

## revised 公開質問状 2007 年 11 月 version

### 2 ビーム VERA システムとその観測計画に関する質問事項

三好 真 (VLBI 天文学)

2006 年 3 月 30 日

2006 年 3 月 31 日(0 番追加)

2006 年 10 月 26 日(10-14 番追加)

2007 年 1 月 21 日(15-18 番追加)

2007 年 11 月 11 日 (改題)

2007 年 11 月 11 日 (19-追加)

2007 年 11 月 11 日 (1 の図・訂正)

#### 19 番からは 2007 年秋天文学会・IAU248 での関連講演にもとづく質問

19) 07 年日本天文学会秋年会において、銀河の研究者から以下の質問がありました。

「1000 天体を測ると銀河の何がわかるのか？」——これにお答え下さい。

20) 07 年日本天文学会秋年会において、銀河の研究者から以下のコメントもありました。

「いつまで役人向けの説明を (学会等の科学の場で) 続けるのか? 研究として本当には何ができるのかを言うべき」——これにお答え下さい。

21) 公式に「1000 天体 (の年周視差と固有運動) を 10 マイクロ秒角精度で測る」と発表しています。例えば国立天文台年次報告 (2006 年度) には以下の記述があります。

「...従来に比べて 100 倍精度の高い 10 マイクロ秒角のアstrometri 観測を行う。これによって我々の銀河系内の約 1000 個のメーザー天体について年周視差と固有運動の計測を行い、銀河系の 3 次元地図および 3 次元ダイナミックスを明らかにする。...」

(既質問事項とやや重複しますが) これは観測技術的に不可能ではないでしょうか? 技術的な妥当性を示すことが必要だと考えます。何らかの技術的妥当性があるなら、定量的に、お示し下さい。

22)(先の 21 番とやや重複しますが)「1 年に数十天体を測定し、十数年かけて 1000 天体を測定する」と公式発表しています。十数年かけて、どの天体から計測してゆくのか具体的なグランドプランを示してください。測定可能天体 (=検出できるという意味で) は現実には、たかだか 80 個だと推定しています。すると 1 年余りで計画は終了することになります。具体的に十数年間継続できることを示してください。

23) (既質問事項と重複しますが) 電波雑音源法についての疑問。光学系と全く無関係の場所から放射した電波の遅延を測ることから、なぜ機器遅延がわかるのですか? 測定原理とその精度が不明です。解説ください。

24)電波雑音源法では計測できないはずの機器遅延が存在します。例えばビーム内位相特性によってポインティング・エラーがあるとき機器遅延が生じます。この補正はどうやるのですか?あるいは、しなくて良いなら理由を説明ください。

25) (既質問事項と重複しますが) なぜビーム内位相特性の測定をしないのですか? RISE グループではそのビーム内相対 VLBI にそなえ、同様の計測を実施、結果を IEEE に論文掲載しています (Liu 他 2007, IEEE T. A. P., 55, 5)。その結果からは 22,43GHz では通常のアンテナにおいても、無視できない遅延系統誤差を生じるのではないかと推定できます。2 ビームアンテナで同種の測定ができない理由、あるいはしなくていい根拠を示してください。

26) IAU248 では、「10 マイクロ秒角精度達成のためには局位置精度は 5mm でよい (場合がある)」という講演がありました。どのような場合に 5mm でよくなるのでしょうか?

**0 番から 9 番は 2006 年天文学会・春季年会での関連講演にもとづく質問**

0) 許容 2 ビーム間光路長差は大気こみで 100 ミクロンですが、とくにアンテナ部分に関しては仕様で光路長差 50 ミクロンを規定しています。アンテナの受け入れに関してどのような測定を行ってこれを検取・確認したのでしょうか? (ここで光路長差はその時間変動成分ではなく、絶対値としての光路長差です。)

