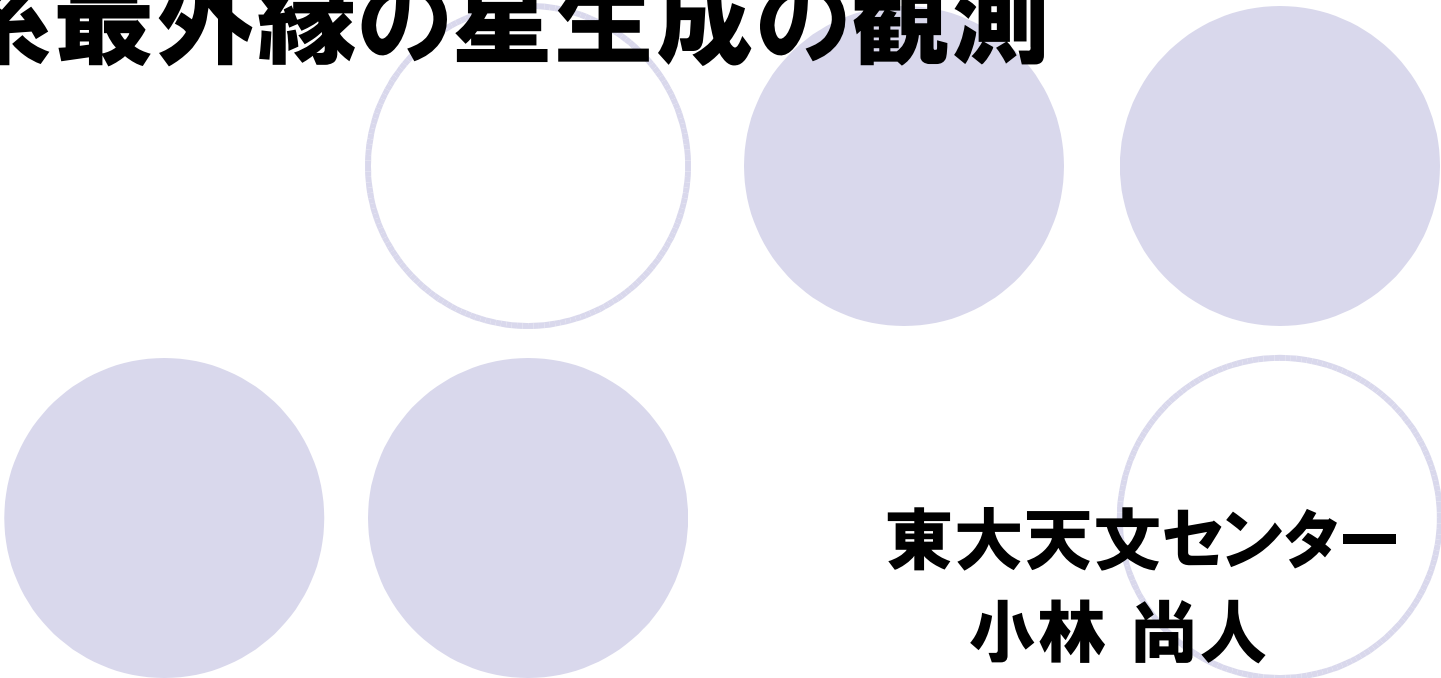


2006 木曾シュミットシンポジウム(上松)

木曾シュミットによる 銀河系最外縁の星生成の観測



東大天文センター
小林 尚人
安井 千香子

共同研究者

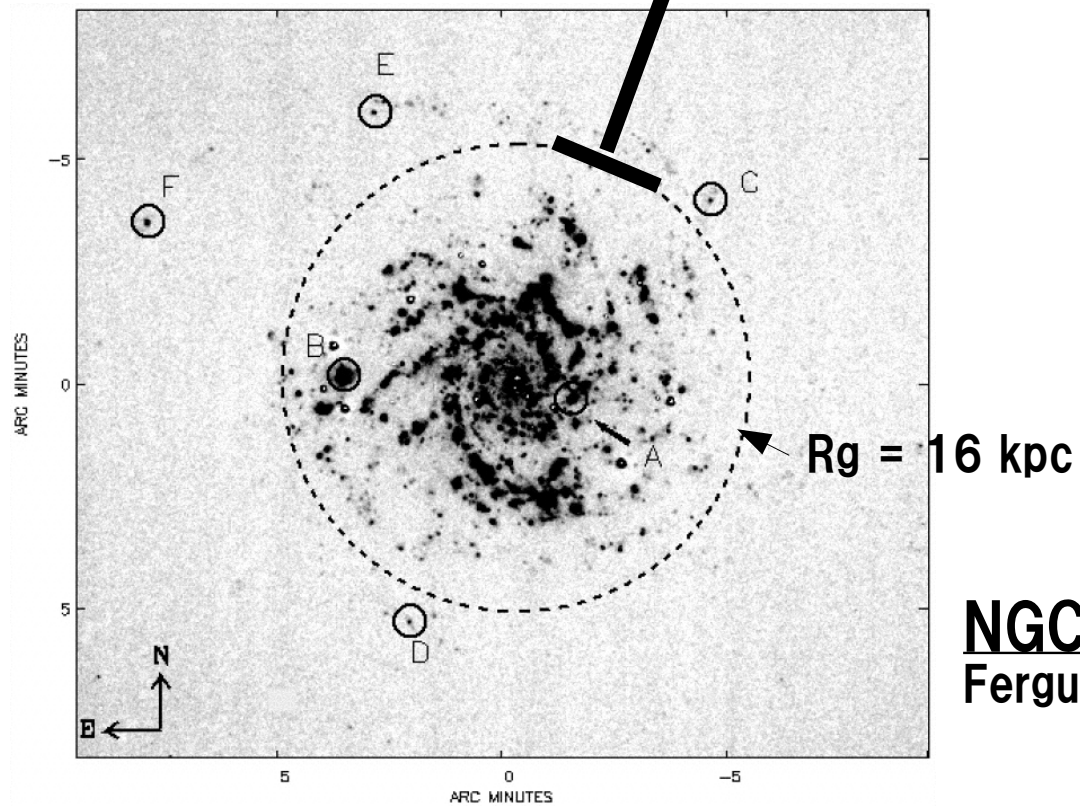
斎藤正雄 (ALMA : 国立天文台)、Alan Tokunaga (ハワイ大学)

