

31. 比抵抗変化計のテレメーターシステム

地震研究所 山崎良雄

(昭和55年9月9日受理)

1. ま え が き

比抵抗変化計(自動平衡型)により、大地比抵抗変化(以下、比抵抗変化という)の観測を油壺において連続的に始めてから、すでに12年余を経過している〔YAMAZAKI (1967), 山崎 (1973)〕。

本報告においては、1968年5月、東京大学地震研究所油壺地殻変動観測所(以下、油壺観測所という)において、比抵抗変化計の観測を始めてから現在にいたるこの観測方式の変遷について記すと共に、この結果に基づいて開発して、昭和54年度から運用を開始した比抵抗変化計のテレメーターシステムの概要とこの試験観測結果および本観測結果について述べる。

2. 比抵抗変化計・観測方式の変遷

2-1. 第1期 (1968~1977)

観測期間は、1968年5月14日から1977年1月25日にいたる約9年間である。使用した観測壕は、油壺湾に面した小壕(以下、旧観測壕という)であり、これはおもに火山礫凝灰岩(lapilli tuff)および凝灰質砂岩(tuffaceous sandstone)等で構成されている。Wenner法に基づく四本の電極は、旧観測壕の床面に1.6mの間隔で直線状に埋設した。電極配列はN81°W方向である。比抵抗変化計は1号機(67Hz型)を使用した。

第1期の観測期間中に油壺において、検出、記録したpreseismicの比抵抗変化(以下、preseismic変化という)を含む coseismic の比抵抗変化(以下、coseismic変化という)の例は、数多く枚挙にいとまない。このうち、すでに報告したように、とくに代表的ともいえる典型的な記録は、十勝沖(M7.9, 1968)、岐阜県中部(M6.6, 1969)、襟裳岬沖(M7.0, 1971)および伊豆半島沖(M6.9, 1974)などの顕著地震に伴うものである〔YAMAZAKI (1968), 山崎 (1974a, 1974b, 1974c, 1974d)〕。

2-2. 第2期 (1977~1978)

観測期間は、1977年1月25日から1978年9月2日にいたる1年余である。旧観測壕は、油壺観測所の新築移転により、i) 地理的にきわめて遠くなる ii) 地理的にケーブル布設が困難である等の理由から使用を廃止した。代わりに旧観測壕から北東約100mのところにある新観測壕を使用することにした。この壕は、油壺観測所の地殻変動観測壕に隣接しており、壕内は素掘りのままである。また新観測壕は旧観測壕に比べてやや広く2測線を設定できた。2測線の方向はN20°EとN74°Wであり直交に近い。測線1に2.0m(N20°E方向)、測線2に1.4m(N74°W方向)の間隔でそれぞれ四本の電極を埋設し

た。

比抵抗変化計は、1号機(67 Hz型)を継続使用すると共に、新たに3号機(73 Hz型)を併用した。これらの器械はいずれも真空管式であった。このように油壺における比抵抗変化計の観測は、旧観測壕による1成分観測開始から約9年後にして、初めて2成分観測が可能になる状態になった。しかしながら、新観測壕の性質をつかむのに時間がかかり、またこの結果に伴う壕内外の改修工事もあって、期待した2成分の比抵抗変化計の記録は直ちには得られなかった。新観測壕に関するすべての改修工事および試験観測が終了するまで、測線1のみによる1成分観測を継続した。

第2期の観測方式が変わってから起こったおもな地震は、宮城県沖地震(M7.4, 1978)および1978年伊豆大島近海地震(M7.0, 1978)の二つである。この二つの地震の場合、coseismic変化はいずれも顕著に記録したが、期待されたpreseismic変化は記録できなかった〔山崎(1978a, 1978b)〕。

2-3. 第3期(1978~1980)

観測期間は、1978年9月2日から1980年2月14日にいたる約1年半であった。観測壕の状態は、第2期とまったく同じであるが、比抵抗変化計のみ従来の真空管式2成分の代わりにICを主体とした新しい型の2成分式に交換した。これは昭和52年度予算の文部省関東東海地殻変動観測費の配付によって、開発・製作した比抵抗変化計(明豊エンジニアリング製)である。回路構成と原理は、従来の真空管式とまったく同じであるが、地中に電流電極を經由して流入させる交流電流の周波数(33 Hz, 67 Hz, 79 Hz)と電流値(0.1A, 0.2A)のみ成分1, 2別に任意選択できる仕様になっている。しかし実際には地中における電流干渉の発生に伴う観測不能の事態が予想され、67 Hzと79 Hzの同時使用は不可能と考えられるので、成分1に79 Hz, 成分2に33 Hzを選定した。電流値を0.2 Aにすれば、原則的には、比抵抗変化の検出感度は2倍に上昇するはずであるが、これも周波数選定の場合と同じ理由で従来通り測線1および2の比抵抗変化を検出する成分1および2ともそれぞれ0.1 Aに定めた。

観測壕は、第3期に入るとほぼ安定した状態になり、2成分の同時観測が可能になった。この結果、日本付近に起こった顕著地震毎にcoseismic変化が検出され、2成分のcoseismic変化記録の蓄積が続いている。これらのcoseismic変化は、第1期の観測期間中に求めた比抵抗変化計の油壺における検出限界〔山崎(1975b)〕と調和的である。

2-4. 現在(1980~)

観測期間は、1980年2月14日からである。観測壕および比抵抗変化計は第3期と同じである。

比抵抗変化計の記録方式は、筆者によって開発されて以来、観測所における直接記録を原則としており、観測の当初から打点式記録計を使用してきた。しかし時代の推移、地震予知への関心の高まり、比抵抗変化計の過去の記録が示した多くのpreseismic変化などによって、記録方式にテレメーターを導入する予算請求を行なった。これに伴って、昭和54年度予算の文部省関東東海地殻変動観測費の配付をうけ、PCMテレメーター装置(明星電気製)を購入した。このテレメーター装置は、すでに観測中の2成分式比抵抗変化計と組み合わせて、油壺・本郷間にテレメーターシステムを確立できるように、とくに設計し

たものである。

比抵抗変化計の新しい観測方式であるテレメーターシステムは、油壺において検出した2成分の比抵抗変化を直流電圧に変換した信号（以下、出力信号という）および比抵抗変化計付属のデジタル時計から発生したタイムマーク信号の二つの信号を、油壺観測所で従来通り連続記録すると同時に、本郷の地震研究所に有線伝送しようとするものである。

