

少数基線VLBI観測による  
6.7GHzメタノールメーザー源の  
放射領域サイズ変動の研究

茨城大学 M2 齋藤 偉

共同研究者:

米倉 寛則(茨城大学),

杉山 孝一郎(国立天文台), 百瀬 宗武 (茨城大学),  
藤沢 健太 (山口大学), 岳藤 一宏 (情報通信研究機構)

# 目次

- 背景
- 目的
- 手法
- VLBI観測
- 解析
- 結果
- 考察
- 今後



BG

## \*メタノールメーザーの強度変動\*

周期的・突発的な強度変動を起こすメタノールメーザー源を確認

周期変動

突発変動

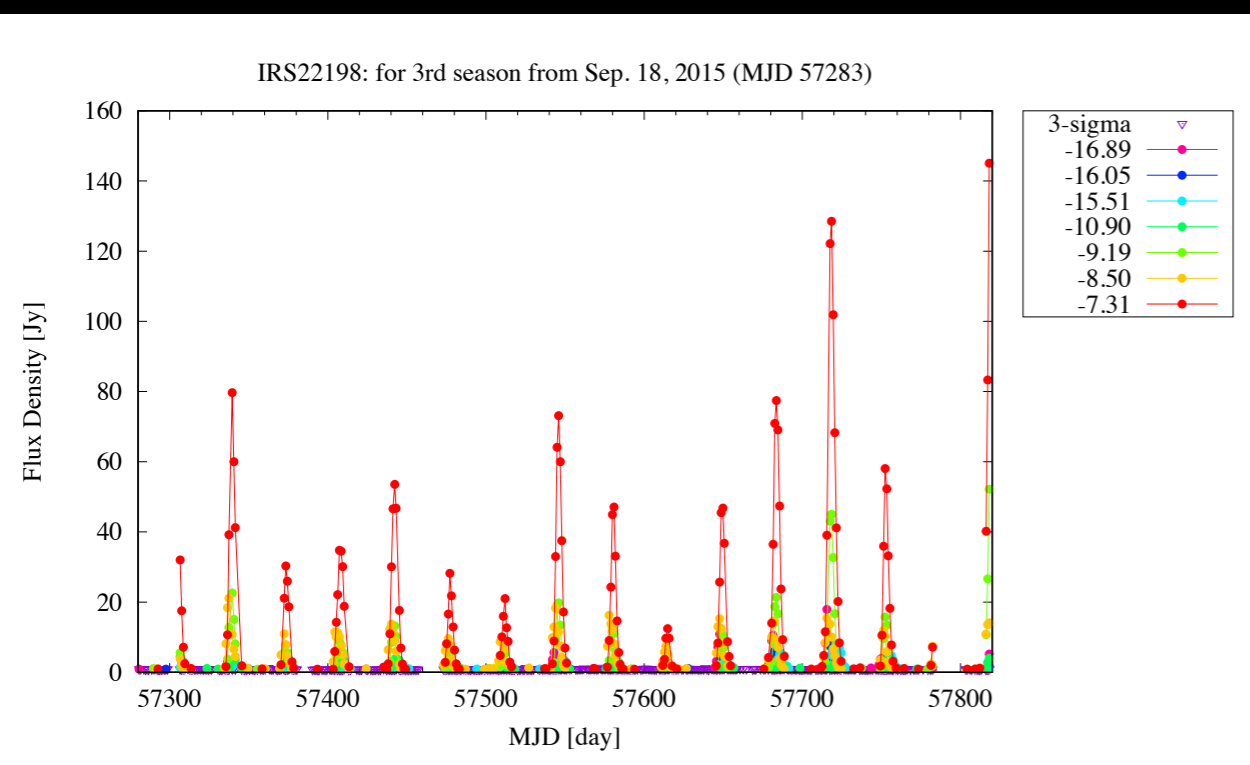


図1 IRS22198 日立32mモニターデータ  
(Fujisawa et al 2014)

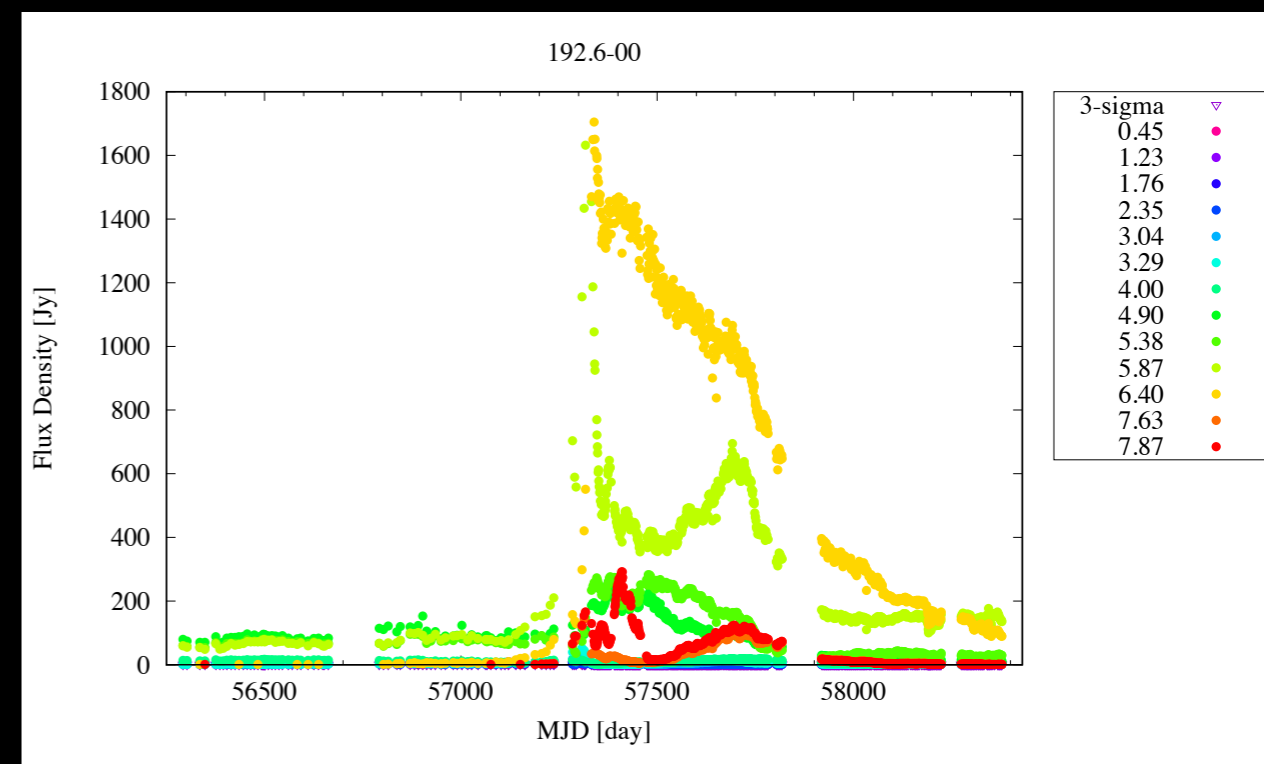


図2 192.6-00 日立32mモニターデータ  
(Fujisawa et al 2015)

