

プログラム

11月25日(月)

13:00-13:10	OPENING REMARK	牧島 一夫 (東京大・理研)		
13:10-14:40	Session 1: 地上実験と加速理論			
	宇宙物理における粒子加速入門	高原 文郎 (大阪大)	(25+5)	p.4
	超高強度レーザーによる相対論的プラズマの研究の現状	高部 英明 (大阪大)	(25+5)	p.4
	Tabletop astrophysics: ボース凝縮体の崩壊のダイナミクス	上田 正仁 (東工大)	(25+5)	p.5
14:55-16:05	Session 2: 太陽系における加速			
	太陽と惑星間空間の加速	寺沢 敏夫 (東京大)	(25+5)	p.6
	「ようこう」衛星ガンマ線スペクトル計 GRS と硬 X 線望遠鏡	古徳 純一 (東京大)	(15+5)	p.6
	HXT を用いた、太陽フレア 98 年 8 月 18 日 X4.9 に伴う粒子加速の検証			
	太陽風による粒子加速	宮坂浩正 (理研)	(15+5)	p.7
16:20-17:50	Session 3: 系内ジェット天体			
	系内ジェット天体の物理	上田 佳宏 (宇宙研)	(25+5)	p.8
	GeV ガンマ線で検出されたマイクロクエーサー LS5039 の放射機構	山岡 和貴 (理研)	(15+5)	p.8
	ジェットの根っこ	根来 均 (理研)	(15+5)	p.9
	Evidence for the Jet Collimation in SS 433 using the Chandra HETGS	並木 雅章 (理研)	(15+5)	p.9
18:00-18:30	高宇連総会			
19:00-21:00	懇親会			

11月26日(火)

10:00-12:00	Session 4: パルサー・超新星残骸における加速			
	パルサー磁気圏、パルサー風、パルサー星雲における粒子加速	柴田 晋平 (山形大)	(25+5)	p.10
	超新星残骸における電子と陽子の加速	吉田 龍生 (茨城大)	(25+5)	p.10
	ASCA による超新星残骸の熱エネルギー量の推定とその応用	江ノ口 英之 (大阪大)	(15+5)	p.11
	Chandra による SN1006 衝撃波面の詳細観測	馬場 彩 (京大)	(15+5)	p.11
	X 線放射で探る超新星残骸での衝撃波加速	内山 泰伸 (宇宙研)	(15+5)	p.12
12:00-12:45	休み			
12:45-14:00	POSTER SESSION			p.17~
14:00-16:00	Session 5: 系外天体における加速			
	活動銀河核ジェットの加速	亀野 誠二 (国立天文台)	(25+5)	p.13
	X-ray Probing into Energetics in Lobes of Radio Galaxies	磯部 直樹 (NASDA)	(15+5)	p.13
	ガンマ線バースト天体における粒子加速	加藤 恒彦 (国立天文台)	(25+5)	p.14
	ガンマ線バーストにおける加速現象	玉川 徹 (理研)	(15+5)	p.14
	Hypervnova に於ける Jet 状爆発と元素合成	長滝 重博 (東京大)	(15+5)	p.15
16:15-17:15	Session 6: 高エネルギー宇宙線			
	宇宙線観測による電子、陽子、原子核成分の加速、伝播機構	鳥居 祥二 (神奈川大)	(25+5)	p.16
	最高エネルギー宇宙線	手嶋 政廣 (宇宙線研)	(25+5)	p.16
17:15-17:25	CLOSING REMARK	河合 誠之 (東工大)		

ポスター発表 (11月26日 12:45-14:00)

強磁場の白色矮星における粒子加速の可能性	寺田 幸功 (理研)	p.17
ミリ秒パルサーの X 線放射特性	桜井 郁也 (理研)	p.17
特異な X 線パルサー 1E 1841-045 の観測	森井 幹雄 (東工大)	p.18
HETE-2 衛星による軟ガンマ線リピータの観測	鳥居 研一 (理研)	p.18
The Dark Matter Distribution of Isolated X-ray Overluminous Giant Elliptical Galaxies	吉岡 努 (名古屋大)	p.19
ASCA で観測された銀河団 2A 0335+096 の非一様な重元素分布	田中 武 (名古屋大)	p.19
Analysis of temperature and abundance distributions in Abell 3571: an ongoing subcluster merger?	Murat Hudaverdi (名古屋大)	p.20
XMM-Newton による電波銀河 Centaurus B の観測	田代 信 (埼玉大)	p.20
宇宙 X 線天文衛星 Chandra による電波銀河 3C452、Pictor A の観測	森 正統 (埼玉大)	p.21
天体から期待されるニュートリノ	小浜 光洋 (理研)	p.21
Design Study for Super Baikal Detector with 1km ³	岬 暁夫 (埼玉大)	p.22
スーパーカミオカンデにおけるニュートリノ識別の信憑性を巡って — 計算機実験からの考察 —	岬 暁夫 (埼玉大)	p.22
多層膜スーパーミラーを用いた X 線結像光学系の開発	内藤聖貴 (名古屋大)	p.23
硬 X 線用位置検出型 NaI シンチレーション検出器の性能評価	浜田憲幸 (名古屋大)	p.23
気球搭載硬 X 線望遠鏡の開発	竹内 敏 (名古屋大)	p.24
気球による硬 X 線撮像観測計画とゴンドラの開発	箕輪祐馬 (名古屋大)	p.24
全天 X 線監視装置 MAXI	三原建弘 (理研)	p.25
細い芯線を用いたガス比例計数管の高分解能化	中島基樹 (日大理工/理研)	p.25
次期 X 線天文衛星 NeXT 搭載硬 X 線望遠鏡と硬 X 線撮像観測	古澤彰浩 (名古屋大)	p.26

講演概要集

宇宙物理における粒子加速入門

高原 文郎 (大阪大)

超高強度レーザーによる相対論的プラズマの研究の現状

高部 英明 (阪大レーザー研・理学研究科)

超高強度レーザーを用いることにより、数十 MeV のエネルギーを持った相対論的な高エネルギー電子を効率よく発生させることが出来るようになった。そのような電子の加速のメカニズムについて理論、実験を比較しながら紹介する。また、電子のエネルギー密度は加速器などでは実現できないほど高密度であり、それが運ぶ電流密度も 10^{12}A/cm^2 と極めて高い。この様な相対論的でエネルギー密度の高い電子が物質中を伝搬する際に起こる磁場の発生やその非線形発展、構造形成などの話題を紹介する。現在、ガンマ線バーストに関連して、極めて短い時間に磁場がどのように発生するか議論されている。電子・陽電子の系でのワイベール不安定による磁場発生と関連して議論する。最後に、この様な電子が物質中を伝搬する際の電子・陽電子対生成の話題を紹介し、実験と理論を比較して見えてくるプラズマ効果を議論する。

以下のような連続講座を刊行しています。参照して下さい。

高部英明編集、講座「相対論的プラズマ物理学」、プラズマ・核融合学会、78,(2002);
pp. 335-346, pp. 419-438, pp. 568-581, pp. 668-684 (全8章)

Tabletop astrophysics: ボース凝縮体の崩壊のダイナミクス

上田 正仁 (東京工業大学大学院理工学研究科物性物理学専攻)

レーザー冷却されたボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) は、原子間相互作用の強さを含む系を記述するパラメーターのほとんどすべてを非常に高い精度で変調できるという驚くべき自由度・柔軟性を持っている。その結果、これまでは純粋にアカデミックな興味の対象にとどまっていた多くの興味深い「思考実験」が検証可能となっている。特に、引力相互作用をする BEC は、空間的な閉じ込めに由来する量子力学的な零点圧力が引力相互作用とバランスしてできた準安定な BEC であり、新しい物質相として注目される。

