

コンパクトオブジェクト分科会

コンパクトな領域に隠された神秘を探る～観測・理論研究の最前線～

日時	7月28日 16:30 - 18:45, 20:15 - 21:15 7月29日 9:00 - 10:00 (招待講演: 河合 誠之 氏), 10:15 - 11:15 7月30日 9:00 - 11:15, 13:30 - 14:30 (招待講演: 永井 洋 氏), 14:15 - 15:45
招待講師	河合 誠之 氏 (東京工業大学)「ガンマ線バーストの観測について」 永井 洋 氏 (国立天文台)「活動銀河核ジェットの電波観測レビュー」
座長	堀貴郁 (京大 M2)、川口恭平 (京大 D1)、藤林翔 (京大 D1)、中田めぐみ (日大 M2)、 山田美幸 (お茶大 M2)、矢田部彰宏 (早稲田大 M2)、中原聡美 (鹿児島大 M2)
概要	<p>ガンマ線バーストなどの高エネルギー天体现象に関する研究を扱います。これらの天体は強い重力、強磁場といった極限状態にあり、近年の理論やシミュレーション技術の発展、電波からガンマ線にわたる幅広い波長域の観測により、様々な事実が明らかになりつつあります。また、近い将来コンパクト連星からの重力波の観測が期待されており、天文学は新たな時期に差し掛かり始めました。現象を多方面から探ることで、天文学を通して新たな物理の発展が予期されており、コンパクトオブジェクトの重要性も高まってきました。コンパクトオブジェクトは基礎物理学を探る上でかかせない存在となりつつあります。しかし、ブラックホールや中性子連星、活動銀河核からのジェット噴出機構や超新星の爆発メカニズムなど、謎は未だ多く残されている事も事実です。</p> <p>本分科会では、これらコンパクトオブジェクトに関する研究の進展、最新の成果、将来性について、理論と観測の両面から議論したいと思います。</p> <p>注) 超新星爆発や中性子星はコンパクトオブジェクト分科会で扱いますが、激変星 (新星や矮新星など) や白色矮星は太陽・恒星分科会で扱います。</p> <p>注) 活動銀河核 (AGN) のブラックホールとしての挙動やジェットに注目する場合はコンパクトオブジェクト分科会で扱いますが、AGN ホスト銀河や AGN と銀河の共進化については銀河・銀河団分科会で扱います。</p> <p>注) 相対論の基礎理論に関する話題は重力・宇宙論分科会で扱います。</p> <p>注) 重力波についての話題は、コンパクトオブジェクトの天体现象としての重力波に着目したものについてはコンパクトオブジェクト分科会で取り扱う。</p>

河合 誠之 氏 (東京工業大学)

7月29日 9:00 - 10:00 B(大コンベンションホール)

「ガンマ線バーストの観測について」

ガンマ線バーストについて基本的な観測事実、標準的な描像、そして、現在の観測的課題を紹介する。「長い」ガンマ線バーストは大質量星の終焉の中心核崩壊によって発生する相対論的ジェットから放射されると考えられており、極めて強い γ 線の爆発的な放射に引き続き、数時間、場合によっては数週間以上かけて減光する残光をしばしば伴う。このジェット生成と γ 線放射の過程はまだ解明されていない。明るい残光は、高赤方偏移宇宙を探る光源として有用である。一方、「短い」ガンマ線バーストに対しては、中性子星連星の合体によって発生するという説が有力視されている。間もなく次世代重力波望遠鏡が稼働し始める。この説が実証されるのか非常に興味深い。重力波直接検出とその対応天体の同定は今後10年間の天体物理学における最も重要な研究課題である。

永井 洋 氏 (国立天文台)

7月30日 13:30 - 14:30 B(大コンベンションホール)

「活動銀河核ジェットの電波観測レビュー」

宇宙ジェットは多くのコンパクトオブジェクトに共通する現象で、宇宙で最も活動的な現象の一つだ。ホスト天体の質量によって規模の差はあるものの、その観測的特徴には多くの共通点が見られることから、コンパクトオブジェクト分野の研究者の知力を結集することで、各々の研究の進展が期待される分野である。

本講演では、自身の専門分野である活動銀河核 (AGN) ジェットの電波観測を中心にレビューをする。AGN ジェットの発生メカニズムは高エネルギー天体物理学の最重要課題の一つであり、銀河とブラックホールの共進化、AGN フードバック、銀河団ガス加熱などの様々な研究とも密接にリンクする。電波観測はジェット自身のモロフォロジー、固有運動、電波スペクトル、偏波、周辺の低温 (分子) ガスの物理状態などの情報を提供することができ、特に干渉計観測による高分解能電波イメージを提供できる点に特色がある。

(i) ジェットの駆動メカニズム、(ii) 高エネルギー放射、(iii) 様々な AGN 種族におけるジェット性質の違い、といったテーマを中心に、電波観測の最新研究成果と未解決問題を紹介する。また、いよいよ本格稼働を始めるアルマ望遠鏡によって進展が期待されるテーマについても紹介する。

コン a1 明るいショックブレイクアウトが見られた IIb 型超新星 SN 2013df の測光分光観測

川端 美穂 (広島大学 高エネルギー宇宙可視赤外線天文学研究室 M1)

重力崩壊型超新星とは、初期質量が 8~10 倍以上の恒星の進化最終段階において引き起こされる宇宙最大規模の爆発現象である。その中で、IIb 型超新星は、その初期スペクトル中に、水素とヘリウムの吸収線が見られる、外層剥ぎ取り型の超新星である。外層構造は親星の質量や進化段階に関する情報を含んでいると考えられているが、過去画像から直接的に親星が同定された例は 3 例しかないこと、多様性に富んでいることから、親星の正体に関して不明瞭な点も多い。

SN 2013df は近傍銀河 NGC4414 で 2013 年 6 月 7.8 日に 14.4 等で発見され、10.8 日には IIb 型超新星と同定された (CBET 3557)。6 月 11 日より広島大学 1.5m かなた望遠鏡及び大阪教育大学 51cm 反射望遠鏡で測光分光観測を開始し、初期にはショックブレイクアウトの減光フェーズを捉えることができた。可視光でショックブレイクアウトの減光フェーズを捉えた例は極めて稀である。また、ハッブル宇宙望遠鏡の過去画像から、親星が同定されており ($M_0 = -6.89 \pm 0.10$ 等; Van Dyk et al. 2013)、ショックブレイクアウトの光度は親星半径に強く依存するというモデル (Rabinak&Waxman 2011) と比較することが可能となった。その結果、このモデルだけでは光度曲線を再現することは難しいことが判った。

また、時間が経つにつれて外層が希薄となり、コアを直接見ることができるよう、後期観測では親星についての情報が得ることが可能となる。極大から約 180 日後にすばる望遠鏡によって得られたスペクトルでは、酸素輝線が弱く、カルシウム輝線が強いという特徴を示した。これは爆発した星が低質量星であったことを示唆しており、低質量星から水素外層を剥ぎ取るためには、連星系による相互作用が必要であると考えられる。本講演では、初期観測及び後期観測から、SN 2013df の親星の形態について議論する。

コン a2 超新星爆発からの赤外線放射

長尾 崇史 (京都大学宇宙物理学教室 M1)

超新星爆発がどのようにして起るかについて、その物理機構には未だ不明な点が多い。例えば、超新星爆発を起こす星が、爆発直前にどのような進化を経て爆発するのかということは未だ良くわかっていない。この事を知る上で、超新星爆発を起こした星の星周物質を理解することは大切である。星周物質は超新星爆発を起こす前の親星の質量放出の情報を持っているからである。さらに、宇宙線やダストの起源やその周辺へのフィードバックを明らかにする上でも重要である。

本発表では Tanaka et al. 2012 の紹介を行う。この論文では、超新星爆発における赤外線放射機構を詳細に考え、観測と比較することで、これまでほとんど調べられていなかった超新星爆発の中期段階の観測から超新星に関する情報を引き出した。具体的には、星間物質、星周物質、衝撃波、新しく作られたダストからの赤外線放射の機構のモデルを仮定し、観測結果との比較を行った。その結果、赤外線で見える超新星 1978K の放射がシリケートダストで説明でき、また質量放出率に制限を得た。さらに次世代の赤外望遠鏡 (JWST, SPICA など) を使えばさらにどのような事が分かるようになるのかを議論する。

また、発表者の今後の展望について述べる。Tanaka et al. 2012 で用いたモデルでは、輻射輸送の取り扱い、星周物質の初期構造などの単純化を行っている。これらは、超新星爆発からの赤外線放射に大きく影響

を与え、星周物質の性質の見積もりに影響してくると思われる。我々はこれらの効果を新たに組み込むことを考えている。また、これまでは星周物質のダストの研究は赤外域での理論・観測研究に限られてきたが、星周物質の構造やダストの組成により可視域にも大事な情報が含まれると考えられる。さらに偏光により新たな情報が得られると考えられる。今後は、多波長・多モード観測を念頭に置いた輻射輸送モデルを構築し、観測との包括的な比較から星周物質の性質を解明することを目標にしたい。

1. Tanaka, M., et al. 2012, ApJ, 749, 173
2. Dwek, E. 1983, ApJ, 274, 175

コン a3 極超新星爆発と非球対称性

松尾 直人 (京都大学宇宙物理学教室 M1)

超新星爆発は重い星の最後の姿であり、星の進化過程や爆発時の高熱によって合成された重元素を宇宙空間に放出し宇宙を化学進化させる。このように超新星爆発は元素の起源を理解する上で重要な役割を担う。しかし長年研究されているが、その爆発機構は分かっていない。

本発表は Maeda et al. 2002, 2003 のレビューである。近年の精密な数値計算により球対称な爆発モデルでは爆発を再現できない事が分かってきている。また超新星の観測からも爆発が非球対称であることが示唆されている。今回紹介する論文では親星が比較的軽く、爆発のエネルギーが大きい超新星爆発 (極超新星爆発) について、双極的な爆発モデルと球対称な爆発モデルでの計算結果を、観測データを用いて比較した。具体的には、計算で得られた元素の存在比と宇宙初期に形成された金属欠乏星の表面元素の存在比との比較を行った。また計算で得られたスペクトルと実際の極超新星で観測されたスペクトルとの比較を行った。以上により双極モデルであれば観測を再現できる事が分かった。また本発表では最近の進展についても述べる。

上記の論文では非球対称性を、計算が簡単な双極型にすることで実現させた。しかし比較的軽い星での超新星爆発や、重い星でも爆発エネルギーが小さい超新星爆発が双極的になるかは自明ではない。また、実際には磁場や対流、自転などの要素が絡み合い、より複雑な形状を持つ爆発を生じる可能性が指摘されている。そこで私は将来、提案されている爆発機構をより詳細に反映した初期条件や、親星の質量や進化過程の違いを反映するような計算を行い、その結果と観測との比較を行おうと思っている。この比較から超新星爆発で合成される元素の量や物質の混合の様子などを調べ、爆発の理論に制限をつけたいと思っている。

本発表では論文のレビューと、私がこれから行おうと思っている研究の内容について述べる。

1. Maeda, K. and Nomoto, K. 2003, ApJ, 598, 1163
2. Maeda, K., Nakamura, T., Nomoto, K., Mazzali, P. A., Patat, F. and Hachisu, I. 2002, ApJ, 565, 931

コン a4 大質量連星系における超新星爆発とその伴星への影響

平井 遼介 (早稲田大学 前田研究室・山田研究室 D1)

重力崩壊型超新星爆発 (CCSN) は、 M_{\odot} 以上の質量を持つような大質量星がその進化の最後に起こす現象ということは広く知られている。一

方、そのような大質量星の大半(約 69%)が、2 つ以上の星が互いの重心周りを公転する「連星系」という系を組んでいることが観測事実として知られてきた。以上より、CCSN の大半が連星系内で起きているということが予想される。実際にここ数年の観測技術の発達により連星系内で CCSN が起きているような候補天体がいくつも見つかってきており、特に昨年見つかった iPTF 13bvn という Ib 型超新星に関しては親星が連星であることが裏付けられ、約 3 年後には残骸の中で伴星の存在が直接確認されると予測されている。このようなことから、連星系の進化が超新星爆発に与える影響が注目を浴びてきている。連星系内での CCSN が注目されてきているもう一つの理由として、コンパクト連星の存在がある。コンパクト連星とは、中性子星 (NS) やブラックホール (BH) などの高密度な星同士の連星系であるが、近年、日本の KAGRA などに代表される重力波検出器の筆頭観測ターゲットとしてコンパクト連星の合体が挙げられており、コンパクト連星がどのように形成されるかを探ることが急務となっている。コンパクト連星を形成するためには、大質量星同士の連星系内で両方の星が CCSN を起こし、NS を残すという過程を経る必要がある。その第一歩として、連星系内で一度目の SN が起きた場合にどのような系が残されるかについて数値シミュレーションを用いた研究を行った。今回はその結果及びパラメータ依存性について議論する。

