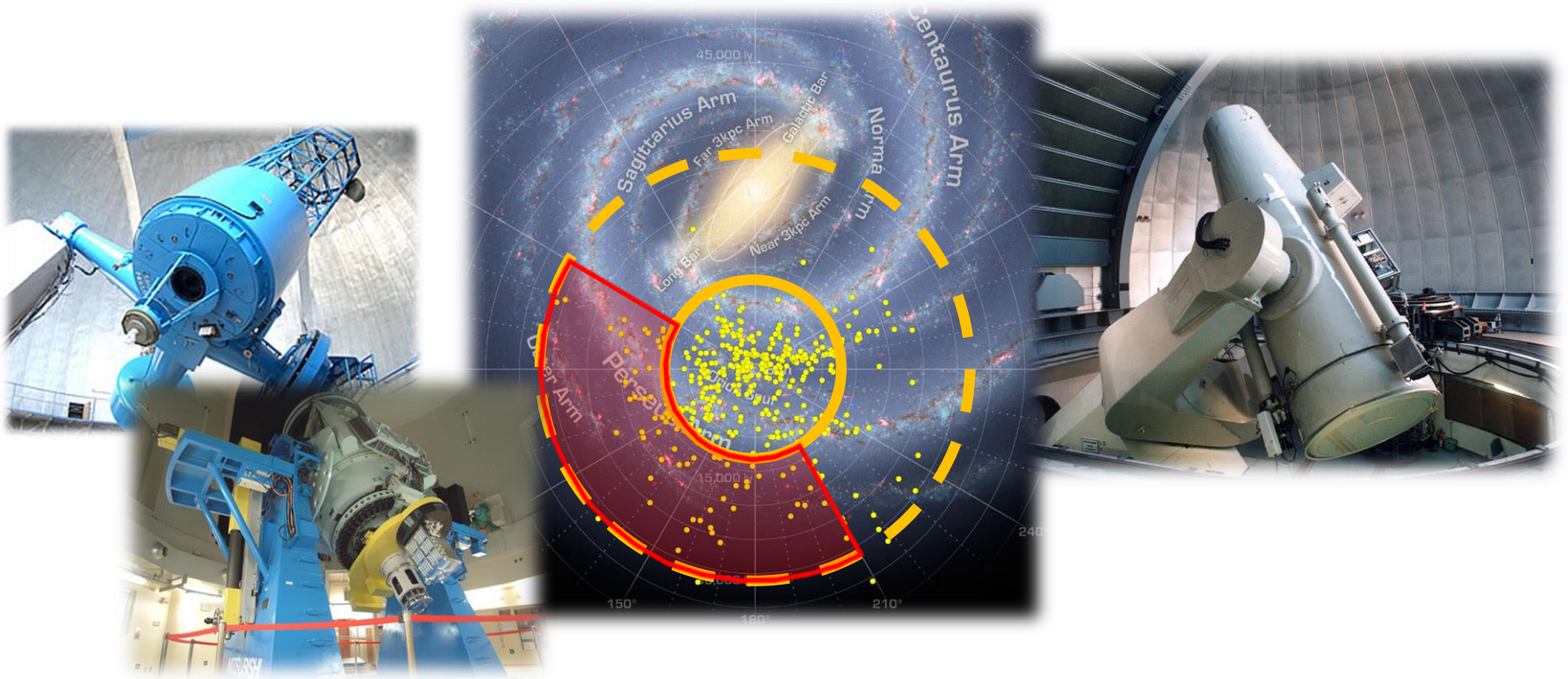


KISOGP進捗報告

(2015年7月13日・木曾シュミットシンポ)



松永典之 (東京大学・天文学教室)

共同研究者

これまでの観測、解析に参加した方々：

- 松永、小林、三戸、猿楽、泉、福江、山本、諸隈（東大）
- 前原、浮田、柳澤、田中（国立天文台）
- 坂本（日本スペースガード協会→民間企業）
- 小野里、岩崎、花上、板（東北大）
- 新井（兵庫県立大→京都産業大）
- 山下（鹿児島大）
- M. Richmond（ロチェスター工科大）

共同研究や発見天体の研究に興味のある方は、ぜひお知らせください。

内容

- KISOGPの目的と概要
- 既知変光星ライトカーブの紹介
 - 3月の天文学会@阪大で発表した内容
- 最近の解析でのセファイドなどの発見
- ミラ型変光星候補の発見
 - 天の川銀河研究会@本郷で発表した内容
- ミラ型変光星候補の分光追観測
- まとめ、今後の展望

KISOGRP

KWFC Intensive Survey of the Galactic Plane

Kiso Wide-Field Camera

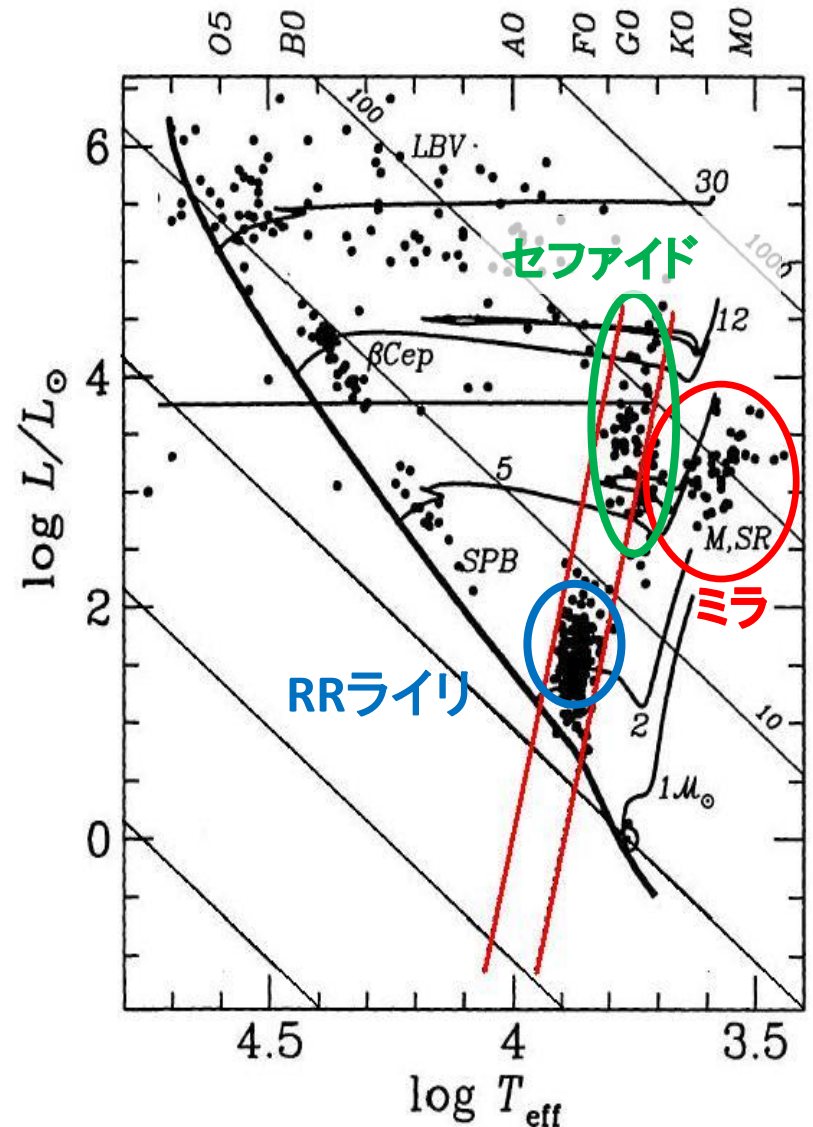
KISOGRPの目的と概要

KISOGPの目的と概要

- KWFC Intensive Survey of the Galactic Plane
- 円盤部(銀河系の骨格)にある変光天体探査
 - 320平方度。現在約3000個の変光星が知られている領域内で、数千個の新しい変光星の発見を目指す。
 - (周期光度関係をもつ)変光星の分布から銀河円盤の構造を明らかにする。
 - これまでよりも暗いand/or遠い新星・矮新星の発見(前原さん講演参照)。
 - YSOなどその他の変光天体を探し出し、詳細研究へのサンプルを提供する。
- 見つけた変光星の追観測

脈動変光星 (radial variables)

- ミラ型変光星
 - AGB ($1 \sim 6 M_{\text{sun}}$)
 - 周期 100~1000日程度
- 古典的セファイド
 - Blue loop ($4 \sim 10 M_{\text{sun}}$)
 - 周期 3~50日程度
- II型セファイド
 - post-HB ($\sim 1 M_{\text{sun}}$)
 - 周期 1~40日程度
- RRライリ変光星
 - HB ($\sim 1 M_{\text{sun}}$)
 - 周期 0.5~1日程度

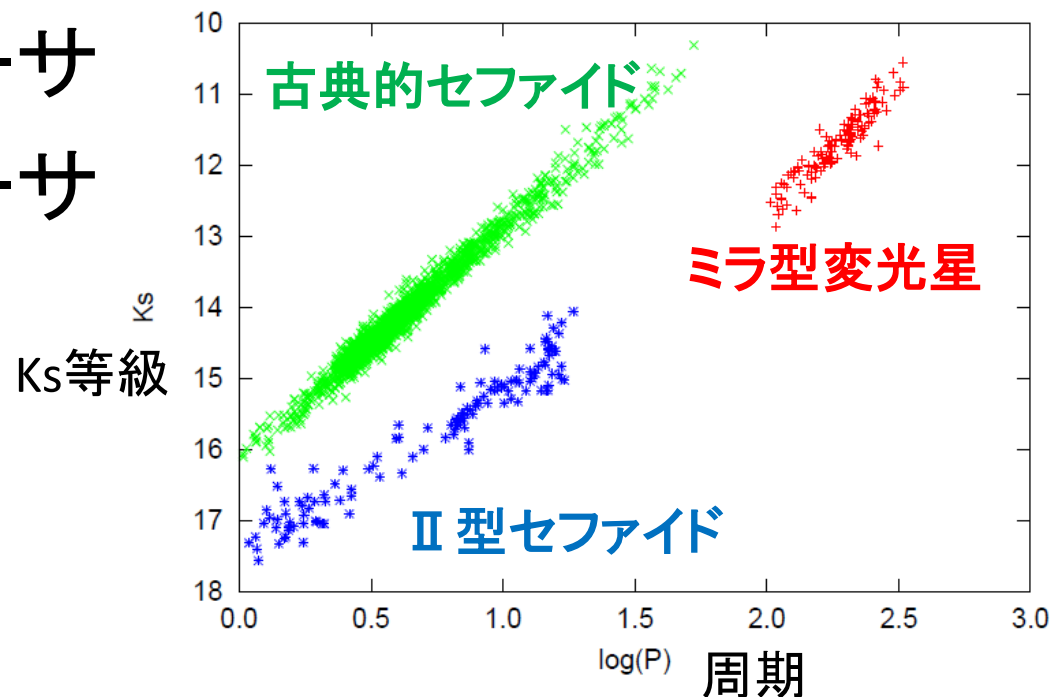


脈動変光星の応用

- 銀河系研究への4つの役割

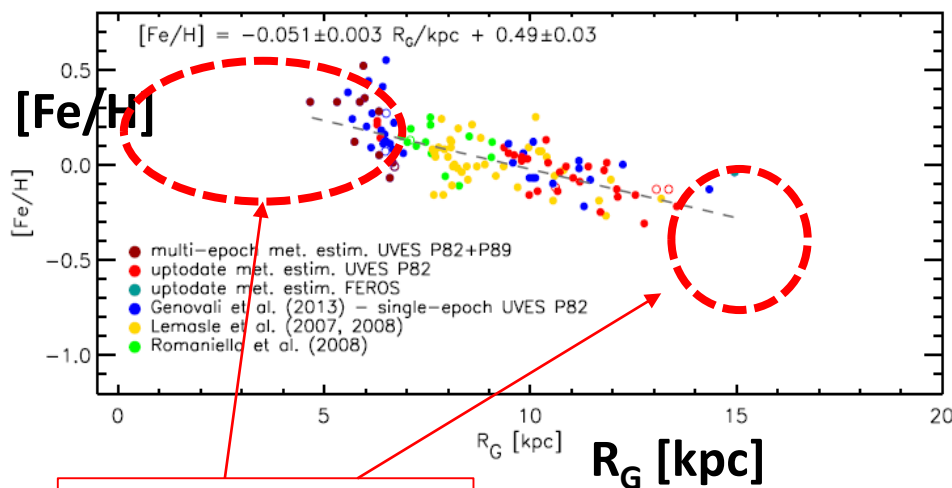
- 銀河系構造のトレーサ
- 恒星種族のトレーサ
- 化学進化のトレーサ
- 星の運動のトレーサ

LMCにある変光星の周期光度関係
(IRSF/SIRIUSの観測結果より)

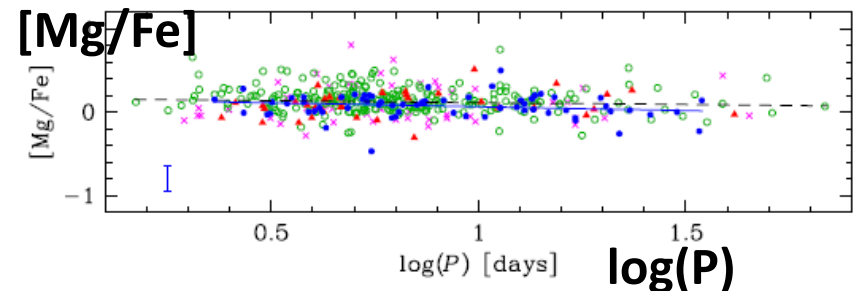
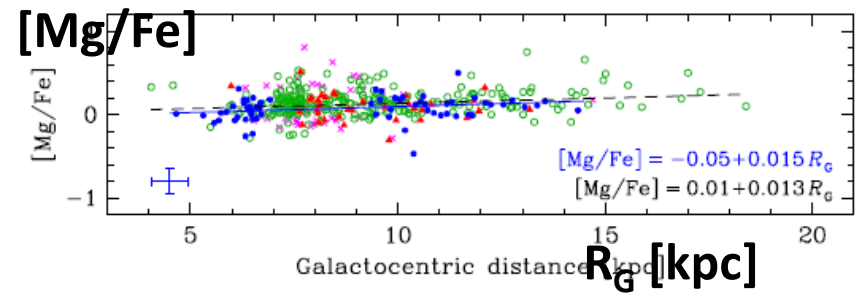


円盤の化学進化のトレーサ

- セファイド (10 Myr ~ 300 Myr) の金属量分布
 - 金属量の勾配
 - 化学組成の進化



内縁部・外縁部の
サンプルは貴重



Genovali et al. (2013, 2014, 2015)

普通の星による研究と相補的な役割

普通の星

- 距離・年齢の推定は難しい。
 - 分光などから距離を推定する方法もあるが、精度は低い。
- 数が多い。
 - 分解能の高い調査が可能。
 - 統計的な有意性が高い。
- 大規模観測をやりやすい。
 - 測光は基本的に一度でよい。
 - 天球での密度が高いため、多天体分光もやりやすい。

2MASS, SDSS, Spitzer

変光星

- 各星の距離・年齢がわかる。
 - タイプや周期光度関係から
 - トレーサとして、位置・時間の正確な情報が得られる。
- 数が少ない。
 - 特定の進化段階なので少数。
 - 個々の情報の精度は高いが分解能と有意性は限られる。
- 観測のコストは高い。
 - 探すのに反復観測が必要。
 - 測光・分光的性質も時間変化

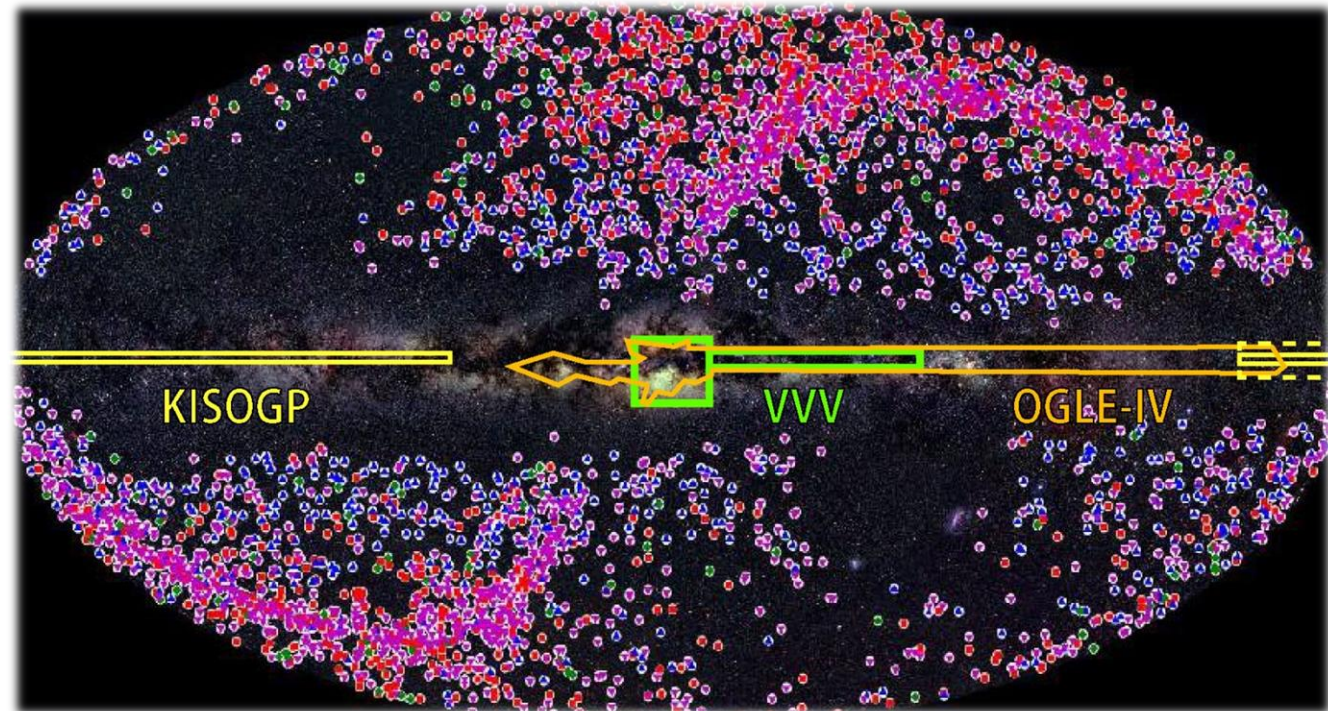
KISOGP

OGLE, VISTA, 他
SDSS (Stripe 82)

