

電位差観測波形の歪と衛星電位の関係から求める光電子の到達距離

#中川 朋子¹⁾, 今野 翼¹⁾, 伊藤 穂尚¹⁾, 眞野 航平¹⁾, 堀 智昭²⁾, 笠羽 康正³⁾, 三好 由純²⁾, 松田 昇也⁴⁾, 笠原 禎也⁴⁾, 篠原 育⁵⁾

⁽¹⁾ 東北工大・工・情報通信, ⁽²⁾ 名大 ISEE, ⁽³⁾ 東北大・理, ⁽⁴⁾ 金沢大学, ⁽⁵⁾ 宇宙機構/宇宙研

Spatial extent of photoelectrons estimated from the spacecraft potential at electric-field waveform distortion

#Tomoko Nakagawa¹⁾, Tsubasa Konno¹⁾, Hodaka Ito¹⁾, Kouhei Mano¹⁾, Tomoaki Hori²⁾, Yasumasa Kasaba³⁾, Yoshizumi Miyoshi²⁾, Shoya Matsuda⁴⁾, Yoshiya Kasahara⁴⁾, Iku Shinohara⁵⁾

⁽¹⁾Information and Communication Engineering, Tohoku Institute of Technology, ⁽²⁾Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, ⁽³⁾Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University, ⁽⁴⁾Kanazawa University, ⁽⁵⁾Japan Aerospace Exploration Agency/Institute of Space and Astronautical Science

The Electric Field Detector (EFD) of the Plasma Wave Experiment (PWE) instrument on board the Arase satellite measures an electric potential difference between each probe and the satellite body while it spins, and the sinusoidal waveform of the electric potential gives an electric field vector in a rest frame perpendicular to the spin axis. However, the measured waveform often deviates from a sinusoidal curve but has a higher harmonic component, accompanied by a spurious sunward electric field. It is due to the photoelectrons emitted from the spacecraft body. The typical double-peaked waveform was observed when the spacecraft potential was around 2 V. Too low spacecraft potential allows the photoelectrons flow away, while too high spacecraft potential traps the photoelectrons in a deep potential well and limits them within a small distance from the spacecraft. Photoelectrons in an energy range from $|q|(\Phi_{sc} - \Phi(r))$ and $|q|\Phi_{sc}$ are trapped within a distance r from the spacecraft, where Φ_{sc} is the spacecraft potential and $\Phi(r)$ is an electric potential. Using the spacecraft potential 2V at the time of waveform distortion, we can estimate the spatial extent of the photoelectrons.

磁気圏電場を測る方法としてよく使われるダブルプローブ法では、人工衛星の自転により DC 電場が正弦波として観測されることを利用し、オフセット成分を分離して自然電場を得る。しかし、実際に観測された電位差波形は正弦波となっていないことがよくある。ジオスペース探査衛星「あらせ」のプラズマ波動・電場観測器 (Plasma Wave Experiment / Electric Field Detector, PWE/EFD) においても歪んだ電位差波形が観測されている。中でも、日照中において、スピン 1 周期に 2 つの極小を持つ特徴的な波形がしばしば観測され、それと同時に太陽方向を向いた偽の電場が観測されている。これは衛星から放出された光電子がプローブの軌道中心よりも太陽側にずれた位置に集まることによると考えられる。この歪んだ波形から光電子の位置や電荷量を逆算すれば、光電子の影響を観測データから除去できるのではないかと期待される。しかし、このような波形歪がない場合は、光電子の影響を推定できない。そのため、どのような時に 1 スピン 2 山の波形が現れるかを調査した。

その結果、スピン 1 周期に 2 つの極小を持つ特徴的な波形が見られるのは、衛星電位がおおよそ 2V となる範囲に集中していることが分かった。衛星電位が 2V 未満の時は 1 スピンに 1 つの山がある波形となる場合がほとんどであった。他方、衛星電位が 3V 以上のところでは 1 スピンに 1 山の波形と 2 山の波形の場合が同程度の割合で混在していた。

光電子の影響が顕著になるのは、十分な数の光電子が電場計測用プローブに影響を及ぼす距離まで来る場合と考えられる。光電子のエネルギー分布を考えると、電位 Φ_{sc} の衛星から放出された光電子のうち、電位差に打ち勝って電位 $\Phi(r)$ の距離 r まで到達できるのはエネルギーが $|q|(\Phi_{sc} - \Phi(r))$ 以上のものである。このうち、エネルギーが $|q|\Phi_{sc}$ 以上の電子は流出したまま戻ってくることはない。エネルギー範囲 $|q|(\Phi_{sc} - \Phi(r))$ 以上 $|q|\Phi_{sc}$ 以下の電子が、衛星からの距離 r までの範囲にとどまることができる。衛星電位が低すぎると放出された光電子はほとんど流出してしまい衛星周辺にとどまることがなく、逆に衛星電位が非常に高いときは、放出された光電子は衛星付近の深いポテンシャルにとらえられて遠くまで出てくることできない。

光電子の影響が顕著となる衛星電位 $\Phi_{sc}=2V$ の情報を使い、光電子の典型的なエネルギーが上述のエネルギー範囲に入るようにすることにより、衛星近傍にとどまる光電子の分布範囲を推定することができる。光電子の典型的なエネルギーが衛星電位に近いほど、とらえられた光電子は遠くまで分布することができる。例えば衛星周辺電位 $\Phi(r)$ を簡単のために球対称な形 $(a/r) \exp(-r/a)/\lambda$ (a は衛星の大きさ) と仮定し光電子の典型的なエネルギーを 1.9V、ブラックカプトンの光電子放出量を $14-18 \mu A/m^2$ [1] とすると衛星表面の光電子密度 400 cm^{-3} 程度、 λ は約 0.5m となり、光電子の到達距離は約 1m となる。実際の電位構造は球対称ではなく、衛星構造に沿ってより遠くまで光電子が達する可能性や誘導電場により光電子分布が偏る可能性を考える必要がある。

[1] Ewang et al., (2017), I.RE.AS.E.,10-3.