

大マゼラン雲の近赤外表面輝度の観測

早川 幸男*・小泉 裕*・松本 敏雄*・村上 浩*
宇山 喜一郎・山上 隆正・J. A. Thomas**

(1981年9月4日受理)

1. はじめに

我々はここ数年来、気球、ロケット、地上望遠鏡を用いて銀河の近赤外観測を行なって来た。赤外領域は1 μm から1 mmまでの広い波長範囲を含み、遠赤外からサブミリ波領域では星間塵からの熱輻射が主要な部分を占めるが、近赤外領域(1~5 μm)では星からの光、特に晩期型星の寄与が大きい。この近赤外領域で銀河を観測することの重要性は、第一に星間吸収が可視域に比べて十分に小さく、銀河全体の構造を研究する上で有効な手段となること、第二に近赤外領域では可視域とは異なった星が表面輝度に寄与するため異なった質量あるいは進化段階の星の量とその分布が調べられることである。

我々はこれまで我が銀河(天の川)について多くの観測を気球、ロケットを用いて行ない、可視光では星間塵のため見通すことの出来なかった銀河中心部及び星の生成が極めて盛んな5 kpc リングの様子を明らかにすることが出来た(Hayakawa et al. 1981及びその中の参考文献参照)。これらの結果から晩期型星の分布やその量が推定でき、銀河の構造と進化を研究する上で非常に重要なデータとなった。このような観測を多くの銀河について行なうことは銀河研究の上で極めて重要なテーマになってきている。このような観点の下で我々は系外銀河の観測を始めているが、その1つが大マゼラン雲の近赤外気球観測である。

大マゼラン雲は小マゼラン雲とともに我が銀河の伴星雲を形成しており、不規則型星雲に分類されている。太陽系からの距離は約60 kpc、質量は $5 \times 10^9 M_{\odot}$ と推定されている。またその広がりには角度にして数度に達する。大マゼラン雲の中心には棒状の明るい部分があり、これが質量のかなりの部分をになっている。このBarの東端には30 Dorと呼ばれる巨大HII領域があり、また西端からは腕がのびている。これらの領域では現在も星の生成が起こっている(de Vaucouleurs and Freeman, 1973)。

* 名古屋大学理学部

** メルボルン大学

可視域では地上からの星のサーベイも数多く行なわれており、赤外域の面輝度のデータとの比較には都合が良い。

近赤外領域では大マゼラン雲のように大きく広がった diffuse 光を地上から観測することは強い夜光のために不可能であり、気球高度に上がって初めて可能となる。

2. 観測装置並びに観測

観測に使用された気球搭載赤外線望遠鏡は口径 15 cm, F/1.0 のシリコン製のレンズ (2 枚組) を持ち、焦点面に赤外線検出器として 2 mm ϕ の InSb が置かれている。視野は検出器の大きさで決まり約 0.8 $^{\circ}$ になっている。また検出器の前に置かれた干渉フィルター (中心波長 $\lambda_0 = 2.38 \mu\text{m}$, 波長幅 $\Delta\lambda = 0.08 \mu\text{m}$) によって波長域を限っている。これらの光学系は背影熱雑音を十分少なくし検出器の感度を上げるために、全系が液体窒素で冷却されている。また今回用いられた望遠鏡は以前に我々が銀河面の観測に用いたもの (例えば Hayakawa et al. 1981 参照) と違い、よりもどし制御による方位角方向の駆動だけではなく仰角もコマンドにより変えることが出来る (観測装置の詳細は早川等, 1980 参照)。

LMC の観測は 1979 年と 1980 年の 2 回にわたって行なわれた。2 回とも Australia の Mildura にある Australian Balloon Launching Station より飛揚が行なわれた。

第 1 回目は 1979 年 9 月 18 日で、観測装置は正常に動作したが上空の風が強く、観測時間は約 3 時間と短かった。観測は望遠鏡の仰角を固定し方位角方向にスキャンすることによって行なわれた。このときには 24 本のスキャン径路にそったデータを取得することが出来た。

第 2 回目の観測は 1980 年 4 月 13 日に行なわれ、このときは風の問題もなく銀河面と共に LMC の観測を行なうことが出来た。LMC については約 4 時間観測し 32 回のスキャンを行なった。また 1 回目の観測は羽根チョッパーを用いて入射光を断続し交流増幅しているが、2 回目にはこれをやめ直流増幅にしたため約 2 倍の S/N 比の改善がみられた。

