Vol.47 No.1 通信総合研究所季報 Mar. 2001
pp.17－22

解　説

2.3 国土地理院による測地 VLBI 観測成果

福崎　順洋[*1]　国土地理院 VLBI グループ

2.3 Geodetic VLBI Activities at GSI

By
Yoshihiro FUKUZAKI and GSI VLBI Group

The Geographical Survey Institute (GSI) has carried out a geodetic Very Long Baseline Interferometry (VLBI) experiment for the purpose of correction of the position of the geodetic control points in Japan and detection of plate motion and crustal deformation around Japan. In 1981, GSI introduced a mobile VLBI system in cooperation with the Communication Research Laboratory (CRL). From 1986 to 1993, the mobile VLBI system was used for the VEGA (VLBI Experiment for Geodetic Application) project. The most significant result of the VEGA project was the first detection of the motion of Philippine Sea plate. GSI also carried out a VLBI experiment between Japan and Korea in 1995 by transporting the mobile system with a 3.8-m antenna to Korea. Ownership of the Kashima 26-m antenna was transferred from CRL to GSI in 1994. Using the Kashima 26-m antenna GSI participated in an international global experiment. The coordinates of the Kashima 26-m antenna in the International Terrestrial Reference Frame are the primary reference point of new geodetic datum. GSI now has a VLBI network consisting of five stations in Japan, and periodically carries out VLBI experiments using the network. The Kashima 26-m antenna, which is more than 30 years old, has been replaced by the Tsukuba station in the international global experiment which is now the key station of the domestic VLBI network.

[キーワード] VLBI，鹿島 26m アンテナ，プレート運動，国際グローバル観測，つくば局
VLBI, Kashima 26m antenna, Plate motion, International global experiment, Tsukuba station

1. は じ め に

国土地理院では，明治以来，三角測量によって全国に国家基準点を設置し，全国の測量と地図の作成を行ってきた．しかし，VLBI 技術により長距離を精度良く測定することが可能であることが実証されたことにより，測地網の規正等を目的として，通信総合研究所（当時電波研究所）の協力の下，超長基線測量（VLBI 観測）に着手し，現在も観測を行っている．

本稿では，国土地理院における測地 VLBI 観測の歴史および観測成果を，鹿島 26m アンテナに関する事項を中心に紹介する．

2. 国土地理院における超長基線測量の始まり

国土地理院では，1）測地網の規正，2）プレート運動および地殻変動の検出等を主な目的として，VLBI 技術を用いた超長基線測量を行うため，昭和 56 年（1981 年）より，直径 5m のパラボラアンテナを主とした可搬型 VLBI 装置の整備を開始した（第 1 表）．昭和 56 年から 3 カ年で観測システムを整備し，昭和 59 年より，機能確認のため，鹿島 26m アンテナとの間で繰り返し実験を行った．地上測量結果と比較したところ，9cm の差

＊1 国土地理院

で一致しており，VLBI として性能が確認された．なお，VLBI 測定自身の再現性は，標準偏差として 1.5cm であった．

3. 移動観測システムを用いた国内超長基線測量

次に，可搬型 VLBI 装置を日本全国に移設し観測を行う測地応用 VLBI 実験（VLBI Experiment for Geodetic Application）を昭和 61 年より開始した（第 2 表）．これは，広域地殻変動の検出，全国の主要な三角点の位置（緯度経度）の基準となっている精密測地網の高精度化，および，GPS 衛星の精密軌道決定に寄与することを目的として行われた．

いずれの観測でも，相手局として鹿島 26m アンテナが使用された．

特に，1987 年および 1989 年に実施した父島における VLBI 観測の結果，フィリピン海プレート上にある父島が鹿島 26m アンテナに対して西北西に 2 年間で約 7.4cm，1 年あたり約 3.7cm の割合で移動していることが検出された．これは，東海地震を発生させるフィリピン海プレートの動きを世界で初めて実測により検証した観測であった．このフィリピン海プレートの動きは，父島に固定観測局の設置が行われた後も引き続き観測され，同様な結果が得られている（第 1 図）．

