

# Gaia DR2を用いた UpperScorpius OBアソシエーションの解析

新潟大学宇宙物理研究室 M2

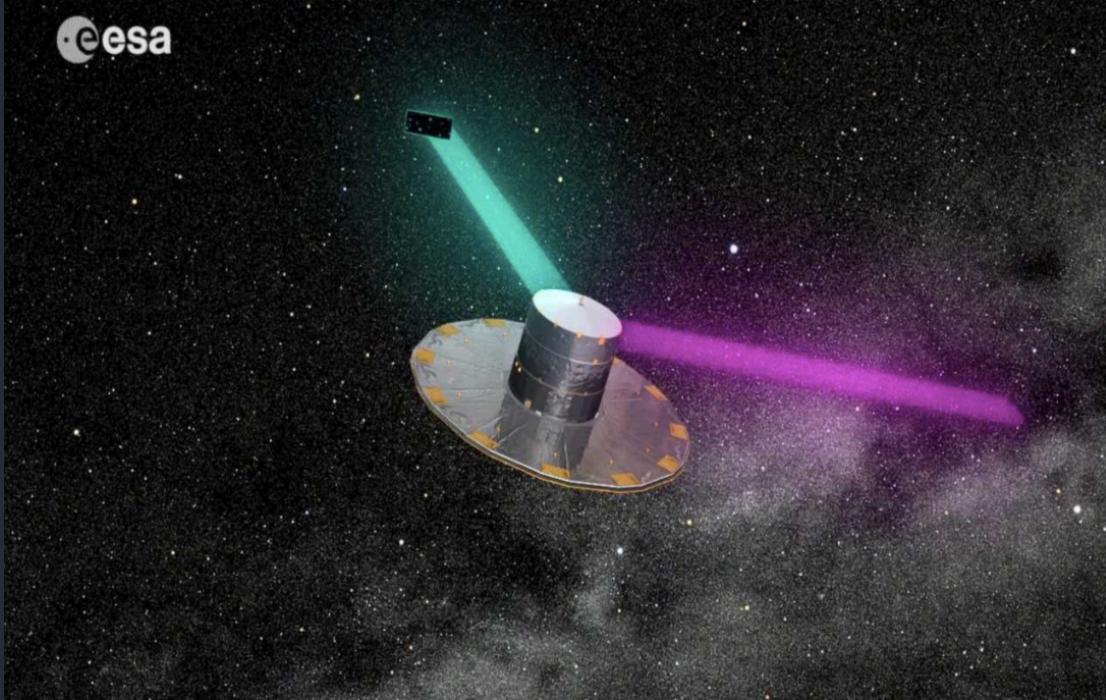
山田 優太郎

2019年度 天体形成研究会in筑波大学

# 位置天文衛星“Gaia”

- Gaiaとは

GaiaはESA(欧州宇宙機構)が2013年に打ち上げた位置天文衛星



## 観測

観測波長:330～1050nm  
→天球面での位置、明るさ、  
色データを継続的に観測  
→この帯域をG-bandと呼ぶ

位置を継続的に観測  
→固有運動(天球面の運動)、  
年周視差(距離に対応)

# Gaia DR2

- Gaia DR2とは

2018/4/25に行われた、Gaiaによる観測の2回目のデータリース  
16億もの点源の観測データが得られた

Gaia DR2の種類別データ総数

Data product or source type	Number of sources
Total	1 692 919 135
5-parameter astrometry	1 331 909 727
2-parameter astrometry	361 009 408
ICRF3 prototype sources	2820
Gaia-CRF2 sources	556 869
<i>G</i> -band	1 692 919 135
<i>G<sub>BP</sub></i> -band	1 381 964 755
<i>G<sub>RP</sub></i> -band	1 383 551 713
Radial velocity	7 224 631

解析に用いる位置、固有運動、年周視差  
( $\alpha, \delta, \mu_{\alpha}^*, \mu_{\delta}, \varpi$ )が約13億の天体に対して得られている

→DR1では200万

→Hipparcosでは12万

*G*-bandの明るさはすべての点源に対して得られている

そのうち、約8割に対しては色データがある

→Gaia単独でHR図が作れる

# Gaia DR2の精度

Data product or source type	Typical uncertainty
Five-parameter astrometry (position & parallax)	0.02–0.04 mas at $G < 15$ 0.1 mas at $G = 17$ 0.7 mas at $G = 20$ 2 mas at $G = 21$
Five-parameter astrometry (proper motion)	0.07 mas $\text{yr}^{-1}$ at $G < 15$ 0.2 mas $\text{yr}^{-1}$ at $G = 17$ 1.2 mas $\text{yr}^{-1}$ at $G = 20$ 3 mas $\text{yr}^{-1}$ at $G = 21$
Two-parameter astrometry (position only)	1–4 mas
Systematic astrometric errors (averaged over the sky)	< 0.1 mas
<i>Gaia-CRF2</i> alignment with ICRF	0.02 mas at $G = 19$
<i>Gaia-CRF2</i> rotation with respect to ICRF	< 0.02 mas $\text{yr}^{-1}$ at $G = 19$
<i>Gaia-CRF2</i> alignment with ICRF	0.3 mas at $G < 12$
<i>Gaia-CRF2</i> rotation with respect to ICRF	< 0.15 mas $\text{yr}^{-1}$ at $G < 12$
Mean $G$ -band photometry	0.3 mmag at $G < 13$ 2 mmag at $G = 17$ 10 mmag at $G = 20$
Mean $G_{\text{BP}}$ - and $G_{\text{RP}}$ -band photometry	2 mmag at $G < 13$ 10 mmag at $G = 17$ 200 mmag at $G = 20$
Median radial velocity over 22 months	0.3 km $\text{s}^{-1}$ at $G_{\text{RVS}} < 8$ 0.6 km $\text{s}^{-1}$ at $G_{\text{RVS}} = 10$ 1.8 km $\text{s}^{-1}$ at $G_{\text{RVS}} = 11.75$ < 0.1 km $\text{s}^{-1}$ at $G_{\text{RVS}} < 9$ 0.5 km $\text{s}^{-1}$ at $G_{\text{RVS}} = 11.75$
Systematic radial velocity errors	324 K 0.46 mag 0.23 mag
Effective temperature $T_{\text{eff}}$	10%
Extinction $A_G$	15%
Colour excess $E(G_{\text{BP}} - G_{\text{RP}})$	
Radius	
Luminosity	
Solar system object epoch astrometry	1 mas (in scan direction)

DR2における最高精度は15等級より明るい天体に対して～10μ秒角  
→Hipparcosでは数ミリ秒角

G-bandにおけるGaia DR2の星の分布割合

Percentile	Magnitude distribution percentiles ( $G$ )		
	All	5-parameter	2-parameter
0.135%	11.6	11.4	15.3
2.275%	15.0	14.7	18.5
15.866%	17.8	17.4	19.8
50%	19.6	19.3	20.6
84.134%	20.6	20.3	21.0
97.725%	21.1	20.8	21.2
99.865%	21.3	20.9	21.4

↑ 5パラメータ天体の8割以上が1mas以下

# 研究目的

- 銀河系内のOBアソシエーションの解析で、銀河規模の星形成史を知る
- OBアソシエーションとは？
  - 大質量星(O,B型星)が目立つ星の集団
  - 全質量の6割以上は小質量星
  - 非常に若い星々( $\leq 30\sim 50$ Myr)で形成される
    - 大部分を占めるのは前主系列星
    - Gaia以前は暗すぎて観測は困難
  - 一か所で一度に星が誕生して集団を構成するが、星団ほど重力的な束縛が強くない
    - 外的な力を受けやすい

# 研究目的

さらに、

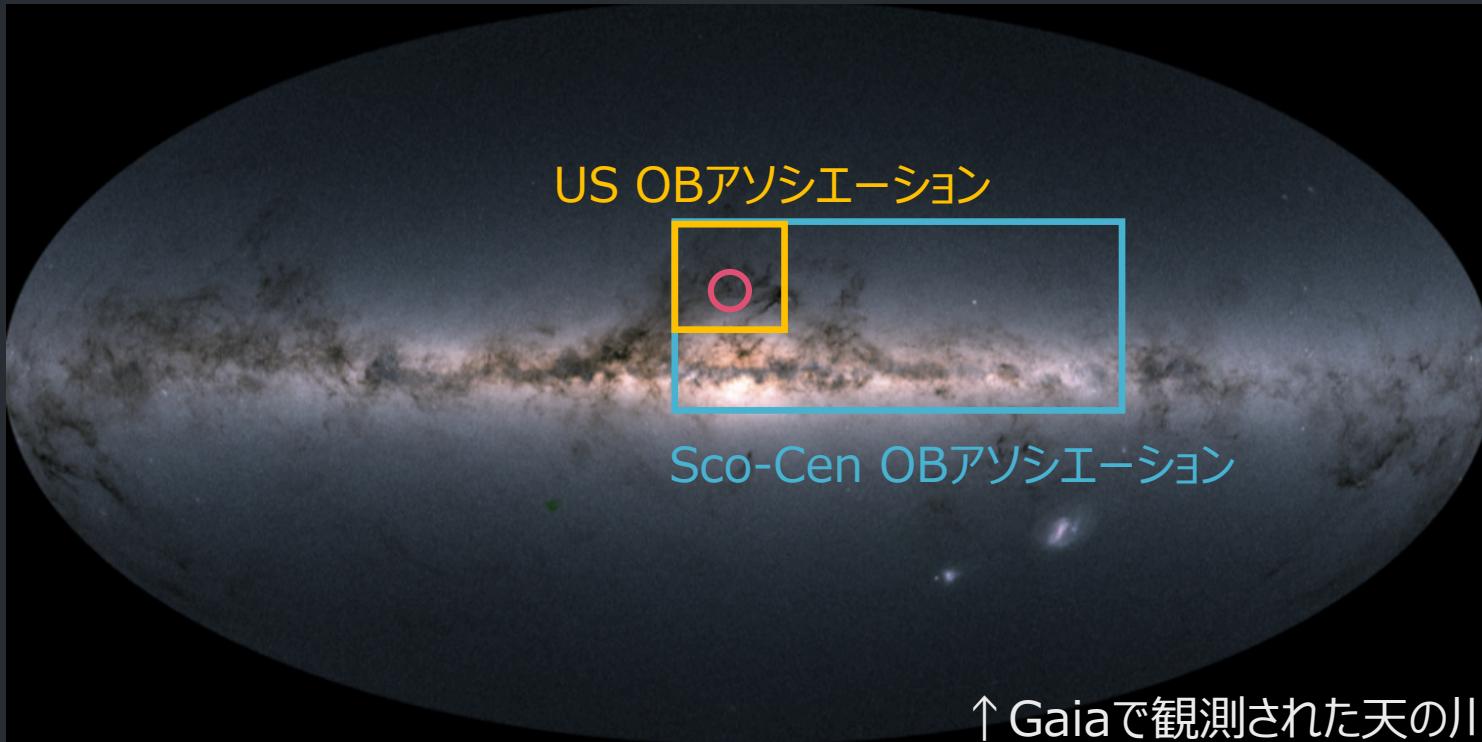
- ・銀河内の多くの星はOBアソシエーションに属していた  
→そのためOBアソシエーションの星々を観測し、解析することで、  
大規模な星形成の痕跡をたどることができる  
→大部分の星が観測困難で構造すら詳細が分かっていない

OBアソシエーションに属する前主系列星を中心に  
GaiaDR2を用いて集団内部の構造を調べる

# 研究対象

- US(Upper Scorpius) OBアソシエーション

- Sco-Cen(Scorpius-Centaurus) OBアソシエーションのうち最も若い星の集団
- 距離約120~160pc(約400~500光年)、銀経銀緯( $340\sim360^\circ, 10\sim30^\circ$ )
- 年齢 $1000\pm700$ 万年 (Pecaut and Mamajek.2016)
- へびつかい座ρ分子雲( $\rho$ Oph)を内包 (F.Damiani et al.2018)



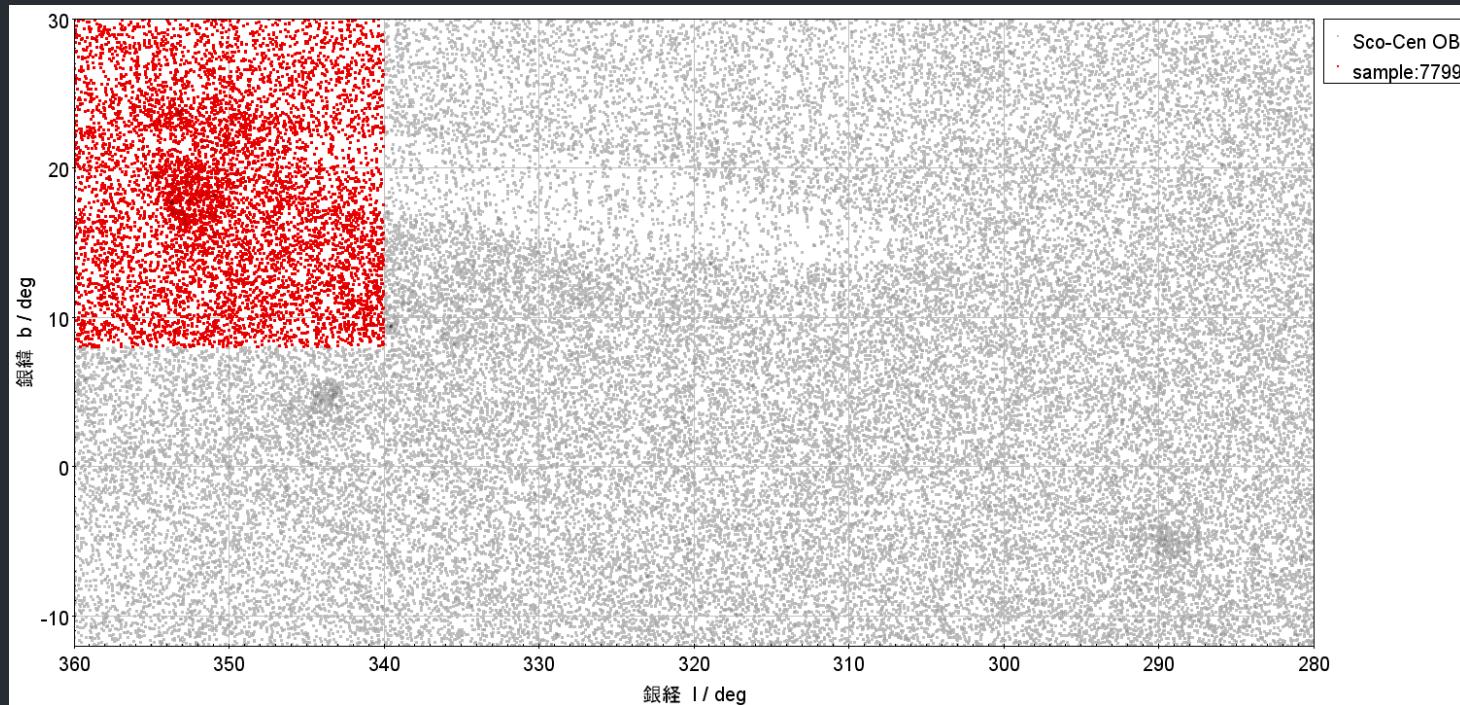
# USのサンプル

US OBアソシエーションを大きく覆う形でデータを選ぶ

銀経銀緯( $l, b$ )=(340~360/deg , 8~30/deg)

