徳島地方気象台における 1923 年関東地震の 本震・余震記録の数値化

清水建設(株)技術研究所* 片 岡 俊 一

清水建設(株)和泉研究室** 佐 藤 俊 明

村 松 郁 栄†

Digitization and Processing for 1923 Kanto Earthquake Seismograms Obtained at Tokushima JMA Observatory

Shun'ichi KATAOKA

Institute of Technology, Shimizu Corporation, 3-4-17, Etchujima, Koto-ku, Tokyo 135, Japan

Toshiaki SATO

Izumi Research Institute, Shimizu Corporation, 2-2-2 Fukoku Seimei bldg., Uchisaiwai-cho,
Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan

Ikuei MURAMATU

Nagara 2435-62, Gifu 502, Japan

(Received November 22, 1994; Accepted June 1, 1995)

We digitized horizontal components of historical seismograms due to the 1923 Kanto earthquake and their six aftershocks obtained by an Imamura strong-motion seismograph at Tokushima JMA observatory, which is located at about 450 km west of the epicenter. These seismograms were recorded on three smoke-papers. Because of no time marks on the recording papers, we inferred a paper speed from notes of recording start and end times on the recording papers. We estimate the absolute timing from commencement time of the events at Hongo [IMAMURA (1925)] using paper speed and start time. We could not find any free oscillation tests on the recording papers. So based on the note on the paper and previous studies on the same type instruments, we estimated the following instrument constants; natural periods are 4.2 s in the west-east component and 5.0 s in the south-north component and damping ratios in the both components are 0.1. Finally we obtained main shock ground motions after correcting the instrument response. The maximum displacements are about 14 mm in the west-east component and about 46 mm in the south-north component.

Key words: 1923 Kanto earthquake, Historical seismograms, Tokushima observatory, Imamura strong-motion seismograph, Digitization.

§1. はじめに

1923 年関東地震はマグニチュード 8 クラスの巨大地震であり、首都圏に大きな被害を与えたことから、その地震動の強さは多くの構造物の耐震設計や各種防災対策

の基礎となっている。それゆえ、震源域での地震動特性やそれに影響を与える震源過程を詳細に検討することは地震学、地震工学、耐震工学の観点から非常に重要であると考えられる。そのため、震源域の記録とともに、各種位相が時間軸上で分離している震央距離数百 km 程度のいわゆるリージョナルな距離の記録を併用して検討することは、震源特性を多面的に把握する上で非常に重要である。特に、関東地震の当時では震源域の記録 [今

* 〒135 江東区越中島 3-4-17

** 〒100 千代田区内幸町 2-2-2, フコク生命ビル 27 階

† 〒502 岐阜市長良 2435-62

村(1925)]は振り切れており、震央距離数百 km 程度の記録はその重要性が一層高い。関東地震のこのような記録としては、震央距離 350 km 程度の仙台 [工藤(1981)], 震央距離 200 km 強の岐阜 [池浦・他(1993), 武村(1994)]が紹介されている。また、村松(1989)は徳島測候所における本震・余震記録を紹介している。徳島の記録については、その後片岡・他(1993)により数値化され、片岡・佐藤(1994)により検討がなされているが、この記録の原記象紙の傷みが激しく再度読み取ることと不可能と考えられる。そこで、今後の便宜を考えて、ここでは主に地震計の特性、記象の数値化の過程について述べる。

§2. 徳島測候所における記象

徳島における本震の記象は気象庁の報告(1957)に記載されている。参考のために同誌からとったコピーを Fig. 1 に示す。この記録をもとに、著者の一人(村松)は1988年に測候所に向いて台帳を写し、本震記録および余震記録の密着コピーを作成した。測候所には1923年関東地震の本震の記象紙と、余震が見られる記象紙2枚が保存されていた。本震記録がある記象紙(記象紙Aと呼ぶ)には掛け始めの時刻は9月1日10時39分、掛け終わりの時刻同日12時28分と記載されている。余震が記録されている記象紙(記象紙B, Cと呼ぶ)にはそれぞれ、掛け始め9月1日13時31分、掛け終わり9月2日9時52分と、掛け始め9月2日10時20分、9月3日掛け終わり9時39分と記載されている。これより、本震直後の9月1日12時30分から13時30分頃までの1時間を除いて、本震・余震が9月3日の朝まではほぼ連続的に記録されていた可能性がある。しかしながら、本震記録の記象紙はいたみが激しく、WE成分は破損修復のために線が段違いになっているところもある。また、SN成分は裏打ちされているために透過光によるコピーが不可能な状態であった。以上のことから残念ながら記象紙のコピーを紙面に掲載することはできない。

