

元禄関東地震の断層モデルと外房における津波

産業技術総合研究所 活断層研究センター* 佐竹 健治†・宍倉 正展・行谷 佑一

国際航業株式会社 防災情報部‡ 藤 良太郎・竹内 仁

Fault Models of the Genroku (1703) Kanto Earthquake and Tsunamis along the Eastern Coast of Boso Peninsula

Kenji SATAKE[†], Masanobu SHISHIKURA, Yuichi NAMEGAYA

Active Fault Research Center, AIST, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, 305-8567 Japan

[†] now at Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0032 Japan

Ryotaro FUJI and Hitoshi TAKEUCHI

Kokusai Kogyo Co., Ltd., 2-24-1 Harumicho, Fuchu, Tokyo, 193-0057 Japan

The Genroku (1793) Kanto earthquake caused coseismic uplift and tsunami damage, but their amounts are different from those of the 1923 Kanto earthquake in the Boso peninsula. Damage due to the Genroku tsunami was documented in numerous memorial monuments on the Kujukuri coast. We compute tsunami heights around Boso peninsula and tsunami inundation on the Kujukuri coast from nine fault models previously proposed for the Genroku Kanto earthquake. The comparisons indicate that additional fault, either south or southeast off Boso peninsula, is needed to explain the heavier tsunami damage and large inundation on the Kujukuri coast.

Keywords: Genroku Kanto earthquake, tsunami, Boso peninsula, Kujukuri coast.

§1. はじめに

元禄十六年十一月二十三日(1703年12月31日)の元禄関東地震は、房総半島や三浦半島に地殻変動を生じ、津波の被害ももたらした。元禄関東地震による三浦半島や相模湾における地殻変動や津波の高さは、1923年大正関東地震によるものと似ていた。一方、房総半島南端における地殻変動量は、大正関東地震に比べて大きく、明瞭な海岸段丘(沼IV面)を形成している(Matsuda et al., 1978; 宍倉, 2003 など)。また、南房総や外房における津波も、大正関東地震よりも大きかった(羽鳥・他, 1973)。

これらの地殻変動・津波を説明すべく、これまでに元禄関東地震の数多くの断層モデルが提出されている。本研究では、既往の9つの断層モデルについて、房総半島周辺での津波の高さ及び九十九里浜における浸水域の計算を行ない、歴史記録から推定されている津波高や浸水域と比較した。

§2. 元禄関東地震の津波

元禄関東地震による各地の津波の高さについては、羽鳥・他(1973)が、大日本地震史料(第2巻)に基づいて推定し、1923年大正関東地震による津波の高さ

と比較した(図1)。相模湾沿岸では両者はそれほど変わらないが、外房沿岸での津波高さは、元禄関東地震によるものが大正関東地震の約3倍であった。

九十九里浜では、元禄関東地震津波によって大きな被害が発生した。中でも、現在の白子町では1000人を超える死者が出た。同町の南白亀川周辺には低地が広がっており、津波の被害が大きくなっらしい(古山, 1984)。『池上誠家文書』「一代記 付り津波の事」(新収日本地震史料第2巻別巻)には

上総九十九里ノ浜二打カクル海ギワヨリ岡江一里計打カケ潮流ユク事ハ一里半ハカリ数千軒ノ家壊流数万人ノ僧俗男女牛馬鶏犬マテ尽ク流溺死スと書かれており、津波が当時の海岸線から1~1.5里も浸水したことがわかる(古川, 1984)。また、南隣の長生村でも900人以上が犠牲となっている(古山, 1984)。これらの集落では、多くの慰霊碑が建てられており(表1)、それらの中には、津波による被害が発生した場所に建てられたという伝承があるものもある(古山, 1996)。都司(2003)は、集落別の流出分布をまとめている(表2)。これらの地点の地盤高は多くが3m以下である。

