

銀河の大爆発が作った巨大 プラズマの「帽子」

鶴 剛，小 澤 碧

〈京大物理学部物理学第二教室・宇宙線研究室

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町〉

e-mail: tsuru@cr.scphys.kyoto-u.ac.jp



鶴 剛



小澤 碧

「すざく」チーム

スターバースト銀河（爆発的星生成銀河）は、活動に付随する連続的な超新星爆発で高温プラズマを大量に作り銀河風として放出する。その結果、周囲の銀河間空間は熱・運動エネルギーによって加熱され、また重元素で汚染される。私たちは、M82 銀河から北へ 11 分 (11.6 kpc) 離れた場所に帽子のような形で存在する広がった高温プラズマ領域「キャップ」を「すざく」衛星で観測した。XMM ニュートン衛星の公開データも合わせて、注意深い精密解析を行った。その結果、キャップの高温プラズマでは II 型超新星に特有の重元素組成が得られた。一方で新たに以下の問題が浮かび上がった。キャップ領域にはダストが存在し、スパッタリングによる重元素溶け出しは無視できない可能性がある。さらに、銀河風が中性水素雲に衝突し、電荷交換プロセスで輝線を放射している可能性がある。

1. はじめに：銀河が放出する高温 プラズマ

銀河同士の衝突や近接遭遇で大量の星間ガスが集中し、大量の星 (star) が短期間に爆発 (burst) 的に生成される現象を「爆発的星生成＝スターバースト」と言い、その現象を起こしている銀河を「スターバースト銀河」と呼ぶ。大量の星生成が起これば、つづいて大量の超新星爆発が短期間に起こる。静かな渦状銀河の冷たい星間ガスの中で超新星爆発が起こった場合は、その衝撃波は星間ガスを 10^6 – 10^8 K まで加熱し、また宇宙線を加速するものの¹⁾、 10^4 – 10^5 年もたてば放射冷却で再び冷たい星間ガスに戻る。しかし、スターバーストでは、冷える前にすぐに次の超新星爆発が起こり追加加熱される。その結果、銀河の中心領域は高温プラズマが充満し、やがて銀河面垂直方向に放

出される。この放出されるプラズマの風を「銀河風＝(銀河の) スーパーウィンド」と呼ぶ。近傍のスターバースト銀河では銀河面垂直方向に伸びる X 線ハローが観測されている。

スターバーストと銀河風はその現象自体の面白さ、母銀河への影響、銀河中心の巨大ブラックホールとの関連に加え、銀河間物質の進化でも重要な役割を果たす。すなわち、銀河風は周辺の銀河間空間に対し運動・熱エネルギーを与え、銀河内やスターバーストに付随する超新星爆発で合成される重元素で汚染していく (Cosmic Feedback)。銀河団に含まれる高温プラズマには鉄をはじめとする重元素が含まれ、エントロピー超過と呼ばれる重力以外の原因による追加加熱が存在する証拠が見ついている。銀河形成期の激しいスターバーストが放出する銀河風は、この重元素供給源・加熱源の有力候補の一つである。また、

宇宙のバリオンの大半を担うとされる WHIM (Warm Hot Intergalactic Medium = 中高温銀河間物質) には²⁾, 重元素が付随すると考えられているが, 銀河風はこの重要な供給源だろう. すなわち, スターバースト活動と銀河風は, 宇宙のバリオンの大半を担う銀河間物質の進化の主要な役者なのである.

