

# 質問事項 2006 年 4 月 1 日 version

三好 真

(国立天文台・VLBI 天文学。位置天文やろうと VLBI 始めた。ブラックホールは脇道)

現状の VERA では銀河系 (=メーザ 1000 天体) の高精度位置天文測定 (=10 $\mu$  秒角) はできません。それは以下の 4 つの解決の難しい問題があるためです。

そのうち 3 つは建設以前にわかっていたことです。まずその 3 つは

## 1. 高精度位置測定のための観測方程式を間違えていました。

そのため、本当に必要な観測量を得るための十分な較正法がない観測装置になってしまいました。

当時、このアンテナ形式でよい、と考えた人が想定した観測方程式：

$$\Delta \Phi (H_s) = 2 \pi \nu B/c \cdot \{ [\sin \delta B \cos \delta s - \cos \delta B \sin \delta s \cos (H_s - HB)] \Delta \delta (\nu) + [\cos \delta B \sin (H_s - HB)] \Delta \alpha (\nu) \} + 2 \pi n + \text{const}$$

天体の時角 ( $H_s$ ) に対して、位置 ( $\Delta \alpha$ 、 $\Delta \delta \cos \delta$ ) によってフリンジ位相は 24 時間周期の正弦波変動を起こします。その振幅から位置を推定します (Thompson の教科書などに載っています)。

この観測方程式は、1 点源の天体については適用できます。位相の測定値に **const** なオフセットがあってもよい。しかし天体が大きさをもつ場合や多くのメーザ源のように複数の点源からなる場合は、適用限界を越えており、現実には通用しません。本当の高精度位置測定には像合成を通して天体の位置測定をする必要があるので、フリンジの位相・振幅の十分な較正が必須です。(参照：「mm,  $\mu$  arcsec, nGal で拓く測地・地球物理」研究会 (第 2 回) 「2 ビームにオフセット遅延があったら高精度位置天文測定はできないはず」(三好真) <http://www.naoj.jp/060228obseq.pdf>)

## 2. 観測対象であるメーザ源の大きさをよく考慮していませんでした。

メーザ・スポットは測地 VLBI に用いられる銀河系外電波源に比べて、ずっと大きい電波源です。スポット・サイズが 1mas 程度あっても不思議ではありません。そのため、1000km 程度の基線長で十分フリンジ振幅は小さくなり、分解、”RESOLVE” されてしまいます。2000km 基線という大きさはメーザの観測には大きすぎ、検出可能なメーザ源が少なくなります。

(参照：VLBI 懇談会シンポジウム及び VERA U.M.(2005)、「メーザによる VLBI 銀河アストロメトリの諸問題」三好真) <http://www.naoj.jp/kuroto051101.pdf>)

### 3. 参照源である銀河系外電波源の空間密度を間違えていました。

特に 22、43GHz の高周波数における電波源の強度に関する認識が希薄であり、利用にたえるだけの強度をもった参照源が（離角 2 度以内）には十分な数、存在しないので、相対 VLBI 観測自体ができない場合が多いのです。

（参照：VLBI 懇談会シンポジウム及び VERA.U.M.(2005), 「2 ビームアンテナは玄人にもわかる説明を」(三好真) <http://www.naoj.jp/kuroto051101.pdf> )

これら 3 つの問題については設計・建設以前（～2000）に相応の議論がありました。にもかかわらず問題点を解決するための修正は装置にはかかりませんでした。

当時、内外からさまざまな圧力があって、「問題があったので装置を変えます」などと言うと計画全体がつぶされるという懸念がありました。その対応で精一杯であり、「この装置でいいんだあ」と強弁してしまったからです（＝実際は複雑だが単純化）。

### 4. ” $\delta$ sec Z 効果 ” 問題

建設直前に相対 VLBI による位置測定に関し、指摘され始めた問題点に ”  $\delta$  sec Z 効果 ” があります (Reid et al.1999)。 当時は SgrA\* のようなあまり高度の上らない低仰角の天体に特有の問題だろうと考えました。 また「スイッチング型ではなく同時に参照天体・目標天体を観測できれば、なんとかなるだろう」という思いもあったかもしれません。

ところが、”  $\delta$  sec Z 効果 ” = 参照天体と目標天体のわずかな高度差からくる大気遅延の違い、は相対 VLBI 位置測定にとって一般的な問題であったのです。

例えば、仰角が高くなる W3OH の位置測定においても、考慮する必要があります (Hachisuka et al. 2006)。

大気遅延モデル等で修正をかけるなどのとるべき対策はありますが、モデルが介在することによって以前の光の位置天文測定と同様、測定の信頼度は下がることになります。

”  $\delta$  sec Z 効果 ” 問題については、2000 年ころまで世界中で、よく解っていなかったことです。これは仕方ないことです。

そんなわけなので、現在、思い通りの結果や精度が出ないとしても、

必ずしも実際に観測を行ったあなたの責任ではありません。

さて。

2006 年 4 月（正確には 3 月末）に、以下の質問状を送って、その回答を待っています。

現状では位置観測から純粋な天文学の論文を書くことは難しいので、干渉計技術・観測技術に関して測定結果や考察をまとめ、論文等にしてゆくことが、納税者に対する責任を果たすことになると思います。