* 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

† 現所属 〒113-0032 東京都文京区弥生1-1-1 東京大学地震研究所 satake@eri.u-tokyo.ac.jp

‡ 〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1 5F

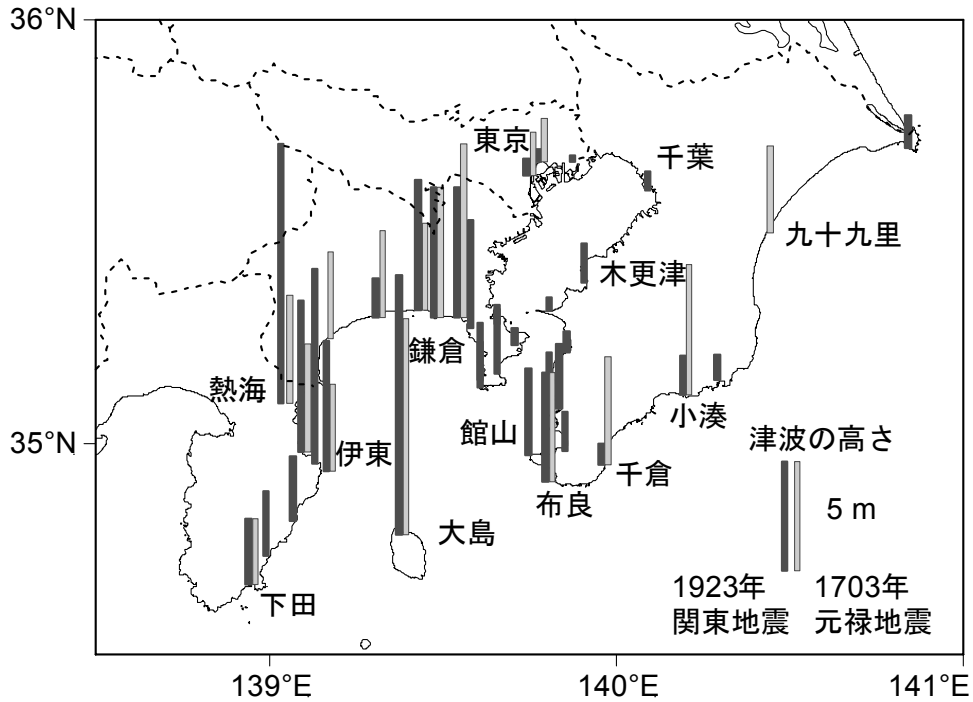


図1 1703年元禄関東地震と1923年大正関東地震の津波の高さ。羽鳥・他(1973)による。

Figure 1 Tsunami heights from the 1703 Genroku and 1923 Taisho Kanto earthquakes, based on Hatori et al. (1973).

表1 九十九里浜における慰霊碑などの位置。

Table 1 Locations of tsunami memorial monuments

番号	名前	緯度 (35°)		経度 (140°)		地盤高 m
		分	秒	分	秒	
1	千人塚	36	39	30	23	1.5
2	地藏堂地蔵尊・供養碑	34	16	28	37	2.6
3	百人塚	33	22	27	43	2.4
4	弱鬼供養塔	31	59	26	50	1.6
5	津波供養塔	30	57	25	37	1.7
6*	浄泰寺供養塔	30	48	24	59	1.9
7*	等覚寺供養塔	29	58	24	57	1.4
8, 9*	真光寺碑	27	51	22	50	1.6
10	精霊供養碑	28	00	23	22	1.4
11	津浪代様	26	55	23	5	1.4
12	無縁塚津波精霊様	25	34	22	21	1.9
13*	鷺山寺元禄供養塔	25	47	16	56	13.5
14-19*	教応寺供養碑 1~6	24	57	22	35	2.7
20-26*	深照寺供養碑 1~7	24	54	22	25	3.3
27, 28*	本従寺供養碑	24	37	22	23	3.5
29-31, 35*	本興寺津波供養塔・大位碑	23	50	22	1	3.1
32, 33*	蓮華院供養塔	23	44	22	2	3.3
34*	久成院供養塔	23	39	21	59	3.8
36	浪切地蔵	20	54	22	37	7.7

*は寺内にある供養碑を表す。古山(1996)による。

表2 元禄津波による被害があった集落

Table 2 Villages suffered by the 1703 tsunami

地名	流出家屋数	緯度 (35°)		経度 (140°)		地盤高 m
		分	秒	分	秒	
蓮沼	107	36	28	30	4	1.7
		36	5	30	46	0.6
		35	54	30	4	2.7
		35	29	29	38	2.7
松が谷	8	35	3	27	39	4.7
井之内	31	33	50	28	9	2.0
片貝	88	32	0	26	24	2.2
粟生	40	31	27	25	36	2.3
不動堂	26	30	44	25	32	1.5
剃金	10	27	34	23	4	0.5
南白亀	77	27	0	24	1	0.3
中里	59	26	2	23	9	1.8
長生村本郷	70	25	4	21	1	5.9
一宮本郷	166	22	20	22	7	3.1
東浪見	1692*	21	7	22	48	6.4

* (地震被害と合算), 都司(2003)による。

本研究では、これらの慰霊碑の位置(表1)と集落の位置(表2)を図2のようにまとめ、津波遡上シミュレーション結果と比較する。



図2 津波慰霊碑(表1)と被害を受けた集落(表2).

Figure 2 Locations of tsunami memorial monuments (Table 1, Koyama, 1996) and villages that suffered tsunami damage (Table 2, Tsuji, 2003).