油壺からの出力信号およびタイムマーク信号は、日本電信電話公社（以下、電電公社または NTT という）の有線回線を使用して本郷の地震研究所に伝送する。ここでは、油壺において当分の間、継続してとる従来からの記録と比較検討できるようにまったく同一の記録計および記録方式により連続記録を得るようにした。これによって、比抵抗変化計の観測方式は、本格的なテレメーター時代に入った。この運用は、1980年2月14日からである。

すでにこのテレメーターシステムは、稼動開始以来、6か月を経過しているが、大きなトラブル、故障の発生もなく、油壺から本郷へ信号の伝送は順調に続けられている。現在までに本郷では coseismic 変化の記録を5回も得られており、これを油壺の直接記録と比較してもなんらそんじょくない。このなかには1980年6月29日16h22mに起こった伊豆半島東方沖地震（M6.7）の記録も含んでおり、本震の1時間ぐらい前から現われた顕著な preseismic 変化が記録されている。

3. テレメーターシステム

3-1. 概要

Fig. 1 は、このたび運用を始めた比抵抗変化計のテレメーターシステムの構成図である。Fig. 1 の左側に示す電極群（Electrodes）の電圧電極間に現われる交流電圧（測線1は79 Hz、測線2は33 Hz）は、測線1, 2 別に比抵抗変化計（Resistivity variometer）の成分1, 2 の入力に加えられ、出力信号1および2に変換される。この1, 2 の出力信号

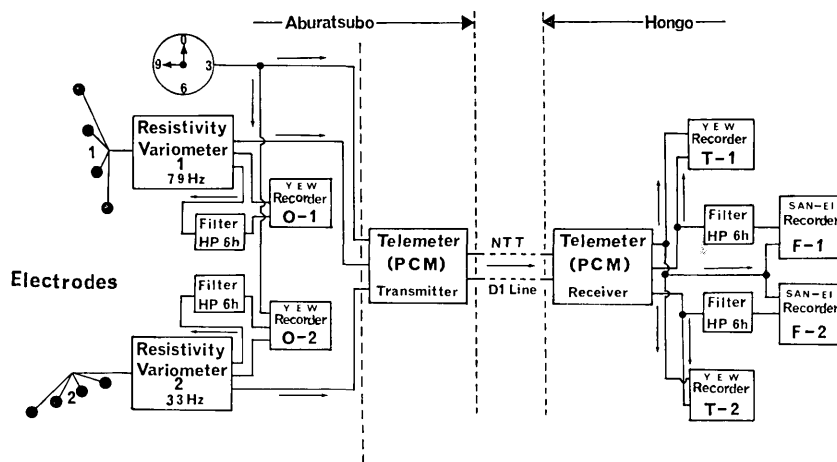


Fig. 1. Block diagram of the telemeter system for the resistivity variometer.

は、PCM テレメーター (Telemeter) の送量機 (Transmitter) および同受量機 (Receiver) とこの二つを結ぶ NTT の有線回線 (D1 line) とにより、リアルタイムの PCM コードで東京本郷の地震研究所へ連続的に有線伝送される。

記録の片側に挿入する1時間毎のタイムマーク信号は、Fig. 1 の左側に示すデジタル時計を用いて発生させ、ミリボルト程度のパルス電圧として油壺にある2台のモニター用記録計 (O-1, O-2) に加えて記録させる。このパルス電圧は、デジタル信号に代えてから出力信号と共に本郷に伝送される。

Fig. 1 で示すごとく、出力信号1と2は油壺の記録計 (YEW recorder) の O-1 および O-2 でモニター用として従来通り連続記録される。本郷では油壺から伝送されてきた出力信号1,2およびタイムマーク信号を油壺とまったく同じ型式の記録計 (Fig. 1 の T-1, T-2) で連続記録する。油壺と本郷にある四台の記録計の感度および記録紙速度は同一であり、フルスケール直流 100 mV の記録計感度、25 mm/hour の記録紙速度に設定してある。なおタイムマーク信号は、記録読み取りの便宜上、0時のマークは入らない。

今回、このシステムに採用・購入した PCM テレメーター装置は、明星電気 (製) の B 型という規格品をさきに述べた2成分式比抵抗変化計と組み合わせて使用するため、一部改造を行なって納入させたものである。改造はまた昭和52年度に購入した比抵抗変化計の機構部にも行ないサーボモーターと直結するポテンショメーターを増設した。これによって、油壺において直接記録する出力信号1,2と同じ信号1および2を取り出せるようになり、これをテレメーター送量機の入力とした。

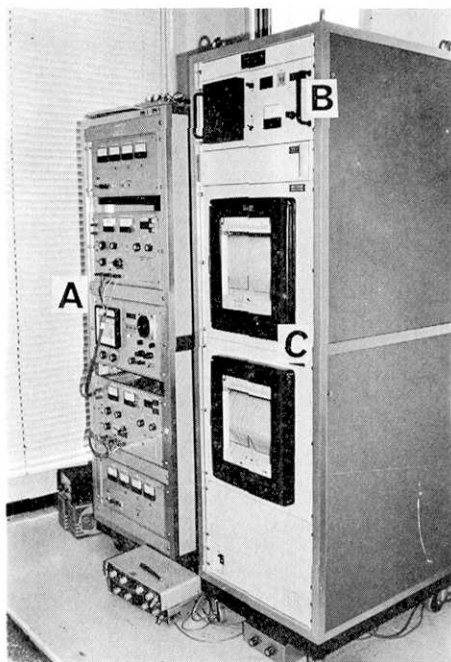


Fig. 2. Assembly of the telemeter transmitting equipments installed at the Aburatsubo Crustal Movement Observatory.

A, resistivity variometer. B, telemeter transmitter. C, two monitoring recorders used with plotting model.