年周視差( $\varpi$ )=(5.5~8.5/mas)

※年周視差は距離に対応している  $\sim(d)=(118\sim181/\text{pc})$



# フィルタリング1

解析のために領域内のサンプルにフィルタリングを行い、精度の良いサンプルを選ぶ

## I : フィルターなし

→USのサンプル数：71,220

## II : Gaia DR2推奨フィルター(HR図作成用)

- 年周視差の相対誤差が10%以下
- 観測回数が9回以上
- G-bandの明るさの相対誤差が2%以下、色に対しては5%以下
- color\_excess フィルター：背景光の影響が大きいサンプルをはじく

→USのサンプル数：9,781

## III : 採用したフィルター

- 年周視差の相対誤差が2%以下
- 観測回数が9回以上
- G-bandの明るさの相対誤差が2%以下、色に対しては5%以下
- color\_excess フィルター

→USのサンプル数：7,799

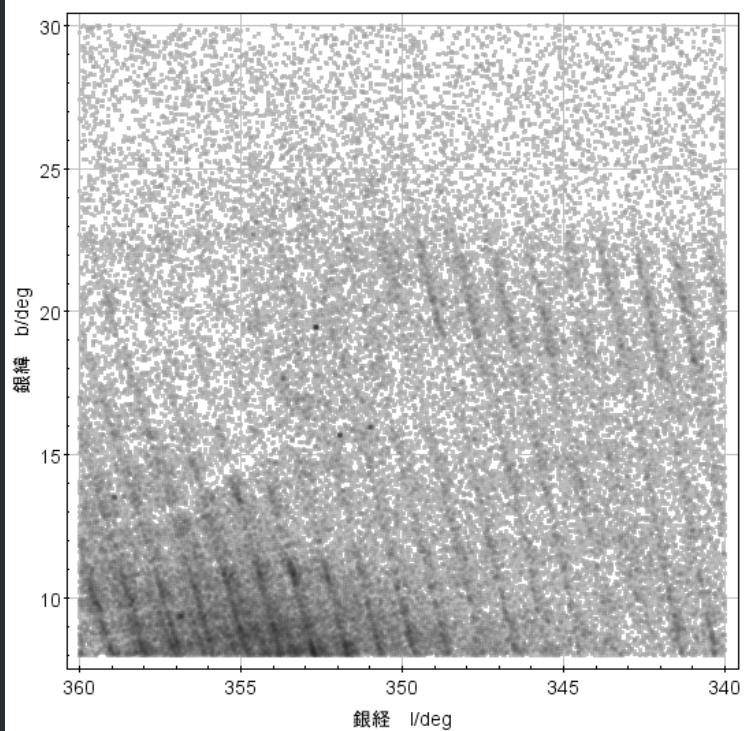
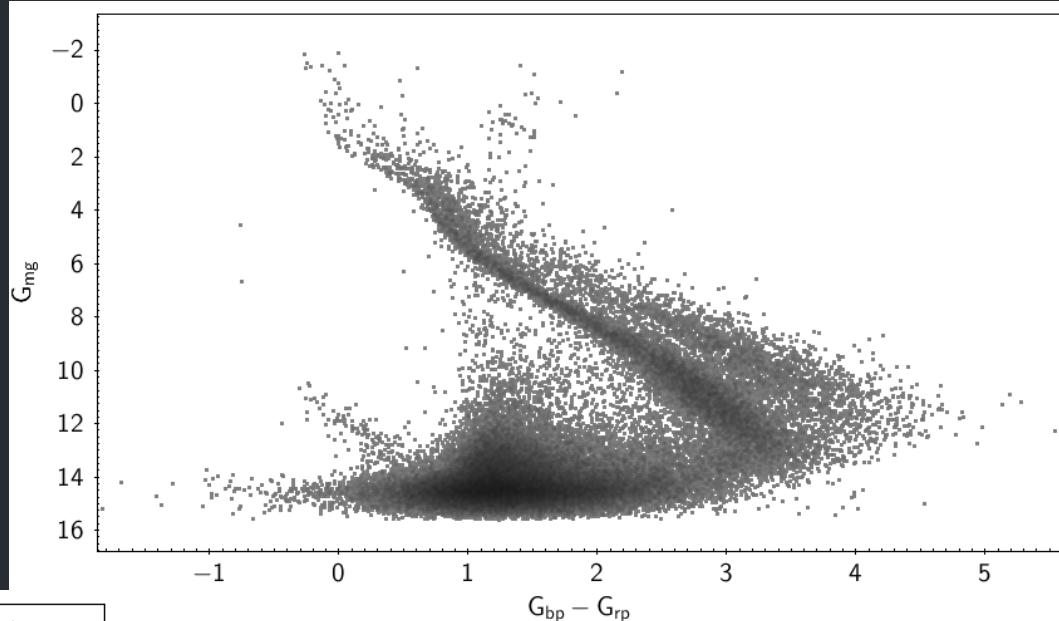
# 未フィルタリングUS

フィルタリング前: 71,220

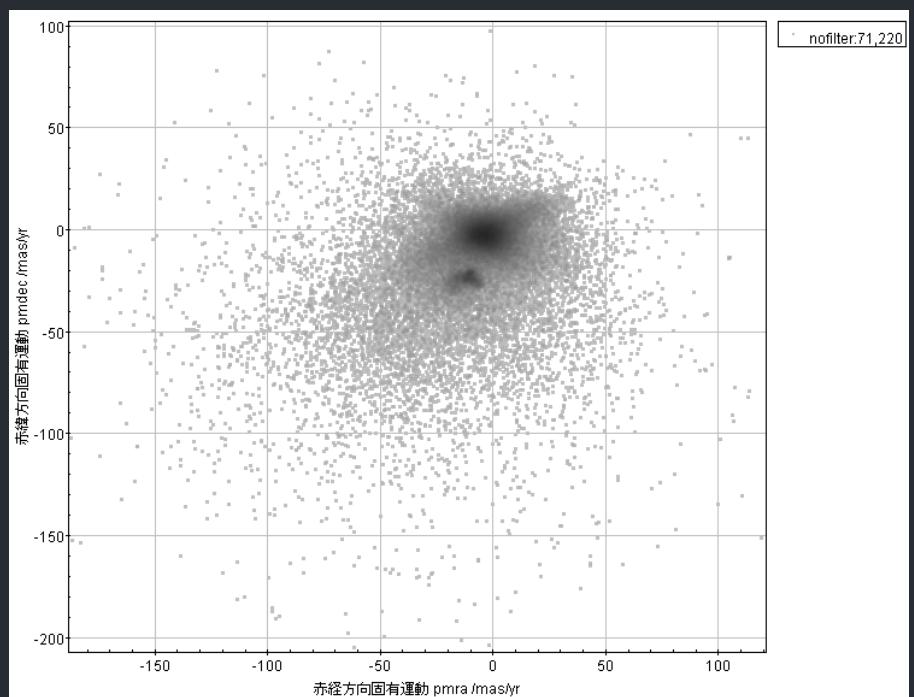
→HR図

↓固有運動分布

↓銀経銀緯分布



Nofilter: 71,220



nofilter: 71,220

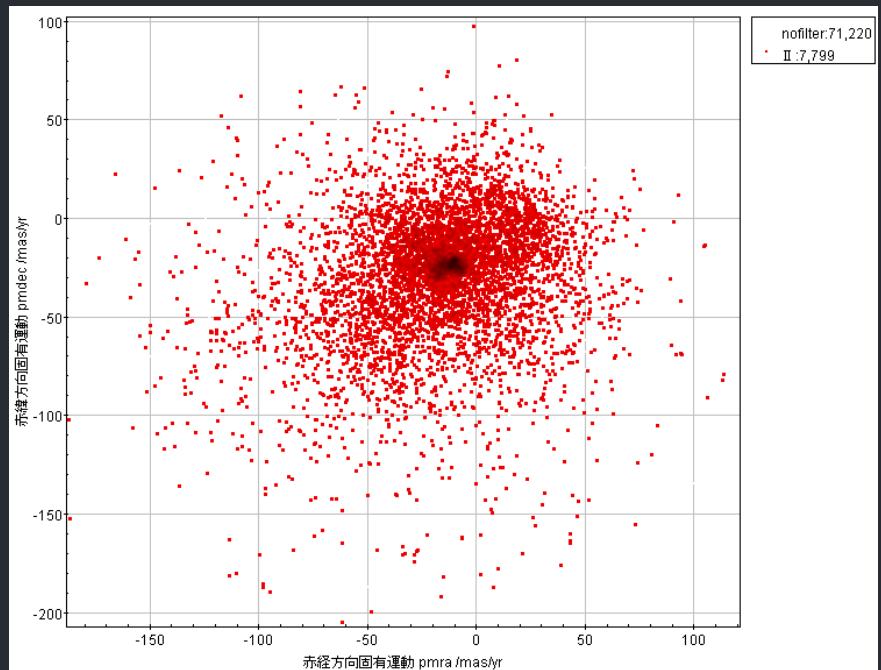
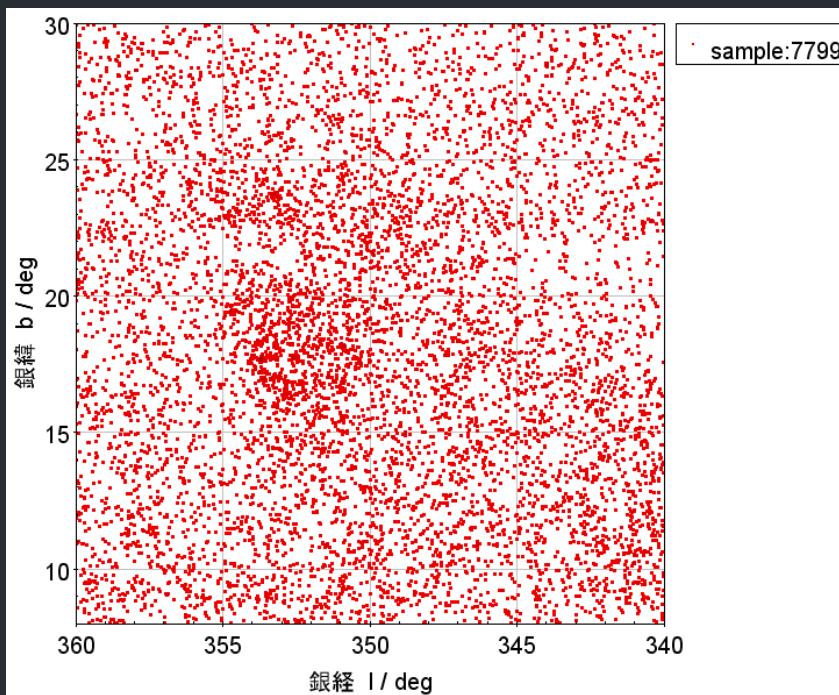
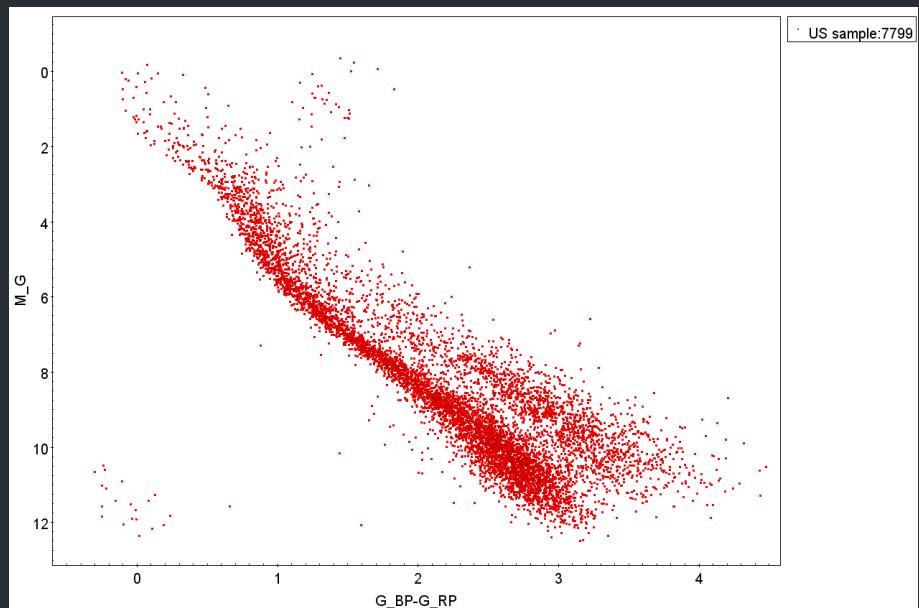
# フィルタリングしたUS

