



AMSによる宇宙線測定の結果 Recent Results of AMS-02

灰野禎一
国立中央大学

日本物理学会シンポジウム
2013年9月22日



国立中央大学
National Central University

22 September 2013

JPS - S.Haino - AMS



AMS コラボレーション



16 Countries, 60 Institutes and 600 Physicists
from Asia, Europa, and U.S.



AMSは「高エネルギー実験」

AGS (BNL) 「J粒子の発見」

ノーベル賞 S.C.C.Ting (1976)
(VS SLAC)

Mark-J (DESY-PETRA)

グルーオンの発見 (1979)
(VS JADE, ...)

L3 (CERN-LEP)

標準理論の検証 (VS OPAL, ...)

AMS-01 (Space Shuttle Discovery)

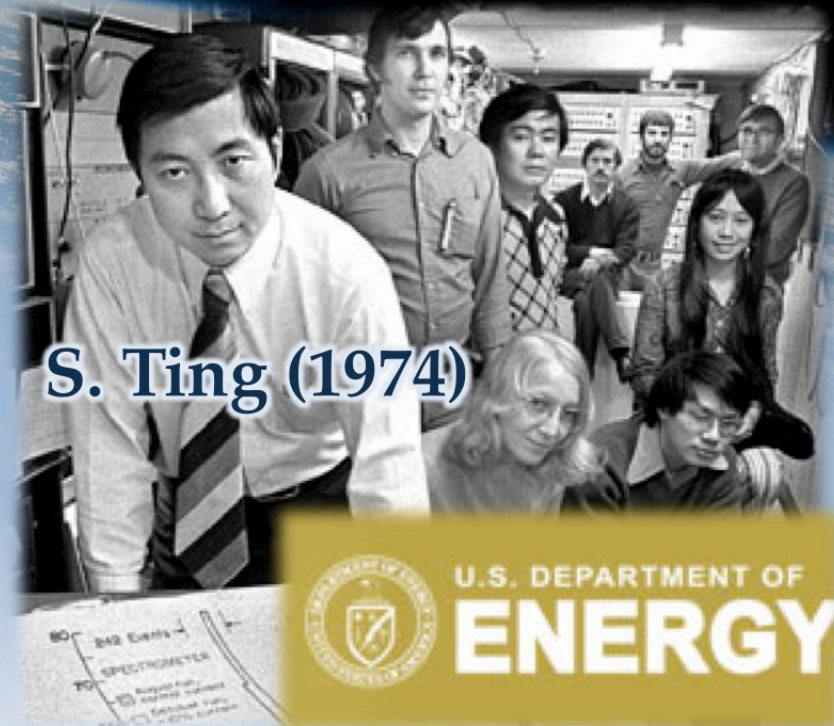
反物質探索 (VS BESS, ...)

AMS-02 (ISS)

宇宙線陽電子 ... (VS PAMELA)

22 September 2013

JPS - S.Haino - AMS



S. Ting (1974)



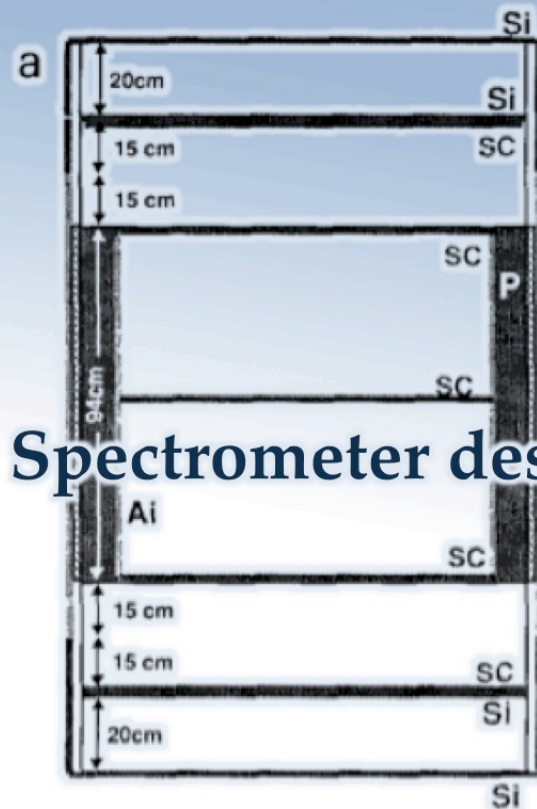
S. Ting (2013)

AMS の原案 (1994年)

An antimatter spectrometer in space

宇宙における反物質探索

Antimatter Study Group



Spectrometer design

- P permanent magnet with supporting structure
- SC Double sided silicon detector resolution (7μ) and $\frac{dE}{dX}$ (charge) measurements
- Si scintillators for time a flight and $\frac{dE}{dX}$ (charge)
- Ai veto scintillators

Magnet design

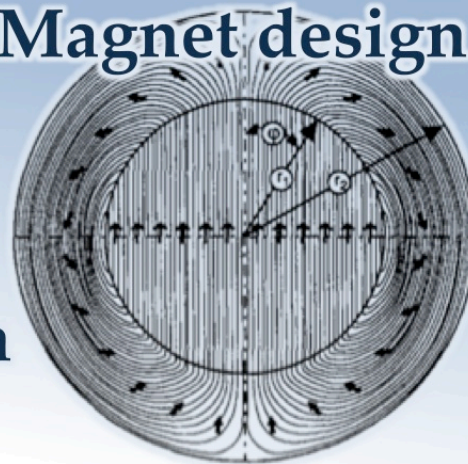


Fig. 6. Magnetic field distribution at a cross-section of the center of the magnet.

Anti-He/He Ratio

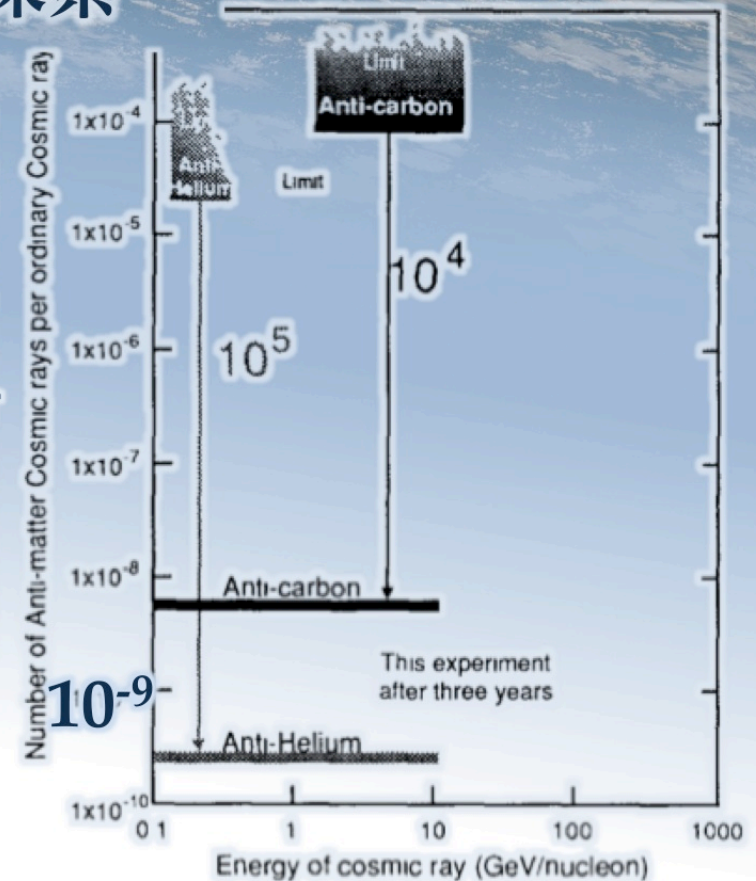
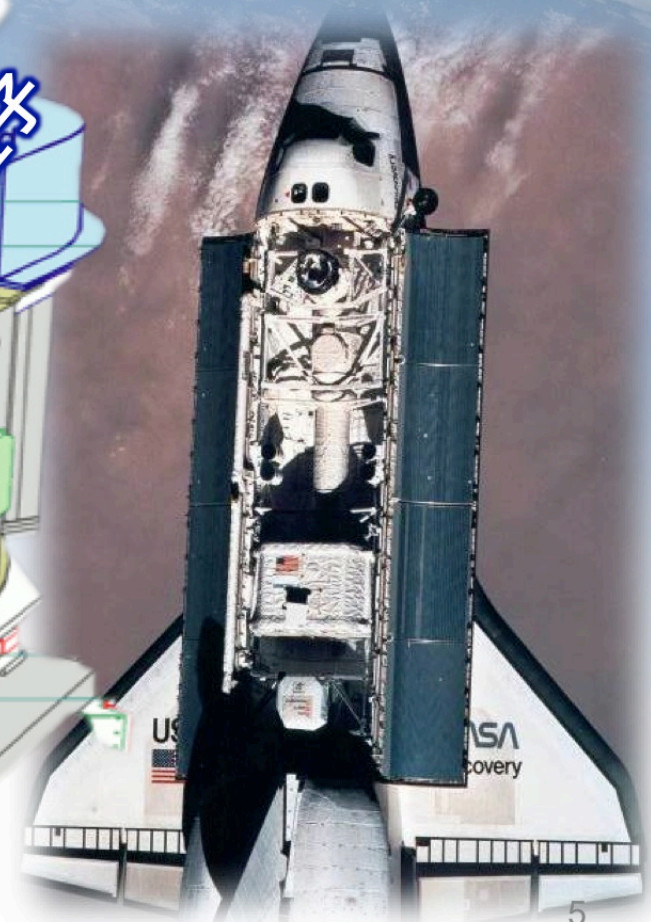
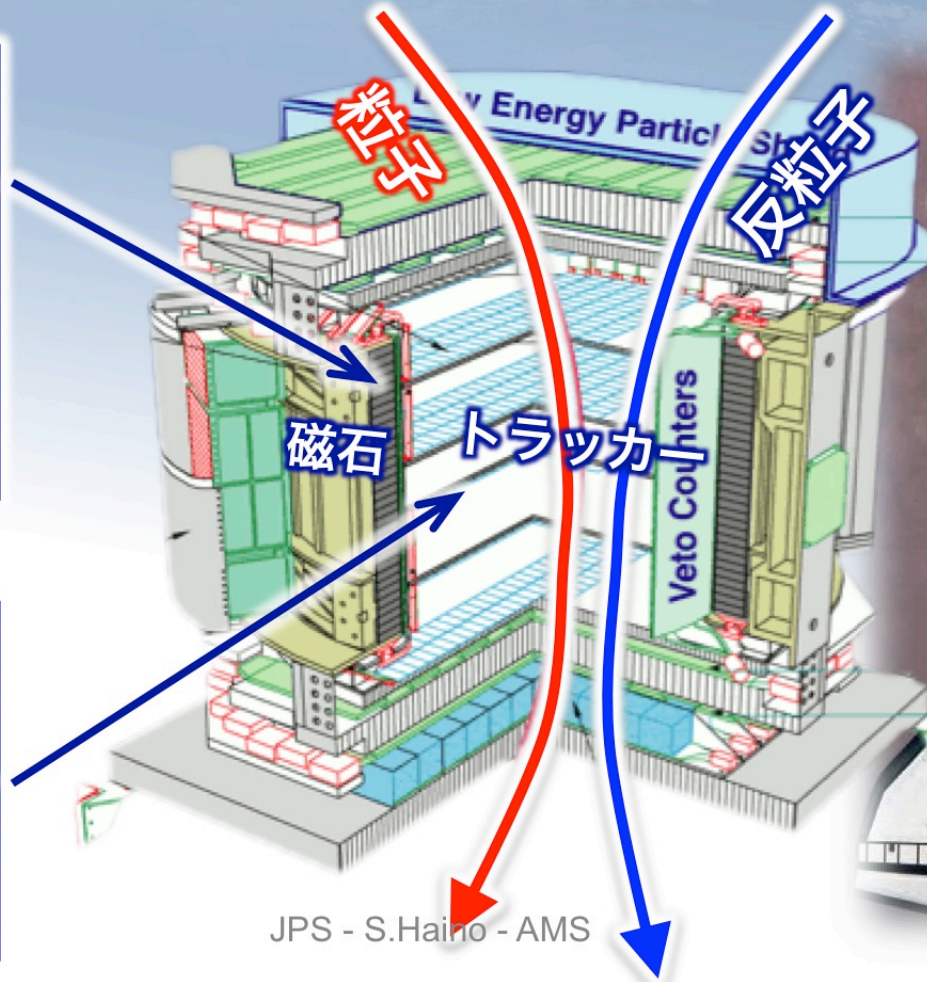
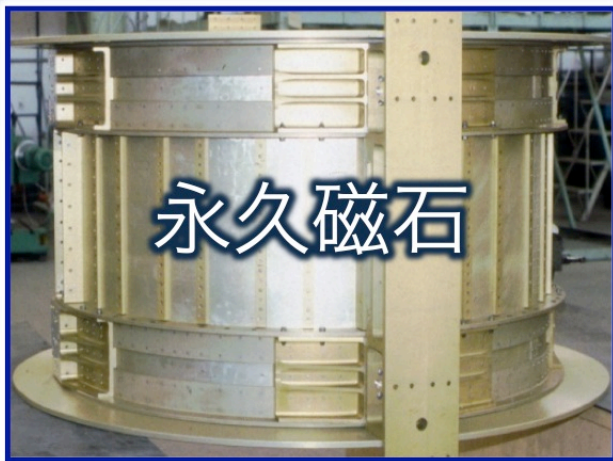


Fig. 30. Current limits and sensitivity of this experiment for antimatter. In addition to the search for antimatter, our detector could be easily modified (particularly for options 2 and 4) to explore the search of \bar{p} and e^+ .

テストフライト AMS-01 (1998年)

- スペースシャトル ディスカバリー (一週間)
- AMS-02 と同じ永久磁石を使用





そして、AMS-02 完成まで... 12年

- 詳細は高エネルギーニュースにて
<http://www.jahep.org/hepnews/>

■研究紹介

Alpha Magnetic Spectrometer (AMS)

- 様々な困難を乗り越え、遂にファーストリザルトへ -

台湾中央大學

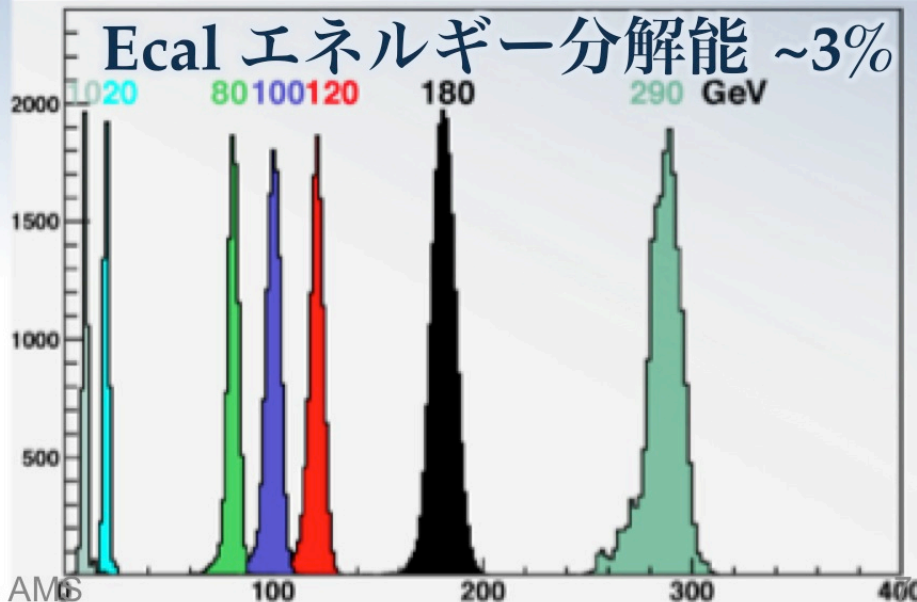
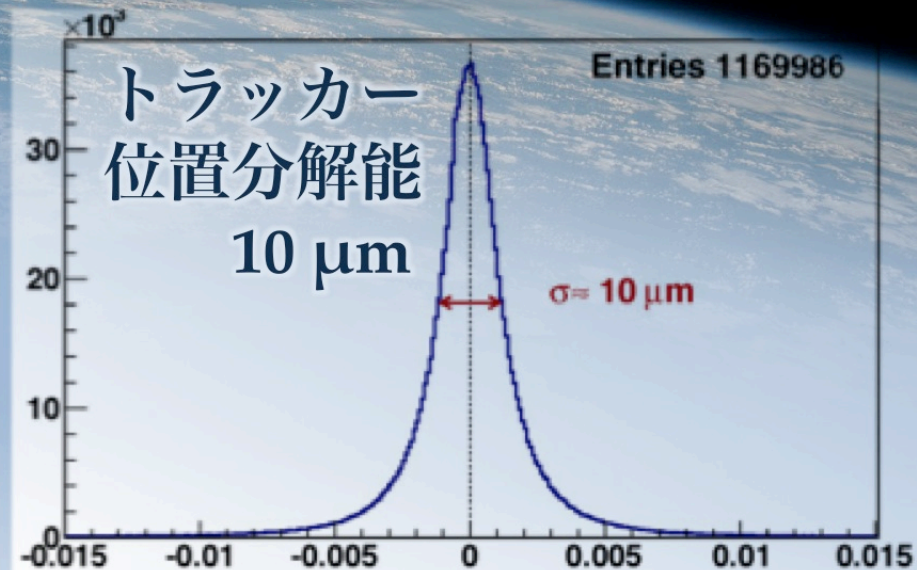
灰野 禎一

Sadakazu.Haino@cern.ch

2013年2月28日

CERNビームテスト (2010年)

- Proton 400 GeV/c
- e^+ , e^- 80 ~ 290 GeV



AMS-02 打ち上げ

- 2011年5月16日
- エンデバー ラストフライト
- 総重量 2008 トン
- AMS 7.5 トン



After 123 seconds,
1,000 tons of fuel was spent

宇宙ステーション(ISS)への設置

2011年 5月 19日

4時間後にはデータ収集開始



以来、毎年160億イベントを記録し続けている...

データ転送ルート

Ku-Band (down):
Events <10Mbit/s>

S-Band (up & down):
Commanding: 1 Kbit/s
Monitoring: 30 Kbit/s



AMS (宇宙ステーション)



データリレー衛星 (TDRSS)



データ受信基地 (ホワイト・サンズ)



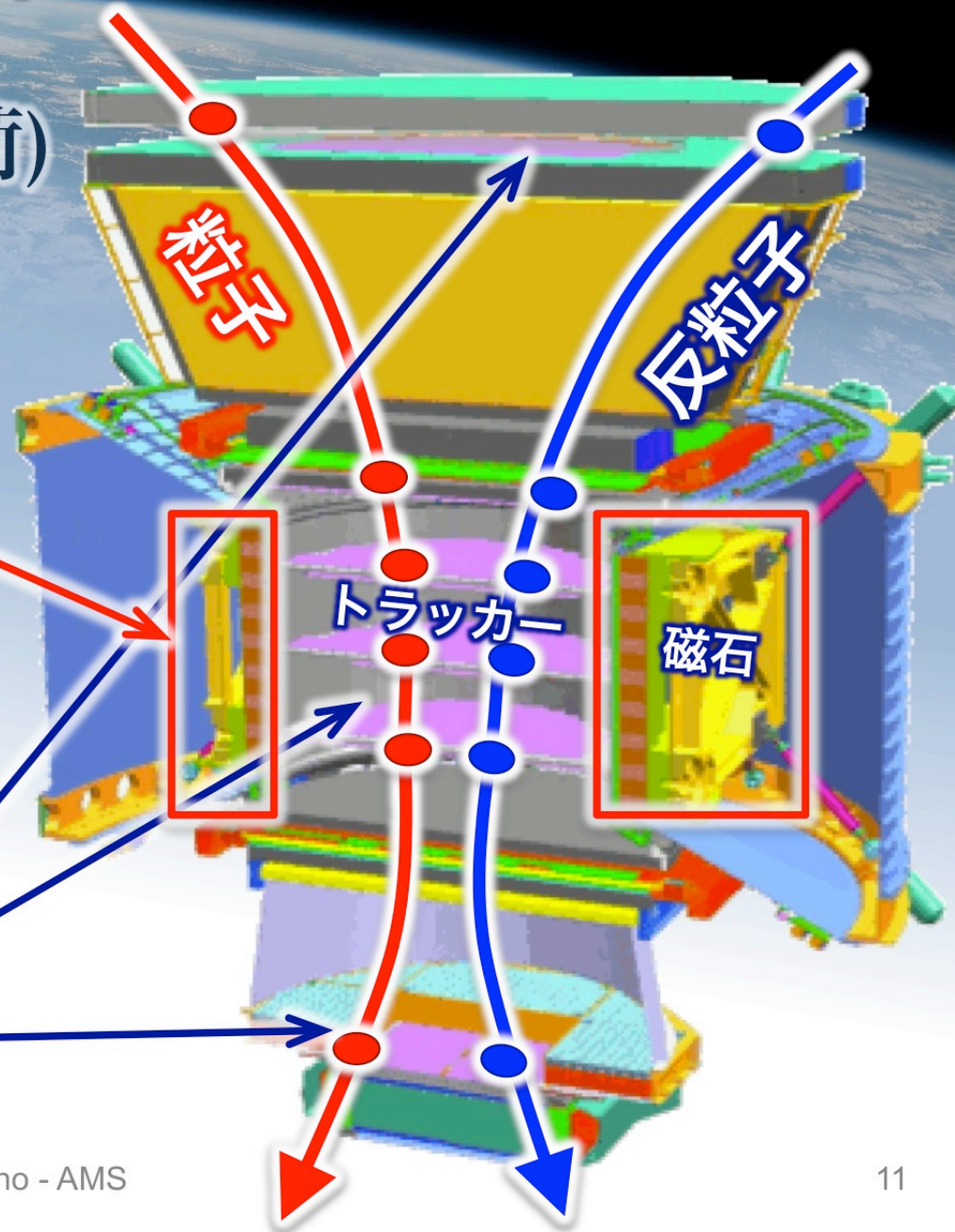
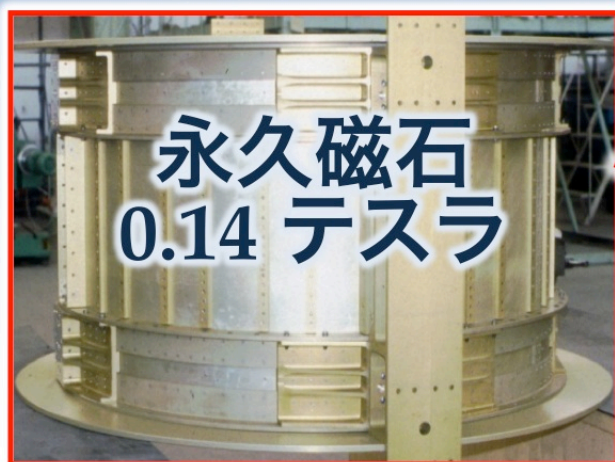
アジア監視センター(台湾)
CERN 夜間シフトを分担



