

銀河赤外線 の 気球観測 (II)*

舞原俊憲**・小田直樹**・杉山卓也**・奥田治之**

概 要

銀河中心領域の近赤外線 (2.4 ミクロン) 輝度分布を、より角度分解能の高い気球望遠鏡により再度観測を行った。前回観測されたバルジ構造、狭くて平坦なディスク構造、銀河面に分布する深い星間吸収帯、それに、銀経 355° 、銀緯 -1° の赤外線源などが一層はっきりと浮び上がった。これらの結果をもとに、銀河系の中心領域における星とダストの分布について考察する。

1. はじめに

銀河系内部の領域の星とダストの分布についての情報を得る目的で、我々自身も含めて幾つかのグループが気球による近赤外観測を進めてきている [1], [2], [3]。それらの観測により、銀河系中心部のバルジと呼ばれる楕円体状の星の系及び銀河面に集中したディスクと呼ばれる平坦な形状をした星の系の存在と、それらの特徴的な構造が明らかになってきた。前回までに観測された銀河中心領域の輝度分布の特徴は、

- (1) 銀河中心方向に楕円状の拡がりをもつ ($|l| < 15^\circ$, $|b| < 7.5^\circ$) 星の大集団 (バルジ) の全体像が浮び上がっていること、
- (2) そこから銀経 30° 付近に至る幅の狭い平坦なディスク成分が認められること、
- (3) 銀河中心部分のコントラストが、むしろ銀河面と垂直の方向に伸びていること、
- (4) 銀経の正と負の輝度分布に明らかな差が認められること (特に $l = 355^\circ$, $b = -1^\circ$ のピークは顕著である)、等にまとめることができる。

2.4 ミクロンの波長は、近赤外領域全体にわたって強い輻射を出している OH 夜光の唯一のバンドの隙間をねらったものだが、それでも夜光層の不規則なゆらぎの効果が少しは残っているため、データの不確定さを増している可能性もある。そこで、我々は前回の観測を確認すると同時に、上で掲げた幾つの特徴をより詳しく調べることを目的として、分解能及び感度を高めた同様の気球観測を再度試みた。

2. 観測の方法

1976年5月の気球観測に使用した望遠鏡システムを、若干の改良を加えて、1977年5月21日に三陸気球基地から B₅ 型気球に搭載して飛揚実験を行った。液体窒素で冷却した

* 宇宙研特別事業費による研究論文

** 京都大学理学部

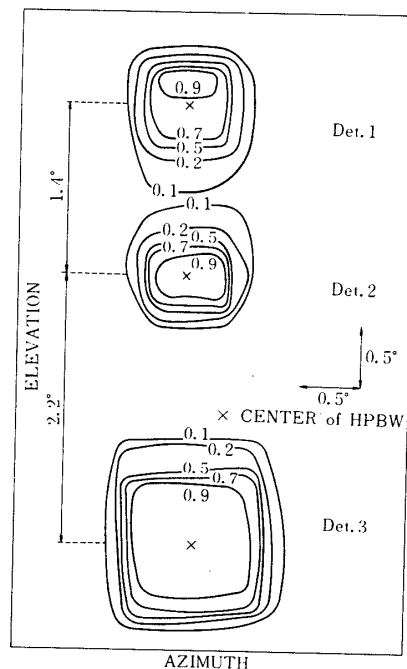
PbS 検出器は、今回は $5 \times 5 \text{ mm}^2$ のもの1個と $3 \times 3 \text{ mm}^2$ のもの2個、合計3個を使用した。それらの検出器のそれぞれのビーム・パターンとその相対的な位置関係が第1図に示されている。

気球は標準時間の19時に放球され、約2時間後に25 kmの高度に達し、以後約7時間にわたる水平飛行の間、銀河面の広い範囲のスキャン観測を行った。前回と同様スキャンは、ゴンドラ全体をよりもどし方向規正をかけた状態で方位角のオフセットを電氣的に生じさせる方法で実行した。ただ方位角のスイープの幅は前回よりも大きくとり、 40° とした。これは銀河面から十分はずすことによりゼロレベルを正確に決めるためである。こうして銀河面に沿った $l = 347^\circ$ から $l = 32^\circ$ の領域の輝度分布を得ることができた。第2図に観測されたスキャン領域を示す。

