

## 32. 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 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〔YAMAZAKI (1968), 山崎 (1973)〕の連続観測によって、この観測を始めた1968年5月から1980年8月までの約12年間に油壺地殻変動観測所(以下、油壺という)で検出、記録したところの coseismic の大地比抵抗変化(以下、coseismic 変化という)は50例にも及んでいる。これらの coseismic 変化記録の最初のもは、十勝沖地震(M7.9, 1968)の場合である。

油壺におけるこれらの coseismic 変化記録には、地震の数時間からこれに先行して異常を示す preseismic の大地比抵抗変化(以下、preseismic 変化という)を含んでいる例が数多くある。とくに本震の約2時間前から緩慢な変化を示した十勝沖地震、同じく約4時間前から鋸歯状波的变化を現わした伊豆半島沖地震(M6.9, 1974)の二つの地震の preseismic 変化は、油壺の比抵抗変化計により記録した最も顕著な例である〔山崎(1974a, 1974b)〕。

これらの代表的な2例の他にも、いままでに発表した油壺の coseismic 変化記録には、preseismic 変化として認められるものがかかなり含まれている。これらの変化については、すでに断片的に地震のたびに報告した例が二三あるが、まとめて検討を行っていない。

今回、油壺において得られた coseismic 変化の記録が50例近くになったことと、比抵抗変化計のテレメータシステム〔山崎(1980)〕が完成したことに合わせて、いままでの油壺における coseismic 変化記録に含まれている preseismic 変化の検討を試みた。この対象にした比抵抗変化計の記録は、1968年5月14日から1975年2月28日にいたる約7年間に得られた29例である。

これら29例の coseismic 変化記録に含まれている preseismic 変化を検出するために用いた手法は、すでに伊豆半島沖地震および伊豆大島近海地震(M7.0, 1978)の二つの被害地震に伴った coseismic 変化記録について試みたものと同じである。この二つの地震に伴う記録については、毎時5回、12分ごとに読み取りを行ない digital high-pass filter (以下、フィルターという)によって、比抵抗変化の記録に含まれている潮汐荷重に伴う長周期変化分を取り除いた。

この結果、伊豆半島沖地震の場合には、本震の約4時間前から始まっていた preseismic 変化が一層、顕著に示されることになった。しかし伊豆大島近海地震の場合には、同じような地震の先行的な比抵抗変化は現われなかった。

今回、1968年5月から1975年2月までに記録された油壺の29例の coseismic 変化について、上記の二つの地震の場合における記録に試みた同じ手法を行なった結果、17例の

Table 1. List of 30 earthquakes which accompanied coseismic resistivity changes. M, D and  $\Delta$  denote the magnitude, focal depth and epicentral distance of each earthquake recorded at the Aburatsubo Crustal Deformation Observatory, respectively.

Record No.	Date	Time	Longitude (East)	Latitude (North)	M	D (km)	$\Delta$ (km)	Epicentral location	Coseismic resistivity change	
									Polarity	$\Delta\rho/\rho$
1	May 16, 1968	9h 49m	143°35'	40°44'	7.9	0	935	E off N Honshu	+	$0.72 \times 10^{-4}$
2	May 16, 1968	19 39	142 51	41 25	7.5	40	988	E off Aomori Pref.	-	0.24
3	May 17, 1968	8 05	143 29	39 46	6.7	30	809	E off N Honshu	-	0.20
4	June 12, 1968	22 42	143 08	39 25	7.2	0	745	Off Iwate Pref.	-	0.56
5	July 1, 1968	19 45	139 26	35 59	6.1	50	127	Middle of Saitama Pref.	-	1.10
6	Aug. 12, 1969	6 28	147 37	42 42	7.8	30	1,409	E off Hokkaido	-	0.57
7	Sept. 9, 1969	14 15	137 04	35 47	6.6	0	320	Middle of Gifu Pref.	-	0.80
8	Jan. 6, 1971	15 05	141 09	36 22	5.5	40	256	Off Ibaraki Pref.	-	0.43
9	July 23, 1971	7 07	133 53	35 33	5.3	10	100	Eastern Yamanashi Pref.	-	0.47
10	Aug. 2, 1971	16 25	143 42	41 14	7.0	60	1,004	Off Erimomisaki	-	0.10
11	Aug. 12, 1971	4 02	140 05	35 45	4.8	60	110	Northwestern Chiba Pref.	-	0.17
12	Oct. 11, 1971	19 16	140 33	35 54	5.2	40	157	Northern Chiba Pref.	+	0.13
13	Feb. 29, 1972	18 23	141 16	33 11	7.0	70	351	E off Hachiojima	-	0.12
14	Aug. 31, 1972	17 07	136 46	35 53	6.0	10	357	Fukui-Gifu Border	-	0.17
15	Oct. 6, 1972	20 31	138 31	34 24	5.5	30	174	SW off Izu Pen.	-	(Instrument trouble)
16	Oct. 18, 1972	10 48	140 07	35 44	5.1	80	108	Northern Chiba Pref.	-	0.18
17	Dec. 4, 1972	19 16	141 05	33 12	7.2	50	337	E off Hachiojima	+	0.43
18	Mar. 27, 1973	11 08	135 56	35 31	4.9	60	66	Tokyo Bay	+	0.52
19	Sept. 29, 1973	9 46	130 58	42 11	7.8	600	1,423	Near Vladivostok	-	0.14
20	Sept. 30, 1973	15 18	140 40	35 39	5.9	50	147	Near Choshi	-	0.28
21	Oct. 1, 1973	23 16	140 48	35 37	5.8	60	160	Near Choshi	+	0.08
22	Dec. 22, 1973	10 19	140 17	35 13	5.0	70	83	Southern Chiba Pref.	+	0.10
23	Mar. 3, 1974	13 51	140 53	35 34	6.1	60	160	E off Chiba Pref.	+	0.29
24	May 9, 1974	8 33	138 48	34 34	6.9	10	144	Near S Coast of Izu Pen.	+	0.48
25	June 27, 1974	10 49	139 12	33 45	6.1	10	211	Near Hachiojima	-	0.27
26	Aug. 4, 1974	3 16	139 55	36 01	5.8	50	132	SW Ibaraki Pref.	-	0.20
27	Sept. 27, 1974	12 10	141 31	33 43	6.4	60	311	E off Hachiojima	-	0.26
28	Nov. 16, 1974	8 32	141 15	35 45	6.1	40	215	Off Choshi	+	0.13
29	Nov. 30, 1974	7 05	138 46	30 36	7.6	420	673	S off Honshu	-	0.15
30	Feb. 8, 1975	1 41	140 07	35 49	5.4	60	115	Northern Chiba Pref.	+	0.08

preseismic 変化があることが明らかになった。さらにこの 17例の変化は、時間にたいする比抵抗の変わり方によって、三つの型に区分することができた。

本報告においては、油壺の coseismic 変化記録の 29例およびこれらの記録から明らかになった preseismic 変化の 17例をそれぞれの場合、図を中心として説明するとともに、三つの型に区分できた preseismic 変化およびその duration time (TP) 等についても述べる。

## 2. Coseismic 変化を伴った地震のデータ

Table 1 は、さきに述べたように約 7年に及ぶ観測期間中、油壺で記録した coseismic 変化の 30例に関する地震のデータである。このデータのおもなものは、気象庁の「地震月報」に基づいている。Table 1 の左から右へ、順次、記録番号 (Record No.), 発震時 (Date, Time), 経度 (Longitude), 緯度 (Latitude), マグニチュード (M), 震央距離 ( $\Delta$ ), 震央位置 (Epicentral location) および比抵抗変化計の記録に示された coseismic 変化 (Coseismic resistivity change) の極性 (Polarity), 比抵抗変化率 ( $\Delta\rho/\rho$ ) を示してある。

Table 1 から明らかなように  $\Delta\rho/\rho$  の極性は、比抵抗増加 (+) が 10例, 比抵抗減少 (-) が 19例である。これから - は + のほぼ 2倍弱になっていることがわかる。この coseismic 変化記録 29例のなかには、本報告の主題でもあり、またあとで詳しく述べる preseismic 変化の 17例を含んでいる。

比抵抗変化率 ( $\Delta\rho/\rho$ ) のオーダーは、Table 1 に示したように記録番号 1 から同じく 30のすべての場合、ほぼ  $10^{-4}$  である。また Table 1 の No. 13 の Coseismic resistivity change は、Instrument trouble と記してあり、No. 13 の Polarity および  $\Delta\rho/\rho$  を示していない。

No. 13 は、Table 1 に示したごとく 1972年 2月 29日に起こった M7.0 の八丈島東方沖地震 (E off Hachijojima) に伴う coseismic 変化の記録である。No. 13 の記録は、この地震当時、油壺の 67 Hz 型比抵抗変化計の servo amplifier の利得が低下していたため、正しい比抵抗変化を記録しなかった。したがって、今後、本報

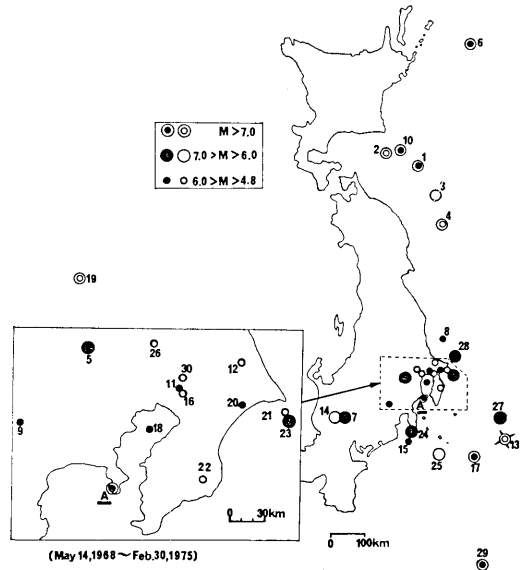


Fig. 1. Epicentral location map of each earthquake shown in Table 1. Solid circles indicate earthquakes which accompanied a preseismic resistivity change preceding the coseismic one. Aburatsubo is represented by  $\Delta$ .

告のすべての部分から No. 13 の例を除外して述べることにする。

Fig. 1 は、Table 1 に示した coseismic 変化を伴った No. 1 から No. 30 までの30例の地震の震央を示す図である。このうち、とくに地震の多い関東地方のみ地図を拡大して、震央位置を付記してある。この Fig. 1 において、M の規模から震央位置を示す丸印を六種類にわけている。この丸印のうち、内部を黒で塗りつぶしてある●、●および●の三つは、あとで述べるように preseismic 変化が得られた17例の地震のそれぞれの震央を示すものである。これとは別の丸印、◎、○および○は、coseismic 変化しか記録しなかった残りの12例の地震の震央位置である。なお Fig. 1 に示した番号は、Table 1 に示した番号と対応している。

### 3. フィルターの Cut-off 周期 ( $T_c$ )

伊豆半島沖および伊豆大島近海の二つの被害地震に伴った coseismic 変化を含む比抵抗変化計の記録の読み取りは、12分ごとに1回、1時間あたり5回を原則として行なった〔山崎 (1978)〕。今回行なった記録の読み取りは、これを一部変更して15分ごとに1回、毎時0分、15分、30分および45分の1時間あたり4回とした。それぞれの記録から比抵抗変化のデータとして読み取った長さは、記録番号ごとに多少の相違はあるが、原則として coseismic 変化を中心とする約2日間に相当している。したがって、29例の記録それぞれから読み取ったデータは、最低の場合でも200以上はある。

記録から読み取ったデータは、MASON (1963) に基づいたフィルターの入力データとした。このフィルターによって、すでに伊豆半島沖地震に先行して約4時間前から現われた preseismic 変化のパターンが明らかにされている。この場合、フィルターの cut-off 周期 ( $T_c$ ) は、平常時における油壺の長周期変化分がきわめて大きいことから考えて6時間に定めた。このように比抵抗変化計の記録から読み取ったデータにフィルターをかける手法およびこのフィルターの特性等については、すでに報告してあるので、ここでの詳細な説明は省略する〔山崎 (1974c, 1978)〕。

今回、29例の coseismic 変化記録について、フィルターをかける場合にも、従来の経験から cut-off 周期 ( $T_c$ ) を6時間と定めた。しかしこのフィルターを29例の読み取りデータにかける場合、 $T_c$  の値がどの程度にフィルターの出力に影響を与えるものか、これを一つの記録について、 $T_c$  の値をいろいろと変え調べてみた。この目的には、先行的変化が顕著である No. 24 の伊豆半島沖地震のさいの記録を用いた。

フィルターにおける  $T_c$  の値は、6時間を中心として、2時間から10時間まで1時間ごとに変えて、それぞれの  $T_c$  におけるフィルター出力を求め、これを1枚の図 (Fig. 2) にした。

Fig. 2 は、以上の結果を示す二つの種類の図である。この図の上部に示した  $\bar{A}$  印のものは、記録番号24の original データであり、毎時0分、15分、30分および45分における読み取り値のプロットである。 $\bar{A}$  における15分ごとのプロット値は、連続的に線で結んである。また Fig. 2 の  $\bar{A}$  の上部には、original data としてでなく、desteped data と示してある。desteped data とは、いろいろな原因に基づく比抵抗変化に伴って、比抵抗変化計の記録計の打点が左または右の端にくる記録の over scale 現象による

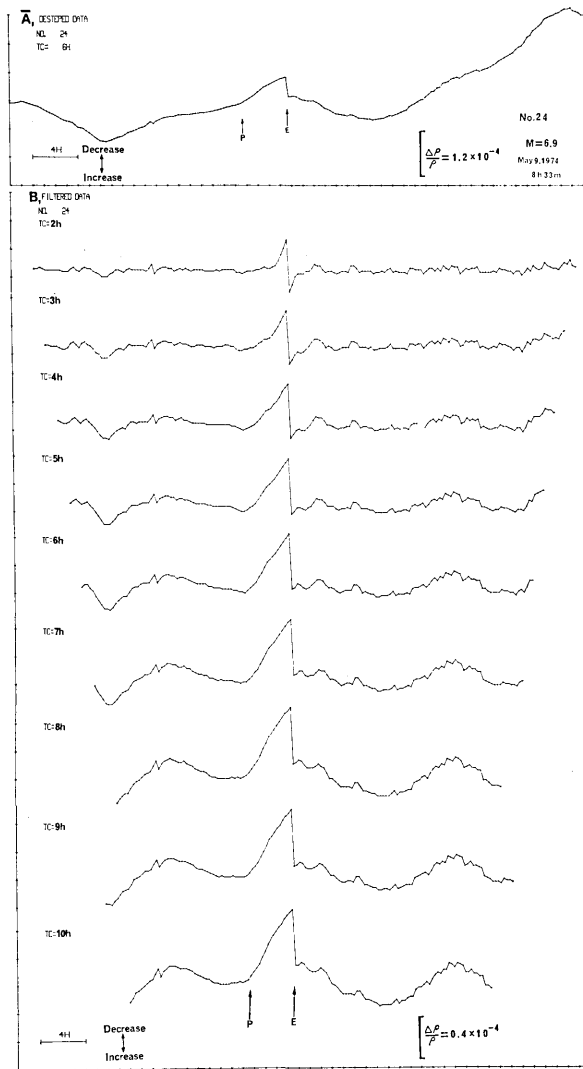


Fig. 2. Effect of the present high-pass filtering  
 A: The original record of resistivity changes read at every 15 minutes for an earthquake (near S coast of Izu Peninsula in Table 1) of M 6.9 at  $\Delta=144$  km on May 9, 1974.

B: Filtered record. The cut-off period ( $T_c$ ) of the digital high-pass filter is shown on the left hand side of B.

