

日本天文学会早川幸男基金渡航報告書

2014年06月10日採択

申請者氏名	霜田治朗 (会員番号 6010)
連絡先住所	〒 252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1
所属機関	青山学院大学
職あるいは学年	M2
任期 (再任昇格条件)	
渡航目的	研究集会での口頭発表
講演・観測・研究題目	Study on The Difference Between Proper-Motion of Halpha line emission and Non-Thermal X-Ray emission In Supernova Remnants
渡航先 (期間)	ロシア (2014年8月1日～8月11日)

表記期間にロシア・モスクワ南西部にあるモスクワ大学 (Lomonosov Moscow State University) で行われた国際会議「The 40th COSPAR Scientific Assembly COSMOS」(web page: <http://cospar2014moscow.com/pages/venue/index.phpcont-page>) に早川基金を利用して参加した。宇宙のあらゆる分野についての研究発表と議論がなされた規模の大きい国際会議であった。私は特に超新星残骸 (SNR) における銀河宇宙線の生成について興味を持っており、宇宙線と SNR のセッションを中心に参加したが、それ以外の分野のセッションやポスターを数多く目にする事ができ、私のような学生にとっては非常に新鮮で有意義な経験であった。

SNR での宇宙線加速の先行研究は、欧米を中心に構築された標準モデル (衝撃波上流媒質を一様とした 1 次元球対称モデル) が主流であった。これは X 線とガンマ線の最新観測を同時に説明出来ないことが明らかとなっている。これに対し、私の所属する研究グループは名古屋大学の電波観測グループとの共同研究により、SNR 上流媒質の非一様性が宇宙線加速過程において重要な役割を果たしていることを定性的に示し、理論・観測の双方で日本独自の成果を次々とあげてきた。これらは世界的に注目されており、その定量評価によるモデルの検証が待ち望まれている。

私自身は「SN Remnants and PWN through the Electromagnetic Spectrum」というセッションで「Study on The Difference Between Proper-Motion of Halpha line emission and Non-Thermal X-Ray emission In Supernova Remnants」というタイトルで口頭発表し、SNR における衝撃波速度の測定と宇宙線の生成率について議論した。

地球近傍の宇宙線のエネルギー密度は約 1 eV/cc 程度である。これが銀河系内での平均的な値だとすると、超新星爆発の爆発エネルギーの約 1%~10%程度が宇宙線の生成に使われていれば説明できる。これまでに個々の SNR で、衝撃波の運動エネルギーがどれだけ宇宙線に分配されているかが議論されてきた。

例えば若い SNR である RCW86 では、非熱的 X 線シンクロトロン放射と $H\alpha$ 輝線放

射の固有運動から膨張速度が測定されている。X線から測定された膨張速度は 6000 ± 2800 km/s であるのに対し、 $H\alpha$ から測定された膨張速度は約 $3000 \sim 300$ km/s であり、平均値は約 1200 km/s であった (Helder et al. 2009 ; Helder et al. 2013)。両者の間で矛盾の無い膨張速度は約 3000 km/s である。この膨張速度が衝撃波速度に等しいと仮定すると、shock-jump condition から下流の陽子温度は約 18 keV と見積もられる。一方で、 $H\alpha$ 輝線の放射スペクトルから下流の陽子温度は 2.3 keV と測定されている。これは上流の中性水素原子と下流の陽子との間で起こる電荷交換反応によって生成される中性水素原子からの放射成分を観測することで測定される。衝撃波速度から見積もられた下流の熱エネルギーと実際の下流の熱エネルギーの差が宇宙線の生成に使われたとすると、上流の運動エネルギーのうち約 90% が宇宙線生成に使われたことになる。

しかし、 $H\alpha$ の固有運動から測定された衝撃波速度には分散がある。また最近のシミュレーション研究によって、典型的な星間媒質 (ISM) 中を伝搬する衝撃波では伝搬速度に分散が生まれ衝撃波面が波打つということが指摘されている (e.g. Giacalone & Jokipii 2007 ; Inoue & Shimoda et al. 2013)。

私は、井上剛志氏が行った典型的 ISM 中を伝搬する衝撃波の 3次元磁気流体シミュレーションデータをもとに、世界で初めて $H\alpha$ 輝線放射と X線シンクロトロン放射の放射計算を行い、実際の観測と全く同じ手法でそれぞれの固有運動を測定した。その結果、 $H\alpha$ の固有運動から shock-jump condition によって見積もった陽子温度は実際の下流の陽子温度よりも大きくなり得ることを示した。上流媒質の非一様性により衝撃波面は波打ち、ほとんどの領域で斜め衝撃波となる。このとき下流の温度は衝撃波面に垂直な衝撃波速度成分で決定される。これに対して固有運動から測定されるのは、観測者の視線方向に垂直な衝撃波速度成分である。今回の計算結果から宇宙線の生成率を見積もると、宇宙線加速の効果を取り入れていない純粋な流体計算にも関わらず、あたかも上流の運動エネルギーのうち 10~40% が宇宙線の生成に使われているように見える。つまり、実際の SNR での宇宙線の生成率は先行研究での値よりも低いという示唆を得た。

この斜め衝撃波の効果は 1次元球対称の計算では見落としてしまう効果であり、日本独自のモデルである上流媒質の非一様性を考慮する重要性を印象づけることができたと思える。例えば、セッション終了後にはフェルミ衛星チームなどで活躍している Jean Ballet 氏からさらに細かい内容について数多く質問され、興味を持ってもらえたようであった。また、私の発表の後に Donald Warren 氏が Tycho の SNR と呼ばれる若い SNR の Forward Shock と Contact Discontinuity との間の距離を説明するためには、宇宙線によるエネルギー損失が重要だとする結果を上流媒質を一様とした 3次元磁気流体シミュレーションによって示していた。このように今回の渡航では研究成果と日本独自の非一様モデルの宣伝に成功するだけでなく、非一様モデルに対する新たな課題を発見することも出来た非常に有意義なものになった。