

TAO, ALMA, ASTE, NRO 45mによる
大質量星形成過程の解明

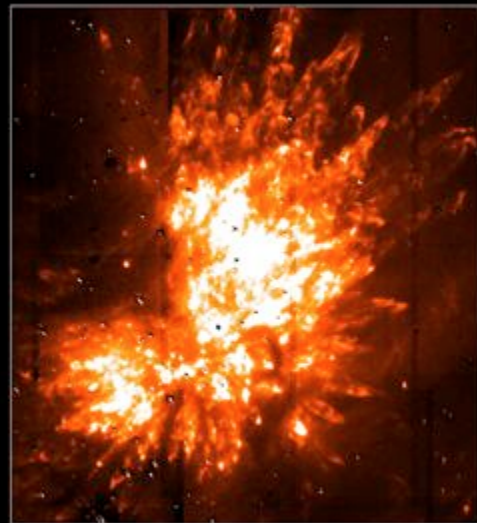
酒井剛
電気通信大学

目次

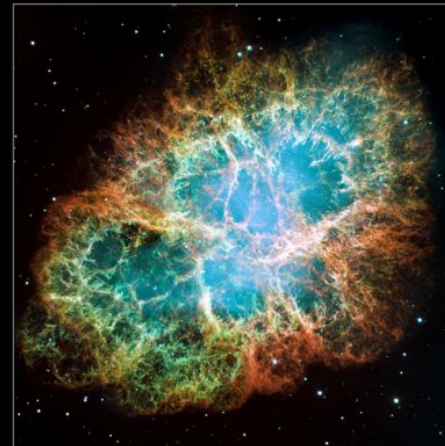
- 大質量星形成について
 - 大質量星形成の問題点
 - Infrared dark cloud
- 単一鏡(NRO 45m)によるサーベイ観測
 - 化学組成からInfrared dark cloudの進化段階を探る。
- ALMAによる観測結果
 - Infrared dark cloudに対するALMA Cycle 0の観測結果。
 - Spitzer, Keckの結果との比較
- TAO, ALMA, ASTE, NRO 45mによる観測提案
 - 今後の観測戦略

High-Mass Star Formation

- 非常に重要。しかし、よくわかっていない。



Orion KL
Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan
CISCO (H α [n=1-0 S(1)] - Cont)
January 28, 1999



Crab Nebula • M1
Hubble Space Telescope • WFPC2
NASA, ESA, and J. Hester (Arizona State University)
STScI-PRC05-37

- これまでは、分解能が足りなかった。
 - ALMAによって、その問題が解決される。
 - 今後、より大きな進展が期待される。

大質量星形成の問題点

- Accretion rate

- 小質量星の場合 (Shu, 1977)

$$\dot{M} \approx \frac{m_J}{t_{ff}} = \frac{a^3}{G} \approx 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1} \quad a: \text{音速}$$

