

19. 光波測距儀の同時比較観測 (AGA 8 型, AGA 700 型, 及び K & E レンジマスター III 型)

東京大学地震研究所	{	松	本	滋	夫
		平	田	安	広
東京大学地震研究所 富士川地殻変動観測所	{	加	藤	照	之
		渡	辺		茂

(昭和58年4月28日受理)

1. ま え が き

地震研究所では1963年以来、地殻変動連続観測と測地測量の基線長のギャップを埋める目的で、光波測距儀 (Geodimeter) を用いた基線測量による地殻変動の研究が進められてきた (笠原・岡田, 1966; 笠原ら, 1968, 1969, 1970; 岡田ら, 1969; 地震研究所, 1977 など). 測距には、タングステン電球を用いた AGA 社製 IV 型を手始めに、水銀灯を用いた同社 VI 型をへて、現在は中距離基線 (8~20 km) 用に AGA 社製 8 型及び短距離用 (3~6 km) に同社製 700 型 (いずれも He-Ne レーザーを使用) が用いられている。

この 8 型と 700 型について、機種の違いによる測距結果の差を調査する為に、1979年3月に地震研地下の基線 (約 55 m) 及び油壺観測所基線 (約 3 km) においてそれぞれ一昼夜にわたる繰り返し観測を行なった。又、1982年11月に新型の測距儀 K & E 社製レンジマスター III 型を導入したのをきっかけとして、3 機種同時比較観測を行なった。これら一連の比較観測の結果について報告し、機種による測距結果の差の大きさ及びそれを生ずる原因について考察しようというのが本報告の主な目的である。又、上記 3 機種を用いて行なった三浦基線網、富士川河口基線網における比較観測の結果についても報告する。

1. 光波測距儀の諸性能及び測定方法

第 1 表は光波測距儀の 3 機種について諸性能を比較したものである。前節でも述べたように 8 型は主に中距離基線の測距に、700 型は短距離基線の測距にそれぞれ用いられてきた。8 型は国土地理院の一等三角網の測量にも用いられ長距離の測定には大変すぐれた能力をもっているが、読み取りがレゾルバー式の為距離が直読できず、測定時間も長いなどの欠点がある。一方 700 型はマイクロプロセッサを内蔵している為、距離が直読できるようになっている。又測定時間も 8 型に比べて短く、観測能率がよい点が評価できるが、出力が小さい為最大測定距離が約 5 km と短く、観測が気象条件に左右されることが多い。

第1表 測距儀諸元一覧表

	AGA 8型	AGA 700型	K&E R/MⅢ型
光源	He-Neガスレーザー (632.8 nm)		
分解能	1 mm		
精度	$\pm (5 + 1 \text{ ppm} \times D) \text{ mm}$ (D:測線長)		
発光出力	5 mW	1 mW	2.2 mW
測距範囲	< 60 km	< 5 km	< 60 km
読み取り方式	レゾルバー方式	8桁デジタル表示	8桁デジタル表示
消費電力	12V 6~7A	12V	12V 5A
測定時間/測線	50~80分	30~40分	15~30分
本体重量	23 kg	14.2 kg	18 kg

後に述べるが富士川河口基線網では約 6 km の測線を 9 素子の反射プリズムを用いて 700 型で測距を行なっているが、感度の低下により距離が長めに出ているおそれがある。レンジマスター III 型はこの 8 型、700 型の双方の長所を合わせてもつすぐれた測距儀である。これら 3 機種はいずれも $\pm [5 + 1 \times 10^{-6} \cdot D] \text{ mm}$ (D は基線距離で単位は mm) 程度の精度をもっている。8 型、700 型の旧式化に伴い、今後は各基線共、比較観測を行ないつつレンジマスター III 型による観測へ移行する予定である。この為の基礎資料を得ようというのも本研究のねらいの一つである。

観測に際して、誤差を小さくするにはできるだけ多くの繰り返し測距を行なって平均を求めるとよいが、一方観測能率を高め、気象（特に気温）に起因する誤差を最小限にするにはできるだけすばやく測距を行なう必要がある。これらの相反する条件を考慮して、各測距儀による各測線の測距方法は以下のように定められている。

