

Z207c

JASMINE の観測波長と観測データについての見直し検討

矢野太平 (国立天文台)

他JASMINE チーム

本資料の概要

- 新たな検出器の搭載が検討されている。この新たな検出器におけるJASMINEの観測等級HwとI、Jとの関係を確認させる作業をおこなった。また、Gaiaなど他の高精度な位置天文観測データが出てきていることを踏まえて、観測領域の天体がどの程度明らかにされてきているかなどを確認する。

1 新検出器の新たに定義された観測帯域での等級への変換式詳細化

2 GaiaEDR3 のデータとの比較

3 APOGEEによるNSDのJASMINEでの観測可能性

観測波長

- 赤外線での位置天文観測衛星JASMINEは、これまでTeledyneのHgCdTe検出器(H4RG)を候補として検討を進めてきたが、国立天文台において地上用に開発が行われてきた国産のInGaAs近赤外検出器を宇宙用化し、JASMINEへの搭載をベースラインとする。
- InGaAsになったのに伴い、長波長側のカットオフは $1.7\mu\text{m}$ から $1.6\mu\text{m}$ へと変更した。
- 短波長側において、これまで、以前同様 $1.1\mu\text{m}$ としていた。しかし光子数を確保するためバンド幅の拡張が検討された。バンド幅を広く取りすぎると、星のタイプ毎の位置ずれが顕著になり補正が困難となるため、適切な波長の検討がなされた。そして星像位置決定精度が十分維持できる精度波長として $1.0\mu\text{m}$ とした。(ただし、今後変更の可能性はある)。
- Teledyne HgCdTe 検出器 : $1.1\mu\text{m}$ から $1.7\mu\text{m}$
- 国産 InGaAs 検出器 : $1.0\mu\text{m}$ から $1.6\mu\text{m}$
- あらたに定義されたバンド幅のHwにおいて、JやHなどからHwへの変換式が必要だが、その変換式をより詳細に調べる。

各種カタログでのI,J,KとHwの 関係

- 銀河中心方向での赤外観測データである**Sirius**, **2MASS**, **VVV**といったカタログの各フィルタにおいてあらたに定義された**JASMINE**での観測バンドである**Hw**はどのようなようになるのかの検討をおこなった。

Hw導出手順

- Sirius, 2MASS, VVVの J, H バンド波長感度特性 (次のスライド p7) を用いて、スライド p10の式に基づき J, H バンド等級を計算。
- JASMINEの Hw バンドについては、1.0-1.6 μm の範囲でフラットな波長感度特性を仮定し、上記同様に Hw バンド等級を計算(スライド p10)。
- 得られた等級をもとに Hw-H vs. J-H プロットを作成し、Hw バンド等級と各装置の J, H バンド等級の関係を調査(スライド p8)。
- Hw バンド等級を各装置の J, H バンド等級をもとに計算できるように、それぞれの関係を最小二乗フィットして関係式を構築。

SIRIUS, 2MASS, VVVの各種 filter

SIRIUSフィルタとなるが、データであたえられているのは純粋にフィルタの透過率のみあり、大気吸収やQEはふくまれていない。

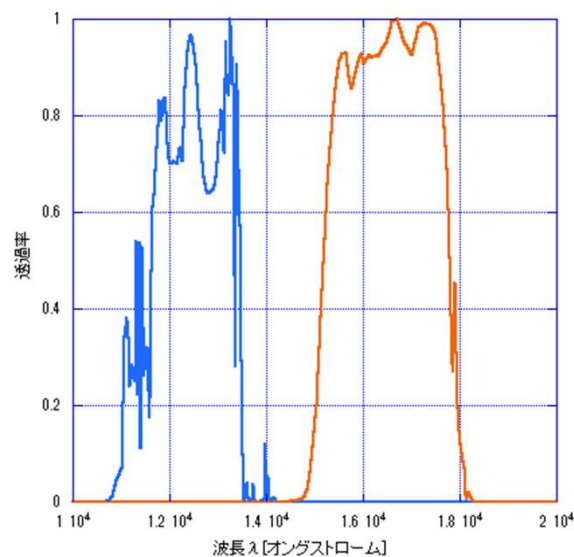
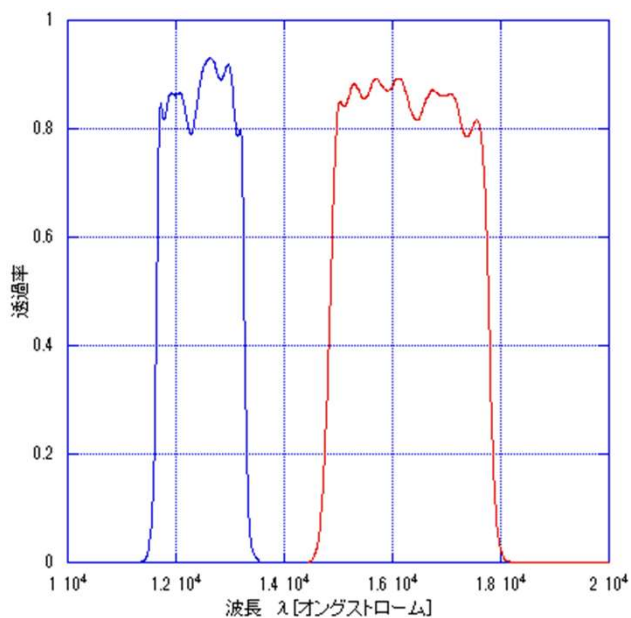
<http://www-ir.u.phys.nagoya-u.ac.jp/~irsf/sirius/tech/index.html>

2 MASS の透過率として与えられているデータ（ピークで規格化）は量子効率、大気吸収率がすでに含まれている。

(Cohen et al.2003)

https://old.ipac.caltech.edu/2mass/releases/allsky/doc/sec6_4a.html#rsr
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2003AJ...126.1090C/abstract>

したがってこのデータを用いてスペクトル積分を行う。



VVVのfilterについて、Jバンドfilter、Hバンドfilterそのものの透過率データ、量子効率のデータ、大気吸収のデータが与えられている。それぞれをプロットしたのが左図。

ESO

<http://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/vircam/inst.html>

によりfilter情報を取得

青：Jバンドfilter透過率

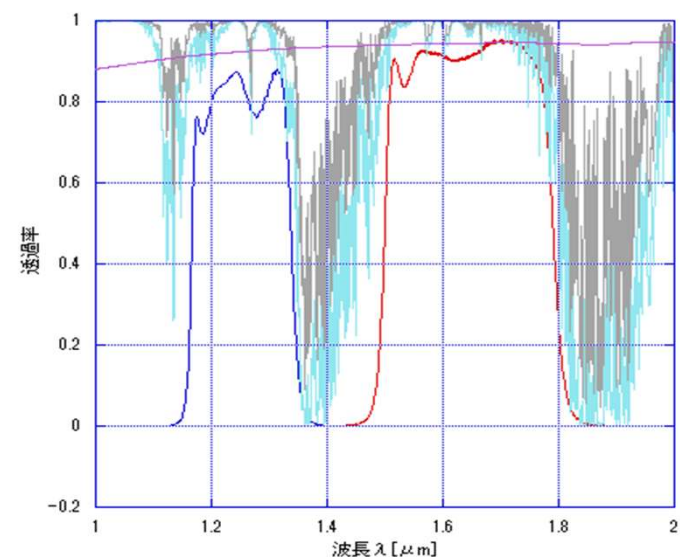
赤：Hバンドfilter透過率

紫：量子効率 (QE)

