

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22540322

研究課題名(和文)長時間気球観測データを用いた宇宙線反重陽子・反ヘリウムの精密探索

研究課題名(英文) Search for cosmic-ray antideuteron and antihelium with long duration balloon flight data

研究代表者

吉村 浩司 (YOSHIMURA, KOJI)

岡山大学・その他部局等・教授

研究者番号：50272464

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、BESS-Polar IIの観測データを用いて反重陽子および反ヘリウムの探索を行った。南極から回収した測定器を用いた検証を行うことにより、実験中に生じた様々な問題について知見を得て、新たな較正により測定器性能を向上させることができた。従来に比べ1桁上の感度での探索を行った結果、観測データ中には反重陽子、反ヘリウムは観測されなかった。反ヘリウムに関しては、過去のBESS実験のデータと合わせる事により、BESS以前の結果にくらべ、1000倍の精度での探査結果となり、我々の周りに反物質優勢の世界がないことの最も直接的な証拠をあたえることとなった。

研究成果の概要(英文)：We have searched for cosmic-ray antideuteron and antihelium with BESS-Polar II data. We carefully examined the recovered BESS-PolarII payload from Antarctica and obtained various key information about the detector status during the flight and improved detector performance with the novel calibration method. Based on the data, new searches were performed for antideuteron and antihelium with improved sensitivity by an order of magnitude. No candidates were observed. Null observation of antihelium, together with previous BESS data, placed the most stringent constraint on existence of anti-domain nearby our universe.

研究分野：素粒子実験

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙

キーワード：ESS-Polar 南極周回飛翔 物質反物質非対称性 暗黒物質 原始ブラックホール 初期宇宙

科学研究費助成事業 研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、様々な衛星実験 (PAMELA, Fermi) 気球実験 (ATIC, PPB-BETS) により、宇宙線陽電子・電子成分について宇宙線伝播モデルの予測と大きく食い違う観測結果が報告され、理論、観測の両面から大きな関心を集めていた。これらのデータは、あるいは暗黒物質の対消滅の兆候とも考えられているが、反陽子流束等、他の観測データとの矛盾点もあった。その後、AMS が新しい陽電子過剰を報告したが、その起源については、まだよくわかっていない。この問題に決着をつけるには、さらに高いエネルギーでの測定が、あるいは全く新しい種類の観測データを必要である。

数ある新しい観測候補の中でも、宇宙線反重陽子は、興味深いもののひとつであり、宇宙線反重陽子は、宇宙線と星間物質の衝突により生成する可能性が極めて低く、また、運動学的な理由から低エネルギーにおける生成は抑制されるため、もし 1 例でも観測することができれば、従来の宇宙線モデルの枠組みを超えた、新しいプロセスから生じたものである可能性が高い。同様に、宇宙線反ヘリウムは、宇宙線の衝突で生成することほぼ不可能で、その観測は初期宇宙の痕跡を示す決定的な証拠になり得る。

2. 研究の目的

反重陽子、反ヘリウムの流束は微小であり、大面積立体角を有する BESS 実験がこれまで最も高感度な探索結果を報告している。2004 年からは南極周回気球飛翔観測 BESS-Polar により、さらに長時間観測での探索が可能となり、2 回目の実験 BESS-Polar II では、太陽活動極小期において、24.5 日間の観測に成功した。本研究の目的は、BESS-Polar II 実験のデータを用いて宇宙線反重陽子・反ヘリウムを探索することである。回収した測定器を用いて較正を行い、測定器性能を向上させることにより、これまでの一桁以上感度をあげた探索を可能にする。

3. 研究の方法

(1) BESS-Polar II 測定器の較正

BESS-Polar II のデータを用いて反重陽子・反ヘリウムを探索するのに必要な測定器性能を得るために、各測定器の較正を行う。特にフライト中に起こった飛跡検出器の高電圧異常問題を理解するために、まず回収された飛跡検出器、高電圧電源、モニタをテストして、原因を究明する。現象を再現するパラメータ (電圧、電場) を用いて電場計算を行い、その結果を用いることにより精度を上げた測定器較正を行う。