内容



1. 銀河系最外縁部 **現在の理解**
2. Extreme Outer Galaxy $R_g > 18 \text{kpc}$
研究の意義 **3つ**
3. Digel Cloud 2 **best example** として
4. 木曾シュミットでの $H\alpha$ サーベイ観測
5. 今後の展望

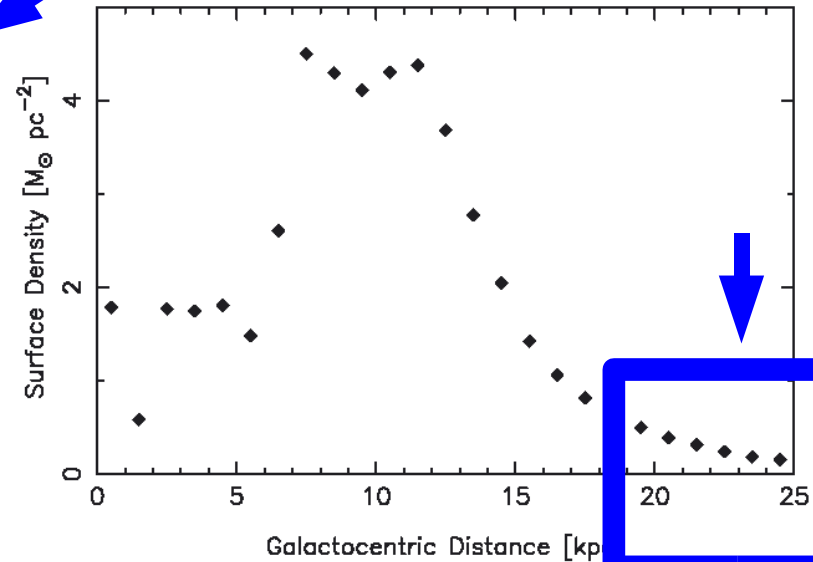
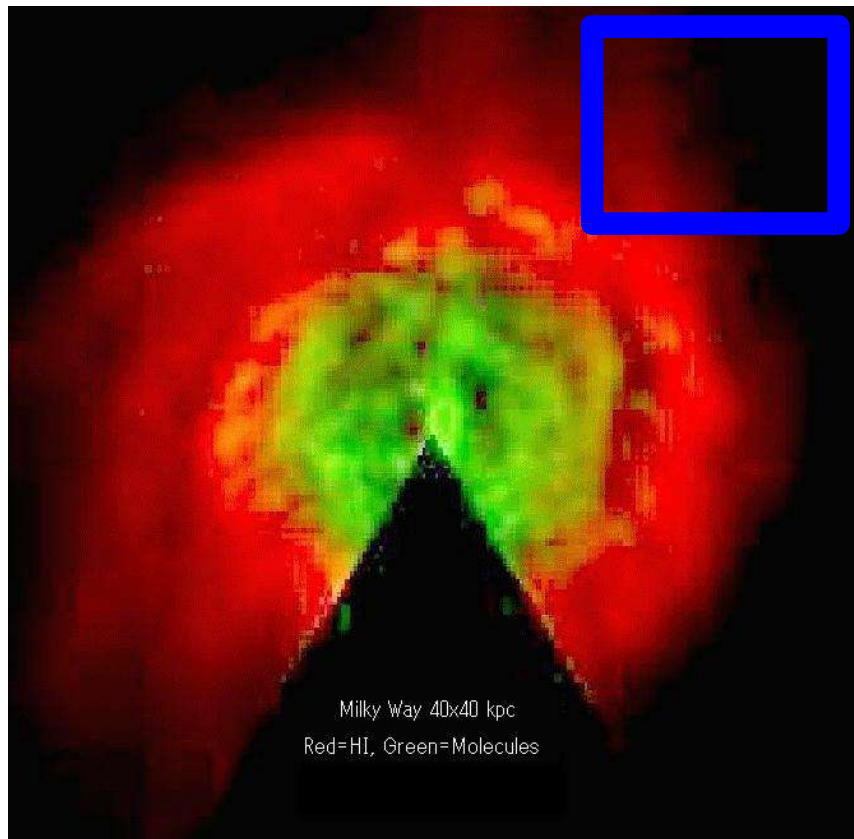
1. 銀河系最外縁部 系外銀河で見ると



NGC628 in H α
Ferguson et al. 1998

- **星の分布の限界 $R_g \sim 18-20$ kpc**
Digel et al. 1984 他

1. 銀河系最外縁部 銀河系外縁部の環境



HI distribution
Nakanishi & Sofue
2003

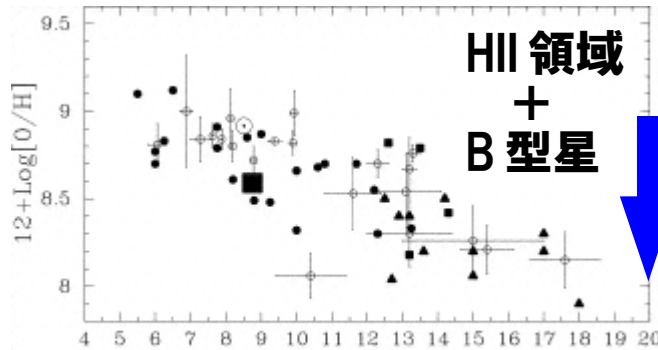
$n < 0.01 \text{ cm}^{-3}$

- 低密度、渦状腕による擾乱小 (or なし)

この点では”始源的”環境

1. 銀河系最外縁部 銀河系外縁部の金属量

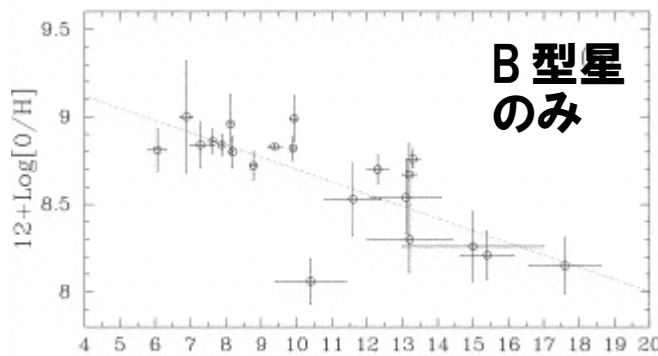
酸素のアバundance (太陽組成)



