

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21740174

研究課題名（和文） 暗黒物質対消滅にたいするゾンマーフェルト効果の研究

研究課題名（英文） The study of dark matter annihilation with Sommerfeld effect

研究代表者

松本 重貴（MATSUMOTO SHIGEKI）

東京大学・数物連携宇宙研究機構・特任准教授

研究者番号：00451625

研究成果の概要（和文）：ゾンマーフェルト効果を踏まえた暗黒物質対消滅現象、及び暗黒物質崩壊現象について研究を行い、現在PAMELA実験やFermi-LAT実験等の暗黒物質間接検出観測で報告されているシグナルを説明する具体的な暗黒物質モデルを構築した。同時に、これらのモデルより期待される加速器実験におけるシグナルについての評価も行い、LHC実験やILC実験においてどのようなシグナルが期待されるかを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Dark matter annihilation with Sommerfeld effect and dark matter decay have been studied to account for anomalies reported by recent indirect detection experiments of dark matter such as PAMELA and Fermi-LAT observations. We also have constructed concrete models of dark matter and investigated new physics signals at collider experiments such as LHC and ILC experiments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：素粒子現象論

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：暗黒物質・暗黒物質間接検出・LHC・ILC

1. 研究開始当初の背景

(1) 暗黒物質の正体を探る研究において、宇宙線観測を用いた暗黒物質の間接検出は非常に重要な位置を占めている。また研究開始当初では、これらの実験において暗黒物質由来と思われるシグナルが幾つか見つかり、これらのシグナルが示唆する暗黒物質像を構築することが急務であった。また同時に、これらの暗黒物質を预言する素粒子標準モデルを超える新物理モデルがどのようなものであるかにも大きな注目が集まっていた。

(2) また当初は、巨大素粒子加速器実験（LHC）が正に始まらんとしている時期であり、暗黒物質の正体とともに、それを预言する新物理モデルのシグナルを評価することは、非常に重要な仕事であった。特に宇宙線観測で得られた暗黒物質シグナルと、加速器実験で得られたシグナルを評価し、それらシグナル間の相関を考えることで、暗黒物質解明がなされると期待されていた。それと同時に、LHCにおける暗黒物質探索の限界を明らかにし、ILC実験等の次世代加速器実験の可能性を考えることも重要であった。

2. 研究の目的

暗黒物質に関する本研究課題を申請した当初の具体的な研究目的は以下の3つである。

(1) 宇宙線観測を用いた暗黒物質の間接検出において、暗黒物質由来のシグナルと考えられるPAMELA実験の結果（宇宙線中の電子と陽電子の流速比）及びFermi-LAT実験の結果（宇宙線中の電子+陽電子の流速）を説明する暗黒物質模型を構築する。特に、暗黒物質検出観測実験の結果を説明しつつ、暗黒物質の熱的残存量に対するWMAP実験の結果を満足させるため、ゾンマーフェルト効果を考慮した暗黒物質対消滅、または暗黒物質崩壊に注目し研究を進める。

また同時に、暗黒物質候補を含む新物理学模型構築に際し、他の実験からの制限、例えば宇宙線中の反陽子流速の観測、ニュートリノ流速の観測、暗黒物質の直接測定における実験結果、これまで行われた加速器実験及び非加速器実験の結果等からの制限も考慮し、これらと無矛盾な暗黒物質模型を構築する。

(2) 構築された暗黒物質を含む新物理学模型が予言する加速器シグナルについて評価する。特に、近い将来結果が報告されると期待される巨大素粒子加速器実験（LHC）に注目し、研究目的(1)で構築した新物理学模型のLHCシグナルを計算し、暗黒物質検出観測等におけるシグナルと比較し、暗黒物質の正体解明にどの程度LHC実験が役割を果たすかについて定量的に評価する。また暗黒物質の正体解明に関し、LHC実験の役割及びその限界を明らかにすると同時に、次世代加速器（国際線形加速器ILC等）における暗黒物質シグナルについても評価を行う。

