

南関東で発生した M 7 級地震に対する既往研究とデータの収集

—1921 年茨城県南部の地震, 1922 年浦賀水道付近の地震および 1987 年千葉県東方沖地震—

石辺岳男^{1)*}・西山昭仁¹⁾・佐竹健治¹⁾・島崎邦彦²⁾

¹⁾ 東京大学地震研究所

²⁾ 震災予防協会

Review of Previous Studies on M 7-class Earthquakes that Occurred in the Southern Kanto Region and Data Collection

—The 1921 Ibaraki-ken Nanbu Earthquake, the 1922 Uruga-channel Earthquake and the 1987 Chiba-ken Toho-Oki Earthquake—

Takeo Ishibe^{1)*}, Akihito Nishiyama¹⁾, Kenji Satake¹⁾ and Kunihiro Shimazaki²⁾

¹⁾ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

²⁾ Association for Earthquake Disaster Prevention

Abstract

The Earthquake Research Committee of the Headquarters of Earthquake Research and Promotion estimated the probability of an earthquake of magnitude around 7.0 occurring during the next 30 years as 70%. This is based on five earthquakes that occurred in the southern Kanto region (i.e., the 1894 Meiji-Tokyo earthquake, the 1895 and 1921 Ibaraki-ken Nanbu earthquakes, the 1922 Uruga-channel earthquake and the 1987 Chiba-ken Toho-Oki earthquake). However, it has been revealed that the Kanto region is situated on complicated tectonic conditions due to subduction of the Philippine Sea Plate and the Pacific Plate beneath the continental plate, and that various types of earthquake occur. Therefore, it is necessary to classify these earthquakes into interplate and slab earthquakes, and to estimate recurrence intervals. In this paper, at the outset of such studies, we review previous studies on three earthquakes (the 1921 Ibaraki-ken Nanbu earthquake, the 1922 Uruga-channel earthquake and the 1987 Chiba-ken Toho-Oki earthquake) that occurred after the beginning of the Taisho era (1912–1926) and describe the collected data.

Key words: M 7 earthquakes, the 1921 Ibaraki-ken Nanbu Earthquake, the 1922 Uruga-channel Earthquake, the 1987 Chiba-ken Toho-Oki Earthquake, the southern Kanto region

1. はじめに

地震調査研究推進本部の長期評価において、南関東を中心とした 30 km 以深で発生するマグニチュード（以下、M と略記）7 級地震の発生確率は今後 30 年間で 70%

程度と推定されており、切迫性が高い（地震調査委員会, 2004）。この確率は、図 1 に示す 1894 年明治東京地震、1895 年および 1921 年の茨城県南部の地震、1922 年浦賀水道付近の地震と 1987 年千葉県東方沖地震の 5 地震に

* e-mail: ishibe@eri.u-tokyo.ac.jp (〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1)

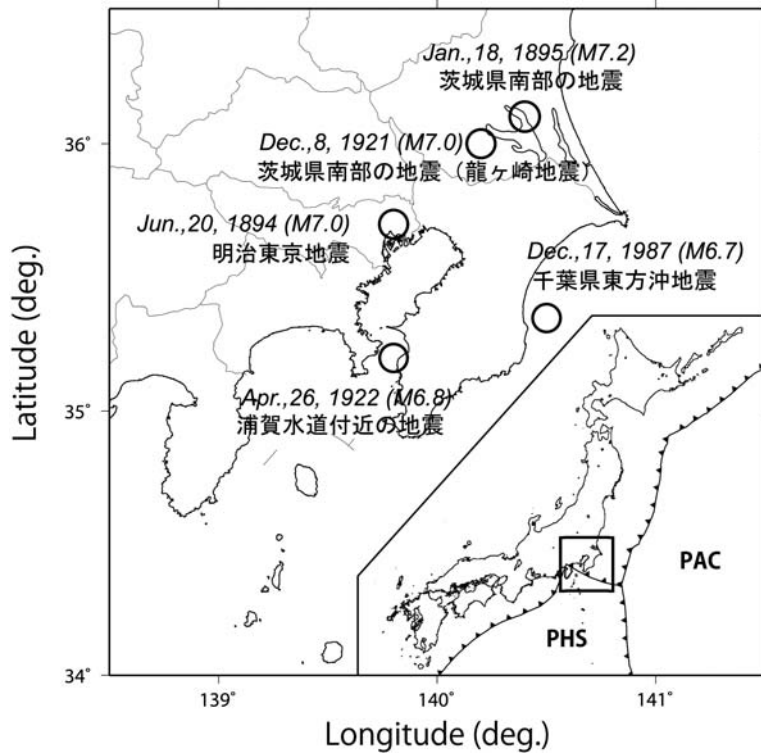


Fig. 1. Five earthquakes (i.e., the 1894 Meiji-Tokyo earthquake, the 1895 Ibaraki-ken Nanbu earthquake, the 1921 Ibaraki-ken Nanbu (Ryugasaki) earthquake, the 1922 Uraga-channel earthquake and the 1987 Chiba-ken Toho-Oki earthquake) used to estimate the occurrence probability of 'other M 7 class earthquakes that have occurred in the southern Kanto region'. The epicenter and magnitude of the 1987 Chiba-ken Toho-Oki earthquake are based on the Japan Meteorological Agency (JMA), and others are based on Utsu (1979).

基づいたものであるが、これらの地震の中には震源位置や発震機構に統一の見解が得られていない地震が多い。そのため、これらの地震は「その他の南関東で発生するM 7 級地震」として一括して評価されている。しかしながら、今後長期確率評価を高度化するには、これらの地震をプレート間地震とスラブ内地震に類型化し、またその繰り返しの有無等を推定する必要がある。

石辺・他 (2009) において、我々はこれら 5 地震のうち明治期に発生した 2 地震 (1894 年明治東京地震および 1895 年茨城県南部の地震) について既往研究を整理し、データの収集を行った。本稿では、大正期以降に発生した 3 地震 (1921 年茨城県南部の地震、1922 年浦賀水道付近の地震および 1987 年千葉県東方沖地震) を対象として整理と収集を行う。

2. 1921 年茨城県南部の地震 (M 7.0; 宇津 (1979) による)

2-1. 概要と既往研究

表 1 に、1921 年茨城県南部の地震の震源位置や発震機構についての既往研究をまとめ、以下にその概要を述べる。1921 (大正 10) 年 12 月 8 日に茨城県南部を震源とし

て発生した、茨城県南部の地震 (龍ヶ崎地震とも呼ばれた) は、千葉県北西部と茨城県南西部を中心とした関東地方の内陸に、道路の亀裂や墓石の転倒、垣や塀の崩壊などの被害を及ぼし、東京、銚子、水戸、熊谷、宇都宮、横浜、横須賀、飯田において現在の気象庁震度階級で震度 4 相当が観測された。中央气象台 (1921)、牛山 (1922 b)、大森 (1922a)、勝又 (1975a, 1975b)、石橋 (1973a, 1973b, 1975b) や宇津 (1979) によって震源決定が行われており、また、石橋 (1973b, 1975d)、勝間田 (2000) や気象研究所地震火山研究部 (2000) によって発震機構が推定されている (図 2)。

中央气象台 (1921) は、観測された初期微動継続時間からその震央を 140.1°E , 35.8°N の龍ヶ崎付近であるとした。この地震によって北は釧路、南は大阪に至るまでが有感であった。震央付近においては強震 (弱き方) 程度で、この程度の地震動で期待される石灯籠の倒壊や壁の亀裂、地面の小亀裂等が観測された程度で、顕著な被害は現地調査からは認められなかった。余震が 50 数回、そのうち有感地震が 24 回と活発な余震が観測された。各測候所における微動計検測記録を表 2 に示し、震度を

Table 1. Previous studies on hypocenter, focal mechanism and magnitude of the 1921 Ibaraki-ken Nanbu earthquake.

文献	震央(緯度, 経度)	深さ (km)	M	発震機構 (走向, 傾斜角, すべり角)	位置の解釈	使用データ
中央気象台(1921) Omori (1922g)	35.8° N, 140.1° E 35° 55' 48" N, 140° 20' 38" E	- 29	- -	- -	- -	測候所における検測記録 東京(8.8 秒)・水戸(8.0 秒)・銚子(9.4 秒)の3点におけるS-P時間 測候所報告の初期微動継続時間の比
牛山(1922b)	東京の北東に位置する江戸川流域 (流山-岩槻-草加-野田-松戸 の付近)	-	-	-	-	-
Ushiyama (1922c) 中央気象台(1950)	35.8° N, 139.8° E 35.8° N, 140.1° E(茨城県竜ヶ崎付 近)	- -	- 7.1	- -	- -	測候所報告の初期微動継続時間 -
石橋(1973a)	36° 3.1' N, 140° 10.6' E	63	-	S30° E(注:10 個の余震検測 から推定された余震の平均的 な位置が本震から S30° E の 方向に 30 km 離れて位置する ことから, 断層面の走向がこの 方向にあると推定. (88, 67, 57)	震度分布から震源の深さは 浅くない	東京・水戸・銚子における S-P 時間(筑波 は参考程度に使用) 東京は Omori (1922g)に記載されている強 震計波形記録から再検測し, 銚子・水 戸・筑波は測候所の観測表に基づき, 遠 度構造は津村(1970) 牛山(1922a)による東京等 12 箇所の初動 方向の記録
石橋(1973b, 1975d)	-	-	-	-	-	-
石橋(1975a, 1975b, 1975c)	36° 04' N, 140° 10' E	53 ± 10	7.1	-	茨城県南西部の地震クラス ターにおける活動との関連 性を指摘	水戸(8.0 秒)・筑波(6.0 秒)・本郷(8.5 秒)・銚子(9.8 秒)の4点のS-P時間, 遠 度構造は津村(1973) S-P 時間, 震度分布, 最大振幅ならび に地震活動状況 21 ヶ所の最大振幅, 震央は石橋(1975a, 1975b, 1975c)を参考
勝又(1975a, 1975b)	36° 09' N, 140° 03' E	10	6.7(7.1)	-	-	-
宇津(1979)	36.0° N, 140.2° E の茨城県南西部	やや深い地震	7.0	-	-	-
気象研究所 地震火山研究部 (2000)	(36° 04' N, 140° 10' E; 石橋 (1975a, 1975b, 1975c))震源につい て再検討するも石橋(1975a, 1975b, 1975c)とほぼ一致	-	Mw 6.4 程度 (注:震源位 置や速度構造 による) Mw 6.4 (注: 震源位置や速 度構造による)	(132,79,54) (27,37,162)	PHSとPACとの境界面で発 生している地震の可能性は 低く, PHS 内部で発生した可 能性が高い 推定された発震機構解は筑 波地震クラスター(深さ 60~75km の PHS と PAC と の境界付近)で発生する地 震の典型的な発震機構と 異なる, また, PHS 内部や鬼 怒川沿いの地震クラスターの 発震機構とも異なる	東京帝国大学理学部(1.5 倍長周期地 震計・今村式 2 倍強震計)の地震波形記 録, 牛山(1922a)による東京等 12 箇所の 初動方向の記録
勝間田(2000)	(36° 04' N, 140° 10' E; 石橋(1975a, 1975b, 1975c))震源について再検討 するも石橋(1975a, 1975b, 1975c)とほ ぼ一致	-	-	(288, 79, -34) (25, 57, -167)	-	東京帝国大学理学部(1.5 倍長周期地 震計・今村式 2 倍強震計)や熊谷(GME 普通地震計)の地震波形記録, 牛山 (1922a)による東京等 12 箇所の初動方向 の記録
宇佐美(2003)	36.0° N, 140.2° E	-	7.0	-	-	-

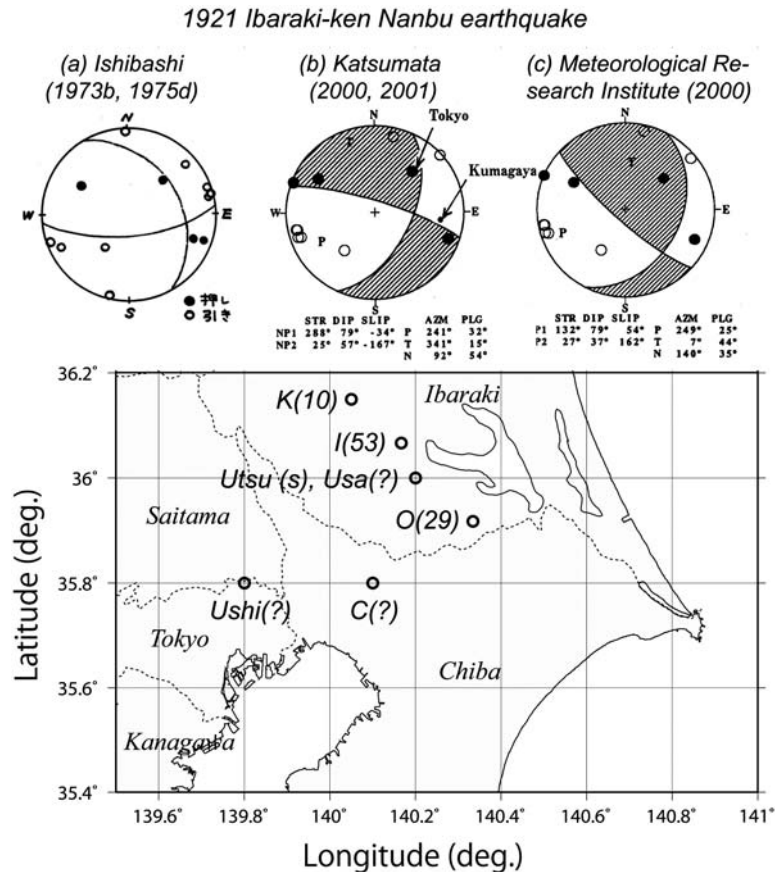


Fig. 2. Hypocenter and focal mechanism of the 1921 Ibaraki-ken Nanbu earthquake [C: Central Meteorological Observatory (1921), O: Omori (1922a, 1922g), Ushi: Ushiyama (1922c), K: Katsumata (1975a, 1975b), I: Ishibashi (1973a, 1973b, 1975b), Utsu: Utsu (1979), Usa: Usami (2003)]. Parenthetic number (in km) or character (s: shallow; ?: unknown) indicates hypocentral depth.

下に列記する。

- 強震（弱き方）東京・銚子・水戸・熊谷・宇都宮・横浜・横須賀・飯田
- 弱震 筑波山・前橋・足尾・浜松・甲府・福島・山形
- 弱震（弱き方）松本・長野・新潟・津・水沢（現在の奥州市）・石巻
- 微震 宮古・釧路・名古屋・彦根・秋田・岐阜・大阪・函館・八丈島・境港・鹿児島

牛山 (1922a, 付録 A), Ushiyama (1922c) は、各測候所から報告された地震記象紙を基本として震源を推定し、千葉県印旛沼、手賀沼付近の湖沼地帯の地下を中心として発生した地震であるとした (Ushiyama (1922c) による震央は 139.8°E , 35.8°N)。また、各測候所における初動や初期微動継続時間 (表 3)、現地調査による被害報告を取りまとめた。牛山 (1922b) は、2 つの地震観測点における初動継続時間の比を用いて震源決定を行い、

東京の北東に位置する江戸川流域 (流山-岩槻-草加-野田-松戸の付近) と推定した。

大森 (1922a) は、本郷における観測結果を掲載し、初動が南 15° 西、押しであったこと、初期微動継続時間が 8.8 秒であったことから震央を霞ヶ浦南方、震源深さを 29 km と推定した。また微動計観測による最大動が 58 mm に達し、1894 年明治東京地震と 1895 年茨城県南部の地震発生以降、20 数年間で最大の強震を伴った地震であることを述べた (付録 B)。Omori (1922g) は、本郷及び一ツ橋で観測された強震計記録を掲載し、その特徴について論じた (図 3)。また、東京 (8.8 秒)、水戸 (8.0 秒) 及び銚子 (9.4 秒) の 3 点における S-P 時間から大森公式を用いて震源を、 $140^{\circ}20'38''\text{E}$, $35^{\circ}55'48''\text{N}$ 、深さ 29 km と推定した。Omori (1922g) の東京における S-P 時間は東京帝国大学地震学教室 (本郷) と一ツ橋の強震計から検出したものであり、中央气象台 (1921) による 6.3 秒、牛山 (1922a) による 6.2 秒と大きく異なる。そのため、牛山 (1922a, 1922b), Ushiyama (1922c) や中央

Table 2. Seismological reports on the 1921 Ibaraki-ken Nanbu earthquake using microtremor seismograph from Central Meteorological Observatory (1921). × indicates a breakout of drawing pen.

