

8. VLBI (長基線干渉計) 実験報告 その1

(1) 日米共同実験の成果

近藤哲朗* 河野宣之** 高橋幸雄* 日置幸介* 川口則幸* 吉野泰造*
 杉本裕二* 黒岩博司* 浜 真一* 国森裕生* 雨谷 純* 栗原則幸*
 木内 等* 金子明弘* 高橋富士信***

1. はじめに

電波研究所では昭和54年度からK-3VLBIシステムを開発してきた。このシステムは米国で地殻力学計画 (Crustal Dynamics Project : CDP)⁽¹⁰⁾ 用に開発されたMark-III VLBIシステムと互換性のあるシステムである。昭和58年11月には、両システムの互換性確認の為に試験観測を行った。この観測は、我が国初の大陸間VLBI観測であったが、日米両局で取られたデータから予測どおりの相関を検出できたばかりでなく、鹿島局の位置も推定できた。この試験観測の成功により、昭和59年1月、2月には24時間連続観測を行う信頼性確認実験 (システムレベル実験) を行い、K-3VLBIシステムの高信頼性を実証した。同年7月からは米国NASAの地殻力学計画のVLBI実験に参加している。この計画の主な目的は地震予知につながるプレート運動の実測であり、その他極運動、UT1といった地球自転運動の精密測定も目的としている。

測地目的のVLBI実験では何十億光年もかなたにある準星 (Quasar) からの電波を2周波数帯 (8GHz帯と2GHz帯) で受信する。1回の観測は数分間であるが、電波源を次々と切り替えながら

24時間以上にわたって観測が行われる。従って1実験には数百回の観測が含まれていることになる。VLBIで観測する量は、観測ごとの2局への電波の到達時間差 (遅延時間) とその変化率 (遅延時間変化率) 及び相関強度であるが、N局参加の実験ではこれ

表1 日米共同VLBI実験 (1984.1-1985.12)

実験名	開始時刻(UT) YYMMDDHH	終了時刻 YYMMDDHH	テープ数 巻数/局	参加局
SLE-1	84012300	84012400	48	KAS-MOJ
SLE-2	84022418	84022518	34	KAS-MOJ-HAT
WPAC-1	84072809	84073014	66	KAS-MOJ-KWA-KAU-GIL
WPAC-2	84080406	84080614	66	KAS-MOJ-KWA-KAU-GIL
POLAR-1	84083006	84083112	30	KAS-MOJ-HAY-WET-GIL-ONS
POLAR-2	84090206	84090312	30	KAS-MOJ-HAY-WET-GIL-ONS
NPAC-1	85051520	85051620	30	KAS-MOJ-HAT-KAU-VAN-GIL
POLAR-1	85061920	85062102	30	KAS-MOJ-WST-WET-GIL-ONS
EPAC-1	85070806	85070800	49	KAS-MOJ-KWA-KAU-GIL-VAN
WPAC-1	85072018	85072212	50	KAS-MOJ-KWA-KAU-GIL-VAN
EPAC-2	85072718	85072912	49	KAS-MOJ-KWA-KAU-GIL-VAN
WPAC-2	85081006	85081200	52	KAS-MOJ-KWA-KAU-GIL-VAN
NPAC-2	85093000	85100100	30	KAS-MOJ-HAT-KAU-VAN-GIL
POLAR-2	85112120	85112302	30	KAS-MOJ-WST-WET-GIL-ONS

SLE : システムレベル実験

KAS : 鹿島

KWA : クワジェリン

HAY : ヘイスタック

MOJ : モハービ

KAU : カウアイ

WET : ウェッツェル

HAT : ハットクリーク

GIL : ギルクリーク

ONS : オンサラ

VAN : バンデンバーグ

WST : ウェストフォード

*鹿島支所 **標準測定部 ***電波応用部

らの観測値の組が $N \times 2$ (観測数) 得られる。この観測値と物理モデルから計算される予測値との差を最小にする重みつき最小二乗法により、目的に応じたパラメータ (例えば基線ベクトル、地球回転パラメータ、時計パラメータ) を推定するのである。この推定方法についての詳細はここでは述べないが、文献 (1)、(2) に詳しく述べられているので参考にさせていただきたい。

先にも述べたが本格的な実験は昨年 (昭和 59 年) から開始され、今年も既に 5 回の日米実験が行われている。本報告ではまず実験の概要及び解析方法について簡単に述べる。更に、この実験の目的の一つであるプレート運動検出の原理の簡単な紹介も行う。実験結果は主に昨年の実験について述べるが、今年行われた実験についても速報する。

