

1998年パプアニューギニア地震津波の現地調査

河田恵昭* ・高橋智幸** ・今村文彦***・松富英夫****
藤間功司*****・都司嘉宣*****・松山昌史*****

1. はじめに

1998年7月17日, パプアニューギニアの西セピック州沖でマグニチュード7の地震が発生し, それに伴う津波が同州の Aitape 付近へ来襲した(図-1)。この津波の沿岸部での高さは10mを越え, 死者2,000名を越える大被害をもたらした。地震の規模を考えると異常な巨大津波であるため, 当初, 津波地震と推定された。そこで被災後まもなく, 津波災害の実態解明のため文部省の科学研究費による現地調査を実施した。

本研究では, 調査結果の報告およびそれらの情報を基に津波の挙動やメカニズムについての検討結果を報告する。また, 著者らは, 1992年ニカラグア津波以来, 今回を含めて9回の津波災害に関する現地調査を行っているが, それらから得られた経験を災害調査のマニュアルとしてまとめた。

2. 現地調査

2.1 調査の概要

津波発生と同時に情報収集を始め, 並行して津波数値計算を実施した。それらを基に各国の研究者と意見交換を行いながら, 調査計画を立案した。その結果, 国際協力チームで現地調査を実施することとなり, 日本からは7名の研究者が参加し, 他に米国, オーストラリア, ニュージーランドから9名の参加が得られることとなった。1992年以降の9回の津波調査は全て国際協力チームで行われているため, 迅速に調査態勢を整えることが可能であった。

以下に調査日程を簡潔に示す。7月31日にパプアニューギニアへ入国し, 首都ポートモレスビーにおいて



図-1 パプアニューギニアの地図

パプアニューギニア大学や国立地質調査所, 国立図書館などをまわり, 情報収集およびパプアニューギニアの研究者との議論を行った。8月1日には各国からの研究者と合流し, 西セピック州の州都 Wewak へ移動し, 調査打合せを行った。日本隊は3班に分かれ, 2班が主に津波の痕跡調査, もう1班が3地点での地震計の設置を行うこととなった。8月2日は豪雨のため出発できず, 翌3日に Aitape へ出発した。第1班は調査機材だけを携帯してヘリコプターで移動し, 第2班はその他の機材や食料などを積み込み車で移動した。第1班は現地の災害対策本部との打合せを行い, 災対本部長より被災地へ入る許可を得た後, 調査を開始した。痕跡調査を8月6日まで行なった後, 災害対策本部からの依頼を受け, 被災者の心理的支援を行なうためにその日の午後, 津波や防災に関する講演を被災者に対して行った。8月7日は Wewak へ戻り, 地震計設置班と合流し, 調査資料の整理を行なった。8月8日, ポートモレスビーに戻り, パプアニューギニアの研究者に調査結果の報告を行い, 今後の研究についての議論を行った。8月9日, パプアニューギニアを出国, 帰途についた。

2.2 調査結果

今回の災害による死傷者の分布を図-2に示すが, ほとんどが津波によるものであった。死者・行方不明者は2,000名を越えており, 被災地域の人口が約6,600名で

* 正会員 工 博 京都大学教授 防災研究所巨大災害研究センター
** 正会員 博(工) 京都大学助手 防災研究所巨大災害研究センター
*** 正会員 工 博 東北大学助教授 大学院工学研究科災害制御研究センター
**** 正会員 工 博 秋田大学助教授 工学資源学部土木環境工学科
***** 正会員 工 博 防衛大学校助教授 土木工学教室
***** 理 博 東京大学助教授 地震研究所
***** 正会員 工 修 財団法人電力中央研究所主任研究員 水理部

