

地震記録の調べ方 (その4)

— 地面の揺れ方を描く —

室井 勲*

1. はじめに

地震の記録からどんなことがわかるかということで続けているこのシリーズ、今回は地震記録の水平動2成分(南北と東西)の記録を読みとり、地面の水平面での揺れの様子を描いてみる。平成5年から実施される中学校の新学習指導要領の中の「大地の変化と地球」では、地震の揺れ、土地の変化、災害などを扱うようになってきているのでこれに関する教材としてまとめてみることにした。

ここでは昭和59年(1984年)9月14日午前8時48分に発生した「長野県西部地震」(マグニチュード6.8)の記録¹⁾を使い、記録の読みとり方と地面の水平面での揺れの軌跡の描き方を述べ、震源での現象を加えて揺れの特徴や意味を考えてみる。

2. 水平面の揺れの求め方

地震の観測点では、揺れを3つの成分(南北N-S, 東西E-W, および、上下U-D)に分解して記録をとるために、性能は同じだが各成分ごとに別々の地震計を設置して観測している。これらの各成分や向きなどの関係は図1の通りである。

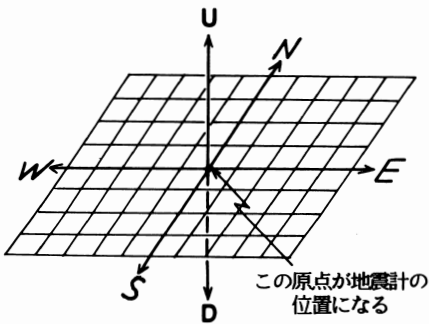


図1 原点(観測点)を含む水平面と上下との関係

今回扱う地面の水平面の揺れを検出するのは、南北(N-S)成分と東西(E-W)成分の変位型の地震計であるのでこの2成分の記録を使うことになる。

いま、図2のように地震記録のN-S成分とE-W成分をその成分の方向に一致させて置くとその時間軸が直交するようになる。揺れの大きさを読みとるのは、同じ時刻でのN-S成分およびE-W成分の揺れである。この同一時刻の2つの揺れの大きさを図2の上部のグラフ用紙に記入する。このグラフの原点は地震計の設置地点である。縦軸はN-S成分、横軸はE-W成分の、それぞれの揺れの大きさを表す。同じ時刻でのN-S成分とE-W成分との2つの揺れの大きさがグラフでは1つの点にプロットされ、このときの原点からの距離が、合成された揺れの大きさになる。そして、それぞれの点を時刻の順番(図中の0→1→2→3→4→5→6まで)に結ぶと揺れの軌跡が得られる。

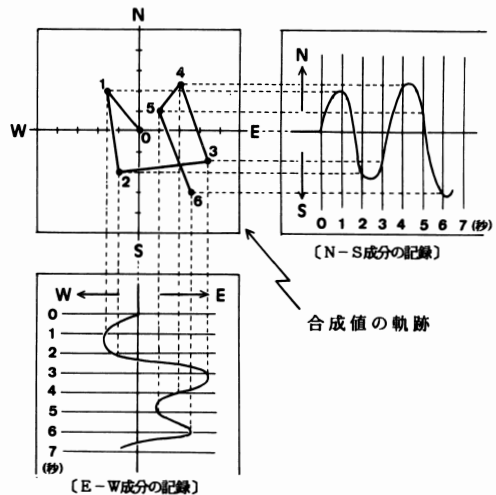


図2 記録からの読みとり方と合成値の記入および軌跡の描き方

* 大阪府科学教育センター

3. 地震記録

使用した地震記録は、昭和59年長野県西部地震を岐阜地方気象台の強震計（追記1参照）で観測した水平動2成分（N—S成分とE—W成分）である。原記録は円弧ひずみがあって読みとりにくいので少し手を加えた（図3）。横軸は時間、縦軸は揺れの大きさである。読みとりがしやすいように原記録を4倍に拡大してある。図3の左端のN←→SとE←→

Wの記号は、それぞれN—S成分とE—W成分における揺れの向きを示している。これは地震計の設置時に、この観測点の揺れの向きと記録紙上の揺れの向きとを各成分ごとに校正してあって、すぐわかるようになっている。揺れの向きは地震のメカニズムを知るための大切な情報の一つになっている。PおよびSの記号は、それぞれP波（初期微動）およびS波（主要動）が到着した時刻を指している。

