

# 国内超長基線測量の観測結果

## The Results of Domestic VLBI Experiments

測地部 芝 公成・栗原 忍・高島和宏・石原 操  
根本恵造・岩田昭雄・小野垣亨子・小林京子

Geodetic Department

Kousei SHIBA, Shinobu KURIHARA, Kazuhiro TAKASHIMA, Misao ISHIHARA,  
Keizo NEMOTO, Masao IWATA, Michiko ONOGAKI, Kyoko KOBAYASHI

### 要 旨

国土地理院では、平成8年度からVLBI固定観測局で国内超長基線測量を定期的に行っている。これによって得られた観測データは、つくば中央局において計算整理（相関処理及び基線解析処理）を行い、各観測局間の基線長や観測局位置座標の成果を算出している。この成果は、平成12年1月より国土地理院のホームページにて「VLBI観測点成果閲覧サービス」として公開を行っている。公開している成果は、VLBIアンテナの近傍に埋設されたVLBI観測点（金属標）の国際地球基準座標系（ITRF）に準拠した三次元直交座標（X, Y, Z）とプレート運動等により移動する速度（メートル/年）である。また、ホームページでは各観測のスケジュールファイルや基線解析結果等についても公開している。

### 1. はじめに

国土地理院では、精密測地網やGPS連続観測点の高精度規正、プレート運動及び地殻変動の検出等を目的として、超長基線電波干渉法（VLBI）による国内超長基線測量を定期的の実施している。この測量で使用しているVLBI固定観測局は、図-1に示す新十津川局（北海道）、鹿島局（茨城県）、つくば局（茨城県）、始良局（鹿児島県）、父島局（東京都）の5局である。平成8年度（1996年）よりこれら固定観測局間の観測が始まり、これまでに十数回の観測を実施し解析処理を行った。本報告では国内超長基線測量の観測結果及び公開しているホームページの内容について述べる。

### 2. 各局の三次元直交座標値と移動速度の算出

VLBIの国内観測の解析には、表-1に示す固定観測局間の観測を開始（1996年～）してからの観測データを用い、基線解析ソフトはNASA（米国航空宇宙局）GSFC（Goddard Space Flight Center）開発のCALC Ver.8.2及びSOLVE Ver.5.0108を使用している。国内観測網の基線解析処理を行う基準位置としては、IERSが公開している鹿島局のITRF94（EPOCH: 1993.0）の値、地球回転パラメータにはIERSのBulletin B、海洋潮汐加重による局位置変動の補正にはSengokuモデルを用いた。

基線解析ソフトSOLVEによって、各観測局間の基線ベクトル及び鹿島局のITRF94の値（表-2）を固定した各観測局の三次元直交座標値が計算される。この値は各VLBIアンテナの方位角（AZ）軸、鉛直角（EL）軸の交点（以下、参照点と呼ぶ）の座標である。この計算過程では鹿島の移動速度（ $V_x, V_y, V_z$ ）（表-2）を考慮していないので、基線解析結果に、1993.0年から各観測日までの鹿島局の移動ベクトルを加えた値を、各観測日における各アンテナ参照点の三次元直交座標値とした。

