

KISOGP 銀河面変光天体探査

前原裕之 (国立天文台)、松永典之 (東京大学)、他 KISOGP チーム

1. KISOGP の目的と概要

銀河面 (Galactic Plane) は、天の川銀河に存在するほとんどの星間物質とその星の多くが集まっている銀河の骨格部分である。1950 年代以降の電波天文学の発展により、銀河面のガスの分布が調べられるようになり、天の川銀河が渦巻銀河であることがわかっている。一方、銀河面の星の分布を天の川銀河の広い範囲について調べることは容易ではない。そこで、我々が星の分布を調べるのに利用するのはミラやセファイドと呼ばれる脈動変光星である。これらの星は周期光度関係をもち、それによって個々の変光星までの距離を精度よく求めることができる。また、恒星進化や脈動の理論に基づく年齢・質量の情報も得られるので、天の川銀河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。円盤中に存在する変光星の観測を進めれば、各種の変光星に代表される星がどのように分布しているかを明らかにできる。

KISOGP の探査の目的のひとつはセファイドやミラのような脈動変光星をなるべく多く発見して、天の川銀河の構造を調べることである。一方、銀河面には脈動変光星だけでなく多種多様な変光天体が存在する。たとえば、銀河面に多く存在する星形成領域にある若い天体にも T Tau のように変光を示す天体は多いし、古典新星のような突発天体も星の多い銀河面で発見されやすい。そこで、2011 年に完成した木曾超広視野カメラ KWFC の視野の広さを活かし、北半球銀河面の変光星探査を開始することにした。観測領域は、銀河面に沿って銀経 60-210 度の範囲に KWFC の 80 個分の視野を並べた合計 320 平方度である (図 1)。この領域中では、これまで約 1200 個の変光星が報告されている。星間減光の効果が比較的小さくなる I バンドを用い、各視野 1 回あたりの観測では $I = 17$ 等級でも精度の高い測光 (信号雑音比 30 以上) を行えるように露光を行っている (5 秒露出露光 1 枚+60 秒露光 3 枚)。主な目標とする脈動変光星は、セファイド型変光星 (絶対 I 等級 = -3.5)、ミラ型変光星 (絶対 I 等級 = -4)、RR ライリ型変光星 (絶対 I 等級 = 0) などである。天の川銀河の外縁方向での典型的な星間減光量を考えると、限界等級 $I = 17$ 等の探査を行うことで、ミラ・セファイドについては太陽系から 20 kpc、RR ライリ型変光星については太陽系から 5 kpc くらいまでの範囲にある天体を探査できる。新星・矮新星についても、 $I = 17$ 等という深さの探査はほとんど行われていないので、これまで見つからなかったような天体の発見が期待できる。観測回数としては、各視野を年間 10-15 回、3 年間で合計 40 回程度反復観測する計画である。

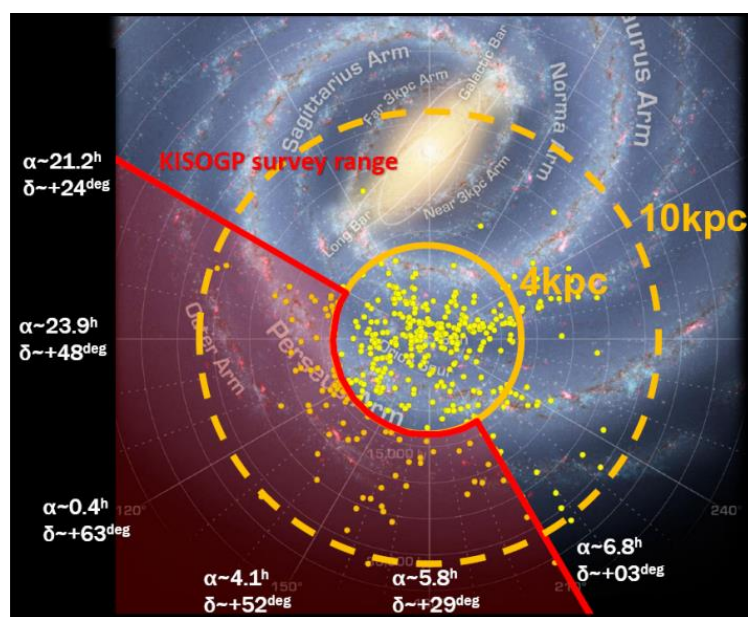


図 1 KISOGP のサーベイ範囲を模式的に表した図。銀河面を上から見た図 (NASA Spitzer ホームページ) に、これまでに見つかったセファイド (白抜き点) と KISOGP 探査で観測を行う銀経 60-210 度の範囲を示した。

