

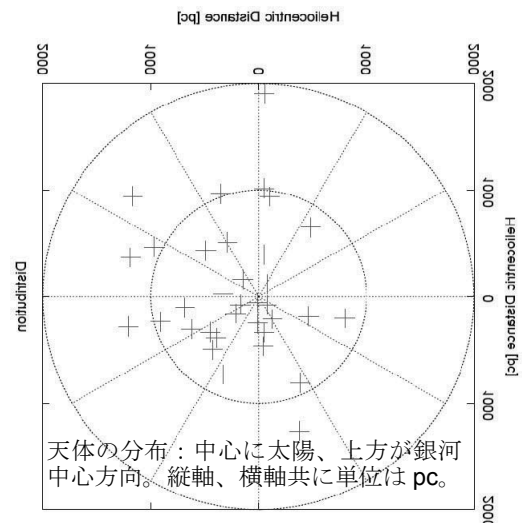
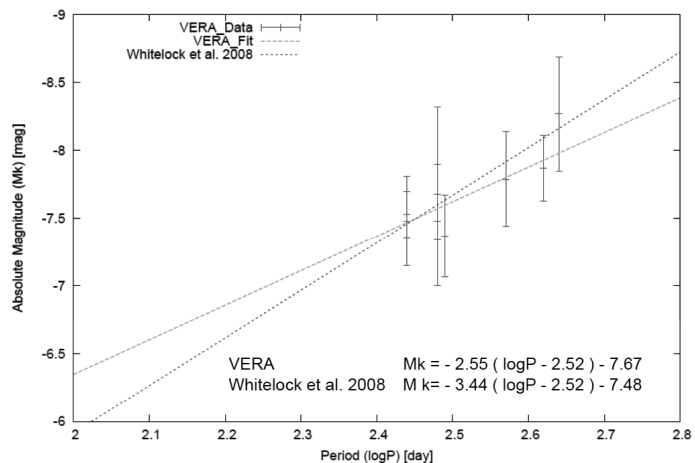
中川亜紀治、倉山智春、亀崎達矢、面高俊宏（鹿児島大学）

国立天文台 VERA プロジェクトチーム

大マゼラン雲（LMC）に存在するミラ型変光星の観測から、変光周期と実視等級の比例関係である周期光度関係（PLR）が発見された（Wood et al.1989）。一方で、我々の銀河系に存在するミラ型変光星に対する PLR はいまだ正確に得られていない（例えば Feast et al.1997）。我々は、銀河系内のメーザーを伴うミラ型変光星の年周視差を VERA で観測する事で絶対等級を求め、PLR を得ることを目指している。これまでに7天体ほどの年周視差を計測した。鹿児島大学の1m 光赤外線望遠鏡ではミラ型変光星のモニター観測やサーベイを行っており、数百個のミラ型変光星を検出している。これら可視観測の結果も活用する。得られた PLR や VLBI 観測の直接的な結果である固有運動などの観測量をどのように活用するかについて、晩期型星の恒星物理と銀河系動力学の2つの側面から検討したい。

1、VERA による観測：ミラ型変光星周期光度関係の確立

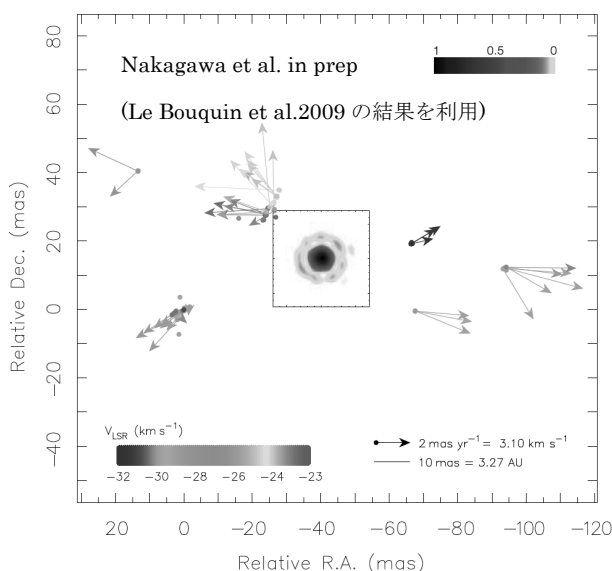
2004 年から VERA による VLBI モニター観測を開始している。周波数 22GHz で星周に付随する水メーザーを観測する。2 ビームで参照電波源を同時に観測し、位相補償解マップを描くことで参照電波源に対するメーザーの相対位置を得て年周視差を計測する。変光周期 200 日～600 日の範囲で、水メーザーを伴うミラ型変光星約 40 天体をプロジェクト天体として定義し、メーザー増光のタイミングを確認して VLBI モニター観測を行っている。これまでの約 20 天体の観測からミラ型変光星と SR 変光星合わせて計 8 天体の距離を計測した（Nakagawa et al. 2008, Nyu et al. 2011, Kamezaki et al. 2011 など）。上図に予備的結果をとして得られた PLR を示す。緑の破線が VERA による我々の結果であり、青の破線は Whitelock et al. (2008) の結果を示す。データ点の絶対等級（縦軸）誤差は大きいもので±0.4 等程度あるが、これは主に、利用した実視等級の誤差に起因するものである。距離計測の誤差は、



