

V243a 国産検出器を搭載した場合の 仕様変更と観測データへの影響

210317

Yano Taihei (NAOJ)

JASMINEチーム

JASMINE

- 赤外線による超高精度位置天文観測
- 星の位置、距離と運動を測定し、天の川銀河の中心核構造と形成史を明らかにする。



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。
- Teledyne HgCdTe 検出器 : 1.1 μm から1.7 μm
- 国産 InGaAs 検出器 : 1.1 μm から1.6 μm
- ディスク領域やバルジ領域で観測される天体個数など、観測データがいろいろと変更を受ける。

観測天体個数の見積もり

JASMINE観測領域における観測天体個数を見積もる。

赤外線観測カタログ 2MASS, VVV, SIRIUSを用いる。

2MASS: 比較的明るい天体が得意(明るい星はcomplete.暗い天体は取りこぼす)
VVV: 2MASSに比べ暗い天体が得意(明るい天体はさちる。取りこぼす)
SIRIUS: レゾリューションが高く、2MASSなどで数え落としの可能性をチェック

方法

VVV, 2MASS, SIRIUSそれぞれJ,H,Kを持つ天体をピックアップ

JASMINEの観測波長 H_w での等級をJ,Hから見積もり ($H_w = H_w(J,H)$) ←後述

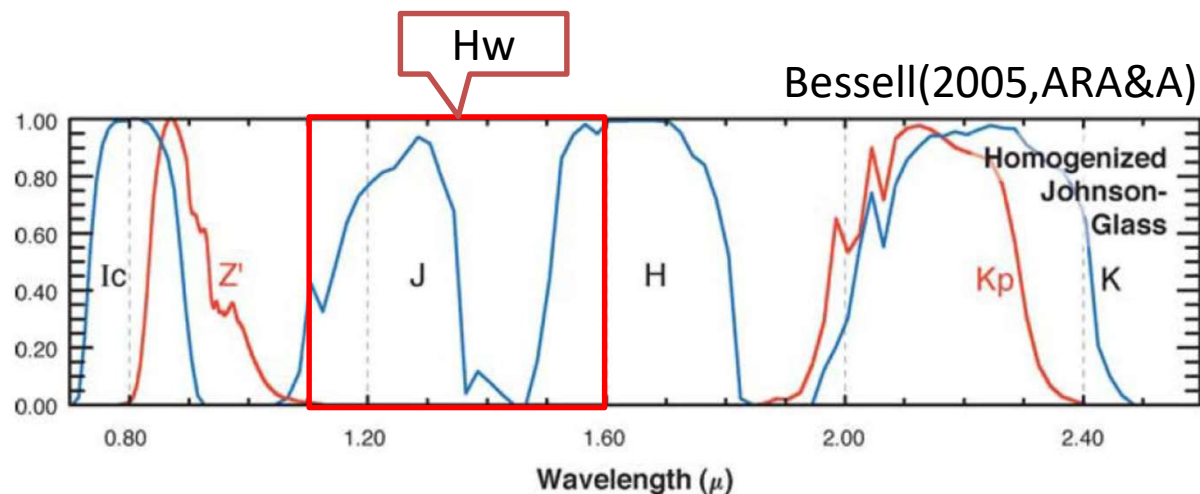
観測天体毎、バルジにあるかどうかをJ,Kから見積もり ($J-K > 2$) ←後述

各等級毎、個数の多い方 $\max[N(vvv), N(2MASS), N(SIRIUS)]$ にて個数を見積もる。

JとHから H_w を導出する関係式が必要

Hw=Hw(J,H)の変換式の導出

- ESO IRスペクトラルライブラリ
http://www.eso.org/sci/observing/tools/standards/IR_spectral_library.html
 - ミラ型変光星スペクトルデータ(Lançon, A.; Wood, P. R. 2000)
 - <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2000A%26AS..146..217L/abstract>
 - 以上スペクトルデータを用いて解析する。
-
- Jについては1.1-1.35 μm , Hは1.5-1.8 μm の帯域とする。(以下図よりおおよその値を読みとる)。Hwは1.1-1.6 μm とする。帯域内は感度100%、帯域外は0%とする。



