

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	かしやま かずみ 檜山 和己
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科物理学・宇宙物理学 専攻
(学位論文題目) Origins of High Energy Cosmic-Ray Electrons and Positrons (高エネルギー電子・陽電子宇宙線の起源について)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 中村卓史 教授 青山秀明 教授 鶴 剛 教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	檜山 和巳
論文題目	Origins of High Energy Cosmic-Ray Electrons and Positrons (高エネルギー電子・陽電子宇宙線の起源について)		
(論文内容の要旨) 宇宙線とは地球大気に宇宙から降り注いでいる高エネルギー粒子で最大エネルギーは 10^{20} eV 程度にまで達する。その個数スペクトル dN/dE は E^{-3} 程度に比例する。主成分は陽子であるが、ヘリウム等の原子核や電子も 1 % 程度存在する。さらには陽電子や反陽子のような反粒子の存在も知られている。これらの反粒子の起源は高エネルギーの陽子が宇宙空間を伝搬中に星間空間の陽子と反応した結果発生するパイ中間子起源の 2 次宇宙線と考えられていた。一方、2010 年頃から PAMELA 衛星等が 10-100 GeV の宇宙線の陽電子と電子の比が宇宙線の伝搬の理論的予想に反してエネルギーの増加関数となっていることを発見した。これは 2 次宇宙線の陽電子以外に陽電子源があることを示唆する。この新しい陽電子源を説明すべく多くの説が提案された。それらは、ダークマターの崩壊または対消滅等の未知の素粒子起源とするものと、近傍の中性子星パルサーや超新星爆発等の天体起源とに分けられるが、双方に関して多くの論文が書かれた。 申請者は新陽電子源として白色矮星パルサーと言う全く新しい源を提案した。まず、宇宙時間内に合体する白色矮星連星は見つかっており、その合体率は銀河 1 個あたり、100 年に 1 回程度と見積もられる。さて合体後の白色矮星は周期 60 秒程度で回転しており、その回転エネルギーは 10^{50} erg 程度となり、誕生時の中性子星パルサーの回転エネルギーと同程度である。中性子星の形成率も 100 年に 1 回程度であるので、中性子星パルサーは新陽電子源の候補でもあるから、同様の誕生率とエネルギーを持っている白色矮星パルサーも候補の資格がある。大きな違いの 1 つは中性子星の磁場が 10^{12} ガウス程度であるのに対して白色矮星パルサーの磁場は高々 10^8 ガウス程度である点である。中性子星パルサーでは粒子が加速されていることが確かである。その理論的モデルとして有力なものとして Polar Cap Model があるが、申請者はこのモデルを白色矮星パルサーに適応することによって 10 TeV までの陽電子の加速が可能であることを示した。発生した陽電子はパルサー風領域で中性子星パルサーとは異なり殆どエネルギーを失わない。また、白色矮星パルサーは中性子星パルサーの光度の 10^{-4} 程度であるので平均寿命は 10^4 倍長い 10^9 年となる。星間空間でのエネルギーロスの為このエネルギー領域の陽電子は距離 1 kpc 程度以上伝搬出来ない。それでも陽電子を放出し続ける白色矮星パルサーは中性子星パルサーの 10^4 倍くらい存在し得ることになる。中性子星パルサーの場合、陽電子源は現実には距離 1 kpc 内の 1 つか 2 つの源しかないが、白色矮星パルサーの場合は 10^4 個の可能な源の内 1% 程度が磁場の強い白色矮星パルサーになれば良いことがわかる。 以上のようなモデル化をもとに、陽電子源が白色矮星パルサーである場合の陽電子のエネルギースペクトルを計算した結果、10-100 GeV の範囲で PAMELA 衛星の結果を再現することに成功すると共に、まだ、精度の良い観測結果のない 100 GeV-10 TeV の陽電子のスペクトルが 1 TeV 辺りでピークを持つという結果を得た。また、Fermi 衛星等は 1 TeV あたりに宇宙線の電子と陽電子の和が peak を持つという観測結果を PAMELA 衛星等とは独立に得ているが、申請者はこの観測結果とも無矛盾な (陽電子 + 電子) のスペクトルを理論的に得ることに成功している。			

(論文審査の結果の要旨)

パルサー(Pulsar)と言うのは Pulsating Radio Source の省略で、そもそも時間変動する電波源として発見され、自転している中性子星であるということが確立している。中性子星パルサーに関してはその周期と周期変動率平面上で Pulsar Death Line という限界があってそれより右下にはパルサーが観測されていない。この Death Line は Polar Cap Model の範囲で説明がなされているが、もし白色矮星パルサーが存在するなら、白色矮星パルサーに対応する Death Line が存在するはずである。申請者はこれを理論的に求めて、強磁場自転白色矮星の2つの観測例が Death Line の外にあるか内にあるかを調べたところパルス成分のあるものは内にあるが、そうでないのは外にあって、白色矮星パルサーからの電波はまだ観測されていないものの、白色矮星の観測と申請者による白色矮星パルサーの Polar Cap Model が無矛盾であると示したのは高く評価できる。

PAMELA 衛星による陽電子異常を説明する理論は数多く提案されている。それらのどれが正しい説かを判定するのには、将来のもっと精度の高い観測によって得られる 10TeV までの高エネルギーも含めたエネルギースペクトルとの比較が必要である。もう一つ重要な観点は陽電子の到来方向の異方性の観測である。陽電子がダークマター起源説なら、ダークマターの多い銀河中心方向から多くの陽電子がやってくるはずである。また、中性子パルサー起源説なら、1個か2個のパルサーの方向からの強度が強いはずである。これに対して白色矮星パルサー説では100個程度の陽電子源があるので、等方に近い分布をした陽電子が観測されるはずである。このように将来の観測で提案の白黒がはっきり出来る点は高く評価できる。

以上、白色矮星も中性子星と同じような活動をしている可能性があるとして初めて指摘した点は極めて重要な成果であり、評価できる。将来の観測によって、白色矮星パルサーが存在するのかが解るので、申請者の新説は極めて興味深い。もし、白色矮星パルサーの存在が確かめられれば、この分野の研究の進展に大きな寄与をするものと期待できる。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認められるものである。

また、平成24年1月16日 主論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。