

KaVAを用いた大規模星周メーザー 放射の継続的撮像観測

今井 裕（鹿児島大学）

KaVA Evolved Stars sub-Working Group

KaVA Large Program (2015~2024)で実行したいこと

星周メーザーを使った星周ガス縁運動の視覚化

- ・ 膨張・収縮・対流・回転・ 加速運動

- ・ 実体運動と見かけ運動の分別

見たいもの

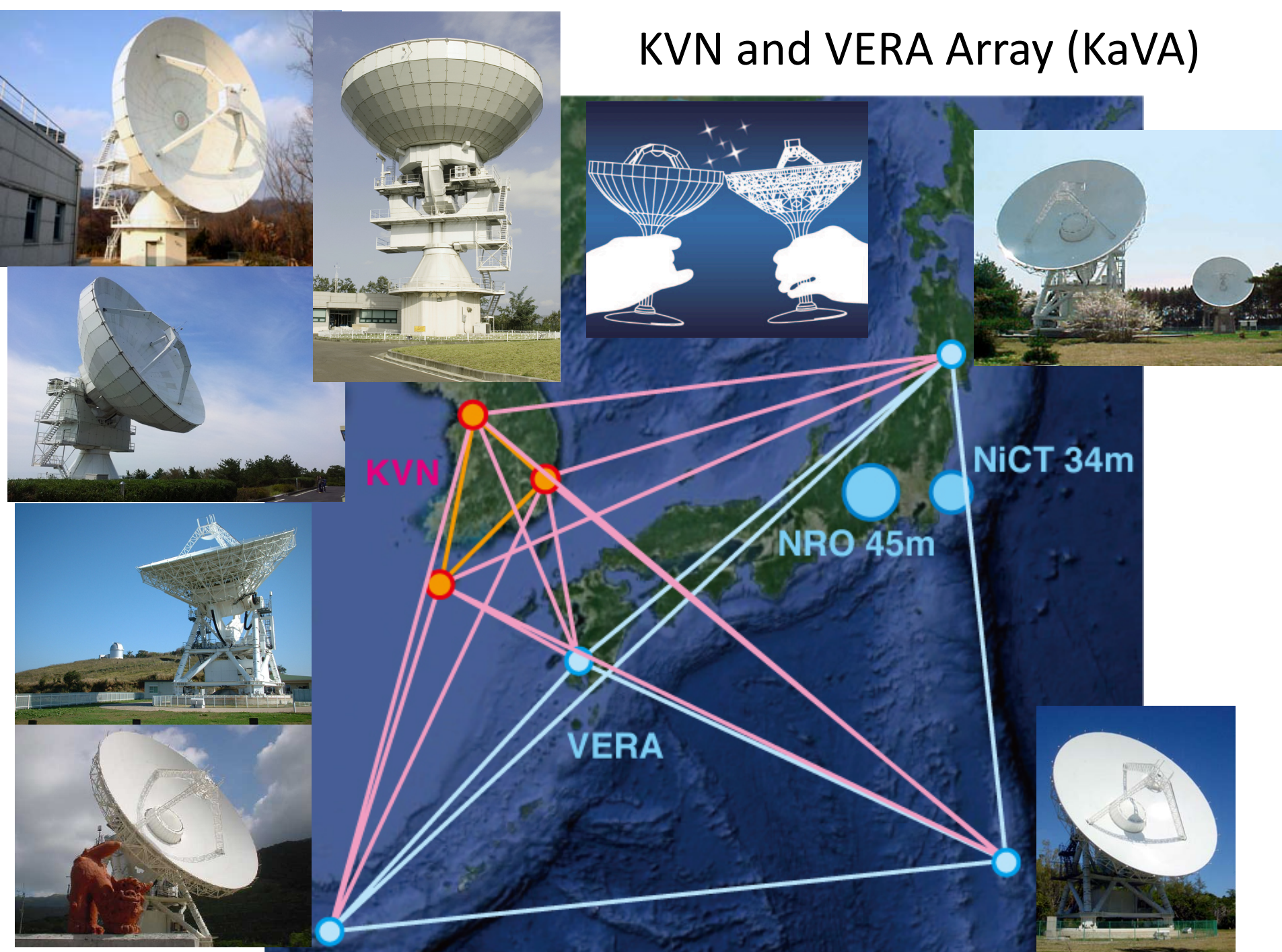
- ・ 星内部対流によって浮き上がり巻き上げられるガス塊

- ・ ジェットや枝状放出 (spurs)

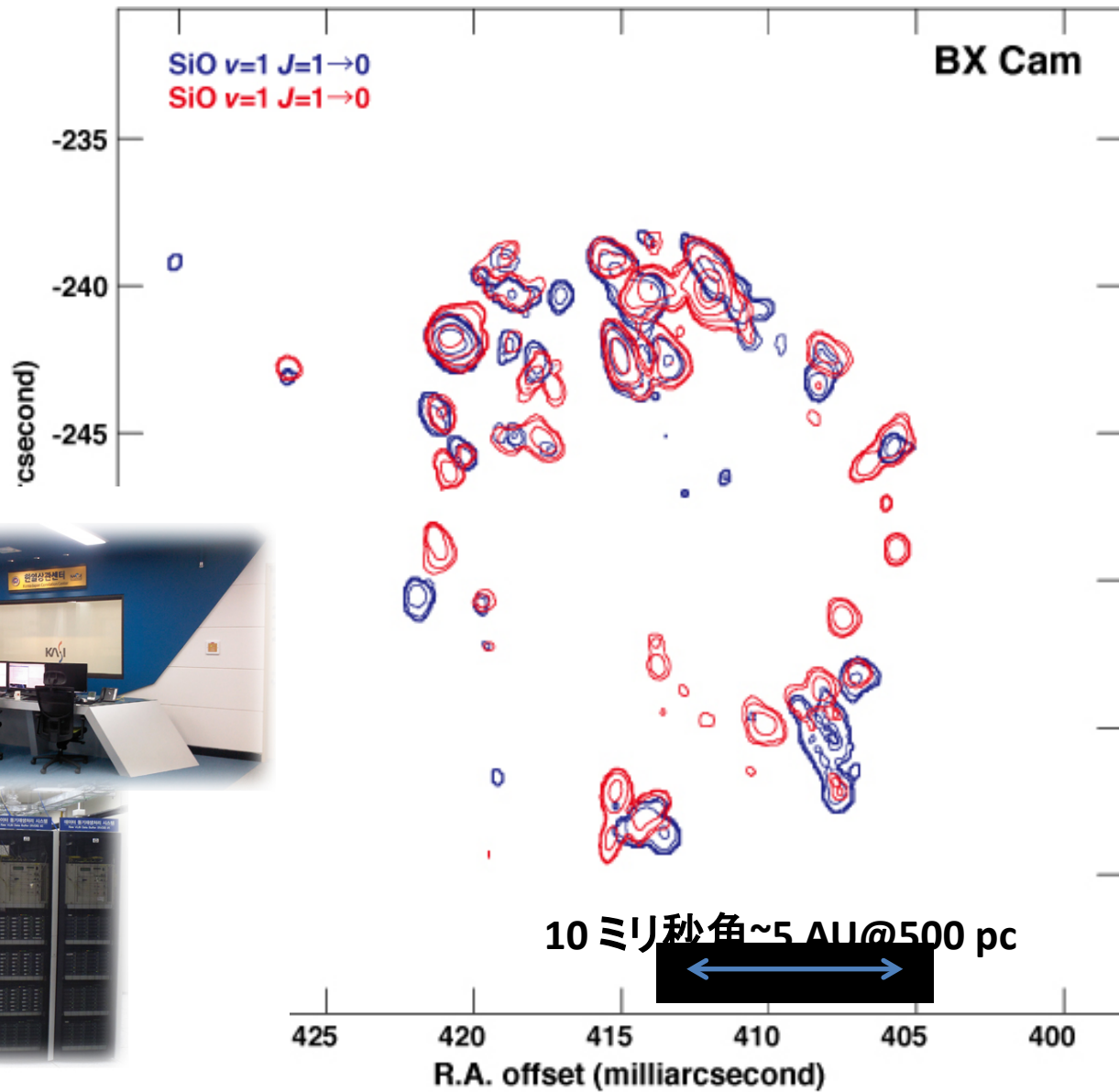
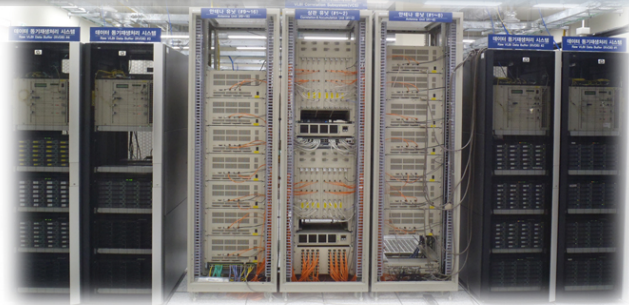
- ・ 脈動変光衝撃波の伝播