最近成功した実験の中で、最も特筆すべきものは、JILA による相互作用のスイッチによる BEC 崩壊の実験であろう。これは Feshbach 共鳴という現象を利用して原子間相互作用の強さや符号を制御することにより行われた。Feshbach 共鳴は共鳴散乱の一種で、原子同士が衝突した際に一時的に束縛状態が形成されることにより、原子間の実効的な相互作用が変調される現象である。Feshbach 共鳴近傍で印加する磁場の強さを変えることにより、相互作用の強さや符号を制御することができる。JILA のグループはまず原子間相互作用を斥力にして BEC を生成し、その後引力に変化させて BEC を崩壊させるという実験を行なっている。

以上の方法を用いて引力 BEC の崩壊に関していくつかの実験がなされている。一つは、臨界原子数よりもはるかに大きな BEC を崩壊させるという実験である。その結果、崩壊後に数十パーセントの BEC が残ることが確かめられた。失われた原子は、BEC から周囲に放出されるバーストとして観測されるか、あるいは非弾性散乱によってトラップから飛び去り観測にかからない。また、ジェットと呼ばれる非常に志向性の高い原子雲が BEC から放出されるようすも観測されている。また、これらの実験結果から BEC の崩壊が一度に起こるのではなく、時間をおいて間歇的に起こっていることが推定される。

BEC の崩壊現象の実験は、真空チェンバー中の数ミクロン程度の微小領域でなされるものであるが、そこで観測される現象は宇宙で観測される現象と奇妙に類似性がある。講演では、BEC 崩壊のダイナミクスに関する最近の研究のレビューを行う。

太陽と惑星間空間の加速

寺沢 敏夫 (東京大)

「ようこう」衛星ガンマ線スペクトル計GRSと硬X線望遠鏡HXTを用いた、太陽フレア98年8月18日X4.9に伴う粒子加速の検証

古徳 純一 (東大理)

大規模な太陽フレアではごく稀に、数 MeV から数十 MeV 以上まで伸びる連続線が放射される。これほどの高エネルギーの粒子が、磁場リコネクションの現場で直接作られるのか、リコネクションで作られたプラズマの流れが途中で衝撃波転移をおこし、そこで粒子が加速されるのか、長い間の謎であった。最近の我々の解析により、磁気ループの頂上付近で、粒子が数十 MeV 以上まで衝撃加速されたことを示唆するフレアが見つかった。

太陽観測衛星「ようこう」は、線検出器 (GRS) と硬 X 線望遠鏡 (HXT) を搭載している。GRS はイメージング能力を持たないが、我々は、GRS の線データに HXT の硬 X 線画像データを組み合わせて、線放射時に、硬 X 線の画像でどの領域が明るくなっているかを調べることで、線の放射領域を調べ、その放射メカニズムに迫ろうとした。

特に X 線と線強度の時間変動が大きく異なる太陽フレア (98 年 8 月 18 日 X4.9) に注目し、硬 X 線画像から領域ごとの明るさの時間変動を求めたところ、磁気ループの頂上付近の時間変動が、線の鋭いピークをもっとも良く反映しており、相関関数を用いた解析結果も、この推論を支持した。このように我々は、ループの足元からの放射に加え、磁気ループの頂上付近からの線放射を示唆する結果を得た。

この結果は、次のように解釈できる。磁場のリコネクションで、下方に加速されたプラズマの流れが磁気ループにぶつかり、衝撃波面を形成する。プラズマ中の粒子はショック加速され、きわめて高いエネルギーに達する。この高エネルギー粒子が、ループの足元からせりあがってきた熱的プラズマを貫く際に制動放射し、硬 X 線から線までを放射する (Matsumoto et al. PASJ submitted)。

太陽風による粒子加速

宮坂 浩正 (理化学研究所 宇宙放射線研究室)

電子や陽子を加速する高エネルギー天体現象は、これまでの多くの研究によって、宇宙空間のいたるところに存在していることが明らかにされてきた。その中の一つとして数えられる太陽フレアは、そういった意味で最も身近な高エネルギー粒子加速現象という事が出来る。しかしながら、太陽圏内について詳しくみれば、必ずしもこういった局所的でかつ太陽のごく近傍での現象だけではなく、さまざまな場所で太陽活動に伴う粒子加速現象が存在していることが明らかとなってきた。

例えば、1 AU以下の太陽に近いところではコロナ質量放出 (CME; coronal mass ejection) によって惑星間空間に放出されたプラズマ雲が太陽風と衝突し、ショック領域を形成し、粒子が加速されている。さらに太陽から数 AUの距離のところでは、遅い太陽風に早い太陽風が衝突することによって共回転相互作用領域 (CIR; corotating interaction region) と呼ばれるショック領域が形成され、粒子が加速されている。さらに100 AU付近にあると考えられている太陽圏終端領域 (termination shock) でも、太陽風と太陽系外の圧力バランスによってショック領域が形成されて、同様に粒子加速が行われていると考えられている。いずれの場合においても、太陽風によってショックが形成されているという点で似通っており、粒子加速過程は基本的には同じであると考えられるが、加速領域が形成されているタイムスケールや加速粒子のソースとなる星間物質などが異なっている。本講演では、ここで挙げたような太陽圏内での様々な粒子加速のメカニズムを紹介し、さらに2000年7月14日の太陽フレア (CME) などを含め最近の具体的な観測例を元に、電子および陽子の加速について考察する。

系内ジェット天体の物理

上田 佳宏 (宇宙研)

GeV ガンマ線で検出されたマイクロクエーサー LS5039 の放射機構

山岡 和貴 (理化学研究所)

LS5039 は新たに発見された銀河系内ジェット天体 (マイクロクエーサーと呼ばれる) である。もとは OB 星として知られていたが、X 線天文衛星「ROSAT」の全天サーベイにより X 線に対応天体 RX J1826.2-1450 が発見され、1999 年 5 月に VLB I による電波観測で双方向にジェットが噴出されているのが明らかになった。さらに興味深いことに、ガンマ線天文衛星「CGRO」の EGRET 検出器で検出された、GeV ガンマ線天体 (3EG1824-1514) の誤差円の中にある最も明るい X 線源であった。このように GeV ガンマ線で検出されるマイクロクエーサーはたった 2 例 (もう一つは LSI61 °+303) しかない。しかし、この天体はこれまで詳細な X 線観測が行われたことはなく、中心天体が中性子星かブラックホールでさえ決着がついていなかった。

今回、我々はその X 線発生機構、中心天体の正体に迫るべく、X 線天文衛星のアーカイブデータから、ASCA(1999 年 10 月)、RXTE(1998 年 2 月)、Beppo-SAX (2000 年 10 月) による観測を抽出し、X 線における性質を調べた。その結果、いずれもエネルギースペクトルは光子指数 ~ 1.6 の巾関数で表せること、輝線は見られないこと、数年間、X 線強度はほぼ一定であることが明らかになった。また、時間変動からはいずれもコヒーレントなパルスは検出されなかった。さらに、過去の観測から得られた多波長 (電波、X 線、GeV ガンマ線) エネルギースペクトルはほぼ一直線上に並び、同一起源であることを示唆する。以上の観測事実から、この天体は何らかの理由により、降着円盤からの熱的放射よりも、定常的なジェットからの非熱的放射 (シンクロトロン放射) が卓越している系だと考えられる。本講演では詳細な解析から LS5039 からのジェットの物理パラメータを決定し、他のマイクロクエーサー、活動銀河核などと比較し、議論する。

ジェットの根っこ

根来 均 (理化学研究所)

近年の電波観測により、ブラックホール候補天体のハードステートにおいても小さな(弱い)ジェットが出ている事が分かってきた。Kanbach らは、XTE J1118+480 の可視とX線の同時観測から、そのようなジェットがX線のショットに遅れて出ている事を発見した。その結果とこれまでの私の BHC でのショットの解析の結果をあわせると、ジェットは、降着円盤で密度揺らぎが生じた領域がブラックホールの最内縁付近を通過するやいなや発生している可能性が極めて高くなる。