望遠鏡の姿勢は主として地磁気センサーと仰角軸にとり付けたエンコーダーによって求め、望遠鏡の視野を明るい星が通過したときのデータで校正した。この結果、観測点の位置の決定精度は 0.2 $^{\circ}$ 以内に収まっている。赤外線の flux の絶対値校正は、第 1 回目の観測では時間的制約のため十分ではなかったが、2 回目では標準星 α Her, η Sgr を観測することによって行なわれた。この結果は同時に観測された銀河面についても以前の観測値と良い一致を示し、系統的誤差は 10% 以内である。検出器の雑音は、 $5 \times 10^{-12} \text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ であり、マゼラン雲の観測には十分な性能であったが、大気光による背影輻射の空間的、時間的変動は 1 スキャン (振り幅: 方位角で 60 $^{\circ}$, 1 スキャンに要する時間: 約 8 分) の間に $2 \times 10^{-11} \text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ に達し、これが観測値の誤差を決定している。

3. 観測結果

合計 56 回のスキャンにより得られた 2.4 μm に於ける LMC の表面輝度分布を図 1 に示す。最も外側の contour が $7.8 \times 10^{-12} \text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ に対応し、以下この整数倍となっている。また背影は B バンドでの写真である。

観測された表面輝度は銀河面などの輝度に比べれば、非常に弱く、銀河系内の明るい星の

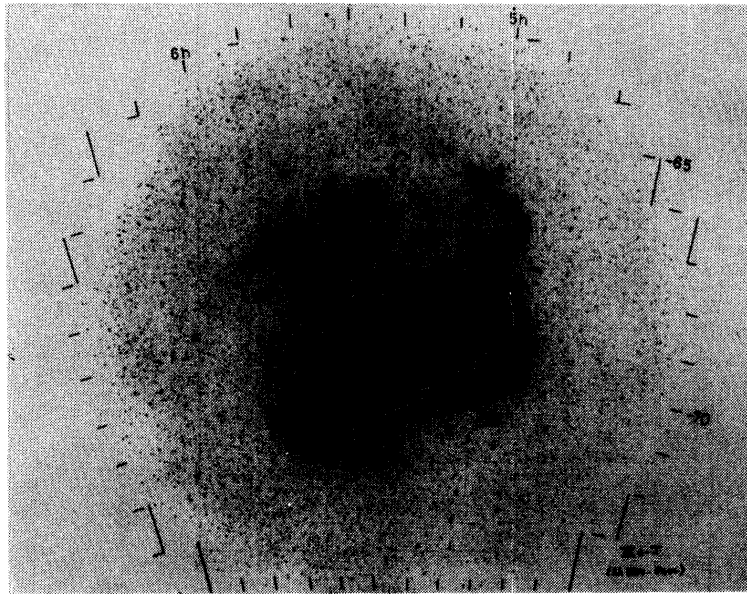


図1 波長 $2.4 \mu\text{m}$ での LMC の輝度分布
 contourの間隔は $7.8 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$
 背景の写真は $3800 \text{ \AA} \sim 5400 \text{ \AA}$ で撮られたものである。

影響を強く受けている。図1ではKバンドで約3等よりも明るい星について表面輝度の補正を行なった。考慮に入れた星は図1で丸印で示してある。

図1からわかるように、可視光で明るいBarの部分がやはり $2.4 \mu\text{m}$ でも明るく、有意に検出できたのはほぼこのBarの部分に限られる。またBarの東端でcontourが北にふくらんでいるのは30 Dor領域に対応し、OB型星の多いこの領域に近赤外線源もまた多く分布していることを示している。

4. 議 論

図2は可視光で決められたBarの中心 ($\alpha = 5 \text{ h } 24 \text{ m}$, $\delta = -69^\circ 47'$) を通り、赤経が一定の線にそった輝度分布を $2.4 \mu\text{m}$ とBバンドについて示したものである。Bの輝度分布は de Vaucouleurs and Freeman (1973) による contour map を我々の観測の視野 0.8° ならした値である。この図でみると、Barの中心 2° くらいの領域では2つのprofileは誤差の範囲内で一致している。Barにおいては星間吸収の中心集中は観測されておらず、星の分布はスペクトル型によらない、言いかえると、かなり広い領域でBarを形成している星の構成は変わらないと思われる。以下の議論ではBar全体をその中心部で代表させることとする。一方現在でも星の生成が活発な30 Dor付近は、Barとは別に議論せねばならない。

