

# 銀河系の中心部

奥田治之\*・舞原俊憲\*

## 1. まえがき

我々は様々な形をした美しい銀河系の写真をよく見る。それらは楕円体状、渦状、棒渦状、不定形をしており一般的に中心程明るく見える。しかしそこが特別に変った様子を示しているようにも見えない。ところがこれを短い露出の写真で見ると中心が際だって明るい光点として現われるものがある。この種の銀河系はモルガンによってN(核)―銀河系と名づけられて、色やスペクトル等が周辺部と異なっていることが認められている。中でもセイファートによって発見されたいわゆるセイファート銀河はこの中心核が異常に青いこと、強い輝線が見られしかもそのスペクトル線幅が非常に広いこと等から強い関心が持たれて来た。一方電波観測から、強力な電波源の中で光学的には点状の天体としか同定出来ない(準星或いは)QSOと呼ばれる天体が発見されている。これらのQSOのスペクトル線は光速の数の1にも達する赤方変位を示す。これが膨脹宇宙によるドップラー効果によるものと考えるとQSOは極めて遠距離に位置し、放出している放射量は莫大なものになる。しかもそれが光学的には分解できない程の大きさであり、大陸間を基線にした電波干渉観測の結果からは $10^{-8}$ 秒角程度の拡りしか持たないことが明らかにされ、放射機構の謎を深めている。

最も近い銀河系である我々の銀河は我々自身がその中に埋れていることがかえって災いして研究が遅れていた。それは銀河面の星間空間を満しているグレイン(粒子)に見通しをさえぎられていて直接可視光で見ることが不可能なためである。ただ電波天文学の研究からは中心方向に強い電波源の存在することが古くから知られていたし、21cm波の研究からは中性水素ガスの分布および中心付近での回転運動が調べられている。更にミリ波の観測により銀河中心方向に多様な分子(OH, H<sub>2</sub>O, ホルムアルデヒドその他の有機物)が検出されている。

一方最近の赤外線観測では星間吸収のヴェールを払って興味ある事実を次々に明らかにしつつある。ベクリン・ノイゲバウアの近赤外域での観測は初めて銀河中心核の存在を確認し、その後いろんなグループによって、

10~20 $\mu$ 領域、100 $\mu$ 領域と観測が拡張されるにつれて予想もされなかった強い赤外線源が発見されている。それによって、前述のセイファート銀河の中心核、QSO等と規模は異なるにしても、非常によく似た放射の源が実は我々の銀河の中心にも存在していることが明らかにされてきている。以下銀河系の中心部分の研究、特に赤外線による我々の銀河系の中心領域の観測の現状と考えられる放射機構を紹介する。

## 2. 銀河中心部の観測

ジャンスキーによる宇宙電波の発見は現在の電波天文学のきっかけになったが、そこで観測されたのが銀河中心方向の強い電波であった。その後の詳しい観測は銀河系の回転中心方向にSgr Aと呼ばれる直径10pc程度の電波源を確認した。更に、中性水素原子の超微細構造準位から出る21cm波の観測からオールド、ラホールは中心部分の詳しい速度分布を解析し、約200km/secの高速で回転する厚さ80pc、半径300pc程度の円板状の水素雲：およびその周囲に半径400pc~600pcに広がる環状の水素雲を認めている。彼等は回転速度の分布から半径20pc以内に約 $2 \times 10^8 M_{\odot}$ の物質が存在していると考えている。

ところで星間吸収は波長が長くなるに従って急激に減少し、その結果赤外領域では銀河中心が浮び上がってくるのが期待される。ステブンス、ホイットフォードは赤外写真観測によってその徴候を認めていたがベクリン・ノイゲバウアは1967年、近赤外線銀河中心方向の詳細な探査を行い強い赤外線源をクローズアップさせるこ

