

紀伊水道・豊後水道における安政南海地震津波の進入特性

徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻
村上仁士, 上月康則, 倉田健悟, 杉本卓司, 吉田和郎

Propagation characteristics of the 1854 Ansei Nankai earthquake tsunami in the Kii and Bungo channels

Hitoshi Murakami, Yasunori Kozuki, Kengo Kurata, Takuji Sugimoto, Kazuo Yoshida

Department of Ecosystem Engineering, University of Tokushima
2-1Minami-josanjima, Tokushima 770-8506, Japan

Propagation characteristics of tsunami in both the Kii and Bungo channels is discussed based on the 1854 Ansei Nankai earthquake tsunami and several virtual sources Around Nankai trough.

1. 緒 言

2001 年 10 月, わが国の地震調査研究推進本部地震調査委員会は「南海トラフの地震の長期評価」を発表した. それによれば, 次の南海地震と東南海地震は, 同時または相互に近接して発生する可能性が高く, 今後 30 年以内の発生確率は, 南海地震は 40%, 東南海地震は 50% 程度, 地震の規模は, 前者はマグニチュード 8.4 前後, 後者はマグニチュード 8.1 前後, 同時に発生した場合は, マグニチュード 8.5 前後という公式見解が示された.

これまでに南海トラフ周辺で発生し, 南海道沿岸域に影響を及ぼした巨大地震には, 表-1 に示す 8 つの地震があり, その多くがマグニチュード 8 以上であった.

表-1 過去の南海地震
Table.1 History of the Nankai earthquakes

発生年	地震津波名	マグニチュード
684	白 鳳	M8.1/4
887	仁 和	M8.0~8.5
1099	承 徳	M8~8.3
1361	正 平	M8.1/4~8.5
1605	慶 長	M7.9
1707	宝 永	M8.4
1854	安政南海	M8.4
1946	昭和南海	M8.0

南海道沿岸における歴史地震津波については, これまでに羽鳥(1978, 1980, 1981)や相田(1981), 都司(1981), 村上・他(1996a)らによる調査研究がなされている. さらに, 地震規模や津波の波源域が変われば, 沿岸各地への津波の来襲特性も変わるという観点から, 村上・他(1995)は波源域を, 河田・小池(1995), 村上・他(1996c), 山本・他(1999)は断層モデルを, それぞれ人為的に動かし, 主として太平洋沿岸域における津波の来襲特性を検討するとともに, 沿岸域集落の津波危険度を明らかにしている.

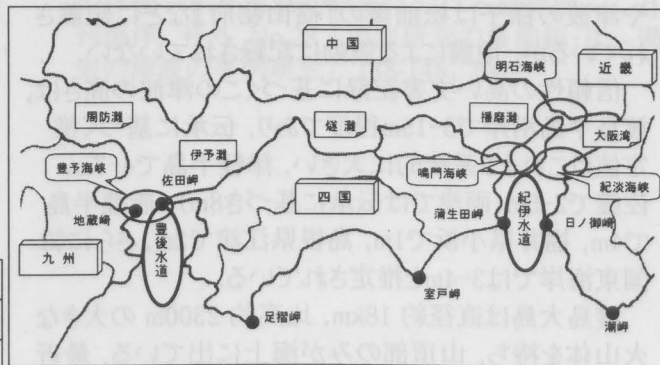


図-1 四国周辺地図
Fig.1 Map of Shikoku island

しかしながら, 図-1 から見て取れるように, 津波が進入しにくい大阪湾や瀬戸内海沿岸域においても, 津波の水粒子速度やその移動距離は大きく, それらによって大

きな被害が生じる可能性があり、津波に対する防災対策を講ずる必要がある。

本研究では、瀬戸内海沿岸における津波の来襲特性と津波危険度を明らかにする第一段階として、まず、紀伊水道と豊後水道への津波の進入特性を検討する。

ここでは、1854年の安政南海地震(M8.4)による津波を対象とした。南海道沿岸におけるこの津波被害は、1707年の宝永地震津波(M8.4)よりも小さかったが、南海トラフにおける最大規模の津波に違いなく、史料も多く、この歴史地震津波研究の成果は現在の防災計画構築のための有用な資料として利用できるからである。

