

CALETによる太陽活動極大期の太陽変調と フォーブッシュ減少の最新観測結果

岐阜高専, 信大理^A, 極地研^B, 早大理工総研^C,
JAXA^D, 東大宇宙線研^E

三宅晶子, 宗像一起^A, 加藤千尋^A, 片岡龍峰^B, 鳥居祥二^C,
赤池陽水^C, 小林兼好^C, 中平 聡志^D, 寺澤敏夫^E,
他CALETチーム



CALETによる電子・陽子の太陽変調の観測

LEE shower trigger

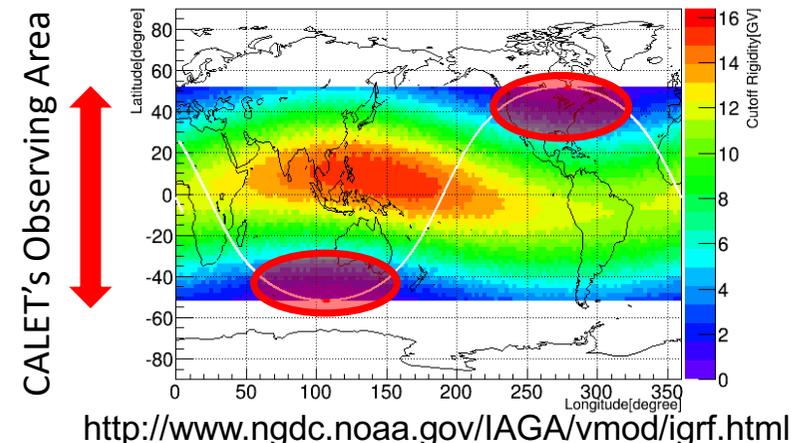
地磁気によるcutoff rigidityが約5.0GV以下の極領域 (ISSの周回軌道中、南北それぞれで90秒) において実施される、エネルギー閾値1.0GeVのトリガーモードで検出したイベントを解析

全電子・陽子のイベント選別条件

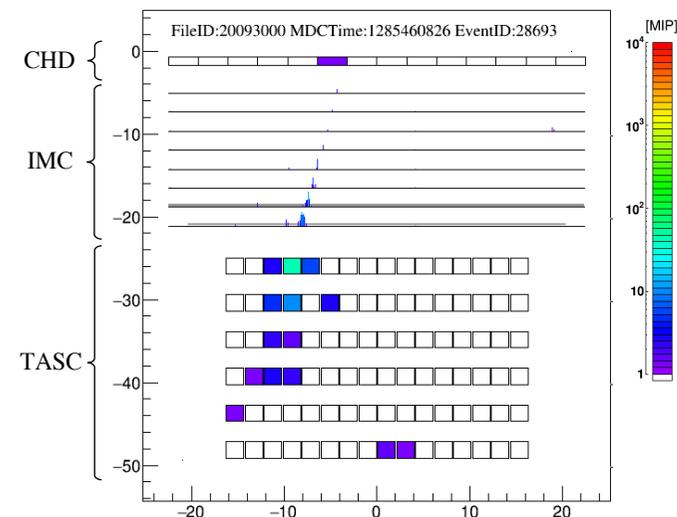
- Off-line trigger
- 飛跡再構成の精度
- 飛跡の幾何条件
- IMC, TASCでのenergy deposit
- CHDでのenergy deposit
- 全電子・陽子識別
 - IMC最下層でのenergy deposit
やシャワー集中度 (全電子選別のみ)
 - TASC最上層でのシャワーの横広がり
- Cutoff rigidityの制限

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



CALET Calorimeter with an LE event candidate with energy of ~ 3.9 GeV



CALETによる電子・陽子の太陽変調の観測

全電子・陽子のイベント選別条件

- Off-line trigger
- 飛跡再構成の精度
- 飛跡の幾何条件
- IMC, TASCでのenergy deposit
- CHDでのenergy deposit
- 全電子・陽子識別
 - IMC最下層でのenergy deposit
やシャワー集中度(全電子選別のみ)
 - TASC最上層でのシャワーの横広がり

