

# G9.62+0.20におけるメタノールメーザーの 周期的強度変動要因の研究

茨城大学 博士前期課程1年次  
佐藤 宏樹

# 目次

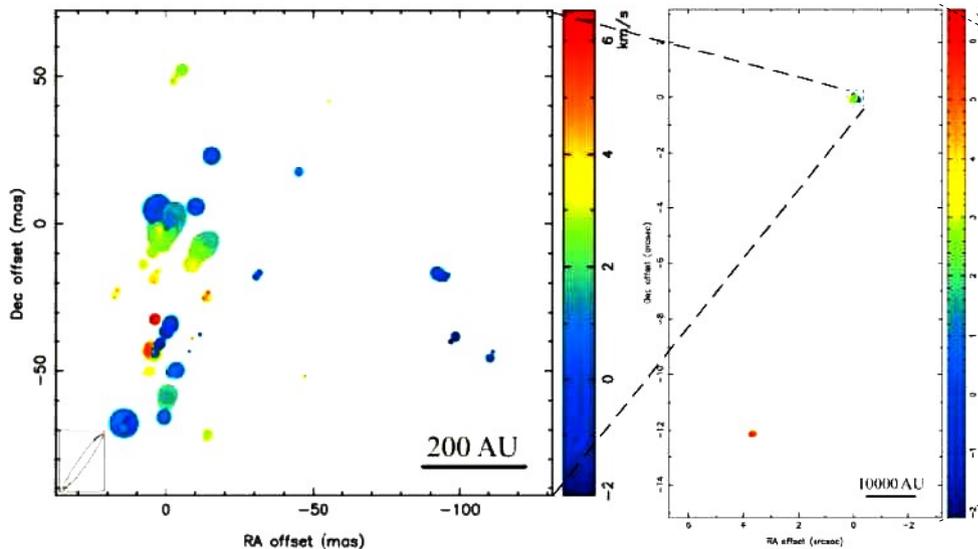
- ▶ 先行研究
- ▶ 観測・解析
- ▶ 今後の展望・まとめ



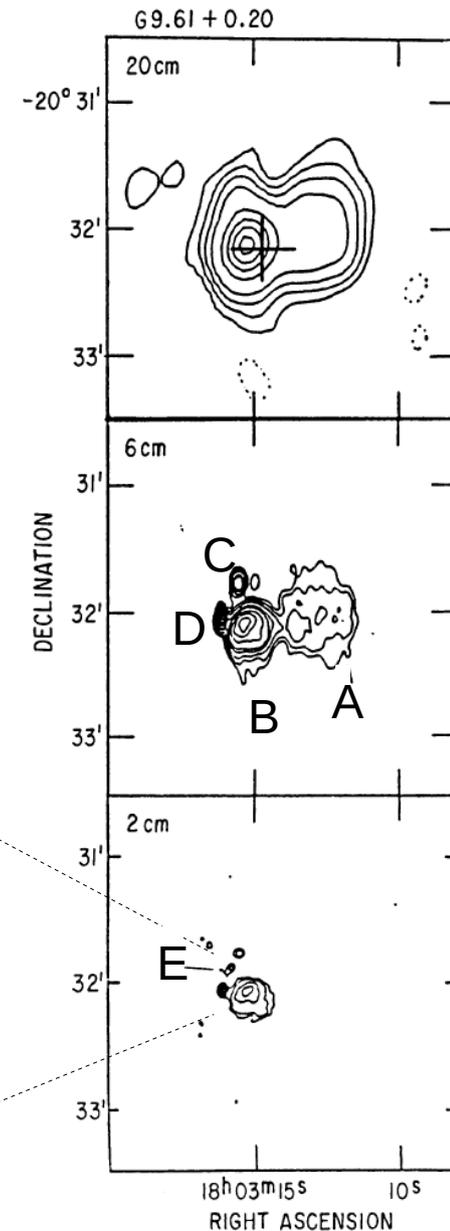
# 先行研究

# G9.62+0.20の特徴

- ▶  $5.2 \pm 0.6$  kpc (年周視差による) 先の大質量星形成領域 (Sanna et al. 2009)
- ▶ 5つの電波連続波源が存在する
  - ▶ A, C, D, EはHII領域 (Garay et al. 1993)
- ▶ 成分Eの6.7GHz, 12.2GHzのメタノールメーザー成分が周期的な強度変動を示す



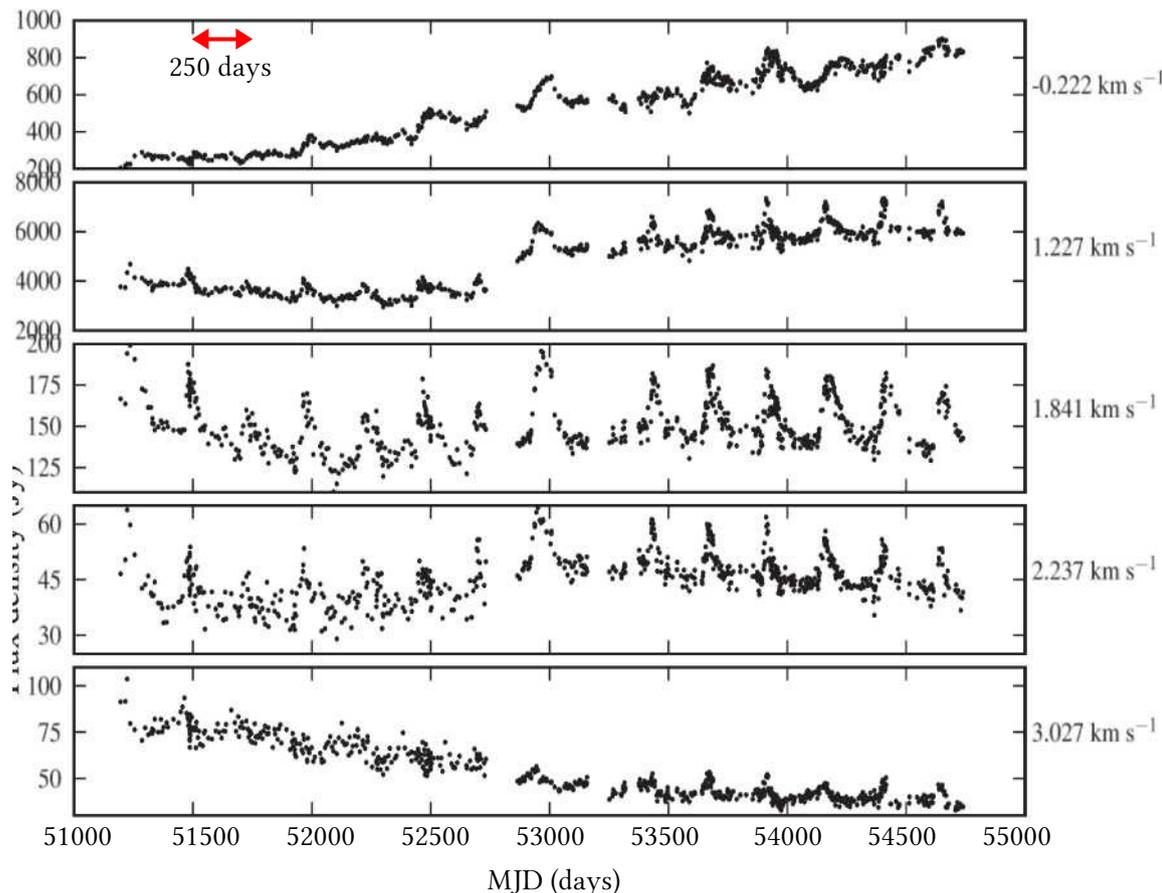
(Satoko Sawada-Sato, 2008 Proceeding of Science p.92)



