

# 赤外線で見えた銀河系の内側構造

奥田 治之, 舞原 俊憲, 小田 直樹\*

## 1. まえがき

ウィリアム・ハーシェルが、天球上の星数分布の観測からおぼろげながら銀河系の姿を描いて見せたのは一世紀半も前のことであった。その後、多種多様な観測技術の助けをかりて、その構造は次第に深く精密に調べられるようになった。特に 21 cm の水素電波線の発見は、オールの天才的な着想と相まって、銀河系内の中性水素原子雲の渦状構造を見事に描き出してくれた。もちろん、光学観測による恒星分布の研究も大規模に、精細に行われ、星のタイプ別、星団、星雲等の空間分布もよく調べられている。しかしながら、不幸にも次のような理由で、それは太陽系の近傍に限られている。

天の川が天球をほぼ大円上にそって取り巻いていることからわかるように、我々の太陽系は銀河面の中央部に位置し、しかもその輝度分布に大きな非等方性があることは、銀河系の外周部に偏っていることを示している。これは、先に述べた 21 cm 波の電波観測によってはっきりと証明されている。図1は、ハーシェルの描いた銀河系のスケッチであるが、銀河中心方向の天の川が二つに分れているのが暗示的である。これは、その後の研究によると、星間空間に浮遊する細かい塵粒子 (Dust) による吸収によるものである。吸収量は、可視光線で 1 kps 当り約 1.5 等に達する。これが遠距離の星の光を弱め、観測を妨げる。特に距離にして 10 kps にもなる銀河系の中心部の光などは、15 等 (百万分の 1) もの減光を受ける勘定になり深い塵のとばりに隠されて見ることが出来ない。

しかしながら、この星間吸収は波長が長くなるに従って急減することがわかっている。たとえば、2  $\mu\text{m}$  波長にもなれば、吸収率は可視光の 10 分の 1 近くなり、これならば、銀河中心部の吸収も 2 等 (数分の 1) 程度となり、塵のかすみも晴れ上がってくる。したがって、赤外線を使えば銀河系の奥深くを見透すことが出来る。星の光は、タイプによってさまざまであるが、全体を平均してみると、その放出エネルギーを可視光域と赤外域でほぼ折半している。従って、近赤外域で観測を行えば、電波観測では得られない銀河系内の恒星分布がその全域にわたって調べられる。こんな考えのもとに、我々は、近赤外域での銀河光の観測を思いつき、ここ 10 年来観測に取り組んで来た。それによって浮び上がった銀河系の中央部は予想以上に興味深い構造を持っていた。

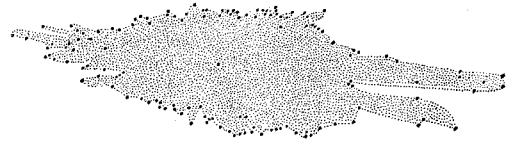


図1 ハーシェルの描いた銀河スケッチ

## 2. 観測

観測は、個々の星を分解して行うのではなく、比較的広い視野で、能率よく天の川を掃天することを考えた。こうなると赤外線観測の常で 300°K (常温) の大気による強い背景 (前景というべきか) 放射のため、地上からの観測は不可能である。はじめは、ロケットによる観測も考えたが、姿勢制御の問題、観測時間の短いことから、系統的な観測が行える気球観測を採用することにした。最初の観測は 1971 年 9 月、三陸気球基地から上げられた 5000 m<sup>3</sup> の気球で高度 25 km で行った。しかし、そこには思いがけない伏兵が待っていた。

気球高度の観測では、高度 100 km 附近にある OH 夜光の放射が存在することは承知していた。しかし、その強度は目的の銀河光の 10 倍程度で絶対値はともかく、銀河光成分は十分浮び上がってくるものと期待していた。銀河光の強度の弱いことを考え、出来るかぎり広い波長帯をとということで、選んだ波長域 (1.5-2.5  $\mu\text{m}$ ) は OH 夜光の発光帯を含んでいた。ところが、驚いたことには、この OH 夜光が、空間的にも時間的にも激しく変動して、目的の銀河光成分をかき消してしまっていた。このような OH 夜光の微少急変動は従来知られていなかった事実で、中間熱圏大気の乱流構造、波動現象の貴重な情報となることがわかったが、銀河光観測という本来の目的を達成することはできなかった。