The beginning of preseismic resistivity change and the occurrence of the main shock are denoted by P and E, respectively. The duration time of preseismic resistivity change is defined by the time interval from P to E. Resistivity decreases upwards in the present and following figures.

みかけの大きなステップ変化を取り除いた結果である。

油壺の比抵抗変化計の記録は、2成分とも平常時において潮汐荷重に伴うとみられる時間単位の長周期変化分を大きく示している。さらにこの変化の上に電極を埋設してある観測壕への雨水の浸透、壕内の気温・湿度変化などいろいろな原因に基づく、かなり緩慢な比抵抗変化分が重畳している。これらのゆっくりした変化の原因はまた複雑な要素をもっているものと考えられ、このため記録はこれらの原因による大きな比抵抗変化をたまに示すことがある。over scale 現象は平均して月2~3回程度示している。その頻度は、季節や天候等に左右されている観測壕の状態に大きく関係している。

このような記録に示される over scale 現象は、観測上は、自動的に電気回路の動作によって処理されており、over scale 現象のため記録計の打点が左または右に片寄った状態のままになることはない。この現象を生じた場合には、直ちに記録は記録紙の中心部から打点を開始するように動作する。over scale 現象は、おもに記録の高倍率である H 成分のみにみられ、H 成分の 1/5 の低感度に相当する L 成分に over scale 現象を生じるほどの大きな比抵抗変化は、現在まで一回も起こっていない。もし比抵抗変化計の記録に over scale 現象がない場合には、Fig. 2 の  $\bar{A}$  は、original data と印字してくる。

Fig. 2 の  $\bar{A}$  に示す  $\Delta\rho/\rho$  は、記録の H 成分に基づく比抵抗変化率であり、その極性は図に示してある。

Fig. 2 における B の 9 枚のフィルター出力の図は、cut-off 周期 ( $T_c$ ) の値を 2 時間から 10 時間まで、9 回変えて計算を行なったものである。この 9 枚の図から明らかのように  $T_c$  の値によって、フィルター出力がかなり異なってくるのがわかる。

$T_c=6$  時間を中心とした Fig. 2 の B 図から明らかのように、 $T_c$  が小さくなるとフィルターをデータにかけたことにより顕著になった preseismic 変化の波形の歪みと振幅の減少が起こる。反対に  $T_c$  を大きくして計算を行なうと長周期変化分が期待したほどフィルター出力から除去されない。

Fig. 2 に示した結果から、preseismic 変化を顕著にする目的で油壺の比抵抗変化計記録にフィルターをかける場合、 $T_c$  の値は 6 時間が適当といえる。

Fig. 2 の図  $\bar{A}$  および B において、 $\bar{A}$  の比抵抗変化率 ( $\Delta\rho/\rho$ ) は、B の  $\Delta\rho/\rho$  の 1/3 のスケールになっており、B のフィルター出力の図を大きくして見やすくしてある。また  $\bar{A}$  と B の図にある E は地震の発震時、P は preseismic 変化の始まりをそれぞれ矢印を付けて示したものである。

#### 4. Preseismic 変化を示した地震のデータ

Table 1 に示した 29 例の coseismic 変化記録 (No. 13 を除外) について、3. において述べた手法によって、それぞれの記録から読み取ったデータにフィルターをかけた結果、17 例に及ぶ preseismic 変化を検出して、これを 17 枚の図にした。

Table 2 は、これらの preseismic 変化を示した 17 例の地震に関するデータである。この表に示した 17 例の地震の震央位置は、すでに Fig. 1 の地図により、3 種類の丸印、 $\odot$ 、 $\ominus$  および  $\bullet$  を用いて示してある。この 17 例の preseismic 変化の記録には、本震が起こる約 2 時間前から地震発生時まで、緩慢な変化が顕著に続いた十勝沖地震 (M7.9, May 16, 1968)

Table 2. List of 17 earthquakes which accompanied a preseismic resistivity change, preceding the coseismic one. M, D and  $\Delta$  denote the magnitude, focal depth and epicentral distance of each earthquake, respectively.

Record No.	Date	Time	M	D (km)	$\Delta$ (km)	Epicentral location	Preseismic resistivity change		
							Polarity	Duration time ( $T_p$ )	$(\Delta\rho/\rho)_p$
1	May 16, 1968	9h 49m	7.9	0	935	E off N Honshu	-	2 hour	$0.77 \times 10^{-4}$
5	July 1, 1968	19 45	6.1	50	127	Middle of Saitama Pref.	-	3~4 $\frac{3}{4}$	0.48
6	Aug. 12, 1969	6 28	7.8	30	1,409	E off Hokkaido	-	4	0.32~0.51
7	Sept. 9, 1969	14 15	6.6	0	320	Middle of Gifu Pref.	+	2 $\frac{1}{4}$	1.06
8	Jan. 6, 1971	15 05	5.5	40	256	Off Ibaraki Pref.	+	1/2	0.24
9	July 23, 1971	7 07	5.3	10	100	Eastern Yamanashi Pref.	-	5	0.25~0.34
10	Aug. 2, 1971	16 25	7.0	60	1,004	Off Erimomisaki	-	7	0.52
11	Aug. 12, 1971	4 02	4.8	60	110	Northwestern Chiba Pref.	+	1/2	0.15
15	Oct. 6, 1972	20 31	5.5	30	174	SW off Izu Pen.	+	1/2	0.07
17	Dec. 4, 1972	19 16	7.2	50	337	E off Hachiojima	-	2~7	0.76
18	Mar. 27, 1973	11 08	4.9	60	66	Tokyo Bay	-	3	0.34
20	Sept. 30, 1973	15 81	5.9	50	147	Near Choshi	-	1	0.03
23	Mar. 3, 1974	13 51	6.1	60	160	E off Chiba Pref.	-	3	0.34
24	May 9, 1974	8 33	6.9	10	144	Near S Coast of Izu Pen.	-	4	0.58
27	Sept. 27, 1974	12 10	6.4	60	311	E off Hachiojima	-	2~10	0.21
28	Nov. 16, 1974	8 32	6.1	40	215	Off Choshi	-	2	0.20
29	Nov. 30, 1974	7 05	7.6	420	673	S off Honshu	-	4~9	0.05~0.08

の記録を No. 1 として, No. 7 の岐阜県中部地震 (M6.6, Sept. 9, 1969) および No. 24 の伊豆半島沖地震など, 日本付近に起こった数多くの顕著地震に先行した変化を含んでいる. この一部の記録については, すでに発表してある [RIKITAKE and YAMAZAKI (1969)].

Table 2 から明らかなごとく, 17 例の preseismic 変化の始まりの極性は, 比抵抗増加 (+) 4 例, 比抵抗減少 (-) 13 例にわけられる. このように比抵抗変化計の記録に現われた preseismic 変化は, 1968 年 5 月から 1975 年 2 月までの約 7 年間の例においては, 比抵抗減少 (-) で始まっていることが多い.

すでに precursor time として報告したこともあるこの preseismic 変化の継続時間 (duration time)  $T_p$  を Table 2 に示してある. これから  $T_p$  の値は, 短いもので 30 分, 長いものは 10 時間程度までであることがわかる. この  $T_p$  の値は, あとに述べる preseismic 変化の三つの型に関係しているようである.

Table 2 に示したように, preseismic 変化にみられる比抵抗変化率  $(\Delta\rho/\rho)_p$  の大きさは, 地震ごとに多少の差異はあるが 17 例の全体を通して,  $10^{-4}$  のオーダーであり, coseismic の比抵抗変化率とほぼ同じである.

## 5. Preseismic 変化を示した記録の 17 例

Table 2 に示した preseismic 変化 17 例の original 記録の写しとこれらの記録にそれぞれ  $T_c=6$  時間のフィルターをかけた出力とを記録番号ごとに一組にしたものを Figs. 3-19 に示す.

これら 17 枚の図において, 上部にある A は, 記録番号ごとの original 記録の写しである. この A 図の右側に付けてある日本地図上の  $\underline{A}$  は沓壺,  $\times$  は地震の震央をそれぞれ示している.

17 枚の図の中部にある B は, Fig. 2 と同じように A で示した original 記録から, 毎時 0 分, 15 分, 30 分および 45 分に読み取ったデータのプロットである. またそれぞれの図の下部に示した C は, B の読み取りデータに,  $T_c=6$  時間のフィルターをかけた結果のプロットである. これらの A, B および C 図にある P は, preseismic 変化の始まりと考えられる点, E は地震の発震時をそれぞれ示すもので, 矢印を付けてある. このうち P を示す矢印のうち, 点線によって表わしてあるものは, preseismic 変化が二つ以上も記録に現われているもの, または preseismic 変化について, やや疑問があると考えられる場合である.

さきに述べたように, preseismic 変化の継続時間 ( $T_p$ ) は, これらの図において, P から E にいたる時間により表わされるが, 17 枚の図から明らかなごとく,  $T_p$  の値は地震ごとに違っている.

A, B および C の三種類の図における横軸の時間のスケールは, A が B および C の三倍にしてある. また比抵抗変化率  $(\Delta\rho/\rho)$  の極性は, それぞれの図に示したごとく decrease または increase で減少と増加を表わしてある.

17 例の preseismic 変化は, それぞれの図から明らかなように original 記録においても異なるパターンを示している. さらにこれらの記録にフィルターをかけた結果には, こ



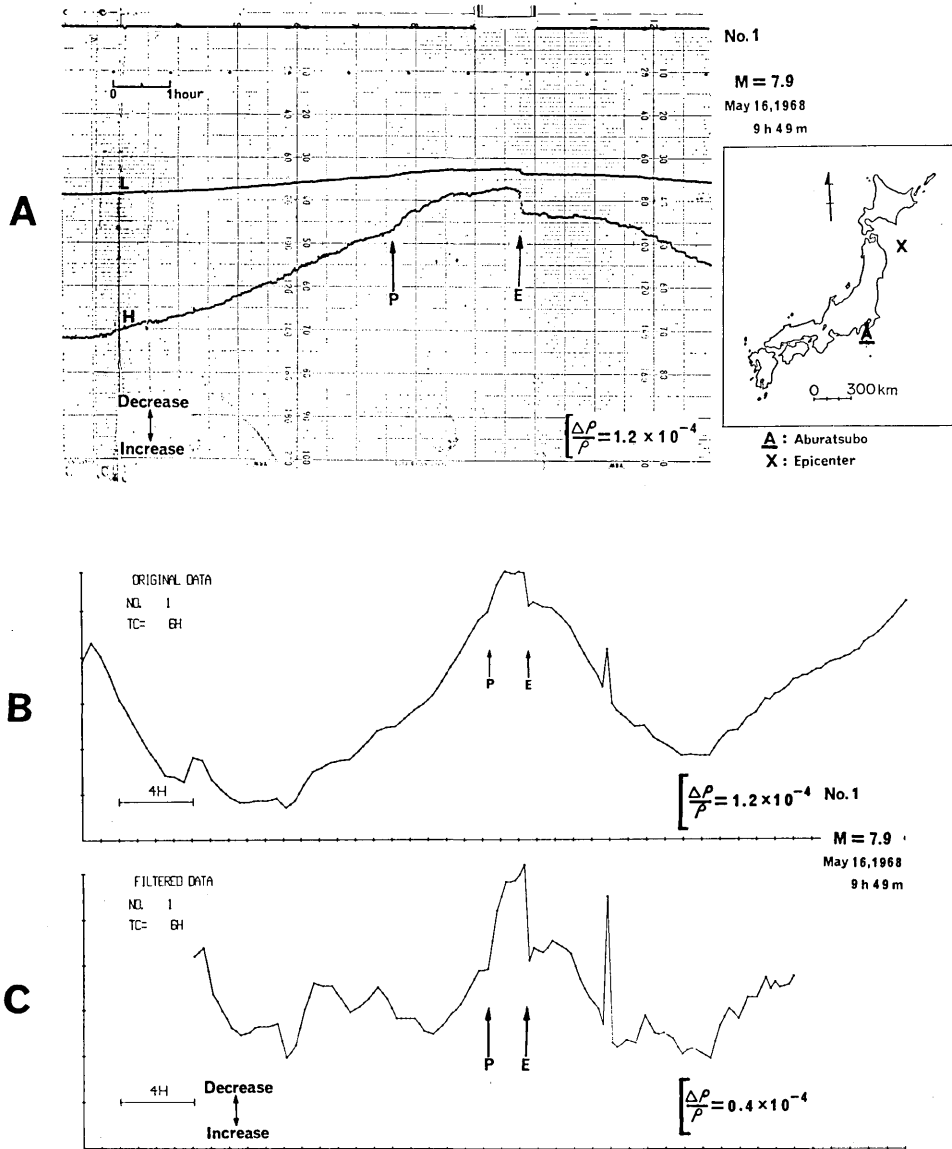


Fig. 3. An example (No. 1) of the resistivity change accompanied by an earthquake (E off N Honshu in Table 1) of M 7.9 at  $\Delta=935$  km on May 16, 1968.

A: The original record (No. 1) of the resistivity change observed by the 67Hz type resistivity variometer at Aburatsubo.

B: Original record of resistivity changes read at every 15 minutes for digital filtering.

C: The high-pass filtered data with cut-off period ( $T_c$ ) of 6 hours.

The beginning of preseismic resistivity change and the occurrence of main shock are denoted by P and E, respectively. The duration time of preseismic resistivity change is defined by the time interval from P to E. Resistivity decreases upward throughout the present and following figures.

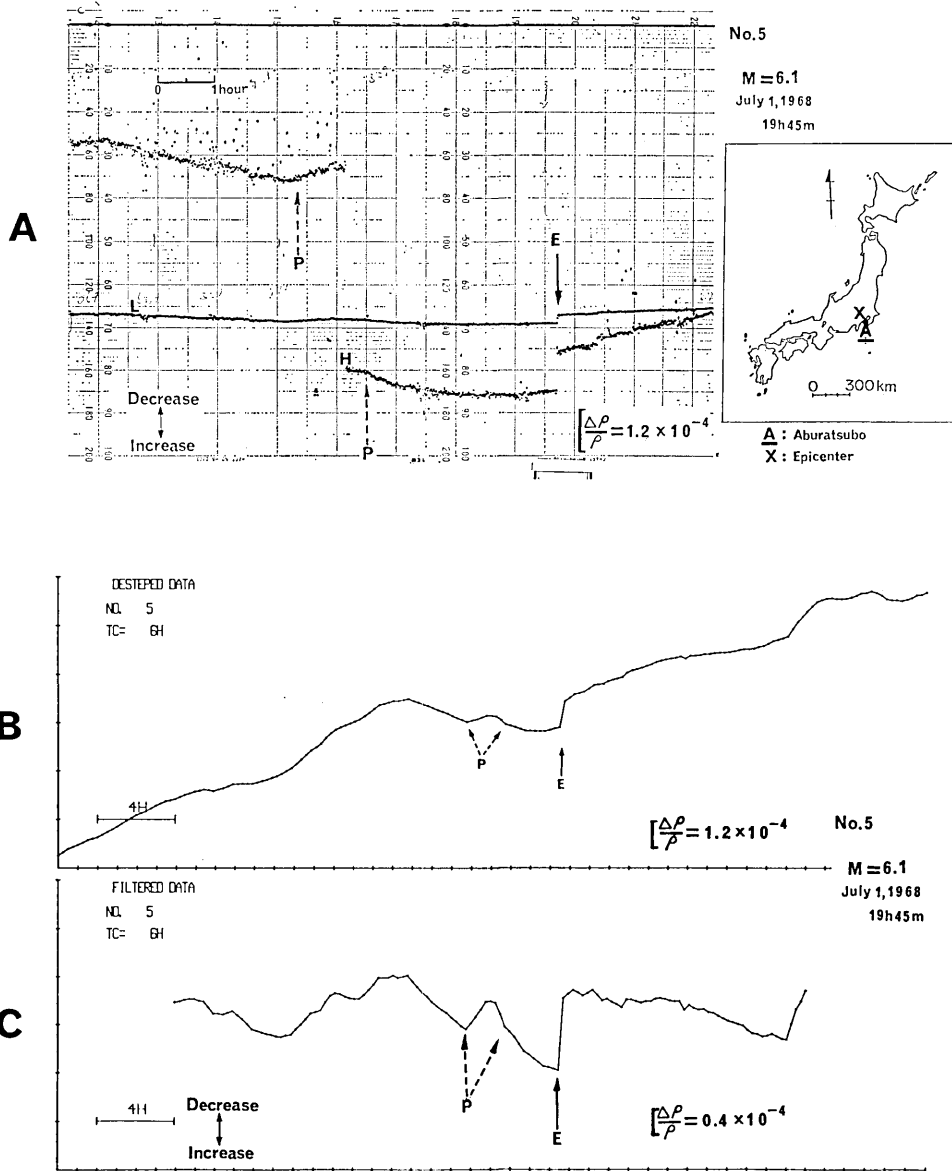


Fig. 4. An example (No. 5) of the resistivity change accompanied by an earthquake (middle of Saitama Pref.) of M 6.1 at  $\Delta=127$  km on July 1, 1968. The meaning of A, B and C in the Figs. 4 to 19 are the same as in the Fig. 3.