8 型： 3 種の変調周波数につきそれぞれ C (キャリブレーション) 測定, R (反射点) 測定を行ない、これを 1 セットとし、距離計算及び気象等の補正を行なう。これを 5 回行ない、5 セットの平均を最終結果とする。

700 型： キャリブレーションを行なった後反射点にレーザー光を入れることにより、測定パネル上に距離が 8 桁のデジタルで表示される。これを 5 秒おきに 49 回 (4 分間) 読み取って平均値を求め、気象等の補正を行なう。これを 5 回繰り返し行ない、5 セットの平均を最終結果とする。

レンジマスター III 型 (写真 1 参照)： キャリブレーションを行なった後反射点にレーザー光を入れる。スイッチを押すことにより、6 秒間に 1 回の割合で距離がパネル上に表示される。これを 10 回読み取って平均値を求め、気象等の補正を行なう。以上を 5 回繰り返し、5 セットの平均を最終結果とする。

以上のような方法により、レンジマスター III 型では 8 型に比べ 1 測線あたりの観測時

間が $1/3 \sim 1/4$ に短縮されている。これらの測距の方法についての詳細や測距原理については他に述べられているし、本報告の主旨ではないので割愛させて頂く。

2. 8型, 700型による昼夜比較測定

測距儀の基本的特性や機種間の差及び測距技術の向上を図ることを目的とした測定が1979年3月に行なわれた。測距儀は8型と700型を使用し、地震研地下室の基線(約55m)及び油壺地殻変動観測所新庁舎(1976年落成)に設けられた基準点と岩堂山間をむすぶ約3kmの基線についてそれぞれ一昼夜にわたる観測が行なわれた。電源はいずれも12.0Vの直流安定化電源を用い、周波数カウンターを用いて周波数をチェックしつつ測定を行なった。

まず、地震研地下室の基線において、3月7日午後から翌日の午後まで700型による測距が行なわれた。この基線は器械定数の検定を行なうために1967年に設置されたもので設置後たびたび測定が行なわれている(第2表)。今回は4名の測定者が適宜交代しつつおよそ2時間毎に測定を行なった。この間電源電圧を故意に変化させる、40分間の連続読み取りを行なうなどいくつかの実験を交えつつ測定が行なわれた。測定結果を第1図に示す。総計16回の測定が行なわれたが、そのうち実験的に測定条件を変えたものを除く12回の平均値は55.008mであった(表2)。

次に8型による測定が3月8日、9日の2日間にわたって行なわれた。測定は計8回行なわれ、その平均は55.015mであった(第1図及び表2)。終了後測定条件を変えるなどの実験も行なった。

この地震研地下で行なった測定は実験的なものであり、又測定時間も一昼夜と短いから結論めいたものを出すのは無理であるが、以下のような感想を得た。

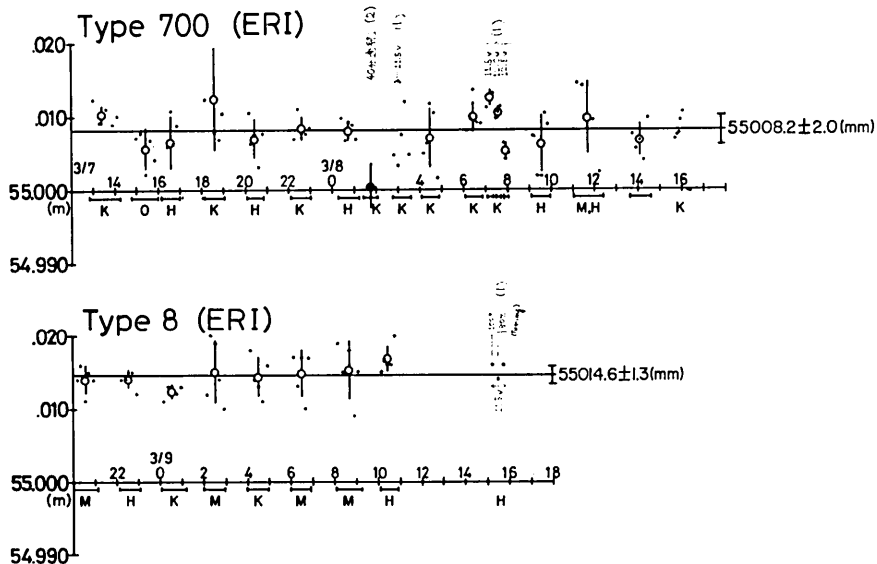
- (1) 8型が700型に比べ7mm程長めに出ているが、1977年以前の結果と比較すると700型がやや短かめに、8型がかなり長めになっている(第2表参照)。8型の場合、偏心誤差等の外的条件によることは考えられず、器械内部の誤差による可能性が大きい。8型は特に長距離の測距用に作られているので、55mというような短距離では結果が不安定になることも考えられる。
- (2) 700型で電源電圧(通常は12V)を変えて測定したところ、低電圧(11.5V)ではやや長めに、高電圧(12.5V)では短かめにでている。しかし、いずれも誤差の範



