資料

阿武山観測所のウィーヘルト地震計による 観測とその成果

山崎 純一*

Seismic Observation by the Wiechert Seismograph at Abuyama Observatory

Junichi YAMAZAKI

Inuicho 30-25, Uzumasa, Ukyoku, Kyoto 616-8176, Japan

(Received August 18, 2000; Accepted January 22, 2001)

Key words: Wiechert Seismograph, Abuyama Observatory.

§1. はじめに

京都大学理学部附属阿武山観測所では1930年10月以降1998年3月まで70年近くにわたり地震観測が続けられてきた[佐々(1941)]. 同観測所は1990年に京都大学防災研究所附属地震予知センター阿武山観測所に改組された. 本館地下室には長周期地震計(PRESS EWING型)3成分, 短周期地震計(HESS型)3成分, 短周期地震計(微小地震用)1成分, ウィーヘルト地震計3成分, 佐々式強震計3成分, 佐々式大震計2成分などが配置されていた. その成果は地震報告[Seismological Bulletin of Abuyama Seismological Observatory, Kyoto University]として年2回発行され, 国内および世界の地震観測研究機関へ送られてきた. 地震報告の発行は1952年4月から始まり, 1996年12月まで続いた

が, 1998年3月をもって本館地下室での観測業務を終了し, 同誌も廃刊することになった. なお, 後事は宇治の地震予知研究センターのテレメータ観測に委ねられることになった.

ウィーヘルト地震計は昭和の始め阿武山地震観測所創

Table 1. Instrumental constants of the Wiechert seismograph at the Abuyama observatory.

No.	Instrument	Component	V	T1	h1	ρ
1	Wiechert	UD	150	4.7	0.45	0.2
2	Wiechert	EW	170	10.0	0.45	0.5
3	Wiechert	NS	170	10.0	0.45	0.5

T1: Period of pendulum in second
h1: Damping constant of pendulum
 ρ : Solid friction measured in mm

Fig. 1. Magnification curves of the Wiechert seismograph at the Abuyama Observatory. (1): Vertical component (2) and (3): Horizontal components. Instrumental constants are shown in Table 1.

* 〒616-8176 京都市右京区太秦乾町 30-25

Table 2-1. Lists of large destructive earthquakes occurring in and around the Japanese islands, classified by the first P wave trace amplitude. Group A: earthquakes having the first P wave amplitude larger than 10 mm.

No	Date	Latitude Longitude		M	UD			EW			NS		
					UD			EW			NS		
		(N)	(E)		P (mm)	T (sec)	*	P (mm)	T (sec)	*	P (mm)	T (sec)	*
A	Year, Month, Day												
1	1936, 2, 21	34.6	135.7	6.4	+34.5	1.2	—	—37.5	0.8	—	+88.0	3.2	—
2	1943, 3, 4	35.4	134.2	6.2	— 7.0	2.8	+	—15.0	4.8	—	+14.2	4.8	—
3	1943, 3, 5	35.5	134.2	6.2	—18.5	2.0	+	—22.2	2.8	—	+12.5	2.0	—
4	1946, 12, 21	33.0	135.6	8.0	+71.0	4.4	—	— 7.0	4.8	—	+33.0	4.4	—
5	1948, 6, 28	36.2	136.2	7.1	+56.0	2.8	—	—13.5		—	—90.0		—
6	1949, 7, 12	34.1	132.7	6.2	+ 6.5	4.0	+	+14.0	5.6	+	+ 5.0	5.2	+
7	1952, 3, 7	36.5	136.2	6.5	+50.0	4.0	—	—46.0	2.0	—	—92.0	1.6	—
8	1952, 7, 18	34.5	135.8	6.8	+58.0	1.2	—	—31.0	1.2	—	+42.0	1.4	—
9	1953, 11, 26	34.0	141.7	7.4	— 5.0	4.0	+	+12.0	6.0	—	— 2.0	6.0	—
10	1961, 8, 19	36.0	136.8	7.0	—28.0	2.0	—	+32.0	2.8	—	+38.0	2.0	—
11	1972, 2, 29	33.2	1441.3	7.1	— 6.0	4.4	+	+24.0	9.2	—	— 3.0	8.0	—
12	1972, 12, 4	33.2	141.1	7.2	— 6.0	6.0	+	+12.0	8.8	—	— 3.0	10.4	—

Table 2-2. Lists of large destructive earthquakes occurring in and around the Japanese islands, classified by the first P wave trace amplitude. Group B: earthquakes having the first P wave amplitude larger than 2.0 mm, and smaller than 10 mm.