AMS 監視センター(CERN)

永久磁石とトラックー

- Rigidity (= 運動量/電荷)
測定と電荷符号の決定

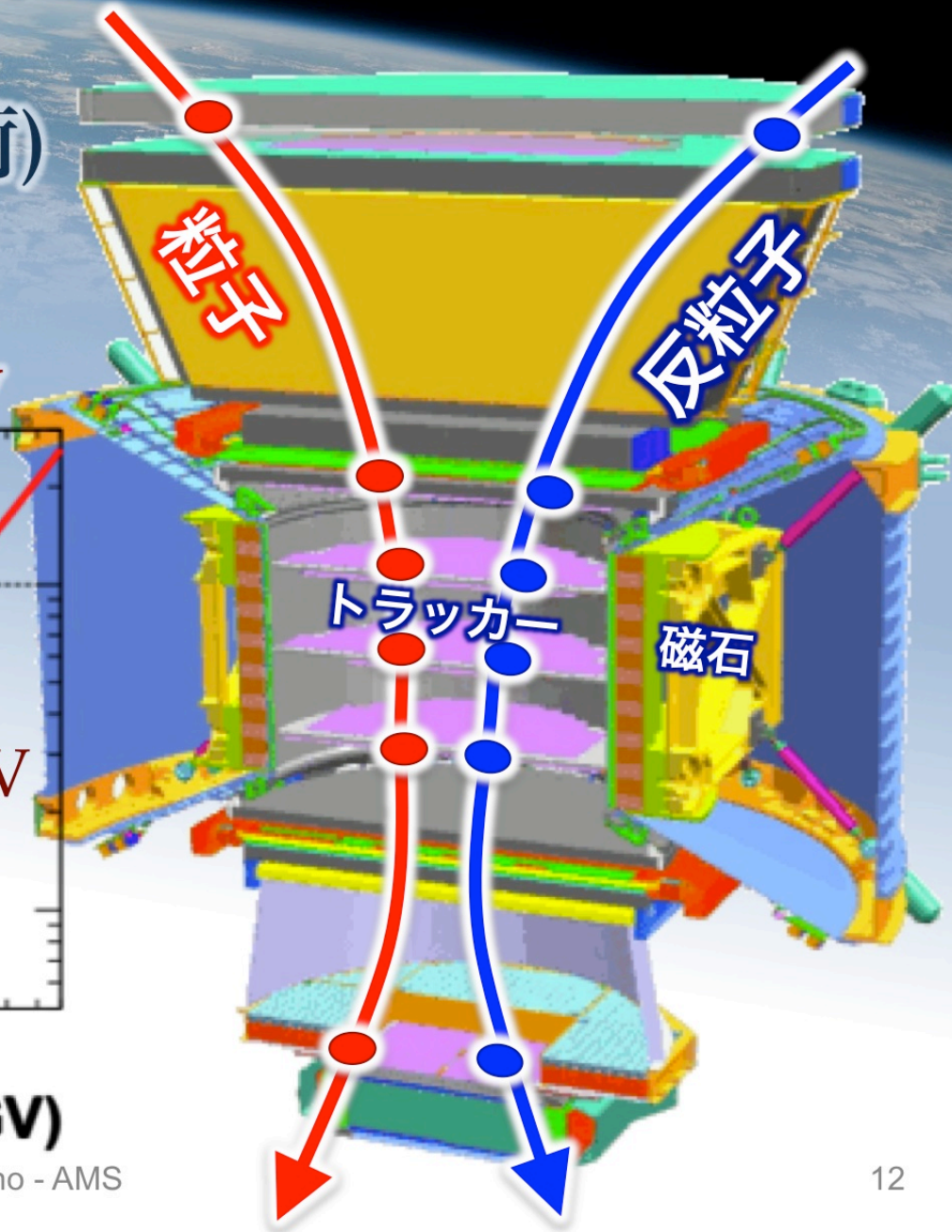
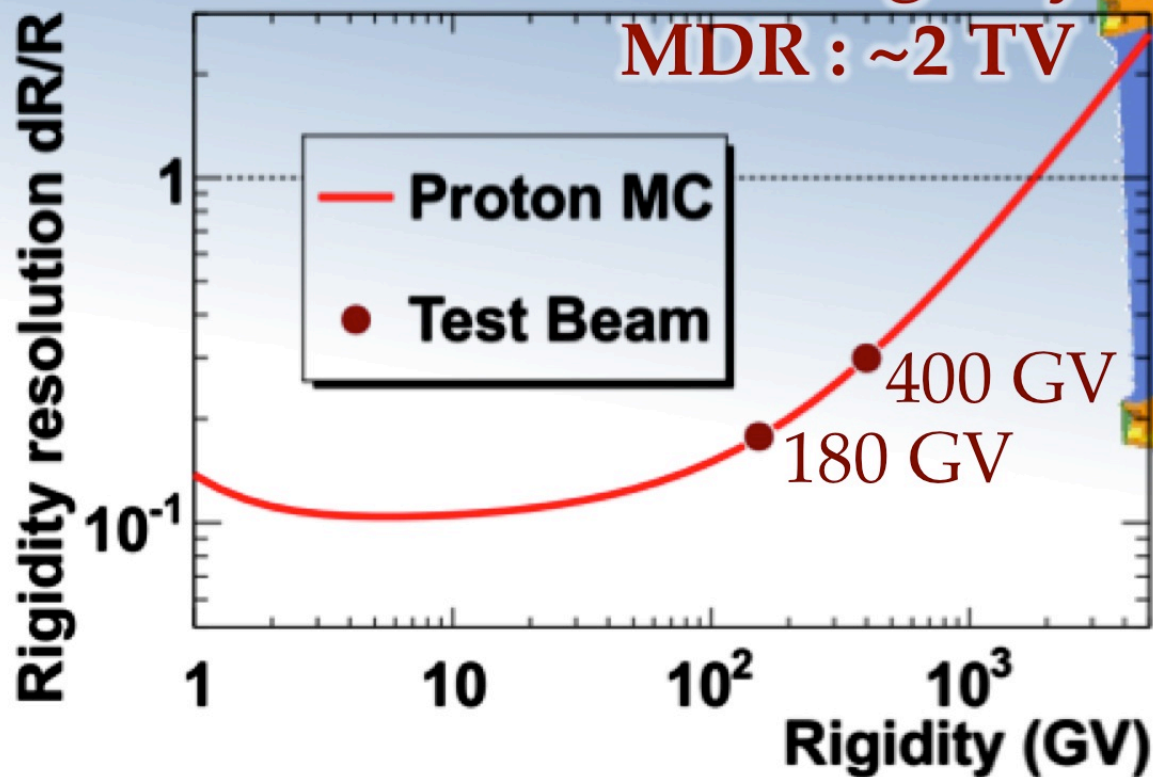


永久磁石とトラッカー

- Rigidity (= 運動量/電荷)
測定と電荷符号の決定

Maximum Detectable Rigidity

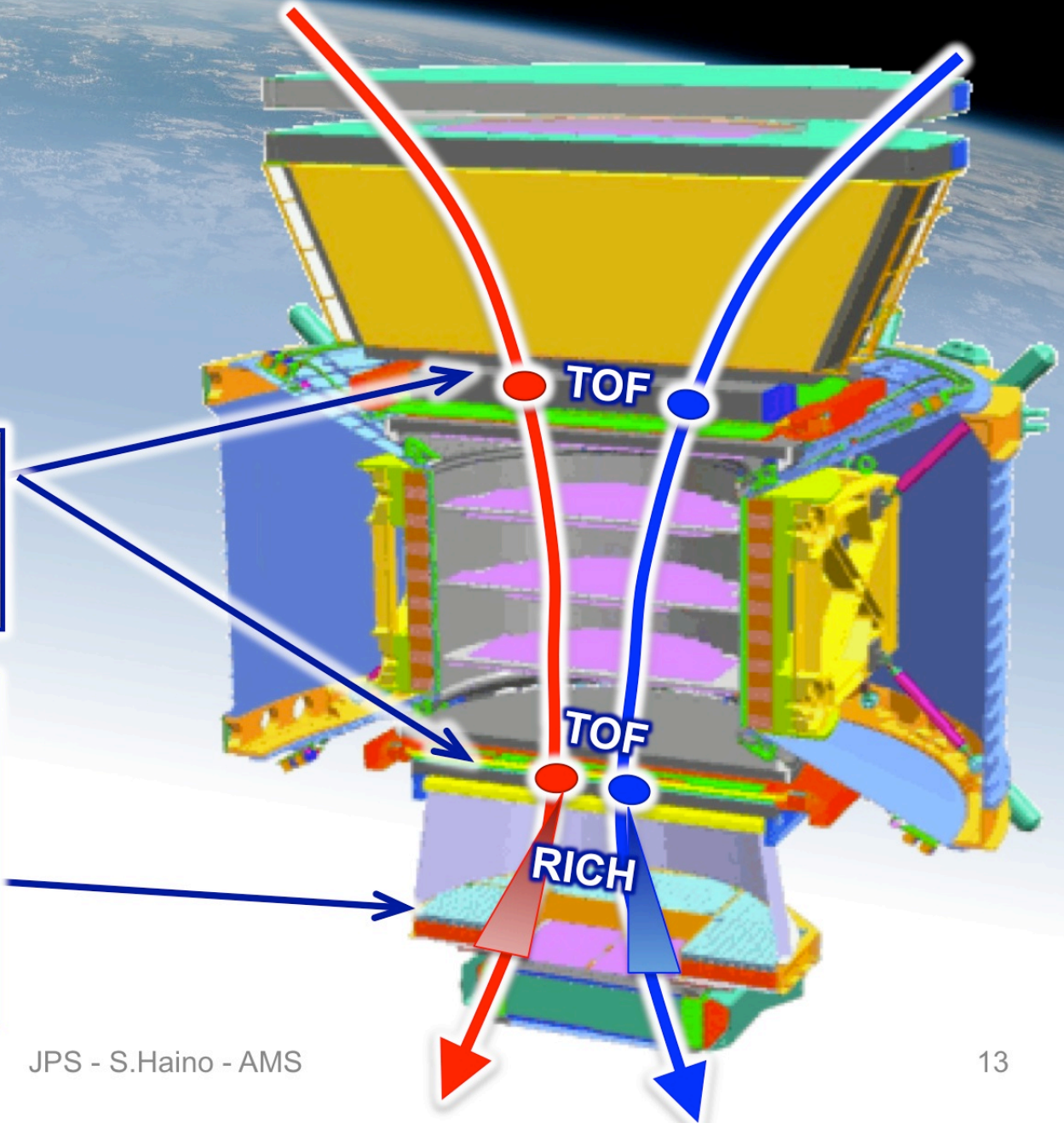
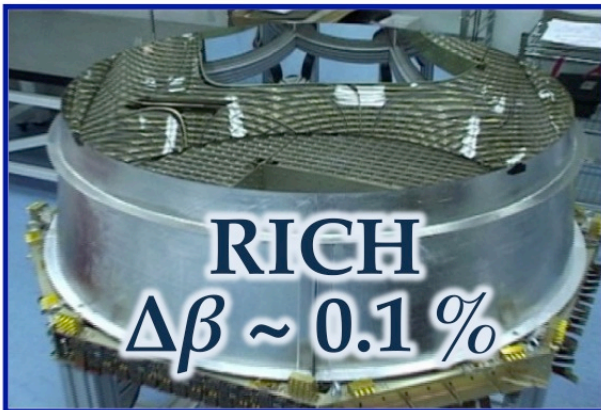
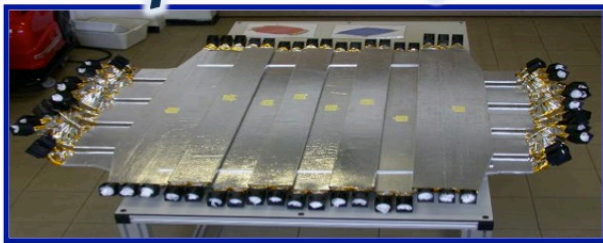
MDR : ~2 TV



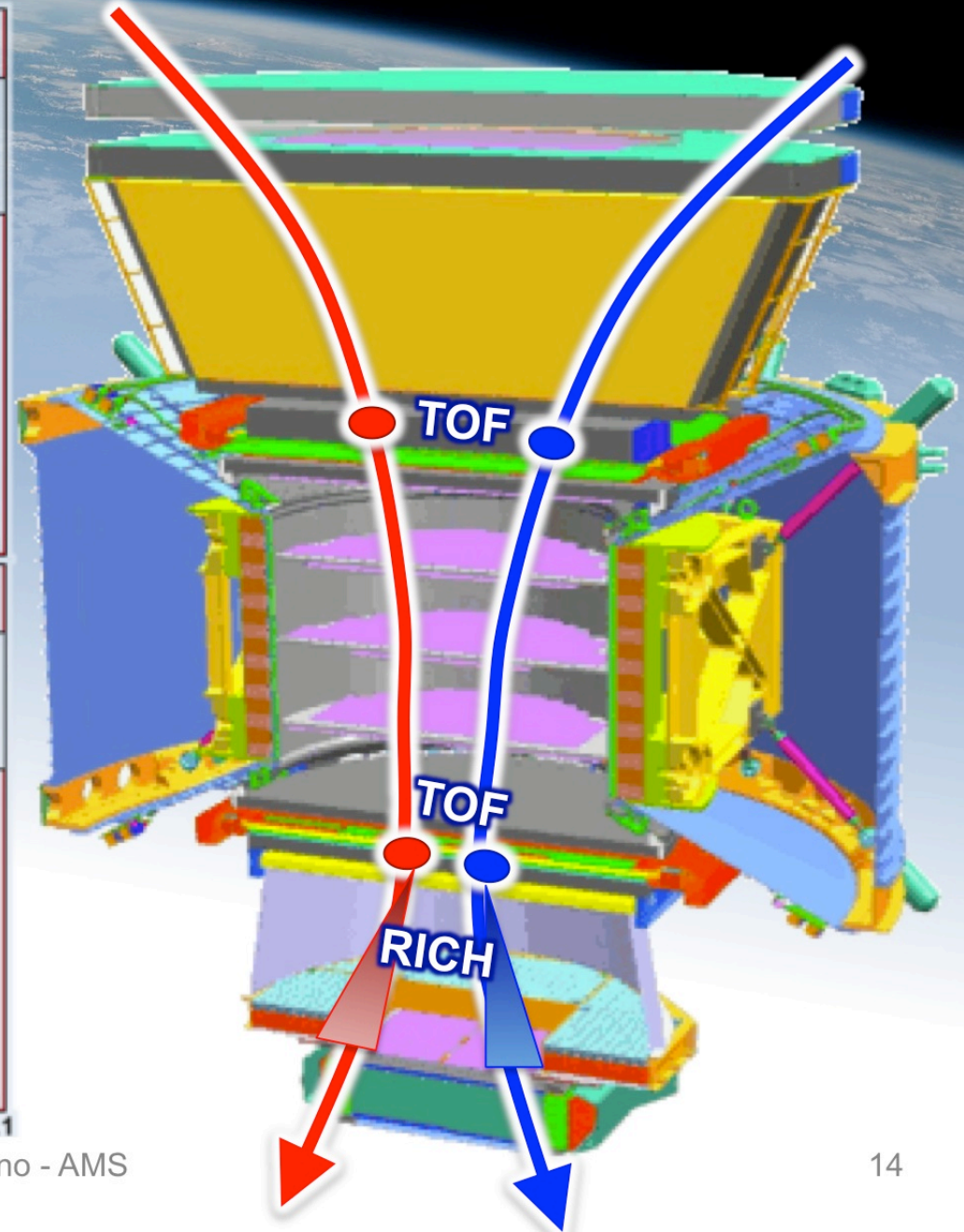
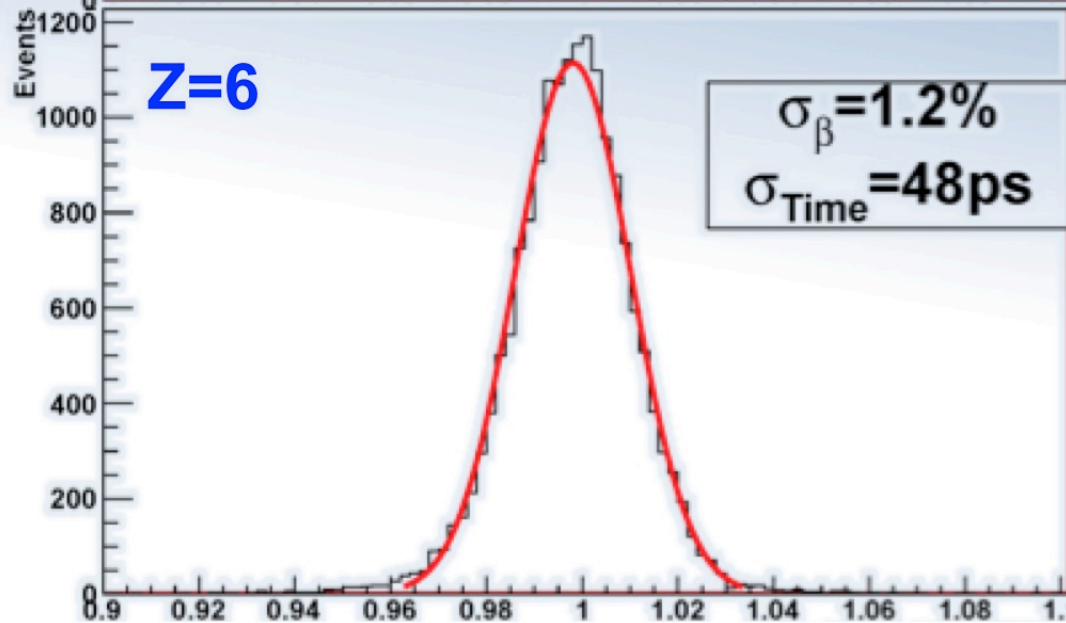
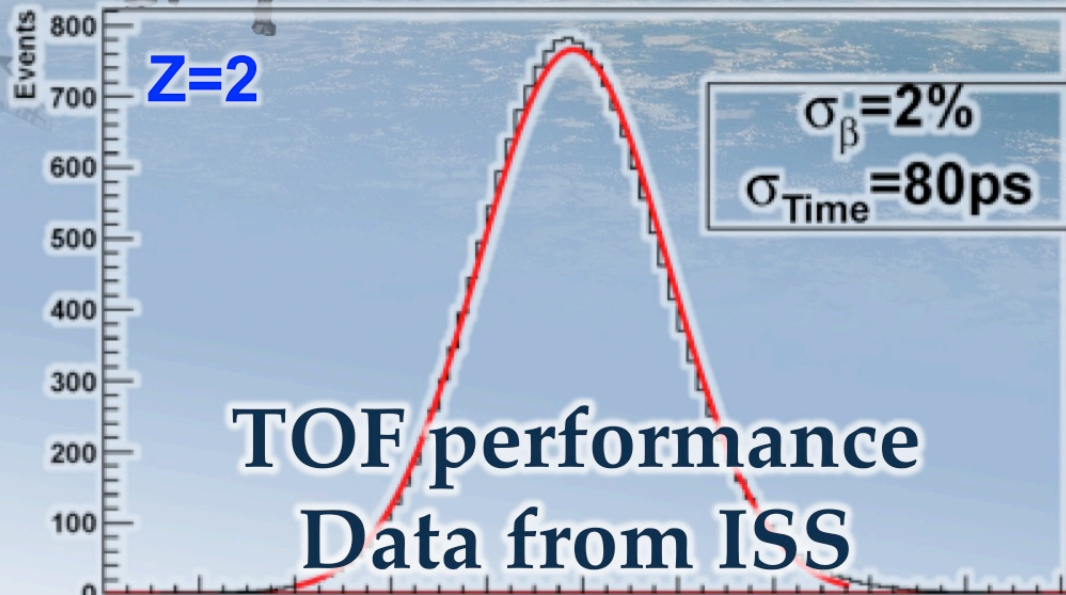
TOFとRICH

