

氏 名	うえの まさる 植 野 優
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2865 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 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	Supernova Remnants Selected with X-Rays —Contribution to the Galactic Cosmic-Ray Acceleration (X 線で選択した超新星残骸—銀河系宇宙線加速への寄与について)
論文調査委員	(主 査) 教 授 小 山 勝 二 教 授 今 井 憲 一 教 授 中 村 卓 史

論 文 内 容 の 要 旨

宇宙線は宇宙空間を飛び交う高エネルギーの荷電粒子であるが、1912年に Hess によって発見されて以来、その起源は謎である。約10の15.5乗 eV までの宇宙線は銀河系内起源と考えられており、エネルギー注入量の大きさなどから、超新星残骸がその加速源の最有力候補となっている。ところが、現在までに知られている200以上もの超新星残骸のうち、加速現場である証拠あるいは高エネルギー粒子の存在の証拠が得られているのは10天体程度に限られている。

超新星残骸による加速で宇宙線をどの程度説明できるのか、また、加速の証拠を示すのは他の超新星残骸と何が異なるのかを明らかにするためには、宇宙線加速の証拠を示す超新星残骸の例が数多く必要である。実際には、超新星残骸から得られた加速の証拠の事例として、シンクロトロン X 線の検出が最も多い。磁場が数マイクロガウスとすると、シンクロトロン X 線の存在は10TeV 程度のエネルギーの高エネルギー電子の存在を示す。本論文では、シンクロトロン X 線を放射する超新星残骸が電波波長で暗い傾向があることから、電波ではなく X 線で発見されるような超新星残骸の方が電波で発見されるものよりシンクロトロン X 線を示す可能性が高いと推測し、X 線で発見される超新星残骸に限定して解析を行った。

ROSAT 衛星で発見された9天体のうち3天体について追観測のデータ解析を行い、さらに、ASCA 銀河面サーベイ中から超新星残骸の候補を発見し、その一部について追観測を行った。

まず、ROSAT で発見された G156.2+5.7 については、ASCA 衛星によって既に発見されていた硬 X 放射が、真に拡がった放射であることを XMM-Newton 衛星の高い空間分解能で確認した。他の2天体については硬 X 線を検出しなかった。

ASCA 銀河面サーベイ中からは、詳細なイメージ解析の結果、15個の候補を検出した。このうちの5天体について ASCA, Chandra, XMM-Newton の各衛星で長い観測時間と高い空間分解能の追観測を行い、2天体はシンクロトロン X 線を放射する超新星残骸であることを裏付けた。残りの3天体については、超新星残骸か否かを決定するにはさらなる観測が必要だが、X 線放射が非熱的であることを明らかにした。

これら新しく見つかった超新星残骸を含めて、シンクロトロン X 線を示す天体と示さない天体についての比較を行った。本論文で特に注目しているのは、両者の電波表面輝度の違いである。一般に超新星残骸は半径が大きくなるにつれて電波放射の表面輝度が小さくなることが知られている。ところが、シンクロトロン X 線を放射する超新星残骸は半径がそれほど大きくないにもかかわらず、電波の表面輝度が小さいことを発見した。一方で、超新星残骸の電波での表面輝度は周囲の物質密度に依存することを観測的に証明し、シンクロトロン X 線を放射する超新星残骸は周囲の物質密度が低いところに存在する可能性が高いことを示した。超新星残骸における宇宙線加速のエネルギー注入量や最高エネルギーが周囲の物質密度にどのように依存するかはさらなる研究が必要である。

さらに、ASCA 銀河面サーベイで見つかった超新星残骸とその候補の個数から銀河面にシンクロトロン X 線を示す超新星残骸がいくつ存在するかの見積もりを行ったところ、12~52個であった。つまり、まだ多数のシンクロトロン X 線(つまり、高エネルギー電子の加速の証拠)を示す超新星残骸が銀河面に埋もれている可能性が高い。

論文審査の結果の要旨

超新星残骸は銀河系内における宇宙線加速源の最有力候補であるにもかかわらず、知られている220天体のうち、加速の証拠が得られているのは10天体程度に限られてきた。本研究では、新たに加速の証拠（シンクロトロン X 線）を示す超新星残骸の候補を十数個発見し、2天体を確実なものとした。

この発見は、これまで超新星残骸は主に電波によるサーベイで発見されてきたのに対し、X 線で発見される超新星残骸に注目したことで初めて可能になったものであり、シンクロトロン X 線（宇宙線加速の証拠）を示す超新星残骸は電波で暗いという事情と切り離すことはできない。

シンクロトロン X 線放射を示す超新星残骸と示さない超新星残骸を系統的に比較すると、シンクロトロン X 線放射を示すのは、直径が小さい（ $<10\text{pc}$ ）か、あるいは、直径が中程度（約 20pc ）であって電波の波長で暗い超新星残骸か、のどちらかであることが本研究で明らかになった。直径は超新星残骸の年齢を表しており、このことは、(1)超新星残骸が若いうちはシンクロトロン X 線を示し、(2)超新星残骸が進化してもシンクロトロン X 線を放射し続けるのは電波で暗いものに限られる、ということを示す。つまり、超新星残骸中のシンクロトロン X 線の寿命は、電波強度が弱いほど長い。このことは、シンクロトロン X 線を示すような超新星残骸は電波で暗いものが多い事情と一致している。

本研究ではさらに、過去の観測結果を用いることで、電波強度が周囲の密度に正の相関を持つことを示した。つまり、超新星残骸からのシンクロトロン X 線の寿命は、周囲の密度が低いほど長いことになる。周囲の密度が低いということは超新星残骸の衝撃波スピードは速く保たれるということで、この結果は、シンクロトロン X 線を発生するか否かは衝撃波スピードに依存するという衝撃波加速理論の見地と合致している。

以上の結果は、加速の証拠の得られる超新星残骸と得られない超新星残骸の系統的な差を示す、初めてのものである。今後の観測で、若い超新星残骸かまたは少し進化しているが低密度の媒質中に存在する超新星残骸からシンクロトロン X 線が検出される可能性が高いという、予測につながる。また、低密度の媒質中に存在する超新星残骸は電波で暗いことから、この種の超新星残骸は電波のサーベイよりもむしろ X 線観測によって発見される可能性が高いことも示唆している。

本論文で新たに2個の超新星残骸を発見し、これらがシンクロトロン X 線を発していたこと、また他にも多数の超新星残骸候補を発見したことは、硬 X 線の透過力によって今まで電波サーベイで見つからなかった超新星残骸が数多く発見され得る事、また、そのような超新星残骸はシンクロトロン X 線を示す可能性が高いことを示した。さらには、シンクロトロン X 線を示すか示さないかは電子の加速時間とシンクロトロンによるエネルギー損失のバランスによって決まっており、シンクロトロンによるエネルギー損失が無視できる陽子やイオンはより高いエネルギーまで加速されていることが類推され、シンクロトロン X 線を検出しない超新星残骸でも、加速が行われていることが示唆される。このような天体に対しては、GeV や TeV のガンマ線など、X 線以外の観測が必要となる。

以上の結果の重要性は、シンクロトロン X 線が期待される超新星残骸はどのような天体かを明確にしたところにあり、超新星残骸における加速の今後の研究に道筋をつけたものといえる。

以上のように、本申請論文は X 線天文学に対し種々の新知見を与えている。よって本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

主論文および参考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合格と認めた。