No	Date	Latitude Longitude		M	UD			EW			NS		
					UD			EW			NS		
		(N)	(E)		P (mm)	T (sec)	*	P (mm)	T (sec)	*	P (mm)	T (sec)	*
B	Year, Month, Day												
1	1935, 7, 11	35.0	138.4	6.4	+2.2	3.2	+	—5.2	5.2	+	—0.2	2.0	—
2	1941, 11, 19	32.6	132.1	7.2	—2.0	8.0	+	—3.3	12.0	—	—4.2	18.4	—
3	1949, 12, 26	36.6	139.8	6.4	—1.3	5.0	+	+2.0	6.0	—	+1.0	6.0	—
4	1955, 7, 27	33.7	134.3	6.4	—2.5	1.6	+	—2.1	2.8	—	—2.8	3.2	—
5	1956, 9, 30	35.7	140.1	6.3	—3.8	2.0	+	+4.3	5.6	+	+1.0	2.8	+
6	1960, 3, 21	39.8	143.4	7.2	+0.3	8.0	+	—2.7	12.0	—	—1.2	12.0	—
7	1961, 2, 27	31.6	131.9	7.0	—1.4	10.0	+	—4.5	18.0	—	—6.0	28.0	—
8	1961, 8, 12	42.9	145.6	7.2	+2.3	4.8	+	—2.5	5.6	+	—2.4	5.6	+
9	1965, 4, 20	34.9	138.3	6.1	+3.0	4.0	+	—5.0	4.4	+	—0.2	4.0	+
10	1968, 5, 16	40.7	143.6	7.9	—0.5	4.0	—	+3.0	16.0	—	+7.5	16.0	—
11	1968, 8, 6	33.3	132.4	6.6	+4.5	4.0	+	+5.0	8.0	+	+4.5	7.0	+
12	1969, 9, 9	35.8	137.1	6.6	+3.5	1.6	—	—4.0	2.4	—	—2.2	2.0	—
13	1973, 6, 17	43.0	146.0	7.4	+3.0	4.0	+	—2.7	5.6	—	—1.0	4.0	—
14	1974, 5, 9	34.6	138.8	6.9				—5.5	10.4	—	+1.4	8.0	—
15	1978, 6, 12	38.2	142.2	7.4	+5.0	3.0	—	—3.6	2.2	—	—1.5	4.0	—
16	1982, 3, 21	42.1	142.6	7.1	—1.5	2.4	+	+3.0	10.0	—	+1.5	4.0	—
17	1987, 3, 18	32.0	132.1	6.6	+3.0	2.6	+	+2.0	3.0	—	+2.1	4.0	—

設当初ドイツから輸入された 1000 kg 級の大型地震計で日本では京都大学にだけ 4 台購入されたものである。それらは上賀茂, 阿武山, 阿蘇, 別府の 4 観測所に設置された。1932 年から連続記録を取り始め, 1991 年 7 月に電磁式地震計に変更になるまで観測を続けて来た。その特性を Table 1 および Fig. 1 に示す。なお, 気象庁

では 1929 年から 500 kg の小型のウィーヘルト 59 型地震計を多数輸入して全国の地方気象台に展開し, 日本の標準地震計として地震観測を開始した。

ウィーヘルト地震計の原理については中村左衛門太郎 (1954) の著書「地震学」に詳しく, また, 阿武山観測所でのウィーヘルト地震計の観測状況については梅田・他

Table 2-3. Lists of large destructive earthquakes occurring in and around the Japanese islands, classified by the first P wave trace amplitude. Group C: earthquakes having the first P wave amplitude of about 1.0 mm. P (mm): the first P wave trace amplitude, T (sec): apparent period of the first P wave, and *: quality of the record (+: complete record, -: scale out).