灰：大気透過率 PWV=1mm, sec z=1

水色：大気透過率 PWV=3mm, sec z=2

PWV : precipitable water vapor



フィルタ毎の変換式Hw

◎使用データ

ESO IRスペクトラルライブラリを使用した。

http://www.eso.org/sci/observing/tools/standards/IR_spectral_library.html

(O,B,A,F,G,K,M のNormal天体 116天体を使用)

吸収の取り扱い

Ak=0,1,2,3,4magの吸収を与える事で様々な吸収を受けた天体を検討。

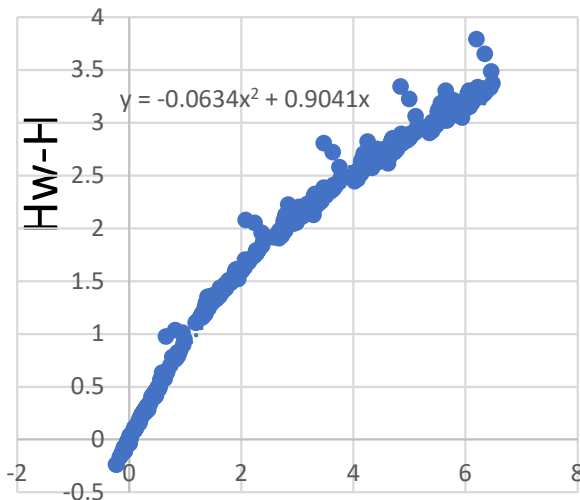
吸収係数

$$A(\lambda)/A_{ks}=5.2106 \times \lambda^{(-2.112)}$$

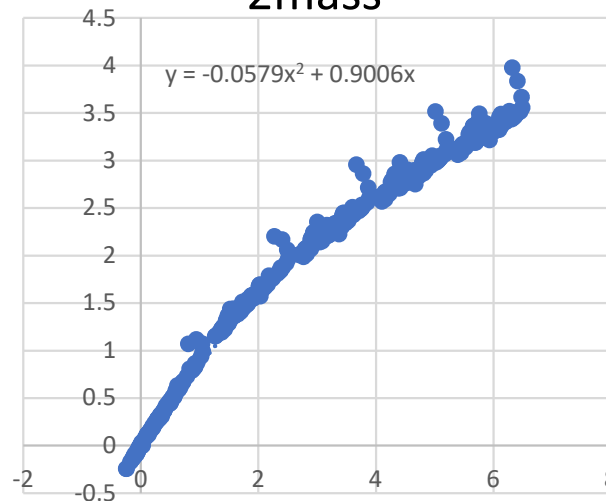
◎作業内容

VVV, 2MASS, SiriusのJ,Hフィルタを用いてそれぞれにおいてHwを見積る。それぞれのフィッティング関数を最小2乗法にて導出（最小2乗はエクセル使用）。フィッティング曲線的前提条件は2次式、原点を通る(定数項なしの2次式)曲線とした。

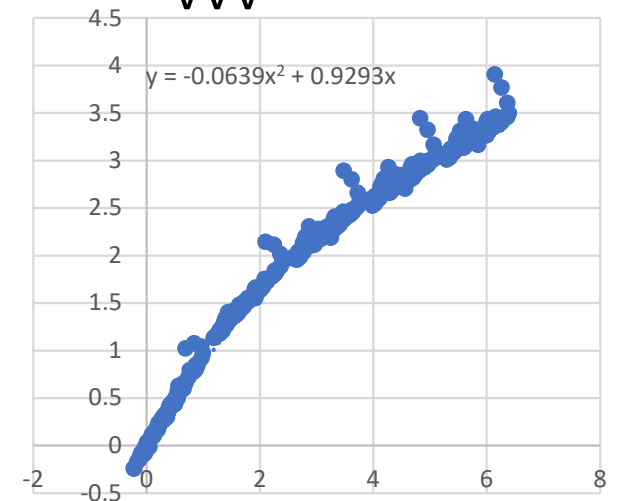
グラフタイトル
Sirius



グラフタイトル
2mass



グラフタイトル
VVV



J-H

吸収係数の近似式の導出

GALACTICNUCLEUS-surveyを用いて検討した論文F. Nogueras-Lara et al.(2020)
<https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2020/09/aa38606-20.pdf>