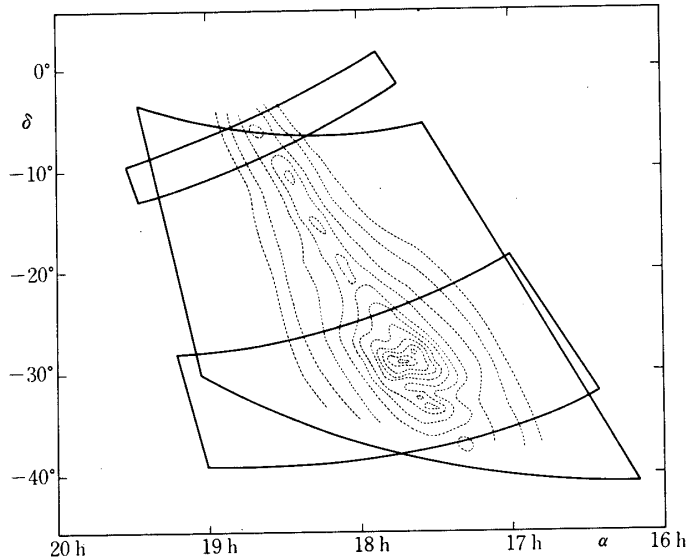
PbS の実験室における感度は、NEP の値で表わすと、 $3 \times 3 \text{ mm}^2$ の PbS は $7 \times 10^{-14} \text{ W Hz}^{-1/2}$ 、 $5 \times 5 \text{ mm}^2$ の PbS は $1.5 \times 10^{-13} \text{ W Hz}^{-1/2}$ であった。しかし上空での観測時には、恐らく何らかの夜光成分の不規則変動の影響によると思われる雑音的なゆらぎの増加のため、実質的な NEP はどちらも約 $2 \times 10^{-13} \text{ W Hz}^{-1/2}$ 程度となった。検出器の絶対感度はさそり座アンタレスによって校正し、更に時々人工光源により感度の変化の起っていないことを確かめた。

望遠鏡の方向は、地磁気センサ (GA センサ)、仰角センサ、標準時刻及び気球のローカルな位置の座標などを参照して決め、更に観測の途中で測定できた幾つかの IRC のカタログに載っている星によって校正した。その結果、位置決定の誤差は ± 0.3 以下と見積られる。

測定された面輝度の絶対値を得るための校正は、アンタレスを K 等級 -3.7 等として行



第1図 三つの PbS 検出器の視野図



第2図 スキャン観測の行われた領域。薄い点線のコントア図は、1976年の観測結果を表わす

われた。この値は、気球実験の直後に京大上松赤外線望遠鏡で測定されたものである。

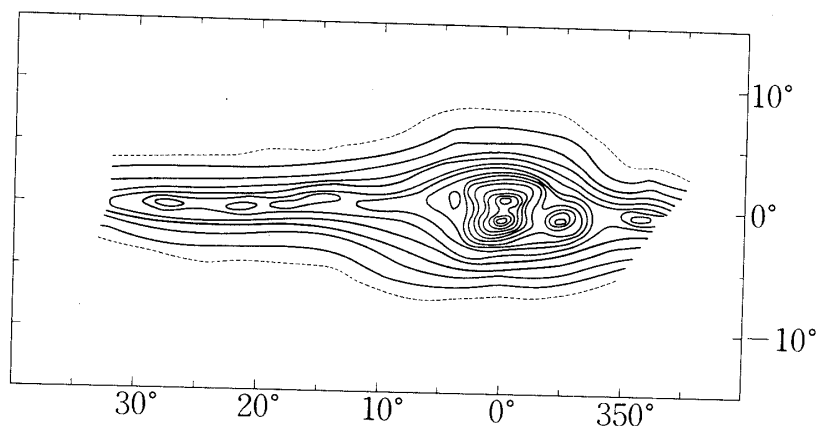
3. 結 果

3系統の検出器によって得られた独立の3つの輝度分布は、それぞれ少しずつ異なるスキャンの軌跡に沿ったものであるが、お互いによく両立する結果を与えている。それらを一つの銀河座標系の上にまとめてコントア図にしたのが第3図である。