また，平成 5 年から平成 6 年にかけて，直径 2.4m の可搬型アンテナを用いて，鹿野山および砺波において VLBI 観測を行った（第 3 表）．この観測では，相手局として鹿島 34m アンテナが使用された．

この国内超長基線測量の結果は，測地網の規正や地球温暖化に伴う海面上昇を監視するための基準として用いられている．

4. 移動観測システムを用いた日韓 VLBI 観測

韓国には國立地理院という国土地理院と同様な業務を行う行政機関が存在する．国土地理院と國立地理院との間では，日韓測地・地図協力会議が毎年開催されており，その中で，日本と韓国との間で VLBI 観測を行うことが合意されていた．平成 7 年，その合意に基づき，国土地理院の新しい可搬型 VLBI 装置（アンテナ口径 3.8m）を韓国に移設し，鹿島 26m アンテナとの間で観測が行われた（第 2 図）．その大きな目的は，日本－韓国間の測地網の高精度結合と地殻変動の把握である．韓国も日本と同様に測地網の偏位（歪み等）が存在し，これを修正するため，韓国の測地網に国際基準座標系を早期に結合することが要望されていた．そのため，VLBI 観測により，韓国の基準点に国際基準座標系を与えることが目標とされた．また一方，日本海地域におけるプレート運動を検出するため，韓国側に GPS 連続観測点が設置されており，VLBI 観測を行うことにより，その観測点の

第 1 表　可搬型 VLBI 装置の整備

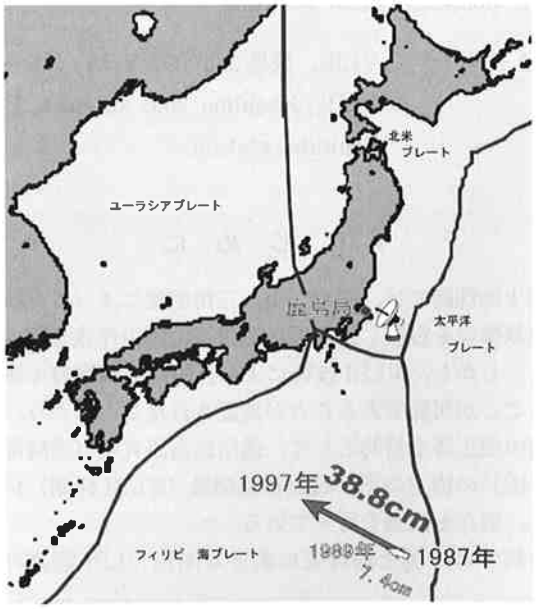
昭和56年（1981年）	5m アンテナ機構部
昭和57年（1982年）	フロントエンド，追跡駆動制御部
昭和58年（1983年）	バックエンド，水素メーザ周波数標準部
昭和59年 7 月 昭和60年 8 月 昭和61年 2 月	機能確認のための「つくば－鹿島」間システムレベルの実験

第 2 表　可搬型 VLBI 装置による国内移動観測

昭和61年（1986年）	新富（宮崎県）
昭和62年（1987年）	父島（東京都）
昭和63年（1988年）	新富（宮崎県）
平成元年（1989年）	父島（東京都）
平成 2 年（1990年）	新十津川（北海道）
平成 3 年（1991年）	水沢（岩手県）
平成 4 年（1992年）	相良（静岡県）
平成 5 年（1993年）	海南（和歌山県），新富（宮崎県）

第 3 表　直径 2.4m の可搬型アンテナを用いた国内移動観測

平成 5 年（1993年）	鹿野山（千葉県）
平成 6 年（1994年）	砺波（富山県），鹿野山（千葉県）



第 1 図　父島の移動

第2図　日韓 VLBI 実験

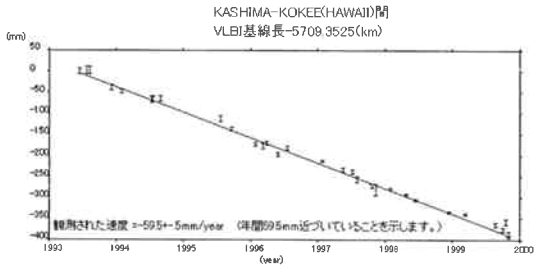
精度向上にも寄与することができた．この GPS 連続観測点は現在も連続的にデータを取得しており，地殻変動の様相を監視している．