よりJ(1.22 μ m), H(1.63 μ m), Ks(2.19 μ m)に対し

AJ/AKs=3.44

AJ/AH=1.87

AH/AKs=1.84

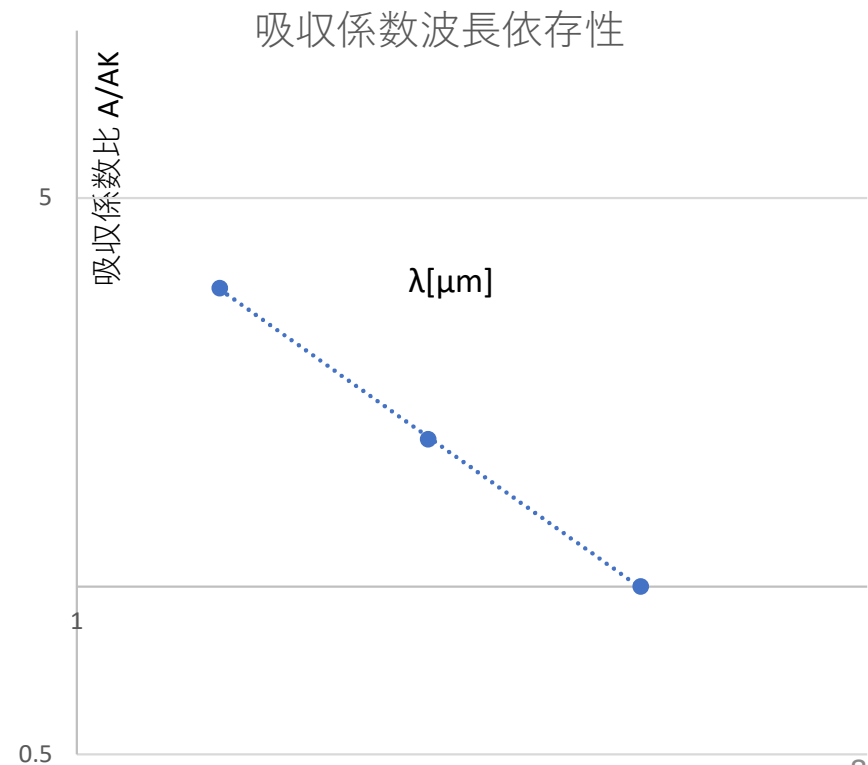
であるとした。この値をもとに吸収係数の関数を以下のようにした。

以上J,H,Ksの3点のデータに対し両対数表記で右上図のようにほぼ直線となる。

以上より、両対数上で直線となる累乗関数によるfittingをした。

結果、いかのようになった。

$$A(\lambda)/A_{ks}=5.2106 \times \lambda^{-2.112}$$



等級の定義

- 等級において(フラックス量ではなく)光子数により定義する。
- J,HにおいてはSirius, 2MASS, VVVなど各種フィルタをかけて積分する。(W(λ)はスライドp7で与えられる)

$$F = \int \frac{F(\lambda)W(\lambda)}{h\nu} d\lambda$$

$$= \int \frac{F(\lambda)W(\lambda)}{hc} \lambda d\lambda$$

$$F_0 = \int \frac{F_{vega}(\lambda)W(\lambda)}{h\nu} d\lambda$$

$$= \int \frac{F_{vega}(\lambda)W(\lambda)}{hc} \lambda d\lambda$$

$$J(\text{photon}) = -2.5 \log \frac{F}{F_0}$$

$$H(\text{photon}) = -2.5 \log \frac{F}{F_0}$$

- Hw等級は以下の式で計算される。

$\lambda_1=1.0\mu\text{m}$, $\lambda_2=1.6\mu\text{m}$ として、

$$F = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{F(\lambda)}{h\nu} d\lambda$$

$$= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{F(\lambda)}{hc} \lambda d\lambda$$

$$F_0 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{F_{vega}(\lambda)}{h\nu} d\lambda$$

$$= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{F_{vega}(\lambda)}{hc} \lambda d\lambda$$

$$Hw(\text{photon}) = -2.5 \log \frac{F}{F_0}$$

数値整理

最小2乗フィットにより以下のように計算された。ただし、星の選び方などによるため、4桁目などの数値的意味はあまりない。そこで2桁で整理する。

- $H_w = 0.9041J + 0.0959H - 0.0634(J-H)^2$ (Sirius)
- $H_w = 0.9006J + 0.0994H - 0.0579(J-H)^2$ (2mass)
- $H_w = 0.9293J + 0.0707H - 0.0639(J-H)^2$ (VVV)



- $H_w = 0.90J + 0.10H - 0.063(J-H)^2$ (Sirius)
- $H_w = 0.90J + 0.10H - 0.058(J-H)^2$ (2mass)
- $H_w = 0.93J + 0.07H - 0.064(J-H)^2$ (VVV)

Hw 変換式

- $Hw=0.90J +0.10H-0.063(J-H)^2$ (Sirius)
- $Hw=0.90J +0.10H-0.058(J-H)^2$ (2mass)
- $Hw=0.93J +0.07H-0.064(J-H)^2$ (VVV)

観測装置毎以上のように整理されるが、観測装置の違いまで気にしないような場合には以下の式による変換で十分である。

近似的に以下の式に従う。

$$Hw=0.9J + 0.1H -0.06(J-H)^2$$

GaiaEDR3, APOGEE との比較

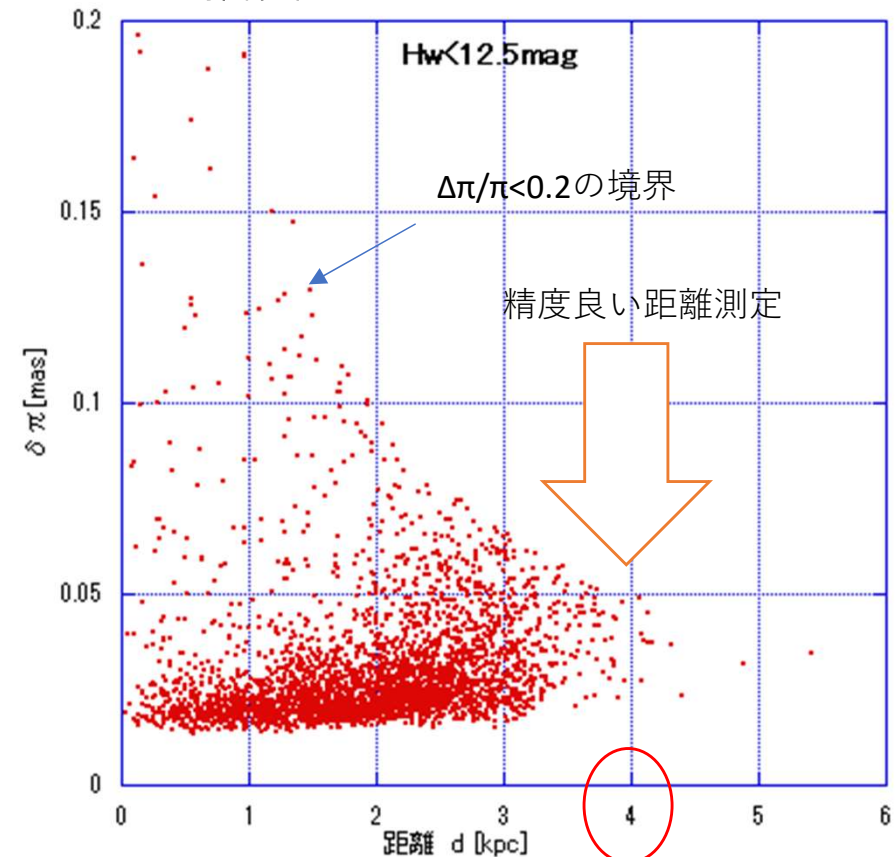
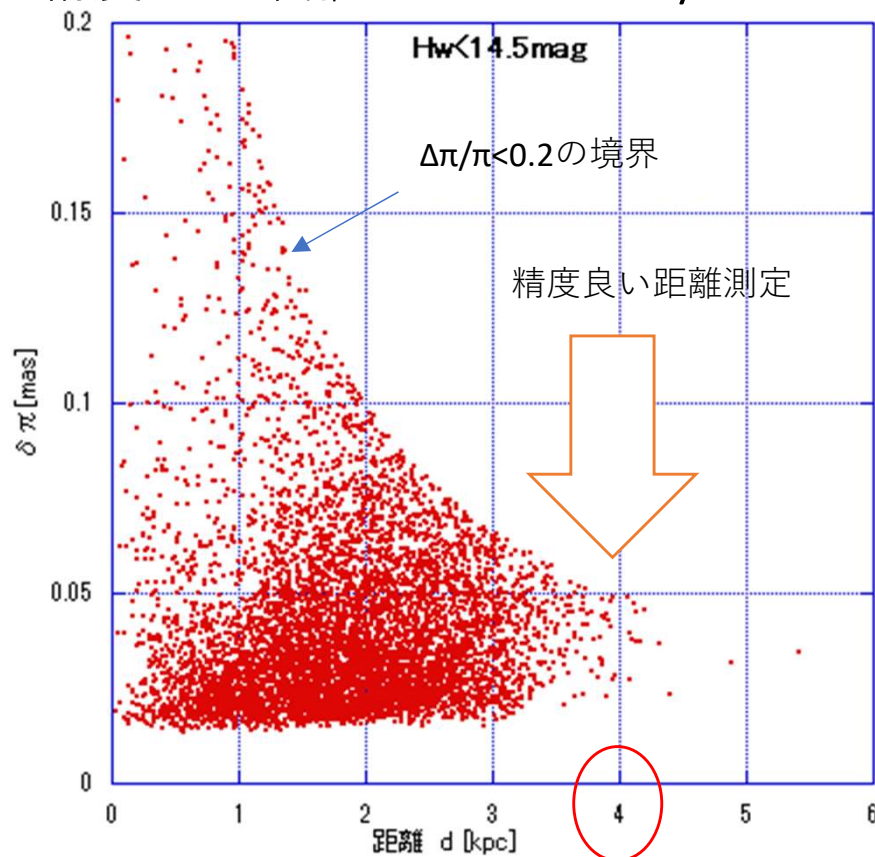
- GaiaではGaiaEDR3もreleaseされた。
- GaiaEDR3でどこまで観測されているか、我々のこれまでの検討と無矛盾なのかを検討する。
- APOGEEデータによりNSDが確認されているが、JASMINEで観測可能であるかの調査をした。

