

明らかにされた銀河高温領域

松 岡 勝*

1. まえがき

星間空間に 10^6 K ほどの高温領域が存在すると云うことは、軟X線や紫外線の観測で明かにされたことであり、超新星の爆発後の進化や銀河の構造にかかわる重要な発展のひとつと考えられる。

この発展の背景には観測的に重要な発見があった。それは星間空間に OVI と OVII が確かに存在すると云う観測結果である。前者は 1973 年コペルニクス衛星 (OAO III) に積まれた紫外線のスペクトロメーターによりなされ、後者は我が国のロケットに分解能の優れた新しいX線検出器を載せてなされた。OVI も OVII も高温ガス中で作られる高電離イオンであり紫外線の観測では OVI の 1032Å と 1038Å の吸収線を捉え、軟X線では OVII の 21.6Å (0.57 keV) の輝線を観測することにより星間空間における高温領域の存在を確かなものにした。ここでは主として軟X線の観測結果を中心に星間空間の高温領域について最近の発展を述べる。

2. 軟X線と OVI の発見

特定のX線源以外からくるバックグラウンド (diffuse component と呼ぶ) のX線は、2 keV を越えるエネルギーでは全天一様の強度であり、 $2\sim 20$ keV では $11E^{-14}$ photons $\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}\text{sr}^{-1}\text{keV}^{-1}$ の巾型スペクトルを示すことが知られている。1 keV 以下の軟X線の diffuse component の観測はX線検出器の入射窓に 1μ 程度の薄いプラスチックの膜が用いられるため技術的に難しいことと、一般にエネルギー分解能が悪いため観測の初期の頃はそのスペクトルが巾型か指数関数型 (熱輻射) かさえはっきりしなかった。

軟X線の diffuse component の観測はウィスコンシン大学のクラウシャーのグループと日本の早川、田中ら名古屋大学のグループで多くが進められてきたが、観測が進むにつれて 10^6 K 程の薄い高温プラズマからの熱輻射が有望視された。しかし観測結果だけでは厳密に非熱的輻射の発生機構と考えられる巾型スペクトルを否定し去るわけには行かなかった。所が 1973 年コペルニクス衛星が紫外線の強い初期型星を背景に星間空間での 1032Å と 1038Å (いずれも OVI の特性レベル) の吸収線を発見したことから、星間空間に $10^5\sim 10^6$ K の高温

領域があることがはっきりした。これと軟X線を関連させて Cox と Smith (1974) は超新星の爆発後に形成される高温で密度の低いガスが星間空間に溜り、隣同志は高温ガスのトンネル (大きさ 10 pc 程度) で連なっていると云うモデルを出した。 10^6 K の高温ガスの寿命は 10^6 年程度にもなるから超新星の爆発が 50 年に 1 回と見積ると星間空間には 10^6 K の高温ガスが 30% 程も占めることになる。それまで軟X線の起源が銀河系外であるのか銀河系内であるのかが大きな問題であったが、水素ガス密度の濃い方向からも結構強い軟X線がやってくることから、少くともかなりの部分は銀河系内で発生していると云うことがわかってきた。しかし軟X線の発生機構が何であるかは模索中であったため Cox と Smith のモデルはひとつの最もらしい解釈として注目された。

3. 太陽系を包む高温ガス

その後軟X線の観測と解析がすすめられクラウシャー等ウィスコンシンのグループと田中等 (早川、加藤、長瀬、山下との共同研究) は時を同じくして軟X線のほとんどは太陽系に近い高温プラズマからやってくると云う結論に達した。両者の論点の基本は次のようである。

ウィスコンシンのグループは軟X線の強度が 21 cm の電波で得られている水素密度にあまり因らないことに目をつけた。彼等のX線検出器はボロンとカーボンのフィルターを付け各バンド (0.1~0.18 keV と 0.13~0.28 keV) での強度の比較を調べた。ボロンバンドはカーボンバンドに比べて 2 倍吸収断面積 (カーボンバンドのX線の平均自由行程は約 3×10^{20} H/cm²) が大きいためX線の発生源と観測点までの間に中性ガスがあれば両バンドで吸収の影響が違ってくるはずである。所が図 1 に示すように水素密度に対する両バンドの強度変化は変わらず、しかも 2×10^{21} H/cm² までほとんど吸収されない。つまりガスがあっても 10^{20} H/cm² 以下である。こうしてほとんどの軟X線は中性ガスに吸収されない程近くにその起源をもつと結論された。

