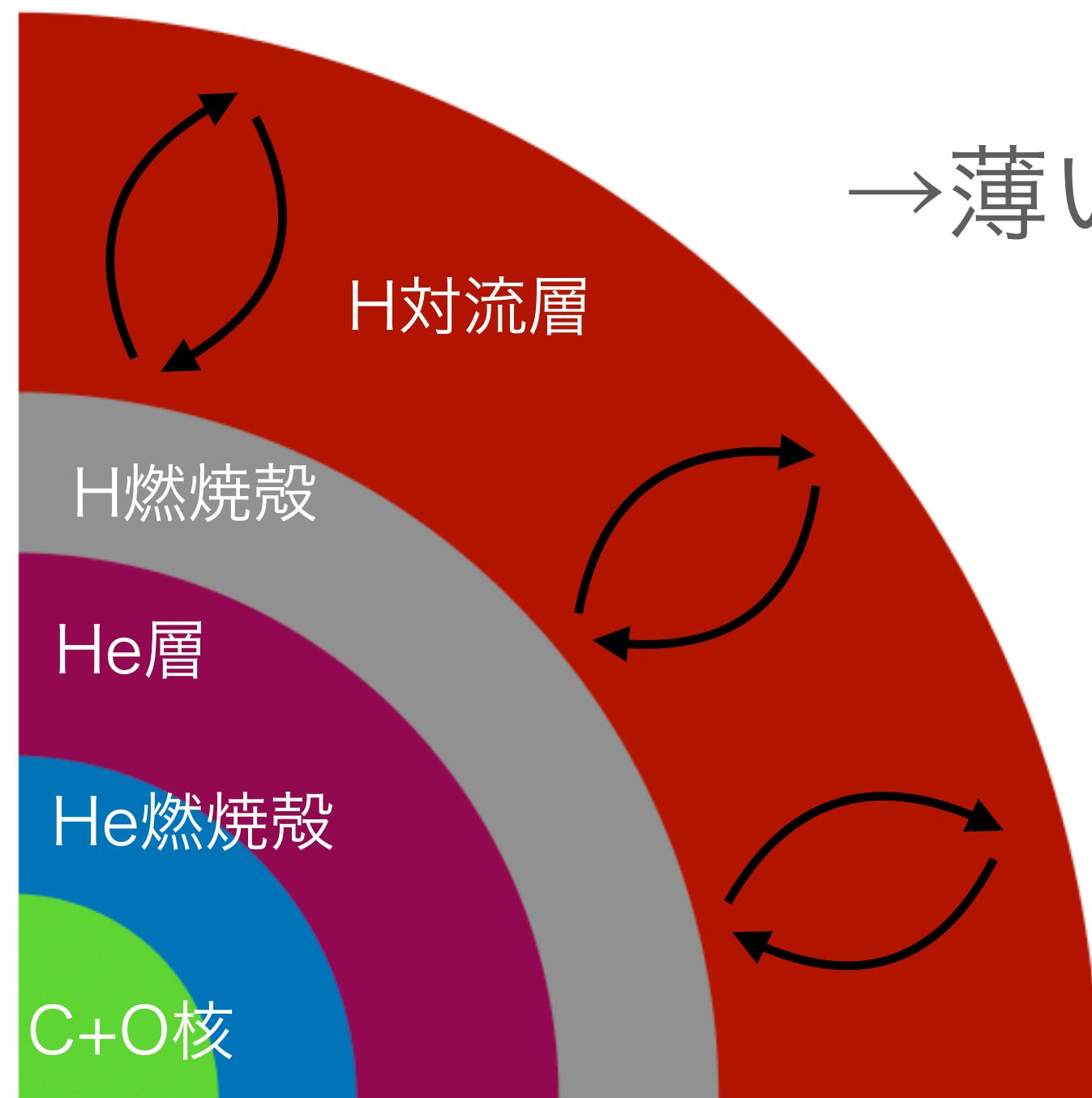


NESS (Nearby Evolved Stars Survey)で観測された 冷たいAGB星周縁の統計的性質

甘田溪, 深谷紗季子, 今井裕, 新永浩子 (鹿児島大学),
Peter Scicluna, Francisca Kemper (ESO), Naomi Hirano (ASIAA),
Sunder Srinivasan (UNAM), Sofia Wallstrom (KU Leuven)
and NESS Team

AGB星からの質量放出

- ・ 進化した星が新しい元素やダストを星間空間へ供給
→このプロセスはAGB星が支配的 (Höfner, Olofsson. 2018)
- ・ 漸近巨星分枝(Asymptotic Giant Branch; AGB)星：中・小質量星の進化末期の星
- ・ 星中心から外側に向かった層構造: 炭素と酸素が縮退した核、薄いヘリウム燃烧殻、



ヘリウムの層、薄い水素の燃烧殻、水素の対流層

→薄いヘリウム燃烧殻でヘリウム殻フラッシュ (熱パルス) 発生

→ヘリウム層で対流発生

→核融合生成物 (^{12}C , ^{13}C , Oなど) が恒星大気へ流出

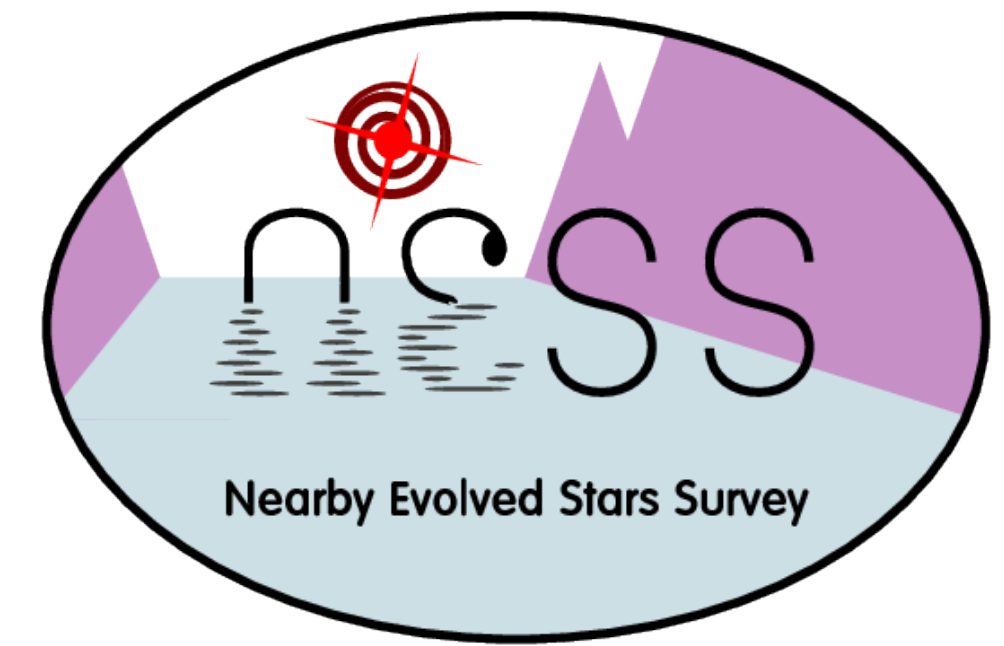
→星周縁中の ^{12}CO と ^{13}CO の電波強度の分布を把握

することによって、熱パルスの履歴を追うことがで

きると期待される

- ・ 星間紫外線による星周縁外層の光解離 (Groenewegen. 2017)