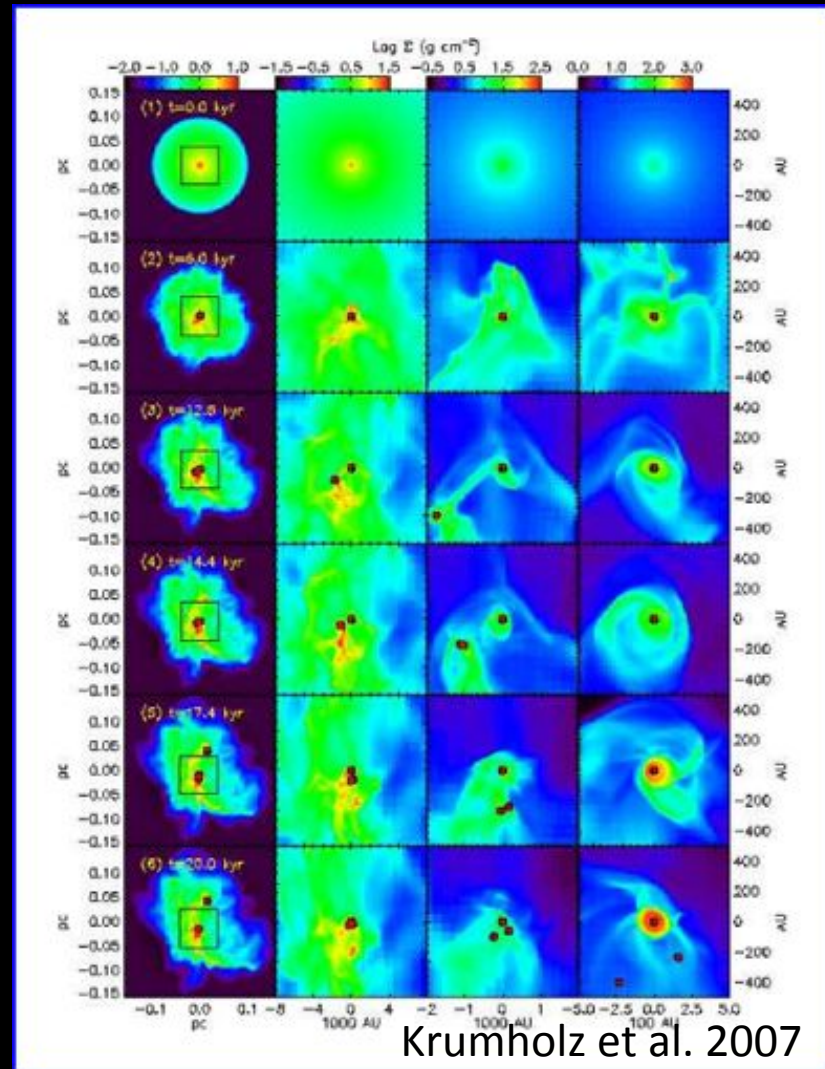
- 大質量星の場合

- 上の式だと、、
 - 時間がかかりすぎる。
 - 輻射圧でAccretionできない。

- どのように質量を獲得して大質量になるのか？

大質量星形成

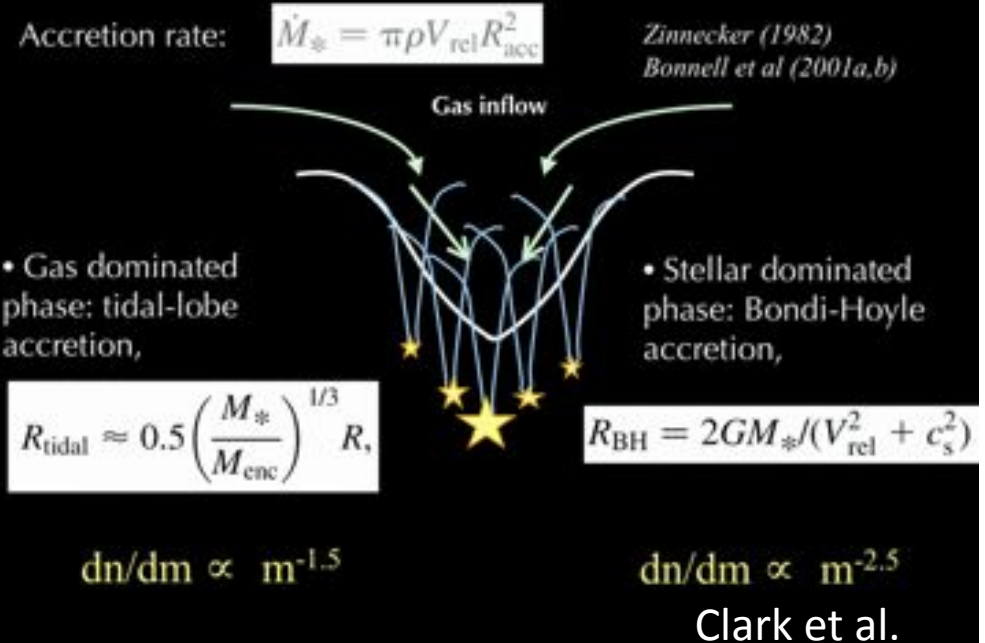
- 大質量高密度コアでの大質量星形成
 - 初期状態として、大質量高密度なコアを考えれば、高い降着率を説明できる。
 - 初期状態が実現可能か？
 - 低温、高密度領域のジェインズ質量は小さい。
 - 小さく分裂してしまわないか？



大質量星形成

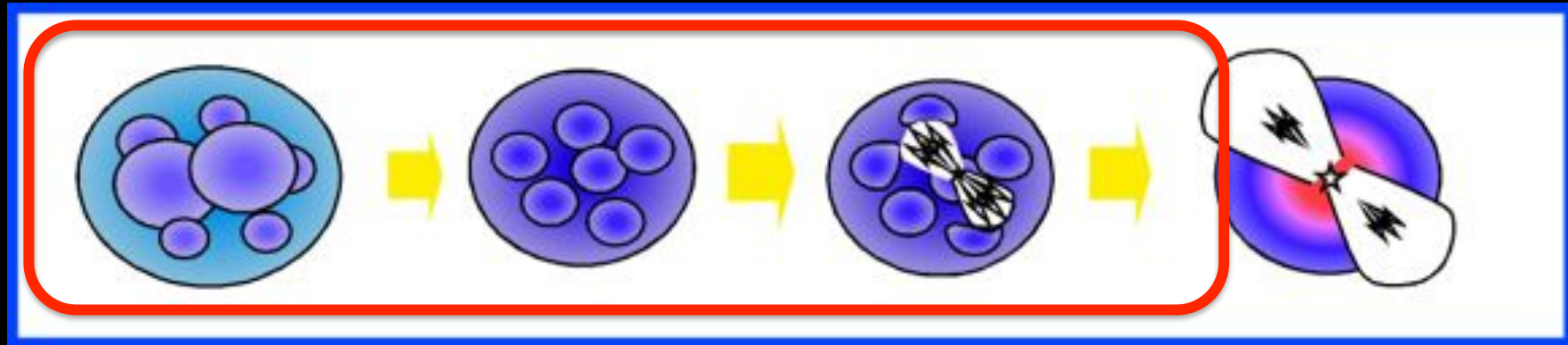
- Competitive accretion
 - 初期状態は小さなコアに分裂する。
 - 初期状態ではビリアル平衡にない領域(コアの外側)からも質量を獲得する。比較的大きなスケールでのinfall
 - 大質量星は分子雲クラumpの中心でできる。

Accretion and the IMF...