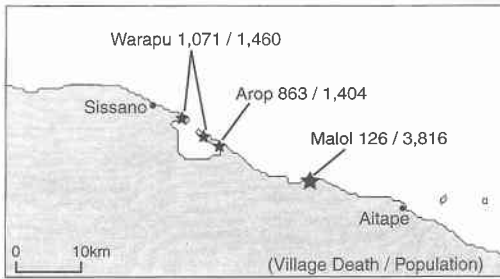


図-2 死傷者の分布

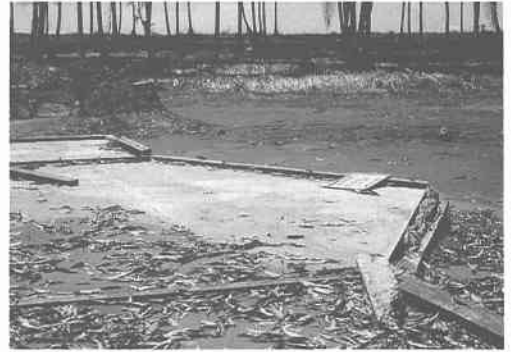


写真-1 津波に流れれたワラプー村の教会跡

あるから、その3分の1に達している。特に Arop 村と Warapu 村では住民の3分の2以上が死亡しており、被害が集中している。これらの村は Sissano Lagoon と呼ばれる潟の砂嘴上に位置する集落である。このラグーンは長径約 10 km、短径約 3 km で、深さは 2~3 m と極めて浅く、1907 年の地震によって陥没してできたと言われている。砂嘴の幅は 100~200 m で、標高は 2.5~3 m であるため、この砂州上の家々は津波により容易に破壊されて流失した。写真-1 は Warapu 村の教会であるが、建物が流され、土台だけが残っている。

漂流物や折れ枝などの津波痕跡から推定された津波高分布を図-3 に示す。Sissano Lagoon 付近で最も高く、そこから遠ざかるにしたがい低くなる分布を示している。そのうち 5 m を越えている範囲は約 40 km で、さらに 10 m を越えている範囲にいたってはわずか 20 km 程度である。すなわち、極めて局所的に大きな津波が来襲していることが判明した。

聴き取り調査では、双発のプロペラ機が近づいてくるような音を、あるいは雷のような音を立てながら絶壁のような黒い水の壁が高いココナツの林の上に現れたとの証言が得られているが、調査結果もそれを裏付けている。

津波来襲地点の様子を写真-2~4 に示す。写真-2 では、砂州上のココナツが一様に背後のラグーンに向かって倒れている様子が分かる。津波が砂州を越え、ラグーンに流入したことを示している。写真-3 では、砂州のラグーン側の木の背後に馬蹄形渦による洗掘穴が残っており、継続的に一方向の流れが働いたことを示している。写真-4 では、ココナツの幹が折られていることが分かる。一般に、津波により木が倒壊するパターンは、流水により根元が侵食される場合が多い。しかし、この例では、瞬間的に大きな流体力が加わったことを示している。

図-4 に 8 月 7 日から 18 日まで 12 日間の余震分布を示す。地震計は Wewak, Lumi および Vanimo の 3ヶ所に設置し、それぞれで記録された P 波、S 波から震源位置を推定した。設置数が少なかったことや震源を囲むように配置できなかったことから位置にばらつきはある

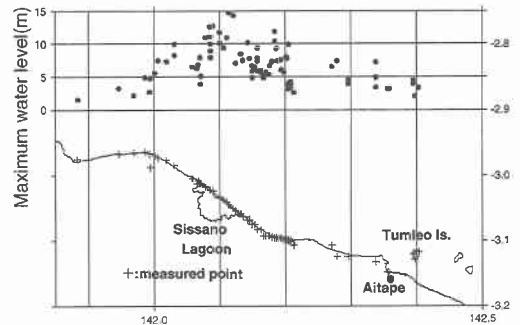


図-3 調査による津波高の分布



写真-2 ラグーン側に一様に倒れている砂州上のココナツ

が、海洋性の地震であったことは明確である。範囲としては、Sissano Lagoon から沖合 50 km あたりまでの比較的沿岸近くに広がっていた。

地震に関しては、聞き取り調査からも次のような事実が判明している。住民の多くが地震を 3 回感じており、2 回目の揺れが最も強かったようである。そして、津波は 3 回目の揺れの直後に引き初動で来襲した。今回の震源から西方へ約 150 km 離れたインドネシアの Jayapura での地震計の記録を図-5 に示すが、明確に記録されている地震は本震 ($M 7.1$) とそれから約 20 分後の最大