Gaia, LSSTは両方

KISOGPの位置づけ

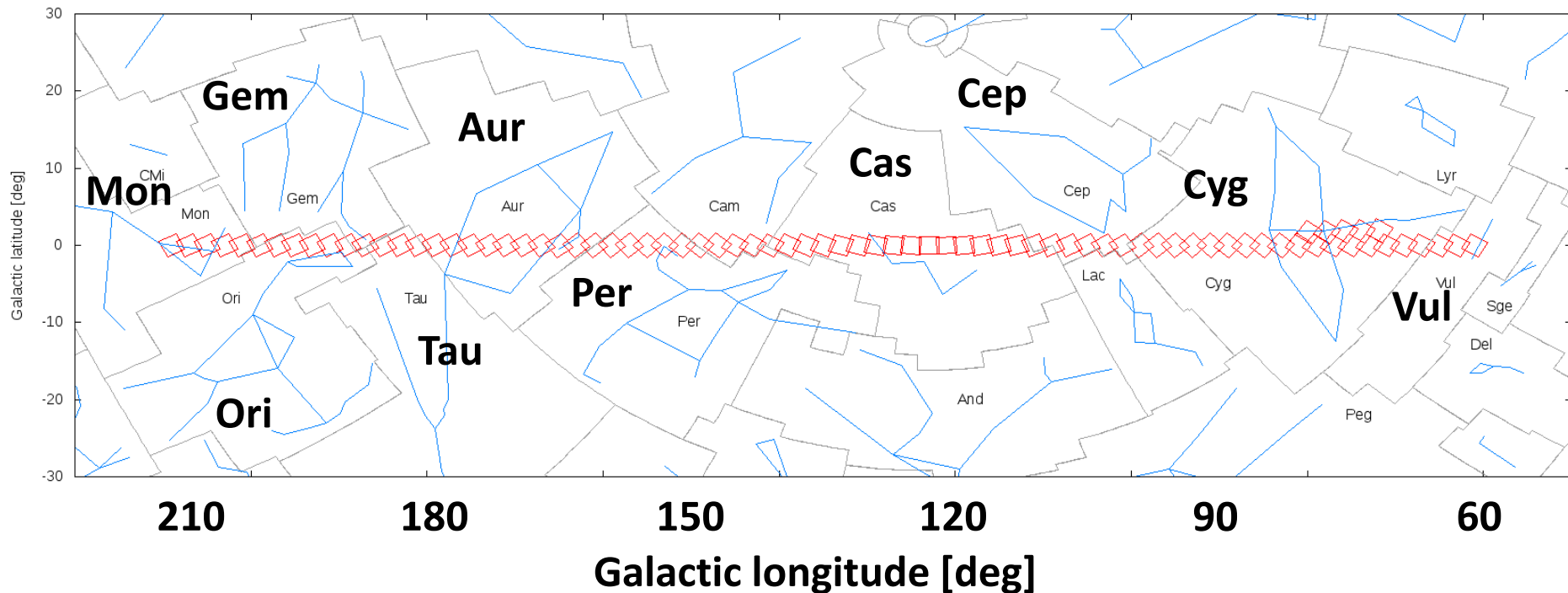
- 銀河系の変光星探査は不十分だが、今後10年程で可視で見つかるべき変光星の多くが見つかるだろう。
- 3年以内に報告すれば、北半球で見える銀河面の変光星探査として先駆的な成果を上げられる。



Catalinaサーベイの発見した約8000個の突発天体(超新星、新星など)と、銀河面の各変光星探査の領域

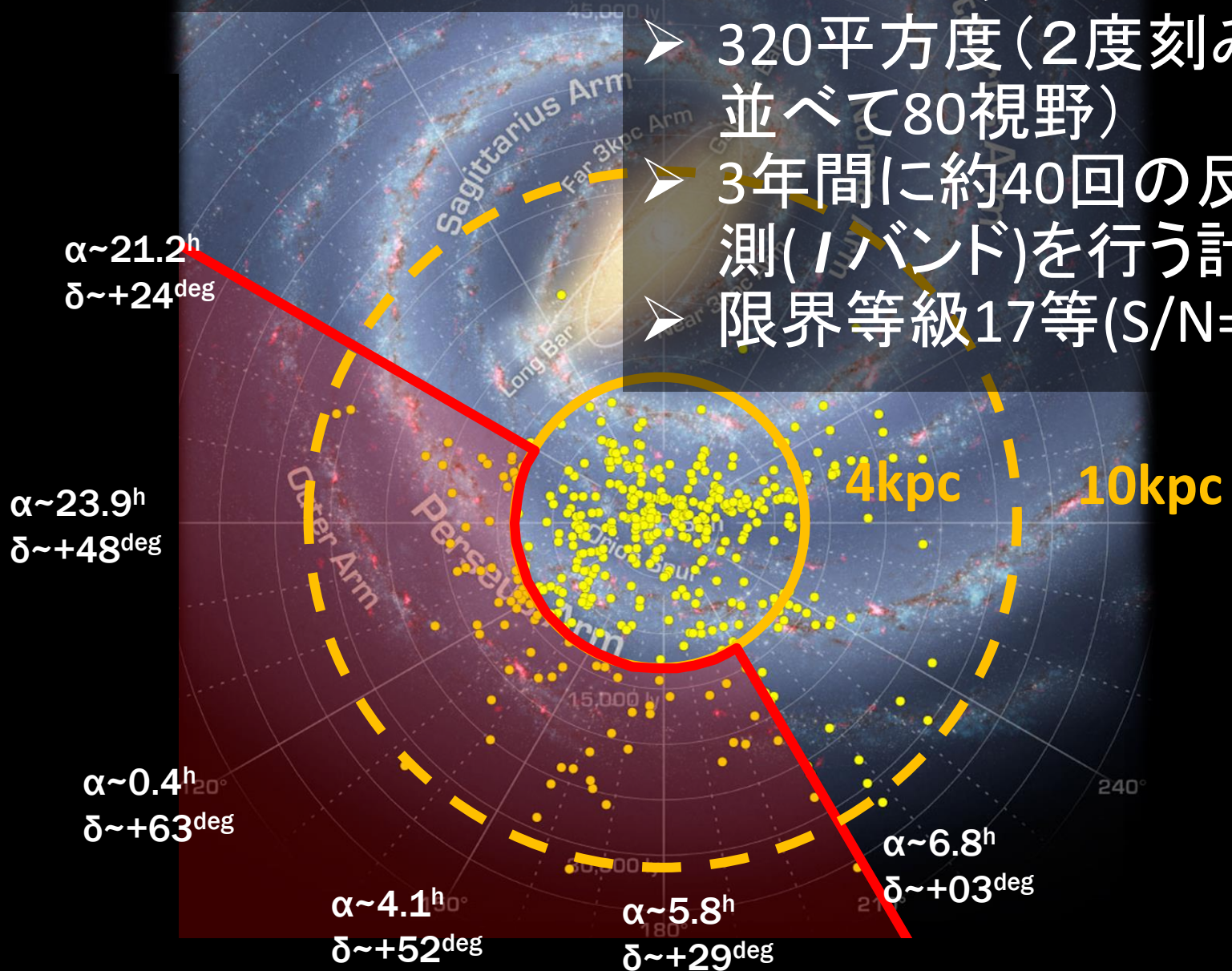
観測領域

- 銀河面、銀経60～210度
- こぎつね座(Vul)、はくちょう座(Cyg)、ケフェウス座(Cep)、カシオペア座(Cas)、ペルセウス座(Per)、ぎょしゃ座(Aur)、おうし座(Tau)、ふたご座(Gem)、いっかくじゅう座(Mon)



KISOGPの観測

- 木曾シュミット望遠鏡とKWFCカメラ
- 320平方度(2度刻みに並べて80視野)
- 3年間に約40回の反復観測(1バンド)を行う計画
- 限界等級17等(S/N=30)



限界等級と変光星の等級

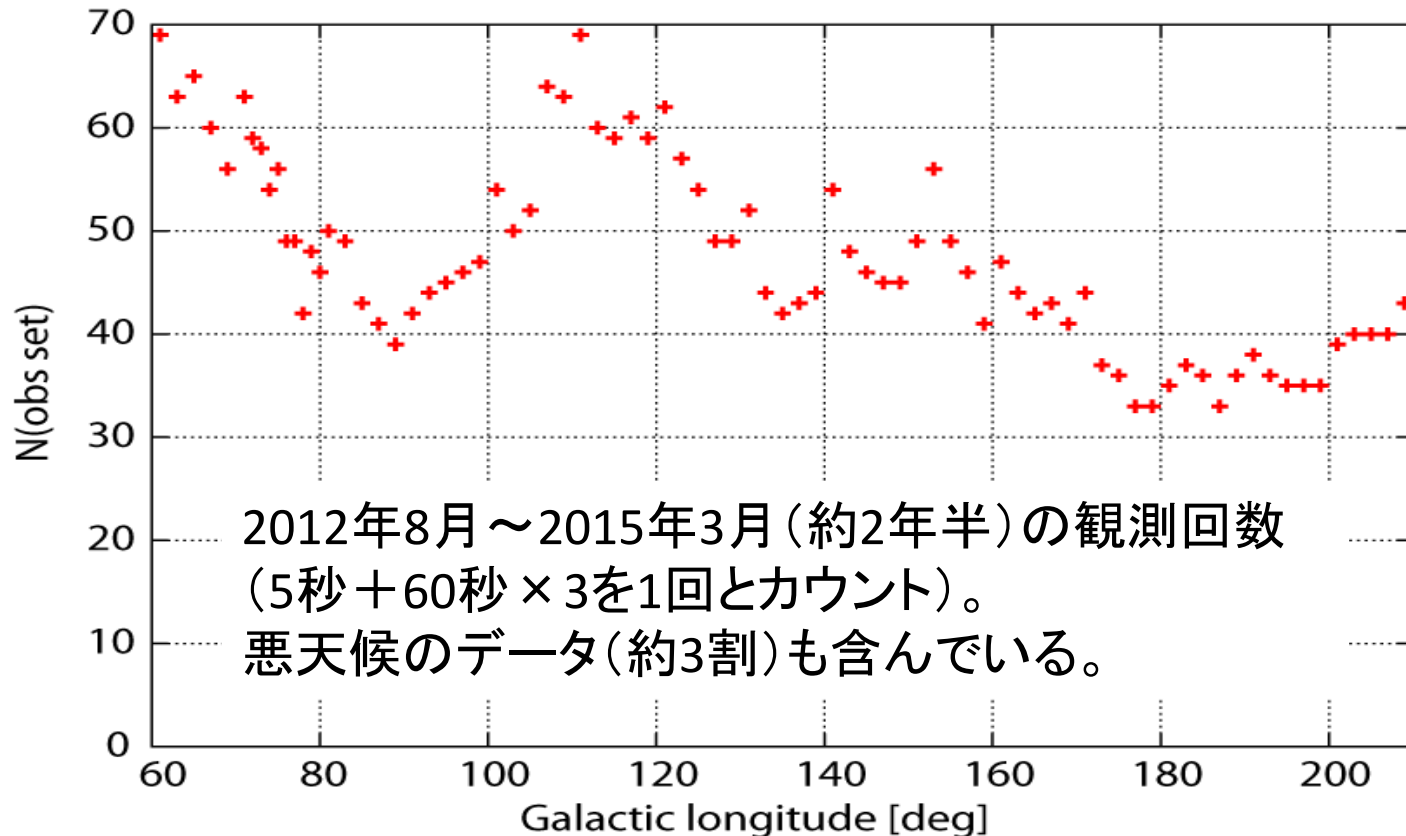
1バンド 17等 (@S/N=30) \Leftrightarrow 19等 (@S/N=5)

KWFCでは1バンドにして発見に専念する。

| 変光星の種類 | 絶対等級 | 絶対等級 | | |
|-----------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | | 1kpc $A(l)=1^{\text{mag}}$ | 5kpc $A(l)=2^{\text{mag}}$ | 20kpc $A(l)=3^{\text{mag}}$ |
| ミラ | $l \sim -4^{\text{mag}}$ | 7 | 11.5 | 15.5 |
| セファイド (周期5日) | $l \sim -3.5^{\text{mag}}$ | 7 | 12 | 16 |
| RRライリ | $l \sim 0^{\text{mag}}$ | 11 | 15.5 | 19.5 |

これまでに収集したデータの概要

- 2年半に30～50回の反復観測データ
- 月に1～3回。
- 脈動変光星を調べるデータとしてはちょうどよい程度。



(天文学会年会@阪大、2015年3月18日に報告)

既知変光星ライトカーブの紹介

既存の変光星カタログ

- GCVS (General Catalog of Variable Stars)
 - Kukarkin, Kholopov, Samusらロシアの研究チームが長い期間にわたり更新してきた変光星総合カタログ
 - 2013年4月の版で約48000天体
- AAVSO International Variable Star Index VSX (Watson+2006-2014)
 - American Association of Variable Star Observersが管理
 - 2015年2月の版で32万天体以上
 - マゼラン銀河の変光星なども含まれている。

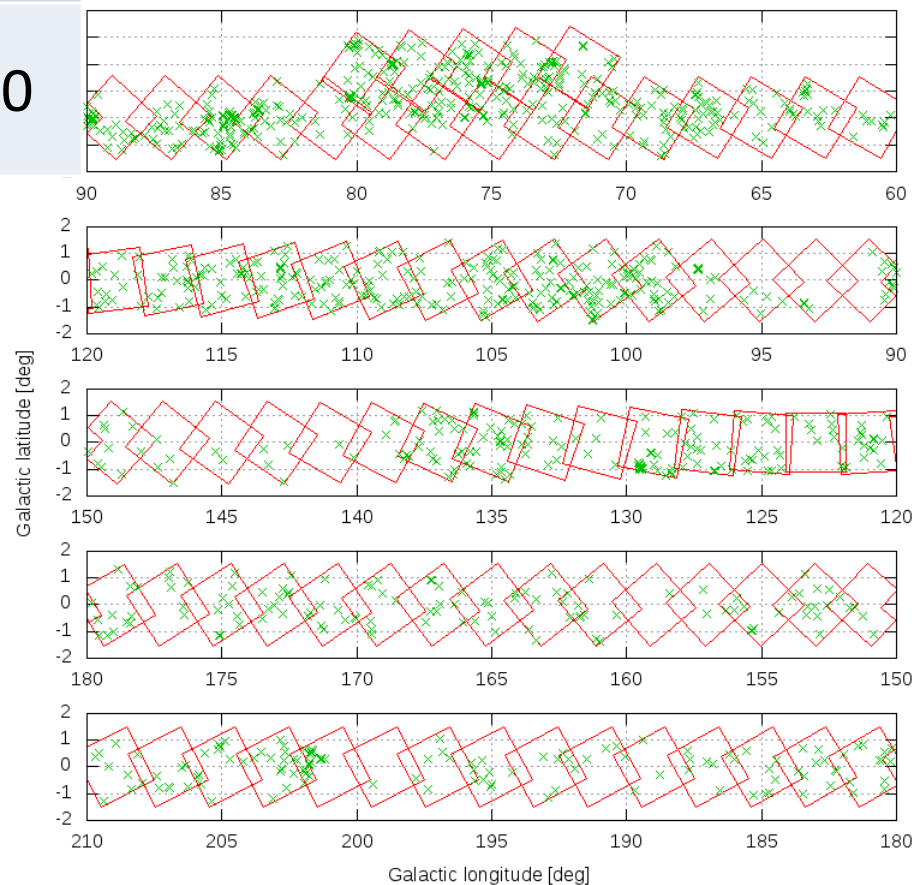
既知変光星の個数

| | GCVS | AAVSO |
|------------------|------|-------|
| KISOGP領域内にある天体 | 1381 | 3455 |
| KISOGPで測光できている天体 | 830 | 2010 |

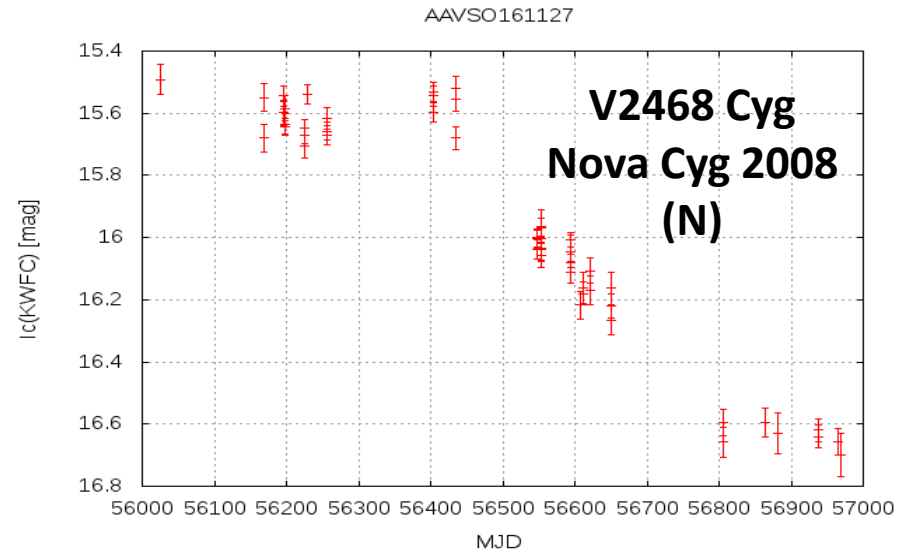
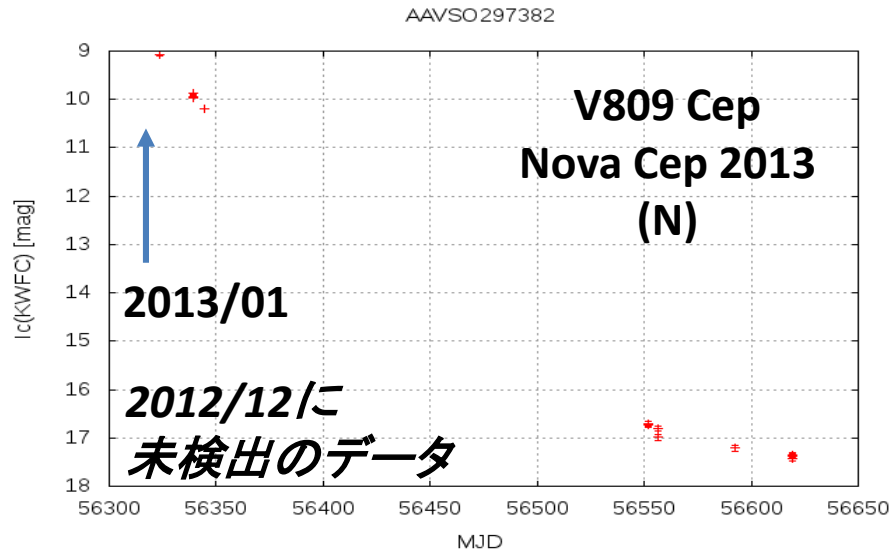
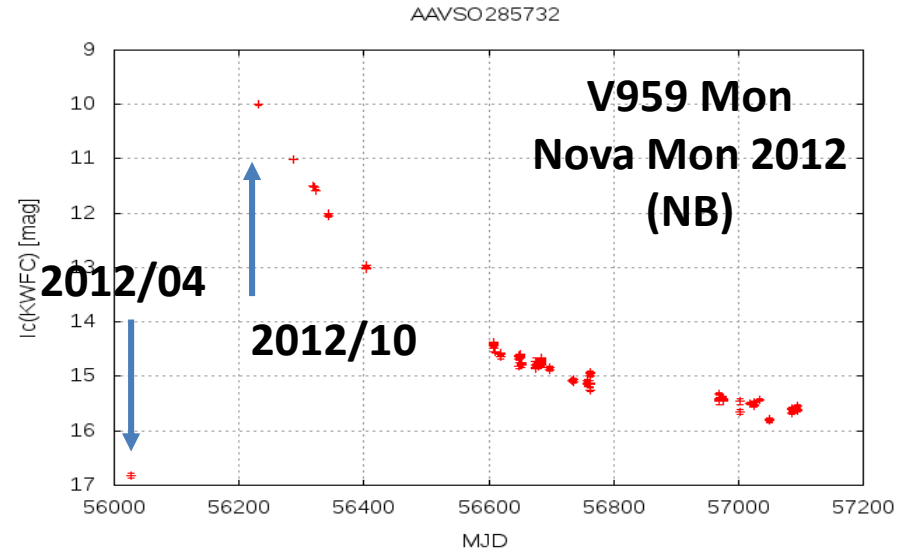
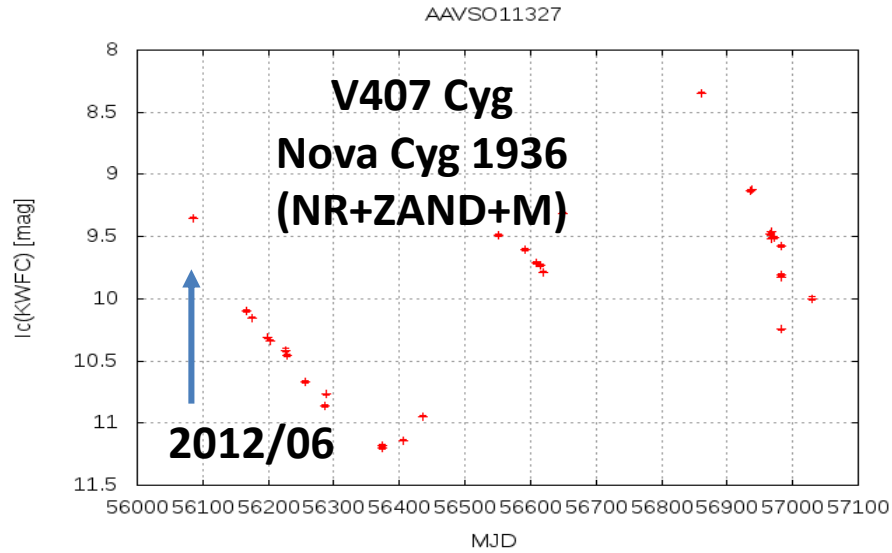
KISOGP領域内の
各種変光星(AAVSO)の個数

| | |
|----------|------|
| 古典的セファイド | 119 |
| ミラ | 約150 |
| RR ライリ | 29 |
| 食連星 | 約150 |

