

津波被害調査のマニュアル

今村文彦*

1. はじめに

被害を伴うような津波が発生したときに、その被害状況、津波の挙動（特に高さ）、その他津波に付随する現象を理学的（地球物理学、堆積学、地質学）、工学的、社会学的見地に立って調査し、防災の資料に役立てることは非常に重要である。本マニュアルは、津波調査の前または準備時に迅速な現地調査が遂行を手助けすることを目的としている。日本と海外とでは状況が大きく異なる場合があるが、双方に必要な項目をすべて挙げるようにしている。

2. 調査準備

一般に津波の調査範囲は広いために、一様に全区間を調査することに加えて、調査域を絞ったり特定の地点で詳細に調査することが重要である。また、出来るだけ、多くのメンバーにより分担して調査することが効果的である。津波の挙動を調べる上で、是非調査が必要な場合には、辺地であっても調査しなければならない。普通、湾奥などの波高はよく調査されるが、例えば湾外にある島や岬の先端など、湾の影響の小さい所での波高の記録も重要である。

1) 調査団の構成

まず、調査チームの編成には、津波現象・災害の関連テーマに関心のある人、調査の経験のある人などから選考する必要がある。この中には、海洋学者、工学者、測量士、地震学者、地質学者、社会学者、地域計画者などが挙げられる。

構成員の中には、必ず被災国から、また、被災国の国語を理解できるメンバーを入れる必要がある。特に、調査許可を得るためにも、被災国の気象庁、大学、国公立研究所、政府に関係する人が必要である。

これらの構成は、被災後、出来るだけ早く行わなければならない。ただし、被災地での混乱やアクセスなども考慮する必要があり、過去の例を見ると、ほぼ被災後2週間程度で現地に入っている。また、構成員は、世界各国に亘るため、連絡や情報交換は、ファクスやe-mailで行われている。調査チームを構成する場合に必要なのが、次の項目である調査地点、日数などである。

2) 調査地点の選定、調査日数、移動方法、宿泊地の確認

新聞、テレビなどの報道、e-mail、現地法人などからの情報を得ることが大切である。特にNHKは海外にも支局を持ち、多くの詳細な情報をあられる。さらに、東大の新聞研などには、各国の代表的新聞（例えば、インドネシアのコンパス紙）が数日遅れで入手できる。現地での、交通手段、宿、食料、飲料水などの状況も把握しておく。

まず、これらの情報より、被災地や津波が影響したと思われる地域を推定する。この際に、地震速報から求めた津波波源モデルを用いて数値計算し、沿岸での波高を推算しておくことも有効である。調査地点の数・範囲を考慮して、必要な日数と調査班の数を見積もることが出来る。これらの情報を現地のコンタクト・パーソンに連絡し相談の上で、各地点への移動方法（レンタカー、飛行機、船など）、宿地などを予め計画しておく。これにより、大まかな調査費用（交通費、宿泊代、謝金、レンタカー、消耗品）も見積もることが

*東北大学工学部附属災害制御研究センター

出来る。

ベースキャンプとなる宿泊先・事務所などが決まったら、日本側の後方支援者に連絡する。

3) 調査器具・用具の準備

まず、以下が基本的な調査に必要な器具である。

レベル、簡易コンパス (簡易レベル、写真— 参考)、ハンドレベル、三脚、スタッフ (箱尺)、距離計 (スケールテープやレンジング距離計)、傾斜計、方位計、GPS、腕時計、カメラ、ビデオ、コンピュータ (モデム付きも有効)、フィールドノート、ラジオ、トランシーバ