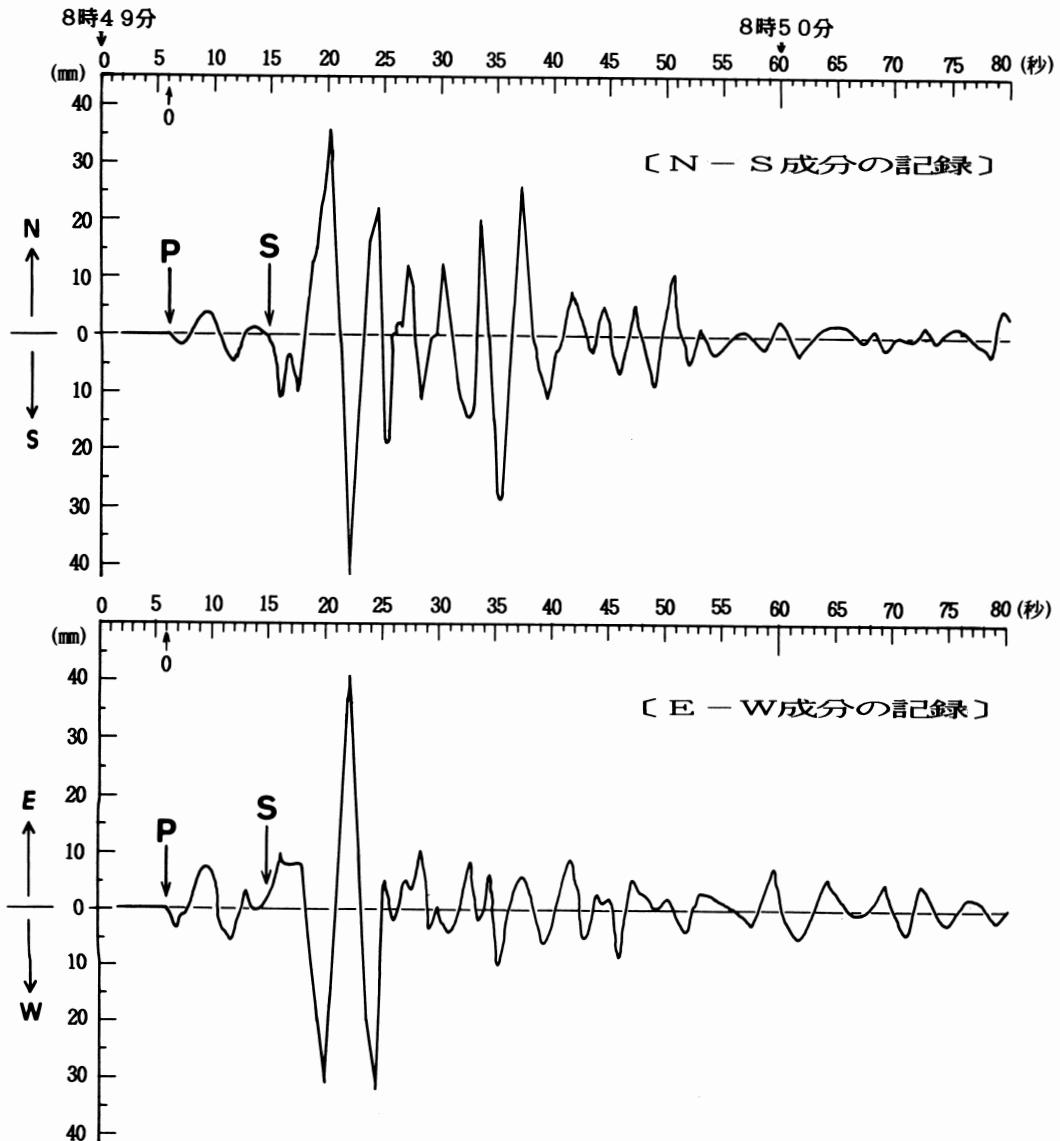


図3 「昭和59年長野県西部地震」の記録（水平動2成分）。上は南北（N—S）成分、下は東西（E—W）成分。岐阜地方気象台における1倍強震計によるもの¹⁾。

4. 記録の読みとり

図3での揺れの読みとりは、P波が到着した午前8時49分6秒を初動の立ち上がりの時刻とし、この時刻を0秒として1秒間隔で行った。同じ時刻にN-S成分とE-W成分の揺れの大きさを読みとった。単位はmmである(表1)。