このような OH 夜光の妨害を避けるため、以後の観測はこの OH 夜光帯の唯一の間隙をぬって 2.35-2.5  $\mu\text{m}$  の狭い波長帯を選んで行うことにした。観測は、1975 年 6 月、1976 年 5 月、1977 年 5 月の計 3 回行い、銀経 348° から 32° の間の銀河面に沿った幅 30° の領域の輝度分布の測定に成功した。観測の代表例として、1977 年の結果を図 2 に示した。

一見して壮大な edge-on galaxy を思い出させるが、輝度分布の主な特徴は、

- 1) 銀河中心方向に楕円状の Nuclear bulge と呼ばれる大きな恒星集団が認められる。
- 2) そこから銀河面に沿って細長い舌状の成分 (Disk)

\* 京大理

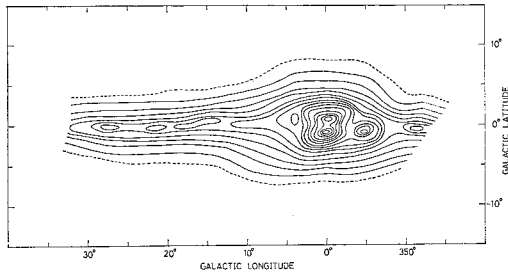


図 2 2.4  $\mu\text{m}$  赤外線 の表面輝度分布

がのびて銀経 30° 付近で急に切れる。

3) 銀河中心部の輝度分布が銀河面をはさんで二つの極大に分裂している。

4) 銀経 355° 付近に異様な輝度の極大が見られることなどである。

これらの特徴は、すでに 1976 年の視野 1° の観測でも、また同時に行われた名古屋大学の観測にも共通して認められていたものであるが、今回の観測は視野が 0.6° と改善されて一層はっきりとその様相を表わしている。特に 3) の二つ目構造は今回の観測ではじめて分解された。

### 3. 内部銀河系の恒星分布

測定された赤外線輝度は、観測方向に積分された星の光に途中の星間吸収が加わったもので、今回行われた単色の観測からは、これらを一意的に分離することは原理的にはできないが、多少の不定性を許した上で推定できる銀河系の内側部分の構造について考えてみたい。

#### a) Nuclear bulge

銀河中心方向に広がる楕円状の輝度分布は、多くの渦状銀河に見られる Nuclear bulge の存在をはっきりと確認したものである。このような Bulge の存在はオールト、プラウトによる RR Lyr 型星の観測や、シュミット・カーラー等による赤外写真観測などから予想されていたものであるが、その全ぼうを表わしたのものとしては初めてである。Bulge 軸の比はほぼ 2:1 で、長径、短径は 30°, 15° と拡がり、実長にして 5 kpc  $\times$  2.5 kpc と比較的大規模なものである。積分された総光量も  $2 \times 10^{10} L_{\odot}$  に達し、アンドロメダ銀河の  $1.7 \times 10^{10} L_{\odot}$  に匹敵し、我々の銀河系がアンドロメダ銀河と同等の Sb 型銀河であることを示している。

#### b) Disk

Bulge からのびた Disk 成分には、二つの著しい特徴が見られる。まず、銀経 15° 付近からのびた尾根の強度が非常に平坦なことで、それが銀経 28° 付近から急に減少し鋭い肩になって落ちこんでいることである。これは名古屋大学の 1976 年の観測によっではじめて見出されたもので、極めて特徴的である。この平坦さと鋭い肩の

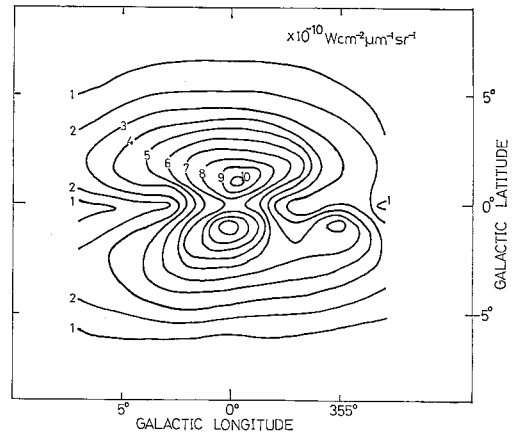


図 3 抽出された Bulge 成分

存在は、輻射源が銀河中心のまわりにリング状に分布していることを暗示している。肩の方向からリングの半径は約 5 kpc であることになる。これは、従来の 21 cm 電波の観測から知られていたたて座アームに対応しているが、このように強い赤外線源のアーム構造は新しい発見である。最近の CO 分子の電波観測からは、この領域に大量の CO 雲従って  $\text{H}_2$  雲が存在していることが明らかにされ、また、宇宙  $\gamma$  線の強度分布にも同じような特徴が認められている。尚、平坦部に見られる飛び石模様は、2 回の観測で一一致し、最近の名古屋大学の観測でも一層はっきりと認められ、何らかの微細構造を反映しているものと考えられる。

