

KISOGP：ミラ型変光星のSiOメーザ輝線探査

松永典之¹, 坂井伸行², 松本尚子², Yuanwei Wu², 浮田信治², 面高俊宏³, 中川亜紀治³, 永山貴宏³, 上杉正裕³, 永山匠², 倉山智春⁴, 小林尚人¹, 三戸洋之¹, 青木勉¹, 征矢野隆夫¹, 樽澤賢一¹, 猿楽祐樹¹, 酒向重行¹, 諸隈智貴¹, 土居守¹, 中田好一¹, 前原裕之²

(1) 東京大, (2) 国立天文台, (3) 鹿児島大, (4) 帝京科学大

1. SiOメーザ輝線を出すミラ型変光星と銀河系構造

銀河面は多くの星が集まる銀河系の骨格部分であるが、強い星間減光のため星の分布などよく分かっていないことが多い。我々が注目しているミラ型変光星は、周期光度関係や恒星進化理論に基づく年齢や距離の情報を得られるので、銀河系の構造や恒星種族を調べるために有効なトレーサである。また、ミラ型変光星は漸近巨星分枝 (AGB) の最終段階で現れ、 $10^{-6} \sim 10^{-5} M_{\odot}/\text{yr}$ 程度の大規模な質量放出を行って中小質量星の進化を収束させる重量な天体である。質量放出によって厚い星周ダストシェルに覆われた一部の天体は、一酸化珪素 (SiO) メーザ輝線を放出することが知られている (Habing 1996)。SiOメーザ輝線は質量放出星の目印になるだけでなく、その星の視線速度を有効に測定する手段にもなる。脈動によって見かけの速度が変化する光赤外域の分光データと比べて、星周シェルの重心速度に近い成分から放出されやすいSiOメーザ輝線は一度で高精度の視線速度を与えてくれる (Feast & Whitelock, 2000)。このような利点があるため、AGB星のSiOメーザ輝線探査により、銀河系の構造と運動を調べる研究が野辺山45m望遠鏡などでさかに行われてきた (Nakada et al. 1993, Izumiura et al. 1994, Ita et al. 2001, Deguchi et al. 2004, 2012)。これまでの研究は、バルジまたは太陽系近傍 (2kpc程度) に対するものが多かったが、本研究では、KISOGPで発見した北半球の銀河系円盤の広い領域に分布するミラ型変光星に対してSiOメーザ輝線探査を行う。

2. KISOGPミラの発見とメーザ探査の天体選択

我々は、東京大学木曾観測所の超広視野カメラKWFC (視野 4 平方度) を利用し、銀経60~210度の銀河面領域 (約320平方度) に対する変光星の探査 (KISOGP = KWFC Intensive Survey of the Galactic Plane) を2012年3月から行っている。これまでの観測および解析で、周期100~600日のミラ型変光星を783個検出した。これまで変光が報告されていたのは約100個であり (GCVS, AAVSO)、9割近くは新発見の変光星である。2MASSカタログのJHK_s等級を用いた予備的な解析では、これらのミラ型変光星が距離にして数~15kpcの広い範囲に分布している。

これらのミラ型変光星から、中間赤外線線の明るさに基づいてSiOメーザ輝線探査のターゲットを選択した。例えば、MSX衛星のAバンド (8 μm) のフラックス F_A とSiOメーザのフラックス F_{SiO} が、 $\log F_{\text{SiO}} = -0.63 + 0.94 \log F_A$ と相関を持つことが Jiang (2002) によって示されている。そこで、図1に示すように、 F_A がおおそ2Jyよりも明るいミラ型変光星136個をターゲットとした。ただし、Deguchi et al. (2012) と Engels & Bunzel (2015) によって、それぞれ10個のSiOメーザ輝線天体と2個のOHメーザ輝線天体が報告されていたので、それらはターゲットに含めなかった。