H_w=H_w(J,H)の変換式の導出(続き)

- スペクトルを積分する。ただし、波長に応じた吸収効果を入れる。

吸収の仮定

- $A_V=0\text{mag}$, 15mag , 30mag , 45mag , 60mag を与える事で様々な吸収を検討。

吸収係数比	比の値
A_B/A_V	1.324
A_J/A_V	0.282
A_K/A_V	0.112

(Rieke & Lebofsky 1985)

J, Kでの2点をlinearに結び(線形補間)各波長の吸収の値を決める。



$$A(\lambda) = \{ (\lambda - 1.2) A_K + (2.0 - \lambda) A_J \} / (2.0 - 1.2)$$

Hw=Hw(J,H)の変換式の導出(続き)

- 積分の際、フラックスに対し振動数で割る事で(波長を乗じる事で)光子数を導出する。以下の計算は比の計算なので係数は気にしない。
- AOVスペクトルに対し、J,H, Hwについて積分する。(基準の光子数 f_{j0} , f_{h0} , f_{hw0} が導出される)
- 与えられたスペクトルに対し、J,H,Hwについて積分。(光子数 f_j , f_h , f_{hw} が導出される)
- $-2.5 \cdot \log_{10}(f_j/f_{j0})$, $-2.5 \cdot \log_{10}(f_h/f_{h0})$, $-2.5 \cdot \log_{10}(f_{hw}/f_{hw0})$ にて等級導出。
- 様々な星に対してJ-H, Hw-Hなどを計算

計算結果

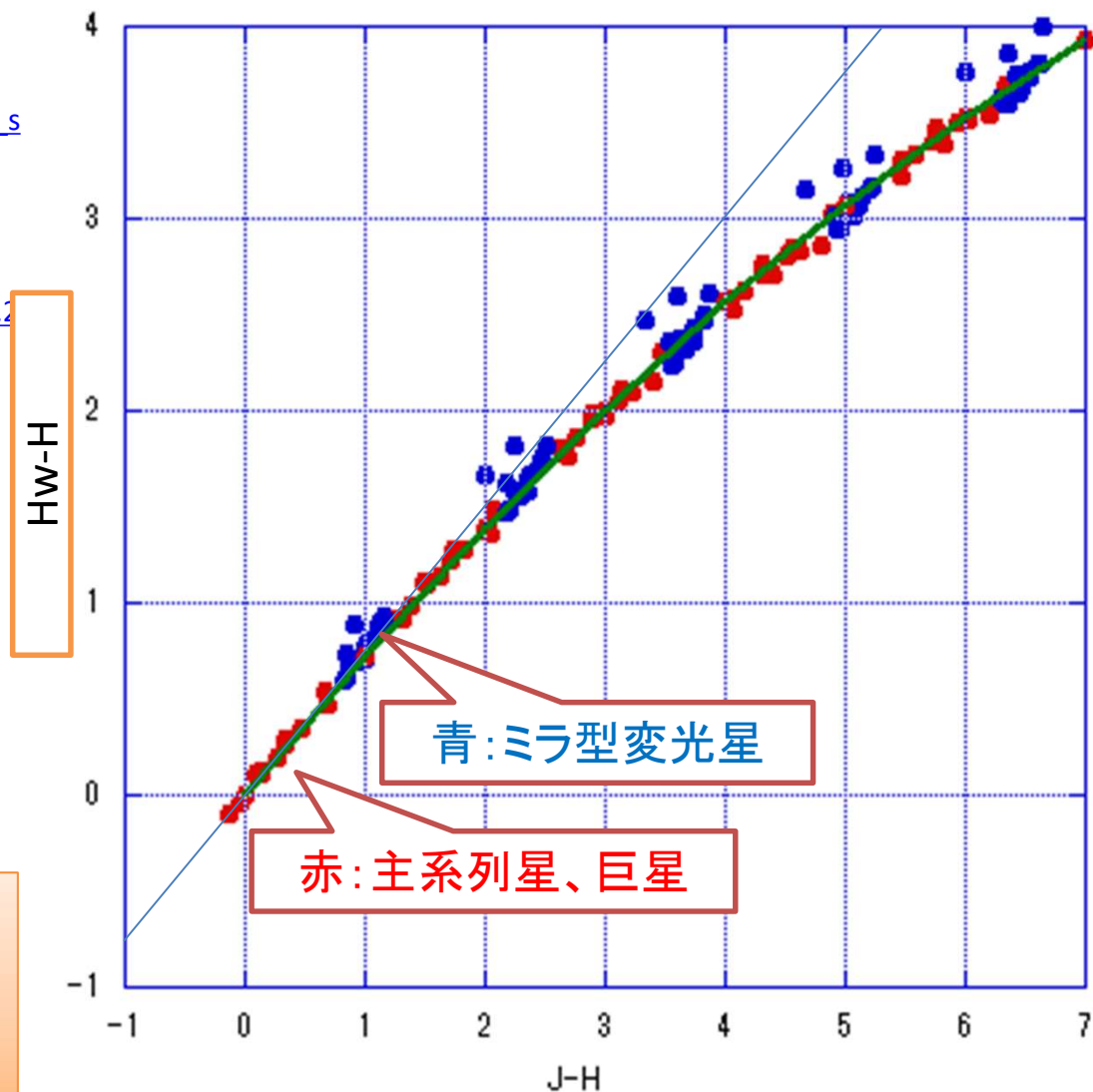
赤: 以前に示した星(ESO IRスペクトラルライブラリ
http://www.eso.org/sci/observing/tools/standards/IR_spectral_library.html)に対して(吸収係数 $A_v=0, 15\text{mag}, 30\text{mag}, 45\text{mag}, 60\text{mag}$ を与えたもの)