調査項目によって

堆積物：スコップ、ロープ、サンプラー

(ビニール管など)、試料容器、

地震 (余震)：簡易震度計、

海底地形調査：音探装置

4) 関係資料の入手

- ・地形図 (日本の場合には、詳細な1/2,500～1/5,000が入手可能、その他、国土基本図・都市計画図・道路管理図などがある。海外の場合には、2.5～5万分の1程度、図-1を参照。これは1992ニカラグア地震津波調査の際に使用)、住宅地図も被災家屋の特定や被質問者、土木構造物については平面図・標準断面図)
- ・海図 (海上保安庁発行水路図誌目録が便利)
- ・道路地図 (ドイツ Nicles 道路地図が便利である)
- ・潮位表、検潮記録 (海岸昇降検知センター編全国験潮場一覧に掲載)

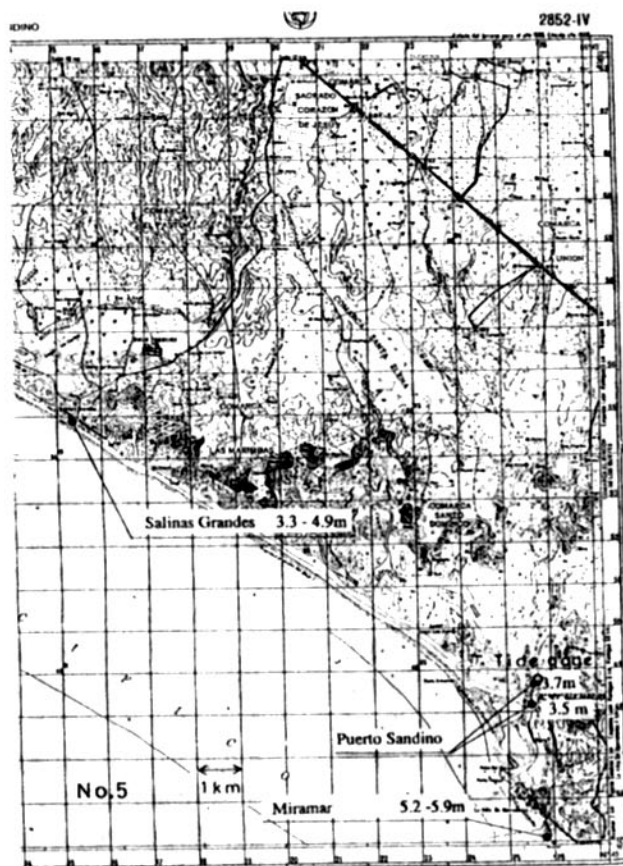


図-1 2万5千分の1の地形図 (ニカラグア)

外国の主要港の天文潮汐係数表は、東京築地の海上保安庁水路部ビル1階、日本海洋情報センター(JODC)で入手可能である。これをもとに潮汐計算が可能であり、気象庁、国土地理院、水路部の管理する検潮記録は、後からでも収集できるが、県、もしくは市町村、建設省地方建設局等の管理する検潮記録は、出来るだけその場で複写してくる。場所によっては、1カ月毎に記録紙を回収する場合があるので、データの送付を依頼しておくか、担当者を調べておく。

- ・航空写真

- ・現地での一般情報(通貨、気候、治安、宗教)

国や地方自治体で、それまでに調査された被害統計をはじめ、被害箇所、浸水域などの資料も入手する。

5) その他

- ・パスポート、ビザ

パスポートは通常の手続きで入手。有効期限に注意(ビザ取得に6カ月以上を必要場合が多い)。国によりビザを取得する。調査機材などを持ち込むので、ビザを入手しておいた方がよい。特に、高価計測器を持ち込む時には、現地の責任者(高官や教授、所長)の署名が入った許可願い書を用意する必要がある場合がある。

- ・予防接種

海外での調査の場合には、事前に予防接種の必要がある。破傷風、B型肝炎などは重要であり、コレラは最近少ないが、場所によって必要。マラリアは、錠剤などを定期的に服用するが、副作用を確認しておく。通常、抗体を作るまでに数回の接種が必要であるが、出発までの時間がない場合には、出発前と後に分けることも場合によって可能である。

- ・調査費

突発災害に対しては文部省科研費の補助を受けられる場合がある。その場合には、災害の特徴、調査の必要性、メンバーの学問分野配分などを考慮して、申請の準備が必要である。この経費は年間で固定されているため、年度末などでは、すでに経費がない場合があ

