

地上観測および気球観測による 銀河宇宙線研究

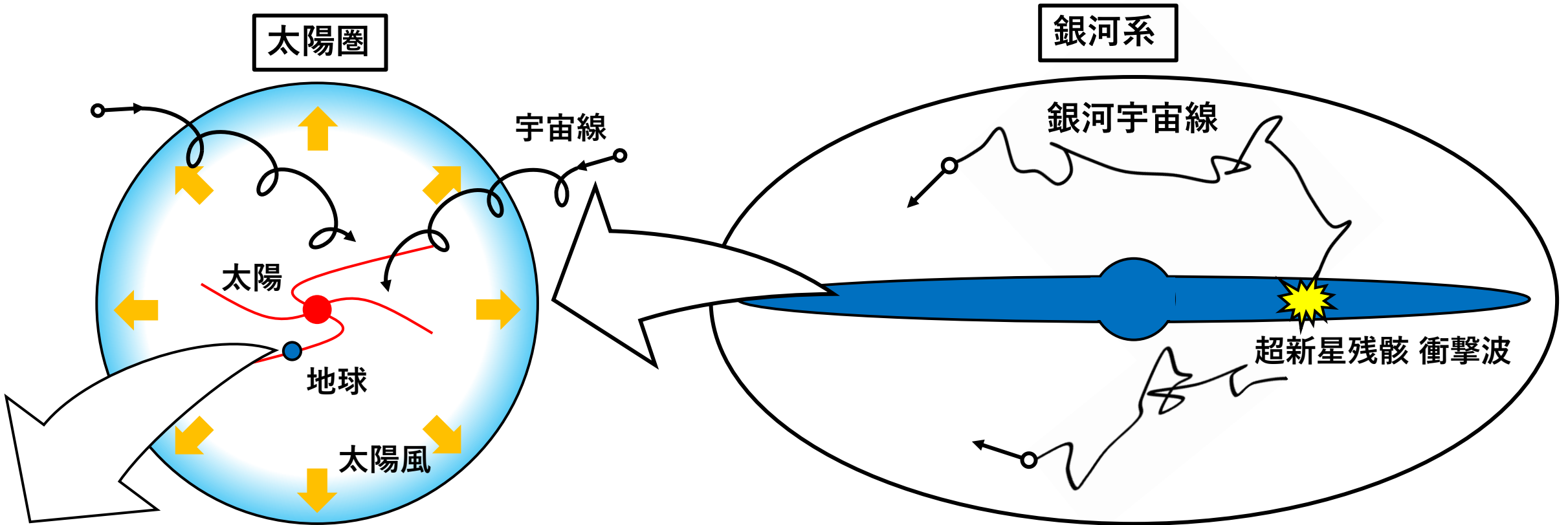
PEDSC 特任研究員
小財正義

自己紹介

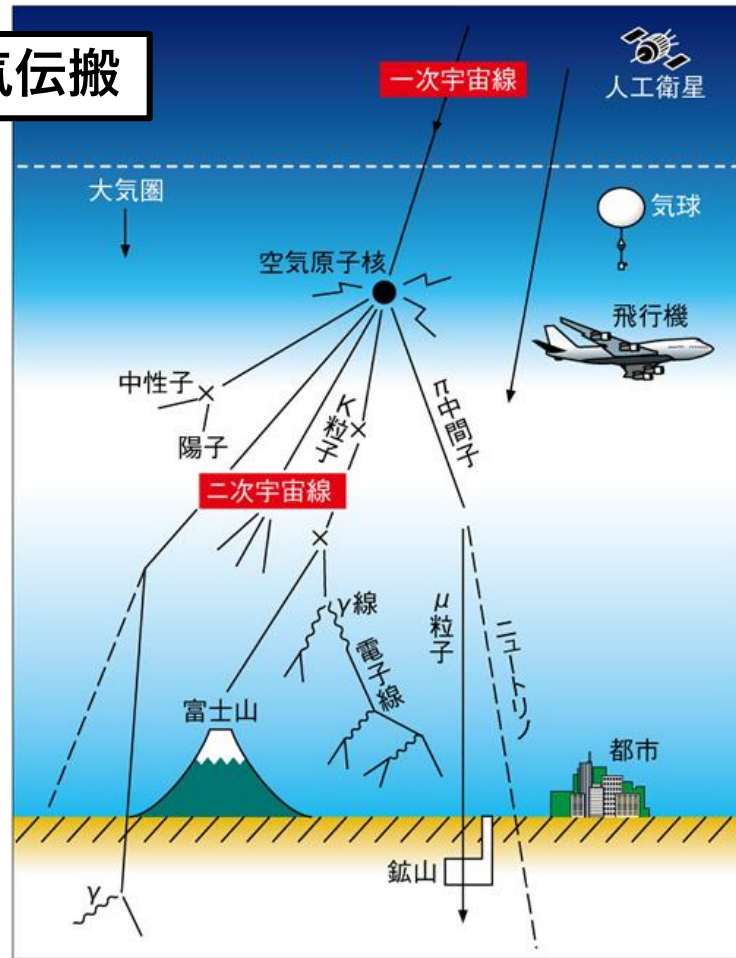
- ～2016年3月 信州大学（学生）
 - ✓ 地上宇宙線観測による宇宙天気研究
- 2016年4月～2019年3月 JAXA宇宙科学研究所 研究開発員
 - ✓ JAXA大気球実験の開発・運用
 - ✓ 気球による宇宙線観測計画GAPSの装置開発
- 2019年4月～2021年3月 JAXA宇宙科学研究所 プロジェクト研究員
 - ✓ GAPSの装置開発
- 2021年7月～ PEDSC 特任研究員
 - ✓ 統合データベースの開発
 - ✓ 地上宇宙線観測や気球実験GAPSの研究も継続
 - ✓ 宇宙線観測と極域科学の相乗効果による科学成果創出を目指している