GaiaEDR3でどの距離あたりまで測定できているか

GaiaEDR3&2MASSマッチングデータ

銀河中心領域半径0.7度円内

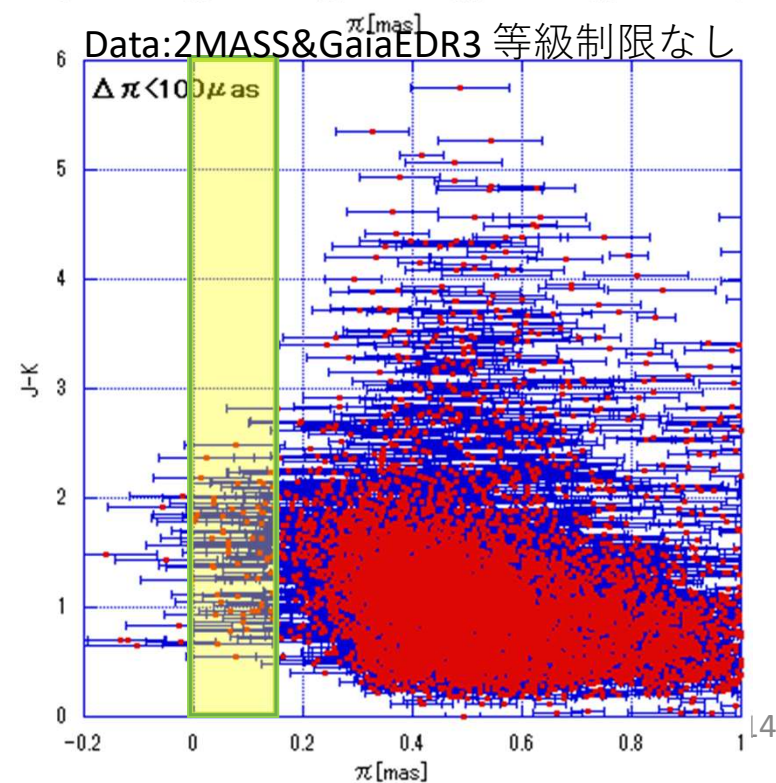
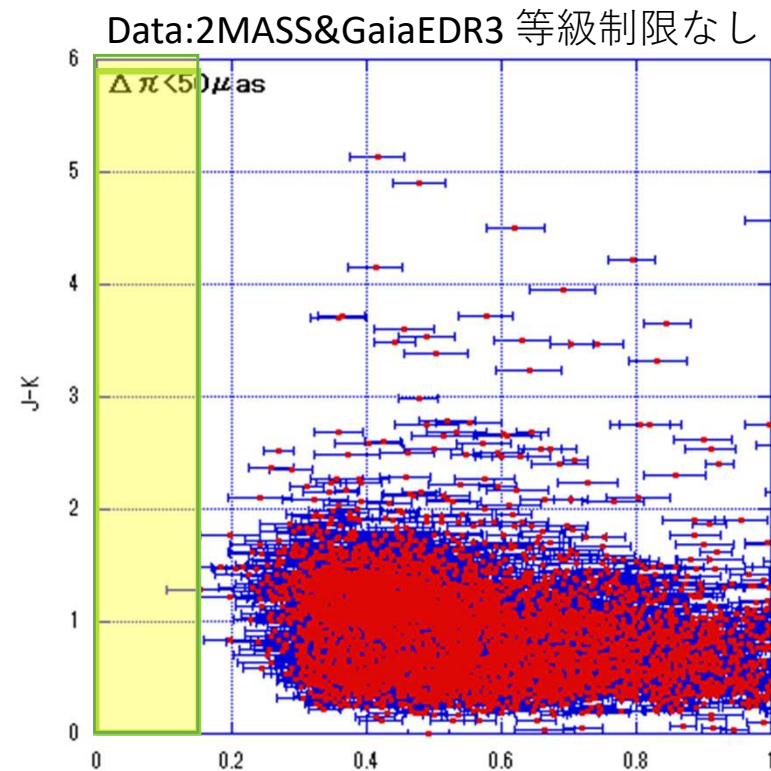
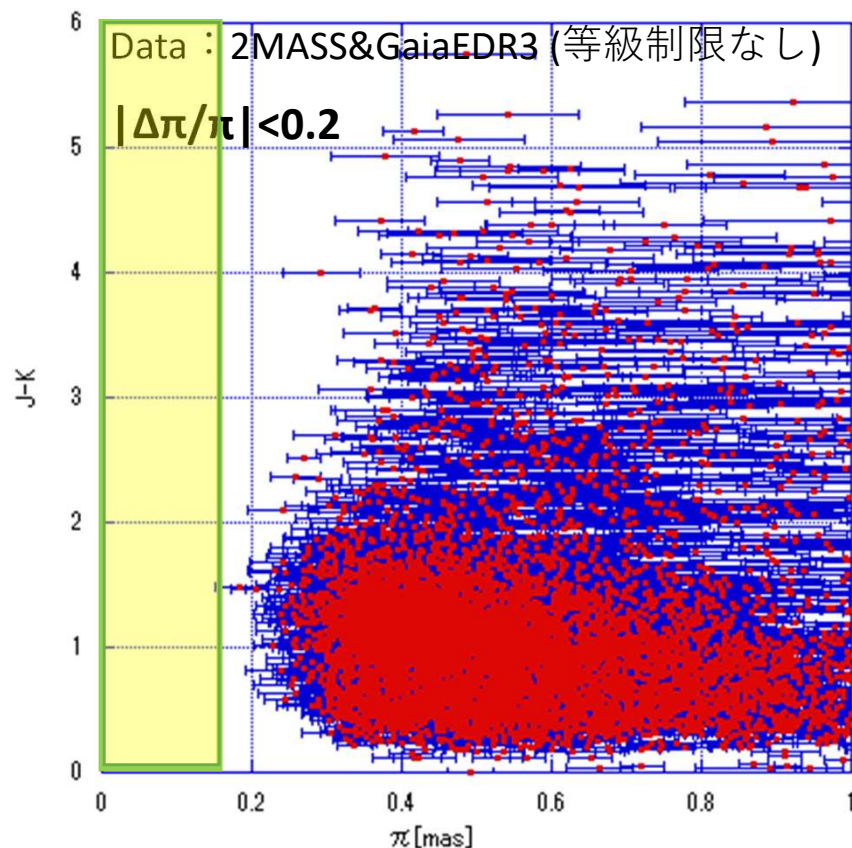
精度よく距離測定できる $\Delta\pi/\pi < 0.2$ のデータを抽出