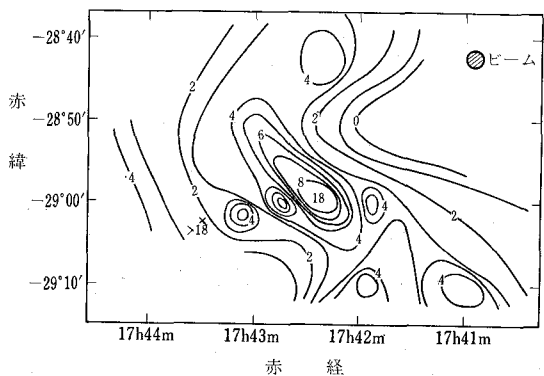


図1. 2.2 $\mu$ での赤外線地図

\* 京大理学部  
H. Okuda, T. Maihara  
The Nucleus of our Galaxy

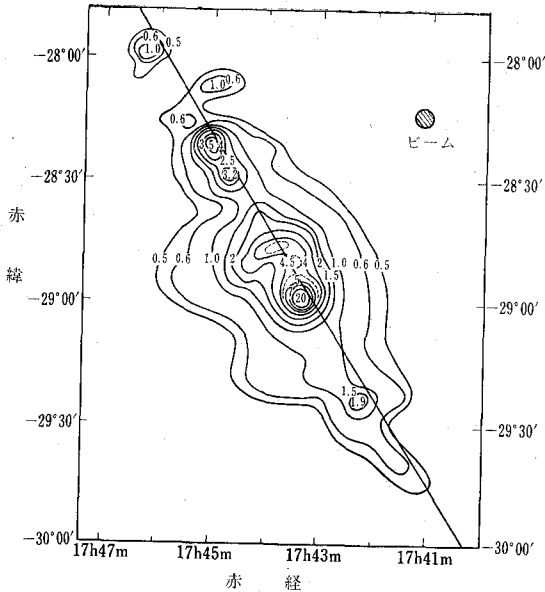


図 2. 100  $\mu$  での赤外線地図

とに成功した。2.2  $\mu$  で観測された赤外線強度分布は図 1 に示すようになり、1) 銀河中心の数分角 ( $\sim 10$  pc) 内に集中する殻状の成分、2) 更に広い範囲に亘る背景的成分とそこに散在する数個の島状の源、3) 図には示されていないが殻状の源の中心付近に 5 秒角以下の点状の源、が存在する。その後彼等は波長域を 10 $\sim$ 20  $\mu$  に延ばして中心付近に約 15 秒角 ( $\sim 0.2$  pc) の拡がりをもつ中間赤外線源を発見している。この観測はオウマン・ロウに引継がれ、更にジェット機による 50 $\sim$ 300  $\mu$  領域の観測を行って、強い遠赤外輻射を発見するに至った。彼等は 1200  $\mu$  での観測も試み、一応強度の上限を抑え、その後一層改良された観測を繰返してスペクトルが 70  $\mu$  付近に鋭いピークを持つことを確認している。同時に中心から 1 $\sim$ 2 $^\circ$  離れた銀河面内にもほぼ同じ様な拡がりをもつ遠赤外線源を新たに見つけている。それより以前 Hoffman・フレデリックは気球で 100  $\mu$  付近の観測を行い、銀河中心に近い領域の 2 $^\circ$   $\times$  6 $^\circ$  の範囲にロウ等の観測よりも 1 桁以上強い輻射が受かったという報告をしていた。最近同じ波長で分解能 6 分角の精度の高い観測を行って中心付近の詳細な輝度分布を鮮かに描き出し、前回の結果を改めて確認した。彼等は同時に、銀河中心から少し離れた遠赤外線源の存在も認め、ダウンズ・マクスウェルのマイクロ波の源 (HII-領域)、との同定に成功した。これらの源は 38 分角  $\times$  15 分角 (中心の源)、から 10 分角  $\times$  10 分角程度の拡がりを持っていて、図 2 に示すような強度分布を持つ、これは図 3 の電波の強度分布と見事な対応を見せている。

