



南極周回気球による宇宙線反粒子探索計画 GAPS

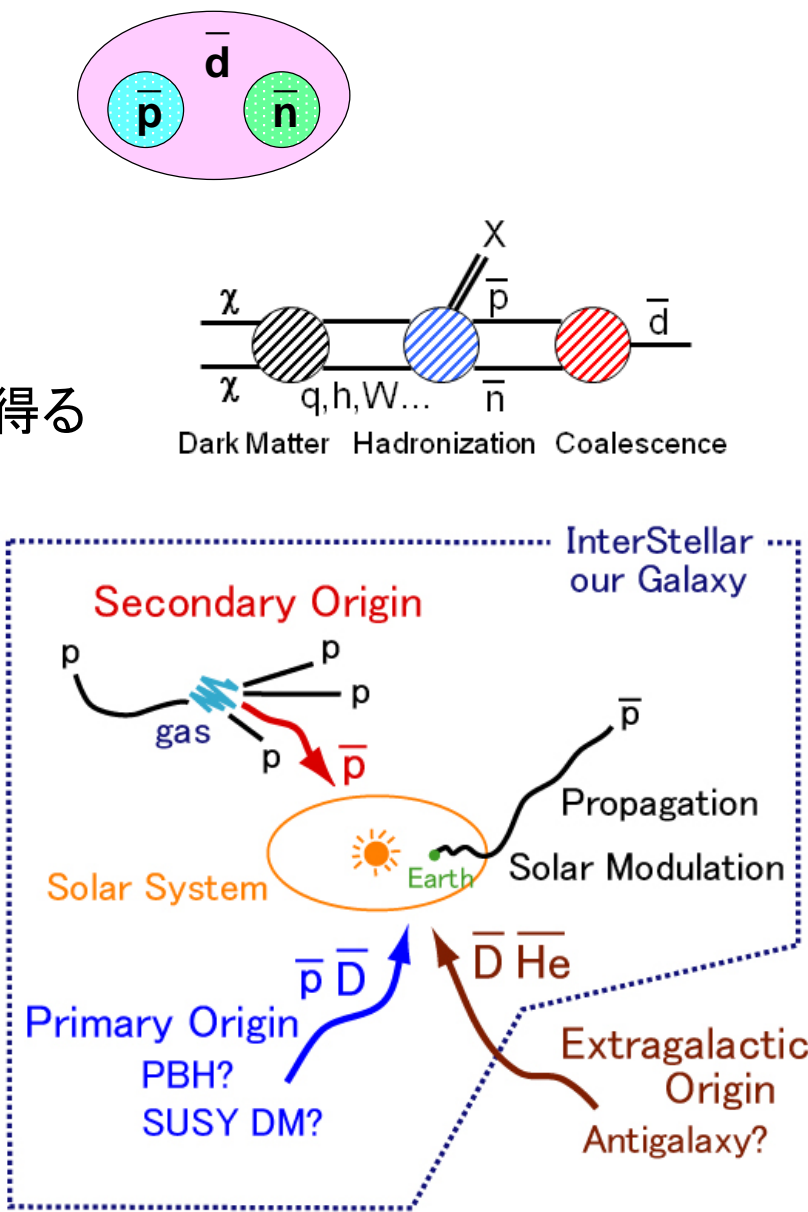
福家英之(JAXA/ISAS), 井上剛良(東工大), 加藤千尋(信州大), 河内明子(東海大), 小池貴久(大阪電通大), 宗像一起(信州大), 永井大樹(東北大), 野々村拓, 小川博之, 岡崎峻, 崎本一博(JAXA/ISAS), 清水雄輝(神奈川大), 高橋俊(東海大), 山田昇(長岡技科大), 吉田篤正(青山学院大), 吉田哲也(JAXA/ISAS), S.Boggs(UC Berkeley), W.W.Craig(LLNL), P.v.Doetinchem(Univ. Hawaii), R.Fabris(Oak Ridge NL), C.J.Hailey(Columbia Univ.), R.Ong(UCLA), K.Perez(Haverford)