一方日本のグループはロケット実験で走査した天球の大円に沿った領域からの軟X線のスペクトルを調べ、これが North Polar Spur など特別な方向を除いて、どこを見ても同じように $\sim 1.5\times 10^6$ K の熱輻射のスペクトルに合い、0.1 keV 附近でも吸収の様子が見られないことに注目した。これを説明するには起源が同じ高温のガスで、しかも吸収がないと云うものをもってこなければ

* 東大・宇宙研 M. Matsuoka: Confirmation of hot regions in the interstellar space

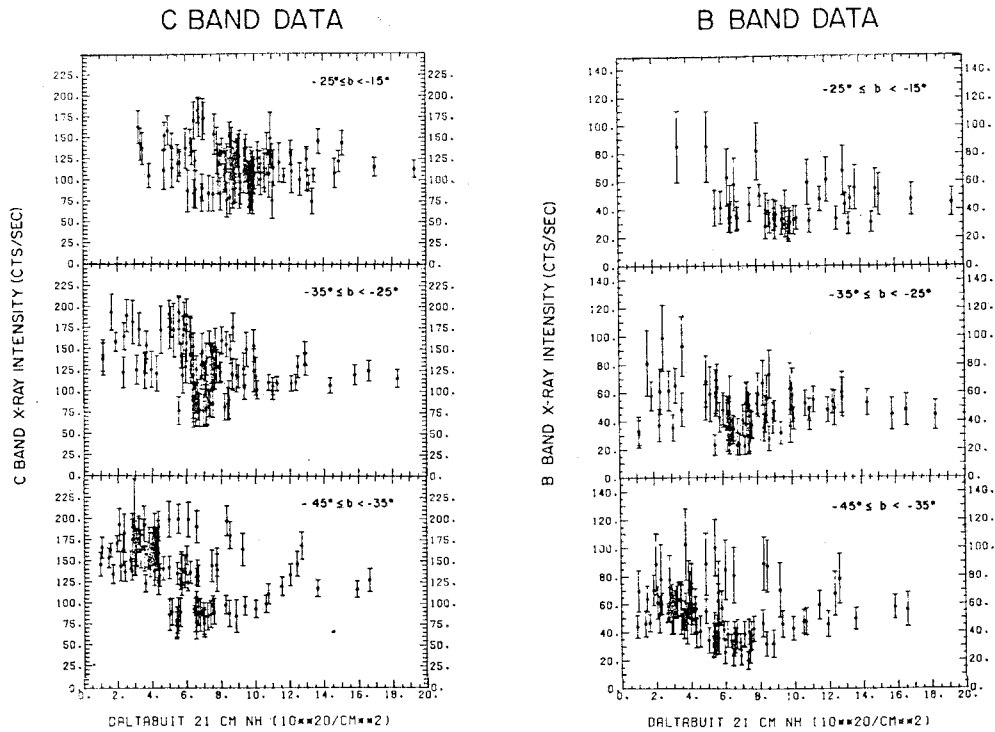


図1 図ウィスコンシ大学のグループによって得られた水素原子密度（横軸）に対するX線強度（Sanders, Kraushaar, Nonsek and Fried, 1977）. C-band (0.13~0.28 keV) と B-band (0.1~0.18 keV) の強度が銀河緯度に分けて示してある。

ならない。こうして軟X線のほとんどは太陽系を包む高温プラズマから発生していると云う仮説がたてられた。図2には極座標に書いたX線強度分布といくつかの方向からのスペクトルを示す。

このように我が太陽系が 10^6 K の高温プラズマに包まれていると云うことは大変興味あることで他の分野への波及効果も考えられる。例えば宇宙線の伝播にも影響があって高温プラズマの寿命と推定される 10^6 年程度を境に宇宙線の強度に変化がみられないかという隕石を使った柳田等の研究にも関連が論じられている。