(Garay et al. 1993)

# メーザー強度変動の周期性

- ▶ およそ10年のモニター観測結果から、周期が244.4日であるとし、その周期をもつフレアの**位相差は最大で8日**である (Goedhart et al. 2014)
- ▶ 間欠的な周期変動 → 連星の公転周期が関係する強度変動モデル

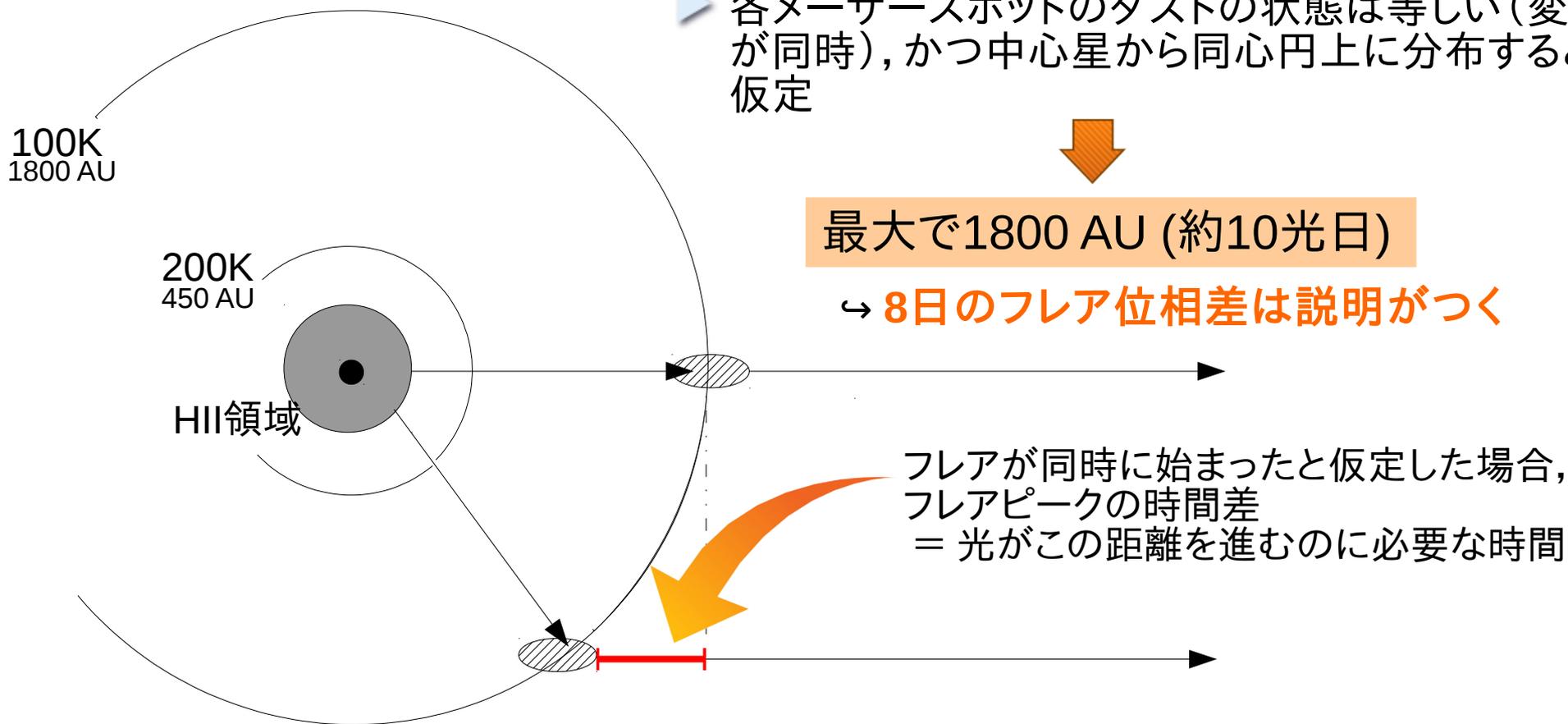


↳ **HII領域の制動放射が種光子**  
(van der Walt 2011)

HartRAO 26m望遠鏡でのモニター  
1999/01/17 - 2003/04/03  
2003/07/04 - 2008/09/30  
6.7GHzメタノールメーザーの  
速度成分ごとの強度変動の様子

# フレアの位相差をLight travel timeで説明する

- ▶ 中心星の質量, 光度:  $18 M_{\odot}$ ,  $5.2 \times 10^4 L_{\odot}$
- ▶ メタノールの励起温度: 100 ~ 200 K
- ▶ 各メーザースポットのダストの状態は等しい(変動が同時), かつ中心星から同心円上に分布すると仮定



# VLBI観測で得た空間分布

- ▶ 右図の実線で囲まれた部分に周期的変動成分が存在する

→ 差し渡し **500 AU** 程度

(Sanna et al. 2015)

- ▶ 12.2 GHzメタノールメーザーのフレア中7回のVLBI観測

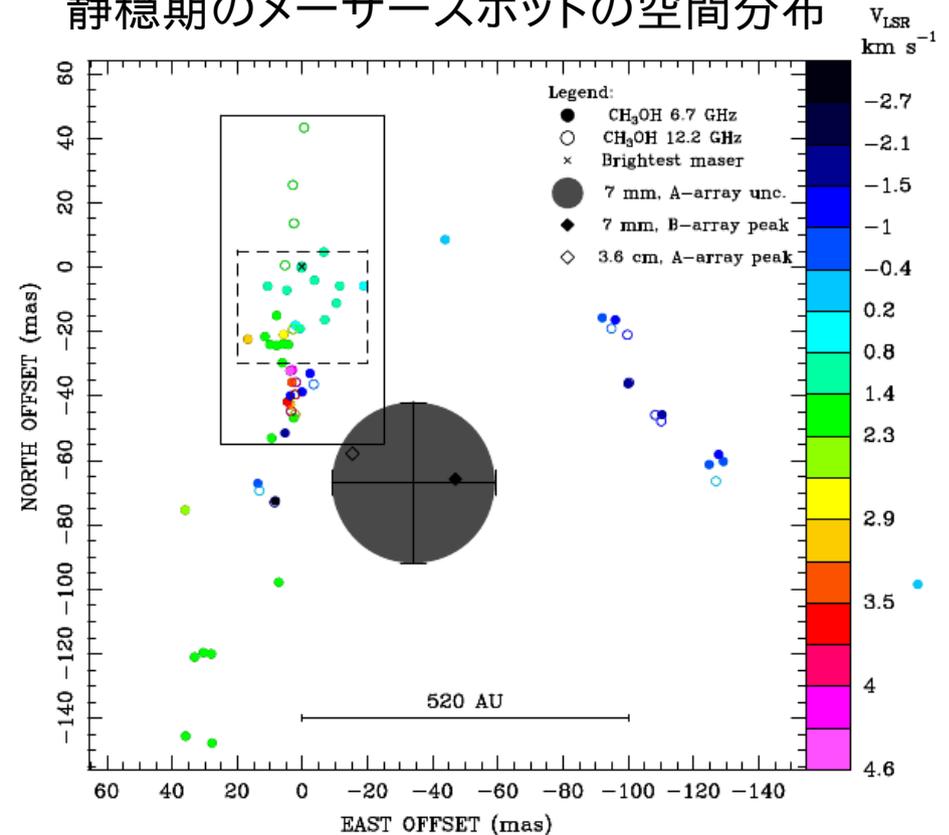
- ▶ フレアの期間でメーザー源の移動がなく、変動要因が衝撃波自体の通過などとは考えにくい