【概要】

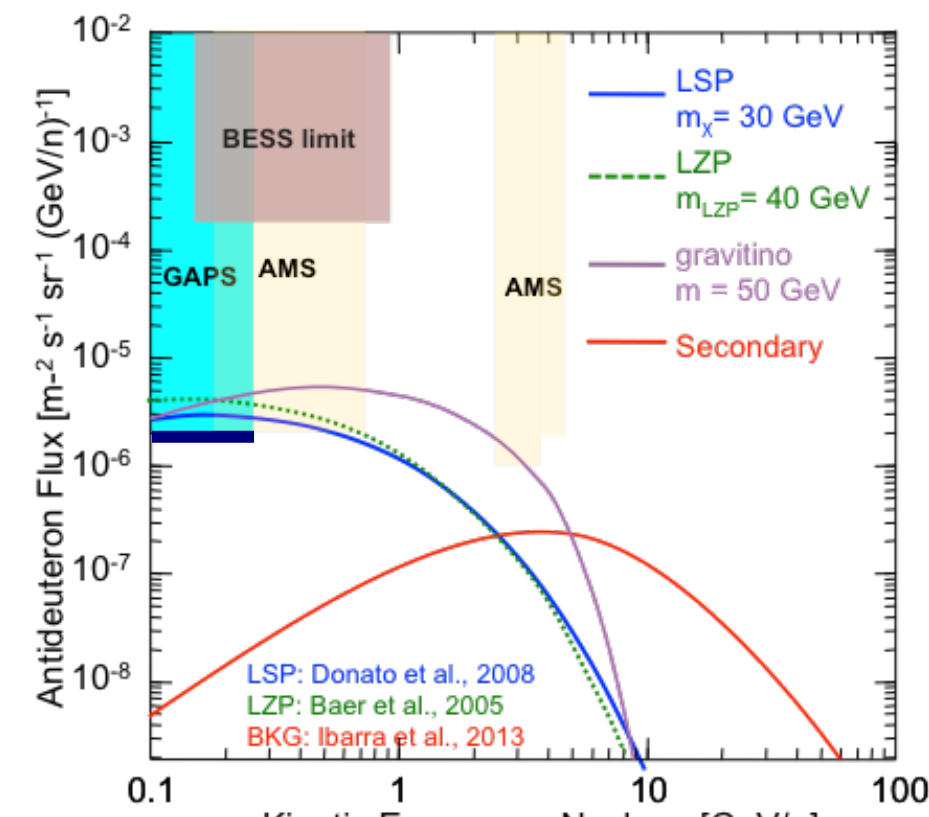
- 計画名: GAPS (General Anti-Particle Spectrometer) <http://gaps.isas.jaxa.jp/>
- 目的: 宇宙線中の反粒子の観測による「初期宇宙に関する未知の現象の探査」を主目的とする。
特に、未発見の反重陽子(antideuteron)をsub-GeVエネルギー領域に探索することで、ダークマター等の反粒子起源を探索する。
併せて反陽子なども超高感度で観測し、原始ブラックホール等の反粒子起源も探る。
- 特色: エキゾチック原子核の崩壊過程を利用した新しい反粒子検出方法を導入している。
- 体制: 日米を中心とする国際共同計画。コロンビア大学のC.J.Hailey教授が全体のPIを務める。
宇宙理学委員会 小規模プロジェクトワーキンググループ。
- NASASの南極周回気球による長時間観測を2020年以降に複数回実施する計画。
技術実証を目的とする気球実験を2012年6月に北海道大樹町にて実施し、事前に掲げた3つのサクセスクライテリアを全て達成した。

1. 反重陽子探索の意義

- ◆ 反重陽子 \bar{d} は \bar{p} と \bar{n} から成る (anti-deuteron, 電荷-1)
- ◆ 暗黒物質の有力候補WIMP
 - ✓ 対消滅や崩壊によって様々な二次粒子が生成され得る
 - ✓ 反重陽子もそのうちの1つ
- ◆ 銀河系ハロー-WIMP起源の反重陽子
 - ⇒ 地球に到達し得る
 - ✓ 質量凝縮箇所(銀河中心)のみならずハロー全体
- ◆ 宇宙線 \bar{d} は未発見(未開拓)