§3. 津波計算手法

3.1 津波の遡上シミュレーション

元禄関東地震津波の発生・伝播・遡上の数値シミュレーションを行なった。まず、断層モデルによる海底・海岸の地殻変動を、Mansinha and Smylie (1971)の式で計算して、津波発生初期条件とした。津波の伝播は、基本的には非線形長波(浅水理論)で、移流項・海底摩擦項を含む運動方程式と連続の式を差分法で解いた。

差分の格子間隔は外海では 900 m(この範囲のみ線形計算)で、海岸に近づくにつれ、300 m, 100 m, 50 m, 25 m と次第に細かくした。

九十九里浜における遡上計算には、最小の 25 m 格子を用いた。

計算時間間隔は差分法の安定条件を満たすよう 0.5 秒、地震発生から 3 時間の津波伝播を計算した。

3.2 海底と海岸の地形データ

海底地形データは、日本海洋データセンターによってコンパイルされた J-EGG(500 m メッシュデータ)と日本水路協会から提供されている「沿岸の海の基本図」デジタルデータから作成した。

陸上については、海岸から 1 km 以内は国土地理院によって、それより内陸部は千葉県県土整備部によって取得された航空レーザープロファイラーの地形データ(2 m メッシュ)を利用し、現在の地形データを 25 m 格子で作成した。

元禄当時の地形を再現するために、当時はなかった港湾などの人工構造物を除去した。次に、1923 年と 1703 年の関東地震による地殻変動の影響を除いた。さらに、元禄地震当時の汀線は、現在の県道一宮飯岡線付近にあったと推定されている(古川, 1984)ことから、上記の県道の位置(海岸線から約 400 m 内陸)を海岸線(海拔 0 m)とし、現在の海底地形と線形につないだ元禄当時の地形モデルを作成した。現在の海岸線の背後にある海拔 5 m 前後の盛土地形は、取り除かれている(図 3)。

§4. 元禄地震の断層モデル

元禄津波については、これまでに多くの断層モデルが提出されている。

笠原・他(1973)は、2 枚の断層(A,C)からなるモデルを提案した。断層 A は、1923 年関東地震の地殻変動データを説明するためのモデル(Ando, 1974)と同じである。房総半島南端の地殻変動や津波を説明するため、相模トラフに沿う低角(傾斜角 30°, モデル B)の断層と、鴨川沖海底谷沿いの高角(傾斜角 60°, モデル C)の断層とを検討し、A と C の 2 枚からなる断層面で、地殻変動と津波を説明できるとした。以降、このモデルを笠原モデルと呼ぶ。

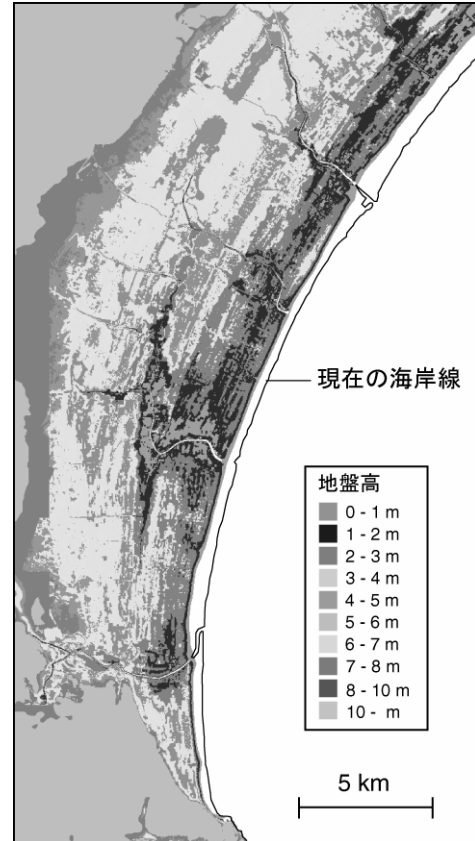


図 3 遡上計算に用いた海岸付近の地形データ。国土地理院と千葉県によるレーザープロファイラーデータに基づき、元禄当時の汀線の位置を考慮して加工した。

Figure 3 Topographic data used for tsunami inundation modeling. Based on laser-profiler data measured by Geographical Survey Institute and Chiba Prefecture, the location of shoreline was moved by 400 m to represent the situation in 1703.

Matsuda et al. (1978)は、3 枚の断層からなるモデルを提案した。断層 A は、やはり 1923 年関東地震と同様であるが、相模湾岸での地殻変動の証拠がないことから、1923 年よりやや小さめとした。断層 B は、房総半島南端の隆起を説明するために、鴨川沖海底谷沿いに高角(傾斜角 70°, すべり量 6 m)の断層を置いた。さらに、外房・三陸や八丈島での津波を説明するために、外房の沖に断層 C(すべり量 7.1 m)を置いた。以降、このモデルを松田モデルと呼び、外房沖の断層を含めない場合(断層 A,B のみ)と含める場合(断層 A, B, C)の 2 通りを検討する。

相田(1991,1993)は、6 つのモデルについて津波シミュレーションを行なった。これらは、松田モデル(GR-1)、笠原モデル(GR-2)のほか、松田モデルの断層 A を 1923 年のものと同程度にしたもの(GR-3)、笠原モデルの断層 A を 2 枚に分け、西相模湾断裂に相当する真鶴沖の副断層を加えたもの(GR-4)、松田

モデルの断層 B と C とを変更したもの(真鶴沖の副断層の無, 有で GR-5,6 の二通り)である. 相田(1991,1993)は房総半島, 東京湾と相模湾東岸, 相模湾西岸, 東海地方の 4 地域での津波高を実測値と比較から, GR-4 が最適であるとしている. すなわち, 津波の観測値からは, 房総沖の大きな断層は不要であると結論した. 外房における津波は GR-2 と GR-4 とでそれほど大きく変化するとは考えられないことから, ここでは, 4 枚の断層からなる GR-5 のみを検討する. これを相田モデルと呼ぶが, 相田(1991, 1993)が最適としたモデルは, むしろ笠原モデルに近い GR-4 であることに注意されたい.

