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

相 田 勇*

Historical Tsunamis and their Numerical Models which Occurred in the North-Western Part of Sagami Bay

Isamu AIDA*

I. はじめに

本特集で取り上げられた“神奈川県西部の地震”は、石橋（1985, 1988）によって西相模湾断裂の活動としてとらえる考え方が主張され、かなり厳密に73年の繰り返し時間をもっているといわれている。この説が妥当なものであるか、あるいは別の考え方があるか、各方面からの検討が加えられている。津波の面からも、これらの地震がどのような津波を引き起こしたか、またその波源がどのようなものであったかを明らかにすることによって、これら一連の地震の発生メカニズムを解明し、今後の予測にもつながる重要な資料を提供できると思われる。

ここでは1633年寛永地震、1703年元禄地震、1782年天明地震、1853年嘉永地震、そして1923年関東地震の一連の地震について、津波の資料面とそれを説明できる津波波源のモデルについて検討を行なった。

II. 津波資料面からの検討

a) 1633年寛永地震

この地震が津波を伴ったことは明らかで、『増訂大日本地震史料、第1巻』（文部省震災予防評議会、1975）および『新収日本地震史料、第2巻』（東京大学地震研究所、1982）には熱海および網代が津波に襲われて、被害を生じたことを記した

史料が載っている。熱海では海岸の温泉が破壊され、漁師町の家財・漁猟具や田畑が流された。熱海の“永荒”は2町5反あまり、また網代でも、畑地や屋敷に浸水した。

宇佐美では、留田の行蓮寺境内に元禄津波犠牲者の供養碑がある（羽鳥、1975）が、その碑文の中に寛永地震の津波来襲状況が彫り込まれている。それによると、はじめ海面が5～6町退き、住民が砂浜に残された魚を拾って陸に帰った後、ようやく津波が襲って民家が流され、二、三人が亡くなったという。

以上の史料から、各地の津波の高さを推定してみると、熱海では熱海温泉の旧図と明治19年測量の地形図から、破壊した海岸の温泉の標高は5m程度と推定され、また耕地の浸水域は標高2.5～5mの地域と推定できる。これから熱海での津波の高さは4～5mと考えられよう。

網代では、畑地・屋敷の浸水面積と地形図との比較から、浸水したのは海岸の一部にとどまったことがわかるので、海岸付近の標高を参照して津波の高さとしては3～4mと推定した。

宇佐美では民家が流出しており、二人の死者も生じたことから、津波の高さは約4mと推定した。また宇佐美での特徴的な現象は、はじめに顕著な引潮があったことであり、これは後に数値実験の結果の優劣を判定するために、有力な材料となる。

*（財）地震予知総合研究振興会

* Association for the Development of Earthquake Prediction

表 1 相模湾北西部に起こった津波の高さ (m)

地 名	1633	1703	1853	1923
	寛 永	元 禄	嘉 永	関 東
一 宮		5 ~ 6		
浜 勝 浦		7.4		1.2
館 山		5.6		1.8D
台 場		2.		芝浦 0.74U
鎌 倉		8.		5.4D
逗 子				5 ~ 6D
真 鶴			-(3 ~ 4)	8.6 ~ 9.2D
福 浦				5.6D
熱 海 病院				1.5
旧 市 街	4 ~ 5	7.		7.5U ?
港				7.0
多 賀		6.		上 多 賀 4.8 ~ 6.4
				下 多 賀 5.4
網 代	3 ~ 4			3.5U
宇 佐 美	4 D	7 ~ 8 U		留 田 6.4
				初 津 3.9 ~ 5.7
伊 東		5 ~ 7		松 原 6.0
				大 川 河 口 3.7 ~ 4.7U
				港 6.3
川 奈		8.		港 5.3
				集 落 5.0
初 島 北 岸				1.8
西 岸				3.0
下 田		3 ~ 4		柿 崎 4.6
				下 田 2.1
内 浦		<1.		
清 水 三 保		1.5		
舞 阪		3.		
尾 鷲		2.		