その後、気象庁の報告(1957)に添付されていたマイクロフィルムを捜し出し、記録を確認したが、マイクロフィルムに撮られている記録はマイクロフィルム上でかろうじて読める程度の鮮明さであり、Fig. 1のように本震記録をなぞった様子もない。

記象紙に記載されているメモをまとめると次のようになる(括弧内には記載されていた記象紙の記号を示す)。

(a) 記象紙には今村式(記象紙B, C), S(I)(記象紙A, B, C)との記述がある。ここで、S(I)は気象庁の報告(1957)で、今村式強震計の略号として用いているものと

対応している。

(b) 記象紙全てに(A, B, C), 掛け始めの時間、掛け終わりの時間が記載されている。

(c) 記録は上から順に WE, SN 成分である(記象紙 B, C)。

(d) 倍率は2倍(記象紙 A, B, C), 固有周期は WE 成分 5.0 秒, SN 成分 4.2 秒である(記象紙 A)。

また、台帳には

(e) 時刻校正 24 時間に 2 分 12 秒進む。

との記載もあった。

更に、残念ながら、調査した範囲では自由振動波形を含む記象紙は見つけられなかった。

記録の符号については、Fig. 1 にあるように気象庁の報告(1957)では順に WE, NS と記入されているが、測候所に保管されていた本震の記象紙にはこのような符号の記述や長さの表示がないことから、気象庁の報告(1957)に掲載されているものは、徳島測候所に保管されていた記象紙そのものではなく、成分に関するメモも後付けされたと考えられる。本報告では、余震の記象紙に記載されている符号のメモを信用することにする。

記録紙上にタイムマークがないことから、記象紙 B, C の掛け始めの時間と掛け終わりの時間から紙送り速度を計算してみたところ、記象紙 B からは 3.6 cm/min., 記象紙 C からは 3.4 cm/min. となった。この紙送り速度と掛け始めの時刻から、記象紙中の地震の発震時刻を推定し、さらに振幅の相対的な大きさを考えて、今村

Fig. 1. Photograph of original seismogram of the 1923 Kanto earthquake obtained at Tokushima observatory by the Imamura strong-motion seismometer [RESOURCES BUREAU, SCIENCE AND TECHNICS AGENCY (1957)]. To compare the seismogram that is kept at Tokushima observatory, symbols N and S might be misplaced in the figure.

Table 1. List of digitized records of main shock and aftershocks at Tokushima observatory. In the column Depth, symbols VS and S indicate intra-plate earthquake and inter-plate earthquake, respectively. Record paper A, B and C had been placed from 10:39 to 12:28 of September 1, 1923, from 13:31 of September 1 to 9:52 of September 2 and from 10:20 of September 2 to 9:39 of September 3, respectively.

No.	Time of commencement ¹⁾	Epicentral region ²⁾ (° E, ° N)	Accuracy ²⁾	Depth ²⁾ (km)	$M^{2)}$	Recorded paper
	date Hongo Tokushima					
1	9/1 11:58 11:59	Sagami Bay 139.5,35.1	B	S	7.9	A
10	9/1 14:22 14:42	W of Kanagawa 139.0,35.4	C	VS	6.7	B
11	9/1 16:38 16:55	E of Yamanashi 138.9,35.5	B	VS	6.8	B
12	9/2 11:46 11:52	Off Boso pen. 140.2,34.9	C	S	7.3	C
14	9/2 18:27 18:46	Off Boso pen. 140.5,34.9	C	S	7.1	C
16	9/2 22:09 22:35	W of Kanagawa 139.1,35.3	B	VS	6.5	C
17	9/2 23:16 23:45	W of Kanagawa 139.1,35.3	B	VS	6.2	C

1) IMAMURA (1925)

2) UTSU (1979, 1982)

Fig. 2. Traced seismogram from the 1923 Kanto earthquake at Tokushima observatory. A bar in the west-east component indicates a mending part, using the photograph of main shock records shown in Fig. 1.

