

# 高解像度赤外観測で探る赤化則 : 近赤外測光観測

東大・理 直井隆浩

田村元秀(国立天文台)、周藤浩士、村川幸史(ハワイ観測所)、中島康、長嶋千恵(国立天文台)、  
永山貴宏、佐藤修二、長田哲也、加藤大輔、馬場大介(名古屋大学)、杉谷光司(名古屋市立大学)、  
神鳥亮(総研大)、大朝由美子(神戸大学)、中屋秀彦(ハワイ観測所)、IRSF/SIRIUSチーム ほか

## 近赤外測光観測から減光

- ・はじめに
- ・観測
- ・結果
- ・考察

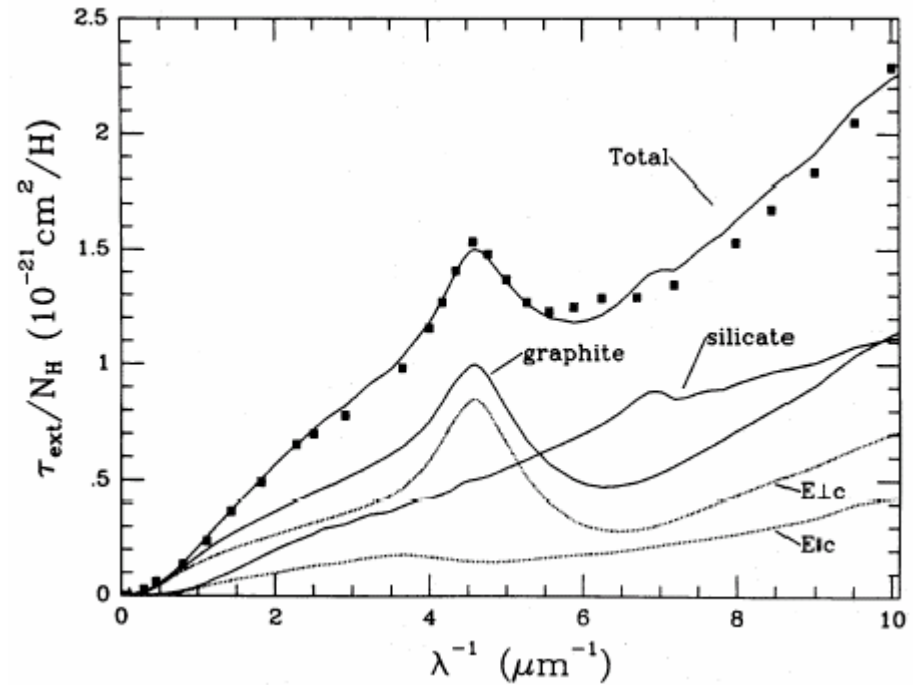
# はじめに

- ・ 星間減光

- 固体微粒子(ダスト)

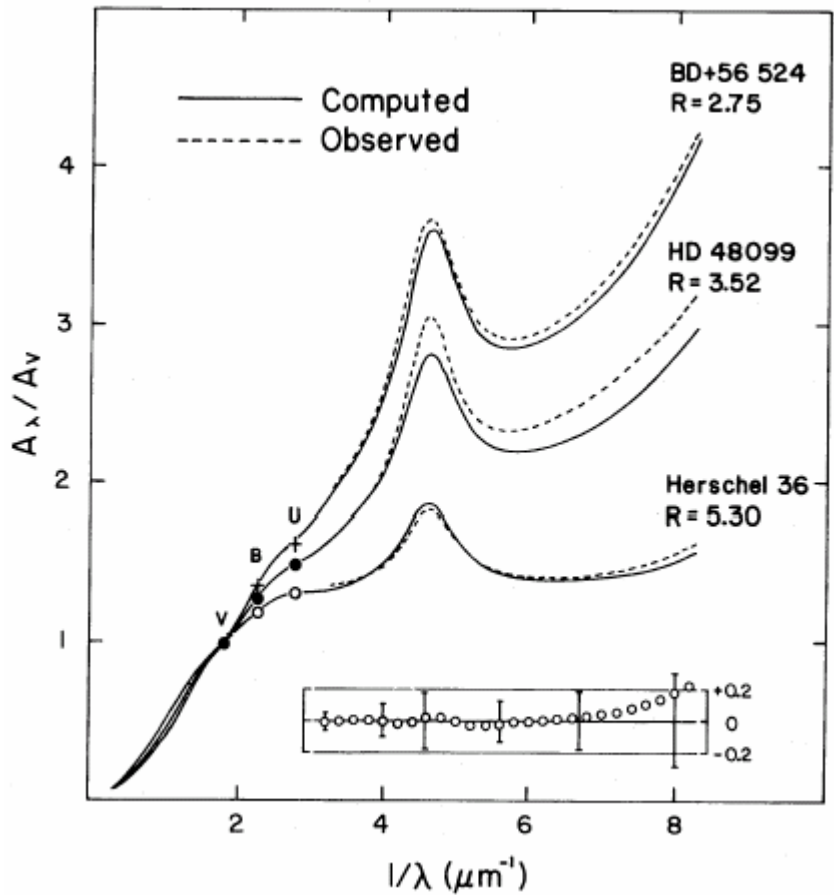
- ・ 近赤外

- 若い星のSEDに敏感
- 比較的大きいダスト
- $A_V$ の大きい領域



Draine and Lee (1984)

# はじめに



Cardelli et al. (1989)

- $R_V (=A_V / E_{B-V})$   
Visible – UV  
ダストサイズ

- $> 0.7 \mu m$   
independent of  $R_V$   
A

$$\langle A(\lambda)/A(V) \rangle = a(x) + b(x)/R_V .$$

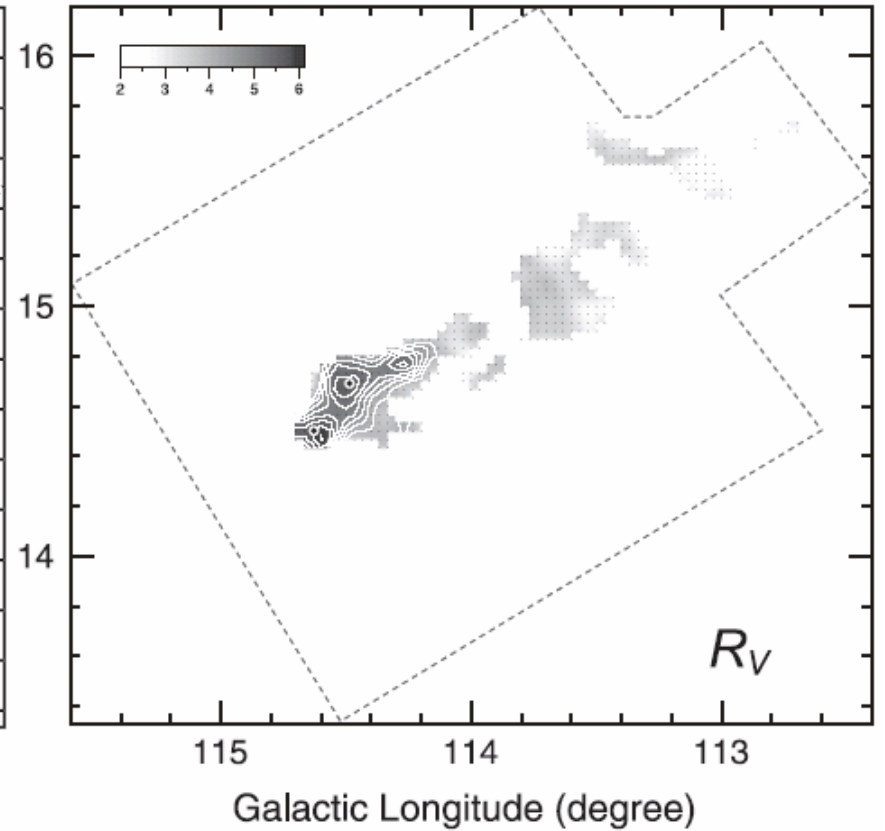
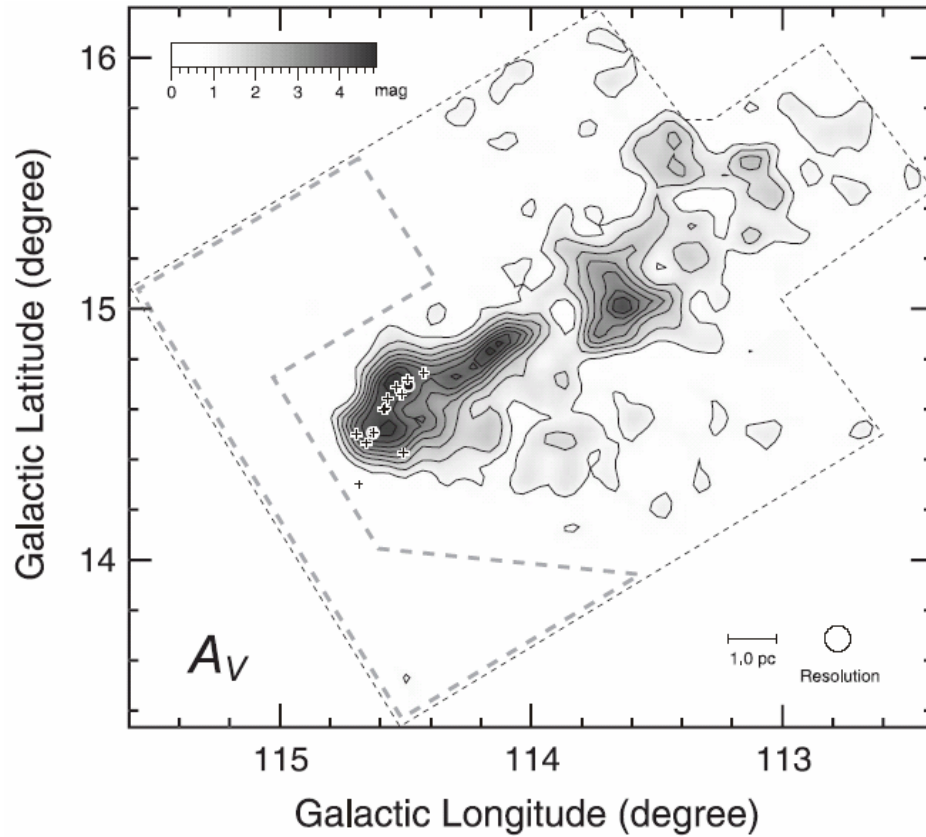
Infrared:  $0.3 \mu m^{-1} \leq x \leq 1.1 \mu m^{-1}$ ;

$$a(x) = 0.574x^{1.61} ;$$

$$b(x) = -0.527x^{1.61} .$$

=1.61のとき、  
 $E_{J-H} / E_{H-Ks} = 1.52$

# はじめに



L1251の $A_V$ と $R_V$ マップ  
Kandori et al. (2003)