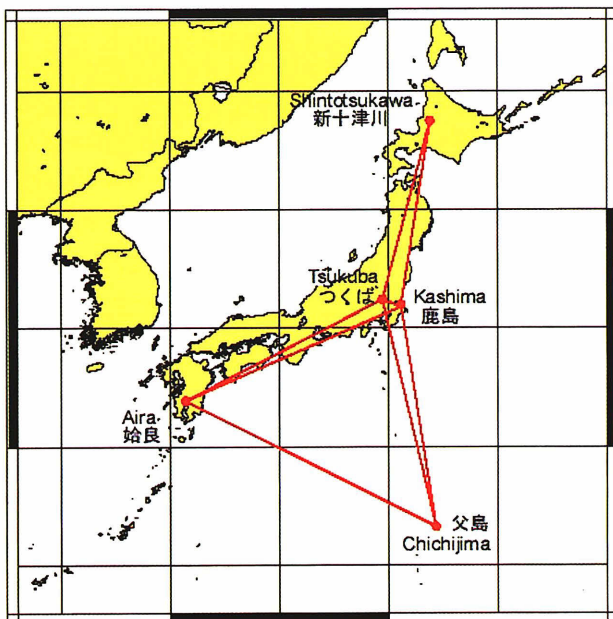
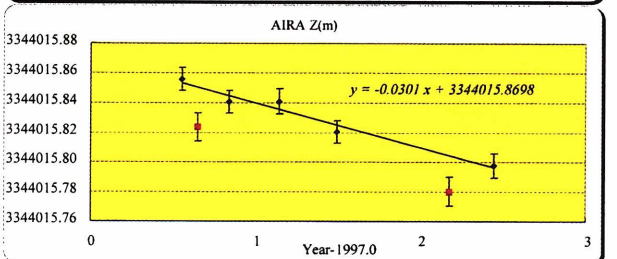
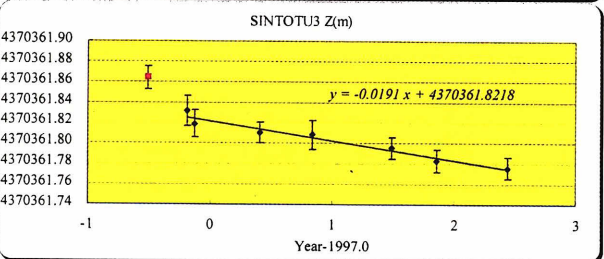
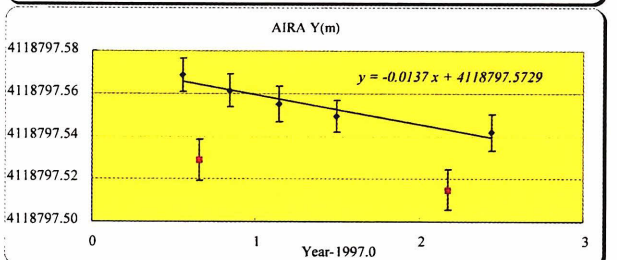
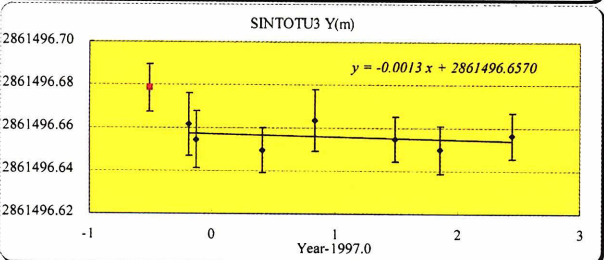
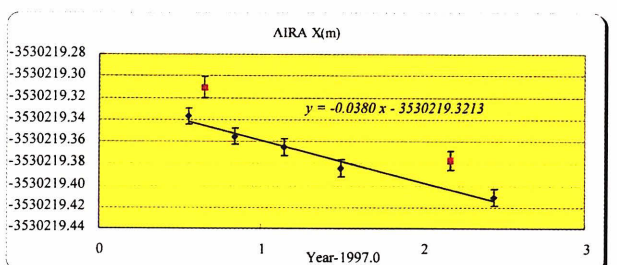
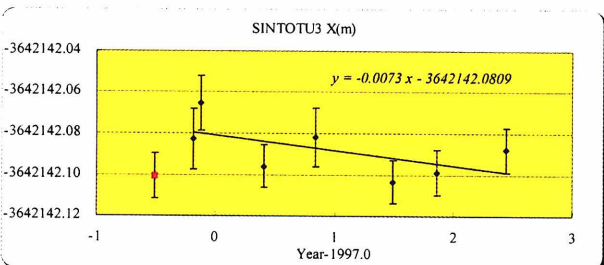
