

### 1994年11月15日フィリピン・ミンドロ島地震津波の現地調査

今村文彦\*・Edison Gica\*・Ho Jun Lee\*\*・Costas Synolakis\*\*\*・  
Titov Vasily\*\*\*・Eddie Listanco\*\*\*\*・Seiichi Kawashima\*\*\*\*\*・  
Delfin Esplanada\*\*\*\*\*

#### 1. はじめに

1994年は多くの地震と津波が発生した年であった。6月2日に発生したインドネシア・ジャワ島東部沖津波で死者200名以上の被害を受けたのを始めとして、10月4日に国後島沖でマグニチュード7.9の地震に伴った津波、11月15日、フィリピン中部ミンドロ (Mindoro 島北部で発生した津波で70名あまりの犠牲者を出した (震源位置は図1を参照)。最後に、12月28日夜には八戸沖でマグニチュード7.5の地震により津波警報が出され、被害はなかったものの太平洋沿岸各地で津波が観測された。

さらに最近の津波発生を見ると、1992年のニカラグア地震津波より2年あまりの短期間で、今回の津波を含めて大きな被害を出した6つの津波が生じたことになる。近年稀に見る発生頻度である。

本報告は、フィリピン・ミンドロ島で発生した津波に関して行われた国際合同調査の概要および現在までに得られた結果を紹介する。今回の地震は横ズレ断層により発生したと言われ、通常であれば地震規模と考え合わせると大きな津波は発生できないが、現地の生存者の証言によれば10mを超える津波の来襲し

たことが新聞報道されている。実際に、どの程度の津波であったのか？ 現実に大規模の津波が発生したとすれば、どのような機構で生じたのか？ 以上の点に注目して本報告をまとめる。



図-1 フィリピン中北部のテクトニクスと過去の津波を伴った地震の震源位置。図中には1994ミンドロ地震を星印で示している。フィリピンは東西にプレートの沈み込みがあり、それに沿って多くの津波が発生している。

\*アジア工科大学

\*\*成均館大学

\*\*\*南カリフォルニア大学

\*\*\*\*フィリピン火山地震研究所

\*\*\*\*\*東洋建設マニラ支店

## 2. 現地調査の概要

合同調査は地震発生約2週間後の11月26日～29日に行われ、フィリピン、タイ、米国、韓国から現地へ駆けつけた。

調査項目は、津波の打ち上げ高さ、被害、土砂移動、津波来襲状況や災害時の住民行動に関するアンケートなど、一般の津波調査項目である。今回はアンケート用紙を特に用意せず、質問事項を確認の上、聞き取り形式で行い、住民に来襲状況や避難行動についての情報を得た。

調査範囲は、甚大な被害が報告されていたミンドロ島北部を始め、ルソン (Luzon) 島南部のバタンガス (Batangas) やベルデ (Verde) 島海峡内の小さな島々である (図2を参照)。日程の都合で現地にわずか3日間しか滞在することが出来ず、調査範囲は限られるものとなった。しかし、2班に分け対

象地域を分担したこと、今回の被災地域が比較的狭い地域に限定された事もあり、本調査ではほぼ津波の影響範囲を網羅できた。

調査第一日は、マニラから南下し、バタンガス港へ向かった。聞き込み調査を行い潮位記録の有無を確かめた。ここでは、機械を使った検潮所はないが、15分毎に栈橋でスケールを用いて目測で得られたデータがある (図9)。詳細は、後ほど説明する。バタンガス港から定期フェリーを經由して、カラバン (Calapan) 市に到着した。ここでも、同様に聞き込み調査等を行い、最大被災地であるバコ (Baco) 地区へと移動した。第二日には、船を利用してベルデ海峡の島々へ向かうチームとミンドロ島北部の海岸を調査するチームに分かれた。第三日には、やはり2チームに分かれ、残りのミンドロ島東北部とルソン島南部の地点の調査を実施した。

