

15. 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 山崎良雄

(昭和49年7月15日受理)

1. ま え が き

岩石の電気抵抗は一般にこれを構成している鉱物など、なかに含まれている物質の固有比抵抗により決まり、さらに温度、圧力のような外的な状態変化で大きく変わる。多くの岩石などで組成されている地殻の電気的性質についても同様である。このうち圧力変化と比抵抗との関係について、筆者はすでに数多くの岩石試料、とくに堆積岩について単軸圧力試験をいろいろな条件下に行なっている。

この結果は、岩石が湿っている状態にあるとき、圧力の変化に対する岩石の比抵抗の変わりかたは大きく、とくに低圧力の場合ほど著しいことを顯示している [YAMAZAKI (1965), 山崎 (1969)]. おなじような事実は、他の多くの研究者によっても確かめられている [BRACE *et al.* (1966, 1968, 1965), PARKHOMENKO (1967), PARKHOMENKO *et al.* (1960, 1963)]. いままでに筆者の行なってきた一連の圧力試験結果からいえることは、圧力の小さいとき、すなわち岩石に加わる変形歪がきわめて微小の場合、著しく岩石の比抵抗が変化することから、この両者の比をとり、岩石に固有な常数の一つ、岩石歪増倍率と定めた。いま変形歪を $\Delta L/L$ 、比抵抗の変化率を $\Delta\rho/\rho$ とすれば、岩石歪増倍率は $\Delta\rho/\rho/\Delta L/L$ となる。

岩石歪増倍率は大きな物理的意味を持ち、岩石試料の場合とこれらの岩石などで構成している地殻表面の場合も有意義に大きな値をしめす。すでに述べたように増倍率の値は変形歪の大小で著しく変わり、 10^{-4} ぐらいの歪のとき 10^2 であっても 10^{-8} ぐらいの微小歪になると、 10^4 以上に増大する [YAMAZAKI (1966, 1974a), 山崎 (1974c)].

地殻の表面にも充分大きな岩石歪増倍率があることからして、地殻の微小歪を間接的に大地の電気抵抗の測定に置きかえて検知できる可能性がしめされた [RIKITAKE and YAMAZAKI (1967a), 力武, 山崎 (1967b)]. そしてこの目的に応じた比抵抗変化計を筆者が開発した [山崎 (1967a, 1968)]. 油壺ではじめて連続的な試験観測を行なった比抵抗変化計は、油壺付近の海洋潮汐による土地変形を大地比抵抗の変化として現わすことに成功した。この記録は同一方向の伸縮計記録とよく対応した。1967年10月から11月にかけてのことである [RIKITAKE (1968)]. その後、器械は改良され連続観測を開始した直後、研究のはじめには予期しなかった地震に伴う大地比抵抗の変化を記録したことから、もっぱら地震による変化の検知に重点をおいて、すでに現在まで通算27回記録している [RIKITAKE and YAMAZAKI (1969a, 1969b), 山崎 (1973, 1974b, 1974c)].

2. 比抵抗変化計

比抵抗変化計の開発の変遷については、すでに報告してあり、ここではその大要を記述する。Fig. 1 は変化計の構成図である。

比抵抗変化計は大地の比抵抗の直読から、その微小な変化分まで高感度、かつ連続的に測定可能である。また測定対象に応じて検出感度を任意に選択できる。地殻表面への電極配置は電気探査の Wenner 四極法によっている。

市販の大地比抵抗測定器の取り扱いはずべて手動式であり見掛け比抵抗の検出感度はきわめて低い。油壺において使用した場合、読み取りは $5\Omega\text{-cm}$ が限度である。

これに反し比抵抗変化計は見掛け比抵抗の直読はもとより、その変化分まで記録して測定することができる。検出感度は 10^{-6} のオーダーの変化まで充分に測定可能である。

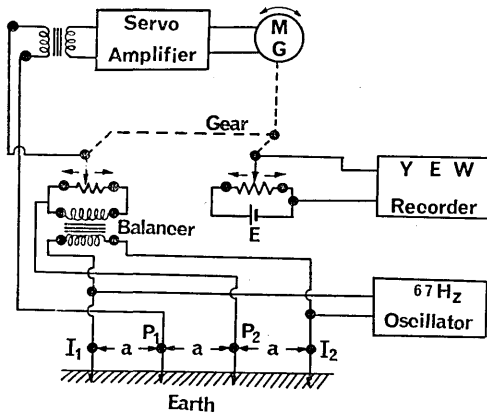


Fig. 1. Block-diagram of the resistivity variometer.

電極には Graphite の棒 (長さ 30 cm, 直径 20 mm) を使用している。一直線上に並べた四本の電極のうち、外側 2 本の電流電極 (I_1, I_2) には商用交流の障害をさけるため、67 Hz という端数の周波数の交流 (150V, 0.1 A) を加えている。

比抵抗変化計の検出部を直読にしたときは、感度は市販品と同じになって、見掛け比抵抗を読み取れる。検出部を比抵抗の変化分を取りだすほうに切り換えると、回路はすべて自動平衡の原理によって動作する。交流増巾器は 67 Hz のみ増巾し、出力側には Servo-motor がついている。Servo-motor は内側の 2 本の電圧電極 (P_1, P_2) に接続している電位差計のバランスをとるようつねに回転している。この回転は増巾器の入力電圧が最小になると自動的に停止する。 10^{-6} ぐらいの小さな比抵抗変化にもこの動作は追従する。Servo-motor の回転角は直流電圧で指示され、電圧変化となって記録される。この直流電圧変化は大地の見掛け比抵抗変化に比例する。以上が比抵抗変化計 (自動平衡型) の動作のあらましである。

