

高エネルギー宇宙物理連絡会 第5回研究会
科研費特定領域「ブラックホール天文学の新展開」共催
「高エネルギー天体物理学の新展開」
プログラム & アブストラクト

日時：2004年10月1日(金)～2日(土)
場所：東京都立大学 国際交流会館 大会議室

10月1日

13:00-13:05 Opening Remark (満田和久 運営委員長:宇宙研)

— ブラックホール —

13:05-13:55 ブラックホール観測の現状 (牧島一夫:東大)

— ニュートリノ振動 —

13:55-14:45 太陽ニュートリノ観測の現状と将来 (竹内康雄:宇宙線研)

— 重力波 —

14:45-15:35 重力波観測の今後の展開 (大橋正健:宇宙線研)

15:35-15:50 休憩

— ダークエネルギー —

15:50-16:40 宇宙のダークエネルギー (須藤 靖:東大)

— 宇宙元素合成 —

16:40-17:30 宇宙核物理学の実験的アプローチ (久保野 茂:東大 CNS)

17:30-17:35 休憩

17:35-18:30 高宇連総会

18:40- 懇親会

10月2日

— 宇宙における加速 —

- 9:30-10:20 宇宙における粒子加速 (星野真弘：東大)
- 10:20-10:40 多波長解析から探る、活動銀河ジェット・ホットスポット・ローブの統一描像 (片岡 淳：東工大)
- 10:40-11:00 球状星団で見えてきた粒子加速現象 (岡田 祐：東大)
- 11:00-11:10 休憩
- 11:10-11:30 X線天文衛星 Chandra で探る宇宙線加速現場 (馬場 彩：理研)
- 11:30-11:50 Chandra 衛星による HII 領域 RCW89 とパルサージェットの相互作用の観測 (谷津陽一：東工大)

— 超高エネルギーニュートリノ —

- 11:50-12:40 高エネルギーニュートリノ天文学 (吉田 滋：千葉大)
- 12:40-13:40 昼食
- 13:40-14:40 ポスターセッション

— ガンマ線バースト —

- 14:40-15:30 HETE-2 時代のガンマ線バーストの研究 – ついに正体を見せたガンマ線バースト – (玉川 徹：理研)
- 15:30-15:50 ガンマ線バースト発生率から探る宇宙再電離と金属汚染 (米徳大輔：金沢大)
- 15:50-16:10 ガンマ線バーストにおける加速粒子の冷却 (浅野勝晃：天文台)
- 16:10-16:20 休憩

— 検出器・観測計画 —

- 16:20-16:40 広大 1.5m 光学望遠鏡を用いた多波長連携観測計画 (川端弘治：広島大)
- 16:40-17:00 CdTe ピクセル検出器とそれを用いた次世代硬 X 線 / ガンマ線観測器 (中澤知洋：宇宙研)
- 17:00-17:20 学生主導の小型衛星開発 ~ 東工大 cute 開発の現状 ~ (古徳純一：東工大)

— 宇宙高温プラズマ —

- 17:20-17:40 X線吸収線を用いた銀河団周辺の銀河間高温物質 (WHIM) の観測 (竹井 洋：宇宙研)
- 17:40-18:00 TES 型マイクロカロリメータを用いた核融合プラズマ装置の軟 X 線観測 (石崎欣尚：都立大)
- 18:00-18:05 Closing Remark (大橋隆哉：都立大)

ポスター

- P1: あすか衛星による超新星残骸 G344.7-0.1 の観測 (山内茂雄: 岩手大)
- P2: Optical Image of the Jet-Powered SNR W 50 (小谷太郎: 東工大)
- P3: X 線連星パルサーからの鉄輝線の起源 (幸村孝由: 工学院大)
- P4: 相対論的 MHD(Force-Free 近似) によるパルサーダイナミクス (浅野栄治: 千葉大)
- P5: ブラックホール候補星 GRS 1915+105 の低温ガスによる散乱モデルによる解釈 (大川洋平: 立教大)
- P6: 銀河中心領域の X 線天体の調査による銀河進化の研究 (平家和憲: 愛媛大)
- P7: X 線による大光度赤外線銀河の研究 (穴吹直久: 宇宙研)
- P8: Groth-Strip Field X 線源の光学赤外特性 (宮地崇光: CMU)
- P9: HETE-2 衛星による GRB 020813 の観測 (佐藤理江: 東工大)
- P10: 東工大、岡山、および明野観測所における GRB 残光観測システムの構築 (佐藤理江: 東工大)
- P11: HETE-2 衛星による軟ガンマ線リピータの観測 (前當未来: 青学大)
- P12: HETE-2 衛星が捉えたガンマ線バーストの X 線アクティビティ (中川友進: 青学大)
- P13: HETE-2 衛星搭載広視野 X 線モニター (WXM) 応答関数の機上較正 (山崎 徹: 青学大)
- P14: TES 型マイクロカロリメータを用いた核融合プラズマ装置の軟 X 線観測 (篠崎慶亮: 都立大)
- P15: 全天 X 線監視装置 (MAXI) の地上データ処理システムの開発 (小浜光洋: 理研)
- P16: 高エネルギー天体からの偏光 X 線検出器 PoGO の開発 (有元 誠: 東工大)
- P17: アバランシェフォトダイオードを用いた撮像検出器の開発 (斉藤孝男: 東工大)

高エネルギー天体物理学の新展開

—**Oral Session**—

ブラックホール観測の現状

牧島一夫 (東大)

ここ 10 年、さまざまな波長域での観測により、宇宙にさまざまな質量をもつブラックホールが存在する証拠が、急速に増えつつある。さらに、それらが宇宙でいつどのように形成されたかも、推測できるようになってきた。

恒星質量ブラックホールは、大質量星の超新星爆発によって作られる。ある種の条件が整うと、そのときガンマ線バーストが起きることが、HETE-2 衛星の活躍で明らかになった (2003)。恒星質量ブラックホールを含む連星は、すでに 30 個ほどが知られており、そこへの質量降着の様子は、理論と観測の両面から大きく理解が進んだ。近傍銀河に見られる大光度 X 線源 (ULX) や、M82 銀河の中心付近にある X 線源は、太陽の数十～数千倍の質量をもつ、中質量ブラックホールである可能性が高まりつつある (2000)。重力多体計算にもとづき、中質量ブラックホールを作ったり、それらを合体させて巨大ブラックホールを作るシナリオも提示されている (2001)。電波観測などにより、ある種の銀河中心では、確かに 2 つの巨大ブラックホールが合体寸前にあるという証拠も得られてきた (2002)。こうして形成された巨大ブラックホールが、ほとんどすべての銀河の中心に存在することは、電波、可視光、X 線などの観測が一致して示すところである。なかでも水メーザーを用いた NGC4358 銀河での測定 (1995) は特筆に値しよう。巨大ブラックホールの質量が母銀河の性質と強く相関することも、それらが合体で成長したとする考えと整合している。

本講演では、こうしたブラックホール観測の現状と、将来の展望を紹介したい。

太陽ニュートリノ観測の現状と将来

竹内康雄 (宇宙線研)

太陽ニュートリノ観測に関する簡単なレビューを行う。

まず、太陽ニュートリノ問題やこれまでの太陽ニュートリノ実験について簡単に紹介した後、主に SK と SNO について最新の実験結果の紹介を行う。ニュートリノ振動解析に関しては、さらに KamLAND の最新の結果についても紹介を行い、各実験結果を総合的に解析した最新のニュートリノ振動解について説明する。最後に、太陽ニュートリノ観測の将来計画に関して簡単にレビューし、その 1 例として、神岡坑内で R&D が行われている XMASS 実験に関して進展状況の紹介を行う。

