

名古屋大学環境学研究科
2004年スマトラ地震調査報告Ⅱ

2nd Investigation Report of 2004 Sumatra Earthquake



2006年2月
名古屋大学環境学研究科

February 2006
Graduate School of Environmental Studies
Nagoya University

名古屋大学環境学研究科

2004年北部スマトラ地震調査報告Ⅱ

—ジャクアラ大学との学部間協定および現地における共同研究活動の成果—

はじめに

早いもので2004年12月26日にスマトラ沖大地震とそれに伴うインド洋大津波が起こってから1年が過ぎました。被害の規模については、観光目的の滞在者や従前の居住者自体の確認が困難であるなどの理由により確定に時間がかかりましたが、最終的には全体で死者・行方不明者が約22万人、被災者が200万人以上といわれています。中でも、インドネシアでは約16万5千人前後の死亡・行方不明が確認されており、他の被災国の被害（スリランカ：約3万5千人、インド：約1万6千人、タイ：約8千人）と比べると突出した人的被害を受けたことがわかると思います。

名古屋大学環境学研究科では、この大規模災害を研究科発足の目標である文理連携型の学際的研究の機会と捉えるとともに、地震研究の先進地でもあるわが国の教育研究機関として、現地の大学との連携を深め科学的な支援を推進すべきであると考え、2005年2月に最初の学術調査団をインドネシア最大の被災地であるバンダアチェに派遣しました。同年3月に刊行したその報告書は日本語だけでなく英語によるレポートも含んでいたため、現地の研究者にも好評を博したようです。

その後、研究科独自の予算に加えて名古屋大学総長裁量経費の補助などを受け、学内他部局や他大学の研究者にも参加して頂き、数次に渡り現地の調査を継続的に行ってまいりました。また、2005年9月にはアチェ州最大の国立大学であり、最初の調査からご協力を頂いているシアクアラ大学理学部との学術交流協定を締結し、今後も大規模地震の発生が予想されるスマトラ西部における研究基盤整備を進めています。

私自身も協定締結のために現地に赴きましたが、調査団が撮影した写真や報道で見る以上に、今回の災害の規模が大きいことを実感します。一面の廃墟となった住宅地の所々に残る瓦礫、折れた柱から覗く錆びついた鉄筋、散在するテントや給水タンク。バンダアチェの主要な産業である漁業や農業もまだ十分に復興しているとはいえ、国連等からの配給に頼る生活を強いられている人もまだ多数残っています。その一方で、市内のカフェでは人々が濃厚なスマトラコーヒーを楽しみ、市場には消費しきれないほどの野菜や果物が並んで、内戦等で疲弊しているといわれながらも、GDPなどの経済指標からは想像できない「豊かな暮らし」がもともとあった地域であることが窺えます。それだけに、現地の一刻も早い復興と今後の防災対策の整備が待たれるところです。実際の復興は遅々としたものに見え、援助の不手際が指摘されることも多々ありますが、最終的には根気良い支援が実を結ぶものと信じます。当研究科としても継続的な現地調査を今後とも実施することにより、それに貢献できることがいささかなりともあれば幸いです。

本報告書は前回の報告以後の成果を取りまとめたものですが、忌憚のないご意見、ご指摘を改めてお願いする次第です。

2006年2月

名古屋大学 環境学研究科長
黒田 達朗

目次

はじめに (黒田達朗)

第1章 学部間協定の締結と現地における共同研究活動の実施

1. バンダアチェの現況 (黒田達朗) 9
2. 文理融合・国際共同研究として取り組む 2004 年アチェ・アンダマン地震 (木股文昭) 18
3. 文理融合型の災害研究をめざす、最初の一歩 (田中重好) 25
4. Searching for Old Tsunamis and Earthquakes in Banda Aceh (Glenda M. Besana) 27

第2章 各プロジェクトの概況

1. バンダアチェへの名古屋大学調査団派遣について (黒田達朗) 45
2. スマトラの GPS 観測から見えてきた断層の滑り分布 (木股文昭) 49
3. 津波災害からの復興と自然条件 一名古屋大学総長裁量経費プロジェクト— (海津正倫) 58
4. スマトラ地震後の生活・都市復旧過程の研究 一名古屋大学研究科長裁量経費プロジェクト— (田中重好) 61

第3章 現地セミナーの実施

1. 現地セミナーの実施 (木村玲欧) 65
2. 2004 Aceh-Andaman Great Earthquake (現地セミナーにおける基調講演) (安藤雅孝 (Masataka Ando)) 68

第4章 調査報告

1. 2004 年アチェ・アンダマン地震と災害に関する国際共同研究の課題と提案 (木股文昭) 81
2. Learning to Live with Earthquakes and Tsunamis for the Safety of our Children's Children (Glenda M. Besana) 85
3. Report of GPS Observations at Simeulue and Nias Island due to the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake and 2005 Nias Earthquake (Agustan) 96
4. GPS measurement of coseismic displacement in Aceh province after the 2004 Aceh-Andaman earthquake (Meilano Irwan) 103
5. Crustal deformation following the 2004 Sumatra-Andaman earthquake in the northern Sumatra region (Preliminary Report) (太田雄策 (Yusaku Ohta)) 109
6. Evaluation of visco-elastic and poro-elastic deformations following the 2004 Sumatra-Andaman earthquake (伊藤武男 (Takeo Ito)) 114

7. スマトラ沖巨大地震と津波 —津波の挙動と土地条件— (海津正倫) 120
8. The Role of Local Communities in the Post-Tsunami Reconstruction Process (高橋誠 (Makoto Takahashi)) 127
9. アチェ津波被害復興における国家法・宗教法・慣習法の役割 (島田弦) 132
10. 調査票調査の実施・家族に生じた被害 (田淵六郎) 137
11. 調査票調査の実施・被災者の生活再建 (木村玲欧) 143
12. Achenese Socio-Cultural Response during Earthquake and Tsunami Disaster (Suhirman) 149
13. スマトラ地震からの生活復興 (田中重好) 157

第5章 シャクアラ大学からの報告

1. Live with Earthquake and Tsunami in Japan (H.M.H Bintoro) 175
2. The Assessment of Thermal Comfort of Living Environment in Tsunami Disaster Place (Zulfian, Heldi Syukriadi, M.Nawawi) 180
3. Alue Naga Beach Condition before Tsunami Disaster (Salmawaty Arif) 187
4. Tidal Front in the Andaman Sea and the Malacca Strait (Syamsul Rizal, Yopi Ilhamsyah) 192
5. Aceh Resources Development after Tsunami Disaster (Marlina, Rosnani N., Binawati G.) 200

表紙 木股文昭

裏表紙 高橋誠

編集 木村玲欧・木股文昭

第1章 学部間協定の締結と 現地における共同研究活動の実施

1. バンダアチェの現況

黒田 達朗 (名古屋大学環境学研究科)

2005 年後半における現地の状況を概観すると以下のものである（注：この項は、私自身が現地を見た 2005 年 9 月上旬の様子をもとに 2005 年後半のデータを参照してまとめている）。

まず、津波によって市の中心部まで運ばれた巨大な発電船や漁船はまだ残っているが、建物等の残骸はおおむね撤去されている。津波に飲まれた市中央の食料・衣料品の市場は部分的にしか復旧していないものの、直接津波の被害を受けなかった市場や商店には溢れるほどの農産物などが並び、日常的生活物資の供給は十分に思える。とはいえ、まだ約 50 万人が国際機関からの配給に依存している（被災当初は 75 万人）。

産業面での被害は主に津波によって漁船を失った漁業と、6 万 ha 強の農地が流失ないし海水や泥を被った農業で、まだ 1 万 3000ha ほどしか復旧しておらず、被災した 6 万戸の農家のうち、まだ 2 万戸が耕作を再開していない。

また、州内 82 万棟のうち 11 万 7 千棟が流失・損壊し、約 50 万人が自宅を失ったといわれる住宅の復旧は順調とは思えない。仮設住宅に収容できたのが 5 万人、テントではまだ 7 万人弱が生活しているといわれ、廃墟のような被災地の所々に国連等から支給されたテントが多く見られる。仮設以外に 12 万戸の住宅建設が予定されているが、着工済みは約 4 分の 1 という状態である。最大の問題は、地震・津波によって土地そのものが水没した地域すらあること、境界杭や土地権利証の流失のため所有権の再確認が必要であること、土地所有者の死亡による相続確定の困難などで、その時間的な隘路打開のため、国際移住機関 IOM などは大地主から期限付きで借地し解体可能な住宅の建設も実施している。公共診療所は 114 が損壊し、仮設で復旧しているのは約 3 分の 1 にすぎない。学校は州内の半数、約 2000 校が損壊の被害を受け、IOM・ユニセフが 200 校を仮設で復旧し、約 50 万人を収容している。

地震による地盤沈下や、津波で表土が流失したため、水没した地域の他にも粘土質の地盤に海水が残ったままの土地が沿岸部を中心に多く見られるので、本格的な復旧のためには大規模な土木工事がまず必要と思われる。しかし、当初から健康や教育に多くの注目が集まったため、逆に地盤改良や港湾や道路なども含めてインフラの復旧については遅れていることが、現地を見て復興が進んでいないと感じる原因の一つに思える。例えば、復旧に必要な道路 3000km のうち 10 数パーセントしか進捗していないので、住宅等の建設にも影響していると思われる。

わが国をはじめ多くの国から多額の復興資金が投入されているが、その用途も含めて多くの問題点も指摘されている。まず、被災地では市長をはじめ多くの公務員が死亡したこともあり、地元の公的セクターが機能を十分発揮していないこと、国際援助が中間搾取のため末端まで届いていないとの指摘も含めて、現地の文化的、制度的問題がある。また、世界食糧計画 WFP による米や缶詰の配給が過剰であるため、市場での転売を招いている。あるいは、漁船が現地の建造能力を超えて集中的に発注されるため、手抜きや安普請の船舶が漁民に支給されている。さらに、漁業に不可欠な製氷工場の

再建が遅れたまま漁船に援助資金が集中したため、実際の漁業は再開されないなどといった報道がある。住宅の再建についても、煉瓦造りの恒久的住宅が建てられるすぐ横で木造のバラックが平行して造られるなど、具体的に援助の不整合が指摘されることが多い。復興事業が多くの雇用を創出しているのは間違いないが、一方では高度な技術者の不足や住宅用の木材を輸入に頼らざるを得ないなど供給面の制約も指摘されている。

それにもかかわらず、以下のような点も忘れるべきではない。まず、今回の災害を契機にアチェ独立運動が2005年8月の和平調印によって平和的に収束できたこと。さらには、いまだに被災地を中心に鳥インフルエンザやマラリアなどの蔓延を心配する声はあるものの、衛生状態の悪化による2次的被害が今までほとんどないことは特筆に値すると思われる。インド沿岸部での実証的研究(Danielsen, et.al., The Aisan Tsunami: A Protective Role for Coastal Vegetation, Science, Vol. 310, 5748, pp.643, 2005)によって、マングローブ林による被害の軽減効果が定量的に確認されたことも、今後のインド洋沿岸部の防災施策に反映されるであろう。また、当研究科の調査団は現地調査の間にシアクアラ大学において地震学等に関するセミナーもたびたび行っているが、今回の災害を契機に、現地に一刻も早く地震研究の拠点が設立されることが期待される。



市中心部近くに居座った発電船：インドネシアでは電力の供給が不安定な地域に発電船が移動して不足分を補っており、重要な施設である。被災時にはたまたまアチェに停泊していたため、ここまで流された。港までいかに牽引するか技術、費用の面で難問と思われる。船がある位置にあった家の住人は死亡とのことである。



中央市場の「裏舞台」：この反対側の通りは復旧している



被災しなかった市場：あふれるほどの青果のほか、シラス干しや生節など日本人にも共通する嗜好を示す食品も多く見られる



この地域独特の高床式による住居の再建



廃材を使った自作シェルター



シェルターによる集団生活



壊れた住宅の横でのテント生活（左手に仮設住宅を建築中）



集落単位の復興住宅の建設



復興の進む傍らにまだ生々しい車の残骸が残る



建物の残骸の横で所有権を主張する看板



海岸部の水没地：海中に浮かんで見える残骸の辺りは住宅地だった



暫定復旧の道路だが本格的利用には堪えない：沿道の水没地には盛り土用の土が搬入されているが、いかにも中途半端な感がある



津波に流された港湾の復旧プロジェクト：看板には2005年11月竣工予定とあるが進捗状況との乖離は大きい



海岸に打ち上げられた船舶：海面までの移動作業が行われている

2. 文理融合・国際共同研究として取り組む 2004年アチェ・アンダマン地震

木股 文昭 (名古屋大学環境学研究科)

2004年アチェ・アンダマン地震は100年に数回しか発生しない超巨大地震だった。しかもその犠牲者は20万人を超え、史上最悪な災害になった。プレート沈み込み帯に発生する巨大地震の発生過程を解明するうえで重要な機会でもあり、とりわけ1944年東南海地震と1946年南海地震では地震直後の地殻活動が把握できない状況だったゆえに、地震直後からでも貴重なデータになりうる。三河地震の60年を迎え、私達、名古屋大学環境学研究科では、自然科学のみならず社会科学の分野からも協力し、戦争が消そうとした三河地震の発掘作業に携わっていた。未曾有の災害をもたらした2004年アチェ・アンダマン地震に対しても、自然科学と社会科学がともにその復興過程の解明に取り組むこととなった。しかも、長年にわたり追求してきた国際研究共同の成果を踏まえ、インドネシアの研究者との共同作業となった。この1年間、現地では復旧作業が忙しい中、具体的な研究成果が文理融合、国際共同研究として大きく前進した。

1. 超巨大地震で、しかも未曾有な大惨事をもたらした2004年アチェ・アンダマン地震

2004年アチェ・アンダマン地震（スマトラ・アンダマン地震と称されることが多い、しかし、地震の断層域を正確に表現するならば、アチェ・アンダマン地震が適切な表現と考える）はアフリカでも大地の変動がGPS観測で検出されるような超巨大地震となった。地震波動や津波波動、地殻変動から推定される断層もスマトラの西海岸沖からベンガル湾を北上し1000kmを超える。

最近500年間の超巨大地震を表1に示す。地震の規模はM8が地震波動の震幅の記録で測定される上限と考えられ、M8クラスの地震を巨大地震と呼んでいた。しかし、最近の研究から、M9を超えるような地震も低頻度ながらも発生していたことが明らかになってきた。そして、これらの地震を超巨大地震と称している。

超巨大地震は世紀に1-2回しか発生していない。今回の2004年アチェ・アンダマン地震を加えた世界の超巨大地震を表1に示す。M9に達する超巨大地震はこれまでに6回発生している。単純に平均すれば世紀に1-2回の発生頻度である。しかし、不思議なことに、6例中4例が1952年から1964年の13年間に集中して発生している。この1960年前後の連鎖的な発生について、いろんな説が提案されながらも定説は確立されていない。2004年アチェ・アンダマン地震は、世紀に1-2回しか発生しないような巨大地震だったのである。

現在、世界中の地震観測網は、人々が振れを感じるような地震ならば、そのほとんどの震源が決定できるレベルまで進展している。勿論、観測網が粗で決定精度が優れない地域も存在する。このような観測網に達したのが最近30年間である。すなわち、超巨大地震が頻発した1960年前後は、非常に残念ながら、観測網が貧弱だった。これらの超巨大地震の発生が世界の地震観測網を充実させたのである。

表 1 世界の巨大地震 M9 以上 (理科年表による)

年	地震名	M	死者	特徴	文献
1960	チリ	9.5	1,743 ~ 10,000	前日に前震、津波は日本まで	金森・Cipar, 1974
2004	アチェ・アンダマン地震	9.2	250,000	断層は 1000km を超える	Ammon et al., 2005
1964	アラスカ	9.2	115 ~ 131	800km におよぶ地殻変動	金森, 1970
1957	アリューシャン	9.1		ハワイで津波被害、串本で 42cm	金森, 1977
1952	カムチャッカ	9.0	多数?	日本にも津波が到達	金森, 1976
1700	カスケディア	9.0	?	紀伊半島の古文書が解明する	佐竹・他, 1996

モーメントマグニチュードで表現する。

表 2 巨大災害をもたらした世界の地震 (理科年表による)

年	地震名	M	死者	特徴
2004	アチェ・アンダマン地震	9.1	250,000	甚大な津波被害、地震直接による死者は 100 名以下
1976	唐山地震	7.8	242,800	1975 年海城地震の地震予知成功の 1 年後
1920	海原地震	8.5	235,502	200km におよぶ断層が出現
1923	関東地震	7.9	142,807	台風による強風下で焼死者多数
1908	イタリア メッシナ地震	7.1	82,000	

モーメントマグニチュードで表現する。

そして、最近では GPS (Global Positioning System) などの宇宙測地技術も飛躍的に進歩した。その結果、不十分ながらも上述したようにアフリカでの地殻変動が準リアルタイムでモニターできている。近代的な地震や GPS 観測網が確立された初めての超巨大地震が 2004 年アチェ・アンダマン地震だったのである。

表 1 に示す超巨大地震は、すべてプレート沈み込み帯で発生している。概して、M7 を超える大地震の 90% 以上がプレート境界のプレート沈み運動に伴って発生している。そして、2004 年アチェ・アンダマン地震が近代的な地震観測網確立後、初めての超巨大地震だった。すなわち、巨大地震の地震発生過程の 1 サイクルがまだ詳細に観測されていないことを意味する。テレビの科学番組で簡単に放映されている大地震の地震発生過程、地震前のプレート間の固着と地震時の跳ね返り、そして次の地震発生準備過程としての固着の回復といったサイクルがいまだに同一域できちんと観測されていないのである。

私たちは、100 年から 150 年周期で巨大地震が繰り返し発生する南海トラフを研究フィールドとして持つ。南海トラフは今回のアチェ・アンダマン地震が発生したスダトレンチと同様に、ときどき、南海地震と東海地震が連鎖して同時に発生している。例えば、1707 年の宝永の東海・南海地震では、伊豆半島の付け根の駿河湾から、紀伊半島沖、そして四国沖までが一気に破壊している。さらに富士山までが爆発している。

そして、南海トラフでは、1944 年と 1946 年に東南海地震と南海地震があいついで発生しながらも、当時は戦時下ゆえにほとんど観測データが残っていない。地震時のデータはもちろんのこと、地震直後の観測データが存在しないことは、東海や南海の地震発生過程を考察する上で致命的な問題点になっている。上述のように、2004 年アチェ・アンダマン地震は地震時のデータ発掘と同時に、地震直後から観測を維持し、データを保持すべき内容を有するのである。

2004 年アチェ・アンダマン地震のもう一つの特徴は、未曾有な大惨事をもたらしたことである。国連によれば、死者と行方不明が 22 万人、被害総額は 1 兆 2500 億円に達するという。これまで歴史に残る地震災害のワースト 5 を表 2 に示す。表では死者数でワーストを求めた。不思議なことに超巨大

地震で犠牲者のワースト5に入るのが今回の2004年アチェ・アンダマン地震だけである。地震の規模と地震災害の間には正の相関が存在するものの、超巨大地震がかならずしも大惨事をもたらすものでないことが明確である。

犠牲者が20万人を超えるものが、アチェ・アンダマン地震と中国の唐山地震と海原地震の二つである。地震防災を考察する上でも2004年アチェ・アンダマン地震は十分に検討すべき内容を有するのである。

2. 発展途上国の災害から学ぶべきこと

2004年アチェ・アンダマン地震が起きたとき、私は地震火山防災研究センターの林能成や木村玲欧と60年前に三河地方を襲い2000余名の人々の命を奪った三河地震の発掘作業に携わっていた。内陸活断層の活動としての三河地震はそれなりに理解していた。三河地震は日本の終戦直前の悲惨な社会状況下で発生したものであり、戦時ゆえに生じた惨事も少なくないことは認識していた。しかし、今回、林と木村の「震災を絵画として掘り起こす」活動に触れることにより、三河地震の被災が現在でなく60年前、しかも戦争中というハンディキャップの状況だったにも関わらず、「不幸中の幸い」の部分をも痛切に感じた。

その作業のなかで、「建物の耐震性が弱かった」「予期しなかった震動7」に責任をなすりつけることで解決できない問題点も浮かびあがった。しかし、震度7となった現在の安城市など、当時はまだ都市部でなかった。戦争で救援資材が極端に不足しながらも避難生活が続けられたことの一因は被災地が都市部でなかったことである。たとえば、被災した牛を保健所の許可もなく食用とすることなど、牛が飼育できるような社会環境によるところが大きい。

一方、日本でいえば、阪神・淡路大震災などは「バブル期には顕在化しなかった開発が生んだ都市の構造的矛盾、生活環境の悪化、地域社会の衰退、少子化と家族の『力』の弱体化、老人家庭の増大など、どれひとつとして本来の希望というものが生まれ出る余地の見えないような難題ばかりが残った」(北原糸子)のである。

この指摘は、被災民の一部が暴徒化した2005年アメリカ南部のハリケーンカテリーナ災害で再び確認された。一方、社会的にはより貧しく、独立を巡る内紛が30年にわたり継続しているインドネシアのアチェでは、勿論、いろいろなトラブルが発生しながらも、救援物資を巡る争奪騒ぎが大きくはならなかった。被災を単なる物的な豊かさのレベルで議論してはいけないことをこれらの事実が示している。

2005年2月のバンダアチェ緊急調査で明らかになったように家族がなくなり、一人だけ残された若者達が今後どのように生き抜いていくのであろうか。彼らの記録をきちんと研究者が残すべきと考えた。経済状況、宗教状況など私達と大きく異なる条件にありながらも、その本質的な意義は十分に学ぶべきだと考える。そのためには、政府の公表資料やマスコミの報道だけでなく、研究者の自らの手できちんとしたデータを残すことが、同時代に生きる研究者の大きな義務だと考える。そのためには、現地の言語に長けたインドネシアの研究者との共同作業がなくては実現できない内容である。

3. 現地に根ざした国際共同研究として

ボランティア医療グループとして「国境なき医師団」は今や、公認かつ大きな影響力を有する救援組織である。そして、自然科学の分野でも、一連の国際化が大きく進む中で、国境なき研究者チームの存在が必要となっている。たとえば、同じインドネシアのバリ島の火山バツール、そのカルデラの中には 10 万人を越す人々が生活している。火山活動が開始されれば、名古屋から 12 時間、直ちに火山活動のモニタリングに名古屋大学から現地に調査チームが飛び出す意義は大である。本地震火山研究センターとして、それなりのモニター条件を切り開いてきた。

別の章で述べるが、アジアのプレート沈み込み域での地震津波火山災害を防ぐために、周辺の国々で地震津波火山に関する研究者の養成は急務である。毎年のごとく M8 クラスの地震が襲うインドネシアですら、地震の研究機関がなければ、地震学講座を有する大学も存在しないのである。構築が急務とされる津波早期警報システムをきちんと運用するには、それなりの地震と津波に関する基礎知識が必要であり、その時間的発展を考えると研究でのバックアップが絶対に重要である。しかしながら、現在検討されているのはシステムの構築だけである。

インドネシアに地震学の研究者を養成することは一朝一夕で実現できる問題でない。しかも、国際研究センター創立という単純な一つの戦術で実現するものでない。それなりの全国的なポテンシャルアップが絶対的に必要である。私たちは、アチェ周辺での GPS 観測や調査でバンダアチェに立ち入れば、いつも簡単ながらシャクアラ大学の学生に講義を開いたり、セミナーを持ってきた。

4. 文理融合・国際共同研究としての取組の経過

1) 環境学研究科の緊急調査団の派遣 (2005 年 2 月)

環境学研究科は 2004 年スマトラ北部地震が超巨大地震だけに、その歪み回復過程や社会復興過程を、発生直後からきちんと追跡調査することと自然科学と社会科学の文理融合の研究として取り組むことを追求した。その結果、研究科独自で以下のメンバーからなる調査団を派遣した。

自然科学チーム 安藤雅孝・木股文昭・Glenda Besana (名大)、Didik (シャクアラ大学)

社会科学チーム 田中重好・木村玲欧 (名大)、Suhirman (バンドン工科大学)・

Fajri Jakfar (シャクアラ大学)

ガイド Farid Mulana (豊橋技科大学のインドネシア留学生)

調査団は、2 月 6 日にバンダアチェに入り、地震津波の被害調査、避難キャンプでの聞き取り調査



などを12日まで実施した。津波からまだ一ヶ月しか経過していないバンダアチェでは、遺体の捜索などが行われていた。

すべての建物が破壊しつくされ、市街地から4km先の海岸線まで見通せ、船が打ち揚げられ人の気配がなくなった市街地は想像を超えていた。しかし、家族を亡くし一人だけになりながらも避難キャンプで地元コミュニティのメンバーと共同生活する人々もみられた。

地震後の余効変動も超巨大地震ゆえに大と考えられる。ゆえに、シャクラ大学理学部応用物理学教室の建物屋上にアンテナを取り付け、GPSを開始する。

帰国から1週間も経過しない2月16日に研究科内で報告会を開き、さらに3月末に90ページの報告書を印刷配布した。この報告書には英文の報告も含まれ、インドネシア国内でもかなりの評価を受けた。

名古屋大学環境学研究科 2004年北部スマトラ地震調査報告、2005年、88ページ

<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/~kimata/reference/sumatra2004report.pdf> から入手可能、12Mbの大きさには注意

田中重好, 2005, 2004年スマトラ沖地震環境学研究科調査から「大津波は自然現象でなかった」(<http://www.env.nagoya-u.ac.jp/pr/PDF/kwan009.pdf>)、環境学研究科広報誌 KWAN,9号,3-8.

2) アチェ西海岸におけるGPS観測 (2005年2月)

2004年スマトラ北部地震による地殻変動がマレーシア半島を始め、6000kmも離れた観測点でもGPS観測から検出され、2月にはこれらの変動データから断層モデルが議論され始めた。

しかし、断層に近接するスマトラでは観測データも見つからなかった。そこへ、インドネシア留学生のIrwan (D3)を通して、バンドン工科大学測地学教室からバンダアチェ周辺に精度が悪いながらもすでにGPSで観測された基準点が数多く存在することが伝わった。過去のデータは10cmを上回る誤差と考えられるが、アチェの西海岸で推定される変動は1mを越える。ゆえに、これらの基準点での改測が具体的な課題となった。

名古屋大学から木股文昭、伊藤武男、Meilano Irwan、太田雄策がまずインドネシアのバンドンに入り、バンドン工科大学で今回の2004年スマトラ北部地震に関するワークショップを持つ。バンドン工科大学では津波の調査が日本との共同研究で取り組まれていた。

その後、バンドン工科大学のMipi、Heriと学生2名、BPPTのAgustanらメダンに飛び、バンダアチェでシャクラ大学のDidikと2月27日に入り、3月8日までバンダアチェの周辺やシムル島でGPS観測に取り組んだ。後から、高知大学の田部井隆雄が加わった。観測はまず基準点をハンディ



な GPS 受信機で探すことから開始する。津波に襲われた基準点はまさに津波の進入方向を示し傾いていた。それでも、基準点の中心を推定して GPS 観測を実施する。

アチェは、戒厳令が解除され、外国人も入国していたが、至る所で軍隊に遭遇する。スタックした車の脱出を軍隊が手伝ってくれた時は感激するが、銃を突き付けられると冷や汗がでる。

シャクアラ大学では Irwan と Heri が GPS と今回の地震に関する特別講義を学生対象に 1 日間にわたり開講した。

シャクアラ大学の GPS 観測を連続観測に移行する。学生の人力に依拠した方法ながらも、9 月中旬まで欠測がわずか数日と驚くような観測が維持されている。9 月中旬までに観測された余効変動は 20cm を越えた。

帰国後にデータを解析すれば、バンダアチェの西海岸では最大 3m に達する地殻変動が検出された。地震前の変動や地震後の余効変動も含まれるが、大きな地殻変動である。村全体が海面下に沈んだところもあり、西海岸に沿っての南下は次回の課題で残る。

伊藤武男・木股文昭・イルワン メイラノ・太田雄策・田部井隆雄, スマトラ沖地震の GPS 観測, 地震学会ニュースレター 2005 年 5 月号, 15 - 17

3) 2005 年 3 月ニアス地震後の GPS 観測 (2005 年 5 月)

2005 年 3 月 29 日、M8.7 の巨大地震が今度はスマトラ北部の西海岸で発生した。震源は 2004 年の地震の南側である。メダンの GPS 観測点で 10cm を上回る水平変動が観測された。さっそく、5 月 8 日から 17 日まで、アチェ州の南部へ観測にでかける。メンバーは名古屋大学の木股文昭、伊藤武男、Meilano Irwan、太田雄策、バンドン工科大学の Mipi、Dudy と学生 2 名、BPPT の Agustan ら、シャクアラ大学の Didik らである。メダンから西海岸とニアス島、シムル島へ飛ぶ。西海岸は、メダンからトバ湖まで南下し西海岸へ 500km の陸路である。

マラボーからアチェに向け、西海岸を北上する。しかし、季節はずれの雨で道路が切断され、道路を何回も迂回するがチャロンでの観測は断念する。

これらの観測から、二度にわたるスマトラ地震は分離した断層で生じたことが明らかになった。また、シャクアラ大学は、GPS 連続観測データから、2～7 月の期間に余効変動として南へ 20cm、西へ 20cm 変位したことが明らかである。その後の研究からこの余効変動は本震の断層のより浅部で滑っていると推定される。

4) インドネシアでの 2 回の国際会議への報告 (2005 年 7 月、8 月)

7 月末から 8 月末にインドネシアで日本も共催し 2004 年スマトラ地震に関する国際ワークショップが 2 回開催された。名古屋大学の研究者も積極的にこれらの会議で成果を発表した。

7 月 25 - 27 日とジャヤカルタの BPPT (研



究技術省) で開催された JAMSTEC と BPPT による国際ワークショップ「Indonesian earthquake and Indian Tsunami 26th December 2004」に名古屋大学から木股文昭と Meilano Irwan が出席した。Irwan がスマトラ北部での GPS 観測にもとづき、推定される断層モデルはアチェの西海岸に最大のスリップが求まり、地震波動で推定される結果とよく対応することを報告した。

ワークショップ後、2 日間にわたり、インドネシアの高校生と日本人学校の生徒を相手に、木股と Irwan が授業を担当する。ともに質問が活発に飛び交う授業となった。

8 月 24 日～8 月 28 日にスマトラのパダンでインドネシア、米国、日本によるワークショップ「The Sumatran Earthquake Challenge」が開催され、名古屋大学から海津 正倫、木股文昭、伊藤武男、Meilano Irwan、太田雄策が参加した。海津がタイにおける津波に関して、残りのメンバーがこれまでの GPS 観測による解析結果とそのモデルについて発表した。

5) バンダアチェ周辺での津波とその被害調査 (2005 年 8 月)

8 月中旬、インドネシア政府とアチェ独立派のあいだに和平協定が締結され、アチェでの調査活動もかなり改善された。そこで、名古屋大学総長裁量経費プロジェクト「東南アジアにおける巨大津波災害復興システム」(研究代表：海津正倫) として、8 月 28 日から名古屋大学の海津正倫、高橋誠・木股文昭・佐々木太郎・島田弦・Glenda がバンダアチェ周辺域に入り、シャクアラ大学の研究者と地理学、地震学、農業経済学、法学の立場から調査を実施した。

海津はバンダアチェでの津波痕跡を非常に詳細に調査し、津波が河口から侵入したことを明らかにした。Glenda らは西海岸で今回の津波堆積物が最大 30cm もの厚さになっていること、過去の地震による噴砂現象の露頭を見つけている。また高橋らは津波被災後の地籍問題などを調査した。



6) シャクアラ大学理学部との学部間協定の締結 (2005 年 9 月)

環境学研究科では、今回の北部スマトラ地震において、地震学的な歪み回復過程と社会学的な復興過程を明確にするため、文理融合のプロジェクトで取り組んでいる。この研究は当然ながらも長期間の研究になると考え、被災地のバンダアチェの研究者との共同研究が重要である。



そこで、バンダアチェでの調査の開始時から、つねにインドネシアの研究者、とりわけシャクアラ大学と密接な連絡をとっている。シャクアラ大学に研究者がいない分野はバンドン工科大学などと連携して取り組んだ。また、研究者間の交流にとどめず、バンダアチェを訪れるたびに、簡単な講義の実施など教育も含めた活動を行う。8 月末の調査では 2 回にわたり本格的な講義を実施した。

このような背景から、9 月 2 日に黒田研究科長がシャクアラ大学に出向き、環境学研究科とシャクアラ大学理学部間の学術交流と学生交換に関する部局間協定を締結した。

3. 文理融合型の災害研究をめざす、最初の一步

田中 重好 (名古屋大学環境学研究科)

1. 一般的な学際的な研究の必要性和難しさ

学術研究の発展は、近代化そのものと同様に、各研究分野を専門分化することによって、飛躍的な発展を可能としてきた。その専門分化とは、各領域に仕切りを設けることであった。方法論的には、切れ目なくつながっている自然現象に「切れ目をいれ」(対象を限定し)、それと同時に、要素還元主義的な研究方法を採用することであった。

しかし、こうした研究のあり方は飛躍的な躍進をもたらしたと同時に、弊害も現れた。現象的に見ると、その端的な問題は環境問題である。

その反省の中から、学際的な研究の必要性が提唱されてきた。学問の発展とともに、各領域が専門化したために、各専門領域をつなげる学際的な研究の必要性が叫ばれてきた。“Interdisciplinary”という単語が、「学際的」という定訳を得たのは、おそらく1970年代であろう。

学際的な研究の必要性は認められながらも、実際の、学際的な研究を進めることは、それほど簡単ではない。学際的な研究を推進するために、文理融合型の研究組織が数多く新たに組織化されてきた。また、研究チームとしても、数多くの研究チームが結成されてきた。しかし、組織を作ることでそれ自体は、学際的な研究の実現を保証するものではない。

では、本当の学際的な研究が成立しうするためには、まず、どういったことが必要となるのであろうか。もちろん、この問題に一挙に答えを出すことは、この小論の及ぶところではない。

ここで、学際的な研究を作り上げるための要件として、今回のスマトラ地震調査に従事して考えたことから、次の二つの点を指摘しておきたい。

もう一つは、共通の土俵、一つの具体的なフィールド、共通の具体的な事象に対する学際的な研究のなかから、確実な内容を持つ学際的な研究が生まれるのではないかと、という点である。これは、調査研究を進める外的な条件にかかわるものである。

第二の条件は研究内的な要件として、「境界を越える想像力」を指摘しておきたい。この言葉は、バンダアチェで調査を一緒にしていた時に、共同研究者の地理学の高橋誠先生が言い出した言葉である。「本当の学際的な研究ができるためには、個別の学問領域の境界を越える想像力が必要だよ」という言い方であったと思う。この想像力は、長い時間の中で形成されてきた学問領域間の「仕切り」に対して、「つなぎ・鎖の役割」を果たすのだと思う。この「境界を越える想像力」を手がかりに、学際的な研究のあり方を考えてみたい。

以下、共通のフィールドと、「境界を超える創造力」という二つのキーワードから、スマトラ地震調査を事例に学際的な研究の可能性を考えてみたい。

2. 災害研究における学際的な研究

自然災害は、これまで、自然科学の分野から研究されてきた。その結果、地震発生のメカニズムが解明されてきた。それは、フランシス・ベーコンが述べたように、「自然を理解できれば、それを支配し、管理することによって人間の生活のために役立てていくことができる」という前提から進められてきた。

災害は、いうまでもなく、「自然科学的な事象」であると同時に、人文社会学的な事象である。スマトラ地震では、一瞬のプレートの撥ね上がりが、大規模な津波を広範囲に発生させ、20 数万人の死者を出した。地震発生の瞬間、強震に見舞われた人々は何を考え、何をしていたのか、地震が収まってから津波が来襲するまでの、アチェでは十数分の間、人々は津波のことを警戒しなかったのか。津波がどの高さで押し寄せてきたときに、家屋被害や死傷者が多かったのか。家屋が流され、家族が津波の犠牲者になった人々は、その後、どう生活し、だれに援助してもらったのか、あるいは、だれにも支援してもらえなかったのか。海外 NPO は、災害援助の中でどういった役割を果たしたのか。さらに、この大地震によって、今後の地震や余震の推移、スマトラ断層がどういった影響を受けるのか、人々の生活復興のためになにが必要なのか、インド洋沿岸地域に津波警報システムや津波への災害文化をどう創ってゆくのか。これらの問題は、すべて相互に「つながりながら」存在している。

こうした問題を、インドネシアのアチェという地域を共有しながら、われわれはスマトラ地震と大津波災害を調査研究している。ここでは、いやおうなく、学問分野をこえて協働せざるを得ない。この点では、まさに「外的に」学際研究を強いられることになる。

しかし、それだけで「真の学際研究」が完成するわけではない。むしろ、ここで重要になるのは、専門分野を異にししながら、この研究を共にする研究者相互の「自分の専門分野をこえた想像力」である。その想像力こそが、個々の研究分野の成果をつなぎ合わせる役割を果たすはずである。

4. Searching for Old Tsunamis and Earthquakes in Banda Aceh

Glenda M. Besana, Dr. Sc.

Research Center for Seismology, Volcanology, and Disaster Mitigation
Graduate School of Environmental Studies
Nagoya University
Nagoya, Japan

Introduction

Since the occurrence of the 2004 Sumatra earthquake, the Nagoya University (NU) team together with the Syah Kuala University (SKU) had undertaken several field surveys related to that earthquake. Most of the field surveys were related to the effects of tsunami, Global Positioning Satellite measurements, buildings and engineering aspects while others were related to the social impact of the tsunami.

I, in particular, was involved in the NU team that investigated the tsunami effects and tsunami deposits. Moreover, I had also the chance to look into the field manifestations of the Sumatra fault located west of Banda Aceh. In this particular presentation, I would present the preliminary results of two field surveys undertaken in February and August of 2005.

This field surveys were done mostly in the shorelines of Ulee Lheue, Krueng Raya, Lhok Nga, and the city of Banda Aceh. Some places south of Lhok Nga were also visited for wave height measurements and damage from tsunami like in Lhong and Lamino towns.

Due to limited time and logistical constraints, the investigations in each area were mostly ocular investigations. Measurements of wave heights and relative subsidence or uplift were estimates from other cultural monuments using a hand-held level, Brunton compass, portable GPS receivers, topographic maps, satellite imageries, and pacing.

The first field surveys were undertaken last February 2005 particularly inside the Aceh city where many areas were inundated by tsunami waves. About 3 days were spent in the city inspecting the damages both from ground shaking and tsunami. Since we arrived about 2 months after the tsunami, most of the damages in the city due to tsunami waves that flooded and deposited sand and mud were already cleaned away or fenced off. We cannot also get near or enter some of the premises since the buildings or structures were private properties. During this survey, areas visited were the towns of Krueng Raya, Aceh Besar, Aceh city, Ulee Lheue and Lhok Nga.

On the other hand, the second survey undertaken last August 25- September 6 was more focused on the tsunami deposit and the Sumatra fault. Aside from measuring wave heights and observing wave directions, tsunami deposit thickness was also observed particularly in Lhok Nga vicinity. Exposure of stratigraphic layers in Lhok Nga and Lhong were also investigated along river banks and road cuts. Cores of

sediments were also sampled to check for old tsunamis up to around 2m deep in the flat lands east of Lhok Nga.

Figure 1 shows the map of the area visited during the surveys. Technical details of the earthquake would not be discussed here since most of the information about it was already presented in the previous presentations/papers.



Figure 1: Map of Banda Aceh and vicinity. Shown also are the areas visited during the field surveys. A indicates the location where the coring was the undertaken while B and C are the locations where the tsunami boulders are found. Arrows indicate the wave direction based on bent columns/tress etc.

Effects of ground shaking

Based on interviews, the ground shaking experienced in the Banda Aceh area was not so severe. It was described to be comparable to the motion of being on a boat and lasted for more than 3 minutes. Despite this relatively weak ground shaking, many engineered structures failed and collapsed (Figure 2).



Figure 2: Photos showing numerous buildings that suffered partial or total collapse during the December 2004 earthquake found in the downtown area. Clockwise, (A) building with collapsed first floor located in front of the Grand Mosque (located a in Figure 3); (B) totally collapsed building north of the Grand Mosque (located g in Figure 3); (D) apartment house with collapsed first floor (located f in Figure 3); and (C) a commercial building with damaged walls and columns in its facade (located SE of d in Figure 3).

Aside from the buildings shown in Figure 1, there were also several other buildings that suffered damages from strong ground shaking. Many suffered from pancake collapse, structural damages of columns and beams, and collapsed of soft floors. Many buildings also had their facade, walls and roofs fell off during the ground shaking.

However, it should be noted that since there is no strong motion seismograph installed in the area to assess the amount of ground acceleration, we can only gauge the intensity of the shaking based on the interviews and comparison of the damages from the buildings.