自動平衡型の利点は、検出と測定の動作点がつねに同一点にある。増巾器は単に Servo-motor の駆動用であるので増巾度の変動は、記録感度に影響を与えない。電気制動が強く Servo-motor にかかっているため、短周期の入力雑音信号に追従せず、SN 比の向上が図られる。

3. 地震に伴う大地比抵抗の微小変化

比抵抗変化計が初期の位相検波型から自動平衡型に逐次、改良され、油壺において本格

的な連続観測を開始したのは、1968年5月14日である。この2日後には十勝沖地震(May 16, 1968, M7.9) が起こり、地震に伴う大地比抵抗の微小変化をはじめて記録した〔力武, 山崎 (1970)〕。

地震に伴って伸縮計などの器械が顕著なる Strain の変化を記録したという報告はかなりある〔小沢 (1964), 竹本, 高田 (1969), 飯田外 (1970), 志知外 (1970)〕。とくに 1969年9月9日の岐阜県中部地震 (M6.6) にさいしては、日本各地において Strain の変化を観測している (油壺の比抵抗変化計でも記録している。No. 6)。この変化の振巾は震央距離に関係して、かなりの規則性をもち単なる器械的な“トビ現象”ではないことが明らかにされている〔笠原 (1973)〕。したがって岩石歪増倍率からして、大地比抵抗にも同じような変化現象があるはずである。

油壺でとらえた十勝沖地震による比抵抗変化は、はからずも比抵抗変化計の記録 No. 1 となり、また大地比抵抗変化の典型的タイプともなっている。記録 No. 1 の模式図を Fig. 2 にしめす。図中の記号は、 $\Delta\rho$; 地震に伴う大地比抵抗の変化 ($\Omega\text{-cm}$), τ ; 比抵抗が変化するときの時間、すな

わち、Rise-time (秒), T_p ; 地震のまえに前駆現象の続いた時間 (時間) である〔RIKITAKE (1972), 山崎 (1974c)〕。もちろん電極の配置は Wenner の四極法であるから、 $\Delta\rho$ はあくまで見掛けの変化である。

Table 1 は油壺の比抵抗変化計がいままでに変化を記録した地震についての各データである。表の左から、記録 No., 発震時, 緯度, 経度, 地震の Magnitude (M), 震源の深さ (D), 震央距離 (Δ), 地震に伴う大地比抵抗 ρ の変化率 ($\Delta\rho/\rho$) および震央位置である。

Figs. 3a, 3b は Table 1 にある No. 1 から No. 20 までの油壺の記録の写しおよび震央を表わす地図である〔山崎 (1974b)〕。記録上の L は低感度, H は高感度の記録である ($H=5L$)。H と L は同じ記録紙上にそれぞれ交互に打点され、間隔は 30 秒ごとである。また記録紙の送り速度は 1 時間に 25 mm を標準としている。

Fig. 3a, 3b の右側の地図の上の印, A は油壺, \times は地震の震央位置を表わしている。比抵抗変化計の記録は当然のことながら、震央距離の違う地震による比抵抗の変化であって、その変化についての相互比較を行なうためには、すべての記録が同じ Δ のところで起こった地震に伴ったものとして Δ の換算をする必要がある。いま比較を行なう Δ をかりに 100 km とし、さらに $\Delta\rho$ は $\Delta^{-1.5}$ の法則で減衰するものと仮定する〔WIDEMAN and MAJOR (1967)〕。これにもとづいて計算した油壺から $\Delta=100$ km における、地震に伴う比抵抗変化 $\Delta\rho_{100\text{ km}}$ およびその変化率 $(\Delta\rho/\rho)_{100\text{ km}}$ とする。

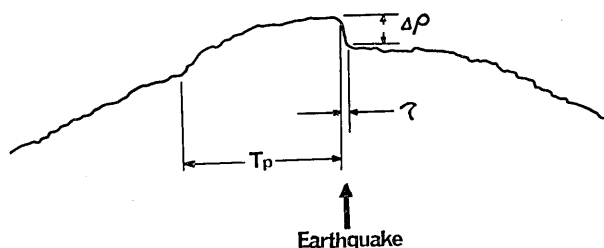


Fig. 2. A schematic record of the resistivity change. $\Delta\rho$; resistivity change, τ ; Rise-time of the step-like change, T_p ; The precursory phenomena a few hours prior to the earthquake.

Table 1. Data of each earthquake. M, D and Δ denote the magnitude, focal depth and epicentral distance of the earthquake. Co-seismic resistivity changes ($\Delta\rho/\rho$).

