

機関番号：22604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008 ～ 2011

課題番号：20540235

研究課題名（和文） ダークバリオンとしての銀河間ガスの理論的研究

研究課題名（英文） Theoretical Research on Intergalactic Gas as Dark Baryon

研究代表者 佐々木 伸 (Shin Sasaki)

首都大学東京・理工学研究科・助教

研究者番号：80262260

## 研究成果の概要（和文）：

我々の体や星・星間ガス等の天体を形作るバリオンと呼ばれる通常の物質が、宇宙全体では、どのくらいの量が存在するかは、宇宙背景放射の非等方性や Ia 型超新星爆発を用いた最近の研究により明らかになってきた。しかし、その大部分はまだ見つかっておらず、ダークバリオンと呼ばれている。このダークバリオンの物理状態、進化を理解するための理論的研究を行うと共に、検出するための専門衛星の検討を行った。

## 研究成果の概要（英文）：

Our bodies and stars consist of baryon (ordinary matter). Recent researches such as anisotropies of cosmic microwave background radiation and type Ia supernovae have revealed how much baryon there are in the universe, but most of it has not been observed yet. We studied the properties of this missing baryon being referred to as dark baryon with numerical simulations and analytic models. We also studied some special astronomical satellites to observe dark baryon.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	900,000	270,000	1170,000
2009 年度	800,000	240,000	1040,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：数理系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：理論天文学

## 1. 研究開始当初の背景

宇宙のエネルギー密度の大部分は、ダークマターとダークエネルギーにより占められており、我々の体や星・星間ガスなどを形作るバリオンと呼ばれる通常の物質は、わずか数パーセントを占めるにすぎないことが、最近の宇宙背景放射の非等方性、遠方の Ia 型超

新星爆発の明るさの観測や、ビッグバン元素合成の研究などからわかってきた。このようにバリオンが宇宙にどれくらいの量存在するかは、わかっているが、現在までに、実際に可視光や赤外線によって観測された星や星間ガスの量、さらには X 線や電波で観測される銀河団高温ガスの量などを足しあげ

ても、観測されているバリオンは宇宙に存在するはずの量のうちの一部であり、ほとんどのバリオンは観測されていないことが知られている。そのようなバリオンをダークバリオンと呼び、その検出、物理状態を理解することは宇宙の進化を理解する上で重要な研究の一つになっている。宇宙論的数値シミュレーションの結果から判断すると、ダークバリオンの大部分は、中高温・低密度の電離ガスとして銀河間空間に存在していると思われる。X線を放出するほど高温でないこと、密度が低いために暗く、今までの観測で検出することは困難だったと思われる。

## 2. 研究の目的

バリオンと呼ばれる通常の物質の大部分を占める未だに観測されていないダークバリオンが、宇宙のどこにどの程度の量、存在するのか、さらに、その温度や重元素量、電離状態などの物理状態、進化を理論的研究により詳しく理解することを目指す。ダークバリオンの進化には銀河風による重元素汚染など、銀河からの影響が記録されていると考えられる。そこで、ダークバリオンの理解を通して、銀河などの天体も含めた宇宙全体の進化のさらなる理解に寄与する。同時に、理論的研究から得られた知識を用いて、実際にダークバリオンを観測し、その物理状態に関する情報を得るためには、どのような観測装置を用い、どのような方法を用いて観測することが最適であるのか、といった検討を行い、日本が中心になってすすめている DIOS 衛星などの将来計画の策定に貢献することも本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

これまでの宇宙論的数値シミュレーションを用いた研究などから、ダークバリオンの大部分は、中高温・低密度の電離ガスとして、銀河間空間に分布していると考えられている。多くは、銀河団と銀河団を結ぶようなフィラメント状に存在していると考えられている。ダークバリオンを念頭に置いた宇宙論的数値シミュレーションの結果の解析を行うこと、また、詳細な電離過程や加熱・冷却過程を考慮した理論モデル構築などを通して、ダークバリオンの物理状態、進化の理解を深める。特に、低密度であるなど、物理状態が似ていて、かつ空間分布からしても近くに存在すると考えられる銀河団の外縁部にある電離ガスは、雑音などにより困難であるというものの、ダークバリオンよりも容易に観測することが可能であるため、この電離ガスに注目した研究を理論、観測の両面から行う。そこで得られた知識をもとに、ダーク