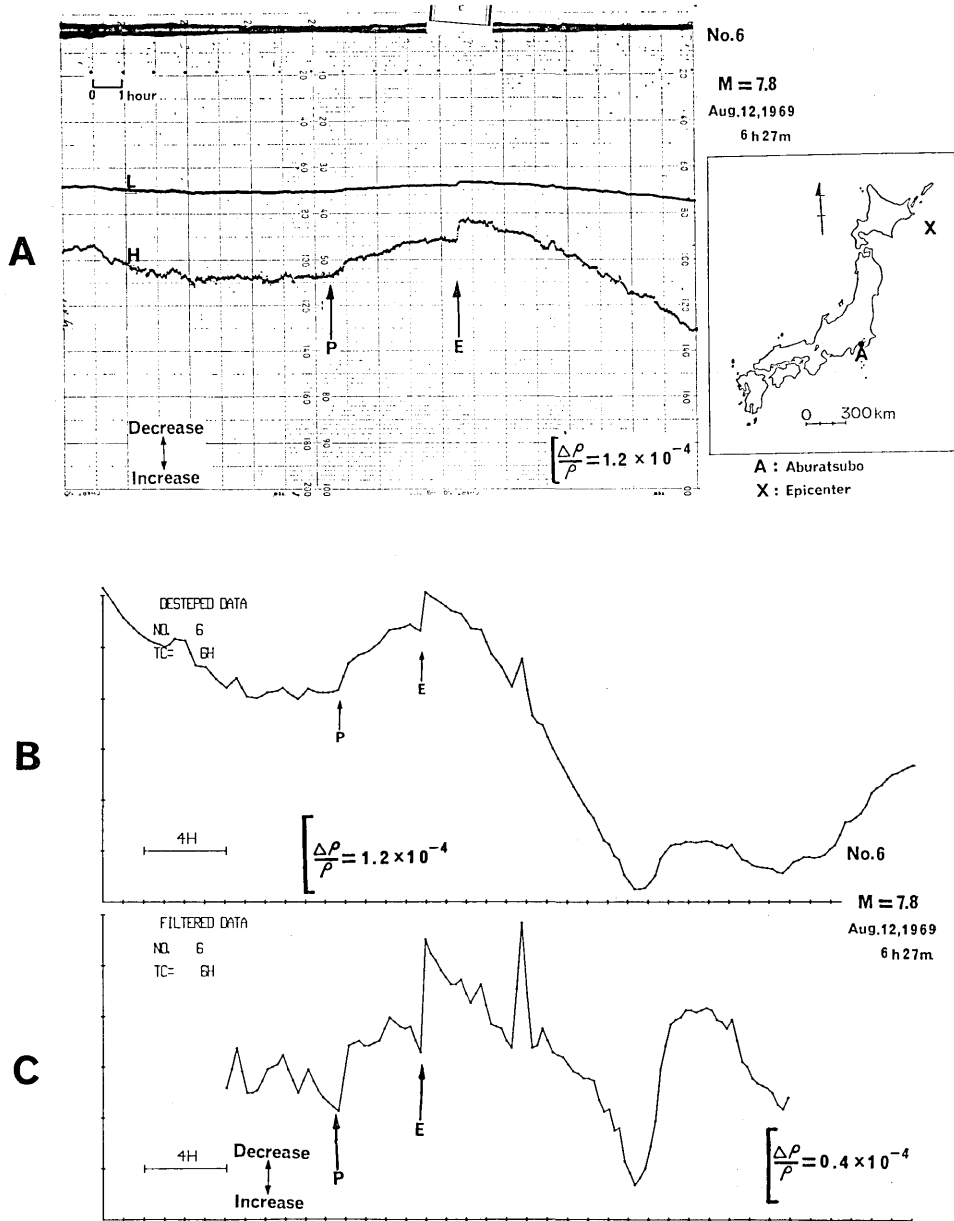


Fig. 5. An example (No. 6) of the resistivity change accompanied by an earthquake (E off Hokkaido) of M 7.8 at  $\Delta=1,409$  km on Aug. 12, 1969.

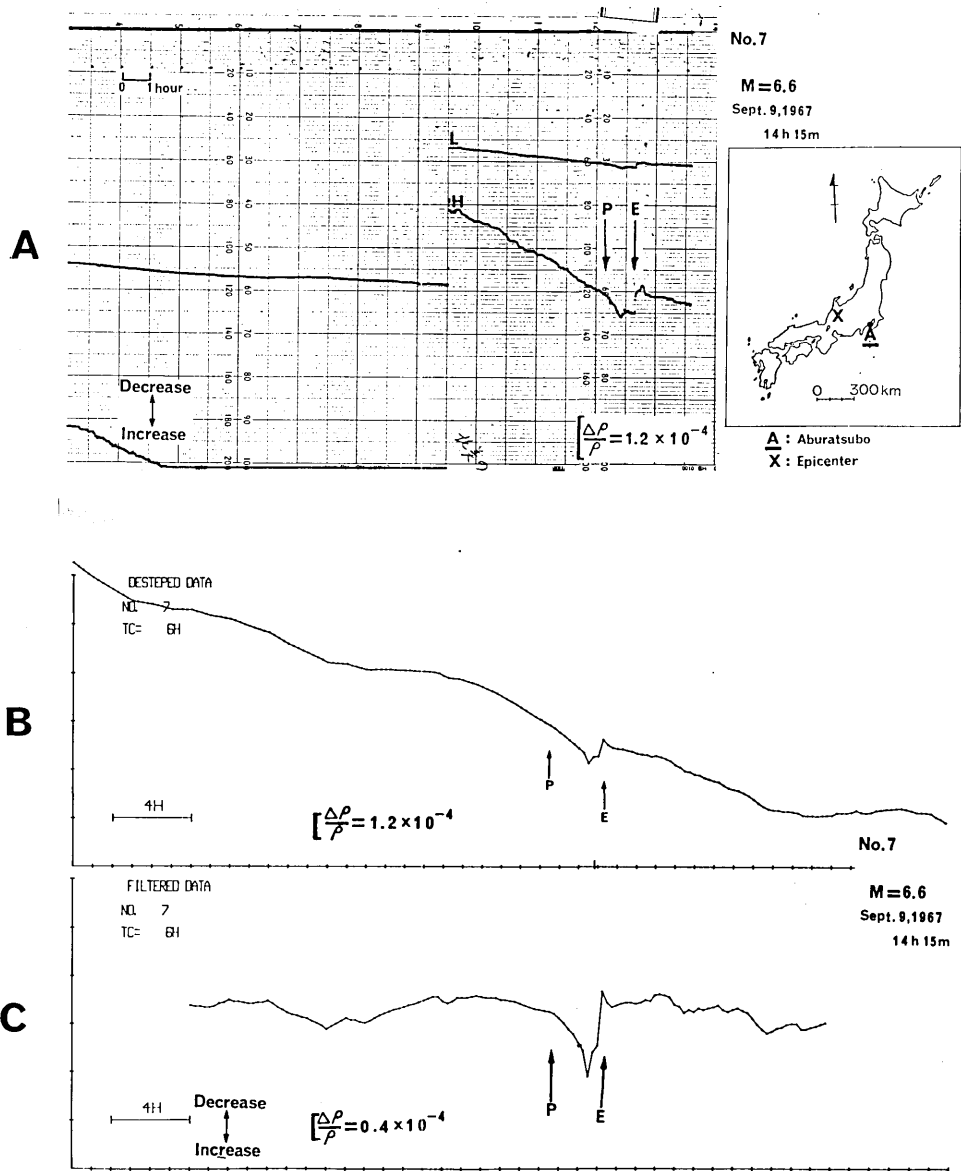


Fig. 6. An example (No. 7) of the resistivity change accompanied by an earthquake (middle of Gifu Pref.) of M 6.6 at  $\Delta=320$  km on Sept. 9, 1969.

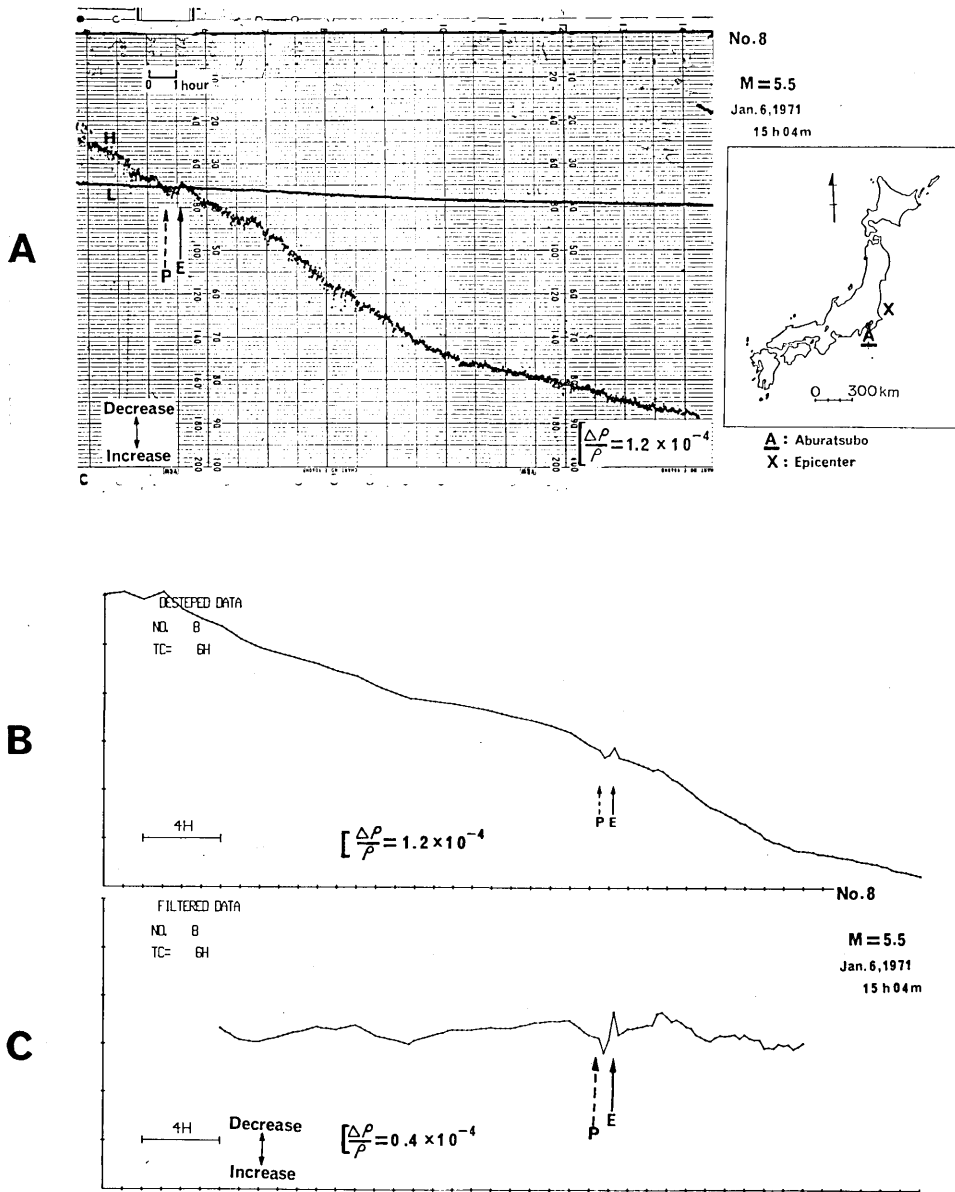


Fig. 7. An example (No. 8) of the resistivity change accompanied by an earthquake (off Ibaraki Pref.) of M 5.5 at  $\Delta=256$  km on Jan. 6, 1971.

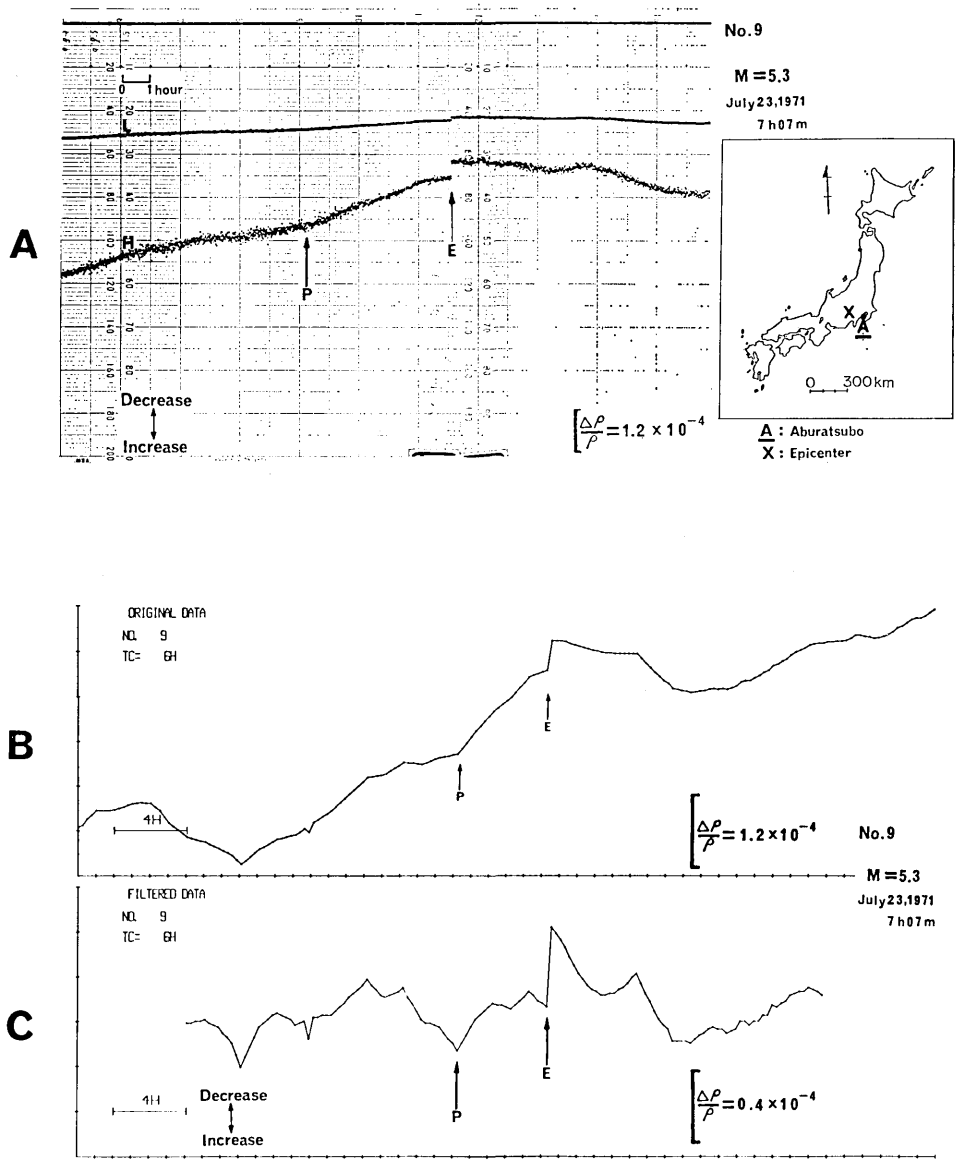


Fig. 8. An example (No. 9) of the resistivity change accompanied by an earthquake (Eastern Yamanashi Pref.) of M 5.3 at  $\Delta=100$  km on July 23, 1971.