KISOGP領域内の
GCVS変光星の分布

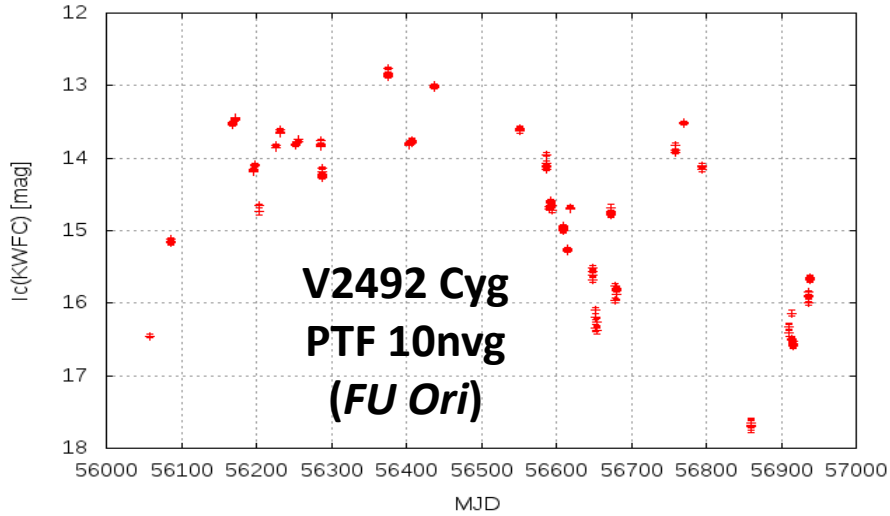


新星

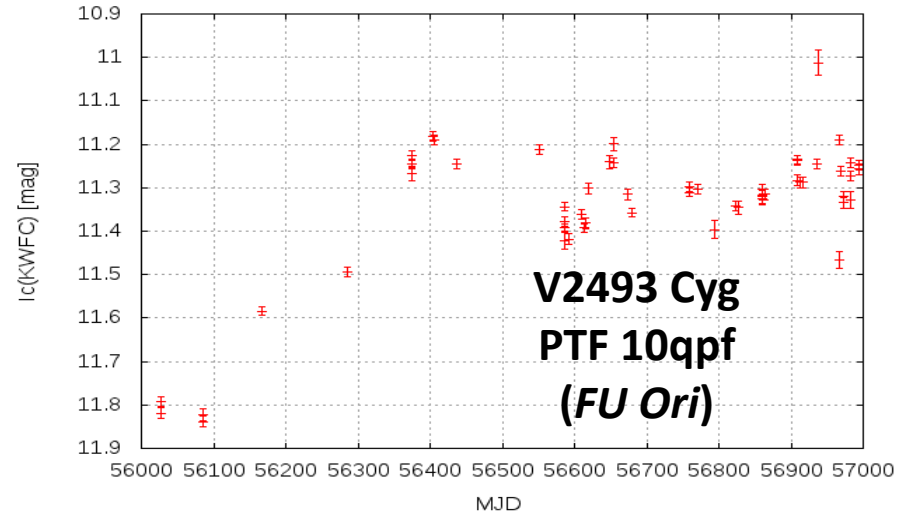


FU Ori

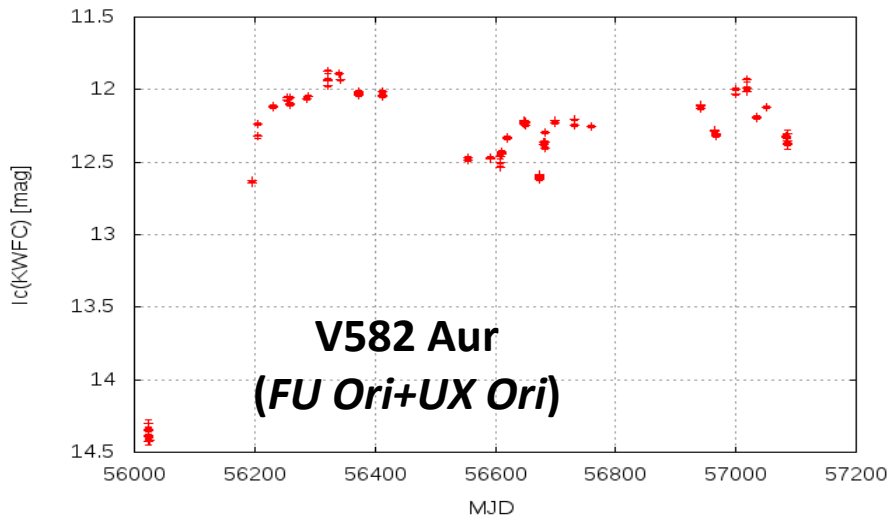
AAVSO249255



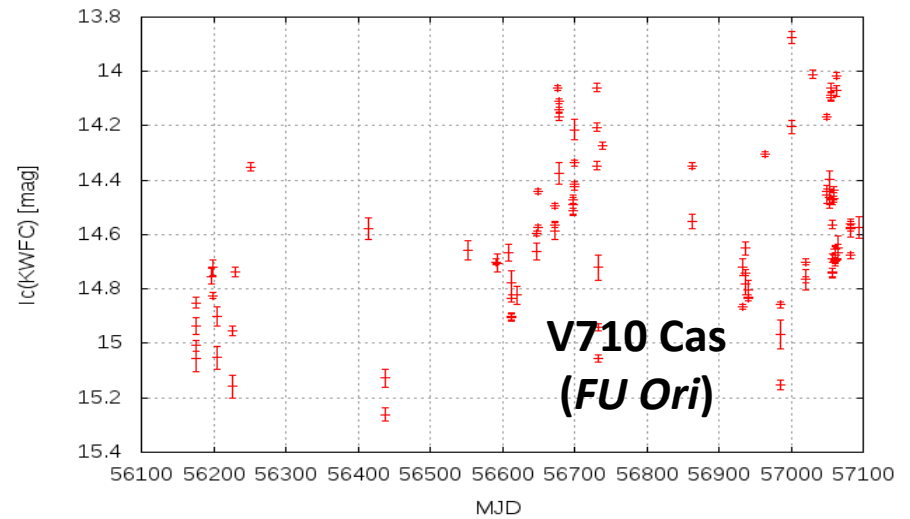
AAVSO248761



AAVSO231427

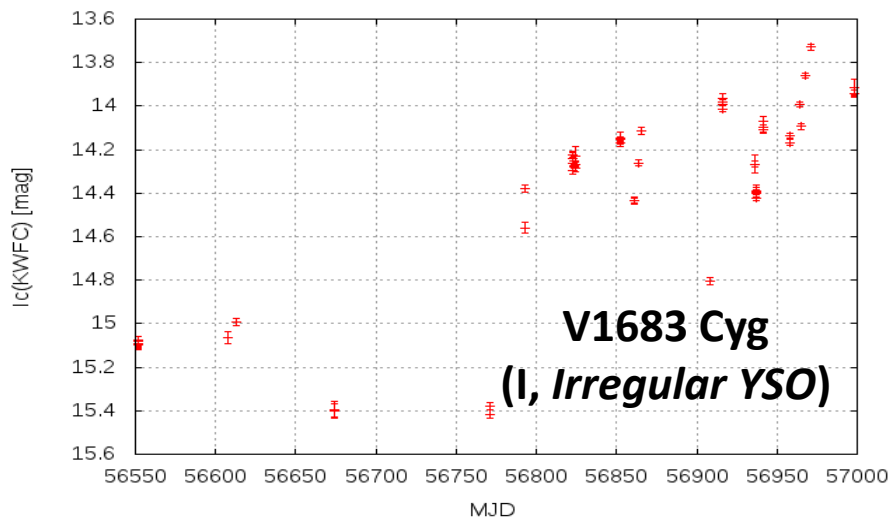


AAVSO7041

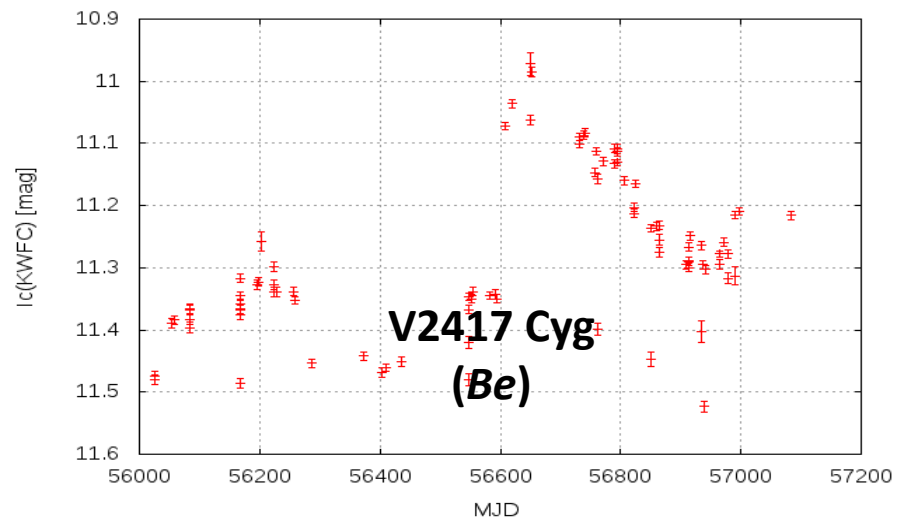


YSO

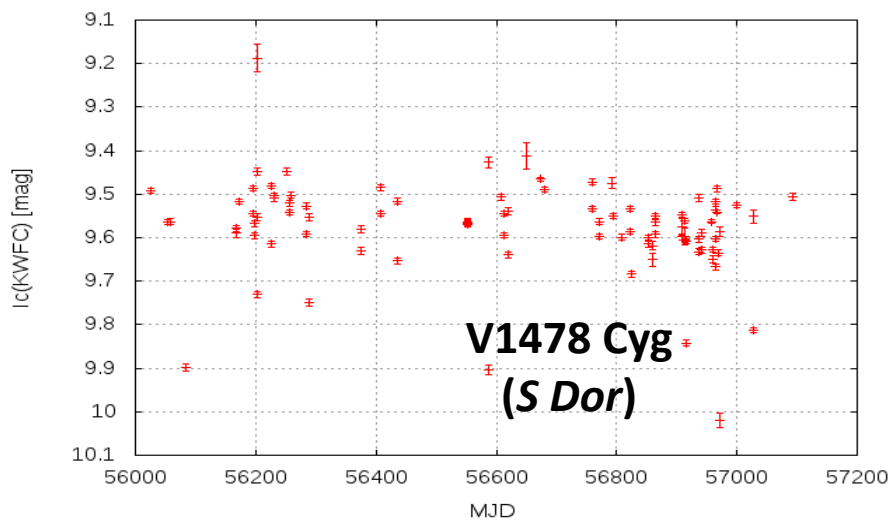
AAVSO12603



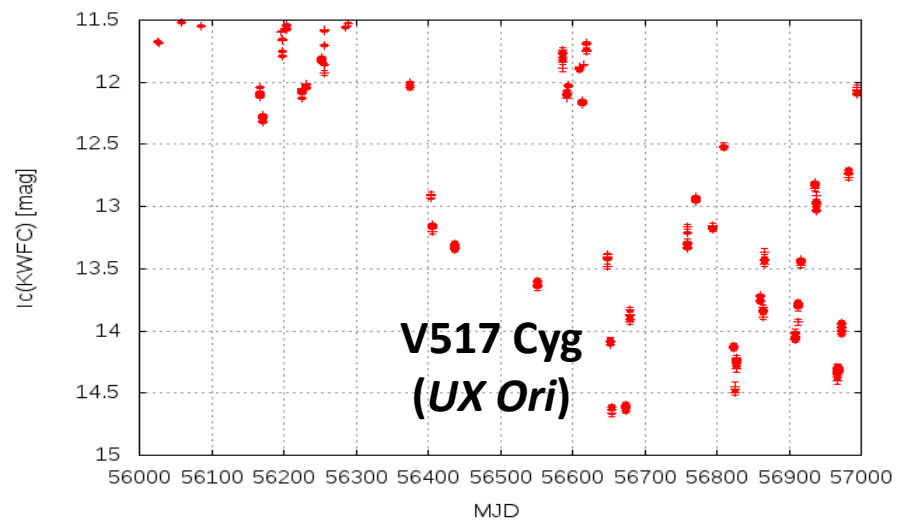
AAVSO137511



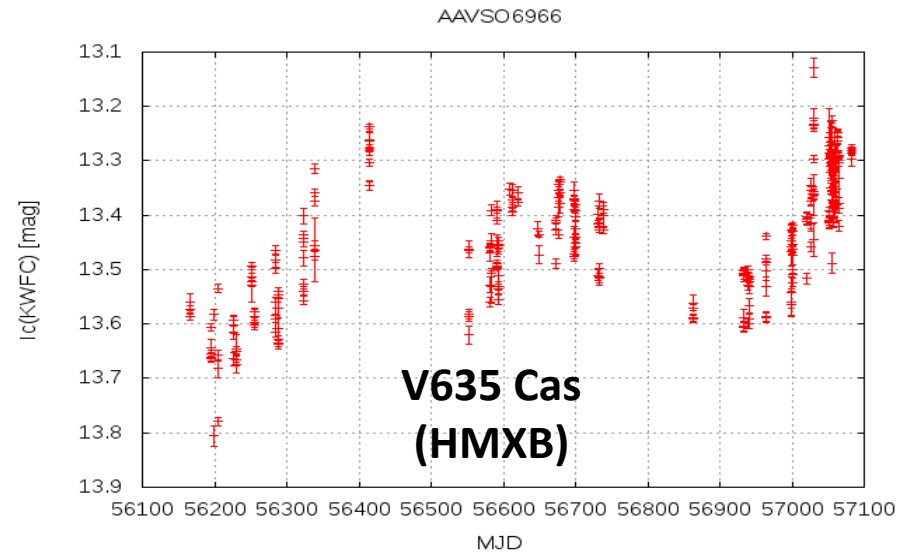
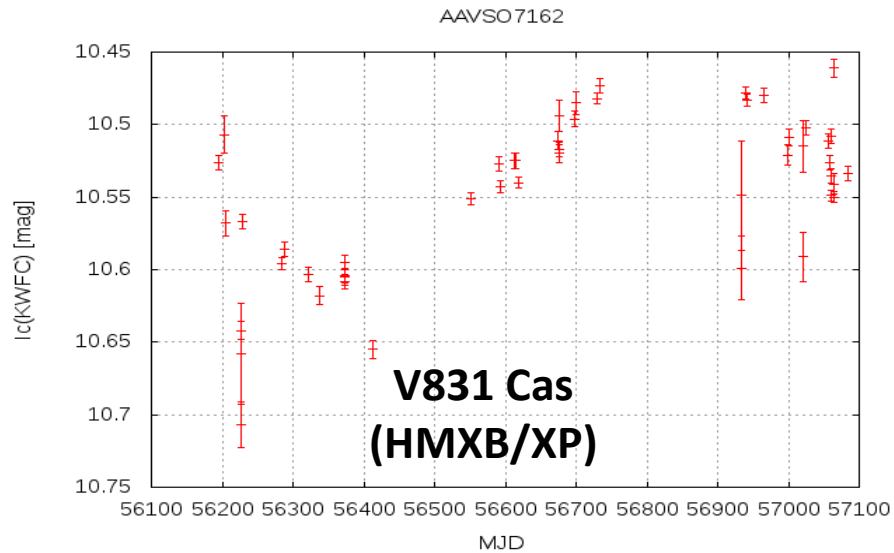
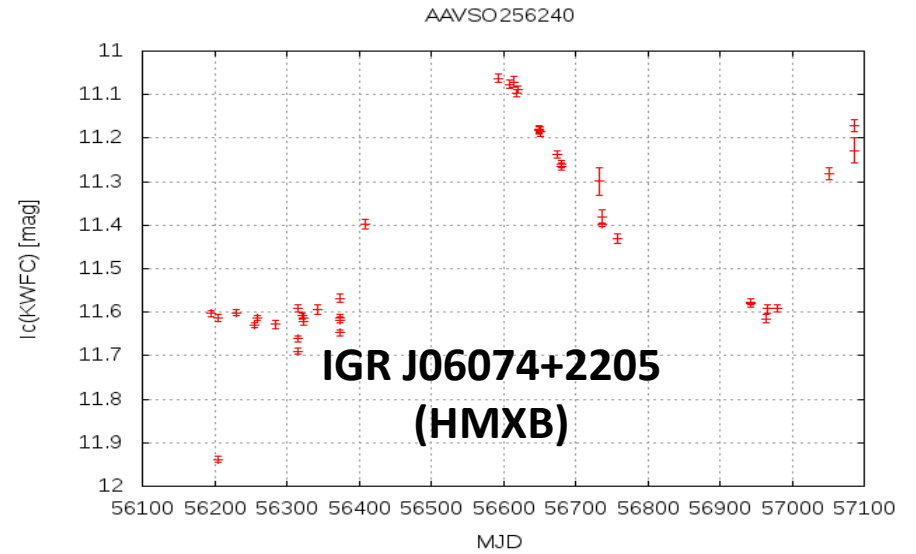
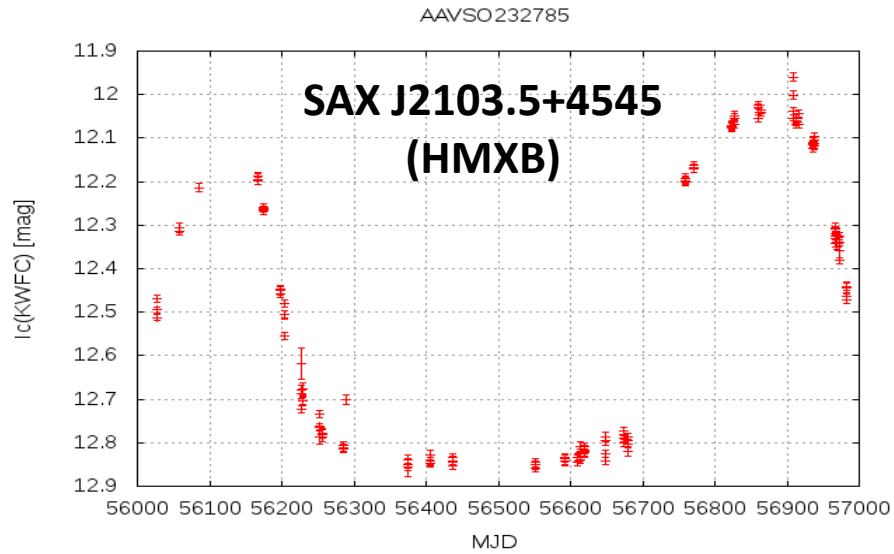
AAVSO12398