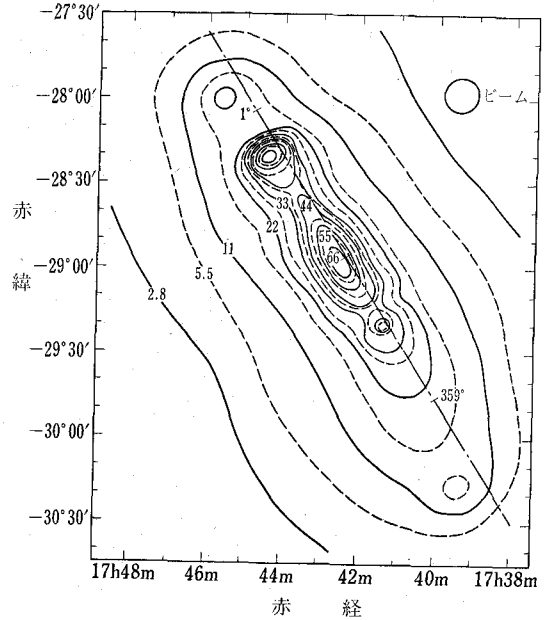


図 3. 電波 (5GHz) の地図

### 3. 銀河中心では何が起っているか

以上の様な観測をまとめると銀河中心からの輻射は、表 1 に示すような成分に分類出来る。それぞれの波長で見た源の位置は表からわかるように観測精度内でよく一致している。また紫外線 (アンドロメダ銀河の観測から類推) から電波に至るエネルギースペクトルは図 4 のようにまとめることが出来る。銀河中心までの距離 (10 kpc) を考慮すると中心領域の半径約 20 pc 内の全輻射量は、ほぼ  $2 \times 10^8 L_\odot$  となることがわかる。これはラホール・オールドが水素ガスの回転速度分布から求めた半径 20 pc 以内に約  $10^8 M_\odot$  の質量が存在しているという推定と比べて、一応納得のゆく値ということはある。しかし何故 100  $\mu$  領域の遠赤外線として輻射されるのか、或いは非熱的なスペクトルを持つ電波源とか非常に中心に集中している 10 $\sim$ 20  $\mu$  の中間の赤外の源などがどのような関連にあるのかといった疑問が生じる。

まず 1 $\sim$ 3  $\mu$  の近赤外の源はその強度の空間的な分布、規模がアンドロメダ銀河の中心核と酷似している。このアンドロメダの中心部分の色温度がほぼ 4000 $^\circ$ K の星の集団と考えられているので、もし我々の銀河も同様な中心核を持っているとすると星間吸収の波長依存性を適用して我々の所から銀河中心までの星間吸収量の絶対値を逆算することができる。それによると、0.55  $\mu$  (V) での吸収量は 25 等級 ( $10^{-10}$ ) にも及ぶことがわかる。実は図 4 の可視から近赤外にかけてのスペクトルはこの星間吸収を補正して、発光源でのスペクトルにききなおしてあ

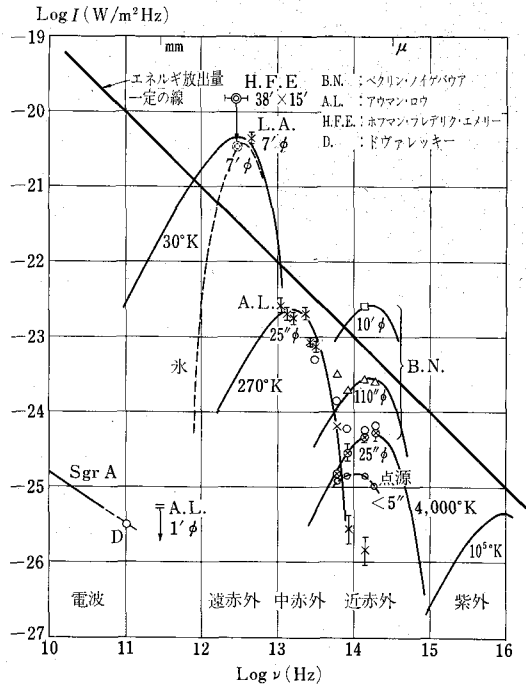


図 4. 銀河中心のエネルギースペクトル

る。

この近赤外線源を星の集団と考えると、質量・光度比 (M/L) ~ 3 の星を仮定すると、観測された輝度から星の空間密度は中心の直径 1 pc 以内で太陽近傍の約 10<sup>7</sup> 倍に達し、この中では 10<sup>4</sup> 年に 1 回の割合で星同士の衝突

