

指導教員（主査）：百瀬宗武 教授

学士卒業論文

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サイズ 変動の研究

2017年10月1日

茨城大学理学部理学科物理学コース

13S2016A

齋藤偉

要旨

太陽の8倍以上の質量を持つ大質量星は周囲にガスやダストが存在することから可視光観測による直接撮像が困難であり、その形成過程の解明は現在のところ不十分である。本研究は星形成領域の中でも大質量星形成領域の観測でのみで検出される6.7GHzメタノールメーザーを対象とする。メタノールメーザーはこれまでに1000天体ほどで発見されており、メタノールメーザー源の中には周期的あるいは突発的に強度を上昇させるものが存在することも確認されているが、その強度変動メカニズムについて明確な要因は特定されていない。

本研究の目的としては、強度変動の原因がメタノールメーザー源の放射領域サイズの変化に付随する現象であるとし、複数の干渉計を用いて観測を行うことでその強度変動を捉える。さらに静穏期、増光期の両時期に観測を行い、強度と時期の相関関係について調査する。最終的にはメタノールメーザー源の放射領域に対する統一的サイズカタログの作成を行う。メタノールメーザー源のスポットサイズに関する先行研究はこれまでほとんど行われておらず、カタログを作成することができればメーザーに関する研究に貢献するとともに大質量星形成過程を考える上での一つの指標として活用することができると思われる。

研究方法としてはメタノールメーザー源のうち日本で観測できる天体を単一鏡と干渉計の中でも長基線であるVLBI(very long baseline interferometry)という手法を用いて観測する。単一鏡観測ではメーザー領域の細部をピンポイントで撮像することが難しいため、アンテナ同士の基線に対応するサイズよりも広がった天体に対しては感度が低い干渉計の原理を利用する。観測には機動性が必要となるのでVLBI観測の中でも少数基線を使用したVLBI観測を行う。観測で得られた強度に相当する相関振幅と各局間の基線長に相当するUV-distanceをパラメーターとしてUV-plotを作成する。

UV-plotの強度変化具合から放射領域サイズの推定を行う。静穏期と増光期で観測を行うことで観測強度、UV-distanceの違いを捉えることができるとともに放射領域サイズが変化しているかどうかを検証することが可能となる。

現在のところ、各基線に対する相関処理が終了し基線長と相関強度からUV-plotの作成まで進んでいる。今後はUV-distanceと相関振幅でUV-plotを作成し信頼性について検討する。その後放射領域サイズを計算する。

目次

第1章

序論

1.1 研究背景

1.1.1 大質量星形成

天文学における重要なテーマの一つとして、星間空間における星形成過程が挙げられる。この過程を解明できれば宇宙や銀河の成り立ちを研究する上で役立つことが期待できる。その中でも太陽質量の8倍以上の質量 $8M_{\odot}$ ^{*1}を持つ大質量星過程について考える。

小質量星形成と同様に分子雲コアの内部に原始星が生成され質量降着が起こると考えたとき、初期段階では質量増加のタイムスケールと中心星の収縮タイムスケールでは前者の方がきいているが、質量が増すとタイムスケールが逆転し、降着を続けながら主系列星になる。その後も大質量星は降着によって質量を増していき、数 $10 - 100M_{\odot}$ の大質量星を形成すると考えたときに、いくつかの問題が生じる。

- 大質量星が寿命である 10^7 年の間降着を続けたとしても、質量は $20-30M_{\odot}$ にしかない

- 中心星の質量が $8M_{\odot}$ になると、中心星は主系列星となり、質量降着がとまる

これらから、単純に小質量星の進化段階を拡張しただけでは大質量星の形成は説明できないことがわかる。この問題については質量降着率が高いときに解決できるとされているが、厳密なことは不明で現在も観測が進められている。

1.1.2 大質量星形成領域と6.7GHzメタノールレーザー

粒子数密度の低い宇宙空間においては、粒子の衝突よりも自発放射や誘導放射・吸収過程が卓越し、準位が低い状態の粒子数よりも準位が高い状態の粒子数の方が多くなることがある。このような分布状態を反転分布といい、ここに粒子が入射すると高い準位から低い準位に分子遷移がおき、これがきっかけとなってカスケード的に遷移が起こる。これにより輻射強度が増幅される。これがレーザー放射である。

^{*1} $1M_{\odot} = 1.9884 \times 10^{30}\text{kg}$

レーザー放射の特徴としては

- (1)レーザー放射を行うスポットは広がりほとんどなく、点状である
- (2)直線偏波もしくは円偏波している
- (3)大質量形成領域で観測されることが多い
- (4)電波の位相がそろっている

などがあげられる。よって、大質量星形成領域はレーザー源を伴うと考えられている。

レーザー放射を行う分子としてはOH, H₂O, SiO, CH₃OHなどが挙げられる。メタノールレーザー源の分布は遷移つまり周波数の違いからクラスIとクラスIIに分類することができる。クラスIとは25GHzなどの分子基線のことで、大質量星の周りにあるガスと外部からの分子流やジェットとの境界領域に位置すると考えられているため、大質量形成の指標となる天体との相関が高いとはいえないようなメタノールレーザー源のことである。それに対してクラスIIとは分子流やジェットの中に位置すると考えられており、大質量形成の指標となる天体との相関がよいため、観測が進められている。その過程でクラスIIの中には、ウルトラコンパクトH_{II}領域だけでなく、より若い天体が存在することがわかってきた。

メタノールレーザーは大質量形成の初期段階の降着ガス円盤に付随して放射されると考えられている。よって形成初期、言い換えれば若い大質量星の降着ガス過程についての研究が可能であると考えられ、進化段階を考える際には一つの指標として使われることがある。

放射励起されるレーザーの強度変動の要因については、中心星の光度変化や磁気リコネクションなどが考えられている。上記の特徴でレーザースポットは点源であると記載したが、Minier et al(2002)では点源以外の可能性も考慮されており、数AUから数百AUにまで及ぶのではないかと考えられている。実際に、中心星の光度変化だけでは説明できない強度上昇などが、茨城大学のモニター観測でも観測されており、研究が行われている最中である。私の研究では、可能性の一つである放射スポット自体の変化についてメタノールレーザーを観測することによって考えていく。

1.2 単一鏡

電波望遠鏡を一台を用いて電波観測を行うことを単一鏡観測という。ここでは単一鏡観測における概要を示す。

1.2.1 単一鏡観測の利点

単一鏡を用いる利点は以下のとおりである。

- 広い空間情報を得ることができる
- 絶対強度を計測することができる

以上のことから、単一鏡観測によって得られたデータは強度校正として使用することができ、本研究においても単一鏡観測のデータは重要な役割を担っている。

一方で、弱点としては

- 空間分解能が低いため、強度が高い電波源近傍に小天体が存在しても観測することはできない
 - 大気放射の影響を受けやすいため観測を行えない
- などがあげられる。

1.2.2 空間分解能

電波望遠鏡においては主ビームのFWHMを空間分解能(ビームサイズ)と呼んでいる。ビームサイズはアンテナの開口面の大きさDと観測波長 λ によって決まる。一般的には以下のように表される。

$$\theta_B \approx \frac{\lambda}{D}$$

このビームサイズが大きいいほど、アンテナの立体角が大きくなり、より広い視野での観測を行うことができる。

しかし、大口径のアンテナは鏡面を高精度に保ちながら、天体方向を向き追尾することが難しいので建設サイズには限界がある。

1.2.3 ポジション・スイッチ法

単一鏡において大気補正を行うときに使われる手法の一つとしてON-OFF観測がある。単一鏡ではアンテナが向いてる光軸上のデータしかとることができず、点状の天体からの電波を絶えず観測するだけでは、信号に含まれている大気によるノイズ成分を取り除くことができない。そこで天体方向を一定時間観測した後、周辺の天体のない方向を観測しその差分を取ることで知りたい天体の信号のみを得るとというのがこの方法である。

ただ、この方法を行う際にはON,OFFの切り替えを素早く行う必要がある。どの程度の時間で行うかは使用する帯域によって異なる。計算式は

$$t \propto \frac{1}{\sqrt{B}} \quad B: \text{帯域幅}$$

つまり、帯域が広ければその分素早く切り替えを行う必要があるということである。

1.3 干渉計

1.3.1 干渉計における利点

電波望遠鏡において、空間分解能が重要であることは前節で示した。ならば分解能をあげるためにアンテナの鏡面を広げればよいと考えられるが、技術的に建設できるサイズに限界があることは単一鏡の章で説明した。

この方法ならば比較的簡単にアンテナ距離Dを変えることが可能で、分解能の向上をはかることができる。干渉計観測におけるメリットは

- アンテナ同士の距離である基線長の長さがアンテナの口径に相当するので、高い空間分解能を得ることができる

- 局間で大気放射は相関しないので、大気の影響をうけにくい
- 長時間積分することによって高感度の観測をすることができ、電波強度が低い天体を観測可能といった点があげられる。

デメリットは

- 空間的に広がりのある天体の観測ができないこと
- 絶対強度較正が難しいこと

である。

利便性の説明は以上として、ここからは干渉計観測の詳細にふれる。

1.3.2 幾何学的遅延

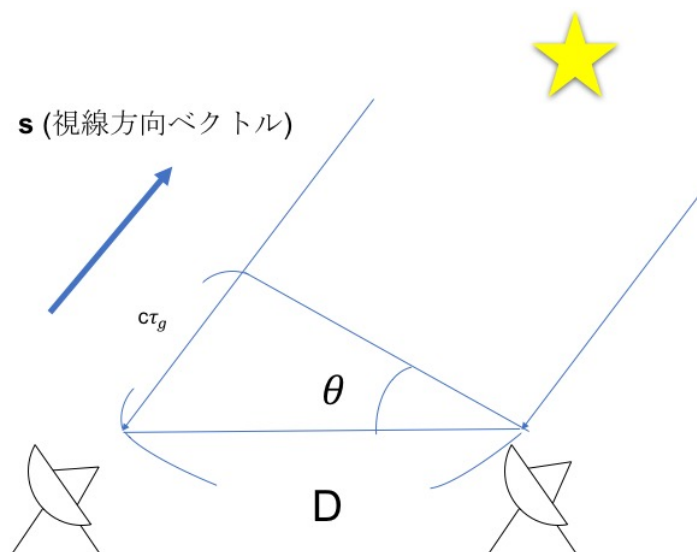


図1.1 干渉計のモデル図

ある二素子干渉計を考える。アンテナの位置が異なるので、光路差が生じ到達する電波に時間差が生じる。この時間差を幾何学的遅延といい、補正を行う必要がある。基線ベクトルを $\mathbf{D}$ として、天体の方向ベクトルを $\mathbf{s}$ とすると、幾何学的遅延は

$$\tau_g = \frac{1}{c} \mathbf{D} \cdot \mathbf{s}$$

*2 と表される。幾何学的遅延の補正は相関機の中で行われることが多い。

1.3.3 干渉計観測で得られるもの

次に干渉計で観測される信号についてふれる。干渉計で観測を行うと、二つのアンテナで得られた信号に幾何学的遅延の補正を入れた相互相関関数が得られる。入力信号をそれぞれ以下とする。

$$V_1(t) = a_1 E_0 \cos(2\pi\nu_0 t)$$

*2 $c = 2.99 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$V_2(t) = \mathbf{a}_2 E_0 \cos[2\pi\nu_0(t - \tau_g)]$$

