

2019 年度 第 49 回 天文・天体物理 若手夏の学校
コンパクト天体・宇宙素粒子分科会 アブストラクト

勝田 哲 (埼玉大学 宇宙物理実験研究室)

7月30日 13:15–14:15 B会場

超新星残骸の観測から迫る超新星の親星

超新星は夜空の一点が突如明るく輝き出す天文現象で、太古の昔から知られています。21世紀の自動観測や大望遠鏡の掃天観測により、ここ数年の発見頻度は年間千件程度にも上ります。ところが、「何が爆発しているのか？」と言う基本的な問題が未だに十分には理解されていません。

これまでの研究から、8倍以上の太陽質量を持つ大質量星や近接連星に属する中質量星が起こす大爆発という所までは確定していますが、実際に爆発前の星が見つかるケースがほとんど無い(気づいた時には爆発してしまっている)ため、親星に関する詳しい情報が得られておらず、どの質量の星がどの進化段階で爆発しているのか、単独星か連星系か、親星と多様な超新星タイプとの関連性、など様々な課題が残っています。本講演では、超新星残骸の観測から親星を推定する研究を紹介します。

当真 賢二 (東北大学 天文学専攻)

7月31日 11:15–12:15 B会場

ブラックホールジェット研究の新展開

相対論的な速度(光速に近い速度)のプラズマ流は宇宙の様々な天体で見られる現象であり、それらは電波からガンマ線に渡る多波長の電磁波で観測される。その中でもブラックホールから噴出するように見えるプラズマジェット(しばしばブラックホールジェットと呼ばれる)は、活動銀河核、X線連星、ガンマ線バースト、潮汐破壊現象、コンパクト星合体に付随し、多くの高エネルギー天体研究者、宇宙素粒子研究者の研究対象となっている。「ブラックホールがいかにしてジェットを駆動するのか?」「それはどこから噴出するのか?」「いかにして光速近くまで加速されるのか?」「いかにして多波長で光るのか?」は未解明の基礎物理的な問題である。そして活動銀河核ジェットは銀河進化やその中の星形成に影響し、ガンマ線バーストは宇宙初期に形成される星の崩壊の観測手段の一つであり、またコンパクト星合体からのジェットは重力波に対応する電磁波を放射するなど、ジェット研究は様々な天文学分野に関連している。本講演では、活動銀河核ジェット、ガンマ線バーストジェットについての観測的情報と理論モデルをレビューする。特に、活動銀河核については、4月10日の世界6カ所同時記者会見で有名になった Event Horizon Telescope による M87 銀河中心のブラックホールシャドウの検出に注目する。今回の観測でジェットは検出できなかったが、数年後に望遠鏡の数を増やした観測が実現し、ジェットが検出できると見込まれている。それによってジェット駆動機構にどう迫れるか議論する。ガンマ線バーストについては近年新しい観測結果が次々と報告されるガンマ線、可視光、電波の偏光とその理論モデルに注目する。また、学際研の取り組みや自身の学際的な研究成果についても紹介したい。

コン a1 超新星爆発時のフォールバックと中心天体からのエネルギー供給が決める若い中性子星の多様性 岩田 朔 (東京大学大学院理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター M2)

10 太陽質量より重い星は進化の最後に重力崩壊型超新星爆発を起こし、中心にはコンパクト天体が形成される。その際、星の外層は爆発エネルギーを受け取って放出されるが、一部の物質は十分なエネルギーを受け取ることができず、中心天体の重力に引かれてやがてフォールバック降着が起こると考えられている。一方、中心天体が高速で自転する中性子星の場合、磁気双極子放射によって自転エネルギーを解放することで戻ってくる物質に対してエネルギーを供給し、再び外側へ押し戻すことができる。中性子星から球対称で時間のべき乗に従った量だけエネルギーが供給される場合には、降着物質の運動は自己相似解で記述することができる (Shigeyama & Kashiyama 2018)。それによると断熱指数が $4/3$ 以下の時には臨界降着率が存在し、それ以上の降着率では解がない。しかし、実際には磁気双極子放射は球対称ではなく、さらに条件次第では自己相似解の形から Rayleigh-Taylor 不安定性が生じることが予想されている。

そこで我々は中性子星からのエネルギー供給を受けたフォールバック降着流の運動について 2 次元の流体計算を実行し、球対称自己相似解との比較を行った。その結果、初期条件に摂動を加えると不安定性が成長することで解が球対称から離れ、自己相似解から求められた臨界降着率を下回る状況下でも物質が中性子星表面に到達する場合があることがわかった。また、磁気双極子放射のような非球対称のエネルギー供給の場合についても計算を行い、中性子星の持つ磁場とフォールバックの強さの関係についても調べた。本発表ではこれらの結果を若い中性子星の多様性、すなわち中心天体が強い磁場を持つマグネターになるのか、非熱的放射が見られない Central Compact Object になるのか、回転駆動型パルサーになるのかと結びつけて議論する。

1. Shigeyama, T., & Kashiyama, K. 2018, PASJ, 70, 107
2. Piro, A. L., & Ott, C. D. 2011, ApJ, 736, 108
3. Torres-Forné, A., Cerdá-Durán, P., Pons, J. A., & Font, J. A. 2016, MNRAS, 456, 3813

コン a2 X-ray emission from a failed supernova and fallback heating effect

早川 朝康 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 D3)

近年の観測で、ブラックホール (以後、BH) の存在が確実視されているが、その形成過程は未解決問題である。この問題を解決する鍵は、超新星爆発である。超新星は、大質量星の進化の最終段階で重力崩壊と共に爆発を起こし、主に可視光で明る

く輝く現象である。 $8M_{\odot}$ 以上の大半の星は中心に中性子星を残しながら、超新星を起こすとされている。しかし、最近の恒星進化理論、超新星爆発計算により、一部の大量星は、爆発を伴わず BH になり得ると予測されはじめた [1]。このような爆発に失敗した超新星は failed supernova と呼ばれる。実際に候補天体も数天体観測されており、まさに BH 形成の現場を捉えている最有力候補である [2][3]。今後より多くの failed supernova をサーベイ観測などで発見することで BH 形成理論に大きな知見が得られるが、failed supernova は可視光で暗く観測が困難である。また failed supernova と BH 形成を同時に裏付けられる可視光以外での観測や理論が必要である。そこで、failed supernova の X 線放射に注目した。何故ならば、BH 近傍では、激しい降着現象により、強い X 線放射が期待されるからである。我々は、次元輻射流体力学計算等で X 線放射の光度曲線を見積もった。その結果、透過度は放出された物質の質量やエネルギーに大きく依存することがわかった。そのため、重力崩壊時に放出される物質の少ない青色超巨星や Wolf Rayet 星では、BH からの X 線放射が崩壊後数ヶ月以内に観測可能であると判明した。また BH の活動が激しい場合、超新星と同程度に明るく、数週間で進化する可視光現象に続いて X 線放射が見えるとわかった。このようにして可視光に続いて観測される X 線は、透過度の高いハード成分から観測されうる。講演ではこれらの内容を議論する。

1. O' Connor, E., & Ott, C. D. 2011, ApJ, 730, 70
2. Lovegrove, E., & Woosley, S. E. 2013, ApJ, 769, 109
3. Gerke, J. R., Kochanek, C. S., & Stanek, K. Z. 2015, MNRAS, 450, 3289

コン a3 原始中性子星冷却でのニュートリノ-核子間反応における weak magnetism の影響

杉浦 健一 (早稲田大学 前田研究室・山田研究室 D1)

光、ニュートリノ、重力波を用いて天体現象を探るマルチメッセンジャー天文学における次なるターゲットの一つとして重力崩壊型超新星爆発 (CCSN) とその後形成される原始中性子星 (PNS) の進化が挙げられる。重力崩壊中に星の中心に形成される PNS は大量にニュートリノを溜め込んだ高温な星であり、ニュートリノを放出しながら冷えていき、中性子星へ至ると考えられている。CCSN において、PNS から放出されるニュートリノは衝撃波を爆発へ導くための加熱源として考えられており、ニュートリノを観測することは CCSN メカニズムを解明する上でも PNS 自身の進化を知る上でも重要となる。銀河系内 CCSN が起きた場合、カムイオンデ検出器においては 100s 程度のニュートリノシグナルを観測できると見積もられており [1]、PNS の長時間進化をあらかじめ理論的に解明することが、観測から最大限の情報を引き出すために求められている。PNS 冷却計算においては、ニュートリノによる冷却を適

切に扱う必要があるが、まだ理論的に不十分な点は多々残されている。本研究で着目するニュートリノ-核子間反応における weak magnetism は、核子が点電荷ではなく、実際にはクォーク 3 つからなる電荷分布を持つ粒子であることを考慮した補正であるが、weak magnetism はニュートリノ反応率に無視できない寄与を与えることが知られている [2], [3]。しかしながら、現状の PNS 冷却計算でこの weak magnetism を考慮した長時間進化計算は未だない。本研究では、ニュートリノ-核子間の反応率計算を共変的な枠組みの中で行い、散乱断面積の計算結果等がどの程度 weak magnetism によって変化するのかを調べ、PNS 長時間計算に与える寄与についても評価を行う。

1. Suwa, Y., Sumiyoshi, K., Nakazato, K., et al., 2019, arXiv:1904.09996
2. Horowitz, C.J., 2002, Phys. Rev. D65, 043001
3. Roberts, L.F. and Reddy, S., 2017, Phys. Rev. C95, 045807

コン a4 超新星コアにおけるジェットの MHD 不安定性 道籟 皓平 (早稲田大学 前田研究室・山田研究室 M1)

重力崩壊型超新星爆発の再現を試みる数値計算では、内部コアでの反跳によって生じた衝撃波が、伝播中に失速し爆発が見られないという結果が報告されている。重力崩壊型超新星爆発の爆発機構を解明する上では、この失速した衝撃波が復活する要因を突き止めることが重要である。現在ではこの要因として、ニュートリノ加熱機構が有力視されている。しかし、衝撃波復活の要因として当機構のみで十分であるかは依然研究対象であり、また、超新星爆発には、当機構のみでは説明できないほど巨大な爆発エネルギーを持った事例が知られている。このような背景から、復活の要因として、ニュートリノ加熱機構以外にも様々な機構が研究されている。本研究では、このうち、磁場の影響を考慮した機構について扱う。

重力崩壊型超新星爆発を生じる恒星は、一般に、爆発前から磁場を発生させていることが知られている。この磁場は、超新星爆発の際の圧縮と恒星の自転によって増幅され、恒星の構成物質の運動に影響を与え得ると考えられている。軸対称性を課した数値計算では、磁場が軸に巻き付けられ、軸の方向にジェット状の爆発が報告されている。しかし、Mösta(2014) は軸対称性を課さず三次元での計算を行った場合、ジェット状の爆発は見られないと指摘した。この論文で、Mösta らは、この要因としてジェットがその不安定性により崩壊するからではないかと考察している。

本研究では、ジェットの不安定性についての解析の一環として、ジェット状の定常流に摂動を加えた場合の振る舞いについて、数値計算と線形解析を用いて考察する。数値計算では、磁気流体力学数値計算コード CANS+(Matsumoto(2016)) を用

い、線形解析は、Appl(1992) にしたがって行う。その後、これらの結果について、特に摂動の成長率に注目し、考察を行う。

1. P. Mösta et al. ApJ 785 L29 (2014)
2. Matsumoto et al. arXiv:1611.01775 (2016)
3. S. Appl and M. Camenzind Astron. Astrophys. 256 354 (1992)

コン a5 一般相対論的 Boltzmann 方程式の直接解法によるニュートリノ輻射輸送計算 赤穂 龍一郎 (早稲田大学 前田研究室・山田研究室 M1)

重質量星は超新星爆発を起こして中性子星、ブラックホールなどのコンパクト天体が形成されることが知られているが、詳しいメカニズムはまだ解明されていない。近年、ニュートリノや重力波などのより精密な観測が期待されており、次のイベントに備えるという意味も含め、理論的モデルを構築、改良していくことが重要である。重力崩壊型超新星爆発におけるエネルギー輸送は主にニュートリノが担っており、そのような効果を研究するためにはニュートリノ輻射輸送シミュレーションが必要である。それは一般にニュートリノ分布関数に関する Boltzmann 方程式で記述されるが、位相空間に関する方程式である上に、衝突項を評価するためのニュートリノ反応のタイムスケールが短いため計算コストがかかり、実際にはモーメント法などを用いてニュートリノを近似的に与える研究が多くなされている。だが、そういった手法では不正確な計算結果が与えられることが知られており [1,2]、超新星計算では直接 Boltzmann 方程式を解くコードを用いることが好ましい。さらに、高密度であることによる一般相対論的效果を考慮する必要がある。先行研究において一般相対論的效果を加えた計算が行われ、より高エネルギーの爆発が得られることが知られている [3]。重力が弱いと仮定して Newtonian への補正のみを用いている研究も多いが、ブラックホール形成などを扱う場合は適切ではない。現時点では、ニュートリノ分布と時空の両方を正確に扱って超新星爆発計算を行った研究は存在せず、講演者は近似を使わない一般相対論的 Boltzmann 方程式を解く試みを行っている。本講演では、過去の研究で用いられている手法の紹介と、現在行っているコード開発のテスト計算結果、課題を説明する。

