

# 日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

## 35th International Cosmic Ray Conference

氏 名：信川久実子 (奈良女子大学PD (渡航当時))  
 渡航先：韓国 釜山  
 期 間：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“35th International Cosmic Ray Conference (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 $\sim 0.3$  keV,  $\sim 1$  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。分子ガスを電離している可能性が最も高いのが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合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、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 $10\text{--}20\text{ eV cm}^{-3}$ と見積もられました。これは従来の宇宙線密度( $1\text{ eV cm}^{-3}$ )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ベキが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ベキを測定せざるを得ませんでした。しかし、連続成分のベキを測定することは宇宙線のスペクトルのベキ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ます。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。支援して下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。

## 日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

*United Nations/United States of America Workshop on the International Space*

*Weather Initiative: The Decade after the International Heliophysical Year 2007*

氏 名：関大吉（京都大学M2（渡航当時））

渡航先：アメリカ合衆国

期 間：2017年7月16日～8月6日

今回、第98回早川幸男基金の助成により、アメリカ合衆国へ3週間ほど渡航させて頂いた。本レポートでは、今回の渡航の成果について、2週間の共同研究と1週間の国際会議での口頭発表について報告したいと思う。

今回の渡航では、まず2017年7月16日から7月30日までの2週間、NASAのGoddard Space Flight Centerに位置するCommunity Coordinated Modeling Centerに滞在し、当該機関の活動内

容について勉強させて頂いた。まず、背景として、現在世界中で宇宙天気という「主に太陽による惑星間空間のプラズマ擾乱」が、大停電や人工衛星の故障という形で我々の生活に多大な影響を及ぼすことが危惧されている。このため、宇宙天気を予測する「宇宙天気予測」が、世界中で研究されており、特に当該機関では、太陽物理学、太陽圏物理学、地球プラズマ科学の最新の研究成果を応用し、宇宙天気予測モデルを構築する研究が行われている。今回の渡航では、現地の太陽物理学者の予測モデリング研究についてご教授頂くとともに、自分のこれまでの研究を紹介、さらに現在の自分の研究を今後宇宙天気予測につなげる研

究について、議論させて頂いた。その結果、人間の生活へ最も大きな影響を及ぼす宇宙天気現象の1つ、コロナ質量放出（太陽における $\sim 10^{11}$ – $10^{13}$  kgのプラズマ放出現象）の地球への到来時間予測について、京都大学のSolar Magnetic Activity Research Telescope (SMART) に搭載されているSolar Dynamics Doppler Imager (SDDI) のデータを用いることで改善できる可能性があることがわかった。さらに、同学者の方と共同研究をして頂ける話も頂いたため、指導教官と相談した上で具体的に今後の研究の方向性について定めていきたい。

次に7月31日から8月4日までの5日間の国際会議について述べたい。本会議は、国連宇宙部の共催により、全世界49の国と機関から計153名の科学者、関連諸機関職員が参加し、宇宙天気予測に用いる世界中の観測インフラや最新の科学研究成果について紹介し合う場であった。僕も口頭発表者の1人として、京都大学における地上望遠鏡24時間太陽連続観測国際ネットワーク(CHAIN)について、その概要と近年の進展を発表した。

ところで、本基金（第98回早川基金）申請時には、大きく3つの抱負を掲げていた。1つ目は上記のCHAINについて、世界中のより多くの研究者に知ってもらい、ネットワークの国際展開推進に貢献すること、2つ目は会議に参加している

宇宙天気予測研究者と議論し、自身の最新の研究成果（Seki, D., et al., 2017, ApJL, 843, L24）の宇宙天気予測モデルへの応用を検討すること、3つ目は同研究成果の理論的解釈について、会議への参加が予想される理論太陽物理学者と議論することである。これらの抱負に対する今回の渡航の成果について、まず第1の抱負に関しては、口頭発表を通じておよそ100名近い世界中の専門家に我々のプロジェクトについて周知させることができ、達成できたと言える。また第2の抱負については、本会議での議論を通じて新たな予測モデルのアイデアを得たとは言い難いものの、同研究の成果自体は概ね好評を頂き、少なくとも応用の可能性が全くない訳ではないことは確認できたため、部分的に達成できたと考える。そして最新の研究成果の理論的解釈については、残念ながら理論太陽物理学者とは会えず、議論することができなかったため、達成することはできなかった。これら抱負以外には、全世界における宇宙天気関連諸機関の位置づけや、自分がその中でどの位置を占めることができるのか、占めるべきなのか、について考えさせられ、大変刺激的で勉強になる会議であった。

以上をもって、今回の渡航の報告書としたい。そして、このような素晴らしい機会を与えてくださった日本天文学会早川基金若手海外奨励事業に対して、この場を借りて深く感謝申し上げたい。