バリオンの物理状態の推定を行うことで、数値シミュレーションや理論モデルから得られた結果にたいしてフィードバックを行う。また、このようなダークバリオンを検出し、その物理状態に関する情報を得るためには、従来の観測装置では難しいことがわかっている。そこで、ダークバリオンを検出し、その物理状態に関する情報を得るための専門天文衛星計画の検討を進める。

## 4. 研究成果

ダークバリオンの大部分を占めると考えられる中高温・低密度の銀河間ガスに似た物理状態を持っていると考えられる銀河団外縁部の電離ガスを、日本のX線天文衛星 Suzaku を用いて観測を行い、解析を行った。銀河団外縁部では、中心付近で良く観測を記述するモデルを、単純に外挿したモデルと比べると、ガス密度は予想通りであるのに対して、温度は急激に減少していることがわかった。理由として、観測から得られる温度は電子の温度であるが、イオンから電子への熱の移送に時間がかかっているために、電子の温度が平衡まで達しておらず、低い値にあるのではないかという提案を行っている。この他にも、ガスの運動エネルギーが熱エネルギーにまだ転換されていないため、予想よりも温度が低いのではないかという可能性もあり、決着はついていない。今後のさらなる観測、理論の進展が必要であると考えている。また、銀河団外縁部のX線観測で、X線スペクトルの中にダークバリオンによる吸収の兆候が見られるのではないかという可能性があるが、私の参加した銀河団の解析では、未検出に終わっている。これらの結果に基づいて、ダークバリオンの物理状態についての検討を行っている。

平行してダークバリオンを観測するための将来計画の検討も行った。これまでに得られていた理論的、及び観測的な研究結果などをまとめて見ると、中高温・低密度の状態にあるダークバリオンを検出、研究するためには、紫外線からX線領域の観測が必要となること、特に、連続光は暗くて観測が困難であるため、輝線や吸収線などを用いた観測が必要となるが、そのためには、高エネルギー分解能をもった検出器を用いなくてはならない。また、広い領域を観測するためには、広視野が必要とされ、望遠鏡に対する要求となる。さらに、長時間の観測が要求されることなど、汎用の天文衛星を用いた限られた短時間の観測ではダークバリオンの研究を行うことは困難であることがわかっている。そこで、ダークバリオンの検出、研究を行う専用、あるいは重要な観測目標の一つとするようなX線天文衛星が必要となる。どのような検出

装置や望遠鏡が必要となるのか、観測戦略としてはどのようなものが良いのか、理論家の立場から検討を行った。将来計画として、日本が中心となって計画を進めているDIOS衛星や、欧米との共同計画であるEDGE、XENIA、ORIGIN等の衛星計画の提案に参加している。

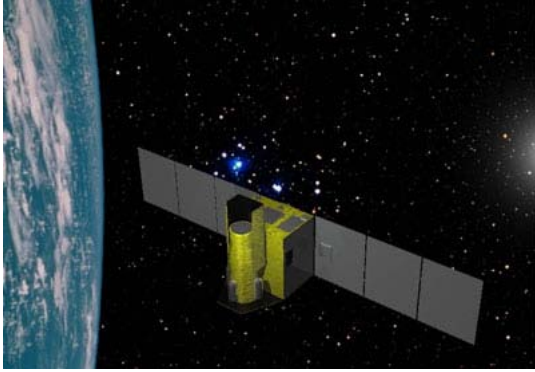


図1 DIOS衛星

ダークバリオン中に含まれると考えられる電離酸素からの輝線を観測することで、ダークバリオンの検出、温度などの物理状態に関する情報を得るために日本が中心となって計画をすすめている専門天文衛星。