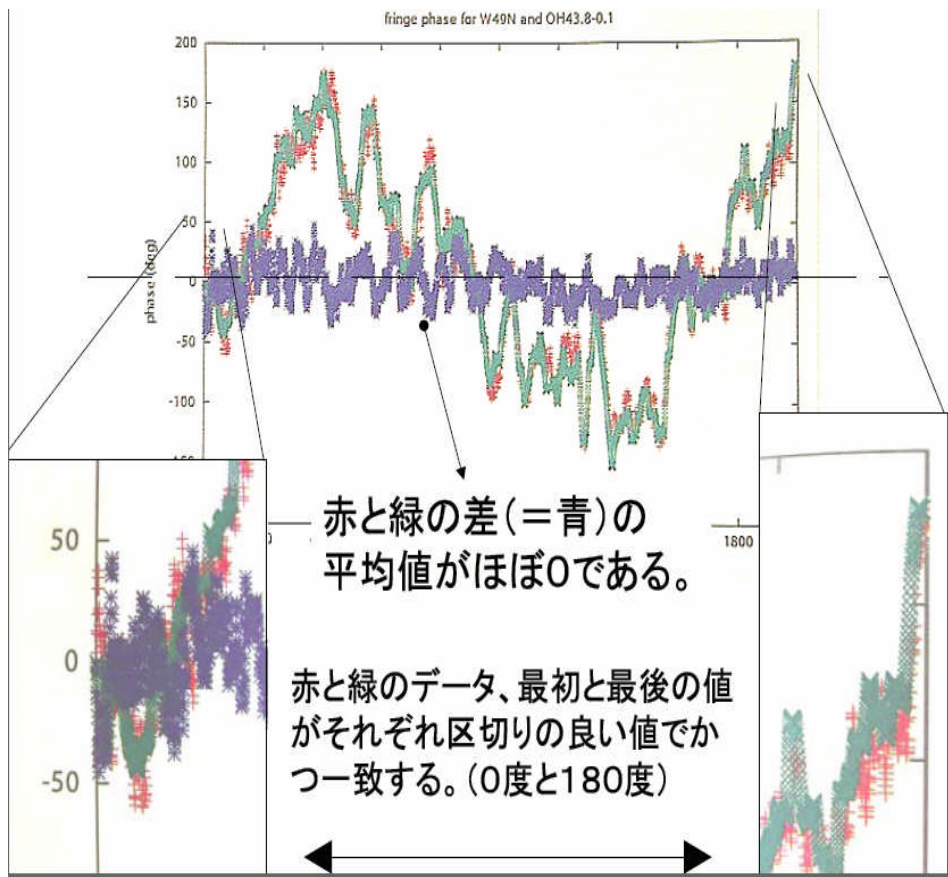
以下の質問 1 における図は対応が間違っていたことが判明しました。観測日が異なるデータを対比していました。修正します。質問事項は変わりません(2007/11/11)

1) Honma 他(PASJ,55, L57-L60 2003)の fig 1 は一般的な位相差の図ではないので相対 VLBI の効果を示す例としては不適當。

まず、fig1 は異常にきれいであり、

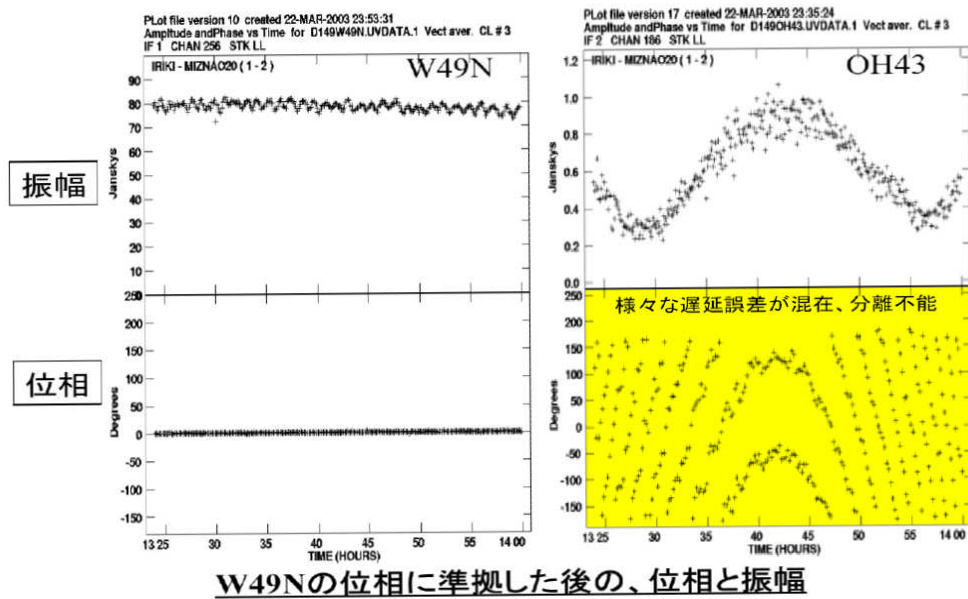
- a. 左端のスタート位相が共に 0 度であること。
- b. 最後の値が共に 180 度であること。