3. 野辺山45m電波望遠鏡による観測

国立天文台野辺山宇宙電波観測所の45m電波望遠鏡を用いて、KISOGPで発見したミラに対するSiOメーザ輝線探査を2016年2~3月に行った (合計74時間)。109天体の観測を行い、図2に例を示すように59天体のメーザ輝線を (少なくとも片方の輝線は5 σ 以上で) 検出した。一方、50天体では有意な輝線を検出することが出来なかった。検出率は54%で、これは太陽系近傍の変光星のSiOメーザ輝線探査を行ったDeguchi et al. (2012) の検出率 (60%) と同程度である。彼らのサンプルよりも遠く赤外線が暗い天体を多く含んでいることを考えれば、銀河系円盤の広い範囲にあるメーザ輝線天体を効率よく見つけることに成功したといえる。

4. 議論

図3に、どのような周期と距離のミラに対して、SiOメーザ輝線が検出できたか、あるいはできなかったことを示す。これまでにSiOメーザ輝線を検出した天体の多くは3 kpc前後と比較的に近い距離にあるが、5kpcを超えるような遠いSiOメーザ輝線天体も数天体発見した。図4は、銀経と速度 V_{LSR} をプロットしたいわゆるl-v図であるが、KISOGPミラもおおよそ銀河回転に沿う運動をもつことがわかる。我々のサンプルはミラとして同定されて周期もわかっている (赤外線線の平均等級を今後得られれば) 周期光度関係に基づいて距離を決定することが出来る。これは、過去に行われてきた多くのSiOメーザ輝線探査に比べて有利な点である。今後、より詳しい解析を行い、銀河回転との差異があるかどうかなどを調べていきたい。

参考文献

AAVSO International Variable Star Index (Watson et al. 2014)
Deguchi et al. 2004, PASJ, 56, 765—802
Deguchi et al. 2012, PASJ, 64, 4
Engels & Bunzel, 2015, A&A, 582, A68
Feast & Whitelock, 2000, MNRAS, 317, 460—487
GCVS (Galactic Catalogue of Variable Stars, Samus et al. 2013)
Habing, 1996, A&ARv, 7, 97—207
Ita et al. 2001, A&A, 376, 112—123
Izumiura et al. 1994, ApJ, 437, 419—435
Jiang, 2002, ApJ, 566, L37—L40
Nakada et al. 1993, PASJ, 45, 179—189

