

星間現象分科会

瀬田 益道 氏 (関西学院大学)

7月25日 17:00 - 18:00 B会場

「サブミリ波で探る分子雲の姿」

星間物質の中で、比較的密度が高く低温な領域は分子雲と呼ばれている。分子雲は星形成の母胎であり、活動銀河核においては燃料としても働くなど、天文学において重要な要素である。分子雲はダストとガスから成るが、主成分である水素分子は直接見る事が困難なため、一酸化炭素等のプローブを用いて、分子雲の分布や質量等が調べられてきた。分子雲の物理状態(温度や密度)や形成過程を調べるには、サブミリ波帯での観測が重要であるが、観測装置とサイトの問題で十分な観測が行われていない。近年の技術発展でサブミリ波帯の観測装置は実用域に入っている。ところが、観測サイトとしては、最良の環境と言われている ALMA サイトでさえ、満足な条件は得られていない。南極大陸の内陸部には寒冷な高地があり、水蒸気が少なく、地上で最良のサブミリ波観測サイトである。分子雲観測の基礎から、サブミリ波の重要性、南極でのサブミリ波帯観測計画までを紹介する。

井上 剛志 氏 (名古屋大学)

7月27日 13:00 - 14:00 B会場

「星間衝撃波の物理とその天文学的応用」

The interstellar medium (ISM) is an interesting astrophysical fluid where a lot of physical processes (such as radiative cooling/heating, compressibility, magnetic field and so on) play important role. In this seminar I shall start from the review of basics physical properties of the ISM and then discuss its dynamical evolution triggered by shock compression based on our recent MHD simulations. I shall particularly focus on the ISM evolution from warm neutral medium to cold HI cloud, cold HI cloud to molecular cloud, and molecular cloud to dense star forming filaments.

星間 a1 Planck・AKARI・IRAS 衛星による銀河系ダスト放射のモデル構築

西原智佳子 (名古屋大学、銀河進化学研究室 (研 M2))

我々の住む銀河系には固体微粒子 (ダスト) が多く存在している。ダストは炭素やケイ素化合物から成ると考えられているが、その詳細な組成や結晶の状態は分かっていない。本研究の目的は Planck・AKARI・IRAS 衛星の観測データから、ダスト放射の精密なモデルを構築し、ダストの詳細な性質を求めることである。また銀河系内のダスト放射によって隠されてしまう宇宙マイクロ波背景放射などの情報を得るためにも、ダスト放射の精密なモデル化は急務である。

本研究ではダストの中でも輻射場と熱平衡になり熱的放射をする large grain に着目した。そのエネルギースペクトル (SED) は $I_u \propto u^\eta B_u(T)$ (η は定数、 $B_u(T)$ は黒体放射の放射強度) で表される modified blackbody (MBB) で近似するのが現在の主流であるが、このモデルでダスト放射を正確に記述できるかは分かっていない。そこでダストの熱的放射の近似として MBB が本当に「良い」モデルなのかを判定することを目指した。そのためにダストの放射モデルを $I_u \propto u^\eta B_u(T)$ とし、MBB: $\eta = \eta_0$ 及び 新モデル: $\eta = \eta_1 + \eta_2 \log u$ (ただし η_0, η_1, η_2 は定数) の 2 つを考え、どちらの方が「良い」モデルかを検証した。モデルの「良さ」は赤池の情報量規準 (AIC) を用いて判断している。また、ダストの密度による SED の違いを考慮するために 353 GHz での光学的深さで全天を分類して SED フィッティングを行った。その結果から η に u の依存性が入ったモデルの方が「良い」モデルであるという示唆が得られた。本講演では観測データの処理や、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) を用いた SED フィッティングの方法、考察なども含めた研究内容と今後の展望について述べる。

- 1 Akaike, H, IEEE Transaction on Automatic Control 19(6): 716-723 (1974)

星間 a2 偏波観測で見る、NGC1333 領域の磁場構造と星形成、及びフィラメント構造との関係性

金盛祥大 (東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻広域システム科学系 M1)

ペルセウス座の中に位置する NGC1333 領域は、太陽系近傍で最も活発に星形成が行われている領域の一つである。Hacar et al.(2016) は、この領域 (N_2H^+) 分子輝線の観測から、空間分布及び視線速度の情報を基に 14 個のフィラメントの三次元構造を決定し、さらに、その構造中に 50 個の星形成コアの候補天体を同定した。加えて、この領域内では、9 個の IRAS 天体 (Jennings et al.1987)、277 個もの YSO (Rebull 2015) が観測されており、YSO の年齢分布から、領域北部から南部に向かって星形成活動の中心が推移している様子が見られている。

以上から、NGC1333 領域には多数のフィラメントが存在し、付随する YSO や内部での星形成活動が確認できる。従ってこの領域から、フィラメント構造と星形成の関係性を、分子雲のスケールで観測的に理解することができると期待できる。

一般に、フィラメント構造の形成と維持には、星間磁場が強く関係していると考えられている。しかし、この NGC1333 領域における磁場の分布はよくわかっていない。

そこで、我々は NGC1333 領域の磁場構造を、サブミリ波の偏波観測を通してより明らかにすることを計画している (BISTRO:B-fields In STar forming RegiOns; Ward-Thompson et al.,2017)。NGC1333 領域の観測は早ければ 8 月の後半に行われる。この領域内の磁場は大局的にはフィラメント構造と垂直に分布すると期待されるが、領域内で視線方向に重なり合い、あるいは相互に衝突するフィラメントの内部では磁場はより複雑な分布を示すと考えられる。また、フィラメント内で形成された星からの輻射や、特に領域内で複数観測される原始星からの双極流によっても、磁場構造は大きく影響を受けると考えられる。これらの相互作用を領域全体に亘り解析することで、磁場が星形成及び星形成前後のフィラメントに与える影響を、分子雲スケールで明らかにすることができると期待される。

今回の講演では、NGC1333 領域のこれまでの観測から分かることを踏まえたうえで、われわれの観測により明確になると期待される、フィラメント構造と磁場の相関、及び磁場と星形成活動との相互作用について議論する。

- 1 Hacar et al. arXiv:1703.07029 (2017)
- 2 Bieging et al. APJS Vol226 Issue 1, article id. 13, 24 pp. (2016)
- 3 Walawender et al. Handbook of Star Forming Regions, Volume I: The Northern Sky ASP Monograph Publications, Vol. 4, p.346 (2008)

星間 a3 銀河系中心領域における Molecular-bubble 候補天体の検出

辻本志保 (慶應義塾大学 M2)

銀河系中心核から数百パーセクにわたって広がる Central Molecular Zone (CMZ) と呼ばれる領域は、高温高密度な分子ガスが集中する特異な領域である。CMZ 内のガスは非常に複雑な運動状態にあり、広い速度幅を持っている。CMZ の広域マッピング観測によって、特に $l = -1.3^\circ, 0^\circ, -0.4^\circ, -1.2^\circ$ においては CO $J=3-2/J=1-0$ 輝線強度比が極だつて高いことが明らかになっている (e.g., Oka et al. 2012)。中でも $L = +1.3^\circ$ 領域は非常に大きな運動エネルギーを伴う多重シェル構造を有し、それらの高速度端には SiO 輝線で明るいクランプが確認されている。このことから、同領域には分子雲中に深く埋もれた大質量星団が存在し、複数回の超新星爆発によって superbubble を形成する過程にあるものと解釈されてい