AAVSO11437



X線天体

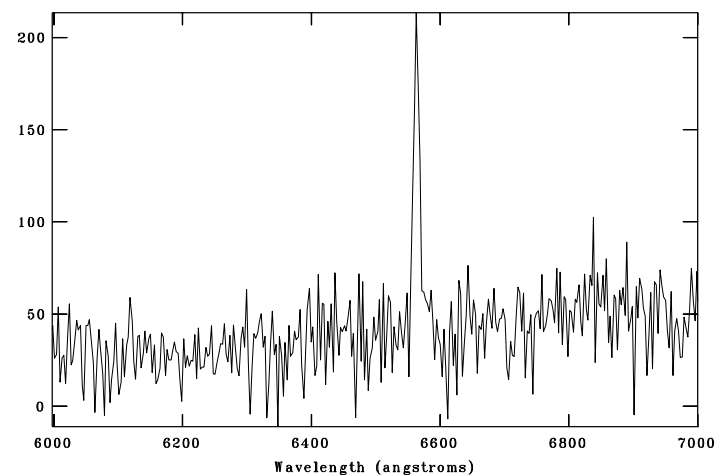
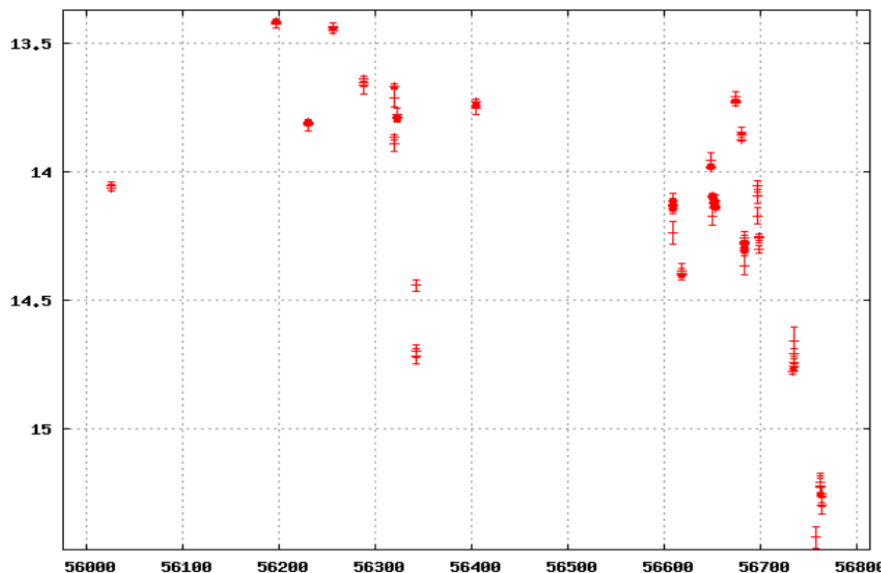


既知(AAVSO)変光星の種類と個数

| 種類 | 説明 | 天体数 | サブクラス |
|-------------|-----|------|---|
| Eclipsing | 食連星 | 708 | E, EA (Algol), EB, EP, EW, ... |
| Rotating | 回転星 | 81 | ELL (Ellipsoidal), TTS/ROT (T Tau), ... |
| Pulsating | 脈動星 | 1230 | M (Mira), DCEP (δ Cep), RR (RR Lyr), ... |
| Eruptive | 爆発星 | 317 | BE (Be star), CTTS, FUOR, I (Orion type), ... |
| Cataclysmic | 激変星 | 41 | N (Nova), NA, NB, NC, NL, NR, CV, ... |
| X-ray | X線星 | 11 | HMXB, LMXB, X, ... |
| Others | その他 | 652 | MISC, VAR, AGN, BLLAC, QSO, ... |
| Total | | 3455 | タイプ未知を含む |

YSOに関する卒業研究論文

- 富田堅太郎さん(兵庫県立大学)
 - 平成26年度、指導教員・伊藤洋一さん
 - 「変光に基づく前主系列星の探査」
 - KISOGPでの不規則変光と赤外超過で、いっかくじゅう座領域のTタウリ型星候補を探し出し、なゆた望遠鏡での分光で6天体の輝線を確認。



063642.02+053425.7

最近の解析でのセファイドなどの発見

最近の解析

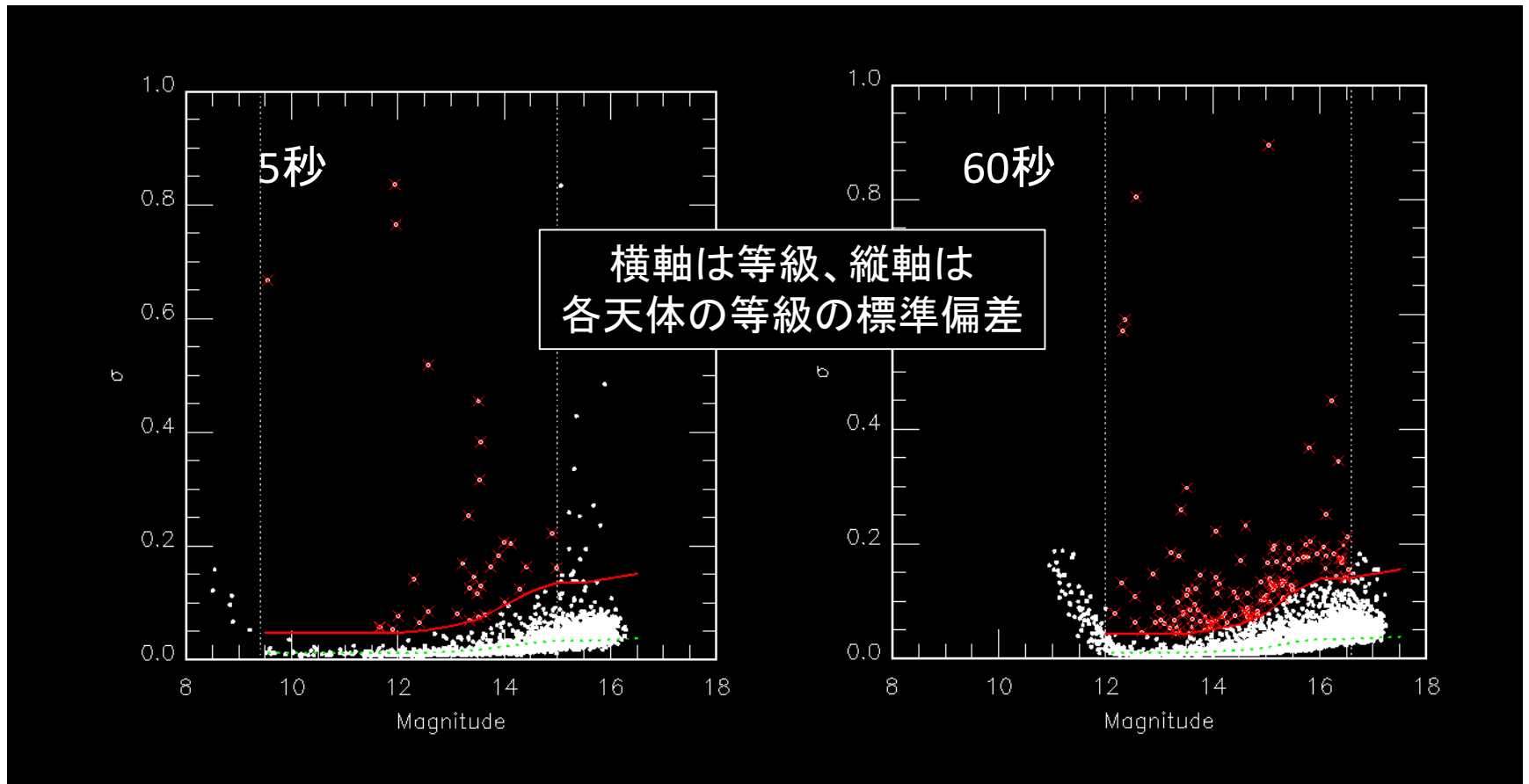
- 以下のような再解析を2015年4～6月に行った。
 - 測光は以前と同じもの：SExtractorによる開口測光。
 - 等級ゼロ点：IPHASのr+i等級を利用。以前使っていたAPASSより、品質・精度・完全性がよい。
 - 精度が比較的高い20回（5秒）、60回（60秒）の測光結果をまとめて、半数以上検出できている天体のリストを作る。

| 露光時間 | 基準天体 | 変光星候補 |
|--------|-----------|--------|
| 5 sec | 2,383,537 | 15,702 |
| 60 sec | 5,093,175 | 41,129 |

- 隣り合う領域の重複を含んでいる。
- 全体で約500万天体のライトカーブを調べる。

変光星の再探索

- 条件のよい20回(5秒)、60回(60秒)の測光結果から、各天体の測光値の分散を計算して、分散の大きいものを変光星候補とする。



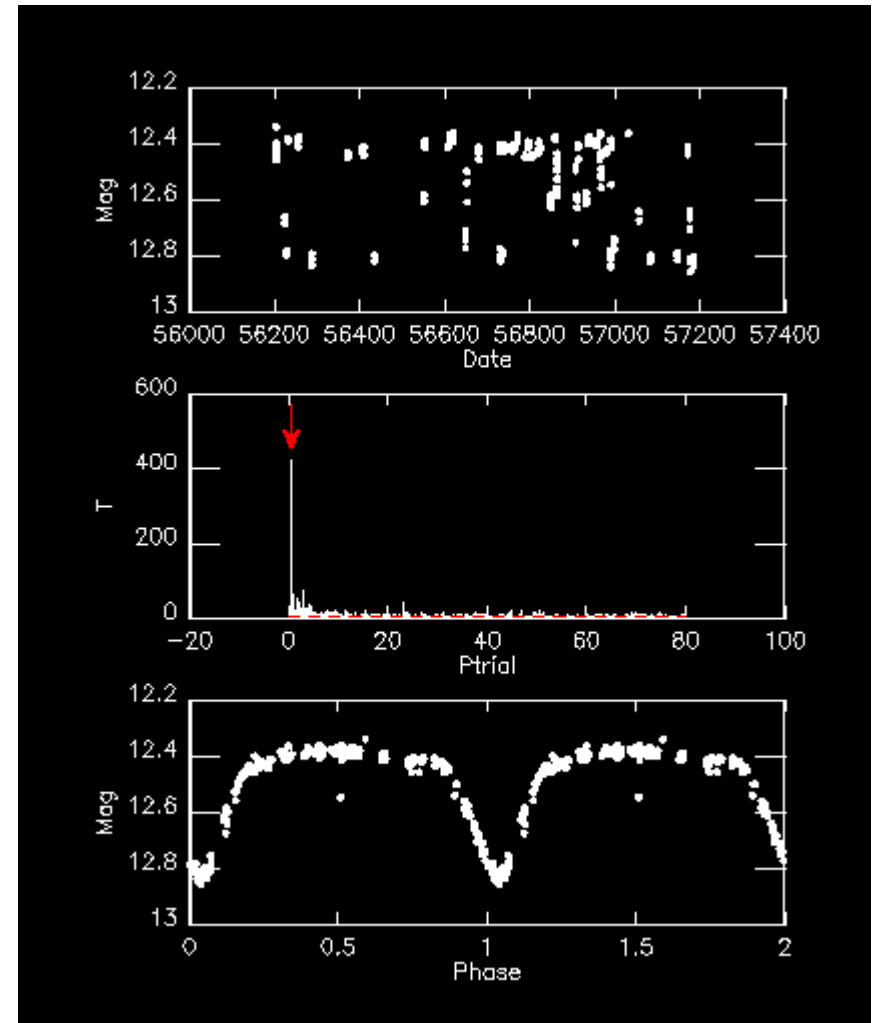
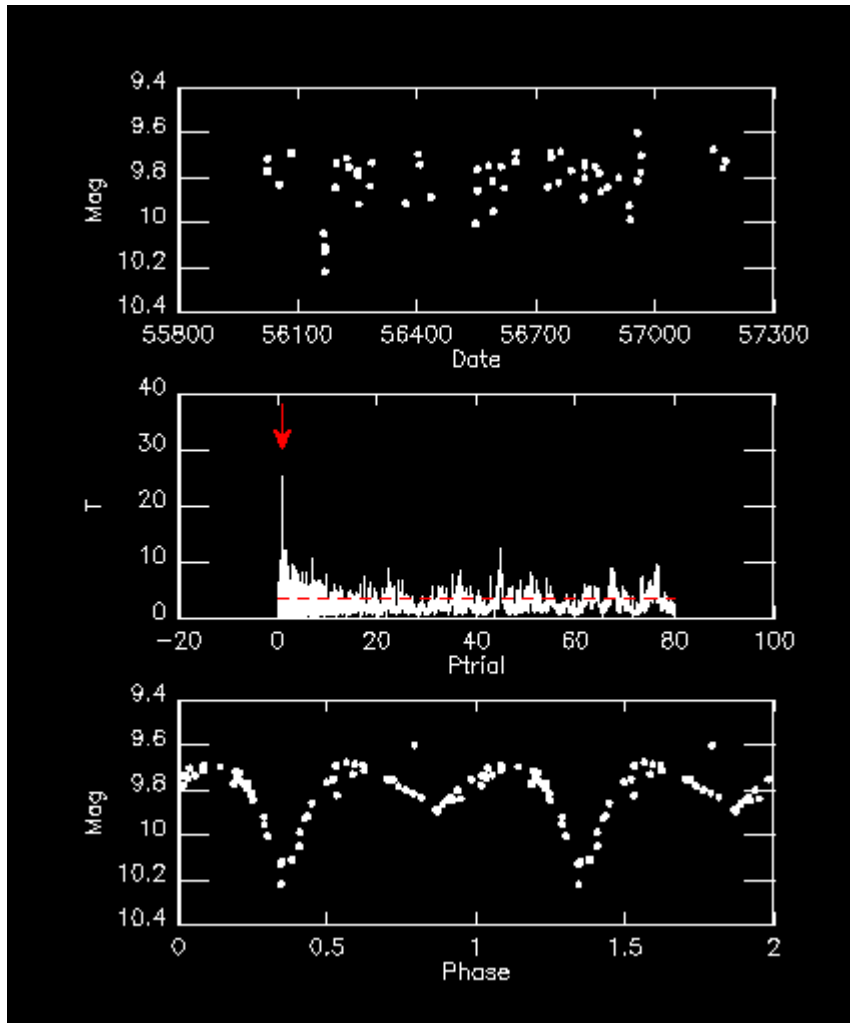
変光星候補と周期性

- 約55000天体を変光星候補としてリスト
 - 重複がある(隣り合う領域、5秒と60秒)
 - 外れ値によって、分散が過剰に大きいものは、まだ多いだろう。
- 周期性の探査
 - 0.1日～80日で約1500個の周期的変光星
 - 80日以上では約800個の周期的変光星

短周期変光星の例(1)

0.2693日

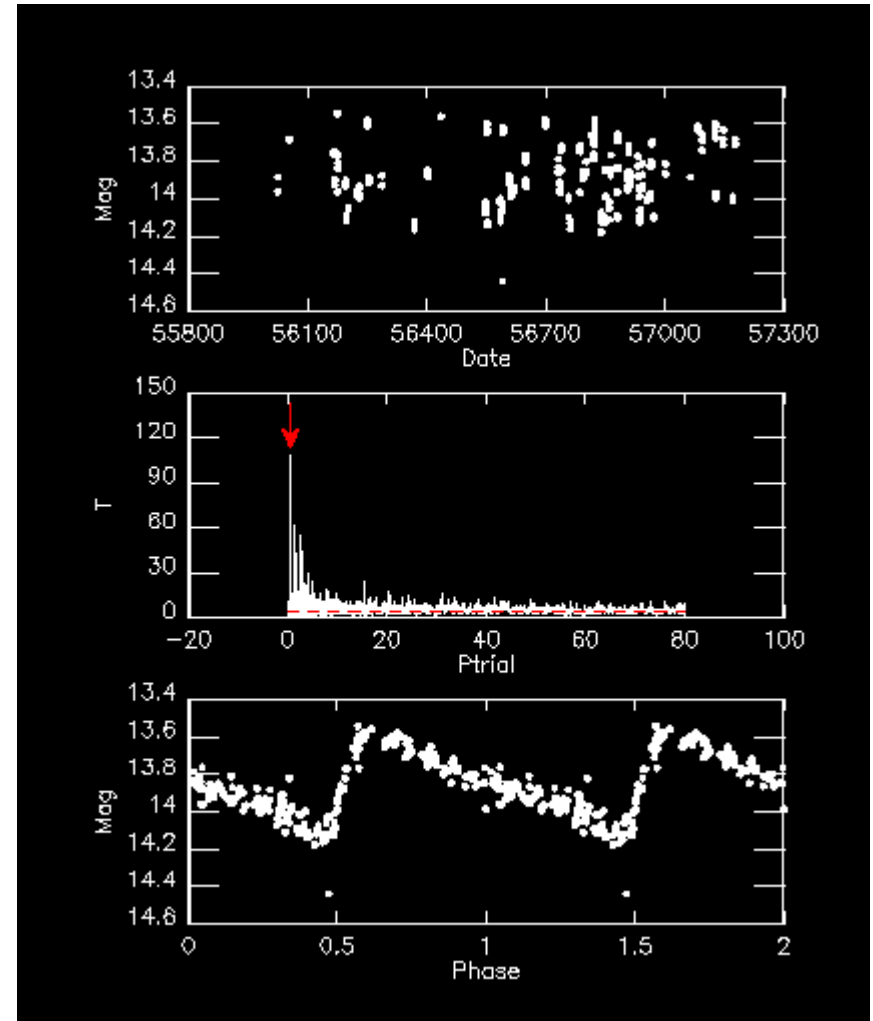
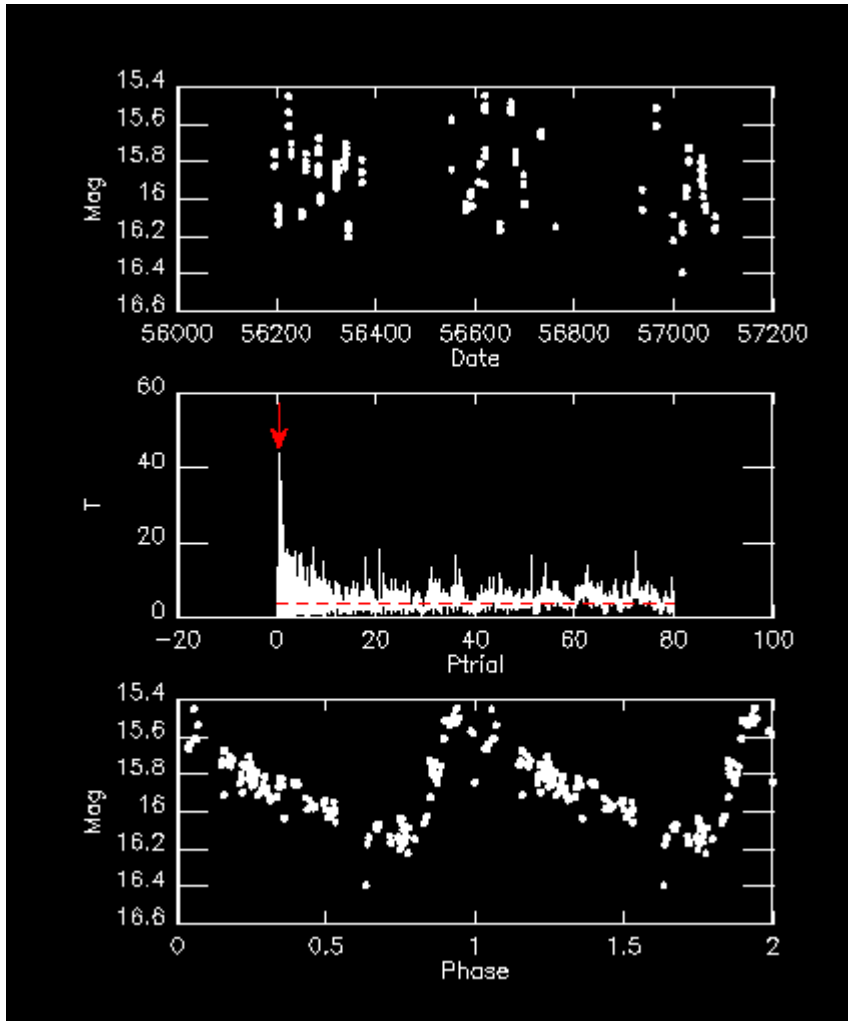
0.5859日