$d < 4$ kpc程度まで距離測定ができています。

年周視差とJ-K(選別)

2MASS&GaiaEDR3 JASMINE全観測領域において、年周視差 π vs J-Kに対し $|\Delta\pi/\pi| < 0.2$ なるものを選別した(左図) また、 $\Delta\pi < 50\mu\text{as}$ の選別(右上)、 $\Delta\pi < 100\mu\text{as}$ (右下)を記した。



精度よく年周視差が求められる $|\Delta\pi/\pi| < 0.2$ (左図)、あるいは $\Delta\pi < 50\mu\text{as}$ (右上)において、バルジ天体($\pi < 0.16\text{mas}$)は存在しない。
 $\Delta\pi < 100\mu\text{as}$ では若干天体があるが、エラーバーの大きさからして偶然に $\pi < 0.16\text{mas}$ に入っている可能性が高い。

APOGEEでNSDが観測された天体はJASMINEで観測されるか

Schönrich et al.(2015)において、銀河中心においてNSDの回転がしめされた。右図。

このデータで、JASMINEで観測される天体が本当に存在するかを調べる。

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS, 812:L21 (5pp), 2015 October 20

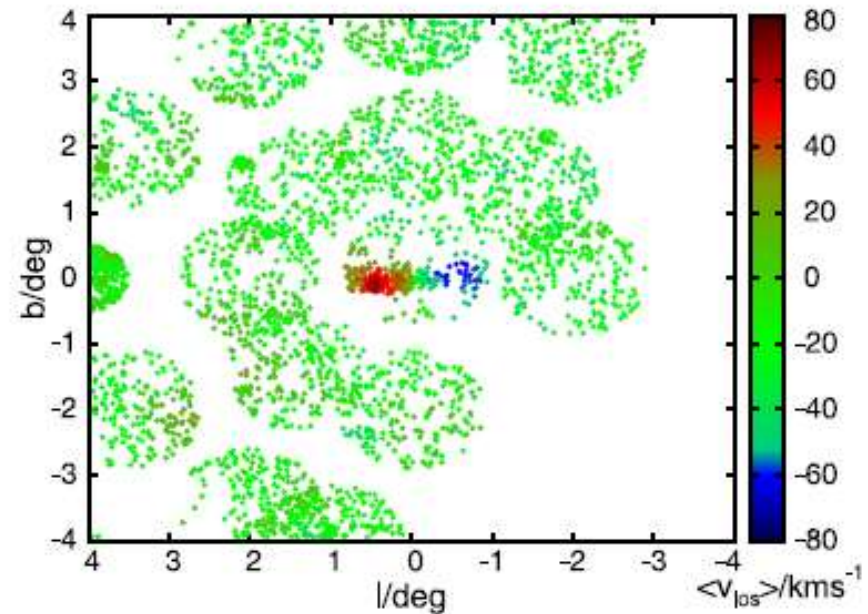


Figure 1. Overview of APOGEE stars (colored dots) near the Galactic center in Galactic longitude l and latitude b . Colors represent the mean line-of-sight velocity v_{los} of each star and its closest 29 neighbors. Note the division into plates/fields and the clear dipole structure in v_{los} around the Galactic center.