(1925) による本郷における発震時刻の報告と対応させた。本郷での発震時刻、徳島での発震時刻、および宇津 (1979)、宇津 (1982) がこれらの地震について定めた震

源位置とマグニチュードを Table 1 にまとめる。Table 1 からは、本郷と徳島の発震時刻が大分異なるが、徳島の記象紙上に他に顕著な余震記録が見られず、振幅の相

対的な大きさが地震(規模)の順序と対応することから、この対応は妥当であると考えられる。

なお、徳島地方気象台(1994, 私信)及び大阪管区気象台(1990)によると、徳島地方気象台は1891年4月に徳島県立徳島二等測候所として創立されている。関東地震当時の測候所の位置は現在の場所とは異なり、東経

134度33分、北緯34度04分である。また、今村式2倍強震計による観測は1913年3月27日に始まり、1936年4月5日に終了している。

§3. 記録の数値化

3.1 本震記録

WE成分の記録は傷んでいながらも、密着コピーを作成することができた。しかしながら、上述したように以前からの修復により見えない部分や線が段違いになっている点があるので、まず密着コピーを光学的に約7倍に拡大しこれを部分に分けて、P波到来時点より前と思われる時刻からトレースした。次に、気象庁の報告(1957)をこのトレースに合うように拡大し、欠けている部分に当てはめて波形全長にわたってトレースを完成させた。SN成分は密着コピーが出来ないので、気象庁の報告(1957)を拡大してこれを主にして、原記録の写真を参考にしてトレースを完成させた。Fig.1にあるように、P波の部分は人為的なトレースのため記録が隠れているので、この部分はトレースしていない。このトレースをFig.2に示す。ここまでの作業は、著者の一人(村松)が独自で行なっている。なお、Fig.2中に横線を引いてある部分が、気象庁の報告を参照した部分である。

数値化は、年縄・他(1991)が開発したパソコンとイメージスキャナーからなる読み取り装置を一部改造して行なった。しかしながら、スキャナーの画面の大きさの

Fig. 3. Filter gain of a band-pass filter. We used Chebyshev filter with equiripple stopband to eliminate low and high frequency noise. In order to calculate the filter parameters, automatic design algorithm for recursive filter [SAITO (1978)] is used. The parameters in the program of SAITO (1978) are as follows: FL=0.02Hz· Δt ($\Delta t=0.1s$), FH=2.0Hz· Δt , FS=4.0Hz· Δt , AP=5.0, AS=20.0.

Fig. 4. Main shock records at Tokushima observatory by the Imamura strong-motion seismometer after arc curvature, magnification factor and time scale are corrected.

Fig. 5. Traces of a direct copy of aftershock seismograms recorded by the Imamura strong-motion seismometer at Tokushima observatory.

Fig. 6. Handmade magnified traces of the aftershock event No. 10. In order to digitize the seismograms, one of authors (Muramatu) magnified them optically and traced them.

制限から記録を一度に読むことが出来ないで、重なる部分を設けながら適当に時間方向に3つに分け、更に主要動付近は振幅が大きいので上下方向に2つに分けて、

波形の曲率が変化していると思われる点を主に、振幅を逐次読み取った。

次に、各区間毎に円弧補正を行ない、重なる部分を頼

りに各読み取りデータを一続きのものとし、紙送り速度を2つの記象紙の平均の3.5 cm/minと仮定して等時間間隔のデータに変換した。円弧補正の際のアーム長さは、田中・他(1988)の報告を参考に400 mmとした。また、読み取りデータ(データ数は、WE成分919点、SN成分1264点)を等時間間隔のデータに変換する際には、線形補間を用いた。

