日本で記録された 1700 年 1 月 (元禄十二年十二月) 北米巨大地震による津波

東京大学地震研究所* 都 司 嘉 宣・上 田 和 枝

工業技術院地質調査所地震地質部** 佐 竹 健 治

Japanese Tsunami Records from the January 1700 Earthquake in the Cascadia Subduction Zone

Yoshinobu TSUJI and Kazue UEDA

Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 1-1-1, Yayoi, Bunkyo-ku,
Tokyo 113-0032, Japan

Kenji SATAKE

Earthquake Research Department, Geological Survey of Japan, 1-1-3, Higashi,
Tsukuba, Ibaraki, 305-8567, Japan

(Received August 9, 1997; Accepted February 12, 1998)

From midnight of January 27, 1700 to noon of the next day, abnormal sea level changes were recorded at several locations on the Pacific coast of Japan. We previously interpreted these as tsunamis from a giant earthquake in the Cascadia subduction zone, off the west coast of North America. In this paper, we report our detailed examinations of the original documents recording the tsunamis, including the reliability of the documents themselves. The tsunamis were described in six independent documents, mostly local government records. No one was injured or killed at any location. In Miyako, 20 houses were burned and 13 houses were destroyed by the tsunami. At Otsuchi, a few houses and rice paddies were damaged. In Tanabe, the government storage house was inundated. The tsunamis were first noticed just before midnight of the 27th at Miyako and Otsuchi, and the next morning at the other localities. We estimated the tsunami heights from descriptions in the documents, after accounting for tide levels and vertical crustal movements of coasts since 1700. The latter correction is difficult and the uncertainty is large. The estimated tsunami heights were: 4 m at Kuwagasaki, 3.2 m at Tsugaruishi, both in Miyako, 3.3 m at Otsuchi, 1 m at Nakaminato, 1.0-1.7 m at Miho, and 3.3 and 5.4 m at two locations in Tanabe. We also examined the weather records for January 26-29 and found no abnormal description, ruling out the possibility of meteorological origin. Lack of regional earthquakes on these days and the tsunami height distribution indicate that the tsunami came across the Pacific Ocean. We then estimate the tsunami magnitude, M_s , for each possible tsunami source around the Pacific. The result shows that the size of earthquake that generated the tsunami was M_9 wherever the source was. We examined historical data and paleoseismological results in the possible regions and confirmed that the tsunami source was the Cascadia subduction zone, and that the origin time was around 9 PM on January 26, 1700 local time.

Key words: Distant tsunami, 1700 Genroku tsunami, Historical documents, Cascadia subduction zone.

§1. はじめに

元禄十二年十二月八日 (西暦 1700 年 1 月 27 日) の

* 〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1

** 〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-3

夜半から翌九日にかけて、三陸海岸から紀伊半島にわたる広い範囲で、海水の異常な変動が記録された。これらの一部については以前から知られており [文部省震災予防評議会 (1943)], つじ (1987) が新史料を加えて遠地津

波であることを示唆していたが、その波源は不明であった。最近、SATAKE *et al.* (1996) はこの海水変動が北米カスケード沈み込み帯での巨大地震による遠地津波であると推定し、地震の発生時刻は1700年1月26日午後9時頃（現地時間）、そして地震の規模はマグニチュード9クラスであったと結論した。

本論文ではこの津波記録について、SATAKE *et al.* (1996) 以降に入手した史料も加えて、さらに詳しく検証する。まず、この津波を記した文献史料の史料価値およびその記載を検討する。記載に基づいて津波の来襲時刻を推定し、その際の天文潮位も計算する。また当日の天候、およびこれらの津波が記録された場所における過去300年間の地殻変動について文献史料などに基づいて検討する。潮位や地殻変動も考慮した上で、各地の津波の高さをあらためて推定する。

§ 2. 文献史料にみる元禄十二年遠地津波の状況

2.1 元禄十二年十二月八日-九日の異常潮位記録を載せる文献史料

元禄十二年十二月八日の夜半から九日にかけての潮位異常を記載した文献史料 (Table 1) は、岩手県宮古市・同大槌町・茨城県ひたちなか市・静岡県清水市および和歌山県田辺市の5ヶ所に関して発見されている (Fig. 1)。これらの文献史料は既刊の史料集に直接、あるいは間接引用の形で紹介されているが、本研究では、無批判に史

料集を引用することはせず、遑及しうる限り原史料にあたることに努めた。

『古実伝書記』（文献A）は明治時代に生まれ昭和40年まで生存した宮古市の郷土史家伊香弥七氏旧蔵の史料で、同氏の先祖で幕末に宮古町の検断（けんだん、大庄屋に当たる）を勤めた伊香弥兵衛が古い史料をもとに書いたものではないかと推測される（宮古市史編纂室、岸昌一氏のご教示による）。原本の所在は不明である。現在岩手県立図書館にある史料は伊香弥七家の史料の整理に当たった郷土史家・沢内勇三氏が翻刻したものである。元禄十二年津波の記述は、助詞等の用字のわずかな相違を除いて文献Bと同一である。

『日記書留帳』（文献B）は宮古市津軽石の盛合家で代々書き継がれた日記である。盛合家は宝暦年間（1751-1764）に宮古市津軽石に入り、津軽石の瀬主（せぬし、大規模漁業の漁業権所有者にたいする江戸時代の三陸地方での呼称）で、後に質屋・酒屋・廻船問屋など手広く事業を営み、江戸中期には南部藩の給人（きゅうにん、知行地を与えられた家臣）に取り立てられた家柄である。この文献には災害の記事も多く記載されており、江戸時代の宮古を知る上での貴重な史料である。元禄十二年津波は盛合家が宮古へ移住する前のことであるから、元禄津波の記事は同家の先祖の直接体験による記録ではないことは明白であるが、伝えられた古い記録をまとめて編纂したものであると考えられる。

Table 1. 元禄十二年十二月八日・九日の津波記事を載せる文献。

Table 1. List of historical documents in which the 1700 tsunami is described. Locations where the tsunami was recorded, possessor of the original documents and references are also shown.

記号	文献名	記載対象場所	所蔵者	収録史料集
A	古実伝書記	宮古市鉾ヶ崎、津軽石	岩手県立図書館	S2-519, S 統補-146*
B	日記書留帳	宮古市鉾ヶ崎、津軽石	宮古市津軽石盛合三蔵家	S 統補-146*
C	盛岡藩雑書	宮古市・大槌町	盛岡市中央公民館	S 統補-145*
D	藩庁日記抄	宮古市・大槌町	岩手県立図書館	S 統補-146
E	大槌古今代伝記	大槌町	岩手県立図書館	S 統補-145*
F	大槌記録抄	大槌町	岩手県立図書館	M2-25
G	茨城県水産誌	那珂湊		(本文参照)
H	三保村用事覚	清水市三保	清水市遠藤邦夫氏	
I	田辺町大帳	田辺市	田辺市闘鶏神社	M2-25
J	万代記	田辺市	田辺市闘鶏神社	T-35, S 統補-307

〔注記〕「収録史料集」欄には、既刊のどの地震史料集の何ページに載っているかを示している。M2は文部省震災予防評議会編「増訂大日本地震史料第2巻」(1943)、Sは東京大学地震研究所編「新収日本地震史料」の略で、S2は第2巻(1983)、S 補は同補遺(1989)、S 統補は同統補遺(1993)、Tは都司編「紀伊半島地震津波史料」(1981)を示している。*印は「三陸町史第4巻津波編」の一部として掲載されている。I・Jとも現在は田辺市立図書館に寄託されている。

Fig. 1. Index map. Solid triangles show locations where tsunamis were recorded on January 27-28, 1700. The earliest times when the tsunamis were noticed are also shown. Double circles mark locations where the weather was recorded. Elliptic regions indicate the source regions of great earthquakes along the Nankai trough, that affect sea-level changes at Miho and Tanabe.

