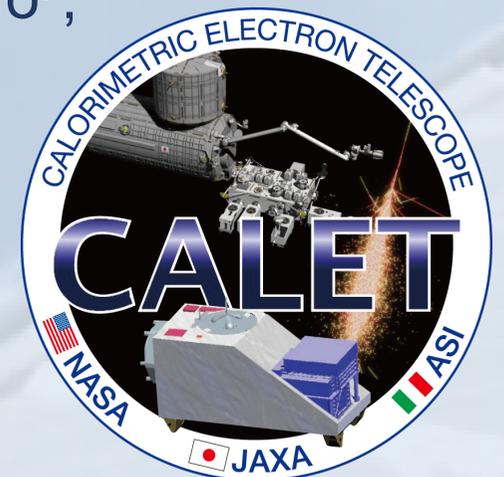


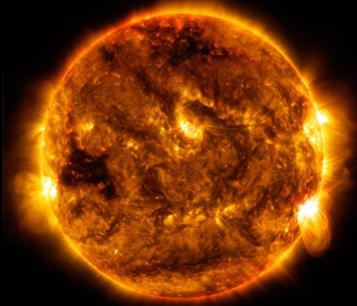
CALETによる太陽活動第24期減退期の 太陽変調と相対論的電子降下の観測

茨城高専, 極地研^A, 信大理^B, JAXA^C, 東大宇宙線研^D,
早大理工総研^E, NASA^F, Catholic Univ. of America^G, Univ. of Colorado^H,
三宅晶子, 片岡龍峰^A, 宗像一起^B, 中平 聡志^C,
浅岡 陽一^D, 鳥居祥二^E, 赤池陽水^E, 小林兼好^E,
A. Bruno^{F,G}, L. Blum^H, G. A. de Nolfo^F,
他CALETチーム

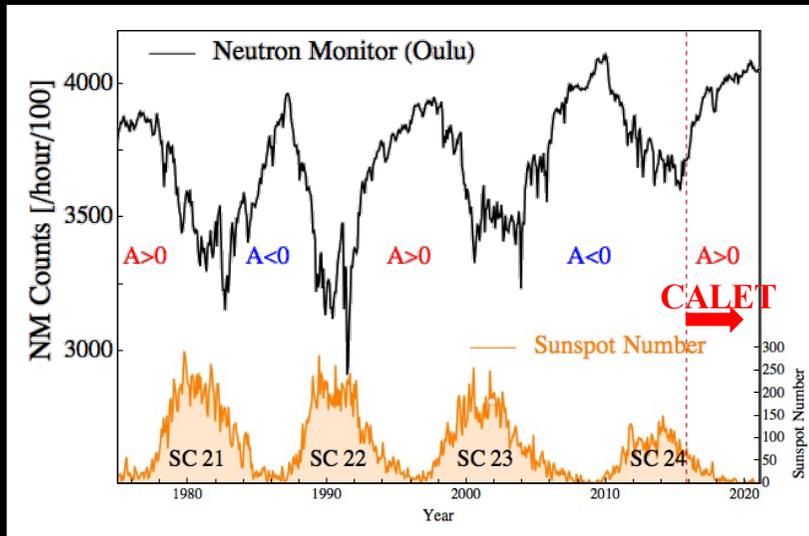


太陽変調と相対論的電子降下 (REP)

- **太陽変調**: 太陽活動に伴う1-10GeV銀河宇宙線の強度変動
- **相対論的電子降下 (REP現象)**: 地球磁気圏内のプラズマ波動によるバンアレン帯のMeV電子の降下