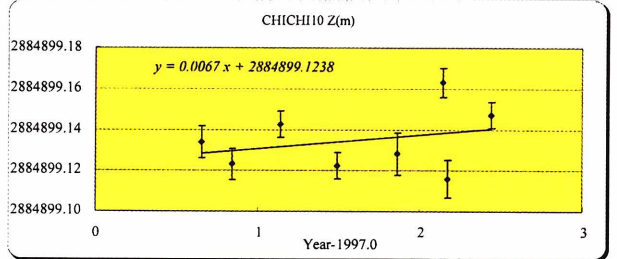
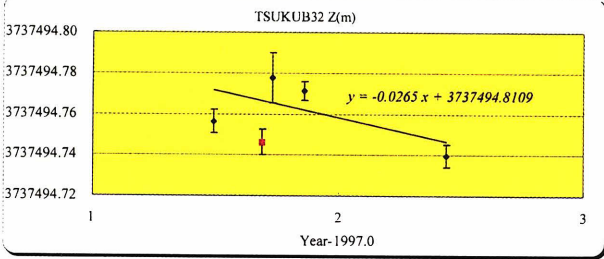
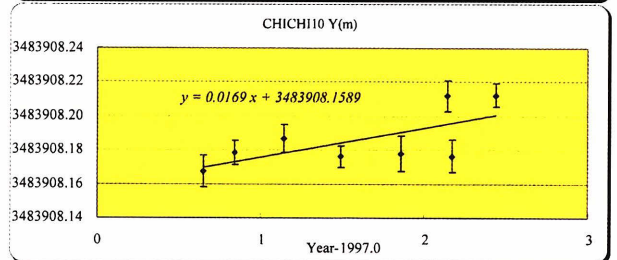
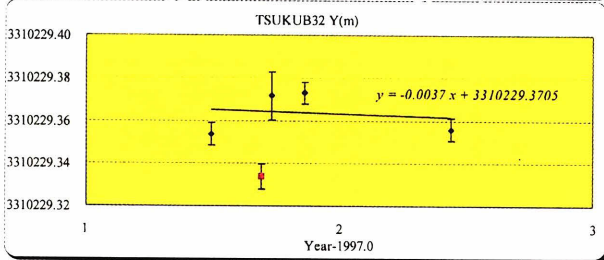
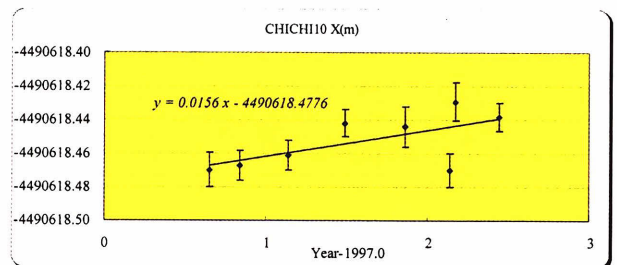
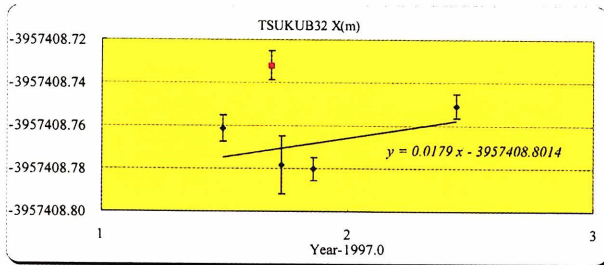


