

近赤外線で見える銀河

市川 隆

〈東京大学理学部木曾観測所 〒397-56 長野県木曾郡三岳村樽沢〉

e-mail: ichikawa@kiso.ioa.s.u-tokyo.ac.jp

近赤外線 2 次元検出器の普及によって銀河の撮像観測がさかんに行われるようになってきました。近くの銀河の地道な研究は、将来すばる望遠鏡や大型軌道赤外線望遠鏡を使って深宇宙で銀河の研究をする上で重要です。近傍銀河の近赤外線撮像観測には特に口径比の小さい、小型の望遠鏡が有効です。近赤外線で見える銀河を観測すると何が見えてくるのか、また観測の難しさはどのような点にあるのかを紹介します。

1. はじめに

写真 1 は東京大学理学部木曾観測所の 105 cm シュミット望遠鏡に CCD カメラを取り付けて撮影した銀河 M 82 です。この銀河は中心付近で爆発的な星生成が起きていることで広く知られています。その奇妙な形のために天体写真集にしばしば掲載される銀河です。この写真は青い光の波長 (B バンド、中心波長 $0.44 \mu\text{m}$) で撮影したのですが、中心付近の不規則で奇妙な形は濃い塵の雲によって背景の星の光が部分的にさえぎられ、あるいは散乱された結果です。その興味ある形と中心領域の活発な星生成のために、様々な波長でも

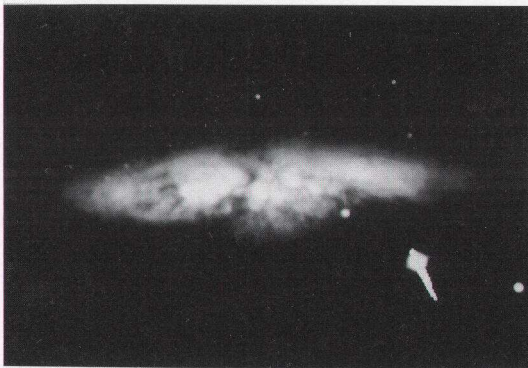


写真 1 木曾105cm シュミット望遠鏡と CCD カメラで観測した M82 の可視光画像 (B バンド $0.44 \mu\text{m}$)

っとも詳しく観測されている銀河のひとつです。どの電磁波でも強いエネルギーを発生しているので新しい観測装置を作ると真っ先に観測の対象となるのもこの銀河です。

私たちは近赤外線カメラを木曾観測所のシュミット望遠鏡に取り付けて観測する機会がありました。やはり最初に撮影した銀河が M 82 でした。このカメラは感度が余り高くないので、M 82 ならばなんとか写るだろうと考えたからです。写真 2 はこうして撮影した H バンド (中心波長 $1.65 \mu\text{m}$) の近赤外線画像です。このカメラは広い視野を持つので M 82 の全体像を初めて近赤外線で撮影することができました。ところでその形は可視光で見た写真 1 とはたいへん異なっています。むしろ平凡などこにでもある銀河の形をしています。大きなバルジと真横から見た円盤部がはっきり見えます。しかも形はなめらかです。可視光でみる不規則な姿が見えません。

近赤外線で見える銀河を観測すると何が見えてくるのか、また観測の難しさはどのような点にあるのかを紹介しましょう。近赤外線は通常 $0.7 \mu\text{m}$ より長い波長域を指しますが、 $0.7 \mu\text{m}$ から $1 \mu\text{m}$ までは可視光の CCD カメラで観測できます。ここで言う近赤外線とは波長 $1 \mu\text{m}$ から $2.2 \mu\text{m}$ に限定することにします。

近赤外線を放射する天体

可視光と赤外線の違いはその透過性にあります。赤外線は可視光より塵による吸収や散乱をはるかに受けにくいので、暗黒星雲の背後にある天体も見ることができます。例えば、可視光のVバンド（中心波長0.55 μm ）で1等級減光している天体も、近赤外線のKバンド（中心波長2.2 μm ）では約0.1等しか吸収されません。Hバンドでは0.2等程度です。ですから写真2のように、濃い塵にもじゃまされずに背景にある星のバルジや円盤が見えるわけです。

では銀河からの近赤外線はどんな天体が放射するのでしょうか。様々な天体から放射されますが、大部分は低温の巨星（温度が3千度から5千度のM型星やK型星）です。これらの星は年齢が10億年以上の古い星で、質量は太陽と同じ位です。小さな質量の星がバルジ、円盤、棒などの構造を作っていますので、近赤外線で見ると古い星の種族が形作る銀河の基本的な骨格を見ることができます。うずまき銀河では非常に若く質量の大きなM型超巨星や、暗黒星雲のなかに埋もれたO型星などの熱い星も観測されますが、全体的には若い星からの寄与はあまり大きくはありません。だ円銀河は古い星の種族がほとんどですので可視光と赤外線では形はあまり変わりませんが、

