

# KISOGP

低金属量で明るいRRライリ変光星の発見

松永典之（東京大学・天文学教室）

# 概要

- KISOGP
  - 銀河面（北半球、330平方度）にある変光星探査を行い、約7万個の変光星を検出。
  - 変光星カタログ、測光データに興味のある方は松永までお知らせください。
- 明るいRRライリをWINEREDで分光したところ  $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$  の very metal-poor 星だった。
  - 軌道が円盤の星と似ている珍しい星。
  - 種族としてはハローかもしれないが、銀河系円盤の形成初期についての情報を与える星。

# 論文を投稿予定

DRAFT VERSION OCTOBER 2, 2021

Typeset using L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X twocolumn style in AASTeX631

## A Very Metal-Poor RR Lyrae Star with a Disk-Like Orbit Found in the Solar Neighborhood

NORIYUKI MATSUNAGA,<sup>1,2</sup> AKINORI ITANE,<sup>1</sup> KOHEI HATTORI ,<sup>3,4</sup> JULIANA CRESTANI ,<sup>5,6,7</sup> VITTORIO BRAGA ,<sup>6,7</sup>  
GIUSEPPE BONO ,<sup>8,6</sup> DAISUKE TANIGUCHI ,<sup>1</sup> JUNICHI BABA ,<sup>3</sup> HIROYUKI MAEHARA ,<sup>3</sup> NOBUHARU UKITA,<sup>3</sup>  
TSUYOSHI SAKAMOTO,<sup>9</sup> NAOTO KOBAYASHI ,<sup>2,10,11</sup> TSUTOMU AOKI,<sup>11</sup> TAKAO SOYANO,<sup>11</sup> KEN'ICHI TARUSAWA,<sup>11</sup>  
YUKI SARUGAKU,<sup>2</sup> HIROYUKI MITO,<sup>12</sup> SHIGEYUKI SAKO ,<sup>10</sup> MAMORU DOI,<sup>10</sup> YOSHIKAZU NAKADA,<sup>10</sup> NATSUKO IZUMI ,<sup>13</sup>  
YOSHIFUSA ITA,<sup>14</sup> HIROKI ONOZATO ,<sup>3</sup> MINGJIE JIAN ,<sup>1</sup> SOHEI KONDO,<sup>11</sup> SATOSHI HAMANO ,<sup>3</sup> CHIKAKO YASUI ,<sup>15</sup>  
TAKUJI TSUJIMOTO ,<sup>3</sup> SHOGO OTSUBO,<sup>2</sup> YUJI IKEDA ,<sup>16</sup> AND HIDEYO KAWAKITA<sup>2,17</sup>

<sup>1</sup>*Department of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan*

<sup>2</sup>*Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy (LiH), Koyama Astronomical Observatory, Kyoto Sangyo University, Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto, 603-8555, Japan*

<sup>3</sup>*National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan*

<sup>4</sup>*Institute of Statistical Mathematics, 10-3 Midoricho, Tachikawa, Tokyo 190-0014, Japan*

<sup>5</sup>*Dipartimento di Fisica, Universita di Roma Tor Vergata, via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy*

<sup>6</sup>*INAF, Osservatorio Astronomico di Roma, via Frascati 33, I-00078 Monte Porzio Catone, Italy*

<sup>7</sup>*Space Science Data Center, ASI, via del Politecnico snc, I-00133 Roma, Italy*

<sup>8</sup>*Dipartimento di Fisica, Universita di Roma Tor Vergata, via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy;  
juliana.crestani@uniroma1.it*

<sup>9</sup>*To be confirmed, 1*

<sup>10</sup>*Institute of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-0015, Japan*

<sup>11</sup>*Kiso Observatory, Institute of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo, 10762-30 Mitake, Kiso-machi, Kiso-gun, Nagano 397-0101, Japan*

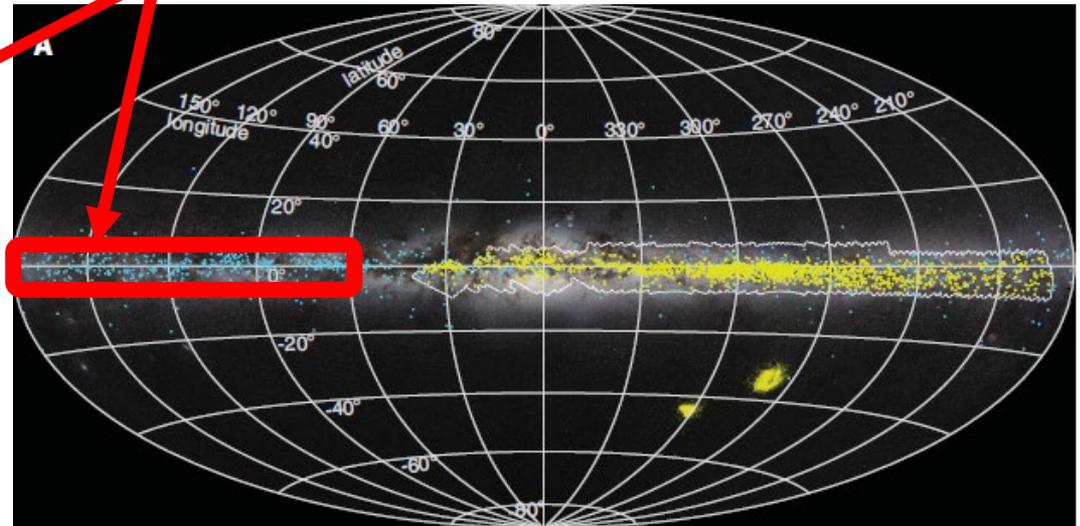
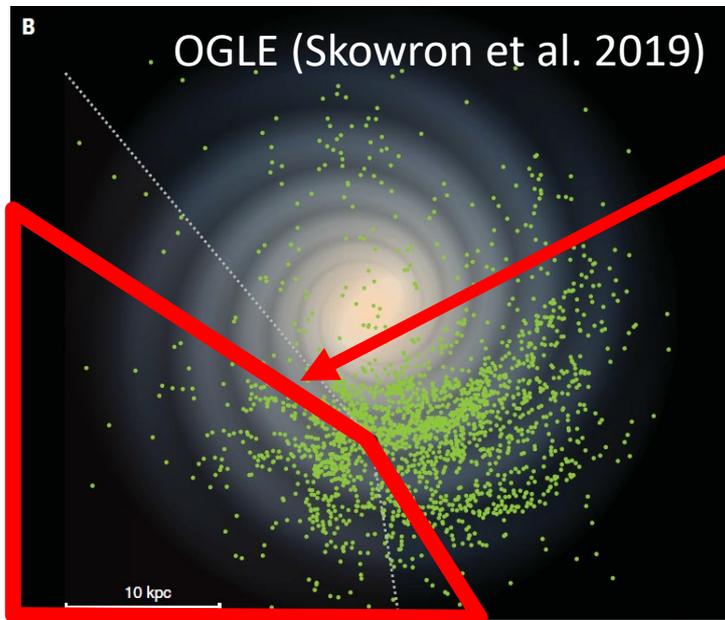
<sup>12</sup>*UTokyo Organization for Planetary and Space Science, the University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Tokyo 113-0033, Japan*

<sup>13</sup>*Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica, No. 1, Section 4, Roosevelt Road, Taipei 10617, Taiwan*