図-1 国土地理院のVLBI観測網



(各観測値の縦棒はエラーバーを示す)  
 図-2 各観測局の三次元直交座標値の変化



表一 計算に使用した観測一覧

観測日	観測名	参加局
1996. 6. 26	SINT961	Ka-S3
10. 22	SINT962	Ka-S3
11. 14	SINT963	Ka-S3
1997. 5. 28	SINT971	Ka-S3
7. 17	AIRA971	Ka-Ai
8. 26	CHCH971	Ka-Cc-Ai
11. 3	CAKS972	Ka-S3-Cc-Ai
1998. 2. 19	CAK981	Ka-Cc-Ai
6. 25	ALL982	Ka-Ts-S3-Cc-Ai
9. 9	TAK983	Ka-Ts-Ai*
9. 24	TK985	Ka-Ts
11. 9	ALL986	Ka-Ts-S3-Cc-Ai*
1999. 2. 18	KC991	Ka-Cc
3. 3	CAK992	Ka-Cc-Ai
6. 9	ALL993	Ka-Ts-S3-Cc-Ai

Ka: 鹿島局 S3: 新十津川局 Ts: つくば局 Ai: 始良局 Cc: 父島局  
 \* TAK983とALL986の始良局は観測不調のためデータなし

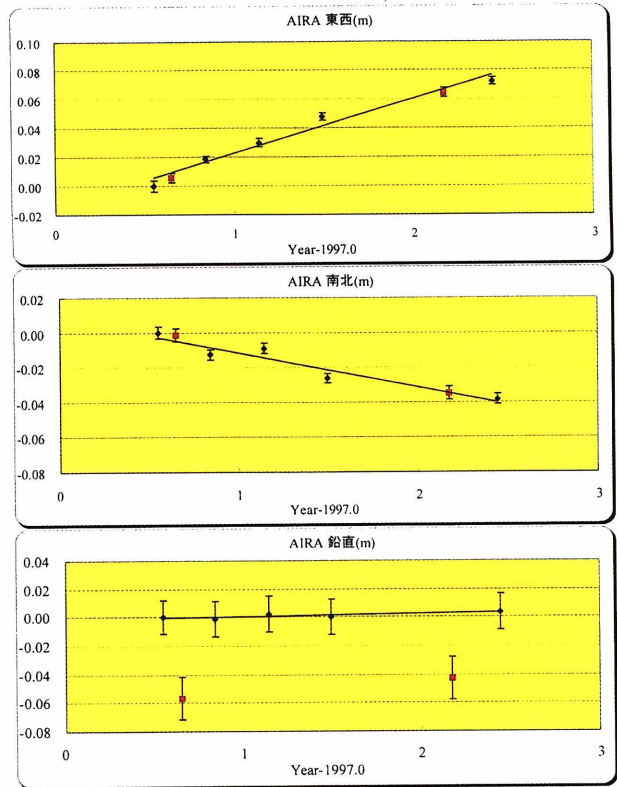
表二 鹿島局の三次元直交座標値と移動速度

	KASHIMA26m ITRF94 (EPOCH:1993.0)
X [m]	- 3 997 892.268
Y [m]	3 276 581.262
Z [m]	3 724 118.288
Vx [m/year]	- 0.0018
Vy [m/year]	0.0014
Vz [m/year]	- 0.0144

図-2は、各観測局ごとに、この三次元直交座標値をグラフ上にプロットしたもので、直線は線形回帰直線である。この傾きから各観測局の移動速度を推定した。移動速度を推定するにあたり、三次元直交座標(X, Y, Z)を水平(東西・南北)、鉛直成分に変換しグラフ化して評価した。例として図-3に、始良局の水平・鉛直成分の変化を示すが、鉛直成分に較差の大きいものが見られる。つくば局、新十津川局の一部のデータにも同じような現象が見られた。そこで、表-3に示す観測(図-2, 図-3の■で示した値)は除外して移動速度を推定した。なお、較差が大きくなった原因は現在調査中である。

表三 除外したデータ

観測局名	観測年	観測名
つくば局	1998.69	TAK983
新十津川局	1996.49	SINT961
始良局	1997.65	CHCH971
	1999.17	CAK992



(縦軸は1997.55年の観測値を0.00mの位置としている)

図-3 始良局の水平・鉛直方向成分

つくば局は、1999年4月を境にアンテナを鉛直方向に0.0437m高くした。この移動量を三次元直交座標系のベクトル(ΔX, ΔY, ΔZ)に変換すると、

$$(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z) = (-0.0271, 0.0227, 0.0258)$$

となり、図-2のグラフではこの値が補正されている。

このようにして求めた各局のアンテナ参照点の三次元直交座標値(ITRF94準拠 EPOCH: 1997.0(つくば局のみ1999.0))を表-4に示す。

表四 各局(アンテナ参照点)の三次元直交座標値

	X [m]	Y [m]	Z [m]
つくば	- 3 957 408.766	3 310 229.363	3 737 494.758
新十津川	- 3 642 142.081	2 861 496.657	4 370 361.822
父島	- 4 490 618.478	3 483 908.159	2 884 899.124
始良	- 3 530 219.321	4 118 797.573	3 344 015.870

※ ITRF94準拠 EPOCH: 1997.0 (つくば局のみ1999.0)

表-5 各観測局おける取り付けベクトル

自→至(つくば)	DX [m]	DY [m]	DZ [m]
VLBIアンテナ→VLBI観測点	-5.364	-35.543	-6.705
自→至(新十津川)	DX [m]	DY [m]	DZ [m]
VLBIアンテナ→基台金属標	2.421	-1.910	-2.925
基台金属標→偏心点	-5.271	-9.511	5.951
偏心点→VLBI観測点	10.262	4.929	1.327
VLBIアンテナ→VLBI観測点	7.412	-6.492	4.353

自→至(父島)	DX [m]	DY [m]	DZ [m]
VLBIアンテナ→VLBI観測点	23.723	2.345	10.028
自→至(始良)	DX [m]	DY [m]	DZ [m]
VLBIアンテナ→北側駐車場	29.509	-10.156	18.976
北側駐車場→VLBI観測点	-58.371	-1.977	-55.674
VLBIアンテナ→VLBI観測点	-28.862	-12.133	-36.698

