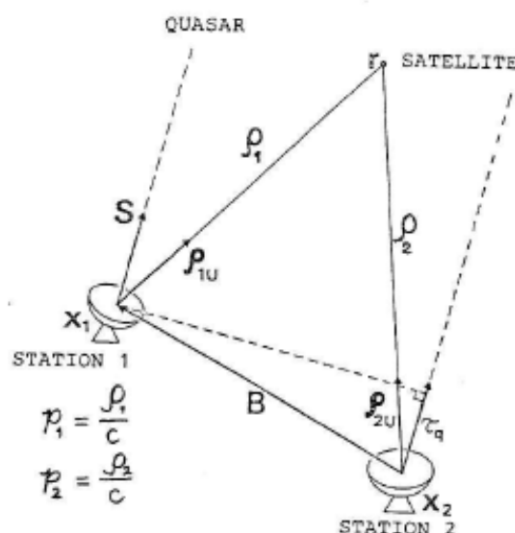


## 4.5 衛星の高精度軌道決定

塩見正

### 4.5.1 背景

人工衛星の軌道決定とは、衛星の軌道上の位置や速度などを測定して衛星の軌道パラメータ（軌道半径や離心率、赤道面からの傾き、ある時刻における位置、など通常は6つのパラメータ）を求めることです。衛星の軌道上の位置や速度を測定するには、地球上の衛星追跡局から衛星までの距離やその変化率、衛星の方向（衛星電波の到来角度）の測定など多様な方法が用いられます（衛星自体に搭載した光学センサーなどを用いる手法もあります）。



他方で、VLBI 技術を用いると、地球上の VLBI 局（基線）の位置や、天体電波源の方向を非常に高い精度で求めることができます。このことから、VLBI 技術により人工衛星の地球での方向を高精度で測定して、人工衛星の軌道を高い精度で決定することが期待されます。その際、人工衛星と、その近くに見えて高い精度で位置が知られている天体電波源（準星）とを交互に VLBI で観測して、天体電波源の方向を基準にして人工衛星の方向を高精度に求める手法（差分または相対 VLBI 手法、Differential VLBI : DVLBI、デルタ VLBI :  $\Delta$  VLBI、などと呼ばれる）が有効となります。この差分手法を用いることで、天体電波源と人工衛星の VLBI 観測に共通に含まれる電波伝搬などによる誤差を差し引くことができるからです。

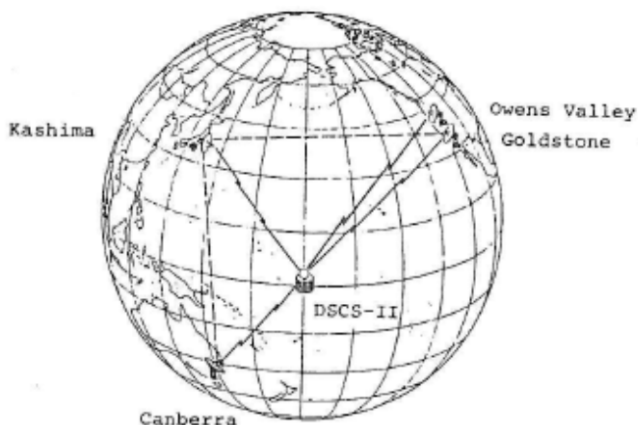
この方法は、とりわけ深宇宙探査衛星の高精度の軌道測定に有効だとして米国において 1970 年代ころから注目され、実験的な応用も試みられてきました。地球から非常に遠い深宇宙探査衛星の軌道測定では、従来手法では衛星までの距離は測距法で高精度に得られるのに対して、それに直行する方向（地球局から衛星を見る視線の角度）の精度が低いことが問題でしたが、これを VLBI で解決しようというわけです。