1. A. Harada et al. 2019, ApJ, 872,181
2. R. Glas et al. 2019, ApJ, 873, 45
3. T. Kuroda et al. 2012, ApJ, 755,11

コン a6 偏光分光観測で探る高輝度超新星の爆発形状 齋藤 晟 (東北大学 天文学専攻 M1)

近年、通常の超新星の 10 倍から 100 倍の明るさで輝く超高輝度超新星と呼ばれる天体が複数報告されている。しかしその

爆発のメカニズムはまだ解明されていない。通常の超新星の主たる放射エネルギー源であるニッケル 56 の放射性崩壊では、超高輝度超新星の明るさを説明できない。それを説明するためにいくつかのメカニズムの候補が挙げられているが、現在はマグネターと呼ばれる高速回転し強い磁場をもつ中性子星をエネルギー源とするモデルが有力とされている。マグネターモデルの場合は爆発の形状が球対称にならないと考えられているため、超高輝度超新星の形を知ることでこのモデルの検証をすることができる。系外の超新星のほとんどは空間的に分解することができないため、形を見るためには偏光観測を行わなければならない。今回、すばる望遠鏡の Faint Object Camera and Spectrograph(FOCAS) を用いて、明るさのピークから約 200 日後の超高輝度超新星 SN 2017egm(SLSN-I 型) の偏光分光観測を行なった。我々はそのデータを解析し、SN 2017egm のスペクトルや波長ごとの偏光度、星間偏光の値などを求めた。本研究で見積もった星間偏光の値は、Bose et al.(2018) で超新星起因だと考えられていた偏光の値とほぼ一致した。すなわち、初期には SN 2017egm は超新星起因の偏光を持っておらず、このことは超新星の外側はほぼ球対称の構造をしていることを示している。一方で、後期では SN 2017egm は偏光を持っており、このことから超新星の内側は非球対称の構造をしていると考えられる。以上より、超高輝度超新星は内側ほど非球対称の構造を持っているということが示唆される。

コン a7 HSC transient survey による Rapidly Evolving Transients の統計的解析 反保 雄介 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 M1)

PAN-STARRS1[1], Dark Energy Survey[2] といったサーベイ観測から、通常の超新星爆発と比較して、より短いタイムスケールで進化する rapidly evolving transient と呼ばれる天体が複数報告されている。超新星爆発と同程度の明るさだが、超新星爆発と比較して進化が速いことから、放出物質の総量が少ないと考えられ、超新星爆発の標準的なエネルギー源であるニッケル 56 の崩壊とは異なるエネルギー源の必要性が指摘されている。しかし、それらの天体の光度曲線の形状、絶対等級や色などの性質、発生率については、依然として不明な点が多いままである。我々は、2016 年 11 月から 2017 年 4 月にかけて行われた、すばる望遠鏡の戦略的観測 (SSP) による、主焦点広視野撮像カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) を使った突発天体探査 [3] のデータから、約 60,000 個の transient 候補天体に対して rapidly evolving transient の探査を行った。解析では、各天体の g,r,i_2,z の 4 バンドの光度曲線に対して rest frame でのガウス関数フィットを行い、そのフィットされたガウス関数の半値全幅を用いて光度曲線の形状を評価することで、rapidly evolving transient と思われる天体を分類し、統計的解析を行った。本講演では、rapidly evolving transient と判定された天体の光度曲線の形状、絶対等級、温度といっ

た個々の天体の性質を比較し、共通点や差異の由来を議論する。またこれらの天体の発生率、赤方偏移ごとの分布を上述の PAN-STARRS1 や Dark Energy Survey のサーベイ観測で得られた結果と比較する。

1. Drout, M. R., Chornock, R., Soderberg, A. M., et al. 2014, ApJ, 794, 23
2. Pursiainen, M., Childress, M., Smith, M., et al. 2018, MNRAS, 481, 894
3. Yasuda, N., Tanaka, M., Tominaga, N., et al. 2019, arXiv e-prints, arXiv:1904.09697

コン a8 HSC transient survey で探る明るい超新星の光度分布 松田 将大 (東北大学 天文学専攻 M1)

重力崩壊型超新星のピーク時の等級は $-16 \sim -18$ 等程度になるのに対し、近年発見された超高輝度超新星 (SLSN) はピーク時に $-21 \sim -23$ 等もの明るさに達する。そして両者に比べてその間の明るさを持つ超新星は報告例が少なく、超新星の光度分布にはギャップが生まれている。しかし、超新星の幅広い明るさ分布をカバーする系統的な探査は行われておらず、超新星の真の光度分布はまだ明らかにはなっていない。

今回、2016 年 11 月から 2017 年 4 月にすばる望遠鏡の戦略的観測 (SSP) によって主焦点広視野撮像カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いた突発天体の探査を行った。この探査は COSMOS 領域と呼ばれる広い範囲 (Ultra-Deep layer 1.77 deg², Deep layer 5.78 deg²) を約半年間に渡って短い時間間隔で何度も繰り返し行うものであり、約 26 等級まで検出可能な観測である。そのため短いタイムスケールで変化する超新星のような突発天体を系統的に探査するのに適している。我々はそのデータを用いて、典型的な Ia 型の最大光度である -19.5 等級より明るい超新星を系統的に解析し、その中から赤方偏移の値の持つ誤差が特に小さいもの (分光観測もしくは COSMOS2015 カタログの測光観測から参照したもの) を選び出し、光度曲線の比較、光度分布の調査などを行った。

本研究では、光度曲線や最大等級から、未だ例の少ない超高輝度超新星や光度分布のギャップ部分に属する超新星を複数同定した。さらに光度曲線による分類や性質、event rate を示し、明るい超新星の真の光度分布について議論する。

コン a9 輻射輸送計算に基づく爆発直後の新星スペクトルの考察 田口 健太 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 M2)

新星とは、白色矮星 (主星) と晩期型星 (伴星) からなる連星系において、ガスが伴星から主星表面へ降着してある程度溜まった後、熱核暴走反応で一気に燃える現象である。概して 1 日以内のタイムスケールで V バンドで 10 等ほど増光する。過

去の分光観測から P Cygni 型のスペクトル線が数多く見られているので、新星爆発に伴い主星から外へと激しい質量放出が起こることは良く知られている。

新星の増光中に分光に成功したスペクトルとしては Arai et al. (2015) の 1 例が存在し、従来の新星スペクトルに普遍的な P Cygni 型の線ではなく、吸収成分を持たない高階電離の輝線が卓越したスペクトルが報告された。このスペクトルは、新星爆発開始直後に放出された物質や新星発生以前に系の周囲に存在した物質の情報が、新星爆発後期の質量放出に飲み込まれる前の段階を見ている可能性が高い。この情報を引き出せば、新星爆発直前・直後の系の変動を調べる上での手がかりとなり、新星爆発全体の初期条件を規定することができる。

そこで我々は新星の超初期スペクトルからこの情報を引き出すため、公開コード CMFGEN(Hillier and Miller 1998) を用いて球対称大気での non-LTE 輻射輸送計算を行った。本計算では主星(光源)からの光が周囲の物質を通り抜ける過程で受ける放射・吸収を電離構造と同時に解く。これを主星周囲の物質の密度・組成を様々に変えて行った。結果 Arai et al. (2015) で得られた高階電離の輝線が多いスペクトルが再現された。また CIV5802 など一部の高階電離の輝線の強度は物質の密度に大きく依存することが分かった。本研究で得た我々のモデルスペクトルを実際の観測データと照合すれば、新星初期段階に放出された物質や新星爆発以前に系に存在した物質の量・組成を求められる。

1. A. Arai, M. Isogai, M. Yamanaka, H. Akitaka, and M. Uemura Acta Polytechnica CTU proceedings 2 257 (2015)
2. D. John Hillier and D. L. Miller ApJ 496 407 (1998)
3. M. Kato, H. Saio and I. Hachisu ApJ 838 153 (2017)

コン a10 連星系における超新星爆発の連星進化への寄与

小形 美沙 (早稲田大学 前田研究室・山田研究室 M2)

連星系は 2 つ以上の星が互いの重心周りを公転しあう系であり、その割合は中小質量星では 50%、大質量星では 80% 以上とされるほど一般的な系である。連星進化の過程では、質量輸送や共通外層などの相互作用を経る場合も存在している。さらに、これらの相互作用の結果として 2 つの星が次第に近付いていき、最終的には合体してしまうようなこともあり、連星進化では単独星進化とは異なる多様な天体を生み出すと考えられている。その中でも 2017 年 8 月に中性子星連星の合体による重力波が観測されたこともあり、中性子星連星が大質量星連星系においてどの程度形成されるのか、及びその合体確率の計算が行われている。中性子星は大質量星が重力崩壊型超新星爆発を起こした後に残る天体であるため、中性子星連星に至る連星系は超新星爆発を経験することになる。質量輸送や共通外層、

潮汐力の効果は連星に関する研究ではよく扱われている分野であるが、超新星爆発の効果はこれまでほとんど研究されてこなかった。そこで本研究では連星系における超新星爆発の影響について、超新星爆発後も星が連星として生き残り、中性子星連星に向けての進化を続ける系の割合を見積もっていく。まず、重力崩壊型の超新星を主星に、主系列星を伴星にもつ連星系において、超新星爆発の爆風が当たることで伴星にどのような変化が起きるのかを MESA を用いて調べた。さらに、爆発による kick を受けた連星系がどのような進化を辿るのかを、kick velocity の大きさや方向を変化させて計算を行った。爆風を受けた伴星は外層を大きく膨張させ、中性子星へと進化した主星を飲み込んでしまうことが確認された。一方で、kick によって連星として保つことができなくなる系もあるため、どのような条件下では連星として続く進化に向かうことができるのかを調べ、その割合を求めた。さらに、こういった連星の観測可能性についての考察を行った。

1. R. Hirai, H. Sawai and S. Yamada ApJ 792, 66 (2014)
2. R. Hirai, P. Podsiadlowski and S. Yamada ApJ 864, 2 (2018)

コン a11 球状星団におけるコンパクト連星の力学進化 吉成 直都 (東京大学天文学教室 M2)

球状星団とは、銀河のハロー内に存在する 10 万から 100 万程度の恒星が密集した天体である。球状星団のような重力多体系では、恒星どうしの相互作用が頻繁に起こる。その結果、3 体遭遇が起こり連星が形成されると考えられている。そこで、我々は、N 体シミュレーションを用いて球状星団の進化を数値計算する過程で、どれほどの連星が形成されるのかを調べる必要がある。衝突系における多粒子系の時間進化を計算するのに P³T 法という N 体シミュレーションがしばしば使われる。これは、遠方の粒子からの重力をまとめて計算し、近傍の星は直接計算することで低い計算コストで時間積分を行う手法である。しかし、球状星団内におけるブラックホールのようなコンパクト連星の軌道を計算するには、その連星のみ別のアプローチをして数値計算しなければならない。現時点では既存のコードでこのような連星の時間発展を正確に計算するのが困難のため P³T 法を改良したコードの開発に取り組んでいる。本研究では新しく開発している N 体シミュレーションコードを用いて球状星団の力学進化を計算した。その結果、予想した時刻に星団のコアが十分収縮し、中心密度が非常に高くなった。そして、コア内で 3 体遭遇が起こり連星が形成され、徐々に連星間距離を縮めていき高エネルギーになっていく様子が確認できた。発表ではこれらの結果を詳しく説明し、今後の展望について述べる。

1. Portegies Zwart,S. & McMilan,S. 2000, ApJ, 528, 1, L17-L20
2. Iwasawa,M., et al. 2015, ComAC, 2, 6, 15
3. Tanikawa,A. & Fukushige,F. 2009, PASJ, 61, 721-736

コン a12 高速電波バーストと連星中性子星合体の同時検出可能性について

鹿内 みのり (東京大学大学院理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター M1)