るので、申請の可能性を自然災害総合研究班などメンバーに問い合わせておくとよい。

- ・医療品

常備薬、胃腸薬、虫よけ、虫刺され、消毒薬、カットバン、日焼け止め、蚊とり線香など地域により用意する。また、緊急時の連絡先(自宅、両親)や血液型を書いたカードを用意すること
もよい。

3. 調査時

1) 津波発生原因の分類

津波の多くは海底での地震活動により発生するが、火山、地滑り、隕石落下などの源によるものも少なくない。また、地震の後に地滑りや地盤低下が伴って局所的な津波を起こすこともあるので、その発生原因を注意深く現地を確認することが必要である。地震、火山、津波に関して、予めInternetなどから各種情報が入手できる。主なInternetは以下の通りである。

- ・地震関連:

東大地震研: http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC_J.htm,

最近の地震: <http://civeng.carleton.ca/cgi-bin2/quakes>

- ・火山関係:

NASA, Volcano World: <http://volcano.und.nodak.edu/>

- ・津波関連:

Tsunami Bulltine Board: tsunami@itic.noaa.gov
アラスカ津波警報センター: <http://www.alaska.net/~atwc>

ハワイ津波情報センター: Intl Tsunami Info Center <itic@itic.noaa.gov>

なお、大規模地震の場合には、余震活動も大きく、現地調査の際にも続いている場合が多い。余震分布を把握することは、津波波源域を推定する際に有用であるため、これらの観測も重要である。やや長期的に余震観測を複数点で行う時には、時刻補正用のGPSが必

要である。地滑り、地盤変動が生じていた場合には、出来るだけ位置だけでなく、その形状や地盤の特性（地質や粒径）なども測定することが望ましい。

測量の際には、今だ高価であるが、レーザー距離計は有効である。従来の光波測距器と異なり、測定値点にプリズムを設置する必要がないために、安全でしかも短時間に形状・位置を測定できる。

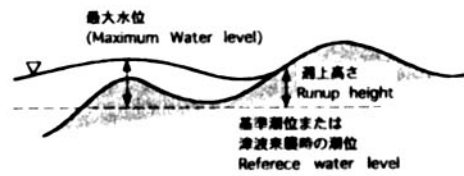
2) 津波高さ（汀線での津波高さとして浸水高さ）

現場に到着後、まず津波浸水の有無を確認する。津波の痕跡の代表的なものとしては、壁に残った浸水跡、植生の変化（色、きず、傾斜）、打ち上げられた漂流物（瓦礫、ごみ）等がある。出来るだけ、多くの痕跡の高さを測ることが望ましいが、時間の制約などがある場合には、局所的な影響（スプラッシュなど）がない、明瞭な地点を選ぶ。また、目撃者などが明確に示した浸水地点なども含まれる。津波痕跡の明確さに応じて、以下のような信頼性の区別を行っている。

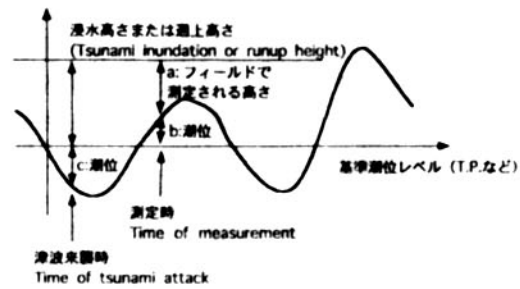
- A：明確な痕跡または目撃者自身による表示。測定誤差は小さい。
- B：やや明確である。局所的な影響を受けている可能性がある。測定誤差は小さい。
- C：不明瞭ではある。目撃者より聞いて覚えている。測定誤差がある。
- D：不明瞭であるが、参考にする。測定誤差が大きい。

