

鹿児島大学1 m光赤外線望遠鏡による 銀河系の研究



面 高 俊 宏

〈鹿児島大学理工学研究科 〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-35〉

e-mail: omodaka@sci.kagoshima-u.ac.jp

国道328号線の入来峠バス停を左折し、木々の中を進むと急に視界が開け巨大な電波望遠鏡が姿を現し、その背後にドームが見える。鹿児島大学入来牧場に立つ国立天文台VERA望遠鏡と鹿児島大学1 m光赤外線望遠鏡である。鹿児島大学グループは、VERA望遠鏡で得られたミラ型変光星の周期光度関係を利用して1 m光赤外線望遠鏡で、800個のミラ型変光星の距離を測定し、天の川銀河内でのミラ型変光星の空間分布を解明するプロジェクトを進めている。

1. 天の川銀河の姿と研究目標

月明かりがない暗い夜空を、淡く輝きながら横切る天の川。今から400年前、ガリレオ・ガリレイは自作の小さな望遠鏡で、天の川とは、無数の星の集団であることを観測によって初めて確かめた。そして、その正体は、太陽系が属している棒渦巻銀河であることが今ではわかっている。そこに含まれる数千億の星々の誕生と死の研究は20世紀に急速に進み、その大筋が明らかになったことで人類の宇宙観も大きく変わった。

しかし、天の川銀河全体の詳しい構造については、これまで多くの観測がなされたにもかかわらずよくわかっていない。天の川銀河は、星とガスが渦巻き状に集まった円盤部分と、その円盤を取り巻いている、ほぼ球状のハローと呼ばれる部分



図1 天の川 (ALMA観測所OSFにて、長谷川哲夫氏撮影)。

からなっていること、円盤部では星たちが銀河中心の周りを回転運動しており、天の川銀河に大量の未知の暗黒物質(ダークマター)が存在していることが、おおまかにわかっているだけである。

その原因は、太陽系が天の川銀河の内部にあり、その全体像を調べるためには、個々の天体までの距離や運動を正確に測る必要があるからである。このとき、個々の天体までの距離の絶対値をできる限り少ない仮定で観測から直接得ることができることが特に重要である。われわれは国立天文台と共同でVERA望遠鏡を用いて星までの距

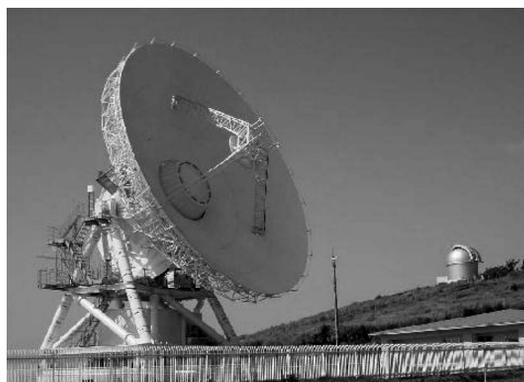


図2 VERA望遠鏡と1 m光赤外線望遠鏡。

離を三角測量の原理で測定する研究を進めてきた。また、鹿児島大学1 m光赤外線望遠鏡を用いて天の川銀河内に多数存在するミラ型変光星（次項参照）の明るさと変光周期を測ることで星までの距離を求めている。

この二つの研究は共に天の川銀河の立体精密地図を作ることを目指したものであるが、互いに相補い合う。VERAによる距離測定は、最も基本的な測定原理に基づいているため、得られた距離には前提とする仮定に対する不定性がないが、2年間程度の継続的な超精密観測が必要であり、短期間に多数の天体の距離を求めるのは苦手である。一方、変光星を対象とする距離測定は比較的簡単な装置でも短期間に多数の天体の距離を求められるが、変光周期から真の明るさを推定する関係式を知っておく必要があり、これが十分な精度で得られていないと距離の絶対値を正確に求めることが難しい。

そこで、鹿児島大学では、VERA望遠鏡を用いていくつかのミラ型変光星までの距離を正確に決め、周期光度関係を十分な精度で得たうえでミラ型変光星を用いた距離測定法を確立するプロジェクトを進めてきた。

2. ミラ型変光星

星々の中には、明るさが時間的に変わるものがあり、変光星と呼ばれる。このうち、星自身が膨張・収縮を繰り返すために真の明るさがほぼ周期的に変わる星を脈動変光星と呼ぶ。