安政南海地震津波による四国沿岸域の被害状況から見た特徴は以下のようなものである。

高知県土佐湾沿岸の宇佐、多ノ郷(須崎)、久礼、徳島県の穴喰、由岐で8mを越える津波が来襲した。また、足摺岬周辺でも、上川口、下ノ加江で7mを越え、足摺岬から宿毛湾にかけては5mを越える津波に襲われている。紀伊水道内の沿岸域では2~3m、豊後水道内では3~4mの津波高さとなった。一方、津波の到達時間についても津波史料の記録から、高知県入野、上川口、伊田、須崎、岸本、徳島県由岐では地震発生後15~20分程度、愛媛県の宇和島では60分程度であったとされる。

ただし、将来発生する地震津波が過去に起こった地震と同じ震源位置で発生するとは限らないことや、断層面および波源域が変われば津波の来襲特性が当然変わることも考慮して、津波防災計画を検討すべきであるということはいふまでもない。

そのため、本研究では紀伊水道および豊後水道における安政南海地震津波の進入特性を考察した後、さらに、波源位置を数種変えて、両水道への津波の進入特性も考察することにした。

2. 津波数値計算

2.1 計算方法

津波の波源域から波峰線・波向線方程式を解き、波向線を追跡する方法(以下、「波向線追跡法」という)を採用し、津波の集中、発散の空間分布により沿岸部への津波の進入特性を求める。

計算領域は、図-2に示す瀬戸内海を除く四国沿岸と、紀伊半島沿岸を含む515km

×263kmとし、計算格子間隔は全領域1.25km、計算時間間隔は1秒とする。



図-2 計算領域
Fig.2 Calculation region

安政南海地震津波の波源域モデルとしては、羽鳥(1974)による波源域を基に、長径126km、短径70kmの楕円を仮定した。そして、波向線の先端が海岸線に到達した時点で計算を終了することにした。詳しい計算手法については、佐藤ら(2000)を参照されたい。

2.2 波源域モデルの移動

次の南海地震津波の波源は、これまでの歴史地震津波の波源と同じになるとは限らない。また、地震規模の違いにより、沿岸域に來襲する津波特性も変わるはずである。

ここでは、波源域を図-3に示すように南海トラフに沿って動かすこととした。図中の破線は、南海トラフ周辺で発生した歴史地震の震源を考慮して設定した仮想的な線であり、記載した番号の位置が楕円の中心となるよう8つの波源域モデルを考えている。

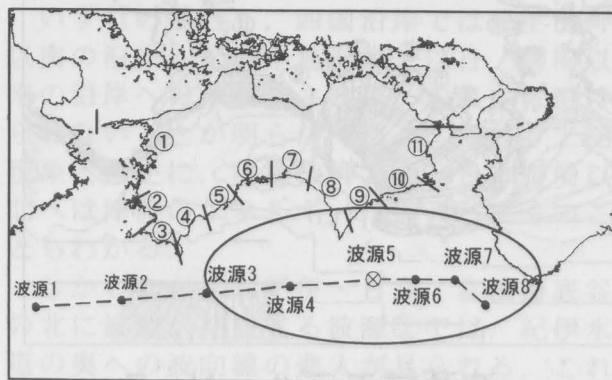
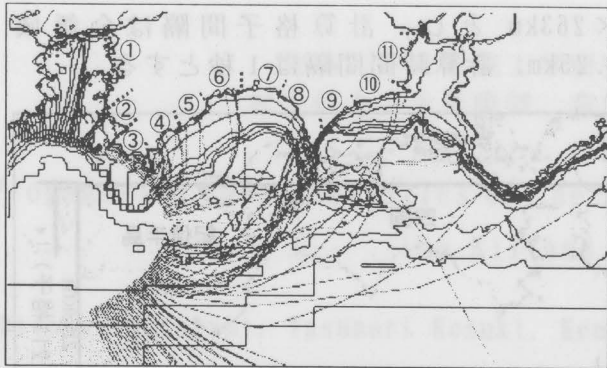
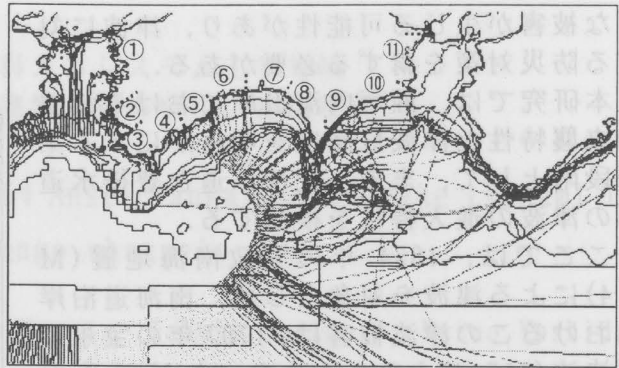


