

大型光学赤外線望遠鏡が拓く天文学

— 第三部 赤外線観測 —

野 口 邦 男*

1. はじめに

赤外波長域の観測は、これまで地上望遠鏡、飛行機、気球、ロケット、人工衛星を利用する等さまざまな観測手法を用いて行なわれてきた。さらにはスペースシャトル、スペースステーションの利用もすすみつつある。これは、宇宙からやってくる赤外線が大気の窓とよばれる特定の波長域を除くと地球大気で吸収され、また大気自身も観測に邪魔になる赤外線を輻射しているため、観測目的に応じて地球大気外に出る必要が生ずることによる。

これまでに行なわれた赤外波長域での掃天観測を例にとろう。最初のもは、1965年から1968年にかけてノイゲバウアーとレイトンによって口径 1.5mφ の地上望遠鏡を使って、波長 2.2μm の大気の窓を通して行なわれた。この観測で全天の約 77% にあたる北天部分が掃天され約 5600 個の星のカatalog (IRC) が作られた。次の掃天観測は、1971年から1974年にかけてウォーカーとプライスによって 16.5cmφ の望遠鏡をロケットに搭載して行なわれたものである。4, 11, 20, 27μm と中間赤外域まで掃天がなされ、約 3200 個の天体がリスト (AFGL) された。第三の掃天観測は、口径 57cmφ の望遠鏡を IRAS (Infrared Astronomical Satellite) 衛星に搭載して、12, 25, 60, 100μm の遠赤外波長域を含んで 1983 年に行なわれたものである。IRAS 観測の結果約 30 万個の天体が観測され、この内には約 2 万個の系外銀河が含まれているという。赤外線観測がしだいに長波長へ拡大するにつれてこれらの掃天観測のそれぞれがすべて異なった観測手法によって行なわれていることは、これらの結果を十分生かしながら、各々の観測手法を生かした観測を今後計画していく上で折にふれて思いおこしてみるべき点であろう。

それでは地上の大型望遠鏡による赤外線観測が最も有効に生かせる観測とはどのような観測だろうか？ 赤外波長域には、I, J, H, K, L, M, N, Q とよばれる大気の窓に対応した測光帯があり、この内波長 3μm 以下の I, J, H, K の測光帯では視野の大きさを適当に絞れば大気及び望遠鏡自身の赤外線熱輻射を十分低くおさえ、検出器の性能を生かした観測ができる。即ち近赤外波長では、地上大型望遠鏡はその大集光力と高解像力によ

り他の観測手法を凌駕した成果をあげることが期待できる。次に高波長分解能 ($\lambda/\Delta\lambda \geq 10^4$) の観測では、分光器を冷却することにより望遠鏡や大気の赤外輻射を減らすことができるので、中間赤外波長域まで大望遠鏡の威力を発揮できる。地上望遠鏡による赤外線観測は、基本的にはこの二つの方法で最も威力を発揮するだろう。

さて、先に述べた IRC と AFGL の二つの掃天観測がその後の赤外線天文学の発展に与えた大きな影響力を思い、また第三の掃天観測である IRAS の観測した膨大な結果が現在十分消化されていないことを思うと、十年後の観測計画を予想することは大変難しい。ここでは地上大望遠鏡の威力が発揮されるであろう例として二つをあげてみよう。

2. 銀河中心核の赤外高分解能スペクトル観測

我が銀河中心核は太陽系から約 10 kpc の距離にあり、 $A_0 \approx 30$ 等にも及ぶ星間吸収をうけているため光学観測は難しい。このように星間吸収の著しい領域の赤外観測の意味はとりわけ重要である。ベックリンとノイゲバウアーによって 1968 年に行なわれた波長 2.2μm での銀河中心領域のマッピング観測は、広がった近赤外輻射の存在を明らかにし、この輻射は銀河中心領域に密集した多くの星の光が星間吸収をうけたものと考えられた。1975 年には彼らは再び 2.2μm 波長で銀河中心を含