もう一つ注目すべき事実は、Disk 成分の幅の狭さである。見かけ上の半値幅にしても 4° 程度で、これは距離 (6-8 kpc) を考慮すると 400-500 pc の厚みに対応する。さらに次節で述べる銀河面内の狭く強い星間吸収のことを考えれば分布は一層鋭くなる。太陽系付近で調べられている星の種類分布から考えて、赤外線に比較的よく効くと考えられる K, M 型の星の厚み 500-800 pc と比べて明らかに狭い。これは、銀河系内側部分の星の分布がより銀河面集中が強いのか、或いは、寄与している星が、原始星、超巨星などのような若い Pop I 型のものであることを示している。たしかに、大量の  $\text{H}_2$  分子の存在や、 $\gamma$  線 (従って宇宙線) 強度の強いことを考え合せると、この領域が星の形成、超新星の爆発など若くて活動的な場所である可能性が強い。

### 4. 内側銀河系内の Dust 分布

銀河中心方向の輝度分布が二つに分れていることは、星の分布を反映していると考えよりは、銀河面に集中した Dust の吸収による見かけ上のものと考えの方が自然である。

中心方向の輝度には Bulge そのものと Disk 成分とが

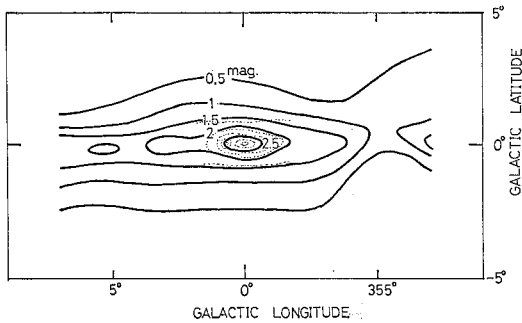


図 4 Dust による吸収量の分布  
点線は 100  $\mu\text{m}$  輻射の強度分布を示している

重なったものであるが、Disk 成分の寄与は、それが銀経によらずほとんど一定であることを利用すれば分離ができる。平均的な Disk 成分として銀経 20° の輝度を差引いて得られた Bulge 成分のみの輝度分布は図 3 のようになる。銀河面上の一層深い切れ込みは、濃い Dust 層の存在を鮮かに示している。

さて、前にも述べたように星の光と Dust による吸収を厳密に分離することは原理的には不可能である。ここでは、次のような作業仮設にたつて、それらの分離を試みることにする。すなわち、Bulge 成分の星の分布として、多くの系外銀河に共通して得られている分布則 ( $r^{1/4}$  則) を採用する。この仮定は、21 cm 電波の観測から求められた銀河回転の動径変化から予想される質量分布と矛盾しない。具体的には、アンドロメダ銀河で得られている輝度分布を我々の銀河系の Bulge の大きさに合わせて本来の輝度分布と仮定し、これと図 2 の輝度分布の差から Dust による吸収を抽出する。こうして得られた吸収量の分布が図 4 である。吸収はほぼ銀河面に沿ってのび、幅にして約 2° の中に集中している。銀河中心部には多少の集中が見られるが、主要部分は銀経によらず、2.4  $\mu\text{m}$  で 2.0 等に達する。これは可視光の吸収に直すと約 24 等に対応し、太陽系近傍の平均吸収量 (1.5 等/kpc) から予想される最大 15 等の吸収より著しく大きい。吸収に関与する Dust 層の位置は不定である。しかし、CO 観測から求められた H<sub>2</sub> 分子の分布の強い 5 kpc 集中と共存していると考えるのが妥当であろう。実際、H<sub>2</sub> 分子の総量 ( $3 \times 10^{22} / \text{cm}^2$ ) から期待される Dust 量は上記の値を矛盾なく説明できる。吸収層の幅から推定される Dust 層の厚みは 200 pc 程度となり、通常の HI 雲の厚みにほぼ匹敵する。しかし、CO 雲の厚み約 100 pc に比べるとかなり広く、今後の問題として残る。