村上・都司(2002)は, 房総半島から四国にかけての津波高さを説明するため, 3 枚の断層からなるモデルを提案した. 断層 A は Matsuda モデルと同じである. 遠地での津波を説明するために, 低角の断層 B, C を導入した. 以降, このモデルを村上モデルと呼ぶ.

宍倉(2003)は, 新たに調査した房総半島南部の

地殻変動量に基づいて, 2 枚の断層からなるモデルを提案した. 断層 A は, Ando(1974)による 1923 年関東地震のモデルと全く同じである. 断層 B は, 保田や小湊周辺での沈降域を説明するため, 低角(傾斜角 20°)の断層とした. これを宍倉モデルと呼ぶ. 外房での津波を説明するために, Matsuda モデルと同様の断層 C を加えたものも検討する.

最後に, 吉田・他(2007)はフィリピン海プレート内で東に傾く地震面に対応する断層 D とフィリピン海プレートの二重沈み込みに対応する断層 B, それに鴨川海底谷付近の分岐断層(断層 C)の 3 枚の断層からなるモデルを提案した. ここでは, これを吉田モデルと呼び, 断層 D, C の 2 枚のみの場合も合わせて検討する.

これらのモデルの断層パラメーターと地殻変動を表 3, 図 4 に示す.

表 3 断層パラメーター一覧
Table 3 Fault parameters

	小断層	東経	北緯	上端	走向	傾斜	すべり角	長さ	幅	すべり量
				深さ						
				km	deg	deg	deg	km	km	m
松田モデル	A	139.9*	34.75*	0*	315	30	153	65	70	6.7
	B	140.2*	34.98*	0*	225	70	90	40	30	6
	C	141.1*	34.53*	0*	300	30	135	100	70	7.1
笠原モデル	A	139.8	34.84	0	315	30	153	85	55	6.7
	C	140.4*	35*	0*	240*	60	90	60	40	10
相田モデル	A1	139.9*	34.88*	5	300*	25	149	60	55	6
	A2	139.3*	35.15*	10	300*	25	153	25	45	8
	B	140.2*	34.98*	1	225*	70	90	40	30	8
	C	141.1*	34.51*	1	300*	30	135	100	70	5.66
宍倉モデル	A	139.8	34.85	0	315	30	153	85	50	6.7
	B	140.4	34.98	0	255	20	90	57	23	12
	C	141.3	34.53	0	300	30	135	100	50	7.1
村上モデル	A	139.6*	34.86*	0*	310*	30	153	60*	56*	6.7
	B	140.2*	34.56*	0*	300*	30	90	64*	41*	6
	C	141.1*	34.38*	0*	290*	30	114	77*	39*	11
吉田モデル	D	139.6	34.67	10	325	40	153	75	50	10
	C	140.3	34.89	1	250	30	90	50	30	10
	B	140.5	34.41	10	250	20	90	50	130	10

*が付いたパラメーターについては, 原文献には明記されていないため, 推定値である.