Group C													
No	Date	Latitude Longitude		M	UD			EW			NS		
C	Year, Month, Day	(N)	(E)		P (mm)	T (sec)	*	P (mm)	T (sec)	*	P (mm)	T (sec)	*
1	1933, 9, 21	37.1	136.8	6.0				-1.0	2.0	+	-1.0	2.0	+
2	1934, 8, 18	35.6	137.0	6.3	+0.5	1.2	+	-0.7	1.2	-	-0.4	1.6	-
3	1936, 11, 3	38.2	142.1	7.5	+0.3	1.5	+	-0.7	2.4	+	-0.4	2.0	-
4	1936, 12, 27	34.4	139.0	6.3	+0.5	6.4	+	-1.2	4.0	+	+0.2	0.4	+
5	1938, 1, 12	33.6	135.1	6.8	+1.1	2.4	-	+0.2	1.6	-	+1.2	1.2	-
6	1939, 3, 20	32.3	132.0	6.5	-1.5	4.0	-	-2.0	5.6	-	-1.0	5.6	-
7	1939, 5, 1	40.1	139.5	6.8	+0.5	2.8	+	-0.5	4.0	-	-0.7	5.0	+
8	1940, 8, 2	44.3	139.5	7.5	-1.5	2.0	+	+0.3	5.2	-	+1.5	5.6	-
9	1943, 8, 12	37.3	139.9	6.2	-0.3	2.6	+	+2.0	8.0	+	+0.8	6.0	+
10	1943, 10, 13	36.8	138.1	5.9	+0.4	4.0	+	-0.4	4.0	+	-0.3	4.0	+
11	1944, 12, 7	33.8	136.6	7.9	-0.7	2.0	-	+0.7	2.0	-	-2.0	4.0	-
12	1945, 1, 13	34.7	137.1	6.8	-0.7	1.6	-				-0.8	4.0	-
13	1952, 3, 4	41.8	144.1	8.2	+0.3	2.4	+	-0.2	2.6	+	-0.2	2.6	+
14	1956, 3, 6	44.3	144.1	6.3	+0.3	2.0	+	-0.6	6.0	+	-0.2	4.0	+
15	1956, 9, 30	38.0	140.6	6.0	+0.6	4.0	+	-1.1	4.8	+	-0.5	6.0	+
16	1958, 11, 7	44.3	148.5	8.1	+0.5	2.0	+	-0.6	2.8	-	-0.5	4.0	-
17	1962, 4, 23	42.2	143.9	7.0	-0.5	4.0	+	+0.5	4.8	+	+0.5	4.0	+
18	1962, 4, 30	38.7	141.1	6.5	+0.6	1.2	+	-0.6	1.2	+	-0.3	1.2	+
19	1962, 8, 26	34.1	139.5	5.6	-1.0	2.0	+	+1.0	2.4	+	-0.3	4.0	+
20	1963, 3, 27	35.8	135.8	6.9	+1.0	0.8	-	-0.7	0.8	-	-1.2	0.8	-
21	1963, 10, 13	43.8	150.0	8.1	+0.5	2.0	+	-0.3	2.6	+	-0.2	3.0	+
22	1964, 5, 7	40.3	139.0	6.9	+1.0	4.0	+	-0.6	8.0	-	-1.5	8.0	-
23	1964, 5, 8	40.5	139.1	6.5	-0.4	4.0	+	+0.4	5.0	+	+1.2	8.0	+
24	1964, 6, 16	38.4	139.2	7.5	-0.2	2.4	+	+0.3	4.0	-	+0.2	3.0	-
25	1967, 4, 6	34.2	139.2	5.3	+1.4	1.2	+	-1.2	2.0	+	+0.4	2.0	+
26	1968, 2, 21	32.0	130.7	6.1	-0.3	1.4	+	-0.2	2.4	+	-0.1	2.4	+
27	1968, 4, 1	32.3	132.5	7.5	+0.3	2.0	-	+0.2	2.8	-	+0.2	2.4	-
28	1968, 7, 1	36.0	139.4	6.1	+0.5	1.6	+	-0.7	2.0	+	-0.2	2.0	+
29	1968, 9, 21	36.8	138.3	5.3	+0.6	2.8	+	-0.6	4.0	+	-0.9	7.0	+
30	1970, 1, 21	42.2	143.1	6.7	-1.5	5.2	+	+1.0	6.0	+	+1.7	8.4	+
31	1970, 7, 26	32.1	132.0	6.7	-0.6	4.0	+	-1.5	8.8	-	-1.6	9.2	-
32	1970, 10, 16	39.2	140.8	6.2	-0.5	2.8	+	+0.5	3.2	+	+0.3	2.0	+
33	1971, 2, 16	37.1	138.4	5.5	-0.2	6.0	+	+0.3	6.0	+	+0.1	4.0	+
34	1975, 1, 23	33.0	131.1	6.1	+0.2	2.0	+	+0.3	2.4	+	+0.2	2.8	+
35	1976, 6, 16	35.5	139.0	5.5	-0.1	0.6	+	+0.2	1.0	+	+0.2	1.6	+
36	1978, 1, 14	34.8	139.3	7.0	+0.3	1.4	-	-0.4	1.4	-	+0.2	2.4	-
37	1978, 6, 4	35.1	132.7	6.1	-1.2	3.0	+	-1.8	3.2	+	+0.2	3.2	+
38	1980, 6, 29	34.9	139.2	6.7	+0.7	2.0	+	-1.0	4.0	-	+0.6	2.0	-
39	1983, 5, 26	40.4	139.1	7.7	+0.2	4.8	-	-0.5	5.6	-	-0.2	4.0	-
40	1983, 8, 8	35.5	139.0	6.0				-1.0	3.2	+	-0.2	2.4	-
41	1984, 8, 7	32.4	132.2	7.1	-3.5	1.0	-	-1.0	0.6	-	-0.1	0.6	-
42	1984, 9, 14	35.8	137.6	6.8	+0.4	2.4	-	-0.6	2.4	-	-0.5	2.4	-
43	1987, 12, 17	35.4	140.5	6.7	+0.5	1.6	+	-0.5	3.2	+			

