

単周波数帯VLBIの 電離層補正について——その5

関東支所第3宇宙通信研究室 雨谷 純、近藤哲朗、浜 真一

1. はじめに

3研では、小型軽量で移設実験が容易な超小型VLBI局を開発し、昭和63年度に日本各地で測位実験を行った。しかし超小型VLBI局に装備されているのはXバンド受信系のみで、通常のVLBI実験で行われているSX2周波受信による電離層遅延差の補正はできない。そこで通信総合研究所の電波観測所で測定されている電離層データをもとに電離層遅延差の補正を行った。電離層遅延差の補正方法については談話会ですでに述べたが^{(1)~(3)}、本報告ではこの補正法について、2周波受信法との比較、超小型VLBI局沖縄移動実験⁽⁴⁾に適用した結果について報告する。

2. 電離層観測データを用いた電離層遅延差の補正

補正は、foF2観測値⁽⁵⁾を用いる方法と、衛星電波のファラデー回転観測データを用いる方法の2種類を試みた(表1)。foF2法では、電離層等価層厚を考慮する必要があるが、この等価層厚のモデルとしてAFCRLモデルを用いた。電離層観測点間の電離層状態の補間は、foF2法では電離層観測局が多い事からfoF2データを表すコンターを球面の一部で近似して補間する方法⁽³⁾と、地方時の補正をせずに緯度方向のみ4次式で近似する方法⁽²⁾の2つについて、またファラデー回転法では、データを入手した観測局が2局(沖縄実験は3局)のみだったので緯度方向の1次補間(または外挿。小金井以北は小金井の値で一定とした)と地方時の補正を行う方法について検討を行った。

3. 2周波受信法との比較

電離層補正方法の妥当性を検証するために、建設省国土地理院移動局の宮崎移動実験(宮崎-鹿島基線)で得られた2周波受信法の結果との比較を行った。宮崎移動実験はVEGA-Mシリーズとして86年10月と88年10月にそれぞれ2回づつ行われた。このうち86年の2回は太陽活動周期の谷間に近く電離層遅延差の絶対値が非常に小さいので、今回は88年の2回(VEGA-M3およびVEGA-M4)に付いて解析を行った。VEGA-M3は電離層の荒れている時に、M4は静穏な時に行われている。

図1に各補正方法の比較を示す。一般に磁気緯度の低い宮崎の方が電離層遅延量は大きいので τ_{SX} (2周波受信法による電離層遅延差の直接測定値)は正になる時間率が大きい。電離層が荒れていたM3の時は太陽が東方にある午前中 τ_{SX} が負になっている。

各補正方法を比較すると、方法1では、低仰角における推定の誤りは比較的少ないが、方法2と比べて全体にばらつきが大きい。これは電離層観測点(VLBI観測点に近い)近傍で4次式近似の方が、球面近似よりも良くfoF2を再現したためである。方法2は最も良く τ_{SX} と一致しているが、それでも低仰角で τ_{SX} との差が大きくなることもある。M3では τ_{SX} が負の時にTECを過大に、正の時に過小に評価しており、かなり強い負の相関が見られる(右端の図)。すなわち電離層遅延差の絶対値が過小に見積られているが、この傾向はfoF2を使った補正ではM3、M4共に共通して見られる。これはAFCRLモデルによる等価層厚が実際より小さく評価されるためと考えられる。少なくともM3に関しては、等価層厚を正しく評価する事によりかなり推定精度が改善されると考えられる。方法3は観測点が少なく1次式で緯度方向に近似しているため、仰角が低いところで τ_{SX} と大きくずれている。特にVEGA-M4では東方で電離層遅延差を過大に、西方で過小に評価している。すなわち外挿領域にあたる鹿島東方と宮崎西方でTECの見積を誤ったと考えられる。