## 輝度変化モデル

脈動変光, スパイラルショック, 磁気リコネクション

# \*短時間における強度の突発変動の例\*

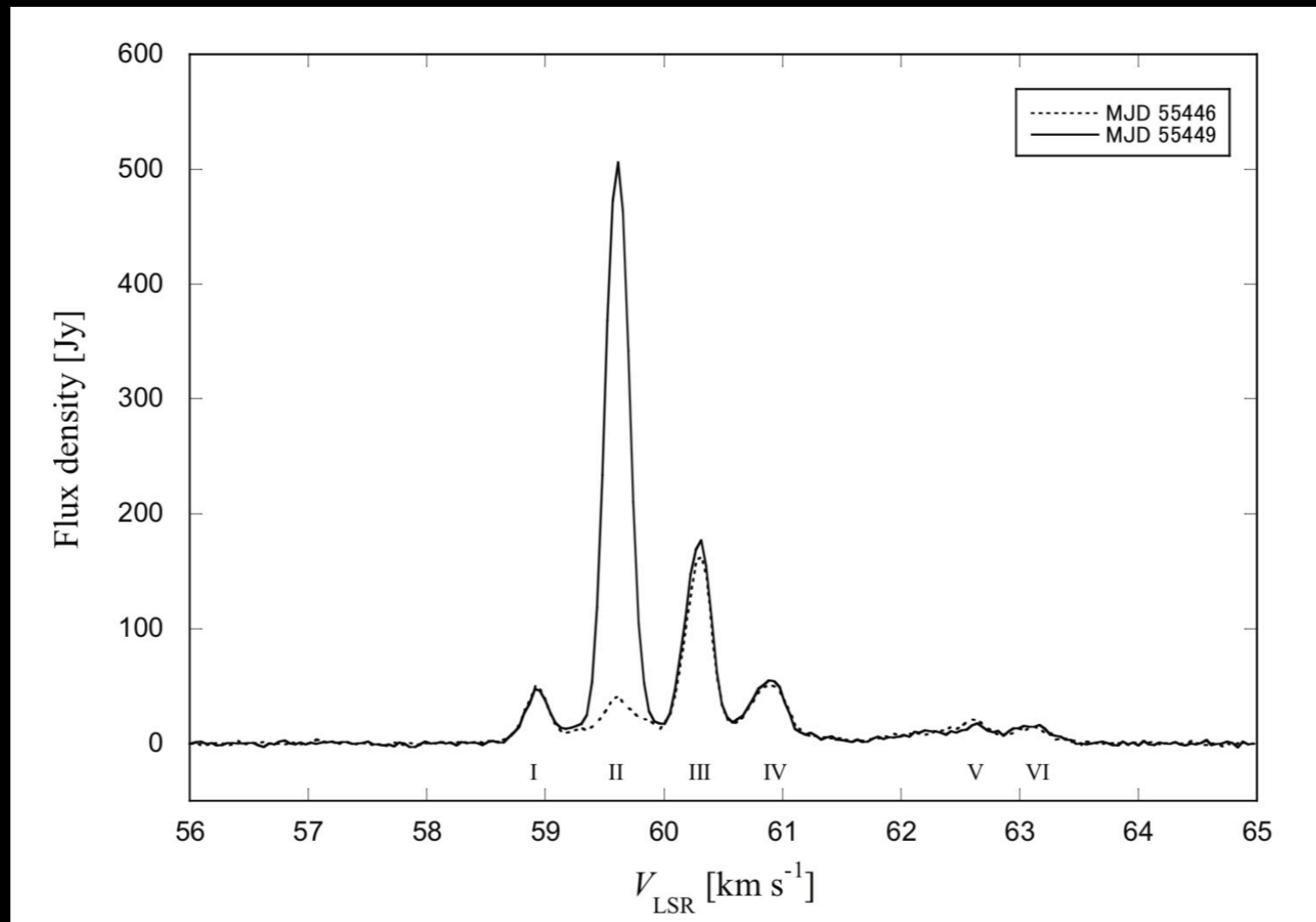


図3 G33.64-00.21の強度変動

(Fujisawa et al 2014)

数日,1日以内の短時間に起こる二桁以上の強度変動を確認

→輝度変化モデルで変動メカニズムを説明することはむずかしい

# 「メタノールメーザー源の放射領域サイズ」に着目

- メタノールメーザーの放射領域サイズを観測で推測した論文はわずか。

[ Minier et al 2002 ]