観測所	発震時	初期微動継続時間(秒)	最大動		観測所	発震時	初期微動継続時間(秒)	最大動	
			振幅(ミクロン)	周期(秒)				振幅(ミクロン)	周期(秒)
浜松	21:29:07	13.0	×	-	神戸	21:32:46	74.0	3270	2.6
釧路	21:30:52	148.0	-	-	熊本	21:33:00	-	1130	3.0
松本	21:31:36	-	3900	4.0	函館	21:33:07	-	3840	6.1
東京	21:31:39	6.3	×	-	札幌	21:33:09	102.6	540	3.0
筑波山	21:31:39	-	1800	-	帯広	21:33:11	13.0	212	1.5
水戸	21:31:40	8.0	×	-	浜田	21:33:17	13.0	188	5.0
銚子	21:31:42	9.8	×	-	境	21:33:24	58.0	2200	2.1
沼津	21:31:54	13.0	×	-	鹿児島	21:33:24	174.0	1540	-
八木	21:32:03	61.6	4300	6.0	福岡	21:33:37	131.0	408	5.8
長野	21:32:06	22.0	2350	2.0	名瀬	21:33:59	-	-	-
新潟	21:32:08	24.0	×	-	大泊	21:34:12	12.0	297	22.6
津	21:32:08	52.7	-	-	松山	21:34:21	98.2	41000	2.8
前橋	21:32:11	9.8	×	-	那覇	21:34:42	-	-	-
名古屋	21:32:17	37.0	×	-	旭川	21:35:35	8.4	116	3.4
高山	21:32:18	5.7	980	2.9	台北	21:35:51	237.4	-	-
水澤	21:32:23	32.0	4850	2.5	台東	21:37:28	-	-	-
彦根	21:32:23	53.0	1586	-	台南	21:39:28	324.0	-	-
秋田	21:32:24	57.0	-	-	台中	21:39:44	-	-	-
石巻	21:32:25	31.0	47000	-	仁川	21:31:13	272.0	74	5.0
岐阜	21:32:26	26.8	×	-	大阪	21:32:43	70.0	5312	5.0
潮岬	21:32:31	78.0	23300	5.0	京都	21:33:19	42.0	1650	1.7
多度津	21:32:34	77.0	390	2.4	藤原	21:36:34	146.9	166	1.5

Table 3. Seismological reports on the 1921 Ibaraki-ken Nanbu earthquake by meteorological observatories from Ushiyama (1922a).

地名	震度	初期微動 継続時間(秒)	初動方向
東京	強(弱き方)	6.2	南西
銚子	強	9.8	東南東
水戸	強	8.0	南西
筑波	弱	6.0	-
宇都宮	強(弱き方)	-	-
前橋	弱	10.0	西北西
甲府	弱	-	-
沼津	強	13.0	北東
横浜	強(弱き方)	-	-
横須賀	強(弱き方)	-	-
松本	弱(弱き方)	19.0	南南西
長野	弱(弱き方)	20.6	西北西
熊谷	強(弱き方)	3.9	-
新潟	弱(弱き方)	24.0	-
足尾	弱	-	-
飯田	強	-	-
津	弱(弱き方)	52.0	-
水澤	弱	42.0	南南西
岐阜	微	26.8	東
彦根	微	48.0	南南東
大阪	微	70.0	東北東
愛知	微	16.0	東北東

気象台(1921)による震源とは大きく離れている。保田(1922a), Yasuda(1922b)は, 本震後3日間に東京で観測された44個の余震について, 初期微動や主要動の継続時間, 最大振幅などを報告した(表4)。

中央気象台(1950), 気象庁観測部地震課(1971)による震央は, 140.1°E , 35.8°N の茨城県龍ヶ崎付近, M は7.1とされている。宇佐美(1973)は, 理科年表の震央(140.1°E , 35.8°N)と M (7.1)を採用し, 震央の推定誤差を緯度, 経度方向ともに $\pm 10\text{ km}$ と見積もった。石橋(1973a)は, 地震発生当時の刻時精度に比べて信頼性が高いS-P時間を用いて, 津村(1970)の作図解法により震源決定を行った。東京, 水戸, 銚子の3点を用い, 筑波を参考にした。東京におけるS-P時間として, Omori(1922g)の本郷及び一ツ橋の強震計記録を再検測して得られた, 本郷の水平2成分の平均値8.5秒を用いた。水戸と銚子は両測候所が東京帝国大学地震学教室に送った

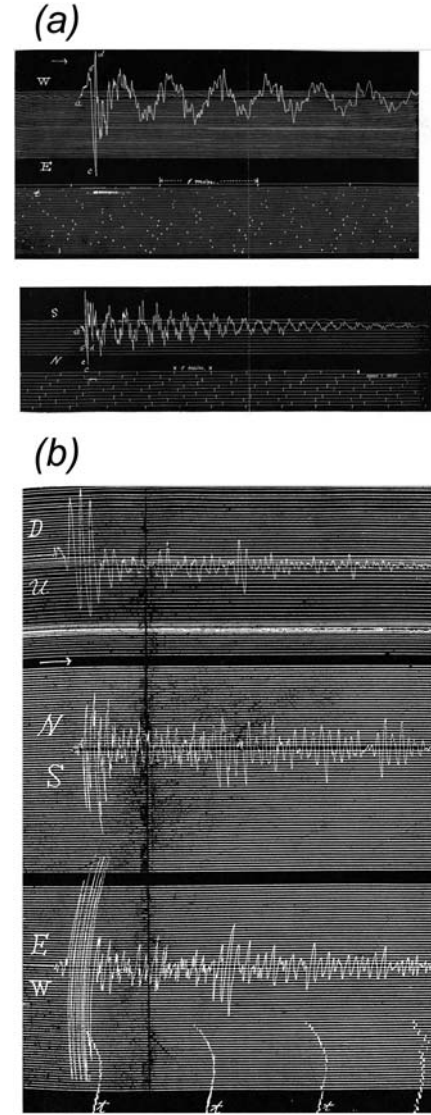


Fig. 3. Seismograms of the 1921 Ibaraki-ken Nanbu earthquake recorded by the strong motion seismograph at (a) Hongo, and (b) Hitotsubashi (from Omori, 1922g).

観測表に従い, その震源を $140^{\circ}10.6'\text{E}$, $36^{\circ}3.1'\text{N}$, 深さ63 kmと推定した。また10個の余震検出から余震の平均的な位置の推定を行い, この震源が本震から $S30^{\circ}\text{E}$ の方向に30 km離れて位置することから, 断層面の走向がこの方向にあると推定した。石橋(1973b, 1975d)は, 節面は一意ではないと付記した上で初動による発震機構を掲載した(図2a)。石橋(1975a, 1975b, 1975c)は, 津村(1973)の速度構造と本郷(8.5秒), 水戸(8.0秒), 銚子(9.8秒)および筑波(6.0秒)におけるS-P時間から, 震源を $140^{\circ}10'\text{E}$, $36^{\circ}04'\text{N}$ の土浦南西部, 深さ53 kmであると推定した。そして, S-P時間の読み取り誤差を考慮しても震源の深さが40~60 kmに収まることから, 現

Table 4. List of aftershocks accompanying the 1921 Ibaraki-ken Nanbu earthquake from Yasuda (1922a) and Yasuda (1922b).

番号	発震日	発震時	初期微動継続時間 (秒)	主要動継続時間 (秒)	総継続時間 (秒)	最大動(東西動) (mm)	最大動(南北動) (mm)	有感
1	8	21:58:38	8.8	60	180	0.108	0.179	有感
2	8	22:03:56	8.8	50	180	0.033	0.075	
3	8	22:08:09	8.7	-	50	0.030	0.040	
4	8	22:16:38	-	5	-	-	0.004	
5	8	22:17:24	9.0	18	-	0.020	0.031	
6	8	22:18:26	9.7	12	-	0.018	0.029	
7	8	22:36:28	8.4	40	180	0.377	0.800	有感
8	8	22:50:40	8.3	35	80	0.027	0.033	
9	8	22:59:12	7.3	30	85	0.042	0.071	
10	8	23:03:29	9.8	25	85	0.013	0.017	
11	8	23:19:21	-	-	-	0.024	0.041	
12	8	23:56:13	-	-	-	0.017	0.012	
13	9	00:07:30	8.4	25	180	0.028	0.071	
14	9	00:19:53	8.2	35	-	0.039	0.058	
15	9	00:43:15	-	-	-	0.008	0.008	
16	9	01:06:38	-	-	-	0.013	0.021	
17	9	01:13:13	-	-	-	0.010	0.011(0.006)*	有感
18	9	01:36:57	8.4	36	-	0.064	0.121	
19	9	01:41:11	-	-	-	0.010	0.008	
20	9	02:25:13	-	-	25	0.015	0.004	
21	9	02:41:54	-	-	25	0.007	0.004	
22	9	02:51:25	-	-	25	0.008	0.004	
23	9	03:47:53	-	-	20	0.004	0.004	
24	9	03:48:24	6.5	30	180	0.071	0.136	有感
25	9	04:13:27	-	-	25	0.008	0.004	
26	9	04:29:22	8.7	25	240	0.100	0.154	有感
27	9	04:36:36	7.5	-	70	0.013	0.021(0.188)*	(有感)*
28	9	05:39:12	6.3(6.0)*	14	40	0.007	0.006	
29	9	06:13:49	-	-	50	0.004	0.003	
30	9	06:39:08	-	-	25	0.005	0.003	
31	9	08:07:21	8.9	20	60	0.025	0.038	
32	9	08:18:46	-	-	60	0.007	0.008	
33	9	09:10:11	5.5	25	120	0.014	0.017	
34	9	09:35:32	8.0	25	95	0.042	0.066	
35	9	09:55:50	9.7	50	150	0.073	0.066	
36	9	10:39:10	6.0	30	180	0.117	0.175	有感
37	9	12:03:38	7.3	15	60	0.010	0.010	
38	9	12:17:00	8.5	30	90	0.010	0.025	
39	9	17:18:06	-	-	70	0.013	0.013	
40	9	20:05:34	7.2	12	50	0.017	0.014	
41	10	00:35:31	5.7	17	100	0.013	0.013	
42	10	04:38:57	6.5	15	70	0.013	0.008	
43	10	05:05:13	10.8	27	95	0.020	0.020	
44	10	08:11:15	7.0	30	120	0.017	0.013	

*保田(1922a)における値で Yasuda (1922b)と異なる

在地震活動が活発な茨城県南部の深さ数 10 km の地震の巣（坪井，1967）で発生した地震であろうと結論付けた。

勝又（1975a, 1975b）は，S-P 時間を用いて震源再計算を行い， $140^{\circ}03'\pm 3'E$ ， $36^{\circ}09'\pm 4'N$ ，深さ 10 km と推定した。また，最大振幅から M を 6.7，震度分布から M を 7.1 とそれぞれ推定した。宇津（1979）は，21 ヶ所の最大振幅から M を 7.0 と見積もった。震源は石橋（1975b）を参考にして， $140.2^{\circ}E$ ， $36.0^{\circ}N$ の茨城県南西部とした。やや深い地震に分類し，M の割に余震が少なかったことを報告した。また，1923 年大正関東地震発生前の 2 年間に 1921 年茨城県南部の地震と 1922 年の浦賀水道付近の地震を含んだ 4 回の被害地震が関東地方内陸部に発生したことを述べ，これらの地震が関東地震の広義の前震であるとした。

勝間田（2000）は，東京帝国大学および熊谷気象台の長周期地震計，今村式 2 倍強震計，グレー・ミルン・ユーイング（以下，GME と略記）普通地震計で観測された地震記象と理論波形の比較から発震機構と地震モーメントを推定した。点震源を仮定し，理論波形の計算には武尾（1985）による離散波数法の波形計算プログラムを用いた。石橋（1975a, 1975b, 1975c）による震源を仮定した場合，地震モーメントは約 $5.6 \times 10^{18} \text{ Nm}$ （Mw 6.4）となり，その発震機構は節面の 1 つが走向 288° ，傾斜角 79° ，すべり角 -34° という，圧縮軸が北東-南西方向の地震であったと推定した（図 2b）。石橋（1975a, 1975b, 1975c）で推定された震央は，フィリピン海プレート（以下 PHS と略記）と太平洋プレート（以下 PAC と略記）との境界で発生しているとされる深さ 60-75 km の茨城県南西部の筑波地震クラスター域と重なっているが，推定された発震機構は西ないし北西傾斜の低角逆断層型のメカニズムを持つ PHS と PAC の境界付近で発生する

地震（古川・井本，1990）や，茨城県南西部の筑波，鬼怒川地震クラスターの典型的な発震機構（例えば，笠原，1985）とも異なるとした。

気象研究所地震火山研究部（2000）は，東京帝国大学の長周期地震計，今村式 2 倍強震計の地震波形記録と理論波形との比較から，発震機構を議論した（図 2c）。推定された発震機構（走向 132° ，傾斜角 79° ，すべり角 54° ，地震モーメント約 $4.5 \times 10^{18} \text{ Nm}$ （Mw 6.4））と，石橋（1975a, 1975b, 1975c）による震源の深さ（53 km）から，この地震は PHS と PAC との境界で発生したものである可能性は低く，PAC の影響を強く受けて PHS 内部で発生したものと解釈した。勝間田（2001）は，PHS と PAC の相互作用によって発生した地震であるとした。

宇佐美（2003）は，宇津（1979）の震央（ $140.2^{\circ}E$ ， $36.0^{\circ}N$ ）と M（7.0）を採用した。震度分布を掲載し，被害について「千葉県印旛郡で土蔵破損数ヶ所，道路に亀裂を生ず。茨城県龍ヶ崎で墓石多く倒れ，田畑・道路に亀裂。また，栃木県芳賀郡で石塀潰れ，河内郡で壁や瓦の落下などがあった。千葉・成田・東京でも微小被害があった。」と述べた。

2-2. データ

表 5 に，1921 年茨城県南部の地震に関する資料を整理し，以下に概要を述べる。東京帝国大学地震学教室に設置されていた今村式強震計，耐震家屋における大森式地震計などの波形記録が東京大学地震研究所にマイクロフィルムとして保管されている（岩田・野口，2000, 2003a, 2003b, 2004）。また，熊谷気象台の GME 普通地震計と考えられる地震波形記録も残されている。

東京など 12 観測点の初動や 16 観測点の初期微動継続時間，22 観測点の震度が牛山（1922a）によって報告されている。中央気象台（1921）による各測候所における発震時，震度，微動計による初期微動継続時間や最大動の

Table 5. Documents on the 1921 Ibaraki-ken Nanbu earthquake.

項目	文献
地震波形	4), 14), 15)
検 測	1), 2), 3), 4), 5), 6), 7), 8), 10), 11)
被害	5), 9), 16)
震 度	1), 5), 6), 12), 13), 16)
余 震	7), 8)

1) 中央気象台 (1921) 2) Central Meteorological Observatory (1922a) 3) 大森 (1922a) 4) Omori (1922g) 5) 牛山 (1922a) 6) Ushiyama (1922c) 7) 保田 (1922a) 8) Yasuda (1922b) 9) 大森 (1922f) 10) 保田・小平 (1938) 11) 石橋 (1973a, 1973b, 1975a, 1975b, 1975c) 12) 神林・勝又 (1975) 13) 宇津 (1989) 14) 勝間田 (2000) 15) 気象研究所地震火山研究部 (2000) 16) 宇佐美 (2003)

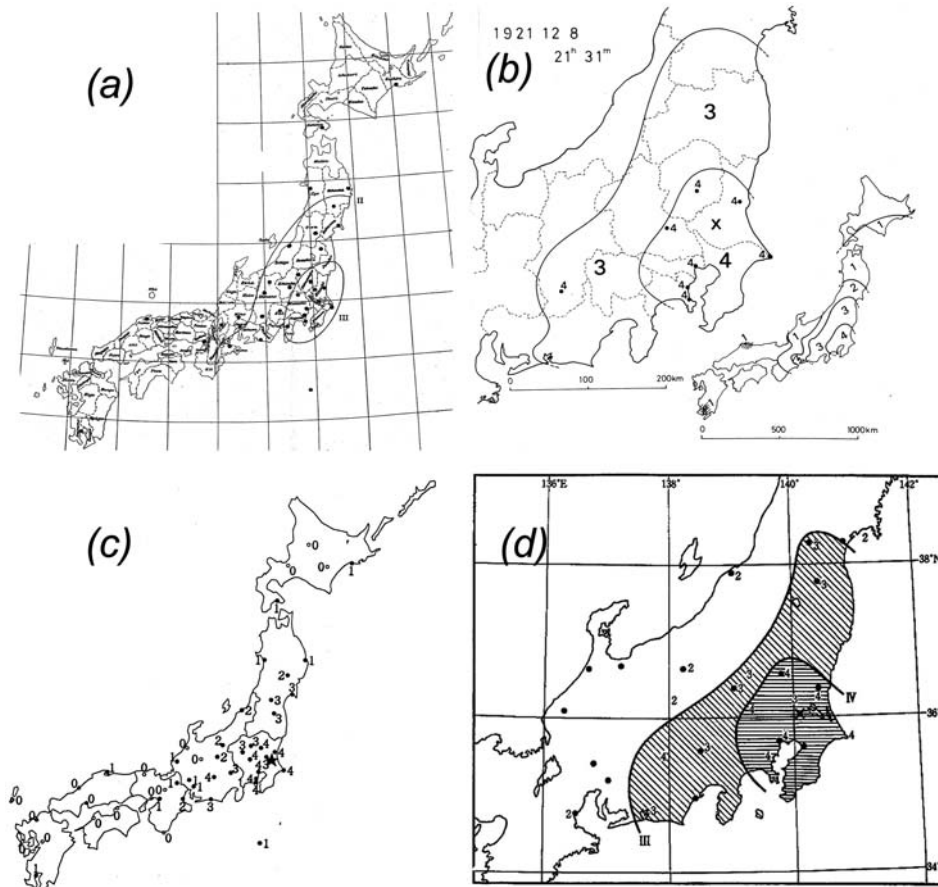


Fig. 4. Seismic intensity distribution map of the 1921 Ibaraki-ken Nanbu earthquake by (a) Omori (1922h), (b) Kanbayashi and Katsumata (1975), (c) Utsu (1989) and (d) Usami (2003).