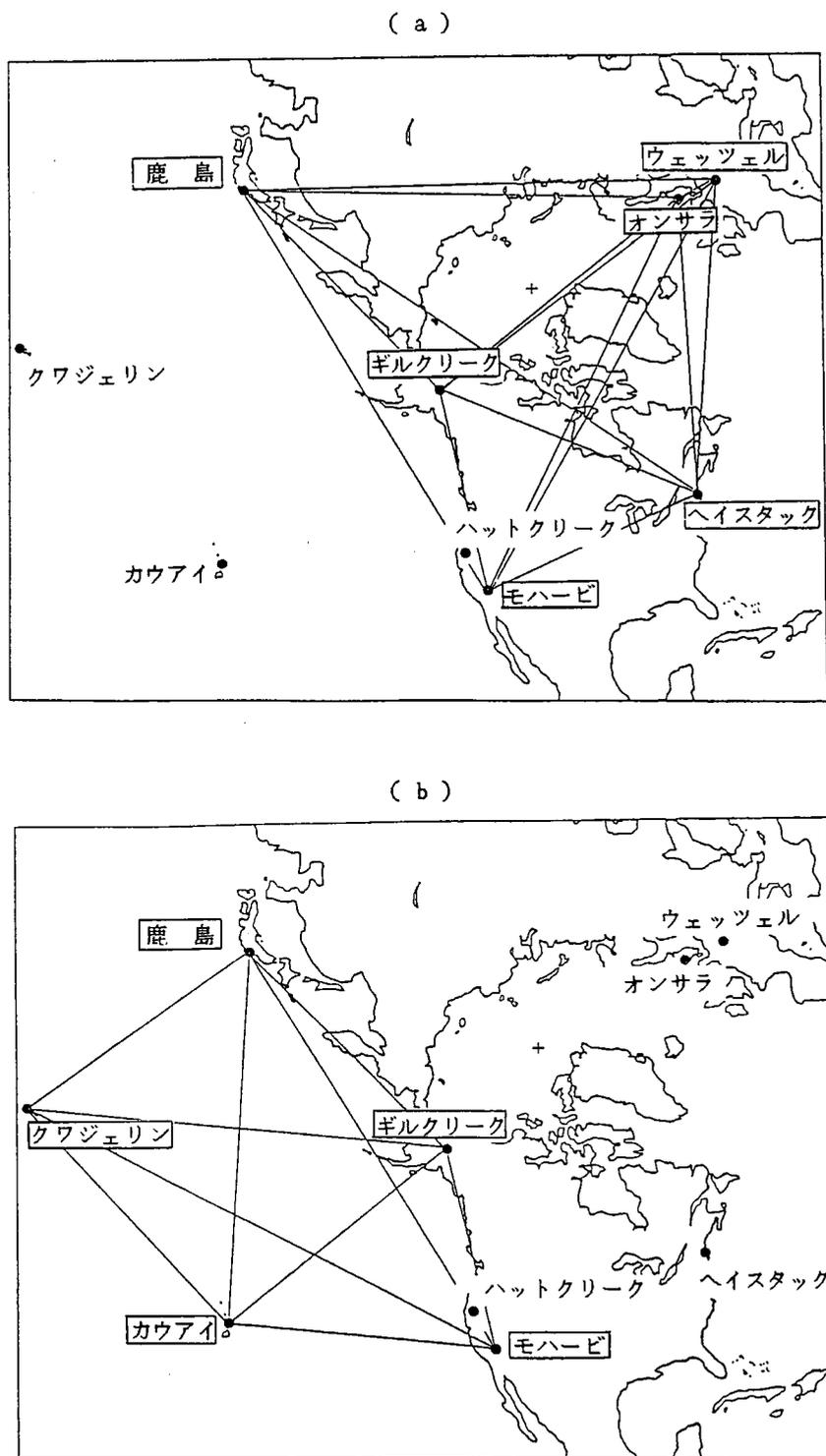


図 1 日米 VLBI 実験参加局配置
 (a) POLAR 実験 (1984) の局配置
 (b) PACIFIC 実験 (1984) の局配置

2. 実験の概要

実験には目的に応じた名前がつけられている。例えば、極運動、UT1を測定しようという目的の実験はPOLAR（極）実験、太平洋プレート運動を測定する目的の実験はPACIFIC（太平洋）実験と呼ばれている。PACIFIC実験は参加局及び観測スケジュール（後述）によって、東、西、北の三種類からなり、それぞれEPAC、WPAC、NPAC実験と呼ぶ。表1に地殻力学計画に基づいて行われた実験のうち鹿島が参加したものを示す（2回のシステムレベル実験及び予定を含む）。それぞれの実験の参加局の位置を図1に示すが、POLAR実験では北極を取り囲むように、またPACIFIC実験では太平洋を取り囲むように局が配置されている。いずれにしても鹿島が重要な位置を占めていることは図から明らかであろう。測地目的のVLBI実験では、電波源として非常に遠方（数十億光年）にあり地球からはほとんど点状にしか見えない準星を用いる。現在VLBI観測に使用されている準星を表2に示す。各局で記録された磁気テープを持ち寄り相関処理を行うが、相関処理後のSNRは

$$SNR = L \cdot \rho_0 \cdot \sqrt{2BT}$$

で与えられる。ここでLは処理過程での損失係数、 ρ_0 は相関強度、Bは信号帯域幅、Tは積分時間である。相関強度は2局での電波源のアンテナ受信等価雑音温度を T_A 、 T'_A とシステム雑音温度をそれぞれ T_S 、 T'_S とすると、

$$\rho_0 = \sqrt{\frac{T_A T'_A}{T_S T'_S}}$$

で計算される。SNRが大きい程、遅延時間及び遅延時間変化率の決定精度が向上する。逆にこれらの式から電波源の強度、システム雑音温度等が既知であれば、遅延時間を精度よく決定するために必要な積分時間を見積もることができる。実際の実験においても、この条件から一電波源当たりの観測時間を決めている。その観測時間は90秒から360秒程度であり

次々と準星を切り替えながら、1時間につき5、6回の観測を行う。通常の実験目的の実験では、このような観測を24時間以上行う。ちなみに電波源からの信号を記録する磁気テープ（1インチ巾×9200フィート長、重さ6kg）の数は1実験1局当たり30巻以上となる。

表2 VLBI実験に使用する準星

準星名 IAU名	別名	赤経 (J2000.0)			赤緯		
		H	M	S	D	M	S
0106+013		1	8	38.77111	1	35	.3206
0212+735		2	17	30.81312	73	49	32.6226
0224+671	4C67.05	2	28	50.05157	67	21	3.0307
0229+131		2	31	45.89407	13	22	54.7186
0234+285		2	37	52.40567	28	48	8.9917
0235+164		2	38	38.93006	16	36	59.2783
0300+470		3	3	35.24215	47	16	16.2776
0355+508	NRAO150	3	59	29.74724	50	57	50.1631
0420-014		4	23	15.80089	-1	20	33.0611
0528+134		5	30	56.41674	13	31	55.1510
0552+398		5	55	30.80560	39	48	49.1665
0742+103		7	45	33.05954	10	11	12.6899
0851+202	OJ287	8	54	48.87491	20	6	30.6418
0923+392	4C39.25	9	27	3.01389	39	2	20.8524
1144+402		11	46	58.29797	39	58	34.3073
1226+023	3C273B	12	29	6.6997	2	3	8.5994
1235-055	3C279	12	56	11.16652	-5	47	21.5244
1354+195		13	57	4.43661	19	19	7.3736
1404+286	OQ208	14	7	.39437	28	27	14.6891
1418+546		14	19	46.59706	13	20	23.6864
1502+106		15	4	24.97973	10	29	39.1957
1548+056		15	50	35.26917	5	27	10.4472
1637+574		16	38	13.45625	57	20	23.9790
1642+690		16	42	7.84825	68	56	39.7564
1641+399	3C345	16	42	58.80989	39	48	36.9942
1741-038		17	43	58.85609	-3	50	4.6141
1749+096		17	51	32.81846	9	39	.7315
1803+784		18	0	45.68383	78	28	4.0178
1928+738		19	27	48.49164	73	58	1.5724
2134+004	2134+00	21	36	38.58631	0	41	54.2157
2145+067		21	48	5.45859	6	57	38.6058
2200+420	VR422201	22	2	43.29128	42	16	39.9809
2216-038		22	18	52.03772	-3	35	36.8769
2251+158	3C454.3	22	53	57.74788	16	8	53.5630

さて、どの準星をどのような順序で観測するか（観測スケジュールと呼ぶ）は、解析の際の可観測性に影響し、VLBI実験において、重要なテーマの一つである。推定しようとするパラメータが他のパラメータから分離されるような観測スケジュールが望ましい。⁽³⁾

このスケジュール作成には、相互可視域（2局から同時に電波源が見える領域）が物理的に避けられない要因であるが、その後の具体的スケジュール作成には多分に経験的な要素が加わっている。最近は最適スケジュールリング理論を取り入れ、自動的にスケジュール作成を行おうという動きもでてきている。⁽⁴⁾ 実際の観測スケジュール例を図2に示す。この図は観測する準星とその時刻を示しているが、POLAR実験では地球回転パラメータを精密に測定するために、すべての準星を1日

