

内部太陽圏探査を目的とした 水星探査機みおの放射線モニタ 機器の較正手法開発

木下岳 (1) 上野遥 (2) 村上豪 (2) 吉岡和夫 (3) 東尾奈々 (2) 三好由純 (4) 高島健 (2)

(1) 東大・理 (2) JAXA (3) 東大・新領域 (4) 名大・ISEE

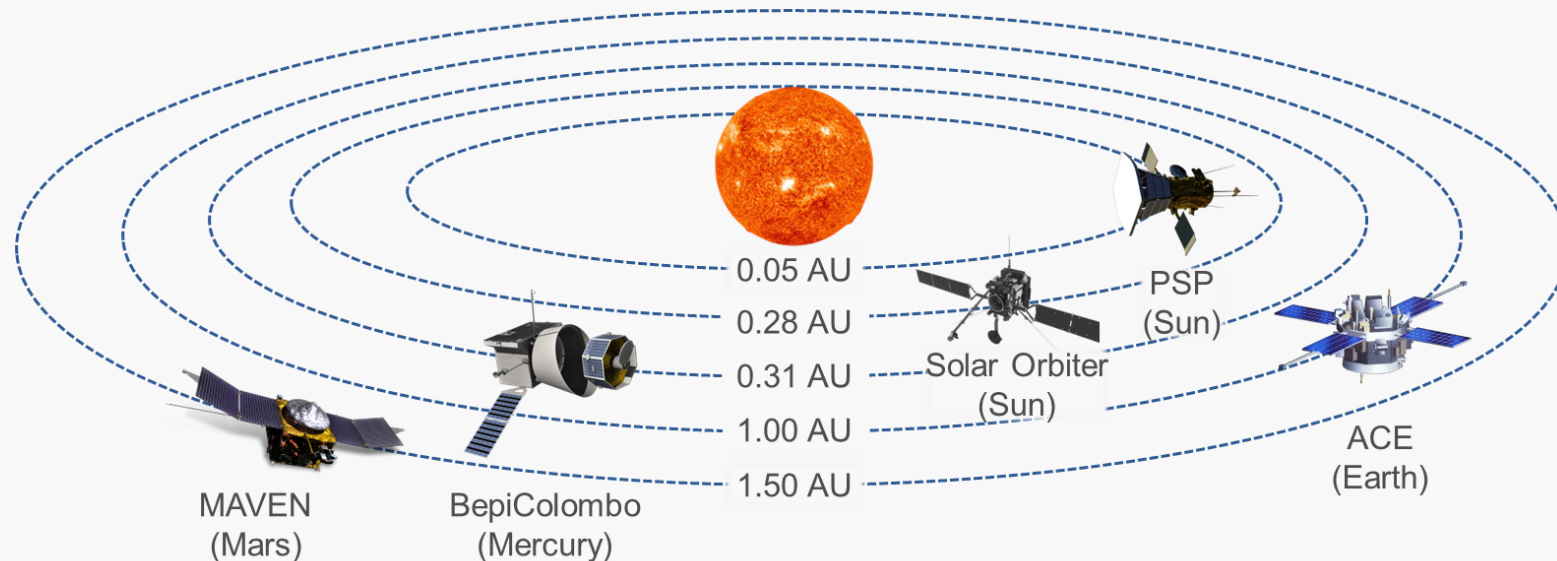
地球と太陽系の内側では重力ポテンシャル差が大きいため減速に大きなエネルギーが必要で、**軌道投入の難易度が高い**。そのため**太陽系内部の惑星間空間の直接観測例はお世辞にも多いとは言えず**、とりわけ太陽からの噴出物がこの領域での伝搬される過程で起こる物理現象には未解明な点が多く残されていた。しかし最近では軌道工学の発展などが助けになって水星探査機BepiColomboや太陽観測機Solar Orbiterなど**複数の探査機が内部太陽圏に展開している**。これらの複数の探査機が展開して惑星間空間の観測を行うことによって、例えば太陽から噴出する磁場とプラズマの塊であるICMEが**半径方向にどのように進化しているのか、動径方向にどれくらい広がっているか**など多角的な知見を得ることができる、大変貴重な機会が訪れている。

私はBepiColomboに搭載されているSolar Particle Monitor (SPM)という粒子観測機を扱っている。これはもともと科学観測用の機器ではなく、探査機がさらされている放射線環境を知るための**保守用機器**である。もともとSPMのデータには誰も見向きもしていなかったが、太陽高エネルギー粒子やForbush decreaseなどの太陽に関する現象が検知されていることが巡航フェーズで分かり、注目されるようになった。**特にSPMのエネルギー帯は他の観測機に比べ高いので、高エネルギーの銀河宇宙線に関するデータの取得に向いているところが強みである**。しかしSPMには検出器に残された損失エネルギーがその時間に何カウントされたかを記録する能力しかないため、**本来の入射エネルギーや数を見積もるにはシミュレーションを用いた較正が必要になる**。そのため現在放射線シミュレーションツールのGeant4上にSPMのモデルを構築して、較正手法の確立に取り組んでいる。

内部太陽圏探査の絶好機の到来

3

- 大きな重力ポテンシャル差が原因で、太陽系内部への探査機投入は難しい
➔ 直接観測例が少なかった
- 軌道工学の発展などで、近年は複数の探査機が同時期に展開
➔ 太陽からの噴出物の半径・動径方向の伝搬・進化過程に迫れる