(Goedhart et al. 2005)



やはり連星系モデルが適切か

静穏期のメーザースポットの空間分布

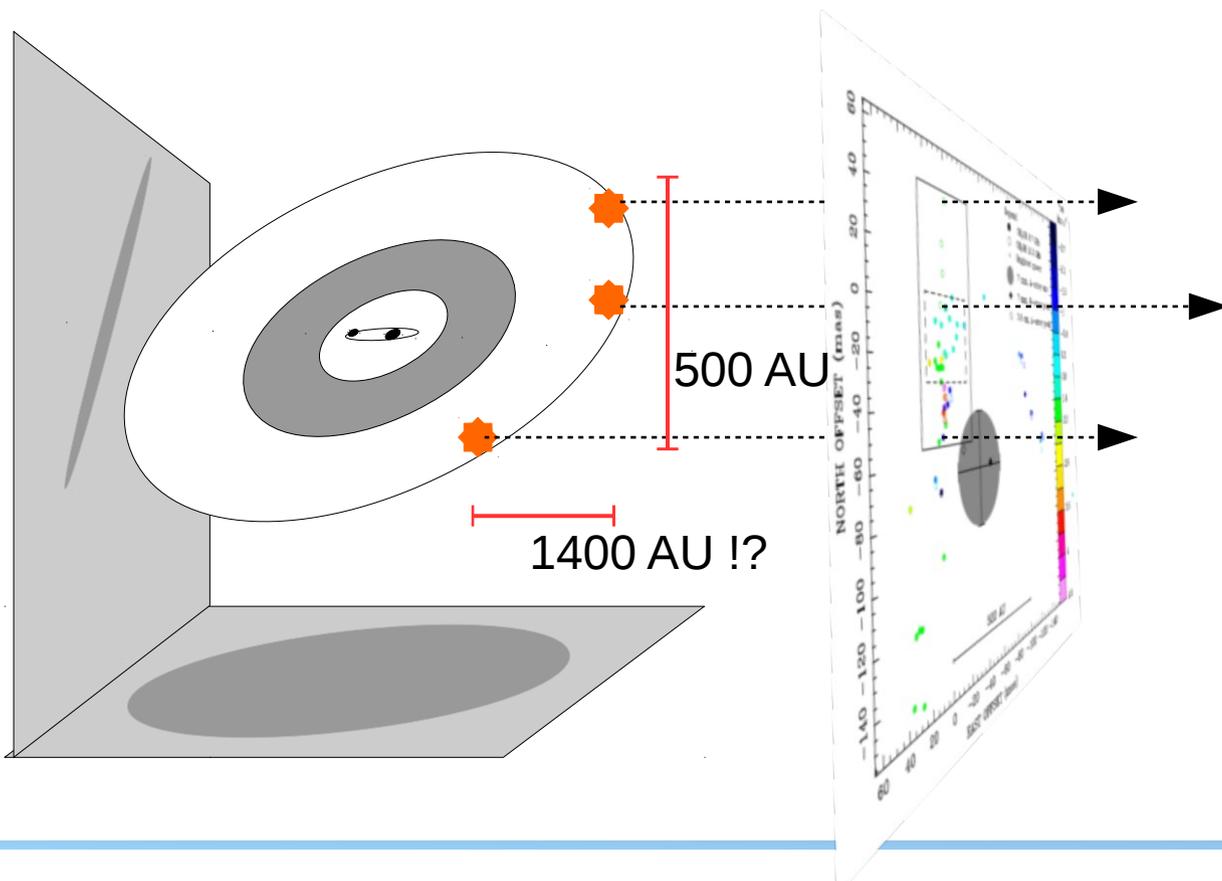


(Sanna et al. 2015)