写真1 レンジマスターⅢ型による測距

第2表 震研地下基線測距結果

Date	AGA 8型		AGA 700型		K&E R/MⅢ型	備考
	m	mm	m	mm		m
1975. 6	55.007		55.012			55.000 (スチールテープによる)
1975. 10	—		55.010			
1976. 3	55.004		55.010			
1976. 4	55.008		55.011			
1976. 9	55.007		55.012			
1977. 2	55.005		55.010			
1979. 3	55.015 ± 1		55.008 ± 2			
1983. 2	75.015 ± 8		75.005 ± 2		m 74.996 mm ± 1	←基線再設置



第1図 700型, 8型 震研地下比較測定 (1979)

Fig. 1. Successive base-line measurements in the basement of the Earthquake Research Institute using the AGA 700 and AGA 8. Each dot is the result for each set, while empty circles are the average for each five sets. Some experimental works are included; (1) changing voltage, (2) continuous readings for 40 minutes.

間内である。

(3) 700型で最後に変調周波数の調整を行なったが、これによる有意な変動はなかった。又、8型, 700型共故意に器械の Tuning をやや不良の状態で行なったが有意な変動はなかった。いずれにせよ基線長が大変短かいので、これらのことを詳細に議論するのは無理であろう。

以上の結果をふまえて、野外での比較観測を油壺地殻変動観測所～岩堂山間の約 3 km の基線を用いて行なった。油壺観測所の新庁舎は1976年に完成し、庁舎内に三浦基線網の

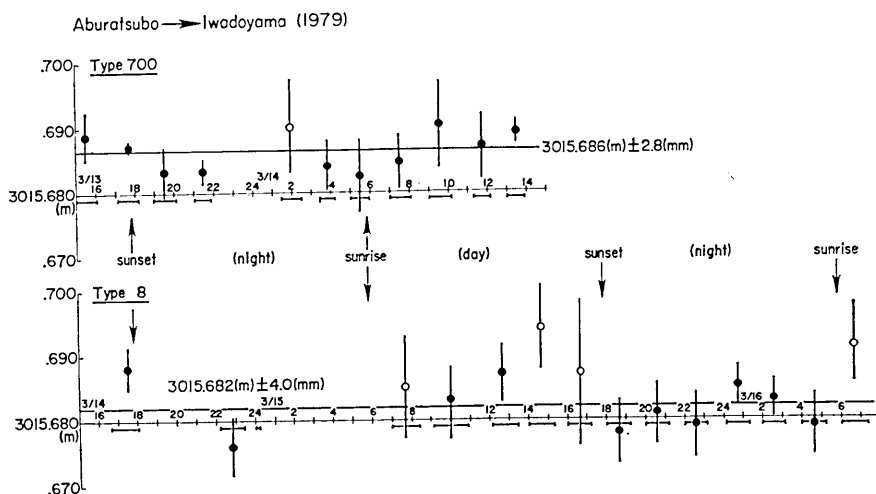
反射点の一つを設定した。しかしながら観測所では電源等で様々な便宜がはかれるので、今回のような基礎実験は観測所の方を基点として測距儀を設置し、本来の基点である岩堂山に反射鏡を設置して観測を行なった。700型の観測には7素子の反射プリズムを、8型では最初3素子を用いていたが、後半では1素子にして観測を行ない、3km程度の距離では1素子で充分であることがわかった。