Record No.	Date	Time	Latitude	Longitude	M	D (km)	Δ (km)	$\Delta\rho/\rho$	Locations
1	May 16, 1968	9h49m	40°44'N	143°35'E	7.9	0	712	0.72×10^{-4}	十勝沖
2	May 16, 1968	19 39	41 25	142 51	7.5	40	725	0.24	青森県東方沖
3	June 12, 1968	22 42	39 25	143 08	7.2	0	568	0.56	岩手県沖
4	July 1, 1968	19 45	35 59	139 26	6.1	50	96	1.10	埼玉県中部
5	Aug. 12, 1968	6 28	43 06	148 11	7.8	50	1094	0.57	北海道東方沖
6	Sept. 9, 1969	14 15	35 47	137 04	6.6	0	205	0.80	岐阜県中部
7	Jan. 6, 1971	15 04	36 24	141 10	5.5	40	204	0.43	茨城県沖
8	July 23, 1971	7 07	35 33	138 58	5.3	10	76	0.47	山梨県東部
9	Aug. 2, 1971	16 25	41 14	143 42	7.0	60	780	0.10	襟裳岬沖
10	Aug. 12, 1971	4 02	35 45	140 05	4.8	60	66	0.17	千葉県北西部
11	Oct. 11, 1971	19 16	35 54	140 33	5.2	40	122	0.13	千葉県北部
12	Oct. 6, 1972	20 31	34 24	138 31	5.5	30	140	0.12	伊豆半島南西沖
13	Oct. 18, 1972	10 48	35 44	140 07	5.1	80	80	0.18	千葉県北部
14	Dec. 4, 1972	19 16	33 12	141 05	7.2	50	252	0.43	八丈島東方
15	Mar. 27, 1973	11 08	35 31	139 56	4.9	60	50	0.52	東京湾北部
16	Sept. 29, 1973	9 46	42 11	130 58	7.8	600	1109	0.14	ウラジオ付近
17	Sept. 30, 1973	15 18	35 39	140 40	5.9	50	116	0.28	銚子沖
18	Oct. 1, 1973	23 16	35 37	140 48	5.8	60	116	0.08	"
19	Mar. 3, 1974	13 51	35 6	140 8	6.1	40	119	0.29	"
20	May 9, 1974	8 33	34 34	138 48	6.9	10	100	0.48	伊豆半島沖

Fig. 4 は以上の換算によってえた値をプロットしたものである。横軸は Magnitude, 縦軸は $(\Delta\rho/\rho)_{100 \text{ km}}$ である。この図からいえることは、地震に伴う大地の比抵抗変化は Magnitude と震央距離に左右されることは明白であり、震度には関係しない [山崎 (1973)]。

4. 伊豆半島沖地震に伴う油壺の大地比抵抗変化

今回の伊豆半島沖地震 (May 9, 1974, M6.9) に伴って、油壺の比抵抗変化計は Fig. 5 のような記録をとっている [山崎 (1974d)]。記録から Fig. 2 の模式図にてしめた値は次のようになる。 $\Delta\rho=0.11\Omega\text{-cm}$, $\Delta\rho/\rho=0.48 \times 10^{-4}$, $\tau=2$ 分, $T_p=4$ 時間。

E は地震の起こった 8 h 33 m のところである。記録計は YEW の打点式でその間隔は 30 秒ごとにしてある。したがって変化のはじめと終りの間に点が 3 個あるので、Rise-time の τ は約 2 分になる。記録は普通、油壺付近の緩慢な海洋潮汐による変化を表わしているが、これに重畳した地震の前駆現象のはじまりとみられる点は Fig. 5 の左側の P である。時間は地震発生の約 4 時間まえ、5 月 9 日の朝 4 時 30 分ごろである。地震のさいの大地比抵抗変化の方向は increase である。