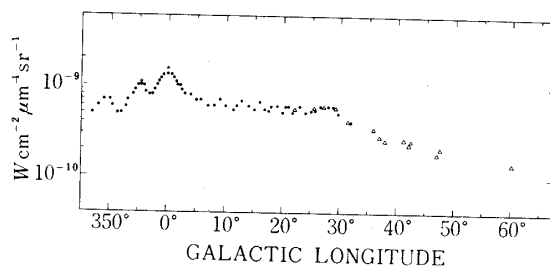
このようにして得られた中心部領域の詳細なコントア図のほか、銀経の大きな範囲 ($l = 30^\circ \sim 50^\circ$) でも銀河面上の大まかな強度が、ゴンドラ全体の一様回転のモードで観測されている。第4図には、それらのデータも含めて、 $b = 0^\circ$ の線に沿った2.4マイクロン輝度の l 分布を描いている。

第3図と第4図の輝度分布図は、全体としては前回の我々の観測結果と非常によい一致を示している。しかし角度分解能の向上の結果、銀河中心部分のより詳しい特徴、及びその周りの細かな構造が一層明確にされている。それらをまとめて次に掲げる。

- (1) 全体として構造は、中心部のバルジと非常に狭い銀河面のディスク成分との合成として見えている。
- (2) $l = 14 \sim 19^\circ$, 21° , 27° の小さなピークが前回の観測と同じ位置に見える。
- (3) 銀河中心部のコントアは、銀河面をはさんで両側に二つのピークに分離している。
- (4) 銀経の正の側の輝度は比較的スムーズな分布であるのに対して、負の側(南側)には、幾つかの注目すべき特徴がある。特に $l = 355^\circ$, $b = -1^\circ$ のピークは顕著である。



第3図 今回の観測で得られた銀河中心領域のコントア図.
実線は 1.0×10^{-10} ($W \text{ cm}^{-2} \mu \text{ m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$) のコン
トア, 点線は 0.5×10^{-10} のコントアである



第4図 2.4 ミクロン輝度の銀河面に沿った ($b=0^\circ$) 線上
の分布. 黒丸はスキャン観測のデータ (白丸はコン
トア図のピーク値 ($b=0^\circ$)), 三角印は速い一様回転
モードで得られたデータを示す.

4. 星の分布

(a) バルジ成分

第3図に示された輝度分布図は, 一見して典型的な edge-on 銀河を思わせる構造を示している. 中央部には楕円状に広がるバルジ構造が顕著に認められる. 銀経, 銀緯の各方向への広がり, 我々の前回の観測 [1] ともよい一致を示し, 実際の大きさにして約 5 kpc (長経) \times 2.5 kpc (短経) となる. これは, 銀河系全体の大きさと比べてかなり大きく, 我々の銀河系が, どちらかという S_b 型に属することを意味している. これは, M31 (S_b 型) のバルジとほぼ同じ規模である.

銀河中心部分のコントアが, 今回の高分解能観測で二つの別々の島状のピークに分離したことからもうかがわれるように, 2.4 ミクロンで見たバルジも, 非常に強い星間吸収を受けていることがわかる. しかし, 本特集号の別稿 [4] 及び次節での議論から推定される, バルジの本来の輝度分布及び星間吸収物質の分布を仮定することにより, バルジの総放射量を求めることができる. その値は, 約 $2 \times 10^{10} L$ となり, de Vaucouleurs [5] の可視光の

観測をもとに推定される M 31 の総放射量 $1.7 \times 10^{10} L$ とほぼ同じである。一方バルジの質量は、HI ガスの回転曲線を使い、適当なバルジの空間密度分布のモデルを仮定して求めなければならないので、そのモデル及びそれに基づいた質量・光度比についての考察は別稿 [4] に譲る。

(b) ディスク成分

第3図のコントラスト図及び第4図の銀河面に沿った銀経分布とから、銀河の内部におけるディスク成分の特徴をうかがい知ることができる。これらの図の特徴として、銀経の正の側では、 $l = 15^\circ \sim 28^\circ$ の領域は ($l \sim 15^\circ$ 付近まで及んでいるバルジの成分の寄与を考慮すると) 非常に一様な輝度分布をもつことが指摘される。そして、 $l = 28^\circ$ を越えると輝度分布は急激に小さくなっている。このことは、この成分に寄与している放射源が、内部ディスク面の比較的狭い領域に集中して分布していることを示唆している。終端の銀経 ($l \sim 28^\circ$) から、この成分は銀河中心から約 5 kpc 以内に分布するリング状の星の分布と考えることができる。これは最近観測されている CO 分子雲の分布や、高エネルギー r 線の分布と、おおよそ一致しており、従来知られていなかった新しい腕構造として注目される。