観測は700型から始められ、2時間毎に24時間続けられた。この間、器械の不調により観測ができなかった1回を除き11回の測定結果が得られた。結果を第2図に示す。標準偏差が5mmを超えたもの(白丸で示した)を除いた平均値は3015.686mであった。これらの測定には原則として両端点での気象観測(気温・気圧)の平均値による補正が行なわれた。一部、基点のみでの気象補正を行なった結果を含むが大きな誤差はない。引き続き8型の観測を行なったが、途中降雨の為一時中断し、結局3日間にわたる測定となった。結果は第2図に示した通りである。標準偏差が5mmを超えるものを除いた10回の測定の平均は3013.682mで700型より約4mm短い結果となった。

第2図に明らかなように700型、8型共日中は長めに、夜間は短かめに出ていて、その差は約10mm又はそれ以上に達する。これは途中光路の気温測定がないために正確な補正がされず見掛け上の長短が出ているものと思われる。この結果は木股・山内(1981)の結果と調和的である。

4. 8型, 700型, レンジマスター III 型による比較観測

8型, 700型の旧式化に伴い、地震研究所では1982年10月に新たにK & E社製レンジマスター III型(以下R/M III型と略記)を購入した。今後は各基線網共R/M III型



第2図 700型, 8型 油壺→岩堂山比較測定 (1979)

Fig. 2. Successive base-line measurements at Aburatsubo using the AGA 700 and AGA 8. Error bars indicate twice of S. D. The results with S. D. larger than 5 mm (shown by empty circles) are excluded from average calculation.

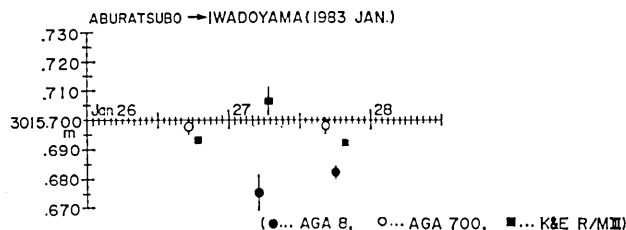
による測定へ切り替えてゆく予定であるが、これに先立ち各種比較測定を行なった。前にも触れたように、我々は地殻変動の経年変化の検出に主眼をおいているので、距離の絶対値には深い関心を払ってこなかった(笠原・岡田, 1966)。しかしながら機種を変更する際には同時比較観測を行なって機種間の測定値にどの程度の差があるのかを知っておくことはデータを“つなぐ”うえで重要である。このための基礎的な作業として、前節で述べた油壺観測所基線と地震研地下基線を用いて3機種の比較観測を行なった。

まず、1983年1月末に油壺観測所基線において測定を行なった。前節の結果を考慮し、途中経路の気温による誤差を小さくする為、測定は日の出、日の入前後に行なった。1月26日夕刻に700型と R/M III 型、27日明け方に8型と R/M III 型、27日夕刻に3機種の比較測距をそれぞれ行なった。結果を第3表と第3図に示す。27日明け方に行なった8型と R/M III 型は他と比べてばらつきが大きい。これは木股・山内(1981)の云うように明け方に気温の変動が大きくなることその他、第4図に示すように基線が東西を向いていて、太陽光線の影響をまともに受ける為ではないかと思われる。この明け方の結果を考慮からはずすと、700型はおよそ 3015.698 m で最も長く R/M III 型がおよそ 3015.693 m, 8型が 3013.682 m で最も短かいという結果となった。一方地震研地下で行なった3機種の比較測定(第2表; 地震研地下の改修工事に伴って作られた新しい基線を使用)では、8