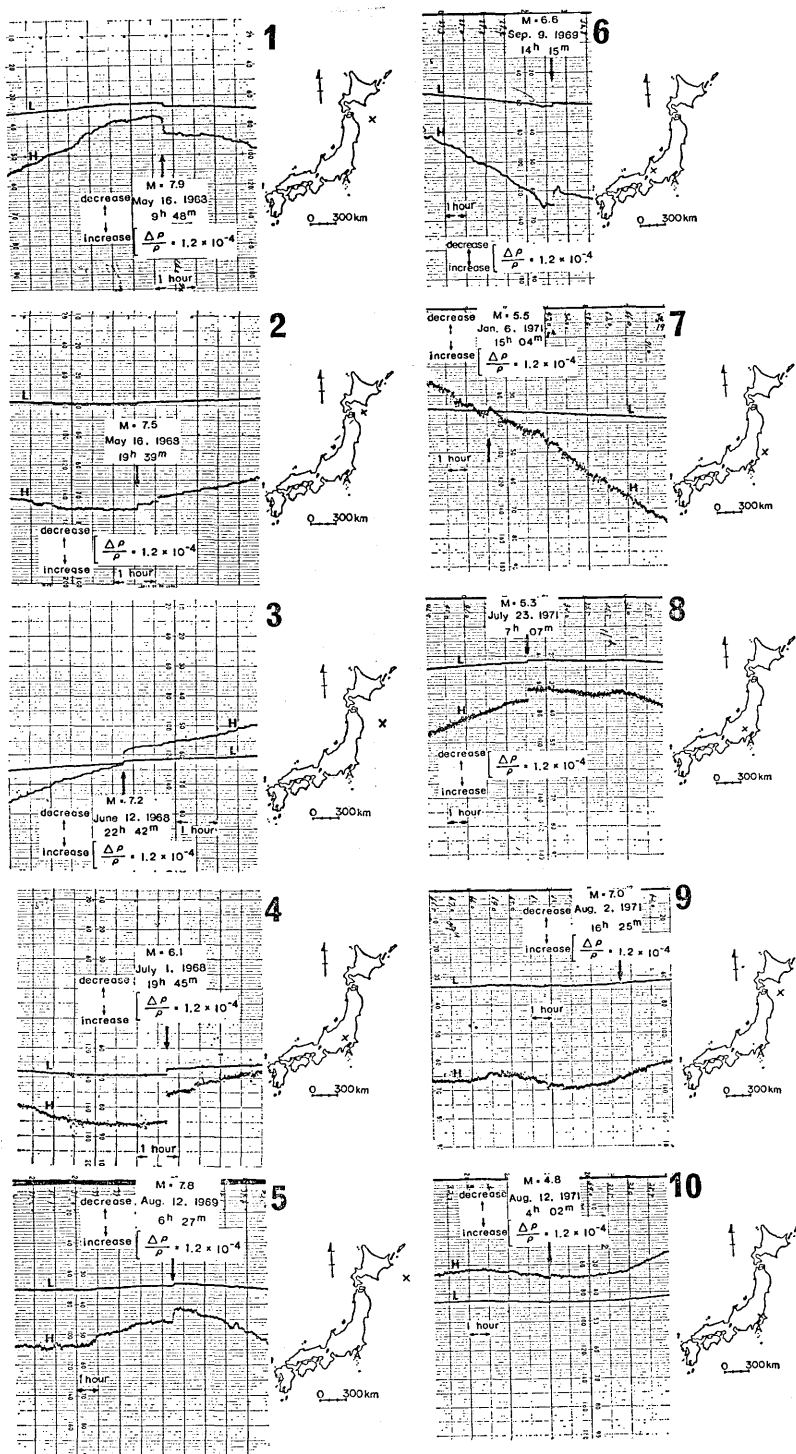


Fig. 3a

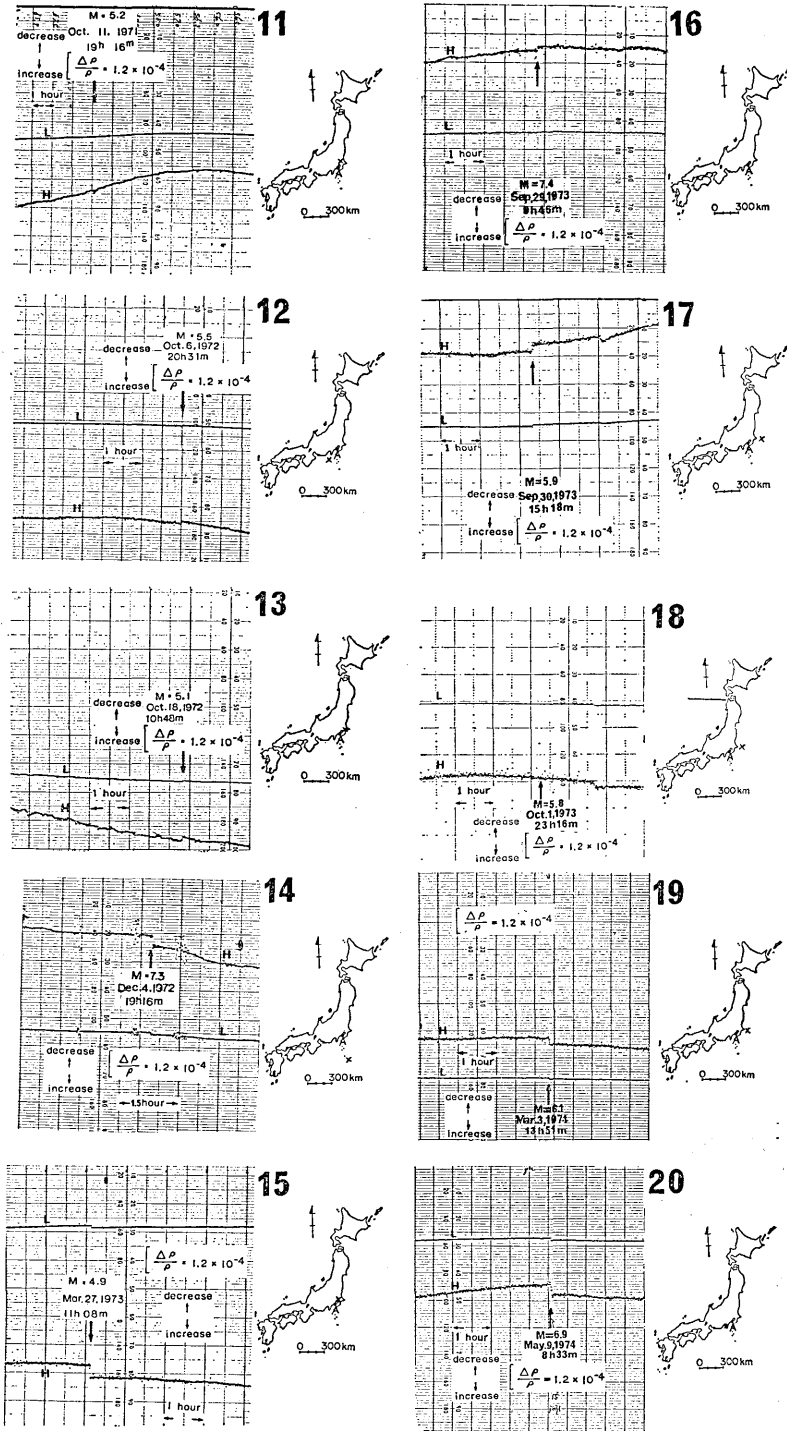


Fig. 3b

P 点についてはあとでふれる。

5. 地震に伴う前駆的变化とくに伊豆半島沖地震についての考察

いままでに傾斜計, 伸縮計など地殻変動の観測器械が地震のまえの, 異常な変化を記録したという報告はかなりある [小沢 (1966), 飯田外 (1970)]. とくに松代地震における傾斜変化と地震活動との関係は注目された [山田 (1973)].

