

星形成の始動条件を探る： おうし座分子雲コアの N_2H^+ 観測

立松健一、梅本、神鳥*、関本

国立天文台

*also 総研大

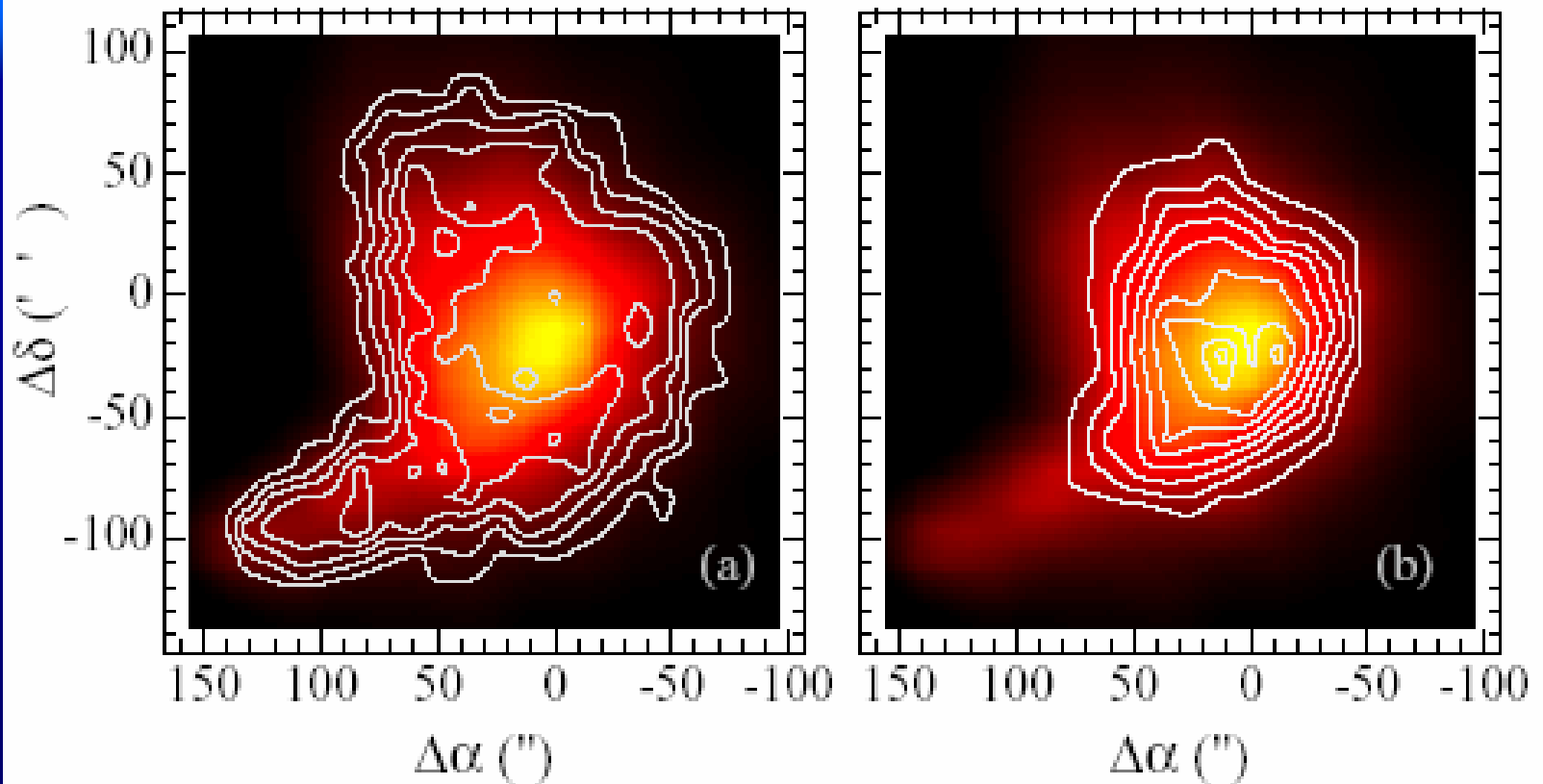
1.はじめに

- 研究の基本:比較研究
- 星形成の研究では---「星を付随するコア」と「付随しないコア」の比較

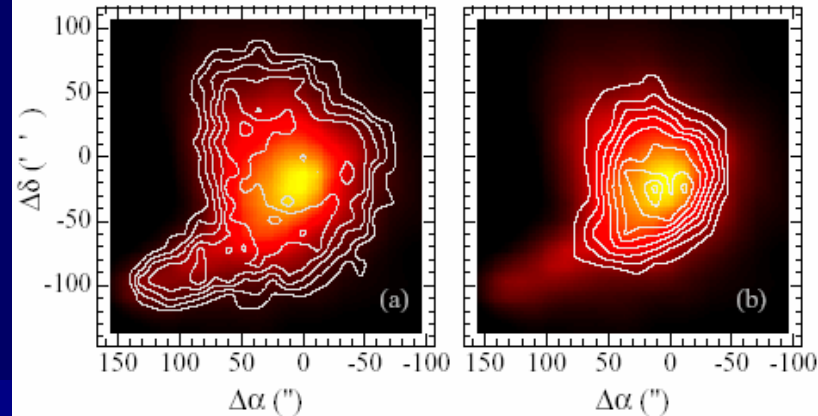
分子のdepletion

Bergin et al. (2002)