フィルタリング後の7,799個のサンプル

→HR図

↓固有運動分布

↓銀経銀緯分布



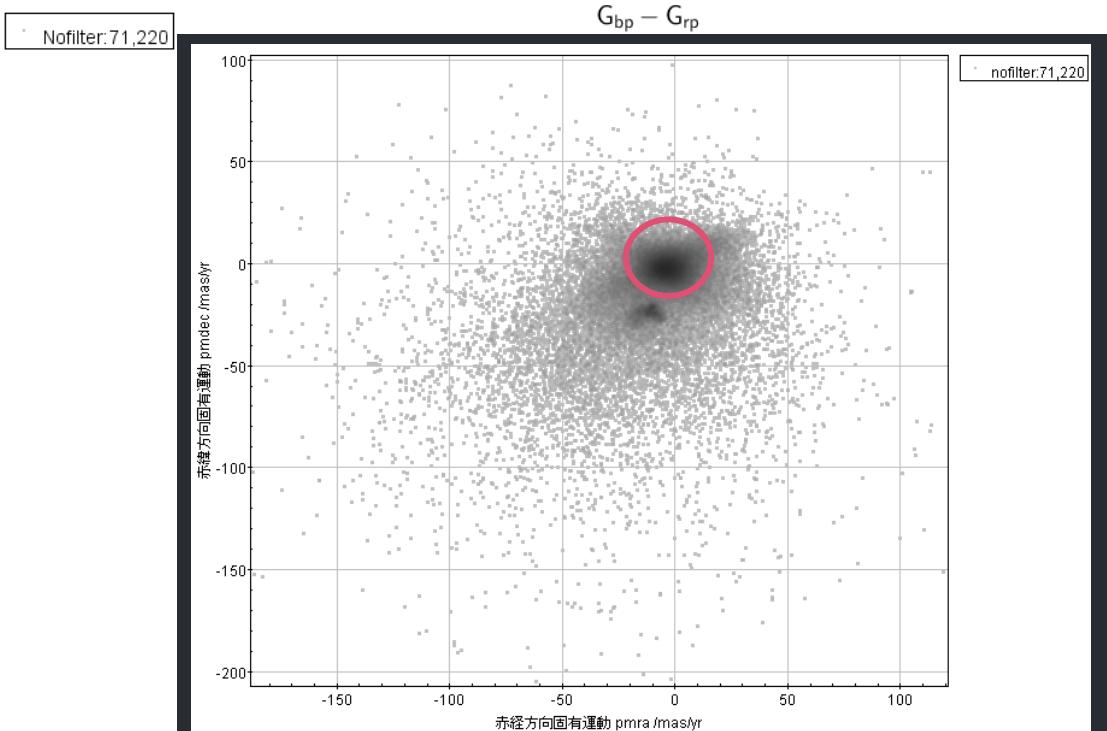
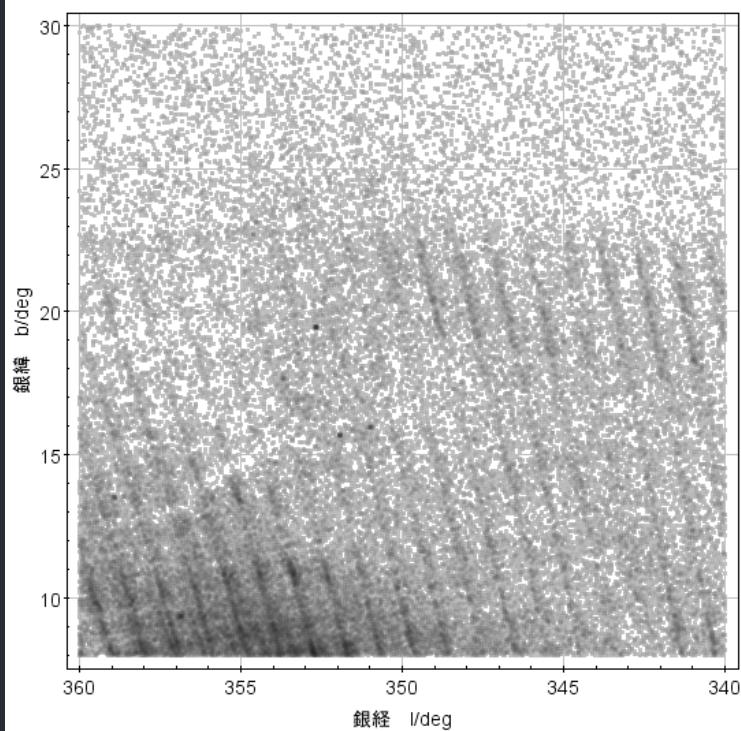
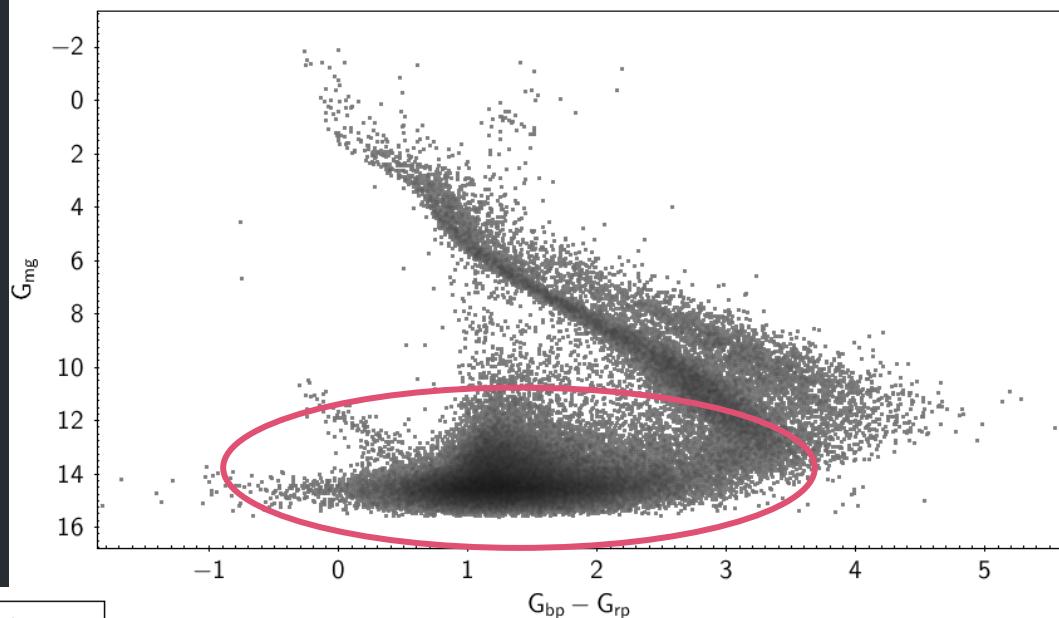
# 未フィルタリングUS

フィルタリング前との比較

→HR図

↓固有運動分布

↓銀経銀緯分布



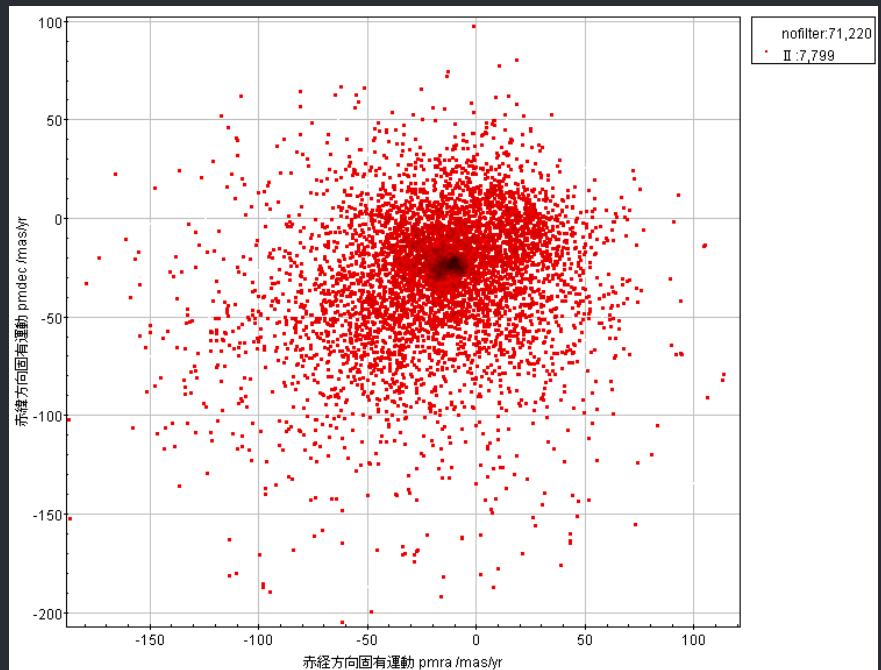
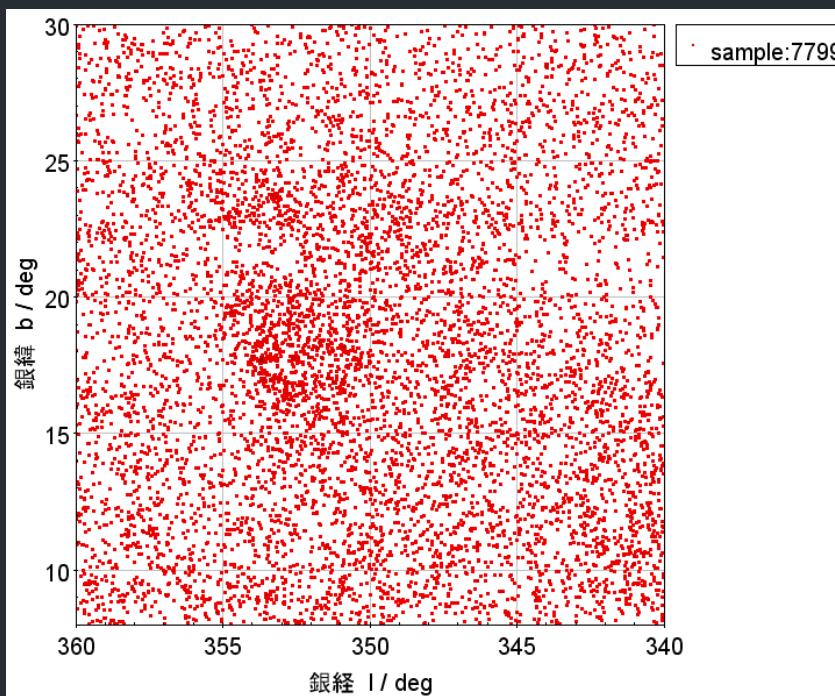
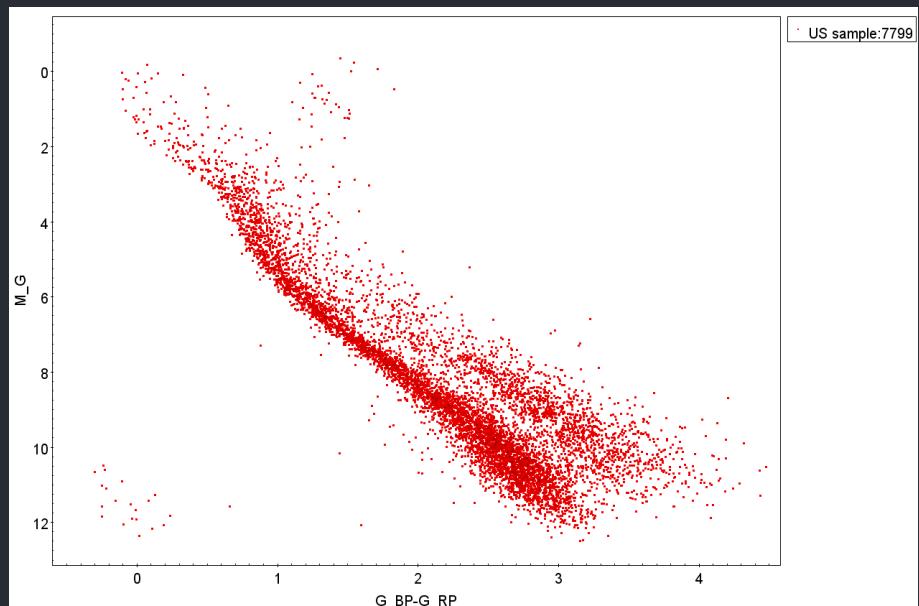
# フィルタリングしたUS