青: 今回加算したミラ型変光星のデータ
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2000A%26AS..146..17L/abstract> (吸収係数 $A_v=0, 15\text{mag}, 30\text{mag}, 45\text{mag}, 60\text{mag}$ を与えたもの)

赤の主系列星、巨星で得られる
変換式曲線に青のミラ型変光星
の天体も乗る事が確認できる。

緑線: フィッティング曲線

$$hw - H = 0.75(J-H) - 0.027(J-H)^2$$



バルジ星の見積もり

ガイドスターカタログGSC × 2MASS
クロスマッチデータ

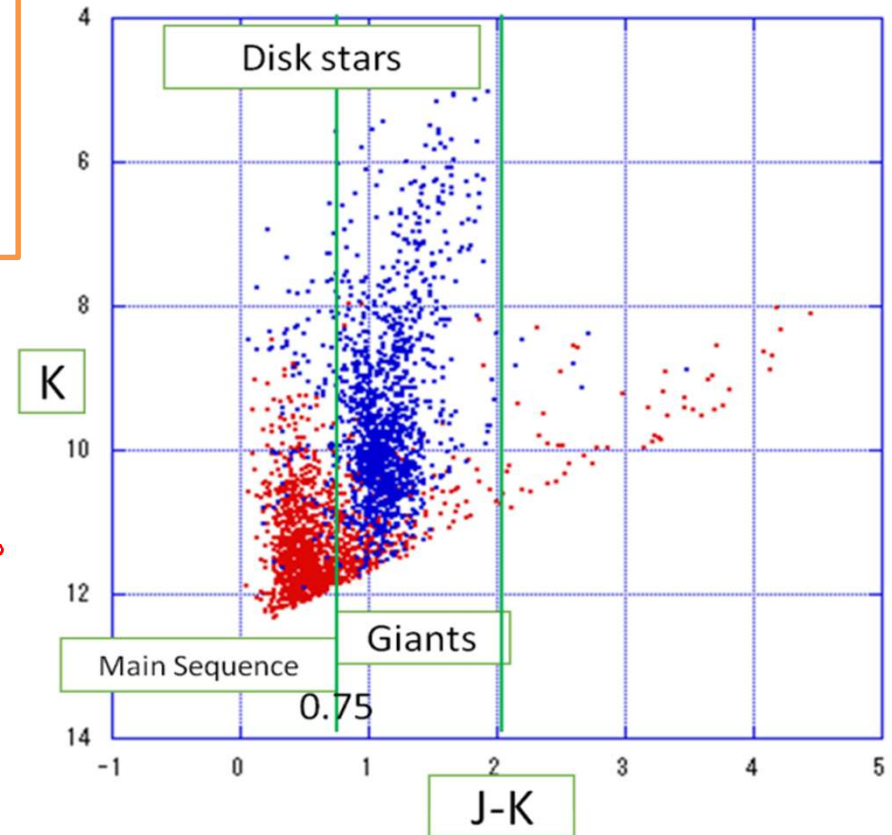
& $H_w < 12.5 \text{ mag}$

GSC: B,Vを持つもの(ディスク星と考えられる天体)

2MASS: JHKを持つもの

- K vs J-Kの色等級図にプロットすると右の図のようになる。
- $J-K < 0.75$ をもつ星は主系列星であり、 $0.75 < J-K < 2$ に位置するのは巨星である。
- これら $J-K < 2$ にある星はガイドスターカタログでVバンドで見えているものなので、ディスク星である。Vバンドで見えているのはバルジの巨星ではない。

ちなみに、最も明るいM(M5)星は絶対等級が-5.5等である。もし、この星が8kpc先にあると、吸収がなかったとしても見かけの等級が9等となる。もし銀河中心核バルジにおいて $A_v = 15$ 等と仮定すると見かけの等級は24等となる。これはガイドスターカタログの限界等級 $V < 18$ 等より十分暗い。この観点からもバルジの星は含まれていない。



GSC, 2MASSクロスマッチデータの色等級図
K vs J-K.