地上観測および気球観測による宇宙線研究と、極域科学や太陽－地球環境との関連について紹介します。

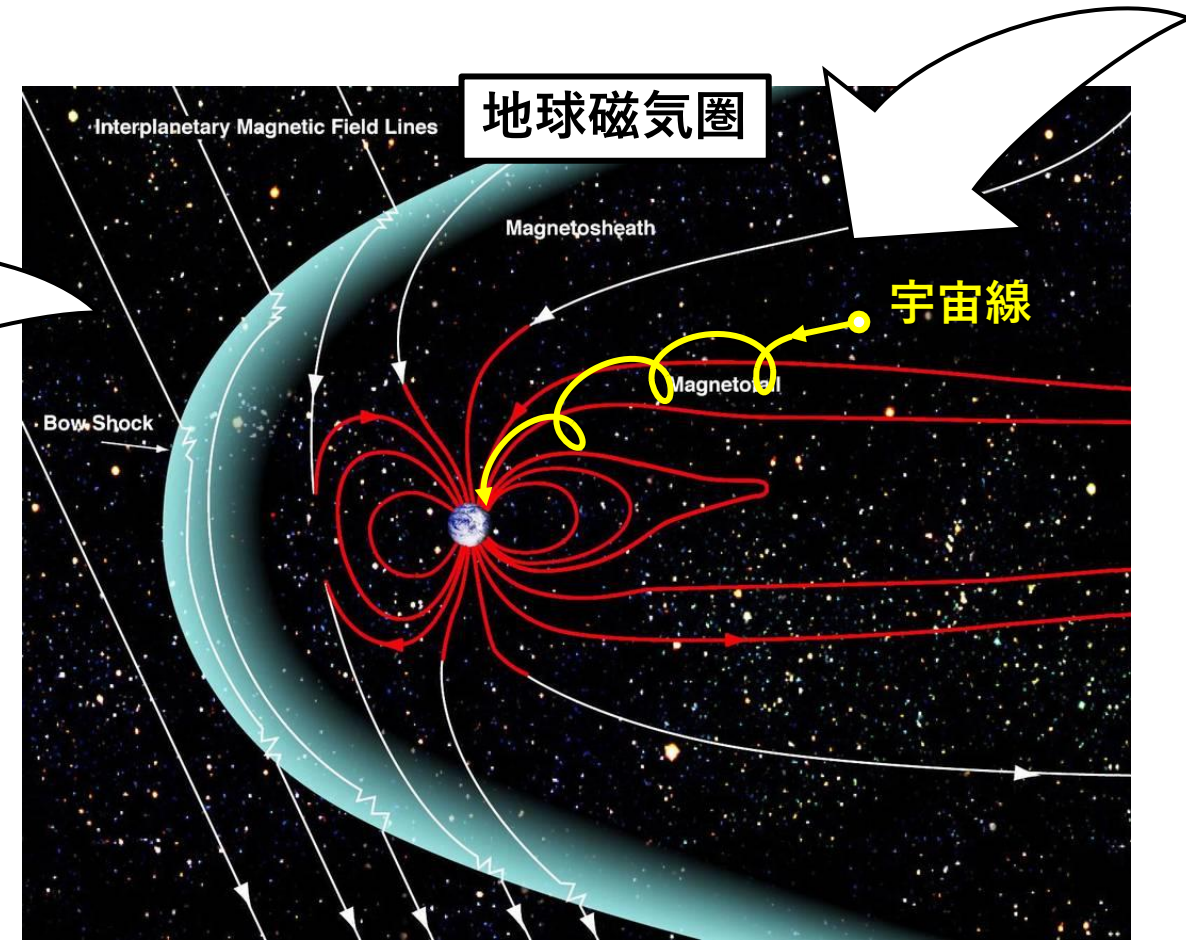
- 宇宙線 = 宇宙から飛来する高速の素粒子
 - ✓ 粒子種：陽子、ヘリウム原子核、電子、反陽子などなど
 - ✓ 生成場所 or 生成過程による分類：太陽宇宙線、銀河宇宙線、系外宇宙線など
- 銀河宇宙線
 - ✓ 銀河系内で生成された宇宙線
 - ✓ 観測手段の多様さ・統計量的に最も代表的な宇宙線