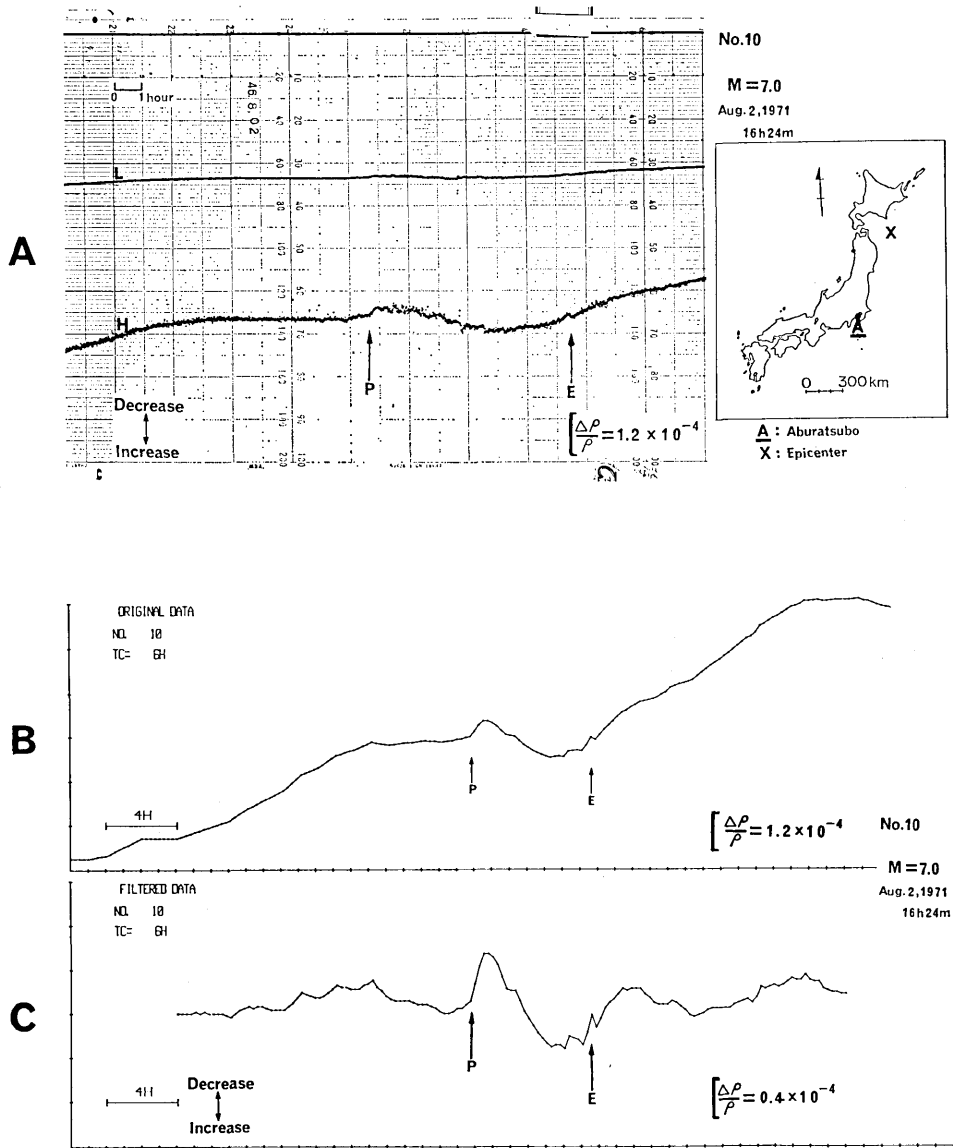


Fig. 9. An example (No. 10) of the resistivity change accompanied by an earthquake (off Erimomisaki) of M 7.0 at  $\Delta=1,004$  km on Aug. 2, 1971.

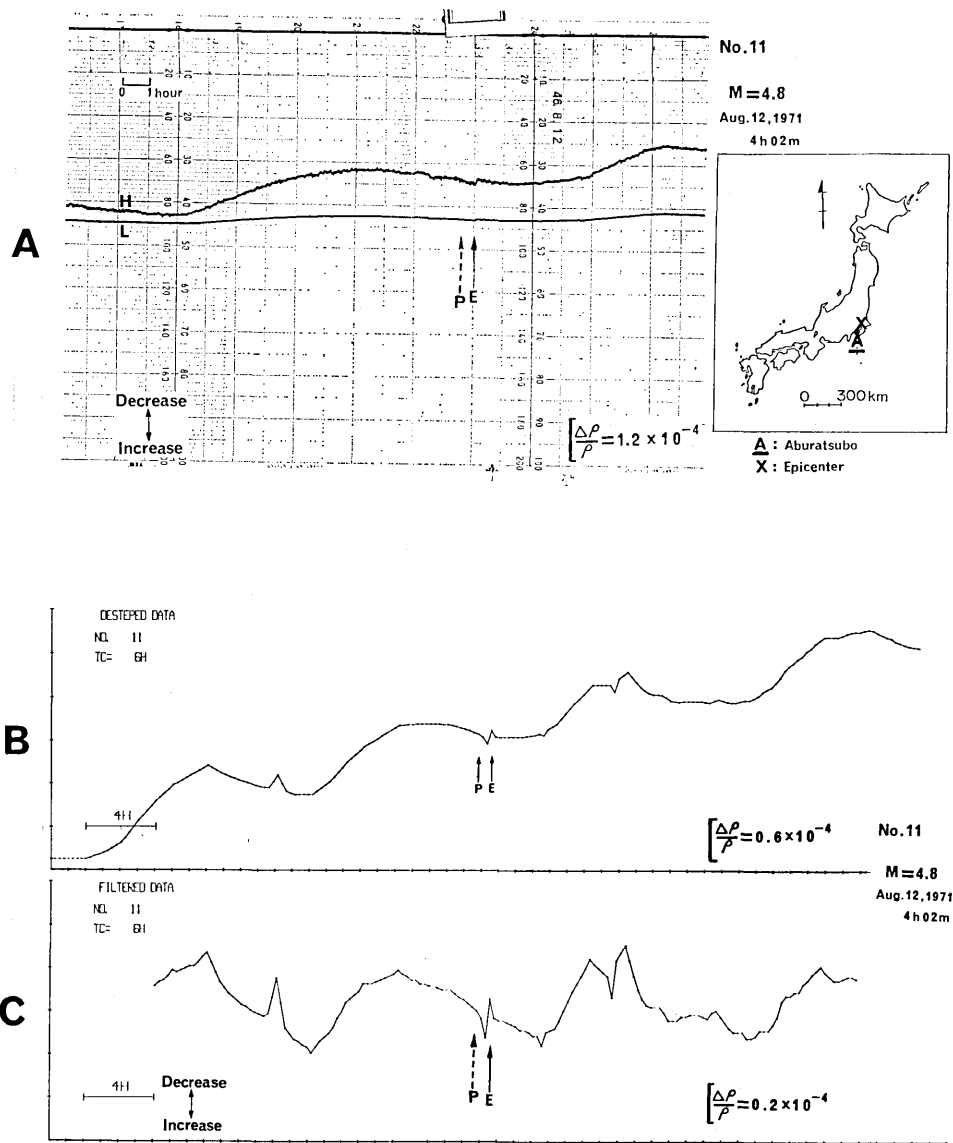


Fig. 10. An example (No. 11) of the resistivity change accompanied with an earthquake (Northwestern Chiba Pref.) of M 4.8 at  $\Delta=110$  km on Aug. 12, 1971.



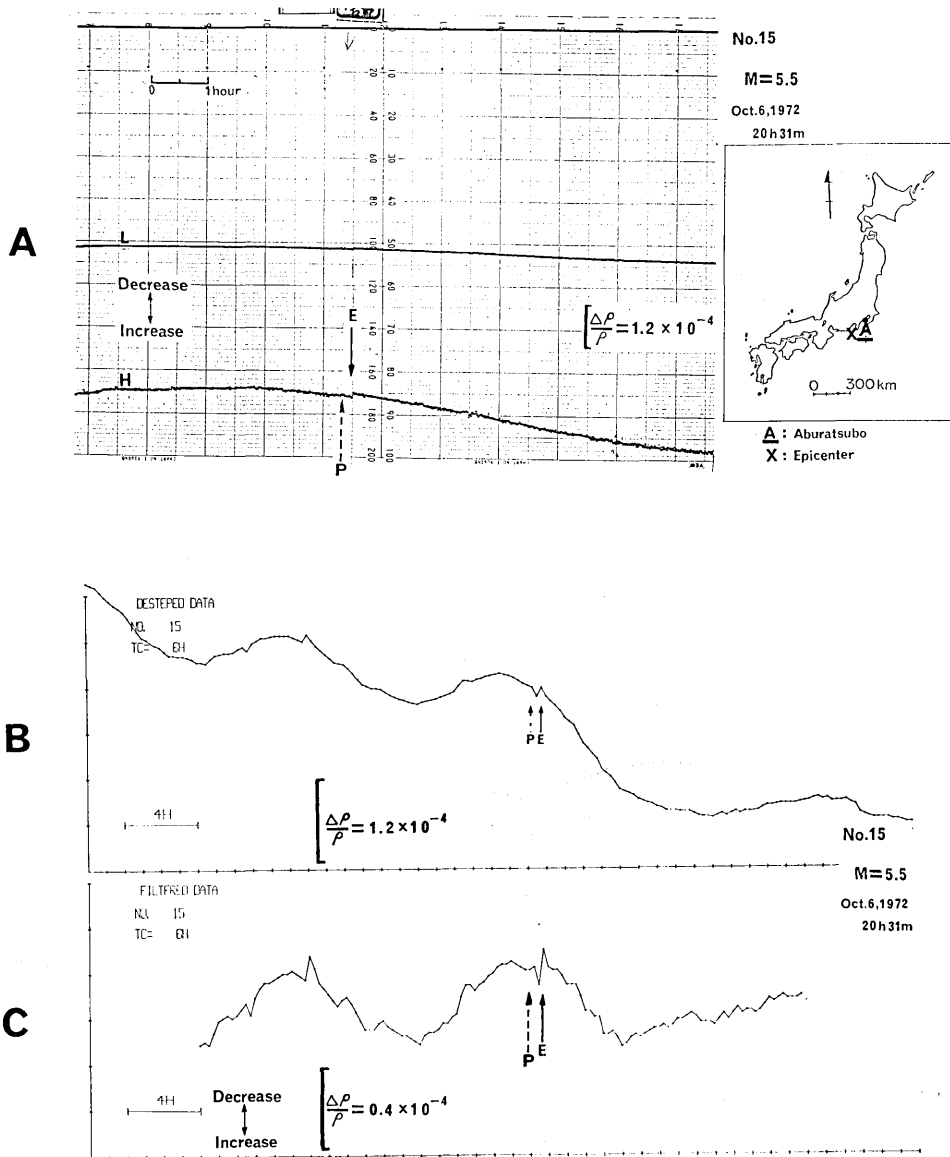


Fig. 11. An example (No. 15) of the resistivity change accompanied by an earthquake (SW off Izu Peninsula) of M 5.5 at  $\Delta=174$  km on Oct. 6, 1972.

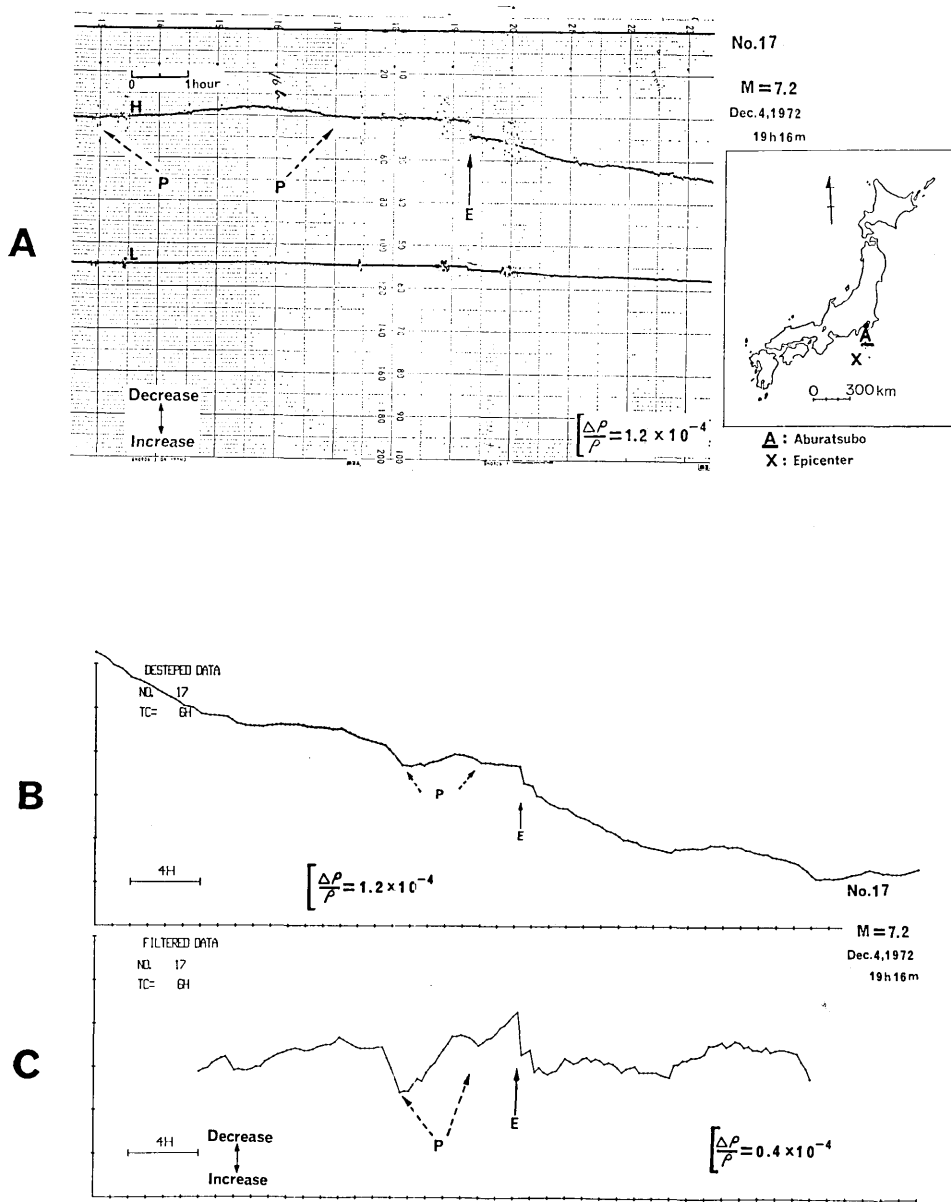


Fig. 12. An example (No. 17) of the resistivity change accompanied by an earthquake (E off Hachijojima) of M 7.2 at  $\Delta = 337$  km on Dec. 4, 1972.