銀河中心部の吸収量の増加は、そこに Dust が集中していることを示唆している。このような銀河中心部での Dust の存在は一般的ではないが、Seyfert 銀河の中心部や、活発な渦状銀河 NGC 253 などでは認められており、

一概には否定できない。特にホフマン等の遠赤外線 (100  $\mu\text{m}$ ) 観測によれば、丁度対応する位置に Dust の熱輻射と考えられる強い輻射が見出されており、我々の求めた吸収の拡がりとも一致を示し、熱輻射に必要な Dust 量と吸収に効いている Dust 量とともに  $10^5 M_{\odot}$  程度となり矛盾しない。

c) 銀経 355° の異常

この特徴は、すでに前回の観測、および名古屋大学の観測でも認められていたものであるが、今回の観測によって疑いの余地のないものになった。位置は銀経が 355° で、銀緯は -0.7° とやや銀河面をはずれている。おおよそその拡がりは  $2^{\circ} \times 1^{\circ}$  で、周囲からの超過分だけを積分して得られた輻射量は  $3.5 \times 10^{-10} \text{ W/cm}^2 \mu\text{m}$  で K 等級に直して -1.5 等に達する。この領域は残念ながら CIT の 2  $\mu$  サーベイはおおっていないが、やや不完全なプライスの掃天観測によれば、これ程明るい単独星は見当たらない。周囲には NGC 6383 や NGC 6405 (M6) などの散開星団が存在しているが、位置的にもやや離れすぎているし、構成する星の赤外線強度を全て合せても、観測された強度には程遠い。対応する電波天体もないし、ホフマン等の 100  $\mu\text{m}$  観測でも異常は認められない。そんなわけで、現在のところこの源の起源について確定的なことは何も言えないが、ここでは二つの可能性について簡単にふれておきたい。

まず、これを、今まで星間吸収に隠されていた未知の天体と考えることである。木曾のシュミット望遠鏡で撮影された赤外 (1 N) 写真にはこれと言った異物は見つからないところを見ると、源はかなり遠くにあると考えなければならない。たとえば、銀河中心付近にあると考えると、実際の大きさが 200 pc、輻射量は  $10^8 L_{\odot}$  にも達する。このような天体は、少なくとも今までは知られていない。ところが、これをさらに遠距離の天体、すなわち銀河系外天体と考えるとかえって話がうまくいく。すなわち、アンドロメダ銀河に近接して存在する楕円銀河 M32 を約 40 kpc の距離に置くと輻射量 ( $10^9 L_{\odot}$ )、大きさ (1 kpc) とともに観測と矛盾しない。

もう一つの考え方は、星間吸収に空間的なムラがあって、たまたまこの方向の吸収量が少なかったために、相対的に輝度が大きく見えているというものである。必要な吸収量の差は 2.4  $\mu\text{m}$  で 0.3 等、可視光に直して 4-5 等である。しかし、このような星間吸収の穴が存在するという積極的な証拠は見つかっていない。3 kpc 腕や CO 電波の分布に、丁度この方向に多少透けた部分が認められるが、量的には足りない。また、最近、近くにある散開星団 M6 の方向に群がる赤外線星の星間吸収が調べられたところ、距離が 2-5 kpc の間には Dust のほとんど存在しない領域があるとも言われている。銀河系の内側部分では Dust

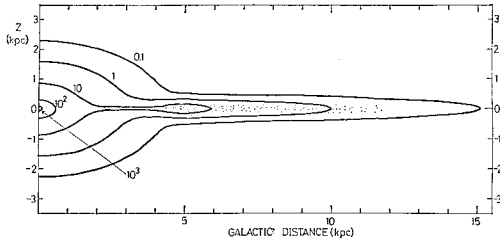


図 5 観測結果を総合的に説明できる赤外線放射率 (星の分布) と Dust の分布モデル

の分布に大きな非一様性が存在するのかも知れない。いずれにしても、現在のところ決め手はない。星間吸収の量は、異なる波長帯を観測することによって、その波長依存性から推定することが出来る。また、楕円銀河であるならば、輝度に強い中心集中と特徴的な分布特性が見られるはずである。今後、このような観測を行えばその正体が明らかになるであろう。