コン a5 超大質量星の重力崩壊に伴う爆発現象

松本 達矢 (京都大学 天体核研究室 M2)
宇宙初期 ($z \sim 7$) に存在する質量 $10^9 M_{\odot}$ の超巨大ブラックホール (BH) の起源として、近年、超大質量星の重力崩壊シナリオが有力視されている。ほとんどの銀河の中心には質量 $10^{6-9} M_{\odot}$ の超巨大ブラックホール (SMBH) が存在する。これらは、銀河形成期に恒星の重力崩壊でできた恒星質量 BH が、ガス降着で質量を獲得し進化したと考えられている。しかし、近年、 $z \sim 7$ の初期宇宙にも $10^9 M_{\odot}$ の SMBH が発見された。初期宇宙の SMBH の形成は、恒星質量 BH のガス降着では質量獲得には時間が足りないため、他のシナリオを考えなければならない。

最近、 $10^5 M_{\odot}$ の質量をもつ超大質量星 (SMS) の重力崩壊によってできた大質量 BH がガス降着で成長するというシナリオが有力視されている。SMS の形成・進化の研究によって、SMS は存在可能であるが [1]、このシナリオは観測的に検証されなければならない。SMS は $z \geq 7$ の遠方に存在するため観測には大光度で輝いている必要がある。このような観測に適した現象として、SMS の重力崩壊に伴う爆発現象が考えられる。特に、重力崩壊で中心に BH と降着円盤が形成されると、それを中心エンジンとして相対論的ジェットが形成される可能性がある [2]。本講演では SMS の重力崩壊によってジェットを伴う爆発現象を考え、その観測可能性と特徴を調べる研究の経過を発表する。

1. Hosokawa, T., et al. ApJ, 778: 178 (2013)
2. Bromberg, O., et al. ApJ, 740: 100 (2011)

コン a6 超新星ニュートリノの観測予測と衝撃波復活時間の評価

谷貝 麻純 (東京理科大学 鈴木研究室 M2)
質量が $8 M_{\odot}$ より重い星はその一生の最期に重力崩壊型超新星爆発を起こすことが知られている。しかし、詳細な物理を考慮した数値計算により、観測に合うような爆発は再現できていない。爆発はコア内部で生じ

た衝撃波が星の外層に向かって伝播し、星を吹き飛ばすことで引き起こされる。しかし、原子核の光分解や電子捕獲により生じたニュートリノがエネルギーを持ち出してしまうため、衝撃波の勢いは一度弱まってしまふと考えられている。弱まってしまった衝撃波を復活させる要因としていくつかの効果が考えられており、それぞれ衝撃波が復活するまでのタイムスケールに違いがみられると思われる。そこで私の研究では、様々な親星が爆発した時のニュートリノのイベント数の観測予測をし、そのデータから衝撃波の復活タイムスケールを評価できるか統計的な議論を行った。その際、親星モデルは Ken'ichiro Nakazato et al. 2013 ApJS 205 2 のものを用い、超新星爆発は銀河中心で起こったと仮定した。検出器はスーパーカミオカンデを想定した。

1. Ken'ichiro Nakazato et al. 2013 ApJS 205 2

コン a7 超新星背景ニュートリノと宇宙の化学進化

持田 恵里 (東京理科大学鈴木研究室 M1)
初期質量が $8 M_{\odot}$ 以上の大質量星は恒星の進化の最後に重力崩壊型の超新星爆発を引き起こす。これにより超新星ニュートリノが放出され、超新星爆発が近傍の銀河で起こった場合、ニュートリノ検出器によって観測され得る。一方、宇宙が誕生してから現在までの間、近傍銀河以外でも超新星爆発は起こっており、それらの超新星爆発によって放出された超新星ニュートリノは背景放射として現在の宇宙を満たしていると考えられている。これを超新星背景ニュートリノと言い、ニュートリノ検出器ではバックグラウンドとして検出される。超新星背景ニュートリノは様々な親星を起源とする超新星ニュートリノの重ね合わせであるため、本研究では親星モデルの多様性も考慮し、Super-Kamiokande での超新星背景ニュートリノの検出数を計算した。重力崩壊する星の数は宇宙全体で生まれる星の質量に依存する。そして、重力崩壊した星が超新星爆発をするかブラックホールになるかは星の含む金属の量によって決まり、宇宙全体の金属の量は宇宙の進化に伴って増加する。そのため、採用する宇宙の星形成史や化学進化のモデルの違いによる影響についても調べた。また、超新星爆発のメカニズムにおいても未だ解明されていないため、コア内部で衝撃波が復活するタイミング (shock revival time) の不定性についても調べた。その結果、現在観測可能な $18 \sim 26$ MeV のエネルギーレンジでは、採用する星形成史のモデルによる違いや shock revival time の不定性が大きく影響し、それよりも低いエネルギーレンジでは採用する星形成史のモデルによる違いが大きく影響することがわかった。こうした低いエネルギーのニュートリノは、一般に、検出器にガドリニウムを入れることで観測可能になると考えられている。

1. K.Nakazato Phys. Rev. D88 083012 (2013)
2. K.Nakazato et al. Astrophys.J. 205,2 (2013)

コン a8 大質量中性子星からの neutrino-driven wind における重元素合成過程

藤林 翔 (京都大学 天体核研究室 D1)
我々や、我々の身の周りの物質を形作る数多くの元素は今までの宇宙の歴史の中で作られてきた。太陽系の元素組成の多くを占める水素やヘリウムはビッグバン元素合成によって、炭素・酸素などの比較的軽いもの

から鉄までの元素は星の中の核融合反応によって、そして金・銀・鉛などの鉄より重い元素は、一部を除いて超新星や中性子星連星の合体などの爆発的な天体現象によって作られたと考えられている。しかし、数々の元素合成計算を用いた研究の結果は太陽系の重元素組成を完全に再現するには至っておらず、これらの重元素を生み出した天体について追求することが現在重要な課題となっている。

近年発展した数値相対論による大質量星の崩壊の数値シミュレーションによると、大質量星の崩壊時、その中心には太陽質量の3倍に達する質量の大きな中性子星が一時形成される可能性があることが示唆されている。

本研究では、そのような大質量中性子星における重元素合成の可能性を調べた。質量放出機構として neutrino-driven wind を考え、構成した流体の解での温度・密度の時間発展の上で元素合成計算を行い、パラメータによる依存性を調べた。

本講演では、neutrino-driven wind での元素合成について簡単に説明した後に、 νp -process による重元素合成に焦点をあてて研究内容を紹介する予定である。特に、通常の超新星における νp -process では達成が難しい大きな質量数の元素が、大質量中性子星の wind において生成される可能性があることを説明する。

1. Y.-Z. Qian and S. E. Woosley ApJ 471 331 (1996)
2. K. Otsuki, H. Tagoshi, T. Kajino, and S. Wanajo ApJ 533 424 (2000)
3. J. Pruet, S. E. Woosley, R. Buras, H.-T. Janka and R. D. Hoffman ApJ 623 325 (2005)

コン a9 collapsar モデルにおける磁気粘性アウトフローと r -process

福田 遼平 (九州大学 宇宙物理理論研究室 M2)
 r -process とは中性子捕獲過程の一つで、中性子捕獲のタイムスケールがベータ崩壊のそれより短い、つまり速い (rapid) 合成過程である。B2FH 論文で r -process が提唱されてから半世紀以上がたったが、 r -process サイトは未解明である。長年、超新星爆発がそのサイトと信じられてきたが、近年の研究により、 r -process に適さない環境になることがわかり、サイトとして疑問視されるようになった。現在有力視されているのは中性子星の合体であり、その極端な中性子過剰性によって重い r -process 元素の太陽系組成比を再現している (e.g. Korobkin et al. 2012)。ところが Argast et al. (2004) で示されているように、中性子星合体では低金属量星での r -process 元素の存在を説明できないという問題があり、銀河の化学進化の面から考えると超新星は必要ということになる。

この矛盾の解決策は、多様な超新星爆発メカニズムでの r -process の実現可能性を探究することである。たとえば Winteler et al. (2012) では磁気駆動型爆発における bipolar なジェットによって中性子過剰物質をくみ出し、太陽系組成の再現に成功している。そして今回 r -process サイトとして提案する爆発メカニズムは collapsar とよばれるものである。collapsar は Woosley (1993) によって GRB の中心エンジンとして提唱された爆発モデルで、高速回転する星の重力崩壊によって降着円盤を形成しジェットを放出するというのがそのシナリオである。Ono et al. (2012) ではジェットでの r -process がシミュレーションされているが、本研究では降着円盤からの粘性アウトフローに着目する。降着円盤内は電子捕獲が一方向的に進み、中性子過剰な環境を生み出すことができる。25 太陽質量の星の重力崩壊からアウトフロー放出までを 2 次元流

体計算で追い、collapsar 降着円盤での r -process の可能性を議論する。

1. Argast, D., Samland, M., Thielemann, F.-K., & Qian, Y.-Z. 2004, A&A, 416, 997
2. MacFadyen, A. I., & Woosley, S. E. 1999, ApJ, 524, 262

コン a10 ガンマ線望遠鏡による gamma-ray burst の観測と現状

深見 哲志 (東京大学宇宙線研究所 M1)

ガンマ線観測によるデータをもとに提案された、Gamma-ray burst (GRB) の起源や発生の仕組みについての議論の現状をレビューする。GRB とは、既知の天文現象のうち最も明るい現象であり、数十ミリ秒から数十秒の短時間に大量のガンマ線が放出される現象のことである。ガンマ線を放出した後に、非常に広い範囲の波長にわたって残光が観測されるのが特徴である。GRB は天の川銀河の外にある遠方の天体から放出されたという事はほぼ確定しているが、GRB の起源となる現象については、その莫大なエネルギーから超新星爆発や、中性子星またはブラックホールなどのコンパクト天体同士の衝突などが有力視されているものの、依然として断定されていない。

近年主流となっている GRB のモデルは、最初のジェットがそのままガンマ線のバーストとなり、その後周囲の物質と衝突したジェットの作る衝撃波により加速された荷電粒子が、シンクロトロン放射によってエネルギーの低い残光を放出する、というものである。しかし、今年1月に発表されたガンマ線望遠鏡 Fermi-LAT による観測結果により、未だかつてない高エネルギーでかつ長時間持続する GRB を発する GRB 天体 130427A の発見が報告され、上記の理論ではこの GRB をうまく説明できないことが判明した。

この講演では現在の GRB に関する議論をまとめ、考察する。また、現在開発中の大気チェレンコフ望遠鏡である CTA (Cherenkov Telescope Array) では、従来のガンマ線観測を牽引している人工衛星に比べ有効面積が10倍以上大きく、10 GeV 以上の高エネルギーガンマ線に対する感度において非常に優れているため、CTA の開発によって GRB に関する種々のパラメータが制限される今後の展望についても言及する。

1. A. Pe'er et al., MNRAS, 420, 469 (2012)
2. M. Ackermann et al. Science 343, 42 (2014)
3. B. Zhang and P. Meszaros, Int. J. Mod. Phys. A 19, 2385 (2004)

コン a11 重力波源としての短時間ガンマ線バーストの発生率

鳥屋 哲志 (金沢大学宇宙物理学研究室 M1)

ガンマ線バースト (Gamma-Ray Bursts: GRBs) とは、大質量星の崩壊や、中性子星連星の衝突・合体により、短時間に 10^{52} erg ものエネルギーをガンマ線放射として解放する宇宙最大の爆発現象である。その中でも2秒以内でエネルギーの放出を終える Short Gamma-Ray Bursts (SGRBs) は中性子星連星が衝突したときに発生すると考えられており、重力波発生源の有力な候補天体である。重力波とは、光速で伝播する時空のゆがみである。まだ、重力波の観測は実現していないが、2018年頃からの重力波観測装置の稼働に向けて KAGRA、A-LIGO、A-VIRGO などの建設が進んでいる。

本研究では重力波の本格的な観測に先がけて、重力波発生源としての SGRB の発生率について発表する。Tsutsui et al. (2013) により、SGRB のガンマ線スペクトルと光度の間に E_{peak} -光度関係が成立することが分かっている。これを利用し、コンプトン衛星の BATSE 検出器で観測された SGRB の赤方偏移 (距離) と光度を推定した。ここで得られた赤方偏移分布から SGRB の発生率を求めたところ、近傍における SGRB の発生率は 6.3×10^{-10} events Mpc $^{-3}$ yr $^{-1}$ と予想した。さらに、ジェットの幾何学補正を行った場合、重力波観測施設がターゲットとしている 300 Mpc 以内においては少なくとも年間 ~ 3.8 イベント以上の重力波が検出されると予想している (Yonetoku et al. 2014)。もし、中性子星とブラックホールの合体によるものならば観測範囲は大きくなり、年間 ~ 146 イベント程度と考えられる。現在、フェルミ衛星の観測 GBM 検出器のデータに対しても同様の解析を進めており、先の結果と合わせてより精度の高い推定を行う予定である。

1. R. Tsutsui et al., MNRAS, 431, 1398 (2013)
2. D. Yonetoku et al., ApJ, accepted (2014)

コン a12 バイナリーブラックホールによる重力レンズ撮像

伊地知 翔真 (京都大学宇宙物理学教室 M2)