『盛岡藩雑書』（文献 C, Photo 1）は、『南部家雑書』あるいは『盛岡藩家老席日誌』とも呼ばれ、盛岡藩の家老の執務日誌である。正保元年（1644）から天保十一年（1840）までの 197 年分が 189 冊に収められている。盛岡での毎日の天候・有感地震を含め盛岡藩内で起きたあらゆる出来事が克明に日記形式で記録され、盛岡藩の根本史料としてきわめて価値の高いものである。

『藩庁日記抄』（文献 D）は文献 C に基づいて明治期に抄録編纂されたものである。

『大槌古今代伝記』（文献 E）は、大槌代官所の古来からの御用書留を編纂したもので慶長年間（1596-1615）より寛政八年（1796）に亘っている。編者は大槌町の地侍で代官所下役の小川孫兵衛善康である。彼は享保二十年（1735）に生まれ、文政三（1820）年六月二十九日に 85 才で没したが、この編纂は 57 歳の時である。原本の所在は不明で、遡及するのは岩手県立図書館にある大槌町中須賀の土族の手による明治期の写本である。江戸初期の大槌を知るうえでの貴重な史料である。

『大槌記録抄』（文献 F）は文献 E をもとに明治期に抄録されたもので、元禄十二年津波の記述は文献 E と同じである。

『茨城県水産史』（文献 G）は大内地山著、1943 年茨城県水産会発行で、その第 2 編は全巻「水戸領内で難破

Photo 1. Tsunami damage in Miyako and Otsuchi on January 27-28, 1700 is described in "Morioka-Han-Zassho" (the official record of the Morioka clan), which is archived at the central community hall of Morioka City.

船」と副題され、水難に関する文献史料の原文が活字本として紹介されている。この活字本には、そこに紹介された文献史料の原所蔵者や成立のいきさつなどの解説はない。しかし、元禄津波記事を含む文献史料は、江戸時代の地方（ちかた）の公式文書の体裁を備えた多数の古文書のなかの 1 件として現れるもので、特に積極的にこの 1 件だけを疑わしいとする理由は見あたらない。元禄津波の記事は「相馬弾正の城米船が磯浜へ」と分類された章に現れる。

『三保村用事覚』（文献 H）は、清水市三保の遠藤邦夫氏の所蔵で、原本の表紙には「村中用事覚」とあり、村役人が村内の出来事を後世に伝えるために記録したものである。元禄十六年関東地震（1703）の三保での津波記事、宝永（1707）・安政東海地震（1854）の記事など、江戸時代の三保での多くの災害記事を含む貴重な史料である。

『田辺町大帳』（文献 I, Photo 2）は、天正十三年（1585）から慶応二年（1866）までの 282 年間にわたる田辺町会所の公式記録で全 130 冊からなっている。諸般にわたる出来事を日記形式に記録したもので、田辺町の根本史料として和歌山県文化財に指定されている。

『万代記』（文献 J）は、田辺大庄屋を勤めた田所顕意が、田所家に伝わる文明三年（1471）以降の記録を天明年間（1781-1789）に整理してまとめたもので、その後天保十年（1839）まで書き継がれている。元禄十二年津

Photo 2. The original documents of "Tanabe-Machi-Daicho" (the local town record of Tanabe) archived at the public library of Tanabe City.

波の記事の文面は文献Ⅰとほとんど同じである。

以上の検証から文献B・C・E・G・H・Ⅰを各地の基本史料として本研究の考察を行う。

2.2 基本史料に記載された各地の状況

宮古市：宮古市鍛ヶ崎（宮古湾入口西岸，Fig. 2）と、津軽石（宮古湾の最奥部，Fig. 3）での様子は，文献Bに次のように載せられている。

「元禄十貳年十一月（ママ）八日より九日迄大塩にて，海辺場所により家等被取申候，津軽石江ハ塩さき久保田渡迄，乗脇者稲荷之下まで参候而，村中大騒ニ御座候，

其節鍛ヶ崎浦ニ而火事出来申候，大浪故御座候と申なり，但地震ニても不仕，右之通大塩ニ御座候，軒数廿老軒程ニ御座候由」

文意は，《八日から九日にかけて津波が押し寄せ，海岸沿いの場所によっては家などに流失するものがあった。津軽石では海水は久保田の渡船場に達した。乗脇（のりのわき，現在は「法の脇」と表記する）では，稲荷の下まで浸水して，村中が大騒ぎになった。その際，鍛ヶ崎浦（宮古市鍛ヶ崎）では，火事が起きた。大波が来たからであるという。ただし，地震も感じずに以上のような津波が来た。（火事で焼失した）家数は21軒ほどだということだ》である。

津波が起きたのは十一月であると記しているが，これは伝写中の誤りであろう。鍛ヶ崎で津波の来襲とともに火事が起きたこと，地震もないのに津波が来たと思議がっていることが注目される。つまり，当時の人には「津波は地震の後にくる」という常識があったと判断される。

鍛ヶ崎での津波と火災の被害については，さらに文献Cの十二月十四日の条に次の記事がある。

「一，宮古御代官所之内鍛ヶ崎村ニ而，去ル八日之夜九時津波打寄，所々者共山々江逃申，跡ニ而出火，家数貳拾軒焼失，外ニ拾三軒波ニ被打破候由，水火一度出来諸道具ハ不及申，何ニ而も一切取出不申，早速及渴命候付，人数百五拾九人江御蔵米少宛相渡候由，居所無之小屋懸

Fig. 2. Detailed map of Kuwagasaki in Miyako City, Iwate Prefecture. "Morioka-Han-Zassho" (the official record of the Morioka clan) describes that 20 houses were burned by tsunami-induced-fire and that 13 houses were destroyed by the tsunami. The tsunami run-up height is estimated at 4 m.

Fig. 3. Detailed map of Tsugaruishi, Miyako City, Iwate Prefecture. "Nikki-Kakitomecho" (a local record) describes that the residential area of Norinowaki was inundated, where run-up height is estimated at 3.2 m.

仕度と願候付、雑木相出可申旨御山奉行相談候由、右之趣御代官金田一七郎左衛門山屋三右衛門より御吟味方御目付中迄申上、右之者共ニ御助米被下度由申来、右水火ニ而人ハけカ不仕候由」

文意は、《宮古代官所内の鍛ヶ崎村に八日の夜九ツ時（九日午前0時頃）に津波が打ち寄せてきて、住民は山々へ逃げた。その後に出火して20軒が焼失した。この他13軒が津波によって大破したそうである。津波と火事が一度に襲ったため、家財道具は言うまでもなく、何一つ持ち出すことができなかった。さっそく飢えや渇きで命が危くなる者が出たため、159人に少しずつ「御蔵米」が下付されたそうである。住居を失ったので、小屋掛けの願いがだされ、御山奉行は雑木の手当をすべく相談したとのことである。このことについて、御代官金田一七郎左衛門・山屋三右衛門から、御吟味方御目付中へ報告があり、被災した者にお救い米を給付して下さるようにとの申し出があった。津波と火事による怪我人はなかったとのことである》である。

この記録は、津波被害発生のわずか6日後に為政者によって公的に記録されたものであって、きわめて信頼性の高いものと判定することができる。火災軒数は文献Bに21軒程、文献Cに20軒とあって1軒相違するが後者に「程」字がないこと、後者が被災直後に記された公的な文書であることから後者の20軒を採用する。

大槌町：文献Cの十二月十五日の条に、大槌(Fig. 4)での被害が次のように記されている。

「南閉井大槌浦、去八日の夜九ツ時大汐上、町屋裏通田畑損、猟師之処式軒、塩釜二工破損仕候由、御代官申上、

Fig. 4. Detailed map of Otsuchi, Iwate Prefecture. "Morioka-Han-Zassho" and "Otsuchi-Kokon-Dai-Denki" (the local government record at Otsuchi) describe that rice paddies behind the main street (on which the town hall now stands) were flooded, and two fishermen's houses and two saltworks were damaged by the tsunami. The run-up height is estimated at 3.3 m.

右南閉井之委細江戸江申上之」

文意は、《南閉井の大槌浦に、さる八日の夜九ツ時（九日午前0時）大潮が上り、街道筋の裏の田畑が荒され、漁師の家2軒、塩釜（浜辺で食塩を得るために海水を煮る釜）2ヶ所が破損したそうである。この事を代官に申し上げ、委細を江戸に伝えた》である。

これも津波のわずか7日後に記された為政者の公的記録として信頼性の高いものである。大槌の市街を形成していた街道沿いの家は浸水もなく無事であったと推定される。

文献Eには、大槌について次の通り記載されている。

「同年極月夜九ツニ大塩さし、海邊大分騒き申し候、併し人馬怪我なし」

文意は、《同年十二月夜九ツ時（午前0時）に大潮が上がり、海岸では大騒ぎになったが、人や馬に怪我はなかった》である。ここでは、月と時刻とだけが記載されていて、日が記載されていないが、これは伝写中の単純ミスであろう。

