



2013/10/02-03

11th 水沢VLBI観測所-UM @ 三鷹, NAOJ

Astrometry of the H₂O Masers in the Periodic Flux Variation Source G12.681-0.182 (VERA11-72)

杉山 孝一郎

(山口大学 大学院理工学研究科 藤沢研究室)

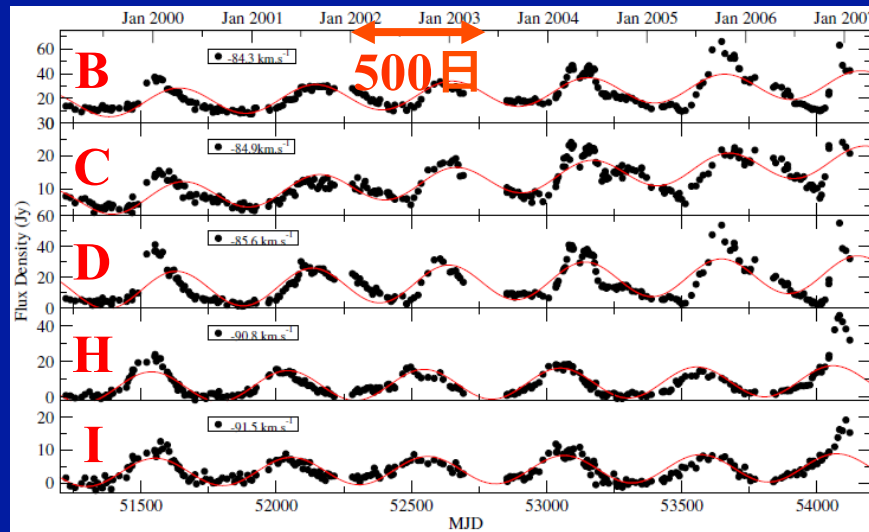
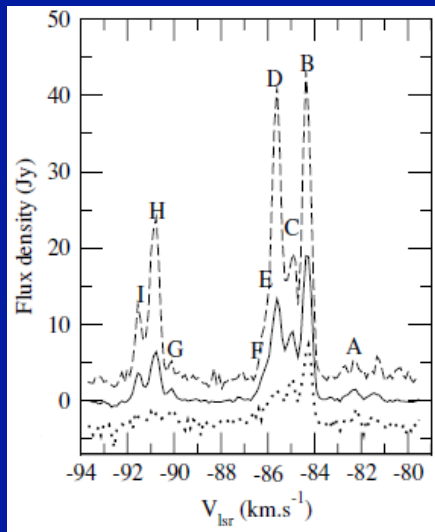
Collaborator: 元木業人, 藤沢健太 (山口大学), 本間希樹 (国立天文台), 米倉覚則, 百瀬宗武 (茨城大学), 蜂須賀一也 (上海天文台), 稻吉恒平 (京都大学), 田中圭 (東北大学), 細川隆史 (東京大学), 内山瑞穂 (東京大学), S. Ellingsen (UTAS), J. A. Green (ATNF)

周期的な
CH₃OHレーザー強度変動

6.7 GHz CH₃OHメーザー： 周期変動

- 大質量星周囲では珍しい現象
- 全スペクトル成分間で**同期**

☞ 励起源近傍 or 星表面で生じる物理現象！？



G331.13-0.24 のCH₃OHメーザー周期強度変動 (Goedhart+ 04, 07)

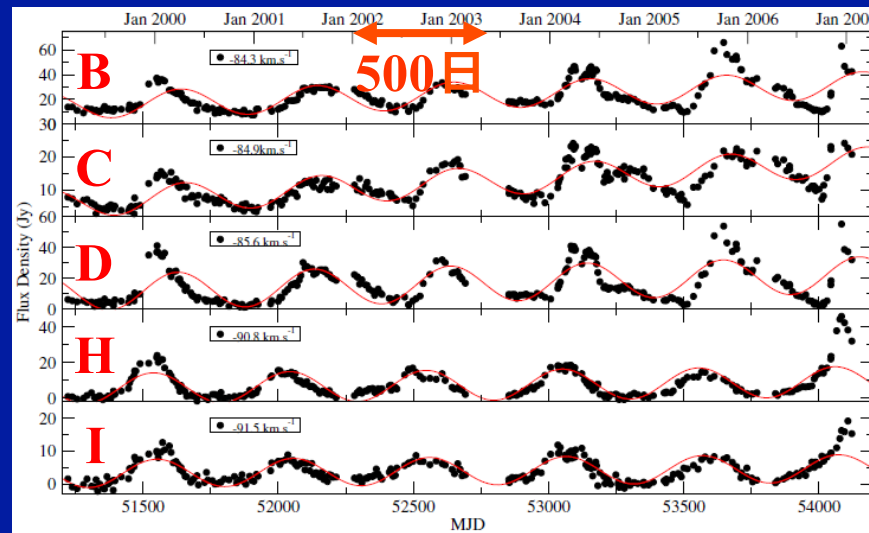
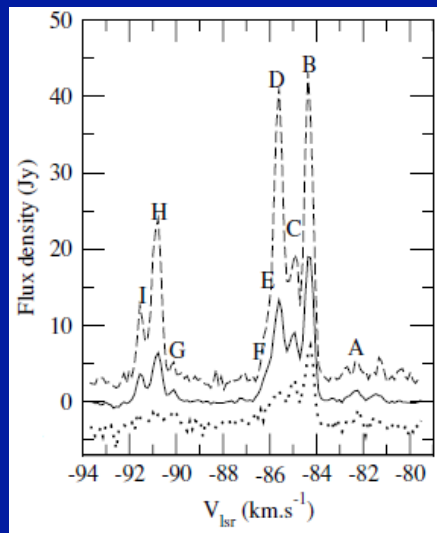
6.7 GHz CH₃OHメーザー: 周期変動

□ 大質量星周囲では珍しい現象

□ 全スペクトル成分間で**同期**

☞ 励起源近傍 or 星表面で生じる物理現象! ?

□ 周期: 30-670日



G331.13-0.24 のCH₃OHメーザー周期強度変動 (Goedhart+ 04, 07)

6.7 GHz CH₃OHメーザー：周期変動

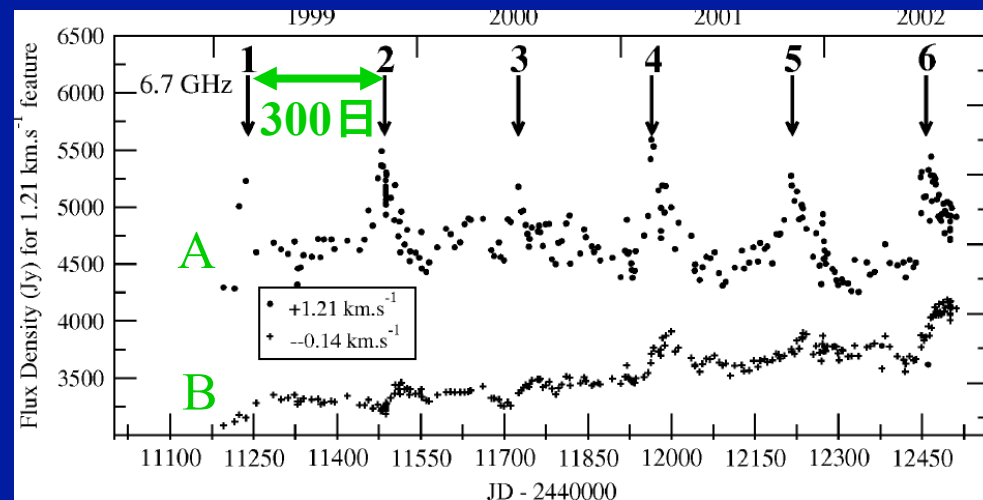
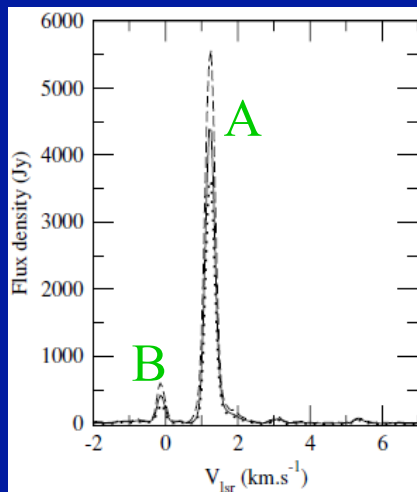
□ 大質量星周囲では珍しい現象

□ 全スペクトル成分間で同期

☞ 励起源近傍 or 星表面で生じる物理現象！？

□ 周期: 30-670日

□ 傾向は連続的 or 間欠的 の両方存在



G009.62+0.20 E のCH₃OHメーザー周期強度変動 (Goedhart+ 03, 04)

周期変動天体：これまでのまとめ

- 周期変動天体数
 - 11天体
 - + 1天体 (山口大: 高瀬, 藤沢)
- 周期: 30-670 日
- “YSO”に多い (8/11)
- “連続的”が多い (8/11)
- 既存連星モデル CWB (van der Walt 11)では大半が説明困難
 - 周囲に卓越した電離領域 (HII領域など) が必須

Source	Period	出現時期	変動傾向
009.62+0.20	244	HC HII	間欠的
012.68-0.18	307	UC HII ?	連続的
012.88+0.48	29.5	YSO	連続的
022.35+0.06	179	YSO	間欠的
037.55+0.20	237	YSO	間欠的
188.95+0.88	404	HC HII	連続的
196.45-1.67	668	YSO	連続的
328.23-0.54	220	YSO	連続的
331.13-0.24	504	YSO	連続的
338.93-0.06	133	YSO ?	連続的
339.62-0.12	201	YSO	連続的
IRAS 22198	34.5	中質量 ?	間欠的

Goedhart+ (04, 07, 09); Araya+ (10); Szymczak+ (11); Fujisawa+ (in prep).

