

VLBI観測データのグローバル解析に関する研究(第1年次)

実施期間	平成14年度～
測地部測地第二課	栗原 忍

1. はじめに

国土地理院では、1984年から、郵政省電波研究所(当時)鹿島26mアンテナとの間で国内移動VLBI実験を、さらに1992年には鹿島26mアンテナを郵政省通信総合研究所(当時)から所管替えして国際VLBI共同観測に参加してきた。1998年につくば32mアンテナが完成した後は、鹿島に代わってつくばアンテナが国際観測に積極的に参加している。また、それと平行し、新十津川、始良、父島の固定観測局との間で国内VLBI観測を実施してきた。これまでの観測回数は、鹿島局で296セッション、つくば局で122セッション(2003年1月末現在)にのぼる。これには、国内超長基線測量として観測した新十津川、始良、父島局、それ以前の移動観測による宮崎、相良、水沢局のデータも含まれる。VLBIの観測データは相関処理・バンド幅合成のあと、Mark-IIIデータベースというファイル形式でIVSデータセンターに保存されている。データセンターには鹿島やつくばが参加したセッションだけでなく、1979年以来、世界中で行われたVLBI観測データベース(約3800セッション)が保存されていて、世界中の誰でも利用することが出来る。

米国NASA/GSFCやUSNO、ドイツボン大学、ロシア応用天文学研究所などでは、これらのVLBIデータを使用してグローバルな解析が行われ、国際地球基準座標系(ITRF)を構築するための重要なデータになっている。しかし、国土地理院の国内観測ネットワーク(GARNET; GSI Advanced Radio telescope NETwork)のような小さなサブネットのセッションは地球回転パラメータ(EOP; Earth Orientation Parameter)の推定精度が悪いなどの理由で採用されないことが多く、実際USNOの解析では国土地理院の国内観測データは使用されていない。

国土地理院としては、日本周辺の測地座標系を高精度に決定するため、つくばはもちろん、新十津川、始良、父島局の地球基準座標系における三次元座標値を直接求めたい。そのためには、グローバルなVLBI解析が必要になってくる。

2. 研究内容

VLBIの解析は大きく2つに分けられる。一つは、相関処理・バンド幅合成の結果から残差の大きな観測の削除、群遅延アンビギュイティーの除去、電離層補正などを行う一次解析、もう一つは、一次解析されたデータベースをすべて使用して、観測局位置と電波源位置に適切な拘束を与え、観測局位置とその変化率、電波源位置、EOP、大気遅延、時系の変動などを推定するグローバル解析である。国土地理院ではこれまで、一次解析までしか行っておらず、グローバルな解析はNASA/GSFCなどに依存していた。しかし、1.で述べたような理由により、つくばを始め、新十津川、始良、父島局の地球基準座標系における三次元位置をグローバルに求めるためには、国土地理院独自に解析手法を習得・改良していく必要性が出てきた。本研究では、グローバル解析のシステム構築から、国内観測データも含めた解析手法の確立などを行った。

VLBI データの整備

VLBI データは IVS データセンターの FTP サイトに保管されている。基本的に 1 セッション 1 データベースファイルであるから、約 3800 セッションのデータベースファイル(約 40GB)をダウンロードしてくる必要がある。また、グローバル解析を行うためには、Mark-IV VLBI 解析ソフトウェアのカタログシステムにデータベースを登録するとともに、グローバル解析用のファイルフォーマットに変換する。ダウンロードから、カタログ登録、ファイルフォーマット変換までを自動処理し、処理が成功したかどうかと、もし失敗していたらそのエラーログも含めて担当者にメールで通知するシステムを開発した。VLBI データベースは相関処理が完了すると次々と新しいものがデータセンターにアップロードされるが、新しいデータベースがアップされると自動的にそれをダウンロードするようになっている。