高速電波バースト (fast radio burst, FRB) は、ミリ秒程度の時間に電波帯で高エネルギーを放射する突発現象である。2001年の初観測 (Lorimer et al. 2007) 以降、70個ほどのFRBが発見されており、repeatの有無やピークの数などその特徴は多岐にわたっている。また、FRBの放射メカニズムは多くのモデルが提唱されており、連星中性子星合体 (binary neutron star merger, BNS merger) (Totani 2013, Mingarelli 2015, Wang et al. 2016, Yamasaki et al. 2018) は有力なモデルの一つである。BNS mergerは強い重力波源にもなりうる (Abbott et al. 2017) ことから、BNS mergerからの重力波とFRBが同時に観測される可能性があると考えられる。本研究では、実際の観測データからBNS mergerとFRBを同時に観測する確率について計算し、BNS mergerがFRBの起源になりうるほど起こるのかについて議論する。先行研究 (Feng et al. 2014) では、同じくBNS mergerを起源とするショートガンマ線バーストからのradio afterglowの検出確率について評価している。しかし、この研究の目的は、各電波望遠鏡で今後radio afterglowを検出できるかについて評価することであったため、重力波との同時観測の可能性については論じていない。本研究では、重力波検出器LIGOと電波望遠鏡CHIME (Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment) のデータを用いて、BNS mergerとFRBを同時に検出できるか議論する。本発表では、Feng et al. 2014やAbbott et al. 2016などをもとに、検出確率の計算手法についてまとめたのち、現在の経過報告および今後の研究に向けた展望について述べる。

1. Feng L. et al. 2014, arXIV: 1405.6219
2. Abbott B. P. et al. 2016, *Astrophys. J. Lett*, 832, L21 (15pp)
3. Totani T. *Pub. Astron. Soc. Jpn.* 65, L12

コン a13 MAXI データを用いた Circinus X-1 増光現象の統一的解釈

富永 愛侑 (国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 M1)

Circinus X-1 (以下、Cir X-1 と表記) は通常の星と中性子星からなる連星である。一般に X 線連星は、伴星の質量により「小質量 X 線連星 (Low Mass X-ray Binaries; LMXBs)」と「大質量 X 線連星 (High Mass X-ray Binaries; HMXBs)」に分類される。Cir X-1 は、LMXBs の特徴である I 型 X 線バーストが観測された (Tennant et al. 1986; Linares et al. 2010) 一方、軌道離心率が $e=0.45$ 、軌道周期 16.6 日で、伴星が B5-A0 型巨星であるという観測 (Jonker et al. 2007; Kaluzienski et al.

1976) も報告されており、これまでの分類に当てはまらない特異な天体である。

Cir X-1 ではこれまで、X 線強度が一日のうちに約 10 倍に跳ね上がるようなフレアが度々観測されているが、フレアは周期的なものではなく、全期間を通してスペクトルも複雑に変化している。X 線は中性子星表面とその周りの降着円盤から放射されると考えられているが、Cir X-1 の複雑なスペクトル変動は単純なモデルでは説明できない。

複雑な変動の原因を説明するモデルの 1 つとして、中性子星の周辺に吸収体が存在し、この吸収体が X 線放射領域を部分的に隠す割合が変化することで見かけ上のスペクトル変動を説明するというものがある。「てんま」衛星の観測結果はこの部分吸収モデルで説明できている (池上博論 1987)。また「Chandra」衛星では、フレア期と静穏期でカルシウムや鉄の吸収線と輝線がそれぞれ観測されており (D AI et al. 2007)、視線方向に何らかの吸収体が存在することを示唆している。

講演者は 2009 年 8 月に観測を開始した「MAXI」の約 10 年分の観測データを用い、Cir X-1 の放射強度とスペクトルの硬さによりフレアをいくつかの種類に分類した。Cir X-1 の周辺環境について、フレアの特徴を部分吸収モデルと関連させて現時点での解釈を述べる。

1. Asai, K. et al., 2014, *PASJ*, 66, 79
2. D AI, A. et al., 2007, *ApJ*, 671, 2006-2016
3. Linares, M. et al., 2010, *ATel*, 2651

コン a14 Swift 衛星による GRB090618 の減光過程の広帯域スペクトル解析

堀江 光希 (埼玉大学 宇宙物理実験研究室 M1)

ガンマ線バースト (Gamma-Ray Burst; GRB) は遠方宇宙で発生し、数秒間で 10^{54} erg のエネルギーが放射されるビッグバン以降の宇宙で最も明るい現象である。一日に一回ほどの頻度で観測され、その到来方向は全天に等方的に分布する。発見から 50 年以上が経ち観測例も多いが、いまだに放射機構など謎の多い天体現象である。その放射機構について相対論的火の玉モデルが典型的であり、そのモデルに基づくと、GRB 本体の放射は内部衝撃波から生じる非熱的放射と、コンパクトな領域からくる熱的な放射が両方とも観測されるはずであるが、従来は主に前者のみが観測されている。本研究では、GRB090618 を The Neil Gehrels Swift Observatory (Swift 衛星) 搭載の検出器 Burst Alert Telescope (BAT) と X-Ray Telescope (XRT) を用いて、幅広いエネルギー帯域で減光過程のライトカーブとスペクトルデータを解析し熱的な成分が含まれているかを調べた。まず、BAT の全エネルギー帯域を用いたライトカーブにおいて、減光が放射冷却を示す指数関数型減光であることを確認した。次に、BAT, XRT をそれぞれについて、細かくエネルギー帯域を区切ったライトカーブを描き、減光の時定数のエネルギー依存性を調べた。その結果、時定数 τ は $0.3 - 3.2$ keV

で $\tau \propto E^{-0.5}$ となり、シンクロトロン放射に期待される減光と矛盾しないが、3.2keV 以上ではその依存性から外れ、熱的成分の存在が考えられる結果が得られた。次に、エネルギースペクトル解析では、非熱的成分に熱的成分を加えることで 50keV 付近の残差構造が解消され、F スコアが 7.2 と十分大きくなりフィット結果が有意に改善した。本講演では、時定数のエネルギー依存性に基づく熱的放射成分の可能性について、特に重点的に考察する。

1. Band et al., 1999, ApJ, 413, 281
2. Rybicki & Lightman, 1979, Radiative Processes in Astrophysics
3. Gehrels et al., 2004, ApJ, 611, 1005

コン a15 相対論的変動エディントン因子の輻射輸送計算

倉西 嶺人 (筑波大学 宇宙物理理論研究室 M1)

現在までの観測により活動銀河ジェットやガンマ線バーストなどローレンツ因子 γ が 10 を越えるような超相対論的ジェットが観測されている。しかしながらこのようなジェットの形成過程については依然謎のままである。宇宙ジェットの形成では磁場または輻射が重要な役割を果たしていると考えられているが、本研究では輻射における相対論的ジェットの形成に焦点を当てて研究を行った。輻射によるジェットの形成を考える際には相対論的輻射流体力学 (以下、RRHD) として取扱う必要がある。ただし輻射によるジェットの加速の問題点として終端速度の存在による困難がある。これは輻射場を外場として与えたときに現れるものであり、相対論的輻射輸送方程式 (以下、RRT) を解くことによりこの困難を取り除ける可能性がある。第一段階として平行平板における RRT を数値的に解き、RRT のモーメント近似において重要となる相対論的変動エディントン因子 f_0^{zz} (以下、VEF) を求めその振る舞いについて考察した。具体的な手法としては、無限平行平板を仮定し平板底面からの一様等方な輻射を考え、平板の底面で速度 $\beta = 0$ 、平板の上面で $\beta = 1$ となるような流体の速度分布を仮定し、RRT を数値的に解くことで VEF を求め、その振る舞いについて調べた。結果、相対論的効果は一度 VEF を減少させるように働き、その後増加させるように働くことが分かった。これはアベレーション効果によるものであると考えられる。上記のような振る舞いは光学的に薄い系と光学的に厚い系において共通していた。また相対論的ジェットの形成において大きな問題となっている加速機構の問題についても考察を行った。上記の計算で求めた輻射場を用いて平行平板における RRHD の運動方程式を評価し、本研究のような状況設定の下では光学的に厚い系において光速付近まで終端速度が現れなくなる可能性を示した。これは輻射により粒子を光速付近まで加速できる可能性を示唆している。

1. J. Fukue. Velocity-Dependent Eddington Factor in Relativistic Radiative Flow. PASJ, 58, 461-427, 2006 April

25

2. J. Fukue. Variable Eddington Factor in a Relativistic Plane-Parallel Flow PASJ, 60, 1209-1206, 2008 October 25
3. V. Icke. Photon surfing near compact objects, Astron. Astrophys. 216, 294-304(1989)

コン a16 Event Horizon Telescope が示唆する M87 中心付近の磁場

西脇 公祐 (東京大学 宇宙線研究所 M1)

Event Horizon Telescope(EHT) は 230GHz の電波によって M87 銀河中心大質量ブラックホールの photon ring スケールでの観測を可能にした。EHT(2019) により発表された画像は、M87 の中心に Kerr ブラックホールがあることを示唆するものだった。中心ブラックホールから噴出するジェットの加速機構は長年の未解決問題だが、ジェットの根元での磁場の大きさが重要な手掛かりになると考えられている。そのためシンクロトロン放射による電波を観測することで磁場を推定する試みがなされてきた。10 R_s (R_s はブラックホールの Schwarzschild 半径) での磁場は、電子分布を非熱的と仮定した Kino et al.(2015) によれば $50\text{G} \leq B \leq 150\text{G}$ であり、磁場優勢ジェットであると考えられた。一方 $5R_s$ まで分解しフラックスのコンパクト成分を得た EHT(2019) では、熱的分布を仮定して約 5G と概算され、これらの推定値は大きく異なる。

本発表では Kino et al.(2014,2015) のレビューを中心に、EHT(2019) の結果を用いてジェットコアの磁場の大きさを再検討する。Kino et al.(2014,2015) では観測した振動数が Synchrotron Self Absorption(SSA) の光学的厚みが $\tau_\nu = 1$ となる振動数であると仮定されていた。EHT(2019) の結果の下でこの仮定や結果としての磁場の妥当性を検討し、熱的な電子分布のモデルとの比較も行う。その結果からジェット加速における磁場の寄与を再考する。

1. Kino, M., Takahara, F., Hada, K., & Doi, A., ApJ, 786, 5 (2014)
2. The Event Horizon Telescope Collaboration, ApJL, 875, L5 (2019)
3. Kino, M., Takahara, F., Hada, K., Doi, A., Akiyama, K., Nagai, H., & W. Shon, APJ, 803,30 (2015)

コン a17 フェルミガンマ線宇宙望遠鏡による超大質量ブラックホール Sagittarius A* の観測的研究 菅谷 知博 (立教大学 M1)

大多数の銀河の中心には巨大なブラックホール (BH) が存在すると考えられている。天の川銀河も例外ではなく、明るくコンパクトな電波源 Sagittarius A* (Sgr A*) の位置に $4 \times 10^6 M_\odot$ の超大質量 BH があることが知られている。また Sgr A* の領域からの放射は電波だけではなく、赤外線・X 線・ガンマ線な

ど波長にわたって観測がされ、その結果から BH やその周りの降着円盤の活動性に関する議論が現在も行われている。その中でも X 線の観測などから、現在の BH は質量降着が非常に小さく活動性が弱いことがわかっている。

本研究では、2008 年に NASA によって打ち上げられた 20 MeV-500 GeV で感度が高いフェルミガンマ線宇宙望遠鏡 (フェルミ) を用いて、Sgr A* に該当するフェルミの点源ソースの解析を行った。また先行研究 (M. L Ahnen et al 2016) より、このソースは MAGIC の観測結果を踏まえると、TeV 領域でも非常に明るく、エネルギースペクトル (SED) は 100 GeV から数 TeV まで $\Gamma_{ph} \approx 2.0$ と非常にハードな光子指数を持つことがわかっている。一方で数 GeV 付近の指数は $\Gamma_{ph} \approx 2.5$ と求まっている。

本研究はフェルミの約 10 年分の観測データを基に、上記の光子指数の結果を踏まえ、まず GeV 以上の詳細なスペクトル解析を行った。その結果 30 GeV 付近で先行研究 (D. Malyshev et al 2015) では見られなかったスペクトルのブレイクが新たに見つかった。この結果から 30 GeV を 1 つの境に少なくとも 2 つの異なった放射成分の存在が確認できたとえる。また BH 特有の突発的なフレアが過去に起きたかを調べるため、観測データからライトカーブを作成した。この時間変動を調べる意義には、起源の候補の 1 つが BH であるフェルミバブルや X 線 chimney の構造形成の解明の貢献も含まれており、変動を調べることは重要と言える。

本発表では 10 年以上の観測データを用いて、詳細なスペクトル解析から得られた 30 GeV 付近でのブレイク、及び長期間のライトカーブの解析結果を示し、その物理的解釈について議論していく。

1. M. L. Ahnen et al A&A 601, A33 (2017)
2. Malyshev, D., Chernyakova, M., Neronov, A., & Walter, R. 2015, A&A, 582, A11
3. Chernyakova, M., Malyshev, D., Aharonian, F. A., Crocker, R. M., & Jones, D. I. 2011, ApJ, 726, 60

コン a18 中性子星への超臨界降着柱モデルによる超高光度 X 線源の X 線パルス計算 井上 壮大 (筑波大学 宇宙理論研究室 M1)