4. O VII の発見

このように述べてくると軟X線の発生機構は熱輻射であることと云うことが決定的のように受け取られた方が多いと思う。しかし従来の観測データによる軟X線のスペクトルだけでは熱輻射だと決めつけられないことに注意したい。すなわち線スペクトルを含まない自由・自由遷移のスペクトルや 1 keV 以上でカットがある巾型スペクトルなどを、観測データだけでは自身をもって否定し去るわけにはいかなかった。

そこで観測家に対してこれが 10^6 K のガスだと示せる直接のデータを出すことが要求されたわけである。X線

のスペクトロスコピーとして結晶によるブラッグ反射が考えられるが、広がった発生源のものを捉えるには効率の点で大変むづかしい。そこで考えられるのが分散系を使わないフォトン検出器でエネルギー分解能の良いものを使うことである。蛍光比例計数管と呼ばれるX線検出器は従来の比例計数管に比べて2倍程エネルギー分解能が良いため、早速ロケット搭載用の蛍光比例計数管が開発された。こうして小山, 井上等の手塩にかけた大変きれいな好きで弱々しい新しいX線検出器が, K-10-13号機と云う姿勢制御付ロケットに乗って、はじめて宇宙空間に出て活躍したわけである。観測方向の飛跡は North Polar Spur からヘルクレス座の HI が多い領域を経て CYG Loop までで、それぞれの方向からの軟X線の diffuse component のスペクトルがこれまでになくきれいに得られた。このうち顕著な1例を図3に示す。この図には従来の比例計数管(PC)で得られたスペクトルも示してあるが、これまでの結果では目だたなかった 0.57 keV のエネルギーに相当する所に明かな線スペクトルが捉えられた。実線は 0.57 keV の線スペクトルを蛍光比例計数管(GSPC)で検出した場合に期待される分布の形である。統計的検定も観測データは 0.57 keV のエネルギーの線スペクトルに良く合うことが確かめられ

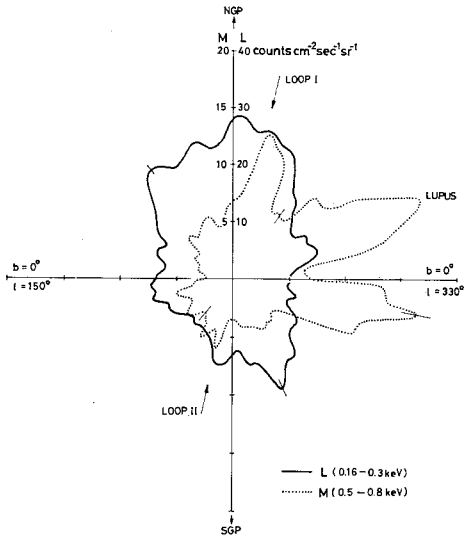
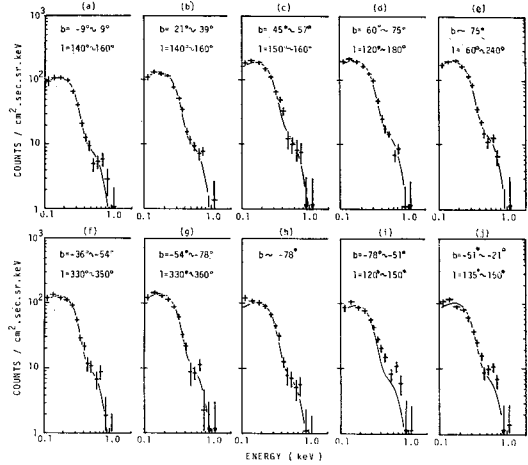


図 2 日本のグループによる軟 X 線の diffuse component のスペクトルと極座標表示による X 線強度分布 (Hayakawa, Kato, Nagase, Yamashita and Tanaka, 1977). 適当な銀河緯度・経度に分けた X 線のスペクトルが示してある。