Fig. 2 は、油壺観測所内に設置したテレメーターシステム送量部の概要を示す写真である。A は2成分式比抵抗変化計、B はPCM テレメーター送量機、C は Fig. 1 で示した記録計 (O-1, O-2) である。

すでに報告したように油壺の比抵抗変化計の平常時の記録には、潮汐変化に伴う土地変形によって生じるきわめて大きい振幅の長周期変化が顕著に現われている。これは油壺の記録計 (O-1, O-2) に示されれば、テレメーターシステムにより、本郷の記録計 (T-1, T-2) にも記録されるはずである。今回、テレメーターシステムを導入する機会に、この変化分を電気回路において打ち消す

high-pass filter を PCM テレメーター受量機内に組み込んだ。常時、記録計 (T-1, T-2) に加えられ記録される出力信号 1, 2 の直流電圧を別に分岐して、この filter の入力とした。これは現在まで油壺の 2 台の記録計において試験的に試みている方法であるが、今回、専用の記録計を使用して本郷においても本格的に連続観測を続けることにした。

filter 出力を示す記録計には、三栄測器 (製) の長時間記録計 (Fig. 1 で示す F-1, F-2) 2 台と打点式記録計 (千野製作所製) 1 台の計 3 台を準備した。

Fig. 3 は、この filter 出力用記録計を含んだテレメーターシステム受量部の概要を示す写真である。受量部の全体は地震研究所の記録室に設置してある。写真の A は、PCM テレメーター受量機、B は記録計 3 台を示す。この記録計のうち上部は T-1、中部は T-2 である。下部の 1 台は、Fig. 1 には示さなかったが、油壺の見かけ比抵抗の経年変化を記録から知るため、とくに設備した記録計であり、この入力は T-1 と T-2 に分圧して加える前の直流電圧である。したがって、記録計 (以下、T-3 という) の感度は低くしてあり、フルスケール ± 5.0 V である。記録紙速度は、T-1, T-2 と同じ 25 mm/hour である。

Fig. 3 の D で示す 2 台の記録計は、さきに説明した high-pass filter 出力を加える F-1, F-2 である。記録感度は、100 mV/cm であり、記録用紙は電子計算機のラインプリンター用紙を使用している。

Fig. 3 の C で示す打点式記録計には、F-1, F-2 に加わっている filter 出力電圧を加えており、記録感度 ± 100 mV、記録紙速度 25 mm/hour で成分 1, 2 を記録している。

現在、Fig. 3 の C, D で示す 3 台の記録計には、cut-off 周期 (TC) 6 hour の high-pass filter 出力電圧を加えている。この TC=6 hour という設定値が当初の目的に最適であるか否かは、今後の観測記録をよく検討しなければわからない。もし理想的にこの filter の効果が現われてくれれば、preseismic 変化の記録上からの検出は容易になるはずである。

3-2. 観測壕、比抵抗変化計

Fig. 1 に示したように、このテレメーターシステムに組み入れている観測壕およびそ

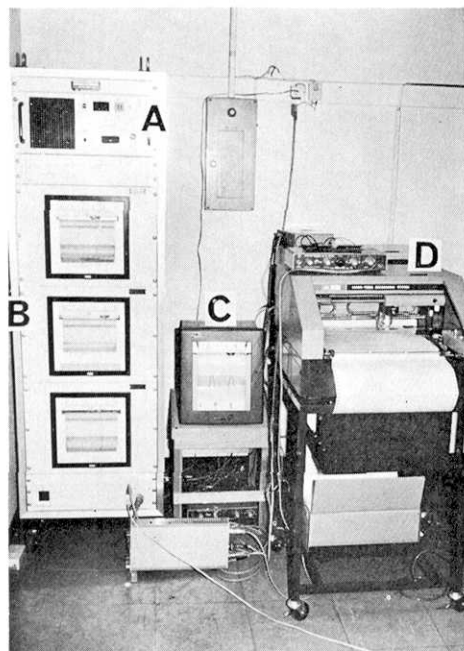


Fig. 3. Assembly of the telemeter receiving equipments installed at the Earthquake Research Institute. A, telemeter receiver. B, two channel recorders used with plotting model. C, filtering recorder used with plotting model. D, two filtering recorders used with computer's chart for the purpose of long hours recording.

Table 1. The operation data for the system of the present resistivity observation at the Aburatsubo Crustal Movement Observatory.

Channel No.	1	2	Remarks
Electrode direction in the vault	N20°E	N74°W	
Electrode distance in the vault	2.0 m×3	1.4 m×3	
Cable length (Vault←Observatory)	350 m×2	350 m×2	Underground lines (Shielded cable)
Resistivity variometer	Frequency	79 Hz	33 Hz
	Output current	0.1 A	0.1 A

の壕内における電極配列は、本報告の 2. 比抵抗変化計・観測方式の変遷 2-2. 第 2 期のところで述べた観測状態のままである。また比抵抗変化計の使用状態（周波数、電流）等については、成分 1, 2 とも変更をしていない。

Table 1 は、1980年 7 月現在の油壺における観測状態を示すものである。

3-3. PCM テレメーター装置

このテレメーターシステムに使用している PCM テレメーター装置は、50 bits/sec の低速度の伝送速度で 8 bits の信号を 4 成分、油壺から本郷に伝送している。

Table 2 は、比抵抗変化計の連続観測用として設定したテレメーターシステムの概要である。Table 2 に示したように 4 成分のうち、2 成分を現在、出力信号 1, 2 の伝送用に用いている。残り 2 成分は予備である。回路は一端アースのシングル型である。

出力信号は、アナログであるが、1 時間毎のタイムマーク信号はデジタルであり、毎日の 0 時マークはない。この 2 種類の信号は、5 秒間隔によりサンプリングされて送量機入力となり、この出力は NTT の D1 line に送り込まれるようになっている。受量機から出力として現われた 2 種類の信号は、ボルト単位の出力信号 1, 2 およびミリボルト単位のパルス状タイムマーク信号になっている。この 2 種類の出力信号は、ミリボルト感度の打点式記録計に順応させるため、1, 2 の成分別に分圧を行なって、ミリボルト単位の直流電圧に逓減している。

記録計 (Fig. 1 の T-1, T-2) の高感度成分 H (Table 2 の High sensitivity) は、YEW 打点式記録計上でフルスケール ± 100 mV、同じく低感度成分 L [Table 2 の Low sensitivity (A)] は、H 成分の 1/5 に相当する感度 ± 500 mV に設定した。また Table 2 の Low sensitivity (B) はこの (A) よりもさらに感度を低くして、フルスケール ± 5.0 V にしたものであり、Fig. 3 の B 下部の打点式記録計に加えてある。この記録計 (T-3) は成分 1, 2 にて示される観測壕内の測線 1, 2 方向の見かけ比抵抗の経年変化を連続記録する目的のためとくに設けた。

T-1, T-2, T-3 の 3 台の記録計とも、記録が比抵抗変化によりスケールアウトした場合、記録計の打点を自動的に中央に復帰させる automatic offset 回路 (Table 2) をそれぞれ付属させている。この offset 回路の連続動作により、システム自体の故障でもない限り、比抵抗変化観測の欠測は防止できる。

Table 2 の下部に Slow code for magnetic tape recording として示してあるのは、

Table 2. The characteristics of the telemeter system for routine observation of the resistivity variometer.