超高光度 X 線源 (ULX) とは、光度が恒星質量ブラックホールのエディントン光度を超えている非常に明るい X 線源である。ULX の中心天体として、恒星質量ブラックホールと中間質量ブラックホールが考えられていたが、近年、パルスが検出されたことによって一部の ULX の正体が中性子星であることが濃厚になった (Bachetti et al 2014)。中性子星の質量は太陽と同程度なので、ULX の大光度を説明するためには超臨界降着 (エディントン降着率を超える降着) が必須である。

川島らは、中性子星の磁極付近に形成される柱状の降着流 (降着柱) の放射流体力学シミュレーションを実施し、超臨界降着

が実現可能であることと、降着柱の側面がエディントン光度以上で明るく輝くことを示した (Kawashima et al 2016)。しかしながら、この降着柱側面からの放射が、どのような光度曲線を作り出し、観測された X 線パルスを説明できるか否かについては検証されていない。

そこで我々は、Ray-Tracing 法を用いて降着柱側面からの放射による見かけの光度を計算した。一般相対論効果による光の軌道の湾曲、およびガスの落下運動によるドップラー効果によって観測者と反対側の降着柱からの放射が強まる。一方で、重力赤方偏移によって降着柱全体の見かけの光度が低下する。中性子星の自転を考慮して光度曲線を計算した結果、川島らによる降着柱モデルが、観測された X 線パルスを大まかに再現できることがわかった。講演では磁軸の傾きや viewing angle による光度曲線の変化、Pulsed Fraciton についても述べる。

1. Bachetti, M.; Harrison, F. A.; Walton, D. J.; et al. Nature, 514, 202(2014)
2. Kawashima, Tomohisa; Mineshige, Shin; Ohsuga, Ken; Ogawa, Takumi PASJ, 68, 83(2016)

section*コン a18 中性子星への超臨界降着柱モデルによる超高光度 X 線源の X 線パルス計算

井上 壮大 (筑波大学 宇宙理論研究室 M1) 超高光度 X 線源 (ULX) とは、光度が恒星質量ブラックホールのエディントン光度を超えている非常に明るい X 線源である。ULX の中心天体として、恒星質量ブラックホールと中間質量ブラックホールが考えられていたが、近年、パルスが検出されたことによって一部の ULX の正体が中性子星であることが濃厚になった (Bachetti et al 2014)。中性子星の質量は太陽と同程度なので、ULX の大光度を説明するためには超臨界降着 (エディントン降着率を超える降着) が必須である。

川島らは、中性子星の磁極付近に形成される柱状の降着流 (降着柱) の放射流体力学シミュレーションを実施し、超臨界降着が実現可能であることと、降着柱の側面がエディントン光度以上で明るく輝くことを示した (Kawashima et al 2016)。しかしながら、この降着柱側面からの放射が、どのような光度曲線を作り出し、観測された X 線パルスを説明できるか否かについては検証されていない。

そこで我々は、Ray-Tracing 法を用いて降着柱側面からの放射による見かけの光度を計算した。一般相対論効果による光の軌道の湾曲、およびガスの落下運動によるドップラー効果によって観測者と反対側の降着柱からの放射が強まる。一方で、重力赤方偏移によって降着柱全体の見かけの光度が低下する。中性子星の自転を考慮して光度曲線を計算した結果、川島らによる降着柱モデルが、観測された X 線パルスを大まかに再現できることがわかった。講演では磁軸の傾きや viewing angle による光度曲線の変化、Pulsed Fraciton についても述べる。

1. Bachetti, M.; Harrison, F. A.; Walton, D. J.; et al. Nature, 514, 202(2014)

コン a19 超臨界降着流のフラクタル次元解析 古野 雅之 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 M1)

超臨界降着とはエディントン限界と呼ばれる古典的限界を超えたガス降着であり、これは宇宙初期の超巨大ブラックホール形成問題や ULXs(超高光度 X 線源)の解明に繋がる重要な現象である。しかし輻射磁気流体の扱いの困難さにより近年まで継続的に起こり得るのかどうかは分らなかった。ところが Ohsuga et al.(2005)の行った2次元輻射流体計算によって世界で初めて継続的な超臨界降着が可能であることが示されたばかりでなく、強力な輻射圧駆動円盤風(アウトフロー)が存在することも分かった。その後 Takeuchi et al.(2013)の2次元輻射磁気流体計算、Kobayashi et al.(2018)の3次元輻射流体計算によって円盤風が解析され、ぶつぶつにちぎれた構造(クランピーアウトフロー)を持つことが分かった。またクランプのサイズと回転速度から視線を遮るタイムスケールが算出され、ULXsの光度変化を説明できることが示された(Kobayashi et al. 2018)。一方でクランプが発生する機構については Takeuchi et al.(2013)によって検証されたものの、シート状になる物理過程の解明には至っていない。またクランプサイズは円柱座標の r 方向と θ 方向各々で平均的な値を求めたものであり、シート状構造の解析としては不十分である。そこで本研究ではフラクタル次元解析を用いてクランピーアウトフローの次元を直接求め、2次元構造物の有無を検証した。同時にアウトフローの異なる部分における次元を調べ、非整数フラクタル次元の解釈と次元変化から噴出に伴う構造変動の解析を行った。その結果、Kobayashi et al.(2018)の解析でシート状クランプの存在が示唆されたアウトフロー領域では、実際に2次元に近い値を示すことが分かった。また次元を調べる領域のBH近傍からアウトフロー外縁への移動に伴い、次元が3次元から1.6次元程度に下がることが判明した。これは噴出時に等質なガス流が、まず2次元(シート)状に分裂し、その後さらに捻れた紐状構造になっている可能性を示唆している。本講演ではこれらの研究成果の詳細を解説する。

1. Ohsuga, K., Mori, M., Nakamoto, T., & Mineshige, S. 2005, ApJ, 628, 368
2. Takeuchi, S., Ohsuga, K., & Mineshige, S., 2013, PASJ, 65, 88
3. Kobayashi, H., Ohsuga, K., Takahashi, H. R., et al. 2018, PASJ, 70, 22

コン a20 超高光度 X 線源 Holmberg IX X-1 の広帯域 X 線同時観測スペクトル解析

吉武 知紘 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 M1)

我々の近くの銀河を観測すると、銀河中心から離れた位置に超高光度 X 線源 (Ultraluminous X-ray Sources; ULX) が見つかることがある。ULX とは X 線で非常に明るい天体 (X 線光度が 10^{39} erg/s 以上) であり、このような高光度を説明できる有力な説としては、30 太陽質量以下の恒星質量ブラックホールへの超臨界降着 (エディントン限界降着率を超える降着) がある。超臨界降着の場合、重力半径の30倍程度より外側では標準円盤で近似できるが、それより内側では光学的に厚いアウトフローによるコンプトン散乱が効くことが予想されている (Takahashi et al. 2016)。この2つの領域の遷移半径を観測から求めることで、中心ブラックホールの質量の推定が可能となる。そこで我々は、X 線天文衛星 *XMM-Newton* と *NuSTAR* の X 線同時観測データがある ULX Holmberg IX X-1 に着目した。この天体は先行研究 (Walton et al. 2014) により超臨界降着が示唆されているため、二成分モデルを用いて広帯域 (0.3-30 keV) X 線スペクトルを解析した。本研究では ULX のより現実的な降着流の構造を反映させるため、標準円盤の内縁温度とコンプトン散乱の種光子の温度を独立パラメータとして扱った (Shidatsu et al. 2017)。その結果、これまででない精度でその広帯域 X 線スペクトル再現に成功した。本講演では Holmberg IX X-1 における超臨界降着流の構造及び遷移半径から推定したブラックホール質量について議論する。

1. Shidatsu, M., Done, C., & Ueda, Y. 2016, ApJ, 823, 159
2. Walton, D. J., Harrison, F. A., Grefenstette, B. W., et al. 2014, ApJ, 793, 21
3. Takahashi, H., Ohsuga, K., Kawashima, T., Sekiguchi, Y. 2016, ApJ, 826, 23

section*コン a21 X 線衛星「すざく」を用いた Eddington 限界を超えた光度を持つ中性子星連星 SMC X-1 の観測
高嶋 聡 (東京大学 馬場・中澤研究室 M1) 降着天体の光度がある値を超えると放射圧が降着物質の重力を上回って外へ吹き飛ばすため、天体の明るさには限界がある。これを Eddington 限界といい、 $L_E = 1.2 \times 10^{38} M/M_\odot \text{ erg s}^{-1}$ と表せる [1]。これまでの観測で光度が $10^{40} - 10^{41} \text{ erg s}^{-1}$ と明るい、ULX (Ultraluminous X-ray sources) が見つけられてきた。ULX は放射している光度とその Eddington 限界を考えると質量が $50 M_\odot$ を超えるブラックホールであると考えられてきた。しかし銀河 M82 にある $1.8 \times 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ もの放射をする ULX の場所と中性子星由来のパルスが観測される場所が一致したことから中性子星も ULX になり得ることが示唆されている [2]。そこで ULX の放射機構について調べるため、X 線

連星 SMC X-1 に着目した。小マゼラン雲にある SMC X-1 は HMXBs (High-mass X-ray binaries) で $5 \times 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ と、Eddington 光度近くで輝く非常に明るい天体である [3]。パルスの周期は 0.71 s で主星が B0Ib 型の超巨星 ($17.2 M_{\odot}$)、伴星が中性子星 ($1.06 M_{\odot}$) であることが知られている。SMC X-1 は明るいため詳しい観測が行われており、ULX パルサーの性質を詳しく調べるのに最適である。X 線天文衛星「すざく」では 2011 年 4 月-2012 年 3 月の間で 10 回にわたって観測している。

論文 [3] では「すざく」の 10 回目の観測のデータについて SMC X-1 の降着円盤の周囲のコロナからイオン化した鉄の吸収線が見られることを「すざく」の X 線撮像検出器 XIS を使って報告し、そのスペクトルの赤方偏移の度合いにより降着物質がどのように運動するのかを議論している。我々も「すざく」の XIS のデータを用いて強くイオン化された鉄イオン由来の吸収線を調べて論文の結果と一致するのかを検証した。さらに論文では観測データの一部しか使われていないが、今回 XIS と硬 X 線検出器 HXD を使った広範囲の解析により Eddington 限界を超えた天体の降着流の運動に関する解析結果について詳しく述べる。

1. 小山勝二, 嶺重慎, ブラックホールと高エネルギー現象, シリーズ現代の天文学, 日本評論社 (2007)
2. M. Bachetti et al., Nature 514, 202-204 (09 October 2014)
3. M. Kubota et al., The Astrophysical Journal Letters, 868, L26, 5 (2018)

コン b1 相対論的輻射磁気流体シミュレーションによるブラックホール超臨界降着円盤のアウトフロー形成

内海 碧人 (筑波大学 宇宙理論研究室 M1)

ブラックホールにガスが降着する場合、降着円盤が形成される。その中には、「エディントン光度」を超える大光度で降着する超臨界降着円盤が存在する (エディントン光度とは、球対称降着において重力と輻射がつり合う時の限界光度である)。超臨界降着流についての研究はシミュレーションコードの発展により近年盛んに行われるようになったが、ジェット加速や円盤の降着率依存性など、明らかになっていないことが多岐にわたって存在する。

超臨界降着円盤の問題を解決するには、輻射流体力学方程式を解く必要がある。なぜなら、降着円盤では輻射冷却や輻射圧が重要な役割を担うからである。さらに超臨界降着円盤では磁場を介したブラックホールの回転エネルギーの抽出を考える必要もあるため、相対論的効果と磁気的効果も考えなくてはならない。

本発表では上記の条件を満たす、特殊相対論的輻射磁気流体力学 (SR-RMHD) code を用いて調査を行った Takahashi & Ohsuga 2015 についてのレビューを行う。この論文では、特

に相対論的輻射流体効果である輻射抵抗に着目し、超臨界降着流におけるアウトフローの速度構造を明らかにした。アウトフローは、強い輻射フラックスにより加速されるが、速度上昇に伴う輻射抵抗の増加によって加速が抑制される。最終的な速度は光速の 40 % 程度となり、銀河系内の強力なジェット天体、SS433 の観測と一致することが示された。また、円盤内縁から離れたところでは、フラックスの広がる効果と輻射抵抗により、広角の速度の遅いアウトフローが形成されることが分かった。円盤の内縁付近では Absorption time より Freefall time の方が大きくなるため円盤は高温となることもわかった。

また、上記論文のレビューに加え、一般相対論的効果を取り入れた一般相対論的輻射磁気流体力学 (GR-RMHD) シミュレーションと SR-RMHD シミュレーションとの比較結果についても紹介する。