銀河の中心部には、太陽質量の数十万～数百億倍もの超大質量のブラックホールが存在する。その形成過程は詳しくは分かっておらず、様々な形成モデルが提唱されている。有力なモデルに、ブラックホールの合体モデルがある。それは、銀河同士が衝突した際にブラックホール同士の連星系「バイナリーブラックホール」が作られ、周囲のガスによる粘性や重力波の放出によって角運動量を失い、最終的に衝突してひとつの大きなブラックホールが作られるというモデルである。一方、近年の観測技術の向上によって、近い将来には直接ブラックホール近傍の撮像も期待されているため、ブラックホールの撮像シミュレーションは急務の課題となっている。そこで本研究では、もしバイナリーブラックホールが存在し、実際に撮像されたらどのような性質が得られるのかを数値シミュレーションを行い検証した。

具体的には、一般相対論による測地線方程式をもとにシュバルツシルトブラックホール近傍の光子の軌道を調べ、降着円盤画像のシミュレーションを行った [1][2]。先行研究ではバイナリーブラックホールも降着円盤を持つことが分かっている [3] ので、お互いの重力レンズ効果により像を歪め合うはずである。数値シミュレーションによって検証した結果、重力レンズによる歪みに加えて、像の位置変化や最大 10 倍もの光度変化も生じることが分かった。これは先行研究で予言されていない増光であり、ブラックホールが重力レンズによってもう片方のブラックホール降着円盤の光度を見かけ上大きくしていると思われる。今後はスペクトルでの変化も調べていきたい。

1. J. -P. Luminet, A&A. 75 228 (1979)
2. J. Fukue & T. Yokoyama, PASJ. 40 15 (1988)
3. K. Hayasaki, S. Mineshige & H. Sudou, PASJ. 59 427 (2007)

コン a13 「すざく」を用いたソフト状態とハード状態における LMXB の統一的な研究

小野 光 (東京大学牧島中澤研究室 M2)

LMXB (Low Mass X-ray Binary) は、弱磁場 ($\leq 10^8$ G) 中性子星と低質量星 ($\leq 1 M_{\odot}$) の近接連星系で、スペクトルは、光度が高い時は ~ 15 keV 以下が卓越するソフト状態、光度が低い時は ~ 100 keV が卓越するハード状態となる。Transient である Aql X-1 の「すざく」データから、ハード状態のスペクトルもソフト状態のものと同じく、円盤からの多温度黒体放射と、中性子星表面からのコンプトン化された黒体放射との和で再現でき、主に後者に対するコンプトン化が強い点だけが、ソフト状態と比べて時に異なることがわかった [1]。このことから、ソフト状態とハード状態を通して、LMXB のスペクトルを統一的に記述できる可能性が浮上した。この撮像の一般性を確かめるために、Aql X-1 ($\sim 10^{36}$ erg/s) に比べて光度の高い ($\sim 10^{37}$ erg/s)、GS 1826-238、4U 1608-52 を解析したところ、同じ撮像で説明され、パラメータの値がやや異なることがわかった。

ソフト/ハード状態の大きな違いは黒体放射のコンプトン化の強さであり、それは y パラメータだけでは表現しきれない。そこで我々は独立な新しいパラメータとして、電子温度 T_e と黒体温度 T_{bb} の比、 $Q \equiv T_e/T_{bb}$ を導入し [2]、 $Q-y$ 面上でコンプトン過程を表すことを試みた。Aql X-1 を含め、我々が解析した結果を用いると、 (Q, y) 平面上で、ソフト状態は $Q \leq 10$ 、ハード状態は $10 \leq Q \leq 10^3$ に分布し、ほぼ連続的に 1 つの 1 次元曲線を描いた。

このように、LMXB のスペクトル状態の違いは、コンプトン過程の連続的な変化で説明されることがわかった。また、複数の異なる天体が 1 つのモデルで説明され、 $Q-y$ プロット上で 1 つの曲線を共有していることから、すべての LMXB を統一的に記述する手がかりを得ることができた。

1. S. Sakurai Astr.Soc. Japan 66, No1 (2014)
2. Makishima et al. Suzaku-MAXI (2014)

コン a14 「すざく」による大質量星と中性子星との連星系 4U 1700-37 の解析

室田 優紀 (東京大学牧島中澤研究室 M1)

中性子星と恒星との連星系は、恒星の質量によって大きく特徴が異なる。大質量星 ($> 10 M_{\odot}$) と連星をなす中性子星の多くは強い磁場 ($\sim 10^{12}$ G) を持ち、磁極に絞られて物質が降着するため、自転に伴い X 線帯域でパルスが観測される。また、大質量星からの星風が降着物質の起源であることから、短時間での激しい変動を示すものが多い。今回は中性子星近傍での降着物質の分布を調べるため、X 線スペクトルの時間変動を用いて 4U 1700-37 を解析した。

4U 1700-37 は、長年の探査にも関わらず未だにパルス周期が検出されておらず、はっきりとした磁場強度も報告されていないものの、主星である超大質量星 HD 153919 からの星風捕獲によって X 線で明るく光っている。さらにスペクトルは非常に硬く、べき関数型の連続成分と強い鉄輝線、吸収で理解され、強度が激しくランダムに時間変動するという典型的な中性子星連星系の性質を持つ [2]。

4U 1700-37 の連続スペクトル、鉄輝線、および吸収を調べるには、広帯域を観測できエネルギー分解能が良い「すざく」衛星が適している。「すざく」はこの天体を 2006 年 9 月に観測した。積分時間は 107 ks で、

1 ~ 150 keV での平均フラックスが $9.0 \times 10^{-9} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と極めて高く、統計の良いデータが得られた。また 2 桁にもわたる強度の変動が観測された。

観測時間を細かく区切って解析した結果、吸収は 2.7 ~ 7.3 $\times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ 、鉄輝線の等価幅 (EW) は 55 ~ 110 eV の範囲で変動し、さらに吸収に対する EW の変化はほぼ独立であるという結果を得た。中性子星近傍のガスが等方的に分布する場合には、EW は吸収に比例するはずであり、これは中性子星近傍のガスが非一様に分布していることを示唆している [1]。

1. Inoue, H. 1985, Space Sci. Rev., **40**, 317
2. Reynolds, A. P., Owens, A., Kaper, L., Parmar, A. N., & Segreto, A. 1999, A&A, **349**, 873

コン a15 全天 X 線監視装置 MAXI による Cygnus X-1 のハード状態、ソフト状態のパワースペクトル解析

杉本 樹梨 (立教大学 D1)

ブラックホール連星 Cygnus X-1 は、ミリ秒から 10 年まで様々なタイムスケールでの激しい変動をする天体として知られている。本研究では、ハード状態、ソフト状態での変動性をパワースペクトル (PSD) を用いて調査した。Cygnus X-1 の長期間の PSD に関しては *RXTE/ASM* の 1.3–12.2 keV のデータを用いた先行研究 (Reig et al. 2002) があり、エネルギーが低いほど全体的にパワーが大きいという結果が報告されている。MAXI 観測以前はハード状態が長く続いており、ソフト状態における長期間の PSD 解析は MAXI により初めて可能となる。

解析には全天 X 線監視装置 MAXI の 2009 年 8 月 15 日から 2013 年 6 月 12 日までの観測データを用いた。エネルギー帯は、MAXI/GSC の 2–4 keV、4–10 keV、10–20 keV を使用した。まずハード状態とソフト状態 (各 4 期間) に分けるため、全観測期間の光度曲線から硬度比を計算した。観測開始 (55058 MJD) からハード状態が約 10 ヶ月続いた後状態遷移し、約 10 ヶ月ソフト状態が継続した。その後は各状態を約 1~3 ヶ月で繰り返し、56107 MJD 以降はソフト状態が継続している。各状態の PSD を作成した後、各状態の期間の平均強度の二乗で割って「規格化した PSD (NPSD)」を求め、エネルギー帯ごとに比較を行った。その結果、ソフト状態、ハード状態において、変動のエネルギー依存性に明らかな違いが見られた。さらに、各状態でスペクトル解析を行った結果、ソフト状態においては、降着円盤からの熱的放射によるソフト成分よりも、コンプトン放射によるハード成分の方が変動が大きいということがわかった。

1. Reig P. et al., A&A, 383, 202 (2002)
2. Yamada S. et al., PASJ, 65, 80 (2013)
3. Churazov E. et al., MNRAS, 321, 759 (2001)

コン a16 降着駆動型 X 線パルサーの連続 X 線放射機構の新モデル

近藤 恵介 (宇宙科学研究所 D1)

降着駆動型の X 線連星パルサーは、強磁場中性子星と通常の恒星からなる近接連星系で、周期的に強度変動する X 線が中性子星 (パルサー)

から放射される天体である。この系では、恒星からのガスが中性子星の磁極に向かって流れ込んでおり、定衝撃波面以降に形成される柱状の高温プラズマ (降着柱) から X 線が放射されている。一般に中性子星の磁軸と回転軸は一致しておらず、観測者からは回転に合わせて降着柱が見え隠れするので、X 線は中性子星の自転周期に合わせて規則的に変化する X 線パルスとして観測される。パルサーからの X 線は降着柱からの放射が支配的であり、そのスペクトルは、ベキ関数に指数関数的なカットオフを掛けた連続成分モデル (ECUT model) で表現できることがわかっている (N. E. White, et al., 1983, ApJ., 270, 711)。しかし、ECUT model は、観測結果と良く合うというだけの理由で使われ続けてきた経験的なモデルで、物理的な根拠は無い。それに代わるモデルとして、正負の二種類のベキ関数を用いたモデル (NPEX model) が存在するが、これも、負のベキを持つ成分の説明は経験的なものにとどまっている (K. Makishima, et al., 1999, ApJ., 525, 978)。

本研究では、X 線連星パルサーの降着柱からの連続 X 線成分を、多温度黒体放射モデルを応用した新モデルで説明することを試みた。そこでまず初めに、代表的な降着型 X 線連星パルサー Hercules X-1 の、「すざく」衛星による観測データを解析した。その結果、我々の新モデルでデータをよく再現できることが判った。講演では、今回の解析結果について報告し、新モデル構築の今後の展望について議論する。

1. N. E. White, et al., 1983, Astrophys. J., 270, 711-734
2. K. Makishima, et al., 1999, Astrophys. J., 525, 978-994

コン a17 マグネターのバースト現象とレーザー実験 に実現する強い電磁場の非一様性に関する基礎的研究

矢田部 彰宏 (早稲田大学 前田研究室・山田研究室 M2)

マグネターは中性子星の中でも特に強い磁場を持つ天体である。マグネターは大規模なバースト現象を起こすことが観測されているが、バーストの理論的な解明はされていない。バーストを解明するためには、バーストのもとになるエネルギーを発生させる過程と発生したエネルギーを放射に変換する過程の両方を解明しなければならない。本研究では、後者の変換過程を扱い、変換過程の先行研究の一つに [1] がある。これは、マグネター周辺の強い磁場中を進行する電磁波が、量子電気力学的な過程により、衝撃波を生じることで、火の玉が発生し、そこからの放射がバースト現象として観測されるというモデルである。この先行研究では、電磁場の非一様性を無視しているが、衝撃波に対して電磁場の非一様性を無視することはできない。そのため変換過程を議論するためには、電磁場の非一様性を扱わなければならない。そもそも、電磁場の非一様性の研究自体があまり行われていない。そのため、本発表では電磁場の非一様性を扱う。電磁場の非一様性に関わる系は、マグネターのバーストにおける変換過程の他にも、高強度レーザーでの実験がある。本研究では高強度レーザーによってできた電磁波の外場中を光が進行したときに、どのような進行をするかを議論する。具体的には、強い電磁場の有効作用を求めた先行研究 [2] と強い磁場中を光が進行した場合の有効作用の補正を求めた先行研究 [3] に基づいて、高強度レーザーによる強い電磁波の外場中を光が進行する系の有効作用を求め、その光に対する屈折率を求める。これにより、将来のレーザー実験の実験結果を予想することができる。また、マグネターのバーストにおける変換過程に電磁場の非一様性をふまえるための重要な研究である。

1. J. S. Heyl and L. Hernquist, *Astrophys. J.* 618, 463 (2005)
2. J. Schwinger, *Phys. Rev.* 82, 664 (1951)
3. S. L. Adler, *Ann. Phys.* 67, 599 (1971)

コン a18 「すざく」衛星による MAXI J1659-152 の広帯域 X 線スペクトル解析

宮崎 直人 (首都大学東京 宇宙物理実験研究室 M1)

恒星と連星系をなしているブラックホールは周りに降着円盤が形成され、そこからの X 線放射を観測することができる。この放射は降着円盤の温度に依存する熱的な放射とべき関数型の非熱的成分で構成される。また、その強度には非周期的な時間変動が見られる。