2. スターバースト銀河 M82 とそのプラズマの帽子「キャップ」

M82 は数ある中で最もよく知られたスターバースト銀河である. M82 は $2\text{--}3 \times 10^8$ 年前に M81 および NGC3077 とスターバーストを開始した. この結果, 潮汐力で現在この三つの銀河を覆う中性水素雲 (HI 雲) がばらまかれ, HI tidal bridge を形成した³⁾. M82 銀河本体は基本的に電波から TeV (テラ電子ボルト, テラは 10^{12} の意味) ガンマ線まですべての波長で観測が行われ, 打ち上げられた大型 X 線天文衛星のすべてで詳細に観測されている. Einstein 衛星は銀河面垂直方向に伸びる X 線ハローを検出⁴⁾, 「あすか」と BeppoSAX 衛星はスペクトルから熱的プラズマに起源をもつ輝線を検出し^{5), 6)}, 高温プラズマが銀河から放出されていることを明らかにした. これに従えば, M82 本体 (光学ディスクの長軸半径 ~ 5 kpc) に比べて遠方で高温プラズマが検出されるのではないかと予想するのは自然である. それを見つけるため「ぎんが」衛星を使ったスキャン観測などを行ったが⁷⁾, 確実な結果は H α 線と ROSAT 衛星の X 線観測によって得られた. M82 本体から 11 分 (11.6 kpc に相当) 北に, 3.9×0.9 分 (3.7×0.9 kpc) に広がった X 線放射と H α 線放射が発見され^{8), 9)}, “the Cap” と名づけられた (以下では「キャップ」と呼ぶ). チャンドラ衛星と XMM ニュートン衛星はもちろん M82 を観測したが, 前者は有効面積が小さく論文などの形でキャップの観測結果は報告されていない. もちろん私もデータを見たがなかなか厳しいものがあ

る. 一方, XMM ニュートンは大きな有効面積を活かしスペクトルを得ていたが, 観測時間が短く (「すぎく」に比較し) エネルギー分解能も低いため, 温度を決めたにすぎず, 重元素量などは不明であった¹⁰⁾. 一方で, キャップと M82 本体の間から有意な X 線放射を検出し (X 線ブリッジ), キャップが M82 から放出されたことを確実にした. 先に M81 および NGC3077 との近接遭遇でばらまかれた中性水素雲がこの三つの銀河を覆っていると述べた. 興味深いのは, M82 中心からキャップへと結ぶ X 線ブリッジのちょうどそこだけ中性水素雲が見つからない. つまり, M82 が放出する銀河風が中性水素雲の中を進み, ドリルのように穴を開けたのだと考えられる.

3. 「すぎく」による観測とスペクトル解析¹¹⁾

「すぎく」の登場である. 私たちは当初よりこのキャップに狙いを絞って M82 の観測を計画をした. X 線 CCD カメラ XIS の視野は 18 分四角なので, M82 とキャップを対角線方向に配置し両者を覆った. その結果, 図 1 のイメージを得た (表紙の絵もご覧ください). キャップはもちろん X 線ブリッジも, もはや疑う余地なく検出できた. しかし「すぎく」の狙いは画像だけではない. 精度の良いスペクトルを得て, キャップのプラズマの性質を調べることである. 少しでも統計が欲しい. そこで, XMM ニュートンのまだ論文になっていない公開データも使った. 解析は主に当時修士 1 年生だった小澤碧が行った. キャップからの X 線放射輝度は極めて低く, そして広がっている. さらに XIS の光学遮断膜上のコンタミ物質による影響, 主なバックグラウンド源であり視野一杯に広がるわれわれの銀河系の高温度間物質およびハローの成分の差し引きなど, 解析にはさまざまな困難があった. バックグラウンド領域の取り方の工夫, バックグラウンドスペクトルとの同時フィットなどなど, ここでは詳細は述べることが

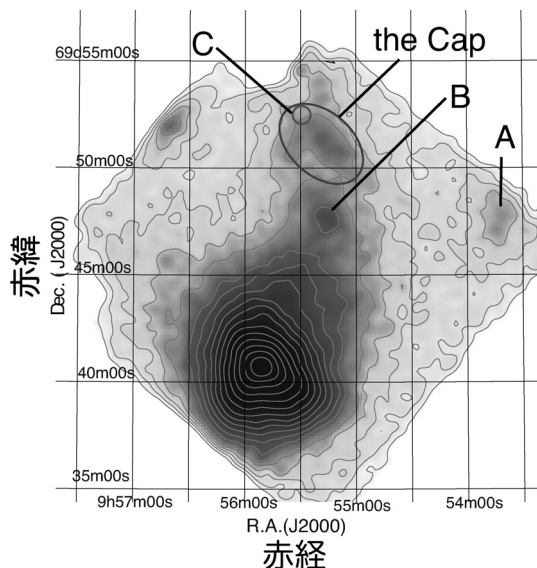


図1 「すざく」衛星に搭載された CCD 検出器 XIS による M82 とキャップの 0.3-2 keV X 線イメージ。最も X 線強度の強い位置が M82 銀河本体にあたり、可視光で見た銀河はここを中心として北東-南西におよそ 10 分の大きさ、A, B, C はそれぞれ M82 とは関係のない X 線天体である。C は XMM ニュートンで検出された暗い X 線源である。