写真-3 木を背後に生じた馬跡形渦による洗堀穴



写真-4 瞬間的大きな流体力で折られた幹

余震 ($M 6.1$) の2回である。恐らく、住民が感じた1回目の地震は揺れが小さかったため、Jayapura の地震計には記録されなかったと思われる。よって、住民の言うところの2回目の揺れが、地震の本震に相当することになるが、ここで問題となるのは津波の来襲時間である。Harvard 大学が推定している震源に断層を置いたとすると(図-6)、津波の到達時間は約5分となる。したがって、もし2回目の揺れ(本震)で津波が発生したとすれば、約20分後の3回目の揺れ(最大余震)の直後に来襲したと言う証言と矛盾が生じてしまう。しかし、図-4の余震分布や付近のプレートテクトニクスを考慮すると、震源を Harvard 大学のものより沖側に仮定することは難しい。1つのシナリオとしては、津波発生直接的な原因は本震ではなく、それに励起された海底地滑り等の付随的な外力であったことも考えられるが、現段階では確定には至っていない。

3. 調査結果から推定される津波の挙動

入院中の約430人の負傷者の中には骨折や打撲傷の他、火傷を負っている人があり、これは砂州や海底砂面の上を引きずられたためと思われる。また、津波を目撃した生存者からは、津波で運ばれる途中、3度空を見た

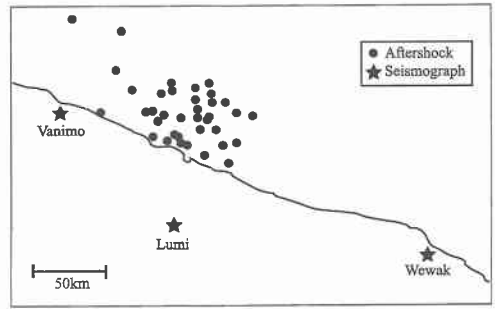


図-4 余震分布

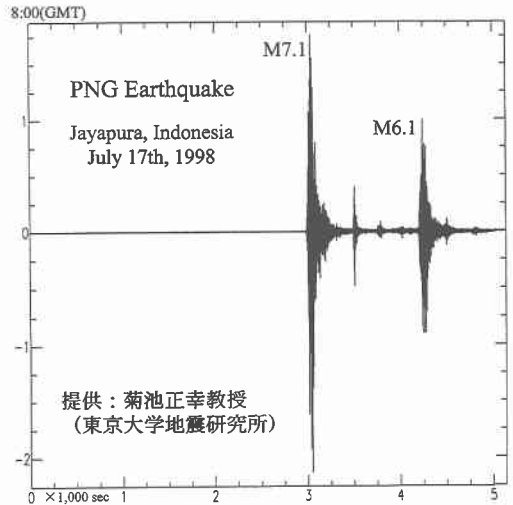


図-5 Jayapura の地震計の記録

いう証言も得られている。このような証言と調査結果から津波は次のような特異な挙動を示したと推定される。

砂嘴上では津波の越流水深が約10mであり、流速は毎秒10mを越えていた。この状態は、水理的には限界流が出現したことを意味している。さらに、砂嘴の背後のラグーン側に落ち込み、縮流してフルード数が1以上とり、射流としてラグーンを横断した。そして、非定常流の波状跳水の形で対岸のジャングルまでおよんだ。

すなわち、津波は単に砂嘴を乗り越えてラグーンに流れ込んだのではなく、水平軸を持つ渦が形成され、これに集落の住民が巻き込まれて運ばれたと考えられる。第1波の津波で水位が上昇したラグーンでは、開口部から急流となって海側に流出したが、これが次の津波に対して逆流となったために、この開口部付近の津波が高くなったと思われる。調査結果でも、開口部周辺では、津波の高さが12mを越えている。津波に巻き込まれた住民は、渦によって上下に翻弄され、流されたのであろう。