また、測定時に、その津波痕跡を写真に残しておく。

図-2に示すように、津波高さには、2種類ある。いわゆる浸水域境界で最も高い値（遡上高さ）と浸水域内の最大水位である。陸上の地形により2種類の最大値は一致しない。特に、後者の場合には、地盤高と浸水高さ（地盤高から痕跡までの高さ）を記録しておく。さらに、津波遡上高さがあるが、これは地盤から水位までの高さを言う。いずれの高さも、調査時の海水面からの高さを測定し、調査後に潮位補正を行う。目的に応じて津波高さは、平均海水面からまたは津波来襲時の



2つの津波高さの定義



検潮記録を用いた潮位補正

図-2 2つの津波高さの定義と潮位補正

海水面からの値として換算される。なお、日本の場合には、各地区において水準点があり、それを参照して測定することも可能である。ただし、工事用のベンチマークなどは移動している可能性もあり、用いない方がよい。また、地震による地盤変動によっても、上下している可能性がある。このことは、海水面から値も併用すれば、地盤変動量が測定できることを意味する。いずれにしても、海水面からの高さを測っておく必要がある。

図-3には、レベルを用いた津波高さの測定例を示す。野帳などに、これらの図を書いてBSとFSの読みとり値を書いておけば、データの整理に混乱がすくない。

なお、2万5千分の1などの地図の等高線

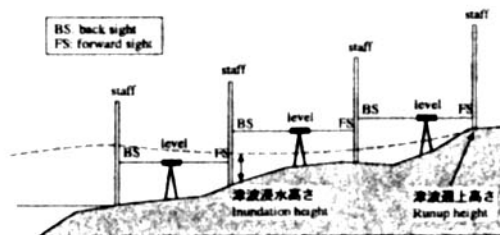


図-3 レベルによる津波高さの測定

はT.P.(Tokyo Pale)で、検潮記録などの値は平均潮位、海図などはD.L.で表示されているので、注意する。

さらに、津波痕跡地点から海岸線への距離や勾配も測定する。以上をまとめて、津波高さに関する測定項目をまとめると、以下のようになる。表-1も参照されたい。

- 1：調査地点名
- 2：測定地点座標（緯度経度）
- 3：測定時刻
- 4：測定値（海水面または水準点からの高さ）
- 5：信頼度
- 6：海岸線からの水平距離
- 7：浸水高さか遡上高さの区別
- 8：平均勾配
- 9：潮位または水準点の高さ
- 10：潮位補正後の高さ

表-1 津波高さ調査表

場所名	出来るだけ詳しく			調査日	記録者				
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
調査地点	緯度経度 (GPS)	調査時間	測定値	信頼度	水平距離	最大水位/ 遡上高さ の区別	地形勾配	潮位のま たは水準 点の高さ	補正後の 津波高さ
	時分	m単位	AからD まで	m単位			度	m単位	m単位

なお、測定時の生データもフィールドノートに保存しておく。レベルによる測定時にスタッフの距離も測定しておくとも地形データとしても利用できる。フィールドノートには、調査地点で得られた情報（津波浸水方向）や被害状況、土地利用などを記録しておく。例えば図-4、5にもあるように、位置関係も分かるようにする。

3) 津波情報（質問票）

被災直後に、住民ヘインタビューを行うことは、現象の理解（来襲の様子や陸上に揚がった津波の動向）に大変有効である。ただし、被災者の主感が入ったり、津波の来襲時刻などが不明確であったりし、精度を欠くことがあるので、出来るだけ多くの人々から体験談を聞くことがよい。なお、質問事項が多い場合には、ある程度事項を絞る必要はあ

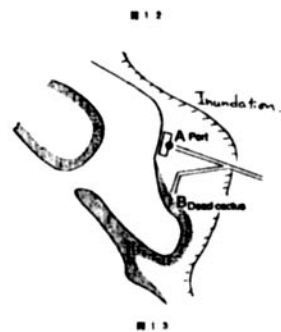
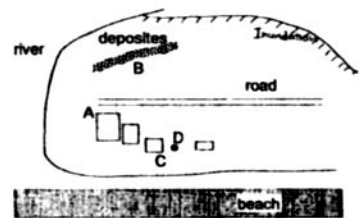