NESS (Nearby Evolved Stars Survey)



NESS

- 太陽から2 kpc以内にある約800個のAGB星による総質量放出率を推定
- AGB星周縁 (circumstellar envelopes; CSEs) の組成の統計的解析
- NESS-JCMT
 - CO輝線 ($J=3-2$, $2-1$) と850 μm ダスト連続波放射を用いたCSEsのサーベイ観測を実施中
 - ビームサイズ: 15" (CO $J=3-2$)
- NESS-NRO (Nobeyama 45m radio telescope)
 - 主にCSEsの低温ガス分布を把握することを目的として、 ^{12}CO , ^{13}CO 輝線 ($J=1-0$) の一点長時間観測とマッピング観測を実施中
 - ビームサイズ: 15" (CO $J=1-0$)

NESS-NRO観測諸元

望遠鏡	野辺山45m電波望遠鏡
周波数	^{12}CO ($J=1 \rightarrow 0$) : 115.271 GHz ^{13}CO ($J=1 \rightarrow 0$) : 110.201 GHz C^{18}O ($J=1 \rightarrow 0$) : 109.782 GHz
受信機	FOREST (4 ビーム)
観測期間	2018年3-4月 2019年3-4月 2019年12月—2020年1月
ビームサイズ	15"
一点長時間 (On-On)	158
観測天体数	(noise level: $\sigma \sim 0.02$ K)
マッピング (On-The-Fly)	27
観測天体数	(noise level: $\sigma \sim 0.1$ K)
マップサイズ	180"×180" →数万 AU × 数万 AU



CO検出天体数

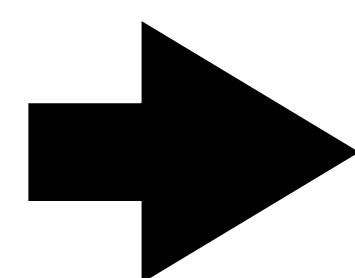
- 観測天体の選択方法

JCMTで観測した天体のうち、強いCO輝線を検出した天体をNROで観測

- CO検出天体数

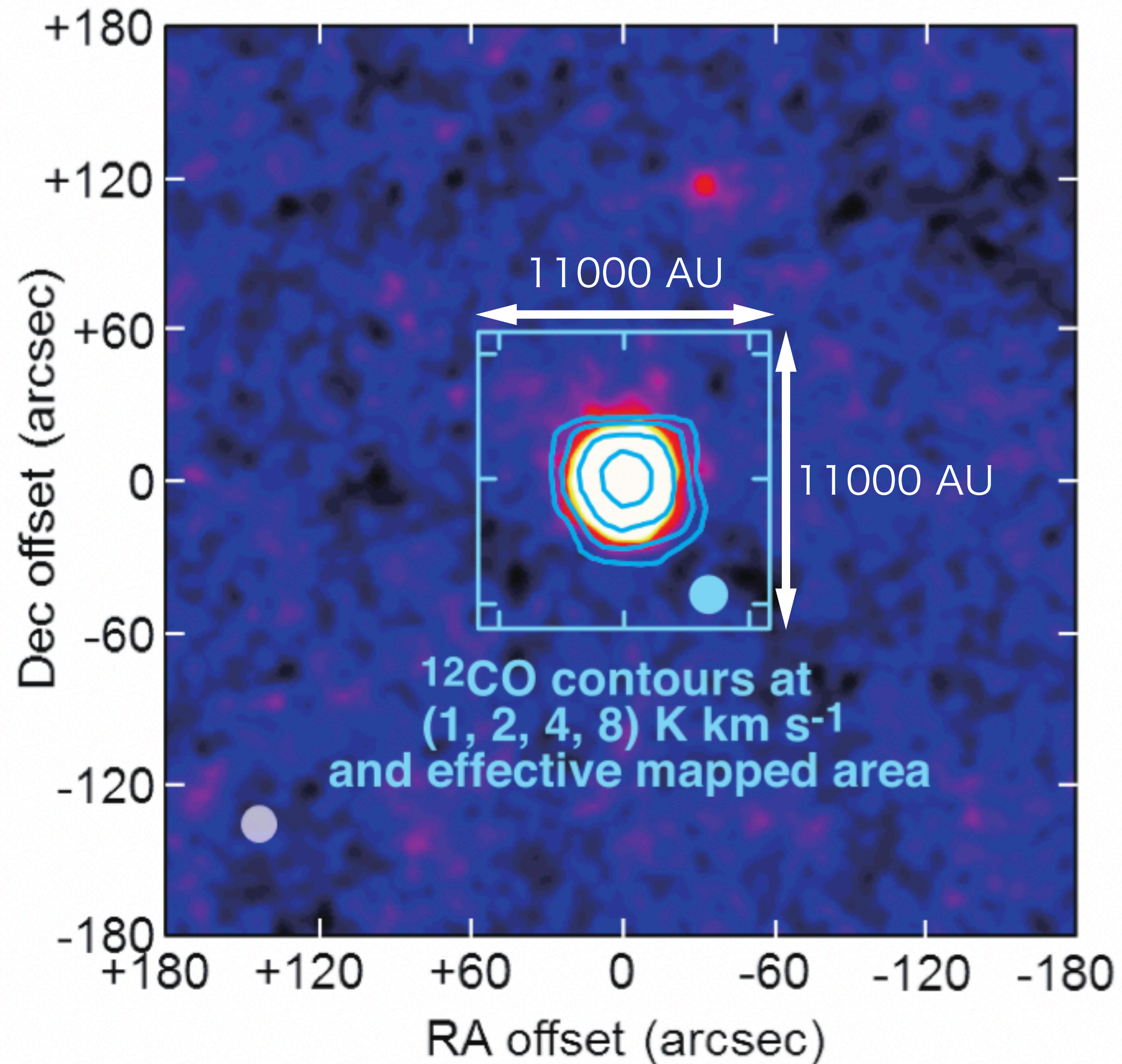
	観測天体数	¹² CO輝線 検出天体数	¹³ CO輝線 検出天体数
一点長時間 (On-On) 観測	158	85	25
マッピング (On-The-Fly) 観測	27	19	10

- CO検出率 [%]



