

## 1 m(以下)級の望遠鏡で探る銀河系の構造と進化

松永 典之<sup>1)</sup>, 柴橋 博資<sup>1)</sup>, 永山 貴宏<sup>2)</sup>, 栗田 光樹夫<sup>2)</sup>, 田辺 俊彦<sup>1)</sup>,  
板 由房<sup>3)</sup>, 佐藤 修二<sup>2)</sup>, 中田 好一<sup>1)</sup>, 出口 修至<sup>3)</sup>, 峰崎 岳夫<sup>1)</sup>, 原口 健太郎<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 東京大学 <sup>2)</sup> 名古屋大学 <sup>3)</sup> 国立天文台

### Study of the Galactic structure and its evolution with a 1-m class (or smaller) telescope

Noriyuki MATSUNAGA<sup>1)</sup>, Hiromoto SHIBAHASHI<sup>1)</sup>, Takahiro NAGAYAMA<sup>2)</sup>,  
Mikio KURITA<sup>2)</sup>, Toshihiko TANABÉ<sup>1)</sup>, Yoshifusa ITA<sup>3)</sup>, Shuji SATO<sup>2)</sup>, Yoshikazu NAKADA<sup>1)</sup>,  
Shuji DEGUCHI<sup>3)</sup>, Takeo MINEZAKI<sup>1)</sup>, and Kentaro HARAGUCHI<sup>2)</sup>

#### Abstract

Recent studies on both the observational and the theoretical side has casted a question to our picture of the Galaxy with quasi-static spiral arms maintained as density waves. It becomes clear that a large uncertainty exists in a kinematic distance, i.e. the distance of gas or stars obtained from their radial velocities and the Galactic rotation. It is necessary to use tracers whose distances can be measured independently of their kinematic information. Here, we introduce our plan to use Wide Field Cryogenic Telescope-II (WFCT-II) to conduct a survey of Cepheids and Miras, whose distances can be estimated based on their period-luminosity relation. WFCT-II was constructed by Nagoya University in Sutherland, South African Astronomical Observatory. Its wide field of view, 1 deg<sup>2</sup>, and the ability of taking images in the near-IR wavelengths would make it possible to search for a rich population of variable stars beyond the veil of thick interstellar extinction toward the Galactic plane.

Key Words: Galactic structure, Variable stars

#### 1 銀河系構造の新たな問題

天文学者は、長い間にわたって銀河系の構造について研究を行ってきた。渦巻き腕については、CO分子ガスや水素原子ガスの電波観測などにより多くの研究がなされている<sup>1)</sup>。それらの研究の多くは、銀河円盤内での円運動を仮定した運動学的距離に基づいている。ところが、VLBI観測で近傍の星形成領域の三角測量が可能になると、渦巻き腕に付随しているはずの星形成領域の運動が、銀河回転から大きくずれていることが分かってきた<sup>2)</sup>。さらに、最近行われた*N*体計算では、渦巻き腕が数千万年という短いタイムスケールで形を変えていく可能性が示された<sup>3)</sup>。すなわち、運動学的距離は渦巻き腕の構造を解明するには不十分であり、その時間的変化にも着目した研究が必要である。

#### 2 脈動変光星による銀河系研究

##### 2.1 ミラ型・セファイド型変光星

我々は、銀河系構造を調べるために、セファイド型およびミラ型の脈動変光星を利用する。これらの天体に対しては、周期光度関係を利用して距離を決定する

方法が確立されている。銀河面における星間減光も、周期とカラーの関係を利用して補正できる<sup>4)</sup>。この手法により、不確かな運動学的距離に依存するこれまでの星間ガスの研究よりも、銀河円盤の構造を詳細かつ実証的に調べられる。また、それらの脈動星の周期は年齢に依存している<sup>5)</sup>。特にセファイドの年齢は1千万年から1億年と比較的若いので、おおむね渦巻き腕に沿って分布している。実際、太陽近傍においては、セファイドによって渦巻き腕の形状が調べられている<sup>6)</sup>。いろいろな周期の星の分布を比べることで、渦巻き腕で誕生した星の分布が時間を経過するにつれてどのように変化していくかということも調べられる。

##### 2.2 脈動変光星探査の現状

近年、重力マイクロレンズ現象の探査や、ガンマ線バースト現象のフォロー観測など、いろいろな目的で大規模なモニタリング観測が行われ、大きな成果を上げている。例えば、ポーランド・ワルシャワ大のOptical Gravitational Lensing Experiment (OGLE)は、マゼラン銀河とバルジの数百万個の脈動星を観測し、大規模な