- 粒子速度の測定と
飛来方向の決定

Time Of Flight
 $\Delta\beta : 1 \sim 2\%$

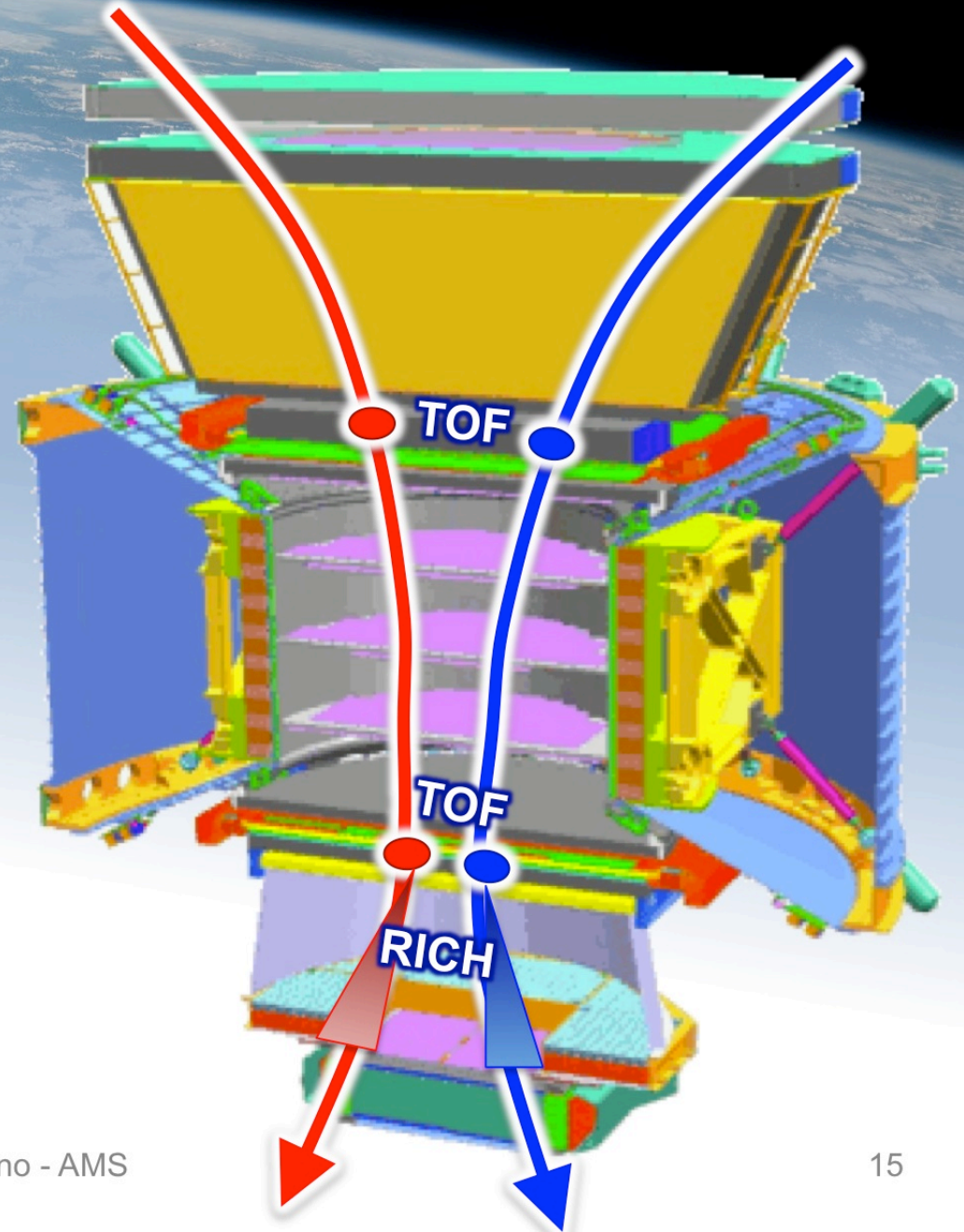
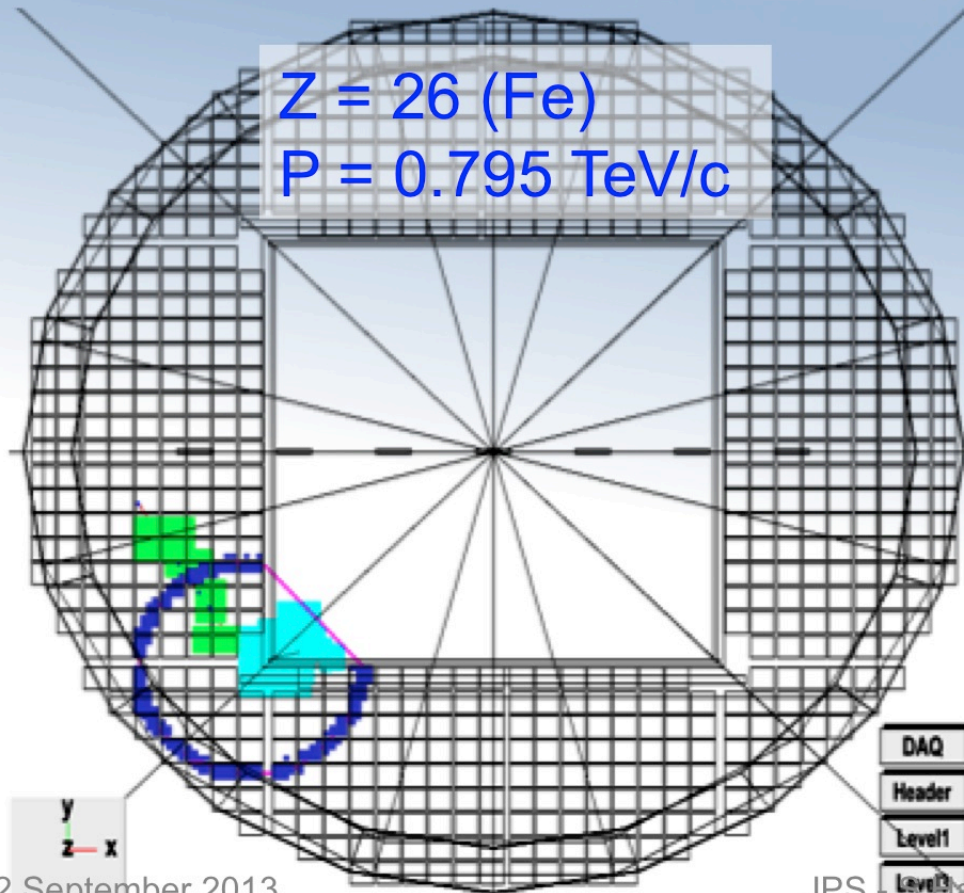


TOF & RICH



TOF & RICH

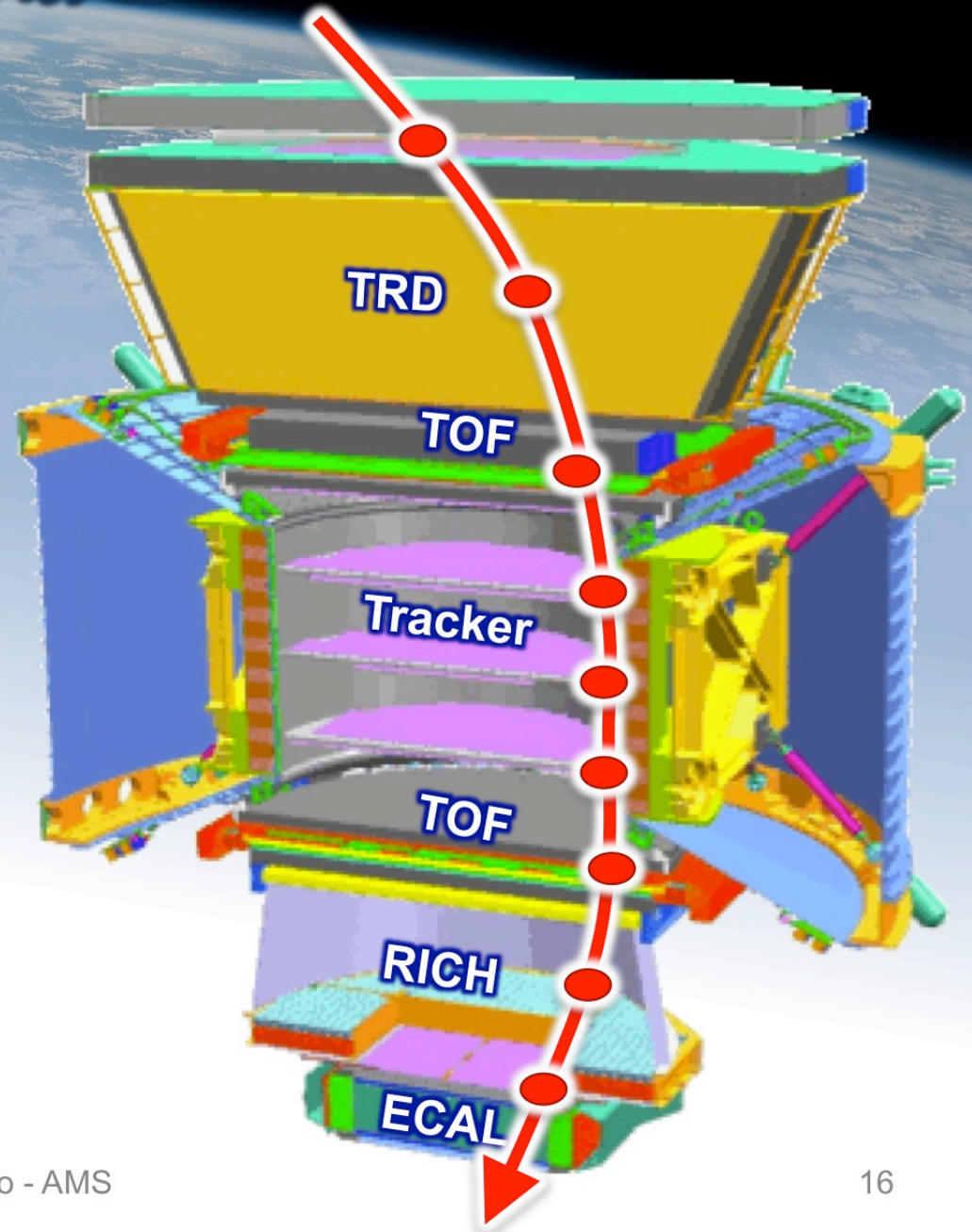
RICH event display Data from ISS



電荷測定

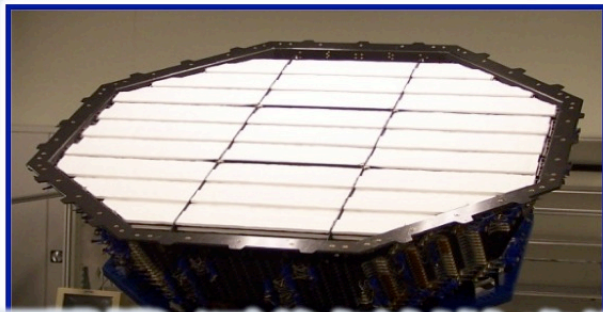
炭素原子核の 電荷分解能 ΔZ (au)

- Tracker plane 1 : 0.30
- TRD : 0.33
- Upper TOF : 0.17
- Inner plane 2-8 : 0.15
- Lower TOF : 0.20
- RICH : 0.32
- Tracker plane 9 : 0.30



TRD と Ecal

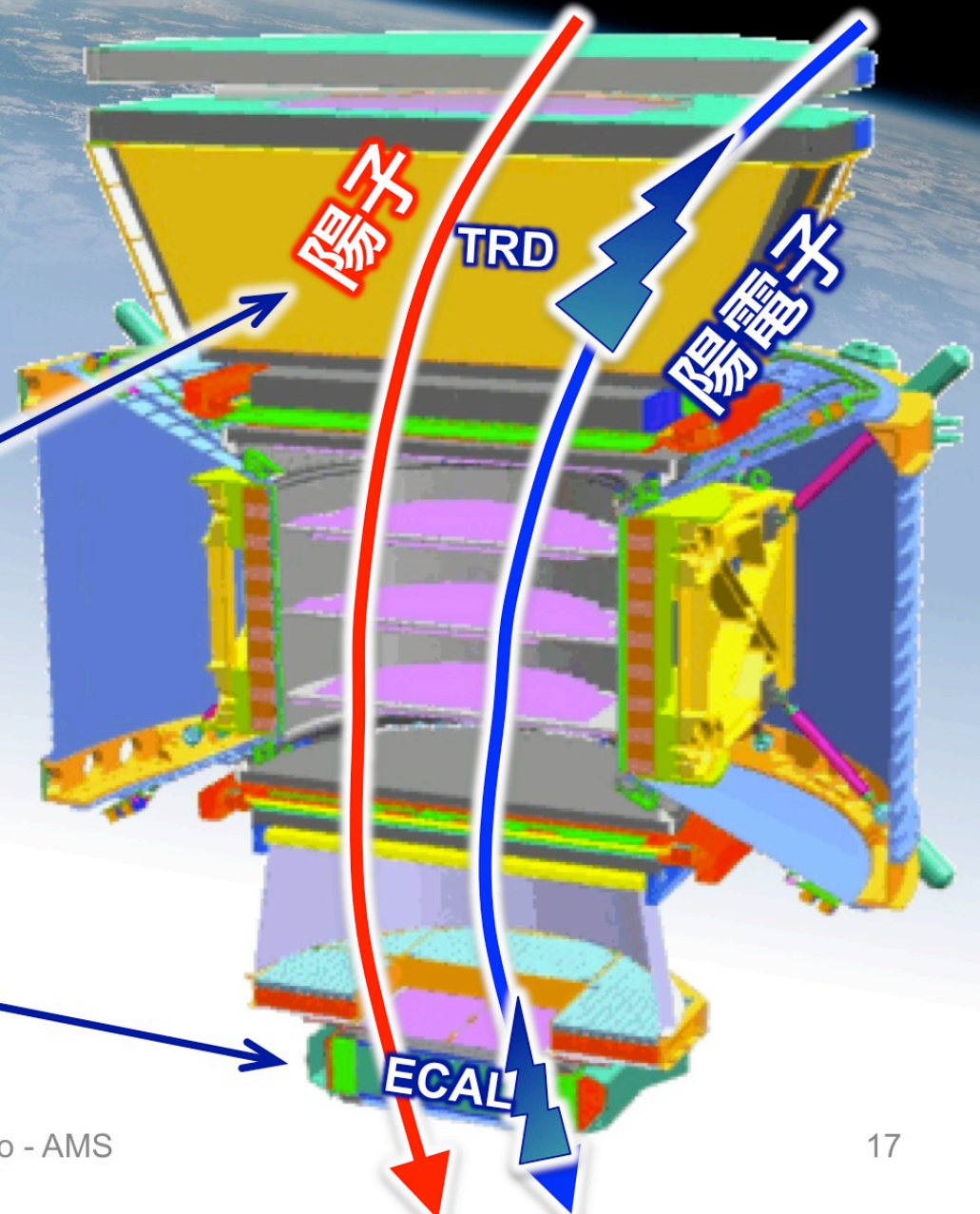
- 陽子(反陽子)と電子(陽電子)の識別



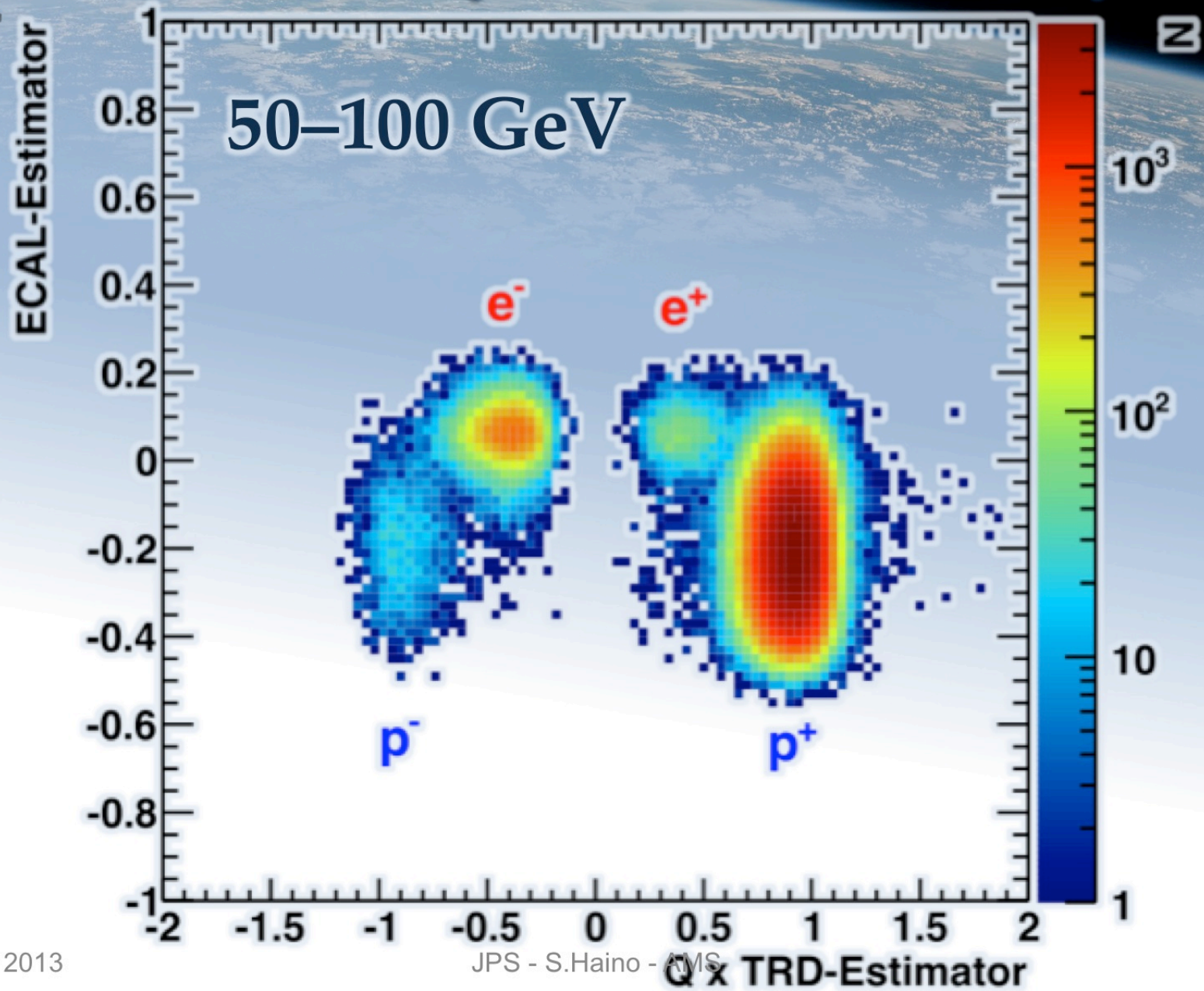
TRD(遷移輻射検出器)
陽子除去能力 $10^3 \sim 10^4$



ECAL ($17 X_0$)
陽子除去能力 $\sim 10^4$

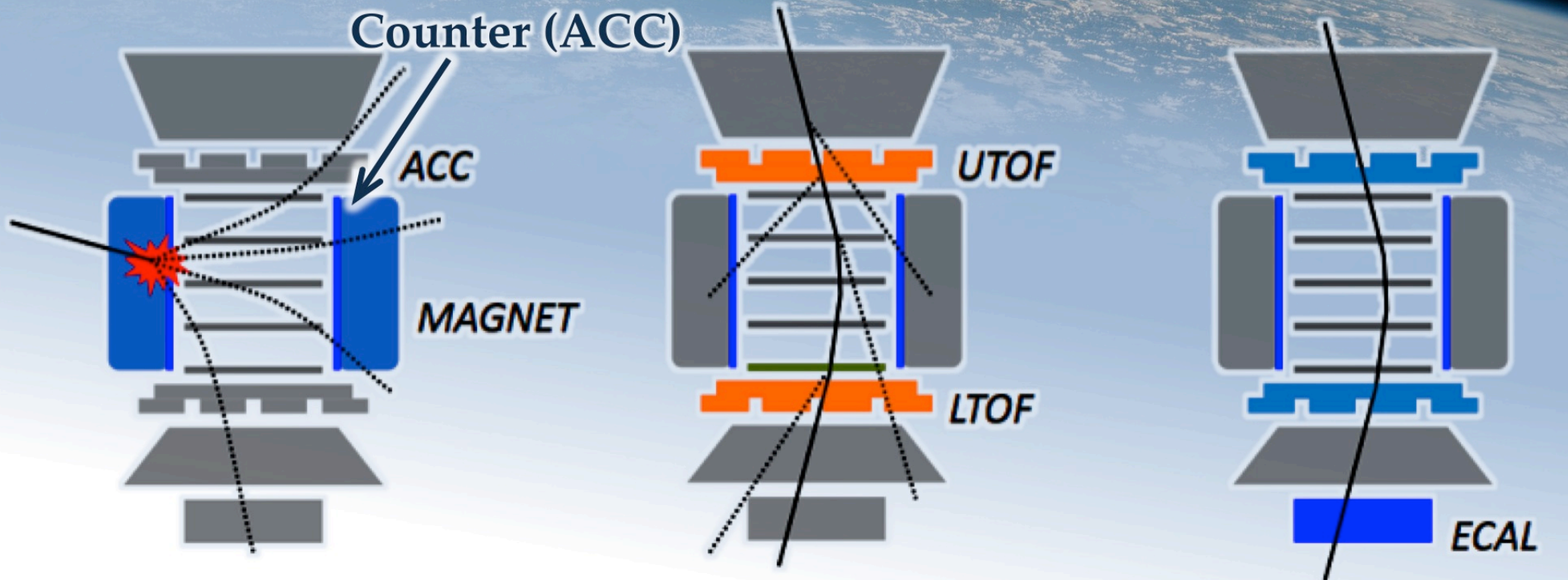


粒子識別 (陽電子、反陽子)



ACCとトリガーロジック

Anti Coincidence Counter (ACC)