銀河宇宙線

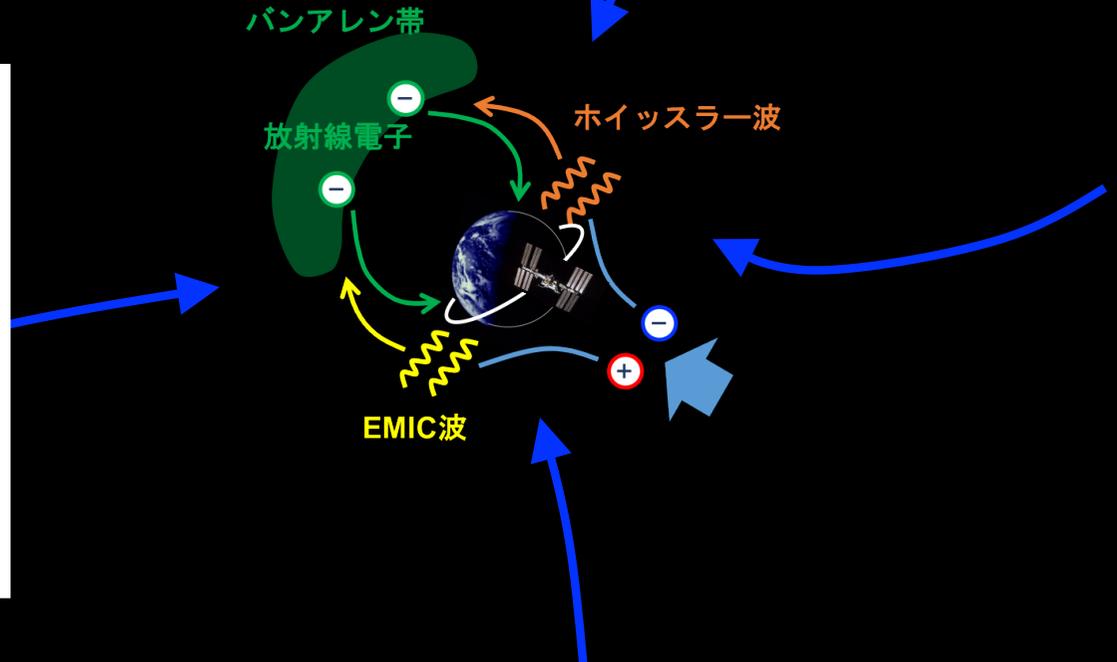


バンアレン帯

放射線電子

ホイッスラー波

EMIC波



CALETによる電子・陽子の太陽変調の観測

LEE shower trigger

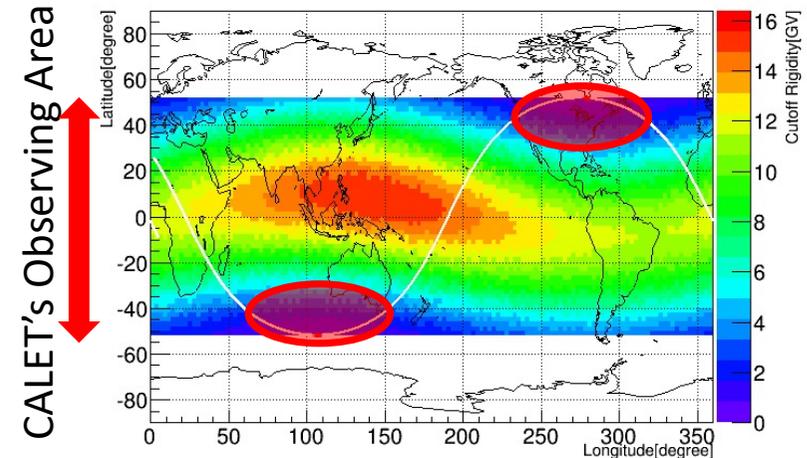
地磁気によるcutoff rigidityが約5.0GV以下の極領域 (ISSの周回軌道中、南北それぞれで90秒) において実施される、エネルギー閾値1.0GeVのトリガーモードで検出したイベントを解析

全電子・陽子のイベント選別条件

- Offline Trigger
- 飛跡再構成の精度
- 飛跡の幾何条件
- CHDでのenergy deposit
- IMC最下層でのenergy deposit やシャワー集中度
- TASC最上層でのシャワーの横広がり
- IMC, TASCでのenergy deposit (エネルギー再構成)