フィルタリング(Ⅲ)後:7,799個

→HR図

↓固有運動分布

↓銀経銀緯分布



# 研究目的

OBアソシエーションに属する前主系列星を中心に  
GaiaDR2を用いて集団内部の構造を調べる

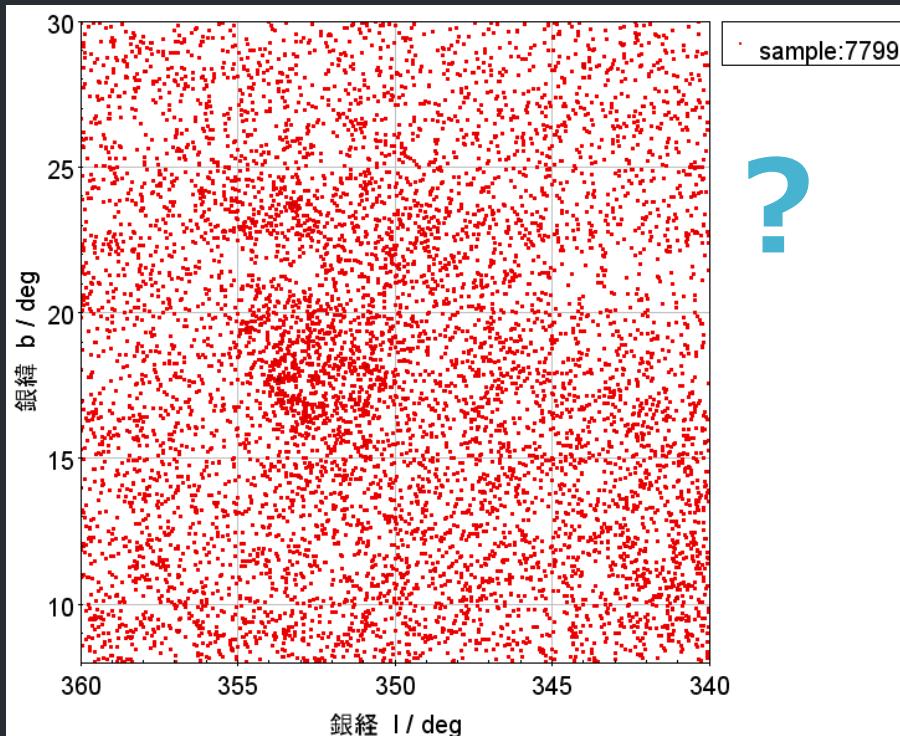
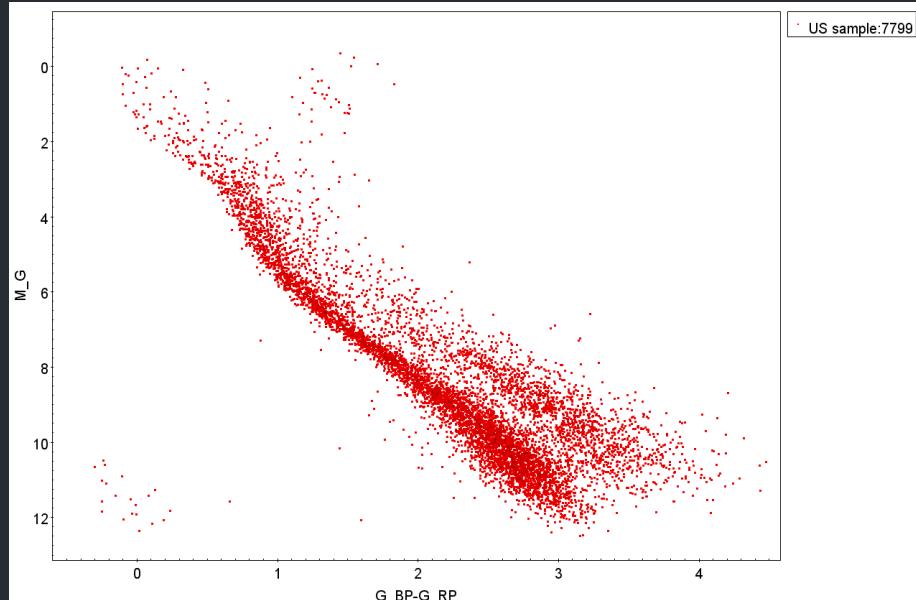
# フィルタリングしたUS

フィルタリング後の7,799個のサンプル

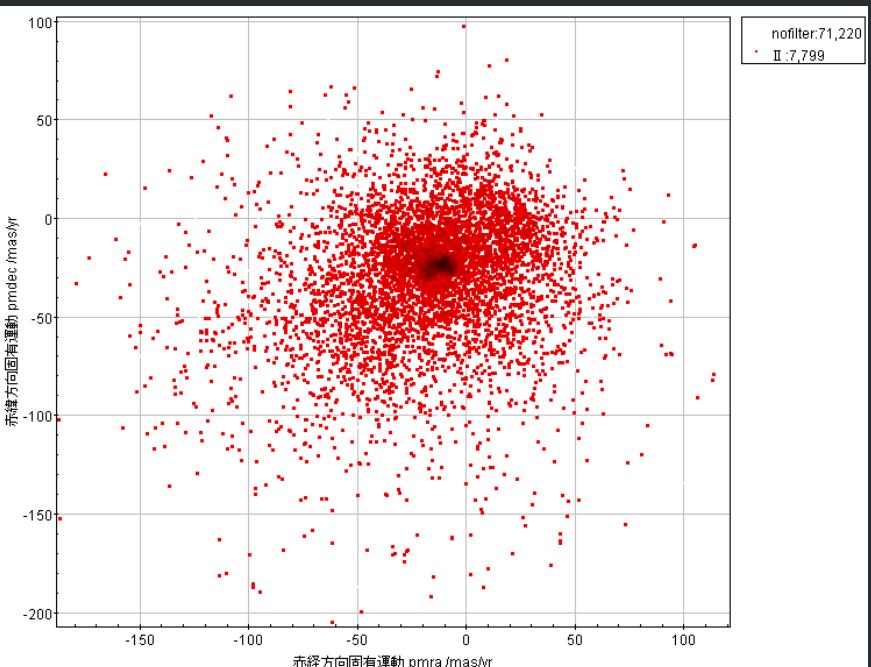
→HR図

↓固有運動面分布

↓銀経銀緯分布



?



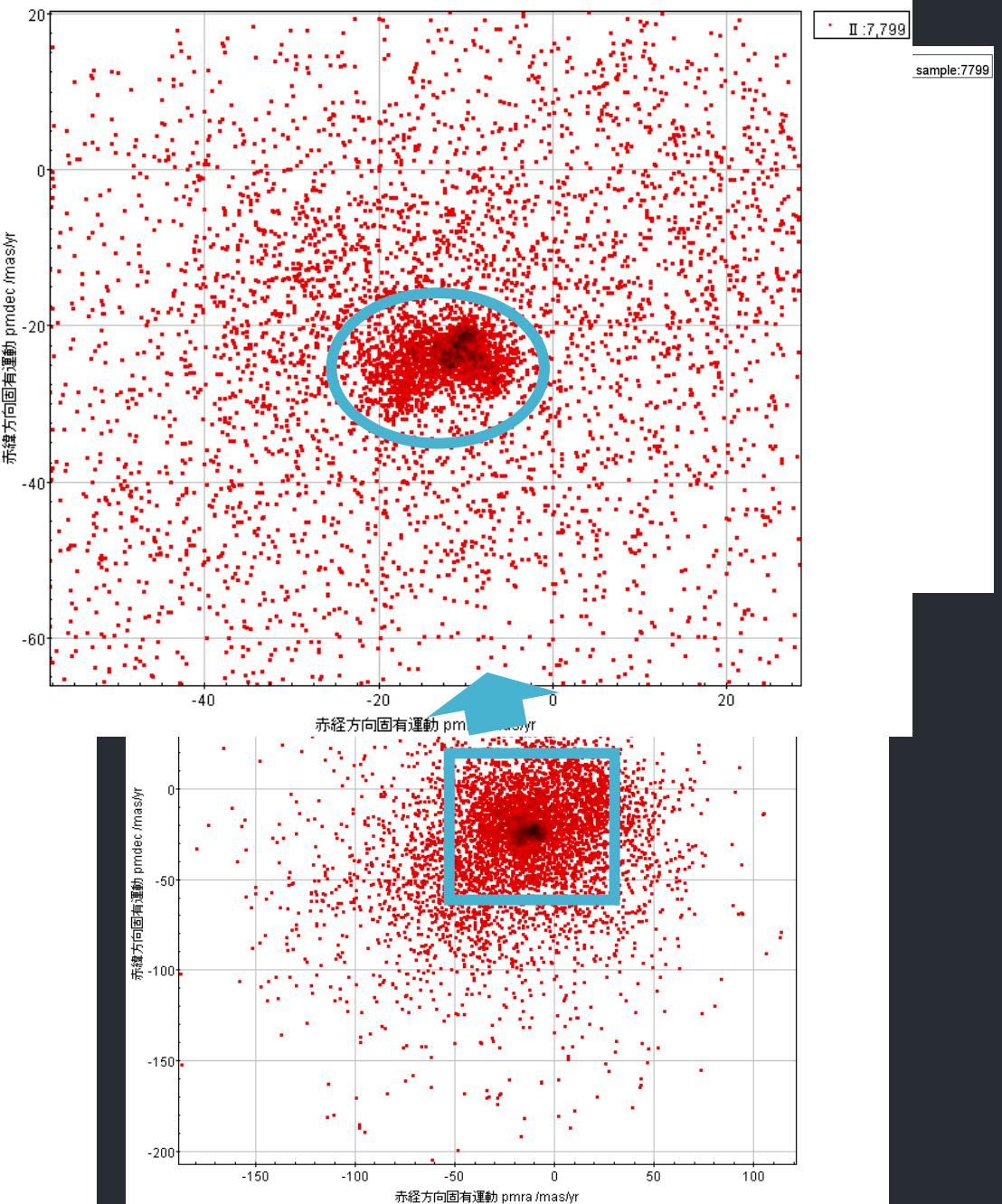
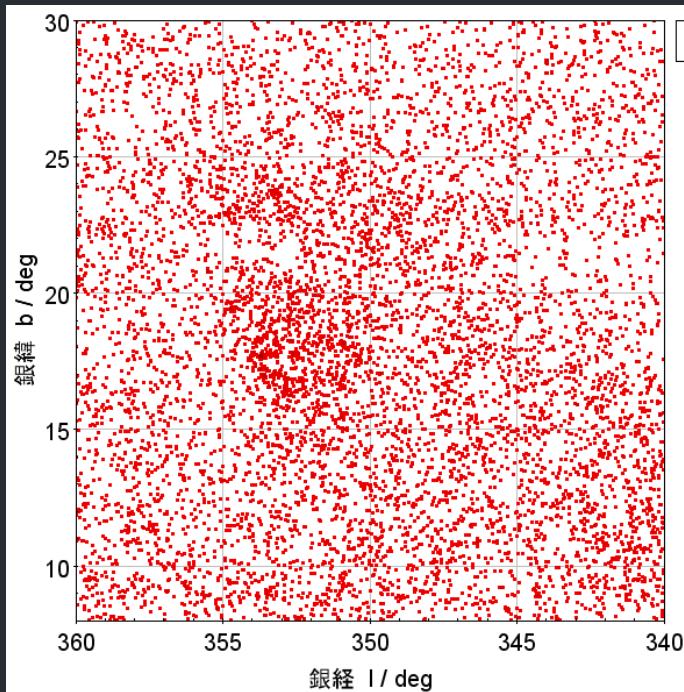
# フィルタリングしたし

フィルタリング後の7,799個の

→HR図

↙固有運動面分布

↓銀河面分布



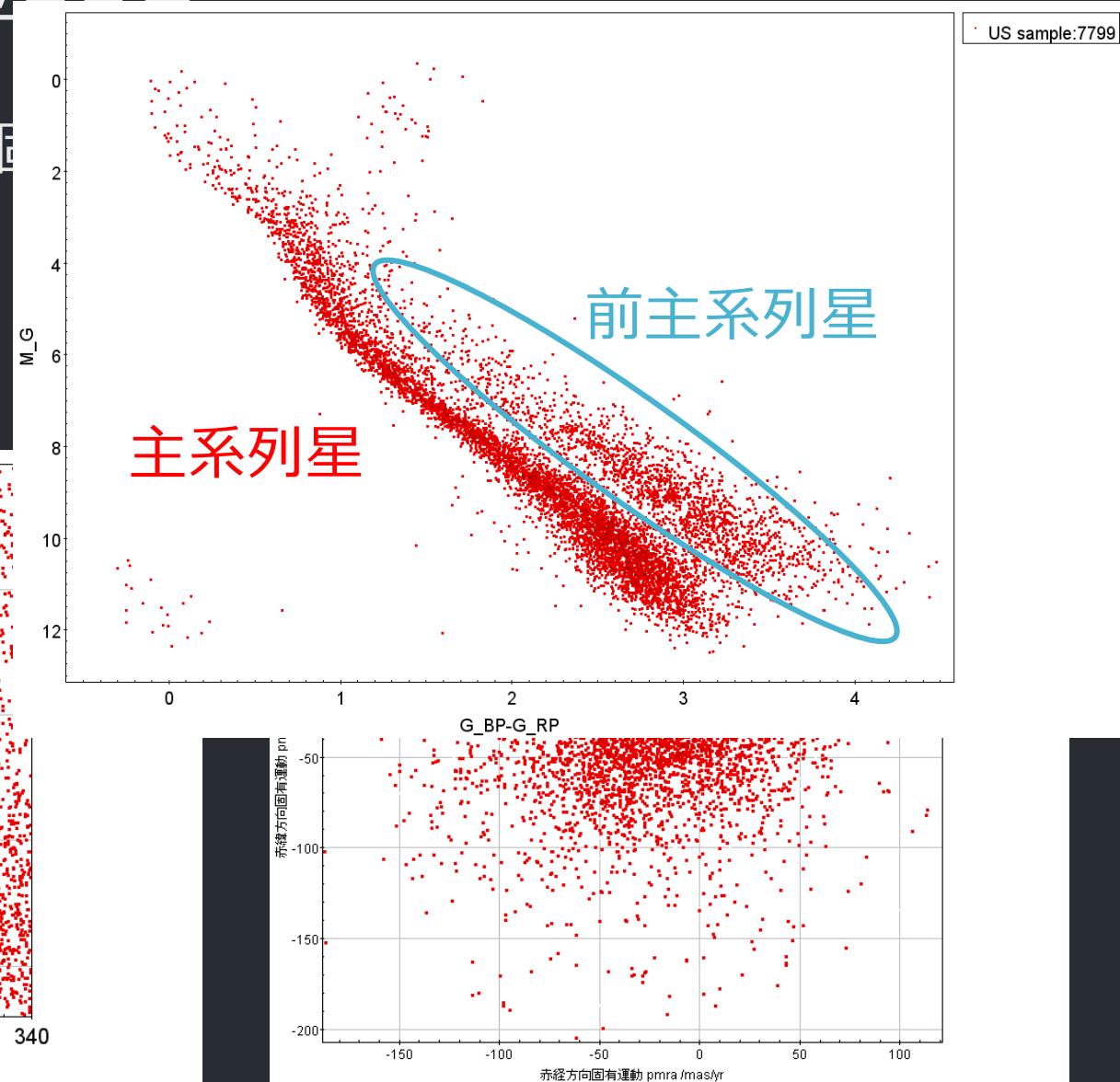
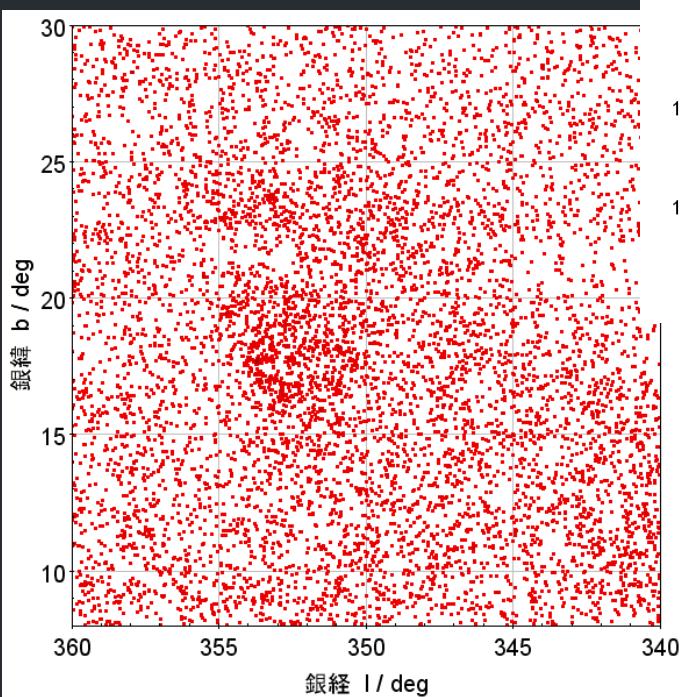
# フィルタリングしたUS