5. CO 分子雲,  $\gamma$  線 (宇宙線) の分布

太陽系より内側の銀河系の構造が、変化に富んだ、活動的な領域であることを示す事実が、この他にもいくつか現われてきた。すでに述べたように、CO 電波源の 5 kpc 附近の集中は極めて著しい。CO 電波は回転準位の遷移 ( $J=1 \rightarrow 0$ ) によって放出されるものであるが、その励起には、 $H_2$  分子の衝突が関与しているものと考えられている。したがって、5 kpc 附近の CO 電波源の存在は、とりもなおさず、そこに  $H_2$  分子が存在していることを意味し、しかもその量は H 原子の数倍にも達すると推定されている。分布もかなり小さな塊り (5 pc) として存在し、銀河面への集中も強く、厚さにして 100 pc 程度と見積られている。

数 10 MeV を越す高エネルギー  $\gamma$  線が宇宙線と星間

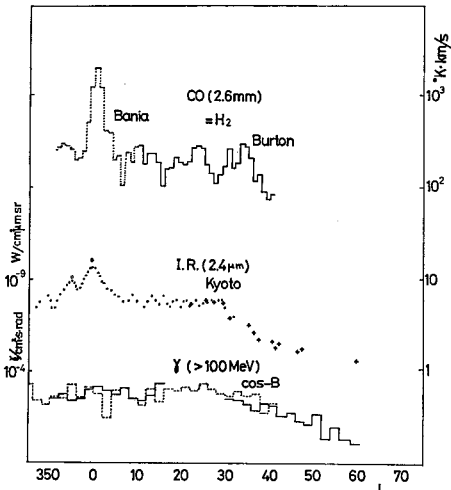


図 6 CO 電波, 2.4  $\mu m$  赤外線,  $\gamma$  線の強度分布の比較

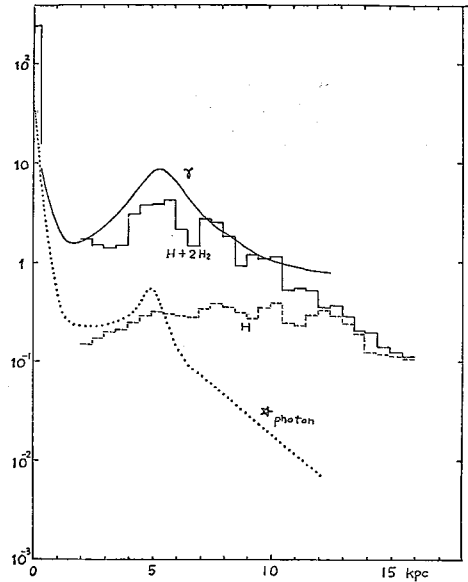


図 7  $\gamma$  線発生率. 星間物質密度, 星の光密度から期待される発生率を太陽系近傍の発生率を 1 とし示してある。

物質の衝突過程から出る  $\Pi_0$  中間子の崩壊によってつくられることは、早くから早川によって指摘されていたが、その強度が弱いことから検出は至難を極めてきた。それが SAS-II や、COS-B などの人工衛星による観測からはじめて意味のあるデータが得られ、興味深い結果を提供している。2.4  $\mu m$  赤外線, CO 電波強度,  $\gamma$  線強度の銀経分布を比較して図 6 に示したが、 $\gamma$  線強度にもやはり銀経 30° 附近に顕著な肩が見出される。 $\gamma$  線発生率は、もちろん、宇宙線密度と星間物質密度の積によって決まる。したがって、5 kpc に  $\gamma$  線発生率の集中が見られるのは、宇宙線か、物質密度か、或いは両者の増加を意味している。物質密度は 21 cm 電波源と、新しく加わった CO 観測から推定できる。これと  $\gamma$  線強度分布から推定される  $\gamma$  線発生率を比較したのが図 7 である。両者の推定には不確定さはあるが、明らかに 5 kpc 附近の  $\gamma$  線発生率は物質密度の増加分だけでは説明できない。これは、この領域の宇宙線強度が太陽系近傍に比べて著しく強いことを表わしている。従来銀河系内の宇宙線の分布は広範囲にわたって一様に分布している信じられてきた。 $\gamma$  線観測は、それに反省をうながし、宇宙線起源の問題に新しい展開を与えようとしている。