この場合、ジェットの発生原因としては、最近、町田らが3次元 MHD シミュレーションで示したような最内縁近傍で磁場の再結合、遷音速流によるショック、そして、エルゴ領域でのエネルギーの引き抜きなどが考えられる。

Evidence for the Jet Collimation in SS 433 using the Chandra HETGS

並木 雅章 (理化学研究所 宇宙放射線研究室)

SS 433 は相対論的高エネルギー・ジェットを正反対方向に光速の 26% で射出する軌道周期 13.1 日の近接連星系である。ジェットの加速や歳差機構、中心星が中性子星かブラック・ホールかなど、基本的な物理は未だ解明されていない。SS 433 のスペクトルからは、ドップラー偏移した様々な高階電離した元素からの特性 X 線輝線の対が検出されており、現在知られている唯一のバリオンを射出している証拠を持つジェット天体である。これまで、主に X 線天文衛星『あすか』を用いて、このジェット物質の定量的なプラズマ診断を行ない、ジェットの運動エネルギー流量は中性子星のエディントン光度の約 100 倍に相当する凄まじい値であること等を明らかにしてきた。2001 年 5 月、この SS 433 を米国 Chandra 衛星を用いて観測を行なった。データ取得に用いた High Energy Transmission Grating Spectrometer はエネルギー分解能に優れており (~ 30 eV at 6 keV)、SS 433 から放射される様々な元素からの“動く”輝線を分離・同定する事に対して非常に適した検出器であると言える。この優れた能力により、検出・同定された各元素からの輝線は有意な“幅”を持っていることが明らかになった。それらの幅は、Si K α 付近で ~ 800 km/s Fe K α 付近では ~ 2000 km/s の velocity dispersion に対応し、高エネルギー側の方が有意に大きな値を持つ事が判明した。この幅の起源として、ジェット物質の熱運動によるもの、コンプトン散乱によるもの等の可能性は棄却され、円錐状に広がるジェットの開き角度が見えている可能性が挙げられる。その値は、Fe K α 付近で 2.1 度、Si K α 付近で 0.8 度と求める事ができ、Fe K α 等を出す高温の根本の付近ではまだジェットの収束が完全に終わっておらず、ジェットが進むに連れ、その収束が強まる様子を示していると解釈できる。この結果から、系のサイズ・スケールを考慮した場合、降着円盤によるものよりも、磁場によってジェットの収束がなされているとした方がふさわしい考えであると言える。

パルサー磁気圏、パルサー風、パルサー星雲における粒子加速

柴田 晋平 (山形大学)

パルサー磁気圏に於ける粒子加速機構の理論のゆきづまりについて、粒子シミュレーションの結果も参考にレビューします。また、Chandra の最新の観測結果から導かれるパルサー星雲の描像はこれまでのものとなることを示し、新しいパルサー星雲の構造とパルサー風のパラメータについて新しい提案をします。

超新星残骸における電子と陽子の加速

吉田 龍生 (茨城大)

本講演では、電波・X線・ガンマ線にわたる超新星残骸 (SNR) の非熱的輻射の最近の観測結果が、SNR における電子と陽子の加速のメカニズムについて、どのような制限を付けているのかを議論したい。

X線天文衛星 ASCA による SN1006 のシェルからの非熱的な X 線輻射の検出と、解像型チェレンコフ CANGAROO 望遠鏡による北東のシェルから TeV ガンマ線の検出は、SNR における粒子加速に関する研究の突破口となった。電波から X 線領域にかけてシンクロトロン輻射をしている高エネルギー電子が、宇宙背景輻射 (CMB) を叩き上げ、逆コンプトン散乱による TeV ガンマ線を作り出しているという輻射モデルが、多波長にわたるスペクトルを説明する。

現在では、ASCA や Chandra により、他のシェル型の SNR においても、非熱的な X 線輻射が発見されている。その中でも、RX J1713.7-3946(G347.3-0.5) は、SN1006 より 3 倍近く非熱的な X 線輻射が強い SNR で、CANGAROO による観測により、やはり TeV ガンマ線が検出された。しかしながら、多波長にわたるスペクトルを SN1006 と同様に電子からの輻射で説明することは困難であることから、TeV ガンマ線は、陽子起源のものと考えられている。

講演では、主にこの二つの SNR について比較し、今後、電子と陽子の加速という観点から、どのような SNR の観測が必要かを議論する予定である。

ASCA による超新星残骸の熱エネルギー量の推定とその応用

江ノ口 英之 (大阪大学大学院理学研究科)

我々は ASCA GIS による超新星残骸の観測結果をすべて調べた。その中で今回、熱的放射を示す超新星残骸について調べるため、次の条件をみだすものを選び出した。1) 光学的に薄い高温プラズマからの熱放射をしている；2) 内部に明るい点源が存在していない；3) X 線放射領域全体を覆う観測が行われている；4) GIS でその大きさが有意に測れる。これらの条件より 19 個の超新星残骸を選び出した。

それらの超新星残骸のうち、距離が比較的良好に判っている 14 個の超新星残骸について、物理量の推定を行った。その結果、超新星残骸の中心部の圧力 P_x と直径 D_x について良い相関が得られ、 $P_x \sim D_x^{3.17}$ という関係で表された。また、熱エネルギー量はどの超新星残骸でもほぼ 10^{50} erg で一定であった。

この関係より、観測量のみで直径 D_x が求まり、距離 d が推定できることとなる。これは電波観測における Σ -D relation と似た手法である。また、X 線観測では距離の推定法として、星間吸収量 N_H と距離との比例関係を用いる方法が知られている。今回選んだ超新星残骸に対して、その関係も調べ、それぞれの手法での距離の決定精度の比較を行った。

Chandra による SN1006 衝撃波面の詳細観測

馬場 彩, 山崎 了, 植野 優, 小山 勝二 (京都大学)

100 TeV にも達する超高エネルギー宇宙線はその発見以来、加速機構を最大の焦点とした研究が続けられている。この問題に突破口を与えたのが ASCA による超新星残骸 SN1006 からのシンクロトロン X 線放射の発見であり、衝撃波面で電子が 100 TeV 近くまで加速されていることが明らかになった。しかし、ASCA の空間分解能不足から衝撃波前後の詳細構造については全く明らかになっておらず、理論構築の面からも高空間分解観測が待たれていた。今回我々は Chandra による SN1006 の観測から、衝撃波面での熱的プラズマ電子と加速された超高エネルギー電子が全く違う空間分布を見せることを発見した。熱的プラズマは約 1 pc の幅を持つ。これはセドフ解から予測される shell の厚みと一致する。一方加速された電子は衝撃波上流では 0.04 pc、下流では 0.2 pc の幅を持つ。これらの幅の狭さを説明するためには、衝撃波法線に垂直な磁場中の拡散による粒子加速、または全く新しい粒子の加速機構を考える必要がある。

X線放射で探る超新星残骸での衝撃波加速

内山 泰伸 (宇宙研)

超新星残骸からの非熱的 X 線放射の観測は、電子や陽子の衝撃波加速を研究する上で非常に有効である。

(1) シンクロトロン X 線放射によって、最高エネルギーである TeV 領域の電子のエネルギー分布や空間分布を探ることができる。そして最近、衝撃波加速に関する重大な情報が得られつつある。われわれは、チャンドラ衛星により RX J1713.7-3946 のシェルからのシンクロトロン放射に見い出された微細構造 (フィラメントやホットスポット) を詳細に解析した。このような微細な空間構造 (SN 1006 や RCW 86 などでも見られる) は、衝撃波統計加速の標準的理論の枠組みでは予想されない。そしてシンクロトロン X 線放射のカットオフエネルギーは 5 keV 以上にも達しており、速い加速タイムスケールが要求される。これらの観測結果は標準的パラダイムを大きく転換する必要性を示唆しているかもしれない。また最近 CANGAROO グループによって、RX J1713.7-3946 で検出された TeV ガンマ線が、中性パイ中間子の崩壊によるものだと発表された。ガンマ線が逆コンプトン放射では説明できないことに立脚しているが、われわれによるシンクロトロン放射の微細構造を含めたモデル化によってもそれは支持された。