	¹² CO	¹³ CO
一点長時間 (On-On) 観測	54	16
マッピング (On-The-Fly) 観測	70	37

On-The-Fly map

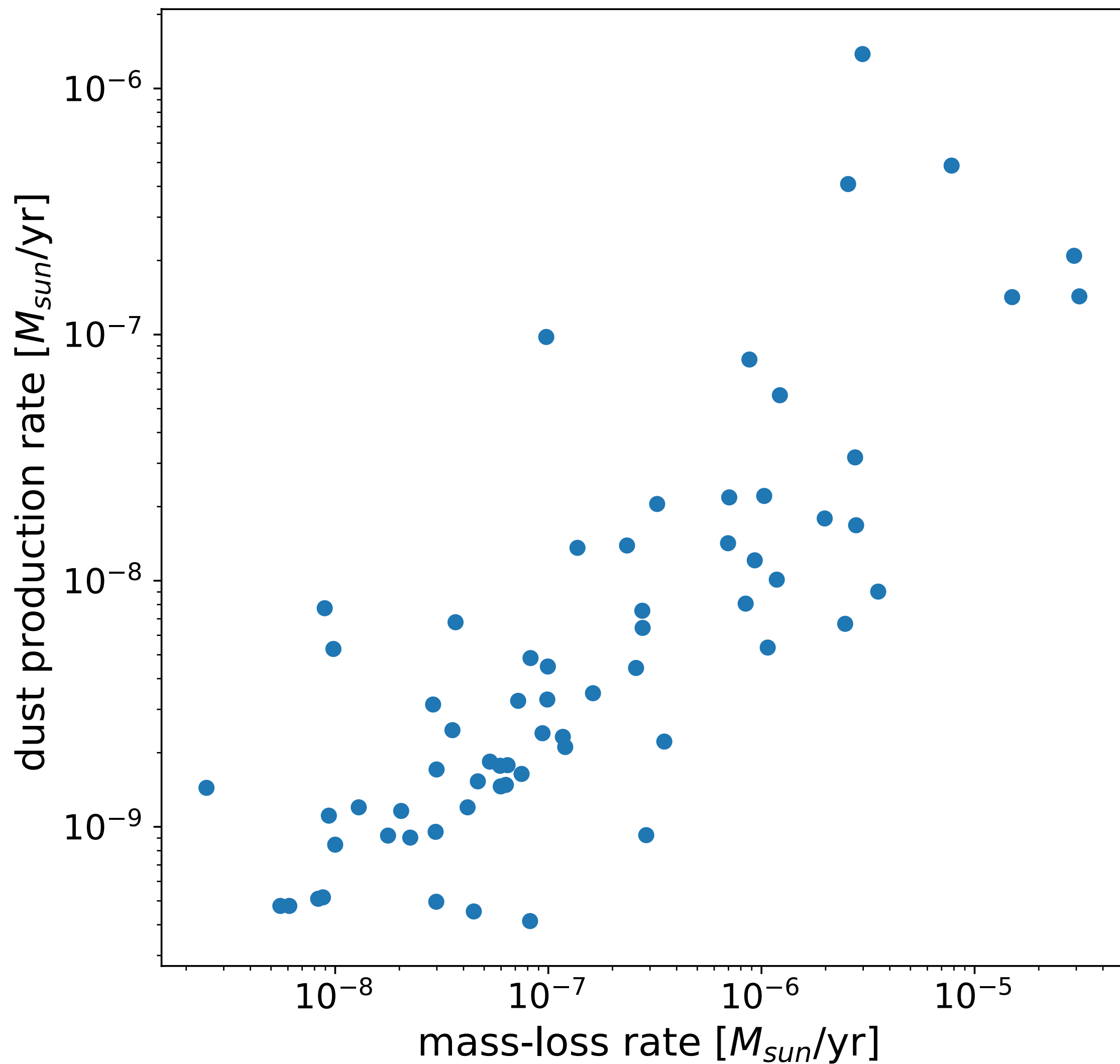


o Cet

- ^{12}CO ($J=1 \rightarrow 0$) 輝線 (等高線)
- $850\mu\text{m}$ ダスト連続波

ダスト連続波放射領域より、 ^{12}CO ($J=1 \rightarrow 0$)輝線放射領域の方が大きい。

質量放出率 vs ダスト生成率



$$\dot{M}_{gas} = 4.55 \times 10^{-19} \left(\frac{T_{mb}}{\log(1/0.04)} \right)^{\frac{5}{6}} \times f_{co}^{-1} V_{exp}^{11/6} (DB)^{5/3}$$

T_{mb} : 主ビーム温度 [K], V_{exp} : 膨張速度 [km/s], D : 距離 [pc],

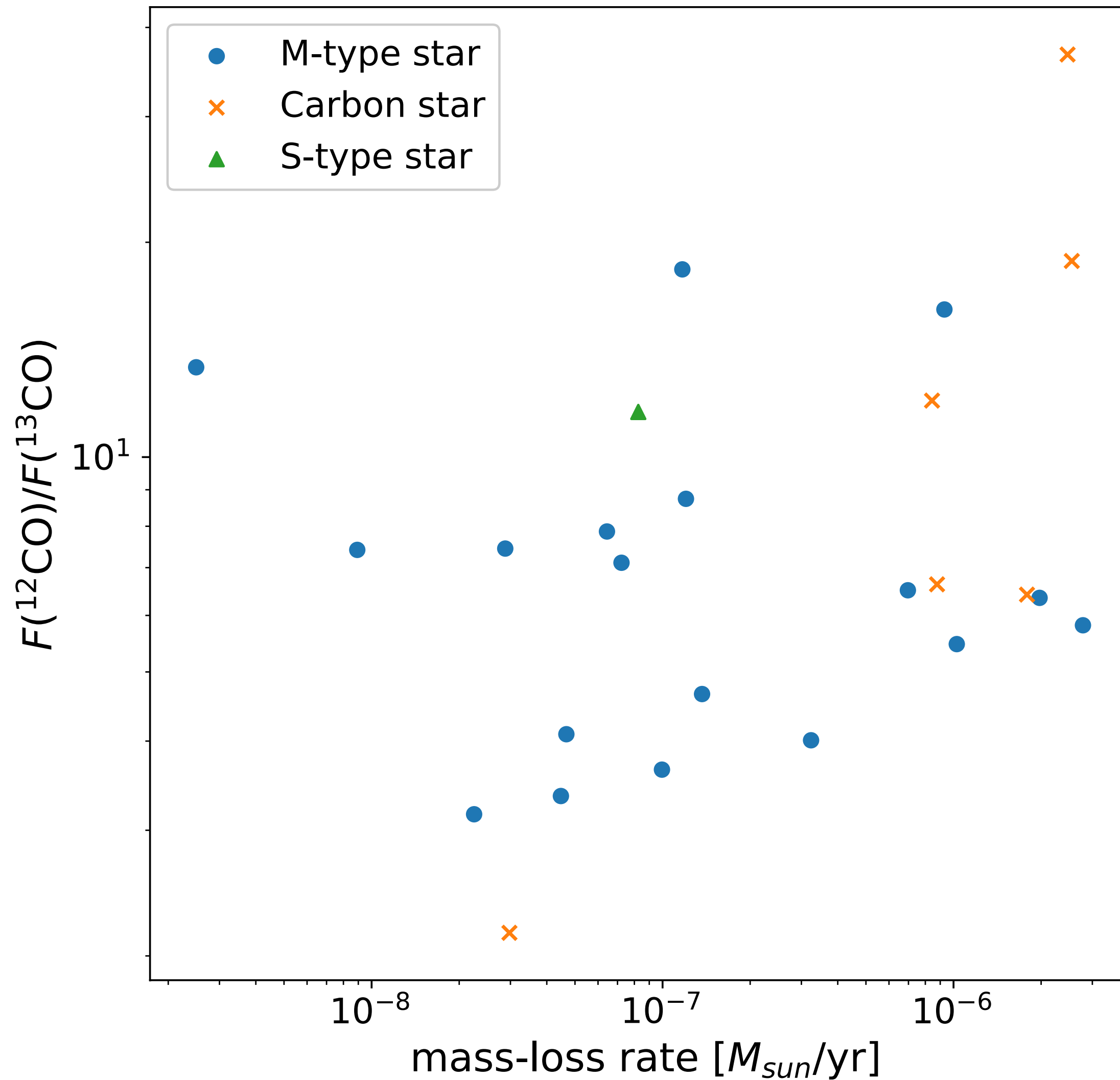
f_{co} : CO/H₂存在比, B : ビームサイズ ["]