The damages between buildings were analyzed and correlated also with those buildings that were left undamaged relative to their location to account for the possibility soft foundation. Assuming the relatively weak ground shaking observed, it could be alleged that most of the damages were from the deficient construction of these buildings. No tilting or subsidence of buildings was observed. Lateral spreading was also not observed in Banda Aceh and vicinity

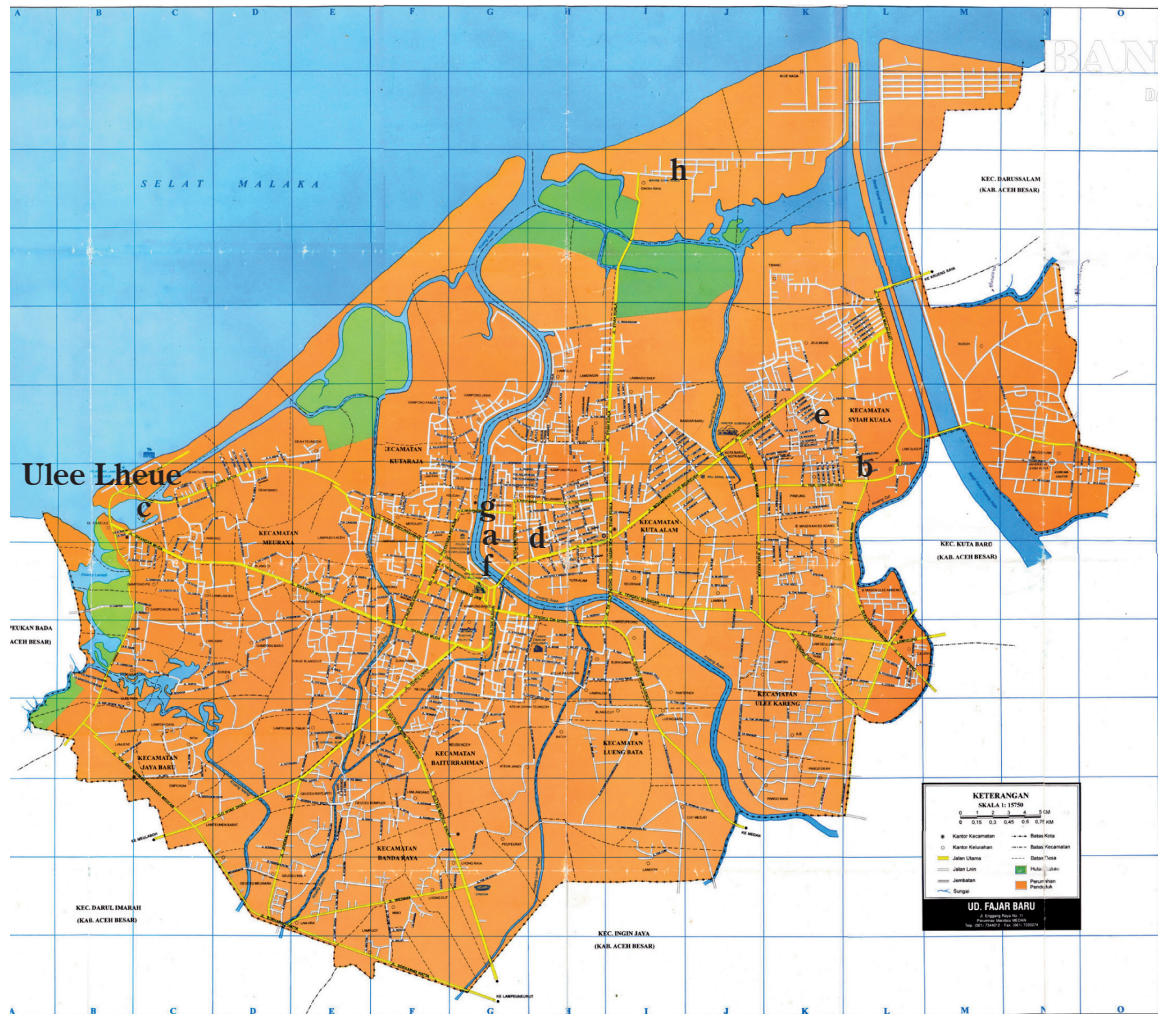


Figure 3: Map of Aceh City showing the streets where the collapsed buildings are located. Also note the location of the rivers and major streets. a indicates the location of the Grand Mosque and the vicinity where most of the buildings in Figure 2 is located.

Effects of tsunami

The most extensive damages that the Aceh city suffered was from the tsunami inundations. Waves were measured to be about 18m in Ulee Lheue and about 14m in one portion of Lhok Nga (Figure 1 & 3). Tsunami wave inundation distance extends up to about 4km into the city proper. The small village where we stayed during the initial field surveys (point b in Figure 3) was inundated by about 60cm high flood-like tsunami wave and left behind a sand deposit of at least 5cm thick.

In the case of Ulee Lheue and Aceh Besar areas, the tsunami wave was more than 10m high and with speed of more than 15m/s based on a local home video. Such height and speed made it quite difficult for one-storey houses and trees to survive. Almost everything in its path was swept away making the tsunami waters that reached the city proper to be heavily-laden with all types of debris.



Figure 4: Photos showing the places affected by tsunami. Clockwise, (A) tree located at Ulee Lheue at point c in Figure 3; (B) a boat that was swept by the tsunami in front of the Hotel Medan located at d in Figure 3; (C) cemetery in front of a mosque inundated and destroyed by the tsunami located at e in Figure 3; (D) damaged northern corner of the concrete fence of the Grand Mosque.

Figure 4A shows the photos of tsunami effects along the shorelines of Ulee Lheue and inside the city of Aceh (Figure 4B, 4C and 4D). The shorelines were almost completely flattened by the rampaging tsunami waves (Figure 4A and 5). Almost all residential houses were destroyed. Inside the city and farther inland, tsunami destroyed or flooded everything and dumped all kinds of debris.

Comparable effects were observed in Krueng Raya and Aceh Besar. In the shoreline areas like Ulee Lheue, Krueng Raya, Aceh Besar and Lhok Ngah, the directions of the tsunami wave as it passed through the area can be discerned from the bent structures like columns (Figure 1 and 5), fence, and trees. The backflow directions, on the other hand, was also noted in the river banks and flat areas as indicated by the grass lying on the ground and was veered into a uniform directions opposite or different from the bent objects near the shorelines.



Figure 5: Photos showing damages from tsunami outside of the city of Aceh. Clockwise, a house in Krueng Raya about 100m away from the shore (A), 2-storey concrete house in Aceh Besar (B); totally destroyed community around a mosque in Aceh Besar (D); and remains of the house in Aceh Besar (C), where the similar directions of the bent columns along S16E can be noted.

Noticeable among the totally destroyed communities by tsunami were the mosques (Figure 5D) that were left standing with minimum damages. The mosques and a few two-storey residential houses survived in shoreline areas. Considering the height and speed of the tsunami, its impact and erosive power is quite immense. However, taking into account the minimum walls on mosques, the water could have just passed through the structure without much damage. The relatively low wall to column ratio between houses and the mosques could probably be the explanation why the mosques survived the tsunami impact. It could be assumed likewise that the strength of the one-storey house is not enough to withstand the tsunami impact compared to the two-storey houses near the shorelines.



Figure 6: Satellite images showing Ulee Lheue before (A) and after (B) the tsunami. Note that the area north and south of the main road was eroded including the few mangrove trees.



Figure 7: Part of the bridge left in Lhong located at E in Figure 1. Note that the bridge is facing the ocean.

The erosive power of the tsunami is also observed by the large amount of land areas that were lost after its impact (Figure 6). The same or even worse erosion was also found in Lhong (Figure 1E). In that vicinity, vast land area, roughly enclosed by ellipse, was completely eroded including the road along the shoreline. In the same location and in Lamino (Figure 1F), only half of the bridges were left behind as evidence that there were communities several hundreds of meters off the shore (Figure 7).

In the case of the eroded sites, the areas affected were large sandbar or extensive beach areas and/or back lagoon or marshlands. These coastal features were created through a long and repeated deposition of sand along the shoreline. These types of landforms are loose, flat, located almost below or a little above the sea level. Such characteristic make them very much susceptible to erosion. In the case of Ulee Lheue, Lhok Ngah, Lhong and Lamino, communities were developed in these landforms.

Tsunami deposits

Another remarkable indication of the tsunami impacts are the tsunami deposits. We found huge tsunami boulders in Lhok Ngah (Figure 8) located at point B in Figure 1. Another group of huge boulders were found in Lhong vicinity located at point C in Figure 1 (Figure 9). In this vicinity, numerous boulders were found in this area in varying size. The boulders that were swept into the embayment in Lhong reached as far a 3km from the shore. Many boats and remains of mangroves were also observed to be deposited along with the tsunami boulders.

The boulders in Lhok Nga are bigger in size compared to ones found in Lhong. The boulders in Lhok Nga, however, reached only a short distance from the shore relative to those boulders in Lhong area.

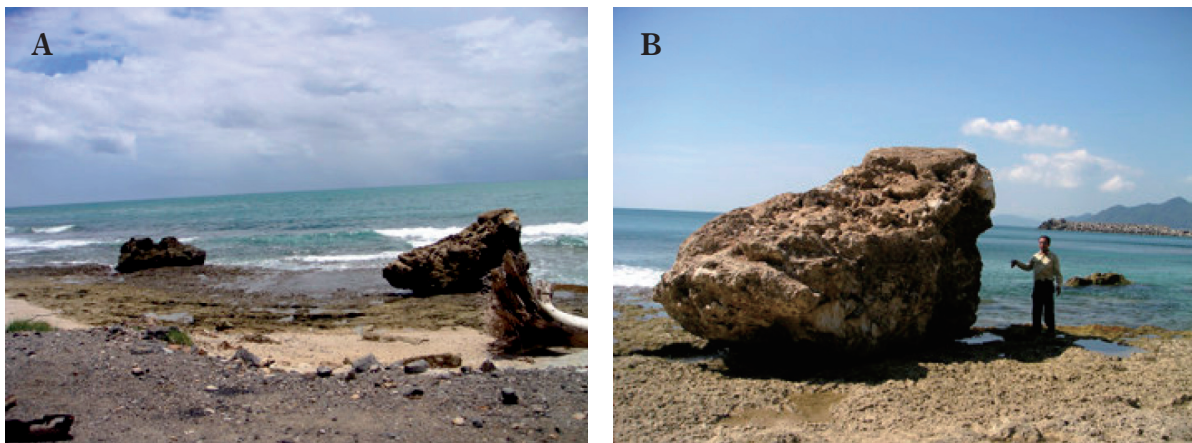


Figure 8: Photos showing the tsunami boulder in Lhok Ngah. The size of the boulder is about 3m x 3m x 2m in B and is only one among the boulders dumped by the tsunami wave. In this vicinity, more than thirty boulders were deposited. Arrow indicates the same boulder in A.

Based on the size and distances where the tsunami boulders were deposited, we can also surmise a very high tsunami height and relatively fast wave velocity. The tsunami height observed in Lhok Nga is about 14m high at about 30m from the shore while in Lhong the height is about 20m at 3km distance from the opening of the embayment. All shrimp ponds in this area were also destroyed.

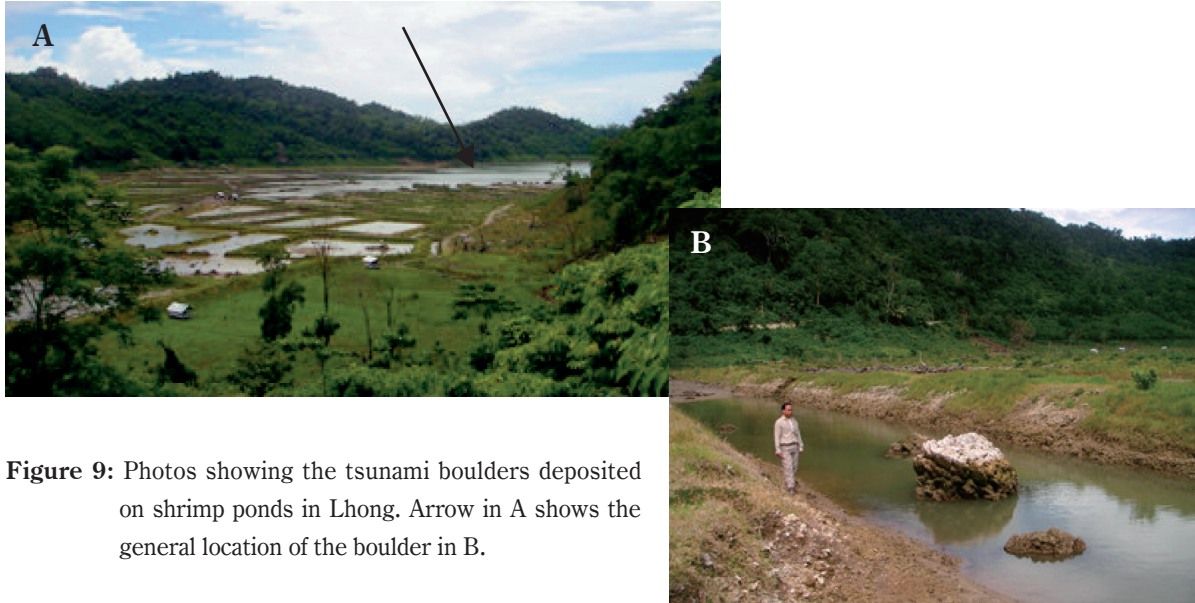


Figure 9: Photos showing the tsunami boulders deposited on shrimp ponds in Lhong. Arrow in A shows the general location of the boulder in B.



Figure 10: Photos showing the tsunami deposits in Lhong (A), about 100m (B), 2km (C), and 30m (D) from the shore in Lhok Nga. Note the variation in grain size and the remains of sea shells on C.



In several parts of Lhok Ngah and Lhong, sand deposits from the tsunami were also observed and measured (Figure 10). The deposit vary from 48cm to 14cm thick like those found about 30m from the shore (Figure 10A and 10D) and much thinner away (Figure 10C). From these deposits, the number of waves that impacted the area can also be ascertained.

Other effects (subsidence vs. uplift)

Other noticeable effect in Banda Aceh is the regional subsidence. Measurement of the variation of the current high tide and low tide compared to its level prior to the tsunami on cultural benchmarks were undertaken. The measurements were done with respect to the line of oysters (Figure 11) or from estimates of the level of sunken trees and mangroves.

Based from the above observations, the northwestern coast of Sumatra island experienced at least 40cm of subsidence. A large amount of land area in Ulee Lheue is now currently inundated by sea water during high tide. In some areas like Lhok Nga and Lhong, trees like pine trees and coconut are not below the sea level even during low tide. However, in some other areas, uplift was reported as evidenced by beach uplift and drying up of microatolls.



Figure 11: Photo showing the line of oyster shells on riprap dike (left) and on bridge column (right) found at Ulee Lheue indicative of subsidence.

The western splay of Sumatra fault

During the field surveys in western part of Aceh city and Matair (Figure 1), many features like triangular facets (B in Figure 13), displaced terraces, and displaced streams were observed. Schematic diagram of these features are shown in Figure 12. The western splay of the Sumatra fault is marked as dotted line and noted to have no significant displacement as mapped by previous study (Figure 13A). However, analysis of satellite image (Figure 13B) and field survey exhibit clear features of active faulting.

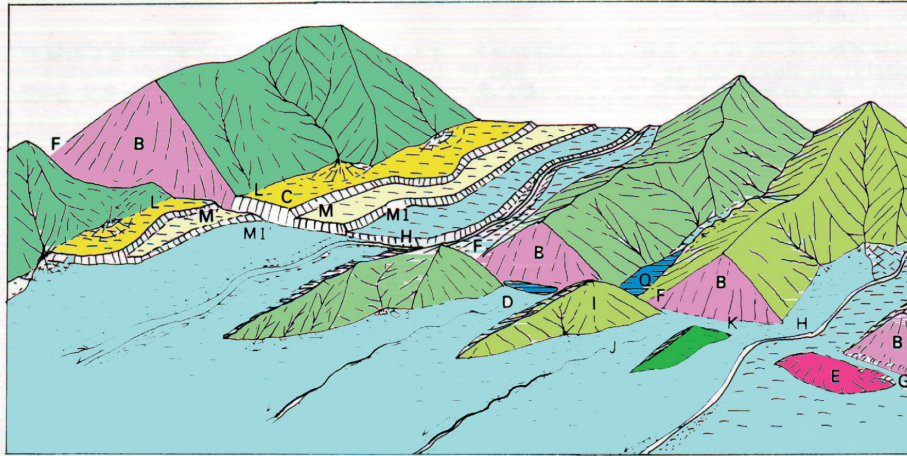


Figure 12: Schematic diagram of features that can be observed along an active fault. Adapted from the Active Faults of Japan English hand-out. M is a displaced terrace while H is a displaced stream.

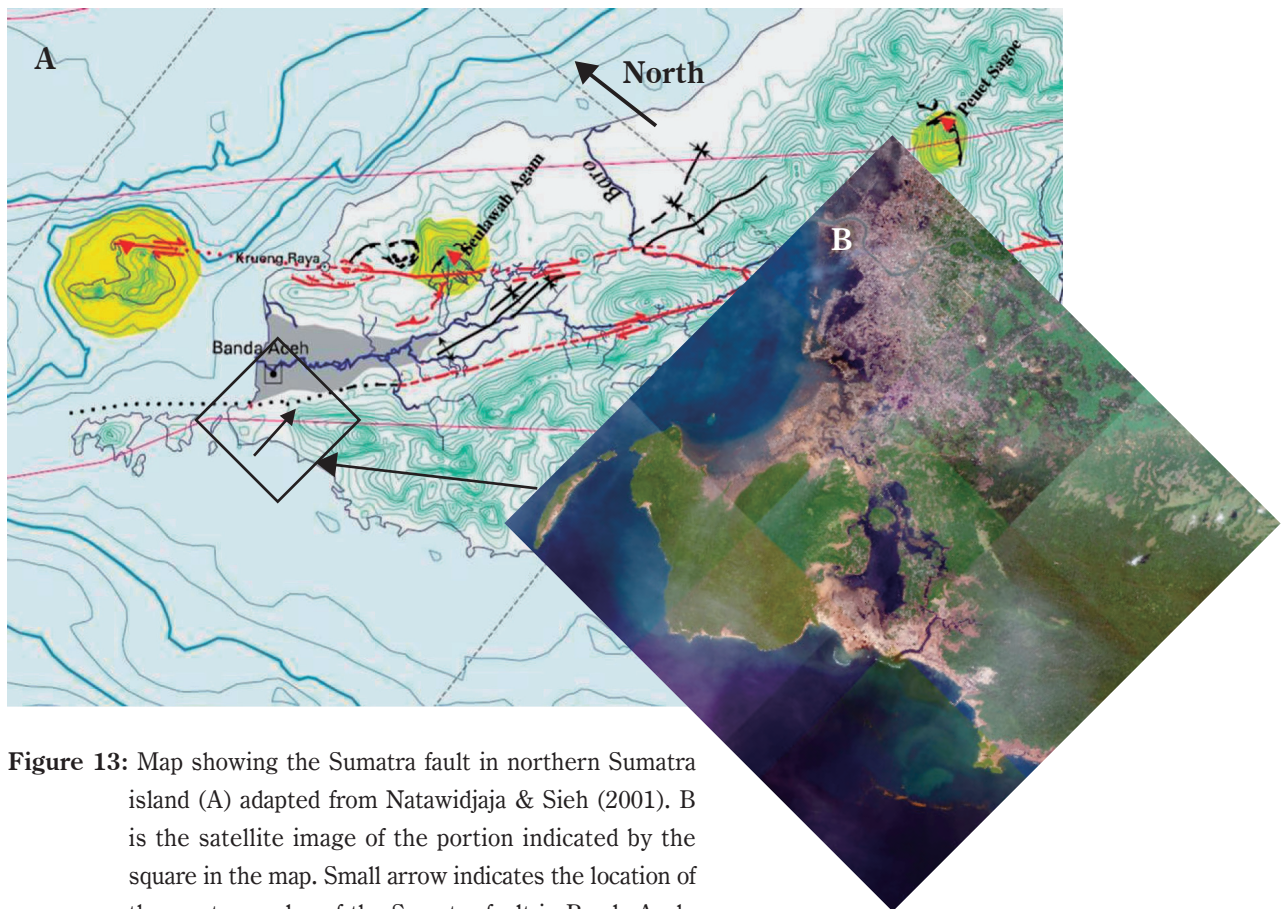


Figure 13: Map showing the Sumatra fault in northern Sumatra island (A) adapted from Natawidjaja & Sieh (2001). B is the satellite image of the portion indicated by the square in the map. Small arrow indicates the location of the western splay of the Sumatra fault in Banda Aceh, while the big arrow indicates the North direction.

Based on the satellite image (Figure 13B) the fault also displaced young river and stream in the northwestern part of Aceh city. This evidence plus the fact there had not been any large event in this area in the written history highlights the need for further studies and research on the western splay of the Sumatra fault in Banda Aceh. In one of the recent studies, however, the northern part of the Sumatra fault was suggested to be undergoing a creep activity. If that is true, this means that fault is slipping without any large event along the Sumatra fault in Banda Aceh. However, that particular idea came from a previous study that used single frequency GPS receivers. Thus, further and careful measurements must be undertaken to check this conclusion.



Figure 14: Photos showing the fault features along the western splay of the Sumatra fault. Shown are the triangular facets (A), scarp and triangular facets (B), scarplets through an asphalt road (C) and ricefields (D).



Searching for old earthquakes and tsunamis

Knowing the presence of both the Sunda trench and Sumatra fault in Banda Aceh area, search for old earthquakes and tsunamis were also undertaken. In the efforts of finding old tsunamis, initial investigation was done in Lhok Ngah located at point A in Figure 1. In this area, we tried to determine if there was a tsunami deposit previous to the 2004 event by coring across the field (Figure 15). Figure 15A shows the exposure of the 2004 tsunami deposit while Figure 15B shows the core being pushed downwards to get samples up to about 2m depth. No tsunami deposit prior to 2004 tsunami was found during this survey.



Figure 15: Photo showing the tsunami deposit (A) of about 12cm thick located at Lhok Nga (point A at Figure 1). B shows the coring activity undertaken to check for old tsunami.

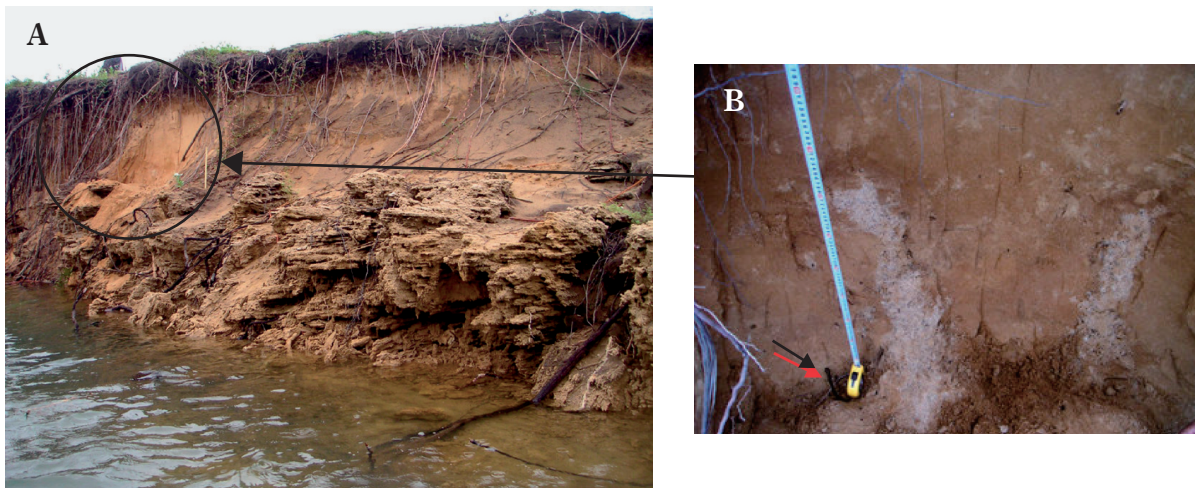


Figure 16: Photos showing the evidence of liquefaction in Lhok Ngah. A shows the exposure on the riverbank of a sand dikes (B) found in the cleared area indicated by the circle. Red arrows indicate the location of organic material within the sand layer.

Interestingly, during the investigations for the tsunami deposits in Lhok Ngah, we found an evidence of intense ground shaking. Nearby the Lhok Ngah bridge and in the vicinity of the river mouth, standing dike structures made of sand were observed (Figure 16B). Such kind of structures occur when a water-saturated sand deposit experience intense ground shaking. In this condition, sand blows and dike structures are usually generated. Numerous organic materials are found around this structure. Samples were taken for future C^{14} dating.

Some insights

Considering the results of these surveys, it is very important to undertake construction and land-use management with resolute concern for future major earthquakes in Banda Aceh. Possible intense ground shaking that the Sumatra fault would generate in the future would surely produce more destruction than the 2004 event especially on manmade structures like buildings and bridges. Residential houses should also be a primary concern taking into account the construction practices in the city. It was noted from the destroyed houses in the shores and in the photo shown in Figure 17 that the houses and buildings are usually built with a brick wall without any diagonal, horizontal or vertical steel as attachment to the columns. Falling bricks from the walls could cause injuries or even deaths during intense ground shaking even if the whole house won't collapse.

On the other hand, closer studies on the Sumatra fault in terms of recurrence interval determination and GPS measurements could be undertaken through the collaborative work between SKU and NU. Such information are very important for disaster mitigation efforts not only for the universities' research but also for the safety of Aceh city and its constituents.



Figure 17: Photo showing a construction of a brick fence in Aceh city. Walls of residential houses are built the same way.

Summary and conclusions

Based on two field surveys undertaken on February and August of 2005, the moderate ground shaking produced by the 2004 Sumatra quake caused extensive damage on poorly-built structures in Banda Aceh. Damages ranges from pancake collapse to collapse of soft floors. Structural failure of beams and columns were also observed together with minor damages like damaged facade or walls. No liquefaction-like damage were observed.

Tsunami effects and deposits from the 2004 Sumatra quake varies from erosion to dumping of huge boulders to several centimeters of mud and debris from the shorelines. In Aceh city, most of the damage were from the flood-like waters laden with so much debris from the shore. In the shoreline areas like Ulee Lheue, Lhok Ngah, Lhong and Lamino, the tsunami flattened everything from its path. Many communities were also lost and land areas were entirely eroded. Subsidence of at least 40cm were observed extensively based on oyster line on riprap dikes and bridge columns, and on trees currently submerged on sea water even during low tide. Uplift were also reported but located south of Banda Aceh.

During the same field surveys, old earthquakes and tsunamis were also investigated. Evidence of liquefaction was found in Lhok Ngah within a massive sand layer near the shore. However, no tsunami deposit prior to the 2004 event was found in the same vicinity. Clear evidence of active faulting was observed on the western splay of the Sumatra fault in Matair and the southwestern portion of Aceh city.

Future disaster from earthquakes that would originate from the Sumatra fault and Sunda trench can be mitigated. Closer research about the Sumatra fault should be undertaken to gain more understanding about this structure. Moreover, the local construction practice should be given more attention to avoid injuries or deaths from building collapse and even from falling brick walls during future earthquake(s).

Acknowledgment

I would like to extend my gratitude to the following people: Profs. M. Ando, F. Kimata and M. Umitsu whose support, ideas and discussions helped a lot on this research; Mr. D. Sugiyanto, Dr. M. Takahashi and all other staff of NU and SKU who helped me during the field surveys.

第2章 各プロジェクトの概況

1. バンダアチェへの名古屋大学調査団派遣について

黒田 達朗 (名古屋大学環境学研究科)

2004年は、わが国においてもまず7月に北陸豪雨があり多くの犠牲者が出たが、その余韻もさめやらぬ10月下旬には中越地震が起こり、まさに「天変地異」という言葉が実感される年であった。環境学研究科でも地震・防災関係の教員がそれぞれのチームで中越地震の調査に赴き、折に触れて現地の様子が耳に入る。さらには豊富な視覚的情報を伝えるマスコミの報道と併せて被災地の状況が次第に判明してくる中、重苦しい気分が漂う年の瀬を迎えていた。しかし、12月26日にテレビの画面に映し出されたスマトラ沖大地震とそれに伴うインド洋大津波がインドネシアやタイの沿岸部を襲う様子は、天災に「慣れている」はずの日本人の想像力をも遙かに凌駕するものであった。その後、報道が更新されるたびに被害は増え続けたが、最終的には死者・行方不明者22万人、被災者200万人以上と言われている。

名古屋大学環境学研究科は附属の地震火山・防災研究センターを始め、地震科学、耐震工学、都市工学、災害社会学、社会心理学等を専門とする研究者を多数有することから、2001年の発足時より文理連携型の教育研究プロジェクトの一つの柱として「安全安心学」の確立を目指してきた。これまでも、東海地震など名古屋圏への影響が予想される震災の対策を自治体と協働して推進するための地域貢献事業等において目覚ましい成果を上げてきているが、学際的な研究をさらに進める方策についてちょうど議論を進めている最中であった。とはいえ、インド洋大津波の被災地については、海外ということもあり、学際的連携プロジェクトの対象としては当初考えにくい状況にあった。一つには、タイの被災地がリゾート型のホテルが建ち並ぶ観光地という「特殊な場所」であり、インドネシアの被災地が独立紛争の中心であるバンダアチェ、同様にスリランカもゲリラ戦の拠点被災地という特殊事情があったからである。

一方、年が改まって2005年になると、地震学や地形学等の学会をベースにした調査団が全国的に組織され始め、研究科の教員の中にも個々に現地へ赴く計画を持つ者が出てきた。そのような情勢の中で、研究科附属地震火山・防災研究センター長でもある安藤雅孝教授から当時研究科長を務めていた私宛に「学際的的教育研究を掲げている環境学研究科としては、今回の被災地には是非学際的な文理連携の調査団を派遣すべきである」という提案があった。私としてもその提案には大いに魅力的に思える部分があった。たとえば、学生時代にあこがれを持って読んだり聞いたりした京大の人文科学研究所や山岳会を中心としたフィールド調査以来、わが国の大学では本格的な文理連携型の学際的な海外調査はないのではないかと。また、当然のことながら、地震研究の先進地でもあるわが国の教育研究機関として、現地の大学との連携も深めつつ防災研究の立ち後れが指摘される被災国に対して科学技術的な支援を行う使命があろう。さらには、今回の地震や津波の発生状況を偶然捉えた映像を見て感じるのは、まさに人々の生活の真只中に突然巨大な自然の力が襲いかかり、地形や構造物だけでなく、人間や社会全体を破滅させるほどのものであったという印象であり、このようなカストロフィックな事象に対して、単に物理的・力学的なメカニズムや、結果としての家族やコミュニティの崩壊を個々

に捉えることには限界があるように思えた。たとえば、地震学者がマグニチュードで地震規模を推定し、津波の専門家はその破壊力を室内実験で確認し、あるいは社会学者が被災者から失われた家族や財産のことを聞き取ったとしても、それぞれが単独の研究として実施され報告されたとすれば、あの映像のインパクトに比べていかほどのものを伝えることができるだろうか。個々の学問がいかにか非力で、後追いで、十分な再現力も持ち合わせず、自然の圧倒的猛威に対して巨象の体の一部を撫でて解析するようなものにしか思えないだろうということである。

そこで、研究科事務室と協議した上で緊急に研究科長裁量経費からの予算措置を講じると同時に、調査への参加者を募ることとした。同センターの木股文昭助教授（地震学）らについてはそれまでもインドネシアにおいてスマトラ島などの現地調査の実績があるのは知っていたので、私からは社会環境学専攻に属する海津正倫教授（自然地理学）、田中重好教授（社会学）に調査団への参加と調査対象地の選定に関する検討を依頼した。その結果、最も被害の大きかったバンダアチェを目的地として、2月5日から13日にかけて当研究科の第一次調査団が派遣されることになったが、先述したように現地はまだ自由アチェ運動（GAM）と政府との内戦状態にあり、今回の地震、津波が起こるまで外国人の立ち入りが禁止されていたアチェへ調査団を派遣するに当たっては、“管理職”にあるものとして、マラリアなどの感染可能性とともに2004年に起こったイラクでの日本人拉致・殺害事件が脳裏をかすめた。結果的には全員無事に帰国することができたが、派遣先がもしタイであったならそれほど心配する必要も無かったかも知れない。ただし、このような治安等の問題はあったものの、最終的にアチェを中心にインドネシアでは約16万5千人前後の死亡・行方不明が確認されており、他の被災国の被害（スリランカ：約3万5千人、インド：約1万6千人、タイ：約8千人）と比べると突出した人的被害を受けたこと、震源地にもっとも近く、さらにはスマトラ断層もあり将来の地震防災計画への布石ともなることを考えれば、バンダアチェを調査地域に選んだのは賢明であったと思われる。

第一次調査団の帰国後、「14mの津波を生きた人たちの証言」と題して早くも2月16日には報告会が開催され、想像を絶する被害を再認識するとともに、団員の現地での具体的な活動状況を聞くに



第一次調査団の報告会のポスター

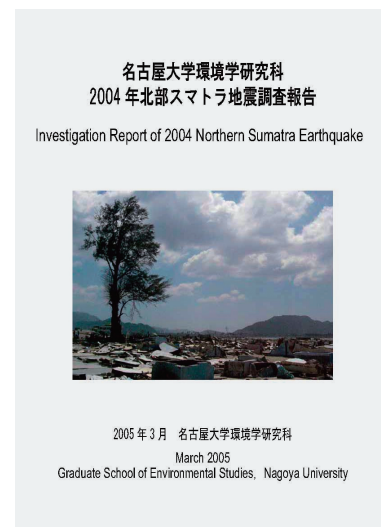
及んで、私としては学際的調査団の意義を改めて確認することができた。このときの調査団は主として地形の変動等を観測する地震学のグループと、被災者からのヒアリングを中心に被害の状況を調査する社会学のグループから構成されていたが、昼間はそれぞれの調査を進めつつ、夕食時にそれぞれの活動を確認しながら翌日の行動を決定していた。また、ときには地震学の専門家が社会学者のヒアリングにも参加した。私自身もその後、9月上旬に数日研究科の調査団と行動を共にした際に再確認したが、今回の学際的調査団の意義とは以下のようなものである。

- (1)文理連携や融合を謳った学術的なシンポジウムや研究会は多いが、同じ調査対象（それも今回は客観視できないほど悲惨なものである）に向き合いながら寝食を共にして数日間濃密な議論を交わし、他の学問領域における方法論や価値観を実感できる機会は他にない。
- (2)具体的な効果を例として挙げれば、地震学者は社会学者から間接的に被災時の居住者の経験を聞いた上で、地形の変化や津波の規模などを生身のものとして検討できる。また、社会学者は地震学者から震度に関する再推定やその地域の過去の被災歴だけでなく、地震の発生から津波の到達速度、具体的な水没地域での地盤沈下の程度など客観的事実を聞くともなく把握した上で被災者の声を聞くことができる。
- (3)一般の文理連携は主として理工系から文系への協力要請が強い。基本的には前者にとって後者の研究成果のエッセンスは一種の教養として摂取しやすいが、後者にとっては数学や物理、化学などの基礎知識がないと前者への接近は容易でないことが影響している。たとえば、科学者の倫理、技術者の倫理が重要との議論が高まれば、哲学や倫理学者への協力要請が湧き起こるが、その逆はあまりない。技術者にも会計学等の経営的センスを社会人として付加する要請はあるが、企業の共通管理部門で働く文系出身者に技術の再教育を要望する声はない。もちろん、経営学や労働経済学の研究者は生産現場に足を運ぶことで実際の技術に起因する管理的問題を把握することができるが、科学や技術は理論経済学で用いる生産関数の中に抽象化されていれば、基本的な現象の分析は可能である。したがって、通常の文理連携が一般的に文系からの一方的貢献になりがちなのに対し、(2)で述べたように今回の調査では相互に恩恵を被ることで、個別の専門分野による調査団に比べて無視できない「シナジー効果」が得られているように思う。また、このような機会に深まった相互の信頼関係は、日本に戻ってからも通常の教育研究の中で活かされるであろう。

さて、第一次調査団の成果は同年3月に「2004年北部スマトラ地震調査報告」として刊行されたが、日本語だけでなく英語によるレポートも含んでいたため、現地の研究者や大学の関係者にも好評を博すことができた。

また、2005年9月にはアチェ州最大の国立大学であり、最初の調査からご協力を頂いているシアクアラ大学理学部との間に学術交流協定を締結し、今後も大規模地震の発生が予想されるスマトラ西部における研究基盤整備を進めているところである。

その後、研究科独自の予算に加えて名古屋大学総長裁量経費の



第一次調査団の報告書

補助などを受け、学内他部局や他大学の研究者にも参加して頂き、これまで数次に渡り現地の調査を行ってきた。とくに、2005年12月26日には「スマトラ島沖地震に伴う津波災害の復興と課題」と題して一周年を記念した調査報告会を催した。その成果の多くは本書に収録されているが、今回の災害が起こるまでインドネシアをフィールドとしていなかった研究者がほとんどの調査団によってこれほどの成果が得られたことには感慨深いものがある。



シアクアラ大学との協定調印式

もちろん、学際的調査とはいえ、参加した研究者によってあらゆる分野が網羅されたわけではない。たとえば従来からインドネシアの政治、経済を研究対象にしていた専門家はいないし、学内他部局・学外の方にさらに協力を求めていく必要がある。また、当初検討していた都市工学的な面からの復興のお手伝いは、わが国からも国際協力機構（JICA）など政府系の援助がすでに実施されており、大学をチャンネルとした支援は現在の所手がかかりがない。

現地の復興がわれわれの目から見て必ずしも早くないこともあり、今後は集中的に現地調査を行うというよりは、定点観測的な形で復興の成り行きを観察しながら、援助の主体である国際協力機構やNGOなどとの連携を深めつつ、当研究科が得た研究成果を現地に還元していく努力が必要であろう。この観点からは、国際協力機構の事業の一環として、2006年夏からインドネシアを含めた被災国等の若手研究者を毎年5名日本に招き、9ヶ月程度の研修を5カ年に渡って当研究科で実施することがすでに決まっている。また、学術交流協定を結んだシアクアラ大学からの留学生受け入れも本格化したいところであり、日本で地震学、防災学を修めた人たちが将来現地の大学で教育研究拠点を開いてくれることが理想的な姿であろう。

スマトラ島沖地震/バンダアチエ津波災害調査報告会

スマトラ島沖地震に伴う 津波災害の復興と課題

-2004年12月26日：津波災害から1年-

日時：2005年12月26日（月） 13:00-17:30
 場所：名古屋大学環境総合館レクチャーホール
 主催：スマトラ島沖地震/バンダアチエ津波災害調査報告会実行委員会

13:00-13:20 津波のビデオを上映
 13:20-13:40 開会にあたって（高津正典：名古屋大学）
 13:40-14:00 スマトラ島沖地震と津波災害の復旧（佐藤誠：名古屋大学）
 14:00-14:30 バンダアチエにおける復興と自然条件（南津正典：名古屋大学）
 14:30-14:55 バンダアチエにおける復興と地域コミュニティ（高橋誠：名古屋大学）
 高橋誠：名古屋大学国際文化学部文化政策学（名古屋大学）
 14:55-15:20 バンダアチエ住民の津波災害後の復興（田中寛好：名古屋大学）
 (休憩)
 15:20-15:55 バンダアチエにおける津波復興（本村裕治：名古屋大学）
 15:55-16:20 今後のインドネシアとの共同研究について（Suzan Meftak：名古屋大学）
 16:20-16:55 津波災害復旧にあたってJICAの役割（水谷浩史：JICA）
 16:55-17:30 閉会挨拶（水谷浩史：JICA）

連絡先：名古屋大学大学院環境学際研究科国際環境学
 名古屋大学環境総合館1001号室 名古屋大学

一周年記念の調査報告会のポスター

2. スマトラの GPS 観測から見てきた断層の滑り分布

スマトラアチェでの GPS 観測から見てきた 2004 年アチェ・アンダマン地震の断層滑り分布

木股文昭¹・伊藤武男¹・太田雄策¹・メイラノイルワン¹・田部井隆雄²

(1: 名古屋大学環境学研究所 2: 高知大学理学部)

アフリカの大地まで動かした 2004 年アチェ・アンダマン地震、断層での滑り分布を詳細に解明するためにスマトラアチェで GPS 観測に取り組む。地震前と比較し 2 – 3m、地震後に 30cm の水平変動を検出した。1000km もの破壊域の最南端スマトラセグメントに三点のアスペリティが推定され、余効変動はプレート境界浅部での滑りを示唆する。

はじめに

2004 年アチェ・アンダマン地震（スマトラ・アンダマン地震と称されることが多い、しかし、地震の断層域を正確に表現するならば、アチェ・アンダマン地震が適切な表現と考える）はアフリカでも大地の変動が GPS 観測で検出される [1]、まさに超巨大地震となった。地震波動や津波波動、地殻変動から推定される断層もスマトラの西海岸沖からベンガル湾を北上し 1000km を超える。

最近 500 年間では、超巨大地震は世紀に 1-2 回しか発生していない。もっとも 1960 年のチリ南部地震を中心にその前後の 1952 ~ 1964 年の 13 年間に、マグニチュード 9 を超える超巨大地震がたて続けに 4 個発生している。しかしながら、GPS 観測網はもちろん、世界的な地震観測網すら確立されていなかった。すなわち、今回の 2004 年アチェ・アンダマン地震は近代的な GPS も含める地震観測網が汎世界に確立されてから、初の超巨大地震となった。

西日本では今回の地震と同様なプレート境界の巨大地震として、東海・南海地震が近い将来に発生すると考えられ、その発生過程の解明が急務の課題である。しかし、前回は 1944 年と 1946 年という戦争末期に発生したことから、地震時の破壊過程とその後の歪み回復過程のデータが観測できていない。この地震観測の空白期は東海・南海地震の発生過程を考察する上で大きなネックになっている。

私たちは、最近 10 年間に海半球プロジェクトや日本学術振興会の援助を得て、インドネシアをフィールドとして地殻変動などの研究に取り組んできた。また、インドネシアからの留学生も迎え、インドネシアとの学術交流も実施してきた。

アチェ・アンダマン地震は M9 を超える超巨大地震ゆえに、上述のように数 1000km も離れた地点でも GPS 観測から地殻変動が観測されている。そして、500km 以上も離れているマレーシア半島の GPS 観測結果などを近場のデータとして地震断層の滑り分布が推定されている [2]。

幸いに、私達は被災で混乱するインドネシア スマトラのバンダアチェへの立ち入りの機会が与えられた。また、バンダアチェのシャクアラ大学をはじめ、バンドン工科大学などインドネシアの研究協力者も得て、2005 年 2 月、5 月、11 月と 3 回、バンダアチェを中心にアチェ州で GPS 観測が実施できた。とりわけ、2005 年 11 月の観測は、アチェ和平協定の恩恵を全面に受け、これまで立ち入り困難だった内陸部でも観測を実施できる状況に至った。このように、アチェを中心とするスマトラ北