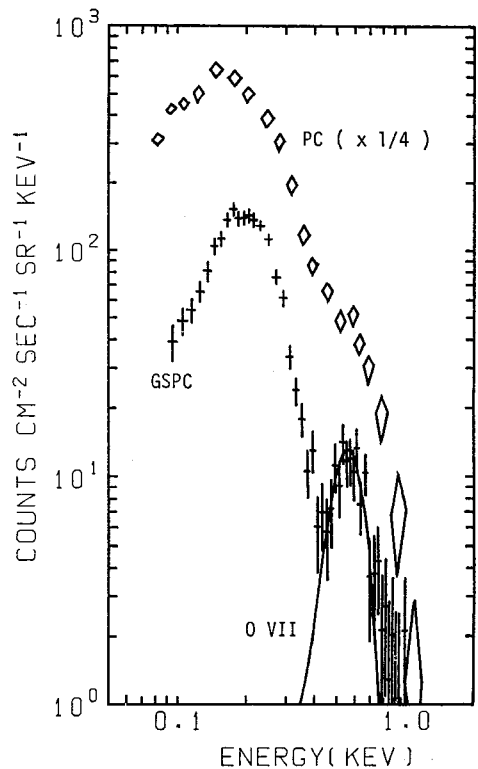
た. この線スペクトルは OVI が高温プラズマ中で出す特性 X 線であることが結論される. OVI と云う高電離イオンの存在は正しく $\sim 10^6$ K のガスの存在を裏付けるものである. 実際に高温プラズマからのモデルスペクトルと合わせてみると観測スペクトルは 1.4×10^6 K のスペクトルによく合った. こうして今回の結果により理論的にも観測的にも軟 X 線は高温プラズマを起源にもつことが確認されたといえる.

5. 星間空間の高温度領域

こうして星間空間には OVI と O VII が存在することがはっきりしたことになる. 所で OVI と O VII が最も目だってくるのはそれぞれ 3×10^5 K と 1.5×10^6 K で, 両者で異なる温度である. この中間の温度をもつ一様プラズマのモデルで OVI と O VII の観測結果を説明しようとしても OVI の量と軟 X 線の強度が両立しない. このことは図 4 に示すグラフから明かであろう. これは OSO 8 の衛星によって得られた結果であるが, 距離に対して観測された OVI の密度と, X 線スペクトルから予想される温度を使って期待される OVI の量を同じく距離の関数として示した. つまり星間空間の高温度領域には軟 X

線を出す程度の高いプラズマしかないとする OVI の密度が低すぎて観測結果と矛盾するわけである. このことは OVI ができるプラズマと O VII を含む軟 X 線を出すプラズマは一般に同じものではない. 即ち星間空間には 10^6 K 前後のプラズマが混在していることを意味して

右 図 3 ヘルクス座の HI の少い領域 ($l=80^\circ, b=40^\circ$) を中心に $20^\circ \times 20^\circ$ からの軟 X 線スペクトル (Inoue, Koyama, Matsuoka, Ohashi, Tanaka and Tsunemi, 1978). GSPC: 蛍光比例計数管. PC: 比例計数管. GSPC のデータに重ねた実線は O VII の線スペクトル (0.57 keV) を GSPC で測定したとき期待される分布である.