U : 初めの波が上げ潮, D : 初めの波が引き潮, -() : 津波の最低水位

b) 1703年元禄地震

この地震の津波の挙動については、1923年関東地震と一緒に調査されることが多い。すでにいくつかの文献を整理した羽鳥ほか(1973)の報告がまとめられている。その後、神奈川県(1984, 1985)および静岡県地震対策課(1984)で、それぞれ神奈川県内および伊豆半島東海岸について津波浸水高調査が行なわれている。

これらの結果を基に、房総半島一宮から相模湾沿岸に沿って伊豆半島の先端下田までの、各地の津波の高さとはじめの波の上げ下げのセンスを表

1に示した。なおこの表には、前述の1633年寛永、後述する1853年嘉永および1923年関東地震津波のデータも併記した。また後に行なう数値実験に用いる地点のみに限って表示した。

この津波では前項の寛永津波と対照的に、宇佐美ではじめの波が上げ潮であったことが注目される。これは前述した宇佐美留田の行蓮寺の供養碑の碑文に記されていて、この津波では海上をうかがったところ、潮は退かずに俄かに津波が来襲し、あわてて逃げたけれども、家屋が流されおよそ380人あまりが亡くなった、という。

元禄地震の津波は、東海地方にも大きい影響を与えている。この下田以西の状況については、すでに都司（1981）によってまとめられている。そこでここでは後に数値実験と比較する、内浦、清水（三保）、舞阪、尾鷲の4地点について見てみると、それぞれ1m以下、2m、3m、2mと推定されている。

このうち清水（三保）については、その後新しい史料が見つかったので、簡単に津波の状況を検討する（地震予知総合研究振興会、1991）。史料は「三保村用事覚」という文書で、『新収日本地震史料補遺別巻』（東京大学地震研究所編）にも抜粋掲載されているが、別に遠藤章二（1989）によって同文の「村中用事覚」の解説と詳しい解説が発表されている。

これに基づいてまず、三保地区の地名と位置を確認し、津波の状況を見ると、年寄りや子供が避難の仕度をしたがその必要もなくなり、集落には大した影響も与えなかったらしい。そこでここでの津波の高さは、都司（1981）の推定よりやや低い1.5mとした。

c) 1782年天明地震

この地震は、古い資料によると小田原に津波があったとされていたが（たとえば、渡辺、1985）、石橋（1983）、宇佐美ほか（1984）などの詳しい史料調査により、津波があったとする史料「天明紀聞」の記録の信憑性に疑問があることから、津波はなかったとされて、小田原市北西の内陸に震央が求められた。

ところが、都司（1986）は『熱海市史・史料編』（熱海市史編集委員会、1972）所収の二つの文書「網代村漁船持惣代駕籠訴写」と「諸用留」の記載の解釈から、網代で4m程度の津波があったとし、神奈川県西部陸上から網代沖の海上までの広い震源域を推定した。しかしこれに対して、最近石橋（1993）が、都司（1986）の論法を否定する見解を発表しており、現時点では、この地震に津波が伴ったかどうか、疑わしいと思われる。

d) 1853年嘉永地震

この地震に関しては、宇佐美（1977）および都司（1985）の詳しい検討があり、陸上での地震の

状況は明らかであるといえよう。それによると震源は小田原付近にあり、断層の延長が海底にまで達しているならば、津波発生の可能性がある。しかし、いままでは積極的に津波があったとされてはおらず、わずかに『新収日本地震史料、第5巻、別巻1』（東京大学地震研究所編）所収の「地震紀類」の記事が注目されているに過ぎなかった。

その記事は、小田原沖に漁に出ていた人の話として、“いづの国伊東の山動き出し高くなりひきくなりしすると見る内海原に一筋の道を立て同じさまにゆり出し早川の流に入て小田原より雨降山の方へと動き出しつ此筋におりあふ船はふなはだをやぶられなどしてからふじて陸につくにこはづれ居たれば常にかわりたる事もなかりし”というものである。これは直接津波とはいっていないが、段波状の津波が早川河口で認められたと解釈できそうである。

さらに最近、相田（1992）および地震予知総合研究振興会（1992）は、前記の『新収日本地震史料』の記事の中から、次の二つの記録も津波があったことを示すものであることを指摘した。

その1は「庄田日記」（高田、榊原文書）で、“相州小田原当日未ノ刻より大地震ニ而……未だ死人知レ不申候得共数万人と申事之由川々に汐水右三日武州も近キ辺ハ大分之地震ニ而……”との記載である。遠方での伝聞記事であり、日時、死者数に間違いもあるようなので信憑性は薄いものと思われるが、各河川に汐水が入ったことを伝えており、被害のない程度の小津波があったことを示唆している。