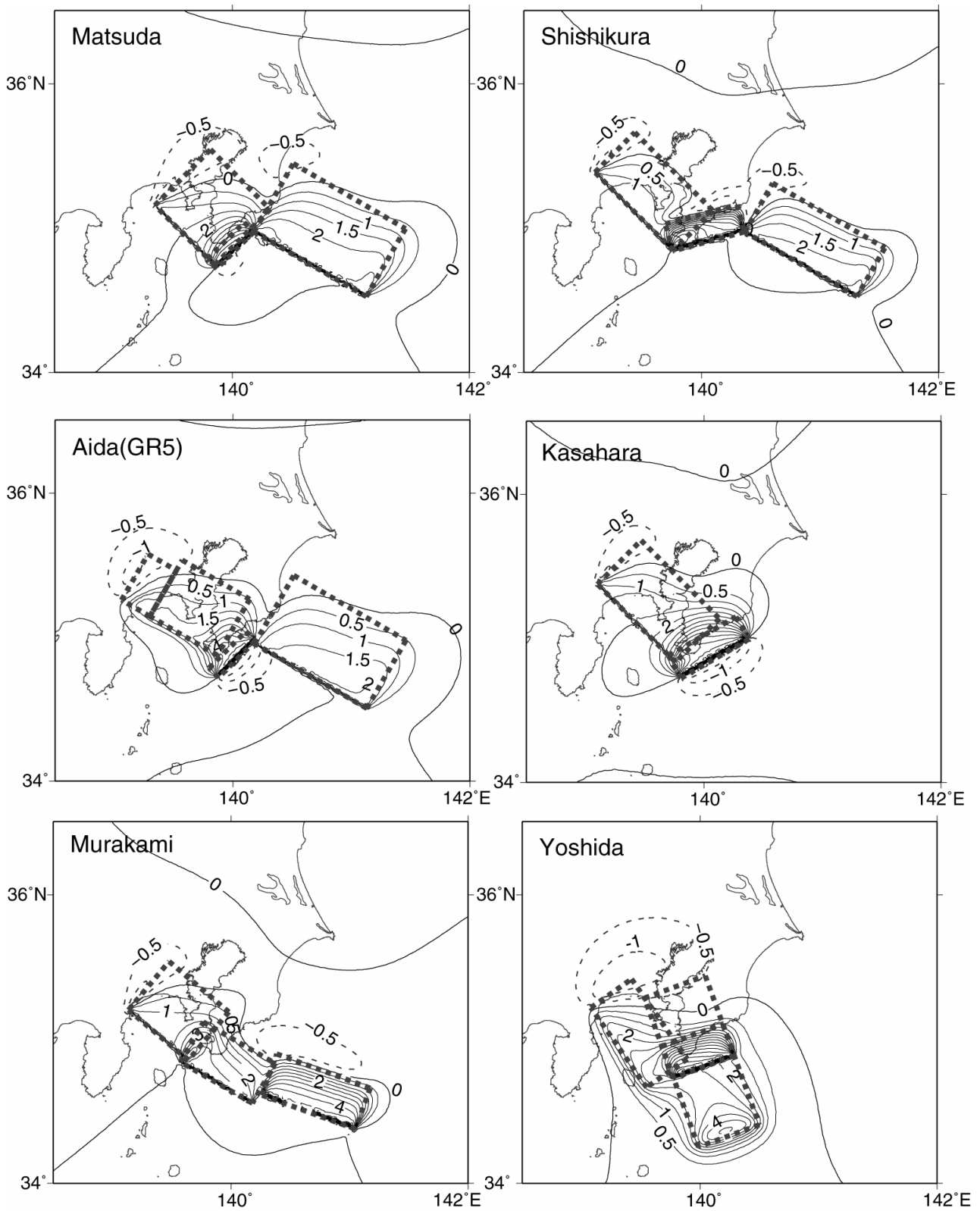


図 4. 6つの断層モデルによる地殻変動.

Figure 4 Ground deformation calculated from the six fault models.