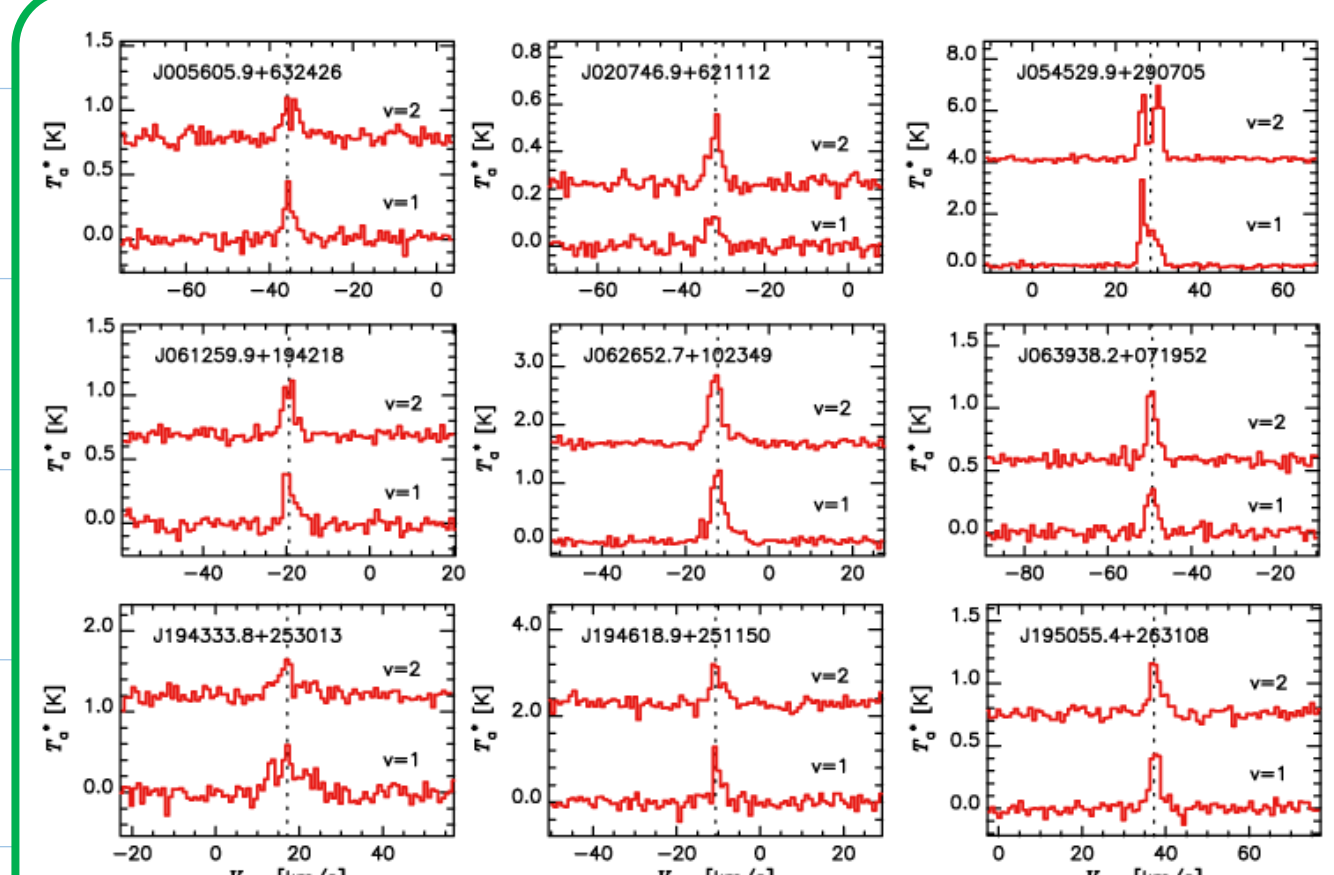


図2 SiOメーザ輝線の検出例。各天体について、2つの遷移 (J=1-0; v=1@43.12 GHz, v=2@42.82 GHz) を含む周波数帯を観測しており、多くの場合は両方の輝線を同時に検出した。