一般公開で見せられる電波動画を作る

KVN and VERA Array (KaVA)



星周SiOメーザー 放射のKaVA/大田 (韓国)相関器処理 データによる 初撮像(2014 Oct.)

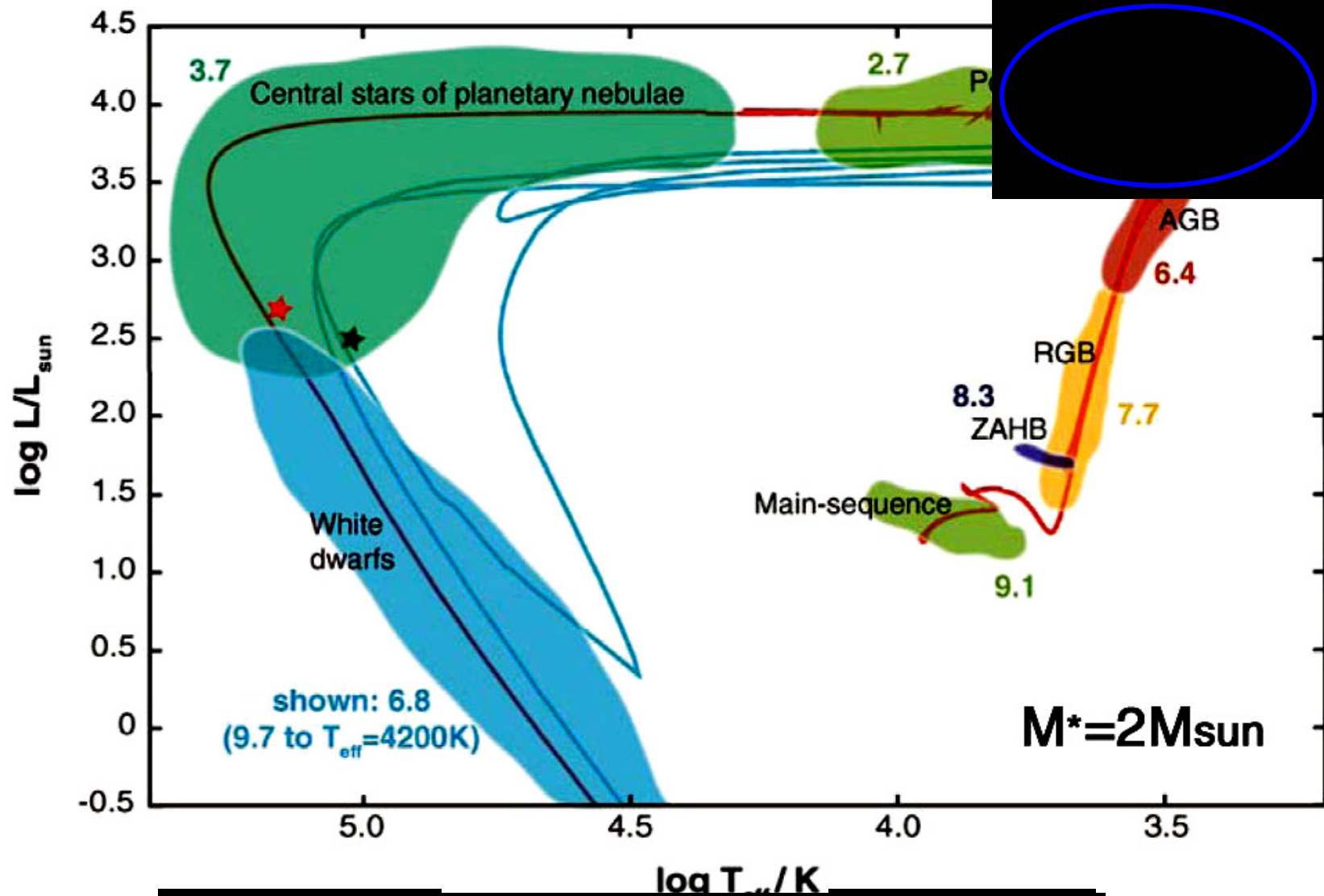


$v=1$ peak flux = 5.3678×10^1 JY channel / BEAM
Levs = $5.400 \times 10^{-1} * (1, 2.600, 6.600, 16.80, 43, 69)$