太陽近傍

金属量 1/10

Cloud2

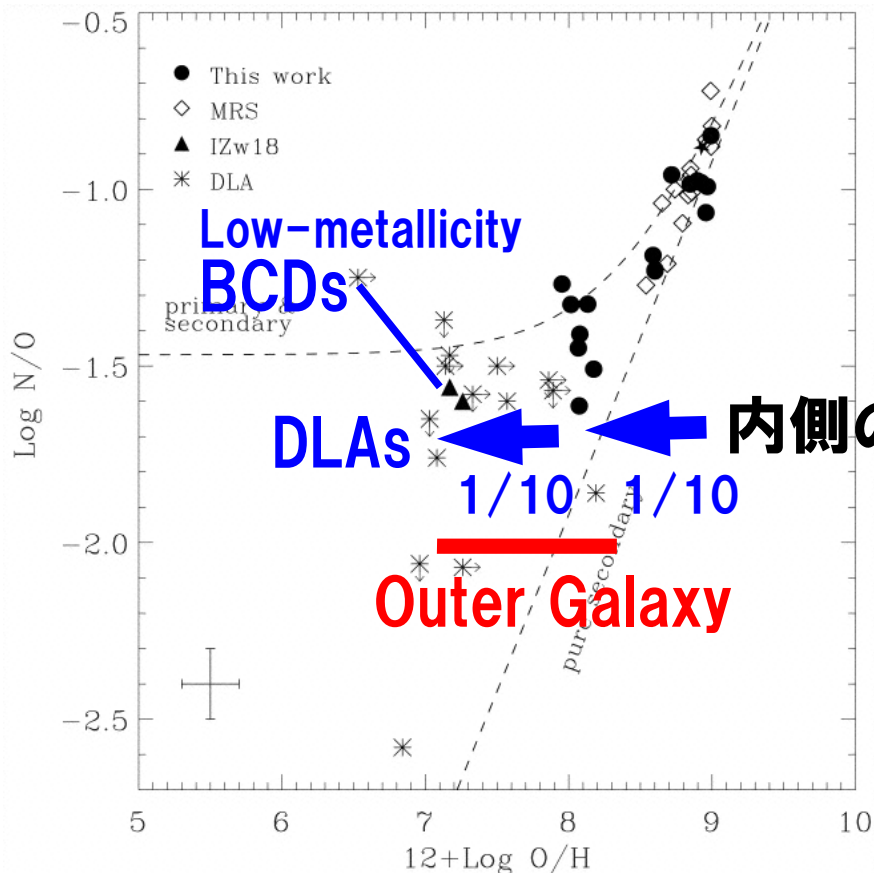


Metallicity gradient
Smartt & Rolleston 1997

銀河半径 (kpc)

- $R_g > 18 \text{ kpc}$ は、金属量が 1/10 solar
LMC/SMC など近傍 dlrr と同程度かそれ以下

1. 銀河系最外縁部 系外銀河との金属量の比較



系外銀河の金属量
Ferguson et al. 1998

● より銀河形成期の環境に近い??

「thick disk 形成期 (+halo 形成期)」の環境をシミュレートか

1. 銀河系最外縁部

最近の10年の進歩

■ B 型星による分光距離の測定

- Smartt & Rolleston 1997 に集約

■ 電波・赤外線による星生成領域の探査

- IRAS ベース Wouterloot, Brand et al. 1990 etc. (今も続いている)

- **Extreme Outer Galaxy $R_g > 18\text{kpc}$ の分子雲 (Digel Clouds) の探査**

Kobayashi and Tokunaga 2000 (continued)

- **単発的な発見** e.g., Santos et al. 2000

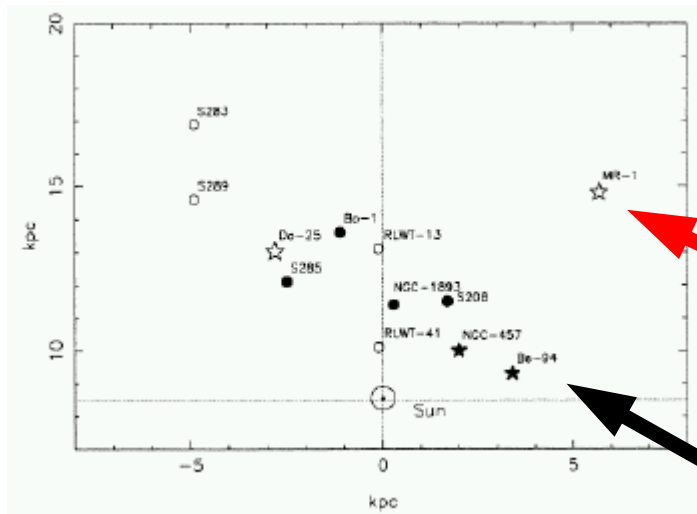
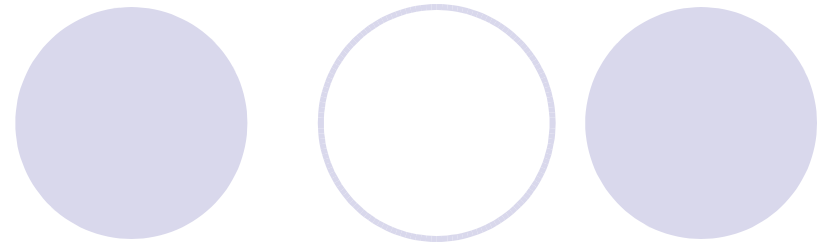
- **Far Outer Galaxy $15 < R_g < 18\text{kpc}$ の探査**

現在もとても comprehensive

北天 Snell et al. 2002 DRAO (HI) + FCRAO (CO), IRAS+2MASS (K<15)

南天 Nakagawa et al. 2005 Nanten (CO)

1. 銀河系最外縁部 B型星の分布



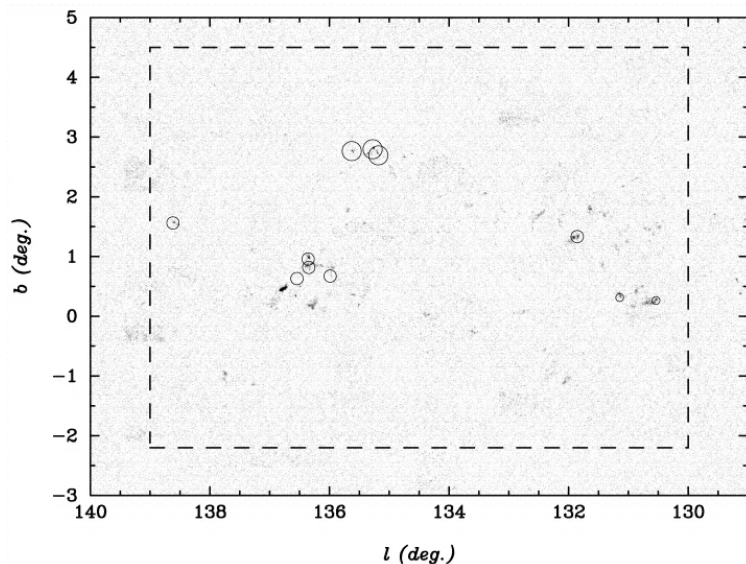
B型星の分布
Smartt et al. 1996

Outer arm?
($D > 10$ kpc)

