

- B・10 地球の温暖化による海面上昇等の影響予測に関する研究  
(2) 宇宙測地技術を用いた海面上昇の影響評価に関する研究  
② VLBI移動局を用いた験潮所位置の変動に関する研究

研究代表者 郵政省通信総合研究所鹿島宇宙通信センター  
宇宙電波応用研究室 高橋幸雄

郵政省通信総合研究所

宇宙通信総合研究室 高橋幸雄、栗原則幸

建設省国土地理院

測地技術開発室 斉藤隆、雨宮秀雄、石原操、小板橋勝、飛田幹男

測地第二課 川原敏雄、福崎順洋

平成5-7年度合計予算額 8,983 千円

平成7年度予算額 3,325 千円

#### [要旨]

地球の温暖化による海水面変動の現状を把握することは、対策・将来予測の上で重要である。この海水面変動は験潮データから求めることができるが、地殻変動等で験潮場位置が変化する場合、見かけ上の海水面変動となる。そこで、験潮データ測定のための基準を構築・保持していく必要がある。長距離間で長期の変動を保持するにはVLBI技術が最適であり、平成4年までに整備した世界最小の移動式VLBI局等を用いて、験潮場近くの基準点を測定した。この基準点と各験潮場は、GPSを用いて結合していく。建設省国土地理院は、平成5年度に日本測地基準の一つである千葉県鹿野山に、平成6年度には富山県砺波市と鹿野山に、小型VLBI局を移設し位置を測定した。通信総合研究所は、これらの実験において、主局である鹿島局の維持・運用、データ処理・解析等に協力してきた。さらに、この研究の主目的である海水面変動のための基準系構築という観点から、これまでの国内VLBI実験を再解析して、ITRF93という国際基準座標系での国内観測局の位置をまとめた。

[キーワード] VLBI、海水面変動、潮位データ、基準点、地球温暖化、地殻変動

#### 1. 序

地球温暖化による長期的な海面上昇は、社会的・経済的にも地球環境の上でも大きな影響を及ぼす。この海水面変動が現在どの程度変動しているかを把握することは、対策を立てる場合でも又将来の予測を行う場合でも重要である。

Barnett(1988)は、世界中の潮位データ等から求めた過去30年間の平均海面上昇率は年2-3mm程度と評価した[1]。また、衛星アルチメータによる海水面高の変動モニタも行われ短期間で全地球規模の海面情報が得られ始めた。特にTOPEX/POSEIDON衛星は、世界中の海水温度や海面高を高精度に測定し、海洋研究に画期的な知見をもたらした。こうした結果は、1995年12月のAGU秋季年会で数多く発表された。その結果の一つとして1993年のグローバルな海面上昇は年4-6mmと、Barnettより大きな変化を得ている[2]、[3]、[4]。この結果は、解析の違いにより異なる年変化に評価する発表もある。また、Barnettと測定方法が違うことや、衛星データは1年と短い期間であることなどから、実際の海面変動が地球温暖化により上昇しているかどうかは

不明である。また、衛星データからは、全地球な海洋の動きや温度分布が、回帰周期の10日間隔の時間変動としてとらえられ、地域差や季節変動が非常に大きいことが示された。こうした海水面変動の大きな地域差は、潮位データでも指摘されていて[5]、グローバルな変化と地域変化を分離する必要性を改めて認識するものとなった。

こうした衛星データは、遠海域も含めた全地球の海洋の状況を把握できるという長所の反面、衛星の寿命が長くて数年と短いこと、衛星を挙げるのに巨額な資金が必要であることなどの問題があげられる。特に時期が異なる衛星と衛星の間を結合して一つのデータとして長期の変化を求められるか（衛星毎のバイアスの問題）は疑問であり、数年単位の不規則変動も衛星データでは対処できない。こうした衛星が扱いにくい長期間安定したデータ供給と、沿岸部データ提供という立場で、験潮場の潮位データは重要である。また、衛星データの校正・信頼性チェックのためにも使用される。即ち、験潮データは、各種の海水面変動データの基準と考えられる。

しかし、潮位データの変動には、グローバルな海水面変化と、不規則な海流の変化・気圧変化・地域的な海水温度変化等による局所的な海水面変化の他、地殻変化や地下水変化等による地盤沈下等の験潮場自体の位置変化も含まれる。そのため、広範囲に維持された基準点を元に験潮場の位置変化を測定し、真の海水面自体の変動を捕らえる必要がある。特に、4つのプレートがあり大きな地殻変動が見られる日本付近においては、地殻変動等による験潮場の位置変化を補正することは重要である。

## 2. 研究目的

海水面変動は、大きさが小さく長期にわたって観測を行う必要がある。また、将来にわたって大きく変化していくことが予測され、長期間のデータの蓄積が重要である。長期間安定したデータとして験潮場の潮位データを使用する。験潮場の地殻変動による位置変化がある場合、誤った変化を与え信頼性を著しく低下させるので、基準点を構築し、その位置変動を正確に測定する。さらに、国際的に潮位データとして結合させる場合を考え、基準点は国際基準座標系に基づいた基準点を日本全国に構築していく。各観測では最高精度の測位技術であるVLBIを用いて基準点を高精度に測定していく。VLBIは、遥か彼方の自然の電波源を使用し、長期的な観測精度の保持に優れているため、海水面変動のように長期的な観測を行う場合には重要な基準を与える。さらに、基準点から各験潮場までは、GPSを用いて結合することで、験潮場の位置変化を測定する。また、最近国土地理院が整備しているGPS全国網を使用した基準点の構築や験潮場の位置測定も大いに役立つものである。しかし、10年以上の長期変化を捕らえる場合の基準は、VLBIによる基準が拠り所になると思われる。本研究目的はVLBIを用いた基準点の構築である。

そのため、通信総合研究所と国土地理院は、小型VLBI局を開発するとともに、建設省国土地理院の小型VLBI局の移動VLBI実験を支援し、主局である34mアンテナ等の観測や相関処理・解析を共同で行った。

## 3. 研究経緯

当所は、平成2年度から平成4年度まで、環境庁の予算のもとで、全国の基準点構築のため、建設省国土地理院と共同して小型VLBI局を開発した。平成4年度には、筑波（国土地理院）－鹿島（通信総合研究所）との間で試験観測を行い、水平方向の位置で5mm、鉛直方向の位置で2cmと予定通りの精度で観測できることを示した。

このアンテナは、直径2.4mアンテナでXバンドのみの受信システムであるが、国内基線で小型VLBIシステムでは電離層遅延補正は、大気遅延推定値に含まれて推定されて大きな誤差

要因とはならないと考えられる。K4VLBIデータ収集装置と小型水素メーザを持ち、世界最小のVLBI局となった(図1参照)。鹿島34mアンテナを主局として観測することを想定として、できるだけ小さな直径のアンテナを追求した[7]。