大質量原始星の脈動不安定モデル (Inayoshi et al. 2013)

□ 星の脈動解析

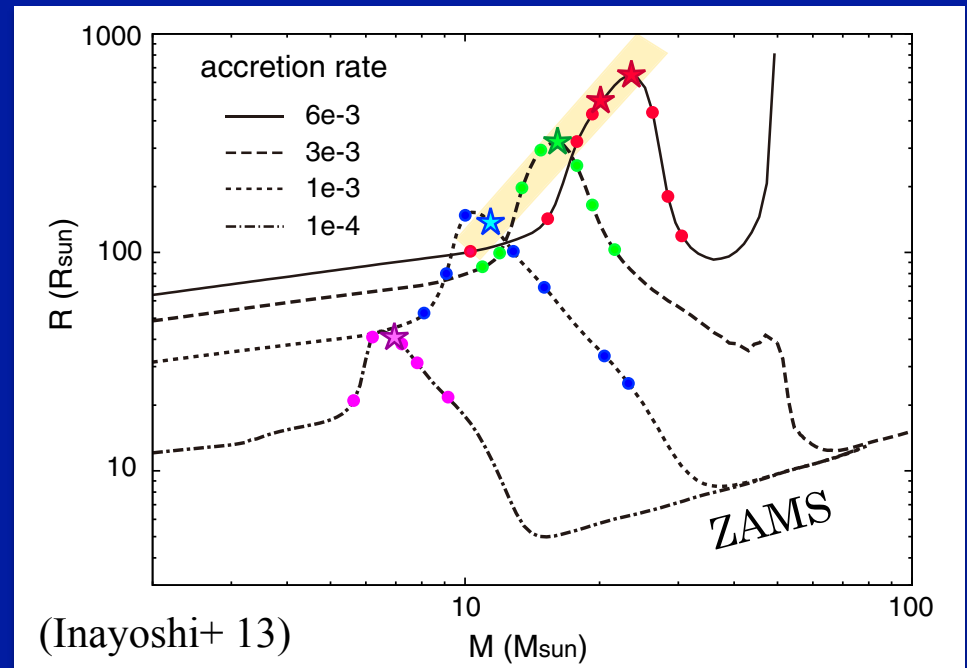
- 星内部構造モデルがベース (Hosokawa & Omukai 09)
- 様々な進化段階、および質量降着率に対して実施

□ 膨張半径最大時に不安定帯が存在

- κ 機構
- $> 10^{-3} M_{\odot}/\text{yr}$
- $\sim 1000 \text{ yr}$ 滞在

□ CH_3OH メーザー周期変動を説明可能

- 原始星時代の変動
- 連続的な変動
- HII領域必要ナシ



- : 安定モデル
- ☆: 不安定モデル
- : 脈動不安定帯

大質量原始星の脈動不安定モデル (Inayoshi et al. 2013)

□ 星の脈動解析

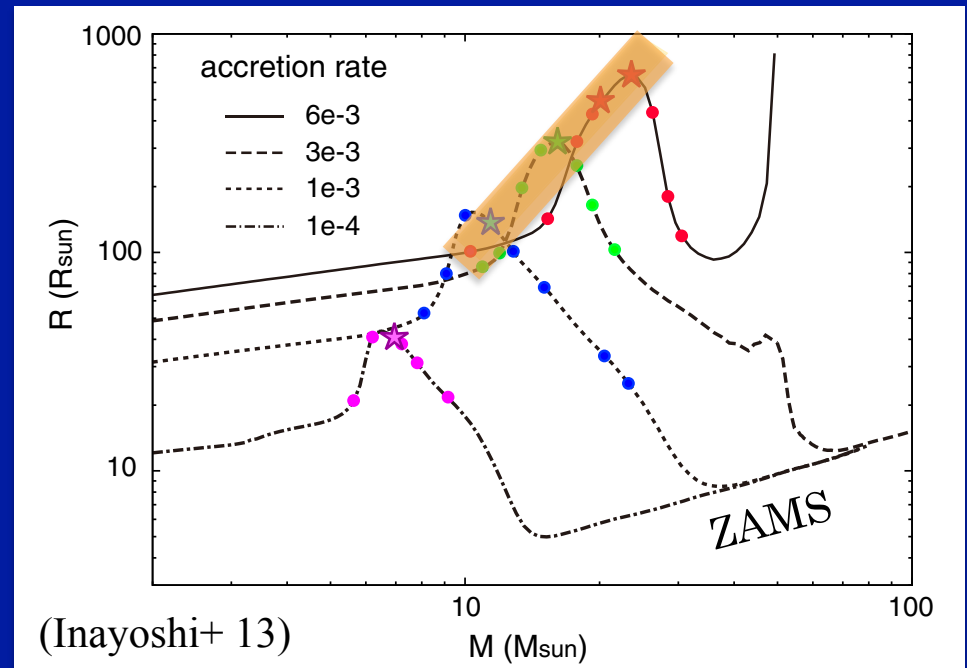
- 星内部構造モデルがベース (Hosokawa & Omukai 09)
- 様々な進化段階、および質量降着率に対して実施

□ 膨張半径最大時に不安定帯が存在

- κ 機構
- $> 10^{-3} M_{\odot}/\text{yr}$
- $\sim 1000 \text{ yr}$ 滞在

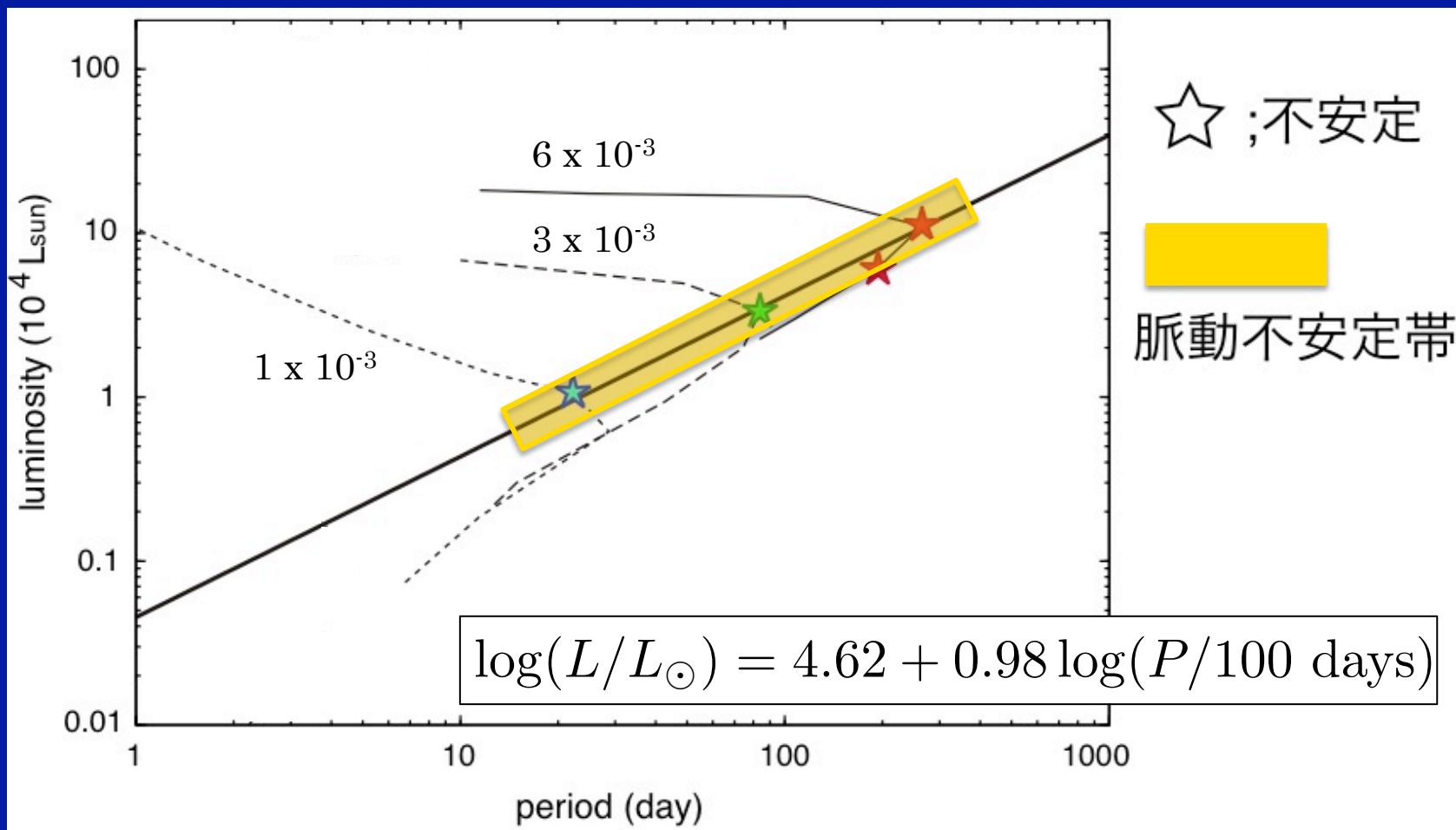
□ CH_3OH メーザー周期変動を説明可能

- 原始星時代の変動
- 連続的な変動
- HII領域必要ナシ



- : 安定モデル
- ☆: 不安定モデル
- : 脈動不安定帯

大質量原始星の周期-光度関係



予言される 周期-光度関係 (P-L relation: Inayoshi+ 13)

