

南極周回気球飛翔超伝導スペクトロメータによる太陽活動極小期の
宇宙起源反粒子探査

Search for cosmic-ray antiparticle of cosmic origin in solar minimum
period by using a superconducting magnetic spectrometer

山本 明 (Yamamoto Akira)

高エネルギー加速器研究機構・共通基盤研究施設・教授



研究の概要

宇宙線反陽子流束の精密観測および宇宙線反粒子・反物質の探索を通して、初期宇宙における素粒子像を探る。S.W. Hawking が提唱し、宇宙初期課程で発生したとされるミニ原始ブラックホール(PBH)、または宇宙暗黒物質(ダークマター)を起源とする反陽子(反粒子)の探査を推進する。超伝導磁石スペクトロメータにより、太陽活動極小期に、南極周回軌道において、かつてない観測感度を達成し、宇宙起源反粒子を精密探査する。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙起源、反粒子／反物質、超伝導、南極周回気球、太陽活動極小期

1. 研究開始当初の背景・動機

宇宙から飛来する宇宙線流束には、僅か陽子の反粒子である反陽子が観測されている(論文3参照)。その源を探ることを研究の動機とする。また物質／反物質の非対称性の検証を宇宙線としての直接探査を通して、加速器実験とは相補的に推進する。

2. 研究の目的

宇宙線反陽子流束の精密観測および宇宙線反粒子・反物質の探索を通して、初期宇宙における素粒子像を探ることを目的とする。S.W. Hawking が提唱し、宇宙初期課程で発生したとされるミニ原始ブラックホール(PBH)、または宇宙暗黒物質(ダークマター)を起源とする反陽子(反粒子)の探査を推進する。

3. 研究の方法

これまでに開発され、第一回南極周回観測(2004年)に用いられた『超伝導スペクトロメータ(宇宙線観測装置)』(科学研究費：特別推進研究：H13-17年の研究支援による)を、本研究(基盤研究S)によりアップグレードし、太陽活動極小期(2007年)に南極周回気球を用いた第二回の長時間観測を行う。

南極大陸2周回飛翔をめざし、20日間以上の観測を目指す。『太陽活動極小期、高緯度極地(南極)における長時間観測、大立体角観測』の3条件をあわせ、BESS実験によってのみ可能となる、究極的な高感度宇宙線観測を推進する。

4. これまでの成果

スペクトロメータ(観測器)性能向上

南極周回軌道において、20日間以上の観測を実現すべく、観測器(Fig. 1)の性能向上を計った(H18年度)。主な改良は、

- 1) 超伝導磁石冷媒の長寿命化
- 2) 低エネルギー反陽子トリガー性能向上
- 3) 飛行時間測定器光電子増倍管の安定化
- 4) 粒子識別用シリカエアロジェルチェレンコフカウンター粒子分離性能の向上
- 5) 太陽光発電システムの高機能化
- 6) オンボードデータ蓄積量の大幅増強

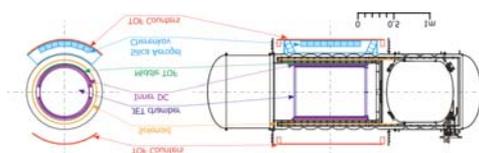


図1. BESS-Polar-II 観測器の構成

初年度(平成18年度)には、各要素開発、第2年度(19年度)には、観測器インテグレーション(@ NASA/GSFC、メリーランド)を完成させ、気球飛翔システムとの噛み合わせ試験(@ NASA/CSBF、テキサス)に合格し、準備を整えた。

南極周回飛翔長時間観測

南極での実験準備は、2007年10月末からの約1ヶ月間にわたり、マクマード基地近くのサイトで進められた。11月28日には、最終噛み合わせ試験(打ち上げリハーサル)に合格し、打ち上げ準備を整えた。

南極周回気球飛翔に適した気象条件が整う為には3週間におよぶ“天候待ち”を要した。12月22日、絶好の気象条件を得て、気球（観測器と合わせ打ち上げ総重量6トン）の打ち上げ(Fig. 2)に成功、5時間後には南極周回飛翔高度(35=37km)に達した。打ち上げ後直ちに、観測器のチューニングを開始、2日後には定常観測状態に入った。観測は、太陽活動極小期における地上中性子線観測のピークとなる時期を捉えつつ(Fig. 3)南極周回軌道に沿って1周半に渡って続けられた(Fig. 4)。観測時間は、第一回南極観測(2004年)の約3倍となる24.5日、観測データサイズとして、5倍以上に相当する13.5TBを蓄積し、約46億事象の宇宙線観測に成功した(Fig. 5)。超伝導スペクトロメータは、地上試験時以上の磁場(冷媒)保持性能発揮し観測に貢献した。