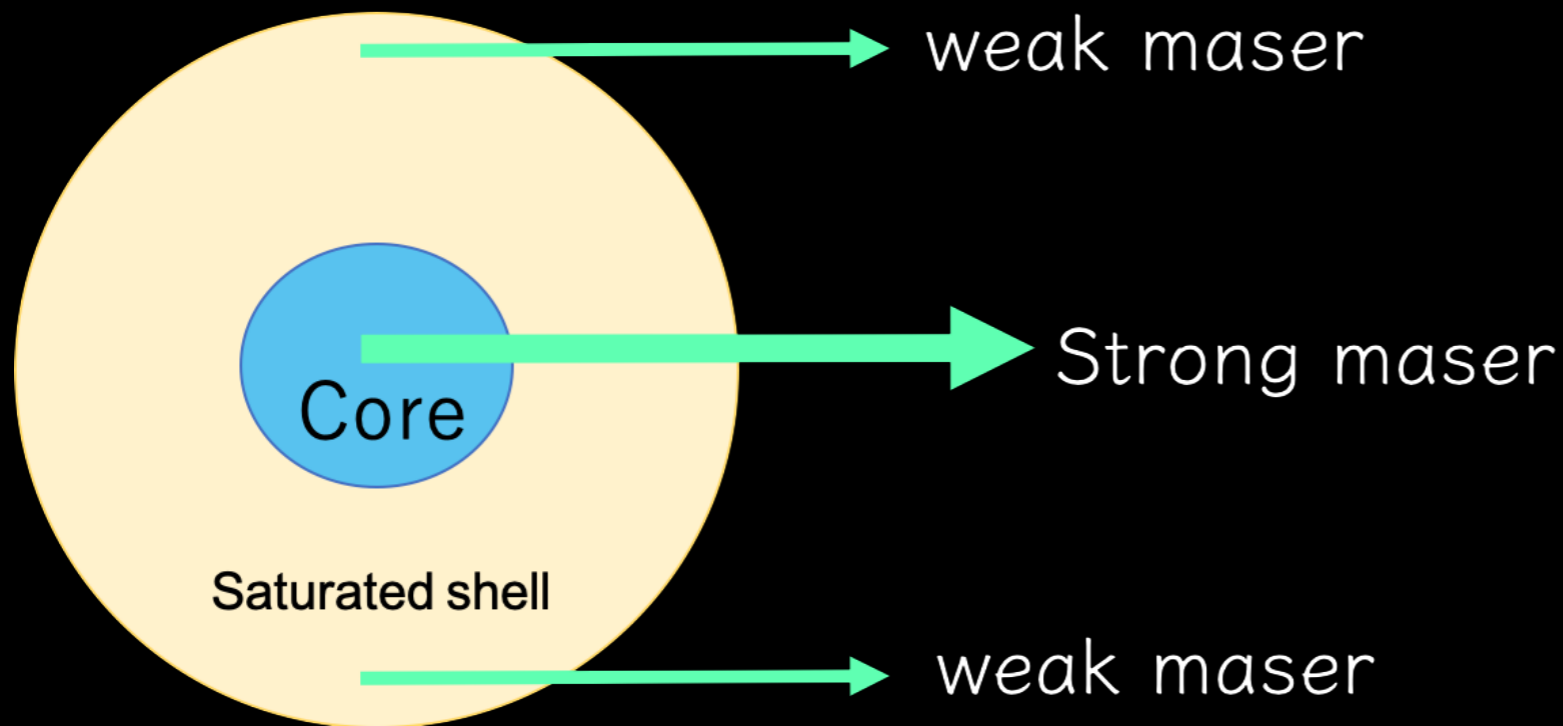


図4 メーザースポットの内部構造

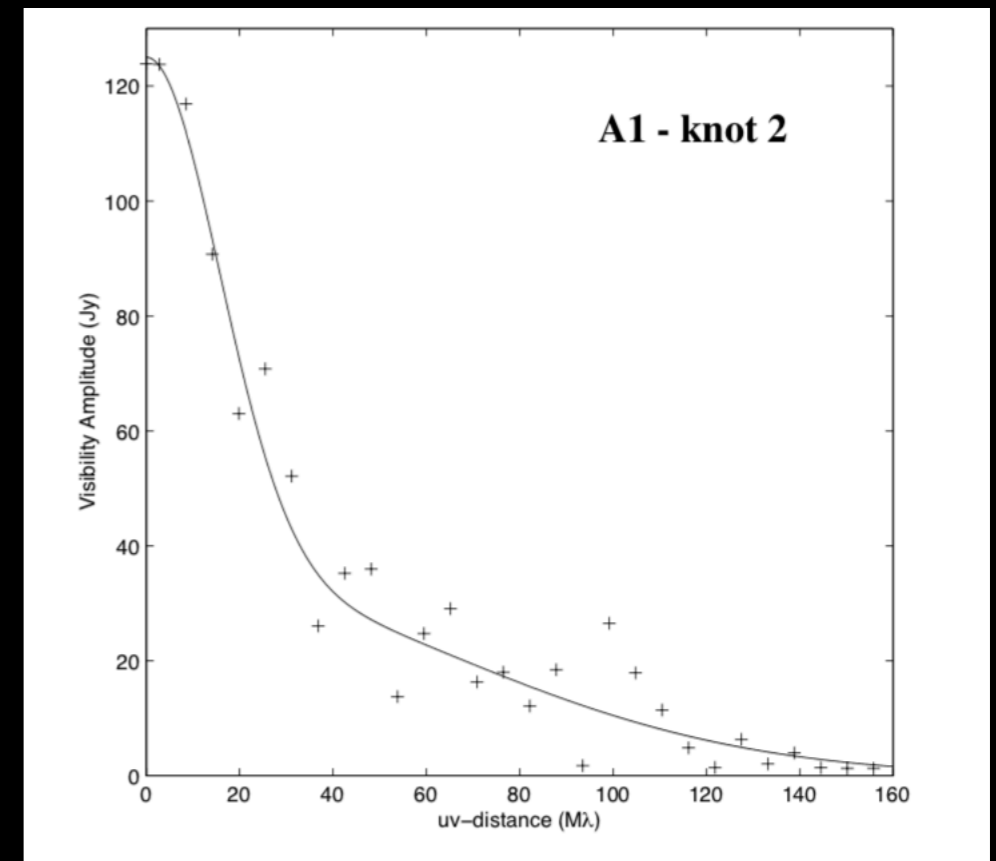


図5 NGC7538のVisibility plot

- メーザースポットをCoreとHaloの二つの領域に切り分け
- VisibilityとUV-distanceからCoreとHaloのサイズを推定
- 放射領域サイズの変化に関する先行研究はなし



# [仮説] 「メタノールメーザー源の放射領域サイズの変化モデル」<sup>6</sup>

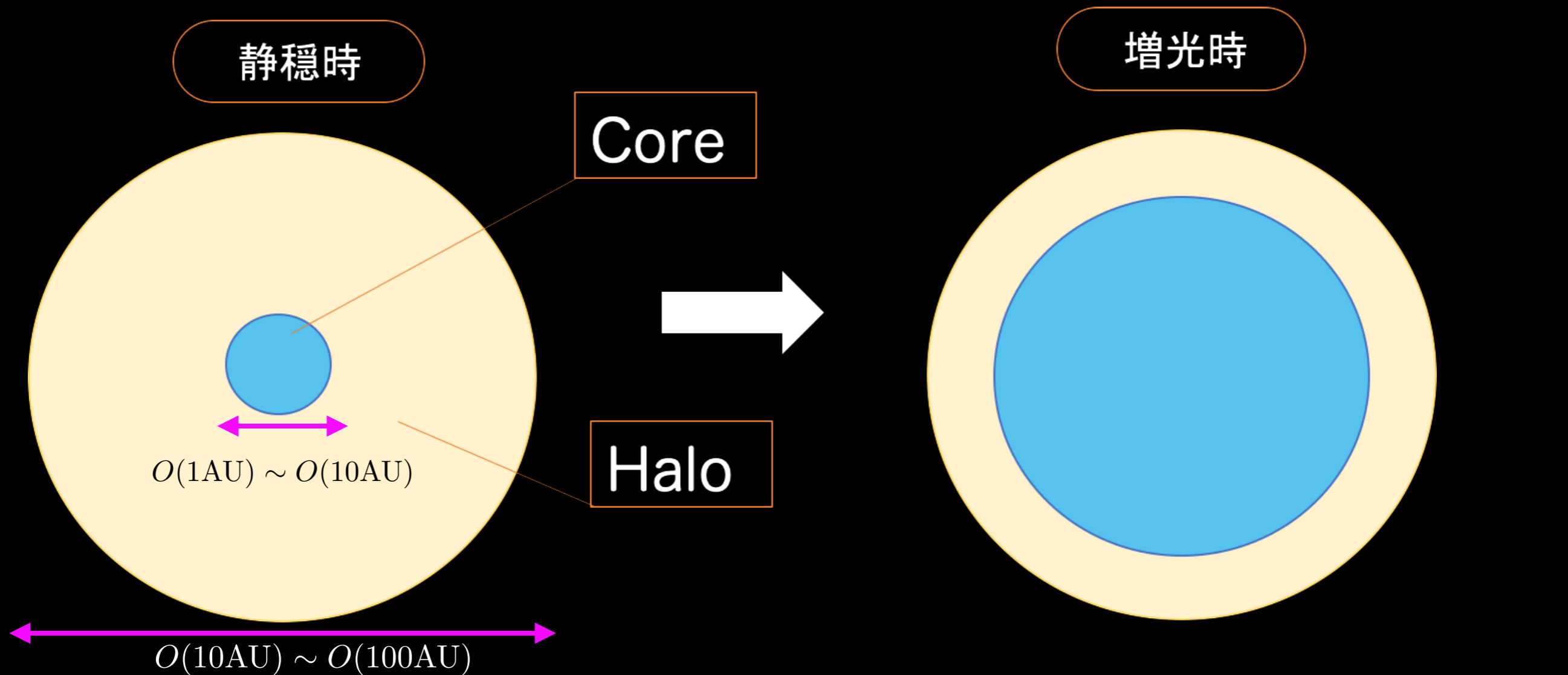


図6 maser spot内におけるサイズ変化 増光時は静穏時に比べ放射領域(Core)が拡大

放射領域でIntensity  $I$ の分布は全体一様を仮定

$$F = I \times \Omega$$

立体角 $\Omega$ の変化により観測されるflux densityが変化

“メタノールメーザーの強度変動を  
放射領域サイズ変化という観点から解明すること”



### ① 【放射領域サイズの導出】

基線長の違いにより広がった天体の構造が分解されることを利用し、**Visibility** vs **UV-distance**のプロット (**Visibility plot**)から推定