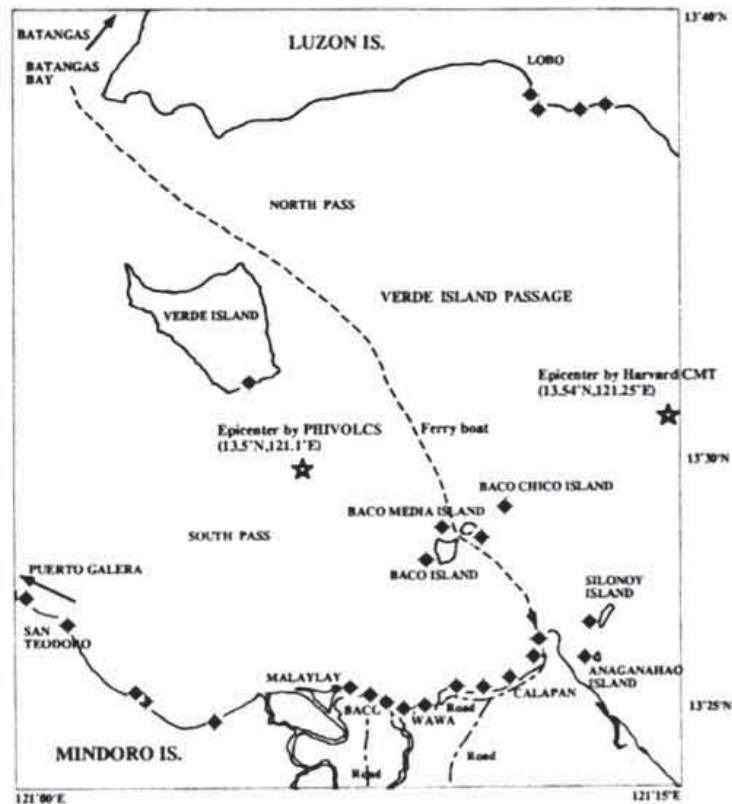


図-2 フィリピン火山地震研究所 (PHILVOLCS) とハーバード大学により推定された震源位置と本調査の対象地域を示す。

### 3. 被害状況

犠牲者数や被害家屋数は情報源により多少異なる。11月17日現在の National Disaster Coordinating Council (NDCC)の発表によると、死者数は74名（大半は子供）、171名負傷、7名行方不明である。ミンドロ東部（主に北東部）で797戸が全壊、3,288戸が部分破壊となっている。これは、フィリピンにおいて1990年にCabanatuan Cityでマグニチュード7.7の地震により1,600名以上の犠牲者を出して以来の最大の地震・津波被害となる。

最も被害の大きかったのが、ワワ (Wawa)、バコ (Baco)、マライライ (Malaylay) の各集落である（図2, 5, 6参照）。いずれも震源地（13.5°N, 121.1°E）に最も近い地域である（沿岸から10km程度）。バコでは最大の犠牲者を出し、37名以上が亡くなっている。この地区は河口に位置する漁村であり、地盤高の低い沿岸に家屋が建てられている。沖合いから侵入した津波により、一気に流された様子である。写真1には津波により沿岸より内

陸に向かってなぎ倒された植物が鮮明に見られる。次の節で詳しい津波高さについて述べるが、この周辺ではせいぜい3-4m程度であり、家の中では大人の胸から頭程度の高さである。従って、この高さで大人は溺れる事はなかったが小さい子供は泳ぐことも難しく、そのために多くが犠牲になったものと予想される。これは1992年のニカラグアで見られた状況とも似ている。子供や老人など災害弱者に対する避難対策を考えなければならないことが改めて指摘される。

### 4. 津波打ち上げ高さ分布

調査で得られた打ち上げ高さを図3から6に示す。すでに潮位補正は行われており、津波来襲時の潮位からの値となっている（表1参照）。

得られた結果によると、津波の最大打ち上げ高さはバコ島南西部のシティオピオ (Sitio Pino) 集落で測定された。この島の裏にあたる場所では、被害はなかったものの局所的に