その2は、「萬之大宝恵帳」（真鶴町貴船神社）で、真鶴町教育委員会編の「真鶴町指定重要文化財総覧」にも収録されている。その一部を抜粋して示すと、“嘉永六年丑年二月二日小田原より西ごうりへんこのきんべん大地しんいたし申候……う嶋と申石根元迄水引よこね口より水そこにしき石すな共ニわななき申候……”とある。つまり、湾口のよこね（横根）のあたりからう嶋（鶴嶋）の根元まで水が引いて、湾底の石や砂が身震いしたということであろう。これはまさに異常な海面の低下と流れを示すものであり、地震に伴って生

図 1 真鶴湾の現在の地形図に大正11年当時の海岸線と鵜島の位置を加筆
(真鶴町史編集事務室の資料により作成)

じていることから、津波と考えるのが妥当な解釈であろう。

さて鵜嶋は現在の地形図には存在しないが、大正11年当時の「真鶴村案内」の地図には明示しており、また「真鶴町指定重要文化財総覧」所収の、「寛文十二壬子年七月相州西郡西筋真鶴村書上帳」には1672年当時の湊の地理が詳しく記載され、湊口の横根や湊奥の鵜嶋の位置や水深などを知ることができる。これらの資料から、現在の地形図上に鵜嶋と横根の位置を示すと図1のようになる。鵜嶋は昭和初期の港の工事の際埋め立てられたか破壊されたかして、現在は物上場の下になって見えない。また横根はその上に防波堤が建設されている。

前述の「書上帳」の記載から、横根の深さは干潮面下2.6m 程度であった。また鵜嶋の根元の深さは昭和初期の水深図から約1m であるが、1923年関東地震の際の隆起量を1mとすると、嘉永当時は約2m であった。また港の中央部の干潮時水深は、「書上帳」から約5m あまりであるので、少なくとも津波による引潮は干潮面下3～4m と考えられる。なお当日の推算潮位から判断すると、地震のあった巳刻(10時頃)の海面は干潮面上、0.7m 程度であった。

以上の諸資料を総合すると、嘉永小田原地震に津波が伴ったことは確かで、その状況は早川河口のようにエネルギーが集中し、水深が浅い場所では段波状の津波が認められ、真鶴では干潮面下

3～4m 潮が引く程の津波になった。その他の地域でも河川に潮がはいる程度の津波があった、と考えるのが妥当であろう。

e) 1923年関東地震

元禄地震の項で述べたように、この地震の津波の状況は元禄津波と一緒に調査され、同じ資料に載せられている。表1にそれらを記した。

はじめの波の上げ下げのセンスについては、体験者に対するヒアリングの資料なども参考にしたが、器械によらない目撃証言による上げ下げのセンスは、概して確実性が薄い場合が多い。

ここで非常に確度の高い証言に、Jagger (1923) の論文に記載された、真鶴におけるものがある。それは当時慶応大学に在任していたアメリカ人の D. B. Langford 教授が、たまたま真鶴の海岸で貝の採集をしていて体験したものである。それによると、直下からの衝撃的な震動によって体がはね飛ばされたが、それからすぐ海が1/4 哩位退いていった。間断なく続く震動に伴って、水の退いた海底から無数の噴水が見られた。引潮に続いて津波(上げ潮)がきた。波は見えなかったが水面が急速に上昇した。真鶴岬の先端にある三ツ石島との間の海峡を通して、熱海の方から水が突進してきて、約50呎の高さと思われる島を完全に水面下にかくしてしまった。彼はそこに留まっていた30分に満たない間に、海の干満は数回繰り返されたが、最初の波が最も大きかった、と以上のようなものである。

III. 波源モデルの推定

歴史津波の波源断層モデルを推定するためには、過去の地震やテクトニクスから妥当と思われる初期断層モデルを設定し、数値実験によって各地の津波波形を計算したうえ、前述したような各地の古記録から推定した津波の高さと比較することによって、試行錯誤法で断層パラメーターを修正し、最適モデルを決定する方法がとられる(相田, 1977, 1981a, b)。

