

PRESS RELEASE (2024/06/03)

世界初！熱圏宇宙空間におけるエネルギーカスケード法則を発見

～人工衛星軌道の予測と宇宙天気予報の精度向上に期待～

ポイント

- ① 熱圏(※1)という宇宙空間は、人工衛星軌道に大きく影響するためその理解が重要である。
- ② 熱圏のマルチスケールエネルギーカスケード(※2)法則を世界で初めて発見した。
- ③ 今後衛星軌道や宇宙天気予報の精度向上に期待される。

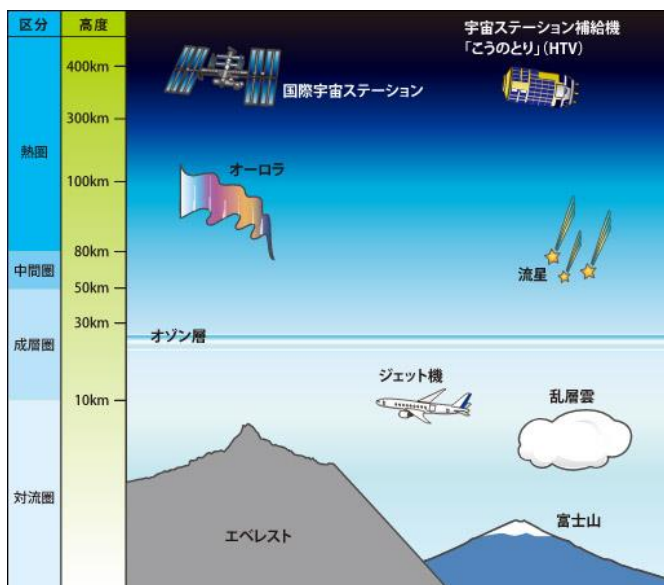
概要

現代社会のインフラを支える通信や放送衛星、GPS衛星は無数に存在しています。これらの多くは熱圏と呼ばれる上空100～1000kmの宇宙空間は、通信や測位に大きく影響するだけでなく、衛星の安全運用にも影響します。例えば、2022年2月に起きたSPACEX社の40機近いSTARLINK衛星が落下した事故は、予想外の熱圏密度の急増が原因でした。このため、熱圏への理解や状態把握、モデリングは宇宙天気予測に必要不可欠です。しかし、直接観測が少ないため、我々の熱圏への理解はまだ乏しく、特にマルチスケールにおけるダイナミクスへの理解は極めて不明確でした。

九州大学大学院理学研究院のリユウ・フィシン教授らの国際共同研究グループは、ドイツとESAが運用する衛星を用いて、熱圏におけるエネルギーカスケード過程を支配する物理法則を世界で初めて発見しました。また、エネルギーのスケール間変換方向や変換率を明らかにしました。発見した法則は、2次元乱流理論に予測されている海面や対流圏など気象領域での法則に類似していることから、大気組成やダイナミクスが異なる大気と宇宙領域は普遍的な物理法則に従うことを示唆しています。

今回の発見は熱圏を含む地球システムモデリングや宇宙天気予報の精度向上、高精度衛星軌道制御に役立つことが期待されます。

本研究成果は、2024年6月3日午後10時(日本時間)に米国科学雑誌「Geophysics Research Letters」のオンライン版に掲載されました。



研究者からひとこと：

今回の研究成果により、熱圏宇宙領域のエネルギーカスケードを支配する物理法則が明らかになり、宇宙天気モデリングと予測に貢献できると思われます。

◀図1 地球を取り巻く様々な「圏」の高度範囲
高度100km付近は空と宇宙の境目とされています。
(<https://fanfun.jaxa.jp/faq/detail/103.html> より引用)

【研究の背景と経緯】

現代社会のインフラを支える通信や放送衛星、GPS 衛星は無数にあります。地表から高度約 100km～1000km を占める熱圏領域は、衛星の軌道に大きく影響し、衛星の安全運用を左右します。例えば、2022 年 2 月に起きた SpaceX 社の 40 機近い STARLINK 衛星が落下した事件の原因は予想外の熱圏密度の急増でした。このため熱圏の物理過程への理解や状態把握が極めて重要です。

しかし、直接観測が少ないため、我々の熱圏への理解はまだ乏しく、特にマルチスケールにおけるダイナミクスについては謎が多いです。例えば、異なる時間スケールや空間スケールにおけるエネルギーの分布や、異なるスケール間の相互作用やエネルギー移動の仕組みなどが解明されていません。これらの問題の解明は、衛星軌道計算に必要な高精度な熱圏モデリングと宇宙天気予報に不可欠です。

【研究の内容と成果】

ドイツと欧州宇宙機関（ESA）の保有する人工衛星「CHAMP（チャンプ）と GOCE（ゴーチェ）」を用い、熱圏領域の 80～10000km のスケールにおける運動エネルギーカスケード法則を発見しました。これにより、エネルギーのスケール間変換方向や変換率が明らかになりました。また、この法則は 2 次元乱流理論に予測されている海面や対流圏など気象領域での法則に類似していることから、大気組成やダイナミクスが違う大気と宇宙領域は普遍的な物理法則に従うことを示唆しています。

【今後の展開】

今後は電離圏プラズマのエネルギーカスケードを解明し、中性粒子・プラズマ相互作用を明らかにした上で、地球モデリングへの応用を試みる予定です。

【参考図】



図 2：ドイツクルオンズボーン市で見られる夜光雲
その繊細かつ複雑な構造と流れは大気重力波と乱流の存在を示しています（ドイツ大気物理研究所 Gerd Baumgarten 博士提供）。

【用語解説】

(※1) 熱圏

上空 100–1000km 高度の宇宙空間を指します。熱圏はロケットや、国際宇宙ステーションや人工衛星などが飛ぶ領域であり、オーロラが発生する領域でもあります。

(※2) エネルギーカスケード

様々なスケール間のエネルギーの流れを示す物理過程、マルチスケールダイナミクスへの理解に重要。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 (grant 18H01270, 17KK0095, 20H00197, and 22K21345) の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌: *Geophysical Research Letters*

タイトル: Third-order structure functions of zonal winds in the thermosphere using CHAMP and GOCE observations.

著者名: Facundo L. Poblet, Huixin Liu, Jorge L. Chau

D O I : 10.1029/2024GL108367

Poblet, F. L., Liu, H., & Chau, J. L. (2024). Third-order structure functions of zonal winds in the thermosphere using CHAMP and GOCE observations. *Geophysical Research Letters*, 51, e2024GL108367. <https://doi.org/10.1029/2024GL108367>

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学理学院 地球惑星科学部門 教授 LIU HUIXIN (リュウ フィシン)

TEL: 092-802-4234 FAX: 092-802-4208

Mail: liu.huixin.295@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL: 092-802-2130 FAX: 092-802-2139

Mail: koho@jimu.kyushu-u.ac.jp