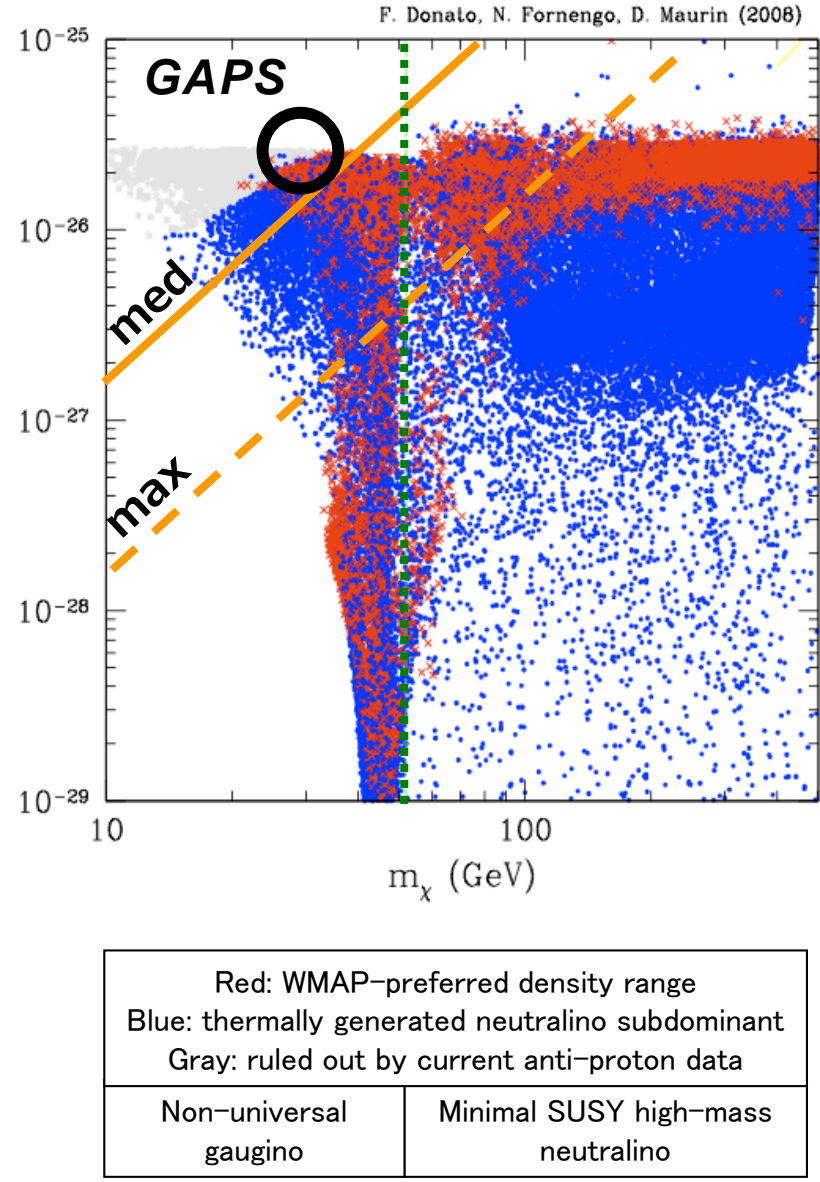


- ◆ 様々な暗黒物質モデル起源の反重陽子が理論予測されている。
⇒ 低エネルギー(sub-GeV)にピークを持つソフトなスペクトル。
- ◆ 一方、バックグラウンドとなりえる二次起源(宇宙線と星間物質の衝突起源)
⇒ 低エネルギーで運動学的に抑制。
 $p + H \rightarrow p + H + p + \bar{n} + \bar{p}$
- ◆ Background Free
 - 他の間接探索宇宙線(γ , p , e^+ , ν など)には見られない有利な特徴。
 - 1イベント検出でも未知の起源を強く示唆。
 - ただし、予想存在量が極微。

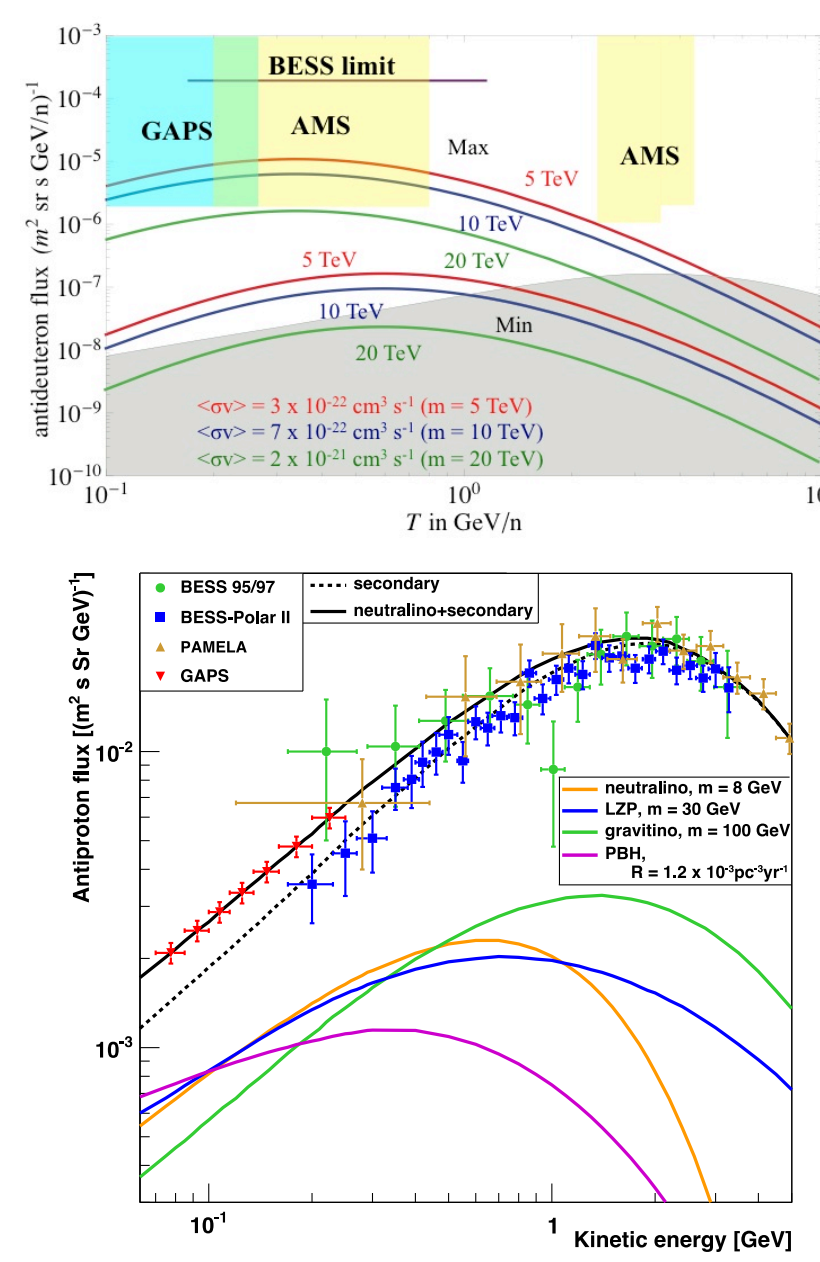


2. 探索できる暗黒物質モデルの例

- ◆ 最近話題の軽い暗黒物質モデル($m \sim 10 - 30$ GeV)
 - ◆ 直接探索実験の CDMS-II-Si, DAMA, CoGeNTが候補イベントを報告。
 - ◆ 一方で、直接探索実験の XENON100, LUX, SuperCDMSがこれを棄却。
 - ✓ 直接探索実験の低エネルギー閾値付近での論争。
- ◆ Fermi衛星LATの銀河ハローガンマ線過剰 → 30 GeV起源説。
- ◆ GAPSは上記の候補モデルを探索範囲に包含。