このように地震の前駆現象とみるべき, 異常変化を傾斜計, 伸縮計などがすでにとらえている. 岩石歪増倍率の適用から, 当然に大地の比抵抗変化の上にも同じような前駆現象が現われるはずであり, 油壺の記録 (Figs. 3a, 3b) はすでにこれをしめしている. すなわち, Nos. 1, 4, 5, 6, 9 はとくに前駆的变化が顕著とみるべきである.

さきに述べたように今回の伊豆半島沖地震による油壺の変化記録 (No. 20) は, ゆっくりした潮汐変化の上に P 印付近から, 前駆現象が現われはじめている. これが本当に前駆的か, 否かの議論を進めるためには, まず記録上で重なりあっている二つの変化を分離する必要がある. しかしわれわれの知りたいのは地

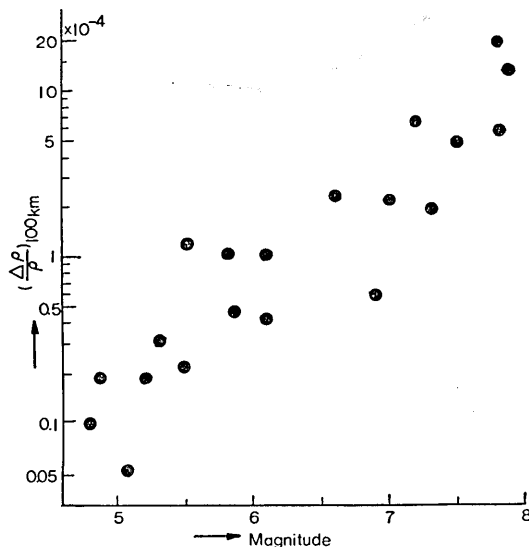


Fig. 4. Relative resistivity change normalized at the distance of 100 km, $(\Delta\rho/\rho)_{100 \text{ km}}$, as a function of the magnitude.

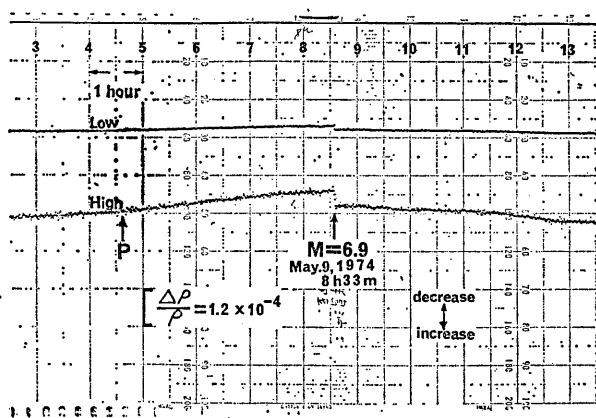


Fig. 5. A resistivity change at Aburatsubo which occurred with an earthquake of magnitude 6.9 on May 9, 1974 as recorded by High (H) and Low (L) sensitivity channels of the resistivity variometer.

Figs. 3a, 3b. The records (Nos. 1-20) of the resistivity change observed by the resistivity variometer at Aburatsubo (A) for the respective earthquake.

Numerals indicate the record numbers listed in Table 1. Times of the earthquake occurrences are shown with arrows. Aburatsubo (A) and each epicenter are indicated on the maps with a closed circle and a cross, respectively.

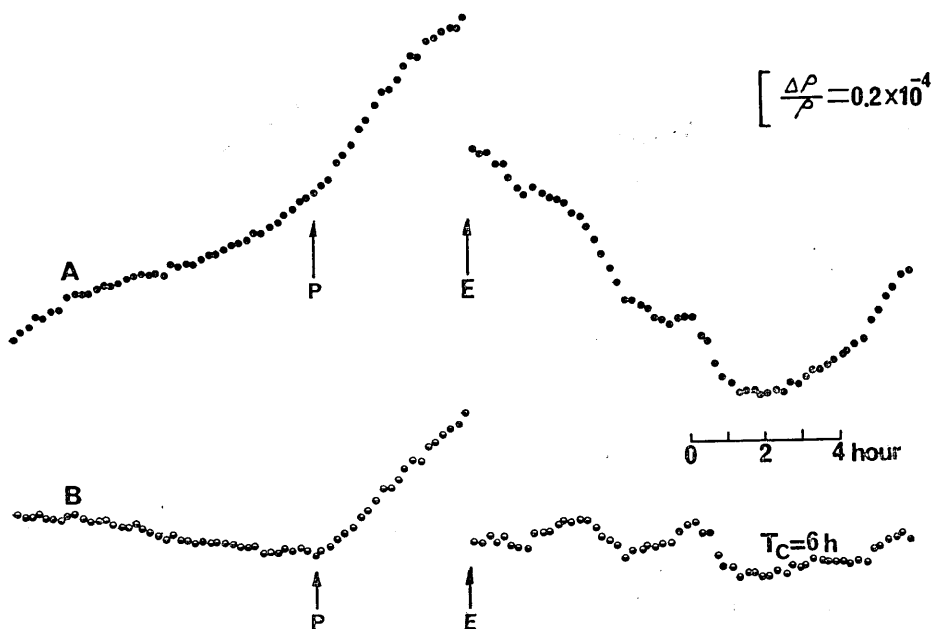


Fig. 6. A numerically filtered result of the record of a resistivity change at Aburatsubo which was observed with an earthquake of magnitude 6.9 on May 9, 1974. Ordinate scale was enlarged 12.5 times as large as abscissa scale compared with the original record.