周期-光度関係の恩恵

□原始星表面の物理パラメータ(質量、光度、半径、質量降着率)が取得可能に！

– sub-AU スケール

• 現存装置(ALMA含む)ではおよそ観測不可能な領域

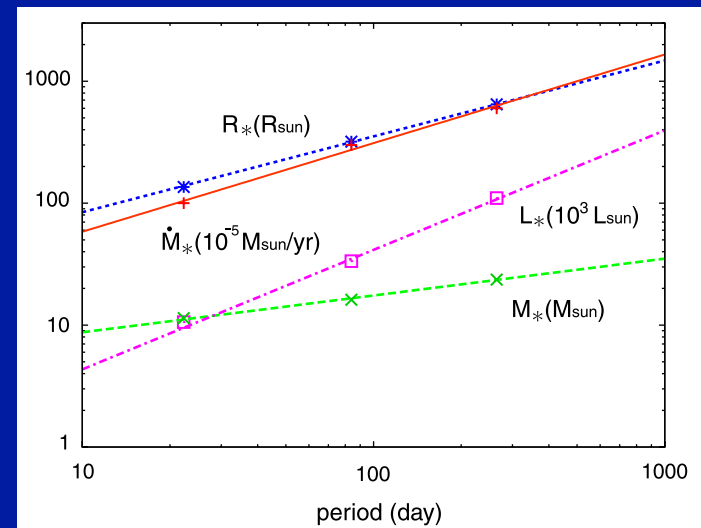
– それを低空間分解能な単一鏡で実行可能！

$$M_* = 17.5 M_{\odot} \left(\frac{P}{100 \text{ days}} \right)^{0.30},$$

$$R_* = 350 R_{\odot} \left(\frac{P}{100 \text{ days}} \right)^{0.62},$$

$$\dot{M}_* = 3.1 \times 10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1} \left(\frac{P}{100 \text{ days}} \right)^{0.73}.$$

(Inayoshi+ 13)



周期-光度関係の恩恵

□ 原始星表面の物理パラメータ (質量、半径、質量降着率) が取得可能

– sub-AU スケール

• 現存装置 (ALMA 含む)

– それを低空間分解能で実行可能！

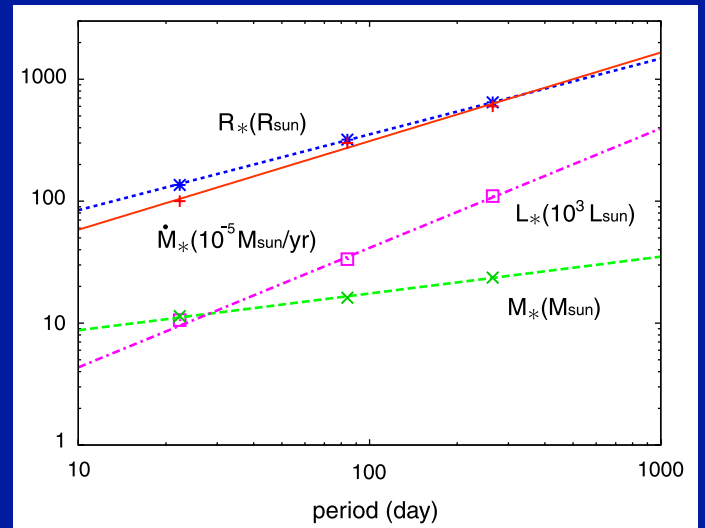
観測面からの検証・確立が必要

$$M_* = 17.5 M_\odot$$

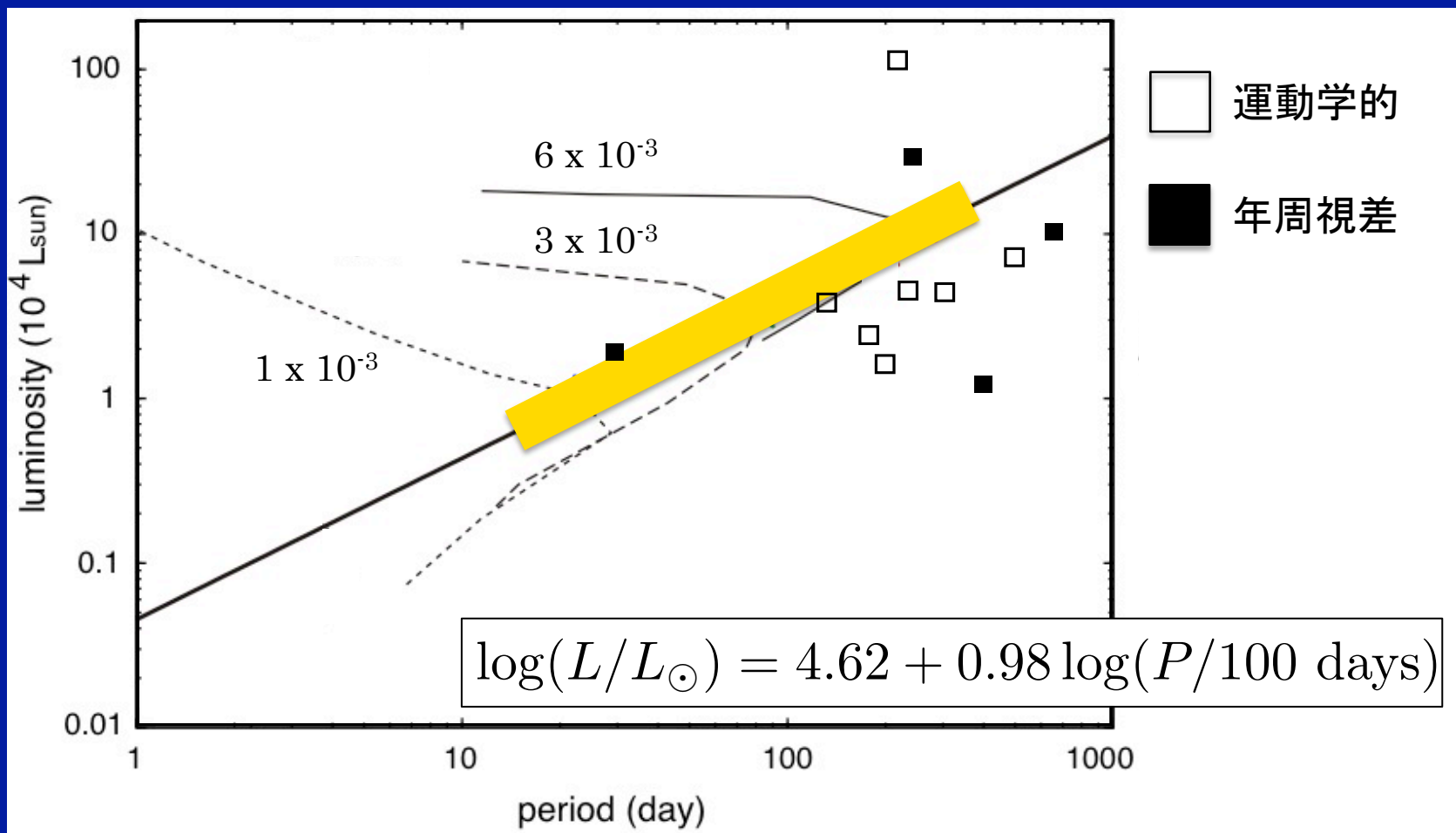
$$\dot{M}_* = 1.5 \times 10^{-5} M_\odot \text{ yr}^{-1} \left(\frac{P}{100 \text{ days}} \right)^{0.62}$$

$$\dot{M}_* = 1.5 \times 10^{-5} M_\odot \text{ yr}^{-1} \left(\frac{P}{100 \text{ days}} \right)^{0.73}$$

(Inayoshi+ 13)