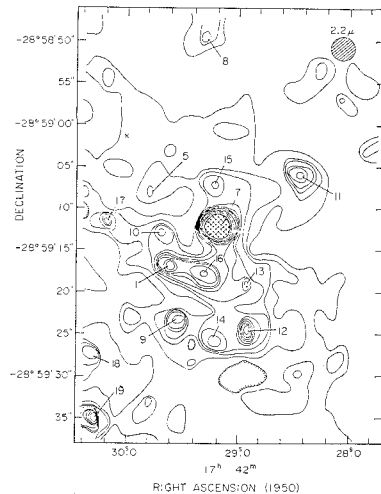


図 1 銀河中心領域の 2.2 μm 輻射強度の分布。空間分解能は 2.5 秒。ベックリンとノイゲバウアーによる。

* 名大理 Kunio Noguchi

む約 20 秒角 (~ 1 pc 角) の領域を 2.5 秒角の分解能でマッピングし, 図 1 に示すような多くの赤外線源から成る構造のあることを示した. そして図 1 にみられる近赤外線源の多くは, スペクトル観測によって, 波長 2.3 \sim 2.5 μm に晩期型星に特徴的にみられる CO の吸収帯の存在することから, 実際に星の輻射であることが確認された. 銀河中心領域の 3 μm より長い波長域では塵からの熱輻射の寄与が大きくなり, 図 2 に示される 10 μm の地図は 2.2 μm とはまったく異なった様相を示している. 一方これは図 3 に示す波長 2 cm の電波の地図に示される電離ガスの分布とは大変よく似ている. この銀河中心 ~ 1 pc 内の電離ガスの運動とその分布を最初に明らかにしたのは赤外の [Ne II] (12.8 μm) 輝線のファブリー・ペロー分光器によるスペクトル観測であった. レー

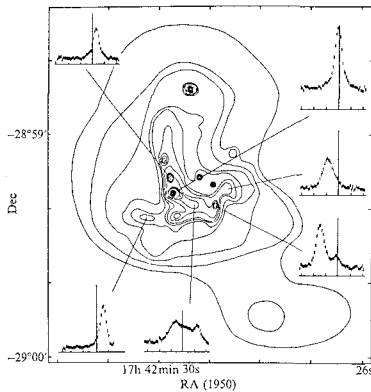


図 2 リーケ達による銀河中心領域の 10 μm 輻射強度の分布にレーシー達の観測した [Ne II] (12.8 μm) 輝線の速度図を代表的な場所について示したもの. 速度図は横軸 1 目盛が 200 km/sec, 縦軸の位置が $V_{\text{LSR}}=0$.

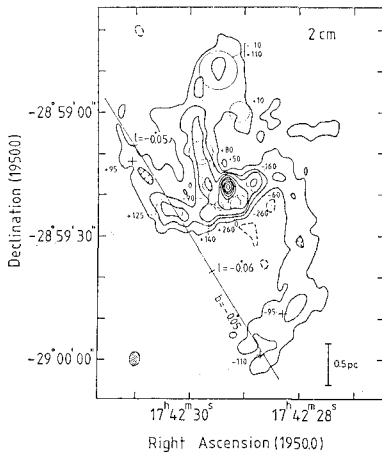


図 3 エカース達による銀河中心領域の波長 2 cm における電波強度分布図. 図中の数値は [Ne II] 赤外輝線により求められた視線速度.

シー達 (1980) は, この ~ 1 pc 領域の約 60 点の場所に対して 3.5 秒の空間分解能で [Ne II] 輝線の速度分解能 ~ 80 km/sec の観測を行なった. その結果 1 pc 内のガスが銀河の軸とほぼ直交する軸のまわりに回転していると報告した. 図 2 には 10 μm 地図に重ねて代表的ないくつかの点の [Ne II] プロファイルを示す. 彼らはこの回転を支えるために, 銀河中心には約 $3 \times 10^6 M_{\odot}$ の点状の質量と, 同程度の広がった質量が存在すると考え, 中心の点状の質量はブラックホールの可能性があることを示唆した. 一方ブラウンは (1982), このみかけの運動が中心から二つの方向へ歳差運動しながら噴出しているガスジェットによっても説明が可能で, 中心の大質量を必ずしも必要としないモデルを提唱している.