c. fig1 の下段の位相差平均値が 0 らしいこと。これはア priori 天体位置が完全に正しかったことを意味する。メーザスポットのア priori 位置はせいぜい 0.1 秒角精度なので、位相差平均値はほとんどの場合、non 0 値となる。以上 a, b, c が同時に起こる確率はきわめてひくい。



実際の visibility から単純な差を求めると下図の (黄色塗り部分) ようになる。本来相対 VLBI という位相差は単純に位相の引き算をいう。追尾位置をずらす、既知の誤差分を修正するといったことはしてもよい。しかしながら、相関器遅延追尾パラメータでの大気項の正負を間違えており、それにまだ気がついていないこの時期にこのようなきれいな位相差がでるのはおかしい。相対 VLBI による大気位相変動のキャンセル効果をしめす際には、別の結果を用いるべきである。

同一データにおける単純な引き算の結果（黄色塗りの部分）



2) 基線ベクトル誤差はwの誤差すなわち遅延（位相）誤差を引き起こすだけではなく uv 値にも誤差をもたらす。その効果は、千 km 基線に対して5ミリの誤差として、2度離角に対し天球座標で50 $\mu$ 秒角の誤差をもたらす。

uv 誤差を考える際には最長基線で考えるよりも、実際に有効な基線長で考えるべきだ。多くの銀河メーザは2千キロ基線では空間分解される。最長基線2千キロに対しての誤差で議論するのは実際的ではなく、各メーザに応じて良く検出できる基線長で議論すべき。

3) 電波雑音源の測定では何が測れるのか？

鏡面上とは全く異なる位置から発した電波を測定しているので、測定位相遅延はアンテナの光学系とは直接には関係がない遅延である。これから、校正のため知りたい instrumental delay phase (=時間変動分ではない。絶対値で校正できないと正確な image が得られない) をどのように導出するのか？その際の推定精度はいくらか？

講演発表では位相という言葉と位相変動という言葉が混在していた。電波雑音源の測定どちらを測ることを意図しているのかははっきりしない。もし位相の時間変動項であるとする、位相固定項はどうやって測定するのか？ instrumental delay phase に焼き直すには位相固定項が必要なはず。

4) 10m鏡利用の測定法について。20m鏡をスイッチングして位相を測定しているが、この位相はどのような意味の量であるのか？20m鏡をスイッチングした場合、実際のVLBI天体観測時の基線ベクトルとは異なるので、校正のため知りたい2ビーム間の instrumental delay phase 差ではないことは明らか。その近似値であるならばどの程度の精度で一致すると考えているのか？

5) amplitude の誤差も位置に誤差をあたえる。その推定値は？

6) アンテナビーム内位相特性の影響は？測定はしたのか？

先日水沢10m鏡のビーム内位相差の測定がRISEグループの手で実施されていたが、これと同じことが必要なはず。特に光軸からはずれた位置でのアンテナビーム内位相特性は非軸対称性をもち、追尾エラーによっては系統的位相誤差を生む。計算値では（遅延換算50ミクロンとして）アンテナビームの十数分の一の範囲の許容度しかない。

7) 中川氏の講演から大気（正確にはトータル）遅延残差の2ビーム差は1  $\lambda$  (=観測波長) 程度、10ミリは確実にある。従って位置精度は良くて synthesized beam サイズ 1mas 程度というのが妥当。もっとも1  $\lambda$  の光路長誤差があってもはや合成イメージ自体が信用ならない。dirty image の全輝度分布の広がり1  $\sigma$  程度が位置精度であると考えべき。

