

日本天文学会早川幸男基金渡航報告書

2017年06月10日採択

申請者氏名	信川久実子 (会員番号 5656)
連絡先住所	〒 630-8506 奈良県奈良市北魚屋西町
所属機関	奈良女子大学
職あるいは学年	PD : 学振
任期 (再任昇格条件)	3年 (再任不可)
渡航目的	研究集会での口頭発表
講演・観測・研究題目	First discovery of iron line emission generated by low-energy cosmic rays
渡航先 (期間)	韓国 (2017年7月13日 ~ 7月15日)

私は、2017年7月に韓国・釜山で開催された国際会議 “the 35th International Cosmic Ray Conference 2017 (ICRC2017)” に参加しました。ICRC は隔年で開催され、宇宙線に関連する幅広いトピックが扱われる大規模な国際会議です。私は Gamma-Ray Astronomy (GA) 分科会において、“First discovery of iron line emission generated by low-energy cosmic rays” というタイトルで口頭発表を行いました。GA 分科会での主な参加者であるガンマ線天文学の研究者へ自身の研究を宣伝することが渡航の大きな目的でした。

銀河宇宙線の起源として、超新星残骸 (SNR) における衝撃波加速が最有力候補と考えられています。GeV 帯域以上の宇宙線は、地球近傍での直接観測に加え、電波・X線・ガンマ線観測による間接的な測定で情報が得られるようになり、SNR の衝撃波で宇宙線が最大 100 TeV にまで加速されていることが明らかになってきました。実際、GA 分科会の発表の多くは、GeV–TeV あるいはそれ以上のエネルギーを持つ宇宙線を対象とした研究です。一方、私は X線観測による低エネルギー宇宙線 (LECR) の探査をテーマに発表しました。

衝撃波加速においては、熱的分布を持つ keV 帯域の粒子がなんらかの形でエネルギーを得て加速プロセスに入ると考えられています。すなわち MeV 帯域の LECR は、熱的粒子が高エネルギー粒子へ変換されるまさに過渡期にあり、その測定は宇宙線研究の根幹と言えます。しかし LECR は、太陽磁場による遮蔽のため太陽系内での直接測定は困難であり (2012年に太陽系を脱出したボイジャーの観測が唯一のデータ)、間接的に測定できる有効なプローブもなく、これまでほとんど情報がありませんでした。LECR は星間空間に広く存在しています。そこには星間ガスがあり、中性の鉄原子などを含んでいます。LECR が星間ガスに衝突すると、その中の鉄原子を電離し、鉄の蛍光 X線 (6.4 keV) を放出します。したがって 6.4 keV 輝線を観測すれば LECR を測定できます。私はこの新しい手法で銀河系内の LECR 探査を行い、成功しました。

私は、7つの SNR で探査を行い、そのうち5つの SNR で LECR 起源の可能性が高い 6.4 keV 輝線を発見しました (W28, Kes 67, Kes 69, Kes 78, W44)。照射している LECR が陽子か電子かは 6.4 keV 輝線と連続成分の強度比 (等価幅) から制限できます。というの

も、電子の場合は強い制動放射が照射されるのに対し、陽子の場合は連続 X 線 (逆制動放射) はあまり出てきません。したがって等価幅は電子と陽子の場合でそれぞれ ~ 0.3 keV、 ~ 1 keV となります。5 つの SNR から積分スペクトルを抽出、高温プラズマ成分を引いた上で 6.4 keV 輝線の等価幅を測定すると、下限値は 0.4 keV でした。つまり電子起源は棄却され、最も可能性が高いのは陽子起源ということになります。輝線強度とターゲットとなる分子雲の密度から、LECR 陽子のエネルギー密度は少なくとも $10\text{--}100$ eV cm^{-3} と見積もられました。

さらに、私は銀河面拡散 X 線放射 (GRXE) に付随する 6.4 keV 輝線に着目しました。GRXE は銀河面上に存在する、個々の天体に分解できない拡がった放射で、その起源として暗い X 線源の集まりとする「点源説」が有力です。私は 6.4 keV 輝線の銀経・銀緯方向の詳細な空間分布を取得し、点源というよりも分子ガスの分布に近いことを発見しました。冷たい物質である分子ガス単独では X 線は出ません。分子ガスと電離している可能性が最も高いのは LECR です。さらに、GRXE と点源 (激変星・コロナ星の連星系) の平均的なスペクトルを取得し、GRXE の 6.4 keV 輝線は既知の点源の足しあわせでは説明できず、少なくとも半分は点源以外の成分が寄与していることを明らかにしました。空間分布の結果を合わせて考えると、つまり GRXE の 6.4 keV 輝線には、LECR 起源が大きく寄与していると考えられます。典型的な星間ガスの量と 6.4 keV 輝線の強度から、LECR (陽子) の密度は $10\text{--}20$ eV cm^{-3} と見積もられました。これは従来の宇宙線密度 (1 eV cm^{-3}) より 1 桁高い値です。

質疑応答の時間では多くの質問をいただき、たくさんの方に興味を持っていただけたと思います。たとえば、6.4 keV に付随する連続成分のべきが SNR ごとに異なっていたかという質問がありました。今回の解析では、統計不足のため、6.4 keV が見つかった 5 つの SNR のスペクトルを足し算して 6.4 keV の等価幅と連続成分のべきを測定せざるを得ませんでした。しかし、連続成分のべきを測定することは宇宙線のスペクトルのべきを測定することであり、宇宙線の加速や冷却について重要な情報を与えるものです。将来的には硬 X 線帯域の観測によって SNR ごとにスペクトルを測定できるように観測を行いたいと考えています。

最後になりましたが、育児休暇中により研究費が使えない中で本会議へ参加できたのは、早川基金のご支援のおかげです。ICRC は隔年の開催なので、育児休暇を終えるのを待っていると次の報告の機会は 2019 年になってしまいます。早川基金のおかげで、最新の成果を最も良いタイミングで発表できました。支援してくださった日本天文学会ならびに早川基金の関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。