銀河中心核のこれらの観測例は, 高い空間分解能でも高分解能のスペクトル観測によってその運動状態を知ることが極めて重要であることをよく示している. 強い星間吸収にはばまれた銀河中心の観測は大型光学赤外線望遠鏡が最も威力を発揮できる例の一つといえよう. ブラウンの提唱するジェットの噴出源は, 図 1 の 2.2 μm 地図では 16 番の赤外線源に対応している. ストーレイとアレンが最近発表した AAT による空間分解能 1 秒の像では, 実はこの 16 番の赤外線源がさらに三つの源に分解され (安藤氏の稿の第 2 図参照) その内の中心の源が銀河中心に対応すると報告している. 高空間分解能観測が増々重要になってきている.

銀河中心領域 ~ 1 pc 内の速度場を最初に明らかにしたのは [Ne II] 輝線の観測であったが, ナデューによる B_{γ} (2.17 μm) 輝線のスペクトル観測も同様な結果を示しており, 水素輝線の観測も (B_{α} : 4.07 μm も含めて) 有効な手法である.

最後に, 星生成領域であるオリオン領域では, H_2 分子の輝線 $v=1 \rightarrow 0$ S(1) (2.12 μm) のスペクトル観測が, 速度場を知る上で大変有効な手段となっていることを付記しておきたい.

3. 塵円盤? の形と大きさ

IRAS 衛星による赤外観測は, あの主系列星 α Lyr にも波長 $\sim 10 \mu\text{m}$ 以上の遠赤外域で赤外超過がみられることをみつけた. これが星のまわりの塵からの熱輻射だとの報告をしたことは最近の話題の一つであった. このような星のまわりに存在する塵が中心星の光によって暖められて熱輻射を出している例は, 低温度の赤外線天体にはよく知られたことである. 最近, 双極星雲, 双極流などの中心にある星をとりまいて, やはり星のすぐ近くに濃い塵が分布していると考えられている. 更に重要な点は, これらの塵はどうやら球対称分布をしているのではなく, 星のまわりに円盤状に分布し, これが双極構

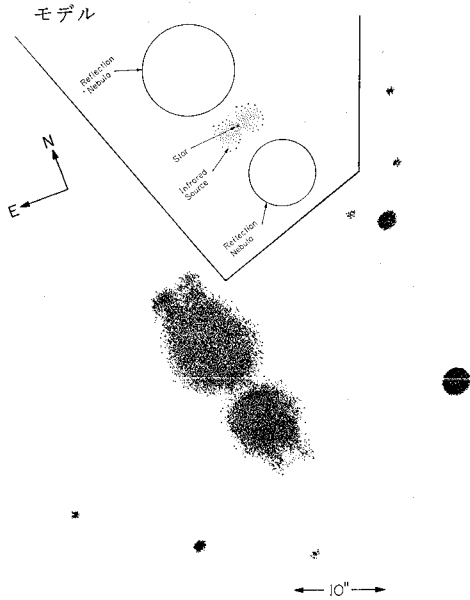


図 4 卵形星雲 (GL 2688) の 6000~7000 Å 波長の写真と、この形状を説明するためのモデル。

造を形造る上で重要な役割を荷っていると思われる点である。双極星雲として知られる GL 2688 (通称卵形星雲) の可視写真とそのモデルを図 4 に示す。これらの星のまわりに分布する塵の領域の大きさや形を直接観測的に測定できないものだろうか？ 塵からの熱放射は遠赤外波長域では 100K 以下の塵からの放射が観測されているため、放射領域もかなり広がったものとなっているが、ここでは近赤外から中間赤外域にかけて、100K~1000K に及ぶ比較的高温の塵 (中心星から ~100 AU 程度の近い場所に分布する) の分布を測定することがねらいとなる。