短周期変光星の例(2)

0.4859日

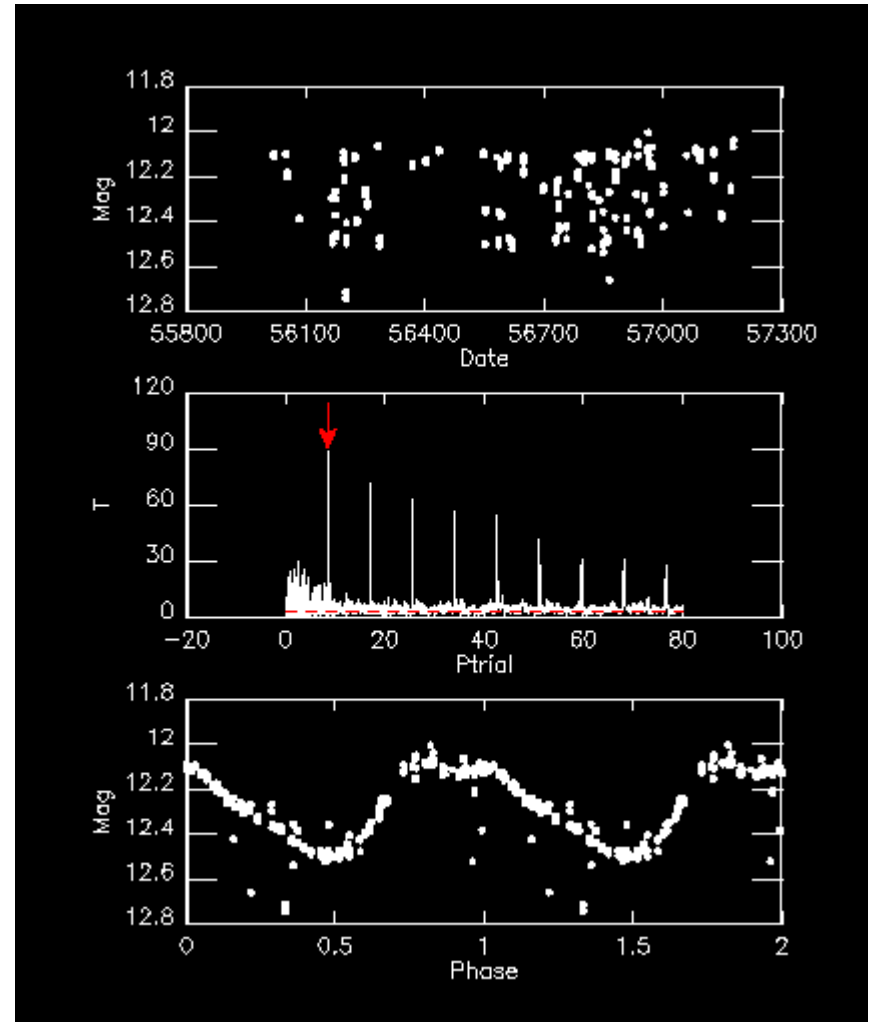
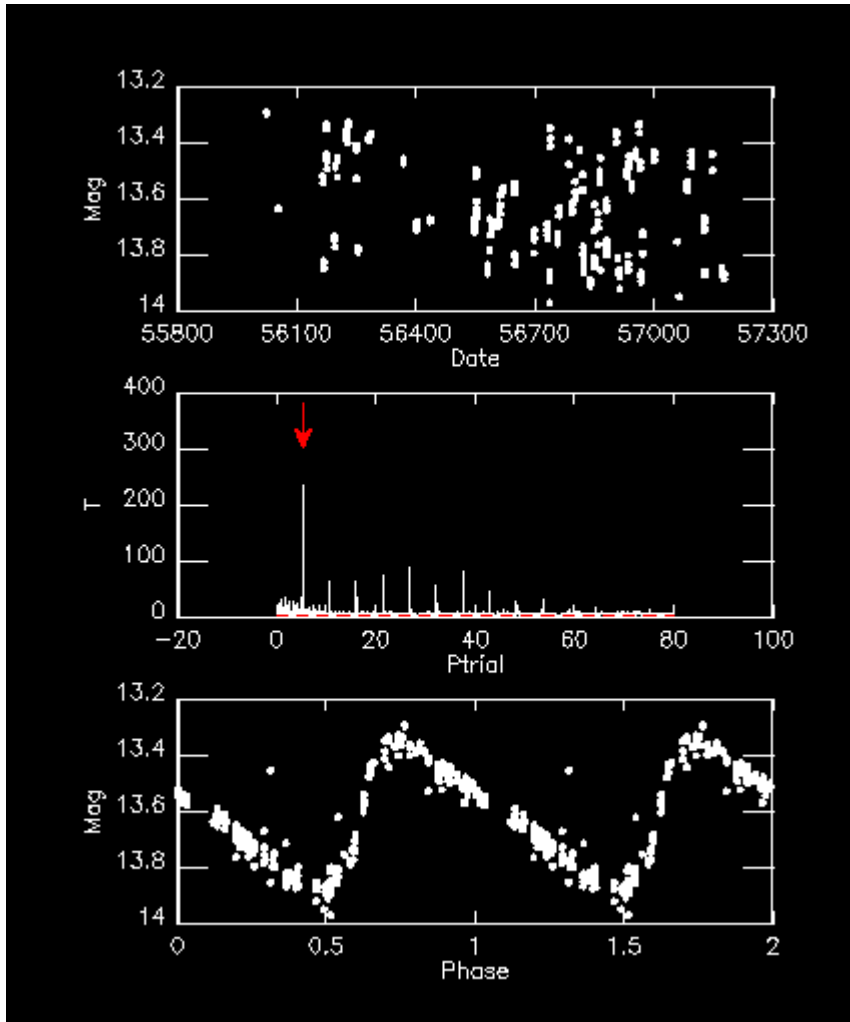
0.627日



短周期変光星の例(3)

5.364日

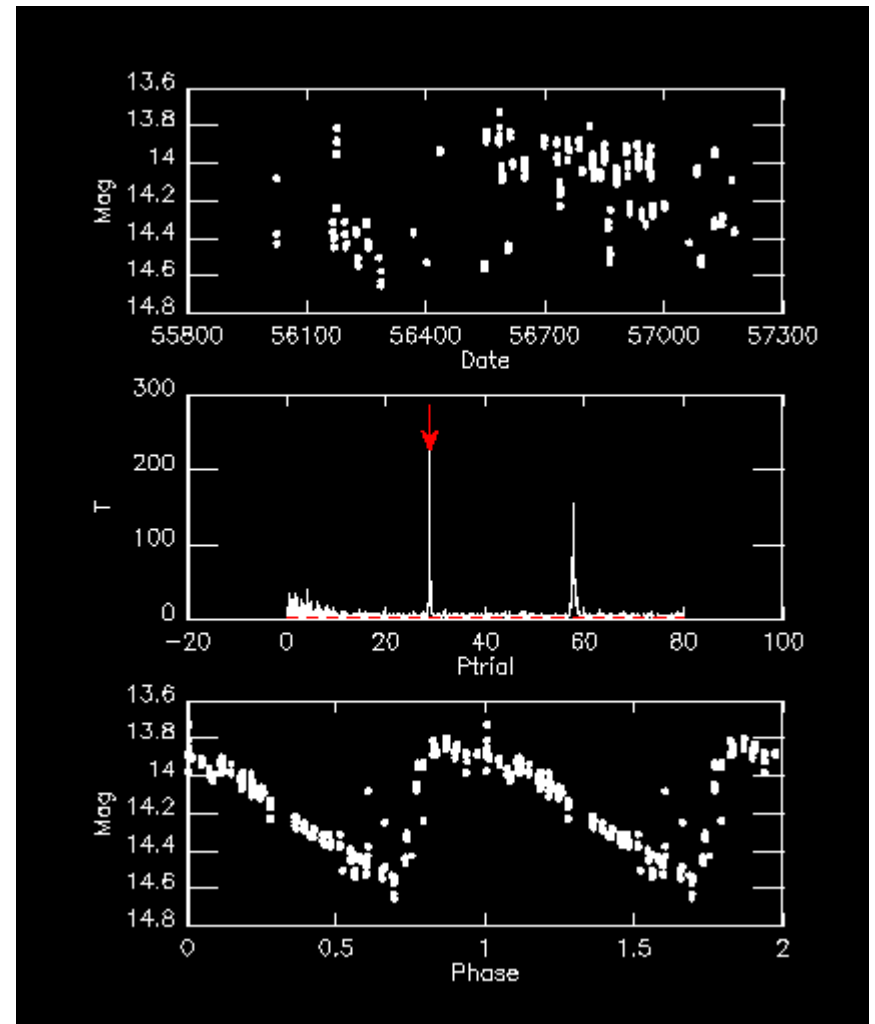
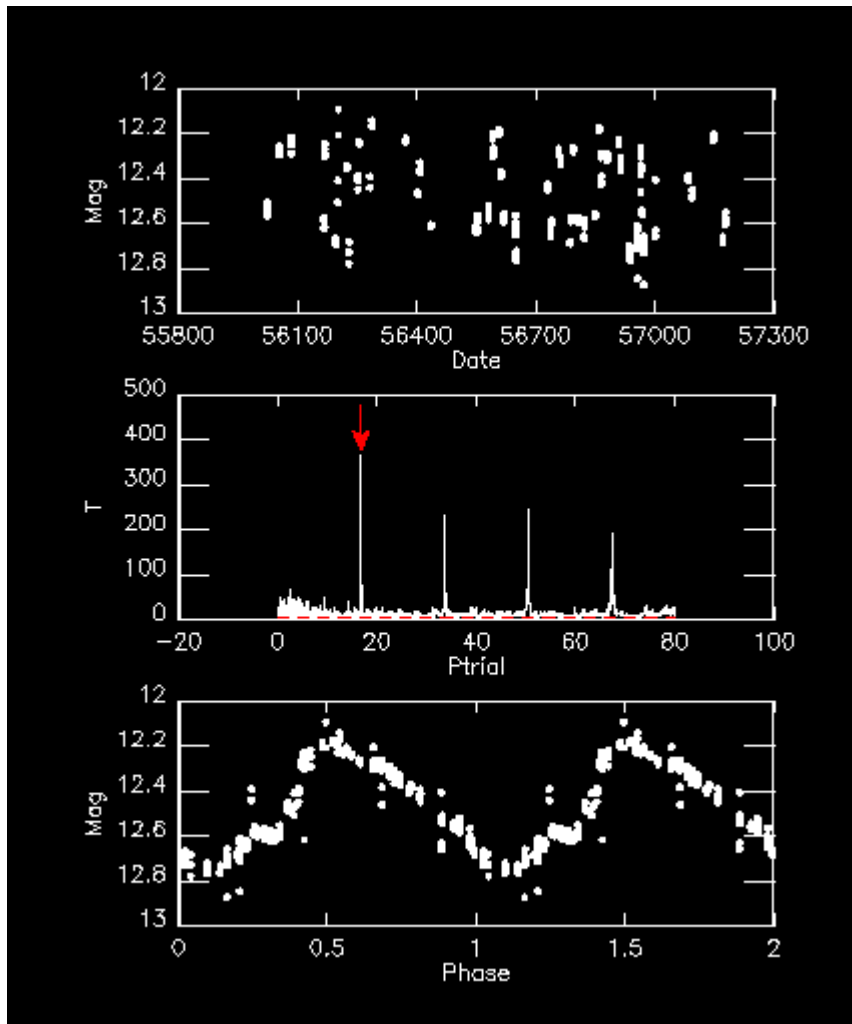
8.524日



短周期変光星の例(4)

16.84日

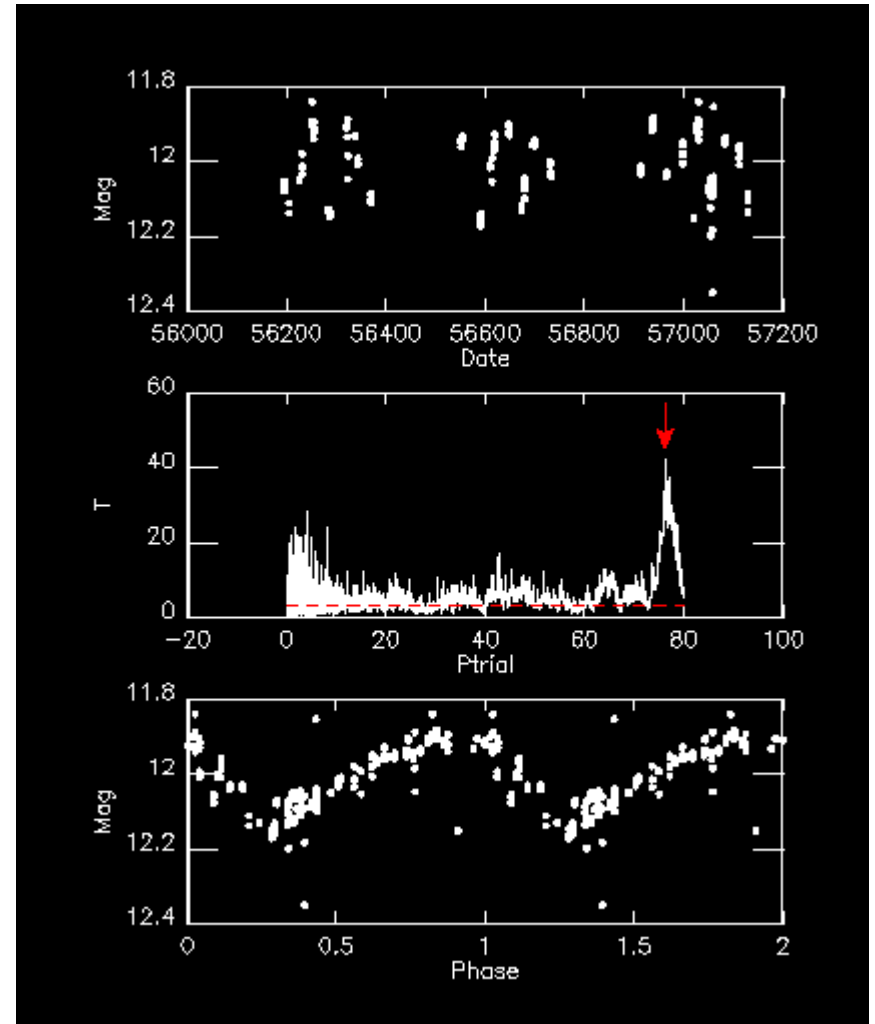
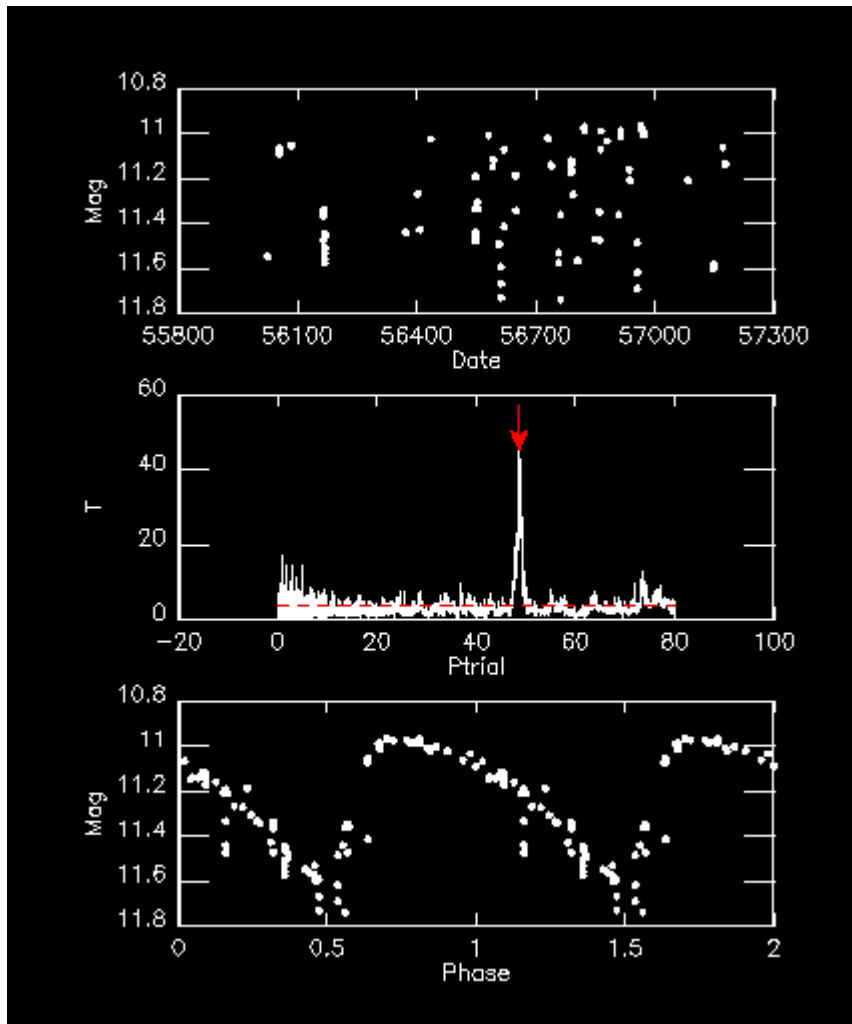
28.9日



短周期変光星の例(5)