図-4 津波調査結果の一例

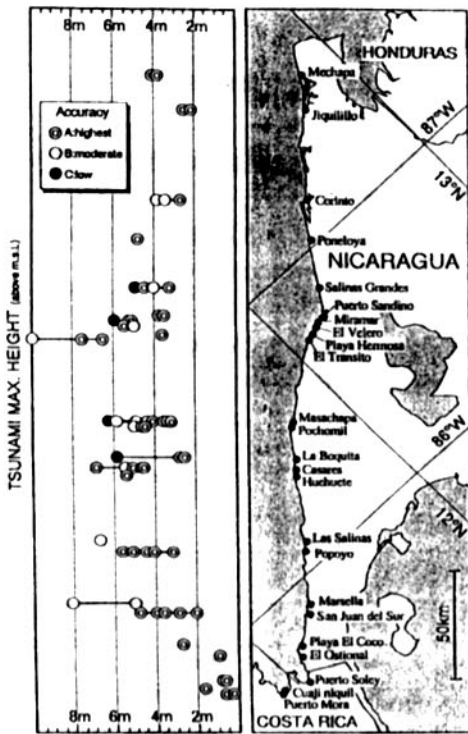


図-5 測定された沿岸津波高さ分布

る。質問の内容は多岐に渡り、かつ出来るだけ多くの住民より回答を得る必要があるために、現地語に翻訳された質問票を用意する必要がある。その内容を列挙すると以下の通りである。

ただし、出来るだけ多くの情報を集めたい気持ちはあるが、実際の現地での時間やアンケートをとることの複雑さを考慮に入れ、最小限の項目とする。

① 被質問者の情報

被質問者氏名、職業、年齢、性別、地名(広域名、集落名などがあるので出来るだけ詳細に記入してもらう)

② 質問者氏名、質問年月日

③ 地震関連

震度(修正メルカリまたは気象庁震度表を参考)、地震の前兆や余震

地震による人的・物的・経済的被害

④ 津波関連

到達時間、来襲方向、第一波の挙動(上

げ、下げ)、最大波

津波のタイプ(壁のように、ゆっくりと流れるように、普通の波のように)

来襲時の音・風・異なる現象

津波による人的・物的・経済的被害

海水の濁り

⑤ 避難について

開始時間、避難場所、避難経路、避難のきっかけ、避難行動

⑥ その他

津波・地震に関する言い伝え

・関連データの入手

検潮記録、地震記録、被害表、新聞、航空写真などを、出来るだけ、現地でする。特に、被害状況などは、警察や自治体でまとめているので、その情報を入手しておく。

4) 沿岸地形の特徴

特異な現象は、局所的な地形に影響されることが多い。そこで、出来るだけ沿岸での地形の特徴を記録する事が望ましい。以下は、地形に関する測定方法をまとめる。

① 航空写真：広範囲を短時間で測定できる。

ステレオ方法で3次元的な地形を計測可能。浸水域も判別可能、水表面に漂流物があると流速測定も可能

② 光波測距器：対象領域において、基準地点間の距離、方向、鉛直角度を測定し3次元的な地形測量。方向は方位で示しておく整理に便利。

③ メモ：短時間での調査の際には、地形のスケッチを残しておく。

地形情報、被害状況、津波来襲方向、などをまとめておく。

④ 写真・ビデオ撮影：現地での写真・ビデオ撮影は大変有効である。

調査の最中でもお互いの現場での情報を交換する手段にもある。また、ビデオはインタビューの際にも、音声記録可能なので有効である。

5) その他

・非経験者の練習(トレーニング)