(3) 研究目的(1)及び(2)で得られた結果を、数多くの会議において広く発表し、日本国内のみならず国外に対し研究成果の普及を行う。

3. 研究の方法

上記研究目的を効率的に遂行するため、以下の手順を踏まえ研究を行った。

(1) 超対称標準模型を基軸に、暗黒物質の間接検出観測の結果を説明可能な暗黒物質候補を考え、それが実際にPAMELA実験等の結果を再現することを確認する。それと同時にこの模型に対する様々な制限を考え、これら制限を満足していることを確認する。またこれらの模型の予言するLHC実験やILC実験のシグナルについても評価を行う。

(2) 超対称模型以外の暗黒物質候補を考え、

上記(1)と同じ戦略を用いてシグナルの計算を行う。具体的にはユニバーサル余剰次元模型、ゲージ・ヒッグス統合模型等を考える。

(3) 上記研究の方法(1)及び(2)で培った知識・手法を応用し、暗黒物質の検出観測の結果（PAMELA実験やFermi-LAT実験）を説明する新しい暗黒物質模型を構築する。またそれらの模型が、素粒子標準模型を超える新物理学模型構築に与える影響についても定量的に評価を行う。

4. 研究成果

上記研究の方法を用いて数多くの結果が得られ、幸いにも多くの査読付き雑誌に掲載して頂くことができた。（詳細は次項の主な発表論文[雑誌論文]を参照されたい。）また同時に数多くの国際会議において招待され、本研究費を用いた研究成果を国内外に広く発信することができた。（詳細は次項の主な発表論文[学会発表]を参照されたい。）主な研究成果につき、以下で述べる。

(1) 超対称性模型を基軸にした研究では、暗黒物質候補として重力子の超対称パートナーであるグラビティーノ（次項[雑誌論文]の⑬及び⑭参照）、及び標準模型内の中性粒子の超対称パートナーであるニュートラリーノ（次項[雑誌論文]の⑨参照）を考え研究を行った。結果の一例として、グラビティーノ暗黒物質を用いてPAMELA実験の結果を説明した図を以下に載せる。

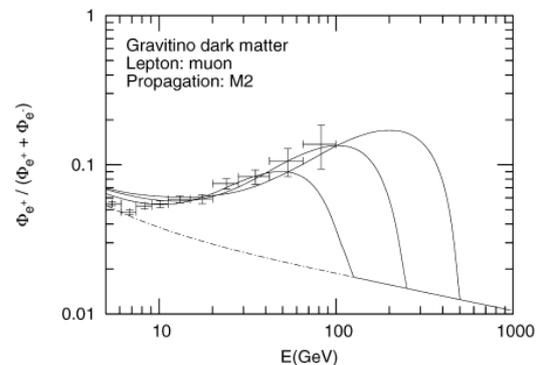


図1 グラビティーノ暗黒物質によるPAMELA実験結果の説明

横軸は宇宙線中の電子及び陽電子のエネルギーであり、縦軸は陽電子の流速を電子+陽電子の流速で割ったものである。図中にはPAMELA実験の結果（十字点）も表示してある。研究方法(1)で述べたとおり、グラビティーノ暗黒物質模型に対する制限についても研究を行い（次項[雑誌論文]の②及び⑩参照）、他の実験と矛盾せず暗黒物質間接検出の結果が説明可能であることを示した。ま

たニュートラリーノ暗黒物質に対する、加速器実験シグナルを含んだ制限等についても研究を行った（次項[雑誌論文]の⑥参照）。

(2) 超対称模型以外の、標準模型を超える新物理模型の予言する暗黒物質候補に関する研究も行った。具体的には、ユニバーサル余剰次元模型におけるカルツァ・クライン暗黒物質（次項[雑誌論文]の⑩参照）と、ゲージ・ヒッグス統合模型の予言する暗黒物質（次項[雑誌論文]の③参照）である。カルツァ・クライン暗黒物質はPAMELA実験の結果を説明することが可能であることが先行研究で既に知られていた。このため私たちは、この模型が、LHC実験において、どのような特徴的なシグナルを発生し得るかについて研究を行い、非常に有用な成果を得た。