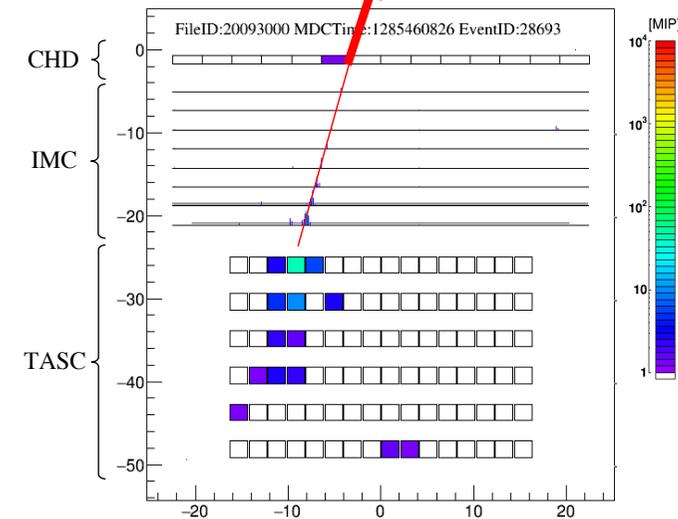
• Cutoff rigidityの制限

地磁気によるCutoff rigidity算出方法

- 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

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

CALET Calorimeter with an LE event candidate with energy of ~ 3.9 GeV



CALETによる電子・陽子の太陽変調の観測

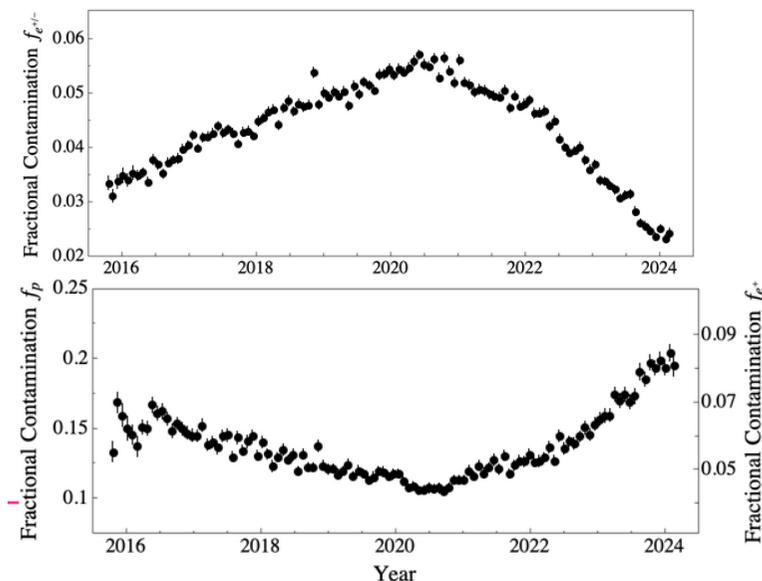
全電子・陽子のイベント選別条件

- Off-line trigger
- 飛跡再構成の精度
- 飛跡の幾何条件
- IMC, TASCでのenergy deposit
- CHDでのenergy deposit
- 全電子・陽子識別
 - IMC最下層でのenergy deposit
やシャワー集中度(全電子選別のみ)
 - TASC最上層でのシャワーの横広がり