(1992)に詳しく述べられている。ここでは、改めて阿武山観測所のウィーヘルト地震計の記録に目を通して、日本付近の被害地震（理科年表に出ているもの）がどの程

度記録されているかを調べた。阿武山観測所のウィーヘルト地震計の記録が日本付近で発生した大地震の研究に役立つかどうかを見るためである。そして、その中の初

Fig. 2. Photographs of the original Wiechert seismograms at the Abuyama observatory. (1) 1944, 12, 7 Tonankai earthquake (C11). (2) 1946, 12, 21 Nankai earthquake (A4).

動部分の振幅に注目して地震を分類して表示することにした。また、ウイーヘルト地震計では同時に微小地震も記録されているので、S-P時間10秒以内の地震を抽出し、周辺地域の大地震が丹波山地を中心とした近畿地方中北部の地震活動にどのような影響を及ぼしたかを調べた。

§ 2. ウイーヘルト地震計で観測された大地震

理科年表〔国立天文台編(1996)〕の「日本付近のおもな被害地震年代表」に出ている被害地震について、阿武山観測所のウイーヘルト地震計の記録を調べた。その中でP波の初動振幅の大きい地震(立ち上がりの片振幅3成分のいずれかで10 mm以上のもの: Aグループ)は12個あり、これらの地震はP波の立ち上がりがシャープで周期の短いものが多い〔Table 2(A)〕。

次にP波の初動振幅のやや大きい地震(立ち上がりの片振幅が2.0 mm以上10 mm未満のもの: Bグループ)は17個であり〔Table 2(B)〕、P波の初動振幅が極めて小さい地震(立ち上がりが弱く1.0 mm前後のもの: Cグループ)は43個である〔Table 2(C)〕。Aグループは

全体の16.7%, Bグループは全体の23.6%, Cグループは全体の59.7%になる。すなわち、過去約60年間に発生した大地震の約60%の記録の立ち上がりは極めて小さいことがわかった。

この中で3成分とも全波形の取れているものは、1936年の新島近海(C4), 1949年の安芸灘(A6), 1956年の網走沖(C14), 1961年の釧路沖(B8)など25個を数える。E, N成分は振り切れているが、V成分のみは全波形の取れているものは1934年の郡上八幡(C2), 1936年の金華山沖(C3), 1952年の十勝沖地震(C13), 1958年のエトロフ島沖(C16), 1961年の日向灘(B7)など25個を数える。また、V成分には後続波に機械的な共振波形の出るものも多く、1955年の徳島県南部(B4), 1956年宮城県南部(C15)など12個がそれを示している。1960年のチリ地震(M_s 8.5)は初動部分の波形は微弱でP, Sは読めないが、後続の表面波はよく記録されている。

1936年の河内大和地震(A1)は3成分ともP波の初動部分のみ描いて振り切れている。1938年の田辺湾沖(C5)はP波の立ち上がり後振り切れ、S波の立ち上がり

Fig. 3. Epicentral distribution of large earthquakes ($M > 6.0$), which occurred during the period from 1925 to 1995, in and around Kinki district. "A" denotes the Abuyama Observatory. "K" denotes Kameoka district, "W" denotes Wachi district, "T.H." denotes Tanba Highland. S-P times for earthquakes occurring within a circle (the radius=75 km) are less than 10 sec at the Abuyama Observatory.