できないが、いろいろ工夫してそれをクリアし、精度の良い X 線スペクトルを得ることができた(図2)。

スペクトルは温度 2 成分 ($7.3 \times 10^6 \text{ K}$ と $2.3 \times 10^6 \text{ K}$) のプラズマモデルでフィットできた。重元素組成は図3に示す結果を得た。X 線バンドで調べることができる酸素(元素番号 8)から鉄(同 26)の組成を調べることで、そのプラズマが超新星爆発のどちらの型に由来するのか、すなわち Ia 型なのか II 型なのかを区別することができる(本号の松下恭子氏の記事も参照して欲しい¹²⁾)。そこで超新星爆発で合成される重元素の理論的な組成比と比較したところ、見事に II 型に一致した。また、宇宙初期の II 型超新星爆発のみが起こっていた時期に作られたと考えられるわれわれの銀河系ハローの恒星 (metal-poor star) の観測値ともよく一致することがわかった。スターバー

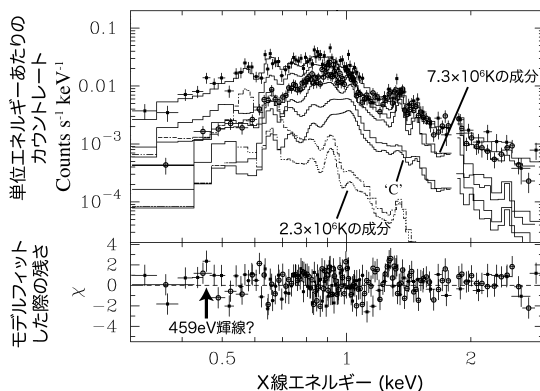


図2 「すざく」XIS で得た、キャップの X 線スペクトル。二つのデータは FI と BI の 2 種類の XIS に対応する。モデルは、解析した結果得られた 2 温度の熱的プラズマスペクトル成分と、図1の点源 C のスペクトル(固定)を示している。下の残差のパネルで、459 eV 付近に輝線らしき構造が見える。

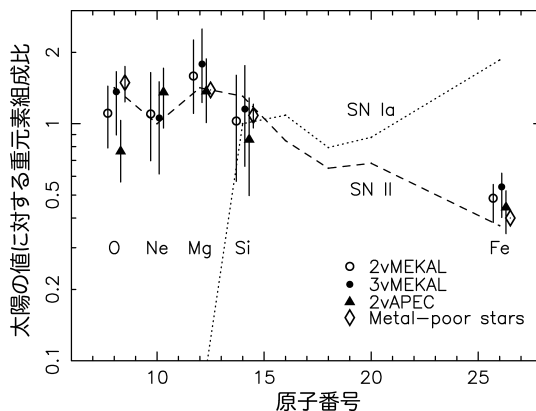


図3 キャップ中の各元素の重元素組成を太陽の値に対する比として示している。熱的プラズマにはモデルの不定性があり得るため、それぞれ図2で行ったスペクトルフィットでは、複数のコードを用いて結果を得た。それぞれ 2 vMEKAL, 3 vMEKAL, 2 vAPEC として示す。SN Ia および SN II は、2 種類の超新星爆発それぞれで合成される重元素組成比の理論計算値を示している。Metal-poor star は、われわれの銀河系のハローに存在する重元素量の少ない星の観測結果の値である。SN Ia, SN II の理論計算値、および重元素の少ない星の値は、絶対値には意味はない。相対値として、キャップの観測値のマグネシウムの値で規格化してある。