# KISOGPの目的と概要

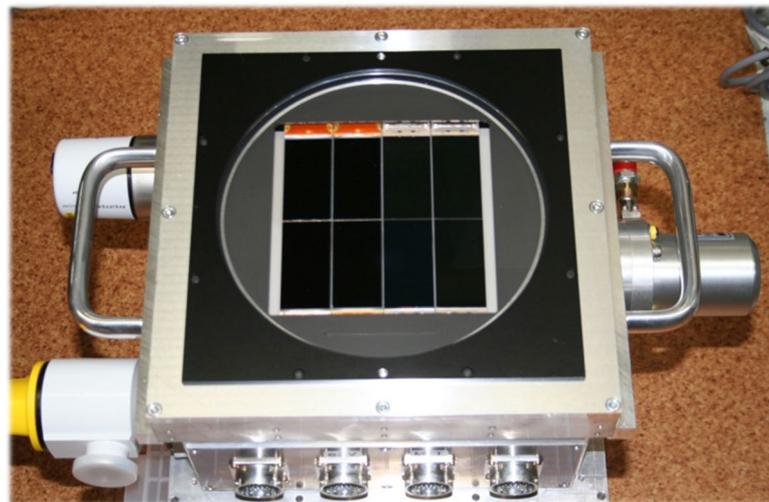
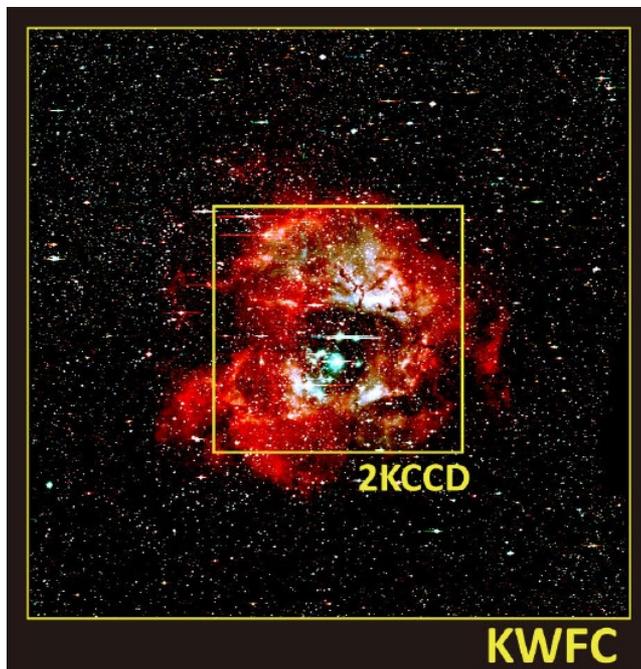
- KWFC Intensive Survey of the Galactic Plane
- 北半球の銀河系円盤部にある変光天体探査
- 見つけた変光星の追観測

北半球はOGLEなどの大規模探査の範囲外で観測が比較的遅れている。(cf. ZTF, Gaia)



# KWFC

- 木曾観測所シュミット望遠鏡(補正板口径105cm)
- KWFC 木曾超広視野カメラ
  - 視野2.2度×2.2度
  - 2012～2017 稼働



# 観測時間、積分回数

5年4ヶ月のKWFC観測のうち、約2割の観測

|                            | KWFC全体        | KISOGP                       |
|----------------------------|---------------|------------------------------|
| 期間                         | 2012/3—2017/6 | 2012/4—2017/3                |
| 観測日数†                      | 1382 nights   | 428 nights                   |
| 積分回数                       | 173249 exps   | —                            |
| 積分回数<br>(BIAS,DARK,FLAT除)  | 102585 exps   | 25756 exps                   |
| 総積分時間<br>(BIAS,DARK,FLAT除) | 2733 hours    | 328 hours                    |
| 総観測時間概算‡                   | —             | 1640 hours<br>(~330 nights#) |

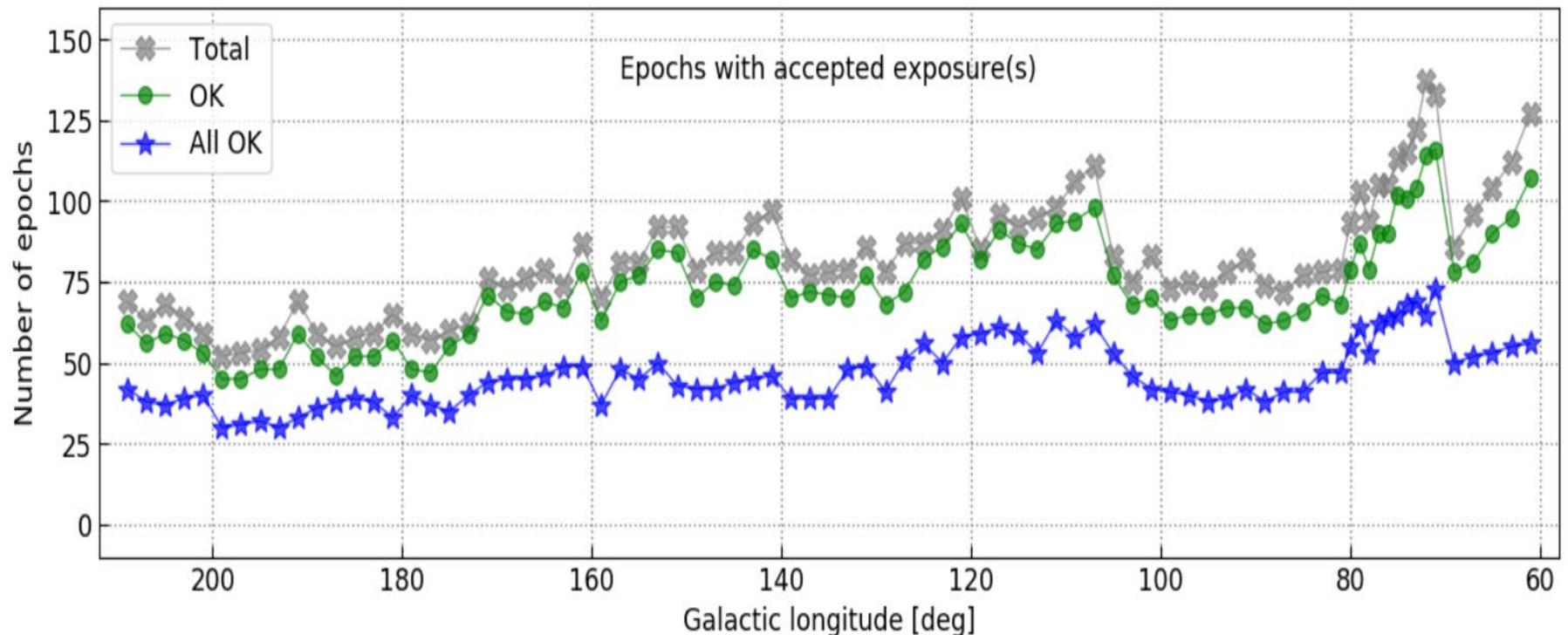
† BIAS,DARK,FLATのみの日は除く。

‡ 5秒1回60秒3回の観測を完結させて連続する次の領域へ移るのに15分。  
オーバーヘッド時間(望遠鏡操作、読み出し)は積分時間の約4倍に相当。

# 晴天率50%、1日あたり10時間で換算して、 $1640/10*2=328$  nights

# 各視野の観測回数

- 回数の少ない視野でも当初目標の40回に到達
  - allOK—5秒1回、60秒3回のセットが揃っているepoch数。
  - OK—1回以上の露光がOKだったepoch数。

