

# サーベイデータで探る 銀河系外縁部における星生成

泉奈都子<sup>1</sup>

共同研究者: 安井千香子<sup>1</sup>、小林尚人<sup>2</sup>、濱野哲史<sup>3</sup>、齋藤正雄<sup>4,5</sup>

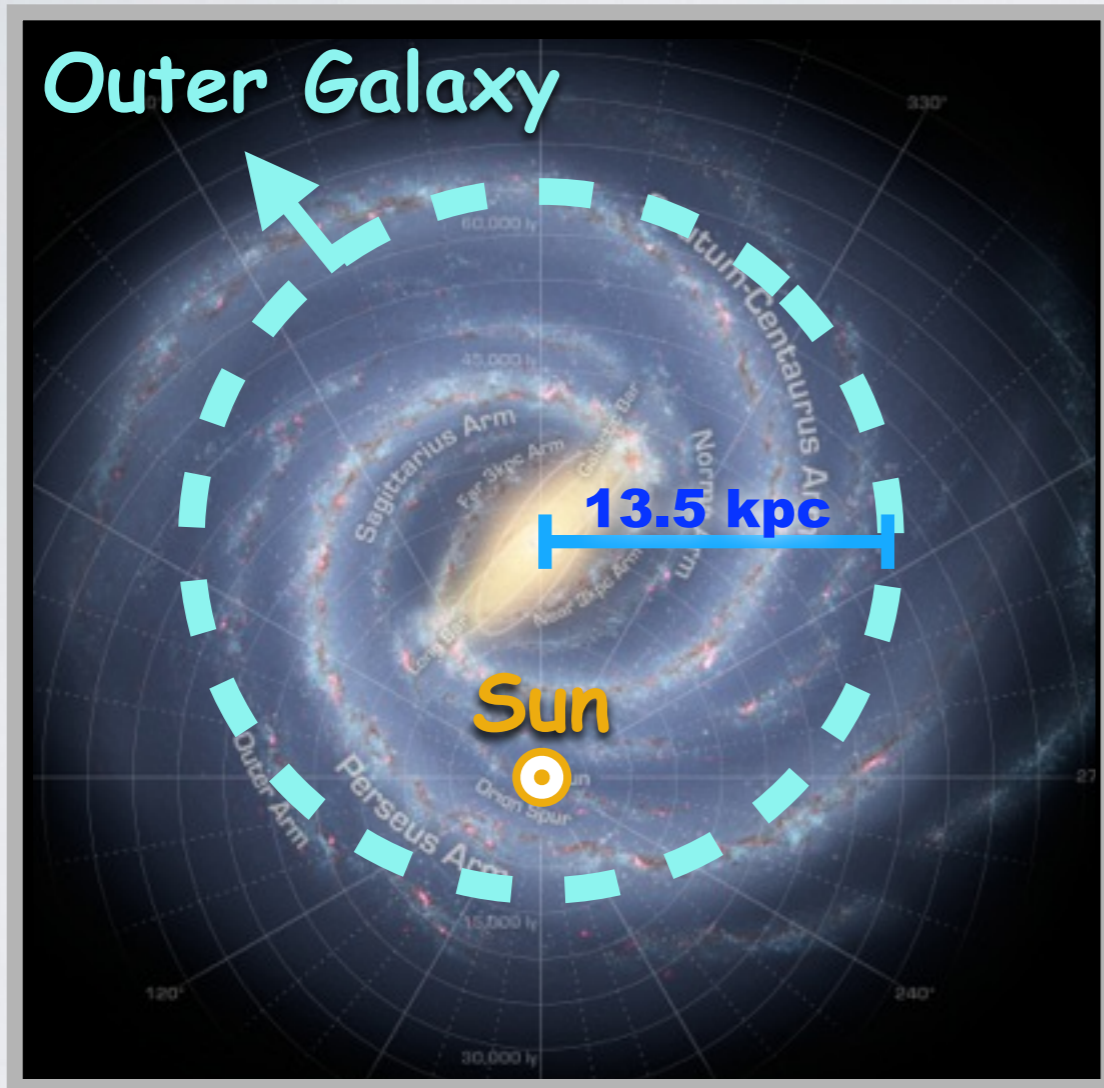
1. 国立天文台、2. 東京大学、3. 京都産業大学

4. 国立天文台 野辺山宇宙電波観測所、5. 総合研究大学院大学

# I. INTRODUCTION

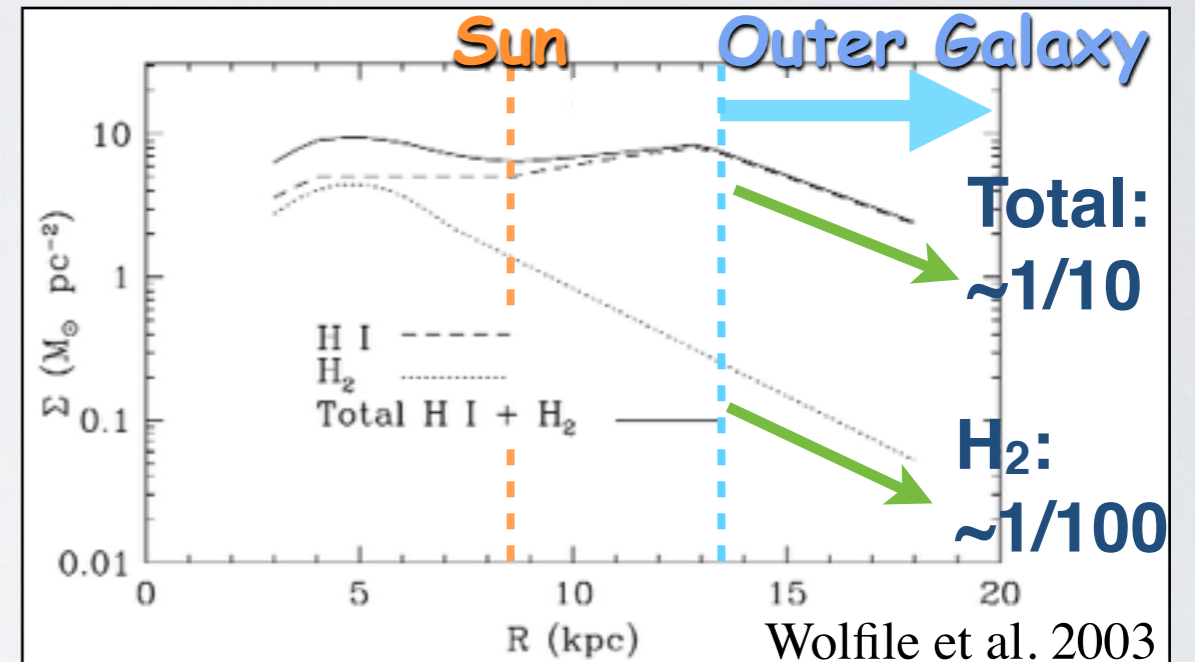
❖ 銀河系外縁部:  $R_G \cong \sim 13.5 \text{ kpc}$