報告がある。Central Meteorological Observatory (1922 a) に、各測候所における検測値（各相の到達時刻）が整理されている。東京帝国大学地震学教室における余震観測報告として、保田（1922a）、Yasuda（1922b）がある。震度報告ならびに震度分布として、中央气象台（1921）、牛山（1922a）、Ushiyama（1922c）、Omori（1922h）、神林・勝又（1975）、宇津（1989）および宇佐美（2003）がある（図 4）。

3. 1922 年浦賀水道付近の地震（M 6.8; 宇津（1979）による）

3-1. 概要と既往研究

表 6 に 1922 年浦賀水道付近の地震に関する既存研究（震源、発震機構、M）について整理し、以下に概要を述べる。この地震は 1922（大正 11）年 4 月 26 日に発生し、京浜、三浦、房総の東京湾沿岸一帯に家屋や土蔵の破損、水道管の破裂やがけ崩れなどの被害を与えた。東京と横浜で 1 名ずつ、計 2 名の死者が発生した。中央气象台（1922c）、中村（1922a）、Nakamura（1922b）、大森

（1922b, 1922c, 1922e）、Omori（1922h）、勝又（1975a, 1975b）、石橋（1975a, 1975b, 1975c）、宇津（1979）、宇佐美（2003）などによって震源決定がなされているが、推定された震源位置は浦賀水道に留まらず、広範にわたる（図 5）。

中央气象台（1922c）は、この地震を 1922 年 4 月 26 日 10 時（注記：原文では 11 時と記載されているが 10 時の誤り）11 分ごろに木更津付近の陸上（139.9°E, 35.4°N）を震央とした顕著地震とした。その有感区域は、北は秋田地方から南は八丈島、西は奈良、京都地方にまで及び、震央地付近で地鳴りが発生し、東京湾沿岸に被害が発生したことを報告した。また、警視庁、各県の警察部や測候所からの被害報告を取りまとめた。各測候所による微動計の検測記録を表 7 に示し、震度を下に列記する。

強震（弱き方）	東京・飯田・熊谷・横浜・横須賀
弱震	甲府・筑波山・水戸・八丈島・宇都宮
弱震（弱き方）	福島・金山・石巻
微震	岐阜・名古屋・福井・八木・秋田・彦根・宮津・敦賀

Table 6. Previous studies on hypocenter, focal mechanism and magnitude of the 1922 Uraga-channel earthquake.

文献	震央(緯度, 経度)	深さ (km)	M	発震機構 (走向, 傾斜角, すべり角)	位置の解釈	使用データ
中央気象台(1922c)	35.4° N, 139.9° E	-	-	-	-	-
大森 (1922b, 1922c, 1922e), Omori (1922h)	35° 11' N, 139° 47' E (浦賀水道付近)	48	-	-	-	東京における初動(南微東, 引き), 初期微動継続時間(10.6 秒, ただし Omori (1922h) では 11.1 秒) ならびに鈍子における初動(北 54 度東) 横法の初期微動継続時間(6.3 秒)など
中村 (1922a) Nakamura (1922b)	35.4° N, 139.9° E	64	-	-	-	-
中央気象台 (1950)	35.4° N, 139.9° E	-	6.9	-	-	-
勝又 (1975a, 1975b)	35° 13' N, 139° 59' E	30	6.9	-	-	S-P 時間, 震度分布, 最大振幅ならびに地震活動状況
石橋 (1975a, 1975b)	35° 10' N, 139° 41' E	71 ± 21	-	-	PHS 内部	東京(本郷, 一ツ橋), 横須賀, 沼津, 熊谷, 水戸の S-P 時間から津村(1973)の速度構造と渋谷(1974)の関東地方における Vp / Vs の深さ分布から震源決定 横須賀, 東京(本郷, 一ツ橋), 鈍子, 横法, 沼津, 熊谷, 水戸, 前橋の S-P 時間, 津村(1973)の P 波速度構造と渋谷(1974)の関東地方における Vp / Vs の深さ分布から震源決定
石橋 (1975c)	35° 06' N 139° 55' E (嶺岡付近)	50 ± 10	6.9(表記)	-	-	-
宇津 (1979)	35.2° N, 139.8° E	やや深い地震	6.8	-	-	-
勝間田 (2001)	-	-	-	-	PHS 内部から PAC 上面までの間に発生したやや深い地震	-
宇佐美 (2003)	35.2° N, 139.75° E	-	6.8	-	-	-

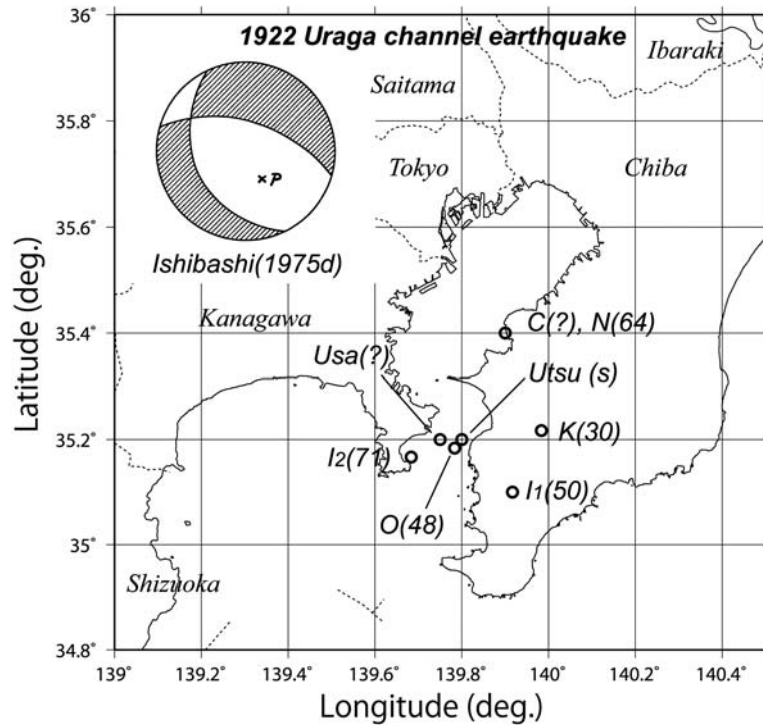


Fig. 5. Hypocenter [C: Central Meteorological Observatory (1922c), N: Nakamura (1922a, 1922b), O: Omori (1922h), K: Katsumata (1975a, 1975b), I₁: Ishibashi (1975c), I₂: Ishibashi (1975a, 1975b) Utsu: Utsu (1979), Usa: Usami (2003)] and focal mechanism [Ishibashi (1975d)] of the 1922 Uruga-channel earthquake. Parenthetic number (in km) or character (s: shallow; ?: unknown) indicates hypocentral depth.

大森 (1922b, 1922c) は、東京帝国大学構内における観測から震源や規模を議論した。東京帝国大学に設置された地震計から検出した初期微動継続時間は 10.6 秒で、これから大森公式により計算される震源距離 (約 79 km) と初動 (南微東, 下方動) から震源は東京よりほぼ真南の浦賀水道付近と推定した。また、最大加速度は 233 mm/sec^2 に達し、1921 年茨城県南部の地震と同程度、1894 年明治東京地震の半分程度であったと報告した (付録 C)。大森 (1922d) は、東京帝国大学構内および神田一ツ橋に設置された強震計による観測から「初期微動の後、主要部となりて先づ四十「ミリメートル」(一寸三分) 動きたるが此は単振幅と見做すべきものにして、次ぎて反動として六十七「ミリメートル」(約二寸) 動きたるは重振幅なるが前記最初の単振幅を取りて計算すれば震動の強さ、即ち最大加速度は一秒に付き二百七十四「ミリメートル」となる。前年十二月八日の強震の加速度一秒に付き二百四十六「ミリメートル」に比すれば一・一と一・〇との比を以て大なることとなる」と述べた。大森 (1922e) は、東京における初動 (南微東, 下方動) と初期微動継続時間 (10.6 秒)、銚子における初動 (北 54 度東) から大森公式を用いて震源を館山と横須賀の間なる浦賀水道の深さ 48 km と推定した。この地震の東京

帝国大学構内における最大加速度が 330 mm/sec^2 に達し、1921 年茨城県南部の地震 (246 mm/sec^2) に比べて強く、1894 年明治東京地震 (444 mm/sec^2) に比べて弱かったことを報告した。Omori (1922h) は、東京、千葉、神奈川における被害をとりまとめ、各測候所の震度報告に基づいた震度分布図ならびに本郷、一ツ橋などに設置された田中館式強震計、1 倍強震計、微動計などによる波形記録を掲載した (図 6)。東京 (本郷) の 1 倍強震計から読み取られた初期微動継続時間 (11.1 秒) から、大森公式を用いて推定された震源距離は 83 km で、これと銚子における初動 (北 54 度東) から震源を $139^{\circ}47'E$, $35^{\circ}11'N$ の浦賀水道、深さを 48 km と推定した。

中村 (1922a), Nakamura (1922b) は、東京、千葉、神奈川における被害状況と東京における微動観測記録による前震、本震ならびに余震の初期微動継続時間を報告した。東京における本震の初期微動継続時間は 9.6 秒となっている。また、横浜の普通地震計で観測された初期微動継続時間 (6.3 秒) から震源を千葉県木更津付近の深さ 64 km と推定した。牛山 (1922b) の手法を用いて推定した震源もほぼ同位置となっている。

中央气象台 (1950), 気象庁観測部地震課 (1971) による震央は、 $139.9^{\circ}E$, $35.4^{\circ}N$ の浦賀水道、M は 6.9 とされ

Table 7. Seismological reports on the 1922 Uraga-channel earthquake using microtremor seismograph from Central Meteorological Observatory (1922c).

観測所	発震時 (到着時刻)	初期微動継続 時間(秒)	最大動		観測所	発震時 (到着時刻)	初期微動継続 時間(秒)	最大動		観測所	発震時 (到着時刻)	初期微動継続 時間(秒)	最大動	
			振幅(ミクロン)	周期(秒)				振幅(ミクロン)	周期(秒)				振幅(ミクロン)	周期(秒)
岐阜	10:11:16	38.9	1300	4.2	秋田	10:12:32	77.0	1220	2.5					
沼津	10:11:35	11.0	-	-	彦根	10:12:26	43.2	870	-					
東京	10:11:36	9.6	-	-	金山	10:12:43	46.0	-	-					
筑波	10:11:39	-	320	-	帯広	10:12:47	29.0	127	1.4					
水戸	10:11:50	16.0	5330	-	松山	10:12:50	76.2	1047	10.4					
高田	10:11:54	35.5	2990	-	高山	10:12:56	-	830	2.9					
潮岬	10:11:56	58.0	-	-	多度津	10:12:47	79.0	1500	4.1					
徳島	10:11:59	71.0	1020	5.0	函館	10:13:07	73.3	1230	3.5					
津	10:12:00	37.3	2700	3.2	長崎	10:13:27	122.0	100	8.0					
松本	10:12:01	29.0	3600	5.0	下関	10:13:30	110.0	440	3.1					
佐賀	10:12:02	-	-	-	福岡	10:13:33	120.0	233	8.4					
金沢	10:12:05	9.0	1970	0.8	那覇	10:13:38	154.0	10	4.0					
名古屋	10:12:05	12.0	-	-	熊本	10:13:40	147.0	860	4.0					
石巻	10:12:12	13.0	290	2.0	釜山	10:15:10	-	-	-					
京都	10:12:14	50.2	-	-	台南	10:15:27	-	-	-					
岡山	10:12:25	73.6	1080	7.0	台北	10:15:45	214.0	-	-					
神戸	10:12:26	57.0	1210	7.2	台中	10:16:29	-	-	-					
八木	10:12:32	56.8	2130	6.5										

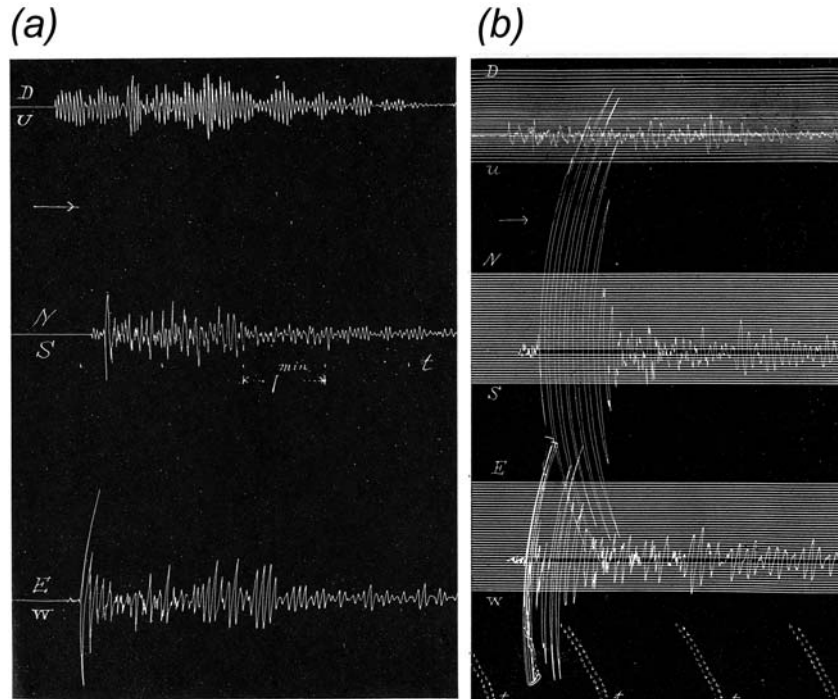


Fig. 6. Seismograms of the 1922 Uruga-channel earthquake recorded by strong motion seismographs at (a) Hongo, and (b) Hitotsubashi (from Omori, 1922h).