第3表 油壺基線測距結果

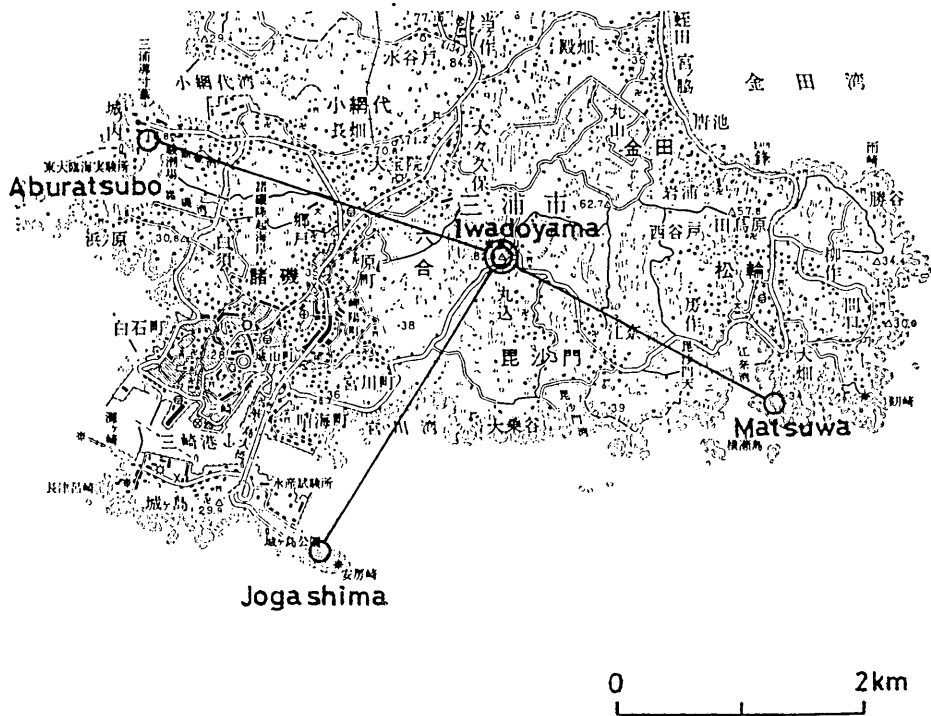
Date	AGA 8型		AGA 700型		K&E R/MIII型	
	m	mm	m	mm	m	mm
1976. 8. 13	---	---	3015.691	±2	---	---
1979. 3. 13	3015.682	±4*	3015.686	±3*	---	---
1983. 1. 26 ~16 (夕)	---	---	3015.698	±3	3015.693	±1
. 1. 27 (朝)	3015.675	±6	---	---	3015.706	±5
. 1. 27 (夕)	3015.682	±2	3015.698	±2	3015.692	±1

*... 10回測定平均



第3図 700型、8型、R/MIII型油壺→岩堂山比較測定(1983)

Fig. 3. Results of simultaneous comparative measurements at the Aburatsubo base-line using the AGA 8, AGA 700 and K & E Rangemaster III.