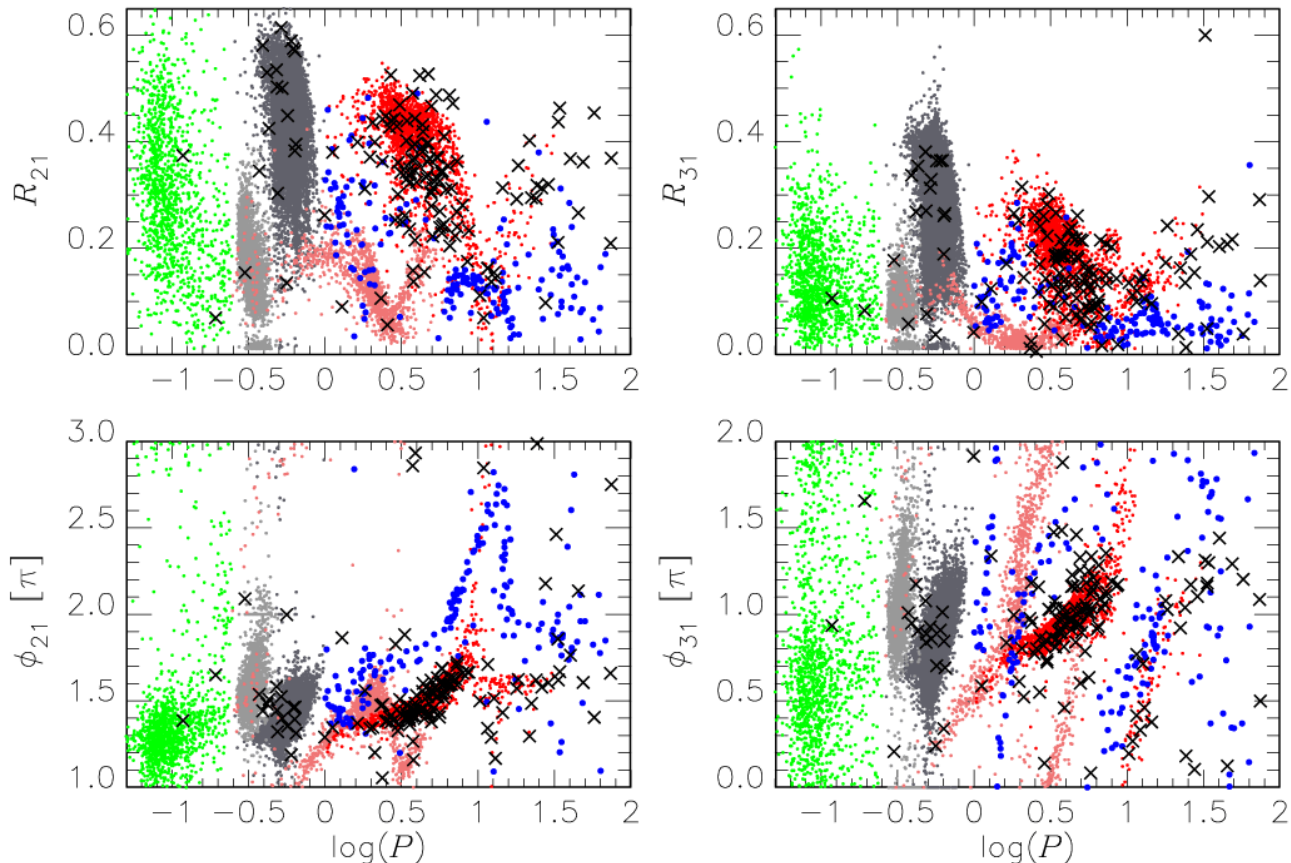
48.7日

76.2日



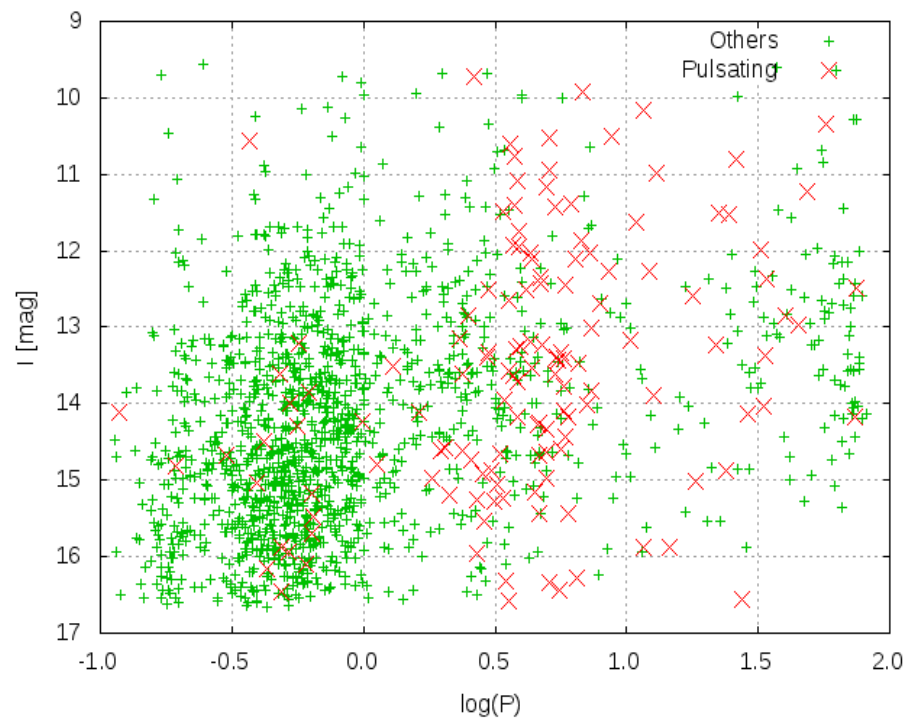
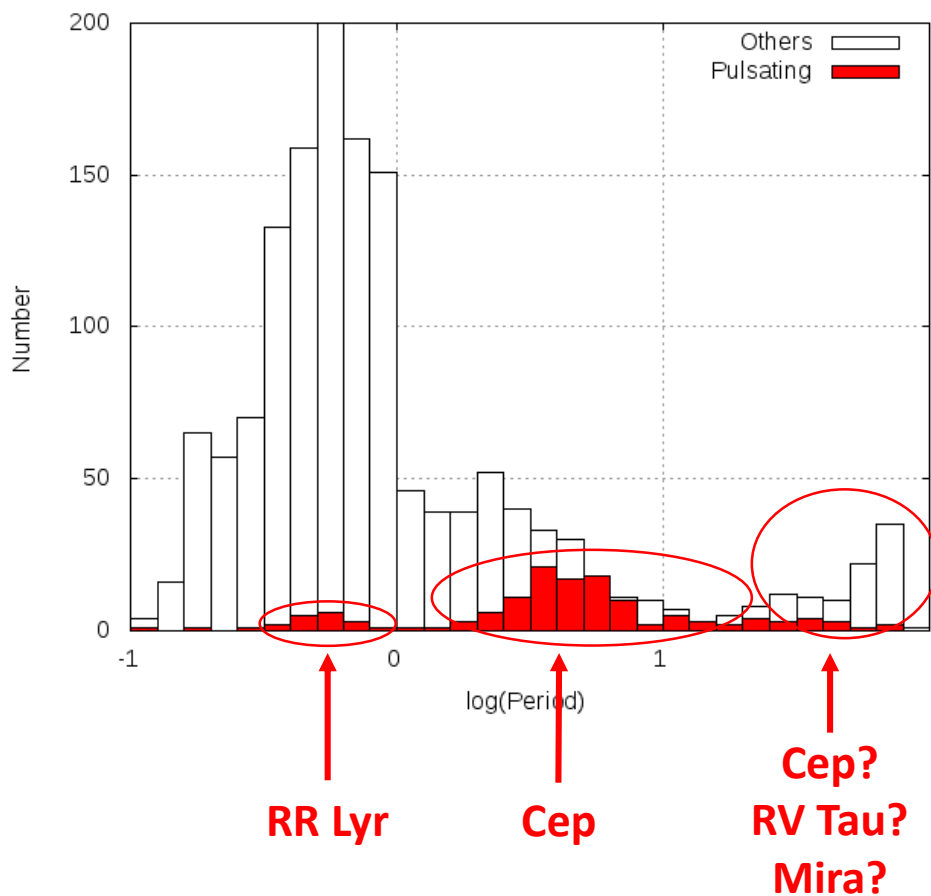
ライトカーブの形による分類

- 約140個が脈動変光星（食連星が1300以上）
 - 古典的セファイドは約100個（20個既知）
 - RRライリ20個弱（2個既知）、II型セファイドは高々数個

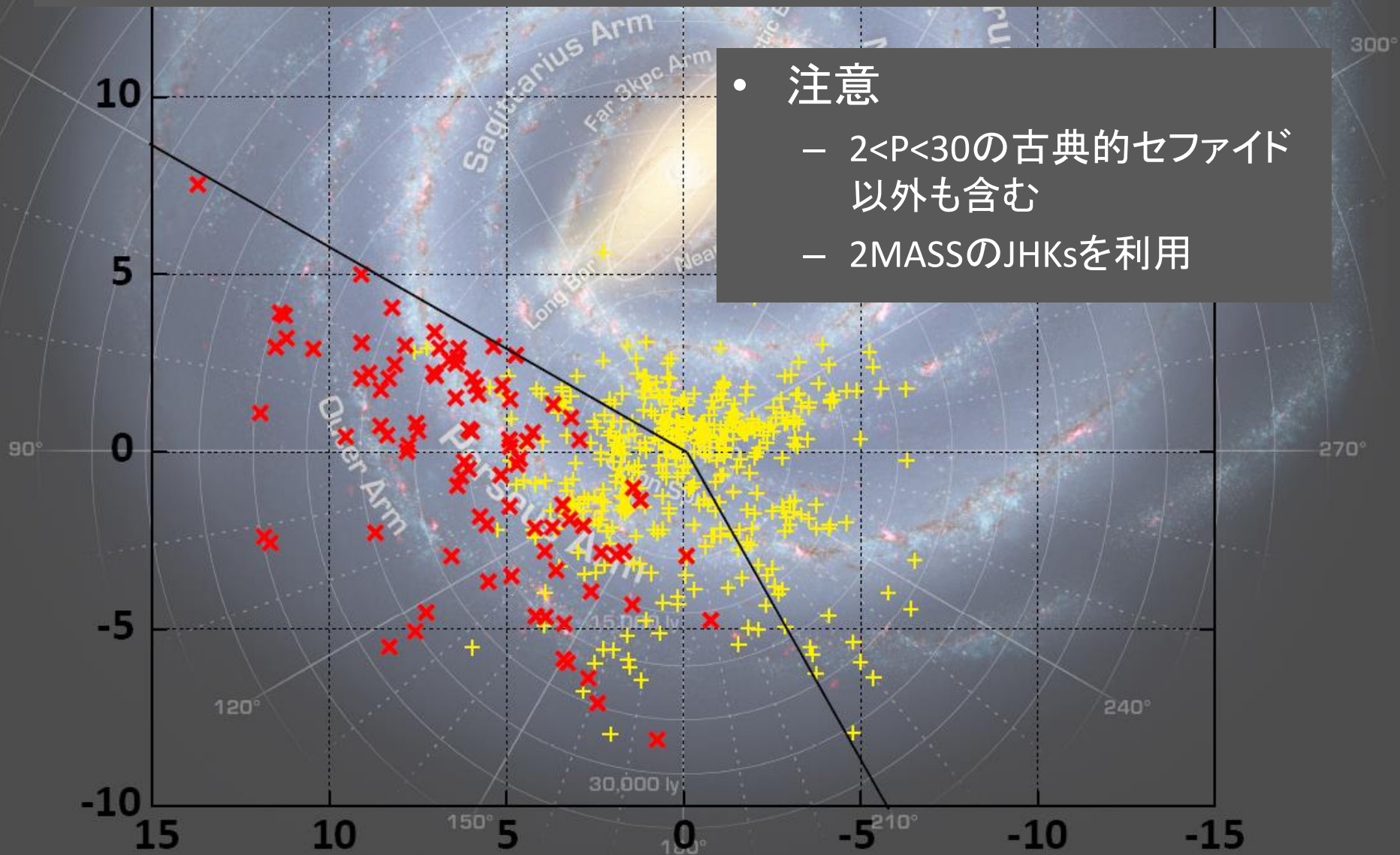


周期分布とIバンド等級

- 短周期脈動星の周期分布：古い種族が少ない。
- 10等級から16等級まで広く分布：RRライリは暗い



見つかったセファイドの分布

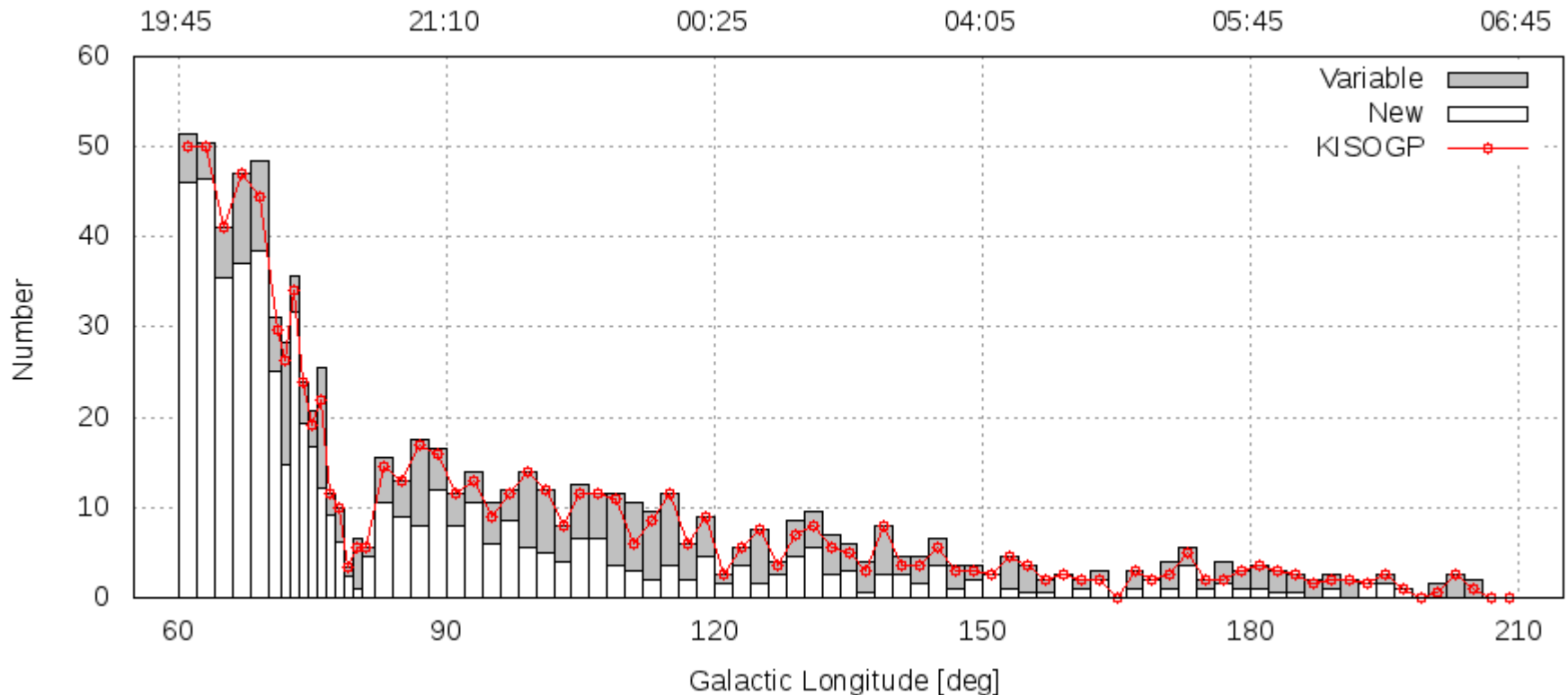


(天の川銀河研究会@本郷、2015年3月23日に報告)

ミラ型変光星候補の発見

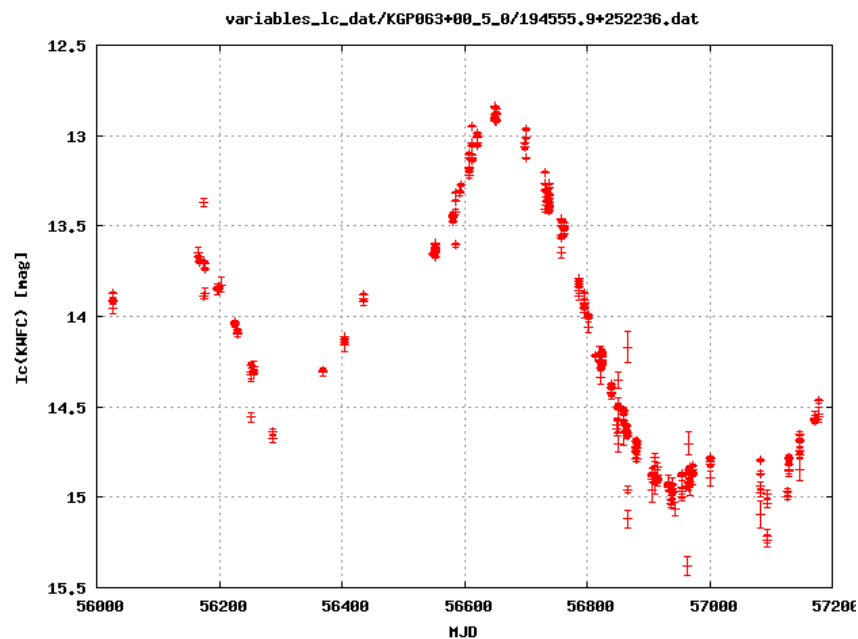
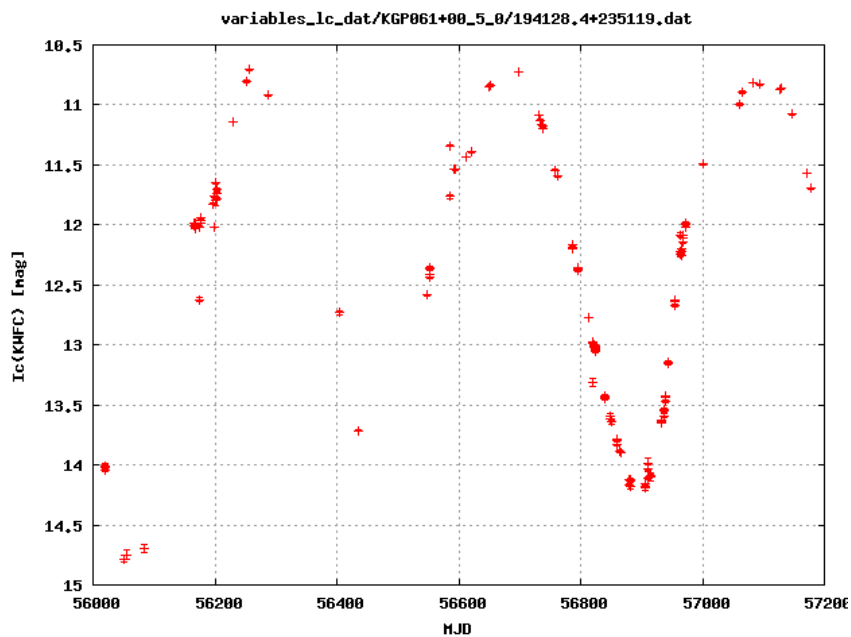
大振幅長周期変光星の検出

- 約750天体のミラ型変光星候補を検出
 - 大振幅(約0.4等級以上)、長周期(100日以上)のトレンド)
 - ライトカーブを目で見て確実なもの
 - 約500個がこれまでに知られていなかった変光星
- 領域内にある既知ミラをあわせると約800個のミラ候補