観測は4回行われ，うち3回で正常にデータが取得された．相関処理が鹿島宇宙通信センターの K－3 相関器で行われ，その後，NASA ゴダード宇宙飛行センターでグローバル解が算出され，最新の国際地球基準座標系（ITRF2000）に韓国の VLBI 点が登録されている．

5. 26m アンテナ所管換えによる国際グローバル観測への参加

国土地理院は上記のように，可搬型 VLBI 装置を用いた移動観測を行ってきた．小型の可搬型アンテナの相手局としては，大型アンテナを有する施設が不可欠であったため，通信総合研究所との共同研究の下，移動観測の際には鹿島 26m アンテナを用いていた．しかしながら，国土地理院は独自の大型アンテナを有していなかったため，国土地理院の本来の業務目的の1つである国際的な測地基準点を確立するための国際 VLBI 共同観測への参加ができない，あるいは，国内移動観測の実施頻度が少ない等の制約があった．そのため，平成4年，鹿島 26m アンテナが国土地理院に所管換えされ，国際超長基線測量（国際グローバル観測）の実施および国内観測の主局として運用されることとなった．

国際グローバル観測は，当時 NASA が主導する DOSE（Dynamics of Solid Earth）プロジェクトの一環として開始された．主な目的は，グローバルなプレート運動や海面変動等地球環境変動の長期的な観測・監視，国際地球基準座標系（ITRF）の構築・維持等である．



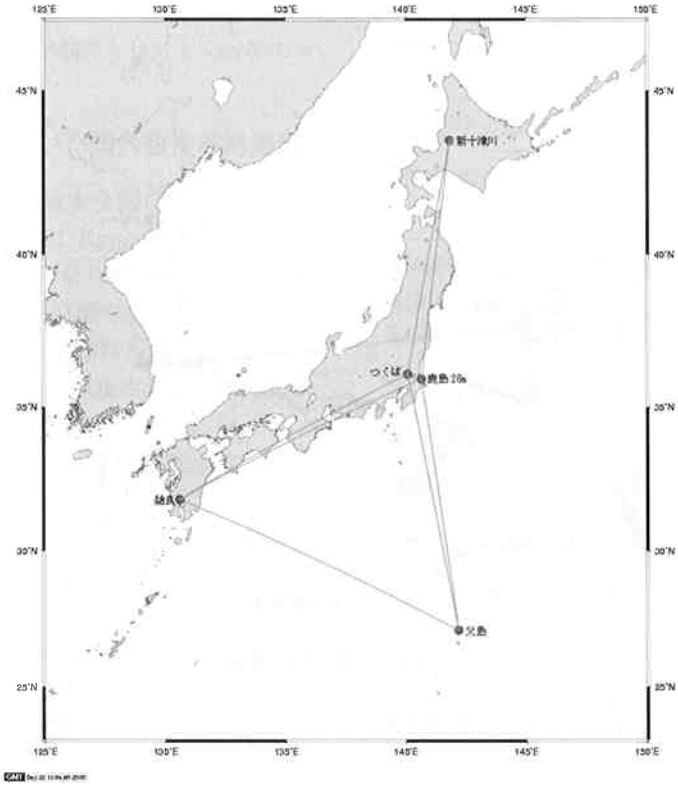
第3図　鹿島－コキー基線の変化

また，ITRF は，国土地理院が提唱して現在進行中の地球地図等国際的な地球観測関連事業の基礎となる基準座標系としてなくてはならないものであり，また，新しい日本の測地基準系の基礎となっており（7章参照），21世紀の国際社会の基盤として重要な役割を果たすものである．