Transmitter	Input signal	Analogue	Channel number : 4 (Resistivity 2, reserved 2) Impedance : 10 M Ω up Type : Single ended Voltage : 0-4 V Full scale Sampling interval: 5 second
		Digital	Time signal : Hour mark except for 0 A.M.
Receiver	Output signal	Analogue	Channel : High sensitivity 4 Low sensitivity (A) 4 Low sensitivity (B) 4 High-pass filter 2 with automatic offset Impedance : 2 k Ω Type : Single ended Voltage : 0-4 V Full scale Reduced voltage : 0-100 mV (For recorders)
		Digital	Time signal : Hour mark except for 0 A.M. (Slow code for magnetic tape recording)

将来、出力信号を連続的にカセット録音するための受量機回路の準備である。

4. 試験観測

Fig. 1 によるテレメーターシステムにより、比抵抗変化計の連続観測を行なった場合、伝送されてくる出力信号およびタイムマーク信号の忠実度が問題になる。

Fig. 4 は、この問題を実際に観測を行なって確かめたさいの block-diagram である。Fig. 1 おいて、本郷に設置する受量機、これに付属している記録計を、すべて油壺に臨時に設置し、油壺におく送量機とこの受量機とを NTT の DI line の代わりに、わずか数メートルのビニール電線で結んだ (Fig. 4)。このような準備を行なったのち、比抵抗変化計からの出力信号 1, 2 をそれぞれ送量機の入力に加え、受量機の出力を記録計二台 (T-1, T-2) にて記録した。Fig. 4 による試験観測期間は、1980 年 1 月 11 日から同年 1 月 30 日にいたる 19 日間である。

Fig. 5 は、この試験観測により得られた記録の一部であり、図の上部は、比抵抗変化計の成分 1 (周波数 79 Hz, 電流 0.1A, 電極間隔 2m) の記録計 (O-1) による直接記録である。図の下部は、この成分 1 の出力信号を送量機入力とし受量機からの出力信号 1 を記録計 (T-1) で記録したものである。Fig. 5 から明らかなように、O-1 の直接記録は T-1 のテレメーターに入れて再び記録したものとよく似ており、とくに問題がない。しかし上下の記録振幅に 10% くらいの差があり、上部の直接記録のほうが大きい。この原因は、二台の記録計 (O-1, T-1) の分圧の方法がそれぞれ異なるためである。

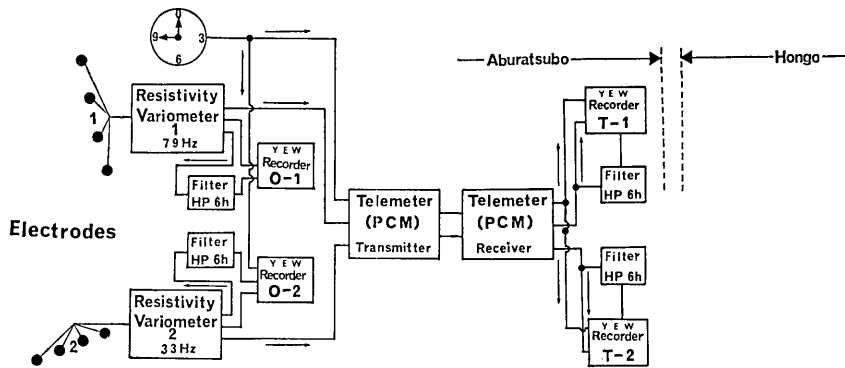


Fig. 4. Block diagram of overall test observation at Aburatsubo for the telemeter system of the resistivity variometer, for a period of 19 days from 11th to 30th January 1980.

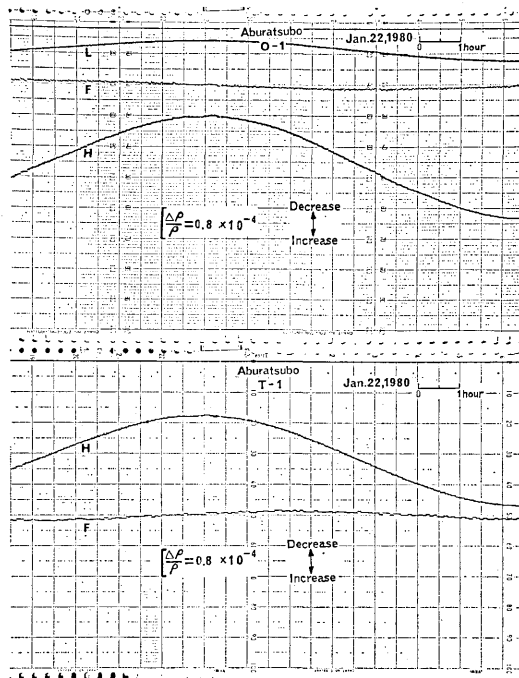


Fig. 5. A comparison of two corresponding records during overall test observation for the telemeter system of the resistivity variometer, from 18 h 30 m on the 21st to 6 h 30 m on the 22nd of January 1980.
 Above (O-1) : The direct output of the resistivity variometer.
 Below (T-1) : The output of the telemeter receiver.

Fig. 5 で比較した記録は、高感度の H または低感度の L 成分である。記録上の F という記録は、すでに Fig. 3 で説明した $T_c=6$ hour の high-pass filter の出力である。これはもともと Fig. 1 の記録計 (F-1) により記録するところを試みに記録計 (O-1) の No. 3 の channel で記録したものである。潮汐変化による長周期変化分をよく打ち消していることがわかる。

記録上で示される比抵抗変化率 ($\Delta\rho/\rho$) の値は、記録計 (O-1) の場合、記録上の10目盛が 0.8×10^{-4} 。同じく T-1 の場合、さきに述べた理由からやや異なり、9目盛が 0.8×10^{-4} にそれぞれ相当する。これは2台の記録計 (O-1, T-1) とも記録の H 成分の $\Delta\rho/\rho$ の値であり、L 成分はこの1/5になる。したがって、H 成分記録から、1目盛の1/10まで読み取るならば、 10^{-6} オーダーまでの比抵抗変化率を記録から検出することが可能である。

$\Delta\rho/\rho$ の極性は、Fig. 5 から明らかなように、記録の上部が減少、下部が増加の方向になる。試験観測によって得られたこの記録例からみて、テレメーターシステム自体に問題は無いことが明らかになった。

試験観測は、比抵抗変化計の成分2 (周波数 33 Hz, 電流 0.1 A, 電極間隔 1.4 m) についても行なったが、成分1と同様な結果を記録しており、とくに問題はなかった。