重力波観測の今後の展開

大橋正健 (宇宙線研)

レーザー干渉計による重力波観測は、日本の TAMA300 に始まった。その後 LIGO の本格的な稼働により、その観測範囲はアンドロメダ銀河を超えてさらに広がりつつある。近い将来に乙女座銀河団にまで到達するであろう。伊佐 VIRGO も来年には観測を開始する予定である。我々がターゲットとしているのは連星中性子星の合体イベントであるが、一銀河あたり百万年に一回の頻度と予想されているので、重力波検出の現実性を高めるためには更なる感度向上が必要である。そのために LIGO の次期計画や日本の LCGT が予算要求されている。これらは数億光年まで探査範囲を広げ、1年の観測で十分にイベントをとらえるはずである。また、昨年新たに発見された連星中性子星はイベント頻度の予想値を一桁上げたので、よりいっそう重力波検出の現実性は増してきている。

日本の現状としては、TAMA の感度向上はもちろんのこと、取得された観測データを用いた解析手法の確立や、低温・防振などの次世代技術の開発が進んでいる。特に、様々な雑音の中から信号を拾い出す解析手法の研究が進んでいることが重要である。また、地上検出器の将来計画を進めるだけでなく、LISA に代表されるスペース検出器の実現に努力することも大事であろう。2007年に予定されているテスト機の打ち上げで、LISA は遠い将来の話ではなくなるからである。新たな重力波観測の時代が始まっている。

宇宙のダークエネルギー

須藤 靖 (東大)

20世紀の観測的宇宙論の重要な帰結として、現在の宇宙のエネルギー密度の96パーセント程度が正体不明の成分であることが明らかになっている。2割程度を占めるダークマターはすでに20年以上前からその存在が認められていたが、残りの7割程度であるダークエネルギーの存在が広く認知されたのは、20世紀末のことである。良く知られているように、ダークエネルギーの原点はアインシュタインの宇宙定数である。宇宙定数の存在が及ぼしうる影響については理論的にはずいぶん昔から議論されてきた。しかし、宇宙定数、さらには時間変化する宇宙定数といった言語的にも首をかしげるような名前のもとではパツとしなかった研究が、超新星のハッブル図の研究に刺激されてクインテッセンス(第5元素)さらにはダークエネルギーと呼ばれるようになって以来、急速に盛り上がり現在に至っている。

天文観測という立場からこれらの正体を特定することは不可能で、最終的には地上実験を待つしかない。実際、ダークマター(の一部)については加速器/非加速器実験によって10年程度で直接検出が期待できるかもしれないが、ダークエネルギーとなると50年、100年待たねばならないであろう。その意味では、ダークエネルギーについてはまだまだ宇宙観測を通じて間接的であれ、その性質を制限していくことは重要である。本講演では、現時点でのダークエネルギーに関する観測的な制限を要約し、今後の展望を議論してみたい。

宇宙核物理学の実験的アプローチ

久保野 茂 (東大 CNS)

原子核反応は、宇宙の進化と可視物質生成に不可欠の働きをしているが、その多くの反応は、全く判っていない。元素合成の素過程である核反応を1つ1つ明らかにすることで、時計を逆に戻すことにより、進化のメカニズムを探る重要な手がかりを与える。この手法は、宇宙初期までを研究対象とする有力な手法である。特に、その多くの生成に関わると考えられる爆発的過程などの高温高密度下の核反応が重要課題である。ここで、高温高密度下の核反応は、必然的に不安定な原子核を含む核反応となる。

一方、最近の元素の観測は、単に元素ではなく、同位元素の観測を可能としてきた。超新星などで、放射性同位元素とその生成量が同定され、生成反応の特定も可能となってきた。たとえば、COMPTEL による Cas A からの ^{44}Ti や、SUBARU による s 過程星からの $^{151,153}\text{Eu}$ などの観測である。これらは、観測、モデル、核物理からの総合的なアプローチにより、初めて統一的に解明されるのである。

これらの放射性同位元素を生成する核反応を調べるためには、不安定な原子核を生成し、実験を行う必要がある。そのための不安定核ビーム生成施設の開発とそれを使った実験が、この十年で世界的に研究されるようになってきた。具体的な研究例として、新星の研究例を紹介する。

特に重要な研究課題は、U や Th などの非常に重い核種の生成をつかさどる r 過程の研究である。これは、超新星のメカニズム研究だけでなく、宇宙年代学に不可欠である。また、近年の SUBARU などの観測から第一世代の星の進化の解明にも不可欠の要素となってきている。r 過程に関わる核種は、実験室で大変作りにくいのが、現在建設中の理化学研究所の RI ビームファクトリ計画の中で、世界ではじめて本格的な研究ができる可能性がある。これらの展望についても話す。

宇宙における粒子加速

星野真弘（東大）

宇宙プラズマの粒子加速についての現状をレビューする。宇宙における非熱的高エネルギー粒子加速については、「統計加速」など数多くの議論がなされてきている一方、最近の惑星間プラズマ観測や数値実験により、無衝突衝撃波や磁気リコネクションのエネルギー散逸領域に現れる「直接加速」によって、粒子が短時間で高エネルギーまで加速され、また従来の統計加速よりも硬いエネルギースペクトルも得られることがわかってきている。衝撃波や磁気リコネクションで起きている直接加速を支配するメカニズムは、宇宙線やガンマ線バーストなどの高エネルギー天体現象に現れる迅速な加速にとっても、新しい示唆を与えるものと思われる。

多波長解析から探る、活動銀河ジェット・ホットスポット・ロープの統一描像

片岡 淳（東工大）

近年、ASCA 衛星や Chandra 衛星の撮像観測により 40 以上の活動銀河核から X 線で輝くジェット構造（ノット、ホットスポット、ロープ）が検出された。本講演では 56 個のノット、24 個のホットスポット、18 個の電波ロープの現時点で“完全な”サンプルを作成し、5GHz の電波強度と 1keV の X 線強度を比較することで系統的かつ定量的な考察を行った。X 線の放射機構として、シンクロトロン放射 (SYN)、シンクロトロン自己コンプトン放射 (SSC)、および宇宙背景放射のコンプトン放射 (EC) が考えられる。SYN による X 線放射は、近傍の電波銀河のノットで多く検出され、10 -100 TeV の非常に高いエネルギーまで加速された電子から放射されると考えられる。SSC 放射と EC 放射に関しては電子と磁場のエネルギー等分配を仮定して X 線強度の「期待値」を求めた。ホットスポットとロープについては、「期待値」と「観測値」が概ね一致するのに対し、ノットで観測された X 線強度は予想より大幅に“明るすぎる”。この結果は、kpc-Mpc といった大スケールにおいてもジェットがローレンツ因子 10 程度で高速に運動をしているか、あるいは等分配の条件が著しく崩れている（粒子優勢ジェット）ことを示唆する。ホットスポットやロープはジェットの終点であり、ここでプラズマは急速に減速され、磁場と電子の等分配が達成されるのかもしれない。さらに、ホットスポットでは磁場の強さがノットやロープより一桁程度大きく、 $100\mu\text{G}$ 程度であることが分かった。ホットスポット内での強い衝撃波圧縮で、磁場が強められているとして理解される。

球状星団で見えてきた粒子加速現象

岡田 祐 (東大)