部におけるプレート沈み込み運動とスマトラ断層の解明が本格的に開始されようとしている。

スマトラのアチェ周辺での GPS 観測

インドネシアでは日本の国土地理院に相当する BAKOSTANAL が国家規模での精密測地基準網を確立し、1989 年から GPSGPS キャンペーンなどを通して GPS 観測による基準網へ移行していた。しかし、スマトラ北部では自由アチェ運動を巡る内紛のために、十分な網が確立されていない。

その一方、BPN が土地利用などの目的で二次 GPS 基準網を部分的ながらも 1990 年代後半に確立していた。さいわいにも、その事業にバンドン工科大学の研究者が携わったことから、私達もその座標値を得ることができた。

2005 年 2 月末、バンダアチェ周辺の BPN 観測点で GPS 観測を始めた。シムル島へはインドネシア人だけが渡り観測した。津波襲撃地では堅固な三角点が津波の到来方向の反対に傾き、津波襲撃の威力を見せつけていた。また、水没してアクセスできなかった GPS 点も存在した。西海岸では軍により厳重なチェックがなされ、一時的ながら銃を突きつけられたことも経験した。アチェ州西海岸の道路は寸断され、基点がありながらも道路回復を待つしかなかった。

2005 年 3 月 30 日、今度は 2004 年アチェ・アンダマン地震の震源域の南側、ニアス島直下で M8.7 の地震が起きた。この連続した二つの地震は震源域があきらかに南北に分離している。しかしスマトラでの地殻変動は重複する。主として南部での観測を狙い、5 月中旬にメダンからトバ湖方面への観測を実施する。3 月の地震は地震規模も小さく、発生した津波の規模も明らかに小さく、海岸線に入っても悲惨な風景には立ち合わなかった。メラボーから西海岸の北上を試みるが、道路の決壊は烈しく途中で断念する。

11 月 21 日から 3 回目の測量を試みる。西海岸線沿いの道路で数時間というスタックを乗り越え、メラボーまでたどり着き、予定した GPS 繰り返し測量を終える。アチェ州の西海岸できちんと分布したデータを取得するに、2 月末から 3 回の挑戦で 8 ヶ月が必要だった。

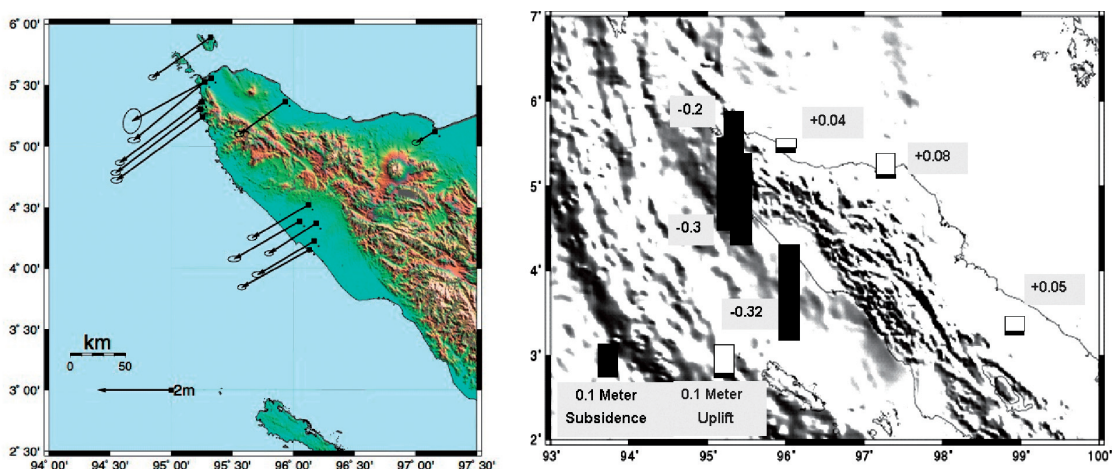


図 1 アチェ周辺域で GPS 観測により検出した水平 (左) と上下 (右) 成分の地殻変動。水平変動では南西方向へ 2m 前後、上下変動では西海岸での沈降が顕著である。

地震時の地殻変動と推定したスマトラセグメントでの滑り分布

BPN 観測点で得た新たな観測点座標値と地震前の結果から計算した水平と上下の変動を図 1 に示す。図では、アチェ州北部に位置するバンダアチェと南部に位置するメラボの区間が観測の空白域になるが、この区間は 11 月に観測し、解析を現在行っている。

測量前の測量は 1990 年代後半から 2000 年にかけて実施されたゆえに、地震前の変動も含む。また、地震後の測量も図に示す結果では、地震から最大で 5 ヶ月が経過している、すなわち、地震前の変動と地震後の変動を含んだ内容である。

BPN が実施した過去の測量は 1 周波受信機で最大で 3 時間である。BAKOSTANAL の基準点と結合するが、座標の精度は 10cm 程度と推測する。

アチェ州周辺域で検出された地殻変動は 2m 前後の南西方向への水平変動と西海岸を中心とする 0.5 - 1.0 m の沈降となる。地震前のプレート沈み込みに伴う地殻変動が最大でも 5cm/yr と考えられ、最も古い観測では地震前の 10 年以内に実施されていることから、地震前の地殻変動は最大でも 50cm に達しないと考える。また、地震後も変動も後述するようにバンダアチェ周辺で 30cm 前後と推定される。変動は地震前と地震後で相殺の関係となるゆえに、今回検地震前後の GPS 観測から検出した地殻変動は、主として地震時の変動と考える。

上下変動として、西海岸を中心とする沈降が最大の特徴である。この沈降は、現地の埋没林の存在や衛星写真から推定された結果とよく一致する。しかし、その一方で沈降の上下変動は西海岸沿いに限定され、バンダアチェ市内では隆起を示さないが、沈降は最大でも 20cm に満たない。

2004 年アチェ・アンダマン地震は、スマトラ北部の西方沖から始まった破壊が北上し 1000km を超えたと考えられている。地震波動に基づく研究から、1000km を超える断層も南からスマトラ、ニコバル、アンダマンの 3 セグメントに分離され、各セグメントで推定される滑り量は、南に位置するセグメントほど大きく、最も大きな破壊がスマトラセグメントで発生したと推定されている [3]。

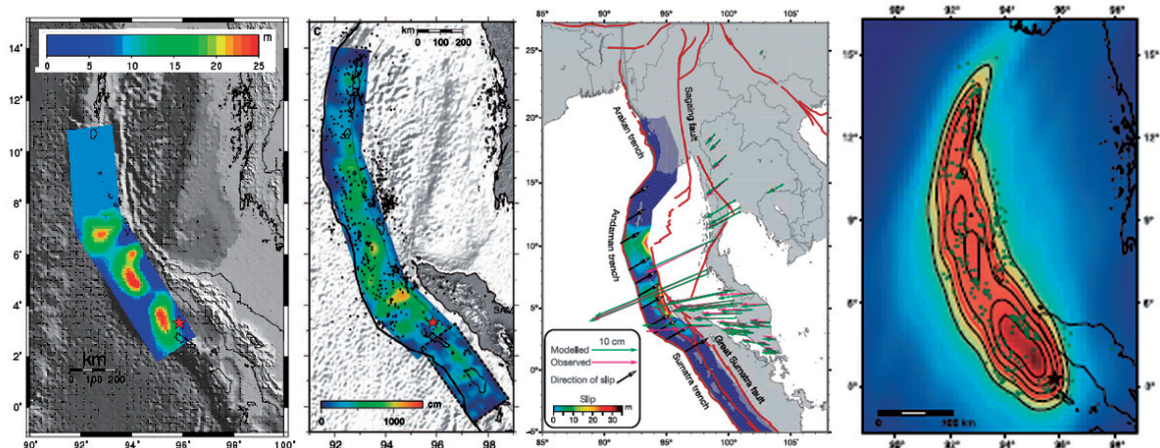


図 2 各種の観測から推定される断層の滑り分布とエネルギー発散率の分布。左から近場の GPS 観測による地殻変動、地震波動、遠くの GPS 観測による地殻変動、日本列島における群列地震観測網データに基づく結果 [8、3、2、4]。震源、破壊の開始点 (USGS) を★で示す。地震波動で推定した結果には 2005 年 3 月のニアス島での地震も含む。

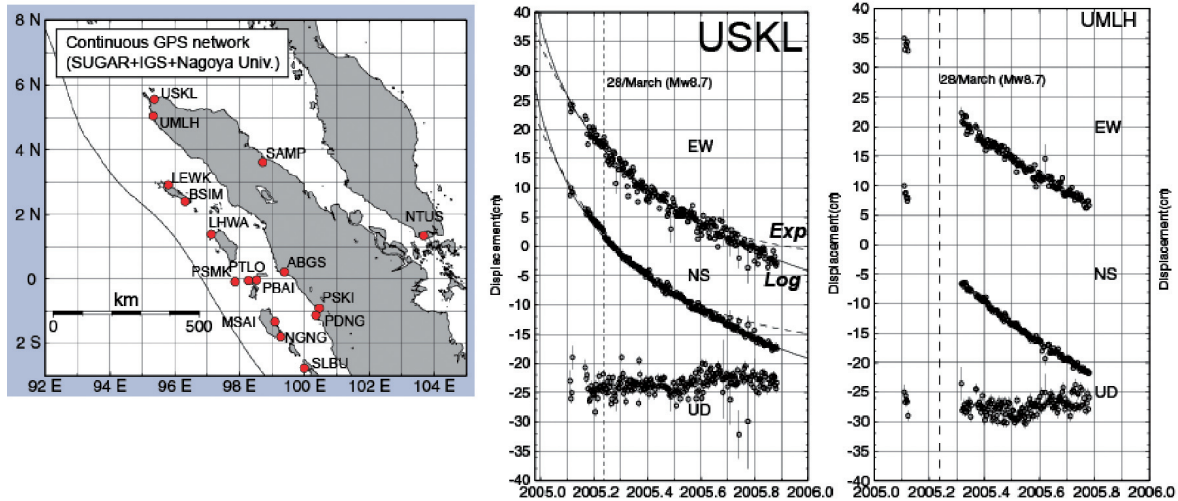


図3 スマトラ北部におけるGPS連続観測点の位置と連続観測点USKLとUMLHにおいて検出された余効変動[9]。2005年3月のニアス島における地震を点線で示す。2004年12月26日を始点としてUSKLは私達とシャクアラ大学が、UMLHはCALTECHが観測を実施している。

私達が検出した地殻変動はスマトラ北部に限定されることから、3断層のうち、主としてスマトラセグメントについて、滑り分布を推定した[8, 図2]。スマトラセグメントでは、最大20mを超える滑りが3カ所に推定された。そのうち最大規模のものがバンダアチェの西海岸沖に求まり、次に大きな滑り域が本震の震央の西側、より浅いプレート境界部分に、もう一つがスマトラの北西にあたる北緯6-7度のプレート境界に推定される。これらの大きな滑りの外側域では、滑り量はせいぜい5m前後である。

図2には、他の観測データである地震波動、遠場のGPS観測に基づく地殻変動から推定された滑り分布[3,2]と、日本列島における群列地震観測網から推定されたエネルギー放出率[4]も示す。まず、推定したデータの観測期間が異なる点を明確にしておく。今回、私達が推定したのは、前述したように地震の数年前に実施された観測結果と、最大で6ヶ月後となる地震後の観測結果の比較から得た地殻変動であり、地震時の変動以外に地震の前後の変動を含んでいる。私達以外の推定は、連続観測データに基づいており、まさに地震時の変動のみを扱っている。

まず、マレーシア半島などのGPS観測から推定された断層滑り分布[2]と比較し、私達の結果は断層面上での滑りは1mに満たないところから最大20mに達するところもあるように、きわめて不均一な滑り分布を推定している。また、その不均一な滑り分布がさらに数カ所に別れて推定されている。とりわけ、Vigniiら[2]が推定した滑り分布は、スマトラセグメントでは断層の深部で最大の滑りを示す。今回示す私達の結果は断層深部でなく、深さにして30km前後、断層の深さ方向で中間に推定している。これはアチェ周辺の近場の地殻変動データが明確になったことにより、滑り分布がより詳細に推定されたと考える。苦勞した観測の効果は確実に大である。

地震波動、そして傾斜変動、地殻変動から推定したスマトラセグメントでの断層滑り分布には共通点と相違点が認められる。共通点は、全結果がバンダアチェの西海岸沖にスマトラセグメント最大の滑り分布を推定していることである。このアスペリティはアチェの西海岸を襲った波高30mに達す

る巨大津波の波源域に対応すると考えられる。本論では、津波波動から推定した滑り分布を図示できなかったが、佐竹や谷岡、平田らの研究結果はアチェの西海岸沖に大きな滑りを推定する。

なお、11月のGPS観測ではスマトラセグメントで推定される大きな三つの滑り分布の南側と中央に対応する西海岸沿いで実施したことから、今後、より詳細な滑り分布が推定できると期待する。

上述したように、地震波動による断層滑り分布の推定が、まさに地震時の結果であり、津波波動となると地震から数10分までの破壊を反映した滑り分布を推定し、GPS連続観測による地殻変動となると1日以内の地殻変動を反映している。そして、著者らのアチェ周辺のGPS観測結果となると、本論で地震後半年、11月の観測まで含めて議論すると、地震後1年に進行した余効変動も含むことになる。11月の観測結果を含めて、これら観測手法と観測期間による断層滑り分布の違いを詳細に議論したいと考えている。

これまで地震のマグニチュードは主として地震波動から議論されている。しかし、地震波動として検出できない緩やかな滑りもGPSなどの地殻変動の観測から推測されている。そして、大きな緩やかな滑りが卓越する地震も少なからず報告されている。地震の規模を議論する上で、地震発生過程のいかなる帯域での議論か明確にする必要がある。

最近、GPS観測の分野でもキネマティックの手法による解析が積極的に導入され、2000年三宅島火山でのマグマ貫入過程[5]や2003年十勝沖地震の破壊過程[6,7]が、1秒や30秒単位という時間的に詳細に議論されている。今回も2005年3月の地震について、数少ないデータながら破壊過程の詳細な検討がなされようとしている[8]。

このような破壊過程の詳細な解明は、たとえば1944年東南海地震に伴った地殻変動と考えられる静岡県掛川周辺の隆起や名古屋市での沈降の地殻変動がいかなる時期に発生したかを考察する上で重要な情報をもたらすと期待する。

また、地震前のスマトラ北部では、GPS観測がほとんど実施されていないことから、プレート間カップリングについて、十分に議論されていない。2003年十勝沖地震では、プレート間カップリングが強い地域で地震時に大きな滑り分布がGPS観測から推定されている。地震前に観測を遡ることは不可能だが、今後の観測から、今回推定された大きな滑り分布を示す地域でのプレート間カップリングの解明は重要な内容を有する。地震時に大きな滑り量となるには、地震間のプレート間カップリングも強いと考えられるが、具体的な観測量としてその実証が必要である。

余効変動の検出とプレート境界浅部での滑り

カリフォルニア工科大学の機動力に目を見張るものがある。地震が発生して1週間後、正月ながらも彼らはバンダアチェに飛び、観測に取り組んでいる。日本の国立大学も独立法人化されたことにより、いわゆる校費でも海外での研究調査が可能になった。名古屋大学環境学研究科では文理融合の具体的な研究テーマとして今回の超巨大地震と超巨大災害を捉え、裁量経費などで調査団をバンダアチェに派遣した。地震から一ヶ月半後、2月上旬だった。

私たちも、その機会を利用し、バンダアチェのシャクアラ大学でGPS観測を開始し、そして2月末から連続観測に移行した。この観測は、メンバーの人力による連続観測ながらも欠測もほとんどな

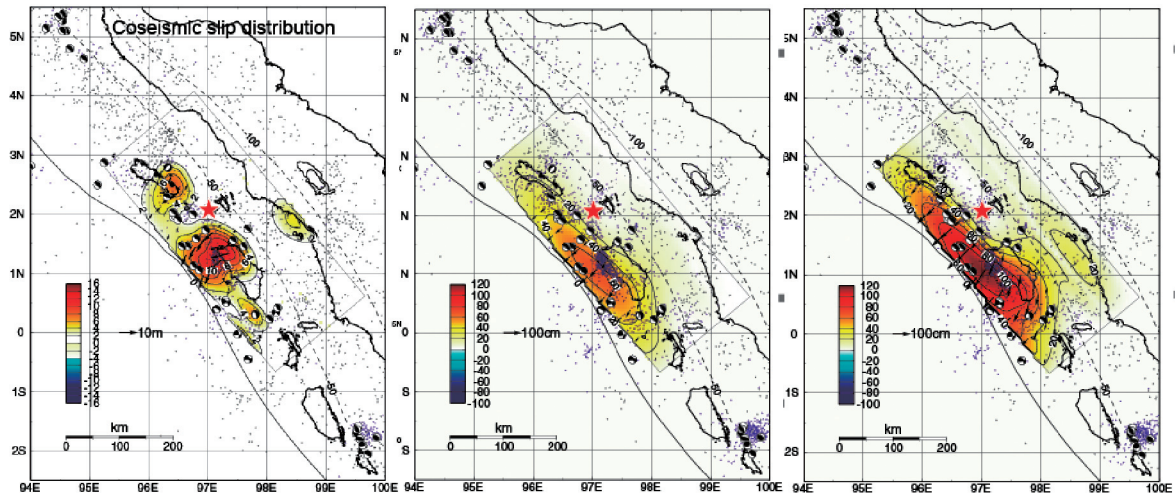


図4 2005年3月29日ニアス島地震の地震時の滑り分布と地震と地震後30日と90日の滑り分布 [9]。地震時は、ニアス島の北部、30kmのプレート境界で最大の滑り分布が推定され、余効すべりからは、地震時の滑りと比較し、プレート境界のより浅い部分、深さ10 - 30kmで主として大きな滑りが推定されている。小黒丸で示した余震はUSGSによる。

く、ハイレベルで現在まで維持され、数ヶ月ごとにデータが送られる。

シャクアラ大学のGPS観測点USKLにおける地震後の変動を図3に示す [9]。図からバンダアチェが地震後も地震時と同様に南西方向に動き、その動きが観測開始の2月から10月までの8ヶ月間で南へ25cm、西へ27cm、南西方向へ40cmに達することが明らかである。この間の近似曲線から外挿して12月26日の地震発生時から1年間の余効変動を推定すると、変動量は南へ45cm、西へ45cm、南西へ63cmに達する。地震時の変動量の約1/3に相当する。

その時間変化は、余震や2005年3月のニアス島の地震による擾乱があるものの、みごとに時間的にスムーズな変化を示す。最近のデータは、変動が指数関数よりも対数関数で近似されることを示す。

図にはCALTECHが観測しているUMLH点での変位も示す。UMLH点でも地震後は、バンダアチェのUSKL観測点と同様に、地震時と同じく南西方向にゆっくりと動いていることが明らかである。しかし、2月から4月までの2ヶ月間にわたり観測が中断している。観測された変位ベクトルは2月までと4月以降の期間で異なると推測されるだけに、2ヶ月間の観測の中断は非常に残念である。

上下成分での変動は、USKL観測点でもUMLH点でも有意でない5cm以内の隆起が観測されている。これら二つの観測点は地震後に設置され、地震時の変動が観測されていない。しかし、その周辺の基点では図1に示すような沈降が観測され、衛星写真などからも沈降が指摘されている。すなわち、地震後は、水平成分に地震時と同様な南西方向の変動が観測される一方、上下成分に有意な変動が観測されていない。地震後もプレート境界で断層運動が進行していると仮定するならば、地震時よりも浅部、よりトレンチに近いところで破壊が進行していると考えられる [9]。

2004年アチェ・アンダマン地震の3ヶ月後に発生した2005年ニアス地震では、スマトラ北部と比較しCALTECHなどのGPS観測網が充実しており、地震時の変動から地震後の余効変動がより詳細に検出されている。その結果は、2004年の地震と同様に、プレート境界のより浅部において余効変動が進行していることが明確になっている。

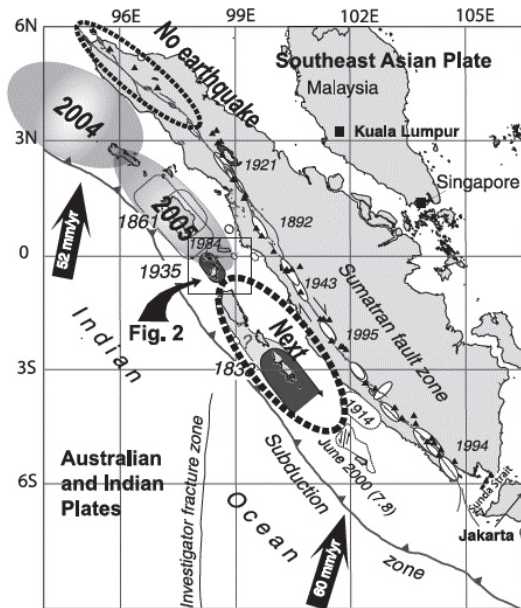


図5 スマトラのスダ海溝とスマトラ断層における歴史地震。Natawidjaja et al.[10]に2004年と2005年の地震と、スマトラ断層北部アチェ域での地震空白域を加筆する。

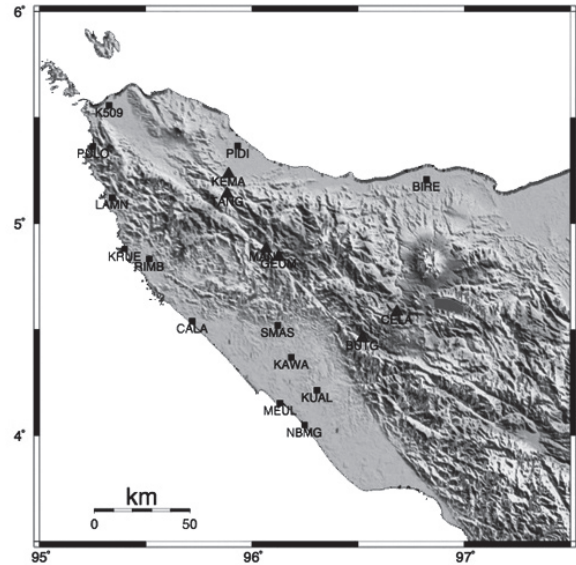


図6 2005年に著者らがGPS観測を実施したアチェ州におけるGPS観測点の分布。

図4に地震時の滑り分布、1ヶ月後の余効変動と3ヶ月後の余効変動の滑り分布を示す[9]。地震時にはニアス島直下で15mにも達する最大滑りが推定される。ちょうど、深さ30kmのプレート境界である。1ヶ月後と3ヶ月後に観測された余効変動から推定された滑り分布は、図からも明かのようにプレート境界のより浅部、30kmよりも浅部に移行している。USGSにより観測された余震の震央分布は、ちょうど余効変動から推定される大きな滑り分布の周辺域に集中して求まっている。

これらの余効変動がいかなる形で終息し、次の巨大地震への歪み蓄積、準備への移行過程を解明することは、プレート沈み込み帯における巨大地震の発生過程を検討するうえで重要である。そのためにも2点の連続観測では不十分で、一刻も早く連続GPS観測点を補強したいと考える。一方、地震後の変動量が1年間に30cmにも達し、しかも地震発生から1年を経過しても減衰しつつも継続していることから、繰り返しGPS観測でも検出できると考える。少なくとも、臨時観測だけでも継続して実施したいと計画する。

スダトレンチでの次の巨大地震発生とスマトラ断層地震空白域

オーストラリアーインドプレートが沈み込むスダ海溝では、M8クラスの巨大地震が100 - 200年間隔で発生している。Keli Seiなど今回のアチェ・アンダマン地震よりもスマトラではパダン沖で1833年以降200年ちかくも巨大地震が発生していないことに注目した。そして、近い将来の地震発生が間違いないと考え、インドネシアのLIPIなどと協力して地震やGPSの観測網を非常に積極的に構築している。彼らがパダンなどにおいて地域防災まで立ち入り、来るべきスマトラ西部地震と取り組んでいることは高く評価すべきと考える。

パダン沖の西部スマトラ地震の発生と同時に緊急な調査を必要とするのがスマトラを南から北に縦断するスマトラ断層の活動である。スマトラ断層は、スンダ海溝と平行して走り、同海溝におけるプレートの北北東方向への沈む込みに伴い、右ずれの変動を示す。これまでの地質学的な研究から、スマトラ断層では年間に2 - 3cmの滑り分布が推定され、図5に示すように20世紀以降もM7クラスの地震が頻繁に発生している。

しかし、スマトラ断層の北部、アチェ州周辺域では最近200 - 300年間に大きな被害地震が記録されていない。スマトラ断層はちょうどバンダアチェの西部を横断している。スマトラ断層北部での活動頻度など明確に解明されていない。しかし、200 - 300年間の地震活動の空白は、一般に活断層での地震発生準備期間に相当し、すでに次の地震発生準備過程を終えている可能性も高い。となると、津波で甚大な被害を受けたバンダアチェが、次にはスマトラ断層での内陸地震、まさに直下型地震で多大な災害を被ることも危惧される。

しかしながら、アチェ州におけるスマトラ断層に関する研究は、最近36年間のアチェ独立運動に対応するインドネシア政府の政策により外国人の立ち入りも認められなかったことから、ほとんど取り組まれていない。2001年と2002年にバンダアチェ周辺でスマトラ断層を対象とするGPS観測が実施された[11]。しかし、有意な変動が検出されないまま、険悪な社会情勢は観測を中断させた。GPS研究者も死を覚悟しない限り、スマトラ断層の現地に立ち入ることができなかった。津波による甚大な被害を受けてから、さいわいにアチェ独立派と政府の間で和平交渉が急速に進展し、2005年8月に和平協定が締結された。

和平協定締結の恩恵を受け、私達も11月には海岸線だけでなく内陸の山岳域にも立ち入ることが可能となった。そして、図6に示すように、スマトラ断層での歪み蓄積過程が解明できるようなGPS観測網の構築を試みた。幸いに遭遇したトラブルは小さく、スマトラ断層周辺でのGPS観測点を設置し、一回目の観測を終えた。地殻歪み蓄積過程を詳細に議論するにはまだ粗な観測網ながら、スマトラ断層における歪み蓄積過程の解明がスタートしたのである。

さいごに

Didik Sugiyanto (UnSyiah), Agustan (BPPT), Mipi Anata, Hasanuddin Z. A. H. Andreas (ITB)をはじめとするインドネシアでの共同研究者との固い連携が本研究を支えている。本研究に関して、名古屋大学環境学研究科研究科長裁量経費と文部科学省振興調整費などから研究費の援助を受けた。

参考文献

- [1] Kha, S.A., and O. Gundmundsson, EOS trans. ,86,2005.
- [2] Vigny C. et al., Nature, 436|14, July 2005|doi:10.1038/nature03937
- [3] Ammon C.J., et al., Science, 308, 5725, 1133 - 1139, 2005.
- [4] Ishii et al., Nature 10,138,2005
- [5] Irwan M.,et al., Earth Planets Space.55,e13- e16, 2003.
- [6] Irwan M., et al., Earth Planets and Space, 56, 389-393, 2004.

- [7] Miyazaki S., Geophysical Research Letters, Volume 31, Issue 21, CiteID L21603, 2004.
- [8] Irwan et al., submitted to EPSL
- [9] Ohta et al., submitted to BSSA
- [10] Natawidjaja et al., JGR., 109, B04306, doi:10.1029/2003JB002398, 2004
- [11] Bock, Y. et al., J. Geophys. Res. 108, doi: 10.1029/20 01JB000324, 2003.

この報告は、月刊地球「スマトラ地震特集号」に投稿した原稿にもとづく。

3. 津波災害からの復興と自然条件

—名古屋大学総長裁量経費プロジェクト—

海津 正倫（名古屋大学環境学研究科）

自然災害は自然現象と人文・社会現象との両者が絡み合っ引き起こされる。2004年12月26日に発生したスマトラ沖地震に伴う津波災害も、まさにそのことが凝縮された出来事で、地震と津波の発生という自然現象によって、人々の居住する土地に津波が襲来し、生活の場を破壊し、変容させて多くの人々の生命を失わせるに至ったのであった。さらに、被災地域においては、たとえ本人が命を落とさずとも身近な人々を失い、財産や仕事を失ってしまった人も多い。もちろん、地域の社会・経済的な損失も多大なものとなっている。

このような自然・人文・社会のすべてにわたる多様な問題を解明するにあたっては、単に個別の問題を取り扱うだけでは十分ではなく、さまざまな側面から取り組み、その成果を融合させていくことが必要であろう。

このような観点から、環境学研究科の海津が代表者となって平成17年度名古屋大学総長裁量経費「東南アジアにおける巨大津波災害復興プログラム」が申請され、採択された。本プログラムは、スマトラ沖地震にともなう津波災害について、自然環境の変化および災害復興に関わる社会システムについての調査・研究を実施し、望ましい復興支援の方策を模索することを目的としたもので、文理融合の観点から以下のテーマについて調査活動を実施し、問題点の抽出・検討を行った。

- ・被災状況と自然環境の関係についての調査・検討
- ・被災地域の社会システムと被災者の抱える問題についての調査・検討
- ・被災地域におけるインフラおよび生活基盤の復興に関する調査・検討

なお、調査地域は、今回の津波災害で最も著しい被害を蒙ったインドネシア国バンダアチェ市および周辺地域、タイ国アンダマン海沿岸地域、インド国・スリランカ国インド洋沿岸地域などを対象としたが、本報告書ではインドネシア国バンダアチェ市及び周辺地域のみを取り扱う。

分担メンバーと担当分野は別表の通りである。

なお、バンダアチェにおける現地調査は、環境学研究科長裁量経費による調査とともに2005年8月下旬から9月上旬および12月上旬に行われ、地震火山観測研究センターのGlenda M. Besana研究員が調査メンバーとして加わったほか、農学国際教育協力研究センターの松本教授および法政国際教育協力研究センターの鮎京教授に代わって農学国際教育協力研究センターの佐々木太郎研究員、名古屋外国語大学の嶋田弦講師が夏の調査に参加した。

このほか、国際開発研究科の木村宏恒教授はインドおよびスリランカで、また、工学研究科の水谷法美教授、中村光教授はタイ国で調査を行ったが、それぞれの成果については別稿で報告される予定である。

プロジェクトの名称	東南アジアにおける巨大津波災害復興システム			
プロジェクトの概要	スマトラ沖地震に伴う津波災害について、自然環境の変化と災害復興にかかわる社会システムに関する調査研究を実施し、望ましい復興支援の方策を提案する。			
プロジェクト担当者	氏名	所属	職名	担当分野
(*印は代表者)	* 海津 正倫	環境学研究科	教授	防災地理学
	安藤 雅孝	環境学研究科	教授	地震学
	木股 文昭	環境学研究科	助教授	GPS 測地観測学
	鈴木 康弘	災害対策室	教授	変動地理学
	田中 重好	環境学研究科	教授	防災社会学
	木村 玲欧	災害対策室	助手	防災心理学
	水谷 法美	工学研究科	教授	波浪工学
	中村 光	工学研究科	教授	コンクリート耐震工学
	木村 宏恒	国際開発研究科	教授	国際協力政策学
	松本 哲男	農学国際教育協力研究センター	教授	農学国際協力学
	鮎京 正訓	法政国際教育協力研究センター	教授	法整備支援学

バンダアチェおよび周辺地域に関わる本プロジェクトの成果は、本報告書で詳しく述べられている名古屋大学とシャクアラ大学との共同学術セミナーにおいて報告したほか、津波災害の発生からちょうど1年目の2005年12月26日には、名古屋大学環境総合館において「スマトラ島沖地震に伴う津波災害の復興と課題—2004年12月26日:津波災害から1年—」と題する報告会を開催し、報告した。なお、この報告会においては、現地の復興事業とかかわる独立行政法人国際協力機構（JICA）地球環境部第三グループ（水資源・防災）防災チーム長の永石雅史氏にも講演して頂き、災害と復興に関わる有意義な議論が行われた。

報告会のポスターを次ページに示す。

スマトラ島沖地震バンダアチェ津波災害調査報告会

スマトラ島沖地震に伴う 津波災害の復興と課題

-2004年12月26日:津波災害から1年-

日時:2005年12月26日(月) 13:00-17:30

場所:名古屋大学環境総合館レクチャーホール

主催:スマトラ島沖地震バンダアチェ津波災害調査報告会実行委員会



13:00-13:20 津波のビデオを上映

13:30-13:40 開会にあつて(海津正倫:名古屋大学)

13:40-14:05 スマトラ島沖地震と地殻変動(木股文昭:名古屋大学)

14:05-14:30 バンダアチェにおける復興と自然条件(海津正倫:名古屋大学)

14:30-14:55 バンダアチェにおける復興と地域コミュニティー(高橋誠:名古屋大学・
嶋田弦:名古屋外国語大学・佐々木太郎:名古屋大学)

14:55-15:20 バンダアチェ住民の津波災害後の復興(田中重好:名古屋大学)
(休憩)

15:30-15:55 バンダアチェにおける生活復興(木村玲欧:名古屋大学)

15:55-16:20 今後のインドネシアとの共同研究について(Iruwan Meilano:名古屋大学)

16:20-16:45 津波災害復興に果たすJICAの役割(永石雅史:JICA)

16:45-17:30 総合討論・まとめ(田中重好:名古屋大学)

連絡先:名古屋大学大学院環境学研究所地理学講座
海津正倫(umitsu@cc.nagoya-u.ac.jp)

2005年12月26日に開催した津波災害報告会のポスター

4. スマトラ地震後の生活・都市復旧過程の研究 —名古屋大学研究科長裁量経費プロジェクト—

田中 重好 (名古屋大学環境学研究科)

2004年度、研究科長裁量経費による緊急プロジェクトとして、2005年2月に安藤雅孝地震火山・防災センター長を団長として、バンダアチエの現地調査を実施した。

今回は、その時の被災地調査を前提として、さらに、海津正倫環境学研究科教授を中心とする名古屋大学総長裁量経費プロジェクト「東南アジアにおける巨大津波災害復興システム」と連携を図りながら、主に都市社会や生活の復興過程を中心とした調査を行った。

この研究プロジェクトの参加者は以下の通りである。

田中重好 社会環境専攻・教授 社会学 研究代表
黒田達朗 社会環境専攻・教授 経済学
田淵六郎 社会環境専攻・助教授 社会学
高橋 誠 社会環境専攻・助教授 地理学
木村玲欧 災害対策室・助手 社会心理学
鷺谷 威 地震火山・防災研究センター・助教授 地震学

今回は、2005年9月と12月に、現地調査を行った。

とくに、12月調査を中心に報告すると、この調査では、被災後1ヵ月半後の2月調査と比べて、どう復旧が進んでいるかを確認する景観・地理調査、津波災害を直接受けた人々を対象とした生活復旧に関するアンケート調査、復旧のエージェントとしてのコミュニティ、生活に密着した地方行政組織、海外のNGOへのインタビュー調査を実施した。その調査結果に関しては、第4章の調査報告の各論文に譲る。

災害それ自体は自然現象であるが、同じ自然災害であっても、被害の現れ方は、その社会ごとに異なっている。一般に、社会的階層ごとに被害程度は異なり、低階層ほど被害は甚大である。同様に、災害後の復興過程に関しても、社会的な条件が大きく左右する。それは、個々人、あるいは個々の家庭ごとに復興が異なるだけでなく、コミュニティごとに、さらに、地方政府の活動の程度によっても異なっている。

災害は、どんなに大災害でも「地域的に限定された」ものである。その意味では、災害の被害を受けた地域と「日常生活が保たれている／無傷な」地域とがあり、その間の社会的な落差は大きい。津波が到達した海岸部の地域と、津波災害を免れた地域との境界線にたってみると、この落差を実感する。

そのため、災害の一つの課題は、「無傷の」地域から被災地へ、不足する物資やサービスをどう迅速に支援するかが、重要な課題となる。まさに、それは戦争に例えていえば、兵站のあり方という意味でロジスティックな課題である。だれが、いつまでに、どんな物やサービスを、どの地域に、どれ

だけ支援すればいいのか、という問題である。こうしたロジスティックなプロセスがどう働き、どの程度復興が進んでいるかが、今回の調査の第一のテーマであった。そのことを地域住民の視点から捉えようとして、被災者へのアンケート調査を実施した。このアンケート調査を補う形で、コミュニティ・リーダー、末端の行政機関の職員、海外のNGOリーダーへのインタビュー調査を実施し、アンケート調査の結果とあわせて、分析を行っている。

アンケート調査の実査を、バンドン工科大学のスヒルマン氏を中心に、その大学院生たちが行っている間に、リーダーへのインタビュー調査と、景観調査を行った。それは、2月時点での景観と12月現在の景観がどう異なり、どこまで復興が進んでいるのかを明らかにするためである。

さらに、災害は「目に見える」被害を与えるものではなく、「目に見えない」精神的な被害を与える。阪神淡路大震災以降、日本でも「心の傷」「PTSD」として注目され始めた問題である。災害は、人々の日常生活を攪乱し、さらに、家族や友人をも奪う。今回のスマトラ地震では、スマトラ島だけで16万7千人の死者・行方不明者を出した。そうしたなかで、人々は「なぜ、こうした大災害に自分は遭遇しなければならなかったのか」、「なぜ、自分の家族や友人が死ななければならなかったのか」、「自分だけが生き延びてしまったが、むしろ、自分はなぜ、家族を助けられなかったのか」という問題に直面する。そうした問題に対して、人々は「何らかの答え」を出し、そして、「自分を納得させなければならない」。災害が発生し、大きな被害が発生したことは「事実」であるが、それを「受け入れる」ことは別次元の問題なのである。現在のところ、こうした問題までは迫れてはいないが、少なくとも、イスラム教の宗教的リーダーのインタビューは続けながら、この問題を考えている。

一年後のスマトラ地震の被災地に入って感じるのは、「復興が遅い」ことである。いまだに、テント生活を続けている人が多く、失業状態の人も多い。確かに、街は活気を取り戻しているが、そうした活気ある光景の裏側に、生活の場面では、困難に直面している人が多い。さらに、被災者への支援は、行政による支援活動が遅れており、むしろ、海外からのNGOの活躍が目立つ。事実、アンケート調査結果からも、「もっとも頼りになった」のは海外NGOという回答がもっとも多い。

このように、今回のスマトラ地震の生活復興をみると、発展途上国の災害援助のあり方を再検討しなければならないという課題が、浮かび上がってくる。とくに、日本は政府ルート中心の、さらに、「ハード中心の」支援を行ってきたが、それだけでは、被災者の生活復興につながらないことは明らかである。

この課題も含めて、今後、人文社会グループとしても、自然科学の研究者と連携を図りながら、バンダアチェを定点観測してゆく必要を痛感している。これまで、海外の大災害を長期的に調査研究した実績は、日本には稀有である。

幸い、名古屋大学環境学研究科は文理融合型の研究組織であり、さらに、数回のスマトラ調査を行った実績があり、さらに、バンダアチェの地元の大学との姉妹関係を結び、学術交流が始まっている。

第3章 現地セミナーの実施

1. 現地セミナーの実施

木村 玲欧（名古屋大学災害対策室）

1. シャクアラ大学におけるセミナーの実施

2005年11月10日朝8時、天気は小雨、気温は30度前後。バンダアチェにある国立大学「シャクアラ大学」の一室は、参加者の熱気につつまれていた。

“International Joint Seminar Between Syiah Kuala University and Nagoya University -Theme 2004 Aceh-Andaman Great Earthquake and Tami”と銘打った、シャクアラ大学と名古屋大学の共働セミナーである。

セミナーの目的の1つは「お互いの研究成果を共有し、今後の共同研究の方向性を模索する」というものであり、9月に締結した学部間協定とあわせ、更なる共同研究の礎にする目的があった。しかしこのセミナーにはもう1つ目的があった。「学生・一般市民にも参加してもらい、今回の地震・津波が何だったのか基本的な理解をしてもらう」というより社会に向けた活動を目的にしたものである。そのため、日本側から安藤雅孝教授の基調講演を企画した。また、本セミナーについて地元新聞を通して広報してもらい、多数の市民に参加を呼びかけた。その結果、当日は200人を超える一般市民・学生・研究者が集まったのである（図1）。



図1 現地セミナーのようす。地元のテレビ局や日本のメディアも取材に訪れた

2. 基調講演と学術発表

次ページがプログラムである。市民向けの基調講演は朝9時から10時20分までという予定で行われた。最初にシャクアラ大学側から“How to Live with Earthquake”という被害の全容や対策についての講演がなされ、次に安藤雅孝教授から“2004 Aceh-Andaman Great Earthquake”という地震学の立場からの講演が行われた。安藤教授の講演は英語で行われ、インドネシア語でも通訳された。講演に対する聴衆の興味は大きく、質疑応答では質問がとぎれず、予定より30分が経過した10時50分にやむなく打ち切りになるほどであった（図2～5）。

その後の学術発表でも熱心な発表・議論がなされ、17時10分終了予定であったが、実際に終了したのは予定を2時間近く経過した19時前であった。



図2 安藤教授の講演（日本の津波シミュレーションなどについても紹介された）



図3 熱心な聴衆（学問の基礎的な話、最新の知見の紹介の両方とも評判がよかった）



図4 一般市民の参加（津波や地震の発生原理は初耳の人も多かったようだ）



図5 質疑応答（学生・一般市民からの積極的な質問が多かった）

SUSUNAN ACARA SEMINAR ILMIAH DAN KULIAH POPULER
Rabu/30 November 2005

Waktu	Kegiatan	Keterangan
8:00-8:30	Recheking peserta	Panitia
8:30-9:00	Pembukaan Tilawah + Saritilawah Laporan Ketua Panitia Sambutan Rektor USK	Panitia Panitia Muslim, M.InfoTech Prof. Dr. Ir. Abdi A. Wahab, M.Sc
9:00-9:40	Kuliah Populer Pembicara 1	Moderator: Rajibussalim, M.InfoTech Prof. Dr. Ir. H. M. H. Bintoro, M.Agr (How to Live with Earthquake)
9:40-10:20	Pembicara 2	Prof. Masataka Ando, DSc (2004 Aceh-Andaman Great Earthquake)
10:20-10:45	Sessi I (seminar) Pembicara 1	Moderator: Rajibussalim, M.InfoTech Prof. Masatomo Umitsu, DSc (Landfarms and Tsunami disaster in the plains of Nam Khem, Thailand and Banda Aceh, Indonesia)
10:45-11:05	Pembicara 2	Suherman (Acehnees Socio-Cultural response during Earthquake and Tsunami Disaster)
11:05-11:30	Pembicara 3	Zulfian Soton (The Assessment of thermal Comfort of living Environment in Tsunami disaster place)
11:30-11:55	Pembicara 4	M. Takahashi (The role of local communities in the post Tsunami reconstruction process)
11:55-12:20	Pembicara 5	Dr.Salmawaty, M.Sc (Alue Naga Beach Condition Before Tsunami Disaster)
12:20-14:00	Ishoma	Panitia
14:00-14:30	Sessi II Pembicara 1	Moderator: Cut Famelia Prof. Dr. Syamsul Rizal (Current due to Tides, Wind and Density in the Andaman Sea)
14:30-15:00	Pembicara 2	Prof. Fumiali Kimata (Our Scientific Approach and Subject to the 2004 Aceh-Andaman Earthquake as a collaboration between Indonesia and Japan)
15:00-15:30	Pembicara 3	Marlina R. Nasution (Aceh Resources Development After Tsunami Disaster)
15:30-16:00	Ishonack	Panitia
16:00-16:30	Sessi III Pembicara 1	Moderator: Cut Famelia Dr. Glenda M. Besana (Tsunami Survey of the 2004 Aceh-Andaman Earthquake)
16:30-17:00	Pembicara 2	Dr. Irwan Meilano (The 2004 Aceh-Andaman Earthquake Foul Model Estimated from GPS Measurement in Aceh)
17:00-17:10	Penutupan	Dr. Mustanir, M.Sc

2. 2004 Aceh-Andaman Great Earthquake (現地セミナーにおける基調講演)

安藤 雅孝 (名古屋大学環境学研究科)

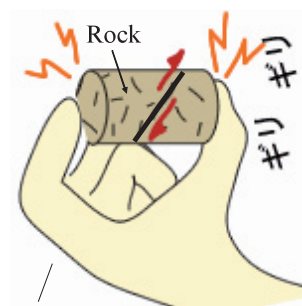
Masataka Ando (Nagoya University, Japan)

What is the Earthquake?