データベースは、通常の 24 時間セッションのものと、1~1.5 時間の UT1 を決定するためのセッションのものが混在している。グローバル解析では 24 時間セッションのデータを使用して解析するので、これを仕分けしなくてはならない。24 時間セッションだけでも約 3800 セッションあるのだが、これらの中には質の悪いデータ(失敗した観測のデータ)も含まれるため、これを 1 つ 1 つ確認しながらグローバル解析のリストからはずしていかなければならず、実際これが最も手間のかかる作業であった。全体の約 5%のデータベースが観測等に何らかの問題を抱えているセッションであった。

解析条件の設定

解析ソフトウェアではセッションごとに解析条件の設定が出来る。例えば、1 セッションのサブネットの中でデータ記録時間が 18 時間満たない観測局は解析からはずすといった設定である。先に述べたように GARNET のような小さなサブネットでは EOP がよく決まらない。この場合、EOP を推定せず、前後のセッションで推定された EOP から補間計算した値を使用したり、EOP の推定に強い拘束をかけたりすることで解析が可能になる。

グローバル解析では、文字どおりグローバルに地球上のすべての観測局位置とその変化率とともに推定する。そのとき、適当な拘束条件をかける。一般に、地球表面全体の回転は 0 である (No-Net-Rotation) としたり、また、アプリアリ値に対して地球全体の平行移動がないように (No-Net-Translation) したりする。平行移動について拘束することで座標原点位置を決めることが出来る。アプリアリ値に ITRF2000 を使用したため、回転と座標原点は ITRF2000 と等価である。ITRF は主に SLR から座標原点を決めており、原点=地球重心と考えてよい。今回は、比較的座標がよく決まっている 36 の観測局(20 セッション、3 年、1000 スキャン以上の観測に参加し、地震等の地殻変動のない観測局)の位置を拘束した。電波源位置も推定するが、ICRF-Extension1 のなかで比較的位置がよく決まっている 212 個の電波源に対しては No-Net-Rotation による拘束をかけている。

解析の実行

解析には、米国 NASA/GSFC が開発した CALC/SOLVE release: 2002.10.11 を使用した。CALC/SOLVE は、現在 HEWLETT-PACKARD 社製 OS hp-ux 上でのみ動作する。測地第二課では HP C180 Visualize (OS: hp-ux10.20) に CALC/SOLVE がインストールされている。このマシンで 3524 セッション分のデータを解析した。解析条件の設定の仕方にもよるが、解析終了まで

におよそ 11 時間かかる。今年度、最新型 HP サーバ rp5470(OS: hp-ux11.11)を購入した。現在サーバのセットアップ中であり、まだ運用には至っていないが、C180 と比べてはるかに高性能なので同じ解析を半分以下の時間で処理できると予想される。

3. 得られた成果

グローバル解析で推定したパラメータは以下のとおりである。

【グローバルパラメータ¹】

- 142 の VLBI 観測局の観測局位置(X, Y, Z)と移動速度(V_x, V_y, V_z)
- 596 の電波源の位置(赤経・赤緯)
- アンテナ軸オフセット

【ローカルパラメータ²】

- 地球回転パラメータ
- 天頂湿潤大気遅延量(20 分毎)
- 基準局に対するその他の観測局の時系(60 分毎)
- 大気勾配(8 時間毎)
- その他(一部の電波源位置、基線クロックなど)

今回の解析で得られたデータセットを `gsi2003a`³と呼ぶことにする。詳細なデータは、web ページ(<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/vlbi/solutions/>)で閲覧が可能である。

本報告では、国土地理院の観測局の値について、以下のような比較を行った。

表 1 `gsi2003a` と ITRF2000 との較差

観測局	North (mm)	East (mm)	Up (mm)	Horizontal (mm)	Total (mm)
始良	-11.31	-37.74	-74.31	39.40	84.10
父島	9.55	-32.19	19.16	33.57	38.66
新十津川	81.30	-49.90	74.95	95.39	121.31
つくば	-1.73	-1.51	47.70	2.30	47.75
鹿島	1.30	-0.31	-0.82	1.33	1.57