2. KISOGP 反復観測の初期成果

KISOGP には、2012-2014 年度のほぼ毎月 1 週間程度がアロケートされた。そのうち約半数は他の観測とのシェアしたものであり、シェアした配分をおおまかに考慮すると、毎年約 70 晩ずつのアロケートがあったと考えられる。特に銀河面が見えない時間帯では、銀河系ハローのミラ型変光星を観測するプログラムや M31 の新星探査と組み合わせられていることが多い。2012 年 4 月からの 2 年半に各領域を 30-60 回程度観測しており (ただし、このうち 2-3 割程度は天候条件があまりよくない)、おおむね計画通りにデータが集まっている。

現在、これまでの 2 年半のデータの解析を進めている。初期成果として、I バンドの振幅が約 0.5 等級以上で変光のタイムスケールが長いミラ型変光星候補天体を約 700 個検出した。その 8 割以上は変光が報告されておらず、スペクトル型もわかっていない天体が多い。また、既知の食連星や X 線連星、YSO 天体 (FU Ori 型など) の変光も多くとらえている。今後、振幅が 0.05 等級程度まで小さい変光星を含めて数千個の新しい変光星が見つかると考えられる。図 2,3 に既知のミラ型変光星および周期の短い変光星 (食連星とセファイド) の KISOGP によるライトカーブを示す。それぞれ予想されるようなきれいなデータが得られていることがわかる。また、星形成領域に存在する FU Ori 型天体や X 線天体の変光も多くとらえている (図 4)。

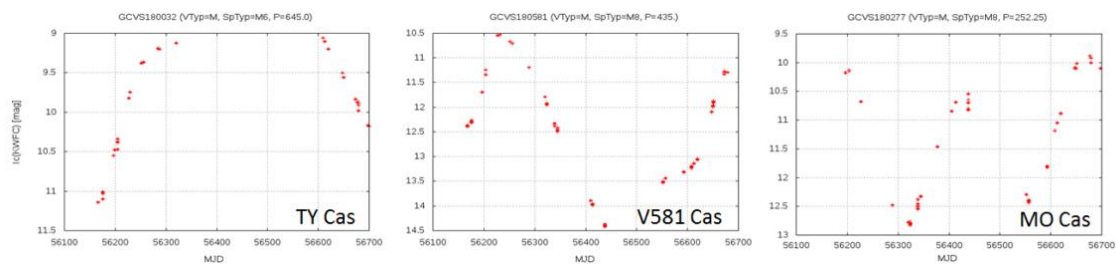


図 2 既知のミラ型変光星の KISOGP ライトカーブ例 (2012 年 4 月-2014 年 5 月のデータ)

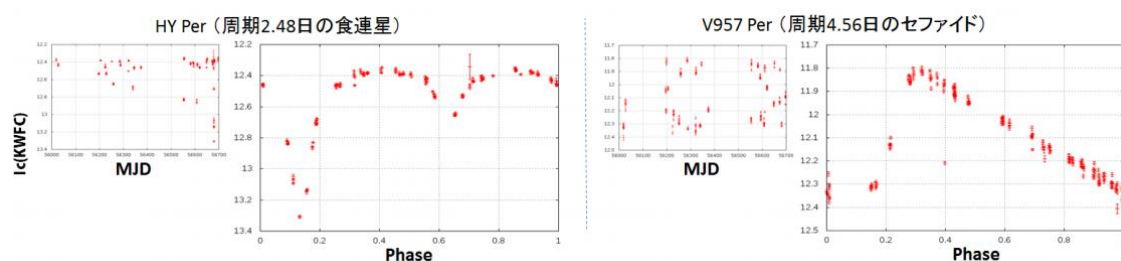


図 3 既知の食連星、セファイドの KISOGP ライトカーブ例 (2012 年 4 月-2014 年 5 月のデータ)