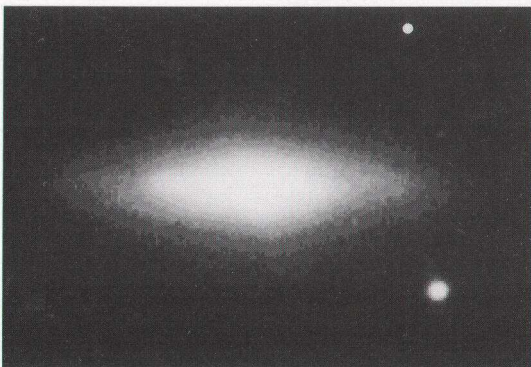


写真2 木曾105cmシュミット望遠鏡で観測したM82の近赤外線画像（Hバンド1.65 μm ）

一方、うずまき銀河を可視光で観測すると比較的若い銀河の姿が映し出されます。うずまきには若い星がたくさん集まっています。また若い星によって暖められた熱いガスの発する輝線が可視光では強く放射されているからです。

2次元検出器による近赤外線観測

新しい波長を観測する装置が開発されるとその結果新しい天文学が開かれます。近赤外線でもしかりです。つい最近まで近赤外線の撮像観測は単素子の検出器を用いていました。そのために大きな銀河の観測には膨大な観測時間を必要としました。また高い空間分解能での観測も困難でした。1980年代後半にInSbでできた58 \times 62素子の検出器が開発され、単素子に比較して一挙に3千倍以上の効率で観測ができるようになりました。銀河の観測では特に中心核の観測に威力を発揮しました。

最近256 \times 256素子数のHgCdTe検出器が広く普及し、多くの天文台が競って銀河の撮像観測を開始しました。日本でもその検出器を使った近赤外線カメラが数台稼働しています。昨年7月にカリフォルニア大学ロサンゼルス校で開かれた2次元赤外線検出器の研究会では多数の銀河の観測例が披露されました。しかし近くの大銀河の撮像観測はほとんどありませんでした。検出器がまだ小さくて大銀河の観測には向いていないためでしょう。もちろん大銀河を小さな領域に分割して観測し、後でつなぎ合わせることも可能です。しかしこのような観測は時間がかかることや観測後の画像のつなぎ合わせが面倒です。もっと大きな検出器が待ち望まれています。

近赤外線観測の障害

近赤外線の観測には空が非常に明るいという大きな障害があります。近赤外線で見ると夜空は銀河の表面輝度に比べて数千倍の明るさで輝いています。上空90km付近にあるOH層は太陽の紫外線

を受け、夜間でもたくさんの強い輝線を放射しています。例えば H バンドの中に入ってくる夜光の強さは光子の数にして可視光 V バンドの約 200 倍もあります。きれいな星空の木曾観測所に比べて東京の中野の夜空の明るさは V バンドで 5 等明るいという報告があります。光子の数に換算すると 100 倍になります。つまり近赤外線での天体の観測をするのは中野よりもさらに都心に近い場所で可視光で観測することに匹敵します。都会では例えば高感度の CCD カメラと言えども淡い銀河の撮影をするのはたいへんです。

このように近赤外線の観測では明るい OH 夜光が障害になりますが、この夜光は高層大気からの放射ですので明るさは世界中どこでも同じです。東京で観測するのも世界最高の観測条件にある天文台で観測するのも条件は同じです。また都市光の散乱も近赤外線では非常に小さく、大都会でも都市光はあまり気になりません。実際、東京都目黒区にある東京大学教養学部では屋上に設置した小さな望遠鏡に近赤外線カメラを取り付けて観測を行っています。東京都小金井市の通信総合研究所や神奈川県相模原市の宇宙科学研究所でも同様に近赤外線観測を続けています。いずれも近赤外線での空の明るさは世界の好条件にある天文台とあまり変わらないことが確かめられています。都会の真ん中で世界最先端の研究ができるなんてすばらしいですね。

一方波長が長くなってくると今度は大気そのものからの熱放射が深刻になってきます。K バンドより長い波長では OH 夜光より大気の放射する赤外線の方が強くなってきます。この熱放射の強さは温度に強く依存しますので、高山のような低温の場所にある天文台の方がずっと観測条件は良くなります。したがって平地では K バンドの長波長側をフィルターで少しカットした K' バンド (中心波長 $2.1 \mu\text{m}$) での観測がよく行われています。