年周視差の誤差が小さい場合には数%であることから、位置天文観測による等級誤差は小さい時で±0.1等級ほどに抑えられる。場合によっては実視等級の誤差が PLR 決定の障害となっており、実視等級の誤差を下げる工夫が必要である。明るく観測点も多い可視光の V バンド等級から K バンド等級への変換を利用することも検討している。

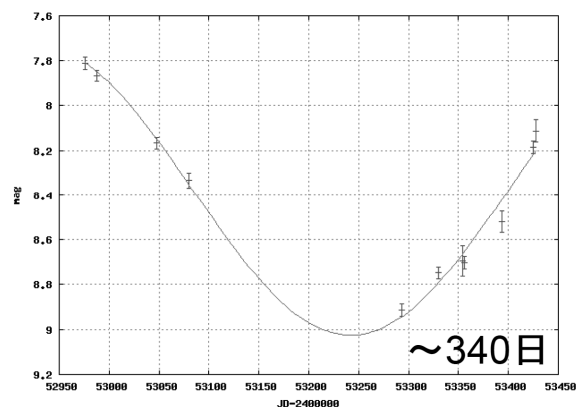
既存の PLR (Whitelock et al. 2008) に基づき距離を導出し、太陽を中心とした観測天体の空間分布を示したものが前項の下図である。ミラ型変光星は銀河面上で平面的な分布を示さず、銀河面から大きく離れて分布するものもある。図は立体的な分布を銀河面に投影したものである。メーザー源の分布は 2kpc 以内に納まっておりこれは、VERA による検出感度の限界を考慮するとミラ型変光星に付随するメーザーの上限の明るさを示唆する可能性もある。現在も 10 天体ほどの VLBI モニター観測を月に 1 回の頻度で続けている。

VLBI 観測では、位相補償解析による結果とは独立に、星周メーザーの運動を知ることが出来る。右図には一例として T Lep の結果を示す。得られた年周視差から距離 $327 \pm 4.6 \text{ pc}$ (Nakagawa et al. in prep) が得られた。図の中心に描かれているのは赤外線干渉計 VLTI による波長 $1.76 \mu \text{ m}$ での光球イメージである (Le Bouquin et al. 2009)。距離を利用してイメージの角サイズが実際の大きさへと変換でき、光球サイズ 2.5AU、分子シェルサイズ 2.57AU などの値が得られた。