陽子・電子計数の算出

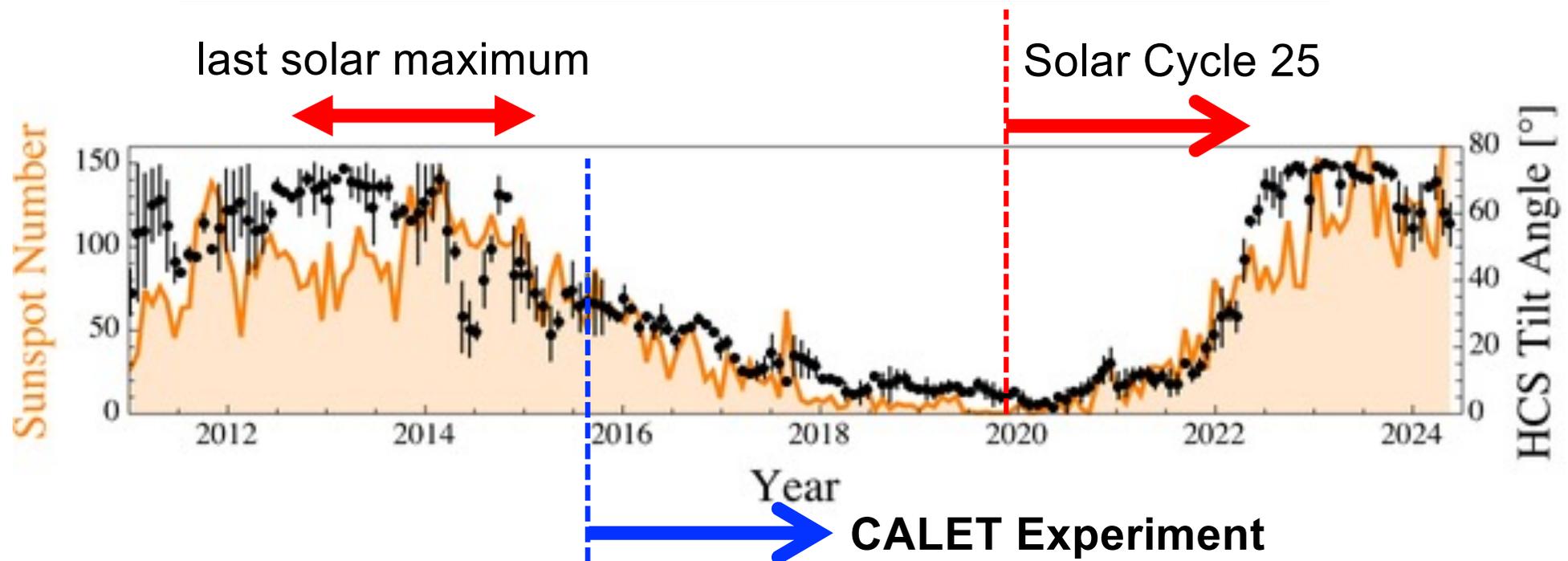
- 各Carrington Rotationにおける全電子候補イベント中の陽子混入率、陽子候補イベント中の全電子混入率から全電子、陽子の計数を算出
 - さらに全電子候補イベントに対する陽子混入率の変動をもとに陽電子成分の混入率を推定し、電子の補正計数を算出
- Cutoff rigidityの制限
 - 以上の選別を実施することで、低エネルギー全電子・陽子を取得

Fractional contaminations $f_{e^-+e^+}$ in p candidates (top panel) and Fractional contaminations f_p and f_{e^+} in e^-+e^+ candidates (bottom panel)