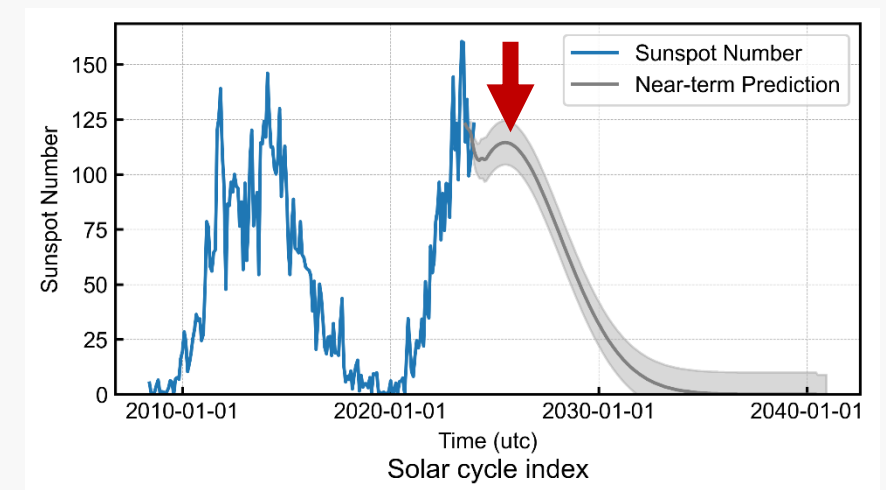
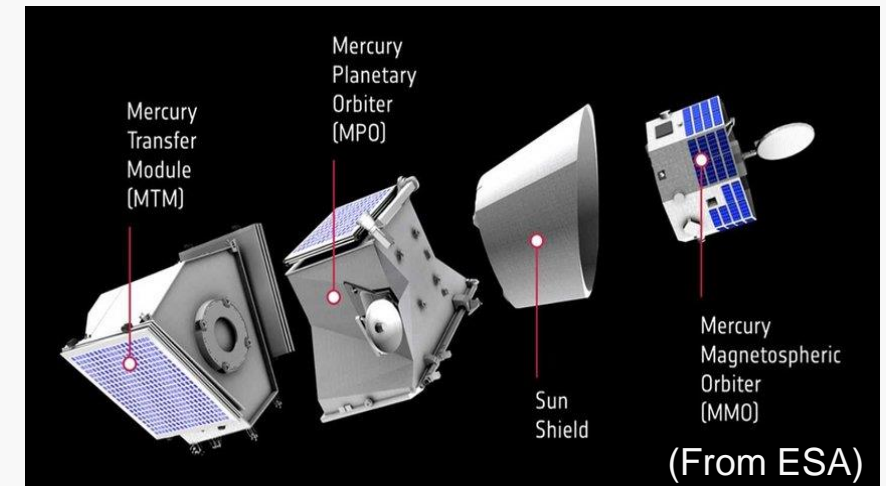


現在展開中の内部太陽圏の多点観測網 (画像: NASA, JAXA, ESAより)

BepiColomboの巡航フェーズにおけるサイエンス

4

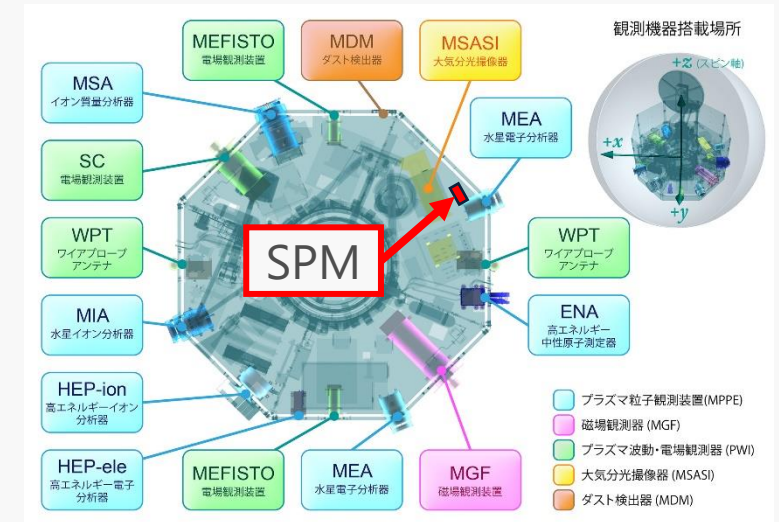
- 2つの探査機が合体した水星探査機
 - Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO)
 - Mercury Planetary Orbiter (MPO)
- 軌道投入は2025年末を予定
➔ 太陽の11年活動周期のピークが到来
- **巡航フェーズにおける内部太陽圏探査も進行中**



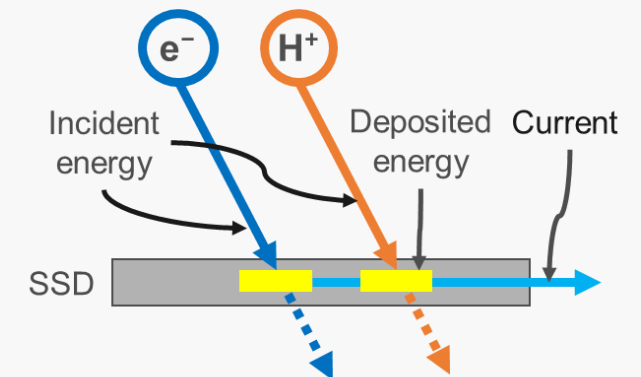
Solar Particle Monitor (SPM) の較正手法開発

5

- SPMは「みお」の放射線保守用機器
 ➔ **本来は科学観測用の機器ではない**
- 他の観測機より計測エネルギー帯が高い
 ➔ Forbush Decrease などの観測に有利
- 計測できるのは粒子の数と損失エネルギーのみ
 ➔ 解析には入射した粒子の数とエネルギーを
観測データから復元する必要
 ➔ 放射線シミュレーションツール “Geant4”
 (Allison et al., 2016)