## ● 環境

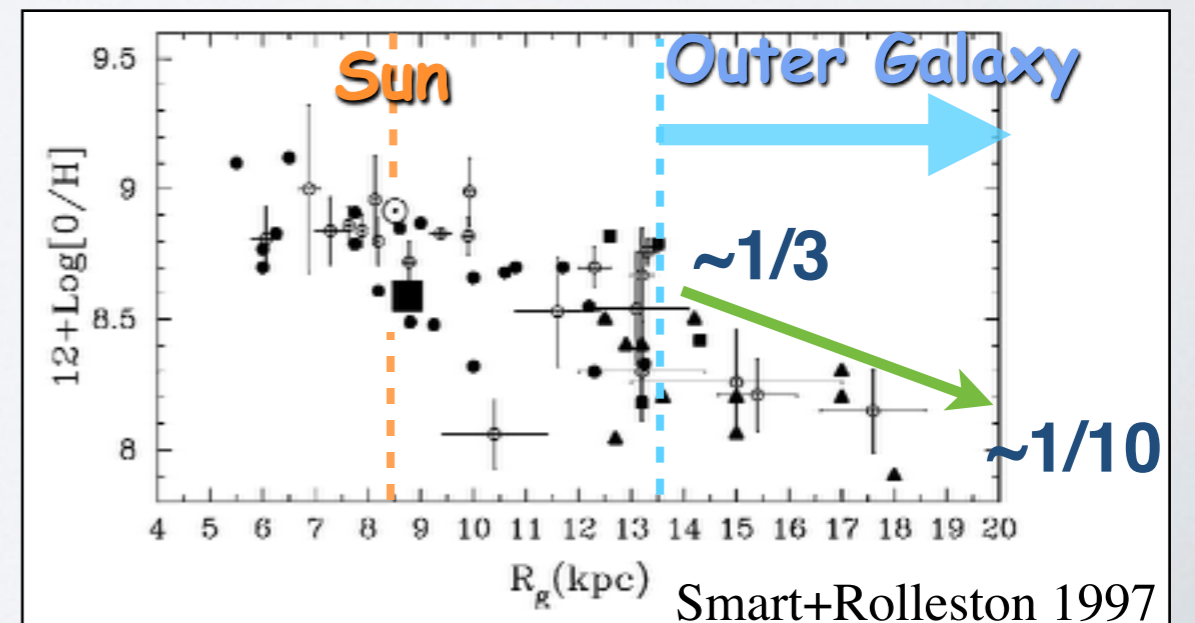


NASA/JPL-Caltech

- 低ガス密度、HIが支配的



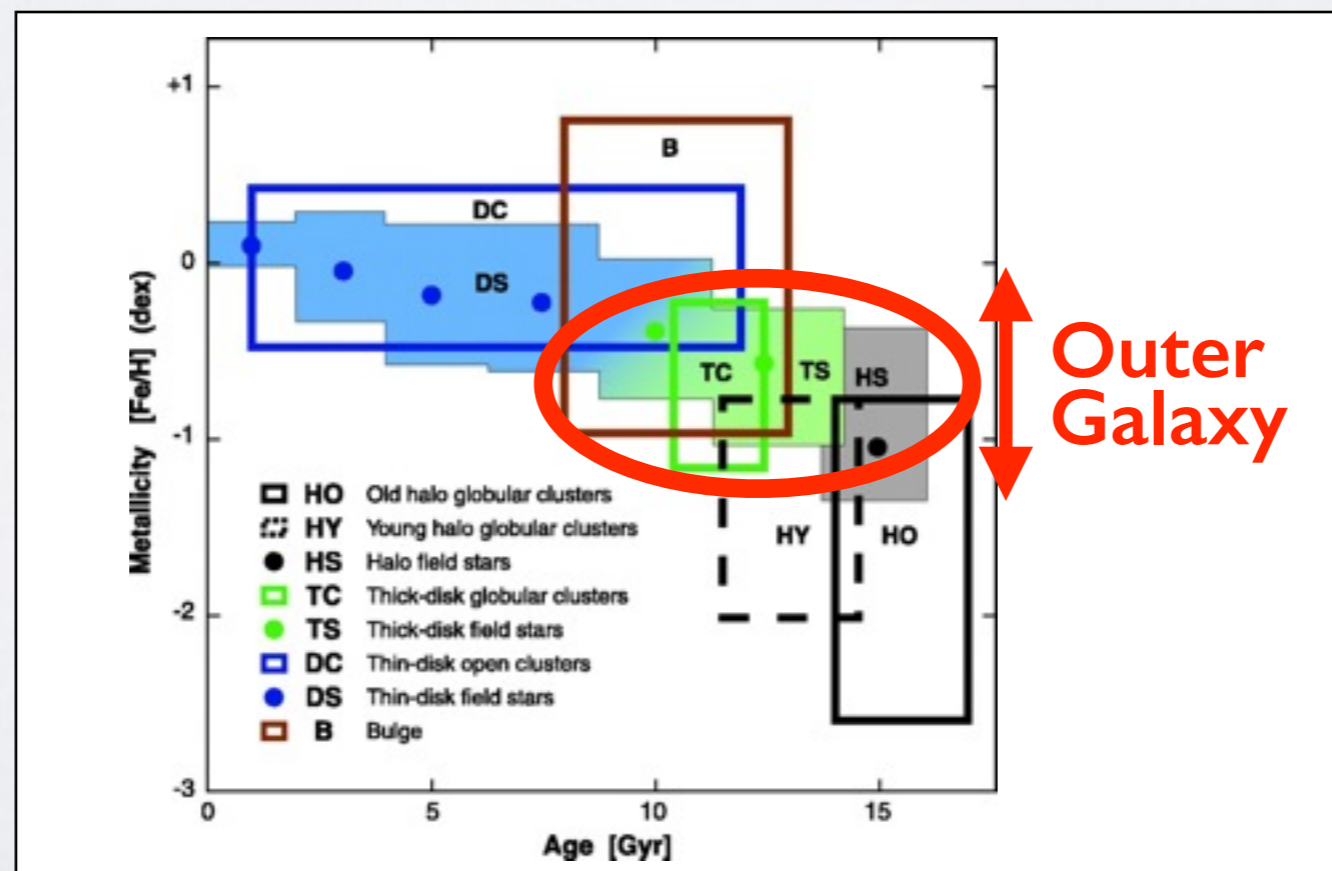
- 低金属量



# I. INTRODUCTION

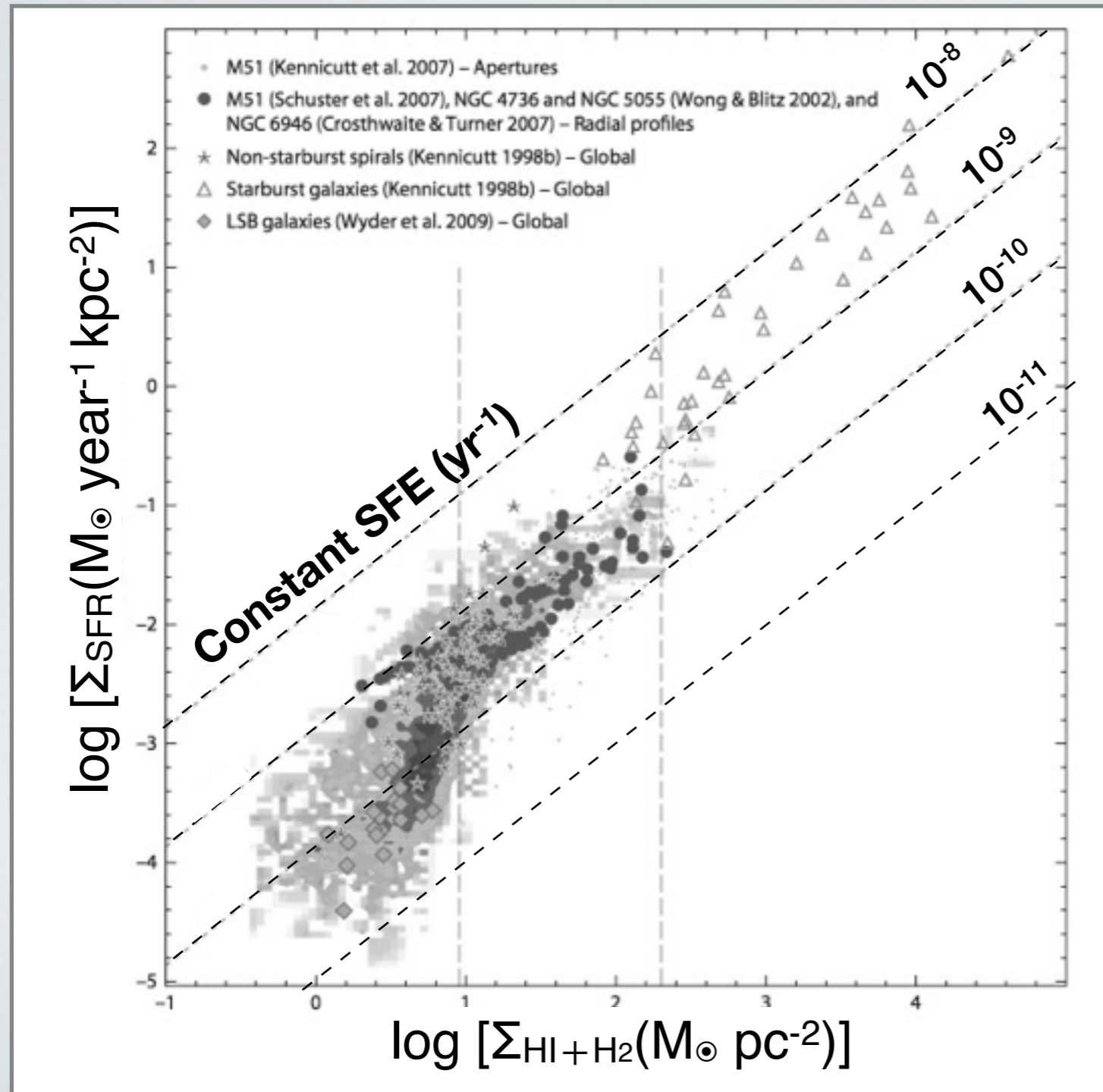
## ❖ 銀河系外縁部の研究意義

- **低ガス密度・低金属量環境**下における星生成を研究するための**理想的な実験場**
- **矮小銀河・銀河系形成初期の環境**と非常に似通っている
  - 特に**Thick disk**の形成期と似通っている
  - 近傍において**銀河形成過程**を詳細に**観測**できる唯一の環境



# I. INTRODUCTION

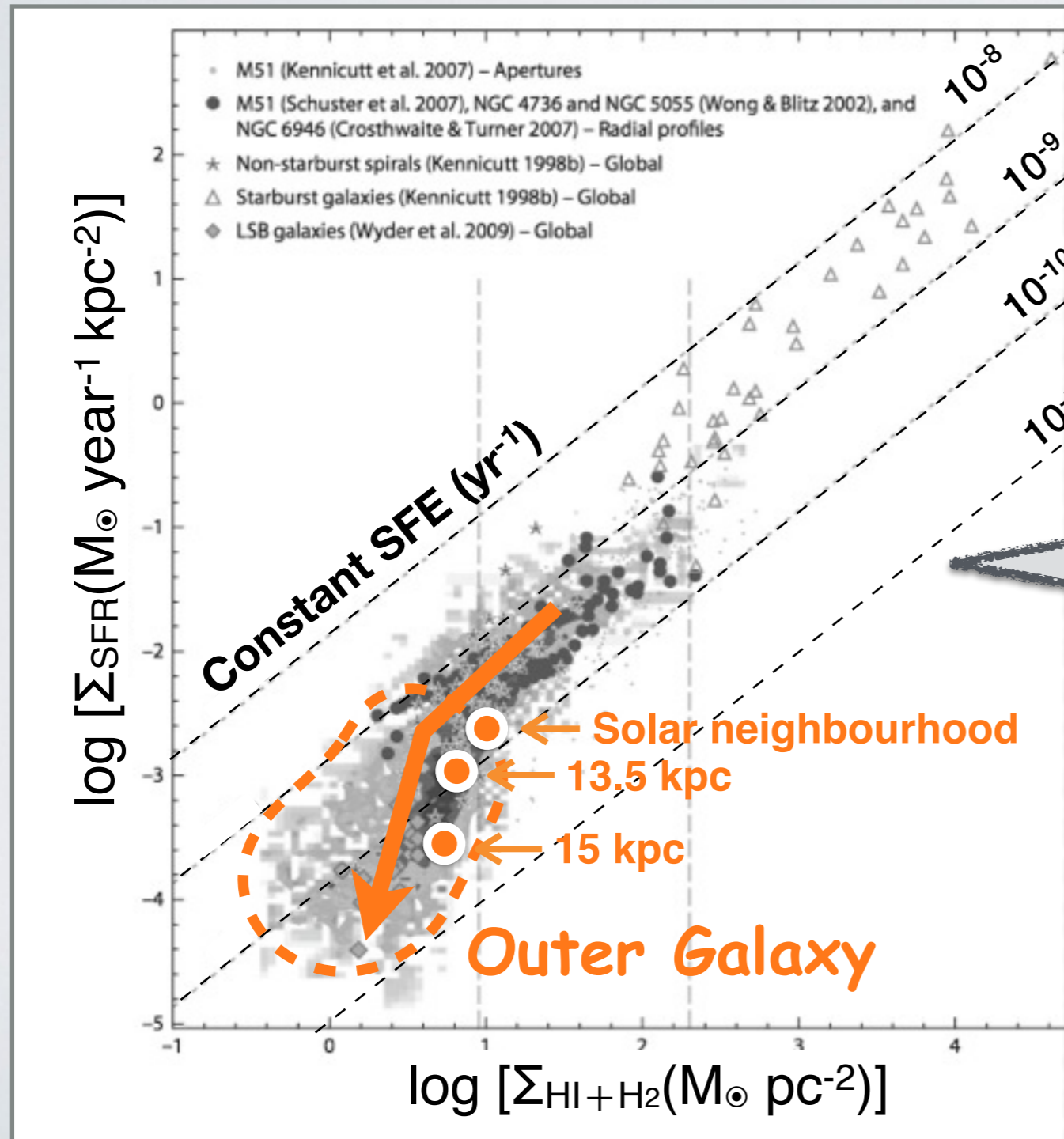
## ❖ 銀河系外縁部の星生成率 (SFR) ・ 星生成効率 (SFE)



Kennicutt et al. 2012

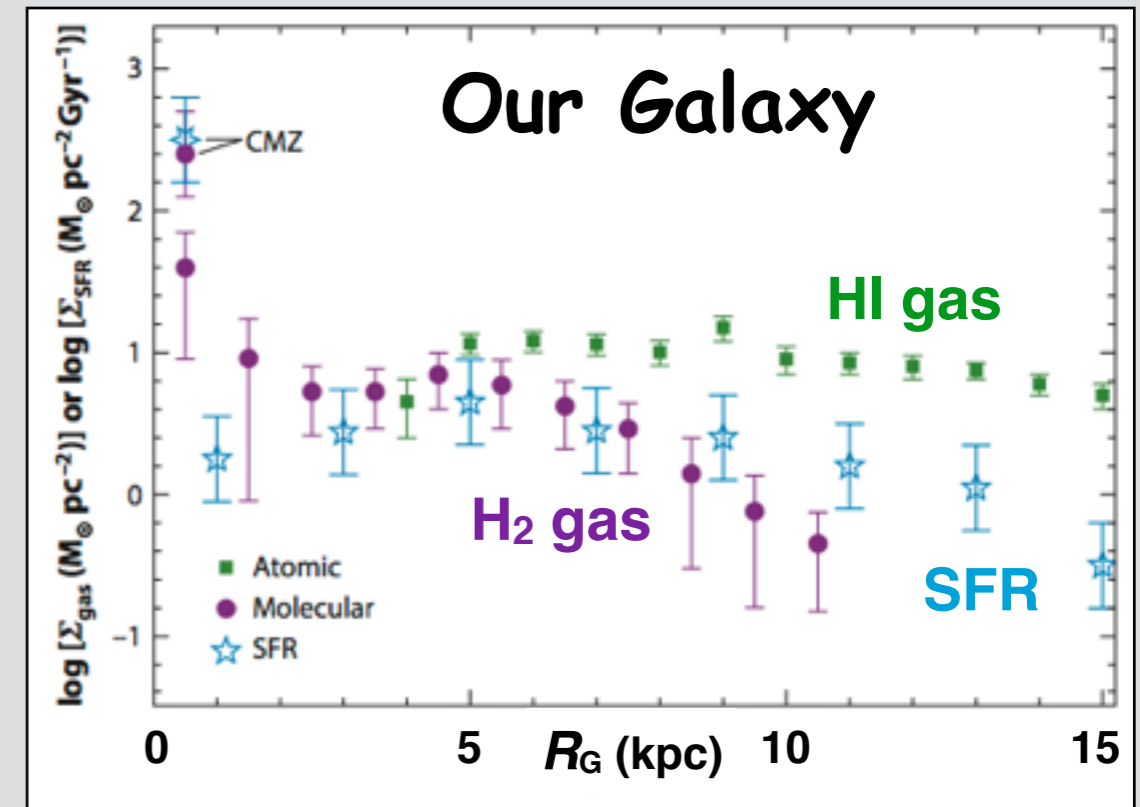
# I. INTRODUCTION

## ❖ 銀河系外縁部の星生成率 (SFR) ・ 星生成効率 (SFE)



Kennicutt et al. 2012

SFR (cSFE) は  $R_G = 15$  kpc まで導出されている



SFR (cSFE) は  $R_G \sim 13.5$  kpc から急激に減少し始める

↑  
以上の傾向は他の渦巻き銀河の外縁部と同じ

Bigiel et al. 2010

# I. INTRODUCTION

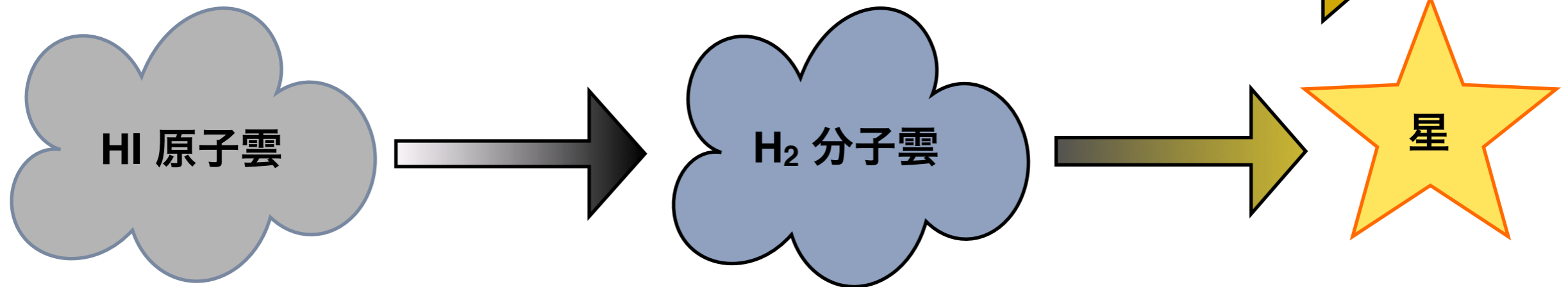
❖ 銀河系外縁部の星生成率 (SFR) ・ 星生成効率 (SFE)

SFR (cSFE) は  $R_G=15$  kpc まで導出

SFR (cSFE) が急激に減少するメカニズムは何か??