The title of my lecture today is "The Mechanism of 2004 Aceh-Andaman Great Earthquake." With the case of the Aceh-Andaman Great Earthquake, I will talk about the mechanism of earthquake: What is the earthquake? and what is the tsunami?

Indonesia is a very earthquake-prone country, Indonesia, Philippines and Japan: we can say we are all earthquake family members.

What is the Earthquake?



by A. Sakaguchi

Figure 1

by A. Sak

If you put pressure upon a rock, the rock finally would break (Figure 1). This is the earthquake. Earthquakes have a very simple mechanism. Considering that the earth's interior is hot, the hot material rises and pushes against the plates. It is the driving force of earthquake (Figure 2).

Driving Force

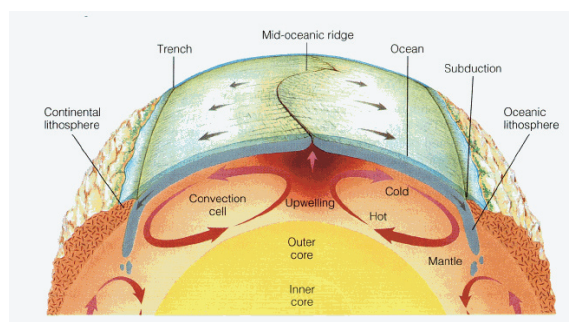


Figure 2

Then, why is a fault slip necessary to earthquake? Suppose there is a rock test piece with a fault. Before the earthquake, the fault was glued or locked. But, at the earthquake, this piece is finally broken and both sides of the fault are displaced (Figure 3). You can find this kind of faults at many sites along road sides. Therefore, earthquake study also means the study of the fault slip.

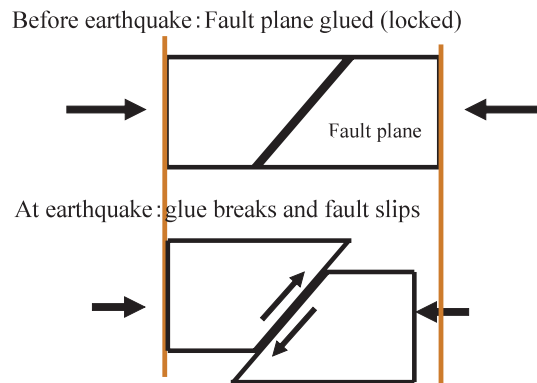
Why fault slip is necessary to earthquake ?

Figure 3

If a fault surface is very smooth, the rupture would spread very smoothly. The ground motion, therefore, becomes very gentle, and the earthquake shaking is not so dangerous. In the reality, however, fault surface is not like this. Usually, fault surfaces are very rough. Some of the portion of the fault surface has what we call an "asperity". This asperity can generate jolted motions. In seismology, it is very important to know the asperity of the fault. If we know about the fault, we can calculate the earthquake's strong motions. A seismogram recorded by a seismometer shows that, from smooth surface of a fault slip, it is very gentle (Upper, Figure 4), but from the rough surface, the seismogram would be jolted largely and you have very strong shaking (Lower, Figure 4).

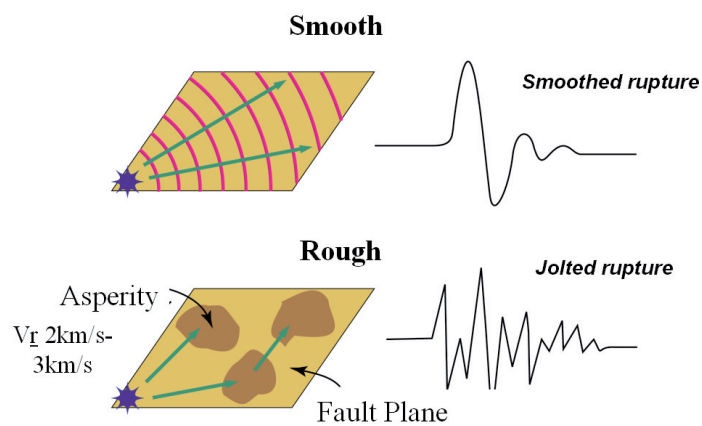
Fault Surface is not Smooth!

Figure 4

What is the tsunami?

When an earthquake occurs, how would the seawater behave? If the seafloor was uplifted, water above it would be pushed upward, too. This occurs simultaneously. Then, of course, the uplifted seawater spread outward. This is a tsunami. The tsunami is also generated by a very simple mechanism (Figure 5).

Tsunami propagation



Figure 5

Usually a tsunami wavelength, the dimension of the seafloor's change, is much longer than the depth from the seafloor. For example, in the Ache-Andaman Great Earthquake, the depth where the tsunami was created was 1-2 km, but the wavelength is 100 to 1,000 km; it is quite long compared to the depth. This is a characteristic of tsunami (Figure 6).

If the seafloor subsided, then that subsidence also occurs across the water. Of course the seawater also subsides, and then the seawater surrounding flows in; that causes also the tsunami. The earthquake and subsidence of the seafloor cause the tsunam.

Uplift at Seafloor

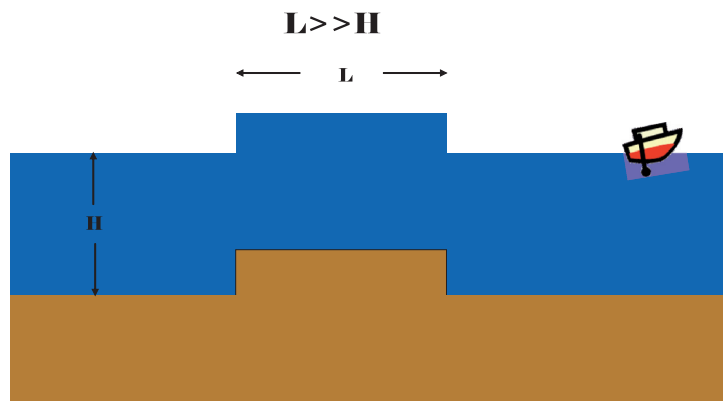


Figure 6

Another important thing to note is that tsunami's speed varies with the depth (Figure 7). At 5,000 m depth the tsunami speed is 800 km/h, just like an airplane. At 500 m is like a very high-speed bullet train, 250 km/h. As the depth becomes shallower, the speed becomes slower: 110 km/h at 100 m depth and 36 km/h at 10 m depth.

If you look at the height of the tsunami, offshore 5,000 m deep, you have a 1 m tsunami; maybe you cannot detect it if you are on board. You cannot feel this movement of the seawater. As the seafloor becomes shallower, on the other hand, you feel the height becomes larger and larger.

Seismic waves generated at the fault are much, much higher than the tsunami, because the seismic waves, P waves near/in the crust is almost 2,200 km/h, and it is very fast. S waves are slower in speed, but generate very strong motions. This is still 1,200 km/h, much higher than the tsunami. So, if you detect the seismic waves on land, you can locate the position of the earthquake immediately and also you can estimate the size of the earthquake before the coming tsunami. This is the system of the early warning of tsunami.

Tsunami Speed and Amplification

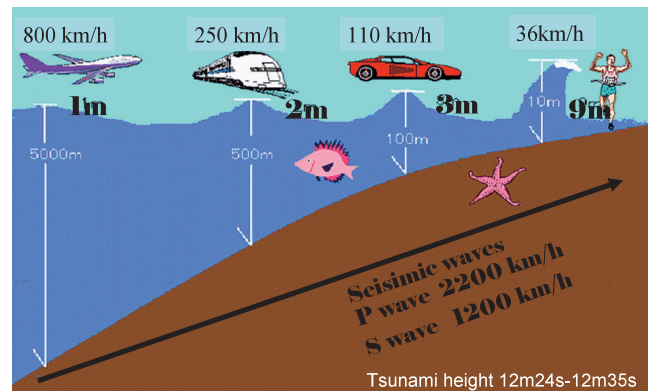


Figure 7

There is a big difference between tsunami and surge (Figure 8). A tsunami's motion goes down very deeply, so even at the seafloor, we can see the motion of the tsunami wave. If the surge wave is 20 m high, that dies out quickly in less than 10 m depth.

We do not know when, but we know that the next giant earthquake and tsunami could not occur so soon in this area. If we know these things, we can simulate tsunami waves beforehand. In seismology, calculation of tsunamis is the easiest case, compared to calculating or simulating strong ground motions. We can estimate how many minutes after the earthquake the tsunami will strike on each coast and what is the anticipated amplitude and so on.

Difference between tsunami and surge

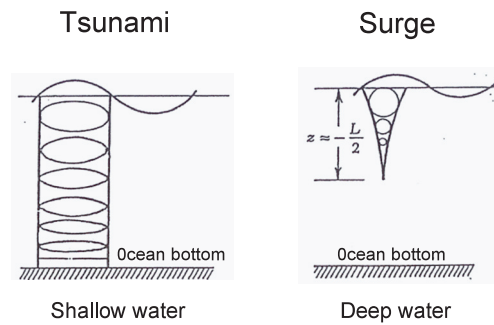


Figure 8

The Mechanism of the 2004 Aceh-Andaman Earthquake

We go back to the story of 2004 Aceh-Andaman earthquake and the mechanism. At the plate boundary of Indian and Eurasian plates, the earthquake occurs. The Indian Ocean plate subducted and the earthquake occurred (Figure 9). Recently, the Pakistan earthquake also occurred in a corner of the plate boundary. The magnitude of the 2004 earthquake was about is 9.3. We can also compare the site of Sumatra with the Philippine/Mindanao subduction, and the Nankai, Japan, by examining the data collected.

The fault is as long as 1,200 km and about 100 to 200 km wide. When an oceanic plate subducts beneath the continental plate, the portion of the strong contact between the two plates may be 100 km to 150 km wide, or sometimes even wider. Through time, the subduction causes some parts of the land to be uplifted while other parts experience subsidence. Finally, when the portion of the fault surface that is strongly in contact breaks, an earthquake happens and a tsunami takes place (Figure 10). Tsunamis and earthquakes take place simultaneously. Then, tsunami waves will be propagated.

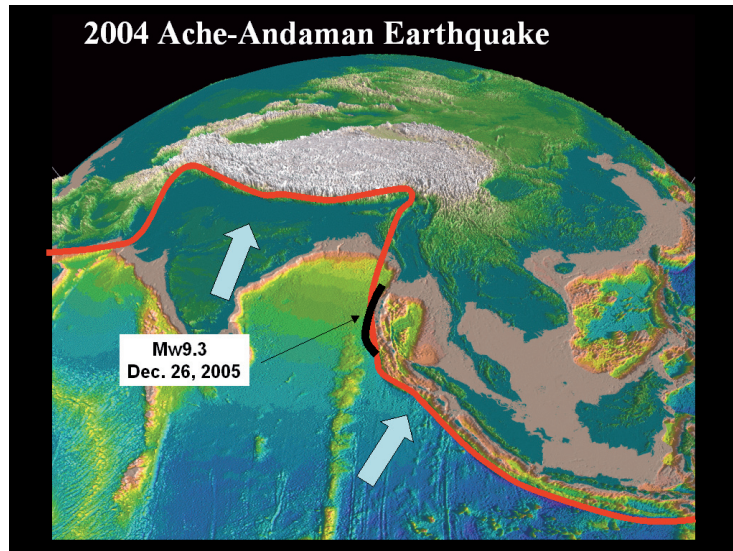


Figure 9

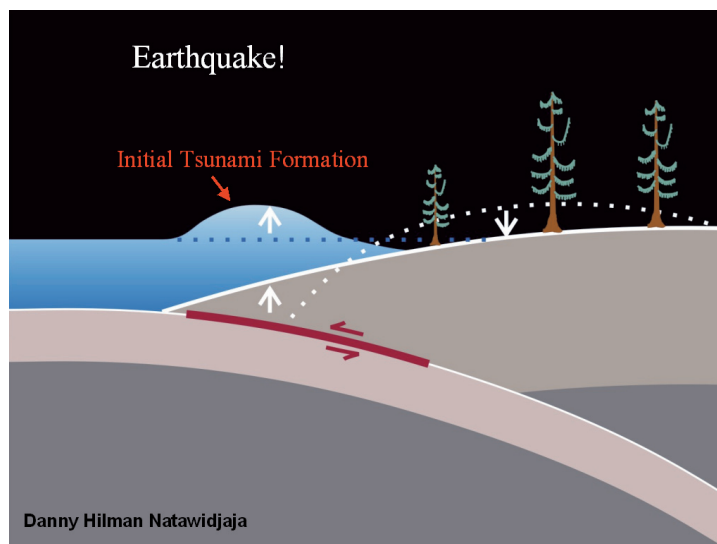


Figure 10 (by courtesy of Danny Hilman Natawidjaja, 2005)

You had a very large source of tsunamis offshore of Banda Aceh and you can see the asperities which have a large slip. They generated very large seismic waves (Figure 11). Although they are not as big as like the 2004 Sumatra earthquake, other earthquakes had occurred along the Aceh-Andaman arc with magnitude around 8.

Collaborating with Syiah Kuala University and Institute of Technology Bandon, Prof. Kimata's group of Nagoya University carried out the ground deformation survey by using GPS last May, and they estimate what happened at the time of the earthquake. According to his group, they seemed to find out the seismic source which generated the earthquake and big tsunami (Figure 12).

Earthquake fault model from GPS surveys in Aceh

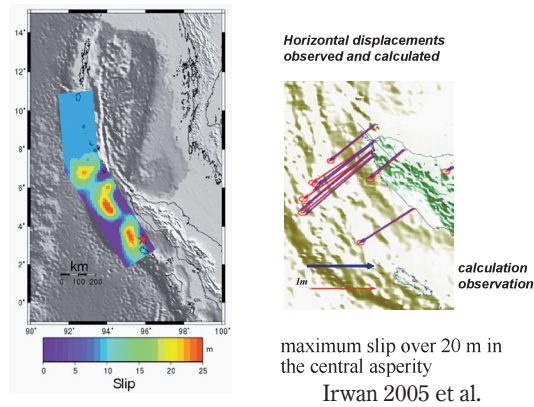


Figure 12

Asperity = Large Slip

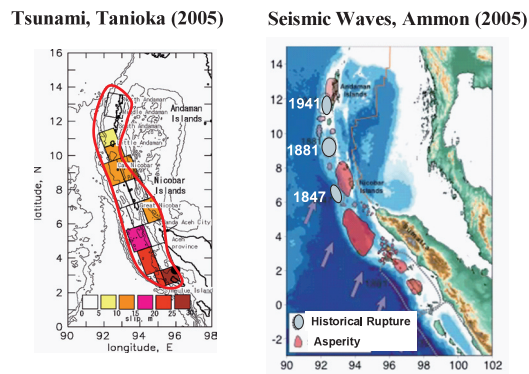


Figure 11

Based on the speed of subduction, we estimated 20 mm/year at maximum; it is quite slow compared to Japan, Chile and other places. Since the slip of the 2004 quake was 20 m., you can roughly estimate how many years you need to accumulate the strain. It needs about 1,000 years, which is a rough estimation for this big giant event. Of course this is not the interval of ordinary-size earthquakes. The interval for magnitude 8 or smaller earthquakes is really a much shorter period. Of course, we must watch carefully on such earthquakes.

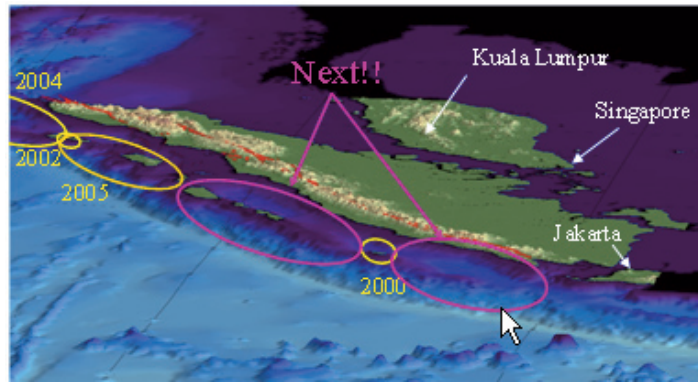
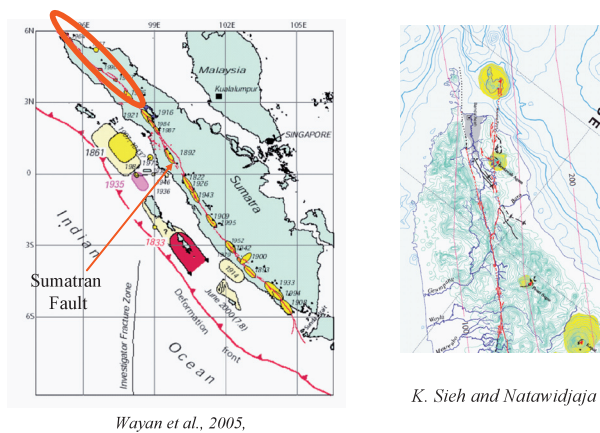


Figure 13

Active Faults in Sumatra



Wayan et al., 2005.

Figure 14

The Future of Sumatra Fault

In addition, I think the Sumatra fault is also still quite active. You should pay attention about this fault. Results of studies along this fault show high potential of occurrence of magnitude 6-7 earthquakes. However, nothing happened so far for the last 100-200 years. Earthquakes in this area, thus, it may be potentially in danger (Figure 13).

The Sumatra fault, in the western part of Aceh, is running along the foot of mountain (Figure 14). This is one of the biggest inland faults in the world. Next earthquake might occur along this Sumatra fault. If the fault friction is high, the fault cannot move, but if the fault happened to be reduced the stress normal to the fault, the fault would move much more easily.

Land was stretched by the 2004 earthquake

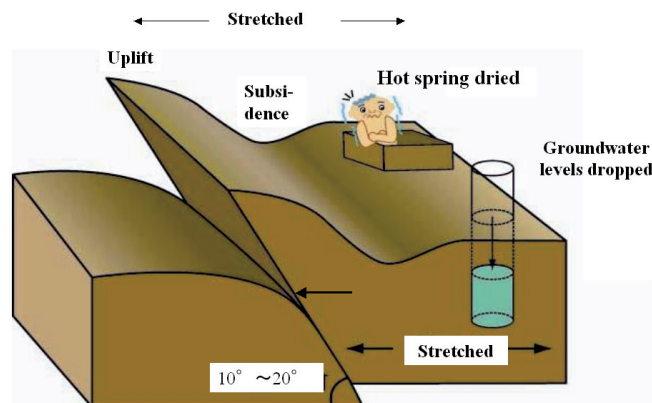


Figure 15

If the subduction earthquake happens, the land stretches out, and then, the compression on the fault is getting lower (Figure 15). The Sumatra fault has now normal stress decreased after the earthquake. That is the reason why I warn you; I am very concerned about that fault. I think this is very similar to the type of the 1995 Kobe earthquake. The 2004 earthquake was an offshore earthquake; it was a very giant earthquake. The Kobe earthquake was not big like the 2004 event, but if you have an earthquake that occurs just beneath your place, you feel the quake would be quite strong. It may last only 10-20 seconds; it is not so long, but you would feel a very strong ground shaking

I propose seismicity should be monitored along the Sumatran fault, because this portion has high potentiality for earthquakes to occur in near future. This is just an idea, but you should know the seismic activity by way of caution. A network is necessary to monitor seismic activity and quick earthquake information system. Also a GPS network is very important to know the condition of strain accumulation. We must collaborate for the understanding of the mechanism of earthquakes and tsunamis to minimize future disasters. Prime Minister of Japan promised to support the observation system, but so far Japanese government has done a little. You should tell them that we should collaborate with each other for the management of future earthquakes.

Q&A

(Q1) What is the difference in calculation between tsunamis caused by earthquakes and volcanic eruptions?

(Ando) I think I mentioned tsunami due to an earthquake fault. The mechanisms are still the same. But a volcanic eruption is not so simple, because you have explosions. So we must include an explosion term for tsunami simulation. You have to know how big that explosion pressure is and how much material is exploded out into the ocean. In that sense, it is a very complicated calculation.

(Q2) How does a volcanic eruption cause tsunami?

(Ando) If a volcanic eruption comes from that crack, some materials are pushed into the ocean, causing tsunami just like uplift or subsidence at the time of an earthquake. When you have an eruption, you would have pressure waves that also generate tsunami.

(Q3) Can you predict when earthquakes occur?

(Ando) At this moment prediction may be very difficult. Talking about the earthquake along the Sumatra fault or the earthquake along the Aceh fault, I think it was impossible. We might be able to predict, however, the subduction earthquakes like the Sumatra earthquake of 2004, but we are not quite sure. The possibility is still not high. We have now a monitoring system to predict big earthquakes, but I do not know if it will work or not. It is very difficult. We are hoping to predict, but we are not quite sure.

In addition, we do not know even whether the Sumatra fault is creeping or not. Creeping means moving without any earthquakes, like some portions of the San Andreas Fault in California and also some portions in the Philippines. Creeping does not cause any big earthquakes, just moves very slowly. This is the case of quite a safe fault. Prof. Kimata is measuring now whether the Sumatra fault is creeping or not. It can be helpful for understanding the future earthquake on the Sumatra fault.

(Q4) Was the 2004 earthquake affected the Sumatra fault?

(Ando) Yes, I believe the giant earthquake affected the Sumatra fault. Because the fault in 2004 has moved oceanward, the pressure on the Sumatra fault is decreased. That means the normal stress acting on the fault decreased. Then the friction becomes lower, and that increased the possibility of earthquakes. When the friction is high on the fault, nothing can move. If the friction becomes lower, however, the fault can easily move. If that is the case, the Sumatra fault is more likely to move now, which could result to an earthquake. I do not know how many years from now it will occur, but I think the fault today is in the stress level that could more easily move.

(Q5) People say that fishermen on boats offshore did not realize tsunami when it happened. Is it likely to occur?

(Ando) Yes, it is. It is quite understandable. The wave height offshore is not so high, maybe 1 m to 2 m. The wave length of the tsunami, however, may be 100 km or more. You cannot see such a long, long wave in the sea. Tsunami is not dangerous at all when you come across it offshore, but it is extremely dangerous on the coast. Nothing happens or affected much offshore. If we are on a boat, we do not have to worry about tsunamis. But it is very, very dangerous near and at the coast.

(Q6) If the 2004 tsunami would happen in Japan, could you survive from the big disasters?

(Ando) We would have many casualties, too. I do not know how many because we do not expect such big tsunamis in Japan. We just make the plans for the smaller tsunami by the earthquakes. Therefore, many people would surely be killed by tsunamis. However, in Japan, we have a warning system and maybe many

people could run away to the higher places. The problem in Japan now is that we have many tsunami experiences, but so many people do not evacuate, even when the warning is issued. I do not know how many people would be killed, but I am sure at least 10,000-20,000 people would be killed by tsunamis, or maybe more.

I would like to propose that you set-up your own seismic monitoring system for tsunamis, and you should have more people studying or researching or surveying for future earthquakes. We hope that you have some kind of center of the earthquakes at Syiah Kuala University along with the collaboration of Nagoya University.

(Q7) How big and how long was the fault in 2004?

(Ando) The 2004 Sumatra earthquake's length was 1,200 km. And the depth of the fault was approximately 200km. The slip of the fault is 20m. The magnitude of the earthquake is 9.3 registered as the third biggest event for the last 150 years in the world.

第4章 調査報告

1. 2004年アチェ・アンダマン地震と災害に関する 国際共同研究の課題と提案

木股 文昭 (名古屋大学環境学研究科)

1. はじめに

2004年アチェ・アンダマン地震は、マグニチュード9.2という世紀に数回の低頻度の超巨大地震であり、災害も25万人を超える犠牲者に達し世紀に1度となるほどの未曾有の大惨事だった。そのうち17万人を超える命がインドネシアのスマトラ北部のアチェ州で奪われた。その尊い犠牲者がアチェ和平を導いた。

この報告書が作成されたように、名古屋大学環境学研究科では地震発生以来、多くの研究者と学生が調査観測でバンダアチェを訪れ、研究科としての取り組みになっている。その取り組みの中で、この調査研究が地震災害に関する一つの典型になると考えている。そして、この調査研究が一つの国際共同研究のモデルケースを導くと私は考える。国際共同研究の観点から今後の課題を考察する。

2. なにゆえ国際共同研究が必要か

インドネシアは、今回の地震津波被災国の中でもっとも復興が遅れていると指摘される。たとえば、建物の再建築が海岸に面し町並みだけでなく、バンダアチェでは海岸から4kmも中でも必要のごとく、並外れた被害だけに、復旧がもっとも遅れても当然である。

また、被災時に戒厳令下であり、汚職で州知事が免職になるなど国や地方の行政が機能をなしていなかったことも一因である。復旧を指揮すべきアチェ州の知事が皮肉にもヘリコプター購入汚職で被災の日に公職追放になっている。被災時の現状から大暴動も予測されていた。

このような状況を考えて、アチェの人々の復旧に関する努力をきちんと評価しなくてはいけない。さらに、地震津波が契機になり、30年間も続いたアチェの独立をめぐる内紛も和平協定の締結とその実施が急速に進行するなど、注目に値する動きもみられる。

国際的な救援・支援活動抜きでは、これらアチェにおける復旧復興活動は語れない。もちろん、救援・支援活動において検討すべき課題は当然ながら存在する。しかし、その課題以上の成果が得られている。

世紀に数回というまれにみる超巨大地震、さらに世紀に1度あるかないかの未曾有の大災害となれば、これらの地震発生過程や災害復旧活動に関する調査研究も当然ながら国際性を帯びてくる。たとえば、すでに取り組みされているインド洋を中心とする津波早期警報システムの構築など、ある意味では国際共同研究事業のひとつでもある。

一方では、地震や防災に関して今さら基礎研究でなく、もう具体的な応用の段階との指摘もある。しかし、たとえば、提案されている津波早期警報システムが構築されれば巨大地震に関する防災が万

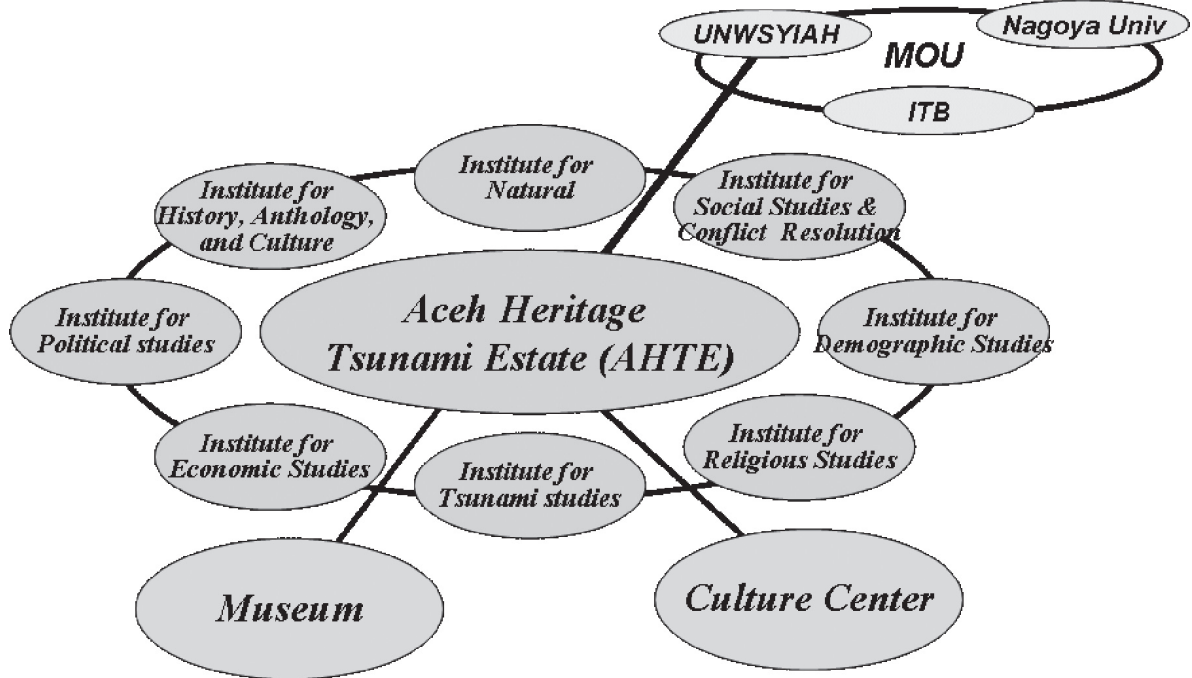


図2 Aceh Heritage Tsunami Estate (アチェ津波資料館) の構想。

なっていないが、ひょっとすると直下型の地震が近い将来にバンダアチェなどを襲う可能性も指摘できる。今度は震度7の地震が襲うかもしれない。アチェは、目の前のスダ海溝でのプレート沈み込み運動に伴う巨大地震と同時に内陸型の直下地震にも備えなくてはならない。海溝型巨大地震と内陸型直下地震の観測研究拠点を構築し、直ちにこの二つの地震に対する研究を進展させる必要がある。

もともと、これまで、独立をめぐる紛争が絶えず、戒厳令が引かれるような社会情勢では観測研究以前の問題だった。これまで、スマトラにおいてプレート運動や火山活動の解明を目的とする観測キャンペーンが実施されながらも、アチェ州だけは社会情勢を理由に外されていた。いや観測を実施すべきなのに実施できなかった状況にあった。そもそも外国人の立ち入りが禁止され、インドネシア人ですらアチェへの立ち入りが困難だった。

私たちはGPS観測などから今回の地震断層におけるすべり分布を議論している。20 mを超えるようなすべりが推定される場所では、地震前に沈み込むプレートとしっかりと固着していたに違いない。しかしながら、地震前のプレート沈み込み運動を詳細に議論できるような観測データが存在しない。また、地震時の滑り分布を議論するうえでも、プレート境界の深さ分布が残念ながら明確になっていない。なぜなら、詳細な地震観測がなされていないからである。そして、前述したスマトラ断層も地殻歪みが蓄積しているのか、蓄積せずにクリープ的なすべりが進行しているかも明確になっていない。

地震学の分野だけでなく、この報告書でとりあげたような地震時や地震後の復旧と復興における人々やコミュニティの行動は1回や2回の短期間のフィールドワークだけで残せるものではない。解釈よりも時と同時に消えていくデータを正確に残していくことが急務である。

たとえば、CNNやNHKで放映されたバンダアチェのグレートモスク前からの津波襲来のビデオ

は百の講釈よりも津波襲来のすさまじさを訴えるものである。しかし、図1に示すように撮影場所は津波襲撃域の外に位置する。グレートモスクあたりでは建物が倒壊していない。津波のすさまじい津波を訴えるには迫力のある映像だったが、本当の津波襲来を伝えるには不十分な映像である。あれが津波と誤解してはいけないのである。「海の壁」と評される津波はもう映像として残っていない。となれば、人々の思い出を中心に絵画として映像化する必要がある。そのためにも、バンダアチェで30 mの津波に襲われた実際の体験者からきちんとしたインタビューなどが絶対的に必要である。

現在、バンダアチェでは広島原爆資料館を模し、図2に示すような津波資料館創設の準備がなされていると聞く。広島原爆資料館が広島から平和の尊さを発しているように、津波資料館から社会的な分野を含めた地震津波学と防災が発進できるようになりたいものである。創設を進めるために、シャクアラ大学とバンドン工科大学との間で大学間協定が締結されたと聞く。幸いに名古屋大学環境学研究科は、この二つの大学と部局間協定を結び、学術交流などを進めている背景もあることから、津波資料館の創設とその効果的な運用に貢献したいと考える。ぜひとも津波国際資料館として、バンダアチェから世界に発信したいものである。

そのためには、これからの数年間が非常に重要な期間となることは確実である。私たちはこれまでバンダアチェに調査観測で訪れるたびに、シャクアラ大学で特別講義やセミナーを必ず実施してきた。今後のこの姿勢を貫き、現地での講義やセミナーだけでなく、短期や長期の留学生制度も活用していきたいと考えている。

さらに、チャンスを見つけて、バンダアチェに地震津波学に関する現地研究室を開設したいものである。現地研究室には研究者を日本から派遣するのみでなく、インドネシアの各地から招聘することも検討している。地震の専門家が存在しないバンダアチェにその基礎を築きたいと考える。

4. アチェの和平を恒久的なものに

以上述べてきたことを実現するためにも、アチェの和平の維持発展が絶対に必要である。とりわけ、計画する研究は社会学分野も含め長い調査観測期間が必要となる。そのためにも、和平をより発展させなくてはならない。これは基本的にはアチェの人々に大きく依拠する。しかし、地震の復旧活動で、国際NPOの一部は、国軍により立ち入りが禁止された地域では、その周辺域で積極的に支援活動を行い、立ち入りが禁止されている地域の住民から国軍に対して、国際支援をリクエストさせ、立ち入りを解除した教訓を有する。

地震と津波を対象とする研究でも、国際的な成果をあげ、和平を支えることができれば本望である。そのデータは十分に存在していると考えられる。

2. Learning to Live with Earthquakes and Tsunamis for the Safety of our Children's Children

Glenda M. Besana, Dr. Sc.

(Research Center for Seismology, Volcanology, and Disaster Mitigation

Graduate School of Environmental Studies

Nagoya University

Nagoya, Japan)

Introduction

The focus of my presentation would be to show you examples of disasters from earthquakes and some ways or examples to lessen the loss and damaging effects of future hazards like earthquakes and tsunamis.

At this moment, I am sure that due to your own experience of the December 26th, 2004 tsunami here in Banda Aceh, it is natural that you would have the impression that tsunamis and earthquakes are synonymous to disaster; that earthquakes and tsunamis mean strong ground shaking, collapsed buildings and gigantic waves; that earthquakes and tsunamis mean thousands of casualties and hundreds of people left homeless; that earthquakes and tsunamis mean the devastating events like in Philippines in 1990, the 1995 quake in Kobe, the 1999 event in Taiwan, the 2002 tremblor in Afghanistan, and the most recent 2005 event



Figure 1: Few examples of destroyed structures during strong earthquakes in various countries. Clockwise: the elevated highway in Kobe, Japan; the destroyed bridge in Taiwan, collapsed building in Turkey; and totally destroyed building in Baguio City, Philippines.

in Pakistan where thousands of lives are lost and numerous buildings and houses were destroyed (Figure 1).

Disaster Mitigation

But this afternoon, I would like to show you that when we talk about disaster or disaster mitigation, “disaster” is the catastrophic product of our “vulnerability” to hazards and the “hazard” itself. So the magnitude or size of disaster would depend on our vulnerability or in other words “how safe or how dangerous” our current location/setting relative to hazards like earthquakes and tsunamis. Of course, there are many other kinds of natural hazards like flood, typhoons, fire, volcanic eruption, etc. and manmade hazards like war, fire, plane crash etc. But for this afternoon I would focus on natural hazards like earthquakes and tsunamis.

Disaster = Vulnerability X Hazards

In this equation, we should remember that our hazard is earthquake or tsunami. Since they are natural phenomena, we have no way to control or predict their occurrence. But if we would focus on the vulnerability factor, we should be able to realize that we have some kind of control on how much we would allow ourselves to be vulnerable to such hazards. Vulnerability means the susceptibility or exposure to the hazards. Thus, in a given large amount of hazard, if our vulnerability is high, apparently, the disaster would be large. But with the same size of hazard in a low amount of vulnerability, the disaster would be much less. We can likewise say that, somehow even if the hazard is relatively low, the disaster could be huge IF the vulnerability is quite high.

Disaster mitigation is just like going to war or preparing for a class examination. We would have much chance to win if we know our enemy or we would have a high chance of passing the exam if we would study our lessons well. So in the case of natural disasters, we can mitigate future disasters if we would know more about earthquakes and tsunamis. AND if we have enough information about the characteristics of the hazards, we would know how we can lessen our vulnerability to such hazards.

Earthquakes and earthquake hazards

So, for this presentation we would learn things about earthquakes and tsunami. I would also present the tectonic condition of Sumatra region, some technical terms we use when we discuss earthquakes and tsunamis. And lastly, some possible ways on what we can do to mitigate future disasters especially as students and teachers of Syah Kuala University or just being the part of your own local community.

The subduction of the Indian Plate along the Sunda trench beneath the western boundary of Sundaland produced the volcanoes in the region and the Sumatra fault. Since the previous speakers had already discussed the basic mechanism or processes of earthquakes and tsunami, I would just show you the simplified diagram showing the current tectonic condition in Sumatra (Figure 2).

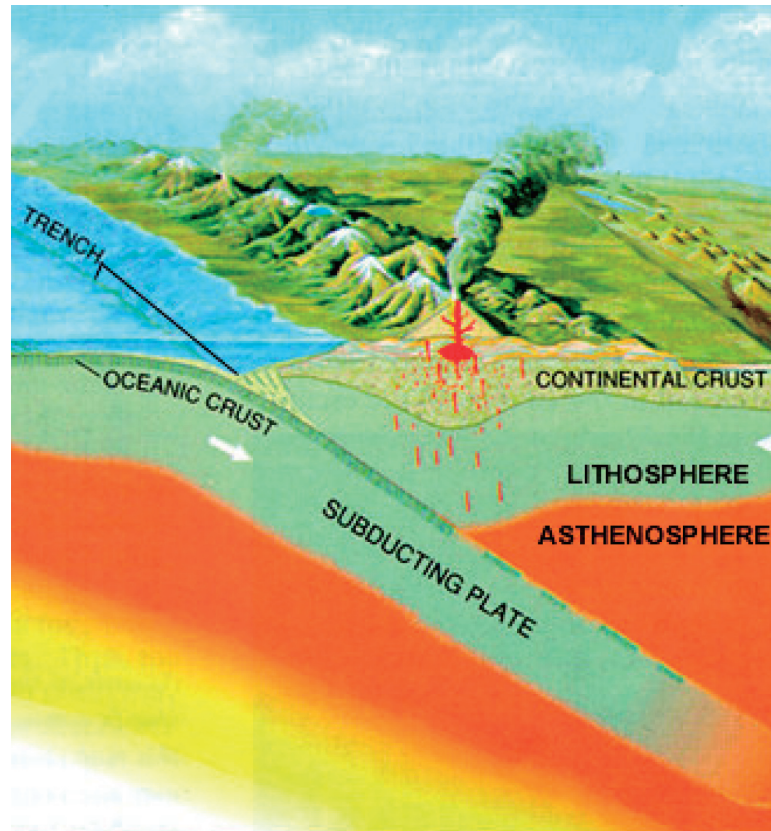


Figure 2: Schematic diagram showing the tectonic setting of in Sumatra region. Adapted from The Dynamic Earth.

Figure 3 shows the location of the different plates and continents hundreds and millions of years ago.

Based on Figure 3a and 3b, we can see that the plates had been moving from one place to another and relative to each other. Seven hundred fifty (750) million years ago, Sumatra had been in the northern hemisphere. Five hundred (500) million years ago, it has migrated into the equatorial area. It is also one of the first fragments to move northeastward 250 million years ago before the collision of the Indian Ocean plate to the Eurasia plate.

We should always remember that all these movements took millions of years. It should also be noted that all these movements are accompanied by earthquakes, both small and big earthquakes to accommodate the hundreds of kilometers of plate motion.

In the next figure (Figure 4), the Sumatra island has been and is still being pushed north northeastward. The stress during this push was and is being accommodated by the Sunda trench and the Sumatra fault as shown in Figure 5.