以下、2つの領域について各々の持つ色、明るさの持つ意味を検討する。

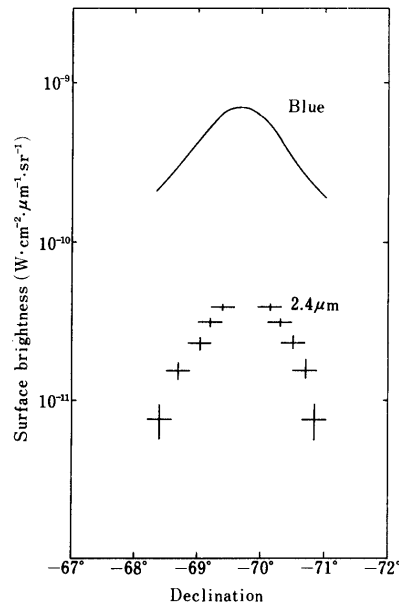


図2 Bar 中心部の Blue と 2.4 μm における輝度分布 ($\alpha = 5\text{h}24\text{m}$)

a) Bar 中心部

Bar については Hardy (1977, 1978) による星のサーベイがある。このデータは V での限界等級が 19 等であり、主に巨星分枝上の星を含んでいる。また、サーベイされた星で、その領域の可視域の表面輝度の 80~90% が説明できる。この場合表面輝度に最も大きく寄与するのは、G 型の巨星である。

それでは、これらの星の 2.4 μm の表面輝度に対する寄与はどれくらいであろうか。Hardy (1977) によって得られた各星の色 B-V に対して、Johnson (1966) による星の色のデータを用いて V-K の値を対応させることが出来る。この値と V での等級から K での等級が求められる。Hardy (1977) によってサーベイされた星について、上述のようにして求めた K とそして V での flux をたし合わせると、 $V = 13.5 \text{ mag}/\square'$ 、 $K = 11.6 \text{ mag}/\square'$ という面輝度が得られ、また $E_{B-V} = 0.04$ によって星間吸収を補正するとサーベイされた星全体についての色

$$V - K = 1.8 \text{ 等}$$

が得られる。

一方、観測された 2.4 μm の面輝度からやはり Johnson (1966) による晩期型の巨星の色を用いて求めた K での面輝度と V での観測値から求めた Bar 中心部の色は

$$V - K = 2.3 \pm 0.3 \text{ 等}$$

である。サーベイされた星で V での表面輝度がほぼ説明できるとすれば、上の 2 つの色の差からこれらの星で 2.4 μm の表面輝度の約 60% が説明できることになる。ただし B-V と

V-Kの対応づけは、巨星分枝の星ではかなりの誤差があり、 $2.4\ \mu\text{m}$ の観測値はほぼこれらの巨星からの寄与と考えるのが妥当であろう。また $2.4\ \mu\text{m}$ の表面輝度に大きく寄与するのは比較的少数のM型の巨星である。

LMCのBarにおいて可視光領域で巨星が主に表面輝度に寄与するという事情は、太陽近傍とはかなり異なっている。太陽近傍でも近赤外領域では巨星の寄与が大きいと思われるが、Vでは約90%がFOよりも早期型の主系列星によっている。LMCのBarでは主系列星は相対的に少なく、質量で言えば1%程度しかない巨星がその光の大部分を占めていることになる。

b) 30 Dor 領域

30 Dor 付近については巨星まで含むような星のサーベイはなく、固々の星のデータが与えられるのは超巨星についてだけである。この領域では 10^7 年前にStar formation burstがあったとみられており (Ardeberg, 1976; Schmidt-Kaler, 1977) 非常に超巨星に富んでいる。そこでまず、これら若い超巨星の $2.4\ \mu\text{m}$ の輝度への寄与を考える。

Hyland et al. (1978) は30 Dor 中心部の $12' \times 12'$ の領域で、波長 $2\ \mu\text{m}$ のサーベイの結果10個のM型超巨星を見出した、この10個の超巨星からの波長 $2.4\ \mu\text{m}$ のfluxの和は、視野 0.8 で観測された30 Dorの表面輝度 $3 \times 10^{-11}\ \text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ に対して3%寄与している。もし 0.8 よりも広い領域にわたってこの密度でM型超巨星が分布していればその寄与は約50%になる。しかし、この領域の超巨星の分布は中心集中があり、それを考慮するとM型超巨星の寄与はせいぜい10%と思われる。またMartin et al. (1976) による早期型超巨星の密度分布とCowley (1979) による早期型と晩期型の超巨星の数の比から求めた晩期型超巨星の密度もやはり観測された表面輝度への寄与10%を与える。

従って残り90%は他の種類の星の寄与と考えねばならない。この事情はVバンドでも同様で、Vバンドでの表面輝度 (Borgman and Danks, 1977) は、早期型の超巨星だけでは説明できない。おそらくはBarと同様に巨星が主に表面輝度をにっているであろう。

c) Bar と 30 Dor に分布する星の年齢

Struck-Marcell and Tinsley (1978) は、ある星の系の色B-VとV-Kが、その系の年齢の指標となることを指摘している。図3はStruck-Marcell and Tinsley によるモデル計算で、 10^7 年間のstar formationの後の星の系の色の変化を示している。数字は 10^9 年単位での時刻を表す。時刻がたつにつれて、巨星に進化する星の数が増え、全体の色は赤くなってゆく。図には、LMCのBarと30 Dorの位置も示した。30 Dorの受けている星間吸収は $E_{B-V} = 0.3 \sim 0.5$ (Lucke, 1974; Borgman and Danks, 1977; Israel and Kennicutt, 1980) であるが、我々の観測の視野は 0.8 で星間吸収の弱い領域まで含んでしまうことを考慮して、ここでは $E_{B-V} = 0.3$ として補正してある。このモデル計算によればBarを構成する星の年齢は $\sim 10^9$ 年となる。