大気伝搬



文科省



NASA

- 銀河宇宙線 = 太陽 - 地球環境のメッセンジャー
 - ✓ 宇宙線のユニークな点：磁場の大規模構造に感度がある
- 宇宙天気・地磁気・大気の観測データが集まる極域科学分野（及びそのデータベース）
 - ✓ 宇宙線観測との相乗効果による成果創出を目指したい

極域科学に関連しそうなトピック

➤ 太陽風プラズマでの宇宙線伝搬

- ✓ R. Mewaldt et al. “Galactic Cosmic-Ray Intensities During three Solar Minima”
- ✓ X. Song et al. “Study Galactic Cosmic Ray Modulation with AMS-02 Observation”
- ✓ M. Martucci et al. “Galactic cosmic-ray hydrogen spectra in the 40-300 MeV range measured by HEPD on board CSES-01 satellite in this solar minimum”
- ✓ A.L. Comazzi “Periodicities Observed in Neutron Monitor Counting Rates Throughout Solar Cycles 20-24”
- ✓ X. Luo et al. “Numerical Study the Corotating Interaction Region’s effect on cosmic proton and helium”
- ✓ P. Muangha et al. “Time-Delay Measurements from Antarctic Neutron Monitor Stations Indicate Weak Spectral Changes during 27-day Variations” ほか多数

➤ 宇宙嵐による宇宙線変動

- ✓ T. Laitinen & S. Dalla “Access of cosmic rays to and ICME from external field lines”
- ✓ Lara et al. “Galactic Cosmic Ray increase associated to an interplanetary magnetic cloud observed by HAWC”

➤ 太陽フレア起源粒子

- ✓ E.R. Christian et al. “Parker Solar Probe’s Measurements of the 29 November 2020 SEP Event”
- ✓ J. Berg et al. “Turbulent Reduction of Drifts for Solar Energetic Particles” ほか多数

➤ 宇宙線の地磁気効果

- ✓ S. Poluianov & A. Mishev “The altitude profile of the cosmic ray atmospheric cutoff”

➤ 宇宙線の大気効果

- ✓ C. Kato et al. “Simultaneous observation of cosmic rays with muon detector and neutron monitor at the Syowa station in the Antarctic”

➤ 宇宙嵐での粒子加速

- ✓ L. David et al. “Energy Balance at Interplanetary Shocks”
- ✓ F. Fraschetti & A. Balkanski “Imbalance acceleration/escape of energetic particles at interplanetary shocks”

➤ 地球磁気圏境界での粒子加速

- ✓ F. Otsuka et al. “Electron acceleration parallel and perpendicular to overshoot magnetic field in quasi-perpendicular collisionless shock”

➤ 宇宙プラズマでの宇宙線伝搬

- ✓ F. Effenberger et al. “Anomalous Transport and Acceleration of Energetic Particles”

➤ 地質年代の宇宙線環境

- ✓ D. Rodgers-Lee et al. “Stellar versus Galactic: The intensity of energetic particles at the evolving Earth and young exoplanets”

➤ 観測技術開発

- ✓ G. Hubert “Analyses of the Secondary Cosmic Ray using CCD camera in high-altitude observatories and Antarctica stations”
- ✓ A. Jain et al. “An Advanced Triggerless Data Acquisition System for GRAPES-3 Muon Detector”
- ✓ P. Evenson et al. “Multiple Particle Detection in a Neutron Monitor”
- ✓ D.T. Strauss et al. “First results of the SA Agulhas II mobile mini-neutron monitor” ほか多数