1. Hiroyuki R. Takahashi and Ken Ohsuga. 2015, PASJ, 67, 60
2. Hiroyuki R. Takahashi, Ken Ohsuga, Tomohisa Kawasima, and Yuichiro Sekiguchi 2016, ApJL, 826, 2

コン b2 一般相対論的輻射輸送シミュレーションの研究に向けたレビュー

高橋 幹弥 (筑波大学 宇宙理論研究室 M1)

強重力場中における物理は未解決な問題も多く、現在でも盛んに議論されている。例えば、ブラックホール近傍に生じる降着円盤の形成のプロセスを考えると、強重力場中の一般相対論的な効果を考えることが不可欠である。降着円盤の形成を支配する要素の 1 つは、ガスなど流体のダイナミクスである。加えて、それらと光子の相互作用も重要であることが知られている。ブラックホール周りのガス中を光子が伝搬すると、放射や吸収、および散乱を通してエネルギーや運動量のやりとりが生じる。このような光子との相互作用を輻射輸送という。輻射輸送は、ガスの冷却・過熱などに関係している。これにより流体のダイナミクスに影響を及ぼすため、天体現象を考える上で非常に重要なプロセスである。流体計算と輻射輸送を組み合わせる試みは、Susa(2006) などがある。しかし、一般相対論的な効果を考慮した輻射輸送の数値計算は、因果律の保持や光子の伝搬速度を無視できないので、時間に依存した輻射輸送方程式を解かなければいけないことや、時空の歪みによる光の湾曲などを考慮しなければいけないため、非常に困難であった。R.Takahashi ら (2017) は、このような困難を解決し、光の湾曲や時空の引きずりなどの一般相対論的な効果をフルに考慮した輻射輸送の数値計算を行える ARTIST というコードを開発した。ARTIST は、MASTER という別のコードで得た、曲った時空の上での解析的な測定線に沿って輻射輸送方程式を解く。ただし、この ARTIST では、数値計算は赤道面に限定されている。私は、修士課程の 2 年間を通して、この ARTIST を赤道面に限定せずに数値計算を行えるコードに拡張することを目指す

している。そのため、今後の研究への足がかりとして、本講演では ARTIST による数値計算の結果を示した論文のレビューを行い、その理解を深めることを目的とする。

1. R.Takahashi and M.Umemura, MNRAS 464,4567-4585(2017)
2. H.Susa, PASJ 58,445-460(2006)

コン b4 多体系の Hill 安定性に対する一般相対論的効果の影響

鈴木 遠 (早稲田大学 前田研究室・山田研究室 D2)

近年、重力波観測の観点から超大質量ブラックホール (SuperMassive Black Hole: SMBH) 周りのコンパクト天体の挙動が注目されている。SMBH と複数のコンパクト天体が多体系をなしているとき、その軌道は重力相互作用により複雑な進化を見せる。SMBH 周りのコンパクト天体が安定な軌道運動をする場合、そこから放出される重力波は 2030 年代打ち上げ予定の宇宙重力波望遠鏡 LISA で観測されることが期待されている。一方、複数のコンパクト天体が不安定な軌道進化をする場合、そのカオスの挙動によってコンパクト天体同士の衝突合体が誘発され、そこからの重力波が地上重力波望遠鏡 LIGO・Virgo で観測されることが期待されている。このような複雑な軌道進化からもたらされる重力波の波形やその観測可能性について知るためには、強い重力のもとでの軌道進化やその安定性について系統的に調べる必要がある。多体系の軌道は重力相互作用により複雑に進化するが、軌道安定性についての議論はこれまでニュートン力学の範囲でのみ行われており、一般相対論的重力のもとで軌道安定性を体系的に議論した研究は未だなされていなかった。ニュートン力学的な安定性解析の一つが Hill 安定性問題である。この研究は、多体系を構成する 2 つの天体の軌道が極めて接近すると天体同士の衝突やカオス的な動きによる系からの離脱を誘発することに着目し、「軌道が近付きすぎないこと」を条件として軌道の安定性を調べたものである (Hill, 1878)。本研究では、先行研究で与えられているニュートン力学的な Hill 安定性解析手法を相対論的に拡張することで、多体系の相対論的 Hill 安定性を調べた。手法の拡張に際しては、ポストニュートン近似を用いることで、運動方程式に対する補正項という形で相対論的効果を取り入れた。この手法を用いて 3 体系の相対論的 Hill 安定性を調べたところ、ニュートン力学で与えられていた解析的な Hill 安定性条件 (Gladman 1993) が相対論的計算においては破れていることがわかった。

1. Hill, G. W., 1878, American J. Math., 1, 5
2. Gladman, B., 1993, Icarus 106, 247
3. Chambers, J. E., Wetherill, G. W., and Boss, A. P., 1996, Icarus 119 261

コン b5 1 型 Seyfert 銀河 NGC 5548 の X 線スペクトル変動の解釈

御堂岡 拓哉 (国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 M2)

銀河中心の超巨大ブラックホールに物質が降着し、重力エネルギーを解放することで強い X 線を放射している天体を「活動銀河核 (AGN)」という。AGN のうち、比較的近傍にあり、可視光領域で高電離イオンの広がった輝線がある天体を「Seyfert 銀河」と呼ぶ。Seyfert 銀河の X 線スペクトルは幅広いタイムスケールで激しく変動しており、その変動の原因を説明するモデルは複数提唱されている (e.g., Fabian et al., 2002)。我々は、二層構造を持つ吸収体が X 線源を部分的に覆い隠す割合 (部分吸収率) の変化を主なスペクトル変動の原因とする「Variable Double Partial Covering (VDPC) モデル」を提唱している (e.g., N. Iso et al., 2016)。私は複雑な X 線スペクトル変動を示すことで知られる 1 型 Seyfert 銀河 NGC 5548 に対し、VDPC モデルを用いて先行研究 (M. Cappi et al., 2016) より少ないパラメータで変動の解釈を試みた。NuSTAR, Suzaku, XMM-Newton の 3 つの X 線衛星による NGC 5548 の観測データに、0.3–78keV の広帯域スペクトル解析を行ったところ、部分吸収率、power-law 成分の強度、軟 X 線超過成分の 3 つの変化のみでスペクトル変動の説明を行った。さらに、より短いタイムスケールの変動を説明するライトカーブ解析も行うことで、100 秒間から 16 年間に渡る様々なタイムスケールでの変動に対する、シンプルな解釈に成功した。

1. M. Cappi et al. 2016, A&A, 592, A27
2. N. Iso et al. 2016, PASJ, 68, S27
3. A.C. Fabian et al. 2002, MNRAS, 331, L35

コン b6 活動銀河核ジェットの駆動メカニズム解明～輻射輸送計算による偏波イメージ予測

恒任 優 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 M2)

今年 4 月、EHT(Event Horizon Telescope) による史上初めてのブラックホールの直接撮像の結果が発表された。これは活動銀河核の正体が超大質量ブラックホールと周りのプラズマであるという説の実証でもある。輝かしい成果の一方で、EHT による観測は課題も残している。ターゲットである M87 は大規模なジェットを持つことで知られていたが、今回のブラックホール地平面付近の観測では、意外にもそのジェットが全く見られなかった。こういった活動銀河核ジェットの駆動機構は未解明であり、天文学における最大の謎の 1 つに数えられている。特にブラックホールに近い根元付近の磁場構造が鍵を握ることを理論シミュレーションが示唆しており、地平面付近でジェットが観測されなかったことはその構造解明にあたり重要な意味を持つ。そこで本研究では地平面付近の磁場構造を調べ、ジェットが見えなかった理由を明らかにすることを目的と

した。手法として、独自に開発した偏光の一般相対論的輻射輸送計算コードを用い、理論モデルに基づく偏波イメージをシミュレーション予測した。対象天体 M87 のモデルとして、現状で唯一既存の電波干渉計観測から示されたジェット幅と合致する一般相対論的磁気流体力学 (GRMHD) モデルを採用した。計算からブラックホールが速く回転する場合に EHT の観測をうまく再現できた。この場合、磁場は回転に捻られジェットを形成するが、地平面付近では加速が弱いという構造が提示された。直線偏光は外側のプラズマからファラデー回転を受けが、ある程度磁場構造を反映する。一方で円偏光は放射時点では弱く先行研究では注目されていなかった。しかし本計算からブラックホール付近の高温プラズマでファラデー変換が起こり、直線偏光が円偏光に分配されることがわかった。従って円偏光の観測からジェット構造の手がかりを得られることを世界で初めて提示した。

1. Event Horizon Telescope Collaboration et al. 2019, ApJL, 875, L1 – 6
2. Blandford, R. D., Znajek, R. L. 1977, MNRAS, 179, 433
3. Nakamura, M., Asada, K., Hada, K. et al. 2018, ApJ, 868, 146

コン b7 相対論 MHD ジェット伝搬シミュレーションと電波帯疑似観測

田嶋 裕太 (九州大学 宇宙物理理論研究室 M1)

本講演では、Fuentes et al.(2018) による活動銀河 (AGN) ジェットの相対論的磁気流体数値計算とその観測的可視化に関するレビューを行う。

AGN は中心に太陽の 10-100 億倍の質量を持つブラックホールがあり、そこから、数百 kpc もの長さに渡って銀河間の虚空を貫く相対論的なジェットの放射を噴出している。VLBI による偏波観測から、ジェットは中心天体から数 pc 程離れた位置で超光速まで加速されていることが明らかとなっている (e.g. Cheung et al. 2007)。この sub-pc スケールでの加速は、磁気エネルギーが効率的に運動エネルギーへと変換されることで実現すると考えられているが、未だその詳細な機構は明らかとなっていない。特に、理論研究は、トロイダル磁場の卓越がジェット加速に必要である事を示しているが (Komissarov et al. 2007)、観測ではポロイダル磁場構造をもつことが示唆されている (Gabuzda et al. 2015)。そのため、観測結果が示唆する磁場構造と整合を持つ理論モデルを作成する必要がある。

本論文は、らせん磁場を持つジェットの伝搬を相対論的に追跡し、その結果得られる物理量を用いた疑似観測を行った。ここでは、ジェット伝搬で優勢となるエネルギーの種類依存性を検証している。その結果、磁気エネルギー優勢モデルは磁気圧勾配と磁気張力によって内部エネルギーがジェットの軸周辺で他モデルよりも卓越し、放射強度が強くなることを示した。この結果を用いてストークスパラメータを導出したとこ

ろ、ジェットに層状の直線偏光が表れ、ジェット見込み角が小さい ($< 2^\circ$) 場合では、偏光角分布に二峰性が見られた。さらに内部衝撃波による明るい部分では偏波角の最大 26° 程度の変化が見られた。この特徴を用いることで、宇宙ジェットの内部衝撃波を特定できると結論付けている。

1. Fuentes, A., Gómez, J. L., Martí, J. M., & Perucho, M. ApJ, 820, 90 (2018)

コン b8 重力波観測での中性子星-白色矮星連星の観測可能性

衣川 智弥 (東京大学天文学教室 PD)

重力波観測により、連星ブラックホール合体や連星中性子星合体といったコンパクト連星の合体が観測され始めている。重力波の将来計画では、より低周波側のコンパクト連星合体も観測される。そこで、中性子星と白色矮星からなる連星合体に着目した。中性子星白色矮星連星が、重力波観測の将来計画である DECIGO で観測されうることに着目し、観測可能性と電磁波対応天体としての可能性について議論する。

コン b9 MHD シミュレーションに基づく電波星雲 W50 と X 線連星 SS 433 の共進化の解明

小野 宏次郎 (九州大学 宇宙物理理論研究室 M2)

系内 X 線連星 SS 433 は電波星雲 W50 (銀経 40° 、銀緯 -2°) の中心部に位置し、光速の約 26% の速さで東西方向に伝播するジェットを持つ。W50 は中心のシェル状構造と東西に伸びる非対称なローブ構造を持ち、その軸は SS 433 ジェットの軸とほぼ一致している事が確認されている (Blundell & Bowler 2004)。そのため、W50 の成因は母体となる超新星残骸 (SNR) をジェットが引き伸ばしたことによると考えられている。SS 433 は銀河系内に位置することから多波長観測が進められている希少な天体である。とりわけ SS 433 ジェット先端領域における磁場解析から、ジェット軸に沿った成分及び衝撃波に平行な成分が報告されており、磁場が本質的に重要な役割を持つ事が示唆される (Sakemi et al. 2018)。W50/SS 433 系の成因の解明を目指した先行研究は、SNR とジェットによる複合モデルが主流であり、これまでに流体計算が成されてきた (2 次元における計算例: Goodall et al. 2011、3 次元における計算例: Zavala et al. 2008)。しかしながら、W50/SS 433 系は磁場を持っているため、MHD シミュレーションによる形成起源の調査が必要である。そこで我々は W50/SS 433 系の構造形成メカニズムを検証するため、ジェットに平行かつ一様な背景磁場中において初期に球対称な SNR を与え、トロイダル磁場を持つジェットを中心から噴出させることで共進化の様子を追った。本講演では、観測量であるシンクロトロン放射強度を計算後、観測結果と比較することにより、ジェットの総エネルギーやプラズマ β が構造形成に与える影響について報告する。加えて、放射冷却の有無による構造の違いについても言及