MAXI J1659-152 は ISS に設置された X 線観測装置、MAXI によって 2010 年 9 月 25 日に発見されたブラックホール候補星である。その後わずか数日間の内に XMM-Newton、INTEGRAL、RXTE、AGILE 衛星で次々と追観測が行われた。「すざく」衛星でも 9 月 29 日から 10 月 1 日の 3 日間観測が行われた。この天体にはブラックホール連星に類似した時間変動が見られ、その周期はこれまで発見されているブラックホール連星の中で最短の約 0.1 日であった。その強度変化といくつかのモデルから次のことが推定されている。この連星系はブラックホールと M5 矮星の連星であり、伴星の質量は $0.15\text{-}0.25 M_{\odot}$ 、半径は $0.2\text{-}0.25 R_{\odot}$ である。この天体までの距離はおおよそ 8.6 kpc で、銀河面から 2.4 kpc はなれた所にある。また、減光の様子から傾斜角は $65\text{-}80^{\circ}$ である。

この天体は、非常に明るいため、「すざく」に搭載された CCD 検出器 (XIS) の検出限界に達してしまっており、これの適切な評価を行った。また、観測中に衛星の姿勢が数 10 分角ほど動いており、姿勢の補正も行った。こうして、X 線スペクトルを抽出することに成功した。得られたスペクトルは 3 日間の観測で大きな変動はみられず、スペクトルの形は一般的なブラックホール連星のものであった。本講演では、この天体の解析結果、および物理的な解釈について紹介したい。

1. Kuulkers, E et al. 2013, A & A
2. Kuulkers, E et al. 2011, eprint arXiv:1102.2102

コン a19 ブラックホール連星の短時間での X 線スペクトル変動

水本 岬希 (宇宙科学研究所 M2)

世界初の X 線天文衛星「ウフル」により、Cyg X-1 から 0.1 秒スケールの X 線の光度変化が検出されて以来、ブラックホール連星は、X 線で短時間変動を示す天体として特徴付けられてきた。また、「あすか」衛星に搭載された X 線 CCD カメラにより、複数のブラックホール連星から青方遷移した吸収線が検出され、ブラックホール周辺から物質の放出 (アウトフロー) が起こっていることが明らかになった。だが、装置的な制約ゆえに、吸収線を検出できる程度の高エネルギー分解能で、X 線スペクトルの短時間変動を追った例は乏しい。

「すざく」衛星搭載の X 線 CCD カメラ「XIS」は、観測対象の明るさや時間変動に応じて、観測モードを使い分けて観測を行っている。そのうちのひとつである Parallel-sum clocking (P-sum) モードでは、通常の観測モードでは 8 秒ごとにイベント付けされるところ、7.8 ミリ秒刻みでイベントを得ることができる。P-sum モードは通常モードに比べ

経年劣化が速く、独自の較正が必要であったため、我々はまず、P-sum モードの較正用観測データを網羅的に解析し、打ち上げ以来のエネルギースケールと分解能を決定した。本講演では、P-sum モードの観測によって得られたブラックホール連星の短時間での X 線スペクトル変動の様子を示すと同時に、2015 年打ち上げ予定の次世代 X 線天文衛星「ASTRO-H」で解明されると期待されるブラックホールからのアウトフローの描像についても議論する。

1. Oda, M., Gorenstein, P., Gursky, H., et al. 1971, *ApJ*, 166, L1
2. Ueda, Y., Inoue, H., Tanaka, Y., et al. 1998, *ApJ*, 492, 782
3. Yamada, S., Negoro, H., Torii, S., et al. 2013, *ApJ*, 767, L34

コン a20 ブラックホール候補天体における熱伝導を考慮した明るいハードステート円盤のモデル

谷田部 紘希 (千葉大学 宇宙物理学研究室 M1)

ブラックホール候補天体には、高温かつ光度が低く光学的に薄いハードステート、低温かつ光度が高く光学的に厚いソフトステートという二つの状態が存在することが知られている。さらに、X 線観測から、ソフトステートとハードステートの間で相互に状態遷移が起きていることも知られており、明るいハードステートと呼ばれる、光度の高いハードステートが存在することが観測されている。この明るいハードステートの光度はエディントン光度の 10% 程度であることも観測から知られている。熱平衡な定常解としてのこの明るいハードステートの存在を、理論モデルにより説明する、ということがモチベーションとなり本研究を行った。Abramowicz et al.(1995) による降着円盤の定常モデルでは、明るいハードステートに対応する熱平衡解が得られていなかった。これは、この領域では輻射冷却が粘性加熱を凌駕するためである。しかし、この定常解は、エネルギー方程式において熱伝導項を考慮せずに導かれたものである。高温の円盤コロナからの熱伝導が輻射冷却とつり合えば定常解が存在し得る。熱伝導を考慮した鉛直方向 1 次元定常解を求めた結果、ハードステートからソフトステートへ伸びる、新たな熱平衡解の存在を確認することができた。この新たな熱平衡解の光度がエディントン光度の 10% 程度まで大きくなる可能性を示し、明るいハードステートを説明することができることを報告する。

1. Abramowicz, M. A., Chen, X., Kato, S., Lasota, J. P. & Regev, O. 1995, *ApJ*, 438, L37

コン a21 超臨界降着流の数値シミュレーション

小川 拓未 (京都大学宇宙物理学教室 M1)

宇宙空間において、高エネルギーを発生させる現象の多くは、周りの円盤からブラックホールへのガス降着が関与していると考えられている。このような現象は機構が解明されておらず、円盤降着流について調べることが必要である。本発表では、円盤降着流の中でもガス降着がエディントン限界を超える、超臨界降着流に着目した。

超高光度 X 線源やマイクロクェサー、恒星がブラックホールに近づくすぎたために起こるとされる潮汐破壊による突発的増光現象などのコンパクトな天体現象が存在しており、その機構は分かっていない。これらの天体現象はエディントン光度以上の光度を持つことから、超臨界降着流で説明出来ると考えられる。本発表では超臨界降着流について、

国立天文台の大須賀氏のシミュレーション結果を用いながら説明する。また、超臨界降着流の広域シミュレーションによって最近新たに見つかったクランピーアウトフロー (Takeuchi et al. 2013: 参考文献 [1] についてのレビューも行う。

超臨界降着流が起こると、円盤が輻射圧優勢になる。その為、超臨界降着流をシミュレーションする際は流体計算だけでなく、輻射を考慮する必要がある。輻射流体シミュレーションにより、エディントン限界を下回る亜臨界降着流とは異なる様々な構造が見えてきている。その一つがクランピーアウトフローである。クランピーアウトフローは円盤上空の噴出流が2つの不安定性の効果から1光学深さ程度の大きさのクランプ状に分裂することで形成される。クランピーアウトフローは物理的対象として興味深いというだけでなく、活動銀河核などの光度の時間変化や中心部に見られる大きな速度分散の形成に新たな解釈の可能性を与えてくれるという点で興味深い。

1. Takeuchi, S., Ohsuga, K., & Mineshige, S. PASJ 65 88T (2013)
2. Takeuchi, S., Ohsuga, K., & Mineshige, S. PASJ tmp 40T (2014)
3. Ohsuga, K., & Mineshige, S. SSRv tmp 88O (2013)

コン a22 全天 X 線監視装置 MAXI が観測した X 線バーストの探査

大槻 光 (青山学院大学大学院 M1)

Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI) は 2009 年 8 月に国際宇宙ステーション日本実験棟きぼうの船外実験プラットフォームに搭載された全天 X 線監視装置である。MAXI に搭載されている X 線検出器、Gas Slit Camera (GSC) は 2-30keV の X 線領域に感度を持っており、約 90 分毎にほぼ全天を走査することができる。長年人類が憧れてきた静かに見える宇宙だが、X 線やガンマ線で見ると活発に活動をしている。例えば、中性子星やブラックホールに代表される高密度天体はその活動の起源の一部である。このうち、中性子星と恒星の連星系が起こす活動の一種に X 線バーストという突発的な爆発現象がある。この連星系において、恒星の一部が降着ガスとなって中性子星表面に堆積し、やがて高密度な堆積物は非常に強い重力によって臨界状態に到達し、熱核融合反応を起こす。この熱核融合反応の暴走をきっかけに表面層は加熱され、X 線を放射して、X 線バーストの起源となる。一般に人工衛星に搭載された X 線望遠鏡による観測では、ある一つの天体に対して感度の良い観測を長い時間行なうことができるが、視野が狭いため、観測対象外の天体の活動性を監視することはできない。これに対し MAXI は 1 日に約 16 回の全天観測を毎日行なっているため、一つの天体のみでなく多くの天体の活動性を一定の時間間隔で監視することができ、いつ起こるか分からない X 線バーストのような突発的に明るさが変動する現象を検出する機会が多いと考えられる。本研究では MAXI/GSC が観測した約 4 年分のデータの中から、X 線バーストを起こす天体のバーストごとの情報をまとめ、カタログにすることを目標にしている。そこでカタログ作成に向けて、H1636-536 という低質量 X 線連星をサンプルに MAXI/GSC の観測データから X 線バーストの情報を抜き出す手法を確立した。本発表では、この H1636-536 についてカタログのサンプルを報告する。カタログに載せる項目としては、天体名、天体位置、バーストの発生時刻、継続時間、ピークフォトンフラックス、ライトカーブ、スペクトルを考えている。

1. 日本評論社 シリーズ現代の天文学 8 ブラックホールと高エネルギー

現象

2. 日本評論社 シリーズ現代の天文学 7 恒星
3. 吉田研究室 山崎 修 2009 年度 修士論文

コン a23 Ultra Luminous X-ray source の T_e/T_{in} 比による統一的理解

小林 翔悟 (東京大学牧島中澤研究室 D1)

Ultra Luminous X-ray source (ULX) は X 線で異常に明るい天体で、その光度は恒星質量 ($10M_{\odot}$) ブラックホール (BH) のエディントン限界光度 (L_{edd}) を 1-3 桁も上回る。ULX は未発見である中間質量 (10^2-3M_{\odot}) BH からの $\sim L_{\text{edd}}$ の放射と解釈できる [1] が、未だ議論が続いている [2]。

ULX は BH 連星 (BHB) と同様に、光度変化に伴い異なるスペクトル状態 (Power Law; PL 状態と Disk 状態) を示す。PL 状態は冪関数的に伸びる硬いスペクトルで、 $\sim 7-9$ keV で緩やかに折れ曲がっており、BH 連星でも一般的な、円盤の多温度黒体放射と逆コンプトン散乱を組み合わせた (THC) モデルでよく説明される。一方で高光度になると、ULX は軟かい上に凸な Disk 状態となり、これらは標準降着円盤に修正を加えた Slim disk モデルで解釈されてきた。しかし宮脇らは、代表的な ULX である M82 X-1 の Disk 状態が、むしろ PL 状態と同様の THC モデルで、より自然に解釈できることを指摘した [3]。そこで我々はこの THC モデルを、スペクトル状態に関わらず複数の ULX に適応し、ULX の状態変動を統一的に描像することを試みた。

我々は「すざく」、NuStar、XMM-Newton、「あすか」の4つの衛星の公開データ中で、代表的な ULX である Holmberg IX X-1、NGC1313 X-1/X-2、M33 X-8、IC342 X-1/X-2 のデータを解析した。THC モデルはいずれのスペクトル状態でも、全てのスペクトルをよく説明でき、2 状態は最内縁温度が $T_{in} = 0.2-0.5$ keV の降着円盤と、電子温度 $T_e = 2-4$ keV、光学的厚み $\tau \sim 10$ という「薄く厚いコロナ」を共通にもつことがわかった。また、温度比 $Q = T_e/T_{in}$ と光度 L_x の相関をとると、PL 状態はみな $Q > 10$ のグループに属し、一方で Disk 状態は $Q < 5$ のグループを形成し、この温度比 Q が ULX のスペクトル状態を区別するよい指標となることを発見した。このプロットに BH 連星である XTE J1550-564 の Very High state ($L_x \sim L_{\text{edd}}$) を加えると、PL 状態と同じ $Q > 10$ のグループに属する。これは ULX が、中間質量 BH からの $\sim L_{\text{edd}}$ の放射で解釈できるという説をより強化するものである。

1. Makishima, K. et al. 2000 ApJ., 535, 632
2. Mineshige, S. et al. 2007 ASP., 373
3. Miyawaki, R. et al. 2009 PASJ., 61, S263, S278

コン a24 セイファート I 型活動銀河核 IC4329A の新たな硬 X 線成分とスペクトル描像

三宅 克馬 (東京大学牧島中澤研究室 M2)

活動銀河核 (AGN: Active Galactic Nuclei) の X 線スペクトルは、降着円盤からの紫外線光子がコロナで逆コンプトン散乱を受けて生成される光子指数 $\Gamma \sim 2$ の Power-Law (PL) 型の一次放射成分、その反射によって生じる鉄輝線や硬 X 線ハンプなどの二次成分から成ると考えられている [1]。しかし、観測されるスペクトルは連続成分が主体で構造に