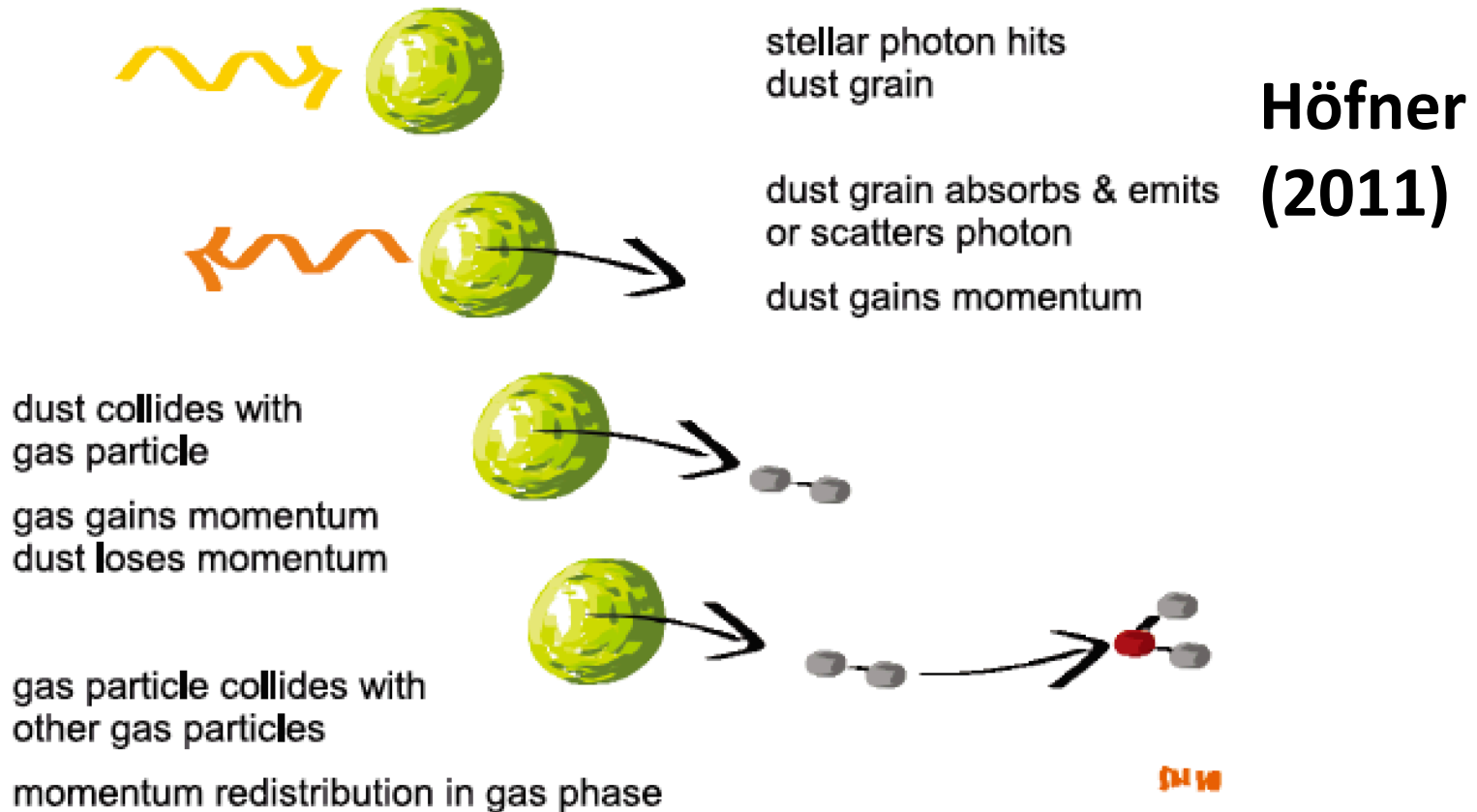
$v=2$ peak flux = 8.7355×10^1 JY channel / BEAM
Levs = $8.800 \times 10^{-1} * (1, 2.600, 6.600, 16.80, 43, 69)$

HR図と星周メーザー源

(Harwig 2005)



意外と課題が残る恒星からの放出物質の加速の仕組み

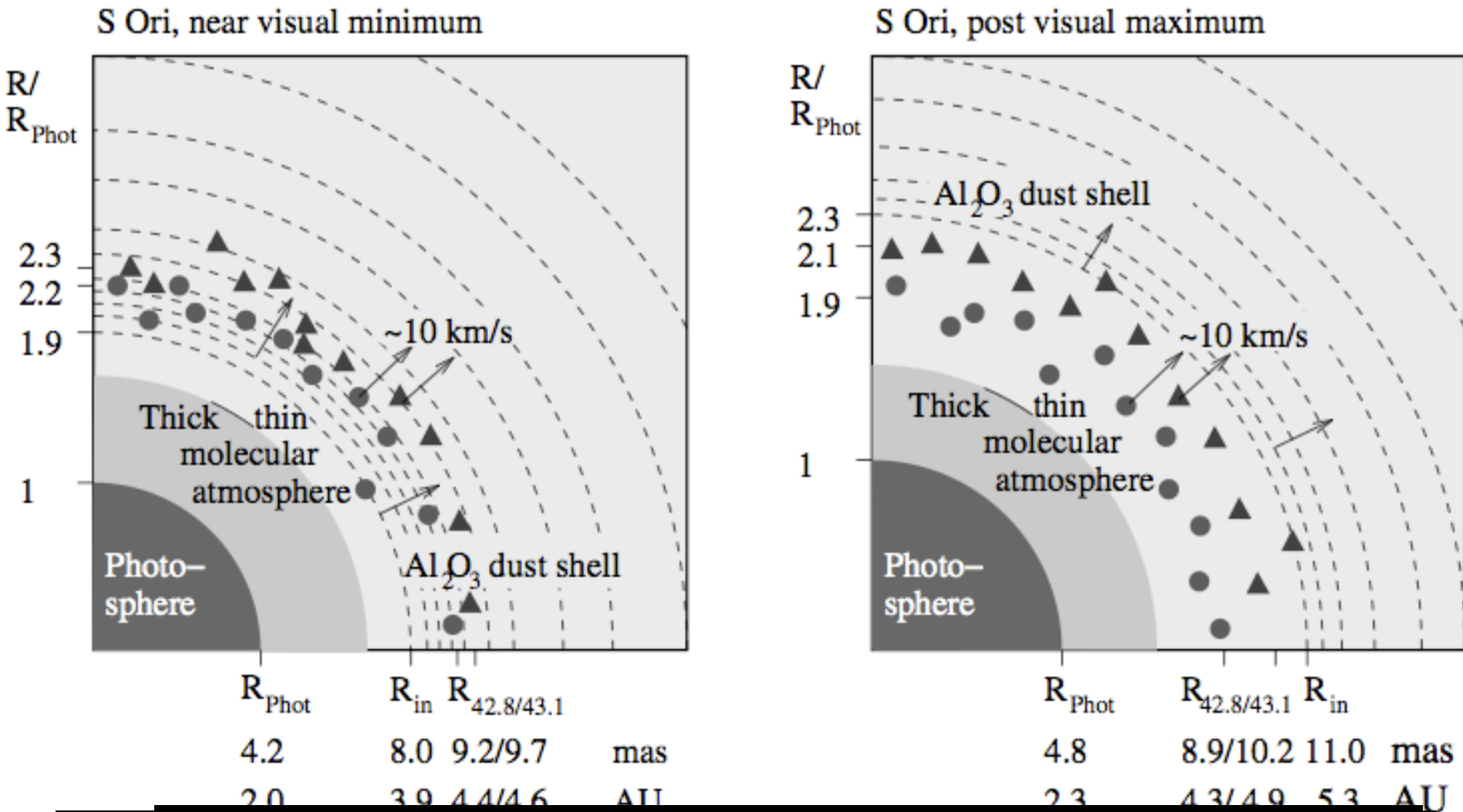


- 炭素系の「黒い」塵は放射圧で加速され易い
- 酸素系の「透明な」塵も意外と効率よく放射圧で加速されている
 - 大きな塵粒子による散乱の効果
 - どこで(星の近くでどうやって)そのような塵ができるの？