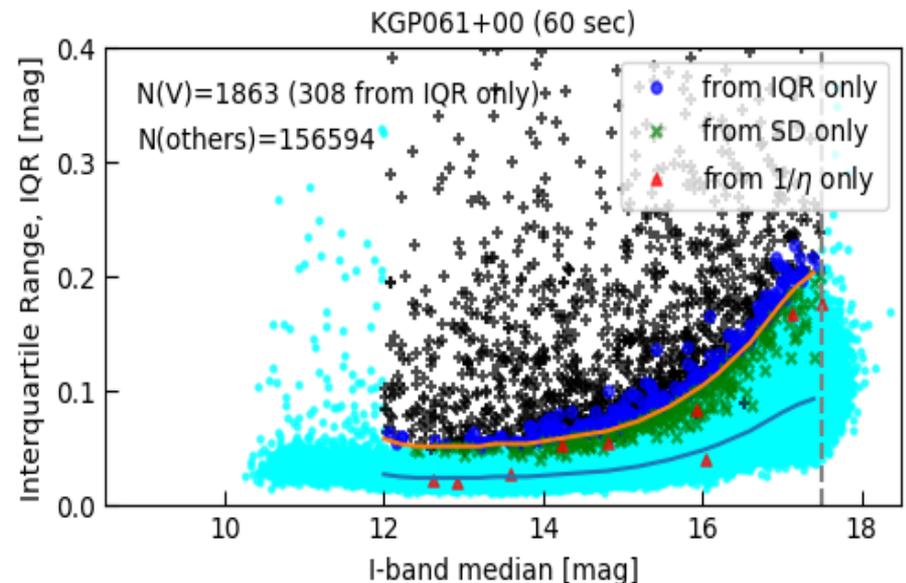
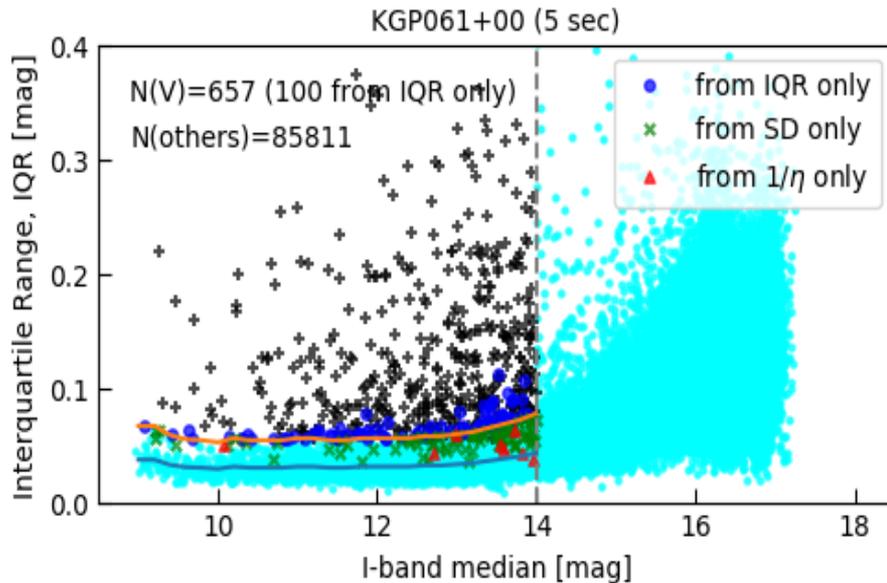


# 基準カタログの作成

- 各視野、各積分時間のカタログ（×160）
  - KISOGPの条件の良い画像15枚を使い、繰り返し（5回以上）検出している点源のカタログを作る。
  - Gaia DR2と比較して、 $7 < I_{\text{Gaia}} < 17.5$  magの範囲でGaiaでしかリストされていない天体も含める。
  - それらの天体全てについて、KISOGPの時系列データを集める。5秒で10回以上、または60秒で20回以上の（棄却されてない）測光データがある天体を基準カタログに入れる。

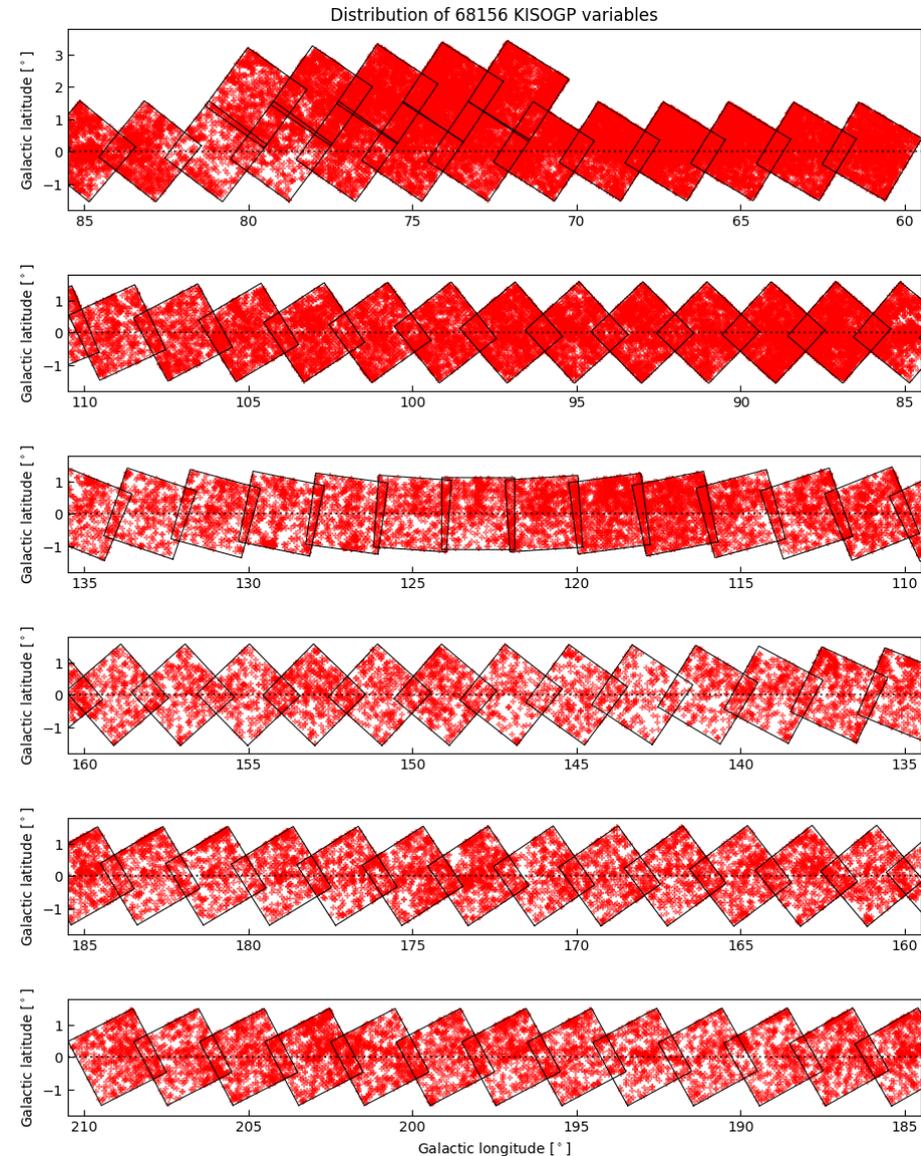
# 変光星の検出

- 3つの指標を利用(Sokovsky+17, MNRAS, 464, 274)
  - **IQR** (Inter-Quartile Range)
  - 重み付き標準偏差,  $\sigma_w$
  - von Neumann ratio,  $\eta$
- 各指標について、等級ごとにメジアンを計算し、その定数倍以上の天体を変光星として選ぶ。
- どれかひとつの指標で選ばれれば変光星として含める。