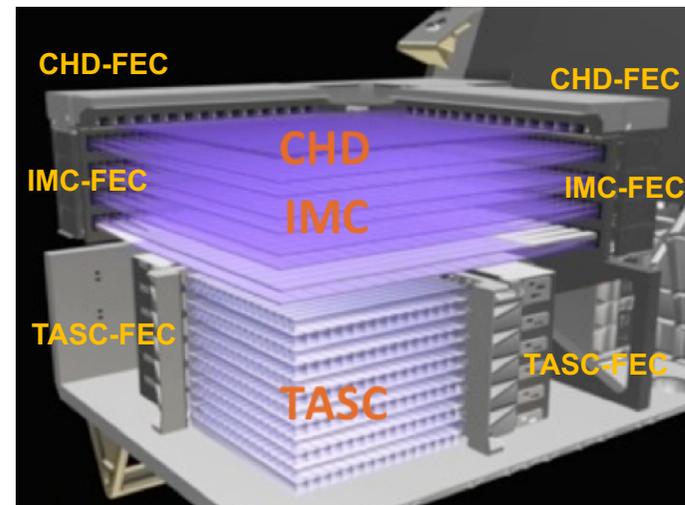
以上の選別を実施することで、低エネルギー全電子・陽子を取得

Cutoff rigidity map and ISS orbit



<http://www.ngdc.noaa.gov/AGA/vmod/igrf.html>

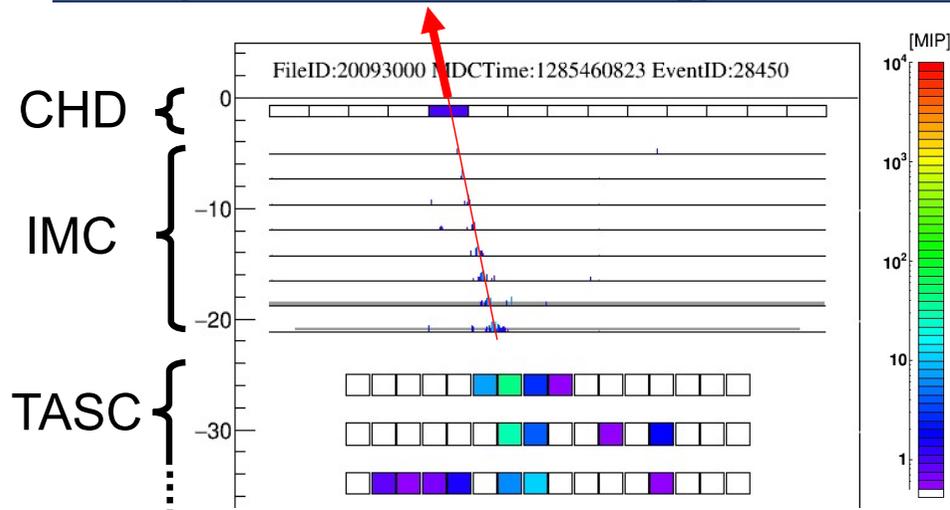
CALET Calorimeter



地磁気によるカットオフ効果

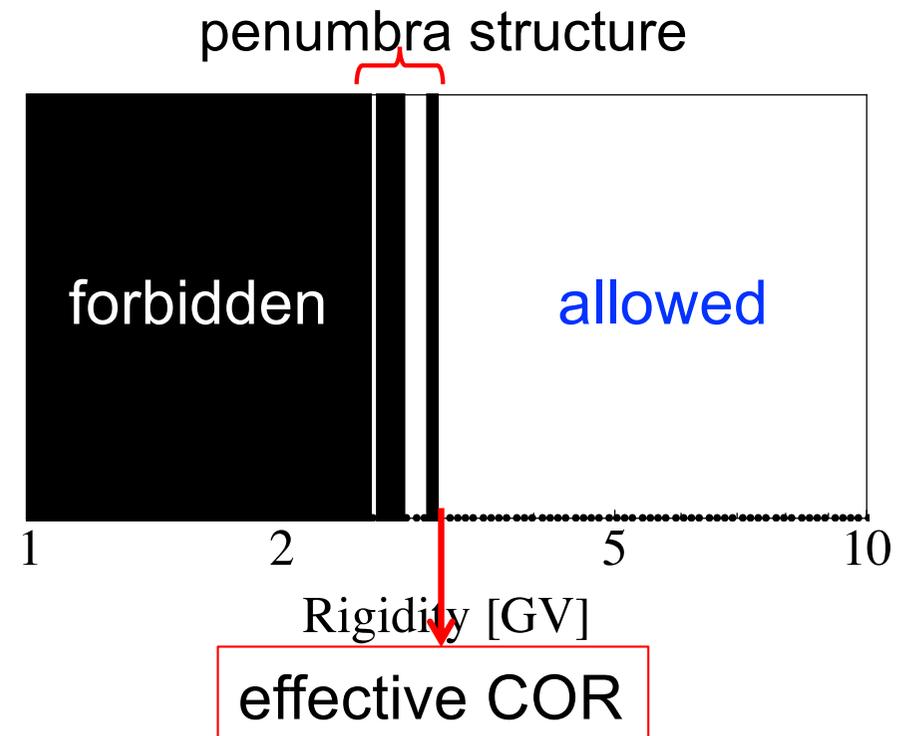
- 国際標準地球磁場 (IGRF-13) および地磁気擾乱経験モデル (TS05) を考慮して地球磁気圏内における低エネルギー粒子軌道を計算することで、effective cutoff rigidity を算出
- 反粒子の射出方向はCHD、IMC内の再構成軌道に合わせてイベント毎に決定
- カットオフの影響を受けていないイベントを選択するために、ペナンプラ構造が現れない最低rigidityをeffective cutoff rigidityとして定義

Direction of the particle trajectory for the back-tracing calculation in the magnetosphere (example of events with energy of 4.4 GeV)



(A posture of the calorimeter in the GSE coordinate is also considered.)