SiOとH₂Oのメーザーガス塊の動きを追跡していけば分かるはず

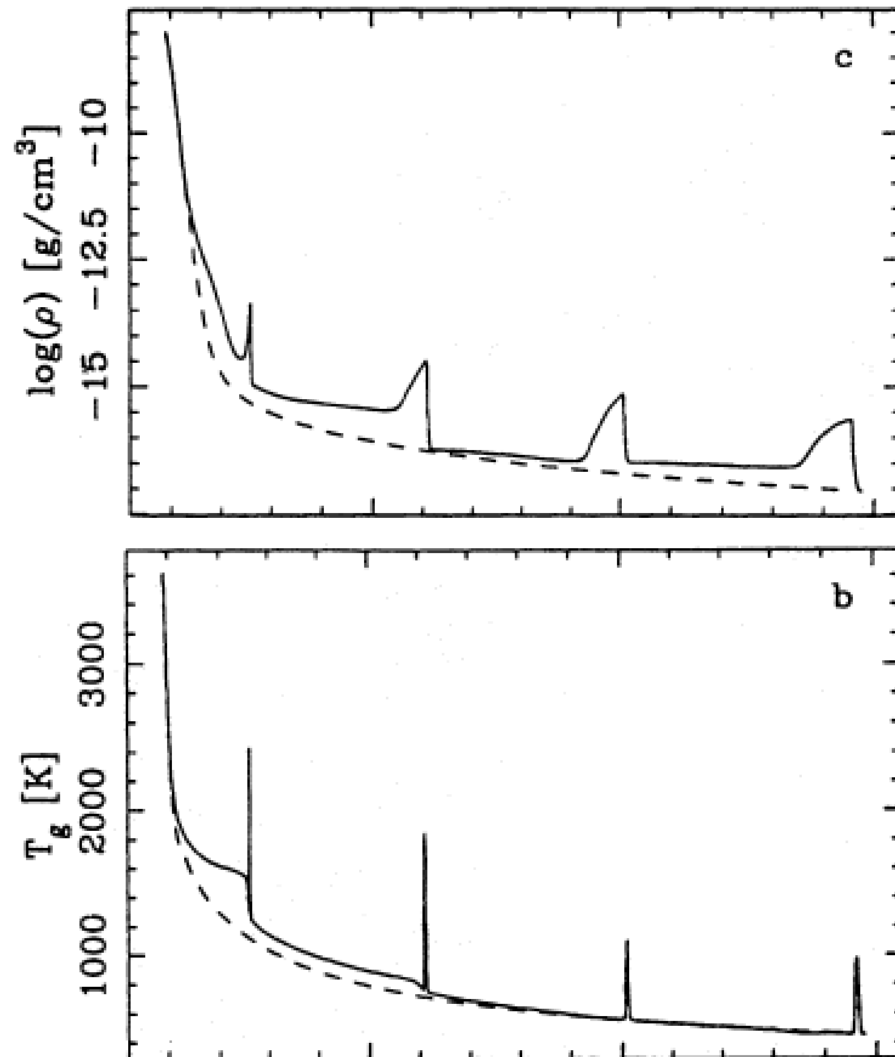
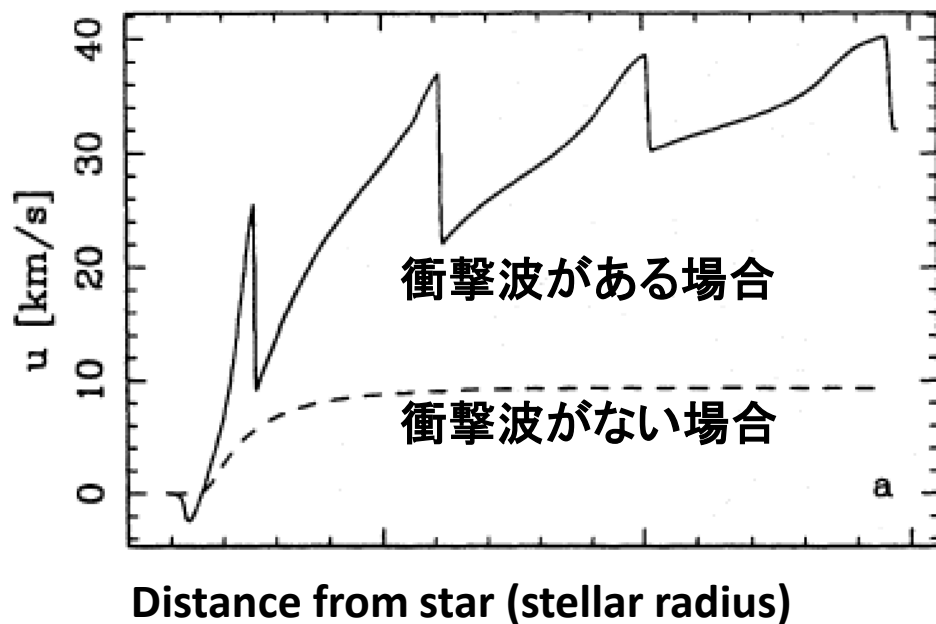
アルミナ塵層の周期的移動

Wittkowski et al. (2007)