# はじめに

観測領域	$E(J-H) / E(H-K)$	Photometric system	Transform to CIT	参照
Dense and diffuse clouds	$2.09 \pm 0.10$	AAO	$1.93 \pm 0.09$	Jones & Hyland(1980)
Coalsack Globule 2	$2.08 \pm 0.03$	CIT	$2.08 \pm 0.03$	Racca <i>et al.</i> (2002)
M17	$1.95 \pm 0.27$	SAAO	$1.83 \pm 0.25$	Chini & Wargau(1998)
M17	1.88	CIT	1.88	Jiang <i>et al.</i> (2002)
Chamaeleon I cloud	$1.80 \pm 0.03$	CIT	$1.80 \pm 0.03$	Gomez & Kenyon(2001)
Diffuse ISM	$1.76 \pm 0.04$	SAAO	$1.65 \pm 0.04$	Chini & Wargau(1998)
Diffuse ISM within 3kpc	$1.74 \pm 0.12$	SAAO	$1.63 \pm 0.10$	Matrin&Whittet(1990)
Galactic center	$1.70 \pm 0.14$	Johnson	$1.77 \pm 0.15$	Rieke & Lebofsky(1985)
luminous Southern stars	$1.64 \pm 0.26$	SAAO	$1.54 \pm 0.24$	He <i>et al.</i> (1995)
Ophiuchi dark cloud	$1.64 \pm 0.23$	SAAO	$1.54 \pm 0.22$	He <i>et al.</i> (1995)
Dusty H II regions	$1.63 \pm 0.20$	ESO	$1.94 \pm 0.24$	Chini and Krugel(1983)
G333.6 – 0.2	$1.62 \pm 0.02$	ESO	$1.93 \pm 0.03$	Landini <i>et al.</i> (1984)
Ophiuchi dark cloud	$1.60 \pm 0.04$	CIT	$1.60 \pm 0.04$	Elias(1978a)
Ophiuchi dark cloud	$1.57 \pm 0.03$	CIT	$1.57 \pm 0.03$	Kenyon <i>et al.</i> (1998b)
Taurus dark cloud	$1.56 \pm 0.05$	CIT	$1.56 \pm 0.05$	Elias(1978b)
ISM to Galactic Center	$1.50 \pm 0.09$	CIT	$1.50 \pm 0.09$	Becklin <i>et al.</i> (1978)
Orion molecular cloud	$1.28 \pm 0.02$	KAO	-	Davis <i>et al.</i> (1986)

[CIT]=0.922[AAO]  
 =0.938[SAAO]  
 =1.041[Johnson]  
 =1.191[ESO]

CITへの変換式は  
 Bessel and Brett (1988)による

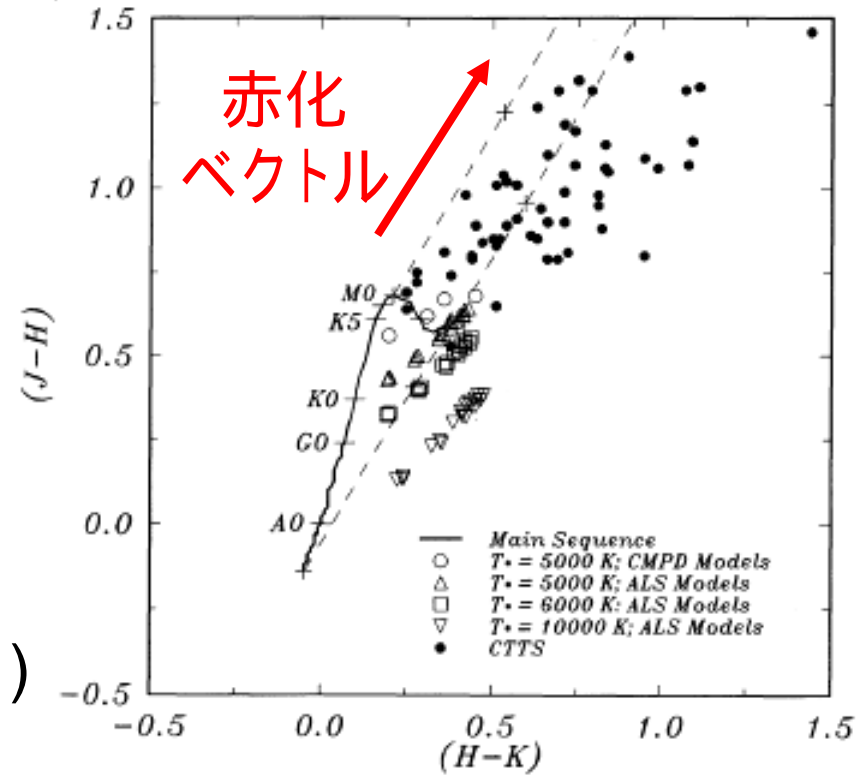
# 目的

- ・  $E_{J-H}/E_{H-Ks}$  値に規則性が認められない導き方の問題
  - 手法が様々 (分光・測光)
  - 変換式の利用

信頼出来る  $E_{J-H}/E_{H-Ks}$  値を導き、Regional variation を調べる

## 本研究

- ・ JHKs バンド測光観測
- ・ 二色図の傾き (赤化ベクトルの向き) ( $E_{J-H}/E_{H-Ks}$ ) を「赤化則」と仮定
- ・ へびつかい座、カメレオン座を五つの領域に分類し、赤化則を求めた



Lada and Adams (1992)

# 観測

・観測場所:

南アフリカ・サザーランド観測所

・望遠鏡: IRSF1.4m

・観測装置: SIRIUS

画素スケール: 0.445秒角

視野: 7.6分角

・積分時間: 10分

・限界等級(10<sup>-17</sup>):

J, H, Ks ~ 19.0, 18.3, 17.0等

Region	Area (平方度)	Number JHKs
L1688	0.86	10707
L1689	0.44	10212
Cha I	1.42	20127
Cha II	1.10	23663
Cha III	0.08	1076
off - Oph	0.03	663
off - Cha	0.05	750

Band	Number
J	117804
H	121098
Ks	72166

# 観測

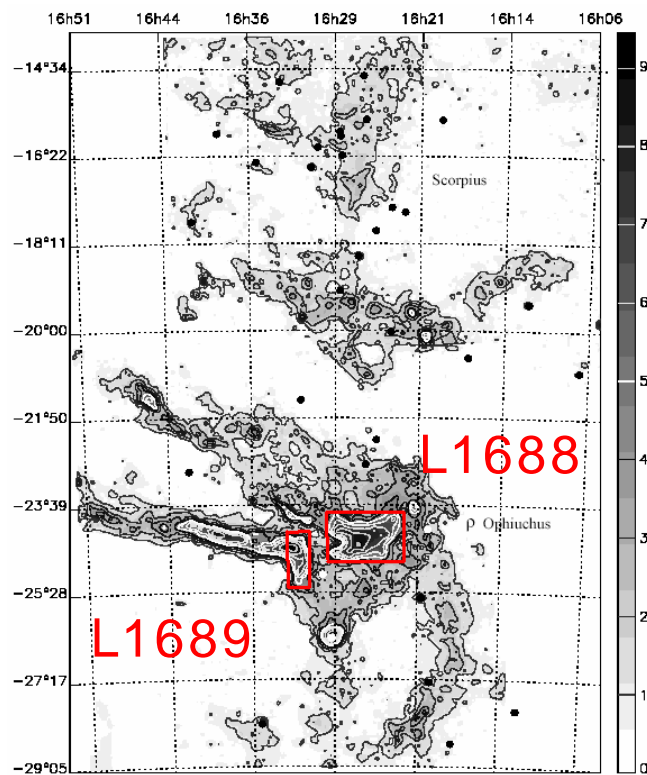
## ・へびつかい座

中低質量型星形成領域

~ 125pc

$A_v > 100$  mag

Vrba et al. (1993); Barsony et al. (1997)