(2) 非熱的 X 線制動放射を通して、MeV エネルギー領域の被加速電子・陽子を探索することができる。これまで超新星残骸の衝撃波ではこれらはほとんど未知な成分であった。低エネルギーとはいえ被加速粒子の全エネルギーを支配している可能性があり、また陽子加速に迫ることができる点で重要である。実際にわれわれは RX J1713.7-3946 と相互作用していると思われる分子雲の方向から非常にハードな (光子指数 1) 広がった X 線放射を発見した。イオン化損失を受けた被加速電子・陽子からの制動放射で予想される特徴的な $1/E$ 放射と一致しており、新しい研究手段の実証と考えている。

活動銀河核ジェットの加速

亀野 誠二 (国立天文台 VSOP 室)

活動銀河核から放出されるジェットは >5 倍の相対論的な速度を示すものがあり、大規模な加速器が存在していることを示す。VSOP や VLBA などによる高空間分解能観測はジェットの運動を追跡するのに最適であり、加速機構を調べる手がかりとなる。本講演ではジェットについて観測的に明らかになった事実をレビューして、ジェットの生成・加速・絞り込みの仕組みについて検討する材料を提供する。具体的には、近年の VLBA や VSOP 観測で明らかになった以下の事実について紹介する。

- ジェットの組成が電子・陽電子のペアプラズマであることの証拠
- 中心核から 1 pc 以内では亜光速なのに遠方では超光速のジェット
- 中心核近傍 1 pc に存在するプラズマトーラス...ノズルの働きをするか？
- ジェット根元の方向が数 10 年程度の周期で変化する現象...歳差運動？
- ジェット内部のトロイダル磁場の検出...

X-ray Probing into Energetics in Lobes of Radio Galaxies

磯部 直樹 (宇宙開発事業団)

電波銀河とは、ジェットと呼ばれる細く絞られた超高速のプラズマ流を噴出する活動銀河核の一種であり、宇宙の巨大な加速器といえるだろう。ジェットの終端に 100kpc にも及ぶスケールで広大に広がっているのが「ローブ」と呼ばれるシンクロトロン電波源であり、ジェットによって運搬されてきた大量の粒子と磁場が存在している。これら粒子や磁場のエネルギーを正確に測定すれば、ジェットの形成や進化、ジェットにおける加速を探る上で重要な情報となる。

ローブの電子は、シンクロトロン電波を放出するとともに、ソフトな光子を逆コンプトン (IC) 散乱することで X 線を放出する。この時、ローブのような広大な領域では、宇宙マイクロ波背景放射がもっとも重要なソフト光子源となる。従って、一つのローブから電波と IC X 線が検出できれば、それらの強度を比較することで、電子と磁場のエネルギー密度を独立に求めることができる。このように IC X 線の観測は非常に有効なローブの「プローブ」だが、強度は弱いため最近まで検出が困難であった。

我々は「あすか」衛星によって、電波銀河 Fornax A のローブから世界で初めて IC X 線の検出 (Kaneda et al. 1995 ApJL) して以来、「あすか」、Chandra, Newton などの衛星を駆使し、10 個程度のローブから IC X 線をとらえ、世界をリードしてきた。その結果、ローブでは主に以下の 3 つの事柄が成立しているということを明らかにした。(1) 電子のエネルギー密度は磁場のエネルギー密度を 10 倍ほど凌いでいる。(2) ローブ中の電子の全エネルギーは活動中心核の X 線光度によく比例しているが、磁場の全エネルギーはほぼ一定である。結果として、中心核が活発な電波銀河のローブほど電子の優位度が増す。(3) 電子はローブ中をほぼ一様なエネルギー密度で満たしているのに対して、磁場はローブの周辺に向かって強まっている。これらは、ジェットやローブの形成、進化に関連する非常に重要な結果である。

ガンマ線バースト天体における粒子加速

加藤 恒彦 (国立天文台)

ガンマ線バーストにおける加速現象 － HETE-2 による観測結果報告 －

玉川 徹 (理化学研究所)

HETE-2 は世界初のガンマ線バースト探査専用の小型衛星である。広い視野でガンマ線バーストを監視し、バースト発生とともにその位置を精密に自動決定し、その結果を発生後数 10 秒程度で速報するという 3 つの機能を兼ね備えている。またガンマ線バーストのエネルギースペクトルを、0.5-400keV という広いバンドで測定できる特徴を持っている。HETE-2 はこれまで 30 個近くのガンマ線バーストの位置速報をおこなってきた。そのうち約 40% は、ガンマ線領域よりむしろ X 線領域に主に放射が見られ、X-ray rich GRB あるいは X-ray flash (XRF) と呼ばれている現象であることがわかってきた。我々は HETE-2 のスペクトル解析から、X-ray rich GRB は典型的なガンマ線バーストの一種であるが、爆発時に十分な加速を受けなかったものなのではないかと考えている。また、HETE-2 の速報により、地上観測などで、ガンマ線バースト発生直後からの密な可視光光度曲線やスペクトルが得られており、ガンマ線バースト周りの環境などが徐々にわかり始めている。HETE-2 の結果を中心に、ガンマ線バーストにおける加速現象やその周りの環境について議論したいと考えている。

Hypernova に於ける Jet 状爆発と元素合成

長滝 重博 (東大理 物理)

We perform 2-dimensional relativistic hydrodynamical simulations in the context of collapsar model. Calculations of explosive nucleosynthesis are also performed. We investigate the influence of the structure of the progenitor and energy deposition rate on the resulting explosive nucleosynthesis. We show the resulting amount of ^{56}Ni is very sensitive to the energy deposition rate. Thus we conclude it quite natural not to detect an underlying SN in some X-ray afterglows such as the case of GRB 010921. Our results suggest that the type I collapsar model in which the energy deposition rate is relatively low (dE/dt is about $1\text{E}+51$ erg/s) has difficulty in reproducing the observed amount of ^{56}Ni in a hypernova such as SN 1998bw. This means that the mechanism of the central engine of a hypernova accompanied with a GRB is constrained by the discussion of explosive nucleosynthesis. We point out the possibility that the relative abundance of light heavy elements such as Si and S in the X-ray afterglow of GRB 011211 can be naturally explained if the energy deposition rate at the central engine is relatively long, because little amount of ^{56}Ni should be synthesized under such an environment. We also conclude that there should be correlation between the line features in the X-ray afterglow and duration of the GRB. It should be noted that the duration of GRB 011211 is 270 seconds, making it the longest burst yet observed by Beppo-SAX, which supports our conclusion.