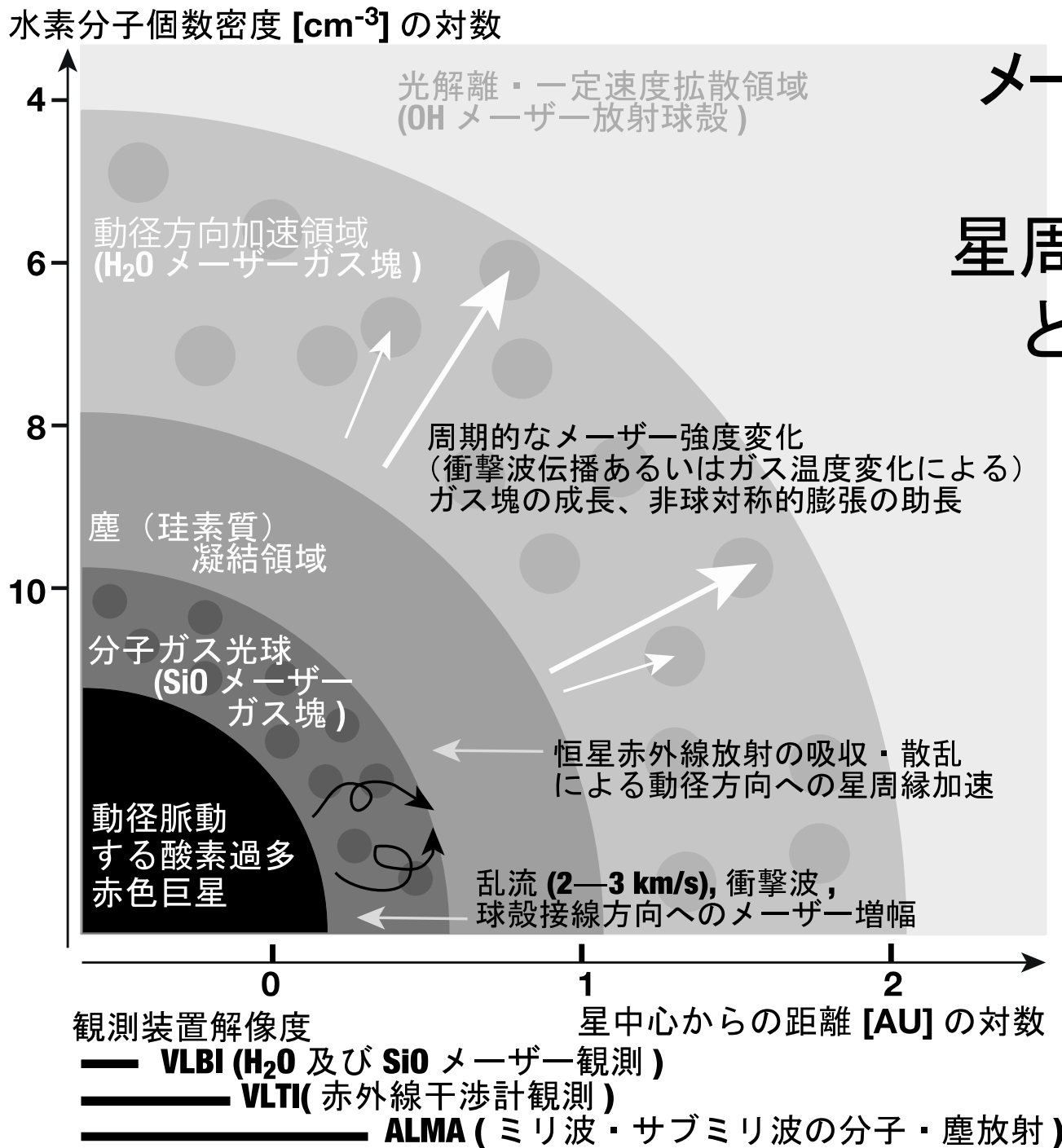
VLT/IR (近赤外線撮像)と同時に電波撮像追跡できれば
もっと面白い

H₂Oメーザー放射領域まで進む脈動変光衝撃波(?)



Shock waves in C-rich envelope Höfner et al. (1995)

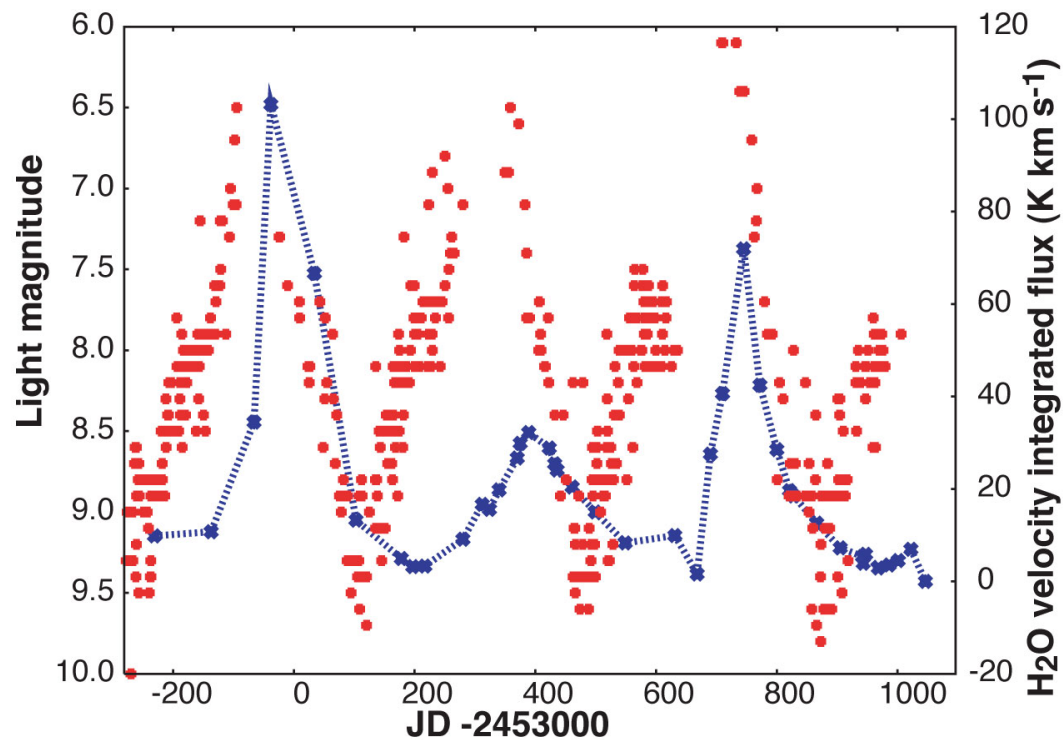
レーザー放射層と 基本的な 星周ガス縁の構造 との空間的關係



周期変動するメーザー放射

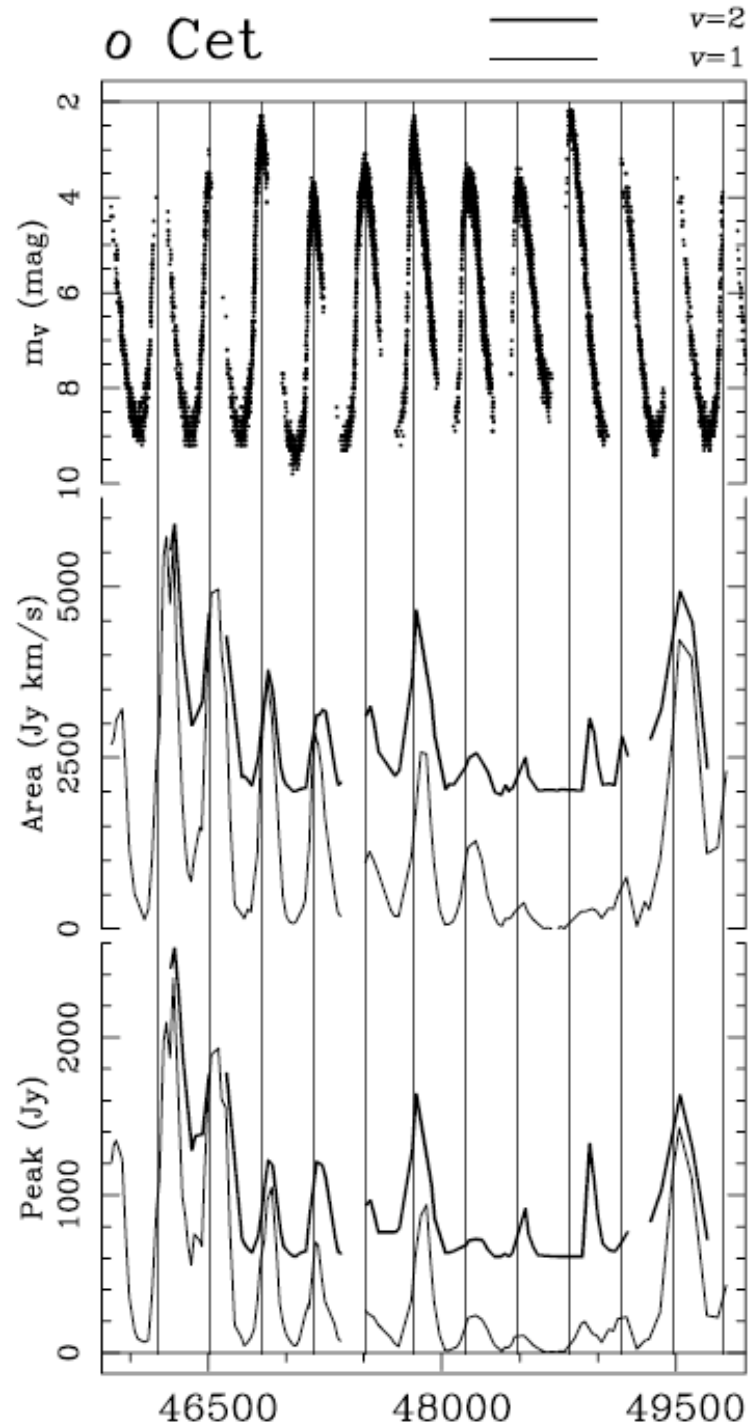
放射励起 or 衝突励起?

