

第1回首都圏VLBI観測結果

鹿島宇宙通信センター
宇宙電波応用研究室
近藤哲朗
雨谷 純
小山泰弘
標準測定部
周波数時刻比較研究室
高橋富士信
吉野 泰造
今村 國康
国森 裕生

1. はじめに

平成3年度から科学技術庁は「首都圏直下の地震の予知手法の高度化に関する総合研究」を開始したが、この中で通信総合研究所はVLBI, SLR, GPSなどの宇宙測地技術を通じての貢献が求められている。そこで、首都圏における宇宙（技術を使つての）測位基準点を構築すべく国土院と協力して首都圏近傍VLBI網（その形からMetropolitan Diamond Cross VLBI Network : 以後MDXと呼ぶ）観測をスタートした。平成4年3月に第1回MDX観測を実施した。その結果を速報する。今年度はほぼ2ヶ月に1回の頻度でMDX観測を実施予定である。

2. MDX網の意義

平成3年度の段階で首都圏近傍でVLBI観測が手っとり早くできる局は鹿島（34mまたは26mアンテナ）、筑波（5mアンテナ）および小金井本所（ただし南大東島に設置してある3m小型可搬局を移設）の3ヶ所であった。この3ヶ所に鹿野山を加える事によって首都圏における地上測地網累積誤差を大幅に減少させる事が可能となる^[1]。さらに小金井ではVLBI座標系とSLRでの地球重心座標系との結合が行える。

また平成3年10月22日に開催された「首都圏における観測システムの高度化に関する研究」分科会の席上、筑波大学の小林助教授からプレートテクトニクスをやっている立場からとしてMDX網に関して以下のコメントがあった。

『関東平野の首都圏付近には北西から南東方向にかけて大規模構造があり、ひょっとすると糸魚川-静岡構造線に匹敵するかもしれない。したがってそれをまたぐような基線とそれに平行な基線、つまり、

鹿島、小金井、筑波、鹿野山

の局配置での測地はプレートテクトニクスをやっている立場としては非常におもしろい。どの程度の変位が観測されるのかはわからない。』

図1にMDX網の局配置（最終案）とおもな活断層を示す。活断層は「首都圏直下の地震予知手法の高度化に関する調査、成果報告書H3.3」より抜粋した（原図は“50万分の1活構造図「東京」：地質調査所、1982”とのこと）。この図からもプレートテクトニクスの立場からみた科学的興味が裏付けられる。また網として観測することの重要性が示唆される。すなわち北西から南東方向へ延びる多くの活断層が首都圏での大規模構造を暗示しておりMDX網はまさにそれらをまたぐ網となっている。



図1. MDX観測局配置(最終案)と活断層分布(50万分の1活構造図「東京」:地質調査所、1982を簡略化。

3. 小型局同士のVLBI

MDX網は鹿島局以外は口径5m以下の小型アンテナで構成される。現在の所鹿野山にはVLBI局がないが、通信総合研究所と国土地理院が共同で開発している口径2.4mの世界最小のVLBI局^[2]が移動して観測に参加予定である。こうしたMDX網での観測の自由度を増すためにも、また測定精度(確度)向上のためにも小口径アンテナ同士からなる基線においてもVLBI観測が成立することが望まれる。そこで小型局同士のVLBIを成立させるために必要なシステムへの要求を見積もってみることにする。

相関データから精密に遅延時間を決定するためのバンド幅合成処理がうまくいったかどうかの基準となる信号対雑音強度比(SNR)は7程度である。VLBIで観測される遅延の精度(バンド幅合成処理後)を σ_τ とすると、SNRおよび受信等価帯域幅 f_{rms} との関係は

$$\sigma_\tau = \frac{1}{2\pi f_{rms} SNR} \quad (1)$$

で与えられるからSNRを7としたとき遅延の決定精度として0.1nsを得るための等価帯域幅は、

$$f_{rms} = 227 \text{ MHz}$$

となる。

次にSNR=7を得るのに必要な電波強度について見積もってみる。1ビットサンプリング後のSNRは次式で与えられる。

$$SNR = F \frac{10^{-26} D_1 D_2}{4k} \left(\frac{\eta_1 \eta_2}{T_1 T_2} \right)^{0.5} (NBt)^{0.5} \quad (2)$$