相互相関関数

$$\begin{aligned} C_{1,2}(\tau) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} V_1(t - \tau_i) V_2^*(t - \tau) dt \\ &= -\frac{1}{2} \mathbf{a}_1 \mathbf{a}_2^* |E|^2 \cos(2\pi\nu_0(\tau - \tau_i + \tau_g)) \end{aligned}$$

この相互相関関数をフーリエ変換したものがクロスパワースペクトルである。

クロスパワースペクトル

$$\hat{C}_{1,2}(\nu) = \int_{\tau=-\infty}^{\infty} C_{1,2}(\tau) e^{-2\pi i \nu \tau} d\tau$$

さらにこれを空間周波数で書き直したものがビジビリティであり、干渉計観測においてはビジビリティを得ることが重要である。

様々な空間周波数でビジビリティを得ることができれば、逆フーリエ変換をすることによって天体の輝度分布を得ることができる。輝度分布を完全に作成するには全ての空間についての情報を得る必要があるが、実際に得ることのできるビジビリティは局間の最大基線長で決まる。この研究では干渉計のデータを用いて、像合成を行うことはしないが、各基線の最大基線長つまりUV-distanceという概念が重要になってくる。

1.3.4 空間周波数

空間周波数とは基線ベクトルの座標成分を波長単位で表したものである。一般的に周波数は波の振動回数のことであるが、空間周波数は $u = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \phi}{\partial l}$ と書かれることもあり、方向余弦あたりのフリンジ振動回数を表す。この空間周波数が大きいと、わずかな天体位置の違いが大きなフリンジ位相差をもたらす。

1.3.5 (u,v)coverage

干渉計観測によって得られたビジビリティの台を $U(u, v)$ として描くものを(u,v)台という。この(u,v)台と観測で得られたビジビリティを合成することによって、真のビジビリティを求めることができる。式で表すと

$$\hat{\nu}(u, v) = \nu(u, v) U(u, v)$$

(u,v)台の広がりとは合成ビームには逆数の関係があるため、基線長が長くなると(u,v)台は狭くなる。また(u,v)台にすきまが多いと、合成ビームのサイドローブが大きくなり画質が低下する。このような事態を避けるには、なるべく(u,v)台を広く、緻密にうめる必要がある。

1.3.6 UV長

地球上のアンテナ配置と(u,v)台の関係について考える。地球は自転を行うので、天体から見るとアンテナ同士の距離は常に一定であるとは限らない。このような点球面座標と地球固定座標を関係

づけるには座標変換を行う必要がある。地球座標系(X,Y,Z)をZ軸を北極点方向に,X軸を赤道上で緯度0°Cの方向に取る。赤経を α ,赤緯を δ の天体の方ベクトルを考えると、地球のZ軸まわりの時角を $H = GST + l - \alpha$ とすると以下の式で結びつけられる。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin H & \cos H & 0 \\ -\cos H \sin \delta & \sin H \sin \delta & \cos \delta \\ \cos H \cos \delta & -\sin H \cos \delta & \sin \delta \end{pmatrix}$$

このように回転にともなう(u,v)台の変化によって、二局の間の距離は単純な基線長ではなくなる。この変化した距離のことをUV長(投影基線長)という。

1.4 研究目的

メタノールメーザー天体の中でも放射強度が周期的や突発的に変動する天体を対象とする。このような天体の強度変動メカニズムが放射領域サイズの変化に伴う現象であるかどうかを特定することを一つの目的とする。

観測手法はメタノールメーザー源を少数基線VLBI(4台のアンテナを使用)を用いて観測し各基線ごとに相関処理を行う。得られた相関振幅(クロスパワースペクトル)を縦軸、基線長を平面に投影したUVdistanceを横軸としてプロットし天体ごとのUV-plotを作成する。作成したUV-plotから天体の放射領域サイズを推定しメタノールメーザー天体の統一的サイズカタログを作成する
実際に行った観測や解析方法・考察を次の章から記載する。

第2章

少数基線による観測

2.1 観測準備

この章では、実際に電波望遠鏡を用いて観測を行うにあたり使用した機器やメタノールメーザー天体観測に必要とした天体の選別方法についてまとめる。

2.1.1 サンプラー性能

電波望遠鏡で受信されたアナログ信号をデジタル信号に変換して取得する装置がサンプラーである。本研究で使用するサンプラーは情報通信研究機構(NICT)・鹿島VLBIグループが開発したVLBI用高機能サンプラーK5/VSSP32である。サンプラーの詳細を以下の表に記載する。

表2.1 K5VSSP32性能

サンプリング周波数(MHz)	0.04,0.1,0.2,0.5,1.2,4,8,16,32,64
内蔵デジタルLPF(ローパスフィルター)(MHz)	2,4,6,8,through
入力電圧範囲	-1V~+1V
AD変換器アナログ帯域幅	300MHz
AD分解能(ビット)	1,2,4,8
ボードあたりのチャンネル数	1,4
ボードあたりの最大データレート	256Mbps
DCオフセット調節機能	ホストPCからリモートで可能
標準信号入力	1PPS,10MHzまたは5MHz
データフォーマット	VSSP32 フォーマット
インターフェース	USB 2.0

2.1.2 キャリブレーター

天体の強度を測定するあたり、干渉計観測で生じる幾何学的遅延や装置に起因するノイズや天体以外のバックグラウンドからの信号を取り除く必要がある。そのための位相、振幅較正する天体の観測が必要である。

NRAOのキャリブレーターリストを活用し、位相較正, 振幅較正に使用するキャリブレーターを選
択した。キャリブレーターの選択方法は、観測基線長に全フラックスを拾うことができること、強
度が既知であること、長基線で構造が分解しない、つまり点源である天体を選択した。過去のVLBI
観測で使用したことのあるキャリブレーターは以下の8天体である。()内は観測スケジュール内での
天体名である。

- J0927+3902(4C39.25)
- J1733-1304(NRAO530)
- J0555+3948(DA193)
- J2253-1608(3C4543)
- J1640+3946(NRAO512C)
- J01373309(3C48)
- J0437+2940(3C123)
- J0854+2006(OJ287)
- J1649+0412(3C348)

これらの天体の中から観測スケジュールに組み込むことが可能かつ上記に示した条件を満たす天
体を選別した。選別には各天体の強度-波長図を見て、VLBI観測波長で点源であるかを確認した。各
天体の強度-波長図はappendixに記載した。選別により4C39.25,DA193,NRAO512Cの3天体をキャ
リブレーターとして使用できると判断した。

2.2 観測

この章では少数基線を用いたメタノールメーザー天体の観測方法について紹介する。

2.2.1 観測諸元

観測は茨城局(高萩アンテナ32m望遠鏡、日立アンテナ32m望遠鏡),鹿島局(NICT34m望遠鏡),山口局(山口第一アンテナ32m望遠鏡)以上4局のアンテナを用いた合同観測を実施した。各局の運用は、茨城局-杉山孝一郎氏,鹿島局-岳藤一宏氏,山口局-藤沢健太氏に行っていただいた。アンテナの各パラメータ、観測条件の詳細は以下の表にまとめ記載する。

表2.2 観測概要

観測局	日立32m(H)-高萩32m(T)-鹿島34m(O)-山口32m(K)
観測日	2016年10月26日 02:30:00-17:23:30
観測天体	6.7GHzメタノールメーザー源56天体+校正天体3天体
観測周波数	6664-6672MHz
積分時間	300秒
帯域幅	8MHz
分光点数	8192
周波数分解能	7.81×10^3
速度分解能	0.04 km/s
空間分解能	5.38 arcmin
偏波	LHCP(日立,高萩,山口),V or H(鹿島)
サンプリング	16MHz×4bit

2.2.2 観測方法

本観測(2016/10/26)では、メタノールメーザー天体に対して1天体あたり5分間観測を行う。連続波源であるNRAO512、DA193、4C39.25に対しても同じく5分間観測×四回行う。理由としては記録ミス対策の意味もあるが、干渉計の感度を 7σ 以上で達成するためである。

第3章

解析

3.1 相関処理

VLBI観測で得られたデータを茨城大学に集約しサンプラーを使用して各基線ごとの相関処理を行った。

アンテナ4局に対して2基線を選び相関を取るので、6組の相関処理を行うことになった。

それぞれの基線をアルファベットの組み合わせで表現したものと各基線長を以下の表にまとめる。

表3.1 基線の名称

組み合わせ	名称	基線長(m)
日立-高萩	HT	259.4
日立-鹿島	HO	82336.6
高萩-鹿島	TO	82459.2
鹿島-山口	OK	851297.9
日立-山口	HK	872668.0
高萩-山口	TK	872922.3

次にサンプラー(K5/VSSP32)内で実行することができる解析プログラムを示す。

apri_calc ;アプリオリ(予測値)ファイルの作成

相関処理したい2局の位置情報、周波数グループ、周波数チャンネル、クロックオフセット、クロックレートを入力し、その情報から遅延時間のアプリオリファイルを作成するプログラムである。

fx_cor ;フリッジサーチ

アプリオリファイルから遅延時間差を求めるプログラムである。ここではいくつかのパラメーターを設定することができる。

—— 各種パラメーター ——

t1pp: 相関処理を行う単位時間

積分時間: 観測したデータを積分する時間

クロックオフセット: 各局同士における遅延時間

時間差サーチ範囲: スペクトルにおけるチャンネル数

→ これらの値を元に cout ファイルが作成される。

sdelay ; 粗決定サーチ

cout ファイルから相関係数が最大になる遅延時間や遅延時間差を求めるプログラム。

オプションとして以下のような設定を加えることができる。

-fringe; フリンジを出力 (PP ごとの位相と強度をプロット)

-vspeplot; ビデオスペクトルを出力 (周波数ごとの位相と強度のプロット)。このプログラムを実行することによって、delay, rate, SNR が出力される。SNR とは信号とノイズの比をとった無次元量であり、値が大きければ大きくほど観測が成功していると判断できる。

最初にこれらのプログラムを較正天体三天体に対して行い、クロックオフセット、クロックレートを求める。クロックオフセットとは、アンテナ二局の間の遅延時間のことである。クロックレートとは、遅延時間の変化率のことである。

三天体の解析で求められた値の平均をとり最終的なオフセット値と決定する。求められた値をクロックオフセット、クロックレートの初期値として設定し、観測を行ったメタノールメーザー源56天体に対してフリンジサーチを行う。そのあと粗決定サーチを行い、出力されたスペクトルの位相を確認する。

