

銀河系の中心方向を赤外線で見ると……

長 田 哲 也*

雄大なオリオン座や青白く光るシリウスなど役者のそろった冬の夜空に比べると、夏の星座というのは個々に見れば少しさびしいような気もします。しかし、夏の夜空には冬とは比較にならないほどの輝きで私達を圧倒する天の川という主役がいます。ことに、いて座からさそり座にかけての明るさは、多少の街のあかりなど物ともしないほどで、私達の銀河系の中心がいて座の方向にあるというもうなずけます。

しかしながら、可視光では銀河系の中心まで見とおすことができません。ベテルギウスやアンタレスといった超巨星でも、銀河中心に置くと可視光(Vバンド)では35等星とか40等星とかになってしまい、どんな望遠鏡を使っても観測できないと思われる。銀河中心と私達との間にあるダストによって、光が吸収・赤化を受けるためです。銀河中心から角度にして数度はなれた方向には、たまたまダストが少ない「バーデの窓」とよばれる領域があり、その方向の星については可視光でも多少調べられてきましたが、銀河中心の星をズバリ観測するには、赤外線しかありません。赤外線はダストによる吸収を受けにくいのです。図1(=表紙)は、波長 $2\mu\text{m}$ の赤外線で見えた銀河系の中心部約150光年(この記事では銀河中心までの距離を2万5千光年ぐらいと仮定)です。左上から右下に流れる銀河面に沿って多数の星が集中していることと、赤外線さえもとおしにくい濃いダストの雲が点在していることに注目してください。ここでは、銀河系の中心部について、地上の赤外線望遠鏡を使ってどんなことがわかってきたかをお話したいと思います。(気球を使った近赤外線観測については天文月報第77巻2号の舞原氏の記事を参照のこと。また、最近の炭素禁制線 $158\mu\text{m}$ のすばらしい成果については、天文月報第82巻5号、芝井氏の記事参照)。

研究者たちが銀河中心方向の観測で明らかにしようとしていることは、次のように大別できるかもしれません。1) 私達の銀河系の中心、まんまなかには何があるのか、何が起きているのか。2) 銀河中心に近いという環境の下で、星やガスはどういうふるまいをしているか。3) 銀河中心と私達の太陽系との間の星間空間はどうなっているのか。……筆者のようなへそまがり、銀河中心を観測するなどと言いながら、実は銀河中心の

近くの明るい星を背景光源として第三の問題にとりくんでいたりするのですが、まずは一番目から見てゆくことにしましょう。

銀河系のど真ん中にはいて座 A* か IRS 16 か？

波長 $2\mu\text{m}$ の赤線の輝度が最も強くなっているあたりに、いて座 A* と名付けられた電波源があります。この付近を、たとえば波長 2cm の電波で観測すると、いて座 A* の近くからは長さ30秒角ぐらいの渦巻が出ています(図2)。スペクトルを調べると、この渦巻は H II 領域であることがわかり、(後で述べるように少し変わってはいますが)まあ、それほどヘンテコなものではありません。ところが、いて座 A* の方はせいぜい太陽・地球間の距離の20倍以下の大きさしかないのに強い電波($2 \times 10^{34} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$)を出しているそうで、パルサーや超新星残骸など銀河系の他の場所に見つかる電波源とは違った「ユニーク」なものです。そこで、いて座 A* は大質量(太陽の100万倍程度)のブラックホールで、銀河系はこの天体を中心にまわっているのではないかと、この考え方があります。

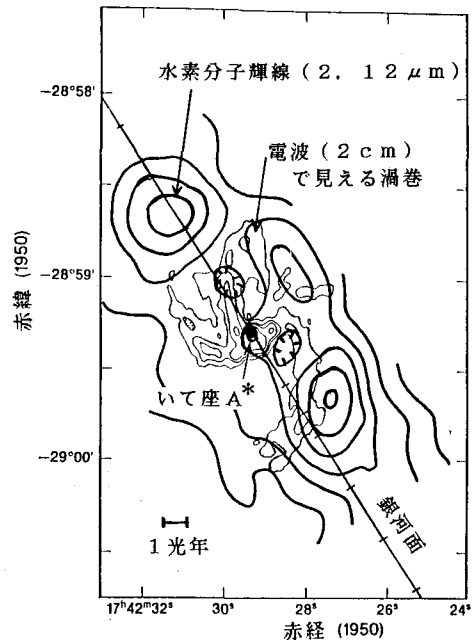


図2 銀河中心の渦巻(電波観測; Ekers たち, 1983)とリング(水素分子の赤外線観測で、その断面を見ているものと思われる; Gatley たち, 1986)。

* 京大理 Tetsuya Nagata: Looking towards the Galactic Center in the near infrared.