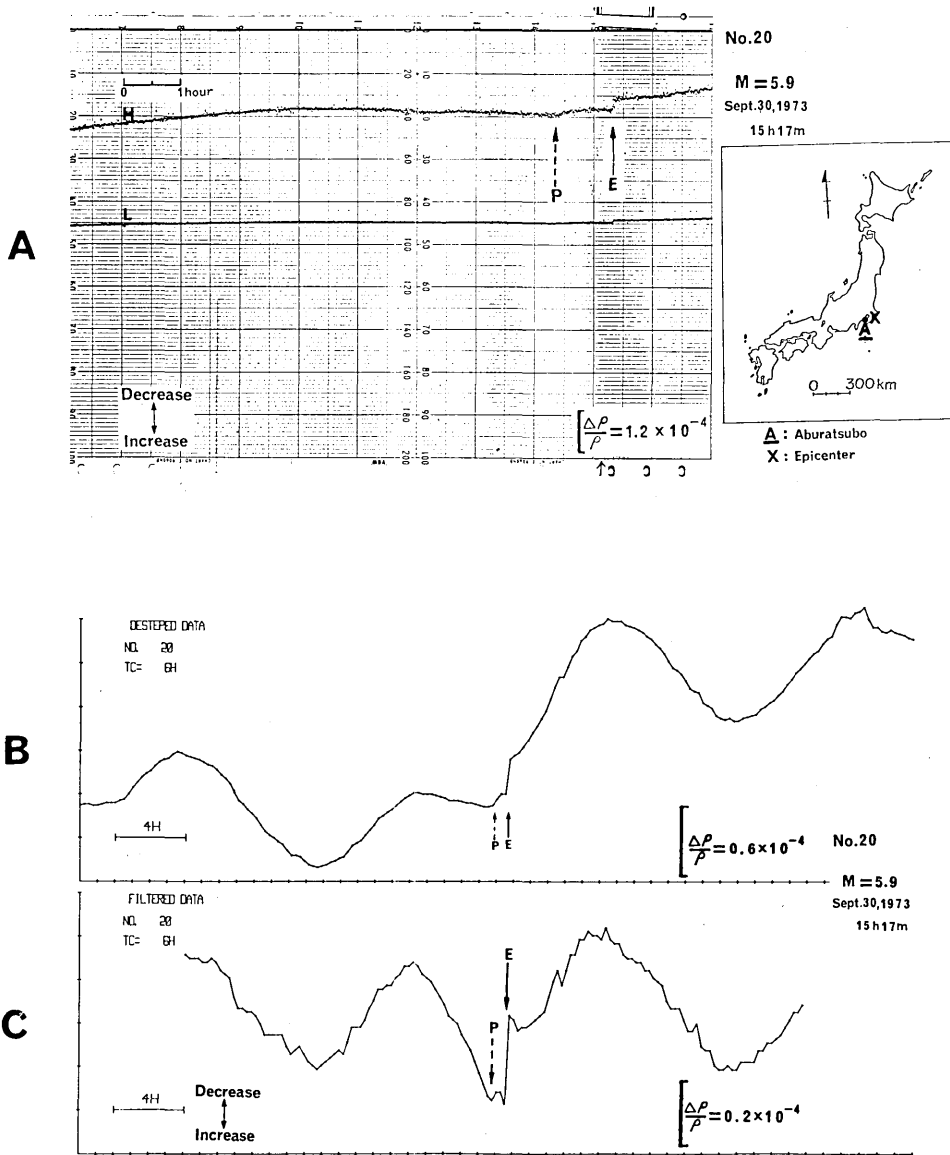


Fig. 14. An example (No. 20) of the resistivity change accompanied by an earthquake (near Choshi) of M 5.9 at  $\Delta = 147$  km on Sept. 30, 1973.

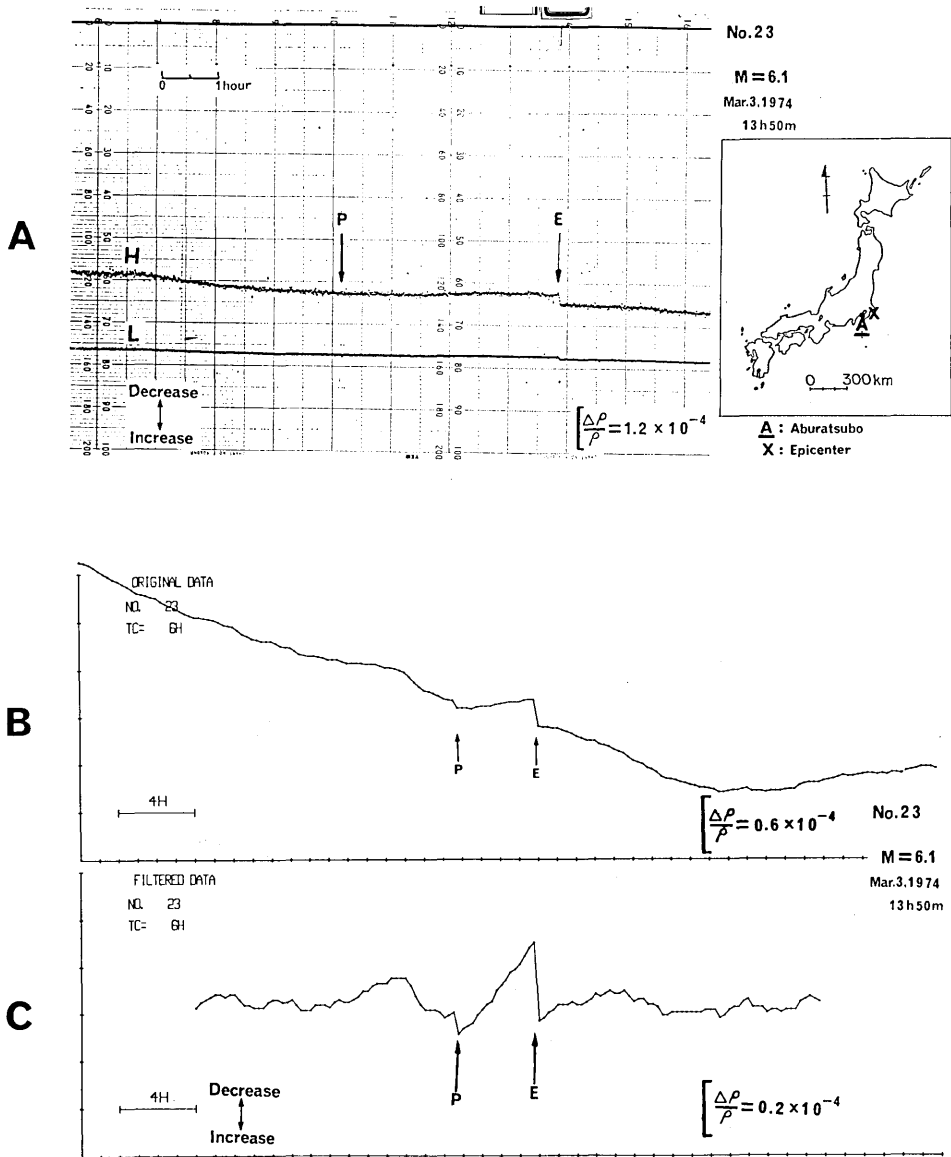


Fig. 15. An example (No. 23) of the resistivity change accompanied by an earthquake (E off Chiba Pref.) of M 6.1 at  $\Delta = 160$  km on Mar. 3, 1974.

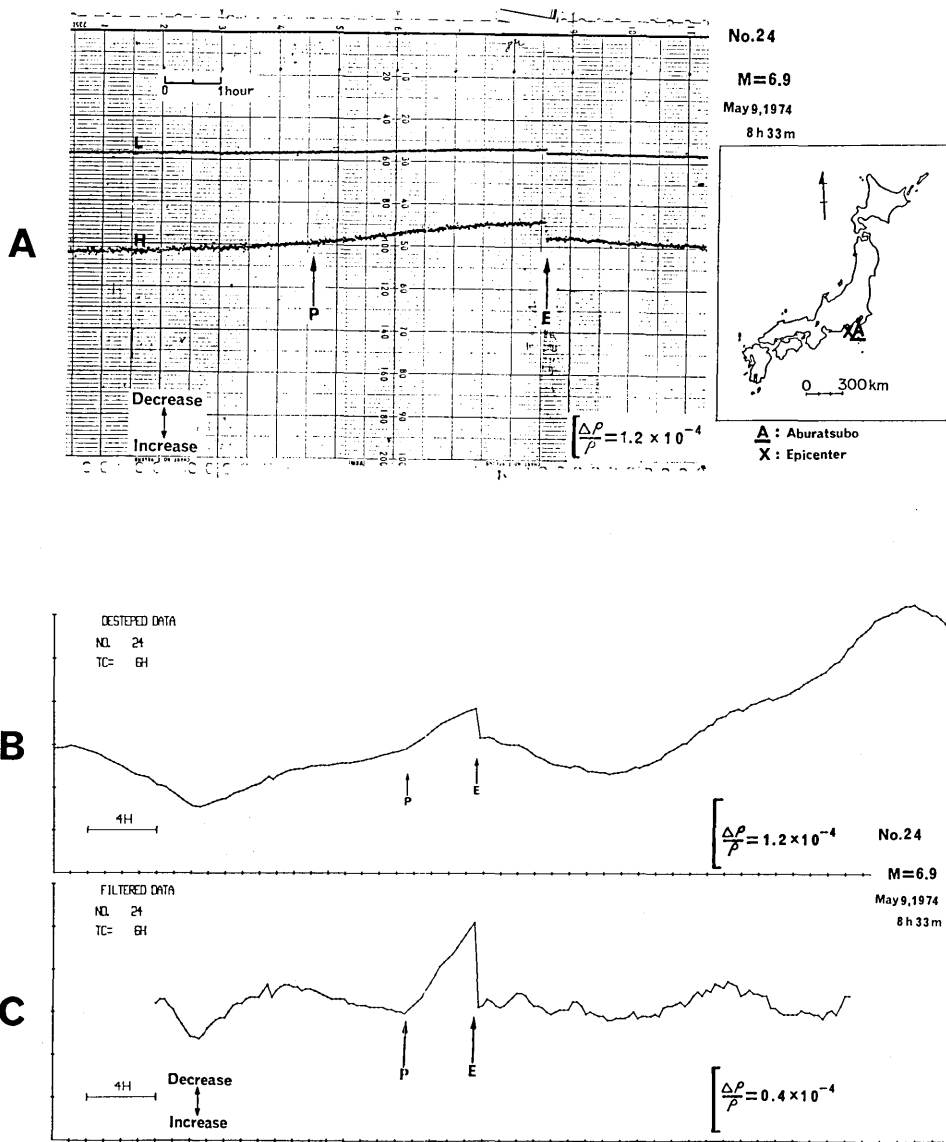


Fig. 16. An example (No. 24) of the resistivity change accompanied by an earthquake (near S Coast of Izu Peninsula) of M 6.9 at  $\Delta=144$  km on May 9, 1974.

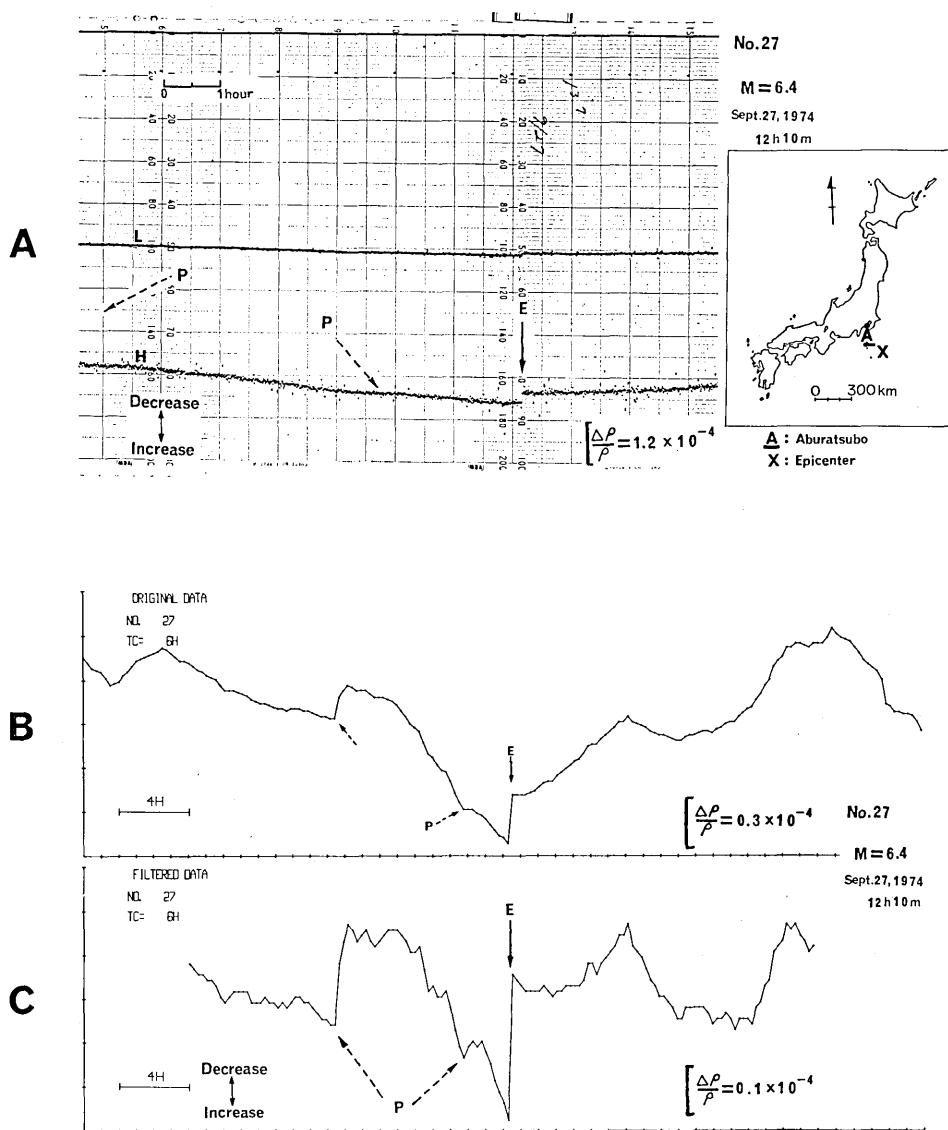


Fig. 17. An example (No. 27) of the resistivity change accompanied by an earthquake (E off Hachijojima) of M 6.4 at  $\Delta=311$  km on Sept. 27, 1974.