フィルタリング後の7,799個

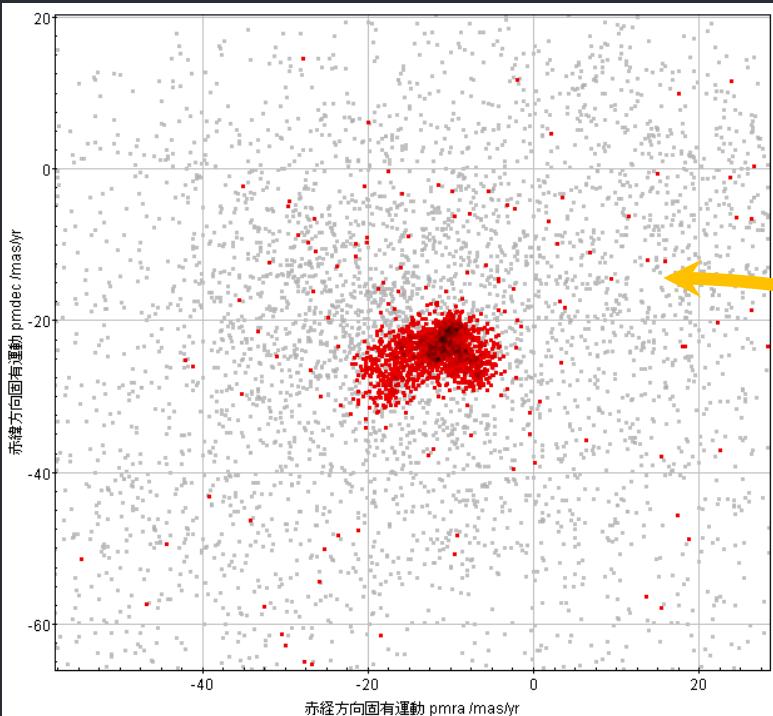
→HR図

↓固有運動面分布

↓銀河面分布

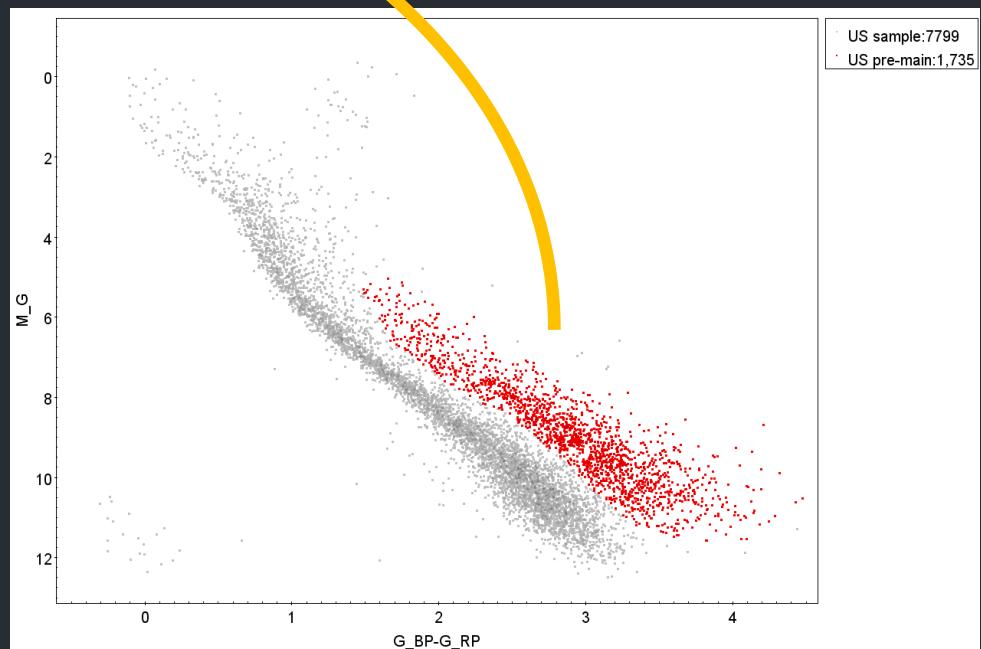


# HR図からのメンバーシップ

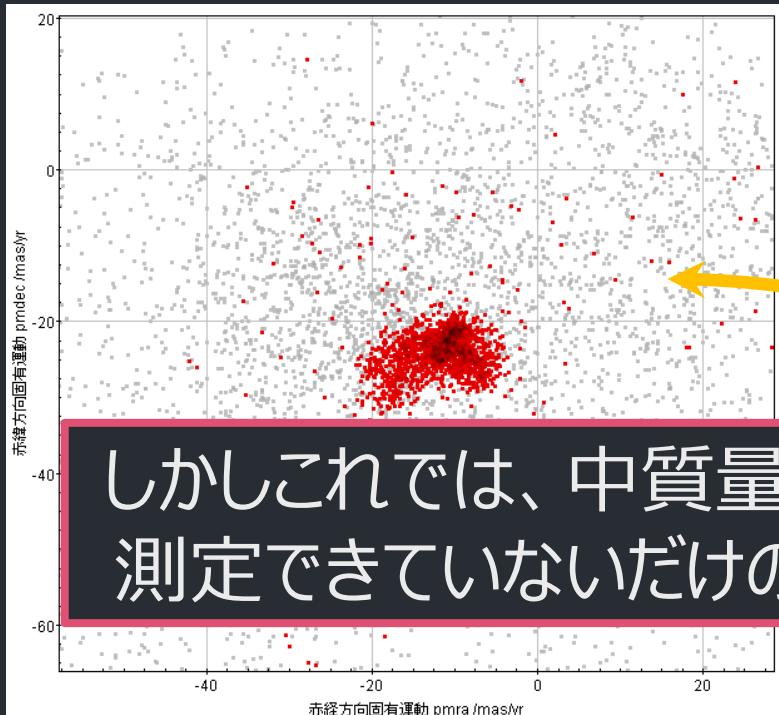


前主系列星は  
固有運動空間でまとまる！

HR図上で前主系列星と  
思われる領域を抜き出した



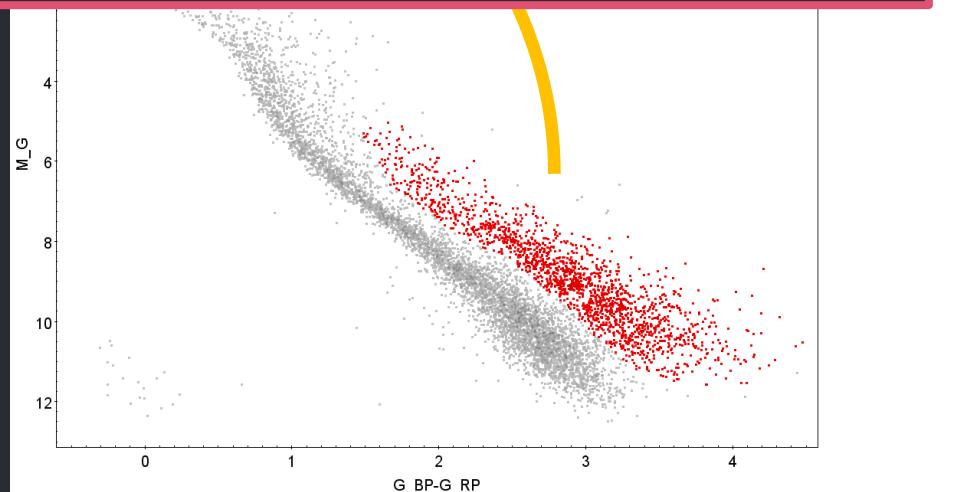
# HR図からのメンバーシップ



HR図上で前主系列星と  
思われる領域を抜き出した

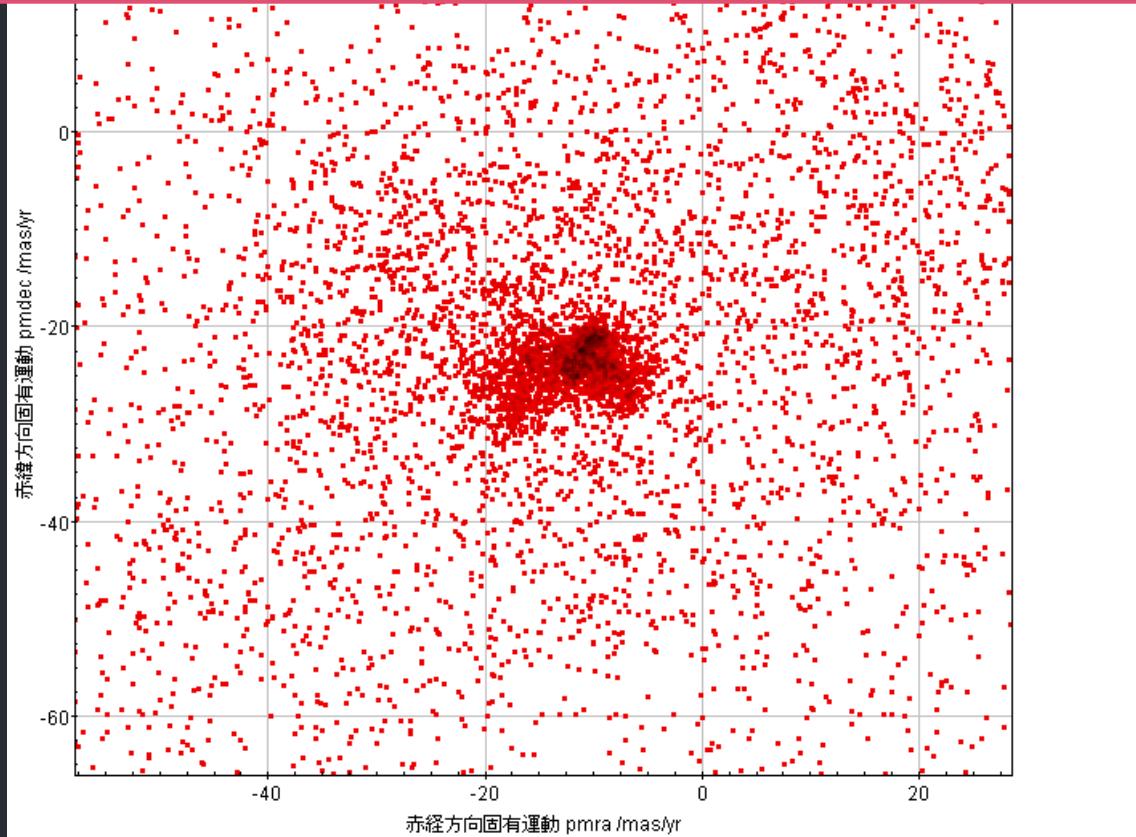
しかしこれでは、中質量以上の前主系列星や明るさが  
測定できていないだけの星を無視していることになる！

前主系列星は  
固有運動空間でまとまる！



# 固有運動によるメンバーシップ

固有運動分布上の高密度部に着目し、  
逆のアプローチで前主系列星の集団を抜き出す！

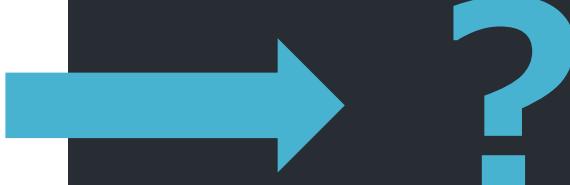
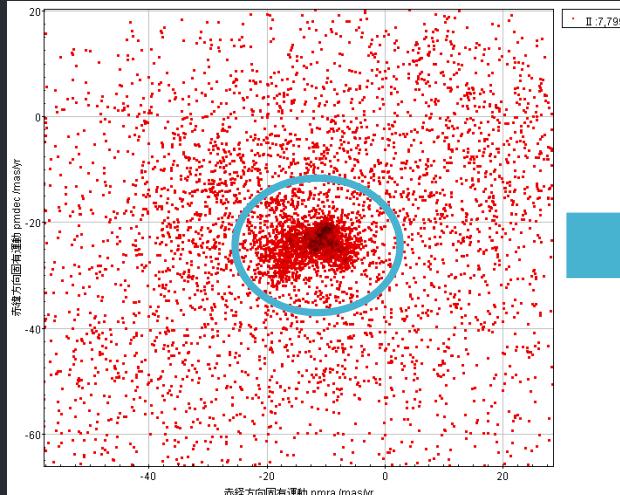