$C^{18}O$ vs N_2H^+ @ B68

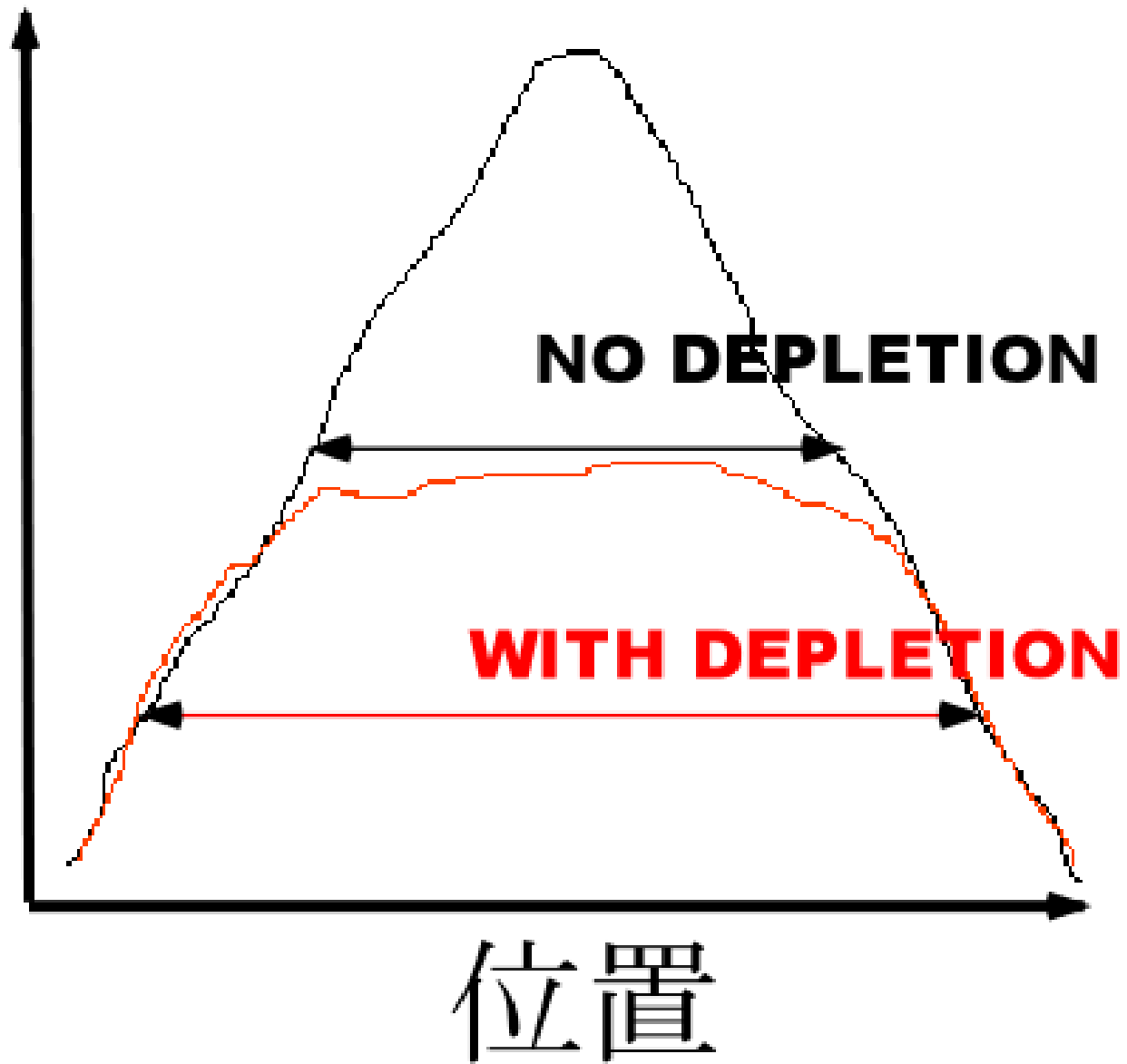


depletion



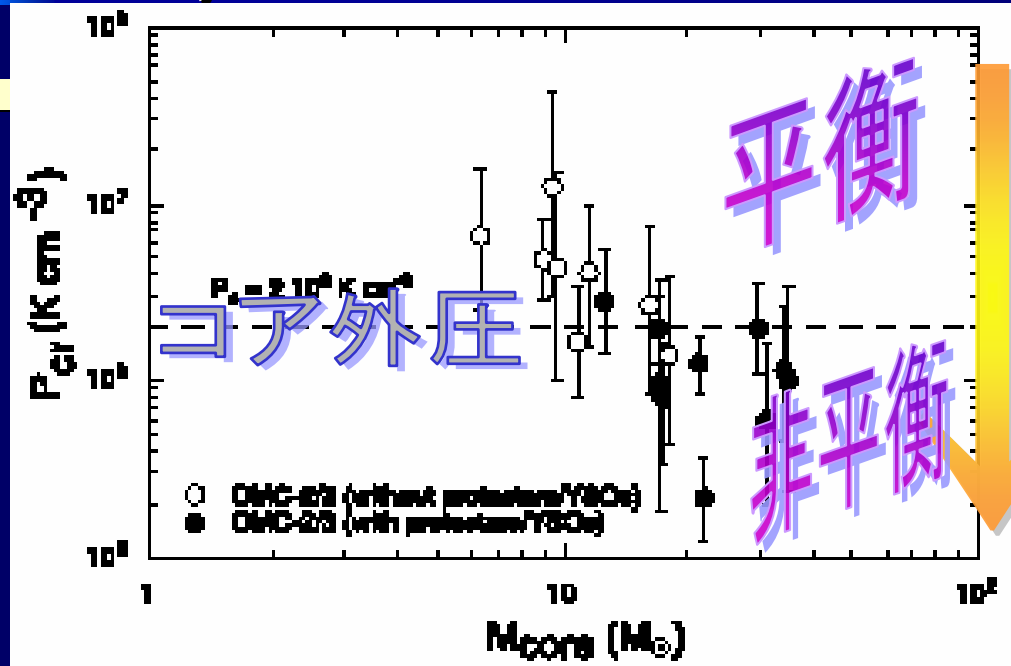
- 近年、depletionが観測に与える影響の重要性が理解されてきた (Bergin他、Lee他)
- CO, CS, CCS, HCO⁺及び同位体: 低温 (~10K) でdepletionしやすい
- N₂H⁺: depletionしにくい
- 星なしコア: depletionしやすい
- 目的(1) 星形成の研究に影響は???

柱密度/強度



乱流の散逸による星形成始動 オリオン座OMC-2/3

Y. Aso, K. Tatematsu et al. 2000 ApJS 131, 465



臨界圧力
 \propto 乱流⁸

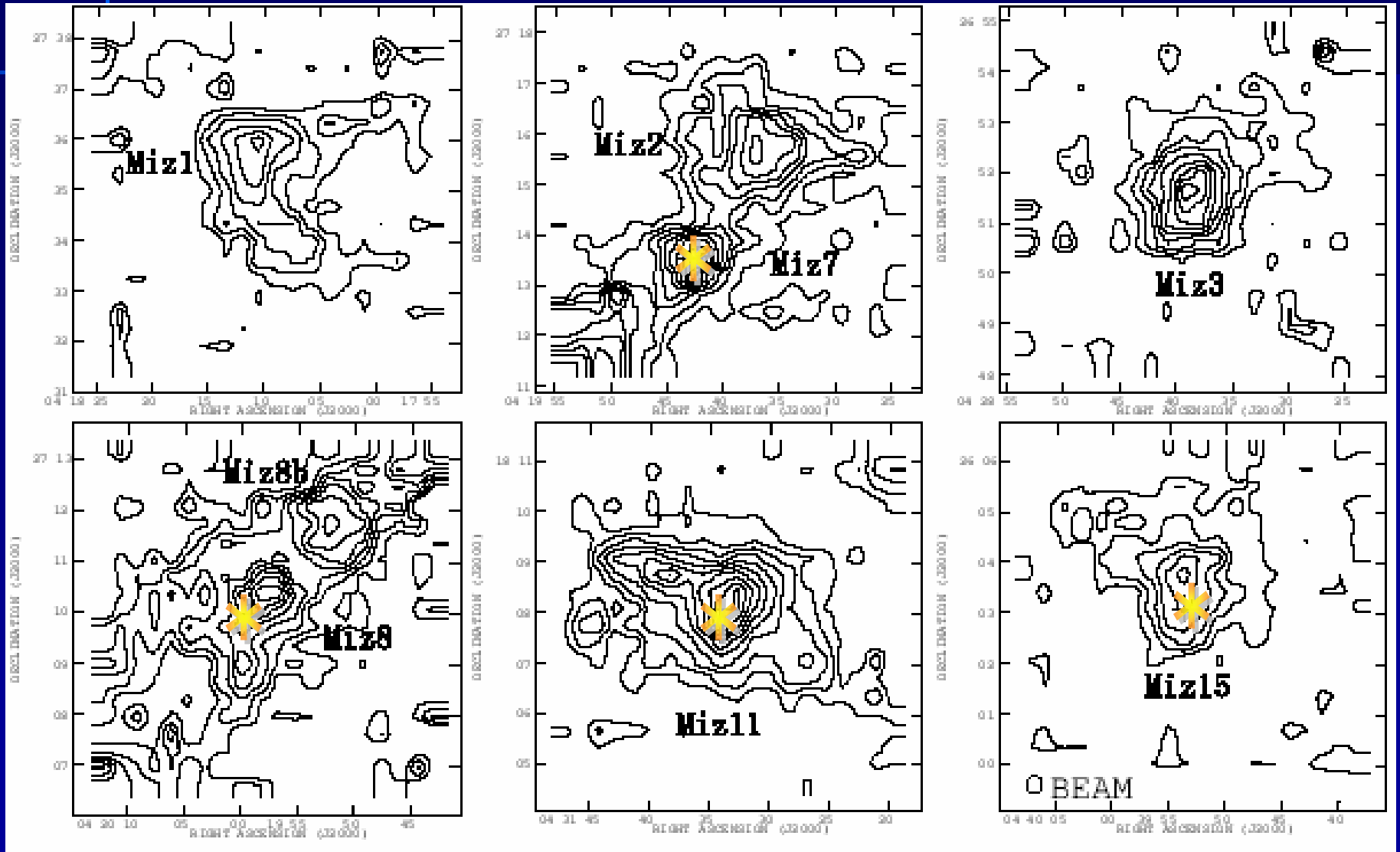
- 目的(2): ほぼthermal supportである小質量星形成領域ではどうなっている?