る (Tanaka et al. 2007)。

この $L = +1.3^\circ$ 領域と対称的な位置にある $L = -1.2^\circ$ 領域については、その高い輝線強度比に加えて、シェル構造の存在など、 $L = +1.3^\circ$ 領域との類似性が報告されていた。今回、私たちは JCMT 及び野辺山 45m 望遠鏡で取得した CO, CS 輝線データを解析し、 $L = -1.2^\circ$ 領域に新たに 4 つの膨張シェルを検出した。これらのシェルは 10^{52} 程度の運動エネルギーを持ち、その年齢は 10^5 年程度と評価できた。この運動エネルギーは数十～数百回の超新星爆発に相当し、 $10^{5-6} M_\odot$ の星団の存在を示唆するものであった。またこれらのシェルの年齢は西から東に向けて若くなっており、分子ガスと星団が異なる速度で運動していると考えられた。本講演では $L = -1.2^\circ$ 領域の多重膨張シェルの物理状態及び起源について議論する。

- 1 T., Oka, et al. ApJS, 118, 455 (1998)
- 2 T., Oka, et al. ApJS, 201, 14 (2012)
- 3 K., Tanaka, et al. PASJ, 59, 323 (2007)

星間 a4 脈動型変光星の偏光観測による銀河系中心方向の磁場構造解析 善光哲哉 (京都大学宇宙物理学教室 D1)

星間磁場は星間物質と密接に関わっている。例えば、星形成において磁場は、物質の流入を促進したり阻害する。また、銀河間の重力的な相互作用により、非対称アウトフローやガス圧縮によって銀河の構造が変化すると、合わせて磁場構造も変化すると考えられる。そのため、磁場構造の理解が銀河の構造形成史に関係してくる。しかし、磁場は理論的にも観測的にも十分に調べられていない。星間偏光は、磁場によって整列した非球形なダストに星の光が当たると、選択的吸収を受けて生じる。そのため、星間偏光は星間磁場の方向を求める有力な観測方法である。星間偏光によって磁場構造を調べる上で 1 番の問題になっているのが、距離の関数として偏光が求まらないことである。特に銀河系中心方向はダストの減光が強いため、可視光で年周視差を求める位置天文衛星ガイアですら調べることはできない。今回我々は、ダストの減光を強く受けない近赤外で、脈動型変光星の偏光観測を行った。脈動型変光星は、周期光度関係と減光則を使うことで距離が求められる。これを利用して、銀河系中心方向の磁場構造について調べた。今回の発表は、昨年度南アフリカのサザーランド観測所にある 1.4m 望遠鏡 IRSF で行った観測結果について話す。観測を行った 21 個の古典セファイドは D'ek'any et al.(2015) で発見されたものである。これらは銀経 ± 10 度、銀緯 ± 1 度以内に存在する。観測を行った領域には渦状腕があり、その磁場を反映した偏光が見られると考えられた。しかし、1 部の領域は銀河面に対して大きく傾いた磁場構造が見られた。それらについての議論を行う。

- 1 D'ek'any et al. 2015, ApJL, 812, L29
- 2 Matsunaga et al. 2016, MNRAS, 462, 414

3 Pavel, M. D. 2014, AJ, 148, 49

星間 a5 High-mass star formation in Orion possibly triggered by Cloud-Cloud Collision 堤大陸 (名古屋大学大学院理学研究科 天体物理学研究室 (A 研) M2)

太陽質量の 8 倍を超える大質量星は星間空間へ重元素やエネルギーを供給し銀河の進化に大きく影響するため、その形成を理解することは非常に重要である。大質量星の形成には、小質量星の場合と比較しておよそ 100 倍程度の質量降着率 ($10^{-4} - 10^{-3} M_\odot \text{yr}^{-1}$) が必要とされる。これを実現する方法として連鎖的な星形成の理論が考えられてきた。これらの理論は、一度できた星によるフィードバックによって次世代の大質量星が作られるというものであるが、近年の数値計算でそのフィードバックは必ずしも星形成 (効) 率を上げないことが指摘された。

一方で、大質量星の形成機構として分子雲衝突 (Cloud - Cloud Collision ; CCC) モデルが注目されている。これは、2 つの分子雲の超音速衝突によるガス圧縮によって質量降着率が大幅に上昇し大質量星が形成されるモデルであり、これまでに観測的な検証が進んでいる (e.g., Fukui et al. 2014)。そこで我々は、典型的な連鎖的な星形成領域である Orion 領域に着目した。この領域では M42 / M43 (以降 Ori A)、NGC2023 / NGC2024 (以降 Ori BS)、NGC2068 / NGC2071 (以降 Ori BN) で大質量星が形成されている。これまでに Ori A や Ori BS では CCC が大質量星形成をトリガーした可能性が観測的に示されている (Fukui et al. 2017 ; Ohama et al. 2017 in prep)。

本研究では Ori BN でも CCC が大質量星形成をトリガーしたのかを検証するため、これらの星団に付随する分子雲全体をカバーする観測を NANTEN2 で行った。その $\text{CO}(J_m = 2 - 1)$ の観測データを用いて速度ごとの空間構造の解析を行い、 8.25 km s^{-1} と 11.5 km s^{-1} の異なる速度を持つ 2 つの分子雲を同定し、位置関係からそれぞれが NGC2068 と NGC2071 に付随していると考えた。この 2 つの分子雲は空間的に型を抜いたような相補的な分布を示し、さらに両者を繋ぐ速度成分も発見された。この結果は、Ori A や Ori BS で見られた特徴と一致している。さらに衝突のタイムスケールと星の年齢もおおむね一致しており、この Ori BN でも CCC が星形成をトリガーしたと考えて矛盾しない。以上の結果を踏まえて、本講演では Orion 領域全体の CCC による大質量星形成について論じる。

- 1 Fukui et al 2014, ApJ, 780, 36
- 2 Fukui et al. 2017, arXiv:1701.04669

星間 a6 複合 H_{II} 領域 Sh 254 - 258 における分子雲衝突による大質量星形成

佐伯駿 (名古屋大学大学院理学研究科 天体物理学研究室 (A 研) M1)

太陽の 8 倍以上の質量を持つ大質量星は超新星爆発を通して周囲の星間空間に影響を与えているため、大質量星の誕生や死を理解することは銀河の進化を知る上で非常に重要な要素であるが、この大質量星の形成のメカニズムは未だ十分には解明されていない。大質量星形成の問題の一つとして大きな質量降着率が必要となることが挙げられる。現在提案されている自発的な形成モデルとして core accretion と competitive accretion の 2 つの理論モデルが存在し、どちらも非常に高密度なコアを初期条件としている。一方で、近年分子雲同士の衝突が大質量星形成で大きな役割を果たしていることが観測的にわかってきた。