バルジ星の見積もり

2MASSのみのデータ
& $H_w < 12.5 \text{ mag}$

2MASS: JHKを持つもの

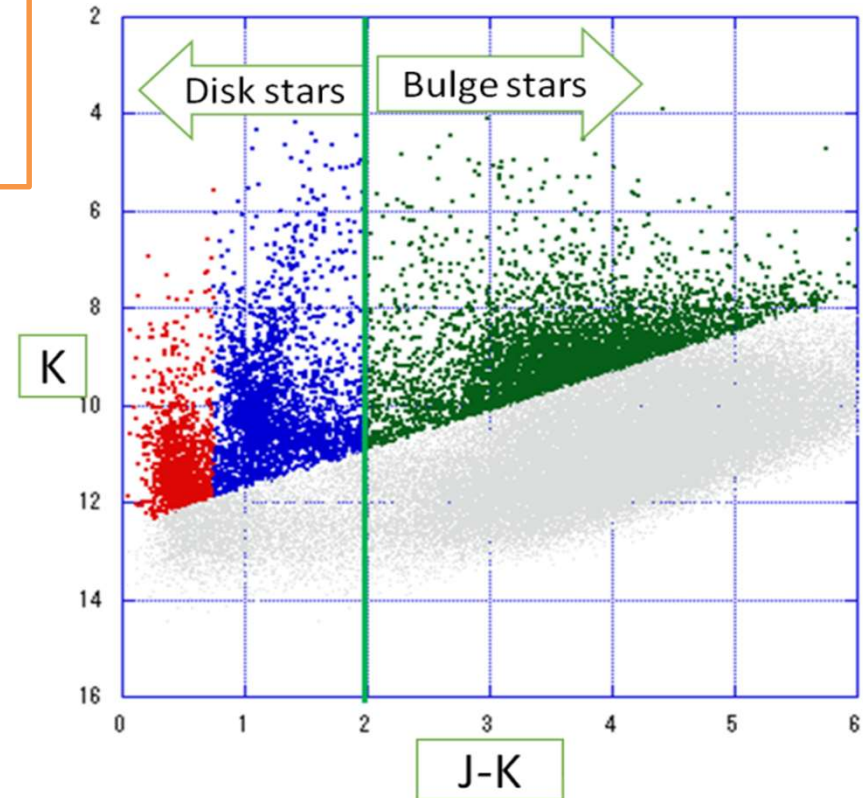
- K vs J-Kの色等級図にプロットすると右の図のようになる。

右図を見てわかるように、ガイドスターカタログとのマッチングデータでは見られなかった $J-K > 2$ の領域に集団があらわれた(緑色のプロット)。

これらの星はバルジの星である!