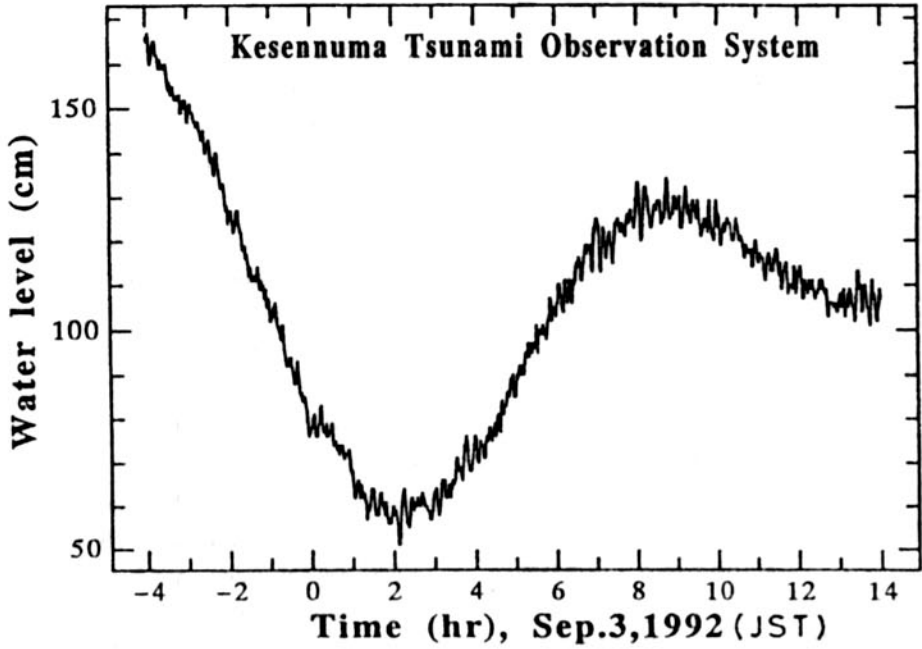


図-6 観測された津波波形

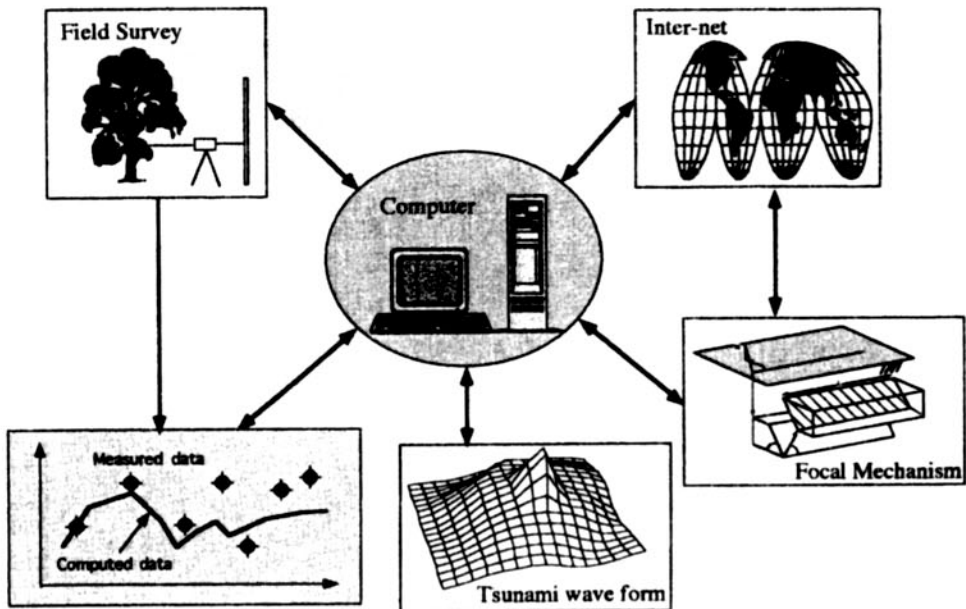


図-7 将来の津波現地調査 (リアルタイム解析)