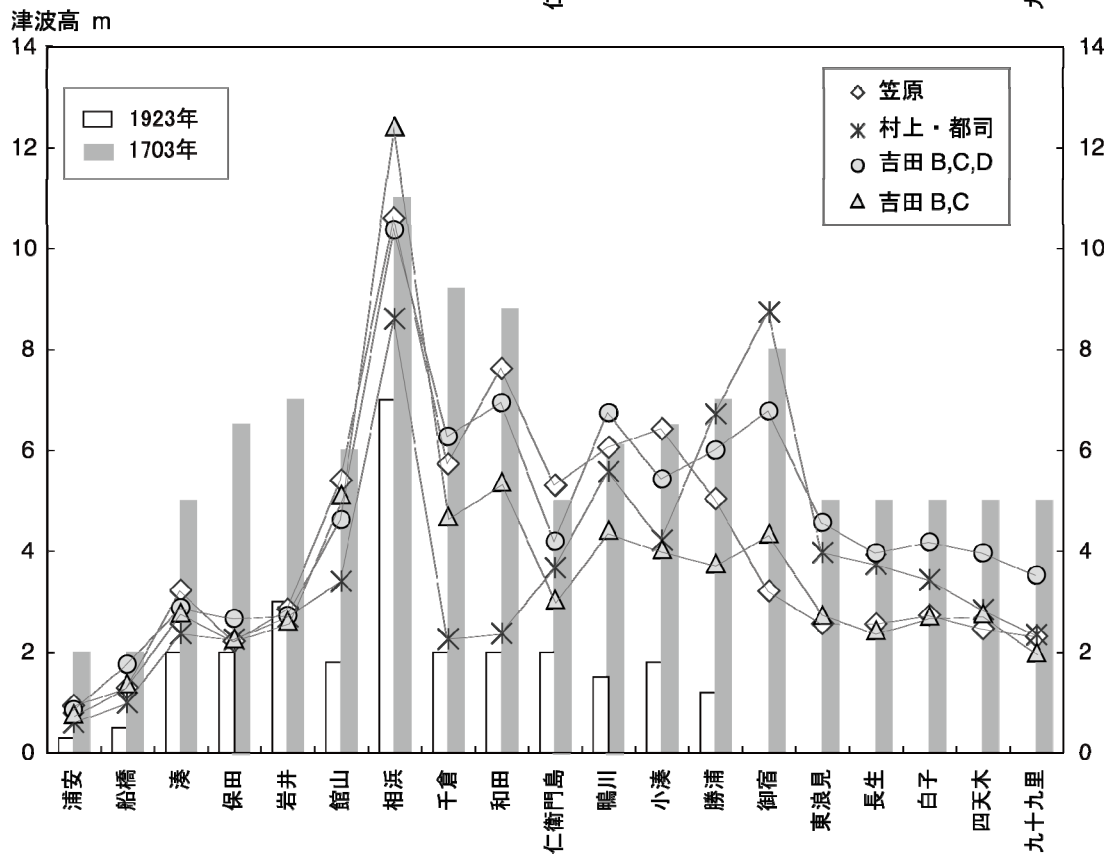
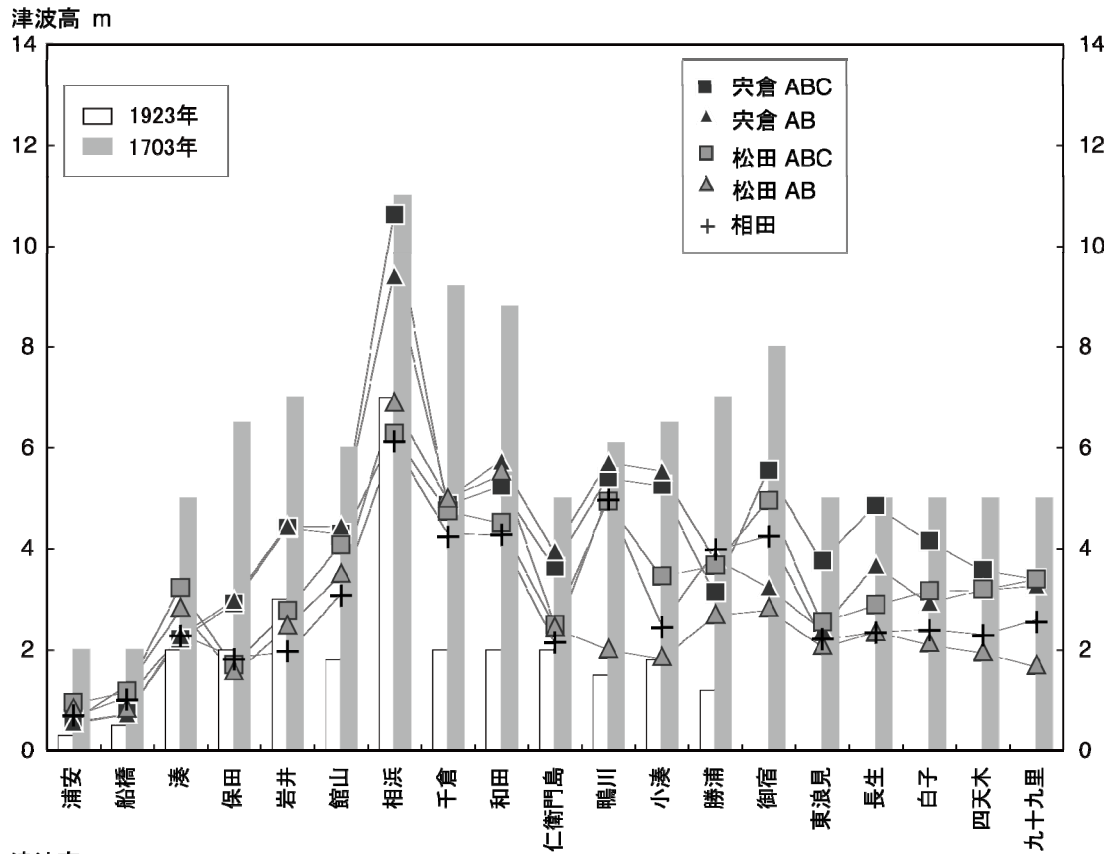


図5 千葉県沿岸における元禄(1703年), 大正(1923年)関東地震の津波高(羽鳥・他, 1975)と各モデルからのシミュレーションによる計算津波高。

Figure 5. Coastal tsunami heights from 1703 and 1923 Kanto earthquakes, and the simulated coastal heights from 9 fault models.