へびつかい座分子雲

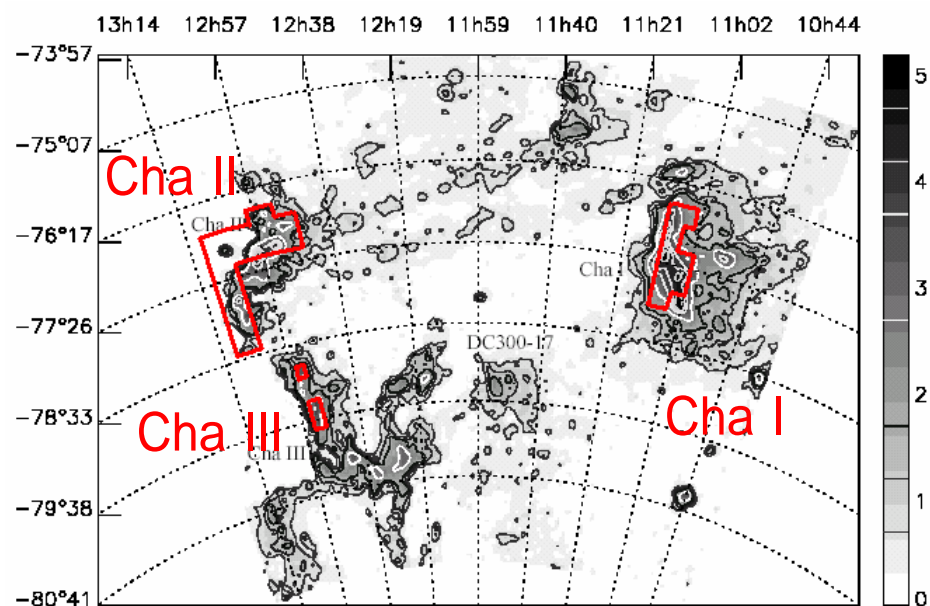
## ・カメレオン座

低質量型星形成領域

~ 160pc

Cha I > Cha II > Cha III

Whittet et al. (1997)

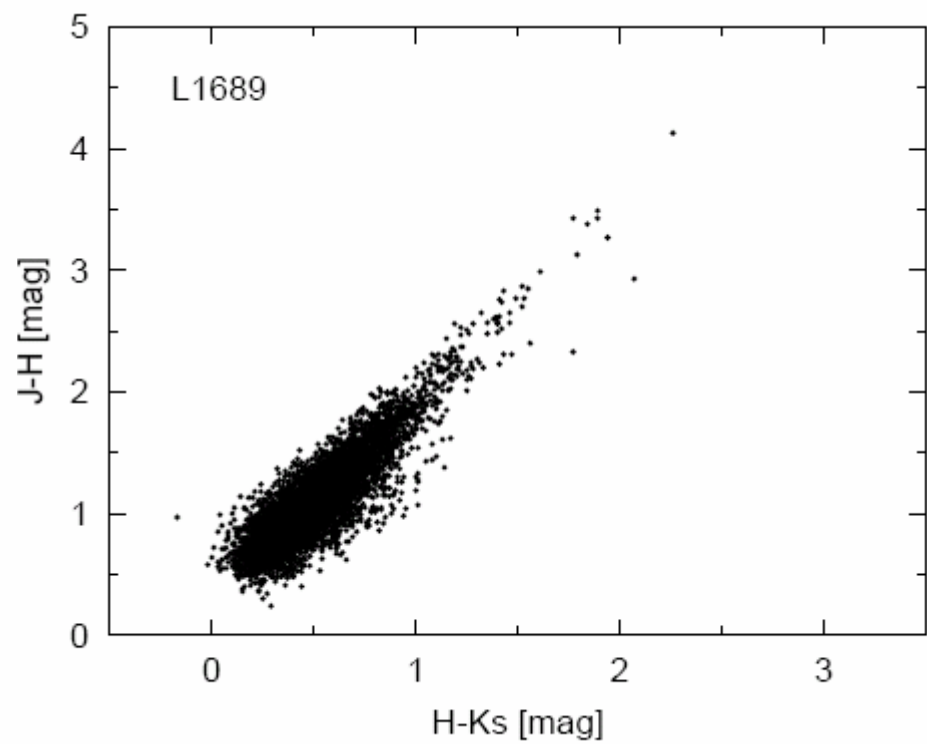
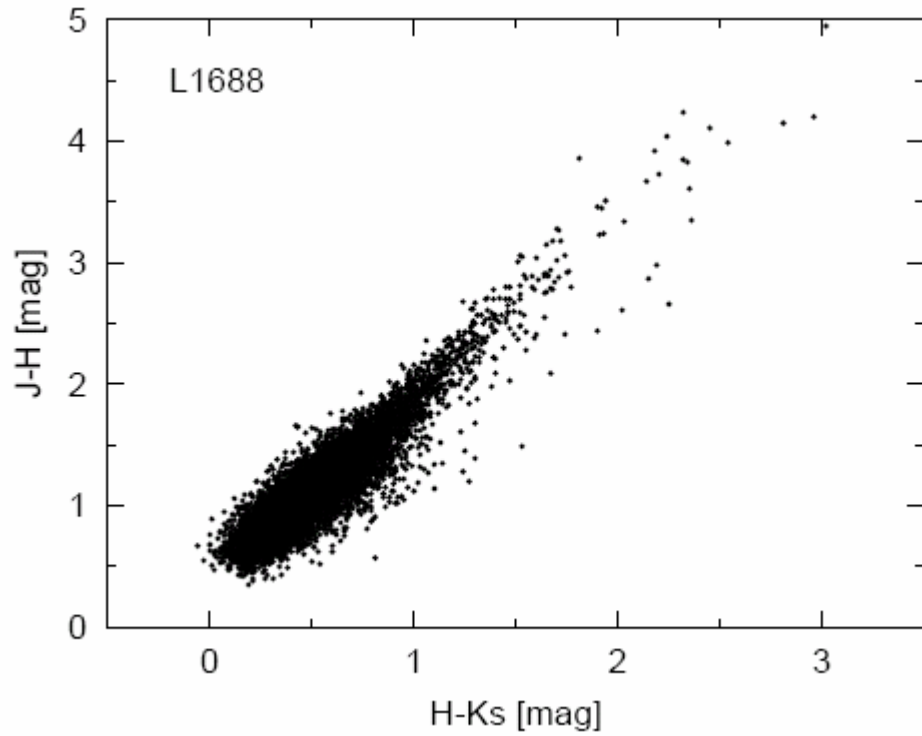