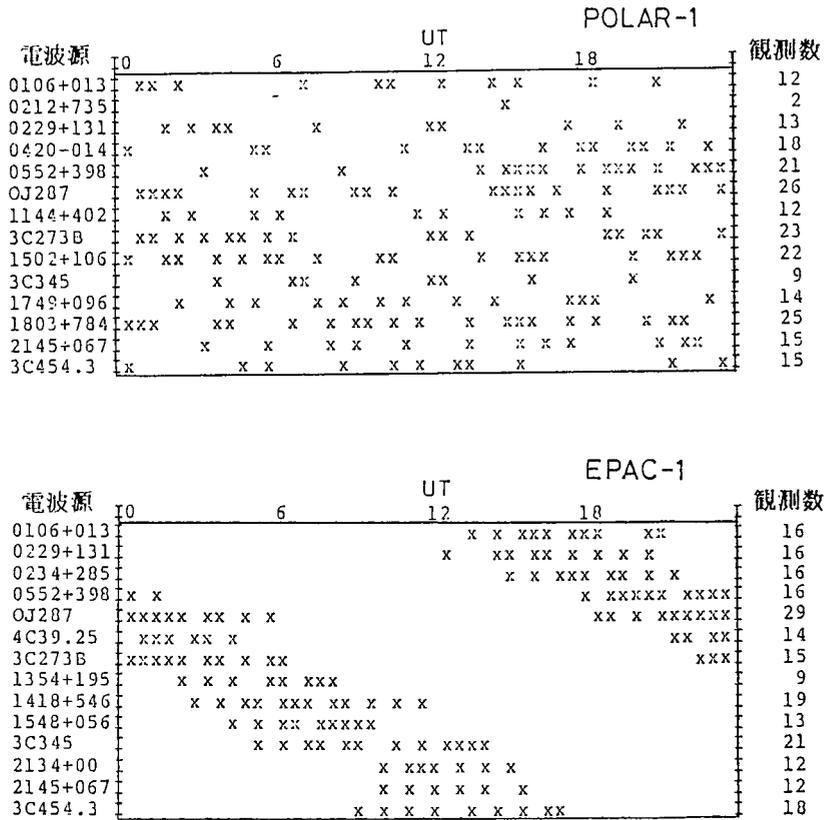


図2 観測スケジュール例

中観測するようなスケジュールを、PACIFIC実験では相互可視域が限られるため、見えてくる準星を順に観測するようなスケジュールが用いられている。

実験終了後、観測テープは相関処理局に集められる。現在稼働中の処理局は、ヘイスタック（米国）、鹿島、ボン（西独）の3局である。日米共同実験で得られたデータは、ヘイスタックと鹿島で相関処理を分担した。鹿島で相関処理を行ったのは、昨年2回のシステムレベル実験（SLE1,2）及びWPAC2と今年のNPAC1である。基線長推定などの解析作業は日米両グループで独立に行われた。

解析には、遅延時間及び遅延時間変化率の観測値（O）と予測値（C）の残差（O - C）を用いて、観測方程式を線形化した重みつき最小二乗法が用いられる。⁽¹⁾⁽²⁾ 遅延時間及び遅延時間変化率の予測値を計算するには、準星の方向を示す単位ベクトル（ \vec{s} ）及び観測局間の基線ベクトル（ \vec{B} ）が必要である。この両ベクトルの内積から遅延時間は

$$\tau = -(\vec{B} \cdot \vec{s}) / c \quad c: \text{光速}$$

で計算される。遅延時間変化率はこの遅延時間の時間微分として求まる。VLBI実験ではそれぞれの観測における遅延時間は0.1nsec以上の高精度で決定されるため、予測値計算においても、この精度に影響を及ぼす物理効果はすべて取り入れ

ておかなくてはならない。これらの物理効果の詳細は文献(5)を参照していただくことにして、ここでは予測値計算の流れを簡単に説明しておく。我々の解析システムではすべての座標系はJ2000年系と呼ぶ太陽慣性系で統一している。この座標系は原点を太陽系重心にとり、J2000.0年での平均春分点をX軸、天の極をZ軸それと右手系をなすようにY軸を定義した座標系であり、時間は力学時(TDB)が用いられる。準星の位置は既にJ2000年系で表わされているが、太陽近傍を通過して

表3 局位置の予測値(VLBI座標系)

局名	X (m)	Y (m)	Z (m)
モハービ	-2356169.15	-4646756.83	3668471.22
鹿島	-3997894.93	3276580.09	3724115.46
カウアイ	-5543844.50	-2054565.70	2387814.29
クワジェリン	-6143535.36	1363995.57	1034707.89
ギルクリーク	-2281544.915	-1453645.749	5756994.220
ヘイスタック	1492406.691	-4457267.330	4296882.102
ウェツェル	4075541.906	931734.189	4801629.393
ハットクリーク	-2523968.05	-4123507.27	4147753.18
オンサラ(60)	3370608.0893	711916.4485	5349830.8416

くる電波源に対しては相対論的重力効果の補正を行っている。基線ベクトルは以下の手順で地球固定座標系から太陽慣性系へ変換を行う。地球固定座標系で表わされた局位置(表3)に対して、地球潮汐、海洋潮汐負荷といった、地球変形による変位を補正する。こうして得られた基線ベクトルに対して地球回転パラメータ(地球日周運動、章動、歳差、極運動、UT1)による座標変換を行い、太陽慣性系での基線ベクトルを得る。この両ベクトルの内積から得られる遅延時間は太陽慣性系での力学時に基づく遅延時間であるが、VLBIで観測される遅延時間は各局の原子時(TAI)に基づ