乏しいため、様々な理論モデルによって同一のスペクトルを説明できてしまい、その解釈は一意に定まっていなかった[2]。そこで我々は今回、時間変動を利用したモデル依存しない方法で AGN の X 線スペクトルの成分分解を行った。用いた天体は、明るく時間変動の大きいセイファート I 型 AGN、IC4329A で、この天体は「さざく」により 2007 年 8 月に 5 回、2012 年に 1 回観測されており、2-10 keV のフラックスはおよそ $7.0 \times 10^{-11} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であった。これらの観測間や一観測内で、差分スペクトル法と Noda et al. (2013) [3] の成分分解手法を適用したところ、変動成分は形を変えずに強度のみ変動し、その光子指数は $\Gamma \sim 2.1$ であることが明らかになった。しかし、時間平均スペクトルは $\Gamma \sim 2.1$ の PL 成分とその反射成分だけでは再現できず、 $\Gamma \sim 1.5$ のよりハードな一次成分を必要とすることがわかった。この成分は、 $\Gamma \sim 2.1$ の PL に比べて変動のタイムスケールが長く、強い吸収を受けており、それに伴う鉄 K エッジ ($\sim 7.2 \text{ keV}$) も見られる。またスペクトルへの寄与は大きいものの、変動が小さいためにスペクトルの差分を取ったときには打ち消される。さらに、この成分はその形と変動性から、部分吸収された $\Gamma \sim 2.1$ の PL や反射などの二次成分ではなく、それとは別の一次放射成分であることが明らかになった。IC4329A において、この描像は数百 ksec から数年という異なるタイムスケールでも成り立っている。以上のように、この AGN の一次 X 線放射は、実は 2 つの異なる連続成分から成ることがわかった。これは他のセイファート銀河でも成り立つと考えられる。

1. A. C. Fabian and G. Miniutti arXiv:astro-ph/0507409 (2005)
2. M. Cerruti et al. A & A, 535, A113 (2011)
3. H. Noda et al. ApJ, 771, 100 (2013)

コン a25 狭輝線 1 型セイファート銀河 PG1244+026 の X 線時間変動解析

桑原 啓介 (首都大学東京 宇宙物理実験研究室 M1)

この宇宙に存在する銀河の多くはその中心部に活動銀河核 (AGN) と呼ばれる大質量ブラックホールを持つ。AGN は単体で銀河そのものに匹敵する明るさで輝き、恒星の進化の果てに生まれるブラックホールより質量が 6 桁以上も大きい。X 線スペクトルは様々な形に分解され、ブラックホール本体近傍のコロナの逆コンプトン散乱が起源とされるベキ乗成分、低エネルギー側での軟 X 線超過が考えられている。

AGN のうち、セイファート 1 型はトーラス面に垂直な方向から観測できる銀河である。その中でも、狭輝線 1 型セイファート銀河 (NLSy1) は非常に高い質量降着率と狭い輝線を持つ。軟 X 線帯域では、超過成分が非常に強く、未だにその起源ははっきりとはわかっていない。また、他セイファート銀河と比べて激しい時間変動を持つことも知られており、その起源も不明である。今回、XMM-Newton 衛星の 120 ks の観測データを用いて NLSy1 である PG1244+026 の解析を行った。

先行研究ではスペクトル解析・変動の周波数解析を用いて軟 X 線超過の起源が調べられている。高周波数スペクトルと低周波数スペクトルとを比較することで、放射源毎の変動のタイムスケールの違いから、各成分を起源毎に識別しようとしていた。NLSy1 の放射が主に降着円盤からの放射・ベキ乗成分・軟 X 線超過で構成されていると考えて矛盾がないと報告されている (Jin C. et al. 2013)。

本研究ではより直接的に物理量を抽出するため、時間軸に着目した解析を行った。明るい時間帯と暗い時間帯に数 ks のタイムスケールで分け、それぞれのスペクトルを比較した。その結果、明るくなるとスペク

トルがわずかに軟 X 線側に傾くことがわかった。今後はより短いタイムスケールでの変動を調べることで軟 X 線超過や激しい強度変動の起源に迫りたい。

1. Jin C., Done C., Middleton M., Ward M., 2013, MNRAS, 436, 3173
2. Done C., Davis S.W., Jin C., Blaes O., Ward M., 2012, MNRAS, 420, 1848

コン a26 VLBI モニター観測による電波銀河 3C 84 の長期変動

千田 華 (国立天文台三鷹 M2)

3C 84 は、 γ 線で明るい電波銀河の典型例である。本天体では、2012 年までに 2 度の γ 線フレアが報告され、電波帯ではジェット成分において 2005 年頃より増光が見られている。その活動の活発さから γ 線フレアとジェットの活動の関係を調べるのに最適な天体である。ブレーザーでは、突発的なフレアに伴いブラックホールから強いジェットが噴出することで γ 線が生成される。一方電波銀河では γ 線フレアの観測例の少ないことから、ブレーザーで見られる様に強いジェットの噴出が γ 線放射と関係しているのかははっきりしていない。3C 84 の過去 2 度の γ 線フレアではいずれもフレア前後で強いジェットの噴出は観測されなかった。しかし 2013 年 1 月に過去最大の γ 線フレアが発生し、ジェットの噴出規模の変化との関係を探る好機が訪れた。

GENJI プログラムでは、2010 年 11 月より 3C 84 を国立天文台 VLBI 観測網 VERA を用いた 22 GHz 帯での 1-2 週間という高頻度な VLBI モニター観測を行ってきた。約 3 年に渡るモニター観測によって、サブパーセクスケールでは、2005 年に出現した成分が、速度は光速の約 20 本講演では GENJI プログラムを通して観測された 2011 年 1 月から 2013 年 12 月における全 65 エポックの観測結果を報告する。その結果をもとに、 γ 線フレアと電波ジェット活動の相関関係と、3C 84 の電波帯での増光源がサブパーセクスケールのホットスポットである可能性について議論する。

1. H. Nagai et al., MNRAS, 423, L122, (2012)
2. R. C. Walker et al., ApJ, 530, 233, (2000)
3. L. Stawarz et al., ApJ, 680, 911, (2008)

コン a27 楕円銀河におけるブラックホールへの Bondi 降着率とジェットパワーの相関

国沢 佑介 (大阪大学 理学研究科 宇宙進化グループ M1)

一般に銀河の中心には巨大ブラックホールがあるとされており、この巨大ブラックホールへ周りのガスが降着することで、ジェットが噴出されると考えられている。このガス降着とジェットに関するメカニズムは今も活発に議論がされている。このメカニズムを確かめるためには、ブラックホールへのガスの降着率と、そこから噴出されるジェットのパワーの間に相関があることを調べればよく、そのような考えに基づき、ごく近傍の楕円銀河について、X 線観測データを解析したところ、Bondi 降着率とジェットのパワーに相関があったという報告がなされている (Allen et al. 2006)。しかしながらこの観測では、Bondi 半径を分解で

きていない。そのため Bondi 降着率を見積もるのに必要な、Bondi 半径でのガスの温度と密度を推定するのに、単純なべき則での外挿を行っており、不定性が大きいと考えられる。実際、いくつかの研究では、その相関関係から外れているものがあり、他のメカニズムの存在も議論されている (McNamara et al. 2011)。そこで本研究では、単純なべき則での外挿ではなく、ガスの静水圧平衡を仮定して Bondi 半径でのガスの温度と密度を推定し、その結果から Bondi 降着率を見積もり、ジェットのパワーと比較する。この方法は、近傍の楕円銀河以外についても適用可能なので、Allen et al. よりもより大きなサンプルで、Bondi 降着率とジェットのパワーとの相関について議論できる。

1. S. W. Allen, R. J. H. Dunn, A. C. Fabian, G. B. Taylor and C. S. Reynolds MNRAS, 372, 21 (2006)
2. B. Balmaverde, R. D. Baldi, and A. Capetti A&A, 486, 119 (2008)
3. B. R. McNamara, Mina Rohanizadegan, and P. E. J. Nulsen MNRAS, 432, 530 (2011)

コン b1 超新星前の親星からのニュートリノ放出とその観測可能性

加藤 ちなみ (早稲田大学 前田研究室・山田研究室 M1) 初期質量が $8M_{\odot}$ 以上の星は、進化の最後に超新星爆発を起こす。しかし、その爆発機構や爆発前の親星の構造については未だに多くの謎を残している。恒星進化理論によれば、星の進化過程は初期質量によって異なり、超新星爆発においても鉄コア崩壊型と ONeMg 崩壊型の 2 種類があると考えられている。これらの謎を解明するためには観測が必要であり、今現在期待されているのがニュートリノ観測である。ニュートリノは、星の進化が進むと中心核で多く生成され、大量にエネルギーを持ち去る。そして、ニュートリノの反応断面積は非常に小さく ($\sim 10^{-42}[\text{cm}^2]$)、物質とほとんど相互作用せずに観測地点まで届く。よって、星の内部情報を直接観測でき、親星の中心核における熱力学的構造を明らかにできるのではないかと期待される。超新星前のニュートリノに関する先行研究としては、A.Odrzywolek et al. による初期質量が $20M_{\odot}$ の鉄コア崩壊型超新星爆発を起こす親星における対消滅ニュートリノのエネルギー放出率の計算及びその観測可能性を調べた論文がある。本研究では、先行研究と異なり K.Takahashi et al. による初期質量 $10.8M_{\odot}$ の ONeMg 崩壊型超新星爆発を起こす親星をモデルとする。そして、この進化モデルの密度・温度で支配的なニュートリノ生成過程である対消滅とプラズモン崩壊による生成過程と、進化の後半で中心部が高密度になることによって起こる電子捕獲反応によるニュートリノのエネルギー生成を計算することにする。(Itoh et al.) そして、現在稼働中であるニュートリノ観測装置 (Super-Kamiokande, KamLAND など) でこれらのニュートリノ観測の情報 (ニュートリノ光度の時間発展) から初期質量によって異なる親星の構造の違いがみられるかどうかを議論する。

1. A.Odrzywolek, 2004, arxiv:astro-ph/0311012v2
2. Koh Takahashi, 2013, arxiv:1302.6402v3
3. N. Itoh, Astrophys. J. Supplement Series 102 (1996) 411

コン b2 輻射場中の Rayleigh-Taylor 不安定

笹平 琳子 (国立天文台三鷹 M1) ブラックホールや中性子星等のコンパクトな天体について、ガスが天体に落ちているときに天体周辺で降着円盤と呼ばれる円盤を形成する事が知られている。実際に、X線連星や活動銀河核などでこの円盤が発見されている。このうち、ブラックホールの降着円盤はアウトフローやジェットといった形で物質を円盤外へ掃き出していることが確実であると、昨今の観測結果から考えられている。しかし、輻射によるアウトフローについては未だ不明な点が多く、日夜様々な理論的・観測的研究が行われている。そのような中で、超臨界降着流において、アウトフローが粒状の構造を形成する事が二次元の輻射磁気流体シミュレーションによって明らかになった [1]。この粒状の構造は主として Rayleigh-Taylor 不安定性によるものだと考えられており、広輝線領域における強度の時間変動などを解決すると期待されるため、その三次元構造の解明が待たれている。

Rayleigh-Taylor 不安定性とは、重力場中で密度の小さな流体の上に密度の大きな流体が存在している状況において、密度の大きな流体が密度の小さな流体に潜り込んでいくようにして成長していく不安定性であり、輻射場中においても同様の不安定性が存在する事が知られている。そこで本発表では、アウトフローの粒状構造を理解する上で不可欠である輻射場中の Rayleigh-Taylor 不安定性について、輻射流体の基礎方程式の線形摂動解析を行った論文「Radiative Rayleigh-Taylor Instabilities」(Jacquet & Krumholz 2011)[2]を紹介する。この論文では 2 流体間の境界面に注目し、輻射が存在しない場合、optically thin な場合、optically thick な場合の三種類の極限を考え、それぞれについて流体が安定する条件を議論する。特に optically thick な場合について、実際に Rayleigh-Taylor 不安定性が存在していると考えられている天体現象に注目し、解析の結果とシミュレーションから得られている結果の比較を行う。

1. S.takeuchi et al PASJ 65 88 (2013)
2. E.Jacquet and M.Krumholz ApJ 730 116 (2011)

コン b3 重力崩壊型超新星における acoustic mechanism の研究

犬塚 慎之介 (早稲田大学 前田研究室・山田研究室 M1) 重力崩壊型超新星が爆発を引き起こすシナリオとして、星の中心部で生成され外向きに伝播する衝撃波によって外層に運動エネルギーを輸送するシナリオが有力視されている。しかし、多くのシミュレーションでは衝撃波はコアを伝播する際に熱的なニュートリノの生成や外層原子核の分解によりエネルギーを消費して減衰してしまうため、爆発を再現できない。この停滞した衝撃波にエネルギーを与えて復活させることが理論上の課題である。

本研究では音波によりエネルギーを輸送し衝撃波を復活させる機構 (acoustic mechanism) に着目する。原子中性子星内部のコアの g モード振動の励起と減衰により生成される音波が停滞衝撃波にエネルギーと運動量を輸送することでバウンスの約 500ms 以上後の遅い段階で爆発を引き起こすのである。コアの振動は降着流のエネルギーとコア周辺の乱流によって励起されるので、降着が続く限り音波は放出され続け、爆発を起こすまでエネルギーを供給し続ける。ニュートリノ加熱のようなより早い段階で爆発を開始させる機構が働かなければ、acoustic

mechanism は超新星爆発の有望な機構となりうる。

本研究では、acoustic mechanism が本当に有効か調べるため、コアの内部領域、すなわち原子中性子星表面から衝撃波まで伝播する音波について以下の二つの数値計算を行った。