この質問状の中に含むような干渉計技術・観測技術の観点から、考察・議論し、まとめてゆけばよいはずです。

---

MIME-Version: 1.0  
Date: Fri, 31 Mar 2006 09:46:58 +0900  
Subject: 質問事項  
From: makoto.miyoshi@nao.ac.jp  
To: "H.Kobayashi" <hideyuki.kobayashi@nao.ac.jp>  
Cc: 面高 俊宏 <omodaka@sci.kagoshima-u.ac.jp>,  
Kawaguchi <kawagu.nori@nao.ac.jp>  
Message-ID: <JU20060331094658.2489171@nao.ac.jp>  
Content-Type: multipart/mixed;

boundary="====BB2489171AA42107536129956618248===="

X-Mailer: JsvMail 5.0 (Shuriken Pro3)  
X-Priority: 3  
X-JsvMail-Status: 0x00000004

小林秀行さん

cc : 川口則幸さん、面高俊宏さん

0 番を一つ付け足します (2006年3月31日)

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収・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。)

以上 (2006年3月31日)。

三好 真

——以下が添付のファイル。具体的な質問事項。

小林秀行さん

cc : 川口則幸さん、面高俊宏さん

先日の学会講演に関する質問・コメントです。あまりに多いので、ここです。

0番を一つ付け足します(2006年3月31日)

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収・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。)

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。これはアプリアリ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プリアリ位置はせいぜい0.1秒角精度なので、位相差平均値はほとんどの場合、none 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で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。

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2千キロに対する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、較正のため知りたいinstrumental delay phase(=時間変動分ではない。絶対値で較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

ると、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、較正のため知りたい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1λ（＝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1λの光路長誤差があっては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1σ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λ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strometry」はもはや見直すべき。

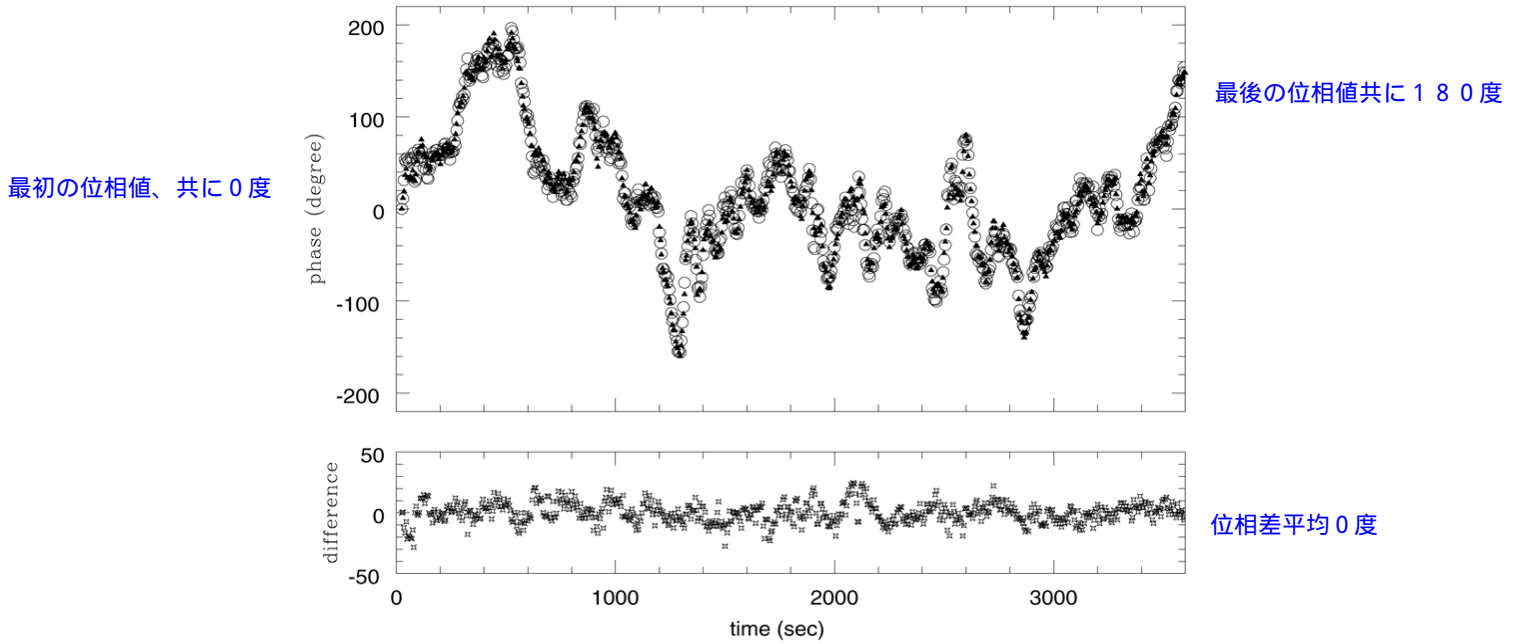
コメント：

広田・今井氏らの講演にあるような1masレベル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。

以上（2006年3月30日（31日加筆））。

三好 真

Honma et al.'03 Fig 1 から



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)