# 重複を除いた天体カタログ

- 基準天体カタログ
  - 6,418,526 天体
- 変光星カタログ
  - 68,156 天体

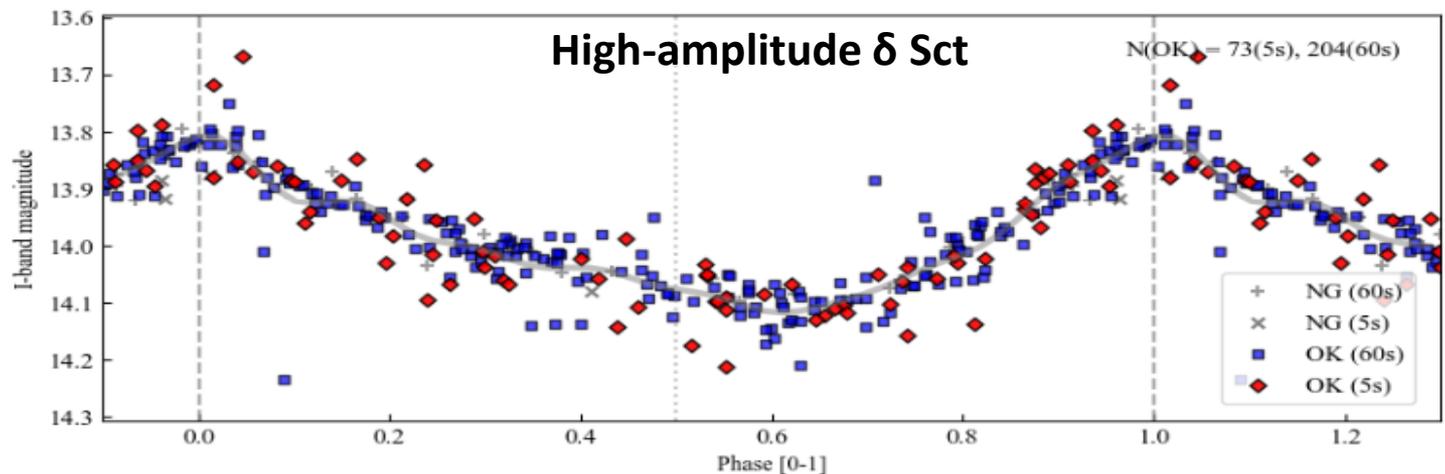


変光星の分布

# カタログ、データ

天体カタログと変光天体の時系列データをWebページにまとめてダウンロードできるようになっています。使ってみたい方は、松永までお知らせください。

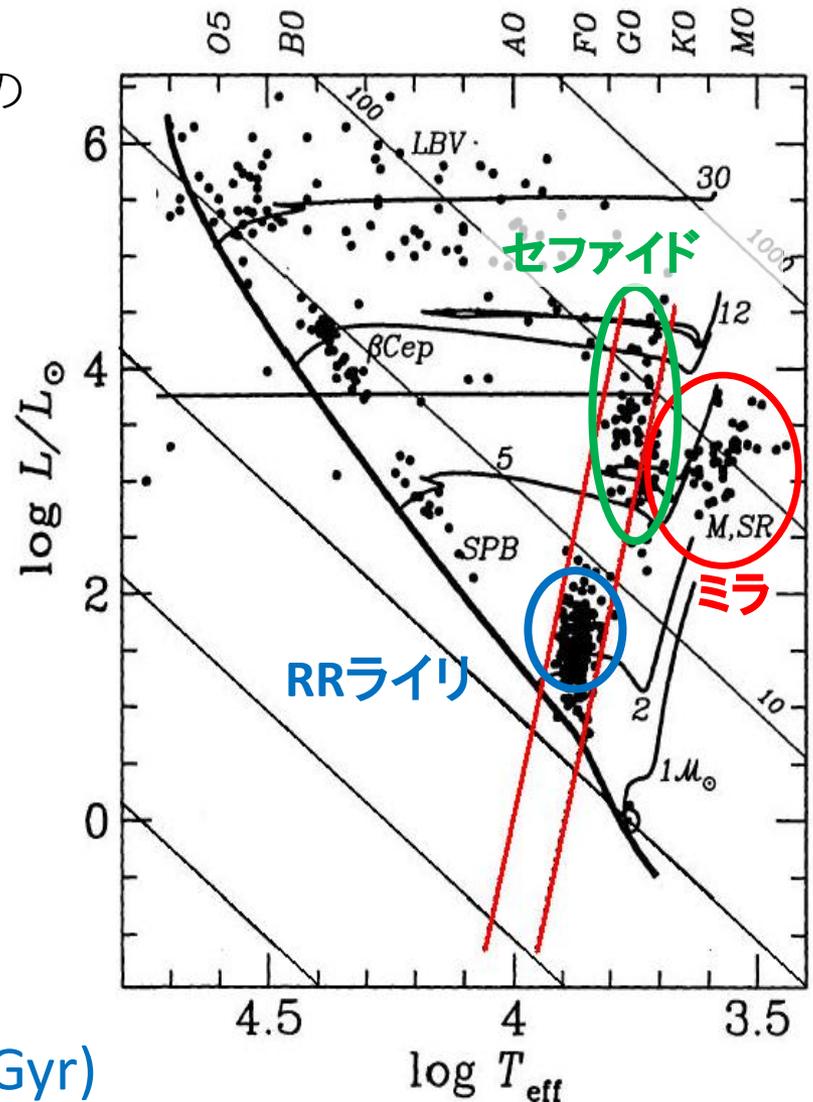
**V878 Cas (P=0.0865524 days=125 min)**



# 脈動変光星

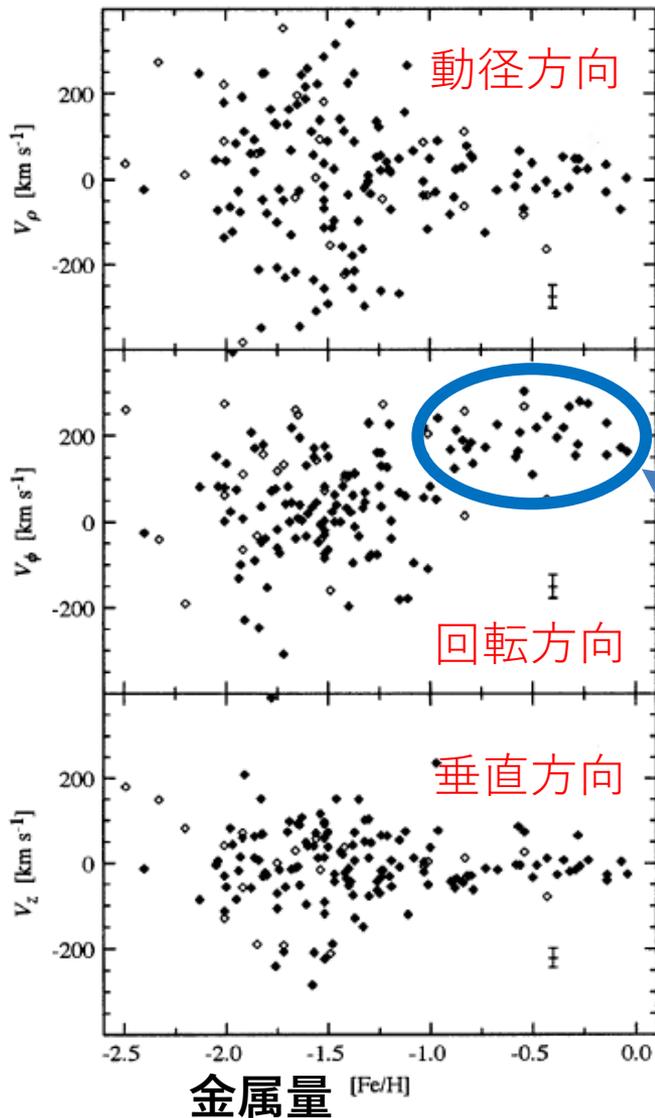
- 距離や年齢がわかるので、銀河系のよいトレーサ
- ミラ型変光星