HI → 星 の効率が減少している

e.g. Kennicutt et al. 2012



HI → H<sub>2</sub> の効率が減少 ??

H<sub>2</sub> → 星 の効率が減少 ??

$\log [\Sigma_{\text{HI}+\text{H}_2} (\text{M}_\odot \text{pc}^{-2})]$

以上の傾向は他の渦巻と銀河の外縁部と同じ

# I. INTRODUCTION

## ❖ 既存の分子雲・星生成領域

### ● 分子雲

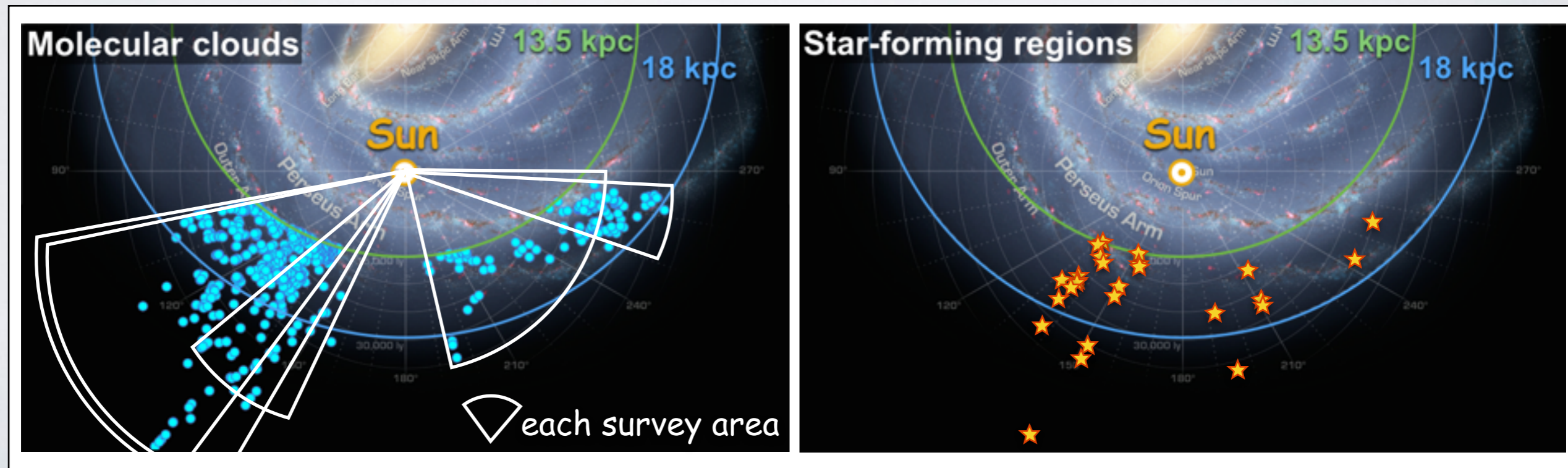
- 数百個もの分子雲が既に $R_G \sim 22$  kpc まで検出されている

e.g., Heyer et al. 1998

### ● 星生成領域 (embedded cluster)

- わずか**30天体**ほどしか知られていない

e.g., Brand and Wouterloot 1995、 Snell et al. 2002



e.g. Brunt et al. 2003, Sun et al. 2015

e.g. Snell et al. 2002. Yasui et al. 2006

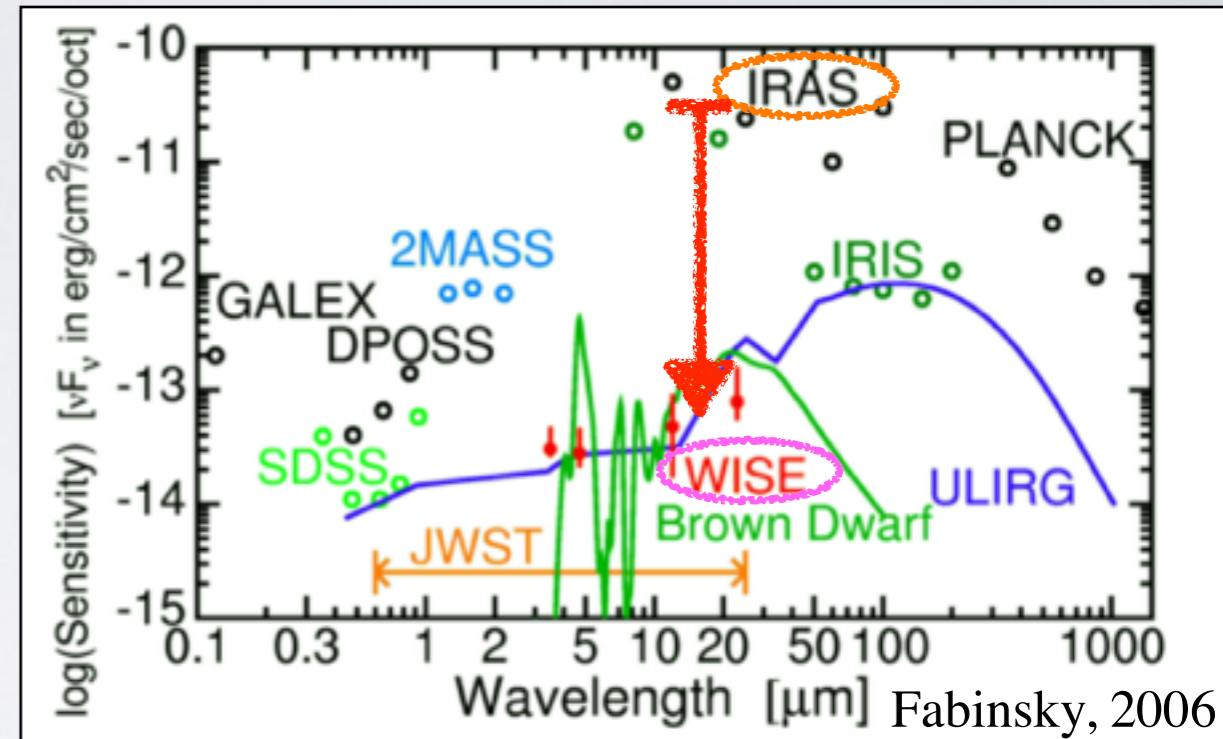
# 2. NEW SURVEY

## ❖ 多波長データによる星生成領域の検出 Izumi et al. in prep 2016

### ● WISE MIR all-sky data

Wright et al. 2010

- 波長: 3.4, 4.6, 12, 22  $\mu\text{m}$
- 分解能: 3.4, 4.6, 12  $\mu\text{m}$  - 6",  
22  $\mu\text{m}$  - 12"
- 感度: IRASの**100倍**
- カタログ: AllWISE source catalogue



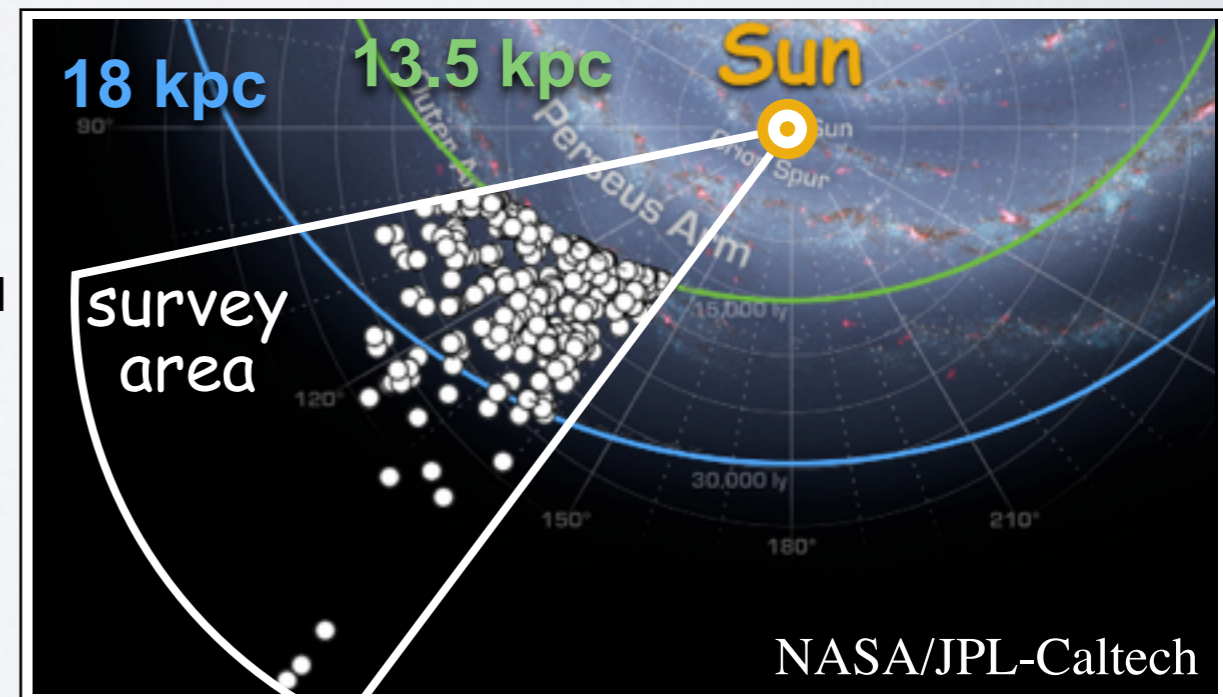
### ● FCRAO CO outer Galaxy survey data

Heyer et al. 1998

- 探査領域:  $102^\circ \leq l \leq 141.51^\circ$ ,  
 $-3^\circ.03 \leq b \leq 5^\circ.41$ ,  
 $-153 \leq v_{\text{LSR}} \leq 40 \text{ K km s}^{-1}$
- 分解能: 100".44
- 速度分解能: 0.98  $\text{km s}^{-1}$
- 感度: 0.17 K ( $1\sigma$ )