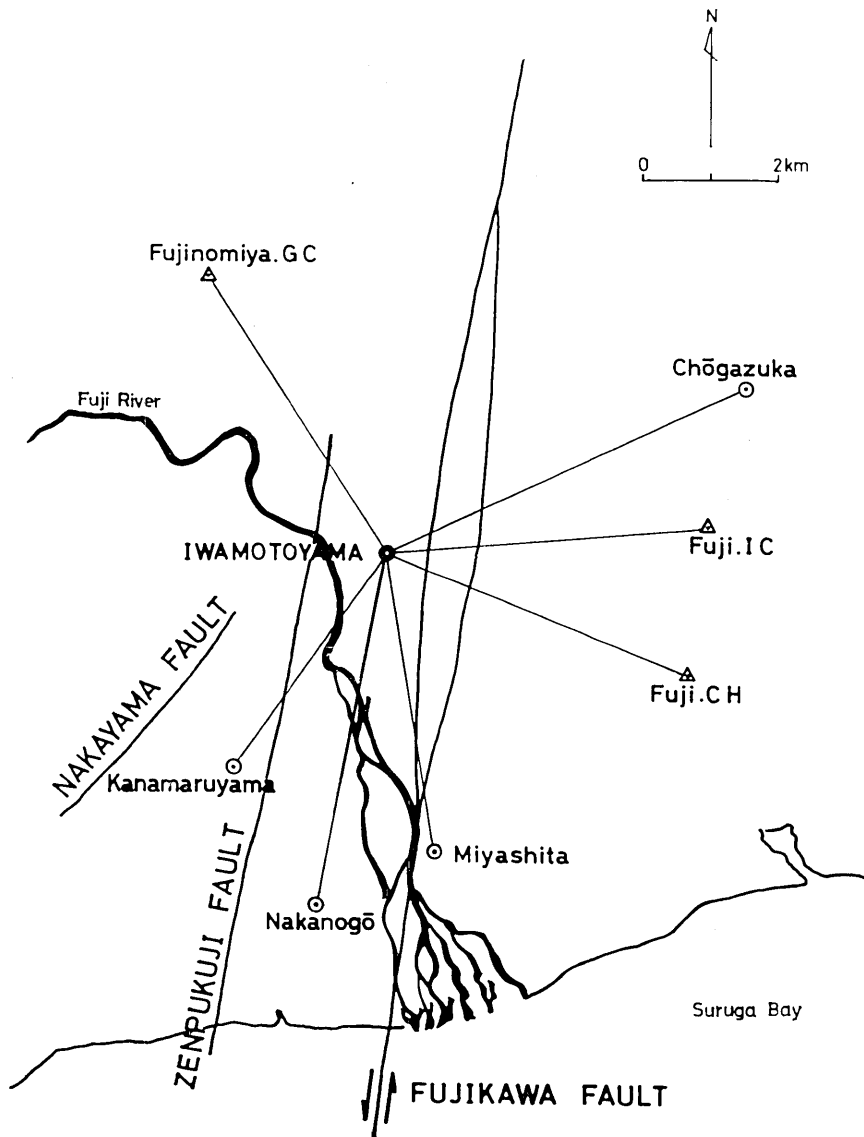


第4図 三浦基線網マップ
Fig. 4. Map of the Miura base-line network.

型が最も長く、700型、R/M III 型の順であった。従って油壺基線で得られた器差は単に器械的なオフセットであるとは云い難い。そもそも第1表に示したように 3 km 程度の基線では 8 mm 程度の誤差が見込まれる上、日の入前後の気象条件のよい測定とはいえ気象補正の誤差も数 mm は見込まれるから、今回の限られた観測から立ち入った結論を出すのは危険であろう。ただ、實際上、機種を変更する際には、このような比較観測を各測線で行ない（できれば複数回行ない）、それぞれにオフセットを与えるという方法をとるのが最もよいと思われる。

5. 三浦及び富士川河口基線網における比較観測

以上述べたような経験をふまえて、三浦、富士川河口両基線網において“つなぎ”のための比較観測を行なった。両基線網の地理的位置を第4図、第5図に示す。三浦基線網は岩堂山を基点として、松輪、城ヶ島、油壺の 2.5~3 km の距離をもつ3 反射点から成る。このうち油壺基線は前述と同じであるが、三浦基線網としての測定は岩堂山に測距儀を設置して、観測所に反射鏡を設置して測距を行なっている。一方富士川河口基線網は富士山岩本山を基点として、北から時計回りに嶺ヶ塚、富士インターチェンジ、富士市役所、宮下、中之郷、金丸山及び富士宮ゴルフ場の計7 基線から成る。距離は 3.8~6.0 km であ



第5図 富士川河口基線網マップ

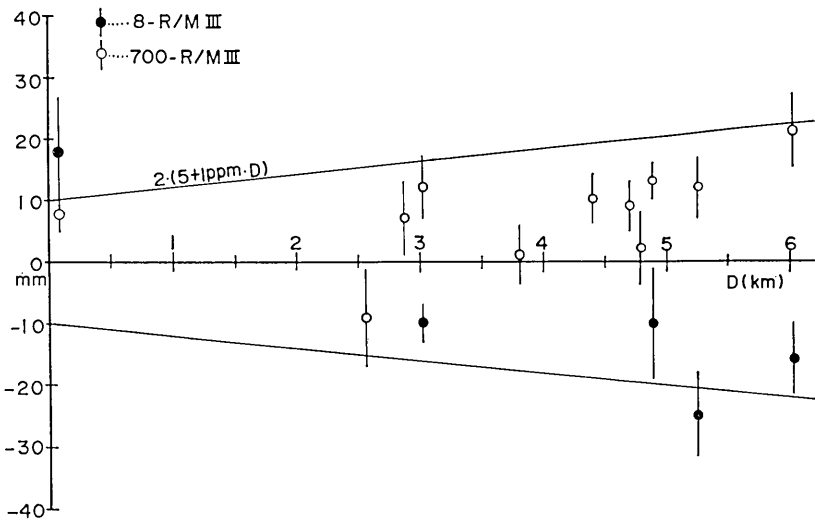
Fig. 5. Map of the Fujigawa base-line network.