SPMの位置 (画像 : ISAS)

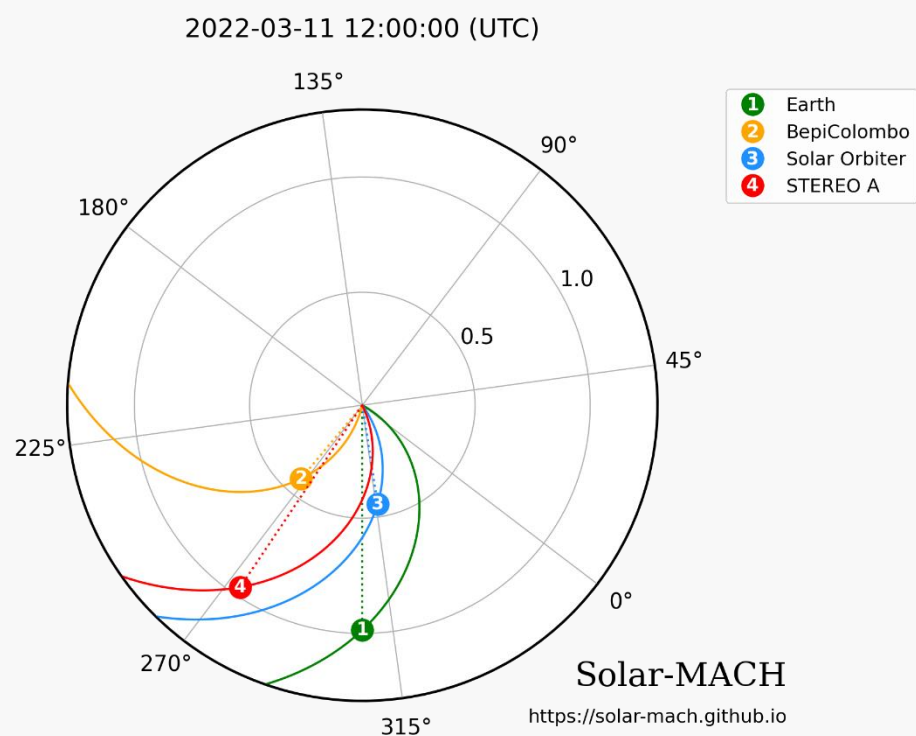


入射・損失エネルギーの概念

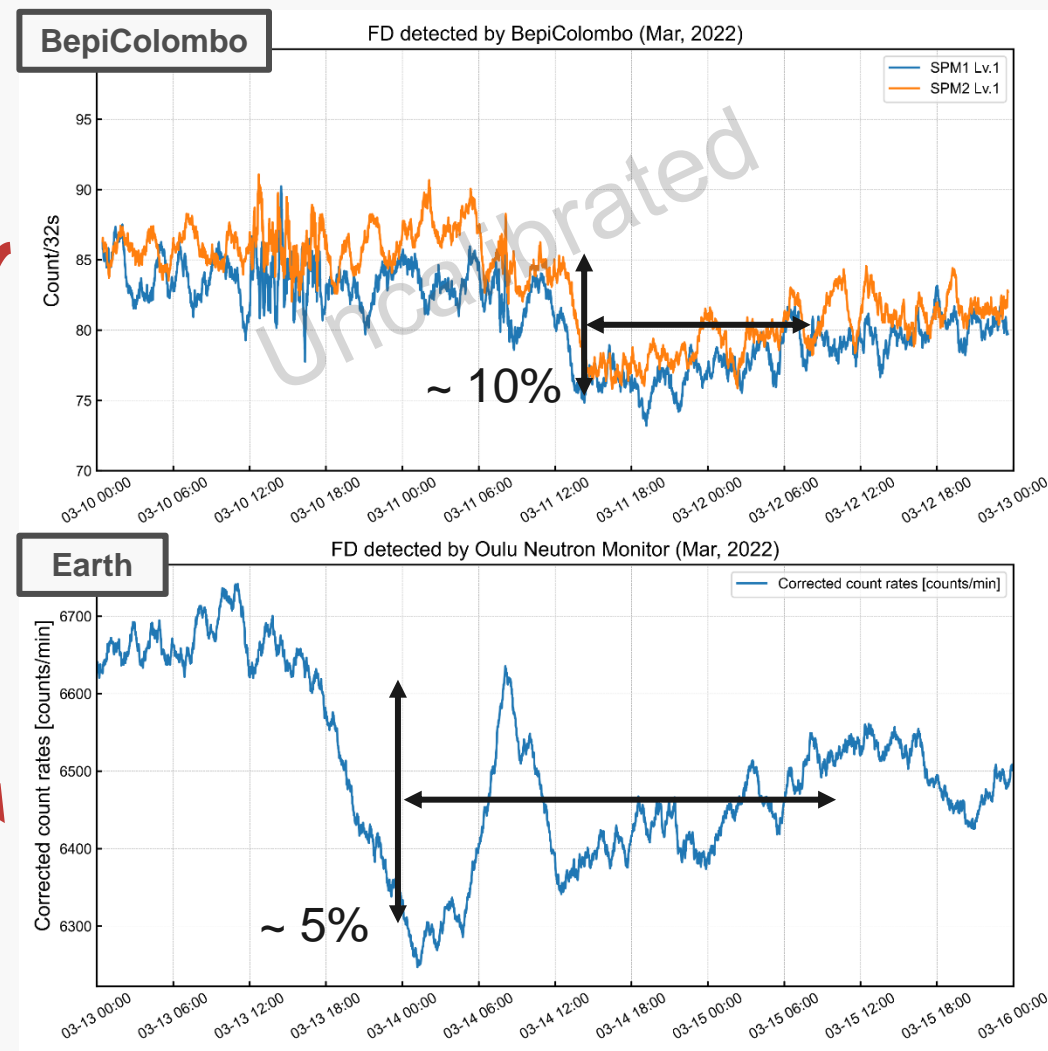
Forbush Decrease (FD) の多点観測

6

- ICMEなどが銀河宇宙線を遮蔽する現象
 ➔ 伝搬中のICME構造がFDの深さ、
 回復時定数に反映



2日後
 到達



本研究の方針

7

- Geant4によるシミュレーション（順問題）

入力

- 種類
- 発射数
- エネルギー
- 方向

出力

- 損失エネルギー
 - 検出数
- ➔ Geant4上に記録

- シミュレーションを元にした観測データからの逆算（逆問題）

出力

- 種類
- 発射数
- エネルギー
- 方向

入力

観測データ

- 損失エネルギー
- 検出数

Geant4上に構築したSPMの簡易モデル

8

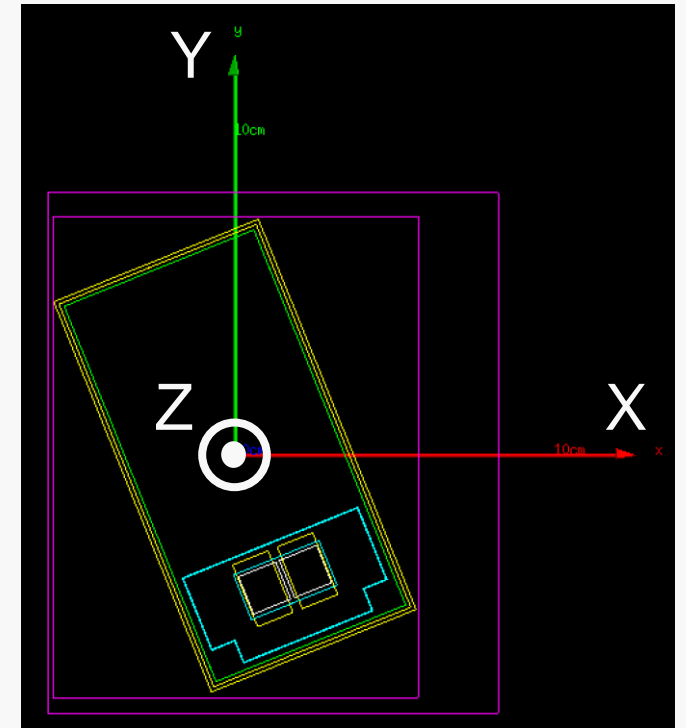
- SPM周辺の構造物由来の放射線遮蔽効果の再現
 ➔ WPT-Pre2装置周辺の遮蔽効果のAI換算値を使用



みおの機器の配置

- 4つの損失エネルギーチャンネルごとにカウント

	Lv.1	Lv.2	Lv.3	Lv.4
SPM1 [MeV]	0.0732 – 0.3435	0.3435 – 0.7962	0.7962 – 1.1481	> 1.1481

