

# 田辺・白浜における津波について

中 村 重 久

## ON TSUNAMIS IN TANABE AND SHIRAHAMA

By *Shigehisa* NAKAMURA

### Synopsis

This is a survey report on tsunamis in Tanabe and Shirahama. At first, a numerical model is studied to know a specific property of a tsunami propagation with some consideration of numerical simulation to an observed big tsunami. In order to know any possibility of the forthcoming big tsunami, it is essential to learn the old documents and the tsunami catalogues. An application of stochastic process to the time history of the big tsunami leads to obtain a convenient measure for tsunami warning and countermeasures, that is, in form of an exceedance probability for a given tsunami magnitude in a given time interval after applying a Poisson process to the local tsunami history in Tanabe and Shirahama.

### 1. 緒 言

田辺・白浜は紀伊半島南西部に位置しており、人口の分布からみても、海岸域の人口密度が高く、また、沿岸の産業も、漁業、水産業などが盛んであり、木材の積出や輸送に港湾が利用されている。また、温泉などもあり、観光地としても知られている。このような地理的立地条件にあって、昭和21年の南海道沖地震による津波の被害は甚大なものであった。すでに知られているように、この海岸域を襲った津波は、歴史時代に入ってからでも数例記録に残されており、そのうち巨大なもののみをとりあげることにすると、1605年慶長地震によるもの、1707年宝永地震、1854年安政地震、1944年（昭和19年）東南海道沖地震、1946年（昭和21年）南海道沖地震によるものがある。また、南米チリ沖から太平洋を横断した津波で、とくに顕著であった最近の例として、1960年チリ津波がある（たとえば、Iida et al., 1967<sup>1)</sup>; 渡辺, 1968<sup>2)</sup>, 1983<sup>3)</sup>; Soloviev and Gao, 1974<sup>4)</sup>）。

このような地震による津波は、近地津波と遠地津波とに便宜的に分類されるが、1960年チリ津波のように波源が日本からはるかに距った例での被害の記録は過去には数が多くないようである。一方、日本のごく周辺の海底に波源をもつ津波は比較的頻度も高く、沿岸域への影響度も大きいと考えられる。しかも、最近では、東海地震についての予知と対策がいろいろの面から検討され、さらにまた、1983年（昭和58年）5月26日には日本海中部地震による津波が発生し、あらためて、地震による津波が認識されるようになった。1946年（昭和21年）の南海道沖地震から38年を経過した現在、次の南海道沖地震の発生する可能性は次第に高まってきていると考えざるをえない。このようなことにかんがみて、田辺・白浜における津波について検討し、その予測についての何らかのよりどころをもとめておくことが必要であると思われる。

これまでにも、南海道沖に波源を想定し、そこから紀伊水道を経て大阪湾に至る間の津波の伝播、変形過程については、これまでにも東京大学地震研究所やその他の関連機関において、いろいろの面からの研究が重ねられてきた。最近の例では、中村による数値モデル（中村, 1981<sup>5)</sup>; Nakamura, 1981<sup>6)</sup>, 1983<sup>7)</sup>）がある。中村による数値実験では、とくに、波源域を特性づけるパラメータを導入したことによって、津波の伝播および変形に関する力学的特性が明らかになってきたものと考えられる。ただ、海底地震についてのパラ

メータを波源域の特性づけに利用した例としては、相田らの研究(たとえば、1983<sup>6)</sup>)がつづけられており、その手法の海岸工学的方面での応用は岩崎ら(たとえば、1983<sup>9)</sup>)によって試みられている。なお、海底地震の起こり方についての情報がない場合やはっきりしていない場合を考えると、適当な水面に対する初期条件を与えて数値実験を繰返す、そこから津波に対する等価津波波源を特性づけるパラメータをもとめる方法も有効と考えられる。とくに、波源域の水面変位高およびその持続時間は津波の海岸における特性を左右する重要な因子であり、このような因子の適当な組合せによって、等価津波波源をもとめることの可能性が明らかになってきた(Nakamura, 1981<sup>6)</sup>, 1983<sup>7)</sup>)。中村は、等価津波波源を考えて、ほぼ実測の津波が再現できるには、たとえば、大阪湾の場合、波源域での水面変位の持続時間は約 400 sec であると考えた。持続時間がこれよりも長くなると津波の計算波形はボア状になって、紀伊半島、四国、大阪湾沿岸の検潮記録にあらわれた津波の波形からかけはなれたものになってしまう。また、持続時間がこれよりも短かいと、コーシー・ポアソン波的な波形になって、やはり津波の実測波形からへだたったものになってしまう。ただ、1983年の Nakamura<sup>7)</sup>の数値実験では、白浜の津波は検討されていない。ここでは、同じモデルによって串本から紀伊水道および大阪湾を含む領域の数値計算から、白浜の津波の特性を検討する。

ところが、このような数値計算では、波源の情報あるいはパラメータが与えられれば、それに対応して、海岸での津波がどの程度となるかを評価することができると考えられるが、それでは、そのような津波がいつ発生するかについては別の面からの検討をまたねばならない。一般に、津波の波源域はいつも同一の場所であるとは限らないし、一定の年周期で津波が来襲するわけでもない。しかし、ひとたび津波が来襲すると、その地域では甚大な被害が予想される。それに対処するには、次の津波の来襲時期の予測を適確に行なう必要がある。そのためには、現在のところ、歴史時代に入って記録に残されている資料にもとづき、科学的に信頼性のある記録をえらび、これに統計学的あるいは時系列論的あるいは確率論的手法を応用することが考

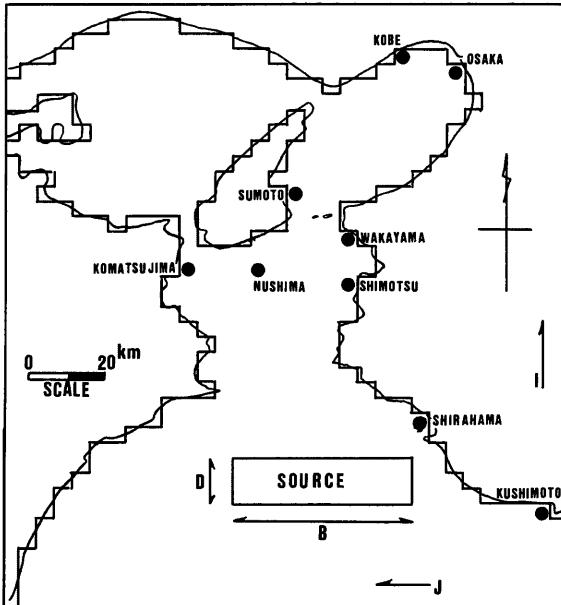


Fig. 1 Area of a numerical tsunami model of finite difference method

えられる。たとえば、地震の発生頻度予測に利用されているポアソン過程に津波の発生頻度あるいは来襲頻度の検討に適用してみることもそのひとつの方法であろう（中村, 1983<sup>10)</sup>。

このように、実際の津波来襲の予測には、現在のところ、力学的手法による評価にあわせて、津波来襲の頻度について確率のかたちでの評価も必要と考えられる。このような観点にたつて、ここでは、とくに、田辺・白浜の津波について、どの程度の規模のものが与えられた期間に少くとも一回来襲するかを表す超過確率をもとめる。

## 2. 数値モデルにおける白浜の津波

田辺や白浜の海岸に最も顕著な影響を及ぼした最近の津波は、南海道沖地震によるものであろう。この津波については、従来、多くの研究があり（たとえば、U. S. Coast and Geodetic Survey, 1964<sup>11)</sup>、羽鳥（1974<sup>12)</sup>）による逆伝播図による検討のほか、Ando (1982<sup>13)</sup>）による断層モデルもある。紀伊水道および大阪湾における津波の数値モデルについては Nakamura (1981<sup>6)</sup>、1983<sup>7)</sup>）の例をあげることができよう。

ここでは、数値モデルの対象海域として、Fig. 1 に示すように、大阪湾、紀伊水道、播磨灘を含む水域を考えた。この水域の水深分布や海岸線の形状は複雑であり、凹凸がはげしいが、数値計算の便宜上、北向き（I軸）および西向き（J軸）をとり、それぞれ 4540 m 間隔の格子網となるように区切り、各格子点の水深は海上保安庁水路部発行の海図 No. 100A より内挿によって与えた。この水域の最大水深は 2600 m ととった。

既往の地震と津波との関係については、地震学的研究（たとえば、Kanamori, 1973<sup>14)</sup>）もみられるが、ここでは、数値モデルにおける津波の波源域の水面条件のみを考えることにする。すなわち、津波を特長づけるパラメータとして、波源域の規模を示すものと波源域の水面の変位を示すものとをえらぶ（Nakamura, 1983<sup>7)</sup>）。波源域の規模と特性を与えるパラメータとしては、波源域の南北幅 D（I軸に平行）、東西幅 B（J軸に平行）、波源初期フロントの位置を与えた。また、波源域内では、ある時刻に水面が鉛直上方に W だけ変位し、時間 T だけその状態が続いた後、初期の水位にもどるものとした。実際の計算にあたっては、大阪湾・紀伊水道の津波の数値モデル（中村, 1981<sup>6)</sup>）の結果を参考にして、Wは0.1から3 mの範囲の値、Tは400 secをとることとし、波源域の位置およびその規模は中村（1981<sup>6)</sup>）の場合と同様、Fig. 1 のようにとることとした。この波源域の北側の境界は、1946南海道沖地震における津波の波源に対応するように、羽鳥（1974<sup>12)</sup>）を参考にして決定した。