8) S269 の測定精度が他の結果に比べて2桁近く良いのはなぜか？解析法を共通にして比較し理由を示すべき。

9) チェさんのフリンジチェックのポスター講演に関して。数十ペアの観測で同時検出例が1例もない。この結果をどう考えるのか？

ビーム間遅延残差が観測波長  $\lambda$  程度発生している以上、一方の天体の（セルフキャリブレーション等による）較正をもう一方へ適応して、検出することは不可能といってよい。数の稼げない観測装置である以上「銀河のアストロメトリ」はもはや見直すべき。

以下は users meeting(2006/10/10-11)講演を受けて 2006 年 10 月 26 日追加。上記と内容重複もあり。

#### 観測可能数：

10) 位置測定目的で観測可能なペアを具体的に示して下さい。その総数はいくつですか？

公開の水メーザサーバイ・リストでは 106 ペア中、目標天体、参照天体とも検出されたペアは 20 ペアです (=両検出率 20%)。

仮に千のメーザ源が銀河系にあり、  
そのうち 40%に参照天体が 2 度離角内にあり、  
両検出率 20%を適用すると

可観測ペア数 =  $1000 * 0.4 * 0.2 = 80$  ペア

となります。

片方が通常の VLBI 観測法で検出できない場合は「 $\delta \text{ secZ}$  をパラメータとして振って、強度の最大値が正しいとして、求める」方法は使えません。

両方とも通常的手段で検出できない場合はもちろん測定不能ですから、位置天文観測可能ペアは 80 ペア前後だと推定できます。(なお、観測可能ペア数の問題については以前、国立天文台首脳部に指摘・報告済。)

11) 1000 天体の測定がいずれ可能になる技術的見通しがあるのですか？

UM 講演では 1000 天体の位置測定を前提として、長期計画や年間時間の割当てが、示されています。もし 1000 天体の検出・測定が想定年月のうちで観測技術的に不可能である時は、大前提がくずれることになり、プロジェクトの各時間配分が妥当である根拠を失います。

元々「1000 天体のメーザを測る」、というのは 10 年前にいくつかのメーザ源カタログを調べて私が作ったキャッチコピーです。当時はアレイ規模やアンテナ形式による縛りが無かったので上記のような装置性能からくる観測可能天体ペアの減少は想定せず、総数で 1000 天体を目標にできると考えたのです。

しかし、現在の装置にはその性能は無いと思われまます。

#### 精度検証：

12) 相対位置測定精度をきちんと示してください。

個々の発表結果をみてゆくと、精度のおおきなばらつきがあります。特に不動であるはずの QSO-QSO ペアで  $200 \mu$  秒角の散らばりが発生していることを考えるとなぜ「 $50 \mu$  秒角精度が出ている」という公式見解になるのか疑問を感じます。「 $50 \mu$  秒角精度」が正しいとすると、これを大きく下回る観測結果の原因は为什么呢？

また今回、良い結果を報告した講演の多くでは **phase reference** による電波イメージが示されないまま、いきなり位置の時間変化を示す図とそこへの年周視差曲線の **fitting** が示されます。今回唯一それらが示された **QSO-QSO** ペア観測結果や以前の発表で示された **phase reference map** では天体イメージは必ずしも一箇所に収束せず、他にいくつかもの輝度分布ピーク (=位置候補) が見受けられます。**phase reference map** を示して輝度分布の **location** が 1 カ所であることを示せば、信頼度が増します。

この際、さらに以下のデータ解析の細部を明示すれば、信頼度はさらに上がります。

(a) 各基線のフリンジの位相・振幅の時間変化

(b) クロージャ・フェーズ

--以上は観測データと得られた電波像からの計算値の一致度を含めて--

(c) 参照源と目標天体の電波イメージ

--通常のマッピング法によるものと **phase reference** によるものの比較--

特に **S269** についての結果の再現性を示してほしい。

講演では解析段階の **visibility**、クロージャ、像合成マップ、**phase reference** でのコヒーレンスの度合い (通常のセルフキャリブレーションによるマップとの画像比較) などがあれば、信頼度があるのか推測できます。是非、解析過程と結果の再現性をしめしてください。