複合 H_{II} 領域 Sh2 - 254, Sh2 - 255, Sh2 - 256, Sh2 - 257, Sh2 - 258 は約 10 pc の範囲に 5 つの H_{II} 領域が存在する活発な星形成領域である。それぞれの H_{II} 領域は B1 型、O9.5 型、B0.9 型、B0.5 型、B1.5 型のスペクトル型を持つ大質量星を有している。また隣接した H_{II} 領域である Sh2 - 255 と Sh2 - 257 に挟まれた領域では、分子ガスが多く存在し、現在星形成が進行している。以上のような特徴的な描像を示すため、古くから関心を持たれている。

今回我々は Submillimeter Telescope (SMT) ¹²CO ($J = 2 - 1$) 輝線、Five College Radio Astronomy Observatory (FCRAO) ¹²CO ($J = 1 - 0$) 輝線を用いて複合 H_{II} 領域に付随する巨大分子雲ガスの速度構造の詳細な検証を行い、両方の輝線において異なる視線速度の 2 つの分子雲を発見した。2 つの分子雲の空間的な分布の比較を行い相補的な構造を発見した。また 2 つの分子雲の空間的距離と速度の差から衝突したタイムスケールと大質量星の年齢が一致することから衝突によって形成されたと考えられる。

- 1 Torii, K., et al. 2015, ApJ, 806, 7
- 2 LUIS, A., CHAVARRIA, et al. 2008, ApJ, 682, 445
- 3 JOHN, H., BIEGING, et al. 2009, ApJ, 138, 975

星間 a7 電波観測で探る大質量星形成領域 Orion KL の化学組成

源治弥 (東京工業大学 地球惑星科学専攻 惑星系研究室 M1)

オリオン座の Kleinmann-Low 領域 (以下 "Orion KL") はオリオン大星雲内に位置する大質量星形成領域である。太陽系から最も近い (距離 418 ± 6 pc; Kim et al. 2008) 大質量星形成領域であり、これまで近赤外線からミリ波まで様々な波長域で dust や gas の観測がなされてきた。

Orion KL では、先行研究により Hot core, Compact ridge 等といった複数の領域が発見されており、それぞれの領域によって存在する分子種やその物理状態が異なることが指摘されている。例えば N を含む分子は Hot core、O を含む分子は Com-

pact ridge に多く存在する傾向が見られる。しかし存在量が少ない有機分子については、観測技術の限界のため分子雲内の化学的性質が依然として明らかになっていなかった。それらの分布や物理状態を探るためには電波による高感度、高解像度での観測が必要である。

これまで Orion KL においては、単一鏡と干渉計のどちらか単独のみの電波観測は多く行われてきた。しかしそれぞれの望遠鏡の特性により、観測で得られるデータに制限があった。単一鏡観測の場合は空間分解能に制限があるため、多くの分子の空間分布を分解することが難しい。一方干渉計は小さな構造の観測には適しているが、空間的に広がった構造を検出することはできない。また従来の電波干渉計では感度が不足するため、存在量が少ない分子を同定することも困難であった。

今回紹介する論文では、干渉計である Submillimeter Array(SMA) と単一鏡 IRAM 30m 望遠鏡の観測データを合わせて用いることで、様々な空間スケールの構造について解析を行っている。その結果 dust の詳細な空間構造及び輝度温度の低い複雑な有機分子 (e.g., CH₃COCH₃, CH₃CH₂OH) の分布が明らかになった。本講演ではその結果をレビューするとともに、最新の電波望遠鏡である ALMA 望遠鏡を用いた自身の研究計画についても述べる。ALMA 望遠鏡では従来よりも高感度かつ高解像度の観測が可能になるため、天体の化学構造に関する理解がより深まると期待される。

- 1 Feng, S., Beuther, H., Henning, Th., et al. 2015, A&A, 581, 71
- 2 Kim, M. K., Hirota, T., Homma, M., et al. 2008, PASJ, 60, 991

星間 a8 Chandra 衛星による超新星残骸 RX J1713.7-3946 の非熱的放射の空間分布観測 奥野智行 (京都大学 宇宙線研究室 M1)

RX J1713.7-3946 (以下、RX J1713) は、年齢が ~ 2000 年と推定されている若い超新星残骸であり、TeV ガンマ線で明るく輝くことから、宇宙線加速の研究において最も注目を浴びている天体の一つである。X 線帯域では、熱的放射はほとんど見えず、TeV 程度のエネルギーにまで加速された電子からのシンクロトロン放射が支配的であるという特徴を持つ。超新星残骸の衝撃波における粒子加速を研究する上で、シンクロトロン X 線放射の空間分布や場所ごとのスペクトルの違いを調べることは、衝撃波周辺の磁場強度や電子の最高加速エネルギー、さらには、分子雲との相互作用を明らかにするための有効な手段である。Kishishita et al.(2013) は、RX J1713 と似た SNR である Vela Jr. の北西部を衝撃波面に沿って内側に層状の領域に分けてスペクトルの解析を行っている。その結果、衝撃波面に近づくほどスペクトルが硬くなり、磁場や電子の最高加速エネルギーに依存する X 線シンクロトロン放射のカットオフエネルギーが大きくなることを示した [1]。同様

の手法を RX J1713 にも用いることで、磁場や電子の最高加速エネルギーの空間依存性が得られることが期待できる。また、Sano et al.(2015) は、RX J1713 の北西部の観測でスペクトルの光子指数の空間分布を、分子雲の分布と比較することにより、磁場が分子雲との相互作用によって増幅されていることを示唆した [2]。しかし、この解析は「すざく」衛星を用いており、2 arcmin 以上の構造にとどまる。そこで我々は ~ 0.5 arcsec の空間分解能を持つ Chandra 衛星を用いて、さらに細かい領域に分けてスペクトル解析を行った。本発表では、その結果について報告し、上で述べた先行研究との比較・検討を行う。

- 1 Kishishita, T., Hiraga, J., & Uchiyama, Y. 2013, A&A, 551, A132
- 2 Sano, H., Fukuda, T., Yoshiike, S., et al. 2015, ApJ, 799, 175

星間 a9 超新星残骸 IC 443 のスペクトルの空間構造の探査

平山ありさ (奈良女子大学 宇宙物理学研究室 M1)

超新星残骸は質量の大きな星が進化の最後を起こす大爆発によって形成される天体である。超新星残骸は観測される形態によって分類され、その中でも X 線で中心集中、電波でシェルのように見える形態を複合形態型と呼ぶ。複合形態型の超新星残骸からは熱的な X 線放射が観測され、どうして中心集中する熱的な放射を持つのか分かっていない。また、複合形態型の中には過電離プラズマという特異なプラズマを持つ超新星残骸が発見されている。このプラズマは他の形態では見られないため、複合形態型の形成シナリオを解く鍵になると考えられる。

今回解析を行った超新星残骸 IC 443 は、先行研究より複合形態型で過電離プラズマを持つことが知られている。不規則な形態をした IC 443 のプラズマを空間分割して調べることは、複合形態型や過電離プラズマの形成過程を解明する手がかりになるだろう。