よく知られた赤外線星, VY CMa, NML Cyg, IRC +10216 は濃い塵に包まれた星としてかつて赤外線天文学の話題をさらった天体である。中心星はいずれも $2\sim 3 \times 10^4 L_{\odot}$ 程度の低温超巨星で、赤外波長域のエネルギースペクトルから色温度は 500~700K である。星周塵の温度をこの赤外域の色温度程度と考え、これらの天体までの距離を仮定すると、近~中間赤外域で放射を出している塵の分布領域のみかけの大きさが評価できる。球状分布の塵を仮定すると、みかけの直径でそれぞれ 0.4 秒 (VY CMa), 0.35 秒 (NML Cyg), 0.5 秒 (IRC+10216) 程度と評価される。IRC+10216 に対しては、月による掩蔽を利用した測定の試みがあり、0.36 秒 ($2.2 \mu\text{m}$), 0.44 秒 ($3.5 \mu\text{m}$), 0.44 秒 ($4.8 \mu\text{m}$) との報告がある。(この掩蔽の方法は限られた天体に対してしか適用できない上、さまざまな方向に対する大きさの測定は困難である。) これらの天体はいずれも可視から近赤外波長域において強い偏光を示している (図 5 参照)。VY CMa では偏光の向きが可視と赤外で約 100 度異なり、偏光量の波長依存性からも可視及び赤外で別々の成分があるようにみえる点特徴的で、これらの点から考えても星のまわりの塵は球対称分布ではなくかなりの非対称性をもっていることが予想される。大型望遠鏡による空間分解能が 0.1 秒角程度まで達成されればこれらの塵の分布する領域の大きさ、形は近~中間赤外観測により直接的に測定できるだろう。

星の進化の最終段階、HR 図上の水平分枝から惑星状星雲へと移行する段階にあると言われる双極星雲 GL 618, GL 2688 (卵形星雲), GL 915 (赤い四角形) の種々のパラメータを表 1 に掲げる。これらの双極星雲の中心に星をとりまいて存在すると考えられている塵 (図 4) の分布する領域の大きさも球状分布を仮定すると、直径

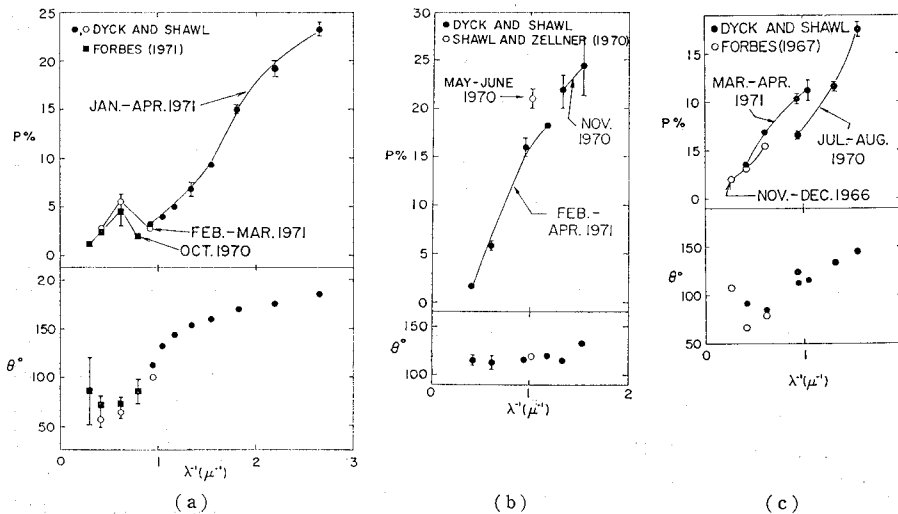


図 5 赤外線星の偏光強度と位相角。
(a) VY CMa
(b) IRC+10216
(c) NML Cyg

表 1

天体名	距離 (pc)	光度 (L_{\odot})	塵の温度 (K)	評価された塵領域の大きさ (秒)
GL 618	~2000	~2 $\times 10^4$	~280	0.3
GL 2688	~1000	~2 $\times 10^4$	~150	1.9
GL 915	~ 400	~1.5 $\times 10^3$	~600	0.1
L 1551 IRS 5	~ 140	2.4 (1.2~25 μm)	~130	0.2