ははっきりしない。1943年の鳥取地震 ($M 7.2$) は全欠。1944年の東南海地震 (C11) はP波もS波も立ち上がりの後振り切れている。1945年の三河地震 (C12) はP波の後半で振り切れている。E成分は故障。1946年の南海地震 (A4) はP波の後半で振り切れてS波は特定が不可能である。1948年の福井地震 (A5) はP波の立ち上がりのみで振り切れ、S波は特定が不可能である。1952年の吉野地震 (A8) はP波の立ち上がりのみで振り切れている。1963年の越前岬沖地震 (C20) はP波の立ち上がりは小さく、S波は振り切れて特定が不可能である。1969年の岐阜県中部地震 (B12) の水平動2成分のS波は振り切れて特定が不可能である。1984年の長野県西部地震 (C42) はP波の立ち上がりが小さく、水平2成分のS波は振り切れて特定が不可能である。全体で近畿地方およびそれに隣接する地域で発生した大地震はP波の立ち上がりのみで振り切れてしまい、S波部分は正確に記

録されていないことの多いことがわかった。

近畿地方に比較的に近い地震でP波の立ち上がりの小さかったものに1934年の郡上八幡 (C2), 1938年の田辺湾沖 (C5), 1944年の東南海地震 (C11), 1945年の三河地震 (C12), 1963年の越前岬沖地震 (C20), 1964年の新潟地震 (C24), 1984年の長野県西部地震 (C42) などがあり、また、近畿地方に比較的に近い地震でP波初動の大きかったものに1936年の河内大和地震 (A1), 1946年の南海地震 (A4), 1948年の福井地震 (A5), 1952年の大聖寺地震 (A4), 1952年の吉野地震 (A8), 1961年の北美濃地震 (A10) などがある。すなわち、震央距離が遠くなるとP波の立ち上がりが小さくなることが多いが、震央距離が近いものはすべてP波の立ち上がりがシャープに出るとは限らないことがわかった。

同じ紀伊半島南方海上のフィリッピン海プレートの沈み込みに発生した二つの大地震において、南海地震 (A4) の初動振幅が大きくシャープであるのに対し、東南海地震 (C11) の初動振幅は極めて微弱である。両地震共発生の際に初動振幅に大きな違いがある。南海地震が断層の急激な大破壊から始まったのに対し、東南海地震は断層の微小破壊から始まって大破壊に到ったものと考えられる。これらの地震の記録の波形を複写したものを Fig. 2 に示す。

§ 3. ウーヘルト地震計で観測された微小地震

3.1 年別地震発生数

阿武山観測所のウーヘルト地震計の記録からS-P時間10秒以内 (阿武山からおおよそ半径75 kmの半球内) に起こった地震を読み取ることにした。Fig. 3のA印の阿武山を中心にした小円内がS-P時間10秒以内の範囲を示す。黒い円印などは近畿地方の周辺地域の大地震 (Table 3) を示す。KANAMORI (1972) は東南海地震及び南海地震の余震域を紀伊半島沖から四国沖にかけて図示しており、木村・岡野 (1998) は中央構造線以南の四国東部から和歌山に至る領域を四角に囲って1946年南海地震の余震域として示している。ここでは南海地震の余震を除く意味でS-P時間を10秒以内とした。抽出された地震の中で、EW, NS 2成分のP波およびS波が明瞭に記録されているものの数を1年毎の棒グラフに示した (Fig. 4)。

1968年の京都府中部地震 ($M 5.6$) はその2年前から段階的に地震発生数が増加していることに注目し、その2年前の発生数を基準にして活動度を評価する。年間60個以上起っている年は平常と異なって地震活動が活発であった年と考えて、図に横に描いた点線より上にある

Table 3. Lists of large destructive earthquakes occurring in and around Kinki district.