# 固有運動によるメンバーシップ

- ・前主系列星群は固有運動空間内で密集する
- ・OBアソシエーションは前主系列星が多く含まれる

つまり

- ・固有運動空間内で高密部を抜き出すことで、メンバーを抜き出すことができる



## フィルタリング2

“color\_excess フィルター”

→明るさ以外が計測できている点源を排除している

→メンバーシップは明るさの情報によるフィルターをはずす

### IV:メンバーシップ時に採用したフィルター

- 年周視差の相対誤差が2%以下
- 観測回数が9回以上
- G-bandの明るさの相対誤差が2%以下、色に対しては5%以下
- color\_excess フィルター

USのサンプル数：7,799→8,052

# 固有運動によるメンバーシップ

- ・固有運動平面内の高密度部をガウシアンにてフィッティングをして抜き出す
- ・全てのサンプル  $i$  に対して

$$\sum_i W_i(\mu_{\alpha_i}^*, \mu_{\delta_i}) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_\alpha^2}(\mu_{\alpha_i} - \mu_\alpha^*)\right) \times \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_\delta^2}(\mu_{\delta_i} - \mu_\delta^*)\right)$$

を計算し、閾値を超えたものをメンバーとして抜き出す

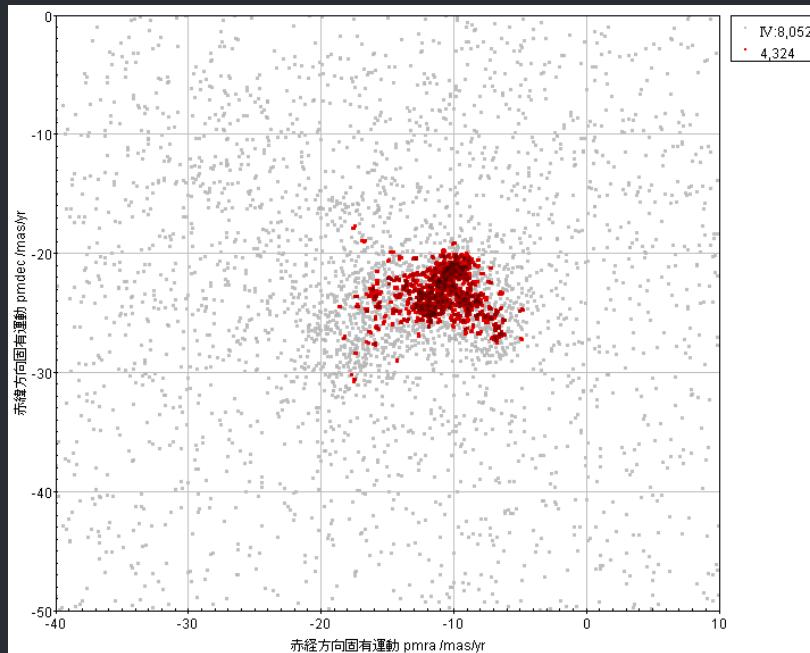
( $\mu_\alpha^*$ ,  $\mu_\delta$  yr/mas)は赤経、赤緯方向の固有運動

閾値: 2.0,  $\sigma_\alpha = 0.1$ ,  $\sigma_\delta = 0.1$  を採用し  $\mu_\alpha^*$ ,  $\mu_\delta$  の刻み幅はどちらも 0.1