Horizontal Particle

High-Z particle

TOF + ECAL Trigger

Rejected

Accepted

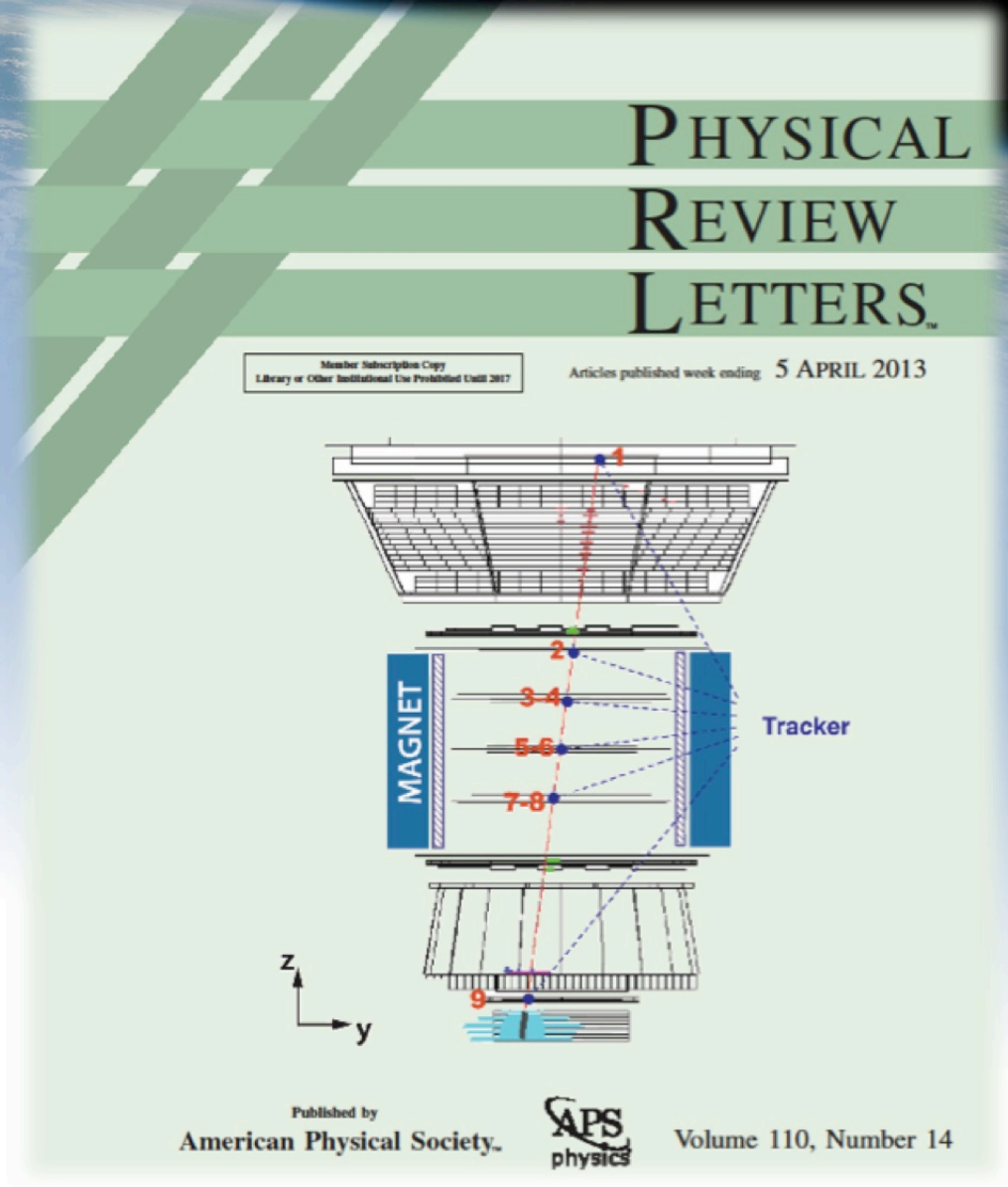
Accepted

AMS の初期結果 – 陽電子比率

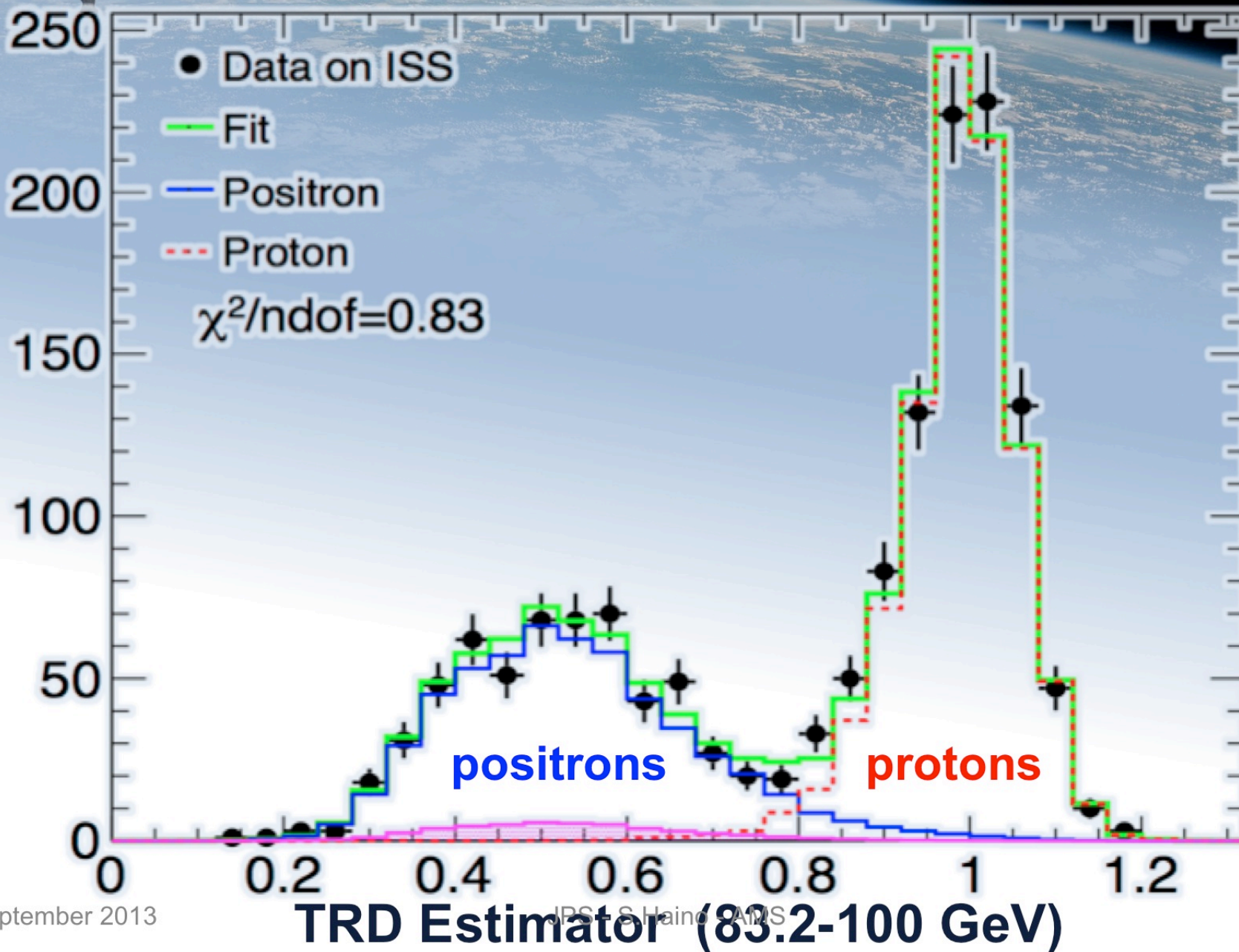
M. Aguilar *et al.*,
PRL 110, 141102 (2013)

“Precision Measurement
of the Positron Fraction
in Primary Cosmic Rays”
of 0.5-350 GeV

(2013年 4月)

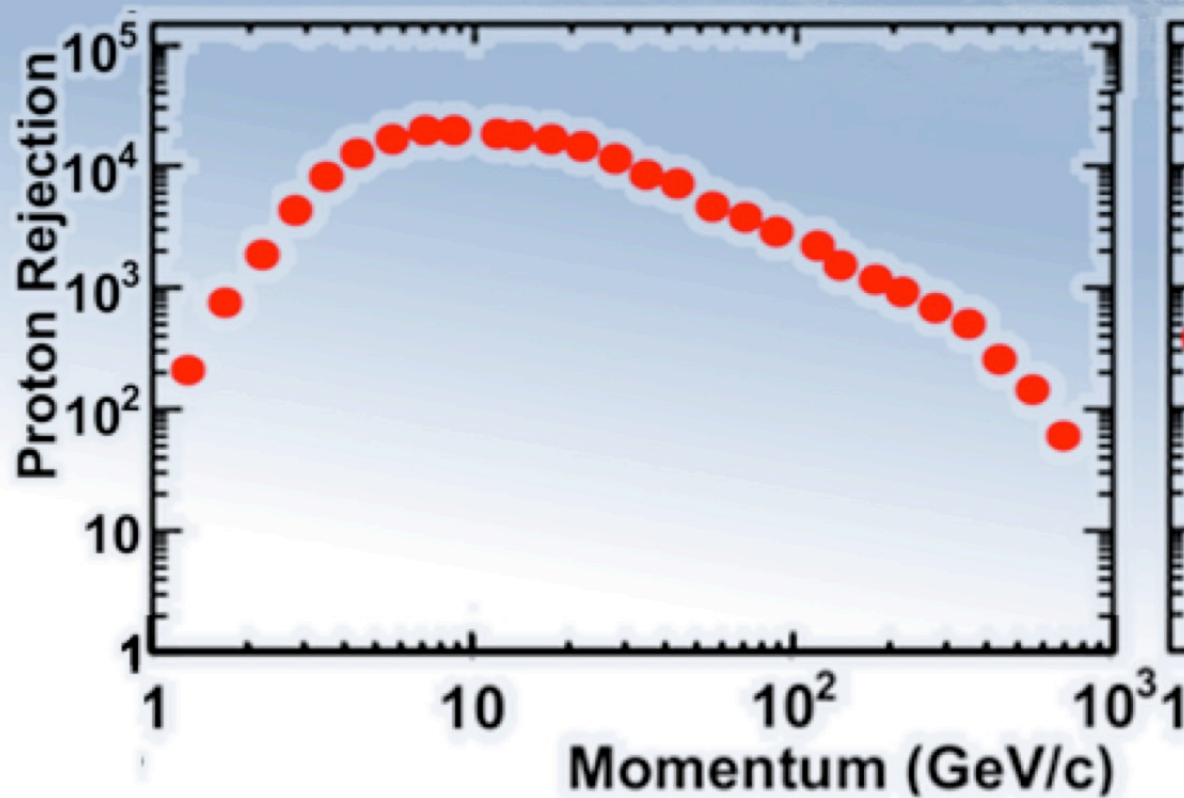


陽電子/陽子識別 (TRD)

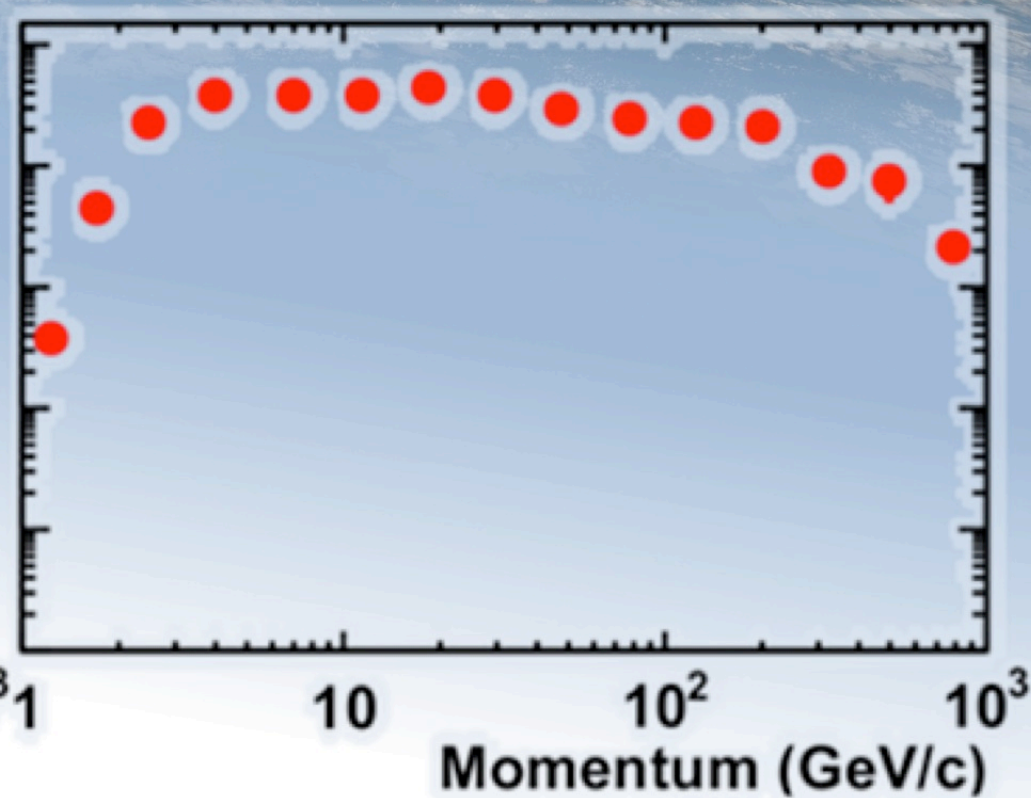


陽子除去能力

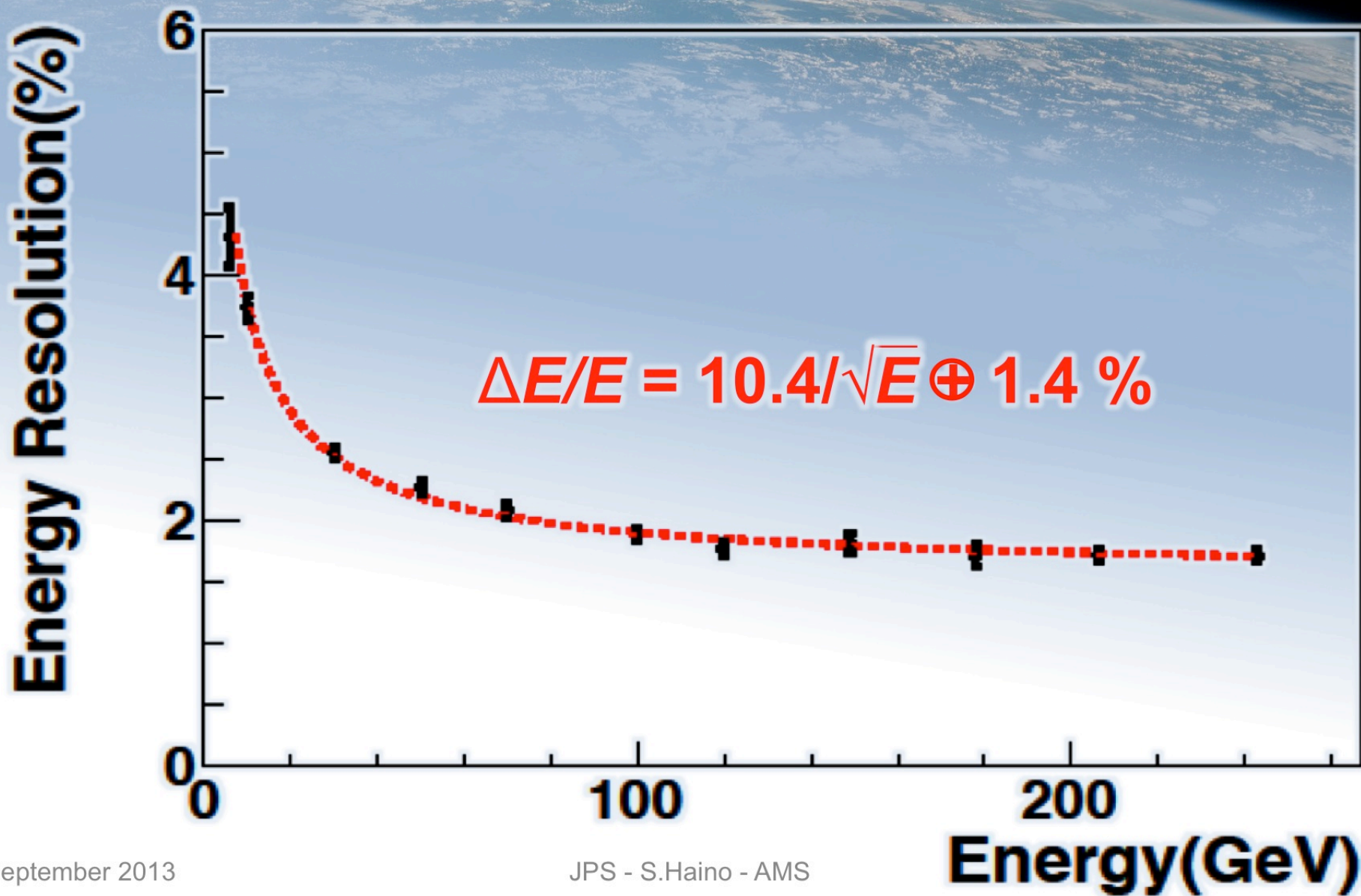
TRD



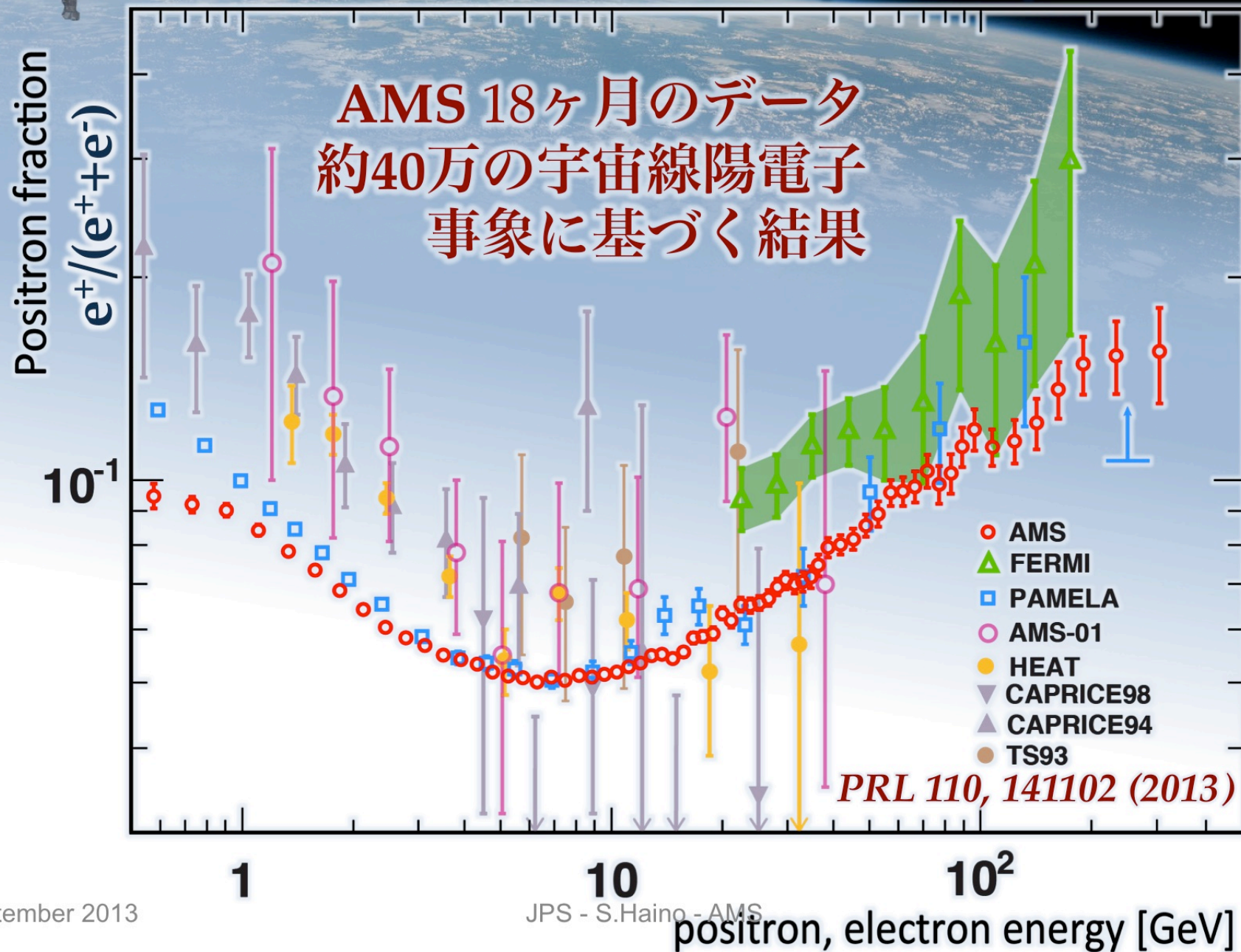
Ecal



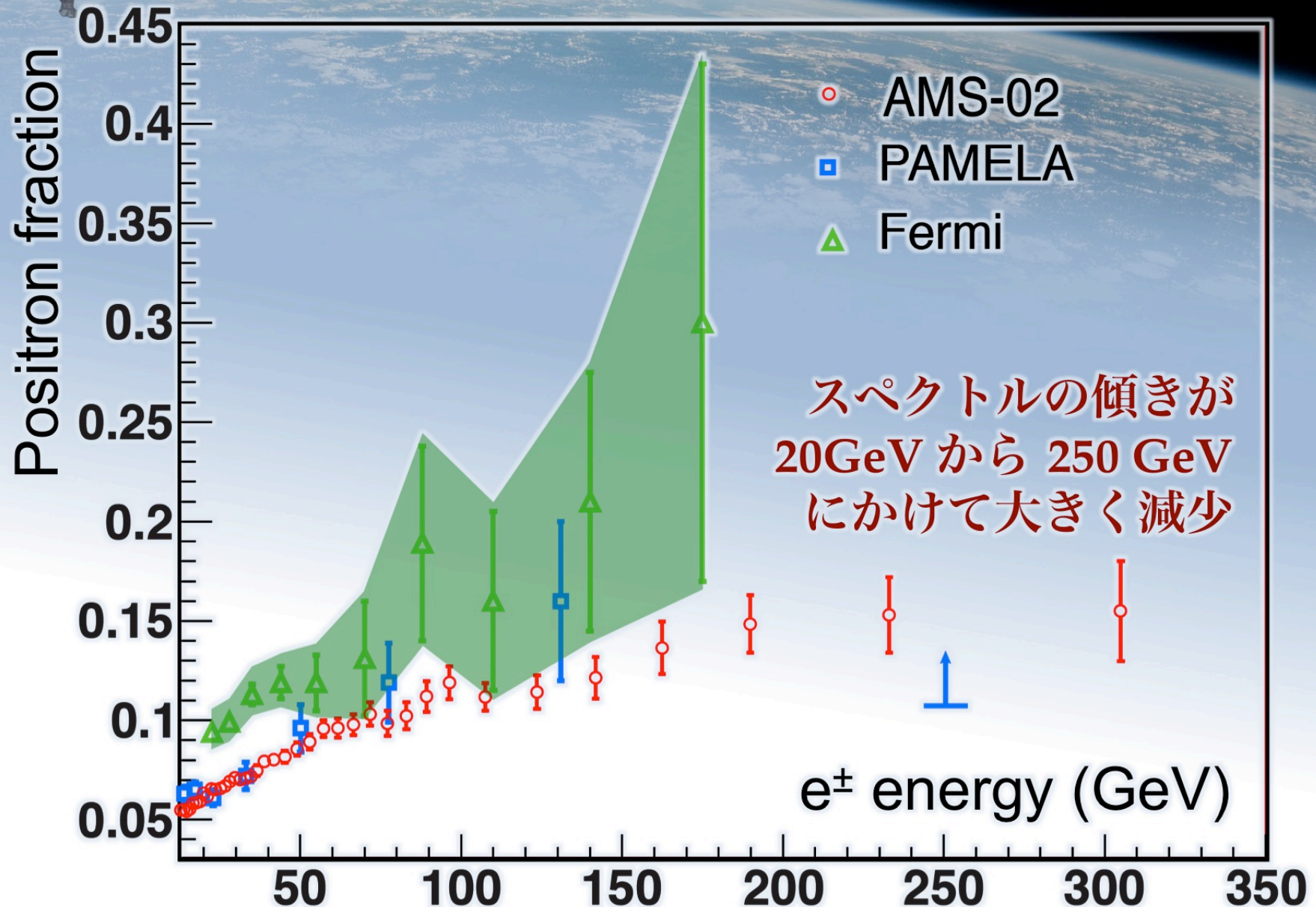
エネルギー分解能 (Ecal)