1. 超新星内部で定常解、波長・周期が十分小さい場合を仮定し、原子中性子星表面で与えた速度の揺らぎの音波の伝播に伴う進化を計算した (Jacques 1977)。
2. 流体力学の方程式を線形化し、密度・速度の揺らぎに対する方程式を得る。1. と同じ定常解に対してこの方程式を解き、衝撃波半径における揺らぎの時間変化のデータを得る。計算には Laplace 変換を応用したコードを用いた。

以上の二つの計算結果を比較すると、与えた揺らぎの成長が 1. は 10 倍程度、2. は 40 倍程度となった。これについて考察する。

1. A. Burrows et al. ApJ, Vol. 640, pp. 878-890, 2006.
2. S. A. Jacques. ApJ, Vol.215, pp. 942-951, 1977.

コン b4 ガンマ線バーストの中心エンジン

西野 裕基 (京都大学 天体核研究室 M1)

ガンマ線バースト (GRB) は宇宙最大の爆発現象である。その光度は $L \sim 10^{50}$ erg/s で、太陽の約 10^{17} 倍にもなる。現在、GRB に関する最も重要な問題は中心エンジンである。本発表では論文 [1] のレビューを行う。GRB の中心エンジンの有力な候補に、回転するブラックホールまわりの降着円盤がある。Shakura と Sunyaev の提案した円盤モデル [2] を採用した。アルファ粘性によって物体は角運動量を失って降着が起こり、降着による加熱と輻射・移流による冷却が釣り合った定常状態を簡単のために考える。ディスク内部の圧力と釣り合う程のポロイダル磁場を持つとすると、Blandford-Znajek (BZ) 機構 [3] によって相対論的なジェットが生成される。BZ 機構は磁場によりブラックホールの回転エネルギーを引き抜くペンローズ過程の一種である。質量降着率が大きい ($0.003 - 0.01 M_{\odot}/s$) ときには、主にニュートリノ輻射によって冷却され、Neutrino Dominated Accretion Flow (NDAF) となる。そして、ディスクがニュートリノに対して光学的に薄い場合、BZ 機構で放出されるジェットの光度は GRB を駆動させるのに十分であることを紹介する。

1. Norita Kawanaka, Tsvi Piran, and Julian H. Krolik. 2013, ApJ, **766**, 31
2. Shakura, N. I. and Sunyaev, R. A. 1973, Astronomy and Astrophysics, **24**, pp.337-355
3. Blandford, R. D. and Znajek, R. L. 1977, MNRAS, **179**, pp.433-456

コン b5 降着円盤を伴った回転駆動型パルサーモデルからの多波長放射

石崎 渉 (東京大学宇宙線研究所 M1)

ミリ秒パルサー (MSP) とは弱い磁場を持ちミリ秒スケールの電波パルスを放射する天体であり、放射のエネルギーを自転から供給する回転駆動型のパルサーである。MSP は古い天体であると考えられているにも

かかわらず速い自転周期を保っていることから、MSP は進化のある段階で伴星からの質量降着によって角運動量を受け取り自転速度が速まるというリサイクルシナリオが提唱されている。

近年、伴星からの降着によって駆動される降着駆動型パルサーのうち、回転駆動型へと移行しているものがいくつか観測された。PSR-J1023+0038 はその例の 1 つである。後に、PSR-J1023+0038 から (1) 降着円盤起源であると考えられる可視光の放射が確認され (2) 電波パルスが消えたことから、再度降着駆動型に移行したものと考えられていた。しかし、本講演で紹介する J. Takata et al. (2014) [1] は、(1)(2) と同時期に降着駆動型では説明できない γ 線の増光があることを報告した。[1] はこの γ 線の増光を説明するために、パルサー風による降着円盤からの放射の逆コンプトン散乱を考えた。パルサー風は回転駆動型に期待されるものであるため、PSR-J1023+0038 は降着円盤を持ちつつも、回転駆動型として放射し続けているとした。このとき電波パルスは、パルサー磁気圏からの γ 線によって電離された降着円盤に遮られているとして説明した。

1. J. Takata et al., 2014, ApJ, 785, 131

コン c1 ブラックホール中性子星連星合体のスピンの傾きに対する依存性の研究

川口 恭平 (京都大学 基礎物理学研究所 D1)

ブラックホール中性子星連星合体は有望な重力波源であるとともに、降着円盤形成や質量放出によって sGRB や Kilonova といった電磁波対応天体の源となり得る。こうしたコンパクト連星合体の、特に合体過程において放出される重力波の波形や、形成される降着円盤の質量、放出される質量を理論的に予想するためには数値相対論によるシミュレーションが必要である。特にブラックホール中性子星連星合体においては、合体時中性子星が潮汐破壊を起こすかが重力波波形や降着円盤質量といった量を大きく左右し、また、中性子星の潮汐破壊の度合いはブラックホールスピン、質量、中性子星の質量、半径 (状態方程式) に依存することが先行研究によって明らかになった。これまでのブラックホール中性子星連星合体に対する研究はブラックホールスピンの方向と系の軌道角運動量の方向がそろっているものについて主に行われてきた。ブラックホールスピンの方向が系の軌道角運動量の方向からずれている場合、連星の軌道は時空のひきずりの効果により歳差運動を起こすことが知られており、こうしたダイナミクスの変化は重力波波形や降着円盤質量といった量を定性的に変え得る。そこで本研究ではブラックホール中性子星連星の合体過程の、特に今まであまり議論されてこなかったブラックホールスピンの傾きに対する依存性を、中性子星の状態方程式の不定性も考慮して系統的に数値相対論シミュレーションによって調べた。本発表ではその得られた結果と、観測においてどのような影響があるかについて議論する。

1. K. Kyutoku, et. al., Phys. Rev. D84 064018 (2011)
2. K. Kyutoku, et. al., Phys. Rev. D82 044049 (2010)

コン c2 重力崩壊型超新星爆発の爆発メカニズム

荒木 惟 (福岡大学 理学研究科 応用物理学専攻 M1)

一つの大質量星による重力崩壊型超新星爆発はその親の銀河の光量に匹

敵するほど大きなエネルギーを生み出す現象である。1930年に発見された時から現在に至るまでその爆発メカニズムは観測と理論によってかなり解き明かされた。しかし完全には分かっておらず今なお研究が続けられている。また超新星爆発はガンマ線バーストや重力波の最先端の研究にも繋る重要な現象である。

恒星は内部からの圧力と自己重力でその形を保っているが大質量星の場合、核融合の最終段階で星の中心部の鉄コアによる電子捕獲反応と鉄の光分解によって星が不安定になり重力崩壊をし始める。その後ニュートリノトラッピングを経て内部コアでバウンスした衝撃が外部コアを通過し爆発に至る。本発表では重力崩壊から爆発に至るまでの理論的なシナリオを星の中心密度や温度、質量に注目しながら整理し、過去のシミュレーション結果や現在の研究について発表する。

1. Shoichi Yamada and Katsuhiko Sato, (1994) Numerical study of rotating core collapse in supernova explosions, *Astrophys*, 434, 268-276(1994)
2. Kei Kotake, Katsuhiko Sato and Keitaro Takahashi, (2006) Explosion mechanism, neutrino burst and gravitational wave in core-collapse supernovae, *Rep. Prog. Phys.*, 69, 971-1143(2006)

コン c3 Rapidly rotating star vs Non-rotating star

漆畑 貴樹 (東京大学大学院 理学系研究科 天文学専攻 天文学教室 M2)

現在では高速回転している金属欠乏の Wolf-Rayet star が「長い」ガンマ線バースト (LGRB) を伴う重力崩壊型超新星爆発 (CCSN) の progenitor として考えられている。その為、この種の CCSN の数値シミュレーションを行う際の初期値設定には大質量星の進化を追い、その終状態を求める必要がある。しかし、多くの恒星の進化計算は形状を球対称に仮定する 1 次元計算である。高速回転という条件が入ってくると、遠心力の性質により星は歪み楕円球状になる。つまり、高速回転星は本質的に多次元であり、球対称仮定は正しい描像との著しい乖離をもたらす可能性がある。その為、恒星進化計算を多次元で行い終状態を求める必要がある。現在までの多次元的恒星進化計算は、諸物理量の角度方向の依存性を撰動的に取り入れる、言わば 1.5 次元計算まで進んでいる。ただし形状を解いていないので依然として、星の形状においては球対称仮定を含んでいる。よって、この 1.5 次元計算においても高速回転星の正しい内部構造や進化の描像はわからない。しかし、多次元的に諸物理量、特に回転、を取り入れている為、高速回転星の定性的な性質を見出す事は可能である。したがって本講演では、1.5 次元計算によって得られた高速回転星と球対称星の性質を比べる事により、LGRB を伴う CCSN の progenitor として重要である高速回転星の内部構造や進化の違いを見ていく。

1. A. Maeder and G. Meynet, *Reviews of Modern Physics*, volume 84, January-March 2012

コン c4 階層的 3 体と連星合体

岩佐 真生 (京都大学 天体核研究室 M2)

階層的 3 体とは 3 天体の軌道が内側の 2 体の運動と、その 2 体の重心と外天体の 2 体運動に分解して記述できる系である。この系における特

徴的な現象として古在機構が挙げられる。この現象は内連星に対して外天体の軌道の傾斜角 I が 39.2 度より大きい時、内連星の離心率と軌道傾斜角が振動する現象であり、離心率が 1 に近づくことが可能である。古在機構は太陽系に存在する小惑星の軌道を説明するために用いられたが、近年の観測により 3 体系は全体の 10 本発表では階層的 3 体におけるコンパクト連星の重力波放出による軌道進化についての発表を行う。コンパクト連星は重力波を放出しながら合体するが、連星の軌道が離心率を持つときの合体時間は離心率に強く依存しており減少関数となっている。従って階層的 3 体において古在機構が働くとき、重力波放出による合体時間が短くなる可能性があるので重力波観測において階層的 3 体は重要な役割を果たす。

1. Blaes et al, 2002, *ApJ*, 578, 775
2. Kozai, Y. 1962, *AJ*, 67, 591

コン c5 中性子星連星合体の残光放射

杜 驍 (東京大学宇宙線研究所 M2)

中性子星連星合体 (Neutron Star Binary Coalescence, NSBC) は来る重力波観測のメインターゲットである。数年後には NSBC 重力波が受かると期待されているが、強度が感度限界付近であることと波形が理論的予測のみによることから、重力波観測のみで NSBC であると断定するのは難しい。従って、裏付けとして電磁波での NSBC 対応天体の観測とその理論的研究が重要となる。そのような NSBC 対応天体のひとつとして、合体の際の質量放出による残光放射が挙げられる。シミュレーション [1] によると合体に際し、潮汐崩壊などによって速度が $0.1 - 0.3 c$ 程度の質量が放出される。この質量が周囲の物質と衝突して衝撃波を形成し、非熱的放射によって電波から γ 線にかけて数ヶ月から数年の間放射すると考えられている。Piran [1] らは簡単なモデルによって、重力波イベントの数ヶ月後に電波帯域での残光が観測できる可能性を示した。本研究では先行研究において簡略化されていた電子分布の詳細な時間発展および爆風との相互作用を考慮した数値計算を進めている。発表では Piran et al. 2013 などの先行研究をレビューし、そこで自らの研究経過もあわせて発表する。

1. Piran, T., Nakar, E., & Rosswog, S. 2013, *MNRAS*, 430, 2121
2. Takami, H., Kyutoku, K., & Ioka, K. 2014, *PhRvD*, 89, 063006

コン c6 超新星爆発超新星爆発における放射性元素 ^{26}Al , ^{44}Ti , ^{60}Fe の合成

堤 陵 (甲南大学 M1)

100 万年程度の半減期を持つ短寿命放射性同位体核種である ^{26}Al , ^{60}Fe は INTEGRAL や RHESSI などの衛星によって放射性崩壊によって放射される γ 線の観測が行われている。その中でも、特に ^{26}Al は天の川銀河の中心部に分散する様に分布し、現在も活発に元素合成が行われていることを明確に示している。しかしながら、これらの核種の生成源としては、重力崩壊型超新星、Wolf-Rayet 星、AGB 星などが提案されているものの未だ決着がつかない。そこで、私は重力崩壊型超新星における ^{26}Al , ^{44}Ti , ^{60}Fe の生成に注目し研究を行う予定であり、本講演ではそれらの生成量の核反応率に対する依存性を調べた Tur et al. *ApJ*, 718, 357 (2010) についてのレビューを行う。彼らは

$15M_{\odot}$, $20M_{\odot}$, $25M_{\odot}$ の星について、その進化および超新星爆発における元素合成計算を行い、特にトリプルアルファ反応および $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ に対する ^{26}Al , ^{44}Ti , ^{60}Fe の生成量の依存性を調べた。その結果、彼らは核反応率の不定性の範囲でこれらの核種の生成量が一桁程度変化することがあることを明らかにし、また核反応率に対する依存性は ^{60}Fe 、 ^{26}Al , ^{44}Ti の順で大きいことを示した。その一方で、生成量と核反応率の関係は単調ではなく、生成量の最大値と最小値を見積もることは可能であるものの、その不定性の範囲を簡単な統計に基づいて明らかにすることは困難であることを示した。そのため、トリプルアルファ反応と $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 核反応率をより正確に求め、さらにそれを用いて実際に星の進化計算、超新星爆発計算を行うことが必要であると考えられる。

1. Tur et al. ApJ, 718, 357 (2010)

コン c7 Possible Indirect Confirmation of the Existence of Pop III Massive Stars by Gravitational Wave

衣川 智弥 (京都大学 天体核研究室 D2)

We perform population synthesis simulations for Population III (Pop III) coalescing compact binary which merge within the age of the universe. We found that the typical mass of Pop III binary black holes (BH-BHs) is $\sim 30 M_{\odot}$ so that the inspiral chirp signal of gravitational waves can be detected up to $z=0.28$ by KAGRA, Adv. LIGO, Adv. Virgo and GEO network. Our simulations suggest that the detection rate of the coalescing Pop III BH-BHs is $140(68) \text{ events/yr} (\text{SFR}_p / (10^{-2.5} M_{\odot}/\text{yr}/\text{Mpc}^3)) \cdot \text{Err}_{\text{sys}}$ for the flat (Salpeter) initial mass function (IMF), respectively, where SFR_p and Err_{sys} are the peak value of the Pop III star formation rate and the possible systematic errors due to the assumptions in Pop III population synthesis, respectively. $\text{Err}_{\text{sys}} = 1$ correspond to conventional parameters for Pop I stars. From the observation of the chirp signal of the coalescing Pop III BH-BHs, we can determine both the mass and the redshift of the binary for the cosmological parameters determined by Planck satellite. Our simulations suggest that the cumulative redshift distribution of the coalescing Pop III BH-BHs depends almost only on the cosmological parameters. We might be able to confirm the existence of Pop III massive stars of mass $\sim 30 M_{\odot}$ by the detections of gravitational waves if the merger rate of the Pop III massive BH-BHs dominates that of Pop I BH-BHs.