大質量星形成の理解のためには

- 大質量星形成前、形成初期の天体の物理状態を統計的に調べる必要がある。



- Questions
 - IMFはどのように決まるのか？
 - 星形成はどのような影響を与えるのか？
 - 小質量星と大質量星はどちらが先にできるのか？
 - など。

Infrared dark cloud (IRDC)

- 赤外でdarkな天体。
 - ISO, MSXなどで発見。(e.g. Egan et al. 1998)



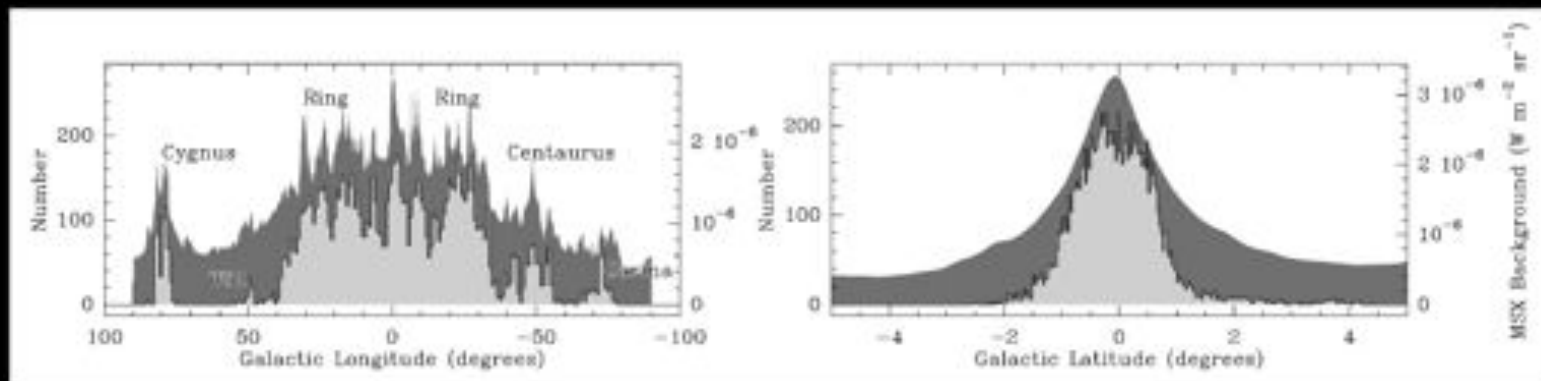
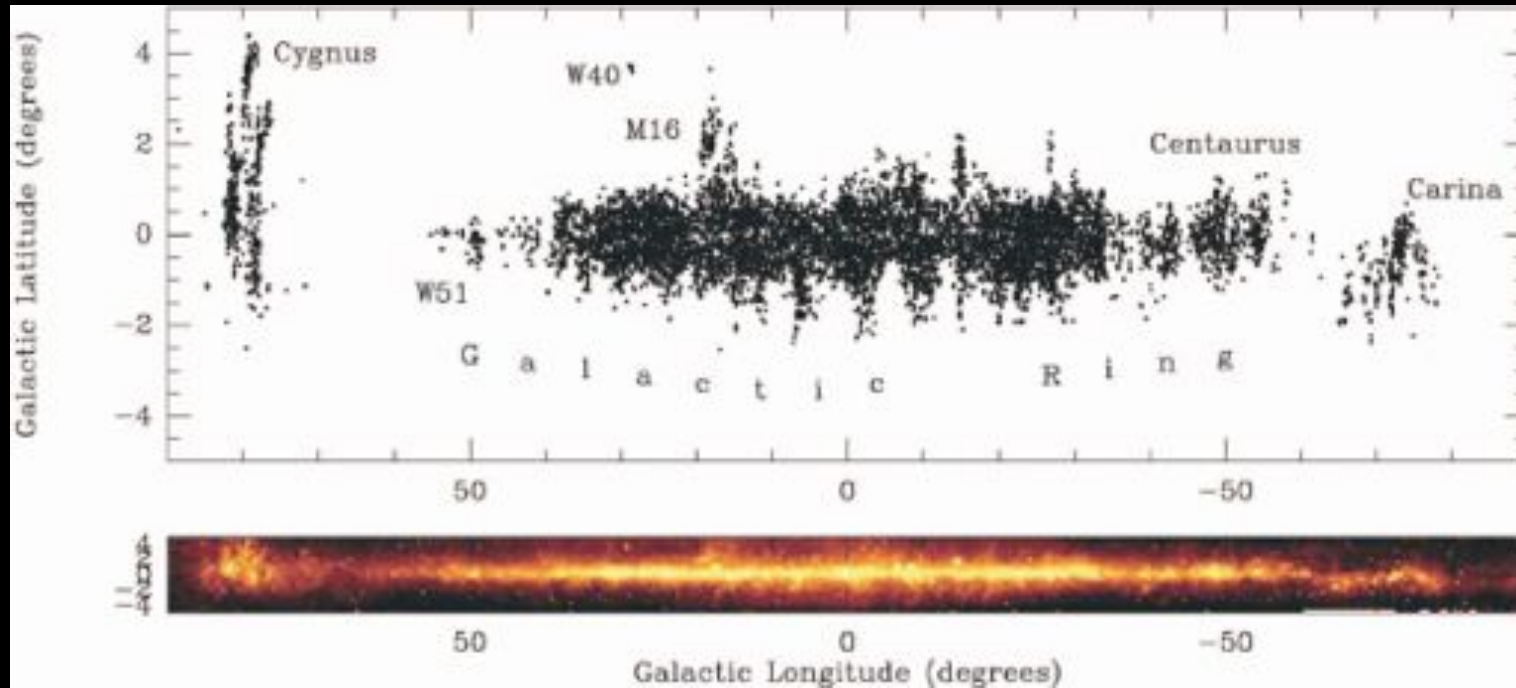
Star Formation and Dust in the Galactic Plane
NASA / JPL-Caltech / S. Carey (SSC)