データはAPOGEE

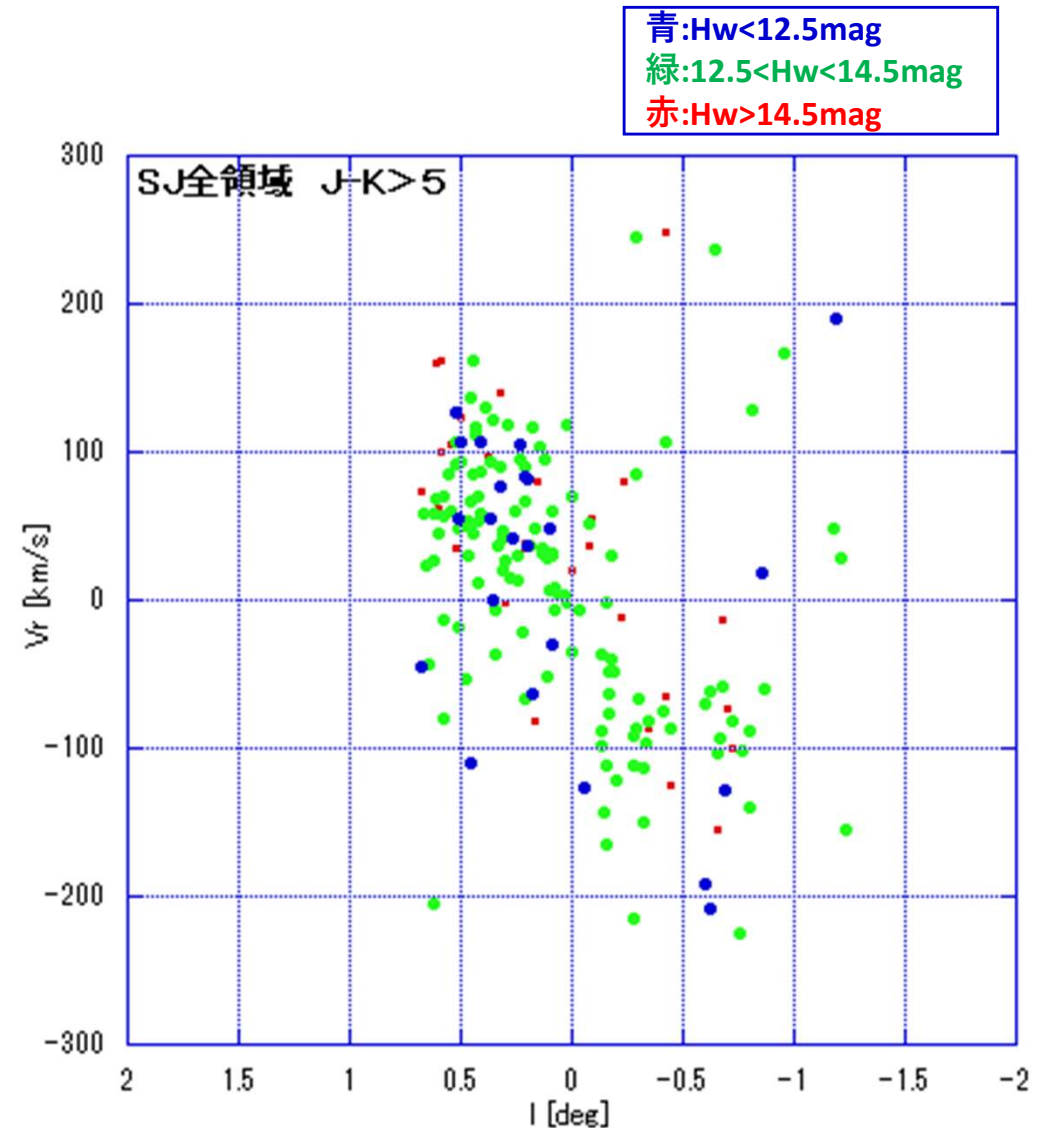
データのヘッダー情報は

https://data.sdss.org/datamodel/files/APOGEE_ASPCAP/APRED_VERS/ASPCAP_VERS/allStar.html

JASMINE領域でのAPOGEEでの天体の運動と個数

- APOGEE
- SJ全領域抽出
- J-K>5 抽出
($A_k > \sim 3$ に相当)
- 等級制限なし 179
- $H_w < 14.5\text{mag}$ 147
- $H_w < 12.5\text{mag}$ 23

クリアに回転成分が見られる。そうした天体は $H_w < 12.5\text{mag}$ では少数だが、 $H_w < 14.5\text{mag}$ までとるとAPOGEEで観測されているほとんどの天体を網羅する。