さて、赤外線での付近を詳しく観測すると、どうなっているでしょうか。まず、中心部 1 分角たらず (数光年) が波長 $10 \mu\text{m}$ の赤外線ですべて調べられ、強い輻射を出している場所に IRS1 から IRS10 までの名前がつけられました。これらの赤外線源の分布は電波の渦巻と形が似ていて、H II 領域の中のダストが熱輻射を出しているものが大多数だと考えられています。続いて、波長 $2 \mu\text{m}$ で明るい天体はないかと探索が行なわれました。IRS 7 などでは $2 \mu\text{m}$ でもずいぶん明るいことがわかったのですが、その他にもいくつか明るい場所が見つかり、名前のついた赤外線源は 19 個に増えました。そして、そのうちのひとつ、IRS 16 がいて座 A* に大変近いことがわかったのです。

いろいろな観測がなされるにつれて、IRS 16 もまた「ユニーク」な天体らしいことがわかってきました。付近の $2 \mu\text{m}$ 赤外線源に比べて、スペクトル分布が青い方にずれていて ($H-K=2.1$ 等は最も青い)、これがただの赤色巨星ではないらしいことを示唆しています。赤外カメラの発達や月によるえんべいの観測などから、IRS 16 は少なくとも 4 個の部分からできていることが明らかになりました。そして驚くべきことに、IRS 16 はいて座 A* と位置が異なっていたのです; いて座 A* に最も近い IRS 16 NW でも約 1 秒角離れており、いて座 A* の場所にははっきりとした近赤外線源はありません。さらに、1) 波長 $12.8 \mu\text{m}$ の電離ネオンの輝線で測ると高速のガスの流れが見つかり、その中心はいて座 A* ではなく IRS 16 の北東部に近いこと、2) 水素 (Br α) 輝線で見えるたいへん高速 ($\pm 700 \text{ km s}^{-1}$) のガスは IRS 16 の中心部にピークを持つこと、などから、銀河中心部の主役はむしろこの IRS 16 で、いて座 A* は中心の近くにあるちょっとしたブラックホール (質量が太陽の 100 倍程度) にすぎないという説もあります。この場合、IRS 16 はやや重い星が何十万個も集まった集合体ということになるのかもしれませんが。

人間だれしも自分の見ている物の方が重要だと考えたものらしく、88 年夏に行なわれた IAU シンポジウム No. 136 [銀河中心] でも、いて座 A* の特異性を強調した電波天文学者の発表に「ただ、いて座 A* は IRS 16 の位置からずれてるじゃないか。」というヤジがとび赤外線天文学者が喝采をおくるという場面が見られました。ただ、どちらが主役であるにしろ、これらの天体が私達の銀河系の他の場所には見られないものであることに変わりはなく、これからもその性質を調べるためにさまざまな観測が行なわれていくことでしょう。

銀河中心での星生成

上に述べたように、いて座 A*・IRS 16 の付近およそ

数光年には渦巻状の H II 領域があり、さらにその外側には波長 $2.12 \mu\text{m}$ の水素分子輝線を出すリング状の領域 (直径およそ 10 光年) があります (図 2)。このリング状領域からは CO や HCN のミリ波も受かっています。中央にエネルギー源があって、周辺にむかってだんだんと温度が下がってゆくわけで、何も銀河中心だからと言って特別なことは起こっていないように見えます。しかし、詳細を見ると、この H II 領域複合体はやはりユニークです。太陽光度の 1000 万倍ものエネルギーを紫外線ですべて出しているのに、その紫外線の温度はせいぜい 35000 K しかない「ソフト」な輻射場らしいのです。現在のところ、いて座 A*・IRS 16 の「性質」としてかたづけるしかないような状況ですが、星生成の歴史から説明しようとする考えもありました。