表-6 VLBI観測点成果(成果公表値)

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Vx [m/year]	Vy [m/year]	Vz [m/year]
つくば局	-3 957 414.129	3 310 193.820	3 737 488.053	-	-	-
新十津川局	-3 642 134.669	2 861 490.165	4 370 366.175	-0.0073	-0.0013	-0.0191
父島局	-4 490 594.755	3 483 910.504	2 884 909.152	0.0156	0.0169	0.0067
始良局	-3 530 248.183	4 118 785.440	3 343 979.172	-0.0380	-0.0137	-0.0301
鹿島局	-3 997 892.275	3 276 581.268	3 724 118.230	-0.0018	0.0014	-0.0144

※ ITRF94 準拠 EPOCH: 1997.0 (つくば局のみ 1999.0), 鹿島局はアンテナ参照点の座標

### 3. 各観測局間の基線長

これまで実施した国内観測による各観測局間の基線長変動グラフを図-4に示す。始良-父島基線は年間約71mm, 鹿島局を基準として新十津川局は約6mm, 始良局は約21mm, 父島局は約23mm縮小している。表-7に基線長の精度を示すが, 同一基線においても観測によって精度にばらつきがある。この理由の一つに, 基線解析が2局間での単基線によるものか, 数局を網平均するかで差がでてくる。鹿島-始良-父島の3局が参加した観測のデータを用いて, 鹿島-始良基線を単基線と3局網平均したものを比較すると, 単基線の解析では基線長の精度が±4.4mm, 網平均では±3.2mmとなった。これは, 局位置の座標についても同様で, 単基線の場合は±3.7mm(東西), ±4.1mm(南北), ±15.1mm(上下)となり, 3局網平均の場合は, ±2.8mm(東西), ±3.2mm(南北), ±13.4mm(上下)となった。

表-7 基線長の精度

基線	精度
鹿島-始良	±2.2~4.3mm
鹿島-父島	±3.0~6.3mm
鹿島-新十津川	±3.8~6.6mm
鹿島-つくば	±1.6~4.9mm
つくば-始良	±2.4~2.6mm
つくば-父島	±2.7~3.8mm
つくば-新十津川	±3.6~5.2mm

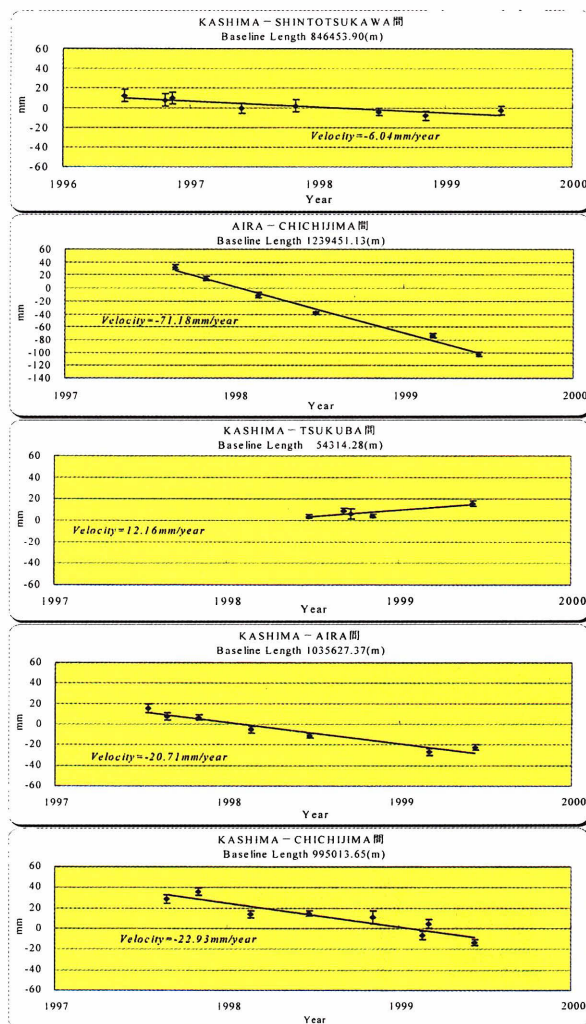


図-4 基線長の変動グラフ



## 4. ホームページで公開したデータとページの構成

### 4.1 ホームページでの公開データ

ホームページで閲覧できる成果は、VLBIアンテナの近傍に埋設されたVLBI観測点（金属標：写真-1～4）の座標とプレート運動等により移動する速度（メートル/年）である。