表 1 は `gsi2003a` から ITRF2000 の値を引き算したものである。ITRF2000 とは cm オーダーの差があることがわかる。つくばの上方向 47.7mm は ITRF2000 が 1999 年に行ったレール交換による上方向のオフセット量(43.7mm)を考慮していないためであり、その補正を行うと、差は 4.0mm となる。また、新十津川・始良・父島の 3 局は非常に較差が大きいが、そもそも ITRF2000 が計算されたときに使われた VLBI 解析結果には国内 VLBI 観測のセッションはほんの数セッションほどしか採用されていないことから、`gsi2003a` のほうが信頼性は高いと考える。つくばと鹿島については数 mm で一致している。

¹ すべてのセッションに共通のパラメータとして推定する。例えば、観測局位置なら、1997.0 年の位置と速度が推定される。

² 1 セッションごとに 1 パラメータを推定する。時間的に局所的(local)なパラメータという意味である。モデル化が難しい湿潤大気遅延や地球回転パラメータはローカルパラメータとして推定する。

³ IVS 解析センターの名づけ規則(解析センターコード)+(西暦 yyyy)+(アルファベット; a, b, ...)にならったものである。

表 2 gsi2003a と gsf2003a(NASA/GSFC)との較差

観測局	North (mm)	East (mm)	Up (mm)	Horizontal (mm)	Total (mm)
始良	-1.15	-0.81	-0.09	1.41	1.41
父島	-0.69	0.74	11.30	1.01	11.34
新十津川	1.05	0.67	1.86	1.24	2.24
つくば	1.56	0.96	4.10	1.83	4.48
鹿島	0.42	0.17	1.92	0.45	1.98

表 2 は gsi2003a から NASA/GSFC による最新の VLBI 解析結果(gsf2003a)の値を引き算したものである。ほとんどが 1mm 前後の差となっているが、父島とつくばの上下成分がそれぞれ+11.3mm、+4.10mm の差を持っていることが特徴的である。つくばの上下成分は、ITRF2000 に対しても+4.0mm の差があり、gsi2003a が系統的にオフセットを持っている可能性がある。

表 3 観測局位置標準偏差(上段: gsi2003a 下段: gsf2003a)の比較

観測局	North (mm)	East (mm)	Up (mm)
始良	1.40	1.36	5.02
	1.43	1.39	5.18
父島	1.41	1.40	5.19
	1.46	1.46	5.53
新十津川	1.87	1.34	6.39
	1.88	1.35	6.42
つくば	0.72	0.77	2.02
	0.72	0.76	2.01
鹿島	0.44	0.52	1.63
	0.43	0.51	1.62

表 3 では、gsi2003a と gsf2003a の観測局位置の標準偏差を比較している。始良・父島・新十津川の位置決定精度は水平成分で 2mm 未満、上下成分で 5~6.5mm と非常によく決まっている。つくば・鹿島は国際観測に参加したセッションの多さから、水平では 1mm 以内で位置が求められている。

4. 結論

IVS データセンターの VLBI データを用いて、グローバル解析を行い、VLBI 観測局の三次元座標値を精度よく決定できた。つくばは 1mm 以内の標準偏差で位置が決まっているのに対し、始良・父島・新十津川はその 2.5~3 倍の標準偏差を持っているが、国内 VLBI 観測の頻度を上げ、韓国・上海など近隣アジア諸国と共同観測を行うことで解消されるはずである。また、解析手法についても拘束条件の設定の仕方などまだまだ検討の余地がある。

今年度は、データと解析システムの基盤整備、そして解析手法の習得が主な目的でありほぼ達成したといえる。本研究は 2003 年度も継続することになっており、次年度は解析手法の確立、よりよい成果を出すための改良、および、解析をルーチンワーク化するための準備などを行っていく予定である。