IC 443 はすざく衛星によって北東、北西、南東の 3 カ所の観測が行われている。周囲の物質の分布に照らし合わせて分割し、各領域のスペクトルの解析を行った。ここでは特に 5 keV 以上のバンドに注目した解析結果を報告する。先行研究でも見られていた 6.68 keV と 6.97 keV の鉄輝線は熱的プラズマ起源のため、熱的放射をする超新星残骸ではよく観測される。6.68 keV はどの領域でも検出され、北側で特に強い放射を持つことが分かった。6.97 keV の輝線は西側以外では検出された。加えて 6.4 keV に中心エネルギーをもつ中性鉄輝線が IC 443 では初めて発見された。この輝線は熱的プラズマ以外の起源をもち、周囲の物質の影響と考えられる。6.4 keV は北側と西側で検出されたが南側では見られなかったため、局所的な放射をしていることが分かった。そこで、IC 443 の周りには分子雲やダストの分布と 6.4 keV の検出域の比較を行い、中性の冷たい鉄とプラズマ中で電離した鉄からの輝線放射の起源について議

論する。

- 1 H. Yamaguchi et al. The Astrophysical Journal, 705 (2009)
- 2 T. Ohnishi et al. The Astrophysical Journal, 784 (2014)

星間 a10 X 線天文衛星「すざく」による超新星残骸 Sgr A East の過電離プラズマの探査 小野彰子 (奈良女子大学 宇宙物理学研究室 M1)

複合形態型 (MM) 超新星残骸 (SNR) に見られる中心集中した X 線放射は、高温の電離気体 (プラズマ) からの熱的放射であるが、どのように形成されたのか未だ詳しく解明されていない。SNR のプラズマは、通常、電離優勢状態から電離平衡状態へと進化する。しかしながら MM SNR にだけ、電離よりも再結合が優勢な再結合優勢プラズマ (RP) という、通常は見られない特殊なプラズマが発見されている。この MM SNR に見られる RP の形成過程を解明することが課題となっており、これは MM SNR の進化過程を解明することにつながる。Sgr A East は銀河中心 (GC) 領域に位置する、爆発して数千年程度の比較的若い MM SNR である。そのスペクトルには年齢から期待されるよりも高階電離した鉄からの輝線が見つかり、再結合優勢プラズマを持つ可能性を示している。また、Sgr A East は GC 領域という高温・高密度・強磁場の特異な環境や、超巨大ブラックホール Sgr A* との相互作用も示唆されており、周囲の環境が Sgr A East の進化過程に影響を与えていると考えられる。本研究は、Sgr A East のプラズマ状態とその形成過程を明らかにすることを目的とし、「すざく」アーカイブデータを用いて Sgr A East のスペクトル解析を行った。スペクトルの光子統計を上げるため解析可能なデータを積算し、Sgr A East の主なバックグラウンド (BGD) となる銀河中心 X 線放射 (GCXE) を丁寧に評価した。Sgr A East のスペクトル解析の結果、Sgr A East の放射から、RP に特有の放射性再結合連続 X 線 (RRC) を発見し、Sgr A East が RP をもつ SNR であるということを明らかにした。また、低電離鉄からの 6.4 keV 輝線を初めて発見した。Cr、Mn の元素組成比が太陽組成比より大きいという兆候も見られた。講演では、Sgr A East のスペクトル解析の結果から RP の発見について、さらに、考えられる Sgr A East のプラズマの形成過程について報告する。

- 1 K. Koyama et al, Publ. Astron. Soc. Japan, 59 (2007)
- 2 Y. Maeda et al, The Astrophysical Journal, 570 (2002)
- 3 H. Uchiyama et al, Publ. Astron. Soc. Japan 65 (2013)

星間 a11 特性 X 線のドップラー広がりを利用した Kepler 超新星残骸の膨張速度測定 春日知明 (東京大学 馬場・中澤研究室 M1)

Ia 型超新星は爆発時の白色矮星質量が $1.4 M_{\odot}$ にそろうため最大光度が一定とされ、距離の指標としても使われてきた。

しかし近年の研究で、超新星は天体ごとに構造が様々であることが分かってきており、その爆発過程がみな同じだとは考えにくい。親星の核融合で生成された元素が超新星爆発の残骸 (Supernova Remnant; SNR) の中でどのように膨張しているか調べることは、爆発の構造を知る手がかりとなる。膨張速度はスペクトル中の輝線のドップラー広がりから推定できる。SNR の膨張により、我々に近づく成分からの放射は青方偏移を受け、遠ざかる成分からの放射は赤方偏移を受ける。SNR 中央で視線方向の速度差は最大になるので、中央ほど輝線が広がると期待され、その幅から SNR の膨張速度を推定できる。典型的な Ia 型 SNR として知られる “Tycho” では Fe よりも Si の膨張速度が速いことが分かり、爆発が球対称的であり、星の中の核融合で作られた重元素の「玉ねぎ構造」が現在も保たれていることが示唆された [1]。

Kepler も Tycho と同程度の年齢の Ia 型超新星であるが、SNR の熱的プラズマの解析から、重元素量が Ia 型の典型量より有意に多く [2]、Fe の比率が高い [3] などの特異性がある。したがって Kepler は Tycho とは異なる構造を持つ可能性がある。

そこで我々は X 線衛星「すざく」による Kepler 観測の公開データを解析し、輝線の広がりから元素ごとの膨張速度を推定した。我々の注目する元素の K 輝線は X 線帯域に存在する。「すざく」は同世代の X 線衛星に比べて広帯域にわたりエネルギー決定精度が高く、輝線幅を細かく議論する本研究に適している。今回は 2008 年 2 月に行われた exposure 117 ksec の観測を用い、X 線 CCD カメラ XIS で撮像された Kepler の領域を同心円状に区切りスペクトルを得た。そのうち Si の K 輝線 (~ 1.8 keV) と Fe の K 輝線 (~ 6.4 keV) を評価した。その結果いずれの輝線も SNR 中央ほど広がっている傾向が見られた。得られた膨張速度は、系統誤差の推定が不十分であるものの、Si と Fe で同程度であった。

- 1 Hayato, A., Yamaguchi, H., Tamagawa, T., et al. 2010, ApJ, 725, 894
- 2 Park, S., Badenes, C., Mori, K., et al. 2013, ApJL, 767, L10
- 3 Katsuda, S., Mori, K., Maeda, K., et al. 2015, ApJ, 808, 49

星間 b1 特異電波天体 Tornado と相互作用する分子雲の観測的研究

田邊恭介 (慶應義塾大学 M1)

Tornado(G357.7-0.1) とは、連続波で見ると竜巻状の形態を示し、明るいヘッドと暗いテールの構造をもつという銀河系内でも特異な天体である。その起源については種々の説が提唱され長らく不明であったが、近年、X 線観測によって双極構造であることが明らかにされたことから、中心コンパクト天体からの宇宙ジェットによって形成されたとする説が有力になった。

さらに、 $^{13}\text{CO} J=1-0$ 輝線観測と 1720 MHz OH メーザーの分析によって、Tornado の領域に -14kms^{-1} 雲と $+5\text{kms}^{-1}$ 雲という速度の異なる二つの分子雲が確認された。これらと OH メーザーとの対応から、二つの分子雲同士の衝突を発端として宇宙ジェットが生じ Tornado 形成に至ったとする「分子雲衝突仮説」が提唱された。なお、OH メーザーは分子雲が他天体と衝突などの激しい相互作用をした痕跡と考えられている。