(2) 反重陽子の探索

測定器性能を向上したデータを用いて反重陽子の探索を行う。反陽子のバックグラウンドを排除するように、カットおよびエネルギー範囲を最適化することにより、前回の太陽活動極小期 (1997) の 10 倍以上の感度で探索を行う。

(3) 反ヘリウムの探索

反ヘリウムに関してはヘリウムからのなだれ込みを最小にすることが重要となる。運動量分解能を向上させたデータを用いて、運動量範囲を狭めることなく以前の精度の約 10 倍の感度での探索を行う。

4. 研究成果

(1) 測定器の較正に成功

回収した測定器に関する情報をもとに、新たな較正方法を確立し、飛跡検出器の性能を向上させることに成功した。その結果、粒子識別能力が飛躍的に向上した。図に電荷 1 の粒子の識別の例を示す。反陽子がバンド状に識別されているのがわかる。この結果をもとに、反陽子の精密流束が得られた。

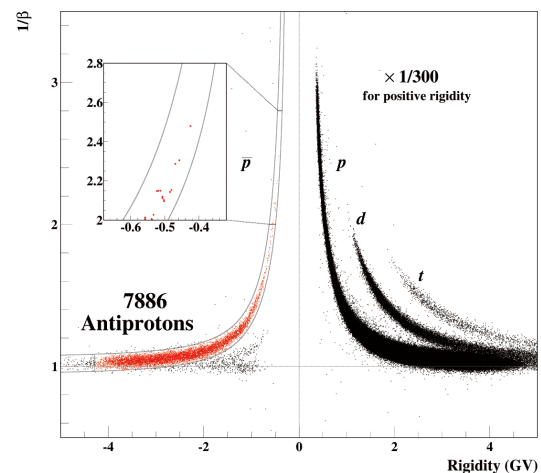


図 1 電荷 1 の粒子の識別例

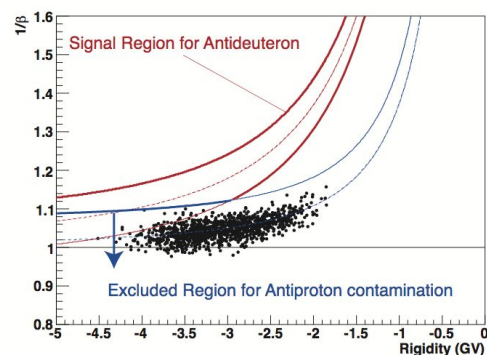


図 2 反重陽子の探索結果

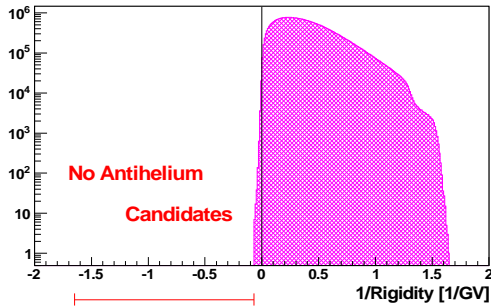


図3 電荷2の粒子のRigidity分布

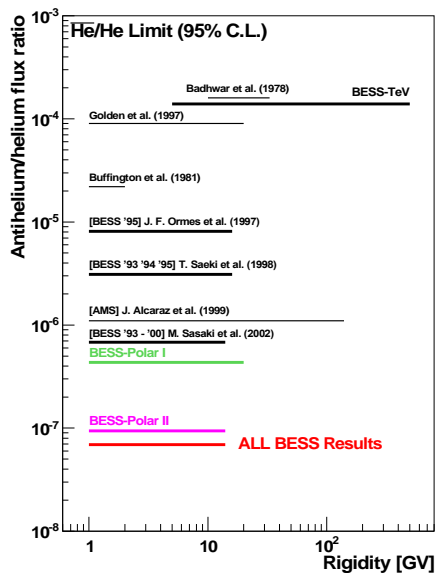


図4 反ヘリウム/ヘリウム比の上限值

(2)反重陽子の探索

反重陽子の探索においては、同じ負電荷を持ち流束が多い反陽子が最も厳しいバックグラウンドとなる。エアロジェルチェレンコフカウンタおよび飛行時間カウンタのデータを用いて選別を行った。中央飛跡検出器のdE/dXの情報を用いることで、さらに、精度の向上とエネルギー範囲の拡大を実現した。図に示すように、反重陽子は観測されなかった。現在、検出効率を評価して、流束の上限值を求めているところである。