以上より

$J-K > 2$ がバルジ星の目安
となる。



2MASSデータによる色等級図K vs J-K。

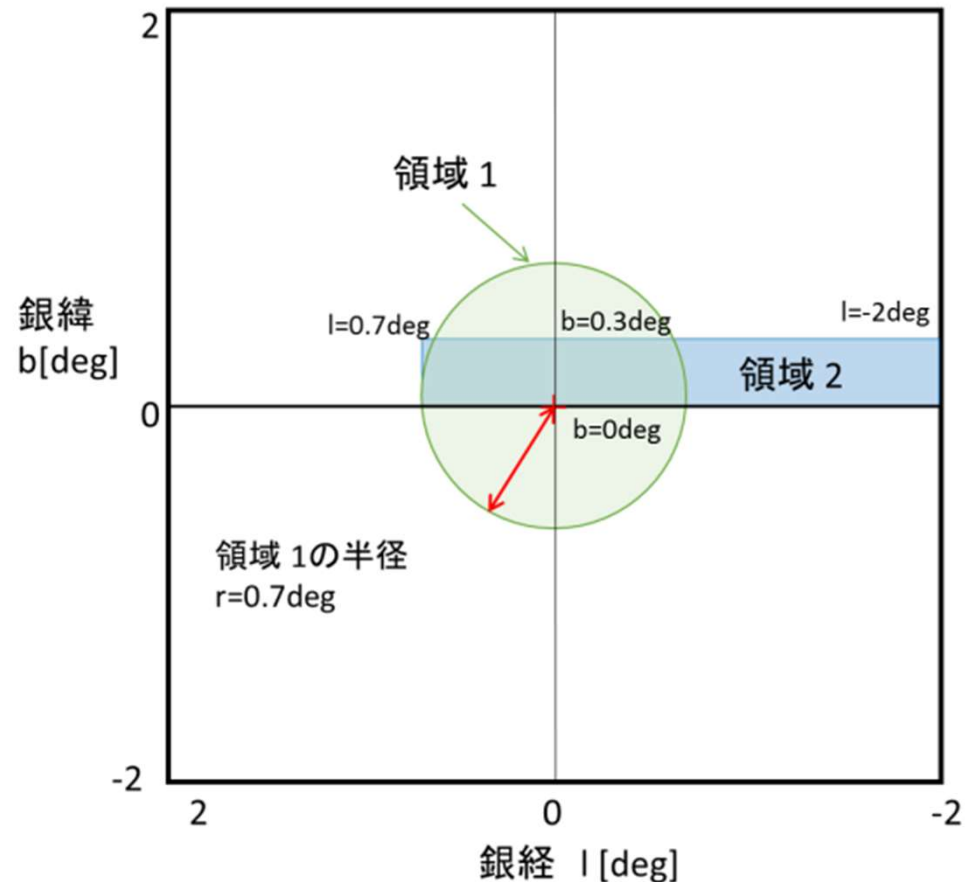
JASMINE観測領域

JASMINEの観測領域

JASMINEでは右図のような銀河中心を中心に

(領域1)半径0.7度円内および、
(領域2)銀緯0deg~0.3deg
銀経-2deg~0.7deg
の長方形領域の合計約2平方度
を観測する。

領域1、領域2において
年周視差 $25\mu\text{as}$ 以上の天体
3000個以上を観測したい。



JASMINE天体観測個数

データはSIRIUS, VVV, 2MASSデータを用い、各等級毎、 $\max[N(\text{Sirius}), N(\text{VVV}), N(\text{2MASS})]$ で見積もった。

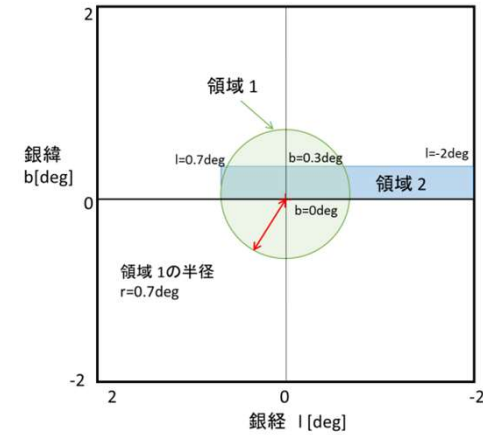
領域1は銀河中心を中心とする半径0.7度円、領域2は $-2 < l < 0.7, 0 < b < 0.3 \text{ deg}$

改定変換式 $H_w = 0.75J + 0.25H - 0.027(J-H)^2$

全領域		
等級	Nall	Nbulge
5	6	1
5.5	11	3
6	20	6
6.5	34	9
7	62	19
7.5	101	31
8	171	54
8.5	260	82
9	393	128
9.5	594	192
10	945	310
10.5	1418	506
11	2376	903
11.5	4020	1792
12	6996	3764
12.5	12262	7784
13	22555	14832
13.5	38988	25899
14	64251	43369
14.5	101673	70783
15	156498	112048
15.5	234380	173267
16	344188	265496
16.5	488647	394586
17	651577	547252
17.5	797430	687696
18	893960	782226
18.5	936588	824520
