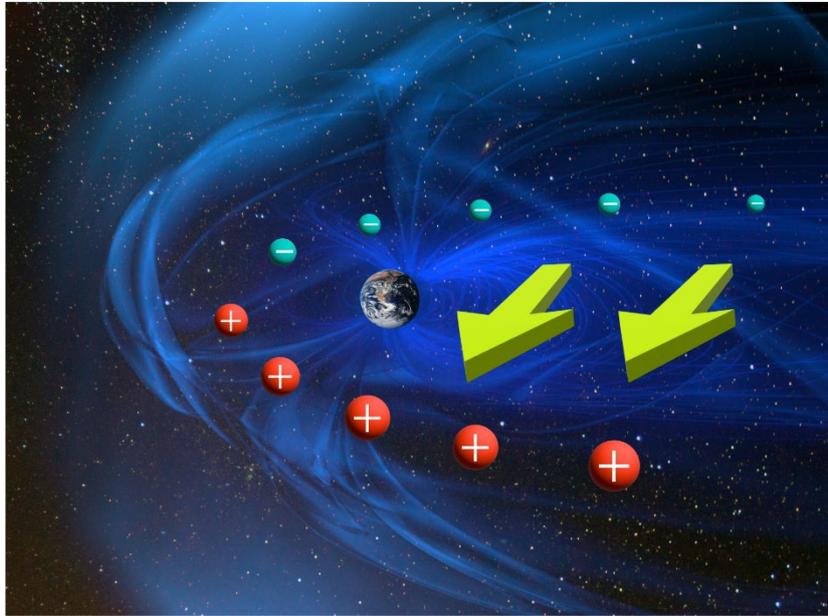


# 宇宙空間の電気の偏りはやはり“逆”だった？

## 地球周辺の宇宙空間における帯電をめぐる謎に迫る



京都大学生存圏研究所の海老原祐輔教授、名古屋大学宇宙地球環境研究所の平原聖文教授、九州大学の田中高史名誉教授の研究グループは、シミュレーションを用いた研究を行い、地球周囲の宇宙空間における電気の偏り（帯電）の極性は従来の考えとは逆であるという最近の人工衛星観測結果を、プラズマの運動によって説明できることを示しました。この成果は、宇宙環境変動に重要な役割を果たす大規模なプラズマ流の本質的な理解に繋がるものです。本研究成果は、2025年7月10日に国際学術誌「Journal of Geophysical Research: Space Physics」に掲載されました。

### 1. 背景

地球磁場が支配的な宇宙空間を「磁気圏」と呼びます。観測によると、磁気圏では、地球から見て朝側から夕側に向かう電氣的な力が働いています。この力に対応する電圧は、磁気圏の朝側の端から夕側の端まで数万から数十万ボルトもあり、磁気嵐など様々な擾乱の源になります。電氣的な力はプラスからマイナスに向かう方向に発生しますので、朝側でプラス、夕側でマイナスに帯電していると考えられていました（図1左）。ところが、最近の人工衛星観測によって、帯電の極性は従来の考えとは逆であることが示され<sup>(1)</sup>、再検討が迫られていました。

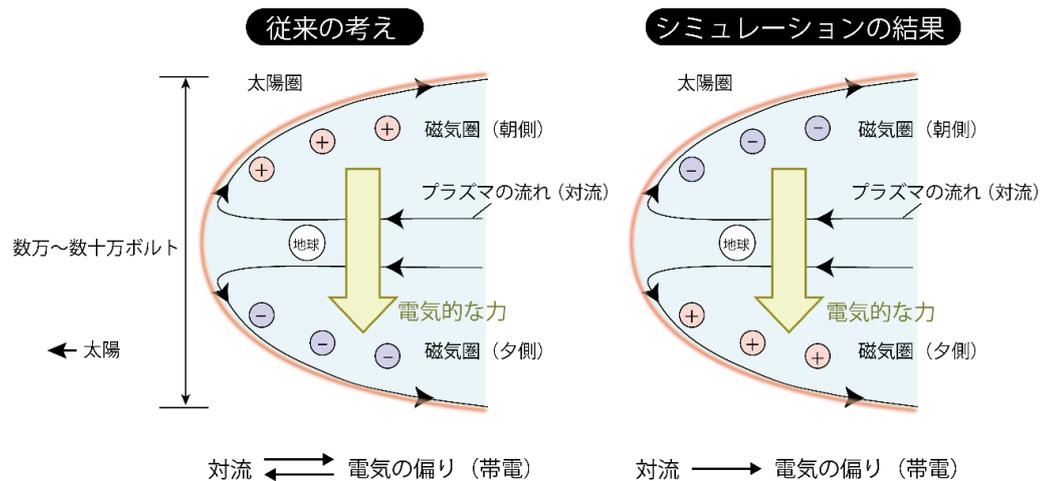


図1：赤道面付近の電気の偏り（帯電）、電気的な力、プラズマの流れ（対流）の関係

## 2. 研究手法と成果

大規模な磁気流体力学シミュレーションを用いて、地球近くの宇宙空間を再現しました。条件を単純にするため、太陽から吹き付ける高速プラズマ流（太陽風）は一定としています。その結果、地球磁場が支配的な宇宙空間「磁気圏」では、朝側でマイナス、夕側でプラスに帯電することが分かりました（図1右）。この極性は従来のお考えとは逆であるものの、人工衛星による観測結果と一致します。

朝側でマイナス、夕側でプラスに帯電しているというシミュレーション結果は、一見すると、朝側から夕側に向かう電気的な力の方向と矛盾しているようにも思えます。しかし、「帯電が電気的な力を生む」のではなく、「プラズマの流れが帯電と電気的な力を生む」と捉えることで矛盾なく理解することができます。すなわち、電気的な力と帯電はともにプラズマの流れの「結果」であり「原因」ではないという見方です。この考え方は、2001年にバシリウナスによって理論的に提唱されていました<sup>(2)</sup>。