  - AGB ( $1\sim 6 M_{\text{sun}}$ )
  - 周期 100~1000日程度
- 古典的セファイド
  - Blue loop ( $4\sim 10 M_{\text{sun}}$ )
  - 周期 3~50日程度
- II型セファイド
  - post-HB ( $\sim 1 M_{\text{sun}}$ )
  - 周期 1~40日程度
- RRライリ変光星
  - HB ( $\sim 1 M_{\text{sun}}$ )
  - 周期 0.5~1日程度

Old (> 10 Gyr)



# 銀河系中のRRライリ

円筒座標での速度成分

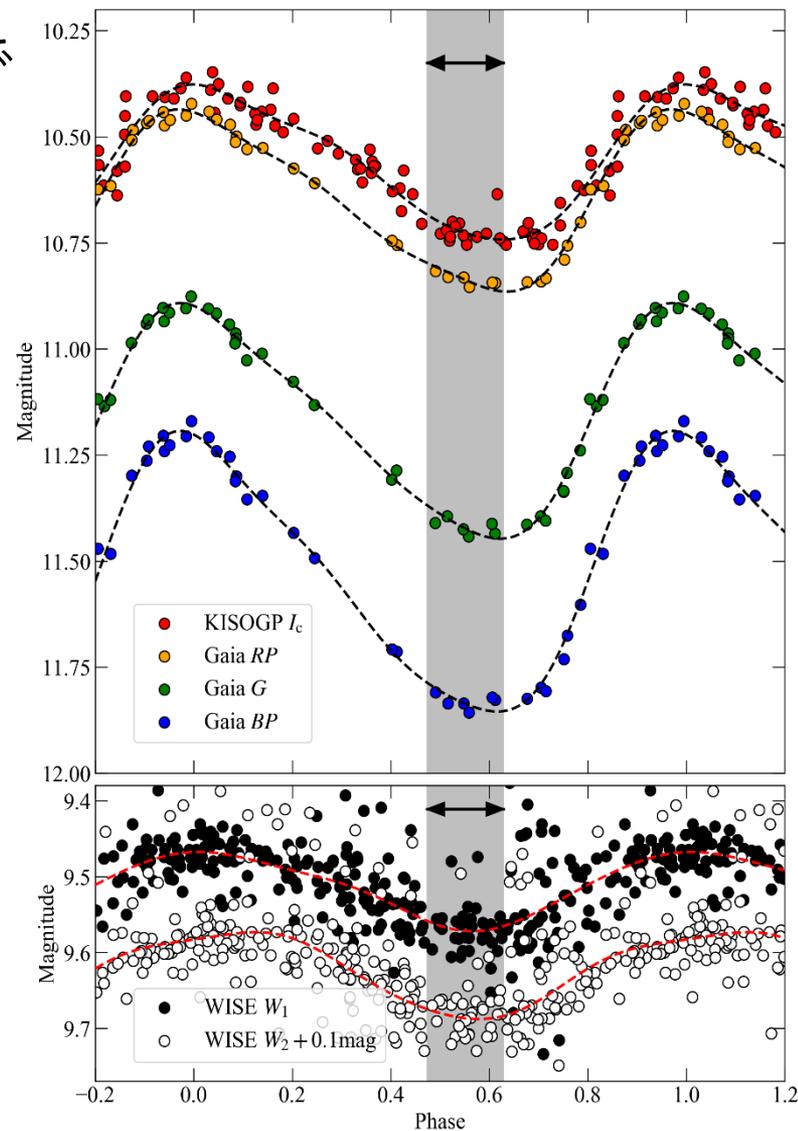
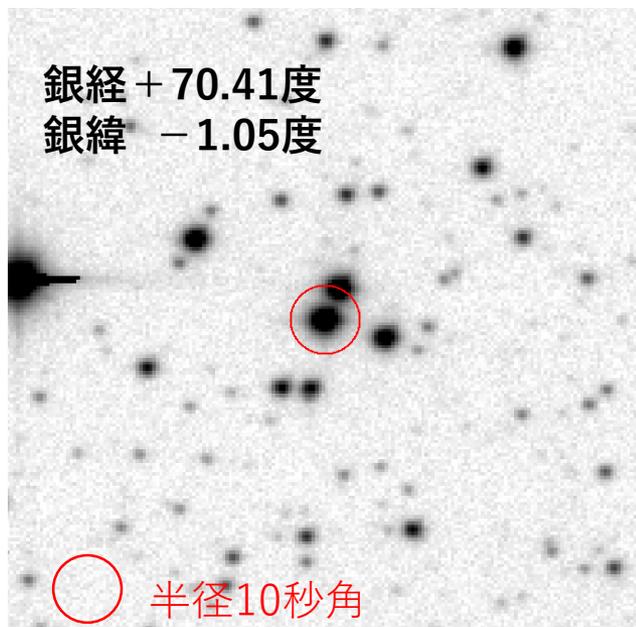