ている。宇佐美（1973）は、被害域が房総半島の先端にまで伸びていることから、震央を $139\ 3/4^{\circ}\text{E}$, 35.4°N と推定し、その推定誤差を経度、緯度方向ともに $\pm 0.1^{\circ}$ と見積もった。

那須（1974）は、ユーイング円盤記録式強震計、田中館式強震計などで観測された波形記録を数値化し、地動の変位、速度、加速度や周期特性を議論した。加速度スペクトルでは、最大加速度値を有する波の周期は $0.2\sim 0.3$ 秒で $1\sim 1.5$ 秒および $5\sim 8$ 秒に卓越したピークを有すると述べた。関連した波形記録の数値化に那須・他（1974a, 1974b）などがある。勝又（1975a, 1975b）は、S-P 時間を用いて震源再計算を行い、震源を $139^{\circ}59'\pm 3'\text{E}$, $35^{\circ}13'\pm 3'\text{N}$, 深さ 30 km と推定した。また、最大振幅から M を 6.9 , 震度分布から M を 6.8 とそれぞれ推定した。

石橋（1975a, 1975b）は、東京（本郷）の 10.4 秒、東京（一ツ橋）の 10.8 秒、横須賀の 6.3 秒、沼津の 11.1 秒、熊谷の 14.0 秒及び水戸の 16.0 秒の S-P 時間を用いて多層構造モデルのもとで震源決定を行い、震源を $139^{\circ}41'\text{E}$, $35^{\circ}10'\text{N}$, 深さ $71\pm 21\text{ km}$ と推定した。なお、Omori (1922 h) に掲載された本郷及び一ツ橋の地震記象から再検出した S-P 時間に、信頼度が高いとして圧倒的な重みをかけた。また、他の 4 点の読み取り誤差を大きく取ったため、同じく石橋（1975a, 1975b）で震源決定が行われた 1921 年茨城県南部の地震に比べて、震源の存在可能範囲

が広範（三浦半島先端部から浦賀水道を経て房総半島南部に至る一帯のどこかで、深さは $40\sim 70\text{ km}$ 程度）にわたる。石橋（1975c）は、横須賀、東京（本郷）、銚子、横浜、東京（一ツ橋）、沼津、熊谷、水戸、前橋の S-P 時間から、津村（1973）の P 波速度構造と渋谷（1974）の関東地方における V_p/V_s の深さ分布を用いて震源を、 $139^{\circ}55'\text{E}$, $35^{\circ}06'\text{N}$ の嶺岡付近、深さ 50 km と推定した。石橋（1975d）は、「解は自由度がかなりあるので模式的に示したが、P 軸（×P 印）はあまり動かない」と付記した上で発震機構を掲載した（図 5）。

神林・勝又（1975）は、中央气象台（1950）、気象庁観測部地震課（1971）、宇佐美（1973）、勝又（1975a, 1975 b）および石橋（1975a, 1975b）による震源、 M と震度分布を掲載した。宇津（1979）は、震源を 139.8°E , 35.2°N の千葉県西岸のやや深い地震とし、 M を 6.8 と見積もった。勝間田（2001）は PHS 内部から PAC 上面までの間に発生したやや深い地震とした。宇佐美（2003）は、震央を 139.75°E , 35.2°N , M を 6.8 として震度分布を掲載し、被害の概要を述べた。

浦賀水道付近では、近年の一元化気象庁震源によると深さ 70 km と 90 km で地震活動が活発である（図 7）。そのうち深さ 90 km 付近では、1992 年 2 月 2 日に $M 5.7$ の地震が発生しており、この地震は PAC 上面付近のプレート内における東落ちの高角逆断層型であると推定さ

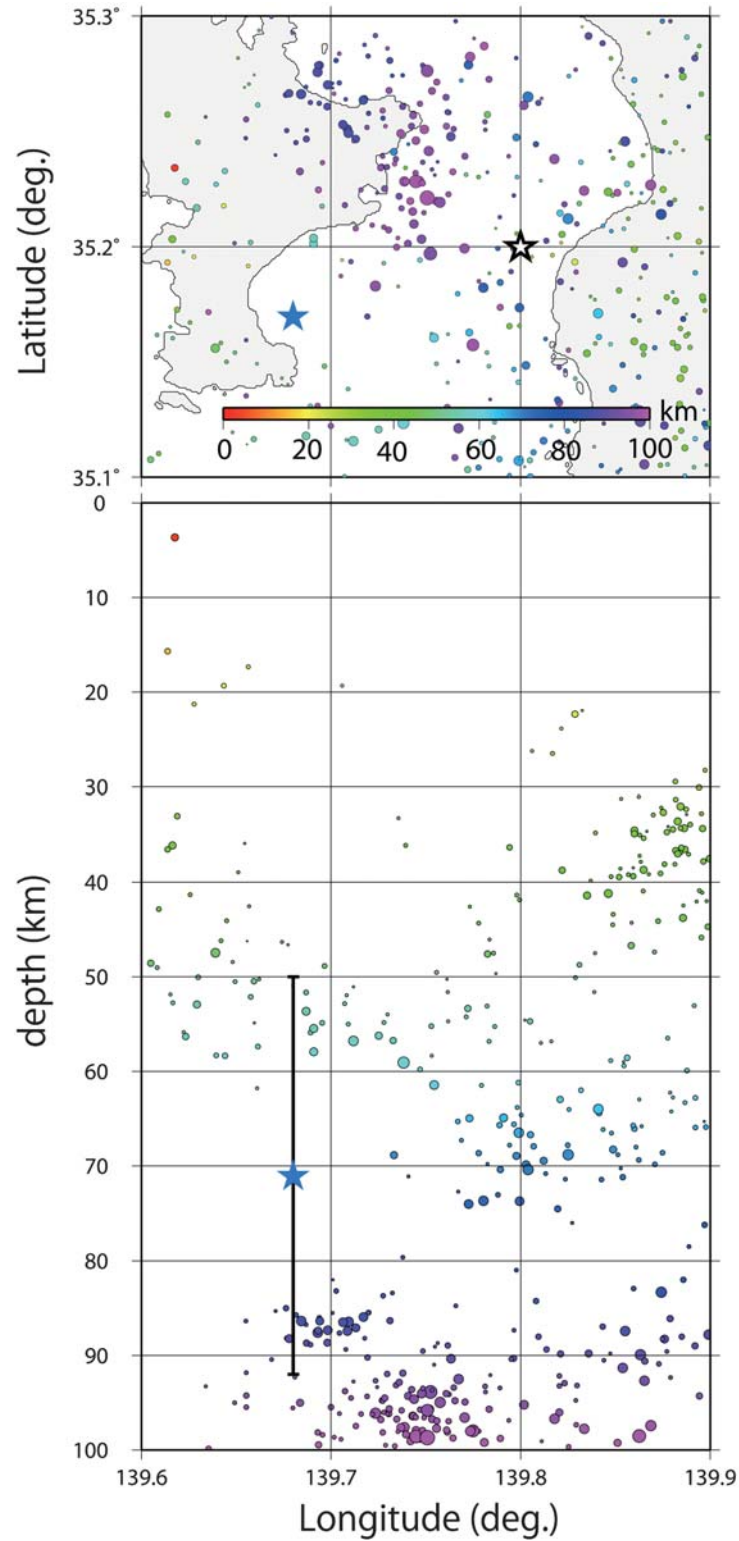


Fig. 7. Recent seismicity around the Uraga channel from the unified Japan Meteorological Agency catalog (October, 1997 to May 2008). The blue star indicates hypocenter of the 1922 Uraga-channel earthquake from Ishibashi (1975a, 1975b). The open star indicates epicenter of the 1922 Uraga-channel earthquake from Utsu (1979).

Table 8. Documents on the 1922 Uraga-channel earthquake.

項目	文献
地震波形	7), 10), 17), 18)
検測	1), 2), 4), 5), 6), 7), 8), 9), 16), 19)
被害	2), 3), 4), 5), 10), 11), 12), 13), 14), 15), 22)
震度	2), 10), 20), 21), 22)

1) Central Meteorological Observatory (1922b) 2) 中央気象台 (1922c) 3) 内藤・他 (1922) 4) 中村 (1922a) 5) Nakamura (1922b) 6) 大森 (1922b) 7) 大森 (1922c) 8) 大森 (1922d) 9) 大森 (1922e) 10) Omori (1922h) 11) 田中 (1922) 12) 東洋学芸雑誌 (1922) 13) 永田 (1923) 14) 神奈川県警察部 (1925) 15) 警視庁 (1925) 16) 保田・小平 (1938) 17) 那須 (1974) 18) 那須・他 (1974a, 1974b) 19) 石橋 (1975a, 1975b, 1975c) 20) 神林・勝又 (1975) 21) 宇津 (1989) 22) 宇佐美 (2003)

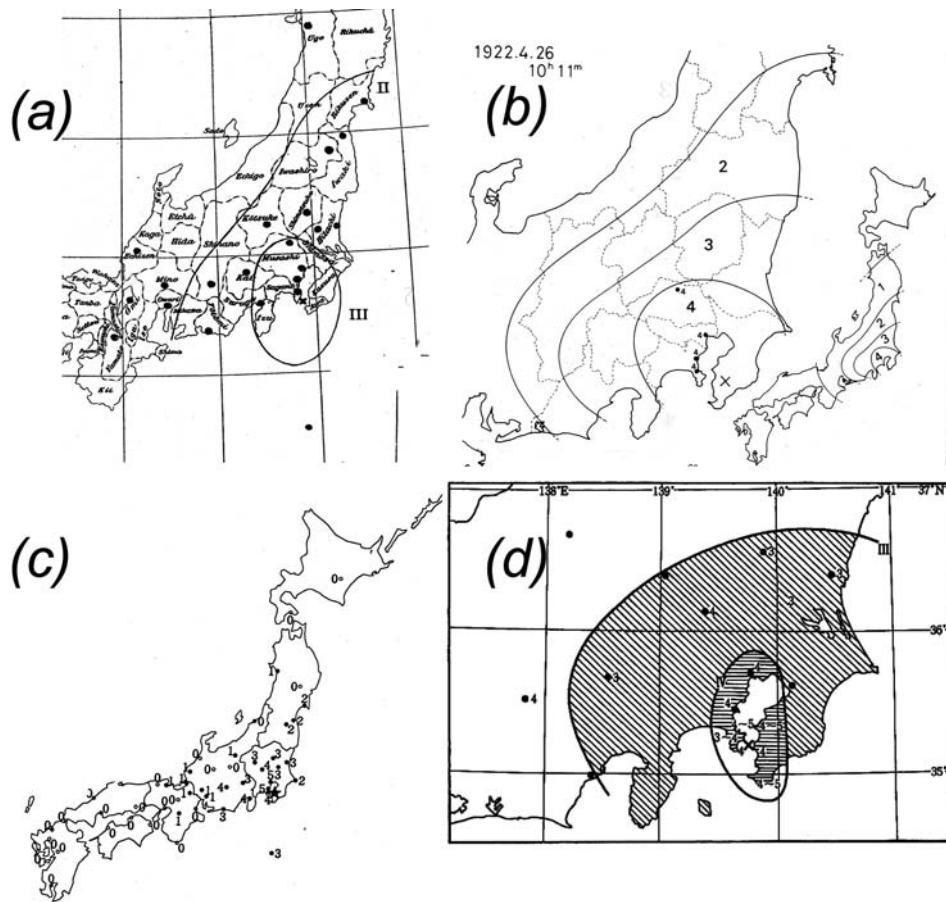


Fig. 8. Seismic intensity distribution map of the 1922 Uraga-channel earthquake by (a) Omori (1922h), (b) Kanbayashi and Katsumata (1975), (c) Utsu (1989) and (d) Usami (2003).

れている (防災科学技術研究所, 1992)。

3-2. データ

表 8 に, 1922 年浦賀水道付近の地震に関する資料を整理し, 以下に概要を述べる。地震波形記録として, 大森 (1922c), Omori (1922h) に東京 (本郷及び一ツ橋) など観測された地震波形記録が掲載されている。また,

一ツ橋における強震計 3 成分, 耐震家屋における大森式地震計などの波形記録が東京大学地震研究所にマイクロフィルムとして保管されている。被害調査報告として, 東洋学芸雑誌 (1922), 警視庁 (1925), 神奈川県警察部 (1925) がある。震度報告ならびに震度分布 (図 8) として, 中央気象台 (1922c), Omori (1922h), 神林・勝又

(1975), 宇津 (1989), 宇佐美 (2003) がある。宇佐美 (2003) による震度分布は、震度Ⅳが東京湾一帯に限られる一方、神林・勝又 (1975) では、神奈川、千葉、東京、埼玉のほぼ全域が震度Ⅳ域となっているなどの相違が見られる。

4. 1987 年千葉県東方沖地震 (M 6.7; 気象庁による)

4-1. 概要と既往研究

表 9 に 1987 年千葉県東方沖地震に関する過去研究 (震源位置や発震機構, M) についてまとめ、以下に概要を述べる。1987 (昭和 62) 年 12 月 17 日 11 時 8 分に房総半島の九十九里浜沖約 10 km の深さ 57.9 km (気象庁震源による) で発生した。銚子、勝浦、千葉で震度Ⅴ、水戸、熊谷、河口湖、横浜、東京、館山、網代で震度Ⅳを観測した。この地震による死者は 2 名、負傷者数は文献により異なり、123 名 (溝上, 1990; 宇佐美, 2003), 135 名 (気象庁地震予知情報課, 1988a), 138 名 (鈴木, 1990), 144 名 (荒, 1990) または 161 名 (宇津, 1999) であった。家屋被害は、全壊 10 棟、半壊 93 棟、一部破損 63,692 棟にのぼり、多数の道路 (1,565 ヶ所) や橋梁 (68 ヶ所) の損壊、ブロック塀の倒壊 (1,901 ヶ所) やがけ崩れ (385 ヶ所) といった被害が報告された (溝上, 1990; 宇佐美, 2003)。また、九十九里沿岸の砂丘地帯や利根川沿いの沖積低地、東京湾沿岸の埋立地を中心に予想以上に広い範囲で地盤の液状化現象が発生した。そのため、液状化や斜面崩壊について多くの調査研究が行われた [液状化調査については、森, 1987, 1988; 古藤田, 1988; 古藤田・若松, 1988; 陶野, 1988; 陶野・他, 1988; 陶野・社本, 1988a, 1988b; 井合・他, 1988; 藤井・他, 1988 など、斜面崩壊については、千葉県, 1988; 釜井・野呂, 1988; 小林・応用地質研究会, 1988; 方達・応用地質研究会, 1988; 中山, 1988a, 1988b; 釜井, 1988, 1989; 田中・森脇, 1988; 打木・応用地質研究会, 1988; 小林・千葉県東方沖地震斜面崩壊調査グループ, 1989; 千葉県東方沖地震斜面崩壊調査グループ, 1990 など]。

気象庁地震予知情報課 (1988a) は、本震の発震機構を逆断層成分を含む右横ずれであると推定し (図 9a)、余震活動の推移ならびに千葉県東方沖における過去の地震活動について議論した。1988 年 1 月 16 日の最大余震 (M 5.2) 発生後にやや活発化したが、余震活動は全体的に順調に減衰したこと、および本震の約 15 秒前に M 2.7 の前震があったことを報告した。茂木 (1988) は、1987 年千葉県東方沖地震を含んだ房総半島及びその周辺と、房総半島南東はるか沖のプレート三重会合点の周辺の地震活動が連動している可能性を、両地域で発生した地震

の M-T ダイアグラムから指摘した。

川勝 (1988) は、Centroid moment tensor 法 (Dziwonski *et al.*, 1981) や Nabelek (1984) の方法などから発震機構 (図 9b)、地震モーメントならびに震源の深さを議論した。発震機構はいずれも一つの節面がほぼ南北走向をもつ横ずれ型となっている一方で、地震モーメントと震源の深さはそれぞれ、 6.1×10^{25} dyne \cdot cm, 54.5 km (CMT 解), 7.4×10^{25} dyne \cdot cm, 39.9 km (Nabelek 解) と異なる。

武尾・関田 (1988) は、震央距離約 100 km までの 4 観測点 (銚子、館山、東京、及び水戸) の 1 倍強震計記録を用いて Takeo (1987) の方法により震源過程解析を行った。推定された震源過程の特徴として、破壊が断層面の南側の深いところから浅い方向に向かって伝播したこと、地震モーメント解放量の大きな領域は断層面の中央部と深い方に見られるが全体的に滑らかな分布であること、地震モーメント解放量の大きな領域は余震発生が少ない領域と対応していることを挙げた。

山田 (1988) は、気象庁、国立防災科学技術センター、東京大学地震研究所、名古屋大学の地震データによる発震機構と余震域から、震源を 140.50°E , 35.33°N , 深さ 50 km (断層の下端), M を 6.7 と推定し、断層パラメータを断層長さ 17.3 km, 断層幅 27 km, 走向 351.3° , 傾斜角 69.8° , すべり角 164.0° , すべり量 0.46 m とそれぞれ推定した (図 9c)。この断層モデルから Sato and Matsushima (1974) の式によって計算された歪の理論値と、気象庁の体積歪計で観測された歪ステップを比較し、5 観測点で極性が不一致となったこと、震源からある程度離れた場所ではほぼ理論値と一致するが、震源近傍では理論値と観測値に差が見られることを報告した。

岡田・笠原 (1988), 岡田 (1988) は、初動から発震機構を推定し、余震分布と走向が一致する節面を断層面とした (走向 349° , 傾斜角 69° , すべり角 163°)。断層面は余震域から 20 km \times 20 km とし、すべり量は M 6.7 の地震に対する平均的な地震モーメントから 0.6 m と推定した。得られた断層モデルは、筑波における速度型強震計の波形及び八郷における 3 成分歪計のステップと調和的であり、この地震は沈み込んだ PHS の先端部が裂けるような形で発生したものと推定した。

井元 (1988) は、本震震源を中心とした球状の領域内における b 値の時間変化をベイズ統計の手法を用いて推定し、地震発生前に先行的な b 値の低下があった可能性を示唆した。笠原・他 (1988) は、1987 年千葉県東方沖の地震が笠原 (1980) による関東・東海地域のテクトニクスを統一的に示すプレートモデルから期待される

Table 9. Previous studies on hypocenter, focal mechanism and magnitude of the 1987 Chiba-ken Toho-Oki earthquake.