### ② 【放射領域サイズ変化の検出】

天体強度が増光する**時期に合わせて観測**を行い放射領域サイズを比較する



# Method

## ① 放射領域サイズの推定

ビジビリティと輝度分布の関係

$$V(u) \propto \int_l I(l) \exp(-2\pi iul) dl$$

イメージ

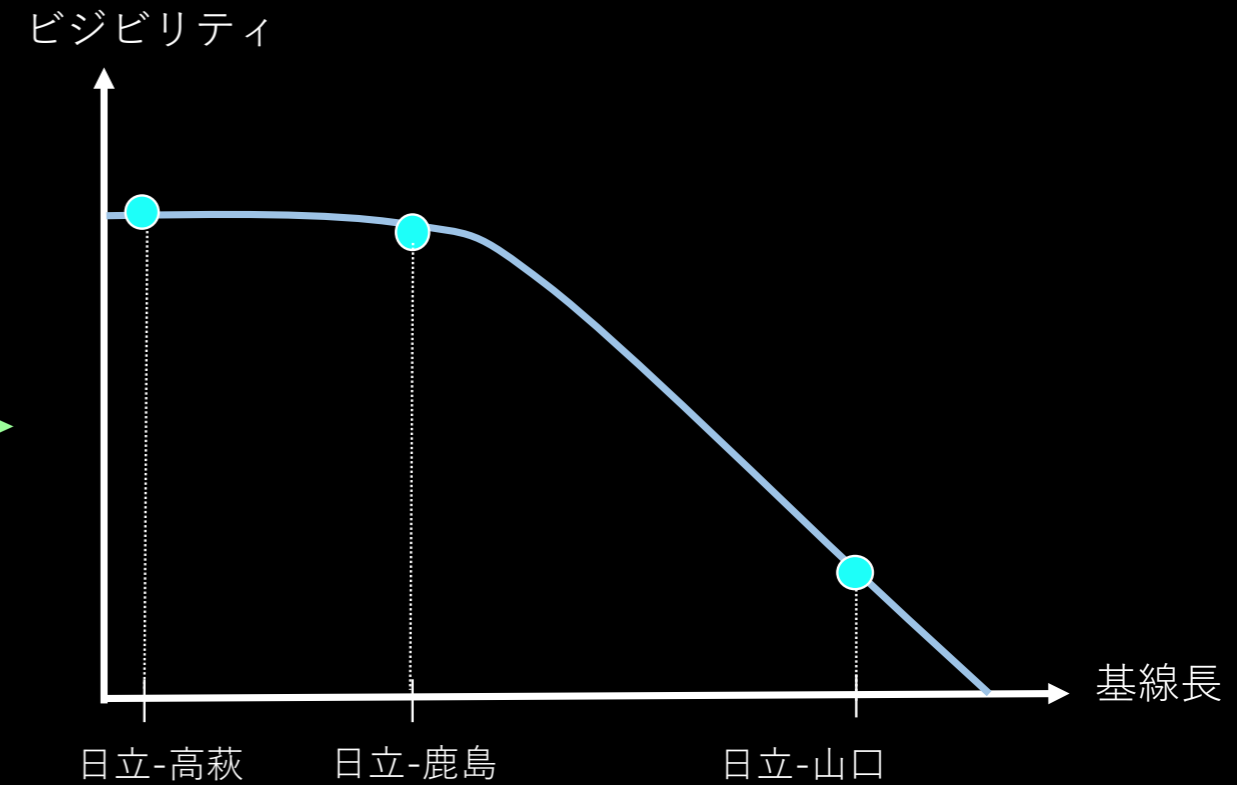
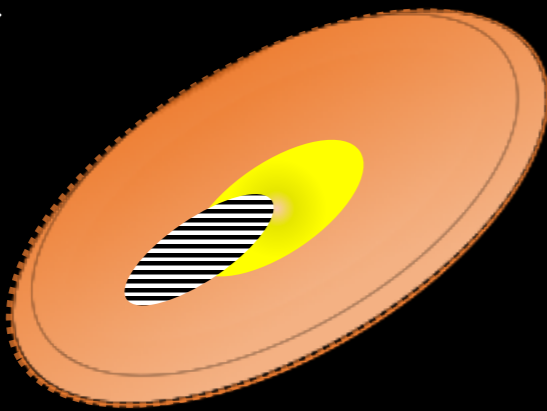
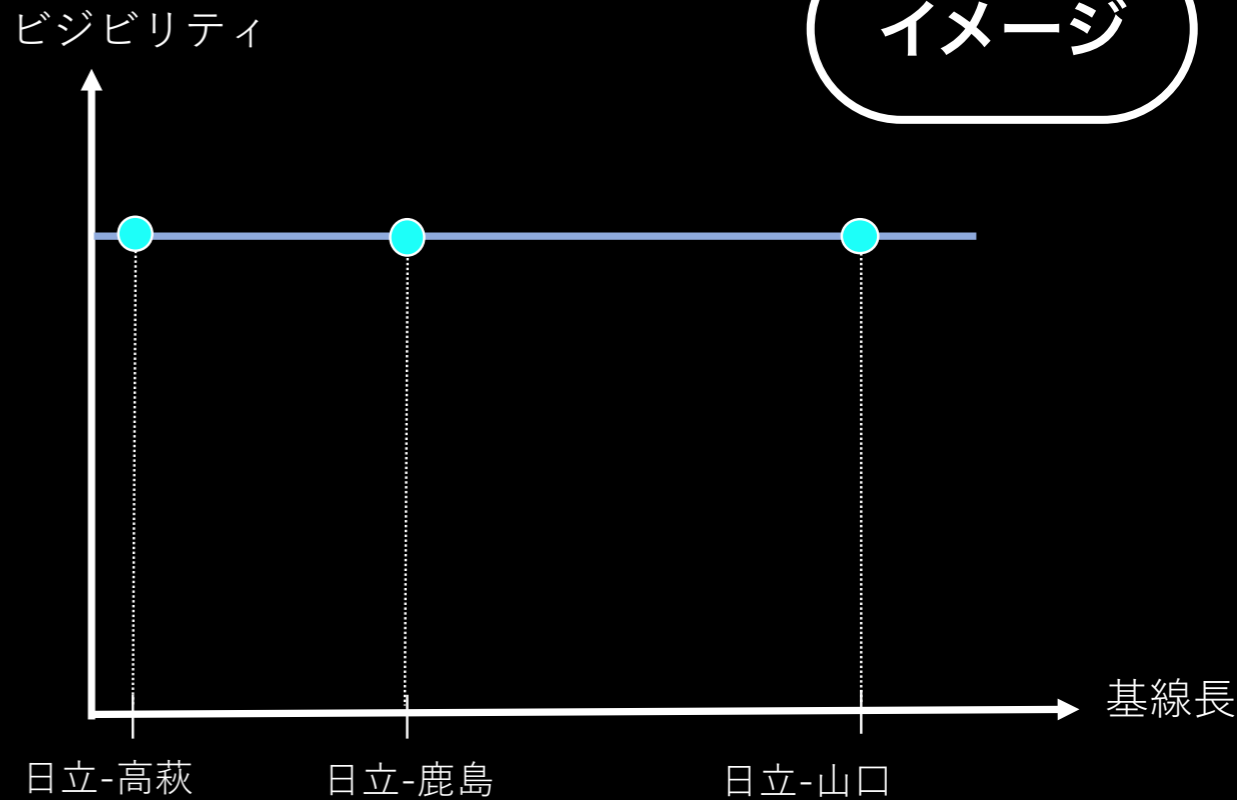


図7 天体構造の違いによるVisibility plotの変化

Observational study of the change in the size of the emitting region of 6.7 GHz methanol maser sources by a VLBI network with small numbers of baselines

### ① [放射領域サイズの導出]

基線長の違いにより広がった天体の構造が分解されることを利用し、**Visibility** vs **UV-distance**のプロット (**Visibility plot**)をから推定

### ② [放射領域サイズ変化の検出]

天体強度が増光する**時期に合わせて観測**を行い放射領域サイズを比較する

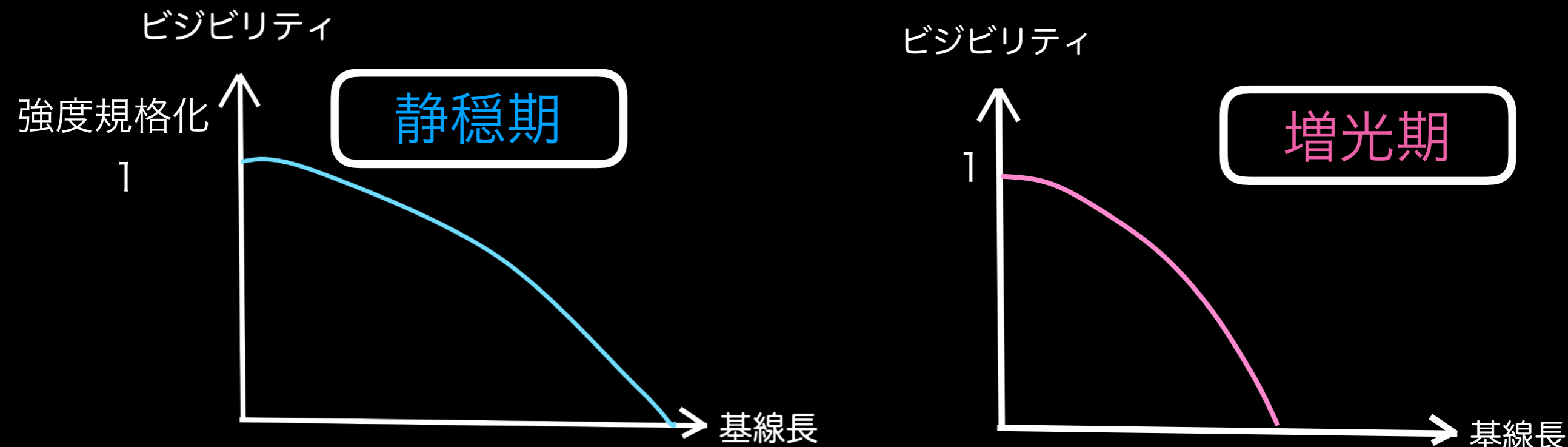


図8 観測時期の違いによるVisibility plotの変化

増光期と静穏期で観測されるビジビリティの分布が異なる



両時期の観測で得られたplotを比較し立体角の変化を捉える  
(増光周期は明らかにになっている天体であれば狙い撃ち可能)