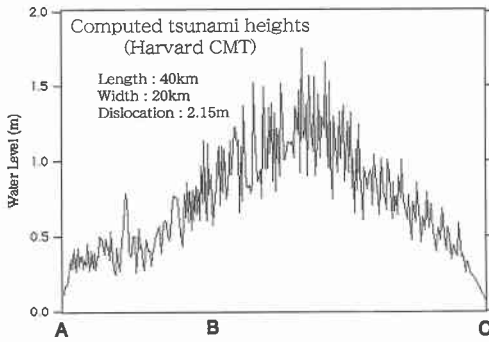
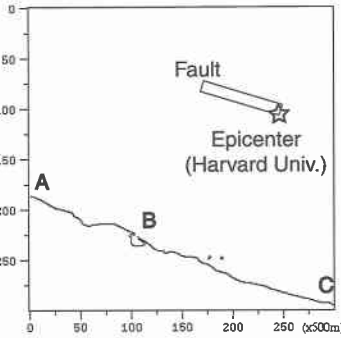
もし、砂嘴の背後にラグーンが無く、山が迫っていた

表一 各機関から発表された断層モデル

	M_s	M_w	Strike	Dip	Slip
NEIC	7.1	7.1	182/299	5/88	152/86
Harvard	7.1	7.0	146/287	19/75	127/78
ERI	7.0	6.9	126/291	14/77	105/86



写真一5 液状化の痕跡



図一6 算計された津波高の分布

とすれば、津波の遡上高は 20 m を越えていたはずである。1993 年北海道南西沖地震津波によって、奥尻島の青苗地区には約 10 m の津波の痕跡高が記録されているが、この津波は押し寄せてくる際には 5~6 m であったと考えられる。したがって、今回のパプアニューギニアの津波はその 2 倍以上の高さで来襲したと言える。

4. 調査結果から推定される津波のメカニズム

今回は地震のエネルギーに比べて津波が大きくなる津波地震であった。その原因として、この調査を始める時点で「ぬるぬる地震」が考えられた。しかし、各研究機関から発表された地震のメカニズム(表一)をみると、表面波マグニチュード (M_s) とモーメントマグニチュード (M_w) の差はほとんど無いこと津波被災地を中心として広い範囲で住民は震度 5 から 6 弱を感じていること(地震が起こったときに立っておられず、座り込んだなどという証言がある)、写真一5 に示すように本震や余震による液状化の大小の痕跡が砂嘴上の集落に数多く見いだされていることから判断して、いわゆる「ぬるぬる地震」

は否定される。

そして、Harvard 大学から発表されている高角 dip の断層モデルを採用し、断層長 40 km、断層幅 20 km、すべり量 2.15 m として、計算を行なった結果を図一6 に示す。同図には、震源と断層も表示してある。計算された津波の高さは 2 m 程度であり、図一3 の調査結果と比較すると著しい過小評価である。さらに、調査では Sissano Lagoon 付近に津波のエネルギーが集中しているが、計算ではより広範囲におよんでいる。

したがって、津波を増幅させた要因と津波エネルギーを集中させた要因が他に存在すると考えられる。現在のところ、「地震動に誘発された海底地滑り」および「ラグーン沖の特殊な海底地形」がその要因である可能性が高い。前者については、津波が高かった沿岸の沖合いで、河口デルタ状に 1,500~2,000 m の等深線が異様に沖に張り出した部分が認められること、津波は引き波から始まって、約 2 m 海面が低下していること、Sissano 村西部の崖海岸で地震による崖崩れの跡が 2 つ見つまっていることなどが、その可能性を示唆している。一方、後者は、先に説明した河口デルタ状の張り出しが、その後の海底地形測量結果から、海図にある以上に発達しているという報告があり(松山ら, 1999)、より津波の増幅に寄与したのではないかとこの推定に基づいている。

5. 災害調査マニュアル

著者らは、津波や高潮、地震災害に関する現地調査を行ってきたが、それらで最も重要となるのは「臨機応変」な対応であった。どのように綿密な計画を立てても、被災地という非日常的な空間においては、予測不可能な事態が絶えず発生するためである。

しかし、この事は調査計画の重要性を低く見ているのではない。むしろ、しっかりした計画が立てられていて始めて、現地での突発的なイベントに対して柔軟に対処することが可能となる。

ここでは、過去の災害調査で得られた経験を踏まえ、計画の立案および調査の実施において留意すべき事項についてまとめ、災害調査マニュアルとして示す。災害調査の経験者であれば暗黙のうちに了解しているものもあるが、文書とすることでより明確にすることを目的とした。詳細な調査方法などに関しては今村(1998)も参照されたい。