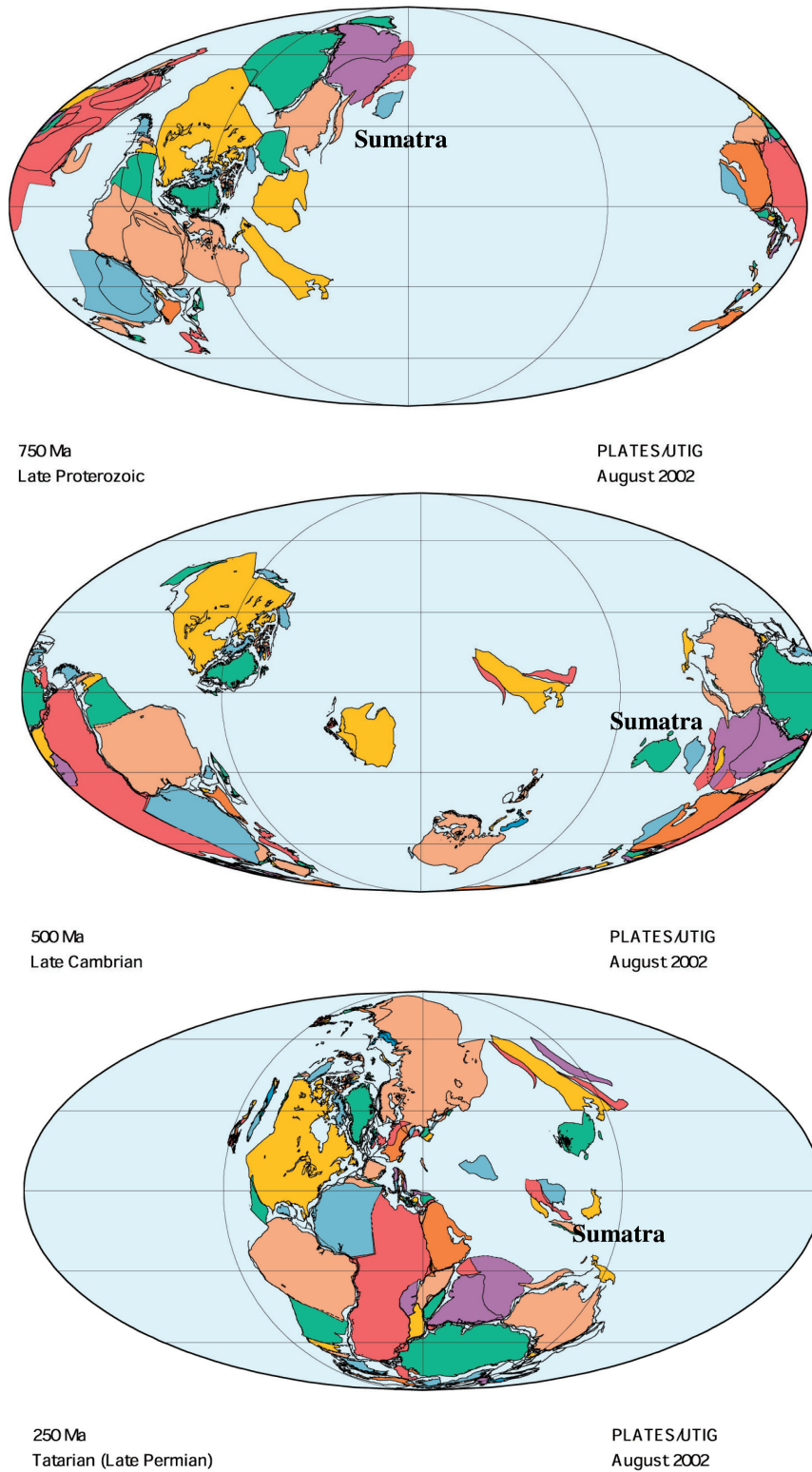


Figure 3a: Schematic diagram of the location of different tectonic plates 750, 500 and 250 million years ago based from Lawyer et al., 2002.

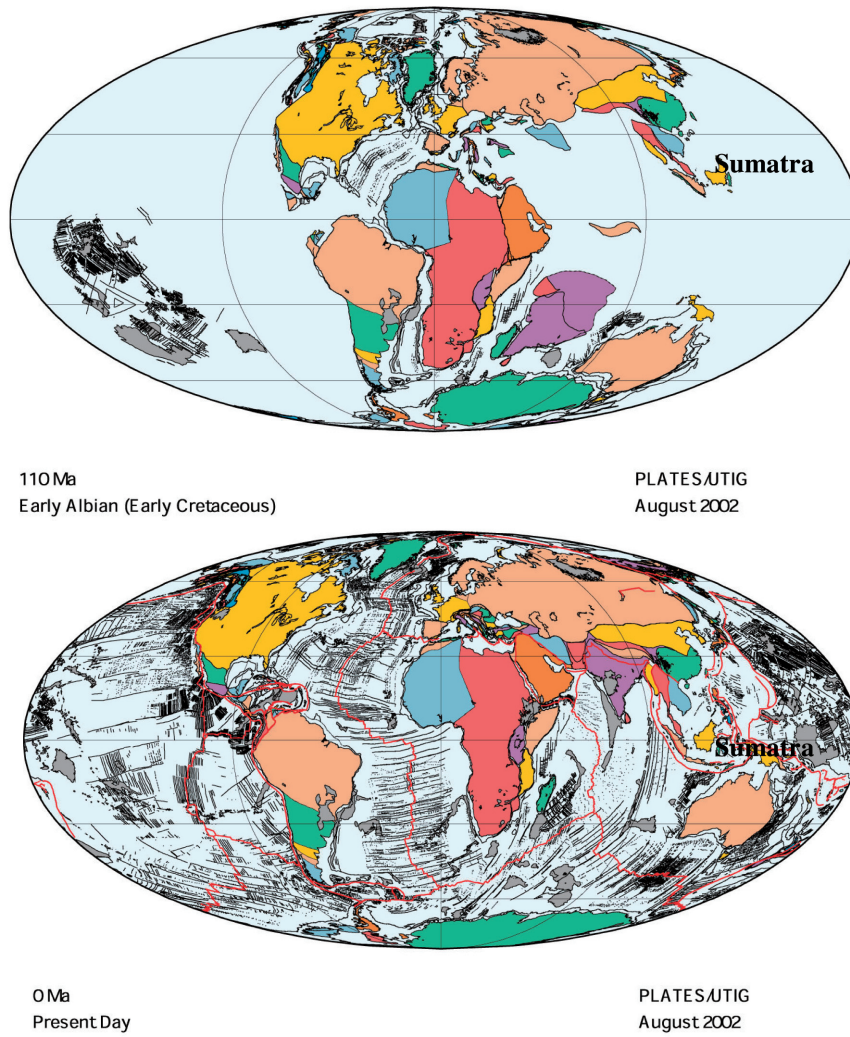


Figure 3b: Schematic diagram of the location of different tectonic plates 110 million years ago and the present day location based from Lawyer et al., 2002.

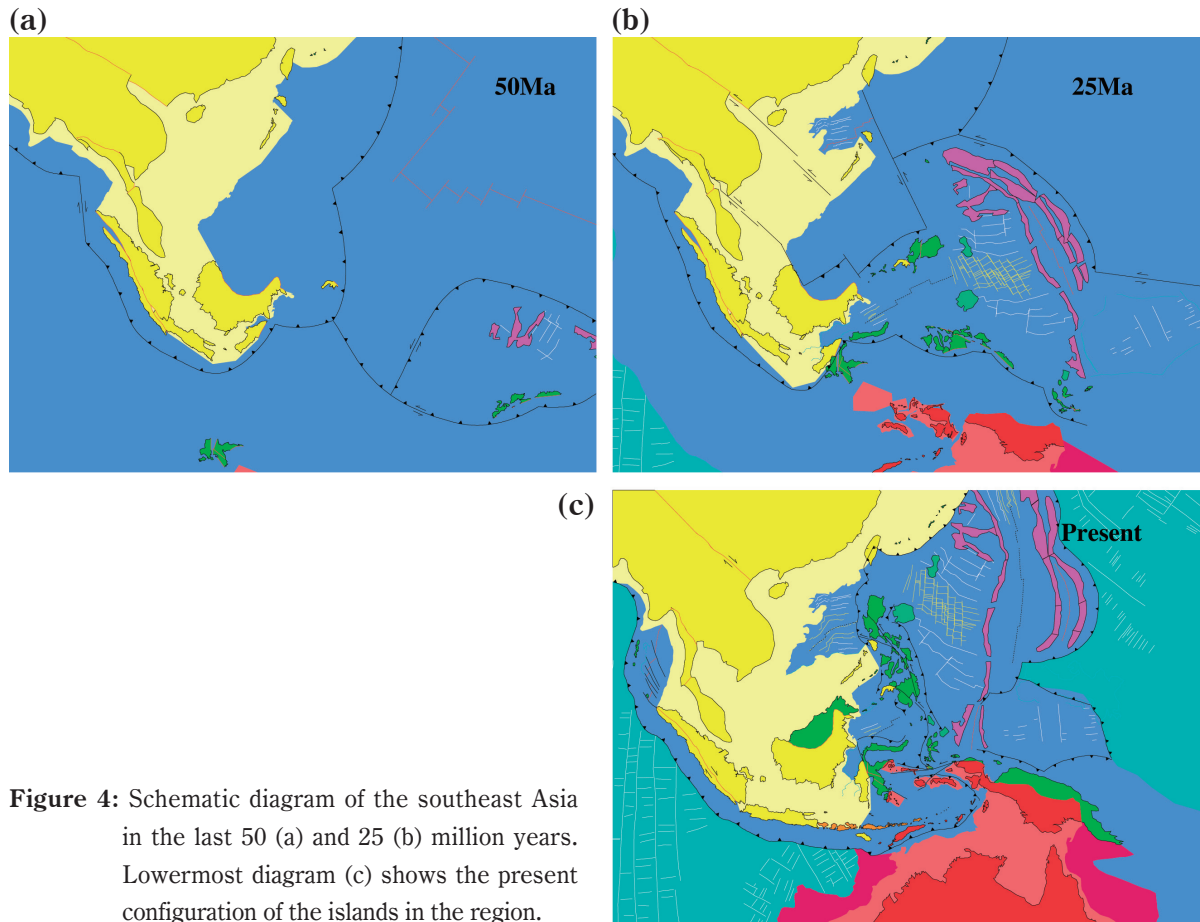


Figure 4: Schematic diagram of the southeast Asia in the last 50 (a) and 25 (b) million years. Lowermost diagram (c) shows the present configuration of the islands in the region.

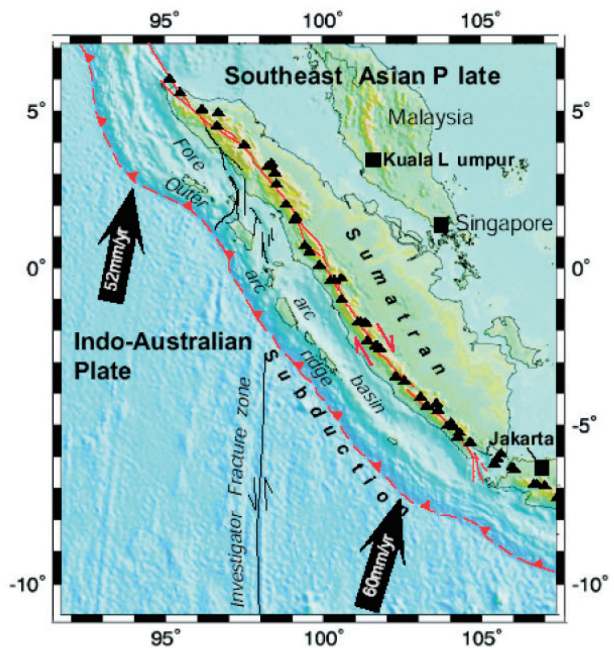


Figure 5: The tectonic features in the southeast Asia. Solid triangles are volcanoes, red line across Sumatra is the Sumatra fault and the dashed line with hachures is the Sunda trench. Adapted from Wayan et al., 2005, Preliminary Report: Aceh EQ and Tsunami Disaster.

Earthquake generators in Banda Aceh

Trenches and active faults are structures that produce large earthquakes. So based from Figure 5, the whole of Sumatra and particularly the Banda Aceh area is susceptible to earthquakes because of the presence of the Sunda trench and Sumatra fault. Sunda trench had been documented by various studies to have produced large magnitude earthquakes in the past with most probable recurrence interval of about 1000 years from its northern extension in Andaman islands down to the southern portion of the Sumatra island. However, most of the studies had been concentrated south of the Banda Aceh area. Even from the review of historical data, the 2004 tsunami is the first tsunami to have hit Banda Aceh in the worst way. The large known tsunami events in the region occurred in the Nicobar and Andaman islands and in the central and southern part of Sumatra (Figure 6).



Figure 6: Photo of tsunami-affected area in Aceh Besar (Besana, 2005) and one of the uplifted microatolls found after the 2004 tsunami (Natawidjaja, 2005). Adjacent map shows the recorded earthquakes along the Sunda trench and Sumatra fault from Wayan et al., 2005, Preliminary Report: Aceh EQ and Tsunami Disaster.

Microatolls shown in Figure 6 are also found in the south western shores and islands of Sumatra. This is a clear indication that the whole stretch of shorelines fronting the Sunda trench had been affected by the sudden uplift or subsidence in the region caused by the subduction earthquakes.

Estimate of the size and location of the 2004 tsunami was also investigated previously by Ortiz and Bilham (2003). Their results gave a good estimate of the size and location of the earthquake based on the

events in Andaman and Nicobar islands about 50- 100 years ago. However, based on the local and spoken literature, there seems to be no previously known or significant tsunami in Banda Aceh. This is in big contrast to the islands located south west of this area like Nias island where there is local word for tsunami and stories about local tsunamis. People in the island even knows well what to do in case they felt strong ground shaking and/or notice the unusual lowering of sea level after the ground shaking. However, the lack of recent tsunami in Banda Aceh aside from the 2004 event is likewise deduced from the preliminary results of field surveys about tsunami deposits and boulders (Figure 7) by Besana (2005). Field surveys showed no other boulder deposit in the area even south of the city where the waves were much higher and with faster speed.

Figure 7: Tsunami boulders at least 3m x 2m x 2m in dimension & was transported by the 2004 tsunami waves found in Lhok Nga, Banda Aceh.



From the Sunda trench, the most vulnerable areas from earthquakes and tsunamis in Sumatra are the western coasts especially those low-lying areas. These areas are usually made of sand deposits like sandspit and beach berms that can be easily eroded by large waves. However, since the epicenter of the earthquakes originating from the Sunda trench is far from the island, the ground shaking related to the quake may not be that strong. Thus, collapse of structures may not be that substantial to cause damage except for weak and/or poorly built buildings and houses.

On the other hand, the other source of big earthquakes in Banda Aceh is the Sumatra fault. This particular fault has two known traces in Banda Aceh. The eastern fault transects the eastern and northern portion of Aceh and goes to the sea in Krueng Raya area. The nearest source is the western splay of the Sumatra fault as shown in Figure 7. Note that the splays of the Sumatra fault bound the southwestern portion of Banda Aceh. Due its proximity compared to the Sunda trench that is more than 300km away, the city of Banda Aceh would surely experience strong ground shaking when an earthquake occurs on either splays of the fault.

Although there was a study that shows that this portion of the Sumatra fault is possibly creeping (e.g. moves slowly without any accompanying large earthquake), further studies are necessary to investigate this structure and to confirm its creeping characteristic. At the moment, the best thing we can do is prepare for a major quake comparable to the Kobe or Philippines earthquakes of 1995 and 1990, respectively or for at least a magnitude 7 event.

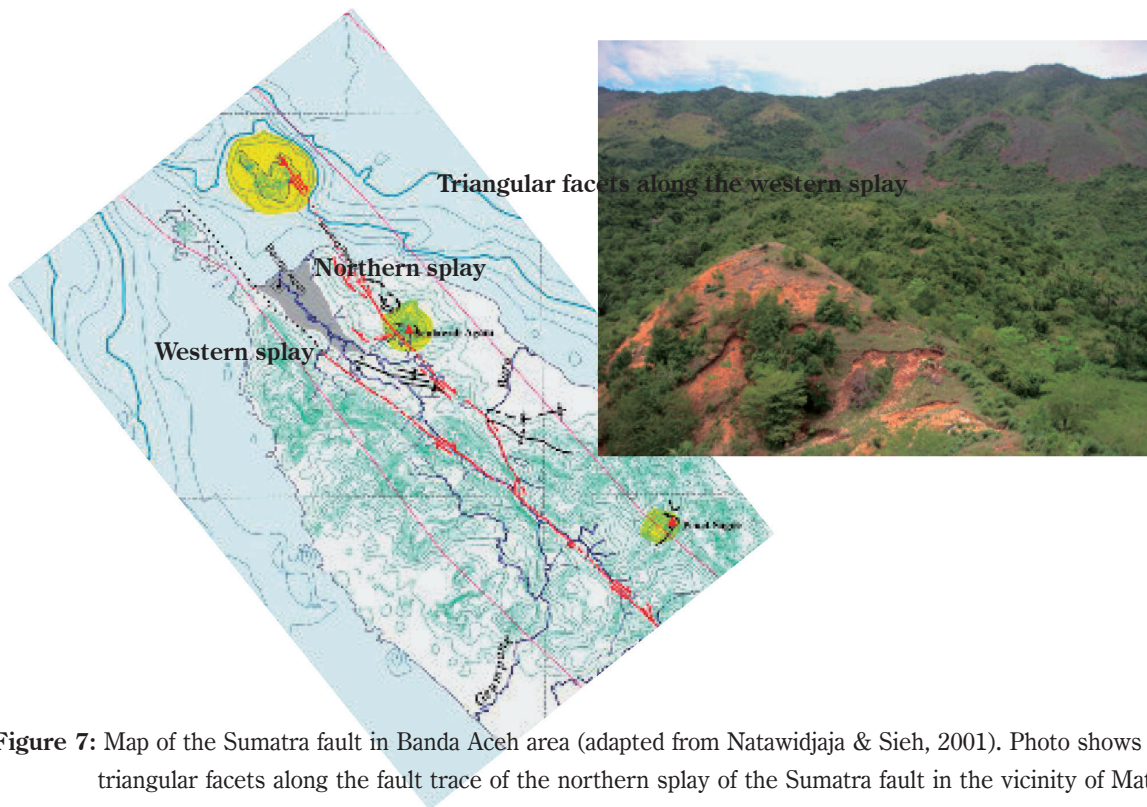


Figure 7: Map of the Sumatra fault in Banda Aceh area (adapted from Natawidjaja & Sieh, 2001). Photo shows the triangular facets along the fault trace of the northern splay of the Sumatra fault in the vicinity of Matair, Banda Aceh.

Disaster preparedness

One way to address the need for disaster mitigation is by reducing the level of the area's vulnerability to earthquakes and tsunamis. Reducing the vulnerability of Banda Aceh to earthquakes and tsunamis can be done in various ways. One way is to install seismic network and warning system like what Dr. Ando and Dr. Kimata had already mentioned.

Another practical way is through education and practical ways to make our homes and work space a safer place to be all the time. This is a disaster preparedness that can be done by the local inhabitants with some help from earthquake experts and disaster managers.

For example, one of the causes of injuries during earthquakes is when people panic during the strong ground shaking. People would shout, cry and run in all directions in an attempt to save themselves. Usually, unnecessary injuries are produced during this situation. Such situation or commotion can be minimize or even avoided if the people knows what to do during the earthquake. One way to minimize this is through education and make the people aware of what they need to do in such situations like go under the table for cover; or go out of the building calmly; or know the exit points of the building where they work; or the building owners display the map of buildings, their exits and safe areas in the building; or evacuation areas and routes are well known by the people or easily accessible by visitors and foreigners in the city. In short, we can reduce panic if we can assess the condition of the city, the existing structures, all basic lifelines, and our people are well informed of what they need to do when an earthquake occurred.

In school and in government offices, earthquake drill could be undertaken regularly like at least once a year. The whole city can also undertake a simultaneous drill and/or designate safe areas, lead persons and agencies that would be mobilized during emergencies.

These are just examples of what we can do. Even in our home and our neighborhood, we can start simple things to make our surroundings safer for our family even during earthquakes. Like what are shown in Figure 8. falling materials like plates, broken glass, or heavy shelves could cause injuries or even death in case of a collapsed fence. Such condition can be avoided if we would be conscious of our surroundings.



Figure 8: Photos showing things that had fallen inside houses and offices after the Kobe earthquake in Japan during the 1995 earthquake. Lowermost photo also shows a concrete fence that collapsed during the same earthquake.

The same can be said in another level like in terms of construction and engineering practices for houses and buildings. Somehow, we should be conscious and strict in constructing big buildings because these are the usual structures that cause numerous injuries and deaths as can be seen in Figure 1.

Summary and conclusions

Due to its tectonic conditions, Banda Aceh is susceptible to strong earthquakes. The two major earthquake generators present in the area are the Sunda trench and the Sumatra fault. From the Sunda trench, major tsunamis are expected making the shoreline areas highly vulnerable to tsunamis. Based on historical data, such event has very long recurrence interval.

The other earthquake generator is the Sumatra fault. Since it is located just adjacent to the city, a major earthquake from this structure would surely cause more devastation to Banda Aceh in terms of strong ground shaking. However, since there are very few studies undertaken for the Sumatra fault in this area, further studies are necessary to ascertain the size of future earthquakes from this fault and its recurrence interval.

At this moment, the most practical thing to do is initiate the disaster preparedness efforts and reduce the vulnerability of the city to future major earthquakes. We can do this from our homes, inside the classrooms and even in our workplace. From earthquake drills to seminars or meetings like this, we can start educating our people in many simple ways to mitigate the earthquake disaster in Banda Aceh. We can make Banda Aceh a safer place for everyone especially to our future generations (Figure 9) during the potential earthquakes.



Figure 9: Photo of kids getting ready to pray inside of a mosque in Lhok Nga.

3. Report of GPS Observations at Simeulue and Nias Island due to the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake and 2005 Nias Earthquake

Agustan

(Agency for Assessment and Application of Technology (BPPT), Indonesia)

1. The GPS Observation at Simeulue Island, March 2005

The GPS Observation at Simeulue Island is conducted on 1st-8th March 2005 by Nagoya University, ITB and BPPT. Team members for Simeulue Island are Agustan (BPPT) and Angga Yuda Prawira (ITB). Small airplane from Medan which is operated by SMAC (Sabang Merauke Air Chartered) is used to access this island. The traveling time from Medan to Sinabang, the capital of Simeulue Regency is about one hour.



Figure 1
Agustan



Figure 2
Angga Yuda Prawira



Figure 3
The SMAC Airplane

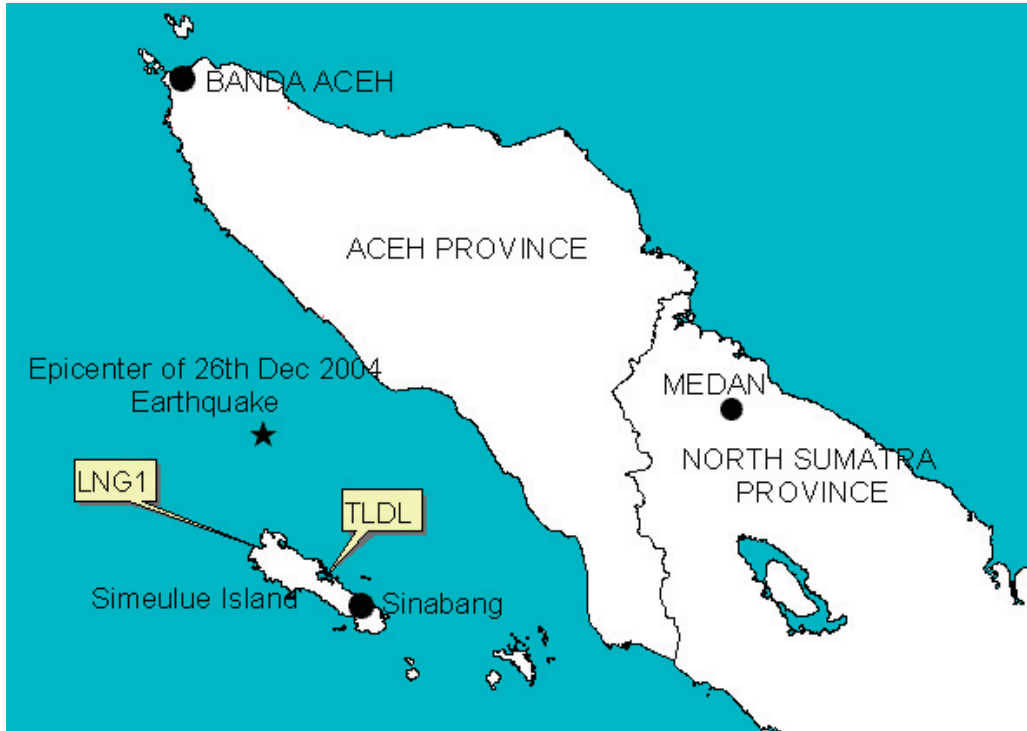


Figure 4
The Map of Simeulue Island

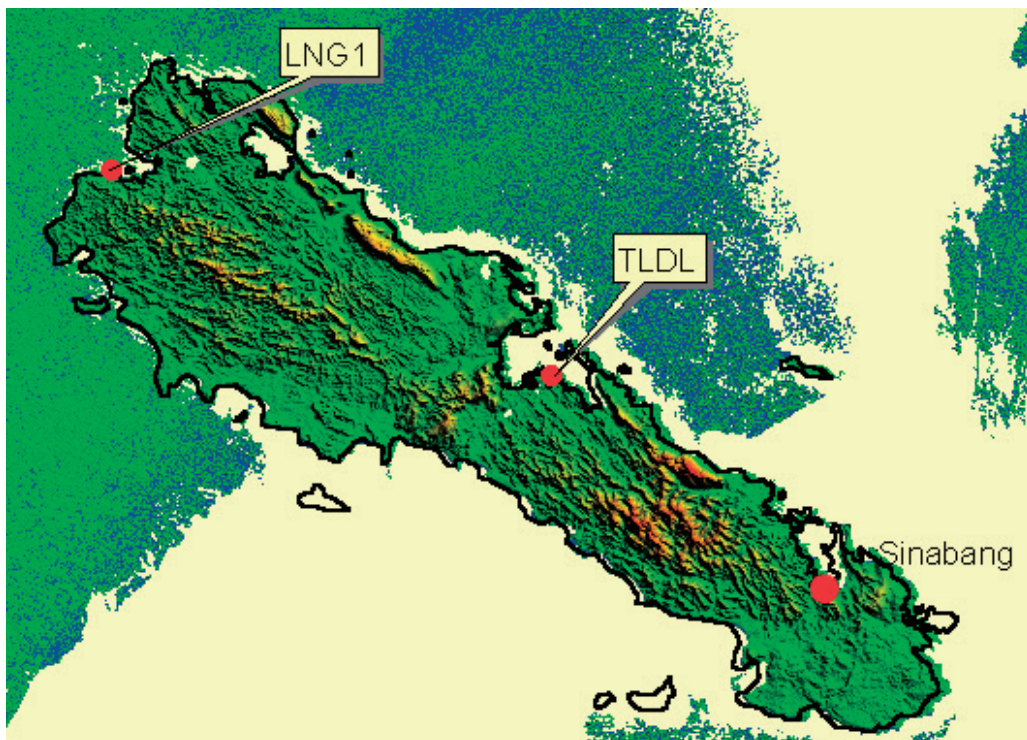


Figure 5
The Location of GPS Observation at Simeulue Island

The location of the GPS observations can be seen in Figure 4 and Figure 5.

The GPS points are located in Telukdalam, is about 4 hours traveling from Sinabang by boat; and in Langi which can be reached also by boat after 4 hours from Telukdalam. The GPS point in Telukdalam is constructed by Bakosurtanal, on the other hand, the GPS point in Langi is newly constructed.



Figure 6

The Boat That Are Used During The Observation

The GPS points can be seen in Figure 7 and 8.



Figure 7

The GPS Point in Telukdalam



Figure 8

The GPS Point in Langi

During the observations, helps from local people are very important in succeeding the GPS campaigns. Figure 9 and 10 show the local people who help us during the observation.



Figure 9

From Left: Jalal, Agustan, Pak Azhari and Pak Ahyar (Local People from Sinabang)



Figure 10

Agustan and Pak Umar Jaya in front of Refugee Temporary House, Langi

2. The GPS Observation at Nias Island, April 2005

The GPS Observation at Nias Island is conducted on 1st-8th April 2005. Team members are Agustan, Rahadian and Meuthia Poespo (BPPT). Due to the 8.7Mw Nias Earthquake on 28th March 2005 and evacuation program, the island is reached by the battle ship (KRI Pati Unus). The traveling time from Sibolga to Gunungsitoli, the capital of Nias Regency is about 6 hours by the battle ship.

The GPS observations are located at Binaka (Nias Island) and Sibolga (North Sumatra Province).



Figure 11

Pati Unus Battle Ship Ready to Nias Island from Sibolga



Figure 12

The Map of Nias Island



Figure 13
The GPS Point at Binaka



Figure 14
The GPS Point at Sibolga

3. The GPS Observation at Simeulue Island, May 2005

The GPS Observation at Simeulue Island on 10th – 19th May 2005 is conducted by Nagoya University, ITB, Syah Kuala University and BPPT. Team members for Simeulue Island are Agustan (BPPT) and Rizal (ITB). This campaign is the re-observation of the two points which are observed on March 2005 (Telukdalam and Langi). Therefore the location and local people are exactly the same as before. However, the GPS point at Langi have been constructed in concrete under supervision by Pak Umar Jaya, head of Langi village.



Figure 15
Rizal from ITB



Figure 16
Concrete GPS Pillar at Langi

Acknowledgements: Prof. F. Kimata, Dr. Yana T. Anggadiredja, Dr. Yusuf Surachman, Dr. Ridwan Djamiluddin, Team members from international collaboration between Nagoya University, Bandung Institute of Technology (ITB), Syah Kuala University, BPPT, local people in Simeulue Island, Nias Island, Medan and Sibolga.

4. GPS measurement of coseismic displacement in Aceh province after the 2004 Aceh-Andaman earthquake

Meilano Irwan^{1,2*}, Yasaku Oota¹, Dudy Darmawan², Heri Andreas², Hasannudin Z. Abidin², Mipi A. Kusuma², Didik Sugiyanto³, Agustan⁴, Takeo Ito¹, Fumiaki Kimata¹

1:Research Center for Seismology, Volcanology and Disaster Mitigation Nagoya University Japan

2:Dept. of Geodetic Eng. Institute of Technology Bandung, Indonesia

3:Dept. of Physics, Syiah Kuala University Aceh, Indonesia

4:Agency for Assessment and Application of Technology, Indonesia

1. Introduction

In the early hours of 26 December 2004, an unprecedented massive earthquake off the coast of Sumatra produced the most devastating tsunami in history. It owes the death of over 250,000 people and affected many countries in southeast Asia and Africa. It was the largest earthquake to occur since the advent of global digital seismometer. Shifts in the sea floor displaced more than 30 km³ of seawater, generated tsunami traveled to the Antarctic, the east and west coast of Americas and the Arctic Ocean (Lay et al., 2005). No point on this Earth remained undisturbed. None of the scientist, since the first tectonic observation in Sumatra a century ago, could have foreseen such magnitude earthquake could happen in Aceh-Andaman. The great of the disaster convey a message to all earth-related scientists to make detail reports and documentations for what already happened so in the future we may prevent such many lost of human lives.

This report describes an effort to understand what had happened in Aceh on December 26, 2004 in term of earthquake slip distribution. This research is part of research cooperation between Nagoya University, Kochi University, Institute of Technology Bandung (ITB), Syiah Kuala University (UNSYIAH) and Center for the Assessment and Application of Technology (BPPT). We have conducted three times GPS observation in Aceh and Northern Sumatra Province since February 2005.

2. General background

The 2004 earthquake ruptured the boundary between the Indo-Australian plate, and the southeastern portion of the Eurasian plate. The Indonesian ocean lies along a highly oblique convergent margin between Australian plate, which moves 40 to 50 mm/year, and Eurasian. Along the west coast of Sumatra the oblique convergence is partitioned into subduction at trench, which is nearly perpendicular to the arc and arc-parallel motion of forarc along the Sumatran Fault (McCaffrey, 1987). The result of campaign-style GPS measurements (Prawirodirdjo et al., 2000) show the area of 1833 rupture moved in the direction relative to plate motion, which indicate subduction interface is fully locked. Oblique, but predominantly thrust motion occurs in the Andaman trench with a converge 15.3 mm/yr obtained from recent GPS observation between Bangalore and Port Blair (Paul et al., 2001). The Andaman sea ridge-

transform system, an oblique back-arc spreading center, accommodates the remaining plate motion joining to the Sumatra fault by a fracture zone.

The historical record along this boundary is poor because the population in this region kept no records. Historical great earthquakes (figure 1) are recorded in 1797 ($M \sim 8.4$), 1833 ($M \sim 9$), and 1861 ($M \sim 8.5$), 1881 with tidal wave (Ortiz and Bilham, 2003). Historical record of shaking and tsunamis suggest that the 1833 and 1861 events involved rupture of all or most of the interface between about 20N and 50S (Genrich et al., 2000). A sequence of great earthquake in 1883 and 1861 in Sumatra progressively approached the region of the 1881 (Sieh, 2005). The 28 March 2005 event ruptured the same region as the 1861 and 1907 (Lay et al., 2005).

The rupture of 26 December 2004 earthquake initiated in the Indonesian ocean just north of Simeulue islan, off the western coast of Aceh, Indonesia. Ammon et al., (2005) report the analysis of P waves and reveals that during its first minute the earthquake broke a 100-km patch of the plate boundary rather slowly northward. The rupture then accelerated to 3 km/s for next 4 min and thereafter maintained an average speed of about 2.5 km/s for a further 6 minutes.

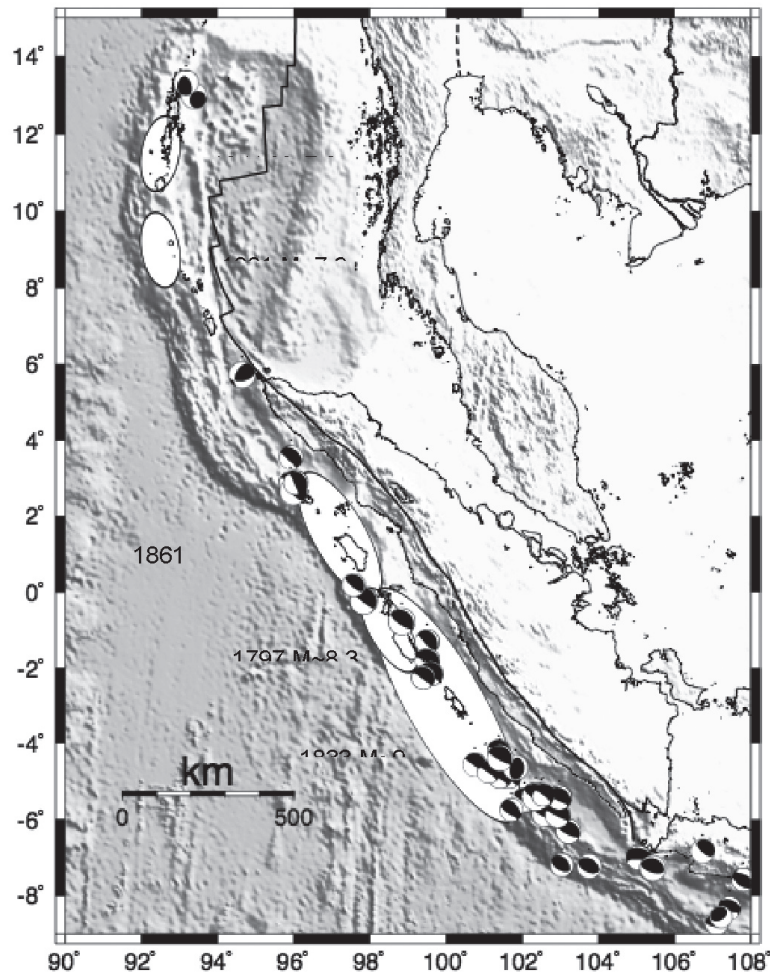


Figure 1
Location of historical large earthquake rupture along the Sunda-Andaman trench system. The beach balls are Harvard double couple solution for earthquake larger than 6.

3. GPS observation in Sumatra before the 2004 Earthquake

The first geodetic measurements of coseismic deformation were made on the island of Sumatra during the course of triangulation survey in 1880s and 1890s (Prawirodirdjo et al., 2000). These data, which indicate right lateral motion in NW-SE direction were later referenced by Ried as evidence for his famous elastic rebound theory of elastic cycle survey (Prawirodirdjo et al., 2000). The GPS network in Sumatra was initiated in 1989 (Bock et al., 1990) under 5 year GPS project in Sumatra, GPS Geodynamics Project in Sumatra (GPS-GPS). The total number of observed GPS points was 117 but unfortunately only about 10% of that located in Aceh province. For this research after the 2004 Aceh-Andaman earthquake we re-observed some of GPS-GPS points and also additional point constructed by Indonesian Land Agency (BPN) on January 1997.

The Indonesian Land Agency (BPN) collected GPS data before the earthquake during second order control points from December 1996 to January 1997. The observation used Leica SR261 single frequency receiver. The total number of observed GPS point in Banda Aceh city and west coast are about 60 (figure 2) spreading for about 100km-300km from the mainshock. In the middle of July 1997, members of the Agency for Assessment and Application of Technology, made high precision surveys at 3 GPS station in Banda Aceh city, and 1 in Weh island (north of Banca Aceh). They used dual-frequency Trimble 4000SSE receivers. One GPS point in Banda Aceh city was also used BPN as reference point for their observation.

Typical observation period for BPN network is 45 minutes to 1,5 hours. BPN used three receivers and conducted three observation period each receiver for a day. In order to make triangle size network geometry, each point was observed two or four times in average. Single-frequency receiver is relatively inexpensive but is less accurate than dual frequency receiver that can completely eliminate first order ionosphere effects. We reprocess the BPN network by using Bernese 4.2 software introducing SP3 precise orbit from IGS and ionosphere model from CODE Bern University. We used Search Algorithm for ambiguity resolution. Base on our experience, using only 30 minutes of observation data is enough the ambiguities and achieve an accuracy of about a centimeter. The disadvantage of Search strategy is the fact that either all ambiguities or none are resolved. Fail in ambiguity estimation can clearly be seen from standard deviation of position, which is usually larger than ten centimeters.

During processing we divided BPN network into two segment, Aceh segment and Lamno-Meulaboh. After baseline processing we estimate single position for each GPS point from multi session-multi baseline solution (Hugentobler et al., 2001). In this stage we chose one point in Aceh, which was observed by BPPT as fixed point for Aceh segment and one point Meulaboh which part of GPS Geodynamics Project in Sumatra observed in 1997 and 1998 (Bock et al., 2003) as fixed point. By fixing two points which was tied to a consistent reference frame ITRF2000 (Zumberge and Liu, 1995) the global coordinate of BPN network can be estimated.

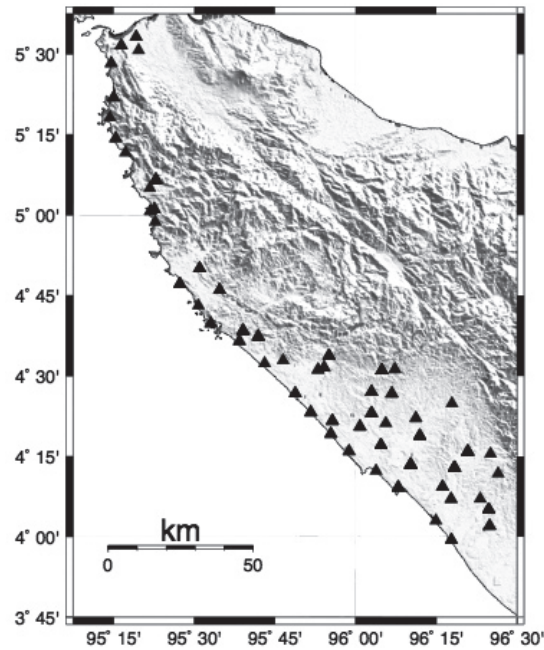


Figure 2
Network of GPS point observed by National Land Agency from
December 1996 to January 1997.

4. GPS observation after the 2004 Aceh-Andaman earthquake

The main objective of our result is to infer detail slip distribution on Aceh segment of the 2004 Aceh-Andaman rupture area. Unlike in Japan where the continuous GPS network is very dense (Sagiya, 2004) in Indonesia continuous GPS network relatively sparse and do not extend close to the rupture area. The campaign survey-mode is the only means for discussing detail slip distribution in Aceh segment. This data have much more complete spatial coverage, though also much less temporal coverage.

We have conducted Campaign GPS observation around Aceh area on 1-7 March 2005 (figure 4.7a), 9-16 May 2005 (figure 4.7b) and 22 November 2005 - 29 December 2005 (figure 4.7c) and (Table 1). We re-observed the GPS BPN network and GPS-GPS network. The observation time is varying from 4hrs to 24 hours. For each point, dual-frequency carrier phase and pseudorange data was observed every 30 seconds time interval.

Table 1
Campaign GPS observation in Aceh

<i>Survey Period</i>	<i>Time</i>	<i>No observed points</i>
Survey 1	05.03.01 - 05.03.07	12
Survey 2	05.05.09 - 05.05.16	21
Survey 3	05.11.22 - 05.11.29	19

5. Result

The distribution of horizontal displacement gives a first order indication of heterogeneities in slip distribution (figure 3 and 4). The point closest to the epicenter, about 100 km away, only displaced about 1.9 m, while point in Banda Aceh displaced more than 2 m in average. The maximum horizontal displacement was detected loknga, suggesting large slipped region, in the west coast of Aceh. Significant horizontal displacement still can be detected in India, and also Philippine.

Figure 5 shows the observed vertical displacement. The blue bar indicates subsidence while red one indicates uplift. Generally land subsidence more than 20 cm was observed along west coast. This in an indication that the rupture area did not reach Sumatra Island down dip.

6. Conclusion

We have conducted collaborated research for investigating the coseismic displacement associated with the 2004 Sumatra earthquake from GPS observation. Site displacements obtained from near-field GPS observation gives very important information for constraining the slip distribution for the December 26, 2004 Sumatra-Andaman earthquake. The existence of pre-event GPS data, collected as control points for land administration, provided a relatively dense coverage close to the rupture area. The maximum horizontal displacement observed was 3m at GPS point located 300km NE of the mainshock.