写真-1 バコ付近での撮影された浸水状況

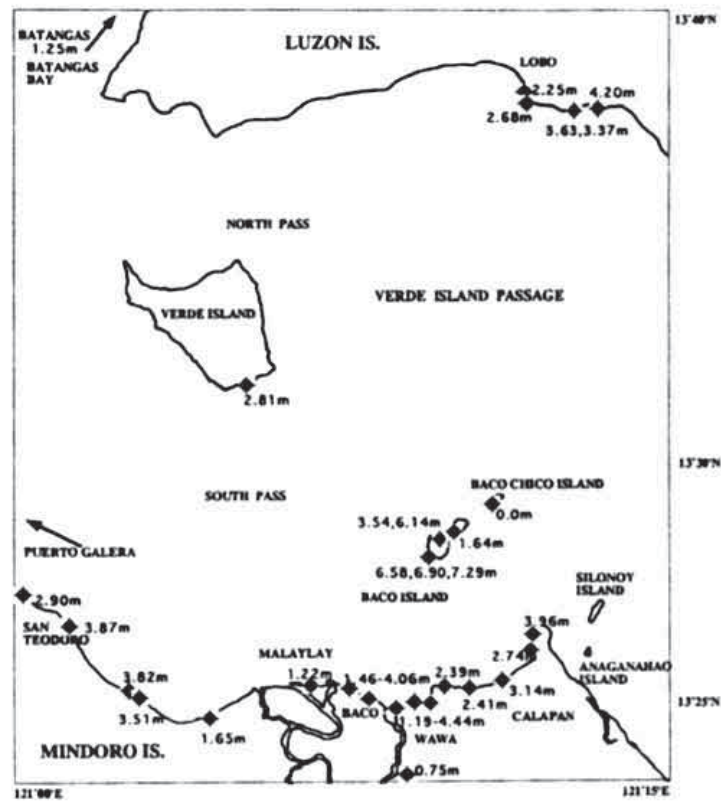


図-3 測定された津波打ち上げ高さ。潮位補正を行い津波来襲時の値に修正されている。ミンドロ北東部の地点の値は図4, 5を参照されたい。

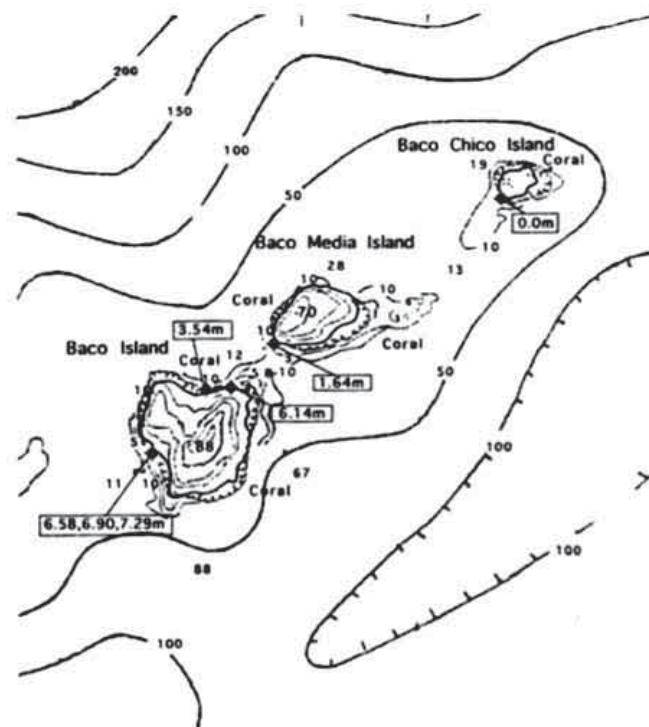


図-4 バコ島で測定された津波打ち上げ高さと周辺の海底地形 (単位はm)