が起る勘定になる。

中心からは 10 秒角程度離れた位置にやはり近赤外線源の点源がある。その色温度は 1700°K を示し、全輻射量は 3 × 10<sup>8</sup> L<sub>⊙</sub> になる。これも非常にコンパクトな星の集団かも知れないが、一つの特に明るい星と考えることも出来る。実際 α Ori 星はほぼ同程度の光を出している。位置が中心からずれていて点状であることから単一の星と考えてよさそうである。

10 ~ 20 μ に亘る中間赤外線源は温度輻射に対応させると 2 ~ 300°K になるが、近赤外線源に比べて拡りは小さく約 1 pc である。また全輻射量も 10<sup>6</sup> L<sub>⊙</sub> と比較的少ないことから輻射機構についてはいくつか考えられる。シンクロトロン輻射にしてはスペクトルがそれほどフラットではなく、一応熱的なピークをもったスペクトルの様子を示している。ダスト粒子による熱輻射としても拡りが小さいので前述の星の集団がエネルギー源とは考えにくい。或いは最近の OAO-II の観測で発見されたアンドロメダ銀河核の強い紫外線源のようなものが我々の銀河中心核にあってエネルギー源の役を果しているのかも知れない。

次に 100 μ 付近にピークを持つ遠赤外線源は拡り、全輻射エネルギーともに最も規模が大きい。即ち 100 pc × 50 pc に拡り、全輻射量も 10<sup>8</sup> L<sub>⊙</sub> 以上になる。観測器の波長分解能が悪い為正確なスペクトルはわからないがロウ等とホフマン等の結果からは黒体温度にして 30° ~ 40°K に対応する。長波長側 (1 mm 以上) での強度はこの温度から期待される熱輻射の強度に比べて 3 ~ 4 桁低

表 銀河中心部の輻射

種類	位置	拡り	輻射量	輻射機構
紫外線 (10 <sup>5</sup> °K)	?	?	2 × 10 <sup>8</sup> L <sub>⊙</sub> (アンドロメダ)	非熱的?
点源 (1700°K)	近赤外線源の中心から 10'' 以内	< 5'' ( < 0.2 pc)	10 <sup>8</sup>	星または星の集団
近赤外 (2.2 μ)	17 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup> -28°59'4	3' ~ 5' (10 ~ 20 pc)	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>	星の集団
中間赤外 (10 ~ 20 μ)	近赤外線とほぼ一致	< 16'' ( < 1 pc)	10 <sup>6</sup>	非熱的? + ダスト
遠赤外 ( ~ 100 μ)	"	38' × 15' (100 pc × 50 pc)	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>	源の集団 + ダスト
電波 (SgrA)	17 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup> -28°58'5	3' ~ 1° (10 pc ~ 200 pc)	5 × 10 <sup>2</sup>	非熱的 + 熱的
回転中心 (21 cm)	17 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 7 -28°56'	2° ~ 3° (300 pc ~ 600 pc)	—	HI 領域

いのでダスト粒子からの単純な黒体輻射でないことは明らかである。従って熱輻射とするとダスト自身の物性による光学的な性質が反映されていると考えなければならない。例えば水の熱輻射率は波長が  $100 \mu$  を超えると急に小さくなってしまふことが知られている。更にこの氷粒子は輻射する波長に比べて十分小さいと考えられるのでミーの理論から輻射率は  $\lambda^{-2}$  に比例して減少する。これらの効果をとり入れると図4に示すように遠赤外線源のスペクトルを氷粒子の熱輻射として説明することが可能である。エネルギー源としては前述の近赤外線源に關係した星からの輻射としてつじつまが合う、この遠赤外の輻射に關係するダストの量はせいぜい  $10^3 M_{\odot}$  程度で中心付近の大量の質量分布と活動度を考えれば無理な値ではない、また、この銀河中心領域には多種、多量の分子の存在が電波観測から示されてきている。これがダスト表面を借りた触媒作用で出ると考えればダストの存在は好ましい条件になる、