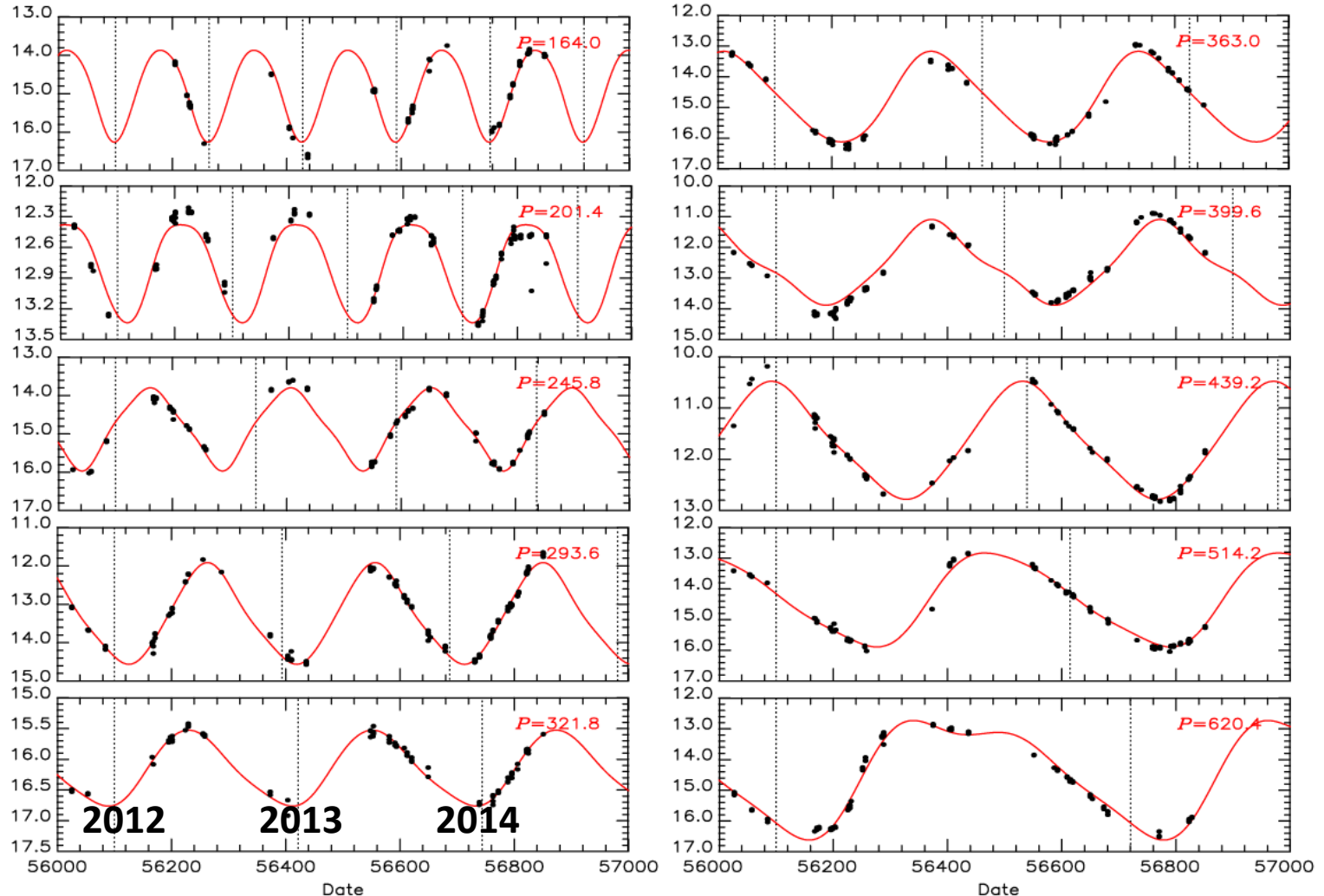
最近の解析での追加

- 前回の解析できていなかったミラもあり、ミラの個数が750個から1000個程度になりそう。



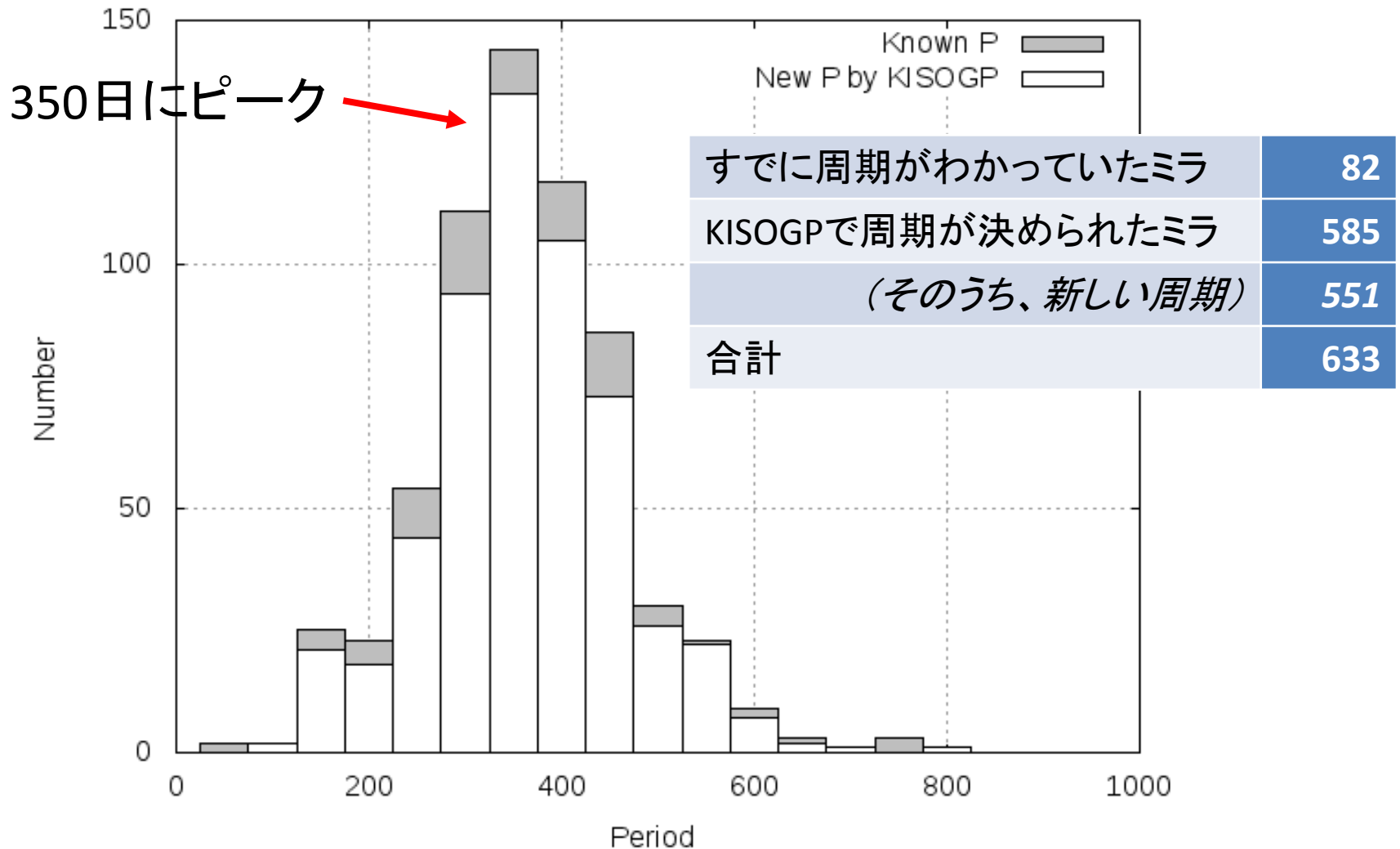
発見したミラのライトカーブの例

- 多くの天体の周期がすでに決められる。

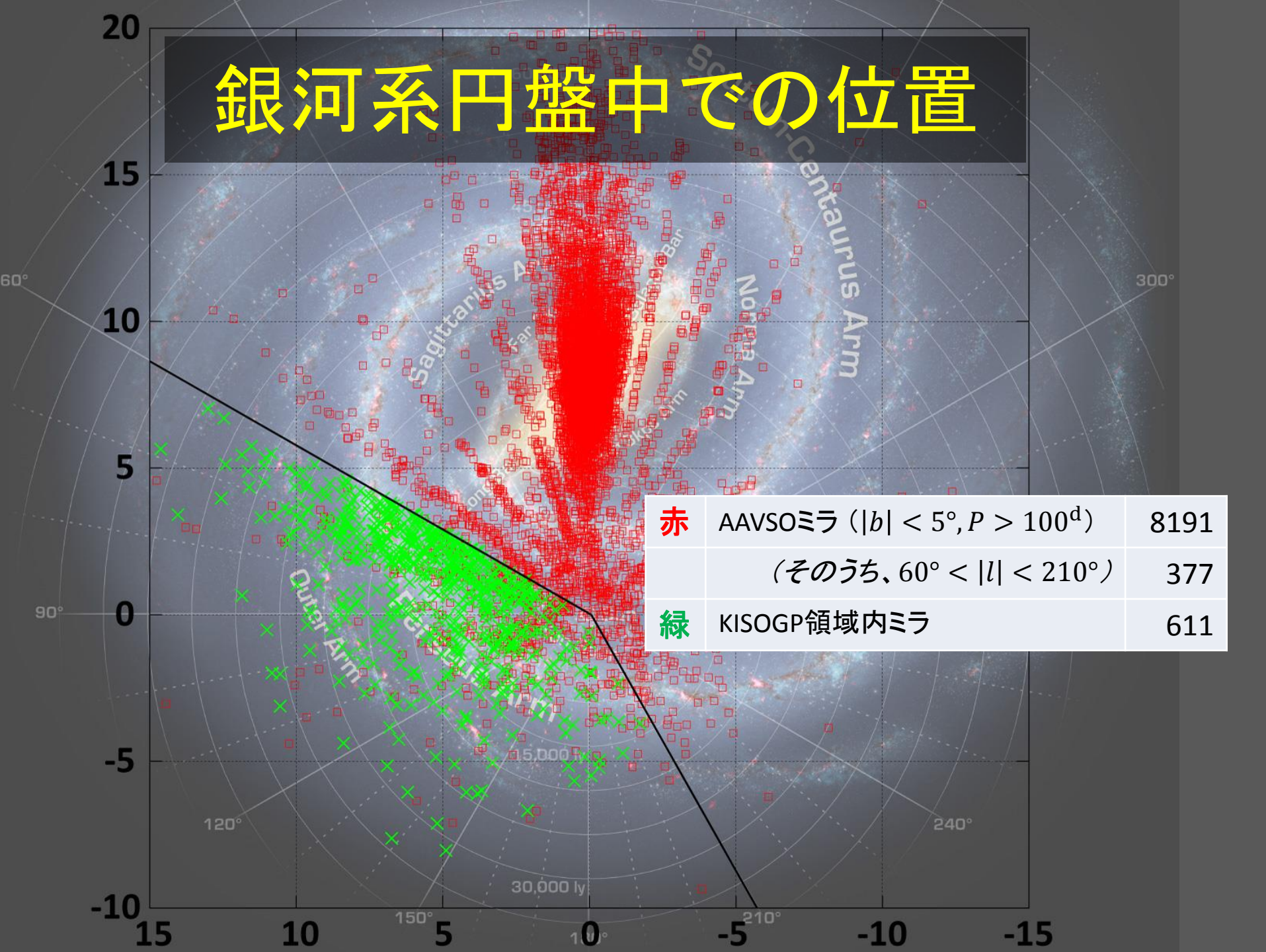


周期分布

- 約750個のうち、現時点で585個の周期を得た。



銀河系円盤中での位置



(KISOGP解析合宿@木曾観測所、4月14日に報告)

ミラ型変光星候補の分光追観測

分光追観測

- 低分散分光でミラのスペクトル型を分類する。
- 国立天文台 岡山天体物理観測所 188cm望遠鏡
 - KOOLS(可視低分散分光)、ISLE(近赤外線撮像分光)
 - 2013年10月(KOOLS・5晩)
 - 2014年1~2月(KOOLS・5晩、ISLE・5晩)
 - 2014年9~12月(KOOLS・5晩、ISLE・7晩)
- 兵庫県立大学 西はりま天文台 なゆた望遠鏡
 - MALLS(可視中低分散分光)
 - 2013年11月(MALLS・4晩)
 - 2014年8月(MALLS・4晩)、10月(MALLS・5晩)

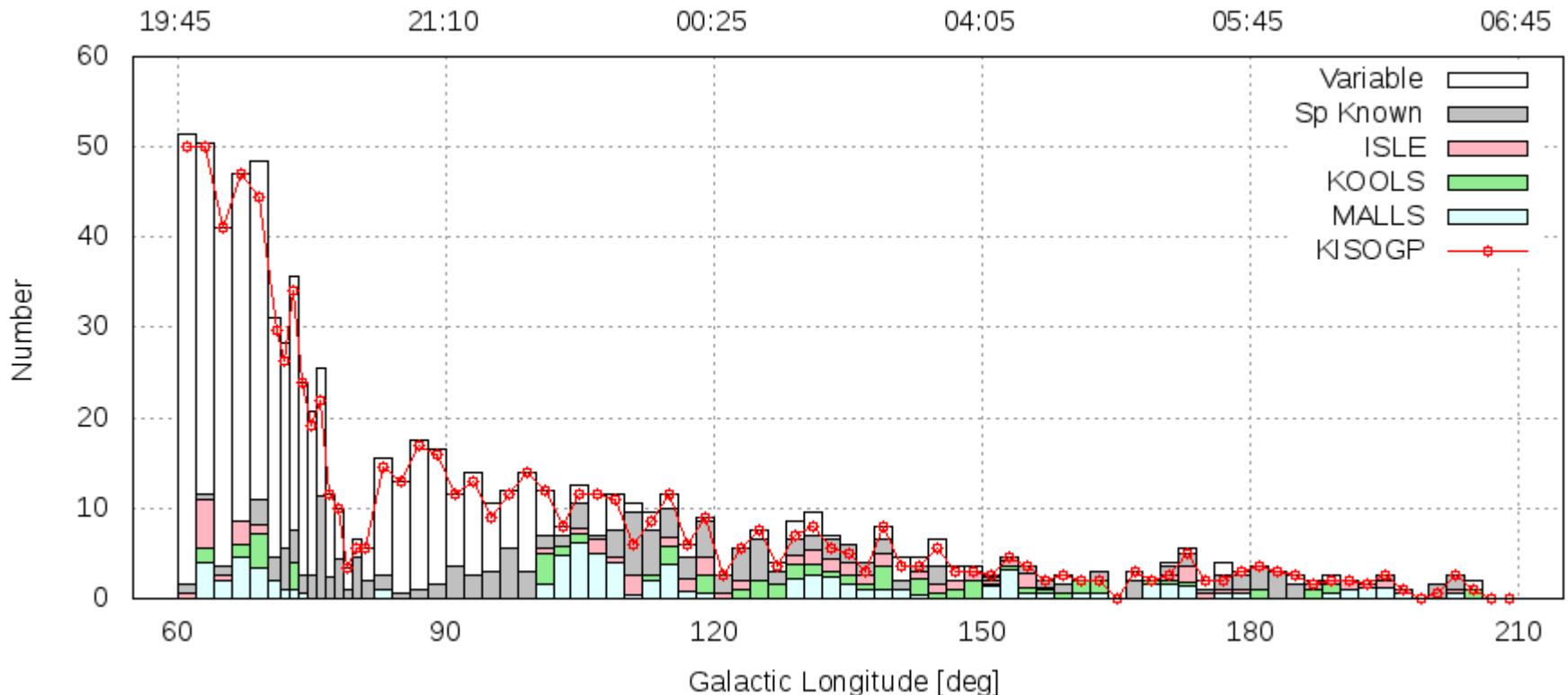
I=15 magくらい
までの天体

I=13 magくらい
までの天体

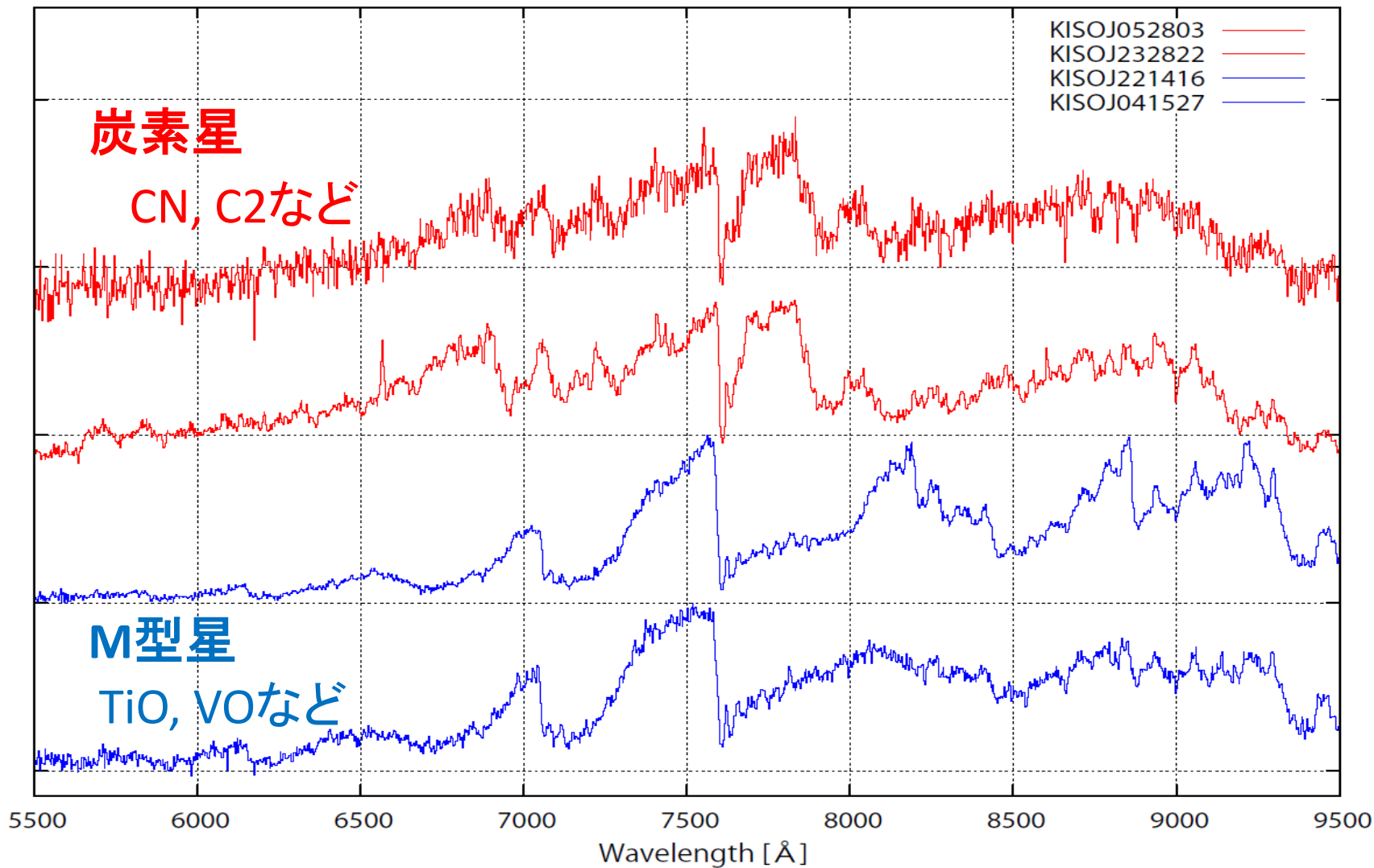


分光観測状況

- 2014年12月までに分光観測したKISOGPミラ
 - MALLS 約100個、KOOLS 約60個
 - ISLE 約60個
 - 約150個は既知、スペクトル未収集は領域内の既知天体も含めると約600個（全部がミラではないので、ライトカーブからミラに絞って調べていく。）