Fig. 2. BESS-Polar II 観測器の打ち上げ

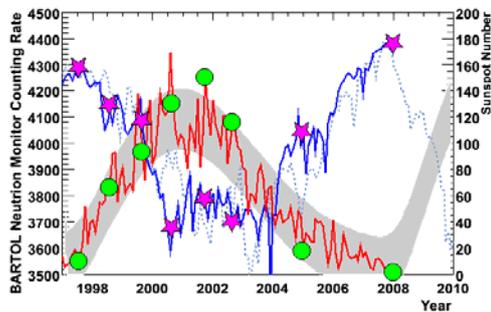


Fig. 3: 太陽活動極小期にタイムリーな観測を実現。(○:太陽黒点数、☆:地上中性子流束)

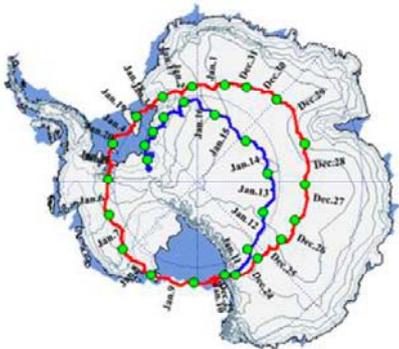


Fig. 4. BESS-Polar II 南極周回軌道

5. これまでの進捗状況と今後の計画

本研究計画当初に立てた 1)観測器のアップグレード、2)太陽活動極小期における南極での長時間観測を達成した。超伝導スペクトロメータが目標以上の性能を発揮し、観測時間は目標(20日間)を上回る24.5日を達成した。幸い、太陽活動極小期とともに太陽活動の短期的な変動によると考えられる宇宙線流束の日々の変化を地上(中性子流束)観測と整合性をもって捉えることにも成功した。今後、後半2年間でデータ解析を進め、「宇宙起源反粒子の探索」、宇宙スケールでの「物質/反物質の非対称性の直接的な検証」を推進する。

6. これまでの発表論文等

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

- 1) “The BESS Program”, **A.Yamamoto**, K.Abe, H.Fuke, S.Hainoa, T.Hams, K.Kim, M.H.Lee, Y.Makida, S.Matsuda, J.W.Mitchell, A.Moiseev, J.Nishimura, M.Nozaki, R.Orito, S.Orito, J.F.Ormes, K.Sakai, T.Sanuki, M.Sasaki, E.S.Seo, Y.Shikaze, R.E.Streitmatter, J.Suzuki, K.Tanaka, N.Thakur, T.Yamagami, T.Yoshida and K.Yoshimura, □Nucl. Phys. B (Proc.Suppl.) **166**, pp. 62-67 (2007).
 - 2) “反陽子観測のための南極周回気球飛翔の成功”, **吉田哲也**、**山本明**、日本物理学会誌(談話室), **60**, No.8, pp.653-654 (2005).
 - 3) “BESS-Polar: 南極周回気球による宇宙線反粒子の精密探索”, **山本明**、**野崎光昭**、**吉田哲也**、日本物理学会誌(解説), **58**, No.2, pp. 86-93 (2003).
 - 4) “BESS and its future prospect for polar long duration flights”, **A.Yamamoto**, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaokam. M. Fujikawa, H. Fuke, S. Haino, M. Imori, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, N. Matsui, H. Matsumoto, H. Matsunaga, F. B. McDonald, J. Mitchell, T. Mitsui, A. Moiseev, M. Motoki, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J. F. Ormes, D. Righter, T. Saeki, T. Sanuki, M. Sassld, E. S. Seo, Y. Shikaze, T. Sonoda, R. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, K. Tanizaki, I Ueda, J.Z. Wang, N. Yajima, T. Yamagami, Y. Yamamoto, H. Yamaoka, K. Yamato, T. Yoshida, and K. Yoshimura, Adv. Space Res. 30 No.5 pp.1253-2002 (2002),
- *) “宇宙線反陽子の観測” 仁科記念賞, 折戸周治、山本明 (2000).

ホームページ等;

<http://bess.kek.jp>

<http://bess.kek.jp/~masaya/bess/index.html>

<http://www.kek.jp/ja/news/topics/2007/BESS>

[-Polar.html](#)