Spitzer Space Telescope • IRAC • MIPS

ssc2006-20a

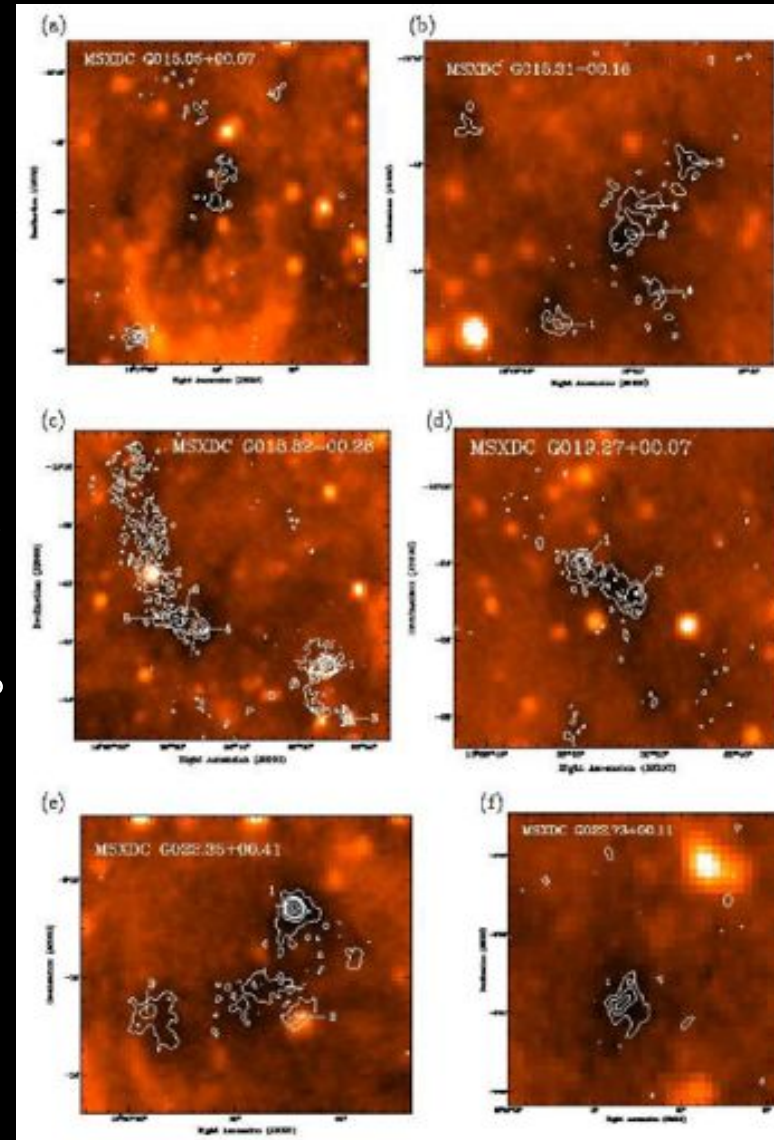
IRDCの分布

- Simon et al. 2006a



IRDCに付随する大質量クランプ

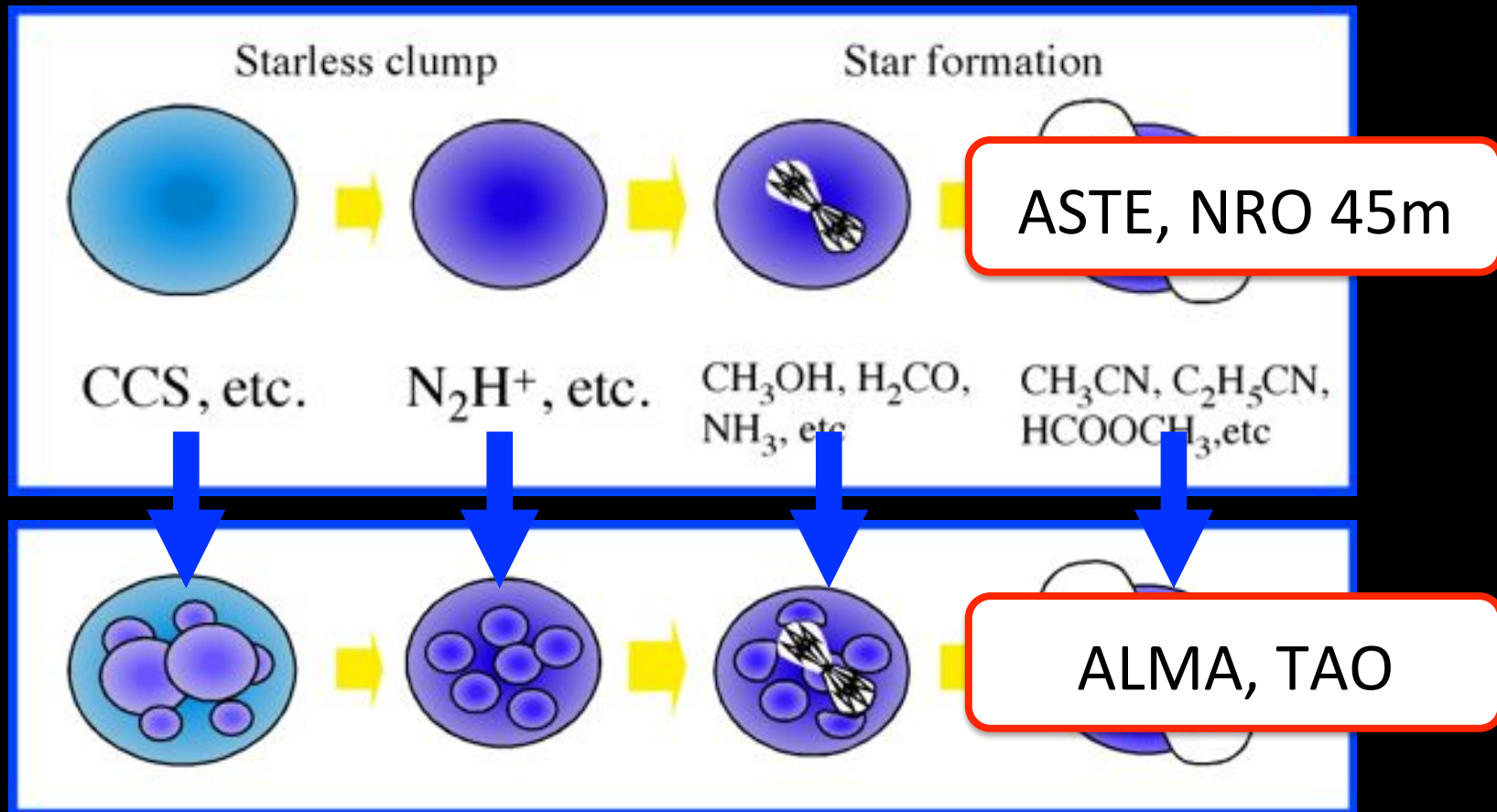
- 数多く見つかっている。
 - Rathborne et al. 2006
 - 38天体に対してMAMBO(1.2 mm)にて観測。
 - 大質量クランプ: 190天体検出
 - その他、LABOCAやHerschelなどでも多数。
- 様々な進化段階のものがある。
 - 8 μm のソースが付随するもの。
 - 24 μm のソースが付随するもの。
 - 24 μm でもdarkなもの。