読取値は全部で70個である。揺れ曲線を描くために、全部のデータを1枚の方眼紙に記入するとみにくくなるので、ここでは8つのグループに分け、揺れの変化を少しずつ区切って表すことにする。そのための順番を○の中の数字で表してある。*はその時の区切り目の値である。

表1 昭和59年長野県西部地震の記録の読取値

時刻 時・分・秒	発震後の 時間 (秒)	揺れの向きと大きさ(mm)				時刻 時・分・秒	発震後の 時間 (秒)	揺れの向きと大きさ(mm)			
		W	E	S	N			W	E	S	N
① 8・49・06 07 08 09 10 11 12 13 14 15	0	0		0		⑤ 8・49・42 3 6 43 3 7 44 3 8 45 3 9 * 46 4 0 47 4 1 48 4 2 49 4 3 50 4 4 51 4 5 52 4 6 53 4 7	3 6	6.5		5.2	
	1	3.2		1.6			5.6		0		
	2	0			0.3			2.0		2.5	
	3		6.7		3.8			1.6		0	
	4		6.0		2.3						
	5	4.0		3.2				9.0		6.0	
	6	4.0		3.5							
	7		3.0		0.8			4.1	5.0		4.0
	8		0.2		0.7			4.2	3.5		
	9		1.6	0.8				4.3	0.5	2.0	8.5
	*	1 0		9.5	11.0			4.4	1.3		4.5
	17	1 1		8.8	6.5			4.5	3.5		3.0
	18	1 2		4.0	0			4.6	2.3		1.5
	19	1 3	14.0				18.0			2.3	3.3
	20	1 4	31.2				35.5				
21	1 5		3.0	3.0		4.9	1.4	1.8			
22	1 6		41.0	42.0		5 0	0.2		0.6		
23	1 7		4.0	7.0		5 1	1.0		0.4		
24	1 8	25.0			19.0	⑥ 5 2	2.8		1.7		
25	1 9	0		11.0		5 3		4.0	1.0		
26	2 0	2.0			1.8	8・50・00 5 4		3.5	2.8		
27	2 1		4.5		11.5	01 5 5	4.6		1.6		
*	2 2		7.0	6.0		* 02 5 6	5.3		2.2		
③ 29 30 31 32 33 34 35	2 3	3.0		2.0		03 5 7	0.7		0.6		
	2 4	1.0			13.0	04 5 8		4.5	1.9		
	2 5	4.0		2.0		05 5 9		3.2	2.0		
	2 6	0		12.7		06 6 0		0.3	1.4		
	2 7		5.0	8.0		07 6 1	0.9		0.3		
	2 8	0			5.0	08 6 2	0.1		0.6		
	2 9	5.0		22.5		* 09 6 3		3.0	2.0		
*	3 0	1.5		9.0							
④ 37 38 39 40 41	3 1		4.8		25.5	⑧ 10 6 4		0.5	0.7		
	3 2		3.0		2.0	11 6 5	4.2		0.3		
	3 3	5.0		8.0		12 6 6	0		0.3		
	3 4	2.0		4.5		13 6 7		2.2	1.4		
	3 5		6.0		2.0	14 6 8	1.8		0.5		
						15 6 9	1.5		1.6		

〔註〕 ①～⑧はグラフに記入する際のグループ番号。*の値がその時の区切り目。

5. 地面の揺れ

(1) 揺れ曲線を描く

さて、これで準備ができたので地面の揺れを描くことにする。ここでの地面は岐阜地方気象台の地震計の設置地点になることはいうまでもない。

各グループごとに、方眼紙の中央に原点(観測点に相当)をとり、縦軸にN-S成分、横軸にE-W成分をとり目盛りをつける。図4では、②の枠の中だけ目盛りの数字を入れたが、これ以外の枠も同じ目盛りである。

まず、表1の①のグループのP波の到着時刻である0秒では、揺れはどの成分も0であるので、図4の①では原点になる。1秒後には、N-S成分はS

向きに1.6、E-W成分ではW向きに3.2になるので、原点から南西の方に点が記入できる。以下、先の図2で説明したことを考慮しながら順次記入していき、それぞれの点を時刻の順番に直線で結ぶと、図4の①から⑧までの揺れの図が得られる。