さらに、トレースをつなぎあわせる際に生じる長周期のノイズ、数値化の際に生じる短周期のノイズを消すために、Fig. 3に示すようにほぼ1秒から20秒の間で平坦な特性を有する遮断帯域で等リップルのチェビシェフ型フィルターを再帰表現して[斉藤(1978)]、波形の前後からかけた。

以上の作業の結果得られた本震の数値化記録をFig. 4に示す。原記録における水平2成分の相対的な時間差は、本来ならばドラムを止めた時点、あるいはかけ始め、かけ終わりのペン位置の比較によらなければならないが、原記録からこれらを読み取ることはできない。しかしながら、Fig. 1に示した記録の主要動の立ち上がりの対応から、気象紙上の両成分間の相対的な時間差はないものと考えられる。

但し、前述したように、SN成分は記録の最初が読めず、そのため2成分の図示した記録の先頭の時間はずれている。これについては、以下のような検討からWE成分の方が約51秒進んでいると考えられる。つまり、WE成分がP波直前より読まれているとすると、徳島におけるS-P時間はKUNITOMI(1930)によると54秒であるから、S波の到来はFig. 4に示した時点になる。SN成分で、これと対応する位相を評価してFig. 4にS(?)と示す。この時間差からWE成分はSN成分の約51秒前から数値化しているものと考えている。ちなみに、関東地震の震源近傍で起きた1983年8月8日の神奈川県西部の地震の際の徳島におけるS-P時間は51秒であり[気象庁(1984)]、ここでの54秒とはほぼ一致する。

SN成分の後半部で小さな振幅の振動が続いているが、主要動が数波で終わっていることから、地震計が無減衰であったとは考えにくい。

3.2 余震記録

余震記録は振幅が小さいが、記象紙上で明瞭に見ることができた。読み取れる記象全てをトレースしたので、その結果をFig. 5に示す。

余震記録についても、著者の一人(村松)により原記録を約7倍に光学的に拡大して作成した、70~80秒の区間のトレースが読み取り用データとして準備されていたので、上述した装置を用いて各トレース毎に数値化を行なった。参考のために、読み取り用のトレースの1例

(Table 1の地震番号No. 10)をFig. 6に示す。但し、原記録の振幅が小さいために、このトレースがP波から行なわれているかは不確かである。余震記録については、円弧の影響が少ないことから、数値化装置本来の機能[年縄・他(1991)]を生かして直接等時間間隔データに変換した。つまり次のような手順を取った。スキャナー(分解能200 dpi)で読み取ったデータ(線)はドットの集まりで表わされているので、まず、この線をパソコンに組み込まれているソフトを用いて細くし、一つの

Fig. 7(a)

Fig. 7(b)

Fig. 7(c)

Fig. 7(d)

Fig. 7(e)

Fig. 7(f)

時刻に一つの振幅値が定まるようにした。次に、やはりパソコンに組み込まれているソフトを用いて自動的に時間軸方向に等間隔のデータに変換した。

その後、スキャナーに置いた際に、基準線が傾いている可能性があるため、各トレース毎に基準線を一次式で仮定し、最小2乗法を用いて補正し、一連のトレースをつなぎ合わせた。その後は、本震と同様のフィルターを

Fig. 7. Aftershocks records at Tokushima observatory, after magnification factor, time scale and baseline are corrected. The band-pass filtering (low cut frequency is 0.05 Hz; high cut frequency is 1 Hz) has also been applied.

Table 2. Characteristics of an Imamura strong-motion seismometer of several JMA stations. Following data are described in Seismograms of strong earthquakes [RESOURCES BUREAU, SCIENCE AND TECHNICS AGENCY (1957)]. Characteristics of seismograms are listed for each event in that report.

1.Event:North Tango Earthquake, May 23, 1927.

Station name	comp	Magnification	Period	Coefficient of	Damping	Paper
		factor	(s)	friction	ratio	speed
						(mm/min)
Sumoto	N	2	4.4	0.003	2.0	
	E	2	4.4	0.003	2.7	24.0
	V	2	4.4	0.002	1.9	
Kochi	H	2	7	0.014/0.016	2.0	37.5
	V	2	4	0.02	4.0	

2.Event:Near Wakayama, November 20, 1929.