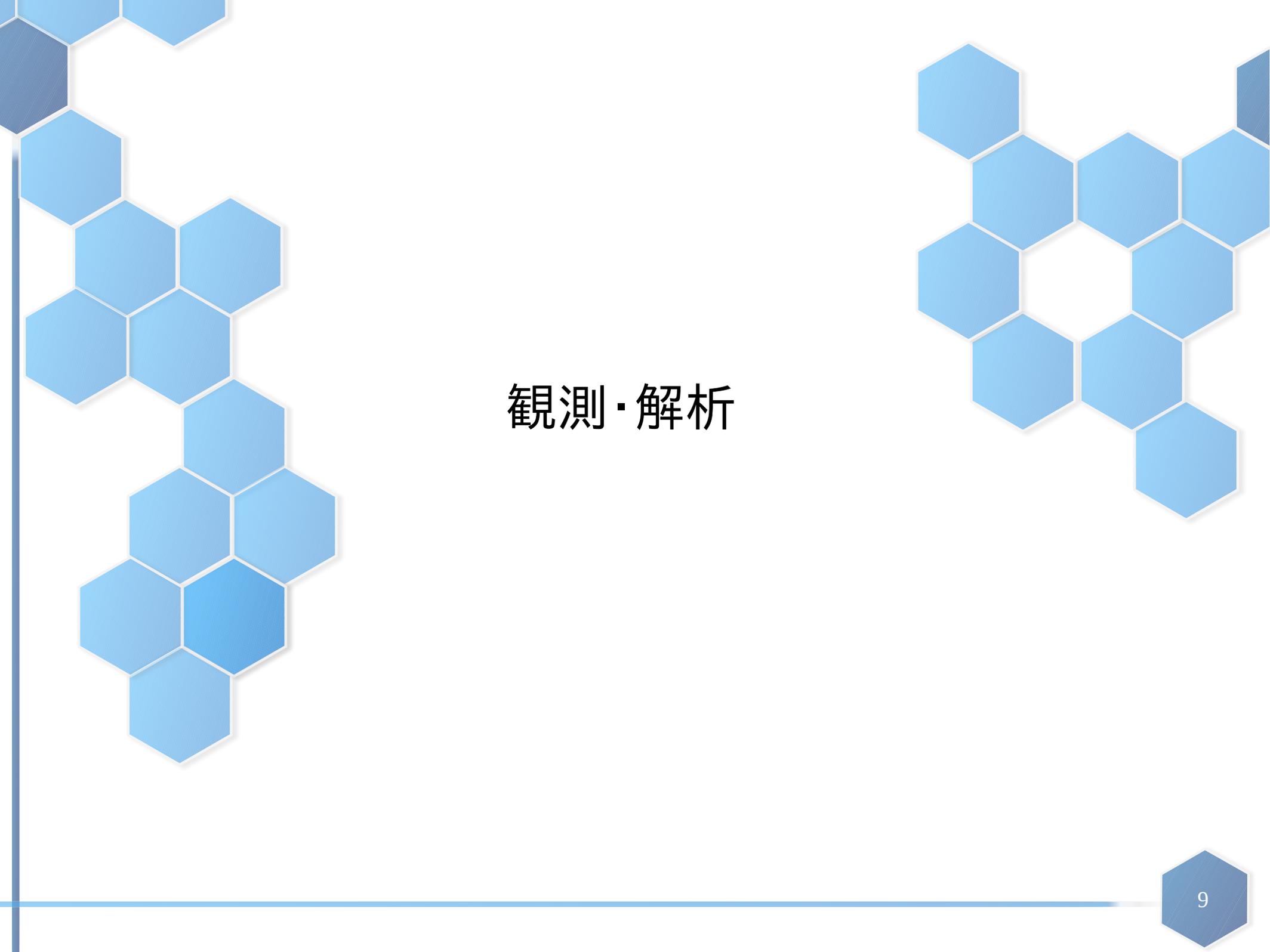
# 問題点

- ▶ 各メーザースポットのダスト状態が同じ、かつ中心星から同心円上に分布すると仮定すると、横方向500 AUに対して奥行き方向が1400 AU (8光日)となる

**フレアの位相差を生むLight travel time以外の要因を解明したい!**



強度の変動傾向について  
詳細な解析を行うために、  
日立32m電波望遠鏡を用  
いた高頻度モニター観測  
結果を利用する



# 観測・解析

# 観測条件と解析概要

## ▶ 観測

- ▶ 日立32m電波望遠鏡(日立局)
- ▶ 較正天体として毎日観測
- ▶ 観測期間:2012/12/31-2015/10/21
- ▶ 解析に用いたサンプル数:664

## 日立局観測パラメータ

受信周波数 [MHz]	6664-6672
システム雑音温度(典型値) [K]	30
半値全幅 [arcmin]	4.6
チャンネル数	8192
速度分解能 [km s <sup>-1</sup> ]	0.044
ノイズレベル(1 $\sigma$ ) [Jy]	~0.3

## ▶ 解析

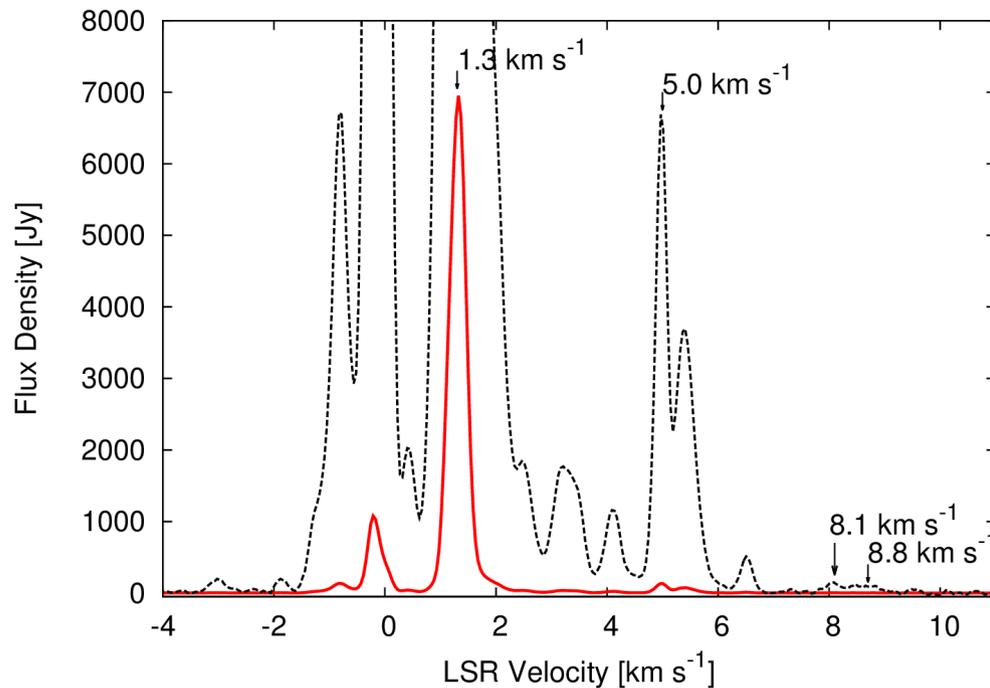
- ▶ 日立局で検出したスペクトルの速度成分を先行研究と照合
- ▶ 周期的強度変動成分の**周期解析**
- ▶ 主な周期変動成分間の**相関解析**

# 日立局モニター観測結果

## ▶ スペクトルの照合

- ▶ 日立局で観測した本天体のスペクトルは14成分

3成分(周期変動あり)を新検出

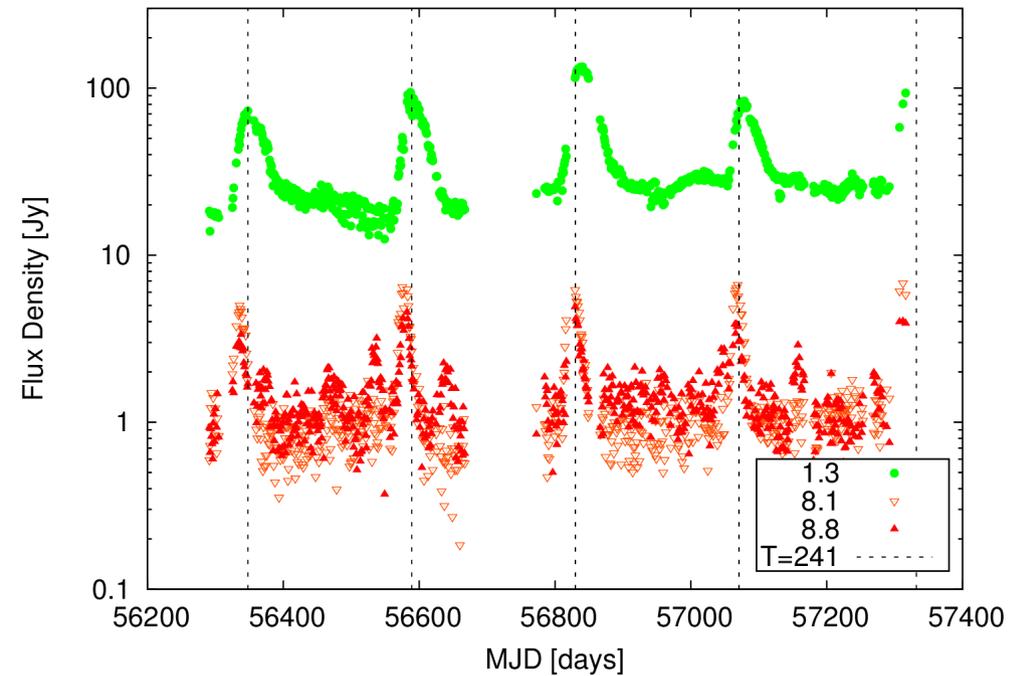


日立局の観測スペクトル  
実線(赤):実際のスペクトル  
破線(黒):50倍のスペクトル

## ▶ 変動傾向

- ▶ 間欠的かつ周期的
- ▶ 周期:  $241 \pm 15$  日 (LS periodogram)