1. Kinugawa et al.(2014) arXiv:1402.6672

コン c8 相対論的アウトフローの輻射流体モデル

中田 めぐみ (日本大学大学院理工学研究科物理学専攻宇宙物理学研究室 M2)

銀河の中心部の非常に狭い領域から銀河全体を凌駕するような強い電磁波を放射する活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGNs) や、宇宙最大の爆発現象だといわれ強烈なガンマ線を放射するガンマ線バースト (Gamma-Ray Bursts; GRBs) などの天体現象がある。これらの中心天体から双方向に細く絞られたプラズマのアウトフローが存在することが知られている。観測より光速の 99% ($\gamma = 10 \sim 100$) の相対論的速

度で噴出していると推定されている。ジェットの加速機構は大きく分けて、ガス圧、輻射圧、磁気圧の勾配によるものが提唱されている。

本研究では、ブラックホールなどの中心天体近傍から噴出するガスと輻射からなるアウトフローを放射流体として考察をする。アウトフローの開き角が一定であると仮定し、光学的に厚い、球対称定常な流れを考える。中心天体がつくる重力場を Schwarzschild 時空で表現し、この時空中での一般相対論的流体の式と輻射輸送モーメント方程式を解き、定常解を求めた。ガスの速度が光子気体の音速 ($\beta = 1/\sqrt{3}$) になる臨界点を通る加速解を求めるため、臨界点において内側と外側の解を滑らかに接続した。 $\gamma \sim 10$ 程度のローレンツ因子が得られる解の具体例を示し、速度、圧力、光度、光学的厚さ、終端ローレンツ因子について考察する。

1. Akizuki and Fukue, PASJ, 61, 543 (2009)
2. Lindquist, R. W., Ann. Phys., 37, 487 (1966)
3. Mihalas, D., ApJ, 237, 574 (1980)

コン c9 超相対論的流体におけるガンマ線放射過程の輻射輸送シミュレーション

石井 彩子 (東北大学工学研究科 航空宇宙工学専攻 D1)

ガンマ線バースト (GRB) の起源として、大質量天体の重力エネルギーの解放に伴って形成される相対論的ジェットが考えられている。ローレンツファクター $\Gamma = 100$ を越えるような極めて光速に近い流速を持つジェットからは、物質の温度があまり高くない状態でもガンマ線が放射される可能性がある。ジェットを起源とする GRB の可能性を検証するには、相対論的速度で動いている物質中の電子と光子の衝突を適切に評価しなければならず、したがって相対論的流体と輻射輸送のカップリング計算が必要である。しかしカップリング計算を行うにあたって、背景場が相対論的流体である場合、放射、吸収、散乱を評価する共動系と、流体計算における慣性系の間の変換を矛盾なく取り扱える計算手法については十分に検討されていない。本研究では、輻射輸送計算手法としてモンテカルロ法を用い、相対論的流体場とのカップリング計算を念頭に、異なる慣性系間でも同等の結果が得られる計算手法を構築してきた。相対論的ランキン-ユゴニオの関係式を用いて、同等な衝撃波について衝撃波が静止している系と動いている系を考え、各系において 3 次元モンテカルロ計算を行った。さらに、計算から得られた光子の方向分布やスペクトルの結果を同一の系へと変換し、比較検討を行った。トムソン散乱およびコンプトン散乱を考慮し、散乱優位な流体場を想定して計算を行った。その結果、適切な計算条件を選ぶことにより、異なる慣性系で計算した光子の方向分布およびスペクトルであっても同一の系へと変換すると一致することや、衝撃波をまたいで輸送され急激な流速の変化を経験した光子が相対論的電子と衝突し、逆コンプトン散乱を起こすことによって高エネルギー光子が生成される過程を再現できることがわかった。また、信頼性の高い計算結果を得るために必要な時間幅や解像度などの計算条件について検討した。

1. H. Nagakura, H. Ito, K. Kiuchi, and S. Yamada, "Jet Propagations, Breakouts, and Photospheric Emissions in Collapsing Massive Progenitors of Long-Duration Gamma-Ray Bursts," *Astrophysical Journal*, Vol. 731, No. 2, 2011, pp. 80–97.
2. 水田晃, "相対論的流体方程式の数値的解法 I," *原子核研究*, Vol. 55, No. 2, 2011, pp. 60–74.

3. B. シュッツ 著, 江里口良治, 二間瀬敏史 共訳, シュッツ相対論入門, 丸善, 2010.

コン c10 MAXI で求めた 4U 1626-67 のパルス周期 の変化率と光度を用いた距離の推定

高木 利紘 (日本大学大学院理工学研究科物理学専攻宇宙物理学研究室 D1)

全天 X 線監視装置 MAXI が観測している 20 個余りの X 線連星パルサーのパルス周期をモニタするために、MAXI のデータからパルス周期の検出を試みた。まず手始めに、MAXI のスキャン時間 (60 秒) より十分短いパルス周期 (7.6 秒) をもち、30mCrab と暗いが定期的に輝く天体である、4U 1626-67 のパルス探査を行った。4U 1626-67 は 7.6 秒のパルス周期を持つ低質量 X 線連星パルサーである。エネルギースペクトル中にサイクロトロン共鳴が発見され、この天体の中性子星の磁極の磁場強度は $B = 3.2 \times 10^{12} (1+z_g)$ G であることが求められた。 z_g は重力赤方偏移を表す。パルス周期が発見されてから 30 年以上にわたって周期がモニタされており、その間パルス周期が短くなる Spin-up 期間と逆に長くなる Spin-down 期間を繰り返している。Spin-up と down を行き来することから、ほとんど降着加速の平衡状態にあると考えられる。天体までの距離は、X 線で降着円盤が加熱されて放射される可視光と降着円盤の X 線反射率を用いて 5-13 kpc と推定されているだけで、詳細な距離はまだ求められていない。我々は、MAXI のデータを用いた解析では初めてこの天体のパルス周期 (P) とその変化率 (\dot{P}) を検出することに成功し、 P と \dot{P} の経年変化も得ることができた。また、この天体は約 30mCrab で定期的に輝いているが、わずかな光度の増加に伴い \dot{P} の絶対値が増加していることがわかった。 B が既知であり、MAXI では P 、 \dot{P} と光度が求められるので、 \dot{P} と光度の関係を表す Ghosh and Lamb (1979) の式を 4U 1626-67 に適用することができる。そこで、唯一精度よく定まっていない距離の推定を行い、約 9 kpc と求めることができた。

コン c11 超新星ニュートリノのニュートリノ振動

横地 沙衣子 (東京理科大学 鈴木研究室 M1)

超新星爆発は元素の起源や銀河進化とも関連する重要な天体現象であり、超新星ニュートリノの検出は超新星を研究する有効な手段である。一方ニュートリノには 3 つの世代が存在し反粒子である反ニュートリノを含めて 6 種類存在する。それぞれの状態は異なる 3 つの質量基底の重ね合わせであり、時間が経過するとその重ね合わせの状態は変化してくる。そのために例えば初めは電子型だったニュートリノの一部がタウ型やミュー型のニュートリノに変化するような現象が起こる。このような現象をニュートリノ振動と呼ぶ。ニュートリノは超新星で生成されてから地球に到達するまでにニュートリノ振動を起こすのでその効果を考慮しなければならない。本研究では重力崩壊型超新星内部でのニュートリノ振動を数値計算し、ニュートリノの生き残り確率を調べる。今回超新星内部における物質密度と電子存在率の値は菊地の SN シミュレーションの値を使用した。これは超新星の非球対称性がもたらすニュートリノ加熱率の上昇の効果を、球対称一次元に取り込んだモデルで計算されている。

コン c12 ブラックホール周辺の時間の遅れの検出

藤田 麻希子 (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)

ブラックホールに自由落下する物体の運動やそこから放射される光の赤方偏移については解析的に求められるが、観測データと直接比較出来るような角運動量を持った物体の落下運動を解析的に解くのは困難である。そこで本研究では、観測データと直接比較が出来るような角運動量をブラックホールに落ちていくガスの運動方程式に与えて時間の遅れを計算し、観測データと比較する事を目的とした。

具体的には、様々な角運動量をもつガスの運動を数値計算で求め、その場その場で発せられる黒体放射の分布を求めると重力赤方偏移していることが確認出来る。これより、実際どれ程の時間で X 線が可視光領域、電波領域まで赤方偏移するか知ることが出来る。今回は、時間が遅れる原因として重力赤方偏移のみを考慮しているが、運動による特殊相対論効果もあるので、今後取り入れていく。また観測との比較は、ブラックホール近傍で発せられた X 線の観測データを用いて行う。そのデータを解析することにより光の波長の長さの時間変化が分かり、その変化から時間の遅れが理解できることを期待している。

現在、数値計算を行うプログラムを作成し、計算を行っている。今後は、X 線観測衛星によって得られた観測データも解析し、計算結果と比較する予定である。

コン c13 ブラックホール降着流の 3 次元シミュレーション

辻 雄介 (大阪大学 理学研究科 宇宙進化グループ M2)

ブラックホール周辺のガスの運動は、初期条件・基礎方程式 (連続の式・運動方程式・エネルギー式)・状態方程式が決まれば原理的に解くことができる。そしてこれらを解析的に解くことは一般に難しいため数値的に解くこととなる。数値計算の手法には種々あり、私の研究のベースとなる Barai, Proga & Nagamine (2011) (以下 Paper I), Barai, Proga & Nagamine (2012) (以下 Paper II) では SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法を用いている。Paper I, Paper II にはまだ達成されていない長期的な目標があり、それは Kurosawa & Proga (2009) の結果を再現することである。Kurosawa & Proga (2009) では、数値計算の手法として有限差分法を用い、さらに輻射の効果・回転の効果を加味して計算されている。Paper I, Paper II ではまだこの目標は達成されていない。私の研究目標は、Paper I, Paper II では成し得なかった輻射の効果・回転の効果を取り入れた数値シミュレーションを SPH 法によって成し遂げることにある。今回は、私の研究において極めて重要なこの Kurosawa & Proga (2009) の論文の Review を行う。

この論文は、輻射の効果と弱い回転の効果を加味したブラックホール降着流の 3 次元シミュレーションに関する論文である。この論文の主たる目標は 3 つあり、(1) 2 次元シミュレーションと 3 次元シミュレーションに違いはあるか、(2) 先行研究の 2 次元シミュレーションでは回転を加味した場合に挙動は安定していたが、3 次元でも果たして安定なのか、(3) シミュレーションと観測を比較することで、AGN (Active Galactic Nuclei) 中のガスの力学を理解したい、である。

1. Kurosawa, R. & Proga, D. 2009, ApJ, 693, 1929
2. Barai, P., Proga, D. & Nagamine, K. 2011, MNRAS, 418, 591
3. Barai, P., Proga, D. & Nagamine, K. 2012, MNRAS, 424, 728

コン c14 X線観測衛星「すざく」による very high state にあるブラックホール X線連星 4U1630-47 の観測

堀 貴郁 (京都大学宇宙物理学教室 M2)

ブラックホール (BH) への高質量降着流の理解は、銀河中心核にある巨大ブラックホールの成長メカニズムの解明につながる重要な課題である。このための最適な研究対象は、BH 連星と呼ばれる、3 ~ 10 太陽質量のブラックホールと恒星からなる近接連星系である。