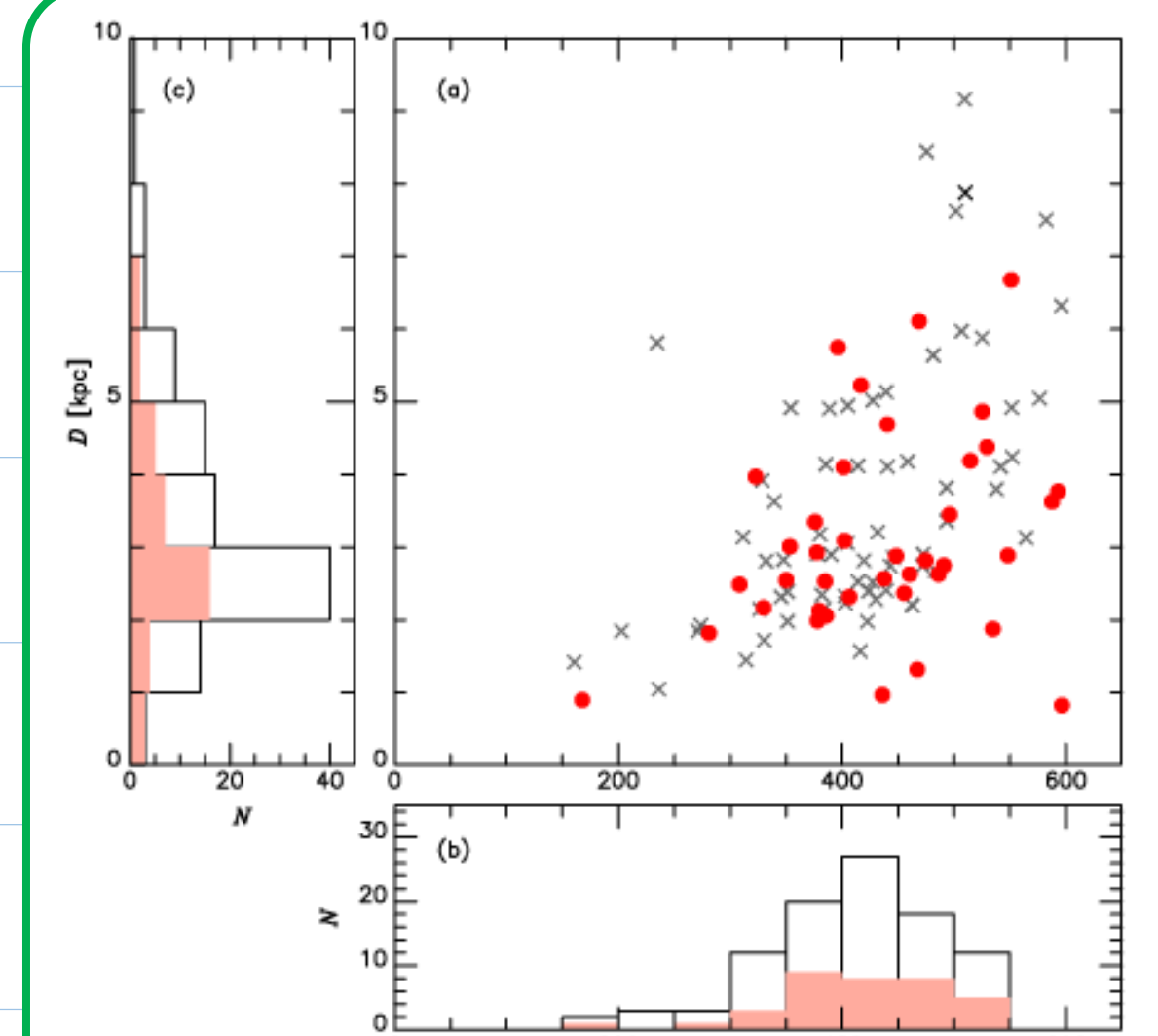


図3 SiOメーザ輝線を検出したKISOGPミラ (●) と検出できなかったミラ (×) の距離と周期。パネル(b)と(c)では、距離と周期それぞれのヒストグラムを示した。周期の長いミラの方が、質量放出率 (赤外線強度、メーザ輝線強度) の高いことが多いので、遠方のターゲットや検出したSiOメーザ輝線天体は長い周期に偏っている。