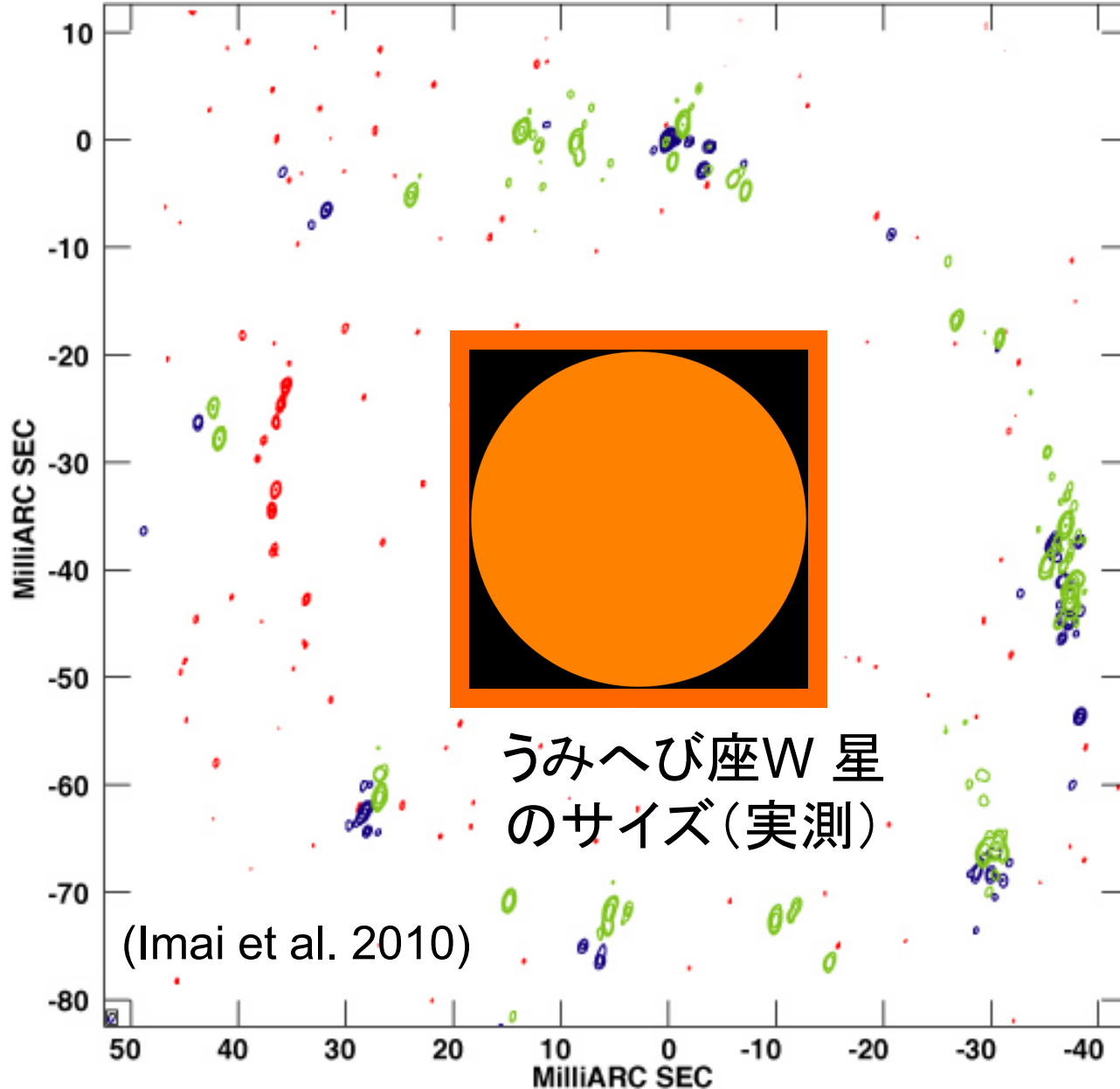
強度変動だけ追跡しても
変動の仕組みは理解できない



H₂O masers (Shintani et al. 2008)

SiO masers (Pardo et al. 2004)





$v=3$ SiOメーザー
分布の特異性

特異性の変光
周期依存性？

(Oyadomari et al. in prep.)

うみへび座W 星
のサイズ(実測)

(Imai et al. 2010)

マップの
重ね合わせ
精度 ~ 2 mas

SiO $v=1$, $J=1-0$: 0.43, 1.30, 3.91, 11.72, 35.15, 52.73 Jy beam $^{-1}$ km s $^{-1}$

SiO $v=2$, $J=1-0$: 0.44, 1.31, 3.94, 11.83, 35.47, 53.21 Jy beam $^{-1}$ km s $^{-1}$

SiO $v=3$, $J=1-0$: 0.02, 0.04, 0.08, 0.16 Jy beam $^{-1}$ km s $^{-1}$

line overlapping between SiO and H₂O molecules

星周縁塵からのH₂O
中間赤外線放射に
よって振動励起状態
SiO 分子が同時に
励起されている可能性



変光位相に伴って
メーザー放射領域の
が変化している

$$T_{\text{envelope}} = T_* \left(\frac{R}{R_*} \right)^{-2/5}$$

$$T_* \approx 3000 \text{ K}, R_* \approx 1-10 \text{ AU}$$

基底状態からのエネルギー準位
(温度 K 換算)

6000

5000

4000

3000

1000

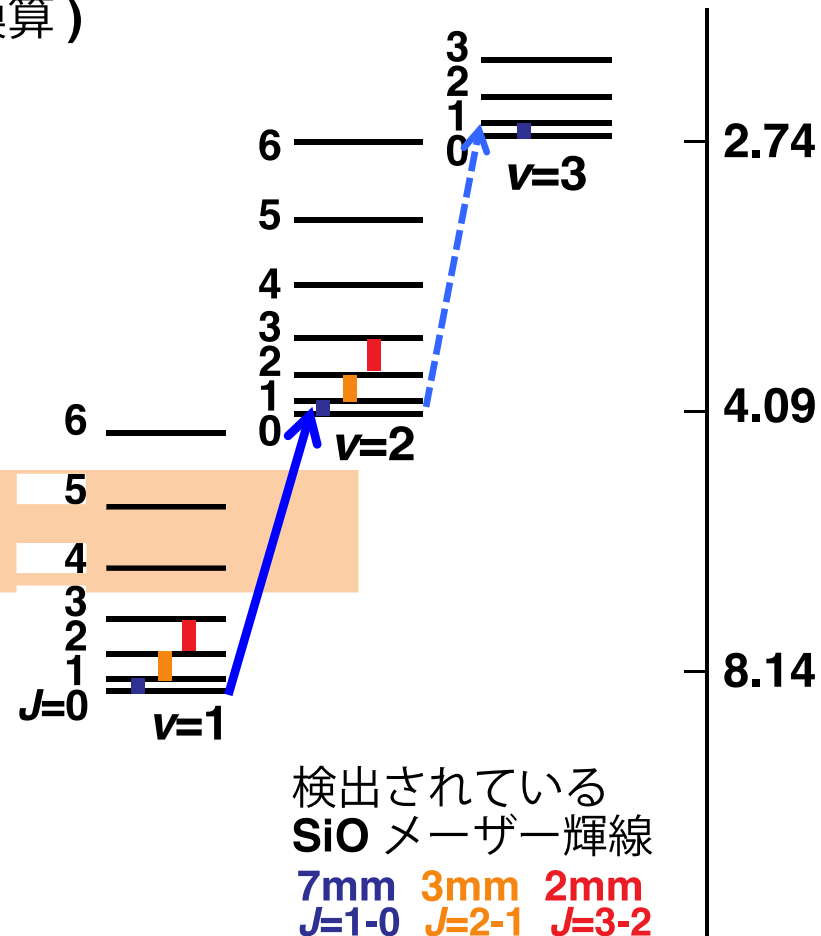
0

λ (μm)