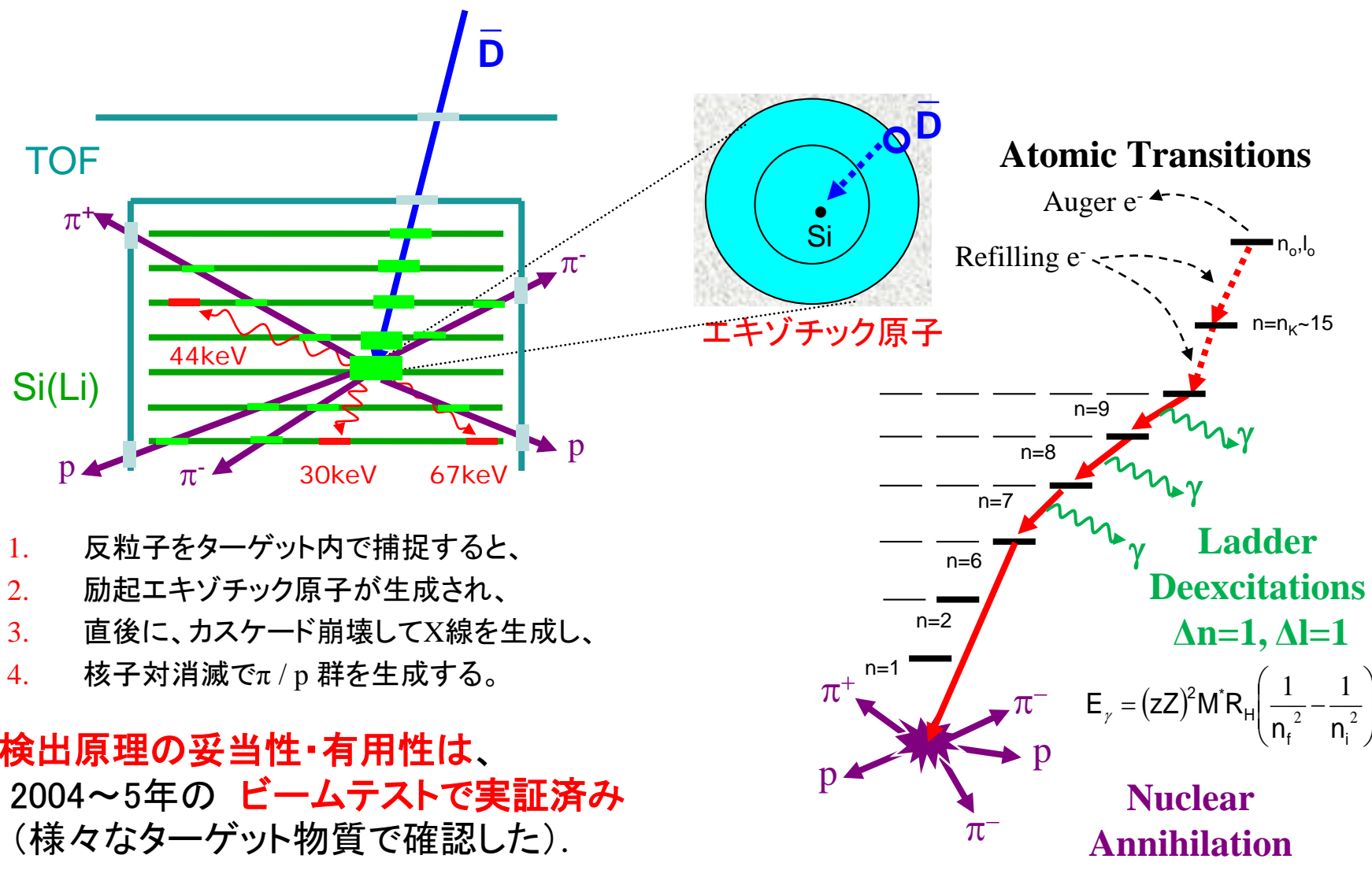


- ◆ C. Brauner et al., Phys. Lett. B 678, 20 (2009).
1 - 20 TeV mass Heavy DM in the b-bbar channel.
- ◆ Y. Cui et al., J. High Energy Phys. 1011, 017 (2010).
Less than **a few hundred GeV mass neutralino** annihilation in the gluon-gluon channel.
- ◆ M. Grefe, J. Phys. Conf. Ser. 375 012035 (2012).
L. Dal et al., arXiv:1402.6259 (2014).
Less than **300 GeV mass gravitino** produced in R-parity violating decays.
(not excluded by any other experiments).
- ◆ Antiproton (\bar{p}) measurement w/ high statistics in ultra low energy is sensitive to **light neutralino, gravitino, LSP**, etc.