#### 4. 平成5年度研究成果

平成5年度には、国土地理院が日本測地基準を決める重要な基準局である房総半島の鹿野山に小型VLBI局を移動させ、鹿島34mとの間でVLBI実験を行った(図2)。この実験は7月27日から24時間15個の電波源を切り替えながら行われた。観測した298観測中約70%の202観測が解析に使用できる有効データであった。各データの誤差を評価する指標として、基線解析後の残差0.12ns(3.5cm)でランダムに分布し大きな傾向は見られない。

観測で得られた鹿野山の位置は、ITRF93と呼ばれる国際基準座標系に準拠して、鹿島34mの位置を基準に、表1のように求められた。XYZ成分で約1cm、基線長で5mmの精度で決定することができた。また、鉛直・東西・南北方向の成分で見ると、水平(東西・南北)成分で約5mm、鉛直方向で約2cmの精度となる。これらの位置推定誤差及び残差の標準偏差0.12nsは、10m以上のアンテナを用いたVLBI実験に比べて同程度であり、短基線では小型VLBI局でも精度の大幅な劣化は見られず、十分高精度に測定できることを実証することができた。

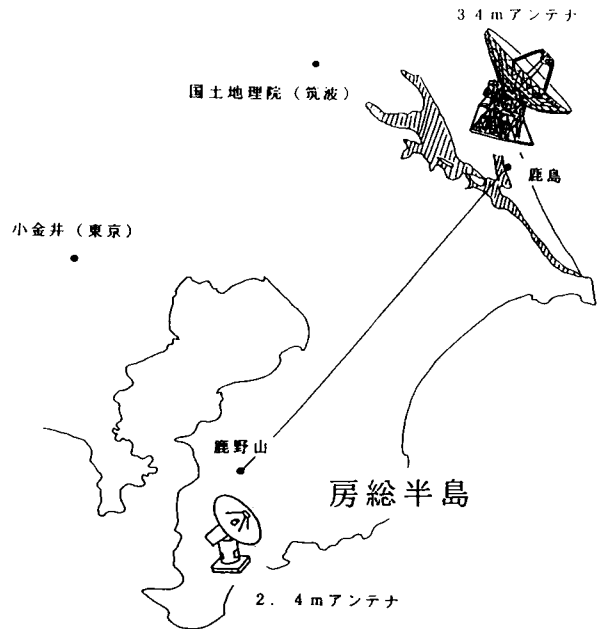


図2 鹿島・鹿野山の位置

#### 5. 平成6年度研究成果

平成6年度には、再び国土地理院が鹿野山に小型VLBI局を移動させ、鹿島34mとの間でVLBI実験を行った。実験は1995年1月17日と19日に、鹿島34mアンテナ間で実験を行った。これらの結果を、ITRF93の鹿島の位置と移動速度を基準にして求めた。表1に鹿野山の位置と鹿島34mアンテナの位置を示す。各実験ごとにはXYZ成分で約1cm、基線長、東西南北水平成分で数mmの精度で決定することができた。また、平成6年度(1995年1月)の実験での再現性は、XYZ成分で約3cm、東西南北水平成分で1~2cm、鉛直成分で4cmと、2σ程度であった。

また、鹿野山の地殻変化の大きさについて検討してみた。地殻変化を考慮する場合はどんな時でも、次のような座標系の取り方に注意する必要がある。

ITRF座標系は、地球表面全体として回転していないとする考えから提案された非回転基準座標系であり、VLBI・GPS・SLRの全てを含んだ国際的な測地基準として広く用いられている。しかし、座標系の速度場の基準の物理的な解釈は明確とはいえない。この座標系では、速度場の基準にいる人から見た位置変化として表され、全てのプレートは動いている。したがってプレート内変形や地殻変動を表示するには、見かけ上の速度場の基準に対する動きがでてくる。地殻変動を表示する場合には、各プレートに対する位置変化に変換して表す必要がある。ITRF93は、こうした座標系の1993年度版であり、毎年更新されている。表2に、北米プレー

トに準拠した鹿野山の位置変化を示す。1年半で、西に1.9cm(±0.3cm)、北へ1.5cm(±1.8cm)動いたことになり、フィリピン海プレートに押された方向の動きが観測された。鉛直方向については誤差以上の変化は観測されなかった。

さらには、国土地理院は、これまで移動VLBI実験を実施していない北陸地域の富山県砺波に小型局を移動させ4回のVLBI実験を行った。その最初のVLBI実験結果としてアンテナ軸交点の位置を表3に示す。

表1 鹿野山の位置と測定精度 (ITRF93座標系準拠)

	1993.7.27実験	1995.1.17実験	1995.1.19実験
鹿野山アンテナ位置			
X -3991747.0m	-0.425±0.014m	-0.465±0.017m	-0.505±0.016m
Y 3355061.0m	0.786±0.013m	0.806±0.016m	0.845±0.014m
Z 3661225.0m	0.309±0.013m	0.354±0.028m	0.361±0.015m
鹿野山基準点位置			
X -3991745.0m	-0.806±0.014m	-0.781±0.017m	-0.821±0.016m
Y 3355060.0m	0.416±0.013m	0.385±0.016m	0.424±0.014m
Z 3661225.0m	0.814±0.013m	0.785±0.028m	0.790±0.015m
東西成分*1	0.0 ±0.005m	0.007±0.005m	0.003±0.006m
南北成分*1	0.0 ±0.006m	-0.004±0.008m	-0.030±0.008m
鉛直成分*1	0.0 ±0.022m	-0.050±0.028m	0.000±0.025m
鹿島34m-鹿野山基線			
基線ベクトル			
X 5901.0m	0.819±0.014m	0.791±0.017m	0.751±0.016m
Y 78371.0m	0.014±0.013m	0.031±0.016m	0.070±0.014m
Z -63053.0m	-0.552±0.013m	-0.484±0.028m	-0.477±0.014m
基線長 100760.0m	0.092±0.005m	0.069±0.007m	0.092±0.007m
鹿島34mアンテナ位置基準			
X	-3997649.244m	-3997649.256m	-3997649.256m
Y	3276690.772m	3276690.775m	3276690.775m
Z	3724278.861m	3724278.837m	3724278.837m

\*1 1993年7月の位置を基準とした東西・南北・上下変動

表2 北米プレートに対する鹿野山基準点の位置変化

	1993.7実験	1995.1.17実験	1995.1.19実験
東西成分	0.0 ±0.005m	-0.017±0.005m	-0.021±0.006m
南北成分	0.0 ±0.006m	0.028±0.008m	0.002±0.008m
鉛直成分	0.0 ±0.022m	-0.050±0.028m	0.000±0.025m