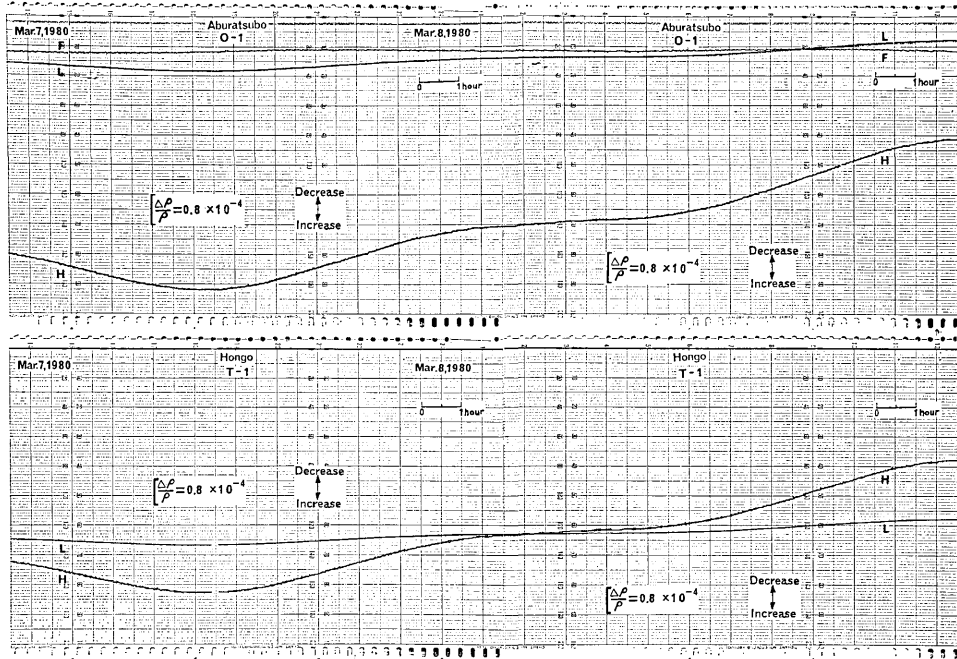


Fig. 6. A comparison of two records under the actual operation recorded at Aburatsubo (above) and at Hongo (below), from 13 h 30 m on the 7th to 12 h 30 m on the 8th of March 1980. Both records continuously show the apparent resistivity change of direction $N20^\circ E$ by the tidal loading at Aburatsubo.

5. 連続観測

4. に述べた試験観測の結果から, Fig. 1 のテレメーターシステムには問題点や改良点はなかったもので, 送量機, 受量機および記録計等を所定の場所に設置した. また油壺の送量機と本郷の受量機とを結ぶ NTT の DI line は, 東京大学 3.4 K 1 番帯域線と名付けられた.

Fig. 1 のテレメーターシステムの正式な観測開始は, 1980年2月14日12時00分からである. Fig. 6 は, これから20日後における油壺(O-1)と本郷(T-1)の記録である. 記録には, 潮汐変化に伴う長周波変化分が顕著に現われている. この2枚の記録の比較からいって, とくに PCM テレメーター装置や DI line に問題はないようである. また成分2を示す記録計(O-2, T-2)が示す記録についても同様な観測結果が得られた. 成分1, 2とも記録上の比抵抗変化率($\Delta\rho/\rho$)の感度, 極性および記録紙速度等は, 試験観測の場合と同じである.

6. Coseismic 変化

Fig. 1 で示したテレメーターシステムを油壺の比抵抗変化計に導入してから約1か月

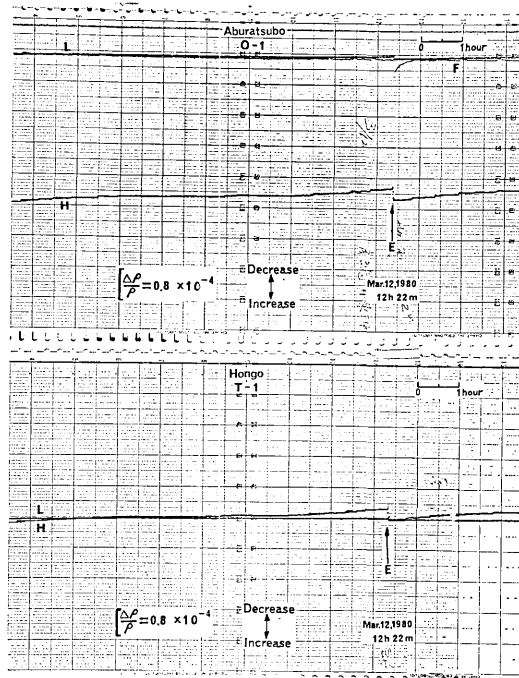


Fig. 7. A comparison of two records of direction N20°E at Aburatsubo (above) and at Hongo (below), denoting the apparent resistivity change accompanying an earthquake (M 5.9) at 12 h 22 m on the 12th of March 1980. E denotes the time of the earthquake.

後の1980年3月12日、テレメーターは、油壺にて検出した coseismic 変化を本郷に伝送してきた。coseismic 変化を示す出力信号の本郷における初めての記録である。

Fig. 7 は、この日の房総沖地震に伴う coseismic 変化の記録である。上部は油壺 (O-1)、下部は本郷 (T-1) の記録である。この記録はやや階段状になっている。これは当時、油壺にある比抵抗変化計のサーボ増幅器の利得が少し低下していたためであり、現在は利得を増加して正常な動作状態になっている。

Fig. 7 の記録につけた E 印のところは、地震の発震時を示すものである。気象庁によるこの地震の震央は、房総半島南東沖、マグニチュード (M) 5.9、発震時1980年3月12日12時22分、震源の深さ (D) は 60 km である。球面三角法の公式により試算した油壺の震央距離 (Δ) は 124.6 km である。

地震に伴う coseismic 変化 ($\Delta\rho/\rho$) は、Fig. 7 で示した記録の H 成分から求めると、たとえば、O-1 からでは、 0.28×10^{-4} の比抵抗減少ということがわかる。T-1 の記録からでも同じ値になる。

Fig. 8 は、Fig. 7 を示した房総沖地震による成分2の記録である。しかしながら、成分1が現わしたような coseismic 変化は、成分2の記録には示されない。すでに述べたように、成分2の電極間隔は 1.4 m と成分1の 2.0 m に比較して 60 cm も短い。そ

