

●●●●あの論争は…いま？ (7) ●●●●

銀河系は爆発したか？—孤軍奮闘の30年論争—

Did The Milky Way Experienced Starburst Explosion?

祖父江 義 明

〈東京大学天文学教育研究センター名誉教授 〒181-0015 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: sofue@ioa.s.u-tokyo.ac.jp

論争の種：銀河系の巨大電波ループの起源について

論争のはじまり：1970年代

主な対立説：至近距離の超新星残骸とする説と、銀河系の大爆発による衝撃波

現在有力な説：1,500万年前に起きた銀河系中心部のスターバーストによる巨大な衝撃波であるという私の双極ハイパーシェル説。しかしまだに超新星残骸と信じていたり、その説を鵜呑みにしている人が多い。

1. 巨大な電波ループ

夏の天の川をいて座から北天にかけて電波で眺めると、直径120度に及ぶ巨大な円弧が覆い被さってくる。もっとも明るい部分は銀河面から北の銀頂に向けて延びるので、古来ノースポーラスパー（NPS: North Polar Spur 突起の意味）と呼ばれている。円弧全体を丸くたどってループIとも呼ぶ。全天の電波図にはこのほかのループもたどって、ループII, III, IVの名前がつき、研究者によってはV, VIまで見つけたと主張するものもある。

1950-60年代に電波円弧が見つかった直後、これらは至近距離にある超新星の残骸（SNR）であるとする説が唱えられ、以来主としてヨーロッパの研究者を中心にSNR説が広く信じられてきた。ループが超新星残骸であると仮定して、白鳥座の網状星雲などシェル型の超新星残骸について知られている表面輝度と直径の関係をあてはめると、実直径はいずれも100 pcほどになる。した

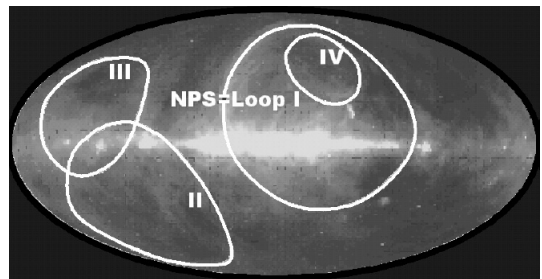


図1 408 MHz 全天電波図（ハスラムらによる）にループI-IVを描いたもの。超新星残骸説の根拠となっている。

がって距離も至近で、太陽から100-200 pcの位置に異常に密集している勘定である。ところが超新星残骸特有の光で見えるフィラメントの球殻構造は見えていない。私にとってはどうも納得できない不思議な説であった。

2. 全天電波図とスパー

1970-1980年代に入り、全天の電波マップが盛大に作られるようになると、ループ観測の精度も

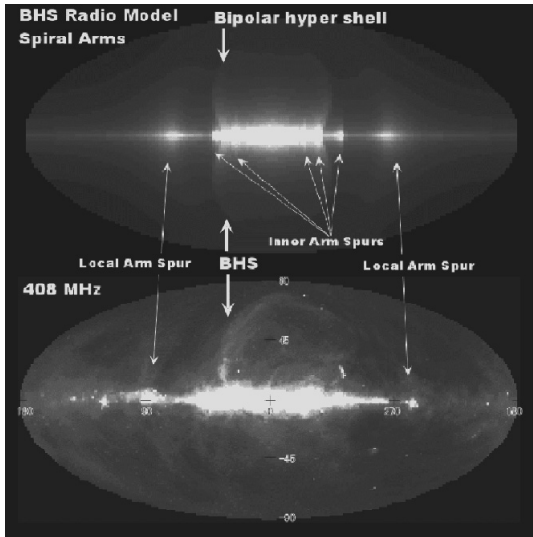


図2 下: (a) ハスラムらによる 408 MHz 全天電波マップ. 上: (b) 銀河中心の爆発と渦状腕構造に基づくモデル電波図.

上がるかに思えた。しかし一方で銀河面から立ち上るさまざまな電波スパーク構造の存在が明らかになり、筆者は電波スパークと渦状構造の関連について興味をもつようになった。ループの根本のいくつかは渦状腕の接線方向に一致していることから、磁場と宇宙線の腕が上空に土手のように膨らんでいるのを縦に見通していると考えたのである。渦状腕モデルをたてて輝度分布を計算してみるとほとんどのスパーク構造が見事に再現される。

しかし NPS だけは、完全とはいえないが、きれいなループを描いており、断面の輝度分布もシェル（球殻）状の衝撃波であることを示している。ただ至近距離の超新星残骸とするといろいろと無理がある。そのころ系外銀河の電波観測が進み、NGC253 などスターバースト銀河で、銀河面から上空に噴き出す巨大なシェルやジェット構造が観測されるようになった。

マップが大好きな筆者は、ハスラムらの 408 MHz 全天電波図（図 2a）を日夜眺め暮らすうちに、ある日考えた。ひょっとして天の川銀河系においても、中心で大爆発があり、その名残が NPS