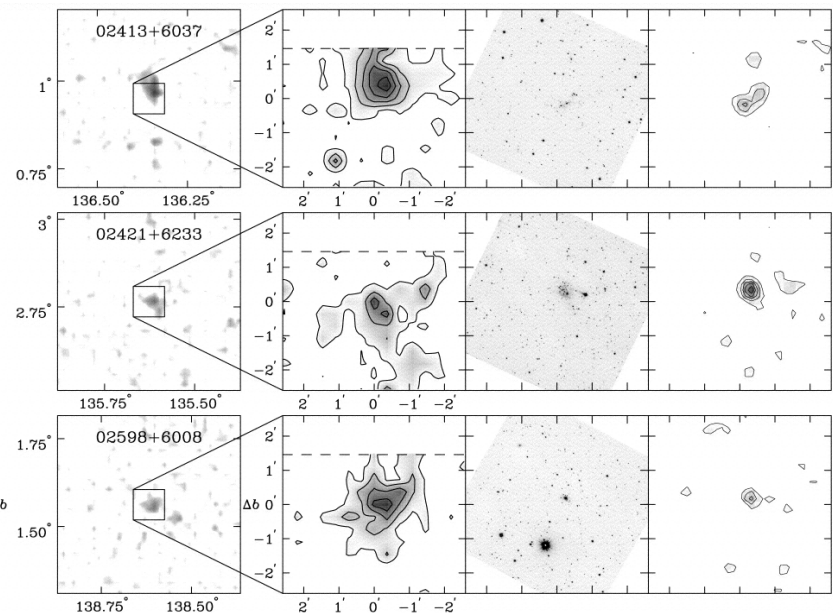
Perseus arm
($D \sim$ few kpc)

- **現時点でもっとも確かな距離測定**
ただし、20%程度の統計誤差
(星のモデルによるシステマティックな誤差はもっと大きい)

1. 銀河系最外縁部 系統的な星生成領域探査 電波ベース(北天)



FCRAO CO (1-0)



12CO

13CO

K-band

星生成領域探査

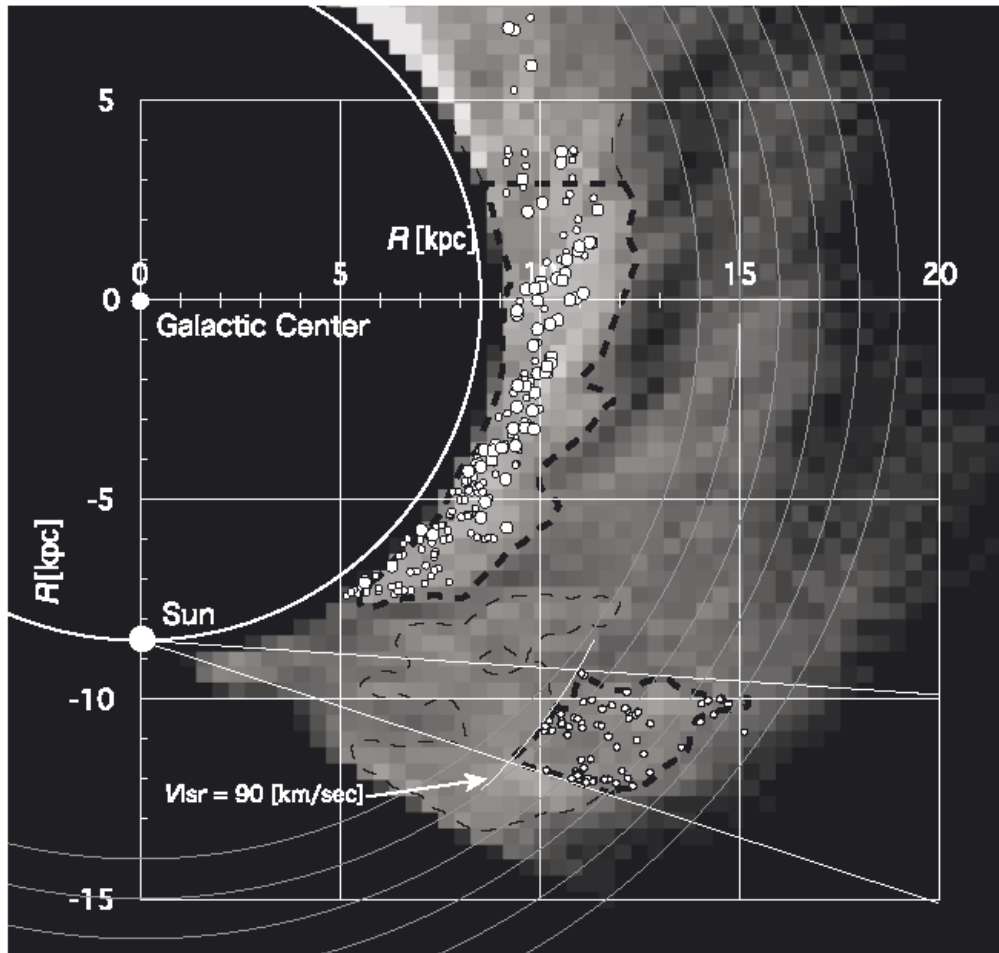
Snell et al. 2002

- Far outer Galaxy ($15 < R_g < 18 \text{ kpc}$) では
分子雲からの星生成効率は通常 ($\sim 10\%$)
- 分子雲自体の生成効率が悪いだけ

1. 銀河系最外縁部

系統的な分子雲探査

電波ベース(南天)