文献	震央位置 (経度, 緯度)	深さ (km)	M または 地震モーメント	発震機構または 断層モデル (走向, 傾斜角, す べり角)	位置の解釈	使用データ
気象庁地震予知情報課 (1988a)	35° 22.3' N, 140° 29.8' E	57.9	6.7	-	-	-
防災科学技術研究所関東・東 海地震観測網カタログ	35.372° N, 140.519° E	47.3	6.7	-	-	-
川勝(1988)CMT 解	-	54.5	6.1×10^{25} dyne*cm	(72, 67, -4) (164, 86, -1)	-	GDSN(グローバルデジタル地震計観測 網)のデータ
川勝(1988)Nabelek 解	-	39.9	7.4×10^{25} dyne*cm	(75.0, 65.9, -1.0)	-	気象庁・国立防災科学技術センター・東 京大学地震研究所・名古屋大学の地震 データ・体積歪計
山田(1988)	140.50° E, 35.33° N	50	6.7	17.3 × 27 km, すべり量 0.46 m (349, 69, 163)	沈み込んだ PHS の東端部が裂ける 形で発生した地震	国立防災科学技術センターのルーチン観 測(余震分布・振幅における速度型強震 計の波形・ハズレにおける 3 成分歪計)
岡田・笠原(1988), 岡田 (1988)	140.519° E, 35.372° N(国立 防災科学技術センターのルーチ ン観測による震源)	47.3(国立防災 科学技術センタ ーのルーチン観 測による震源)	6.7	20 × 20 km, すべり量 0.6m	PHS の東端 近く で, PHS の先端が 割れるような地震	関東・東海地震観測網の 70 点程度の観 測点における初動
Okada and Kasahara (1990)	140.519° E, 35.372° N(国立 防災科学技術センターのルーチ ン観測による震源)	47.3(国立防災 科学技術センタ ーのルーチン観 測による震源)	6.7	(349, 69, 163) (N11° W) 右横ずれで逆断層 成分を含む	-	-
宇佐美(2003)	140° 29.8' E, 35° 22.3' N	58.0	6.7	-	-	-
石辺・鶴岡(2009)	気象庁震源を採用	-	-	(166, 87, 178)	-	気象庁検測値の初動

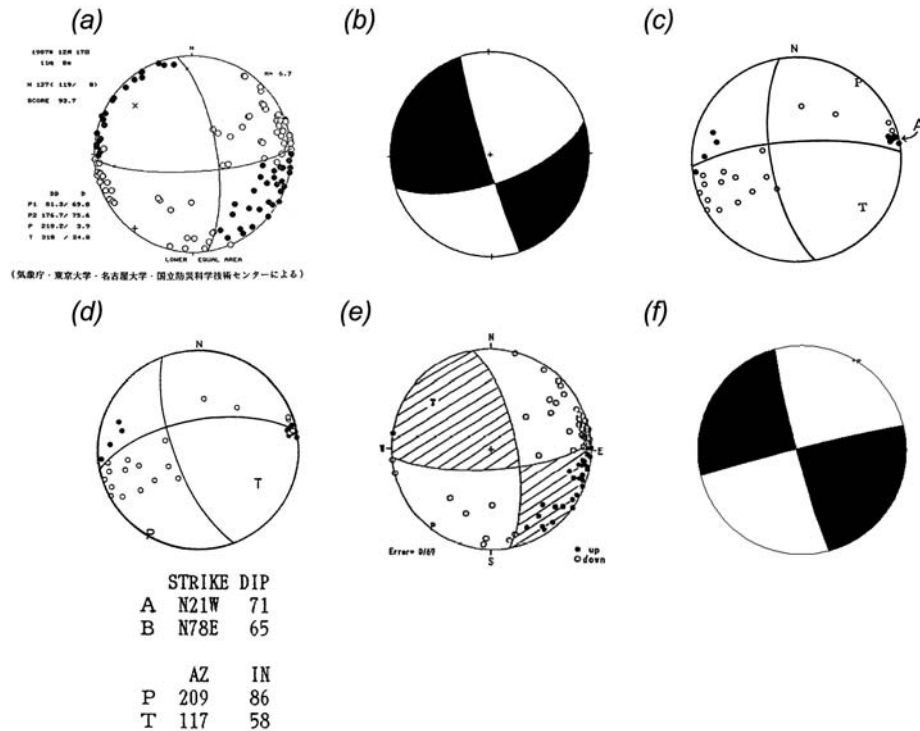


Fig. 9. Focal mechanisms of the 1987 Chiba-ken Toho-Oki earthquake from (a) Japan Meteorological Agency (1988a), (b) Kawakatsu (1988), (c) Yamada (1988), (d) Yamada and Sato (1988), (e) Okada and Kasahara (1990) and (f) Ishibe and Tsuruoka (2009).

PHS 東縁の側面とユーラシアプレート間で発生する右横ずれ型の地震であったことを述べ、このような右横ずれ型の地震が霞ヶ浦～九十九里にかけての南北の帯状の地域で、深さ 50 km 程度に散見されることを報告した。そして、この領域が笠原 (1980) による PHS 東縁部と一致することから、笠原 (1980) が提案したプレートモデルが妥当であるとした。

岩瀬・溝上 (1988) は、千葉県東方沖で過去に発生した地震の発震機構を調査し、A: 北東-南西圧縮で横ずれ型の地震 (震源深さ 30~60 km), B: 東西圧縮の逆断層型 (震源深さ 60~80 km), C: 北西-南東 (あるいは北北西-南南東) 圧縮の低角逆断層型 (震源深さ 20~40 km) の 3 つのタイプに分類されることを明らかにした (図 10)。また、A タイプは PHS 内応力場を反映した地震、B タイプは PAC の沈み込みを示す地震、C タイプは PHS 上面で発生した地震であるとそれぞれ解釈し、本震から 1 ヶ月後に発生した最大余震が C タイプであったことを報告した。

山田・佐藤 (1988) は、短周期歪計の観測記録に基づいた初動から発震機構を推定した (図 9d)。また、地震時の歪ステップの観測値と断層モデルから計算される理論値との比較から、極性が一致しなかった観測点が見ら

れることを述べ、その原因として歪計の周辺媒質の非弾性による効果を挙げた。更には、房総半島や東伊豆の観測点において、長期にわたる余効的な伸び縮みが見られたことを報告し、これは地下水等の周辺媒質の動きを反映したものであるとした。

中村・渡辺 (1988) は、地震が発生した 1987 年 12 月から 1988 年 12 月までの約 1 年間に発表された調査報告および研究論文等の整理を行った。福山・木下 (1988, 1989) および Fukuyama (1991) は、経験的グリーン関数を用いた波形インバージョン法により震源過程を解析し、断層面上でのモーメント解放量の分布、破壊開始時間のパターン、破壊継続時間ならびに応力降下量の分布を推定した。ほぼ南から北へ破壊が伝播するユニラテラルな破壊で、モーメント解放量が最も大きかった領域は断層面の北側深部であったと推定した。また、モーメント解放量が小さかった領域で余震活動が活発であった特徴を述べ、北部浅部に延びていった余震活動は本震の破壊停止に伴う応力集中によるものである可能性を指摘した。

木下・御子柴 (1988) は、強震記録から震源特性 (加速度震源パワースペクトル密度) と、伝播経路の $1/Q_s$ の周波数特性を議論した。瀬川・他 (1988) は、気象庁

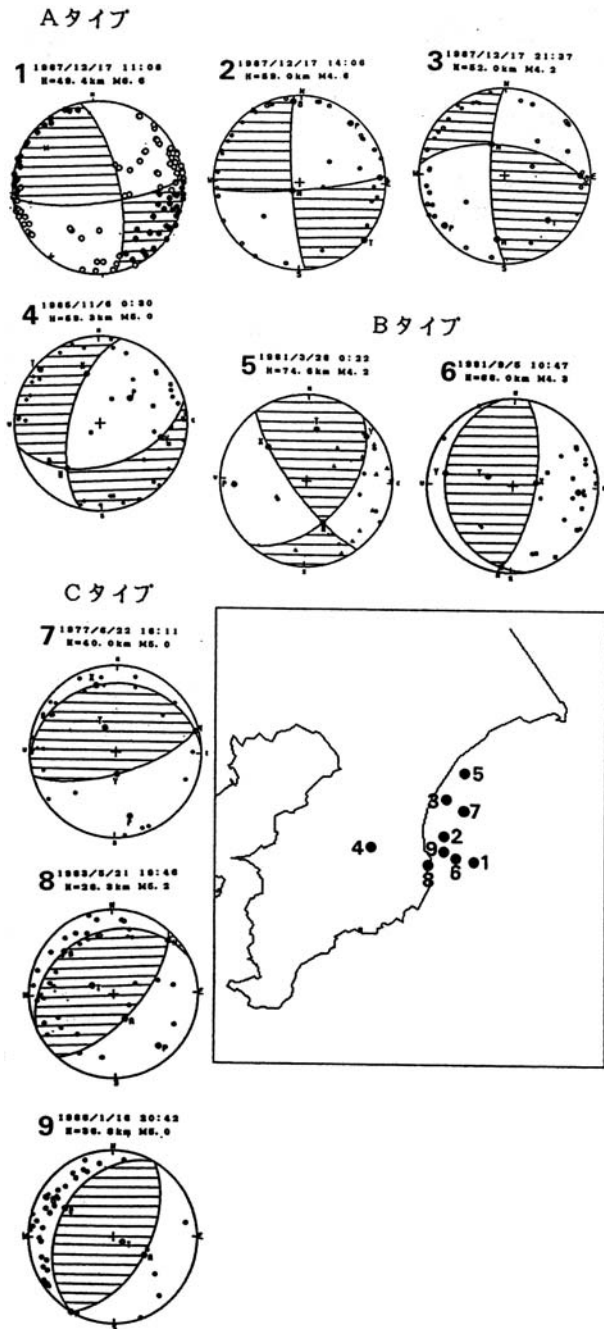


Fig. 10. Focal mechanisms of earthquakes occurring eastern offshore of the Chiba prefecture and classification from Iwase and Mizoue (1988) [A: strike-slip fault-type with compression axis in northeast-southwest direction (hypocentral depth, 30–60 km), B: reverse fault-type with compression axis in east-west direction (hypocentral depth, 60–80 km), C: low angle reverse fault-type with compression axis in northwest-southeast or northern northwest-southern southeast direction (hypocentral depth, 20–40 km)].

による余震分布から仮定した震源断層とマイクロゾーニング手法を用いて地震動分布を算定し、被害調査結果や

強震観測波形との比較を行った。

Okada and Kasahara (1990) は、関東東海地殻活動解析システム (Hamada *et al.*, 1985) で観測された初動から発震機構を推定し、地震後に観測された余震分布からほぼ南北走向をもった右横ずれの垂直な震源モデルを提示した (図 9e)。また、余震活動の時空間的な推移について議論した。溝上 (1990) は、震源過程と余震活動の特徴について既往研究を整理し、房総半島東方沖の群発地震活動や近年の関東地方の地震活動との関係について考察した。草野・吉田 (1990)、及び吉田・他 (2001) は、千葉県東方沖地震の余震活動の特徴を論じ、12 月と 1 月の余震活動に明瞭な違いが見られたことを報告した。本震直後の 2 週間は震源断層の東側で余震が活発であったが、1 月に入ってその活動域が西側に移り静穏化した後、16 日に逆断層型の最大余震 (M 5.2) が発生した。吉田・佐藤 (1995) は、推定された断層面の東側に偏って余震活動が活発であったことを報告した。

小高・前田 (1994) は、気象庁震源カタログ、国立大学観測網地震カタログ (JUNEC) を用いて 1987 年千葉県東方沖地震前後の震源域ならびに周辺の地震の巣における地震活動の変化を議論した。その結果、いずれのカタログでも千葉県中部の地震の巣において、本震の発生前後で震源分布に顕著な深さ変化が認められ、震源域において 20 km 以浅の地震が本震の 2 年ほど前からほぼ見られなくなる特徴を挙げた。地震調査委員会 (1997, 1999) は沈み込む PHS 内の地震であるとし、気象庁地震予知情報課 (1988a) に基づいた震度分布と日別余震回数、藤井・宮下 (1988) や千葉工業大学 (1988) などから作成した液状化地点分布、春川 (1990) から作成した屋根瓦の被害率を掲載した。宇佐美 (2003) は、震央を $140^{\circ}29.8'E$, $35^{\circ}22.3'N$ 、深さを 58.0 km, M を 6.7 として、震度分布、千葉県内液状化発生場所 (荒, 1990 による)、屋根瓦の被害率 (春川, 1990 による) および県別被害表を掲載した。

中島・長谷川 (2009), Nakajima and Hasegawa (2010) は、1987 年千葉県東方沖地震の余震が関東下のフィリピン海スラブ最東端部のマントル蛇紋岩化域 (Nakajima *et al.*, 2009; Uchida *et al.*, 2009) の西縁で発生し、走向が蛇紋岩化域西縁のそれとほぼ一致することを指摘した。また、1921 年茨城県南部の地震の一つの節面 (石橋, 1973b, 1975d) もほぼ蛇紋岩化域西縁の方向と一致することを指摘し、蛇紋岩化域西縁に沿って近年発生した微小地震の発震機構が 1987 年千葉県東方沖地震とほぼ一致することから、蛇紋岩化域の西縁では現在も右横ずれの運動が進行している可能性を示唆した。さらには、関東

Table 10. Documents on the 1987 Chiba-ken Toho-Oki earthquake.

項目	文献
地震波形	37), 38)
被害	2), 16), 22), 23), 24), 29), 33), 36), 42), 44)
水準測量	32), 41)
歪	3), 5), 26), 27)
震度	2), 8), 21), 22), 23), 33), 35), 36), 42), 44)
斜面崩壊	9), 10), 11), 12), 17), 18), 19), 25), 30), 31), 39)
液状化	1), 6), 7), 13), 14), 15), 20), 28), 33), 42), 44)
余震	2), 3), 4), 34), 35), 40), 43)

1) 森(1987)2) 気象庁地震予知情報課(1988a)3) 岡田(1988)4) 岡田・笠原(1988)5) 山田(1988)6) 古藤田(1988)7) 古藤田・若松(1988)8) 国立防災科学技術センター(1988)9) 釜井(1988)10) 釜井・野呂(1988)11) 千葉県(1988)12) 田中・森脇(1988)13) 森(1988)14) 陶野(1988)15) 陶野・他(1988)16) 佐々木・他(1988)17) 小林・応用地質研究会(1988)18) 方達・応用地質研究会(1988)19) 打木・応用地質研究会(1988)20) 井合・他(1988)21) 瀬川・他(1988)22) 角田(1988)23) 望月・他(1988a, 1988b)24) 山辺・藤田(1988a, 1988b)25) 中山(1988a, 1988b)26) 気象庁地震予知情報課(1988b)27) 山田・佐藤(1988)28) 陶野・社本(1988a, 1988b)29) 藤井・他(1988)30) 釜井(1989)31) 小林・千葉県東方沖地震斜面崩壊調査グループ(1989)32) 古野・他(1989)33) 荒(1990)34) Okada and Kasahara (1990) 35) 溝上(1990)36) 春川(1990)37) Mikoshiba et al. (1990)38) 木下・他(1990)39) 千葉県東方沖地震斜面崩壊調査グループ(1990)40) 草野・吉田(1990)41) 風岡・他(1997)42) 地震調査委員会(1997, 1999)43) 吉田・他(2001)44) 宇佐美(2003)

地震の余震（M 7.1）が蛇紋岩化域の西縁に沿う地震であったとすれば、蛇紋岩化域の西縁に沿う変位速度から計算される変位量（約 32–58 cm）と千葉県東方沖地震での平均すべり量 30–60 cm（Okada and Kasahara, 1990）がほぼ等しくなることから、関東地震の余震と 1987 年千葉県東方沖地震が同じアスペリティの繰り返し破壊であった可能性を指摘した。

これらの既往研究を総括すると、1987 年千葉県東方沖地震は PHS 東縁の先端部が裂けるような形で PHS 内部で発生した、逆断層成分を含む横ずれ型の地震であった（図 9）。震源は断層面の南側の深いところに位置し、浅い方向かつ北へ向かってユニラテラルに破壊が伝播した。本震によるモーメント解放量が大きかった領域と余震によるモーメント解放との間には相補的な関係が認められた。本震直後の余震活動は断層面の東側に偏って発生したが、1 月に入り西側領域へ移動、静穏化した後に逆断層型の最大余震（M 5.2）が発生した。本震発生前に先行的に b 値が低下した可能性があり、また周辺域の千葉県中部の地震の巣において、震源の深さ分布に明瞭な変化が認められた。

4-2. データ

表 10 に、1987 年千葉県東方沖地震に関する資料を整理し、以下に概要を述べる。地震波形としては、気象庁や国立防災科学技術研究センターの観測網などで記録さ

れた数多くの地震波形がマイクロフィルムあるいはデジタル波形記録として保存されている。例えば、Mikoshiba *et al.* (1990) には、国立防災科学技術センターのデジタル型強震計による 6 地点の 3 成分が採録されている。震度報告ならびに震度分布として、気象庁地震予知情報課（1988a）、国立防災科学技術センター（1988）の他に、アンケート調査に基づいた震度階（望月・他, 1988a, 1988b; 角田, 1988; 春川, 1990; 荒, 1990）がある。気象庁地震予知情報課（1988a）に基づいた震度分布が宇佐美（2003）に掲載されている（図 11）。地震前後における水準測量として、古野・他（1989）、風岡・他（1997）がある。1987 年千葉県東方沖地震による歪変化を報告したものとして、気象庁地震予知情報課（1988b）、山田・佐藤（1988）がある。