図2にそれぞれの方法を用いて電離層遅延差を補正し基線解析を行った結果を示す。解析条件は、電離層補正以外は全て同じである。いずれの方法も電離層補正をまったく行わない場合の位置と比べ、2周波受信法による補正を行った結果(最も真実に近いと考えられる位置)と同じ方向に動いている事が分かる。M4において方法3による結果が大きくずれているが、M3ではかなり一致しており、推定誤差も小さい。方法1、方法2はM3、M4ともに大きくずれる事はない。特にM3においては方法2による結果の推定誤差は2周波受信法による結果とほぼ同じになっている。

4. 沖縄実験の電離層補正

今年2月に行なわれた超小型VLBI局の沖縄移動実験(単周波数帯VLBI実験)の電離層遅延差補正に各方法を適用した結果について述べる。各方法による電離層遅延差の補正をして基線解析を行った結果を図3に示す。残差、推定誤差共に方法3による補正を施したものが1番良くなった。これは宮崎実験ではファラデー回転法によるTECデータが小金井と山川の2局しか得られなかったのに対し、沖縄の観測データが加わり3観測所のデータが得られた事により補間の精度が向上したためと考えられる。方法1と2は、foF2からTECに変換する段階で誤差が生じた可能性が高い。

5. 結論

foF2法は、全国5観測局のデータが容易に入手できるため、球面近似の様な高度な補間法が可能でありその適用範囲も広いが、電離層厚の推定でモデルを用いる必要がある事から誤差を生じやすい。一方、ファラデー回転法はより直接的に全電子数が得られるが、ファラデー回転データからTECに換算するのにかなりの手間を要するため、多くの観測局のデータを用いて精度良く電離層観測点間の電離層の状態を推定する事はむずかしい。

単周波数帯でのVLBI実験の電離層遅延差の補正は、5観測局のfoF2データを用い球面近似により観測点間の補間を行い、ファラデー回転データや2周波GPS等から得られるTEC直接測定値を基に等価層厚を見積ってTECに換算するのが良いと思われる。

なお、ファラデー回転から換算したTECデータは、情報管理部の皆越さんに提供していただきました。感謝いたします。

参考文献

- 1) 近藤他、「単周波数帯VLBIの電離層補正について」、第408回研究談話会資料、1989 4/27
- 2) 近藤他、「 " その2」、第410回研究談話会資料、1989 6/29
- 3) 近藤他、「 " その3」、第412回研究談話会資料、1989 7/27
- 4) 雨谷他、「超小型VLBI局の移動実験その3」、第410回研究談話会資料、1989 6/29
- 5) CRL, "Ionospheric DATA in JAPAN"

表1 使用した電離層遅延補正方法

	使用データ	観測局	補間方法	
			緯度方向	地方時
方法1	foF2	稚内、秋田、小金井 山川、沖縄	球面近似	
方法2	foF2	稚内、秋田、小金井 山川、沖縄	4次式	なし
方法3	ファラデー回転 によるTEC	小金井、山川、沖縄* (* 沖縄実験のみ)	1次式	あり

表2 各補正方法を行った時の遅延時間残差の比較

実験	電離層補正	遅延時間残差
宮崎実験 '88 10/6 (VEGA-M3)	なし	0.249 nsec
	2周波受信法	0.236 nsec
	方法1	0.246 nsec
	方法2	0.216 nsec
	方法3	0.203 nsec
宮崎実験 '88 10/12 (VEGA-M4)	なし	0.141 nsec
	2周波受信法	0.129 nsec
	方法1	0.176 nsec
	方法2	0.203 nsec
	方法3	0.197 nsec
沖縄実験 '89 2/3	なし	0.244 nsec
	方法1	0.185 nsec
	方法2	0.261 nsec
	方法3	0.134 nsec