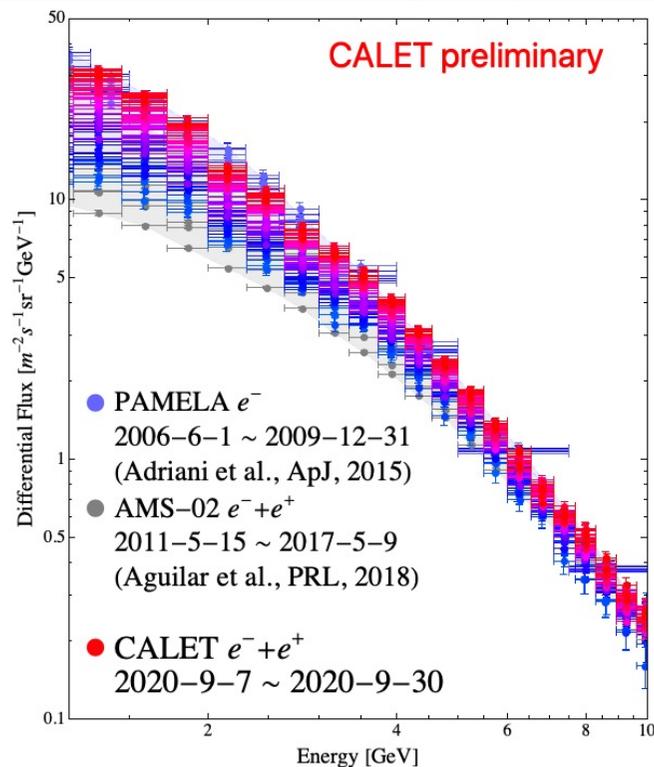
Definition of the effective cutoff rigidity



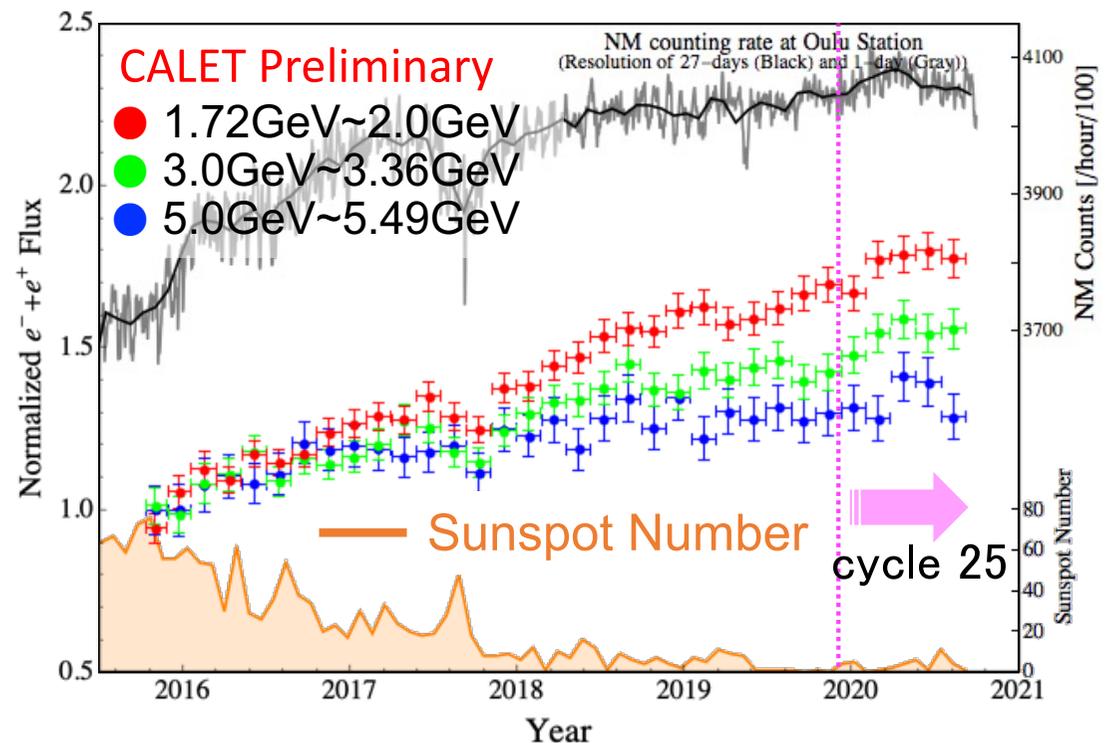
全電子フラックスの長期変動

- 1-10 GeV領域の全電子フラックスは、第25期太陽活動が開始後も約半年間増加を継続した後に、極大値に到達
- 最大フラックスは前回の太陽活動極小期にPAMELAが観測した最大フラックスに匹敵