で 0.3 秒 (GL 618), 1.9 秒 (GL 2688), 0.1 秒 (GL 915) 程度と評価される。これらも大型望遠鏡により測定できるものが含まれているとみていだろう。

最後に若い星の生まれつつある領域として知られる

お知らせ

「日月惑星運行図」について

天文月報には、毎月、最終ページに、「日月惑星運行図」が載っています。これは、その月の太陽や月・惑星が星座間のどこにあるかを知るためのものです。

この図は、今月号から、計算機出力の図に変わりました。東京天文台の大型計算機 FACOM-M380R のレーザープリンター NLP で描いたものです。

横軸は赤経、縦軸は赤緯にとってあります。

真夜中に南中する赤経がほぼ中央にくるように描かれています。太陽は図の右端または左端にきています(月始めは左、月末は右の端になります)。したがって、だいたい、図の右半分が夕方に見える星々を、中央部分が真夜中に見える星々を、そして、左半分が明け方に見える星々を表わします。

恒星は、1等星を星印で、2等星以下の主な星を丸印で表わし、大きさは明るさに応じて変えてあります。

L 1551 中の双極流の中心にある赤外線源 IRS 5 についても大きさを評価してみよう(表 1 参照)。この赤外線源は光度は小さいが距離が近いことと塵の温度が低いことのため、約 0.2 秒の広がりをもつと評価される。この IRS 5 の場合塵の温度が低いので(近~中間赤外域で~130K) 中間赤外波長域の観測に適しているかも知れない。波長の増大と共に望遠鏡の空間分解能が低下することから、塵分布の直接測定はやや難しい可能性もある。いづれにしてもここで試算した天体はほんの思いつきによるものだけなので、検討を加えて、各々の天体毎に最も適当な波長で観測を行えば、多くの天体に存在する塵の分布及び形が直接的に明らかにされる可能性は十分にあるだろう。

太陽・水星・金星・火星は、1か月間の動きを矢印で示しました。月始めと月末の位置にその天体の記号を記してあります。木星・土星・天王星・海王星・冥王星は1か月間の動きが小さいので、月なかばの位置のみを示しました。

月は 21 時(日本標準時)の位置を示し、図の繁雑さを避けるため、1日おきとしました。月の形や明縁の方向も、ほぼ正しく描いてあります。

点線は黄道を示します。黄道と白道の位置の差もよくわかるといいます。白道の位置の変化を長期間にわたって追っていくと、白道の黄道に対する昇交点が黄道上を逆行していくのがわかるでしょう。また、満月が黄道上にくるときに月食となり、新月が黄道上にくるときに日食となることなども理解できると思います。

なお、惑星の位置の計算には、海上保安庁水路部が開発された略算式を使用し、恒星の位置は歳差の補正も算入されています。

この図について、御意見や御提案などがありましたら、天文月報編集部まで御連絡ください。(相馬 充)

1984年10月の太陽黒点 (g, f) (東京天文台)

1	0,	0	6	0,	0	11	—,	—	16	1,	14	21	—,	—	26	0,	0
2	1,	1	7	—,	—	12	—,	—	17	—,	—	22	1,	9	27	1,	1
3	1,	1	8	0,	0	13	1,	1	18	1,	32	23	1,	6	28	—,	—
4	—,	—	9	1,	8	14	—,	—	19	—,	—	24	1,	2	29	1,	1
5	0,	0	10	—,	—	15	1,	4	20	—,	—	25	1,	2	30	0,	0
(相対数月平均値: 8.6)															31	2,	8

昭和 59 年 12 月 20 日 発 行 人 〒181 東京都三鷹市東京天文台内 社団法人 日本天文学会
 印刷発行 印 刷 所 〒162 東京都新宿区早稲田鶴巻町 565-12 啓文堂 松本印刷
 定価 450 円 発 行 所 〒181 東京都三鷹市東京天文台内 社団法人 日本天文学会
 電話 三鷹 31 局 (0422-31) 1359 振替口座 東京 6-13595