2. 観測

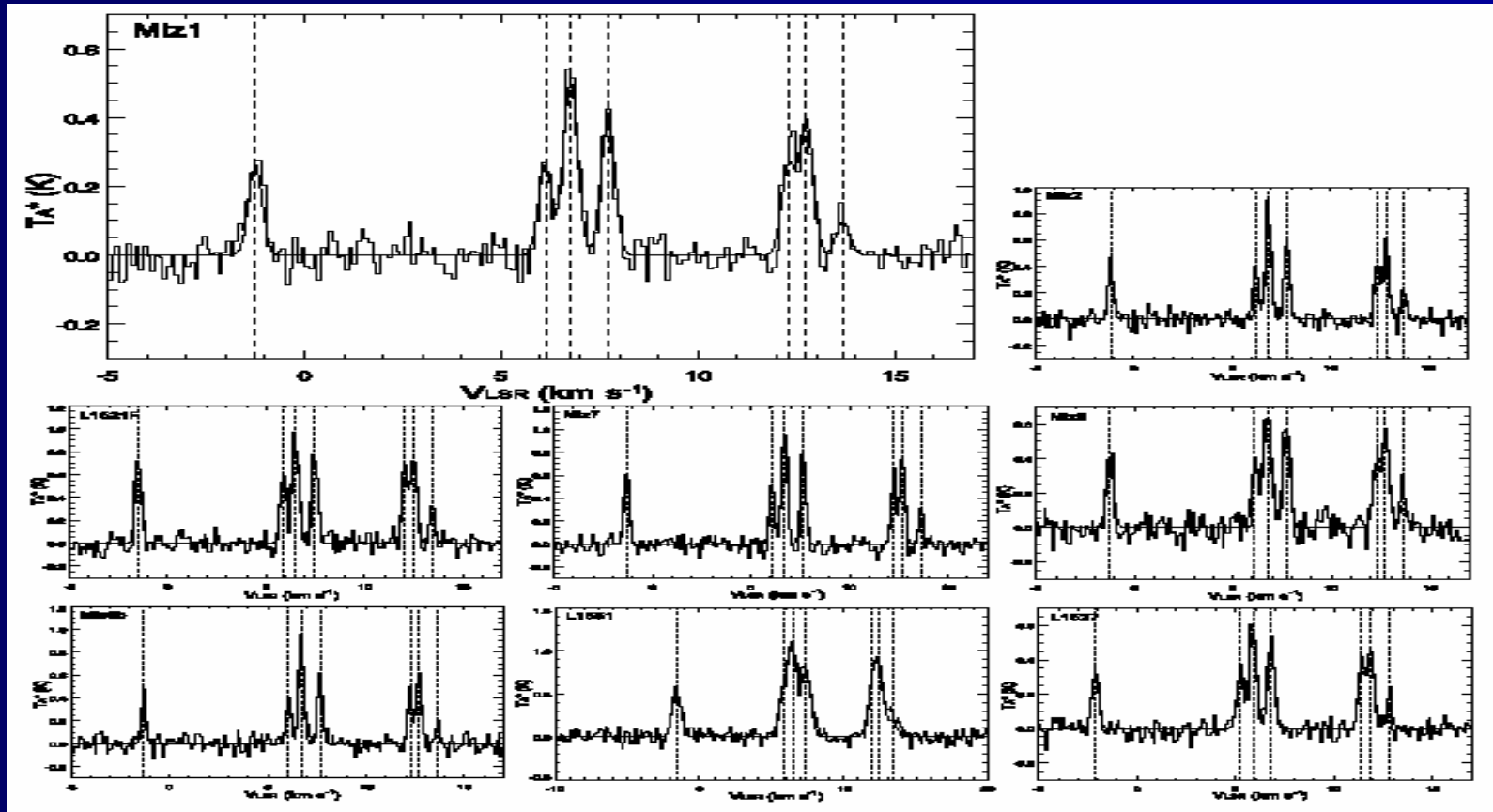


- 2003年1月
- 野辺山45m電波望遠鏡+受信機BEARS
- N_2H^+ J=1-0 @ 93 GHz
- ビームサイズHPBW=18"、観測グリッド20"
- おうし座の「星なしコア」3天体、「星ありコア」4天体。偶然「星なしコア」を1つ発見。

3. 結果: 積分強度マップ



N₂H⁺の電波スペクトル



星なし vs 星あり

- 半径: $0.035_{\pm 0.004}$ vs $0.031_{\pm 0.006}$ pc
- ライン幅: $0.256_{\pm 0.024}$ vs $0.309_{\pm 0.070}$ km/s
- 質量: $1.30_{\pm 0.63}$ vs. $1.59_{\pm 0.97}$ Mo
- 違いは小さい

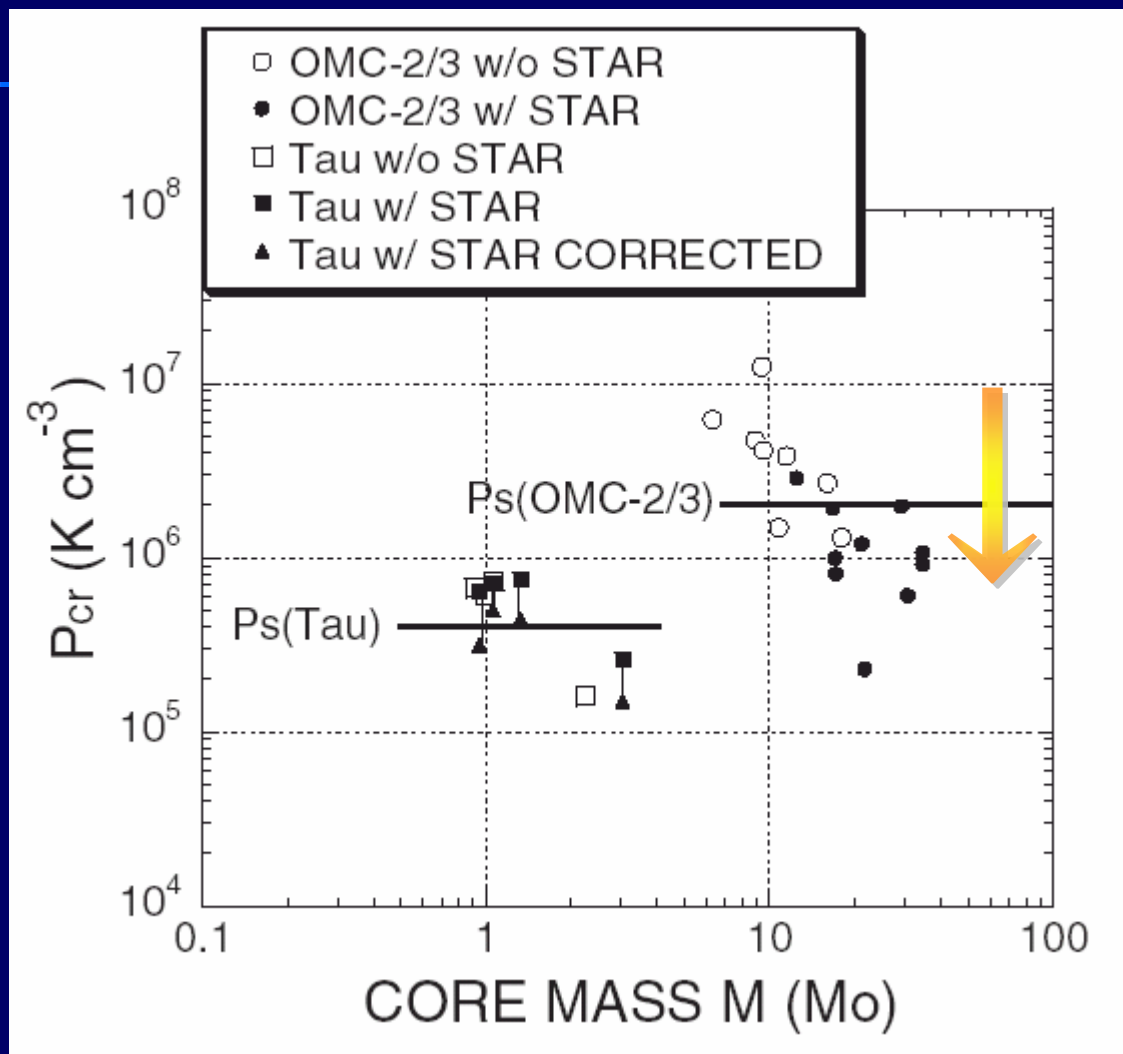
外圧下のビリアル解析

$$\frac{1}{2} \frac{d^2 I}{dt^2} = 3C_{\text{eff}}^2 M_{\text{core}} - \frac{3}{5} \frac{GM_{\text{core}}^2}{R} - 4\pi R^3 P_s \equiv F(R)$$

$$P_{\text{cr}} = \frac{1}{12\pi G^3 M_{\text{core}}^2} \left(\frac{5}{3}\right)^3 \left(\frac{9}{4} C_{\text{eff}}^2\right)^4$$