第4章

結果・考察

この章では各基線の相関処理解析とそこから考えられる結果についてを記載する。

4.1 結果

4.1.1 較正天体の解析

以下に各基線ごとのクロックオフセット、レート of the 値をまとめる。

表4.1 各基線ごとのoffset,rate

	HT		HO		TO		OK		HK		TK	
	offset(μ s)	rate(ps/s)	offset(μ s)	rate(ps/s)	offset(μ s)	rate(ps/s)	offset(μ s)	rate(ps/s)	offset(μ s)	rate(ps/s)	offset(μ s)	rate(ps/s)
4C39.25	2.532	-0.0675	-5.146	-0.908	-7.678	-0.903	8.958	5.747	3.813	4.840	1.281	4.845
DA193	2.532	-0.021	-5.142	-1.009	-7.674	-0.976	8.969	4.279	3.827	3.274	1.294	3.304
NRAO512	2.532	0.015	-5.090	-1.052	-7.621	-1.060	8.871	5.244	3.782	4.187	1.25	4.164

これを棒グラフにしたのが以下の図である。

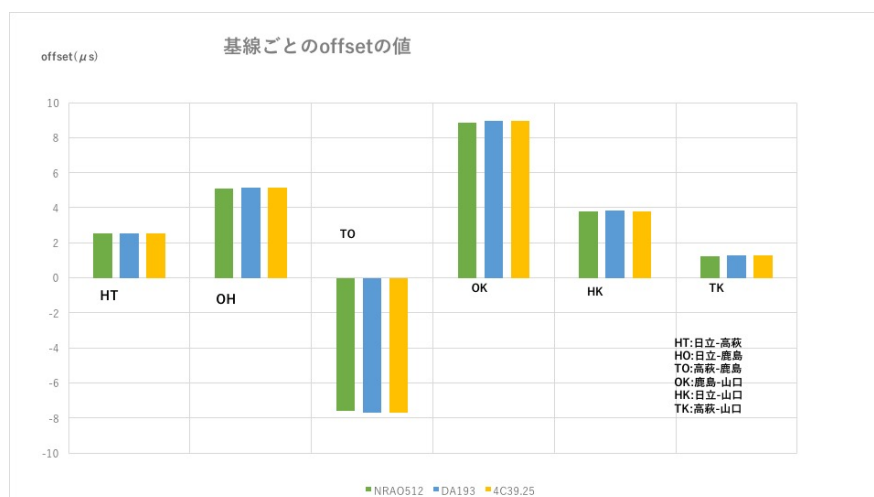


図4.1 各基線ごとのoffset値

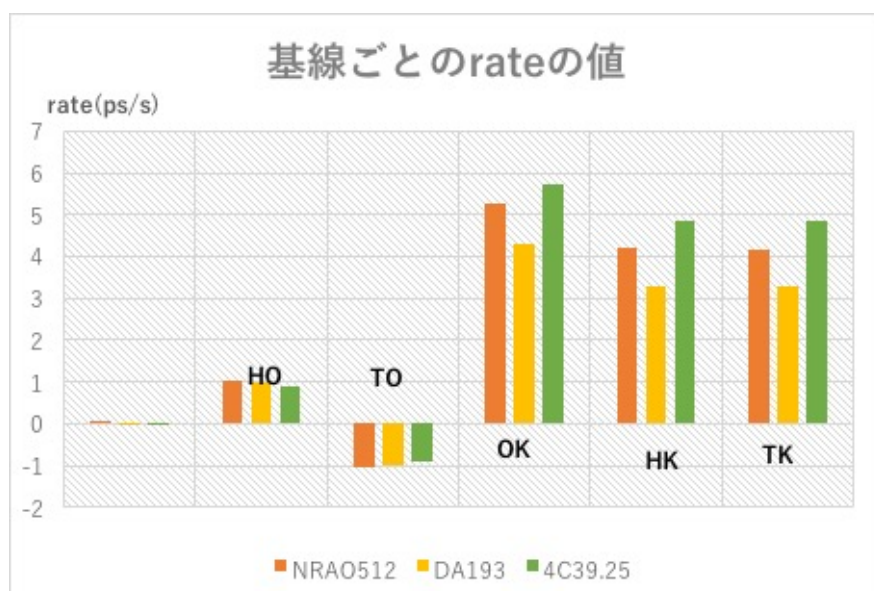


図4.2 各基線ごとのrate値

これらの値をオフセットとして、同様にメタノールメーザー天体にフリンジサーチを行い、各基線におけるクロックオフセット、クロックレートを求めた。

ここでは検出された天体についてまとめた結果を記載する。各基線、天体ごとの値については付録を参照。

表4.2 各基線ごとの検出天体数(SNR $\geq$ 7でフリンジ検出)

基線	HT	HO	TO	OK	HK	TK
天体数	56	25	25	6	23	22

4.1.2 t1ppとSNRの関係

積分を行う単位時間t1ppを変化させた時にSNR(sound-noise ratio)の値がどのように変化するかを調べる。パラメーターt1ppを0.01~60[s]まで変化させて処理を行う。積分時間は240[s]で統一する。各t1ppの解析で得られたSNR値を縦軸としてプロットを行う。

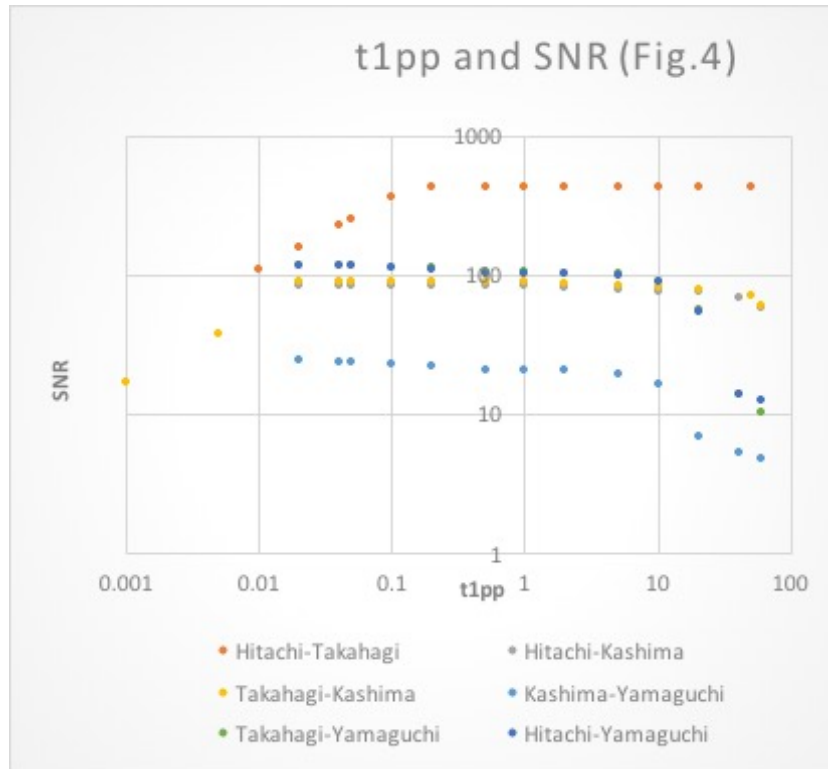


図4.3 基線ごとのt1ppとSNRの関係

グラフより、t1pp値を大きくしていくとSNR値も大きくなることが読み取れる。SNRとt1ppは比例していることが読み取れるが途中からあたまうちになっている。その値は各基線ごとの異なるが平均して1秒程度であることが読み取れる。なのでSNR値が最大になるt1pp値は1[s]であるとし個別天体を解析するにはt1pp=1として相関処理を行うこととする。

4.1.3 天体名:9.621+01の解析

自己相関、相互相関をとった結果、スペクトル図においてピークがもっとも顕著に表れていた天体9.621+01について解析した。

日立単一鏡で観測した9.612+01のスペクトル図は以下の通りである。

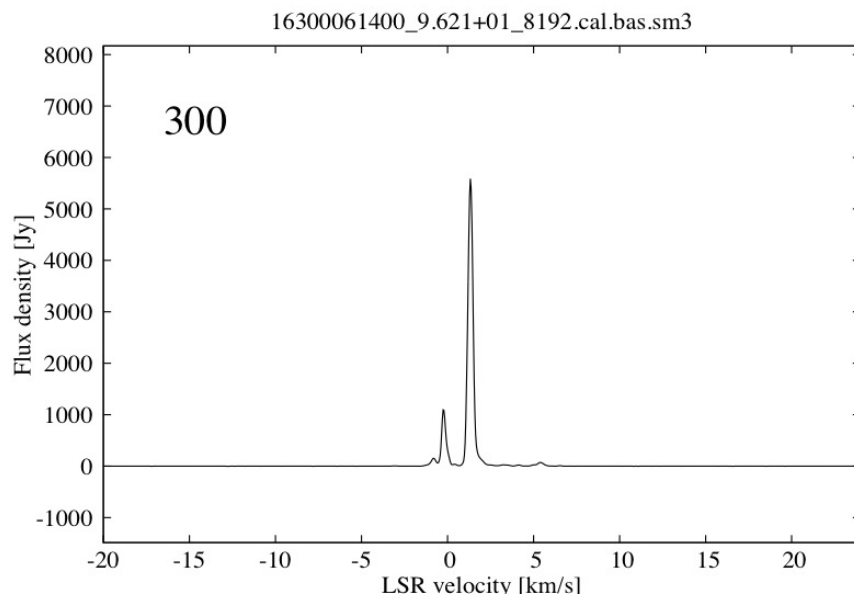


図4.4 9.621+01の単一鏡スペクトル図

この図を見ると、視線速度 $V_{lsr} = 2\text{ km/s}$ 付近で6000[Jy]程度という非常に高い強度をもつことが読み取れる。各基線における相関処理で得られた自己相関,相互相関スペクトル図を示す。なお上段は周波数-位相のグラフであり、下段が周波数-クロスパワースペクトルである。