#### 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 5件)

1. E. D. Reese, H. Kawahara, T. Kitayama, N. Ota, S. Sasaki and Y. Suto “Impact of Chandra Calibration Uncertainties on Galaxy Cluster Temperatures: Application to the Hubble Constant” *Astrophysical Journal* vol. 721 pp. 653-669 2010 (査読有り)
2. A. Hoshino, J.P. Henry, K. Sato, H. Akamatsu, W. Yokota, S. Sasaki, Y. Ishisaki, T. Ohashi, M. Bautz, Y. Fukazawa, N. Kawano, A. Furuzawa, K. Hayashida, T. Tawa, J. Hughes, M. Kokubun, and T. Tamura “X-ray Temperature and Mass Measurements to the Virial Radius of Abell 1413 with Suzaku” *Publication of Astronomical Society of Japan* vol. 62 pp. 371-389 2010

(査読有り)

3. L. Piro, J. W. den Herder, T. Ohashi, L. Amati, J. L. Atteia, S. Barthelmy, M. Barbera, D. Barret, S. Basso, M. Boer, S. Borgani, O. Boyarskiy, E. Branchini, G. Branduardi-Raymont, M. Briggs, G. Brunetti, C. Budtz-Jorgensen, D. Burrows, S. Campana, E. Caroli, G. Chincarini, F. Christensen, M. Cocchi, A. Comastri, A. Corsi, V. Cotroneo, P. Conconi, L. Colasanti, G. Cusumano, A. de Rosa, M. Del Santo, S. Ettori, Y. Ezoe, L. Ferrari, M. Feroci, M. Finger, G. Fishman, R. Fujimoto, M. Galeazzi, A. Galli, F. Gatti, N. Gehrels, B. Gendre, G. Ghirlanda, G. Ghisellini, P. Giommi, M. Girardi, L. Guzzo, F. Haardt, I. Hepburn, W. Hermsen, H. Hoovers, A. Holland, J. in’t Zand, Y. Ishisaki, H. Kawahara, N. Kawai, J. Kaastra, M. Kippen, P. A. J. de Korte, C. Kouveliotou, A. Kusenko, C. Labanti, R. Lieu, C. Macculi, K. Makishima, G. Matt, P. Mazzotta, D. McCammon, M. Mendez, T. Mineo, S. Mitchell, K. Mitsuda, S. Molendi, L. Moscardini, R. Mushotzky, L. Natalucci, F. Nicastro, P. O’Brien, J. Osborne, F. Paerels, M. Page, S. Paltani, G. Pareschi, E. Perinati, C. Perola, T. Ponman, A. Rasmussen, M. Roncarelli, P. Rosati, O. Ruchayskiy, E. Quadrini, I. Sakurai, R. Salvaterra, S. Sasaki, G. Sato, J. Schaye, J. Schmitt, S. Sciortino, M. Shaposhnikov, K. Shinozaki, D. Spiga, Y. Suto, G. Tagliaferri, T. Takahashi, Y. Takei, Y. Tawara, P. Tozzi, H. Tsunemi, T. Tsuru, P. Ubertini, E. Ursino, M. Viel, J. Vink, N. White, R. Willingale, R. Wijers, K. Yoshikawa and N. Yamasaki, “EDGE: Explorer of diffuse emission and gamma-ray burst explosions” *Experimental Astronomy* vol. 23 pp. 67-89 2009 (査読有り)
4. H. Kawahara, E. Reese, T. Kitayama, S. Sasaki, and Y. Suto “Extracting Galaxy Cluster Gas Inhomogeneity from X-ray Surface Brightness: A Statistical Approach and Application to Abell 3667” *Astrophysical Journal* vol. 687 pp. 936-950 2008 (査読有り)

[学会発表] 計 2件)

1. Shin Sasaki “Clusters of galaxies as a tool to study cosmology” Workshop on Chemical Evolution of the Universe, 2011年10月31日, 東京

2. 佐々木伸 “銀河団ガスの非一様性：  
Log-normal 分布モデル” 高エネルギー宇  
宙物理学研究会 2008年11月15日 京都

6. 研究組織

- (1) 研究代表者 佐々木 伸 (Shin Sasaki)  
首都大学東京・理工学研究科・助教  
研究者番号： 80262260

- (2) 研究分担者  
( )

研究者番号：

- (3) 連携研究者  
( )

研究者番号：