- ハロー、球状星団、バルジ
- metal-rich なRRライリはディスクにいると考えられている。

太陽系近傍にあるRRライリのうち、 $[\text{Fe}/\text{H}] > -1$  のものは速度分散が小さく回転速度が大きい。

# 明るいRRライリの変光星の発見

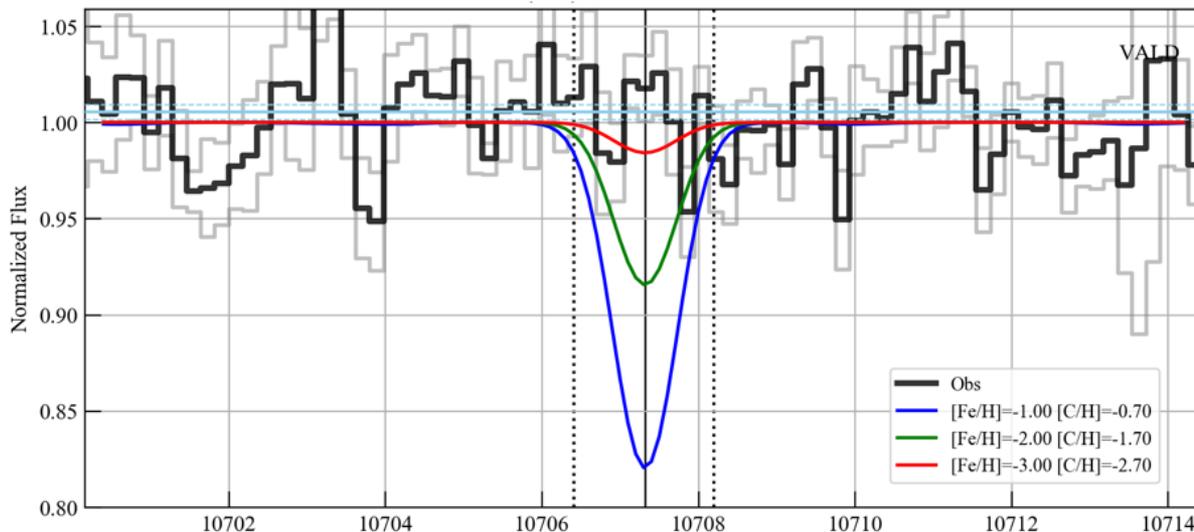
- $I_c = 10.5$  magのRRライリでGCVSには記載なし
- NSVS、GaiaではRRライリとしてカタログ



# WINEREDによる分光

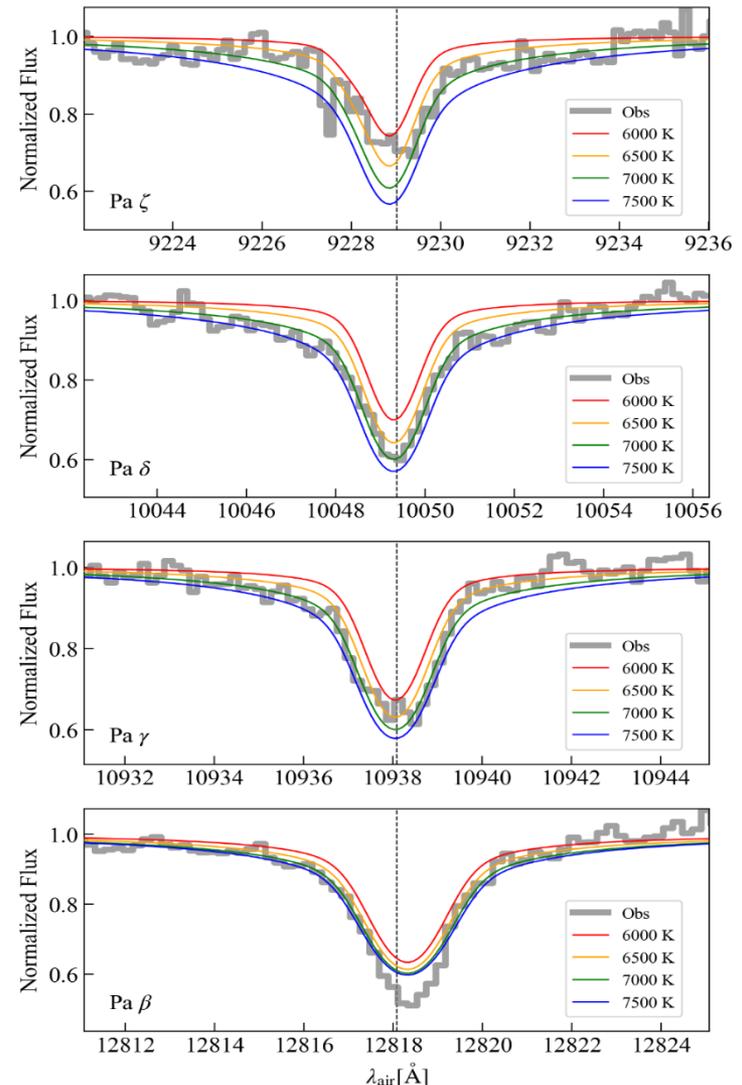
- 2015年8月15日
- 1.3m 荒木望遠鏡@京都産業大
- $0.90 \sim 1.35 \mu\text{m}$ 、 $\lambda/\Delta\lambda = 28,000$
- 600秒積分8回、 $S/N=45 \sim 70$

WINERED attached to NTT



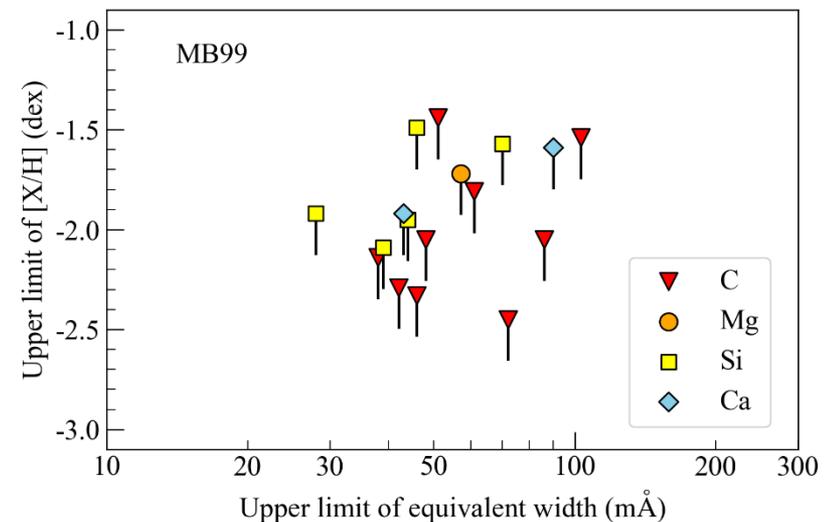
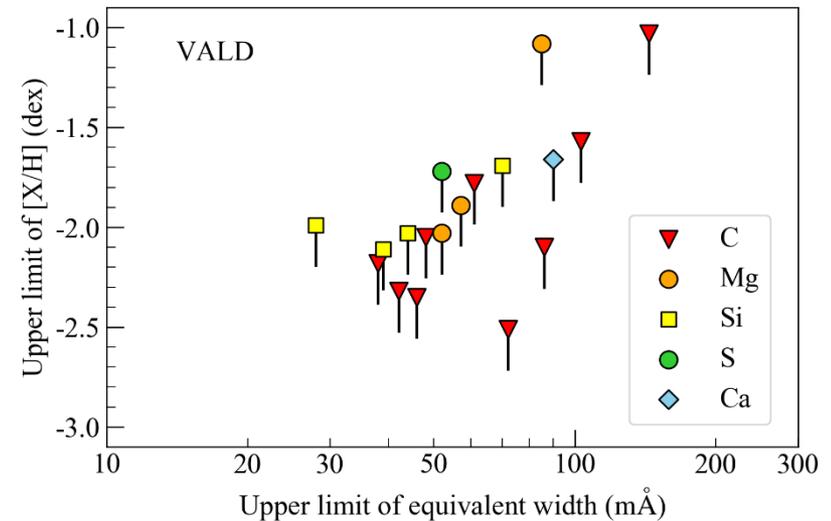
# 水素吸収線 → 視線速度

- Paschen系列4本を検出
- 脈動の効果を検討に入れて視線速度を計測
- $v_{\text{helio}} = -104.4 \text{ km/s}$
- $v_{\text{LSR}} = -86.7 \text{ km/s}$
- 不定性は  $10 \text{ km/s}$  以下