非経験者については、現場への到着前後に、測定方法の詳細について講習を行う。特に、津波痕跡の見分け方、記録紙の記入方法、インタビューの取り方、などを周知しておく。調査第一日目は、各チームに分けたとしても、同一の場所で、調査方法や内容を確認しながら行うと良い。

・各班間の情報交換

調査の期間中、出来るだけ、各班が入手したデータ・情報を交換する。これは、翌日からの調査計画の作成に役立つ。

・実測潮位

ゆとりがあれば、半日ほど潮位を実測し、算定された天文潮位と比較するとよい。

・調査後の報告会

調査終了時には、参加者に主な結果（地図にプロットされた各地の津波高さ・到達時間など）を配布できるようにする。また、直後に報告会などを開き、得られた結果を報告すると共に、現地へのアドバイスや要望などを提供する。さらに、津波メイリングリスト (Tsunami Bulletin Board, tsunami@itic.noaa.gov) などを利用し、国内外の津波研究者に速報を流す。

4. 参考文献一覧

- 全国験潮場一覧, 海岸昇降検知センター, 91p, 平成6年.
- 水路図誌目録, 海上保安庁, 28p., 1995.
- 東大地震研, 大地震現地調査の手引き, 55p., 昭和58年.
- Imamura, F. et al.: Irian Jaya Earthquake and Tsunami causes serious damage, EOS, Transactions, AGU, Vol.78, No.19, p.197 and pp.201, 1997.
- 今村文彦: フィリピン・ミンドロ島地震津波の現地調査, 自然災害科学, Vol.15, No.1, pp.3-10, 1996.
- Synolakis, C, et al.: Damage, conditions of East Java Tsunami of 1994 analyzed, EOS, Transactions, AGU, Vol.76, No.26, p.257 and pp.261-262, 1995.
- Satake, K. et al.: Tsunami Field Surevey of the 1992 Nicaragua Earthquake, EOS, Transactions, AGU, Vol.74, No.13, p.145 and pp.156-157, 1993.
- 阿部邦昭: 1992年ニカラグアにおける地震とその津波に関する研究, 文部省科研費報告, 総合研究A (04306013), 106p., 1993.
- 都司嘉宣: 1992年インドネシア国フローレス島地震とその津波に関する調査研究, 文部省科研費報告, 総合研究A (04306024), 115p., 1993.

表-2 アンケート調査シート

はじめに：津波被害調査のためにアンケートにご協力下さい。

1. 調査地点名 ()
2. 氏名 (), 職業 (), 年齢 (), 性別 ()
3. 地震関連

津波が来襲する前委に起きた地震についてお答え下さい。

1) 震度について (日本の場合には気象庁震度を参考)

次に該当する揺れを選んで下さい。数字はメルカリスケールの震度を示す。

- ① ごく特殊な環境にいたごく一部の人、ことに建物の丈夫にいた人しか感じなかった。
- ② 静かにしていたごく一部の人、ことに建物の上階段にいた人しか感じなかった。揺れやすくなるされたものが動くのが見られた。
- ③ 家の中で感じた。ことに上階で感じられたが、多くの人が地震とは気づかなかった。泊まっている自動車が揺れた。トラックの通り過ぎた程度。
- ④ 家の中で (就寝中でない) 多くの人が感じ、屋外の少しの人が感じた。皿や窓やドアががたがた音がし、壁がきしむ音がした。重いとらつくが建物にぶつかる感じがした。停車中の自動車が揺れるのがはっきり分かった。
- ⑤ ほとんど全ての人が気づいた。(寝ている人が目覚める) 皿や窓などが割れた。(塗り壁にひびが入った)。木やポールや高い建物の揺らぎが (時には) 感じられた。
- ⑥ 全ての人に感じられ、多くの人が恐怖感から家の外へ飛び出した。一部の重い家具が移動した。一瞬のうちに塗り壁がはがれ落ち煙突に被害が生じた。少し被害が出た。
- ⑦ すべての人が野外に飛び出した。建て付けの悪い家にはかなお被害が出た。煙突が倒れた。