図2は、シミュレーションで求めた3次元的な帯電の分布を示しています。地球の極域上空での極性は朝側ではプラス、夕側ではマイナスで、これは従来考えられていた極性と同じです。一方、赤道面の広い範囲で、帯電の極性が逆になっています。

従来理論では、赤道面と極域上空で帯電の極性は同じになります。なぜ赤道面付近と地球の極域で極性が異なるのでしょうか。図1で描かれているような2次元的なプラズマの流れで説明することが難しいのですが、図2で示されているような3次元的な流れ

を考えると理解することができます。

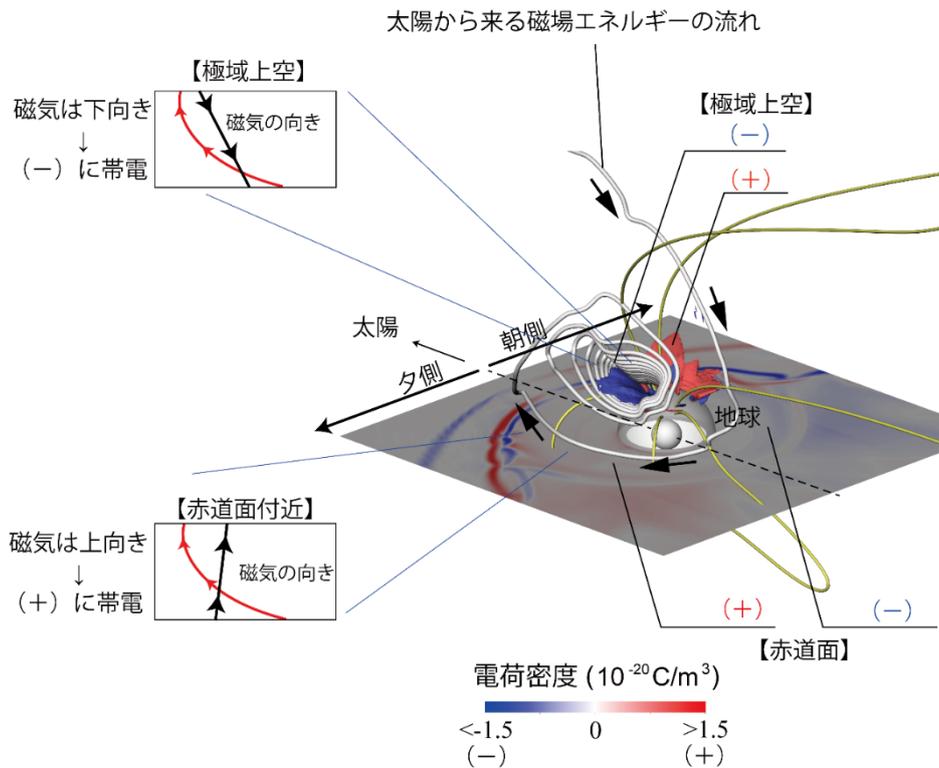


図2：シミュレーションで求めた赤道面の帯電と極域上空の帯電のようす。

赤色は帯電の極性がプラス、青色はマイナスであることを示す。

白線は太陽から来る磁場エネルギーの流れを、黄線は磁力線を示す。

帯電の極性は、プラズマが周回する方向と磁気の関係で決まります。図2の白い線は、プラズマとともに運ばれる磁気エネルギーの経路を示しています。太陽から来る磁気エネルギーは、地球磁場の支配圏である磁気圏に入ると、夕側では時計回りに周回しつつ、極域に向かいます。この白い線は夕側でのプラズマの動きも表しており、プラズマが周回する方向は赤道面付近と極域上空で同じであることを示しています。一方、地球の磁気は南半球から北半球に向かうため、赤道面付近では磁気は上向き、北極上空では下向きになります。そのため、両者の関係は逆になり、帯電の極性が逆になると考えられます。

### 3. 波及効果

対流と呼ばれる磁気圏プラズマの流れは、数日間地磁気が乱れる磁気嵐、カーテン状や明滅を繰り返すオーロラ、オーロラが急激に明るくなるオーロラ爆発など、様々な宇宙環境変動の原因となります。また、最近の研究によって、放射線帯（光速に近い速さで飛び交う高エネルギー粒子の集合）の変動に対する間接的な役割に注目が集まっています。本研究の成果は、こうした多様でダイナミックな宇宙空間変動の理解につながるばかりでなく、木星、土星など強い固有磁場を持つ惑星周囲の宇宙空間変動の理解にも応用可能で、惑星科学や宇宙天気など幅広い学術的な貢献が期待されます。

（参考文献）

1. Gao et al., Nature, 2024, <https://doi.org/10.1038/s42005-024-01553-5>
2. Vasyliunas, Geophysical Research Letters, 2001, <https://doi.org/10.1029/2001GL013014>

### 4. 研究プロジェクト

本研究は、以下の支援を受けて行われました。

- 科研費補助金 基盤（B） 24K00691

### 5. 論文タイトルと著者

タイトル：MHD simulation study on quasi-steady dawn-dusk convection electric field in Earth's magnetosphere

著者：海老原祐輔（京大大学生存圏研究所），平原聖文（名古屋大学宇宙地球環境研究所），田中高史（九州大学名誉教授）

掲載誌：*Journal of Geophysical Research: Space Physics*

Vol. 130, Issue 7, e2025JA033731, doi:10.1029/2025JA033731

掲載日：2025年7月10日