(1) 調査開始時期：被災現場が乱され、データが消失する前に調査を開始すべきであるが、救助活動や医療活動の動向を見定め、それらの障害にならない時期に被災地へ入る。JICAなどの医療チームと連絡を取ることで、活動状況を知ることができる。

(2) コンタクト・パーソンの確保：被災地の地理や言語への不慣れは、調査を妨げるだけでなく、危険をも招く。よって、現地の研究者や実務者などの協力を確保する必要がある。協力者としては、被災国の大学や国立研究機関の研究者、また日本へ留学した経験を持つ研究者などにこれまでの調査では依頼してきた。ただし、被災時にもかかわらず協力していただいていることを絶えず念頭において対応すべきである。

(3) 国際協力チームによる調査：巨大災害には各国から研究者が派遣されるが、それぞれ独自に調査を行うと重複や一部地域への集中が生じる。被災地、被災者への負担を最小限度に留めるために調査は迅速かつ効率的に行うべきであること、また災害の全体像を掴むため広い範囲でデータを収集する必要があることから、国際協力チームで調査を実施することが望まれる。それには、事前に各国の研究者と連絡し、国際的な協力体制を築くことが重要である。各専門領域におけるメーリングリストなどの同報通信的な連絡手法が有効である。なお、津波研究者間のメーリングリストとしては、国際版は米国のNOAAが管理するTsunami Bulletin Board、国内版は東北大学が管理するtsunami-japanが存在し、過去の調査ではこれらを通じて参加募集や計画立案を行っている。

(4) 聞き取り調査における注意：災害の発生状況を把握する上で、被災者への聞き取り調査は極めて重要である。しかし、被災直後のインタビューは、被災者にフラッシュバックを起こさせる危険性が高いため、慎重に行う必要がある。

(5) 予防接種：現地の被災状況を事前に調べ、予防接種等の準備を行う。破傷風の予防接種は不可欠であるが、マラリア、コレラ、肝炎等に対する備えは被災地の

状況に合わせて準備する。例えば新種のマラリアの予防薬のように、日本では流通していないが、現地では容易に入手可能なものもある。

(6) 数値解析：事前に数値計算を行い、調査対象地域や調査項目を明確にすることは、計画立案において重要である。さらに、調査隊とは別に数値計算用の人員を配置し、調査結果を逐次連絡して数値計算を更新し、現地調査にフィードバックすることも有効である。1993年北海道南西沖地震津波においては、この方法により効率的な現地調査が行われている(例えば、首藤ら、1994)。また、松山ら(1999)は、調査船に数値計算用のPCを準備し、調査と並行して数値計算を実施している。

(7) 調査結果の情報公開：現地調査で得られたデータは、調査期間の最後に現地の研究者へ公開することが望ましい。もし、日程的に困難な場合は、調査終了後速やかに報告書を送付すべきである。また、現地において一般人向けに災害や防災についての講演を行うことは、被災者の心理的支援ともなる。

6. おわりに

1998年パプアニューギニア地震津波の現地調査結果を報告し、津波の挙動やメカニズムの推定を行った。調査から判明した津波被害は、M7クラスの地震によるものとは信じがたい甚大さであった。「ぬるぬる地震」説は否定されるが、津波地震であったことは疑いようのない事実である。日本においても津波地震は多く発生しており、そのメカニズムの解明は津波防災において重要となっている。本研究では、津波を増幅させた要因としての2つの可能性を示したが、まだ確定には至っていない。今後も更なる検討を行い、これだけの被害を与えるに至った原因を追及する必要がある。

また、これまでの津波災害に関する現地調査の経験を踏まえ、災害調査を計画・実行する上で留意すべき事項についてまとめ、マニュアル化を行った。今後の現地調査の参考にできれば幸いである。

本調査を行なうに当たり、文部省科学研究費基盤研究(代表：河田恵昭、課題番号：10400010)の援助を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 今村文彦(1998): 津波被害調査のマニュアル, 東北大学津波工学研究報告, 第15号, pp. 107-118
首藤伸夫・松富英夫・卯花正孝(1994): 北海道南西沖地震津波の特徴と今後の問題, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 236-240.
松山昌史・今村文彦・梶和正(1999): 1998年パプア・ニューギニア津波の数値的解析, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 386-390.