(3) 上記研究(1)及び(2)で得た経験を活かし、暗黒物質間接検出の結果をより自然に説明する暗黒物質模型の構築を行った。特にPAMELA実験等の結果が本当に銀河ハロー中における暗黒物質の活動によるものであるのなら、暗黒物質の物理はニュートラリーノの物理と密接な関係があることを示唆し（次項[雑誌論文]の④参照）、暗黒物質の崩壊幅等の性質と、微小なニュートラリーノ質量が同じ源を持つことによりPAMELA実験の結果が説明可能であることを示した。またこのシナリオをより具体的に実現する暗黒物質模型を構築し（次項[雑誌論文]の①参照）、実際に他の実験に矛盾せずにPAMELA実験の結果が、以下の図から明らかな通り、説明可能であることを示した。

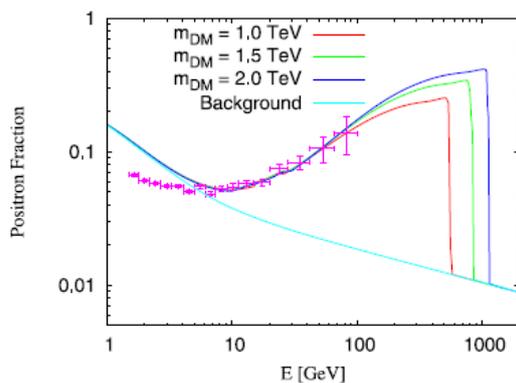


図2 新たに構築した暗黒物質によるPAMELA実験結果の説明

縦軸及び横軸は図1と同様で、PAMELA実験の結果が説明されている事が見て取れる。

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14件)

① Naoyuki Haba, Yuji Kajiyama, Shigeki Matsumoto, Hiroshi Okada, Koichi Yoshioka, “Universally leptophilic dark matter from non-Abelian discrete symmetry”, Physics Letters B695 (2011), 476-481, 査読有

② Koji Ishiwata, Shigeki Matsumoto, Takeo Moroi, “Decaying dark matter in supersymmetric model and cosmic-ray observations”, Journal of High Energy Physics (JHEP) 1012 (2010), 006, 査読有

③ Tomoyuki Saito, Masaki Asano, Keisuke Fujii, Naoyuki Haba, Shigeki Matsumoto, Takehiro Nabeshima, Yosuke Takubo, Hitoshi Yamamoto, Koichi Yoshioka, “Extra dimensions and seesaw neutrinos at the International Linear Collider”, Physical Review D82 (2010), 093004, 査読有

④ Shigeki Matsumoto, Koichi Yoshioka, “Deep correlation between cosmic-ray anomaly and neutrino masses”, Physical Review D82 (2010), 053009, 査読有

⑤ Shinya Kanemura, Shigeki Matsumoto, Takehiro Nabeshima, Nobuchika Okada, “Can WIMP dark matter overcome the nightmare scenario?”, Physical Review D82 (2010), 055026, 査読有

⑥ Masaki Asano, Shigeki Matsumoto, Masato Senami, Hiroaki Sugiyama, “CDMS II result and light Higgs boson scenario of the MSSM”, Journal of High Energy Physics (JHEP) 1007 (2010), 013, 査読有

⑦ Shigeki Matsumoto, Takehiro Nabeshima, Koichi Yoshioka, “Seesaw neutrino signals at the Large Hadron Collider”, Journal of High Energy Physics (JHEP) 1006 (2010), 058, 査読有

⑧ Naoyuki Haba, Shigeki Matsumoto, Nobuchika Okada, Toshifumi Yamashita, “Gauge-Higgs dark matter”, Journal of High Energy Physics (JHEP) 1003 (2010), 064, 査読有