- $P_{\text{cr}} > P_s$ なら平衡解あり
- $P_{\text{cr}} < P_s$ なら平衡解なし

臨界圧力 vs. コア質量



臨界圧力から、、、

- おうし座では、星なしコア、星ありコアともに臨界状態に近い。
- 臨界に近い状態で、星形成への進化が起きているらしい。

乱流の散逸

星なし vs 星あり

■ ライン幅: $0.256_{\pm 0.024}$ vs $0.309_{\pm 0.070}$ km/s

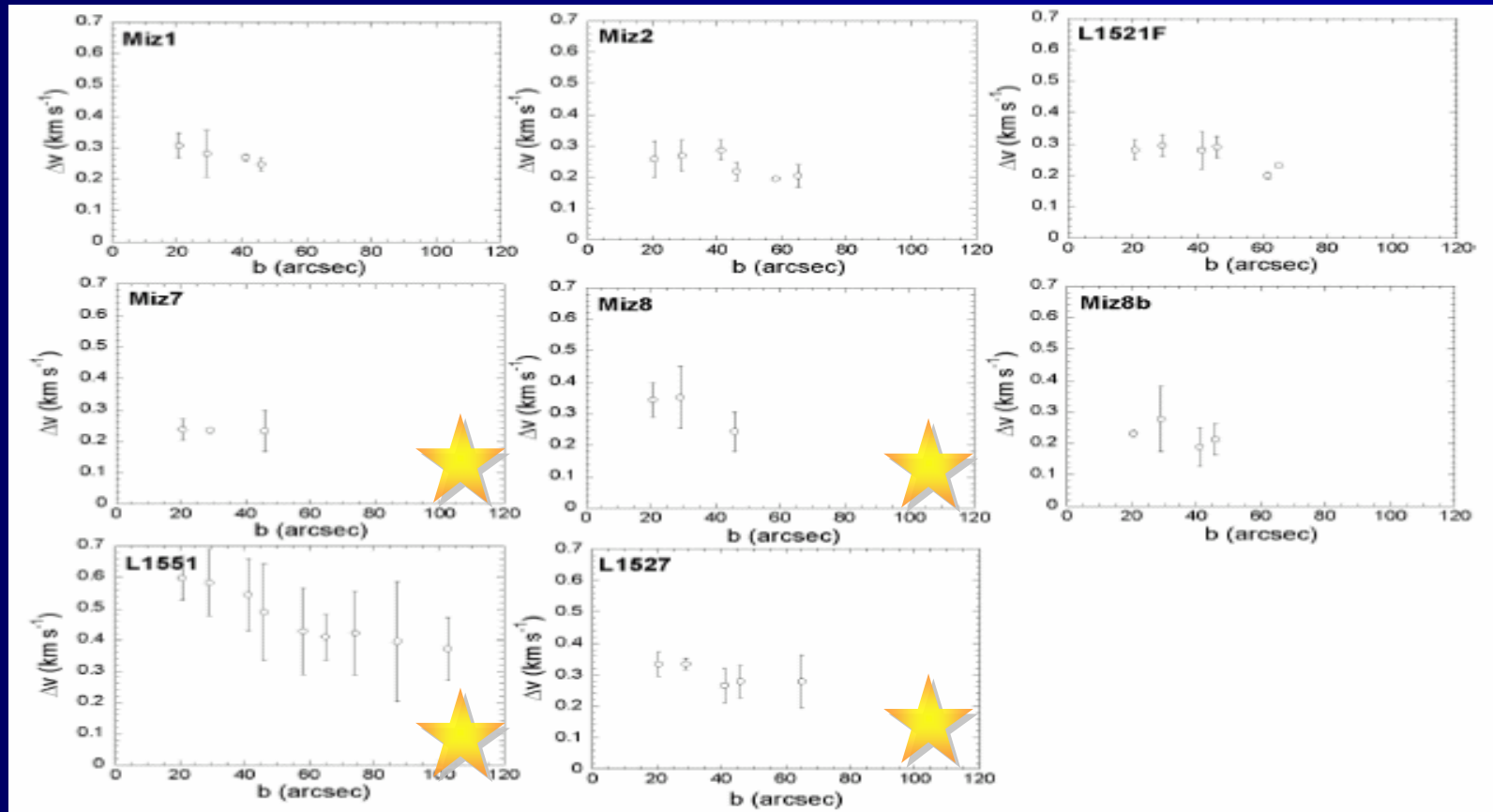
■ ΔV_{TOT} : $0.497_{\pm 0.013}$ vs $0.528_{\pm 0.042}$ km/s