Station name	comp	Magnification	Period	Coefficient of	Damping	Paper
		factor	(s)	friction	ratio	speed
						(mm/min)
Sumoto	N	2	4.4	0.003	2.7	
	E	2	4.4	0.003	2.0	24.8
	V	3	4.4	0.002	1.9	

In the column of comp, N, E, V and H stand for the sense or the components of north, east vertical and horizontal.

Fig. 8. Normalized Fourier displacement amplitude spectra for the aftershock records shown in Fig. 7. The nominal natural periods of the Imamura strong-motion seismometers are 4.2 seconds in the west-east component and 5.0 seconds in the south-north component. According to the RESOURCES BUREAU, SCIENCE AND TECHNICS AGENCY (1957), there is no damping device. However, in this figure period contents at the natural periods do not predominate. This fact suggests that the seismographs have some damping.

用いて長周期と短周期をカットした。

最終の処理結果を Fig. 7 に示す。波形を見る限り単振動が続いておらず、地震計にはある程度の減衰があったと考えられる。

§ 4. 考 察

4.1 地震計の特性について

地震計の固有周期は気象紙に記載されているが、この値は気象庁 (1957) の報告とは異なっている。また、地震

Fig. 9. Fourier amplitude spectra for the last 50 second parts of the main shock record.

Fig. 10. Main shock ground motion at Tokushima observatory from the 1923 Kanto earthquake, obtained after an instrument correction. A band-pass filter (low cut frequency is 0.05 Hz; high cut frequency is 1 Hz) has been applied to the ground motion.

計の振動特性を直接表わす自由振動波形もないので、ここでは減衰を中心に地震計の特性について考えてみる。

まず固有周期であるが、気象庁(1957)は記録と関連して、地震計の固有周期は H 方向(水平方向の意味)4.4 秒, V 方向(上下方向の意味)5.1 秒と報告している。また、同じ報告書の関東地震の以降の地震記録の報告を見ると、この値は N 方向 4.4 秒, E 方向 5.1 秒の意味とも取れる。但し、記象には WE 成分 5.0 秒, SN 成分 4.2 秒と記載されている。もし、徳島に設置されていた今村式

強震計についての気象庁の報告(1957)の後者の記述が正しいとすると、記象紙にあるメモと報告の内容はほぼ同じになる。

また、減衰について気象庁の報告(1957)では、一般的には今村式地震計に減衰機構はついていないと記述されているが、徳島における関東地震の記録に関しては、粘性減衰の項には記述が無く、摩擦係数の項に水平動 2.7 とある。この摩擦係数の値は非常識な値であるので、さらに気象庁の報告(1957)から、実際に日本各地に設置

Fig. 11. Comparison of seismograms obtained at Tokushima observatory from the aftershocks (No. 16 and 17) with those from a recent event of August 8, 1983 that occurred near the aftershocks. The recent event seismograms were recorded by a JMA 59-type seismometers. Similarity between the waveforms from the aftershocks and recent event shows that data processing of aftershock records goes well.

されていた今村式強震計の関東地震直後の特性を整理すると Table 2 のようになった。残念ながら、気象庁の報告 (1957) には徳島における今村式強震計の記述は関東地震以外は無かった。Table 2 より、例は少ないが気象庁の測候所に設置されていた今村式強震計は、減衰比で 2~3 程度 (減衰定数で 0.22~0.33 程度) の粘性減衰を有しており、摩擦係数は非常に小さかったと考えられる。

一方、武村 (1994) は岐阜測候所に保存されていた、今村式地震計 (減衰機構なしと報告されている) の関東地震直後の自由振動波形から減衰定数を 17 ないし 18% と読み取っている。また、横田・他 (1989) は東京本郷に設置されていた今村式地震計の振動実験を行なった結果、減衰器なしで減衰定数 0.1 という結果を得ている。

また、波形からも、特に余震記録には単振動が続いている様子はなく、地震計にある程度の減衰があったように見える。Fig. 8 は、読み取った余震記録のフーリエス

ペクトルの重ね書きであるが、3~4 秒付近にピークが見られるが、必ずしも全ての地震でピークである訳ではない。但し、ここでは各記録のパワースペクトルの面積が等しくなるように、スペクトルの正規化を行なっている。