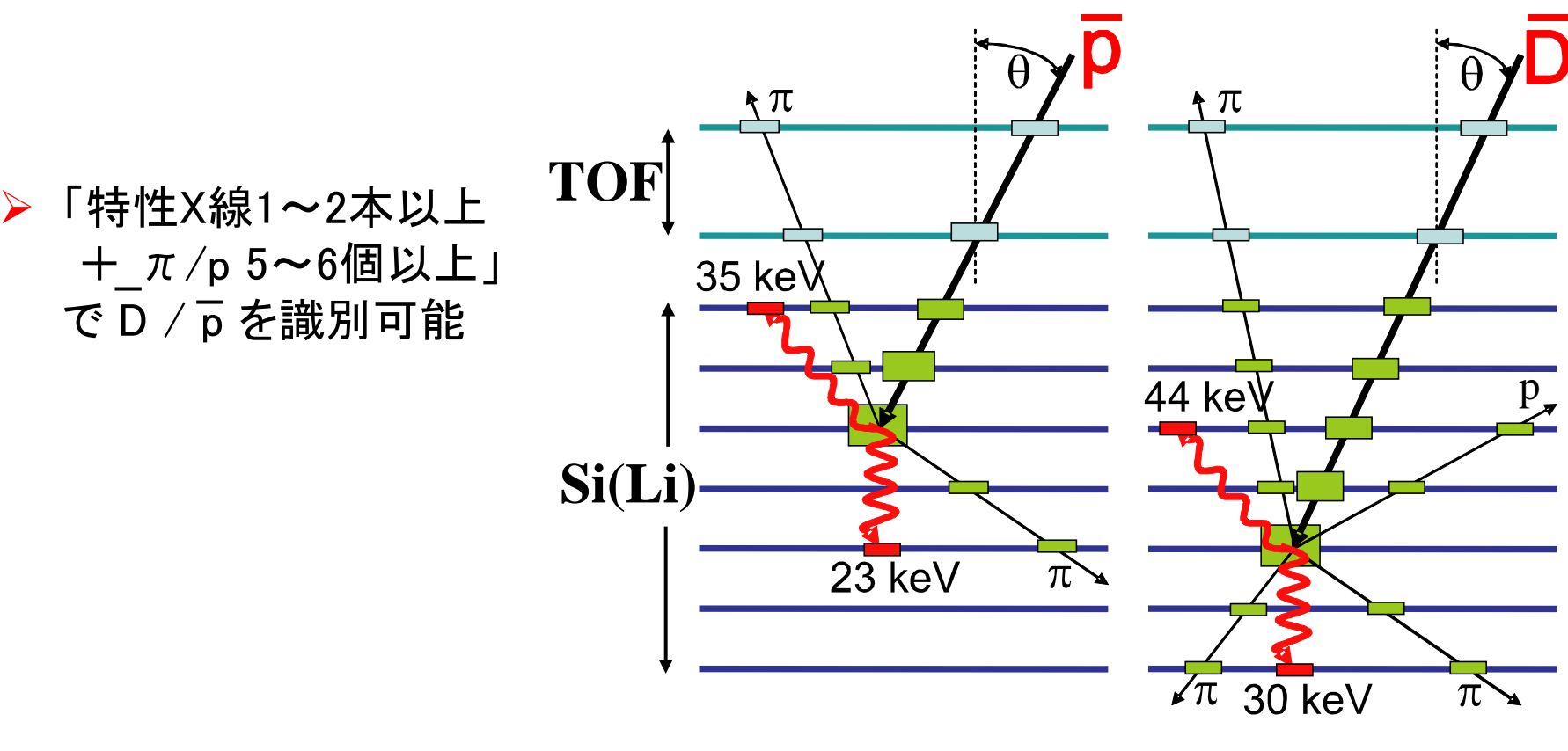
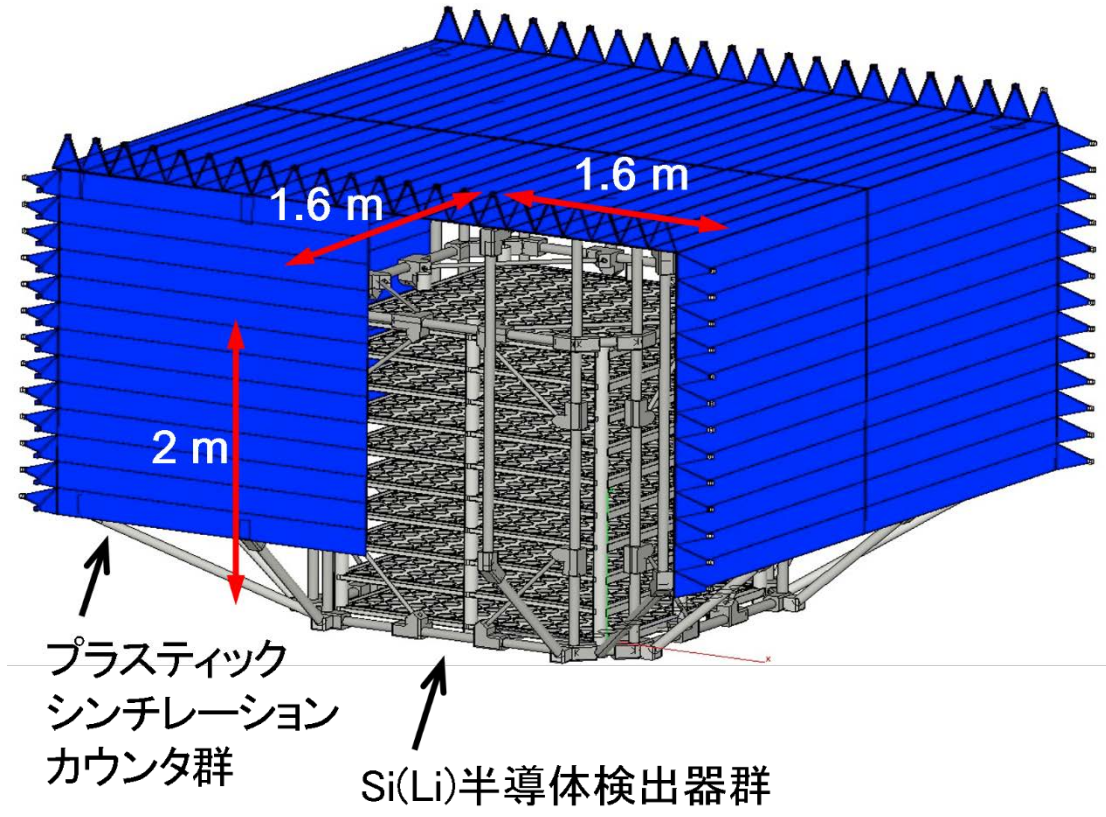
3. 反粒子検出原理、測定器設計

- カロリメータ(飛跡検出型 兼 全吸収型)により 低エネルギー反粒子を捕獲し、二次生成される**励起エキゾチック原子の崩壊過程**を利用した新しい検出手法を導入。



- 検出原理の妥当性・有用性は、2004〜5年の **ビームテストで実証済み** (様々なターゲット物質で確認した)。

- Si(Li)型半導体検出器
 - 手の平サイズのウエハ × 1350個, 1.6m × 1.6m × 2m/10層. $\Delta E \sim 3$ keV.
 - degrader, depth sensing, ターゲット, 特性X線(20〜70keV)測定, π/p 飛跡.
- プラスティックシンチレーションカウンタ
 - パドル状, XY両読み出し, $\Delta t \sim 0.5$ nsec.
 - トリガー, Time-of-flight, dE/dx測定, 入射方向, π/p 検知, Veto.