表3 富山県砺波の位置測定結果 ( I T R F 9 3 準拠 )

	砺波位置	鹿島34m-砺波基線
X	-374898570.62±1.14cm	24866354.82cm
Y	349187590.01±1.11cm	21518512.59cm
Z	378642369.88±1.19cm	6214485.88cm
基線長		33466428.27cm±0.30cm
東西方向	±0.27cm	
南北方向	±0.36cm	
鉛直方向	±1.94cm	

#### 6. 平成7年度研究成果

平成7年度には、国土地理院が作成している海水面変動測定マニュアルの作成に協力した。さらに、国際的な潮位データとして結合させる場合を考え、太平洋上にあるハワイ諸島のカウアイのVLBI観測局とその近くの験潮場を視察した(図3カラーページ参照)。この30km程度の間はGPSで結合されていた。

12月に行われたAGU(米国測地学会)に参加し、世界の海水面変動測定の状況を把握するとともに、豪州で行われたAPT(アジア太平洋VLBI観測網会議)に参加し、アジア・太平洋地域での海水面変動モニタ観測の重要性を報告した[7]。図4に、アジア・太平洋地域におけるVLBI、SLR観測点を示す。この地域は、特に海面上昇による影響が大きく、これらの基準を元に験潮場の位置変化を正確に把握する必要がある。またIAG(国際測地協会)の分科会である海水面変動検討会に通信総合研究所から委員として参加することになった。

また、この研究目的がVLBIの基準座標系構築であるということから、これまで国土地理院と共同で行った実験による日本各地のVLBI観測点(アンテナ軸交点)の位置の解析結果(CRL1996解析結果)を表4、5にまとめた。図5には、これらのVLBI観測点を示す。さらに、鉛直、東西・南北水平成分測定精度を表6に示した。電離層補正なしの場合の結果で、電離層補正した場合の測定精度は( )に記載した。XYZでの測定精度と組み合わせることで、各成分の共分散行列(推定の相関)を計算する事ができる。

#### [基準系・推定方法]

各観測局位置は、ITRF93基準座標系で表示した。この位置には、地殻変化以外に国際基準系に対する日本全体の動きも含まれる。各観測局位置の基準は、鹿島26mアンテナ及び鹿島34mアンテナである。この鹿島の位置は、国際実験から高精度に位置・位置変動速度とも求められている。実験時毎に、ITRF93座標系での鹿島の位置を求め、それを元にして各観測局の位置を表7に示した。用いた物理モデルは、CALC8というNASAが作成した最新予測値計算モデルを使用した。さらに、地球回転は、IERSのBulletinにある最終値を用いた。また電波源位置は、IERSのICRF93(国際天文基準座標系)のカタログを用いた。大気推定は、近い距離では片方の局のみを、長距離では両方の局を推定した。時間間隔は、短基線では6時間毎、長基線では4時間毎を基本として、有為な変化がない場合は推定しなかった。また、解析可能な観測数が少ない場合は24時間に1つの大気遅延時間を推定した。時刻変化は、解析者の判断で、変化を見ながら挿入した。

### [電離層補正の問題]

電離層遅延補正は、2周波（S/Xバンド）観測可能な実験（国土地理院5mアンテナ）と、1周波観測の実験（2.4mアンテナVLBI局等）がある。国土地理院の5mアンテナでも混信等の影響でSバンドの観測状況が悪いこともあり、電離層補正を行うと、解析に有効なデータ数が少なくなる実験もあった。一方、VLBIでは、2局の差が関与するため、近距離では電離層遅延寄与は小さく、さらに、大気遅延と電離層遅延は類似した仰角依存性を持ち、大気遅延補正の推定値の中に電離層遅延補正も含まれる。これらのことから、電離層遅延補正を行わない方がいい場合もある。この影響を考慮するため、電離層補正を行わない場合の各観測局の位置を表4に、電離層補正を行った場合の結果（2周波実験のみ）を表5に示す。さらに、鉛直、東西・南北水平成分の誤差（電離層補正無しの場合）を表6に示した。短基線では電離層の影響はほぼ1σの誤差範囲で一致するが、500km以上の長基線では影響は多少大きくなる。一般に電離層補正をした方がばらつきが幾分か小さくなるが、有効データ数は少なくなる。

今回の目的は基準点としての国内VLBI観測位置をまとめることを主眼としたため、結果の詳細な検討は別の機会で行う。注意事項として、XYZ表示で大きなばらつきがあっても、水平成分のばらつきは小さく、鉛直方向の大気推定との相関により誤差を生じる場合がある。今後詳細な検討が必要である。

### [位置変化推定精度]

最後に、こうした位置測定から位置変化の精度として、どのくらいの精度が得られるかを評価してみた[8]。n回の実験を、ある間隔t毎（単位年）にN回実験したときの位置変化の精度は次のように表される。各測定誤差をσmmとし、全観測期間をT=(N-1)・tとする。

$$\sigma / \sqrt{(n \cdot N) / T \cdot \sqrt{(1 - 1/N) / (1 + 1/N)}} \quad \text{mm/年}$$

この式でNが大きい場合は約3.5・(各観測毎の誤差) / [(全観測期間)・√(全観測数)] という簡単な式で表される。

この式を、5年毎に4回ずつVLBI実験を10年間3度行う（N=3回）場合に当てはめると、1実験の鉛直方向の精度を2cmとすれば、上下方向の変化の精度は1.4mm/年となる。また、国土地理院の全国GPS観測網では、1日の鉛直方向の誤差を5cmと悪く見積もっても、毎日4年間観測すると、1.1mm/年の精度が達成できる。しかし、GPSが長期間安定した信頼度でデータを出し続けるかは未知であり、VLBIによる基準系の維持は相補的に必要であろう。

## 7. まとめ

平成4年度で、精密な海水面変動モニタを行うために必要な超小型VLBI局の開発・整備を完了した。このアンテナを用いて、国内の測地基準の一つである鹿野山の位置を精度1cmで測定した。今後、この小型VLBI局をはじめとしたいいくつかの移動式VLBI局を用いて、日本各地に配置した複数の基準点をVLBIで高精度に測定し、長期間安定した基準を保持するとともに、GPS観測と結びつけて有効に信頼性の高いデータを供給できるようにする。こうした日本規模の位置変動の測定は、駿潮データを用いた長期の海水面変動モニタにとって、重要なデータとなる。こうした計画を主に進めている国土地理院に協力し、VLBI実験による基準点観測の支援や海水面変動測定法の検討を行った。

## 研究発表

(1)吉野泰造、高橋幸雄、栗原則幸

” 郵政省通信総合研究所の計画” 月刊「地球」特集号「測地学と地球環境」 168号  
Vol.15, No.6,1993年

(2)Y.Takahashi, N.Kurihara, A.Kaneko, R.Ichi, T.Saito, H.Amemiya “The Sea Level Monitoring System in APT” Proceeding of the APT meeting in 1995