那珂湊：文献Gの中の「浦証文之事」と題する原文に次の記述がある。

「一、御米 四百七十俵之由、内七俵ハ糧米之由、十三俵ハ御免石之由、送り状紛失仕り候、請戸村舟頭、甚（マ）兵衛

右ハ相馬弾正様御米御同領請戸濱ヨリ積立、去ル七日ニ出船、同九日の朝五ツ時当領仲ヶ濱面ニ着船仕候所

ニ、浪高ク舟湊へ入候儀不罷成、舟掛罷有候処ニ、同夜五ツ過ヨリ大風雨殊大ナル故及難儀、御米過半湊沖ニテ打荷仕候由、尤錠綱打被切舟當村地内被吹被流、箱磯ト申処ニテ御米ハ不及申舟被打破、其上舟方兩人相果候由、舟頭勘兵衛當村宿権衛門ヲ以申出候ニ付（後略）」

文意は、《相馬弾正様（福島県相馬市にあった城の城主、一名中村藩）の城米船が、米四百七十俵を積んで請戸浜を十二月七日に出港し、九日の朝五ツ時（午前8時頃）に、那珂湊に到着したが、波が高く湊のなかには入れなかった。そこで湊沖に錨を降ろして浪がおさまるのを待っていたところ、同夜五ツ時（午後8時頃）過ぎから大風雨となり停泊も困難になったため、積んでいた御米の大半を打荷（うちに＝捨荷；難船の時船の重量を軽くするために積み荷の一部を海に投げ捨てること）したとのことである。そうはいうものの、錠綱も切れて舟は漂流し、箱磯というところで御米は勿論のこと舟も大破し、その上2人の船員が死亡したということだ。その船の船頭の勘兵衛が当村宿（磯浜村宿、現在大洗町磯浜）の権衛門を通じて報告してきた》である。この文書は同月二十四日に磯浜村舟名主平衛門ら五人の連名で遭難救助のいきさつを郡奉行所代官山口伝衛門らに報告したもので、被災15日後に公的な報告文として記されたものである。

この記事の九日の朝の高波は津波によるものであろう。那珂湊の市街地そのものの浸水は伝えられていない。津波によって流速が速くなったために操船が難しくなったようである。この日の夜まで沖に投錨停泊せざるを得なかったことから、津波による潮の異常は九日の夕刻までは継続したものと考えられる。ちなみに、1960年のチリ地震津波の際、那珂湊の検潮儀は全振幅1mを越える海面変動を12時間以上記録した。

三保：清水市三保 (Fig. 5) については、文献 H に次の記事がある。

「元禄十二年卯十二月九日家之前海江浪入申事

十二月九日明六ツ前より浪家ノ前江和田沖より水高なり、みち志はなとの様ニさし込、ゑこ松ノ内までも上り、その引きようハ大川之はやくことし、其日の四ツ前七度ほと上り段々かいなくなり、昼過より海志すかに成も、然共終聞なれぬ浪の上り様なるほと、村ノ老若御宮へ逃し、残而ハ家前海ニ気を付居も候得ハ、右之通りニ志すまり申候、年寄りニ聞候ても、見なれぬ浪の様子ニ申候故、村中おとろき申候、津なみなとかすゝ浪なとゝ申事、か様之儀ニ候哉、すへすへも能かんかへ可申ため、尤地震なと致候得ハ、其せいよた浪なと来ル物と申候へ共、当村近所ニも地震も無御座候、外浜江浪少も上り不申候、家前玄関はかり浪つよく候、後ニおいて心得給へし」

Fig. 5. Detailed map of Miho in Shimizu City, Shizuoka Prefecture. “Miho-Mura Youji-Oboe” (the chronicle of Miho village chief) reports that the tsunami run-up the coast of Wada and flooded Ego, where the tsunami run-up height is estimated as 1.0–1.7 m.

この文意は、《十二月九日の明六ツ（午前6時頃）前から、和田の沖から家の前に、満潮の時のように海水が押し寄せてきて、「ゑこ」の松の内まで浸水してきた。それが引くときには大川の流れるように速かった。その日の四ツ（午前10時頃）前までに7回ほど押し寄せてきて、そのあとは次第におさまって行き、昼過ぎからは海は静かになった。今までに聞いたこともないような波の上がり方であったので、村民を御宮（美穂神社）に避難させ、村に残った人も家の前にいて海の様子を監視していたが、上に述べたように静かになった。年寄りに聞いても、見なれない波の様子と言うことで、村中驚いた。「津波」などを「すず波」と言うのはこのようなものであろうか。これからよく考えておくべきである。地震が起こればそのせいで、よた浪というものが襲来するということであるが、三保村でも近隣の村でも地震はなかった。（三保半島の）外洋側は浪は少しも上がらず、「家の前」だけに浪がつよく打ち寄せてきた。この様なこともあるのだと後世の人にも心得させるべきだ》である。

清水市に在住の遠藤章二氏によれば、三保半島には三保村本村前面の浜の名としての和田があり、その南側に続く浜が「家の前」とよばれ、近年まで古老が使用していた。上文の和田の沖、家の前はともにこれらの浜の名称である。三保半島には清水港奥部の旧折戸村にも小字

地名としての和田があるがこちらではない。三保では流された家も怪我人も出なかったようである。ここでも「津波は地震の後にくる」という常識があったことが注

目される。

田辺：田辺市 (Fig. 6) については、文献Ⅰに次のように記述されている。

「同八日之夜明時分より浦々江あびき強上り、新庄御公儀御蔵などへ潮入申由、其外新庄跡之浦など田地麦作破亡有之由、爰元堀土橋まで潮入ル」(Photo 3)

文意は、《十二月八日の夜明け頃から海岸に「あびき」が押し寄せ、新庄の御公儀蔵などが浸水したとのことである。そのほか新庄や跡の浦などの田地・麦作物は大きな被害を受けたとのことである。この堀土橋まで潮が入った》である。

「あびき」は、津波などによる湾内の水位の異常を指す言葉で、現在でも長崎湾などの異常副振動としてこの言葉が使われている。新庄は V 字形の田辺湾の最奥部に位置する村名である。ここに米や藩の特産物を貯蔵する「御公儀御蔵（ごこうぎおくら）」があった。跡之浦は、新庄の南に続く海岸の集落名である。「堀土橋（ほりどばし）」は大庄屋田所氏の居住する田辺の中屋敷町からわずか 100 m ほどのところで、田所氏にとってまさに「爰元（ここともと）」であった。

2.3 津波来襲当日の天候について

元禄十二年十二月八日の夜半から九日にかけて各地で記録された海面異常が、遠地津波ではなく台風や優勢な低気圧など気象的な原因、すなわち高潮、あるいは大きな風波であった可能性はないだろうか。季節が太陽暦の 1 月 27 日から 28 日のことであるので、台風であった可能性はまず考えられない。田口 (1939) の暴風雨、洪水などの項目にも、この両日には著しい暴風雨や洪水の記事はない。

十二月八日前後の天候をさらに確認するために、日光の『社家御番所日記（しやけごばんしょにつき）』・名古屋の『鸚鵡箋中記（おおむろうちゅうき）』などの日記を調べてみた (Table 2)。表から明らかなように、十二月七日は近畿から東北地方にかけて、どこも穏やかな晴天である。九日には西から次第に曇りから雨となっている。京都では九日朝から、名古屋では正午ころから雨となった。江戸では八日と九日は雪となっている。盛岡では、九日夕刻までには、まだ雨にはなっていない。先に述べたように那珂湊では九日夜から大風雨となった。本州中部に低気圧の東進があったと推定されるが、とくに気象状況が異常であったとは認められない。以上の考察により、元禄津波の記事は、気象的原因による高潮や風浪によるものではない、と判断される。

今後、この津波に関する文献史料が、ここに紹介したもの以外に見つかる可能性は十分にあらう。その際、留意しておくべきことを一つ記しておく。元禄十二年八月

Fig. 6. Detailed map of Tanabe City, Wakayama Prefecture. “Tanabe-Machi-Daicho” (the local town record of Tanabe) reports that the tsunami inundated the government storage house at Shinjo. The tsunami height is estimated at 5.4 m. The tsunami was also observed at Horidobashi Bridge near the city center, where the height is estimated at 3.3 m.

Photo 3. The original text of “Tanabe-Machi-Daicho”, describing tsunami damage in Tanabe.

Table 2. 各種日記に記された元禄十二年十二月八日、九日の天候.
Table 2. Weather at Morioka, Nikko, Edo, Nagoya, Ise, Kyoto, and Wakayama for December 7th to 9th in the 12th year of Genroku (January 8th to 10th, 1700) as described in historical documents.