1 m (以下) 級の望遠鏡で探る銀河系の構造と進化



図1: WFCT-II 望遠鏡の外観

表1: WFCT-II望遠鏡の装置概要

望遠鏡	22cm (F7, Ritchey-Chretien)
設置場所	南アフリカ天文台サザーランド (東経20:48:38, 南緯32:22:48)
検出器	InSb 1024×1024 (Aladdin II)
ピクセルスケール	3".5×3".5
視野	1°×1°
観測波長域	1-5 μm
フィルター	K(2.20μm), UIR(3.31μm), Ln(3.67μm) Br <sub>α-cont</sub> (3.99μm), Br <sub>α</sub> (4.05μm)
限界等級(1時間積分 点源、S/N=10)	K=11.5 mag, UIR=6.8 mag, Ln=7.7 mag

3 広視野冷却望遠鏡2(WFCT-II)を用いた研究計画

3.1 WFCT-IIの紹介

本研究では、南アフリカ天文台サザーランドに設置されている広視野冷却望遠鏡WFCT-II (Wide Field Cryogenic Telescope-II)を改修し、近赤外自動望遠鏡を構築する。WFCT-II望遠鏡は名古屋大学理学部の研究グループ(旧Z研)が製作したもので、1995~2002年にかけて開発されたWFCT-I<sup>10,11)</sup>を、光学系と検出器のアップグレードや専用赤道儀の開発等によって改良したものである<sup>12)</sup>。主鏡口径22cmのRitchey-Chretien式望遠鏡と2次元赤外検出器で構成されており、主鏡等の望遠鏡部と検出器の両方が真空容器の中で80K程度に冷却されている(図1)。このため、比較的波長の長い近赤外線(例えば、Lnバンド: 3.67μm)でも高感度の観測を行える。また、視野が1平方度(各ピクセル3.5秒角)で、広い領域の探査に最適である。表1に装置の概要を示す。(www.z.phys.nagoya-u.ac.jp/~haraguchi/wfct2/wfct2.html)

カタログを公開した<sup>7,8)</sup>。また、同じくワルシャワ大が行っているAll-Sky Automated Survey (ASAS)では、 $V=14$  mag、 $I=13.5$  magの限界等級で全天の脈動星を観測している<sup>9)</sup>。それらのカタログは世界中の研究者が利用し、脈動星などの研究に大きな影響を与えている。そのような観測が、1m級の小口径望遠鏡によってなされたことは特筆に値する。特定の目的に特化することで大きな成果が得られるという好例である。

ところで、上記のような大規模モニタリング観測は、全て1μmよりも波長の短い可視光で行われた。そのため星間減光の強い領域は観測できず、銀河面領域の脈動星探査は不十分である。そして、その領域こそが渦巻き腕など銀河系に存在する恒星の大部分が存在する場所である。

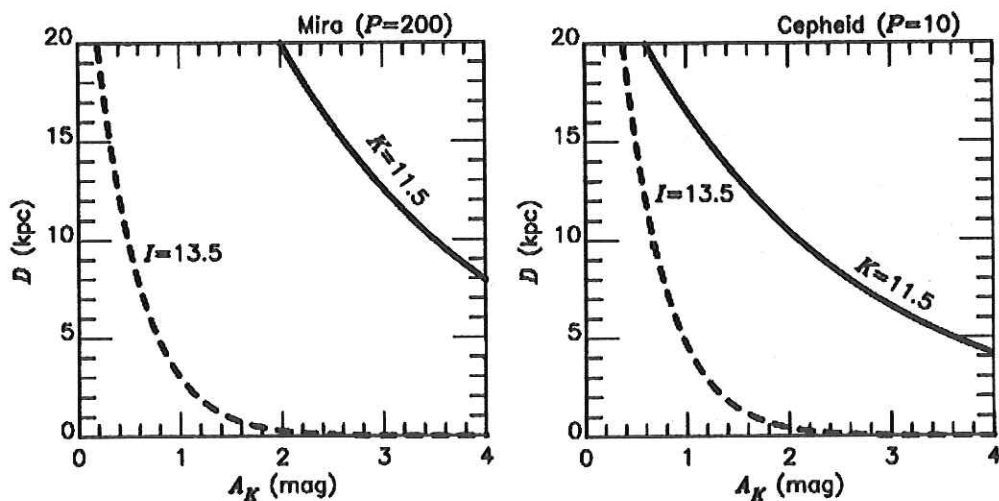


図2:  $I=13.5$ 、 $K=11.5$  mag で検出できるミラ(右)とセファイド(左)の範囲。横軸は  $K$  バンド(2.2μm) で何等減光されるかという星間減光量で、縦軸は距離を示す。 $I=13.5$  mag は ASAS 全天脈動星探査の限界等級に相当する。WFCT-II の限界等級は  $K=11.5$  mag。  $K$  バンド(実線)と  $I$  バンド(破線)のいずれの場合も、星間減光が大きくなるほど到達できる距離は小さくなる。

### 3.2 WFCT-II 自動化計画

本計画では、この望遠鏡を自動化し、無人でも観測が行えるように改良する。他に、UKIRT望遠鏡やVISTA望遠鏡が近赤外広視野観測を行えるが、観測対象となる天体や運用の自由度などが我々の計画と異なる。独自の望遠鏡を自動化することで徹底的に効率を上げ、脈動星探査に専念することで銀河系研究のフロンティアを開拓したい。