この遠赤外線源が非熱的なシンクロトロン輻射で出されているというアイデアもこれまで何人かの人によって検討されて来ている。その場合鋭いピークをもつスペクトルを説明する為に非常に強い自己吸収を考えなければならない。その為単一の様な源を考えた場合は  $10^{20}$  ガウスという磁場が必要になる。この条件を緩める為ローは多数のイルトロンと呼ぶ赤外線源の集合体考えた。こうすれば磁場の強さを  $100$  ガウス程度におさえられる。そして高速電子は物質、反物質の消滅過程で発生するものと考えた。

長波長側の急なスペクトルの落込みは、高速電子と磁場によるシンクロトロン輻射がピッチアングルの小さいところで電子と磁場との有効相対速度が非相対論的になって輻射がサイクロトロン輻射的になるといういわゆるサイクロトロン・ターンオーバーの機構で説明しようという話もある。この場合には特別なピッチアングルの分布を仮定する必要がある。

銀河中心に位置する Sgr A と呼ばれる電波源は  $\nu^{-0.7}$  のスペクトルを持ち、シンクロトロン輻射で出ている。全輻射量は  $5 \times 10^2 L_{\odot}$  程度で Cas A 電波源のそれに匹敵し、カニ星雲の約  $3 \sim 5$  倍くらいである。従って一つの超新星の残骸が銀河中心にあると考えれば十分である。前にも述べたように中心付近の星の密度は非常に高く、星の衝突確率が高くそれによって超新星まがいの爆発現象が起っているのかも知れない。電波源はすままで含めると  $100 \text{ pc}$  以上にも達する。これは中心部で何回も起った爆発の際加速された電子が拡散して出来ていると考えればよい。

#### 4. セイファート銀河、QSO 等の赤外線輻射との関係

銀河系外天体に関しても種々の活動的な銀河核、QSO 等の観測が行われ興味深い事実が明らかになってきている。ここでは特に赤外線観測についてふれておきたい。クライン・マンロウによれば、セイファート銀河および QSO は遠赤外領域に極めて強い輻射を持ち、エネルギースペクトルがお互によく似ている。これは前述の我々の銀河中心のそれともよく似てはいるが、絶対輻射量は銀河中心に比べてセイファート銀河で  $10^4 \sim 10^5$  倍、QSO になると  $10^6 \sim 10^7$  倍にもなる。これほど大きなエネルギーがどのような機構によって解放されているのかということは最も大きな疑問であるが、我々の銀河系の中心部において予想されたようにダスト粒子の熱輻射によってこの強力な遠赤外線輻射が行われているという仮定をとろうとすると、大きさはセイファート銀河核で我々の銀河中心の場合 ( $\sim 50 \text{ pc}$ ) の数  $10$  倍 ( $1 \text{ Kpc}$  以上)、QSO については数百倍 ( $\sim 10 \text{ Kpc}$  以上) の拡がりを持たなければならない。光学観測では例えば代表的なセイファート銀河の一つである NGC 4151 の場合はストラトスコープによる写真観測から  $10 \text{ pc}$  以下という結果を得ている。また 3C273 については電波の大陸間干渉計の観測から数  $\text{pc}$  以下と考えられていて、上で期待された拡りに比べて桁違いに小さい。近赤外線の輻射強度にも変光は認められているようである。例えば NGC 1068 というセイファート銀河の  $2.2 \mu$  での強度は  $1$  日程度の変光をしており、NGC 4151 では  $10 \mu$  で  $1$  年間に約  $3$  倍の強度変化が観測されている。これからも輻射源の拡りは  $1 \text{ pc}$  にも満たないものと考えざるを得ない。問題の  $100 \mu$  領域の拡り、時間変化等の観測は今のところ報告されていないが、輻射機構を知る鍵になる観測といえることができる。