周期性の要因は既知のメーザー源と同じ

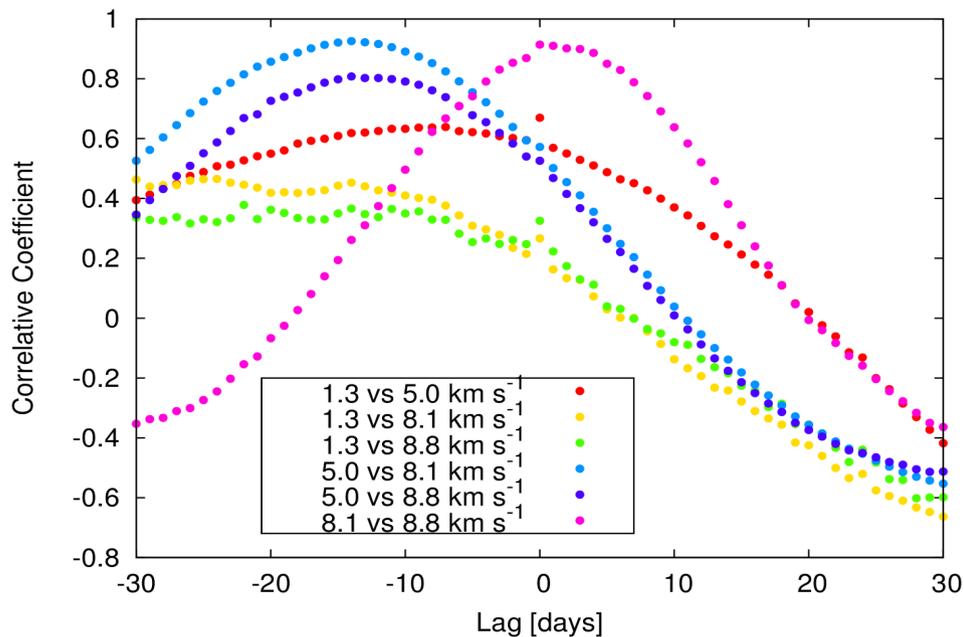


新検出成分強度の時間変動

# 速度成分間の相関

▶ フレアの位相差は最大で32日に広がった

→ Light travel timeとして計算すると **~5000 AU**



2014年7月のフレア前後60日の時系列データの相関

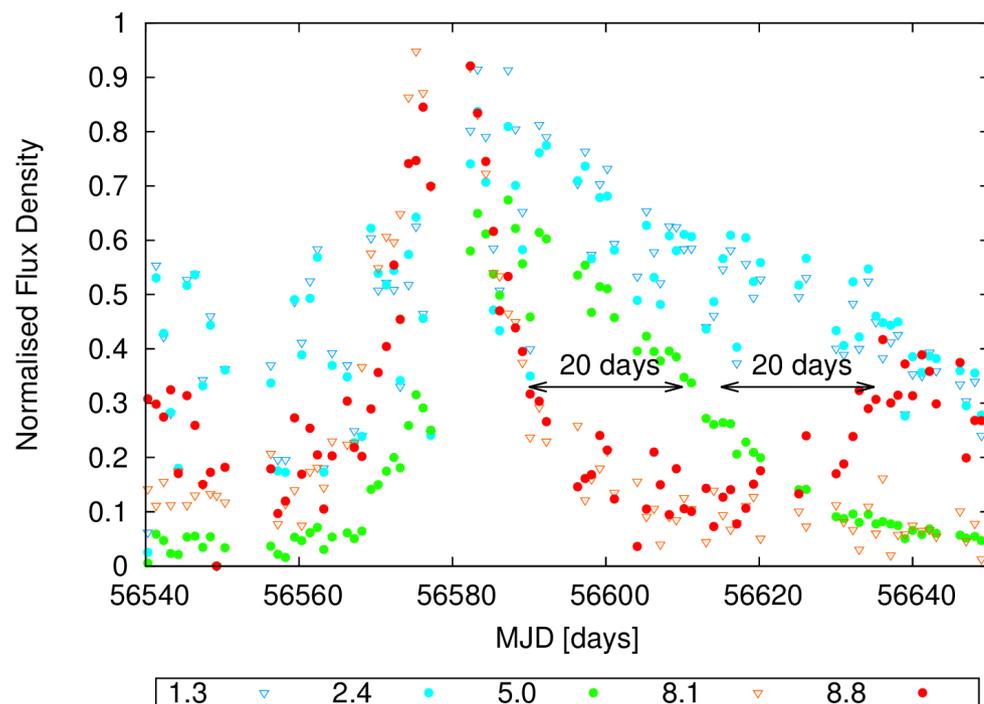
244日の変動周期を持つ成分間の相関

成分 [ $\text{km s}^{-1}$ ]	遅延 [days]
1.3 vs 1.8	8
1.3 vs 2.2	-1
1.3 vs 3.0	-3
1.3 vs 5.0	-7
1.3 vs 8.1	-24
1.3 vs 8.8	-22
5.0 vs 8.1	-14
5.0 vs 8.8	-14
8.1 vs 8.8	1

# 各成分のフレア形状についての考察

- ▶ フレアの位相差(日) = Light travel timeとする際に、「フレアの形状は同一で、位相差 = ピークの時間差」という仮定が入っていた
- ▶ 位相差(ピークの時間差)の原因として、メーザーガス雲の光学的厚みの違いが考えられる