## 参考文献

[1]Barnett, “Global sea level change”, The first climate trends workshop “Climate variation over the past century and the green house effect, 1988”, National Climate Program Office, NOAA, Sep. 1988

[2]R.S Norem, K.ERachkin, B.D. Beckley “Long-Term Sea Level Changed by TOPEX/POSEIDON”, AGU fall meeting 1995

[3]R E Cheney, L.Miller, J Carton “Isolating the Long-Term Sea Level Change Observed by TOPEX/POSEIDON”, AGU fall meeting 1995

[4]J.F.Minster, V.Echevin, C.Brossier, P.Rogel, “Comparisons between large scale variations of the sea level and sea surface temperature”, AGU fall meeting 1995

[5]Barnett, “The Estimation of Global Sea Level Change: A Problem of Uniqueness”, JGR, VOL.89, No.C5, p7980, Sep. 1984

[6]高橋幸雄、栗原則幸、日置幸介、今江理人、金子明弘、” 宇宙測位技術を用いた海水面変動上昇の影響予測に関する研究：超小型可搬型VLBI局の開発に関する研究”、地球環境研究総合推進費 平成4年度終了研究成果報告集(II)、p186

[7]Y.Takahashi, N.Kurihara, A.Kaneko, R.Ichi, T.Saito, H.Amemiya “The Sea Level Monitoring System in APT” Proceeding of the APT meeting in 1995

[8]Y.Takahashi, A.Kaneko, N.Kurihara, Y.Nakahori, M.Tobita, H.Nitta, “Sea level monitoring system using small mobile VLBI station”, Journal of Communication Research laboratory, Vol.38 No.3 p633, Nov. 1991



