

相対VLB法による火星探査船「のぞみ」の軌道決定

-ORBIT DETERMINATION OF THE NOZOMI SPACECRAFT USING DIFFERENTIAL VLBI TECHNIQUE-

市川 隆一, 関戸 衛, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 大崎 裕生
通信総合研究所鹿島宇宙通信センター

ICHIKAWA R., SEKIDO M., KONDO T., KOYAMA Y., and OSAKI H.
Kashima Space Research Center, Communications Research Laboratory

「のぞみ」相対VLBI観測グループ (宇宙科学研究所、国立天文台、国土地理院、岐阜大学、山口大学、北海道大学、SGL/CRESTech)

はじめに

通信総合研究所では、宇宙科学研究所、国立天文台、国土地理院、山口大学、岐阜大学、北海道大学と共同で火星探査船「のぞみ」の相対VLBI試験観測を2002年9月に複数回にわたって実施してきた。この観測は、相対VLBI法(図1)による宇宙飛行体の高精度軌道決定技術の確立と共に、2003年6月19日に予定されている「のぞみ」の第2回スイングバイ(図2)の直前に予定されている軌道制御に必要な軌道決定に向けてデータを提供するという現実に差し迫った問題へ対処するという位置づけである。現状では、探査船に搭載されたハイゲインアンテナが地球に正対せず信号強度が必ずしも充分でないため、従来のRANGE&RANGE RATE(R&RR)法での軌道決定法と相対VLBIデータとの相互比較により推定された軌道の信頼性を高め、間に迫ったスイングバイに望もうとしている。

解析モデル

電波源が無制限にあると見なせるクエーサーと異なり、地球から「のぞみ」までは有限の距離であり電波の波面を球面波で取り扱う必要があるため、通常の解析ソフトが使用できない。そこで今回の解析では、関戸ら[2003/本大会講演No. D006-011「相対論を考慮した有限距離電波源のVLBI遅延モデル」]により導出された有限距離のVLBI遅延モデルに基づく解析ソフトが開発され、実際の解析に用いている。詳細については上記講演を参照されたい。

観測

2003年5月28日現在、これまでに26回の「のぞみ」相対VLBI観測を実施してきた(表1)。観測参加局は、図3にあるように「のぞみ」の運用を担当する宇宙科学研究所の臼田64mアンテナの他、通総研の鹿島34mと11m、小金井11m、岐阜大11m、北大苫小牧11m、山口大32m、国土地理院つば32m、および水沢10mとVERA20mである。データ取得システムとしては、主に通信総合研究所で現在開発中のインターネットVLBIシステム(近藤他、2002)を用いている。

相対VLBI観測では、飛行体とその近傍のクエーサーを切り替えることで大気や電離層などの共通誤差要因を効果的に取り除く効果が期待される。しかしながら、クロックオフセットの決定に十分な信号強度を持つクエーサーが飛行体の近傍に存在するとは限らず、天球上の離角で数度以上離れた星を観測せざるを得ない。「のぞみ」は2003年5月末現在、図4に示すように天球上の位置は大きく変わらないため、同図に示す複数のクエーサーとの間で相対VLBI観測を実施している。

結果と解析

表1に示した観測のうち、昨年10月のnz294、nz295、および今年5月中旬以降の一連の観測(nz142以降)は「のぞみ」から発信されるレンジ信号を受けることにより図5に示すような明瞭なフリッジが検出され、群遅延データが得られている。ただし、nz023～nz140の観測では、「のぞみ」が地球から1000km以上の距離にあり、かつ地球と探査機上のアンテナとの位置関係の制約から十分な信号強度得られず、群遅延決定が難しい状況であった。

図6は、昨年10月のnz294、nz295観測(図6a)、及び今年1月のnz010観測(図6b)で得られた群遅延データを用いて有限距離VLBIモデルにより推定された「のぞみ」位置と従来のR&RR法による位置を比較した例である。昨年の結果では、観測時間が1～3時間と短かつたが、赤緯方向では良い一致が見られる。今年1月の観測では、R&RRと誤差の範囲内で一致しており、約24時間の観測時間を確保し、さらに頻りにクエーサーと「のぞみ」を切り替えて観測した効果が現れているようにみえる。また、図6bには、群遅延による結果の他に位置遅延による推定結果も示したが、こちらはR&RRとの差がまだ大きく、クエーサーとの切り替え観測がなく伝搬遅延誤差除去の効果が期待できないことが原因かもしれない。