る。これら2基線網はいずれも700型によって測距が行なわれてきたのであるが、今回の比較観測後はいずれもR/M III型による測距に切り替えられる。今回は特にR/M III型の導入直後であったので、器械の相互比較の為、富士川の長い3測線については8型による測距も行なった。両基線網共、過去数回の観測があるが、それらの結果や地殻変動の議論は別の機会に譲ることとし、今回の比較測距の結果のみを第4表に示した。又、この結

第4表 三浦・富士川河口基線網比較測距結果

三浦 基線 網	測点	AGA 8型		AGA 700型		K&E R/MⅢ型	
		m	mm	m	mm	m	mm
三浦 基線 網	松輪			2548.613	±5	2548.622	±3
	城ヶ島			2866.991	±5	2866.984	±1
	油壺観測所	*	3015.682 ±2	3015.699 ±3	3015.698 ±2	3015.687 ±2	3015.692 ±1
富士 川 河 口 基 線 網	帳ヶ塚		6026.995 ±4	6027.032 ±4		6027.011 ±2	
	富士I. C.			4789.158 ±5		4789.156 ±1	
	富士市役所			4702.191 ±2		4702.182 ±2	
	宮下			4394.538 ±2		4394.528 ±2	
	中之郷		5236.131 ±4	5236.168 ±2		5236.156 ±3	
	金丸山			3801.610 ±3		3801.609 ±2	
	富士宮ゴルフ場		4879.661 ±8	4879.684 ±1		4879.671 ±1	

*...油壺→岩堂山比較観測結果 (Jan. 27, 1983)



第6図 全測距結果比較図

Fig. 6. Differences of measured distances using the AGA 8 (solid circles) and AGA 700 (empty circles) relative to Rangemaster III. Error limits are also indicated.

果に地震研地下で行なった結果(第2表を参照のこと)を加えて、相対的な測距結果の差を示したのが第6図である。この図で横軸には測線の長さを取り、たて軸にはレンジマスターIII型との測距結果の差をとった。R/M III型より長いものを正符号とした。言いかえれば、この図は、距離によって700型、8型の測距結果がR/M III型の結果とどの程度異なるかを示したものである。

この図を見て直ちに気がつくことは、700型の結果は R/M III 型に比べ長めに出、8型は短めに出るということである。図中の斜線は $\pm 2 \times (5 + 1 \times 10^{-6} \cdot D)$ mm の線を示す。即ちこの2本の間にはさまれる領域程度の誤差は避けられないものであるということである。この点から考えると、得られた結果はおおむね妥当であるとも言える。

8型の中之郷の結果はこの範囲外にあるが、ここで思いあたるとは光路の途中に製紙工場があり、工場の煙突から出る煙がしばしば光路をさえぎることである。目視観測を並行して行なうと、この煙が光路をさえぎるような時は必ず読取値が大きくばらつきかつ、長めに出るようである。たまたま8型による観測の時だけクリアな状態であったことから、この煙による影響とも考えられる。又、帳ヶ塚の場合700型による測距結果が R/M III 型に比べ約 20 mm 長く、誤差限界に近い結果が得られているが、これは距離が約 6 km で700型の測距性能ぎりぎりのところにあり、そのため反射光の感度が充分あがらず、見掛け上長めに出ていることも考えられる。