なのではないだろうか。そのつもりになって電波図を眺めてみると、上空に噴き出す電波構造は銀河中心の方向に集中していて、ループ I も銀河面から噴き出した泡のように見える。

3. 大爆発モデル

しかしこの考えは、当時としては突拍子もない発想で誰も相手にしてくれなかった。考えついでしまえば実に簡単なモデルで検証できる。銀河ディスクとハロー、そして銀河系をかこむ銀河間ガスを置き、中心で大爆発を起こしてやればよいのである。最初は内田によって開発された MHD 高速波の波面を衝撃波に見立てて伝播を計算してみた。さらに坂下、メレンホフの断熱衝撃波の波面伝播を計算してみた。

いずれの結果も予想どおりで、爆発直後に中心域で球形に膨張する衝撃波面も、やがてディスク方向ではばまれてくびれて、銀河面上下に膨らむ Ω 形に成長する。漫画に描く焼き餅の図である。そして Ω 状の波面を天球上に投影して、電波図に重ねてみると、NPS にぴたりと一致する。さらに磁場と宇宙線が圧力平衡にあると仮定し、シンクロトロン放射率をガス密度のべき乗で与えて電波強度分布を作ってみると、観測を実によく再現する。さらに渦状腕におけるシンクロトロン放射も考慮して計算した電波強度分布が図 2b である。

良い一致を見るためには中心での爆発エネルギーは 10^{55-56} エルグが必要である。タイプ II の超新星爆発エネルギーのおよそ 1 万倍である。当時は中心の点爆発とも考えたが、今日では中規模スターバーストのエネルギーと考えればよい。しかし SNR 説に比べて、距離にして 100 倍、エネルギーにして 1 万倍かけはなれた大胆な仮説であった。

4. X 線距離が決め手

距離 100 pc の SNR か、8 kpc の銀河中心爆発か、その決め手を、1980 年代のマッキヤモンソン

フト X 線観測, そして 1990 年代のスノウデンらによる ROSAT による全天 X 線マップが与えてくれた。

ソフト X 線は星間物質に含まれる金属イオンで散乱吸収されるので, 吸収係数は星間ガスの密度と距離に比例し, またエネルギーが低いほど (エネルギーの -2.5 乗) 大きくなる。通常の金属組成の星間ガス中では, エネルギー $0.25, 0.75, 1.5$ keV の X 線は, ガスの柱密度 $1.6 \times 10^{20}, 2.5 \times 10^{21}, 1.4 \times 10^{22}$ 水素原子 cm^{-2} を通過すると, 強度が e 分の 1 に減衰する。星間ガスの平均密度が 1 水素原子 cm^{-3} とすると, それぞれ, 41 pc, 640 pc, 3,600 pc の距離に対応する。例えば 1.5 keV の X 線が吸収を受けていれば, 放射源は 3.6 kpc よりも遠方にあるということになる。

そこで ROSAT による 0.25, 0.75, 1.5 keV の X 線強度マップを眺めてみよう (図 3: 表紙は赤, 緑, 青で合成したもの)。さて件の NPS からの X 線は, 0.25 帯では全面にわたって吸収され, 放射源が 40 pc よりも遠方であることがわかる。これは SNR 説と矛盾しない。ところが, エネルギーが上がると, 銀河面に近づくにつれ急激な吸収を受けていることがわかる。たとえ 1.5 keV でも銀

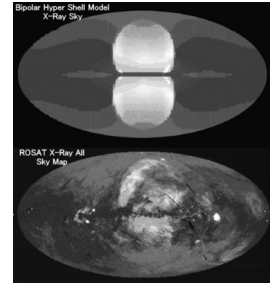


図 3b ROSAT による全天合成 X 線マップ (下) とモデル (上) (表紙にカラー版)。

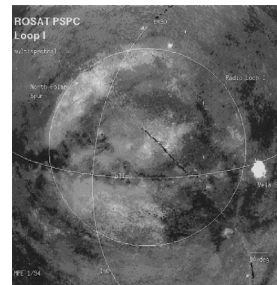


図 4 ROSAT-X 線マップにループ I をフィットした図。

河面では e 分の 1どころではなく, ほぼ完全に吸収されている。このことから放射源が 3.6 kpc の数倍遠方であることがはっきりとわかる。

ちなみにループ I-IV が仮に 100 pc の位置にある超新星残骸だとすれば, どのエネルギー帯でも吸収はほとんどゼロのはずで, 完全なループを描かなければならない。図 4 はループ I を ROSAT の X 線マップに重ねたものだが, 銀河面で明らかに吸収されている。

5. 双極ハイパーシェルモデル

では X 線観測を, 銀河中心の大爆発モデルでうまく再現することができるだろうか。すでに述べた中心からの衝撃波モデル, 銀河面の上下に Ω 形に膨らむ球殻ができることがわかった。これを双極ハイパーシェルと呼ぼう。