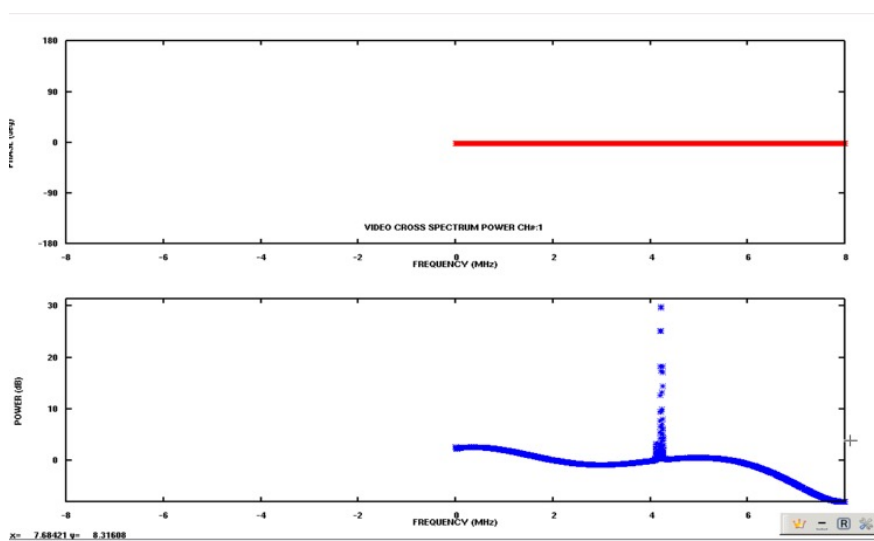


図4.5 HHにおける9.621+01のスペクトル図

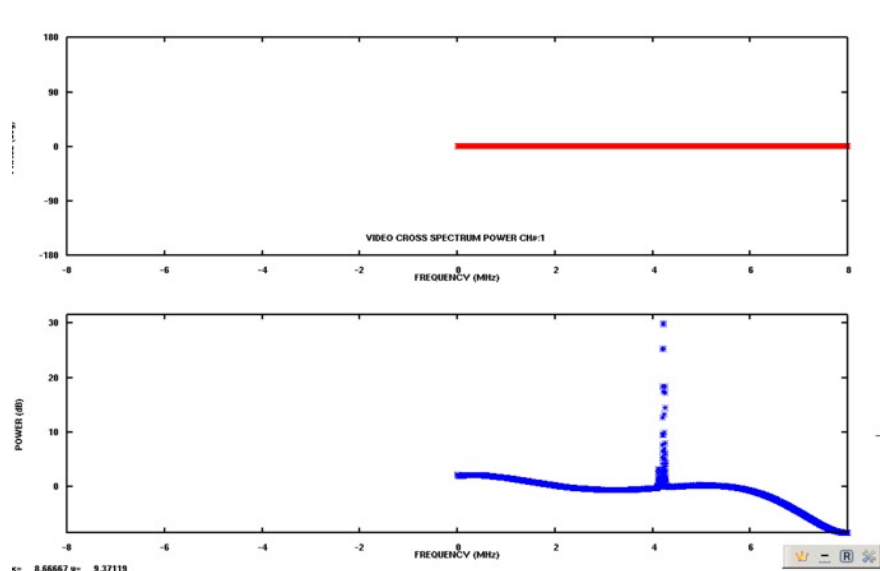


図4.6 TTにおける9.621+01のスペクトル図

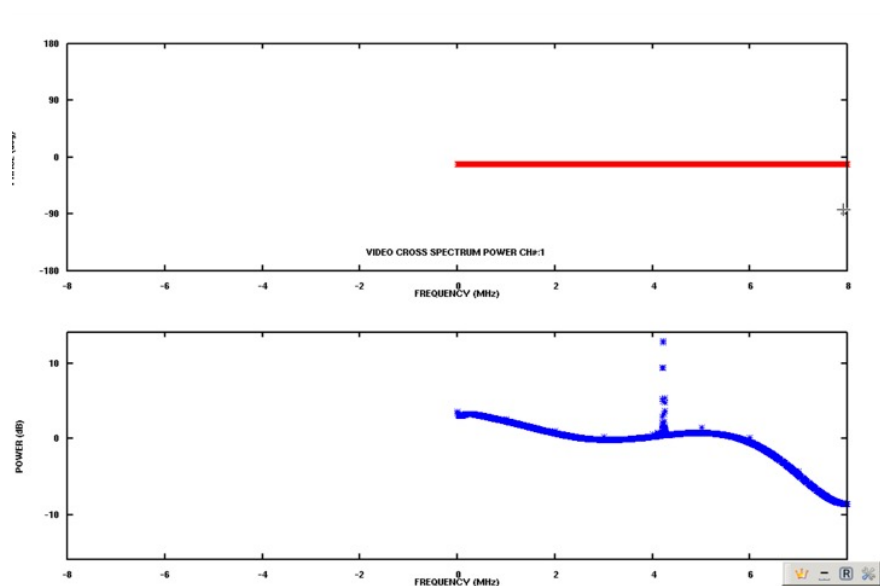


図4.7 OOにおける9.621+01のスペクトル図

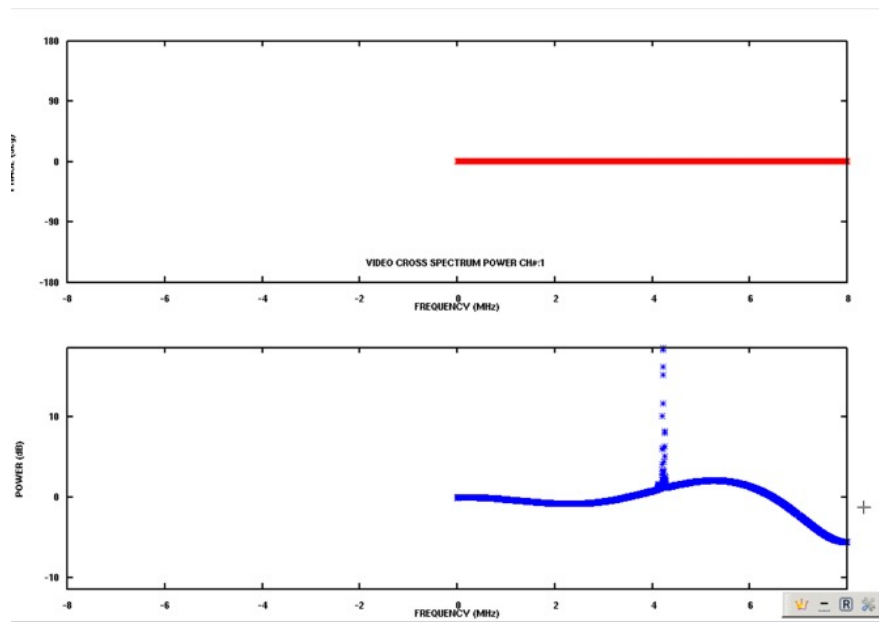


図4.8 KKにおける9.621+01のスペクトル図

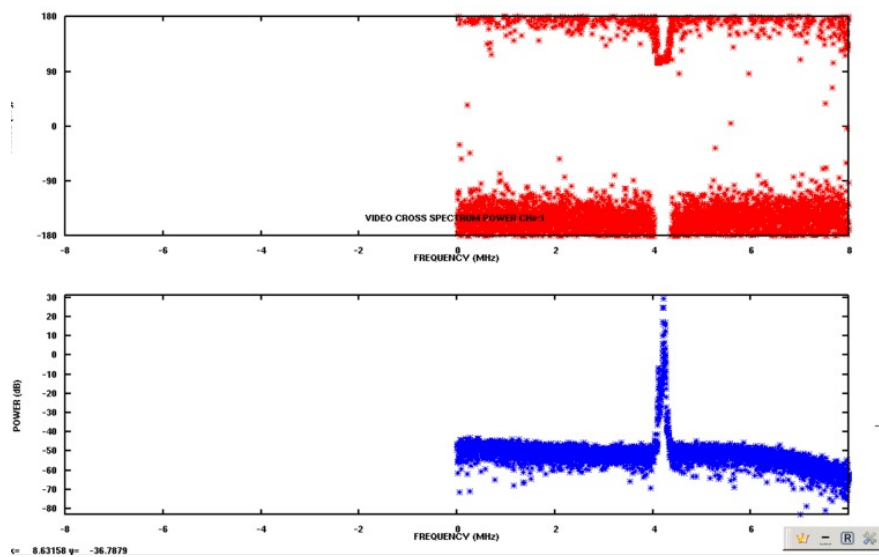


図4.9 HTにおける9.621+01のスペクトル図

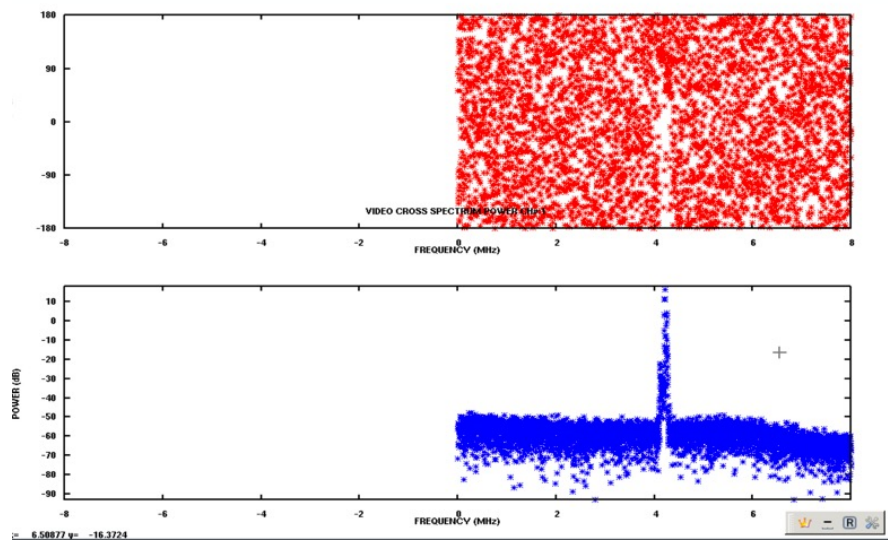


図4.10 HOにおける9.621+01のスペクトル図

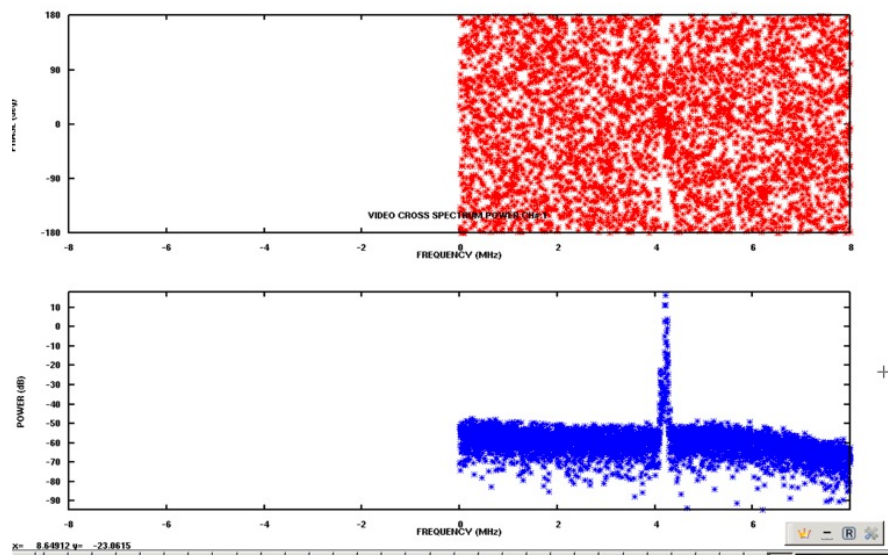


図4.11 TOにおける9.621+01のスペクトル図

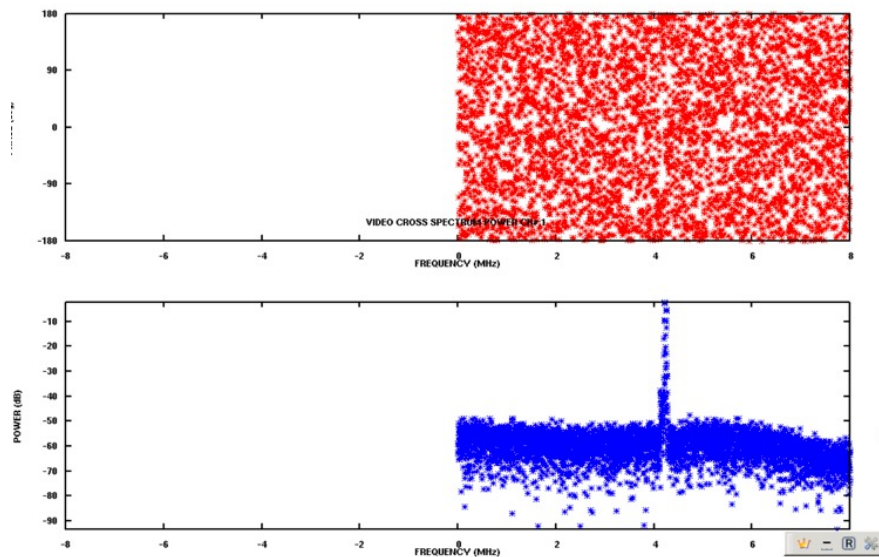


図4.12 OKにおける9.621+01のスペクトル図

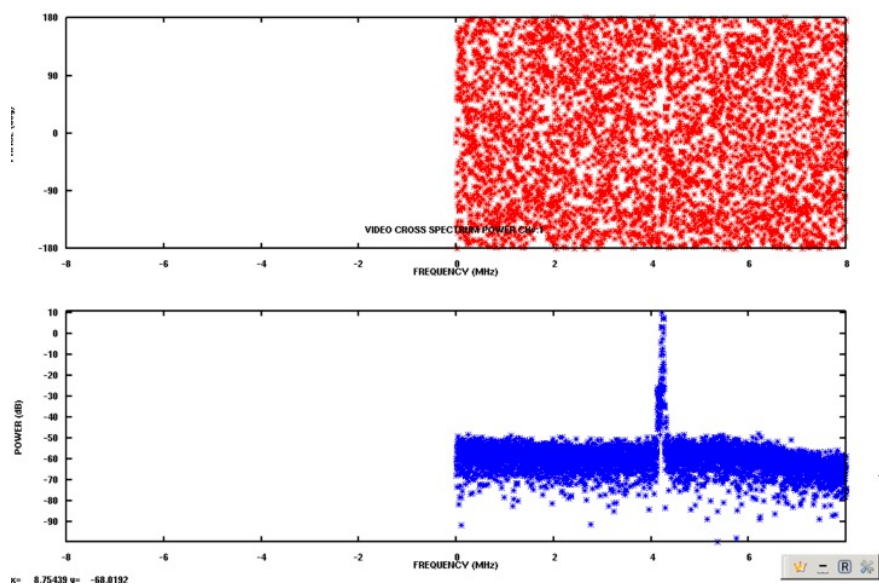


図4.13 HKにおける9.621+01のスペクトル図

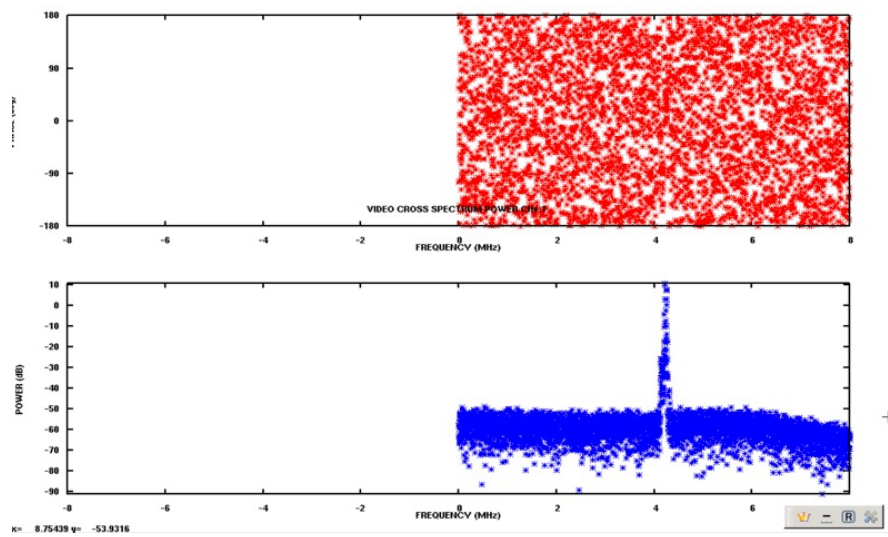


図4.14 TKにおける9.621+01のスペクトル図

第5章

校正天体

5.1 校正天体のビジビリティ, cleanmap

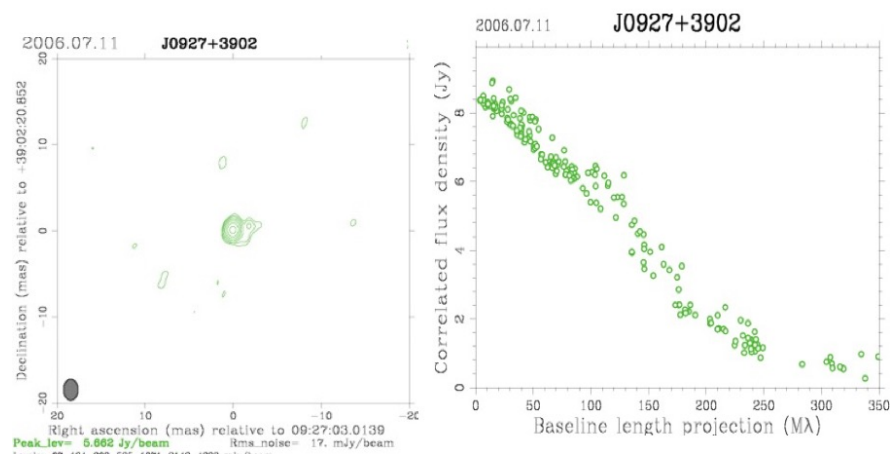


図5.1 J0927のビジビリティ, cleanmap

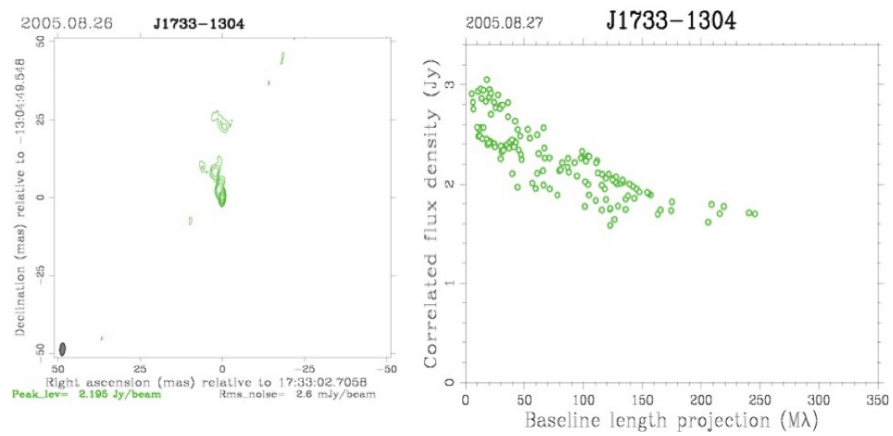


図5.2 J1733のビジビリティ, cleanmap

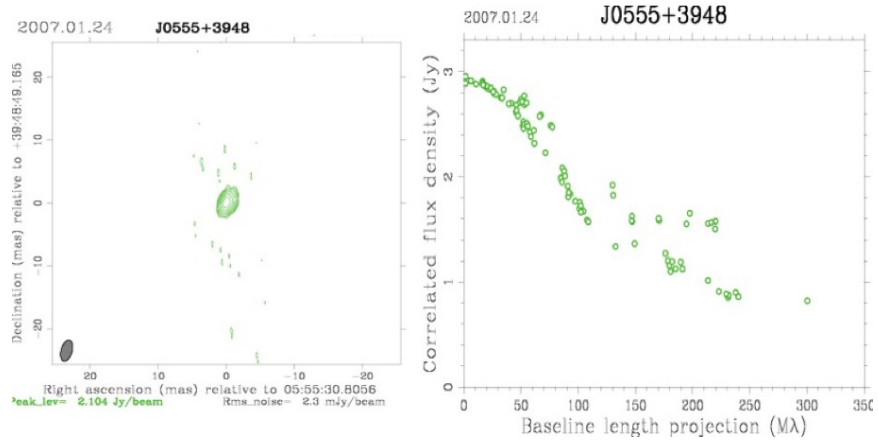