陽電子比率 $e^+ / (e^+ + e^-)$



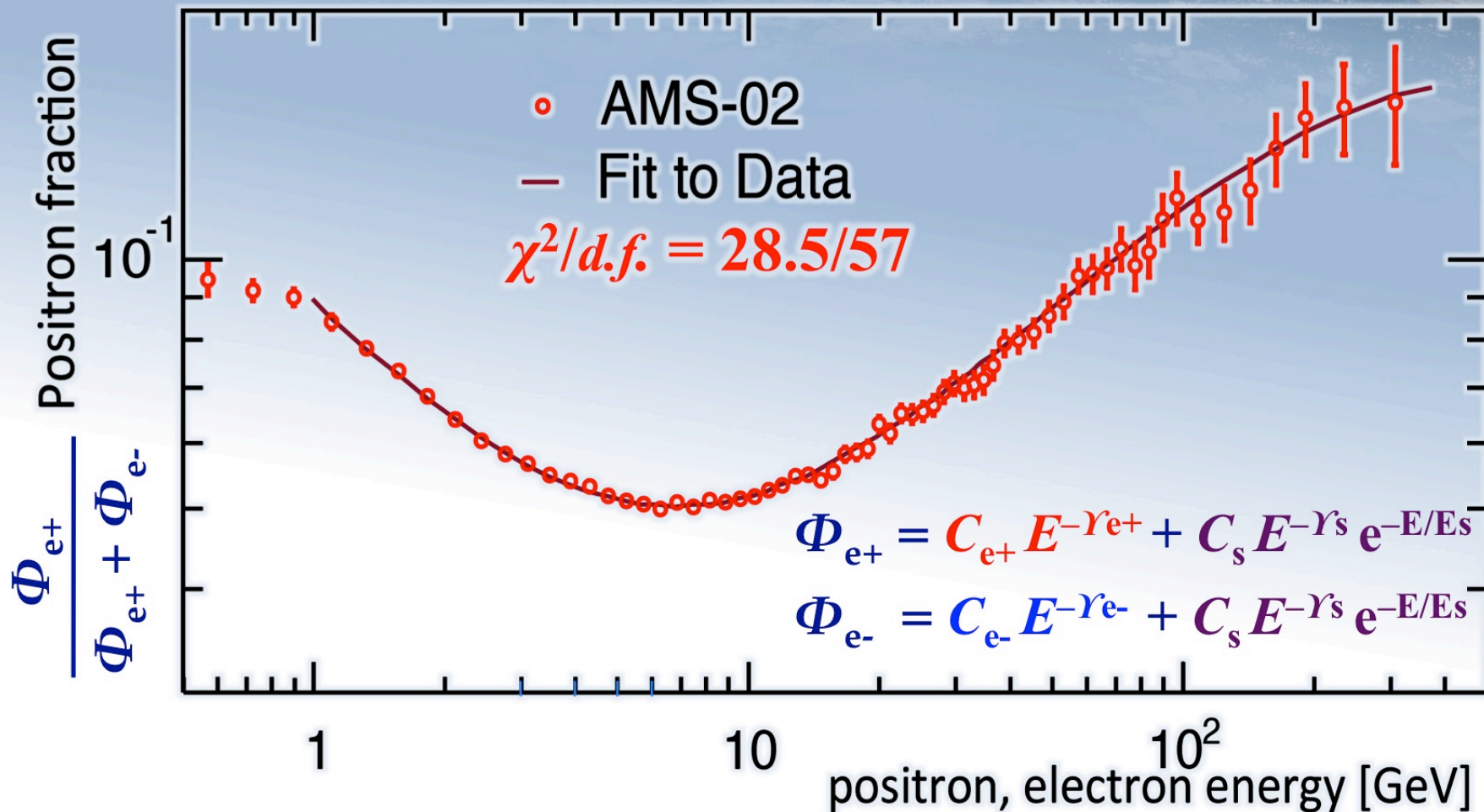
陽電子比率



単純モデルによるフィット

$$1/E_s = 0.0013 \pm 0.0007 \text{ GeV}^{-1}$$

(カットオフエネルギー $760_{-280}^{+1000} \text{ GeV}$)





国際宇宙線会議での最新結果

ICRC
2013

- 陽電子の異方性探索
- 電子、陽電子 フラックス
- 陽子、ヘリウム フラックス
- B/C 比

結果の図は <http://www.ams02.org/>



陽電子の異方性探索

ICRC
2013

結果の図は <http://www.ams02.org/>

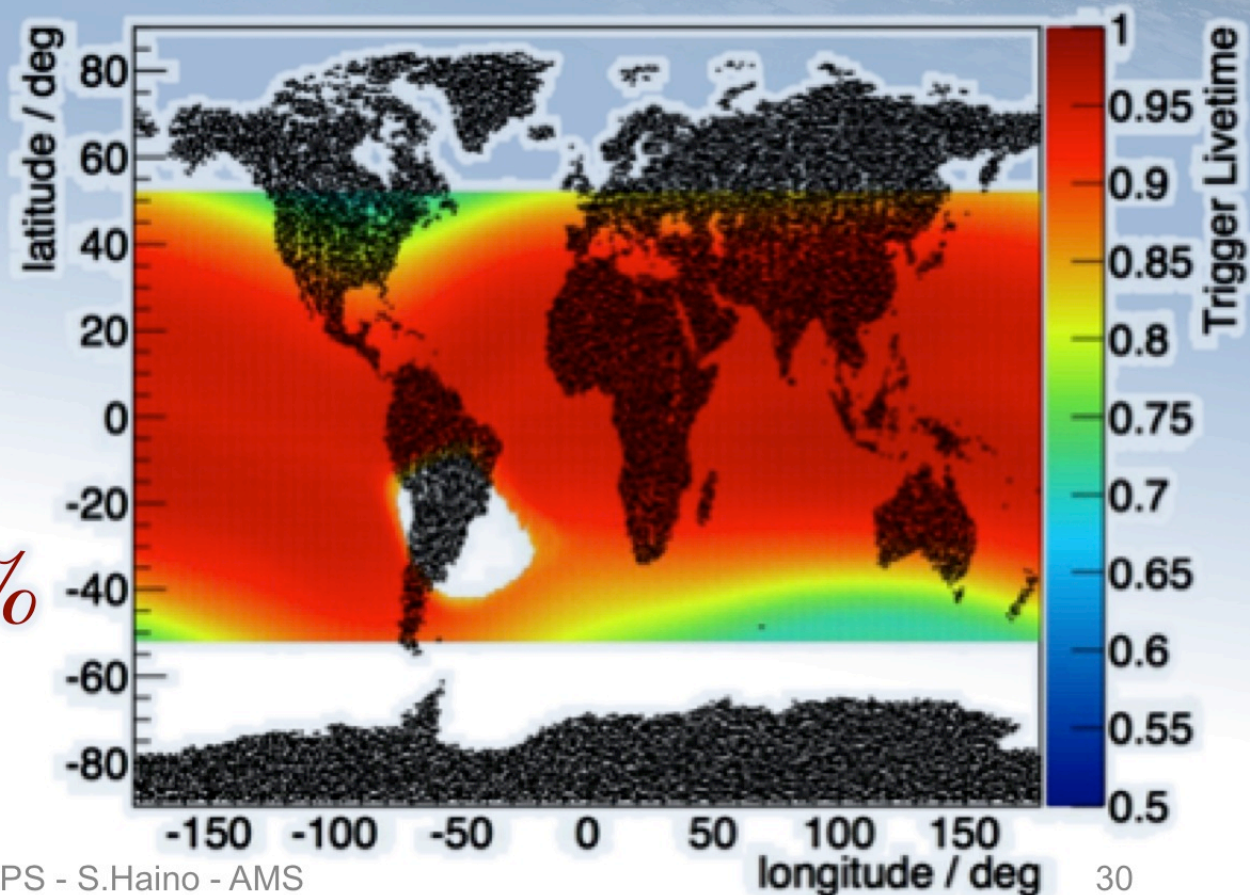
電子・陽電子フラックス測定

$$F(E) = \frac{N}{T \cdot A \cdot \epsilon_{\text{sel.}} \cdot \epsilon_{\text{trig.}} \cdot dE}$$

- F : フラックス ($\text{m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{s}^{-1} \text{GeV}^{-1}$)
- E : エネルギー (GeV)
- N : 事象数
- T : 実観測時間 (s)
- A : アクセプタンス ($\text{m}^2 \text{sr}$)
- $\epsilon_{\text{sel.}}$: 事象選択効率
- $\epsilon_{\text{trig.}}$: トリガー効率

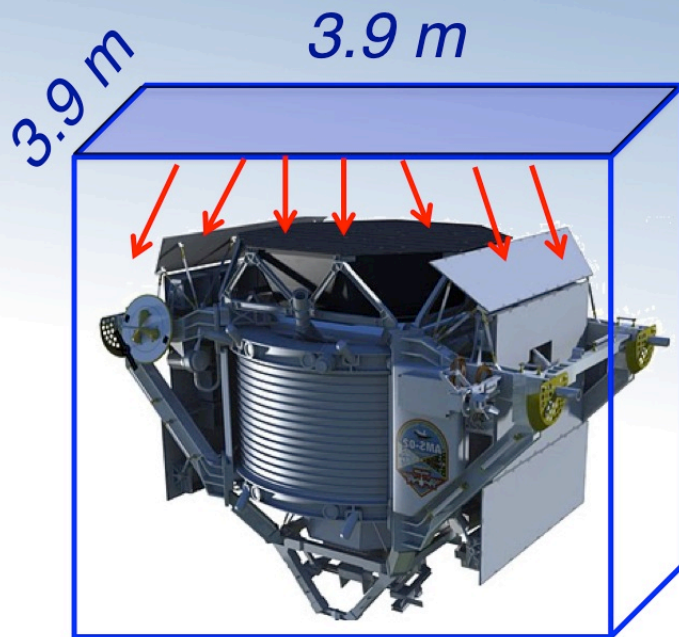
観測時間

- 解析データ期間：
2011年5月 ~ 2013年5月 (2年間)
- 実効観測時間：
($R > 30$ GeV)
 $T = 5.12 \times 10^7$ s
- Live time 比率：
 $T / (2 \text{ years}) = 81.6\%$



アクセプタンス

- Geant 4 モンテカルロで見積もり



$$A(E) = A_{\text{generated}} \times \frac{N_{\text{passed}}(E)}{N_{\text{generated}}(E)}$$

$\sim 0.05 \text{ m}^2\text{sr}$



電子フラックス

ICRC
2013

結果の図は <http://www.ams02.org/>



陽電子フラックス

ICRC
2013

結果の図は <http://www.ams02.org/>

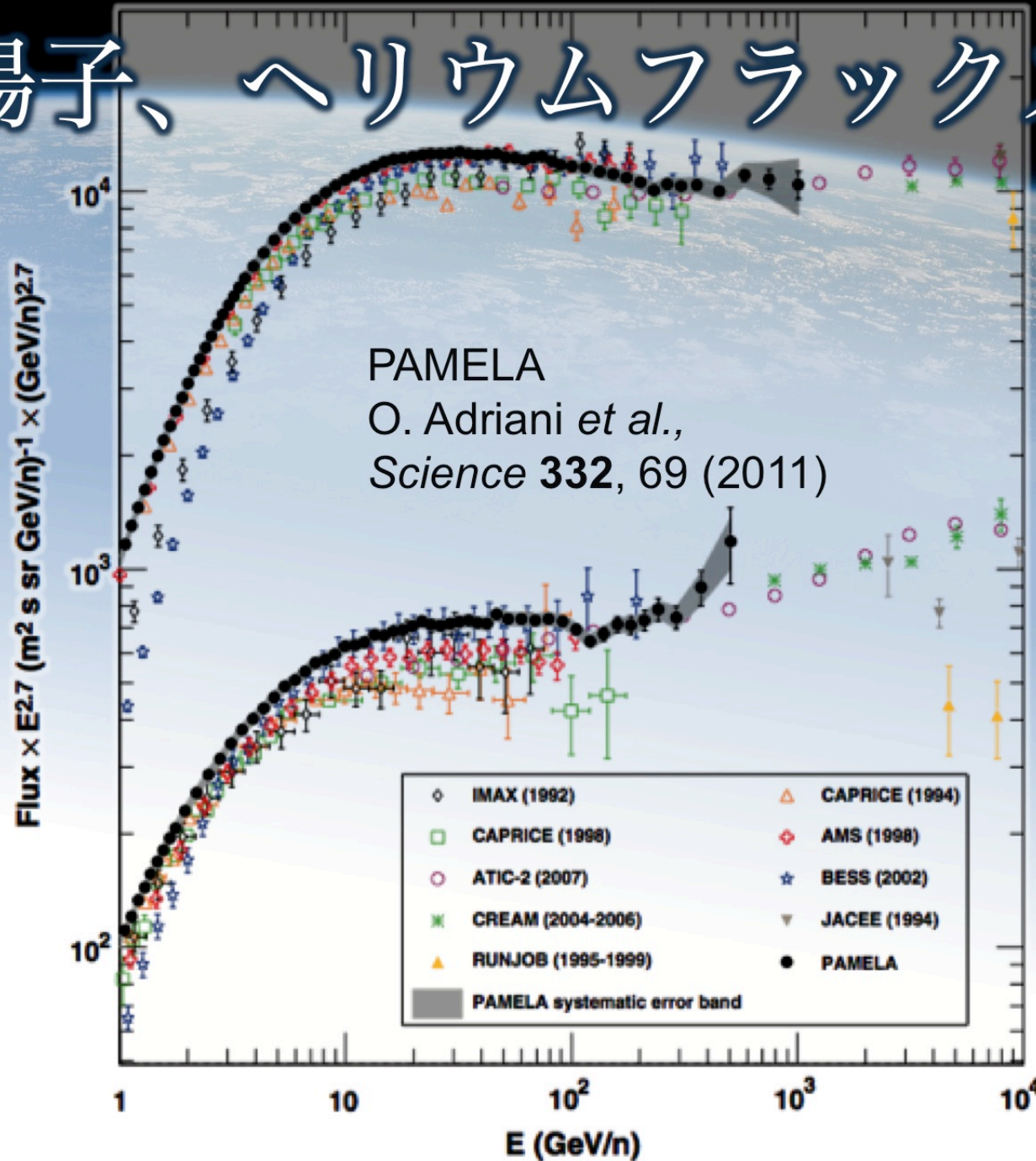


電子+陽電子フラックス

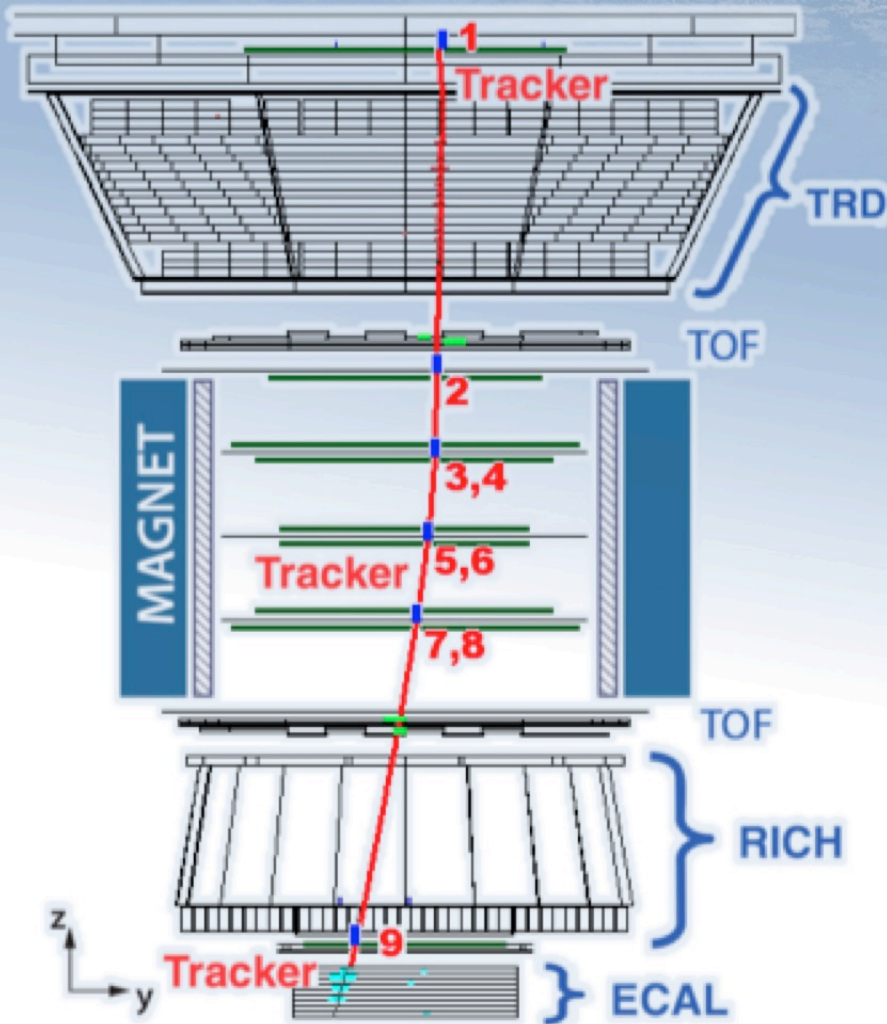
ICRC
2013

結果の図は <http://www.ams02.org/>

陽子、ヘリウムフラックス

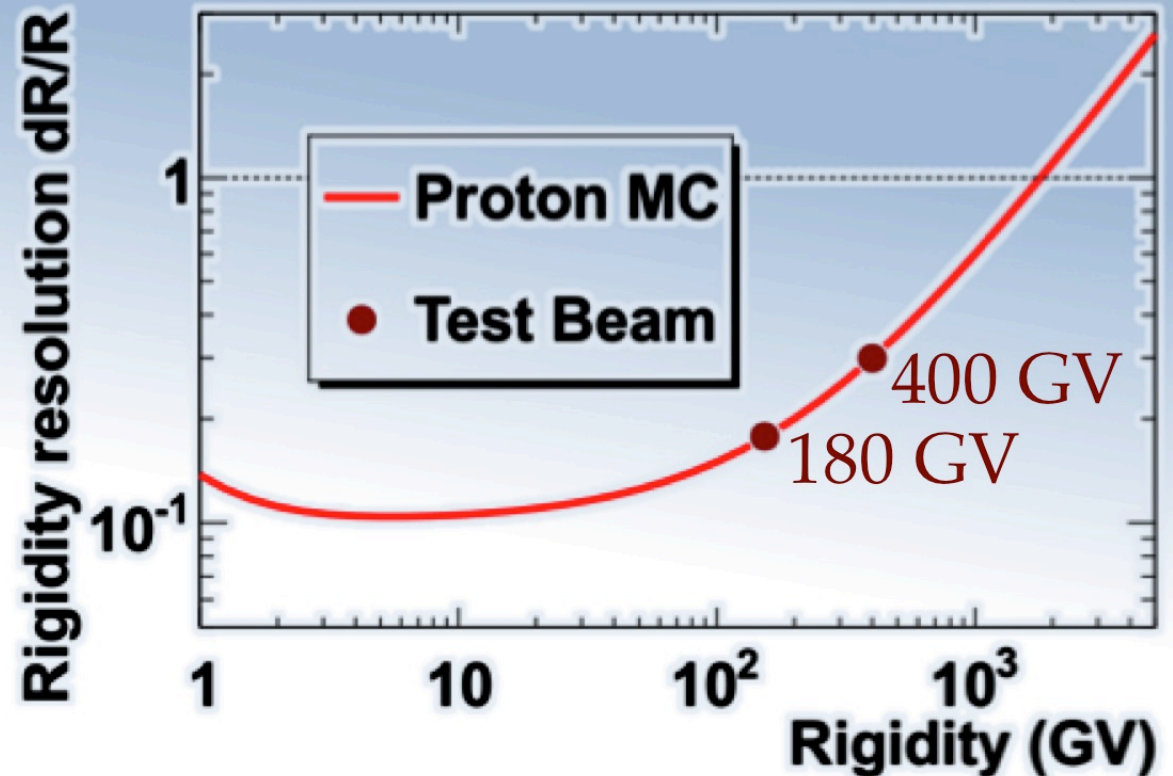


Rigidity 測定



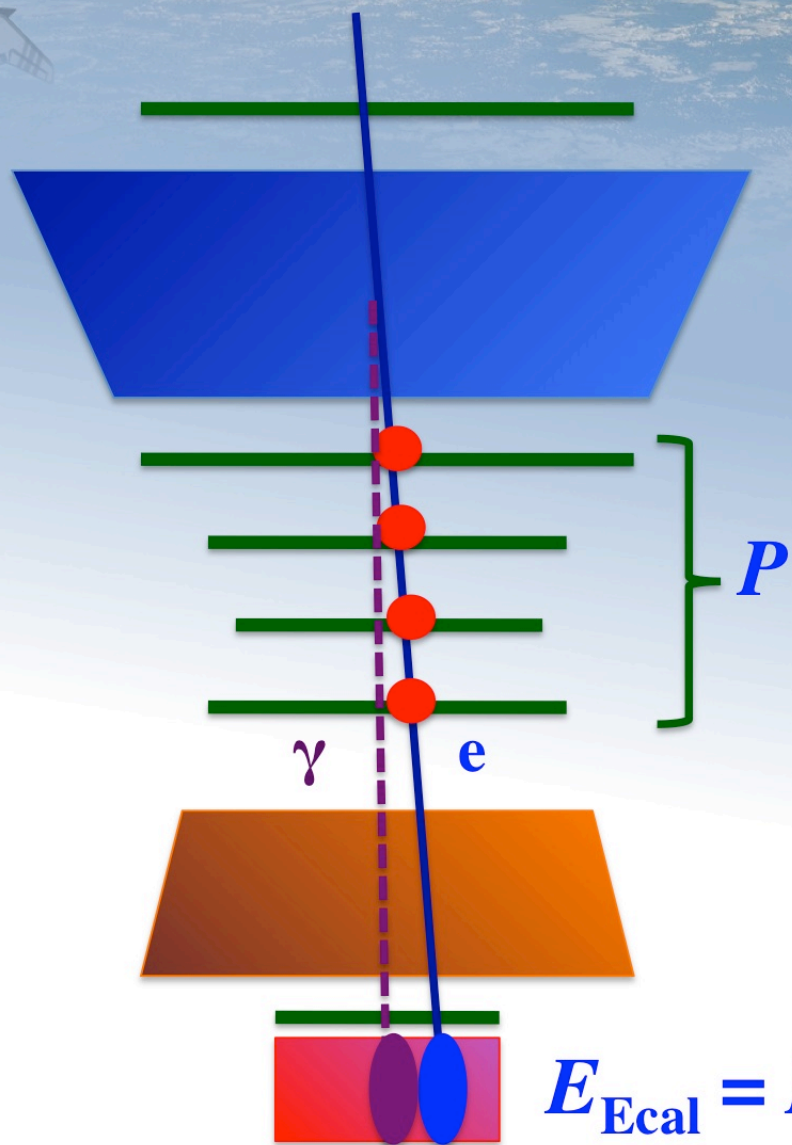
$$B_x = \sim 0.14 \text{ T} \quad L = \sim 3\text{m}$$