ここでも同様に、簡単な長波の運動・連続の方程式

$$(q_x)_t = -g(h + \zeta)(\zeta)_x$$

$$(q_z)_t = -g(h + \zeta)(\zeta)_t,$$

$$(\zeta)_t = -(q_x)_x - (q_y)_y,$$

を、スタッガード差分、リープ・フロッグ法で解いた。ここに q_x, q_y は水面から水底まで積分した流量の x, y 成分, ζ は水位変動, h は水深, g は重力の加速度であり, () に付した添字はその偏微分をあらわす。また波源としては, 海底の変位に要する時間が十分短いとして, 断層パラメータから計算される海底の鉛直変位をそのまま海面の初期水位として与えた。

対象とする地震のマグニチュードは7程度であり, 断層の長さは20~30km と推定されるので, 波源近傍の計算格子はかなり細かい必要がある。計算範囲は大吠埼から潮岬におよぶ海域をとり, 外洋部は5 km の格子間隔とした。相模湾内は全体を2.5 km 間隔とし, さらに相模湾北西部や水位計算点近傍は, 1.25 km, 625 m, 312.5 m, 156.25 m の5段階に格子細分化を行なった。これで相模湾北西部は625m の格子で覆われるので, 断層による変位場は表現可能と思われる。

a) 1633年寛永地震津波

石橋 (1980) は, 1923年関東地震の震源断層は相模トラフ沿いの主断層と, 相模湾北西部の海底崖に沿った南北の副断層とから成る, という考えを発表した。そして寛永地震はこの副断層の一部の破壊によるものとする考えを初めて示した (石橋, 1985)。これは西相模湾断層と呼ばれ注目されたが, さらに石橋 (1988) は考えを発展させて, 西相模湾断裂という表現を用い, 低角逆断層から高角逆断層へと変更した。これらの意義や詳細については本特集でも触れられている。ここではこのような過去に提案されたモデルを中心に, 津波の発生・伝播を検討し, 前章で述べた津波の挙動に近似するように断層パラメータの調整を行ない, 最適なモデルを求める (相田, 1989)。

ここで計算を行なったモデルは, まず前述の石橋 (1980) による西相模湾断層モデルをIとし, ついで笠原 (1985) の, 相模トラフに沿った関東地震の断層の一部とするモデルをIIとした。モデルのIII~VIは相模湾北西部の海底急斜面に沿った高角逆断層を想定したもので, そのうちIVは石橋

図2 1633年寛永地震津波に対する種々な断層モデルの地表投影

(1988) の西相模湾断裂説によるものであり, V, VIはそのパラメータを調整したものである。これらのモデルの概略を断層面の地表への投影によって図2に示した。

以上6種類の断層モデルを用いて行なった数値実験の結果から, 宇佐美における津波のはじめの水位変化を調べると, 前章で述べた宇佐美のはじめの大きな引き潮を示すものは, VIのモデルであることがわかる。また計算波形から求めた最高水位を古記録から推定した津波の高さと比較してみると, この面からもモデルVIが最適であることがわかる。この最適モデルのパラメータなどの詳細は第四章のまとめで述べる。

b) 1703年元禄地震津波

元禄地震の震源断層モデルとして発表されているものに, Matsuda *et al.* (1978) によるものと, 笠原ほか (1973) によるものがある。前者の特徴は, 相模湾内の断層を湾の中央でとどめていることと, 鴨川沖の北東-南西走向の高角断層と, そこからトラフ沿いに南東に向かう低角断層を考え

図3 1703年元禄地震津波に対する種々な断層モデルの地表投影

ていることである。また後者の特徴は、相模湾内の断層が湾奥にまで達していることと、ほかに鴨川沖の高角断層のみを採っていることである。そこでこれらのモデルを GR-1、および GR-2 とし、これらを中心に、いくらかの変更を行なったモデルを含め、6種類のモデルについて数値実験を行なった（地震予知総合研究振興会，1991）。それぞれのモデルの概略は、図3に断層面の地表投影として示した。