(2) 揺れ曲線の見方

この図を理解するためには、図3の地震の記録と合わせて各時刻ごとの変化を比較対照しながら眺めることが必要である。その中でも

- a : P波の初動の立ち上がりの向き
- b : P波とS波の揺れの大きさと方向の違い
- c : S波としての揺れはどのように変化したかなどに注目するとよい。

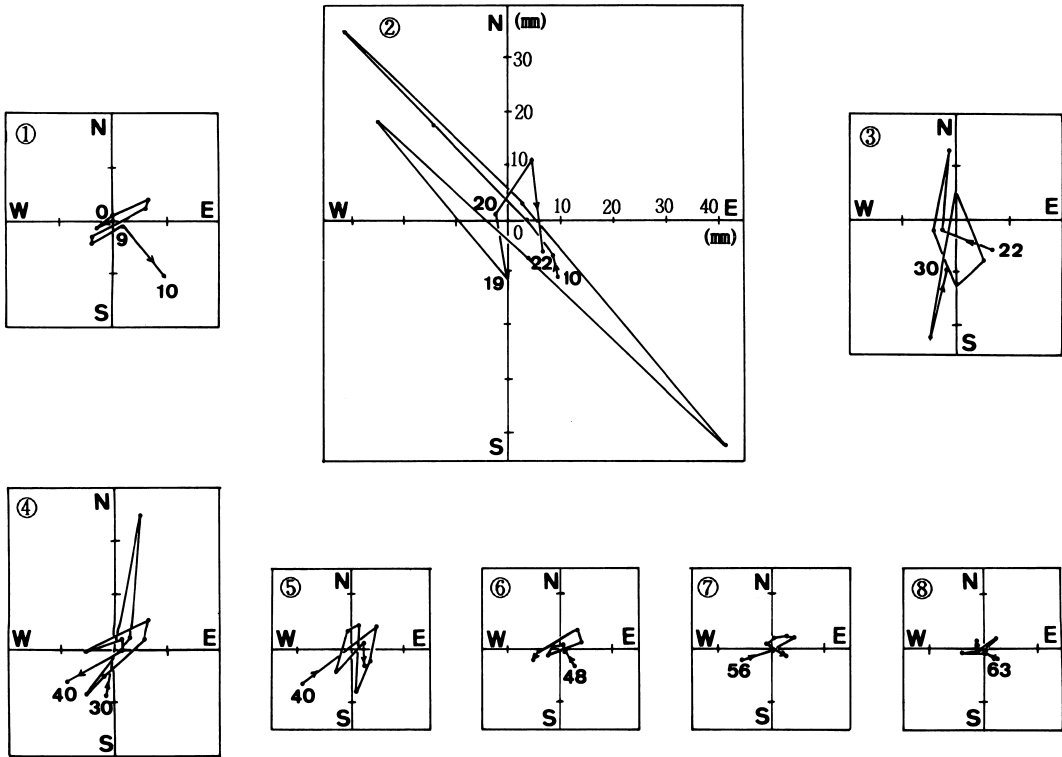


図4 水平動2成分から合成した観測点(岐阜地方気象台)の水平面での揺れ。70個の読取値を①から⑧までの8つに分けて描いたもの。揺れ曲線の中の太い数字は、揺れ始めてからの時間(秒)を表す。

6. 揺れ曲線の変り方

地震の記録だけを見ていると、どの成分も同じように規則的に揺れているように感じられるが、図4で示したように、2成分を合成して求めた地面の水平面での揺れを見ると必ずしもそうではない。5の(2)で、揺れ曲線の見方のポイントをあげたので、これから図4を表1や図3とも対応させながら変化の様子を説明する。

a : 図4の①の原点0から西南西向きに始まった小さな揺れは、P波の初動の立ち上がりの揺れである。その後、西南西—東北東の方向に沿って繰り返されている。この西南西—東北東方向の揺れがP波だけの揺れ(初期微動)の部分で、図3の記録で見ると揺れが始まった0秒から9秒までである。

b : P波の揺れが始まってから9秒後からはS波が

始まっている。①の原点近くから南東向きの揺れが見られるのがこのS波の初動(10秒後)である。この10秒後の点からはS波(主要動)の揺れになる。図3の2成分ともSの記号とその下の矢印(↓)でこの始まりを示してある。この②のように、揺れの方向は南東—北西で、大きさもきわだっている。大抵の地震でもこのようにS波は大きい。この方向の揺れは19秒の点まで続いている。

c : ②で、20秒の点から少しずつ向きが変わり、北北東—南南西方向の揺れが目だつようになる。この揺れもS波の部分であって、③と④とでも明瞭に見られる。

d : ④の途中から⑧までは次第に揺れが小さくなり、また、その方向は西南西—東北東になっている。この方向は①で見たP波の揺れの方向と同じである。

以上のことをまとめると、水平面の揺れは、P波とS波とで方向も大きさも明瞭に分かれる。すなわち、この観測点(岐阜地方気象台)では、P波は東北東—西南西方向にだけ揺れ、S波は北西—南東の方向に最大の揺れを示し、その揺れの大きさを減少しながら、右まわりに方向を変化させている。この様子を簡単に表したのが図5である。