フレア形状の違いは新検出成分において顕著だが、**新検出成分の空間分布は不明**



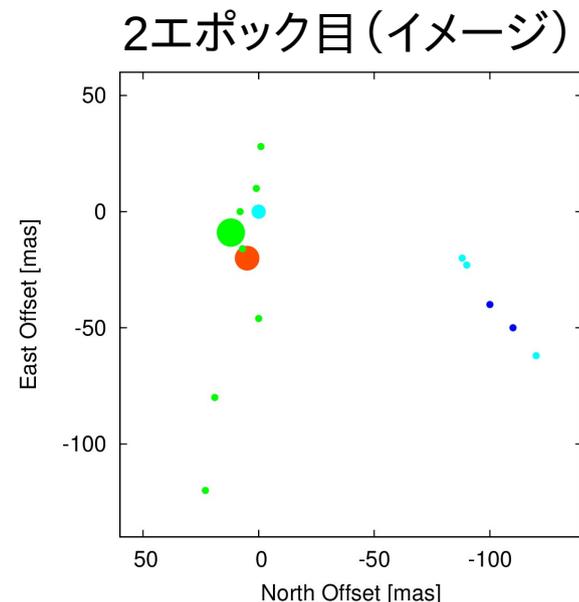
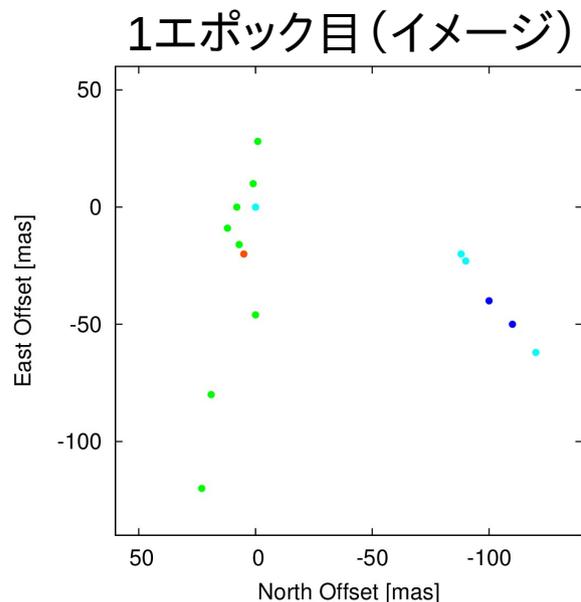
2014年7月のフレア前後60日の各速度成分の規格化強度



## 今後の展望・まとめ

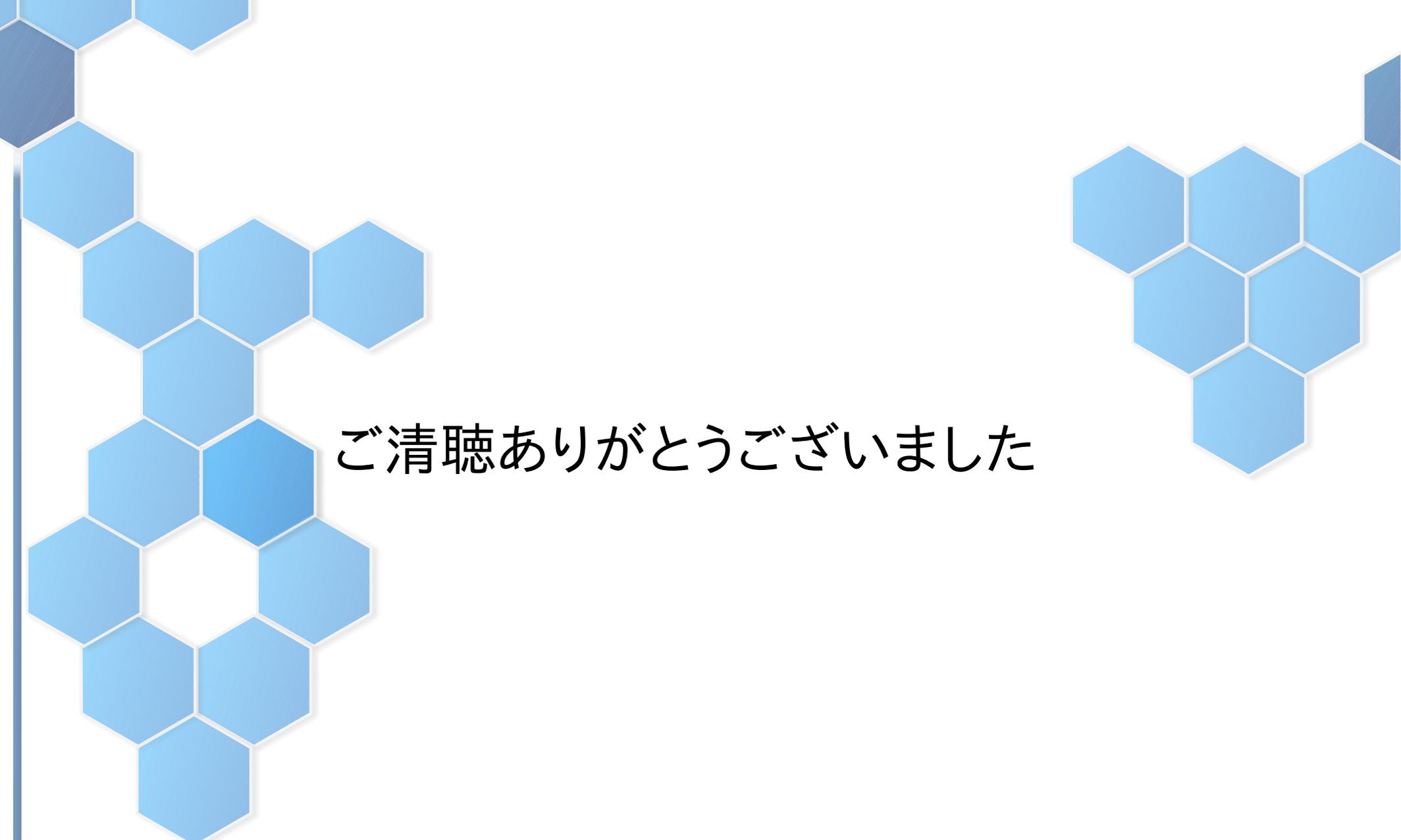
# メーザースポットベースでの空間分布決定

- ▶ **新検出成分の空間分布の決定**のため、JVNへ観測提案を提出
- ▶ これまでは単一鏡スペクトル成分の視線速度とVLBIマップの視線速度の比較で対応付けをしていた
  - 視線速度の近い成分を混同する可能性
- ▶ 変動の周期性を利用し、VLBIマップ上で変動を捉える
  - 既知の周期変動成分についても**視線速度の混同なしに決定できる!**