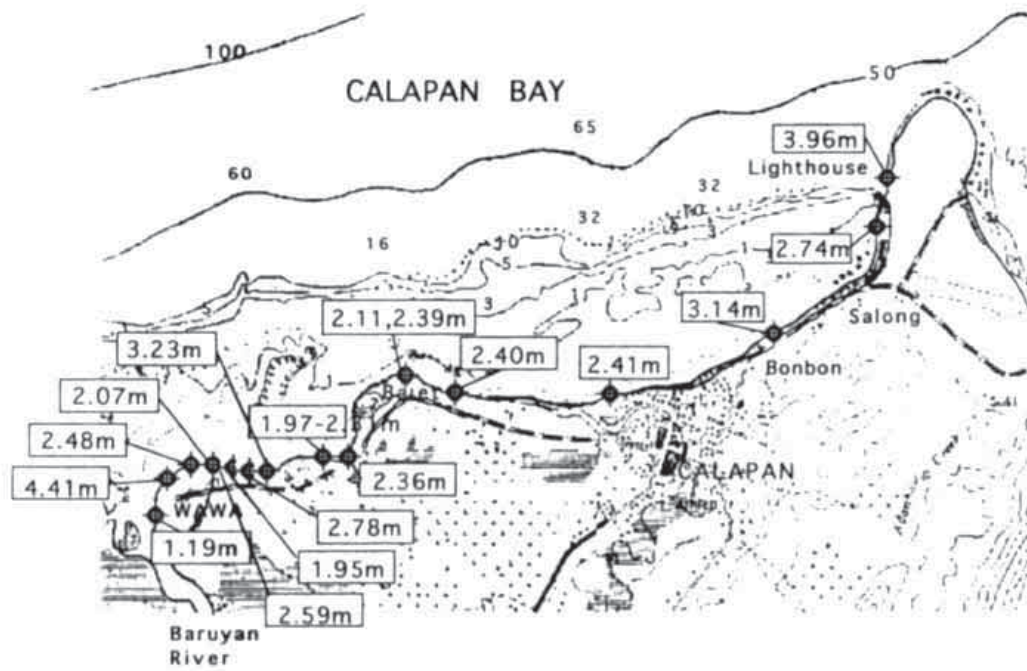


図-5 カラパン周辺で測定された津波打ち上げ高さと周辺の海底地形（単位はm）

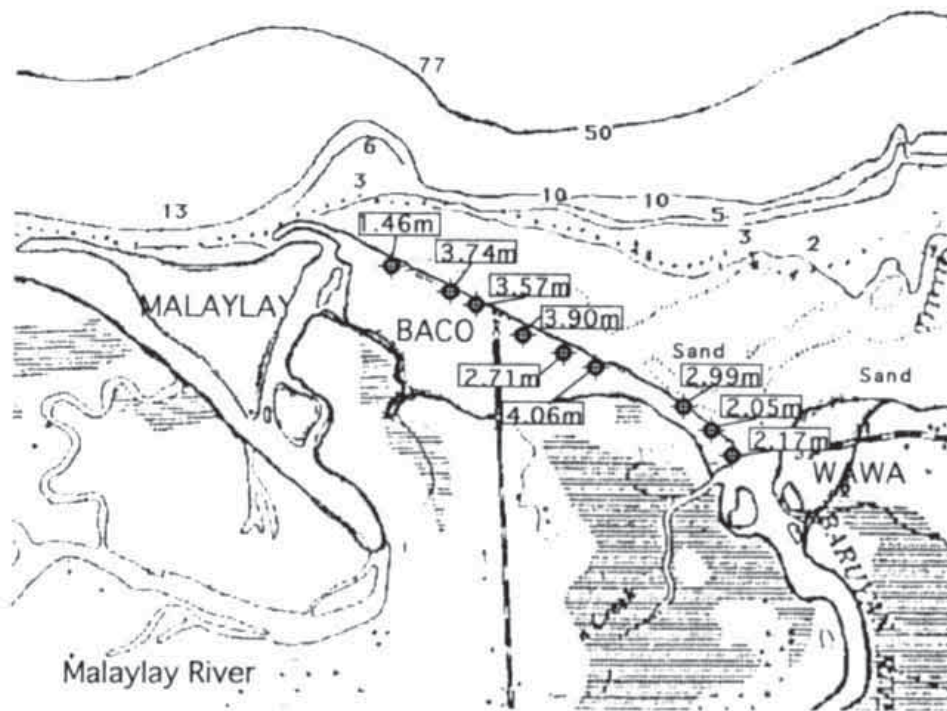


図-6 バコで測定された津波打ち上げ高さと周辺の海底地形（単位はm）

表-1 測定された津波打ち上げ高さの一覧表

No	Place	Date Nov. 1994	Time (hh : mm)	Location (GPS)	Measured Ht (m)	Tidal Comp (m)	Corrected Ht (m)
1	Batangas Port	27	09 : 00	N 13°45'14.60" E 121°02'39.36"	1.14	0.11	1.25
2	Batangas Port	27	13 : 00	N 13°25'52.00" E 121°11'40.00"	4.02	0.06	3.96
3	Baco	27	16 : 20	N 13°24'48.00" E 121°07'18.54"	1.03	0.43	1.46
4	Baco	27	16 : 39	N 13°24'45.10" E 121°07'28.90"	3.29	0.45	3.74
5	Baco	28	16 : 39	N 13°24'45.10" E 121°07'28.90"	3.12	0.45	3.57
6	Baco Is	28	09 : 18	N 13°27'51.70" E 121°09'25.70"	6.31+1~2	0.27	6.58+1~2
7	Baco Is	28	09 : 18	N 13°27'51.70" E 121°09'25.70"	6.63	0.27	6.90
8	Baco Is	28	09 : 18	N 13°27'51.70" E 121°09'25.70"	7.15	0.27	7.29
9	Ibaba	28	10 : 00	N 13°24'52.00" E 121°07'32.00"	1.80	0.17	1.97
10	Verde Is	28	10 : 48	N 13°13'49.60" E 121°05'29.50"	2.74	0.07	2.81
11	Pampisan	28	11 : 00	N 13°24'43.00" E 121°08'08.00"	2.0	0.05	2.05
12	Pampisan	28	11 : 20	N 13°24'35.82" E 121°08'14.76"	2.15	0.02	2.17
13	Pampisan	28	11 : 40	N 13°24'36.36" E 121°07'58.14"	3.00	-0.01	2.99
14	Verde Is	28	11 : 42	N 13°33'00.03" E 121°05'40.30"	3.56	-0.01	3.55
15	Pampisan	28	12 : 15	N 13°24'46.00" E 121°07'45.00"	4.10	-0.04	4.06
16	Pampisan	28	12 : 30	N 13°24'44.16" E 121°07'42.84"	2.75	-0.04	2.71
17	Pampisan	28	12 : 35	30m west from 15	4.30	-0.04	3.90
18	Pampisan	28	12 : 45	N 13°24'47.40" E 121°07'37.08"	4.30	-0.04	3.90
19	Baco Media Is	28	13 : 38	N 13°28'28.50" E 121°09'51.60"	1.63	0.01	1.64
20	Baco Is	28	14 : 00	N 13°28'09.90" E 121°09'33.60"	6.10	0.04	6.14
21	Baco Is	28	14 : 00	N 13°28'09.90" E 121°09'33.60"	3.50	0.04	3.54
22	Baco Chico Is	28	14 : 42	N 13°29'03.90" E 121°10'50.70"	0.00	0.12	0.12
23	Malaylay	28	15 : 00	N 13°25'07.56" E 121°05'39.66"	1.50	0.17	1.22
24	Malaylay	28	15 : 30	N 13°24'27.00" E 121°04'16.00"	1.40	0.25	1.65
25	Wawa Is	28	15 : 50	N 13°24'48.00" E 121°02'48.90"	3.20	0.31	3.51
26	Wawa Is	28	15 : 55	N 13°24'50.16" E 121°02'52.44"	3.50	0.32	3.82