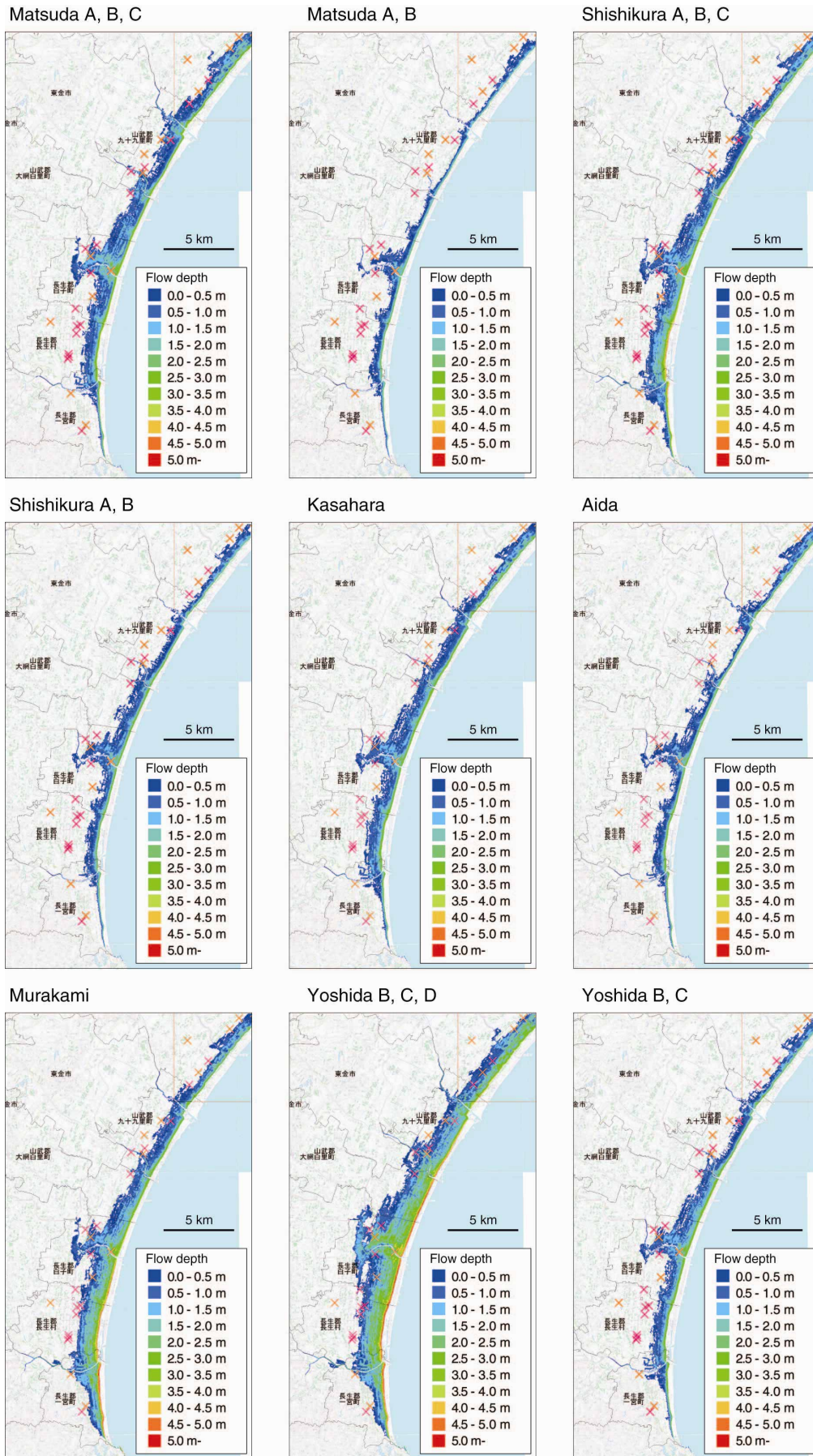


図6 9つの断層モデルから計算された九十九里浜における津波浸水域。
 Figure 6. Inundation area and water thickness above ground level computed from nine fault parameters.

§5. 結果

5.1 千葉県沿岸における津波高の比較

房総半島周辺で元禄関東津波の高さが羽鳥・他(1973)によって推定されている地点について、1923年・1703年の津波高と、9つの断層モデルから計算した津波高さを比較した(図5)。

内房側(浦安～館山)では、モデルによる差は少ない。元禄津波の高さが最大(約10m)であった相浜では、モデルによって6～12mと大きく異なるが、これは地殻変動の影響(図4)が大きい。千倉から九十九里にかけての外房側では、全体的には、吉田モデル(B,C,Dの3枚の断層)や宍倉モデル(A,B,Cの3枚の断層)による津波高が最も高く、実際の値に近い。小湊までの半島南端部では、笠原モデルによる津波高も大きい。御宿以北では相対的に小さくなる。これは、笠原モデルが鴨川沖海底谷に沿った断層(C)を想定しているためと考えられる。一方、村上モデルは千倉や和田で、松田モデルの断層A,Bのみの場合は鴨川や小湊で、津波高は実際に比べてかなり低くなっている。

東浪見から九十九里にかけての九十九里浜では、羽鳥・他(1973)による津波高さは一様に5mと推定されているが、§2で述べたように大きな被害が発生していることから、遡上域で比較する。

5.2 九十九里浜における浸水域の比較

九十九里浜における各モデルからの浸水域を図6に比較する。吉田モデル(B,C,Dの3枚の断層)によるものが最も広く、ほぼ全ての慰霊碑などの位置まで浸水している。村上モデル、宍倉モデル(A,B,Cの3枚の断層)、松田モデル(A,B,Cの3枚の断層)、笠原モデルでは、海岸から1～2kmは浸水する。一方、松田モデル(A,Bのみ)、宍倉モデル(A,Bのみ)、相田モデルでは、南白亀川周辺を除くと、元禄当時の汀線から数百mしか浸水せず、記録されたような大きな被害をもたらすことはないと考えられる。