V USの高密度部サンプル数 : 4,324

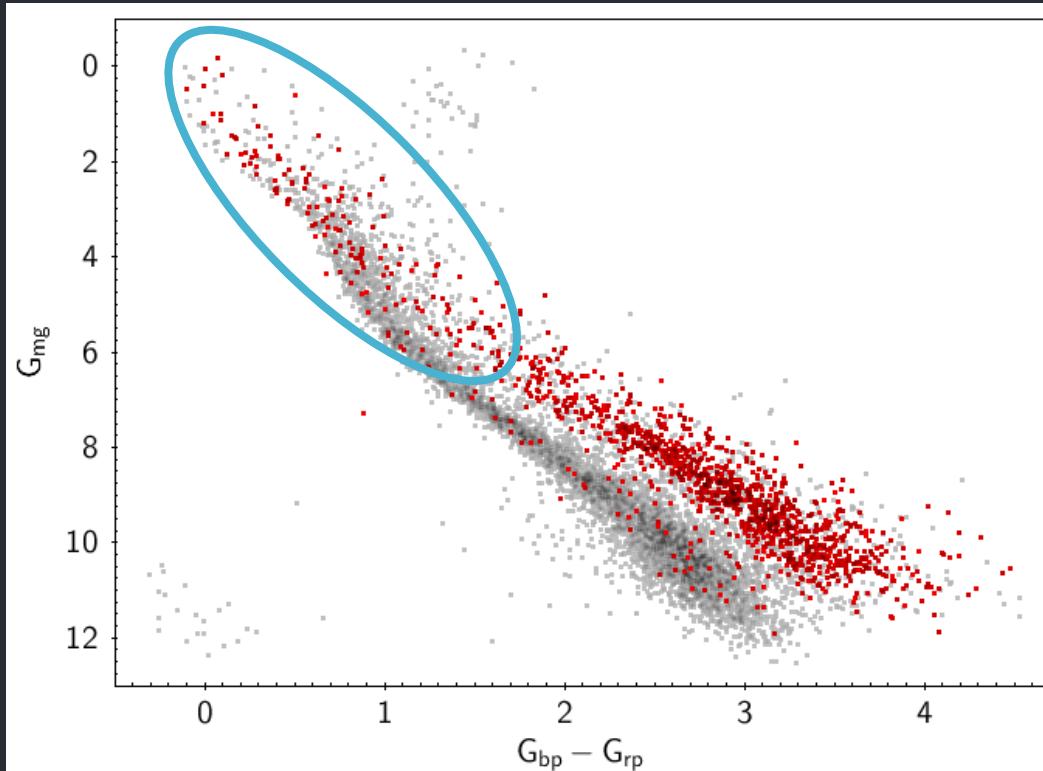
# 固有運動によるUSのメンバーシップ

抜き出したUSのサンプル数 : 4,324



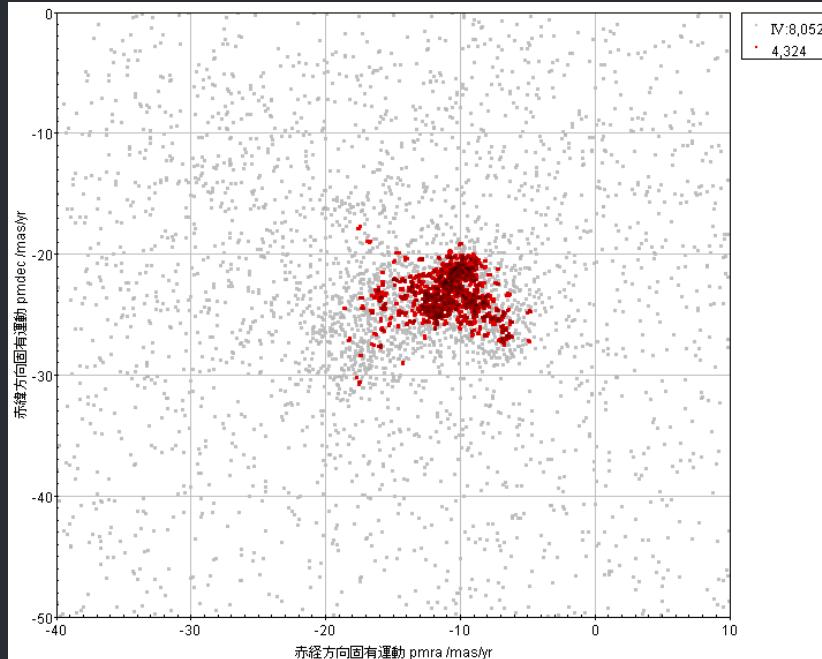
↑ 固有運動空間  
非常にコンパクトな領域  
が抽出されている

↓ HR図:小質量星以上の星が含まれる

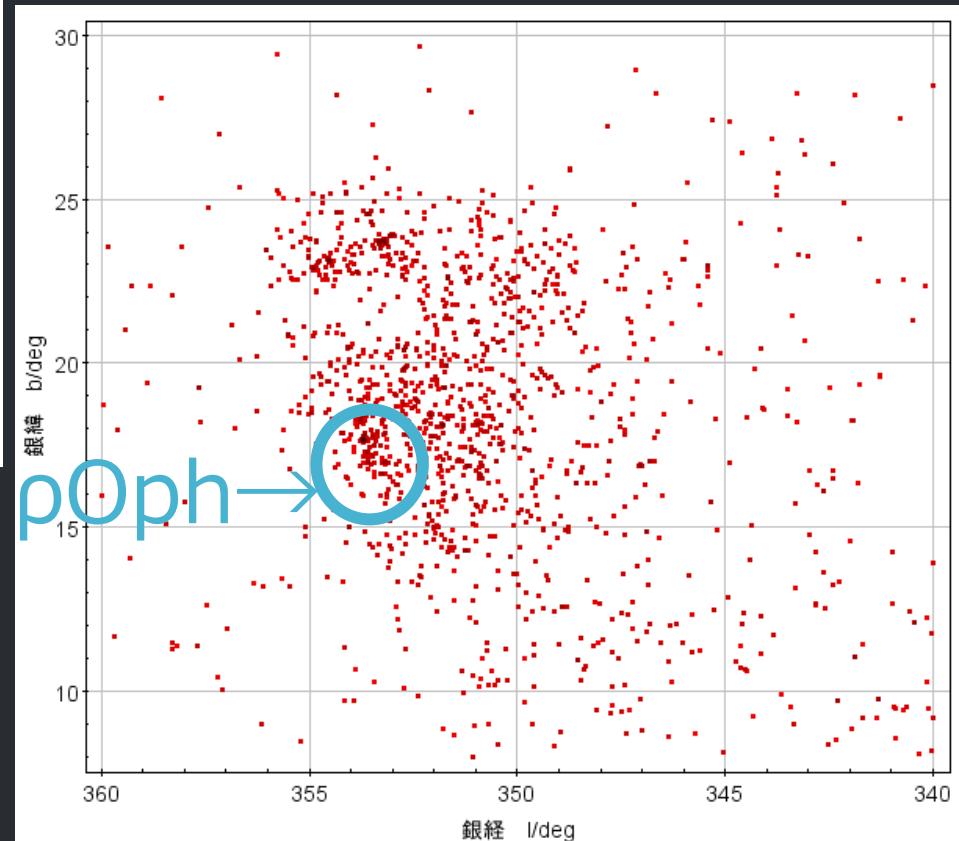


# 固有運動によるUSのメンバーシップ

抜き出したUSのサンプル数 : 4,324

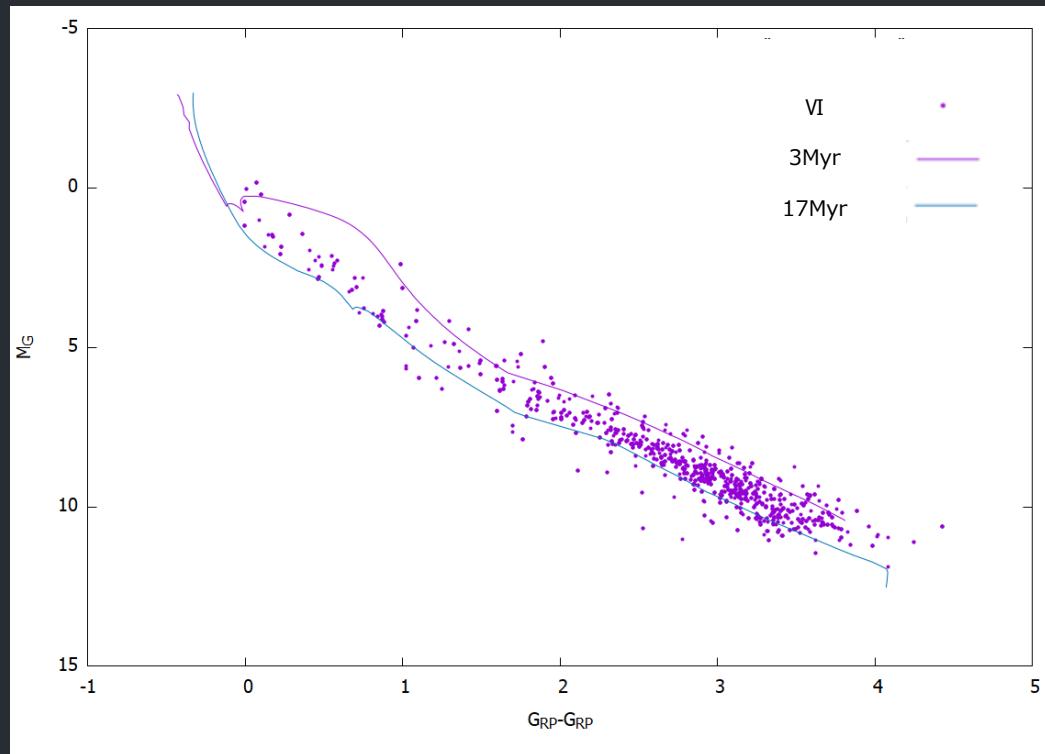


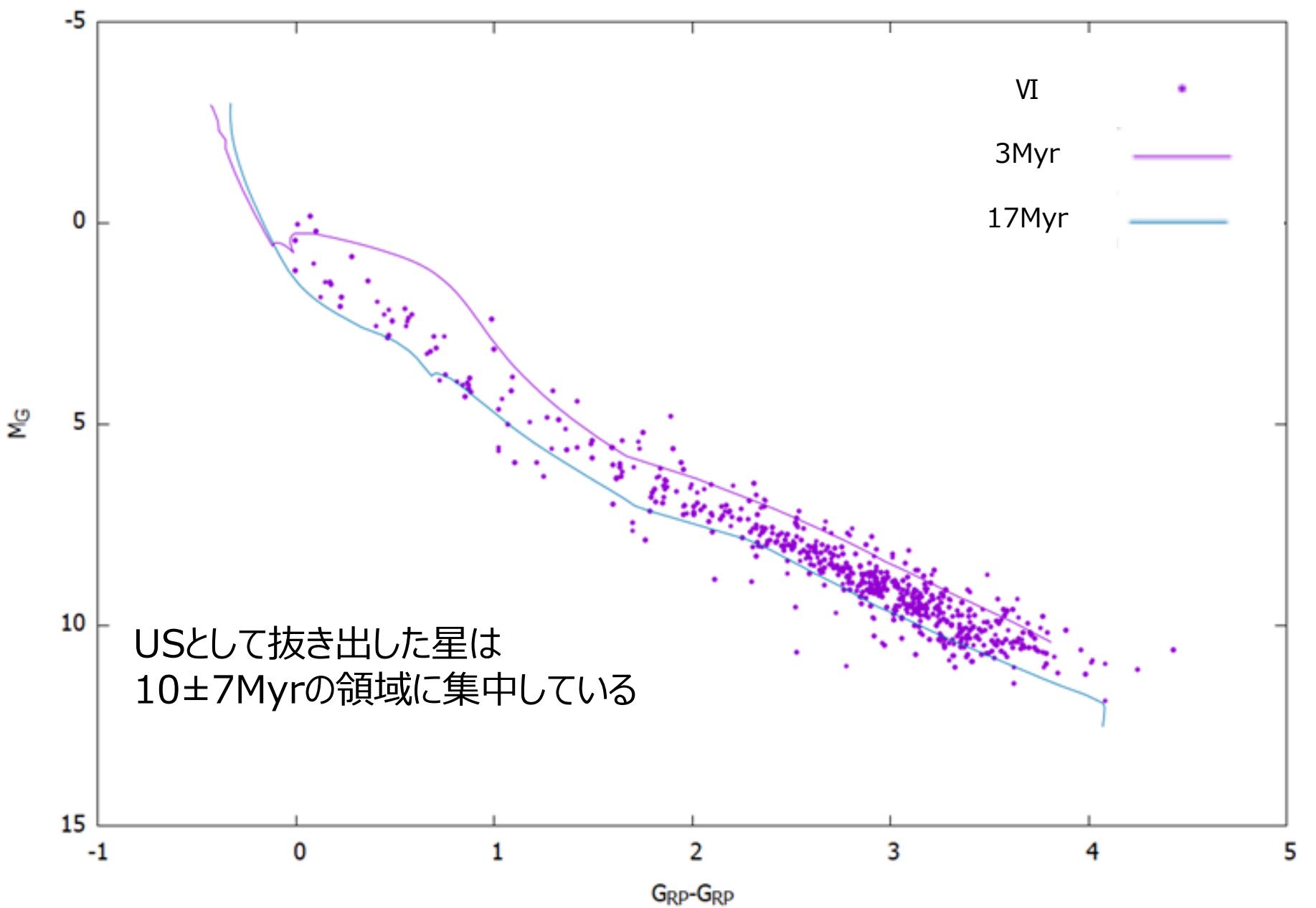
→銀経銀緯平面  
ρOphがある領域を含んでいる

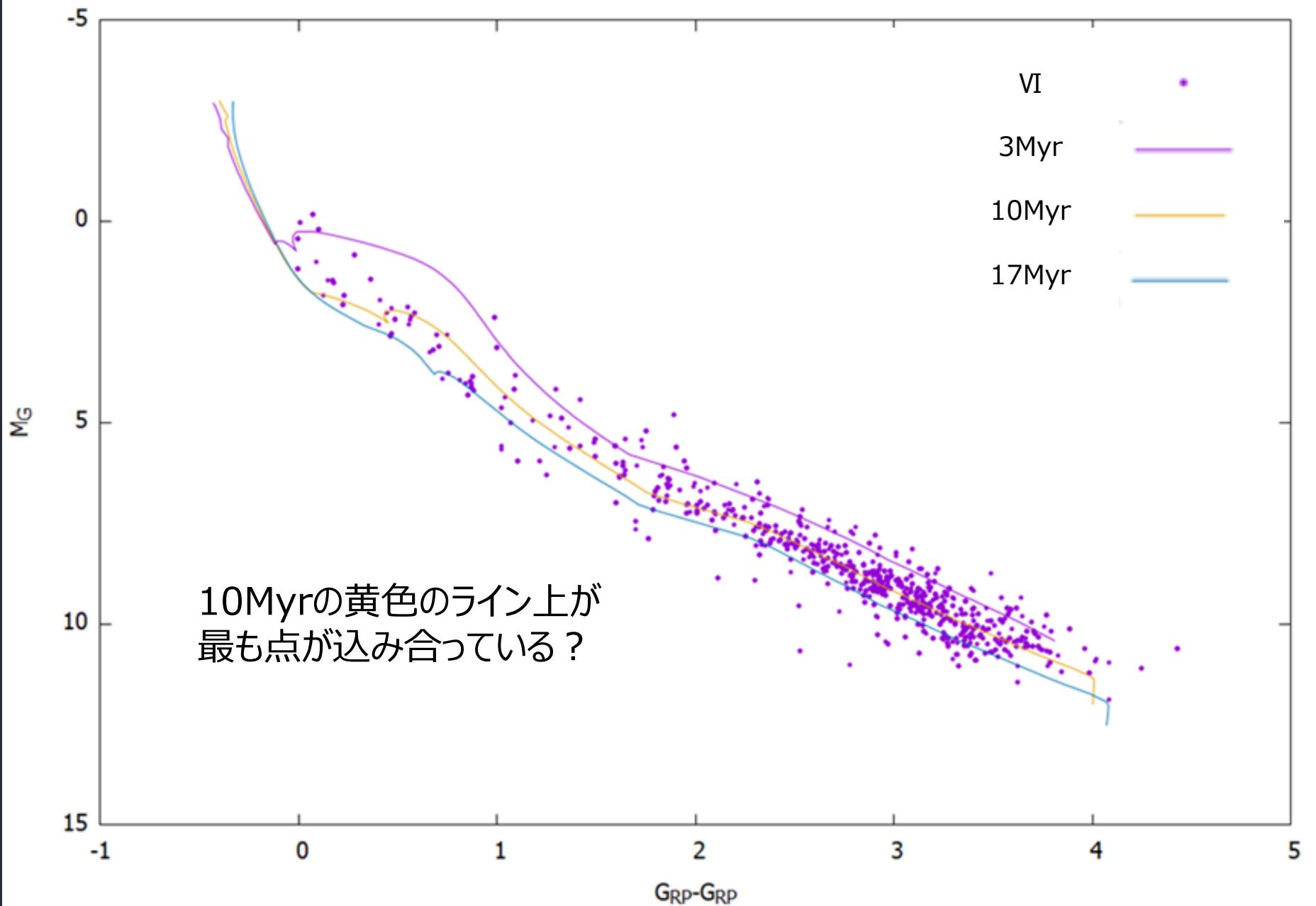


# メンバーシップの評価

- ・固有運動で抜き出したメンバーからHR図にて評価する
- ・恒星の年齢による等時線(Isochrone)と比較する

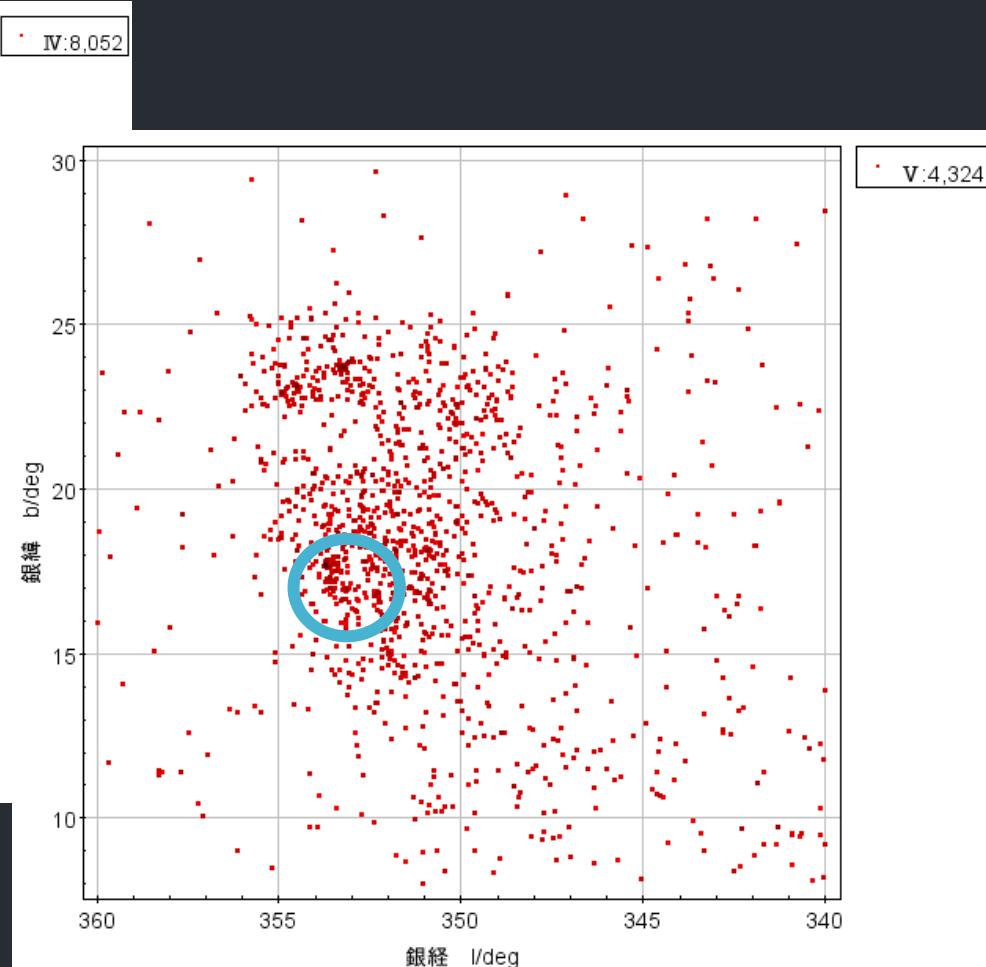
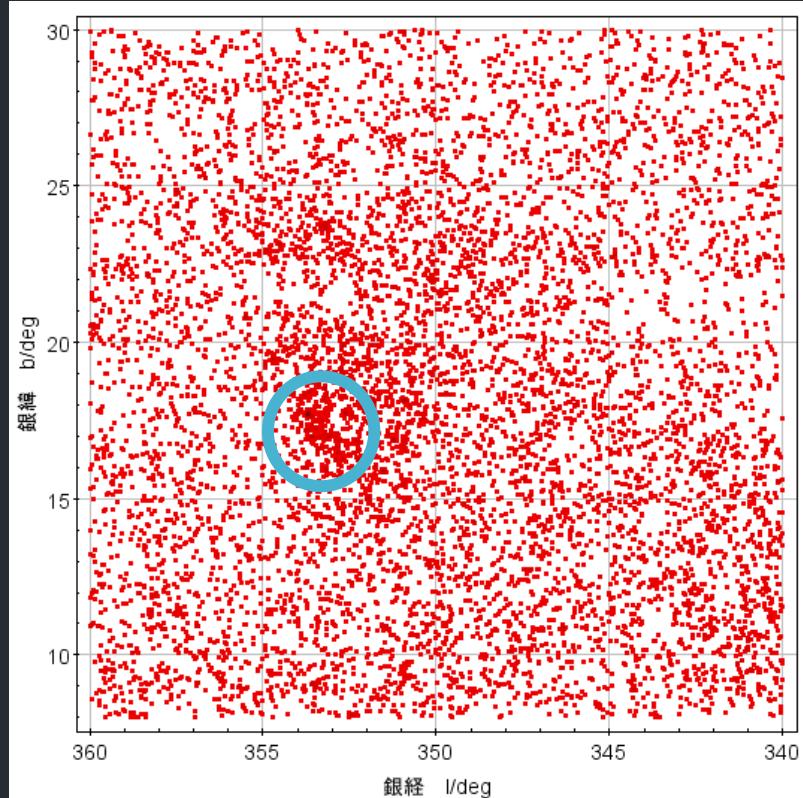