宇宙線観測による電子、陽子、原子核成分の加速、伝播機構

鳥居 祥二 (神奈川大)

これまで飛翔体を用いて行われてきた数 GeV から TeV 領域における銀河内宇宙線の観測データをもとに、各成分の加速機構、伝播機構のレビューを行う。特に最近、電子成分とハドロン成分の観測データを統一的に理解する計算が行われているが、これらによって得られている両者の加速機構の解釈について検討する。さらに、2 次成分としての反粒子観測や、今後予定されている宇宙線の観測計画についても紹介する。

最高エネルギー宇宙線

手嶋 政廣 (東大宇宙線研)

強磁場の白色矮星における粒子加速の可能性

寺田 幸功 (理化学研究所、宇宙放射線研究室)

長い間、強い磁場をもつ中性子星は、粒子加速の典型的な現場として認識されてきたが、いまだにその加速メカニズムの詳細は決着がつかない状態と言えよう。Polar Cap モデルや Outer Gap モデルがずいぶん前に提唱されたにもかかわらず、観測的なクリアな結果を得るのはなかなか難しい。いかにしてこの膠着した状況を抜け出せば良いのであろうか? Hillas ダイアグラムを見ると分かるように、オーロラ、太陽フレアから Crab 型の超新星残骸、ブレーザのジェットに至るまで、加速された粒子の最大到達エネルギーは、系の磁場 B 、系の大きさ L 、回転速度 v の三者をかけあわせた量でよく表されている。しかし、強磁場コンパクト天体での加速の機構を明らかにする上で、中性子星だけでは v しか広くサンプルできない。ようやくミリ秒パルサーの研究で B が異なる例が手に入ったものの、より飛躍的に観測をすすめるためには、中性子星の系と幾何学的に酷似しつつ、 L, B, v が桁違いに異なる系として、白色矮星を観測することが有効となるのではないかと、考えている。典型的に $10^5 \sim 10^7$ G もの磁場を持つ白色矮星では、TeV を越える加速が期待できる。実際に、白色矮星の連星 (激変星) の一つである AE Aqr から TeV 電子によるシンクロトロン電波が検出され、チェレンコフ望遠鏡で同じく激変星の AM Her から TeV 線が検出された報告例がある。ただし、以上の例を除いて高エネルギー粒子の加速源として白色矮星に注目した観測例はほとんどなく、「単独の白色矮星」に至っては、 10^9 G にもおよぶ磁場をもち、数十分で一周するほどの超高速な回転をする白色矮星が多いにもかかわらず、高エネルギーでの観測がほとんどない。これは、感度の不足という現実的な理由に加え、強磁場白色矮星が粒子加速の源になるという発想そのものが、ほとんど欠落していたという理由が大きいのではないだろうか? 今回の発表では、微弱ながらも近くて数が多い「静かな加速源」としての白色矮星について議論し、ASTRO-E II 衛星 HXD や、INTEGRAL 衛星 (AO-1 観測) を用いた観測計画について発表する予定である。

ミリ秒パルサーの X 線放射特性

桜井 郁也 (理化学研究所)

パルサーからのパルス放射を考える時、放射を起こすための粒子加速がどこで、どのように起きているかという問題が常に付きまわって来る。中性子星の磁気圏は強い磁場が存在するため、磁力線に沿って誘起される電場を遮蔽するように荷電粒子が配置しているが、磁極付近 (ポラーキャップ) や光円柱に近い外側 (アウターギャップ) 領域においては磁力線に沿った電場が遮蔽されない領域が存在すると考えられており、これらの磁気圏では強い電場で荷電粒子が加速され、電子陽電子対生成が生じ、シンクロトロン放射、曲率放射、逆コンプトン散乱等の過程で X 線やガンマ線を放射すると考えられる。

ミリ秒パルサーの場合、普通のパルサーと比較すると回転周期が 1 桁以上短く、中性子星表面の磁場は、4 桁も小さいという特徴をもつ一般のパルサーとは異なる種族のパルサーと考えられている。しかし、自転速度が速いため、中性子星と同じ角速度で剛体回転したときに回転速度が光速に等しくなる光円柱付近の磁場強度は普通のパルサーと同等かそれ以上にもなり得る。

本研究では ASCA 衛星と ROSAT 衛星の観測結果に基づいてパルスが検出されたミリ秒パルサーの光円柱での磁場の強さとパルスの形、X 線放射の特性について比較しながら考察をおこなう。

特異な X 線パルサー 1E 1841-045 の観測

森井 幹雄 (東京工業大学 理工学研究科 基礎物理学専攻 河合研究室)

チャンドラ衛星による特異な X 線パルサー (AXP) 1E 1841-045 のデータ解析結果を発表する。AXP は X 線放射のエネルギー源が未解明な天体である。有力な仮説 (マグネター仮説) によると、エネルギー源は、中性子星の回転エネルギーや質量降着による重力エネルギーの解放によるものではなく、中性子星の磁場のエネルギーの解放によるものだとされている。通常の中性子星の百倍以上の強さの磁場を持つため、エキゾチックな場の量子論的効果が起こると考えられている。本解析により、1E 1841-045 は、パルス形態がエネルギーバンド毎に異なることが分かった。エネルギースペクトルは、他の AXP と同様に powerlaw + blackbody でよく合うことが分かった。パルス位相毎のスペクトル解析により、スペクトルの形状がパルス位相で変化することが分かった。これらのことから、マグネターの磁場構造と放射機構について議論する。

HETE-2 衛星による軟ガンマ線リピータの観測

鳥居 研一 (理化学研究所)

HETE-2 衛星は 2001 年 7 月 2 日に軟ガンマ線リピータ SGR1900+14 から中規模のバーストを検出した。X 線検出器 (WXM) とガンマ線検出器 (FREGATE) の観測によって 2–150keV のデータを取得し、バーストのエネルギースペクトルを精度良く決定できた。これまで、SGR のバーストのスペクトルはべき関数や熱制動放射で表されてきたが、その放射機構は不明であった。今回 HETE-2 がとらえたバーストは単一の連続成分のモデルでは表すことができないが、2 成分の黒体放射で良く表されることが分かった。本発表では、スペクトル解析の結果を報告し、黒体放射の解釈と超強磁場の中性子星における粒子加速について議論する。

The Dark Matter Distribution of Isolated X-ray Overluminous Giant Elliptical Galaxies

吉岡 努 (名古屋大学 U 研)

4つの Isolated X-ray Overluminous giant Elliptical Galaxy (IOLEG) の質量分布、X 線ガスハローの温度、重元素組成比、大きさなどを、ASCA を用いて調べた。IOLEG は、 $M_B > -21.0$ の明るさを持つ巨大楕円銀河であり、周辺にはこの銀河の 1/10 以下の明るさを持つ銀河がしか存在せず孤立して存在し、さらに銀河群規模のサイズの X 線ガスハローを持つ。一般に、数値シミュレーションから巨大楕円銀河は HCG (Hickson Compact Group) のようなコンパクト銀河群が一つに合体してでき上がったものと考えられており、IOLEG もこのような銀河群の成れの果てであると X 線ガスハローの性質から推測されている。しかし、IOLEG を同定するには、孤立した銀河に広がった X 線ガスハローがあるか調べる必要があり、その観測的な困難さのため現在 10 個ほど候補があげられているだけで、その正体はよく分かっていない。今回調べた 4 つの銀河は、X 線ガスハローのサイズが $200 - 400 h_{75}^{-1}$ kpc、温度と重元素組成比はそれぞれ 1–2 keV、0.2–0.5 solar で、銀河群や小銀河団の X 線ガスハローと同じ性質を持ち、IOLEG であった。さらに、これらの IOLEG のダークマターの質量分布を調べ、他の一般的な銀河、銀河群、銀河団との比較を行い、必ずしも IOLEG は銀河群と同じ形をしていないことが分かった。また、質量光度比 (M_{200}/L_B) は 200–900 と、銀河群や銀河団の 100–400 に比べ非常に大きな値を持つことが分かった。IOLEG と HCG の質量光度比は一桁以上異なることから、同じ進化の系列に並んでいるものとは考えにくい。例えば、始源ガスの量が同じだったとしたら、IOLEG は通常の銀河群に比べ星生成率が低かったと考えることができる。以上のことから、IOLEG は現在あるようなコンパクト銀河群から進化したとは限らないと考えられる。

ASCA で観測された銀河団 2A 0335+096 の非一様な重元素分布

田中 武 (名古屋大学)

銀河団ガス内の重元素の量、広がり等を調べることは、どのように重元素が構成銀河から ICM に供給されたかという問題の解明につながる。特筆すべき点は、高階電離された重元素の拡散のタイムスケールは銀河団の寿命に比べ非常に長いので、重元素分布は過去に起こった銀河風等の痕跡をとどめていると考えられることである。ここに注目して我々は ASCA で観測された銀河団 2A 0335+096 の解析を行い、ガスの温度と重元素の分布を調べた。