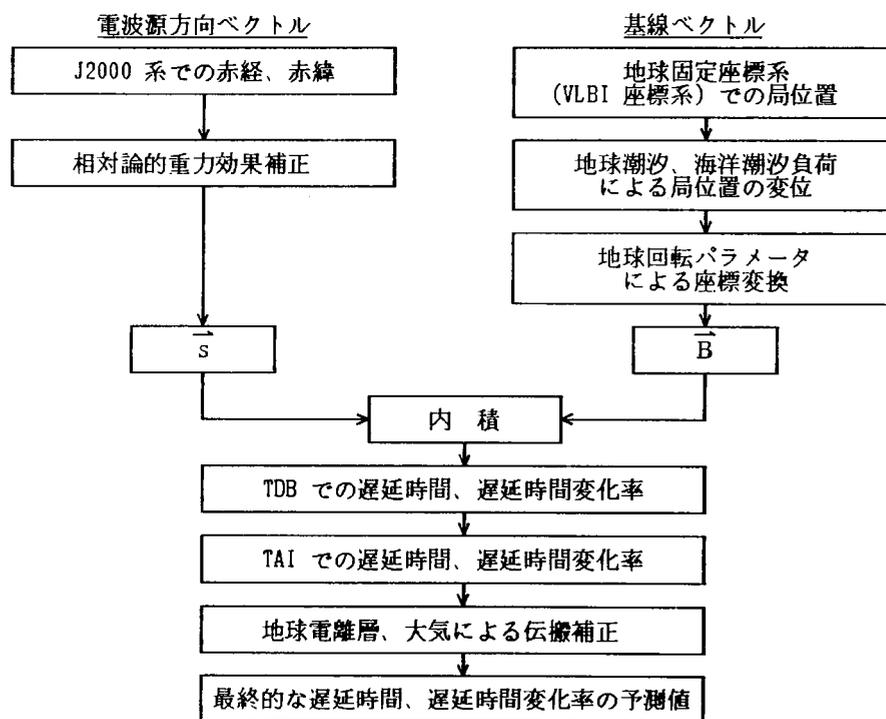


図3 予測値計算手順

いた遅延時間であるため、TDBからTAIへの時系の変換を行う。こうして計算された遅延時間に、地球電離層及び大気での伝搬遅延を補正したものが予測値となる。遅延時間変化率も同様の方法で計算される。これらの手順を図3にまとめてお

く。さて地球固定座標系としてVLBI座標系を用いているが、この座標系は米国のVLBIグループが現在までのVLBI実験結果をもとにヘイスタック局を基準とし、1980年10月7日のBIHデータ(Circular D)の地球回転パラメータにより定義された座標系であり、VLBI実験ではこの座標系で局位置を表わすのが一般的である。ところで鹿島局の予測位置としては、国土地理院によって地上測量で得られた日本測地座標系(Bessel座標系)での値 (x_B, y_B, z_B) ⁽⁶⁾をVLBI座標系での (x_V, y_V, z_V) に変換して用いている。座標変換式を以下に示しておくが、この変換式は、Bessel座標系をWGS72座標系に変換し、さらにVLBI座標系に変換することによって得られる。

$$\begin{pmatrix} x_V \\ y_V \\ z_V \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_V \cos \theta_V & \alpha_V \sin \theta_V & 0 & \alpha_V (\Delta X_B \cos \theta_V + \Delta Y_B \sin \theta_V) \\ -\alpha_V \sin \theta_V & \alpha_V \cos \theta_V & 0 & \alpha_V (-\Delta X_B \sin \theta_V + \Delta Y_B \cos \theta_V) \\ 0 & 0 & \alpha_V & \alpha_V \Delta Z_B + \Delta Z_V \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \\ 1 \end{pmatrix}$$

ここで、 ΔX_B 、 ΔY_B 、 ΔZ_B はBessel系とWGS72系の原点のオフセット(WGS72-Bessel)であり、 θ_V 、 α_V 、 ΔZ_V はWGS72系からVLBI座標系への変換でのZ軸まわりの回転、スケールファクタおよびZ軸方向への平行移動量を表わし、それらの値は次の通りである。

$$\Delta X_B = -140.0 \text{ m}$$

$$\Delta Y_B = 516.0 \text{ m}$$

$$\Delta Z_B = 673.0 \text{ m}$$

$$\theta_V = -0.54''$$

$$\alpha_V = 1 + 0.3263 \times 10^{-6}$$

$$\Delta Z_V = 4.0 \text{ m}$$

3. プレート運動検出の原理

プレートテクトニクス(Plate Tectonics)によれば、地球表面は10個程度のプレートと呼ばれる厚さ100km程度の硬い岩板で覆われていて、それぞれのプレートは剛体として水平運動をしている(図4参照)。そして、それぞれのプレートの相互運動が、巨大地震の原因になっていると考えられている。さて、球面上の剛体の変位は球の中心を通る軸まわりの回転で表現でき、その軸と球面の交点をオイラー(Euler)極と呼ぶ。したがって各プレートの動きはこのオイラー極と回転角速度で一意的に表現できる。プレートの相対運動はプレート境界のトランスフォーム断層の向きや地震の際のスリップベクトルの方向および海洋底に残されている地磁気縞模様によって見積もることができる。プレートの絶対運動を見積もることは困難であるが、例えばホットスポット仮説——ハワイ列島はマントル深部のマグマ源(ホットスポット)の上をプレートが運動したために生じた火山の連なりであるという考え——を用いて、ホットスポットが静止していると考え各プレートの絶対運動を決定するということが行われている。⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾ いずれにせよ、各プレートのオ

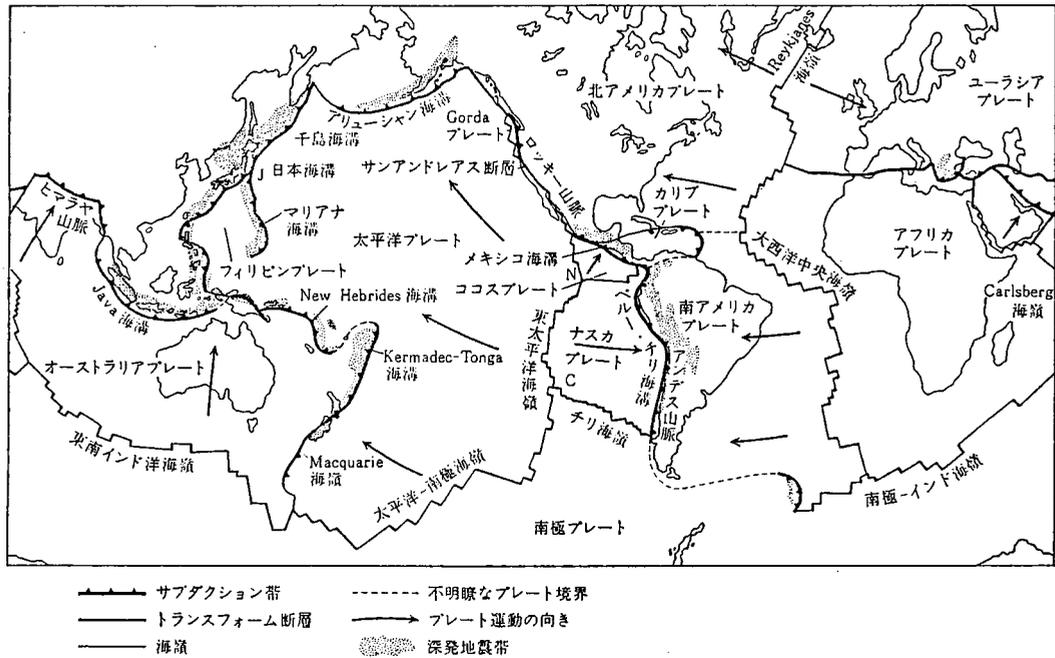


図4 世界のプレート分布 (文献(7) から引用)

イラー極と角速度がわかれば、2地点間の距離の変化、すなわち基線長の変化を予測できる。いま、点 (x, y, z) がオイラー極 (緯度 θ 、経度 ϕ) のまわりに角度 α 回転し点 (x', y', z') に移動したとき、この変換は次式で与えられる。⁽⁸⁾