記号	日記名	場所	12月07日	12月08日	12月09日
a	盛岡藩雑書 (モリオカハンザッショ)	盛岡	晴	晴	晴
b	社家御番所日記 (シャケゴバンショニッキ)	日光	記載無	記載無	晴夕曇
c	護国寺日記 (ゴコクジニッキ)	江戸	晴天	雪天	積雪一寸余
d	榊原家江戸藩邸日記 (サカキバラケエドハンテイニッキ)	江戸	晴	曇	雪
e	対馬藩江戸藩邸毎日記 (ツシマハンエドハンテイマイニッキ)	江戸	晴天	雪降	雪降
f	鸚鵡籠中記 (オオムロウチュウキ)	名古屋	記載無	曇	曇 昼より雨
g	公澄卿記 (キンスミキョウキ)	伊勢市	晴	微陰	陰雲重疊 自午刻雨下
h	公通記 (キンミチキ)	京都	天晴	天晴	天陰
i	徳大寺日記 (トクダイジヒナミ)	京都	終日天晴	終日天晴	終日雨下
j	定基卿記 (サダモトキョウキ)	京都	晴	雨	晴
k	三浦家年中日記 (ミウラケネンチュウニッキ)	和歌山	晴	晴	雨天

〔注記〕 bは日光東照宮の社務日記、貞享2年-明治初（1685-1870年代）。cは護国寺（東京都文京区）の役務日記、元禄期-宝暦期（1688-1764）護国寺蔵。dは榊原家の江戸藩邸日記、上越市立高田図書館蔵。eは対馬藩江戸藩邸の日記、東大史料編さん所蔵写本による。fは尾張藩土朝日文衛門重章（アサヒブンザエモンシゲアキ）筆で元禄4（1691）-享保2（1717）の日記、徳川林政史研究所蔵。gは滋野井（シゲノイ）公澄筆で元禄3（1690）-享保6（1721）の日記、神宮文庫所蔵（三重県伊勢市）。hは神道家の正親町（オオギマチ）公通筆、東大史料編さん所蔵写本（寛文13・貞享5・元禄6-14）による。iは公家の徳大寺金全（コウゼン）筆で元禄7年-享保4年の日記、東大史料編さん所蔵。jは国学者の野宮（ノノミヤ）定基筆、宮内庁書陵部蔵、東大史料編さん所蔵写本（天和3-宝永8）による。kは和歌山藩家老三浦家の日記、和歌山大学紀州経済史文化史研究所蔵。

十五日（1699年9月8日）に東海地方から関東地方にかけて、江戸時代屈指の大型台風が襲っている。この台風による高潮が、伊勢湾・浜名湖口・静岡県大須賀町・富士市吉原などで記録されており、しばしば「元禄十二年の津浪」と表記されている。したがって、日付の記載を伴わない、単に「元禄十二年の津浪（あるいは暴濤）」とのみ記された史料については、慎重な検討が必要である。

§3. 津波の来襲時刻と潮位

三陸海岸：文献 C・E によれば津波が鉾ヶ崎と大槌の

市街地に浸入し始めたのは、「八日之夜九ツ時」である。現在の時法を単純に当てはめると九日の午前0時に相当する。江戸時代の貞享時法は地方天文時間を用いていたため、三陸海岸（142°E）では、日本標準時（JST）よりも28分先行している。また、平均太陽時によるJSTに対して、視太陽時による貞享時法は、太陽暦1月28日に対する均時差14分だけ遅れている。これらを考慮すると「八日之夜九ツ時」は、現行のJSTでは、西暦1700年1月27日23時46分となる。

Fig. 7 は、宮古・茨城県大洗港・静岡県清水港および紀伊白浜における、1700年1月27日21時から翌28

Fig. 7. Computed tidal curves at Miyako, Ooarai (3 km SW of Nakaminato), Shimizu (3 km W of Miho), and Shirahama (5 km SSW of Tanabe) during January 27–28, 1700. Arrows a–d indicate times when the tsunamis were noticed.

日 18 時迄の天文潮位を計算したものである。大槌の潮位は宮古とはほぼ同じである。銚ヶ崎や大槌の市街地に津波が浸入した「八日之九ツ時」は、Fig. 7 の矢印 a の時刻となり、小潮の干潮に向かうところで、天文潮位は平均海面 (MSL) より約 20 cm 低かった。

文献 B の「八日より九日迄」の記述は、常識的には九日の朝までと理解できるであろう。Fig. 7 によると、九日の午前 8 時頃小潮の満潮時を迎え、このころ天文潮位は $MSL + 30$ cm であった。

那珂湊：文献 G によると「九日之朝五ツ時」、波が高くて船が那珂湊に着岸できなかったという。この日の那珂湊 ($36.3^{\circ}N$, $140.6^{\circ}E$) での日の出時刻は 6 時 43 分で「明六ツ」はその 36 分前、日没時刻は 16 時 59 分で「暮六ツ」はその 36 分後である。これから「朝五ツ時」を求めると、午前 8 時 2 分となる (Fig. 7 の矢印 b)。Fig. 7 によればこの時刻是那珂湊 (大洗港と潮位は同一) での満潮時刻にあたっており、 $MSL + 30$ cm まで潮位が上昇していた。この時刻には少なくとも津波の影響はすでに存在しており、この日の夕刻までは着岸できない状態が続いたものとみられる。

三保：文献 H に「十二月九日明六ツ前」と記されている。この日の三保 ($35.0^{\circ}N$, $138.5^{\circ}E$) の日の出は 6 時 49 分であるから、「明六ツ」は 6 時 13 分で、このころから津波が三保の居住地に浸水してきた。その後「其日之四ツ前七度ほと上り」と書かれている。「明六ツ」から「四

ツ時」(10 時 3 分) までに 7 度の押し波を経験している。これを 6 周期とみなせば、周期 40 分の長い波であったと考えられる。1960 年のチリ津波と同様に震源域の大きな遠地津波であったことを反映している。津波はこの日の正午ごろまで継続して、昼過ぎに静かになった。津波に気付いた「明六ツ」時の潮位は $MSL - 20$ cm で、干潮の 1 時間半後であった (Fig. 7 の矢印 c)。午前 11 時頃満潮 ($MSL + 30$ cm) を迎え、12 時過ぎには天文潮位も急速に引きに転じる。昼過ぎより静かになったのは、津波が弱くなったのに加え、天文潮位の低下も原因していたのであろう。

田辺：文献 I によれば、「同八日之夜明時分より」とある。これは現代の時制では八日の朝となるが、1 日の変わり目を「夜明 (明六ツと同じ)」とする江戸時代の記載方法では、九日の朝のことを「八日之夜明」と記すこともある。九日の田辺 ($33.7^{\circ}N$, $135.4^{\circ}E$) の日の出は 6 時 59 分であり、「夜明」は午前 6 時 23 分となる。この時分から津波による海面振動が烈しくなり、新庄地区に浸水したというのである。このとき田辺 (白浜) の潮位は $MSL - 30$ cm であって (Fig. 7 の矢印 d)、干潮時刻であるにも関わらず津波が市街地に浸水したことになる。

以上、時刻・潮汐についてことさらに厳密さに固執して記述したが、江戸時代の時刻表示に対して 1 時間程度の誤差は免がれず、それに対応して潮汐値も 10 cm 程度の誤差を生じうることを断っておく。

§ 4. 各地の津波の高さ

4.1 地殻変動の補正

本節では、文献史料の記述から各地の津波の高さを推定する。この際、前節で求めた天文潮位の他に、1700年当時と現在との海水面の違いを考慮する。海水面（海水準）変動の原因としては、気候変動・氷河の融解に伴うアイソスタティックな変化・地殻変動などがある。最近約100年間の気候変動による海水準の上昇量は年間1~2 mm程度であることが世界中の検潮記録の解析から推定されている[GORNITZ (1993)]。一方、日本付近で実際に観測されている海面変動は年間数 mm 以上であり、これは大部分が地殻変動によるものと考えられる。従って、以下では地殻変動による海面変動のみを考慮する。

日本列島の太平洋岸は、太平洋およびフィリピン海プレートの沈み込みに伴ってゆっくり沈降または隆起し、およそ百年毎に発生する巨大地震に伴って反発する。日本列島の測地学的観測が始まったのは明治以降であるが、南海トラフ沿いの四国や紀伊半島では、昭和の東南海(1944)・南海道(1946)地震をはさんだデータが存在し、巨大地震に伴う地殻変動がほぼ1サイクルにわたって確かめられている[ANDO (1975), FITCH and SCHOLZ (1971), THATCHER (1984)]。さらに長期の変動を文献史料から推定することができる場合もある。以上のことを考慮に入れて各地の元禄津波当時の地盤の高さを推定する。