(Knapp and Morris 1985; Olofsson et al. 1993; Groenewegen et al. 1999)

・ 正の相関

→ 質量放出率/ダスト生成率 ~ 50

質量放出率 vs $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 輝線強度比



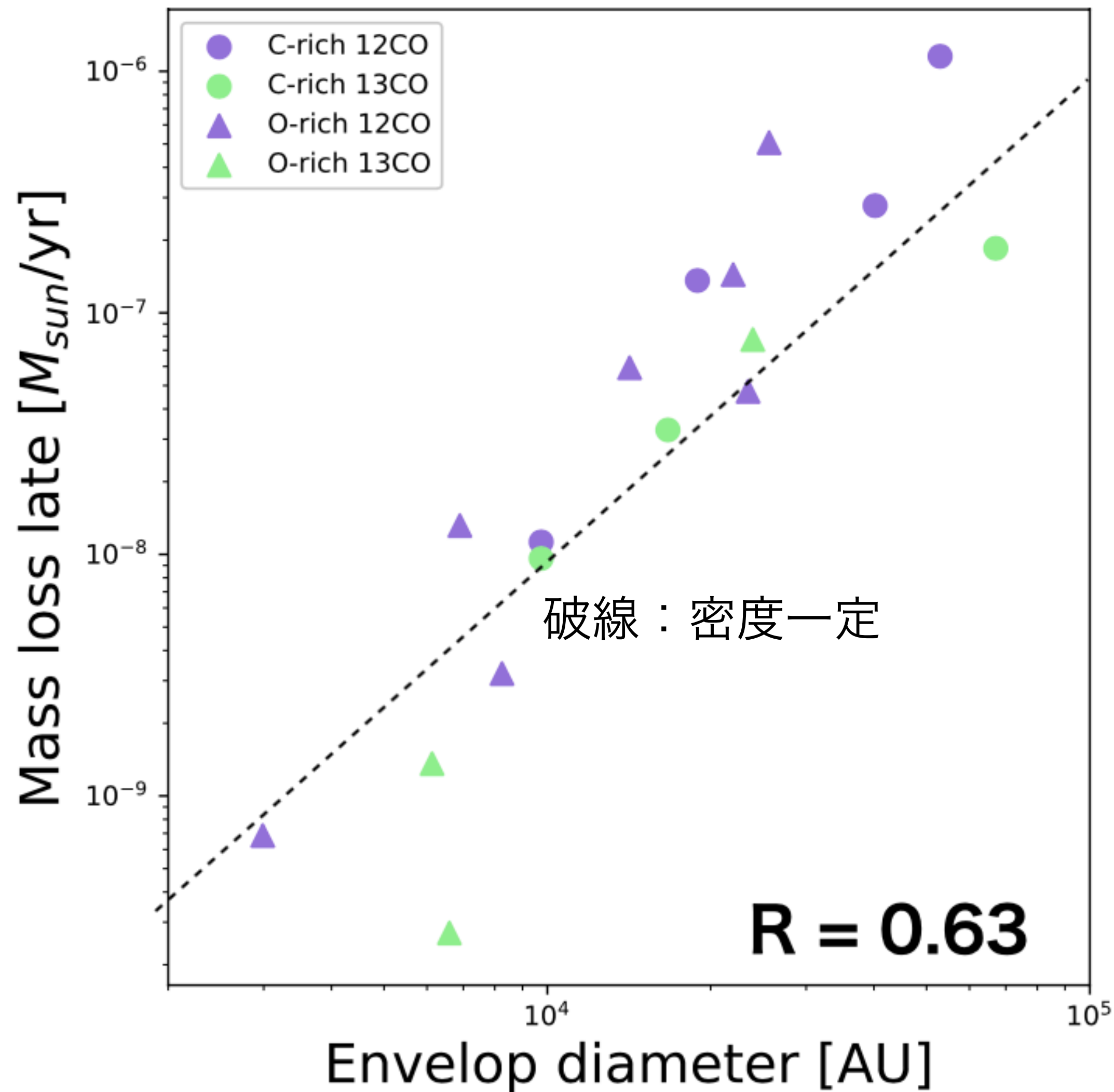
• 相関なし

• $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 輝線強度比

Carbon star: 2~37

M-type star: 3~18

質量放出率 vs 星周縁の直径

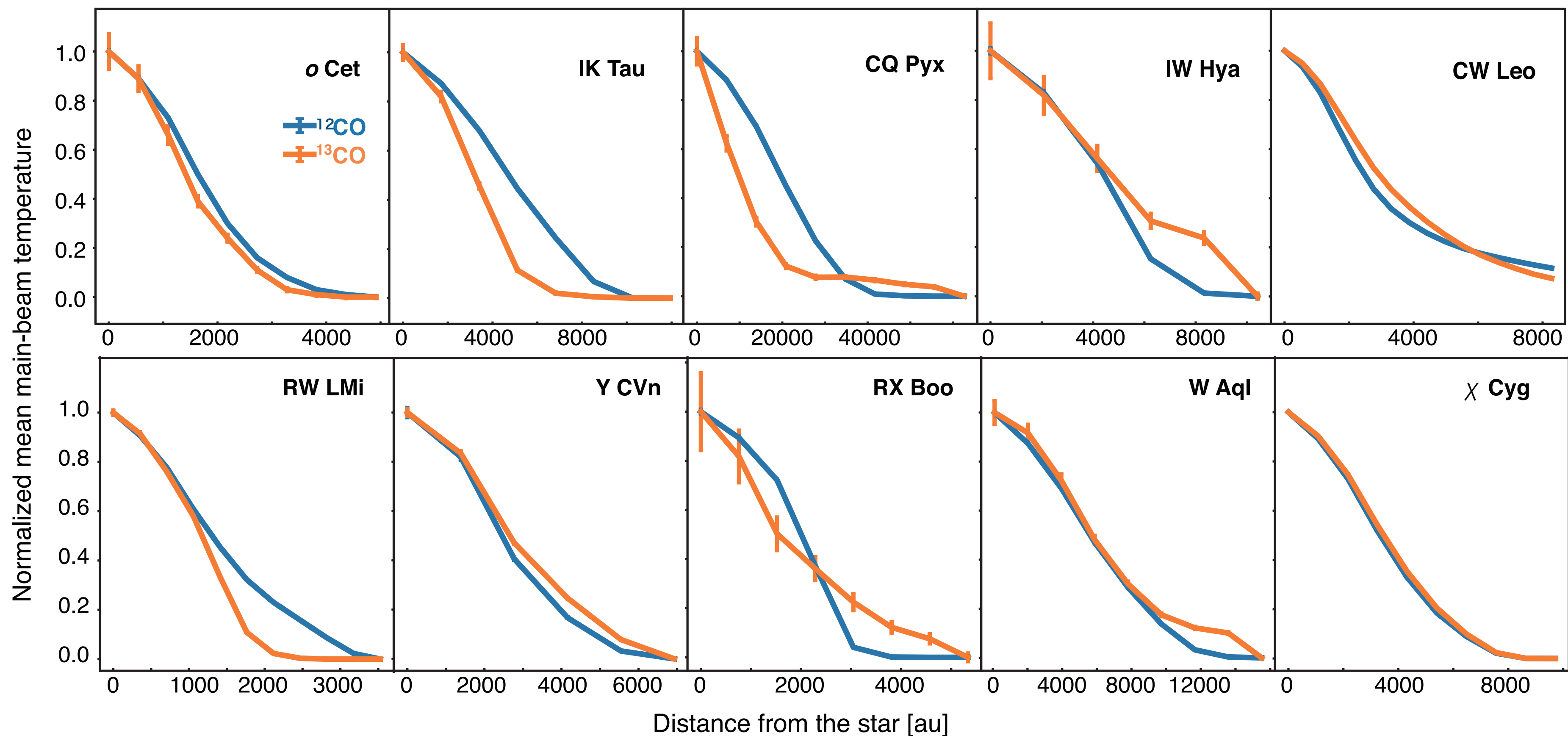


$$\dot{M} = 4\pi r^2 \rho v$$

- C-rich starとO-rich starともに、同じ直線にのっている。
 - CSE外縁部のガス密度は、C-rich starとO-rich starでほぼ同じ。
 - 星間紫外線による光解離の影響は、C-rich starとO-rich starとで違いはない。

規格化したradial profile

- 10天体中7天体について、 $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 輝線強度比が動系方向に沿ってほぼ一定
→これらの天体に関しては、直近の1000-3000年に放出されたガスの中に、熱パルスによる $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 輝線強度比の劇的な変化の痕跡は見られず。
→光学的厚みを考慮していない。