スト活動の短いタイムスケールで連続して起こる超新星爆発はII型が主流になると予測できる。今回の観測は、その予想を見事に裏づけたと言える。

4. 新たな問題

話がここまでなら、きれいな結果で「予想どおりで良かったね」である。ハッピーだが話は終わりである。心情的には実はつまらないし、食い足りないし、天文月報にわざわざ記事を書いたりはしない。個人的には以下に述べる二つの話が「すざく」のもたらした本当の成果だと思っている。そして両方とも未解決であり、今後の課題である。

4.1 ダストの存在

紫外線観測衛星 GALEX はキャップの位置に広がった UV 放射を発見した¹³⁾。著者たちによれば、ここにダストがあり、M82 本体からの UV 放射を散乱しているのだという。ダストの起源は、スターバースト活動により M82 が放出したものの、M81 との近接遭遇した際にばらまかれた中性水素雲に付随したものの、という二つの可能性がある。ダストの起源は（重要だが）とりあえず置いておき、プラズマ中の重元素とその組成比に与える影響を考えよう。ダストにはシリコンや鉄が含まれており、徐々にプラズマに溶け出していくだろう。したがって、溶け出すタイムスケールと、ダストの質量によっては、「すざく」の重元素組成比の観測結果の解釈に修正が必要となる。ダストの溶け出しはプラズマ中の高速陽子が衝突する「スパッタリング」と呼ばれる物理過程で行われ、そのタイムスケールは主にプラズマ密度とダストの大きさによって決まる。キャップの場合は $\sim 2 \times 10^7$ 年と得られた。温度 7.3×10^6 K のプラズマを衝撃波で作るために必要な 740 km/s が銀河風の速度だと考えると、M82 から放出された銀河風がキャップに届くタイムスケールは $\sim 1.5 \times 10^7$ 年となる。つまり、スパッタリングとダイナミカ

ルなタイムスケールは一致する。一方で、いったん作られたプラズマの放射冷却時間は $> 10^8$ 年と長い。したがってスパッタリングが十分働く余地がある。ダストの質量は、残念ながら GALEX 衛星の論文では報告されていない。仕方がないので、先に述べた中性水素雲の柱密度の上限値とガス-ダスト質量比=100 を仮定したところ、ダストの質量の上限値として $\sim 7 \times 10^3 M_\odot$ を得た。一方、プラズマ中のシリコンと鉄の質量は $\sim 1.4 \times 10^3 M_\odot$ と $\sim 1.8 \times 10^3 M_\odot$ であり、足しても先ほどの上限値より下である。以上より結論として、「プラズマ中のシリコンや鉄がダスト起源である」という仮説は否定できないことになった。もしも本当にダストが大きな寄与をするなら、先に展開したプラズマ中の重元素組成と超新星爆発の議論はやり直しである。正しい結論を得るには、ダストの質量とその起源を知る必要がある。「あかり」衛星や ALMA の観測に期待したい。ちなみに、酸素はダスト起源だと考えていない。文献 5 の議論を参照して欲しい。

4.2 電荷交換プロセスの可能性

先月の天文月報の藤本龍一氏らの記事を見て欲しい¹⁴⁾。この結果を最初に聞いたときはちょっとショックであった（彗星が X 線を出すことは知っていたので、そのときにちゃんと理解していればショックを受けなかったのだが：好奇心の欠如 & 不勉強でした）。プラズマ状態の太陽風が地球大気外層の中性水素原子に衝突し、太陽風中の酸素等のイオンが中性水素原子から電子を奪う「電荷交換」なる物理プロセスが起こり、その結果、輝線をイオンが放射する、というのである。一方で、わが M82 を振り返ると、電離した銀河風がキャップ領域でおそらく存在するであろう中性水素雲に衝突している。太陽風の速度は平均的には $300\text{--}900$ km/s、平均的には 450 km/s だということらしい。先に述べたとおり、銀河風の速度は 740 km/s 程度だと考えられる。すなわち、密度とタイムスケールを除くと両者はとても似ている。