なお、数 10 MeV 以下の低いエネルギー領域の  $\gamma$  線は、主として、宇宙線電子と星間物質による制動放射や、光子との衝突による逆コンプトン効果が発生する。最後の過程は、太陽系近傍では星の光が弱くてあまり効かない。しかし、今回の赤外線観測から推定される銀河中心部分での星の密度の著しい増加は、この領域では逆コン

プトン効果が無視できないことを示唆している。

## 6. あとがき

以上述べてきたように、銀河系の内側部分の構造は多様で変化に富んだものである。銀河系の大局構造の研究は、系外銀河の方がかえってやりやすい面もあるが、星間吸収に妨げられるとは言え、我々の銀河系の距離の近いという強味は捨てがたい。典型的な渦状銀河の一例として、その構造を細かく、詳しく探れるという魅力がある。特に赤外域での観測は、透過性の良さを生かして、銀河系全域にわたる恒星分布、塵分布の研究には欠かせない手段である。ここで述べた近赤外銀河光の研究をさらに発展させて、名古屋大学では、南天の観測をするため

オーストラリアに遠征した。我々のところでは、Dust成分を直接検出するために、その熱輻射である遠赤外線強度分布の観測を試みている。また、地上グループは上松の赤外線望遠鏡を使って、銀河面の微光赤外線源の掃天観測を計画している。これによって、銀河系の奥深くの恒星分布、特に原始星の天体や、超巨星のような大光度の天体であれば、5 kpc リングや銀河中心付近まで観測領域が拡大出来るものと期待している。また、こうして見出された遠距離天体の偏光観測から、銀河磁場の構造を明らかにしたいと考えている。

電波、X線、 $\gamma$ 線などの観測から得られるであろう豊富な情報と合せて、我々の銀河系の総合的なパノラマ構造が描き出される日もそれほど遠くはないであろう。

## 掲 示 板

### 東レ科学技術賞および研究助成候補者募集

上記について東レ科学振興会より本会あて推薦依頼が来ています。希望者は**10月30日**までに、学会庶務理事まで御連絡下さい。募集の要項はつぎのとおりです。

科学技術賞……(1) 学術上の業績が顕著なもの (2) 学術上重要な発見をしたもの (3) 重要な発明をしてそ

の効果が大きいもの (4) 技術上重要な問題を解決して技術界への貢献が大きいもの、に対し金メダルと副賞250万円。

研究助成……科学技術の基礎的な研究に従事し、その研究の成果が科学技術の進歩、発展に貢献するところが大きいと考えられる研究を行なっている研究者、またはそのグループに対し1,000万円程度。

贈呈期日は両方とも昭和54年3月の予定。

わが国唯一の天体観測雑誌

# 天文ガイド

定価280円(千45円) 78-10月号・9月5日発売!

### ●10月号のおもな内容

- ★10月2日(月曜日)は日食です。部分日食ですが、欠けたまま太陽が沈みますから、風景写真をとるには良いチャンス。観測ガイドは白河天体観測所です。
- ★太陽についての話題をもう一つ。最近コロナホールが注目されています。これはいったい何でしょう。
- ★この春開かれたマーマデン、クレーサー博士の天文アマチュア向け講演の連載が始まっています。今月は、クレーサー博士のお話です。
- ★木星がそろそろ観測シーズンに入ってきましたが、木星面の縞模様と衛星をいっしょに写してみようという私の天体写真術、船田さんのテストなどを紹介です。

カラー版  
藤井旭の

# 天体望遠鏡 ABC教室

いざ天体望遠鏡を買おうとしても、どんな望遠鏡を選んだらよいか、誰でも迷うものです。また、買ってから能力を生かしきれない人も、意外と少なくありません。本書は天体望遠鏡の選び方のポイント、構造と使い方、各天体ごとの見方、自分で工作する場合どうしたらよいか、調整や手入れの仕方などをカラー写真とイラストでくわしく解説しました。

付録に、これから10年間の木星、土星、宵の明星の見え方、星雲・星団、二重星の星図があります。

●藤井旭著/B5変型判・88ページ・1600円・発売中

誠文堂新光社

東京都千代田区神田錦町1-5  
振替東京7-6294 電話03(292)1211