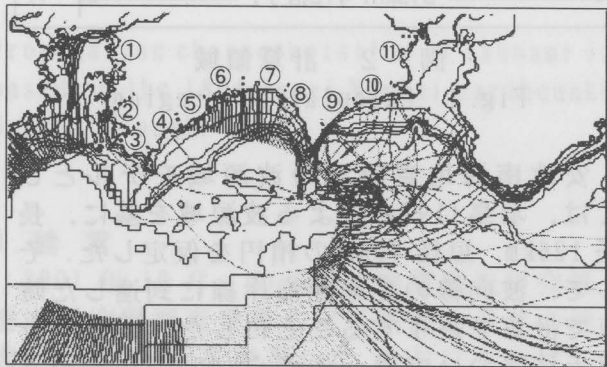
図-3 8つの波源域モデル
Fig.3 Location of the eight wave source models



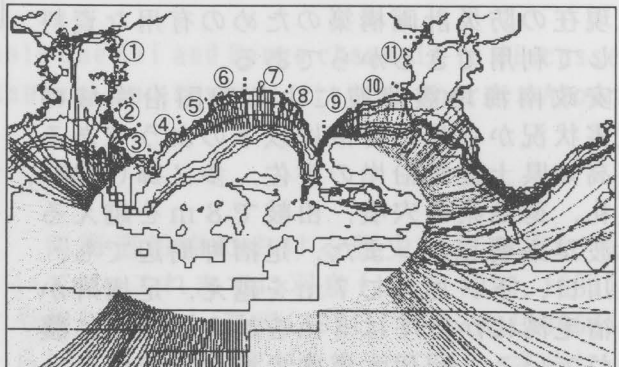
波源域モデル No. 1



波源域モデル No. 2



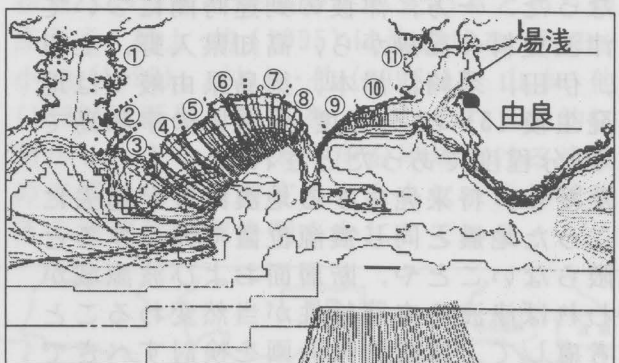
波源域モデル No. 3



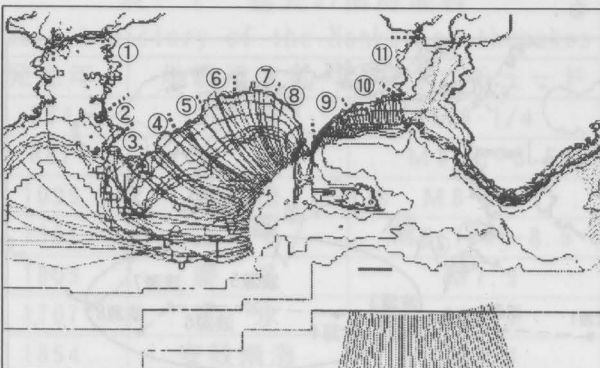
波源域モデル No. 4



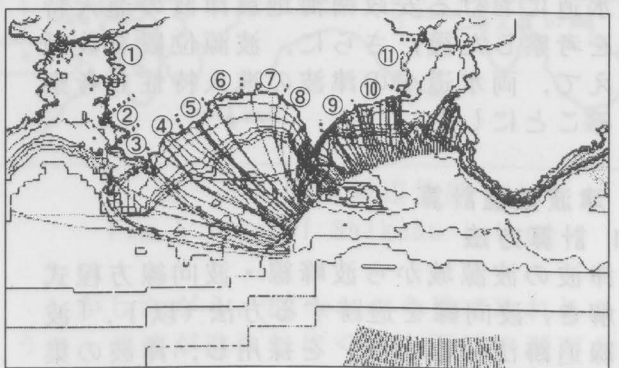
波源域モデル No. 5



波源域モデル No. 6



波源域モデル No. 7



波源域モデル No. 8

図-4 波源域モデルを移動させたときの波向線分布

Fig.4 Spatial distributions of the wave rays

3. 安政南海地震津波(1854年, M8.4)

図-4は、8つの波源域に関する波向線の分布を示したもので、図中のNo.5が安政南海地震津波の波源域である。

紀伊水道に着目すると、紀伊水道に向かう波向線は、紀伊水道の入口付近にある紀伊海底谷・日高海底谷・富田海底谷と呼ばれる3つのV字型の海底地形(以下、「紀伊・日高・富田海底谷」と呼ぶ)の存在により、室戸岬～蒲生田岬と潮岬～日ノ御埼の2つの沿岸域に分岐して両領域を襲うことがわかる。そのため、紀伊水道の奥へは津波のエネルギーが進入しにくかったことが理解される。

豊後水道については、波源の西端が豊後水道に達しておらず、波向線はほとんど土佐清水市の足摺岬から宿毛市の沖ノ島にかけての沿岸域に集中し、豊後水道へは津波のエネルギーが入射しにくかったことがわかる。

しかしながら、安政南海地震津波の波向線をよくみると、和歌山県の日ノ御埼以北の由良や湯浅、高知県の宿毛などの紀伊水道内および豊後水道内の特定の集落にも津波が入射しており、これら地域が現実津波被害を受けた理由もこうした解析から説明できる。

4. 紀伊水道への津波の進入特性

波源域が安政南海地震津波No.5よりも東になった波源No.7の場合を考えよう。

この場合、No.5の波源楕円の頂点(楕円の短軸側の上端)よりも波源の頂点が紀伊水道入口に近づき、さらに、紀伊・日高・富田海底谷の北に位置することになるため、波向線は紀伊水道奥の紀淡海峡付近にまで到達する。

つまり、波源域の位置によって紀伊水道への津波の進入特性が大きく変わることがわかる。そして、紀伊水道では、その入口付近の紀伊・日高・富田海底谷の影響により、波源が入口の近くでも蒲生田岬と日ノ御埼にトラップされ、紀伊水道奥へ進入しにくいことがわかる。そして、波源が紀伊・日高・富田海底谷よりも北に位置した場合に限り、紀伊水道奥へ津波のエネルギーが進入しやすくなることが明らかになった。

さらに、図-5に示す8通りの仮想波源ラインを設定し、紀伊水道への津波の進入

特性を考察する。ここでは、その中から特徴的な4つの波源による計算結果を図-6に示す。

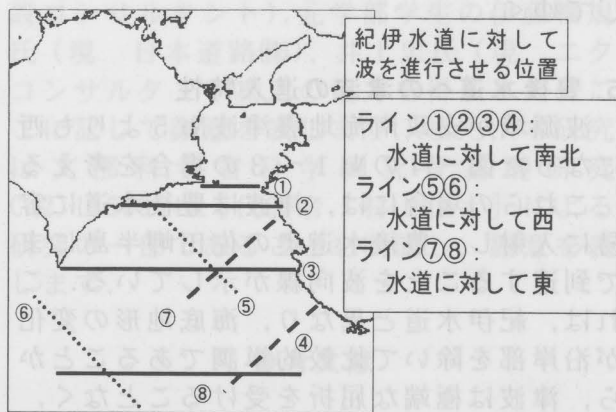


図-5 仮想波源ライン(紀伊水道)
Fig.5 Virtual wave source lines in the Kii channel

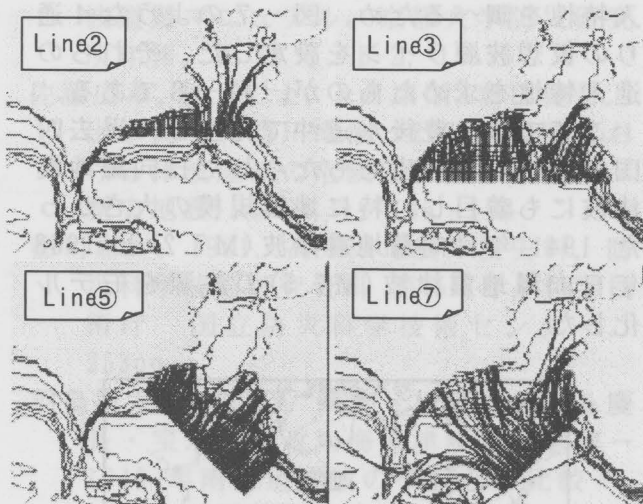


図-6 紀伊水道における仮想波源からの進入特性

Fig.6 Wave propagation characteristics from the virtual wave sources

いずれの場合も、四国沿岸では蒲生田岬以南の沿岸、紀伊半島沿岸では日ノ御埼以南の沿岸への津波エネルギーの集中は避けられないことが明らかである。また、上記現象とは逆に、蒲生田岬および日ノ御埼以北へは津波のエネルギーは進入しにくいこともわかる。

しかしながら、紀伊・日高・富田海底谷の北に波源が位置する波源②では、紀伊水道の奥への波向線の進入が見られる。これは、津波のエネルギーが紀伊水道内に入射したことを意味し、そして、その津波は、海底地形に応じて紀伊水道内の特定の集落

を襲うことがわかる。そのうち、紀伊水道奥の紀淡海峡や鳴門海峡付近にまで到達した津波は、さらに大阪湾や播磨灘へと進入してゆく。

5. 豊後水道への津波の進入特性

波源域が安政南海地震津波No. 5よりも西になった図-4のNo. 1～3の場合を考える。

これらの場合には、津波は豊後水道に容易に入射し、豊後水道奥の佐田岬半島にまで到達することを波向線が示している。これは、紀伊水道と異なり、海底地形の変化が沿岸部を除いて比較的単調であることから、津波は極端な屈折を受けることなく、豊後水道の奥へと伝播することができるからである。

そこで、さらに、豊後水道への津波の進入特性を調べるため、図-7のような4通りの仮想波源ラインを設定した。それらの進入特性を求めたものが、図-8である。

ここでは、豊後水道沖で発生し、過去四国沿岸に津波災害をもたらした日向灘地震津波にも着目し、特に地震規模の大きかった1941年日向灘地震津波(M7.2)と1968年日向灘地震津波(M7.5)の波源をモデル化した。

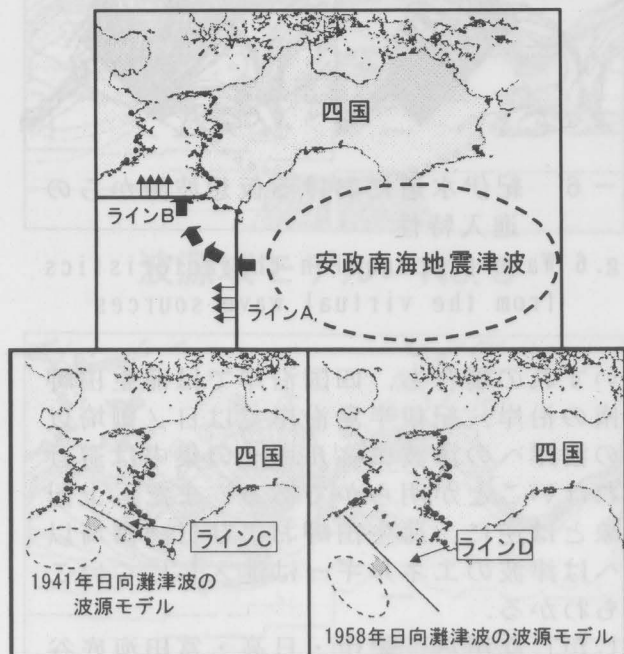


図-7 仮想波源ライン（豊後水道）
Fig.7 Virtual wave source lines in the Bungo channel

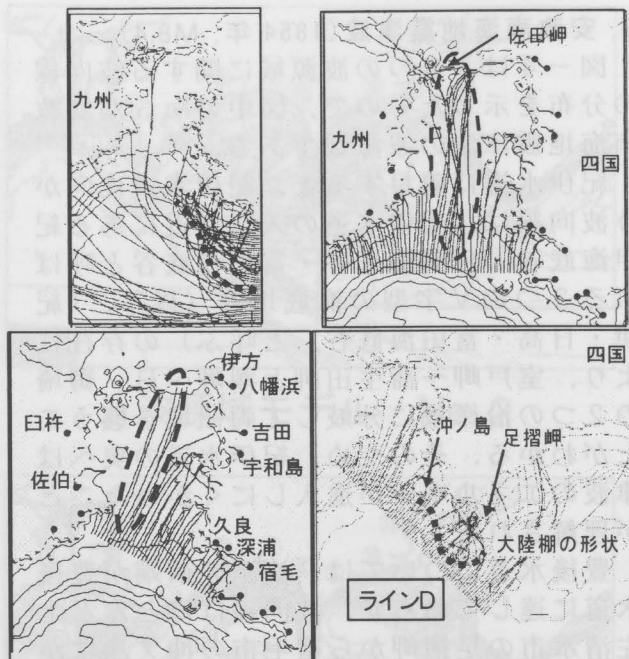


図-8 豊後水道における仮想波源からの津波の進入特性

Fig.8 Wave propagation characteristics from the virtual wave sources

津波が最初西方向に向かうラインAの場合、足摺岬から沖ノ島にかけて発達している大陸棚の存在により、波向線が足摺岬から沖ノ島にかけての沿岸域に向けて屈折し、豊後水道奥への進入が困難なことがわかる。

津波が北方向に進むラインBや、日向灘地震津波のように北東方向に進むラインCとDでは、波向線は大きく屈折することもなく直進し、豊後水道奥に向かって容易に進入できる。

ラインBでは、津波が北方向の佐田岬半島に向かって直進し、豊後水道内の四国西沿岸と九州東沿岸部にはほとんど到達しない。また、ラインCとDでは、津波が北東方向の四国西沿岸に直進するため、九州側にはほとんど波向線が到達していない。

これは、紀伊水道と大きく異なる海底地形に起因する。

本計算では、波向線が沿岸の大小の島に到達した段階で計算を終了しているため、豊後水道内の四国西沿岸や九州東沿岸にまで波向線が到達していない。しかしながら、実際には周期の長い津波は、容易に小さな島や半島を回り込み、その奥へと伝播していく。その結果が、愛媛県の宇和島や伊方、三崎、高知県の宿毛等にある津波被害の記

録であり、注意を要する。

6. 結 言

本研究では、安政南海地震津波の紀伊水道および豊後水道への津波の進入特性を考察し、さらに、近い将来起こる津波に対する両水道への進入特性を考察した。以下に本研究で得られた知見を要約する。

- 1) 安政南海地震津波に対する紀伊水道および豊後水道沿岸域の被害地域について、それら地域の被害原因の一つとして津波の集中によることを説明した。安政南海地震津波の波源位置から紀伊水道には津波が入りにくく、四国側では蒲生田岬以南、紀伊半島側では日ノ御埼以南の沿岸に津波が集中することを示した。一方、豊後水道には波源楕円の長軸側の西端が離れているため、足摺岬～宿毛にかける沿岸域に津波が集中し、豊後水道内には津波のエネルギーが進入しにくいことを示した。
- 2) 紀伊水道における津波の進入には、紀伊水道入口付近の紀伊・日高・富田海底谷と蒲生田岬・日ノ御埼という2つの岬地形が大きく影響している。そして、津波波源の向きよりも波源の位置が支配条件となり、特に、波源が紀伊・日高・富田海底谷よりも北に位置する場合に津波が進入しやすくなることを明らかにした。
- 3) 豊後水道においては、波源の中心が足摺岬よりも西にあるような南海地震、あるいは日向灘地震のような位置で起きる地震津波が発生した場合、容易に津波が豊後水道内に進入する。そして、比較的単調な海底地形の影響から進入波は、屈折等の変形を受けることなく直進し、津波のエネルギーは減衰することなく、そのまま沿岸部に到達する危険性がある。
- 4) 南海道沖で将来発生する巨大地震津波の波源が、紀伊水道や豊後水道の入口付近で発生すれば、両水道のみならず瀬戸内海沿岸域も津波に対する危険度が大きくなることを示した。

7. 謝 辞

最後に、本研究を行うにあたり、元徳島大学大学院の西川幸治氏（現 ㈱フジタ建設コンサルタント）、元学部学生の伊藤暢規氏（現 日本道路㈱）、井上忠氏（現 ニタコンサルタント㈱）の協力を得ました。ここに記して謝意を表します。また、本研究は文部科学省科学研究費基礎研究C(2)13680545〔代表者：村上仁士〕による研究の一部であることを明記し、謝意を表します。

参考文献

- 相田 勇, 1981, 南海道沖の津波の数値実験, 地震研究所彙報, Vol. 56, 713~730
- 河田恵昭・小池信昭, 1995, 危機管理と津波避難マニュアル, 京都大学防災研究所年報, 第 38 号, B-2, 1~55
- 佐藤広章, 村上仁士, 上月康則, 倉田健吾, 山本尚明, 西川幸治, 2000, 四国における津波越波の危険度に関する考察, 歴史地震, 第 16 号, 185~193
- 都司嘉宣, 1981, 高知県地震津波史料, 防災科学技術研究資料 第 57 号, 科学技術庁 国立防災科学技術センター, 253pp
- 羽鳥徳太郎, 1978, 高知・徳島における慶長・宝永・安政南海道津波の記念碑—1946 年南海道津波の挙動との比較—, 地震研究所彙報, Vol. 53, 423~445
- 羽鳥徳太郎, 1980, 大阪府・和歌山県沿岸における宝永津波・安政南海道津波の調査, 地震研究所彙報, Vol. 55, 505~534
- 羽鳥徳太郎, 1980, 宝永・安政津波の現地調査による波高の検討, 月刊海洋科学, Vol. 12, No. 7, 495~503
- 羽鳥徳太郎, 1981, 高知県南西部の宝永・安政南海道津波の調査—久礼・入野・土佐清水の津波の高さ, 地震研究所彙報, Vol. 56, 547~570
- 羽鳥徳太郎, 1974, 東海・南海道沖における大津波の波源, 地震, 第 2 輯, 第 27 巻, 10~24
- 村上仁士, 島田富美男, 伊藤禎彦, 山本尚明, 石塚純一, 1996a, 四国における歴史津波（1605 慶長・1707 宝永・1854 安政）の津波高の再検討, 自然災害科

学, 15-1, 39~52

村上仁士, 伊藤禎彦, 山本尚明, 佐藤広章,
1995, 四国沿岸域の津波危険度に関する
一考察, 海岸工学論文集 第42巻,
361~365

村上仁士, 伊藤禎彦, 山本尚明, 佐藤広章,
1996c, 紀伊半島・四国沿岸域における
津波危険度に関する考察, 海岸工学論
文集 第43巻, 316~320

村上仁士, 伊藤禎彦, 山本尚明, 1996, 各
種断層モデルによる四国沿岸域の津波
シミュレーションに関する考察, 徳島大
学工学部研究報告, 第41号, 39~53

山本尚明, 村上仁士, 島田富美男, 上月康
則, 佐藤広章, 1999, 沿岸域集落の津波
危険度に関する簡便的評価法, 海岸工学
論文集 第46巻, 371~375