光学的厚みの推定

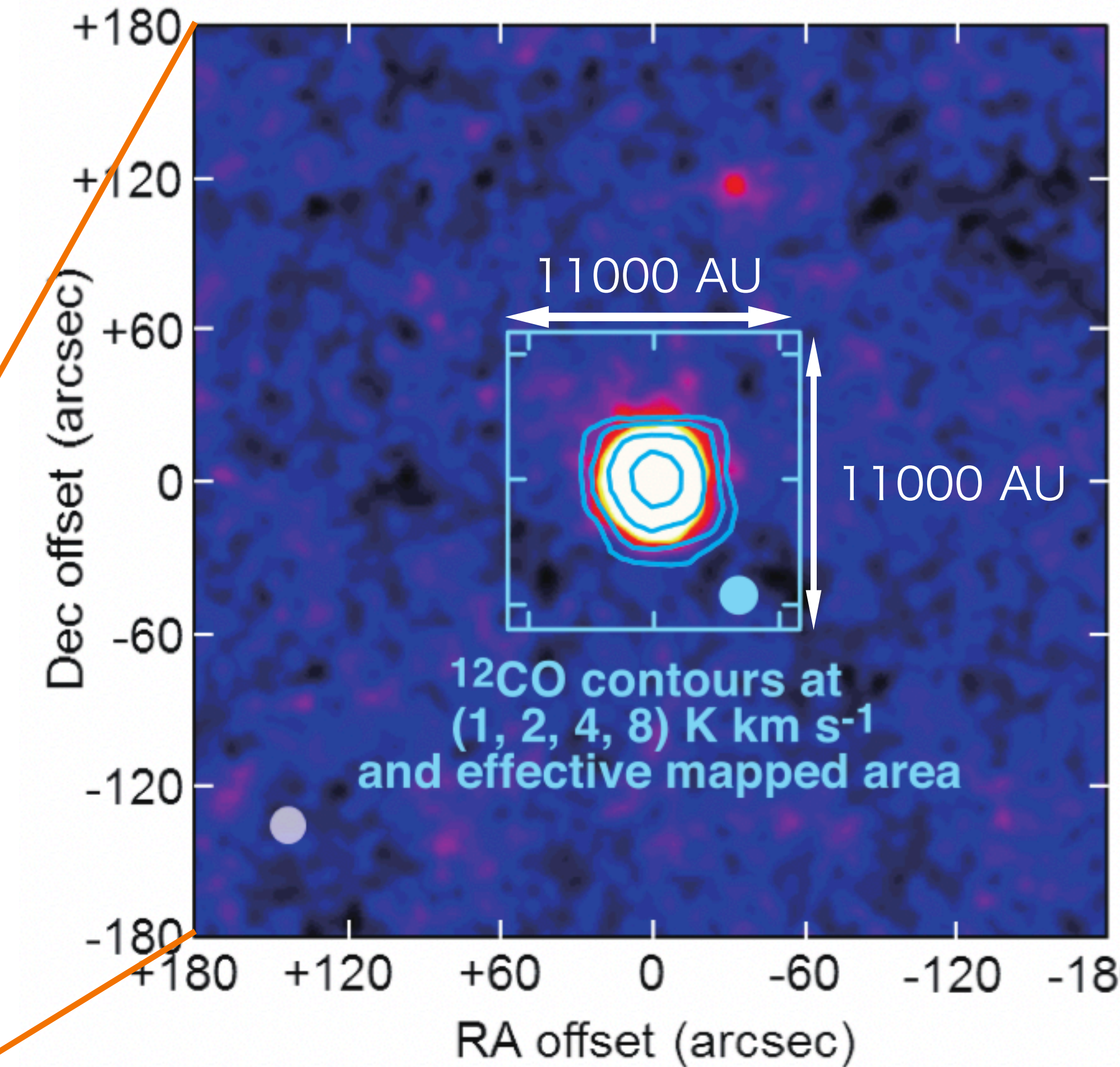
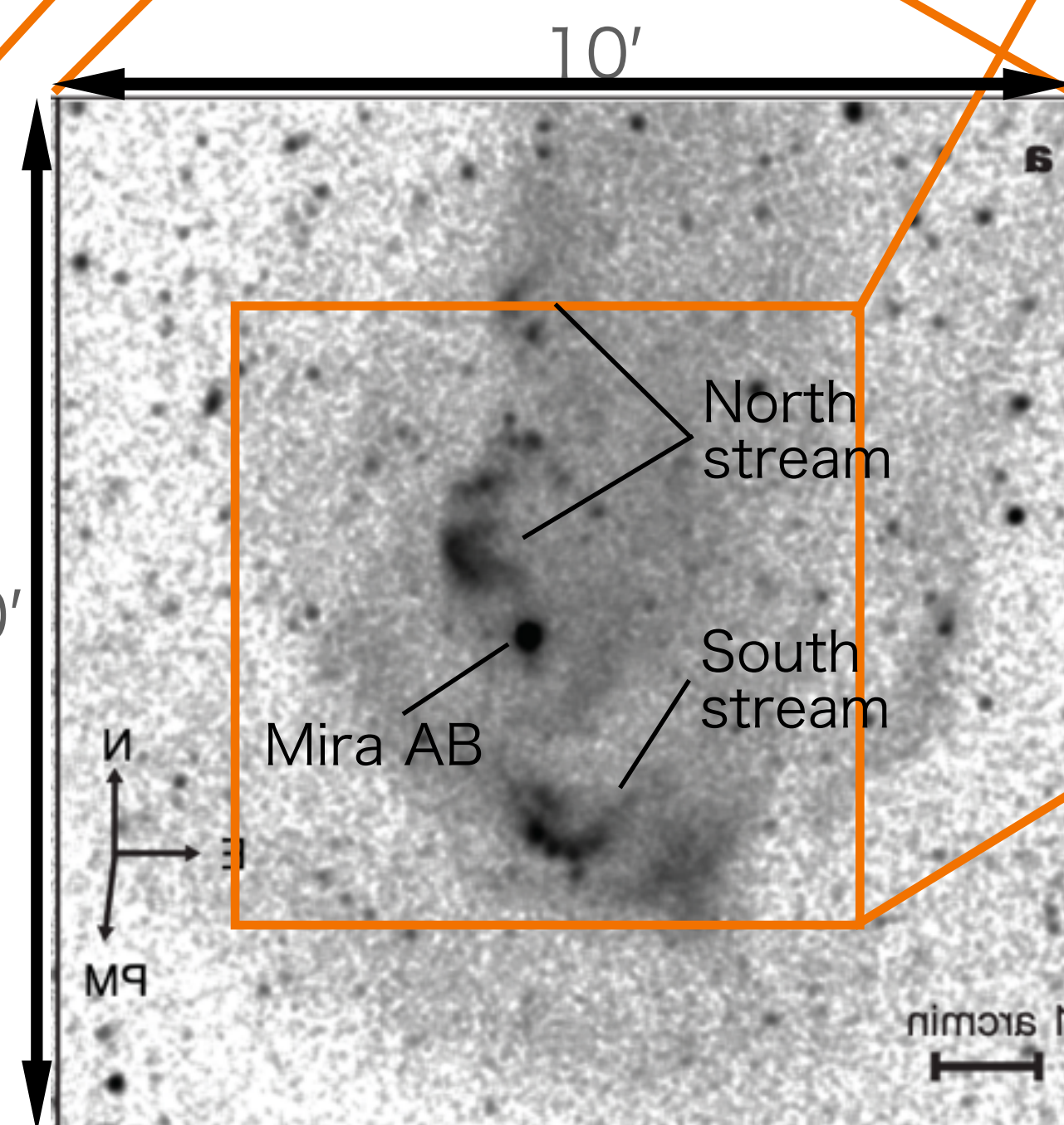
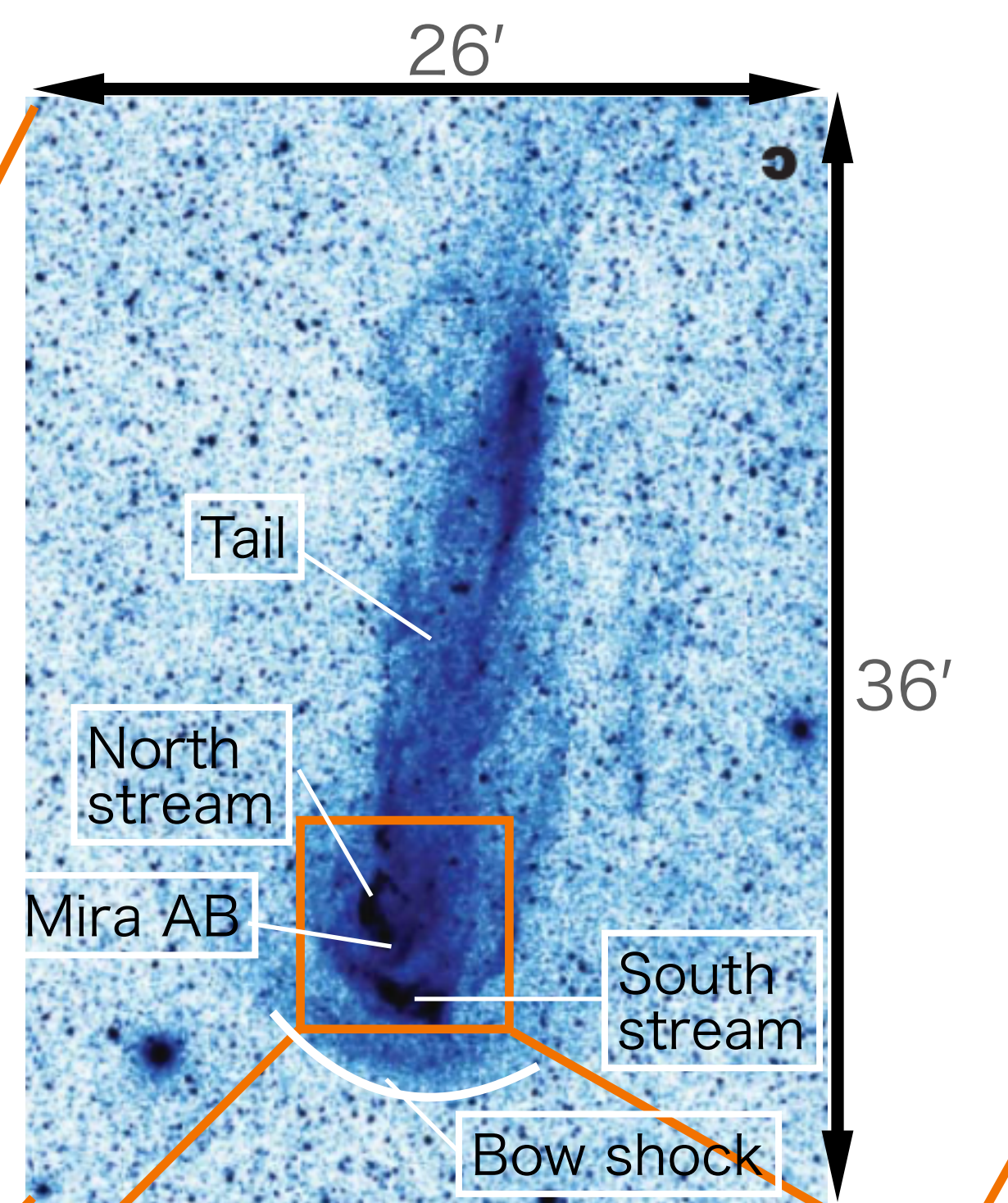
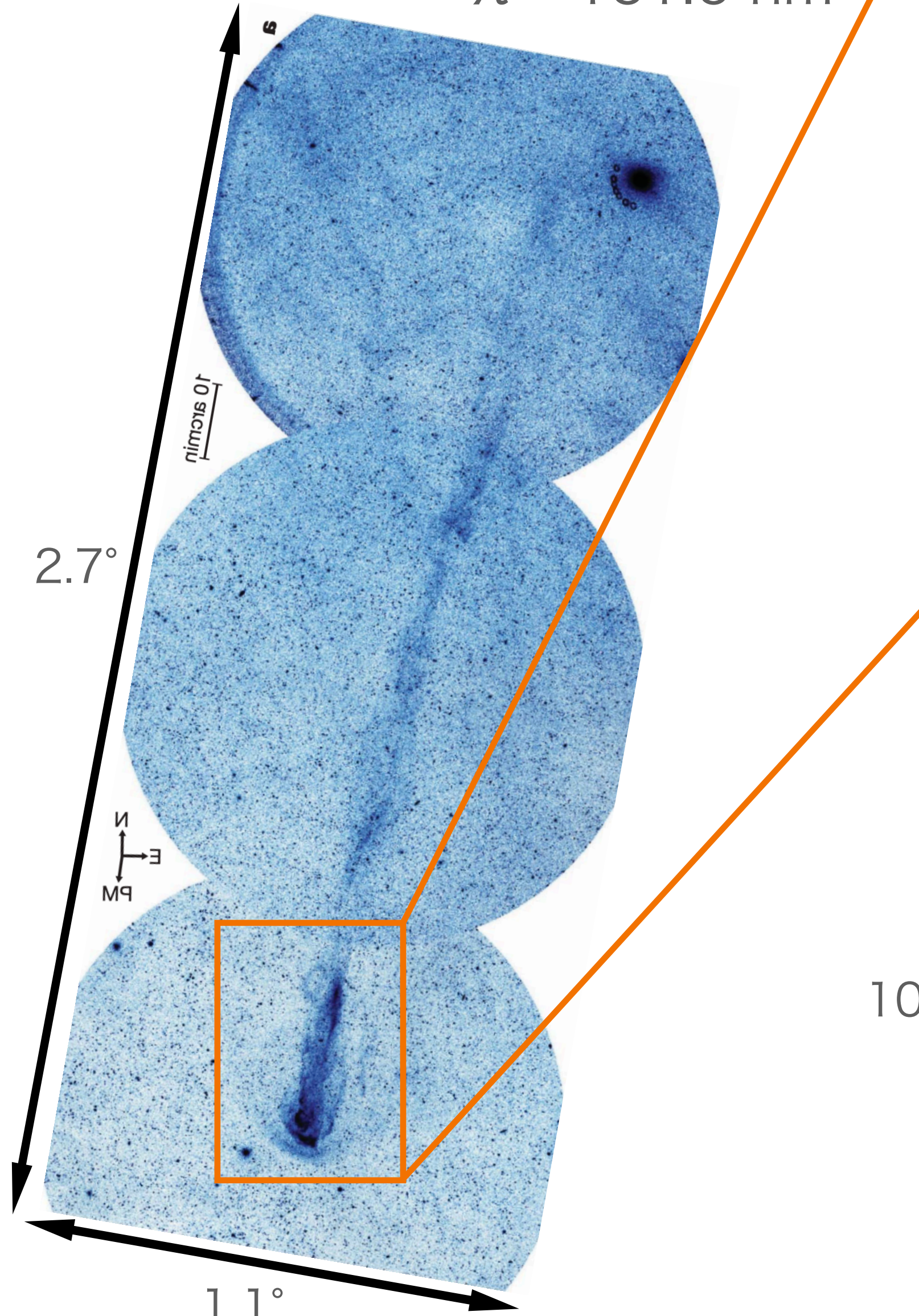
Source	\dot{M} [M_{sun}/yr]	τ (^{12}CO)
M-type star		
o Cet	6.6E-09	0.01
IK Tau	1.6E-06	0.24
RX Boo	6.6E-08	0.04
S star		
χ Cyg	5.6E-07	0.16
W Aql	7.8E-06	0.54
Carbon star		
CW Leo	3.0E-05	12.15
RW LMi	7.5E-05	1.66
Y CVn	5.3E-08	0.01
CQ Pyx	4.9E-06	0.37