– cf 熱運動 0.443 km/s

■ 注: 星ありコアでは、分子流や原始星降着の影響が少なくなるようにライン幅を測定

■ 星ありではコアの圧力が13%高い。

ライン幅 - サイズ関係



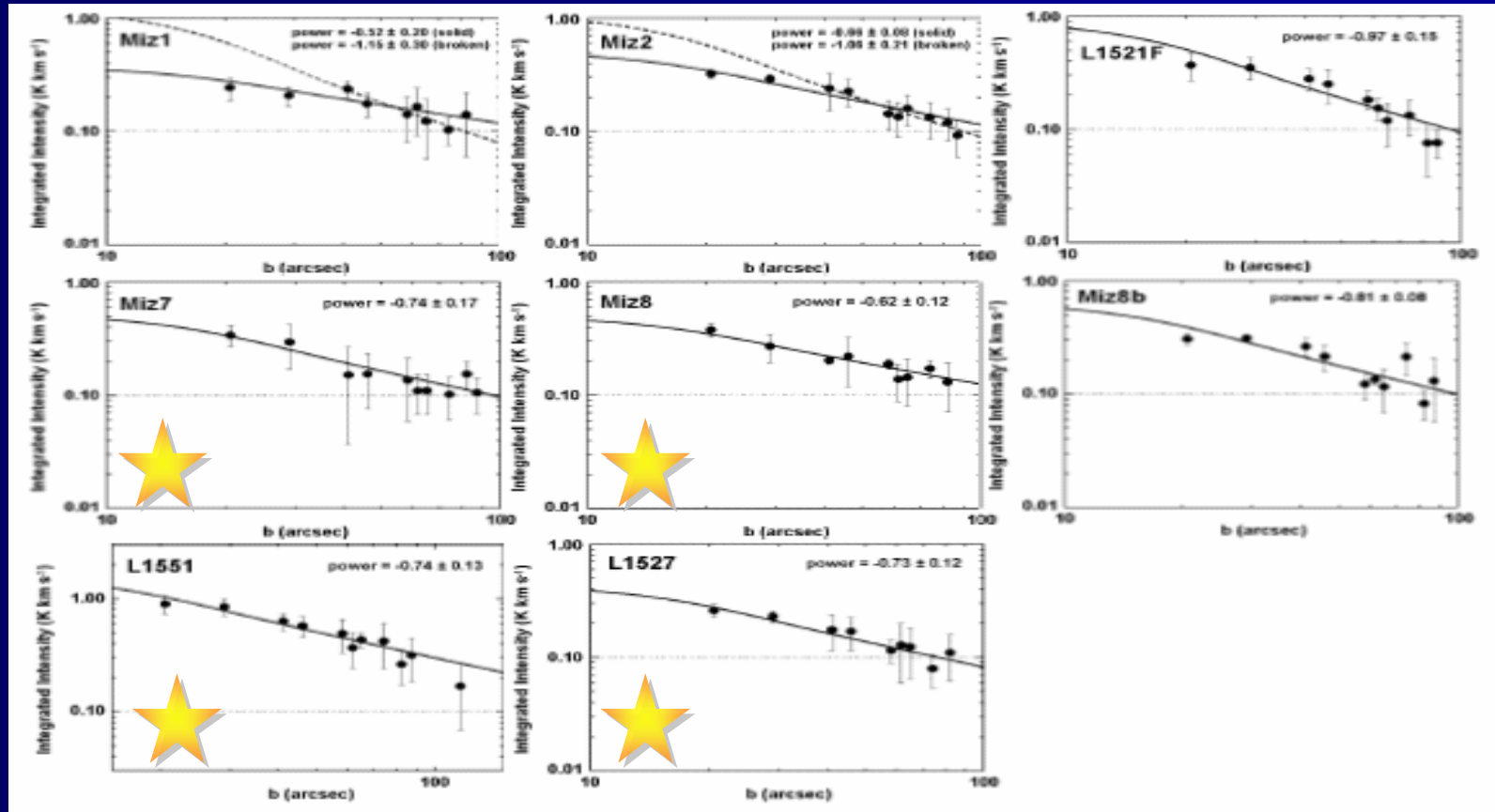
ライン幅ーサイズ関係

- 星ありコアでは、外側に向かって減少傾向
 - 中心では分子流やcore collapseの影響
- 星なしでは、フラットか、外側に向かって減少

ピーク速度分布

- コア内での変動は極めて少ない: < 0.2 km/s (例外 L1551)
- 近傍のコアではコア速度の相対速度は小さい: ~ 0.2 km/s

柱密度プロファイル



柱密度プロファイル

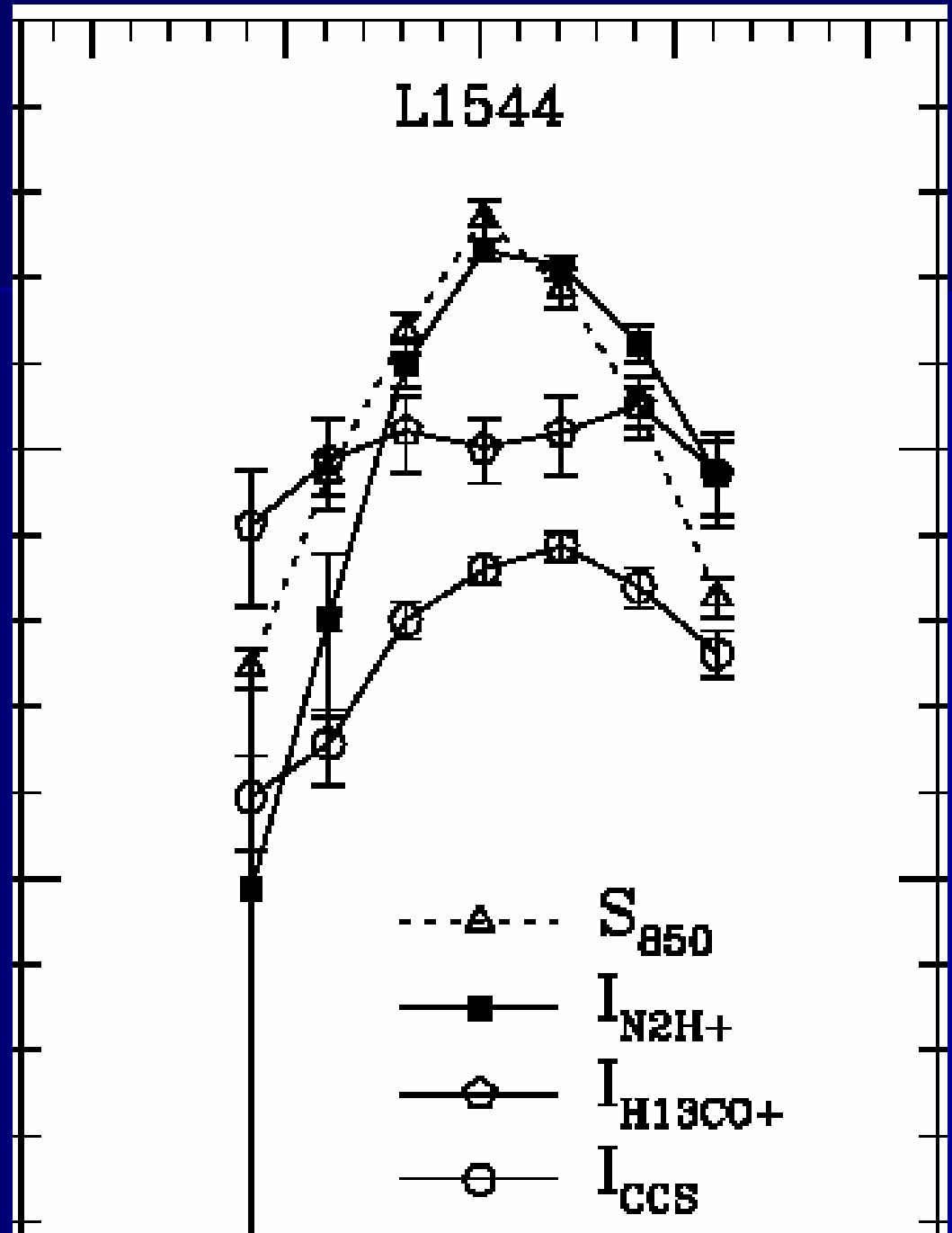
- 星なしコアのcentral flatteningは、あるかないか、現状の分解能・感度では良くわからない
- 星ありコアでは、柱密度プロファイルが shallow $r^{-1.8}$ to $r^{-1.6}$
 - 分子流による影響？ core collapse?

まとめ

- 分子のdepletionの考慮が重要
- 星ありコア、星なしコアでサイズ、ライン幅、質量はほぼ同程度 (cf. 過去の研究)。ほぼ thermal。
- 多くのコアでは(星あり星なしにかかわらず) Pcr~Ps (cf. nonthermal cores in OMC-2/3)
- 臨界状態に近い状態で、星形成へ
- 星ありコアで密度プロファイルはshallow

N_2H^+ vs $H^{13}CO^+$

- 観測
- Lee, Evans, Shirley, Tatematsu (2003) ApJ 583, 789



理論モデル Li et al. 2002

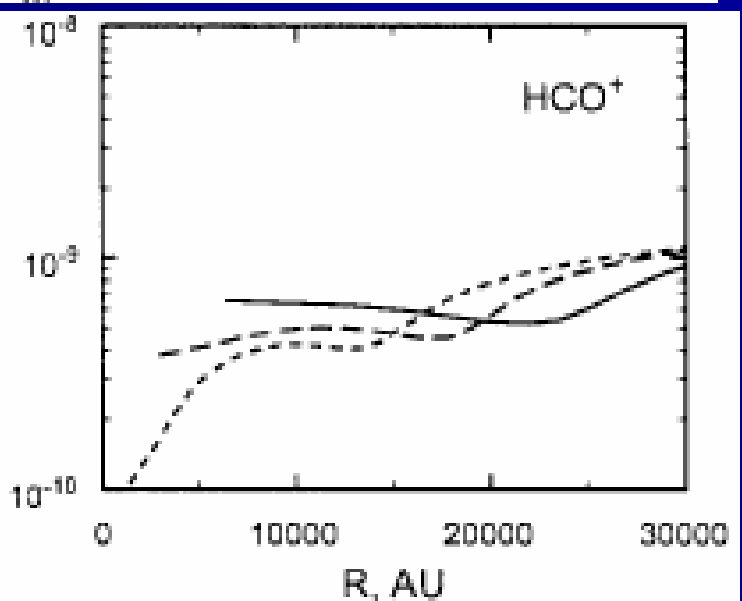
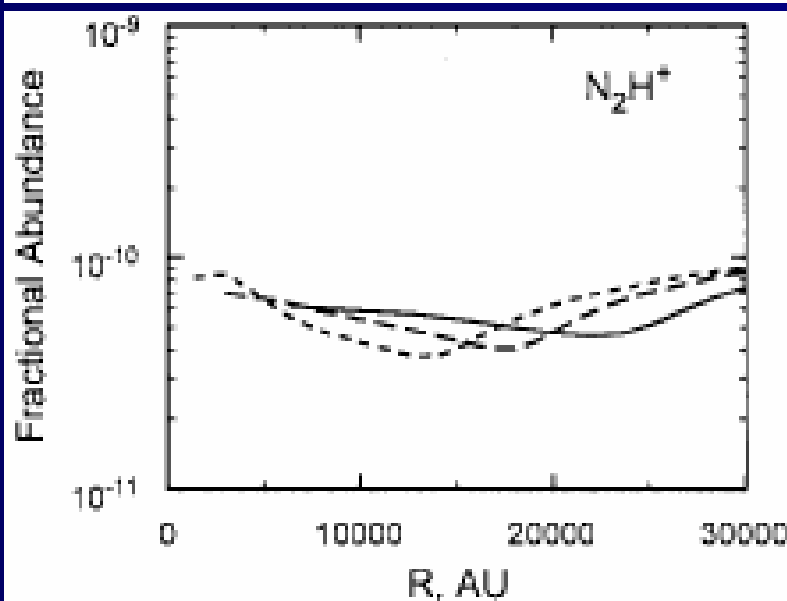
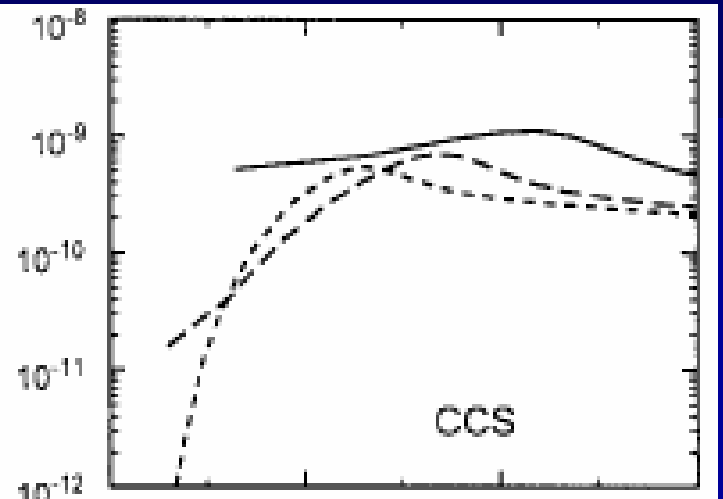
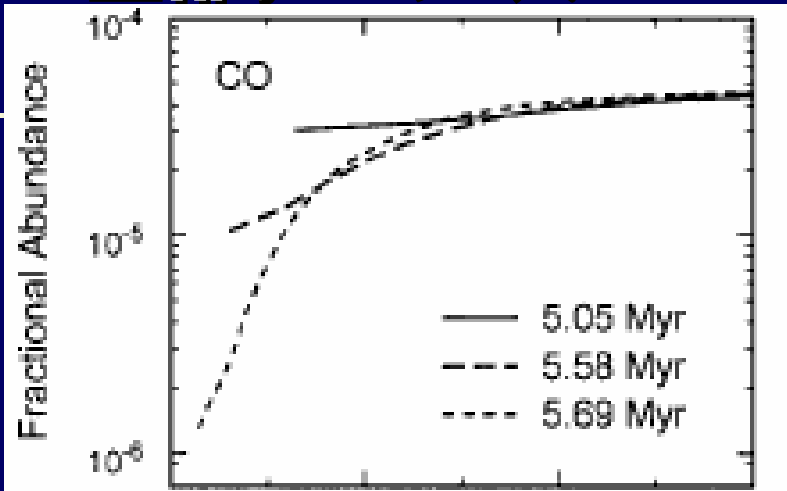


Table 1: Sublimation temperatures of pure ices^a.