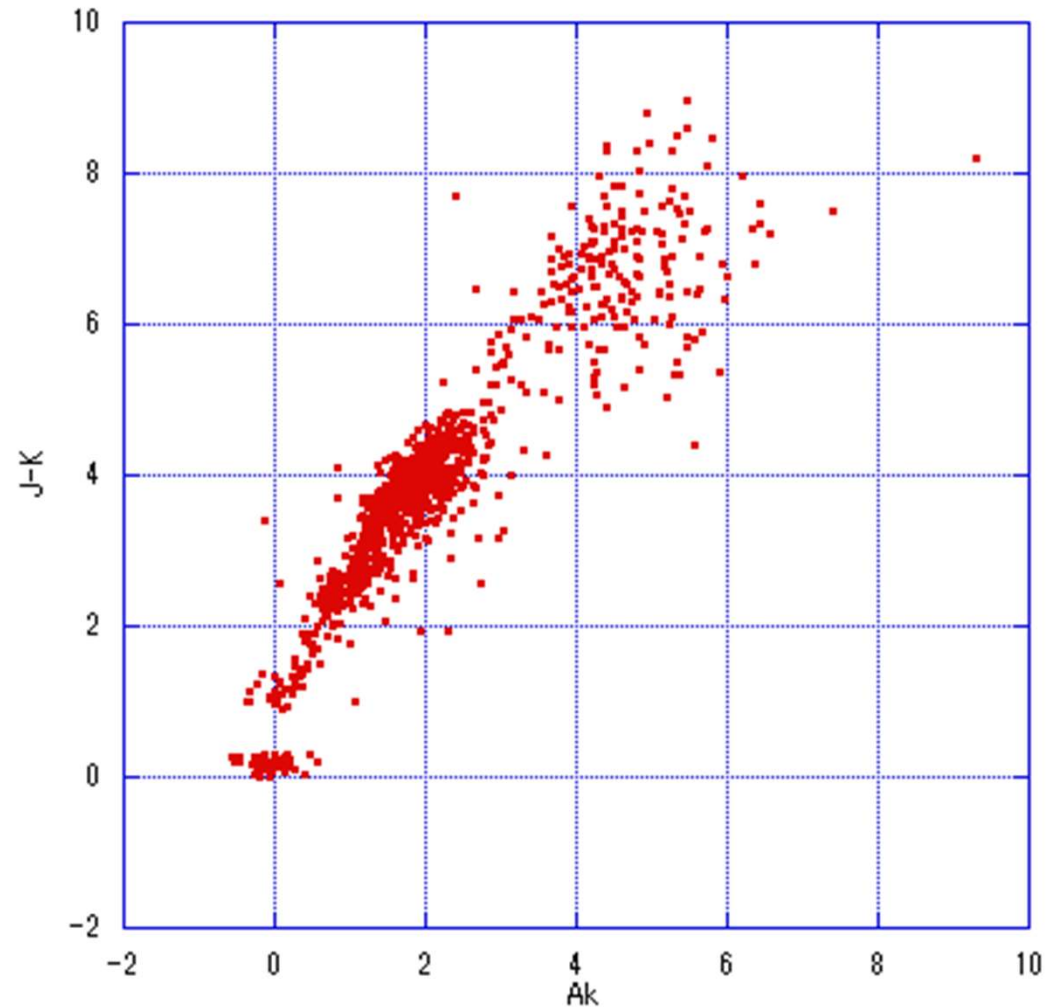


AkとJ-Kの関係

APOGEEデータ ($-2 < l < 2, -1 < b, 1$)
において、AkとJ-Kの関係を調
べた。

AkとJ-Kに強い相関がみられた。

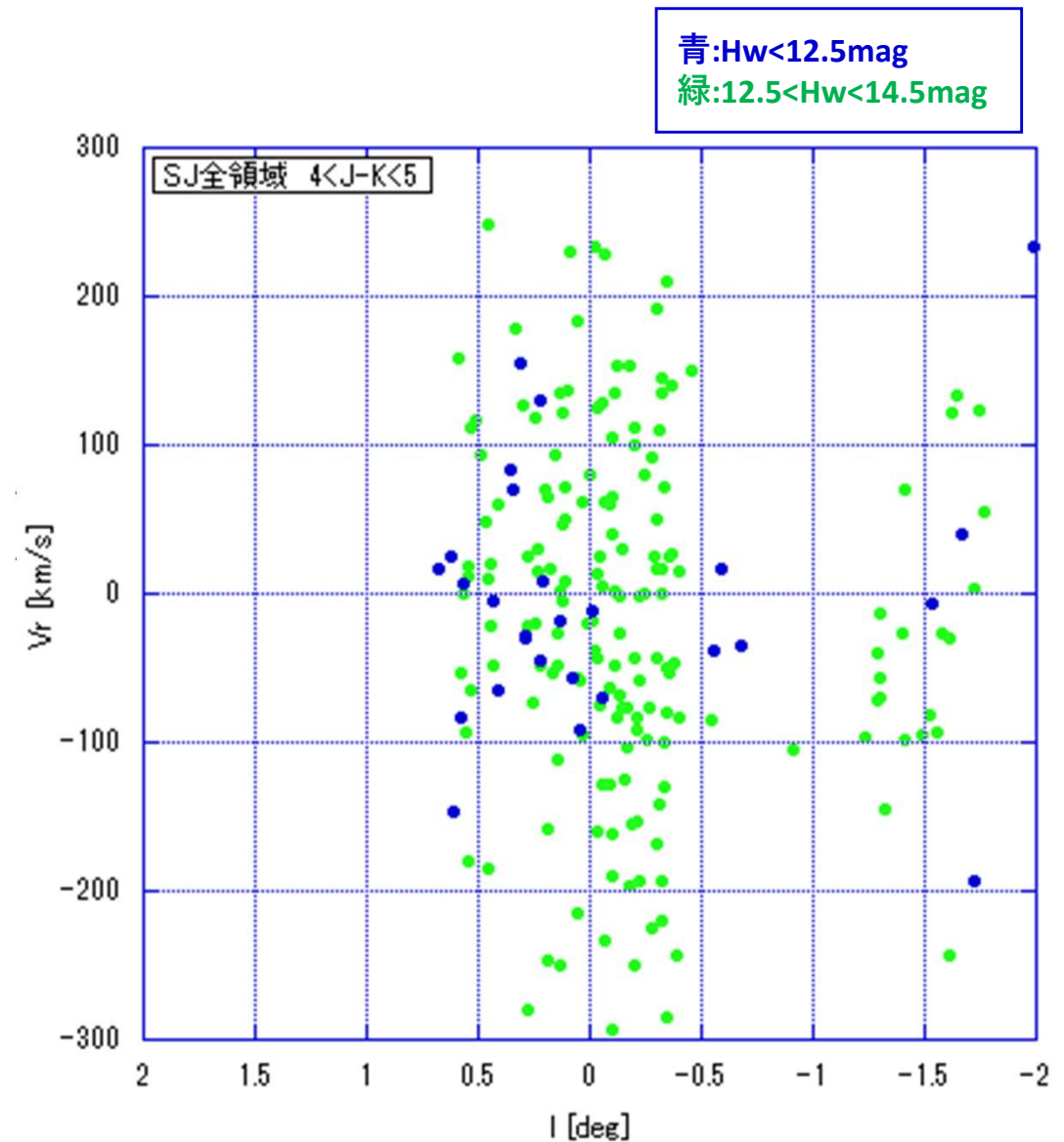
AK \sim 3はJ-K \sim 5に対応している。
AK \sim 2はJ-K \sim 4に対応している。
AK \sim 1はJ-K \sim 3に対応。



JASMINE領域でのAPOGEEでの天体の運動と個数

- APOGEE
- SJ全領域抽出
- $4 < J-K < 5$ 抽出
(およそ $2 < A_K < 3$ に相当)
- 等級制限なし 201
- $H_w < 14.5 \text{ mag}$ 201
- $H_w < 12.5 \text{ mag}$ 28