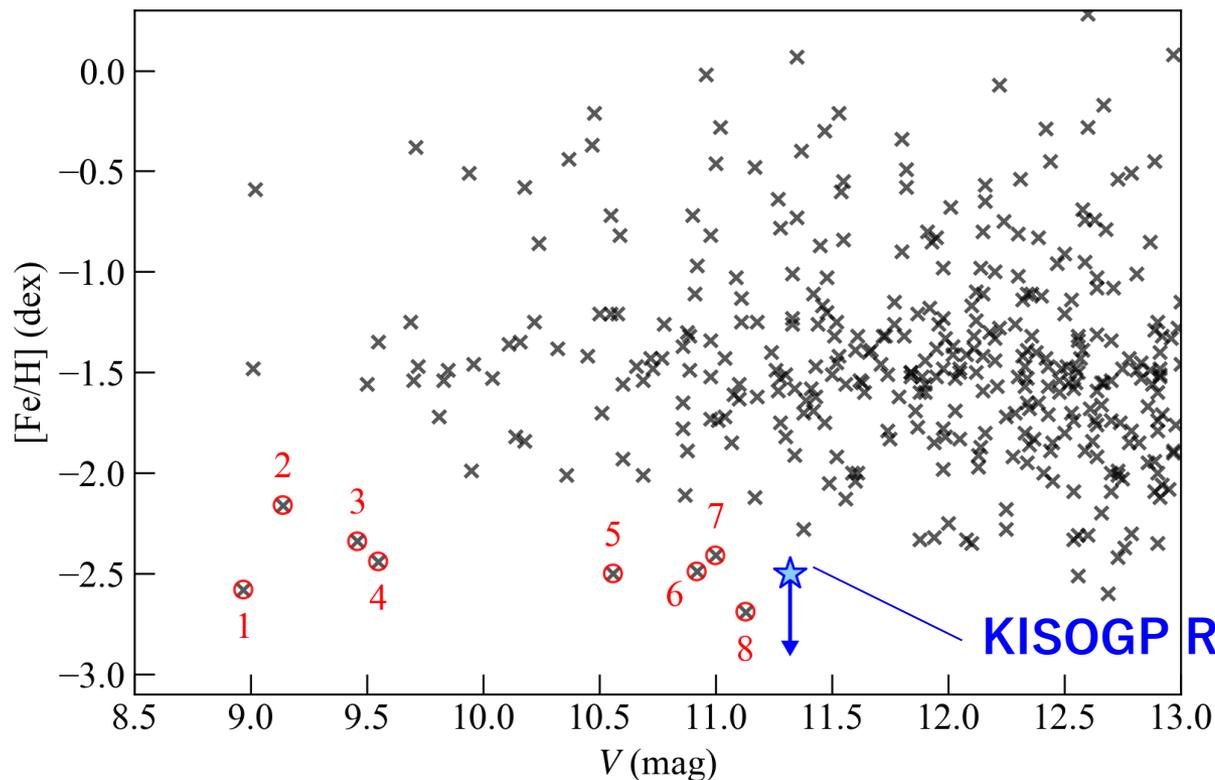
# 重元素吸収線 → 金属量の上限

- 20本程度の強いはずの吸収線について観測での等価幅の上限値を組成の上限値に変換
- $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -2.5$ 
  - ただし、Feは強いと予想される吸収線が存在せず、CやSiの吸収線での制限



# 明るい低金属量RRライリ

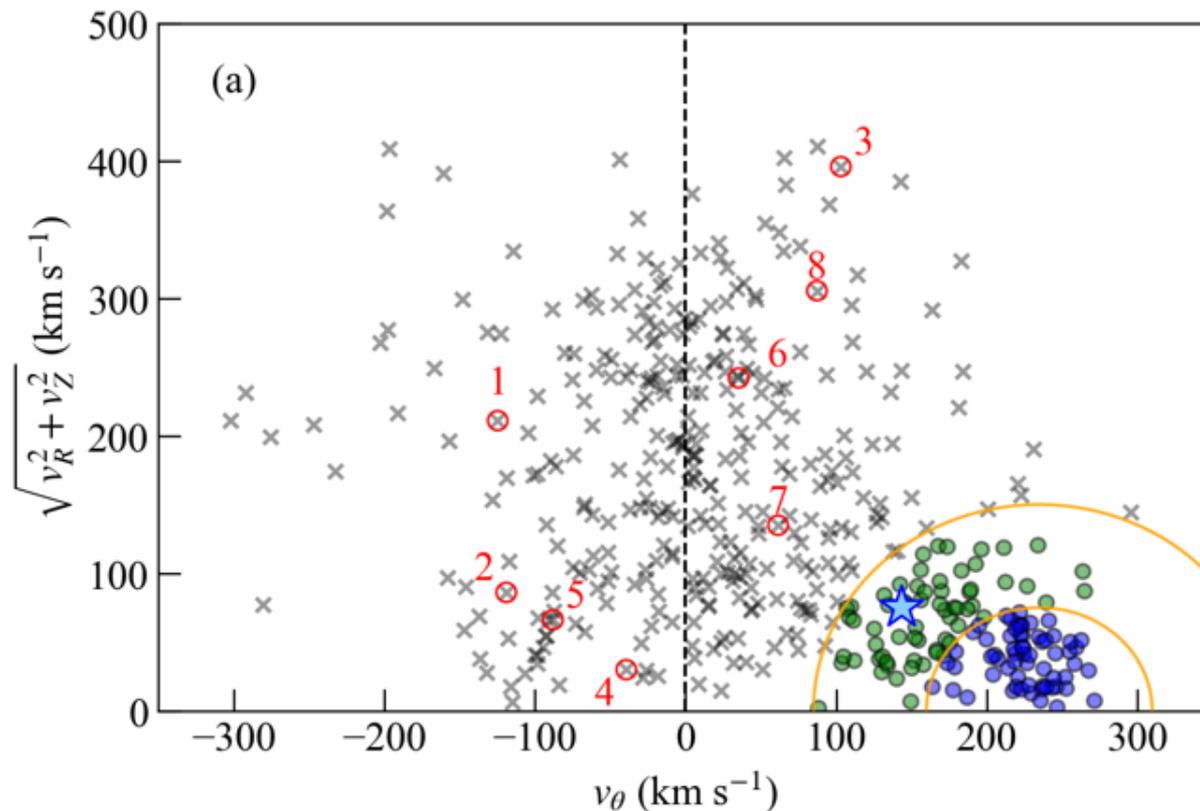
- RRライリの中では、トップ100に入るくらいの明るさで、最も金属量の低いグループ