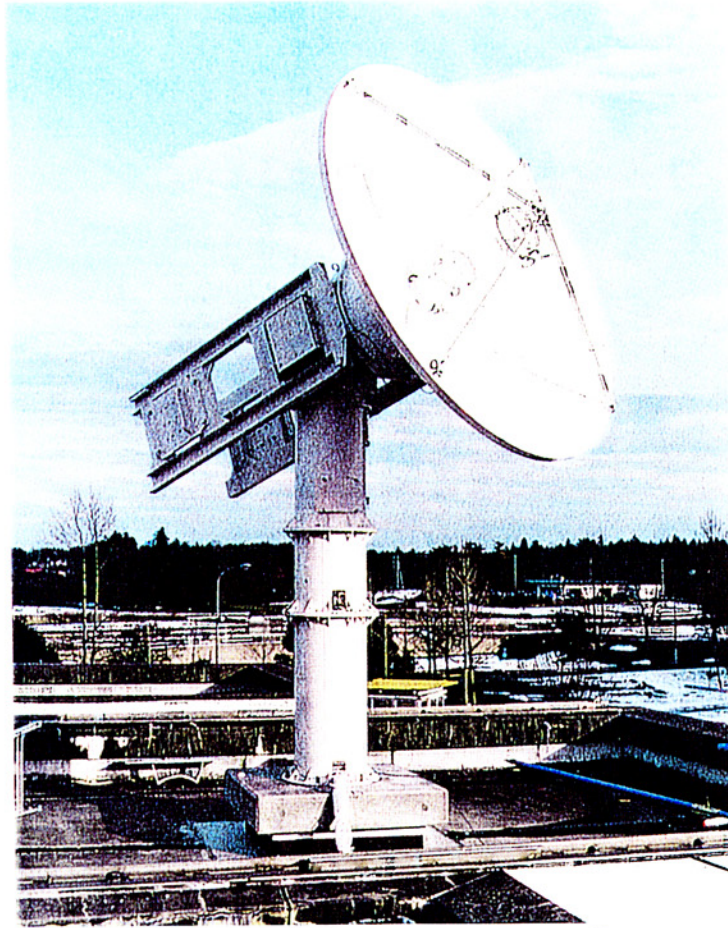


図1 2.4 m世界最小VLBI局

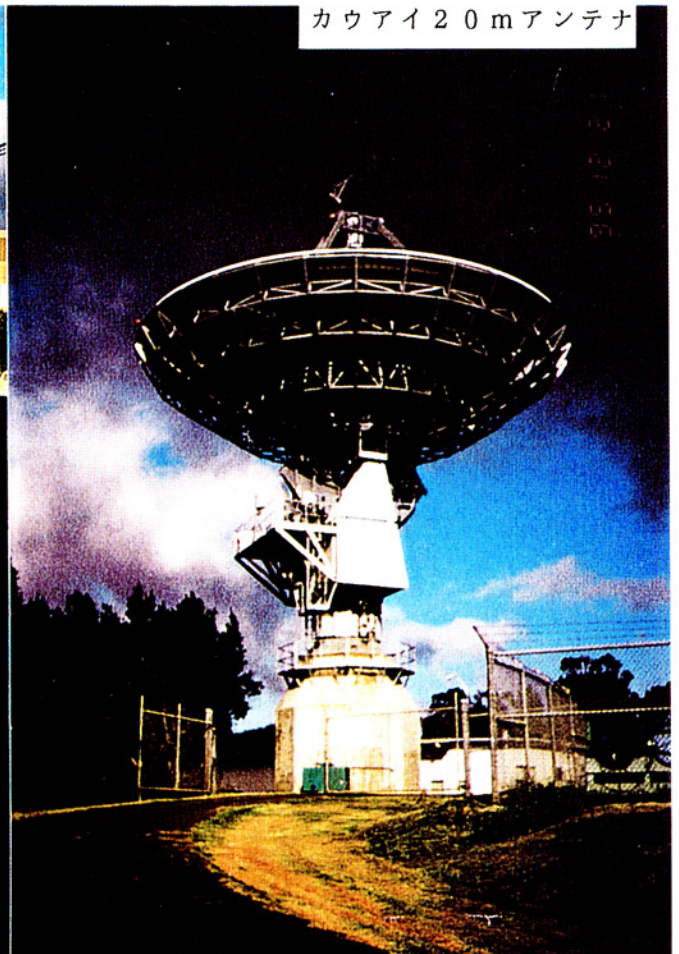


図3 カウアイ島（ハワイ諸島）にあるVLBI局と験潮場



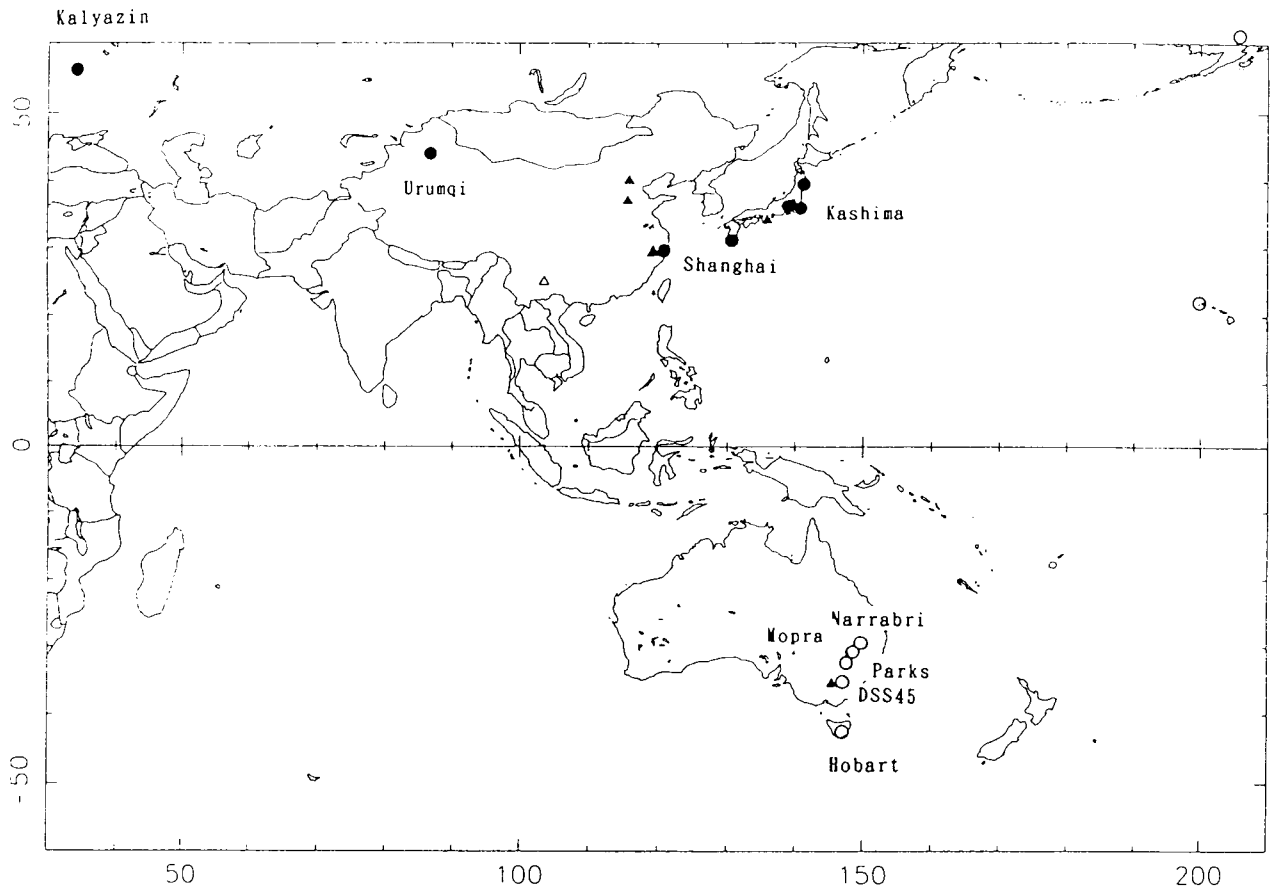


図4 アジア・太平洋地域VLBI・SLR観測局（基準局）

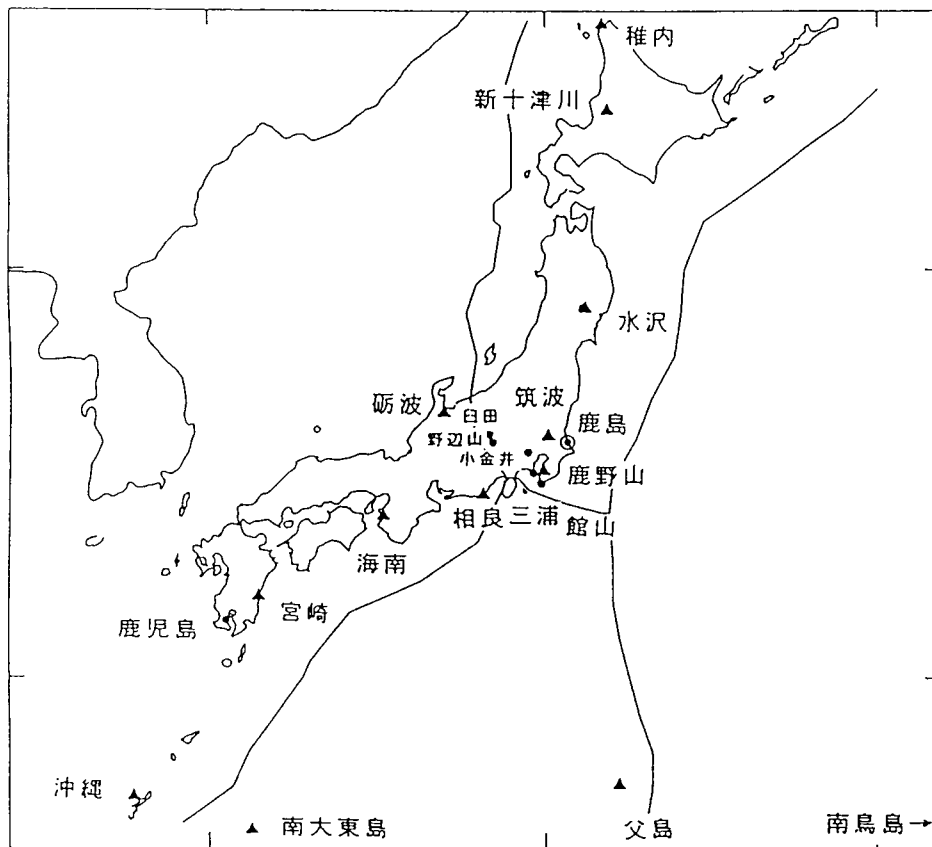


図5 国内移動実験（GSI関連）観測局位置

表4 V L B I 観測点位置 ( I T R F 9 3 準拠) (電離層補正なし)