カメレオン座分子雲

減光マップはCambresy (1999)より

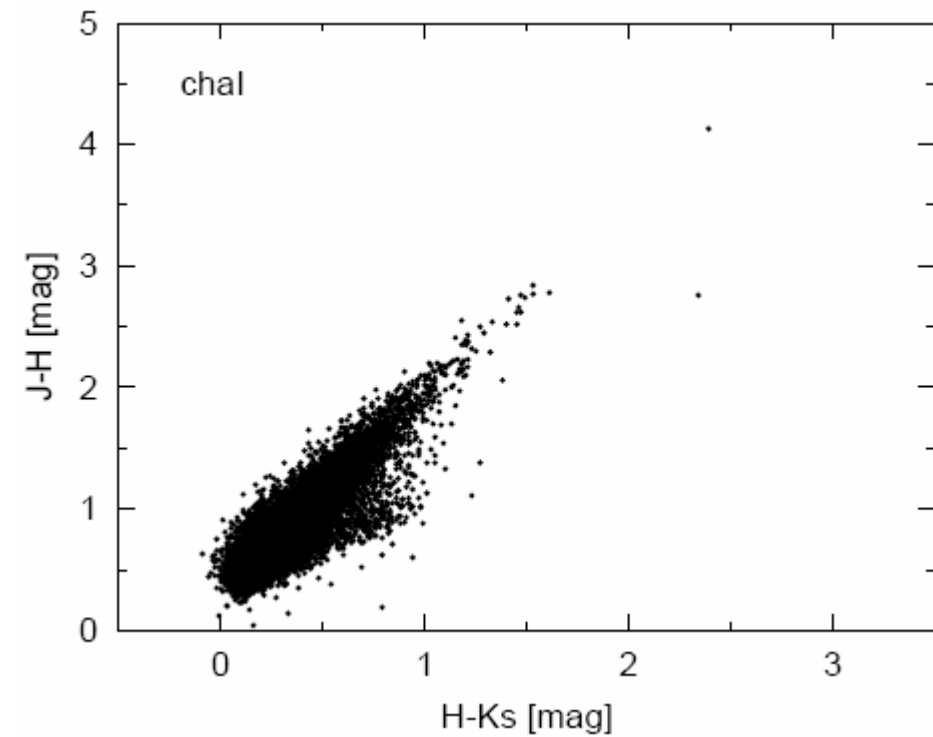


# 結果(分布図)

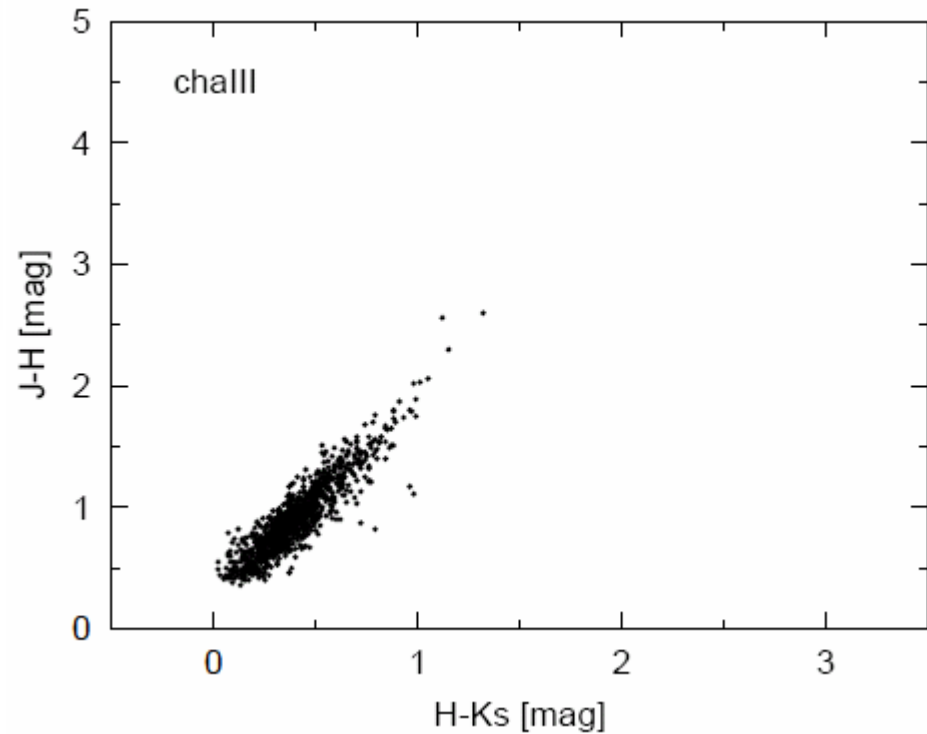
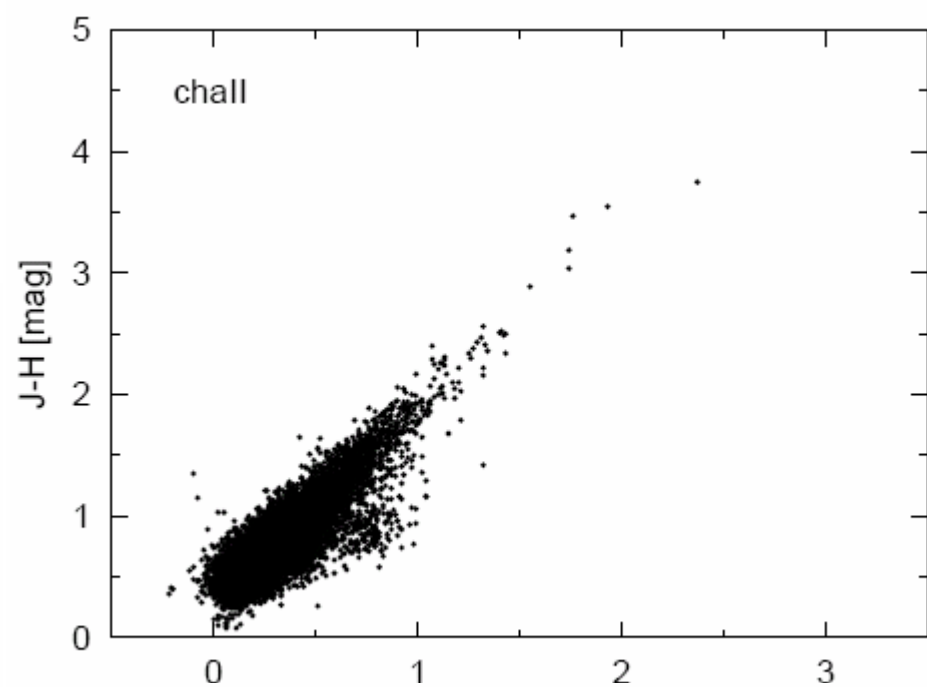


へびつかい座分子雲

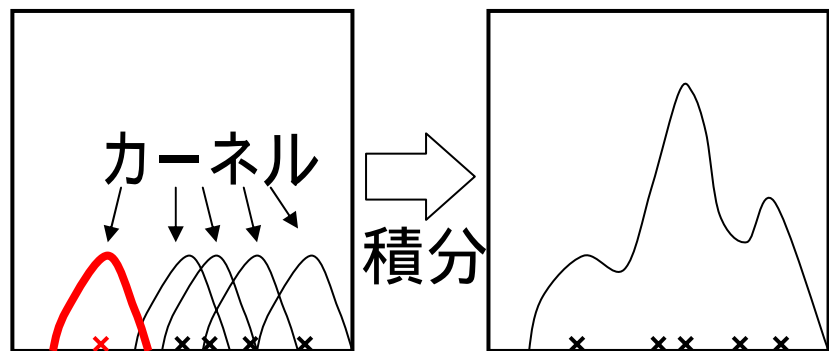
# 結果(分布図)



カメレオン座分子雲



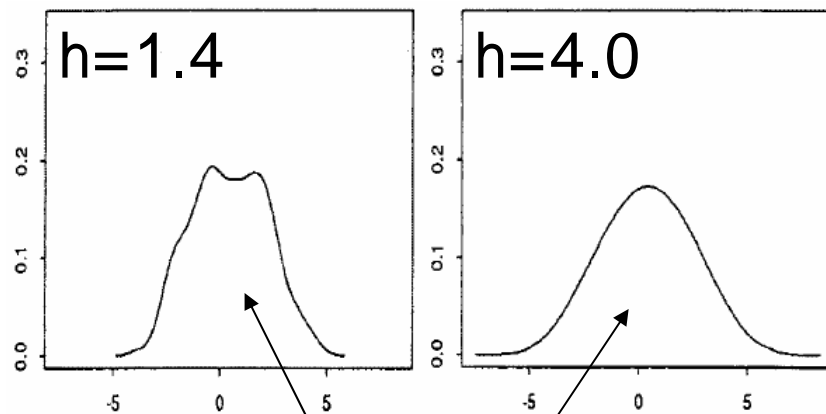
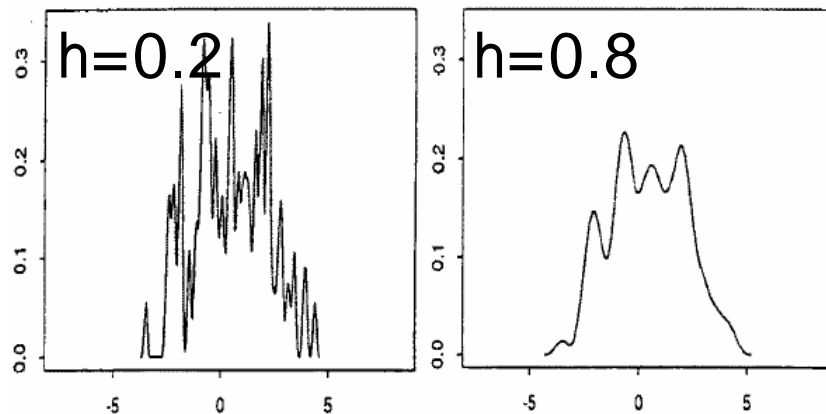
# Contour (カーネル法)



サンプル点

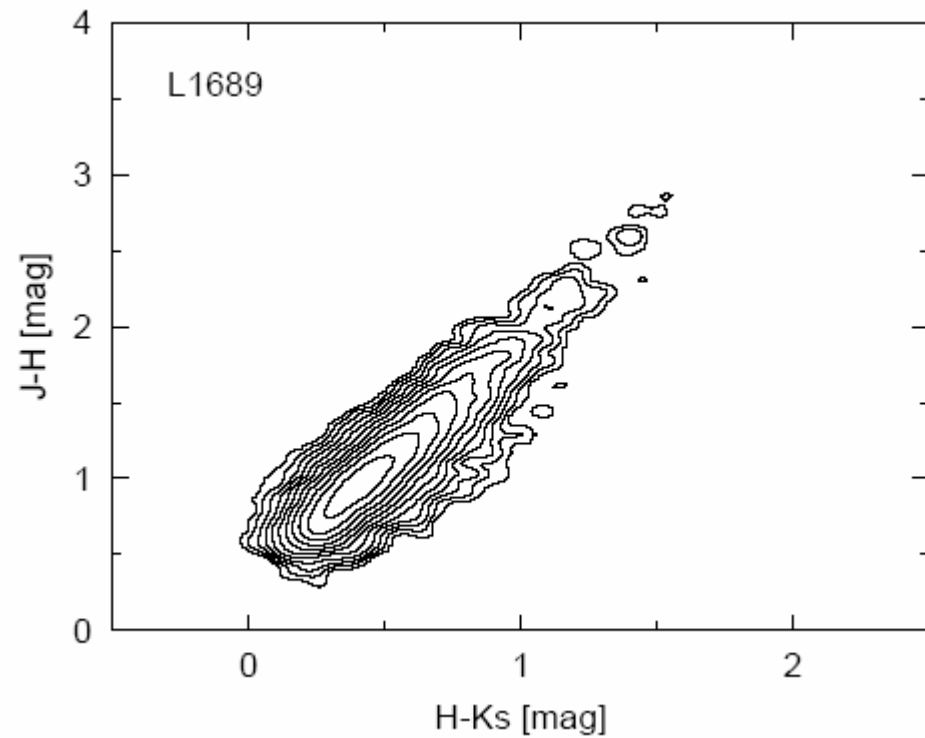
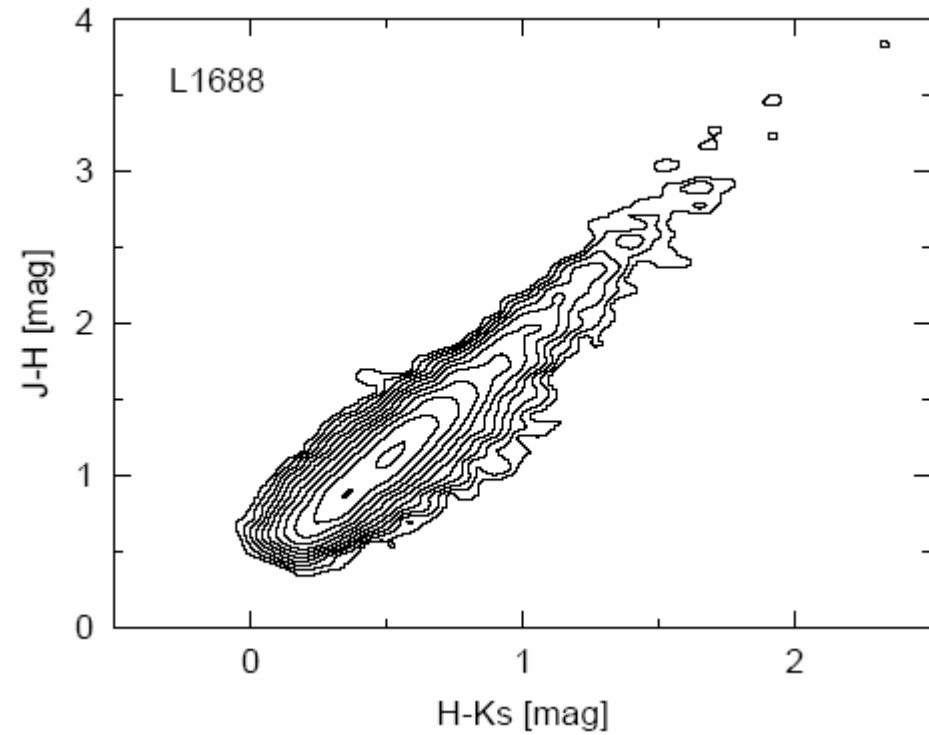
$$h(x, y) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{\vec{x} - \vec{X}_i}{h}\right)$$

$$K(\vec{u}) = \begin{cases} \frac{4}{3} (1 - |\vec{u}|^2)^3 & \text{if } |\vec{u}| \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