広視野観測の重要性

可視光では素子数が約 100 万個 (1000×1000) の CCD カメラが普通に使われています。その 4 倍もの大きさのものが世界の天文台で使われるようになってきました。大きな銀河の観測ももう困難ではありません。一方赤外線の 256×256 素子検出器はまだ小さく、オリオン星雲のような広い領域での掃天観測や近傍の大きな銀河などの観測には効率が良くありません。

大きな天体を分割して観測する場合、やっかいなのは OH 夜光の強さが観測中に変化してしまうことです。2 倍も空の明るさが変わることもあります。ある領域を数分間観測して隣の領域に望遠鏡を移動するとすでに空の明るさが変わっています。銀河のように広がった天体を観測するときは検出器全体に天体が広がっていますので空の明るさを正しく求めることができません。特に銀河の表面輝度は夜空の明るさの数千分の 1 しかありませんので、分割して観測した画像をつなぎ合わせるためには非常に高い精度で背景光の強さを求めなければなりません。しかしもし検出器が銀河に比べて十分に大きければ銀河周辺から空の明るさを正しく求めることができ、銀河の全体構造を研究することができます。近くの銀河の観測には広い視野の観測装置が重要です。

小口径望遠鏡の出番

銀河の構造は今まで可視光の観測によって詳しく調べられてきました。近傍銀河の膨大な観測データの蓄積のおかげで私たちは遠方の宇宙の様子も詳しく調べることができるようになりました。近くの銀河のことがわからなくては例えば大望遠鏡で宇宙の果てに見える昔の銀河を観測しても現在と何が異なるのかわかりません。近赤外線での銀河の観測は始まったばかりです。可視光観測とは異なる銀河の構造と進化についてのヒントが得られます。近くの銀河の構造を近赤外線ですべて観

測することは将来すばる望遠鏡や大型の軌道赤外線望遠鏡で深宇宙の観測をする時の基礎データとして大切です。まず近くにあるなじみ深い銀河の観測から始めましょう。近くの銀河は大きすぎて大望遠鏡では観測できません。小口径の望遠鏡と大きな赤外線検出器の出番です。

アンドロメダ銀河：230万光年の距離にあるアンドロメダ銀河（M 31）は銀河の構造を知る上で最も基本的な銀河です。しかし天球上で大きさが3度角もあります。余りにも大きすぎて大望遠鏡では全体像を見ることができません。国立天文台で佐藤助教授（現名古屋大学理学部教授）や上野さん（現東京大学教養部）たちが三菱製の512×512素子PtSi検出器を用いた赤外線カメラを開発したとき、真っ先に頭に浮かんだのはこの銀河でした。検出器の感度はHgCdTeやInSbの検出器に比べて数十倍も悪いとはいえ、大きさは世界最大です。しかし普通の望遠鏡では極一部分しか観測できません。M 31の全体像を撮影するには焦点距離の短い口径3cmほどの超小口径望遠鏡が必要です。

上野さんたちは口径5cmのレンズを使ってカメラの性能テストを行っていました。そこでこのレンズを使えばM 31が観測できるのではないかと思います。そして1990年の夏、野辺山のきれいな夜空を期待してレタス畑に発電機と赤外線カメラを持ち込んで観測を試みました。いつも大きなドームのなかでの自動観測に慣れている私には楽しい観測でした。残念ながら天気恵まれずその時は観測できませんでしたが、その後、大学院生の伊藤君と笠羽君が三鷹の国立天文台構内で観測を続け、写真3のようなM 31の近赤外線画像を得ることができました。やはりのっぺらぼうな様相を示していますが、なんとなくバルジが箱型をしているように見えます。私たちの銀河系のバルジも近赤外線で見ると箱型であることがわかっています。M 31の新しい発見かもしれません。

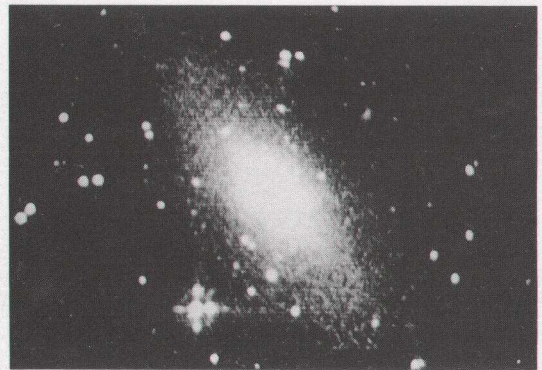


写真3 5cm単レンズで撮影したアンドロメダ銀河の近赤外線画像（Hバンド）



写真4 25cm反射望遠鏡で撮影したNGC253中心付近の近赤外線画像（K'バンド2.1μm）

NGC 253の観測：次にPtSi赤外線カメラを口径25センチの望遠鏡に取り付けました。そして上野さんたちの発案で銀河系中心領域の広域観測を行うことになりました。日本では銀河系中心の観測は難しいのでハワイにあるマウナケア国際観測所にカメラを持ち込み、ハワイ大学の60cm反射望遠鏡の背中に25cm望遠鏡を同架して観測を行いました。口径比が3.5のニュートン焦点に取り付けましたので、銀河の観測にも最適です。また視野は52分角×40分角もあります。観測の合間に試しに近くの大きな銀河、NGC 253の観測を行ってみました。写真4はK'バンドで撮影したNGC 253の画像です。可視光では濃い暗黒星雲ために見えなかった銀河中心付近の棒状構造を発見