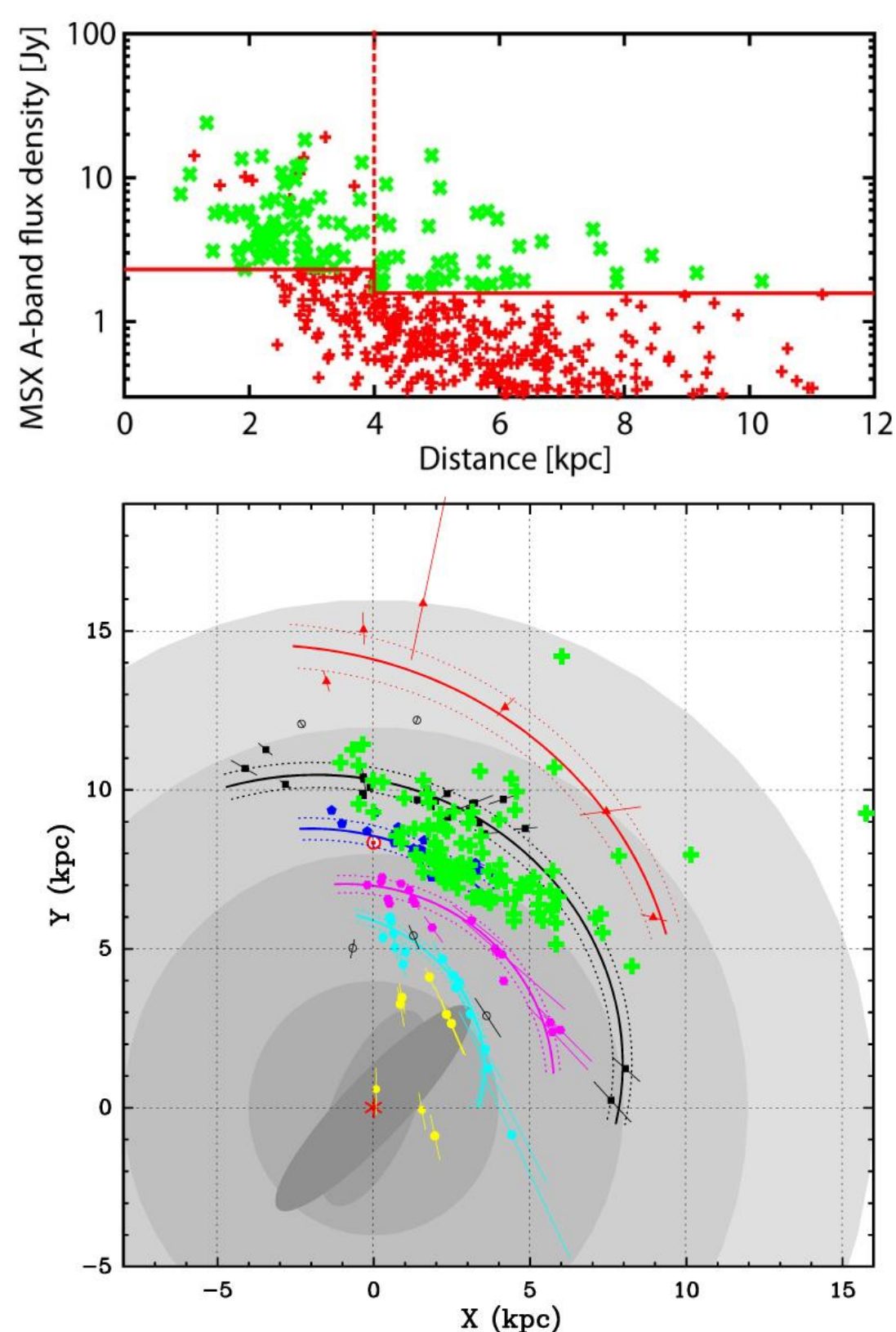


図1 (上) SiOメーザ輝線探査のターゲットをMSX衛星のAバンド (8 μm) のフラックス F_A と距離に基づいて選んだ (緑=ターゲット、赤=非ターゲット)。ただし、過去にメーザ輝線の報告がある天体は除いた。(下) ターゲットとしたミラの位置を、Reid et al. (2014) の星形成領域の分布の上にプロットした。ターゲットは、4kpcを超えるところまで広く分布しているが、遠く暗いKISOGPミラも多いので、今後さらに大きな電波望遠鏡での観測も必要になるだろう。