近年の太陽活動

Time profile of the sunspot number and the HCS tilt angle

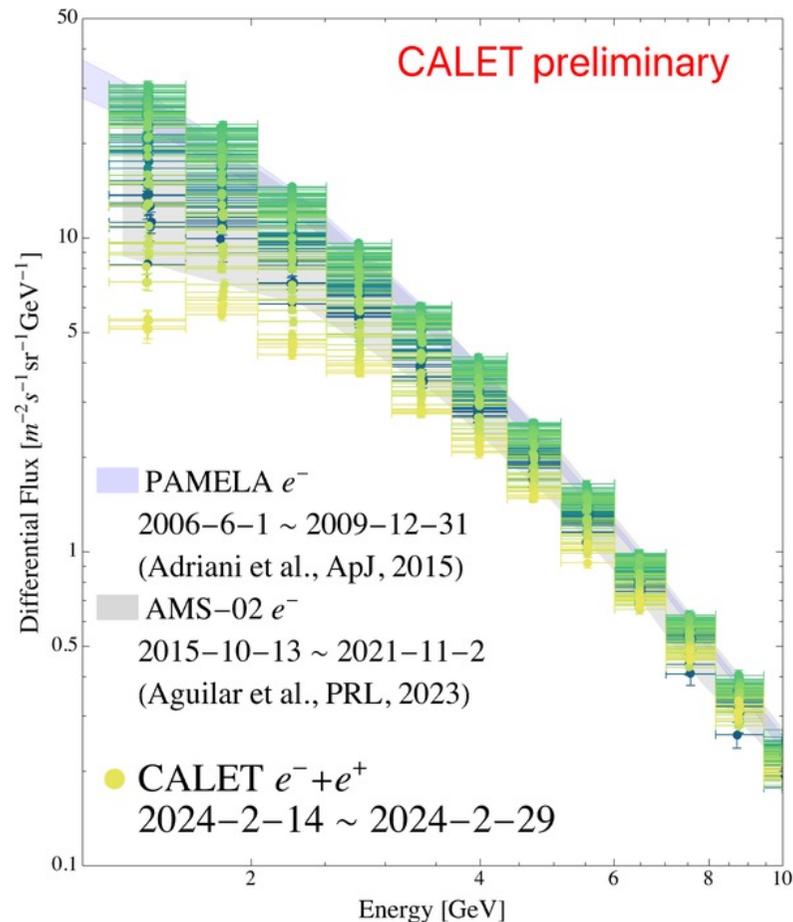


- 前回の太陽活動極大期は2014年周辺(このとき太陽磁場の極性が負から正極性に反転)
- 2019年12月に第25期太陽活動開始(太陽活動極小期)
- 2022年から急激に太陽活動が活性化
- 2023年後半以降、太陽の極域磁場が急激に低下
→極性が正から負へ反転したかもしれない