宮古：宮古における海面変動については不確定さが大きい。OZAWA *et al.* (1997) の検潮記録の解析によると宮古は1958年から1996年までに年平均3.26 mmの割合で沈降している。同様の沈降は三陸海岸全体に見られ、少なくとも水準測量が始まった1900年以降は続いている[KATO (1979)]が、いつ始まったのかは不明である。三陸南部の陸前高田では約3,000年前の泥炭層が現在の海拔下約5 mで発見されており[千田・他(1984)]、当時の海水面はこれよりは低かったことを示しているが、これは全国的に知られている弥生の小海退に対応するもの[太田・他(1990)]であり、地殻変動によるものではないようである。三陸海岸は典型的なリアス式海岸であるが、その形成後、最近数万年から数十万年間は逆に隆起しており、小規模な海岸段丘が発達している[三浦(1968)]ほか、宮古付近でも標高0.5~1 mの波食棚が見つまっている[PIRAZZOLI (1978)]。このように三陸海岸では、最近百年以内の測地データと数千年以上の地形・地質データとでは、海水面の上下について正反対の挙動を示す。しかし、宮古付近では海岸を隆起させるような巨大地震は歴史時代には知られていない。

従って、現在の海岸の沈降が1700年から続いていたとすると、1700年には海面は現在よりも96 cm低かったことになる。

大槌：大槌は宮古・釜石間の釜石寄りにあるので、釜石における検潮記録も参照する必要がある。釜石の沈降は年間12 mmにも達するとOZAWA *et al.* (1997) に記されているが、同文献ではこの地区で行われてきた鉱業採掘による影響であると述べている。この影響のなくなったと考えられる1978年から1996年までの期間では、同所の平均沈降速度は年間6 mmである。また、大船渡の沈降量も年平均6.47 mmである。これを考慮して大槌の年間沈降量を5 mmと推定すれば、1700年当時の地盤は現在より1.5 m高かったことになる。

三保：三保半島は、フィリピン海プレートの沈み込みに連動してふだんはゆっくり沈降し、南海トラフ沿いの巨大地震の際には隆起する。元禄十二年の津波で、海水は「ゑこ松ノ内まで」来たという記載が文献Ⅱにある。「ゑこ」は旧三保村内の小字名で、現在は公園となっている旧国鉄三保駅の周囲200 m四方ほどの小区域をさし、旧三保村内では標高の低い地域に当たる。現在は「江湖(えご)」と呼ばれている(Fig. 5)。「ゑこ」の現在の標高は、1986年測量の『清水市都市計画地図』によるとTP 1.6 mである。「松ノ内」は「ゑこ」の中の小地名であろうが、現地では確認できなかった。以下では「ゑこ」の標高の時間的変化を、検潮記録および文献史料から推定する。

検潮記録によると清水における1958年から1996年までの、年平均の沈降量は4.85 mmである[OZAWA *et al.* (1997)]。昭和の東南海地震(1944)に伴う地殻変動量は三保付近では数 cm 以下[INOUCHI and SATO (1975), SATAKE (1993)]であったので無視できる。安政の東海地震時(1854)から清水市都市計画地図が作成された1986年までの132年間等速度で沈降が続いていたとすれば、安政東海地震直後の三保の標高は1986年より64 cm高く、約2.2 mであったと推定される。

安政東海地震の際には、清水市巴川河口付近は約3 m地盤が隆起したとされている[ISHIBASHI (1981), 石橋(1984)]。その根拠は、『安政元年11月4日東海沖地震に関する静岡県調査報告 明治26年』[東京大学地震研究所編(1977)]の清水町長鈴木平六からの「海嘯＝閤スル事項取調報告書」に巴川末流は往事干潮の時水量(水深)一丈二、三尺であったものが、「今」(1893年当時)には満潮の時で六尺余である、と記されていることによる。これら両数字の差六尺~七尺(1.8~2.1 m)に、清水での平均干満差約1.4 mを加えれば、巴川河口付近で約3 mの地盤隆起があったことが肯定される。三保半島の

付け根の駒越については、有渡郡不二見村からの「地震及海嘯ニ関スル取調報告書」に、安政地震前には、村松・宮加三・駒越等は満潮時には海水が人家に迫るほどの低地であったものが、今は標高十尺(3 m)以上の土地に変化した、と記されている。「ゑこ」は、巴川河口の 1.5 km 東方で、駒越の 2 km 北方にあたっている。したがって、安政東海地震による「ゑこ」での地盤隆起も約 3 m であったと推定されるが、現代の地盤高から推定した安政地震直後の地盤高は 2.2 m であったので、この地震前には「ゑこ」の標高は海面下(−0.8 m)であったことになってしまう。しかし、「ゑこ」は、「乾尻(いぬいじり)」・「平大夫」・「字豆久呂(うづくろ)」の隣接の小字とともに地震前には低すぎて耕作に適さず、塩田としてのみ利用されていたが、地震後は耕作地となった、とする記載(鈴木繁三著『わが郷土清水』)があり[都司(1979)],「ゑこ」が安政東海地震の前には低地ながら陸地であったことは明らかである。清水における大潮時の干満差は 1.6 m であるので、大潮時の満潮時にも陸地であるためには、地盤高は平均海面上 0.8 m 以上なければならない。そこで、安政東海地震(1854)直前の標高を平均海面上 0.8 m と推定する。

宝永地震から安政東海地震までの 147 年間も、現代と同じ速度で沈降が続いていたとすると、宝永地震(1707)の直後には、安政東海地震の直前より 71 cm 高く、標高 1.5 m であったことになる。宝永地震による隆起を積極的に示す史料はないが、石橋(1977)、および ISHIBASHI(1981)は、宝永地震の震源域は駿河湾の中に及んでいたとしており、また相田(1981)は、安政東海地震と同じような駿河湾奥に達する断層モデルが津波をいちばんよく説明できるとしている。一方、清水港の古来よりの変遷図には干潟の発生などの地殻変動は記されていないし、『三保村用事覚』にも、地震と津波の具体的な記述はあるが、地殻変動を示す記事はない。また、Tsuji(1987)の寺院過去帳に基づく宝永と安政東海地震による死者数の分布の研究によれば、安政東海地震の時と異なり、駿河湾西岸平野部での死者密度が非常に小さく、駿河湾奥の蒲原・富士川地域で古文書・寺院過去帳ともに宝永地震の本震による死者を全く記録していない。これらのことから、宝永地震による隆起域は駿河湾内には達しておらず、三保では地殻変動はほとんどなかったとの解釈が可能である。しかし、この議論を展開するのは本稿の趣旨からはずれるので、深入りはしない。宝永地震による地殻変動がなかった場合には、宝永地震直前の「ゑこ」の標高は 1.5 m であったと推定される。また、宝永地震による隆起を生じたとした場合でも、地震以前は松の木の生えた陸地であったことから、少なくとも大潮の満潮時

にも浸水しない標高 0.8 m の土地であった、と推定される。宝永地震と元禄十二年津波とはわずか 7 年の差であるから、この間の沈降は無視する。したがって、元禄津波当時の「ゑこ」の標高は 0.8 m~1.5 m であったと推定される。

田辺: Ozawa *et al.* (1997) によれば白浜は 1951 年以降、年平均 0.8 mm で隆起している。また、昭和南海道地震(1946)の時には約 30~50 cm 沈降している[Miyabe(1955), Satake(1993)]。昭和南海道地震、安政東海地震(1854)および宝永地震(1707)の際にも同様に約 40 cm 沈降し、これらの巨大地震の間は年平均 0.8 mm で隆起したと仮定すると、元禄十二年津波当時の白浜(田辺)の標高は、1996 年現在より約 96 cm 高かったことになる。

4.2 津波の高さ

宮古: 文献 C によると、鉾ヶ崎では津波のため 13 軒が「打破」られた。これは流失ではなく、大破と解釈すべきで、地上冠水高さ 1~1.5 m であったと推定される[羽鳥(1984), 都司(1987)]。鉾ヶ崎の旧来の市街地の標高は TP 1.4~1.9 m である。津波が押し寄せ始めた九日午前 0 時頃から夜明け時刻までは干潮(MSL−20 cm 前後)であったことを考えあわせると、ここでの津波の高さは現在の海面に対して約 3 m と推定される。前節で述べた地殻変動を考慮すると、1700 年当時の海面に対しては約 4 m であった。

津軽石では、津波は「久保田渡迄」と書かれている。又「乗脇ハ稲荷の下まで」浸水している。この場所は、JR 津軽石駅北側の踏切の西側の市街地で(Fig. 3)、都市計画地図によれば、ここの道路および住宅地の標高は TP 1.8~2.3 m ほどである。したがって、ここでの津波浸水標高は TP 2.0 m と推定する。津波が市街地に入ってきた九日午前 0 時頃には、天文潮位は MSL−20 cm ほどであったため、津波の高さは現在の海面に対して 2.2 m、1700 年当時の海面に対して 3.2 m と推定される。