# Observation

観測局	日立局32m(H)- 高萩局32m(T)- 鹿島局34m(O)-山口局32m(K)
観測日	2016年10月26日 02:30:00 - 17:23:30(UT)
観測天体	メタノールメーザー源 (56天体)
キャリブレーター	NRAO512(Quasar), DA193(Quasar), 4C39.25(Quasar)
観測周波数	6664 - 6672 MHz
帯域幅	8MHz
積分時間	300 秒
分光点数	8192点
システム雑音温度 [K]	30 (日立,高萩), 150 (鹿島), 110 (山口)
偏光	LHCP(日立,高萩,山口) VP(鹿島)
サンプラー	K5/VSSP32
サンプリング周波数	16MHz × 4bit

# Analysis

- ◆メタノールメーザー源56天体に対して相関処理を実施  
(キャリブレーター天体を用いた幾何学的遅延の補正)

- ◆各天体に対して

- ・4局の自己相関スペクトル
- ・6基線の相互相関スペクトル

を作成

- ◆自己相関スペクトルに対して

- ・バンドパス
- ・一次関数

を用いてベースラインフィット

- ◆天体のAz, ElからUV-distanceを導出

- ◆Visibility plotを作成

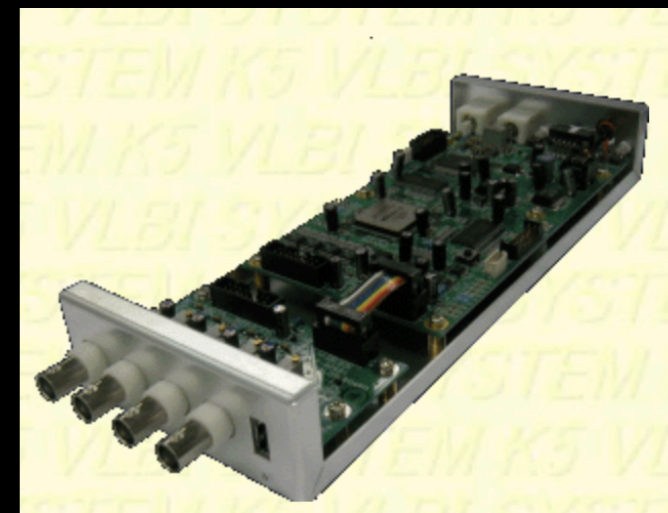


図10 K5/VSSP32 sampler (NICT HP)



# Result

\*天体名:G009.62+00.19のスペクトル\*

## 自己相関スペクトル

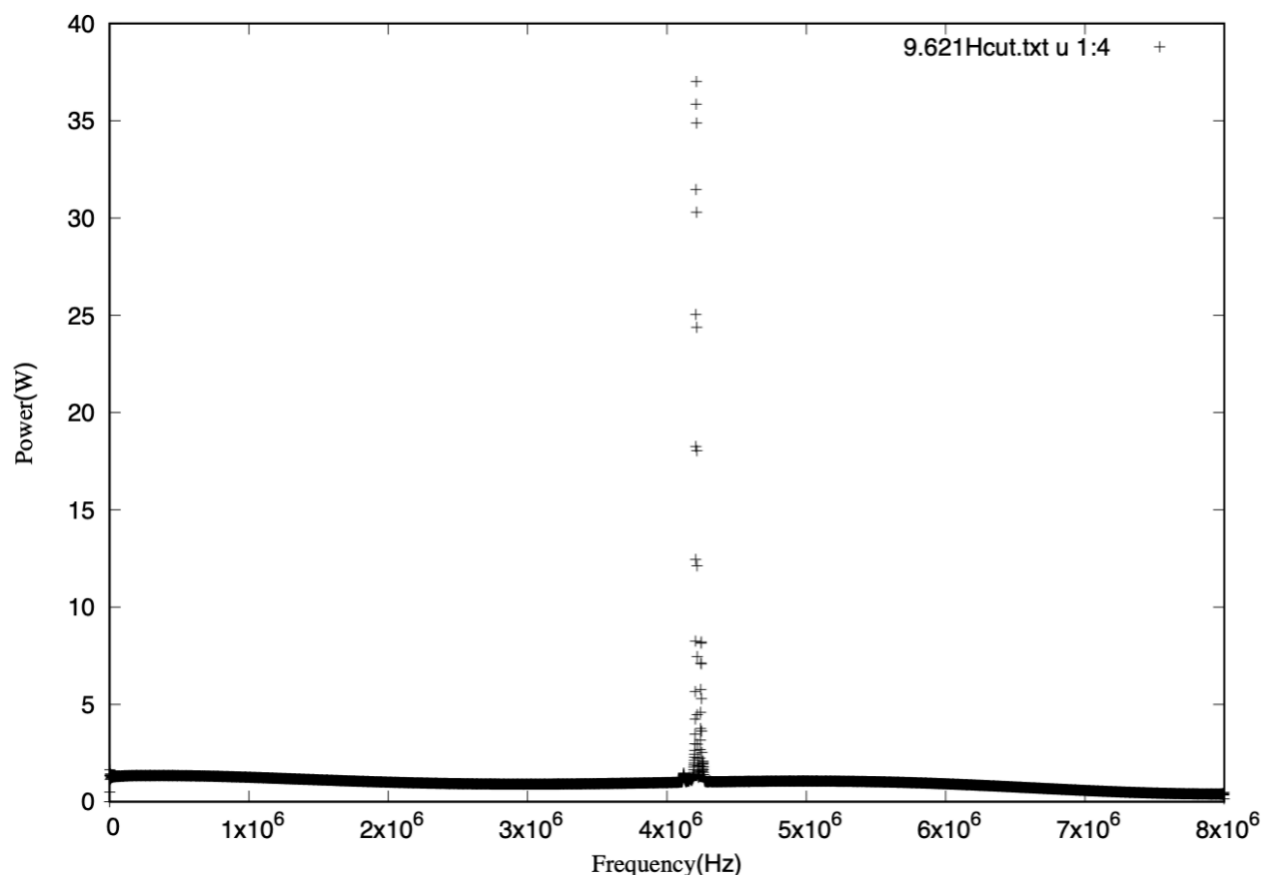


図11 Hitachi auto correlation spectrum  
(G009.62+00.19)