19	942301	830202
19.5	942788	830685
20	942868	830765

領域1		
等級	Nall	Nbulge
5	5	0
5.5	8	0
6	14	1
6.5	25	2
7	45	7
7.5	77	17
8	137	37
8.5	205	55
9	314	87
9.5	481	135
10	758	225
10.5	1143	362
11	1883	626
11.5	3104	1240
12	5304	2606
12.5	9218	5477
13	16922	10673
13.5	29562	19085
14	49110	32308
14.5	77921	53040
15	119835	84150
15.5	178580	129841
16	260449	198395
16.5	366853	293919
17	486526	406722
17.5	593743	510766
18	665377	581542
18.5	695922	611953
19	699961	615977
19.5	700325	616338
20	700380	616393

領域2		
等級	Nall	Nbulge
5	2	1
5.5	4	3
6	10	6
6.5	14	8
7	26	13
7.5	41	17
8	61	23
8.5	98	40
9	151	61
9.5	228	93
10	364	141
10.5	536	233
11	891	414
11.5	1498	762
12	2656	1571
12.5	4787	3288
13	8802	6364
13.5	15611	11239
14	25877	18993
14.5	41344	30691
15	64188	48436
15.5	97464	75531
16	145554	116720
16.5	210709	175296
17	288070	247756
17.5	360677	317364
18	411430	366726
18.5	434579	389622
19	437596	392616
19.5	437829	392845
20	437870	392886