 - ただし、完全に星形成の兆候が見られないものは非常に少ない。
 - Herschelで70ミクロンでdarkなものがいくつか見つかっている。



Rathborn et al. 2006

化学組成による進化段階の判定

- IRDCといってもいろいろな進化段階のものがある。
 - 化学進化をもとに進化段階を判定する。



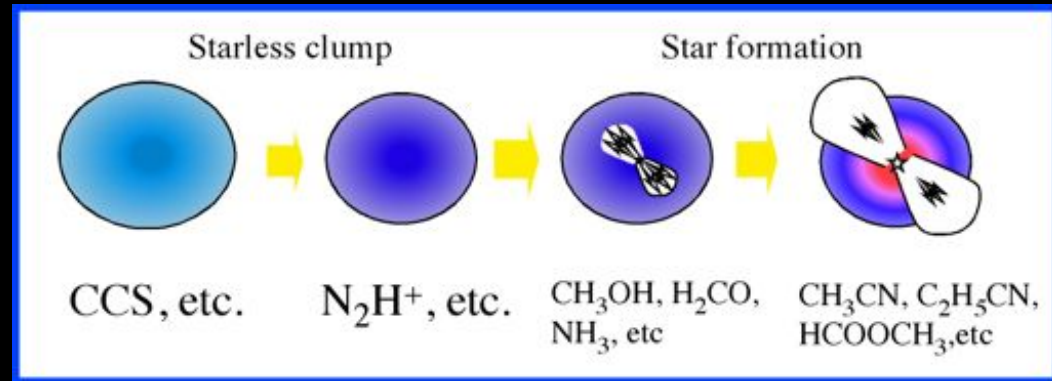
単一鏡 (NRO 45 m) による サーベイ結果

Takeshi Sakai¹, Nami Sakai², Tomoya Hirota³,
Satoshi Yamamoto²

1. The University of Electro-Communications, 2. The
University of Tokyo, 3. NAOJ



(Sakai et al. 2008)