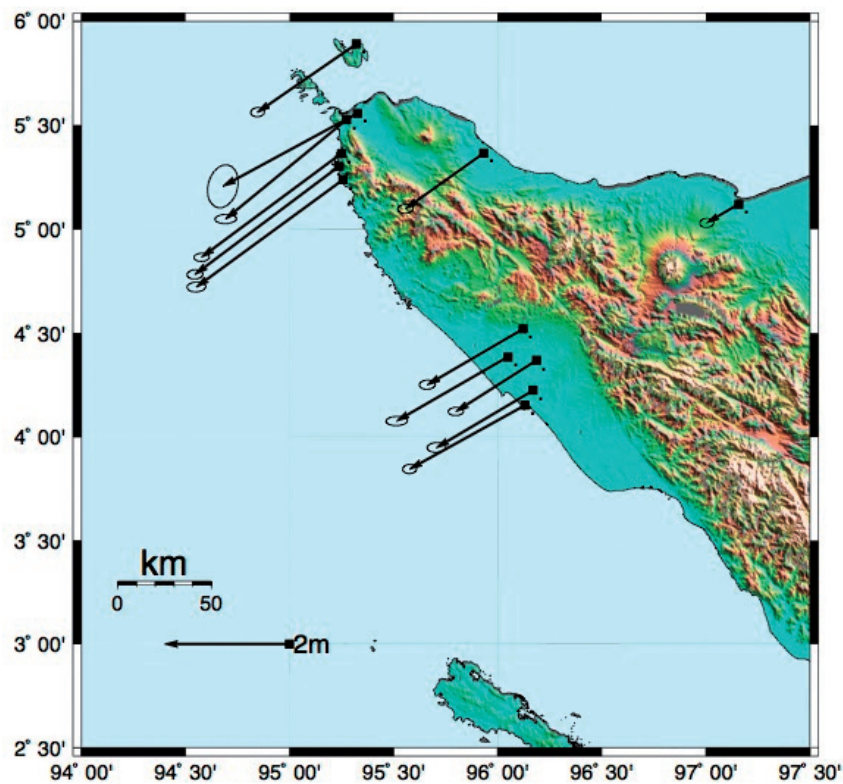


Figure 3

Horizontal displacement from campaign GPS observation

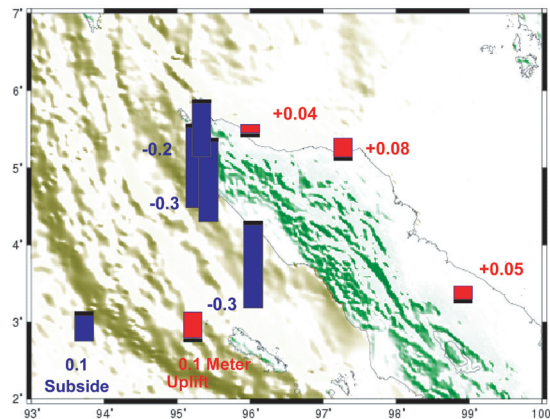


Figure 4

Vertical displacement from campaign GPS observation

7. Reference

- Ammon et al., Rupture process of the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake, *Nature*, 308, 1133-1139, 2005
- Bock, Y., L. Prawirodirdjo, J. F. Genrich, C. W. Stevens, R. McCaffrey, C. Subarya, S. S. O. Puntodewo, and E. Calais, Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements, *J. Geophys. Res.*, 108(B8), 2367, doi:10.1029/2001JB000324, 2003.
- Bock, Y., R. McCaffrey, J. Rais and I. Murata, Geodetic studies of oblique plate convergence in Sumatra, *Eos Trans. AGU*, 71,857, 1990
- Genrich et al., Distribution of slip at the northern Sumatran fault system, *J. Geophys. Res.*, 105, 28,327-28,341, 2000
- Hugentobler et al., Bernese GPS Software Version 4.2, Astronomical Institute of Bern, 2001
- Lay et al., The Great Sumatra-Andaman Earthquake of 26 December 2004, *Nature*, 308,1127-1133, 2005
- McCaffrey R., Slip vectors and stretching of Sumatran fore arc, *Geology*, 19, 881-884, 1991
- Newcomb, K. R., and W. R. McCann, Seismic history and seismotectonics of the Sunda Arc, *J. Geophys. Res.*, 92, 421 - 439, 1987.
- Ortiz, M., and R. Bilham, Source area and rupture parameters of the 31 December 1881 Mw = 7.9 Car Nicobar earthquake estimated from tsunamis recorded in the Bay of Bengal, *J. Geophys. Res.*, 108(B4), 2215, doi:10.1029/2002JB001941, 2003.
- Paul, J., et al., The motion and active deformation of India, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 647 - 651, 2001.
- Prawirodirdjo et al., One century of tectonic deformation along the Sumatran fault from triangulation and Global Positioning System surveys, *J. Geophys. Res.*, 105, 28,343-28,361, 2000.
- Sagiya, T., A decade of GEONET: 1994-2003 - The continuous GPS observation in Japan and its impact on earthquake studies -, *Earth Planets Space*, 56, xxix-xli, 2004.
- Sieh K., Aceh-Andaman earthquake: what happened and what's next ?, *Nature*,434,573-574, 2005.
- Zumberge, J., and R. Liu, IGS Workshop Proceedings: Densification of IERS Terrestrial Reference Frame through regional GPS networks, Pasadena, California, November 30 - December2, 1994, Int. GPS. Serv. Cent. Bur., 1995.

5. Crustal deformation following the 2004 Sumatra-Andaman earthquake in the northern Sumatra region (Preliminary Report)

Yusaku Ohta¹, Meilano Irwan¹, Takeo Ito¹, Fumiaki Kimata¹,
Takao Tabei², and Didik Sugiyanto³

¹: Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Nagoya 4648602, Japan

²: Department of Natural Environmental Science, Faculty of Science, Kochi University, Kochi 7808520, Japan

³: Department of Physics, Faculty of Natural Science, Syiah Kuala University, Banda Aceh 23111, Indonesia

Abstract.

To detect the postseismic deformation following the 2004 Sumatra-Andaman earthquake, we have repeated the continuous GPS measurements in Banda Aceh, northern Sumatra, Indonesia since 10th February 2005. A ground deformation of 25.5+/-0.8cm toward south, 26.6+/-0.5cm toward west and 0.6+/-1.8cm uplift is detected until 18th November. As the direction of the deformation is toward Sunda trench and it is the same as the direction of the co-seismic deformation observed at Banda Aceh, a southwestward displacement of 36.9cm is postseismic displacement following the 2004 Sumatra-Andaman earthquake. Based on the relative motion between 2 continuous GPS sites along the trench normal, afterslip occurred at up-dip extension of coseismic fault.

1. Introduction

The 26th December 2004 Sumatra-Andaman earthquake was the largest seismic event during past 40 years, which produced the most devastating tsunami disaster in recorded history. The earthquake occurred the boundary between the Indo-Australian plate, which generally convergence 50-60mm/year and the Sunda sub-plate, which located the most southern part of the Eurasian plate. *Ammon et al.* (2005) discussed the rupture model for the 2004 earthquake. They suggested that rupture area could be divided into several parts. The most southern part of the rupture area had only rapid slip, which reached 15 meters. *Irwan et al.* (in. prep) investigated coseismic deformations in the northern Sumatra region based on campaign GPS (Global Positioning System) measurements. They used Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) and Bakosurtanal (BAKO) Indonesian GPS points, which were observed for public measurement by single frequency receiver around 1997.

Recent continuous GPS observations have detected precise postseismic deformations (e.g. *Heki et al.*, 1997, *Melbourne et al.*, 2002, *Ozawa et al.*, 2004). Some of those results showed that additional moment released associated by an afterslip is comparative to these main-shocks. A mechanism of the postseismic deformation is important for the investigation of the earthquake cycle. *Marone et al.* (1991) suggested that logarithmic decaying model indicates afterslip. On the other hand, an exponential model, which is used to model viscoelastic relaxation processes (*Scholz*, 1990). In these backgrounds, continuous GPS observations for postseismic crustal deformation are important to reveal the complete picture of an earthquake cycle.

In this paper, we report the preliminary results of a new continuous GPS site in Banda Aceh, northern

Sumatra, Indonesia, to investigate the postseismic deformation of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake.

2. GPS observation and Data analysis

The new continuous GPS site (site name USKL) was constructed in Syiah Kuala University Band Aceh, northern Sumatra Indonesia, which organized by Nagoya University and Syiah Kuala University in 2005 February 10th, one and half month after the 2004 earthquake. The GPS receiver antenna is screwed onto the anchored bolt in the top-roof of a reinforced-concrete building of the Syiah Kuala University (Figure 1). We used a Trimble 4000SSi GPS receiver, which recorded dual frequency carrier phase at every 30 seconds. Because of no continuous measurement system on 10th February, the first observation had only 4 days data. Since 2nd March, we introduced a continuous measurement system powered by solar battery. The Sumatra GPS Array (SUGAR) is being designed, constructed and operated by member of the Caltech and the LIPI. We also discuss the postseismic deformation in the SUGAR network.



Figure 1. Photograph of our new continuous GPS site in Syiah Kuala University. (Top) The screwed onto the anchored bolt with GPS antenna and solar panel. (bottom) GPS receiver.

In this paper, we use a Precise Point Positioning (PPP) method [Zumberge *et al.*, 1997] implemented in the GIPSY/OASIS II software for the GPS data processing. Because of very long baseline length between reference (e.g. IGS stations) and our continuous GPS site, GPS carrier phase ambiguities resolution is generally poor. Therefore, we adopted PPP method, which do not rely upon the baseline length between two GPS stations. In the analysis, we used Jet Propulsion Laboratory (JPL) precise orbits and clock information referred to the satellite coordinates and clock correction information. Wet zenith tropospheric delay of GPS site has been estimated every observation epochs under a random walk stochastic model.

3. Results and Discussion

3.1 Postseismic deformation

Figure 2 shows GPS time series of the horizontal and vertical components observed at the USKL and UMLH. Clear postseismic deformation was observed horizontal components at both sites. As might be an expected, postseismic deformation was still ongoing as of end of November 2005. The 2005 Nias earthquake (Mw=8.7) was occurred at 28th March 2005. Small coseismic southward displacement was observed at UMLH less than

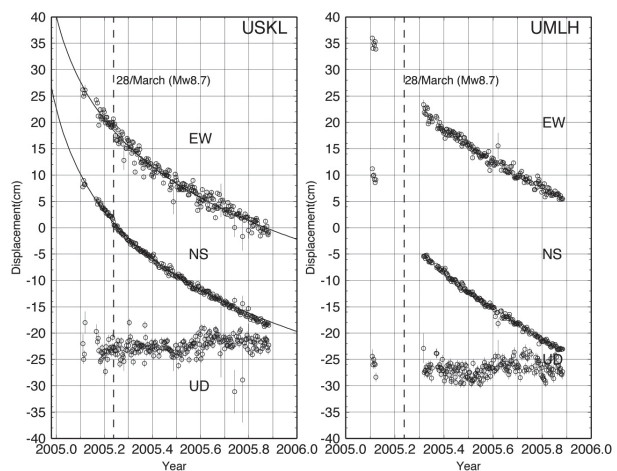


Figure 2. GPS time series in USKL and UMLH. These GPS site locations denoted in Figure 4.

1cm. Unfortunately, there is no data in UMLH during in this period. When we subtract the end 3-day (17th to 19th November) from the first 3-days (10th to 12th February) averaged value, we can estimate static offset for postseismic deformation during 11th February to 18th November. Horizontal displacement was estimated $-25.5 \pm 0.8\text{cm}$ and $-26.6\text{cm} \pm 0.5\text{cm}$ (1-sigma confidential level), EW and NS components, respectively. Vertical displacement observed $+0.6\text{cm} \pm 1.8\text{cm}$ (also 1-sigma) in the USKL. The direction of the horizontal displacement is N136W, which is the mostly same direction of coseismic displacement observed at Banda Aceh and the direction toward the Sunda trench. In UMLH, we also estimate static offset during 11th February to 18th. We summarized static offset value in table 1. It is to be noted that these value contain effect of the 2005 Nias earthquake.

Site	Position (WGS-84)	Displacement (11th February - 18th November 2005)		
		EW	NS	UD
USKL	95.368E, 5.569N	$-25.5 \pm 0.8\text{cm}$	$-26.6\text{cm} \pm 0.5\text{cm}$	$+0.6\text{cm} \pm 1.8\text{cm}$
UMLH	95.339E, 5.053N	$-29.51 \pm 0.9\text{cm}$	$-32.71\text{cm} \pm 0.5\text{cm}$	$-2.52 \pm 2.4\text{cm}$

Table 1. Displacement amount summary in USKL and UMLH.

3.2 Coseismic Slip Distribution of 2005 Nias earthquake

To eliminate the effect of 2005 Nias earthquake, we estimate coseismic slip distribution in 2005 Nias earthquake. We use SUGAR network data and our campaign GPS observation result (*Irwan et al.*, in prep) for estimation of coseismic slip distribution. Figure 3 (b and c) shows the continuous and campaign mode GPS horizontal and vertical coseismic displacement. It is clear that large displacement detected in Simeulue and Nias islands more than 2 or 3m.

We inverted horizontal and vertical components of the GPS displacements to estimate the coseismic slip distribution on the plate interface by applying an inversion method devised by *Yabuki and Matsu'wara* (1992). We assumed the geometry of the subducting slab, and defined a curving model fault with dimensions of 550 km by 220km in the strike- and dip-directions. We estimated the coseismic slip distribution as a superposition of bi-cubic B splines, with a smoothness constraint for regularization. The smoothness weighting hyperparameter was estimated using Akaike's Bayesian Information Criterion; specifying this hyperparameter determines the optimal slip deficit distribution. The inversion method estimates the slip vector on the plate interface, subject to smoothness constraints.

Figure 3 (a) shows the coseismic slip distribution in 2005 Nias earthquake based on the GPS data. Maximum slip reaches less than 13m in the west part of Nias Island at plate boundary depths shallower than 30km. And also, small amount (less than 7m) slip appears beneath Simeulue Island. These two patches, so-called "asperities", are located around 30km depths. We estimated seismic moment of this earthquake was $1.3 \times 10^{22}\text{Nm}$, which corresponding to $M_w=8.7$. It is consistent with teleseismic bodywave analysis result (e.g. *Yamanaka*, 2005). Based on this calculated slip distribution, we estimated synthetic displacement in UMLH, which is 2.0cm and 0.7cm, southward and westward, respectively. Following section, we eliminate this coseismic offset to discuss afterslip fault model of 2004 earthquake.

3.3 Afterslip fault model of 2004 Sumatra-Andaman earthquake in northern Sumatra area

In this section, we try to estimate afterslip fault model for 2004 Sumatra-Andaman earthquake in northern Sumatra area. Figure 5 shows the "pure"postseismic displacement vectors in USKL and UMLH.

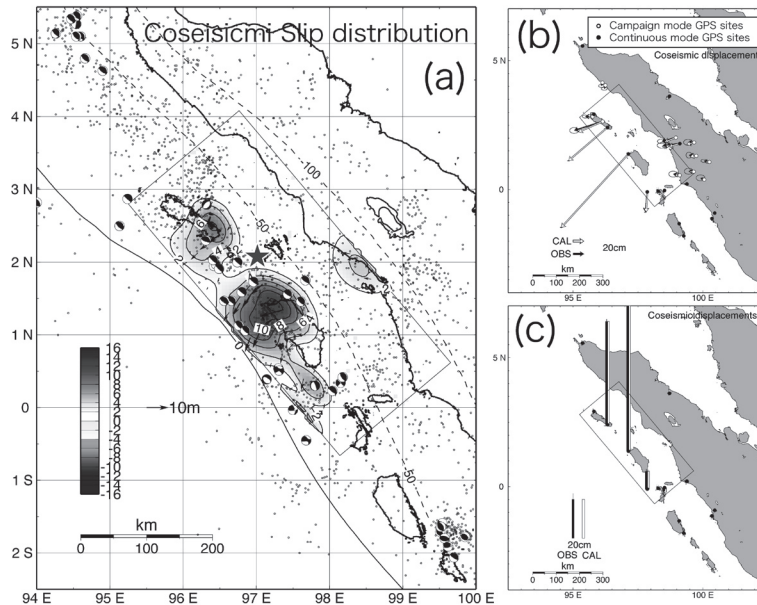


Figure 3. Data and model for the coseismic time periods. (a) Coseismic slip distribution for 2005 Nias earthquake. Contour denoted amount of slip and vectors show direction of coseismic slip. The CMT solution indicates aftershock, which is magnitude more than 5. (b: right top) Horizontal coseismic displacement and synthesized displacement based on our model.(c: right bottom) Vertical coseismic displacement and synthesized one.

It is not include coseismic effect of 2005 Nias earthquake. Direction of postseismic is mostly trench normal, which is also same direction in coseismic time period (*Irwan et al.* (in prep)). Because of the vertical component uncertainty caused mainly by GPS satellites configuration, the vertical component of the GPS solution is unstable than the horizontal components. So, we discuss relative displacement between USKL and UMLH. When we calculate relative displacement at UMLH relative to USKL, we detect small amount subsidence signal between two sites. The subsidence amount is estimated as $0.7\text{cm} + -0.8\text{cm}$ during 11th February to 18th November. As a matter of course, our result has large uncertainty. However, the vertical deformation is given us the more important information in the constraining models of interplate coupling from the geodetic data (e.g. *Aoki and Scholz, 2003*). Because of there is not enough density of the continuous GPS points. So, it is difficult to construct 3-dimensinal model. So, we try to explain by 2-dimensinal model. If we explain a small subsidence (or an approximately zero displacement) and trench-ward displacement in UMLH by afterslip fault, we should assume the afterslip fault plane beneath shallower part of subducting plate interface. Figure 4 (b and c) shows displacement and slab depth profiles along the A-A' in the Figure 4 (a). Figure 4 (c) clearly shows that afterslip generated large uplift and subsidence pattern along the trench normal direction. Our afterslip fault model plate located shallower part of the coseismic rupture. However, our model limited 2-dimensinal. We should build-up to more continuous GPS network in northern Sumatra area for investigation of postseismic deformation.

4.Conclusion

We detected a southwestward displacement more than 30cm and small subsidence pattern in UMLH relative to USKL during 11th February to 18th November. Based on these results, we constructed simple fault model for the postseismic deformation. Our model indicates afterslip progress in the up dip extension of the main shock fault. However, it is not enough density of observation site for discussion of 3-dimensional

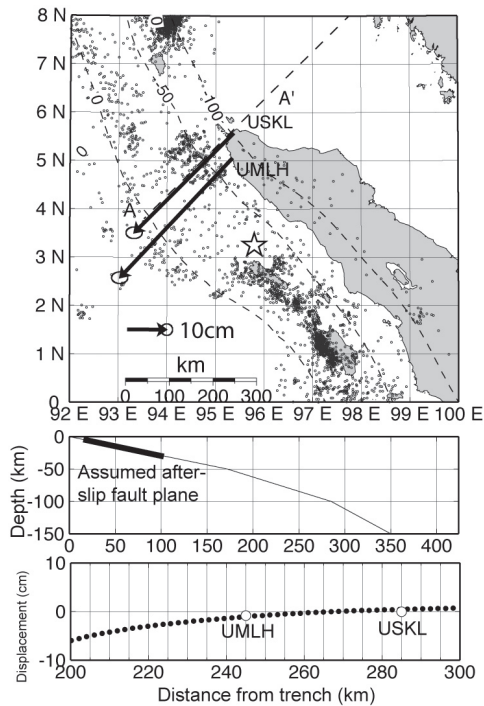


Figure 4 (a: top) “Pure” potseismic displacement in USKL and UMLH. The error ellipsoid denoted 1-sigma confidential level. (b: middle) Our 2-dimensional afterslip fault image. Horizontal axis denoted distance from trench and vertical one denoted depth from surface. (c: bottom) Comparison with observed vertical displacement and calculated one. White circle denoted observed displacement at USKL and UMLH. Black dots indicate calculated vertical displacement profile from our 2-dimenisilnal model.

model. We should continue and construct new continuous GPS sites in this region.

Acknowledgement.

We are grateful thanks to Syiah Kuala University and Institute Technology Bandung (ITB) students and staffs for their helpful work during the GPS observation. GMT (*Wassel and Smith, 1991*) was used to make figures. We are also grateful thanks to Caltech, LIPI and SOPAC for their establishing, maintaining, operating, and providing the SUGAR network data.

References

- Aoki, Y., and C. H. Scholz, Vertical deformation of the Japanese islands, 1996-1999, *J.Geophys.Res.*, 108, 2257, doi:10.1029/2002JB002129, 2003.
- Ammon Charles J., Chen Ji, Hong-Kie Thio, David Robinson, Sidao Ni, Vala Hjorleifsdottir, Hiroo Kanamori, Thorne Lay, Shamita Das, Don Helmberger, Gene Ichinose, Jascha Polet, and David Wald, Rupture Process of the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake, *Science*, 20 May 2005: 1133-1139
- Heki K., S.Miyazaki, and H.Tsujii, Silent fault slip following an interplate thrust earthquake at the Japan trench, *Nature*, 386,595-598, 1997
- Marone, C.J., C.H.Sholz, and R.Bilham, On the mechanics of earthquake afterslip, *J. Geophys. Res.*, 96, 8441-8452, 1991
- Melbourne T. I., F. H. Webb, J. M. Stock, and C. Reigber, Rapid postseismic transients in subduction zones from continuous GPS, *J. Geophys. Res.*, 107 (B10), 2241, doi:10.1029/2001JB000555, 2002
- Ozawa, S, M. Kaidzu, M. Murakami, T. Imakiire, and Y. Hatanaka, Coseismic and postseismic crustal deformation after the M-w 8 Tokachi-oki earthquake in Japan, *Earth Planets and Space*, 56(7):675-680, 2004
- Sholtz, C.H., *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*, Cambridge University Press, 1990
- Yamanaka, EIC earthquake report, see, http://www.eri.utokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2005/EIC164.html
- Yabuki T and M Matsu'ura, Geodetic data inversion using a Bayesian information criterion for spatial distribution of fault slip, *Geophys. J. Int.*, 109, 363-375, 1992.
- Zumberge JF, Heflin MB, Jefferson DC, Watkins MM and Webb FH., Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *J.Geophys.Res.*,102 (B3): 5005-5017 MAR 10 1997.

6. Evaluation of visco-elastic and poro-elastic deformations following the 2004 Sumatra-Andaman earthquake

Takeo Ito, Satoshi Kawamoto, Yusaku Ohta, Irwan Meilano, Fumiaki Kimata

(Research Center for Seismology, Volcanology and Disaster Mitigation, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

1. Introduction

The devastating earthquake of December 26th, 2004 occurred on the interface of the India and Burma plates. It was caused by the release of stresses that develop as the Indian plate subducts beneath the overriding Burma plate. This earthquake was the largest seismic event during past 40 years, which produced the most devastating Tsunami disaster in recorded history. Recently, the continuous GPS observations can detect precise post-seismic deformations. A mechanism of the postseismic deformation is important for the breakthrough of the earthquake cycle. Post-seismic deformations can be caused by afterslips on or extension part of the main shock fault, by visco-elastic relaxation of the lithosphere in response to stress field changes due to the main shock and by poro-elastic rebound due to pore pressure change of the rock that caused by pore fluids flow; these processes are time-dependent.

In this study, we evaluate the poro-elastic and visco-elastic deformations due to the main shock. The poro-elastic rebound and visco-elastic relaxation are controlled by the hydraulic transmissivity and viscosity of structure, respectively. We estimated these postseismic deformations using finite element method (FEM) for poro-elastic rebound (Kawamoto et al., 2005) and theoretical method for visco-elastic relaxation (Matsu'ura et al., 1981) based on simply structure. A further direction of this study will be estimate the afterslip, which removes the effect of the poro-elastic rebound and visco-elastic relaxation. For understanding the material property on subduction zone and the earthquake cycle, amount and location of the afterslip are important and necessary.

2. Poro-elastic deformation

We construct the three dimensional model region include fault plane. The size of FEM mesh is 740km × 700km × 100km (see figure 1). Our model is the simple reverse fault model. The fault parameters and the material property show in table 1 and 2, respectively. Skempton's coefficient B in table 2 control coseismic displacement, but can not control the relaxation time. The hydraulic transmissivity only do control the relaxation time. Hydraulic transmissivity value in this study is to be assumed as the sand stone.

The temporal change of crustal deformation at Banda Aceh and Sampari cites show in figure 3. The coseismic displacements of each component at Banda Aceh are -42.2cm, -60.3cm and -24.2 cm, respectively. Amount and direction of poro-elastic rebound following the 2004 earthquake are estimated about 1cm and N50°W within 1 year after earthquake, respectively. On the other hand, these postseismic deformations at Sampari are very small (<1cm). Sampari is located too far from source region. To sum up the basic characteristics of poro-elastic rebound associate with 2004 earthquake, we can say that it is very smaller than observed crustal deformation.

3. Visco-elastic deformation

We calculate the visco-elastic deformation associated with 2004 earthquake using the theoretical method based on Matsu'ura et al. (1981). We use fault parameters in table 3. This fault model is almost same to fault model of FEM model which is based on Irwan et al. (2006). In order to calculate visco-elastic response function, we assume the visco-elastic structure model (see table 4). Our structure model is composed with simple layers with the visco-elastic layer (60-120km). When a viscosity of asthenosphere layer (60-120km) is assumed to be 10^{19} Pa · s, the effective relaxation time of whole system is about 50 years.

Figure 3 is shown the spatial-temporal distribution of visco-elastic relaxation of asthenosphere. The largest visco-elastic deformation is located above the fault plane. The amount of postseismic deformation is over 30 cm within a year after earthquake. However, the largest visco-elastic deformation is located at far off the coast, we can observe just only land. Figure 5 shows the time series of visco-elastic deformation at our GPS observation point (Aceh). The amount and direction of coseismic deformation are obtained about 1m and S58°W, respectively. The coseismic displacement is smaller than FEM result because FEM result include the effect of Skempton's coefficient B value. Amount and direction of visco-elastic deformation associated with earthquake are obtained as about 9cm and S45°W within 4 years after earthquake, respectively. The vertical displacement of visco-elastic deformation is obtained uplift, which amount is 4cm within 4 years. We report post-seismic deformation is observed over 30cm within 6 months after earthquake at Banda Aceh. Visco-elastic component of postseismic deformation is very smaller than observed crustal deformation. These results lead us to the conclusion that postseismic deformation can be explained as the afterslip (Ohta et al., 2006).

4. Summary

We evaluate the postseismic deformation due to the poro-elastic rebound and visco-elastic relaxation. In order to estimate these postseismic deformations, we use FEM and the theoretical method, respectively. (1) The horizontal coseismic displacement is about 75 cm at Banda Aceh. This coseismic displacement in poroelastic medium is smaller than the displacement is calculated by dislocation theory in a semi-infinite homogeneous perfect elastic body. Amount of poro-elastic rebound associated with earthquake are obtained as about 1cm within 1 year after earthquake. This value is too smaller than observed postseismic displacement. Observed horizontal crustal deformation is over 30 cm within 6 months after earthquake. (2) The horizontal visco-elastic deformation at Aceh is 9 cm within 4 years after earthquake. Therefore, it seems reasonable to conclude that observed crustal deformation at Aceh is caused by afterslip.

Reference:

- [1] Kawamoto, S., T. Ito, and K. Hirahara, Inversion Analysis of Postseismic Deformation in Poroelastic Material Using Finite Element Method, AGU Fall meeting, G51B-0819, 2005
- [2] Matsu'ura, M., T. Tanimoto and T. Iwasaki, Quasi-static displacements due to faulting in a layered half-space with an intervenient viscoelastic layer, *J. Phys. Earth*, 29, 23-54, 1981.
- [3] Irwan et al., 2006 submitted to EPSL
- [4] Ohta et al., Postseismic deformation following the 2004 Sumatra-Andaman earthquake in northern Sumatra during 2005, BSSA, submitted 2006.

Figures:

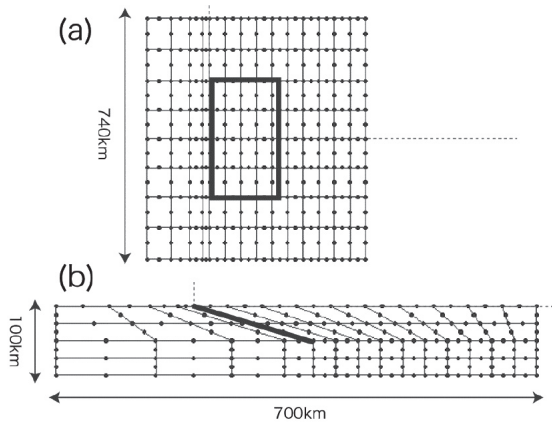


Figure 1: Using FEM mesh in this study. (a) FEM mesh on the horizontal view. The black rectangle indicates horizontal projection of the fault plane. (b) FEM mesh in the vertical cross section crossing the fault plane. The black line denotes the fault plane.

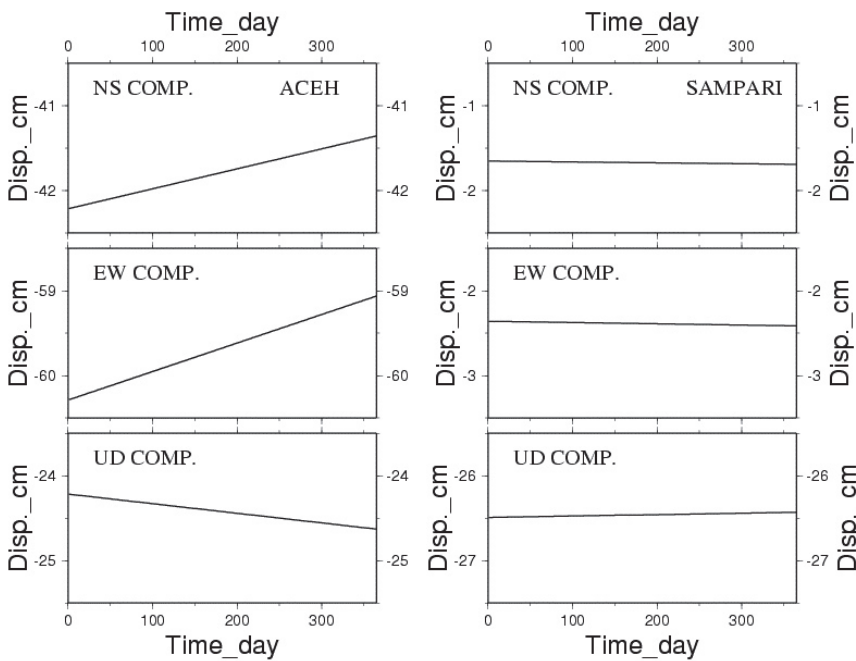


Figure 2: Temporal change of crustal deformation at the Banda Aceh and Sampari due to poro-elastic deformation associated with the 2004 Sumatra-Andaman earthquake. The vertical and horizontal axes indicate displacement and time, respectively.

6. Evaluation of visco-elastic and poro-elastic deformations following the 2004 Sumatra-Andaman earthquake

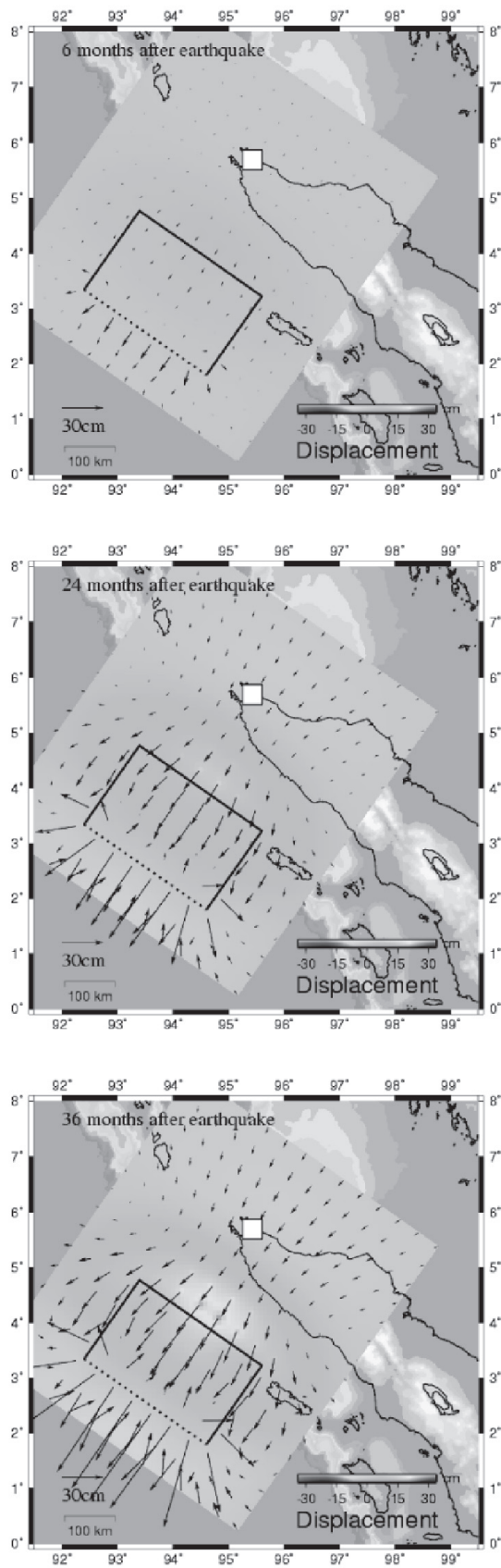


Figure 3: Spatio-temporal distribution of crustal deformation due to visco-elastic relaxation associate with earthquake. The number at the top of each figure denotes elapsed time in month after the occurrence of earthquake. Arrows denote horizontal displacements at the Earth's surface. The rectangle indicates horizontal projection of the fault plane. White square denote Aceh city.

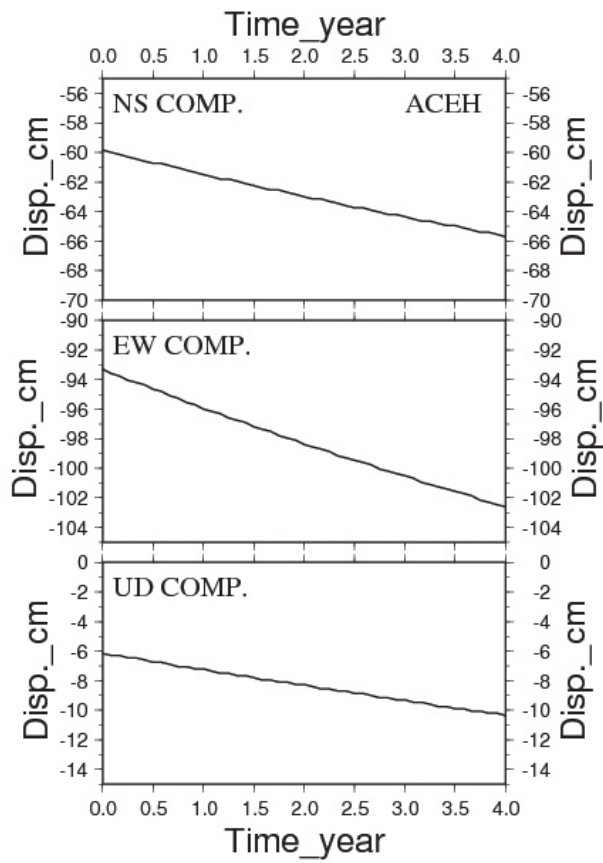


Figure 4: Temporal change of crustal deformation at Aceh city due to visco-elastic deformation associated with earthquake. The vertical and horizontal axes are displacement and time, respectively.

Tables:

Fault Parameters	Values
Latitude	1.7 deg
Longitude	94.7 deg
Width	200 km
Length	370 km
Depth	0 km
Slip	15 m
Strike	35 deg
Dip	15 deg
Rake	90 deg

Table 1: Fault parameters of FEM model for calculating poro-elastic rebound.

Constants	Values
Young's modulus	3.75×10^7 KPa
Poisson's ratio	0.25
Hydraulic transmissivity	4.00×10^{-8} m/s
Skempton's B	0.8

Table 2: Poro-elastic property in this study.

Fault Parameters	Values
Latitude	1.7 deg
Longitude	94.7 deg
Width	200 km
Length	300 km
Depth	0 km
Slip	15 m
Strike	35 deg
Dip	15 deg
Rake	90 deg

Table 3: Fault parameters for calculating visco-elastic relaxation.

Constants	0-60km	60-120km	120km-
P wave velocity (km/s)	7.8	8.2	8.7
S wave velocity (km/s)	4.5	4.4	4.7
Density (kg/m ³)	3200	3400	3600
Viscosity (Pa · s)	∞	1019	∞

Table 4: Visco-elastic structure model parameters.

7. スマトラ沖巨大地震と津波 —津波の挙動と土地条件—

海津 正倫 (名古屋大学環境学研究科)

Abstract

The objective of this research is to clarify the relationship between geo-environment and tsunami flow in the coastal lowlands of Thailand and Indonesia in relation to the tsunami which occurred on December 26, 2004.

The target areas of the research are the Nam Khem Plain in the Andaman Sea Coast of Thailand and the plain of Banda Aceh in the Sumatra Island, Indonesia. The direction of the tsunami flow was measured on the ground and the spatial distribution of the tsunami deposits were analyzed based on both high resolution satellite images and ground truth.

The geomorphological features of the Nam Khem Plain, with the width about 2-3 km and the length about 12-13 km, are characterized by the rows of beach ridges, and the artificial mounds and ponds which were formed due to tin mining. Tsunami flow spread out the whole area of the Nam Khem lowland and the average depth of the flow is approximately 4-5 m over the ground. The direction of up tsunami flow is almost vertical to the coast line, and that of down flow relates to the topography of the ground.

On the other hand, the plain of Banda Aceh is characterized by the tidal plain and deltaic lowland in the central and western parts of the plain and beach ridges in the eastern part of the plain.

The tsunami waves reached to the area about 3-4 km from the coast. Strong tsunami flow eroded the surface of the tidal plain and remarkably changed the landforms of the coastal zone. The tsunami flow also invaded into the area of the deltaic plain and damaged buildings because of its extremely strong wave. In the area near the end of tsunami intrusion, microlandforms such as beach ridges and natural levees prevented the flow of tsunami from invading.

There are regional characteristics of the topographic conditions in the Banda Aceh Plain. The rehabilitation and reconstruction of the area, however, have been conducted without consideration of these regional characteristics of geo-environment.