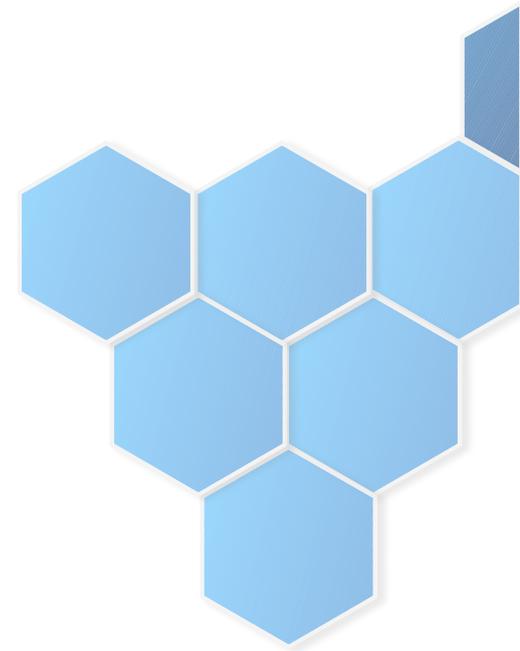
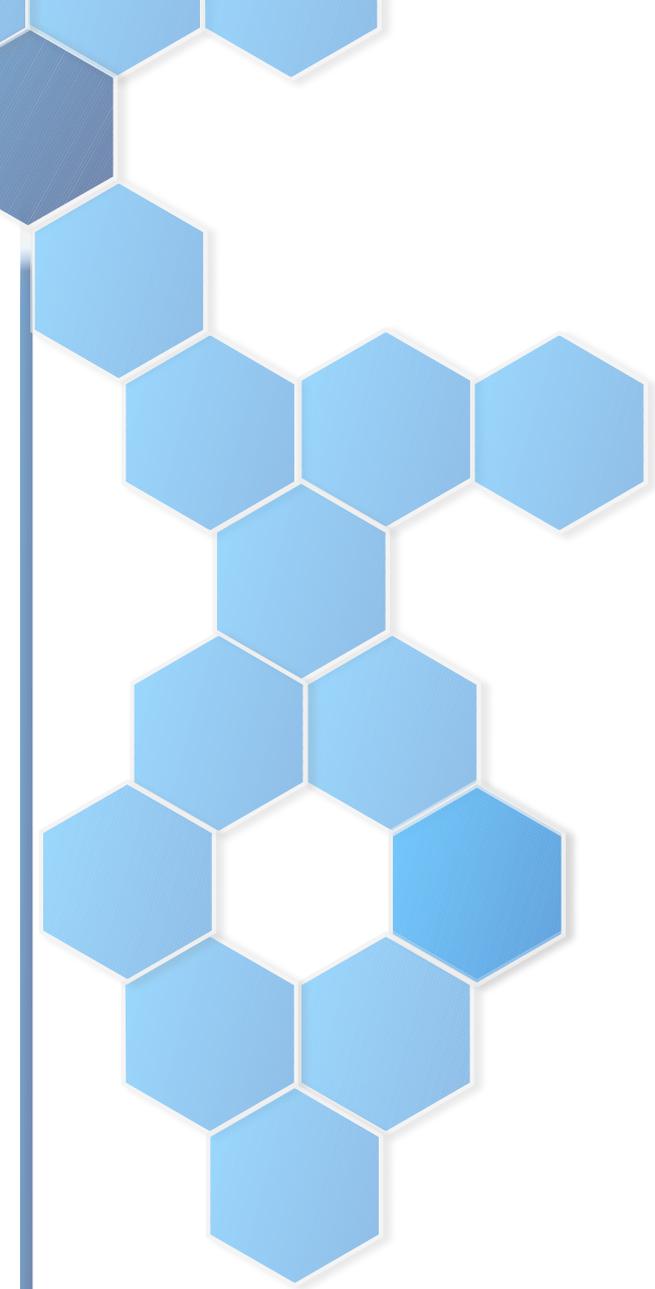


# まとめ

- ▶ 較正天体として毎日観測
  - 周期的強度変動を示すレーザー速度成分を3つ新検出
- ▶ 新検出速度成分の変動傾向は間欠的で、周期は244日程度
  - 周期的強度変動の要因は既知のレーザー源と同じ
- ▶ 本天体の周期変動を説明する連星系モデルを仮定
  - メーザースポットのダスト状態が均質、かつ中心星から同心円上に分布するとした場合、Light travel timeで制限されるスポット間の視線方向の広がりには最大で5000 AU
- ▶ フレア形状の違いに注目
  - 形状の違いが顕著な**新検出成分の空間分布は不明**  
VLBI観測を行い、新検出成分の空間分布を決定するつもり
- ▶ 新検出成分の空間分布と併せてフレア形状の解析を行う

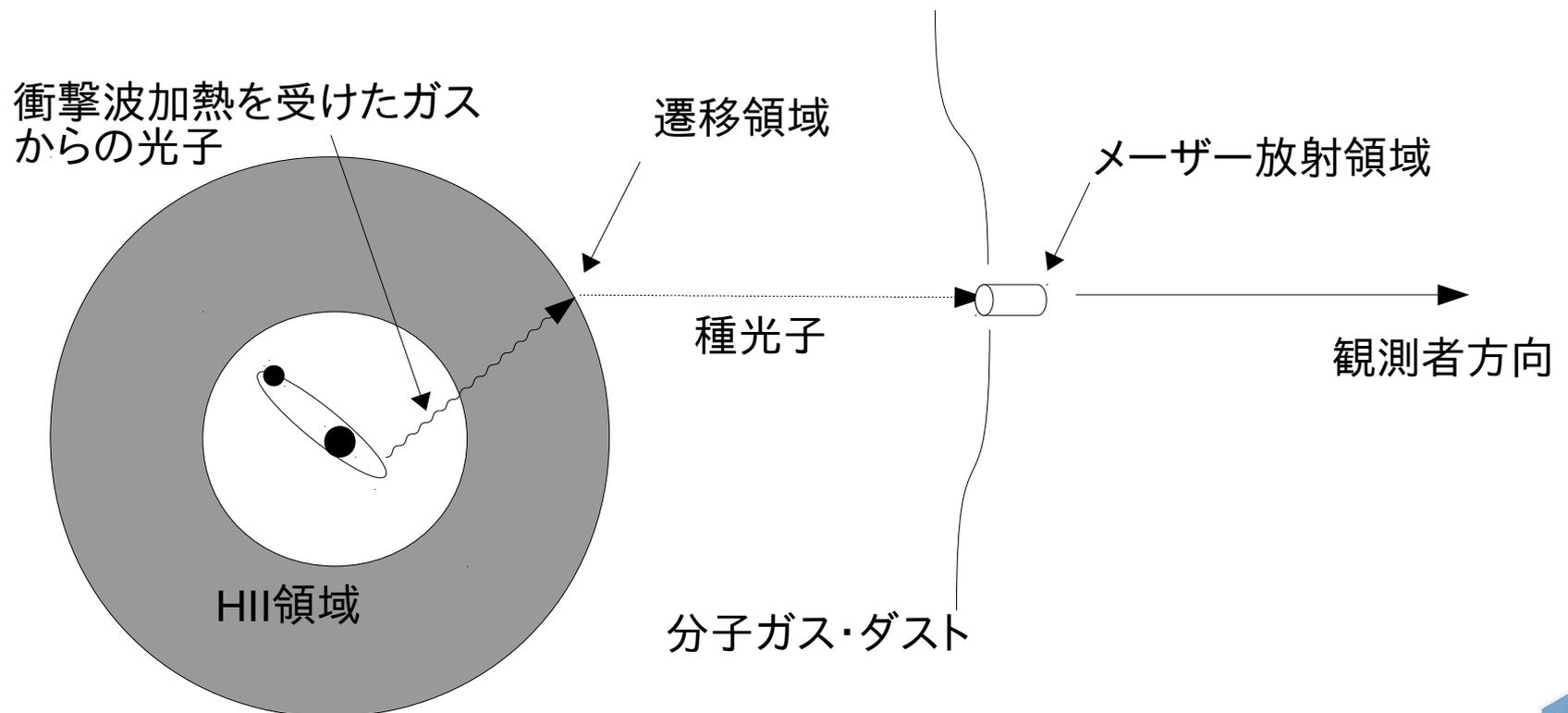


ご清聴ありがとうございました



# 周期性の要因

- ▶ 間欠的な変動傾向 → 連星系の公転周期が関係していると考えられる
  - ▶ 主星 $17M_{\odot}$ , 伴星 $8M_{\odot}$ がケプラー回転している場合, 244.4日周期は軌道長半径2.23 AUで実現する (vander Walt et al.2009)
- ▶ 連星の近接点での衝撃波加熱による放射で, HII領域の電離度が変化し, 種光子が増加する (van der Walt 2011)