CR $e^- + e^+$ energy spectrum



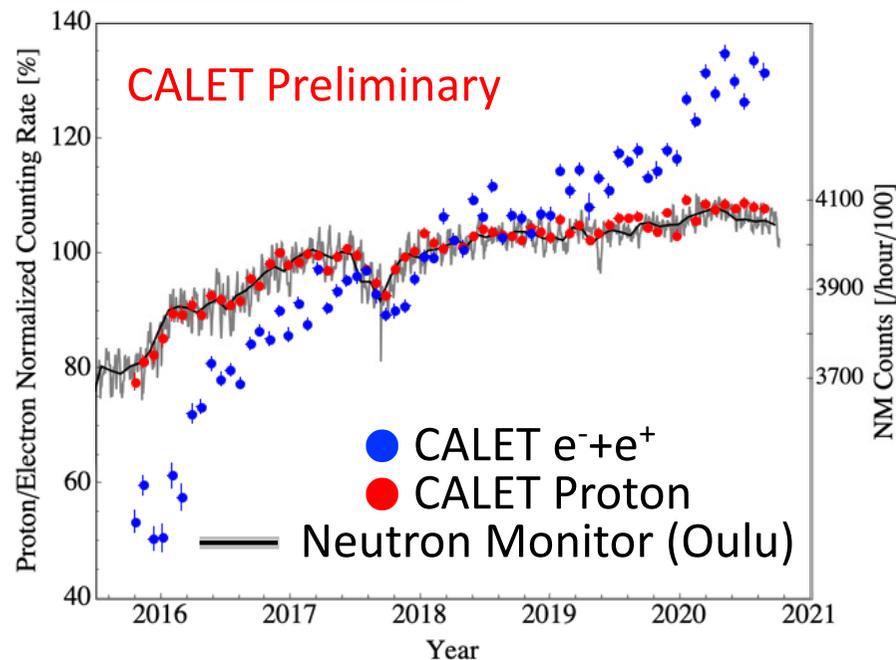
Time profile of the flux



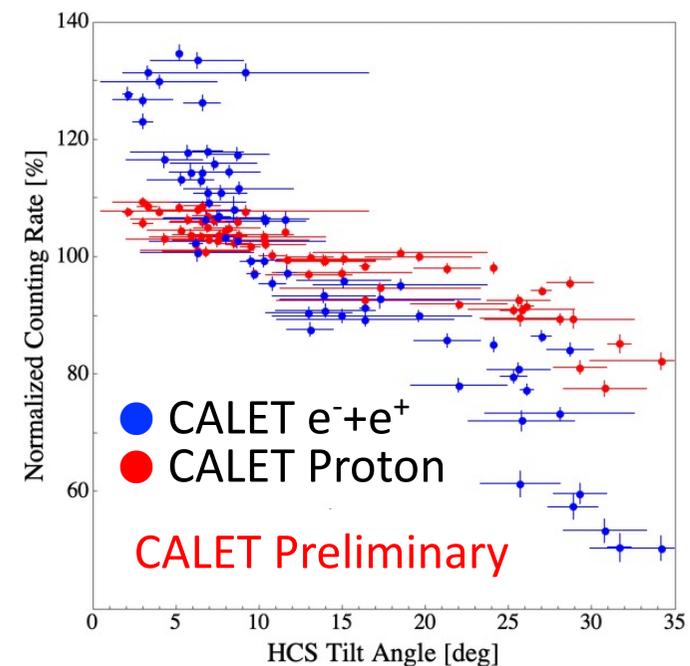
太陽変調の荷電依存性

- 太陽変調の荷電依存性を調べるため、平均rigidityが3.8GVの陽子および全電子の計数率を算出
- 全電子計数率の変動範囲は、陽子に比べて顕著に大きい。この傾向は太陽変調のドリフトモデルから示唆される荷電依存性に矛盾しない