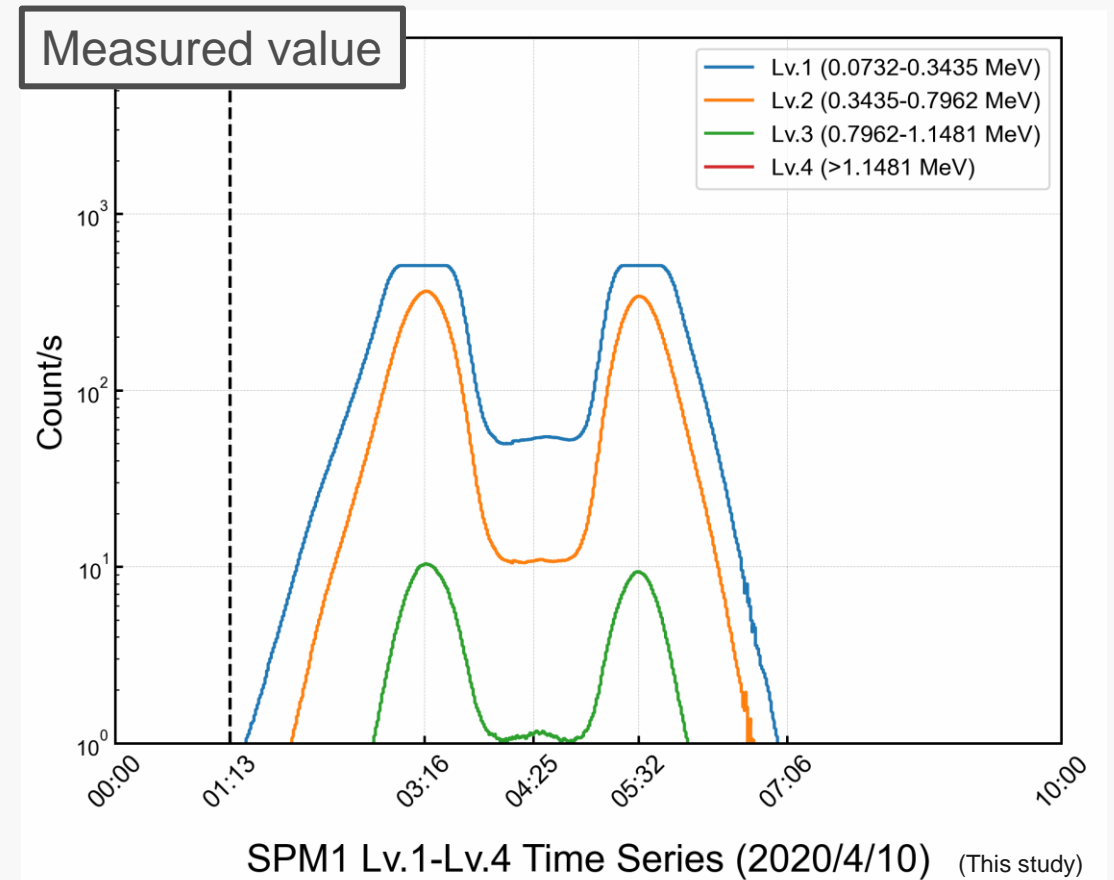
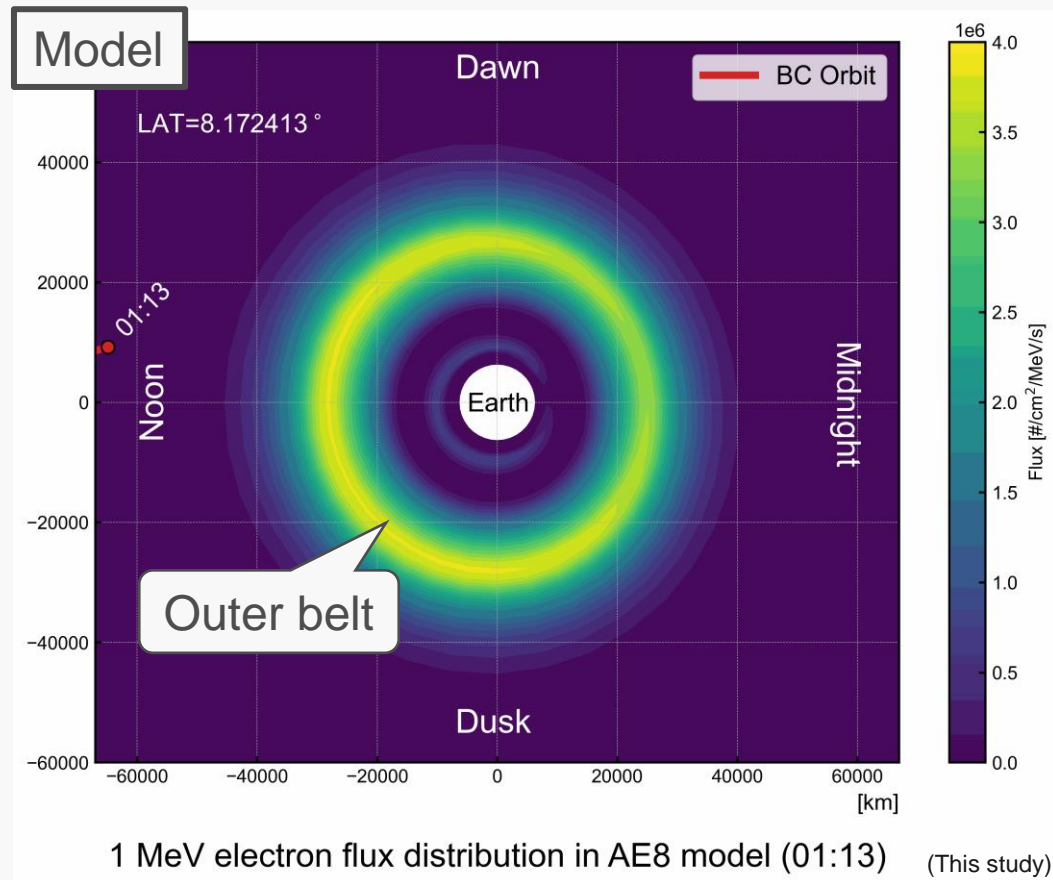


SPMモデル (ピンク: AI shield)

地球スイングバイ時のデータを用いたモデルの検証