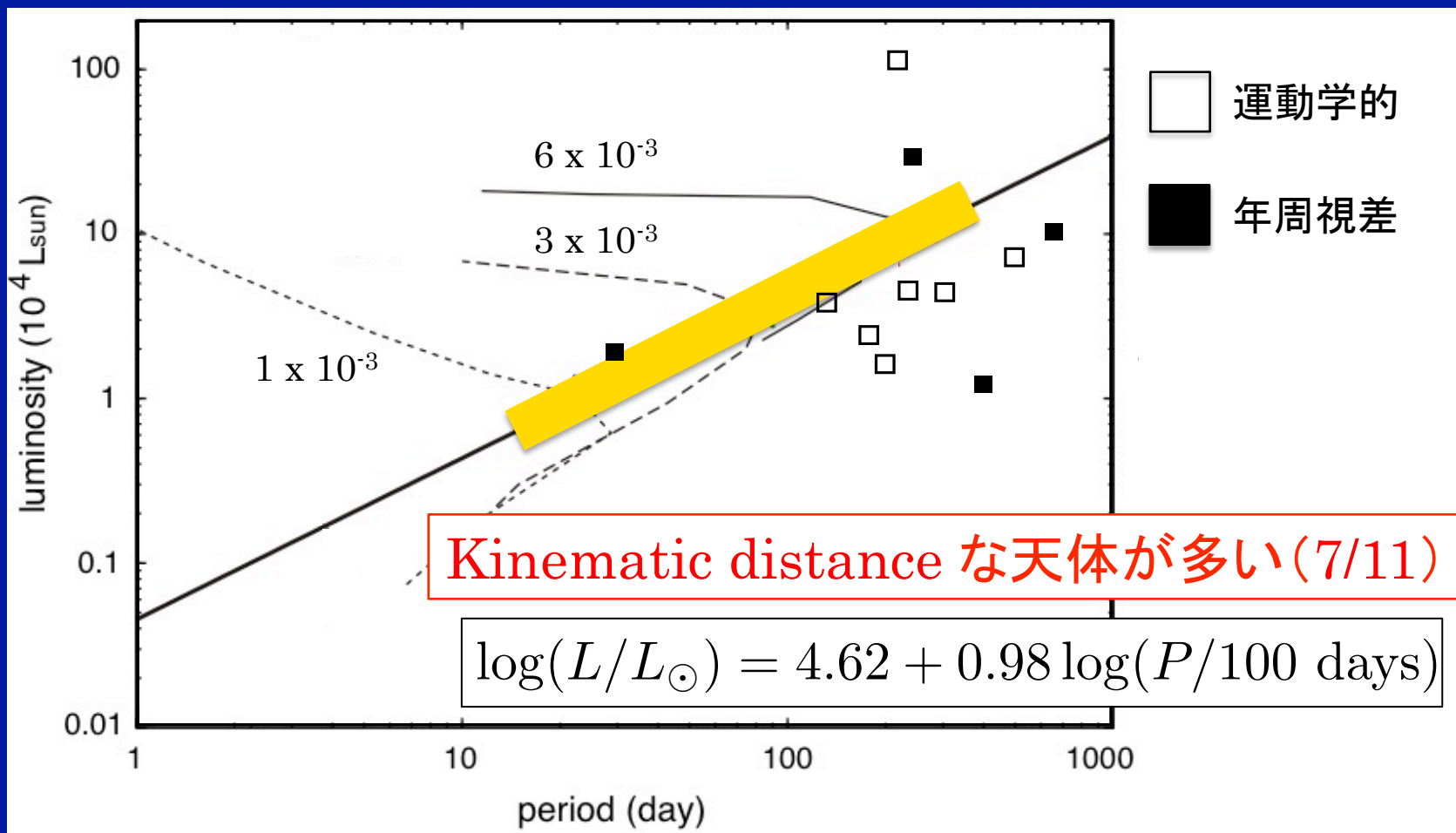


大質量原始星の周期-光度関係



予言される 周期-光度関係 (P-L relation: Inayoshi+ 13)

大質量原始星の周期-光度関係




予言される 周期-光度関係 (P-L relation: Inayoshi+ 13)

本研究の目的

□最終ゴール

- 大質量原始星周囲で予言される脈動不安定現象を観測的に検証する
 - ① P-L relation の観測的検証・確立
 - ② 周囲の物理環境温度の変動モニター

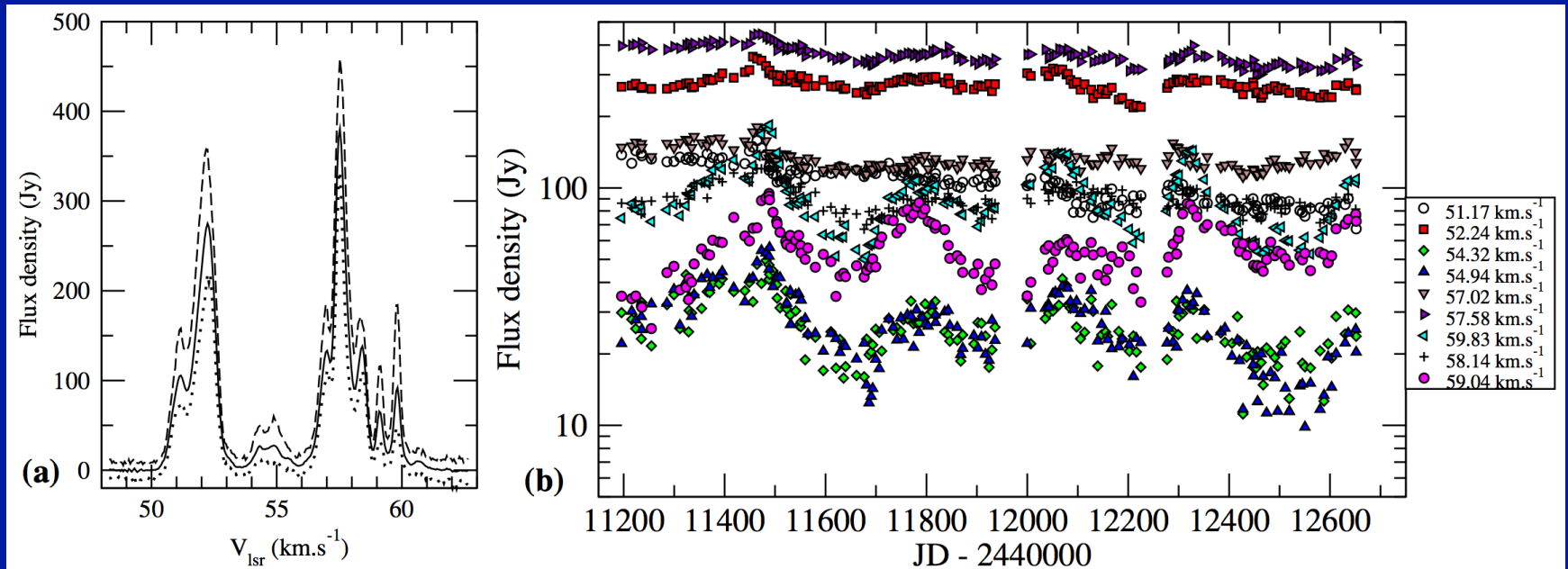
□本講演では

- 最終ゴール① へのアプローチ
 - 問題点: kinematic distance 天体が多い
 - 解決法: parallax で高精度に距離計測
-  天体光度の見積もりに貢献

觀測天体

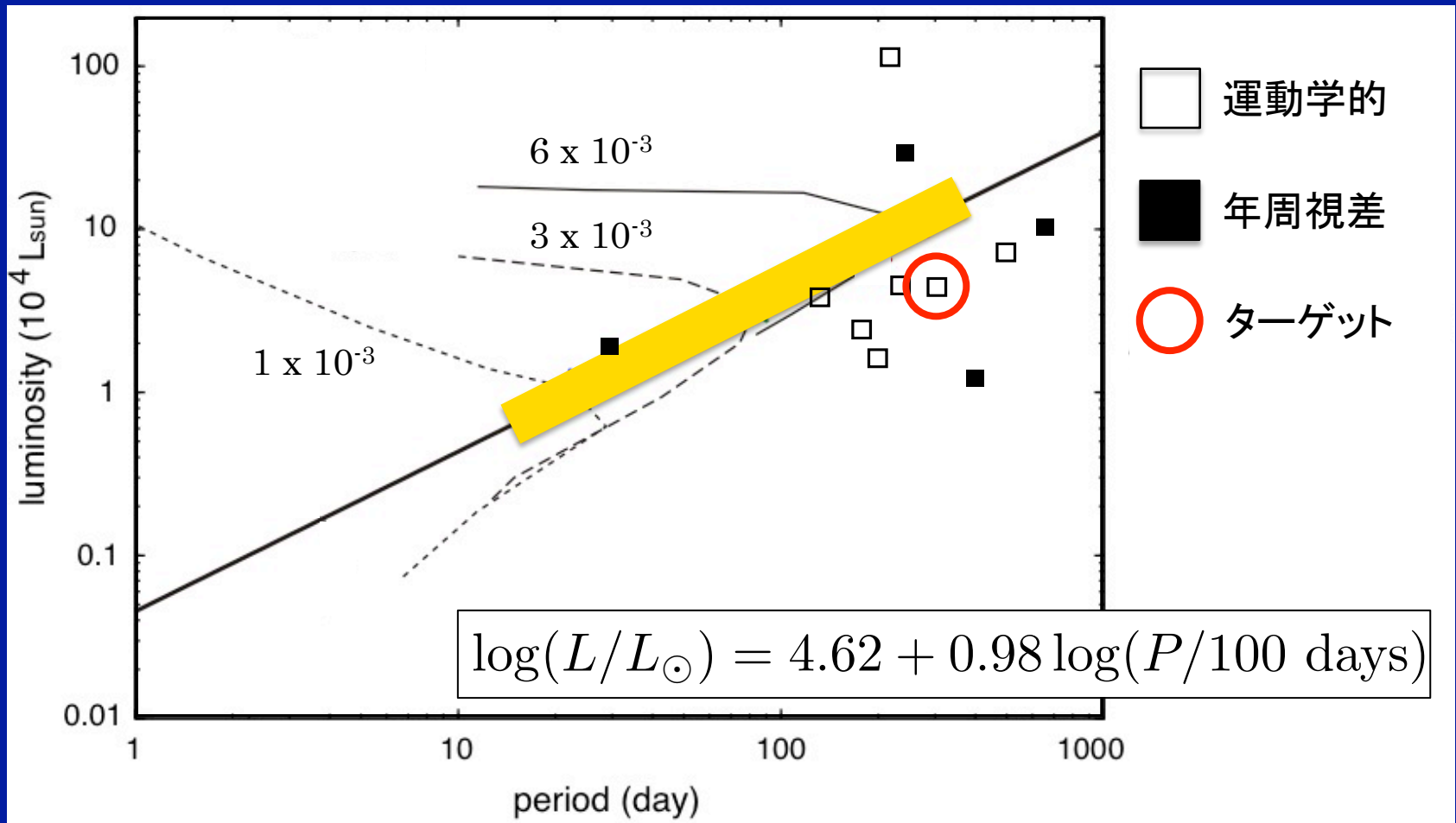
G12.681-0.182 (W33 B)