- ここで
- k: ボルツマン定数 ($=1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)
 - F: 電波源強度 (Jy)
 - $D_{1,2}$: アンテナ直径 (m)
 - $T_{1,2}$: システム雑音温度 (K)
 - $\eta_{1,2}$: 開口効率
 - N: ビデオch数
 - B: ビデオ帯域幅 (Hz)
 - t: 積分時間 (s)

ここで表1に示される観測局の性能（Xバンド）を用いて必要電波強度と電波源の関係を見積もってみる。

表1. 各観測局のXバンドでの性能

	アンテナ径	開口効率	T _{sys}
鹿島34	34 m	56%	50 K
鹿島26	26	53	100
小金井	3	37	120
つくば(GSI)	5	70	124
鹿野山(海面変動)	2.4	55*	120*

*暫定値

5mアンテナと3mアンテナの組み合わせでch数を14、ビデオ帯域を2MHzとした場合、(2)式から

$$SNR = 0.063 F t^{0.5} \quad (3)$$

となる。したがって代表的な積分時間を300秒としてSNR=7を得るための電波源強度は6.4 Jy必要である。また3 Jyの電波源を受けてSNR=7を得るには、1370秒もの積分が必要になる。観測数がある程度稼いでなおかつ大気の影響その他によるコヒーレンスロス（ファクター2程度）も考慮すると、現実的には300秒積分で10 Jy以上の電波源が必要となる。

ところで3 Jy程度の電波源で短距離測地に使える電波星の数はある程度あると考えられるが、5m、3mの組み合わせで3 Jy程度の電波星に対して300秒積分のVLBI観測を成立させるためにはファクター3程度システムを改善する必要がある。具体的にはa). ビデオ帯域幅の拡大、b). ch数の増加、c). 開口効率のアップ（特に3mアンテナに関して）、d). システム雑音温度の低減、e). 多ビット量子化があげられる。

これらの内、a), c)が現システムの延長として実現の可能性に現実味があるが、e)もK4システム開発の流れとしては調和している。

a)とc)を当面の目標とすれば小型局同士（小金井-筑波基線）の測地VLBIを成立させるためには3mアンテナの効率をアップし、ビデオ帯域幅を8MHzに拡大すればよい。これでファクター3程度の改善が望め、データ収集装置の改造点もビデコン、K4入力インターフェースのみですむ。

さらに先をみるならやはり広帯域サンプリング（サンプリング周波数500MHz以上）を取り入れた測地VLBIシステムの構築がブレークスルーとなる。こうした広帯域を扱う場合、混信等の干渉波の影響を軽減するためにも多ビット量子化VLBI技術を開発しておかなくてはならない。

以上まとめると首都圏VLBIに限るならば小型局同士のVLBIを成立させるためのデータ取得装置への要求は当面

	現行	要求
ビデオ帯域幅	2 MHz	8 MHz
サンプリング	1 ビット量子化	1 ビット量子化
ch数	4 MHz	16 MHz
(実使用数)	16	16
データレート	(14)	(16)
	64 Mbps	256 Mbps

となる。

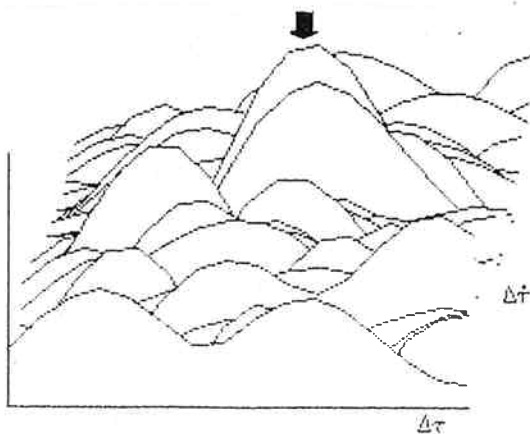
4. 第1回MDX観測結果

第1回MDX観測を国土地理院と協力して1992年3月19日に実施した。参加局は鹿島、小金井および筑波の3局である。観測は通常の測地実験スケジュールで行い、18の電波星を使用した。観測システムも現行のシステムであり特に小型局同士でのVLBIの成立を目指さなかったが、小金井-筑波基線でも1000秒以下の積分で9つの電波星でSNR>10を得る事が示された(表2および図2)。(この結果を踏まえて第2回MDX観測(H4.5.11および5.14)では通常の測地実験の他に小型局同士のVLBI観測が可能な電波星のサーベイ観測も実施した。現在解析中)