各モデルによって計算された各地の津波水位最大値と、表1に示した古記録による津波の高さとの比較は、比較地点が相当数あるので、つぎのような方法で行なった。

古記録による値と計算値との比を K_i とし、

$$\log K = (1/n) \sum_{i=1}^n \log K_i \quad (1)$$

から幾何平均値 K を求める。 K は波源のすべり量が適切であったか否かの指標となる。つぎに各地の K_i の平均 K に対するばらつきを次式であらわす。

$$\log \kappa = [(1/n) \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - (\log K)^2]^{1/2}$$

κ が1に近い程、近似が高いモデルといえる。

いま全地点を一括しても上の2式でモデルの評価ができるが、ここでは特徴の異なる地域（外房総；東京湾・相模湾東岸；相模湾西岸；東海地方）ごとに K, κ を求め、それから全体を通しての K, κ を求めることにした。

この全体としての κ を調べてみると、 κ が1に近いモデルは GR-2、GR-4 の1.22、1.20であり、その他は1.29～1.51の値をとる。つぎに宇佐美の計算波形を見ると、GR-1、2、3、5ははじめに強い上げ潮が現われていて、前章で述べた行運寺の供養碑の碑文と調和する。西相模湾断層の位置に断層を置いたモデル、GR-4、6ははじめの上げ潮がほとんど目立たず、つぎの引潮が顕著であるので、一挙に380人余の死者をだしたという碑文の趣旨と調和しないと思われる。

そこで元禄津波の最適モデルは GR-2 であることになる。断層パラメーターなどは第IV章のまとめに示す。

c) 1782年天明地震

前章で述べたように、この地震に津波が伴ったかどうか必ずしも明確ではない。またあったとしても高さを量的に示す記録が見つかっていない。そこでここでは数値実験を行なわなかった。もし都司（1986）のいうような津波であったとしたら、1633年寛永地震の津波のモデルとほぼ同じか、あるいは断層が陸上部をさらに北に延びていたと考えて大きな誤りはないであろう。

d) 1853年嘉永地震津波

この地震に津波が伴ったことは、今回初めて明らかにされた（相田，1992）。そこで西相模湾断層上の断層モデル（Model-1：寛永地震モデルVIの北側1/2）と、笠原（1985）が関東地震、寛永地震で提案しているような、東西走向の低角逆断層（Model-2）の2種類のモデル（図4）を検討した。

まず前章で述べた早川河口での段波状津波出現の可能性について調べた。図5はModel-1による地震後11.5分の小田原沖の海面の状況を示しているが、はじめ南北の波面をもっていた津波が、この時点ではやや東西性の波面に変わり、早川河口に直進するように見える。したがって河口付近

図 4 1853年嘉永地震津波に対する二つの断層モデルの地表投影

の浅い海域では、段波状になることが予想される。Model-2 はこれより局所的な変動が大きく、一方向の波の進行が認め難いようである。

つぎに計算波形の最高水位と最低水位を見ると、真鶴では Model-1 で最高水位は3.7m で、最低水位は水深3m と設定した海底が露出すると計算されたので、-4m に達するかもしれない。Model-2 でも最高水位2.36m、最低水位-2.76m となっている。しかしそれ以外の各地は1m あるいはそれ以下である。このように真鶴のみが局所的に津波が大きくなったのは、真鶴半島およびその北方の海底地形によるエネルギーの集中と真鶴港内の増幅効果によると思われる。ここで Model-1 と Model-2 の優劣はつけ難いが、早川河口の波面の向きから、Model-1 がやや有利であろうか。

e) 1923年関東地震津波

関東地震の震源断層モデルは実に多くの人によって求められている。ここではそれらの代表的なものと、それを改変したモデルとを含め、8種類について数値実験を行なった。従来から提案されているモデルとして、Ando (1971) のモデル、Matsu'ura *et al.* (1980) の Model II、笠原 (1985) のモデル、石橋 (1980) のモデルを採り、それぞれを TS-3, 4, 5, 6 と名付けた。そのほかに TS-1, 2, 7 のモデルは、西相模湾断裂上の断層が相模トラフから北東に傾く主断層と同時に動いたと考えて、新たに設定したモデルである。また TS-8 は Kim ほか (1989) が石

図 5 嘉永地震津波の Model-1 によって計算された早川河口付近の海面の形状 (地震後11.5分)