9

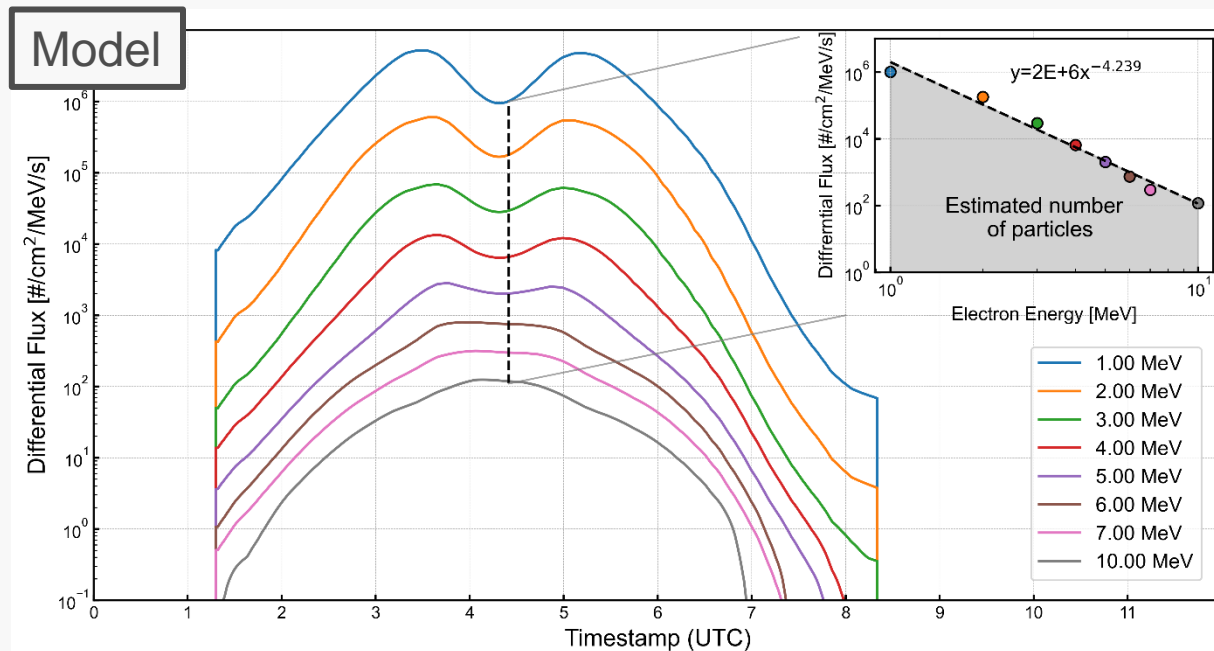
- 地球放射線帯の外帯を通過した際にBepiColomboが取得した観測データ
 → シミュレーション上で環境を再現して実測値と比較