球状星団中の星はその進化の過程において、0.2–0.5 太陽質量程度の質量をガスとして放出する。これらは、星団の重力ポテンシャルに閉じ込められるはずであるが、これまでそのような発見例は数例しかなかった。これを説明するため、星団中のガスを何らかの形で取り除くメカニズムが考えられている。最も有力な候補は、銀河ハローによる ram pressure である。そのような場合、比較的速い速度で固有運動をしている球状星団では、ショックが形成され、加熱/加速された電子からの X 線放射が期待される。

我々は、X 線衛星チャンドラによって、2 つの球団星団 (47Tuc, NGC6752) から、非熱的な X 線放射を検出した。これらは、1~数 pc 程度広がっており、かつ銀河ハローに対し、進行方向に局在することがわかった。さらに、この広がった X 線放射とよく一致した場所から、電波 (843MHz) 対応天体が見つかった。

X 線放射が球状星団中の光子と加速電子による逆コンプトン散乱、電波放射が磁場と加速電子とのシンクロトロン放射と考えると、ローレンツ因子 $10 \sim 1000$ 程度の加速された電子と、 $1 \mu\text{G}$ 程度の磁場が存在することで、観測を説明できることがわかった。後者は典型的な星間磁場の値とよく一致している。このことから、星団中に残っているガスと銀河ハローによってショックが形成され、粒子加速現象がおきている可能性が高い。

X 線天文衛星 Chandra で探る宇宙線加速現場

馬場 彩 (理研)、山崎 了、吉田 龍生、寺沢敏夫、小山勝二

100 TeV にも達する超高エネルギー宇宙線はその発見以来、加速起源と機構を最大の焦点とした研究が続けられている。日本の X 線天文衛星 ASCA による超新星残骸 SN 1006 からのシンクロトロン X 線放射の発見 (Koyama et al. 1995) は、SNR の衝撃波面での 100 TeV 近い電子の存在を初めて直接証明し、超新星残骸衝撃波面が宇宙線加速現場であることを明らかにした。理論的にも、粒子が衝撃波面を行き来する度に衝撃波からエネルギーを得る衝撃波加速理論が有力になっている。しかし、超新星残骸で加速可能な宇宙線の最高エネルギー、宇宙線へ注入される総エネルギー量、加速現場の磁場方向や乱流度などに対する定量的議論は全く進んでいない。このような中、我々は硬 X 線シンクロトロン放射の空間分布という新しい次元の情報に着目し、この問題の解決に挑んだ。

我々は空間分解能にすぐれた X 線天文衛星 Chandra による SN 1006 の観測データを解析し、シンクロトロン硬 X 線が超新星残骸半径の 1% 程度の極めて狭い領域に集中する事を世界で初めて発見した。この薄い filament 状構造を従来の衝撃波加速理論で説明しようとする、(i) 衝撃波法線に垂直でやや圧縮された磁場、(ii) 衝撃波法線に平行で非常に圧縮された磁場、のいずれかが必要なことが分かった。またいずれの場合も、磁場は乱流状態になっており、その結果粒子の加速効率は非常に良くなることをつきとめた。

我々はさらにこの手法をその他の歴史的に爆発の記録が残っている (=年齢の分かっている) 超新星残骸 4 天体にも応用し、いずれの超新星残骸にも filament 状シンクロトロン硬 X 線を発見した。filament の時間進化を調べた結果、衝撃波の運動エネルギー密度・熱エネルギー密度・磁場エネルギー密度・宇宙線エネルギー密度はお互いに equipartition を保ったまま進化することを発見した。これらの結果は、従来の宇宙線加速理論の常識を覆す画期的なものである。

本講演では、ASTRO-E II を用いた衝撃波から宇宙線へのエネルギー注入率測定アイデアについても述べる予定である。

Chandra 衛星による HII 領域 RCW89 とパルサージェットの相互作用の観測

谷津陽一（東工大）

活動的なパルサー PSR B1509-58 を伴う超新星残骸 MSH15-52(G320.4-1.2) には、スペクトルの異なる 2 つの天体群が存在している。一つはパルサーを中心として広がっているパルサー星雲やジェットなどの非熱的スペクトルを持った構造群である。もう一方が本研究対象の RCW89 であり、熱的スペクトルを持ち電波や軟 X 線で強い放射が観測されている。中心のパルサーは短い周期 (150ms)、若い特性年齢 (1500 年)、電波からガンマ線におよぶ放射を示し、かにパルサーのような若い活動的なパルサーである。RCW89 との位置関係から、パルサーからのジェットが RCW89 の熱源であると考えられて来た。

本研究では X 線天文衛星 Chandra のデータを用いて、イメージスペクトル解析を行った。非常に優れた空間分解能により、RCW89 の放射領域が馬蹄形に並んだクランプ構造からなることが明らかになった。我々は、特に明るいクランプについて個別にスペクトル解析し、それぞれが異なる温度・電離状態にあることを明らかにした。この観測結果をもとに、RCW89 の加熱過程やパルサージェットとの関連について考察していく。

高エネルギーニュートリノ天文学

吉田 滋（千葉大）

宇宙線放射に代表される高エネルギー宇宙 (TeV 以上) の主役にニュートリノがいることは古くから知られてきましたが実際の観測が射程距離に入ったのは最近のことです。このレビューでは、高・超高エネルギー領域でニュートリノが生成される機構を御紹介した後、観測実験とデータの現状について議論するとともに、一般的な解析手法の概説も行ないたいと思います。

HETE-2 時代のガンマ線バーストの研究 – ついに正体を見せたガンマ線バースト –

玉川 徹 (理研)

2000年10月に打ち上げられたガンマ線バースト探査衛星 HETE-2 は、バースト発生位置を精度良く、数十秒で速報する能力を達成した、世界で初めての衛星である。この速報能力のおかげで、ここ数年、ガンマ線バースト研究が飛躍的に進んだ。

特に、2003年3月29日にとらえたガンマ線バースト GRB030329 で、Ic 型超新星爆発の証拠 (SN2003dh) が発見された。これにより、発見から 36 年間も天体物理学者を悩ませたガンマ線バーストの正体が、ついに明らかにされたのである。

しかし、超新星爆発からどのようにしてガンマ線バーストのような激しい現象が発生するのか、未だに謎のままである。X 線検出器を搭載した HETE-2 や BeppoSAX 衛星により、X 線領域にしか放射がみられないガンマ線バースト (X 線フラッシュ) が数多く存在することが明らかにされてきた。これらのバーストの存在は、ガンマ線バーストの発生機構に迫る手がかりになると期待されている。

一方、ガンマ線バーストを、遠方の宇宙を探査するプローブとして利用する試みも始まっている。ガンマ線バーストは $z=10$ 以上の遠方で発生しているのか、それはスタンダードキャンドルになりうるのかなど、興味深い研究が行なわれている。

本講演では、HETE-2 を中心とした衛星による観測と、地上・軌道上の X 線・可視光・赤外・電波望遠鏡による観測事実を中心に、ここ 4 年間のガンマ線バースト研究の急展開をレビューする。また、Swift 衛星によって牽引されるであろう、これから先のガンマ線バースト研究の見通しについても紹介する。

ガンマ線バースト発生率から探る宇宙再電離と金属汚染

米徳大輔、村上敏夫 (金沢大)