↑ **466個** の分子雲が  $R_G \geq 13.5 \text{ kpc}$  において検出されている

Brunt et al. 2000



NASA/JPL-Caltech

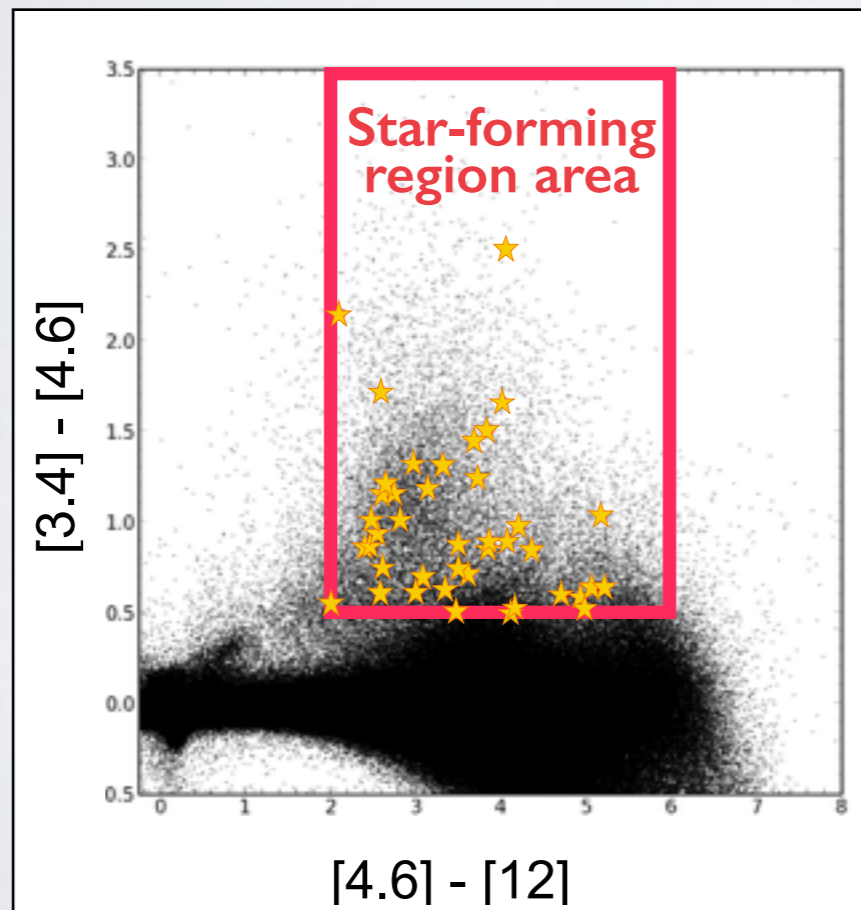


# 2. NEW SURVEY

## ❖ 多波長データによる星生成領域の検出 Izumi et al. in prep 2016

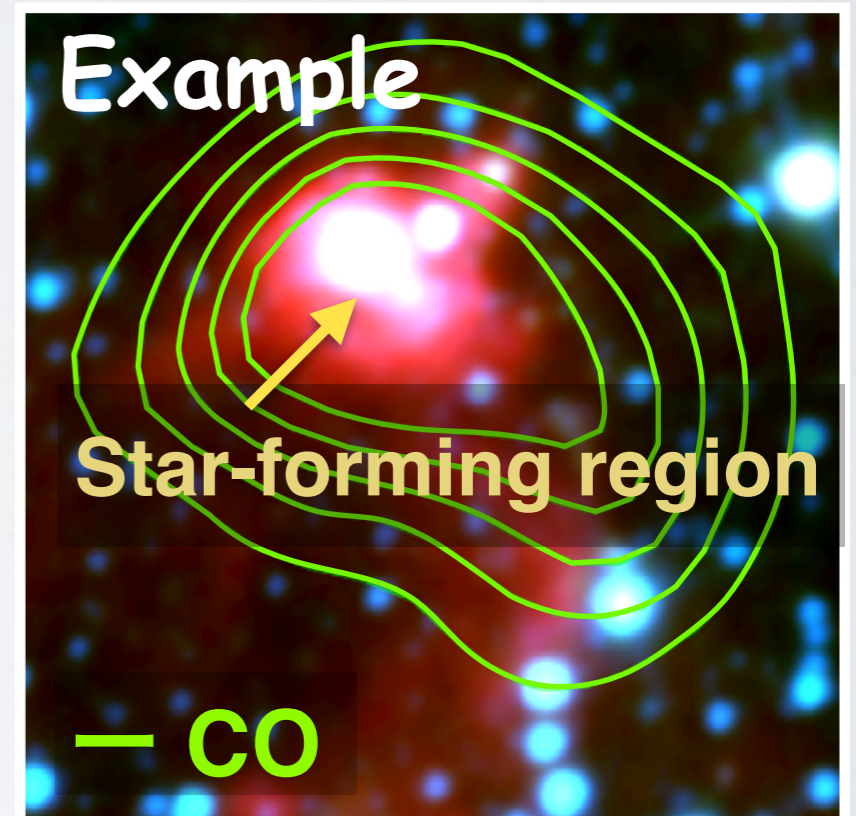
### ● 検出基準

1. Color-color 図上で **Star-forming region area** に位置する
2. **分子雲に付随する** (天球上で分子雲内に位置する)



★ 既存の星生成領域

&

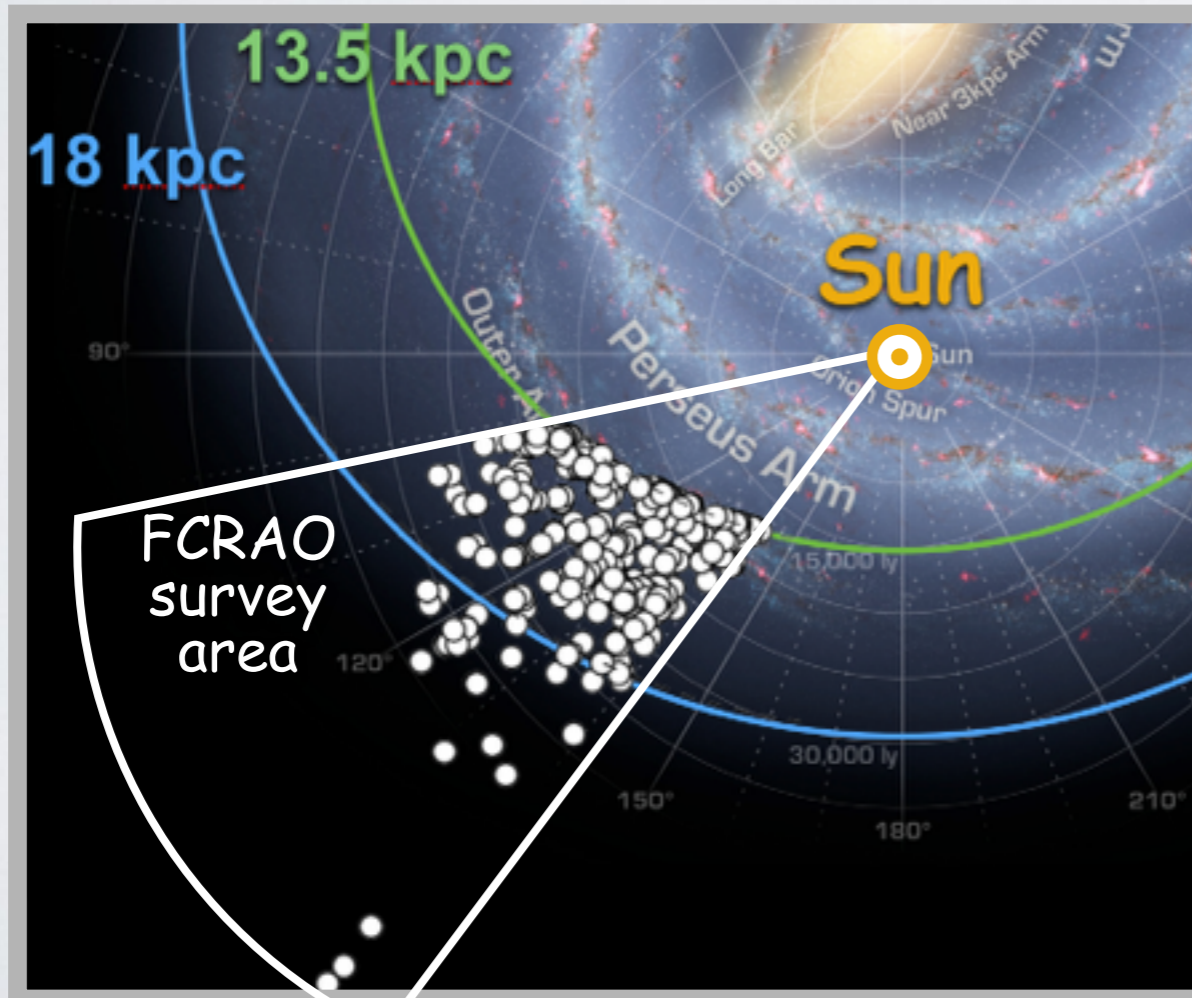


(3.4: blue, 12:green, 22:red)

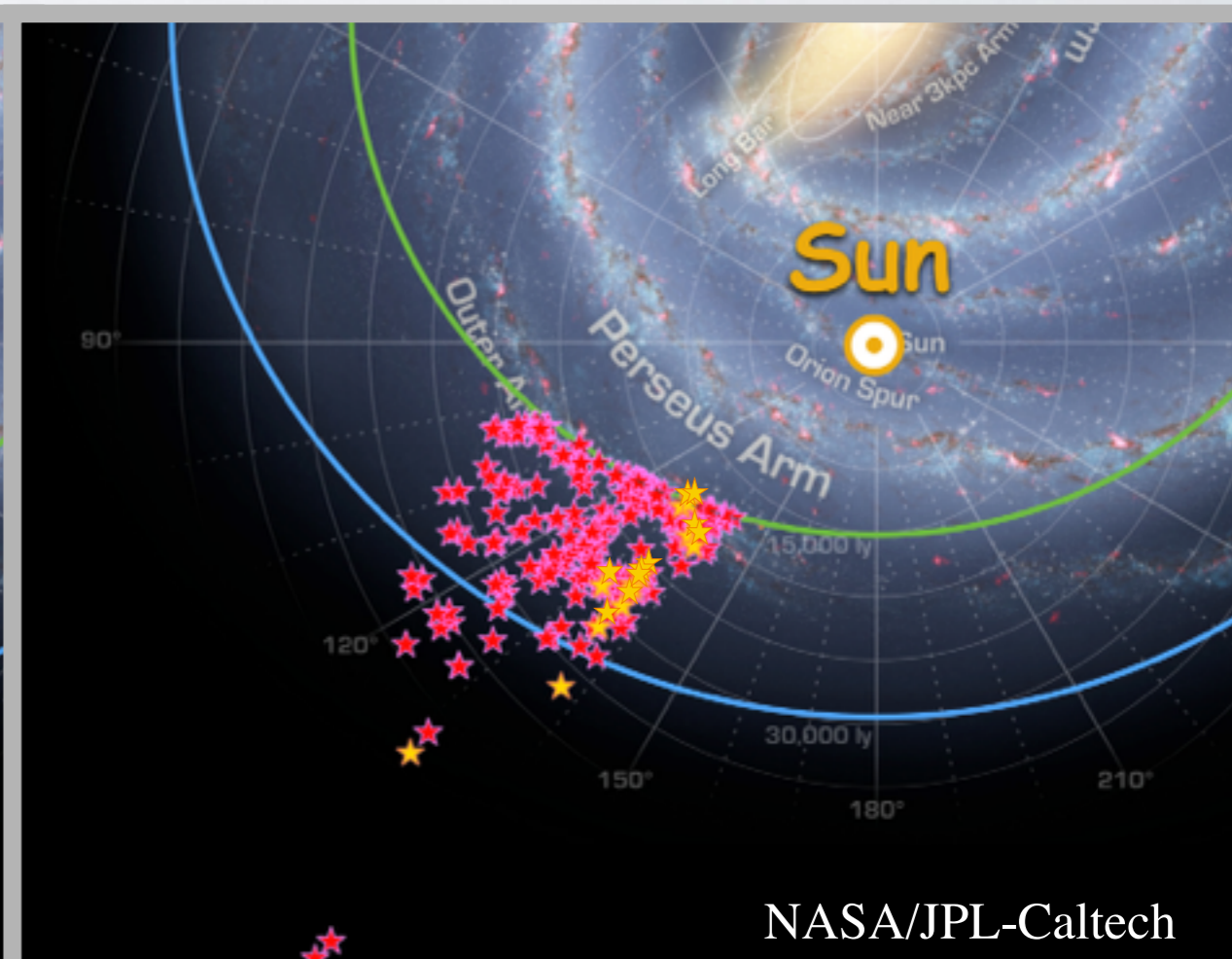
# 3. RESULTS

## ❖ 新たに検出した星生成領域候補

- 252/466個の分子雲に付随する778個の星生成領域候補を検出
  - 新たに検出したもの: 711/778 (星), 240/252 (分子雲)
    - ▶ 外縁部の星生成における統計的な議論を初めて可能とした