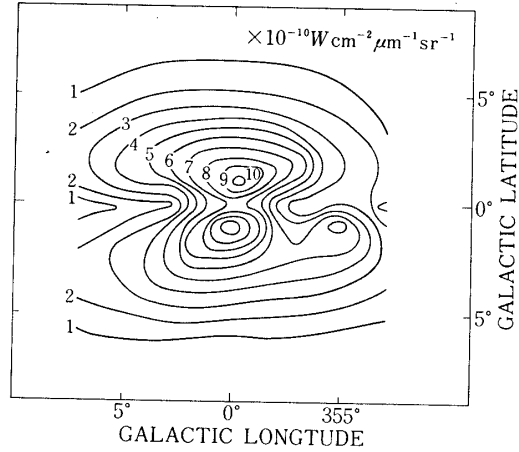
また、このディスク成分の銀緯方向の拡がり極めて小さいことも驚くべきことである。 $l \sim 15^\circ$ から 28° にわたって銀緯分布の半値幅は約 3.5° であるが、次節で述べる星間吸収の存在を考えると、実質上は更に薄くなり、我々の観測した 2.4 ミクロンの放射源の分布が非常に強く銀河面に集中していることを示している。例えば上記の内部ディスク成分までの平均的距離を 7 kpc とすると ($R \sim 5$ kpc), 半値幅 3.5° は約 430 pc に対応する。すなわち、星の分布は、銀河面から 220 pc 程度以内に主に集中していることになる。観測した波長帯に寄与する星は、太陽系近傍の星の種族を仮定すると主に M 型巨星と考えられるが、このような晩期型の星の分布の拡がり銀河面から 400 pc 以上である [6]。従って我々の観測によって示唆されるディスクの厚さはむしろ星間ガスや、若い OB 型星などの分布と似ていることになる。

なお、 $l = 27^\circ$ 以外に、 $l = 17^\circ$ 及び 21° 付近にも島状の構造が認められるが、これらは前回の我々の観測、それに最近の名古屋グループの観測 [7] でも明瞭に認められており、有意な輝度分布の特徴であることがはっきりした。

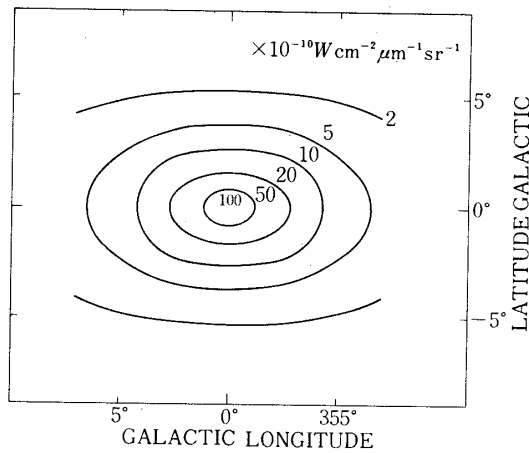
5. 星間吸収

前節で指摘した銀河中心部の分離したピークのコントラスト図に示唆されるように、2.4 ミクロンの波長でも銀河面上の星間吸収の影響は非常に大きい。前回の論文 [1] で行った手続きと同様の方法で、得られた 2.4 ミクロン輝度分布から星間吸収の値を、銀河中心方向の付近の 2 次元的な分布として求めてみよう。

全体のコントラスト図 (第1図) から、ディスク成分の寄与を差し引くことにより、バルジ成分のみの輝度分布を抽出することができる。ディスク成分は、 $l = 10^\circ \sim 30^\circ$ 付近まで非常に一様な輝度をもっているように見られることから、 $l \sim 0^\circ$ までその分布の様子が延長できると仮定する。その結果得られたバルジ成分のみのコントラスト図を第5図に示す。銀河面に沿った強い星間吸収が一層強調されて見える。