太陽程度か太陽より少し大きな質量の星は恒星としては比較的軽い部類に当たり、その終末には半径で太陽の100倍程度に膨張し、赤色巨星となる。このうち約1年程度の周期で膨張と収縮を繰り返す脈動変光星がミラ型変光星である。

ミラ型変光星では変光の周期と近赤外線での真の明るさ（絶対光度）との間に関係があり、周期の長い星ほど絶対光度が大きい。これをミラ型変光星の周期光度関係という。この周期光度関係を

使うと、ミラ型変光星の周期からその絶対光度がわかり、これと地球から観測した明るさ（見かけの明るさ）とを比べることで星までの距離が推定できる。こうした天体は“宇宙距離指標”と呼ばれ、ほかにも何種類かの天体が知られているが、天の川銀河全体を見渡すうえではミラ型変光星が最適な天体である。

天の川銀河は渦巻き銀河の一つである。その円盤部には多数の暗黒星雲が存在する。これが光を遮るために銀河の大部分は可視光（電磁波のうち肉眼で見える波長の光）では観測ができない。しかし赤外線ではこの影響が非常に少なく、しかも明るいので非常に遠くにある星でも観測が比較的容易である。鹿児島大学1 m光赤外線望遠鏡のような小口径の望遠鏡でも天の川銀河にある大部分のミラ型変光星を観測対象とすることができ、銀河内での立体配置を明らかにすることが原理的には可能である。

ミラ型変光星の周期光度関係は、天の川銀河の隣の銀河である大マゼラン銀河に存在するミラ型変光星についてはすでに関係式が得られている¹⁾。しかしながら、大マゼラン銀河と天の川銀河とで含まれる星の元素組成などに違いがあり、量的にも同じ関係が成り立つ保証がない。そこで、天の川銀河内のミラ型変光星までの距離を求めるには天の川銀河自体の赤外線の周期光度関係を求める必要がある。そこでVERA望遠鏡を用いてミラ型変光星まで距離を直接的な方法で測定する研究プロジェクトをスタートしたのである。

3. VERAによる周期光度関係の決定

対象となる天体までの距離を決めることは天文学では常に最大の課題であった。いくつかの原理に基づく距離測定方法が考案されているが、その中で最も単純で仮定のない方法が三角測量法である。これは、離れた2地点から対象となる天体が見える向きを測定し、その違いと2地点間の距離から、観測地点と対象天体とを結ぶ三角形の形状

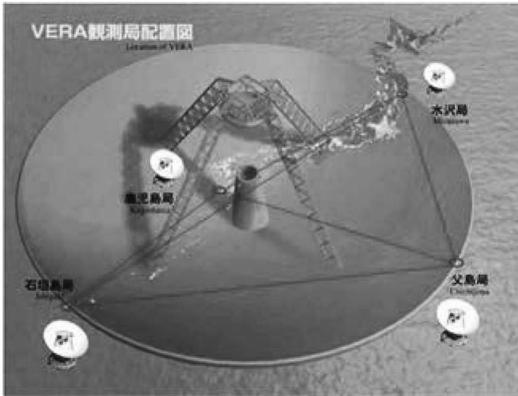


図3 口径2300 kmの電波望遠鏡。

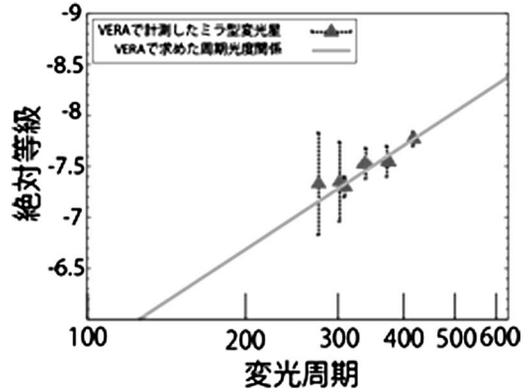


図4 VERAで求めた近赤外線の周期光度関係。

と大きさを確定して、距離を求める方法である。地球は太陽の周囲を1年かけて公転する。このため、1年周期で天体の見える方向が変化する。これを年周視差と言い、この測定から距離を求めるのである。