ここで数値計算に用いた有限差分法は、Loomis (1972<sup>15)</sup>）が長波の伝播の計算のためにつくったもので、中村は、これをさらに改良して1977سنバワ津波の数値実験（中村, 1980<sup>16)</sup>）に用いた。この改良した方法で、計算をやることとし、時間間隔は  $\Delta t = 14.2$  sec ととり、可能な限り安定な計算条件がつねに満たされているようにした。計算は京都大学大型計算機センター FACOM-M 382/380 によった。

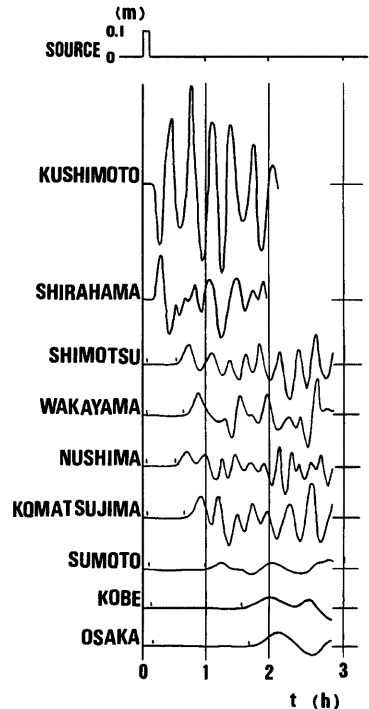


Fig. 2 Computed tsunami in the model ( $t_P$  and  $t_Q$  are indicated by dots respectively for each curve of the numerical tsunami)

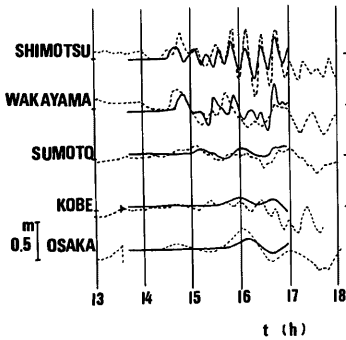


Fig. 3 A comparison of computed tsunami (full line) and the mareogram of 1944 Tonankai Tsunami (dotted line) after some adjustment

これは、同じ場所でのいろいろの地震の場合にも津波の波形はよく似ていると言われることがあるのに相当するとみるべきであろうか。

Fig. 3 に示された1945年12月7日の検潮記録をみると、大阪では、地震発生前約30分間に約 10 cm の地盤の沈下とみられる変化がみとめられ、地震発生時に急激な地盤上昇があったものとみられる曲線が描かれている。それからさらに約30分後の14時05分過ぎにペンは再び潮位変動の記録をはじめている。神戸の検潮記録では、地震動の様子が検潮記録にもあらわれており、地震動と津波との到達時刻の差がよくわかるけれども、原記録紙上での時刻目盛では、地震動発生時刻が地震象上の地震発生時刻よりもおくれていたため、その補正をしたものを Fig. 3 に示した。

数値計算モデルにおいて、ひとつの格子点における水面変位の最初の時点がその格子点の津波到達時刻  $t_p$  とすれば、それはこれまでの津波到達時刻  $t_q$  よりもかなり早い (中村, 1981<sup>5)</sup>)。たとえば、Fig. 2 に示すように、計算モデルでの白浜における到達時刻  $t_p$  は、波源の変動発生時から  $1.58 \times 10^{-2}$  時間後であり、その時の変位は、波源での  $W=0.1$  m に対して  $-3.877 \times 10^{-10}$  m であった。変位が  $10^{-3}$  m をこえるのは ( $t_q = 1.22 \times 10^{-1}$  時間後であった。従来、検潮記録からもとめられてきた津波の到達時刻は、上述の計算モデルの  $t_q$  に対応するものと考えられるから、検潮記録でもっと早い時刻に津波の影響は微小ながらもあらわれているものと考えべきなのであろう。ちなみに、串本では、Fig. 1 のような計算モデルでは、計算上、津波の影響は  $t_p = 3.56 \times 10^{-2}$  時にはみとめられ、その時の変位は  $-1.23 \times 10^{-15}$  m であった。その後変位は単調に変化し、 $t_q = 1.22 \times 10^{-1}$  時には、変位は  $-1.18 \times 10^{-3}$  m となり、 $-10^{-3}$  m をこえることになる。ただし、この計算との  $t_p$  に対応するものが実際の検潮記録にあらわれていたとしても、それを検出することは非常に困難なことと考えられる。また、もし、この  $t_p$  と  $t_q$  とを検出できたとしても、Fig. 2 の串本や白浜のように  $t_p$  と  $t_q$  との差が 6 min 以下である場合、この時間差を津波の予警報に利用することは実際的であるとは考え難い。

なお、白浜の津波の周期特性がどうかという点については、数値モデルについて慎重な検討を加えた上で判断しなくてはならない。Fig. 2 の例と Fig. 3 を参考にすると、数値モデルは実際の津波を理解するのに有効であると考えられる。ただ、この考え方の妥当性は、たとえば計算にあたって格子網の間隔のえらび方にも注意して判断すべきであろう。ちなみに、西オーストラリア海岸に襲撃する津波の評価のために試みた計算では、格子網を 27.5 km 間隔とし、計算領域の最大水深を 5000 m とした。この場合、海岸付近では格子点間の水柱の固有振動より短周期のものは計算過程で戸過されてしまった結果、実測津波を 3 時

$W=0.1$  m に対して計算された各地の津波は Fig. 2 のようになる。対象水域のすべての格子点について津波の計算波形が得られるが、ここでは、大阪、神戸、洲本、小松島、沼島、和歌山、下津、白浜、串本の各検潮所に最も近いと考えられる格子点 (Fig. 1 参照) における計算結果を示した。

この計算波形を検潮記録にみられる津波と対応づけるには十分な資料があるとはいえないけれども、さしあたり、1944 東南海沖地震による津波の記録をこの計算波形と対比してみると Fig. 3 のようになった。この場合、計算波形のたて軸を 5 倍にして津波の記録と対比した。

Fig. 2 の計算波形が得られるための波源の位置は Fig. 1 に与えられているが、1944 津波の波源の位置は異なっているため、到達時刻と波形とはいづれも異なっていると思われる。しかし、Fig. 3 をみると、時間軸の調整のみによって、波形がかなりよく対応することがわかる。

間の移動平均したものによく対応するようになったものと考えられる (Allison and Nakamura, 1982<sup>17)</sup>; 中村・Allison, 1981<sup>18)</sup>)。このことから考えて、中村 (1981<sup>19)</sup>) が1977年スバワ津波について行なった計算では、格子間隔を 20 km, 最大水深を 4000 m ととっているため、津波の計算値には、津波の低周波成分のみしかあらわれていない可能性がある。しかし、インドネシア海岸における津波の波形記録を参考にすることができなかったため、この可能性を明らかにすることはできなかった。いづれにしても、津波の数値計算にあたっては、計算結果の意味するところを力学的に正しくよみとらなくてはならない。この点で、検潮記録など実測値と計算値とを対比しておくことは大事なことである。

### 3. 古記録などからみた津波災害

津波による災害は古くから記録に残されており、これらは津波来襲についての予測に役立つものと考えられる。田辺・白浜の津波に関連して最も古い記録は (都司編, 1981<sup>20)</sup>)、"熊野年代記" にみられる。以下、顕著な津波の特長を、それぞれ、できるだけ古記録の原文にしたがって記す。

#### 3.1 天武天皇12年10月14日 (684年11月29日)

諸国大地震。山崩れて河湧き諸国の郡官舎、百姓の倉、寺院神社破壊数えきれず。土佐は五十余万頃の田地没して海となり津波おそう、伊予の温泉止まる。熊野にも津波おそわれ、牟婁の湯止るという [日本書紀、日高郡誌、田辺町誌、紀州災異誌]

その後も、大地震にともなう津波の来襲がみられる (たとえば、中村, 1974<sup>21)</sup>)。また、これらの原典、写本、あるいは転記をたどることもある程度可能である (和歌山県, 1963<sup>22)</sup>)。これらを参考にすると、和歌山県沿岸、とくに、田辺・白浜に強い影響を及ぼしたとみられる津波あるいは津波を伴った地震についての記述は、たとえば、つぎようになる。

#### 3.2 仁和3年7月30日 (887年8月26日16時, 波源は紀伊半島沖 135.3°E, 33.0°N, M=8.6, m=3)

五畿七道諸国大地震。申の刻 (午後4時) 激震の大震動は数時間以上つづき、京都の諸官舎や社寺の建物は倒壊し、圧死者多く、失神頓死する者も出た。光孝天皇は紫宸殿の南庭に七丈の天幕を張らせて御在居とされた [三代実録] 近畿各国においても家屋の倒壊破損おびただしく、近海の地は津波のため多くの死者を出した。中でも摂津の国は被害最も甚だしく、夜中東西に雷のような音響が起こること2度、家屋倒壊して圧死者は非常に多かった [三代実録] 余震は8月になっても止まなかった。紀伊国も地震津波があったものと考えられる [紀州災異誌]。

