

日本天文学会 早川幸男基金による渡航報告書

SPICA Science Workshop

氏 名—加藤裕太（東京大学大学院理学系研究科
天文学専攻M2）

渡航先—オランダ

期 間—2014年5月20日-25日

今回の渡航の目的は、SPICAのサイエンスワークショップ（21st-23rd May, Leiden, the Netherlands）に出席し、Protocluster Survey at $z=2$: From Herschel to SPICAという題目で口頭発表をすることであった。SPICAは2025年に打ち上げが予定されている次世代赤外線天文衛星である。申請者は、松田有一助教（国立天文台）の指導の下、申請者が現在中心となって進めているハーシェル宇宙望遠鏡を用いた原始銀河団で見つかる爆発的星形成銀河の研究の初期結果と、それに基づいたSPICAのサイエンスケースを議論する口頭発表を行った。

銀河の形成を理解するうえでの重要な観点に、銀河のより大きなスケールでの環境に注目するという方法がある。赤方偏移 $z=2$ 以上（宇宙年齢100億年以上前）の時代に多く見つかる爆発的星形成銀河は楕円銀河の祖先であり、その一生の中で最も激しい星形成期を迎えていると考えられている。その起源の一つは銀河の衝突合体であると考えられており、したがって赤方偏移2以上の銀河高密度領域とされる原始銀河団領域では爆発的星形成銀河と、その後出現するはずの楕円銀河を含む銀河団の形成環境として有力視される。一方で観測からは、爆発的星形成銀河が原始銀河団にどれくらい出現するかわかっていない。そこで申請者は、まず原始銀河団において爆発的星形成銀河がどれくらい出現するのかを調べるため、SSA22, HS1700, 2QZ Cluster（赤方偏移 $z=3.1, 2.3, 2.2$ ）という三つの原始銀河団をハーシェル

宇宙望遠鏡を用いて観測した。ハーシェル宇宙望遠鏡には遠赤外線3バンド（250/350/500 μm ）の同時測光観測が可能なカメラ（SPIRE）が搭載されている。爆発的星形成銀河で生まれた大質量星の紫外光はいったんダストに吸収された後、遠赤外線線で再放射される。そのためハーシェル宇宙望遠鏡での観測を行えば、これまで静止系紫外・可視光線を用いた観測からは議論の難しかった、宇宙初期の爆発的星形成銀河のダストに隠された星形成を捉えることができる。

申請者はこの観測で得られた原始銀河団領域の爆発的星形成銀河の個数、空間分布、赤外線光度を、一般的なハーシェル宇宙望遠鏡の探査領域（COSMOS）の結果と比較した。これには原始銀河団と同じ天体選択手法を適用した。その結果特にHS1700において、静止系紫外光の観測で見つかっている原始銀河団銀河の数密度ピークの非常に近傍に、爆発的星形成銀河の高密度領域を発見した。これはこの場所で、ダストに隠された星形成（またはAGN活動）がより活発に行われていることを示唆している。しかし、今回捉えた爆発的星形成銀河はSPIREバンド（250/350/500 μm ）の色が $z\sim 2.3$ と合うように選択されたものであり、そのすべてがHS1700の星形成銀河の密度超過を示す赤方偏移 $z=2.300\pm 0.015$ に付随しているかどうかはわからない。そこで34-210 μm の撮像分光ができるSPICA/SAFARIが威力を発揮する。この波長帯では $z=2.3$ において[O III] 52 μm をはじめとした微細構造輝線を複数観測可能であり、赤方偏移を決定できる。さらに[O III] 52 μm と[N III] 57 μm の輝線強度比から金属量診断が、[Ne II] 13 μm , [O IV] 25.9 μm , [Fe II] 26 μm からは熱源診断（星形成かAGN）が可能で、これらは $2'\times 2'$ の視野に入る天体につ

いては1度の観測で行える。そのためSPICA/SAFARIによる観測は、原始銀河団のように広がりをもつ構造に対して非常に効率的といえる。申請者はこれらの内容に基づいて、HS1700を例としたSPICAによる原始銀河団探査のサイエンスケースを議論する口頭発表を行った。

海外で行われる国際会議での初めての口頭講演となったが、しっかりと準備をすることができた。申請者が所属している国立天文台三鷹チリ観測所内で口頭発表練習を3度行い、それを踏まえてスライドの改訂を行った。共同研究者にもスライドを回覧し、いただいたコメントを反映させた

スライドを用いて口頭発表をすることができた。質問にも予備スライドを使って対応をすることができ、帰国後は会議の報告とレビューを行うことでさらに議論を深めることができた。予算をもたない修士学生にとって、将来計画のサイエンスワークショップに「このようなサイエンスをやりたい」という主張を国際会議の場において行うことは容易ではない。そのような状況で、「日本天文学会早川幸男基金」からの支援を受け渡航できたことは非常に幸運であった。ここに感謝を申し上げる。

日本天文学会 早川幸男基金による渡航報告書 The 40th COSPAR Scientific Assembly COSMOS

氏 名—霜田治朗（青山学院大学M2）

渡航先—ロシア

期 間—2014年8月1日-11日

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もっており、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ことができ、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樣とした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でき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上げてきた。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/mL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線シンクロトン放射とH α 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 $6,000 \pm 2,800$ km/sであるのに対し、H α から測定された膨張速度は約3000–300 km/sであり、平均値は約1,200 km/sであった (Helder et al., 2009; Helder et al., 2013)。両者の間で矛盾のない膨張速度は約3,000 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 α 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 α 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) 中を伝播する衝撃波では伝播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中を伝播する衝撃波の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 α 輝線放射とX線シンクロト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 α 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うることを示した。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かかわらず、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著名なJean Ballet氏からさらに細かい内容について数多く質問され、興味をも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できた非常に有意義なものになった。