- D_{kin} : 4.5 kpc (near kinematic @ $V_{\text{l sr}}$ 56 km/s)
- “準”周期的な強度変動 (Goedhart+ 04)
 - 周期: 307 (± 60) 日, 全スペクトル成分で同期
- IRAS L_{bol} : $\sim 4 \times 10^4 L_{\odot}$



G12.681-0.182 の CH_3OH メーザー周期強度変動 (Goedhart+ 04)

大質量原始星の周期-光度関係



予言される 周期-光度関係 (P-L relation: Inayoshi+ 13)

VERA共同利用観測 (VERA11-72)

観測・解析概要

□ 観測

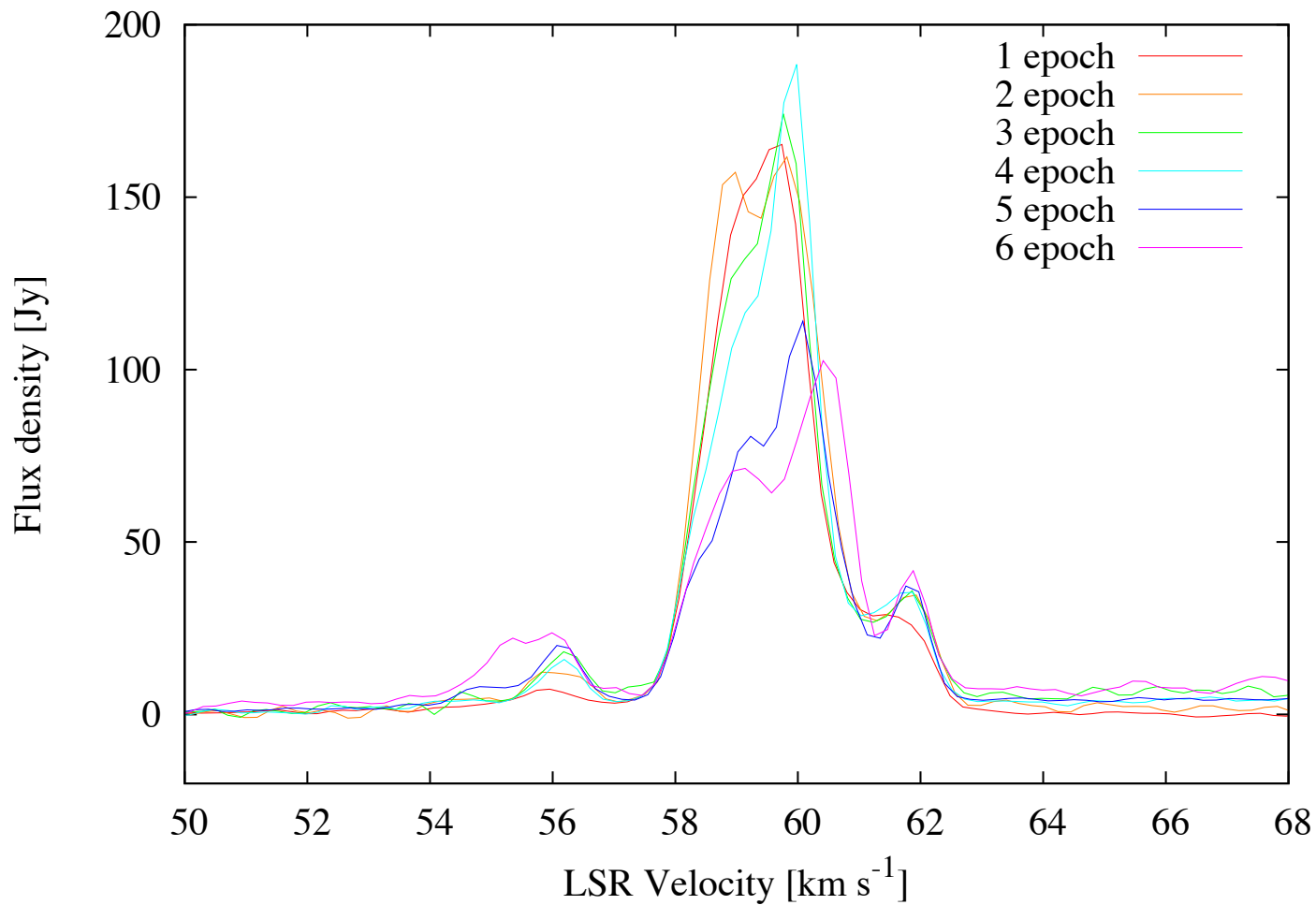
- アレイ: VERA (2ビーム)
- 対象: H₂O メーザー
- 時期: 2012/01-2013/04
- 回数: 6 エポック
- 参照電波源: J1818-1705
 - 離角: 1.36°
 - 暗いので“逆”位相補償

Epoch	Obs. code	yyyy/mm/dd
1 st	r 12026b	2012/01/26
2 nd	r 12108b	2012/04/17
3 rd	r 12206a	2012/07/24
4 th	r 12275a	2012/10/01
5 th	r 13028b	2013/01/28
6 th	r 13119b	2013/04/29