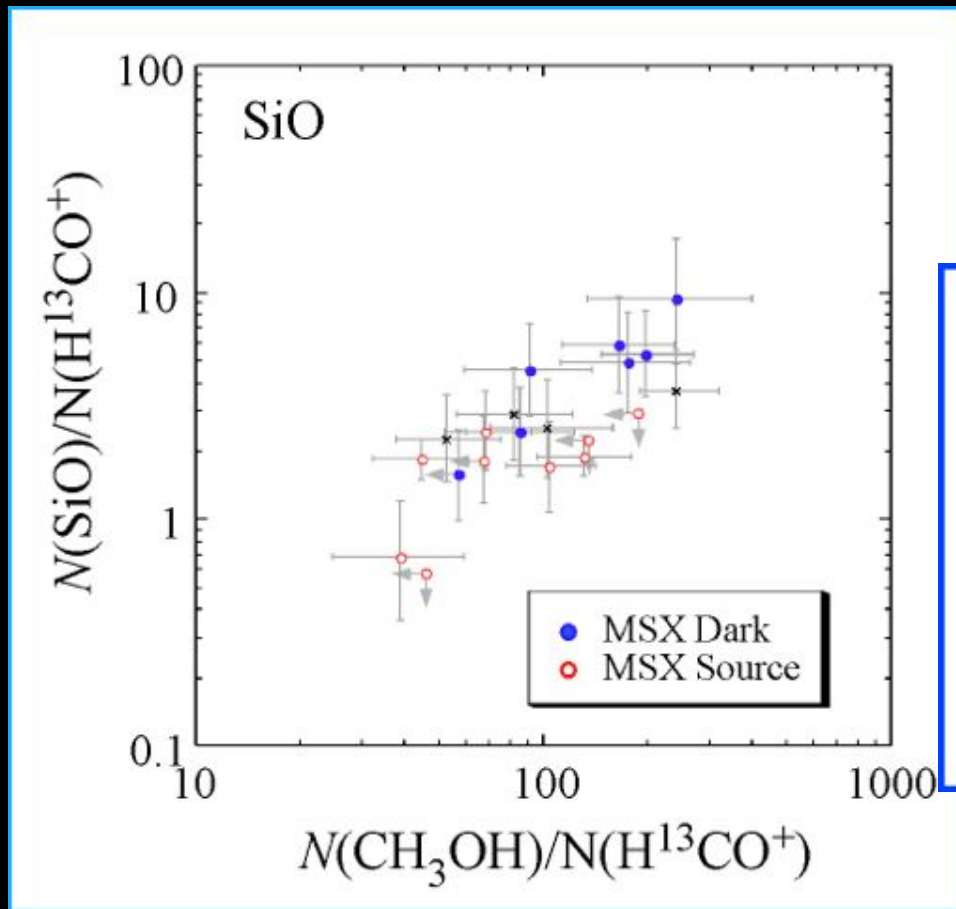
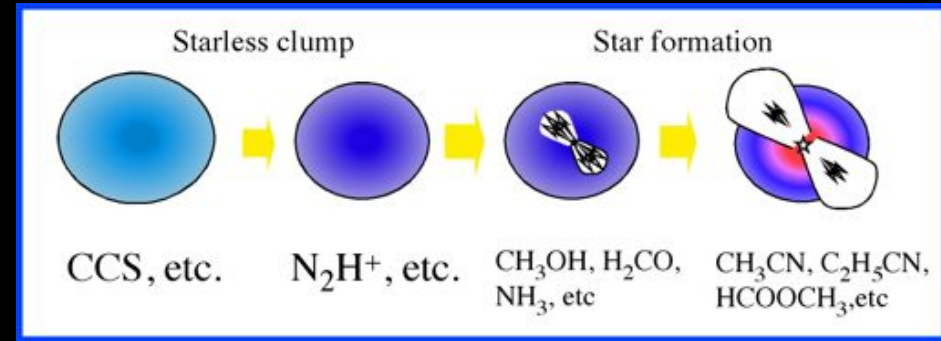
- 55天体全てでCCSは検出されず。
- $\text{CCS}/\text{N}_2\text{H}^+ < 1$
 - Low-mass starless core ~ 2 (Benson et al. 1998)
- 化学的に若い大質量クランプはほとんどない。(小質量星形成領域では多数見つかっている)
 - 一つだけ見つかっている。
 - AFGL 333: Sakai et al. 2007
 - Timescale $< 10^4$ yr ?