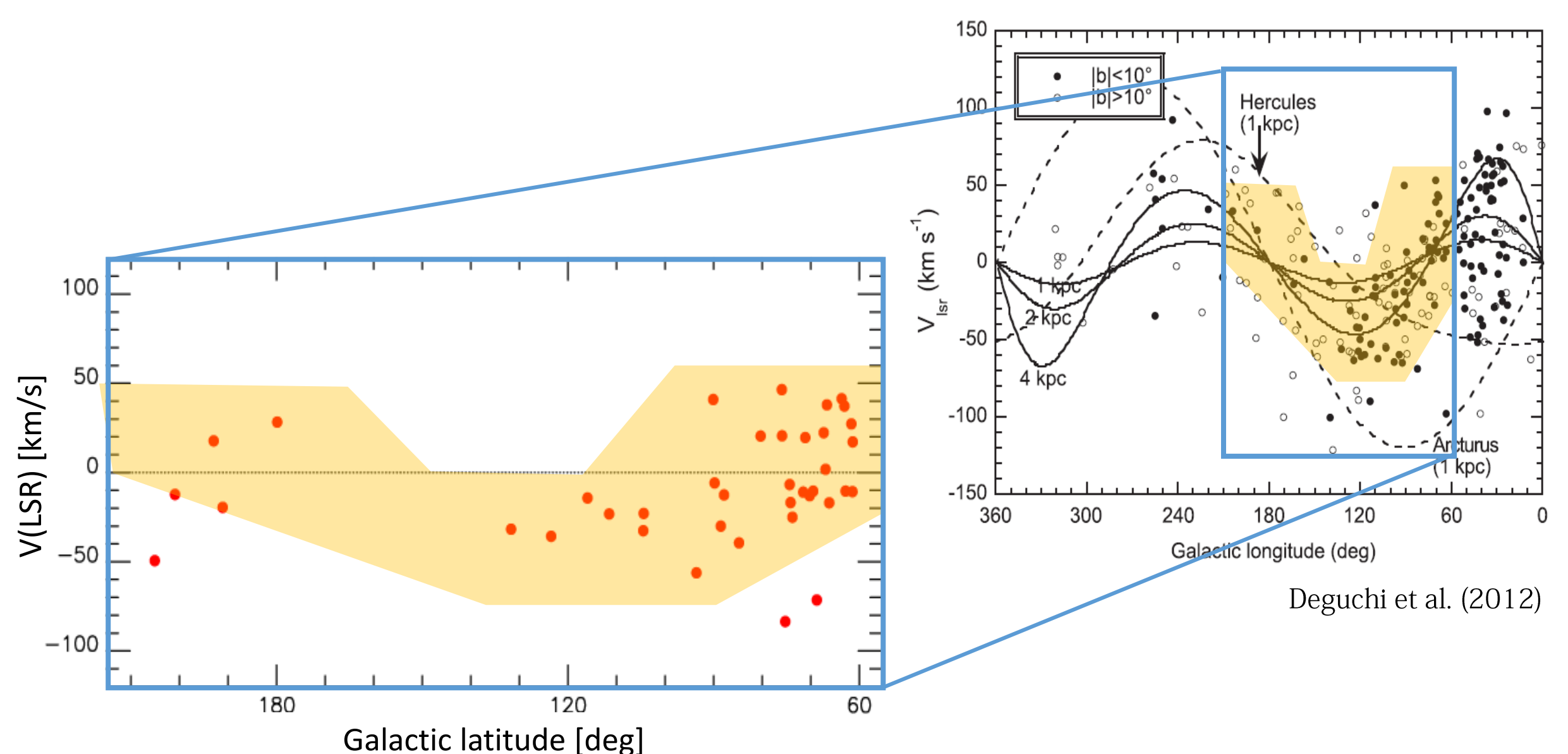


図4 SiOメーザ輝線を検出したKISOGPミラのl-v図。右側は、太陽系近傍の変光星に対するSiOメーザ輝線探査を行ったDeguchi et al. (2012) が得たl-v図で、特に銀河面に近い (銀緯がゼロに近い) 天体は、銀河系回転 (距離に応じてプロットされた3本の実線) に近い速度を示している。銀経60~210度でそれらの天体が分布しているオレンジ色の範囲に、KISOGPミラの赤い点も分布しており、おおよそ銀河回転で予想される運動を示していることがわかる。