図5.3 J0555のビジビリティ, cleanmap

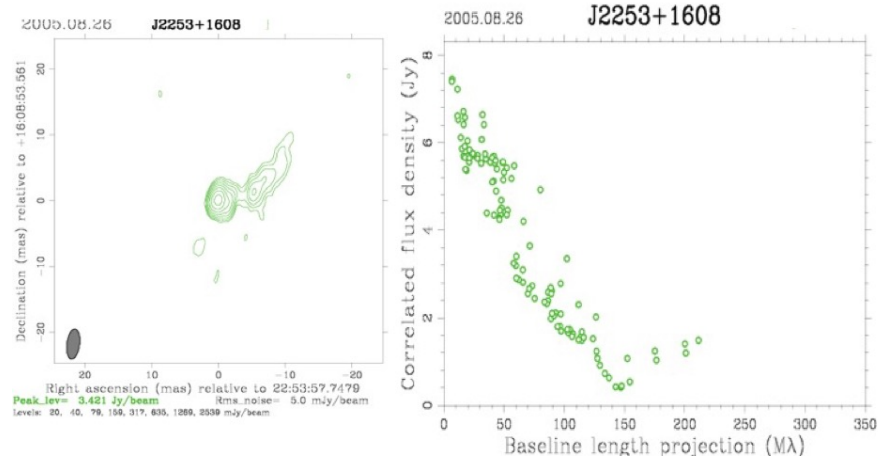


図5.4 J2253のビジビリティ, cleanmap

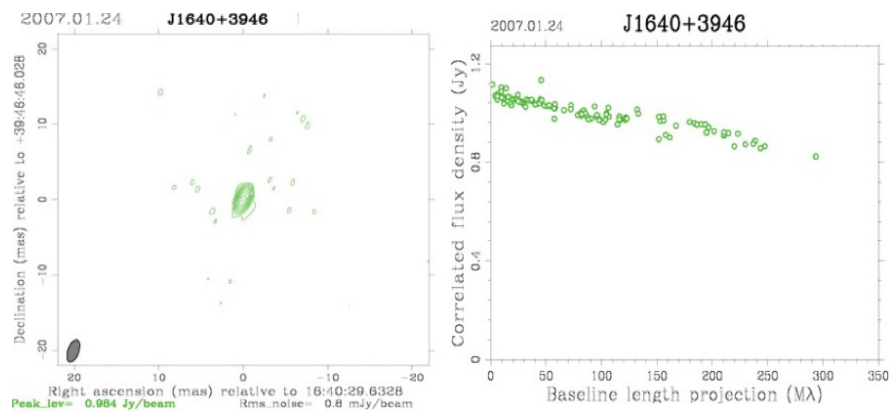


図5.5 J1640のビジビリティ, cleanmap

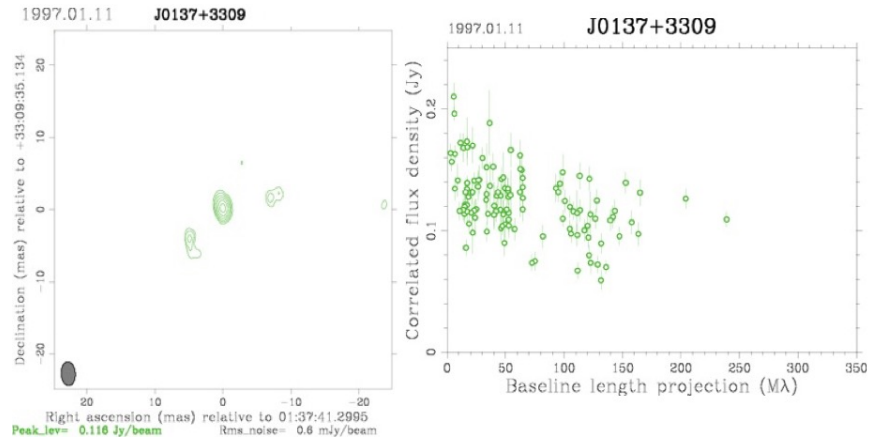


図5.6 J0137のビジビリティ, cleanmap

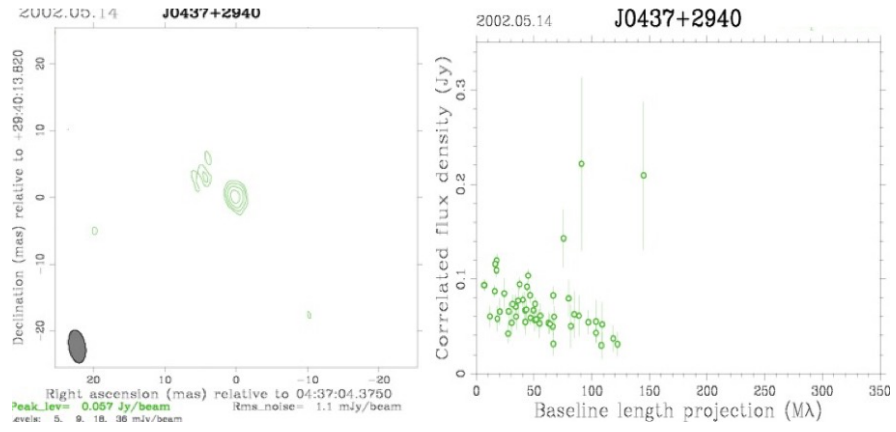


図5.7 J0437のビジビリティ, cleanmap

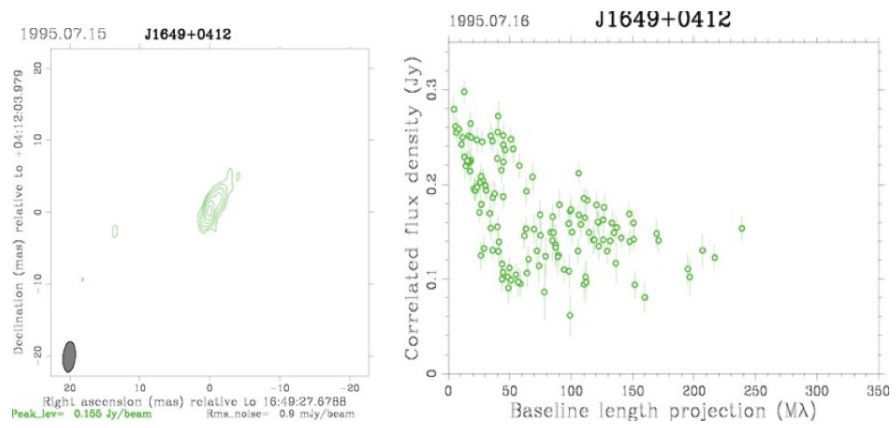


図5.8 J1649のビジビリティ, cleanmap

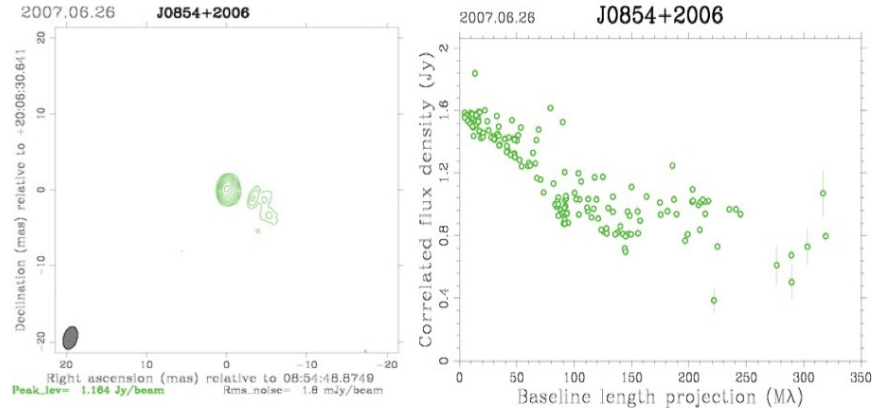


図5.9 J0854のビジビリティ, cleanmap

各基線のスペクトル図において4MHz付近にピークが表れているのを確認することができた。

5.2 考察

5.2.1 積分時間と信号雑音比

積分時間に対しての信号雑音比の変化について調べた。較正天体NRAO512の信号に対して全基線において積分時間を変化させ相関処理を行った。積分時間は1秒,3秒,10秒,30秒,100秒,300秒とした。解析によって得られたSNRを縦軸に、積分時間を横軸にプロットした。

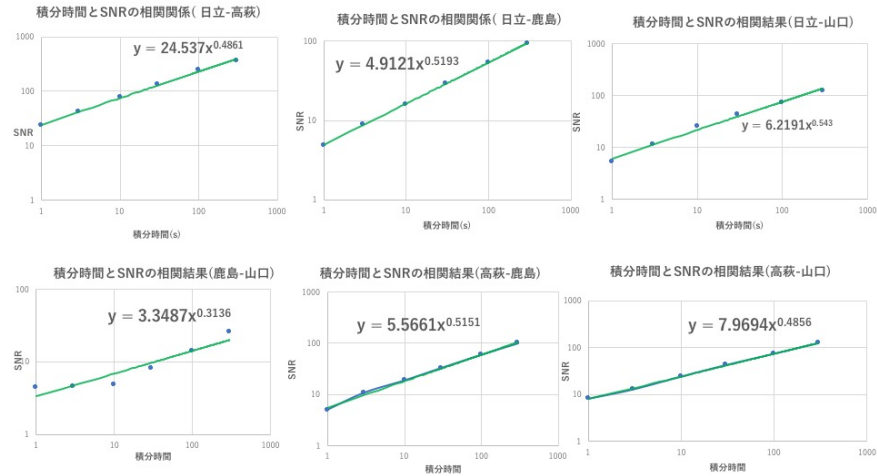


図5.10 積分時間とSNRの関係

グラフから全基線において積分時間とSNRに比例関係があることが見て取れる。
信号雑音比の式は

$$SNR = \alpha \frac{T_{cmb}}{T_{sys}} \sqrt{Bt}$$

で表されることから実験結果を裏付けるものとなっている。

5.2.2 t1ppとSNR