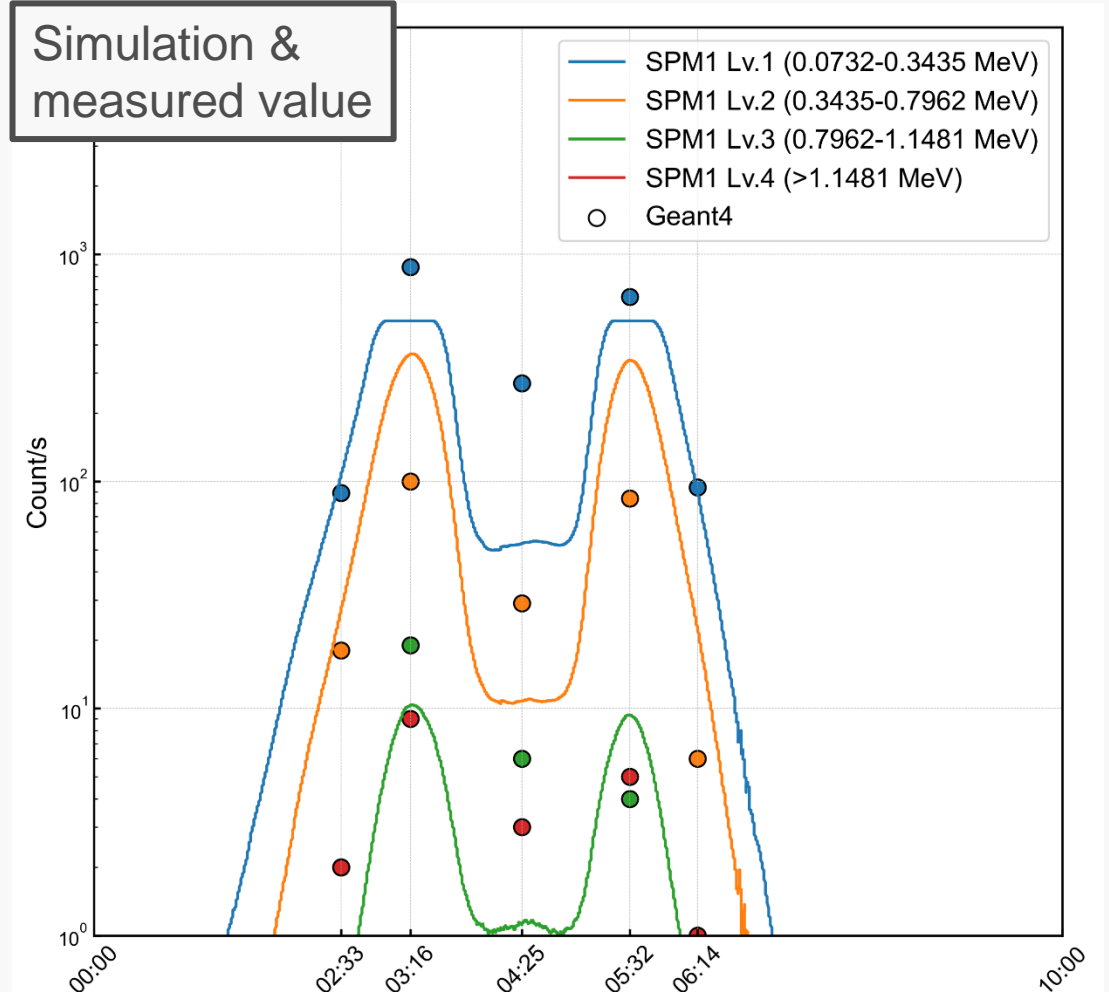
AE9モデルを用いたシミュレーション

10

- AE9は地球放射線帯の経験的なモデル
- 桁ではだいたい実測値とあっている
- Lv.2 : 過少、スロット領域 : 過大