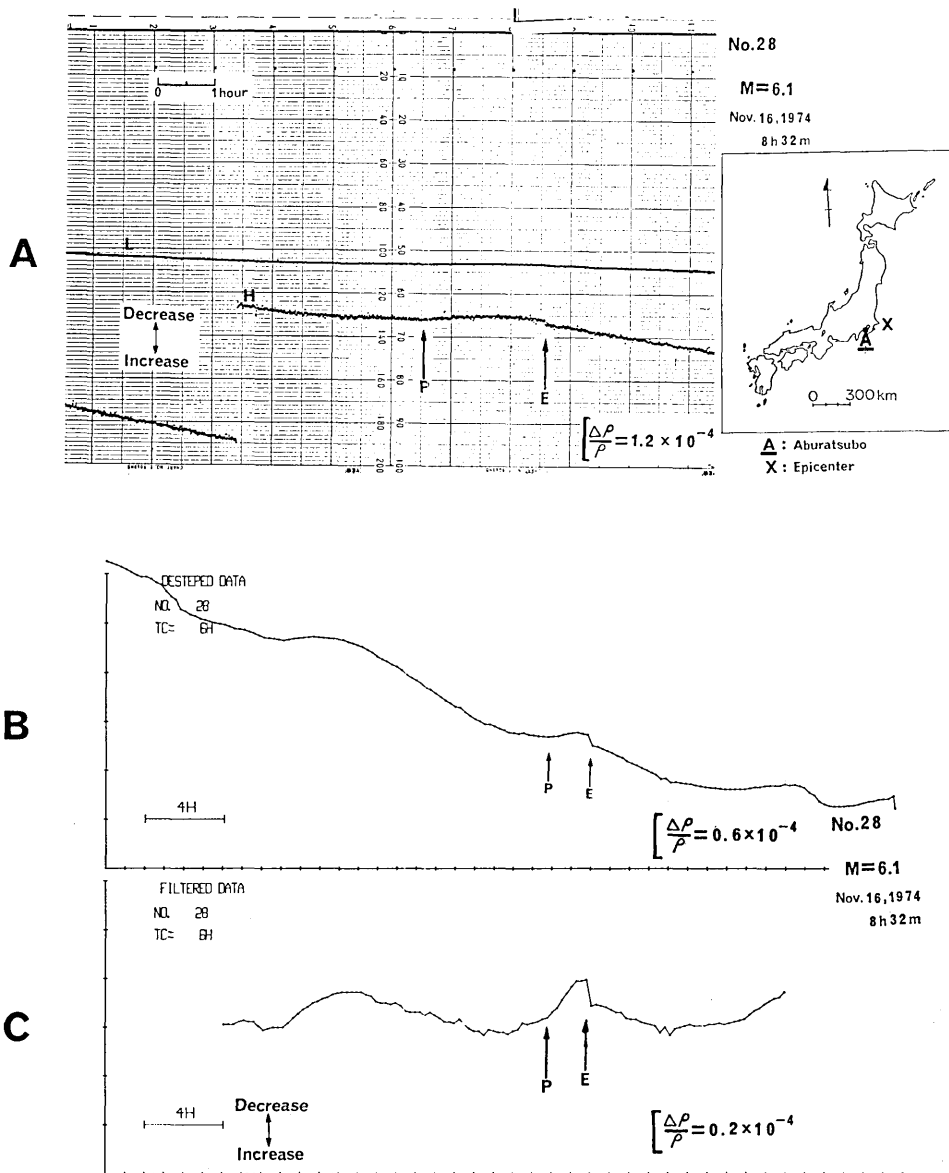


Fig. 18. An example (No. 28) of the resistivity change accompanied by an earthquake (off Choshi) of M 6.1 at  $\Delta=215$  km on Nov. 16, 1974.



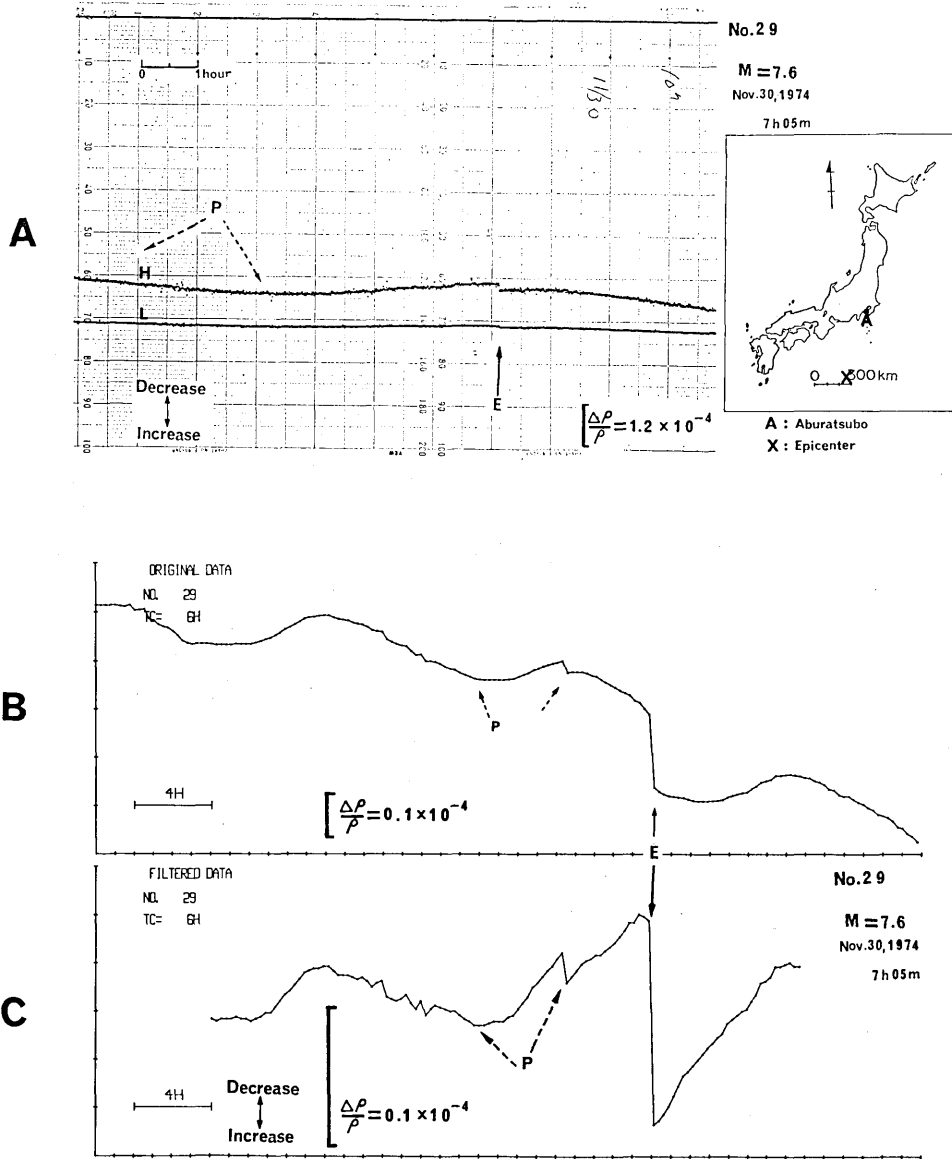


Fig. 19. An example (No. 29) of the resistivity change accompanied by an earthquake (S off Honshu) of M 7.6 at  $\Delta=673$  km on Nov. 30, 1974.

の相違が一層、顕著に現われている。このような preseismic 変化に見られる比抵抗変化の違いは、時間にたいする比抵抗変化のパターンから、あとで示すように、ほぼ三つの型に区分できる。

1968年5月から1975年2月にいたる約7年間の preseismic 変化の検出・記録率を調べると、この期間中における coseismic 変化の29例にたいする17例からして、ほぼ59%になる。この比率によって、今後も油壺の比抵抗変化計が preseismic 変化を検出し続けるという確証はないが、比抵抗変化による時間単位の地震先行異常現象の検知にたいする一つの目安になるものと考えられよう。

## 6. 三つの型に分けられる Preseismic 変化

Figs. 3-19 における C 図から明らかなように、17例の preseismic 変化は、それぞれのフィルター出力によって、三つの型に区分できる。Fig. 20 は、17枚の C 図から考えられる preseismic 変化を示す三つの型の模式図である。この図においては、比抵抗変化率 ( $\Delta\rho/\rho$ ) や比抵抗変化のタイムスケールに無関係に、三つの型をフリースケールで示してある。図の上部から型 I, II および III をそれぞれ画いてある。

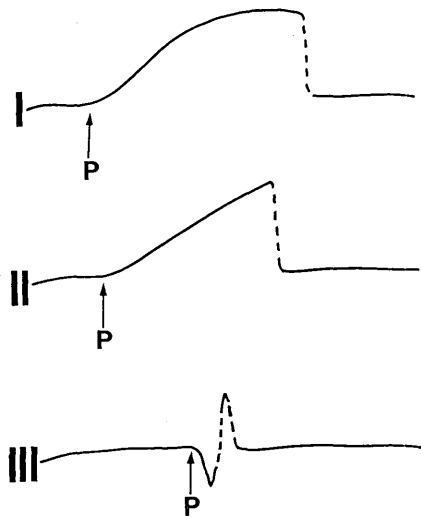


Fig. 20. Three types of preseismic resistivity change. The beginning of preseismic resistivity change is shown by P.

すなわち、preseismic 変化の型を表わす I, II および III, この三つの型にあてはまる記録番号、マグニチュード (M), 震源の深さ (D), 震央距離 ( $\Delta$ ), 震央位置および preseismic 変化の始まりの極性 (polarity), この継続時間 ( $T_p$ ), 比抵抗変化率 ( $\Delta\rho/\rho$ )<sub>p</sub> をそれぞれ記入してある。

preseismic 変化の型 I にあてはまる記録は、17例のうち5例あり、その記録番号は1, 5, 6, 7 および10である。このうち、No. 1 は油壺の比抵抗変化計が初めて観測した地震に伴う大地比抵抗変化記録の十勝沖地震の場合である。続いて No. 5 の埼玉県中部地震 (M6.1, 1968, Middle of Saitama Pref.), No. 6 の北海道東方沖地震 (M7.8, 1969, E off Hokkaido), No. 7 の岐阜県中部地震 (M 6.6, 1969, Middle of Gifu Pref.)

どのような考えに基づいて、三つの型を決めたかという説明を少しする。型 I は、ややふくらみをもった緩慢な変化、同じく II は、時間にたいして、ほぼ鋸歯状的变化、型 III は、ステップ状的变化とそれぞれ仮りに定めた。また同じ型の変化が地震に先行してなん回生じていても、これは型 I, II, III のいずれかに入るものと考えた。

このように preseismic 変化の型を仮定すると、本報告における17例の場合、すべて Fig. 20 に示した三つの型のいずれかにあてはまる。Table 3 は、この結果である。Table 3 の左から右へと順次、次のように示してある。す

Table 3. Three types (I, II and III) of preseismic resistivity change.  $M$  and  $A$  denote the magnitude and epicentral distance of each earthquake, respectively.

Type	Record No.	M	D (km)	A (km)	Epicentral location	Preseismic resistivity change		
						Polarity	Duration time (Tp)	$(\Delta\rho/\rho)_p$
I	1	7.9	0	935	E off N Honshu	-	2 hour	$0.77 \times 10^{-4}$
	5	6.1	50	127	Middle of Saitama Pref.	-	3~4 $\frac{1}{4}$	0.48
	6	7.8	30	1,409	E off Hokkaido	-	4	0.32~0.51
	7	6.6	0	320	Middle of Gifu Pref.	+	2 $\frac{1}{4}$	1.06
	10	7.0	60	1,004	Off Erimomisaki	-	7	0.52
II	9	5.3	10	100	Eastern Yamanashi Pref.	-	5	0.25~0.34
	17	7.2	50	337	E off Hachijojima	-	2~7	0.76
	18	4.9	60	66	Tokyo Bay	-	3	0.34
	20	5.9	50	147	Near Choshi	-	1	0.03
	23	6.1	60	160	E off Chiba Pref.	-	3	0.34
	24	6.9	10	144	Near S Coast of Izu Pen.	-	4	0.58
	27	6.4	60	311	E off Hachijojima	-	2~10	0.21
	28	6.1	40	215	Off Choshi	-	2	0.20
	29	7.6	420	673	S off Honshu	-	4~9	0.05~0.08
	8	5.5	40	256	Off Ibaraki Pref.	+	1/2	0.24
	11	4.8	60	110	Northwestern Chiba Pref.	+	1/2	0.15
15	5.5	30	174	SW off Izu Pen.	+	1/2	0.07	

および No. 10 の襟裳岬沖地震 (M7.0, 1971, Off Erimomisaki) など比較的に地震の規模が大きく、震央距離もまた No. 5 の 127 km という例を除いて、数 100 km から 1,000 km 以上もある遠い地震の場合に多く現われている。型 I は、今回の報告の対象にした約 7 年の間には、5 例しか観測されていない。しかしながら、油壺の比抵抗変化計の観測状態を良好にして、継続すると共に、別の地点でも同様な観測を始めるならば、将来も型 I の preseismic 変化を伴って起こるであろう地震の比抵抗変化記録を得ることが可能になると考えられる。型 I にあてはまる preseismic 変化の極性は、比抵抗減少が多く 4 例、比抵抗増加は少なく 1 例である。

preseismic 変化の型 II は、Fig. 20 に示したごとく、時間にたいして、ほぼ鋸歯状波的に変化すると考えた場合である。型 II にあてはまる記録の例は、17 例の記録のうち最も多くて 9 例もある。Table 3 の Type II で示したように、記録番号は 9, 17, 18, 20, 23, 24, 27, 28 および 29 である。型 II に相当する記録のうち、最も鋸歯状波的な変化を現わしている例は、No. 18 の東京湾地震 (M4.9, 1973, Tokyo Bay)、同じく No. 23 の千葉県東方沖地震 (M6.1, 1974, E off Chiba) および No. 24 の伊豆半島沖地震 (M6.9, 1974, Near S Coast of Izu Pen.) の三つの場合である。

型 II の一つの特色は、Table 3 から明らかなように変化は、すべて比抵抗減少 (-) によって始まっていることである。また地震の規模も、マグニチュード (M) 5~7 程度であり、震央距離 ( $\Delta$ ) も数 100 km のものが多い。ただし一つの例外として、No. 29 の M7.6,  $\Delta=673$  km の地震がある。

preseismic 変化の継続時間 ( $T_p$ ) は、型 I および II とも Table 3 に示したごとく 1 時間から 10 時間までの範囲にある。

型 III は、Fig. 20 に示したように、preseismic 変化のパターンは、やや coseismic 変化に似ておりステップ状である。この型 III に相当する記録は、17 例のうち最も少なく 3 例しかない。記録番号 8, 11, および 15 に見られるように地震の直前ともいえる 30 分程度の  $T_p$  を示すステップ状の変化を、一つの preseismic 変化と考えることに問題がないわけでもない。しかし一応、現象としては顕著なものであるので、ここに型 III と仮定した。

型 III の特色は、すべて preseismic 変化が比抵抗増加 (+) で始まっていること、マグニチュードが比較的小さく 5 クラス (5.5, 4.8, 5.5) であること、継続時間 ( $T_p$ ) が短かくいずれも 30 分程度であることの三つである。

以上のように比抵抗変化計の記録における preseismic 変化を三つの型に分けたことは、あくまでも 1968 年から 1975 年までの約 7 年間における観測結果に基づいた一つの試みである。このような分け方が適当かどうかは、今後における観測記録の蓄積とこれの解析にまたねばならないであろう。しかしいずれにしても、これらの preseismic 変化はそれぞれの地震の発震機構に大きく関係していることは事実であろう。これからもいろいろな要素との関係を調べる必要があると考えられる。

## 7. Preseismic 変化の継続時間 ( $T_p$ ) と震央距離 ( $\Delta$ ) およびマグニチュード (M)

比抵抗変化計の記録にみられる preseismic 変化の始まりの点 P と地震の発震時 E を

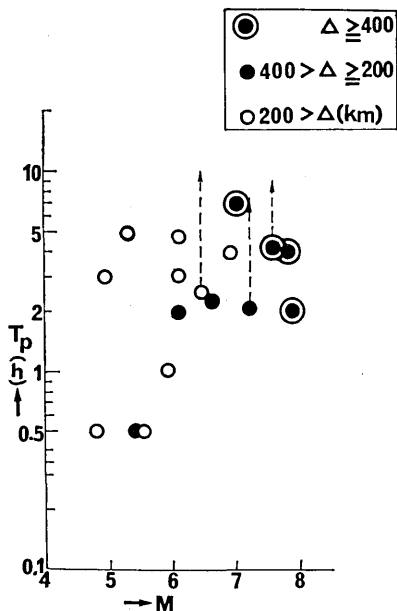


Fig. 21. The duration time ( $T_p$ ) of preseismic resistivity change as plotted against the magnitude ( $M$ ).  $\Delta$  indicates the epicentral distance.