ガンマ線バースト (GRB) とは数 10 秒という短時間の間だけ、大量のガンマ線が降りそそぐ突発現象であり、最大光度が 10^{54} エルグ毎秒に達するような宇宙最大の爆発現象である。GRB の光度を用いれば赤方偏移が 20 のような極めて初期の宇宙を探査できる可能性がある。我々は GRB のスペクトル解析から得られるピークエネルギー (E_p) と光度との相関関係を距離指標とし、距離の測定されていない複数の GRB について赤方偏移を推定した。赤方偏移分布とジェット状爆発の幾何学的効果を考慮して、 $z = 12$ までの GRB 発生率を導出したところ、初期宇宙ほど GRB の発生率は高いという結果が得られた。これは初期宇宙における大質量星の形成をトレースしていると考えられる。

初期宇宙で爆発的な星形成が行なわれたとすると、その後の宇宙進化に影響を及ぼすような効果を外部環境に与えた可能性がある。特に、近年の WMAP 衛星の観測で得られた宇宙再電離と、キューサーの観測から指摘されている銀河間空間に存在する大量の金属元素の起源について注目した。我々は GRB 発生率を用いて第一世代星の絶対生成率を計算した。第一世代星からの紫外線輻射の総量を計算した結果、 10^7 年という短時間で宇宙空間の中性水素を完全電離する事が可能であり、WMAP 衛星が観測した初期宇宙での再電離を実現できると考えられる。また、大質量星は星の終焉を迎える際に、超新星爆発を起こして外部に金属元素を放出する。再電離が完了するのと同程度の時間で、銀河間空間に太陽組成比の 1 万分の 1 程度の金属を撒き散らしたと結論づけた。ここで見積もった金属汚染量は、キューサー天体の観測から報告されている銀河間ガスの金属量を満足するものである。本講演では GRB の観測から考えられる初期宇宙像について「宇宙再電離」と「金属汚染」という、広大な宇宙の相転移に着目した講演を行なう。

ガンマ線バーストにおける加速粒子の冷却

浅野勝晃（天文台）

ガンマ線バーストは 10^{20} eV を超える宇宙線ソースの有力な候補である。また、加速された陽子が高エネルギー光子と衝突し、中間子を生成するので、ニュートリノバーストを起す可能性もある。しかし、この中間子生成の効率が良すぎると、加速粒子のエネルギーは失われ、結果として、宇宙線を説明できるような高エネルギー粒子は生まれない。本講演では、加速粒子の冷却過程シミュレーションについて報告する。標準的なガンマ線バーストのパラメーターを用いても、加速粒子はその大部分のエネルギーを中間子に与えてしまい、最終的には、光子あるいはニュートリノに輸送されてしまう。ガンマ線バースト本体が、宇宙線のソースである可能性はかなり低いと言わざるをえない。

広大 1.5m 光学望遠鏡を用いた多波長連携観測計画

川端弘治（広島大）

広島大学では、国立天文台三鷹キャンパスに設置してある 1.5m 光学赤外線望遠鏡 (= 赤外シミュレーター) を譲り受け、西日本の適地へ移設して、ガンマ線天文衛星 GLAST や X 線天文衛星 Astro-E2 と連携した独自の多波長観測天文学研究を進めつつ、赤外シミュレーターの機能を一部継承した共同利用も行うことを念頭に、サイト調査や建設準備、装置開発などを行っている。順調に行けば、来年春にはドーム施設の建設が始まり、晩秋には望遠鏡の移設が行われて 2006 年からは観測が始まる見込みである。主な研究対象は、ガンマ線バースト、ブラックホールを含む連星系、超新星のほか、GLAST によって多数発見されると期待される新ガンマ線天体の光学同定である。発表では、これら広島大学宇宙科学センターの研究計画と進捗をまとめて報告する。

CdTe ピクセル検出器とそれを用いた次世代硬 X 線 / ガンマ線観測器

中澤知洋（宇宙研）

10keV から数 MeV という、硬 X 線、軟ガンマ線には、粒子加速や重元素生成に伴う放射が強く現れるため、その高精度観測は、宇宙におけるこれらの非熱的な現象の解明のカギを握っている。しかし、この帯域の観測感度は、10 keV 以下の X 線帯域と比較して、3 桁ほど劣る。これは、高いエネルギー帯域ほど天体からの光子の数が減る上、検出器の放射化など、宇宙線由来のバックグラウンドが高いことに由来する。これを打開する 2 枚の切札として、次世代衛星への搭載が検討されているのが、80 keV までの硬 X 線を集光する新技術「スーパーミラー」とその焦点面の硬 X 線イメージャの組合せ、および 100keV から数 MeV の帯域で、バックグラウンドを極限まで下げる、日本独自の新しい概念に基づくガンマ線検出器「狭視野の半導体コンプトンカメラ」である。

我々のグループでは、これらの実現へ向けて検出器の開発を進めているが、そのカギを握るのが、硬 X 線に対する高い検出効率と、優れたエネルギー分解能を併せ持つ、CdTe ピクセル検出器である。この検出器の実現には、4 つの基礎技術の確立が欠かせない。それは、優れた CdTe 素材、数千にもなるチャンネルを高い時間分解能で処理する低雑音なアナログ LSI、両者の電氣的・機械的な接合、そして多数の LSI の制御とそのデータ処理の技術である。これまでの開発の結果、我々は、500 um ピッチで 1.2cm × 2.5cm をカバーし、エネルギー分解能 1 keV (@60 keV FWHM) の大型撮像分光検出器 (大貫他 SPIE 2004) を実現し、また、Si/CdTe コンプトンカメラの試作器を稼働させ、356 keV で 6 度 (FWHM) の角度分解能のイメージを得ており、偏光の検出にも成功している (三谷他 IEEE 2003、田中他 IEEE 2004)。

本講演では、CdTe ピクセル検出器の最新技術を中心に、これらの検出器の開発の現状を報告するとともに、実際の衛星搭載へ向けた基盤技術の確立と、より優れた位置分解能、より高い検出効率の実現へ向けた試みについて紹介する。

学生主導の小型衛星開発 ~ 東工大 cute 開発の現状 ~

古徳純一（東工大）

東工大では、理学系と工学系の研究室の共同プロジェクトとして、大学規模での宇宙衛星の開発に取り組んでいる。小型衛星には、大型衛星に比べ、1) 開発サイクルの短縮、2) 開発費用の削減、3) 打ち上げ費用の削減といったメリットがある。現在、来年の夏に打ち上げを目指して重量 2kg、10cm 立方の箱を 2 個連結した小型衛星 cute1.7 を開発中である。

我々理学系のメンバーは、次世代宇宙用 X 線検出器として、光電子増倍管に比べて小型で省電力かつ丈夫な APD (アバランシェフォトダイオード) の開発を進めてきた。APD は PIN フォトダイオードに内部増幅領域を持たせたもので、素子内部で信号を 100 倍に増幅することにより等価的にノイズを低下させ、従来の PIN フォトダイオードでは困難だった 20 keV 以下の測定ができるようになる。今回、この APD を放射線検出器として世界で初めて衛星搭載し、素子の宇宙実証を行うとともに、地球磁気圏に捕らわれた荷電粒子計数測定を行うことを目的としている。

本発表では、これらの開発の現状と、さらに、次の段階として重量 20kg 級の衛星の開発への展望についても述べる。

X線吸収線を用いた銀河団周辺の銀河間高温物質 (WHIM) の観測

竹井 洋 (宇宙研)

Virgo cluster、Coma cluster 背後のクェーサーの X 線スペクトルから、両銀河団周辺の銀河間高温物質 (Warm-Hot Intergalactic Medium = WHIM) 中の重元素によると考えられる吸収線を検出した。この観測結果について発表する。