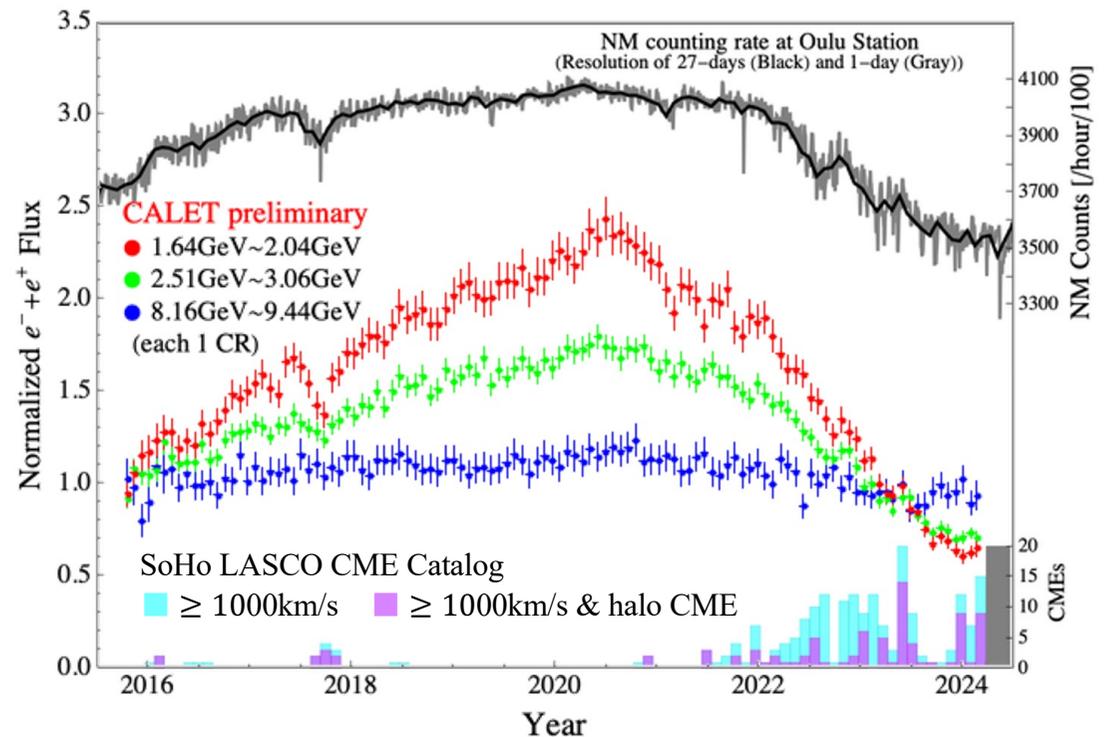
全電子フラックスの長期変動

- 第25期太陽活動の開始以降、1-10 GeV領域の全電子フラックスは減少を続け、CALETによる観測開始当初のフラックスよりも低い値を検出している。

CR e^-+e^+ energy spectrum



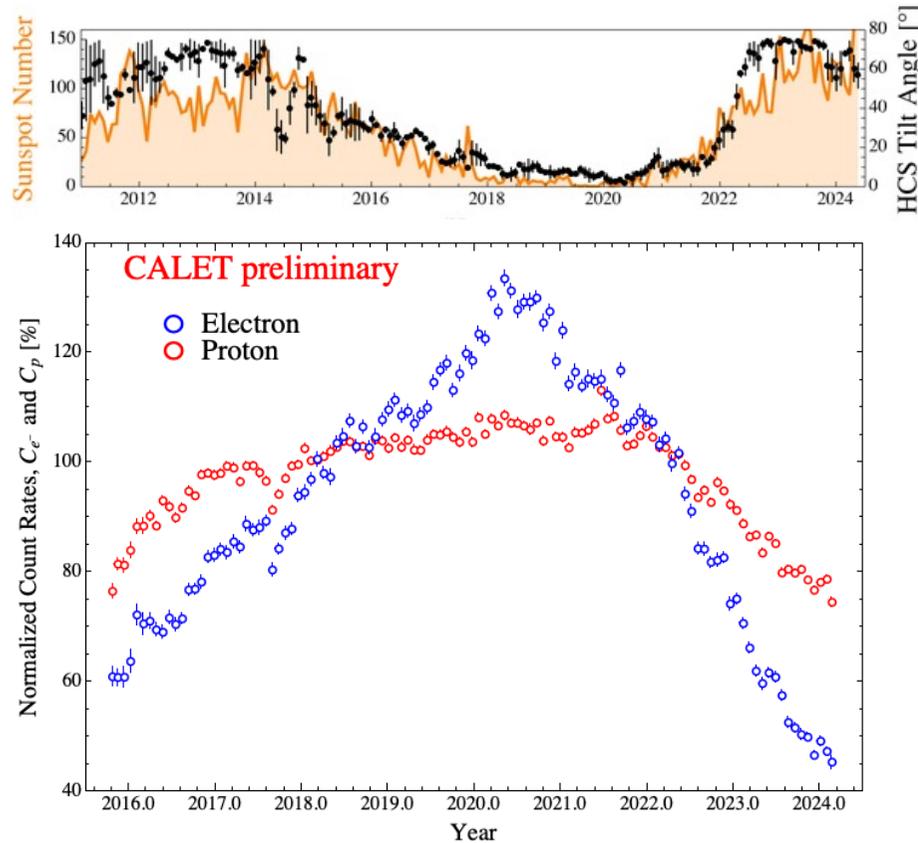
Time profile of the CR e^-+e^+ flux



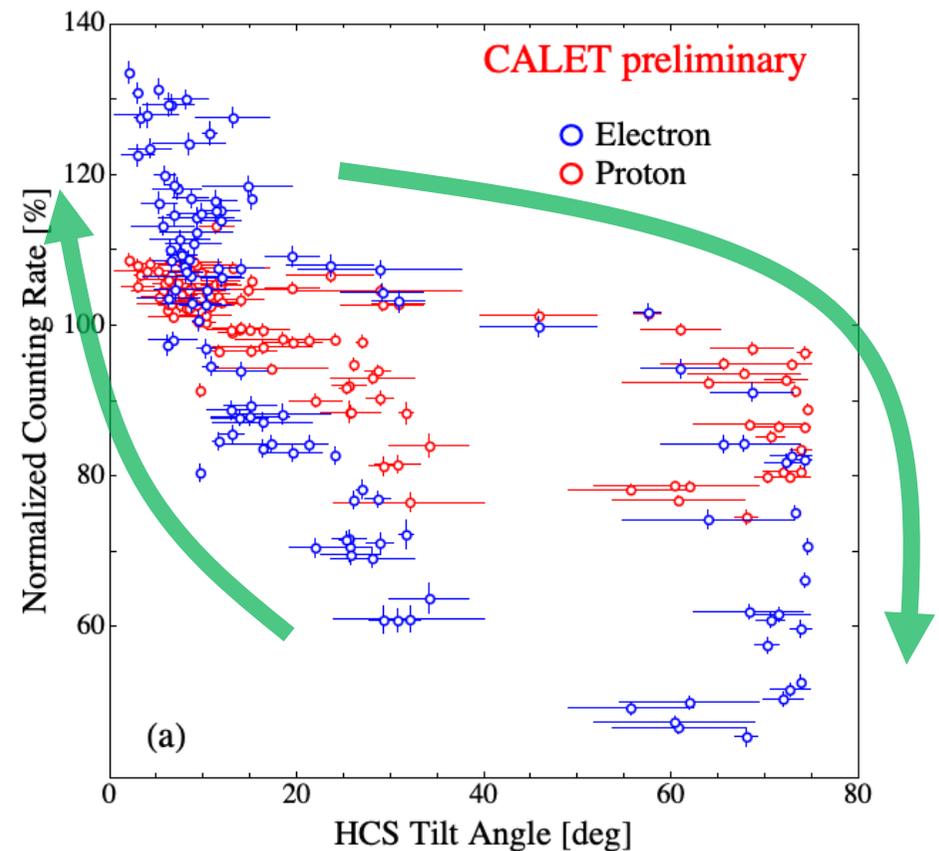