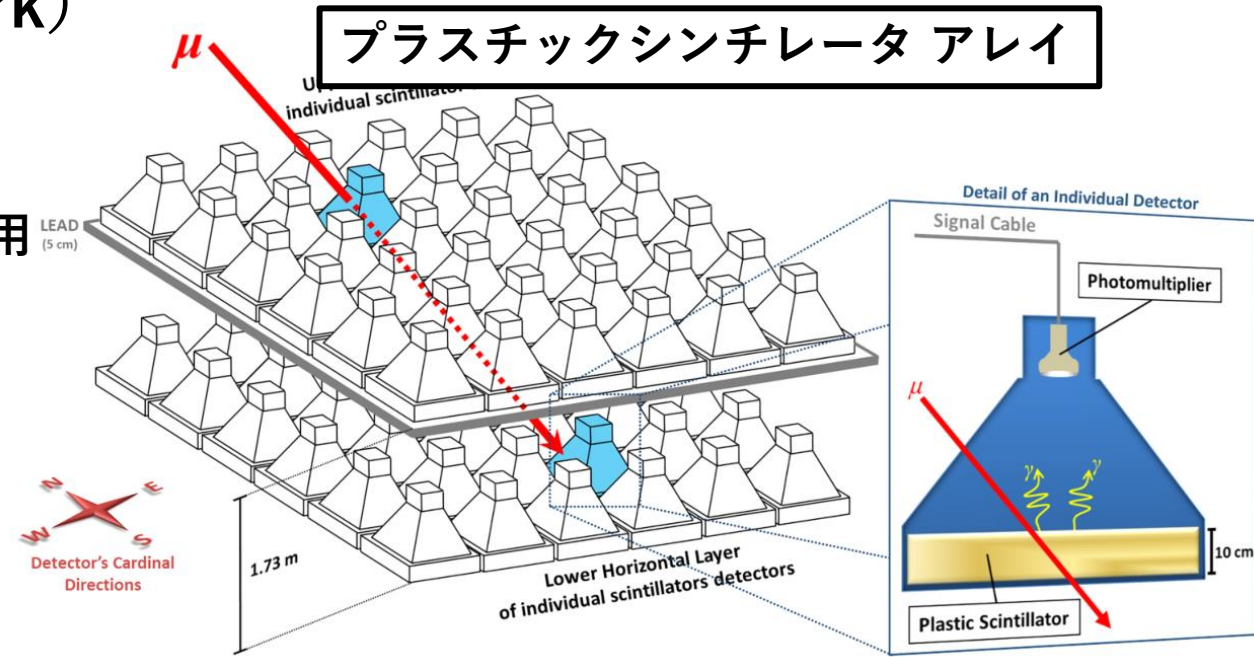
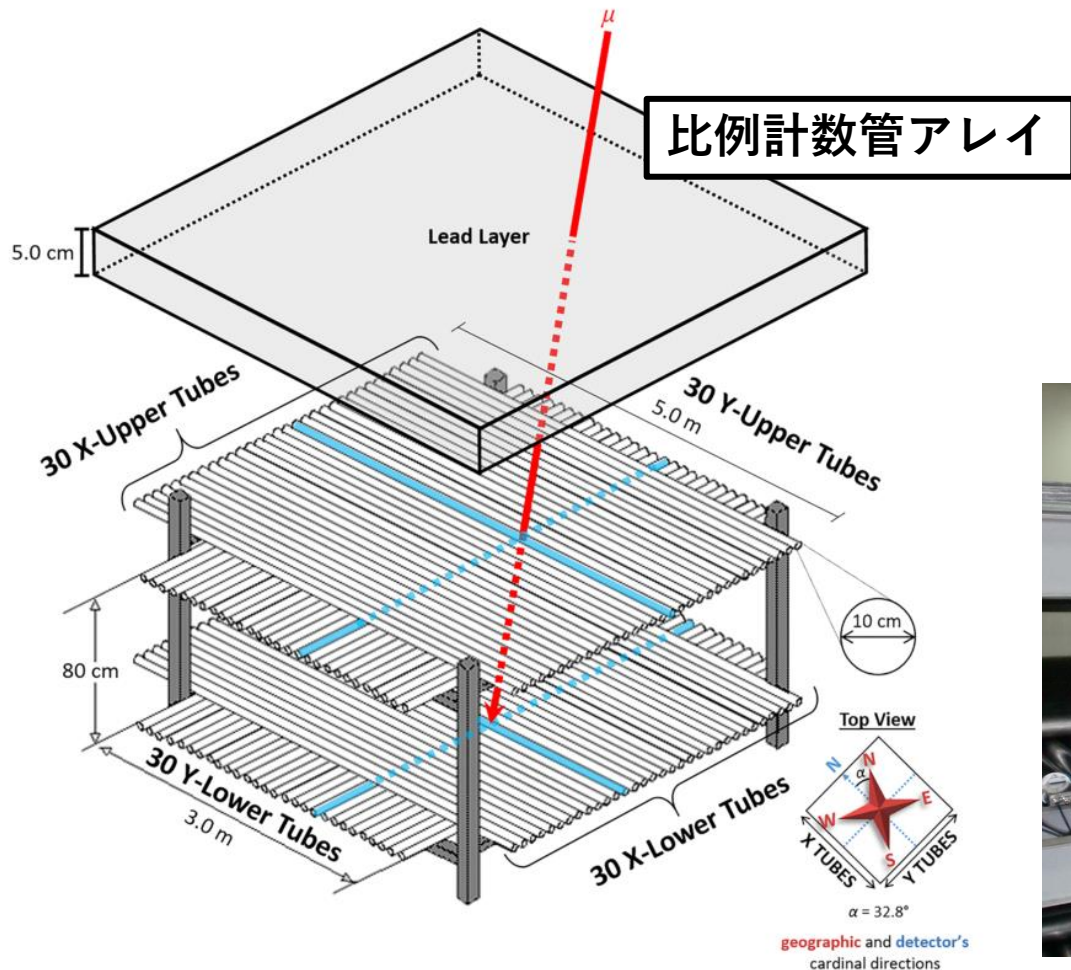
- **宇宙線物理分野では素粒子物理や宇宙論、天文学の研究が比較的メジャー**
- **太陽－地球環境分野での伸びしろは大きい**