宇宙に存在するバリオンの量は、宇宙論と遠方宇宙の観測から強く制限されているが、現在の宇宙ではその 20% 程度しか観測されていない。観測されていないバリオンの多くは温度 10^{5-6} K の希薄な銀河間物質 (WHIM) として宇宙の大規模構造を形成していると考えられており、WHIM の観測は大規模構造形成史の理解において重要である。WHIM からの放射を観測するのは現在の衛星では難しいが、明るい X 線源を背景とした WHIM による吸収の観測は可能であり、これまでプレーザーを背景天体として赤方偏移 $z = 0$ の吸収線がいくつか検出されてきた。ただし、系内物質と WHIM との区別は自明ではない。

我々は、 $z > 0$ で、かつ大きな柱密度が期待できる銀河団周辺に着目し、視線方向に長いことが示唆されている、Virgo cluster、Coma cluster 背後のクェーサーを XMM-Newton RGS で観測した。銀河団は大規模構造の要であり、銀河団周辺の WHIM の観測は大規模構造形成過程の理解のために特に重要である。観測の結果、Virgo の z に対応する O VIII の吸収線を 2.3σ の有意性で、Coma の z に対応する Ne IX、O VII の吸収線を 3σ の有意性で検出した。一方 EPIC のスペクトルにも系内物質の放射では説明が難しい warm excess が見られた。これらの結果は銀河団周辺の WHIM の存在を強く示唆している。

今後 Astro-E2、DIOS など X 線マイクロカロリメータを搭載した衛星により WHIM からの輝線を観測することが可能となる。吸収線と輝線の観測結果を組み合わせることで、WHIM の奥行き、密度などを精度良く求めることができる。

TES 型マイクロカロリメータを用いた核融合プラズマ装置の軟 X 線観測

石崎欣尚 (都立大)

我々は天文学と核融合プラズマ物理の共同実験として、X 線領域で高いエネルギー分解能をもつ TES (Transition Edge Sensor) 型マイクロカロリメータを用い、産業技術総合研究所の核融合プラズマ装置—逆磁場ピンチプラズマ装置 (TPE-RX) がプラズマ生成時に発する軟 X 線の測定試験を行なった。これは軟 X 線 (0.5-8.0keV) のスペクトルを高いエネルギー分解能で得ることにより、不純物の同定やプラズマ温度を決定して TPE-RX のプラズマ状態を調べると同時に、次期 X 線天文衛星搭載を目指した TES 型マイクロカロリメータの実証試験となっている。

TPE-RX は大半径 1.72m、小半径 0.45m の、ドーナツ型真空槽をもった逆磁場ピンチ方式のプラズマ閉じ込め装置で、世界 3 大 RFP の 1 つである。生成されるプラズマは電子/イオン温度=1.0/0.5keV で、電子温度は $5 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ 、プラズマ持続時間はフラットトップで 50ms である。また TES 型マイクロカロリメータは素子に X 線が入射した際のわずかな温度変化をとらえる検出器で、超伝導体の遷移部分を用いることで高いエネルギー分解能が期待される。この検出器は低ノイズ実現のために 100mK 以下という極低温環境が必要であり、本実験では他研究機関に移動、接続可能な断熱消磁冷凍機を使用した。今年 8 月に行なった実験ではプラズマ生成を計 367 ショット行ない、信号取得は 345 ショット、特にこのうち約 200 ショットは校正線源 (Mn K α 5.9keV) で FWHM 20eV 程度で測定でき、目標としていた 0.5-1keV 領域を約 1800counts 集めた。

なお、同じ内容を、篠崎 (都立大) がポスターとしてまとめているので、そちらも参照してほしい。

高エネルギー天体物理学の新展開

—Poster Session—

P1

あすか衛星による超新星残骸 G344.7-0.1 の観測

山内茂雄（岩手大）

私たちはあすか衛星を用いて銀河面サーベイ観測を行ったが、この観測で30個ほどの超新星残骸からX線を検出することができた。このうち、あすかの観測で初めてX線を検出できたものが約半数程度あり、G344.7-0.1はそのうちの一つである。本講演ではこの超新星残骸の解析結果について報告する。

電波のイメージでは直径8-10分角のシェル構造が見えるが、X線のイメージでは、直径約6分角程度に広がったX線放射であることがわかる。また、全体のX線スペクトルには、硅素、硫黄、カルシウムなどからの輝線が見られ、主に約0.8 keVの温度の高温ガスからの放射として説明できる。高温ガスからの放射成分に加え、6-7keVにライン構造が見られ、その中心エネルギーは約6.4keVであった。このラインは高温ガスとは別の放射と考えられるが、その放射過程はよくわからない。

一方、観測から求められた高温ガスの物理パラメータを用い、セドフ解を適用すると年齢6000-7000年となる。

P2

Optical Image of the Jet-Powered SNR W 50

小谷太郎（東工大）

W 50はマイクロエイザー SS 433を包み込む超新星残骸であり、SS 433からの高エネルギー・ジェットを 10^4 yrにわたって内側からあびつづけてきた特殊な天体である。蓄積されたエネルギーは 10^{51} ergに達すると推定される。ジェットとの衝突によって形成されたジェット・ローブはX線領域でシンクロトン放射しており、電子がTeV程度まで加速されていると思われる(Yamauchi et al. 1994; Namiki et al. 1999; Safi-Harb & Petre 1999)。通常の超新星のイジェクタの速度は $\sim 10^3$ km s $^{-1}$ 程度なのに対し、W 50では0.26 cの相対論的ジェットが星間物質と相互作用しており、相対論的ショックを研究できる極めて珍しい系となっている。ところがこの系は $2^\circ \times 1^\circ$ と広いため、写真乾板での観測には向いているが、CCDでは精度のよいデータが撮られていない。我々はUniversity of Hawaii 2.2 m TelescopeによってW 50のRバンド可視光観測を行なった。焦点面検出器には $31' \times 31'$ の広視野を持つUH 8k mosaic CCD (Hodapp et al. 2003)を使用した。目的は、(0) 25年前に撮られた写真との比較による衝撃波のプロパー・モーションの直接検出、(1) 相対論的衝撃波の微細構造の検出、(2) ジェット・ローブの可視光放射の検出などである。本ポスターではpreliminaryな解析結果を紹介する。

P3

X線連星パルサーからの鉄輝線の起源

幸村孝由 (工学院大)

多くの X 線連星パルサーから中性ないしは低電離の鉄輝線が観測されている。その鉄輝線の起源は、中性子星の周りの比較的溫度が低く、密度が高い領域が候補として考えられる。

アメリカの X 線天文衛星 RXTE で観測した、大質量連星パルサー CenX-3、低質量連星パルサー GX1+4 の時間変動についてクロススペクトルを用いて解析を行なった。結果として、鉄輝線が連続 X 線に比べ $\sim 5\text{ms}$ 、 $\sim 200\text{ms}$ 遅れて変動していることを発見した。CenX-3、GX1+4 の磁場の大きさがそれぞれ 10^{12}G 、 10^{14}G と考えた場合、この結果から、鉄輝線の起源は、中性子星からアルフヴェン半径程度離れた領域に中性子星からの連続 X 線が照射することによる蛍光鉄輝線であり、鉄輝線の放射領域の候補は、降着円盤の内縁であると考えられる。

P4

相対論的 MHD (Force-Free 近似) によるパルサーダイナミクス

浅野栄治 (千葉大)