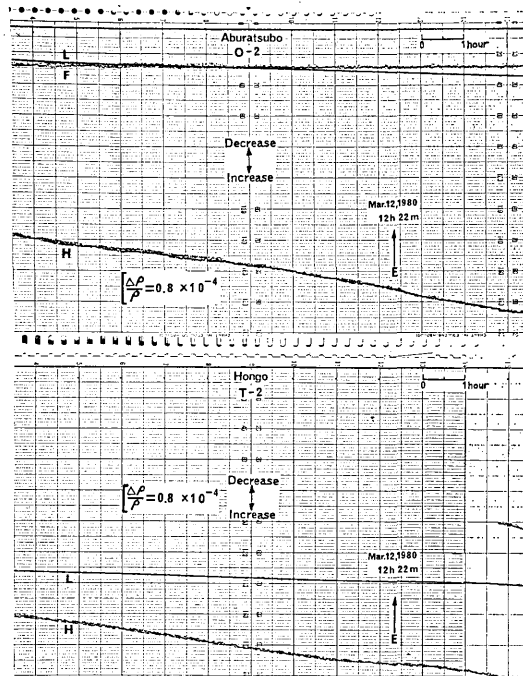


Fig. 8. A comparison of two records of resistivity in direction N74°W recorded at Aburatsubo (above) and at Hongo (below), denoting no apparent resistivity change accompanying an earthquake (M 5.9) at 12h 22m on the 12th of March 1980.

のほか異なるものは、交流電流の周波数が成分2の33 Hzにたいして、成分1は79 Hzと2倍以上大きいということである。

coseismic 変化が成分1のみに記録され、成分2の記録には現われないという現象の説明を電極間隔の大小のみにすることはできない。これは本報告の2.比抵抗変化計・観測方式の変遷、2-1. 第1期において述べた旧観測壕の電極間隔は、N81°W 方向の1.6 m という値からも諒解されよう。coseismic 変化が記録に示される示されないという問題は、もう少し同一観測状態における記録の蓄積によって解明したい。

Fig. 9 は、Fig. 1 のテレメータシステムになってから2回目の coseismic 変化の記録例である。Fig. 9 の上部は、油壺の記録計 (O-1)、下部は本郷の記録計 (T-1) によるそれぞれの記録である。この記録を示した地震の気象庁による震央は房総半島南東沖、M5.7、発震時1980年5月8日17時03分、震源の深さ(D)は40 km である。試算による油壺の震央距離 (Δ) は123.7 km である。

Fig. 9 の記録の H 成分から $\Delta\rho/\rho$ を求めると、 1.08×10^{-4} の比抵抗増加の方向であ

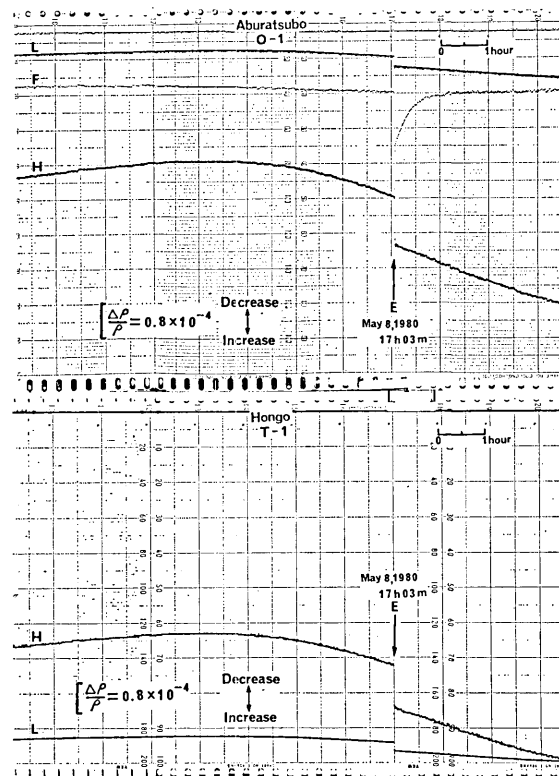


Fig. 9. A comparison of two records of resistivity in direction N20°E at Aburatsubo (above) and at Hongo (below) denoting the apparent resistivity change accompanying an earthquake (M 5.7) at 17 h 03 m on the 8th of May 1980. E denotes the time of the earthquake.

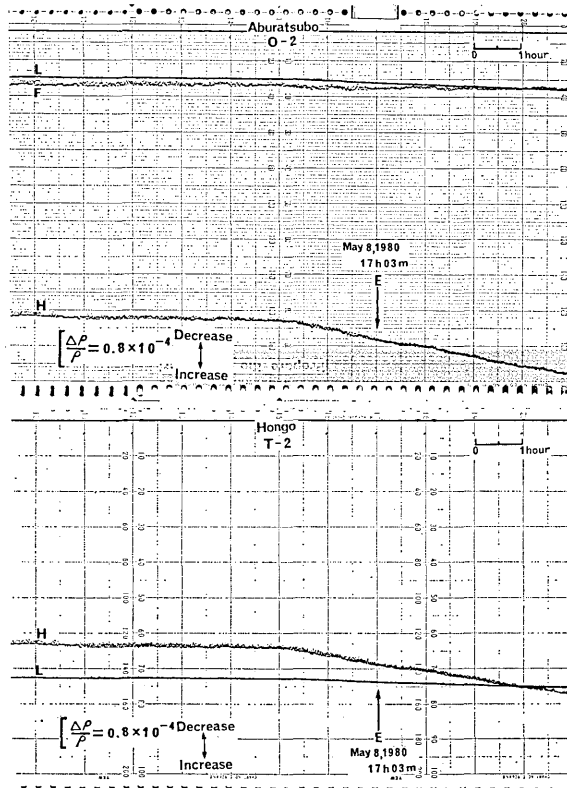


Fig. 10. A comparison of two records of resistivity in direction N74°W at Aburatsubo (above) and at Hongo (below), which denotes no apparent resistivity change accompanied with an earthquake (M 5.7) of 17h 03m on the 8th May 1980. E denotes the time of the earthquake.