Compound	Laboratory T^{sub} (K)	Dark cloud core T^{sub} (K)
N_2	22	13
O_2	22	13
CO	25	16
CH_4	30	18
CO_2	83	50
NH_3	95	55
CH_3OH	140	80
H_2O	150	90

^a From Nakagawa (1978) and Sandford and Allamandola (1993).

8個のコアの観測で十分か？

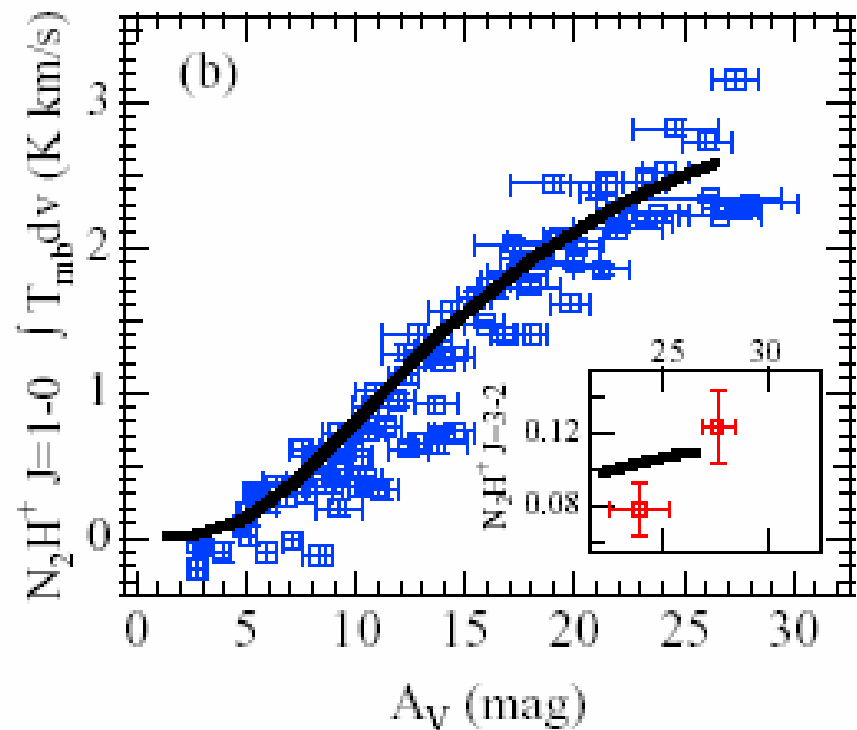
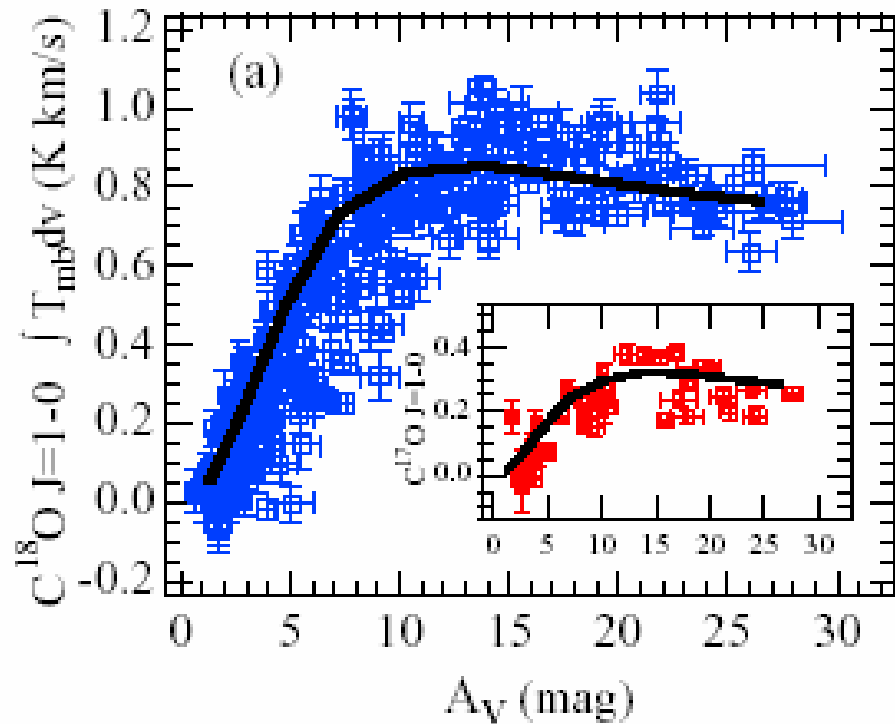
- 分解能は我々に劣るが(27" vs 18")、Caselli他(2002)による63個の暗黒星雲コアの N_2H^+ 観測 星なし・星ありでコア半径やビリアル比(ビリアル質量/質量)の違いがほとんど見られない。

乱流の散逸時間

■	OMC-2/3	Tau
■ R	0.065pc	0.033pc
■ DV(NT)	0.92km/s	0.21km/s
■ tcross	1.5E5yr	3.2E5yr

Bergin et al. (2002)