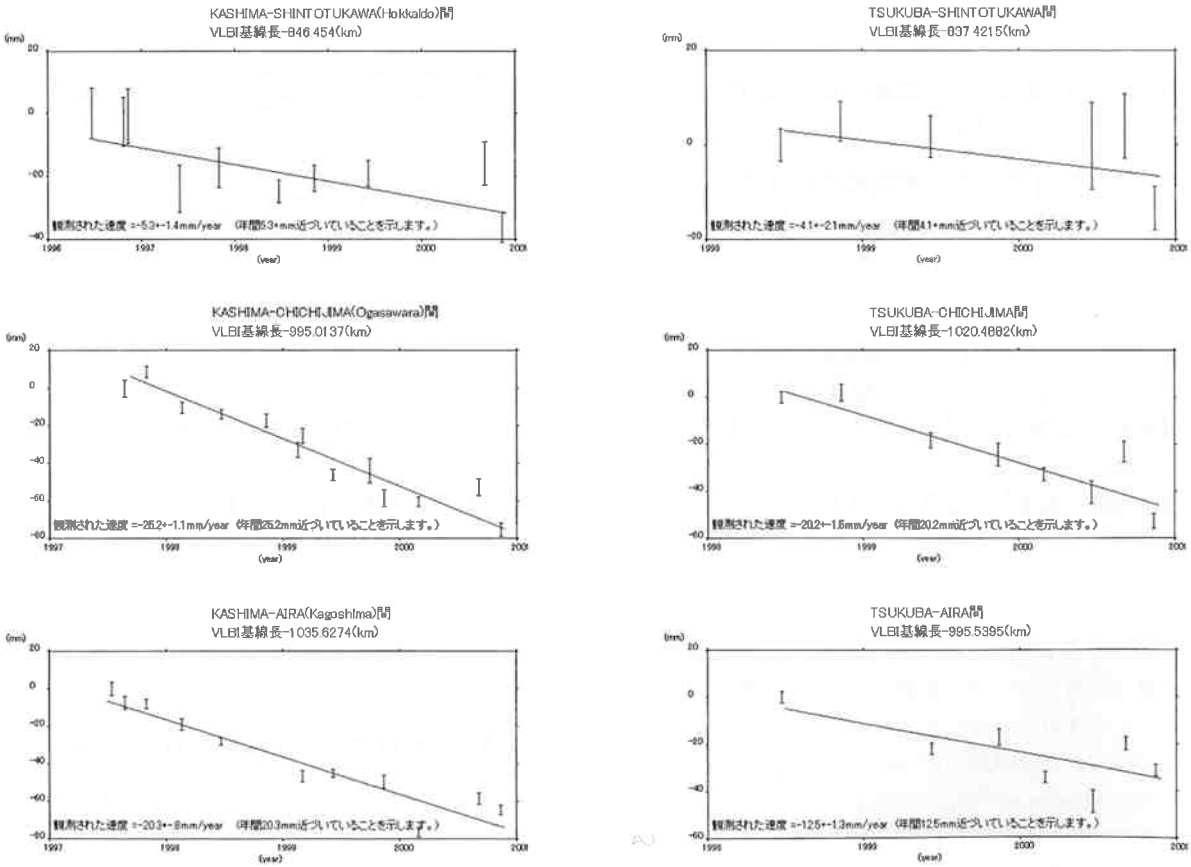
国際グローバル観測の成果として代表的なものは，鹿島 26m アンテナとコキー局（ハワイ・カウアイ島）との間の基線変化を測定することにより，太平洋プレートの動きを実測したことである．観測は 1984 年に開始され，鹿島 26m アンテナが国土地理院に所管換えされた後も引き続き行われた（第3図）．2つの局の基線長が年間約 6cm の速度で短くなっていることが検出されている．