BH 連星の X 線スペクトルは大きく分けて 2 つの状態をとることが知られている。降着率が低いときは、降着円盤上のコロナからの逆コンプトン散乱が支配的なスペクトルを示し、降着率が高くなると円盤からの黒体放射が支配的なスペクトルを示す。さらに質量降着率が大きいところでは、very high state (VHS) という、強い円盤放射と強いコンプトン散乱が同時に観測される状態をとる。しかし、この状態は珍しいためこれまで観測例が少なく、降着円盤やコロナの物理状態がほとんど理解されていない。また、近年この状態で相対論的ジェットが放出されていることが確認された [1] が、それは VHS において定期的に放出されているのかは分かっていない。

我々は、2012 年 10 月、X 線天文衛星「すざく」を用いて、VHS にあった BH 連星 4U 1630-47 を観測した。その結果、VHS にある BH 連星としては過去最高精度で、1.2 - 200 keV という広域にわたる X 線データを取得することができた。この X 線スペクトルを、降着円盤からの熱的放射と、コロナによる逆コンプトン散乱成分からなるモデルを使って解析したところ、BH 周りの降着円盤は標準円盤を保っておらず、コロナなどの密度の低い状態に遷移していることを発見した。また、この観測の 4 日前に相対論的ジェット [1] が観測されていたが、本観測ではジェットは確認されなかった。ポスターでは、VHS の物理状態・ジェットの放出について議論する。

1. M. Díaz Trigo et al. Nature 504 260 (2013)
2. C. Done, M. Gierliński, & A. Kubota A&ARv 15 1 (2007)

コン c15 巨大ブラックホールによる星の潮汐崩壊

牟田口 舞 (広島大学 宇宙物理学研究室 M1)

数多くの銀河中心核には、太陽の百万倍あるいはそれ以上の質量をもつ巨大なブラックホールが存在しており、非常に明るく輝いている。そのような巨大な質量をもつブラックホールの十分近いところに恒星が通りかかると、そのブラックホールの非常に強い潮汐力が星の自己重力を上回り、恒星はばらばらに破壊される。その後、恒星の破片の一部は外部に放出されるとともに残りはブラックホールまわりの束縛楕円軌道となる。その後、相対論的効果により近日点移動がおり、破片物相互の摩擦がより有効となりブラックホールの周りに降着円盤が形成されるとともに、数百万度の高温に達し相対論的ジェットを放射する。その後ブラックホールの質量降着率は減衰し、形成されたフレアは徐々に消滅すると考えられる。このことは、Rees(1988) にその観測可能性が指摘され、Evans ら (1989) による数値シミュレーションで、その過程を調べられているとともに、最近では観測的な確からしい出来事も見つまっている (Burrows et.al(2011))。今後このような観測例が増えることを期待し、潮汐崩壊過程をより詳しく理論的に解析し、そこからのより詳しい情報が得られるかどうかを将来的に検討する。 本講演ポスター

では、以上に述べたブラックホールによる潮汐崩壊イベントについて Smoothed Particle Method に基づく数値計算法で研究を紹介する。特に、ブラックホールと恒星の間に生まれる相対論的効果をもたらす影響を取り入れ、観測的に予想される質量降着率の時間変化を求めることを目指している。研究は現在進行中であり、用いる手法と結果の一部をポスターで報告する。

コン c16 ペルセウス座銀河団における鉄の一様性の原因とその化学進化

山田 美幸 (お茶の水女子大学 宇宙物理研究室 M2)

太陽程度の比較的小質量の星が連星からの質量降着により爆発する Ia 型超新星の観測では、炭素や酸素はほとんど燃え尽きて外には放出されず、かわりに鉄族元素を多く放出することがわかっている。近年、ペルセウス座銀河団内の銀河団ガスにおいて、太陽における鉄の約 0.3 倍程度の量の鉄が一様に分布していることが X 線天文衛星「すざく」により報告がなされた。

この一様な鉄の起源を探るため、私は宇宙誕生初期の暗黒物質の収縮、および初代星の爆発に関わるシナリオを提案した。またそれぞれの過程において起こりうる超新星爆発の種類とそれによる元素組成分布を観測と照らし合わせることによって、銀河の構造形成と化学進化を大域的に考察する。

シナリオ検証のための最初のステップとして、宇宙初期に冷たい暗黒物質が一様に、かつ部分的に密度ゆらぎを持ちながら存在していたと仮定し、相対論的にその時間発展を追った。次第に密度ゆらぎが大きくなり、暗黒物質が自己重力により宇宙膨張に逆らって収縮していくと、それらはガウス型に収縮していったのちに跳ね返り、衝撃波のようなものを形成して初代星形成のトリガーになると思われる。

本講演では、これまでの計算結果および今後の展望について発表する。

1. Norbert et al. 2013, Nature, 502, 656

コン c17 MAXI 突発天体発見システムにおけるガンマ線バースト発見の為の新たな閾値の調査

南波 拓也 (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)

本研究室では全天 X 線監視装置 (MAXI) の観測データを解析し、突発天体の発見、速報をするシステムの開発を行っている。速報システムはノバサーチとアラートシステムと呼ばれるシステムで構成されている。ノバサーチは、MAXI が観測したデータを描画、解析を行い、設定した閾値を超える強度変動があったデータをアラートシステムへと送信する。アラートシステムは、受信したデータを再解析し、天体現象だと判断したイベントの情報をフラッシュレポートというウェブインタフェースへと送る。そして、MAXI チームがフラッシュレポートのイベントの情報を本物の天体現象であると判断した場合、MAXI のメーリングリストに登録している世界中の科学者へ速報を行う。また、速報システムがイベントをガンマ線バーストのように緊急度が非常に高いイベントと判定した場合、速報システムから直接メーリングリストに速報を行う機能がある。しかし、これまでに同システムで発見した約 30 個のガンマ線バーストのうち、速報システムが信頼度が高いイベントと判定し、直接速報を行ったのは 1 件だけであった。そのため、システムの閾値を再設定する必要がでてきた。そこで、ガンマ線バーストの特徴を捉える

ための観測データを解析するプログラムを作成し、それを用いて速報システムが発見したガンマ線バーストが信頼度が高いと判定しなかった原因を調査した。現在は速報システムの判定の正答率（速報したイベントが天体の現象であった比率）などを調査中である。

コン c18 かに星雲からのガンマ線放射の研究

萩原 佳太 (立教大学 M1)

かに星雲の中心には自転周期 33ms で回転する、強い磁場を持つかにパルサーがある。かにパルサーの周期はわずかではあるものの次第に増大し、回転エネルギーを周囲の環境に解放している。また、かにパルサーの周囲にはプラズマで満たされた磁気圏と呼ばれる構造が形成されており、粒子の加速現場の一つとなっている。一方、パルサー風と周囲の超新星残骸物質との相互作用から、かに星雲が形成され TeV を超えるエネルギーを持つガンマ線の放射が行われている。エネルギースペクトルは数百 MeV でカットオフのあるシンクロトロン成分と、数百 GeV にピークを持つ逆コンプトン成分とから成る。しかし磁気圏モデルは複数存在しており、未だ放射領域・放射過程の同定には至っていない。2010年、2012年のフェルミ衛星チームによる論文をレビューすることでかに星雲の研究状況に関して議論し、そして現在我々が進めているガンマ線データ解析の現状を報告する。

1. A.A.Abdo et al. *Astrophys.J.* 708:1254-1267, 2010
2. R.Buehler et al. *Astrophys.J.* 749:26(8pp), 2012

コン c19 VLBI による低光度 AGN M84 の観測的研究

中原 聡美 (鹿児島大学 M2)

活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) は現代天文学の未解決問題が多く残されている天体である。AGN の中心には巨大なブラックホール (BH) が存在し、BH への質量降着機構、相対論的速度で BH から脱出するプラズマのジェット生成・収束・加速機構といった究極の謎を解くべく様々な理論モデルが提唱されている。そしてその謎の検証には、既存の観測装置で最高の空間分解能を誇る超長基線電波干渉計 (VLBI) を用いた中心電波放射領域 (電波コア) の調査が重要である。

申請者の研究対象は、AGN の中でも特に暗く質量降着率の小さな低光度 AGN である。近年の観測により、近傍 AGN の約 95% はこの低光度 AGN である事が明らかになっている。従って、AGN や近傍銀河の一般的な描像を知る上で低光度 AGN は特に重要な天体である。しかし、低光度 AGN は暗いため観測が難しく、VLBI で観測される電波コアの放射起源がわかっていないという大問題があり、前述した BH 近傍の構造について、理論モデルの検証に踏み込めないのが現状である。

本研究では全天でも 5 番目に BH 視半径の大きい低光度 AGN M84 について、日本の VLBI 装置 VERA を用いて世界初 2 周波 (22/43 GHz) 同時モニター観測を行い、M84 中心核の電波放射の特徴を調べた。その結果 M84 中心核の電波放射起源はジェットによるものであると結論づけられた。

1. Ho et al. 1997
2. Doi et al. 2005
3. Hada et al. 2014

コン c20 低密度領域を含むレーザープラズマのハイブリッドシミュレーション

大西 和夫 (東北大学工学研究科 航空宇宙工学専攻 M2)

宇宙空間で見られる衝撃波の多くは無衝突衝撃波であり、粒子間衝突ではなく磁場を介した散逸によって衝撃波が維持される。無衝突衝撃波では、フェルミ加速などにより高エネルギー粒子が生成されると考えられており、そのような加速現象は地上で観測される高エネルギー宇宙線の起源を知る上でも重要である。

近年、高強度レーザーを用いて地上で無衝突衝撃波の実験を行う試みがなされている。現在提案されている実験では、高強度レーザーを真空中に配置した 2 枚の平行平板ターゲットに照射することで高速の対向流プラズマを生成し、これらの干渉によって無衝突衝撃波を発生させようとしているが、実験で用いるパラメータを定めたり、実験結果の解析を行う上では数値シミュレーションが必要不可欠である。無衝突プラズマでは流体近似が成り立たないため、本来は粒子計算による予測が必要であるが、レーザープラズマ実験では高密度プラズマも同時に発生しており、粒子計算を用いてプラズマの流れを予測することは現実的に不可能である。したがって、現在は流体近似による実験デザインを余儀なくされている。

我々はこれらの問題を解決すべく、粒子計算と流体計算をハイブリッド化したシミュレーションコードを開発し、無衝突衝撃波の地上実験をデザインすることを目指した研究を行っている。低密度領域ではモンテカルロ直接法を用いた粒子計算、高密度領域では有限体積法を用いた流体計算を試みる。ハイブリッド化は領域分割によって行い、粒子計算のミクロな物理量と流体計算のマクロな物理量を交換するための緩衝領域を設ける。これまで、粒子計算を流体計算に組み込むため、粒子コードの開発を行った。今後は流体計算と粒子計算をハイブリッド化した後、散逸モデルを組み込むことで無衝突衝撃波の模擬的な再現を可能にし、高エネルギー粒子発生メカニズムの解明を念頭に置いた実験提案を目指す。

コン c21 自由歳差運動する中性子星からのパルス放射

村上 浩章 (東京大学牧島中澤研究室 D1)

銀河系やマゼラン雲では、通常の電波パルサーよりも長い 2-12 秒というパルス周期をもつ、特異な孤立 X 線パルサーが見つかっている。推定される双極子磁場の強度は、通常の中性子星を 2 桁以上もしのぐ 10^{10-11} T に達し、莫大な磁場エネルギーを解放して輝く中性子星 “マグネター” であると考えられるようになった。

牧島他は 4U 0142+61 と呼ばれるマグネターを X 線観測衛星「すざく」で観測することで、軟 X 線帯域では 8.69 秒のパルス周期が見られるのに対して、硬 X 線ではパルスの到着時刻が約 15 時間かけて 0.7 秒ほど進み遅れしていることを発見した (牧島他 2014)。これは、自身の強力な内部磁場によって軸対称変形した中性子星が自由歳差運動を行っている結果と考えられる。軟 X 線は軸近傍から放射されるためパルス間隔は一定であるが、硬 X 線は軸から少し外れた場所で放射されており、自転と歳差のビートによる長い周期変調を受けるのだ。本講演では、以上の描像を剛体力学に基づいて定式化し、観測されたパルス変調が単純な数理モデルによって再現されることを示す。

また本描像は、他の中性子星についても放射の正体をつきとめる手がかりとなる可能性がある。その一つが、超新星残骸 RCW 103 の中心に存在する長周期パルサー 1E 161348-5055 である。この天体は 6.67 時間というパルス周期をもつことが知られているが、RCW 103 から推定

される 2000 年という年齢を考慮すると、 $P \sim 10$ ms で生まれた中性子星をここまで減速するのは不可能に近いと、その起源が長らく議論されてきた。我々の自由歳差運動の考えにたてば、この謎めいたパルス周期を説明することができる。例えば、首振り角と X 線放射領域の自転軸からの傾きがともに 30 度ほどの中性子星では、自転と歳差のビートによる長い周期が強調され、1E 161348-5055 のようなパルス放射を再現される。

1. K. Makishima et al. Phys. Rev. Lett. 112 171102 (2014)

.....