図 6 1923年関東地震津波に対する種々な断層モデルの地表投影

田 (1989) によるフィリピン海プレート上面の形を与えて、その面上でのすべり量分布をインバージョンで求めた解による、地表の鉛直変位場をそのまま津波入力としたものである。これらの断層モデルの概略を、図 6 に断層面の地表投影で示した (相田, 1990)。

これらのモデルによる数値実験結果から b 項に示した (1), (2) 式によって K, κ を求めると、つぎのようになる。

	TS-1	TS-2	TS-3	TS-4	TS-5	TS-6	TS-7	TS-8
K	0.90	1.05	1.20	1.33	1.14	1.05	0.95	1.55
κ	1.52	1.41	1.52	1.49	1.51	1.41	1.39	1.57

これから TS-2, TS-6, TS-7 などがやや優れていることがわかる。

つぎに前章で述べた真鶴での津波のはじめの状況と数値計算された波形とを対照してみる。そうすると顕著な引潮で始まっているのは、TS-1, TS-2, TS-7 であり、またははじめの波が最高であったという実況は TS-2, TS-7 が満たしている。

この真鶴での実況と、 κ の値から TS-7 が最適モデルと結論されよう。

図 7 相模湾北西部に起こった三つの地震津波に対する最適断層モデルの地表投影

表 2 最適断層モデルのパラメーター

	部分断層	断層長さ (km)	幅 (km)	深さ (km)	傾斜角 (°)	走向 (°)	横ずれ量 (m)	縦ずれ量 (m)
1633年	N	14	14	5	80	N10W	- 2.16	- 4.51
寛永地震	S	14	14	2	80	N10W	- 2.16	- 4.51
1703年	A	85	55	1	30	N45W	6.	- 3.
元禄地震	B	60	40	1	60	N58E	0	-10.
1853年	N	14	14	5	80	N10W	- 2.16	- 4.51
嘉永地震								
1923年	A	60	55	5	25	N59W	4.77	- 2.61
関東地震	B	25	45	10	25	N59W	10.71	- 5.4
	N	10	7	2	80	N10W	- 2.16	- 4.51
	S	10	7	1	80	N10W	- 2.16	- 4.51

IV. まとめ

ここで取り上げた、約73年の繰り返し周期で起こっている相模湾北西部の地震の内、少なくとも天明地震を除く四つの地震は津波を伴ったことは確実である。それらの津波の挙動が、いくつかの新しいデータを検討して明らかにされた。さらに数値実験によって、これらのデータを最もよく再現できる津波波源のモデルが求められた。求められた断層モデルのパラメータを表2に示した。また寛永、嘉永、関東地震の西相模湾断層上の断層モデルの地表への投影を図7に示した。

1633年寛永地震は、石橋(1988)のいう西相模湾断層上の海と陸にまたがる高角逆断層の活動で説明でき、1853年嘉永地震はこのほぼ北側の半分の断層の活動であるとしてよいことがわかった。

また1923年関東地震は寛永地震の断層の南側の部分を南にやや延長し、断層幅を狭くしたような副断層が相模トラフ沿いの主断層と一緒に活動したとすることによって、真鶴、熱海付近の津波の状況がよく説明できることもわかった。一方1703年元禄地震の津波は、このような海側の副断層はないほうが津波の状況に合致することがわかった。あるいは神奈川県西部の地震被害が大きかったことは、寛永地震断層の延長上の陸上のみで副断層が動いたと考えることもできるかもしれない。

謝 辞

なお、この研究は科学技術庁、科学技術振興調整費「マグニチュード7級の内地地震の予知に関する研究」(昭和62年度～平成3年度)の一部として行なれたことを記して、厚く謝意を表する。