単位時間あたりの処理数を増やしたときのSNRの変化について考える。積分時間は日立-高萩基線 (HT)のみ299秒、残りの基線(HO,TO,OK,HK,TK)では240秒積分とした。較正天体NRAO512に対して、t1ppの値を0.01, 0.02, 0.04, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 40, 60のように変化させた。解析によって得られたSNRを縦軸に、t1ppを横軸にグラフをプロットした。

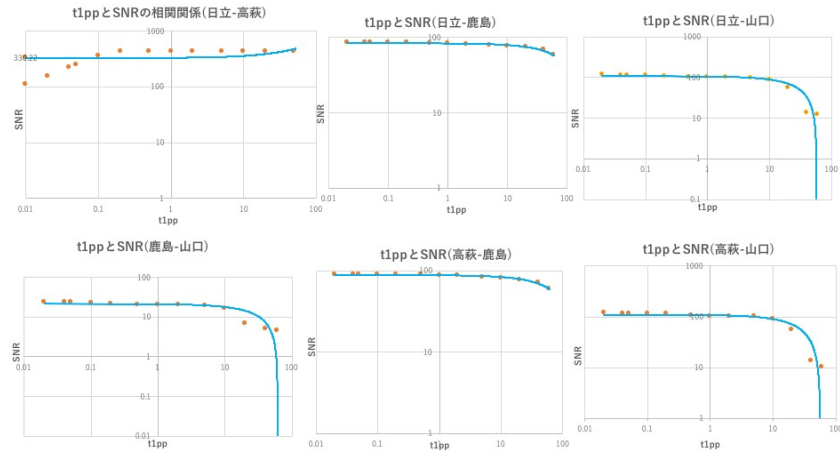


図5.11 t1ppとSNRの関係

グラフからt1ppの値を上げていくとある一定の値まではSNRが上昇するがその後減少することが読み取れる。解析によりSNRが最も高い値をとるのはt1pp=1のときである。よって、相関処理を行う際にはt1pp値を1程度にすることが望ましいと考え今回の観測データの解析においてはt1pp=1と設定して相関処理を行った。例外は日立-高萩基線でのt1ppの値を上げたときにおけるSNR値の上昇である。この二局は基線が短く、大気の状態などもだいたい同じであることから位相回転がほとんど同じになり、t1ppの値を変えてもベクトルのズレが生じにくいのではないかと考えられる。

なので予想としては、このままt1ppを上げていけばある程まではSNRが上昇し、ある値で減少し始めるのではないかと考えられる。他の基線に比べ、減少し始める値は大きい値となりそうである。これを検証するにはt1ppの値を上げて相関処理をおこなえば良いのだが、 $\frac{\text{積分時間}}{t1pp} \leq 8192$ (分光点数)を満たさなければならないので、t1ppには限界がある。

今後、値を上げてSNRがどのように変化するかを検証する。

5.2.3 較正天体のデータ

較正天体であるNRAO512、DA193、4C39.25の相関処理で得られた結果について各基線ごとに較正天体のoffsetの値はおおよそ一定になっている。一方で、rateの値は鹿島-山口,日立-山口,高萩-山口基線において較正天体DA193の値が他の天体に比べて低い値となっていることがわかる。

