

分子雲と相互作用する超新星残骸 G 109.1-1.0

立 松 健 一*

はじめに

人間の場合に比べてはるかに長いのですが、恒星にもやはり寿命があります。超新星爆発というのは、恒星の臨終の際の大爆発です。これは比較的恒星の質量が重い(太陽の質量の4倍以上)場合に起こると考えられています。爆発後、その放出物は超音速でひろがってゆき、衝撃波面を形成しまわりの物質をかき集めます。これを、超新星残骸 (supernova remnant, SNR) と呼ぶわけです。つまり、超新星残骸は恒星のお墓であり、その研究は『古墳学』とでも言えましょうか。よく知られた超新星残骸としては網状星雲、かに星雲などがあり、現在までに我々の銀河系内で見つかった超新星残骸の数は百個余りにのぼっています。さてこの超新星残骸、もしまわりの空間が一樣な密度をもっていたとすれば、球形を保ったまま膨張を続けていくでしょうが、もし密度の不均一があれば非球形の残骸になるでしょう。今回とりあげるのは、非常にきれいな半月形の形態をもつ G 109.1-1.0 という超新星残骸です。この天体は、カシオペア座とケフェウス座の境界に位置しています。

発見とその後

G 109.1-1.0 は、X線天文衛星アインスシュタインを用いてグレゴリーとファールマンにより 1980 年に発見されました。その形態はきれいな半月形です。中心には、X線の強い点源があります。これは、約7秒の周期でパルスを出しているX線パルサーです。さらに、このX線パルサーから北側に向かってカールして超新星残骸の端まで伸びているように見える『X線ジェット』と呼ばれるリッジがあります。発見者の二人は、この『X線ジェット』を、SS 433 にみられる歳差ジェットの類似物であると解釈しました。これはわかりやすく書くと、水(X線を輻射する高温ガス)を出したホースの口を手(X線パルサー)にもってぐるぐる回すと水の流れはらせん状に曲がって見える(カールした『X線ジェット』)、ということです。発見に続いて、いくつかの研究グループにより電波(連続波)でのマッピング観測が行なわれました。電波連続波のデータによれば、この残骸はやはりきれいな半月形の形態をもつ一方、X線パルサーや『X線ジェット』に対応する電波の構造はありませんでした。

しかしながら、別の電波の弓状構造がみられ、グレゴリーとファールマンはこの構造を『X線ジェット』と超新星残骸の球殻面の相互作用の結果と解釈しました。また、電波連続波の表面輝度と直径の関係をjを用いて、この天体までの距離は1万2000光年であることがわかりました。可視光では非常に暗くて、パロマー天文台の大型シュミット望遠鏡の写真でかろうじてその一部が見えるぐらいです。

この超新星残骸が非球形であることから、まわりの空間の密度の不均一が予想されます。この領域の星間分子雲(主成分が分子ガス状態にある比較的密度の高い部分)の分布は、イスラエルと、ヘイダリ・マライェリのグループにより波長 2.6 mm の一酸化炭素(CO)の輝線の電波分光観測によって調べられました。その結果、この超新星残骸の西側、つまり半月形の欠けている側に分子雲があることがわかりました。これは、分子雲のうちでも最大級の大きさや質量を持つ巨大複合分子雲と呼ばれるものです。しかし、彼等の観測は空間分解能が悪く、分子雲と超新星残骸の関係を調べるには不十分でした。

そこで我々は新たに CO 輝線による観測をおこない、超新星残骸付近の分子雲の分布を調べることにしたのです。

4 m 鏡による CO 観測

観測は、1985年の1月から5月の期間に名古屋大学理学部の口径4mの電波望遠鏡を用いて行なわれました。CO電波強度の分布(つまり分子雲の分布)を図1,2に示します。太線はどちらの図でもCOの強度で、強さを地図の等高線のように表わしてあります。細線は超新星残骸を表わしますが、図1ではX線での見え方、図2では電波連続波での見え方(波長3cmに対するもので野辺山の口径45mの電波望遠鏡で得られたもの)を示しています。図1で超新星残骸の中心のX線の特に強いところがX線パルサーであり、『X線ジェット』の部分は影をつけてあります。

これらの図から、超新星残骸はその半月形の欠けている側(西側=右側)で分子雲と接していることがわかりました。これは、分子雲にかくされているためにみかけ上そう見えているのではありません。なぜなら、電波連続波は分子雲による吸収を事実上全くうけませんが、超新星残骸は図2においても半月形で分子雲に接しているように見えるからです。これは、分子雲の方向は密度が

* 名大理 Ken'ichi Tatematsu: G 109.1-1.0: A Supernova Remnant Interacting with the Molecular Cloud