5.3 断層モデル

元禄関東地震について、これまでに提案された断層モデルから房総半島周辺での津波の高さと九十九里浜での浸水域を計算した。元禄関東地震の断層モデルは、大正関東地震に比べて房総半島南部での地殻変動が大きかったことから、三浦半島を中心とする大正関東地震と共通な断層面の他に、房総半島の南端での大きな地殻変動を説明するための断層面が設定されている。九十九里浜における津波の遡上を説明するためには、別の断層面が必要であるが、その位置については、房総半島の南方(鴨川海底谷付近)でも、房総半島南東方の相模トラフ沿いでもよさそうである。

§6. 議論

松田・宍倉・相田モデルの外房沖の断層面の位置(図4)付近では、スロースリップの発生が知られている。1996年、2002年、最近では2007年に、十日ほどかけて数cmのすべりが発生(Mw6程度に相当)したことが、GPSや傾斜計などの地殻変動連続観測から明らかになってきた(Ozawa et al., 2003; Sagiya, 2004など)。このスロースリップによって房総半島側で群発地震がトリガーされているが、スロースリップが発生している場所では、津波を発生させるような急激なすべりは発生しにくいとも考えられる。地殻変動や津波を総合的に説明できるモデルについては、別途提案する予定である。

また、本研究では、津波慰霊碑の位置が浸水域を示すと考えた。§2で述べたように、これらの慰霊碑の中には、津波による被害が発生した場所に建てられたという伝承があるものもあり(古山, 1996)、この仮定は妥当であると考えられるが、今後さらに史料の検討も進め、浸水域をより詳細に推定したい。

謝辞

国土地理院、千葉県(県土整備部)には、レーザープロファイラーによる地形データをご提供頂いた。千葉県消防地震防災課の浅尾一巳氏には、地形データの利用手続きに便宜を図って頂いたほか、本研究の内容についてもご助言を頂いた。

文献

- 相田 勇, 1991, 元禄地震津波の数値実験, 平成2年度科学技術庁委託地震テクトニクスモデル化及びM7級内陸地震の予知手法に関する研究成果報告書, 27-38, 地震予知総合研究振興会。
- 相田 勇, 1993, 相模湾北西部に起こった歴史津波とその波源数値モデル, 地学雑誌, 102, 427-436。
- Ando, M. 1974, Seismo-tectonics of the 1923 Kanto earthquake, *J. Phys. Earth*, 22, 263-277.
- 古川 力, 1984, 古記録に見える元禄地震と九十九里浦, 千葉県郷土史研究連絡協議会(編), 『房総災害史—元禄の大地震と津波を中心に—』, 39-67。
- 羽鳥徳太郎・相田 勇・梶浦欣二郎, 1973, 南関東周辺における地震津波, 関東大地震50周年論文集, 57-66, 東京大学地震研究所。
- 笠原慶一・山田重平・安藤雅孝, 1973, 南関東の地殻変動—展望と作業仮説—, 関東大地震50周年論文集, 103-116, 東京大学地震研究所。
- 古山 豊, 1984, 旧一ツ松郷における津波被害一考, 千葉県郷土史研究連絡協議会(編), 『房総災

- 害史－元禄の大地震と津波を中心に－』, 94－105 (新収日本地震史料補遺別巻に収録).
- 古山 豊, 1996, 千葉県における元禄地震の供養諸相と伝承－供養碑を中心に－, 千葉県地域民族調査報告書, 第3集, 82pp.
- Mansinha, L. and D. E. Smylie, 1971, The displacement fields of inclined faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 61, 1433-1440.
- Matsuda, T., T. Ota, M. Ando and N. Yonekura, 1978, Fault mechanism and recurrence time of major earthquakes in southern Kanto district, Japan, as deduced from coastal terrace data, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89, 1610-1618.
- 村上嘉謙・都司嘉宣, 2002, 津波記録を考慮した元禄関東地震(1703年12月31日)の地震断層モデル, 月刊海洋号外, 28, 161-175.
- Ozawa, S., S. Miyazaki, Y. Hatanaka, T. Imakiire, M. Kaidzu, and M. Murakami, 2003, Characteristic silent earthquakes in the eastern part of the Boso peninsula, Central Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1283, doi:10.1029/2002GL016665.
- Sagiya, T., 2004, Interplate coupling in the Kanto district, central Japan, and the Boso Peninsula silent earthquake in May 1996, *Pure Appl. Geophys.*, 161, 2327-2342.
- 宍倉正展, 2003, 変動地形からみた相模トラフにおけるプレート間地震サイクル, 東京大学地震研究所彙報, 78, 245-254.
- 都司嘉宣, 2003, 元禄地震(1703)とその津波による千葉県内各集落での詳細被害分布, 歴史地震, 19, 8-16.
- 吉田明夫・野口伸一・細野耕司, 2007, フィリピン海プレート北端部におけるスラブの二重沈み込み, 日本地球惑星科学連合2007年大会, S228-02.