$C^{18}O$ vs N_2H^+



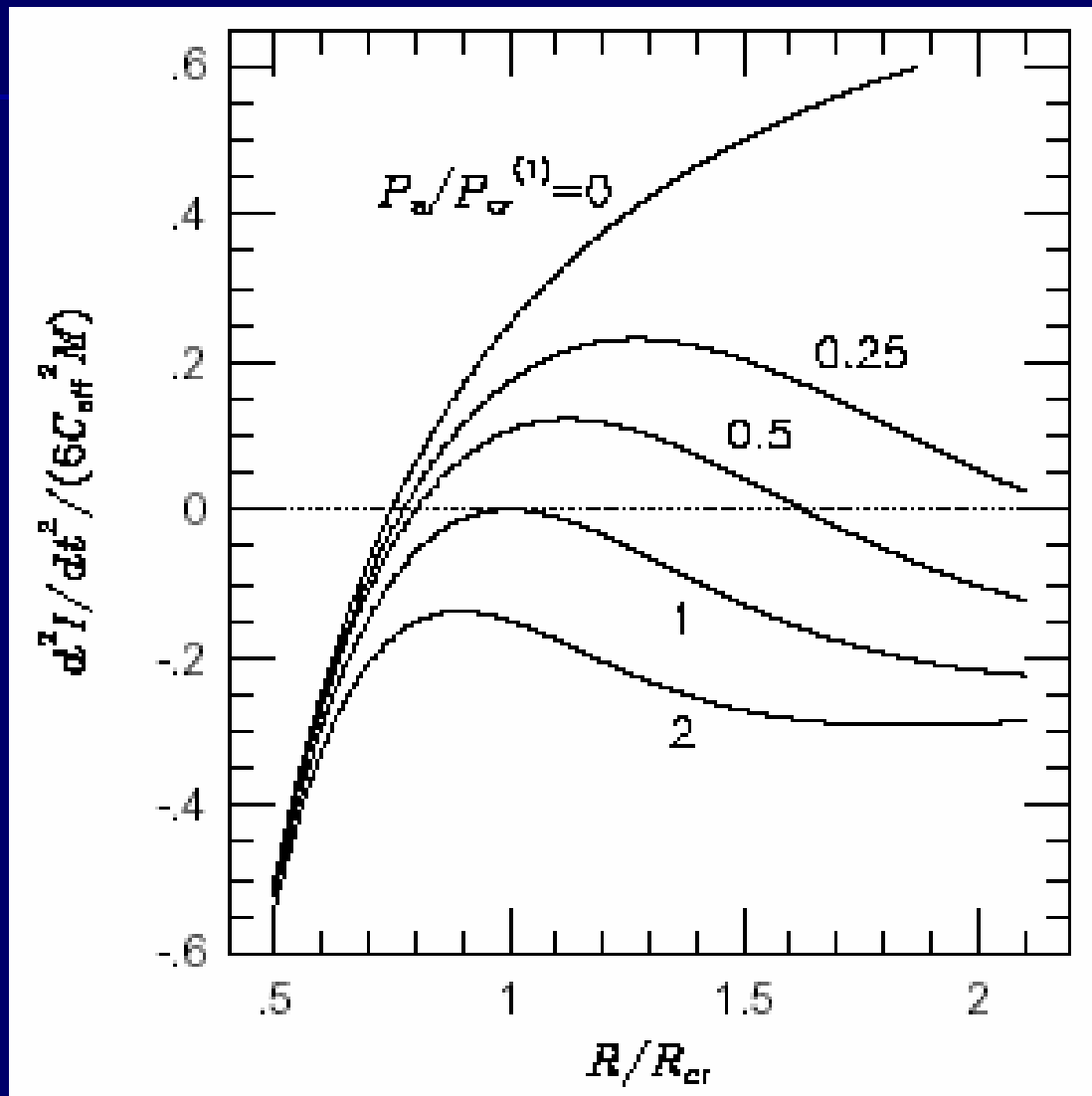
virial解析

- 外圧を含むビリアル定理

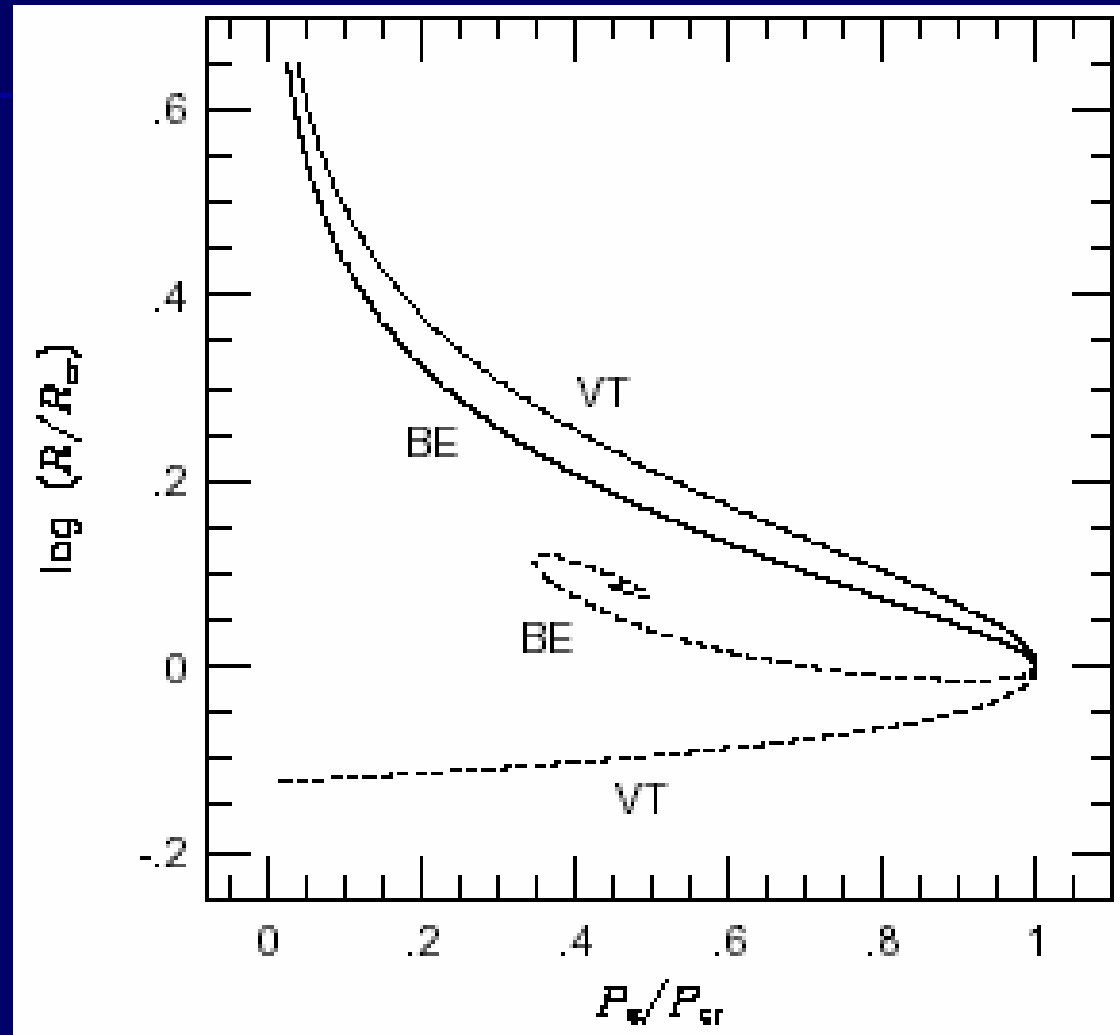
$$\frac{1}{2} \frac{d^2 I}{dt^2} = 3C_{\text{eff}}^2 M_{\text{core}} - \frac{3}{5} \frac{GM_{\text{core}}^2}{R} - 4\pi R^3 P_s \equiv F(R)$$

- $F=0$ なら平衡、 $F>0$ なら膨張、 $F<0$ なら収縮

Nakano (1998)



Nakano (1998)



What trigger the onset of SF?

Model with Turbulence Dissipation

- Nakano's model (1998) ApJ, 494, 587

- virial equation with ext. pressure P_s

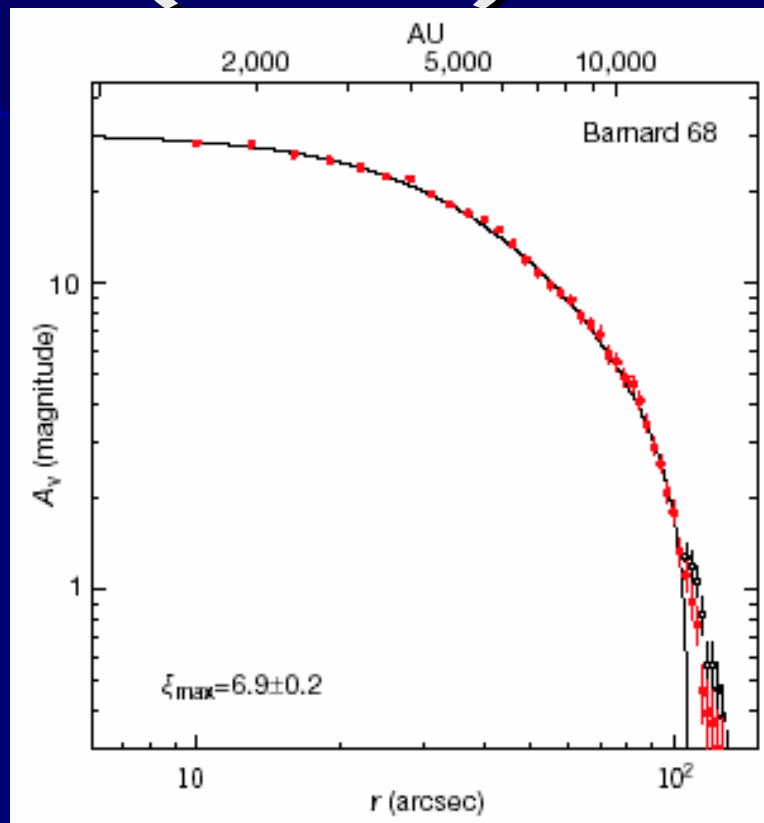
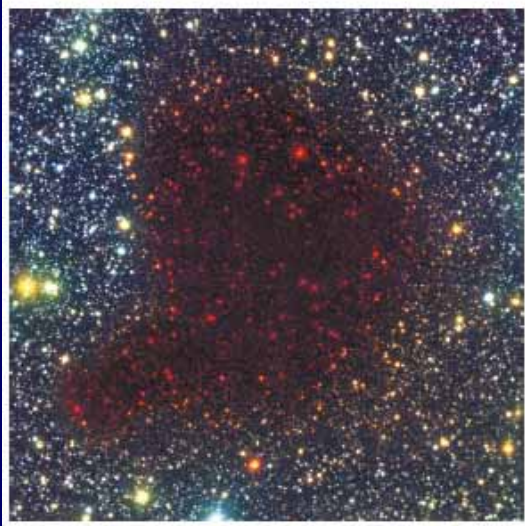
$$\frac{1}{2} \frac{d^2 I}{dt^2} = 3 C_{\text{eff}}^2 M - \frac{G M^2}{R} - 4 \pi R^3 P_s$$

- Critical Pressure $P_{\text{cr}} = \frac{1}{12 \pi G^3 M^2} \left(\frac{9}{4} C_{\text{eff}}^2 \right)^4$

- If $P_{\text{cr}} > P_s$, equilibrium states exist

- If $P_{\text{cr}} < P_s$, NO equilibrium state exists

Alves et al. (2001) B68



参考：神鳥ほか(30天体)

Table 1. Positions of molecular cloud cores.