しかしながら、天の川銀河内に点在する天体までの距離は光のスピードでも数千年から数万年もかかるくらい遠い。したがって、これらの星までの距離を年周視差から測定するには、極めてわずかな方向の違いでも検出できる超高精度の観測装置が必要となる。これを実現するため、われわれは岩手県奥州市水沢、東京都小笠原村父島、沖縄県石垣市石垣島、鹿児島県薩摩川内市入来町の日本全国4カ所に直径20 mの電波望遠鏡を設置し、この4局で同時に同じ天体を観測するシステムとしてVERA望遠鏡を建設した。これは実質的に2,300 kmの口径をもつ巨大望遠鏡を用いた測定に匹敵する角度識別能力をもち、計算上は月の上に置かれた1円玉の大きさを識別できるほどである。

VERAを用いれば、ミラ型変光星までの距離を年周視差により測定でき、得られた距離と見かけの赤外線の明るさから真の明るさを知ることができる。これと観測から得られた変光周期の関係を組み合わせれば天の川銀河にあるミラ型変光星の赤外線での周期光度関係を従来にない高い信頼性

で決定することができる。図4が現在の段階までに求められた近赤外線での周期光度関係である。

4. 鹿児島大学1 m光赤外線望遠鏡による銀河構造の研究

4.1 光赤外線望遠鏡

望遠鏡の諸元は次のとおり(図5)。

- ・光学系: リッチ・クレチアン
- ・架台: 経緯台式
- ・有効主鏡径: 1.0 m (F2)

赤外線カメラの諸元は次のとおり。

- ・検出器: HAWAII アレイ 512×512ピクセル
- ・フィルター: J (1.25 μm), H (1.65 μm), K' (2.15 μm)
- ・限界等級: J: 17.6等星, H: 17.0等星, K': 16.3等星

4.2 観測天体

観測天体の選定には1983年に打ち上げられ、中間赤外線で全天のサーベイ観測を行った赤外天文衛星 (InfraRed Astronomical Satellite; IRAS) の点源カタログデータを用いている。IRASは12, 25, 60, 100 μm (マイクロン) の波長で観測を行った。25 μm に対する12 μm と60 μm での明るさの比を利用した2色図よりミラ型変光星の候補800天体を選び赤外線測光モニターを行った。このうち600天体についてK'バンドでの変光の様子を得

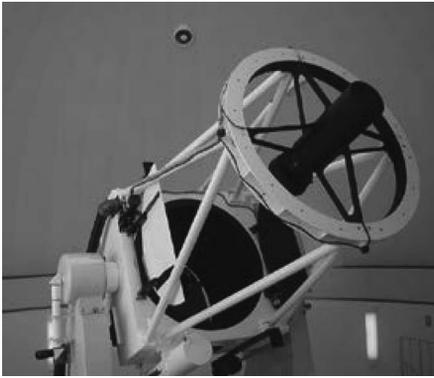


図5 鹿児島大学1m光赤外線望遠鏡.

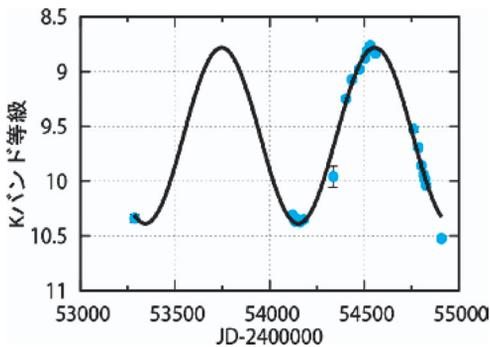


図6 周期フィッティング結果.

られた。変光の周期とKバンドでの平均等級が求まり、VERAで得られたミラ型変光星のKバンド周期光度関係に当てはめ変光星までの距離を求めることができた。

4.3 観測結果と天の川銀河ミラ型変光星の3次元立体図

600個の天体の変光曲線を三角関数でフィッティングし、170天体に対して十分な精度で、周期と平均等級を求めることができた。図6はその一例である。

このデータにVERAで求めた周期光度関係を当てはめて、これらの天体の距離を求めた。これに地球から見たミラ型変光星の方向を組み合わせると天の川銀河内のミラ型変光星の位置を求めることができる。このようにして図7のような分布を得ることができた。変光星が銀河系全体に広く

