒子の検出が難しい。特に内部磁気圏域では低温プラズマが多く、Arase の静電プラズマ計測器 LEPe・LEPi では計測対象にならない低エネルギーの分布関数に仮定が必要となる。

衛星電位も電子密度の指標となる。プラズマ中における衛星の浮動電位は、太陽紫外線による光電子流出と周辺プラズマからの電子流入のバランスで決定される。衛星表面材料に依存する光電子流出・二次電子放出効率、衛星の形状・姿勢、および周辺電子温度に影響されることから、衛星電位から演繹される電子密度の精度は低い。しかし、目視決定や特定の仮定に依存することなく 1-spin（8 sec 程度）の分解能で観測量を取得できるため、光電子放出が無い日陰時を除き、ある程度の信頼性を持った電子密度を導出することが潜在的に可能であり、また低エネルギー電子の温度情報も推定できる可能性がある。

これまで、Arase 衛星は 1/cc 以下（電子プラズマ周波数：～10kHz 以下）で、UHR 由来電子密度の精度が低く、衛星電位との相関が過剰に悪く見えていた。幸い、UHR 電子密度データは 2024 年に全面更新され、より信頼性が高くなった。本研究では最新電子密度データ（2017 年 4 月～2024 年 12 月）を用いて、衛星電位－電子密度の相関について低エネルギー電子データも併せた再評価を行った。

はじめに、衛星電位と UHR 電子密度との相関について再評価を行った。具体的には、MLT を 8 つに分割し、それぞれの領域での UHR 由来電子密度－衛星電位の相関およびその経年変化の確認を進めている。これまでこの相関は低密度域（1/cc 以下）で過剰にばらついてきたが、電子密度データの全面更新に伴ってかなりの収束をみた。特に hot 電子の少ない昼側では、 $\log(\text{電子密度})$ と衛星電位の間に精度を見出している。とはいえ、hot 電子の多いプラズマ圏外・夜側では、依然として低密度域でこの関係から逸脱し、想定される相関よりも衛星電位が小さく出るデータが散見される。プラズマシートの影響で電子密度がより高くなる夜側ではより流入電子電流量が大きくなることもあり、衛星電位がより下がってバランスすることによって考える。

この検証に向け、LEPe による～37eV 以上の電子の密度・温度モーメントデータを併用し、プラズマ温度が与える衛星電位への定量的な影響評価に着手した。光電子電流量に影響しうる太陽 UV flux との相関も確認予定である。

プローブ電位の安定度は、磁気圏・電離圏電場及び低周波電場波動の精度決定要因でもある。本研究は、2026 年から周回観測を開始する BepiColombo/Mio 水星探査機における同型プローブを用いた電子密度・電場計測の精度保障の基礎ともなる。Arase 衛星・Mio 探査機はアンテナ長が 15 m と短く（Geotail・Cluster：50 m）、低密度域で Debye 長>アンテナ長となりやすい。このため、プローブ電位が Debye 長以内の「周辺プラズマ電位より衛星電位に近いポテンシャル」を拾うことで、擬似的に低衛星電位にみえる可能性もある。これまで Arase 衛星はプローブに与えるバイアス電流量を光電流流出量の～50% 程度に抑えて運用してきたことも、この影響を助長している可能性がある。2025 年 6 月からは光電流流出量の～80% 程度にバイアス電流量を向上させており、UHR 由来電子密度データが更新され次第この評価も進めていく。