今回の軌道決定手法の開発では、VLBI観測量以外のデータを用いて大気・電離層による伝搬遅延の除去を行う方法について試みている。大気についてはVLBI観測点近傍の測地GPS観測データから得られる大気遅延を、また電離層については同じくGPSデータから得られる電離層電子数(TEC)を伝搬遅延除去に用いることを検討している。図7は、VLBI観測局近傍のGPS観測から得られた大気遅延の例、および図8はベルン大学から提供される全球的大気遅延分布を用いて算出した電離層遅延の例である。現在、「のぞみ」の軌道決定のために宇宙研へ提供する群遅延データにはこれらの伝搬遅延情報も付加している。

まとめ

- 相対VLBI法による火星探査船「のぞみ」、および将来の宇宙飛行体の軌道決定技術を確立するために開発を継続中
- 暫定的な「のぞみ」位置の推定結果比較では、R&RR法と相対VLBI法で誤差の範囲内で一致する結果が得られた一例については引き続き調査中
- 実際の「のぞみ」スイングバイに向けて相対VLBI観測を実施し、得られた群遅延データを宇宙研へ提供

図1 相対VLBI観測の概念

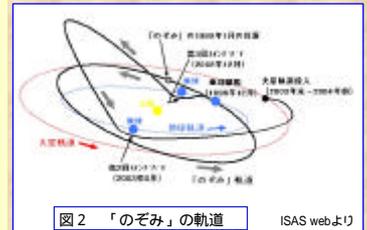
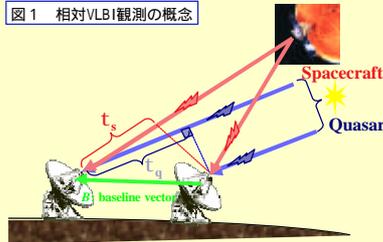


図3 「のぞみ」相対VLBI観測に参加した電波望遠鏡

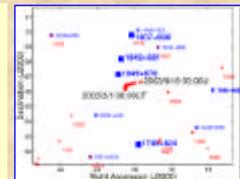
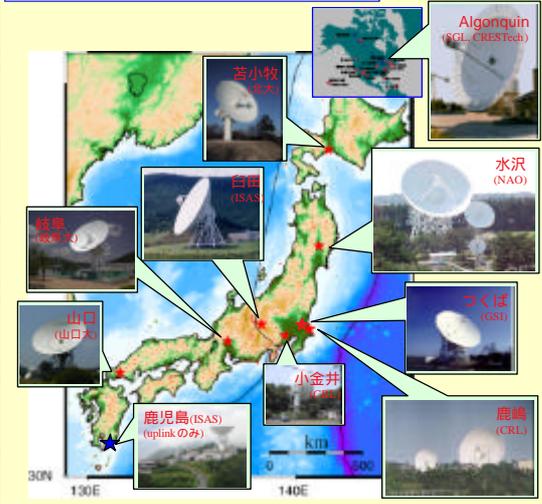


図4 天球上の「のぞみ」と相対VLBI観測したクエーサーの位置

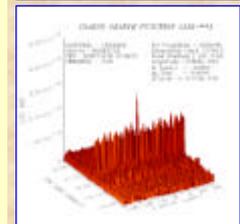


図5 臼田-鹿島34m基線で得られた「のぞみ」レンジ信号のフリッジ(2003.5.27観測)