更に、本震記録の SN 成分の後半部には、振動の小さな比較的狭帯域の振動が続いているように見える。そこで、波形の最後尾の約 50 秒を取りだしてフーリエスペクトルを求め、Fig. 9 に示す。主要動が終わって時間が経っている SN 成分では、2~10 秒の間でスペクトルは平坦であり、地震計の自由振動とは関係がなさそうである。一方、WE 成分では約 4 秒の振動が卓越しているが、主要動からまだ 90 秒程度しか経っておらず、地震計の自由振動と実際の地震動とを区別するのは難しい。

以上のことから、徳島測候所に設置されていた地震計の固有周期は多くの異なる記述があり、自由振動波形のような直接的な証拠も無いが、記象紙上のメモを信じ

Fig. 12. Comparison of Fourier amplitude spectra for the aftershock (No. 16 and 17) records with those for the recent event (1983. 08. 08) records.

て、WE 成分 4.2 秒、SN 成分 5.0 秒と考える。減衰についても直接的な証拠はないが、減衰定数で 0.1~0.2 程度はあったであろう。ついでながら、気象庁の報告 (1957) に記載されている、徳島の地震計の摩擦係数は減衰比の誤りと想像できる。

4.2 本震地動の推定

前節の考察を勘案して、徳島測候所の今村式 2 倍強震計の固有周期を WE 成分 4.2 秒、SN 成分 5.0 秒、減衰定数は 0.1 として、計器特性を周波数域で補正して本震の地動を推定した。結果を Fig. 10 に示す。その際に、長周期成分のノイズの影響を除くために周期 20 秒から周期 30 秒に向かってコサイン型に傾斜していく、ハイパスフィルターを併用している。また、記象の方向を示すときに、符号の補正を行なっていると考えて、この分の補正は行なっていない。図から計器特性補正後の最大振幅は、WE 成分で約 14 mm、SN 成分では約 46 mm であり、卓越周期は 15 秒程度であることが分かる。SN 成分では分散性が顕著に表われているが、これと対応すると考えられる WE 成分にも、波形が分散している様子が見られる。

4.3 最大余震について

1923 年関東地震の最大余震は、9 月 2 日 11 時の地震 (no. 12) であるが、この記録は (Fig. 6(c)) 他の記録に比べて長周期成分が顕著に見られる。この地震については宇津 (1979) が長周期成分の励起がやや大きめであるこ

とを指摘しており、東京本郷における記録 [片岡・他 (1989)] や岐阜の記録 [武村 (1994)] でも長周期成分が顕著であることから、実際の地動に対応していると考えられる。

4.4 最近の地震記録との比較

さらに、数値化した記録と同じような最近の記録とを比較することで、数値化の一連の処理の妥当性が検証できると考え、Table 1 の No. 16 と No. 17 の地震とほぼ同じ関東と中部地方の境界で起きた 1983 年 8 月 8 日の M 6.0 の地震とを比較した。徳島測候所における 1983 年 8 月 8 日の地震記録は、59 式直視型地震計で得られている。この地震計は、倍率が 100 倍で周期特性は 0.2~10 秒の範囲で気象庁 1 倍強震計とはほぼ同じである [例えば、気象庁 (1993)]。Fig. 11 に関東地震の余震の記録と 1983 年の地震記録を各成分毎に示す。但し、1983 年の記録については、なんら補正を施していない。振幅が小さいために余震記録は最近の記録と比較して P 波部分を記録していないが、主要動付近の特徴は良く似ている。Fig. 11 に示した範囲のフーリエスペクトルを Fig. 12 に示すが、周波数域でも良く似ていることが分かる。最近の記録と比較しても、今村式強震計にはある程度の減衰があったものと考えられる。