Time profile of the count rate of CR protons and $e^- + e^+$

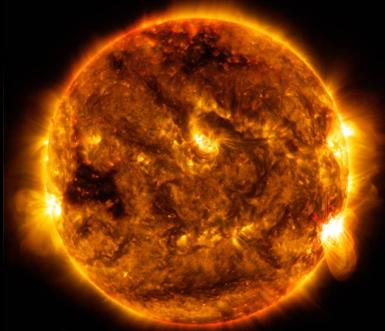


Correlation with count rate of CR protons/ $e^- + e^+$ and HCS tilt angle

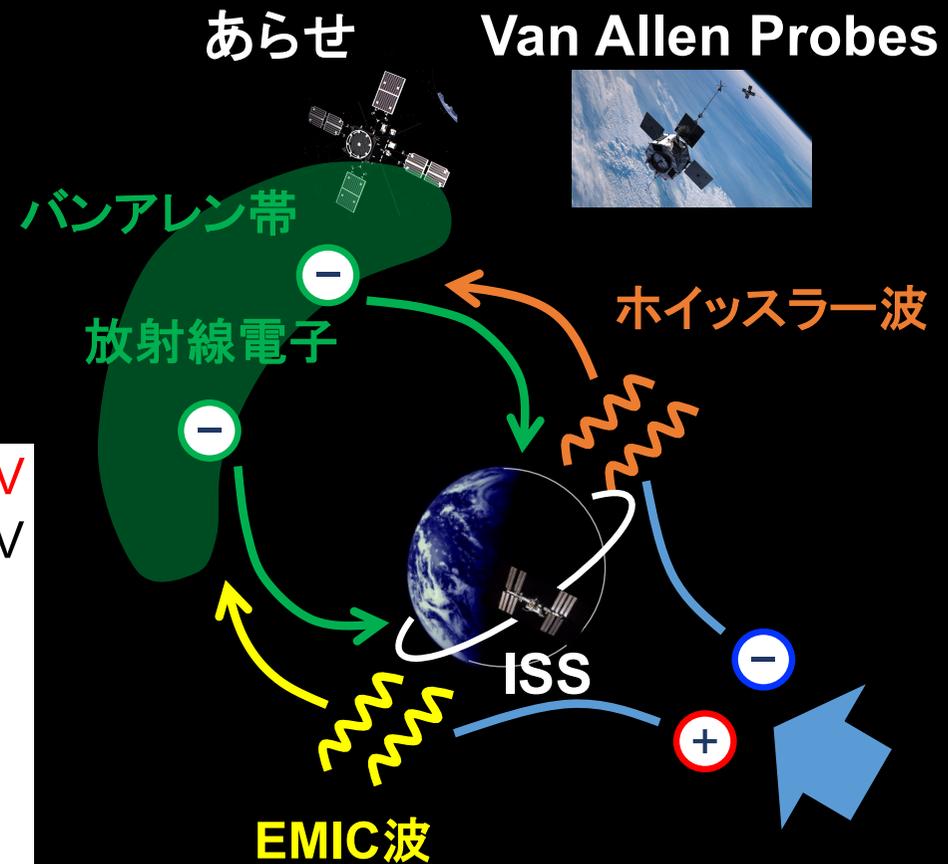
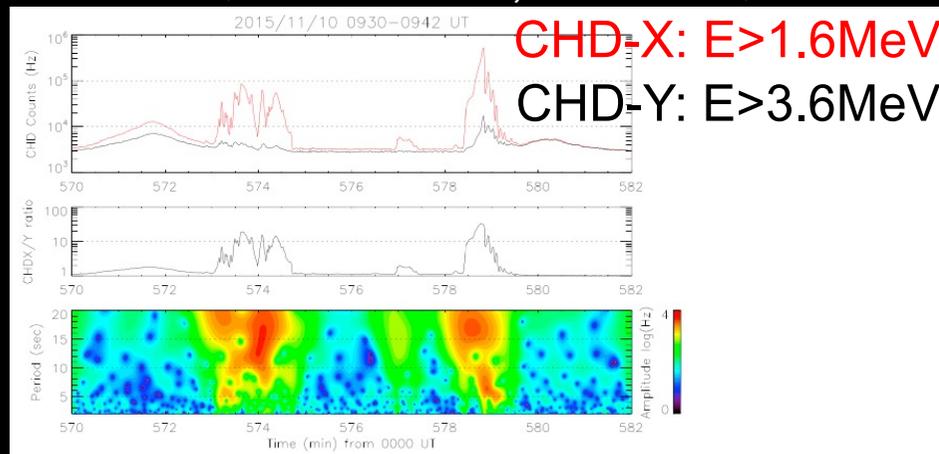


(各計数率は全期間の平均値で規格化している。)

CALETと放射線帯探査機による相対論的電子降下 (REP現象) 観測



CALETで初検出したREPイベント (Kataoka et al., GRL 2016)