もし 1000 万年ほど前に爆発的な星生成が起こっていたとしたら…と「星生成」派は考えます。明るい O 型星は今や主系列を離れ、紫外線を出さない赤色超巨星になっている、あとに残ったのは晩期 O 型や B 型といった「ソフト」な紫外線を出す星ばかり…というわけです。ところが、銀河中心部 10 光年ほどの領域で見つかっている赤色超巨星は唯一 IRS 7 のみで、他の $2 \mu\text{m}$ 赤外線源は年老いた巨星らしく、(もちろん IRS 16 の正体は不明ですが、少なくとも赤色超巨星ではないようです) この説はどうも旗色が良くありません。

しかし、もう少しだけ大きなスケールでは、かつて活発な星生成が起こったのではないかと考えている人々がいます。銀河中心の 5 分角 (約 40 光年) の範囲にある近赤外線源はバーデの窓に見つかる巨星よりも明るいものが多く、若くて重い星がたくさんあるのだ、という報告もあります。確かに、図 1 (=表紙) からわかるようにこの領域はとりわけ星の密度が高く、比較的最近 (1 億年以内ぐらい) に活発な星の生成が起こったはずだ、と言われればそうかもしれません。やや年代的にはズレがありますが、電波の観測からも「銀河系中心でバースト的星生成」が起こったらしい証拠 (天文月報第 81 巻 12 号坪井氏の記事) があるそうです。

さらに大きな範囲ということになるとどうでしょうか。いて座 B 2 という電波源は銀河中心から 300 光年あまり (天空に投影した距離で) のところにあり、濃い分子雲の中でいろいろな分子が見つかり、O 型星のような重い星が生まれているらしいと言われています。しかし、こういった特別な場所を除くと、それほど活発に星生成は起こっているように見えません。重い星が生まれているところにはよく水メーザーを出す雲が存在するものですが、いて座 B 2 以外には弱い水メーザーが 3 か所見つかっているだけです。さらに、現在星生成が起こっていないというだけでなく、次に述べるように、過去何千万

年かにわたっても、特に活発な星生成は起こっていないようなのです。

銀河中心方向にはどんな星が？

図1(=表紙)のいちめんに見えている星はいったいどのような星なのでしょう。

筆者たちは、オーストラリア国立大学の1m望遠鏡を使って波長 $1.6\mu\text{m}$ と $2.3\mu\text{m}$ (H と K バンド)で銀河中心方向を観測し、50個の明るく($K < 7.6$ 等)赤い($H - K > 1.4$ 等)天体を選び出しました。「銀河中心方向にある明るい星」というだけでは、その星が実際に銀河系の中心近くにあるのか私達の近くの星なのかわかりませんが、「赤い」ということから、その星の光が星間空間を長距離やってくる間に赤化を受けた可能性が高く、私達の近くにあったまま銀河中心の方向に見えている星を除外できる、と考えたわけです。この50個の天体をハワイのIRTFで観測しました。まず $1\sim 20\mu\text{m}$ の波長で測光し、次に $2.0\sim 3.5\mu\text{m}$ の分光観測も行ないました。

標準的な銀河系のモデルによると、こういった観測で見つかる星はほとんどが赤色巨星や超巨星です。スペクトル型で言うとMIII, MI, そしてくじら座のミラに代表されるような長周期変光星が含まれます。巨星や長周期変光星は比較的軽い星で進化の速度が遅く、無数に存在していて、そのうち明るいものだけが受かると考えられます。超巨星はもともと重い星で大きなエネルギーを放出しており、生まれてからまだ何千万年もたっていない星です。M型の超巨星はかなりの確率でこの観測にかかるかと思っっているのですが、もしこんな星がたくさんあったら1千万年ほど前に活発な星生成が起こった