文 献

- 相田 勇 (1977): 三陸沖の古い津波のシミュレーション. 東京大学地震研究所彙報, **52**, 71-101.
- 相田 勇 (1981a): 東海道沖におこった歴史津波の数値実験. 東京大学地震研究所彙報, **56**, 367-390.
- 相田 勇 (1981b): 南海道沖の津波の数値実験. 東京大学地震研究所彙報, **56**, 713-730.
- 相田 勇 (1989): 1633年寛永地震津波の数値実験. 地震学会講演予稿集, No. 1, p. 256.
- 相田 勇 (1990): 1923年関東地震津波の波源モデル. 地震学会講演予稿集, No. 1, p. 6.
- 相田 勇 (1992): 1853年嘉永小田原地震の津波. 地震学会講演予稿集, No. 1, p. 83.
- Ando, M. (1971): A fault-origin model of the great Kanto earthquake of 1923 as deduced from geodetic data. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **49**, 19-32.
- 遠藤章二 (1989): 三保地区の歴史・そこが知りたい. 三保地区まちづくり委員会・清水市三保公民館, 50p.
- 羽鳥徳太郎 (1975): 元禄・大正関東地震津波の各地の石碑・言い伝え. 東京大学地震研究所彙報, **50**, 385-395.
- 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. 東京大学地震研究所: 関東大地震50周年論文集, 57-66.
- 石橋克彦 (1980): 伊豆半島をめぐる現在のテクトニクス. 月刊地球, **2**, 110-119.
- 石橋克彦 (1983): 天明2年7月15日(1782年8月23日)の西相模の大地震について. 地震学会講演予稿集, No. 2, p. 53.
- 石橋克彦 (1985): 小田原付近の大地震発生の可能性. 月刊地球, **7**, 420-426.
- 石橋克彦 (1988): “神奈川県西部地震”と地震予知 I, II. 科学, **58**, 537-547, 771-780.
- 石橋克彦 (1993): 1782年天明小田原地震は津波を伴ったか? 地球惑星科学関連学会1993年合同大会予稿集, p. 239.
- 石田瑞穂 (1989): フィリピン海プレート北端部でのプレート沈み込み その2. 地震学会講演予稿集, No. 1, p. 46.
- Jaggard, T. A. (1923): The Yokohama-Tokyo earthquake September 1. 1923. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **13**-4, 124-146.
- 地震予知総合研究振興会 (1991): 2. 4 元禄地震津波の数値実験. 地震予知総合研究振興会: 「地震テクトニクスのモデル化及びM7級内地地震の予知手法に関する研究成果報告書」平成3年3月. 27-38.
- 地震予知総合研究振興会 (1992): 2. 6 1853年嘉永小田原地震の津波. 地震予知総合研究振興会: 「地震テクトニクスのモデル化及びM7級内地地震の予知手法に関する研究成果報告書」平成4年3月. 54-68.
- 神奈川県 (1984): 神奈川県地震被害想定調査委員会 津波水害分科会昭和58年度報告書. 238p.
- 神奈川県 (1985): 神奈川県地震被害想定調査報告書(津波水害). 446p.
- 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. 東京大学地震研究所: 関東大地震50周年論文集, 103-116.
- 笠原敬司 (1985): 関東南部における大地震再来周期について. 月刊地球, **7**, 440-445.
- Kim, H.・矢吹哲一郎・松浦充宏 (1989): 1923年関東地震に伴うプレート境界面上での沁り分布. 地震学会講演予稿集, No. 2, p. 51.
- Matsuda, T., Ota, Y., Ando, M. and Yonekura, N. (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.
- Matsu'ura, M., Iwasaki, T., Suzuki, Y. and Sato, R. (1980): Statical and dynamical study on faulting mechanism of the 1923 Kanto earthquake. *J. Phys. Earth*, 28, 119-143.
- 静岡県地震対策課 (1984): 伊豆半島東海岸津波浸水予測調査報告書. 88p.
- 都司嘉宣 (1981): 元禄地震・津波 (1703-VII-31) の下田以西の史料状況. 地震 2, 34, 401-411.
- 都司嘉宣 (1985): 小田原を襲った歴史地震について. 月刊地球, 7, 431-439.
- 都司嘉宣 (1986): 天明小田原地震 (1782-VIII-23) の津波について. 地震 2, 39, 277-287.
- 宇佐美龍夫 (1977): 嘉永 6 年 2 月 2 日 (1853 年 3 月 11 日) の小田原地震. 東京大学地震研究所彙報, 52, 333-342.
- 宇佐美龍夫・関田康夫・勝間田明男・芦谷公稔・鹿島薫・橋口能明・木下幹夫・伊藤純一 (1984): 天明の小田原地震 (1782-VIII-23) について. 地震 2, 37, 506-510.
- 渡辺偉夫 (1985): 日本被害津波総覧. 東京大学出版会, 206p.
- (1993 年 1 月 20 日受付, 1993 年 4 月 22 日受理)