超長基線測量の基線解析では、参照点の座標（ $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ）が計算されるが、この位置はトータルステーション等で視準できない架空の点である。そこで、GPSやト-

タルステーションによって、VLBIアンテナの各所を測量し、解析処理を行うことで参照点位置の推定を行っている（詳しくは時報 1999 No.92を参照）。

VLBI観測点の成果は、この測量で求めた参照点とVLBI観測点との座標差（表-5）を参照点の座標（表-4）に加算することにより算出した（表-6）。座標は、国際地球基準座標系（ITRF）に準拠した三次元直交座標（ $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ）で表し、EPOCH:1997.0年で与えられている。また、移動速度はアンテナ参照点と同じ



写真-1 つくばVLBI観測点



写真-3 始良VLBI観測点

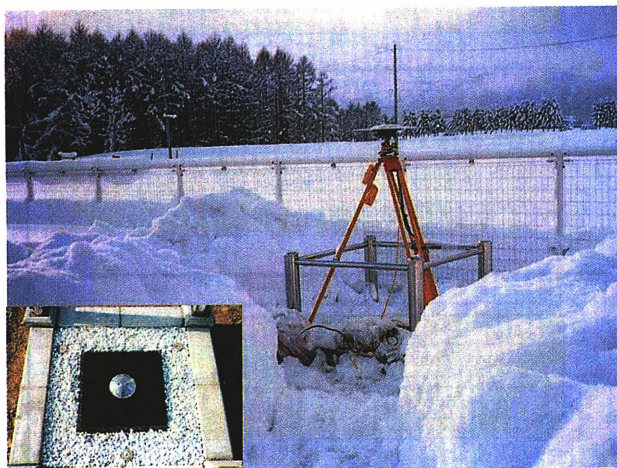


写真-2 新十津川VLBI観測点



写真-4 父島VLBI観測点



動きをしていると仮定した。

鹿島局はVLBI観測点が埋設されていないので、国際VLBI観測によって得られた参照点の座標を公開している。また、つくば局の成果については、観測期間がまだ短く信頼できる移動速度の数値が算出できないので、EPOCH：1997.0年の座標値は推定できない。そのため、暫定的に1999.0年の座標値を公開し、移動速度については観測データが蓄積され信頼できる値が求まり次第、公開する予定である。なお、ホームページで公開している三次元直交座標値は「日本測地系」の座標値ではないため、基本測量・公共測量では使用することができない。

また、ホームページではVLBI観測点の成果だけでなく、「VLBI観測データ」として各観測のスケジュールファイルや基線解析結果等についても公開している。

VLBIの国内観測は今後も年に4回程度継続して行う予定としており、ホームページで公開している成果は観測が終了し解析結果が得られる毎に更新される。

#### 4.2 ホームページの構成

ホームページのメインページのURLは、「http://vldb.gsi-mc.go.jp/sokuchi/vlbi/pub\_data/」であり、全体は以下の3部分より構成される。

(1) データについて (トップページ)

公開している成果についての解説文である。

(2) VLBI観測点成果

選択ページ(図-5)と各VLBI観測点の成果ページ(図-6)から構成され、以下の5観測点の成果が公開されている。

- つくばVLBI観測点
- 新十津川VLBI観測点
- 始良VLBI観測点
- 父島VLBI観測点
- 鹿島VLBI観測点

----- 鹿島VLBIアンテナ

(3) VLBI観測データ

観測スケジュール及び基線解析結果等を閲覧できるページで、NASAがすでに公開している国際観測データ「http://lupus.gsfc.nasa.gov/」とほぼ同一フォーマットであり、以下の項目がある。

----- 1996 - 1999 GSI VLBI Session Index

(図-7: 全観測一覧と各観測ページへのリンク)

- Schedule file
- Solve file
- Schedule summary
- Schedule sky plots
- Log file
- Correlator summary
- Analyst comments
- Simulation solution
- Data solution (Spool File)
- Model plots
- SINEX file
- Data base

#### 4.3 VLBI観測データ

ホームページの「VLBI観測データ」ページでは、各観測のスケジュールファイルや基線解析結果等を掲載している。ここでは「VLBI観測データ」ページで閲覧できる観測データについて紹介する(図-7)。