・COマップに基づいて、RADEXを用いて視線方向に沿って輻射輸送を解いていくことにより、マップの数値シミュレーションを行った。

- ・ M-type star, S star:
 - CSEの中心のさえ光学的に薄い
 - ^{12}CO の自己遮蔽効果は小さい
 - CSE外縁部において、 ^{12}CO と ^{13}CO は等しく光解離している
- ・ Carbon star:
 - 光学的厚みは大きくばらついた
 - ^{12}CO の自己遮蔽効果は天体によって大きく異なる

o Cet

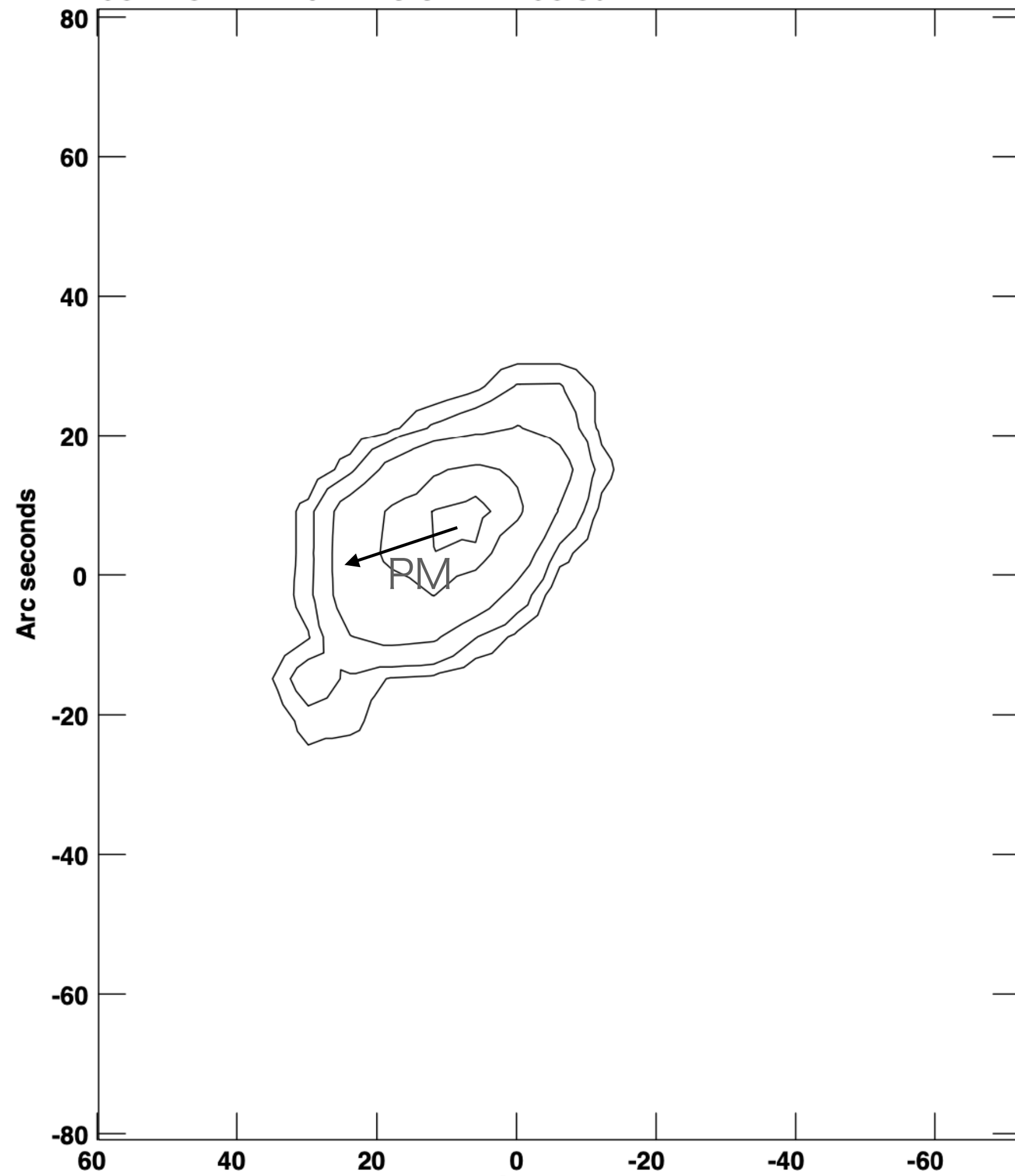
$\lambda = 151.6 \text{ nm}$



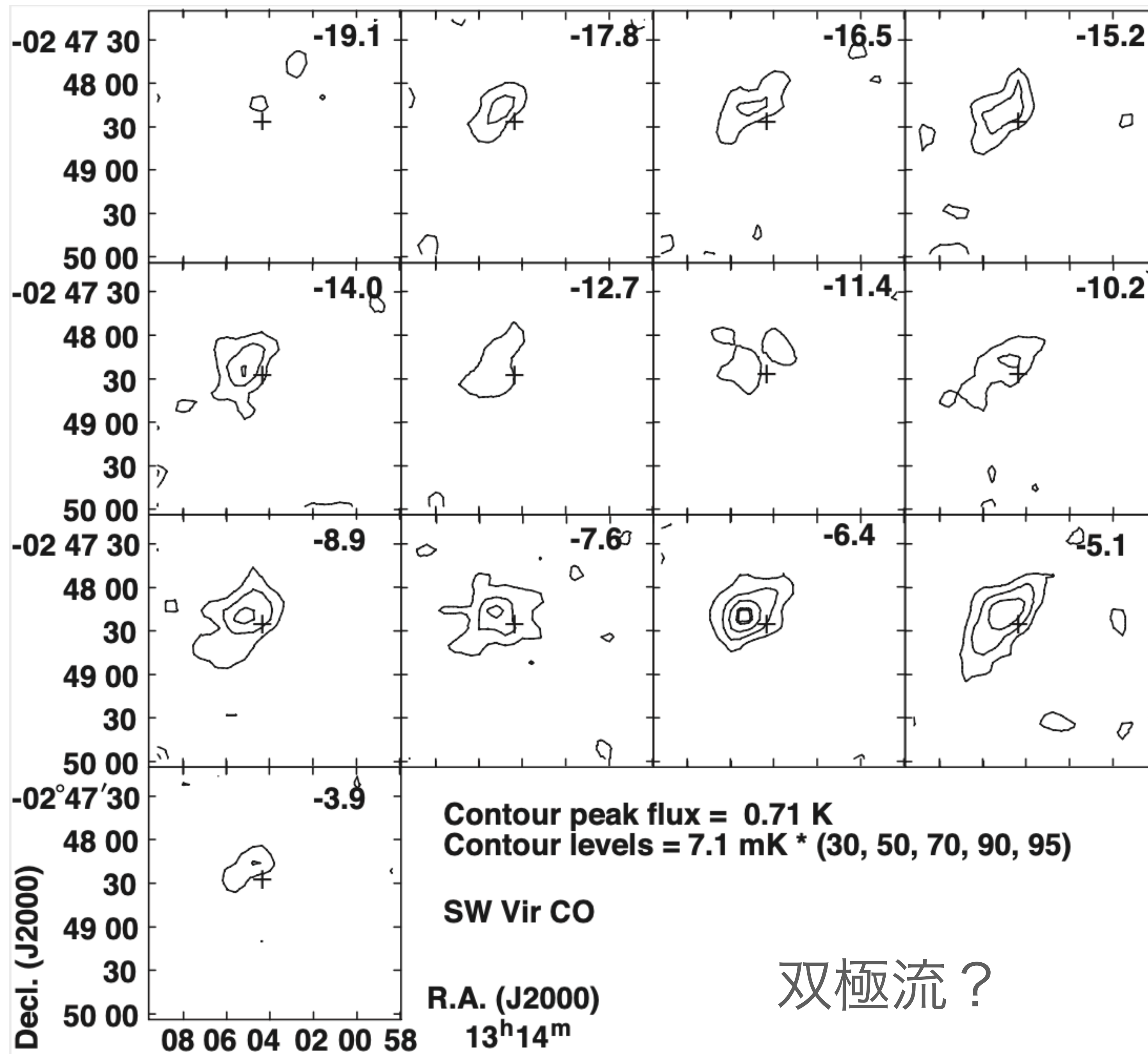
(D. Christopher Martin et al. 2007)

SW Vir (^{12}CO)

PLot file version 1 created 02-NOV-2020 05:17:56
 CONT: SW-Vir -19.1 km/s sw-vir 12CO.SUMIM.1



Center at RA 13 14 04.405 DEC -02 48 25.12
 Cont peak flux = 4.6185E+00 K
 Levs = 4.618E-02 * (10, 20, 40, 80, 95)



双極流？

まとめ

- ダスト連続波放射領域より、 ^{12}CO ($J=1 \rightarrow 0$)輝線放射領域の方が大きい。
- 質量放出率とダスト生成率に正の相関 \rightarrow 質量放出率/ダスト生成率 ~ 50
- $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 輝線強度比
Carbon star: 2~37 M-type star: 3~18
- 星周縁外縁部における密度はCarbon starとM-type starでほぼ同じ
 \rightarrow 星間紫外線による影響に違いはない
- 10天体中7天体は $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 輝線強度比が動系方向に沿ってほぼ一定
 \rightarrow 光学的に薄い天体について、直近の1000-3000年の間に放出された物質に熱パルスによる $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 組成比の劇的な変化は見られなかった。
- M-type starとS starの光学的厚みは全ての天体で1以下
 \rightarrow ^{12}CO の自己遮蔽効果は小さく、CSE外縁部において ^{12}CO と ^{13}CO は等しく光解離している。
- 星周縁の形状が非対称な天体が2天体 (o Cet, SW Vir) 観測された。