×は Zinn et al. (2020) が  
まとめた金属量と運動の  
測定があるRRライリ

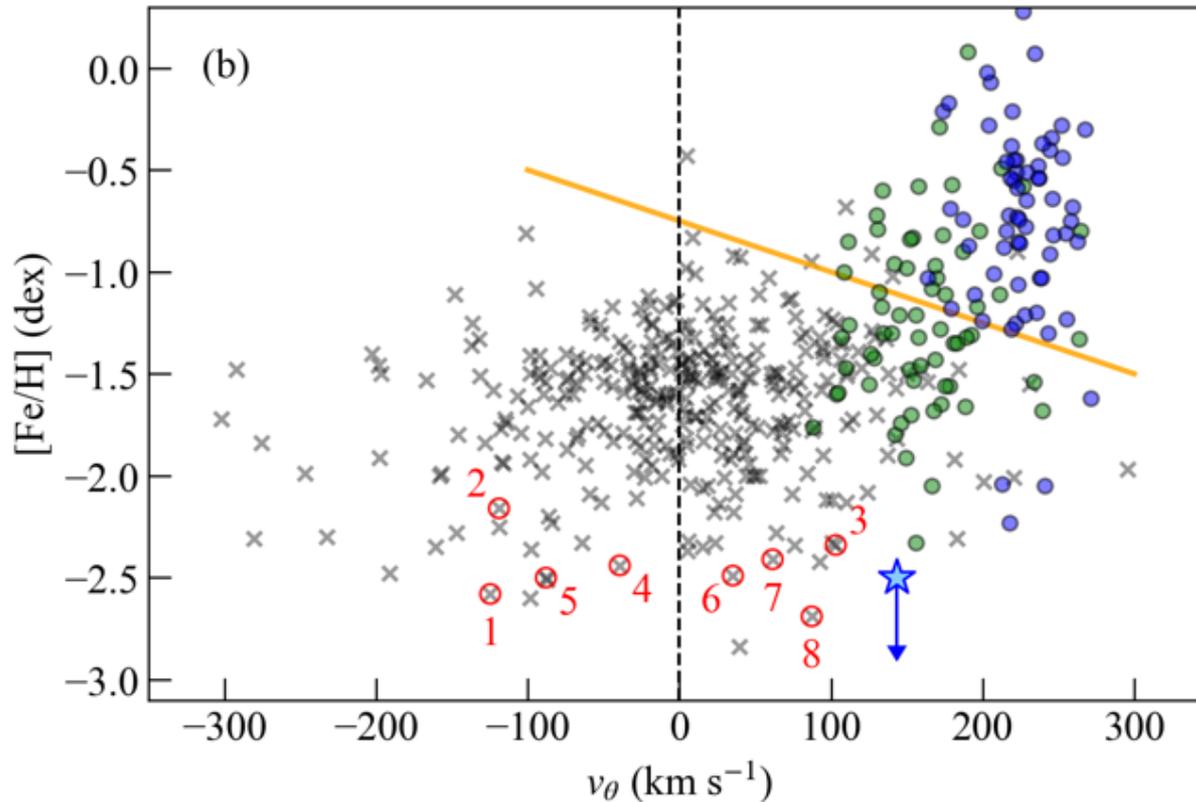
KISOGP RRライリ

# 運動と金属量の特徴 (1)



Toomre diagram (回転速度  $v_\theta$  vs それ以外の速度) :  
KISOGP RRライリはディスク (特に thick disk) の星と  
同じような運動をしている。

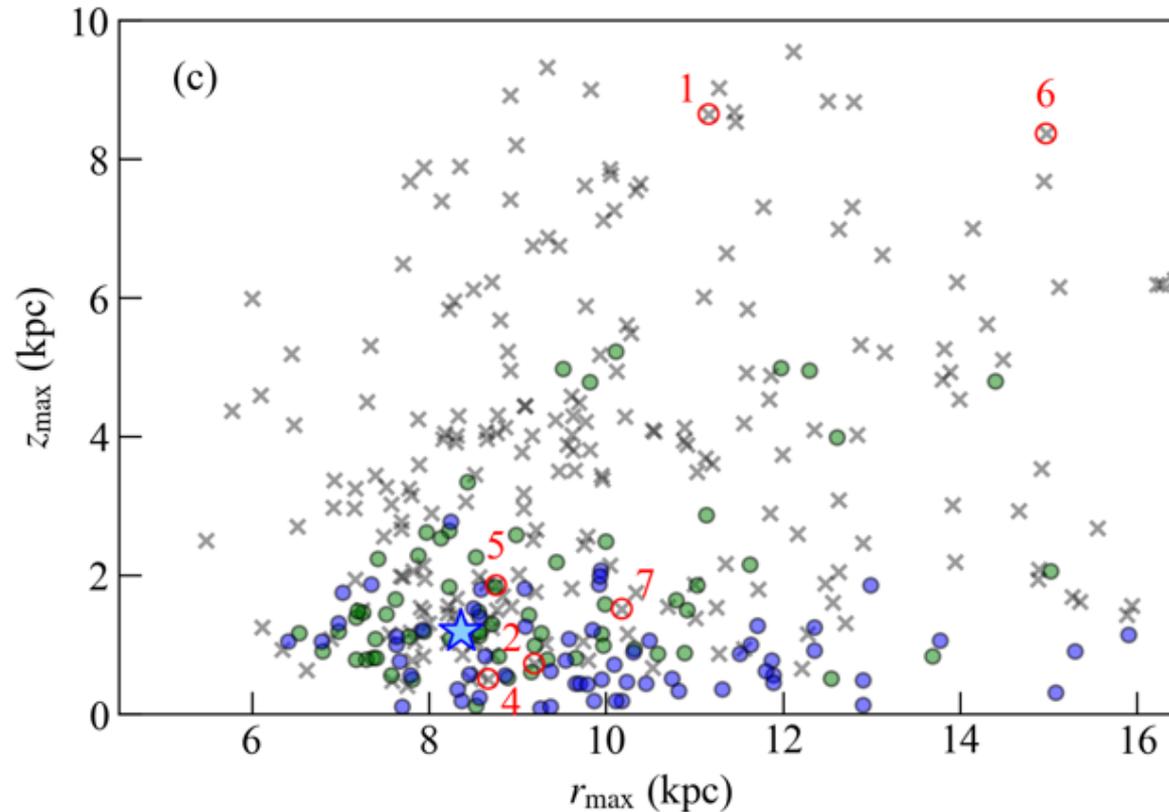
# 運動と金属量の特徴 (2)



回転速度  $v_\theta$  vs [Fe/H] :

ディスクの回転運動と合致する星の中では最も低金属量。  
ただし、ハローとして形成された種族の一員かもしれない。

# 運動と金属量の特徴 (3)



$r_{\max}$  VS  $z_{\max}$  :

軌道はディスクの中に納まっている。

ハロー星でもそのような軌道をもつ星は少なくない。

# この星の意義

- ディスクの運動をもつ非常に金属量の低いRRライリが見つかった。
- ハローとディスクのどちらの恒星種族に付属するかは現時点で分からない。
  - 詳しい化学組成で区別できる可能性はある。
  - ディスクに  $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -2$  の低金属量星がいるかどうかよくわかっていないが、最近の探査でその存在が議論されている。
- ディスクの形成初期に、ディスクの位置にあった星であることには間違いない。
  - RRライリはほぼ確実に10 Gyrより古い星

# 今後の計画

- 今回発見したRRライリ
  - 回覧中の論文をまもなく投稿する予定です。
  - 可視光での分光観測をイタリアの研究者(Bonoさん他)がリードして進めている。
- KISOGP
  - カタログ論文他の執筆を進める。
    - 目標はGaia DR3の出る2022年4～6月までのアクセプト
  - KISOGPで見つけたセファイド十数個を、Subaru/IRCSで分光したデータを学部4年生（船越さん）が課題研究で調べる。

# まとめ

- KISOGP
  - 銀河面（北半球、330平方度）にある変光星探査を行い、約7万個の変光星を検出。
  - 変光星カタログ、測光データに興味のある方は松永までお知らせください。
- 明るいRRライリをWINEREDで分光したところ  $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$  の very metal-poor 星だった。
  - 軌道が円盤の星と似ている珍しい星。
  - 種族としてはハローかもしれないが、銀河系円盤の形成初期についての情報を与える星。