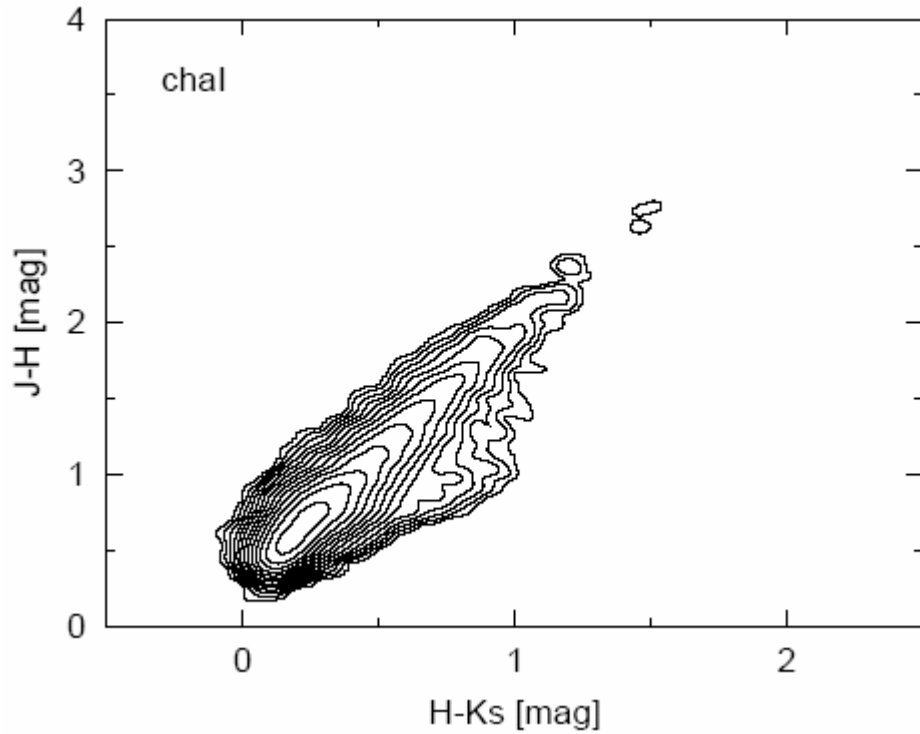
面積 1  
(= 確率分布)

# 結果(コンター)

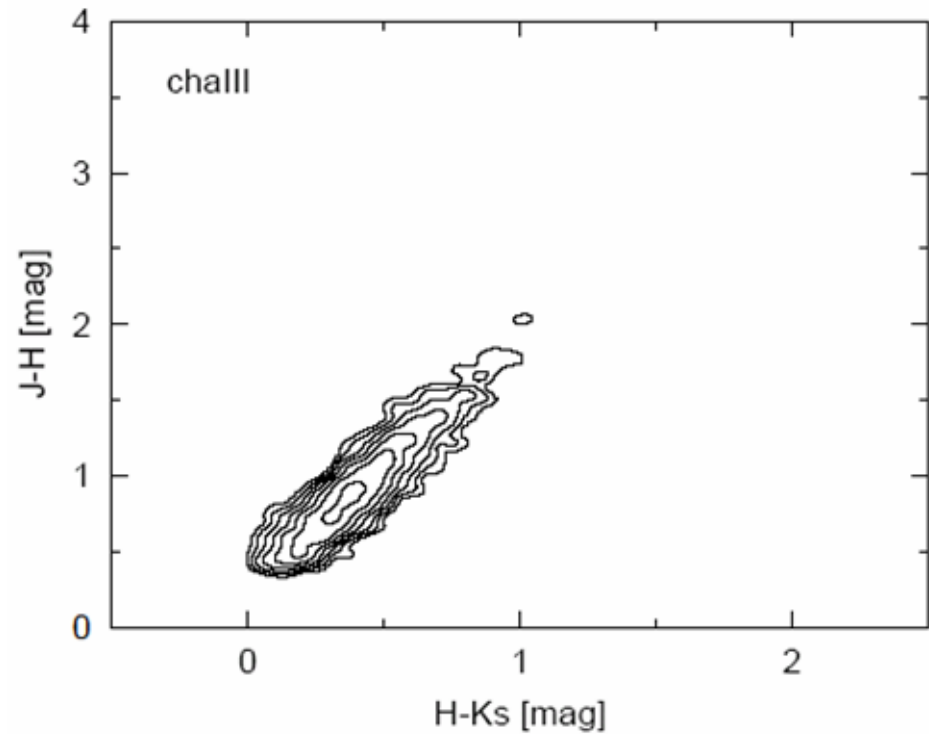
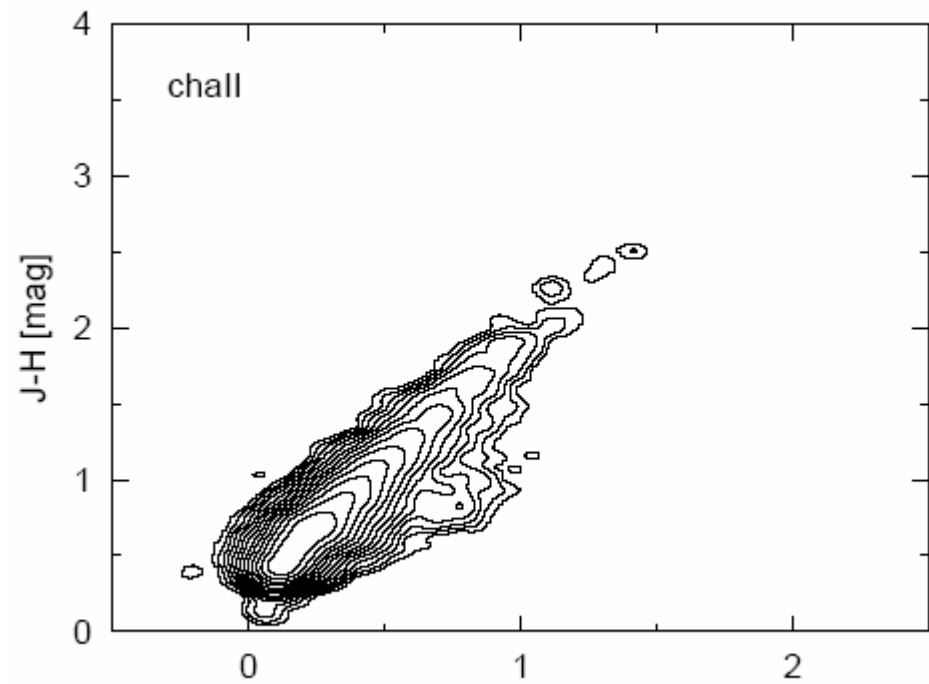