南天の外縁部分子雲探査

Nakagawa et al. 2005

- 低金属量下の分子雲のパラメータ

2. Extreme Outer Galaxy ($R_g > 18 \text{Kpc}$) 研究の意義

■ Thin disk の外側の構造への知見

- Outer arm 以遠

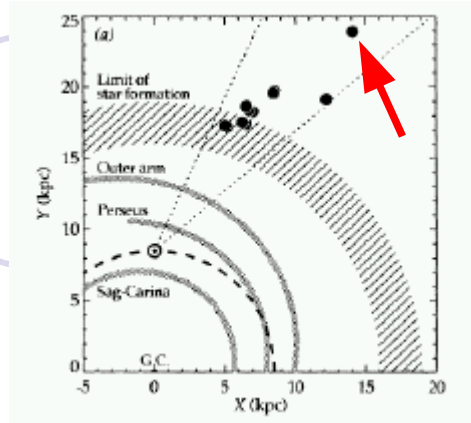
■ 星生成研究の理想的実験場

- Weak (or No?) perturbation from spiral arms
- SNR triggered star formation
- No complexity in space and time

■ 銀河形成期の星生成への示唆

- 低金属量、低密度環境での星生成 (IMF、星生成率)
- 矮小銀河や高赤方偏移 DLA での星生成
- ダークマター dominant な環境での星生成？

3. Cloud 2 best example として 歴史的経緯



■ Digel による distant HI 雲候補の

CO follow-up で発見 Digel et al. 1994

- 8つの Clouds のうちのひとつ GMC $M(\text{CO}) \sim 4 \times 10^4 M_{\text{solar}}$
- $R_g \sim 20 \text{ kpc}$ (Smartt et al. 1996, Kobayashi and Tokunaga 2000)
- 金属量 $\sim 1/5 \text{ solar}$ (SMC 相当)

■ 星生成の発見 Kobayashi & Tokunaga 2000

- 赤外線天体 IRS1-7

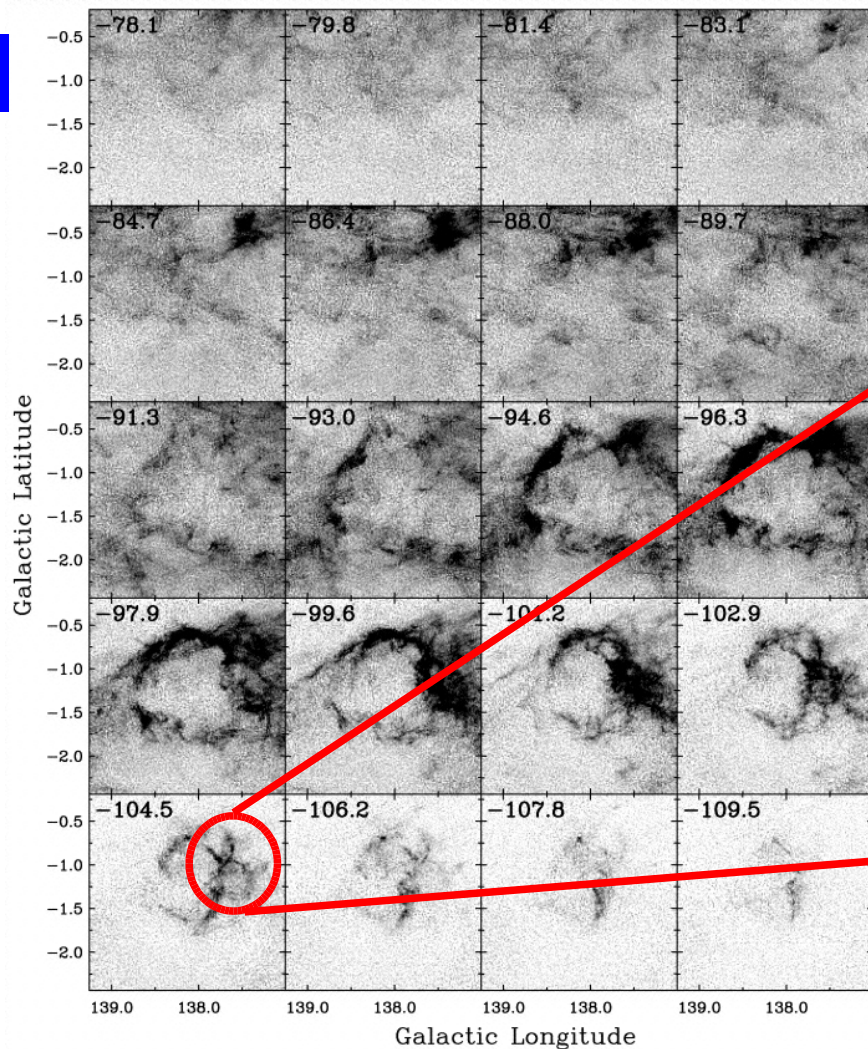
■ 付随していた巨大な SNR の発見 Stil & Irwin 2001

- $r = 180 \text{ pc}$ (通常 $r < 100 \text{ pc}$), ほぼ完全なかたち
- 年齢 4.3 Myr (通常 1 Myr)
- Cloud 2 が HI Shell に付随
→ SNR による分子雲形成、および、星生成