証拠になります。

では、どうすれば観測した天体を分類することができるでしょうか。長周期変光星の一つの特徴は、脈動によってガスを放出しダストの雲をまわりにまとめていることです。したがって波長 $10\mu\text{m}$ 付近にはダストからの熱放射が見えるはずですが、ただ、超巨星の中にもダストの雲を持つものがあると予想されるので、この分類だけでは不十分です。若い超巨星を区別することが必要になります。実は、こういう赤い星のスペクトルには水蒸気(H_2O)と一酸化炭素(CO)の吸収線が存在し、その強さの比が星によって異なります。波長 $1.9\mu\text{m}$ と $2.7\mu\text{m}$ に見える H_2O の吸収の強さは長周期変光星が最も強く、波長 $2.3\mu\text{m}$ の CO の吸収は超巨星が最も強いのです。このことも利用すれば、観測した天体をかなり明確に分類できるわけです。

図3にスペクトルの例を示します。銀河中心のIRS7は超巨星の代表です。 CO の吸収は顕著ですが H_2O の吸収がほとんど見られないことがわかります。新しく見つけた50個の天体で、これほどはっきり超巨星の特徴を見せるものはありません。それでも、超巨星らしきものは3個ほど見つかっています。一方、天体#23は長周期変光星の例です。深い H_2O の吸収に注目してください。50個のうち、約半数が長周期変光星でした。残りは大部分が巨星で、水素($\text{Br}\gamma$)輝線を示す若い星らしい天体が3個、 $2\mu\text{m}$ バンドにまったく特徴のない奇妙な天体も4個見つかりました。

このように、何百光年という大きなスケールで見たときに、銀河中心方向の明るい近赤外線源はほとんどが年老いた天体で、大規模で活発な星生成が過去に起こったという証拠は、私達の観測からは得られませんでした。

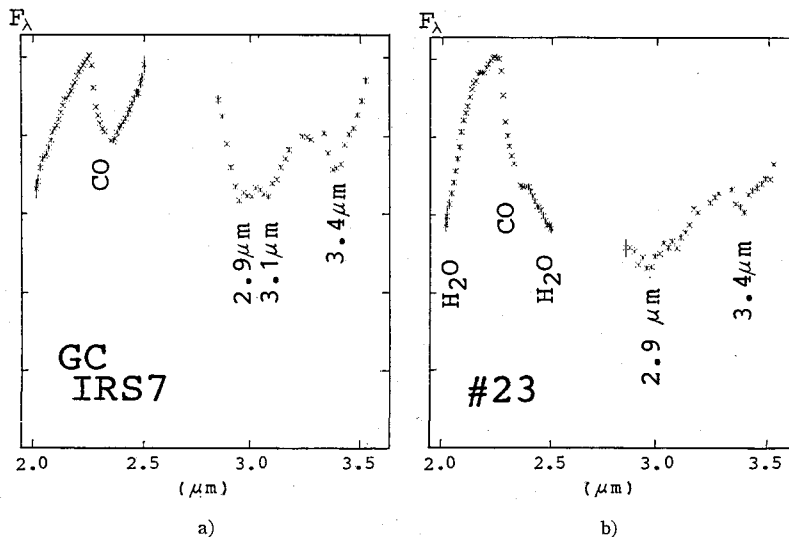


図3
a) 銀河中心近くの超巨星 IRS7,
b) 銀河中心から約10分角離れた赤外線源 #23 の $2\sim 3.5\mu\text{m}$ スペクトル。星の分類に使えるだけでなく、星間空間のダストの情報も含んでいる。

ただし、だからと言って銀河系の内奥部にある星はみんな大昔に生まれた似たような星ばかり、ということにはならないようです。南米の天文台での赤外観測によると、銀河面から 4 度離れたあたりの巨星の金属量は太陽の金属量よりも少し多い ($[Fe/H] \approx 0.2$) けれども、6 度、8 度…と離れるにしたがって金属量が減っていているとのことで、やはり何らかの進化が起きているのかもしれない。