No	Year, Month, Day	Latitude (N) (degrees)	Longitude (N) (degrees)	M	Name
1	1925, 5, 23	35.6	134.8	6.8	Kitatajima
2	1927, 3, 7	35.5	135.2	6.3	Kitatango
3	1934, 8, 18	35.6	137.0	6.3	Gujouhachiman
4	1936, 2, 21	34.6	135.7	6.4	Kawachiyamoto
5	1938, 1, 12	33.6	135.1	6.8	Tanabewanoki
6	1943, 9, 10	35.5	134.1	7.2	Tottori
7	1944, 12, 7	33.8	136.6	7.9	Tounankai
8	1945, 1, 13	34.7	137.1	6.8	Mikawa
9	1946, 12, 21	33.0	135.6	8.0	Nankai
10	1948, 6, 28	36.2	136.2	7.1	Fukui
11	1952, 3, 7	36.5	136.2	6.5	Daisyoujioki
12	1952, 7, 18	34.5	135.8	6.8	Yosino
13	1961, 8, 19	36.0	136.8	7.0	Kitamino
14	1963, 3, 27	35.8	135.8	6.9	Etizenmisakioki
15	1969, 9, 9	35.8	137.1	6.6	Gifukenchuubu
16	1995, 1, 17	40.5	143.7	7.2	Hyougokennanbu

Fig. 4. Yearly number of earthquakes with S-P times less than 10 sec at the Abuyama Observatory, detected by the Wiechert Seismograph during the period from 1932 to June 1991, and by the middle period Seismograph during the period from July 1991 to 1997. The arrow A means the time when the Seismograph was changed.

のが地震発生の異常に多い年とする。そうすると河内大和地震 ($M 6.4$) の発生した 1936 年は地震が多い。1946 年の南海地震の発生後の 1947 年から 1951 年までの 5 年間も地震が多い。これはフィリピン海プレートのもぐり込み帯に発生した南海地震の影響によって、その余震域から離れた丹波地方 (丹波山地を中心とした近畿地方中北部) の地震活動が誘発され、微小地震が多く発生したものと考えられる。また、1968 年の京都府中部地震 ($M 5.6$) の前の 1966 年から 1968 年までが多い。亀

岡の地震 ($M 4.9$) が発生した 1987 年も地震が多い。

ところで、阿武山観測所のウーヘルト地震計の記録には戦時下における物資欠乏によって欠測が多くなっている。地震活動の評価には欠測の影響を考慮に入れる必要がある。そこで原記録に当たって調べ直し、少なくとも水平 2 成分の記録が残っている日数を数えて 1 ヶ月ごとのグラフに示した (Fig. 5)。河内大和地震に関しては 1936 年が 360 日分の記録が残っているが、1937 年は 199 日分と少なく十分とは言えない。南海地震の前後

Fig. 5. Numbers of days having at least two horizontal components seismograms in a month during the period from 1929 to 1951.

Fig. 6. Monthly number of earthquakes with S-P times less than 10 sec, detected by the Wiechert Seismograph at the Abuyama Observatory, during the period from 1932 to 1938, and during the period from 1944 to 1951.

では、1943年から1946年までは平均して1年間に81日分、1947年から1950年までは平均して1年間に171日分しか記録されていない。したがって Fig. 4 に見られるように南海地震の前の地震の数が少ないが、大地震の前に丹波地方の地震活動が低下したと断定するのは困難である。しかし、木村・岡野(1995)は気象庁のデータによって南海地震の前に四国、和歌山および丹波地方の地震活動が低下したことを明らかにしている。記録は十分でないが、先に述べた大地震の後に丹波地方の地震活動が増加したことは間違いの無い事実である。最後に、Fig. 4 の矢印 A は地震計がウィーヘルト地震計から電磁式の中周期地震計に代わった年を示している。梅田・他(1992)はウィーヘルト地震計と等価な電磁式地震計を開発したとして、振動台での実験に基づいた新しい地震計の特性曲線を描いて、Fig. 1 と全く同じ特性を得ている。しかし、実際に実験された周波数の範囲は中周期の範囲で、短周期の範囲の値は求められていない。したがって、新しい地震計はもっぱら中周期の範囲をねらったものであって、ウィーヘルト地震計のような広い周波数範囲はカバーできていない。Fig. 4 によると

1991年から地震数が少なくなり、兵庫県南部地震(M 7.2)の発生した1995年の地震発生数が横の点線以下で、亀岡の地震(M 4.9)よりも数が少ない。新しい電磁式地震計ではウィーヘルト地震計とは違って微小地震はあまり記録されていないことがわかった。