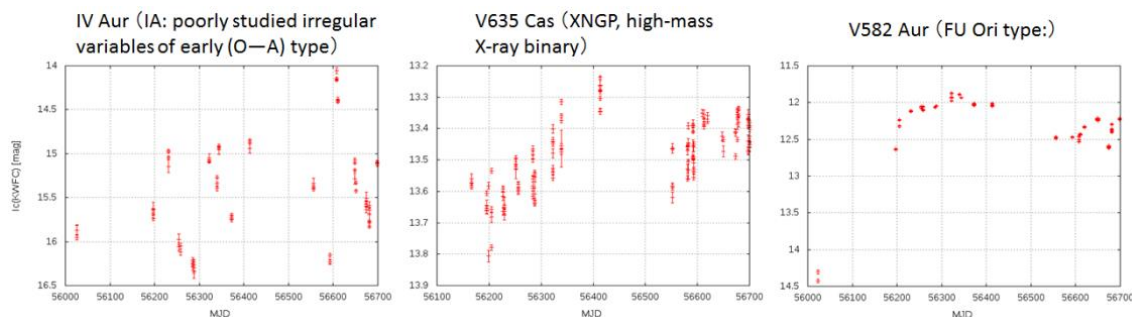


図 4 その他のタイプの既知天体に対する KISOGP ライトカーブ例 (2012 年 4 月-2014 年 5 月のデータ)

3. 分光追跡観測の初期成果

我々は発見した変光星に対する分光追観測も積極的に行っている。その主なターゲットはミラ型変光星であり、銀河系中の恒星種族の分布を探ることが目的である。ミラ型変光星が生じる AGB 星段階後期では、熱パルスとそれに伴って起こる汲み上げ (3rd dredge up) によって、恒星内部での元素合成を受けた物質が恒星表面に運ばれる。これによって、表面の酸素と炭素の比が逆転すると、酸素過多の星 (低温であれば、M 型星) から炭素過多の星 (炭素星) に変化する (Marigo et al. 2008)。AGB 星が炭素星になるかどうかは、その星の初期質量 (年齢) や金属量に依存する。そのため、炭素星の

分布や酸素過多の星（M 型星）との存在比は恒星種族を考えるうえで重要な情報を提供する。銀河系内の天体については、これまで分光サーベイや赤外線測光カタログの解析により、炭素星の分布が議論されてきた（Noguchi et al. 2004、Ishihara et al. 2011）。しかし、それらの研究では、各炭素星までの距離の不定性が大きく、銀河系の分布については大まかな議論にとどまっている。本研究では、炭素星の中でもミラ型変光星に注目する。すでに述べたように周期光度関係を利用することで各天体までの距離を精度よく求めることが出来る。これは、銀河系中での分布を調べる上で大きな利点である。また、ミラ型変光星であれば AGB 段階の末期であることがわかっているため、均質なサンプルを集めてその分布を調べることが出来る。

そこで、国立天文台岡山天体物理観測所の 188 cm 望遠鏡 (KOOLS および ISLE) と兵庫県立大学西はりま天文台の 2m 望遠鏡 (MALLS) を用いて、KISOGP で発見した変光星数十天体の分類を行っている。炭素と酸素がほぼ同量となっている S 型星を除いて、酸素過多か炭素過多かによって恒星表面に存在する分子の種類が大きく変わるので、それらの分類は低分散スペクトルで容易に行えることが分かる(図 5, 6)。