6. 固定観測局による定常観測の開始

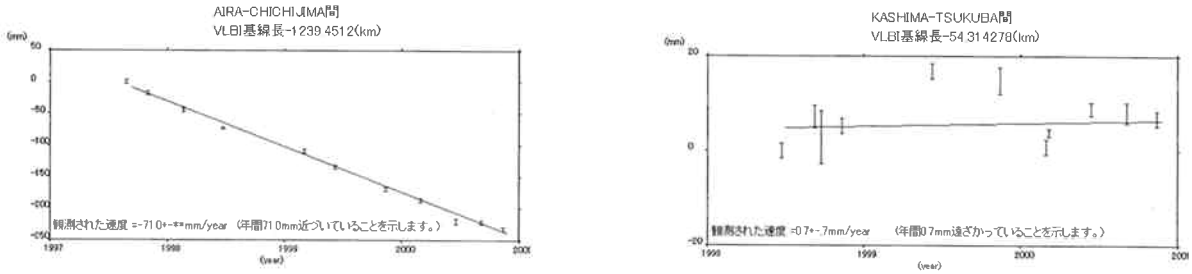
国土地理院では，可搬型 VLBI 装置を用いて移動観測を行ってきたが，平成6年より固定観測局の設置を開始し，現在，鹿島 26m アンテナを含めた5局の固定観測局を有する（第4図）．平成8年より新十津川局－鹿



第 4 図　国土地理院の国内観測網（GARNET）



第 5 図　国内観測結果（その 1）



第5図 国内観測結果（その2）

島26mアンテナ間の観測を開始し，平成9年には姶良，父島局，平成10年にはつくば局を加え，現在，5局8基線（新十津川局は口径が小さいので，姶良，父島局との間のフリンジが出ない）での観測を定期的に行っている．（観測網は，GARNET: GSI Advanced Radio-telescope Networkと名付けられ，観測名は，JADE: Japanese Dynamic Earth observation by VLBIと呼ばれている）更に，平成12年には，岐阜大のVLBI観測局もJADEに参加している．

移動観測に比べ，固定観測局による定常観測のメリットは，1）観測装置の移設に伴う制限がないので，観測回数を増やせる（年1，2回から年4回へ増加）2）定期的に観測を行うことにより，プレート運動・地殻変動をより精密に把握できる 3）5局8基線の観測のため，2局1基線に比べ，観測精度・確度が向上する，が挙げられる．

平成12年11月までの観測結果から得られた，各基線の時間的な変化を第5図に示す．特に，姶良－父島基線が顕著に短くなっており，また，その変化は，非常に直線的である．これは，父島の乗っているフィリピン海プレートの運動と姶良周辺の南九州の地殻変動が，非常に定常的であることを表している．

平成13年からは，つくば中央局からの遠隔制御により観測回数を増やし，年間8回の観測を行うことを計画している．これにより，プレート運動・地殻変動をより詳細に把握できるものと期待される．

7. つくば局による国際観測・国内観測

平成10年，直径32mの大型アンテナを有する観測施設がつくば市の国土地理院構内に完成した．このつくば観測局は，老朽化が著しい鹿島26mアンテナに代わり，国際グローバル観測への参加と国内観測の主局としての役割を担うことが期待されている．完成後半年でアンテナレールが破損するトラブルが発生し，平成10年末～平成11年にかけて補修が行われたが，平成11年11月より本格運用を再開した．

平成12年には，鹿島26mアンテナで行っていた国際グローバル観測を完全につくば局に移行し，年間31回の観測を行った．国際観測のうち，最も参加回数が多いセッションが，CORE（地球回転連続観測）である．このセッションの科学的な目的は，地球の自転運動（EOP）の変化の連続記録であり，取得データの特徴は，非常に短周期のAAM（大気角運動量）にまで感度を持つことにある．ITRFや国際天球基準座標系（ICRF）の高精度化と維持に貢献するとともに，海洋，大気（風）と固体地球間の連続的な運動のやりとりの研究，エルニーニョの早期発見，地震シグナルの検出，地球の核の形態の研究，海面変動の監視等に役立てることができる．つくば局は今後，年間15回程度のCOREセッションに参加する予定である．