する。

1. Blundell K. M. & Bowler M. G., 2004, ApJ, 616, L159
2. Goodall P. T., Alouani-Bibi F. & Blundell K. M., 2011, MNRAS, 414, 2838
3. Zavala J., Velázquez P. F., Cerqueira A. H. & Dubner G. M., 2008, MNRAS, 387, 839

コン b10 超新星爆発のイジェクタ内での磁場増幅 新井 瑞月 (東京大学 理学系研究科地球惑星科学専攻 M1)

地球上には宇宙線と呼ばれる高エネルギー粒子が絶えず飛来しており、この中でもエネルギーが $10^{15.5}$ eV 以下の場合には銀河系内の超新星残骸で生成されると考えられている。宇宙線の加速機構の候補の1つとして衝撃波統計加速が挙げられ、この加速機構の加速効率は乱流磁場の大きさに依存していることが知られている。超新星爆発の瞬間に星の内部で発生した衝撃波が星の表面を通過すると (shock breakout)、星間物質中を進んでいく順行衝撃波と超新星爆発によって飛散した星の放出物内を進んでいく逆行衝撃波が生成される。両者とも観測によって効率の良い粒子加速が行われていることが示唆されている。観測された加速効率を説明する為には十分な乱流磁場が必要だが、その起源は分かっていない。本研究では、逆行衝撃波での効率の良い粒子加速を実現する為に必要な乱流磁場の起源について調べる。超新星爆発の瞬間に星の内部で発生した衝撃波が星の表面を通過するまでの間に期待される、下記の磁場増幅機構を調べる。(1) ビアマンバッテリー効果による磁場生成機構 (2) 磁気流体ダイナモ効果による磁場増幅機構 (3) 輻射場と流体場のズレによる磁場生成機構

これら3つの増幅機構によって生じる磁場の最大値を見積もり、逆行衝撃波による粒子加速に必要な磁場増幅の条件を模索していく。本公演では研究の現状と今後の展望について述べていく。

コン b11 TeV Halos are Everywhere: Prospects for New Discoveries

須藤 貴弘 (東京大学天文学教室 D2)

TeV halo とは、パルサー星雲より大きな領域に広がる、新種ガンマ線天体である。Milagro と HAWC により Geminga パルサーの周囲で検出されて以来、宇宙線陽電子の起源やパルサー星雲の進化などの理解に重要な役割を果たす可能性が指摘されてきた。しかし、現在までに4個しか報告されておらず、未だに多くが謎に包まれている。我々は、Geminga の TeV halo が典型的なものだと仮定し、パルサー種族合成の標準的な手法を用いて、TeV halo の重要性を研究した。まず、銀河系からの拡散 TeV ガンマ線は単純な GeV ガンマ線のフラックスの外挿よりも有意に明るい ("TeV Excess") ことが知られているが、これは TeV halo の寄与により説明できる。また、銀

河面サーベイで発見されている未同定天体の多くは TeV halo である可能性がある。さらに、TeV halo 観測からパルサーの性質に新たな制限を与えることができることも分かった。我々はこのモデルを用い、将来観測における TeV halo の検出可能性を予想した。楽観的な見積もりでは、HAWC は今後約10年で60個近くの TeV halo を見つける可能性がある。さらに CTA を用いれば、銀河系内だけでなく、マゼラン雲の中にある TeV halo を見つけられる可能性もある。こうした将来観測によりモデルをテストでき、さらに TeV halo の形成の謎やより詳細な性質が明らかになっていくことが期待される。

1. T. Sudoh, T. Linden, J.F.Beacom, preprint (arXiv:1902.08203)
2. T.Linden et al., Phys. Rev. D 96, 103016 (2017)

コン b12 次世代ガンマ線天文台 CTA で観測する活動銀河核

今川 要 (京都大学 理学研究科 宇宙線研究室 M1)

活動銀河核 (Active Galactic Nuclei, AGN) は、その銀河に含まれる星全体に匹敵する以上の光度で輝く中心核である。多くの AGN からは光速に近いジェットが観測されており、これが視線方向に近い方向に向いている AGN をブレイザー、そうでないものを電波銀河と呼ぶ。この天体からは超高エネルギー (Very High Energy, VHE; > 30 GeV) ガンマ線が観測され、系外 VHE ガンマ線源のほとんどはブレイザーである。ブレイザーは VHE ガンマ線で数分から数日の短時間で大きな強度変動を示すことが知られている。

ジェットの構造やその加速機構はいまだ解明されていないが、これは超巨大ブラックホール近傍の物理状態を反映しているという意味において重要な現象である。CTA (Cherenkov Telescope Array) 計画では現在の約10倍の感度を達成できると考えられており、このような高感度で AGN を観測することによって、これまで検出されてきたよりも短い時間変動が検出されることが考えられ、ジェットの構造の理解が期待される。また、フレアの時間変動の原因は不明であり、これを短時間のスペクトル変化が捉えられる CTA で観測することは、フレア機構を特定するために重要な手がかりとなる。CTA より低エネルギー帯 (0.1-300 GeV) のガンマ線を観測しているフェルミガンマ線望遠鏡では、電波銀河のうち最近傍にある Cen A のロープと呼ばれる数百 kpc の大きな構造から放射されているガンマ線を検出した。これは超巨大ブラックホール近傍以外からでも電波銀河では粒子加速が起こっていることを示しており、さらに角度分解能がよい望遠鏡での観測により、粒子加速の場所を探ることができる。さらに、Cen A は最高エネルギー宇宙線源の一つである傍証があり、VHE による高分解能での観測が期待される。

このようにして、AGN を VHE で観測することは非常に有意義である。今回は、VHE での AGN 観測について、最新の結果

をレビューし、CTA が狙う AGN 観測について述べる。

コン c1 Constructing a Model for Interaction-Powered Supernovae Using Radiative Transfer Simulations

武井 勇樹 (東京大学大学院理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター D1)

Type II_n Supernovae (SNe II_n) exhibit narrow hydrogen emission lines in their spectra, which indicates that the progenitor experiences extremely intense mass loss at its final stage of evolution. Thus SNe II_n occur in a dense circumstellar medium (CSM). They are much more luminous than other normal SNe because collision between the ejecta and the dense CSM can dissipate a large amount of the kinetic energy of the ejecta to thermal radiation energy through shock waves. We are trying to investigate this process by solving the internal structure of the shocked region and calculate the radiation from this region. To calculate the structure of the shocked region, we assume steady states in the rest frame of each of the shocks and numerically solve equations for the conservations of mass, momentum, energy, and simplified radiative transfer equations to satisfy boundary conditions at the contact surface. We can obtain the velocities of the shocks as the eigen values. With these velocities, we can follow the movement of the shock fronts and describe the temporal change of the structure in the shocked region. Radiation emitted from the shocked region diffuses out in the dense unshocked CSM. We also solve radiative transfer equations in the unshocked CSM with given luminosities at the forward shock as boundary conditions. We will present the results and discuss how the internal structure of the shocked region and the CSM affect the temporal evolution of the luminosity.

コン c2 Radio Emission from Supernovae in the Very Early Phase: Implications for the Dynamical Mass Loss of Massive Stars

松岡 知紀 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 M2)

Recent high-cadence transient surveys and rapid follow-up observations indicate that some massive stars may dynamically lose their own mass within decades before supernovae (SNe). Such a mass-loss forms confined circumstellar medium (CSM); a high density material distributed only within a small radius ($\sim 10^{15}$ cm with the mass-loss rate of $0.01 \text{ } \dot{M}_\odot$). While the SN shock should trigger particle acceleration and magnetic field amplification in the confined CSM, synchrotron emission may be masked in

centimeter wavelengths due to the free-free absorption; the millimeter range can however be a potential new window. We investigate the time evolution of synchrotron radiation from the system of red super giant surrounded by the confined CSM, relevant to typical type II-P SNe. We show that synchrotron millimeter emission is generally detectable, and the signal can be used as a sensitive tracer of the nature of the confined CSM; it traces different CSM density parameter space than in the optical. Furthermore, our simulations show that the confined CSM efficiently produces secondary electrons and positrons through proton inelastic collisions, which can become main contributors to the synchrotron emission in several ten days since the SN. We predict that the signal is detectable by ALMA, and suggest that it will provide a robust evidence of the existence of the confined CSM.

1. Chevalier, R. A. 1982b, ApJ, 259, 302
2. Matsuoka, T., Maeda, K., et al. 2019, in prep.
3. Yaron, O., Perley, D. A., Gal-Yam, A., et al. 2017, Nature Physics, 13, 510

コン c3 重力波で迫る重力崩壊型超新星の爆発メカニズム

中村 拓未 (福岡大学 固武研究室 M1)

太陽の約 8 倍以上の質量をもつ恒星は、元素合成の最終段階で中心部に鉄のコアを形成する。この鉄コアが重力的に不安定になることで急激に潰れ (重力崩壊)、それによって生じる衝撃波が星全体を吹き飛ばす現象が重力崩壊型超新星爆発である。この現象は、自然界の 4 つの相互作用がすべて関与して起こるという点で非常に興味深い。さらに中性子星やブラックホールの生成現場であり、銀河の化学進化にも重要な役割を果たしていると考えられることから、天文学や高エネルギー宇宙物理分野において最も注目される天体現象の一つである。しかし、重力崩壊型超新星爆発がどのような過程で起こっているのかは未だ完全には理解されていない。この現象を解明するにあたって、まずは内部コアで爆発がどのように駆動されているかを理解する必要がある。超新星の爆発メカニズムを解明する鍵となるのが、ニュートリノと重力波である。両者は超新星の外層を通過する際に物質とほとんど相互作用せず観測者に届くので、超新星の中心の情報を運んでくる。しかし、超新星コアで生成されたニュートリノは、ニュートリノ球付近ではニュートリノ集団相互作用の効果、さらに地球の検出器に到達する前に物質との相互作用を受けニュートリノの型が変化し、超新星中心の情報に加えて副次的な情報が含まれてしまっている。したがって、超新星の「生の声」を届けるという観点からは透過性のある重力波の方がより直接的な情報を持っている。この信号を解析することで、超新星中心における物質の状態や運動を知ることが可能となり、爆発メカニズムに迫ることができると

期待されている。現在、世界中に多くのニュートリノ・重力波検出器が存在しており、日本国内でも Super-Kamiokande や KAGRA が稼働している。今回の夏の学校では、ニュートリノ駆動型超新星からの重力波の定性的特徴やその放射過程について、最近の数値シミュレーションの結果をもとに詳しく議論していきたい。

1. Murphy J. W. et al. 2009, ApJ, 707, 1173

コン c4 超新星爆発においてニュートリノハローが ニュートリノ集団振動へ与える影響 財前 真理 (東京大学天文学教室 D1)

超新星爆発においてニュートリノはその透過性の高さ故に、内部情報を得るための手段として考えられている。観測装置の向上により、次に超新星爆発が銀河系内か近傍銀河で起きたときにはニュートリノスペクトルが検出できると期待され、電磁波観測では見えない内部情報を得るべく多くの研究者が対策を進めている。そこで観測されるニュートリノのスペクトルを推定するとき問題となるのは、超新星の中心部で作られたニュートリノのフレーバーがニュートリノ振動により変化することである。超新星中心部で作られたニュートリノはそのまま地球に届くことはなく、途中でニュートリノ振動を受けてフレーバーが(例えば電子型からミュー型へと)変化する。そうしたニュートリノ振動には3種類存在しているが、特にそのうちニュートリノ集団振動は最近考えられ始めた非線形効果であり、ニュートリノ同士の相互作用によって引き起こされる効果である。この効果により超新星の内側でニュートリノスペクトルが複雑に変形し、地球で観測されることになる。いままでこの集団振動の数値計算を行うときには一旦放出されたニュートリノは散乱によりその飛来方向を変えないという仮定を置いていた。しかし実際には一部は原子核と散乱を起こし、本来届かない方向からニュートリノが飛来してくるものがあるはずである。これが集団振動に影響を与えとしてニュートリノハローという効果が提唱された。本研究ではこの新しい効果を組み込んで実際の超新星爆発モデルに対し集団振動の計算を行なった。その結果、ニュートリノハローの有無で実際に観測スペクトルや検出率に違いが生じることがわかった。

1. Duan et al. Phys. Rev. D **74**, 105014 (2006)
2. Cherry et al. Phys. Rev. D **87**, 085037 (2013)

コン c5 CTA で迫るガンマ線バースト 高橋 満里 (東京大学 宇宙線研究所 M1)