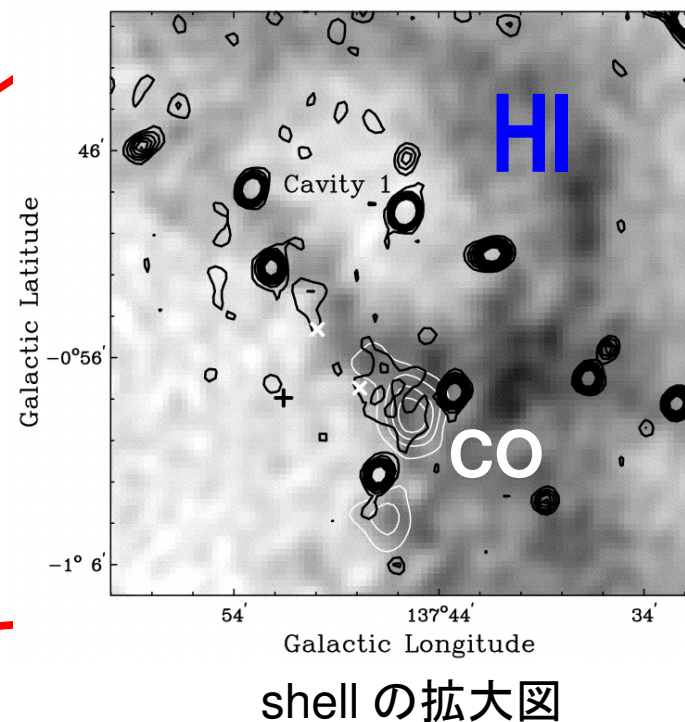
3. Cloud2

SNR Shell による分子雲形成

HI

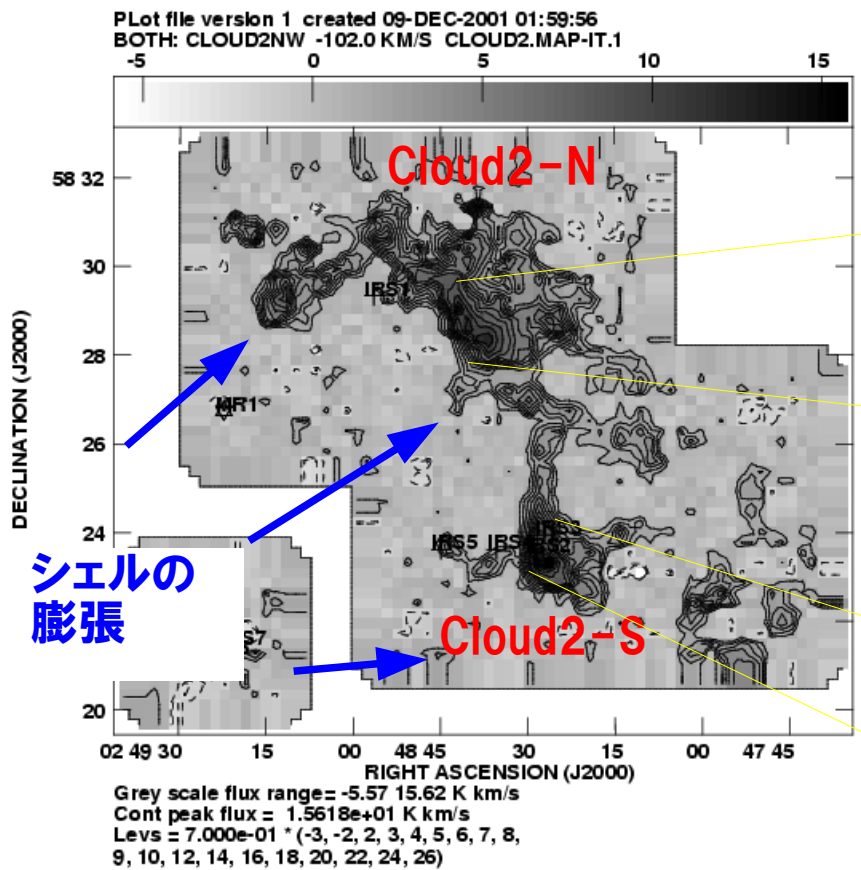


Cloud2 SNR HI-Shell
Still & Irwin 2001



3. Cloud2

SNR Shell による分子雲形成 → 星生成

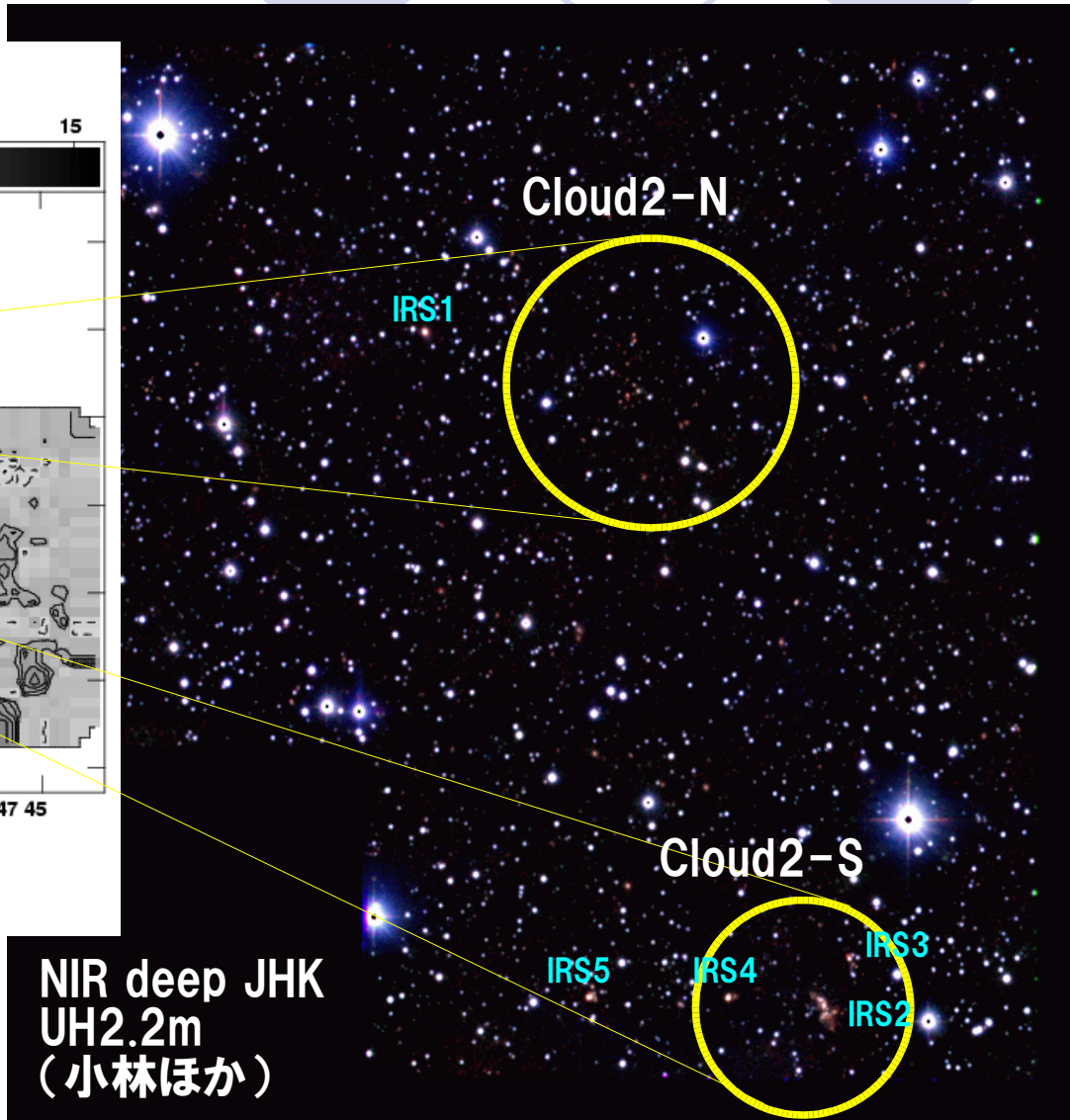


シエルの
膨張

^{12}CO

野辺山 45m (斎藤ほか)