#### 3.3 延喜22年 (922年, 波源は熊野灘, 137.7°E, 33.8°N, M=7.0, m=1)

紀伊国地強く震い津波を伴った [大日本地震史料]。

#### 3.4 正平15年10月4日 (1360年11月23日0時, 波源は紀伊半島沖, 136.2°E, 33.4°N, M=7.0, m=2)

四日大地震十三洶, 同五日九ツ時大地震洶, 同六日朝六ツ時過ぎ津波上る。熊野尾鷲より摂津兵庫まで大いに荒れる。牛馬人の死ぬこと数知らず [蓮専寺誌]。

#### 3.5 正平16年6月24日 (1361年8月3日, 波源は紀伊半島沖, 135.0°E, 33.0°N, M=8.4, m=3)

"紀州災異誌" によれば、"後愚昧記" の、摂津、大和、紀伊、阿波、山城諸国大いに震い、摂津、阿波は津波に襲われたりの記事に基づき、紀伊国も激震と津波に襲われたことと思われるとあり。

#### 3.6 応永10年 (1403年, 波源は熊野灘, 136.5°E, 33.7°N, M=7.0, m=1)

熊野地強く震い、津波襲来した [熊野年代記]。

#### 3.7 応永14年12月14日 (1408年1月21日18時, 波源は熊野灘, 136.9°E, 33.8°N, M=7.0, m=1)

紀伊国熊野並びに伊勢地強く震い、本宮の温泉一時湧出がとまった。海辺は津波があったようだ [教言記]。

#### 3.8 明応7年8月25日 (1498)

紀伊国浦津、高潮充滿して滅亡云々 [異本年代記抜翠]。

- 3.9 永正7年8月8日(1510年9月21日4時, 波源は大阪湾, 135.7°E, 34.6°N, M=6.7, m=1)  
摂津, 河内の地大いに震い, 海岸は津波の襲う所となり, 山城, 大和, 両国も亦強く震うた〔大日本地震史料〕。
- 3.10 永正17年3月7日(1520年4月4日18時, 波源は紀伊半島沖, 136.3°E, 33.6°N, M=7.0, m=1)  
申の刻に大地震, 那智, 如意輪堂震いにじる。浜の宮寺, 本宮坊舎, 新宮阿か井堂崩れる, 浦々民家流れる〔校定年代記〕。
- 3.11 慶長9年12月16日(1605年2月3日, 波源は134.9°E, 33.0°N, 室戸岬沖, M=7.9, m=3)  
〔熊野年代記〕(○慶長)9年己辰, 3月入鹿八幡造立, 熊野浦大浪。  
なお, この当時, 広村(現在の広川町)は人家1700余戸を有していたが, この津波のため戸数700を流亡したといわれる〔紀州災異誌〕。
- 3.12 宝永4年10月4日(1707年10月28日12時30分, 波源は紀伊半島沖, 135.9°E, 33.5°N, M=8.4, m=4)  
現在の白浜町の津波に関連して“富田権現日神社・津波警告板”に記すところはつぎのとうりである(白浜町誌編集委員会, 1980<sup>23)</sup>; 楠本, 1965<sup>24)</sup>)。すなわち, “宝永四丁亥歳夏六月無名の細虫其の数無量にして出来り穀苗を食い損す大さ一寸或は一寸余此に由て民家憂を懐くこと甚し漸く月を越て退散す。  
同冬十月四日午の尅大地震半時計り大地山河破裂し民屋人家崩損す天柱も折れ地軸も摧くるが如し老少男女共に天地傾覆するかと思ひ神識迷乱して死生を知る者更になし時に海上俄に洶々として白浪滔天の勢い山を崩し地を穿つて越て衆人地震津波の入り来るを聞いて驚き騒ぎ気も魂も身に不添跣足にして直に小倉山或は飛鳥山に逃登り身命を全ふし或は途中にして浩波に漂流し半死半生にして山に附幸にして死を免るる者あり或は家財に心を寄せ家を出ること遅滞の輩悉く濁浪に没溺して一命を失ふ者百数十人凡そ平地に有る民屋富田の内高瀬芝伊勢谷溝端高井吉田中村西野一字も不残流失して村居民屋忽野原と成す嗚叫前業の所率平抑知り将天運乎今度の天災一業の所感と云ながら前代未聞の珍事也作代若大地震せば必ず津波地震潮入来ると早く覚悟し不可油断者也後人の龜鑑とせん為に地震津波の万乙を記し置者也  
宝永四年十月日記了也  
右飛鳥宮裡納置焉 毎歳祭礼之節村中可見聞  
その裏面に記して曰く,  
“表書之通往古も有之様聞伝候へ共此辺諸寺諸社相存記録も無之世人々逃申事及平濤命を失ひ申人々多く有之候に付板を削草堂寺西塔大和尚様を御頼申如斯書記当社に納申候毎年御祭礼之節皆々見聞罷或大地震せば津波入来海と心得無油断むすの山へ揚り可申事  
一、御祭礼社役御幣捧申見覚寛文延宝の比  
又右衛門次ニ又左衛門次に五郎右門次に又右衛門次に五郎左衛門次に佐大夫次に由□之文申より又右衛門”  
現在の田辺市の津波については“万代記”よりつぎのとうりである。すなわち,  
“一、十月四日未上刻大地震, 土蔵古家ゆり崩無間も津波上り本町片町紺屋町多流失, 江川不残流失, 大橋落, 伊作田村辺掛辺などは散々に成申候, 田所家潰れ申候平次家は残平次居宅床より五尺程上の急成事故老人子供流死武拾四人, 牛馬大猫死多, 津波打来と知候に付蓬萊山上野山へ逃去候人々有之, 船も家も一所に成日暮迄三度波来夜に入候ても可来哉と山上に臥り又は高み迄来居候筋多, 夜分松明灯燈にて道具捨寄せ候に付粉れ込盗賊多有之御役人中御制度被仰付候へとも一向乱世にて候  
一、同五日船渡江川へ被仰付御扶持方昼夜相渡る  
一、田所蔵は残候へ共、水高く入候に付, 御用帳面衣類其外屏風等潮に入数日潮出致候甚潮強しゆみ候物は掘埋申候和歌山出水六左衛門へ飛脚と助遣す  
一、家数三百拾壹軒 町  
百五拾四軒 流失  
内百三拾八軒 潰

百拾九軒	大破
一、蔵八拾壹ヶ所	同
六拾ヶ所	流失
七拾五ヶ所	潰
一、家数貳百八拾軒	江川
内五拾五軒	潰
貳百貳拾五軒	流失
一、蔵拾六ヶ所	同
内九ヶ所	潰
七ヶ所	流失
一、流死人貳拾人	内七人町
内三人男	十三人江川
十七人女	
一、馬壹疋	江川流失”

とある。さらに記されているところを見れば、西ノ谷村、糸田村、目良村、湊村、神子浜村、敷村では、十月に“……最早給へ物無御座候に付麦米之流捨申候を少々尋出拾叁食物に仕候者も御座候へとも此度は濡麦米之痛つよく食物に難或御座候へ共何角と捨給候由殊塩味噌曾て所持不仕候へは病人も多御座候て何とも不便至極に奉存候間……”

という状況であった。また、

“(○享保三年一月の条)

奉願口上

一、亥年津波之節江川中不残高浪にて家財流失多御座候尤少々流残申家御座候て其分は取繕住居仕候夫より已来少々取立申者も御座候へ共亥の地震高浪已後難風は勿論毎年時氣波立之節は町内へ波打越家破損諸道具流失仕候に付何とも家住難或様に罷或迷惑至極仕候夫故大風波立之節過半逃退申者御座候哀に御慈悲之御了簡波除土手御普請被為遊被下候はば難有可奉存候以上”

とあり、江川の防波堤築造要請があったことがわかる。これらの史料にもとづいて、当時の津波による浸水状況などの分布を図示すると Fig. 4 のようになる。

ついでに記せば、一説には、慶長の天津波（1605）によって広村は当時人家千七百戸のうち戸数七百を津波のため流亡し、一漁村となってしまったという〔紀州災異誌〕（和歌山県，1963<sup>19）</sup>。また、宝永の天津波の当時一千戸に近かったが、その過半は須臾の間に流亡し、溺死するもの三百余人、遂に一村落と化したといわれる。

3.13 嘉永7年（安政元年）11月5日（1854年12月24日16時、波源は紀伊半島沖，135.6°E，33.2°N，M = 8.4，m = 4）

〔中岩家文書「白浜町富田，“近世における富田郷の災害対策に関して（楠本慎平著）所収〕によれば、  
“先年宝永四亥年十月四日大地震津波来りしは、兼々承り伝へ居り候。然れども委しき明記等も無之なれども、相違無之事、最早百四拾八年にも及びし事、就ては近年十ヶ年程以来、誰云ふともなく近々の内には津波の来る様と風説ありし故、唯何となく不安に思ひし所、今年嘉永七寅年六月拾四日晝七つ頃、余程永々しき地震いたし、何方も見覚ぬ恐怖致し一統居宅を出でざる者もなかりしなり。

扱夫より翌十五日に至り、此上如何なる異変可有やも計がたと、同日昼頃には芝高瀬両村は勿論、川西村々も同様、飯米並に大切な品々高見の家々へ持出し、十五日夜より二三〇の間、男女老人子供牛馬等々は夫々逃し置き覚悟致し候へども、夫れよりは何の難もなし。

直に以前の品々我家々々へ持帰し処、月日を過し、同年十一月四日辰刻、急に不思議大地震暫くの間不止、人家も崩れる思をなし、皆々恐驚、家々火を消し外へ飛出、村中騒動致し、既に津波来る哉と心得、急に寺