へびつかい座分子雲

# 結果(コンター)



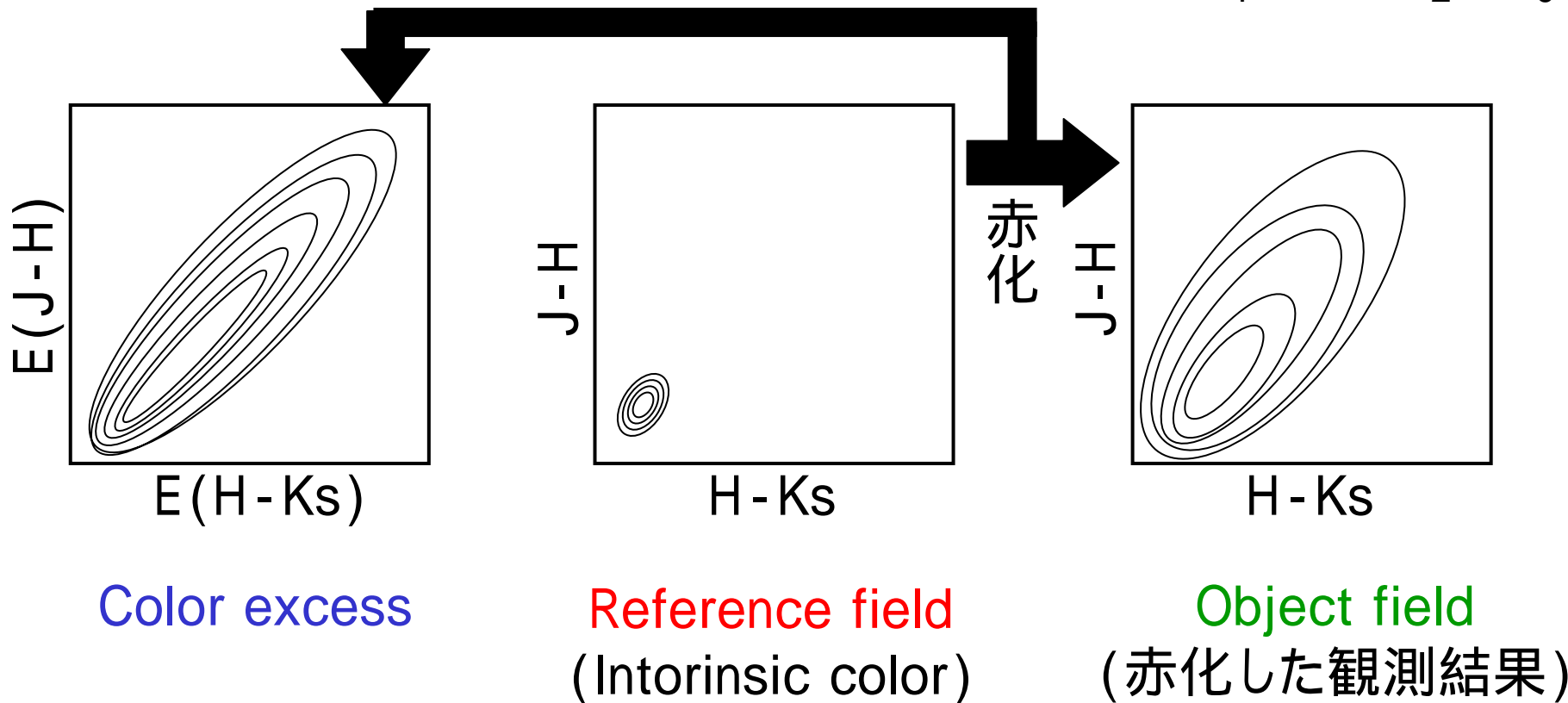
カメレオン座分子雲



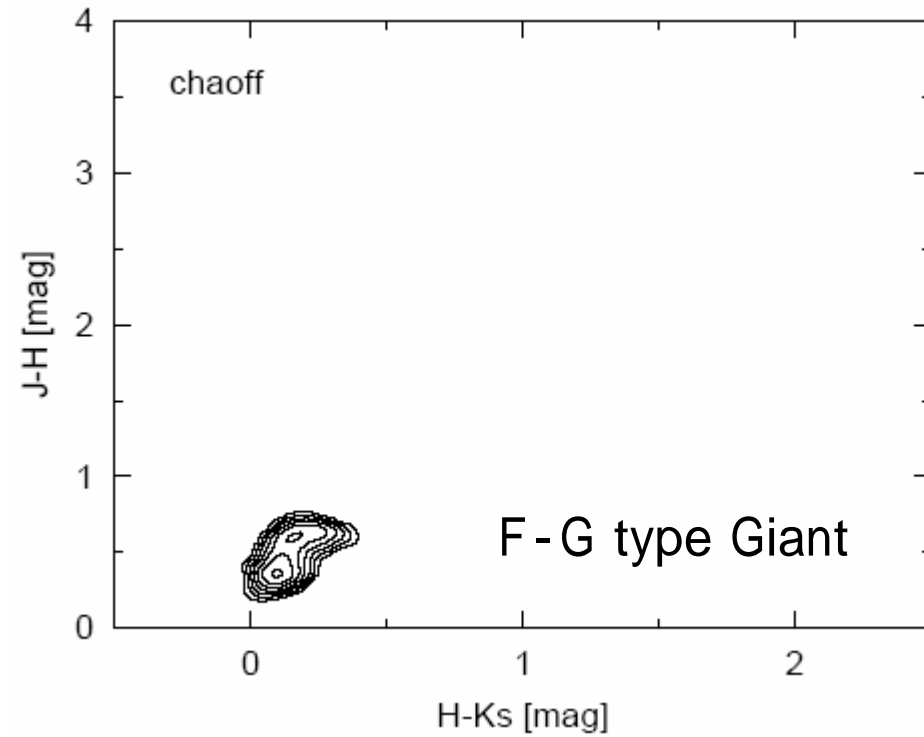
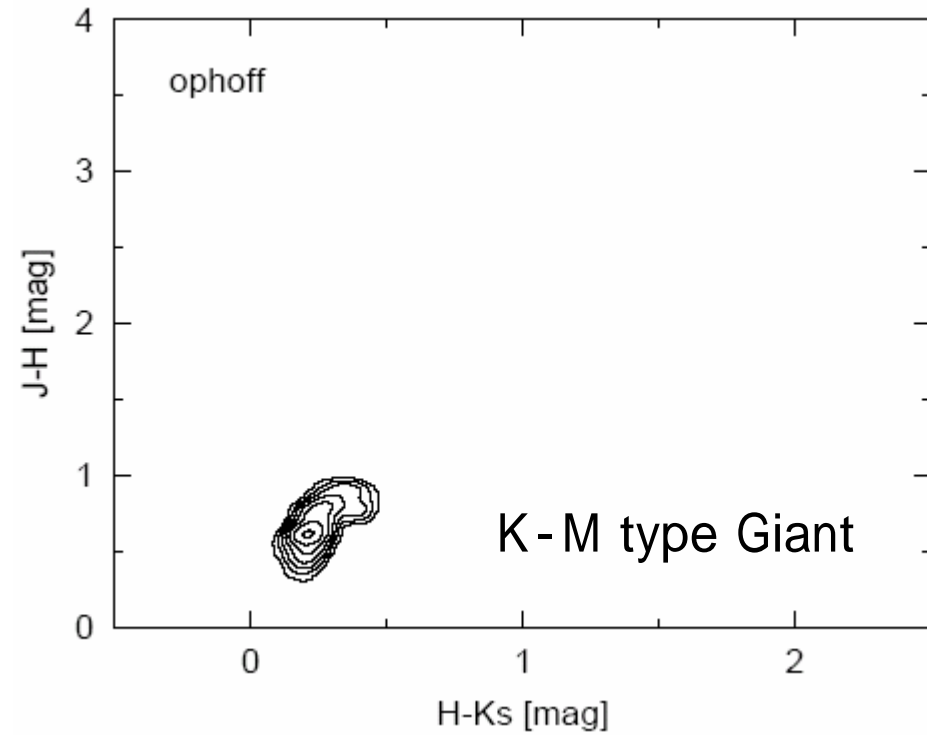
# Intrinsic color

$$\underline{i,j}(E_{H-Ks}, E_{J-H}) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} \underline{k_1, k_2, \text{off}}(H-Ks, J-H) \underline{k_3, k_4, \text{on}}(H-Ks, J-H)$$

ただし、 $k_3 = i + k_1 - i_0$   
 $k_4 = j + k_2 - j_0$

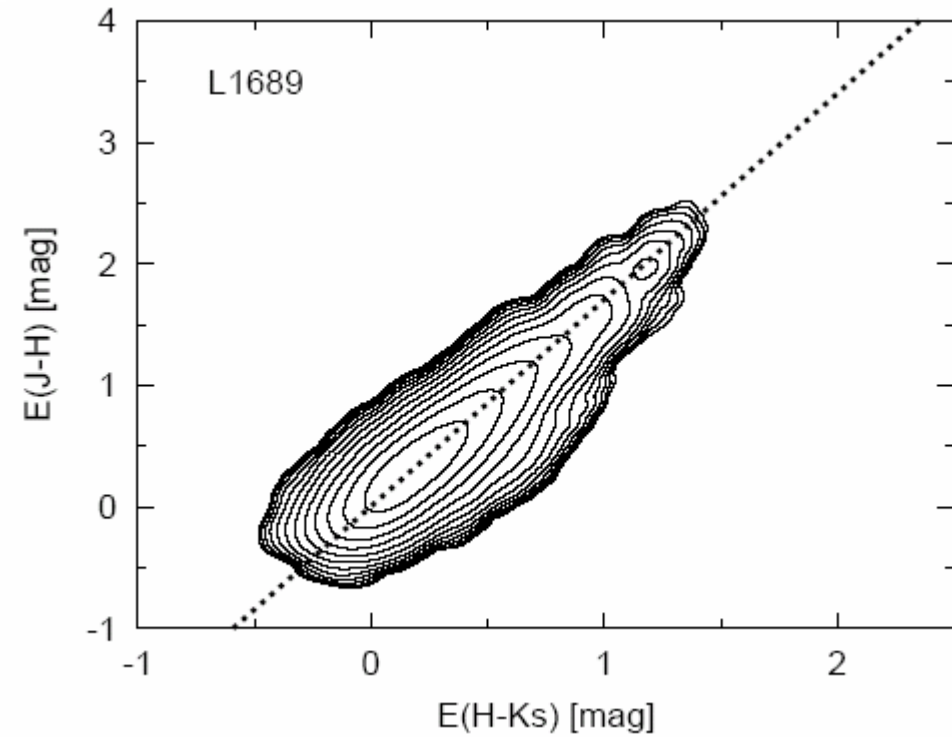
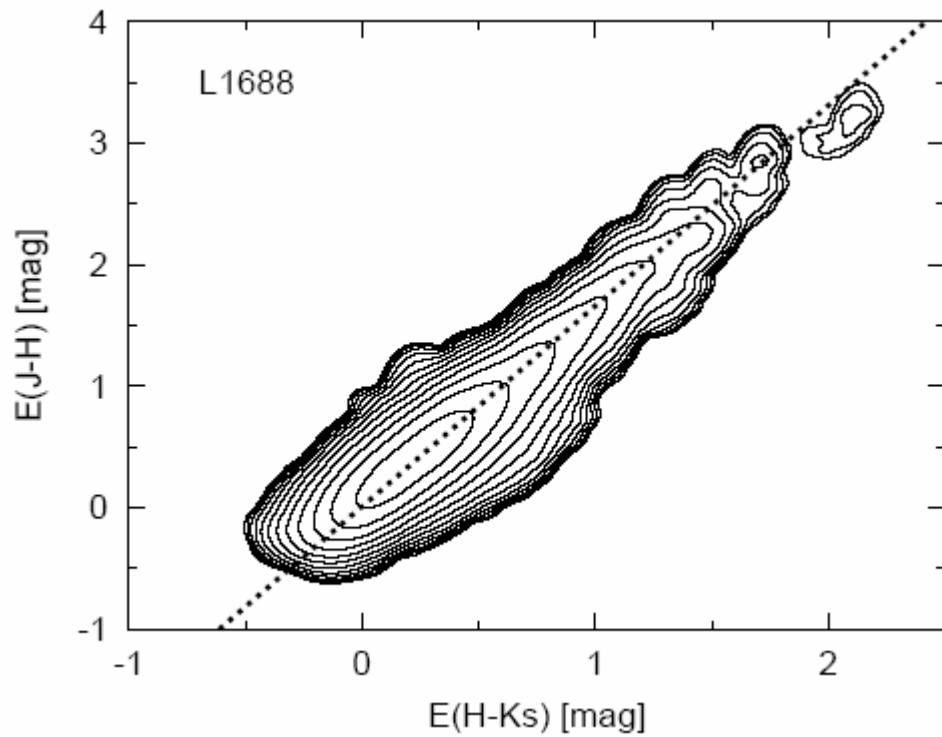