この図ではP波の揺れとその大きさをpでS波の3種の揺れを大きさの順に S_1 、 S_2 、 S_3 と分けて表している。

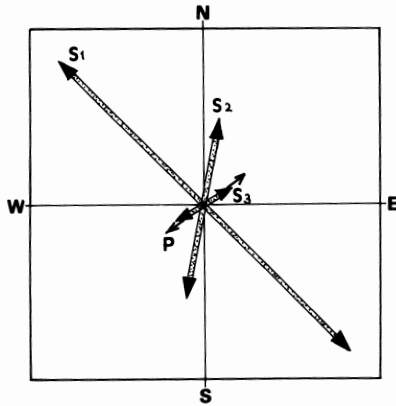


図5 観測点の揺れの大きさと方向
P波：p，S波： S_1 、 S_2 、 S_3

7. S波の最大の揺れについて

図4の②で見たS波の水平面での最大揺れの方向が表す意味について考えてみる。

(1) 震源付近の状況

この地震の震源は、長野県西部の御岳山の南東約10kmの地点で、深さが2kmである。この本震(長野県西部地震)の後には多数の余震が本震の震源付近を通過して西南西—東北東方向に発生した²⁾(図6)。崖崩れや土石流により死者29名の他、多大な被害を出した。

(2) P波の発生の仕方

震源での重要な現象の一つであるP波の発生の仕方に注目してみる。これを調べるために、気象庁の地震観測網で得られた3成分の記録の中の上下(U—D)成分のデータ³⁾を使って、P波の初

動の立ち上がりの向き(UまたはD)を、本州から四国までを含む白地図に記入したが、震央に近い部分だけを図6に示す。UおよびDという記号は、各観測点の地面の上昇および下降を意味する。

図6では、Uの範囲とDの範囲は震央を中心にして4つ部分に分かれることがわかる。ここで震央を通過してUとDの分布する境界に線(節線： m_1 と m_2)を記入する。震央をはさんで北東側と南西側とはUが、南東側と北西側はDが、それぞれ分布し、規則的な違いのあることが分かる。両節線のところはこの地震の震源となった断層の地表での位置を表している。上述の余震の分布の方向は節線 m_1 に沿った方向で今回の震源となった断層の方向に一致している。

また、この時の震源にかかった最大の圧縮応力の方向は、Dの範囲にあってこの範囲をはさむ2本の節線のなす角の2等分線上の方向(図6の太い矢印： $\Rightarrow \Leftarrow$)にあるというのが一般的な考え方である。

(3) S波の最大の揺れの方向について

一般にS波の揺れは断層という現象、すなわち、破壊の面に沿って「ずれ」があって発生するので、S波の揺れは、震源地における断層の方向で最大になるという理論がある⁴⁾。そこで、図5のS波の最大の揺れ S_1 の方向と図6の節線 m_1 および m_2 の方向と比

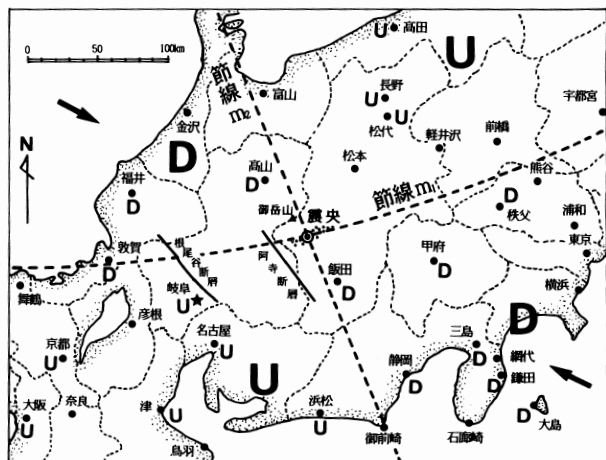


図6 上下動成分のP波の初動の向きの分布。U：最初の揺れが上昇から始まった地域。D：最初の揺れが下降から始まった地域、 $\Rightarrow \Leftarrow$ ：最大圧縮応力の方向、 \cdots ：余震、★：今回利用した記録の観測点(岐阜)