ガンマ線バースト (Gamma-Ray Burst, GRB) は 10^{51} erg ものエネルギーを数十ミリ秒から数千秒の間に放射する爆発現象である。主に MeV 帯域での即時放射の後、電波から GeV ガンマ線の広い波長域に渡り、徐々に減光していく残光放射が観測されている。GRB は超相対論的ジェットを伴うことが分

かっているが、ジェット内荷電粒子の加速機構やガンマ線放射機構などは未だ解明されていない。

現在 GeV ガンマ線を最も感度良く観測できている望遠鏡はフェルミガンマ線宇宙望遠鏡 (Fermi 衛星) である。しかし有効面積が小さいため光子統計量が足りず、GeV 帯域の詳細なスペクトルや時間変動が調べられていない。また観測されている GRB の分布は赤方偏移 $z \sim 1 - 4$ にピークをもち、このような遠方の観測では宇宙背景光による吸収が問題となる。例えば $z \sim 1$ における 100 GeV のガンマ線は、宇宙空間を伝搬中に $1/e$ に減光されるため、GRB では 100 GeV 以下での観測が重要である。しかし現行の解像型大気チェレンコフ望遠鏡 (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope, IACT) は、有効面積は Fermi 衛星より大きいものの、エネルギー閾値が数十 GeV 以上であり、夜光などの影響でさらに高くなってしまふ。そのため現状では宇宙論的距離で発生する GRB を IACT で検出できる頻度は低い。この状況を打開するのが現在建設中の Cherenkov Telescope Array (CTA) である。

本講演では CTA がこれらの課題をいかに解決するかを示し、GRB の解明にどのように貢献するかを述べる。CTA の大口径望遠鏡は 20 GeV のエネルギー閾値が見込まれ、有効面積は Fermi 衛星の一万倍以上である。さらに 20 秒間に 180 度という回転性能をもち、GRB 探査衛星からのアラートを受けて即時放射中に観測を開始できる。GeV 帯域の詳細な観測から、即時放射や残光放射の物理機構などの解明に迫ることができると期待される。

1. Inoue, S., Granot, J. et al., 2013, Astropart. Phys., 43, 252
2. Ackermann, M. et al., 2014, Science, 343, 42

コン c6 陰解法を用いたモンテカルロ輻射流体について 長井 拓巳 (甲南大学 宇宙理論研究室 M1)

輻射の力学的効果は天体物理学において重要である。輻射場は、3つの空間座標だけでなく、時間、周波数、および2つの方位角の関数でもある。その高次元性は計算上非常に困難のため、特定の依存性(周波数または角度への)を無視する近似法がしばしば使用される。最近の研究では、これらの近似をできるだけ用いずに、輸送スキームの精度を向上させることが注目されている。この論文では、モンテカルロ輻射輸送 (MCRT) の流体力学への結合を探る。モンテカルロ法は輻射輸送方程式の解と比較していくつかの利点を提供する。MCRT は任意の3次元の形状に一般化し、多周波数、多角度、および時間依存に輸送効果を組み込むことができる。異方性および非弾性散乱プロセス、偏光、共鳴線散乱などの複雑な物理的相互作用を含めるのも簡単である。

MCRT の主に不利な点は、確率的誤差が存在することであり、その結果、多数のパケット軌跡の計算が必要となる可能性

がある。その解決策として、輻射圧テンソルの空間的発散を利用してモンテカルロ推定輻射力のノイズを低減する手法を開発した。このコードは特殊相対論で、共鳴線散乱のようなもっと複雑な物理的相互作用が含まれている。ガス-輻射の間の相互作用は陰解法を用いて解いているため、放射冷却時間よりはるかに長い流体力学的時間ステップをとることができる。我々は、コードを検証し、輻射エネルギー優勢の問題を含む一連の輻射流体力学的試験問題を使用してその性能を評価する。結果は、MCRT がフル 3 D 多角度多周波数 RHD 問題をシミュレーションするのに有望であることを示唆している。

本発表では上記の論文のレビュー及び、ガンマ線バーストについての研究への応用を議論する。

1. Roth, Nathaniel, and Daniel Kasen. The Astrophysical Journal Supplement Series 217.1 (2015): 9.

コン c7 すざく衛星のデータを用いた高エネルギー突発天体の探査

齋藤 祥太 (青山学院大学大学院 M1)

日本で 5 番目の X 線天文衛星「すざく」は 2005 年 7 月 10 日に打ち上げられ 2015 年 6 月 1 日に機能が停止した。「すざく」に搭載された X 線 CCD カメラ XIS(X-ray Imaging Spectrometer) では 0.2-12keV のエネルギー帯域を 17.8' x 17.8' の視野で観測を行う。これらの観測データにおいては、観測目的の天体に加えてその周囲の領域が同時に記録されており、周囲の領域に未知の突発天体が埋もれている可能性がある。特にガンマ線バースト残光や Soft Gamma Repeater などの突発天体は瞬間的な増光のため、発生していても定常天体を目的とした過去の解析で見逃されている可能性が高い。私は、アーカイブ化され公開されている「すざく」の観測データ約 10 年分を用いて、観測対象の天体からの X 線を取り除いた背景領域のデータから短時間変動の SN 比を計算し、未知の突発天体の探査を行った。本発表ではアーカイブデータからの解析方法と探査の結果を報告する。

コン c8 量子論的 Synchro-Curvature radiation によるメーザーと FRB

直江 知哉 (早稲田大学 前田研究室・山田研究室 M2)

FRB(Fast Radio Burst) は 1ms の間に 1GHz 程度の電波を放出する天体現象である。この天体現象は 2007 年に初めて Lorimer によって発見されて以降、現在までに数十の FRB が見つかっている。FRB の Dispersion Measure は 1000 程度でとても大きく、我々の銀河系の外で起きているという説が有力である。また FRB の輝度温度は 10^{35} K と大きいことから、熱的放射ではなくコヒーレント光によるものだと考えられており、コヒーレント光の発生メカニズムは”particle bunching”と”maser”などがある。磁場中における荷電粒子の運動は大

きく 2 つに分けられる。1 つは磁力線周りの円運動で、もう 1 つは磁力線に沿った運動である。前者による放射は Synchrotron radiation, 後者によるものは Curvature radiation と呼ばれている。だが実際には 2 つの運動の中間 (粒子が曲がった磁力線のまわりを螺旋運動しながら磁力線に沿って動く) もあり、この運動による放射は Cheng & Zhang(1996) によって初めて考案され、Synchro Curvature radiation と呼ばれている。上であげた 3 つの放射で古典的に maser が生じるような状況がないかは以前より調べられており、その結果を用いて FRB が説明できないか議論している論文はいくつもある。しかし、中性子星の極付近のような磁場のとても強い状況 ($B = 10^{12}$ G) では、その磁場の大きさから粒子が数メートル進む程度の中に放射によってランダウ順位がとても小さくなり量子論が効いてくるだろうと考えられている。よって、古典論での議論は正確でないかもしれない。だが、実際に量子論で放射を求めている先行研究はあるが maser が生じるかどうかまで議論しているものはない。よって、本研究では量子論での Synchro Curvature radiation でメーザーの可能性と、磁気圏からのメーザー放射によって FRB を説明できないかを議論した。

1. G.Voison,S.Bonazzola,and F.Mottez,” Dirac states of an electron in a circular intense magnetic field” ,2017
2. G.Voison,S.Bonazzola,and F.Mottez,” Quantum theory of curvature and synchro-curvature radiation in a strong and curved magnetic field,and applications to neutron star magnetospheres” ,2017

コン c9 Kerr BH からの電磁場を介したエネルギー抽出メカニズム

山口 純矢 (首都大学東京 宇宙理論研究室 M1)

質量降着率の低い活動銀河核のジェットを中心エンジンの説明すると期待される機構として、Blandford-Znajek 機構がある。1977 年に R.D.Blandford と R.L.Znajek は、軸対称で定常的な時空を作る Kerr ブラックホールの回転エネルギーを、電磁場を用いて引き抜く機構を考案した (Blandford-Znajek 機構)。 [2] の論文では、降着円盤由来の磁力線は、エルゴ領域を貫き、開いた構造になっていて、ブラックホール磁気圏を満たすプラズマは磁場 B に沿って電場 D を遮蔽し、 $D \cdot B = 0$ (縮退条件) を満たすと仮定している。一方で、Blandford-Znajek は、ブラックホール磁気圏を満たすプラズマは force free 条件を満たすと仮定している。force free 条件とは、縮退条件にさらなる制約が加わったものである。この違いから、[1] と [2] でエネルギー保存の式に違いが生じる。 [1] では force free 条件を満たす電磁場が event horizon 上で発散しないという条件 (znajek 条件) を課すことで、トロイダル磁場を決定し、これによって外向き poynting flux が生成される。[2] では、縮退条件を仮定しているが、force free 条件を課している訳ではないので、エネルギー保存則は、ある条件下で joule loss の項の寄与

があり、これによって、poynting flux の湧き出しが得られる。このある条件は、エルゴ領域内の一部で実現され、ポロイダル電流がポロイダル磁場を横切って流れる領域が存在するという条件である。これによって、外向きの poynting flux が生じる。

本公演では、上記のように、ブラックホール磁気圏に課す仮定の違いによるエネルギー引き抜きに関する立場の違いについて議論する。[1] の機構では、znajek 条件によって、BH の回転エネルギーが poynting flux に変換されている。しかし [2] の機構では、poynting flux の式の中に、BH の回転パラメータは含まれておらず、BH の回転エネルギーを引き抜いているわけではないと考える。さらに、上記で述べた仮定である znajek 条件や、エルゴ領域内で縮退条件が成り立っているかも定かではない。これらを踏まえて、BH からの電磁場を介したエネルギー抽出に関する、現段階での理解を報告する。

1. R.D.Blandford,R.L.Znajek,1977,MNRAS,179,433-456
2. Kenji Toma,Fumio Takahara,2014,MNRAS,442,2855-2866

コン c10 Narrow-line Seyfert 1 型銀河 1H0323+342 の論文の紹介と今後の課題と展望 高村 美恵子 (国立天文台 M1)

近年、大質量ブラックホールから噴出している相対論的ジェットは、様々な波長帯で研究対象天体として注目されている。その中でも、ブレーザー、電波銀河に次ぐ第三の活動銀河核として注目されているのが、Narrow-line Seyfert1(NLS1) という天体である。以下、論文 (Hada et al. 2018) を中心に NLS1 に関する議論を展開していく。

NLS1 は、比較的低質量で高い降着率、さらに広輝線を持つブラックホールを宿す天体であり、渦巻銀河に主に存在しており、その銀河の性質より通常強いパワーをもったジェットが生成される可能性は低いと考えられていた。だが最近 NLS1 でガンマ線の放射をし、さらに超光速運動をするブレーザーに似た放射が確認された。ブレーザーに似た性質として、ジェットのコアがとても明るく輝き、観測において一方向のジェットしか見えないジェットであり、さらには幅広い波長域のスペクトルエネルギー密度を持っていることが挙げられる。

2016 年 1 月に VLBA (Very Long Baseline Array) の 9 周波数で NLS1 の天体の 1 つである 1H0323+342 の観測を行われ、コア成分とは違つても明るく輝く成分をコアの位置から約 7mas 付近で発見した。また、このジェットの幅を測ることでその付近で放射の形態が放物線状であったものが、双曲線状に変移した。この付近で一体何が起こったのかの物理について探っていく。

また、この天体はガンマ線で観測された NLS1 の中でも、最も活動的なガンマ線フレアの 1 つを示しているが、ガンマ線フレアが発生する場所に関してはまだ議論の余地があるとされている。このようにフレア発生の起源を探ることはジェットが

発生する仕組みや駆動の解明に繋がるかもしれない。さらに、さらに高エネルギーな TeV ガンマ線をとらえることができれば、多くの似た天体を見ることができると考える。そこから期待されることやその可能性についても議論していきたい。(The Cherenkov Telescope Array Consortium 2018)

1. Hada et al. 2018, ApJ, 860, 12
2. Science with the Cherenkov Telescope Array, 2018, v2

コン c11 AGN フィードバックにおける分子形成とモレキュラーアウトフロー 山本 剛大 (筑波大学 宇宙物理理論研究室 M1)

クエーサーや電波銀河、セイファート銀河の中心には活動銀河核 (AGN) が存在し、一部の銀河の中心からは光速に近いジェットを放出することが観測的に確かめられている。相対論的ジェットと星間物質の相互作用について計算を行った先行研究の結果、ジェットが星間物質に強く作用し分子のアウトフローを作り出すこともある。

このような AGN のアウトフローは母銀河の進化に強く影響するしているメカニズムの一つであるため、現在も研究が進められている。例えば、Richings & Faucher-Giguere の 2017 年の研究では、AGN での分子形成のメカニズムを確かめるために流体力学と分子科学を組み合わせた計算を行った。しかし、ここではスムーズで球対称なガス分布を仮定しており、AGN 主導のアウトフローによる高密度ガスのシェルが形成され、半径数 kpc、タイムスケール数 Myr 以内で分子ガスを加速させたとされる。