銀河団 2A 0335+096 は $z=0.035$ の近傍に位置する天体で、その構成銀河の数は比較的少ない poor な銀河団である。その表面輝度分布は球対称で中心集中度が高く、力学的に緩和した銀河団と考えられている。これらの特徴を持つ銀河団は、鉄の組成比が中心に向かって高くなるとこれまでに報告されており、それは中心部に位置する巨大楕円銀河による重元素供給の結果と考えられている。2A 0335+096 のガス温度は比較的低温 ($kT \sim 3$ keV)、この温度では鉄の $K\alpha$ 線の等価幅は比較的大きいので、鉄の組成比分布を求めるのに適した銀河団といえる。

鉄 $K\alpha$ 線の等価幅の 2 次元分布を求めた結果、100 kpc のスケールで非一様な分布があることがわかった。等価幅の大きい領域は中心より北東と南西の方向 300 kpc のところに 2ヶ所存在し、鉄組成比はおよそ 0.9 solar であることがわかった。ただしそれらの組成比の特異な領域において、ガス温度、表面輝度ともに周囲との大きな違いはないこともわかった。対応する銀河は観測できておらず、本講演ではどのように重元素供給が行われたかについて議論する。

Analysis of temperature and abundance distributions in Abell 3571 : an ongoing subcluster merger?

Murat Hudaverdi (Nagoya University)

In many ways, the most significant observational exploration related to X-ray clusters is the detection of line emission due to highly ionized heavy elements as a strong aspect in their X-ray spectra. Firm determination of this part of the structure can provide wealth of information, which is extremely utile to identify the physical state and circumstances of the X-ray emitting gas. Since cluster mergers produce strong spatial variations in the intracluster gas temperature and density, it is really important to focus on two-dimensional temperature and abundance maps to comprehend the history of clusters.

We present bi-dimensional Temperature and Abundance analysis of the intracluster medium (ICM) by using archival X-ray data of ASCA. Spectrum best-fit result within a 12-arcmin-radius circle is a 7.2 ± 0.2 keV temperature value. This is consistent with the previous ASCA analysis of Nevalainen et. al. (6.9 ± 0.2 keV). Bi-dimensional temperature map shows a region with significantly lower temperature value (6.2 ± 0.5 keV) than the ICM average with a remarkable cool trail like shape in the northwest of the cluster. Color-coded Equivalent Width map also displays a high abundance region on the west side, which coincides with the head of the cool trail. Quintana et. al. (1993) indicates a north-south direction alignment in the galaxy number density map of A3571. We record a disturbance of the X-ray brightness map in the same angle. In addition to above all, having an extended optical halo of its central galaxy MCG05-33-002 (Kemp and Meaburn 1991) in the same direction suggests that -if the locations of peculiar regions are not a chance projection- A3571 is experiencing an ongoing subcluster merger: A subcluster is coming from northeast of the main cluster, penetrating in the ICM and leaving a cool trail -due to destructive effects like ram pressure stripping- and a survived high abundance core for the present epoch.

XMM-Newton による電波銀河 Centaurus B の観測

田代 信 (埼玉大学 理学部 物理学教室)

「あすか」、ROSAT 両衛星をはじめとして Chandra, XMM-Newton にいたる、最近の優れた硬 X 線感度と撮像能力をもつ X 線天文衛星群によって、電波銀河からローブに付随する広がった X 線源がつつぎと見つかっている。スペクトルなどから、宇宙マイクロ波背景放射光子がローブ中のシンクロトロン電子によって逆コンプトン散乱することによって、X 線に変換されたものとみられるものが多い。この X 線強度をシンクロトロン電波と比較することによって、ローブ中の電子のエネルギー密度と磁場を、平衡などの仮定によらずに、求めることが可能になった。

特に、2 番目の検出例となった Centaurus B では、「あすか」衛星の観測により、電子のエネルギー密度が磁場のそれを 6 倍も凌駕していることが明らかになった (Tashiro et al. 1998, ApJ 499, 713)。さらに興味深いことに、X 線強度の強い領域が、電波に比べやや中心核よりはずれており、ジェットとの接続点からローブの外側に向けて、電子優勢から磁場との平衡へと移り変わっていく様子が示唆されていた。しかし「あすか」の空間分解能の限界から、詳細は不明であった。

この X 線源の空間分布をより詳細に調べ、粒子と磁場のエネルギー密度の構造を明らかにするために、我々は、2001 年 8 月に、空間分解能と有効面積に優れた XMM-Newton 衛星を使用し、Centaurus B の 30ks におよぶ観測をおこなった。これによって、「あすか」では分離できなかった点源やジェットに付随する構造を正確に分解することに成功した。点源を除くと、「あすか」の観測した X 線フラックスは、支配的なローブに付随する成分と、光度は低い輝度の高いジェットとその終端構造から来ていることがわかった。X 線輝度分布は、明らかにローブの内側に集中しており、「あすか」の示唆にくらべても、より高い電子卓越の傾向があきらかになった。

宇宙 X 線天文衛星 Chandra による 電波銀河 3C452、Pictor A の観測

森 正統 (埼玉大学 理工学研究科 宇宙線・宇宙物理実験 田代研究室)

活動銀河核は、しばしばジェットとよばれる光速に近い双極子流と、ジェットの終端に電波ローブとよばれる広がった電波源を持っている。これらは、サイズにして 100kpc を超えるものも多く、壮大な加速器をなしている。電波ローブは、磁場によるシンクロトロン放射と宇宙マイクロ背景放射との逆コンプトン放射で輝いている。この二つの放射の関係により電子と磁場のエネルギー密度を独立に決定することができる。

X 線天文衛星「あすか」と ROSAT 衛星によって電波銀河 Fornax A のローブから逆コンプトン (IC)X 線が検出 (Kaneda et al. 1995 ApJL) されて以来、さまざまな電波銀河のローブから、広がった X 線が検出された。さらに、0.5 秒角というかつてない高い空間分解能を持つ宇宙 X 線天文衛星 Chandra によって、より遠方で視野角の小さい電波ローブ天体についても研究が進められている。

今回、電波銀河 3C452 と Pictor A について Chandra 衛星による観測結果について報告する。我々は両天体から電波ローブに付随する広がった X 線放射を発見した。この広がった X 線のスペクトルは 90%以上を占める冪型関数となる非熱的成分と、わずかな熱プラズマ放射成分でうまく説明することができる。その冪はシンクロトロン放射によるものと一致することから、同じ相対論的電子を起源とする別過程の放射であり、逆コンプトン散乱によるものと考えてよい。このスペクトル解析の結果から電子と磁場のエネルギー密度を求めると、両天体とも電子が優勢となる結果が得られた。

さらに我々は、非常に空間分解能が優れている Chandra 衛星の特徴を生かして、電波銀河 3C452 について電子と磁場のエネルギー密度の空間分布について調べた。比較的一様でエネルギー的にも支配的な電子と、ジェットの終端部で強まっている磁場という描像がえられた。この特徴は他の電波銀河ローブでも確認されており、ジェットやローブの生成を考える上で興味深い結果である。

天体から期待されるニュートリノ

小浜 光洋 (理化学研究所 宇宙放射線研究室)

ニュートリノは中性で弱い相互作用しか起こさず、その反応断面積は極めて小さいという特色をもつ。高エネルギー天体事象の中心で起こっている物理に於いて、中心の原子核反応に伴い多くのニュートリノが生成される事は多く、これらのニュートリノは、その中心で起こっている情報を保持した形でそのまま我々の地球まで到達する。従って、天体からのニュートリノを観測することは、直接その天体で起こっている素過程を見る事に繋がり、そこで起こっている粒子加速の源を探る事を意味する。現在、我々が捉えた事のある天体からのニュートリノ事象は、太陽を除き、SN1987A のみであるが、このニュートリノの観測によりスーパーノヴァの物理は大きく進歩した。スーパーノヴァ以外にも宇宙現象として大量のニュートリノを発生させうる機構は、多く考えられこれらから予想されるニュートリノフラックスをレビューする。