また，つくば局は，隔月で行われるVLBAと呼ばれるセッションに参加している．このセッションは天文及び測地目的の観測であり，米国天文VLBI観測網（VLBA）10局に加えて，測地観測を目的としている観測局10局を加えた合計20局が参加する大規模な観測である．この観測は平成9年から開始され，平成12年以降，つくば局は毎回参加している．このセッションは，USNO（米国海軍天文台），NASA（米国航空宇宙局），NRAO（米国立電波天文台）の3機関の測地プログラムによって調整されている．得られたデータは各機関が各々の目的で使用している．国土地理院はITRFの精度向上を目的として，このセッションに参加している．

その他，つくば局は，CRFやSURVEYと呼ばれる，ICRF精度向上や新しい電波源探査のためのセッションにも参加している．

それに加えて，平成12年からは，つくば局と鹿島26mアンテナ・鹿島34mアンテナを高精度に結合するための観測を行っている．（JPNTIシリーズと呼ばれている）JPNTIでは，3局の大型アンテナに加えて，首都圏地殻変動観測計画（KSP）の4局も参加し観測が行われている．この観測により，つくば局と鹿島26mアンテナ・鹿島34mアンテナが高精度に結合され，過去に鹿島26mアンテナ・鹿島34mアンテナによって得られたデータを，つくば局へ引き継ぐことが可能となる．また，国土地理院のVLBI観測網と通信総合研究所のVLBI観測網は結合されることになり，これにより，鹿島34m局とKSPの4局には最新の高精度な国際基準座標を与えることができる．また，KSPの4局には，

VLBIの観測施設とともにSLR（衛星レーザー測距）の観測施設が設置されており，国土地理院のVLBI観測網はSLR網にも結合されることになる．この観測により鹿島－つくば間は，基線長で0.3mm，位置で1mmという高い精度で基線ベクトルが求まるものと期待され，現在解析が進められている．

つくば局の32mアンテナは，鹿島26mアンテナと比較し，受信性能で約5倍の能力を有する．更に，毎秒3度という30mクラスのアンテナでは世界最高の駆動能力を有する．そのため，鹿島26mアンテナでは参加できなかった多種多様な国際グローバル観測に参加することが可能となった．特に，アジア地域には高性能なVLBIアンテナが存在していなかったため，つくばVLBI観測局がこの地域での要の観測局として貢献することが期待されている．

一方，国内観測については，5局8基線のGARNETに，平成12年から岐阜局が加わり，更に今後，国立天文台のVERA水沢局と山口局も参加する予定である．これにより，一層国内のプレート運動や地殻変動が詳細に監視できるものと期待されている．そして，主局としての役割は鹿島26mアンテナからつくば局へ移り，また，つくば局が国際グローバル観測に参加することにより，国内観測網へ国際基準座標を与えることとなる．

8. 新しい測地系：測地成果2000

現在の日本の基準点測地網は，明治時代に確立した測地系を採用しており，現在のグローバルな世界基準系に対応していない．そのため，国土地理院では世界測地系に移行するため，現在，法改正を含めた移行作業を進めている．この世界基準系に準じた新しい測地基準系を「測地成果2000」と呼んでいる．この測地成果2000を算定するにあたり，原点として基準となったのは，国際グローバル観測で決められた鹿島26mアンテナの座標である．ITRF 94として国際地球回転観測事業（IERS）により算出された三次元座標を与点として，国内VLBI観測が行われた新十津川および海南局の座標を計算し，この3点が日本の骨格になっている．（0等三角点になっていると考えて頂きたい）以下，電子基準点（GPS連続観測点），一等三角点，二等三角点，三等三角点の座標を改算し，新しい基準点測地網ができあがっている．このように，鹿島26mアンテナでグローバルな国際VLBI観測を行った成果が，新しい測地基準系へと応用されている．

9. おわりに

国土地理院では，昭和56年より超長基線測量に着手し，移動観測の時代を経て，現在，5局8基線の観測網により定常的な観測を行っている．そして，鹿島26mアンテナは，移動観測の主局として，あるいは，国際グローバル観測の参加局として観測を行ってきた．また，今回移行される測地成果2000では日本の測地基準となっている．しかし，建設後30年経過し老朽化が激しく，今後，その役割はつくば局に移行する予定である．