SiO、CH₃OH

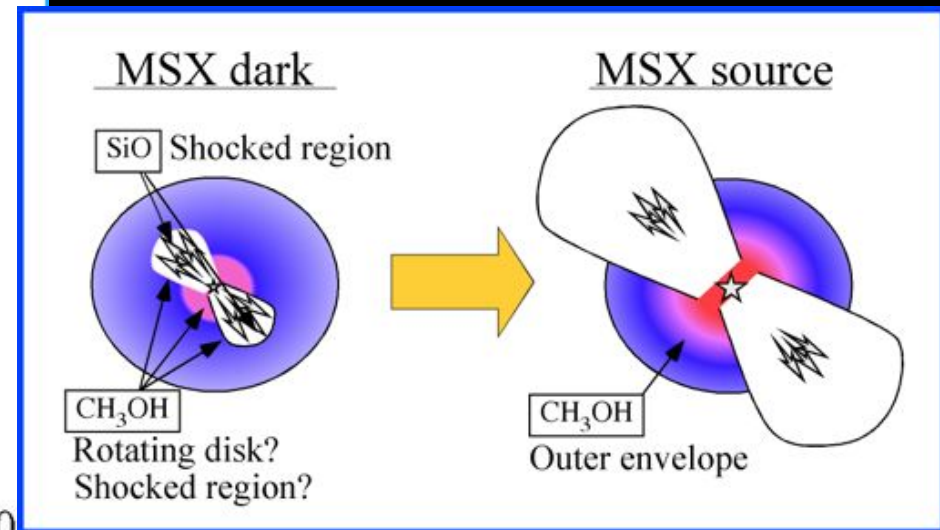
(Sakai et al. 2010)

SiOはショックで生成

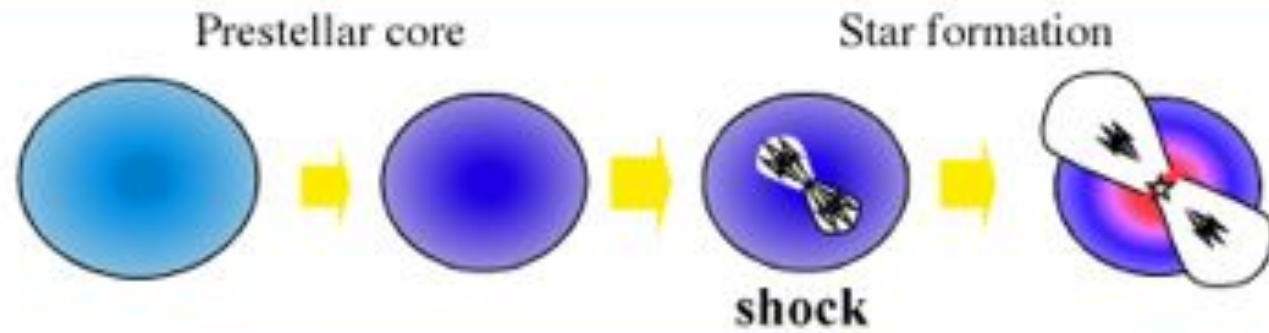
CH₃OHは~90 Kでダストから蒸発



MSX dark > MSX source

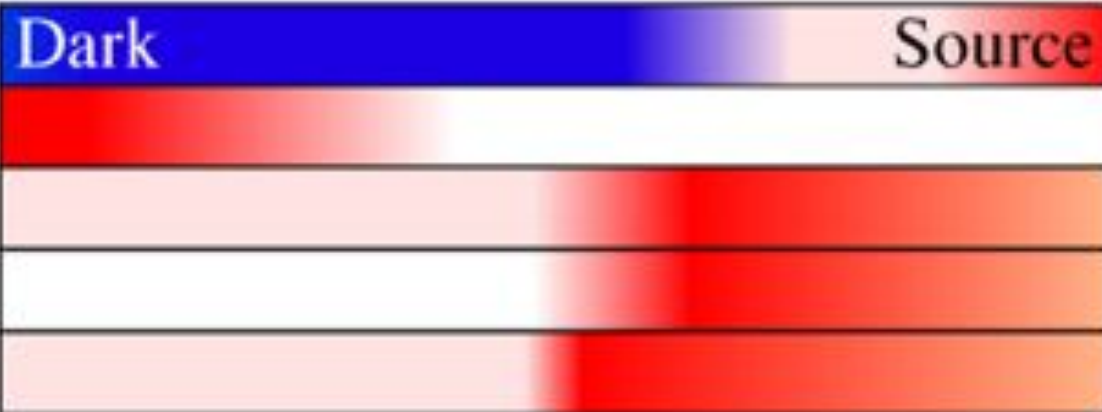


単一鏡によるサーベイ まとめ



Mid-Infrared ($8\ \mu\text{m}$)

CCS/ N_2H^+
 $\text{CH}_3\text{OH}/\text{H}^{13}\text{CO}^+$
 $\text{SiO}/\text{H}^{13}\text{CO}^+$
 $\Delta V(\text{CH}_3\text{OH})$