太陽変調の荷電依存性

- 陽子計数率も、CALETによる観測開始当初に匹敵する値を検出
- 太陽活動極大期に入り、太陽活動減退期・増進期間に現れるヒステリシス構造は急激に変化。一周しかけている。

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



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

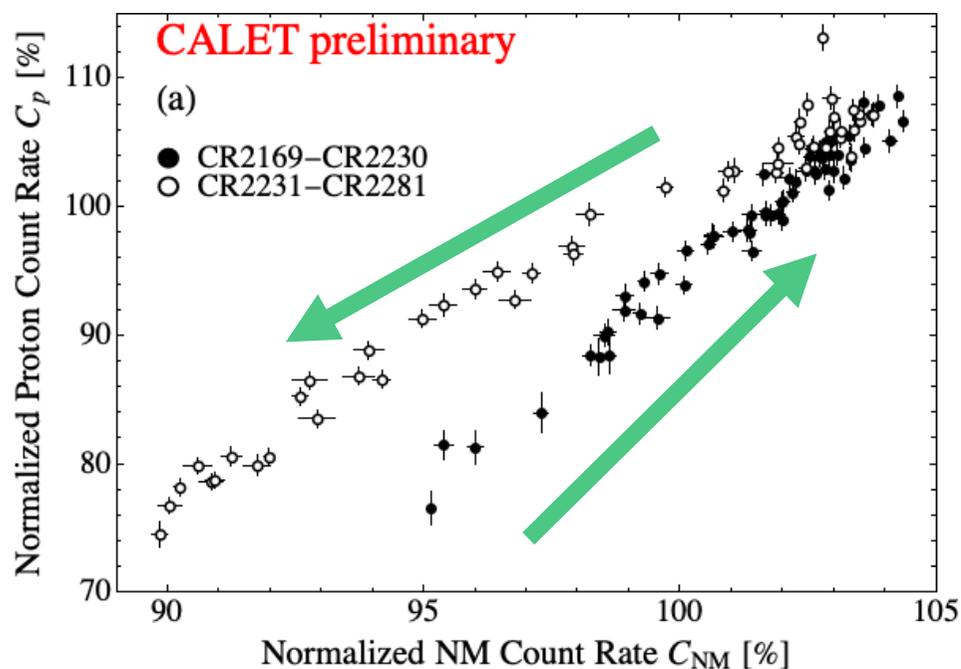


(各計数率は2021年5月までの平均値で規格化している。)