ここから考えられることは、

1. 各基線で較正天体三天体を同時に追尾できている
2. 循環するように三局を選ぶことでoffsetの合計を0にすることができるので、幾何学的遅延

による遅延時間は消去することができる。

3. 長基線になると、較正天体DA193の構造が見えてしまいrateの値が減少する。

較正天体は長基線でも分解しない天体を選出したにもかかわらず、実際にはDA193は構造が見えてしまう結果となった。この天体のデータを使用して遅延残差や遅延残差変化率を較正することはできないと判断したため、rateの平均値を取る際には値を使用しないようにした。なので、rateに関しては較正天体2天体分のデータの平均を使用する。

5.2.4 メーザー天体

メーザー天体に対する相関処理の結果から、各基線によってフリンジが検出できる天体数は異なることがわかった。日立-高萩基線のみが56天体全てでフリンジを検出し、基線が長くなると検出天体はだいたいどの局でも同じ数程度になっていることがわかった。細かい違いはあるが、おおそどの基線でもフリンジが検出できている天体が存在することがわかった。以下が全ての基線でフリンジが検出できた天体である。

- 6.795-02
- 9.621+01
- 32.03+00
- 35.20-07
- 111.5+07

どの基線でも検出できるということはこれらの天体の信号は強いと判断することができ、UV図を作る天体として使用する。ただ他の基線の比べ鹿島-山口基線は検出天体が少ないことにはなにか要因があると考えられるが、現在のところわかっていないので、今後の検討を重ねていく。

またピークを確認することができた9.621+01天体については、どの基線においても4MHz付近でピークを確認することができ、振幅較正に使用することができる天体であると判断した。

奇妙なことに相関振幅のスペクトル図において、日立-高萩基線においてのみ、フリンジがスプリットしているのが見られる。逆に言えば、メタノールメーザー輝線以外の周波数でフリンジが揃っているように見える。

これは9.621+01天体がHII領域起源と相関を起こしているのではないかと考えられている。この結果については、今後さらに研究していく。

第6章

まとめと今後

本研究では周期的に強度変動を起こす天体について、その原因が放射領域サイズに起因するものであるという仮定をたて、静穏期と増光期における放射領域サイズを推定しようというモチベーションがある。

まず観測にあたり、遅延を補正するせいに必要となる較正天体の選別を行った。その結果、使用できると判断したDA193,NRAO512,4C39.15の3天体とメタノールメーザー天体56天体を加えた計59天体に対して少数基線VLBI観測を行った。観測に使用したのは日立32m,高萩32m,鹿島34m,山口32mの四局である。

各局で較正天体に対して相関処理を行い、求められた遅延残差,遅延残差変化率をもとにメタノールメーザー天体の相関処理を行った。その結果、基線が短いほどフリンジが検出できる天体は多く、基線が長くなるにつれ検出天体は少ないことがわかった。また各局で得られた観測データから天体の強度を比較すると、基線長が長くなるにつれて強度が減少することが確認できた。

現状の問題点は、
較正天体の選別を再度行う必要あるかどうか
t1ppの最大値をを求める
日立-高萩基線において、メーザー基線以外で相関が起こる原因
観測時のUV長を計算する方法の確立
鹿島-山口基線において、フリンジを検出できた天体数が他に比べて少ない
である。

今後はこれらの原因を調査するとともに、観測時のUV長と観測された相関振幅からUV図を作成していく。その後は振幅較正を行い、放射領域サイズを見積もることとなる。さらに静穏時,増光期の両時期で観測を行い、放射領域がどのように変動するのかについても調べていくこととなる。

謝辞

本研究を行うにあたりご指導、ご協力いただいた多くの皆様に感謝いたします。
指導教官である百瀬教授には、ゼミの内容から論文の書き方まで広くご指導いただくだけでなく、学会発表の機会を与えていただきました。

米倉覚則准教授には観測のスケジュールや解析方針から細かい方法などをご指導いただきました。

VLBI観測の際に各局のアンテナ運用を担当していただいた山口大学の藤沢健太教授、情報通信研究機構の岳藤一宏様。お忙しい中、日程を合わせていただき大変感謝しております。

研究員の杉山さまには、この研究の発案から方針まで常にご指導いただきました。

同じく研究員の齋藤悠さまにはアンテナ運用の際に何度も助言をいただきました。

研究室の先輩方はメタノールメーザーが何かということから干渉計、惑星形成など自分の質問いつも答えてくれました。同期の四名とは、研究内容が異なりますが、お互いにモチベーションを高めあうことができました。皆様、ありがとうございます。

そして、大学だけでなく院進学も認めてくれ支えてくれる両親に感謝します。

参考文献

- [1] 福井康雄 他 ”シリーズ現代の天文学6 星間物質と星形成” 日本評論社
- [2] 中井直正 他 ”シリーズ現代の天文学16 宇宙の観測(2)” 日本評論社
- [3] 国立天文台編 ”干渉計サマースクール2005教科書”
- [4] 森智彦,2013,茨城大学大学院理工学研究科修士論文
- [5] 永瀬桂,2013,茨城大学大学院理工学研究科修士論文
- [6] 青木健吾,2013,茨城大学理学部学士論文
- [7] 情報通信研究機構NICTサイト <http://www2.nict.go.jp/sts/stmg/K5/VSSP/index.html>

付録A

遅延時間,遅延時間変化率,信号雑音比

表A.1 日立-高萩における遅延時間、遅延時間変化率,SNR

天体名	Delay(μ sec)	Rate(ps/s)	SNR
G351.2+0	0	0.041	1537.1
351.7-05	-0.2	0.035	129.4
G353.2+0	-2.65	-48.538	36.3
0.167-04	-2.601	-51.605	33.3
4.434+01	0.002	-0.025	40.9
6.539-01	-0.001	-0.01	187.9
6.610-00	0.004	-0.044	68.6
6.795-02	-0.095	-0.033	161.1
7.632-01	-2.235	-51.082	33.8
8.139+02	0	0.004	324.4
9.621+01	0.205	-0.008	3385.7
10.20-03	0	-0.036	121.5
10.28-01	-0.004	0.017	300.6
10.32-02	0.005	-0.043	49.2
10.32-01	-0.003	0.035	869
11.10-01	-2.591	-55.438	33.6
12.02-00	0.018	-0.091	81.9
12.62-00	0.01	0.04	50.6
13.65-05	0.001	0.01	73.9
14.23-05	-2.598	-56.109	32.6
14.63-05	-2.752	-53.388	32.8
18.34+17	-0.202	-0.021	51.6
19.75-01	-2.664	-56.055	34.2
23.19-03	-0.567	0.011	104.1

24.93+00	0.005	0.012	49
25.38-01	0	-0.012	1267.9
25.41+01	-3.068	-36.153	34.4
25.65+10	1.415	0.094	40.7
25.82-01	-0.326	-0.038	139.4
26.52-02	-3.167	-24.103	34.2
27.22+01	-0.34	-0.015	62.1
32.03+00	0.294	0.019	225.3
33.64-02	-0.379	-0.039	46.8
35.02+03	-3.144	-21.367	35.1
35.20-07	-0.248	-0.01	214.4
35.20-17	0	0.007	1188.4
35.79-01	-3.188	-7.395	35.8
36.10+05	0.332	0.02	50.8
37.40+15	0.56	-0.026	81.6
38.26-00	-3.166	-12.142	37.2
43.87-07	0	-0.048	231.2
45.44+00	0	0.009	886.2
52.20+07	-3.709	-2.643	38
52.66-10	-3.086	-0.363	36.2
53.62+00	-3.067	2.931	37.6
69.52-09	-0.004	-0.043	56.2
94.58-17	-2.639	-15.475	38.9
IRS22198	-2.457	-9.718	43.7
111.2-07	-2.497	-13.801	37.4
111.5+07	0.05	-0.002	756.2
121.2+06	-2.393	-17.669	42.5
123.0-63	-0.373	-0.012	52.4
174.1-00	-0.063	-0.006	47
192.6-00	-1.972	-51.12	35
213.7-12	0.002	-0.04	1428.9
14.33-06	-2.483	-56.724	33

表A.2 日立-鹿島における遅延時間、遅延時間変化率,SNR

天体名	Delay(μ sec)	Rate(ps/s)	SNR
G351.2+0	0.066	-3.844	5.2
351.7-05	-0.294	-0.219	21
G353.2+0	0.564	36.055	5.5
0.167-04	-2.567	10.918	5.5
4.434+01	-0.607	-64.697	6.1
6.539-01	-2.57	32.709	5.2
6.610-00	-1.176	74.77	25.2
6.795-02	-0.05	-0.107	30.5
7.632-01	-19.109	55.351	5.8
8.139+02	243.254	-3.759	5.8
9.621+01	-8.83	-0.071	635.8
10.20-03	105.163	-1.154	6.3
10.28-01	-4.853	-8.357	12.2
10.32-02	15.681	-0.035	6
10.32-01	-2.658	-0.039	171.1
11.10-01	2.751	0.006	7.8
12.02-00	0.202	-0.131	17.1
12.62-00	-2.862	-0.094	9.4
13.65-05	-8.924	-0.016	13.3
14.23-05	-117.286	-49.599	6.1
14.63-05	52.744	-39.877	5.7
18.34+17	-6.53	-0.007	14.1
19.75-01	119.621	69.809	5.5
23.19-03	-0.734	-0.044	17.1

24.93+00	-118.586	24.667	6.2
25.38-01	-95.514	69.843	5.8
25.41+01	5.94	-70.29	6.4
25.65+10	7,625	0.163	10.3
25.82-01	-9.268	-0.377	19.8
26.52-02	-121.247	33.444	5.6
27.22+01	-2.232	-0.256	12
32.03+00	-1.409	0.351	45
33.64-02	15.998	-2.652	9.1
35.02+03	9.772	-0.009	6.9
35.20-07	12.713	0.041	25.2
35.20-17	1.529	-0.221	11.9
35.79-01	-4.304	-0.05	6.7
36.10+05	-0.74	-0.711	10.2
37.40+15	-8.607	-1.567	11.6
38.26-00	18.732	72.76	5.7
43.87-07	-4.403	-0.497	6.5
45.44+00	-40.916	16.115	5.6
52.20+07	66.791	46.252	5.7
52.66-10	74.888	12.013	6
53.62+00	-118.899	65.338	5.9
69.52-09	-8.629	-0.016	7.7
94.58-17	68.689	-25.067	6.4
IRS22198	74.584	-46.114	6.2
111.2-07	92.012	70.057	5.9
111.5+07	-2.397	-0.057	64.6
121.2+06	47.84	-65.116	5.8
123.0-63	12.501	-0.033	12.5
174.1-00	-5.404	-3.325	9.3
192.6-00	-21.377	-0.113	64.3
213.7-12	5.679	0.012	21.6
14.33-06	-85.875	0.279	5.7