地上での宇宙線観測

汎世界的観測ネットワークGMDN

GMDN (Global Muon Detector Network)

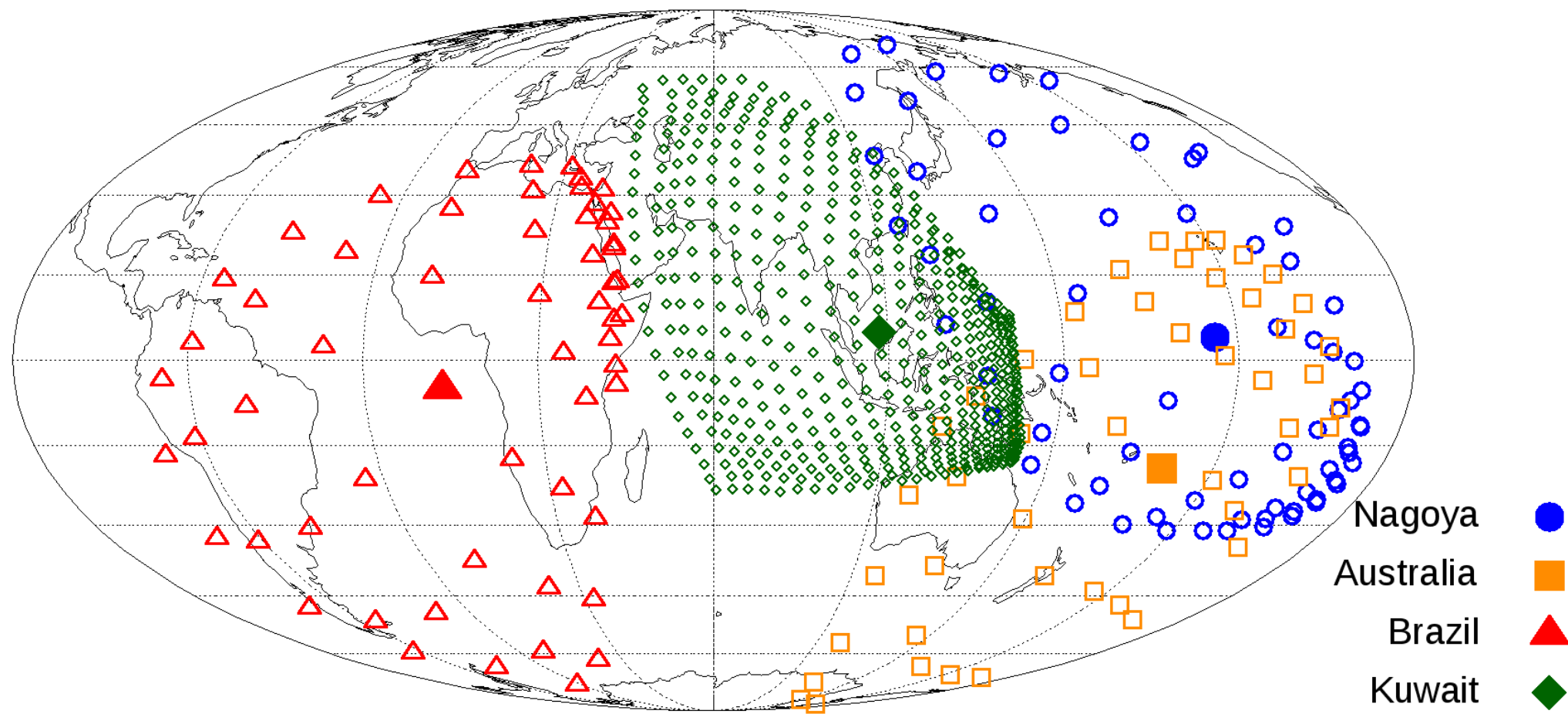
- 地上宇宙線の主成分であるミュオンを観測
- ミュオン検出器では世界最大級の観測網
- ~5 m四方の宇宙線観測装置を世界4カ国に設置・運用
- メインターゲット：宇宙天気研究・宇宙天気予報



クウェート観測所完成 in 2016



- GMDN 4観測所の観測方向マップ（大気・地磁気効果補正済み）
✓ 汎世界的な視野を実現



➤ これまでの成果

✓ 宇宙嵐の大規模構造の推定

(M. Kozai+ 2016 ApJなど)