大槌: 大槌の当時の市街地である八日町の標高は TP 2.6 m、江岸寺付近の街道の標高は 2.1 m であるが、津波はこの道路には達していない。「町屋裏通田畑」に相当すると考えられる、現在の町役場・郵便局・大槌駅付近の標高は TP 約 1.6 m である。津波に襲われた九日午前 0 時の天文潮位は MSL−20 cm であるから、大槌での津波の高さは現在の海面に対して 1.8 m、1700 年当時の海面に対しては 3.3 m と推定される。

那珂湊: 文献 G には陸上への浸水状況の記載はなく、ただ潮の異常によって船が着岸できなかったということとどまる。したがって、ここでは津波による浸水よりも、

海水の流れが速かったことが問題であった。1960年5月24日のチリ地震津波の際、那珂湊では那珂川に進入した押し波の速度は7ノット(秒速3.6 m)くらいであった[羽鳥・高(1961)]。1996年2月17日のインドネシア(イリアンジャヤ)地震による遠地津波の際にも土佐清水の津波の高さは0.79 mで船舶に被害が出た[気象庁地震火山部地震津波監視課(1996)]。これらを参照して、元禄十二年の那珂湊での津波の高さはおよそ1 m前後と推定される。

三保: 前節で詳しく検討したように、「ゑこ」の地盤高は元禄十二年当時0.8~1.5 mであったと推定でき、海水がここに達したことから、元禄十二年津波の三保での津波の高さは、潮位のMSL-20 cmを補正して1.0~1.7 mと推定する。

田辺: 文献Ⅰに記された「新庄御公儀御蔵」は、現在の田辺市新庄字名喜利の松崎富次氏宅内にあった(田辺市教育委員会のご教示による)(Fig. 6)。同氏宅の庭内の建物の位置が江戸時代には「御公儀御蔵」であったことが、同家の人に伝承されていた。蔵のあった位置の標高はTP 4.1 mである。原文は「御公儀御蔵などへ潮入申由」であって、少なくとも蔵内の敷地面あるいは床面に海水が浸水した、と理解できる。控えめに敷地面に浸水

したとすると、ここでの浸水高は現在の海面上4.1 mであり、元禄津波当時の海面を基準として5.1 mと推定できる。津波の高さは、夜明時刻の天文潮位がMSL-30 cmであったことを考慮すると5.4 mとなる。

文献Ⅰに記された「堀土橋」は、現在の田辺第一小学校北西の交差点にあった橋で、その標高はTP 2.0 mである。白昼ならば、橋の下の川床に津波がちょっと入って来たのが観察されたと理解することも可能であるが、時刻が早朝なので、そのような小さな津波では町の人には気付かれなかったと思われる。「爰元堀土橋まで潮入ル」の表現を、「この橋の上面の道路に浸水した」と解釈すれば、津波の浸水高は現在の海面上2.0 m、元禄津波当時の海面上3.0 mである。天文潮位を補正して、津波の高さは3.3 mと推定される。

§ 5. 元禄津波の波源と津波の規模

前節で求めた各地における津波の高さに基づき、これらの津波をもたらした地震の震源およびその規模を推定する。同様な議論はSATAKE *et al.* (1996) によってなされており、後述の5.2節の津波マグニチュードの推定(津波の高さの新しい推定値に基づく)を除いては、上記論文と重複する部分があることを予め断わっておく。

Fig. 8. Comparisons of tsunami heights from the 1952 Kamchatka, 1964 Alaska, 1960 Chile and 1700 inferred Cascadia earthquakes along the Pacific coast of Japan. Updated from SATAKE *et al.* (1996).

5.1 元禄津波の特徴と他の遠地津波との比較

元禄十二年の津波が遠地津波であることは間違いない。文献史料には津波の被害のみ記されていて地震に関する記述がないこと、また Fig. 8 に示すように津波の高さが三陸地方から紀伊半島まで同程度であることから、日本周辺の地震による津波であるとは考えられない。日本付近、例えば三陸沖で発生する地震による津波の高さは、波源に近い三陸地方で大きく、そこから離れるにつれて急速に小さくなる。地震の記述がないことに関しては、いわゆる津波地震の可能性も考えられるが、日本付近で起きた津波地震からの津波の高さ分布はやはり局地的に大きくなり、広い範囲で一様になることはない。

歴史的に日本の太平洋沿岸は数々の遠地津波に襲われてきた。もっとも著しい例は 1960 年チリ地震 (M_w 9.5) による津波で、地震発生から約 23 時間後に津波が日本に到達し、140 人もの犠牲者を出した。この他にも 1964 年アラスカ地震 (M_w 9.2)、1952 年カムチャツカ地震 (M_w 9.0) などの巨大地震からの津波が日本各地で観測されている。Fig. 8 には元禄十二年の津波が記録されたのと同じ場所でこれらの巨大地震からの津波の高さを比較した。1952 年カムチャツカ地震津波は三陸沿岸（宮古付近）で 2 m 程度であったが、那珂湊・三保・田辺と南に行くにつれて次第に小さくなる。これは津波波源がそれほど遠くなく、また日本の北方に位置するためである。1964 年アラスカ地震による津波は日本沿岸では 30 cm 程度と小さい。これも波源と日本との位置関係および指向性（日本は波源域の長軸方向に位置していた）の影響と考えられる。実際、この地震からの津波はアメリカ西海岸やハワイでは 3~4 m で、大きな被害を出した。1960 年チリ地震の津波は、宮古で約 6 m、大槌・那珂湊で約 3 m、三保・田辺で約 2 m であった。宮古を除いて、津波の高さが日本沿岸でほぼ一定であったことも大きな特徴であり、これは波源が日本沿岸とほぼ直交する方向に位置していたためと考えられている。元禄十二年の津波もチリ地震津波とやや似た波高分布を示す。

5.2 津波マグニチュードの推定

津波の高さから地震の規模を推定する方法として、ABE (1979) は津波マグニチュード M_t を導入した。津波マグニチュードとしては今村・飯田および羽鳥によってよく用いられる m という尺度もあるが [例えば、渡辺 (1985)], これは津波の規模を表すものである。これに対して M_t スケールは津波を起こした地震の規模を表すもので、 M_t の値は地震のモーメントマグニチュード M_w と同じ値をとるように設定されている。ABE (1979) によれば検潮儀上の片振幅 H (単位は m) と M_t は $M_t =$

$\log H + 9.1 + C$ と関係づけられる。ここで C は波源と観測点の位置関係による定数で、日本付近で観測された津波の場合、南米からの津波に対しては 0、アラスカ・アリューシャンからの津波の場合は 0.3、カムチャツカから津波の場合は -0.2 である。上式の H は検潮儀上の津波の振幅であり、文献史料から推定される津波の高さ（津波の遡上高に対応する）とは異なる。現地調査などによって得られた津波の遡上高と検潮記録上の振幅との関係については、阿部 (1989) や KAJIURA (1981) によって経験的に以下のような関係が導かれている。津波の遡上高が測定された海岸を幾つかの区間に分割したとき、各区間（長さ 20 km 程度）での遡上高の平均 H_n (区間平均高) はその付近での検潮儀上の津波振幅 H の 2 倍となり、またその区間内での最高値 $H_{n, \max}$ は区間平均高の 2 倍、検潮儀上の津波振幅 H の 4 倍となる。すなわち、 $H_n = 2H$ 、また $H_{n, \max} = 2H_n = 4H$ である。Fig. 8 にまとめられた各地の津波の高さに対して、 H_n を求めると、三陸地方に対しては 3 カ所の平均として 3.5 m、田辺では 2 カ所の平均として 4.4 m となる。また、 $H_{n, \max}$ は三陸地方に対しては宮古での 4 m、田辺では 5.4 m となる。

前節で推定した各地における津波の高さを、三陸地方・那珂湊・三保・紀伊田辺の 4 カ所に分けて、上式を適用し、各波源域についての M_t を見積もってみる。観測値として H_n を用いると、4 カ所の平均から南米に対しては $M_t = 9.1$ 、アラスカ・アリューシャンに対しては 9.4、カムチャツカに対しては 8.9 となる。推定された津波の高さを最高値 $H_{n, \max}$ として扱えば、4 カ所での平均から南米に対しては 8.9、アラスカ・アリューシャンに対しては 9.2、カムチャツカに対しては 8.7 となる。これらの計算から、元禄十二年の津波が遠地津波であったとすると、津波を起こした地震の大きさは南米については 8.9~9.1、アラスカ・アリューシャンについては 9.2~9.4、カムチャツカに対しては 8.7~8.9 であったと推定される。波源域がどこであったにせよ、津波を起こした地震の大きさは M 9 クラスであった (Fig. 9)。

5.3 波源の推定

次にこれらの各波源域候補について元禄十二年十二月 (1700 年 1 月) に巨大地震が発生した可能性を検討する。南米では文献史料などにに基づく地震のカタログが整備されており、17 世紀までさかのぼって地震の発生が記録されている [羽鳥 (1996)、LOMNITZ (1970)]。例えば、1687 年にはペルー (Callao) で M 7.6 の地震が発生した。1730 年にはチリ (Valparaiso) で M 8.7 の地震が、また 1751 年には同じくチリ (Concepcion) で M 8.5 の地震が発生し、Concepcion の町が全滅するなど地震動や津波による大きな被害が出ている。さらにこれらの

Possible Sources of the 1700 Tsunami in Japan

Fig. 9. Possible source regions for the 1700 tsunamis observed in Japan and estimated earthquake sizes in terms of tsunami magnitude scale, M_t . Updated from SATAKE *et al.* (1996).