The electron flux on BC orbit and the scheme of estimating energy distribution

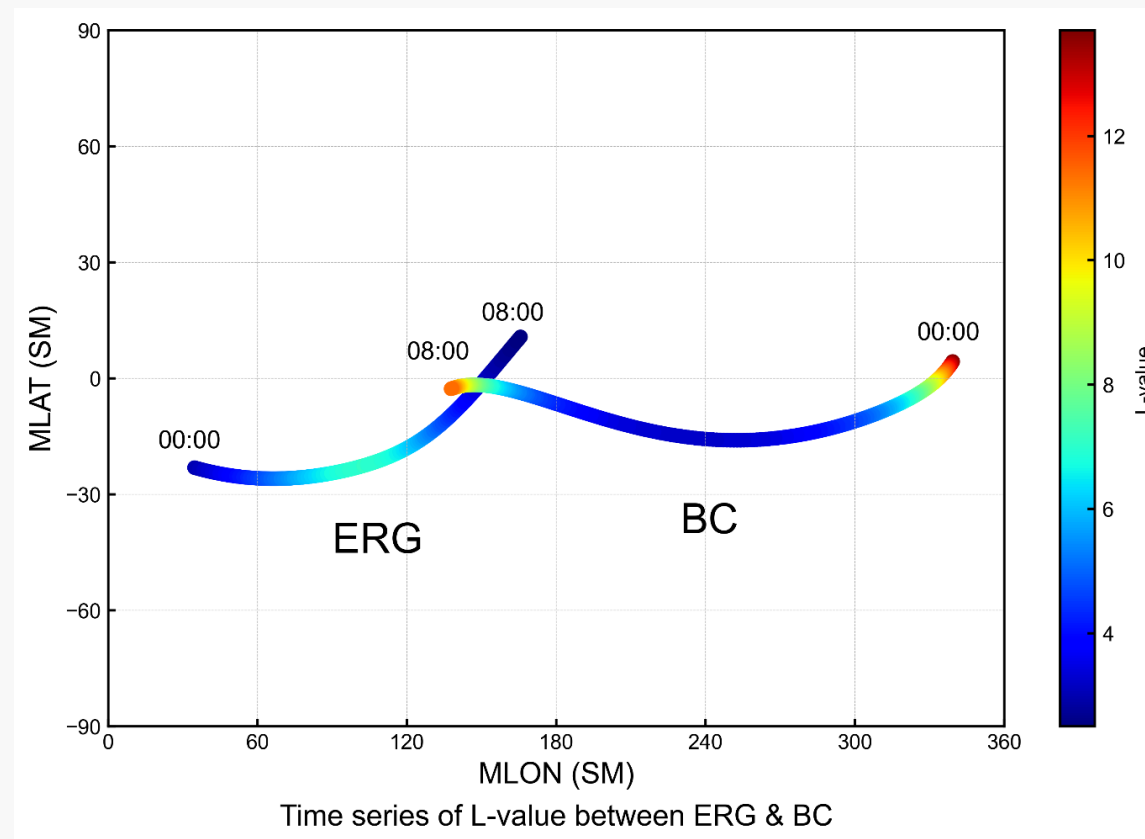
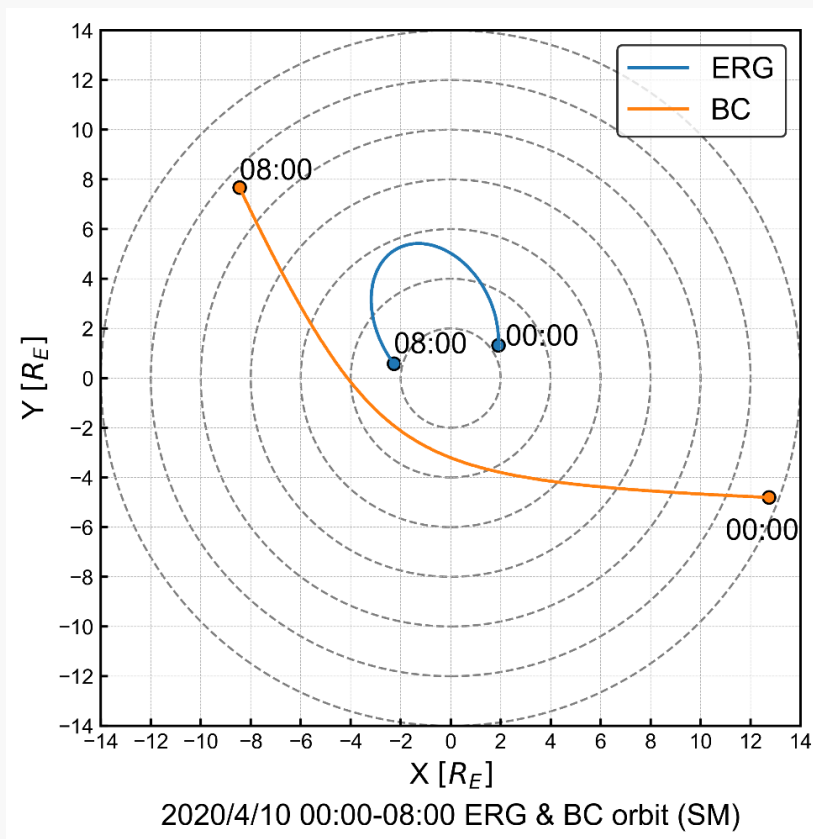