左記結果より年周視差
 $\pi = 25 \mu\text{as}$ の天体3000個取得のため

12.5等級が目安となる。
 14.5等級まで取得するとおよそ10万天体となる。

距離-観測個数関係

大雑把な傾向を知るため、等級個数関係にベキ則を仮定し解析的に求める。

観測事実より個数密度Nはおよそ

$$N(m) \propto 10^{\frac{2}{5}m}$$

m:等級
m₀:絶対等級
k:定数
δm:距離r₀毎のダスト減光

星の絶対等級と個数関係を仮定し、
絶対等級に対する個数密度N*

$$N_*(m_0) \propto 10^{\frac{2}{5}km_0}$$

絶対等級と距離、等級関係

$$m_0 = m - 5 \log \frac{r}{r_0} - \frac{r}{r_0} \delta m$$

距離r₀につき
δmの減光

距離r等級mの星の個数密度は以下の通り

$$N(r, m) dm dr = N_*(m_0(r, m)) \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 dm dr$$

体積の効果

$$= 10^{\frac{2}{5}k(m - 5 \log \frac{r}{r_0} - \frac{r}{r_0} \delta m) + 2 \log \frac{r}{r_0}} dm dr$$

$$= 10^{\frac{2}{5}km} \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-2k+2} 10^{-\frac{2k}{5} \frac{r}{r_0} \delta m} dm dr$$

距離-観測個数関係

$$N(m) = \int N(r, m) dr \propto 10^{\frac{2}{5}km} \approx 10^{\frac{2}{5}m}$$

以上より $k=1$ となる。

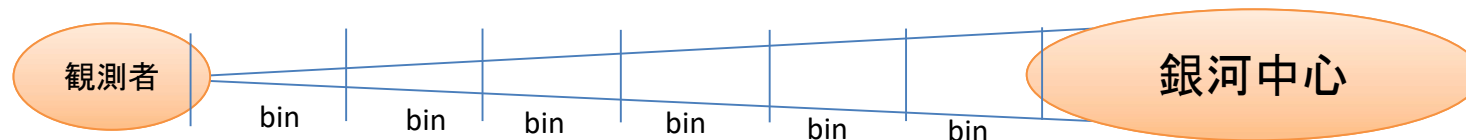
改めて距離 r 等級 m の星の個数密度は以下の通り

$$N(r, m) dmdr = 10^{\frac{2}{5}m} 10^{-\frac{2}{5}\frac{r}{r_0}\delta m} dmdr$$

$\delta m \sim 0$ のとき

$$N(r, m) dmdr = 10^{\frac{2}{5}m} dmdr$$

各等級について、距離によらず、距離毎のbinに一定の個数となる。



同じ等級の星の集団で考えると、遠方ほど絶対等級の明るい星となり、絶対的個数は減る。一方、遠方ほど単位立体角あたりの空間体積は増加し、ちょうどバランスし、

距離によらず各binについて一定の個数となる。

観測個数

ディスクと考えられる星に対して、0-6kpcにわたり、分布させた場合の1kpc幅のbinの個数をHw=12.5mag, 14.5magに対して求めた。

	等級	トータル個数	バルジ個数	ディスク個数	1kpcのbinあたり(0-6kpc)
全領域	12.5	12262	7784	4478	746
	14.5	101673	70783	30890	5148
領域1	12.5	9218	5477	3741	623
	14.5	77921	53040	24881	4146
領域2	12.5	4787	3288	1499	249
	14.5	41344	30691	10653	1775

全領域では、12.5magについて、およそ750個
14.5magについて、およそ5000個となる。

まとめ

- 新たな検出器候補の場合の観測天体等級や個数について再検討した。
- 観測天体数に加え、J-Kの値からバルジで観測できる個数を見積もった。
- $H_w=12.5\text{mag}$ を基準とすれば、領域1、領域2ともに3000以上の天体が見込まれる。 $H_w=14.5\text{mag}$ 程度まで観測すれば10万個程度(バルジ天体において7万個程度)が見込まれる。
(観測等級が定まるとそれに応じて必要積分時間、ミッション期間、運用方法など、他のパラメータを再度調整をおこなう。)
- 粗い解析的見積もりからディスクにおける空間分布も検討した。