2.74

4.09

8.14



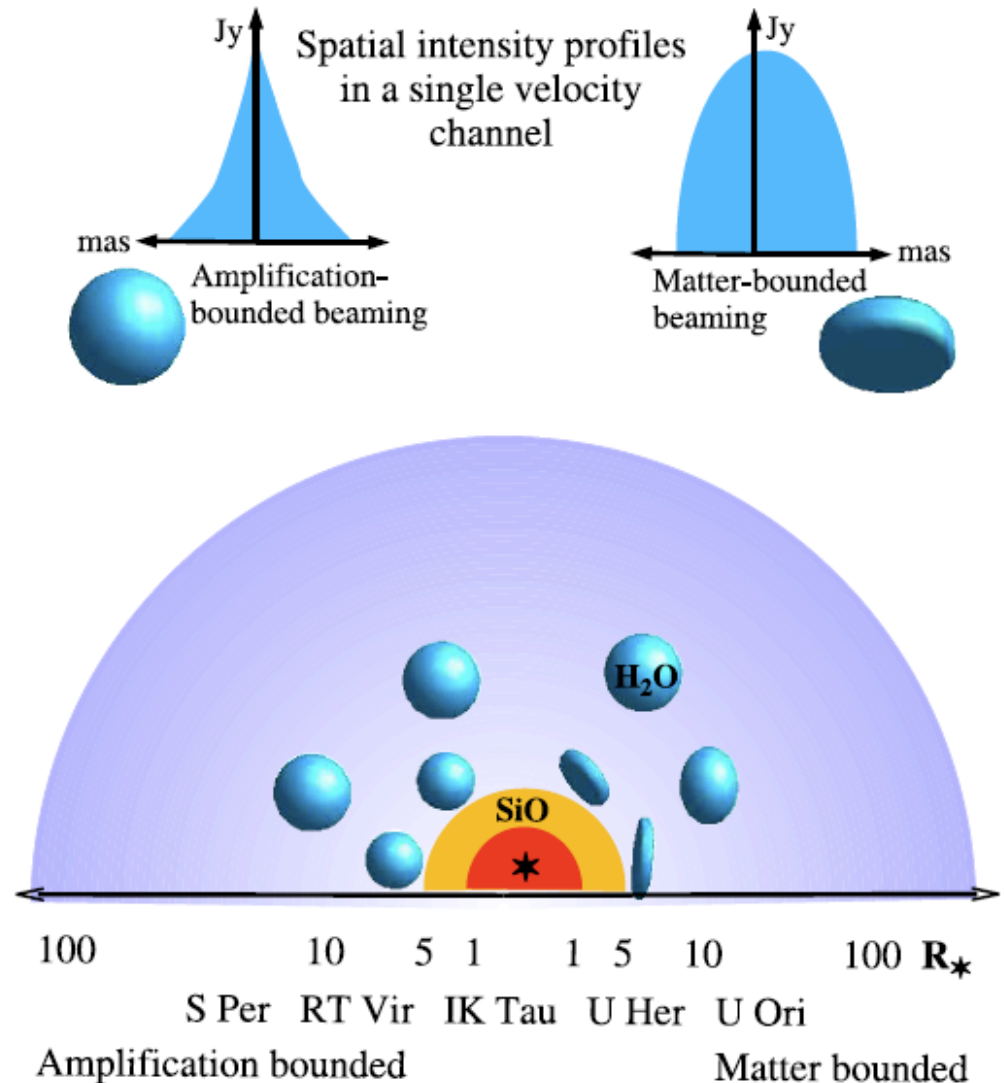
星周ガス縁の構造と個々のメーザー スポットの形状との関連

メーザービーム角
~見かけサイズ/同じガス塊
中のスポット(視線速度成分)
群分布サイズ

↓
星周ガス縁中の構造に
よって決まる

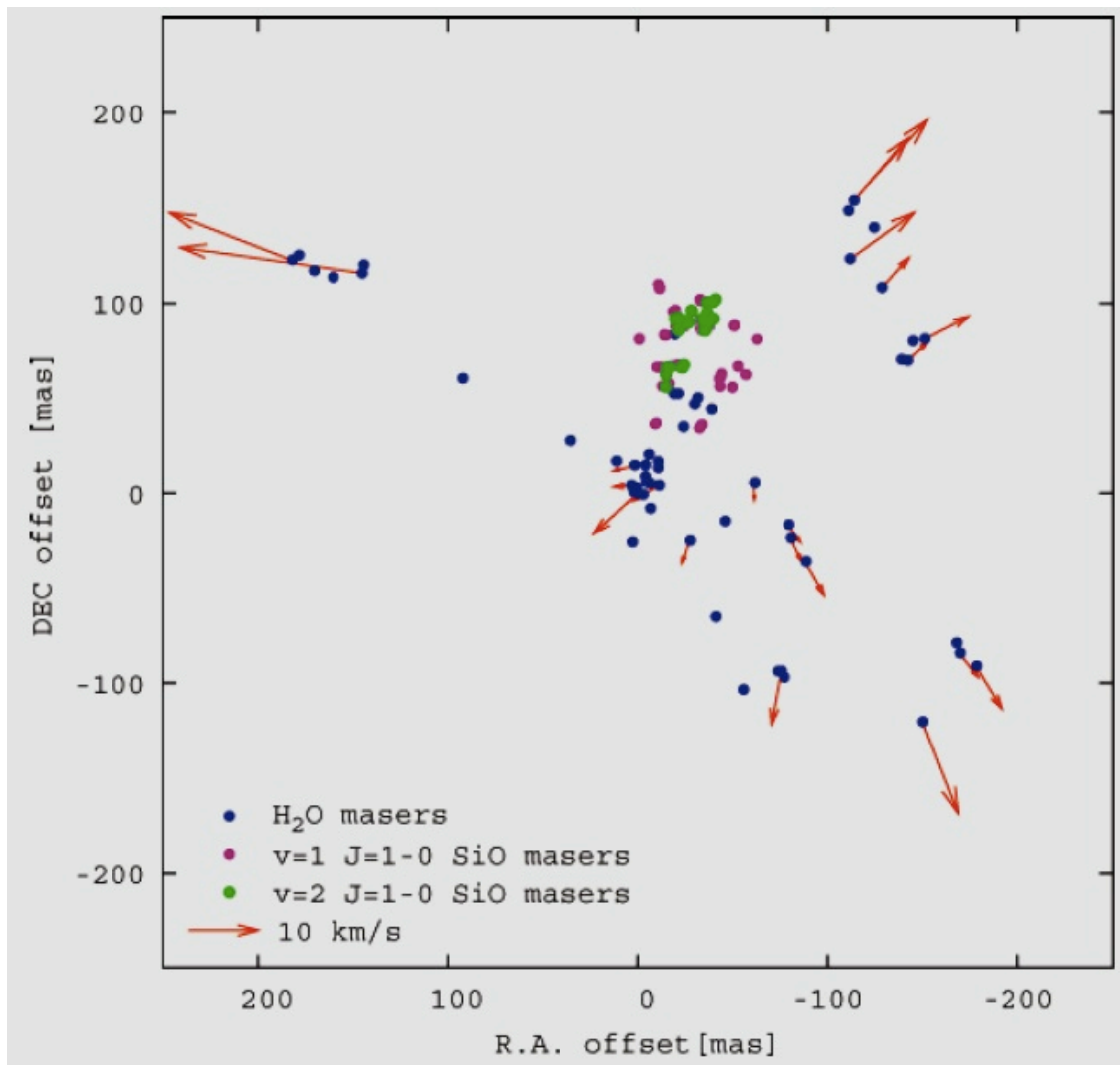
衝撃波伝播
(平たくなった形状)
or
星の光度変化による
物理状態の変化
(形状は弾丸上)