本研究では、1720 MHz OH メーザーの VLA アーカイブデータを解析するとともに、 $^{13}\text{CO} J=1-0$ 輝線観測データと照合することで分子雲の運動をより詳細に議論し、分子雲衝突仮説の整合性を検証した。以上の解析と、速度チャンネル図及び位置速度図による議論の結果、次のような結論を得た。OH メーザーは Tornado 領域内に空間的に拡散して分布しており、Tornado の連続波で特に明るい領域 (コア) に広い速度範囲で分布していることを確認した。また、OH メーザーと ^{13}CO のクランプの分布は、空間的にも速度的にも非常によく対応していた。この対応から、 -14kms^{-1} 雲と $+5\text{kms}^{-1}$ 雲は Tornado と相互作用していることを再確認した。これらから、Tornado と分子雲の相互作用の中心は、Tornado のコアであったと考えられる。また、二つの分子雲の空間的分布が、Tornado のコア付近で非常によく反相関していることを再確認した。以上の特徴から、本研究では分子雲衝突仮説を支持する。

- 1 D. Sakai et al. ApJ 791 49 (2014)
- 2 M. Sawada et al. PASJ 63 S849 (2011)
- 3 D. A. Frail et al. AJ 111 1651F (1996)

星間 b2 VERA を用いた H_2O 359.616-0.248 の距離測定

加藤榛華 (慶應義塾大学 M1)

銀河系の中心核から数百 pc にわたって、星の強い集中と大量の星間物質によって特徴づけられる特異な領域がある。この領域は銀河系中心分子層 (Central Molecular Zone; CMZ) と呼ばれ、CMZ 内のガスは銀河系円盤部に比べて高温・高密度・広速度幅という特徴を持つ。CMZ 内には極めて広い速度幅 ($\Delta V > 50\text{kms}^{-1}$) を持つ空間的にコンパクト ($d < 5$ pc) な分子雲である高速度コンパクト雲 (High-velocity Compact Cloud; HVCC) が多数発見されている [1]。代表的な HVCC の一つに CO-0.40-0.22 があり、これはこれまでに発見された HVCC の中でも特に速度幅が広く ($\Delta V \sim 100\text{kms}^{-1}$)、高い CO $J=3-2/J=1-0$ 輝線強度比を示す。我々の研究グループによる詳細な分子スペクトル線観測から、CO-0.40-0.22 は $10^5 M_\odot$ の中質量ブラックホールによる重力散乱起源と解釈されている [2]。しかし、同方向には $V_{\text{LSR}} = +20\text{kms}^{-1}$ の速度に別の分子雲が重なっており、CO-0.40-0.22 と $+20\text{kms}^{-1}$ 分子雲は分子雲衝突をして広い速度幅を形成した可能性がある。我々は $+20\text{kms}^{-1}$ 分子雲内にあるメーザー源 H_2O 359.616-0.248 の距離を測定し、CO-0.40-0.22 と物理的関係があるの

かどうか調べた。

超長基線電波干渉計 VERA を用いて 2015 年 11 月から約 1 年間 H_2O 359.616–0.248 を観測し、距離と固有運動を測定した。その結果、年周視差は $pi = 0.33 \pm 0.14$ mas となり、太陽系からの距離は $r = 3.07_{-0.91}^{+2.22}$ kpc と求められた [3]。銀河系中心までの距離は約 8 kpc であるため、 $+20\text{kms}^{-1}$ 分子雲は CMZ よりも手前にあることが分かり、これらは物理的関係はないと考えられる。したがって CO–0.40–0.22 が分子雲衝突起源であることを棄却でき、中質量ブラックホールによる重力散乱起源がより確からしいものとなった。

- 1 Oka, T., Hasegawa, T., Sato, F., Tsuboi, M., & Miyazaki, A. ApJS, 118, 455 (1998)
- 2 Oka, T., Mizuno, R., Miura, K., & Takekawa, S. ApJL, 816, L7 (2016)
- 3 Iwata, Y., Kato, H., Sakai, D., & Oka, T. ApJ, 840, 18 (2017)

星間 b3 MHD 数値計算から探る銀河系中心領域における磁気活動

柿内健佑 (東京大学 鈴木・蜂巢研究室 D1)

銀河系中心領域における分子雲には銀河回転に沿った回転速度成分だけでは説明できないような複雑な速度構造を内包されていることが観測から分かっている。しかし、この速度構造についてのメカニズムや形成過程については未だ明らかにされていない。そこで我々が注目しているのが、これまであまり議論されてこなかった銀河系中心領域における磁気活動の影響である。銀河系中心近傍数 100pc 以内における磁場強度は局所的に 0.1–1mG (Yusef-Zadeh et al. 1984), 大局的に少なくとも $50\mu\text{G}$ 以上であると観測的に示唆されている (Crocker et al. 2010)。この値は平均的な星間磁場強度の数 μG を大きく上回り、十分に磁気活動が星間ガスの力学構造に影響を与えたと考えられる。これを理論的に検証するために、Suzuki et al.(2015) は銀河系中心領域における磁気流体の 3 次元グローバル計算を行った。

本研究ではこの数値計算結果を用いて、Suzuki et al.(2015) では未解析であった鉛直方向の運動、特に磁場の鉛直構造に沿って落下するガスの下降流について詳細な解析を行い、鉛直方向のガス運動が観測的な速度構造に与える影響について調べた。銀河系中心から数 100pc 離れた位置では、磁力線の滑り台構造に沿ってガスが上空から銀河面に向かうに従って重力エネルギーを解放することで、下降流の速度が約 100 km s^{-1} 程度まで加速する。本研究は、実際の分子雲中においても磁気活動によってガスの鉛直方向へ運動が励起され、複雑な速度構造の一因となりうることを示すものである。本講演では、主に鉛直構造に焦点を当て、磁気活動と速度構造との関連性について議論する。

- 1 Suzuki, T. K., Fukui, Y., Torii, K., Machida, M., &

Matsumoto, R. 2015, MNRAS, 454, 3049

- 2 Yusef-Zadeh, F., Morris, M., & Chance, D. 1984, Nature, 310, 557
- 3 Crocker, R. M., Jones, D. I., Melia, F., Ott, J., & Protheroe, R. J. 2010, Nature, 463, 65

星間 c1 ミリ波帯におけるダスト偏光の研究 梨本真志 (東北大学天文学専攻 D1)

原始重力波起源である宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) B モード偏光の観測によってインフレーションモデルの立証を目指し、世界中の研究機関がしのぎを削っている。観測対象の信号は非常に微弱なため、前景放射であるダスト熱放射と CMB を精度良く分離することが必要だ。その実現のために、ダストの物性に基づいた放射強度や偏光を考えることが重要となる。本研究ではダスト偏光度の周波数依存性に注目し、ダスト物性に基づいた偏光モデルの構築と、観測データとの比較によってダストの物性に対して新たな知見を得ることを目指す。

ミリ波帯での楕円体ダストによる放射強度はダストの複素誘電率の実部と虚部の両方に依存するが、偏光度は実部にしか依らないことを示した。この結果は、観測される放射強度と偏光度の周波数依存性はダスト複素誘電率の周波数依存性に依存していることを意味する。本講演では様々なダストの物性に対してダストの吸収効率や偏光度を計算した結果について紹介する。またこの結果をもとに、ダストの物性について議論する。