5. おわりに

本稿では、「その他の南関東で発生する M 7 級地震」の発生確率の根拠となっている 5 地震のうち、大正期以降に発生した 1921 年茨城県南部の地震、1922 年浦賀水道付近の地震及び 1987 年千葉県東方沖地震の 3 地震について、既往研究の整理と資料の収集を行った。今後は整理した既往研究を踏まえ、収集された資料からこれらの地震の類型化を試みる予定である。しかしながら、例えば 1855（安政二）年江戸地震など明治期以前に発生し

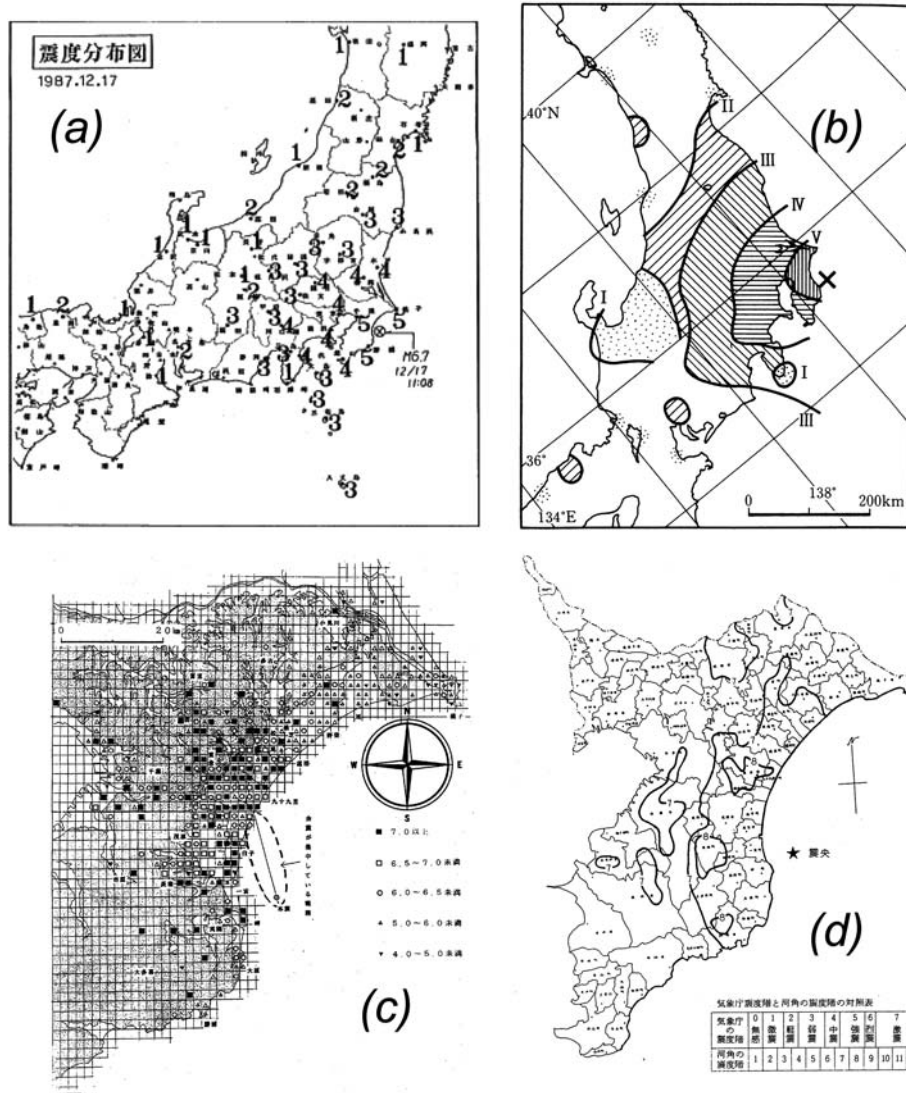


Fig. 11. Seismic intensity distribution map of the 1987 Chiba-ken Toho-Oki earthquake by (a) Japan Meteorological Agency (1988a), (b) Usami (2003), (c) Harukawa (1990) and (d) Ara (1990).

た被害地震についても、その震源の深さは様々な見解があり（萩原，1972；宇佐美，1976；大竹，1980；引田・工藤，2001；古村，2003；Bakun，2005；引田，2006；中村・他，2007），将来首都圏に被害を及ぼし得る地震像の解明には、計器観測以前に発生した歴史地震の特徴を明らかにすることも必要であろう。また、関東地震の発生に向かって徐々に被害地震発生が増加する傾向や（今村，1929；津村，1974；中央防災会議，2004 など），関東地震間の震源域における地震活動が顕著に低調であることが指摘されているが（Shimazaki，1971；石辺・他，2008），1703 年元禄関東地震より前の関東地震の発生履歴は良く分かっていない。従って、大地震が活発化する時期を予測するためには 1703 年元禄関東地震より前の関東地震の履歴解明が必須である。

謝 辞

本稿は東京大学地震研究所、瀨戸一起教授の査読により大幅に改善された。気象庁地震予知情報課の武田清史氏には、気象庁保管の地震原簿ならびに地震波形記録のマイクロフィルムスキャン作業について便宜を図っていただいた。また、地震研究所蔵の古地震記象については野口和子技術職員にご指導いただいた。一元化気象庁震源カタログを使用させていただいた。図の作成には GMT (Wessel and Smith, 1991) を用いた。ここに記して感謝申し上げる。なお、本研究は平成 21 年度「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト ① 首都圏周辺でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等」における「過去地震の類別化と長期評価の高度化に関する調査研究」の一環として実施された。

参考文献

- 荒 孝一, 1990, 直下型地震に備える—1987 年千葉県東方沖地震の教訓—, 地震ジャーナル, **10**, 33-39.
- Bakun, W.H., 2005, Magnitude and location of historical earthquakes in Japan and implications for the 1855 Ansei Edo earthquake, *J. Geophys. Res.*, **110**, B02304, doi: 10.1029/2004JB003329.
- 防災科学技術研究所, 1992, 1992 年 2 月 2 日浦賀水道付近の地震, 地震予知連絡会会報, **48**, 112-120.
- Central Meteorological Observatory, 1922a, Some notable earthquakes occurred near Japan and the distant earthquakes observed in Japan in 1921, *Seism. Bull. Cent. Met. Obs., Japan*, **1**, No. 1, 13-35.
- Central Meteorological Observatory, 1922b, Seismological Observation in Tokyo (Jan.-April, 1922), *Seism. Bull. Cent. Met. Obs., Japan*, **1**, No. 1, 1-12.
- 千葉県, 1988, 千葉県東方沖地震による山地災害とその対応—速報—, 地すべり, **24-4 (92)**, 35-38.
- 千葉県東方沖地震斜面崩壊調査グループ, 1990, 千葉県東方沖地震による松尾・成東・東金周辺地域の斜面崩壊—地震による洪積台地の斜面崩壊—, 地質学論集, **35**, 47-62.
- 千葉工業大学, 1988, 千葉県東方沖地震被害調査報告, 111pp.
- 中央防災会議, 2004, 「首都直下地震対策専門調査会 (第 12 回)」, 地震ワーキンググループ (平成 16 年 11 月 17 日) 報告書, 26 pp.
- 中央气象台, 1921, 龍ヶ崎附近ノ地震, 気象要覧, **265**, 309-311.
- 中央气象台, 1922c, 千葉県下木更津附近ノ地震, 気象要覧, **269**, 105-114.
- 中央气象台, 1950, 日本におけるおもな地震の規模表 (1885-1950), 中央气象台地震年報 1950, 99-184.
- Dziwonski, A.M., Chou, T.A.-. and Woodhouse, J. H., 1981, Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity, *J. Geophys. Res.*, **86**, 2825-2852.
- 藤井陽一郎・宮下 芳・桑山辰夫・長坂健一, 1988, 千葉県東方沖地震にともなう茨城県内の被害, 地震学会講演予稿集, **1**, 32.
- 藤井陽一郎・宮下芳, 1988, 茨城県における自然災害に関する総合的研究, 茨城大学.
- 福山英一・木下繁夫, 1988, 1987 年千葉県東方沖地震の破壊過程の推定—経験的 Green 関数を用いた解析—, 地震学会講演予稿集, **2**, 6.
- 福山英一・木下繁夫, 1989, 1987 年千葉県東方沖地震の破壊過程の推定—経験的グリーン関数を用いた解析—, 地震 **2**, **42 (1)**, 39-48.
- Fukuyama E., 1991, Inversion for the Rupture Details of the 1987 East Chiba Earthquake, Japan, Using a Fault Model Based on the Distribution of Relocated Aftershocks, *J. Geophys. Res.*, **96**, 8205-8217.
- 古川信雄・井元政二郎, 1990, 関東地方におけるフィリピン海・太平洋プレートの地下境界の微細構造, 地震 **2**, **43**, 413-429.
- 古村孝志, 2003, 1855 年安政江戸地震の広域震度分布と震源パラメータ: 数値シミュレーションによる考察, 日本地震学会 2003 年秋季大会講演予稿集, B052.
- 古野邦雄・麻生忠雄・楡井 久, 1989, 房総半島における 1987 年千葉県東方沖地震前後の水準測量結果, 日本地質学会学術大会講演要旨, **96**, 672.
- 萩原尊禮, 1972, 明治 27 年東京地震, 安政 2 年江戸地震, 元禄 16 年関東地震の震度分布, 地震予知連絡会会報, **7**, 27-31.
- Hamada, K., Ohtake, M., Okada, Y., Matsumura, S. and Sato, H., 1985, A high quality digital network for microearthquakes and ground tilt observations in the Kanto-Tokai area, Japan. *Earthquake Predict. Res.*, **3**, 447-469.
- 春川光男, 1990, 千葉県東方沖地震による九十九里平野周辺の震度分布とその地質的震動区分, 地質学論集, **35**, 75-90.
- 引田智樹, 2006, 震度データに基づく安政江戸地震の震源位置・規模の推定, 日本地震学会 2006 年秋季大会講演予稿集, D006.
- 引田智樹・工藤一嘉, 2001, 経験的グリーン関数法に基づく 1855 年安政江戸地震の震源パラメーターと地震動の推定, 日本建築学会構造系論文集, **546**, 63-70.
- 方違重治・応用地質研究会, 1988, 千葉県東方沖地震による斜面崩壊 (その 2, 崩壊のメカニズム), 日本地質学会学術大会講演要旨, **95**, 405.
- 井合 進・浦上 武・武藤善敬・菊地正樹, 1988, 1987 年千葉県東方沖地震による千葉港周辺地域の液状化等について, 港湾技研資料, **616**, 1-47.
- 今村明恒, 1929, 関東並に近畿地方に於ける地震活動の循環と大震前の諸現象とに就て, 地震, **1**, 4-16.
- 井元政二郎, 1988, 千葉県東方沖地震前の b 値変化, 地震学会講演予稿集, **1**, 67.
- 石橋克彦, 1973a, 大正 10 年竜ヶ崎地震の震源位置について—アーツ 1 号が発見した「線」との関連— (速報), 地震 **2**, **26**, 362-367.
- 石橋克彦, 1973b, ERTS1 号による関東平野の「線形」といくつかの地震活動, 地震学会講演予稿集 No. 2, 131.
- 石橋克彦, 1975a, 東京に被害を与えた明治・大正期の地震の震源位置の再検討, 東京都防災会議東京直下地震に関する調査研究 (その 3) —地震活動状況に関する考察—, 132-136.
- 石橋克彦, 1975b, 多層構造モデルのもとで多点の S-P 時間をもちいた古い地震の震源再計算, 地震 **2**, **28**, 347-364.
- 石橋克彦, 1975c, 多層構造モデルのもとで多点の S-P 時間を用いた古い地震の震源再計算, 地震学会講演予稿集, **1**, 68.
- 石橋克彦, 1975d, 関東大地震直前の関東内陸の起震応力—相模トラフ大地震発生の指標—, 地震学会講演予稿集, **1**, 69.
- 石辺岳男・中谷正生・鶴岡 弘・島崎邦彦, 2008, アスベリティが部分的に破壊することはあるのか?, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集 (S143-008) .
- 石辺岳男・西山昭仁・佐竹健治・島崎邦彦, 2009, 南関東で発生した M 7 級地震に対する既往研究とデータの整理—1894 年明治東京地震と 1895 年茨城県南部の地震—, 東京大学地震研究所彙報, **84**, 149-182.
- 石辺岳男・鶴岡 弘, 2009, 気象庁・JUNEC 検測データの初動極性を用いた 1923 年以降に日本で発生した地震のメカニズム解の推定とその特徴, 日本地震学会 2009 年秋季大会講演予稿集, P3-66.
- 岩瀬良一・溝上 恵, 1988, 千葉県東方沖周辺の地震のメカニズムについて, 地震学会講演予稿集, **1**, 65.
- 岩田孝行・野口和子, 2000, 東京大学における地震観測及び機械式地震計の名称と分類について, 東京大学地震研究所技術研究報告, **6**, 78-94.
- 岩田孝行・野口和子, 2003a, 東京大学における機械式地震計の地震記象 (第 1 報), 東京大学地震研究所技術研究報告, **9**, 31-55.
- 岩田孝行・野口和子, 2003b, 東京大学における機械式地震計の地震記象 (第 2 報), 東京大学地震研究所技術研究報告, **9**, 56-110.
- 岩田孝行・野口和子, 2004, 東京大学におけるユース式地震計の歴史地震記象, 東京大学地震研究所技術研究報告, **10**, 58-76.
- 地震調査委員会, 1997, 『日本の地震活動—被害地震から見た地