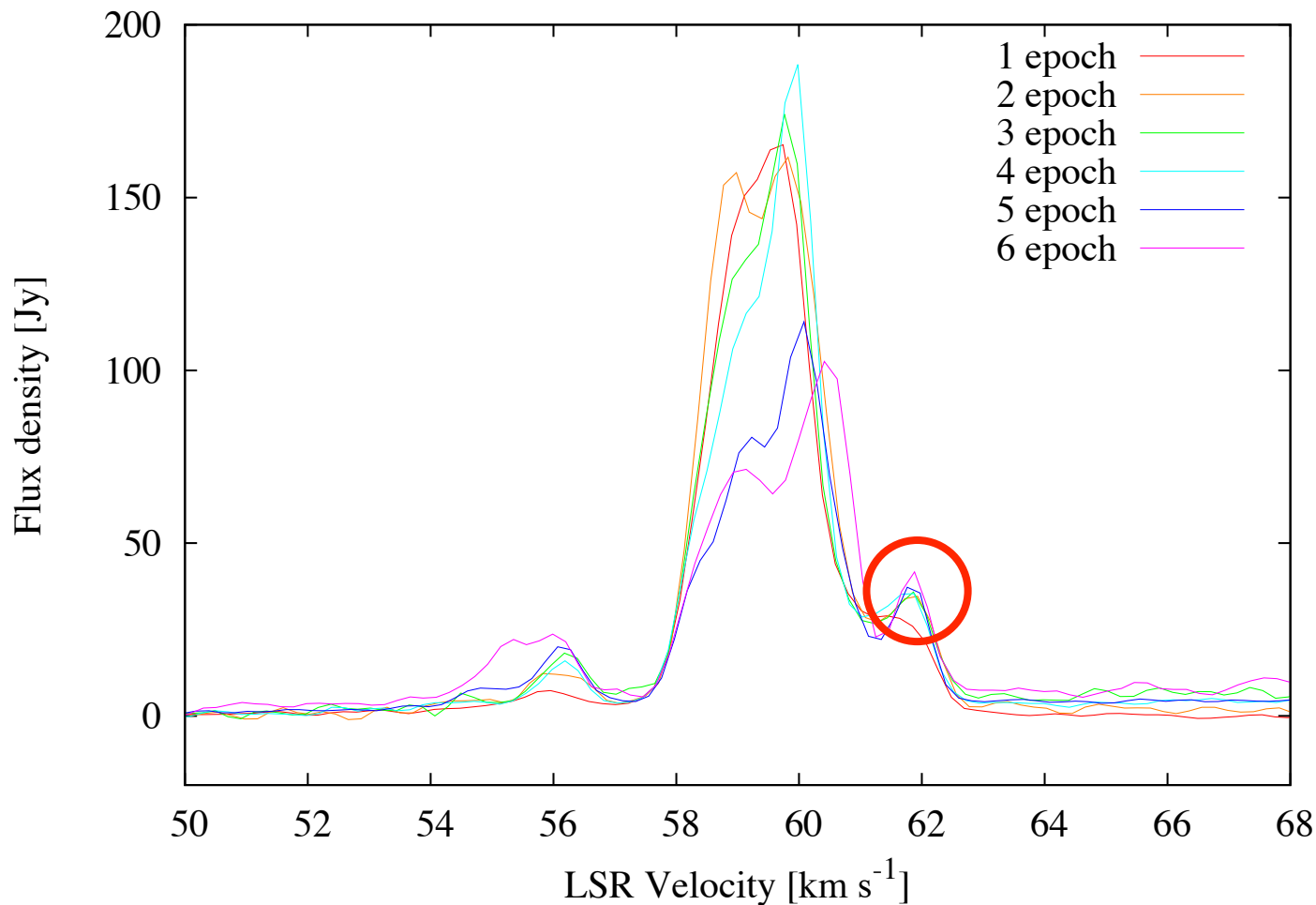
□ 解析

- 較正・イメージング: AIPS
- Parallax: VEDA

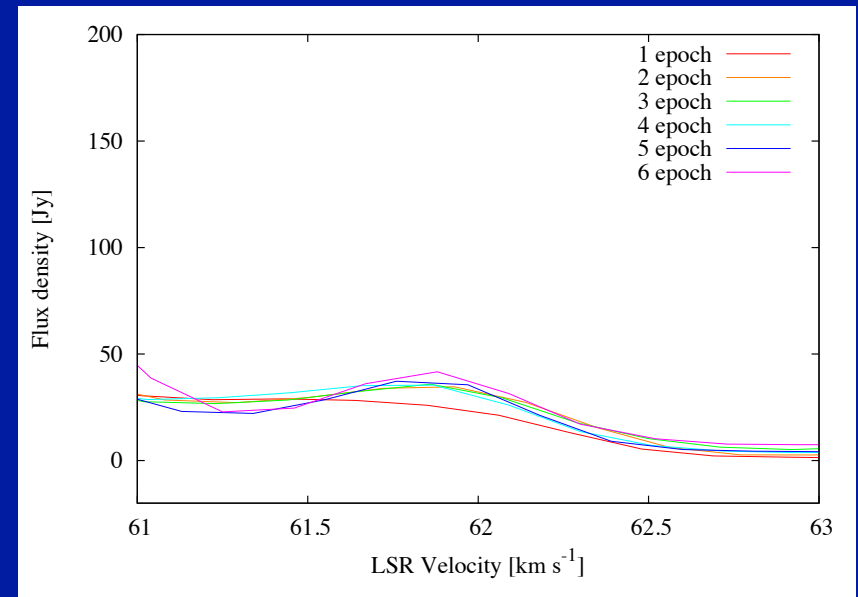
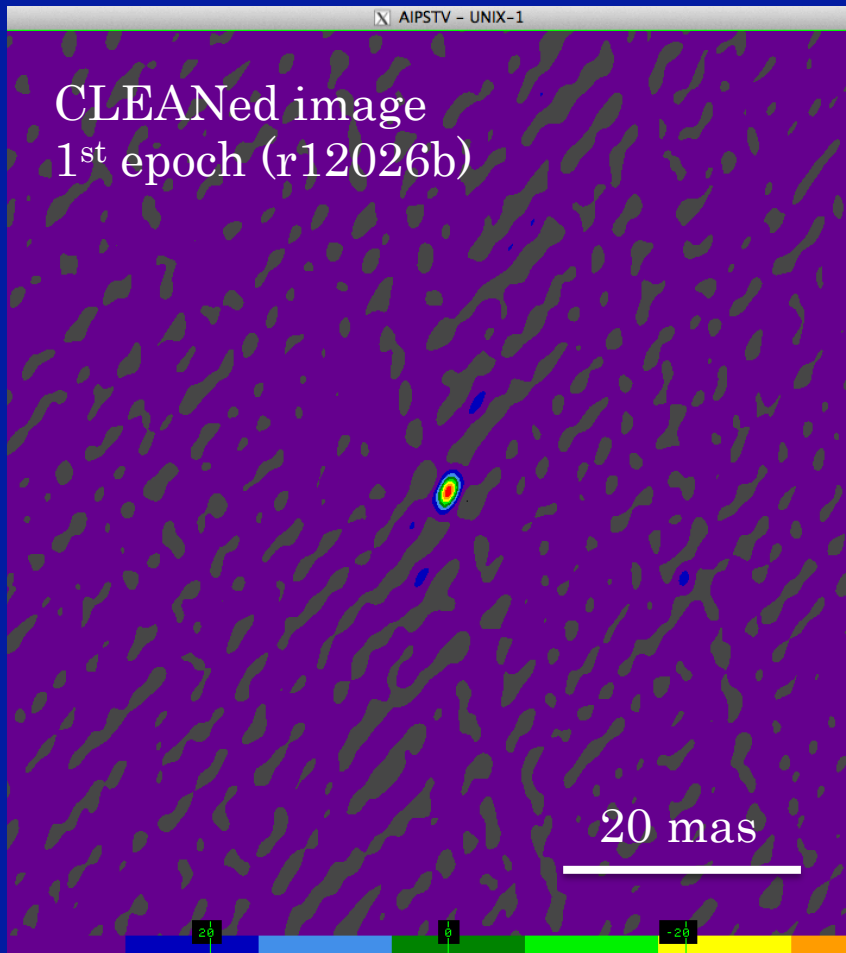
使用した スペクトル feature



使用した スペクトル feature

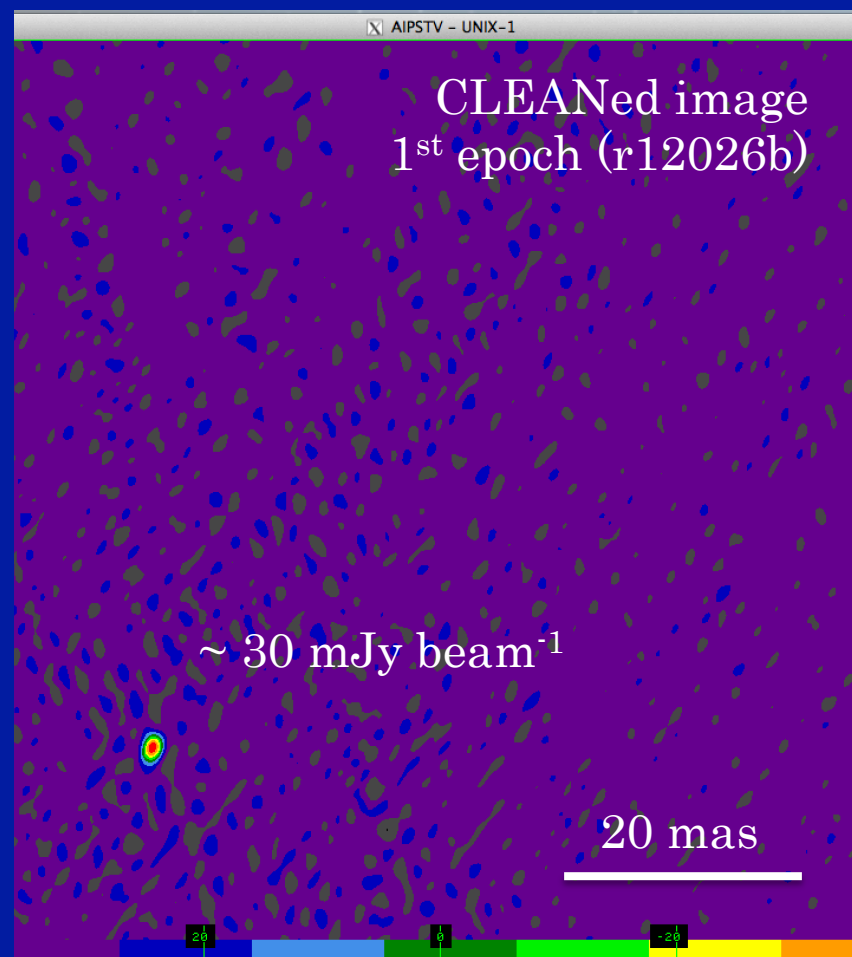
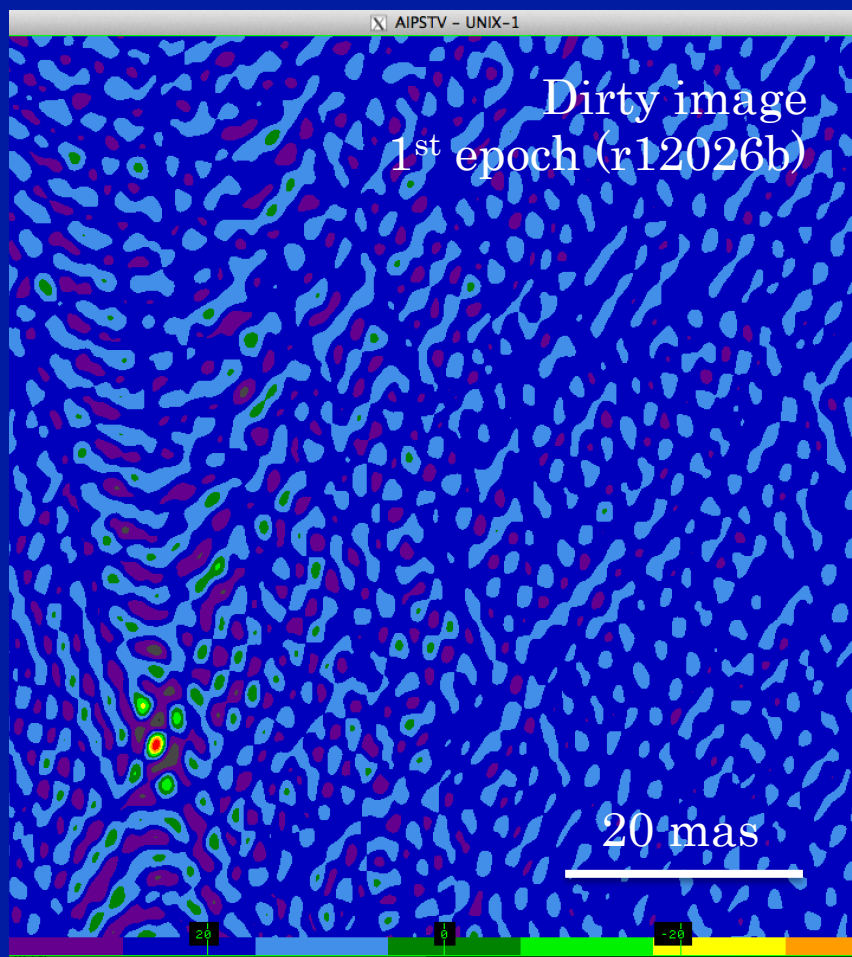