図2は、 $K=11.5$  mag、 $I=13.5$  magという検出限界で、距離と星間減光がどれだけ大きいところまで脈動星を検出できるかを示す。星間減光 $A_K$ が0.5~1 magを超えると、 $I$ バンドでは脈動星の探査が困難になる。一方、 $K$ バンドならば広い範囲の脈動星が検出できる。銀河面では $A_K$ が0.5等より大きい領域が多く、近赤外線において銀河面の広い領域の脈動星を初めて調査できる。

### 3.3 観測計画

本研究では、銀経が-20度から-80度の範囲(60視野分、図3)で脈動星探査を行う。銀河系では約500個のセフィイドが見つかっているが(図3の白抜き点)、銀河系中心に近い側ではほとんど見つかっていない。探査の及んでいない領域を大規模に調べられるので、今までのセフィイドの個数を倍増させるような脈動星の新発見が期待できる。この範囲には じょうぎ座腕、たてみなみじゅうじ座腕、いて座腕と呼ばれる3本の渦巻き腕の存在が予想されている。また、渦巻き腕の構造が崩れていく様子を、セフィイドの寿命程度の時間分解能で調査できる。このような研究は、星形成領域やレッドクランプ星など他の天体では難しい。

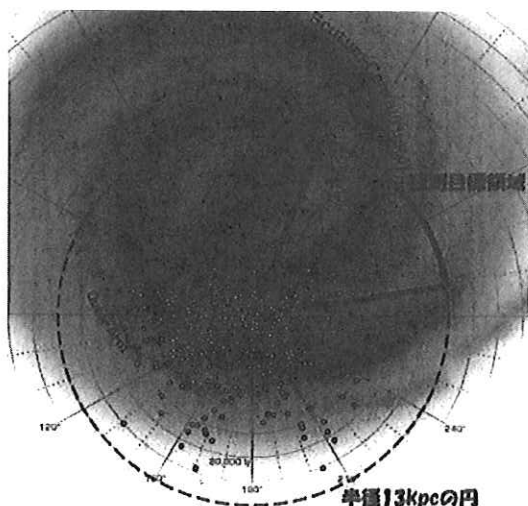


図3：銀河系構造の想像図<sup>†</sup>と現在見つかったセフィイドの分布(白抜き点)。本計画で周期10日のセフィイドが届く13kpcの範囲を破線(中心が太陽の位置)で描き、観測目標領域を実線の扇型で描いた。<sup>†</sup>(C) GLIMPSE チーム

### 4 まとめ

銀河系の構造と進化を調べるために、南アフリカ天文台に設置されている広視野冷却望遠鏡WFCT-IIを利用する脈動星探査の計画を進めている。この望遠鏡は口径22cmであるが、1平方度の広い視野をもつ。銀河面の観測では、赤外線では星間吸収が小さくなる効果が大きく、小口径であってもセフィイドやミラの探査に力を発揮できる。現在、自動望遠鏡に改良する計画を進めている。今後、60平方度程度の脈動変光星探査を行い、銀河系円盤の構造(特に渦巻き腕の形状)と時間的な変化を調べたい。

近年、ガンマ線バースト残光やトランジット惑星探査の観測を目的とした大規模な観測は、可視光での自動望遠鏡によって多数行われている。しかし、近赤外線において同様の目的に利用できる広視野自動望遠鏡は皆無である。私たちの計画によって、WFCT-IIが自動化できれば、脈動星探査以外にも突発天体の発見・追観測など様々な目的の観測で活躍すると期待される。

### 参考文献

- 1) Nakanishi, H., Sofue, Y., *PASJ*, 58, pp.847-860, 2009.
- 2) Reid, M. J. et al., *ApJ*, 700, pp.137-148, 2009.
- 3) Baba, J. et al., *ApJ*, 706, pp.471-481, 2009.
- 4) Matsunaga, N., et al. *MNRAS*, 399, pp.1709-1729, 2009.
- 5) Bono, G. et al., *ApJ*, 621, pp.966-977, 2005.
- 6) Majaess, D. J. et al., *MNRAS*, 398, pp.263-270, 2009.
- 7) Udalski, A. et al., *Acta Astron.*, 47, pp.319-344, 2009.
- 8) Woźniak, P. R. et al., *Acta Astron.*, 52, pp.129-142, 2002.
- 9) Pojmanski, G., *Acta Astron.*, 52, pp.397-427, 2002.
- 10) Ando, M. et al., *ApJ*, 574, pp.187-197, 2002.
- 11) Ando, M. et al., *Experimental Astron.*, 13, pp.119-134, 2002.
- 12) Haraguchi, K. et al., *Proceedings of the SPIE*, 7014, 70146E-10, 2008.

(2009年12月21日受付, 2010年1月15日受理)