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

変換マトリクスの各成分は、

$$\begin{aligned} A_{11} &= \cos^2 \theta \cos^2 \phi (1 - \cos \alpha) + \cos \alpha \\ A_{12} &= \cos^2 \theta \cos \phi \sin \phi (1 - \cos \alpha) - \sin \theta \sin \alpha \\ A_{13} &= \cos \theta \sin \theta \cos \phi (1 - \cos \alpha) + \cos \theta \sin \phi \sin \alpha \\ A_{21} &= \cos^2 \theta \cos \phi \sin \phi (1 - \cos \alpha) + \sin \theta \sin \alpha \\ A_{22} &= \cos^2 \theta \sin^2 \phi (1 - \cos \alpha) + \cos \alpha \\ A_{23} &= \cos \theta \sin \theta \sin \phi (1 - \cos \alpha) - \cos \theta \cos \phi \sin \alpha \\ A_{31} &= \cos \theta \sin \theta \cos \phi (1 - \cos \alpha) - \cos \theta \sin \phi \sin \alpha \\ A_{32} &= \cos \theta \sin \theta \sin \phi (1 - \cos \alpha) + \cos \theta \cos \phi \sin \alpha \\ A_{33} &= \sin^2 \theta (1 - \cos \alpha) + \cos \alpha \end{aligned}$$

である。一年間の基線長の変化を計算するには、オイラー極と一年当たりの回転角から実際の局位置の変化を求め、基線長を変換前と比較すればよい。プレート運動のモデルとして Minster & Jordan (1978)⁽⁹⁾ によって求められたオイラー極と回転角速度 (表4参照) を用いて、北米プレートと太平洋プレート間で各局間の一年当たりの基線長変化を求めた (図5)。ここでは鹿島は北米プレート上にあるという仮

説⁽¹²⁾⁽¹³⁾を採用している。図6には鹿島と太平洋プレート、ユーラシアプレート、オーストラリアプレート上の各地点との距離の一年当たりの変化をコンターで示した。これらの図で負の値は距離が短くなることを意味している。例えば、鹿島とカウアイ（ハワイ）間では年間約8cmずつ基線長が短くなることが期待される。もしプレート運動が定常的であるとするならばVLBIの基線長決定精度3cmから考

表4 プレート絶対運動

(各プレートのオイラー極と角速度)

プレート名	緯度 θ (° N)	経度 ϕ (° E)	角速度 ω (deg/m.y.)
アフリカ	18.76	-21.76	0.139
南極	21.85	75.55	0.054
アラブ	27.29	-3.94	0.388
カリブ	-42.80	66.75	0.129
ココス	21.89	-115.71	1.422
ユーラシア	0.70	-23.19	0.038
オーストラリア	19.23	35.64	0.716
ナスカ	47.99	-93.81	0.585
北米	-58.31	-40.67	0.247
太平洋	-61.66	97.19	0.967
南米	-82.28	75.67	0.285

(Minster & Jordan, 1978)

えて、十分に検出しうる変位である。逆に観測された基線長の変化からプレート運動速度を求める立場にたった場合、その測定誤差は次式で与えられるが、⁽¹⁰⁾

$$\sigma_v = \frac{\sigma_B}{T} \left\{ \frac{12 \frac{T}{\Delta t}}{\left(1 + \frac{T}{\Delta t}\right)\left(2 + \frac{T}{\Delta t}\right)} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

ここで σ_v : 基線長変化率の測定誤差

σ_B : 基線長の測定誤差

Δt : 測定を行う時間間隔

T : 最初の測定から最後の測定までの時間

$\sigma_B = 3 \text{ cm}$ 、 $\Delta t = T = 1 \text{ 年}$ とすると $\sigma_v = 4.24 \text{ cm/年}$ となり、変化率としても十分検出可能と考えられる。有意な基線長の変化が観測されなかった場合には、プレート運動は定常的ではないことになる。