我々は相対論的 Force-Free 方程式を解くことにより、中性子星とそのディスクにおける磁場の相互作用について研究してきた。初期条件として、中性子星とその磁気圏に深く入り込んだディスクを置き、ディスクを貫く双極磁場を仮定した。中性子星とディスクの回転は境界条件で課した。この系の時間発展を追うために HLL (Harten-Lax-van Leer) 法を用い、二つのモデルについて計算を行った。

(1) 共回転半径より内側 (星の回転速度より大きい) のディスクと星、

(2) 共回転半径より外側 (星の回転速度より小さい) のディスクと星。

結果は、両モデルとも、星とディスクの差動回転によるねじれによって、星とディスクを繋ぐ磁場は膨張を始めた。星やディスクの回転が ラジアンを超えると磁力線は光速近くの速度で膨張していく。これは中性子星を含む連星系で観測されるような、相対論的なアウトフローの起源となるメカニズムとして考えられる。

P5

ブラックホール候補星 GRS 1915+105 の低温ガスによる散乱モデルによる解釈

大川洋平 (立教大)

高エネルギー天体の1つであるブラックホール候補星 GRS 1915+105 は、1992年に GRANAT 衛星によって発見されて以来、多波長に亘って数多くの観測が行われている。その結果、現在までに多くの特徴が明らかになった。光速に近い速度のジェットを噴き出していることや、準周期的振動 (QPO) の存在等である。しかし、現象のメカニズムに関しては、未知の部分の多い天体である。我々は、RXTE 衛星のデータからスペクトル解析及び時間変動の解析を行うことによって、諸現象のメカニズムを解明するための研究を進めている。

GRS 1915+105 におけるハード状態のスペクトルは、多温度黒体放射 (MCD) とパワーローというブラックホール候補星の標準モデルでは説明が出来ないことが分かっている (Belloni et al. 2000)。我々は、単純なパワーロー成分ではなく、低温ガスでの散乱による効果として Comptonized-Powerlaw (CompPL) という成分を用いてスペクトルフィッティングを行った。その結果、この成分を入れることによってハード状態を説明することが可能であることが分かった。

ハード状態における異なるエネルギー間での変動の時間差には、低エネルギー側に比べて高エネルギー側の変動が遅れるハードラグと高エネルギー側に比べて低エネルギー側の変動が遅れるソフトラグがある。我々は、ガスでの散乱過程で時間差が生じると仮定すると、電子温度を低温から高温へ変化させることによって、ソフトラグからハードラグへ遷移することをシミュレーションによって明らかにした (Ohkawa, Kitamoto, & Kohmura 2004, ApJ, submitted)。

スペクトルと時間変動のどちらで考えても、この天体のハード状態を低温ガスによる散乱モデルで説明することが可能であることが分かった。本研究会では、詳細に得られた結果と考察を報告する。

P6

銀河中心領域の X 線天体の調査による銀河進化の研究

平家 和憲 (愛媛大)

スターバースト現象は銀河中心領域で生じる爆発的な星形成活動である。これらの星形成に伴い、星の一生の最後に作られる X 線天体も多く作られる。本研究では X 線天文衛星 Chandra が観測した活発なスターバースト現象を伴う銀河 (NED 上での分類: スターバースト銀河、LINER、HII 領域、特異銀河、セイファート 2 型銀河) 計 48 個を系統的に解析し、合計で約 900 個の X 線点源を検出した。

これらの点源の銀河内での分布や光度を調査した結果、いくつかの銀河から銀河中心により近い領域にある天体ほど X 線光度が高いという傾向を発見した。特に中心領域の天体は中性子星のエディントン光度を超えているので、ブラックホール天体である可能性が高い。

これは Ebisuzaki et al. (2001) で提案されたようにスターバースト現象により形成された高密度な星団がその内部に作られたブラックホールと共に力学的摩擦で銀河中心に移動していく過程の途中を観測したと解釈する事ができる。一方、銀河の中心領域ほどガスの密度が高いので形成される大質量星の個数が多くなり、中心付近のブラックホールの個数が多くなるとも考えられる。前者の場合、明るい X 線天体の分布はスターバーストの年齢と共に変化する。後者の場合、X 線天体の分布は銀河内のガスの密度分布を反映しているので、その分布が年齢とともに大きく変化することはないと考えられる。

本講演では今回の解析から得られた銀河中心からの距離と X 線光度の関係を示し、様々な角度からその結果について検討する。

P7

X線による大光度赤外線銀河の研究

穴吹直久 (宇宙研)

キューサー光度に匹敵する放射を赤外領域だけで放出している「大光度赤外線銀河」は、ガスが豊富な銀河が他の銀河と衝突・合体する過程で生じる過渡的な天体であり、銀河進化と巨大ブラックホール形成の歴史を探る上で重要な天体であると考えられている。その莫大な赤外線放射は、銀河衝突の際に角運動量を失って中心に落ち込んだ大量の星間塵による熱的再放射で、その熱源として大規模な星形成活動（スターバースト）と活動銀河核（AGN）が有力視されている。一方で、多量の星間ガスに覆われた中心核は観測的に調べるのが困難であり、主熱源がどちらであるかという根源的な命題に対して未だ明確な解答が得られていない。また、大光度赤外線銀河が巨大ブラックホール形成における重要なフェーズであるかどうかも良く理解されていない。X線は高い透過力を持ち、そのスペクトルからAGNとスターバーストの放射を区別でき、また、X線強度変動とスペクトルの形状から降着円盤の状態（質量降着率）を診断できるため、上記問題の究明において最も強力な観測手段となる。

そこで、あすか、チャンドラ、XMMニュートン衛星で観測された大光度赤外線銀河について、過去最大のサンプルでそのX線データの系統的な解析を行った。特に、本研究ではいわゆる1型AGNに分類される大光度赤外線銀河に着目し、その中心核の性質を詳細に調べた。結果として、多くの大光度赤外線銀河でAGNからのX線放射を検出したが、AGNが赤外放射の主熱源であるという積極的な証拠は得られなかった。一方、その赤外線放射の大きさに見合うだけの大規模な星形成活動が生じていることを示唆する結果を得た。さらに、X線で明るい7つの1型大光度赤外線銀河は、狭輝線セイファート1型と呼ばれる活動銀河核に特徴的なX線の性質を持っていることが分かった。狭輝線セイファート1型は、質量降着の高いブラックホールであると考えられていることから、X線で明るい1型ULIRGに存在する中心核は高い質量降着状態にあると考えられる。

P8

Groth-Strip Field X線源の光学赤外特性

宮地崇光 (CMU)

Groth-Strip Fieldは、28個の連なったハッブル宇宙望遠鏡 (HST)、Wide-Field Planetary Camera 2 (WFPC2) での観測にはじまり、現在から将来に渡って、さまざまな多波長観測がおこなわれ、あるいはおこなわれつつある領域である。その一部として、われわれは、XMM-Newtonで80ksこの領域を観測した。この深さで検出されたX線源は、典型的に、宇宙における超巨大ブラックホールへの降着の歴史のなかでも、ピークに相当する中心核活動を代表するものからなり、それらのホスト銀河の特性を含めた詳細な多波長での性質は、超巨大ブラックホールへの物質供給のメカニズムと宇宙の歴史のなかでの位置付けといった観点から興味深いものがある。

本発表では、XMM-Newtonで検出されたX線源のうち、WFPC2の観測視野内にあるものについての光学赤外域での特性を論じる。特に、HST WFPC2での形態、パルジ・ディスク分離、パルジ光度-速度分散-ブラックホール質量のスケーリング関係と、X線光度から予測したエディントン比、光学赤外での多色測光とその解釈を示す。