地震に対応した津波による被害が三陸沿岸でも記録されている [渡辺 (1985)]. 例えば 1751 年の津波では大槌で床まで浸水した. 日本にも被害を起こした津波が発生したことから, これらの地震のマグニチュードは過小評価されている可能性が高い. いずれにせよこれらの例では, 大地震とそれに対応する津波が南米および日本で記録されている. これに対して, 1700 年には南米での地震の記録はない. 先に述べたように, 1700 年の地震の規模は M_9 クラスと見積もられることから, これが南米で発生したのなら大きな被害を出すはずであり, それが記録されていないとは考えにくい. 従って震源が南米である可能性は低い.

次にカムチャツカについて検討する. カムチャツカ半島にロシア人が移住し始めたのは 1680 年頃であり, 同地域の地震カタログに載っている最古の地震は 1737 年の巨大地震である [СОЛОВЬЁВ (1968)]. この地震については最近, 文献史料や海岸に残された津波堆積物から, その規模は 1952 年のカムチャツカ地震 ($M_w 9.2$) を凌ぐものと推定されているが, 1700 年に同様の地震が発生したことを示す文献史料や津波堆積物は見つかっていない (Gusiakov 氏私信). また, カムチャツカの地震による津波は日本沿岸では南に行くほど小さくなる (Fig. 8)

のに対して, 元禄十二年の津波の高さはほぼ一様であることから, カムチャツカの地震による可能性も低い.

アラスカ・アリューシャン地域は当時から人口が少なく, 文献史料は残っていない. Fig. 8 に示したように, この地域からの津波は指向性の影響で日本沿岸では小さくなる. このため, 推定される地震の規模は $M_t = 9.2 \sim 9.4$ と最大で, 1964 年のアラスカ地震を凌ぐものでなければならない. 1964 年アラスカ地震は 10 m にも及ぶ地殻変動を起こし, 地質学的な証拠を数多く残した. アラスカ・アリューシャン地域でも最近地質学的手法による古地震の調査が行われているが, 1964 年の地震を上回るような地学的証拠はまだ発見されていない [CARVER and McCALPIN (1996), COMBELICK (1991), PLAFKER *et al.* (1992)]. このように元禄十二年の津波の波源としては, 南米, カムチャツカ, アラスカ・アリューシャンのいずれも可能性が低い.

5.4 カスケード沈み込み帯における巨大地震の可能性

北米西海岸のカスケード沈み込み帯ではファンデフカプレートが北米プレートの下に沈み込んでいるが, 巨大地震の発生は記録されていない [HEATON and HARTZELL (1987)]. この地域にヨーロッパ人が移住してきた

のは 1850 年頃で、それ以降は巨大地震が発生していないことは文献史料から明らかにされている [NELSON *et al.* (1995)]. わずかに、先住民（アメリカインディアン）の言い伝えとして、大昔の冬の夜に地震が起きて津波が襲ったらしいということが、最近明らかにされているだけである [CARVER and CARVER (1996)].

カスケード地域では、ここ 10 年程の間に古地震の発生を裏付ける地質学的データが蓄積されてきた [ATWATER *et al.* (1995), CLAGUE (1997)]. Fig. 10 の白丸は、地層内の液化化跡、海底掘削コアの中の乱泥流堆積物（タービダイト）、海岸付近の地殻変動の痕跡など、過去の地震の発生を示すものである。地殻変動の証拠としては、陸地が沈降したため海水の流入を受けて立ち枯れた大木や、陸上の腐植土を覆う水中で堆積した泥などがある。黒丸は、津波堆積物と考えられているものを示す。これらの地質学的証拠に対して炭素同位体を用いた年代測定がなされ、もっとも新しい地震は約 300 年前（西暦 1700 年から 1720 年頃）に発生したことが明らかにされている [NELSON *et al.* (1995)]. 最近、YAMAGUCHI *et*

al. (1997) は、立ち枯れた大木の年輪を詳しく調べ、地震は 1699 年の成長期終了（8 月）以降、翌年（1700 年）の成長期開始（5 月）以前に発生したことを明らかにした。したがって、元禄十二年十二月（1700 年 1 月）に日本で記録された津波がカスケード地域の巨大地震によるものだとすると、これらの地質学的証拠と調和的である。

元禄十二年に日本で記録された津波がカスケードの地震によるものとして、地震の発生時と規模を見積もってみよう。すでに述べたように日本でもっとも早く津波が記録されているのは三陸海岸で、1700 年 1 月 27 日 23 時 46 分頃（日本時間）である。これは世界標準時では 27 日 15 時前に対応する。アメリカ北西部から日本まで津波が伝播するには約 10 時間かかることから、地震の発生時は 1 月 27 日 5 時（世界標準時）、北米太平洋岸の現地時間では 1 月 26 日午後 9 時頃と推定される。これは先に述べた先住民の言い伝え（冬の夜）と一致する。地震の規模について、カスケードではこれまで計器記録されるような津波が発生していないため、 M_t 公式の補正定数 C が求められていない。そこで、全世界の平均値 (0) を採用すると、南米と同様に $M_t = 8.9 \sim 9.1$ と見積もられる。

§ 6. 結 論

元禄十二年十二月に日本各地で記録された津波の高さ分布を再検討した。この津波を記した文献史料の記載内容や価値を検討した結果、『日記書留帳』・『盛岡藩雜書』・『大槌古今代伝記』・『茨城県水産史』・『三保村用事覚』・『田辺町大帳』の 6 つを基本史料として採用した。これらの記載によると、宮古では 13 軒が津波によって大破し、津軽石でも浸水した。大槌では、漁師の家 2 軒が破損したほか、田畑が浸水した。那珂湊では津波のために船が入港できなかった。三保でも集落付近まで浸水した。田辺では蔵や城下の橋まで浸水した。

津波の来襲時の潮位や過去 300 年間の地殻変動を考慮した結果、各地の津波の高さは以下のように推定される。すなわち宮古鉾ヶ崎：4 m、津軽石：3.2 m、大槌：3.3 m、那珂湊：1 m、三保：1.0~1.7 m、田辺：5.4 m 及び 3.3 m である。

この津波の発生源としては、北米北西部のカスケード沈み込み帯である可能性がもっとも高い。地震の規模は $M 9$ クラスの超巨大地震で、発生時は西暦 1700 年 1 月 26 日午後 9 時頃（現地時間）と推定される。

謝 辞

この研究を進めるに当たり、岩手県立図書館・盛岡市

Fig. 10. Map of the Cascadia subduction zone and sites of paleo-earthquake and paleo-tsunami evidence (ATWATER *et al.*, 1995).