しました。

木曾シュミット望遠鏡での試み

銀河のように広がった天体を観測するには口径比の小さな望遠鏡が有効です。観測時間は口径比の2乗に反比例して短くなります。銀河の構造を知るには焦点距離もある程度長くなければなりません。木曾観測所の105 cm シュミット望遠鏡は焦点距離も比較的長く、主焦点の口径比は3.1ですので最適です。特に明るい夜光の中で淡い銀河の撮像を行うには口径比の小さな望遠鏡が威力を発揮します。しかし木曾観測所のシュミット望遠鏡は可視光観測用に作られています。赤外線観測に使おうとは誰も考えませんでした。私たちのグループはその可能性を確かめるために上野さんの

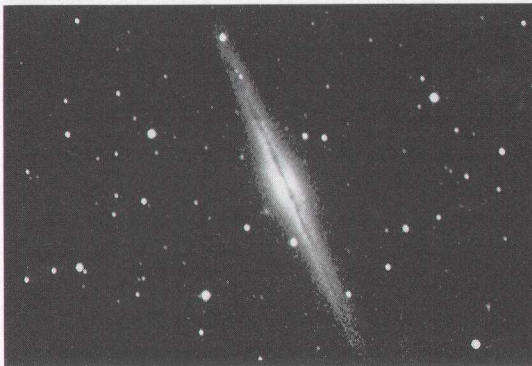


写真5 木曾105cmシュミット望遠鏡で観測したNGC891の近赤外線画像 (Jバンド1.25 μ m)

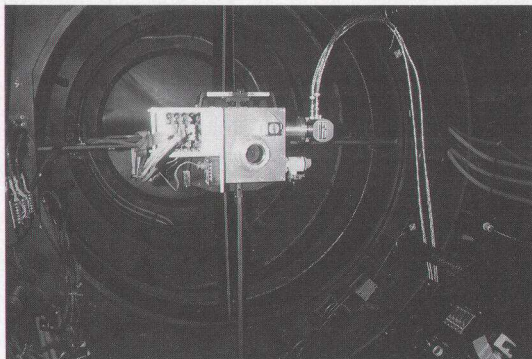


写真6 木曾シュミット望遠鏡の主焦点に取り付けた新赤外線カメラ

ちのPtSi赤外線カメラを借り、主焦点に直接とりつけて様々なテストを行ってきました。重くて大きなカメラをシュミット望遠鏡の内部に取り付けるのはかなり危険で大変でしたが、テスト観測の結果、球面収差が多少大きくなるものの銀河観測には非常に有効であることを確かめました。写真2と写真5はこうして撮影した銀河の画像です。

このテスト観測の結果に勇気づけられて、私たちは現在シュミット望遠鏡に最適化した赤外線カメラを開発しています(写真6)。主焦点にすっぽり収まるように小型冷凍機を用いて非常にコンパクトに作りました。512 \times 512素子のPtSi検出器で実験を進めていますが、将来は1040 \times 1040素子数のものを使いたいと思っています。この大きなチップを用いると視野は18.4分角四方にもなります。ひとつの素子の大きさは17 μ mです。主焦点に取り付けると1素子当たり約1秒角になりますので空間分解能としても最適です。木曾観測所にはすでに可視光観測用に1000 \times 1018素子のCCDカメラがあります。近赤外線カメラが完成するとほぼ同じ空間分解能と同じ視野で可視光から近赤外線までの銀河の画像を得ることができるようになります。広い視野を生かして銀河系内の星生成領域で掃天観測をするのもおもしろいでしょう。木曾シュミットでは15分角より小さい銀河の観測を計画しています。しかしもっと大きな銀河はたくさんあります。小口径望遠鏡を持つ天文台との協力が不可欠です。

Near-Infrared Imaging of Nearby Galaxies Takashi ICHIKAWA

Kiso Observatory, University of Tokyo

Abstract: Near-infrared imaging with two dimensional arrays has become popular. Observations of nearby galaxies with large format arrays are important for studies of large scale structure of galaxies and for future studies of distant galaxies with large telescopes. The advantages of small and fast f-ratio telescopes are emphasized. The difficulties of the near-infrared imaging are also discussed. We present the near-infrared images of M82, M31, NGC253, and NGC891.