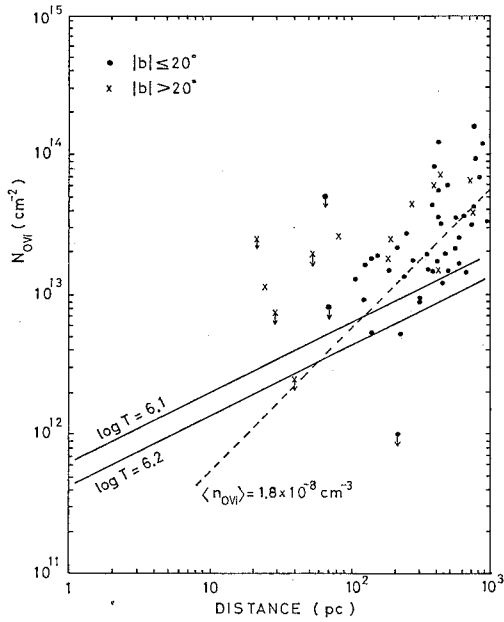


図 4 コベルニクス衛星で得られた距離に対する OVI の密度 (Jenkins, 1977) と OSO 8 で得られた軟 X 線のデータだけから推算される OVI の密度 (Matsuoka, 1978). OVI の観測によると密度は $\langle n_{\text{OVI}} \rangle = 1.8 \times 1.0^{-8} \text{ cm}^{-3}$ である. 軟 X 線を出すプラズマだけで OVI を説明すると実線のようになる. $\log T$ は軟 X 線のスペクトルに合わせた温度で, モデルにより多少違うため 2 つの場合を示した.

いる. そしてたまたま太陽系は $1.4 \times 10^6 \text{ K}$ のプラズマに包まれていると云うことである. また太陽系を包む高温プラズマ以外の遠くの高温度領域からの軟 X 線も期待される. しかしこの寄与は North Polar Spur など特殊な方向を除いてせいぜい 10~20% 以下と考えられる. 更に蛍光比例計数管によって得られたデータの解析をすすめてみると CYG Loop や North Polar Spur には O VIII が出す X 線 (0.65 keV) もあってもっと温度の高いプラズマもあることがはっきりした. また Fe XVII や Ne IX から出る線スペクトルも見い出され, CYG Loop と North Polar Spur では Fe XVII に差があることなどがわかってきた. これらについての詳しい議論は紙数の都合で省略するが, diffuse component の軟 X 線の線スペクトルが定量的に解析できるようになったのも蛍光比例計数管と云う新しい観測手段の登場による所が多い.

これまで雑なスペクトルしか出せなかった X 線天文学も最近の Clusters of galaxies などからの Fe XXV / XXVI の特性 X 線スペクトル (~7 keV) の発見, HER X-1 からのサイクロトロン放射のスペクトルなどと相俟って精密な天文学の仲間入りをしつつある. 折から HEA O-B の打上げが行われ X 線天文学も X 線像においても

スペクトロスコピーにおいても新しい段階に入ろうとしている.

学会だより

日本証券奨学財団の昭和 54 年度研究調査助成募集

この助成金の趣旨は, 学術文化の研究調査を奨励し, 社会の発展, 福祉に寄与することとなっており, 理学および工学も対象の部門に入っておりますが, 原則として研究者の年齢は 55 才以下としています. 昭和 54 年度の助成金総額は 3,000 万円で 400 万円以内のものを数件 100 万円以内の研究調査の助成を十数件予定しています. 申請書提出期間は本年 3 月 1 日より 4 月末日までとなっていますので関心のある方は下記宛お問合せ下さい.

〒103 東京都中央区日本橋茅場町 1 丁目 14 番地

東京証券会館 3 階

財団法人 日本証券奨学財団 (Tel: 03-664-7113)

会費納入のお願い

4 月になり会計年度が改まりますので新年度会費の納入をお願いします. 会費は通常会員 3,500 円, 特別会員 10,000 円です. 納入には今月号に同封の振込用紙を利用して三菱銀行三鷹支店 日本天文学会普通預金口座 (222-4434400), または郵便振替口座 社団法人日本天文学会 (東京 6-13595) 宛振りこみか, あるいは現金書留を御利用下さい. 会の円滑な運営のため, できるだけ早く御納入下さるようお願いいたします.

住所変更について

学会事務所に毎月数冊の天文月報が転居先不明という符箋をつけてもどってきます. 事務所では会費を払った会員にそのまましておくわけにいかず, 電話等で勤務先など方々手をつくして転居先を捜さねばなりません. この手間は大変な事務量と費用を要します. 会員諸氏が転居される場合には必ず学会事務所にも転居通知を下さるとともに郵便局にも転居通知を出して下さいようお願い致します.

春季年会の開催日の訂正とお詫び

天文月報 3 月号において今春の年会の開催期日を 5 月 7 日(月)~13 日(金)とお知らせ致しましたが, 5 月 7 日(月)~5 月 11 日(金)の誤りでしたので訂正するとともにこの不手際をお詫びします.

☆ ☆ ☆