○ All clouds



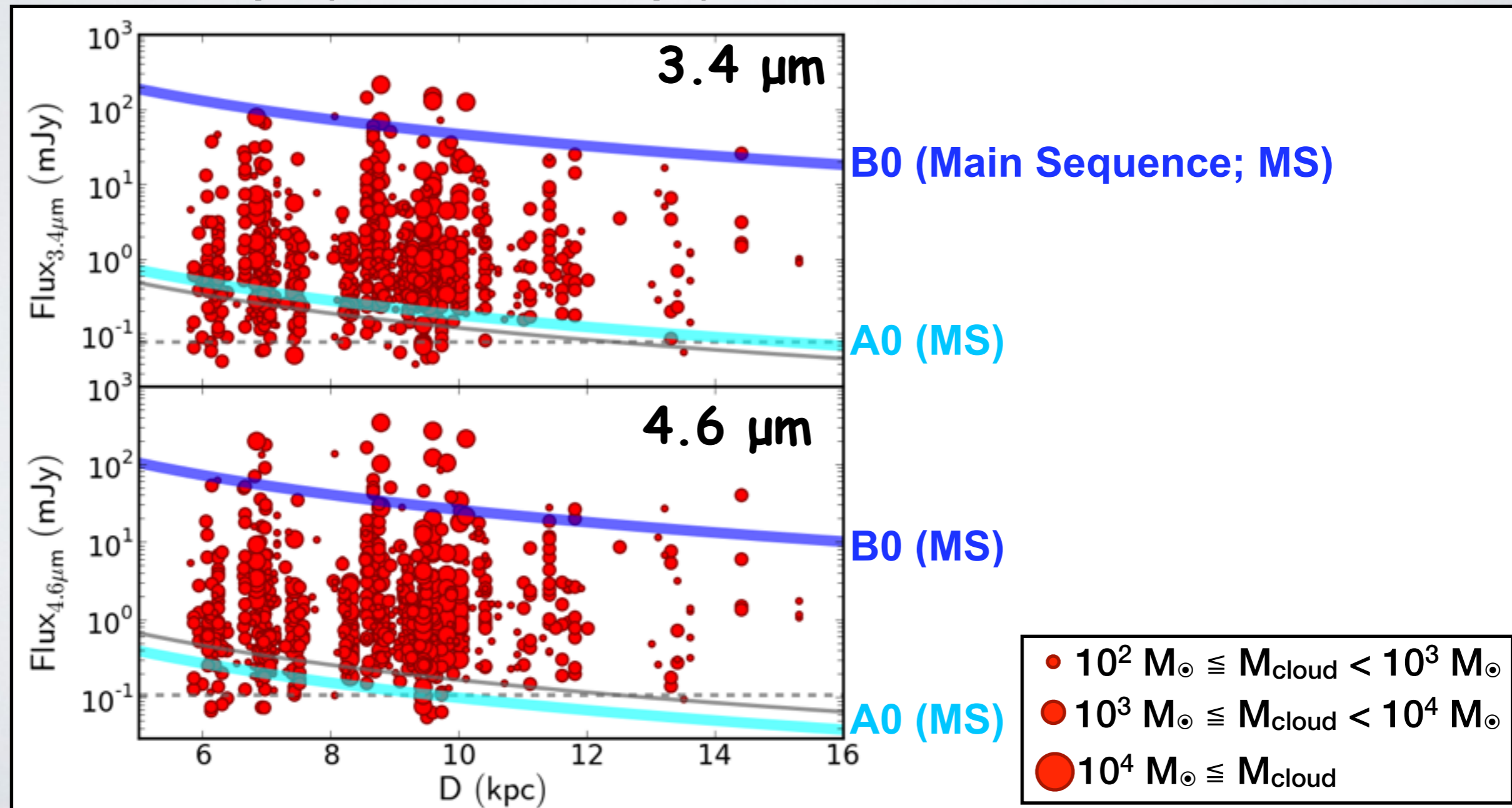
★ 星生成領域候補を持つ分子雲 (New)  
★ 星生成領域候補を持つ分子雲 (Known)

# 3. RESULTS

## ❖ 新たに検出した星生成領域候補

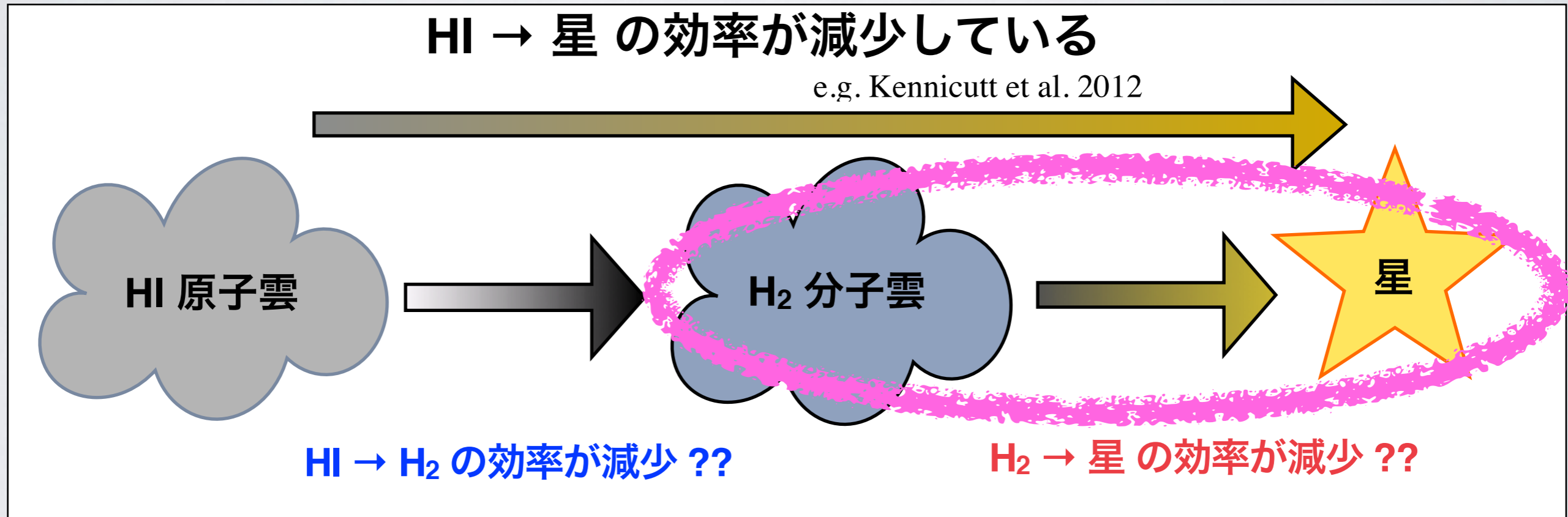
### ● 検出限界

- A0型星1個程度の明るさをもつ（規模の）星生成領域を  $D = 10$  kpc ( $R_G = 15 \sim 17$  kpc) まで検出



# 4. DISCUSSION

- ❖ 外縁部（低ガス密度・低金属量）における星生成
  - 外縁部において SFR (cSFE) が減少するメカニズム
    - 最初のステップ:  $H_2 \rightarrow$  星 の効率を調べる



# 4. DISCUSSION

## ❖ 外縁部（低ガス密度・低金属量）における星生成

### ● H<sub>2</sub> → 星の効率

#### 指標 1: 星生成領域をもつ分子雲の割合

- ▶ 統計的に十分な数の星生成領域を検出したことで初めて議論が可能に

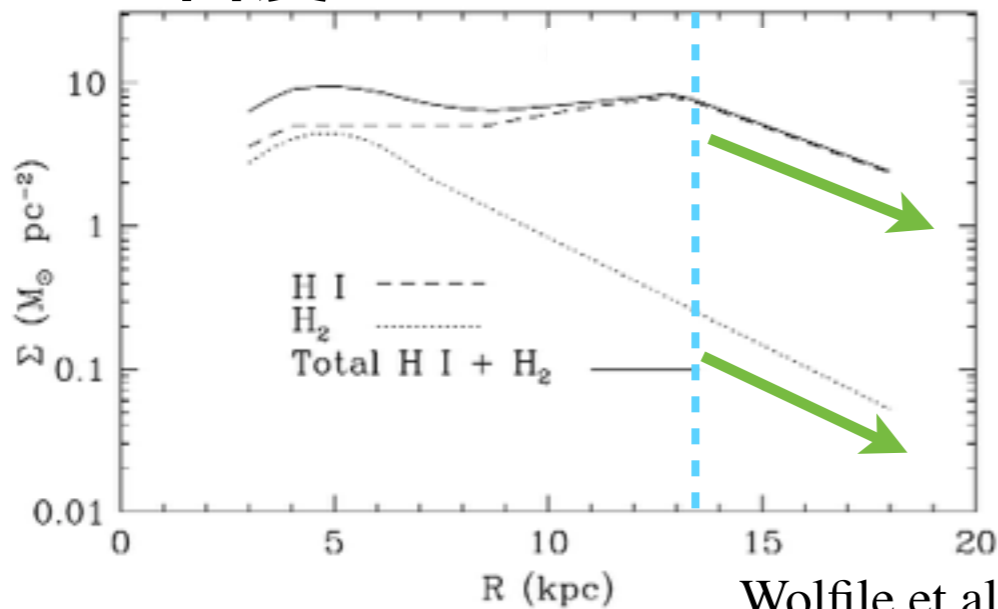
#### 指標 2: 分子雲の単位質量あたりにおける星生成領域の赤外線光度

- ▶ 先行研究において、星生成の性質を調べるために分子雲の単位質量あたりのMIR-FIR光度がよく用いられていた (e.g. Snell et al. 2002)

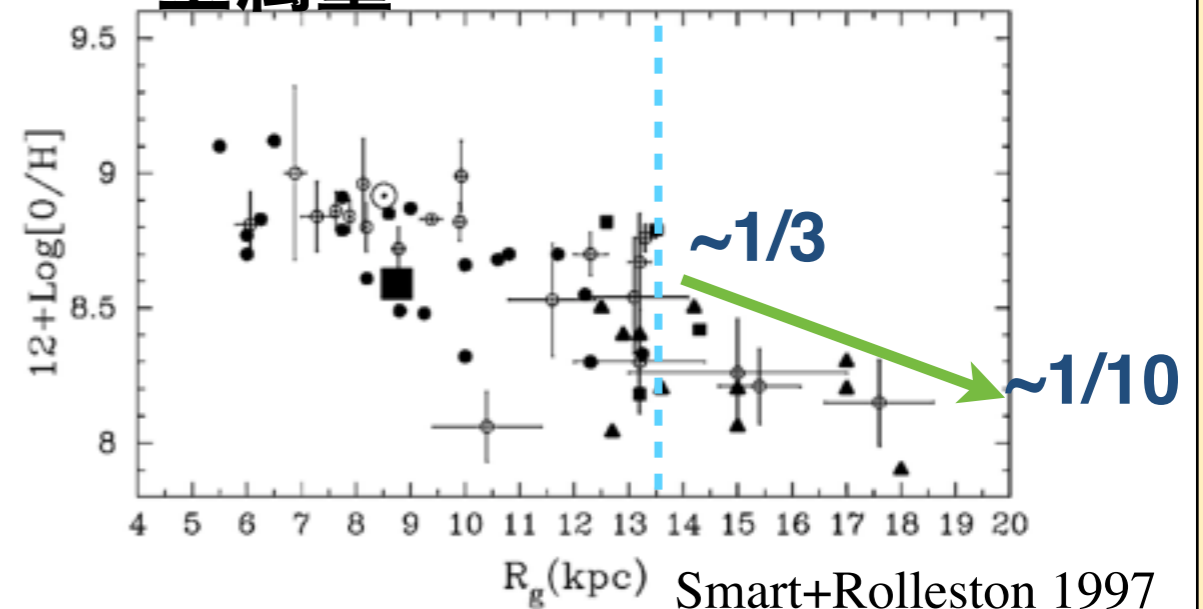
#### - 予想: R<sub>G</sub> の増加とともに減少する

- ▶ ガス密度や金属量の減少とともに減少する??