A; A trace of original record.

B; An out-put trace of the high-pass filter over A with a period 6 hours ($T_c=6h$).

震の前駆現象であり、海洋潮汐変化は不要である。したがってこれを記録上で分離するには、数学的に後者を除去し、前者のみ取り出して数値的に再現すればよい。

この方法は地磁気の研究分野でよく用いている長周期成分と短周期成分の分離計算法である MASON (1963) の High-pass filtering である。

実際に行なった手順はまず、Fig. 5 の記録 (No. 20) を 12 分ごと、1 時間に 5 回、地震の前後、約 2 日間にわたって読み取りを行なった。この数値をデータとして High-pass filter の入力とし、Cut-off 周期 (T_c) 6 時間により High-pass の計算をした。計算機は地震研究所地震予知観測センターの IBM 360/40 である。計算結果をプロットしたのが Fig. 6 である。

Fig. 6 の A は記録読み取り値であり、High-pass filter の数値入力でもある。B は $T_c=6$ hour にしたときの数値出力であり、潮汐変化はかなりよく消えている。Fig. 6 の縦軸は原記録振巾の 5 倍、横軸は $1/2.5$ に小さくしてある。この計算によって潮汐変化分は除去され、前駆現象とみられる三角波的な変化が地震の 4 時間まえごろからあったといえよう。これを前駆的变化とみる根拠は次の理由からである。

Fig. 7 は MASON の High-pass filter の $T_c=6$ hour における特性である。横軸は周期、縦軸は出力である。

Fig. 8 は MASON の filter をチェックした数値入力波形と出力波形である。図の上は Input, 下は $T_c=6$ hour のときの数値出力波形である。Fig. 8 の波形は Fig. 6 の計算結果と結びつく、すなわち Fig. 5 の伊豆半島沖地震による記録 (No. 20) にまったく、前駆現象がなくただ地震のときにのみ、Step 変化をしたとすれば、潮汐変化を除去した計算機の数値出力は Fig. 8 の右側の Output 波形に似たような波形を含むはずである。しかるに数値出力は Fig. 8 の左側にある三角波が現われている。これはいいかえると原記録の上に三角波的な変化が重畳していたことをしめすことであり、このような形の前駆現象を大地比抵抗の変化として含み、かつ、記録していたことに外ならない。

一般に周期 3 時間ぐらいの比較的に短周期の未知な変動の上に、これまでにえられた地震による Step 的な変化が重畳したときのことを考えると、filter の濾波効果から見掛け上、さきに述べたような前駆現象の数値出力をしめすことも考えられる。この点についてはまだ解析の数が少なく結論をだすことは困難であり今後の研究課題ともなる。

しかしこのような記録の解析からだけで前駆現象の有無を議論するには問題がある。Fig. 6 の B の結果が数値出力として導きだされたからといって、前駆的变化と一がいにはいえず今後の

課題になろう。また High-pass filter を自蔵するように比抵抗変化計を改良する必要がある。残り 19 枚の記録についても同じ計算処理をしているが、このうち二、三の記録についても Fig. 6 の B のような顕著な結果がでている。いずれこの報告は別の機会に行なう予定であるが、地震予知の短期予報として電気抵抗の観測が優位であることをしめしているかも知れない。

6. 油壺と子浦の記録の比較

伊豆半島西岸の子浦において 1972 年 2 月から比抵抗変化計の連続観測をはじめた。

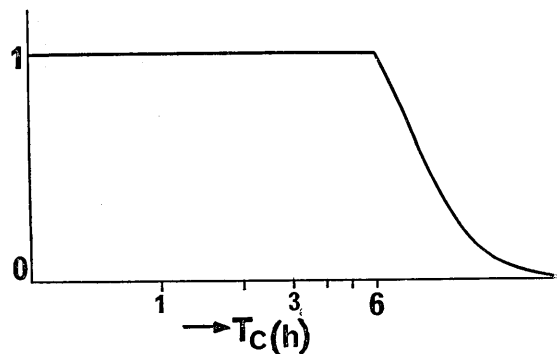


Fig. 7. A sample wave to check the response characteristics of the high-pass filter with a cut-off period of 6 hours.

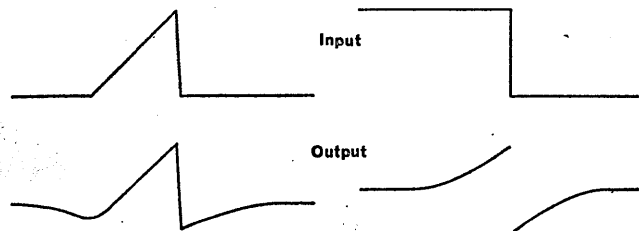


Fig. 8. Overall period response curve of the high-pass filter with a cut-off period (T_c) of 6 hours.