27	Calapan	28	16:23	N 13°25'42.50" E 121°11'40.90"	2.33	0.41	2.74
28	San Teodoro	28	16:35	N 13°26'26.64" E 121°01'04.32"	3.43	0.44	3.87
29	Calapan	28	16:56	N 13°25'02.50" E 121°11'01.50"	2.64	0.50	3.14
30	Calapan	28	17:18	N 13°24'53.60" E 121°10'40.70"	1.86	0.55	2.41
31	Villaflor	28	17:20	N 13°26'57.84" E 121°00'17.16"	2.35	0.55	2.90
32	Wawa	28	17:20	N 13°24'16.02" E 121°08'26.30"	0.71	0.48	1.19
33	Wawa	29	08:29	N 13°24'16.02" E 121°08'26.30"	1.44	0.48	1.92
34	Wawa	29	08:56	N 13°24'26.20" E 121°08'26.70"	3.98	0.46	4.44
35	Wawa	29	08:56	N 13°24'26.20" E 121°08'26.70"	2.02	0.46	2.48
36	Wawa	29	09:19	N 13°24'28.10" E 121°08'34.80"	1.65	0.42	2.07
37	Wawa	29	09:19	N 13°24'28.10" E 121°08'34.80"	2.17	0.42	2.59
38	Wawa	29	09:28	N 13°24'29.30" E 121°08'33.70"	1.55	0.40	1.95
39	Wawa	29	09:40	N 13°24'31.80" E 121°08'39.40"	2.39	0.39	2.78
40	Wawa	29	09:50	N 13°23'50.90" E 121°08'27.30"	2.86	0.37	3.23
41	Baruyan	29	09:59	N 13°24'22.62" E 121°08'16.08"	2.40	0.37	2.77
42	Charico	29	10:39	N 13°24'36.40" E 121°09'07.60"	1.70	0.27	1.97
43	Charico	29	10:39	N 13°24'36.40" E 121°09'07.60"	2.04	0.27	2.31
44	Charico	29	10:39	N 13°24'36.40" E 121°09'07.60"	1.05	0.27	1.32
45	Baruyan River	29	10:48	N 13°22'55.98" E 121°08'29.58"	0.50	0.25	0.75
46	Charico	29	10:51	N 13°24'36.90" E 121°09'20.90"	2.11	0.25	2.36
47	Balete	29	11:08	N 13°24'59.50" E 121°09'36.20"	2.18	0.21	2.39
48	Balete	29	11:08	N 13°24'59.50" E 121°09'36.20"	1.90	0.21	2.11
49	Pachuka	29	11:27	N 13°24'59.50" E 121°09'36.20"	2.23	0.21	2.40
50	Lobo	29	14:45	N 13°38'10.20" E 121°11'40.56"	2.15	0.10	2.25
51	Lobo	29	15:00	N 13°38'05.10" E 121°11'48.78"	2.55	0.13	2.68
52	Lagadlarin	29	15:35	N 13°37'41.28" E 121°12'54.90"	3.15	0.22	3.37
53	Lagadlarin	29	15:50	N 13°37'42.30" E 121°12'48.60"	3.37	0.26	3.63
54	Barangay Sawang	29	15:20	N 13°37'39.36" E 121°13'32.70"	3.85	0.35	4.20

大きな津波高さ(6.14m)を記録している。目と鼻の先であるこの隣の島(Baco Media Island)では、津波の高さは1.64mと突然小さくなっている(図4参照)。インドネシア・フローレス津波でのバビ島の例のように、島の裏側でも津波被害が大きくなることもあり(Yeh et al., 1993; 今村・他, 1993), 円形状の小島での津波エネルギーの伝播・集中・拘束などが研究課題となっている(Tinti & Vannini, 1995; Brigg et al., 1995)。

ミンドロ島北東部沿岸では、ほぼ2mから4m程度である。地盤が低く平坦な地形であるため、津波は浸水し易いが、波高を大きくするような効果は見受けられない。従って、実際に2-3m程度の波高を持った津波が沿岸を襲い、内陸奥深くまで入っていったと思われる。

その他、比較的大きかった津波高さとしてはルソン島南部のロボ(Lobo)で、2-4mの値を出している。波源に近いベルデ島で

2.8mであることを考えると、ここでの値はかなり大きいと言える。津波エネルギーの指向性または方向性により、大きな波高を持つ津波がロボに直接伝搬したものと解釈できる。指向性は波源の形状と海底地形に影響されるため、この影響を調べるためには数値計算などの検討が必要となる。ただし、これは住民の証言だけで得たもので、痕跡などの明瞭な高さを示すものは無く、データの多少信頼性は落ちることを考慮しておく必要がある。

## 5. 津波発生に関する情報

津波発生および来襲時に関して、聞き取り調査で得られた結果がある。

まず、各地で得られた第一波の伝播方向をまとめた結果を図7に示す。この結果によれば、津波波源がベルデ島海峡南部に位置し、そこから津波が四方へ伝播したことが推定できる。この波源位置の中心はフィリピン火山