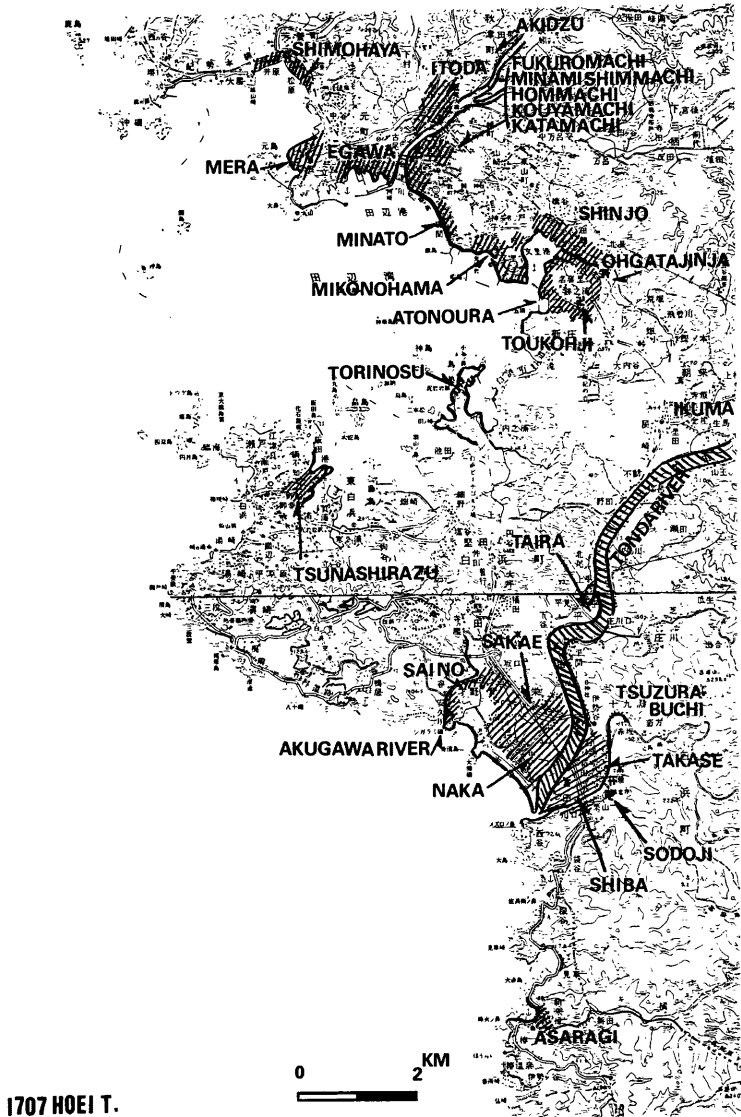


Fig. 4 Flooded and damaged area at 1707 Hoei Tsunami



並に高見の場所へ飯米其他大切の品持運び、同夜は老人子供不残寺にて夜明し致し、大地震故に昼夜共に度々地震致し候、然れども夜中は何の難もなし。

明る五日に至り天気平日の如くはれ……津波の難も逃れし歟と少しは安堵の思をなし、折ふし淡州座操参り有之、十九洲村地祭に伊勢谷川原に於芝居興行致し懸けし処、同日申刻頃烈敷大地震良久暫くの間不止（前日地震よりは弥増也）、天地もくだけ其儘大地も落入る歟と生きたる心地もなし。

扱其時の用水不残引落して、岸よりは金気交りの□泥水流れ出、都て川溝かてに水辺に近き所の土地は、三四寸計りも度々破れし其恐ろしさは、筆紙につくし難く言語に絶しし事に候。

扱芝居見物の群集老若男女、蚊の泣くごとく急に我家へ行くもあり、直様権現山小倉山へ逃上る者もあり、小し大ゆりも静まりしより、西南の方へ当り、大砲を打つごとくドンドンと鳴り出し、夫より津波引続き後へ後へと六七度大浪来り、中にも三度目の波一番高く、二番目の波までは両村家々少々残りしを、三度目の波に不残崩流れし有様、目も当てられぬ衰至極の次第なり。

彼是其の内夜に入りし故、委しき事相分兼申候。高瀬芝伊勢谷の人々権現山小倉山飛鳥山寺山広阜等に登り、最寄々々の山々にて五日夜は野宿夜をあかし兼し事、大地震後夜中大小の地震繁くゆり申候。沓番の大浪先、草堂寺……端田地まで上り申候。田の口明神社の前迄上り十九洲谷津越坂下迄上り申候。宝永四年の波よりは五六尺も波低く来り……其節□□□いたし候事也。

………

明る十一月六日早天村中見渡し候処、野原の如く誠に哀れなる有様、目も当てられぬ次第也。居宅其他建物少しの形もなく不残流失、其外村中皆々同様流失いたし候事也。

扱両村の内には大傷ながら残有之居家土蔵……。両村一統流れ候翌六日より両三日の間に、寺にて粥を焼き、極難渋者へ為給申候。米は寺より出し、是施米に致し……、一統飢渴を為凌候也。

一、……高瀬円光都て高見の家々は流失不致候へども、波床切又は床より三四尺四五尺上り申候。波一切不入家々、円光にて善六利八利作、当家の前までにては下人十次郎弥三兵衛両家石屋……小三兵衛与三郎等也。川口辺高見にては伊平小三郎佐吉此三軒也。

一、伊勢谷にて壱軒流失、其外は流不申事。恵助五兵衛伝馬庄屋蔵平次杯は、床より四五尺上りし也。尤地震にて皆々家は大に傷みしとの事也。

一、田畑の義は、麦作蒔付不残流失、其上所々大荒に相成、作り土流れ又は所々より作り土大に流れ込相増し々筋も有之、川原川口辺田地は作り土さっぱり流れ、大傷に相成申候。

一、川口堤所所々大破、明神上手筋壱ヶ所破損、川口松原大松根引けいたし大に薄ぐ相成、猶又其後追々枯松に相成申候。芝村嘉助船四百石積川口に入船有之候処、大波に打上げられ当家川口沼まで参り有之候其他船等は十九洲辰の口迄流れ来り有之、芝高瀬両村居家並諸建物辰の口田の口宮の前伊勢谷五兵衛宅後ろ万次宅の前迄夥敷流れ来り有之候也。

………

一、吉田村才野村人家へも所々により波上り、麦作蒔付失いたし候へども、家は一軒も流れ不申候。先年宝永度の節は、芝高瀬両村にて流死人八十余も有之由に候へども、此度は八九人計り流死有之候。牛馬も七八疋流死致し候。中村堅田は波上り不申候。

………

一、（前略）忽て津波の時、諸建物等は流れ候へども、井戸は其儘相残候事故（田地がて溝がて等、所により少しも傷不申場も有之位の事也）。万々一後世に至り津浪来る時は、米銭等沢山にて持運び出来難き節は、皆々井戸へ投込置、逃退申すべき事肝要也。

………

一、大地震津浪の時、井戸水不残絶申よしは迄兼々承り伝へ居候処、宝永度津浪の節たとへは壱斗の物ならば武斗にも増水いたし泡立申由旧記有之、兼て承り伝とは相違に付（宝永度大地震津波の旧記当年天変前に一覽写し置く）、如何と心得居候処、此度の津波にて相分り申候宝永度旧記の通り、一旦大に増水泡立申事

相違無之候。而し増水泡立して其上川水共に絶して夫より津浪来り候事にて候。此度津浪来るとき、袋淺凡  
 壱町計り沖手へ千方に相或申由承り候。然れども大洋に居り申船は、何の難もなく通船いたし候由、後に船  
 乗の者より承知いたし候事に候。五郎左衛門田辺より帰り新庄山へ逃上り候節、凡式里許沖合に廻船壹艘帆  
 を下げ漂流いたし有之を山より見当り申候。

一、嘉永七年寅年十二月、安政と改元の御触也。

右の通、後世為心得、荒まし書記し置もの也。

安政貳年乙卯九月記

一、右大地震後、夜二三次又は四五度小地震は勿論、中には余程大ゆりしも有之、翌卯年春に至るまで月々  
 不絶事也。卯年中も二三日又は五七日過して毎日地震有之、三年目辰年に至っても矢張十日又は十五日或は  
 二十日計隔、前段同様の事に付、一統荒や角同夜心痛いたし、中には余程大ゆりいたし、銘々宅を飛出候事  
 も有之、格別恐怖いたし候面々は、時々飯米並大切の品高見の家々へ持出し預け置候筋も有之候。四年目巳  
 年に至、段々遠ざかり候位の事に候。

仍て後世の人々可心得事也……”

この時、田辺市新庄東光寺前の「津波之碑」によれば、「寺の下、昔(宝永四年)は浪跡の浦と新庄との  
 浪、打合申候由、此度(安政元年)は下の田壱枚より上り不申候”  
 とあるが、別の史料ではつぎのように記されている(都司, 1981<sup>29)</sup>。

地震並に津波之事

一、大震七ツ時分よりゆり出し井戸の水も飛出申候 家蔵其外大に動戸障子はつれ申候……鉄更に下田よ  
 り早々皆に引連れ下拙も山三步廻り候得ば海鉄炮三ツ鳴り峯に登り少し過し候得ば津浪にて大土手崩れ白波  
 立ち来り申候此時皆連れ家へ帰り候得ば少しの物は出し不申候拙者も恐しく腰抜け行ず候

津浪之事

一番潮に峯之家流れ其外小家は下拙家より外下へ皆流申候 二番潮にて大分家流れ申候 三番潮高さ三丈余  
 此時下拙之家倉其外納屋一度に流れ申候 峯之倉も此時流れ申候其外五反田迄流れ申候 四番より大潮も段  
 々少しに或□□下拙はほそ入れ畑より見候故然とは存申候 廿度程 候 三番潮長井谷川は他衆迄扱は露野  
 下田二枚は麦残居申候 昔之津浪よりは田壱枚ちさき由 小婦し谷之清七殿家残り 青木□□吉兵衛家残り  
 申候 然し吉兵衛家は跡へすたり申候 五平殿家無候得は流れ申由