表2. 第1回MDX観測使用電波星と観測SNR。
小金井-筑波基線については1000秒積分時の
予測値も示す

電波星	100秒積分時のSNR観測値			1000秒積分時
	鹿島-小金井	鹿島-筑波	小金井-筑波	小金井-筑波
NRA0150	10.1	18.7	---	---
1803+784	11.4	20.9	---	---
0742+103	13.1	21.0	---	---
0J287	12.1	24.0	---	---
0234+285	17.9	34.1	---	---
0420-014	19.0	35.7	3.1	9.8
0607-157	20.4	38.9	2.9	9.2
3C446	22.4	39.4	---	---
NRA0530	21.4	43.6	3.1	9.8
0727-115	27.7	54.9	4.4	13.9
2134+00	35.6	62.8	3.3	10.4
0552+398	36.0	65.1	3.7	11.7
3C454.3	35.2	68.5	4.1	13.0
3C345	42.1	73.8	3.9	12.3
4C39.25	55.0	93.1	6.9	21.8
1921-293	70.2	116.9	7.5	23.7
3C84	122.2	247.6	11.9	37.6
3C273B	162.6	314.7	17.9	56.6

(1000秒積分時のSNRは積分による雑音成分の減少のみを考慮して求めた)



COARSE SEARCH FUNCTION (16x64)
AMP MAX = 3.291E-04 at (10,35)
RESIDUAL DELAY = 9.286E-08sec
FRINGE RATE = 1.349E-02Hz

図2. 小金井(3mアンテナ)-筑波(5mアンテナ)基線で得られた相関。電波星は3C273B

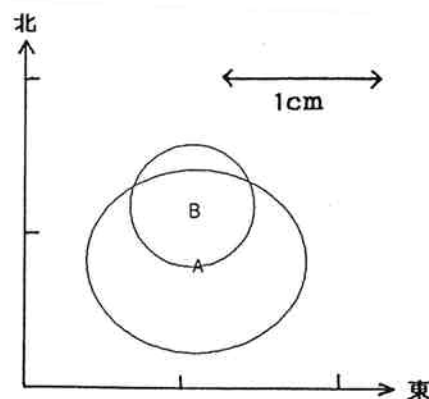


図3. 求められた小金井局位置(水平面内)。A: 1988年9月、B: 1992年3月(今回)。

基線解析で求められた小金井局位置は1988年に実施した鹿島-小金井実験で求められた小金井局位置と水平面内で1cm以内で一致した(図3)。この結果を見る限り3年半程のスパンでは小金井-鹿島間で有意な地殻変動がなかったことになるが、率直な印象として「一致しすぎている」という感じを抱かざるを得ない。VLBIでは基線解析結果に付される誤差はガウス雑音を仮定した最小二乗法でパラメータ推定をした場合の推定誤差(内部誤差)であるが、何度も観測を繰り返した場合、推定値は推定誤差以上にばらつくのが普通である。それは観測方程式に用いるモデルの不十分さの現れであり大部分は中性大気特に水蒸気成分の影響と考えられる。したがってVLBI観測により宇宙測位基準点の構築や広域地殻変動をモニターするためには時間的に密な観測をある程度の期間行う必要がある。

5. おわりに

MDX観測は始まったばかりであるが、第1回目の観測は順調に終了し、得られた小金井局位置は3年半前のVLBI観測時と水平面内の位置で1cm以内で一致した。また小金井-筑波の小型アンテナ同士でも基線解析に使用可能な相関が検出され、小型局同士のVLBIの可能性が示された。MDXは当面、2ヶ月に1回の頻度で実施し、小金井局位置を精度よく決めると同時に関東圏での広域地殻変動のモニターを行う予定である。5月には早速第2回のMDX観測を実施したがこの時、小型局同士でのVLBI成立を目指して長基線では分解されてしまっただけで観測には不向きだが強度の強い電波星の観測も行った。現在第2回観測のデータ処理中である。こうした強い電波星の使用とシステムの改良が伴えば小型局同士でもVLBI観測が可能となり、大型アンテナを含まない汎用性に富んだ観測網も構築できる。

参考文献

- [1] 高橋、今村、国森、近藤、「首都圏直下の地震予知手法の高度化研究へのCRLの参加」、第437回共通研究談話会資料、1991年9月。
- [2] 栗原、高橋、金子、「可搬型VLBI局用2.4mφアンテナ受信系の特性」、第444回共通研究談話会資料、1992年5月。