4. 南極周回気球

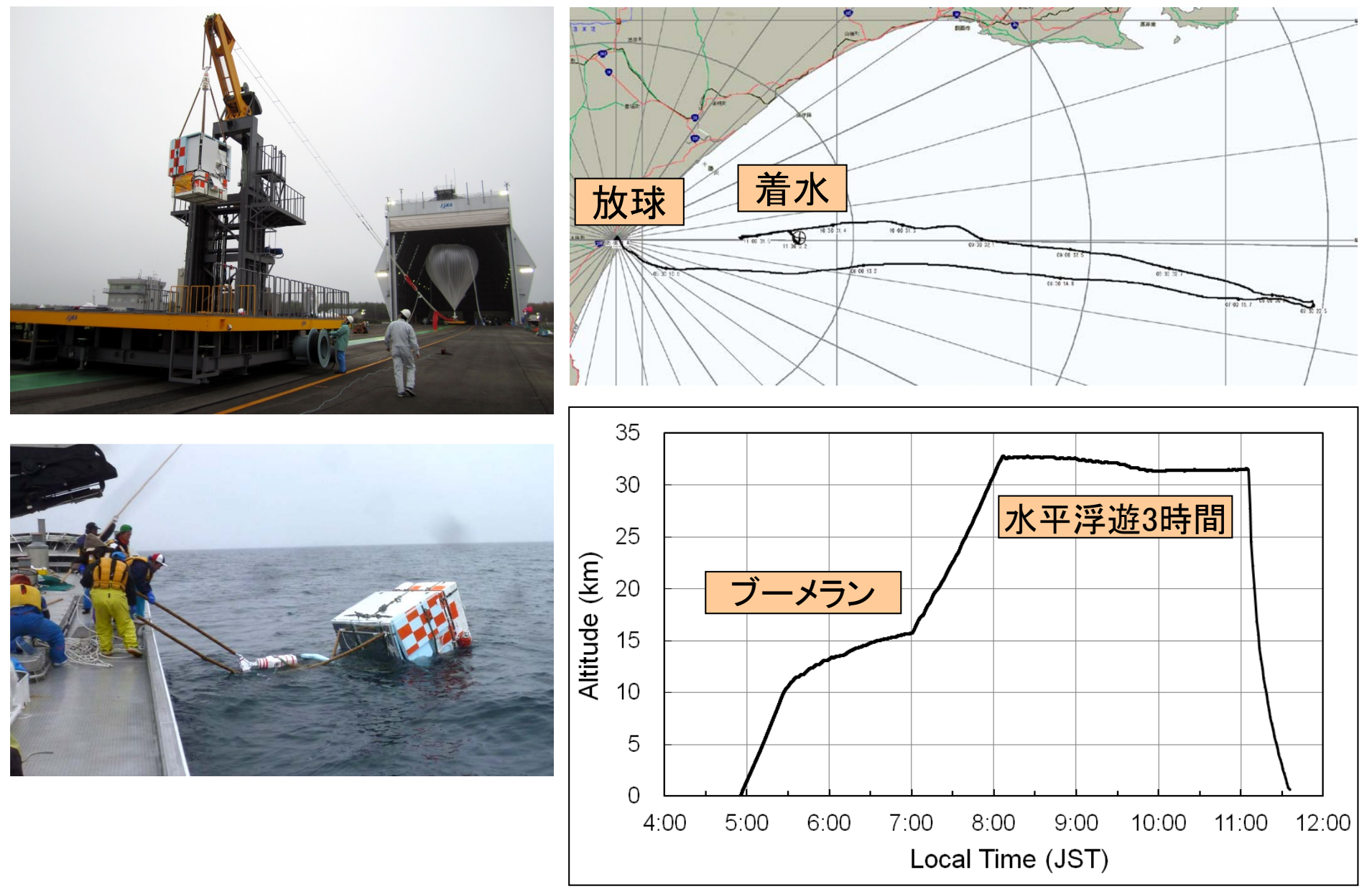
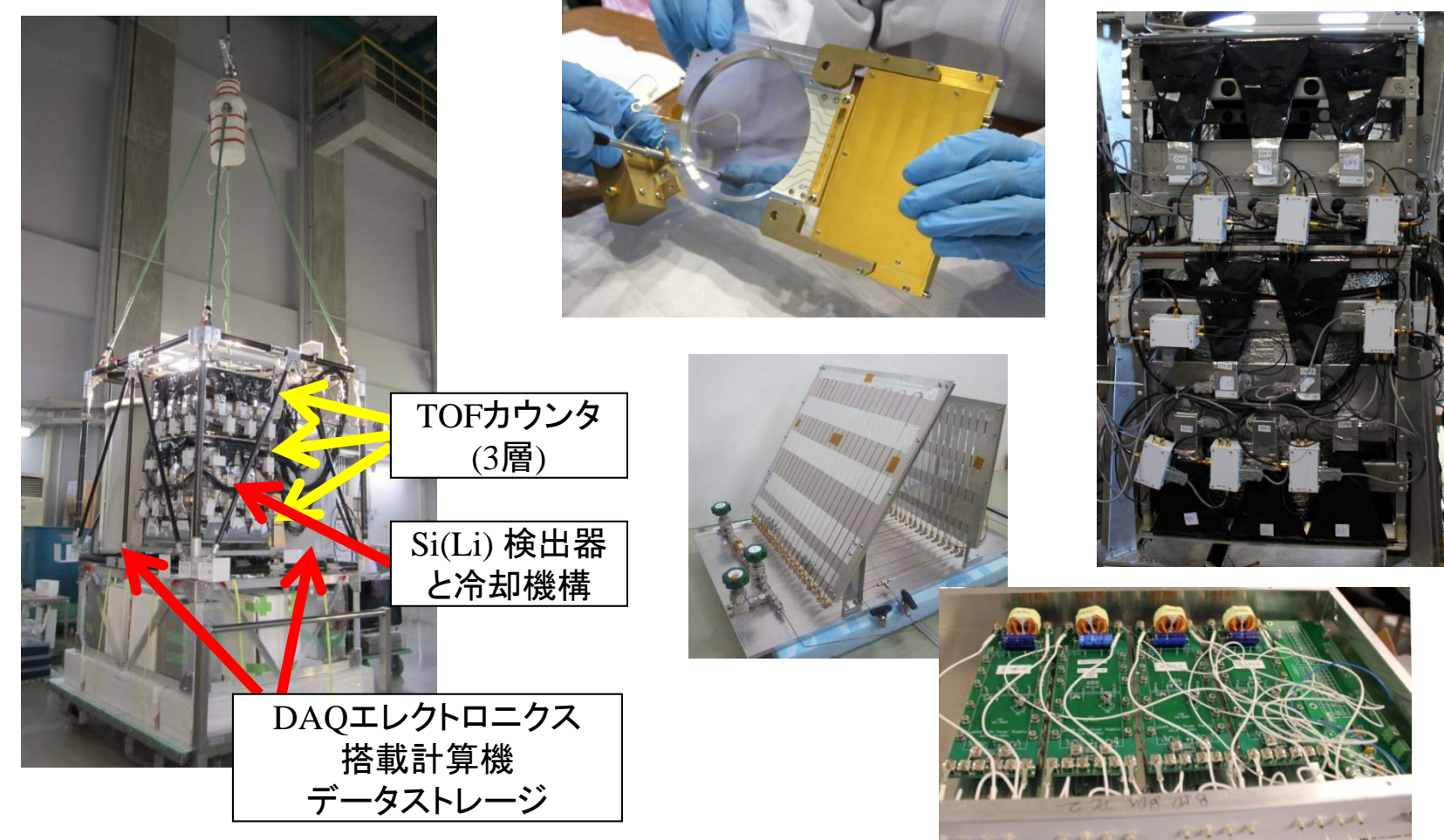
- ◆ 磁極域を長時間飛翔する NASAの南極周回気球を利用。(周回衛星やISSよりも低エネルギー荷電粒子の観測に適した飛翔体)
- ◆ 次期太陽活動極小期に複数回の飛翔観測。(2020年頃。太陽風の影響が弱く、低エネルギー観測に最適)