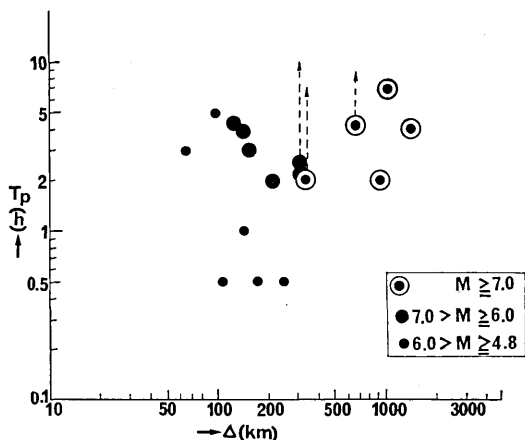


Fig. 22. The duration time ( $T_p$ ) of preseismic resistivity change as plotted against the epicentral distance ( $\Delta$ ).  $M$  indicates the earthquake magnitude.

示す点  $P$  との時間差は、preseismic 変化の継続時間 ( $T_p$ ) である。  $T_p$  はいままで、これを precursory time-interval または precursor time として、しばしば報告しマグニチュード ( $M$ ) との関係を描いてきた [YAMAZAKI (1974d, 1975a)]。

いままでの結果に基づく、  $T_p$  はマグニチュードに関係しているようでもあるが、しかし明確に数式によって表わされるような関係でもなさそうである。またこのさいに用いた  $T_p$  の値は、Fig. 2 の  $\bar{A}$  に示した比抵抗変化計の original 記録そのものから筆者の感覚のみによって読み取ったデータであり、データそのものに主観が入っている。これに反して、今回、本報告に述べた手法により 29 例の coseismic 変化記録から求めた 17 例の preseismic 変化における  $T_p$  の値は、これよりやや精度の高いデータといえる。

Fig. 21 は、今回、新しく求めた 17 例の preseismic 変化記録における  $T_p$  とそれぞれの記録を得た地震のマグニチュード ( $M$ ) との関係を示す図である。この図における 3 種類の丸印、すなわち、 $\circ$ 、 $\bullet$  および  $\odot$  によって、  $T_p$  の継続時間をもつ preseismic 変化を示した地震を震央距離によって区分してある。ここでの  $\circ$  は、  $\Delta < 200$  km の地震、 $\bullet$  は、  $200 \text{ km} \leq \Delta < 400 \text{ km}$  の地震、 $\odot$  は、  $\Delta \geq 400 \text{ km}$  の地震のそれぞれの場合における  $T_p$  である。Fig. 21 から、  $T_p$  と  $M$  とは関係があるようにもみえるが明確ではない。これはすでに報告してある二三の結果と矛盾していない。

Fig. 22 は、Fig. 21 の横軸である  $M$  の代わりに  $\Delta$  を入れたもので、  $T_p$  と  $\Delta$  との関係を示す図である。この図でもプロットした点を  $M$  の大きさによって三つに区分け

してある。すなわち、Fig. 22において、●は $6.0 > M \geq 4.8$ 、⊙は、 $7.0 > M \geq 6.0$ 、◎は、 $M \geq 7.0$ の範囲にあてはまる地震の場合を示してある。これらの図から1~2の例外はあるにしても、 $T_p$ はMが小さい場合に短かく、Mが大きくなると $T_p$ もまた長くなるようであり、また $T_p$ は $\Delta$ にも関係しているようにみえるが明確ではない。本報告における preseismic 変化の継続時間( $T_p$ )の単位は時間である。別の図には、これを $T_p(h)$ として示した。

### 8. Coseismic 変化のみの記録12例

Table 1 に示した coseismic 変化記録の29例 (No. 13を除く Nos. 1~30)のうち、さきに述べたフィルターの手法をかけても preseismic 変化を明確に示さなかった12例の記録につきこれを示す。

これらの記録は、Nos. 2, 3, 4, 12, 14, 16, 19, 21, 22, 25, 26 および30の12枚である。Table 4 にこれらの記録の地震に関するデータを Table 1 から抜粋して示した。

Figs. 23-34 は、さきに示した Figs. 3-19 の17枚の図と同じように12例の図の上部に original 記録の写し A、この A の記録を毎時0分、15分、30分および45分の点において読み取ってデータとした値のプロットを B および B のデータに  $T_c=6$  時間のフィルターをかけた結果 C を図の下部にそれぞれの記録の場合について示した。この12枚の図に付いている記号 A, X, E および  $\Delta\rho/\rho$ などは、すべてさきに示した Figs. 3-19 の図と同じである。このうち、 $\Delta\rho/\rho$ の値のみ、12枚のそれぞれの図において、少し違えてあるが、

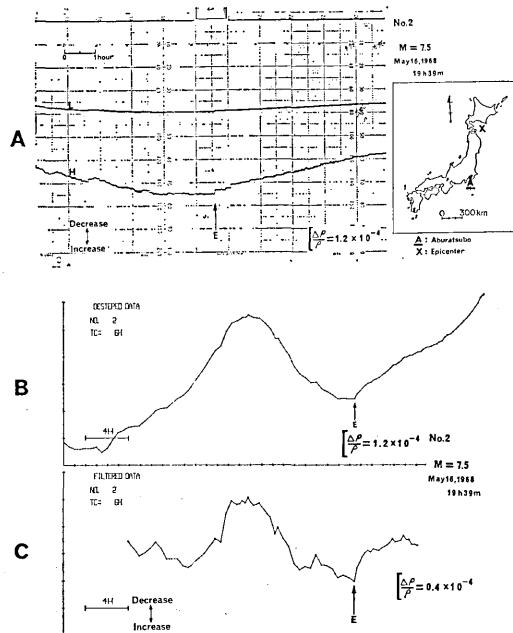


Fig. 23. An example (No. 2) of coseismic resistivity change without a conspicuous preseismic change. Earthquake (E off Aomori Pref.) of M 7.5 at  $\Delta=988$  km on May 16, 1968.

Table 4. List of 12 earthquakes which accompanied coseismic resistivity change, without a conspicuous preseismic one. M, D and  $\Delta$  denote the magnitude, focal depth and epicentral distance of each earthquake, respectively.

Record No.	Date	Time	M	D (km)	$\Delta$ (km)	Epicentral location	Coseismic resistivity change	
							Polarity	( $\Delta\rho/\rho$ )
2	May 16, 1968	19h 39m	7.5	40	988	E off Aomori Pref.	-	$0.24 \times 10^{-4}$
3	May 17, 1968	8 05	6.7	30	809	E off N Honshu	-	0.20
4	June 12, 1968	22 42	7.2	0	745	Off Iwate Pref.	-	0.56
12	Oct. 11, 1971	19 16	5.2	40	157	Northern Chiba Pref.	+	0.13
14	Aug. 31, 1972	17 07	6.0	10	357	Fukui-Gifu Border	-	0.17
16	Oct. 18, 1972	10 48	5.1	80	108	Northern Chiba Pref.	-	0.18
19	Sept. 29, 1973	9 46	7.8	600	1,423	Near Vladivostok	-	0.14
21	Oct. 1, 1973	23 16	5.8	60	160	Near Choshi	+	0.08
22	Dec. 22, 1973	10 19	5.0	70	83	Southern Chiba Pref.	+	0.10
25	June 27, 1974	10 49	6.1	10	211	Near Hachijojima	-	0.27
26	Aug. 4, 1974	3 16	5.8	50	132	SW Ibaraki Pref.	-	0.20
30	Feb. 8, 1975	1 41	5.4	60	115	Northern Chiba Pref.	+	0.08

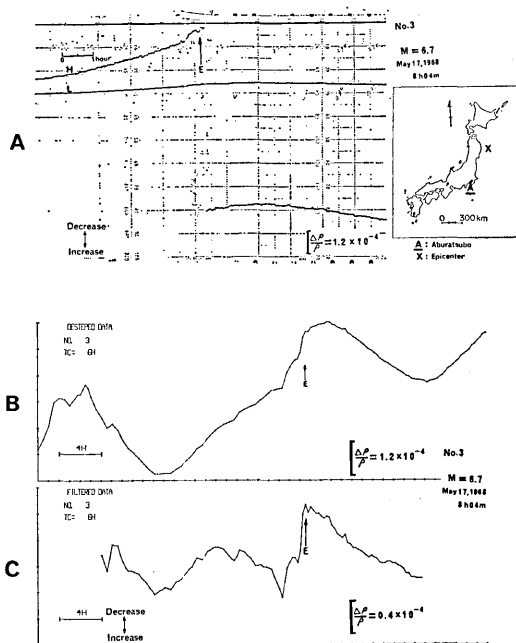


Fig. 24. An example (No. 3) of coseismic resistivity change without a conspicuous preseismic change. Earthquake (E off N Honshu) of M 6.7 at  $\Delta=809$  km on May 17, 1968.

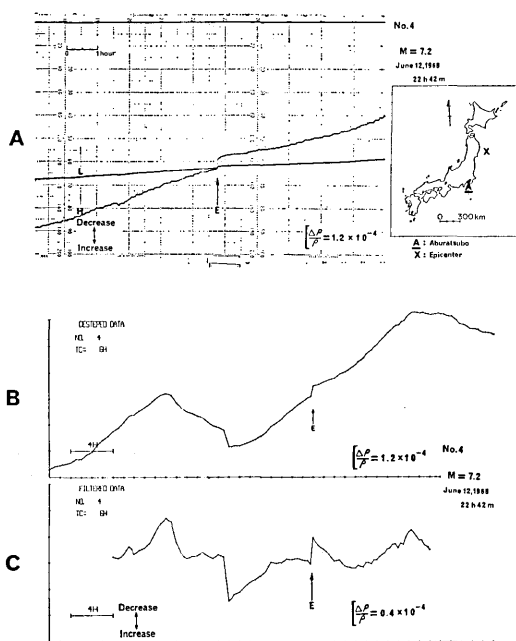


Fig. 25. An example (No. 4) of coseismic resistivity change without a conspicuous preseismic change. Earthquake (off Iwate Pref.) of M 7.2 at  $\Delta=745$  km on June 12, 1968.



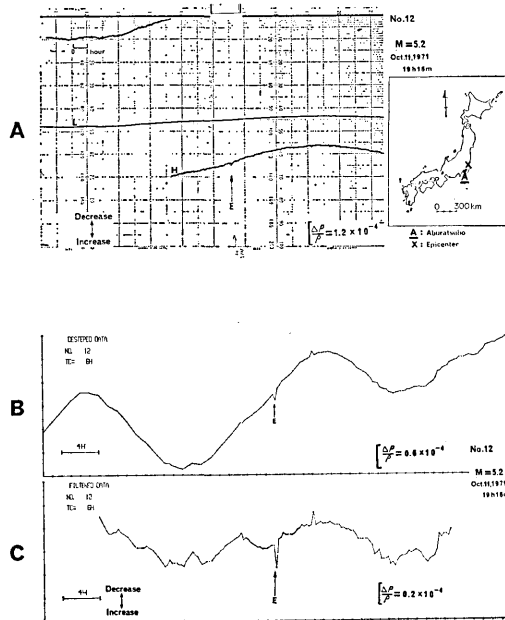


Fig. 26. An example (No. 12) of coseismic resistivity change without a conspicuous preseismic change. Earthquake (northern Chiba Pref.) of M 5.2 at  $\Delta = 157$  km on Oct. 11, 1971.

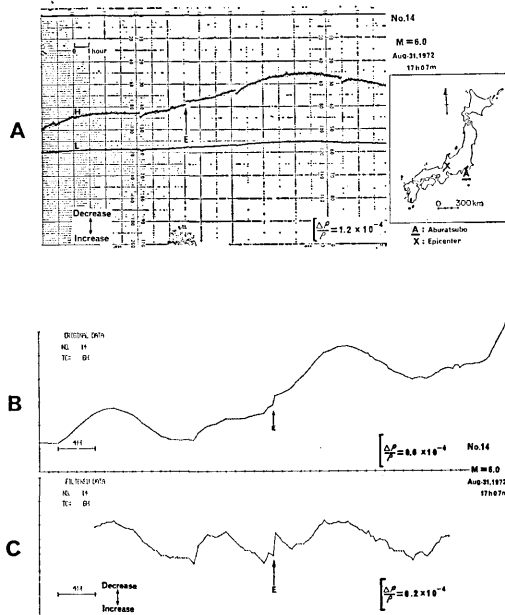


Fig. 27. An example (No. 14) of coseismic resistivity change without a conspicuous preseismic change. Earthquake (Fukui-Gifu border) of M 6.0 at  $\Delta = 357$  km on Aug. 31, 1972.

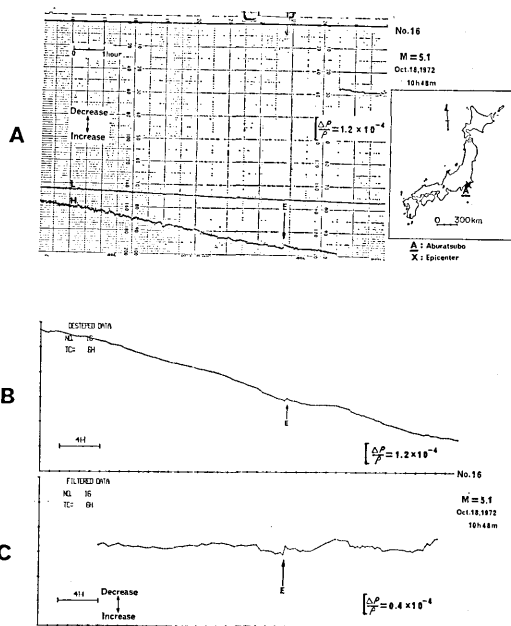


Fig. 28. An example (No. 16) of coseismic resistivity change without a conspicuous preseismic change. Earthquake (northern Chiba Pref.) of M 5.1 at  $\Delta = 108$  km on Oct. 18, 1972.