べてみる。 m_1 の方向とはどう見ても合わない。 m_2 の方向に近いように見えるが、角度にして約25度の差がある。

では、S波の最大の揺れの方向 s_1 と今回の震源として推定されている断層を示す節線 m_1 の方向が異なるのは何かを少し考えてみる。

この地方には日本でも有数の活断層が多く分布している。今回の震央と観測点の岐阜地方気象台との間には、震央から約20km余りの南西にある阿寺断層そして観測点(岐阜)近くには根尾谷断層といういずれも60kmから80kmの長さをもつ日本では第1級の活断層が、ともに北西—南東の方向に延びて分布している(図6)。断層の大きさにもよるがこのように断層で境された地塊の水平の揺れは、この地塊に接する断層の方向に大きくなるということが明らかになっている⁵⁾。恐らく節線 m_1 方向の断層によるS波の揺れで、岐阜方面に進む揺れは、阿寺断層によって北西—南東方向に変換され、阿寺断層から根尾谷断層までの地塊は、この北西—南東方向に揺れ、これが岐阜方面に伝わったものと考えられる。これを確かめるには、他の複数の観測点の記録を調べる必要がある。

8. 揺れをポケコンで描く

表1のデータを手近にあるポケコン(シャープPC-E550)に入力し、プロッタプリンターに描かせた(図7)。すでに図4では①から⑧まで分けて手書きしたものを示したが、図7ではこれらをまとめ、70個の読取値

を1枚の図に表してある。読みとりの時間間隔をもっと短くすれば途中の様子もわかるだろう。

このためのプログラムは図8に示す。入力したデータは省略してある。

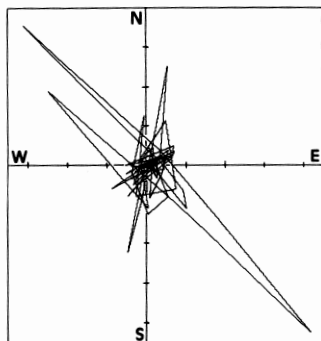


図7 地面の水平面での揺れをプロッタプリンターで描く

9. まとめ

- (1) 新学習指導要領に沿った中学校理科(第2分野)教材として、地震記録から観測点の地面の揺れを描く方法とその見方についてまとめた。
- (2) この描き方は、地震記録から読みとった水平動2成分の揺れを

```

5 OPEN
10 GRAPH
15 READ X,Y : X1=X,Y1=Y
20 READ X,Y
25 IF X=999, THEN END
30 X2=X,Y2=Y
35 LLINE (X1,Y1)-(X2,Y2),0.0
40 X1=X,Y1=Y
45 GO TO 20
50 DATA .....
.....
100 DATA 999.0

```

図8 プログラム

同じ時刻について、その向きを考慮して座標に記入すればよい。

- (3) S波の水平面での揺れの方向は、その地震発生時の断層の方向を表すので、S波の記録はこの断層の方向の推定に利用できる。ただし、今回のように震源と観測点の間に大きな断層がある場合には注意が必要であろう。

謝辞 今回の地震記録は岐阜地方気象台のご好意により都合していただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

参考・引用文献

- 1) 昭和59年長野県西部地震記録, 岐阜地方気象台(1984)
- 2) 長野県西部地震合同地震観測班(執筆:堀内茂木):月刊地球, 10, 660(1988)
- 3) 地震月報, 気象庁(1984) p.101~102
- 4) 本多弘吉:地震波動, 岩波書店(1977) p.154~173
- 5) 三梨 昂・野口従道・吉村 満:島根大学地質学研究報告, 4, 105(1985)

[追記1] 地震には種々の強さのものがあるが、とくに強い地震だけを記録する低倍率の地震計が強震計である。強震計というと多くは地震の際の加速度を測る加速度型の地震計をさすことが多いが、今回の記録は振り子の動きをてこで機械的に拡大し、ペンをういて紙の上に記録するという機械式で変位を測る倍率が1倍の強震計によるもので、気象庁では加速度型とともにこの変位型のものも使用している。