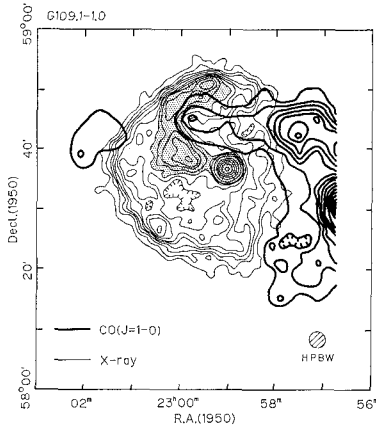


図 1 名大 4 m 鏡で得られた積分 CO 強度の分布を太線で示す。細線はグレゴリーとファールマンによって観測された X 線でみた G 109.1-1.0 で、影をつけてあるのは『X 線ジェット』である。

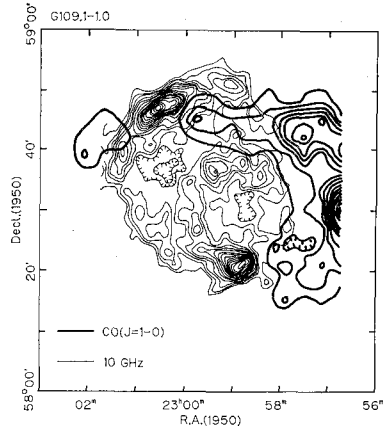


図 2 太線は図 1 と同じで、細線は祖父江らによる電波連続波でみた G 109.1-1.0 を示す。

高いために『壁』として超新星残骸の膨張を妨げていることを示しているのです。分子雲のない方向への超新星残骸の膨張速度は秒速 500 km ですが、分子雲のある方向へは秒速 20 km 程度の速さに減速されるわけです。今までにも、例えばはくちょう座ループにみられるように分子雲の存在により超新星残骸のへりが圧迫されてゆがんでいる例はあったのですが、超新星残骸の形をこれほど極端に（大規模に）球形からずらしているのは G 109.1-1.0 が最初の貴重な観測例なのです。また、我々の観測と丁度同じ頃に、テノリオ・タグル等により分子雲壁の付近での超新星残骸の膨張の計算機シミュレーションが発表されましたが、その結果は我々の観測結果とよい一致を示しています。

次に、図 1 の『X 線ジェット』に着目すると、分子雲本体から赤緯 = 58°45′ にそってのびる分子雲の半島部（以後分子雲アーム）をとりかこむように分布していることがわかります。この事実を説明するモデルとして、我々は 2 種類のものを考えました。

第一のモデルは、X 線は分子雲によって吸収を受けるので、その結果カールしたジェット状に見えているのではないかというものです。実際に X 線の吸収量を計算したところ、分子雲アームのピーク位置で 40~60%、その他の平均的な部分で 30~40% の X 線が分子雲によって吸収されることがわかり、分子雲アームの柱密度（分子の空間密度を視線方向にたしあわせたもの）の量は X 線強度が『X 線ジェット』の部分に比べ分子雲アームの部分で暗くなっていることを説明しることがわかりました。もし、超新星残骸の北半分（上半分）に X 線で強く光る領域があり、分子雲アームがその一部をかくすように手前にのびてきているものならば、『X 線ジェ

ット』としてみえるようなカールした構造が観測されるでしょう。超新星残骸の西（右）に隣接する分子雲本体と分子雲アームはつながっているの、分子雲リッジは超新星残骸のすぐ手前側（吸収を起こすためには手前になくはないといけない）にはりつくように存在していると考えられます。

第二のモデルは、分子雲アームが超新星残骸の中にはいりこんでいるというものです。このモデルでも超新星残骸の北（上）半分は X 線の強い領域があると仮定しますが、それは球殻の一部ではなくて内部の比較的大きな空間を占めているとします。そこに分子雲アームが入りこんでいるとすると X 線の輻射領域の視線方向の長さが減少するために X 線で暗くなるわけです。

現時点では、上記の 2 つのモデルのどちらが正しいかはきめかねます。また、2 つのモデルで共に仮定している超新星残骸の北側の X 線の強い領域の成因を考えなければなりません（X 線パルサーの非等方な活動性？、分子雲アームを取り巻く希薄な原子ガス・ハローが超新星残骸により加熱されたもの？）。ともかく、今回の観測により従来歳差ジェットと考えられていた『X 線ジェット』というカールした構造が、実は分子雲の存在によって生じたものらしいことがわかったことは大きな収穫といえるでしょう。

偏波観測

超新星残骸 G 109.1-1.0 が分子雲による影響（非球形膨張）を受けていることが明らかになったので、こんどは別の影響つまり超新星残骸の磁場の分子雲による圧縮がおこっているかどうかを調べることにしました。超新星残骸からの電波連続波は、磁力線のまわりをらせんを描きながら相対性理論の効果が現われるほど高速で運動する電子によって出されるシンクロトロン輻射という種

類のものです。この輻射の特徴は、磁力線に垂直な偏波成分のみを出すということです。つまり、偏波の方向を観測すれば、そのシンクロトロン輻射の出された領域の磁場の方向がわかるというしくみです。