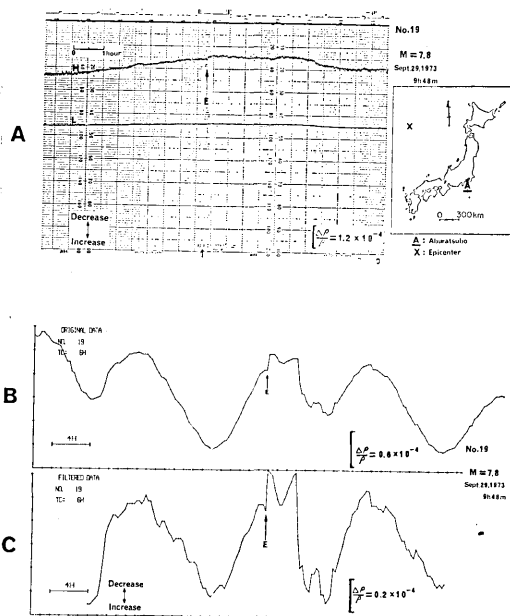


Fig. 29. An example (No. 19) of coseismic resistivity change without a conspicuous preseismic change. Earthquake (near Vladivostok) of M 7.8 at  $\Delta = 1,423$  km on Sept. 29, 1973.

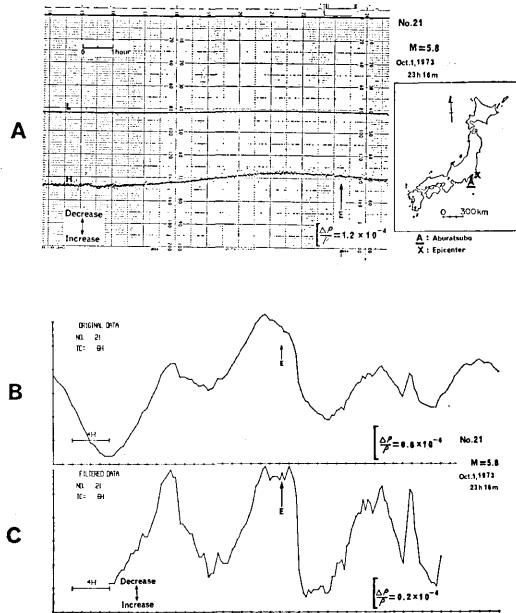


Fig. 30. An example (No. 21) of coseismic resistivity change without a conspicuous preseismic change. Earthquake (near Choshi) of M 5.8 at  $\Delta=160$  km on Oct. 1, 1973.

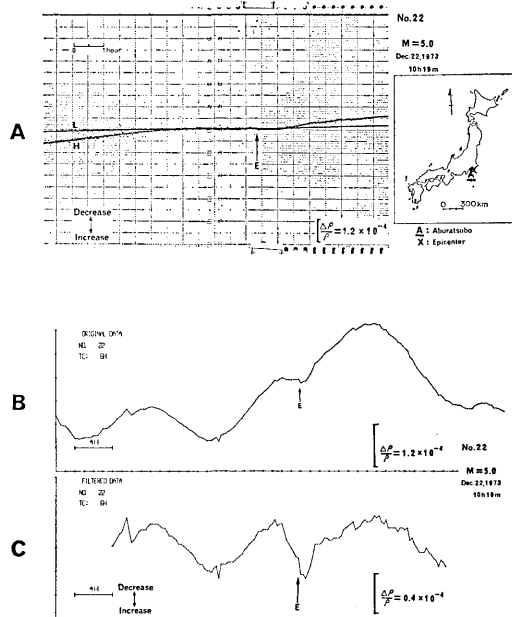


Fig. 31. An example (No. 22) of coseismic resistivity change without a conspicuous preseismic change. Earthquake (southern Chiba Pref.) of M 5.0 at  $\Delta=83$  km on Dec. 22, 1973.

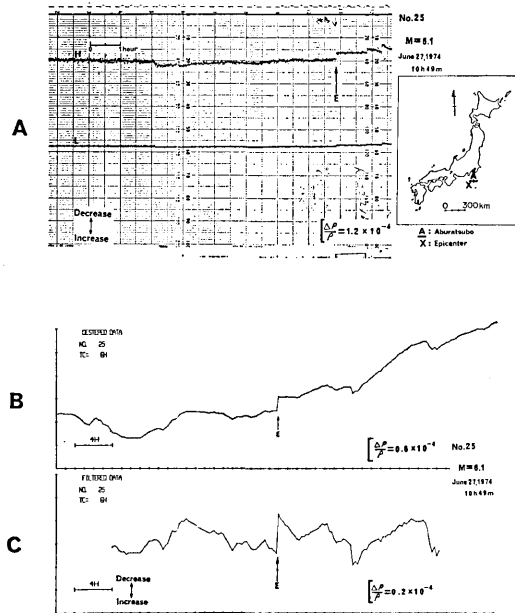


Fig. 32. An example (No. 25) of coseismic resistivity change without a conspicuous preseismic change. Earthquake (near Hachijojima) of M 6.1 at  $\Delta=211$  km on June 27, 1974.

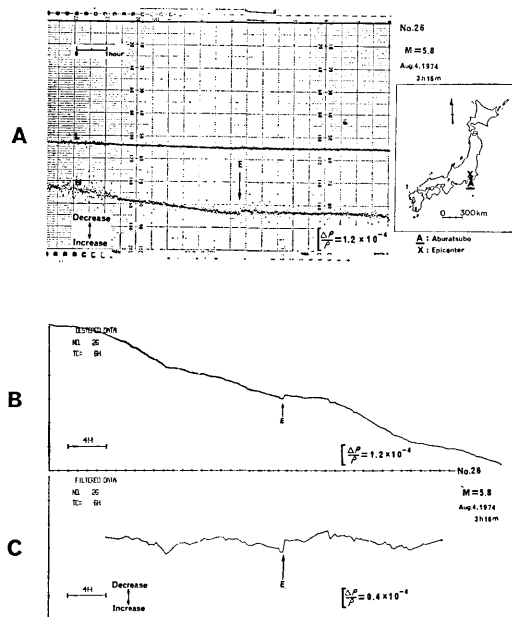


Fig. 33. An example (No. 26) of coseismic resistivity change without a conspicuous preseismic change. Earthquake (SW Ibaraki Pref.) of M 5.8 at  $\Delta=132$  km on Aug. 4, 1974.

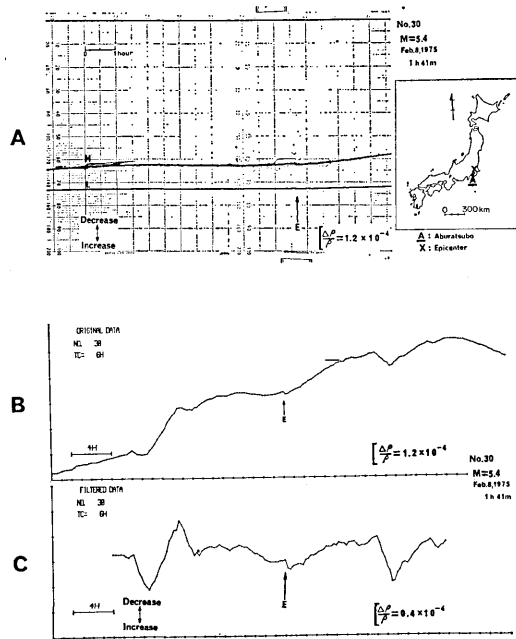


Fig. 34. An example (No. 30) of coseismic resistivity change without a conspicuous preseismic change. Earthquake (northern Chiba Pref.) of M 5.4 at  $\Delta=115$  km on Feb. 8, 1975.

どの図においてもフィルター出力を示す C の  $\Delta\rho/\rho$  の値は、B の 3 倍に拡大してある。また図の横軸のタイムスケールは、B と C は、A の 1/3 にしてある。

### 9. あとがき

油壺の 67 Hz 型 比抵抗変化計(老朽化のため旧観測壕とともに1977年使用中止)により、1968年5月から1975年2月までに記録した coseismic 変化は 29例である。この7年余りの観測期間中におけるこれらの記録のなかには、すでに観測結果の一部を報告してある十勝沖地震や伊豆半島沖地震の場合のように、本震の数時間前から始まった preseismic 変化を含んでいるものがある。また特筆すべきことは、この観測中において、No. 13 の記録1例を除き、すべて日本付近に起こった顕著地震に伴う比抵抗変化を確実に全部とらえている。これは油壺における比抵抗変化計の検出限界〔山崎 (1975b)〕に基づいている。

以上の結果を踏まえて考えると、本報告において示した coseismic 変化記録の 29例中における17例の preseismic 変化は、対象とした観測期間が約7年と短いこと、この変化が17例と少ないことから、やや問題は残るにしても、油壺に設置してある比抵抗変化計の preseismic 変化にたいする一つの検知能力を示すものといえる〔RIKITAKE and YAMAZAKI (1976, 1977)〕。

本報告の最後に述べた preseismic 変化の三つの型 I, II, III はあくまでも一つの試みである。このことは1975年3月以降の同じような記録にも適用できると考えられるが、これは今後の解析結果をまたねばならない。

さらに本報告に述べたフィルターの手法では、いまのところ時間単位の  $T_p$  を示す preseismic 変化しか記録上から求められていない。これについては、今回行なった記録の読み取り間隔が15分ごとというデータのあらさ、フィルター時間の設定など記録にたいする取り扱いにも問題があると思われる。今後、記録の取り扱いかたを別の観点から行なってみれば、もっと  $T_p$  の長い、たとえば月単位の preseismic 変化を検出できるかもしれない。すでにこの1例として、伊豆半島沖地震の場合において、地震の数か月前からの異常を比抵抗変化計の記録から見いだしている [RIKITAKE and YAMAZAKI (1979)]. これを今後も継続して行なえば、地震予知の観測分野における一つの手法として、比抵抗変化計による連続観測は、従来からの自然地電流観測に代わる要素を一層、強く示すことになろう [YAMAZAKI (1977)].

## 10. 謝 辞

電子計算機は、地震研究所地震予知観測センターの IBM370-125/II型を使用した。本報告を査読されて、ご指摘と助言を頂いた地震研究所渡部暉彦、島崎邦彦両助教授にお礼申し上げます。

## 文 献

- MASON, R.G. (1963): Spatial Dependence of Time Variations of the Geomagnetic Field in the Range 24 hr to 3 min on Christmas Island, *Geophys. Dept. Imp. Coll. Sci. Technol., London, Publ.*, 63-3, 1-20.
- RIKITAKE, T. and Y. YAMAZAKI (1969): Electrical Conductivity of Strained Rocks (The 5th paper), Residual Strains Associated with Large Earthquake as Observed by a Resistivity Variometer, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 47, 99-105.
- RIKITAKE, T. and Y. YAMAZAKI (1976): Resistivity Changes as a Precursor of Earthquake, *J. Geomag. Geoelectr.*, 28, 497-505.
- RIKITAKE, T. and Y. YAMAZAKI (1977): Precursory and Coseismic Changes in Ground Resistivity, *J. Phys. Earth*, 25, Suppl., 161-173.
- RIKITAKE, T. and Y. YAMAZAKI (1979): A Resistivity Precursor of the 1974 Izu-Hantoki Earthquake, *J. Phys. Earth*, 27, 1-6.
- 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 (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 (1974b): 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.
- 山崎良雄 (1974c): 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.
- YAMAZAKI, Y. (1974d): 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 (1978): 1978年伊豆大島近海地震に伴う大地比抵抗変化, 一油壺の「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 (1980): 比抵抗変化計のテレメーターシステム, 地震研究所彙報, 55, 737-754.

32. *Preseismic Resistivity Changes Recorded  
by the Resistivity Variometer (1)*

(May 14, 1968~February 28, 1975)

By Yoshio YAMAZAKI,

Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

An observation system for routine recording of the ground's resistivity variation was first established on May 14, 1968, by the writer at the Aburatsubo Crustal Deformation Observatory (137°37'E, 35°09'N), on a coast of the Miura Peninsula, Kanagawa Prefecture. Since then, the resistivity variometer developed by the writer has kept continuous recording of the ground's resistivity changes.

The measuring technique of the resistivity variometer is much the same as the so-called four-electrode method, which is widely used for electrical prospecting. Four graphite electrodes are buried in a vault with a 1.6 m intervals. A 67 Hz alternating current of 0.1 A is sent into the ground through the two outer electrodes. The voltage between the inner electrodes is cancelled by adjusting a variable resistor. When the voltage deviates from the balanced state because of a resistivity change in the ground, the deviation voltage is amplified by an amplifier and is supplied to a servomotor. The motor drives a 100  $\Omega$  resistor in such a way that the output voltage at the inner electrode diminishes. The rotation angle of the motor is converted into a D.C. voltage by a 10 k $\Omega$  potentiometer with a 4 V mercury cell, and is recorded on a plotting recorder.

During the observation period from May 14, 1968 to February 28, 1975, 30 examples of clear coseismic resistivity changes were recorded at remarkable earthquakes occurred in and around Japan. The amplitude of coseismic resistivity changes recorded so far seems to be closely correlated with the respective earthquake magnitude, the epicentral distance from Aburatsubo, the earthquake mechanism, etc.

The polarity of coseismic changes are 10 increases and 19 decreases from earthquake to earthquake. The amplitude of coseismic resistivity changes are of the order of  $10^{-4}$ , but differs with each earthquake. Among the listed earthquakes, several cases were accompanied by some sort of preseismic resistivity changes and the duration times ( $T_p$ ) were of the order of a few hours.

The most typical examples are associated with the two earthquakes, one of  $M=7.9$  (Tokachi-oki) at  $\Delta=935$  km on May 16, 1968, and the other of  $M=6.9$  (Izu-Hanto-oki) at  $\Delta=144$  km on May 9, 1974, respectively. The duration time ( $T_p$ ) of preseismic resistivity change for these 2 earthquakes is clearly shown as 2 hours and 4 hours, respectively, showing the resistively decrease.

In order to emphasize the preseismic resistivity change more clearly, the long period resistivity changes, mostly due to tidal loading, were eliminated by using a set of numerical digital high-pass filter for each record of 29 coseismic resistivity changes. A high-sensitivity component (H) on each record is read with an interval of 15 minutes centered at the time of the earthquake over a period of 2 days. A high-pass filtration procedure by MASON (1963), having a cut-off period ( $T_c$ ) of 6 hours is then executed. As a result, among 29 coseismic resistivity changes, 17 cases are clearly indicated as preceding resistivity changes about a few hours prior to each earthquake occurrence.

17 patterns of the preseismic resistivity changes are also classified into the following three types, i. e., I, II and III.

## Type I:

A gradual change of the ground's resistivity lead to a step-like coseismic change. The record pattern shows a halfdome type on its upside down. These earthquakes are characterized by a magnitude larger than 6.0, and by the long epicentral distance. Record Nos. 1, 5, 6, 7 and 10 belong to this type. For example, No. 6 earthquake, that occurred off east Hokkaido on August 12, 1969, is of the magnitude 7.8 and of the epicentral distance 1,409 km.

## Type II:

This type is characterized by more or less linear decrease in resistivity mostly followed by step-like coseismic resistivity increase, thus forming a saw-tooth pattern. Record Nos. 9, 17, 18, 20, 23, 24, 27, 28 and 29 belong to Type II. It could be emphasized that the porality of preseismic resistivity changes is decrease for all cases.

## Type III:

A step-like change preceding the coseismic change. The duration time ( $T_p$ ) is about 30 minutes. Record Nos. 8, 11 and 15 belong to Type III. The earthquakes of this type are of the smaller magnitude and of an epicentral distance smaller than 260 km.

The preseismic resistivity change is extremely significant for the purpose of earthquake prediction. Neither the duration time ( $T_p$ ) ranging from 0.5 to 10 hour nor the three types (I, II and III) of the preseismic resistivity change seem to have any correlation with the earthquake magnitude or the epicentral distance, etc. Further studies of the ground's resistivity with multiple stations are most required at the present time.