(3)反ヘリウムの探索

運動量分解能を向上させたデータを用いて、反ヘリウムの探索を行った。正電荷を持つヘリウムからのなだれ込みを排除することにより、探索する運動量範囲を狭めることなく、従来のデータに対して1桁上の感度での探索を行った。図に電荷2を持つ粒子(ヘリウムおよび反ヘリウム)の1/Rigidity(運動量を電荷で割ったもの)分布を示す。図の右側の

正電荷のヘリウムが左側に微量なだれ込んでいるのがわかる。-14 GV以下の領域には、負電荷の反ヘリウムが存在しないことから、過去のBESS実験のデータと合わせる事により、BESS以前の結果にくらべ、1000倍の精度での探查結果となり(図)、我々の周りに反物質優勢の世界がないことの最も直接的な証拠をあたえることとなった。この結果は論文誌Physical Review Letterに掲載され、APSおよびNature Physicsでもハイライトとして取り上げられた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計9件)

A. Yamamoto, J. Mitchel, K. Yoshimura, M. Hasegawa, et al., (38名、3番目) “[Search for cosmic-ray antiproton origins and for cosmological antimatter with BESS](#)”, 査読有、*Adv.Space Res.* **51** (2013) **227-233**, [10.1016/j.asr.2011.07.012](#)

K. Abe, A. Yamamoto, K. Yoshimura, M. Hasegawa, et al., (36名、36番目), “**Search for Antihelium with the BESS-Polar Spectrometer**”, 査読有、*Phys. Rev. Lett.* 108 (2012), 131301-1-4 [10.1103/PhysRevLett.108.131301](#).

K. Abe, A. Yamamoto, K. Yoshimura, M. Hasegawa, et al., (29名、29番目) “**Measurement of the cosmic-ray antiproton spectrum at solar minimum with a long-duration balloon flight over Antarctica**”, 査読有、*Phys. Rev. Lett.* 108 (2012), 051102-1-4 [10.1103/PhysRevLett.108.051102](#)

K. Yoshimura et al. “**Search for cosmic-ray antideuteron with BESS-Polar**”, 査読無、*Proceedings of 32nd ICRC*, 5 (2011)195-198.

[学会発表](計11件)

K. Yoshimura: Search for cosmic-ray antideuteron with BESS-Polar
33rd Intl. Cosmic Ray Conf. (July. 2013), Rio de Janeiro

K. Yoshimura: The Scientific Highlights from the Balloon-Borne Experiment with a Superconducting Spectrometer - Polar (BESS-Polar) 39th COSPAR Scientific Assembly (July 2012) Mysore, India

K. Yoshimura: Precision Measurement of Cosmic-ray Antiproton Spectrum and

Search for Antimatter with BESS LEAP
2011 (April 2011), Vancouver

K.Yoshimura: Search for novel origins
of cosmic-ray antiprotons and antimatter
with BESS-Polar flight over
Antarctica.”, □35th ICHEP (July 2010)
Paris

K.Yoshimura: Search for Cosmic-ray
Antiproton Origins and for Cosmological
Antimatter with BESS” □38th COSPAR
Scientific Assembly (July 2010) Bremen

〔その他〕
ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

吉村 浩司 (YOSHIMURA KOJI)
岡山大学・極限量子研究コア・教授
研究者番号：50272464

(2)研究分担者

長谷川 雅也 (HASEGAWA MASAYA)
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子
核研究所・助教
研究者番号：60435617

(H24 H25 : 連携研究者)

山本 明 (YAMAMOTO AKIRA)
高エネルギー加速器研究機構・超伝導低温
工学センター・教授
研究者番号：30113418

(H24 H25 : 連携研究者)

(3) 研究協力者

坂井賢一 (Kenichi SAKAI)
NASA Goddard Space Flight Center, Code 661

佐々木誠 (Makoto SASAKI)
NASA Goddard Space Flight Center, Code 661