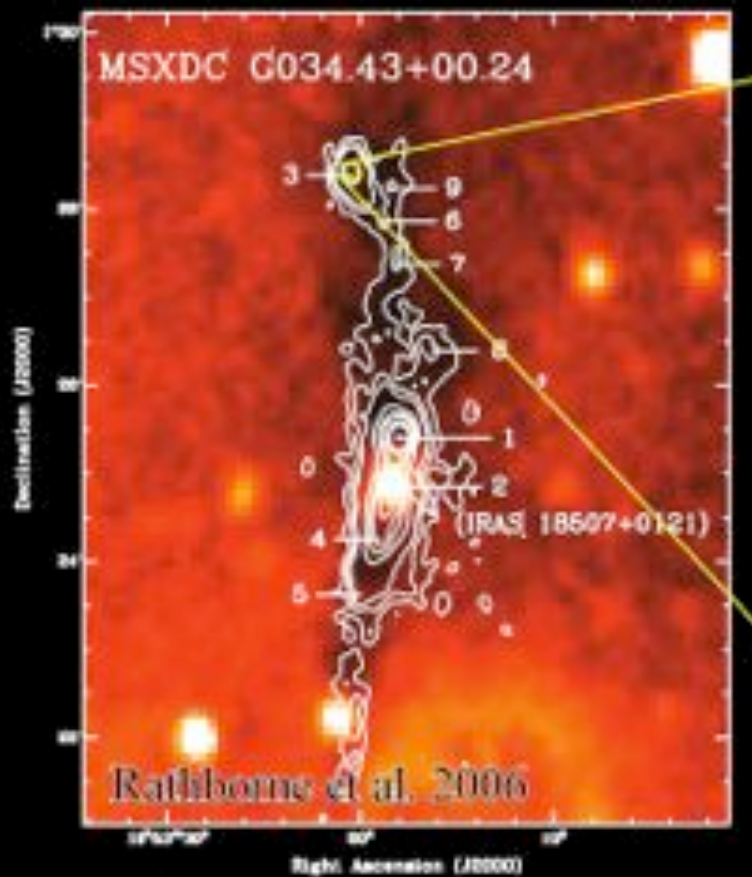
ALMAによるInfrared Dark Cloud の観測結果

Takeshi Sakai¹, Nami Sakai², Jonathan Foster³,
Patricio Sanhueza⁴, James M. Jackson⁴,
Kenji Furuya⁵, Yuri Aikawa⁵, Tomoya Hirota⁶,
Satoshi Yamamoto²

1. The University of Electro-Communications, 2. The University of Tokyo,
3. Yale University, 4. Boston University, 5. Kobe University, 6. NAOJ

ALMAによる観測

- ALMA cycle 0



ALMAによる観測

ミリ波サブミリ波のみでは
星団形成の全体像を理解することが難しい。

(温度を求めることも難しい)

ALMA + Spitzer

- 分解能が足りない。。。。

ALMA + Keckによる観測

- 若いと思われていたIRDCでも内部では星形成の影響がいろいろ見られる。
 - かなり初期から小質量星が形成されていることを示唆。

ALMAによる観測 まとめ

- 単一鏡によるサーベイ観測からの予想が妥当であることを示せた。
- 若いと思われていたIRDCでも内部ではかなり星形成活動の影響がある。
 - 小質量星はかなり初期からできている可能性がある。
 - より若いと思われる天体であっても、近～中間赤外線の高分解能観測によって進化の進んだ天体があるかどうか見る事は重要。

TAO, ALMA, ASTE, NRO 45mを
用いた今後の観測戦略

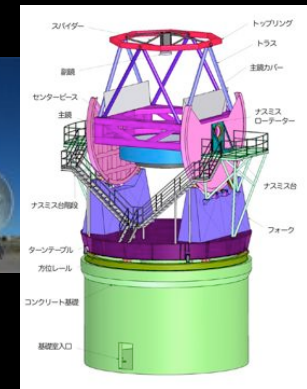
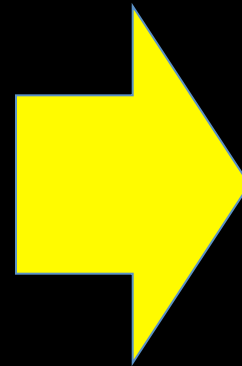
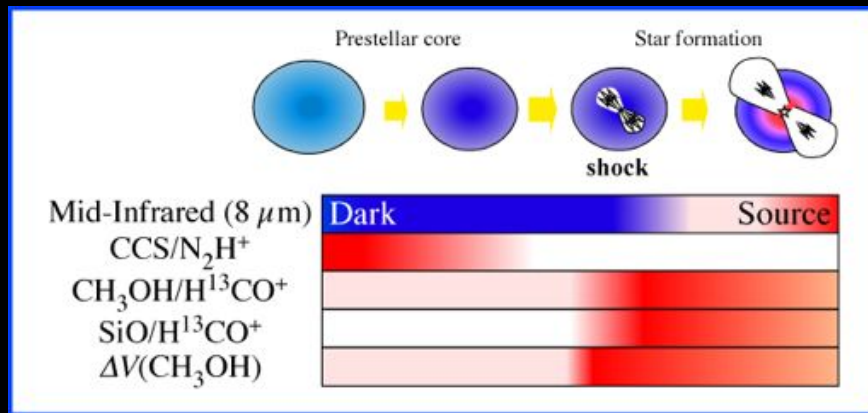
今後の観測戦略

- 統計的な議論を行いたい。
 - サンプル数を増やす。
 - NRO 45 m, ASTEによるサーベイ
 - 進化段階の異なるものを観測する。
 - ALMA, TAOによる詳細観測
- 大質量星形成、星団形成過程は、ミリ波サブミリ波だけではよくわからない。
 - 高分解能な中間赤外線観測結果があるとうれしい。-> MIMIZUKU

今後の観測戦略 まとめ

- NRO 45 m, ASTEによる
分子輝線のサーベイ観測

- ALMA, TAOによる
詳細観測



星形成の影響など調べるためには高分解能な
近～中間赤外線の詳細観測が必要。