Key words: tsunami flow, tsunami disaster, microlandforms, Banda Aceh, Andaman Sea coast

はじめに

2004年12月26日に発生したインド洋大津波に関して、陸上における津波の挙動と土地条件との関係を、甚大な津波の被害が発生したタイ南部ナムケム平野、カオラック平野およびインドネシアバンダアチェ平野において検討した。

現地での地形把握にあたっては、高精度衛星画像、空中写真、SRTM-DEMデータを用いたほか、タイの調査地域ではトランシットコンパスを用いた地形測量を行った。また、津波の高さに関しては、建物等に残された津波痕や、津波による建物の破壊部分と非破壊部分との境界、樹木に付いた傷や津波運搬物の高さなどを周囲と比較しながら認定し、津波の高さを測定した。さらに、津波の流動方向に関しては、破壊された建物の柱の倒れた方向、床に残された擦痕、電柱やフェンス支柱などの倒れた方向から押し波の方向を、草本のなぎ倒された方向から引き波の方向を把握した。

調査地域概観

調査対象地域であるタイのナムケム平野、カオラック平野は、マレー半島西岸のアンダマン海に面したそれぞれ東西1～3 km、南北10～12 km程度の細長い沖積低地で、平野の東部には更新世の段丘と思われる標高10 m前後の台地が認められる。低地の地形は、基本的には数列の浜堤列からなり、沖積面は3～4 mの海拔高度を持っている。ただ、この地域では古くからスズの採掘が行われ、平野の広い範囲にわたってスズ鉱採掘跡の池沼や15 m以上の高さにおよぶ廃土の山が分布し、起伏のあるやや複雑な地形をなしている。



図1 ナムケム平野,カオラック平野位置図
Fig. 1 Location map of the Nam Khem and Khao Lak Plains

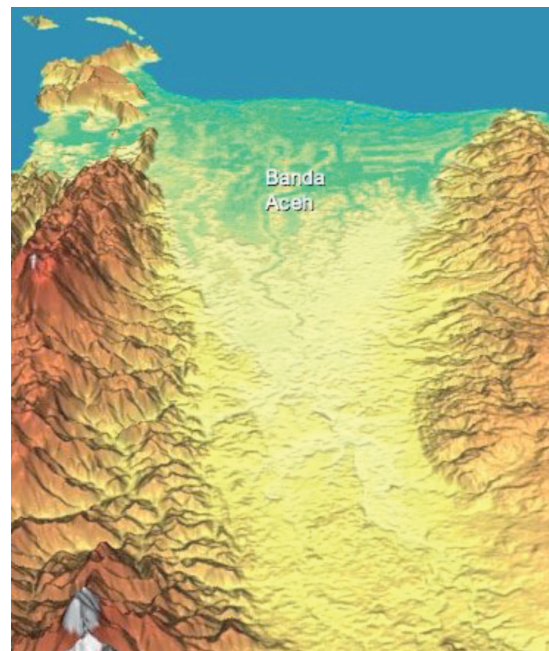


図2 アチェ平野鳥瞰図
Fig. 2 Three dimensions view of the Aceh Plain

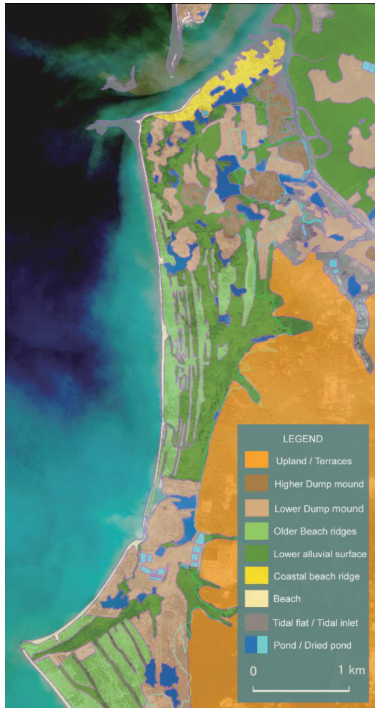


図3 ナムケム平野地形分類図
Fig. 3 Landform classification map of the Nam khem Plain

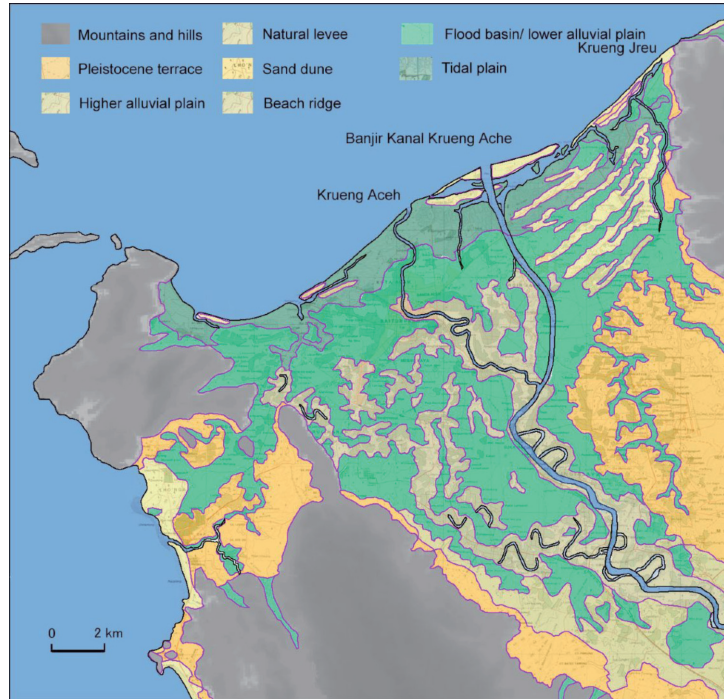


図4 バンダアチェ平野地形分類図
Fig. 4 landform classification map of the Band a Aceh plain

一方、バンダアチェ平野は、スマトラ断層の活動によって形成された地溝帯に発達した、海岸部の幅が約 20 km におよぶ楔形の平面形をなす平野である。平野の内陸側西部にはより古い地形面と考えられるわずかに高い土地が広がり、中央を蛇行しながら流れるアチェ川の下流部には断片的に残存する旧河道沿いに自然堤防の発達する沖積低地が広がる。

海岸地域の西部および中央部には 1～1.5 km の幅で干潟の発達する潮汐平野が認められ、アチェ川で作る沖積平野がこれに連続している。これに対して、平野東部の海岸地域には幅 100～200 m 程度の浜堤列が数列発達し、現在の海岸線付近には砂丘も認められる。

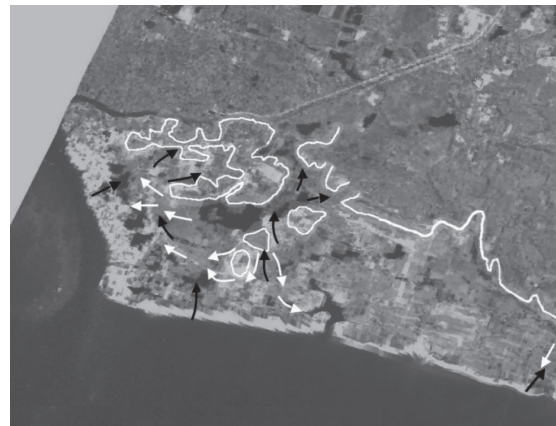


図5 ナムケム平野北部における津波の流動
黒矢印：押し波, 白矢印：引き波, 曲線：津波限界
Fig. 5 Tsunami flows in the Nam Khem Plain
Black arrow : up flow, White arrow : down flow, Line : Inland limit of the tsunami flow

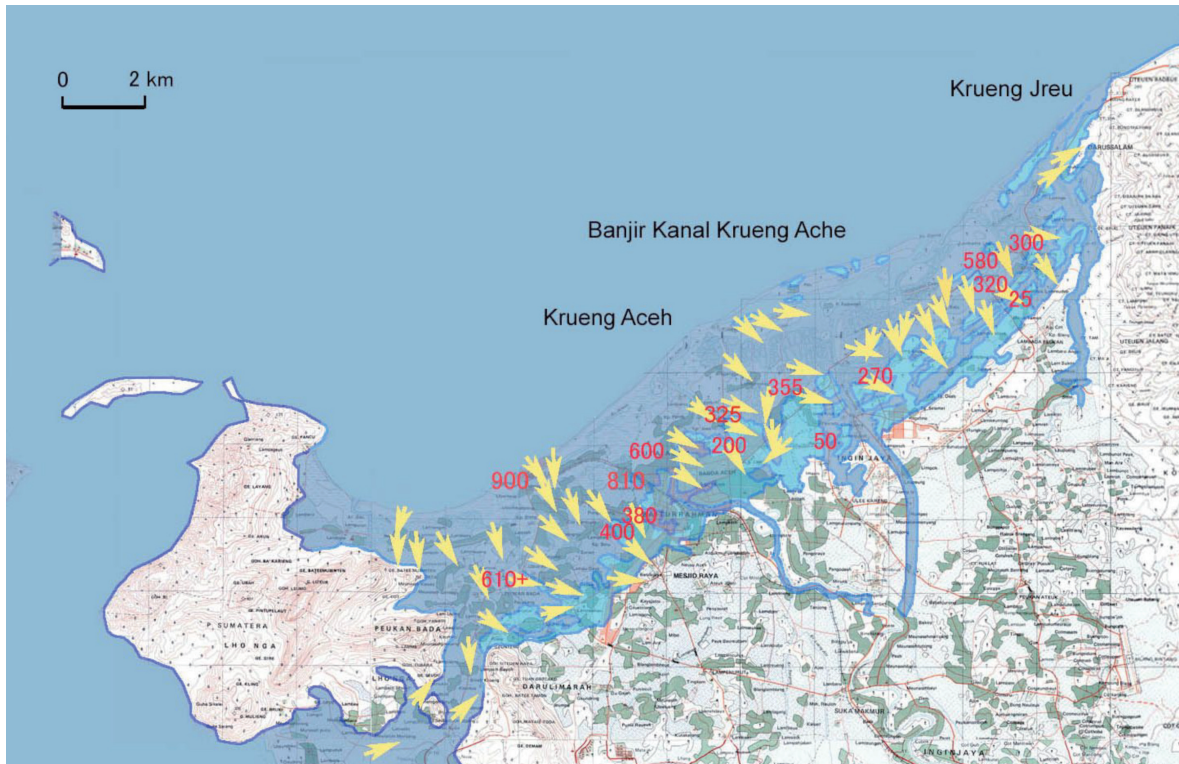


図 6. バンダアチェにおける津波の高さと流動（津波高は地表面からの高さ）

Fig. 6 Tsunami height and direction of the tsunami flow
(Height of the tsunami is shown in cm above the ground)

津波の流動方向と高さ

ナムケム平野では、高さの比較的高い廃土の盛土の部分を除いて沖積地の大部分が津波によって覆われ、内陸側の台地の縁辺部でも地表からの高さが4～5 mに達したところが多い。津波の流動についてみると、押し波は外洋から内陸に向けてほぼ西から東に向けて流入したのに対し、引き波は土地の起伏に対応する形でより低いところを選んで流れたことが明らかになった。その結果、外洋に注ぐ小河川の河口付近では、引き波の流れが特に集中し、著しい河岸浸食が発生した。ナムケム平野の南に広がるカオラック平野ではそのような地形変化が特に顕著に認められ、侵食によって楔形に拡大した河道が形成された。

これに対して、バンダアチェ平野における津波の進入はほぼ北西から南東の方向を示しており、平野東部では海岸線に沿って発達する砂丘や浜堤の切れ目の部分から内陸に向けて掌状に進入した流れも見られる。

バンダアチェ平野における海岸付近の津波高は、港の近くに立地するモスクにおいて測定した結果、地表から8.5～9 mに及んでいたが、平野の西部では海岸から2 km付近の地点においても地表から7～8 mの高さにまで達しているところがあり、内陸側への進入距離も東部に比べて若干長くなっている。さらに、海岸線からの距離がほぼ同じ場所を比較すると、中央部および西部の津波高は東部のそれに比べてかなり高くなっていることも明らかである。

なお、海岸部における小河川の河口部では、タイにおけるような著しい侵食は認められない。

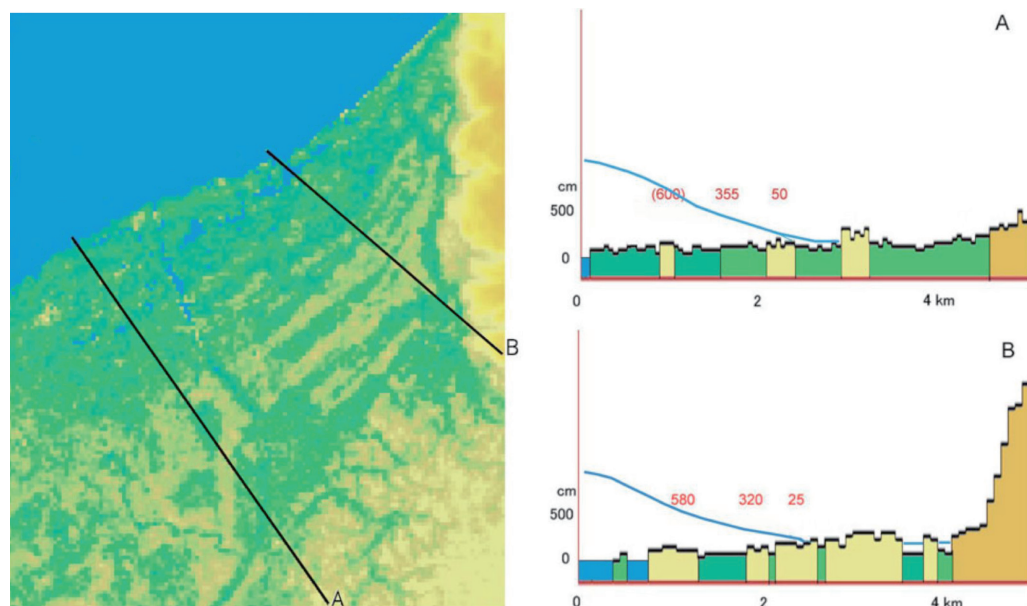


図7 バンダアチェ平野東部における津波の断面

Fig. 7 Cross sections of the tsunami intrusion in the eastern part of the Banda Aceh Plain

津波の進入に関わる土地条件

タイのナムケム平野やカオラック平野、インドネシアのバンダアチェ平野における津波の流動はそれぞれ顕著な特徴を持っており、バンダアチェ平野でも中・西部と東部とでは津波の到達距離や津波高に違いが見られる。

バンダアチェ平野中央部および西部では、海岸域が三角州および潮汐平野の性格を持っており、地盤高は相対的に低いいため、津波に対してはきわめて脆弱で近年エビなどの養殖池として利用されていた潮汐平野の部分が容易に破壊されてしまい、津波が減衰しないまま内陸部にまで到達したと考えられる。また、平野の東半部でも干潟の面積が比較的広い部分では西半部と同様に内陸部まで津波の被害が及んだが、東部では東西に延びる砂丘や砂堤列の存在によって地表の起伏が津波の進入を阻害される傾向がみられ、中央部および西部に比べて津波の到達距離が短くなり、内陸に向かった津波高さの減衰が顕著になったと考えられる。

なお、平野東部のジュリユー川沿いの部分、平野中央部のアチェ川およびアチェ川放水路の堤外地の部分では津波の遡上距離が長く、津波が河川に沿って進入しやすいという特徴を顕著に表している。また、バンダアチェ平野では低地面の高度が低く、起伏が小さかったため、著しい下方侵食や河道沿いの顕著な侵食は発生しなかったと考えられる。

一方、ナムケム平野、カオラック平野は基本的には砂堤列平野であり、低地部の地盤高も相対的にやや高く3～4 m程度に達している。そのため、津波の引き波が低所を選ぶように流れ、顕著な河道の侵食が引き起こされた。

結論

顕著な被災地域であるナムケム、カオラック平野およびインドネシアのバンダアチェ平野での調査によって明らかになった地形と津波の流動との関係は次のようにまとめられる。

1. タイのナムケム平野、カオラック平野では、押し波が基本的には外洋から内陸に向けて流動するのに対し、低地部の地盤高がやや高いために津波の引き波が低所に集中した。その結果、引き波の集中する小河川の河口部において顕著な侵食が引き起こされ、楔状に開いた河道が形成された。これは潮汐平野に作られたエビ養殖池の広がる干潟部分が面的に侵食されて満潮時に水域と化するという変化のおこったバンダアチェ平野とは大きく異なる。

2. アチェ低地東部では砂丘・浜堤列が顕著に発達していて、それらの存在によって津波の進入が抑制されたため、西部に比べて津波の到達距離、津波高が相対的に小さな値となっている。アチェ低地西部では沖積平野がそのまま海に面し、沖積低地の末端が干潟に連続している。その結果、海側から順に干潟、きわめて低平な沖積低地、微地形の違いによって地盤高が異なるやや高い沖積低地が海から順に配列している。このような条件の下、津波はより内陸にまで達し、海岸からの距離が同一であれば津波高も東部に比べて相対的に高くなっている。また、微地形の違いは海岸付近では津波の進入にほとんど影響しないが、到達限界付近で津波の遡上を妨げるといった状態が見られた。

おわりに

バンダアチェにおける建物の被害の状況は、大局的には海側から順に、土地自体が消失している→建物の土台あるいは床のみが残る→建物の中で特に堅牢な部分の一部が残る→堅牢な部屋などのかなり残る→屋根や柱が残る→屋根や柱、2階の壁は残っているが1階の壁がかなり破壊されている→1階の壁の一部が破壊されている→多くの建物は浸水被害を受け、脆弱な建物が壁などに被害を受けているというように変化しており、海岸からの距離に従って津波の被害が変化する傾向をみることができ(図8)。ただ、バンダアチェ平野の土地条件と津波被害との関係について詳しく検討してみると、それぞれ顕著な地域差がみられ、津波の到達や被害の状況がそのような地域差を反映しているほか、現実の復興の進み具合にもそのような地域差を反映した違いが認められる。一方、臨海域ではマングローブの植林などが積極的に進められており、復興と今後に向けての防災という観点から望ましいことではあるが、これらの進み具合にはやや場当たりの傾向も見られる。

すでのべたように、アチェ低地西部では沖積平野がそのまま海に面していて、沖積低地の末端が干潟に連続している。そのため、干潟、低平な沖積低地、地盤高のやや高い沖積低地が海から順に配列し、津波はより内陸にまで達し、津波高が相対的に高いといった傾向が明らかである。このような地域では干潮域からなる臨海部、きわめて低平な海岸域、わずかな微地形の違いによって地盤高が異なる内陸域、といった土地条件の違いをふまえた復興計画(土地利用計画)が望まれる。また、アチェ低地東部では砂丘・浜堤列が帯状に配列し、浜堤間は埋積が進んでいないため、幅の広い水路が存在している。その結果、海岸線に平行する砂丘や浜堤によって津波の進入が抑制され、西部に比べて津波の到達距離、津波高が相対的に小さな値であったことが明らかにされたが、このような土地条



図8 バンダアチェ平野における海岸から内陸に向けての被害の変化
 Fig. 8 Damage of buildings from the coast to the inland in the Band a Aceh Plain

件の違いを今後の防災・復興にどのように位置づけているのかははっきりしない。どこをどのように復旧・復興することが合理的で望ましいのか、土地条件をしっかりとふまえた場当たり的な対応ではない計画の立案が必要であると考え。しかしながら、現実には復興住宅の建設場所やマングローブ林の植林を行う場所などについて十分検討されているようではなく、個別の事業が独自に作業を進めていて、全体として十分に体系化されないままいろいろなことが進んでいるようである。この点がバンダアチェの復興にあたっての大きな課題であろう。

謝辞

本研究を行うにあたっては平成16年度科学技術振興調整経費（サブテーマ2-2：アンダマン海における海岸環境変化と津波堆積物調査；代表者：海津正倫）、平成17年度科学研究費基盤研究B：沖積低地における微地形形成と地形環境動態に関する研究；代表者：海津正倫）、平成17年度名古屋大学総長裁量経費：東南アジアにおける巨大津波災害復興システム；代表者：海津正倫）を使用した。

また、現地において便宜を図って頂いた、インドネシア国シャクアラ大学、タイ国農林省土地開発局、プリンスオブソンクラ大学の関係者に厚くお礼申し上げます。

8. The Role of Local Communities in the Post-Tsunami Reconstruction Process

Makoto TAKAHASHI and Taro SASAKI

(Nagoya University, Japan)

Introduction

In this paper, we present some discussion about the roles of the local community in the post-tsunami reconstruction processes, focusing especially on the rural-urban fringe of Banda Aceh City, the Province of Nanggroe Aceh Darussalam (NAD), Indonesia. The information, on which this paper is based, was mainly obtained from our field surveys, which were conducted from the perspective of social sciences in and around the city during the periods of August 27 - September 4 and December 1 - 5, 2005, as well as some statistical data and governmental documents downloaded through the Internet.

Though approximately one year after the tsunami the downtown has gradually regained vitality at least for the commercial function, however as a whole, especially in the region between the coast and the urban fringe, the current situations of the village reconstruction seem slow in progress, seriously with their processes being spatially different. For example, some villages have already got sufficient newly built houses, while others have no even temporary dwellings. Many villages offer a housing planning, while some try to make an integrated spatial planning, including rearrangement of settlements, roads and other infrastructures. And further, the local community organization certainly takes the initiative in carrying out the reconstruction, while there seem to be a few collective actions especially in the urban fringe.

We can see the roles of the local community, which (are expected to) really take responsibility entirely for the village reconstruction, as being crucial to consider why the reconstructing works make little progress as a whole. To what degree the local community can play their roles for the reconstruction is dependent on their abilities to mobilize the resources and to regulate potentially conflicting interests of the inhabitants. And then, such abilities are closely interrelated to spatially varied natures of the local communities and to their relationships with governments, international organizations, NGOs and so on, which in fact provide material and financial resources for the village reconstruction. Thus, we take into account these varied natures, which make and widen spatial differences in the reconstruction processes.

The village community in Aceh Region?

The village community forms one of the most important organizational bases for the social life on the local level, and is firmly embedded in the cultural traditions of the Acehnese society. It has a definite bounded territory, and an organizational system of territorial autonomous governance, being equipped with such a socio-cultural apparatus as a local festival and/or symbol for maintaining the social ties.

In general, it performs two significant roles: first, as a self-helping body, it operates various autonomous activities to conserve collectively the local land, like maintaining drainage ditches and local paths, keeping a community hall, a praying (Salat) facility like Mosque/Meunasah and other common properties, and sometimes organizing economic activities of the inhabitants in collaboration with such an

outside organization as a fishermen guild organized by Panglima Laut. Second, as an agent of the local/national governments, it serves as their branch office, and mediates between these institutions and the local people, being involved into the institutional networks both within and without the locality.

In the Acehese context, further two points are important: the horizontal and vertical socio-spatial structures of the village community. First, the local community in Aceh Region can typically be defined as an overlapping, ordinarily within the village, of the social spaces differently organized by three (groups of) local leaders: a village head (Geuchik), Mosque learders (Imam Meunasah) and the elders (Tuha Peut), being based in their own legal and socio-cultural backgrounds: the statutory law, the Islamic law (Sharia) and the customary law, respectively (Fig. 8.1).

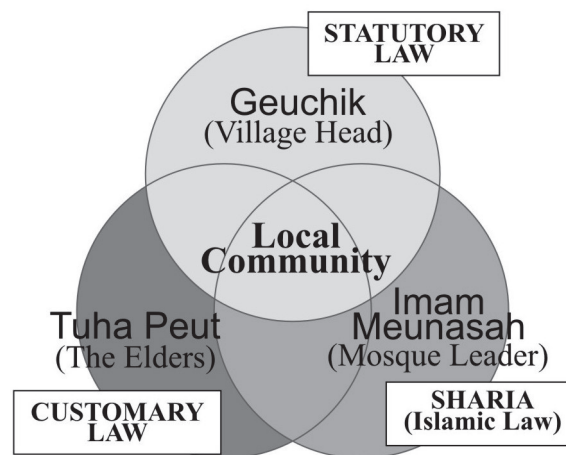


Fig. 8.1: Social/horizontal structure of the local community.

A village head politically excises control over local associations, neighborhoods and directly inhabitants, and serves as a windows from without the community. In the initial step of the rehabilitation often in the refugee camp, he played a variety of important roles, including for example exchange of information with the local people and other village heads, reorganization of the community inhabitants, establishment of a temporary countermeasure office (Posko), and so on. And then, he takes the initiative in organizing the reconstruction committee within the village, making the reconstruction plans, negotiating with local governments and NGOs for the materials, the finances, and so forth. In Province NAD, the Islamic law is placed on the equal position with the statutory law in the legal system. In this sense, the mosque organization and its leader has substantial powers on the local politics, as well as serving as inhabitants' mental prop, and providing a facility for refusing and meeting. The institution called Baitual Maal, which is established for managing donations (Zakat) under the control of the local mosque, has the leading role for reallocation of resources within the village, and is expected to manage the properties of uncertain ownership generated by the tsunami. Finally, the elders are defined as councilors in the village, who are ordinarily selected from the four social domains: the administration, the mosque, the intelligent and the younger generation. They can replace as a judge if a village head cannot finish the case, and are forming and founded on the authority embedded into the local political culture. Thus, this elders system is thought of as a kind of patriarchy, also being unique to Aceh Region.

Interestingly, these three groups of local leaders always constitute the reconstruction committee of

the village, often including neighborhood leaders and other memberships, as well. Therefore, a successful and speedy reconstructing work is dependent on good interrelationships between them. In other words, the power of the village community works effectively, especially to mobilize various human, material and financial resources both within and without the village and to regulate possible conflicts over inhabitants' interests, if all of these political, religious and socio-cultural leaders work together. For example, in order to start in carrying out the housing planning, the village authority has to resolve the problems of landownership by registering owners for all the land within the village and delimiting their boundaries, with the regulating process being witnessed and accepted by all the local leaders.

Spatial variation of the village communities

The second point concerns the relationships between the village community and the local government. In terms of the administration, there are two types of village in Banda Aceh City (Fig. 8.2), with a critical difference especially in who to become a head between those in urban and in rural villages: Kelurahan and Desa. While in the former one of the city government officers is appointed to be a head and works full time at the village office as a civil servant, in the latter a representative is elected by the community members and then authorized by the city government, in principle working as a volunteer. This difference reflects on difference in the head's characteristics, in particular his attachment for and situation in the community. For example, in many if not most of urban villages, the head (Lurah) is not necessarily from the locality, and in this case, he perhaps tends to turn his eyes not to the community but to the government.

On the other hand, even in the latter, the personal character and socio-economic status of the head, who in many cases were newly elected after the former head's death in the tsunami, has a great influence both on the type of strategy of the village reconstruction, and on the interrelationships with international organizations and NGOs. Indeed, under the situation of restricted roles of the local government, the

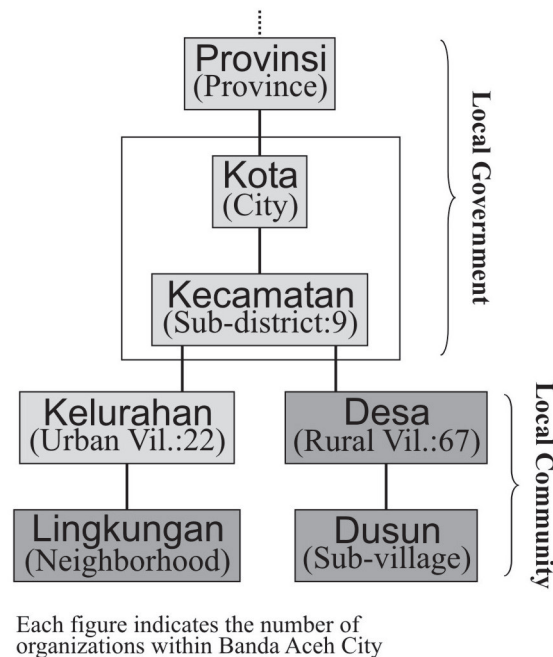


Fig. 8.2: Administrative/vertical structure of the local community.

partnerships with these non-governmental organizations increasingly have key roles for the village reconstruction. The BRR (Badan Rehabilitasi dan Rekonstruksi), which was established on April 16, 2005 under the direct control of the national government of Indonesia, has functioned as a coordinator, but it in fact seems not to have responsibility for the design about targeted villages. Thus, if a village head has little opportunity to access to these outside organizations, he has to wait for some of them to luckily come across his Posko.

On the local level, a village is usually composed of several sub-villages/neighborhoods within its territory, a leader of which is under the control of the village head. This small social space is substantially functioning as an endogenous rather than administrative organization, and is called *Linkungan* (= environment) in the urban and *Dusun* in the rural areas in Aceh Region, being similar to RT/RW in Java. And, each village has one or more Mosque/*Meunasah* and their organizations, each territory of which ordinarily extends not across the village boundaries (Fig. 8.3). Our field survey indicates that the relationship between these three social spaces/organizations in an urban, especially large-sized village might be a slight different from that in a small rural village. In the latter this relation is seemingly tight-knit and rather integrated into one socio-political entity on the village level, while in the former it is a neighborhood that serves as an actor in the village reconstruction process, and a local mosque is supported by the coalition of several neighborhoods. These complicated socio-spatial structures are very important for outside organizations to find an actor most appropriate to make partnerships with. We point out that this is not easy task for any alien to Aceh Region.

Lastly, we touch on the influence of urbanization, which certainly has close relations to these variations in the natures of local community within the rural-urban fringe of Banda Aceh City. Under the urbanization, a village has growing population with increasing heterogeneous, and more fluid social and spatial motilities. In particular, many inhabitants are increasingly detached from their local land in terms of their economic base, and this leads to the increasingly weakened functions of the local/village community, which is basically organized voluntarily by the inhabitants sharing their local land and common properties. For example, according to the field survey of our colleagues, not so few refugees possibly make decisions not to return to their damaged village, in the cases that they are not from the village, or have any other jobs than farming, fishing and other jobs related to their community. Not surprisingly, it is more easy-to-prepare for a smaller and socially solidier rural village community to start in the collective actions for the recovering.

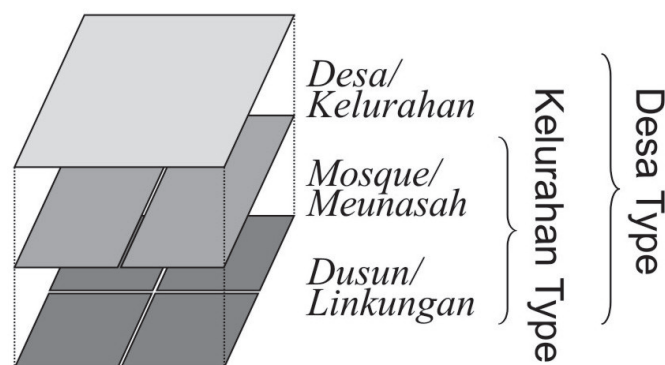


Fig. 8.3: Spatial relation of organizations within the village.

Conclusions

The reconstruction of a village certainly provides not only a physical basis for the local people to recover their livelihoods and/or economic activities, but also socio-cultural foundations for the social life. In Aceh Region, therefore, for the post-tsunami reconstruction process on the concrete field level, a community-based re-developing approach is growingly important under the situation of restricted functions of the local government. In particular, it is necessary to bring possible powers of the village community especially for mobilizing the resources and regulating the interests, and the financial and material supports of international organizations and NGOs together into action. However, at least given no formal matching mechanism between them, this is dependent on the possibility for the village head or leaders to make the personal networks with outside organizations and/or on the ability for these organizations to assess the communities' needs. In this sense, we can argue that such a community-based approach should not be overestimated, but might be useful in combination for example with the top-down (or government-oriented) programs.

The local community in Aceh Region is based on complicated interrelationships between leaders representative of different three social domains of the administrative, the mosque and the customary on the village level. Missing parts of the community, for example in the case of some leaders' death without successors, might weaken the possible power of the community, and result in delay or failure in the recovery of the social life. And further, the changing socio-spatial structures of the village, for example affected by the urbanization, might also relate to these processes. The interrelationships between the local community and the outside non-governmental organizations at least currently and partly seem to maintain good conditions, and therefore ironically, inevitably there is certainly and seemingly serious spatial inequality in quality and quantity of these organizations entering partnerships with the local community. We argue, thus, though it is not to say that the community empowerment is very significant, nevertheless without suitable intervention by the government, this inequality is probably growing in the near future.

9. アチェ津波被害復興における 国家法・宗教法・慣習法の役割

島田 弦 (名古屋外国語大学)

はじめに

アチェにおける津波被害復興と法の役割の関係を考える場合、次の点について留意することが重要であろう。

第一に、津波のもたらした被害はどのようなものであったのか、第二に、アチェ特有の法の性質やあり方と復興プロセスの関係である。

第一の点について、アチェを襲った津波は、何よりもまず人命に対する甚大な被害をもたらしたことに留意すべきである。沿岸地域の村落は、津波により軒並み90%近い人口減少を経験した。このような人的被害は、相続、孤児、保険支払い、さらには所有者のなくなった動産・不動産の取扱いなどの法的問題を生じさせた。

また、土地・家屋も津波により著しく破壊された。その結果、土地境界線の喪失、浸食・水没による土地自体の消失が生じ、不動産に関わる紛争を生じさせることとなった。

さらに、津波は、登記証書、権利証、契約書など法律文書の破損消失を引き起こし、このことが法的紛争の解決をいっそう困難にすることも注意すべきである。後述するようにアチェにおいては、登記など公的手続きを経ない土地取引が多いとはいえ、都市化の進んでいた被害地域ではこれらの文書は権利の所在を証明するものとして重要性を増していた。

次に第二の点について、津波被害にあったナングロ・アチェ・ダルサラム州（以下、アチェ州）においては、イスラム法（シャリア）が施行されていた。アチェ州におけるイスラム法の施行とは、イスラムの教義に基づく規則をアチェ州条例（カヌーン）として定めること、そしてアチェ州におけるイスラム教徒同士の紛争をイスラム法裁判所（シャリア裁判所）が管轄することを意味する。



土地の浸食を受けた海岸地帯



水没した土地と権利を主張する立て札



浸水で破損した土地台帳（JICA インドネシア事務局より提供）

また、アチェ州においては国家法とは別の慣習法上の制度も、村落の行政、紛争解決、土地取引などの場面において幅広く機能している。これに加えて、村落におけるイスラム教指導者やモスクの機能も重要である。

1. 津波被害に関連する法律問題

アチェ州シャリア高等裁判所で聞き取り調査をしたところ、津波被害に関連し、以下のような法律紛争がすでに発生し、また発生することが予想されているとのことであった。

まず、土地関係では、境界線や土地自体の損失による所有権をめぐる紛争やそれに伴う住宅再建の遅れ、土地権利証の紛失およびその再発行の問題、書類が紛失した事による土地に対する抵当権の二重設定など権利関係の確認問題、所有者がいなくなった土地の管理に関する問題、さらに津波被害後につくられた集団埋葬地やゴミ捨て場の土地収用問題などがある。

次に、銀行関係では、預金者が死亡した場合の払い戻しに関する相続人の確定や生死不明の場合の取り扱い、権利者がいなくなった銀行預金の取り扱いなどがある。

震災孤児に関連しては、身元不明児の確認、孤児の後見人の選定（肉親がいない孤児についての裁判所の職権による後見人選定を含む）、孤児の相続財産への権利を保護するため、後見人に対して行われる監督、といった法律問題がある。

さらに、被災者の住宅ローンの支払い猶予、行方不明者の死亡の認定などもある。

これらの法律紛争の件数は、津波被害の規模と同様に莫大なものになると考えられる。しかし、それを処理するアチェ州の裁判所の能力は、政府軍と独立アチェ運動（GAM）との紛争の影響による他州出身判事の流出の結果、津波以前から定員不足であったことに加え、津波自体によって相当数の裁判官が死亡したため極めて不十分である。

このため、裁判所は復興過程において発生する法的紛争について、可能な限り裁判外で解決することを勧める方針を採り、各地域での啓発活動への裁判官の派遣や、パンフレットの作成などに取り組んできている。また、紛争処理過程では、アチェ州におけるイスラム法上および慣習法上の制度を活用しつつ、裁判所が補完的役割を果たすようなプロセスを想定している。

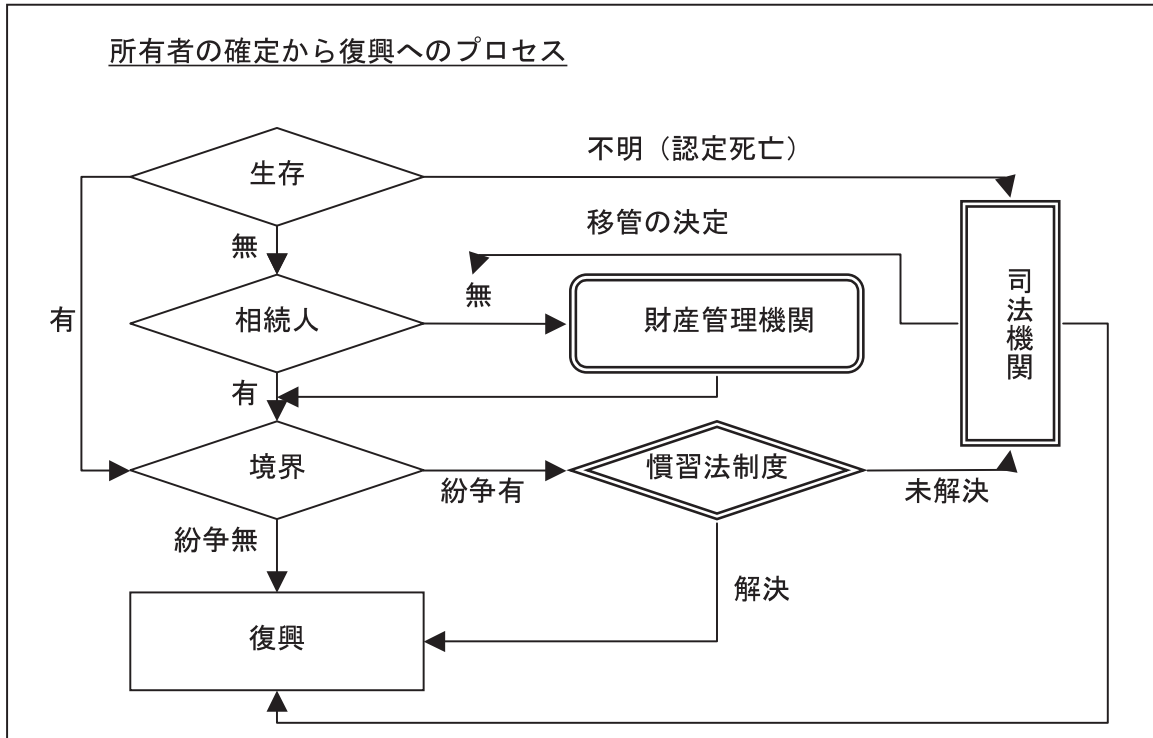
2. 国家法・慣習法・宗教法を組み合わせた紛争処理

ここでは裁判所の想定する、土地・建物の復興に関する法律紛争の処理プロセスと、孤児に関する法律問題処理プロセスについて紹介する。

(1) 土地建物の復興に関する法的問題処理

土地建物に関する法的紛争処理では、不動産の所有者を明らかにし、その上で土地の境界を確定し、建物の再建などの復興を円滑に進めることが重要となる。

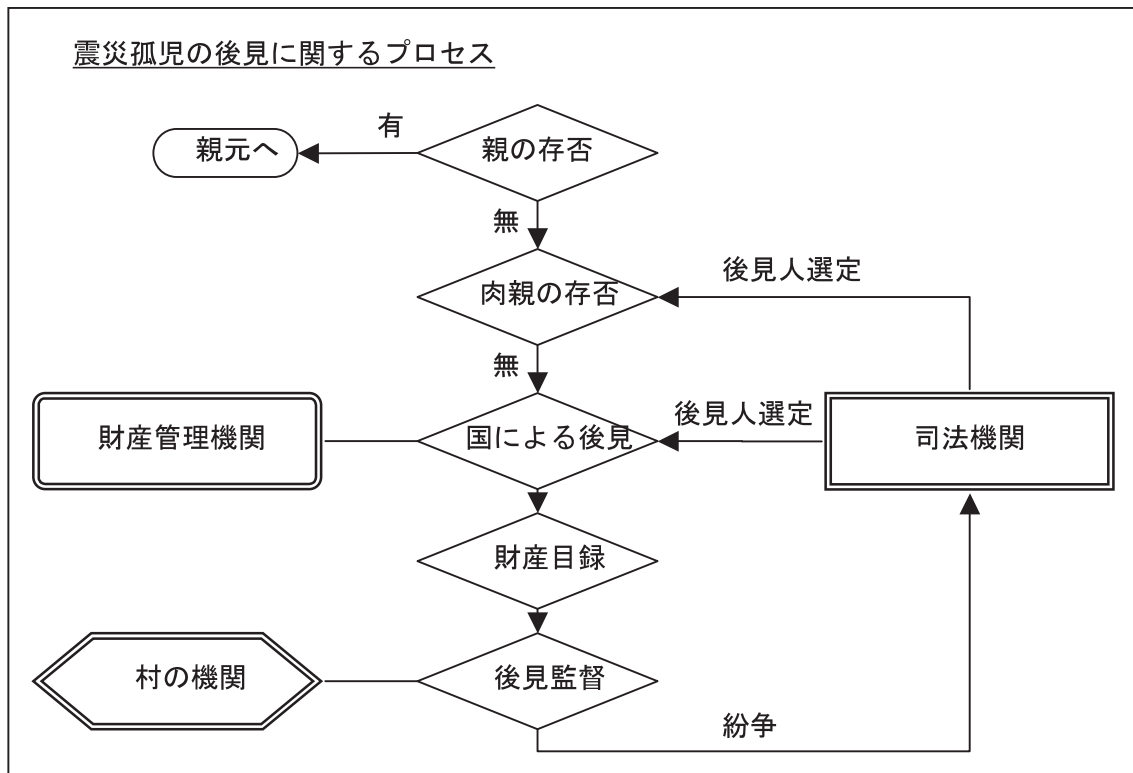
ここでは、土地の境界に関する紛争は各村落にある慣習法上の紛争処理制度を利用し、そこで解決されない場合、はじめて公的な司法機関に紛争が付託される。また、所有者のなくなった不動産に



については、やはり各村落にある、イスラム法に基づく財産管理機関（財団）がその管理をする。

公的な司法機関である裁判所は、土地の所有権に関する紛争の他、行方不明者の認定死亡、所有者のいなくなった不動産の財団への移管について決定を行う。

(2)孤児の貢献に関するプロセス



震災孤児の取り扱いについては、孤児の権利を保護することが最優先される。そのため、裁判所は孤児の後見人を選定するための決定を行う。

孤児に後見人となるべき肉親がない場合、裁判所は職権で国による後見を決定する。実際に後見の任務に当たるのは、孤児の相続財産の保全も含むことから、各村落にあるイスラム法上の財産管理機関である。また、後見人が孤児の財産を不当に使用することを防ぐために、後見監督人がおかれる。現在のところ、裁判所は後見人選定の決定において、後見監督人を指名していないが、村の機関が後見監督人となることを裁判所は予定している。

3. 慣習法・宗教法上の制度

(1) 慣習法上の制度

アチェ州だけでなく、インドネシア全域にアダット法 hukum adat と呼ばれる慣習法が存在し、主として村落を基礎として慣習法上の統治制度がおかれ、村落内の紛争処理も行ってきている。具体的な制度の形態は地域により異なるが、アチェ州の場合、村落における一般的な統治・紛争処理以外に、複数の村落にまたがった特定分野に関する管理制度も存在している（たとえば、灌漑設備管理 keujreun blan、山林管理 pawang glee、漁業 panglima laut など）。

復興過程で重要になるのは、村落統治を行う慣習法上の制度であり、アチェにおいてはトゥハプット Tuha Peut と呼ばれる機関がこれに相当する。トゥハプットとは、アチェ語で「四長老」を意味する。このトゥハプットは、政府、ウラマー（宗教指導者）、知識人、青年という4部門からの代表により構成され、通常は8人以上の構成員からなる。

この機関の行う決定は、一般的に村落内において強い権威を有し、村八分や追放などの制裁を行う権限も有している。そのため、トゥハプットは、復興プロセスにおいて発生する法的紛争の処理や、後見監督人として役割を果たすことが期待される。

(2) 宗教法上の制度

復興プロセスにおいて生じる財産管理を行う機関として、アチェにおいては、イスラム法上の財産管理機関の役割が期待されている。この財産管理機関は、バイトゥル・モル Baitul Mal と言う。本来、バイトゥル・モルはイスラムの教えに基づき寄進された財産（zakat や hibah という）を管理するための機関である。従来、バイトゥル・モルは、村落、モスク、プサントレン（イスラム寄宿学校）などにおいて非公式な制度として存在してきた。しかし、アチェ州特別自治法が制定されると、同法律においてバイトゥル・モルは法的な機関として認知され、さらに2003年7月に制定された、イスラムの寄進（zakat）に関するアチェ州条例（カヌーン）が、バイトゥル・モルについて詳細な規定を置き、州から村落に至る組織として整備された。

復興プロセスにおいては、村落共同体に属する財産を管理するための機構であるバイトゥル・モルの機能を拡大し、持ち主のいなくなってしまった土地・財産を村落に帰属させ、それをバイトゥル・モルが管理するよう法整備が検討されている。また、孤児の財産を管理する後見人としての機能も期待されており、すでに法律代行政令草案において、バイトゥル・モルのこの機能に関する規定がおか