超長基線測量は、まず観測スケジュールの作成から行われ、国土地理院では、NASA GSFCが作成した観測スケジュール作成ソフト"SKED"を使用している。SKEDからはSchedule fileとSolve file, Schedule summaryが出力される。Data Acquisition項目にあるSchedule fileは観測名・観測に使用する電波源・参加局・周波数・観測

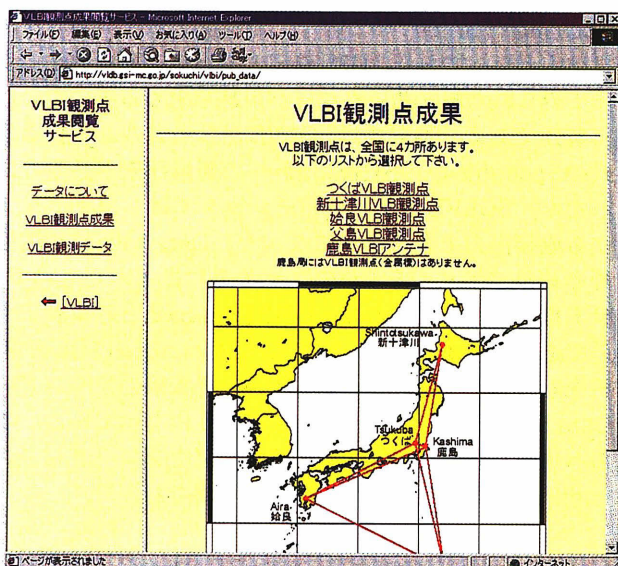


図-5 観測点成果選択ページ

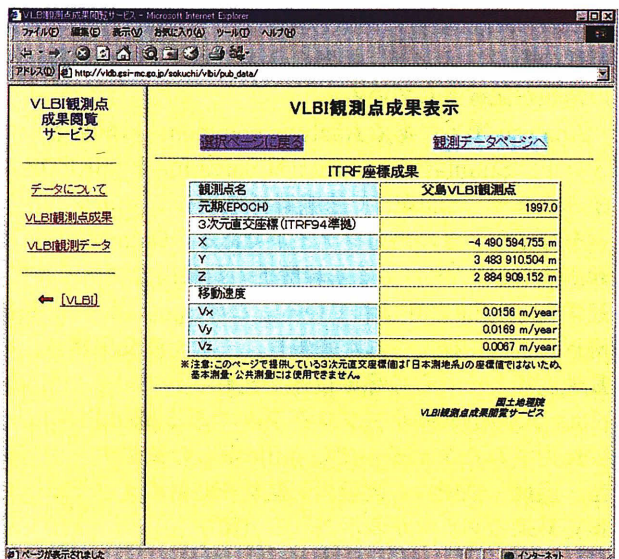


図-6 観測点成果閲覧ページ (父島局)



図-7 VLBI観測データページ

図-8 Session HTML ページ (ALL993)

スケジュール等が記載されたファイルで、観測はすべてこのファイルに従って行われる。Solve fileはSchedule fileを元に作られるもので、SSKEDHという別のプログラム(NASA GSFC 開発)に読みこませることで、このスケジュールで観測・解析を行った際の結果の標準偏差を見積もることができる。また、Solve fileには観測局から見た天空上の電波源位置(AZ-EL)が記載されているので電波源位置をプロットしたSchedule sky plots(図-9)を描かせることができる。Schedule summaryには、各基線のscan数、各観測局のobs time, slew time等が記載されている。

観測中に観測制御ソフトウェアから出力されるファイルはLog fileである。Log fileは観測中の気象データ・観測テープのスタート・ストップ時間・ケーブル遅延校正信号のデータが記載されており、関連処理の際に使用する。

Correlation項目にあるCorrelator summaryには関連処理の際のコメント、関連の良否を示すQuality Factorの情報が記載されている。

Analysis項目にあるAnalysis commentsは解析者のコメント、Simulation solutionはSolve fileをSSKEDHに読みこませ、SOLVEで基線解析処理のシミュレーションを行ったときの出力ファイルである。Data solutionは観測後のSOLVEによる基線解析の結果出力ファイルで、通常Spool fileと呼ばれている。このSpool fileには基線解析によって推定された基線長、三次元直交座標値、移動速度等とそれらの標準偏差が記載されている。Model plotsはSOLVEのサブプログラムであるMDLPLによって出力されたファイルでLog fileからの気象データ(気温・湿度・気圧)と天頂大気遅延や時計のオフセットの推定結果のグラフが表示される(図-10)。

