日本物理学会2023年春季大会(オンライン)

24pW2-12

ISS搭載CALETとあらせ衛星を用いた 放射線帯外帯電子降下現象と プラズマ波動の複数同時観測

岩瀬 智哉¹), *寺本 万里子¹), 片岡 龍峰²), 三好 由純³), 笠原 禎也⁴), 松岡 彩子⁵), 鳥居 祥二⁶), 尾 崎 光紀⁴), 松田 昇也⁴), 中村 紗都子³), 北原 理弘⁸), 小路 真史³), 今城 峻⁵), 篠原 育⁷⁾, 三宅 晶子 ⁹⁾, 中平 聡志⁷⁾

1) 九工大, 2) 極地研, 3) 名大ISEE, 4) 金沢大, 5) 京都大学, 6)早稲田大学理工総研, 7) 宇宙研, 8) 東北大, 9) 茨城高専

研究背景:放射線帯

Illustration of spatial structure of radiation-belt electrons



Courtesy of Windows to the Universe, http://www.windows.ucar.edu

©NASA



放射線帯電子の運動

研究背景 放射線帯電子の降り込み(REP)



[Mashall and Cully,2020]



[Miyoshi et al., 2015]

[Kubota et al, 2018]

EMIC波動

数keVのイオンの温度 異方性により励起され

- ・ 放射線帯外帯を磁力線沿いに往復運動しているMeV帯の高エネルギー電子が中層大気に降り込む
 (Relativistic Electron Precipitation : REP)
 (e.g., Nakamura et al., 1995; Carson et al., 2013)
 。
- REPは、放射線帯電子がプラズマ波動(chorus波動・EMIC波動など)とのサイクロトロン共鳴によってピッチ角散乱 されることで発生すると考えられているが、詳細は明らかになっていない。

目的

Kataoka et al. (2017,2020)は、 ISS/CALET/CHDを用いるとREP現象 が検出できると発見し、 2017/03—2018/03の1年間におけるISS とあらせ衛星の3例のConjunction イベ ント(同一磁力線イベント)で、EMIC波 動、コーラス波動、静電ホイッスラー波 動のそれぞれがREPを引き起こすこと を報告した。



Kataoka+(2020)よりも長い期間 (2017—2021) でより多くのConjunctionイベントを検出し、 REP現象とプラズマ波動の関連性について統計的に解析を行うことで、REP現象の発生 原因を調べる。

使用データ期間:2017/04/01-2021/12/31

<u>ISS/</u>(低軌道:約400km,軌道傾斜角:51.64度)

CALorimetric Electron Telescope (CALET)

CHarge Detector (CHD)

- 宇宙線電荷測定用
- CHD-X: > 1.6 MeV の電子、CHD-Y: > 3.6 MeV の電子 を計測可能
- データは1秒値でcountの積分量

<u>あらせ衛星(</u>近地点:約440km,遠地点:約32,000km,軌道傾斜角:約32度) プラズマ波動計 Plasma Wave Experiment (PWE) / On board Frequency Analyzer (OFA)

- 電界スペクトル: 10 Hz ~ 20 kHz、磁界スペクトル: 1 Hz ~ 20 kHz
- $0.5 \sim 4 \text{ s sampling data}$

フラックスゲート磁力計 Magnetic Field Experiment (MGF)

• 64 Hz sampling data







CALET/CHDのデータ内で、計数率が局所 的に増加しているものを検出するため、時 系列データを微分したものに対して閾値 3000 count/sec/dtと設定した。

以下の条件を満たす場合にイベントと する。 $\frac{N_X}{N_Y} > 3$



<u>Conjunction 条件</u>

あらせ衛星のfootprint(モデル磁場を用いて高度100kmに投影した位置)とISSの位置が

- ・ 地理緯度上で緯度5[deg]以内、
- 経度10[deg]以内

のタイミングを検出

結果:REP eventの分布

 CALETデータから検出されたREPイベント(539例)は、磁気 地方時上ではpre-midnightとpost-midnightにイベントの分布 が集中している。また、3ヵ月ごとの総数を比較すると、2017 年に292件ととても多く検出されている。

Year	CALET REP Event	Conjunction Event	Conjunction REP Event
2017	292	601	41
2018	67	750	5
2019	67	769	8
2020	47	740	2
2021	66	710	6
Total	539	3570	62



EMIC波動の観測例





Chorus 波動の 観測例





9







REP-プラズマ波動の統計結果

Conjunction REP Event (62例)時に、PWE/OFAとMGFのデータ内で目 視でプラズマ波動は22件確認できた。内訳は以下。

	コーラス 波動	EMIC波動	静電ホイッ スラー波動	ECH
確認した数	14	6	2	3
	Hiss	Burst	波動なし	データなし
	17	8	7	11

CONJ REP Event	CONJ REP Event + Enhancement	CONJ REP Event +プラズマ波動
62	44	22

REPに関連するプラズマ波動の空間分布



 chorus波動は夜から朝にかけて磁気赤道面付近を中心に、EMIC波動は夕方から 夜にかけて磁気赤道面から離れた位置を中心に、HissはL値の2-5を中心に、 BurstはL値が5以上の範囲で分布していることが確認できる。

考察・まとめ

- 2017/04—2021/12の期間でISSとあらせ衛星のデータからREPとプラズマ波動に ついて解析を行い、多数のイベントを検出した(CALET REP Event 539件、 Conjunction Event 3570件、Conjunction REP Event 62件)。
- Conjunction REP Eventについて解析すると、REP Event の発生とほぼ同じ時刻に 多数のプラズマ波動が確認された。この中でも、REPに関連すると思われるコーラ ス波動が14件と最も多く発見された。これまでREP現象を引き起こすプラズマ波動 としてはEMIC波動が多く観測されていたが、この結果を踏まえるとコーラス波動も 十分に影響していると考えられる。しかし、HissやBurstといった現象や、わずかな がら静電ホイッスラーモード波動、ECHなども確認されることから、REPとプラズマ 波動の対応はこれまで言われているよりも複雑であると推測される。