$V_{\text{lsr}} 61.85 \text{ km/s}$: 使用メーザスポット



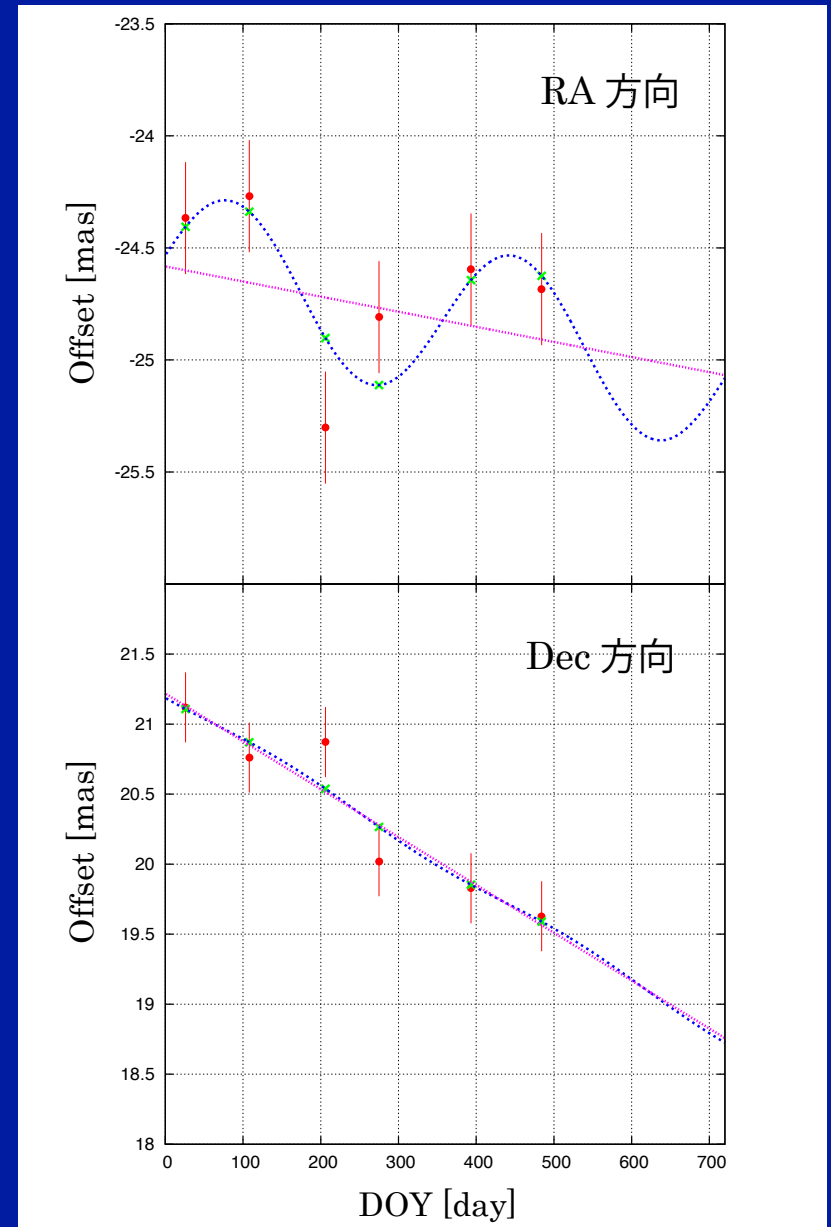
- 強度変動小
- 視線速度ドリフト小
 - 少なくとも速度分解能以内で
- シングルスポット @ 1ch

参照電波源の逆位相補償イメージ



(暫定)結果

- $D_{\text{para}} : 2.9^{+2.0}_{-0.9}$ kpc
 - $\chi^2 \sim 1$ となるように各計測点の誤差調整 (e.g., Reid+ 09)
 - $\sim 250 \mu\text{as}$
 - $D_{\text{para}} / D_{\text{kin}} \sim 0.6$



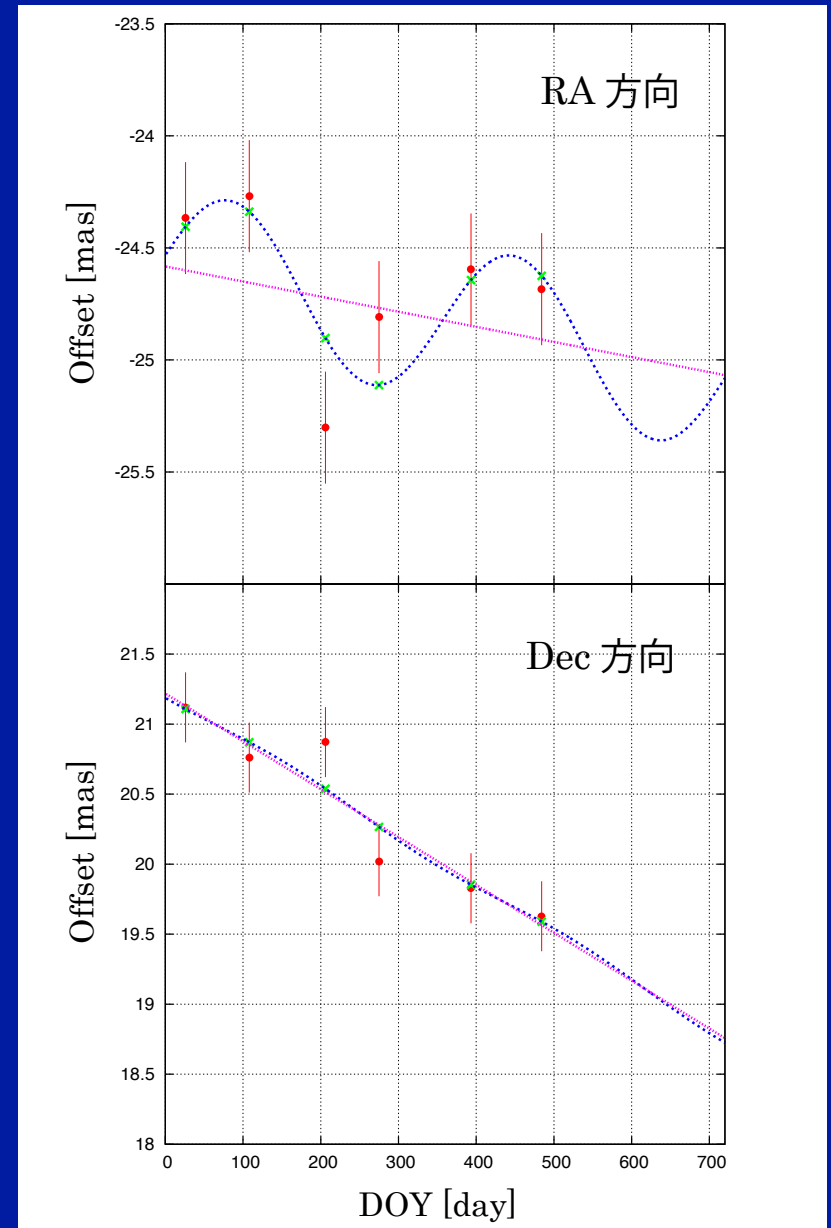
(暫定)結果

- $D_{\text{para}} : 2.9^{+2.0}_{-0.9}$ kpc
 - $\chi^2 \sim 1$ となるように各計測点の誤差調整 (e.g., Reid+ 09)
 - $\sim 250 \mu\text{as}$
 - $D_{\text{para}} / D_{\text{kin}} \sim 0.6$