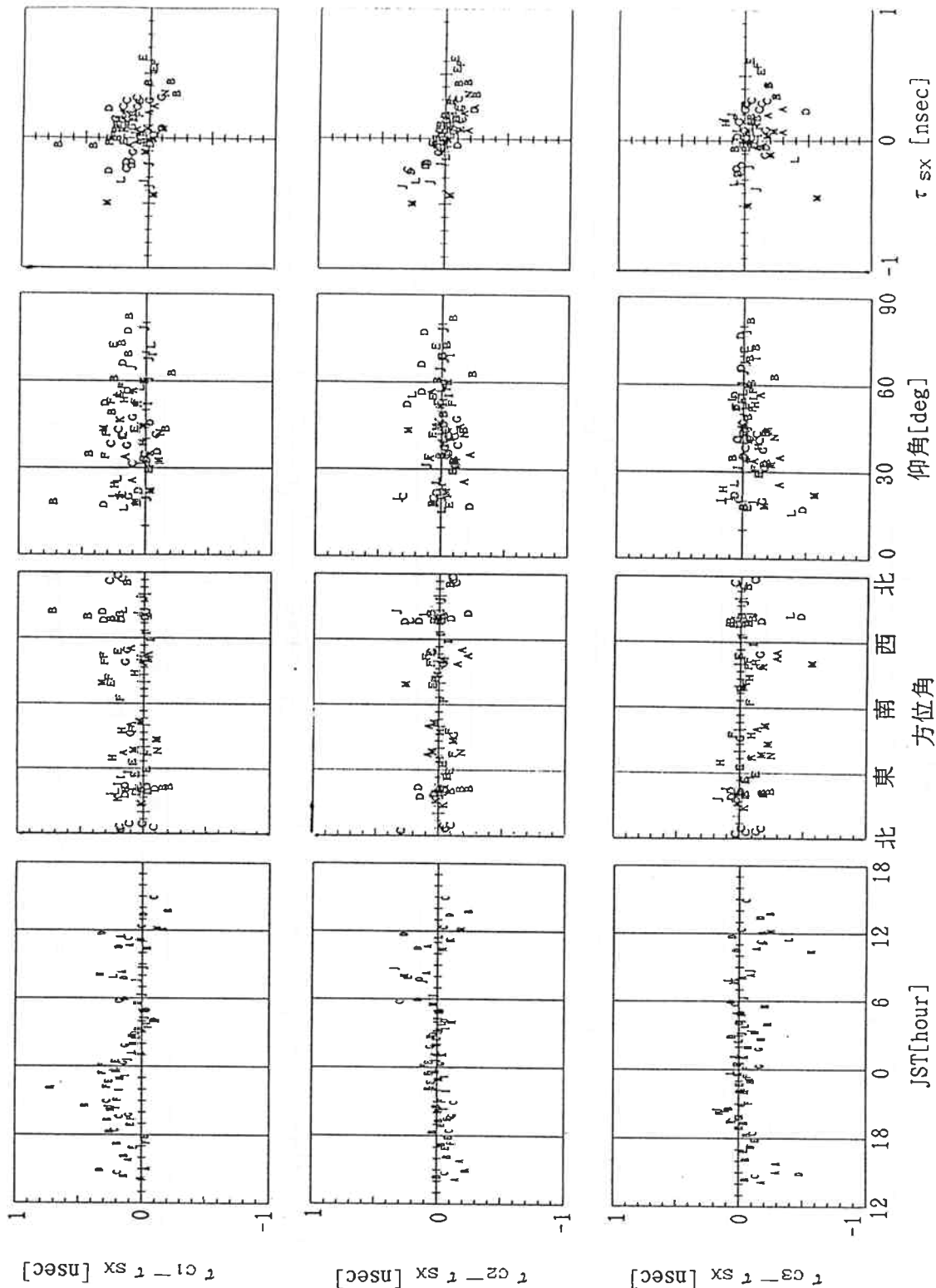


図1-A VEGA-M3 宮崎実験 '88 10/6

図1 τ_{sx} の時間変化(左)。各補正方法による電離層遅延差(宮崎における電離層遅延量-鹿島における電離層遅延量)の推定値 τ_c と2周波受信法による電離層遅延差直接測定値 τ_{sx} の差(左から時間変化、方位角依存性、仰角依存性、 τ_{sx} との比較)。方位角仰角は宮崎観測点から見た値。上段から補正方法1、2、3。図中のアルファベットは左下