星間 c2 大質量星形成領域 Sgr B2 における分子雲衝突の痕跡

渋谷幸大 (慶應義塾大学大学院 理工学研究科 基礎理工学専攻 物理学専修 岡研究室 M1)

恒星は、星間分子雲中でガスが重力収縮することで誕生する。中小質量星の形成過程については現在までに理解が大きく進んできたが、大質量星の形成過程については未だ十分な理解が得られていない。一般に大質量星は集団で誕生すると考えられており、そのような大質量星を含む巨大な星団を形成するメカニズムとして、分子雲同士の衝突過程が近年注目されてきている。銀河系の中心核から約 120 pc の位置にある電波源 Sgr B2 は、分子雲衝突による星形成誘引が起きたとされる活動的な大質量星形成領域の一つである。長谷川ら (1994) による先行研究によれば、Sgr B2 周辺の分子雲内に三つの特徴的な構造 (Shell, Hole, Clump) があり、これらの相補的空間構造は分子雲衝突に起因するものと解釈された。しかしながら、先行研究は一酸化炭素 (^{13}CO) の $J=1-0$ 回転遷移スペクトル線データのみによっており、分子ガス分布の形態と運動以外の証拠は提示されていない。

本研究では、近年取得されたミリ波サブミリ波分子スペクトル線データを総合して、先行研究で見出された分子雲衝突の痕跡を再確認するとともに、物理状態・化学組成を反映するスペクトル輝線強度比に新たな痕跡についての調査を行っ

た。使用したデータは、野辺山 45m 電波望遠鏡、JCMT 望遠鏡、Mopra 望遠鏡によって取得された 5 種類の分子スペクトル線 CO $J=1-0$, $^{13}\text{CO } J=1-0$, CO $J=3-2$, $\text{N}_2\text{H}^+ J=1-0$, SiO $J=2-1$ のデータである。まず、CO $J=1-0$, $^{13}\text{CO } J=1-0$ データにおいては、先行研究で発見された特徴的構造を再確認した。さらに、CO $J=3-2/J=1-0$, $\text{N}_2\text{H}^+ / ^{13}\text{CO}$, SiO/ ^{13}CO 強度比の分析から、Clump 周囲において密度・温度上昇と衝撃波の痕跡が見出された。これは先行研究で提唱された分子雲衝突説を支持するものである。分子スペクトル線の銀経-速度図上において、Sgr B2 領域は銀経方向に連続した二本の構造（軌道）が交わる位置に見られる。分子雲衝突は、これら二本の軌道が交差した結果と考えられる。

- 1 Hasegawa, T., Sato, F., Whiteoak, J. B., & Miyawaki, R. 1994, ApJ, 429, L77
- 2 Sofue Y., 1995, PASJ, 47, 527
- 3 Morris, M., & Serabyn, E. 1996, ARA&A, 34, 645

星間 c3 M8 における分子雲衝突による大質量星形成 大河一貴 (名古屋大学大学院理学研究科 天体物理学研究室 (A 研) M1)

大質量星形成の理解は天文学の重要な課題の一つである。大質量星形成をトリガーするメカニズムとして注目されているものの一つが分子雲衝突 (Cloud-Cloud Collision, CCC) である。

H_{II} 領域のうち若いものは、周囲の残存分子ガスに大質量星を形成した痕跡が残っていると考えられ、大質量星形成を調べる上で重要な天体である。そこで、我々は M8 に注目した。M8 は干潟星雲とも呼ばれ、1 - 3 Myr の O/B 型星が多数付随する H_{II} 領域である。我々はこの領域の大質量星が CCC によって形成したと仮説を立て、観測・解析をおこなった。

観測は NANTEN2 望遠鏡 (口径 4m, アタカマ高地) を用いて CO ($J = 2 - 1$) 輝線に対して行なった。観測期間は 2016 年 12 月、M8 をほぼカバーする $1^\circ \times 1^\circ$ の観測範囲を 4 つのマッピングに分割して OTF 観測した。

解析の結果、分子雲が視線速度ごとに異なる空間分布を示し、O 型星が複数分布する Her 36 周辺では 9 km/s と 13 km/s の分子雲が空間的に相補分布していた。相補的な分布は衝突した分子雲に見られる特徴のひとつである。また、位置速度図は CCC の数値シミュレーションによる結果 (Takahira et al. 2014) と一致した。我々は、かつて CCC が起こり、それが M8 の大質量星形成を誘発したと考えた。本公演では、M8 での CCC による大質量星形成の可能性について議論する。

- 1 Tothill, N. F. H., Gagn'e, M., Stecklum, B., & Kenworthy, M. A. 2008, Handbook of Star Forming Regions, Volume II, 5, 533
- 2 Takahira, K., Tasker, E. J., & Habe, A. 2014, apj, 792, 63

星間 c4 野辺山 45m 望遠鏡による銀河系外縁部星形成領域 WB886 の観測的研究 小出凧人 (鹿児島大学 D1)

星形成を誘発する原因として、分子雲衝突が近年注目されている。これまでは、衝突頻度の高い銀河系内縁部の分子雲衝突の観測について精力的に観測的研究が進められてきた。しかし、Haschick & Ho (1985) では、銀河系外縁部のコンパクト HII 領域に付随する分子雲が衝突の証拠を示唆しており、銀河系外縁部においても分子雲衝突による星形成の可能性が期待される。

今回我々は、野辺山 45m 望遠鏡による銀河系レガシーサーベイ計画”FUGIN (FOREST Unbiased Galactic plane Imaging survey with Nobeyama 45-m telescope)”による銀河系外縁部 $^{12}\text{CO}(J = 1 - 0)$ サーベイデータの解析を行い、WB886 (Wouterloot & Brand 1989) に付随する分子雲を検出した。WB886 は銀河系外縁部に属する H_2O メーザーを放射する大質量星形成領域である。運動学的距離 4.93kpc を使用して分子雲の物理量を求めたところ、サイズは 16pc、光度は $767\text{Kpc}^2\text{kms}^{-1}$ 、質量は $3145M_\odot$ となった。検出した分子雲の形状について、積分強度 $I_{\text{CO}} \geq 40\text{Kkms}^{-1}$ の成分に着目したところ、WB886 には円弧状の分子雲が存在し、その位置から北東に約 0.2° 離れた近傍赤外線源 IRAS 06454+0020 を橋渡りする分子雲が見られた。本研究ではこのような形状の分子雲が、分子雲衝突によって形成された可能性について議論する。

- 1 Haschick, A. D., & Ho, P. T. P. 1985, ApJ, 292, 200
- 2 Takahira, K., Tasker, E. J., & Habe, A. 2014, ApJ, 792, 63
- 3 Wouterloot, J. G. A., & Brand, J. 1989, A&AS, 80, 149

星間 c5 フィードバックによる分子雲の破壊 猪口睦子 (京都大学宇宙物理学教室 M2)

星は巨大分子雲 (Giant Molecular Cloud; GMC) の中で誕生する。星が誕生すると、自身の輻射・恒星風・超新星爆発などの“フィードバック”により、母体となった分子雲に大きく影響を与える。フィードバックは GMC の形成・進化・破壊に密接に関わるため、これらそれぞれの働きを調べることは非常に重要である。