2、 1 m 光赤外線望遠鏡による観測

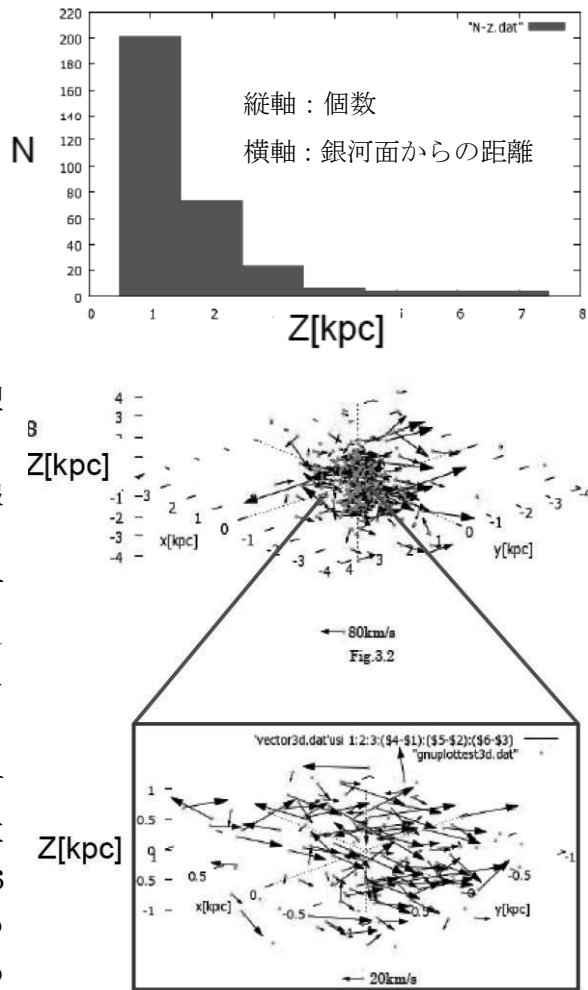
鹿児島大学 1 m 光赤外線望遠鏡は VERA 入来局に併設されている。観測は、可視光 U, B, V, R, I、赤外線 J, H, K、のバンドによる測光観測を中心としている。ミラ型変光星のサーベイ観測や既知のミラ型変光星のモニター観測などを行っている。これまでのモニター観測から、約 600 天体のミラ型変光星を検出した。変光周期検出の 1 例を右図に示す。計測された実視等級と変光周期を周期光度関係にあてはめて得られた観測天体の 3 次元分布は 2011 年度の秋季天文学会記者会見でも発表された。



3、 位置天文観測の活用：銀河系の動力学研究への展開

ミラ型変光星は 1–8 太陽質量の星で、年齢は 10Gyr になるものもある。空間分布や運動に関しては、銀河面から数 kpc の距離まで存在し、銀河面に集中する大質量の若い星などに比べると大きな速度分散を持つことなどが知られる。昨今の銀河系動力学研究で用いら

れる観測結果は ThinDisk に集中し、渦状腕構造や密度波に関する話題が中心である。一方で目を ThickDisk に向けてみると、VLBI による最新の位置天文観測による結果は少なく、理論やシミュレーションとの比較にはより多くの観測結果が望まれる。銀河面に垂直な方向 (Z 方向) の重力ポテンシャルに制限を加えるためには、場を運動する粒子のサンプルが必要でありミラ型変光星はそのサンプルとして適している。そこでミラ型変光星の 6 次元動力学情報 (位置 X,Y,Z と速度 V_x, V_y, V_z の運動情報) を集めることで位置天文観測の結果を銀河面に垂直な方向の動力学の議論へと展開したいと考えている。既存のデータベースを利用し、固有運動、変光周期、実視等級、視線速度の情報を収集し、VERA で決定する PLR に基づいて距離を推定することで位置 (X, Y, Z) と速度 (V_x, V_y, V_z) を含む 6 次元動力学情報を得る事が出来る。既存の PLR (Whitlock et al.2008) とウェブ上のデータベースから整理した 6 次元情報として、銀河面に垂直な距離と天体数の関係を右上図に示した。また、座標原点を太陽として約 300 天体のミラ型変光星の分布と運動を示したものが右中図である。銀河面に垂直な方向に数 kpc の分布を持つミラ型変光星は、銀河系の立体的な星の分布と運動を得ることが出来る貴重な観測対象である。銀河回転の円運動の様子が Z にどのように依存するかなど、ミラ型変光星であればこそ成し得る研究テーマがあると考えている。



右下図 : VLBI 位置天文観測の活用についての概念図。

高齢星位置天文観測からの研究展開

<銀河系研究>
 観測: 銀河面に限らず、面と垂直に広く分布する星についてもその運動の精密な計測を行う
 理論: 計算機simulationの発達で従来と違う銀河動力学モデルが得られている

VLBI位置天文

- ・銀河面に偏らない星の位置と運動の決定
- ・変光星PLRの精密な決定

→

- 銀河系動力学理論研究との比較検証
- 精密な物理量に基づく恒星物理の理解

<恒星研究>
 観測: 高精度な距離の計測で質量や大きさなどの恒星の物理量の決定精度が増す
 理論: 信頼できる物理量に基づき、星の構造と進化を議論できる