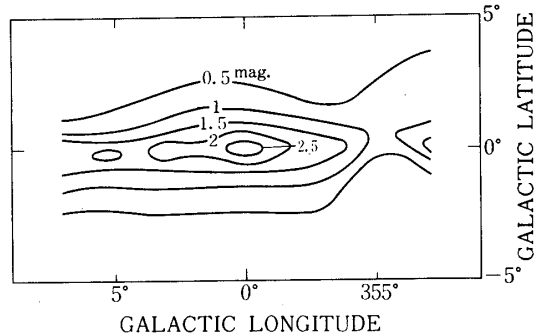
第 5 図 全体のコントア図からディスク成分の寄与を差引いたもの



第 6 図 Intrinsic なバルジの輝度分布。M 31 の観測に基づいて推定したものである

銀河中心部のバルジ成分の本来の輝度分布は、ここでは M 31 のバルジと同じ構造をもつものと仮定して第 6 図に示すコントア図を作った。この仮定は、別稿に議論されているように、色々な銀河のバルジが共通の構造を持っていることを前提としているが、実際、銀河の内部における回転曲線ともよく一致するので、妥当な仮定と考えられる。

こうして我々は、第 5 図と第 6 図の差をとることによって銀河中心方向の見かけ上の星間



第7図 2.4ミクロンにおける銀河中心方向の星間吸収量

吸収量を推定することができる(第7図)。星間吸収のコントア図から、おおざっぱに二つの成分、すなわち銀河面に沿ったほぼ一様な吸収 ≈ 1.7 等と、銀河中心に特に集中した最大約1等の吸収の成分とから成っていると見ることができる。前者の一様な吸収はバルジの外側の、恐らくは $r \sim 5$ kpc 付近に主に集中していると思われるディスクの星間ダストによるものであろう。一方後者は、銀河中心部領域のダストを反映していると考えられる。

ディスクの吸収量1.7等は、通常の星間吸収の波長依存性を仮定すると、可視で約21等に相当する。この値は、Burton [8] が求めている $r \approx 2 \sim 10$ kpc の距離について積分した水素原子のコラム密度 $N_H \sim 3 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ と比べられるべき量である。Jenkins & Savage [9] によると、星間空間における選択吸収 E_{B-V} と水素のコラム密度 N_H の間には、 $N_H / E_{B-V} = 5 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2} \text{ mag}^{-1}$ の関係がある。一方、可視吸収 A_V と E_{B-V} の比を3と仮定すると、上記のコラム密度は $A_V \approx 18$ 等の星間吸収を与える。これは我々の推定した21等とよく一致していると言ってよいだろう。

6. 銀河中心領域の星間ダスト

第7図に見られる中心部分に集中したコントアは、銀河中心領域のダストの存在を示唆している。超過の量は、中心で0.8～1.0等と読みとれる。可視での吸収は従って、10～12等に相当する。これは前回の観測 [1] で推定した値とほぼ同じで、Hoffmann たち [10]、Soifer & Houck [11] の遠赤外輻射から予想されるダスト量とも両立するものだが、最近の銀河中心のCO電波観測 [12] と密接な関係が考えられる。Bania の観測によると、銀河中心部の半径約300 pc のディスク内の平均 H_2 分子密度は 250 cm^{-3} にも達し、その領域の全質量は $3.5 \times 10^8 M_\odot$ 以上と推定されている。

それに対して、我々の推定による中心領域の吸収量、10等から星間ダストの全質量をおおざっぱに計算してみよう。太陽の近傍の星間吸収とダストの質量との比は、普通 $1.0 \times 10^{-5} \text{ g cm}^{-3} \text{ mag}^{-1}$ が与えられている [13]。この値を参照して、銀河中心部分の半径300 pc、銀河面から150 pc 以内の領域のダストの全質量は約 $10^5 M_\odot$ と推定することができる。ガスとダストの比が 10^2 とすると、全質量は $10^7 M_\odot$ となり、上のCOの観測から推定された