また最近では、地上のニュートリノ観測装置も巨大化し、有効面積も 100 平方キロメートルに達する装置も稼働を始めた。スーパーカミオカンデや AMANDA 等、現在稼働しているニュートリノ検出装置で見積もられる年間の事象数を発表する。

Design Study for Super Baikal Detector with 1km³

岬 暁夫 (埼玉大学 21世紀総合研究機構)

現在、バイカル湖における「NT200」、および難局における「AMANDA」等、スーパーカミオカンデで象徴される低エネルギーニュートリノ計画の先の「高エネルギーニュートリノ計画」が進行中であるが、本計画は、更にその先にある1キロキュービックメートルの容積を有する2世代先の高・超高エネルギーニュートリノ研究計画のデザイン研究を日露共同研究として目指すものである。

スーパーカミオカンデにおけるニュートリノ識別の信憑性を巡って — 計算機実験からの考察 —

岬 暁夫 (埼玉大学 21世紀総合研究機構)

今年のノーベル賞は、カミオカンデによる超新星爆発からの宇宙ニュートリノの発見、に与えられた。スーパーカミオカンデ (SK) は、このカミオカンデの拡大版である。SKによる2大研究テーマは、「大気ニュートリノの研究」と「太陽ニュートリノの研究」である。後者において、SKは、ニュートリノ振動 (ミュー・タウ振動) の発見を断定している。この断定を根拠づける最大のものは、「electron-like event」と「muon-like event」が殆ど確実に分別できるということである。このSKの主張に対して、可能な限り厳密なシミュレーション技法を駆使して、この信憑性を検討する。

多層膜スーパーミラーを用いた X 線結像光学系の開発

内藤 聖貴 (名古屋大学 Ux 研究室)

相対論的電子による逆コンプトン散乱やシンクロトロン放射によって、非熱的 X 線が放射される。硬 X 線領域では熱的成分の減少により非熱的成分が卓越し始めるため、硬 X 線領域の撮像観測は加速機構の解明に大変有用である。ところがこれまでの X 線望遠鏡は、単一膜の全反射を利用しているため臨界エネルギーの制限により、10keV を超えるような硬 X 線領域では実用的でなかった。そこで我々は、硬 X 線領域においても高い反射率をもつ光学素子として多層膜スーパーミラーの開発をしている。多層膜とは、重元素と軽元素を交互に一定周期長で積層したもので、ブラッグ条件を満たすエネルギーで高い反射率をもつ。さらに、周期長を変化させることで広いエネルギー領域において高い反射率をもつものがスーパーミラーである。我々は重元素として Pt、軽元素として C を用いている。

2001 年 7 月、NASA/GSFC と共同で硬 X 線集光撮像気球実験 (InFOC μ S) を行なった。我々が開発したスーパーミラーを用いた硬 X 線望遠鏡によって、世界で初めて硬 X 線領域 (20-40keV) の集光撮像観測を実現させ、その性能を実証した。現在我々は次回の気球観測や、次世代 X 線観測衛星 (NeXT) に向けて、多層膜スーパーミラーの更なる広帯域化と高効率化を進めている。観測エネルギー領域を 80keV まで広げ、さらに効率よく積層することで高反射率が得られるようにスーパーミラーの設計方法を再構築し、実際に試作した。そして得られた反射率プロファイルから、望遠鏡の有効面積についても考察した。シミュレーションの結果、口径 40cm、焦点距離 8m の望遠鏡の場合、40keV で 100cm²、70keV で 30cm² の有効面積をもつ。50keV を超える領域で大幅に InFOC μ S を上回る。また、1keV 以下の軟 X 線領域で大視野大集光力をもつ望遠鏡においても多層膜スーパーミラーは大変有用である。現在我々は、軟 X 線用スーパーミラーの開発にも着手している。重元素としては Ni や Cr 等が候補としてあげられている。本発表では、硬 X 線用スーパーミラーの試作結果、軟 X 線スーパーミラーのシミュレーション結果について報告する。

硬 X 線用位置検出型 NaI シンチレーション検出器の性能評価

浜田憲幸 (名古屋大学大学院理学研究科 Ux 研究室)

我々は 2003 年に予定している硬 X 線結像観測気球実験用の硬 X 線検出器として、位置検出型 NaI シンチレーション検出器の開発を行なっている。本実験では我々の研究室で開発している多層膜スーパーミラーを用いた硬 X 線望遠鏡で集光した硬 X 線の像を得るために用いる予定である。望遠鏡の目標とする角分解能は 30 秒角であり、8m の焦点距離で検出器に求められる位置分解能は 1mm 以下である。また 20~100keV の硬 X 線領域で検出器には高い検出効率が求められる。そこで我々は以上のような基本性能を満たす検出器として、NaI シンチレーション検出器を製作し、性能評価を行なった。シンチレータは直径約 50mm、厚さ 3mm の NaI を用いた。NaI を用いたのはシンチレータの中で最高の光収率を示すからである。シンチレータの窓の材質は厚さ 100 μ m の Al を用いた。Al を用いる長所はシンチレーション光が窓の NaI 側で乱反射されにくく、位置の情報を保存した光子数が増加することである。NaI シンチレータの後段としては、クロスワイヤアノード (X16+Y16、Pitch=3.75mm) タイプで、12 段コースメッシュ型ダイアノードの光電子増倍管 R2486 (浜松ホトニクス社製) を用いている。位置検出の方法としては 2 通りの方法を採用し比較を行なった。1 つは隣り合うアノードを適当な抵抗で繋ぎ、両端の出力の違いで決定する方法であり、もう一つは x-y 方向各 16 本ずつのアノードからの出力をそれぞれ単独で同時に取り込み、その分布から位置を決定する方法である。前者の方法の長所は信号の数が少ないため、全体として信号に対する回路ノイズの割合が小さくなる事であり、後者の方法の長所は信号の数が多いため、位置を決定するための情報量が多い事である。両方の方法について出力の総和が X 線のエネルギーを表し、検出した X 線光子それぞれについてエネルギーと検出位置の情報を得ることができる。今回の測定では 59.5keV の X 線に対し、前者の方法でエネルギー分解能 14.6%、位置分解能 2.9mm が得られた。本発表では性能評価の結果、今後の予定及び改善点について報告する。

気球搭載硬 X 線望遠鏡の開発

竹内 敏 (名古屋大学理学研究科 Ux 研究室)

現在我々は、10keV 以上の硬 X 線領域の天体観測を目的とした、硬 X 線望遠鏡の開発を行なっている。目標とする性能は角分解能で 1 分角を切る事である。昨年、NASA/GSFC と共同で行なった硬 X 線集光撮像観測実験 (InFOC μ S) が行われ、世界で初めて、20-40keV の硬 X 線領域での集光撮像観測に成功し、硬 X 線望遠鏡の有用性を示した。

現在開発中の硬 X 線望遠鏡は InFOC μ S 搭載型と同じ Wolter-I 型光学系であるが、InFOC μ S と比べいくつかの点で改良を加えた。一つは、反射率を向上させるために、直接レプリカ法を用いた点であり、もう一つは、スーパーミラーのエネルギーの広帯域化 (20-60keV) と高効率化である。鏡面にはブラッグ反射の原理を利用した Pt/C の多層膜スーパーミラーを用いている。多層膜スーパーミラーとは重元素と軽元素を交互に積層した多層膜の周期長を深さ方向に変化させ、広いエネルギー領域で高い反射率を持つミラーである。