逢し坂之事

寺之下た昔しは浪跡之浦と 新に此□之浪打合申候由 此度は下た之田□様より上り不申 跡之浦も吉兵衛  
 殿次郎殿久四郎殿家流不申候昔しよりは大分少き由

内之浦

中嶋権十郎殿家壱丈程下た迄津浪来申候由 人壱是は林蔵殿内儀流届仕候

橋留

一軒も残り無之流申候人壱人は捨吉殿母屋流届仕候

出井

惣は殿弁殿幸七殿伝松殿四軒□□り申候……”

この時、田辺の状況は概略次のようであった(〔田辺旧事紀〕〈湯川退軒着〉)

“十一月四日辰中刻地大に震す壁の崩るるあり垣の倒るるあり人々大に怖れ其夜は多くは屋外に宿す。五日  
 申中刻又大に震す屋倒れ壁破れ塵埃四に起り動揺 乾坤軸転覆するかと疑なる人々周章狼狽号叫奔走或は服  
 粟して起つ事能はざるものあり既にして海嘯大に至り其響巨□の如し船舶の河口に碇泊せる者皆漂され橋梁  
 之が為に半は折れ船と共に秋津の橋辺に泊り去るものあり土橋と亦之が為に壊れ本街の横水深き事数尺に至  
 る之に加ふるに黄昏より三洒口巷に火起り火焰四方に漲り延焼止まる所を知るべからず然れども人々震を避  
 くるに汲々として之を救ふ者なし遂に北新町の大半南新街の一部上下両長街袋街の全部孫九郎町上片街本街  
 の横町大半皆灰燼となる夷に希有の天変なり此日流焼失の家屋等左の如し市中江川共に棟数凡七百五十内三

百五十五焼失、家二百六十六土蔵の焼たる者十四別室の焼くる者百十崩壊せる家、二流失家、二番所の流失、一茶屋の流失、以上又三千三百六十九石米麦等の流焼せるもの百三十五石官米同上死者九名内溺死五名、圧死二名、焼死二名、灰燼となりたる寺院三、海蔵寺、本正寺、勝徳寺はに由て官より救助の飯屋を松原に造るもの数処、粥を作て飢寒の者に施す、又変に乗じて物を盗むもの多し或は捕縛せられて路傍に暴されたるものあり町会所は幸に火に罹らず第一の宝とせる大帳を携へ去りたる者は原秀七の功なりとす。此災に際して福八、切市岡善橋屋は菓を施し秋利岡茂岡常は物品を施し或は蠟燭其他日用品を速に収集め供用せしを以て其功を賞せらる。然るに義倉には千石の貯蓄ありしを秋の初に皆売を新なる者と代へんとす忽此災に遭遇し大に処置を誤ると云 十二月九日焼亡の跡に家宅を営む者は市街の幅を広むるに因て幾尺を退きて軒を並べしむ 十二日岩橋村の人 岩橋屋大六廉価を以て木材を輸入せん事を請願す 廿一日災を被て家を建つるの資本なき者に官舎四十貫匁を貸下る事を許す

(○安政二年六月八日の条、シャコ菜と海綿を求めて海底探査をしたという記事に続けて) 蛋夫三名を備て之を探らしめたれども天災の時海底一掃したるを以て一も獲る所なしと云”(都司, 1981<sup>201</sup>)。

現白浜町網不知については、

奉願口上

一、波除堤壱ヶ所 瀬戸村枝郷 網不知

一、同 壱ヶ所 同 所

右此度津浪破損仕候。何卒早々御見分之上御普請被成下様奉願上候。網不知之儀は津波に而村内一統流失仕此節何之稼も無御座候。右御普請被成下候得は日々人足に羅成御扶持方頂戴仕稼に仕度奉仕候間何卒早々御普請被成下様偏に奉願上候右之段宜御願被上可被下候以上

瀬戸村庄屋

南福左衛門

寅十二月

田所右衛次殿”

これはさらに代官へ取次がれている。この時、白浜の温泉は地震後湧出がしばらく止まっていた。そして、”鉛山村温泉之義崎之湯は未だ相替り之義無御座候得共其余は大体下地之通に相或入湯も出来候に付此度別紙之通諸方被露仕度段同村庄屋呼出申し候依之御届申上候以上

四月八日

田所古右衛門次”

”寅年地震より当所温泉わき止御座候処当正月比より段々わき出此節に而は本之通に相出候に付御一統様賑々敷御来駕可被下候様奉希候

田辺湯崎

辰四月上旬

湯方惣中”

これらの史料から、田辺・白浜の安政地震津波の浸水状況は Fig. 5 のようになることがわかる。

この津波の時、広村では浜口梧陵(儀兵衛)の活躍がとくに顕著であった。これを機に広村には津波防波堤が築かれたが、江川では宝永の津波の後、波除上手普請を時の代官へ要請し、また、網不知でも安政の津波の後、波除堤普請願を提出している。

ところで、白浜町誌(1980<sup>202</sup>)によれば、安政の津波により”崎の湯往來之道筋津浪にて大荒に相成……御座候処、又候(安政二年)八月廿日之高浪に荒果御座候”とある。この高浪は、台風によるものと考えられるが、現在のところ詳細を知ることはできない。

### 3.14 東南海道沖地震津波(1944年(昭和19年)12月7日13時35分、波源は136.2°E, 33.7°N, 深さ0—30 km, M=8.0, m=3)

被害は静岡, 愛知, 三重, 岐阜, 奈良, 滋賀の各県で多く……(たとえば, 中村, 1974<sup>211</sup>)とあるが、和歌山県でも新宮市をはじめとして紀伊半島東岸を中心に地震後数分を経ず来襲した津波による家屋の流失があった。この時の記録については、戦中のことでもあり、”死傷も若干あるも……正しき数発表せず”(楠