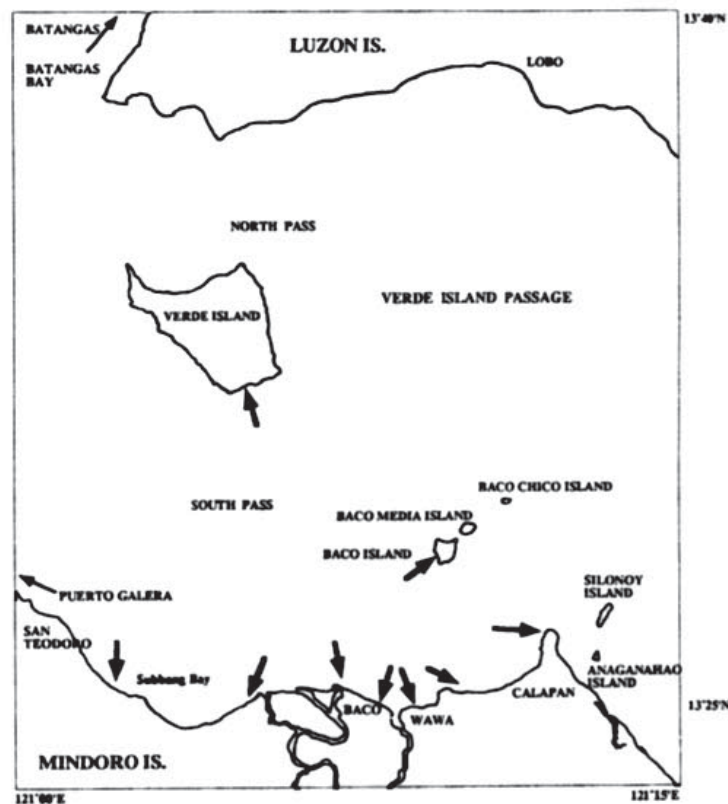


図-7 証言により推定される津波第一波の来襲方向



地震研究所 (PHIVOLCS) で発表している震源位置と対応している。

さらに、津波波源ではないが、断層に関して貴重なデータが測定された。それはミンドロ北部の位置する断層運動による地盤変位で

ある。これは、図8に示すように、パコ集落からはほぼ真南に向かい一直線上に分布していた。パコ付近での例を写真2と3に示す。地震のメカニズム解を裏付けるように、水平変位量に比べて鉛直変位量は小さいことが分か



図-8 フィリピン火山地震研究所調査チームにより得られた地上での断層運動。

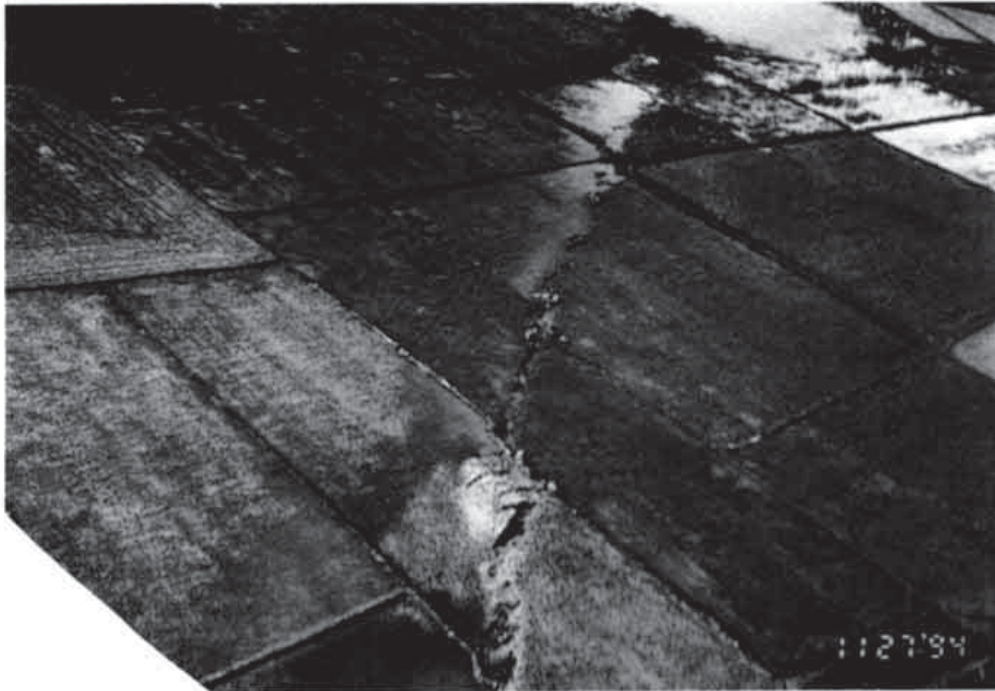


写真-2 地表に見られた断層による変位 (航空写真)