✓ 宇宙天気予報の実証研究

(M. Rockenbach+ 2014 SSRなど)

✓ 大気効果研究

(R.R.S. Mendonca+ 2019 JGRなど)

➤ 2016年 Kuwait観測所完成により
フルシステム化・高精度化

✓ 蓄積データは宝の山

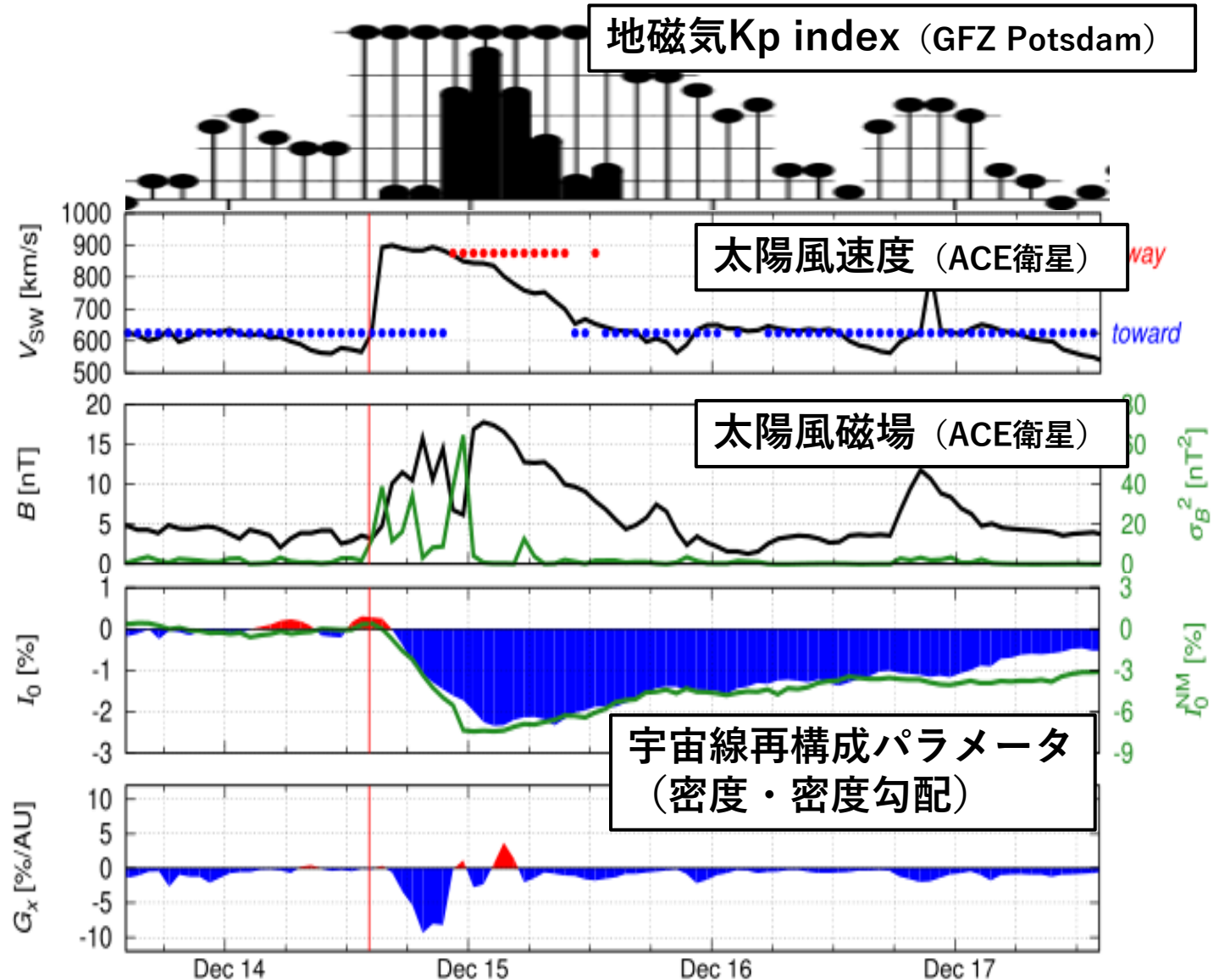
✓ 近年の記録的な太陽活動極小期

✓ これからの太陽活動極大期

➤ 南極・メキシコなど新たな拠点も

2006年12月 宇宙嵐イベント

(A. Fushishita+ 2010 ApJ, M. Kozai+ 2016 ApJなど)