- 域別の特徴一』, 391pp.
- 地震調査委員会, 1999, 『日本の地震活動―被害地震から見た地域別の特徴― (追捕版)』, 395pp.
- 地震調査委員会, 2004, 相模トラフ沿いの地震活動の長期評価, 31pp.
- 釜井俊孝, 1988, 1987 年千葉県東方沖地震による上総丘陵の斜面崩壊その 2―メカニズム, 第 27 回地すべり学会研究発表講演集, 50-53.
- 釜井俊孝, 1989, 1987 年千葉県東方沖地震による上総丘陵の斜面崩壊―崩壊の分類と安定の検討―, 地すべり, **26** (1), 16-25.
- 釜井俊孝・野呂春文, 1988, 1987 年千葉県東方沖地震による上総丘陵の斜面崩壊―分布と形態について―, 応用地質, **29** (4), 285-294.
- 神奈川警察部, 1925, 大正十一年四月二十六日ノ地震二由ル神奈川縣ニ於ケル被害状況, 震災予防調査会報告, **99**, 32-44.
- 神林幸夫・勝又護, 1975, 東京の被害地震の表およびその震度分布図付震度 IV 以上の地震, 東京都防災会議東京直下地震に関する調査研究 (その 3)―地震活動状況に関する考察一, 53-103.
- 笠原敬司, 1980, 関東地方の地震発生様式について, 地震学会講演予稿集, **2**, 66.
- 笠原敬司, 1985, プレートが三重会合する関東・東海地方の地殻活動様式, 国立防災科学技術センター研究報告, **35**, 33-137.
- 笠原敬司・岡田義光・大竹正和・沢田義博, 1988, 1987 年 12 月に発生した千葉県東方沖地震 (M 6.7) のテクトニクスの意味, 地震学会講演予稿集, **1**, 64.
- 勝間田明男, 2000, 1921 年 12 月 8 日に茨城県南西部で発生した地震の発震機構と地震モーメント, 地震 **2**, **53**, 83-88.
- 勝間田明男, 2001, 古い強震計の記録からよみとれる明治以降の南関東地域の地震の特性, 月刊地球号外, **34**, 61-69.
- 勝又 護, 1975a, 大正時代の地震活動について―1923 年の関東地震前の地震活動を中心に― (概報), 東京都防災会議東京直下地震に関する調査研究 (その 3)―地震活動状況に関する考察一, 117-122.
- 勝又 護, 1975b, 大正時代の地震資料について 2, 3 のこと, 昭和 50 年度地震学会春季大会講演予稿集, 66.
- 川勝 均, 1988, 千葉県東方沖地震の震源解, 地震学会講演予稿集, **2**, 246.
- 風岡 修・古野邦雄・香川 淳・楠田 隆・香村一夫・佐藤賢司・森崎正昭・原 雄・楡井 久, 1997, 1987 年千葉県東方沖地震前後の水準点変動―東京湾岸地域―, 日本地質学会学術大会講演要旨, **104**, 268.
- 警視庁, 1925, 大正十一年四月二十六日ノ強震二因ル東京市内建築物被害ノ状況, 震災予防調査会報告, **99**, 22-31.
- 木下繁夫・御子柴正, 1988, 千葉県東方沖地震の震源スペクトルと伝播経路における減衰の周波数特性, 地震学会講演予稿集, **1**, 269.
- 木下繁夫・御子柴正・宮本 誠・楠田 隆・楡井 久, 1990, 千葉県東方沖地震における強震記録, 地質学論集, **35**, 19-29.
- 気象庁観測部地震課, 1971, 東京有感地震資料 (1885 年-1970 年) 163pp.
- 気象庁地震予知情報課, 1988a, 千葉県東方沖の地震活動 (1987 年 12 月), 地震予知連絡会会報, **40**, 72-80.
- 気象庁地震予知情報課, 1988b, 東海・南関東地域における歪観測結果, 地震予知連絡会報, **40**, 291-301.
- 気象研究所地震火山研究部, 2000, 南関東地域における応力場と地震活動予測に関する研究, 気象研究所技術報告, **40**, 156pp.
- 小林 滋・千葉県東方沖地震斜面崩壊調査グループ, 1989, 千葉県東方沖地震による斜面崩壊 (その 3 地質層序), 日本地質学会学術大会講演要旨, **96**, 680.
- 小林 滋・応用地質研究会, 1988, 千葉県東方沖地震による斜面崩壊 (その 1, 分布と地質), 日本地質学会学術大会講演要旨, **95**, 404.
- 国立防災科学技術センター, 1988, 1987 年 12 月 17 日千葉県東方沖地震, 強震速報, **37**, 1-37 (1).
- 古藤田喜久雄, 1988, 1987 年千葉県東方沖地震による液状化現象その 2. 粒度試験によび地盤調査結果, 第 23 回土質工学研究発表概要集, 959-962.
- 古藤田喜久雄・若松加寿江, 1988, 千葉県東方沖地震による液状化現象とその被害, 土と基礎, **36** (12), 19-24.
- 草野富二雄・吉田明夫, 1990, 1987 年千葉県東方沖地震の余震活動, 地震 **2**, **43**, 459-469.
- Mikoshita T., M. Miyamoto, S. Kinoshita, 1990, DIGITIZED DATA ON NRC DP STRONG-MOTION EARTHQUAKE RECORDS (4) ― December 17, 1987 EAST OFF CHIBA PREFECTURE EARTHQUAKE―, 防災科学技術研究資料, **144**, 1-113.
- 溝上 恵, 1990, 千葉県東方沖地震の概要, 地質学論集, **35**, 1-10.
- 望月利男・谷内幸久・塩野計司, 1988a, 1987 年千葉県東方沖地震の千葉県各地の震度と被害, 日本建築学会学術講演梗概集 B, 構造 I, 1988, 319-320.
- 望月利男・他, 1988b, 1987 年 12 月 17 日千葉県東方沖地震調査―震度分布と被害の概要―, 総合都市研究, **35**, 5-31.
- 茂木清夫, 1988, 1987 年千葉県東方沖地震と周辺の地震活動, 地震予知連絡会報, **40**, 87-89.
- 森伸一郎, 1987, 1987 年 12 月 17 日千葉県東方沖地震における液状化調査, 第 23 回土質工学研究発表概要集, 943-946.
- 森伸一郎, 1988, 1987 年 12 月 17 日千葉県東方沖地震における液状化調査, 土木学会第 43 回年次学術講演会第 III 部門, 458-459.
- Nabelek J. L., 1984, Determination of earthquake source parameters from inversion of body waves, Ph. D. Thesis, *Mass. Inst. of Technology*.
- 永田愈郎, 1923, 建物の震動, 建築雑誌, **37** (447), 412-413.
- 内藤多伸・伊部貞吉・永田愈郎, 1922, 大正十一年四月二十六日の地震に依る東京に於ける震災被害調査報告, 建築雑誌, **36** (436), 1-11.
- 中島淳一・長谷川昭, 2009, 関東下におけるフィリピン海スラブの断裂―スラブ内地震 (M~7) との関連―, 日本地震学会講演予稿集 2009 年秋季大会 (B12-06), 47.
- Nakajima, J. and A. Hasegawa, 2010, Cause of M~7 intra-slab earthquakes beneath the Tokyo metropolitan area, Japan: Possible evidence for a vertical tear at the easternmost portion of the Philippine Sea slab, *J. Geophys. Res.*, *accepted*.
- Nakajima, J., F. Hirose, and A. Hasegawa, 2009, Seismotectonics beneath the Tokyo Metropolitan area, Japan: Effect of slab-slab contact and overlap on seismicity, *J. Geophys. Res.*, **114**, B08309, doi: 10.1029/2008JB006101.
- 中村裕昭・渡辺 進, 1988, 1987 年千葉県東方沖地震に関する文献リスト, 土と基礎, **36** (12), 61-63.
- 中村亮一・植竹富一・佐竹健治・遠田晋次・宇佐美龍夫・島崎邦彦・渡辺 健, 2007, 関東地域の三次元減衰構造・異常震域とそれに基づく 1855 年安政江戸地震の震源深さの推定, 歴史地震, **22**, 101-107.
- 中村左衛門太郎, 1922a, 四月廿六日の東京附近の強震に就て,

- 気象集誌, **41**, 139-156.
- Nakamura S., 1922b, On the Destructive Earthquake occurred near Tokyo on the 26th, April 1922, *Seism. Bull. Cent. Met. Obs., Japan*, **1**, No. 1, 39-44.
- 中山 康, 1988a, 千葉県東方沖地震による斜面崩壊, 地すべり, **24** (4), 33-35.
- 中山 康, 1988b, 千葉県東方沖地震による斜面崩壊, 土と基礎, **36** (12), 13-18.
- 那須信治, 1974, 大地震の地動, 防災科学技術, **26**, 2-3.
- 那須信治・竹内盛雄・森岡敬樹・稲葉正雄, 1974a, 大地震動の数値化と解釈 (その 4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造系 49 (構造系), 385-386.
- 那須信治・竹内盛雄・森岡敬樹・稲葉正雄, 1974b, 大地震動の数値化と解釈 (その 5), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造系 49 (構造系), 387-388.
- 小高俊一・前田憲二, 1994, 1987 年千葉県東方沖地震 (M 6.7) 前後の震源域と周辺の地震の巣における地震活動の変化, 地震 2, **47** (4), 365-374.
- 岡田義光, 1988, 1987 年 12 月 17 日千葉県東方沖地震, 地震予知連絡会会報, **40**, 81-86.
- 岡田義光・笠原敬司, 1988, 1987 年 12 月千葉県東方沖地震, 地震学会講演予稿集, **1**, 63.
- Okada, Y. and K. Kasahara, 1990, Earthquake of 1987, off Chiba, central Japan and possible triggering of eastern Tokyo earthquake of 1988, *Tectonophysics*, **172**, 351-364.
- 大森房吉, 1922a, 大正十年十二月八日夜の東京強震に関する件, 東洋学芸雑誌, **39** (484), 59-60.
- 大森房吉, 1922b, 東京の強震, 地学雑誌, **34** (401), 285.
- 大森房吉, 1922c, 東京にて感じたる激震強震の強震計記録図, 東洋学芸雑誌 (学芸), **39** (489), 2-5.
- 大森房吉, 1922d, 大正十一年四月二十六日強震に関する件, 東洋学芸雑誌 (学芸), **39** (489), 152.
- 大森房吉, 1922e, 震源位置測定の方法, 東洋学芸雑誌 (学芸), **39** (491), 42-46.
- 大森房吉, 1922f, 地震動の強さ及震害に就て, 鉄道省大臣官房研究所業務研究資料, **10**, 153-.
- Omori, F., 1922g, On the Severe Earthquake of Dec. 8, 1921, *Seismological Notes*, **2**, 1-21.
- Omori, F., 1922h, The semi-destructive earthquake of April 26, 1922, *Seismological Notes*, **3**, 1-30.
- 大竹政和, 1980, 関東・東海地域のテクトニクスの統一モデルと南関東直下の地震の発生メカニズム, 防災科学技術, **41**, 1-7.
- 佐々木康・松本秀應・桑原徹郎・瀬古育二, 1988, 千葉県東方沖地震の被害, 土と基礎, **36** (12), 5-11.
- Sato R. and M. Matsu'ura, 1974, Strains and tilts on the surface of a semi-infinite medium, *Journal of Physics of the Earth*, **22**, 213-221.
- 瀬川秀恭・山本明夫・金子史夫・吉村正義・田中 宏, 1988, 1987 年千葉県東方沖地震における地震動分布, 地震学会講演予稿集, **1**, 270.
- 渋谷和雄, 1974, 関東地方の地殻マントル構造について, 東京大学理学系大学院修士論文.
- Shimazaki K., 1971, Unusually low seismic activity in the focal region of the great Kanto earthquake of 1923. *Tectonophysics*, **11**, 305-312.
- 鈴木尉元, 1990, 千葉県東方沖地震の発生機構について, 地質学論集, **35**, 11-18.
- 武尾 実, 1985, 非弾性減衰を考慮した震源近傍での地震波合成一堆积層での非弾性減衰の効果について一, 気象研究所研究報告, **36**, 245-257.
- Takeo, M., 1987, An inversion method to analyze the rupture processes of earthquakes using near-field seismograms, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **77**, 490-513.
- 武尾 実・関田康雄, 1988, 1987 年房総半島沖地震の震源過程, 地震学会講演予稿集, **1**, 18.
- 田中大作, 1922, 大正十一年四月二十六日の地震に依る神奈川懸下に於ける震災被害調査報告, 建築雑誌, **36** (432), 1-8.
- 田中耕平・森脇 寛, 1988, 千葉県東方沖地震災害調査報告, 斜面崩壊の発生状況, 国立防災科学技術センター, 主要災害調査, **29**, 29-47.
- 陶野郁雄, 1988, 1987 年千葉県東方沖地震で生じた液状化現象とその特徴, 基礎工, **16** (5), 101-107.
- 陶野郁雄・遠藤邦彦・千葉達朗, 1988, 1987 年千葉県東方沖地震で生じた液状化現象, 日本地質学会学術大会講演要旨, **95**, 403.
- 陶野郁雄・社本康広, 1988a, 1987 年千葉県東方沖地震で発生した液状化現象の特徴, 日本応用地質学会講演論文集, 5-8.
- 陶野郁雄・社本康広, 1988b, 1987 年千葉県東方沖地震で見られた東京湾岸埋立地の液状化現象について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B, 構造 I, 1988, 989-990.
- 東洋学芸雑誌 (学芸), 1922, 安房国北条に於ける大正十一年四月二十六日の強震の損害, 東洋学芸雑誌 (学芸), **39** (489), 153-154.
- 坪井忠二, 1967, 「新・地震の話」, 岩波書店, 211pp.
- 津村建四郎, 1970, 地殻構造を考慮した震源の図式決定の一方法, 地震研究所彙報, **48**, 1137-1143.
- 津村建四郎, 1973, 関東地方の微小地震活動, 関東大地震 50 周年論文集, 67-87.
- 津村建四郎, 1974, 関東地方の地震活動一微小地震活動を中心として一, 垣見俊弘・鈴木尉元編「関東地方の地震と地殻変動」ラティス刊, 227-249.
- 角田史雄, 1988, 1987 年 12 月 17 日千葉県沖地震の高密度震度分布とその地質学的解釈, 地震学会講演予稿集, **2**, 197.
- Uchida, N., J. Nakajima, A. Hasegawa, and T. Matsuzawa, 2009, What controls interplate coupling?: Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone, *Earth Planet Sci. Lett.*, **283**, 111-121.
- 打木弘一・応用地質研究会, 1988, 千葉県東方沖地震による成東・東金周辺地域における斜面崩壊, 日本地質学会関東支部シンポジウム「千葉県東方沖地震一地震災害の実態から今後の防災を考える一」講演要旨集, 35-40.
- 宇佐美龍夫, 1973, 関東地方の古い地震震央位置の範囲, 関東大地震 50 周年論文集, 1-12.
- 宇佐美龍夫, 1976, 新資料による安政江戸地震の調査, 東京大学地震研究所彙報, **51**, 209-230.
- 宇佐美龍夫, 2003, 「最新版・日本被害地震総覧・416-2001」, 東京大学出版会, 605 pp.
- 牛山高見, 1922a, 12 月 8 日夜千葉縣印旛沼附近の小破壊の地震に就きて, 気象集誌, **41**, 4-13.
- 牛山高見, 1922b, 初動微動時の比を用ひて震源を求むる作図一附大正十年十二月八日夜東京強震の震源につきて, 気象集誌, **41**, 114-119.
- Ushiyama, T., 1922c, On the Destructive Earthquake near Tokyo on the night of 8th, December 1921, *Seism. Bull. Cent. Met. Obs., Japan*, **1**, No.1, 36-38.
- 宇津徳治, 1979, 1885~1925 年の日本の地震活動一M 6 以上の地震及び被害地震の再調査一, 地震研究所彙報, **54**, 253-308.
- 宇津徳治, 1989, 日本付近の M 6.0 以上の地震および被害地震の震度分布図 (1901~1926 年), 東京大学地震研究所, 278

- pp.
- Wessel, P. and W.H.F. Smith, 1991, Free software helps map and display data, *EOS Trans. AGU*, **72**, 441.
- 山辺克好・藤田朝浩, 1988a, 千葉県東方沖地震の被害調査 (屋根瓦の被害と墓石の転倒との関係), 地震学会講演予稿集, **1**, 271.
- 山辺克好・藤田朝浩, 1988b, 千葉県東方沖地震の被害調査 (屋根瓦の被害と墓石の転倒ならびに地盤性状との関係), 日本建築学会学術講演梗概集, B, 構造 I, 1988, 321-322.
- 山田尚幸, 1988, 体積歪計で観測された 1987 年 12 月 17 日千葉県東方沖の地震, 地震学会講演予稿集, **1**, 66.
- 山田尚幸・佐藤 馨, 1988, 千葉県東方沖の地震に伴った体積歪計の記録について, 験震時報, **52**, 25-38.
- 保田柱二, 1922a, 大正十年十二月八日夜強震の余震, 東洋学芸雑誌, **39 (484)**, 60.
- Yasuda Ch., 1922b, List of the After-shocks of the Strong Earthquake of Dec. 8, *Seismological Note*, **2**, 22-23.
- 保田柱二, 小平孝雄, 1938, 東京地震観測 (明治 5 年 9 月-大正 12 年 12 月), 震災予防評議会, 107pp.
- 吉田明夫・草野富二雄・細野耕司, 2001, 千葉県東方沖地震について, 月刊地球, 号外, **34**, 38-50.
- 吉田明夫・佐藤興平, 1995, 地震活動と地質構造 (2) 一余震分布の非対称性一, 地質ニュース, **486**, 27-39.

(Received November 18, 2009)

(Accepted January 4, 2010)

付録 A. 12月8日夜千葉縣印旛沼附近の小破壊的地震に就きて 〔牛山(1922a)による〕の現代語訳

Appendix A. Destructive earthquake around Inba-numa of the Chiba prefecture on 8, December from Ushiyama (1922a).