§5. ま と め

徳島測候所に保管されていた、1923 年関東地震の本

震・余震記録を数値化した。また、地震計の特性値については、資料により差違があり、自由振動のような直接的な証拠もないが、固有周期は WE 成分 4.2 秒、SN 成分 5.0 秒と考えられる。また、減衰についても減衰定数で 0.1~0.2 はあったと考えてよいであろう。この特性値を用いて、記象より本震記録の地動を推定すると、最大振幅は WE 成分で約 14 mm、SN 成分で約 46 mm になった。さらに、余震記録と最近の同じような地震の記録とを比較した結果、波形、スペクトルともに良く対応していることが分かったので、数値化の処理は妥当であると考えられる。

今回紹介した、地震記録は、本震と余震とがあること、本震が振り切れずに記録されていること等から、関東地震の破壊過程等の今後の検討の一助になると考えられる。

謝 辞

記録を大切に保存されていた徳島地方気象台および管区気象台に深く敬意を表します。

文 献

- 池浦友則・武村雅之・工藤一嘉・大沼啓人, 1993, 1923 年関東地震による岐阜測候所の強震記録—数値化・補正記録の特徴—, 地震学会予稿集, No. 2, 85.
- 今村明恒, 1925, 関東大地震調査報告, 震災予防調査会報告第 100 号(甲), 21-66.
- 片岡俊一・横田治彦・田中貞二, 1989, 1923 年関東地震の余震地動の特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, I-763-764.
- 片岡俊一・佐藤俊明・横田治彦, 1993, 徳島測候所の記録を利用した関東地震の東京本郷における地動の推定, 第 22 回地震工学研究発表会講演概要集, 315-318.
- 片岡俊一・佐藤俊明, 1994, 1923 年関東地震の徳島・仙台における記録に見られる顕著な位相と多重震源との関係, 第 9 回日本地震工学シンポジウム, 1, 583-588.
- 気象庁, 1957, 強震時報第 22 巻別冊, 139 pp.
- 気象庁, 1984, 地震月報昭和 58 年 8 月.
- 気象庁, 1993, 地震月報平成 4 年 1 月, xiii.
- 工藤一嘉, 1981, 1923 年関東地震による東京・本郷の地動について—仙台・向山観象所(東北大学)の記録から—, 地震学会予稿集, No. 1, 232.
- KUNITOMI, S., 1930, Seismometrical Study of the great Kwanto Earthquake occurred on September 1st, 1923, Geophysical Magazine, 3, 149-164.
- 村松郁米, 1989, 1923 年関東地震およびその余震の徳島測候所における記録と東京本郷における記録の対応, 昭和 63 年度文部省科学研究費重点領域研究(1): 63601004「強震動および津波の予測と破壊能評価に関する研究」報告書, 33-37.
- 大阪管区気象台, 1990, 近畿・中国・四国の有感地震, 221 p.
- 斉藤正徳, 1978, 漸化式デジタル・フィルターの自動設計, 物理探鉱, 31(4), 112-135.
- 武村雅之, 1994, 1923 年関東地震の本震直後の余震活動—岐阜測候所の今村式 2 倍強震計記録の解析—, 地震 2, 46, 439-455.
- 田中貞二・横田治彦・岩田孝行, 1988, 今村式 2 倍強震計の構造図, 地震 2, 41, 283-285.
- 年縄 巧・翠川三郎・大町達夫・中村 豊, 1991, パソコンとイメージスキャナよりなるアナログ強震記録の解析システム, 構造工学論文集, Vol. 37A, 903-910.
- 宇津徳治, 1979, 1885 年~1925 年の日本の地震活動, 地震研彙報, 54, 253-308.
- 宇津徳治, 1982, 1885 年~1925 年の日本の地震活動(訂正と補遺), 地震研彙報, 57, 111-117.
- 横田治彦・片岡俊一・田中貞二・吉沢静代, 1989, 1923 年関東地震のやや長周期地震動—今村式 2 倍強震計による推定—, 日本建築学会論文報告集, No. 401, 35-45.

注記

気象庁の報告(1957)は、次のような同内容の英文の報告もある。

RESOURCES BUREAU, SCIENCE AND TECHNICS AGENCY, 1957, Seismograms of Strong Earthquakes, Strong Motion Records No. 2, Resource Bureau Reference Data No. 14.