フィードバックが関わる問題の一つに、星形成効率 (Star Formation Efficiency; SFE) がどのようにして決まるかという問題である。なお、SFE とは GMC の中で生涯のうちに誕生した星の質量の割合のことである。観測から SFE はおよそ数 % 程度という低い値であることが知られており、このことを理論的に説明しようという試みがこれまでに多くなされてきた。ここで鍵となるのが輻射フィードバックである。GMC 内で誕生した星の輻射によって電離水素領域が生じ、その電離領域のもつガス圧及び輻射圧によって境界に衝撃波を形成し、周りの

分子ガスを掃きながら膨張した結果、分子雲が破壊されるというのが輻射フィードバックの大まかな流れである。本講演では、フィードバック計算に関する最近の論文として Kim et al. (2016) をレビューし、それを踏まえて今後の課題を議論する。

- 1 J. G. Kim, W. T. Kim, E. C. Ostriker, 2016, ApJ, 819,137

星間 c6 星形成領域における輻射圧によるダストサイズ分布の変化

一色翔平 (北海道大学 宇宙物理学研究室 D1)

Paladini et al. 2012 は星形成領域において、輻射圧が特定のサイズのダストを選択的に電離領域から飛ばす事により、ダストのサイズ分布に影響を与えうる事を観測的に示した。しかし、理論的にはダスト形成やガスの冷却降着によるダストサイズ進化を追う数値計算は行われてはいるが (e.g. Aoyama et al. 2017), そうした計算ではダストとガスを別々の運動として解かず、カップルするものと仮定して計算している。

故に、本研究では、大小 2 サイズのダストとガスの三流体方程式を計算する手法を開発した。そして、この新たな手法を用いて大質量星からの輻射によって HII 領域内のダストサイズ分布がどのように変化するかを追った。この時、ダスト抗力としては、ダストとガスの衝突による抗力とダストチャージによる抗力の影響を考慮している。また、ダストチャージについては、大小それぞれのダストについてダストチャージを解いている。シミュレーションの初期条件としては、中心に光源を置き、球対称にガスとダストを分布させた。ガスの成分としては H, He とした。ダストについては、0.1 micron と 0.01 micron のグラフィットを用いた。光源は O 星を模した黒体放射をする星、もしくは星団を用いた。初期条件としておいたガス雲の質量は $10^5 M_{\text{sun}}$, 半径は 17 pc である。

数値シミュレーションの結果、大きいダストは小さいダストと比較してガスからの抗力が弱いために、選択的に HII 領域の中心部から輻射圧によって追い出されることを示した。また光源の光度を大きくした場合、ダストチャージが強くなるために、ダストとガスの分離が進みにくくなり、ダストサイズ分布は変化しなくなることも判明した。

- 1 Paladini R., et al., 2012, ApJ, 760, 149
- 2 Aoyama S., Hou K.-C., Shimizu I., Hirashita H., Todoroki K., Choi J.-H., Nagamine K., 2017, MNRAS, 466, 105

星間 c7 パルサー星雲の 1 次元定常モデル 石崎渉 (東京大学 宇宙線研究所 D2)

パルサーは、その回転エネルギーをパルサー風と呼ばれる相対論的な電子・陽電子プラズマ流に転換している。この流れが周囲の超新星残骸に衝撃波を形成し、粒子加速過程によって非

熱的な電子・陽電子を生成する。これらの非熱的粒子が、パルサー風の磁場および星間空間の光子と相互作用し、シンクロトロン放射・逆コンプトン散乱しながら広がっている天体がパルサー星雲である。我々は以上の描像に基づいて、星雲の 1 次元モデルを構築し、非熱的粒子のエネルギー分布の発展を解くことで、定常なパルサー星雲における放射分布を求める手法を確立した。これを実際のパルサー星雲に適用した結果、標準的な理論モデルで考慮されている過程だけでは、観測事実を再現できないということが明らかになった。本講演では、以上の結果とその解釈について議論する。さらに、1 次元定常モデルの改良案として粒子の空間拡散過程について、論文発表に向けて準備中であるいくつかの結果について発表し、議論する。

- 1 Kennel, C. F., & Coroniti, F. V. 1984, ApJ, 283, 694
- 2 Slane, P., Helfand, D. J., van der Swaluw, E., & Murray, S. S. 2004, ApJ, 616,403
- 3 W. Ishizaki, S. J. Tanaka, K. Asano & T. Terasawa, 2017, ApJ, 838, 142

星間 c8 超新星残骸 SN 1987A の X 線スペクトル解析

梅田真衣 (関西学院大学 M2)

超新星残骸 SN 1987A は、1987 年 2 月 23 日に約 50 kpc 離れた Large Magellanic Cloud (LMC) に発見された超新星の残骸である。ハッブル宇宙望遠鏡による観測で、超新星を取り巻く明るいうりリング構造 (Equatorial Ring:ER) が確認されており、爆発前の親星の質量放出によって形成された密度の高い領域と考えられている (Chevalier et al. 1995)。

我々は、「すざく」による観測データの中で最も新しい、2012 年 11 月の観測データに着目して解析を行った。データの統計を良くするために「すざく」に搭載された CCD の FI(Frontside Illuminated) である XIS0 と XIS3 の観測データを足し合わせた。モデル fitting は Dewey et al. (2012) に基づき三温度から成る電離非平衡プラズマモデルで行ったが、中間温度のモデルの影響がほぼ見受けられなかったため、二温度モデルとして結論づけた。

$kT_e = 0.7, \text{keV}$ と $kT_e = 3.6, \text{keV}$ の二温度から成る電離非平衡プラズマモデルの Emission Measure から算出した電子密度は、低温成分が $2.9 \times 10^4, \text{cm}^{-3}$ 、高温成分が $2.7 \times 10^2, \text{cm}^{-3}$ となった。これは Chandra, XMM-Newton の結果 (Dewey et al. 2012; Kari et al. 2016) と比較しても矛盾の無い結論である。このことから、低温成分が ER、高温成分が HII 領域からの放射であると考えられ、また ejecta からの X 線放射は単独成分のモデルで再現できないことがわかった。

- 1 Chevalier, R. A. and Dwarkadas, V. V. 1995, ApJ, 452, L45
- 2 D.Dewey, V.V.Dwarkadas, F.Haberl, R.Sturm and C.R.Canizares 2012, ApJ, 752, 103

星間 c9 超新星残骸 HB 21 からの過電離プラズマの発見と宇宙線の逃亡シナリオの検証 鈴木寛大 (東京大学 馬場・中澤研究室 M2)