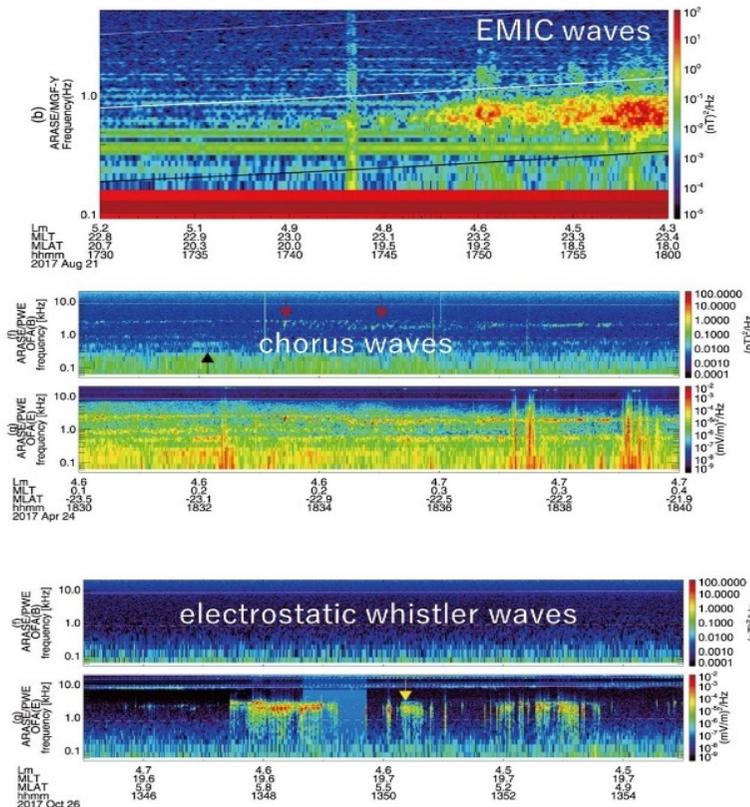


CALETがジオスペース探査衛星「あらせ」やVan Allen Probesと同じ磁力線上を通過した機会のうち、CALETがREP現象を観測した事例を選び、放射線帯のプラズマ波動や電子強度と比較・解析することで、REP現象のメカニズムの解明に迫る

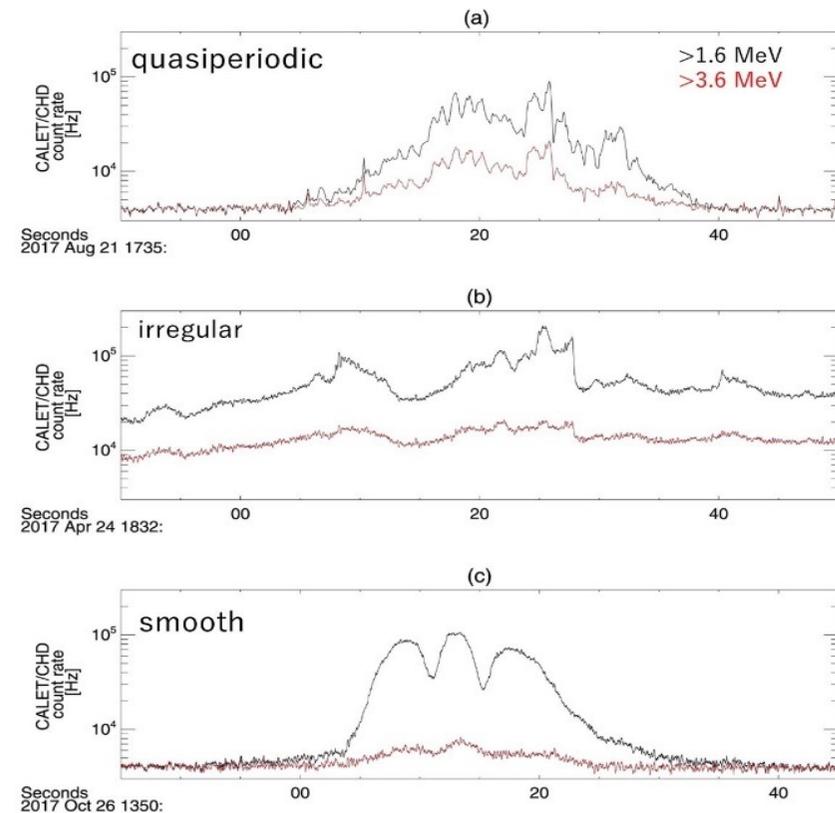
あらせによるプラズマ波動観測との比較

- CALET/CHDで観測された3つのタイプのREP現象が、それぞれ陽子を起因とするEMIC波、電子を起因とするコーラス波および静電ホイッスラー波により引き起こされたことが明らかになった。

プラズマ波動のダイナミックスペクトル (あらせ)



REP現象 (CALET/CHD)