6. 考察とまとめ

光波測距を行なう際の誤差要因には様々なものがある。例えば、内的要因としては変調周波数、レーザー光等の安定性、バッテリー電圧変化など、外的要因としては特に気温を中心とした気象補正の不正確さ、器械や反射ミラーの設置時の偏心誤差等がある。機種を変更するに際しては器械定数の誤差が問題となる。距離の絶対精度を問題にしない場合にはこれはメーカー仕様の値を用いれば充分であるが、機種を変更してデータをつなぐ際には同時比較測定を行なって器差を補正しておかなくてはならない。しかしながら上で述べてきたように、実際上は特に野外観測においては気象補正の誤差がかなり大きく、詳細な器差の検討は難しい。しかしおおよそ、700型は R/M III 型に比べ平均して数 mm ~ 10 mm 程度長く、8型は R/M III 型に比べやはり 10 mm ~ 20 mm 程度短いという結果が得られた。700型の場合、距離が長くなるに従い測定差も大きくなる傾向にあるがこれは器差に加えて、測距性能限界に近い為見掛け上長めに出ている可能性がある。その他の器械内部の誤差(変調周波数変化、電源電圧変化 etc. によるもの)はいずれも 1×10^{-6} 以下におさえられているので問題はない。やはり須田(1970)、田島(1970)、木股・山内(1981)らの言うように途中光路の気象補正が測距結果を大きく左右するようである。今後700型、8型から R/M III 型への切り替えに伴い、ここで行なったような比較観測を各基線において順次行なうと同時に、気象ゾンデ等を利用したより詳細な気象観測による精密な比較測距の実験も行なわなくてはならないと考えている。

謝 辞

本研究を通じて終始変わらない御激励と御指導を賜った地震研究所笠原慶一教授に深い感謝の意を表したい。レンジマスター III 型の購入に際しては同研究所萩原幸男教授に御尽力頂いた。又、観測にあたっては油壺地殻変動観測所高橋辰利技官に御協力を頂いた。これらの方々には厚く御礼申し上げます。

文 献

- 笠原慶一・岡田 惇, 1966, 光波測量による地殻変動の観測第1報中部日本における基線網設定, 震研彙報, 44, 1149-1165.
- 笠原慶一・岡田 惇・柴野睦郎・佐々木幸一・松本滋夫・平井正代, 1968, 光波測量による地殻変動の観測第2報関東・中部地方における基線網の増設と観測結果 (昭和41・42年度), 震研彙報, 46, 741-758.
- , 1969, 光波測量による地殻変動の観測第3報既設基線網の再測ならびに中型基線網の設定 (昭和43年度), 震研彙報, 47, 803-818.
- 笠原慶一・岡田 惇・柴野睦郎・佐々木幸一・松本滋夫・平田安広, 1970, 光波測量による地殻変動の観測第4報既設基線網の再測 (昭和44年度), 震研彙報, 48, 999-1008.
- 木股文昭・山内常生, 1981, 光波測距における温度補正, 測地学会誌, 27, 173-182.
- 岡田 惇・柴野睦郎・笠原慶一, 1969, 光波測量による地殻変動の観測, 測地学会誌, 14, 72-85.
- 須田教明, 1970, 光波測距儀による測距における気象補正に対する考察, 測地学会誌, 16, 137-147.
- 田島 稔・佐藤 裕・須田教明, 1970, 光波距離測定気象補正 (I) —係留ゾンデによる低層気温観測—, 測地学会誌, 15, 121-129.
- 東京大学地震研究所地殻変動観測班, 1977, 伊豆半島北東部における光波測量 (1), 震研彙報, 52, 151-162.

19. *Instrumental Offsets of Distance Measuring Instruments
(AGA 8, AGA 700 and K & E Rangemaster III)*

By Shigeo MATSUMOTO, Yasuhiro HIRATA,
Teruyuki KATO and Shigeru WATANABE,

Earthquake Research Institute.

In order to examine instrumental offsets of distance measuring instruments, we conducted simultaneous comparative measurements using the AGA 8, AGA 700 and the newly introduced K & E Rangemaster III. Several base-lines and base-line networks with distances from 50 m to 6 km were used for measurements under various conditions. The results suggest that the AGA 700 gives longer distances than the Rangemaster III by about 10 mm depending on the base-line lengths. The longer the base-line, the larger the offset. On the other hand, the AGA 8 gives shorter distances than the Rangemaster III by about 10-20 mm.

Since we are planning to replace the AGA 8 and AGA 700 with the K & E Rangemaster III, these comparative measurements are needed and the obtained instrumental offsets should be corrected by connecting the old data of the AGA 700 and AGA 8 with the new data of the K & E Rangemaster III.