- A 4C39.25
- B 3C273B
- C 3C279
- D 3C345
- E 1548+056
- F 1803+784
- G 2134+004
- H 2145+067
- I 2216-038
- J 3C454.3
- K 0106+013
- L 0234+285
- M 3C84
- N NRAO150
- O 0552+398
- P 0727-115

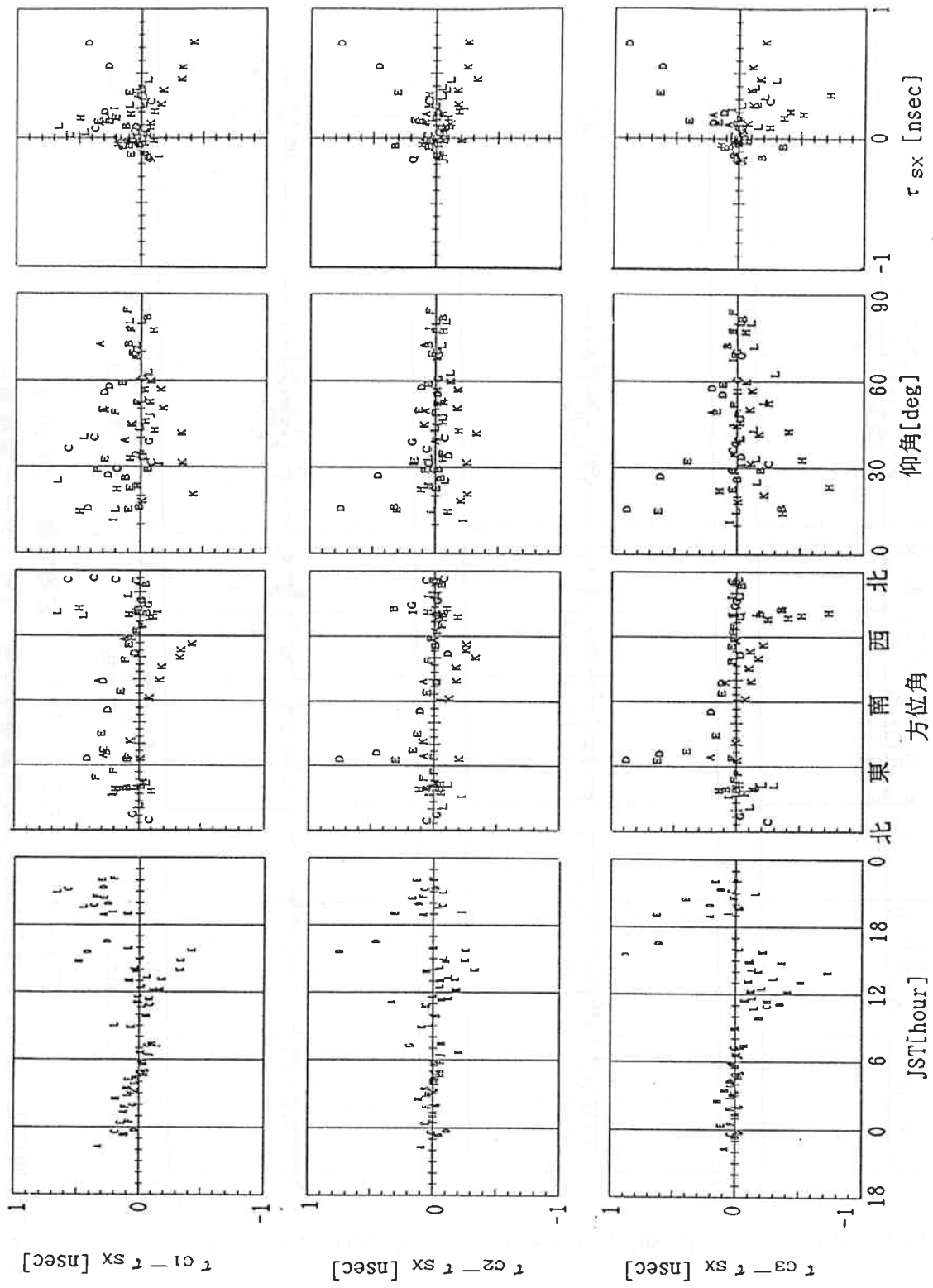
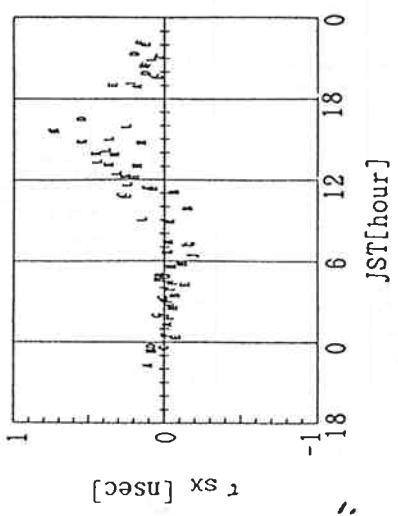