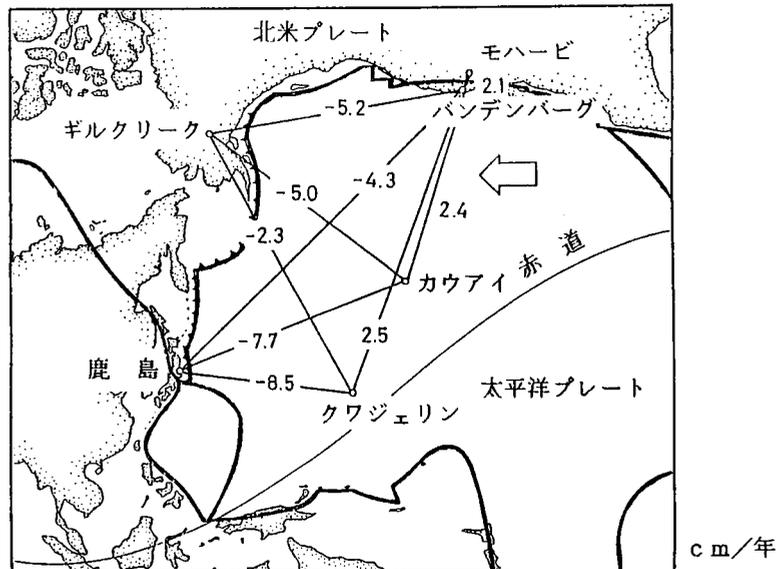


図5 基線長変化率予測値。矢印は北米プレートに対する太平洋プレートの動きを示す。

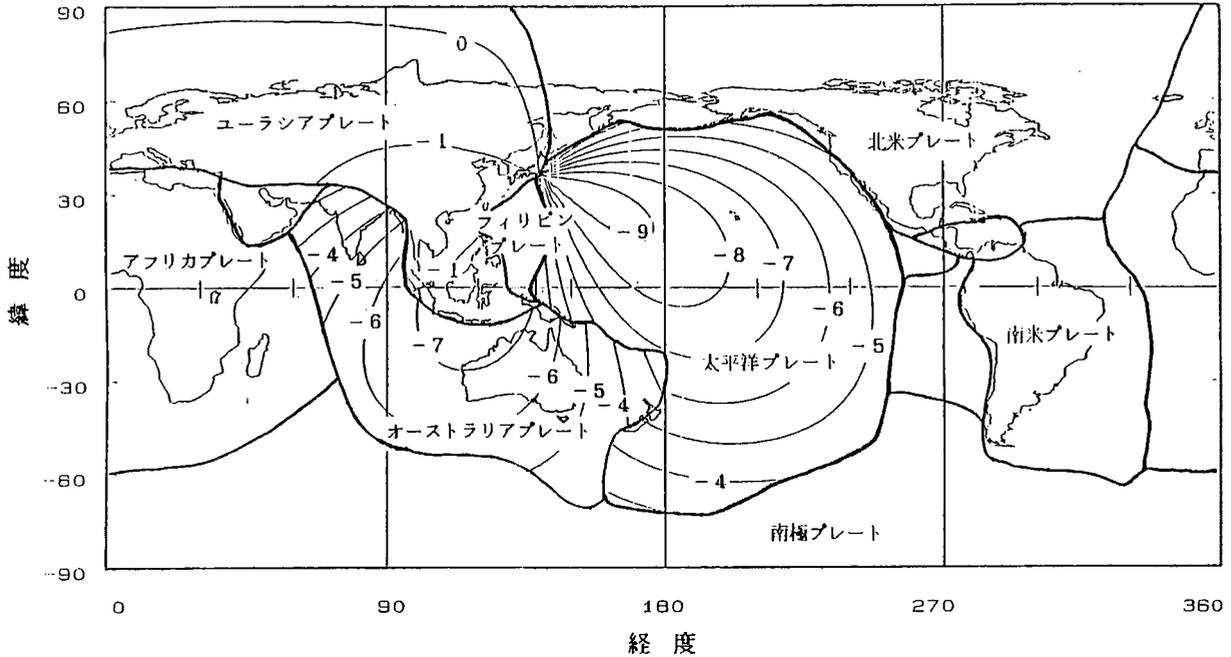


図 6 鹿島と太平洋プレート、ユーラシアプレート、オーストラリアプレート間の距離変化予測値。コンターは一年間の距離変化をcmで表わす。

4. 実験結果

昨年（昭和59年）に実施した実験の解析結果（局位置の推定）を表5に示す。表中、実験名をWPAC1-1, 1-2のように示しているところは、一つの実験を前半と後半の二つにわけて解析したことを意味する。この解析では地球回転パラメータとしてIRIS (International Radio Interferometric Surveying) データを用いた。このデータはVLBIによる定常観測によって決定されている地球回転パラメータであるが、5日ごとのデータであるため実験当日における値は内挿値を用いた。特に、UT1の内挿には以下に述べる方法を用いて、内挿の精度をあげた。まず5日ごとのIRIS UT1データから、理論的に計算した地球潮汐による短周期項（ここではYoderのテーブル⁽¹¹⁾の35日周期以下の項を用いた）を差し引いた後、実験当日のUT1を内挿する。この内挿はもはや短周期変動のなくなったデータを用いるので、内挿の方法によらず精度のよい内挿が可能である。こうして得られた内挿値に、今度は短周期項の理論値を加えてやる。このような内挿方法を用いることによって、局位置を推定した場合の実験ごとのばらつきを小さくすることができた。局位置推定はモハービ局の位置を既知として行った。なお、WPAC1実験時におけるIRISデータのY成分はBIHデータを用いているため、VLBIデータだけを用いて求められた場合に比べ信頼性は低くなっている。大気伝搬補正は予測値としてMariniモデル⁽⁵⁾を用い、さらに推定も行った。ただし、WPAC2-1とPOLAR1データでは気象データの不備な局があったため、大気にはChaoのモデル⁽⁵⁾を用い細かく推定することで対処した。

表 5 日米 V L B I 実験 (1984) によって推定された局位置 (モハービを既知局とする)

鹿 島

実験名(1984)	X-成分(m)	Y-成分(m)	Z-成分(m)
SLE1	-3997890.60±0.03	3276580.29±0.02	3724118.78±0.03
SLE2	-3997890.41±0.02	3276580.34±0.02	3724118.72±0.02
WPAC1-1	-3997890.87±0.03	3276580.28±0.02	3724119.10±0.03
WPAC1-2	-3997890.78±0.03	3276580.34±0.02	3724118.93±0.03
WPAC2-1	-3997890.45±0.03	3276580.34±0.02	3724118.74±0.03
WPAC2-2	-3997890.50±0.03	3276580.33±0.02	3724118.67±0.03
POLAR1	-3997890.63±0.03	3276580.39±0.02	3724118.92±0.02
POLAR2	-3997890.57±0.02	3276580.31±0.02	3724118.85±0.03
平均値	-3997890.60±0.16	3276580.33±0.03	3724118.84±0.14

カウアイ

実験名(1984)	X-成分(m)	Y-成分(m)	Z-成分(m)
WPAC1-1	-5543844.45±0.03	-2054565.47±0.02	2387814.51±0.02
WPAC1-2	-5543844.40±0.02	-2054565.43±0.02	2387814.44±0.02
WPAC2-1	-5543844.19±0.02	-2054565.30±0.02	2387814.29±0.02
WPAC2-2	-5543844.26±0.03	-2054565.36±0.02	2387814.27±0.03
平均値	-5543844.33±0.12	-2054565.39±0.08	2387814.38±0.12

クワジェリン

実験名(1984)	X-成分(m)	Y-成分(m)	Z-成分(m)
WPAC1-1	-6143535.15±0.05	1363995.85±0.02	1034708.12±0.03
WPAC1-2	-6143535.21±0.04	1363995.93±0.02	1034708.03±0.03
WPAC2-1	-6143534.76±0.04	1363995.99±0.02	1034707.81±0.03
WPAC2-2	-6143534.99±0.04	1363995.96±0.02	1034707.77±0.03
平均値	-6143535.03±0.20	1363995.93±0.06	1034707.93±0.17

ギルクリーク

実験名(1984)	X-成分(m)	Y-成分(m)	Z-成分(m)
WPAC1-2	-2281545.27±0.02	-1453645.89±0.02	5756993.80±0.02
WPAC2-1	-2281545.18±0.03	-1453645.88±0.02	5756993.72±0.04
WPAC2-2	-2281545.23±0.03	-1453645.90±0.02	5756993.75±0.04
POLAR1	-2281545.21±0.01	-1453645.89±0.02	5756993.76±0.04
POLAR2	-2281545.19±0.01	-1453645.91±0.02	5756993.75±0.03
平均値	-2281545.22±0.04	-1453645.89±0.01	5756993.76±0.03

我々の行った解析結果とGSFCグループが行った解析結果の比較を図7に示す。この図は鹿島の位置の推定結果の比較であるが、白丸は我々の行った解析結果で黒丸はGSFCグループの解析結果を示している。添字のS、W、P、Mはそれぞれシステムレベル実験、WPAC実験、POLAR

実験及び平均値を意味する。それぞれの座標は表3で与えられた予測値からの差を示す。推定されたX、Y、Zに食い違いが見られるが、これは使用している地球回転パラメータが異なるためである。ところで両グループの解析結果ともX成分のばらつきが大きい(標準偏差 ~ 20 cm)が、これは鹿島と他局間の基線がY軸にほぼ平行なため、地球回転パラメータの誤差が特に鹿島のX成分に大きく影響するためである。我々は先にも述べたが、地球回転パラメータとして現在、最も信頼のあるIRISデータを用いているためBIHデータを用いているGSFCグループよりもばらつきが小さくなっている。さて地球回転パラメータの違いは座標変換だけの問題なので、基線長には影響しないはずである。実際に鹿島