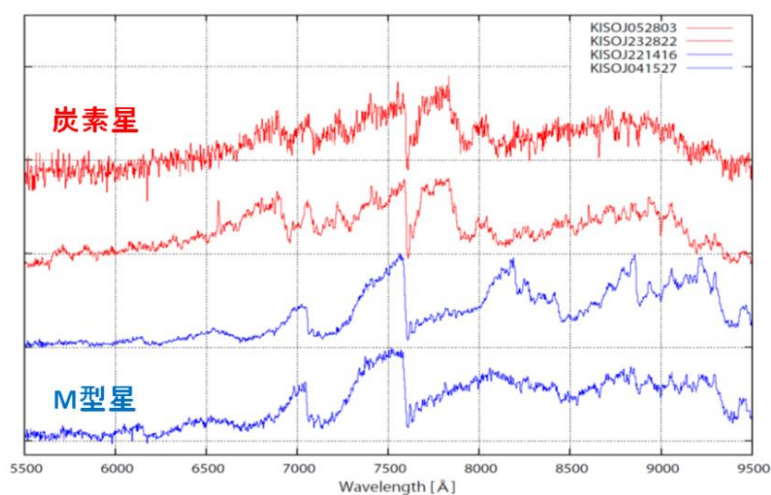


図 5 KISOGP で発見されたミラ型星の可視スペクトルの例 (MALLS による観測)

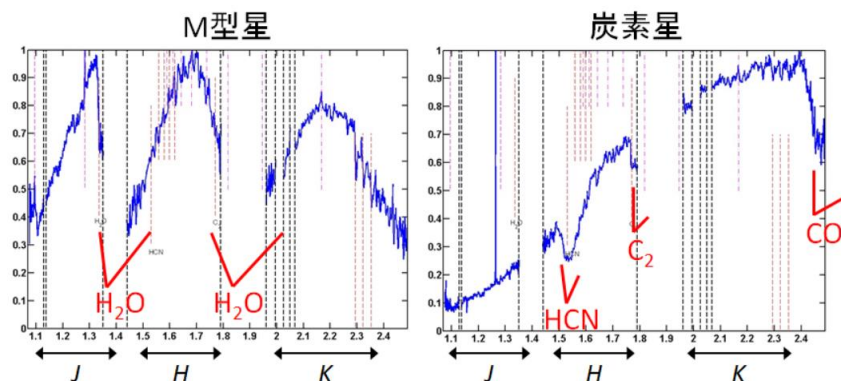


図 6 KISOGP で発見されたミラ型星の近赤外スペクトルの例 (ISLE による観測)

4. 突発天体検出への応用

KISOGP の観測では 1 観測領域につき dithering をして 4 回(5 秒露出×1、60 秒露出×3)の観測を行っている。また、毎月 1 週間程度の観測時間をつかって反復観測を行っているため、観測領域が太陽に近い時期を除くと少なくとも 1 か月に 1 回は観測が行われる。このため、KISOGP の観測データを用いて突発的な変光を示す天体の探査もおこなっている。突発天体・新天体の判定は以下のような手順で行っている。

- ① 1 観測領域(4 回の露出)から検出された全ての天体について、その晩のうちに 2 回以上の検出がある天体をピックアップする。1 観測領域当たりの天体数は約 10^5 個である。
- ② ピックアップされた天体について、過去 90 日の観測データの有無をチェックする。過去 90 日以内の検出のない天体を新天体候補とする。
- ③ 過去 90 日以内に観測のある天体については、さらに過去 60 日以内のデータから平均光度やばらつきを求める。観測時の光度と過去 60 日の平均光度が 0.5 等以上異なっている天体を突発天体候補とする。

検出プログラムでは、候補天体のリストを個々の天体の光度曲線などへのリンクとともに HTML ファイルとして保存するようになっており、Web ブラウザで候補天体のデータをチェックすることができるようにしている。これまでに検出された天体の多くはミラ型変光星のような振幅の大きな脈動変光星であり、極大へ向けて増光している phase で検出されている。他には既知の矮新星なども検出された他、惑星状星雲ないし共生星候補(García-Hernández, D. A., & Górný 2014)に同定できる天体の増光(図 7)や AGN 候補天体とされる天体の増減光を検出することができた。

検出された突発天体については適宜分光観測をおこなっており、図 7 に示した KISO J2248 については $H\alpha$ 輝線を示す天体であることが分かった(図 8)。