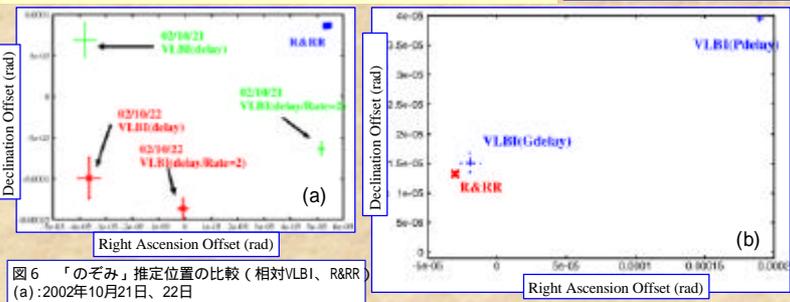


図6 「のぞみ」推定位置の比較(相対VLBI, R&RR)
(a): 2002年10月21日, 22日
(b): 2003年1月10日

表1 「のぞみ」相対VLBI観測の履歴

観測日時(UT)	実験コード	観測参加局	記録システム
2002/10/21 16:54 - 20:05	NZ0294	KS34, KS11, KG, U, G, MZ20	K4, IP-VLBI, RISEターミナル
2002/10/22 16:54 - 20:05	NZ0295	KS34, KS11, KG, U, G, MZ20	K4, IP-VLBI, RISEターミナル
2003/01/07 06:30 - 10:10	NZ0007	KS34, KS11, KG, G, U	IP-VLBI
2003/01/09 00:20 - 07:53	NZ0009	KS34, KS11, KG, G, U	IP-VLBI
2003/01/10 00:20 - 01/11 01:02	NZ0010	KS34, KS11, KG, G, U	IP-VLBI
2003/01/22 03:00 - 06:54	NZ0022	KS34, KS11, KG, G, U	IP-VLBI
2003/01/23 02:10 - 07:00	NZ0023	KS34, KS11, KG, G, U	IP-VLBI
2003/02/24 00:25 - 08:00	NZ0055	KS34, KS11, U	IP-VLBI
2003/03/18 15:00 - 03/19 15:00	NZ0077	KS34, U, Y, MZ20, A	IP-VLBI, RISEターミナル
2003/03/20 02:30 - 16:30	NZ0079	KS34, U, A	IP-VLBI
2003/04/02 14:20 - 04/03 13:54	NZ0092	KS34, U, A	IP-VLBI
2003/04/08 14:20 - 21:30	NZ0098	KS34, U	IP-VLBI
2003/04/12 14:20 - 21:30	NZ0102	KS34, U, Y	IP-VLBI
2003/04/18 14:20 - 21:30	NZ0108	KS34, KS11, U, Y	IP-VLBI
2003/04/22 14:20 - 21:30	NZ0112	KS34, KS11, U, Y	IP-VLBI
2003/04/28 14:20 - 04/29 14:20	NZ0118	KS34, KS11, U, Y, A	IP-VLBI
2003/05/01 14:20 - 21:30	NZ0121	KS34, KS11, U, Y, G	IP-VLBI
2003/05/06 14:20 - 21:30	NZ0126	KS34, KS11, U, Y, G	IP-VLBI
2003/05/10 00:00 - 23:58	NZ0130	KS34, KS11, U, Y, G, A	IP-VLBI
2003/05/13 00:00 - 04:16	NZ0133A	KS34, KS11, U, TM	IP-VLBI
2003/05/13 00:00 - 05/14 04:22	NZ0133B	KS34, KS11, U, TM, A	IP-VLBI
2003/05/20 06:55 - 10:00	NZ0140	KS34, KS11, U, Y, G, TM, TS, MZ20	IP-VLBI, RISEターミナル
2003/05/21 06:55 - 10:00	NZ0141	KS11, U	IP-VLBI, RISEターミナル
2003/05/22 06:45 - 22:00	NZ0142	KS34, KS11, U, Y, G, TM, TS, MZ20	IP-VLBI, RISEターミナル
2003/05/23 17:55 - 22:00	NZ0143	KS34, KS11, U, Y, G, TM, TS, MZ20	IP-VLBI, RISEターミナル
2003/05/27 06:25 - 09:40	NZ0147	KS34, KS11, U, Y, G, TM, TS, MZ20	IP-VLBI, RISEターミナル

観測局名: KS34: 鹿島34m, KS11: 鹿島11m, KG: 小金井11m, U: 臼田64m, Y: 山口32m, G: 岐阜11m, MZ20: 水沢10m, TS: つくば32m, MZ20: 水沢20m, MZ10: 水沢10m, A: アルゴンキン46m

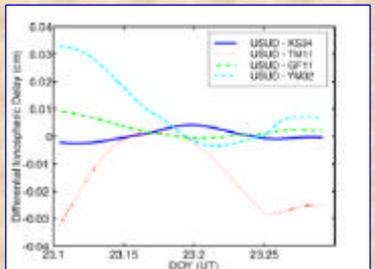
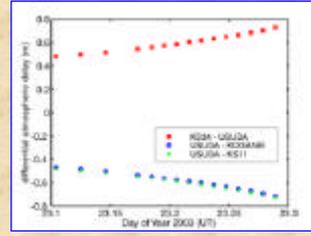
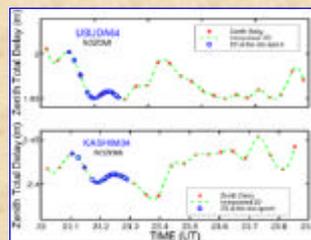


図8 ベルン大学CODE電離層情報から推定した各基線間の電離層遅延差の時間変化

図7 VLBI局近傍のGPS観測点から得られたデータで推定した大気遅延時間変化の例上: 臼田、鹿島の天頂遅延下: 基線間の大気遅延差