もしもキャップで電荷交換プロセスが起こり輝線だけで放射しているなら、スペクトルフィットから得た重元素組成比など何ら意味がない。

しかし、落ち着いて考えてみると「すざく」の M82 のスペクトルには連続成分があり、放射光度のほとんどはそちらが占めている。一方で、電荷交換プロセスは輝線のみで、連続 X 線成分は放射しない。すなわち、電荷交換プロセスが働いていても、それが主要な X 線放射メカニズムではなく、やはり熱的なプラズマからの制動放射がメインなのである。よって、キャップが熱的な X 線プラズマである、という理解は大筋で正しい。

一方で輝線放射成分だけを考えると、熱的プラズマ中の衝突励起による輝線だと解釈している一部（またはすべて）が、実は電荷交換プロセス起源である可能性は残っている。もしそうなら熱的プラズマのみを仮定して得た重元素組成比が間違っている可能性があり、やはり困ったことになる。これはまじめに定量的に検討する必要がある。そうだ。

少し調べてみると、さすがに世の中は良く考えている人が居て、まさに M82 のキャップ領域で電荷交換プロセスが働き得るのではないかと予言した論文があった¹⁵⁾。ただ、この論文では輝線強度の定量的な予測や見積もり方までは言及していない。そこで、以下のとおり強い輝線をもつ酸素について、電荷交換プロセスで出しうる最大の輝線強度を見積もり、観測結果と比較してみた。

中性水素雲の観測から得られる中性水素原子の密度の上限値とキャップのサイズから、銀河風方向の中性水素の柱密度の上限値として $\sim 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ が得られる。一方、電荷交換の反応断面積は非常に大きく、酸素イオンの場合は $10^{-15} \sim 10^{-14} \text{ cm}^2$ に達する。したがって、銀河風によって運ばれ中性水素雲に突っ込む酸素イオンのすべてが電

荷交換プロセスを起こす、という仮定で輝線強度の上限値を求めても良いだろう。後は、銀河風の密度と速度、それに酸素イオンの組成比を仮定すれば（粗い話なので太陽組成とする）、輝線強度が求まる。その結果、電荷交換プロセスによる酸素輝線強度の上限値として $\sim 5 \times 10^{-6} \text{ ph cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ が得られた。一方、観測値は $\sim 6 \times 10^{-6} \text{ ph cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であった。すなわち、電荷交換プロセスによる輝線は無視できない可能性がある。何とも悩ましい。

電荷交換と衝突励起の両プロセスは、高励起輝線の有無で区別できる。詳しいメカニズムは藤本氏らの記事を見ていただくとして、単純に言えば電荷交換では最初に高いエネルギー準位の軌道に電子が入り高励起状態が実現されるのに対し、衝突励起は元々基底状態であった電子を励起しなければならないので、高励起になりにくい。電荷交換プロセスでは水素状炭素イオンの $4p \rightarrow 1s$ 遷移によって放出される 459 eV の輝線が特徴的だとのことである。この輝線は熱的なプラズマでは説明できないので、観測されたスペクトルデータから熱的プラズマモデルを引くと残るはずである。そこで、M82 のキャップのスペクトルフィット（図 2）の残差をじっくり見たところ、なにやらそれらしい構造がある。そこで、この場所に輝線のモデルを加えてスペクトルフィットを行い統計的な解析を行ったところ、輝線があるとすれば 459 eV で矛盾しないが、それが存在する有意度は 90–99% の範囲である、という結果を得た^{*1}。

以上の結果をまとめると、「電荷交換プロセスが起こっていれば、熱的プラズマでの衝突励起輝線に対し電荷交換プロセス起源の輝線の寄与は無視できない可能性がある。起こっているかどうかは 90–99% 範囲の有意度の判断による」ということになるだろう。そして 90% では有意だとはなかなか言いにくい。ただスペクトルを詳細に解析し

*1 正確には以下のとおり。この場所に細い輝線のモデルを加えてスペクトルフィットを行い χ^2 有意度マップを作った。459 eV 輝線に矛盾しないローカルミニマムが見つかったが、その統計的な有意度は 90–99% の範囲であった。

た本人の勘（と期待）を込めて述べると、電荷交換プロセスは無視できないと思う。そしてそれがきつと銀河間空間物質の物理過程の鍵を握るに違いない。真偽のほどはいずれこの手ではっきりさせたい。