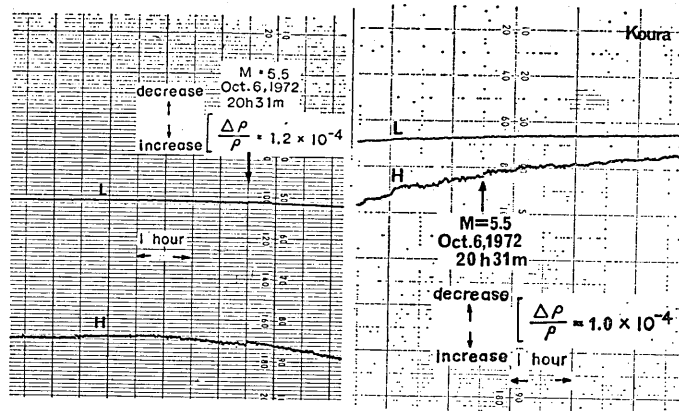


Fig. 9. A comparison of resistivity changes at two observation points, Aburatsubo and Koura, which occurred with an earthquake of magnitude 5.5 on Oct. 6, 1972, as recorded by High (H) and Low (L) sensitivity channels of the resistivity variometer.

Left; Aburatsubo, Right; Koura.

場所は子浦の西林寺境内で観測坑は裏山のなかにあった洞くつを改造したものであった。子浦の観測は約2年間続いたが、今年の2月にいろいろな事情により休止した。このため今回の伊豆半島沖地震による子浦の比抵抗変化の記録はえられず残念であった。しかし2年まえの1972年伊豆半島南西沖地震 (Oct. 6, 1972, M5.5) の震央は、今回の地震の震央より約30 km 沖であり、このさいには油壺、子浦両観測点とも良好な記録をとっている。Fig. 9 は記録の写しである。左側は油壺、右側は子浦のものである。地震に伴

う比抵抗変化の方向は両方とも同じであって、いずれも decrease である。今回の伊豆半島沖地震によるものと変化が反対であることに注目したい。

また1972年の地震による比抵抗の変化の振巾を油壺と子浦との2点で比較してみると、後者は震央にかなり近いにもかかわらず、変化は小さく油壺とあまり大差ない。理由は子浦の観測坑付近の岩石歪増倍率が小さいためといえよう。子浦で使用した比抵抗変化計は油壺とまったく同じ型式であり、違うのは交流の周波数 73 Hz、電極間隔 1.4 m の二つだけである。

Fig. 10 は油壺、子浦両観測点の位置、および1972, 1974 両年に起こった二つの伊豆半島付近の地震の震央をしめす図である。A は油壺、K は子浦の両観測点を表わす。ま

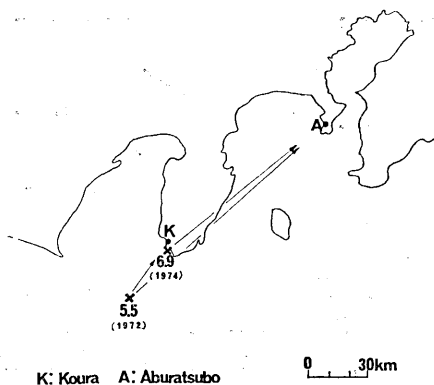


Fig. 10. The locations of two observation points, Aburatsubo (A) and Koura (K), and the epicenters of two earthquakes which occurred in 1972 and 1974 are indicated on the map with the closed circles and crosses, respectively.

た 5.5 (1972) と 6.9 (1974) はそれぞれ地震の震央位置とマグニチュードの値である。

7. あとがき

比抵抗変化計の開発によって、地殻表面の電気抵抗変化の連続測定が可能になった。しかしこの地殻歪を電気抵抗変化として測定しようとする試みは、のちに地震に伴って変化する大地比抵抗の微小変化の検出に代った。観測をはじめて6年間に検出した回数は27回を数えており、なお観測を続けている。そしていままでの研究結果から、地震に伴う大地の見掛け比抵抗変化は、地震の Magnitude と震央距離に関係し、いわゆる震度には左右されないことを確立している。しかしまだ残されている諸問題、すなわち、Rise-time、前駆現象、発震機構との関連、および比抵抗変化計の検知能力などの解明は、今後の記録の蓄積と観測体制の強化充実によらねばならない。

8. 謝 辞

比抵抗変化計の連続観測の成功は、つねに御協力をいただいている油壺地殻変動観測所によるものであり、あつく御礼申し上げます。とくに同所、高橋辰利技官の御厚意に深甚の謝意を表します。

また、この研究にたえず御指導をいただいている力武常次、横山 泉、金森博雄の各教授、いろいろと御力添をお願いしている渡部暉彦、本蔵義守両博士、および計算機の作業に御協力くださっている東京大学工学系研究科博士課程石田勝彦氏、以上の6人のかたがたの御厚意にあつく御礼申し上げます。