Richards (2010)



ESTEMA = 高画質撮像+ 高精度座標計測

Finding the origin of asymmetric stellar mass loss

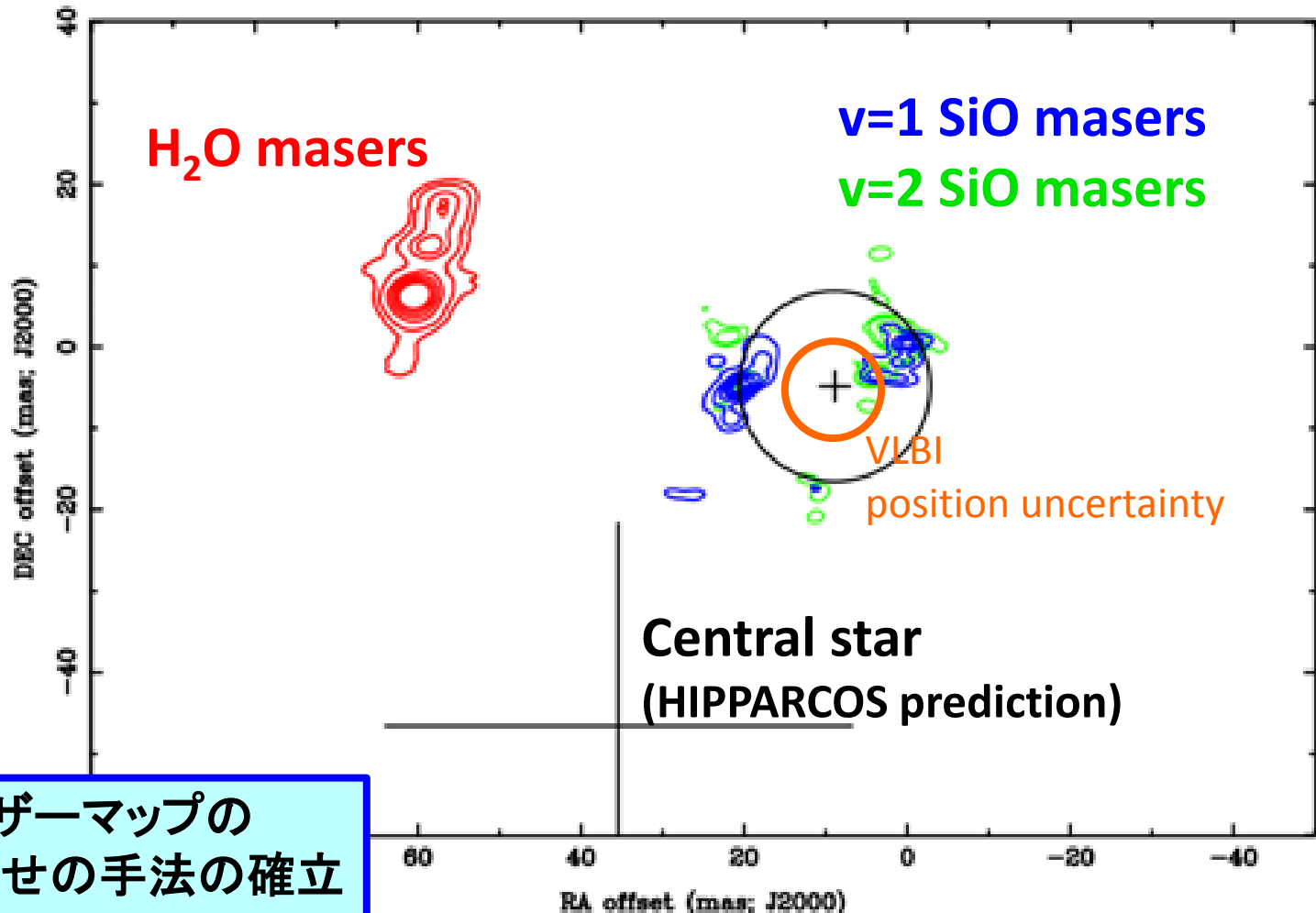


- SiOメーザー源=中心星の位置を指標としたH₂Oメーザーの非対称性の探索
- H₂Oメーザー放射領域の膨張速度と力学的時間尺度の計測
- SiOとH₂Oメーザー放射領域に見られる速度場の連続性の探索

異種メーザーマップの
重ね合わせの手法の確立
が課題(VERA)

First successful multi frequency phase-referencing technique

R LMi (Dodson et al. 2014)



異種メーザーマップの
重ね合わせの手法の確立
が課題(KVN)

KaVA 星周メーザー大規模観測プログラム

(2015—2024)

- 長周期変光星20天体のメーザー源観測を今後10年間
 - 1/20変光周期(2—12 週間に一度)毎に電波撮像
 - SiO 7mm, 3mm, 2mm SiO及び 13 mm H₂O メーザーの同時観測(完全同時+24時間以内に1バンドずつ)
 - 年間500時間以内のKaVA望遠鏡時間
- 基本的な着想点
 - 微視的(メーザースポット, <1AU)から巨視的(星周ガス縁, ~100 AU)までを網羅的にカバー
 - 星表面付近 (SiO) から星周縁加速領域(H₂O) まで
 - 球対称的から質量放出からジェット放射まで
 - 世界最大サンプル(1回撮像80天体、モニター20天体)に基づく星周センチ波・ミリ波メーザー放射源の統計的研究

まとめ

- 星周ガス縁メーザーに対する「電波動画」づくり
 - 10年がかり、世界唯一のプロジェクト
 - 解析しきれないくらいの膨大なデータの産出
 - 三次元 image cubes を公開
 - 科学的利用には電波天文学と電波干渉計の知識は必要
 - 動画の一般公開→太陽画像に匹敵する動的な現象描写
- 他波長観測との連携
 - 可視光・赤外線測光観測→気長にお願いします ($P \sim 1600$ d)
 - VLT→光球の直接撮像、分子・塵形成現場の把握
 - ALMA→「電波大気層」(電波光球)の撮像、分子形成現場
 - Nano-JASMINE→観測時の星の厳密な座標 ($\sigma = 2 - 3$ mas)
 - SKA/ASKAP/MeerKAT→星周ガス縁最外縁部(OHメーザー源)の構造