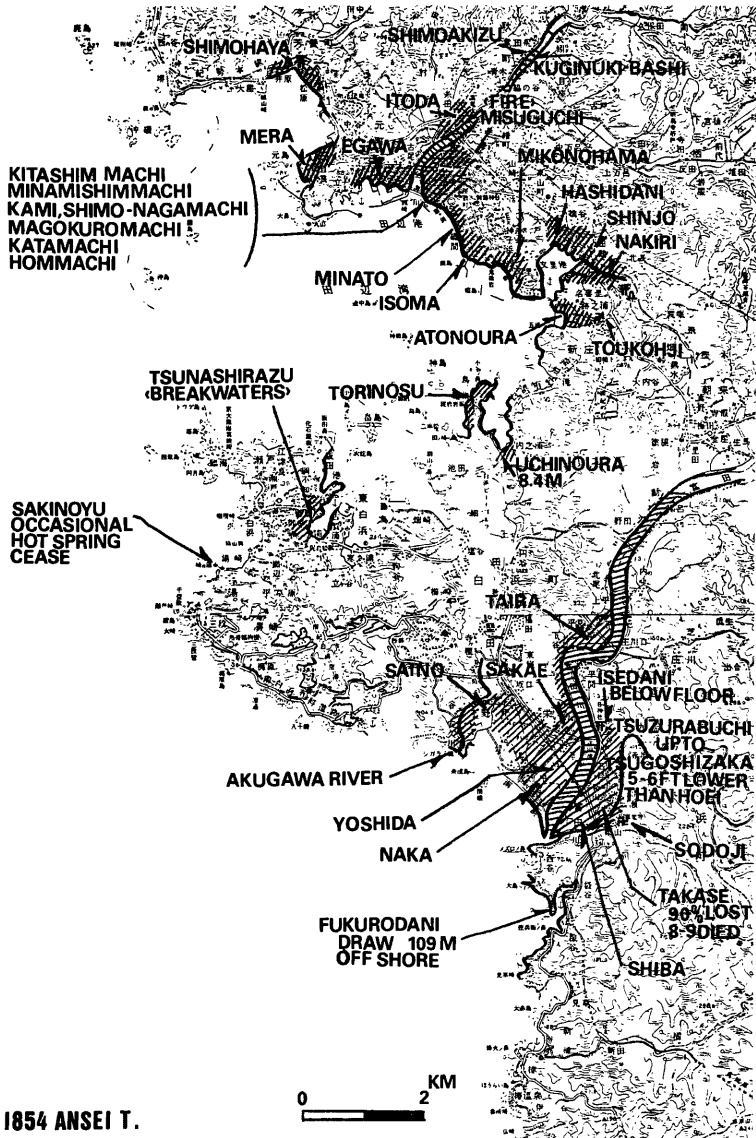


Fig. 5 Flooded and damaged area at 1854 Ansei Tsunami

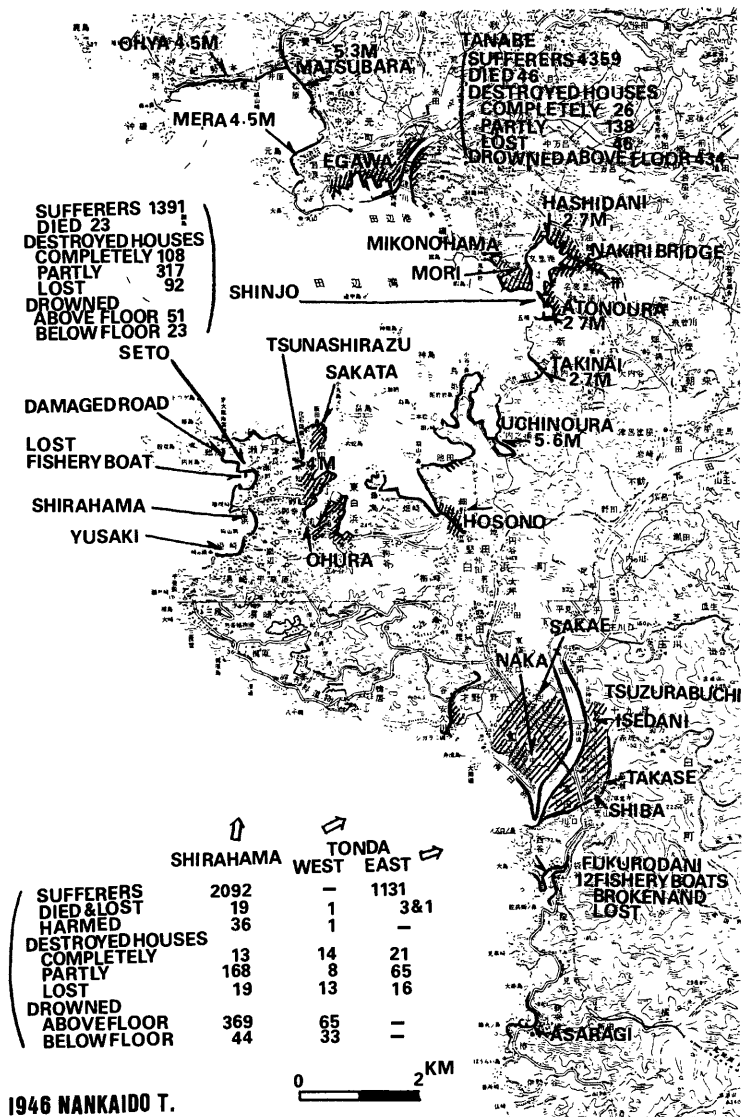


Fig. 6 Flooded and damaged area at 1946 Nankaido Tsunami

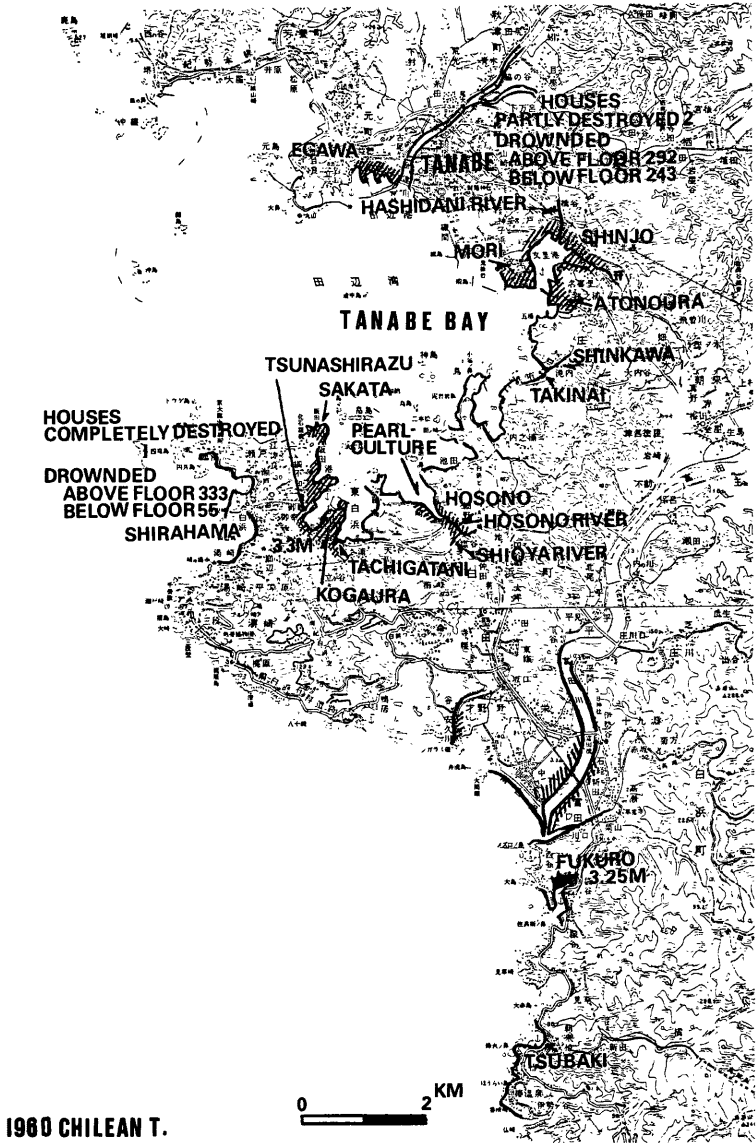


Fig. 7 Flooded and damaged area at 1960 Chilean Tsunami

本, 1982<sup>25)</sup>) とある。いづれにしても、この時の浸水状況を田辺・白浜について図示できる資料は現在のところ見つかってはいない。

### 3.15 北海道沖地震津波 (1946年 (昭和21年) 12月21日 4時19分, 波源は 135.6°E, 33.0°N, 深さ 30km, 紀伊半島沖, $M=8.1$ , $m=3$ )

田辺湾への津波は地震後20分ほどで来ている。津波の規模は、芳養町では松井橋上を小船が越え、会津川では秋津町の竜神橋まで浪が来た。田辺の旧城下や江川、芳養に被害があったが、中でも最も被害の大きかったのは新庄町であった。その平野部のほとんどが潮の害にあっていて (田辺刊行会, 1980<sup>26)</sup>)。

白浜では地震の10分後に第1波が来襲、網不知で14名の死者があり、家屋の倒壊半壊多数、全戸床上浸水した。地震後の地盤の沈下は約 70 cm。浜通り、御幸通りの下掘り掘地帯水浸しとなり、白良荘は床上浸水。瀬戸地区では御幸道路が寸断され、漁船が流失した。湯崎でも床上浸水40戸に及び、碓の湯、浜の湯など大被害を蒙った (宮崎, 1980<sup>27)</sup>; 白浜町誌編纂委員会, 1984<sup>28)</sup>)。

また、中, 吉田, 才野, 細野 (当時西富田村) および芝, 高瀬, 十九淵, 伊勢谷, 朝来帰, 袋谷 (当時東富田村) においても相当の被害があった (白浜町誌編纂委員会, 1981<sup>29)</sup>)。

利用できる資料は、このほかにも多数あるが、これらの資料にもとづき津波による被害の状況をまとめて図示すると Fig. 6 のようになる。

和歌山県災害誌 (和歌山県, 1963<sup>22)</sup>) では、昭和28年 (1953年) 11月26日未明、房総沖に起こった強震の余波で、紀南海岸に4時頃から約1時間にわたって津波が来襲とあるが、津波年表 (たとえば、Soloviev and Gao, 1974<sup>4)</sup>) には記載がない。

### 3.16 チリ津波 (1960年 (昭和35年) 5月22日19時11分 (G. M. T.), 波源は 73.5°W, 41°S, チリ南部沖, $M=8.25-8.5$ , $m=4$ )

太平洋沿岸全域に波及。チリ, ハワイ, 日本の各沿岸では大被害。各地の高さは、チリの Mehuin 最高 15 m, Isla Mocha 20-25m, Talcahuano 3-5m, ペルーの Callao 1.1 m, メキシコの Ensenada 2.5 m, カリフォルニアの Crescent City 3.7 m, アリュースIAN 列島 Attu 島 1.8 m 以上, Easter 島 6 m, Samoa 諸島で若干の被害。ハワイでは死者61, 傷者282, 建物破壊537, 日本では死者119, 行方不明20, 傷者872, 家屋全壊流失2, 830, 床上浸水19, 863, 船舶その他多数。そして、チリの被害は、死者909, 行方不明834, 傷者667, 建物その他被害甚大 (たとえば、中村, 1974<sup>21)</sup>)。

概要をみても上の通りである。このように、日本の太平洋沿岸でも記録に残っている津波は、判明している例をみても、1960年の例を含めて過去に9例ある (Takahashi and Hatori, 1961<sup>30)</sup>)。しかし、これらの例のいづれもが田辺や白浜に影響を及ぼしたとは考えられないようである。

関連の資料を参考にして1960年チリ津波による浸水など被害の状況を田辺・白浜について調べ、その地理的分布をみると、Fig. 7 のようになる (雑賀, 1961<sup>31)</sup>; 真鍋, 1981<sup>32)</sup>)。

## 4. 津波統計

前節にみたような限られた史料にもとづいて、この次の津波はいつ発生し、あるいは来襲するかについて、予測することは容易なことではない。これまでも、特定の海岸における津波の来襲頻度については、過去の歴史的記録や史料にもとづいて統計の評価がなされてきたようである。その数量的表現にはいろいろの例があるが、そのうちでも最もよく利用されるもののひとつとして、リターン・ペリオドによる平均的傾向の表示をあげることができる。たとえば、1707年から1983年までの277年間を対象として考えることにすると、田辺・白浜周辺についてのリターン・ペリオドは概略つぎのようになる。すなわち、

1707年クラス以上の津波に対して	277年
1854年クラス以上の津波に対して	138.5年
1946年クラス以上の津波に対して	92.3年

ところで、上のリターン・ペリオドの評価にあたって、1605年慶長津波を考慮にいれてはいない。これは、1605年の津波の記事内容が不祥のため、それ以後の顕著な津波と数量的に比較できないからである。いま、リターン・ペリオドの評価にあたって、1605年の翌年、すなわち、1606年から1983年までを考えることにすると、その378年間に對する津波のリターン・ペリオドは、つぎのように表わされることになる。すなわち、