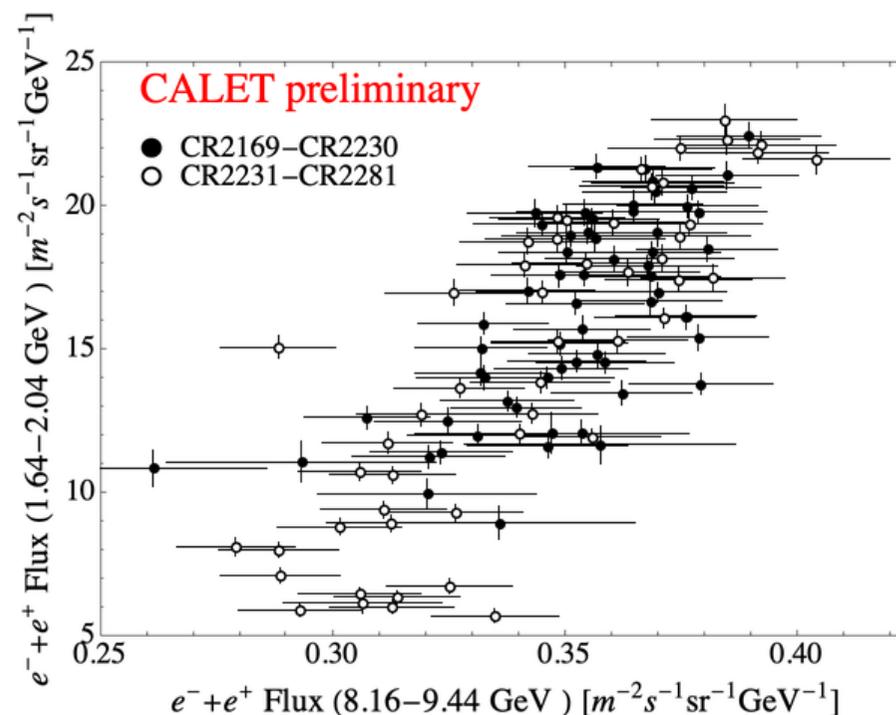
rigidity依存性

- 陽子計数率と中性子モニタ計数率の比較では、太陽活動減退期・増進期で異なるrigidity依存性を確認。
- 一方で全電子強度からは、優位な差を確認せず

Correlation with count rate of CR protons and NM count rate



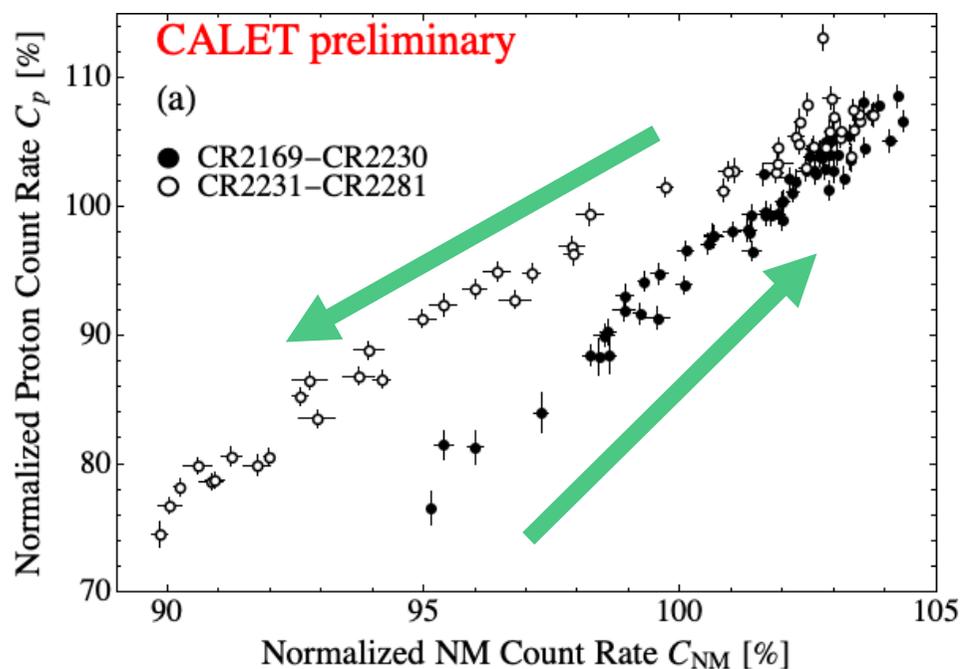
Correlation with $\sim 1.8\text{ GeV}$ electrons and $\sim 8.5\text{ GeV}$ electrons