#### ガス密度



#### 金属量

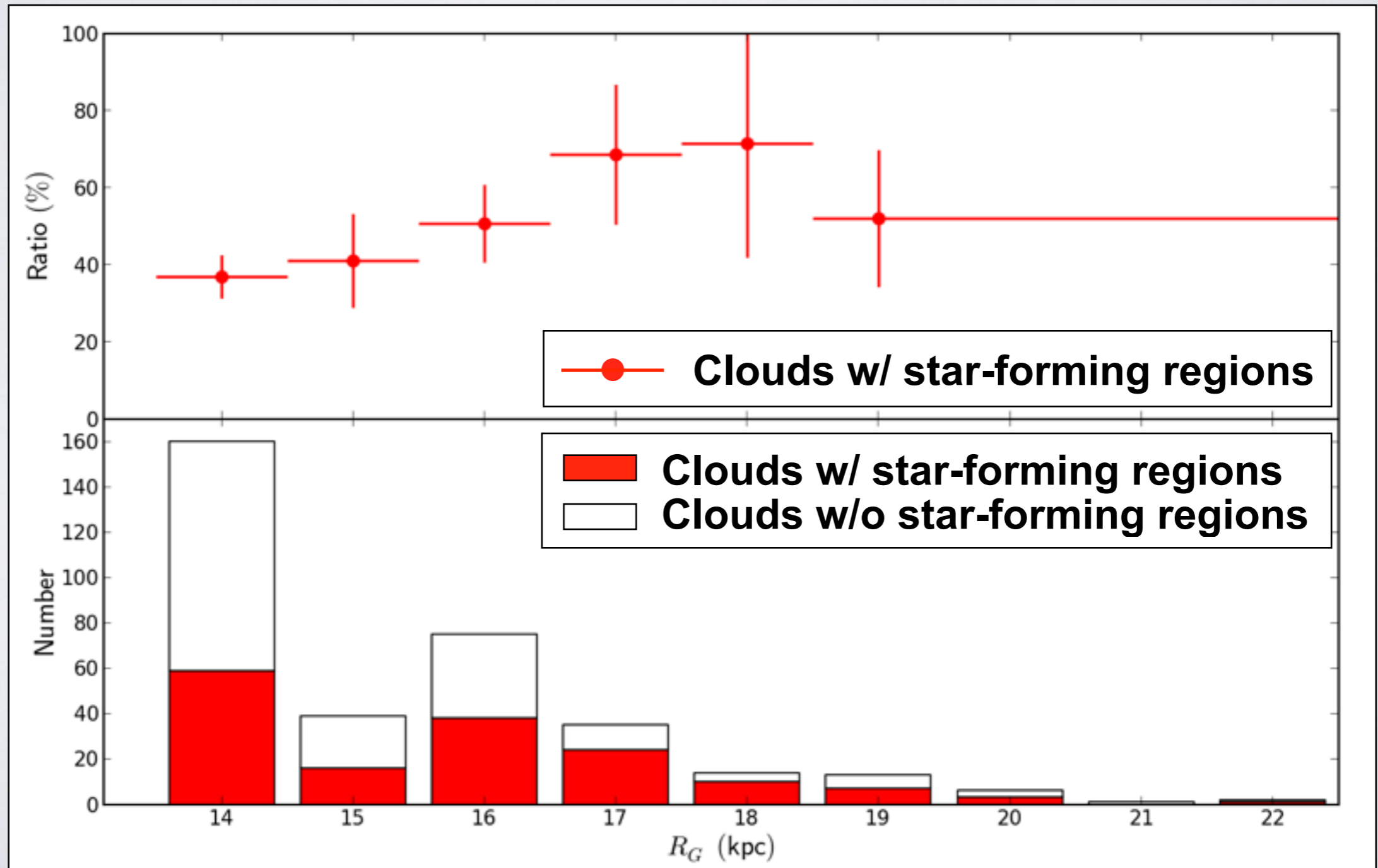


# 4. DISCUSSION

## ❖ 外縁部（低ガス密度・低金属量）における星生成

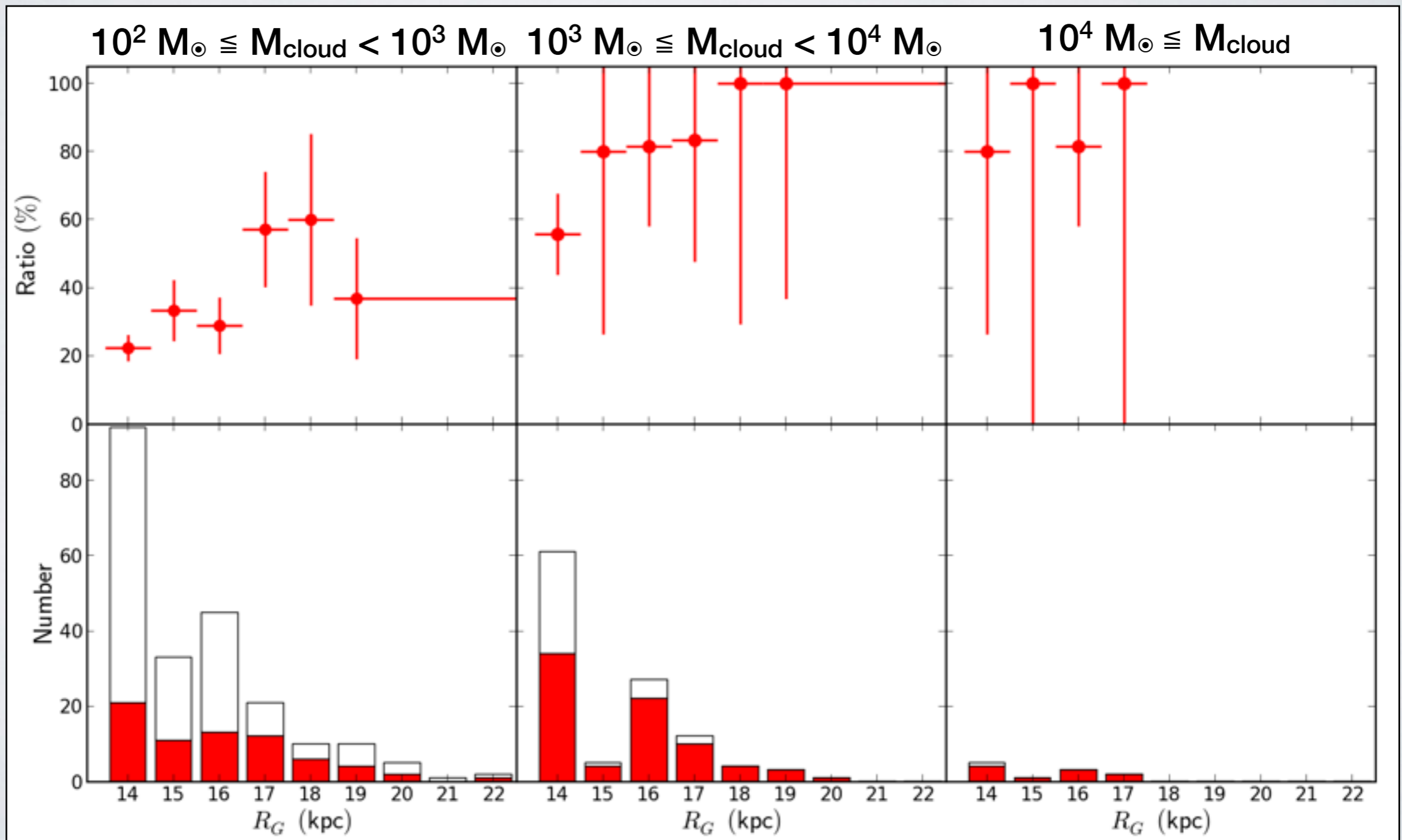
### I. 星生成領域を持つ分子雲の割合

- 割合: 40 - 60 % ← 減少していない（むしろ増加している ??）



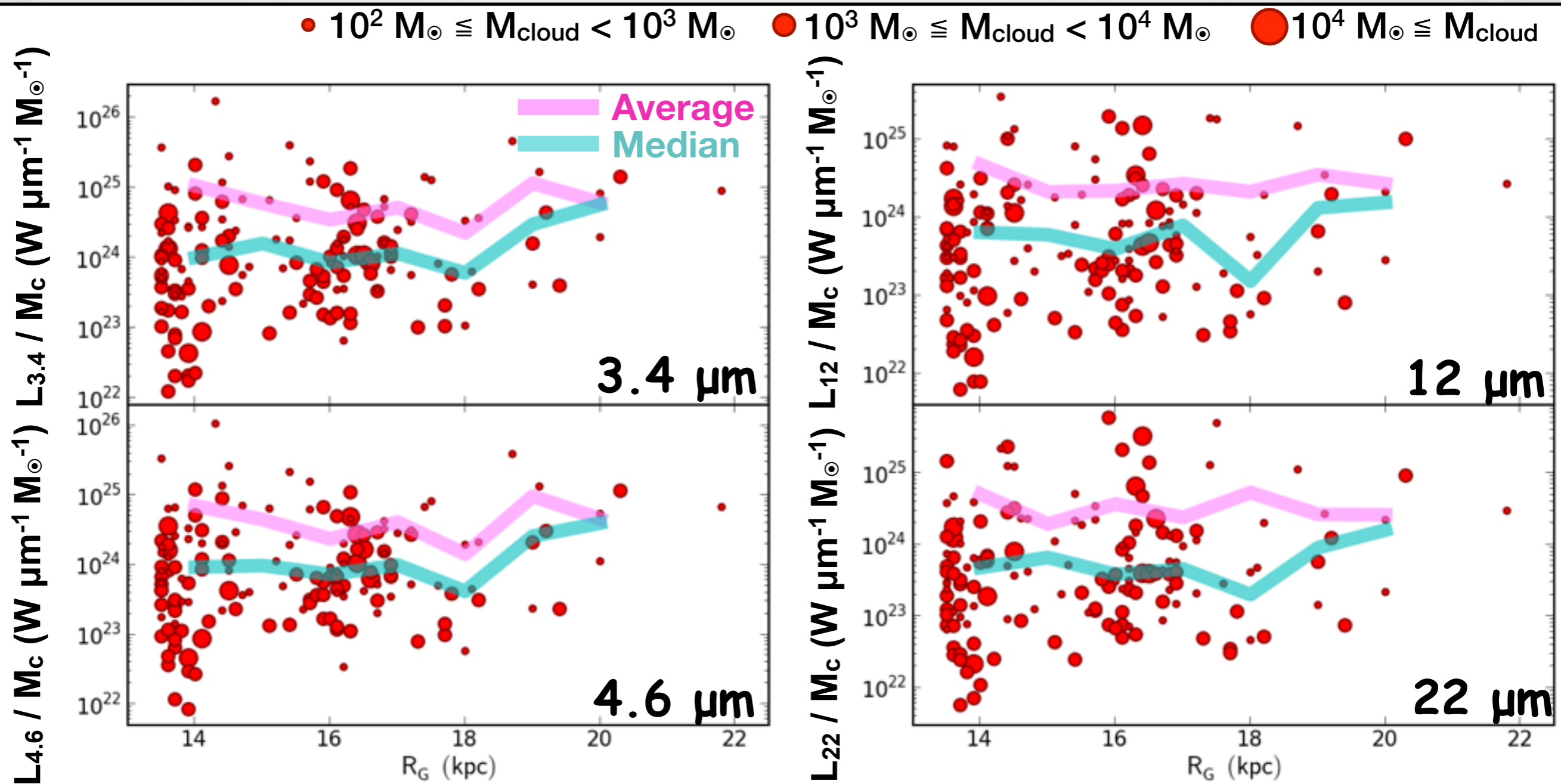
# 4. DISCUSSION

- ❖ 外縁部（低ガス密度・低金属量）における星生成
  - I. 星生成領域を持つ分子雲の割合（分子雲の質量ごとの分布）
    - 減少していない（むしろ増加している ??）



# 4. DISCUSSION

- ❖ 外縁部（低ガス密度・低金属量）における星生成
- 2. 分子雲の単位質量あたりにおける星生成領域の赤外線光度
  - ばらつきが大きい（4-5桁） ← 特に変化は見られない



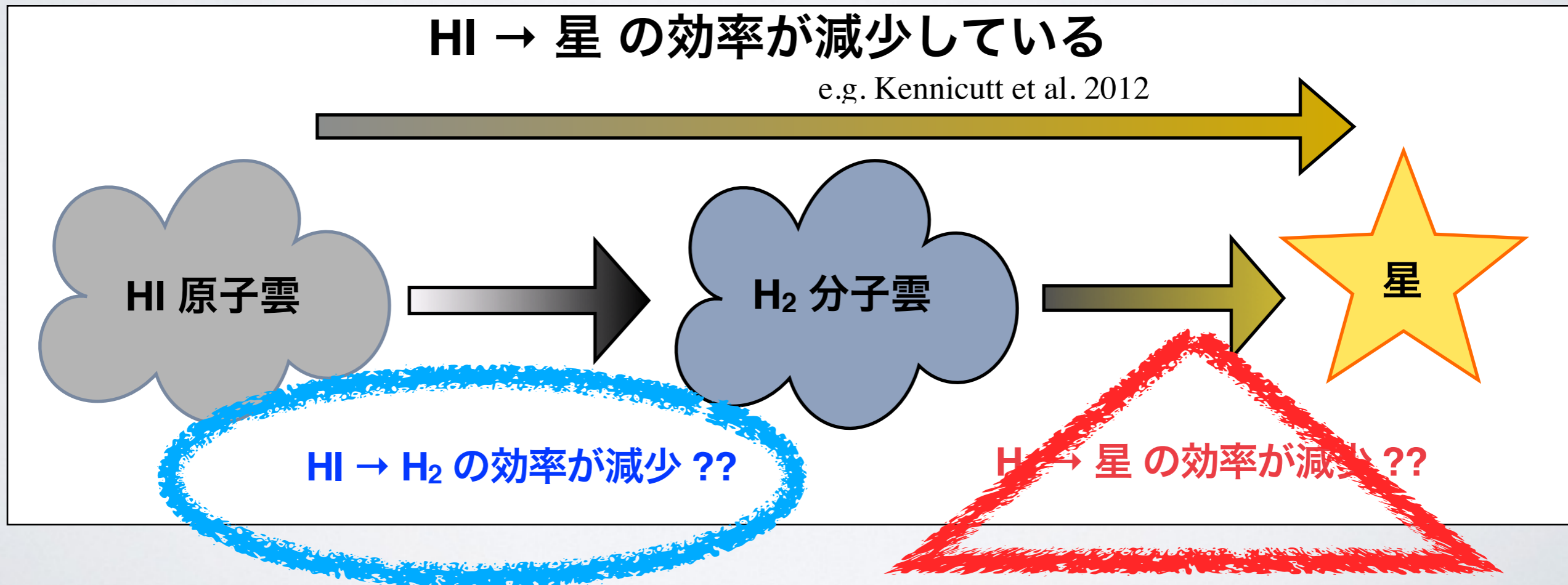


# 4. DISCUSSION

## ❖ 外縁部（低ガス密度・低金属量）における星生成

### ● 結果

- $R_G = 13.5 - 20$  kpc において特に変化は見られなかった
  - ▶ 外縁部でSFR (cSFE) が低いのは単純に分子雲の数が少ないため??