局名	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	アンテナ
筑波 5 m				
1985. 8. 9	-3957172849.6±22.0	3310237961.0±21.2	3737709079.7±23.5	5m
1986. 2. 17	876.7±14.7	970.5±13.3	9093.3±15.0	5m
1987. 2. 23	894.8±8.0	973.1±6.6	9087.7±7.6	5m
1988. 2. 9	847.2±16.1	942.5±13.5	9022.7±16.8	5m
1988. 8. 25	819.3±17.9	935.2±15.5	9004.9±18.3	5m
1989. 2. 22	922.4±18.0	988.1±15.1	9073.1±17.0	5m
1989. 9. 29	860.0±17.9	928.2±15.4	8984.3±17.1	5m
1990. 3. 1	903.2±14.1	973.8±11.8	9028.7±13.9	5m
1991. 3. 26	902.9±9.0	970.0±7.9	8999.3±9.4	5m
1991. 5. 21	887.4±11.9	967.5±9.9	8983.3±11.9	5m
1991. 7. 31	856.6±13.2	943.6±11.8	8962.9±14.3	5m
1992. 3. 19	912.6±11.9	957.3±10.2	8990.5±11.3	5m
1992. 5. 14	947.2±11.8	991.5±10.5	9001.3±11.6	5m
1993. 8. 24	922.5±17.9	960.0±15.4	8980.4±16.9	5m
筑波 2.4m				
1992. 10. 15	-3957200592.1±21.5	3310182924.1±18.4	3737735060.8±22.5	2.4m
宮崎新富				
1986. 10. 14	-3582767638.8±17.4	4052033995.1±19.6	3369020559.2±18.8	5m
1986. 10. 20	696.3±16.8	4017.6±19.5	608.3±16.3	5m
1988. 10. 6	721.5±31.6	4146.0±36.0	598.0±32.1	5m
1988. 10. 12	791.8±31.6	4122.2±36.8	671.1±31.6	5m
1993. 11. 16	866.9±18.5	4026.1±21.9	523.5±18.2	5m
父島				
1987. 11. 18	-4489356825.6±37.4	3482989616.3±28.8	2887931274.0±25.9	5m
1987. 11. 25	735.4±33.6	549.6±26.8	255.1±23.4	5m
1989. 11. 28	698.1±46.2	580.1±37.8	191.0±34.3	5m
1989. 12. 6	721.6±45.2	607.9±36.0	308.6±31.1	5m
新十津川				
1990. 7. 23	-3642141770.8±44.5	2861496450.7±35.3	4370361876.5±52.8	5m
1990. 7. 26	536.1±42.8	307.7±34.6	646.7±54.0	5m
1990. 7. 28	656.0±31.6	434.9±24.9	734.3±37.6	5m
1990. 7. 30	792.4±38.1	527.8±31.3	815.5±44.2	5m
水沢 (GSI)				
1991. 9. 18	-3862411887.2±14.7	3105015008.2±12.9	4001944966.7±16.8	5m
1991. 9. 20	891.9±13.4	010.0±11.3	951.2±15.3	5m
1991. 10. 18	841.6±11.8	000.7±9.9	856.4±13.7	5m
1991. 10. 20	887.7±12.6	016.1±10.8	946.1±15.2	5m
1991. 11. 24	905.2±33.4	060.5±24.8	879.6±29.4	5m
1991. 11. 26	896.5±13.0	017.5±11.0	931.2±15.0	5m
和歌山海南				
1993. 9. 28	-3751042933.0±29.4	3721054960.4±28.5	3560819201.9±27.5	5m

表4 VLBI観測点位置 (ITRF93準拠) (続き)

局名	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	アンテナ
静岡相良				
1992. 11. 23	-3913437727.2±16.4	3501122822.8±14.5	3608593538.3±17.5	5m
1992. 11. 24	706.2±17.9	823.5±16.1	524.1±18.4	5m
1992. 12. 1	814.6±17.8	871.9±16.0	618.1±18.3	5m
1992. 12. 2	782.1±11.4	859.1±10.1	560.8±11.8	5m
1993. 2. 28	750.0±12.6	839.9±11.5	556.5±13.5	5m
1993. 3. 1	788.8±11.2	865.7±10.2	579.0±11.7	5m
鹿野山基準点				
1993. 7. 27	-3991745805.6±14.2	3355060415.7±12.5	3661223814.4±13.3	2.4m
1995. 1. 17	780.9±17.3	385.2±15.9	782.7±17.7	2.4m
1995. 1. 19	820.6±16.4	423.8±14.4	789.8±15.0	2.4m
砺波				
1994. 11. 15	-3748985706.2±11.4	3491875900.1±11.1	3786423698.8±11.9	2.4m
小金井3m				
1988. 9. 19	-3942077364.1±19.6	3368332170.8±15.5	3701904929.1±17.2	3m
1992. 3. 19	360.2±12.3	141.3±10.9	860.7±11.7	3m
1992. 5. 14	415.9±21.8	171.7±19.3	891.1±20.6	3m
1992. 10. 15	341.8±26.5	113.0±23.0	824.1±27.3	3m
1992. 11. 26	327.7±33.4	074.6±28.3	796.5±31.7	3m
1993. 8. 24	344.3±24.9	142.4±20.4	835.6±24.8	3m
1995. 1. 17	382.2±23.0	109.8±20.0	811.8±20.0	3m
1995. 1. 19	382.5±10.1	111.4±9.1	805.0±9.0	3m
稚内(CRL)				
1988. 10. 5	-3520056214.5±87.8	2781823257.2±68.2	4518214800.6±106.2	3m
沖繩(CRL)				
1989. 2. 3	-3507775541.5±59.7	4521403154.5±67.9	2807535178.4±51.3	3m
1990. 10. 22	508.9±44.2	067.3±49.4	113.3±38.2	3m
南大東島				
1990. 11. 26	-3786460616.9±33.6	4320155895.6±34.1	2762038747.4±32.3	3m
1990. 11. 28	791.2±33.9	6041.7±30.9	790.5±30.9	3m
1991. 12. 3	571.1±46.9	5951.6±52.5	807.7±37.1	3m
1991. 12. 5	639.1±43.4	6028.6±42.6	809.0±35.8	3m
野辺山45m				
1986. 2. 17	-3871025162.1±35.0	3428107814.4±33.5	3724038989.6±35.0	45m
臼田64m				
1990. 7. 30	-3855355248.4±60.7	3427427591.9±54.4	3740971251.5±62.4	64m

\*位置はアンテナ軸交点である。但し、鹿野山のみ基準点となっている。

表5 V L B I 観測点位置 ( I T R F 9 3 準拠) (電離層補正あり)