图 1-B VEGA-M4 宮崎実験 '88 10/12



- A 1803+784
- B 2145+067
- C 3C454.3
- D 2216-038
- E 0106+013
- F 0234+285
- G 3C84
- H 2134+004
- I NRAO150
- J 0552+398
- K 0727-115
- L 4C39.25
- M 3C273B
- N 3C279
- O 3C345
- P 1548+056

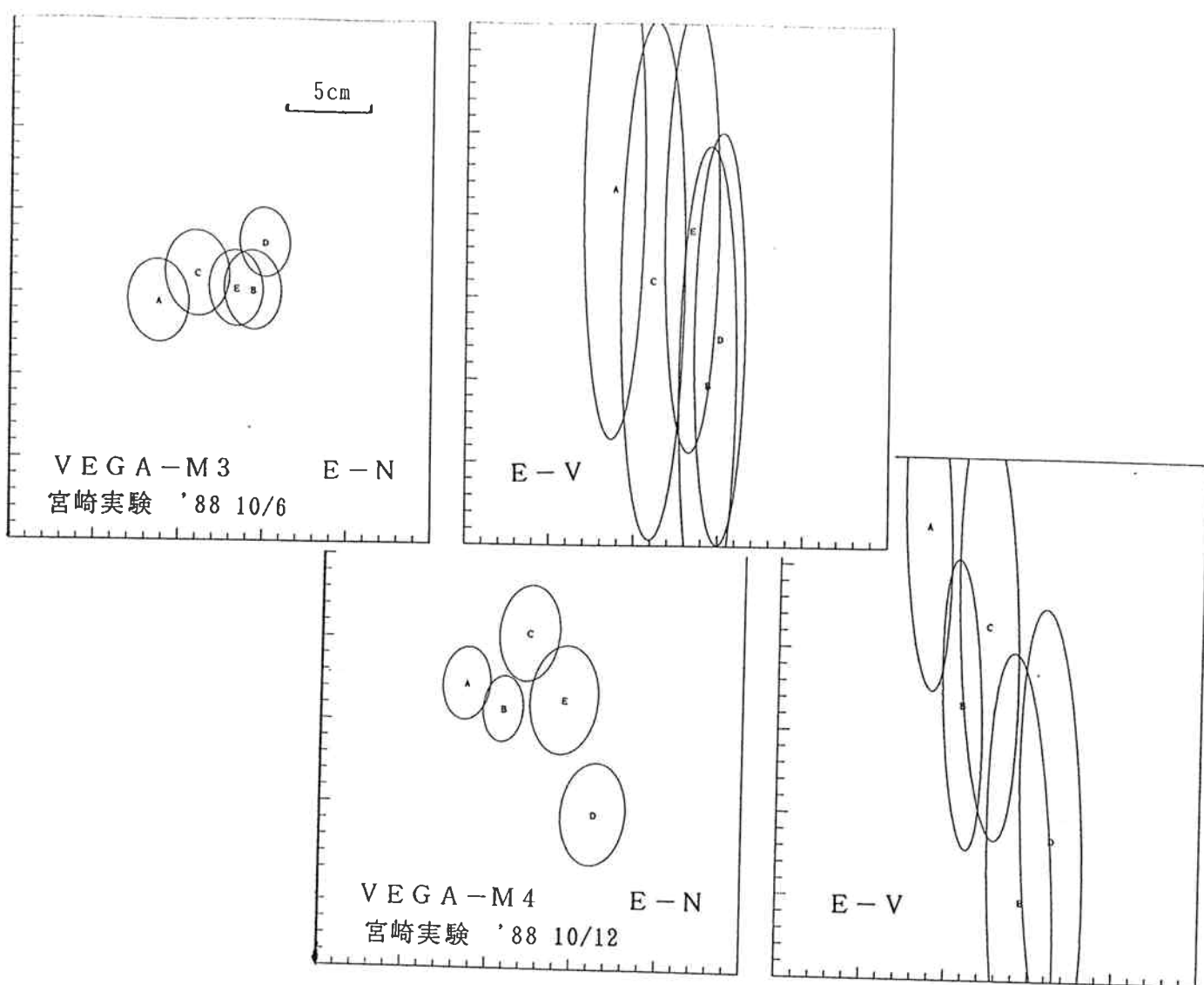