(本震発生時、私は病気であったために観測研究ができなかったが、後日の国富技師ならびに佐藤技手の好意によって本文を記述する)

大正10年12月8日夜11時31分38.9秒(中央気象台発震時)に強震が発生し、その震源付近の地方においては道路・壁・塀の亀裂、土地の小亀裂または床の小段差などの被害が発生し、震動も少し強かったようである。東京においても初動からその初期微動の震動を明瞭に感じ、主要動に入って少し強く揺れ、窓ガラスなどが小破損したところもあった。近年、この程度の地震としては大正7年11月11日の信州大町地震及び、翌大正8年10月1日の備後三次町付近の地震などがあり、いわゆる小破壊的地震とも言うべき程度のものである。

震源

普通のように震源をどこかと想像してみれば、数学上の点のようにこの程度の地震において、単に地表に現れた現象のみに基づいて狭義の震源を決定することはあってはならない。それ以上に、時々でも我々は、震源がかなりの面積を有するように思える場合もあってはならない。各測候所からのご好意により、それぞれの地震記象紙を基本として震源決定すると、大体千葉県下の印旛沼・手賀沼付近の湖沼地帯の地下を中心として発生したようである(初期微動継続時間のベクトルの長さを弧として、平面幾何学的解法によって震源を的確に決定しようとする方法は核心をついたものではない。地殻は元来一様で純粋な弾性体であるはずはなく、一箇所で発生したある衝撃は吸収・複屈折・反射などの複雑な干渉を受けるはずであり、それ以上に、岩石中における波の伝播は必ずしも全く等加速度ではなく、更に地殻内部の圧力の相違も加わるので、この問題が困難であるのは当然である)

初動の方向

各測候所の記象紙の初動方向から見れば、この地震は図のように大体その南東側の下総・常陸などの一部と、これに相対する上野・信濃地方の北西側は震央から離れる方向に動き、これと互いに直行する北東側及び南西側の東海道地方においては共に震央に向かって動いた。

本州地形と今回の地震との関係

前記の初動方向に基づいて憶測をすると、本州のこの地方の地下の割合深くない地殻は、その地形図の示す図形と似ており、常に房総半島及び信越地方もしくは能登半島の両方面へ押し出されようとする圧力を受けている。そのため本州の東北地方と今回の震源以西の地からある圧力を受けて、このエネルギーが次第に蓄積され、遂にある極限に達して今回の地震となり、一時に解放されたものであろう。(他に種々の副因も加わったであろうが)つまり、この地方の地形には、今回の地震と離して考えることができない密接な関係があつて、更に推測すると震央も非常に深い地下内部ではないであろう。

測候所の観測

各測候所はご好意により、速やかに次の報告をされた(表3)。

この地震の震源地へ出張調査された国富技師・佐藤技手・澤田雇員の調査報告は以下のとおりである。

(前略)千葉県印旛郡本埜村中根の岩井辰雄方の土蔵が間口3間(約5.5m)、奥行き2間(約3.6m)にわたって破損し、その他2箇所が破損した。同村の道路で長さ3間、幅1分(約0.3cm)の亀裂、同村内で5間(約9.1m)、幅3分(約0.9cm)の亀裂が発生し、また石碑の転倒があつた。我孫子町の酒造業秋谷国蔵方の大樽4本で漏出があり、市原郡八幡町の鈴木啓助方の土蔵で屋根が崩落し、香取郡小御門村名古屋の澤田惣平方で土蔵のレンガが8割ほど崩落し、佐原町の瀬戸物屋で損害があつた。(中略)千葉市本町1丁目の川崎銀行の壁に亀裂があり、本町1丁目の国松眞二郎宅の石灯籠、本町2丁目金子キン宅の石灯が転倒したとのことで、早速同所へ赴き調査しました。川崎銀行は関支店長の案内で内部を見ましたが、南北に走る壁は全て多少の亀裂があつて、東西方向の壁も所々に少々亀裂が見受けられました。特に南西隅の壁は破壊されていました。

次に国松氏宅の石灯籠は全部で6個あり、そのうち1個は本宅に、その他の5個は少し離れた別宅にありました。その5個のうち1個は蔦がからんでおりましたが、完全に倒れて基石から南東に横になっていました。ま

た、本宅の 1 個は基柱を残して南 20 度東へ倒れ、別宅のうち 1 個は西 30 度北へ頭だけが倒れていました。全体として倒れたものは主要動によるもので、頭だけが倒れたものは初動によるものと推定しました。この他に被害は所々でありましたが、全てビン類の転倒したものであり、痕跡はないとのことで見ませんでした。話によると全て北東と南西の方向に動いたような形跡がありました。

次に成田に行き、元吉署長に面会して被害の模様を聞きました。新勝寺境内の石灯籠の 1 個で頭だけが櫃の大きさのものが西の方へ落下したとの巡査の話でしたが、既に復旧したとのことで見ていません。その他、物産陳列場の壁に少々の亀裂があるそうでした。更に成田線小林停車場に行って河野巡査部長の案内で、南 1 里（約 3.9 km）にある本埜村龍腹寺の道路の亀裂を見ましたが、北西は山で南東は崖、道路は爪先上（少しずつ上りになること）に北東に走っています。幅 1 寸（約 3 cm）足らず、長さ 5 尺（約 1.5 m）くらいに 2 箇所亀裂がありました。その他、崖下の家屋の屋根が全て南南東側へ落ちたような破損がありました。

要するに、初動方向は千葉町では南東に向かって、龍腹寺では東南東に向かって動いたように推定されます。

この他、岡田博士は布佐木下方面に亀裂があるとのお話でしたが、河野部長はまだその報告を受けておらず、場所も夜になって判明しなかったのもそのまま帰京致しました。以上のように、亀裂の方向や器物の転倒方向から推定される初動方向は、今までの各測候所の報告と良く一致しています。なお、銚子測候所では 11 日夜までに 54 回の余震を記録していました。

12 月 17 日茨城県龍ヶ崎付近に出張調査した本台の国富技師の概報

宇野水戸測候所長の好意によって、12 月 17 日に本台の佐藤技手とともに茨城県龍ヶ崎付近に出張調査した概況を報告する。茨城県北相馬郡南中島付近の墓地において石碑が転倒したもの北東へ 1 基、地藏尊の転倒したものの北北東へ 1 体、全て台石の方向に従って倒れた。紅葉内付近の墓地における石碑の転倒は南南西へ 11 基、北北東へ 3 基であった。道仙田付近の墓地における墓石の転倒は東へ 2 基、西へ 5 基、南へ 3 基、北へ 6 基、全て台石の方向に従って倒れた。北文間村長沖の墓地では、1 尺 6 寸（約 48.5 cm）四方、長さ 3 尺 8 寸（約 115.1 cm）、頭蓋の四方 2 尺 6 寸（約 78.8 cm）の墓石が北 25 度東へ転倒した。これは今回の地震で倒れた墓石中で最大のものであり、同所においてこの石塔と正反対の向きへ小さ

い墓石 4 個が転倒した。また、北文間郡豊田の西から微かに北の方角に向かって流れる小川に沿った道路に亀裂があったが、修理した後であった。しかし、その道路に沿った田地の中に数条の亀裂があって、しかも砂を噴出した形跡があった。その道路に沿ったものは長さ 9 間（約 16.4 m）、亀裂の幅 5 寸（約 15.1 cm）で北東側へ約 4 寸（約 12.1 cm）低下していた。また、中央部に亀裂の幅 2 寸（約 6.1 cm）、長さ 15 間（約 27.3 m）のものが北西から微かに東の方角に向かって走り、北東側が約 3 寸（約 9.1 cm）低下していた。推測するに、この土地の震動はこの亀裂に垂直の方向に来て、小川に向かって地盤が崩落したために生じた亀裂であり、断層とは意味を異にするものであろう。土地の人に聞くとところによると、この地は地盤が極めて脆弱で地下約 3 尺（約 91 cm）で砂地になるとのことである。

熊谷測候所報告

本震は、ちょうど無線電信によって時計を調整して間もない時に発生したもので、本所における発震時刻は正確である。そして、その初動は大きかったため、当所の普通地震計は初期微動から主要動の途中までを完全に記録したが、最大動は東西動のみしか記録することができなかった。南北動及び上下動は振り切れたため計れなかった。検測すると第 1 初期微動（大体、全振幅が 0.5 mm、周期 1 秒以内）が 5 秒半継続し、継いでこれとはかなり明瞭に区別することが可能な相を有する第 2（？）初期微動（大体、全振幅が 1.5 mm、周期が 1.5 秒程度）が 4 秒半継続して大振幅の主要動に入った。上下動成分にもこの形跡があり、微動の総継続時間は 80 秒であるが、2 つの相に分かれている。近距離地震にて初期微動が第 1・第 2 に区別されることには何らかの理由がないはずはない。初動の方向は少し鮮明さを欠くものの、その次の震動方向は大体南東である。ここで、第 1 初期微動の方向と継続時間 5.5 秒を大森博士の震源距離公式に代入すると 41 km となり、また今村博士の公式に代入しても 41 km である。次に全継続時間 10 秒を代入すれば、これもまた両式とも 74 km 強となる。熊谷から南東方向へ向かって 41 km の地点といえば本県（埼玉県）南埼玉郡粕壁町付近となり、74 km の地点といえば千葉県印旛沼・手賀沼付近となる。後者については中央気象台調査の結果、同地方における震度が大きく震央地と考えられることを発表した。しかしながら前者、つまり粕壁付近においてはどうかとの考えを確かめるため、当所において同地方を踏査の結果、千葉県地方よりも震度が一層強烈であることを発見した。（後略）

銚子測候所報告

8日午後9時31分36秒、千葉県下全般にわたって強震が発生し、家屋を揺り動かして人を非常に驚かせ、本所の微動計・地動計の全ての描針を円筒外に飛び出させたが、上下動微動計と強震計は振り切れずに完全に記録した。(中略)上記に依れば、震源の方向は全て一致したが、距離については初期微動継続時間の不明なものがあって、震央を推定するには苦しむところである。判明した記録の地動計及び上下動微動計また強震計からの距離に依れば、震央は70km離れた手賀沼付近となるが、東京地震学教室及び水戸測候所の検測を採用し、三角形の位置から図を画いて交差する点を求めると、香取郡の北部に当たる。なお、実地踏査の上で報告する。

横浜測候所報告

(前略)8日午後9時31分46秒の震源は鹿島灘で、横浜では時計が停止した。(中略)以上の諸地震の震源が、何れも海中でないものがないのも一つのすぐれた点というべきである。横浜においては12月8日夜から9日正午までに9回の地震を感じた。その中でとりわけ、最初に発生した8日午後9時31分46秒の地震は近頃で最大のものであり、上下水平両動が同時に発生し、上下動は最初から比較的大きく直ちに主要動になったが、水平動は初期微動約3秒で主要動となり、発震後10秒で震動が急に大きくなって南北の描針は記象紙外に振り切れた。この頃から上下水平両動ともに大きくなり、水平動の南北の描針は震動中に記象紙外に振り切れること前後3回、上下動の描針は2回振り切れた。しかしながら、記象中において観測できた最大動を挙げれば、水平動は発震後22.5秒に西北西-東南東の方向に1.01秒につき38mmの振幅を観測した。上下動は少し遅れて発震後26.25秒に10.2mmの振幅を観測した。水平動の主要動は2分20秒、上下動の主要動は2分4秒に及び、その総震動時間は水平動3分37秒、上下動2分47秒であった。水平動の東西の描針が20~30mmの震動を示した時間は1分近く、上下動が5mm前後の震動を示した時間は1分に及んだ。この前震の後に発生した有感地震を挙げれば以下のようなものである。

8日午後9時43分50秒

同10時36分39秒

同10時51分2秒

9日午前1時37分11秒

同午前3時47分56秒

同4時29分37秒

同9時56分8秒半

同10時39分24秒半

この地震の震央は鹿島沖にあるようである。

千葉県東葛飾郡布佐町松永譲氏から国富技師への報告

8日午後9時32分の強震は最初水平動で、続いて上下動が数回あり、また水平動に移り震動が激しく、方向は西から東に動き9時36分に停止した。その後、9時40分の微震は水平動3秒間で方向は不明、10時の微震は水平動6秒間で東西方向に動いた。10時38分に微震が発生し、水平動は12秒間で東西に動いた。11時1分に微震が発生し、水平動は10秒間で東西に動いた。時計は9時33分に止まった。電灯は布佐町で全部消えた。9日午前0時9分9分に微震が発生し、北西より水平動6秒間、その後0時21分に微震、1時38分に微震、3時50分に微震、4時11分に微震が発生した。全て水平動は5秒以下で方向は北西よりであった。午前10時41分に微震あり。布佐町2丁目と3丁目の境にある半月形のような約1坪半の地面が4~5寸(約12.1~15.2cm)陥落した。この土地は52~53年前に利根川の堤防が破壊し、水勢のために土砂が流れて池のような水溜りがあった。その水際から約2間(約3.6m)堤防の方へ離れたところは地盤が軟弱な箇所である。ただ窪んだばかりで棚の物が落ちた家もあり、花瓶の水は5~6寸(約15.2~18.2cm)離れた北西の方へ勢いよく流れた。

宇都宮測候所報告

午後9時32分7秒の震度強(弱き方)の地震では、宇都宮においては時計が止まり、電灯の故障その他の多少の被害が発生したが、人・家畜に変わった様子はなかった。芳賀郡祖母井村の宝積寺銀行支店の屋根瓦が2間(約3.6m)落下し、同村の農家大関吉次郎所有の石屏が約1間(約1.8m)にわたって倒潰した。また、河内郡竹林で壁瓦の落下があったが、いずれも人・家畜に被害はなかった。下都賀郡小山町では約1分間にわたる強震が発生し、置時計は止まり、道具が飛び出し、障子は外れ落ち、同10時30分、同11時ごろ前後3回に地震があり、近年にはない強震であった。安蘇郡佐野町では突然地震があり、震動は2~3分にわたり、柱時計が止まった。古老の話に依れば、50年間で経験したことがない強震であったとのことである。下都賀郡栃木町では約3分震動し、戸外に飛び出す者がいた。上都賀郡足尾町では震動が約5分にわたる強震があり、老人の話に依れば50年間で未曾有の強震であったとのことである。

普通地震計の数値

今回のような少し強い程度の地震においては、高倍率地震計では振り切れて完全に記録できることが少なく、強震計あるいは普通地震計は最初から明らかに各相を記録し、最も貴重な材料となることがわかった。従って、現在の普通地震計を少し改良して活用すれば、今回の地震程度以上の有事の際に最も効果を発揮するものであると信じる。

最後にこれを記すに際して、種々のご教授と貴重な材料を揃えられた国富技師・佐藤技手・澤田雇員及び各測候所のご好意に感謝する。さらに後日詳しく調査して誤りを正そうと思う。(中央気象台地震津波掛室にて)

本文を書き記した日の夕方、つまり 21 日午後 5 時 4 分 48 秒にまた東京において性質が緩やかな微震を感じた。これは前記の余震ではなく、下野北方国境那須山付近で発生したものである。

付録 B. 大正十年十二月八日夜の東京強震に関する件 〔大森 (1922a) による〕の現代語訳

Appendix B. Destructive earthquake in the Tokyo Metropolitan area on 8, Dec., 1921 from Omori (1922a).

大正 10 年 12 月 8 日午後 9 時半ごろ、東京市及び下総北部、霞ヶ浦付近一帯にわたって強震があり、多少の被害が生じた。以下に本郷における調査の結果を掲載する。

東京における発震時は午後 9 時 31 分 41 秒で、震動は非常に強かったものの、その性質は緩慢であり最初に鳴動を伴うこともなかった。地震の初動は、明瞭に南 15 度西に向かって、同時に上方(押し)に動いたもので、その震源は反対の方向にあることになる。初期微動継続時間が 8.8 秒であるから、その震源距離は約 65 km となる。つまり、東京から北 65 度西の方向に約 16 里(約 62.8 km)に当り、霞ヶ浦南方の地域を震源とする。震源の深さは約 29 km つまり約 7 里である。

微動計の観測によると、震動の総継続時間は 2 時間に及んだが、有感時間は約 3 分間であった。最大地動は約 58 mm つまり 1 寸 9 分に達した。安政二年十月二日

(1855 年 11 月 11 日)の江戸地震以来、東京において最も強い震動は明治 27 年 6 月 20 日の激震(明治東京地震)で、東京市内で死傷者 150 人の被害が生じ、本郷において最大地動は 2 寸 4 分(約 7.2 cm)に達した。次いで、翌明治 28 年 1 月 18 日に常陸南部及び下総北部地方で強震があったが、それ以降においては今回の地震が 20 数年以来で最も強かった。今回の地震も明治 28 年の地震とほぼ同一地方に関係して同形式の変動であり、この地方で発生する強震はだいたいこの程度が上限となり、格別の破壊的大地震にはならないと信頼できる。

この地震後にやや頻繁に余震が発生し、別項に調査の結果を掲載する。余震がやや頻繁であることは震源付近の地殻が通常の状態に復帰しつつあることを示すものである。もし強震が発生した後に余震が少なければ、かえって強震が再発する恐れがある。

付録 C. 東京の強震〔大森 (1922b) による〕の現代語訳

Appendix C. Destructive earthquake in the Tokyo Metropolitan area from Omori (1922b).

大正 11 年 4 月 26 日午前 10 時ごろに東京を襲った地震に関して、東京帝国大学構内における観測によると、発震時刻は午前 10 時 11 分 41 秒で、初期微動継続時間は 10.6 秒であった。これから計算すると震源距離は約 79 km となる。震動は非常に強く、主要部(S 波到達)となってまず南 65 度東に向かって 40 mm (1 寸 3 分)動き、その反動は 67 mm (2 寸)に達した。往復の振動周

期は 2.4 秒であり、これから計算すると地震動の強さ、つまり最大加速度は 1 秒につき約 233 mm となる。これは昨年 12 月 8 日夜の地震(1921 年茨城県南部の地震、龍ヶ崎地震)と同程度のものである。初動は判然と南微東に向かい、同時に下方動(引き)を伴ったことから、震源は東京からほぼ真南の方向 20 里(約 78.5 km, 1 里は約 3.927 km)弱の距離、つまり浦賀水道付近にあるも

のと推定される。地震は約3分間にわたって有感であったが、微動計の観測によると総継続時間は約25分であった。大地震であれば2時間以上も地動が継続することがあり、今回の地震は大地震の性質を含むものではない。昨年12月8日夜の地震も、今回の地震も共に東京より14・15～20里の距離を隔てた地震区域に属し、安政二（1885）年江戸地震、明治27年の東京激震（明治東京

地震）などのような東京付近の地域、つまり武蔵平原、東京湾などの低地域に属するものとは全くその系統を異にするものと認めることができる。今後、東京付近が活動したならば、多少破壊的な地震を起こすことがあるはずだが、現在はまだこのような状況には達していないと考えられる。