局名	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	アンテナ
筑波 5 m				
1984. 7. 18	-3957172750.9±53.4	3310237928.7±50.5	3737709048.3±53.8	5m
1985. 8. 9	803.1±25.0	909.0±24.5	9033.5±25.8	5m
1986. 2. 17	880.7±16.6	974.1±15.3	9098.7±16.7	5m
1987. 2. 23	896.3±9.5	972.1±7.9	9088.6±8.8	5m
1988. 2. 9	840.4±18.7	937.0±15.4	9020.6±19.4	5m
1988. 8. 25	795.4±18.8	915.5±16.2	8983.9±19.3	5m
1989. 2. 22	904.3±19.6	965.9±16.6	9056.5±18.2	5m
1989. 9. 29	853.7±19.5	916.6±16.8	8973.4±18.6	5m
1990. 3. 1	893.1±14.9	962.2±12.4	9018.9±14.6	5m
1991. 3. 26	911.0±9.6	973.4±8.4	9007.6±9.9	5m
1991. 5. 21	910.4±13.0	982.4±10.9	8998.3±12.6	5m
1991. 7. 31	849.5±13.3	934.2±11.9	8949.8±14.4	5m
1993. 8. 24	941.6±27.2	957.5±23.4	8979.2±23.6	5m
宮崎新富				
1986. 10. 20	-3582767757.6±37.1	4052034069.3±42.1	3369020669.5±33.3	5m
1988. 10. 6	682.1±39.5	4025.3±44.0	522.4±38.8	5m
1988. 10. 12	774.2±35.1	4081.5±41.3	616.8±36.9	5m
1993. 11. 16	849.1±18.2	3962.1±21.2	441.7±17.4	5m
父島				
1987. 11. 18	-4489356805.6±49.7	3482989620.8±38.7	2887931231.3±34.4	5m
1987. 11. 25	693.7±38.0	518.9±30.6	199.0±25.6	5m
1989. 11. 28	624.1±43.1	532.1±35.1	152.3±32.2	5m
1989. 12. 6	651.5±23.5	554.4±18.9	193.9±16.5	5m
新十津川				
1990. 7. 26	-3642141545.0±41.1	2861496314.1±33.3	4370361627.1±51.8	5m
1990. 7. 28	697.5±28.6	464.9±22.4	719.3±33.8	5m
1990. 7. 30	865.9±49.8	582.4±40.3	871.2±55.8	5m
水沢 (GSI)				
1991. 9. 18	-3862411917.3±13.5	3105015046.5±11.9	4001944993.3±15.5	5m
1991. 9. 20	926.2±13.2	040.0±11.5	966.1±15.1	5m
1991. 10. 18	852.9±11.9	003.2±9.9	874.0±13.7	5m
1991. 10. 20	890.2±12.7	026.3±10.9	928.7±15.4	5m
1991. 11. 24	881.8±29.9	036.5±22.1	889.7±26.5	5m
1991. 11. 26	900.4±13.6	019.9±11.6	944.3±15.8	5m
和歌山海南				
1993. 9. 28	-3751042945.5±32.5	3721054957.4±31.2	3560819207.1±29.8	5m
静岡相良				
1992. 11. 23	-3913437725.7±17.8	3501122811.7±15.2	3608593534.2±19.5	5m
1992. 11. 24	714.0±22.2	826.7±19.6	521.8±22.5	5m
1992. 12. 1	783.4±29.2	847.2±26.2	596.7±26.9	5m
1992. 12. 2	790.3±20.1	862.4±17.4	553.9±18.6	5m
1993. 2. 28	752.6±15.6	829.1±14.0	564.0±15.9	5m
1993. 3. 1	824.0±21.2	890.7±20.4	599.7±19.1	5m

\*位置はアンテナ軸交点の位置である。

表6 V L B I 観測点鉛直・東西・南北測定精度

局名	上下 (mm)	東西 (mm)	南北 (mm)
筑波			
1984. 7. 18	(± 85.9)	(± 12.7)	(± 27.4)
1985. 8. 9	± 36.9 (± 41.6)	± 6.8 (± 7.7)	± 8.8 (± 10.2)
1986. 2. 17	± 23.7 (± 26.6)	± 4.0 (± 4.7)	± 6.7 (± 7.7)
1987. 2. 23	± 12.3 (± 14.5)	± 2.0 (± 2.4)	± 3.1 (± 3.7)
1988. 2. 9	± 25.9 (± 29.8)	± 3.9 (± 4.4)	± 6.3 (± 7.4)
1988. 8. 25	± 28.8 (± 30.2)	± 4.7 (± 5.0)	± 6.6 (± 7.2)
1989. 2. 22	± 28.2 (± 30.5)	± 4.4 (± 4.8)	± 5.4 (± 6.0)
1989. 9. 29	± 28.2 (± 30.8)	± 4.3 (± 4.6)	± 5.9 (± 6.4)
1990. 3. 1	± 22.3 (± 23.5)	± 3.3 (± 3.4)	± 4.6 (± 5.0)
1991. 3. 26	± 14.1 (± 15.0)	± 3.2 (± 3.3)	± 4.6 (± 4.9)
1991. 5. 21	± 18.5 (± 20.0)	± 4.1 (± 4.3)	± 4.9 (± 5.4)
1991. 7. 31	± 20.9 (± 21.1)	± 5.1 (± 5.1)	± 7.3 (± 7.5)
1992. 3. 19	± 18.6	± 3.5	± 3.9
1992. 5. 14	± 18.6	± 4.1	± 4.7
1993. 8. 24	± 26.7 (± 38.6)	± 6.6 (± 7.9)	± 9.3 (± 10.1)
筑波 2.4m			
1992. 10. 15	± 35.2	± 5.0	± 6.6
宮崎新富			
1986. 10. 14	± 30.8	± 5.7	± 7.6
1986. 10. 20	± 29.3 (± 63.2)	± 4.1 (± 9.2)	± 7.1 (± 13.5)
1988. 10. 6	± 56.2 (± 68.8)	± 8.4 (± 9.6)	± 9.8 (± 13.4)
1988. 10. 12	± 55.6 (± 62.6)	± 9.2 (± 10.3)	± 12.8 (± 16.7)
1993. 11. 16	± 31.7 (± 30.2)	± 8.4 (± 8.5)	± 9.3 (± 9.9)
父島			
1987. 11. 18	± 52.0 (± 69.7)	± 6.6 (± 9.0)	± 12.1 (± 14.9)
1987. 11. 25	± 47.7 (± 53.8)	± 6.1 (± 6.7)	± 9.0 (± 9.8)
1989. 11. 28	± 66.7 (± 61.8)	± 10.1 (± 10.2)	± 13.7 (± 14.1)
1989. 12. 6	± 63.7 (± 33.3)	± 8.6 (± 4.6)	± 13.2 (± 7.5)
新十津川			
1990. 7. 23	± 73.1	± 14.7	± 21.3
1990. 7. 26	± 73.8 (± 70.6)	± 12.5 (± 11.9)	± 18.3 (± 18.5)
1990. 7. 28	± 52.9 (± 47.6)	± 8.5 (± 7.5)	± 12.7 (± 11.8)
1990. 7. 30	± 64.4 (± 83.2)	± 9.3 (± 9.6)	± 12.3 (± 14.1)
水沢 (GSI)			
1991. 9. 18	± 24.2 (± 22.2)	± 5.6 (± 5.1)	± 7.0 (± 6.7)
1991. 9. 20	± 21.9 (± 21.8)	± 4.9 (± 4.8)	± 6.1 (± 6.1)
1991. 10. 18	± 19.5 (± 19.5)	± 4.2 (± 4.3)	± 5.2 (± 5.7)
1991. 10. 20	± 20.9 (± 21.0)	± 4.9 (± 4.9)	± 6.7 (± 7.1)
1991. 11. 24	± 47.1 (± 42.2)	± 12.3 (± 11.1)	± 15.1 (± 13.6)
1991. 11. 26	± 21.1 (± 22.1)	± 4.9 (± 5.3)	± 6.8 (± 7.5)
和歌山海南			
1993. 9. 28	± 47.8 (± 52.1)	± 7.9 (± 8.9)	± 9.2 (± 10.9)