写真-3 地表に見られた断層による変位 (地上写真) 鉛直変位に比べて水平変位が大きい。

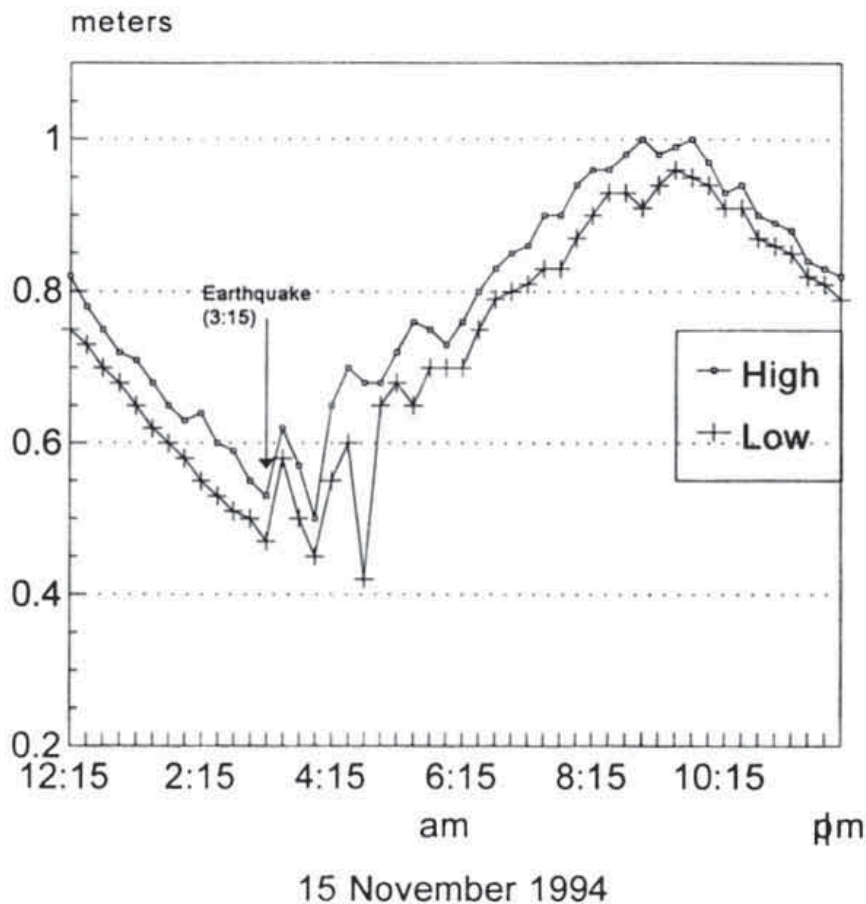


図-9 バタンガス港で得られた潮位記録。15分毎に目測により測定されている。

る。バコからの北方向に震源位置（図2参照）があり、そこから約160から170度の方向で南へ破壊が伝播したものと推定される。

次に、津波の初期挙動であるが、すべての地点で始め水面が低下し、その後押し波が来襲し、被害を生じさせている。来襲回数は3波が最も多く、バコ島を除き殆どの場所で第一波が最高であった。それも比較的周期は短く、連続して津波が来襲したケースも見られた。

津波初期に関して、当時震源付近にいた漁師の証言がある。まず、比較的浅い地点にいたもの話によると、まず、上下動の震動を感じたのと同時に、水表面に気泡があるのを確認した（当時、深夜で会ったが、一般に漁師は暗い時にも水表面の変化を正確に感じと

れる能力を持つ）。次に、水位が低下し、オールで漕ごうとした時に、それが海底に付いたという。津波は2波来襲し、一波目が最大であった。波は壁のように立ち、海砂を多く含んでいたようである。次に、震源に最も近い沖合いにいた漁師の証言によると、水位の急激な上下変動を感じた後、水表面に気泡をやはり確認している。津波が沿岸を襲っている様子は分からなかったようである。なお、地震動に関しては、バコ島およびベルデ島の一部では水平動も感じている。

## 6. 来襲地域での土砂移動

まず、バコ地区を始めとして、ミンドロ北部海岸では、沿岸部で小さな侵食や海砂の堆



写真-4 バコで見られた砂の堆積による河口閉塞 (航空写真)



写真-5 バコで見られた砂の堆積による河口閉塞 (地上写真)

積による河口閉塞が見られた(写真4, 5)。黒い砂の上に、海から運ばれてきた白い砂が堆積していることが分かる。この周辺の地形を見ると、地盤が低くほぼ平坦で、場所によっては渦や分岐水路(河川)があり、内陸部で逆に地盤が低下している箇所もある。従って、遡上した津波は、内部奥深く浸入し、戻り流れが無いために、海域から持ち込まれた海砂が堆積し易い状況にあると思われる。

これに対し、バコ島(バコ地区の沖合いの島)での地形は、汀線から島中央部にかけて一様に増加する勾配である。そこでは、引き抜かれた椰子が戻り流れにより他の木の根本

に引っかかっている様子が見られた。この地域では、土砂の堆積は殆どなく海岸線で1-2mにわたる侵食が顕著に見られた(写真6参照)。ミンドロ津波では、陸上地形との関係により2つの砂移動が見られたことになる。

## 7. おわりに

以上、現地に3日間という僅かな時間であったが、ほぼ津波影響範囲でのデータ収集を行うことが出来た。最大津波高さは7mあまりであり、平均値は3-4mである。津波マグニチュードで言えば $m=2$ 程度であろう。今回の調査によれば、基本的な津波発生機