図2 各補正法による電離層遅延差補正をして基線解析を行って得た宮崎局の相対位置。
 A: 電離層補正なし B: 2周波受信法 C: 方法1 E: 方法2 D: 方法3
 左図: 水平成分 (図の右方が東、図の上方が北)
 右図: 鉛直成分 (図の右方が東、図の上方が上)

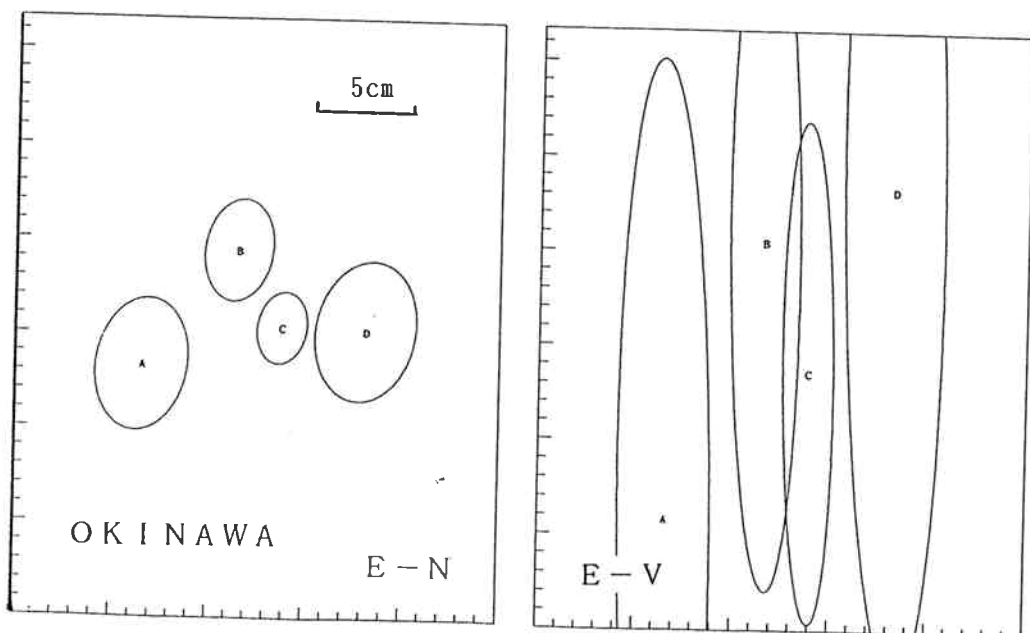


図3 各補正法による電離層遅延差補正をして基線解析を行って得た沖縄局の相対位置。
 A: 電離層補正なし B: 方法1 D: 方法2 C: 方法3
 左図: 水平成分 (図の右方が東、図の上方が北)
 右図: 鉛直成分 (図の右方が東、図の上方が上)