5. もっと風吹く宇宙へ

（ここからはほとんど鶴の独白であることをご容赦ください）

鶴はこの M82 銀河にどれだけお世話になったことか。もうオタクと呼ばれても否定できない。私の博士論文は「ぎんが」衛星を用いた小規模銀河団や (M82 を含む) 銀河の高温プラズマがテーマであった。そこで第 1 節に述べたストーリーを展開したのである¹⁶⁾ (WHIM はまだそれほど注目されていないけど)。「あすか」では、この M82 が放出する高温プラズマの行方を調べたかった。「ぎんが」で 100 kpc もの広がりをもつ X 線ハローを「見つけた」ことだし⁷⁾ (サポートする結果はないが積極的な否定もない)、M82 から離れた場所にきつと高温プラズマの雲がぼつんと浮いているはずだから、それを最初に見つけてやりたかった。そのためにオフセット観測も行った。しかし、M82 銀河本体の解析をやっているうちに、ROSAT に先を越されてしまった。1999 年に Lehnert の論文を見たときには、本当に悔しかったし、トホホだった (最終的に M82 X-1 という中質量ブラックホール候補につながる硬 X 線の時間変動を発見したので¹⁷⁾、若干溜飲は下げたけど)。今回の「すざく」の観測で、積年の思いを、ほんの少しだけはらすことができた。

今になって 1999 年の天文月報の記事「M82 からの熱い風—スターバースト銀河の X 線観測—」を読み返すと結構面白い¹⁸⁾。M82 X-1 は中心から 150 pc ずれた位置に存在する「AGN (活動銀河核)」だと書いていたりする。また、博士論文で立てた銀河・銀河団高温プラズマ進化の予想を「あすか」衛星を使って確認し、この領域の研究は終

わらせてやろう、などという不遜なことも書いている。いろいろな経験で少しは成長した今は、「すざく」で研究を終わらせてやろう、などという不遜なことを考えるのはやめて、次なる野望と妄想を抱くことにする。

われわれの銀河系中心領域は、M82 などと比べると極めておとなしいにもかかわらず、 7×10^7 K に達する高温プラズマで充満している。「すざく」はそれをはっきりさせた (この特集に小山先生の記事が登場する予定である¹⁹⁾)。こんな温度のプラズマは重力で閉じ込められないから、銀河面から放出されていくだろう。これを銀河風と呼んでよければ、どんな活動性の低い銀河であっても、なにがしかの銀河風をもっていると予想できる (気持ちは祖父江先生に大賛成である²⁰⁾)。私はそれを見つけない。極端なことを言えば、すべての銀河に銀河風を見つけて表紙のような写真を撮ってやりたいのだ。

その期待も込めて、マイクロカロリメーターを搭載し、超精密分光撮像を可能にする次世代 X 線衛星を何としても実現させたい。何があろうとこれは X 線グループの悲願である。マイクロカロリメーターの分解能 2 eV は 0.6 keV 酸素輝線に対しては 1,000 km/s の銀河風レベルの速度に相当し、6 keV 鉄輝線に対しては実に銀河回転速度レベルの 100 km/s である。ドップラー輝線だけでイメージを作れば銀河風だけ取り出せるし、電波の L-V マップよろしく手に取るように銀河中心高温プラズマの運動とその三次元分布が分解できるに違いない。そして超新星 (スターバースト) だけではなく、ブラックホール (AGN) だって風を吹く。今は X 線スペクトル上の影 (Warm Absorber) として観測されているセイファートからの風も直接見えてくるだろう。そいつも見つけてしまえばいい。

実現するのは革命的な衛星なのだ、もっと想像 (妄想) を膨らまそうではないか。新種の天体が見つかって何が悪い。中性水素とプラズマの電荷交

換過程で輝線だけで光る「銀河間電荷交換 X 線雲」があるかもしれない（実際、彗星はそんな雲だ）。AGN からの光電離で光る「銀河間 X 線反射星雲」があるかもしれない（実際、われわれの銀河系中心領域の 6.4 keV 中性鉄輝線はそんな雲だ）。はやく見つけたい！ 風吹く宇宙を探す私の妄想と野望はますます広がるのである。