# メンバーシップの評価

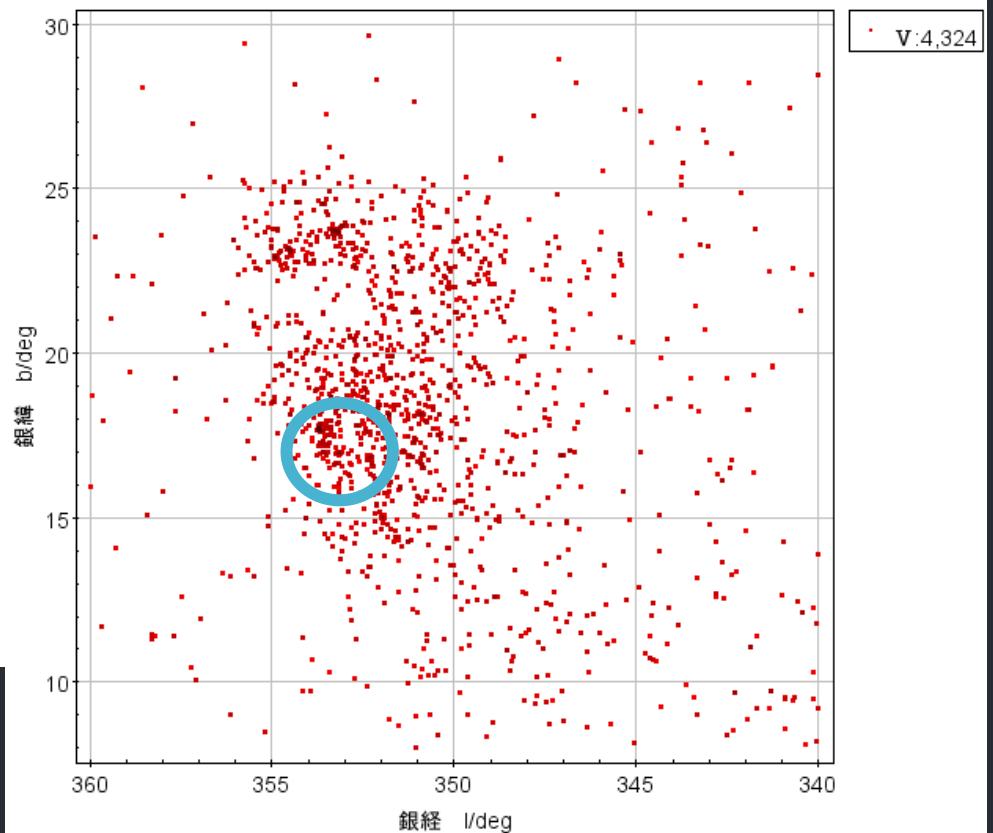
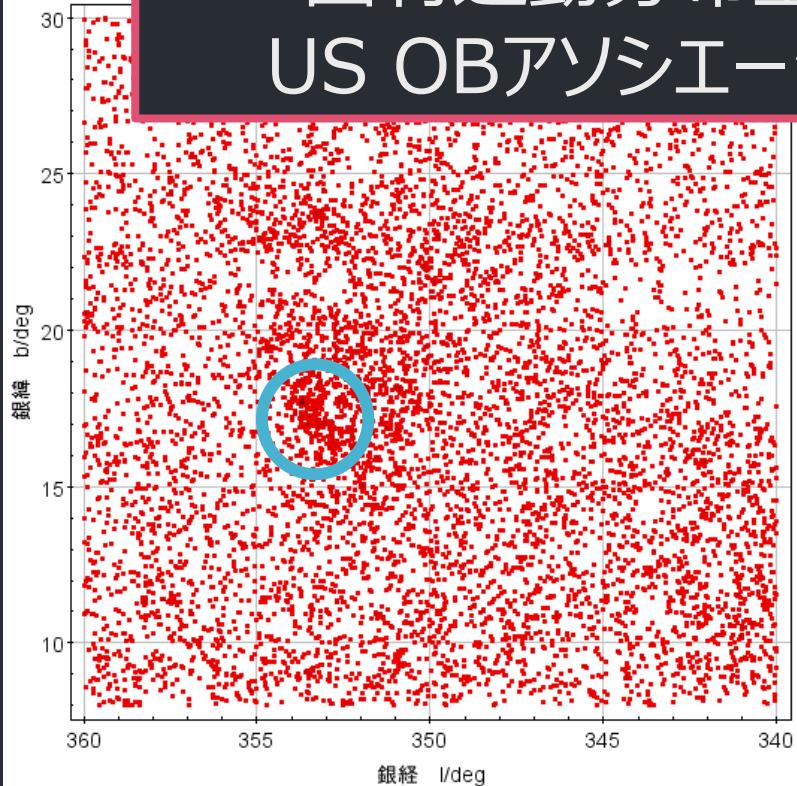
- ・メンバーは銀経銀緯で $10^\circ \times 10^\circ$ に約8割の星が存在する



# メンバーシップの評価

- メンバーシップ評価

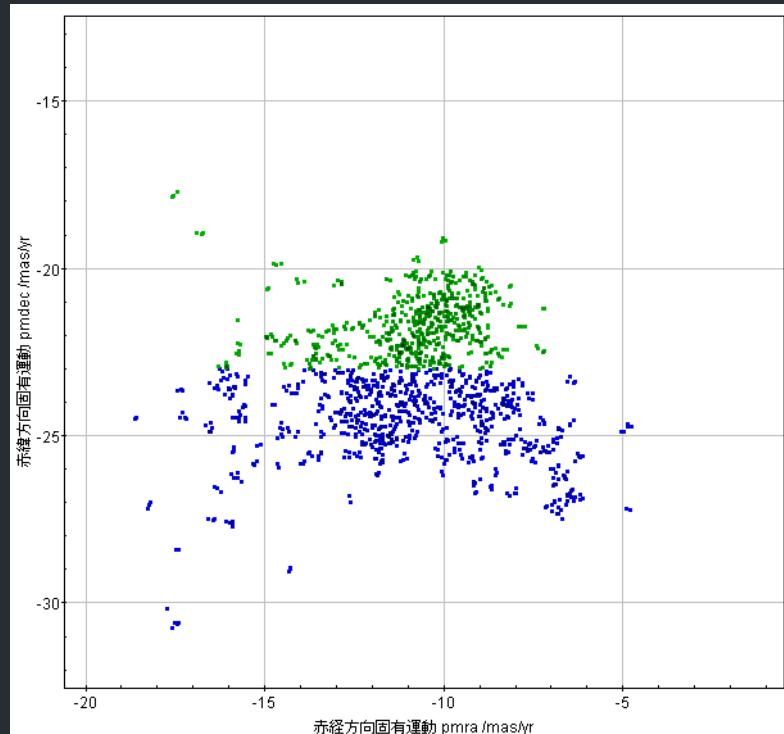
固有運動分布上の高密度部に着目し、  
US OBアソシエーションのメンバーがえられた



# まとめ、今後の課題

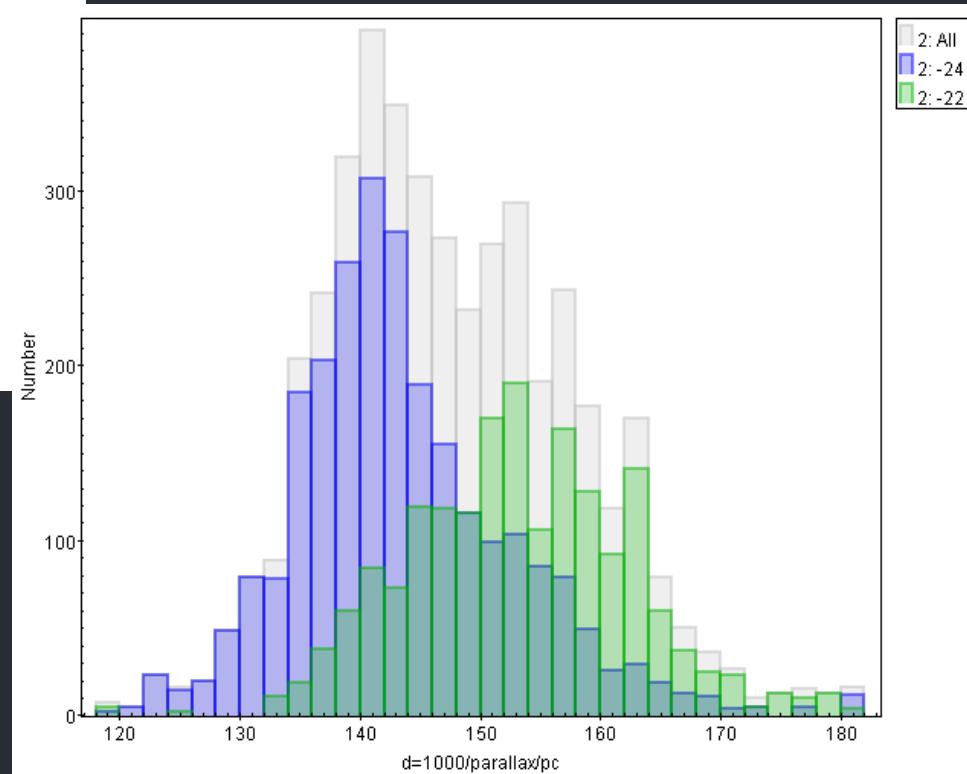
- 固有運動によるメンバーシップにより、小質量星以外のOBアソシエーションメンバーを抜き出すことが可能
- US OBアソシエーションの起源、ρOph分子雲からいびつに広がっているように見える
- US OBアソシエーション内にいくつかのサブグループが存在
- US OBアソシエーション内部のサブグループを探る
- Sco-Cen OBアソシエーション全体で同様に解析

# メンバーシップの評価

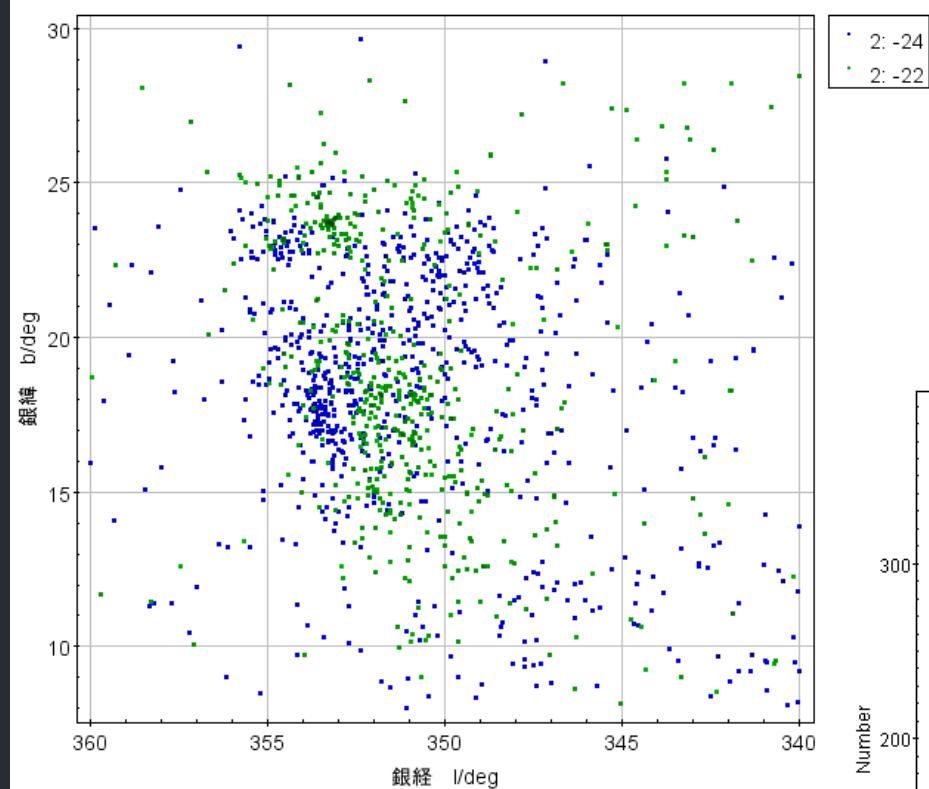


↑ 固有運動を-23mas/yrで分割

↓ 距離ごとの星の数。青が140pc  
にピークを持つ

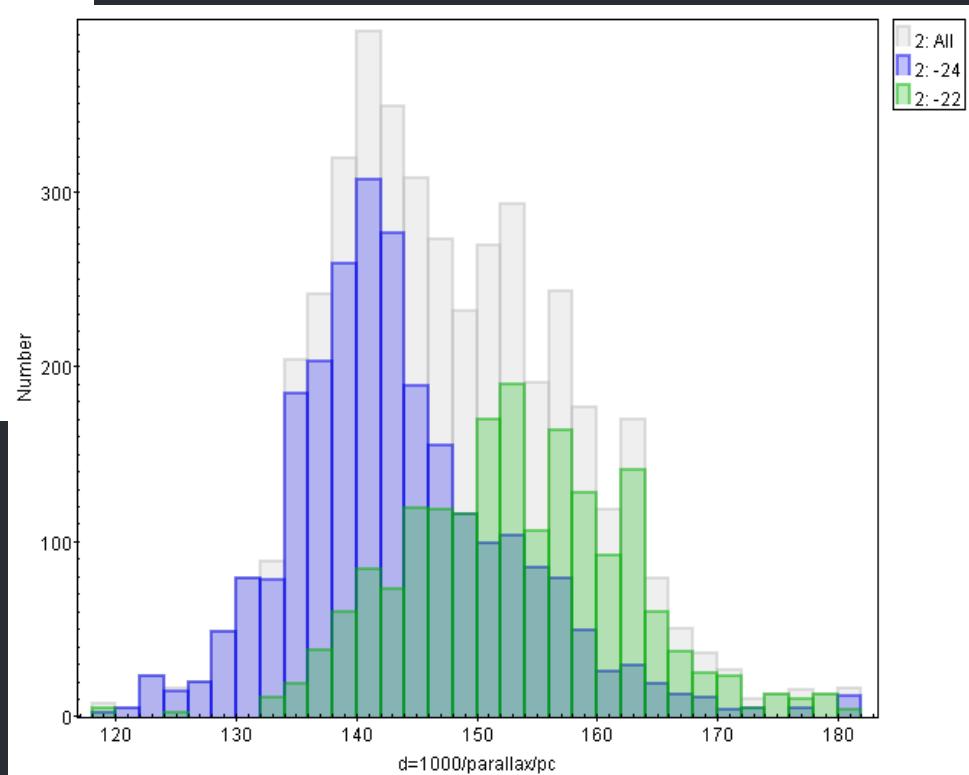


# メンバーシップの評価



↑ 固有運動を-23mas/yrで分割  
したグループを銀経銀緯での分布  
だいぶ重なった奥行方向の構造  
の可能性がある

↓ 距離ごとの星の数。青が140pc  
にピークを持つ



# まとめ、今後の課題

- 固有運動によるメンバーシップにより、小質量星以外のOBアソシエーションメンバーを抜き出すことが可能
- US OBアソシエーションの起源、 $\rho$ Oph分子雲からいびつに広がっているように見える
- US OBアソシエーション内にいくつかのサブグループが存在
- US OBアソシエーション内部のサブグループを探る
- Sco-Cen OBアソシエーション全体で同様に解析