さらに、装置各部で発生する遅延エラーと位置測定精度 (公式発表) とのギャップを説明下さい。装置からの誤差見積もりと、実際の測定値との誤差見積もりとを比較し、矛盾がないことを確認するのは精密計測の基本です。

a)公式発表ではトータル 50 マイクロ秒角精度。

b)各発表では、位置精度 1 ミリ秒角超から 100 マイクロ秒角台にあるものなどまちまちです。

c)また別の機会の発表から、2 ビーム系での遅延誤差は 1~2 ミリ程度 (位置精度換算 100 マイクロ秒角台) があります。

他にも遅延誤差を発生させる箇所は複数あり、公式発表値はこれらと矛盾しているように見えます。

その他：

13)相対 VLBI による位相補償について、観測に基づき、その効果を定量的に示してください。

相対 VLBI による大気位相補償については、(1) 天体の相対位置精度の向上、(2) コヒーレンスの増大による感度向上、が期待されてきました。しかし実際の観測では天候や離角、さらに  $\delta \text{secZ}$  問題が絡んで、実際の「相対 VLBI 性能」は大きく変わります。これまでの実際の観測からどの程度の効用があるのかを具体的にまとめて示すことができるはずで。特に (2) の感度上昇については次期スペース VLBI 等でも期待されています。観測から定量・定式化することは、他プロジェクトへの波及効果を含め、有意義であると思われます。

14) 固有運動の測定結果について、述べられないのはなぜでしょうか？

天体位置の変化から、年周視差を求める際に固有運動は同時に計測されます。ところが、ほとんどの講演では年周視差の測定結果ばかりで固有運動の測定値の発表はほとんどありません。一般に固有運動は年周視差よりも大きく、かつ観測年月に応じて変位は大きくなります。そのため従来の光学観測で相当の数と精度で測定がなされています (例えばメーザ源である **O Ceti** (ミラ) は年周視差  $\pi=24\text{mas}$ 、 $237\text{mas/year}$  の固有運動)。メーザの付随する変光星についてはそれらの計測結果があるので、位置測定精度の比較検証の議論ができるはずで。

**15 番から 18 番は 2007 年 1 月のメーザ研究会 (PI 今井) 関連講演にもとづく質問**

15) 年周視差測定のために行った各エポックでの位置誤差はどのようにして見積もっているのでしょうか？一般にマップ内での相対位置は 2 次元ガウス形をメーザスポットへフィットして行われますが、この方法では基線長エラーによるフレーム自体のひずみは測定できません。また、天体イメージ自体は正しい

と仮定してあり、イメージ自体の誤差を無視することになります。

16) 測定結果へ理論モデルをフィットする場合、多くの実験では $\chi$ 二乗値などでフィットの善し悪しを判定します。年周視差+固有運動の測定においても是非 $\chi$ 二乗値等によってフィットの妥当性を示すべきです。誤差バーがグラフ上では見えない程に小さい一方で、フィット曲線が観測点から明らかにずれている例があります。つまり<O-C>が“誤差“に比べて大変大きく、フィットが妥当ではないように思えます。

17) 赤緯方向の測定が赤経方向に比べて著しく悪い理由を天頂大気遅延だとしていますが、妥当でしょうか？観測は horizon to horizon で行っているので大気遅延誤差が赤緯方向にのみ強く影響するとは思えません。また海外の研究で言及される天頂大気遅延誤差と量が異なるのはなぜでしょうか？

18) 従来の VLBI による位置測定結果との比較検討を行い、装置精度の検証をすべき。特に ICRF 天体は数多くの測地 VLBI において観測が行われ高い精度で位置が求まっている。これらの相対位置についての観測結果を従来値と比較検討すべき。本装置の QSO ペア間の離角測定のうちから例を挙げると NRAO512 と 3C345 間の離角測定値は従来値と 1mas という違いが見受けられる。採用する座標系が同一なら、1mas は有意に大きな値であり、説明が必要。

コメント：1 mas レベルの精度なら達成の可能性はある。位置精度に関して無理なことはいわず、着実な解析結果を積み重ねるべきです。その際得られる、大気・機器遅延の特性やそれを測定・除去するテクニックなどは観測技術としてまとめる値打がある事柄。

以上です。