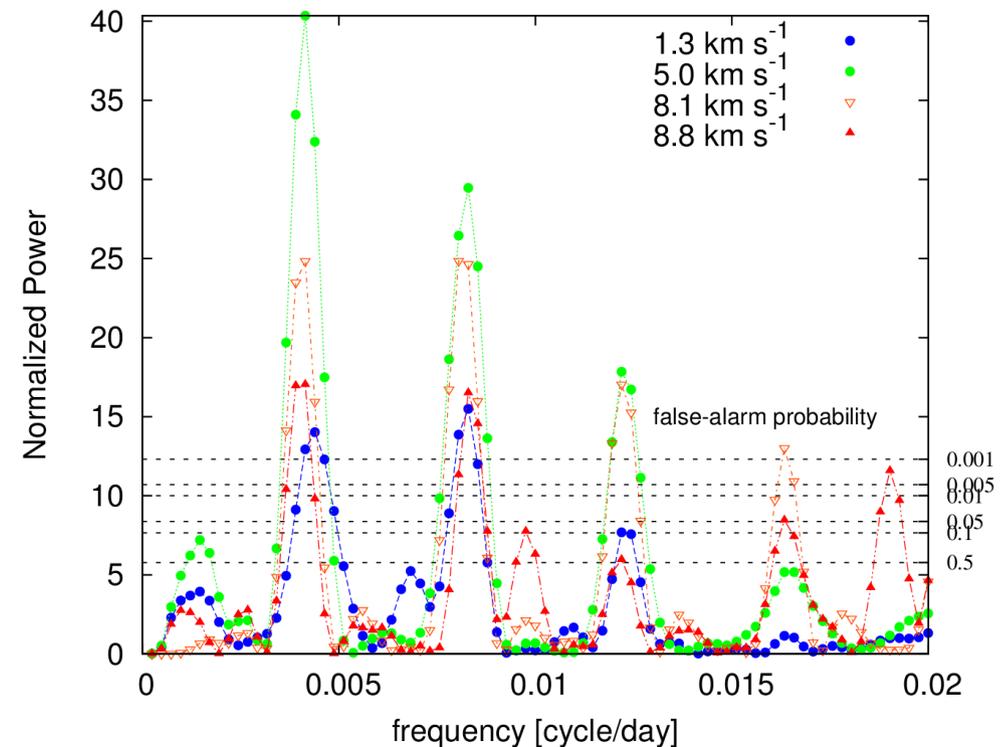


# LS periodogram

## ▶ LS periodogram

- ▶ 時系列プロットをフーリエ変換し, 強度変動の振動数を導出
- ▶ False alarm probabilityは, 誤った振動数を正しいとする割合のこと

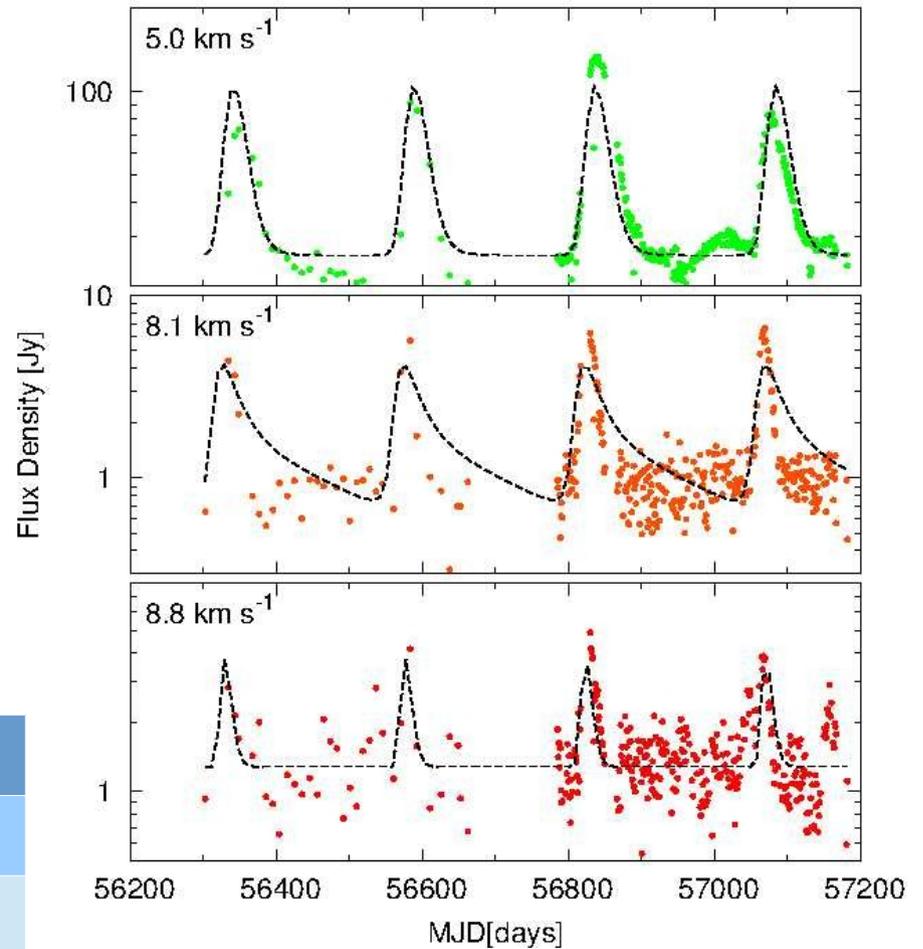
新検出成分 [km s <sup>-1</sup> ]	周期(LS) [days]
5.0	120±4 <b>241±15</b>
8.1	<b>121±4</b> 241±15
8.8	120±4 <b>241±15</b>



# 関数フィッティング

## ▶ 用いた関数

新検出成分 [km s <sup>-1</sup> ]	周期(関数) [days]
5.0	248
8.1	248
8.8	247



# 日立局観測結果解析のまとめ

- ▶ 変動周期が $241 \pm 15$ 日の変動成分を3つ新検出した
- ▶ 新検出成分が加わると、フレア位相差は8日 (1400 AU) から32日 (5000 AU) と、さらに大きくなる
- ▶ ここまではフレアの位相差 = フレアピークの時間差という仮定が存在していた
- ▶ 実際にはフレアの形状が各成分で異なる
- ▶ メーザースポットのダストの光学的厚みなどを考慮する必要がある
- ▶ 新検出成分の空間分布は分かっていない