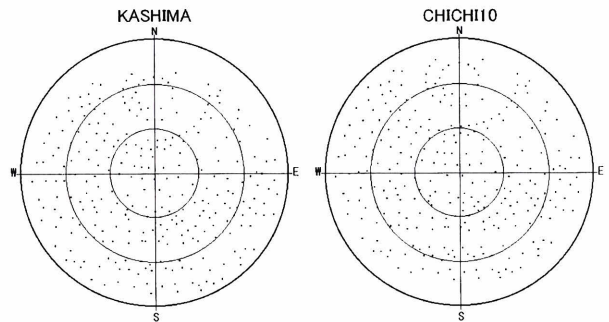


図-9 Schedule sky plot ページ (KC991 鹿島-父島)

SINEX fileは"Solution (Software/technique) INdependent EXchange Format"のことで、測地解を示す共通フォーマットとなっており、GPSやSLRなど他の測量方法によって得られた解と共にグローバル解を求める際にたいへん有効である。従来ではSOLVEから出力される独自形式のSpool fileからSINEX fileへの編集作業が必要であったが、SOLVEの新しいバージョンではソフトウェアから直接出力できるようになった。Data baseは関連処理の結果ファイルを1つのファイルにまとめたもので、世界標準になっているMark-III Data baseと呼ばれるものである。当ホームページではS, XバンドのSOLVE解析を行う前のData baseとSOLVE解析後のXバンドのData baseをダウンロードできるようになっている。このページからData baseファイルをダウンロードし、ユーザーが独自に再解析することも可能である。

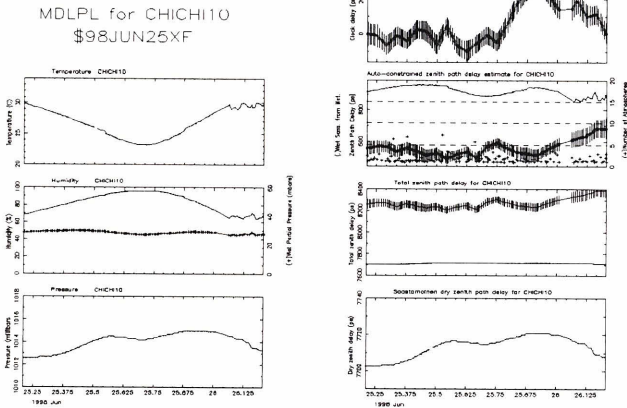


図-10 Model plot ページ (ALL982 父島)

5. おわりに

国土地理院では、基本測量長期計画に基づき、国際超長基線測量及び国内超長基線測量を実施している。測量

方法として超長基線電波干渉法 (VLBI) を用い、観測のために VLBI 固定観測局を国内 5ヶ所に設置している。

国際超長基線測量は、CORE (地球回転連続観測事業) 計画等による国際共同観測により観測を実施しており、継続的に鹿島局 (今後はつくば局になる予定) の ITRF 座標値が得られている。

国内超長基線測量は、年に 4 回程度の繰り返し観測を実施し、つくば中央局において計算整理 (相関処理及び基線解析処理) を行い、鹿島局を既知点として各 VLBI 観測局に ITRF 座標値を取り付けている。

これらの ITRF 座標値は、VLBI アンテナの参照点の値として得られる。この得られた成果が利用できるように、VLBI アンテナ近傍に VLBI 観測点を設け、この点の座標を算出している。さらに、国土地理院が実施した超長基線測量による観測成果を幅広く利用してもらうために、VLBI 観測点の成果と基線解析結果等について、国土地理院のホームページで公開した。この成果が、様々な分野で利用されることを期待している。

参考文献

C. Boucher, Z. Altamimi, M. Feissel, P. Sillard: IERS TECHNICAL NOTE 20 Results and Analysis of the ITRF94 March 1996 Observatoire de Paris  
 石原 操, 根本恵造, 川原敏雄, 岩田昭雄, 芝 公成, 高島和宏, 小林京子, 松坂 茂, 大木章一(1999) : 国内 VLBI と GEONET の結合と観測結果の比較, 国土地理院時報 1999 第92集