一方、本研究では先行研究では考慮されなかった AGN のジェットが主導するアウトフローの様子を計算する。そして星間物質がクランピーで、すでに分子ガスが存在するガスリッチ銀河について考える。

1. D. Mukherjee et al. (2018)
2. A. J. Richings and C.-A. Faucher-Giguere. (2017)

コン c12 フェルミガンマ線宇宙望遠鏡による CygnusX-1, X-3 の観測 宇都宮 拓哉 (立教大学 M2)

中性子星やブラックホールのような高密度天体の中に、宇宙ジェットという細く絞られたプラズマを放射する天体が存在する。ジェットは、活動銀河核の中心にある大質量ブラックホールや連星系の恒星質量ブラックホールなど、幅広い質量の高密度天体から観測されている。これらの天体は質量が異なるものの、共通して質量降着が存在している。そのため、ジェットと質量降着は深く関係していると考えられているが、ジェット生成メカニズムなどは明らかになっていない。宇宙ジェットは、宇宙線の加速や銀河形成に関わっていると考えられているた

め、ジェット生成メカニズムや性質を解明することは非常に重要である。本研究では、Fermi ガンマ線宇宙望遠鏡に搭載されている Large Area Telescope(LAT) 検出器によるマイクロクエーサー Cygnus X-1 の観測データ解析を行い、ジェットからのガンマ線放射や性質を探ることを目的としている。

1. R,Zainn, A,Fernandez-Barral, E,de Ona Wilhelmi, F,Aharonian, and O,Blanch September,16,2016, A& A 596, A55 (2016)

コン c13 SS 433 の放射スペクトルについて 平松 卓也 (青山学院大学大学院 M1)

ブラックホールを代表とする高密度天体は、物質を吸い込み、輝くだけでなくアウトフローが噴き出している。このアウトフローは、電波から γ 線までの帯域で観測できる。この天体現象を宇宙ジェットと呼ぶ。宇宙ジェットの特徴として、アウトフローは相対論的な速度をもっていて、極めて細く絞られている点が挙げられる。宇宙ジェットに関してはエネルギー源や発生機構などの問題が未だ解決していない。宇宙ジェットを放出する天体の1つとして、マイクロクエーサーがある。マイクロクエーサーとは、太陽質量の数倍程度のブラックホールあるいは中性子星からなるコンパクトな中心天体と、縮退していない恒星の伴星との連星系からなる天体である。この連星系は、伴星から中心星に向かって質量降着することによって、そのエネルギーを宇宙ジェットとして解放して輝いていると考えられている。本研究では2018年にマイクロクエーサーとしては初めて High Altitude Water Cherenkov Observatory の観測によって TeV γ 線放射が検出された SS 433 という天体に注目する。SS 433 は、超巨星とコンパクト星の連星系である。天体までの距離は 5.5 kpc であり、双方向に出る宇宙ジェットが観測されている。本研究の目的としては SS 433 から観測された TeV γ 線をダイナミクスと放射から無矛盾に説明することである。そのために観測と一致する放射スペクトルを計算した。また独立にダイナミクスから見積もられる SS 433 のジェットのパワーとマイクロクエーサーの年齢を放射スペクトルを計算するために用いたパラメータと比較して一致するか、加速に使われる energy の割合に対する制限を議論する。

1. Bordas, P., Bosch-Ramon, V., Paredes, J. M., & Perucho, M. 2008, arXiv e-prints, arXiv:0812.3235
2. Kino, M., & Kawakatu, N. 2005, MNRAS, 364, 659
3. Abeysekara, A. U., Albert, A., Alfaro, R., et al. 2018, Nature, 562, 82

コン c14 GeV ガンマ線で観るスターバースト銀河 古田 智也 (東海大学 西嶋研究室 M2)

Fermi 宇宙ガンマ線望遠鏡に搭載されている大広域望遠鏡 (LAT: Large Area Telescope) の観測データから 4 FGL カタ

ログ (The Fermi-LAT collabo, 2019) が作成された。このカタログに登録された銀河系外ガンマ線源の多くは活動銀河核 (AGN: Active Galaxy Nuclei) であるが、これに加えて、7つのスターバースト銀河も登録されている。AGN からのガンマ線はシンクロトロン放射や逆コンプトン効果による電子由来が主な放射機構であるのに対し、スターバースト銀河のガンマ線は活発な星生成活動によって生じた大量の超新星残骸からの宇宙線陽子が起源とされている。先行研究では遠赤外線、電波から推定された星生成率とガンマ線光度に相関が見られており (Ackermann. et al, 2012)、スターバースト銀河のガンマ線は宇宙線陽子由来であるという説を支持している。さらに M82 や NGC253 では、銀河中心から吹き出しているアウトフローも確認されており、これによって、宇宙線が超高エネルギーまで加速されている可能性も議論されている。実際に M82 と NGC253 からは TeV ガンマ線の検出がされており、宇宙線加速の環境を調べるために高エネルギー領域のスペクトルが非常に重要になっている。また、宇宙からは等方的拡散放射ガンマ線がやってきているが、このガンマ線の起源として、スターバースト銀河が寄与している可能性もある。前述の星生成率とガンマ線光度の関係も合わせ、今後の観測で更なるスターバースト銀河からのガンマ線検出を期待されている。本公演では Fermi-LAT による約 11 年分の観測データを用いた 7つのスターバースト銀河 (M82, NGC253, NGC1068, NGC2146, NGC3424, NGC4945, Arp220) の観測結果と今後の展望について報告する。

1. The Fermi-LAT collaboration. arXiv.e-prints, p.arXiv:1902.10045
2. Ackermann, M. et al. ApJ. 755, 164. (2012)

コン c15 中性子星内部のニュートリノ放射が及ぼす X線バーストの影響 土肥 明 (九州大学 宇宙物理理論研究室 M2)

超新星爆発によってできる中性子星は、典型的には質量が $1.4 M_{\odot}$ 、半径が 10 km 程度のコンパクト天体である。そのような比較的重力が強い天体の表面で起こる現象の1つとして、I型X線バーストと呼ばれる急激なX線の増光現象がある。I型X線バーストは、中性子星と連星系を成す $1 M_{\odot}$ 程度の伴星から中性子星へガスが降着することによる不安定燃焼だと考えられている。この現象の特性 (e.g. バーストの強さ α 、バーストの再帰時間 Δt) は、中性子星クラストの表面温度に大きく依存するが、その表面温度に関わる物理としては、中性子星表面での元素合成 (e.g. $\alpha p, rp$ 過程) の他に、中性子星内部のニュートリノ放射プロセスも関わるとされている。X線バーストのシミュレーションに関する先行研究では中性子星の降着層のみに計算領域を限定していたためニュートリノ放射をはじめとした中性子星の内部物理を考慮することが出来ていなかった。本研究では、先行研究と比べ、計算領域を中性子星の内

部にまで拡張させたコードを用いて、中性子星内部でのニュートリノ放射が及ぼす X 線バースト現象の影響の違いについて調べる。

1. M. Y. Fujimoto, T. Hanawa, I. Jr., Iben, and M. B. Richardson, *Astrophys. J.* 278. 813 (1984)
2. A. Heger, A. Cumming, D. K. Galloway, and S. E. Woosley, *Astrophys. J.* 671. 141 (2007)

コン c16 MAXI/GSC のデータを用いた新天体 MAXI J1631-479 のエネルギースペクトル解析

小林 浩平 (日本大学大学院理工学研究科物理学専攻 宇宙・数理解析研究室 M1)

ブラックホール候補天体 (Black Hole Candidate) のスペクトルには、ソフト状態とハード状態がある。ソフト状態のスペクトルは、質量降着率が比較的高いときに現れる。多温度黒体放射モデル [1] は、幾何学的に薄い光学的に厚い降着円盤からの放射を表したモデルで、温度は動径方向の距離に依存する。ソフト状態の低エネルギー領域のスペクトルは、このモデルで表される。観測される降着円盤の最内縁の温度は、0.5-1.2 keV である。ソフト状態の高エネルギー領域のスペクトルは、ベキ型の成分で表されるが、明確な起源はいまだに分かっていない。典型的なベキの値は 2.0-2.4 である。一方、ハード状態のスペクトルは、質量降着率が比較的低いときに現れ、主にベキ型の成分で表され、典型的なベキの値は 1.4-1.7 である。本研究の目的は、全天 X 線監視装置 MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) のデータを用いて、新天体 MAXI J1631-479 のエネルギースペクトル解析を行い、その特徴を調べることである。この天体は、2018 年 12 月 21 日に MAXI によって発見され [2], 28 日にアメリカの人工衛星 NuSTAR の追観測から、典型的なソフト状態のブラックホール候補天体であることが分かった [3]。MAXI は 1 周、約 92 分毎に全天をスキャン観測しているが、データの取得が不連続なため、スキャンによってはソース領域とバックグラウンド領域のイメージが欠けている。また、MAXI J1631-479 のすぐ周りには他の天体がいくつかあるため、それらの天体からの寄与を除いて解析しなければならない。現在、これらの問題に対応した、MAXI のデータを自動的に処理するプログラムを作成している。本講演では、そのプログラムを用いたアウトバースト中の様々な時期におけるエネルギースペクトル解析の結果を報告する。

1. Mitsuda, K. et al (1984), *Publ. Astron. Soc. Japan* 36, 741-759
2. Kobayashi, K. et al, ATel #12320
3. Miyasaka, H. et al, ATel #12340

コン c17 MAXI のデータを用いた X 線新星 MAXI J1727-203 の解析

青木 真凜 (日本大学 理工学研究科 物理学専攻 宇宙・数理解析研究室 M1)

最初に発見されたブラックホール X 線新星である A 0620-003 にみられるように、ブラックホール X 線新星のライトカーブは数日間でピーク強度まで増加し、その後数十日から数百日に渡って減少が続く [1]。また、一般的に、ブラックホール (候補) 天体のスペクトルには、多温度黒体放射モデル (diskbb) [2] で表される軟 X 線が支配的なソフト状態と、power-law が主成分で硬 X 線が支配的なハード状態が存在する。本研究では、2018 年 6 月 5 日に全天の X 線を観測する全天 X 線監視装置 MAXI により発見された、X 線新星 MAXI J1727-203 [3] の特徴を MAXI のデータを用いて調べ、これまでに発見された X 線新星のものと比べた。2-20 keV の X 線強度は発見後 4 日間でピークに達し、その後数十日間で検出限界以下まで減少した。また、増光途中である 2018 年 6 月 6 日のデータを解析した結果、スペクトルは、power-law と diskbb の和で表されることがわかった。発表では、ライトカーブで確認される各状態遷移過程のスペクトル解析の結果を示し、J1727-203 が典型的なブラックホール X 線新星であることを示す。

1. Y. Tanaka, N. Shibasaki, et al. *ARA&A*, 34, 607 (1996)
2. K. Mitsuda, et al. *PASJ*, 36, 741 (1984)
3. T. Yoneyama, et al. *ATel*, 11683 (2018)

コン c18 NICER のデータを用いた MAXI J1810-222 の解析

高城 龍平 (日本大学大学院理工学研究科物理学専攻 宇宙・数理解析研究室 M1)

MAXI J1810 - 222 は、全天 X 線監視装置 MAXI によって 2018 年 12 月 1 日に軟 X 線突発天体として発見され、ATel に報告された [1]。MAXI J1810 - 222 は、11 月の初めから非常に緩やかに増光していた可能性が高く、11 月末頃には 2-4 keV での X 線強度が 20-40 mCrab に達し、1 日の X 線イメージでも確認できるようになった。同天体がソフト状態にある中性子星もしくはブラックホールを有する低質量 X 線連星の可能性もあったが、新種の天体の可能性もあったため、NuSTAR に ToO 観測を要請した。12 月 9 日に NuSTAR の ToO 観測が行われ、power-law (photon index 5.5 +/- 0.3) と blackbody または disk blackbody の和によって表される、特異なスペクトルが得られた [2]。NICER (Neutron star Interior Composition ExploER) は、J1810 の発見時は太陽角が 30 度以下のため追観測できなかったが、2019 年 2 月 11 日から 4 月 29 日まで同天体をモニタリング観測した。NICER は、2017 年 6 月に ISS に設置された、56 台の X 線集光鏡と高カウントレートの処理に強いシリコンドリフト検出器から成る X 線観測装置である。

ポスターでは、その NICER によるデータを用いて、MAXI J1810 - 222 が、2 月から徐々に減光し、4 月末に再び増光したことを示し、その間のスペクトル変化なども報告する。

1. Negoro, H et al, ATel #12254
2. Negoro, H et al, ATel #12283