る。Fig. 10 は、Fig. 9 の記録を示した同じ地震に伴う成分2の記録 (O-2, T-2) である。この地震においても成分2は、coseismic 変化を記録しなかった。

ここで Figs. 7, 9 の二つの地震に伴う成分1の記録を比較すると、震央は二つの地震とも房総半島沖、M は 5.9 と 5.7、震央距離 (D) は 124.6 km と 123.7 km である。このようにほぼ同じ場所に同規模の地震が起こったにもかかわらず、これに伴う coseismic 変化の振幅と様相は大きく異なっており、とくに coseismic 変化の振幅は M がやや小さい Fig. 9 の記録のほうが大きい。この理由はしばしば述べているようにそれぞれの地震の発震機構の相違によるものと考えられる。

Fig. 11 で示した記録は、東京に震度 IV をもたらした伊豆半島東方沖地震に伴う coseismic 変化である。Fig. 11 の上部は、油壺の記録計 (O-1)、同じく下部は本郷の記録計 (T-1) による成分1の記録結果である。気象庁によるこの地震のデータは、M6.7、発震時1980年6月29日16時22分、 $D=10$ km である。試算による油壺の D は 62.4km である。

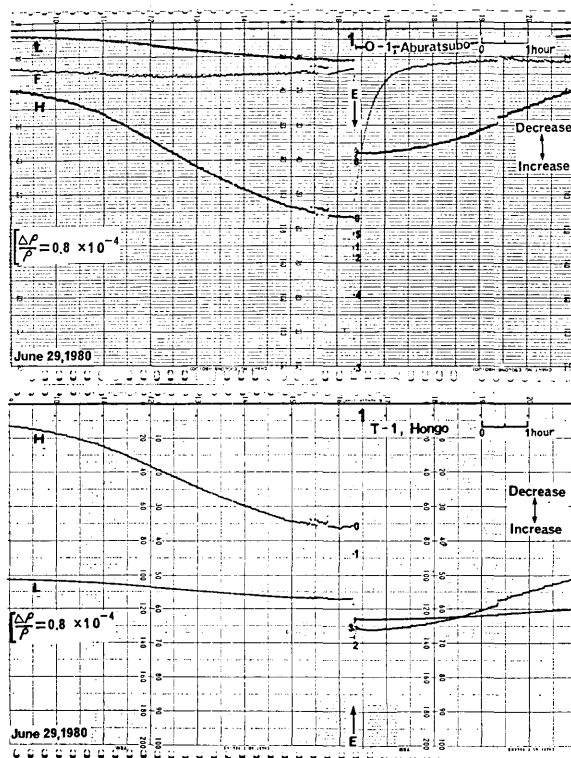


Fig. 11. A comparison of two records of resistivity in direction N20°E at Aburatsubo (above) and at Hongo (below) denoting the apparent resistivity change accompanying an earthquake (M 6.7) at 16 h 22 m on the 29th of June 1980. E denotes the time of the earthquake.

Fig. 11 から地震による coseismic 変化 ($\Delta\rho/\rho$) は、T-1 では比抵抗の増加方向に約 2.4×10^{-4} と求められる。Fig. 11 で示す二枚の記録から明らかなように、本震の約1時間ぐらい前から比抵抗が矩形状に変化している。これはいままで比抵抗変化計が記録した例にもない preseismic 変化であり、新しい型の preseismic の比抵抗変化であると考えられる。

coseismic 変化を Fig. 11 の上下二枚の記録で比較してみると、やや異なっているように見える。記録計の打点の動きを数字で示してあるが、油壺の記録 (O-1) では、0, 1, 2, 3 の順序に地震に伴って動き、点3のところでは Table 2 で示した automatic offset 回路が動作して、点4, 5, 6 と続いたようである。しかし本郷の記録 (T-1) では、O-1 とやや異なった動きを記録計の打点が示している。

これは Fig. 11 の下部の記録 (T-1) から明らかなごとく、打点は、0, 1, 2, 3 と動いており、記録 (O-1) が示したような動きの出力信号1は、油壺から本郷に伝送されてこなかったように見える。Fig. 11 で示した比抵抗変化計の直接記録とこれを出力信号としてテレメーター伝送した記録との相違の原因はいろいろ考えられる。これは、油壺と本郷

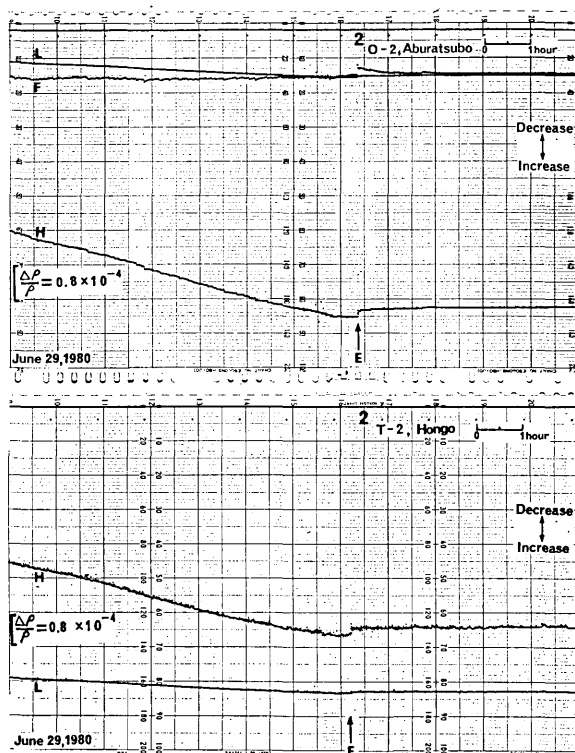


Fig. 12. A comparison of two records of resistivity in direction N74°W at Aburatsubo (above) and at Hongo (below) denoting the apparent resistivity change accompanying an earthquake (M 6.7) of 16 h 22 m on the 29th June 1980. E denotes the time of the earthquake.

にある記録計が同期して打点記録を行なっていないことによるか、またはデータサンプリング間隔に問題があるのか、データ蓄積による今後の観測上の研究課題としたい。

Fig. 11 の油壺の記録 (O-1) には、さきに述べた $T_c=6$ hour の high-pass filter の出力波形を成分として示しているが、とくに緩慢な preseismic 変化を記録していない。

Fig. 12 は、成分 2 による同じ伊豆半島東方沖地震に伴う記録 (O-2, T-2) である。すでに本報告の Figs. 8, 10 において述べたようにこの二つの房総沖地震の場合、成分 2 の記録には、coseismic 変化は現われなかった。しかし Fig. 12 は、振幅は小さいが、初めて測線 2 方向の coseismic 変化を成分 2 によって検出したことを示している。とくに注目したいのは、Fig. 11 の成分 1 は比抵抗増加を示したのに対し、成分 2 は比抵抗減少を示した。これは地震の発震機構等に関係していることを示す一つであると考えられ、やはり今後の研究課題にしたい。

7. あとがき

1968年5月、油壺湾に面した小塚を用いて1測線で始めた比抵抗変化計の連続観測は、現在、油壺と本郷とをPCMテレメーターで結ぶ2測線観測にまで発展した。最初の1測線観測から1977年の2測線観測にいたるまでに油壺において、検出・記録した coseismic 変化は30例を越している。これらは、油壺における検出限界に基づいて記録されたものである。さらにこれらの数多くの記録には、preseismic 変化がみられるものが多数ある。十勝沖地震 (M7.9, 1968) の記録がその最初のものである。とくに伊豆半島沖地震 (M6.9, 1974) に伴う preseismic 変化記録の例は、しばしば引用されている [RIKITAKE and YAMAZAKI (1969a, 1969b, 1976, 1977), YAMAZAKI (1974e, 1975a), 山崎 (1980)]。