## 相互相関スペクトル

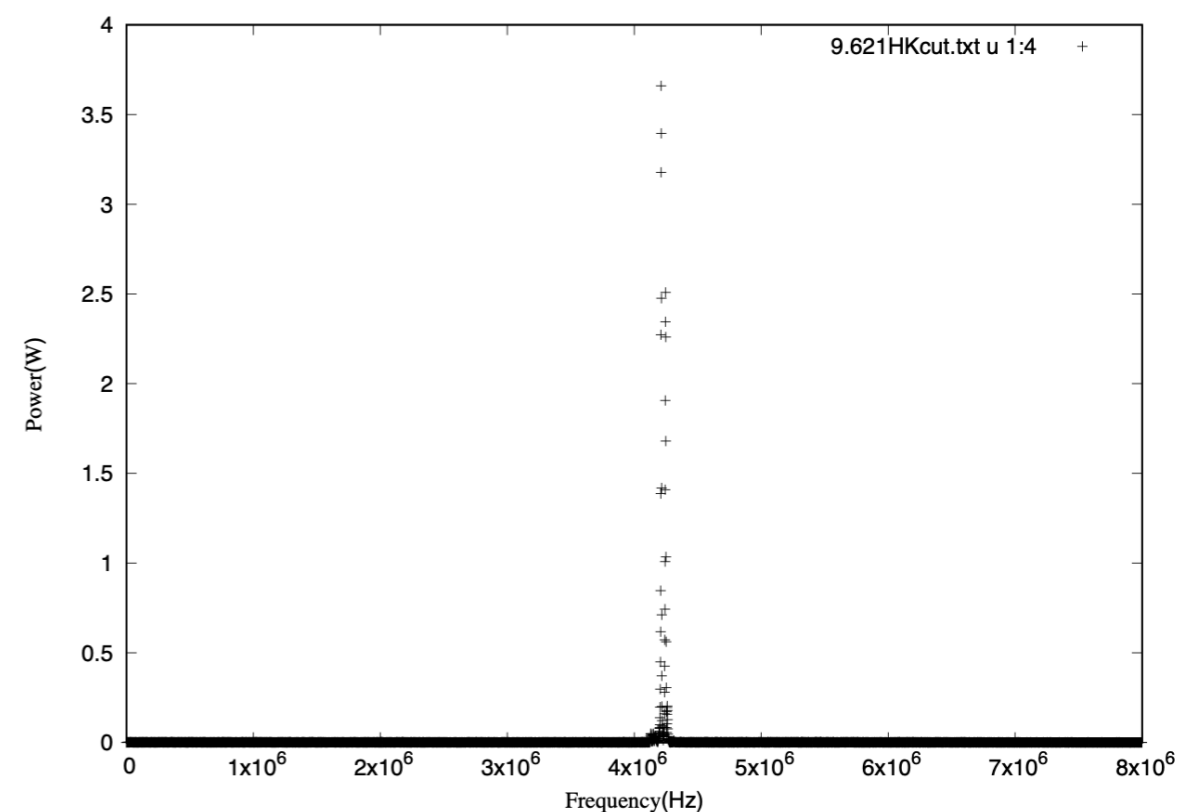


図12 Hitachi-Yamaguchi crosspower spectrum  
(G009.62+00.19)

自己相関スペクトル、相互相関スペクトルにおいて

IF周波数 4.2MHz (RF周波数 6682MHz)でメーザー放射を検出

## \*ベースラインフィット\*

[バンドパス較正あり]

[バンドパス較正あり]  
[1次関数フィットあり]

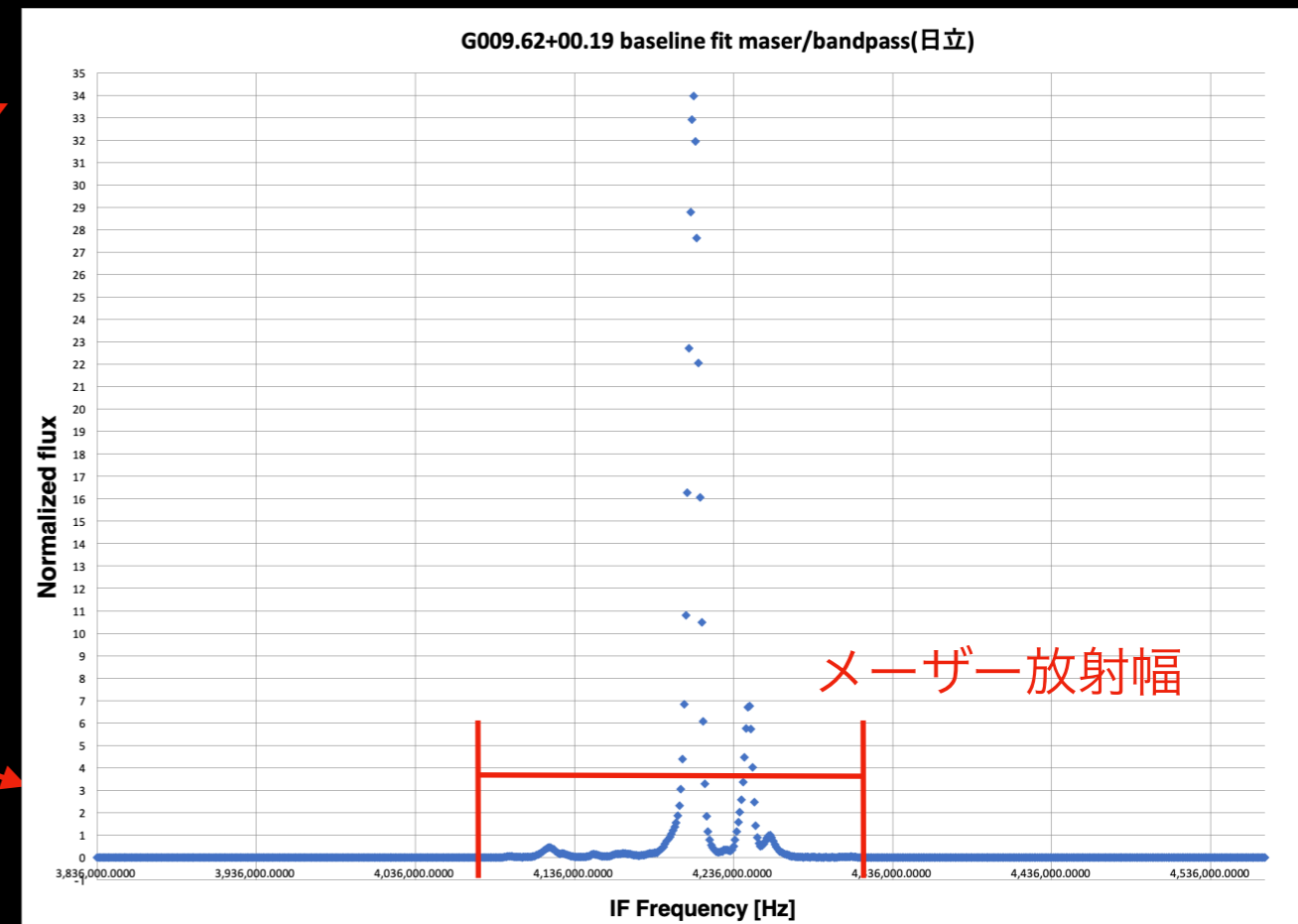
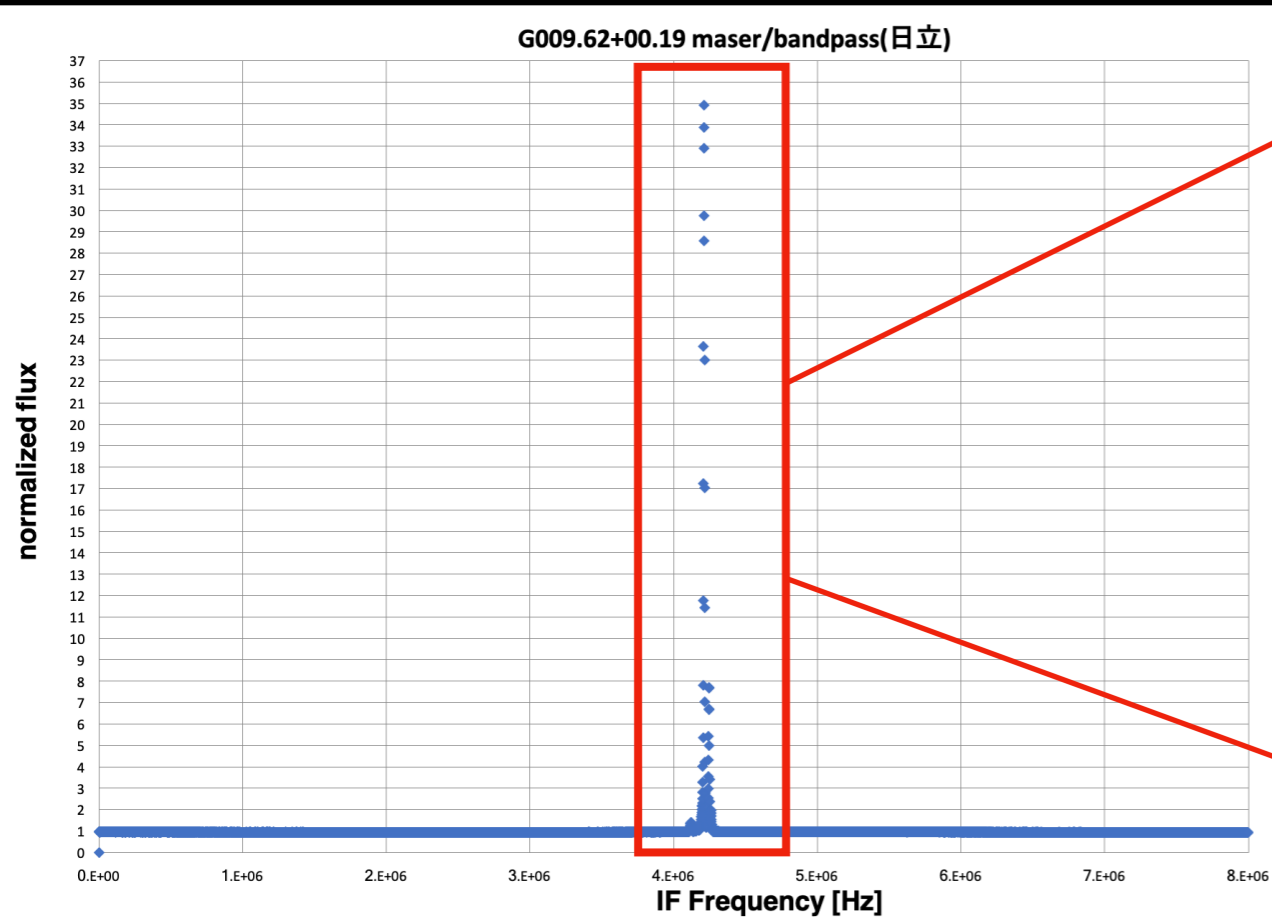