ーモハービ間の基線長の推定結果は我々とGSFCグループとの間に非常によい一致がみられ、約8000 kmという長基線にもかかわらずその差は1 cm以内であった(図8)。

昨年の実験で決定されたすべての基線長を表6にまとめておくが、この表で示される基線長が、プレート運動検出の出発点となる。すなわち、これからの実験でこの基線長がどう変化するかプレート運動検出の決め手となるのである。

今年も既に数回の実験が行われ、現在その解析作業が進行中である。図8にも見られるが、同じシーズンの実験においてもPOLAR1(図中P1で示されている)実験の

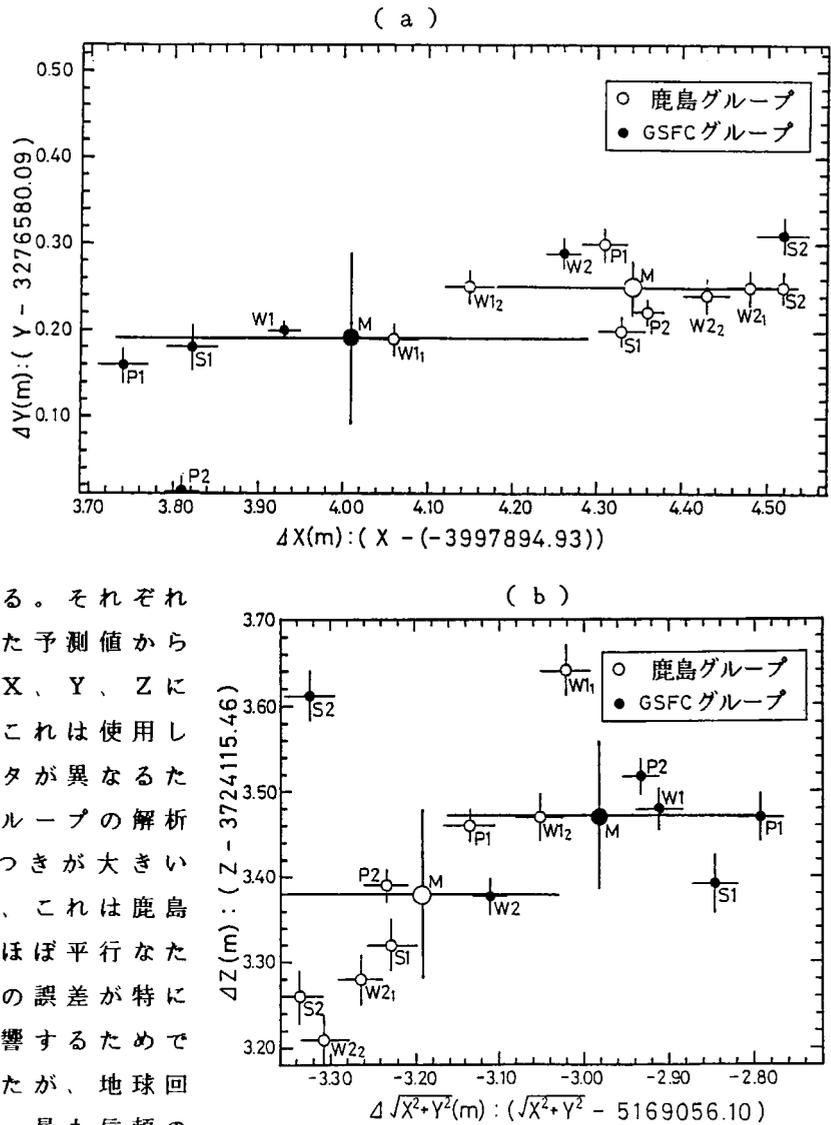


図7 鹿島局位置推定結果。

(a) X成分及びY成分の予測値からのずれ

(b) 水平成分及び垂直(Z)成分の予測値からのずれ

の解析結果のように基線長が数cm異なって求められる例がある。これは実際に基線長が変化していたのではなく、観測時に取得したデータの品質の影響だと思われる（この原因の詳細は現在検討中である）。こうした例からも分かるが、一回だけの実験結果から、プレート運動が実際に検出できたかどうかの議論を行うには大きな危険が伴うため、何回かの実験全体から、判断をしなければならぬ。そのため、今年

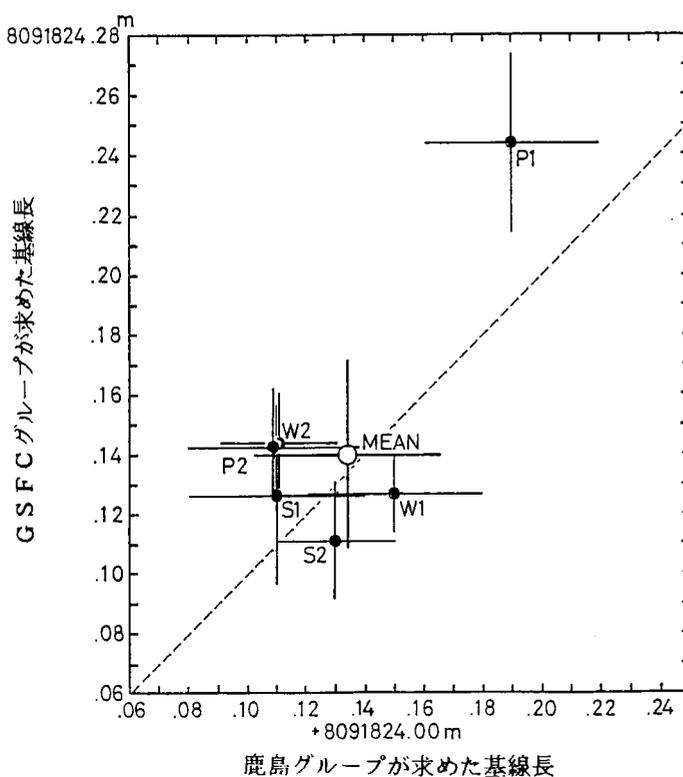


図8 鹿島-モハービ基線長解析結果の比較。

表6 日米VLBI実験(1984)によって求められた基線長

基線名	基線長 (m)	実験名(1984)
鹿島 - モハービ	8091824.13 ± 0.04	SLE1, SLE2, WPAC1, WPAC2, POLAR1, POLAR2
* 鹿島 - カウアイ	5709360.48 ± 0.04	WPAC1, WPAC2
* 鹿島 - クワジェリン	3936330.78 ± 0.04	WPAC1, WPAC2
鹿島 - ギルクリーク	5427104.40 ± 0.02	WPAC1, WPAC2, POLAR1, POLAR2
鹿島 - ヘイスタック	9501780.07 ± 0.05	POLAR1, POLAR2
鹿島 - ウェッツェル	8475827.14 ± 0.04	POLAR1, POLAR2
* モハービ - カウアイ	4303581.24 ± 0.02	WPAC1, WPAC2
* モハービ - クワジェリン	7576938.57 ± 0.06	WPAC1, WPAC2
モハービ - ギルクリーク	3816209.19 ± 0.02	WPAC1, WPAC2
モハービ - ヘイスタック	3904144.28 ± 0.01	POLAR1, POLAR2
モハービ - ウェッツェル	8588976.48 ± 0.03	POLAR1, POLAR2
カウアイ - クワジェリン	3725196.31 ± 0.04	WPAC1, WPAC2
* カウアイ - ギルクリーク	4728114.79 ± 0.03	WPAC1, WPAC2
ギルクリーク - ヘイスタック	5039482.23 ± 0.01	POLAR1, POLAR2
ギルクリーク - ウェッツェル	6856771.52 ± 0.02	POLAR1, POLAR2
ヘイスタック - ウェッツェル	5997390.80 ± 0.04	POLAR1, POLAR2
クワジェリン - ギルクリーク	6719676.67 ± 0.08	WPAC1, WPAC2