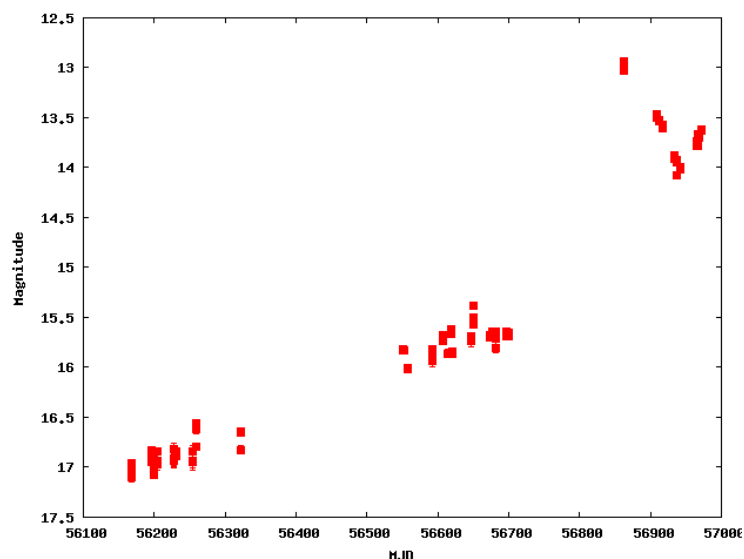


図 7 KISO J224834.4+582908 の光度曲線

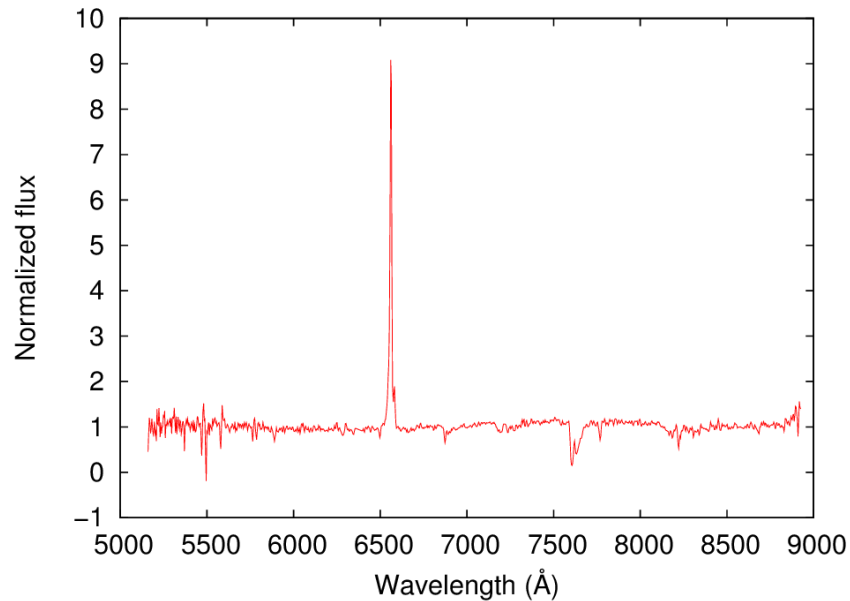


図 8 KISO J224834.4+582908 の可視スペクトル (KOOLS による観測)

5. まとめ

KISOGP のこれまでの反復観測から、確実な大振幅の新変光星をすでに 500 個以上検出しており、最終的には数千個程度の新変光星が発見できると見込んでいる。また、これらの天体に対する分光追跡観測では、国立天文台岡山天体物理観測所および西はりま天文台における観測を実施しており、2014 年前期まで合計 24 夜の観測割当てで 150 個の天体の分光観測を行うことができた。したがっておよそ 3 倍の 70 夜の観測割り当てがあれば発見されたミラ型変光星のすべてについて分光観測を実施することが可能である計算となる。今後は KISO J2248 のような特異な天体については随時適切な研究会・論文報告を行い、計画の魅力を保つ努力を継続しながら、全ミラの分類を行い、最終的な目的である銀河系内の M 型星/炭素星の分布の解明を目指したい。

発見された変光天体については現在初期カタログの作成、更新作業を行っており、間もなく KISOGP チーム内でのリリースを予定している。脈動星以外の YSO などの天体なども多数含まれており、興味のある方はぜひ声をかけてほしい。

References

- Marigo et al. 2008, *A&A*, 482, 883–905
- Noguchi et al. 2004, *A&A*, 418, 67–75
- Ishihara et al. 2011, *A&A*, 534, A79
- García-Hernández, D. A., & Górnny, S. K. 2014, *A&A*, 567, A12