文 献

- BRACE, W. F. and A. S. ORANGE, (1966): Electrical Resistivity Changes in Saturated Rock under Stress, *Science*, **153**, 1525-1526.
- BRACE, W. F. and A. S. ORANGE, (1968): Further Studies of the Effects of Pressure on Electrical Resistivity of Rocks, *J. Geophys. Res.*, **73**, 5407-5420.
- BRACE, W. F., A. S. ORANGE and T. M. MADDEN, (1965): The Effect of Pressure on the Electrical Resistivity of Water Saturated Crystalline Rocks, *J. Geophys. Res.*, **70**, 5669-5678.
- 飯田波事, 青木治三, 志知竜一, 大井田徹, (1970): 岐阜県中部地震について, 地震予知連絡会会報, No. 2, 62-67.
- 笠原 稔, (1973): 昭和48年, 地震学会春季大会予稿集 12.
- 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.
- 小沢泉夫, (1964): 地震の時の地殻の急激なひずみの観測より求めたひずみエネルギーの変化, 地震 [2], **17**, 222-232.
- 小沢泉夫, (1966): 京都市近傍の地震前後の地殻ひずみの観測, 地震, [2], **19**, 217-225.
- PARKHOMENKO, E. I., (1967): *Electrical Properties of Rocks*, Plenum Press, New York.
- PARKHOMENKO, E. I., and A. T. BONDARENKO, (1960): Effect of Uniaxial Pressure upon Electrical Resistance of Rocks, *Bull. Acad. Sci., USSR Geophysics Ser.*, **2**, 214-219.
- PARKHOMENKO, E. I. and A. T. BONDARENKO, (1963): An Investigation of the Electrical Resistivity of Rocks at Pressures up to 40,000 kg/cm² and Temperatures up to 400°,

- Geophys. Ser.*, **12**, 1106-1111.
- RIKITAKE, T. and Y. YAMAZAKI, (1967a): Small Earth Strains as Detected by Electric Resistivity Measurements, *Proc. Japan Acad.*, **43**, 477-482.
- 力武常次, 山崎良雄, (1967b): 地殻歪の新しい検出法. 岩石の電気的性質と微小変形, *科学*, **37**, 266-267.
- RIKITAKE, T., (1968): Earthquake Prediction, *Earth-Science Reviews*, **4**, 245-282.
- RIKITAKE, T. and Y. YAMAZAKI, (1969a): 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, (1969b): Strain Step as Observed by a Resistivity Variometer, *Tectonophysics*, **9**, 197-203.
- 力武常次, 山崎良雄, (1970): 比抵抗変化計観測計画, 地震研究所地震予知観測センター資料, **1**, 65-68.
- RIKITAKE, T., (1972): Earthquake Prediction Studies in Japan, *Geophys. Surv.*, **1**, 4-26.
- 志知竜一, 飯田汲事, 山内常生, (1970): 犬山で観測された岐阜県中部地震—1969年9月9日—に伴う地殻歪に関する二三の考察, *震研集報*, **48**, 1241-1249.
- 竹本修三, 高田理夫, (1969): 地震に伴なう Strain Step について, *測地学会誌*, **15**, 68-74.
- WIDEMAN, C. J. and M. W. MAJOR, (1967): Strain Steps Associated with Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **57**, 1429-1444.
- 山田重平, (1973): 水管傾斜計によって観測された地殻変動, *震研研究速報*, 第**10**号, 第1冊, 117-128.
- YAMAZAKI, Y., (1965): Electrical Conductivity of Strained Rocks (The 1st paper), Laboratory Experiments on Sedimentary Rocks, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 783-802.
- YAMAZAKI, Y., (1966): Electrical Conductivity of Strained Rocks (The 2nd paper), Further Experiments on Sedimentary Rocks, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 1553-1570.
- YAMAZAKI, Y., (1967a): Electrical Conductivity of Strained Rocks (The 3rd paper), A Resistivity Variometer, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **45**, 849-860.
- 山崎良雄, (1967b): 岩石変形と比抵抗変化, *地震 [2]*, **20**, 138-140.
- 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, (1969): 岩石変形と電気伝導度変化, プリント限定版, 1-122.
- 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.
- YAMAZAKI, Y., (1974a): Coseismic Resistivity Steps, *Tectonophysics*, **22**, 159-171.
- 山崎良雄, (1974b): 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, (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.
- 山崎良雄, (1974d): 岩石変形と比抵抗 (4), [伊豆半島沖地震 (May, 9, 1974, M6.9) に伴う油壺の比抵抗変化], *地震 [2]*, (印刷中).

15. *Electrical Conductivity of Strained Rocks. (Sixth Paper)*

—*A Resistivity Change at Aburatsubo Associated with the
Izu-Hanto-oki Earthquake of 1974.*—

By Yoshio YAMAZAKI,
Earthquake Research Institute.

A sensitive resistivity variometer developed by the writer, has been at work at Aburatsubo, a near-shore station about 60 km south of Tokyo, since 1968. Up to May 9, 1974, twenty records of resistivity change have been obtained in association with the occurrences of earthquakes. Those records indicate correlation with earthquake magnitude, epicentral distance and so on.

The major results have already been summarized by RIKITAKE and YAMAZAKI (1969a, 1969b) and YAMAZAKI (1974a).

At the Izu-Hanto-oki Earthquake on May 9, 1974, a vague indication of the forerunning change of resistivity was obtained at the same time as the change associated with the main shock.

However, more detailed discussions on the precursory change in the apparent resistivity must be made in future.

The writer thanks Mr. T. Takahashi at the Aburatsubo Crustal Movement Observatory, Earthquake Research Institute, for his sincere cooperation on the present study.