そこで我々は、1986年2月に野辺山の口径45mの電波望遠鏡を用いて波長3cmの電波連続波の偏波成分を調べました。この超新星残骸の電波強度はそれほど強くなく全領域で偏波を観測するのは時間的に無理なので、まず図2にも示した東京大学の祖父江氏らによって同じ望遠鏡、同じ波長で得られた電波連続波の全強度(つまりすべての偏波成分)マップをガイドにして電波の強い点を9点選びました。そしてこの観測によりG109.1-1.0で初めて偏波を検出することに成功しました。検出されたのは9点のうち8点です。偏波率(偏波強度を全強度でわったもの)は数%から30%程度までという比較的高い値でした。図3に、偏波方向から推定される磁場の方向の分布を示してあります。G109.1-1.0の電波強度が弱いために分子雲との関係を調べるとい当初の目標は達成できませんでしたが、この超新星残骸のなかの磁場が銀河磁場の影響を受けているらしいことがわかりました。

45 m 鏡による CO 観測

さらにG109.1-1.0と分子雲の関係を詳しく解明するために、1986年12月に野辺山の45m電波望遠鏡を用いてCO観測を行いました。観測範囲は分子雲アーム及び超新星残骸と分子雲本体の接触面をとりました。結果を図4a, 4b(表紙)に示します。それぞれ、視線速度が-51 km/s から -49 km/s の成分、-49 km/s から -47 km/s の成分の分子雲の分布を示しており、黒、紫、青、緑、黄、赤、白の順にCO強度が強くなっています。X線でみた超新星残骸を白の等高線で重ねてあります。『X線ジェット』が分子雲アームを取り囲むよう

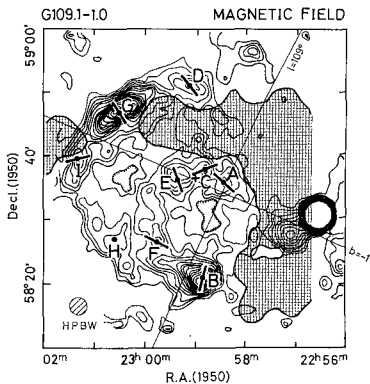


図3 偏波観測から得られたG109.1-1.0内の磁場の方向を、図2と同じ電波連続波(全偏波成分)マップ上に示す。影をつけたのは分子雲である。

に分布していること、超新星残骸が分子雲と接しているその膨張が阻まれている様子がよくわかります。そして空間分解能が向上した分、分子雲の構造がより明らかになりました。4m鏡のCO地図ではわからなかったのですが、分子雲アームは2本のフィラメントから成り立っていることがわかりました。図4a(表紙の上写真)では、分子雲アームは南に大きく曲がっています。それに対して、図4b(表紙の下写真)では分子雲アームはまっすぐな形状をもち、途中で少しねじれたようになっています。そして、どちらの速度成分でみた分子雲アームも、途中の形状は違いますが、根元と先端の位置はほぼ同じであることがわかります。4m鏡によるCO観測では、 ^{18}CO という別のアイソトープ分子の観測も行っており、分子雲アームの北(上)半分で柱密度が高くなっていることがわかっていました。45m鏡の観測とあわせて考えると、分子雲アームを構成している2つのフィラメントのうち北のもの(図4bでみえているまっすぐな方)がより高い柱密度をもっているらしいのです。この分子雲アームの速度構造は、回転や膨張のような単純な運動を示しているのではなさそうです。ひとつの解釈としては、超新星残骸との相互作用によって引き起こされた不安定性を示しているのではないかと考えられますが、詳しい検討は今後の課題です。

最後に

ウッテン、スコビル、ドゥノイヤーといった人々が超新星残骸と分子雲の相互作用を観測的に明らかにしようとしてきました。IC443やはくちょう座ループでは明らかな証拠が得られているものの、観測例は絶対的に不足しています。コロンビア大学のハンたちは1.2m鏡をもちいて、銀河系内で太陽より外側の超新星残骸の付近の分子雲の有無を調べました。彼らの観測は空間分解能が悪く相互作用の解明という点には十分ではなかったのですが、分子雲の混雑の少ない太陽より外側の超新星残骸に着目したのはすぐれた点でした。なぜなら、それまでの超新星残骸付近の分子雲の観測のうちいくつかは分子雲の混んでいる銀河系の内側の領域のもので超新星残骸と分子雲の関係がはっきりしなかったからです。そこで我々は、コロンビア大学の1.2m鏡による観測で分子雲の存在がわかっている銀経 70° から 110° の間にある超新星残骸を5個取り上げて相互作用の観測的解明をはかっています。今回紹介したG109.1-1.0以外にも γ Cygni SNR, HB21という2つの超新星残骸ですでに相互作用の証拠が得られています。さらに観測を進めて相互作用を理解していきたいと考えています。

なお、この研究は文部省科学研究費補助金(Nos. 59420002, 60302014)の援助によって行なわれました。