NIR deep JHK
UH2.2m
(小林ほか)



Cloud2-N

IRS1

Cloud2-S

IRS5

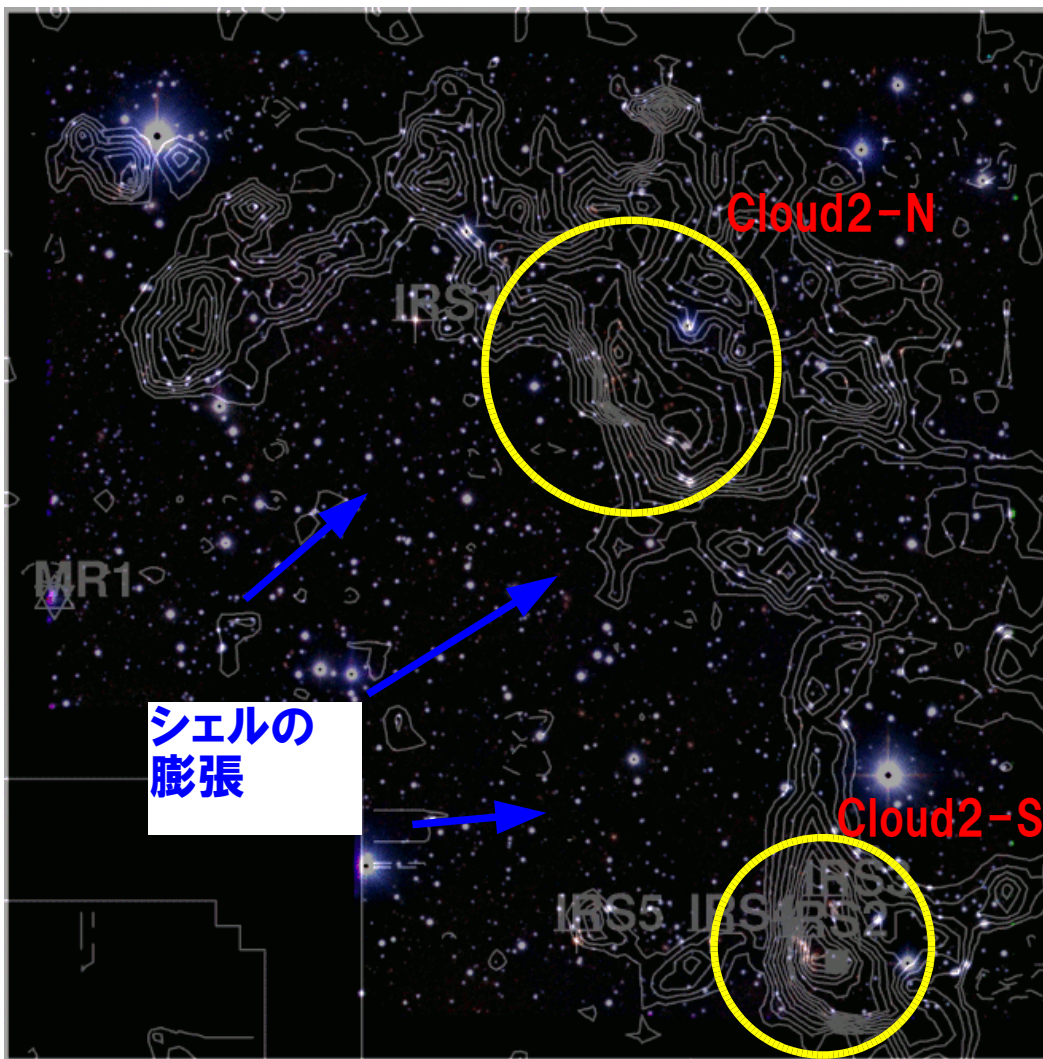
IRS4

IRS3

IRS2

3. Cloud2

SNR Shell による分子雲形成 → 星生成



NIR deep JHK
UH2.2m
(小林ほか)

^{12}CO
野辺山 45m
(斎藤ほか)

シェルの
膨張

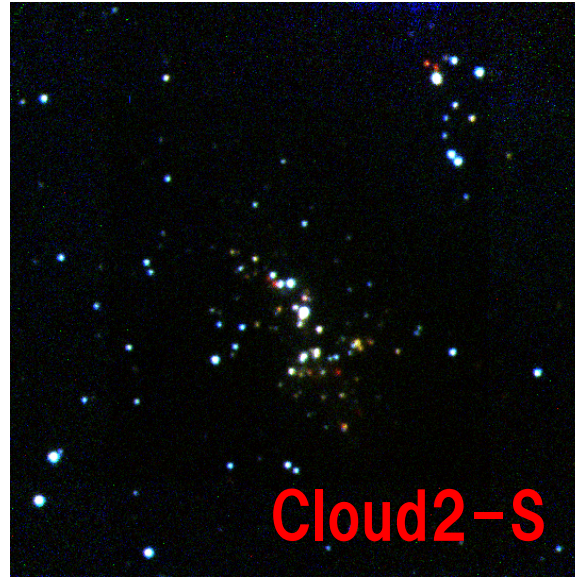
3. Cloud2

明瞭な星生成：Young Embedded Cluster



Cloud2-N

Yasui et al. 2006
(ApJ, in press)



Cloud2-S

Yasui et al. 2006
(in prep.)