図13 自己相関強度をキャリブレーター強度で規格化  
(G009.6+00.19)

図14メーザー放射と周波数幅と同じ周波数幅を設定  
baselineを一次関数近似

- ・メーザーの自己相関スペクトルをバンドパスを使って補正(left)
- ・メーザー放射に隣接するIF周波数 (3.8MHz~4.0MHz, 4.3MHz~4.5MHz)を一次関数近似し、ベースラインを確定(right)

# Result

## \*UV-distanceの導出\*

地平座標における視線ベクトルの方向余弦を  
地球座標における視線ベクトルの方向余弦に変換

日立局の経度分だけ回転

日立局の緯度分だけ回転

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(-\lambda) & \sin(-\lambda) & 0 \\ -\sin(-\lambda) & \cos(-\lambda) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(-\theta) & 0 & -\sin(-\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(-\theta) & 0 & \cos(-\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

$(x, y, z)$  : 地平座標系における方向余弦

$\lambda$  : 経度

$(X, Y, Z)$  : 地球座標系における方向余弦

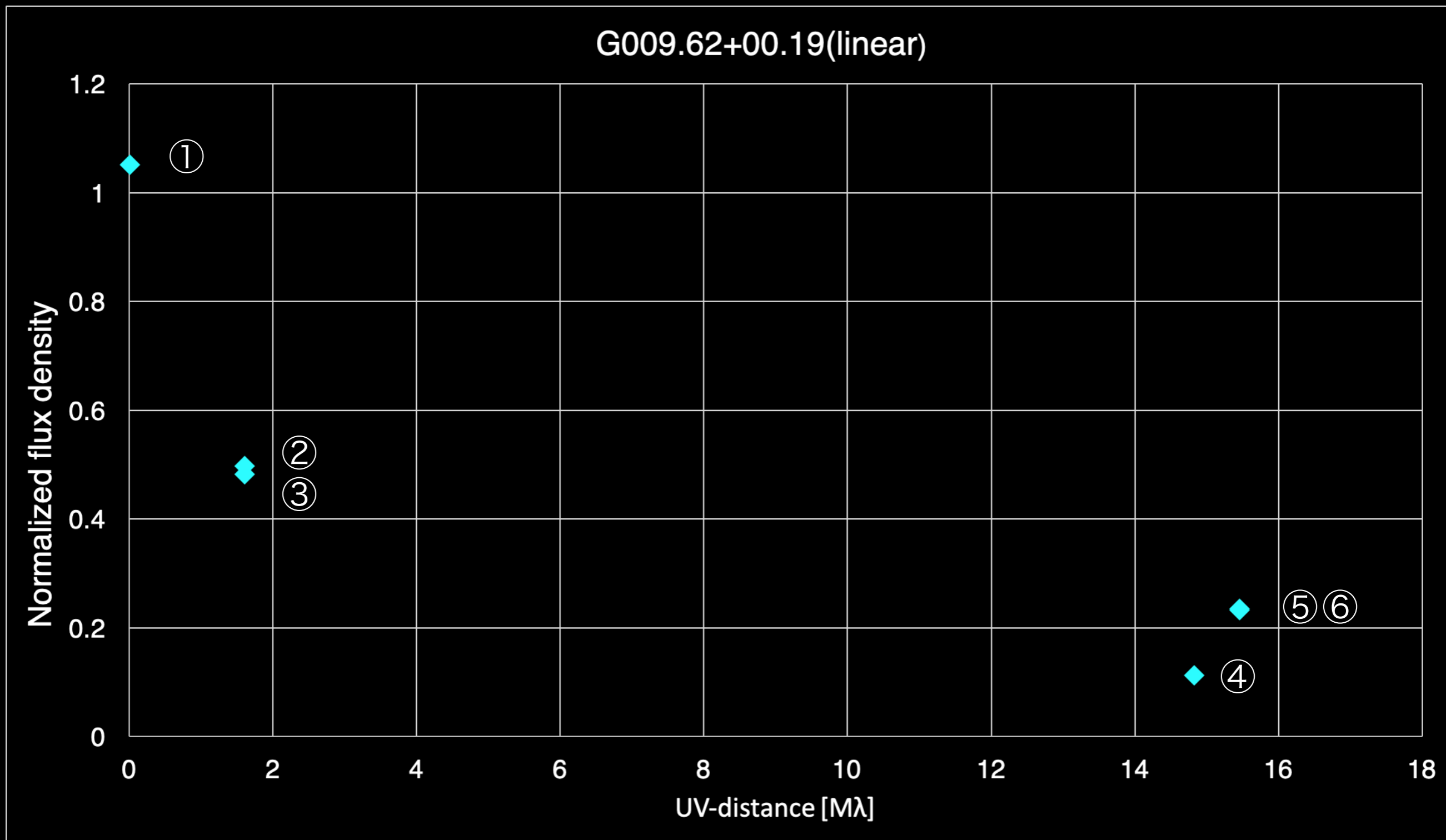
$\theta = 90 - \text{緯度}$

$$\text{基線長 } D^2 = (D \cdot S)^2 + (\text{UV-distance})^2$$

を利用

# Result

## Visibility - plot (G009.62+00.19)

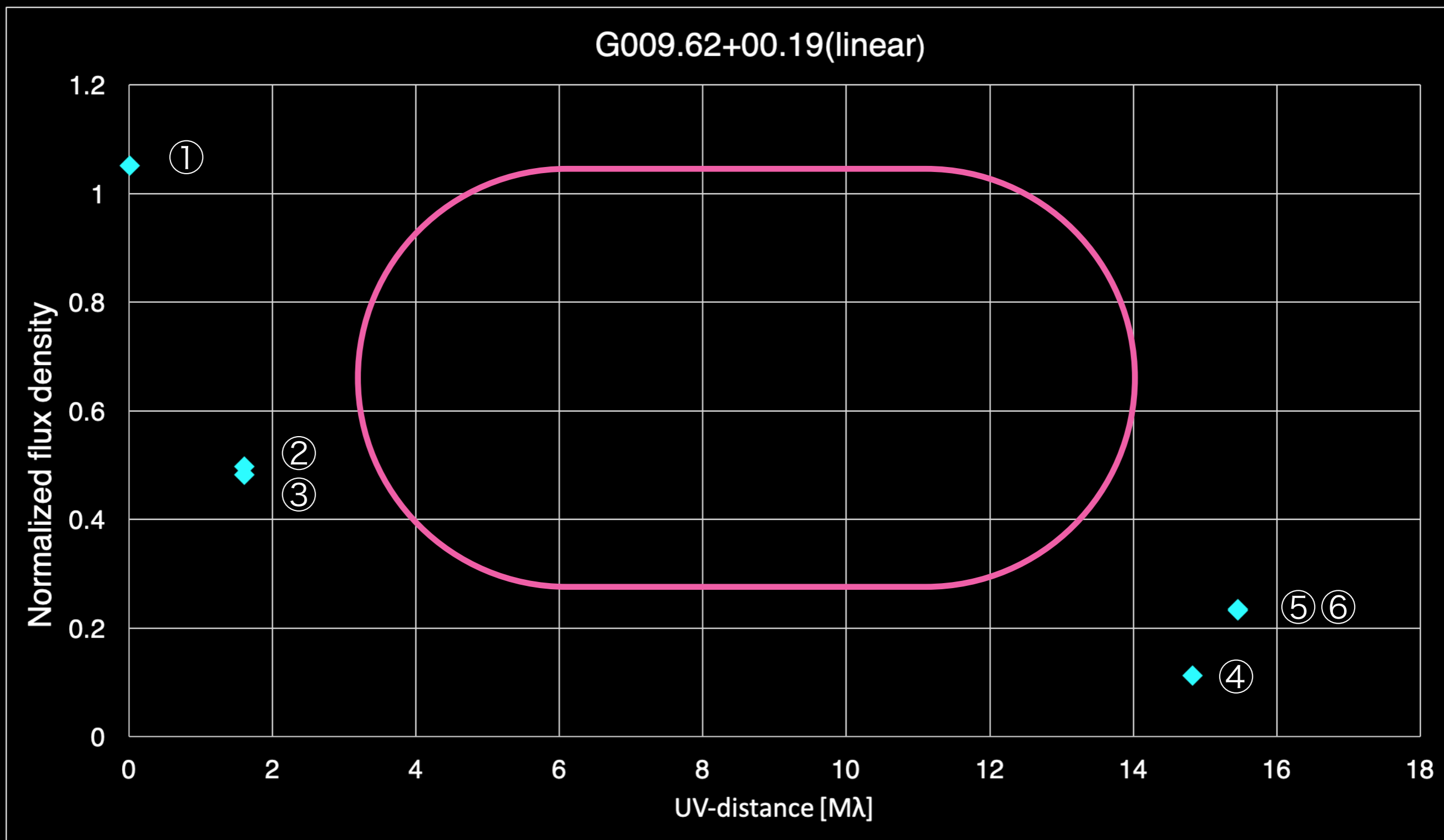