中央図書館・宮古市史編纂室岸 昌一氏・大槌町の花石公夫氏・清水市三保の羽衣ホテル遠藤邦夫氏・同市の遠藤章二氏・田辺市役所山崎清弘氏・田辺市立図書館塩田晃氏・同市新庄公民館柏木多美男氏の各位には、貴重な原史料のご紹介・ご教示をいただき感謝いたします。清水市での調査には、東海大学海洋学部の大学院生、白石通聡氏のお世話になりました。また、東京大学地震研究所の島崎邦彦教授には、研究のさまざまな段階で有益な議論をしていただきました。査読者石橋克彦氏および匿名査読者からの貴重なコメントは本稿の改善に大いに役立ちました。記して感謝いたします。

文 献

- ABE, K., 1979, Size of great earthquakes of 1837–1974 inferred from tsunami data, *J. Geophys. Res.*, **84**, 1561–1568.
- 阿部勝征, 1989, 地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測, *地震研彙報*, **64**, 51–69.
- 相田 勇, 1981, 東海沖におこった歴史津波の数値実験, *地震研彙報*, **56**, 367–390.
- ANDO, M., 1975, Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai trough, Japan, *Tectonophysics*, **27**, 119–140.
- ATWATER, B. F., A. R. NELSON, J. J. CLAGUE, G. A. CARVER, D. K. YAMAGUCHI, P. T. BOBROWSKY, J. BOURGEOIS, M. E. DARIENZO, W. C. GRANT, E. HEMPHILL-HALEY, H. M. KESLEY, G. C. JACOBY, S. P. NISHENKO, S. P. PALMER, C. D. PETERSON and M. A. REINHART, 1995, Summary of coastal geologic evidence for past great earthquakes at the Cascadia subduction zone, *Earthquake Spectra*, **11**, 1–18.
- CARVER, D. H. and G. A. CARVER, 1996, Earthquake and thunder-native oral histories of paleoseismicity along the southern Cascadia subduction zone, *Progr. Geol. Soc. Am.*, **28**, 54.
- CARVER, G. A. and J. P. MCCALPIN, 1996, Paleoseismology of compressional tectonic environments, in “Paleoseismology”, ed. by J. P. McCAlpin, Academic Press, 183–270.
- 千田 昇・松本秀明・小原真一, 1984, 陸前高田平野の沖積層と完新世の海水準変化, *東北地理*, **36**, 232–239.
- CLAGUE, J. J., 1997, Evidence for large earthquakes at the Cascadia subduction zone, *Rev. Geophys.*, **35**, 439–460.
- COMBELLICK, R. A., 1991, Paleoseismicity of the Cook inlet region, Alaska: evidence from peat stratigraphy in Turnagain and Knik arms, Professional Report 112, State of Alaska, Division of Geological & Geophysical Surveys, 52 pp.
- FITCH, T. J. and C. H. SCHOLZ, 1971, Mechanism of under-thrusting in southwest Japan: A model of convergent plate interactions, *J. Geophys. Res.*, **76**, 7260–7292.
- GORNITZ, V., 1993, Mean sea level changes in the recent past, in “Climate and sea level change: observations, projections and implications”, ed. by R. A. Warrick, E. M. Barrow and T. M. L. Wigley, Cambridge Univ. Press, 25–44.
- 羽鳥徳太郎, 1984, 津波による家屋の破壊率, *地震研彙報*, **59**, 433–439.
- 羽鳥徳太郎, 1996, 南米における津波規模の特性, *地震*, **49**, 241–247.
- 羽鳥徳太郎・高 隆二, 1961, 調査報告 松島, 那珂湊間(宮城県・福島県・茨城県), 1960年5月24日チリ地震津波に関する論文及び報告, チリ津波合同調査班, 303–310.
- HEATON, T. H. and S. H. HARTZELL, 1987, Earthquake hazards on the Cascadia subduction zone, *Science*, **236**, 162–168.
- INOUCHI, N. and H. SATO, 1975, Vertical crustal deformation accompanied with the Tonankai earthquake of 1944, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **21**, 10–18.
- 石橋克彦, 1977, 1707年宝永地震の震源域は駿河湾奥まで及ばなかったか?, *地震予知連絡会東海部会資料*, 69–78.
- ISHIBASHI, K., 1981, Specification of a soon-to-occur seismic faulting in the Tokai district, Central Japan, based upon seismotectonics in Earthquake Prediction: An International Review, ed. by D. W. Simpson and P. G. Richards, Maurice Ewing Series 4, AGU, Washington D. C., 297–332.
- 石橋克彦, 1984, 駿河湾地域の地震時地殻上下変動, 第四紀研究, **23**, 105–110.
- KAJIURA, K., 1981, Some statistics related to observed tsunami heights along the coast of Japan, in “Tsunamis—their science and engineering”, ed. by K. Iida and T. Iwasaki, Terra Sci. Pub., 131–145.
- KATO, T., 1979, Crustal movements in the Tohoku district, Japan, during the period 1900–1975, and their tectonic implications, *Tectonophysics*, **60**, 141–167.
- 気象庁地震火山部地震津波監視課, 1996, ニューギニアの地震, *地震・津波防災季報*, **37**, 26 pp.
- LOMNITZ, C., 1970, Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535 to 1955, *Geol. Rdsch*, **59**, 938–960.
- 三浦 修, 1968, 海岸段丘からみた三陸リアス海岸の発達, *地理学評論*, **41**, 732–747.
- MIYABE, N., 1955, Vertical earth movement in Nankai district, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **4**, 1–14.
- 文部省震災予防評議会(編), 1943, 増訂大日本地震史料 第2巻, 754 pp. (復刻版は1975, 鳴鳳社).
- NELSON, A. R., B. F. ATWATER, P. T. BOBROWSKY, L. A. BRADLEY, J. J. CLAGUE, G. A. CARVER, M. E. DARIENZO, W. C. GRANT, H. W. KRUEGER, R. SPARKS, T. W. STAFFORD and M. STUIVER, 1995, Radiocarbon evidence for extensive plate-boundary rupture about 300 years ago at the Cascadia subduction zone, *Nature*, **378**, 371–374.

- 太田陽子・海津正倫・松島義章, 1990, 日本における完新世相対的海面変化とそれに関する問題, 第四紀研究, **29**, 31-48.
- OZAWA, S., M. HASHIMOTO and T. TAKAHASHI, 1997, Vertical crustal movements in the coastal areas of Japan estimated from tidal observations, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **43**, 1-21.
- PIRAZZOLI, P. A., 1978, High stands of Holocene sea levels in the northwest Pacific, *Quaternary Research*, **10**, 1-29.
- PLAFKER, G., K. R. LAJOIE and M. RUBIN, 1992, Determining recurrence intervals of great subduction zone earthquakes in southern Alaska by radiocarbon dating, in "Radiocarbon After Four Decades, An Interdisciplinary Perspective", ed. by R. E. Taylor, A. Long, and R. S. Kra, Springer-Verlag, New York, 436-453.
- SATAKE, K., 1993, Depth distribution of coseismic slip along the Nankai trough, Japan, from joint inversion of geodetic and tsunami data, *J. Geophys. Res.*, **98**, 4553-4565.
- SATAKE, K., K. SHIMAZAKI, Y. TSUJI and K. UEDA, 1996, Time and size of a giant earthquake in Cascadia inferred from Japanese tsunami records of January 1700, *Nature*, **379**, 246-249.
- СОЛОВЬЁВ, С. Л., 1968, Проблема цунами и её значение для Камчатки и Курильских островов, Проблема цунами, Наука, 7-50.
- 田口龍雄, 1939, 日本の気象史料 (全 3 巻), 中央気象台・海洋気象台編, (復刻版は原書房, 1976), 本編 770 pp., 追補 1, 162 pp., 追補 2, 140 pp.
- THATCHER, W., 1984, The earthquake deformation cycle at the Nankai trough, southwest Japan, *J. Geophys. Res.*, **89**, 3087-3101.
- 東京大学地震研究所 (編), 1977, 安政元年 11 月 4 日東海沖地震に関する静岡県調査報告, 明治 26 年, 20 pp.
- 東京大学地震研究所 (編), 1982, 新収日本地震史料, 第 2 巻, 575 pp.
- 東京大学地震研究所 (編), 1989, 新収日本地震史料, 補遺, 1222 pp.
- 東京大学地震研究所 (編), 1993, 新収日本地震史料, 続補遺, 1043 pp.
- 都司嘉宣 (編), 1979, 東海地方地震津波史料 I・下, 防災科学技術研究資料, 第 36 号, 857 pp.
- 都司嘉宣 (編), 1981, 紀伊半島地震津波史料, 防災科学技術研究資料, 第 60 号, 392 pp.
- つじよしのぶ, 1987, 小津波の記録, 歴史地震, 第 3 号, 220-238.
- 都司嘉宣, 1987, 津波高と被害の関係, 歴史地震, 第 3 号, 239-256.
- TSUJI, Y., 1987, Victims of the 1707 and 1854 Tokai-Nankai Earthquakes—Tsunamis listed on Necrologies of Temples, *Proc. Int. Tsunami Symp.*, IUGG, NOAA/Pacific Marine Environmental Lab., Seattle, 73-102.
- 渡辺偉夫, 1985, 日本被害津波総覧, 東京大学出版会, 206 pp.
- YAMAGUCHI, D. K., B. F. ATWATER, D. E. BUNKER, B. E. BENSON and M. S. REID, 1997, Tree-ring dating the 1700 Cascadia earthquake, *Nature*, **389**, 922-923.