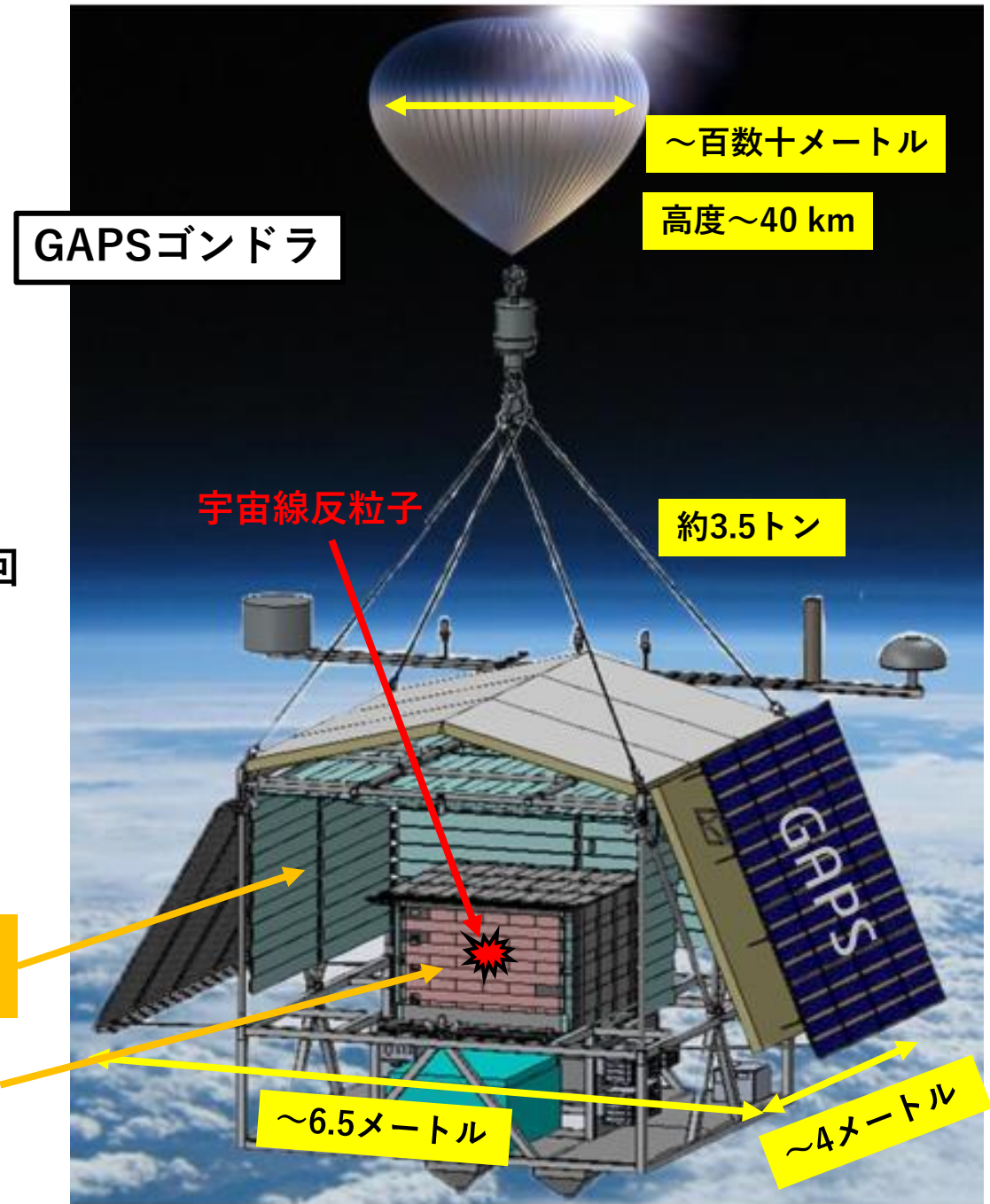


気球による宇宙線観測

南極周回気球による反粒子観測実験GAPS

GAPS実験 (General Antiparticle Spectrometer)