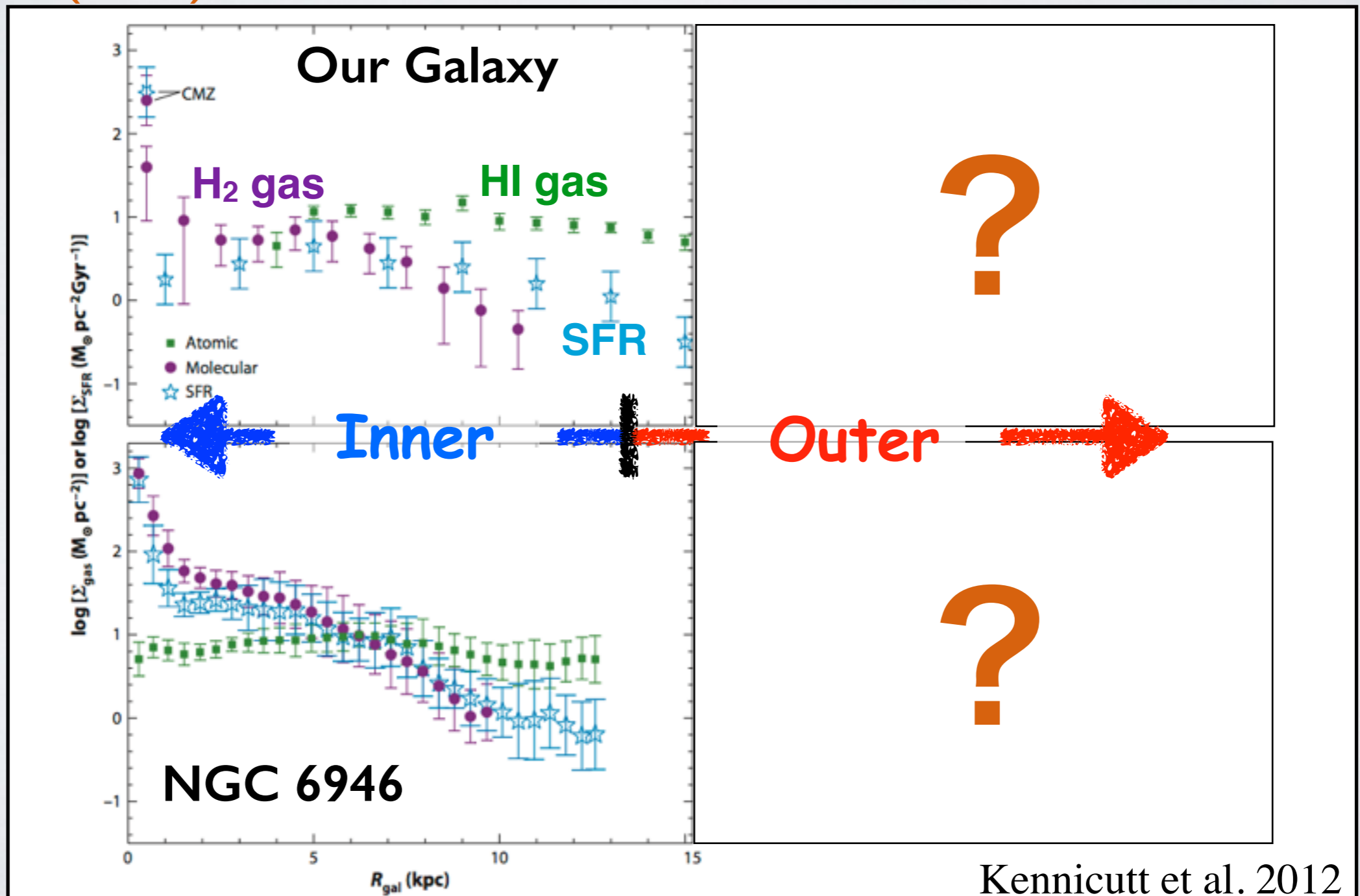


# 4. DISCUSSION

## ❖ 外縁部（低ガス密度・低金属量）における星生成

### ● 渦巻き銀河の内縁部との比較

- SFR (cSFE) はH<sub>2</sub>の量のみ依存すると示唆されている



# 4. DISCUSSION

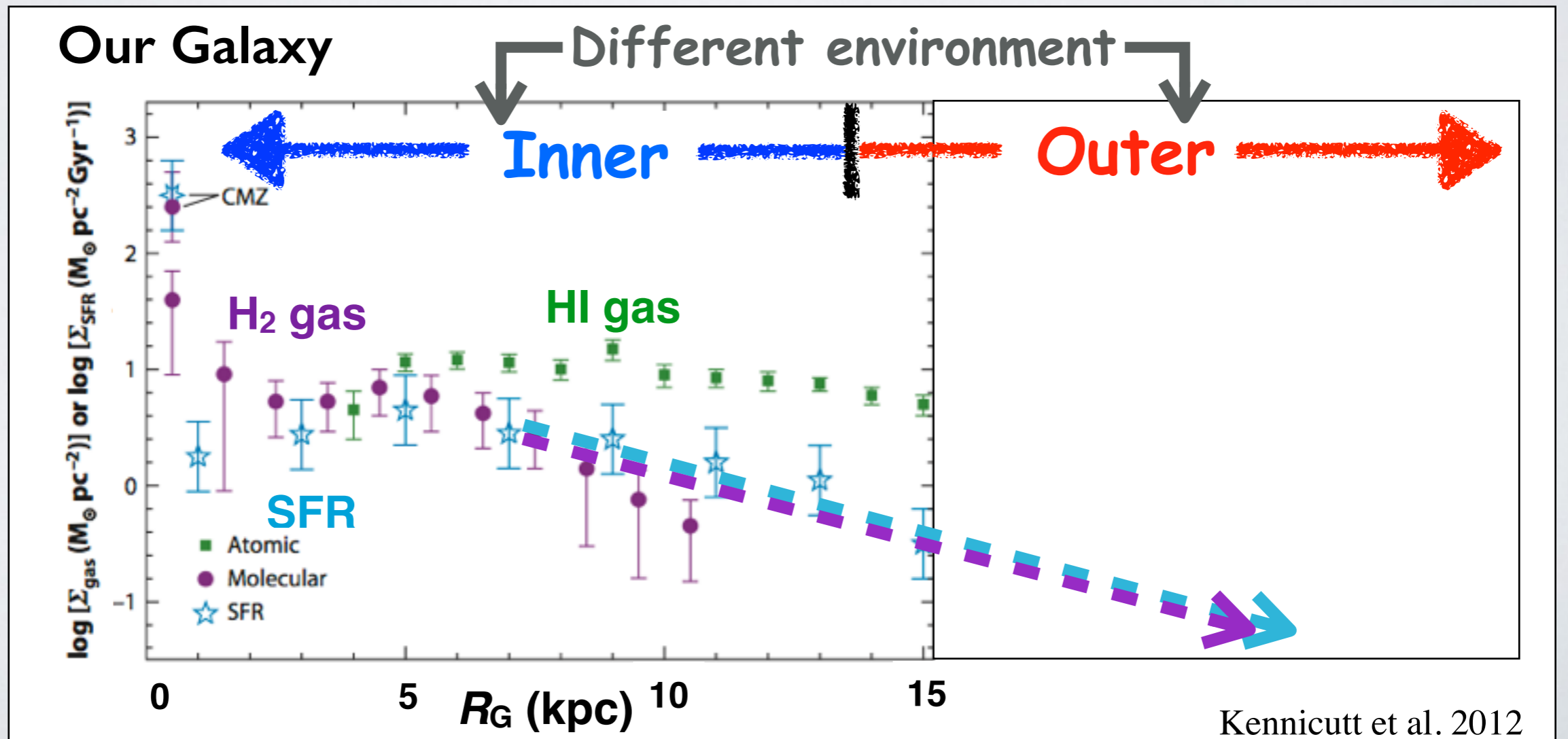
## ❖ 外縁部（低ガス密度・低金属量）における星生成

### ● 渦巻き銀河の内縁部との比較

- SFR (cSFE) はH<sub>2</sub>の量のみ依存すると示唆されている



外縁部のSFR (cSFE) も内縁部と同様にH<sub>2</sub>の量のみ依存する？



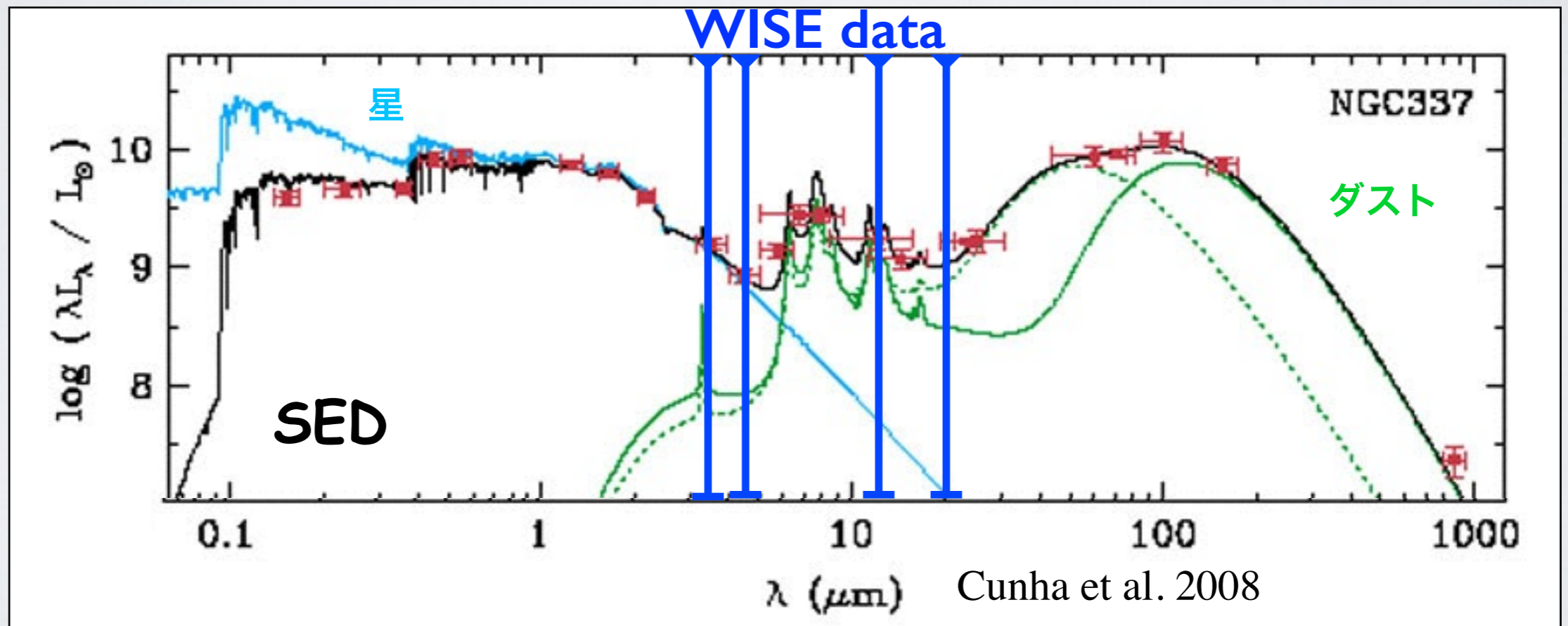
# 5. FUTURE PLAN WITH AKARI

## ❖ より詳細な星生成領域の性質を探る

### ● Spectral Energy Distribution (SED)

- WISEのデータはわずか4 band (3.4 - 22  $\mu\text{m}$ )のみ

→ AKARIのデータを合わせることでより正確なSEDが導出できる



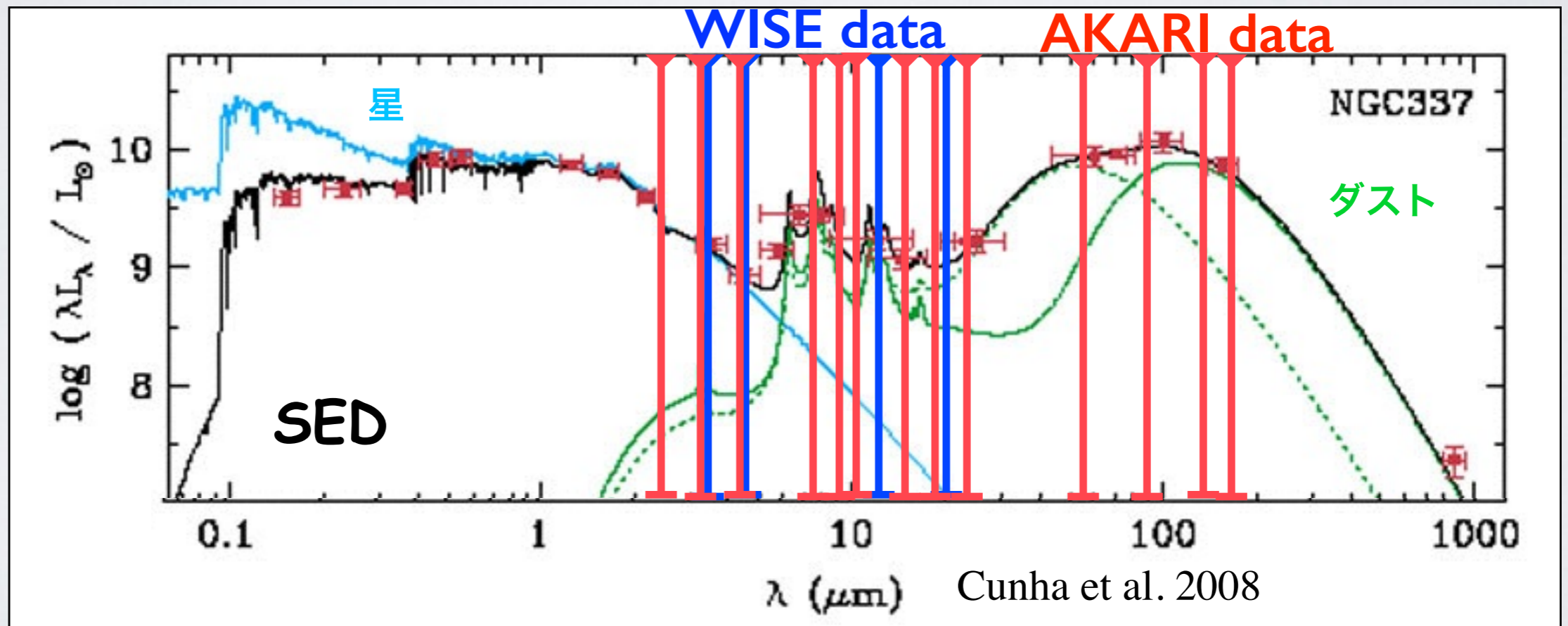
# 5. FUTURE PLAN WITH AKARI

## ❖ より詳細な星生成領域の性質を探る

### ● Spectral Energy Distribution (SED)

- WISEのデータはわずか4 band (3.4 - 22  $\mu\text{m}$ )のみ

→ AKARIのデータを合わせることでより正確なSEDが導出できる



# 5. FUTURE PLAN WITH AKARI

## ❖ より詳細な星生成領域の性質を探る

### ● 分子雲の性質

- 質量: CO の Intensity から  $H_2$  への変換効率を仮定して導出

▶  $M = 1.36 \times X_{CO} (2.0 \times 10^{20}) \times I_{CO}$  ( $X_{CO}$ ファクターは銀河系の平均値を使用)

外縁部（低金属量環境下）では  $X_{CO}$ ファクターの値が増加することが示唆されている（e.g. SMCでは銀河系の平均値のおよそ10倍）