# Consideration

- フラックスは長基線において減少傾向  
→天体の構造を分解しているのは確実
- UV-distanceにおいて中間値のプロットはなし  
→グラフの形状を予測することが困難  
→新たなアンテナ局を検討

# Result

## Visibility - plot (G009.62+00.19)



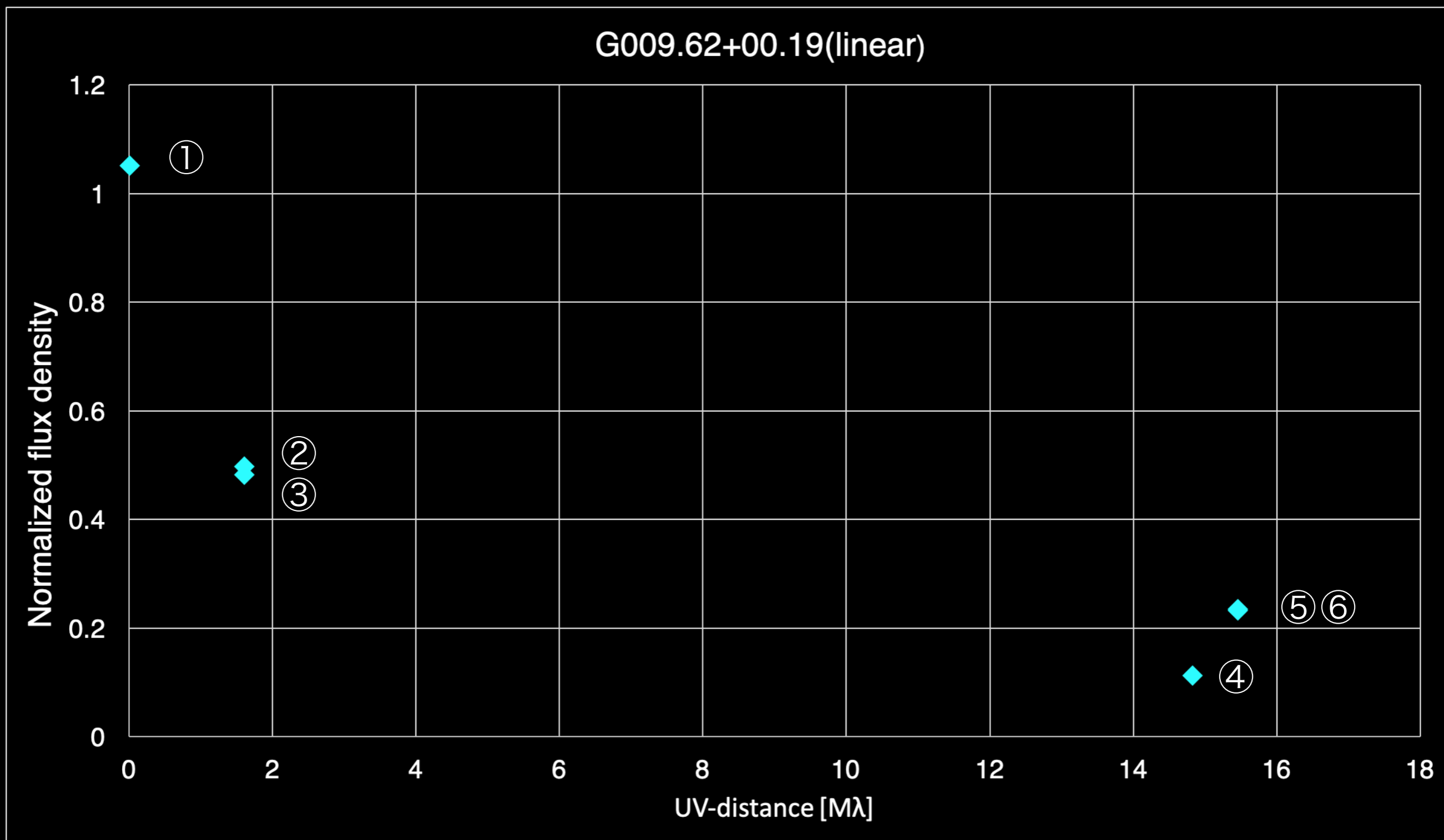


# Consideration

- フラックスは長基線において減少傾向  
→天体の構造を分解しているのは確実
- UV-distanceにおいて中間値のプロットはなし  
→グラフの形状を予測することが困難  
→新たなアンテナ局を検討
- 鹿島-山口基線(④)では日立とAz, EI値が大きく異なる  
→プロットに誤差を含んでいる可能性

# Result

## Visibility - plot (G009.62+00.19)



# Future plan

- ・ 鹿島-山口基線での誤差の見積もりを実施
- ・ メタノールメーザー放射を検出できている天体全てに対して Visibility plotを作成
- ・ UV-distanceが4~12M $\lambda$ 程度となるアンテナ局を配置
- ・ 2エポック目の観測を行い、グラフ形状の違いから サイズ推定を実施

おまけ

G009.62+00.19の放射領域サイズ

d ~ 10AU

Minier+02 (8AU~14AU程度)と概ね一致

Preliminary

# Summary

- 目的：メタノールメーザーの強度変動を放射領域サイズの観点から解明すること
- 手法：メーザースポットのサイズ変化モデルをたて、Visibility plotの形状から放射領域サイズを、観測時期の違いからサイズ変化を捉える
- 観測：機動性の高い少数基線VLBI観測をメーザー源56天体に実施
- 結果：1天体に対してVisibility plotを作成
- 現状：天体サイズの推定を実施
- 今後：全天体に対してVisibility plotを作成予定  
2エポック目の観測