また、既存の光学スペクトルで活動銀河核の兆候を示さないものについて、われわれは、すばるCISCO/OHSを使い、近赤外分光観測をおこない、幅の広い $H\alpha$ 輝線や、 $H\alpha$ に比して比較的強い $[NII]\lambda 6548, 6583$ 輝線といった活動銀河中心核の兆候を得た。その結果もあわせて報告する。

P9

HETE-2 衛星による GRB 020813 の観測

佐藤理江 (東工大)

GRB020813 は 2002 年 8 月 13 日 02:44:19.17 (UT) に発生した、継続時間が長く、明るいガンマ線バースト (GRB) である。このバーストは、HETE-2 衛星によって発生から 4 分後に位置速報がなされ、早期からの可視光残光の観測が報告されている。また X 線での残光観測からは、そのスペクトルにケイ素や硫黄イオンに特徴的な線が見られ、GRB が超新星爆発との関連した現象であるという強い証拠を得ることができた。

HETE-2 衛星は、広視野 X 線観測装置 (WXM) とガンマ線観測装置 (FREGATE) を用いることで、約 2 keV から 400 keV の帯域で GRB 本体のスペクトルを詳細に観測することができる。本講演では、HETE-2 がとらえた GRB020813 の、X 線、ガンマ線の光度曲線、スペクトルの解析結果を報告する。

P10

東工大、岡山、および明野観測所における GRB 残光観測システムの構築

佐藤理江 (東工大)

我々は、東工大、明野観測所、岡山天体観測所において、Swift / HETE-2 衛星からの通報を受け、ただちにガンマ線バースト残光を可視光望遠鏡で自動観測を行なうシステムを開発している。岡山においては、近赤外での観測も行なう。

東工大システムは口径 30cm の可視光望遠鏡から構成されている。CCD カメラには AP6E (Apogee 社) を使用している。これらを合わせた視野は $44 \times 44 \text{ arcmin}^2$ と広く、衛星による位置決定誤差範囲を十分にカバーできる。また都市光の強い環境下でありながら、限界等級は $R \sim 17.3$ 等級にも達する。早期残光を捉えるには十分な感度である。

明野、岡山は口径 50cm の可視望遠鏡から構成されている。焦点部では、入射光を 2 つのダイクロイックミラーで 3 つに分岐させ、それぞれの焦点に CCD カメラをおくことにより V,R,I-band の 3 色同時観測が可能となっている。CCD カメラには、高速読み出しが可能な市販の AltaU6 (Apogee 社) を利用している。近赤外望遠鏡は口径 91cm で、フォワードカセグレンと準シュミットを組み合わせた UKIRT WFCAM タイプの光学系をもつ。検出器 (HAWAII-2 RG, Rockwell 社) の直前に z,J,H,K-band のフィルターを挿脱することで単色の観測が可能である。視野は可視が $26 \times 26 \text{ arcmin}^2$ 、近赤外が $56 \times 56 \text{ arcmin}^2$ となっている。

これらの望遠鏡はロボット化して自動運用させる。通常はスケジュールにもとづいて観測を行なうが、衛星からのアラートが受信されたら、それまでの観測を停止し直ちに残光の観測を開始させる。求められた残光位置は世界に通報し、大望遠鏡による観測につなげる。

講演では、これら観測システムの詳細と現状、今後の見通しについて述べる。

P11

HETE-2 衛星による軟ガンマ線リピータの観測

前當未来 (青学大)

HETE-2 衛星は、軟 X 線から軟ガンマ線のガンマ線バーストを主観測対象としており、軟ガンマ線リピータ (SGR) からのバーストや X 線バーストを副観測対象として、継続的に観測している。

この HETE-2 衛星は反太陽指向であるため、夏期に観測装置の視野は銀河中心方向を向くことになる。この為、この期間には銀河中心方向に多く存在する軟ガンマ線リピータにおけるバースト現象を頻繁に観測する。

同衛星は 2001 年 6 月から 2004 年 8 月の間に、SGR1900+14 について 6 例、SGR1806-20 について 60 例のバーストを検出した。特に 2004 年においては SGR1806-20 からの 49 例ものバーストを検出している。

軟ガンマ線リピータは 10^{14} から 10^{15} G の強磁場を持つ中性子星ではないかと考えられており、現在 4 天体が知られているが、そのバースト機構についての詳細は不明である。しかし、近年の研究で SGR1900+14 の中規模以上のバーストのスペクトルは 2 温度黒体輻射で再現できるのではないかと示唆されている。

我々は SGR1900+14 のみならず SGR1806-20 のバーストについても同程度 (4keV + 10keV) の 2 温度の黒体輻射でスペクトルを再現できることを突き止めた。今回は、その解析結果について報告する。

P12

HETE-2 衛星が捉えたガンマ線バーストの X 線アクティビティ

中川友進 (青学大)

HETE-2 衛星は、打ち上げから 2004 年 8 月末までに 63 例のガンマ線バースト (GRB) を検出している。典型的な GRB よりもソフトなスペクトルを持つ “X 線過剰 GRB (XRR)” や “X 線フラッシュ (XRF)” が知られており、XRR や XRF の継続時間や時間変動は、典型的な GRB と良く似ている。しかし、 νF_ν スペクトルのピークの分布を見ると、典型的な GRB は 100keV 程度であるのに対して、XRR や XRF は数十 keV 程度であり、BATSE/CGRO の結果と矛盾するよう見える。最近の HETE-2 衛星や Beppo-SAX 衛星の観測・研究によって、GRB・XRR・XRF は同一の現象の「異なる見え方」である事が示唆されている。また GRB には、ガンマ線領域 (> 25keV) での放射が終了した後に、X 線領域でのみ放射が見られる、いわゆる「X 線テール・X 線ポストカーサ」を伴っていることが知られている。

我々は、HETE-2 衛星に搭載されている、広視野 X 線モニター (WXM: 2 ~ 25keV) およびガンマ線検出器 (FREGATE: 7 ~ 400keV) のデータを用いて、Softness Ratio の時間変動を調べた。ここで Softness Ratio は、WXM の 2 ~ 25keV のカウント数と FREGATE の 25 ~ 400keV のカウント数の比である。その結果、いくつかの GRB は、「X 線ポストカーサ」を伴うことを見い出した。また、これらのバーストのスペクトル解析の結果、メインピークと「ポストカーサ」では、GRB ~ XRF のように変化しており、一つのバーストの中に多様性が見い出された。

本講演では、GRB の X 線アクティビティに焦点を当てて、解析結果を報告する。

P13

HETE-2 衛星搭載広視野 X 線モニター (WXM) 応答関数の機上較正

山崎 徹 (青学大)

ガンマ線バースト探査衛星 HETE-2 搭載の広視野 X 線モニター (WXM) は同一構造をもつ 4 台の一次元位置検出型比例計数管、及び互いに垂直な方向に配置した 1 次元符号化マスクからなっている。WXM は 2-25keV のエネルギー範囲をカバーし、 $60^\circ \times 60^\circ$ の視野、垂直入射 X 線に対して約 350cm^2 の有効面積をもつ。