InFOC μ S では、Pt 単層膜のレプリカ反射鏡に直接、多層膜スーパーミラーを成膜したのに対し、直接レプリカ法は多層膜スーパーミラーを表面が滑らかなガラス母型に直接成膜、離形、転写する。この方法により、鏡面は滑らかになり、反射率の向上が見込める。しかし、Pt 単層膜に比べて多層膜の離形は困難であり、結像性能が劣化する可能性が高い。結像性能の向上が現時点でのもっとも大きな課題である。また、望遠鏡一台におよそ 2000 枚のミラーが必要な事から、性能の良いミラーをいかに効率良く作るかを常に考える必要がある。現段階でミラー単体で結像性能の最高性能は HPD で 0.84 分角、X 線の反射率を下げる要因となる界面粗さは 3.0 μ m を達成した。また、昨年度までに製作した反射鏡 50 組の望遠鏡の HPD は 2.42 分角であり目標とする性能には至っていない。今回は現段階で製作した多層膜スーパーミラーと硬 X 線望遠鏡の性能評価、及びこれからの展望を紹介する。

気球による硬 X 線撮像観測計画とゴンドラの開発

箕輪祐馬 (名古屋大学大学院理学研究科 Ux 研)

X 線天文学の大きな目標として、10keV 以上の硬 X 線撮像観測があげられる。10keV 以上では高温ガスからの熱的放射が急激に減少し、相対的に逆コンプトン散乱やシンクロトン放射による非熱的放射が卓越して観測される。これらの X 線スペクトルや放射源の空間分布から、銀河団や活動銀河中心核の非熱的放射機構の解明につながる。

昨年 7 月、我々の研究室では NASA/GSFC と共同で硬 X 線気球撮像観測実験 (InFOC μ S) を行った。InFOC μ S では、焦点距離 8m、視野 10 分角、結像性能 2 分角の硬 X 線望遠鏡を搭載して観測を行い、世界で初めて 10keV 以上の硬 X 線の集光撮像観測が成功した。しかし気球のゴンドラの姿勢が、数分から数十分角揺らいでいたため観測した天体 (CygX-1) を 2 時間のうち 5 回、計 130 秒間視野にとらえたにとどまり、その姿勢制御の難しさを改めて知ることとなった。硬 X 線望遠鏡気球観測の難しさの要因は、その焦点距離にある。焦点距離 8m もある望遠鏡を搭載しているため、望遠鏡、検出器を支える鏡筒もまた 8m となり、慣性能率が大きくなるため、制御目標である 1 分角を達成することが非常に難しい。

InFOC μ S では、NASA/GSFC が製作したゴンドラは、経緯台方式を採用しており総重量 1600kg、慣性能率 6000kg m² から 9000kg m² というものであった。現在、我々の研究室では独自にゴンドラを開発を行っており、InFOC μ S での問題の明確化、改善を目指し、さらには実際の観測を視野に入れ搭載機器の開発を行っている。我々の計画しているゴンドラは、総重量 1000kg、慣性能率 2000kg m² から 3000kg m² 程度のもので、InFOC μ S 同様、経緯台方式を採用する予定である。今回は、姿勢制御に用いるセンサーの性能、また鏡筒に用いるトラス構造のデザイン等について、現在進行中の気球観測計画について報告する。

全天 X 線監視装置 MAXI

三原建弘 (理化学研究所)

国際宇宙ステーションの JEM 曝露部に取り付けられる全天 X 線監視装置 MAXI は、2006 年度の打ち上げに向けて製作が進められている。基本設計審査 (PDR) は 2001 年 8 月に終了し、現在は実機を設計する詳細設計フェーズにある。今は、温度分布・振動分布などの基本特性を得るための熱構造モデル (TMM) 試験が行われている。観測機器であるガスカウンタと CCD は、FM 品の製造が始まっている。理研は主検出装置であるガススリットカメラ GSC を担当し、設計から較正試験までを行っている。これらの試験の結果と MAXI の現状を報告する。MAXI では無バイアス常時サーベイを行うため、Blazar の X 線フレアに先んじて始まると予想されている X 線フレアの観測も可能である。突発天体の監視を行いすみやかにフレアアラートを発し、一方で多波長観測のデータを供する事で、ジェット天体の研究も進むと期待される。

細い芯線を用いたガス比例計数管の高分解能化

中島 基樹 (日大理工/理化学研究所 (宇宙放射線研究室))

現在運用中の HETE-2 衛星や、開発中の全天 X 線監視装置 MAXI などには、広視野の位置検出型の比例計数管 (HETE WXM (Wide Field X-ray Monitor)、MAXI GSC (Gas Slit Camera)) が搭載されている。WXM、GSC とともに位置検出方法には電荷分割方式が採用しており、これら二つの検出器の芯線には同一の直径 $10\mu\text{m}$ で、単位長さ当りの抵抗が $\sim 1\text{k}\Omega/\text{cm}$ のカーボン芯線が用いられている。これらの電荷分割方式の比例計数管における位置分解能は芯線のジョンソンノイズに依存していることが知られている。

我々は比例計数管の位置分解能の向上を目的として、太さや原材料が違うカーボン芯線を使った比例計数管を作成し、従来の直径 $10\mu\text{m}$ のカーボン芯線との間で、位置分解能やエネルギー分解能の性能比較を行なった。本実験で用いたカーボン芯線は、ハンドリングしやすいエポキシで固められていない直径が $10\mu\text{m}$ と $7\mu\text{m}$ のもので、これらの芯線をガスフロー型の比例計数管に張って、 $\text{Ar}(90\%)+\text{CH}_4(10\%)$ の混合ガスを流して性能の違いをみたほか、芯線の強度と抵抗値の測定も行なった。測定の結果より、 $7\mu\text{m}$ の芯線は $10\mu\text{m}$ の半分以下の強度しか無く、抵抗値は $10\mu\text{m}$ の 4~6 倍であることが分かった。また X 線照射の測定から、比抵抗の高い芯線ほど位置分解能が良くなることが分かった。モデル計算より、位置分解能は $R^{-1/2}$ に依存した形で効いてくるので期待通りの結果が得られた。エネルギー分解能は $7\mu\text{m}$ も $10\mu\text{m}$ もほぼ同じ値であった。

本ポスターで、これらの結果を発表する予定である。

次期 X 線天文衛星 NeXT 搭載硬 X 線望遠鏡と硬 X 線撮像観測

古澤 彰浩 (名古屋大学)

X 線望遠鏡の登場は X 線天文学に急激な進歩をもたらした。特に ASCA、Chandra、XMM、Chandra に搭載された X 線望遠鏡は 10 keV 以下のエネルギーバンドで鮮明な X 線像、X 線スペクトルの観測を可能とした。10 keV 以下のエネルギーバンドでは高温ガス等が放射する熱的な放射が卓越しており、超新星残骸や銀河団等の高温ガスの力学的構造、化学的構造の詳細を明らかにする上で、このエネルギー領域の撮像観測が重要な役割を果たしてきた。一方、10 keV 以上のエネルギーバンドでは、高温ガスからの熱的放射の成分は小さくなり、非熱的放射が卓越する。この領域での撮像観測は、粒子加速という今後の高エネルギー宇宙物理の重要なテーマを追求する上で不可欠である。しかし、これまでの X 線望遠鏡は全反射を利用しているため、現実的な口径、焦点距離では 10 keV 以上の X 線に対しては適用できない。そのためにこれまで 10 keV を越えた領域での高感度撮像観測は今だ果たされていない。

我々は、この問題に対して反射鏡に多層膜スーパーミラーを用いることにより、0.1 - 80 keV という広いエネルギーバンドで撮像観測可能な硬 X 線望遠鏡の開発研究を進めている。今回は、硬 X 線望遠鏡によって可能となる研究を幾つかの天体について紹介し、そのために必要とされる性能と、次期 X 線天文衛星 NeXT (Next X-ray Telescope) 搭載を目指して検討中のデザイン I) 焦点距離 12 m、口径 60cm、予想有効面積 (@40keV) 200 cm²、II) 焦点距離 8 m、口径 50cm、予想有効面積 (@40keV) 80 cm² との比較検討について報告する。