そこで、電波研究所においては VLBI 技術の応用の一環として、鹿島支所の第 3 宇宙通信研究室の VLBI グループの支援を得て、衛星管制グループにより 1982 年に鹿島一平磯基線の K-2 システムを用いた実験用静止通信衛星 CS の軌道決定実験を実施しました（2.2 項）。そして、1984 年に、衛星管制グループと米国ジェット推進研究所 JPL との共同により鹿島 K-3 システムと JPL のデータ記録システム（Mark-II バックエンド装置、これは米国の深宇宙追跡局のバックエンド装置との互換性のため）を用いて米国の通信衛星 DSCS-II の高精度軌道決定実験（1984 年）が実施され、期待通りの成果をあげました。そしてその後、日

本における深宇宙衛星や月探査衛星などの高精度軌道決定にも用いられるようになりました。

#### 4.5.2 JPL との共同による米国の通信衛星 DSCS-II の高精度軌道決定実験（1984 年）

1982 年 6 月の  $\Delta$  VLBI 法による CS の軌道測定実験のあと、同年 10 月から電波研究所鹿島支所から研究者（塩見）が米国 JPL において VLBI 技術を含めて衛星軌道測定等に関するテーマで在外研究を行いました。そして電波研究所鹿島支所では VLBI グループが K-3VLBI システムの開発、日米実験の成功など、活発な研究活動を進めていたことが背景となり、電波研究所と JPL との共同で大陸間超長基線の DVLBI で太平洋上の静止衛星の高精度軌道決定実



験を行う計画が具体化しました（上記の CS 軌道測定実験では  $\Delta$  VLBI と称していましたが、以下では DVLBI とします）。

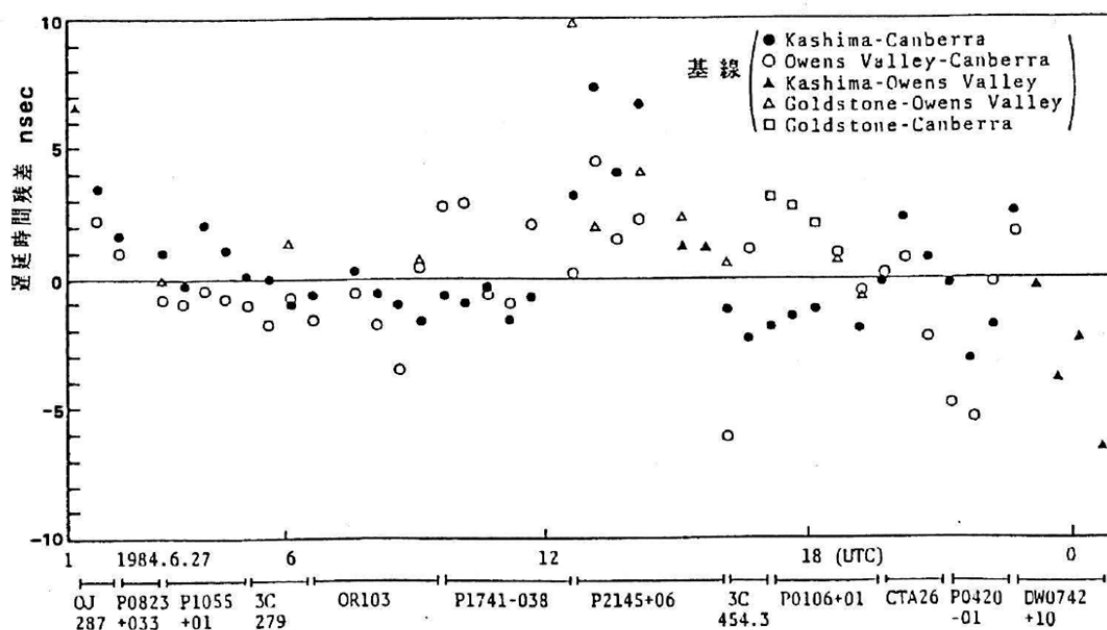
この実験は、日本の鹿島局、米国のゴールドストーンとオーストラリアのキャンベラの二つの NASA 深宇宙追跡ネットワーク局、およびカリフォルニア州のオーウェンズバレー局（カリフォルニア工科大学所属）による文字通り的大陸間にまたがる超長基線の VLBI を構成し、太平洋上の米国の通信衛星 DSCS-II を対象として、1984 年 6 月 25 日、27 日、29 日の 3 回（それぞれ 24 時間）実施されました。観測は