この様にともかく主として遠赤外領域に出される輻射のエネルギーは  $10^{23} L_{\odot}$  (セイファート銀河) から  $10^{25} L_{\odot}$  (QSO) に達し、 $E=mc^2$  という関係で質量消費に直すとそれぞれ  $10^{-1} \sim 10^3 M_{\odot}$ /年に相当する。従って活動的な銀河核の質量をかなりの速度で消費しつくしてしまうということも起りうる。40年前にジーンズが銀河中心は物質が湧出している「特異点」であるという考えを出している。これはアンバルツミアンにも支持され、また定常宇宙論を唱えるホイール等も銀河中心こそ物質創成の場所だと考えているが、QSO とかセイファート銀河核のエネルギー発生割合を考えた場合、このような考えがむしろ不自然でなく思えてくるのではないだろうか。

#### 5. むすび——今後の課題

この様に銀河系の中心部は極めて変化に富んだ活動的

な天体现象の生起する場所である。その研究は未だ緒についたばかりで十分な研究は今後の成果に俟つところが多い。我々の銀河中心について言えば、まず詳細なスペクトル、特に  $100\mu$  付近の形を決めることは、輻射機構を解明する上で重要である。また輻射線の拡りの波長依存性を知ることは熱輻射モデルにとって決定的で、温度分布、エネルギー源の分布、ダストの物性等を知る手がかりになる。

偏光を測定することも輻射機構の解明に有効である。シンクロトロン輻射であれば領域を分けて観測すると大きな偏光の値が予想される。熱輻射の場合は源においてはほとんど偏光しないであろう。我々のグループでは現在近赤外域で銀河中心部の偏光観測を試みている。中心核自身の偏光の有無を知ると同時に、星間空間での偏光効果の測定も期待できる。可視域では詳細な偏光観測がなされていて銀河磁場の様子を知る重要な手段の1つになっているが、同様に銀河中心部までの磁場についてのある程度の情報を赤外線域での観測から得られると考え

られる。観測は昨年夏、岡山の 188 cm 望遠鏡で始めて行われ、4~5% 程度の偏光の値を示唆する結果が得られた。太陽の近傍の銀河磁場の状態が銀河中心まで保たれているとした時に期待される近赤外域での偏光度は10%以上なので、得られた結果は、かなり S/N 比の悪いデータではあるが、一応上限としての意味は持っている。

この様に銀河中心を強い赤外線源の背景とみなして、星間空間の研究を行うという例として、星間物質の吸収線の観測が考えられる。特に  $3.1\mu$  付近の  $H_2O$  の水の吸収、 $28\mu$  の  $H_2$  の吸収などが興味深い。視線距離が長いこと、銀河中心付近までの組成、分布がかかることなどで重要である。

以上、銀河系の中心部の研究の現状を簡単に紹介したが、まだまだ不確定な要素が多く、新しい観測が出る度にその内容も変わる可能性が大きい。しかしこの銀河中心核の問題が、銀河系の構造とか進化の研究において果す役割は重要になってくると思われる。

好評発売中

1971  
年版

# 天文年鑑

1971年の天文の出来事が一目でわかる天文年鑑

71年夏には久しぶりの火星大接近が観測できるので、今年とはくに火星の子報記事に力を入れてあります。グラビアにはピク・デュ・ミディ天文台(フランス)から送られた土星の新リング発見の写真や、オーストラリアで撮影された国産衛星「おおすみ」の写真のをせました。

天文年鑑編集委員会編

●B6判/122ページ/定価260円



# 天文用語事典

近刊予告

●B6判/250ページ  
予定価550円/天文ガイド編

天文用語を、天体器械・写真、太陽・地球・月・こよみ・人工衛星・彗星、太陽系、恒星・銀河系の4項目に分類し、約500語を簡明に解説したハンドブックです。天文年鑑、天体観測ハンドブックとともに、アマチュア天文家は、ぜひ1冊そなえて下さい。