2) どのように揺れましたか？

どのくらい長く？ すぐに治まった／揺れが長く続いた／何分
家の中で次のどの事が起きましたか？

- a. 棚のものが落ちた
- b. 人形や花瓶が倒れた
- c. 食器棚の中の皿やコップが割れた
- d. 自転車が倒れた
- e. 家具が倒れた
- f. 壁にひびが入った
- g. 壁や柱が傾いた
- h. 窓硝子が割れた
- i. その他次のような事が起きた ()
- z. 以上のようなことは起きていない。

3) 地震に伴った現象

液状化の有・無
地滑りの有・無

4. 津波について

- 1) 到達時間：地震後何分ぐらいで津波が来ましたか？
それをどのように推定しましたか？
時計・腕時計，テレビ・ラジオ，自分の感覚，その他
- 2) 第一波の様子：
水位が下がりましたか？上がりましたか？
水平線遠方に白く泡立つ波線が見えましたか？はい，いいえ
波のかたちは？ 静かに流れて，壁のように，普通の高波のように，
鉄砲水のように，渦巻いてた，
どの方向から来ましたか？
砕波していましたか？ はい，いいえ
- 3) 最大波の様子：
何波目にきましたか？
波のかたちは？ 静かに流れて，壁のように，普通の高波のように
津波はどこまで上がりましたか？ ()
どの方向から来ましたか？
- 4) 全体：
何波来りましたか？
音が聞こえましたか？ はい，いいえ，はいの場合どのような ()
風が吹きましたか？ はい，いいえ，はいの場合どのような ()
水の色が変化しましたか？ はい (色)

5. 被害について

- 1) 地震による被害
人的な被害：死者 () 行方不明者 () けが人 () / 人口 ()
建造物の被害：全壊 () 部分破壊 () / 総建物の数 ()
経済的被害：総額 () / 1年間の予算 ()
主な被害施設：
- 2) 津波による被害
人的な被害：死者 () 行方不明者 () けが人 () / 人口 ()
建造物の被害：全壊 () 部分破壊 () / 総建物の数 ()
床下浸水した家： ()
床上浸水した家： ()
経済的被害：総額 () / 1年間の予算 ()
主な被害施設：港，テトラポット・コンクリートの移動，

6. 過去の災害について

- 1) 過去大きな被害を受けた災害を教えてください () 年，原因 ()
- 2) 津波に関する言い伝えはありますか？ はい，いいえ，はいの場合には ()



写真-1 津波調査チーム（1994年フィリピン・ミンドロ地震津波調査チーム）



写真-2 現地調査を始める前の念入りなミーティング



写真-3 現地調査での津波痕跡調査



写真-4 測量機器の練習風景

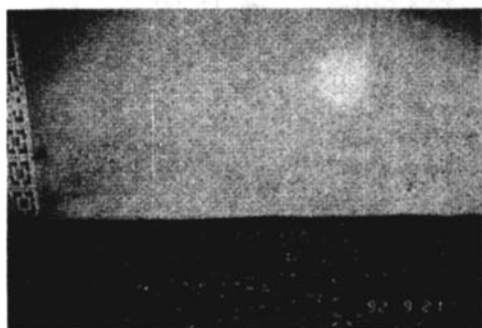


写真-5 壁に残っている津波痕跡（1992年ニカラグア地震津波）



写真-6 津波（海水）により変色した葉（1992年ニカラグア地震津波）



写真-7 漂流物により傷つけられた木
(1992年ニカラグア地震津波)



写真-8 津波痕跡高さの測定 (1996年イリアンジャヤ地震津波)



写真-9 破壊された建物の例 (1996年イリアンジャヤ地震津波)



写真-10 津波による海岸侵食 (1994年フィリピン・ミンドロ地震津波)



写真-11 津波による海岸堆積 (1996年イリアンジャヤ地震津波)



写真-12 地震による地表面の変動 (1994年フィリピン・ミンドロ地震津波)