WXM の応答関数 (DRM) は合計 12 本の陽極芯線毎に、打ち上げ前の地上較正実験に基づき構築された。打ち上げ後は、冬季に WXM の視野に入るかに星雲の観測データを用いて、応答関数の機上較正が継続的に行われてきた。2002 年 12 月以降、かに星雲のスペクトルの低エネルギー側 (2-4keV) に excess がみられるようになった。またスペクトル解析の結果、その excess は年々増加している傾向があることが判明した。そのため、WXM のサーマルシールドとして用いられているアルミ蒸着カプトン膜が宇宙空間の原子状酸素によって摩耗されたことにより、上記の excess を生じた可能性が考えられる。サーマルシールドの経年変化を考慮すると、かに星雲のデータをうまく説明できる。そこでこの効果をとりこんだ WXM 応答関数を作成した。

本講演では、3 年間に及ぶ WXM の機上較正結果、さらに HETE-2 衛星搭載のガンマ線検出器 (FREGATE: エネルギー領域 6-400keV) とのクロスキャリブレーション結果について報告する。

P14

TES 型マイクロカロリメータを用いた核融合プラズマ装置の軟 X 線観測

篠崎慶亮 (都立大)

我々は X 線領域で高いエネルギー分解能をもつ TES (Transition-Edge sensor) 型マイクロカロリメータを用いて、産業技術総合研究所の核融合プラズマ装置— 逆磁場ピンチプラズマ装置 (TPE-RX) がプラズマ生成時に発する軟 X 線の測定を行なった。これは軟 X 線 (0.5-8.0keV) のスペクトルを高いエネルギー分解能で得ることにより、不純物の同定や電子温度を決定して TPE-RX のプラズマ状態を調べると同時に、次期 X 線天文衛星搭載を目指した TES 型マイクロカロリメータの実証試験となっており、天体物理と核融合プラズマ物理の共同実験である。TPE-RX は大半径 1.72m、小半径 0.45m の、ドーナツ型真空槽をもった逆磁場ピンチ方式のプラズマ閉じ込め装置で、世界 3 大 RFP (Reversed Field Pinch) の 1 つである。生成されるプラズマは電子/イオン温度 1.0/0.5keV で、電子密度は $5 \times 10^{19}\text{m}^{-3}$ 、プラズマ持続時間はフラットトップで約 50ms である。また TES 型マイクロカロリメータは素子に X 線が入射した際のわずかな温度変化をとらえる検出器で、超伝導体の遷移部分を用いることで高いエネルギー分解能が期待される。この検出器は低ノイズ実現のために 100mK 以下という極低温環境が必要であり、本実験では他研究機関に移動、接続可能な断熱消磁冷凍機を使用した。今回行なった共同試験ではプラズマ生成を計 367 ショット行ない、信号取得は 345 ショット、特にこのうち約 200 ショットは FWHM 20eV 程度のエネルギー分解能で測定でき、目標としていた 0.5-1keV 領域の X 線を約 1800counts 検出した。offset 補正前のスペクトルでは 550eV にある入射窓の oxygen edge がはっきりと見え、1keV 付近には多数の Fe、Cr の L 殻と思われる輝線をとらえている。

ポスターでは本実験のセットアップ、実験方法、取得したスペクトル解析結果の精細を述べる。

P15

全天 X 線監視装置 (MAXI) の地上データ処理システムの開発

小浜光洋 (理研)

全天 X 線監視装置 (MAXI) は、国際宇宙ステーション (ISS) の日本モジュール (JEM) の曝露部に搭載が決まっており、現在開発が進められている。各検出器で捉えた X 線天体の情報は、搭載したデータプロセッサ (DP) で処理され、JEM、ISS を経由して地上にデータテレメトリとして降ろされる。データテレメトリは JAXA 内のデータベース (Operations Control System) に蓄えられ、そこからミッションチームに配布される。MAXI チームは受け取ったデータを即時解析して、突発天体等の情報を全世界にいち早く速報すると同時に、理化学研究所を通して観測されたデータを速やかに一般に公開する事を予定している。

MAXI のデータは検出器が ISS と共に動くため、観測された光子一つ一つの位置と時間情報がリレーショナルキーとなりデータベースはおおよそ、レコード数 ~ 100Giga、データ項目数 ~ 2000、データ容量 1~2 テラバイトまで達すると見込まれ、国内の天文データベースでは最大級のものである。

現在我々は OCS から取得したデータの一次処理をリアルタイムで行うデータベースシステムを開発している。昨年度までにプロトタイプが完成し、評価試験をおこなった。今年度はより実状に合わせた詳細実装を行なっている。現状の報告と解析、データ公開システムまで含めた今後の予定を踏まえて発表する。

P16

高エネルギー天体からの偏光 X 線検出器 PoGO の開発

有元 誠 (東工大)

X 線天文学は測光、分光、撮像の 3 つを柱として大きな成果を上げてきたが、偏光観測についてはほとんど手がついていない。10 keV 以下の X 線領域では僅かに一例、30 年前にカニ星雲からの偏光が観測されたが、硬 X 線での偏光検出例は皆無である。偏光は上記 3 つとは全く独立した観測の次元を提供し、例えばパルサー天体での加速機構やブラックホール周辺の降着円盤の構造、さらにはガンマ線バーストに伴うジェット生成機構を解明する鍵を担っている。

近年、実験室レベルでの技術やアイデアは蓄積されてきたが、実際の衛星観測は敷居が高く、未だ実現していない。気球実験は衛星に比べて開発期間も短く、科学への迅速なフィードバックが可能である。我々は 2007-2008 年の気球による観測を目指し、天体硬 X 線偏光検出器 PoGO (Polarized Gamma-ray Observer) の開発を進めている。コンプトン散乱の異方性を利用して偏光を測定する装置で、大きな有効面積と、低バックグラウンド化による高感度観測が特徴である。

今回は、PoGO プロジェクトの概要を述べ、現段階での検出器の開発状況および性能評価について報告する。特に検出器からの微弱な信号読み出しに用いられる PMT (光電子増倍管) のデザインと、シンチレータの特性試験について述べる。PMT については気球高度で問題となる荷電粒子への対処方法、ゲインの線形性や量子効率の向上等について触れる。また、PoGO の要素となる 2 種類のプラスチックシンチレータの特性・応答についてまとめ、バックグラウンド低減用の BGO シンチレータと組み合わせた場合の性能評価についても述べる。

アバランシェフォトダイオードを用いた撮像検出器の開発

斉藤孝男（東工大）

アバランシェフォトダイオード (APD) は Si 製半導体検出器の一つで、内部に電荷増幅機能を持つ光検出器である。コンパクトで低電力、高い量子効率を示すとともに、増幅機能により微弱な信号の読みだしに優れているなど、光電子増倍管 (PMT) とフォトダイオードの両方の特徴を兼ね備えている。

我々はこの APD を用いて 2 次元撮像カメラの開発を行っている。APD とシンチレータを組み合わせると各 APD からの信号値を比較すると、X 線の入射位置に近い APD からは大きな値が、逆に遠い APD からは小さな値が出力される。この信号値の加重平均から入射位置を求めることができる。この手法はアンガーカメラ、またはガンマ線カメラと呼ばれ、PMT の代わりに APD を用いることで装置の小型化と位置分解能の向上が期待できる。将来的には、大学規模で開発する小型衛星への搭載を考えている。本講演では、APD を用いた 4ch および 5ch の撮像カメラの開発と、偏光イメージング検出器への応用を述べる。

撮像性能をさらに向上するため、32 ch の APD2 次元 array と、その読みだし回路系の開発を行った。講演では各素子におけるゲインの一様性や容量特性、クロストークについて報告する。さらに、大型の CsI シンチレータと組み合わせ得られるエネルギースペクトルや、撮像素子として利用した場合の画像分解能についても評価を行う。