衝撃波の計算で, 波面のガス密度および速度, したがって温度が求められ, エネルギーに応じた X 線放射率を計算することができる。一方, 銀河

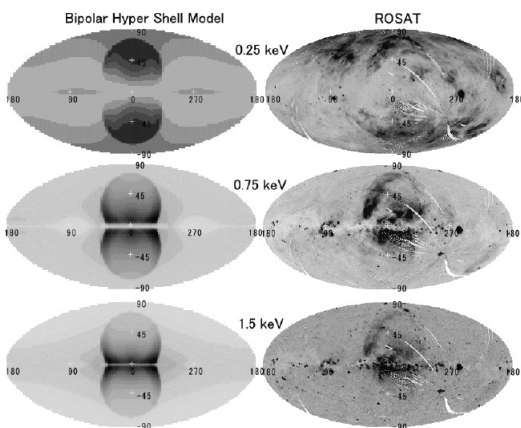


図 3a 右: スノウデンらによる ROSAT 全天 X 線マップ。左: 銀河中心の爆発モデルによる X 線強度分布。上から 0.25, 0.75, 1.5 keV の X 線強度を示す。

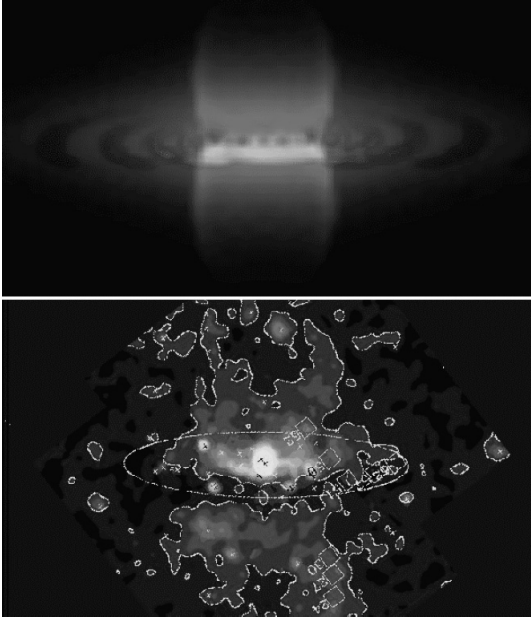


図5 スターバースト銀河 NGC253 に観測された X 線の双極シェル (下) と、双極ハイパーシェルモデルによる再現 (上)。天の川銀河系のハイパーシェルに瓜二つである。

面からハローにかけての星間ガス分布は、HI や CO 輝線観測で知られているので、モデル的に与えることができる。さらに渦状腕については、ピッチ角 12 度の渦巻きとそれに沿う密度超過を与える。

このようにして、爆発波面からの X 線放射率と、銀河系による吸収率の分布が与えられるので、視線ごとに放射輸送を解いて、全天で 0.25, 0.75, 1.5 keV 帯での X 線分布を計算で描くことができる。計算結果を図 3b に示す。エネルギー帯ごとに強度を赤、緑、青で表して合成したものを表紙に示す。

図 3 および表紙の図で、シミュレーション結果を、ROSAT 観測と比較すれば、ほぼ満足のいく再現がされているとあって良いであろう。とくに銀河面で強い吸収を受けている様子、銀河中心に集中して上下にダンベル状に広がった X 線放射の分布、などをよく説明することができる。

X 線スペクトルを再現するためには衝撃波面の温度は 1,000 万度、波面の膨張速度は秒速 200 km が要求される。そのためには、今から 1,500 万年前に銀河系の中心で 10^{55} エルグの大爆発があったはずである。通常の規模のスターバーストが起きたと考えるのが自然である。

ちなみに NGC253 に X 線および電波で見つかった巨大な双極シェルも、わが銀河系双極ハイパーシェルとほとんど同じパラメーターのモデルで再現できる (図 5)。つまり天の川銀河系は、過去において NGC253 など著名なスターバースト銀河の仲間であったことがうかがえる。

6. 30 年論争はつづく

さて、読者の皆さんはどうお感じになったでしょうか。もちろん筆者はこの説が正しいと確信している。超新星残骸説と銀河中心爆発説では、後者に軍配が上がることは明白だと思っている。ところが業界はそれほど甘くないのである。

ひところほど頻繁ではないが、いまだにループ I, II, … を超新星残骸とする論文が書かれたりする。ROSAT のホームページには図 4 のようなカラー写真が飾られている。ROSAT データをもとに超新星残骸説で博士論文を書いた人さえいる。一方、銀河系の中心部と関係づけた論文には、私の一連の論文以外にはまだお目にかかっていない。1970 年代に最初の論文を書いて以来、銀河爆発説は四面楚歌である。

この事態は喜ぶべきなのか、悲しむべきなのか。だれも気がつかないうちに一人勝ちの理論を進めていくのは爽快だが、誰も勝ち (価値?) を認めてくれない寂しさも募る。皆が私の考えを取り入れて盛大に銀河系スターバーストを論じてくれたら嬉しいとは思うが、そうなればそうで逆に騒々しくてかなわなないかもしれない。今まで 30 年たったのだから、これから 30 年は情勢が変わらないのかもしれない。ガリレオ再審もあったことだし、気長に待つことにするか。