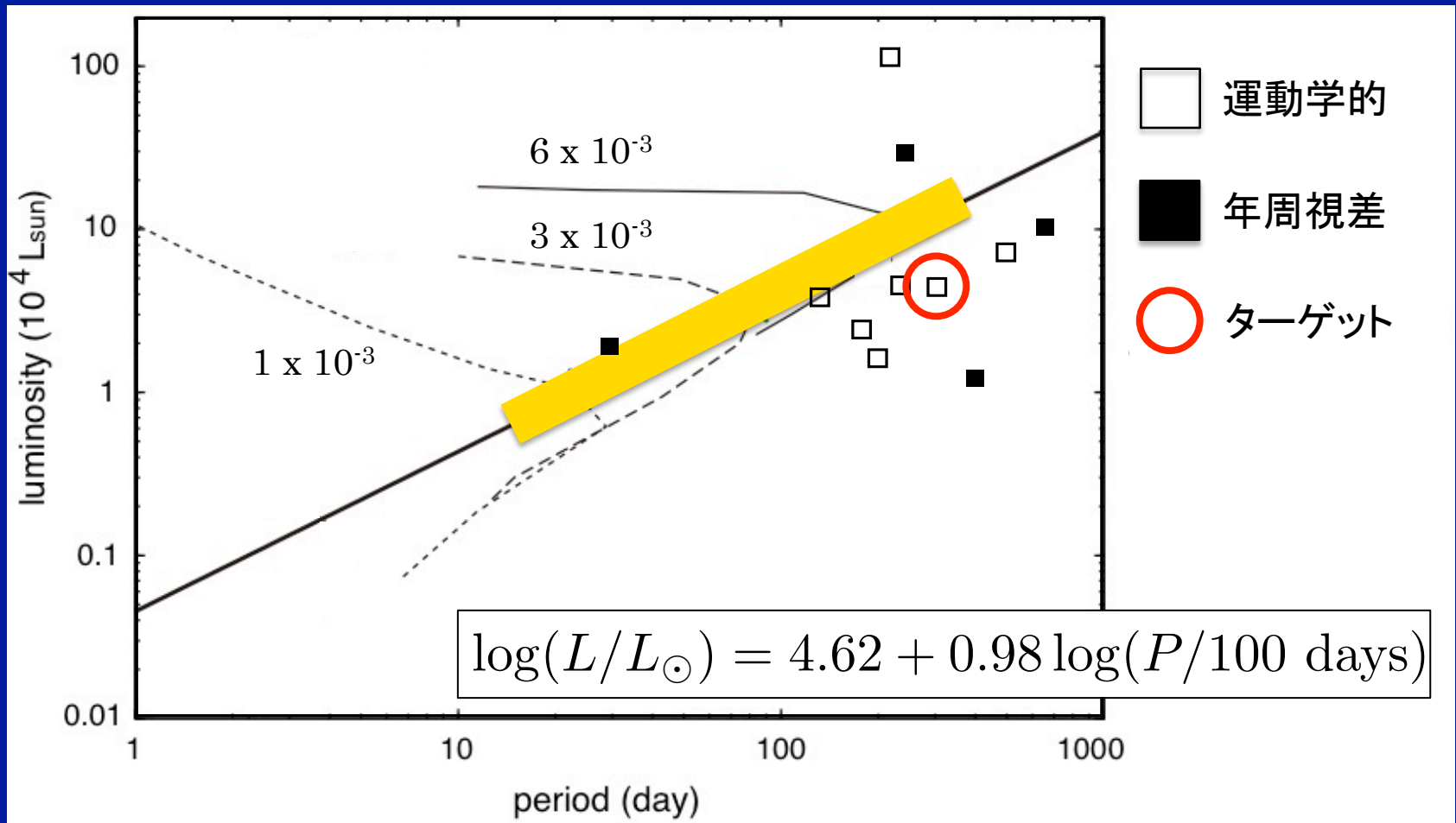
しかし。。。

$2.40^{+0.17}_{-0.15}$ kpc

(VLBA: Immer+ 13)

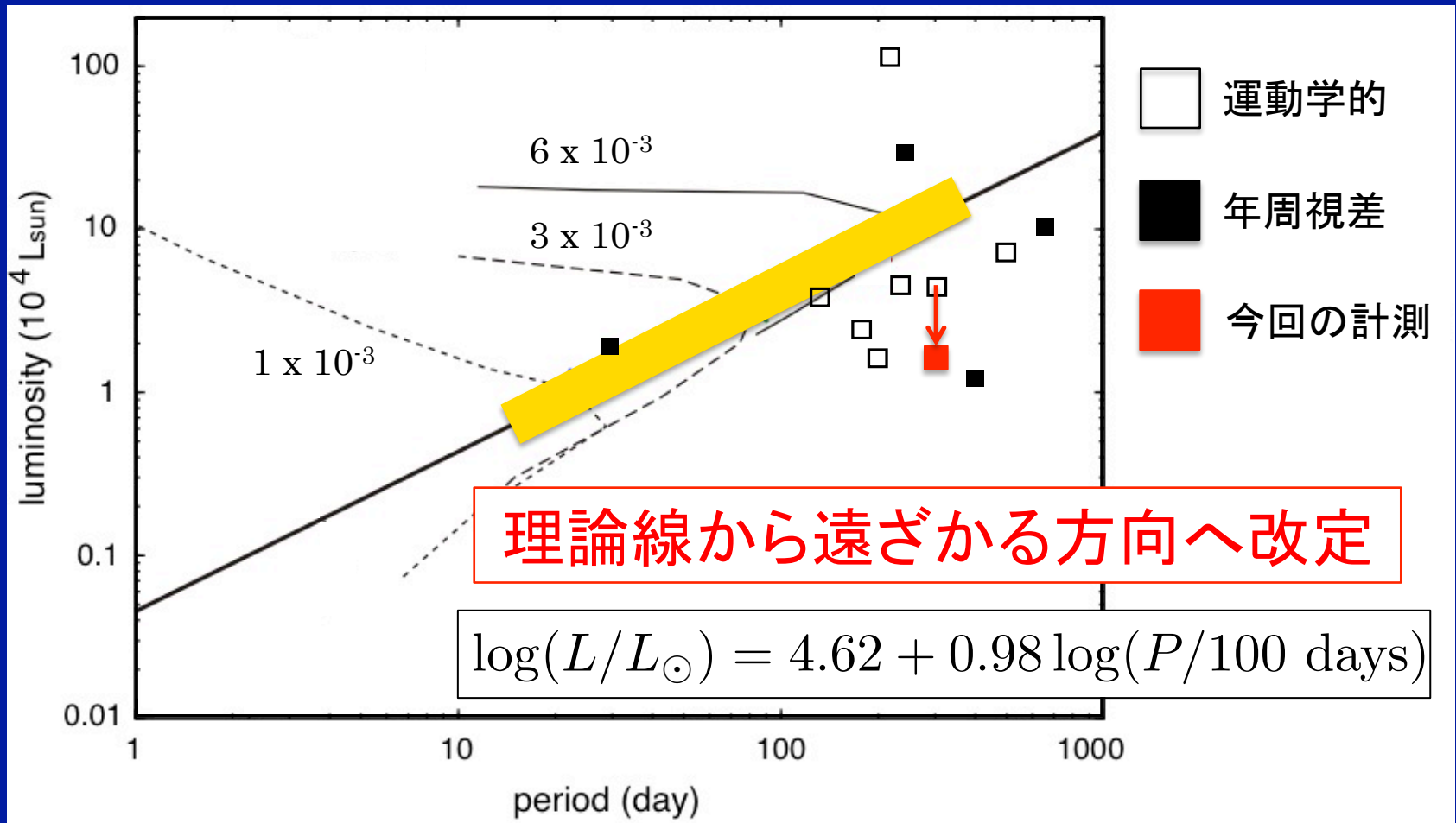


大質量原始星の周期-光度関係



予言される 周期-光度関係 (P-L relation: Inayoshi+ 13)

大質量原始星の周期-光度関係



予言される 周期-光度関係 (P-L relation: Inayoshi+ 13)

考察

- 準周期で連続的な変動ではない？
 - 307 (± 60) 日 周期と誤差が大きい
 - “間欠的”な変動は脈動モデルでは説明困難

- 赤外線フラックスの見積もりの誤差大きい？
 - IRASは空間分解能が不足
 - 各YSOへの分離困難
 - SEDモデル (Robitaille+ 06) 自体の改善・利用が必要

- 理論予言線の傾きが異なる？
 - 今後の観測成果を踏まえたフィードバックが必要

まとめ・展望

まとめ

- 大質量原始星の脈動不安定モデルの出現
 - CH₃OHメーザー周期変動の要因として適当
 - 原始星表面の物理パラメータ取得に大きく貢献！？
- P-L relation の観測的検証・確立を目指して
 - 周期変動天体の年周視差計測
 - G12.681-0.182: $D_{\text{para}} = 2.9^{+2.0}_{-0.9}$ kpc
 - $D_{\text{para}}/D_{\text{kin}} \sim 0.6$
 - 理論予言線から遠ざかる方向へ改定
 - 間欠的？ 赤外線フラックスの見積もり不足？
 - 理論モデルへのフィードバックも大いに必要

今後の展望

□ 個別 : G12.681-0.182

- 他に使用可能なスポットサーベイ
- 参照電波源に対するセルフキャルで構造の有無を調査

□ 全体

- P-L relation の観測的検証・確立
 - 南半球でも同様な年周視差計測を計画・実施
 - サンプル数の増加を目指した、大規模な長期高頻度単一鏡モニター（日立32-m @茨城大学 で実施継続中）
- 周囲の物理環境温度の変動モニター
 - 円盤由来の温度変動を近・中赤外線モニターで観測（PI: 内山）
 - ALMAでダスト温度変動モニター！？