$$\sigma_y = \sim 10\mu\text{m} \quad \text{MDR} : \sim 2\text{TV}$$

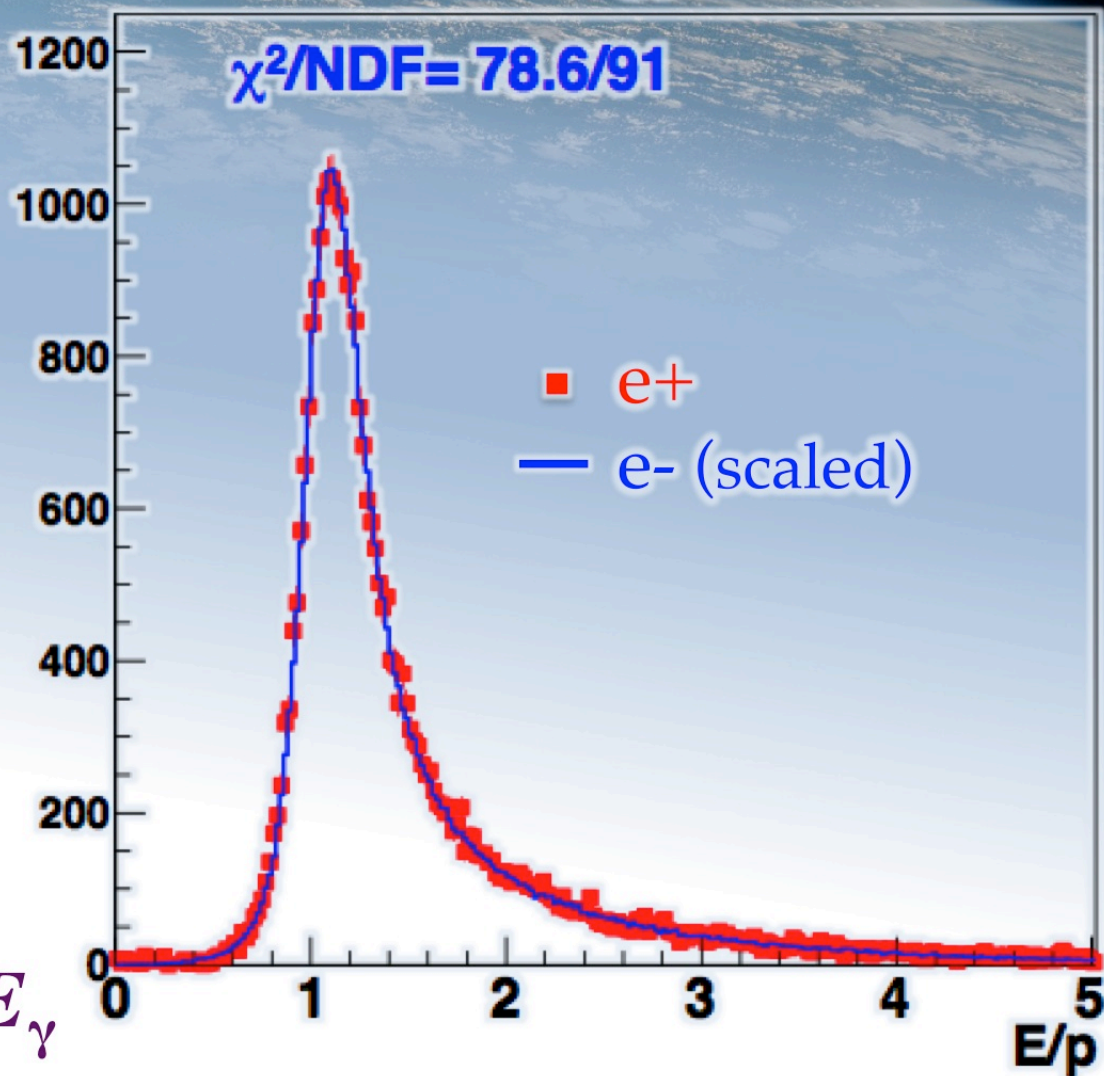


E/P : エネルギーと運動量のマッチング

ISS data Energy > 10 GeV

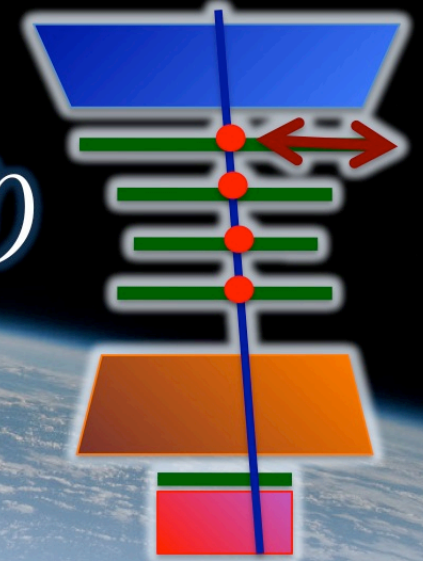


$$E_{\text{Ecal}} = E_e + E_\gamma$$

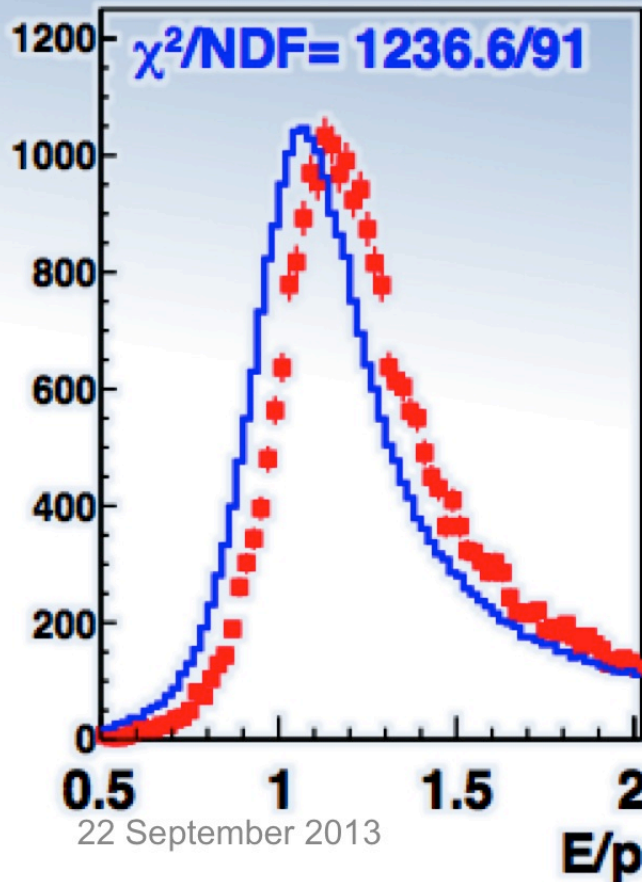


運動量絶対精度の見積もり

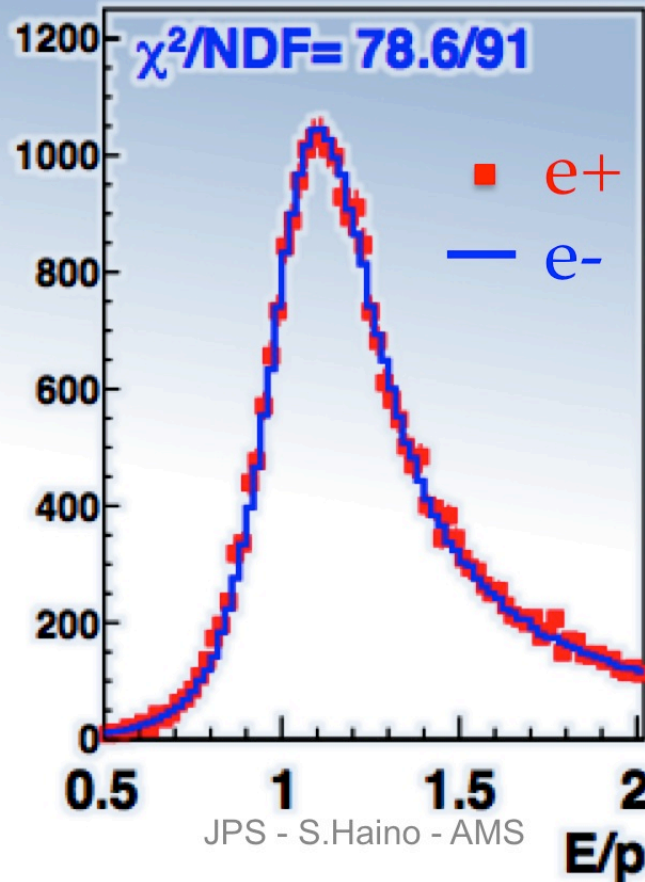
アライメント精度の見積もり : $\pm 0.3 \mu\text{m}$
(運動量バイアス $\Delta 1/R < \sim 1/20 \text{ TV}$)



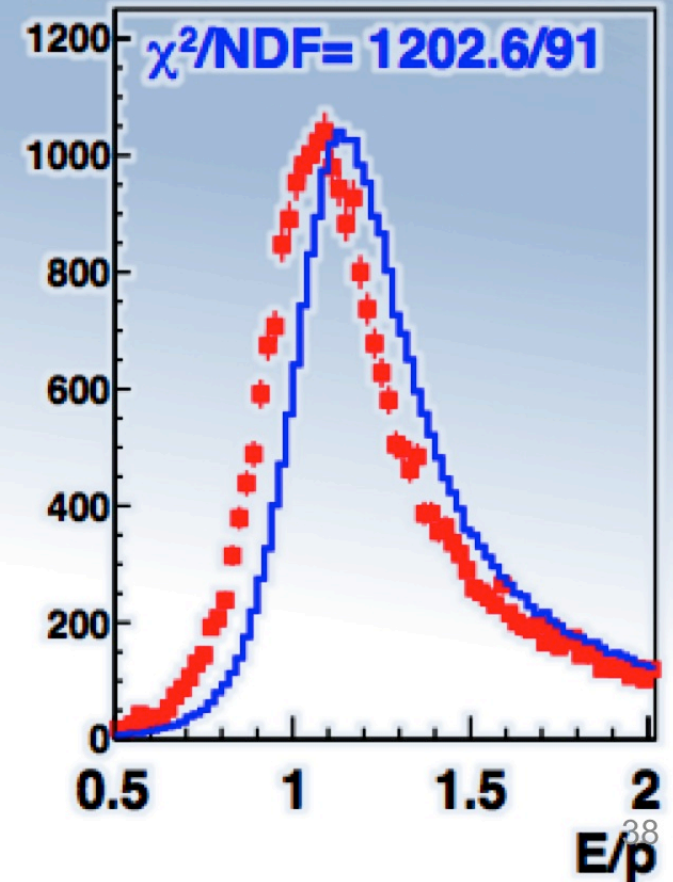
Shift (L2): $-10 \mu\text{m}$



No shift

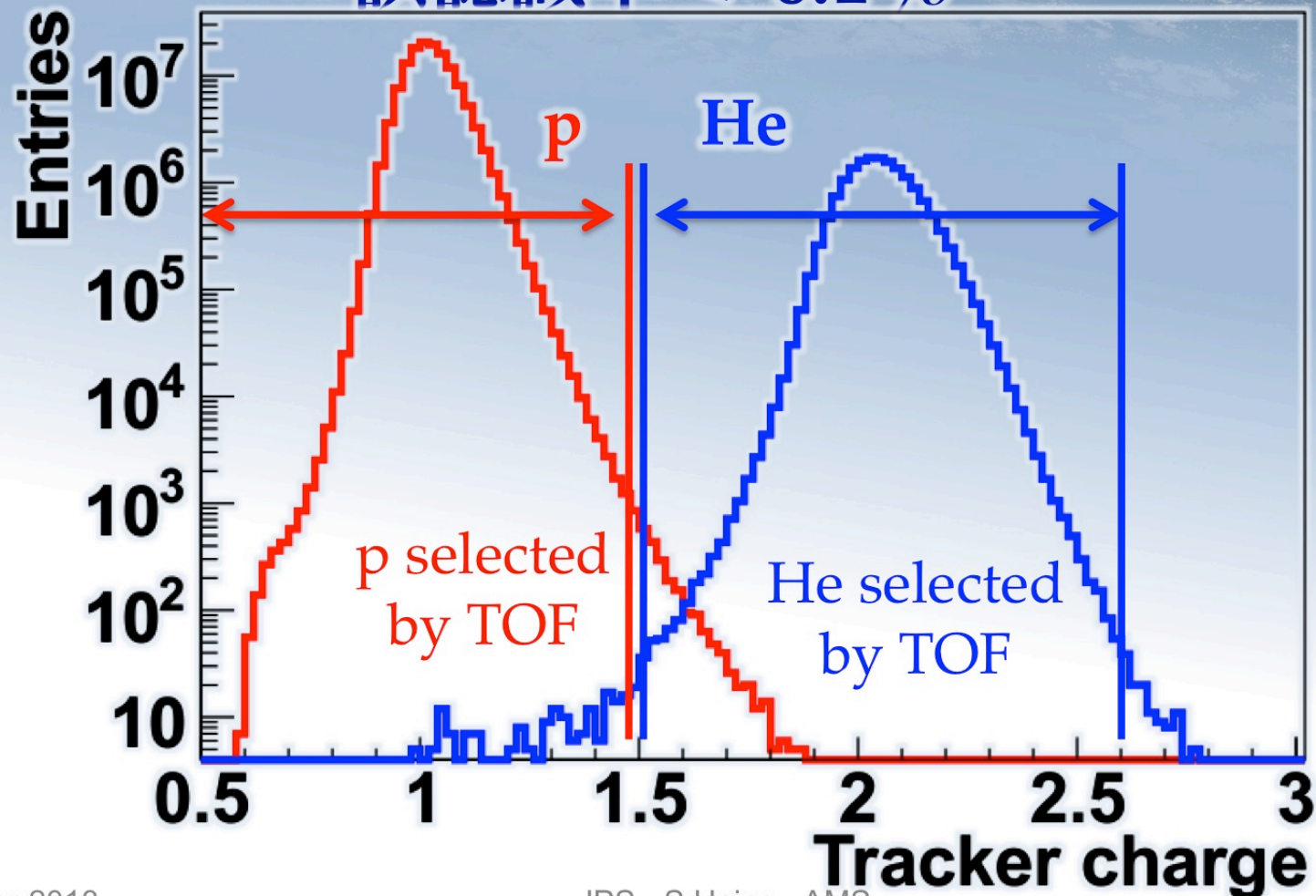


Shift (L2): $+10 \mu\text{m}$



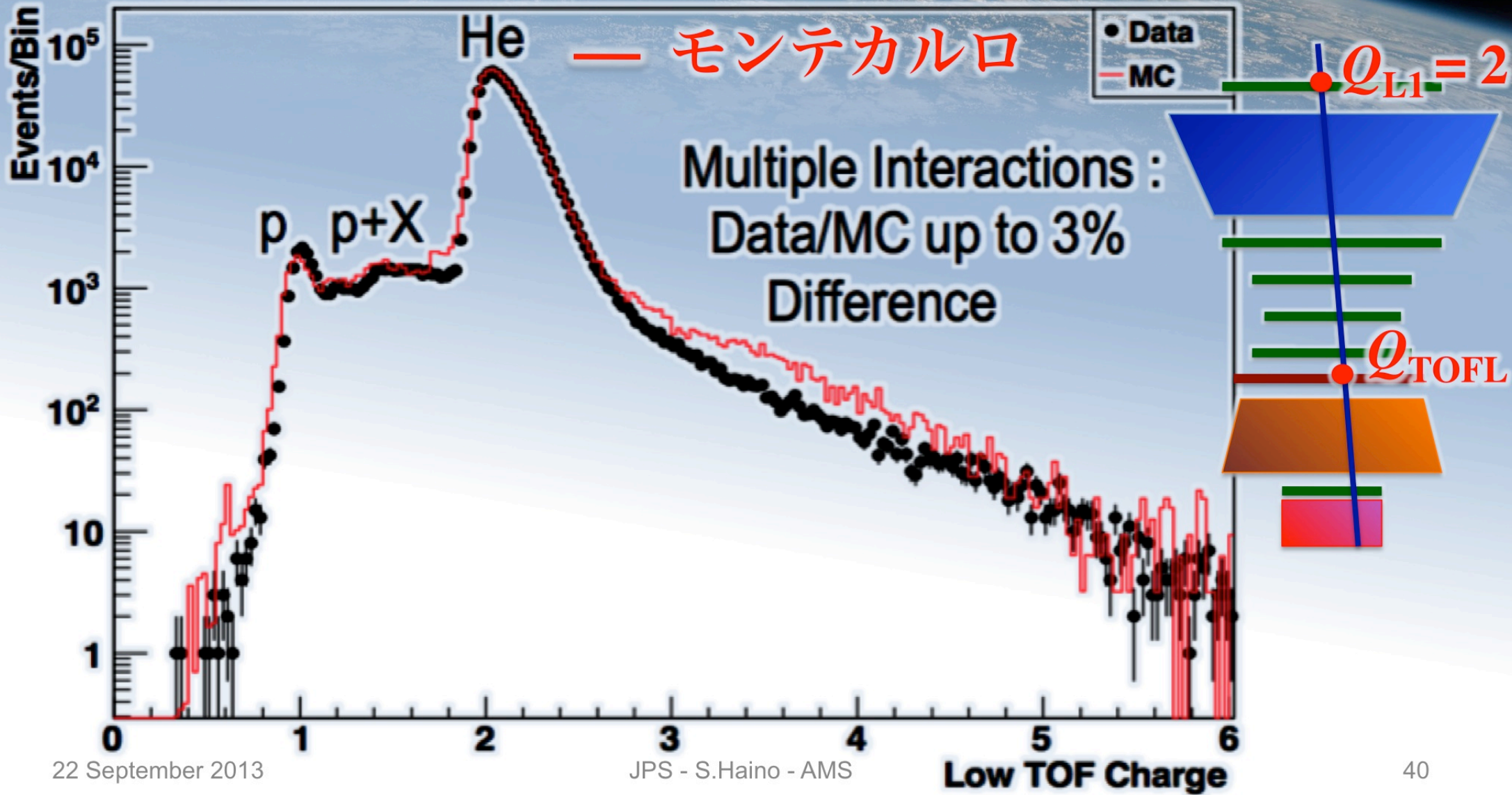
陽子、ヘリウム分離 (トラッカー電荷測定)