⑨ Masaki Asano, Takayuki Kubo, Shigeki Matsumoto, Masato Senami, “Light Higgs boson scenario in the supersymmetric seesaw model”, Physical Review D80 (2009),

095017, 査読有

⑩ Shigeki Matsumoto, Joe Sato, Masato Senami, Masato Yamanaka, “Productions of second Kaluza-Klein gauge bosons in the minimal universal extra dimension model at LHC”, Physical Review D80 (2009), 056006, 査読有

⑪ Koji Ishiwata, Shigeki Matsumoto, Takeo Moroi, “Cosmic Gamma-ray from inverse Compton process in unstable dark matter scenario”, Physics Letters B679 (2009), 1-5, 査読有

⑫ Naoyuki Haba, Shigeki Matsumoto, Koichi Yoshioka, “Observable seesaw and its collider signatures”, Physics Letters B677, (2009), 291-295, 査読有

⑬ Koji Ishiwata, Shigeki Matsumoto, Takeo Moroi, “High energy cosmic rays from decaying supersymmetric Dark Matter”, Journal of High Energy Physics (JHEP) 1005 (2009), 110, 査読有

⑭ Koji Ishiwata, Shigeki Matsumoto, Takeo Moroi, “Cosmic-ray positron from superparticle dark matter and the PAMELA anomaly”, Physics Letters B675 (2009), 446-449, 査読有

[学会発表] (計 13 件)

① Shigeki Matsumoto, “Report on the Little Higgs Scenario”, YITP Workshop (電弱対称性の破れ), 2011年3月17日, 京都大学 (基礎物理学研究所)

② Shigeki Matsumoto, “宇宙観測を用いた暗黒物質検出の現状”, Extra Dimension 2011, 2011年1月24日, 大阪大学 (理学部)

③ Shigeki Matsumoto, “Fate of False Vacuum Revisited”, 新潟冬の研究会 2011, 2011年1月8日, 新潟大学(湯沢東映ホテル)

④ Shigeki Matsumoto, “Comprehensive Analysis on Light Higgs Scenario in NUHM”, LHC PHYSICS: W, Z, AND BEYOND, 2010年12月8日, NCTS(Taiwan)

⑤ Shigeki Matsumoto, Dark Matter wants the Linear Collider”, LC10 Workshop, 2010年12月2日, Frascati lab. (Italy)

⑥ Shigeki Matsumoto, “Meta-stability of

a false vacuum”, 日本物理学会, 2010年9月13日, 九州工業大学

⑦ Shigeki Matsumoto, “New Physics beyond the SM and Dark Matter of the Universe”, Fundamental Physics using Atoms (FPUA) 2010, 2010年8月8日, 大阪大学

⑧ Shigeki Matsumoto, “Observing the coupling between dark matter and higgs boson at the ILC”, International Linear Collider Workshop 2010 LCWS10 and ILC10, 2010年3月29日, Friendship Hotel (中国)

⑨ Shigeki Matsumoto, “CDMSII result and Light Higgs Boson Scenario of the MSSM”, 日本物理学会, 2010年3月21日, 岡山大学

⑩ Shigeki Matsumoto, “What do we learn from the CDMSII experiments”, 新潟冬の研究会 2010, 2010年1月9日, 新潟大学(湯沢東映ホテル)

⑪ Shigeki Matsumoto, “Can WIMP dark matter overcome the Nightmare scenario?”, CTP, International Conference on Neutrino Physics in the LHC Era, 2009年11月19日, Hotel Stiegenberger Luxor (エジプト)

⑫ Shigeki Matsumoto, “宇宙線観測の示唆する暗黒物質像”, 日本物理学会, 2009年9月11日, 甲南大学

⑬ Shigeki Matsumoto, “Cosmological connection to LHC & ILC”, TILC09 Joint ACFA Physics and Detector Workshop and GDE meeting on International Linear Collider, 2009年4月18日, 国際会議場 (茨城県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 重貴 (MATSUMOTO SHIGEKI)
東京大学・数物連携宇宙研究機構・特任准教授

研究者番号 : 00451625

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者