回転成分がほとんど見られなくなる。

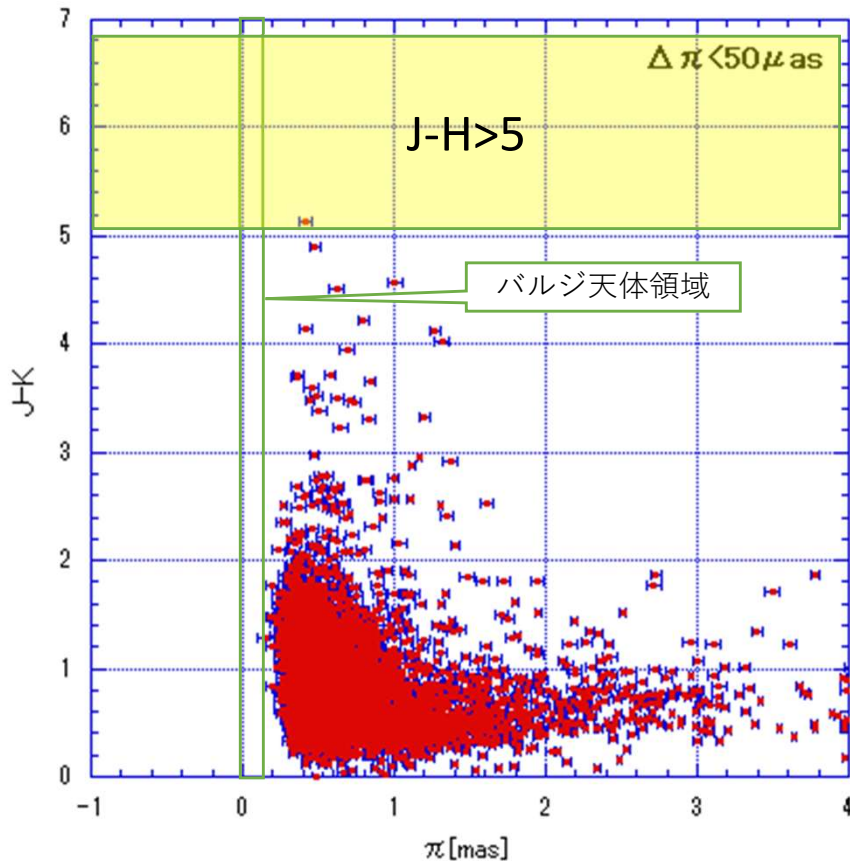


GaiaでJ-K>5の天体を観測しているか

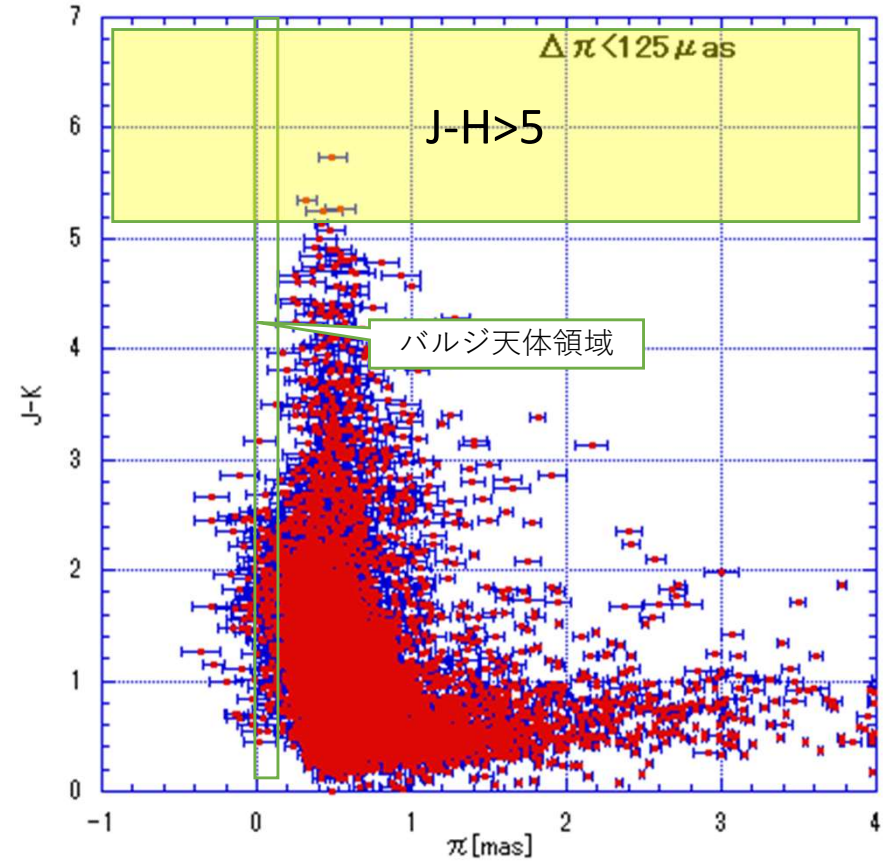
2MASS&GaiaEDR3データ使用

JASMINE全観測領域内

左：年周視差精度 $\Delta\pi < 50\mu\text{as}$ を選別、右 $\Delta\pi < 125\mu\text{as}$ を選別



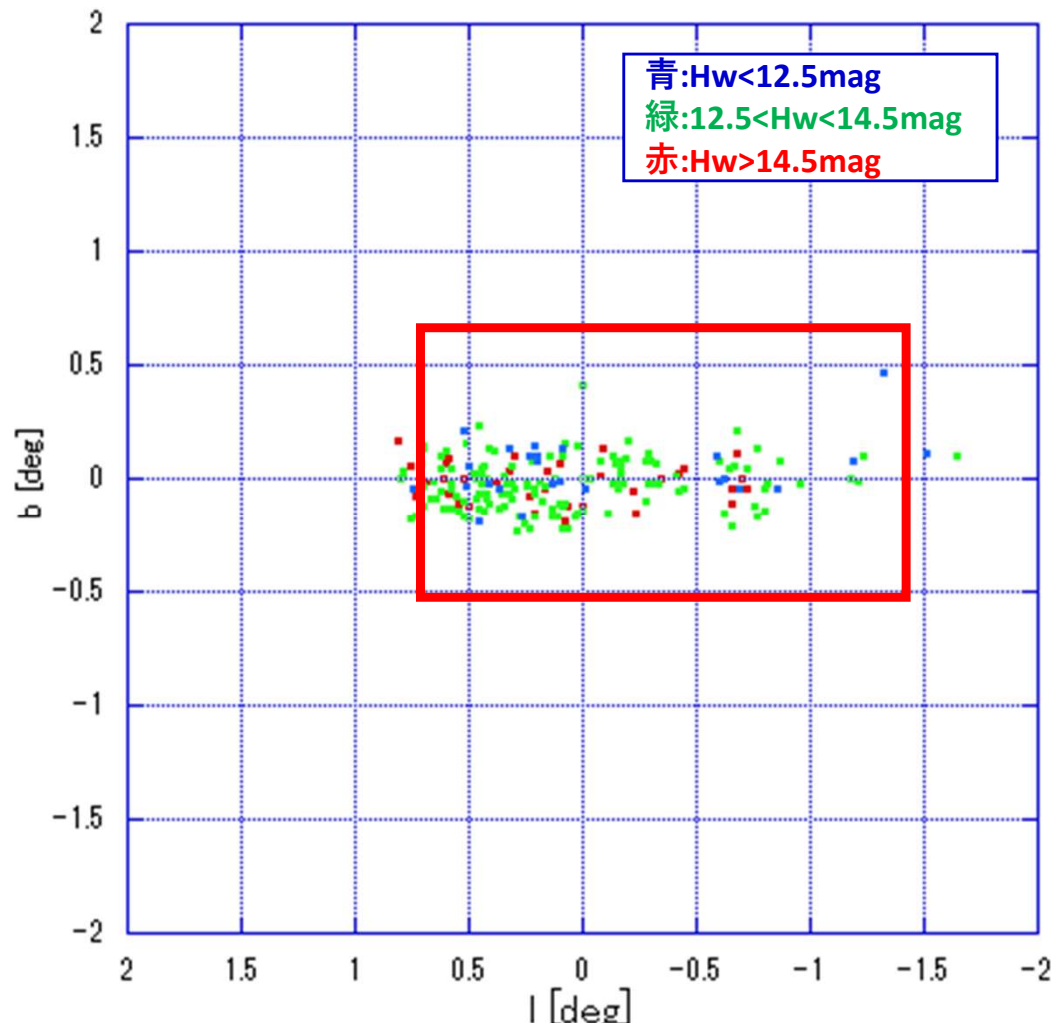
>J-K	観測天体個数
6	0
5	1



>J-K	観測天体個数
6	0
5	5

APOGEEでNSDが観測された天体は JASMINEで観測されるか

Ak>3 (J-K>5に相当)の天体をプロット (本資料のAPOGEEデータにおいてAk_wiseと記しているもの)。



赤枠はJASMINEで予定されている観測領域である。

銀緯 $|b| < 0.6 \text{ deg}$

銀経 $0.7 > |l| > -1.4 \text{ deg}$

あるいは

$1.4 \text{ deg} > |l| > -0.7 \text{ deg}$

現在検討中

まとめ

• 観測帯域での等級への変換式詳細化

⇒波長幅が少なくなる効果、長波長側で非線形の効果も含め、2MASS, VVVなど観測装置ごと変換式がどうなるのか、より詳細に検討し変換式を作成した。

• GaiaEDR3 など他のデータの検討

• Gaiaで観測される天体で高精度に距離測定できているのは4kpc程度である。

• Gaiaで年周視差が精度よく測定されているバルジ天体は存在しない。

• APOGEEの観測データより銀河系中心核NSDの天体はJ-K>5にもおよぶ。そうした天体もJASMINEで観測される。