3.2 月別地震発生数

近畿地方中北部に影響のあったとみられる二つの大地震、すなわち河内大和地震と南海地震の前後の丹波地方の地震活動を詳しく見るために1月ごとの地震発生数を調べた。河内大和地震の前後を見るために1932年から1938年まで、南海地震前後を見るために1944年から1951年までをグラフに示した(Fig. 6)。河内大和地震前の1932年から1935年までの記録保有数が年平均289日分であって、約79%残っていることがわかり、1933年は350日分あって、約96%残っていることからこの間の地震の数と比較して、1936年は2月ばかりか3月以降も地震の数が多いたことがわかる。

東南海地震の発生した1944年12月は少し地震が多くなっている。しかし、それに続く1945年は地震が多くなり、近畿地方中北部の地震活動への影響あまり大き

Fig. 7. Histogram of earthquakes classified by S-P time intervals. (a) earthquakes which occurred in 1936. (b) earthquakes which occurred during the period from 1947 to 1951. (c) earthquakes which occurred during the period from 1966 to 1968. (d) earthquakes which occurred in 1987. (e) earthquakes which occurred during the period from 1929 to 1989, except earthquakes in (a), (b), (c) and (d).

Table 4. Yearly number of earthquakes corrected for the lack of the records during the period from 1932 to 1951, and its comparison with yearly mean number of earthquakes.

Year	Number of Days	Number of Earthquakes	Corrected Number of Earthquakes	Comparison with Mean: 34.0
1932	305	33	39.5	+
1933	350	16	16.7	-
1934	246	29	43.0	+
1935	255	6	8.6	-
1936	360	94	95.3	+
1937	199	16	29.3	-
1938	28	0		-
1939	333	23	25.1	-
1940	276	14	18.5	-
1941	266	5	6.9	-
1942	323	6	6.8	-
1943	113	8	25.8	-
1944	69	21	111.1	+
1945	70	17	88.6	+
1946	72	19	96.3	+
1947	192	192	365.0	+
1948	125	67	195.6	+
1949	158	111	256.4	+
1950	210	65	113.0	+
1951	348	72	75.5	+

くはなかったものと考えられる。三河地震の発生した1945年1月以降は数も少なく、この地震の影響はなかったものと考えられる。南海地震の発生した1946年12月以降1947年から1951年までは地震の数が大変多くなっている。特に1947年は1月を頂点にしてあ

かも本震余震型であるような分布を示している。福井地震の発生した1948年は突出した増加は認められず、福井地震の影響はなかったものと考えられる。

Fig. 8. Monthly number of earthquakes with S-P times less than 10 sec, detected by the Hess type seismometer (20000-power) during the period from 1989 to 1997, and by the super sensitive velocity type seismometer (65000-power) during the period from 1984 to 1997, at the Abuyama Observatory.

3.3 S-P 時間

近畿地方中北部に起こった地震の震央分布を知るのに 1 点のみの観測では困難なので、S-P 時間別の分布図を描いて阿武山からどれ位の距離のところに地震が多く発生したかを調べた。Fig. 7 に (a) 河内大和地震、(b) 南海地震、(c) 和知地震、(d) 亀岡の地震、(e) 平常の地震について S-P 時間の頻度分布を示す。(a) の河内大和地震の発生した 1936 年では S-P 時間 4~6 秒が多く、これは本震の近くに起こった余震を表している。次いで S-P 時間 1~3 秒が多いが、これは京都府中部に誘発された地震を表している。

これは最近の気象庁の震源データを SEIS-PC [(石川・他(1985))] で表示した分布図で京都府中部に見られ

る地震の固まりに対応していると思われる。(b) の南海地震の後の 1947~1951 年では S-P 時間 1~4 秒が最も多い。これは紀伊半島沖の震源から遠く離れた京都府中北部に誘発された地震を表している。(c) の和知地震前後の 1966~1968 年では S-P 時間 5~7 秒が多く、本震の近くで発生した余震を表している。また S-P 時間 1~4 秒も多く、これは京都府中北部に誘発された地震を表している。(d) の亀岡の地震の発生した 1987 年では S-P 時間 2~4 秒が多く、これは本震の周りに発生した余震を表している。(e) は 1929 年から 1989 年までの間に発生した地震の中で (a) から (d) の地震を除いた 48 年間に発生した地震の年平均値を表している。平時の微小地震活動は 1 秒以上 3 秒以下が多いことが分かる。南海