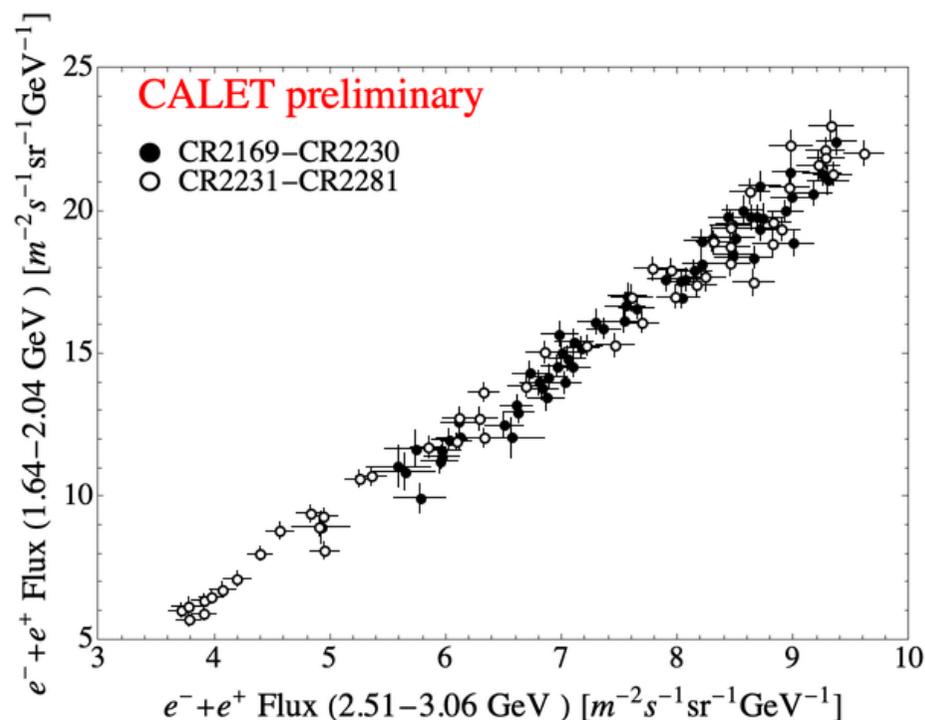
rigidity依存性

- 陽子計数率と中性子モニタ計数率の比較では、太陽活動減退期・増進期で異なるrigidity依存性を確認。
- 一方で全電子強度からは、優位な差を確認せず

Correlation with count rate of CR protons and NM count rate



Correlation with ~ 1.8 GeV electrons and ~ 2.8 GeV electrons



Summary

- 第25期太陽活動の開始以降、1-10 GeV領域の全電子フラックスは減少を続け、CALETによる観測開始当初のフラックスよりも低い値を検出している。
- 平均rigidityが3.8GVの陽子計数率も、CALETによる観測開始当初に匹敵する低い値を検出している。
- 太陽活動極大期に入り、太陽活動減退期・増進期間に現れるヒステリシス構造は急激に変化している。
- 陽子計数率と中性子モニタ計数率の比較では、太陽活動減退期・増進期で異なるrigidity依存性を確認。一方で全電子強度からは、優位な差を確認せず。
- 2024年5月11日、CALETも地上の中性子モニタに矛盾しないタイミングでフォーブッシュ減少を検出。長いRecovery timeの特徴も一致する。現在、荷電依存性などの詳細を慎重に調査中