値より1桁以上小さい。しかし、CO分子雲の分布の厚みの仮定に不確定さがあり、2つの差に意味を求めることは難しい。

7. $l=355^\circ$, $b=-1^\circ$ の広がった赤外線源

この小さな広がった輝度分布のピークは、前回の観測[1]及び名大グループの観測[2]で既に確認されている。今回の高い角度分解能によってより詳しい分布図が得られている。拡がりは $2^\circ \times 1^\circ$ で、まわりのバックグラウンドの面輝度に対する超過の放射量は、 $3.5 \times 10^{-10} \text{ W cm}^{-2} \mu^{-1}$ 、又は $-1.5 (\pm 0.5)$ 等級に相当する。これだけの放射を与えるような個別の天体は、現在のところ赤外線カタログ、赤外線写真、あるいは遠赤外及び電波のサーベイ等も含めて、全く同定することができない。

この超過放射を星間吸収のゆらぎによるものとした場合、必要な吸収量の減少分は約3~4等程度を期待すればよい。太陽から中心までの10 kpcにわたる視線に沿った積分値がそれほどのゆらぎを、ごく狭い領域に限って期待することは、やや不自然な感じはする。しかし、最近のWarner & Wing[14]の近赤外観測によると、太陽から1.3~1.8 kpcの距離にある非常に強い吸収を伴うアームが銀河中心方向の銀河面上に延びており、それに吸収の場所的ゆらぎが認められることを示している。彼らはIRCカタログの赤外線源の測光観測により、散開星団M6の近傍領域が一つの吸収の窓になって、太陽から4 kpcの距離までに存在するM型超巨星がクラスター状になって見えていると報告している。直接には、これが、我々の観測した広がった赤外線源に対応しないが、これに類する星間吸収のゆらぎがある可能性はある。

一方、この節の初めに推定した超過放射、約 $K=-1.5$ 等を与える天体の候補として、これまでのサーベイで見落とされた赤外線星である可能性も含めて幾つか検討する。過去のサーベイの限界等級である $K=3$ 等の星ならば約100個存在しなければならない。対応する方向にこのような星の集団は認められない。積極的な証拠はないが、これが深い星間吸収に埋もれた系外銀河である可能性も否定できない。例えば、M31の伴星雲である楕円銀河M32を約20 kpcの距離に置いたとすると、強度、拡がりとも無理なく説明することができる。しかし、これを結論するにも資料が不足しており、多色測光によって星間吸収を補正したり、詳細な輝度分布を得ることが必要である。そのような意味も含めて、問題の領域は、赤外線カタログのやや不備な部分のようでもあり、今後より精密な赤外線源のサーベイが望まれる。

おわりに当気球観測に際していろいろとご協力、示唆を与えていただいた東大宇宙航空研究所の西村純氏及び研究室の方々に感謝の意を表します。

1978年5月27日

参 考 文 献

- [1] 小田直樹, 舞原俊憲, 杉山卓也, 奥田治之: 宇宙航空研究所報告, 13-3(B) (1977) 823.
- [2] 早川幸男, 伊藤浩式, 松本敏雄, 宇山喜一郎: 宇宙航空研究所報告, 13-3(B) (1977) 845.
- [3] W. Hofmann, D. Lemke, and C. Thum: Astr. Ap., 57 111 (1977)

- [4] 舞原俊憲, 小田直樹, 奥田治之: 宇宙航空研究所報告, 14 - 3 (B) (1978)
- [5] G. de Vaucouleurs: Ap. J., 128 465 (1958)
- [6] L. N. Mavridis: The Structure and Evolution of the Galaxy (1971) 110.
- [7] 早川幸男, 伊藤浩式, 松本敏雄, 野口邦男, 宇山喜一郎, 村上浩: 星間分子研究会集録 (1977)
40
- [8] W. B. Burton: Ann. Rev. Astr. Ap., 14 275 (1976)
- [9] E. B. Jenkins, and B. D. Savage: Ap. J., 187 243 (1974)
- [10] W. F. Hoffmann, C. L. Frederick, and R. J. Emery: Ap. J. Letters, 164, L 23
(1971)
- [11] B. T. Soifer, and J. R. Houck: Ap. J., 183 169 (1973)
- [12] T. M. Bania: Ap., 216 381 (1977)
- [13] D. A. Aitken, and B. Jones: Ap. J., 184 127 (1973)
- [14] J. W. Warner, and R. F. Wing: Ap. J., 218 105 (1977)