Comparison between SPM1 data and Geant4 simulation

ERG (あらせ) 実測値を用いたCross-Calibration

11

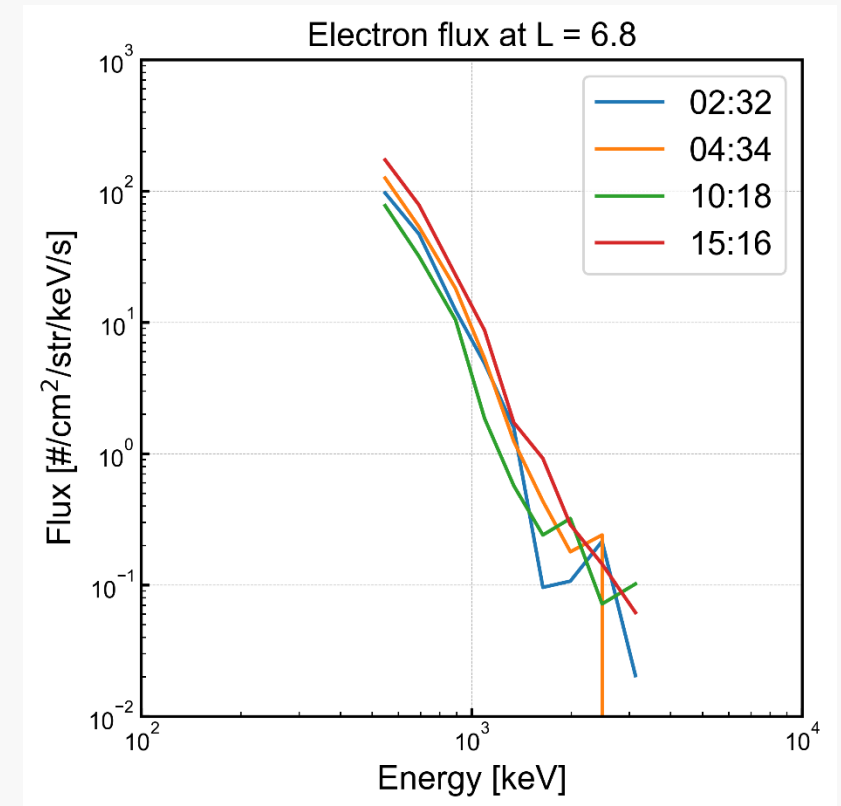
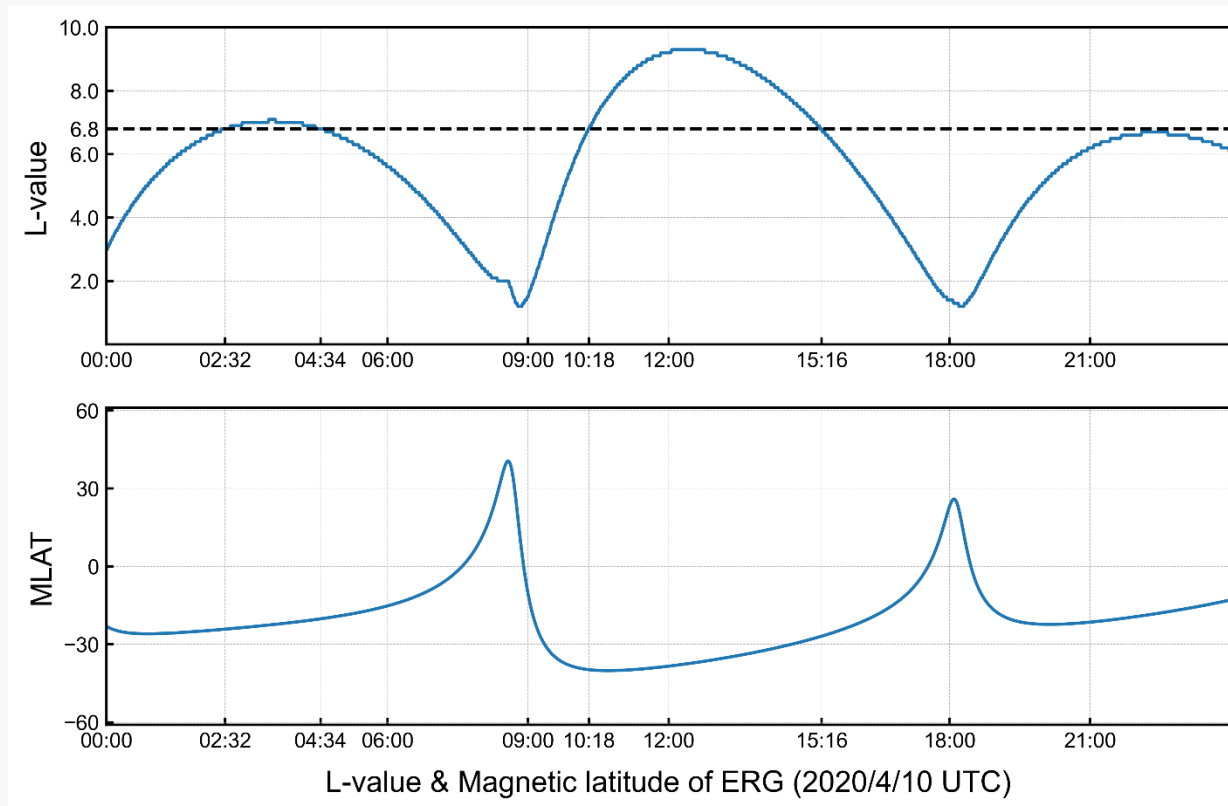
- 地球スイングバイ時のDst指数は-5~5 nT程度で比較的静的な環境
➔ L値が同じなら似た放射線環境にあると考えられる ➔ fluxの再現性向上



L値が同様の場所における放射線帯の環境

12

- 磁気緯度が高くなるとL値が同じでもfluxは少なくなる → BCは磁気赤道付近
- Local timeや経度方向の違いはそれほど大きくなさそう



本発表のまとめ

- 内部太陽圏において多点観測を展開できる絶好機が訪れている
 - ➔ BepiColomboによる巡航フェーズの観測は非常に重要
- SPMは保守用機器ながらも、太陽活動の観測に応用できる可能性がある
 - ➔ 解析にはシミュレーションを用いた較正が必要
- “Geant4”を用いたSPMモデルの放射線シミュレーションを実施中
- 地球放射線帯モデルを用いた検証では、実測値とモデルの応答はある程度一致
 - ➔ あらせ衛星の放射線帯データを用いたさらなるモデルの妥当性検証
 - ➔ 他のBepiColombo粒子観測機とのCross-Calibration