上の写真：小園、鈴木、L.K.S.、塩見、磯谷、黒岩  
下の写真：後列左から西垣、川口、小園、黒岩、鈴木；  
磯貝、河野；佐藤、塩見、L.K.S.、川合；柳谷、川尻  
の各氏

衛星の 2GHz 帯のテレメトリ送信電波を帯域 2MHz の 2つのチャンネルで行い、DVLBI のための天体電波源 (準星) は 12 個を選びました。VLBI システムとしては、鹿島では K-3VLBI システムに記録部は JPL から運びこまれた Mark-II バックエンド装置を使用しました。これは、米国とオーストラリアの局では Mark-II が用いられたのでこれらとの整合性のためです。JPL からは、技術者 L. K. Skjerve 氏が来日しました (写真は衛星管制課や三研関係者と実験室や懇親会で)。

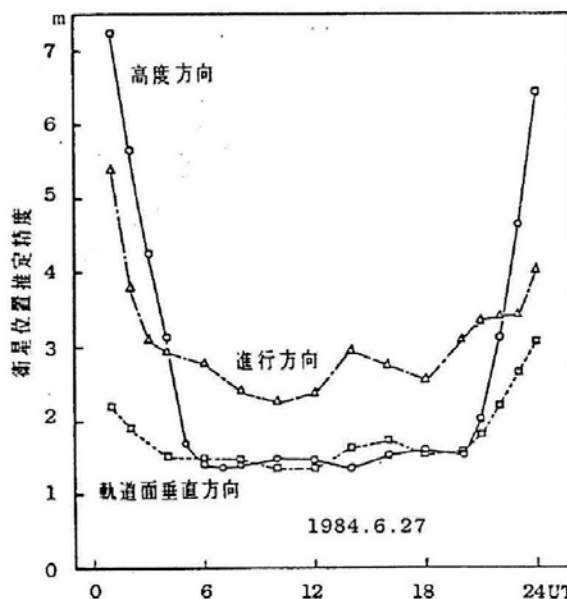
VLBI のデータ処理は米国 JPL で行い、DVLBI データによる衛星の軌道決定は日米でそれぞれ実施しました。DVLBI 観測値と軌道決定による理論値との差 (観測残差) は、図に示



DVLBI 遅延時間観測値の残差 (下部に位置基準とした準星とその観測時間帯を示す)



JPL の共同研究者 Dr. J. S. Border



観測誤差およびモデル化誤差を考慮した衛星位置推定精度

すようにほぼ 5nsec (1.5m) 以内となっており、双方で、推定精度の解析で静止衛星の位置にして 4m~10m程度の精度で軌道が求められました。これは予想どおり、大陸間の超長基線による DVLBI で衛星の位置が衛星自体の大きさ程度の高い精度で求められることを実証したものです。

その当時から、地球の周りを周回する人工衛星や、深宇宙を航行する人工惑星、そして月面や惑星上での探査機などの軌道や位置を地球上からの観測によって高精度で求めることは、数々の衛星プロジェクトで必要になっており、この国際共同実験で VLBI が有力な手段となることが実証されました。

この項の参考文献 (代表的なもの)

- (1) Border, J. S., F. F. Donovan, T. Shiomi and N. Kawano, Precise inteferometric tracking of the DSCS II geosynchronous orbiter, AIAA 24th Aerospace Sciences Meeting, Reno, Nevada, 1986.
- (2) 塩見、河野、VLBI による静止衛星の高精度軌道決定、日本航空宇宙学会誌 第 35 巻、第 404 号 1987 年、pp.425-432.