地震によって圧倒的に多くの地震が誘発された地域は平時に地震のよく起こっている地域と重なり、亀岡の地震の余震が発生した地域に相当することがわかった。

3.4 欠測の補正を試みた地震活動

阿武山のウーヘルト地震計の記録には1932年から1950年までの間に欠測が多い。観測が正常に行われるようになった1951年から1991年6月までの間で京都府中北部でやや大きい地震の起こった1967年、1968年(和知地震)および1987年(亀岡の地震)を除いて、1952年から1990年までの36年間の地震発生数は合計1230個だから、年平均約34個となる。

欠測の多かった1932年から1951年までの期間でも、1年間は同じ地震発生率で地震が起こっているものとして、1年間に予想される地震発生数を計算で求めた。例えば、1940年に地震が14個起こっているが、記録の保有数は276日分である。もし、365日分の記録があれば地震の数はいくらになるであろうか。1日当たりの発生率 $14/276$ に1年の日数365を掛けて得られる18.5が1年間の地震発生数となる。その上で観測が正常に行われた期間の平均地震発生数と比較した(Table 4)。その結果1944年の東南海地震の発生前の1937年から1943年までの7年間で平年に較べて地震発生数が少なくなっていることがわかった。

§5. ま と め

阿武山観測所のウーヘルト地震計で観測された約60年間の記録を調べて次のことがわかった。理科年表[国立天文台編(1996)]の「日本付近のおもな被害地震年代表」に出ている大地震は大部分何等かの形で記録されていた。ただし、近畿地方およびその周辺地域の地震の場合にはP波初動の立ち上がりのみで振り切れて、後続波形が描けていない場合が多かった。中・長距離の地震では全波形が正しく描けていた。日本付近に発生した大きい地震を研究するのに、阿武山観測所のウーヘルト地震計の記録は大いに利用価値のあるものと思われる。

ウーヘルト地震計には近くの微小地震もよく記録されていて、高感度地震計が導入される以前の丹波地方の地震活動を知ることができた。周辺地域の大地震で近畿地方中北部の地震活動に影響のあったのは河内大和地震(M 6.4)と南海地震(M 8.0)であった。惜しくも1991年

6月限りでウーヘルト地震計が廃止となり、兵庫県南部地震(M 7.2)の近畿地方中北部への影響と同じ地震計では捕らえられなかったことは残念であった。地震発生後に調べた高感度変位計(20,000倍)および高感度速度計(65,000倍)の記録によって、地震発生後の6年前から近畿地方中北部の地震活動が静穏化し、地震発生後に1年間同地方の地震活動が活発になっていたことがわかった(Fig. 8)。

謝 辞

本研究を始めるに当たり、親しくご指導頂きました高知大学名誉教授岡野健之助先生に心より感謝と御礼を申しあげます。また、研究の便宜を与えて下さいました元阿武山観測所所長京都大学名誉教授三木晴男先生および渡辺 晃先生、さらに現在の所長京都大学教授梅田康弘先生に厚く御礼申し上げます。また、ウーヘルト地震計の保守と観測に従事して来られました歴代の職員の方々に心から感謝致します。また、阿武山観測所の皆様には大変お世話になりました。有りがたく心より御礼申し上げます。

最後に熱心に査読下さり、貴重なご意見を頂きました方々に心より厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 石川有三・松村一男・横山博文・松本英照, 1985, SEI-S-PCの開発一概要一, 構造地質, 19, 19-27.
- KANAMORI, H., 1972. Tectonic implications of the 1944 Tonankai and the 1946 Nankaidou earthquakes, *Phys. Earth Planet. Interiors*, 5, 129-139.
- 木村昌三・岡野健之助, 1995, 1946年南海地震直前の南海地域における地震活動の低下, 地震 2, 48, 213-221.
- 木村昌三・岡野健之助, 1998, 余震分布から推定される1946年南海地震の震源域, 地震 2, 50, 461-470.
- 国立天文台編, 1996, 日本付近のおもな被害地震年代表, 地学, 理科年表, 847-855.
- 中村左衛門太郎, 地震学, 内田老鶴圃出版, 1954, pp. 65-69.
- 佐々憲三, 1941, 阿武山観測所報告序説, 地球物理, 5, 1-3.
- Seismological Bulletin of Abuyama Seismological Observatory, Kyoto University, 1952-1996.
- 梅田康弘・伊藤勝祥・斎田市三, 1992, ウーヘルト地震計と等価な地震観測装置, 京都大学防災研究所年報, 35B-1, 291-298.