Hardy (1978) によれば、可視光と近赤外光に寄与している巨星分枝上の星は、その色・等級図はM4等の比較的金属元素の多い球状星団のものと類似してはいるが、年齢は 5×10^9 年よりも若い星であると考えた方がよい。この結論は我々の結果と矛盾しない。また 10^9 年という年齢はFOよりも早期型の星が巨星にまで進化する時間と一致する。

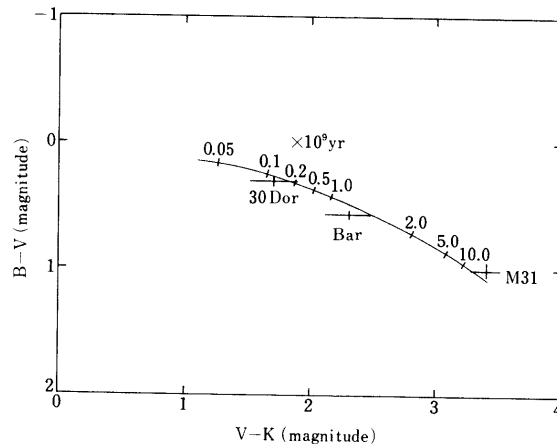


図3 LMC Bar, 30 Dor, M31 Bulgeの色B-V, V-K
 曲線はStruck-Marcel and Tinsley (1978)による
 evolution truck

これに対して30 Dorの領域はもっと若く図3によれば $\sim 10^8$ 年である。これはおそらく年齢が 10^7 年程度の若い超巨星に富んだグループと、その背景にある 10^8 年より古い巨星の寄与が重なった結果であろう。図3のモデルは1回のstar formation burstを仮定しているため、30 Dorの場合にはそのままあてはめるのは無理があると思われる。

図3には参考のためにM31のBulgeの位置も示してある。M31のBulgeはLMCに比べずっと古く、 $\sim 2 \times 10^{10}$ 年の年齢を示す。

Murai and Fujimoto (1980)によればLMCが近銀河点を通過したのは最近では 4×10^7 年前、その前が 1.5×10^9 年前であり、上で議論した30 Dor付近の超巨星に代表される星の年齢とBarに分布した巨星の年齢にそれぞれ近い値を示している。これは我々の銀河系によるdisturbanceが星の生成のトリガーになった可能性を示唆するものとして興味深い。

参 考 文 献

- Ardeberg, A.: 1976, *Astron. and Astrophys.* **46**, 87
 Borgman, J., Danks, A. C.: 1977, *Astron. and Astrophys.* **54**, 41
 Cowley, A. P.: 1979, *Pub. Astron. Soc. Pacific* **91**, 628
 de Vaucouleurs, G., Freeman, K. C.: 1973, *Vistas Astron.* **14**, 163
 Hardy, E.: 1977, *Astrophys. J.* **211**, 718
 Hardy, E.: 1978, *Astrophys. J.* **223**, 98
 早川幸男, 松本敏雄, 村上浩, 宇山喜一郎, 山上隆正, J. A. Thomas: 1980, 宇宙観測シンポジウム
 昭和55年度, p. 607
 Hayakawa, S., Matsumoto, T., Murakami, H., Uyama, K., Thomas, J. A., Yamagami, T.: 1981,

- Astron and Astrophys. 100, 116
- Hyland, A. R., Thomas, J. A., Robinson, G. : 1978, Astron. J. **83**, 20
- Israel, F. P., Kennicut, R. C. : 1980, Astrophys. Letters. **21**, 1
- Johnson, H. L. : 1966, Ann. Rev. Astron. Astrophys. **4**, 193
- Lücke, 1974, Astrophys. J. Supple. **28**, 73
- Martin, N., Prévot, L., Rebeiro, E., Rousseau, J. : 1976, Astron and Astrophys. **51**, 31
- Murai, T., Fujimoto, M. : 1980, Publ. Astron. Soc. Japan. **32**, 581
- Schmidt-Kaler, Th. : 1977, Astron. and Astrophys. **54**, 771
- Struck-Marcell, C., Tinsley, B. M. : 1978, Astrophys. J. **221**, 562