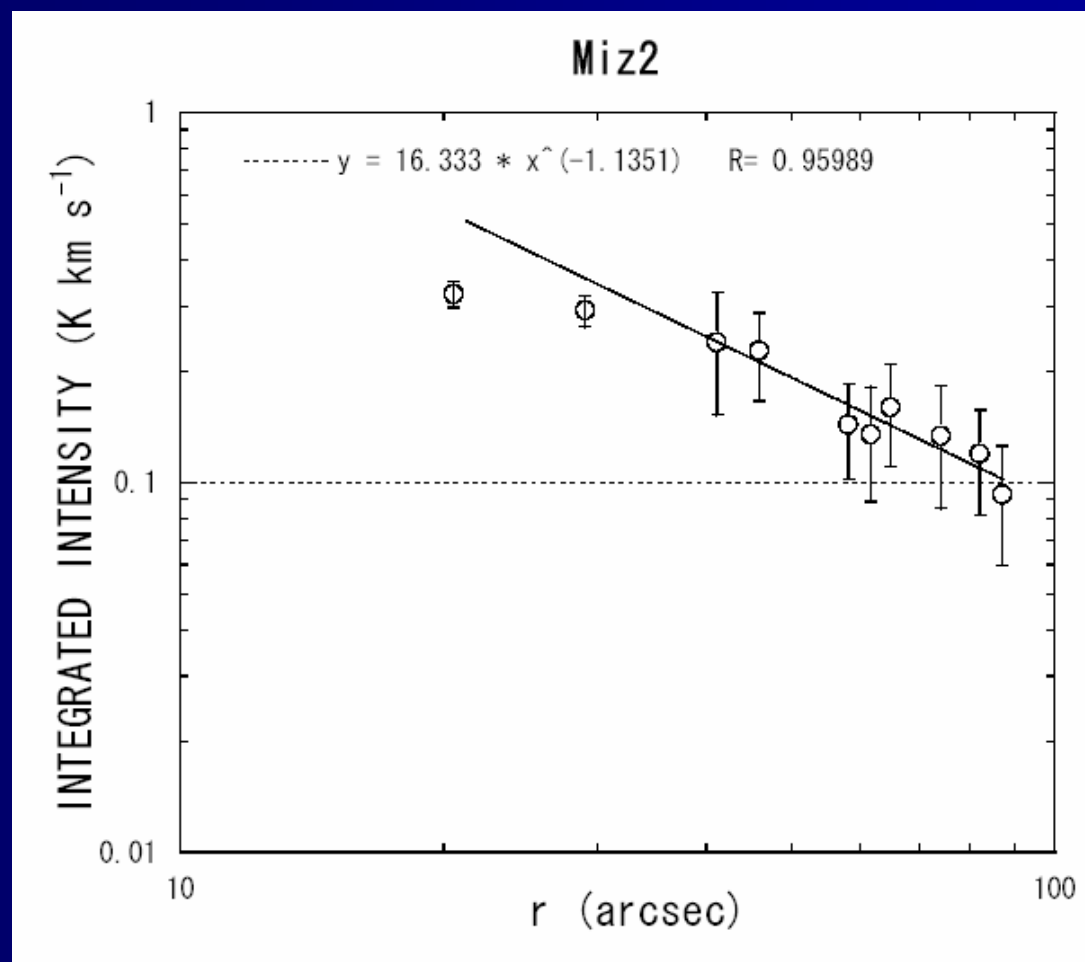
Field	R.A.(J2000) ^a	Decl.(J2000) ^a	Parent cloud name
Miz1	4 18 10.3	27 36 03	L1495
Miz2	4 19 37.0	27 15 35	L1495
Miz3	4 28 39.3	26 51 43	L1521
Miz7	4 19 41.5	27 13 32	L1521
Miz8	4 19 58.2	27 10 22	L1495
Miz8b	4 19 52.2	27 11 45	L1495
Miz11	4 31 32.5	18 08 25	L1551
Miz15	4 39 53.2	26 03 47	L1527

コアの物理量

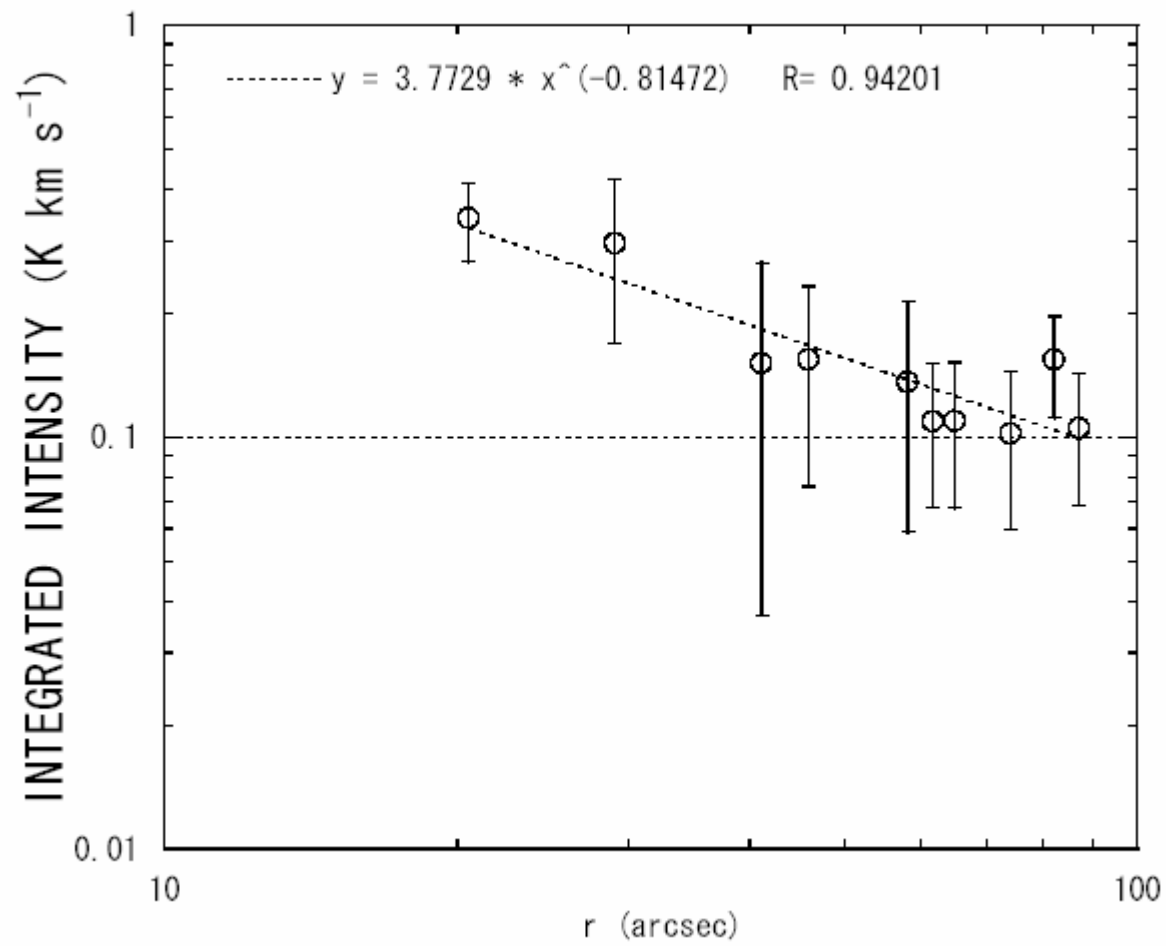
Table 2. Core properties.

Core	R (pc)	Δv (km s ⁻¹) ^b	M (M_{\odot})	P_{cr} (10^5 K cm ⁻³) ^c	R_{cr} (pc) ^c	Power ^d	IRAS point source	Class
Miz1	0.038	0.22	1.25	3.4	0.057	-0.73		
Miz2	0.036	0.30	2.12	2.2	0.084	-0.86		
Miz3	0.029	0.28	2.20	1.7	0.091	-1.19		
Miz7	0.024	0.17	1.01	1.1-2.0	0.067-0.093	-0.86	04166+2706	1
Miz8	0.029	0.32	1.65	1.9-3.0	0.074-0.093	-0.73	04169+2702	1
Miz8b	0.036	0.18	1.28	2.4	0.064	-0.88		
Miz11	0.038	0.25	7.38	0.10-0.11	0.34-0.36	-1.07	L1551 IRS5	1
Miz15	0.032	0.15	1.06	0.9-1.7	0.071-0.098	-0.87	04368+2557	0

積分強度プロファイル



Miz7



Flat-topped?

- Starless

- Miz1:
- Miz2:
- Miz3:
- Miz8b:

- Class 0

- Miz15;

- Class I

- Miz7: × (p=-0.8)
- Miz8: × (p=-0.7)
- Miz11: