

南九州沿岸および南西諸島海域における津波の広域数値計算

浅野敏之*・右田健二**・柳川竜一***・山下隆男****

1. はじめに

近年, 精度の高い津波防災計画の立案に向けて, 特定の港湾・海岸を対象とする津波計算ではなく, 沿岸域全域を網羅した広領域津波計算が実施されている (例えば南ら, 1996). 南九州から南西諸島海域にかけては, 12000 人近くの死者・不明者を出した 1771 年の明和八重山津波をはじめ, 奄美大島近海 (1901 年; $M 7.5$) (1911 年; $M 8.0$), 日向灘 (1968 年; $M 7.5$), 奄美大島近海 (1995 年; $M 6.7$) に見られるように $M 7$ 級の地震とそれによる津波が多発する地域と言える。しかし, 中央から離れ人口も群島上に点在するこの海域では, 三陸沖や東海道沖, 南海道沖に比して津波防災に対する注目度はきわめて低い。地震多発地帯であると同時に琉球海溝や島特有の地形特性によって特異な津波伝播・増幅機構が予想されるため, この海域の津波研究を全国水準にまで引き上げておくことは急務である。

本研究は, 本海域全体を対象とする広域数値計算を行うことによって, 津波に対する危険度予測を行い, 津波防災計画の立案に基礎的な資料を提供することを目的とするものである。

2. 南西諸島を含む九州沿岸域の過去の津波災害

南西諸島周辺海域の地殻構造は, トカラ列島の小宝島付近を横切るトカラ構造海峽, および沖縄島～宮古島間を横断する慶良間海裂の地質構造線に分断され, その結果大きく北部・中部・南部の 3 地域に区分される (河名, 1989). 島村ら (1991) は, 多数の海底地震計と制御震源を投入した大規模観測から, フィリピン海プレートの潜り込む角度は, 北部と中部ではごく浅いところから既に異なり, 北部では急であること, 潜り込みに対する抵抗も北部ほど強いこと, 大陸斜面下にある堆積層も北部で

は厚く最大 12 km にも達すること等を報告している。こうした海底地殻構造の知見は, 津波計算を行う上での震源や断層パラメータの設定に反映されなければならない。

本研究ではまず, 対象とする海域でこれまでに発生した地震・津波の地域特性, 時系列特性を調べた。「新編日本被害地震総覧」(宇佐美, 1987) に基づき, 有史から 1984 年までの津波データのうち, 九州沿岸および南西諸島海域の全 251 データを抽出した。それ以降 1995 年までのデータは地震月報を参考とし, 最近のデータは各種報告書・新聞等から収集した。これらすべての地震データの震央位置・断層パラメータ等を分析した。図-1 は, 収集した地震データの震央位置を地図上にプロットしたものである。有明海沿岸, 日向灘, 奄美大島近海, 八重山・宮古両群島周辺に震源が集中しており, 津波の発生しやすい海域であることがわかる。

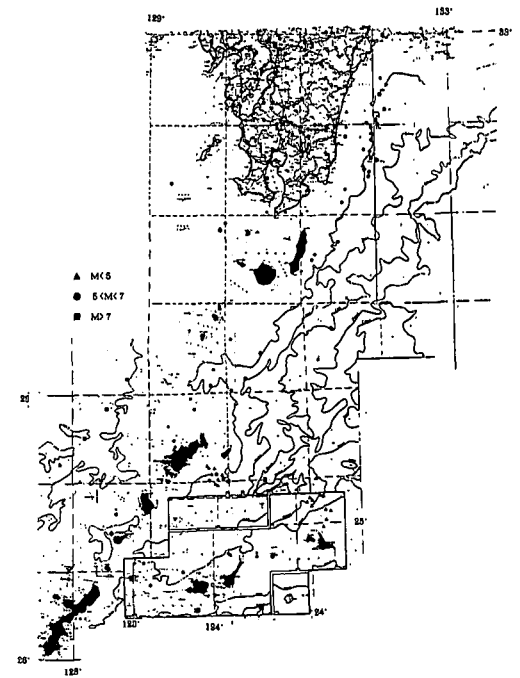
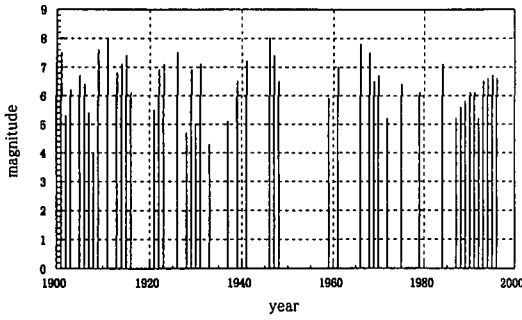
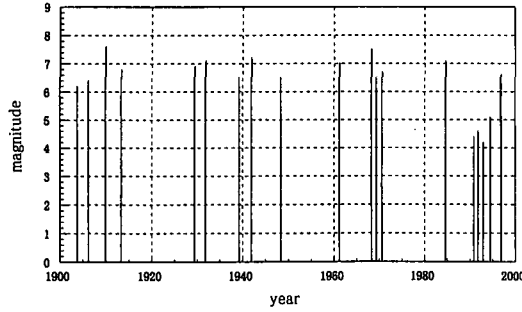


図-1 対象海域の既往の震源分布

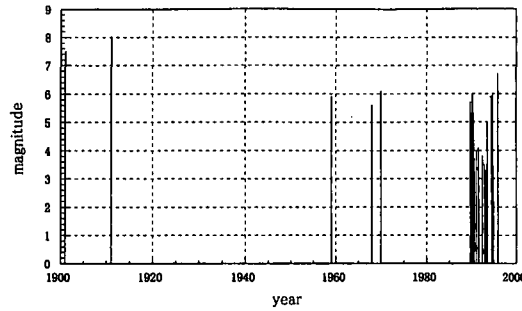
* 正 会 員 工 博 鹿児島大学教授 工学部海洋土木工学科
** 正 会 員 工 修 五省コンサルタント
*** 学生会員 元鹿児島大学工学部海洋土木工学科学生 (現 大阪市立大学大学院工学研究科)
**** 正 会 員 工 博 京都大学助教授 防災研究所災害観測実験センター



(a) 南西諸島海域を含む九州沿岸での地震発生年代分布



(b) 日向灘での地震発生年代分布



(c) 奄美大島周辺海域での地震発生年代分布

図-2 各海域における地震発生年とマグニチュード

図-2(a)は、対象海域全体の1900年以降約100年間の地震発生を棒グラフで示したものであり、縦軸は地震マグニチュードである。このうち、地震発生の活発な日向灘海域だけを取り出してプロットしたものが図-2(b)である。日向灘の地震活動はきわめて活発で、 M 7~7.5の大地震に限っても5・6回発生している。しかしながら、実際には津波は1m以下のことが多く、近年津波によっては大きな被害はでていない。むしろ、南海道で発生した宝永・安政津波の余波によって2m以上の浸水被害が記録されており、こちらの方が大きい。図-2(c)は奄美大島周辺海域で生じた地震の年代分布である。日向灘と比べると地震の規模・頻度ともに少ないが、1901年と1911年はそれぞれ M 7.5、 M 8.0の巨大地震が起こっており、最近の1995年地震津波と考え併せる

と、十分な注意が必要な海域と言える。1995年地震津波は10月18日に M 6.7、翌日に M 6.6の地震が発生し、喜界島東岸で最大高さ2.7mの津波が観測されている。この津波の詳細は今村ら(1996)、浅野・右田(1997)を参照されたい。

3. 津波の数値計算

基礎方程式は、コリオリ項、水平拡散項、摩擦項を含む非線形長波理論に基づいている。陸上への遡上は考慮していない。計算領域は北緯 $27^{\circ}20' \sim 33^{\circ}20'$ 、東経 $128^{\circ} \sim 134^{\circ}$ の範囲で、これを2kmメッシュで分割した。さらに奄美大島・喜界島周辺海域を詳細なメッシュで覆い、大格子と小格子の接続計算を行ったが、現在のところ小格子間隔は1kmに止まっている。

この海域の想定津波として前述の1995年奄美大島近海地震津波を取り上げた。その理由は、この地点で海底地震が頻発するためと、最近生じたために信頼度の高い断層データや津波波高データが取得されているためである。波源として菊池(1996)が解析したこの地震の断層パラメータを参照して与えた(表-1)。ただし、断層の長さ・幅については現実に発生したものを拡張し、わが国のプレート境界型大地震の規模である長さ100km、滑り量6mにまで拡大した。さらに想定津波の断層モデル中の走向・傾斜角などのパラメータを変化させた計算ケースを設定し、津波高や到達時間に及ぼす影響を考察した。表-1は計算条件をまとめて示したものである。表中、横ずれ量 U_s 、縦ずれ量 U_a はすべり量 U とすべり角 λ から、 $U_s = U \cos \lambda$ 、 $U_a = U \sin \lambda$ で計算される。また、表中 M_1 、 M_2 は断層の長さ L と断層面の面積 $S = LW$ (W :断層の幅)から計算される地震のマグニチュードである(佐藤, 1989)。

表-1 計算に用いた断層パラメータ

	菊池(1996)	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
震源位置(北緯)(°)	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1
震源位置(東経)(°)	130.3	130.3	130.3	130.3	130.3
走向 θ (°)	203	210	180	150	240
傾き δ (°)	74	74	74	74	74
すべり角 λ (°)	-82	-82	-82	-82	-82
深さ d (km)	26	10	10	10	10
断層の長さ L (km)	30	100	100	100	100
断層の幅 W (km)	15	30	30	30	30
すべり量 U (m)	2.4	6	6	6	6
横ずれ量 U_s (m)	0.334	0.835	0.835	0.835	0.835
縦ずれ量 U_a (m)	-2.376	-5.941	-5.941	-5.941	-5.941
マグニチュード M_1	6.714	7.76	7.76	7.76	7.76
マグニチュード M_2	6.723	7.55	7.55	7.55	7.55

$$\log L = 0.5M_1 - 1.88, \log S = M_2 - 4.07$$

なお表-1に示した以外にも震源位置や断層パラメータを変化させた多数の計算を行ったが、震源の深さを変化させても津波波形にはほとんど影響せず、また断層の長さ L 、すべり量 U を変化させると初期海底地盤変動が大きくなり津波伝播の規模も当然拡大するが、流体運動の面からは特筆すべき結果が見られなかったため、本論文では断層の走向角を変化させた結果について報告する。

4. 計算結果

4.1 波の伝播状況

図-3はCase-1の断層条件に対して、地震発生から0分、15分、30分、45分後の津波の伝播状況を示したものである。図-3(a)は0分後の水位を示したもので、計算の仮定から海底地盤の鉛直変動量と同じものである。図-3(b)は15分後の津波伝播状況である。初期水面勾配は断層短軸方向が最も大きく、したがって短軸方向への伝播が大きくなるが、この海域では南西諸島島弧に沿って琉球海溝に連なる水深6000m級の深海部が存在するため、この図に示すように伝播状況は短軸である南東方向のみならず北東方向にも大きい。地震発生からそ

れぞれ30分、45分後の図-3(c)、(d)では九州東岸では四国足摺岬にまで津波先端が伝播する一方、東シナ海側では水深が小さいために伝播が遅れることがわかる。例えば枕崎には大隅半島側の志布志より震源からの地理的距離が近いにも関わらず到達時間が遅れている。

図-4はCase-1の断層条件に対して、初期波の到達時間の分布を示したものである。前述のように断層短軸方向への伝播が卓越するという津波の基本的性質があるが、南西諸島の東側に沿う水深6000mの深海部の存在により、この領域で南北への伝播が速くなり、結果として同心円状の伝播状況が得られている。九州本土に到達すると水深の相違から、九州東側で伝播が速く四国足摺岬にまで45分程度で到達するのに対して、東シナ海側への伝播は遅くなる。また、第1波の伝播が屋久島で遮られ、その北側で伝播の遅れが見られる。

図-5は最大波高の到達時間の分布を示したものである。図-4と同じく南西諸島・九州本土の東側で速く東シナ海側で遅いが、ここでの結果には種子島・屋久島さらに甌島や九州本土に対して津波伝播の影となる部分で到達時間が遅れることが認められる。

図-6は、断層の走向角 θ を変えたCase-1~4の計算

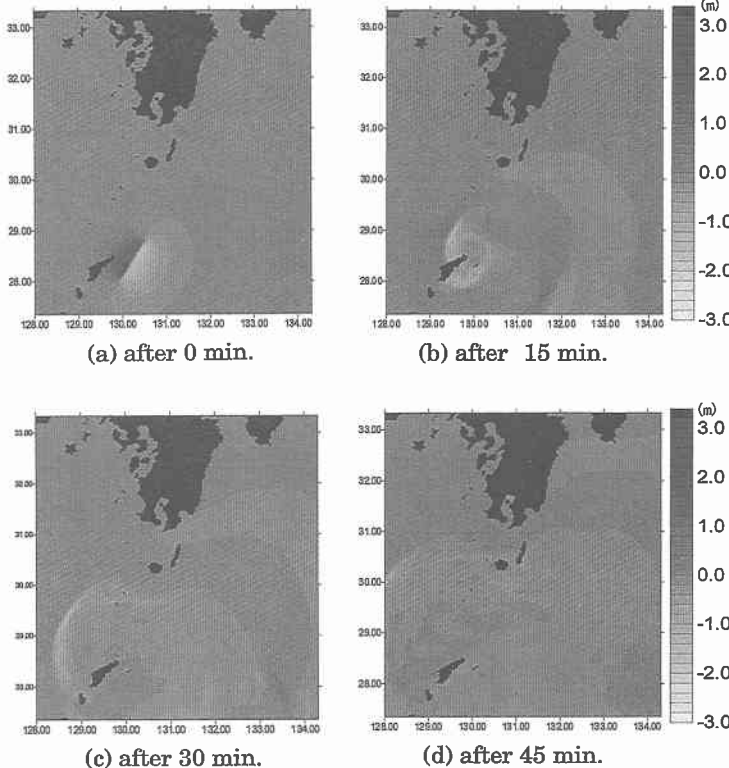


図-3 津波の伝播状況 (Case-1)

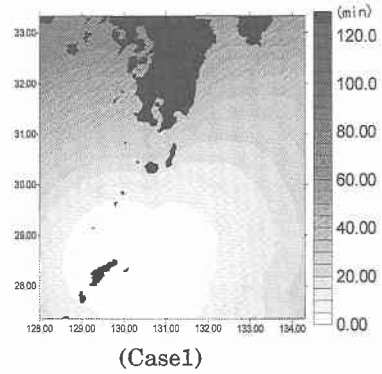


図-4 初期波到達時間の分布

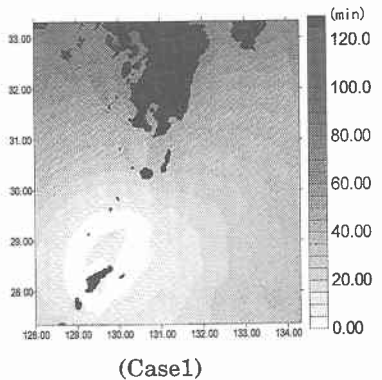
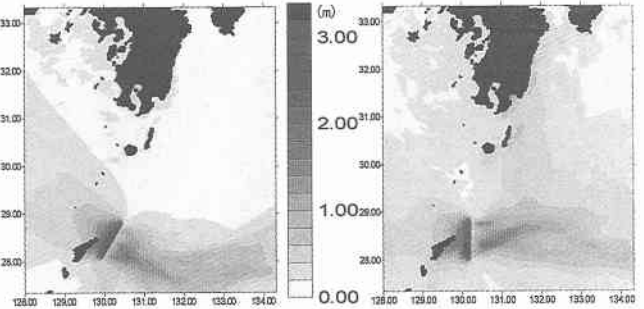


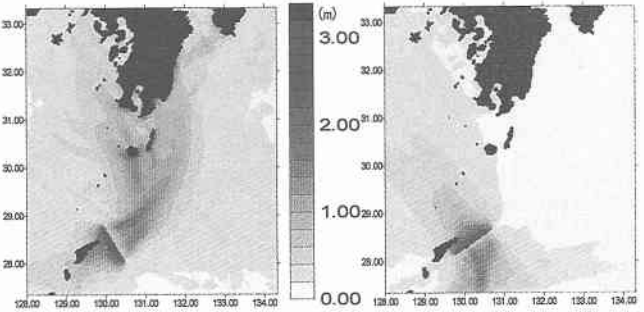
図-5 最高波到達時間の分布

条件に対して最大波の波高分布を示したものである。すべての図から読み取れることは、断層の走向方向には大きな波は存在せず、短軸方向に波が大きくなることである。1995年の喜界島地震津波に近いCase-1では震源付近を除けば、九州本土では志布志・天草・長崎沖などでたかだか0.4mの波高が得られるに過ぎない。 $\theta=180^\circ$ としたCase-2では $H>0.4\text{ m}$ となる範囲が広範囲に見られ、志布志沖・宮崎県南部・種子島屋久島の南側に波高1m前後の領域が見られる。走向角 θ をさらに反時計方向に振ったCase-3では（プレート境界の向きとはやや整合しないが）、津波伝播の卓越する断層短軸方向と、深海領域の方向が一致ようになるため、大きな波高が震源、種・屋久、本土鹿児島・宮崎を結ぶラインに形成される。種子島屋久島の南側には2m程度、宮崎県南部・志布志では1m程度の波高となる。しかし、鹿児島湾湾口部については種子島・屋久島で津波をブロックする効果が見られ、波高は大きくならない。 θ を最も大きくとったCase-4では、短軸の向きから鹿児島県本土・宮崎県では大きな波高は来襲しない結果となった。



(a) Case1

(b) Case2



(c) Case3

(d) Case4

図-6 最高波の波高分布

4.2 代表地点の水位変動時系列

図-7は鹿児島湾湾口部で得られた津波来襲

波形を示したものである。図-6で示したように、Case-2、Case-3の断層走向角の計算結果がこの地点に大きな来襲波をもたらす。これらのケースに対応する図-7 Case-2、Case-3では約30分の周期の振動波形が認められる。鹿児島湾は湾口から桜島南端まで約50kmの長さがある。鹿児島湾を平均水深120mの長方形湾と考えると、周期30分の津波の波長 L_t は62kmとなり、second modeの共振波長 $L_r=(3/4)L_t=46.5\text{ km}$ は湾長50kmとほぼ一致する。

図-8は、Case-1の計算条件に対して、宮崎市沖・日向市沖・枕崎沖および志布志湾における津波の来襲時間波形を示したものである。宮崎市・日向市沖は直線的な海岸線を持ち、この来襲状況の下では、津波波形は第1波が大きく以下指数的に減衰する。志布志沖や図-7で示した鹿児島湾湾口部では湾水振動のために水位変動が直ちには減衰しない結果となる。なお、志布志湾における振動周期は、他の

計算ケースをも含め約25分程度であった。1995年の喜界島地震津波に対して、鹿児島湾湾口（大泊）と志布志で取得された検潮記録を図-9に示す。志布志湾の振動周期は計算結果と良く似ているものの、鹿児島湾湾口で実測された振動周期は10分程度と短い。本計算では現段階ではこの領域に2kmメッシュを採用しており、実測との比較を議論するには今後メッシュ間隔を数段細かくする必要がある。

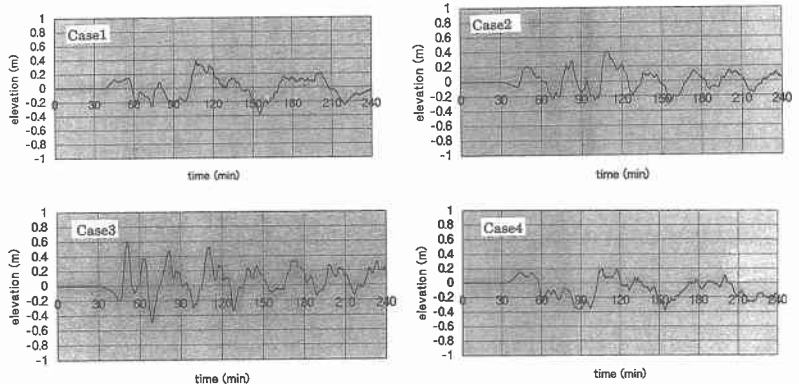


図-7 鹿児島湾湾口における水位変動

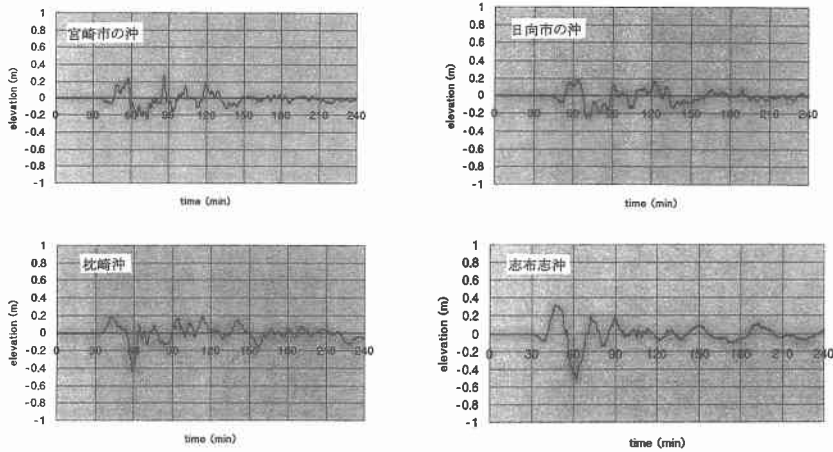


図-8 代表地点における水位変動 (Case-1)

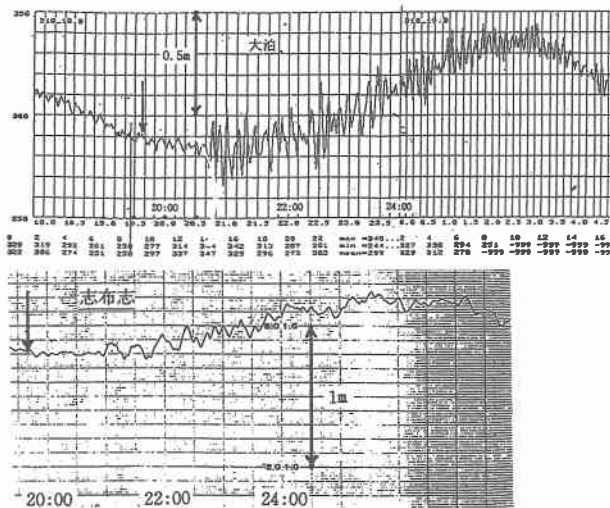


図-9 1995年喜界島地震津波で得られた検潮記録
(今村ら (1996) から引用)

5. まとめ

本研究は、南九州沿岸および南西諸島海域における津波防災対策の基礎資料を提供することを目的として、当該海域の広領域津波計算を実施し、その特性を調べたものである。得られた結論をまとめると以下の通りである。

(1) 一般に津波エネルギーは断層の短軸方向への伝播が卓越するが、薩南諸島の東側には琉球海溝に連なる水深 6000 m の深海部が存在するため、この領域で南北への伝播が速くなり、結果として津波伝播波形は円形状となる。

(2) 断層パラメータを系統的に変化させた津波計算を行ったところ、津波伝播に及ぼす効果は、断層の走向

角が最も顕著であり津波の到達時間・最大波の分布・波形などの結果が大きく変化する。これは島弧東側の海溝状の深い部分と東シナ海の浅い部分とで構成されるこの海域の水深特性によって、津波伝播が大きな指向性を有するためと考えられる。

(3) 震源を喜界島周辺とした場合、鹿児島湾湾口への津波の来襲は、屋久島・種子島で遮蔽され、波高も小さくなることがわかった。

(4) 陸上地形の近似精度が不十分ではあるが、湾形を成す地点での水位変動に振動が認められた。

本計算ではメッシュサイズが大きいため、沿岸部での津波波高について定量的な議論が十分にはできない。今後、詳細な地形近似を行った上で検討を行いたい。

謝辞：本研究の一部は文部省科学研究費基盤研究 (B) (1) (代表：入江功九大教授) の補助を得て行ったものである。本研究を実施するにあたっては、東海大学工学部・後藤智明教授からご助言を頂いた。また、図面の作成には本研究室大学院生の米永敏之君の助力を得た。ここに付記し謝意を表します。

参考文献

- 浅野敏之・右田健二 (1997): 1995年喜界島近海地震津波について、自然災害西部地区部会報, 論文集-21号, pp. 109-115.
- 今村文彦・高橋智幸・越村俊一・堀内信哉 (1996): 1995年10月喜界島地震津波に関する調査報告, 津波工学研究報告, Vol. 13, pp. 53-80.
- 宇佐美龍夫 (1987): 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会, p. 352.
- 河名俊男 (1989): 琉球列島の第四紀地殻変動, 月刊地球, Vol. 11, No. 10, pp. 618-630.
- 菊池正幸 (1996): 1995年喜界島近海地震群の震源パラメータ, 地球惑星科学関連学会予稿集, E11-07, p. 304.
- 佐藤良輔編 (1985): 日本の地震断層パラメータ・ハンドブック, 鹿島出版会, 390 p.
- 島村英紀・小平秀一・岩崎貴哉 (1991): 琉球島弧での日独共同海底地震観測, 上田誠也教授退官記念論文集, 号外地球, No. 3, pp. 121-131.
- 南兼一郎・平石哲也・佐藤清二・柴木秀之・額田恭史 (1996): 南海道津波計算システムの開発と近地・遠地津波への適用について, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 301-305.