- 選択効率 > 99.9 %
- 誤認識率 < 0.1 %



ヘリウム原子核反応のチェック

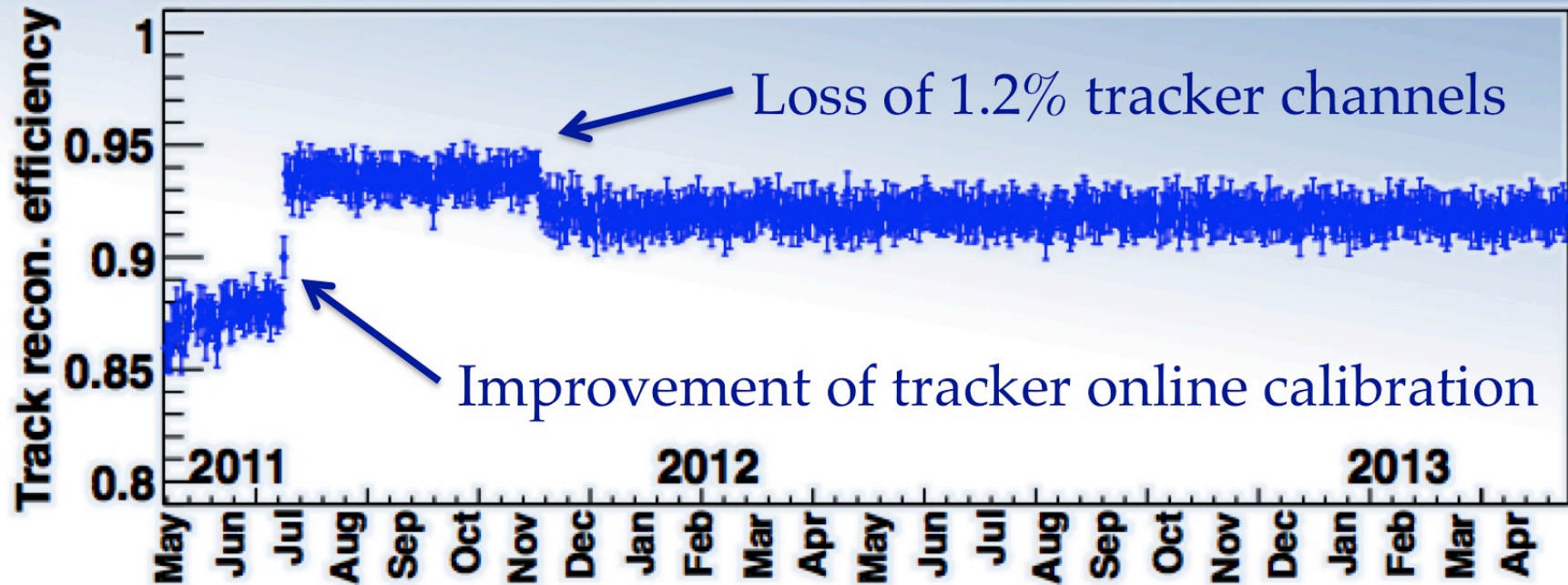
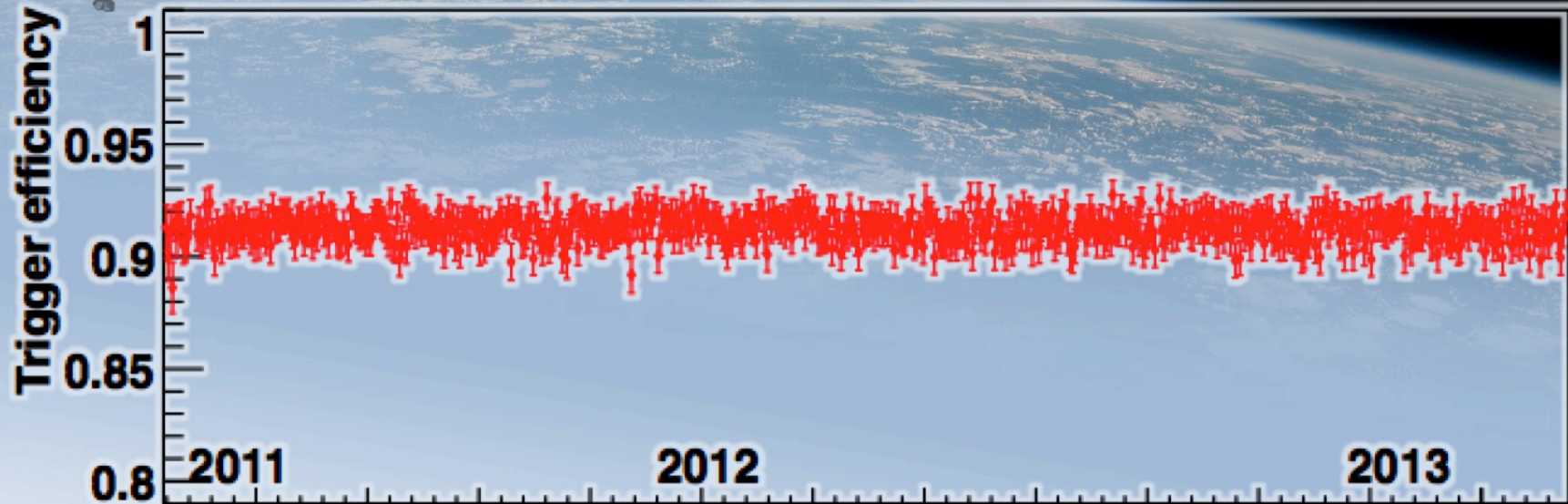
- AMS 宇宙線データ



測定器効率の時間安定性

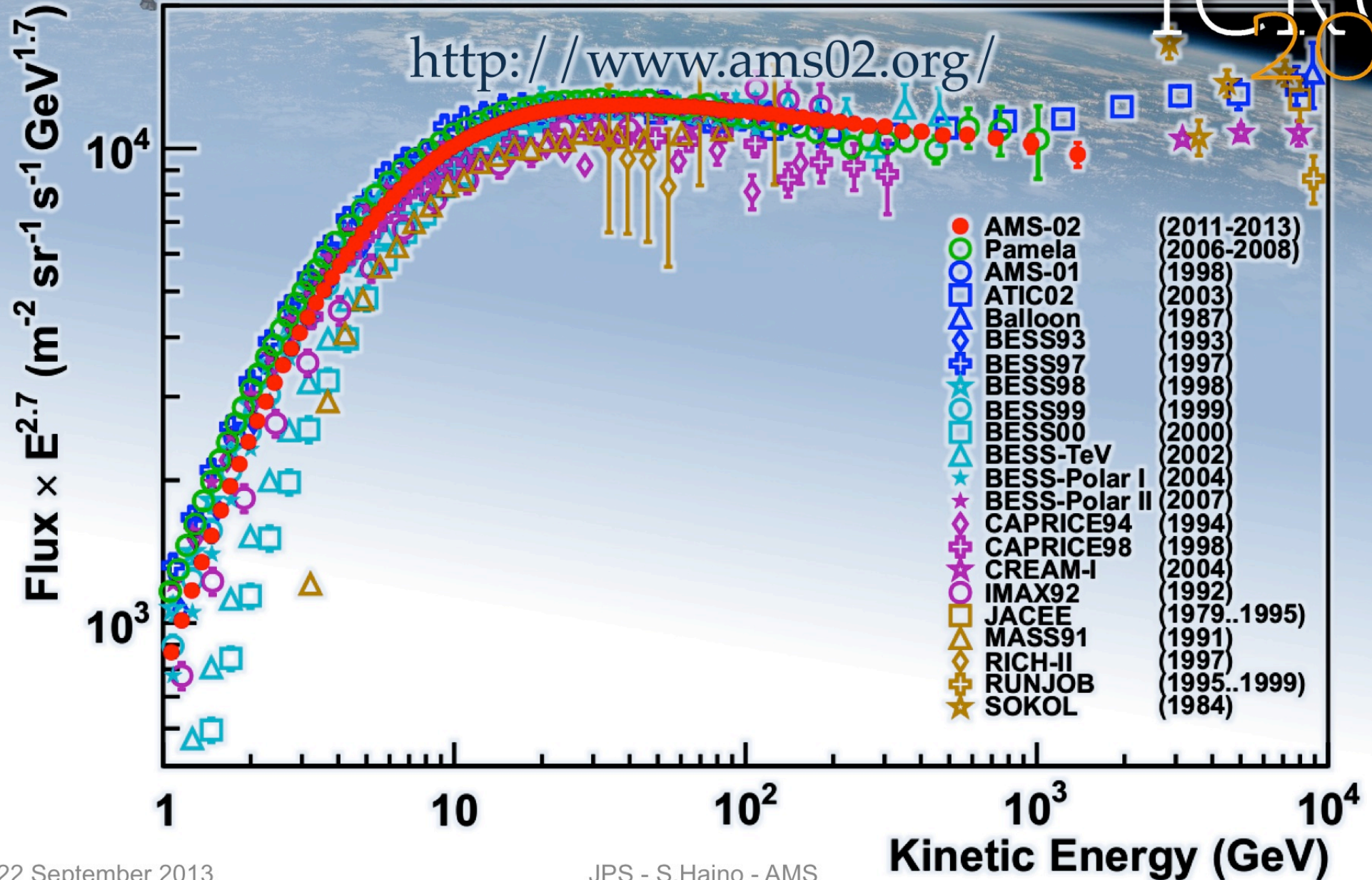
トリガー効率

トラック再構成効率



陽子フラックス

ICRC
2013



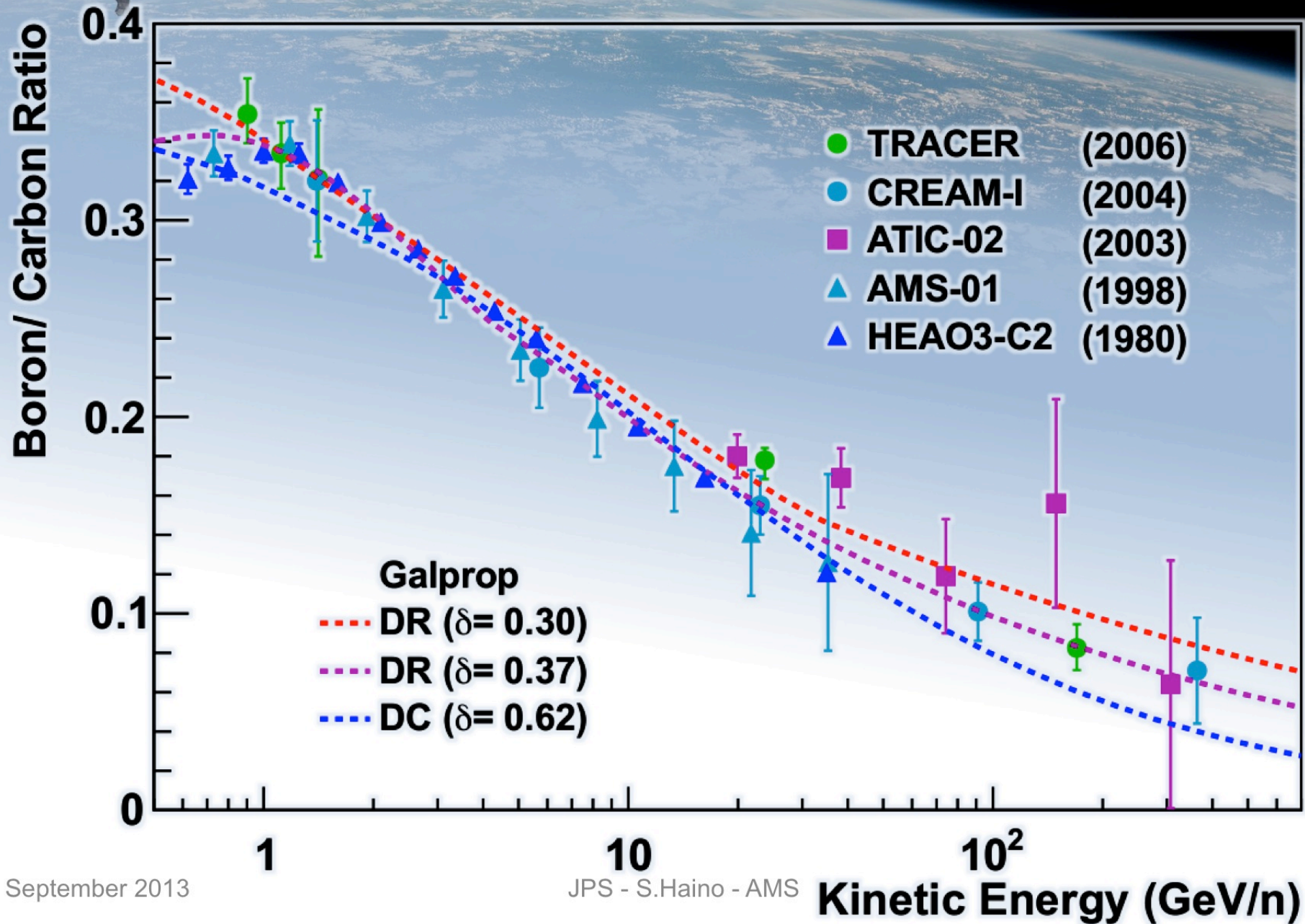
A photograph of a space station in orbit above the Earth's surface. The station is on the left, and the Earth's blue and white atmosphere curves across the middle of the frame. The background is black space.

ヘリウムフラックス

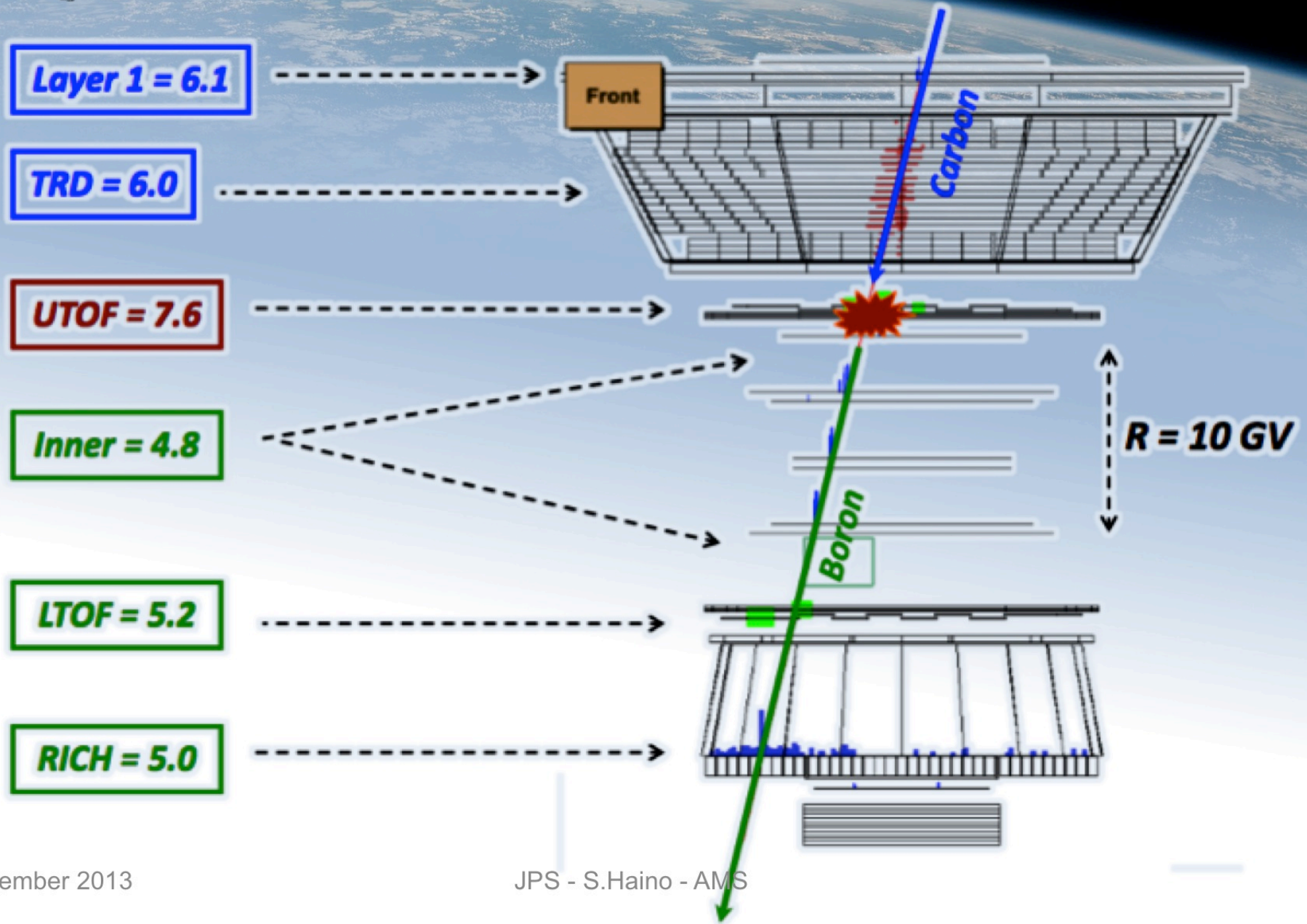
ICRC
2013

結果の図は <http://www.ams02.org/>

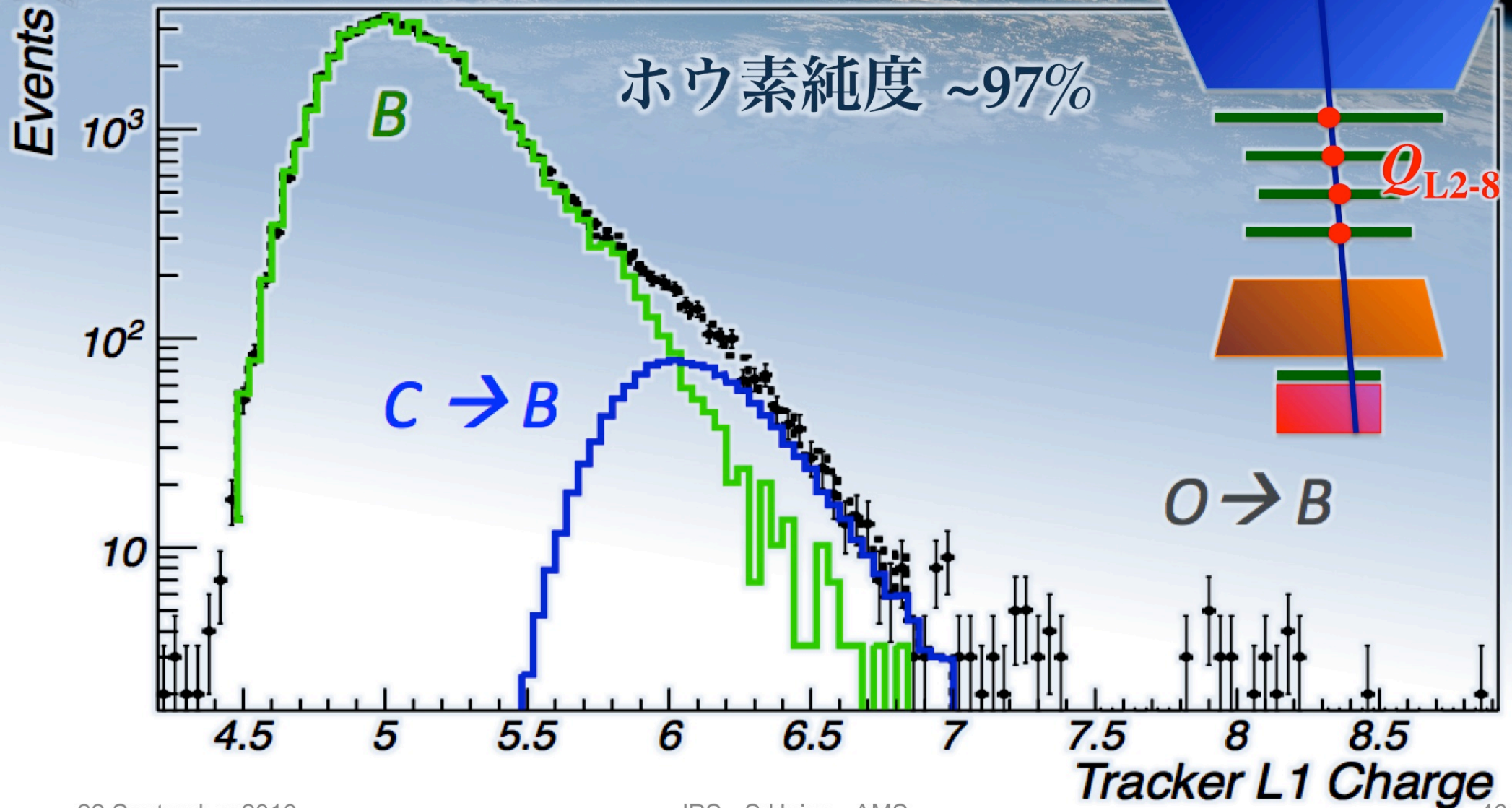
B/C比 - AMS 以前のデータ



炭素→ホウ素転換イベント例

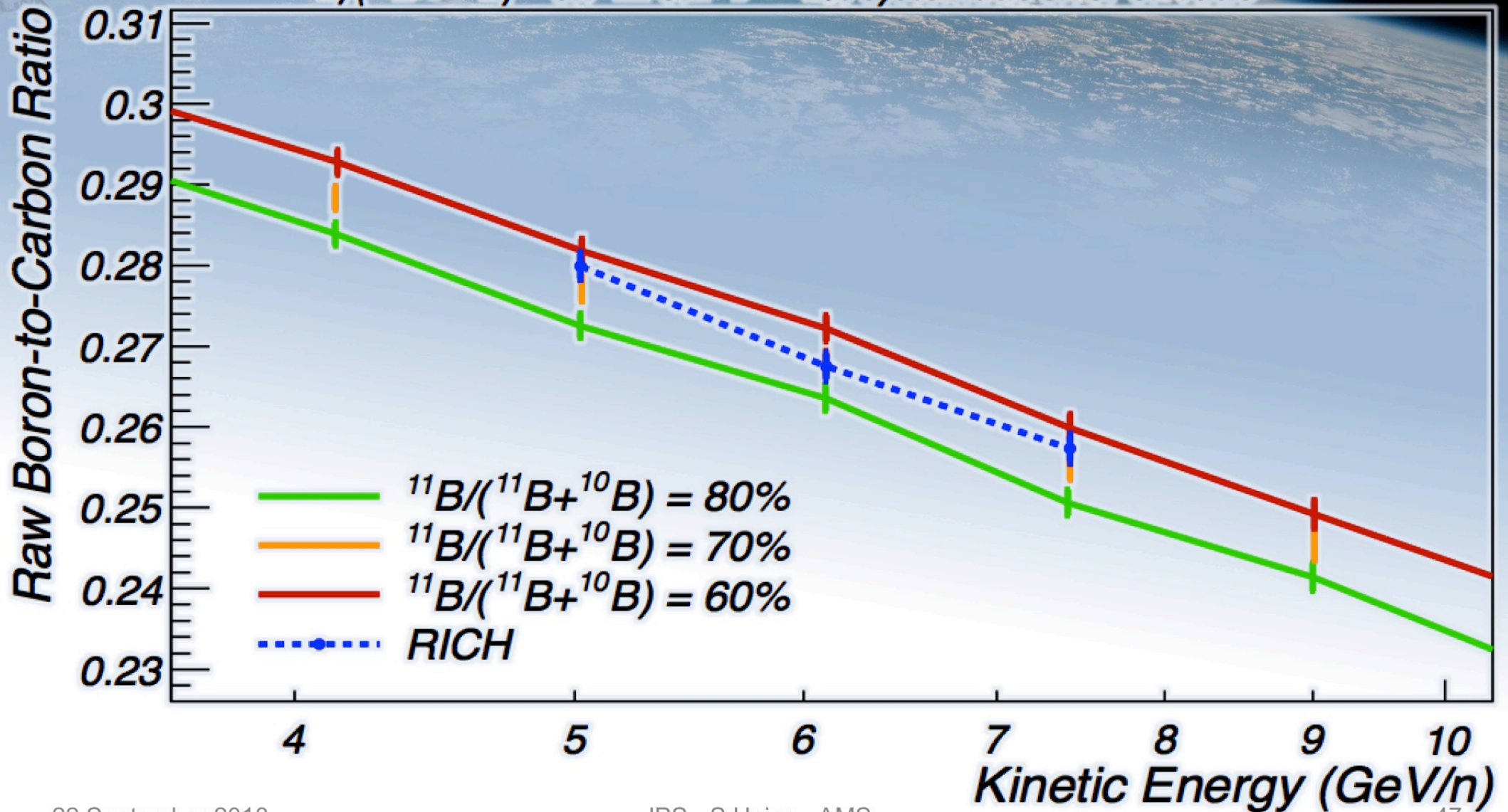


ホウ素 純度の見積もり



B アイソトープ比 見積もり

$^{11}\text{B}/(^{11}\text{B} + ^{10}\text{B}) = 0.7 \pm 0.1 \rightarrow \sim 1\% \text{ systematic error on ratio}$



A photograph of a space station in orbit above the Earth's surface. The station's complex structure, including solar panels and various modules, is visible against the blackness of space. The Earth's blue and white atmosphere curves across the middle of the frame.