M型星/炭素星の可視低分散スペクトル

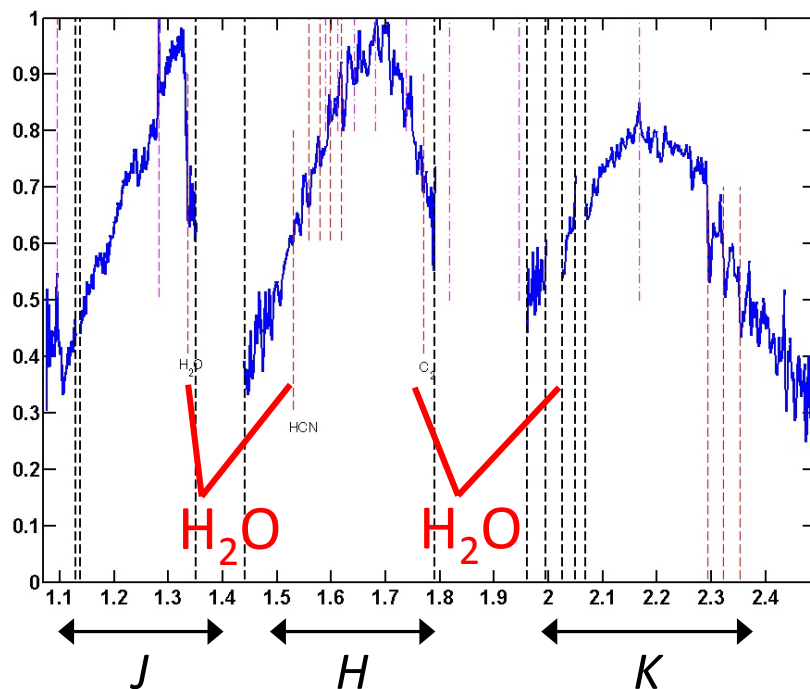


from Nishi-Harima 200-cm telescope+MALLS

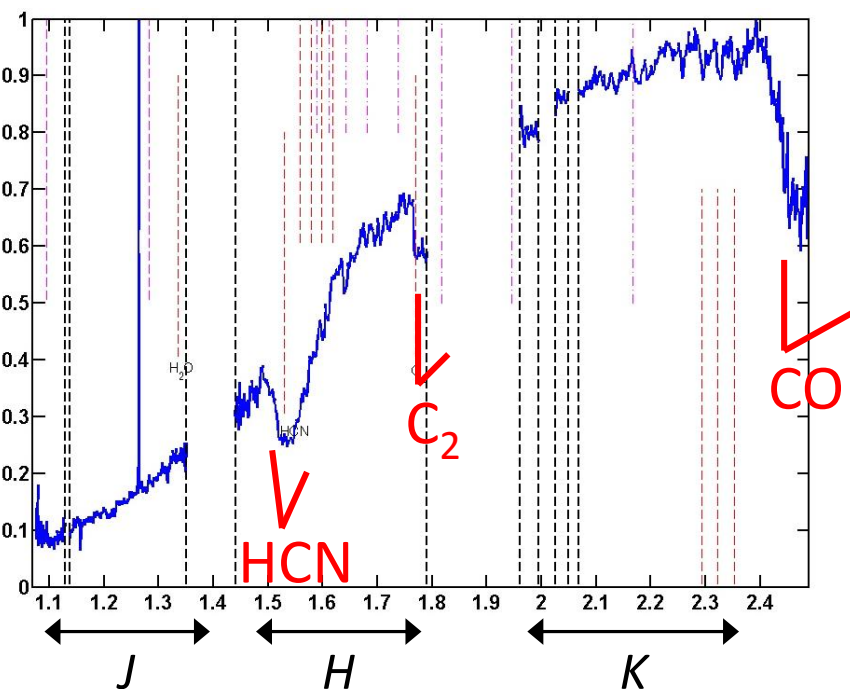
M型星/炭素星の近赤外スペクトル

- ミラは近赤外線で見える ($K < 8^{\text{mag}}$, $I < 16^{\text{mag}}$)。
- 低温のミラは容易に分類できる。

M型星



炭素星



from Okayama 188cm telescope + ISLE

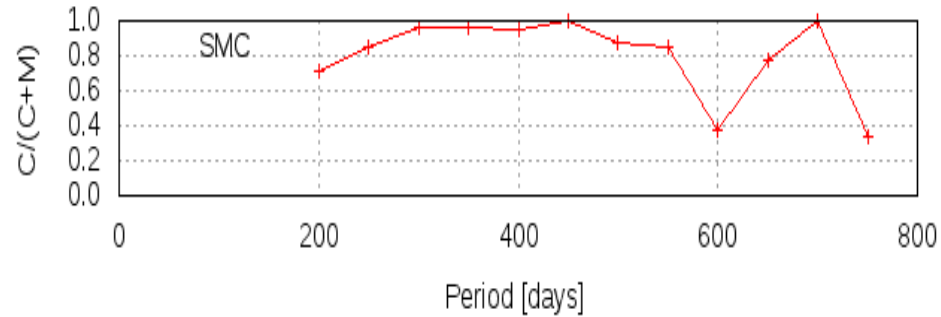
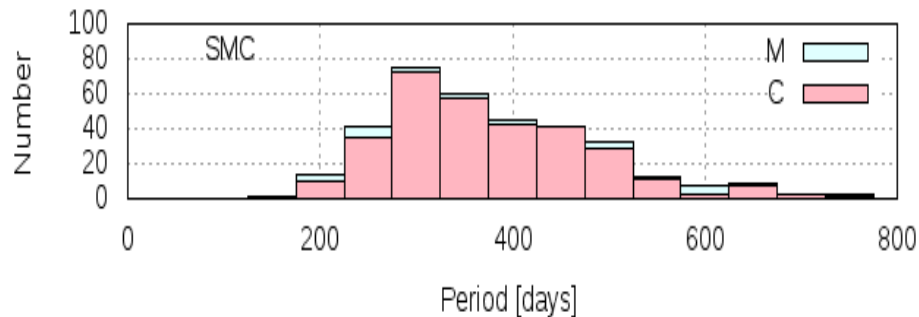
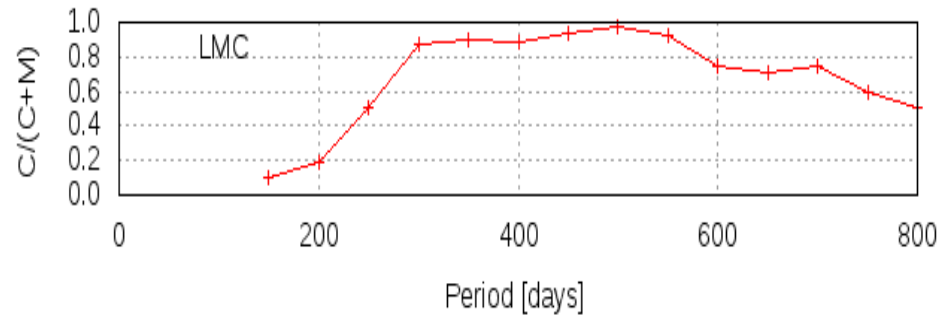
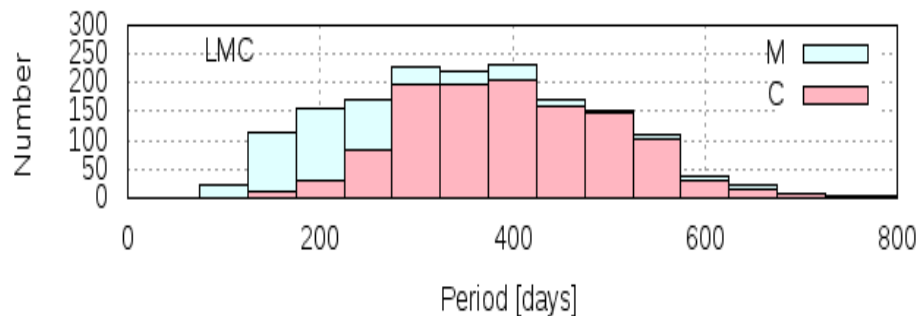
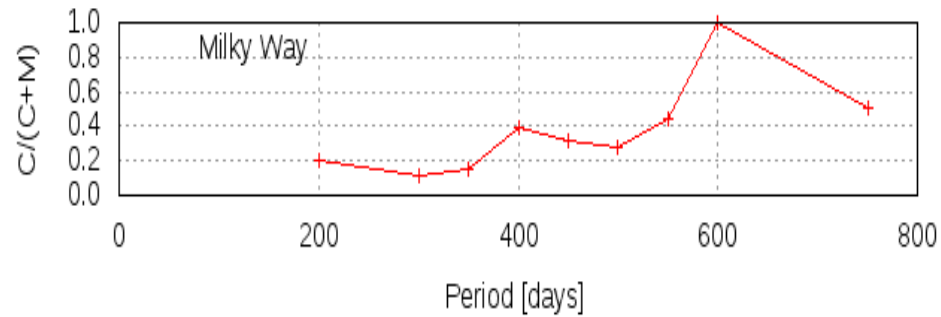
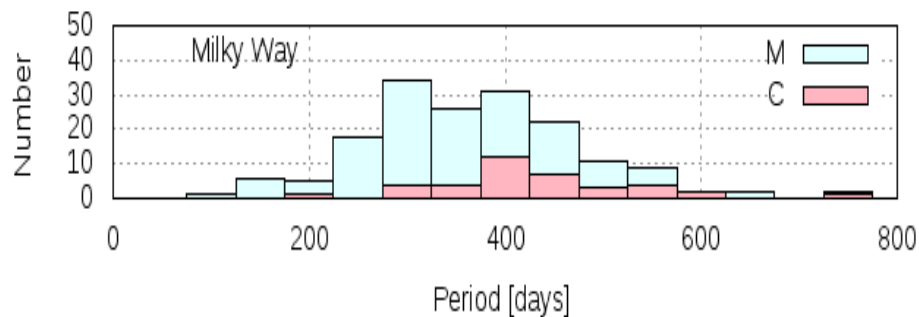
M型星/炭素星の分類

- 可視(KOOLS/MALLS)のデータ(2015年2月まで)は、岩崎さん(東北大)が解析
- KOOLS:70天体
- MALLS:82天体

| グループ | C | S | M | 合計 |
|-------|----|----|-----|-----|
| KOOLS | 15 | — | 55 | 70 |
| MALLS | 13 | — | 69 | 82 |
| 既知 | 66 | 17 | 91 | 156 |
| 合計 | 76 | 17 | 190 | 283 |

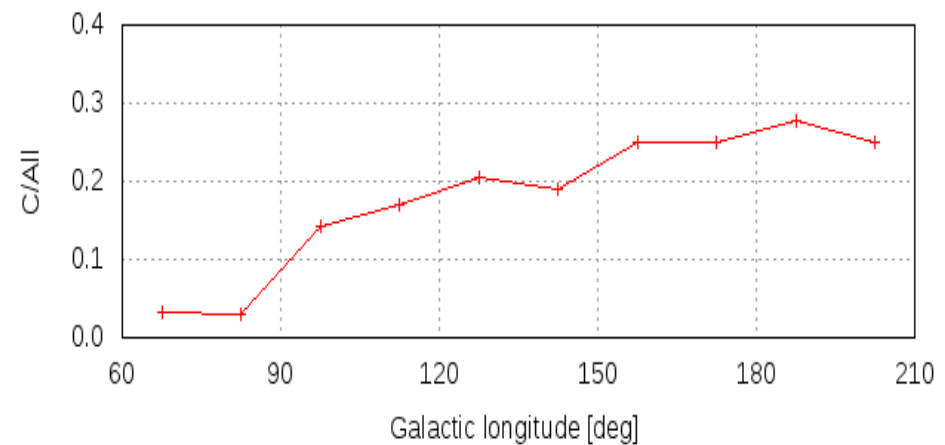
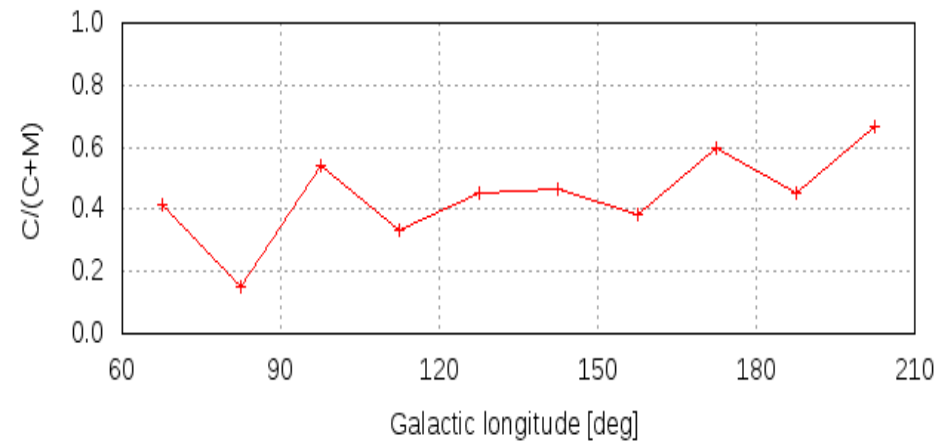
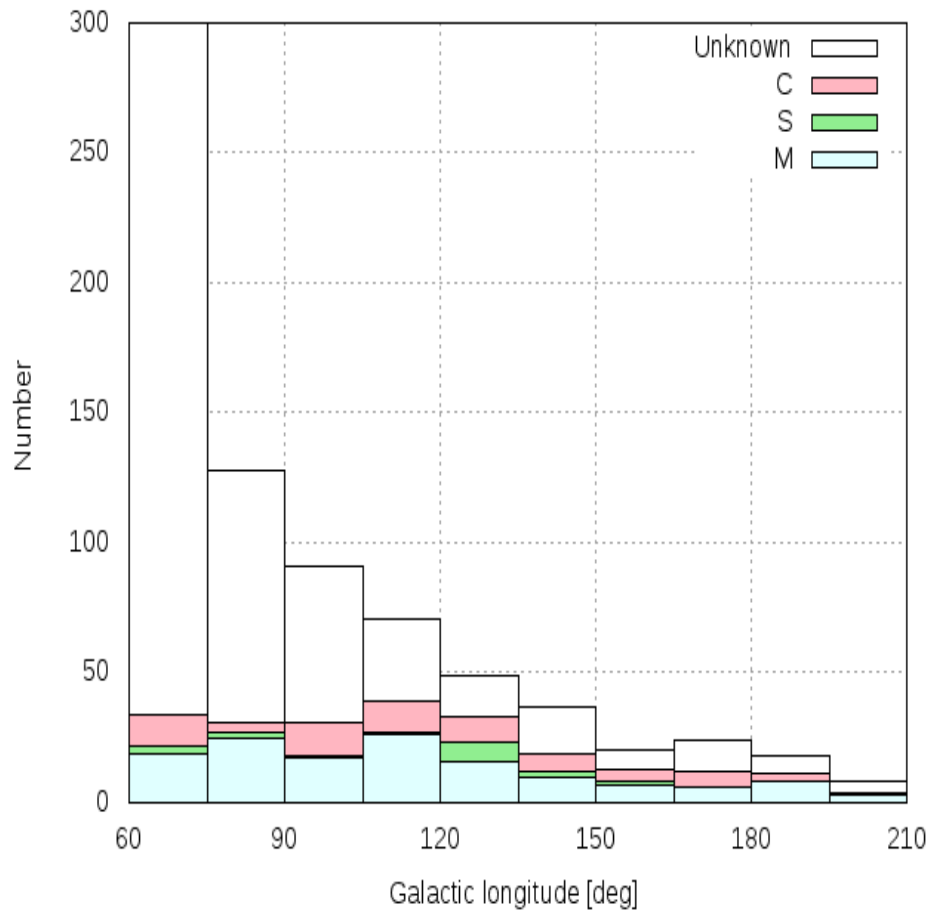
M型星／炭素星の周期

- マゼランとははっきり異なっている。
 - 金属量の違いから予想される傾向



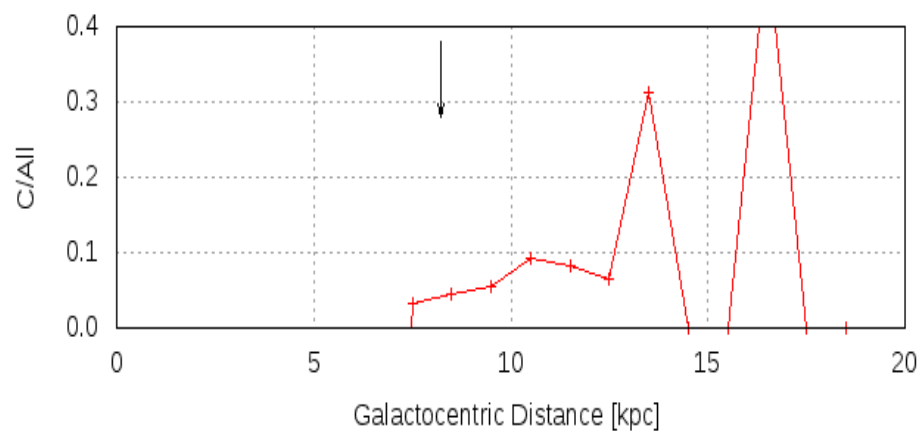
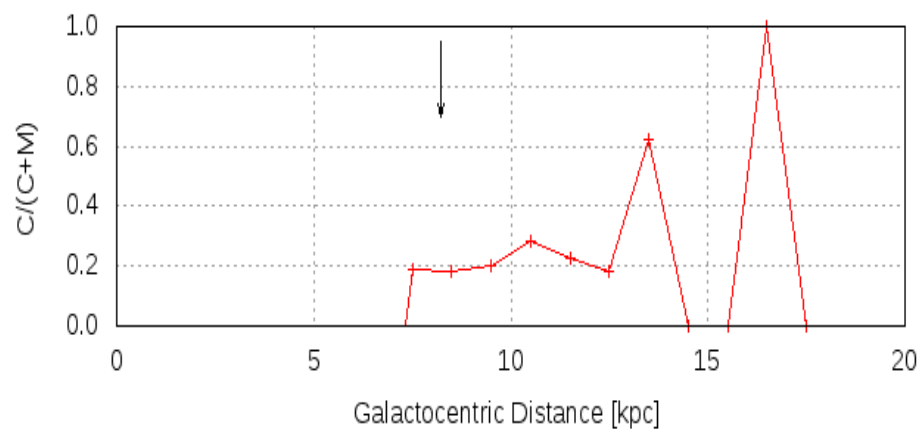
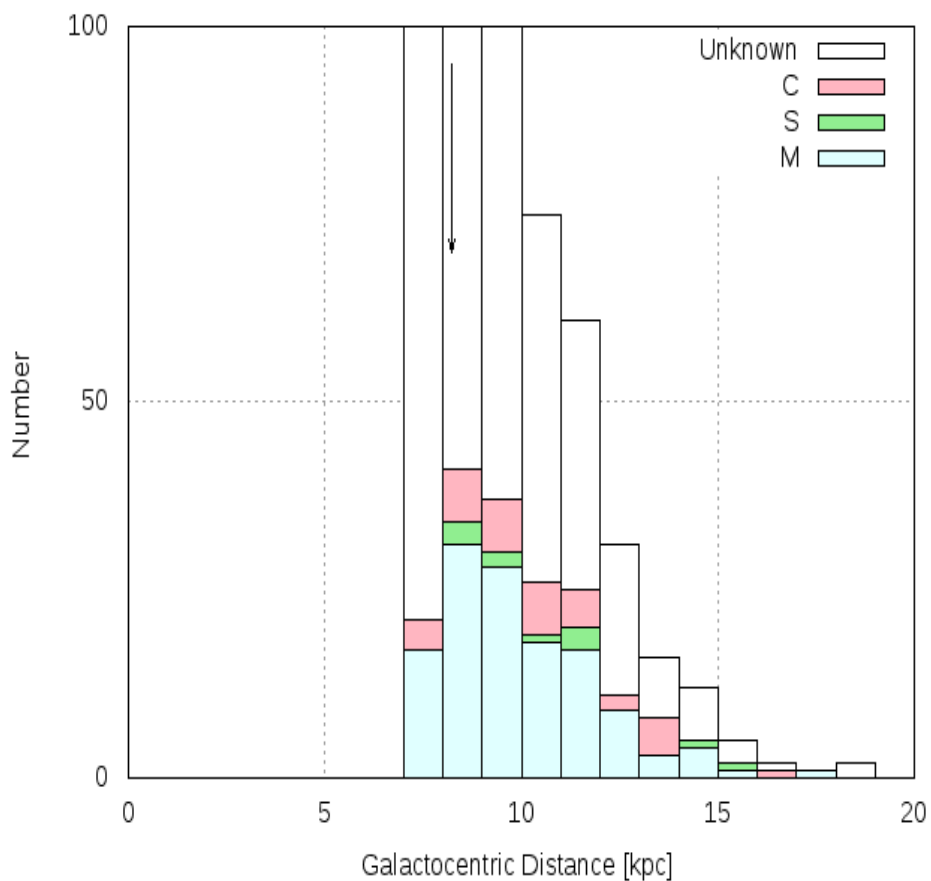
M型星/炭素星の銀経分布

- 60～210度の範囲で、炭素星の割合が銀経に依存するかどうか、それほどはっきりしない。



R(GC)との関係

- $C/(C+M)$ 比の変化が見えそう。



まとめ、今後の展望

まとめ

- KISOGP: 銀河面320平方度の変光星探査を2012年から行った(3年で約40回観測)。
 - **3年間の観測を支えて頂きありがとうございました!**
- IPHASカタログを等級の較正に使い始めたことにより、全領域で変光を調べられる。
 - 銀河面領域(銀経60~210度)で、変光を知りたいターゲットがあれば声を掛けてください。
- セファイド約100個、RRライリ約20個、ミラ約1000個を発見(8割程度は新発見の変光星)。全変光天体では1万個以上が見つかっていそう。

今後の展望

- KISOGPデータの出版
 - まず、短周期変光星とミラそれぞれの論文を書く。
 - 全変光星のリスト・全天体の測光データの公開。
- OGLE-IV、VVV、PTF、Gaiaなどによって、今後5年ほどで銀河系変光星カタログが整ってくる。
 - 分光観測(視線速度、化学組成)が重要になる。
 - KISOGP発見天体の追観測(測光、分光)を進める。
- 木曾でのKISOGP観測はメリハリをつけて継続
 - 突発天体、長周期($P > 500$ 日)の変光天体
- 星形成領域に特化した(新しい)大規模観測?