- ✓ 唯一の探索上限値(BESS)よりも2桁以上の高感度。
- ✓ AMS-02 (5年間 on ISS)に匹敵する高感度で、より低エネルギー反粒子に特化した測定器&観測手段。

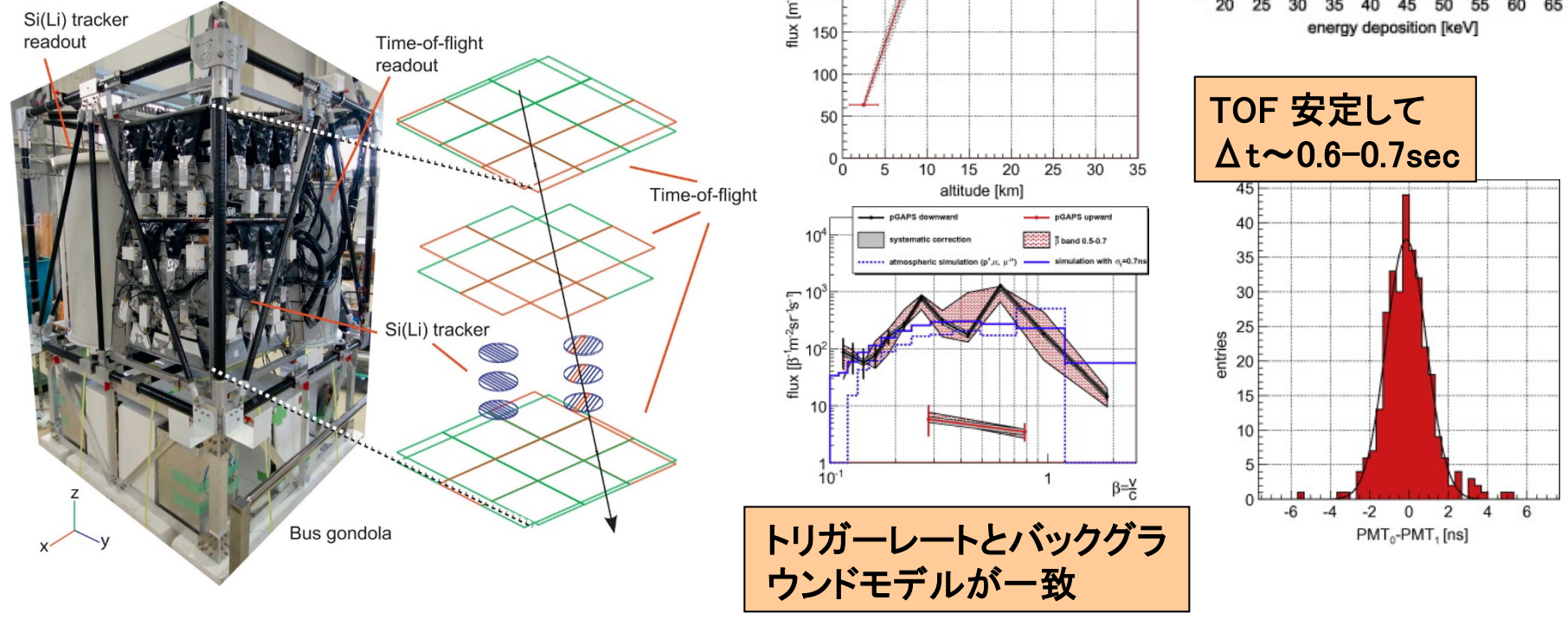
- 最近の論文発表の例
 - Dbar review paper: Aramaki et al., Phys. Rep. (submitted).
 - Dbar sensitivity update: Aramaki et al., Astropart. Phys. 74 (2016) 6.
 - Pbar observation potential: Aramaki et al., Astropart. Phys. 59 (2014) 12.
 - Prototype flight: Fuke et al., Adv. Space Res. 53 (2014) 1432; Doetinchem et al., AstroPart. Phys. 54 (2014) 93; Mognet et al., NIM A 735 (2014) 24.
 - Cooling technology: Okazaki et al., JAI 3(2) (2014) 1440004.
- GAPSは科研費(20740166, 22340073, 26707015), ISAS理学委員会経費, NASA APRA Flight Program(NNX09AC13G, NNX09AC16G), NSF Award(1202958)を頂いています。