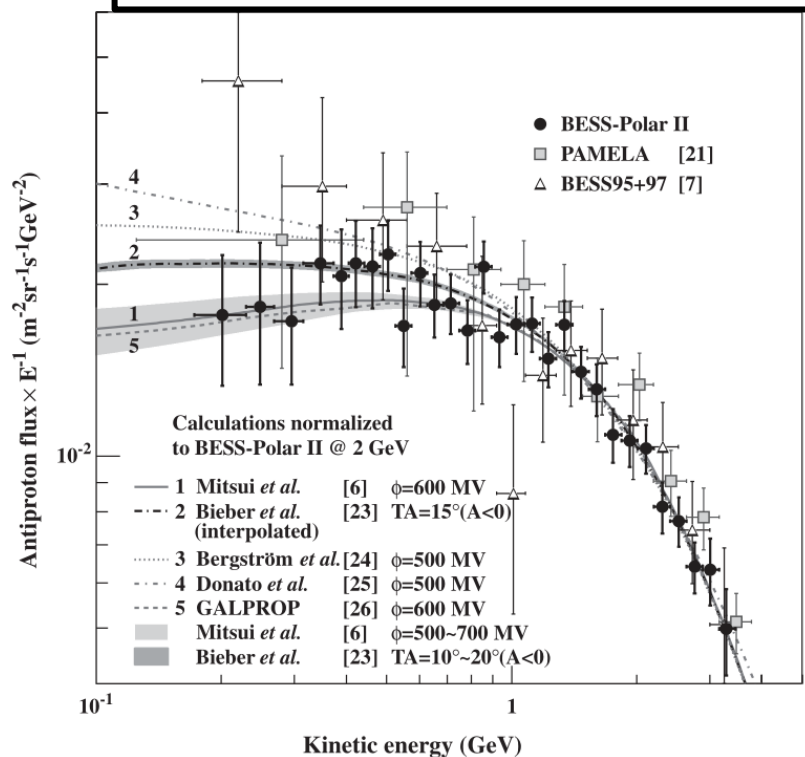
- 宇宙線の希少成分 反物質粒子 (反陽子など) の観測・探索
 - ✓ 地上観測では困難なターゲット
- サイエンスのターゲット
 - ✓ 第一目標は暗黒物質探索 (宇宙論・素粒子論)
 - ✓ サブテーマとして太陽-地球環境研究なども狙う
- NASA南極周回気球を用いて観測
 - ✓ 2022年末第一回フライト、その後2~3年おきに複数回フライト予定
- 現在、観測装置の開発・構築を進めている
(M. Kozai+ 2019 NIM A, F. Rogers+ 2019 JINSTなど)



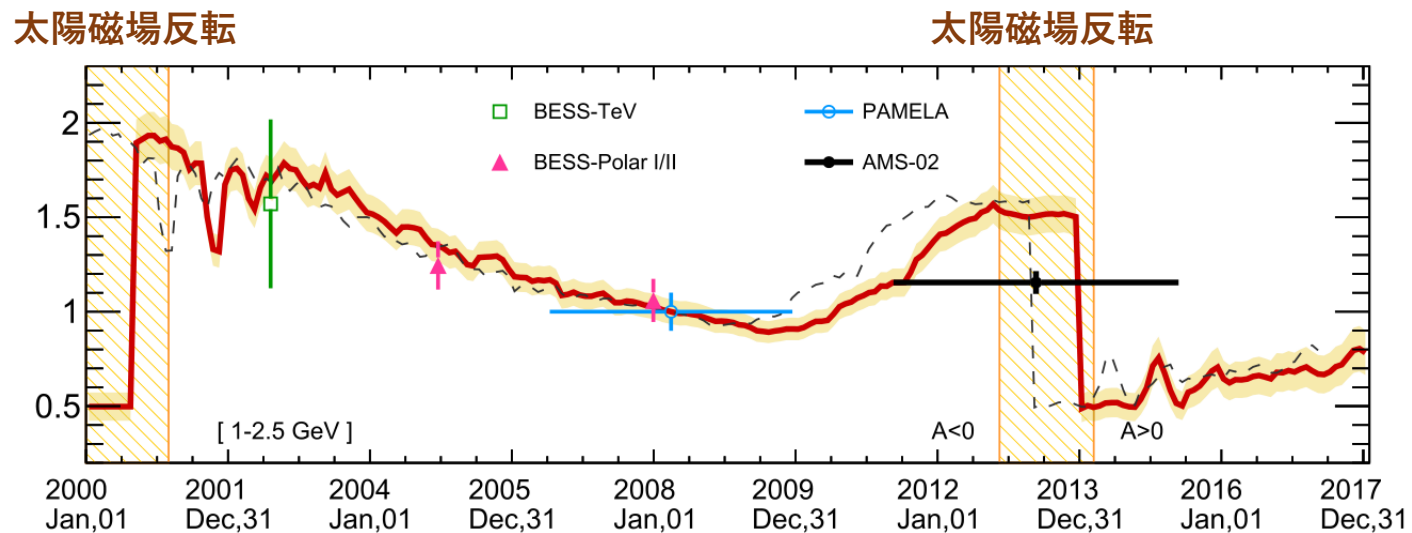
GAPSによる太陽－地球環境研究

- 反物質粒子は通常の宇宙線（陽子など）に対して様々な点でユニークな存在
 - ✓ 宇宙空間での生成過程が限られる（系統誤差が小さい）
 - ✓ 負の電荷符号
 - ✓ ハードなエネルギースペクトル
- 反粒子による太陽－地球環境の研究は他実験でも近年盛んなテーマ

**BESS-Polar実験
反陽子スペクトル (Abe+, 2012)**



**AMS-02, PAMELA, BESS-Polar実験
反陽子/陽子比の長期変動 (Tomassetti, 2017)**



まとめ・今後の展開