銀河中心と私達の間の星間空間

波長 $2 \mu m$ 付近のスペクトルで星の性質がわかるのに対し、もっと長い波長の情報からは星間空間にあるガスやダストの性質が求められます。水素・酸素・炭素などの原子が結びついたものに赤外線があたると、ちょうどその原子どうしが振動する波長のエネルギーを吸収し、私達には吸収スペクトルとして観測されます。この振動の波長が $3 \mu m$ から $20 \mu m$ のあたりにあるのです。たとえば、波長 $2.6 mm$ の回転スペクトルのミリ波観測で有名な CO ガスは赤外域 $4.7 \mu m$ 付近に基本振動があり、回転・振動による吸収線が図 4 のように観測されます。1 本 1 本の吸収線は回転のレベルの違いに相当しており、これから星間ガスの温度や密度を求めることができます。この天体 #26 はもともと小林氏らが銀河中心の赤外偏光サーベイの途中で見つけた星で、波長 $2 \mu m$ 付近のスペクトルに特徴がなく、背景光源として銀河中心から私達までの星間物質の性質を調べるのに絶好のものです。図の吸収線はごく低温 ($10K$ 程度) のガスによるものとわかりました。

ダストによる吸収は、自由に回転できるガスの場合とは違って、一つの幅広い吸収バンドとなるのが普通です。図 3 に戻りますが、IRS 7 や天体 #23 には $3 \mu m$, 3.4

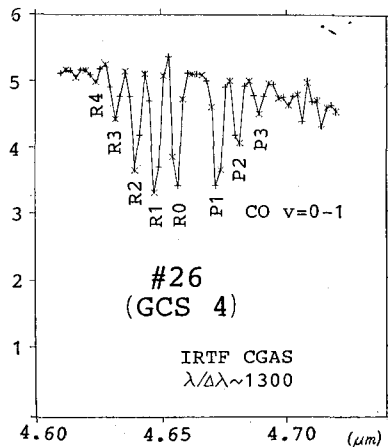


図 4 赤外線源 #26 (実は小林たち (1983) の GCS4) のスペクトル。低温の CO ガスによる吸収線がたくさん見える。

μm に吸収バンドが見られます。これらはそれぞれ、酸素原子と水素原子、炭素原子と水素原子の振動によるものらしいと考えられています。炭素-水素のバンドは、星の生まれつつある分子雲などのダストの観測ではそれほど顕著ではありません。これが銀河中心の天体を見たときに目立つのは、希薄な星間空間で紫外線にさらされながらもダストのうちの炭素-水素結合の部分は生き残る(あるいは、むしろそういう環境でできてゆく)からだろうと思われます。

こういった吸収スペクトルは強力な観測手段ですが、それだけから星間空間の情報が得られるわけではありません。H, J, K バンドでの赤化の測定 (例えば J-H, H-K 図) からも波長 $1 \sim 2.5 \mu m$ でのダストの光学的性質が推定されます。また、偏光の測定もダストの性質・銀河系内の磁場を求める重要な方法です。これらの観測で見える限り、銀河中心方向の星間のダストの性質が、太陽系の近くのダストの性質と大きく違っているということにはなさそうです。しかし、 $10 \mu m$ に見られるシリケートの吸収は銀河中心の近くでは特に目立っており (A_V あたりにして約 2 倍)、銀河系の内側のダスト中にはシリケートが多いのかもしれない。

おわりに

このところ銀河中心に関する国際会議は 2 年に 1 度の割合で開かれています。86 年に開催されノーベル賞のタウンズ教授の名を冠したシンポジウム (カリフォルニア大学バークレー校) では、アリゾナ大のグループが新しい赤外カメラの観測を誇らしげに発表する一方、この分野で先行したロチェスター大は水素 (Bra) 輝線の像で IRS 16 の位置を確定しました。88 年の IAU シンポ (UCLA) では VLA による電波のマップが会場にあふれました。また、波長 $10 \mu m$ での赤外カメラもデータを出しはじめました。新しい技術が謎を一つ一つ解き明かしてゆく一方であらたな謎が生まれてゆき、コピーライター風には、「いま、銀河中心が面白い！」なのです。

お知らせ

公募結果報告

天文月報 82 巻第 1 号 (1989 年 1 月) に公募掲載していただいた公募の結果をご報告致します。

- 決 定 吉田篤正
- 以前の所属 宇宙科学研究所 (東大理)
- 着任予定時期 1989 年 6 月 1 日
- 所 属 理化学研究所宇宙放射線研究室
(理化学研究所 松岡 勝)