このような10年余にわたる比抵抗変化計の観測結果から、すでに、この観測は従来の自然地電流の観測に代わる有力な一手法であることも示唆してきた [YAMAZAKI (1977)]。

比抵抗変化計の観測は、開発以来、観測壕、変化計および記録計等がすべて観測点付近に集中して設置する方式を原則としてきた。しかし preseismic 変化記録が蓄積されるにつれ、この変化を本郷においても、記録することが望まれ、今回、ここに報告するような比抵抗変化計のテレメーターシステムを1980年2月に完成することができた。1980年9月現在、このシステムは順調に動作を継続しており、テレメーターの有効性を如実に示している。今後、顕著地震毎に検出限界に基づいた coseismic 変化を蓄積すると考えられる。さらに本郷でも preseismic 変化を直視できることで、比抵抗変化計の観測とこのテレメーターシステムが地震予知の一手法として、きわめて有力であることを今後の記録蓄積によって示したい。

8. 謝 辞

比抵抗変化計の観測にたえず協力されている油壺観測所の高橋辰利技官および本報告を査読されご指摘と助言を頂いた地震研究所の渡部暉彦、島崎邦彦両助教授にお礼申し上げます。

文 献

- RIKITAKE, T. and YAMAZAKI, Y., 1969a, Electrical conductivity of strained rocks (The 5th paper), Residual strains associated with large earthquakes as observed by a resistivity variometer, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 47, 99-105.
- RIKITAKE, T. and YAMAZAKI, Y., 1969b, Strain step as observed by a resistivity variometer, *Tectonophysics*, 9, 197-203.
- RIKITAKE, T. and YAMAZAKI, Y., 1976, Resistivity changes as a precursor of earthquake, *J. Geomag. Geoelectr.*, 28, 497-505.
- RIKITAKE, T. and YAMAZAKI, Y., 1977, Precursory and coseismic changes in ground resistivity, *J. Phys. Earth*, 25, Suppl., 161-173.
- YAMAZAKI, Y., 1967, Electrical conductivity of strained rocks (The 3rd paper), A resistivity variometer, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 45, 849-860.
- YAMAZAKI, Y., 1968, Electrical conductivity of strained rocks (The 4th paper), Improvement of the resistivity variometer, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 46, 957-964.

- 山崎良雄, 1973, 岩石変形と比抵抗 (比抵抗変化計の開発), 地震 [2], 26, 55-66.
- 山崎良雄, 1974a, 岩石変形と比抵抗 (2), (地震に伴う大地比抵抗の微小変化), 地震 [2], 27, 81-82.
- 山崎良雄, 1974b, 岩石変形と比抵抗 (3), (前駆的变化, Rise-time および岩石歪増倍率), 地震[2], 27, 164-166.
- 山崎良雄, 1974c, 岩石変形と比抵抗 (4) (1974年伊豆半島沖地震に伴う油壺の大地比抵抗変化), 地震 [2], 27, 364-367.
- 山崎良雄, 1974d, 岩石変形と電気伝導度変化 (第六報), 1974年伊豆半島沖地震に伴う油壺の大地比抵抗変化, 地震研究所研究速報, 14, 121-133.
- YAMAZAKI, Y., 1974e, Coseismic resistivity steps, *Tectonophysics*, 22, 159-171.
- YAMAZAKI, Y., 1975a, Precursory and coseismic resistivity changes, *Pure and Applied Geophysics*, 113, 219-227.
- 山崎良雄, 1975b, 地震に伴う大地比抵抗変化の検出限界, とくに油壺における観測の場合, 地震[2], 28, 31-40.
- YAMAZAKI, Y., 1977, Tectonoelectricity, *Geophysical Surveys*, 3, 123-142.
- 山崎良雄, 1978a, 1978年伊豆大島近海地震に伴う大地比抵抗変化 - 油壺の「比抵抗変化計」記録について -, 地震研究所彙報, 53, 973-985.
- 山崎良雄, 1978b, 1978年伊豆大島近海地震に伴う油壺の大地比抵抗変化, 地震 [2], 31, 230-233.
- 山崎良雄, 1980, Preseismic の比抵抗変化 (1) (1968年5月14日~1975年2月28日), 地震研究所彙報, 55, 755-794.
-

31. *A Telemeter System of the Resistivity Variometer.*

By Yoshio YAMAZAKI,

Earthquake Research Institute, University of Tokyo

A continuous high sensitivity observation of apparent ground resistivity was first started at the Aburatsubo Crustal Movement Observatory (139°37'E, 35°09'N), Kanagawa Prefecture, about 60 km south of Tokyo on May 14, 1968. The initial intention was to observe the crustal movement reflected on the resistivity variation.

The initial resistivity observation system consisted of the following sections: 1) four graphite electrodes buried in the floor ground of a small vault near the shoreline of the Aburatsubo Bay, with 1.6 m distance in N81°W direction, 2) a 67 Hz type resistivity variometer and 3) two sets of aerial cables which connect the electrodes and the resistivity variometer.

The apparent resistivity change in response to the tidal loading of the ground has been continuously recorded with a sensitivity as high as 10^2 compared with the earth's strain at Aburatsubo.

Unexpectedly, on every occurrence of the remarkable earthquakes in the vicinity of Japan, the resistivity variation has been observed. Up to the present, the author observed 50 remarkable coseismic resistivity changes most of which are accompanied by the precursory resistivity change the order of hours preceding to the respective earthquakes.

From September 2, 1978, the prototype vacuum tube apparatus was replaced by an IC type two component resistivity variometer which is capable of a future coupling with a telemeter system without interfering with observation under continuous operation.

On February 14, 1980, real time continuous telemetering of the resistivity variation to the author's laboratory at the Earthquake Research Institute was started through D1 service line of Nippon Telephone and Telegram Agency (NTT).

The telemeter system is a low-speed, 50 bits/sec, one-way, PCM telemeter equipment with four 8 bits channels.

The first telemetered coseismic resistivity change at Aburatsubo was of an earthquake of magnitude 5.9 on March, 1980. The agreement of the directly recorded resistivity change at Aburatsubo and the telemetered record at the Earthquake Research Institute is quite satisfactory. The coseismic resistivity change for the earthquake of magnitude 6.7 on June 29, 1980 is also shown at Aburatsubo.