宇宙を満たす高エネルギー荷電粒子である宇宙線は、宇宙プラズマやマイクロ波背景放射と並ぶ高いエネルギー密度を持ち、銀河の進化を担う重要な要素である。宇宙線のエネルギーの $\sim 90\%$ は陽子が占めている。 10^{15} eV 以下のエネルギーの宇宙線は主に超新星残骸 (Supernova Remnant; SNR) の衝撃波面で加速されていると考えられており、実際に SNR には TeV (10^{12} eV) 以上まで加速された陽子が存在する [1]。しかし、加速陽子は増幅された SNR の磁場に閉じ込められるため、星間空間へ逃亡することが極めて困難であるという大問題が残っている。近年、分子雲と衝突している SNR の多くから、分子雲中に逃亡した加速陽子が pi^0 粒子の崩壊を起こして放射する GeV ガンマ線が検出された。一方で、分子雲と衝突し、かつ GeV ガンマ線を放射する SNR の多くが、電離温度より電子温度が異常に低い「過電離」状態のプラズマをもつことが明らかになってきた [2]。これは加速陽子の逃亡とプラズマの過電離が共通の物理現象から起こることを示唆し、加速陽子の逃亡シナリオとして「分子雲と衝突することで SNR の磁場が減衰して加速陽子が逃亡し、同時に分子雲との熱伝導で電子が急冷却したプラズマが過電離状態になる」という仮説が提唱されている。

我々はこの仮説を検証するため、分子雲と衝突している SNR HB 21 に着目した。HB 21 の最大の特徴は、ガンマ線放射が他の GeV ガンマ線 SNR より 1 桁程度弱いことであり [3]、この特殊な天体でもプラズマの過電離という共通性質が見られるかを調べた。SNR プラズマは X 線帯域で光るため、広がった熱的プラズマの観測に優れた X 線衛星「すざく」により観測を行った。プラズマの熱的 X 線スペクトルには Si の強い再結合放射が見られ、電離平衡プラズマ (電子温度 0.78 ± 0.01 keV) に加えて過電離プラズマ (電子温度 0.16 ± 0.01 keV) も存在することを、我々は明らかにした。これは上記の仮説が SNR の間で普遍的に成立することを示唆する重要な結果である。さらに本講演では、他の GeV ガンマ線 SNR も含めた様々な加速環境の比較により定量的に仮説を検証した結果についても議論する。

- 1 Abdo et al. 2010, ApJ, 722, 1303
- 2 Yamaguchi et al. 2009, ApJ, 705, L6
- 3 Pivato et al. 2013 for the Fermi LAT collaboration 2013, arXiv:1303.2091

星間 c10 TeV- 線超新星残骸における星間分子及び原子ガスを用いた宇宙線陽子の起源の探究

長屋拓郎 (名古屋大学大学院理学研究科 天体物理学研究室 (A 研) M1)

宇宙線の起源解明は、銀河の物質循環や宇宙そのものの進化を考える上で欠かせない。銀河系内については、超新星残骸 (SNR) の衝撃波面における加速理論が有望視されている。宇宙線電子については、SNR からのシンクロトロン X 線放射の検出により確認されている。目下最大の課題は、宇宙線の主成分である陽子の起源を探ることにある。鍵を握るのはガンマ線で明るい SNR である。ガンマ線は陽子・電子どちらかも放射されるが、陽子起源を確立できれば、SNR における陽子の加速を捉えたことになる。本講演では SNR からのガンマ線放射の起源について議論している論文 Fukui (2012) を紹介する。本論文のポイントは、ガンマ線が陽子起源の場合、ガンマ線と星間ガス分布が一致することに着目した点にある。これは、宇宙線陽子が周辺の星間ガス中の陽子と衝突して、ガンマ線を放射することに起因する。著者らはまず、RX J1713.7-3946 という TeV ガンマ線で明るい SNR に付随する星間ガスを特定し、全星間水素柱密度を定量した。このとき、分子ガス (CO) のみならず原子ガス (HI) も考慮したことが特徴である。分子ガス (CO) とガンマ線の分布を比べると空間的に一致しない領域が見られたが、冷たい原子ガス (HI) の自己吸収を考慮することでガンマ線の分布をよく説明することができる。また定量の結果として、ガンマ線と全星間水素柱密度の方位角方向の分布が良い相関を示した。これは、少なくとも RX J1713.7-3946 で、宇宙線陽子が加速されていることを示唆している。

- 1 Fukui, Y., Sano, H., Sato, J., et al. ApJ 746 82 (2012)
- 2 Koyama, K., Petre, R., Gotthelf, E. V., et al. Natur 378 255 (1995)
- 3 Blandford, R. D., & Ostriker, J. P., ApJ 211 L29 (1978)

星間 c11 大型レーザーを用いた磁化プラズマ中の無衝突衝撃波の生成実験における光学計測について 遠田裕史 (青山学院大学大学院 M1)

地球には絶えず宇宙から宇宙線と呼ばれる高エネルギーの粒子が飛来している。 $10^{15.5}$ eV までの高エネルギー宇宙線は、我々がいる天の川銀河内で加速されていると考えられていて、その加速起源として最も有力視されているのが、超新星爆発のときの噴出物である超新星残骸による無衝突衝撃波である。しかし、未だ理論的な解明には至っていない。超新星残骸の無衝突衝撃波における粒子の加速機構には、衝撃波面を行き来することでエネルギーを得るフェルミ加速があるが、粒子の注入問題など未解決問題が多い。無衝突衝撃波による粒子加速については、観測研究やシミュレーションによる研究が行われているが、計算機の性能の限界により実際とは違うパラメータで計算が行われているなど、完全な解明には至っていない。そこで本研究では、観測研究、シミュレーション研究に次ぐ第三の研究方法として、地上の実験室で無衝突衝撃波を生成し、その精密

測定を通じて粒子加速の理解に迫ることをめざす。本実験は一昨年度から継続し3年目となる。昨年度の実験条件を見直し、ターゲットの厚さや枚数、レーザービーム数等を変更した。現在の目標は、実験室内でのアルフベンマッハ数が3以上の磁化プラズマ中を伝搬する無衝突衝撃波の生成である。本発表では、研究背景および今年度得られた実験データの解析結果についての報告をする。

星間 c12 磁化プラズマ中を伝播する無衝突衝撃波の生成実験における協同トムソン散乱計測について 宮田親 (青山学院大学 山崎研究室 M1)

地球には絶えず宇宙から宇宙線と呼ばれる高エネルギーの粒子が飛来している。 $10^{15.5}$ eV までの高エネルギー宇宙線は、我々がいる天の川銀河内で加速されていると考えられていて、その加速起源として最も有力視されているのが、超新星爆発のときの噴出物である超新星残骸による無衝突衝撃波である。しかし、未だ理論的な解明には至っていない。超新星残骸の無衝突衝撃波における粒子の加速機構には、衝撃波面を行き来することでエネルギーを得るフェルミ加速があるが、粒子の注入問題など未解決問題が多い。

無衝突衝撃波による粒子加速については、観測研究やシミュレーションによる研究が行われているが、計算機の性能の限界により実際とは違うパラメータで計算が行われているなど、完全な解明には至っていない。そこで本研究では、観測研究、シミュレーション研究に次ぐ第三の研究方法として、地上の実験室で無衝突衝撃波を生成し、その精密測定を通じて粒子加速の理解に迫ることをめざす。

本実験は一昨年度から継続し3年目となる。昨年度の実験条件を見直し、ターゲットの厚さや枚数、レーザービーム数等を変更した。現在の目標は、実験室内でのアルフベンマッハ数が3以上の磁化プラズマ中を伝搬する無衝突衝撃波の生成である。本発表では、研究背景および協同トムソン散乱計測によりえられた実験データの解析結果について発表する。