写真-6 バコ島南西部沿岸で見られた海岸侵食。2m近くの段差が見られた。

構は、海域に位置する横ズレ断層成分による負の地盤変位によるものと思われる。陸上で断層運動による変位量が示すように、鉛直成分が殆ど期待されない。にもかかわらず、 $m=2$ の中規模津波が発生したことになる。1つの解釈としては、水平変位だけであっても、断層の端付近では隆起・沈降の成分が見られることがある。これは断層運動に伴いその両端において物質の過不足分が生じるためである。ただし、この鉛直変位の面積は小さいことに留意しなければならない。これに加えて、ベルデ島が地震発生時に南の方へ移動したという興味ある証言もあった。これは、フラット式の造波板の役目をベルデ島が担い、対岸のミンドロ島北部に津波を発生したというユニークな解釈が出来る。

過去の津波記録を見ると、フィリピンはインドネシアに次ぐ発生頻度である。特徴としては地震規模に対して、津波規模が比較的大きい(羽鳥, 1994)理由の一つに、地震が引き金となった地滑りにより大きな津波が発生

した例があげられる。1967年のモロ(Moro)津波では地滑り津波により多くの犠牲者を出している。今回も津波を生じなかったものの地滑りがベルデ島で見られた(写真)。この地滑り津波の発生機構には、未だ多くの問題点が残されており、この国の津波対策を考える上で除くことの出来ない課題である。

謝辞：成均館大学 B. H. Choi 教授には、調査に対する助言と協力を、PHIVOLCS 所長 Dr. Punongbayan 氏には調査前での資料提供を、フィリピン JICA 事務所 Yukihiro Ejiri 氏には交通手段の助言とアレンジを受けた。ここに記して謝意を表す。

#### 参 考 文 献

- 1) Briggs, M., C. Synolakis, G. S. Harkins and D. R. Green : Laboratory experiments of tsunami runup on a circular island, "Tsunamis : 1992-1994", Pure and Appli-

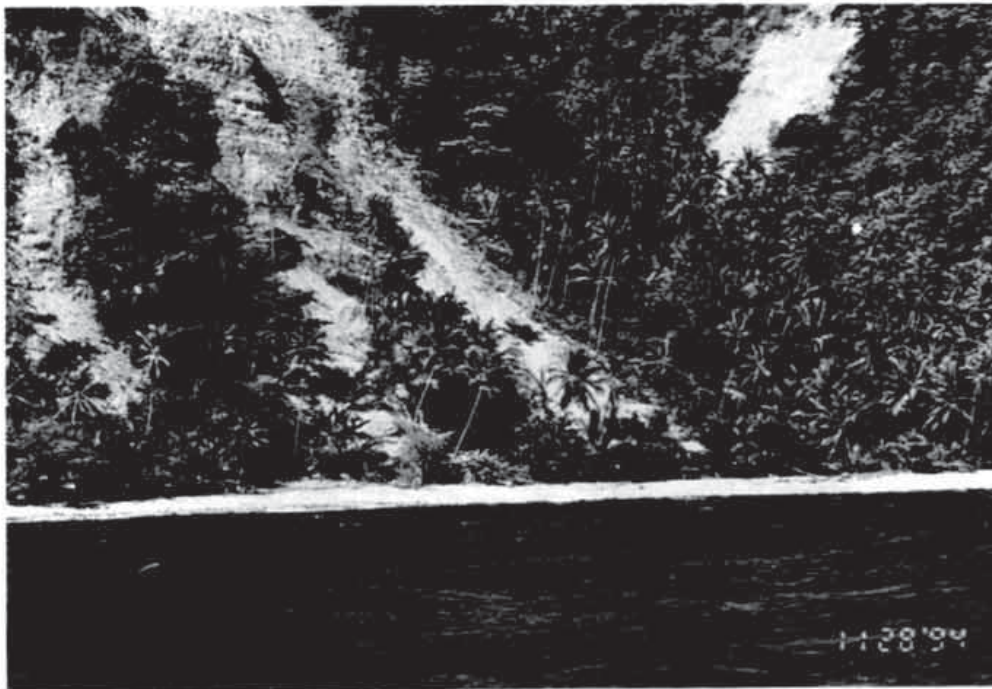


写真-7 ベルデ島での地滑り。この地滑りにより家屋が半壊、2名の犠牲者を出している。大きいもので6カ所以上の地滑りがこの付近で見られた。

- ed Geophysics, 1995 (Submitted).
- 2) 羽鳥徳太郎：台湾・フィリピン・インドネシアにおける津波規模の特徴，地震，Vol.47, pp.155-162, 1994
  - 3) 今村文彦，松富英夫，都司嘉宜，松山昌史，河田恵昭，高橋智幸：1992年インドネシア・フローレス島津波の現地調査とその解析，海岸工学論文集，Vol.40, pp.181-185, 1993
  - 4) Tinti, S. and C. Vannini : Tsunami trapping near circular island, "Tsunamis : 1992-1994", Pure and Applied Geophysics, 1995 (Submitted).
  - 5) Yeh, H., F. Imamura, C. Costas, Y. Tsuji, P. Liu and S. Shi : The Flores Island Tsunamis, EOS, Transactions, AGU, vol.74, No.33, pp.371-373, 1993.