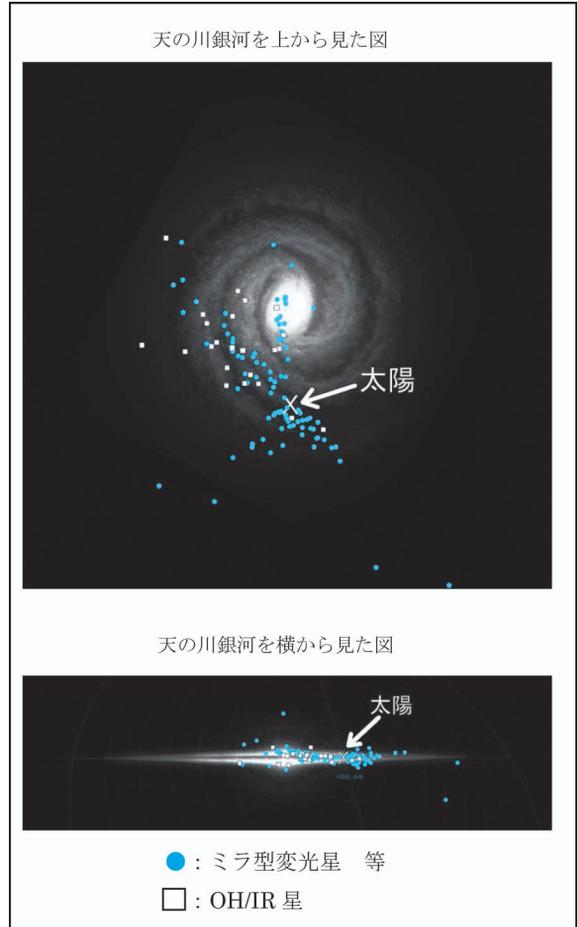


図7 ミラ型変光星の天の川銀河内3次元分布.

(図は宮ノ下修士論文より。背景は、国立天文台4D2U提供.)

分布していることがわかる。青丸印はミラ型変光星で太陽質量の1-4倍、白四角印はOH/IR星で太陽質量の5-8倍である。OH/IR星には水酸基のメーザー輝線が観測され、ミラ型変光星には水分子や一酸化ケイ素のメーザー輝線が観測されることがある。このメーザー輝線を用いてドップラー効果で星の運動が決定できる。これらの星々は銀河中心の周りを回転しており、その分布と運動の情報から天の川銀河内の質量分布を推定することができる。また十分なサンプル数が得られれば渦巻腕の部分と腕と腕との間の部分でのミラ型変光星の面密度の違いを出すこともできる。図7

ではその特徴が見られるが、観測範囲に偏りがあるため結論を出すにはいまだ不十分である。このため、より多くのミラ型変光星の観測を継続している。

その一環として、この4月より東京大学の松永らが進めている東京大学木曾観測所シュミット望遠鏡による「銀河面変光星探査」で新たに見つかったミラ型変光星を鹿児島1m望遠鏡でモニター観測する連携プロジェクトをスタートした。

5. 光・赤外線大学連携プロジェクト

2011年度からは「大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点ネットワーク構築事業」が始まった。この事業ではガンマー線バースト天体、超新星、矮新星など変光周期が半日から数日の天体光度変化をモニターするため、地球規模の観測ネットワークを構築し、24時間連続観測を行う。日本国内、アフリカ、チリに望遠鏡を有する鹿児島大学を含む7大学と国立天文台などが共同してこれらの突発天体の観測を開始している。鹿児島大学は1m光赤外線望遠鏡で赤外線でのモニター観測を担当している。

参考文献

- 1) Ita Y., Matsunaga N., 2011, MNRAS 412, 2345I
- 2) 宮ノ下, 鹿児島大学修士論文2011年度

Galactic Astronomy with the Kagoshima 1 m Optical/NIR Telescope

Toshihiro OMODAKA

Graduate School of Science & Engineering, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan

Abstract: Making a left turn just after the Iriki-pass bus stop leads into a lonely, slopy street leading to the site of a huge radio telescope, and a dome located within Iriki farm belonging to Kagoshima University. The dome houses a 1-m optical/infrared telescope operated by the Astrophysics group of Kagoshima University, while the radio telescope is operated by both NAOJ and Kagoshima University under the VERA project. We are promoting a project aimed at revealing the stellar distribution and dynamics of our Galaxy using the 1-m telescope. We are currently conducting systematic infrared observations of 800 Mira variables, with the goal of estimating their distances by comparing our observational results with the *K*-band period-luminosity relation obtained with VERA.