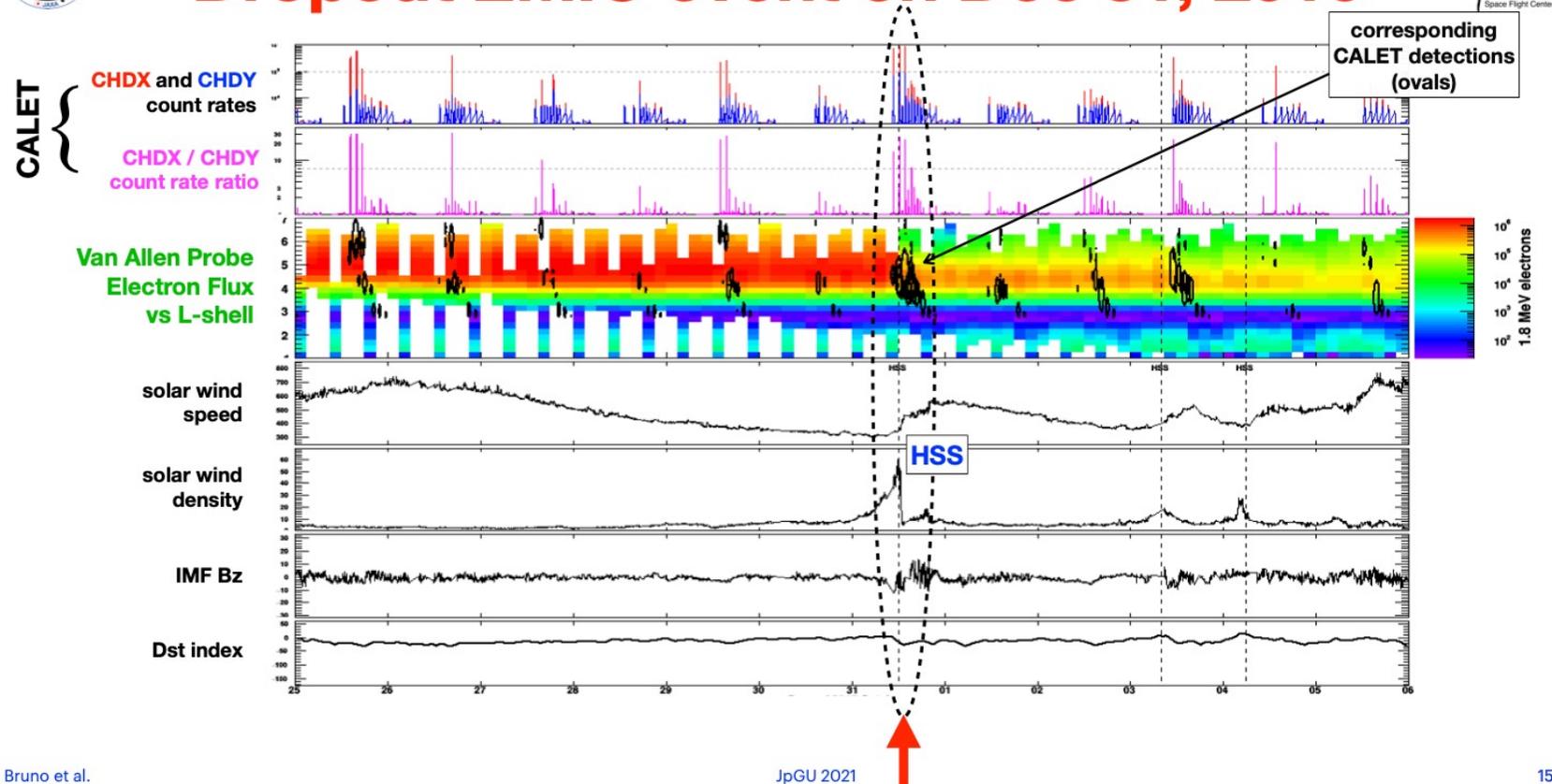
(Kataoka et al., JGR 2020)

Van Allen Probesによる電場・磁場観測との比較

- 太陽風の急激な圧縮に伴う放射線帯のドロップアウトに同期するREPイベント(EMIC波起因)を確認
- ドロップアウトが発生していないタイミングでもREPイベントを検出



Dropout EMIC event on Dec 31, 2016



(A. Bruno et al., JpGU 2021)

Summary

- 1-10 GeV領域の全電子フラックスは、第25期太陽活動が開始後も約半年間増加を継続した後に極大値に到達した。最大フラックスは前回の太陽活動極小期にPAMELAが観測した最大フラックスに匹敵する。
- 太陽変調の荷電依存性を調べるため、平均rigidityが3.8GVの陽子および全電子の計数率を算出した結果、全電子計数率の変動範囲は、陽子に比べて顕著に大きいことを確認した。この傾向は太陽変調のドリフトモデルから示唆される荷電依存性に矛盾しない。
- CALETとジオスペース探査衛星「あらせ」やVan Allen Probesとの同時観測により放射線帯のプラズマ波動生成や電子消失、降下電子を捉える、REP現象のメカニズムの解明に迫る観測が実現。