1707年クラス以上の津波に対しては	378年
1854年クラス以上の津波に対しては	189年
1946年クラス以上の津波に対しては	126年

ただし、このようなリターン・ペリオドの推定や表示にあたっては、史料としてとりだされた記録が、統計的にみて津波来襲頻度の母集団の特性と同じものであることを前提としていることを想起しなくてはならない。

津波の来襲頻度の確率論的評価にあたっては、近年、ポアソン過程が適用される例も多いようである。これは、ひとつには、対象とする現象が地震という破壊現象によるものであり、これがポアソン過程として確率過程と力学的現象とのしわたしができると考えられていることを根拠としているようである (Newmark and Rosenbluth, 1971<sup>33)</sup>)。ところで、Gumbel (1953<sup>34)</sup>) によると、サンプル・サイズに比べてごく少数とした場合の超過頻度分布 (distribution of exceedance) は極値から上位の部分について一般にポアソン過程に對する分布で近似できるといわれている。この点からみて、津波の高さの超過確率の地域的特性を検討するにあたって、ポアソン過程を出発点とすることは妥当であると考えられる (中村, 1983<sup>35)</sup>)。

津波の来襲頻度の確率による評価は、すでに、1970年 Wiegel<sup>36)</sup> によって行われ、その後、Rascon and Villareal (1975<sup>37)</sup>) もメキシコ太平洋岸の津波の確率を計算している。Nakamura (1978<sup>38)</sup>, 1979<sup>39)</sup>, 1980<sup>40)</sup>)、および亀田・中村 (1980<sup>41)</sup>) は、津波マグニチュードを津波の高さのかわりに用いて、フィリピン、インドネシアおよび大阪湾の津波の確率をもとめている。

ここにみた例と同様な手法による場合、津波マグニチュードには主観的要素が含まれている可能性もあるため、津波マグニチュードの再定義もいろいろと試みられている (Murty and Loomis, 1980<sup>42)</sup>; Abe, 1983<sup>43)</sup>)。解析にあたって主観的要素をできるだけ排除するためには津波の高さ (たとえば、Nakamura, 1981<sup>44)</sup>) を用いることも考えられるが、これには天文潮も含まれていて、津波の影響のみをとり出しているわけではない。あるいは、検潮記録から天文潮の成分を除いて、津波としての潮位の最大偏差を用いるのがよいと考えられる (たとえば、William, 1978<sup>45)</sup>; Wigen, 1977<sup>46)</sup>, 1978<sup>47)</sup>, 1981<sup>48)</sup>; Okada and Tada, 1981<sup>49)</sup>)。ただ、この方法は検潮記録の得られるようになった最近約100年に対して適用可能である。前節にみたように、100年以上過去にさかのぼって古文書の形で残された資料を利用しなくてはならない場合には、その内容が記述的であり、現在の検潮記録ほどの詳細で高精度の資料であるとはいえない例が多いと考えられるので、これらの資料の科学的信頼性を十分検討した上で津波の高さを評価しなくてはならない。古記録に残された地名を現在の地図上におとして当時の状況を現在の智識と手法によって推測する作業も必要であろう。

上述の点に留意して、前節に示したような関連資料にもとづいて、巨大津波の来襲頻度を田辺・白浜について図示すると Fig. 8 のようになる。ここに抛り所とした史料は、いろいろの面から吟味され、その跨大性を検討されているもので、基本的には、大きな地震や津波についてかなり信頼性の高い記述と考えられているものである。前節には記されなかったような小さな津波の例では、たとえ記録に残されていたとしてもその信頼性や精度は高いとはいえない。また、被害につながらない小さな擾乱は記録として残されなかった可能性も高いと考えられる。さらに、往古、たとえ大きな津波があっても、もしその場所に人が居なかったり、人が目撃しなければ、記録として残らないこともありうる。ただ、津波の特性と津波の発生場所の立地条件を考えると、歴史的にみて大きな津波はかならず残っていると考えて差支えないであろう。さらに、検潮記録が得られるようになって以来、歴史時代の史料にみられるような記述上の不明瞭さはなくなり、科学的解析が可能な資料が蓄積されている。



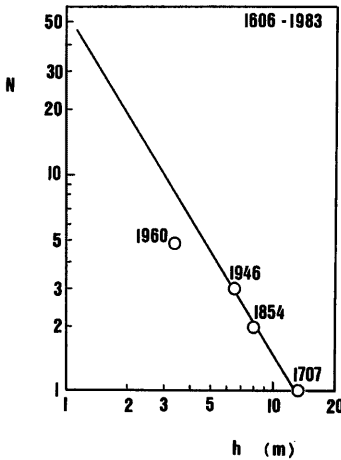


Fig. 8 Exceedance frequency of tsunami in Tanabe and Shirahama

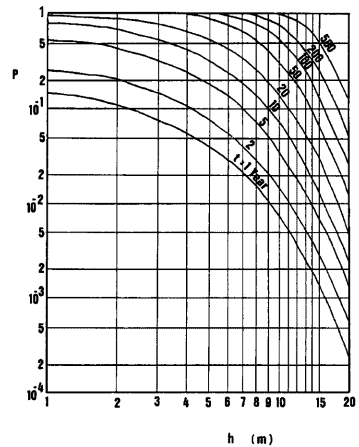


Fig. 9 Exceedance probability of tsunami with a parameter of time interval

Fig. 8において、1707年の最高の津波の高さは13mで新庄においてみられたものである。1854年の最高水位は7mで、これも新庄におけるものである。1946年の例では、津波の高さは、白浜では最高6.5mと推定されているが田辺では4-5mとされている。1960年チリ津波は、網不知で満潮面上3.3mとなっている。

さきに述べたように、海岸各地における津波の来襲頻度の確率論的評価にあたっては、津波の来襲はポアソン過程にしたがうと仮定された例が多い。ここでは、ごく限られた資料にもとづく解析ではあるが、従来の例と同様、田辺・白浜周辺の津波来襲はポアソン過程にしたがうとして解析をすすめることにする。

いま、ここで、津波の高さ  $h$ メートル以上のものが、期間  $t$  年間に少くとも1回来襲する確率を  $p$  とすると、

$$p = 1 - \exp(-\lambda \cdot t) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、

$$\lambda = \lambda_0 \exp[-\beta(h-h_0)] \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $\lambda_0$  は着目する津波の高さのうち最小のもの  $h_0$ メートルに対する平均年間津波来襲頻度である。 $\beta$  は地域特性を表わす定数である。

とくに、田辺・白浜の津波について、Fig. 8の上位3例で表わされる傾向によって与えられる特性によって検討することにするならば、 $h_0 = 1$ メートルに対して  $\lambda_0 = 58/378$ 、 $h = 13$ メートルに対して  $1/378$ ということになるので、これから(2)の  $\beta$ の値をもとめると、

$$\beta = \frac{-\ln(\lambda/\lambda_0)}{h-h_0} = 0.34 \dots\dots\dots (3)$$

が得られる。この場合、1606-1983年の378年間を解析の対象と考えた。したがって、(2)において、 $h$ の関数として  $\lambda$ が定まると、対象とする地域の  $\beta$ の値に応じて、与えられた期間  $t$  年間に  $h$ メートル以上の規模の津波の来襲確率  $p$ が(1)によって得られることになる。ここで、 $t$ をパラメータとし、(3)で与えられる  $\beta$ の値に対して、 $p$ と  $h$ との関係を図示するとFig. 9のようになる。この図によれば、たとえば、津波の高さが13mとなるような1707年クラスの津波が200年に少くとも1回来襲する確率は40%、100年に対して

25%, 50年に対して13%となる。また、津波の高さが 6.5 m となるような1946年クラスの津波が200年に少くとも1回来襲する確率は99%, 100年に対しては88%, そして、50年に対しては67%である。

ここで注意しておかなくてはならないことは、ここに示した確率は決定論的な意味をもつわけではないことである。ある仮定のもとで数学的操作によって導き出されたものであり、また、それ自体に津波来襲の原因としての地震やその力学的関連についての考慮が入れられているとはかならずしもいえないことである。

南海道沖で1946年地震が発生し、津波が来襲してから現在(1984年)まで、すでに38年経過した。Fig. 9 からみて、1946年クラスの津波( $h=6.5$ メートル程度)以上のものが38年に1回少くも来襲する確率は、上の考察からみても、Fig. 9 を参考にしたとして、50%をこえている。以上にみたところから、年とともに、南海道沖地震による津波クラスの津波来襲の確率は今後大きくなるものと考えられる。あえて誤解をおそれず言うならば、次の津波来襲時期は年毎に近づいており、その時期はそれほど遠い将来ではないと言っても過言ではなさそうである。

すでに、現在までに、地震予知研究計画は昭和40年(1965年)以来のものであり(尾池, 1983<sup>50)</sup>、とくに、東海地域については常時監視体制が強化され、1977年には地震予知連絡会に東海地域判定会が設けられ、現在にいたっている。その間、1983年(昭和58年)5月26日には日本海中部地震によって生じた津波のために、秋田、青森、北海道で死者は104名にのぼり(内津波による死者100名)、家屋、田畑、船舶の被害は速く能登半島、隠岐から韓国日本海沿岸においてもみられた(乗富, 1983<sup>51)</sup>)。このような計画や現象がなげかける問題は、田辺・白浜の津波を検討するに際して全く無関係であるとは言えない。