* : プレート運動検出に適した基線

行った実験の現時点（昭和60年9月）での基線解析結果を図9に示すが、この結果からプレート運動の検出について議論することは早急であり、今年行われた他の実験結果とも合わせて議論する必要がある。

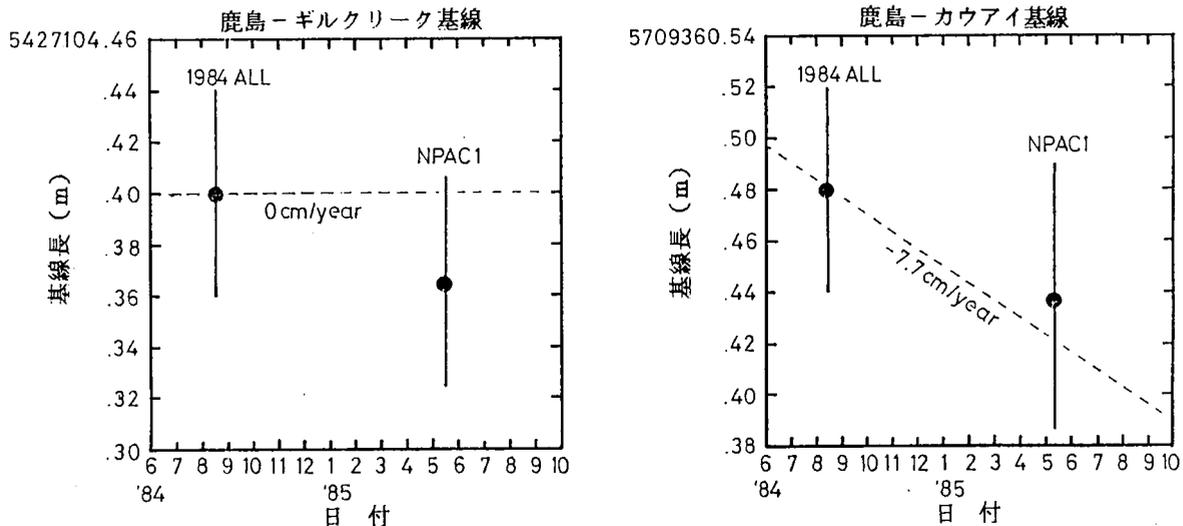


図9 日米VLBI実験(1985)結果速報。点線は予測値を示す。

5. おわりに

以上、昭和59年から本格的にスタートした日米VLBI実験の結果について、主にプレート運動検出の立場から、基線長解析結果に重点をおいて述べてきた。昨年行った実験によって、鹿島と海外各局間の基線長を約3cmの誤差で決定することができ、プレート運動検出の下地ができあがった。今年以降に行われる実験によって、早ければ今年中にもプレート運動が検出できるかもしれない。今回の報告には今年行った実験の十分な解析が間に合わなかったため、プレート運動検出に対しての議論はできなかったが、次の機会には、プレートが動いたのか、そうでないかをはっきりと報告できるものと確信している。ただ1、2年の観測でプレート運動の全貌を把握できるものではなく、今後、VLBIによる実測を継続していくことが大切である。

最後に、日米VLBI実験の遂行にあたり、御協力頂いたNASA/GSFCの担当の方々のご努力に感謝致します。また、鹿島アンテナ位置の地上測量において、御尽力頂いた建設省国土地理院の方々、及びソフトウェアの開発において御協力頂いた文部省緯度観測所の関係者に深謝します。

参考文献

- (1) 高橋富士信、吉野泰造「IV-6 パラメータ推定ソフトウェア(KLEAR)」
電波季、Vol.30、特1、pp.295-309,1984
- (2) Y.Takahashi,K.Koike,T.Yoshino,and S.Manabe,"An Analysis of the Baseline Determination between Japan and U.S. Stations by using the VLBI

- Data in the System-Level Experiments", J. Radio Res. Lab., Vol.32, No.136, pp.99-122,1985.
- (3) 川瀬成一郎「VLBIにおける天文・測地パラメータ推定の可観測性評価」電波季, Vol.26, No.137, pp.479-484,1980
 - (4) 吉野泰造、小池国正「IV-7 スケジュール作成ソフトウェア(KASER)」電波季, Vol.30, 特1, pp.311-320,1984
 - (5) 高橋幸雄、真鍋盛二「IV-5 アプリオリモデル計算ソフトウェア(KAPRI)」電波季, Vol.30, 特1, pp.263-293,1984
 - (6) S.Matuzaka, T.Saito, and Y.Baba, "The First Geodetic VLBI Experiment in Japan -- Comparison of the Results by VLBI with Those by Conventional Method --", Proceedings of the Symposium on Relativistic Framework and New Techniques in Astrometry and Geodesy, pp.361-366, 1984.
 - (7) 上田誠也、水谷 仁編「岩波講座 地球科学 1 地球」、岩波書店、1978
 - (8) 上田誠也、小林和男、佐藤任弘、斉藤常正編「岩波講座 地球科学 11 変動する地球 II -海洋底-」、岩波書店、1979
 - (9) J.B.Minster and T.H. Jordan, "Present-Day Plate Motions", J. Geophys. Res., Vol.83, pp.5331-5354, 1978.
 - (10) R.J.Coates, H.Frey, G.D.Mead, and J.M.Bosworth, "Space-Age Geodesy : The NASA Crustal Dynamics Project", IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing Vol.GE-23, No.4, PP.360-368, 1985.
 - (11) C.F.Yoder, J.G.Williams, and M.E.Parke, "Tidal Variations of Earth Rotation", J. Geophys. Res., Vol.86, No.B2, pp.881-891, 1981.
 - (12) 小林洋二「プレート”沈み込み”の始まり」、月刊地球、Vol.3, pp.510-518, 1983.
 - (13) 中村一明「日本海東縁新生海溝の可能性」、地震研究所彙報, Vol.58, pp.711-722, 1983.