# 結果 (Reference field)



リファレンスフィールド

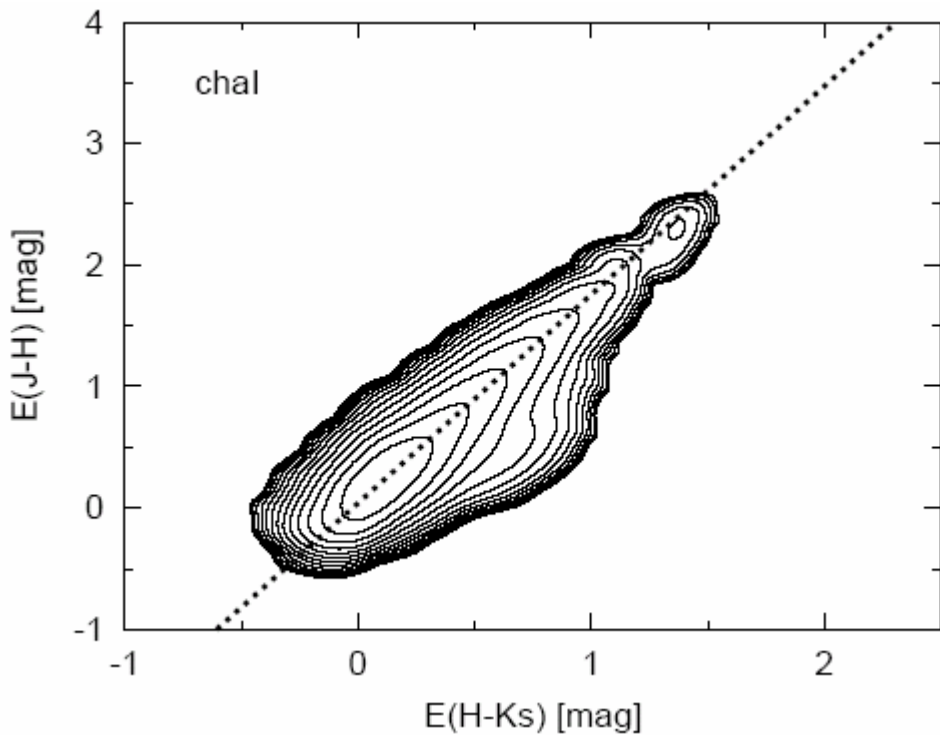
# 結果 (Color excess)



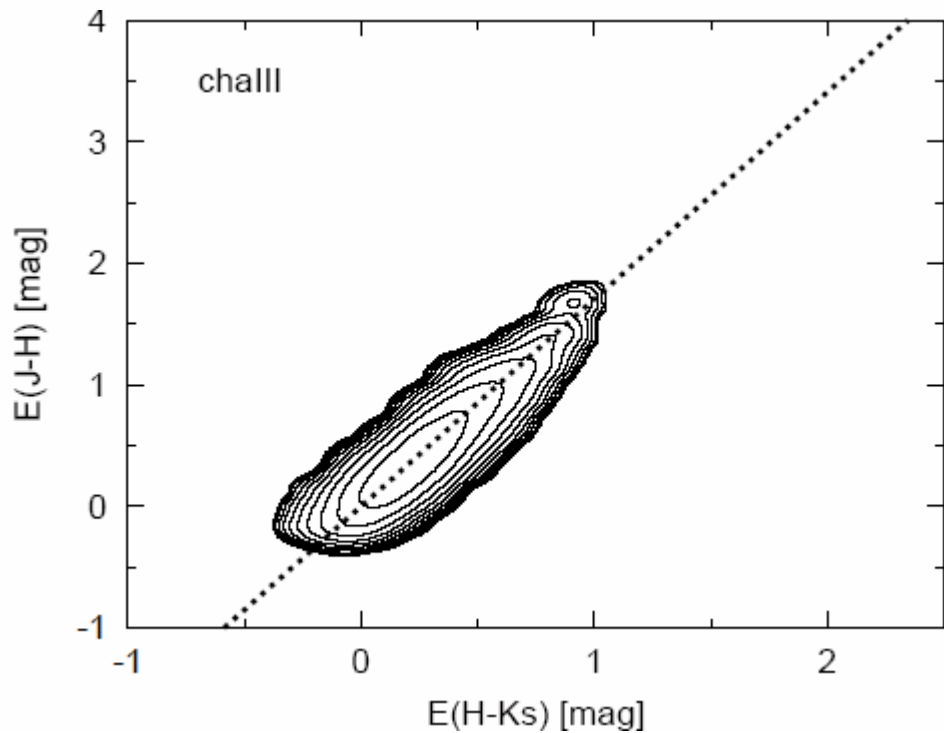
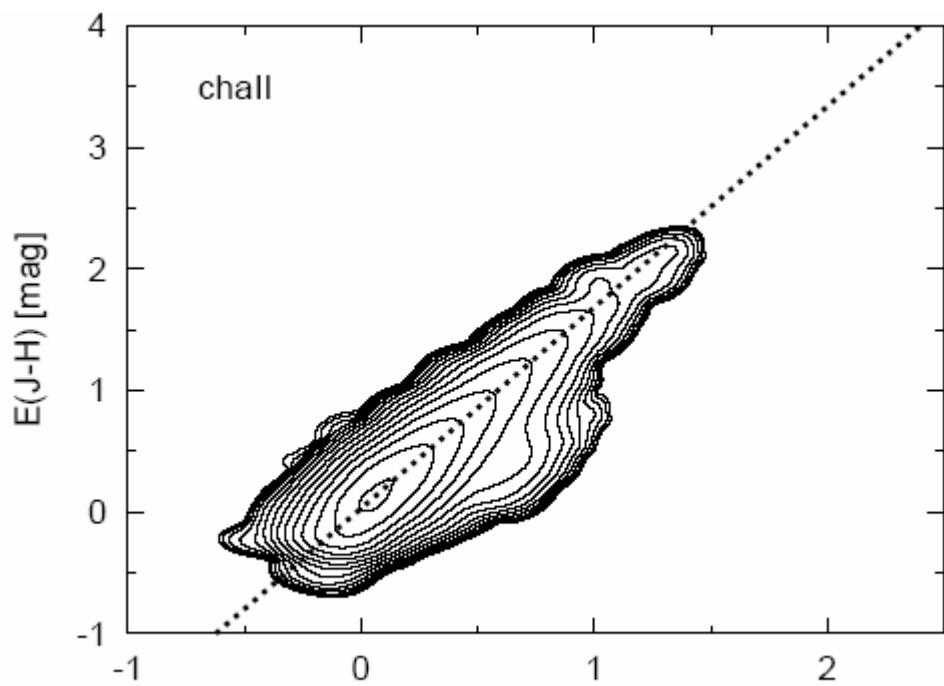
へびつかい座分子雲



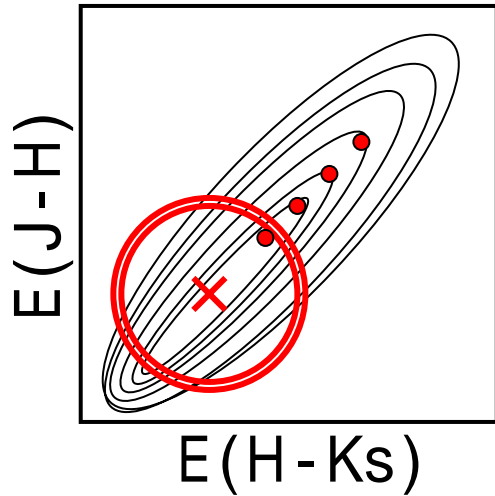
# 結果 (Color excess)



カメレオン座分子雲



$$E_{J-H} / E_{H-Ks}$$



Color excess

- YSOs

相対的に数が少ないため、  
取り除くことが可能 Kenyon et al. (1998)

- 銀河

やや赤化:

- J-H ~ 0.6 - 0.8,  
H-K ~ 0.25 - 0.45 Frogel (1985)