5. 技術実証気球実験「pGAPS」

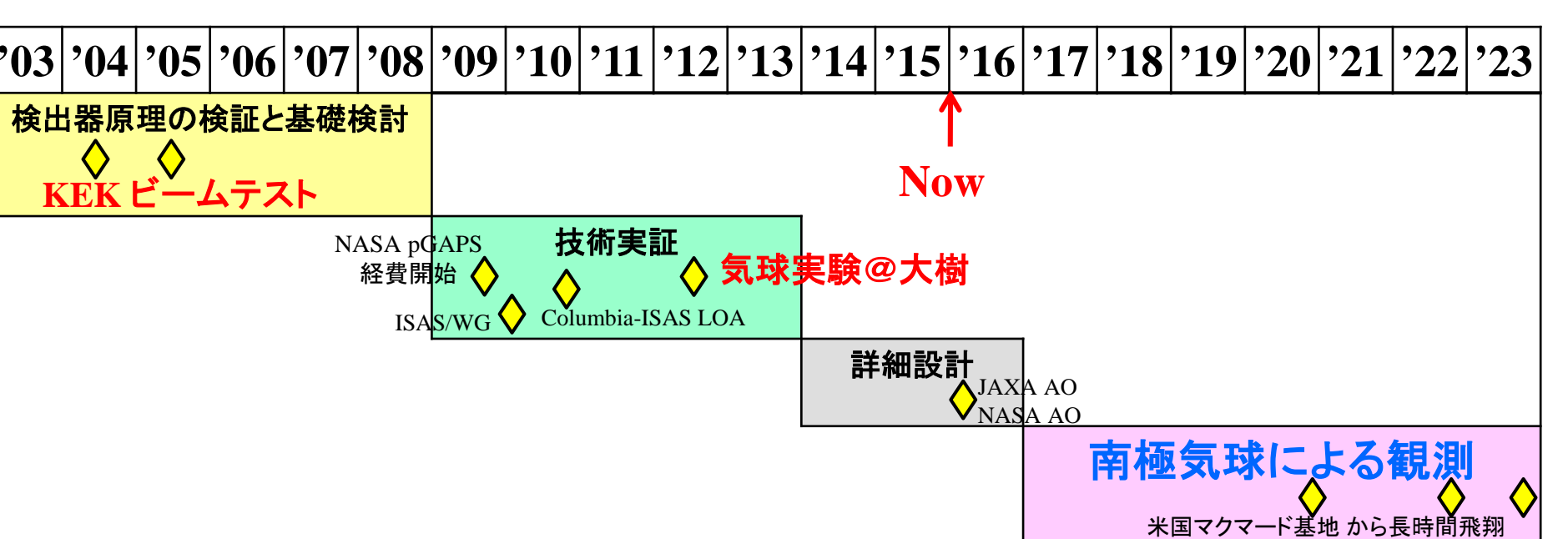
- pGAPSの目的: 南極用 GAPS測定器の各サブシステムの基本動作を気球環境下で実証すること。
- 2012年6月3日に JAXA大樹航空宇宙実験場にて実施し、フルサクセス達成。



- フライト全般に亘って測定器を動作させ、のべ100万事象を超えるデータを取得した。
- 掲げていた成功基準を全て達成した。
 - Si(Li)やTOFは低ノイズで安定的に動作した。
 - 冷却系の動作を確認し熱データも取得した。
 - 飛翔環境下でのインコヒーレントバックグラウンドデータを取得した。
- Fuke et al., Adv. Spa. Res. 53 (2014) 1432.
- Mognet et al., NIM A 735 (2014) 24.
- Doetinchem et al. Astropart. Phys. 54 (2014) 93.



6. スケジュール、研究体制



- 日米を中心とする国際共同。
- 約50名の科学者/技術者/学生で構成。研究体制を増強中。
- JAXA&NASA経費獲得を目指す