B/C比

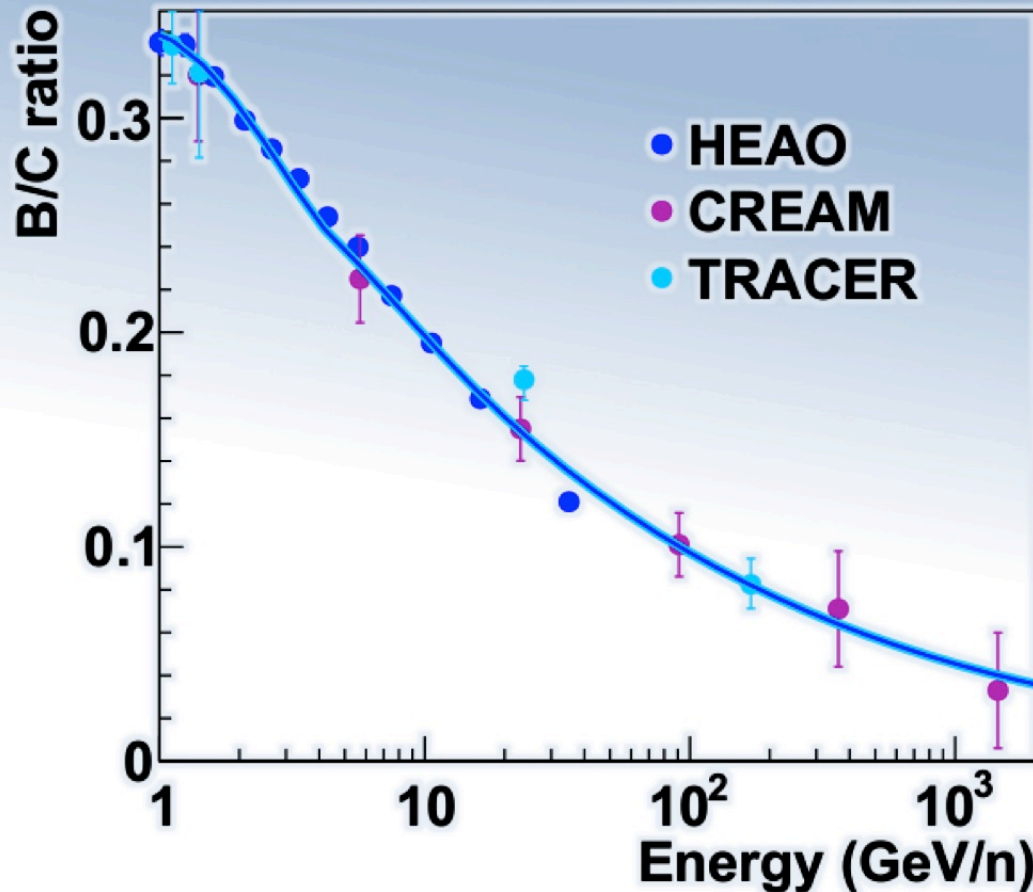
ICRC
2013

結果の図は <http://www.ams02.org/>

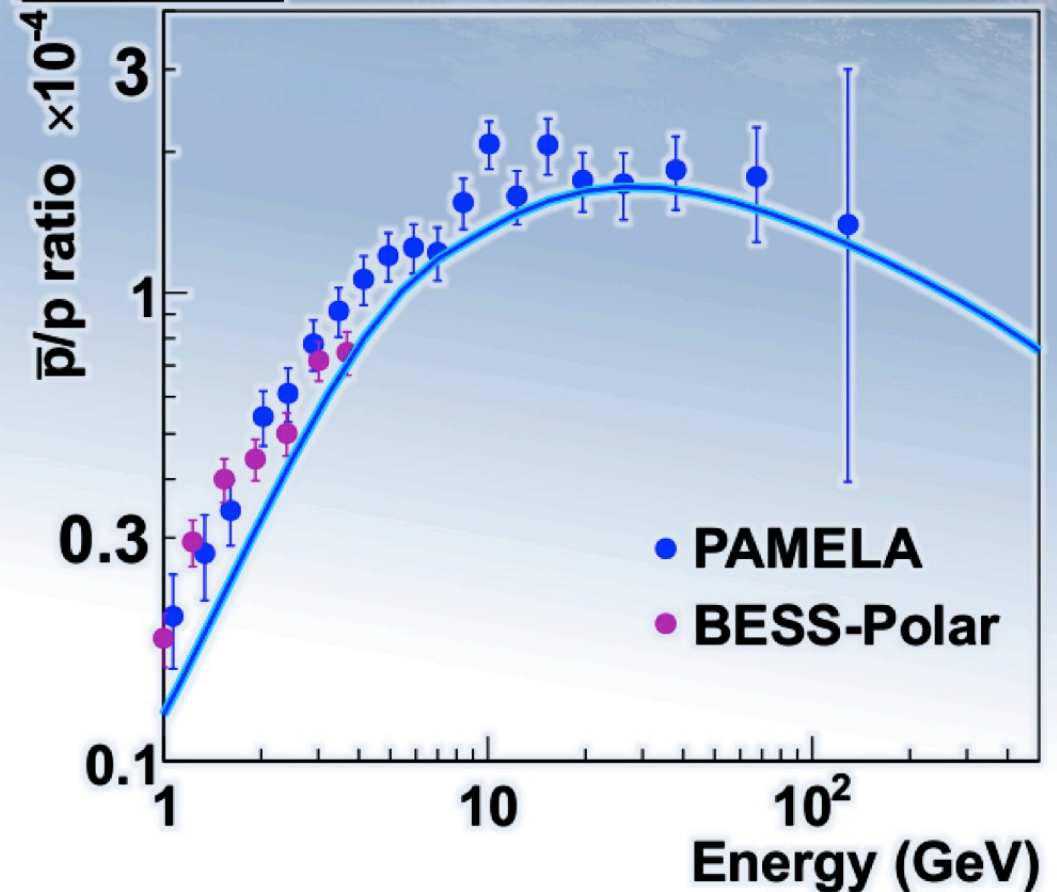
宇宙線伝播計算 (AMS 以前)

Galprop (DR) による B/C 比フィット

B/C ratio



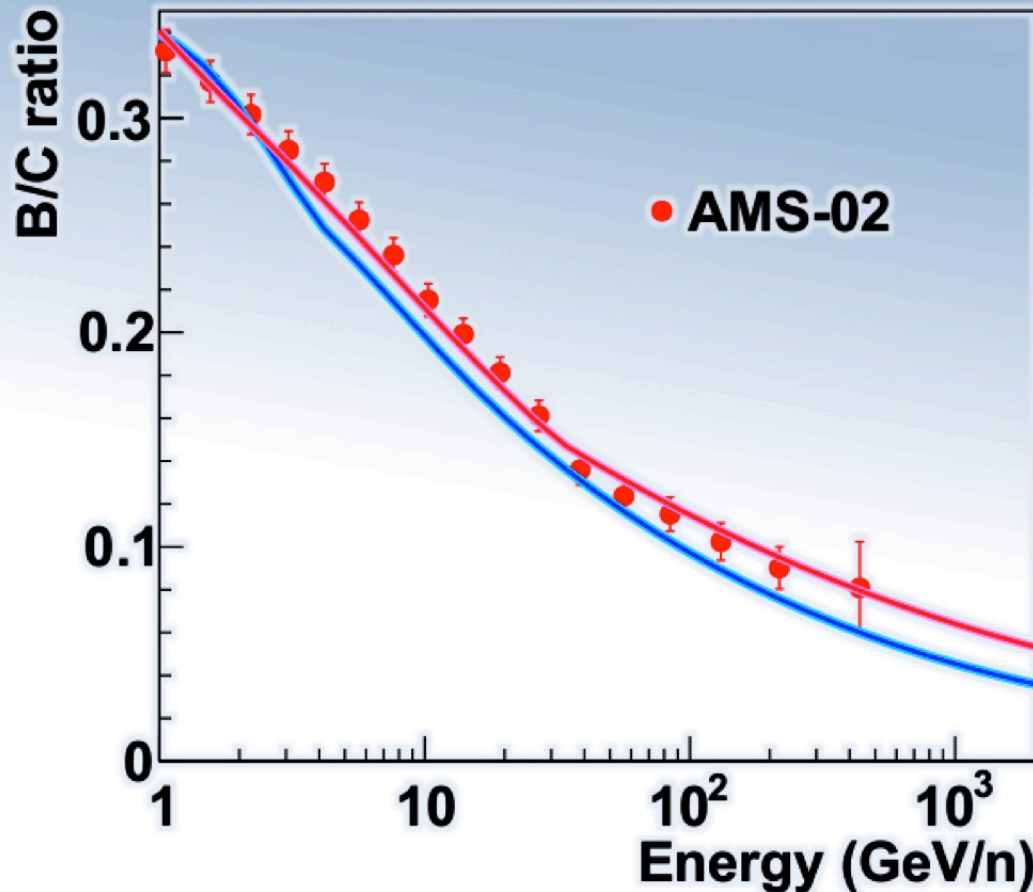
\bar{p}/p ratio



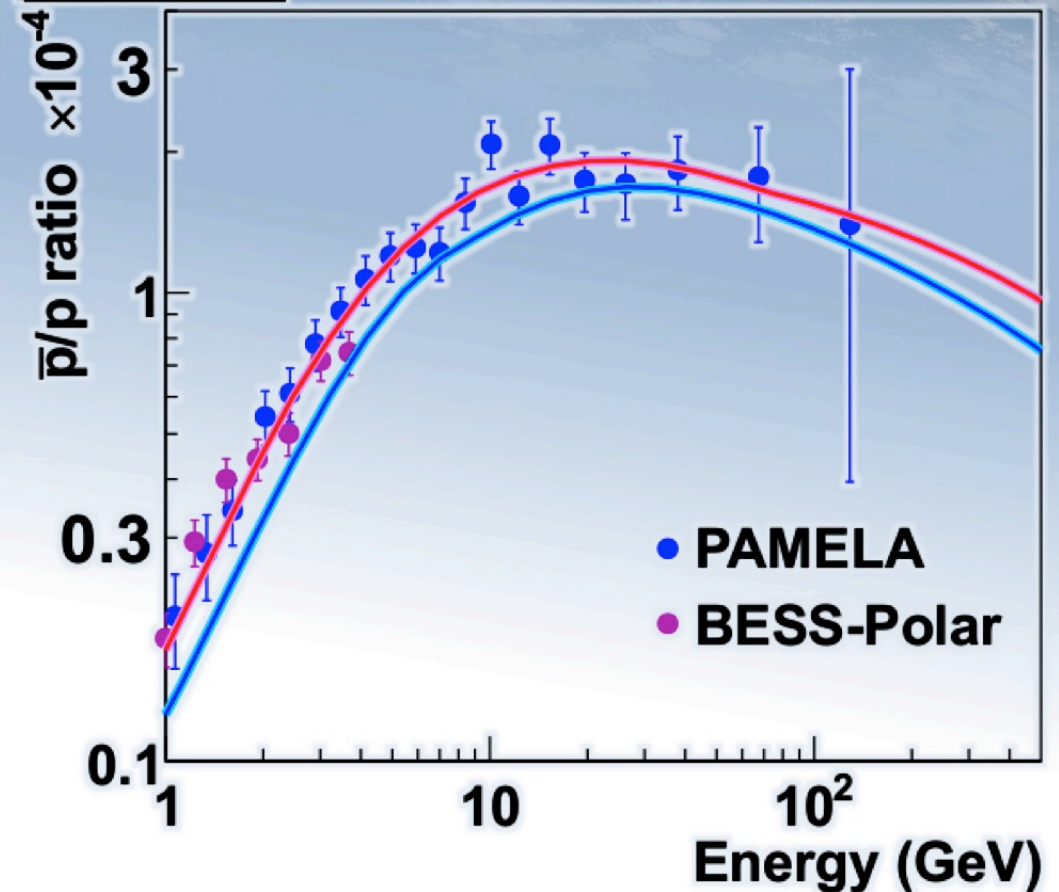
宇宙線伝播計算 (AMS 以降)

Galprop (DR) による B/C 比フィット

B/C ratio

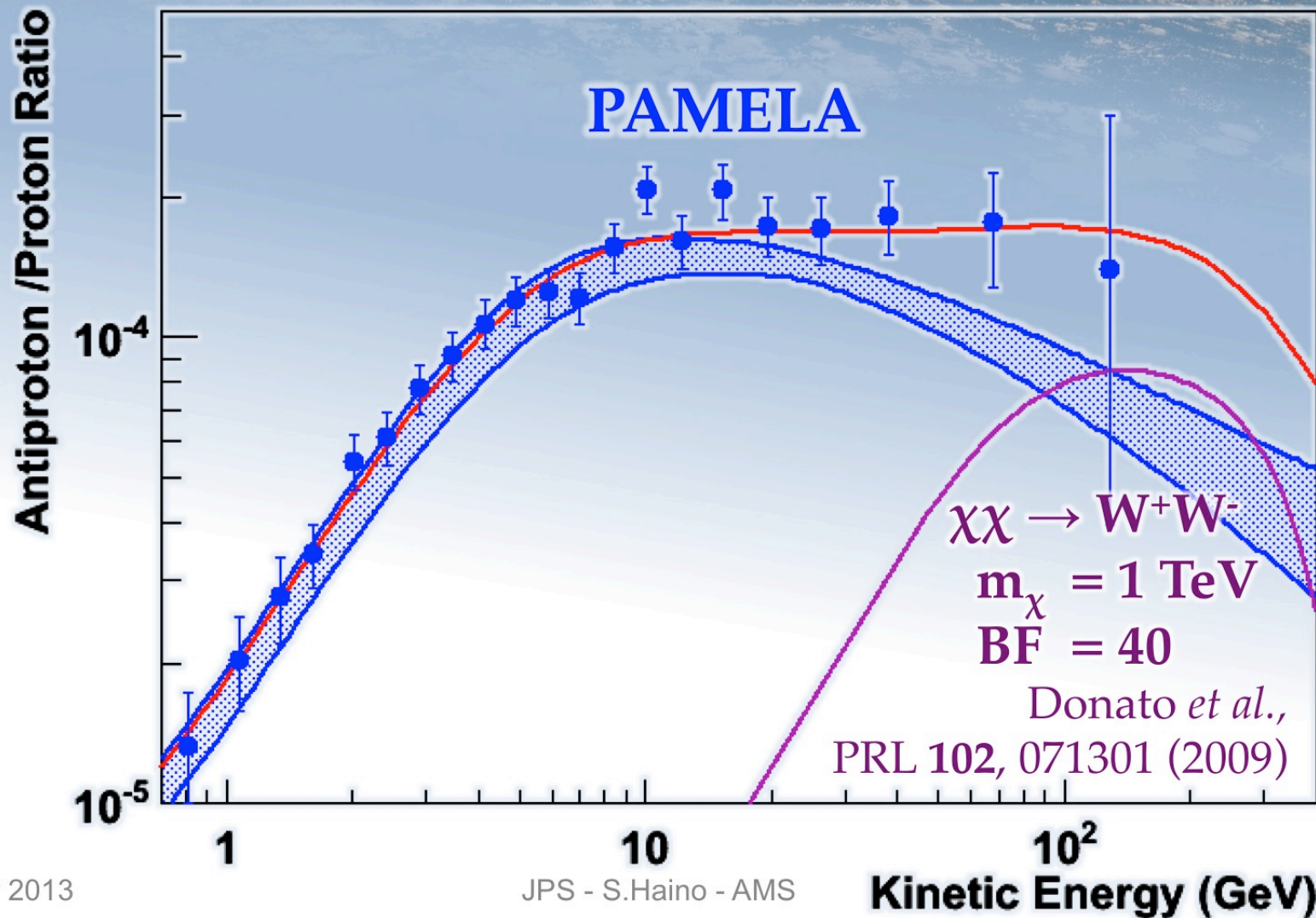


\bar{p}/p ratio

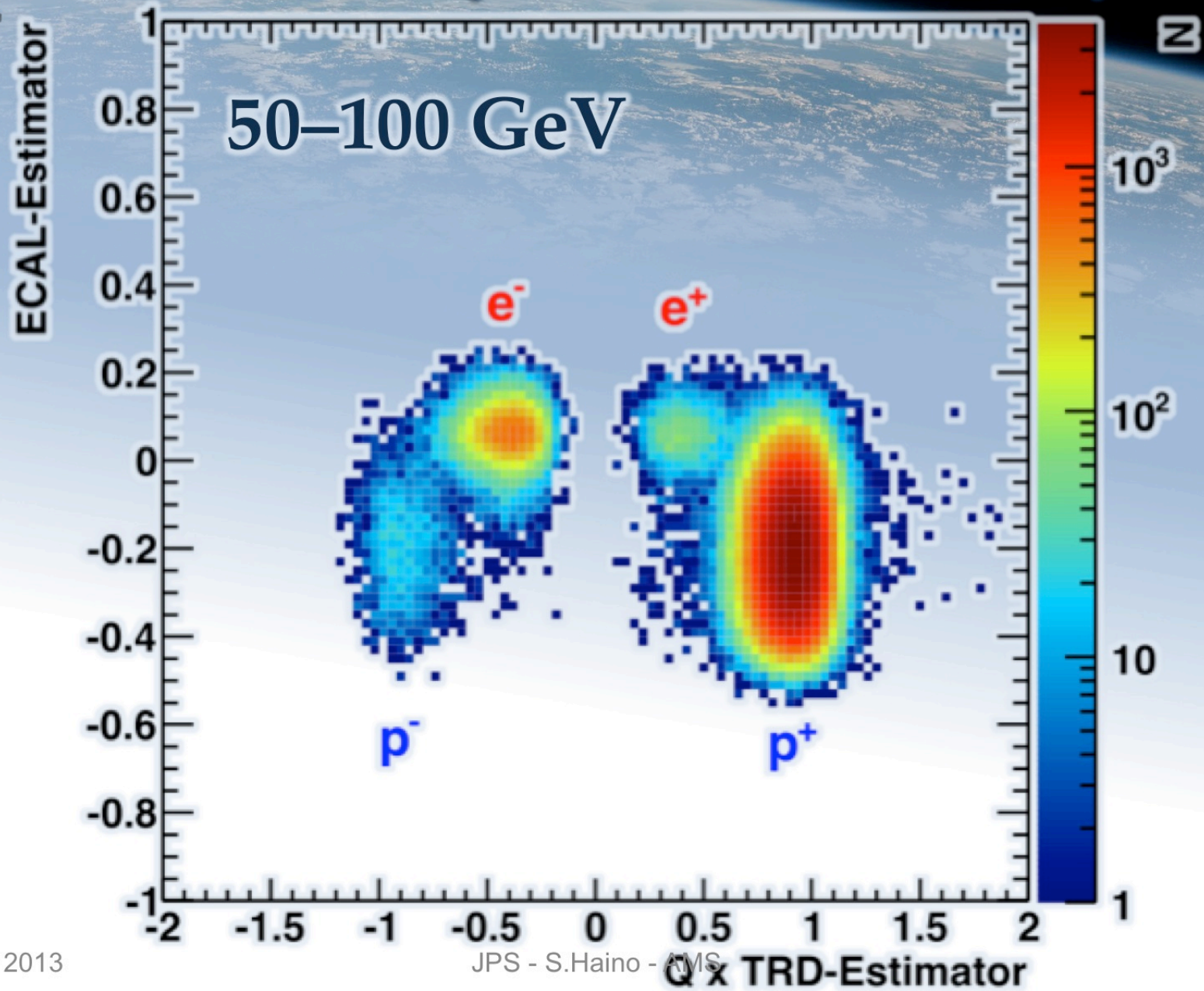


反陽子を用いた 暗黒物質 間接探索

AMS は現在データ解析中...



粒子識別 (陽電子、反陽子)





To be continued ...

今後もご期待下さい



國立中央大學

National Central University

22 September 2019

JPS - S.Haino - AMS