- Foreground

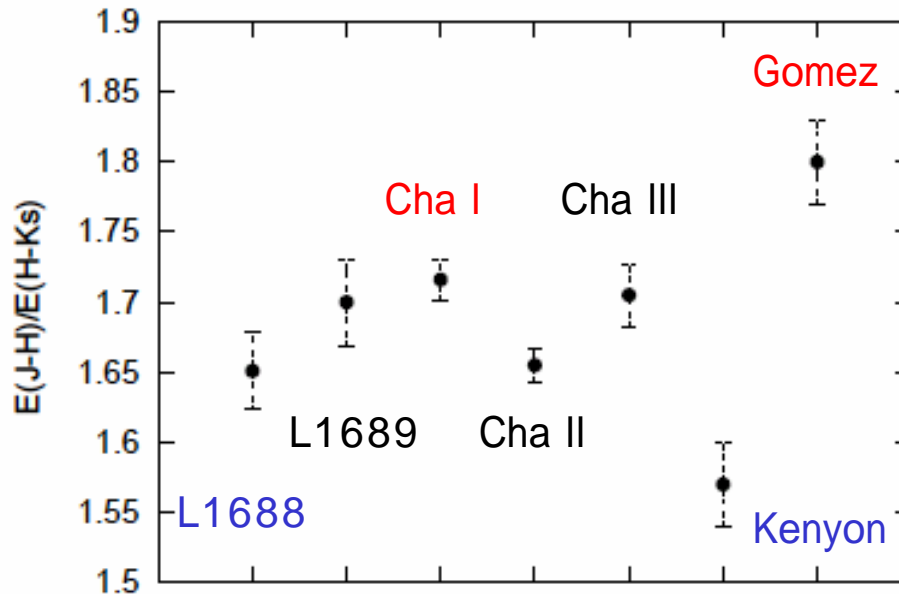
無視出来る程度:

- へびつかい座:  
平均  $A_V \sim 0.14$  Vrba et al. (1993)

- $E_{J-H}$  vs.  $E_{H-Ks}$  ダイアグラム上の「最高点」から「尾根」をプロット
- 尾根の各点を最小二乗をフィット
- 測光エラーを0.10, 0.08, 0.06, 0.04と変えたときのmedian
- 誤差 = (最大値 - 最小値) / 2

# 結果

Region	$\langle E_{J-H}$	$E_{J-H} / E_{H-Ks}$ (IRSF)	
L1688	2.00	$1.651 \pm 0.028$	← $1.57 \pm 0.03$ (CIT) Kenyon, Lada & Barsony (1998)
L1689	1.75	$1.700 \pm 0.031$	
Cha I	1.75	$1.716 \pm 0.015$	← $1.80 \pm 0.03$ (CIT) Gomez & Kenyon (2001)
Cha II	1.75	$1.655 \pm 0.012$	
Cha III	1.50	$1.705 \pm 0.022$	



$E_{J-H} / E_{H-Ks}$  に  
明確な差は認められない

# Model

## ・ダスト

- 形状: 球形、単一組成
- サイズ分布: MRN
- 組成: Draine and Lee (1984)

Graphite ( (para.+perp.  $\times 2$ ) / 3) (47%)

"Astronomical" Silicate (53%)

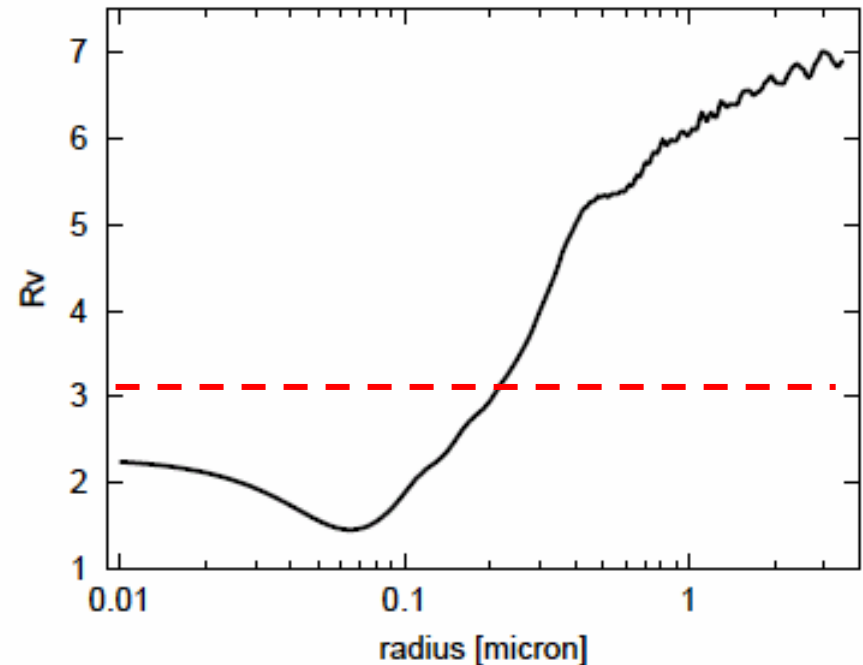
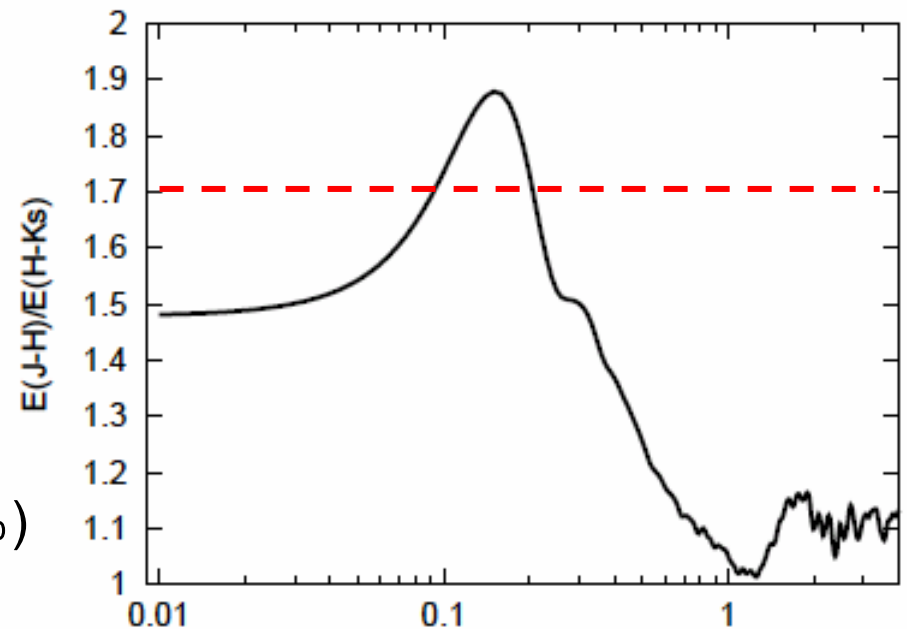
- minimum size = 0.005  $\mu\text{m}$
- maximum sizeをパラメータ

・ $R_V$ (参考)

~ 3 "classical"サイズから  
ダスト成長に伴って増加

・ $E_{J-H} / E_{H-Ks}$

ダスト成長に伴い減少

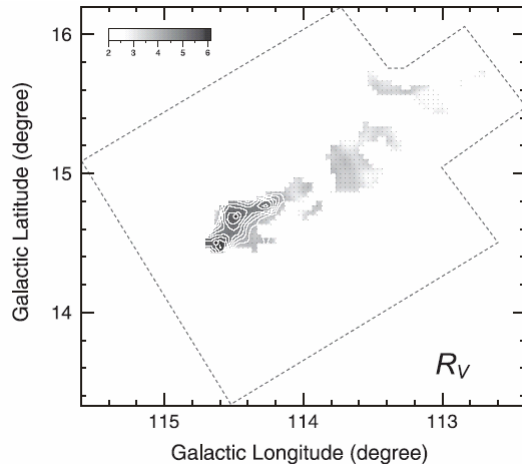


# 高分解能・Deep survey

## ・グローブール

Coalsack Globule 2:  $E_{J-H}/E_{H-Ks} = 1.831 \pm 0.179$

2視野、誤差が大きい



## ・ $E_{J-H}/E_{H-Ks}$ マップ

L1688: 10707個 ÷ 63 (=9 × 7) 視野  
=170個

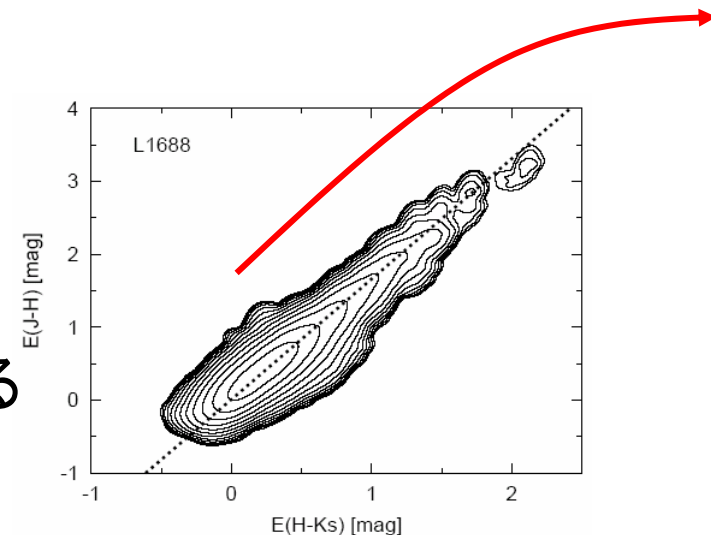
Kandori et al. (2003)

## ・高 $A_V$ の $E_{J-H}/E_{H-Ks}$

密度大 ダスト成長

赤化則は小さくなる

ベクトルが寝る



# まとめ

- ・へびつかい座、カメレオン座分子雲領域の近赤外測光観測をおこなった
- ・J-H vs. H-Ksダイアグラムの赤化ベクトルの向きを赤化則と仮定し、これを正確に求めた
- ・二つの分子雲の五つの領域において、  
赤化則に明確な差は認められなかった
- ・1.9 - 1.0の幅で、ダスト成長に伴い減少すると考えられる

高分解能・Deep survey

- ・Rvマップのような取り扱い方
- ・高 $A_V$ における $E_{J-H}/E_{H-Ks}$