e.g. Bolatto et al. 2013



AKARIのFIRのデータを用いて、ダストの情報から  
分子雲の物理量を導出したい

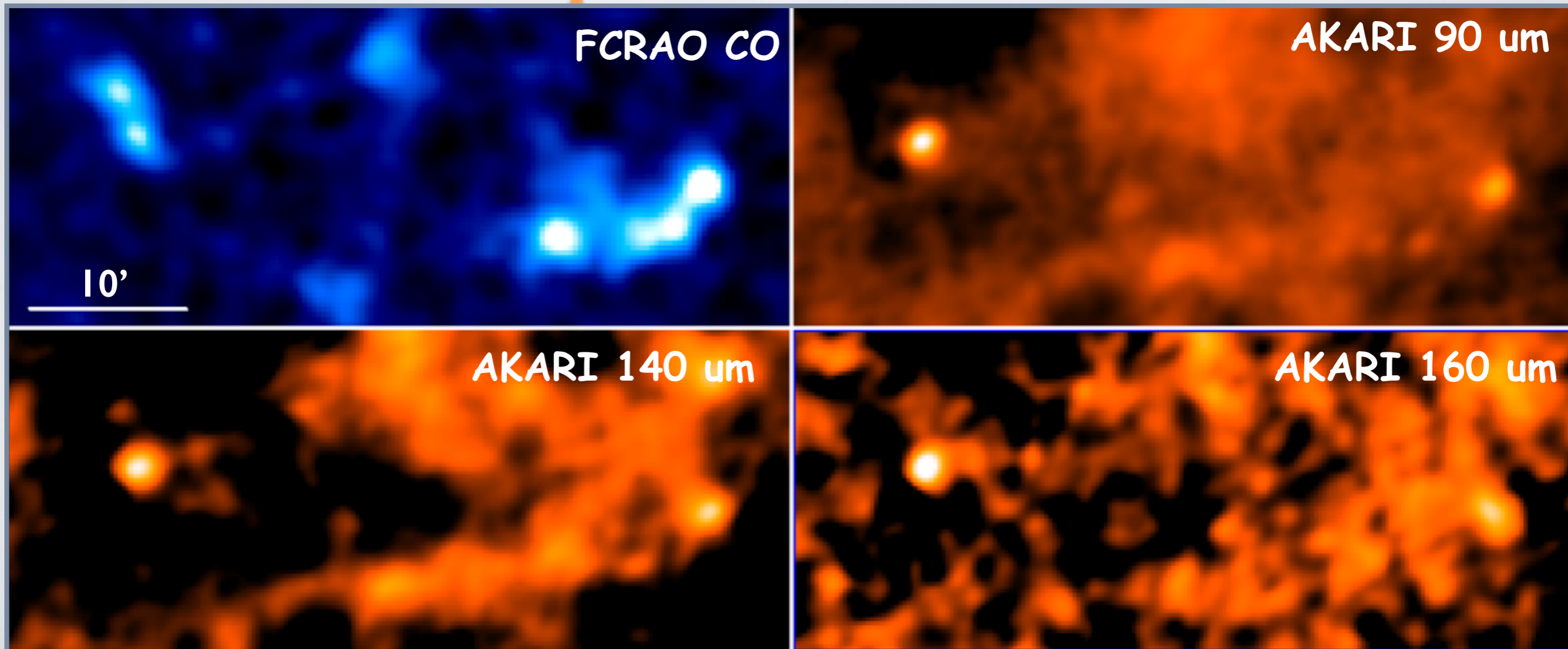
# 5. FUTURE PLAN WITH AKARI

## ❖ より詳細な星生成領域の性質を探る

### ● 分子雲の性質

- 質量: CO の Intensity から  $H_2$  への変換効率を仮定して導出

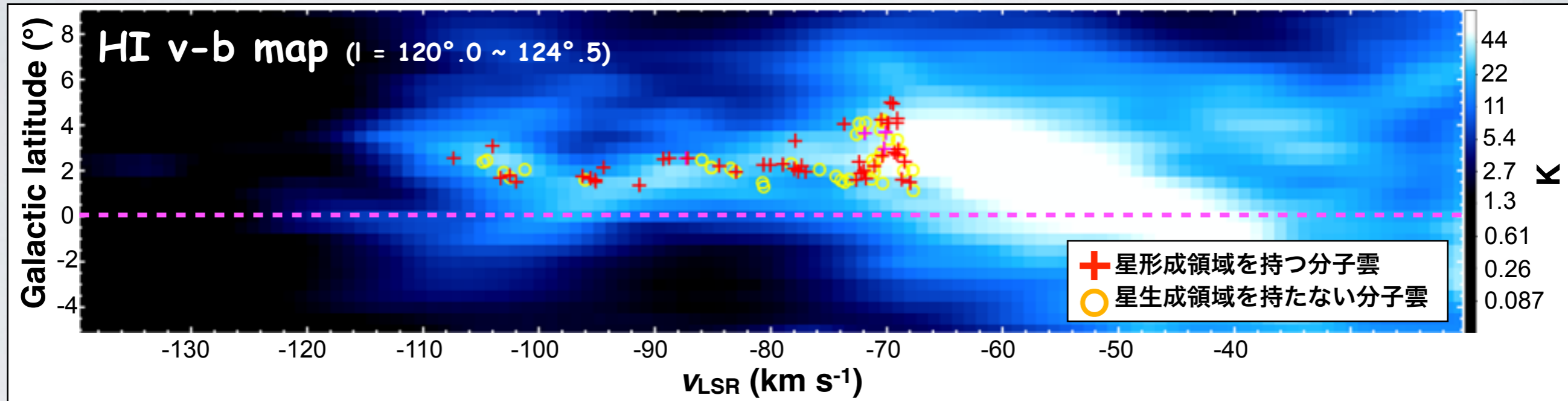
▶  $M = 1.36 \times X_{CO} (2.0 \times 10^{20}) \times I_{CO}$  ( $X_{CO}$ ファクターは銀河系の平均値を使用)



# 5. FUTURE PLAN WITH AKARI

## ❖ 全天サーベイの重要性

- 外縁部における分子雲・星生成領域の分布

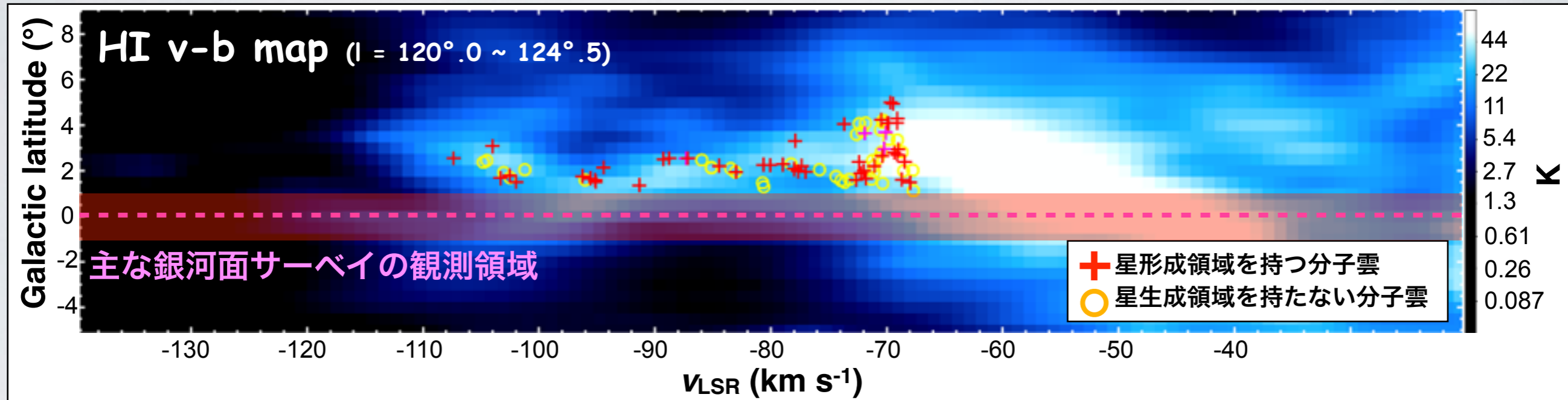




# 5. FUTURE PLAN WITH AKARI

## ❖ 全天サーベイの重要性

### ● 外縁部における分子雲・星生成領域の分布



- **Warping, flaring** により、**外縁部の星生成領域は銀河面から離れたところに分布することが多い**
  - ▶ 銀河面サーベイの領域からは外れてしまう...
  - ▶ **前景の星生成領域のコンタミは少ない!!**

**外縁部の星生成領域を見るには全天サーベイのデータが非常に重要!!**  
**奥行きの情報のない撮像データとも比較的相性が良い**

# 6. SUMMARY

---

## ❖ Our previous study

- **711個**の新たな星生成領域候補を**240個**の分子雲の中から検出した
  - 外縁部の星生成における統計的な議論を初めて可能とした
  - $H_2 \rightarrow$  星 の効率は  $R_G = 13.5 - 20$  kpc において特に変化はみられなかった
    - ▶ 外縁部でSFR (cSFE) が低いのは単純に分子雲の数が少ないため??
    - ▶ 外縁部のSFR (cSFE) も内縁部と同様に $H_2$ の量のみ依存する??

## ❖ Future plan with AKARI

- より詳細な星生成領域の性質を探る
  - より正確なSEDの導出
  - ダストの情報から分子雲の物理量を導出