( ) は電離層補正無しの場合の測定精度

表6 V L B I 観測点鉛直・東西・南北測定精度 (続き)

局名	上下 (mm)	東西 (mm)	南北 (mm)
静岡相良			
1992. 11. 23	± 25.4 (± 27.1)	± 7.0 (± 7.6)	± 9.8 (± 11.6)
1992. 11. 24	± 28.3 (± 34.6)	± 6.2 (± 7.8)	± 8.7 (± 11.1)
1992. 12. 1	± 28.4 (± 45.0)	± 6.0 (± 9.1)	± 8.3 (± 12.5)
1992. 12. 2	± 17.6 (± 30.2)	± 4.4 (± 6.2)	± 6.6 (± 10.0)
1993. 2. 28	± 19.9 (± 23.7)	± 5.4 (± 6.7)	± 6.8 (± 9.3)
1993. 3. 1	± 17.5 (± 32.9)	± 4.6 (± 6.6)	± 6.2 (± 10.4)
鹿野山			
1993. 7. 27	± 21.7	± 5.1	± 6.4
1995. 1. 17	± 27.8	± 5.3	± 8.0
1995. 1. 19	± 24.5	± 5.6	± 8.1
砺波			
1994. 11. 15	± 19.4	± 2.7	± 3.6
小金井 3 m			
1988. 9. 19	± 29.4	± 4.5	± 5.9
1992. 3. 19	± 19.5	± 3.6	± 3.7
1992. 5. 14	± 35.0	± 4.8	± 5.0
1992. 10. 15	± 43.6	± 5.9	± 6.8
1992. 11. 26	± 53.1	± 6.8	± 7.3
1993. 8. 24	± 38.5	± 7.9	± 10.1
1995. 1. 17	± 27.8	± 5.2	± 8.0
1995. 1. 19	± 15.4	± 3.1	± 4.5
稚内 (CRL)			
1988. 10. 5	± 150.3	± 18.7	± 26.5
沖縄 (CRL)			
1989. 2. 3	± 99.7	± 19.9	± 21.9
1990. 10. 22	± 72.0	± 15.8	± 20.3
南大東島			
1990. 11. 26	± 52.9	± 14.0	± 18.3
1990. 11. 28	± 56.7	± 13.3	± 18.9
1991. 12. 3	± 74.6	± 15.6	± 22.8
1991. 12. 5	± 66.3	± 15.5	± 18.3
野辺山 4 5 m			
1986. 2. 17	± 58.2	± 7.1	± 11.5
臼田 6 4 m			
1990. 7. 30	± 97.8	± 19.0	± 24.7

( ) は電離層補正無しの場合の測定精度



表7 V L B I 観測基準点 (鹿島) 位置 ( I T R F 9 3 準拠)

局 名	X ( m m )	Y ( m m )	Z ( m m )
鹿島26mアンテナ			
1985. 8. 9	-3997892215.0	3276581276.4	3724118392.4
1986. 2. 17	219.1	277.3	383.9
1986.10.14	224.1	278.4	373.5
1986.10.14	224.3	278.5	373.2
1987. 2. 23	226.9	279.0	367.7
1987.11.18	232.6	280.3	355.9
1987.11.25	232.7	280.3	355.6
1988. 2. 9	234.3	280.7	352.3
1988. 8. 25	238.5	281.6	343.6
1988. 9. 19	239.0	281.7	342.5
1988.10. 5	239.4	281.8	341.8
1988.10. 6	239.4	281.8	341.8
1988.10.12	239.5	281.8	341.5
1989. 2. 3	241.9	282.4	336.5
1989. 2. 22	242.3	282.4	335.7
1989. 9. 29	246.9	283.5	326.1
1989.11.28	248.2	283.7	323.5
1989.12. 6	248.4	283.8	323.1
1990. 3. 1	250.1	284.2	319.4
1990. 7. 26	253.2	284.9	313.0
1990. 7. 28	253.3	284.9	312.9
1990. 7. 30	253.3	284.9	312.8
1991. 3. 26	258.4	286.0	302.3
1991. 5. 21	259.5	286.3	299.9
1991. 7. 31	261.0	286.6	296.8
1991. 9. 18	262.1	286.8	294.6
1991. 9. 20	262.1	286.8	294.5
1991.10.18	262.7	286.9	293.3
1991.10.20	262.8	287.0	293.2
1991.11.24	263.5	287.1	291.7
1991.11.26	263.5	287.1	291.6
1992.10.15	270.4	288.6	277.4
1992.11.23	271.2	288.8	275.7
1992.11.24	271.2	288.8	275.7
1992.11.26	271.2	288.8	275.6
1992.12. 1	271.4	288.9	275.3
1992.12. 2	271.4	288.9	275.6
1993. 2. 28	273.2	289.3	271.4
1993. 3. 1	273.3	289.3	271.4
1993. 8. 24	277.0	290.1	263.7
1993. 9. 28	277.7	290.3	262.1
1993.11.16	278.7	290.5	260.0

表7 V L B I 観測基準点 (鹿島) 位置 ( I T R F 9 3 準拠) ( 続き)

局 名	X ( m m )	Y ( m m )	Z ( m m )
鹿島34mアンテナ			
1988. 9. 29	-3997649214. 9	3276690765. 5	3724278922. 1
1990. 7. 23	221. 2	766. 8	909. 1
1990. 10. 23	223. 1	767. 3	905. 1
1990. 11. 26	223. 9	767. 4	903. 5
1990. 11. 28	223. 9	767. 4	903. 5
1991. 12. 3	231. 7	769. 2	887. 3
1991. 12. 5	231. 7	769. 2	887. 3
1992. 3. 19	233. 9	769. 7	882. 6
1992. 5. 14	235. 1	769. 9	880. 1
1993. 7. 27	244. 4	772. 0	860. 9
1994. 11. 15	254. 4	774. 2	840. 0
1995. 1. 17	255. 8	774. 5	837. 3
1995. 1. 19	255. 8	774. 5	837. 2