表A.3 高萩-鹿島における遅延時間、遅延時間変化率,SNR

天体名	Delay(μ sec)	Rate(ps/s)	SNR
G351.2+0	0.069	-3.876	6.8
351.7-05	1.143	-0.262	21.6
G353.2+0	4.886	-47.531	6.1
0.167-04	-65.618	16.373	5.7
4.434+01	-85.464	-63.622	5.5
6.539-01	82.609	72.464	6.4
6.610-00	-19.169	0.03	6.2
6.795-02	-0.295	-0.093	29.4
7.632-01	112.663	24.893	5.9
8.139+02	89.864	-4.401	5.8
9.621+01	-8.117	-0.077	620.8
10.20-03	-2.301	34.648	5.9
10.28-01	-2.769	-8.3	11
10.32-02	8.911	56.554	5.8
10.32-01	-2.797	-0.17	16.2
11.10-01	12.343	-0.326	6.4
12.02-00	-1.652	-0.053	16.6
12.62-00	-0.232	-0.052	9.1
13.65-05	-6.13	-0.053	13
14.23-05	-41.946	35.693	6
14.63-05	-81.361	-46.776	6.3
18.34+17	0.832	-0.036	13.2
19.75-01	-65.886	7.053	6.1
23.19-03	-0.729	-0.057	16.2

24.93+00	-69.147	-71.834	5.6
25.38-01	-7.217	-55.093	5.8
25.41+01	102.408	50.694	5.7
25.65+10	19.782	-0.11	10.8
25.82-01	-7.892	-0.336	20.1
26.52-02	23.44	-40.669	5.7
27.22+01	-4.524	-0.246	12.3
32.03+00	-0.753	0.32	44.1
33.64-02	14.617	-2.848	9.1
35.02+03	85.941	-1.429	5.9
35.20-07	13.76	0.032	26.3
35.20-17	5,631	-0.275	12.7
35.79-01	1.505	0.009	7.1
36.10+05	0.266	-0.808	8.7
37.40+15	-10.83	-1.378	12.8
38.26-00	-8.604	-69.197	5.8
43.87-07	101.481	-65.947	6.1
45.44+00	-58.164	-38.912	6
52.20+07	-79.311	66.879	5.8
52.66-10	-63.001	-1.643	5.8
53.62+00	-42.181	3.442	6.1
69.52-09	21.614	-0.294	8.2
94.58-17	9.428	-48.651	6.1
IRS22198	4.677	-18.165	5.6
111.2-07	-79.811	-37.911	6.3
111.5+07	-2.936	-0.061	65.9
121.2+06	-16.962	33.153	6
123.0-63	7.431	-0.077	12.8
174.1-00	-0.822	-3.345	10.1
192.6-00	15.29	41.087	5.9
213.7-12	2.49	0.019	22.2
14.33-06	70.979	49.828	5.6

表A.4 鹿島-山口における遅延時間、遅延時間変化率,SNR

天体名	Delay(μ sec)	Rate(ps/s)	SNR
G351.2+0	2.143	-36.702	5.8
351.7-05	88.859	-30.127	5.9
G353.2+0	20.852	-42.775	5.5
0.167-04	-75.436	8.239	5.5
4.434+01	-97.609	13.708	5.8
6.539-01	-71	52.239	6
6.610-00	-100.797	29.334	5.8
6.795-02	9.894	-5.208	8.3
7.632-01	-63.759	-31.063	6
8.139+02	-70.655	39.862	5.7
9.621+01	5.891	-3.277	4.3
10.20-03	62.383	55.196	5.6
10.28-01	75.121	43.724	6.7
10.32-02	-56.558	-51.53	5.5
10.32-01	25.642	21.595	5.8
11.10-01	127.923	-66.236	6.1
12.02-00	6.431	-2.474	6.4
12.62-00	-59.447	-34.492	5.9
13.65-05	-46.399	2.967	6.1
14.23-05	25.786	-46.465	6.3
14.63-05	100.748	65.941	6.6
18.34+17	-27.092	26.66	5.6
19.75-01	-9.093	69.689	5.5
23.19-03	102.14	1.223	5.8

24.93+00	30.036	-36.315	5.5
25.38-01	112.737	42.175	6
25.41+01	26.823	-34.24	5.9
25.65+10	26.556	35.587	6.1
25.82-01	53.42	17.924	6
26.52-02	-86.987	-46.889	5.6
27.22+01	-105.946	-12.584	5.6
32.03+00	-8.538	0.511	10.6
33.64-02	-43.001	-53.554	5.5
35.02+03	87.352	-48.596	5.9
35.20-07	-38.448	-7.667	8.1
35.20-17	24.163	35.864	6
35.79-01	8.67	18.072	5.8
36.10+05	-4.698	23.466	5.9
37.40+15	14.864	-74.479	5.8
38.26-00	22.963	-55.336	5.7
43.87-07	-29.666	-30.69	5.6
45.44+00	4.643	-47.711	5.7
52.20+07	85.454	-57.429	5.5
52.66-10	107.757	68.921	5.7
53.62+00	7.639	-18.968	6.1
69.52-09	26.803	32.052	5.6
94.58-17	-123.196	0.002	5.8
IRS22198	-127.723	-21.44	5.5
111.2-07	56.028	-50.128	5.8
111.5+07	-22.02	-5.239	8.4
121.2+06	8.019	38.455	5.6
123.0-63	-22.898	-4.66	5.8
174.1-00	-49.502	18.44	6.1
192.6-00	2.108	0.041	16.2
213.7-12	-23.578	26.133	6.5
14.33-06	-71.866	23.699	5.7

表A.5 日立-山口における遅延時間、遅延時間変化率,SNR

天体名	Delay(μ sec)	Rate(ps/s)	SNR
G351.2+0	84.312	8.674	6.2
351.7-05	22.663	-2.047	9.2
G353.2+0	-19.8	-68.861	5.7
0.167-04	98.037	1.773	5.8
4.434+01	-22.766	-29.111	6.4
6.539-01	-65.614	-42.725	5.6
6.610-00	-3.245	-17.891	6.1
6.795-02	22.951	-5.282	27.8
7.632-01	110.115	-59.521	5.7
8.139+02	-74.575	-4.775	5.9
9.621+01	-3.396	-3.339	318.7
10.20-03	12.387	25.274	5.8
10.28-01	-1.758	-6.124	6.6
10.32-02	-25.888	9.878	6.1
10.32-01	-16.823	-6.447	11.4
11.10-01	-8.6547	-1.777	6.9
12.02-00	9.554	-3.06	20.4
12.62-00	-120.246	-22.771	5.9
13.65-05	32.776	-5.292	10.6
14.23-05	65.595	-2.287	6.2
14.63-05	15.255	-72.915	5.5
18.34+17	-51.058	-3.764	11.8
19.75-01	-19.781	-53.035	5.7
23.19-03	8.364	-4.744	8.4

24.93+00	83.121	-60.728	6
25.38-01	-69.687	-52.47	5.5
25.41+01	26.577	-51.229	6
25.65+10	-40.964	-6.69	10.3
25.82-01	-5.86	-7.388	18.7
26.52-02	-71.07	24.362	5.6
27.22+01	-3.516	-7.394	10.5
32.03+00	6.845	0.905	37.5
33.64-02	5.638	-56.109	9.6
35.02+03	36.029	0.882	5.5
35.20-07	-18.563	-7.652	29.5
35.20-17	15.507	-7.859	12.3
35.79-01	1.553	-8.204	9.8
36.10+05	-4.614	-22.595	9.7
37.40+15	18.847	-59.211	14.3
38.26-00	-89.489	15.475	6
43.87-07	5.104	-8.476	7.5
45.44+00	34.085	-5.925	5.5
52.20+07	-6.835	-33.738	5.7
52.66-10	121.236	-65.349	5.7
53.62+00	13.71	2.616	5.5
69.52-09	-0.776	-7.614	6.7
94.58-17	108.505	38.352	5.4
IRS22198	-90.978	71.632	6.7
111.2-07	44.705	-33.742	5.9
111.5+07	-6.666	-5.31	23.2
121.2+06	48.25	73.635	5.8
123.0-63	-8.113	-4.738	11.4
174.1-00	-39.639	-35.796	5.9
192.6-00	-22.895	-0.06 5	3.9
213.7-12	-32.31	-0.868	12.3
14.33-06	-119.956	40.118	5.6

表A.6 高萩-山口における遅延時間、遅延時間変化率,SNR

天体名	Delay(μ sec)	Rate(ps/s)	SNR
G351.2+0	89.204	-53.317	6
351.7-05	3.429	-1.949	9
G353.2+0	-87.497	-36.623	5.6
0.167-04	-27.724	-48.369	5.9
4.434+01	82.188	67.062	5.9
6.539-01	-104.011	-28.675	6.1
6.610-00	95.602	-58.887	5.8
6.795-02	23.192	-5.26	26.2
7.632-01	114.132	-16.398	5.8
8.139+02	2.306	35.759	5.3
9.621+01	-2.988	-3.324	319.1
10.20-03	73.586	-39.362	5.5
10.28-01	-10.605	-5.868	6.5
10.32-02	-90.273	43.416	5.7
10.32-01	-15.815	-6.482	12
11.10-01	6.9	-1.957	7
12.02-00	12.971	-2.81	20
12.62-00	30.29	51.237	6.1
13.65-05	-1.544	-5.265	10.3
14.23-05	-28.49	26.09	5.3
14.63-05	-14.17	19.708	5.7
18.34+17	49.123	-3.743	12.1
19.75-01	-70.414	-51.567	5.5
23.19-03	7.987	-4.81	9.1

24.93+00	-109.606	59.468	5.8
25.38-01	-100.517	-58.651	6
25.41+01	-33.411	56.558	5.6
25.65+10	-33.582	-6.86	10.1
25.82-01	-4.684	-7.329	18.5
26.52-02	-2.154	44.223	5.6
27.22+01	5.684	-7.373	9.2
32.03+00	7.463	0.872	37.1
33.64-02	5.411	-56.282	10
35.02+03	87.916	-5.293	5.5
35.20-07	-22.954	-7.647	30.2
35.20-17	13.101	-7.82	13.1
35.79-01	-2.346	-8.182	10.1
36.10+05	-0.346	-22.52	9.5
37.40+15	16.471	-59.269	15.6
38.26-00	-25.987	0.335	5.8
43.87-07	14.346	-8.307	6.8
45.44+00	-105.887	64.196	5.9
52.20+07	-32.327	-14.367	5.6
52.66-10	13.467	6.0	36.3
53.62+00	124.5	-21.688	5.3
69.52-09	11.332	-6.836	6.7
94.58-17	66.979	-16.962	5.6
IRS22198	60.069	-48.322	5.8
111.2-07	-11.14	-5.558	5.7
111.5+07	-11.706	-5.293	23.1
121.2+06	21.506	31.436	6
123.0-63	0.192	-4.744	11.1
174.1-00	-29.33	40.364	6.1
192.6-00	-68.584	-57.716	6.1
213.7-12	-30.636	-0.79	13
14.33-06	42.13	-48.685	5.7