謝辞と共同研究者リスト

言うまでもなく、本研究は「すざく」があってこそ初めて可能になりました。陰に陽に「すざく」衛星の実現と運用にご尽力をいただいたすべての方に心より感謝いたします。本当にありがとうございます。PASJ の特集号に掲載された本研究は¹¹⁾、鶴と小澤のほか、以下のメンバーによってなされました。兵藤義明、松本浩典、小山勝二（京都大学）、栗木久光（愛媛大学）、藤本龍一（金沢大学）、R. Griffiths（カーネギメロン大学）、C. Kilbourne（GSFC/NASA）、松下恭子（東京理科大学）、満田和久（JAXA 宇宙科学研究本部）、A. Ptak（ジョンズホプキンス大学）、P. Ranalli（理化学研究所）、山崎典子（JAXA 宇宙科学研究本部）。しかし、あるかもしれない不正確な記載と、目につく独白の責任は、すべて主著者（鶴）にあります。

参考文献

- 1) 馬場 彩, 松本浩典, 「すざく」チーム, 2007, 天文月報 100, 5号, 219
- 2) 竹井 洋, 2007, 天文月報 100, 8号, 390
- 3) Yun M. S., Ho P. T. P., Lo K. Y., 1994, Nature 372, 530
- 4) Fabbiano G., 1988, ApJ 330, 672
- 5) Tsuru T. G., Awaki H., Koyama K., Ptak A., 1997, PASJ 49, 619
- 6) Cappi M., et al., 1999, A&A 350, 777
- 7) Tsuru T., et al., 1990, PASJ 42, L75
- 8) Lehnert M. D., Heckman T. M., Weaver K. A., 1999, ApJ 523, 575
- 9) Devine D., Bally J., 1999, ApJ 510, 197
- 10) Stevens I. R., Read A. M., Bravo-Guerrero J., 2003,

MNRAS 343, L47

- 11) Tsuru T. G., et al., 2007, PASJ 59, S269
- 12) 松下恭子, 2007, 天文月報 100, 8号, 384
- 13) Hoopes C. G., et al., 2005, ApJ 619, L99
- 14) 藤本龍一, 満田和久, McCammon, 2007, 天文月報 100, 7号, 321
- 15) Lallement R., 2004, A&A 422, 391
- 16) 服部 誠, 鶴 剛, 1994, 物理学会誌 49, 743
- 17) 松本浩典, 松下聡樹, 鶴 剛, 川辺良平, 2001, 物理学会誌 56, 423
- 18) 鶴 剛, 1999, 天文月報 92, 439
- 19) 小山勝二, 2007, 天文月報 100, 5号, 218, 9号予定
- 20) 祖父江義明, 2006, 天文月報 99, 582

“The Huge Plasma Cap” Created by a Large Explosion of a Galaxy

Takeshi Go TSURU and Midori OZAWA

Cosmic-Ray Group, Department of Physics, Faculty of Science, Kyoto University, Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

Suzaku Team

Abstract: Starburst galaxies inject a large amount of kinetic and thermal energy into intergalactic space via outflows enriched with heavy metals synthesized in the massive stars that result in supernova explosions. We have observed the extended X-ray emission from ‘the Cap’ region located 11’ (11.6 kpc) above the disk of the starburst galaxy M82 with Suzaku. We conducted precise analyses of the Suzaku data and XMM-Newton archival data. We have determined the metal abundances of O, Ne, Mg, Si, and Fe in this region for the first time. Their metal abundance ratios agree well with those of metal-poor stars and the model prediction of metals synthesized by type-II supernovae, which supports the idea that the origin of the metals in the Cap is type-II supernovae explosions occurring in the starburst regions in the M82 galaxy. We discuss the possible contribution from sputtered dust grains to the metals in the Cap. An emission line consistent with the C VI transition of $n=4$ to 1 at 0.459 keV is marginally detected, although it is not statistically significant at the 99% confidence level; the presence of this line would suggest charge-exchange processes in the Cap.