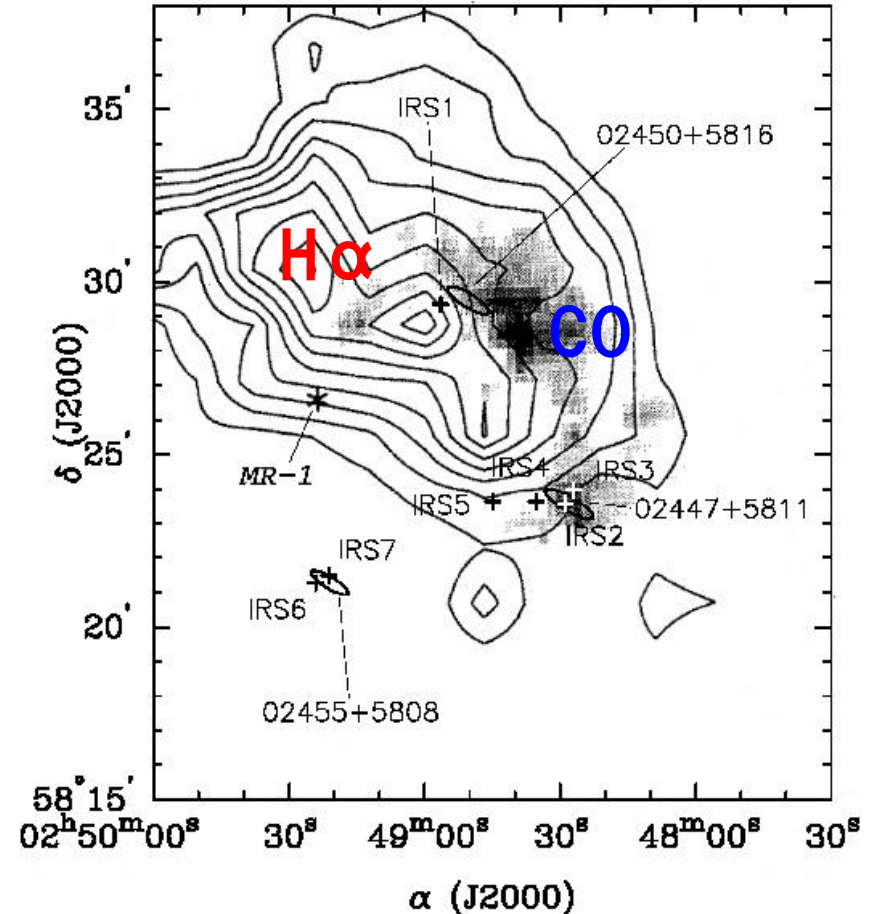
近赤外深撮像
Subaru IRCS
(K = 21 mag)

- 0.1Mまでは、Salpeter-like IMFでよくあう（年齢 1Myr）
- 星生成効率が低い？（～1%）

4. 木曾シュミットによる $H\alpha$ サーベイ観測

■ EOG ($18\text{kpc} < R_g$) : Digel Cloud サーベイ

- 星生成領域の探査
- 「星生成率」を求める
- 2MASS (近赤外線) より
たぶん高感度

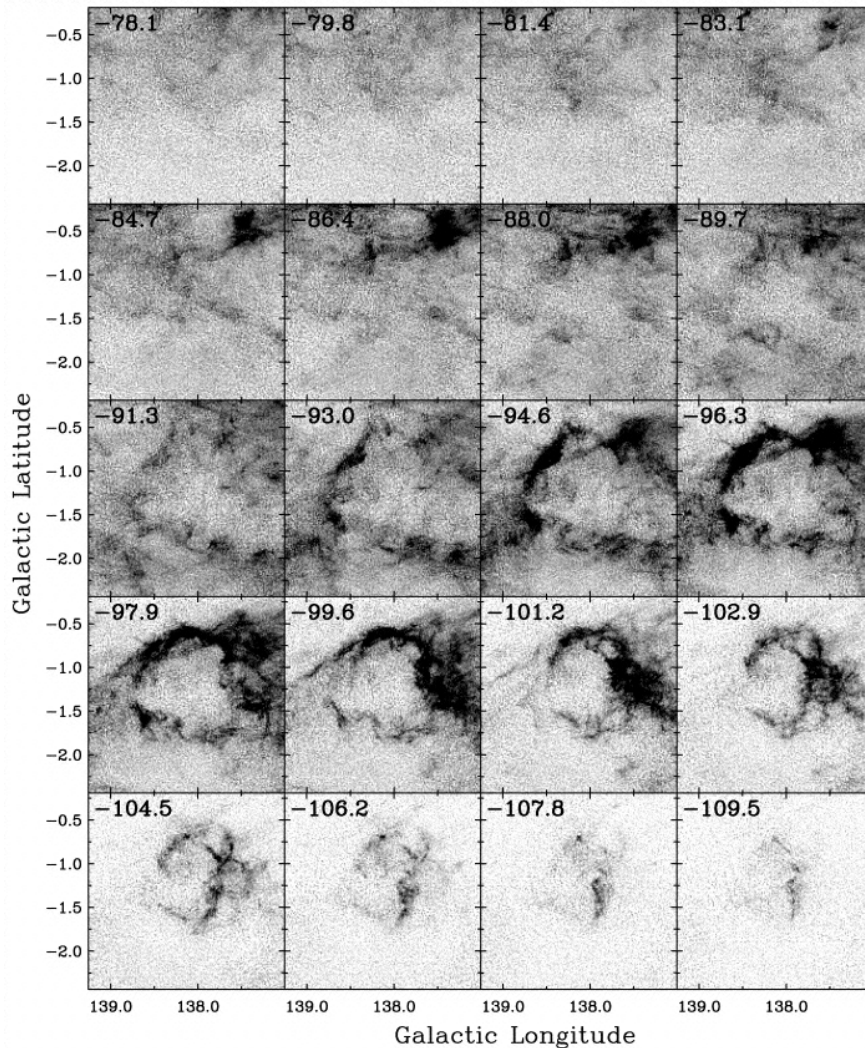


Cloud2 における星生成
de Geus et al. 1993
Kobayashi & Tokunaga 2000

4. 木曾シュミットによる $H\alpha$ サーベイ観測

■ EOG ($18\text{kpc} < R_g$) :
Digel Cloud サーベイ
(続)

- SNRシェルを完全に覆う
(視野2度 x 2度)
KWFC にちょうどよい



HI channel map

Cloud2 SNR Shell
(Still & Irwin 2000)

4. 木曾シュミットによる $H\alpha$ サーベイ観測

■ KOGS (15kpc? < R_g)

: OB 型星サンプル

- 星生成(領域)を探す
- OB 型星は1領域につき1、2個、周囲に cluster (Testi et al.)
- (要検討) B バンドでの反射星雲と $H\alpha$ とどちらが感度がよい?
- (要検討) OB 型星の多天体分光で十分?



Sh209

JHK composite 30'x30'
UH QUIST (10-inch telescope)

5. 今後の展望

■ AKARI 中間赤外サーベイデータ

- Wouterloot たちの IRAS-base サーベイの高感度版

■ 新たな電波 HI/CO サーベイ？

- 南天の Nakagawa et al. に対応するもの

■ 木曾 KOGS とその延長 w/KWFC

- nebulosity サーチ

→ Sharpless の標準 HII 領域,
Brand/Blitz/Wouterloot 等の outer Galaxy
HII 領域に続くカタログに？