以上、数値モデル、歴史的資料、統計的解析によって得られた結果から、ただちに田辺・白浜の津波の決定論的予測に直結させた議論はできない現状ではあるが、一応の目安を得ることはできたのではないかと考えている。

## 5. 結 言

田辺・白浜の津波について調査研究した結果をとりまとめ考察した。はじめに、有限差分法による数値モデルを利用して、津波の伝播特性を調べ、既往の記録との対応を試みた。このような数値モデルは、波源の条件が与えられれば津波の予測に利用できるものと考えられる。しかし、この次の津波がいつ頃来襲するかについて可能性を知ろうとするには、古記録などにもとづく津波年表をひもとき、その確率論的解析が必要と考えられる。ここでは、津波の来襲頻度はポアソン過程を適用することによって説明できるものとして解析し、与えられた期間にある規模以上の津波が少くとも1回来襲する確率をもとめた。これは、今後の津波来襲予測やその対策において、ひとつの目安を与えるものと考えられる。

## 謝 辞

本研究は一部、文部省科学研究費補助金、自然災害特別研究 No. 58020023 によった。なお、本研究の遂行には土屋義人教授の示唆と援助をいただいた。

## 参 考 文 献

- 1) Iida, K., D. Cox and G. Pararas-Carayannis: Preliminary catalog of tsunamis in the Pacific, Hawaii Institute of Geophysics, University of Hawaii, HIG-67-10, Data Report No. 5, 1967.
- 2) 渡辺偉夫: 本邦周辺の津波の表, 地震, 第2輯, Vol. 21, 1968, pp. 293-313.
- 3) 渡辺偉夫: 改訂日本およびその周辺の津波の表, 地震, 第2輯, Vol. 36, 1983, pp. 83-107.
- 4) Soloviev, S. L. and Ch. N. Gao: Catalog of tsunamis in western coast to the Pacific Ocean, Academy of Science, USSR, Izdat. Nauka, 1974, pp. 1-130 (in Russian).
- 5) 中村重久: 大阪湾・紀伊水道の津波の数値モデル, La mer (日仏海洋学会誌), Tome 19, 1981, pp. 105-110.

- 6) Nakamura, S. : Tsunami inundating into a bay in a scope of numerical experiment, Abstract of Symposium Papers, International Tsunami Symposium, 1981, IUGG Tsunami Commission, 1981, 160 p.
- 7) Nakamura, S. : Numerical tsunami model in Osaka Bay, Bulletin of Disaster Prevention Research, Kyoto University, Vol. 33, pt. 1, No. 295, 1983, pp. 1-14.
- 8) Aida, I. : Numerical Simulation of historical tsunami generated off the Tokai District in Central Japan, in "Tsunamis : their science and engineering", 1983, pp. 277-291.
- 9) Iwasaki, T. : A hybrid simulation system developed for model tests of tsunamis in a harbor, in "Tsunamis : their science and engineering", 1983, pp. 409-421.
- 10) 中村重久：最大波高の超過確率, La mer (日仏海洋学会誌), Tome 21(1), 1983, pp. 1-6.
- 11) U. S. Coast and Geodetic Survey : Annotated bibliography on tsunamis, IUGG Monography No. 27, 1964, 249 p.
- 12) 羽鳥徳太郎：東海・南海道沖における大津波の波源, 地震, 第2輯, Vol. 27, 1974, pp. 10-24.
- 13) Ando, M. : A fault model of the 1946 Nankaido earthquake derived from tsunami data, Physics of Earth and Planet Interiors, Vol. 28, 1982, pp. 320-336.
- 14) Kanamori, H. : Mode of strain release associated with major earthquakes in Japan, Annual Review of Earth and Planetary Science, Vol. 1, 1973, pp. 213-239.
- 15) Loomis, H. G. : A package program for time-stepping long waves into coastal regions with application to Haleiwa Harbor, Oahu, NOAA-JTRE-79, HIG-72-21, Hawaii Institute of Geophysics, University of Hawaii, 1972, 33 p.
- 16) 中村重久：数値実験からみた1977スンパワ津波, La mer (日仏海洋学会誌), Tome 19(1), 1981, pp. 30-37.
- 17) Allison, H., and S. Nakamura : Tsunami threat in western Australia, Abstracts of the 1981 IUGG Tsunami Symposium, 1982.
- 18) 中村重久・H. Allison : 西オーストラリア海岸の長周期波について, 第28回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 1981, pp. 44-48.
- 19) 中村重久：数値実験からみた1977スンパワ津波, La mer (日仏海洋学会誌), Tome 19(1), 1981, pp. 30-37.
- 20) 都司嘉宣：紀伊半島地震津波資料, 三重県・和歌山県・奈良県の地震津波史料, 防災科学技術研究資料 No. 60, 科学技術庁国立防災科学技術センター, 1981, 392 p.
- 21) 中村重久：長周期波の変形とその制御に関する研究, 京大学位論文, 1974, 194 p.
- 22) 和歌山県：和歌山県災害史, 1963, 582 p.
- 23) 白浜町誌編纂委員会：白浜町誌, 資料篇, 白浜町, 1980, 896 p.
- 24) 楠本慎平：近世における富田郷の災害対策に関して——宝永の「津波警告板」の意味するもの——, 田辺文化財 No. 9, 和歌山県田辺市教育委員会, 1965, pp. 42-47.
- 25) 楠本慎平：観福寺記録抄, 白浜町誌紀要 No. 5, 白浜誌編纂委員会, 1982, pp. 51-61.
- 26) 田辺刊行会：田辺, あおい書店, 1980, 438 p.
- 27) 宮崎伊佐男：南海大地震の記録(旧町), 白浜町誌紀要 No. 3, 白浜町誌編纂委員会, 1980, pp. 89-100.
- 28) 白浜町誌編纂委員会：白浜町誌, 本編, 下巻一, 1984, pp. 765-768.
- 29) 白浜町誌編纂委員会：四富田村の歴史, 1981, 378 p.
- 30) Takahashi, R. and T. Hatori : A summary report on the Chilean Tsunami of May 1960, Report on the Chilean Tsunami, Field Investigation Committee for Chilean Tsunami, Dec. 1961, pp. 23-

- 34.
- 31) 雑賀貞次郎：白浜温泉史，白浜町役場観光課，1961，134 p.
- 32) 真鍋 譽：綱不知の真珠養殖，白浜町誌紀要 Vol. 4，白浜町誌編纂委員会，1981，pp. 7-10.
- 33) Newmark, N. W. and E. Rosenbluth：Fundamentals of Earthquake Engineering, Prentice-Hall Englewood Cliffs, N. J., 1971, 640 p.
- 35) Gumbel, E. J.：Statistics of Extremes, Columbia University Press, N. Y., 1958, 375 p.
- 35) 中村重久：最大波高の超過確率，La mer (日仏海洋学会誌)，Tome 21(1)，1983，pp. 1-6.
- 36) Wiegel, R. L.：Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1970, 518 p.
- 37) Rascon, O. A. and A. G. Villareal：On a stochastic model to estimate tsunami risk, Journal of Hydraulic Research, Vol. 3, 1975, pp. 383-403.
- 38) Nakamura, S.：On statistical tsunami risk of Phillipines, Southeast Asian Studies, Vol. 15, 1978, pp. 581-590.
- 39) Nakamura, S.：On statistics of tsunami in Indonesia, Southeast Asian Studies, Vol. 16, 1979, pp. 664-674.
- 40) Nakamura, S.：A note on statistics of historical tsunamis in Southeast Asia, Proceedings of International Conference on Engineering for Protection from Natural Disasters, AIT, Bangkok, 1980, pp. 883-894.
- 41) 亀田弘行・中村重久：地震活動度，地震および津波，都市の耐震防災，土木学会関西支部，1980，pp 13-16.
- 42) Murty, T. S. and H. G. Loomis：A new objective tsunami magnitude scale, Marine Geodesy, Vol. 4(3), 1980, pp. 267-282.
- 43) Abe, Katsu.：A new scale of tsunami magnitude, Mt, in "Tsunamis：their science and engineering", Terra Pub/Reidel, 1983, pp. 91-101.
- 44) Nakamura, S.：On local probability of invasive tsunami, Marine Geodesy, Vol. 5, 1981, pp. 265-272.
- 45) William, J. W.：Tsunamis and the San Fransisco Bay area, in "Coastal Zone '78", ASCE, N. Y., 1978, pp. 1803-1817.
- 46) Wigén, S. O.：Tsunami threat to Port Alberni, prepared for consulting engineers Allan M. McCrae, Victoria, B. C., and Reid Crowther and Partners Ltd., Vancouver, B. C., 1977, 24p + Appendix (unpublished manuscript).
- 47) Wigén, S. O.：Historical study of tsunamis an outline, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, B. C., Pacific Marine Science Report 78-5, 1978, pp. 1-18 (unpublished manuscript).
- 48) Wigén, S. O.：Historical study of tsunamis at Tofino, Canada, Abstracts of International Tsunami Symposium 1981, IUGG, 1981, p. 131.
- 49) Okada, M. and Tada, M.：Historical study of tsunamis at Miyako, Japan, Abstracts of International Tsunami Symposium 1981, IUGG, pp. 138-141.
- 50) 尾池和夫：地震予知計画の現状と展望，京大防災研究所年報，No. 26A，1983，pp. 33-44.
- 51) 乗富一雄：1983年日本海中部地震による災害の調査速報，第20回自然災害科学総合シンポジウム，文部省科学研究費自然災害特別研究，自然災害科学総合研究班，pp. 21-28.