れている。バイトゥル・モルの機能を拡大するこの草案においては、バイトゥル・モルに対する監督についても、従来の県長・県議会による監督から、州知事・州議会による監督に引き上げることが予定されている。

おわりに

アチェ州において生じている、または生じるであろう法律紛争は、津波の被害規模と比例して膨大な数になる。復興プロセスにおいて重要なのは、膨大な数の法律紛争を迅速に処理し、復興を円滑に進めていくことである。しかし、公的な司法機関である裁判所の現在のキャパシティは、これらの紛争を処理するのにとうていおよばない上、慣習法・宗教法が深く根付いているアチェ社会においては、公的な司法制度よりも、裁判外での紛争処理が有効である場合が多い。そのため、慣習法上の制度を一般的な紛争処理に活用し、人の身分関係など重要な法律問題については公的な司法機関である裁判所が管轄する方法が、アチェにおいては考えられている。また、財産管理については、イスラム法上の制度を活用する。復興プロセスにおいて、国家法、慣習法、宗教法を相互補完的に機能させるものである。

津波被災後、法律分野においても外国からすでに様々な援助が行われており、日本は、国際協力機構（JICA）を通じ、土地台帳保存の協力などを行っているほか、日本弁護士連合会も、裁判外紛争処理に関する技術協力を行うことを検討している。また、津波被害に起因する法律紛争も、今後さらに増えていくことが予測される（短期的には服喪期間の終了に伴う財産分割の開始、中長期的には相続に係わる紛争や、後見人の権利濫用などの紛争の発生などによる）。これに対応するためには、十分な能力を持つ裁判官の訓練および養成、裁判所の事務処理能力の向上などの取り組みと、それに対する国際的な協力・支援が不可欠である。

10. 調査票調査の実施・家族に生じた被害

田淵 六郎 (名古屋大学環境学研究科)

調査票調査の概要

以下では、われわれ名古屋大学環境学研究科の調査班が主体となって2006年12月にバンダアチェ市の被災地域において行った調査票調査の概略と、家族に生じた被害にかかわる項目について概要を述べる。

この調査票調査は、被災の程度がいかなるものであったのか(被害の状況)、被災1年後までの生活がどのような変化を遂げたのか(被災後の復興過程)を明らかにすることを目的として行われた。田中・高橋・木村・田淵による研究科の調査チームが企画・設計を担当し、バンドン工科大学のSuhirman 講師とインドネシア人調査員(アチェ語を話すバンダアチェ市出身者を含む)3名の協力を得て実施された。調査票は設計と内容調整を英語で行い、インドネシア語で作成・実施された。調査時期は2005年12月2日～5日の4日間であり、実査は主として日中(午前9時頃～午後5時頃)に行われた。実査の一部には研究科のメンバーも同行した。

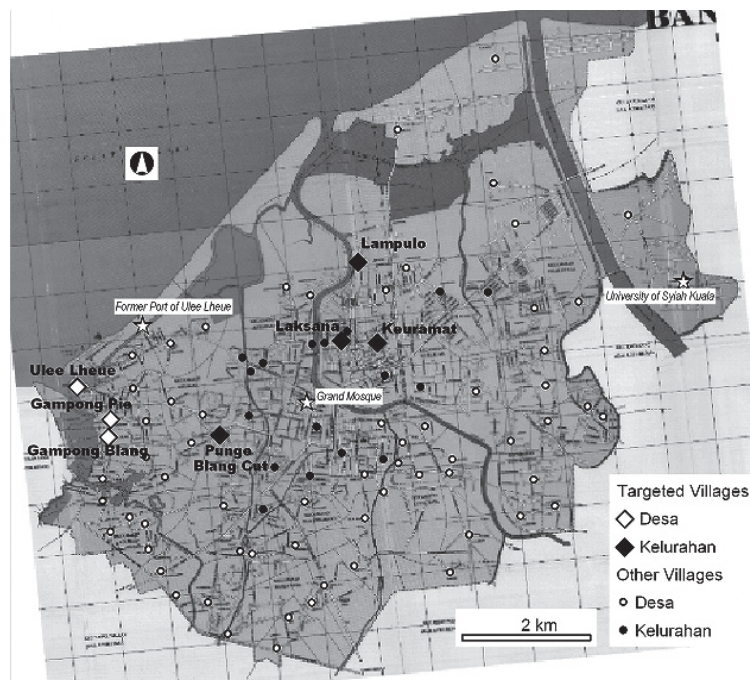


写真1 Gampong Ulee Lheue での調査風景



写真2 Gampong Blang 村長へのヒアリング

今回の調査票調査では、物理的被害の程度の大きい地区と小さい地区との比較を行うこと（地域差の析出）を目的の一つとした。移動時間や実施可能性も勘案して検討した上で、最終的に調査対象地は7地区（ここで地区とは行政単位である gampong または kelurahan を指す）が選出された。調査地の選定においては、被害が甚大であった海岸から近い地域（desa 3箇所、kelurahan 1箇所）と、比較的遠い地域（kelurahan 3箇所）の双方を含むように、また、調査地での調査実施可能性も踏まえて選定された（地図参照）。



選定された各地域ではいずれも、住民をリストアップした台帳で抽出に用いることのできる資料は存在しなかった。そのため、各地区の長に調査許可を得ると同時に、調査時点で各地域に居住していた住民の性別、年齢別構成の大まかな情報を得て、それをなるべく代表するようなサンプルを得られるように調査対象世帯を選定して調査するという方法を採用した（世帯あたり1名を調査対象とした）。有意抽出の方法であるクォータサンプリングの一種と言えるだろう。1地域あたり15程度の標本規模を得ることを目標としたが、調査環境の厳しいなかで実施されたこともあり、結果的に地域によって回収数が大きく異なることとなった。地域の特定できないケースを含め合計127ケースの回答を得たが、地域別分布のレンジはGampong Pieの7から、Kelurahan Pungai Blangcutの22である。サンプルサイズの原因から、地区別の集計はラフな数字でしかないことには注意されたい。

今回の調査票調査の結果を解釈するさい、特に被害の大きい地域においては、この調査から得られる数値は人的（および物的）な被害の程度を小さく見積もる可能性が高いことに注意する必要がある。このように考えられる理由として、(1)調査対象は「生存者」に限られるため、全員が死亡した世帯は対象にならないこと、(2)調査対象は調査時点での調査地区居住者に限られること（言い換えれば、家族や住宅への被害が大きかった者は現在も地区外に居住している可能性が高いこと）、を挙げることができる。

じっさい、今回の調査と平行して行った現地でのヒアリングを通じて、被害の大きかった海岸付近地域では、地区住民のおよそ9割が死亡しているところもあることを改めて確認した。さらに、ヒアリングによれば、生存者の多くは、現在も村落外の親族宅などで生活している。調査地でのヒアリングから得た資料から、調査票調査の対象地となった2つの地域について具体例を挙げると、以下のよう状況であった。

- ・ Gampong Blang：被災前人口997 →被災後人口98（そのうち26%が調査地点に居住）
- ・ Kelurahan Pungai Blangcut：被災前人口5,662 →被災後人口4,583（そのうち49%が調査地点に居住）

以下の報告を読まれるうえで、今回の調査票調査で得られたサンプルには以上のような特徴があることに注意していただければ幸いである。

家族に生じた被害

まず、家族に生じた人的被害について報告する。被災時の居住地区別が判明する113名について、被災前と被災後の家族数を比較した。表1を参照されたい。

表1 家族に生じた人的被害（地区別）

	津波時居住地区	被災前		被災後		生存率
		n	平均家族規模	n	平均家族規模	
被害大	Gampong Lampulo	203	9.7	122	5.8	60%
	Gampong Ulee Lheue	63	4.5	39	2.8	62%
	Gampong Pie	41	5.9	14	2.0	34%
	Gampong Blang	201	14.4	54	3.9	27%
被害小	Kelurahan Kueramat	90	6.0	90	6.0	100%
	Kelurahan Laksana	97	4.9	85	4.3	88%
	Kelurahan Pungai Blangcut	137	6.2	113	5.1	82%

例えば Gampong Pie、Gampong Blang では、上述のヒアリング資料から、住民の生存率はそれぞれ 11%、10%だと分かっているが、表の数値はそれらを大幅に上回っている。こうした数値上の違いにもかかわらず、「被害大」の地域と「被害小」の地域の平均生存率を比較すると、津波の物的被害が甚大だった地域において家族の生存率が著しく低いこと、つまり多くの家族員が失われていることは明らかである。津波の物的被害と家族への人的被害との関連が存在することを傍証する結果として、家屋への被害（「全く被害無し」に1～「完全に破壊」に4の数値を与えた）と死亡・行方不明の家族人数（8名以上に8を与えた）の相関係数は、0.51であったことを指摘しておこう（表は掲示しない）。

同じ表1から、家族規模の減少を観察することができる。津波前と津波後の平均世帯規模の変化を地域別に見ると、家族規模の減少は被害の甚大な地域で大きく、たとえば Gampong Lampulo では4名ほどに達している。この点に関して補足しておこう。今回の調査で判明したことだが、特に村落では拡大家族 extended family が広く見られ、規模の大きい家族が少なくない。今回の調査対象でも、妻が複数いる家族や、3世代以上が同居する家族が見られた。Gampong Blang で家族規模が非常に大きかったのは、複数の家族が直系方向以外に拡大するかたちで同居する大世帯が幾つか見られたことによる（それら世帯では30名以上の世帯員がいたものもある）。この点を踏まえると、家族規模の減少の程度についてはある程度割り引いて考える必要もあるが、上記の Gampong Blang 村の資料では、同村の平均家族規模は津波前の7.2名から津波後の1.6名へ減少したことが分かっており、著しい家族の小規模化が生じたことは間違いない事実であろう。

表2 家族規模2名以下の割合（地区別）

	津波時居住地区	被災前	被災後
		%	%
被害大	Gampong Lampulo	4.8	23.8
	Gampong Ulee Lheue	14.3	64.3
	Gampong Pie	0	85.7
	Gampong Blang	0	35.7
被害小	Kelurahan Kueramat	6.7	6.7
	Kelurahan Laksana	30.0	35.0
	Kelurahan Pungai Blangcut	9.1	9.1

当然予想されるように、このような家族規模の減少は家族構成の単純化をもたらした。家族構成を類型化した集計は煩雑で全体の傾向を捉えにくくするため、ここでは表2に、世帯人員が1人または2人のみの割合を津波の前後に分けて示した。地区の分母が小さいとはいえ、被害の大きい地区はいずれも家族規模の顕著な単純化が進んだことがうかがえる。

それでは、調査対象者からみて家族員のなかでどのような親族関係にある家族が多く失われたのだろうか。ここでは、統計上の便宜のために、被害の大きかった4つの gampong の合計（分母は56ケース）について、親族関係別に、その関係にある親族のうち死亡者・行方不明者の生じた割合（「欠損率」とする）を報告する。

表3 被害の大きい4地点における、家族関係別の欠損率

回答者との関係	対象あり (A)	欠損あり (B)	欠損率 (B/A)
配偶者	40	15	38%
子ども	35	23	66%
実親	20	19	95%
きょうだい	22	19	86%

表3から、親族関係別に欠損率を見ると、高い順に、実親・きょうだい・子ども・配偶者であった。これはあくまでも「生存者」の立場からの報告であり、津波前の人口全体について定義する欠損率とは異なる値であると考えられることには注意が必要だが、調査結果からは、回答者の親や子どもで高い欠損率が生じていることが分かる。

この点に関連して、津波後に生じた家族との居住関係の変化を表4に示す。サンプルが小さいことには注意が必要だが、被害が大きかった海岸沿いの地域では2割以上（13/54）の人びとについて、家族が別に暮らしているということは、「家族生活」の復興すらまだ果たされていない人びとが少なくないことを示しており、注目すべきであろう。

表4 津波後の家族との居住関係の変化（被害規模別、実数）

津波時居住地区	同居継続	同居中断	別居中	合計
被害大	35	6	13	54
被害小	43	7	6	56

つぎに被災後の家族の変化にかんする知見として、再婚について述べる。調査回答者のうち、被災により配偶者を失った後に調査時点で再婚していたケースは2ケースのみであった（いずれも男性）。統計の意味はほとんどないが、調査における男性回答者で配偶者が死亡・行方不明になったケースは10ケースだったので、このデータにおいて男性の再婚割合は20%ということになる。インドネシアは（民族的差異が大きいとはいえ）、伝統的に離別・死別後の再婚が少ない社会として知られるが、今後、配偶者を失った者たちの再婚がどのように進んでいくのかは、今後の調査課題である。

本節の知見をまとめると、津波被害は、それがもたらした物理的被害に比例するかたちで、回答者の家族に大きな人的被害をもたらしており、それは高齢の親や子どもに特に集中して生じたことがうかがわれる。こうした大きな人的被害の傷跡はまだ癒えていない。

復興における家族・親族の役割

最後に、調査では復興過程における家族・親族の役割についての評価をたずねているので、その点に関連する項目について報告する。

表5 津波後の日常生活に親族からの支援が役立ったか（被害規模別、実数と%【カッコ内】）

津波時居住地区	非常に	かなり	ほとんど	まったく
被害大	2(3.6)	9(16.1)	26(46.4)	19(33.9)
被害小	6(10.5)	18(31.6)	13(22.8)	20(35.1)

表6 津波後の親族からの経済的支援は十分だったか（被害規模別、実数と%【カッコ内】）

津波時居住地区	十分	十分ではない	不足	支援はない
被害大	3(5.4)	9(16.1)	21(37.5)	23(41.1)
被害小	17(29.8)	7(12.3)	11(19.3)	22(38.6)

表7 津波後の経済生活で最も役立ったのは（被害規模別、実数と%【カッコ内】）

津波時居住地区	貯蓄	家族・親族の支援	政府の支援	地域の支援	ボランティア・NGOの支援
被害大	5(8.9)	4(7.1)	1(1.8)	6(10.7)	40(71.4)
被害小	8(14.0)	17(29.8)	7(12.3)	5(8.8)	20(35.1)

表5によれば、被害の大きかった地区では、津波後の生活における親族からの日常生活への支援は、あまり高く評価されていない。表6には、経済的支援について親族の果たした役割への評価を示すが、こちらにも同様の傾向が見られる。表7は津波後の経済生活に役立った支援として、被害の大きい地域ではNGOを挙げる割合が圧倒的に高いのに対して、被害の小さい地域では親族を挙げるものが3割ほどで、NGOなどと拮抗していることが見て取れる。この点から、家族・親族に被害が集中的に発生した地域においては、被災者たちの親族ネットワークじたいが破壊されてしまったために、物理的被害および人的被害が相対的に小さかった地域と比較したとき、親族の果たしうる役割が小さくなってしまったということが推測できるだろう。こうした点がわれわれに与える示唆は、人的被害が大きい地域においては、資源の欠如が重複して生じている可能性があるということだ。こうした複合的な剥奪を受けた人びとに対して、今後の支援政策においては特に重点的な支援を行っていくことが望まれる。

11. 調査票調査の実施・被災者の生活再建

木村 玲欧（名古屋大学災害対策室）

調査票調査が行われるまで

本レポートでは、2006年12月にバンダアチェ市の被災地域において行った調査票調査について、被災者の居住地の移動と被災者の生活再建過程に焦点をあてて概要を述べる。

最初に、本調査が行われるまでの経緯について簡単に述べたい。バンダアチェでの災害調査では、災害を自然科学的に解明する自然科学チームと、社会科学的に解明する社会科学チームの2チームにわかれて調査を行った。社会科学チームの目的の1つは「被災者がどのような被害に遭い、どうやって日常生活を再建しようとしているのかを明らかにする」ことにあった。

社会科学チームでは、本レポートの執筆時点（災害から1年が経過した2005年12月）までに、2005年2月と12月の2回にわたって調査が行われた。第1回調査は災害発生から1ヶ月半が経過した2005年2月、現地での被災者へのインタビュー調査を中心に行い、被災者がどのような被害を経験し、どのような課題があるのかについて解明することを目的とした（図1）。その概要と成果については、2005年3月に発行した最初の報告書に詳述されている。

第2回調査は災害発生から約1年後の2005年12月に行われた。第1回調査は被災者個人の時間経過における被災体験を収集したが、今回は「個々のインタビューで明らかになった問題点・全体像が、他の人々にとってもあてはまるのか」という一般性を確かめることを目的に調査票調査を行った。バンダアチェ市内の7地域を対象に、訪問面接法によって最終的に127人の回答を得ることができた（図2）。



図1 第1回調査（1時間～2時間を要して、個人の被災体験を明らかにする）



図2 第2回調査（夜、回収した質問票を調査メンバーがチェックする）

日本での災害調査結果との比較

質問票調査を行うにあたって、いくつかの質問について、日本で行われた災害調査の質問項目を採用した。これによって「日本での災害調査結果との比較」が可能になると考えたからである。採用した項目は、本節で述べる「被災者の居住地の移動」と「被災者の生活再建・復興過程（生活再建・復興カレンダー）」である。

実際には、前節で田渕が述べているように、調査対象者選定の過程でさまざまな問題があったために、日本での無作為抽出調査による結果とは一概に比較することができない。しかし、一貫性・妥当性が日本で検証されている質問項目を採用したことで、より科学的に全体像を把握することが可能となった。

被災者の居住地の移動

被災者の長期的な居住地の移動を明らかにするため、被災者が地震津波当日から地震津波後1年（調査時点（2005年12月））に至るまでに、どのような居住地・避難先を利用したのかについて質問した。質問した時点は、地震津波当日、地震津波後2～4日、地震津波後1～2ヶ月、地震津波後6ヶ月、地震津波後1年の5地点である。その結果をもとに、各時点における被災者の居住地・避難先等の割合を表した。その結果が図3である。

なお、結果を横軸と縦軸の図で表した。横軸は、地震発生後の時間経過を対数軸で表したものであり、横軸左端の 10^0 は地震発生後1時間を表している。以降、10時間、 10^2 時間（100時間：地震発生後2～4日間）、 10^3 時間（1,000時間：地震発生後2ヶ月）、 10^4 時間（10,000時間：地震発生後1年）、横軸右端が 10^5 時間（100,000時間：地震発生後10年）を表している。また縦軸は、各項目について「横軸の時点においてその居住地・避難先にいた」と回答した人の割合を表している。

地震発生後当日は、モスクに27.6%、血縁宅に18.9%、友人・近所の家に11.0%の人が避難していた。その後、地震津波から数日が経過すると血縁宅に避難する人が41.7%となり、この傾向は地震津波発生後1～2ヶ月（50.4%）まで続いた。地震津波後2ヶ月を過ぎると自宅に戻る人が増えてきて、地震津波から1年が経過した調査時点においては、41.7%の人が自宅に戻っていた。また、14.2%が仮設住宅、4.7%が賃貸住宅、そして11.8%がテントに住み続けていることも明らかになった。

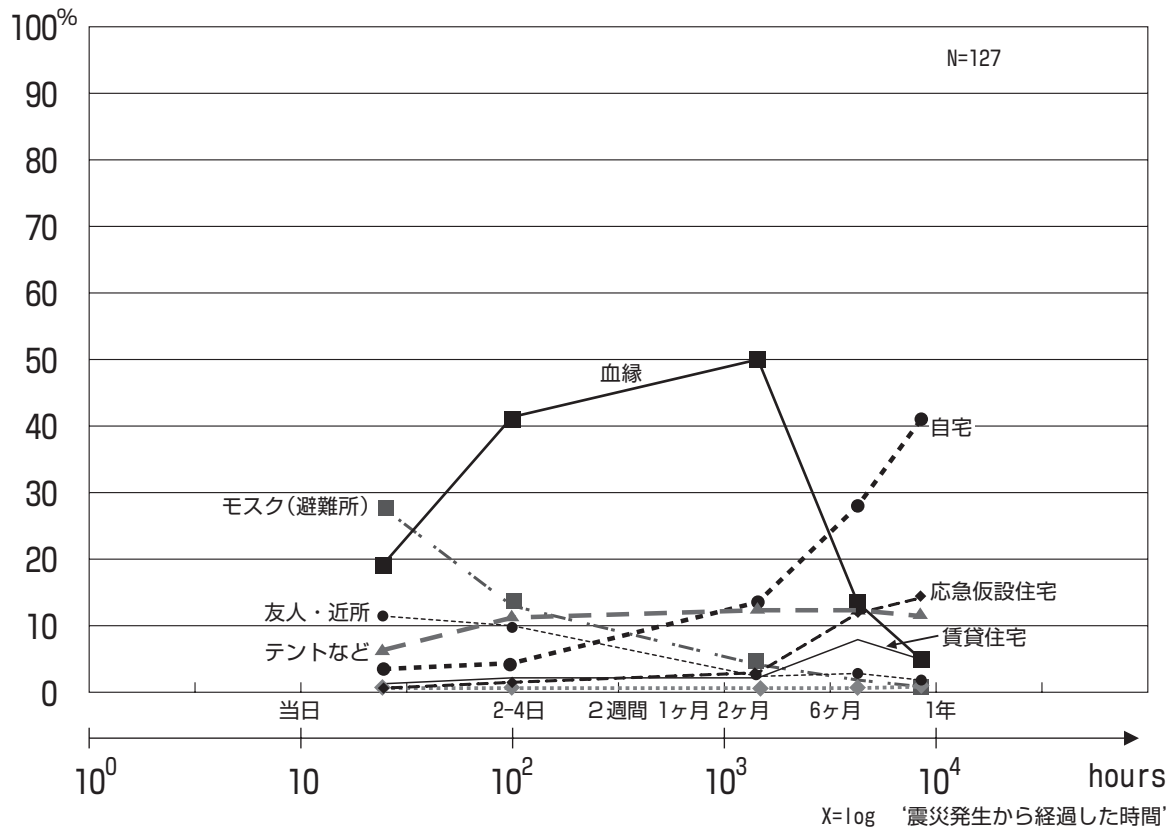


図3 バンダアチェにおける被災者の居住地の移動

この結果を、阪神・淡路大震災での無作為抽出調査の結果(図4)と比較する。阪神・淡路大震災では、震度6強・7という強い揺れに襲われて被害の大きかった場所でも、震災当日に56.2%の人が自宅に留まっていた。震災当日に自宅の次に多かった避難先は避難所(25.5%)であった。震災後2~4日を過ぎると、血縁(16.4%)が自宅(58.2%)の次に大きな避難先になったが、震災後2週間を過ぎると血縁に避難する人は減っていき、その代わりに、自分の力で借りた賃貸住宅に居住する割合が増えていった。震災後1年になると賃貸住宅には9.9%、応急仮設住宅には6.3%の人が居住していた。

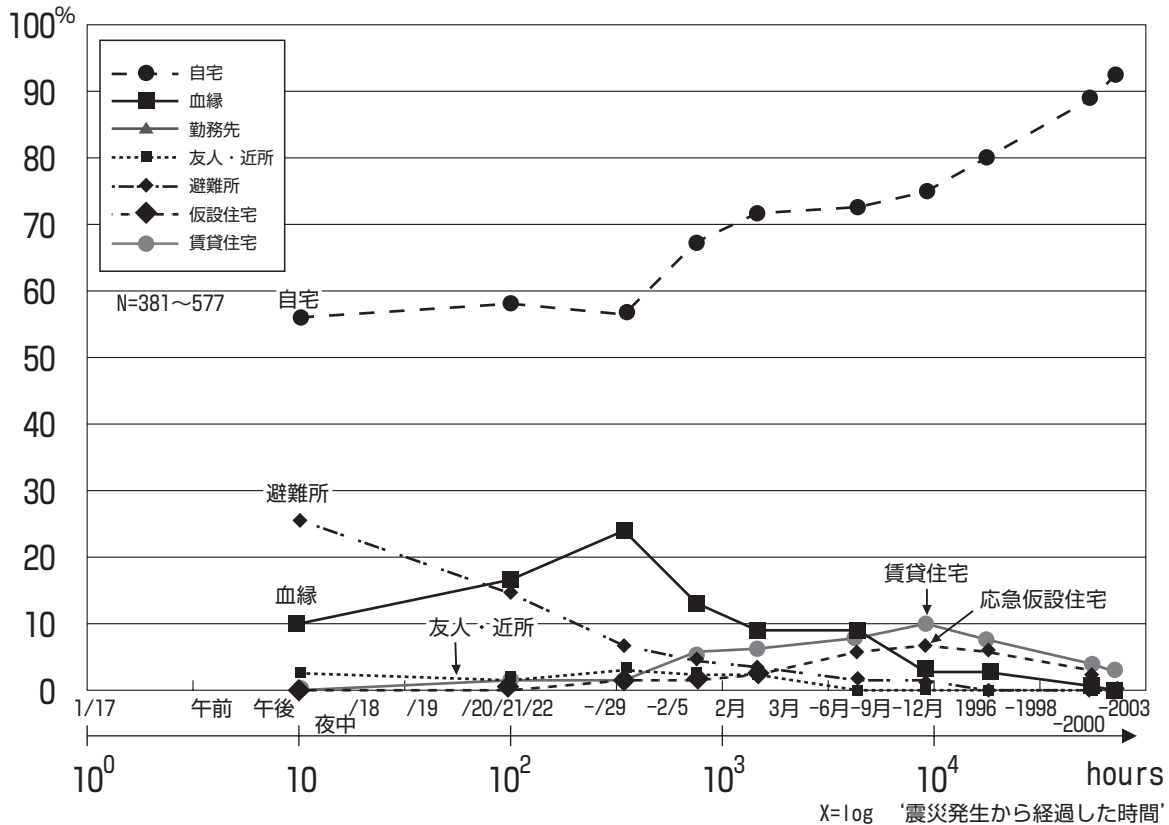


図4 阪神・淡路大震災における被災者の居住地の移動

この2つの結果を比べると、アチェでは血縁宅が大きな避難先になっていることがわかった。また避難所としてモスクが機能したが、モスクに多くが避難していたのは地震津波当日だけであり、2～4日するとモスクから避難する人が急減していることがわかる。モスクは避難拠点として大きな役割を果たしたが、日本の小中学校や公民館などの避難所（避難者収容施設）のように密閉された空間ではなく、また行政からの迅速な支援もなかったために、そこで寝泊まりしたり生活をしたりするには不適切な場所であったことが考えられる。筆者が2月に行った調査のときも、モスクはあくまでも礼拝所であり、避難者はモスク近辺につくられたテントの中で生活しているケースが多かった。

このことから、公的な避難者収容施設がバンダアチェには存在しなかったため、諸外国やNGOなどの資金援助が入るまでは、被害を受けた被災者は1人1人が持ちうる人的・物的資源、つまりほとんどの被災者にとっては血縁を頼らざるを得なかったことが考えられる。

被災者の生活復旧・復興カレンダー

被災者の生活が復旧・復興していく際の節目となりうる気持ち・行動・状況について、それらの気持ち・行動・状況がいつ発生したのかについて回答してもらった。

質問項目は「被害の全体像がつかめた」「不自由な暮らしが当分続くと覚悟した」「毎日の生活が落ちついた」「もう安全だと思った」「仕事がもとに戻った」「家計への震災の影響がなくなった」「すま

いの問題が最終的に解決した」「地域経済が震災の影響を脱した」「自分が被災者だと意識しなくなった」の9項目である。これらは阪神・淡路大震災や新潟県中越地震における社会調査で使用した項目である。

前項と同じく、結果を横軸と縦軸の図で表した。横軸は、地震発生後の時間経過を対数軸で表したものであり、横軸左端の 10^0 は地震発生後1時間を表している。以降、10時間、 10^2 時間（100時間：地震発生後2～4日間）、 10^3 時間（1,000時間：地震発生後2ヶ月）、 10^4 時間（10,000時間：地震発生後1年）、横軸右端が 10^5 時間（100,000時間：地震発生後10年）を表している。また縦軸は、各項目について「横軸の時点においてそれらの気持ち・行動・状況が発生した」と回答した人の割合を表している。

結果は図5である。「被害の全体像がつかめた」と回答した被災者が半数を超えたのは、災害から5日ほど経った12月31日ごろであった。次に回答者の過半数を超えた項目は、「不自然な暮らしが当分続くと覚悟した」であり、その時期は災害から4ヶ月以上過ぎた2005年4月ごろであった。結局、地震津波の発生から1年が経過した2005年12月の調査時点において過半数以上が回答していた項目は、先の2つと「毎日の生活が落ち着いた」と回答した人のみであった。

調査時点で「もう安全だと思った」「仕事がもとに戻った」は45%程度、「家計への震災の影響がなくなった」のは約4割、「すまいの問題が最終的に解決した」「地域経済が震災の影響を脱した」の

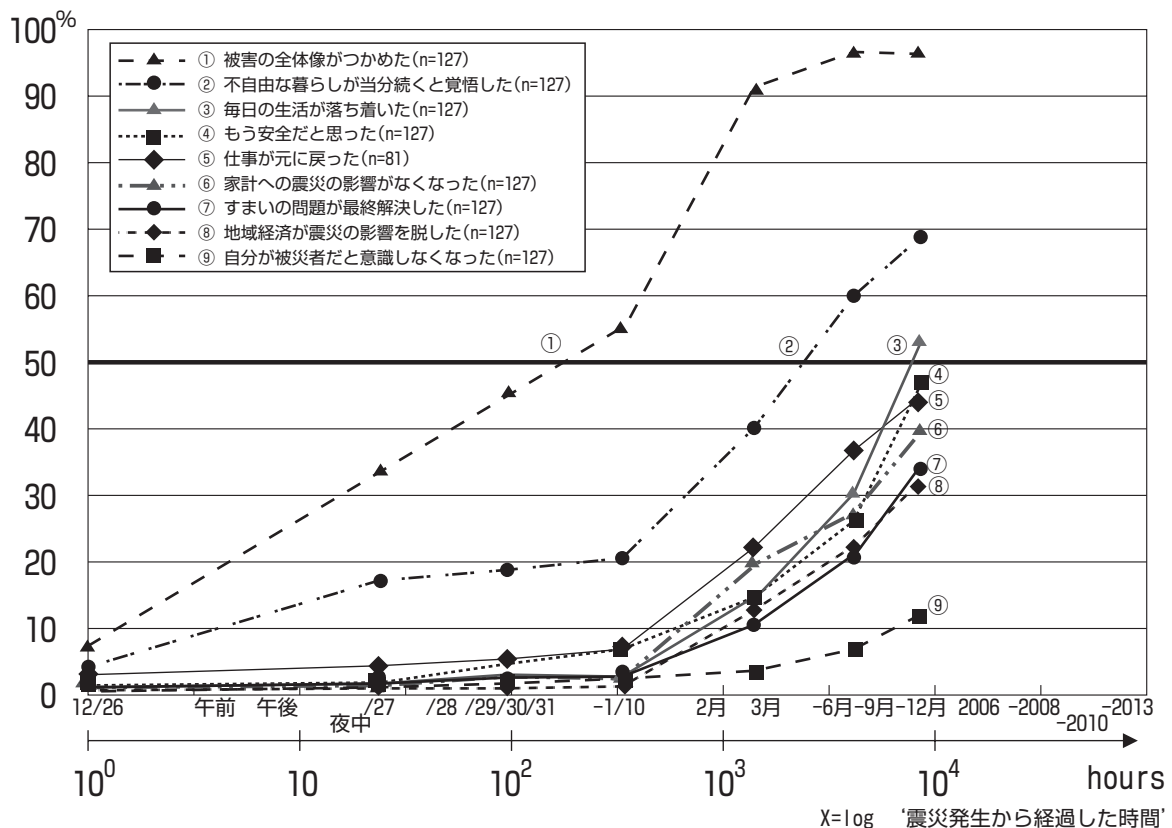


図5 バンダアチェにおける被災者の復旧・復興カレンダー

は約3割の人が「そのような気持ち・行動・状況が発生した」と回答していた。「自分が被災者だと意識しなくなった」と回答している人は、約1割に過ぎなかった。つまり9割以上の人が「自分が被災者だ」と意識していて、被災者の復旧・復興過程はまだ途上であることがわかった。

この結果を、阪神・淡路大震災、新潟県中越地震での無作為抽出調査の結果（図6）と比較する。太い折れ線が新潟県中越地震、細い折れ線でHと書いてあるのが阪神・淡路大震災の復旧・復興カレンダーである。ここでは6項目について書かれているが、これをみると、生活復旧・復興の大まかなパターンが、新潟県中越地震においても阪神・淡路大震災においても、ほぼ同様の傾向を示していることがわかった。特に図中①～⑥の復旧・復興の順番も同じであり、現代日本における地震災害の復旧・復興パターンの一般性を仮定できる結果であることがわかってきている。

しかしアチェでの結果と比較すると、調査対象者の一般性の問題もあり一概には言えないが、日本よりも復旧・復興のスピードが遅いことが考えられる。また「被害の全体像がつかめた」「不自然な暮らしが当分続くと覚悟した」「自分が被災者だと意識しなくなった」以外の項目は、すべてが地震災害発生から2週間以上が経過した1月10日以降から一斉に上昇していることがわかった。この1月10日がどのような意味で転換点となっていたのかについては、今後の調査で明らかにしていきたい。

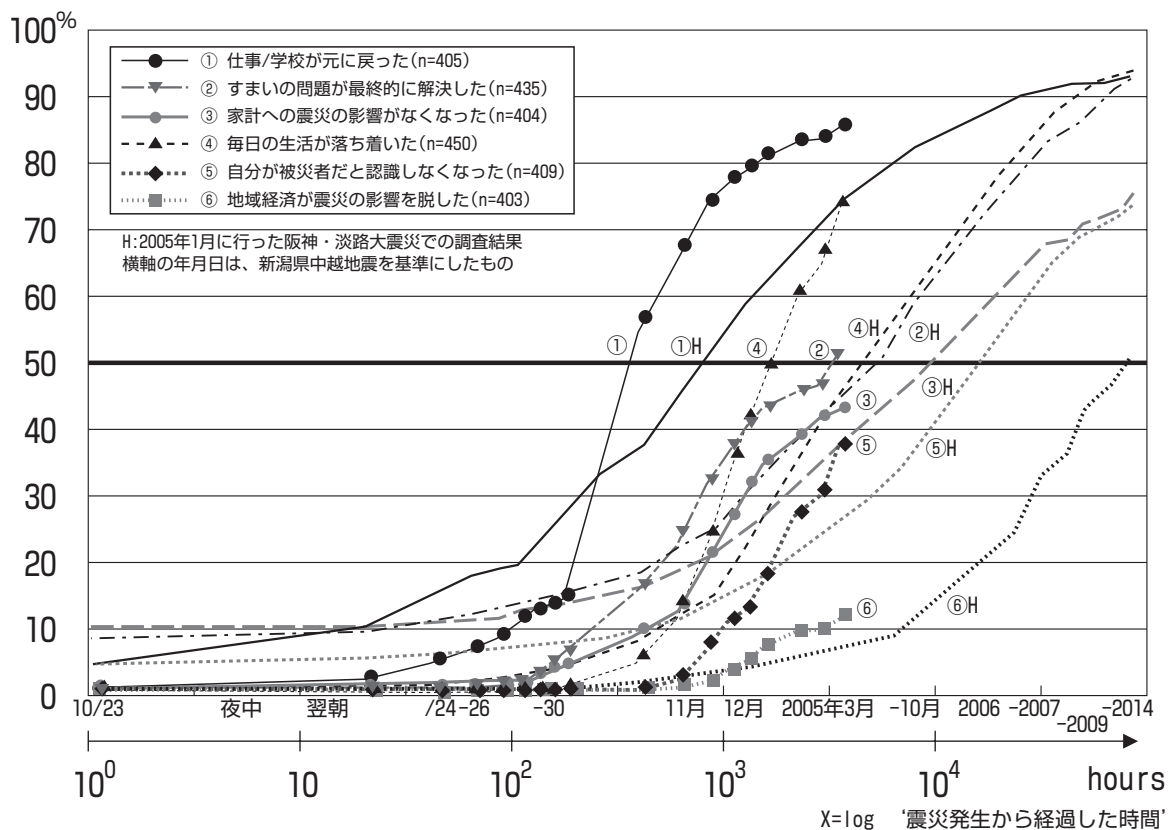


図6 日本における被災者の復旧・復興カレンダー
 (阪神・淡路大震災、新潟県中越地震)

12. Achenese Socio-Cultural Response during Earthquake and Tsunami Disaster

Suhirman (Institute Technology Bandung)

1. Social Research Group Activities

Social research group worked in Aceh from 7 Feb. 2005 until 11 Feb. 2005. Research activities were divided into 4 main activities:

1. Observing the EQ and Tsunami affected area, evacuation camp for refugee, and disaster relief organization. Observation was done in Banda Aceh City and Aceh Besar District. In Banda Aceh city, researchers could explore both the Tsunami affected area and the area that did not affected by Tsunami. Activities in Aceh Besar District was focused in Lhoknga Sub-district, which were very seriously affected by Tsunami. Researchers observed refugee camp while in the same time observed physical environment in Banda Aceh City and Aceh Besar District. To obtain the initial information about refugee situation, the researchers came to the refugees' camp around the Darrusalam Mosque for several times. Researcher observed disaster relief organizations were by coming to the organization office and talked to the organization's activists.
2. Designing interview's framework. The interview's framework were focused to reveal behavior pattern of EQ and Tsunami victims, in real disaster time and after the disaster passed. The researchers also tried to make structure model of disaster management in community level, in refugees' camp level, in district level, and in national level. Such model will be refined and will be confirmed through interview stage in the study.
3. Interviewing disaster victims and refugee camps organizers. Respondents among disaster victims were 11 persons, consisted of 6 men and 5 women. Respondents were from Darussalam Mosque Camp (Banda Aceh), Rukoh Kampong Syiah Kuala Camp (Banda Aceh), and Lam Kruit Village Camp (Aceh Besar), and camps around TVRI (Aceh Besar).
4. Analyzing interview results.

2. Victims' Patern of Behavior

Earthquake (EQ)

Almost all respondents felt big shake in EQ time (The shaking was happened twice, with interval time about 5 - 10 minutes). All of respondents fell down. But after EQ passed, respondent's responds were varied. Some of them tried to make all of their families united. Some of them talked to their neighbors, and some of them intended to continue their work. Nobody thought that Tsunami would come right after the EQ.

TSUNAMI and 1 hour ? - day after

When Tsunami wave came, all of respondents were shocked. Some of them even were not sure, that

they were facing water; although they heard many people shouted that water came after them. They only believed about the coming water after they saw it by themselves. That was why they all rolled by the Tsunami wave. Some of them were moved by the Tsunami, for 1-4 km away.

People's respond after Tsunami passed was went to mosque, to search their family, to save themselves from upcoming EQ, and to stay in the mosque. They did this automatically, because in Aceh tradition, people will go to the mosque to find protection, each time they face disaster. In fact, mosques in Aceh are also the strongest and highest building. So the mosques generally could stand still in EQ and Tsunami. In the mosques, people tried to find their families. They also tried to find food and water. Usually they found Aqua (mineral water) and instant noodle that drifted in the water.

One day after Tsunami, people around the mosques started to organize themselves to survive. The organizer came from the victims or from local volunteers, who started realize that they should organize themselves to face disaster.

Damages from EQ and TSUNAMI

Almost all houses owned by respondents were destroyed. The damage rate was varied. Seven respondents, who lived less than 1 km from seashore, lost their houses. The houses of the rest respondents who lived farer were hardly destroyed, due to EQ or to Tsunami. The only respondent whose his house didn't broken, although his house also sink by 50 cm water.

Respondent's houses were varied: from wood construction, semi permanent building, and reinforcing building. Most of respondents lived near seashore have wood or semi permanent houses, and they lost their houses. Respondents lived farers in the city, have reinforcing building. Their houses are cracked, and one of them is relatively still firm. Respondent who have 2 floor building is only one respondent, and he also lost his house.

The impact of Tsunami to the family was varied from one family to the others. There were the family that still complete, but there were the family that all of the members died or missed. The family lived at the seasure usually missed, meanwhile the family lived far from the seasure just missed 1 or 2 the families' members. For 11 respondents, only 3 respondent that the family still complete.

Tsunami impact to family member is reflected to the village population. Population of villages that directly face the coast are decrease to 10%-25%. The population of Ullue Naga, for example, were 5000 before Tsunami. After Tsunami, Ullue Naga population are just 600 people. The populations of Dayah Raja Village are decrease from 1500 to 318 people. The population of Lam Kruit Village are decrease from 2000 to 670 people. The worst village is Lepung Village that is located in coast basin. Such village population are decreased from 10.000 to 50 people.

Almost all respondents lost their job. The worst were fishermen, fish trader, pond farmer, and farmers. They lost their business capital. Respondents who worked in trading and transportation decided to stop working. They lost their motivation and concentration to work. Public officer couldn't work anymore,

because all of work facilities were destroyed. But they were still lucky, because they still received wage from the government.

Respond in 2-4 days

Respondent's houses are destroyed. They also worried about upcoming EQ. So, from the 2nd to 4th days after Tsunami, they flee to the mosques or to the higher and stronger building like TVRI building. Until the 4th day, each refugee should survive by their own effort. They could help each other to obtain food, water, and clothes. In the 4th day, logistic, food, clothes, and tent aid came, brought by volunteer or TNI.

Commonly, injured refugees were treated at Kesdam hospital (the only hospital that did not suffered by Tsunami impact) or at volunteer camp that provide health service.

Support during recovering from the disaster 1-2weeks

Nine from 11 respondents lived at refugee camps. One respondent lived at his unbroken house, and 1 respondent moved to other district, because all of her family died (including her parents).

Generally they lived at refugees camps that they found for the first time. Only two respondents decided to move from one camp to other camp. They choose to live at refugee camps because in such camps they obtain food, logistic, and accommodation (tents). Besides, the *Geuchik* (village leader) suggested them to live at such camps, for data collection accuracy. Data accuracy is needed related to the government plan to build refugees barracks. Other reasons that made respondents live at refugees camps were to find friends who had some problems. Respondents who lost their families would feel sad, stressed, and experience sleeping disturbance if they live at their kampong or live with their relatives.

The refugee could obtain their basic need (food, clothes, and shelter). But they couldn't have cash money. Cash money become needs for respondents who have school age children. Their children started to go to school. They needed transportation cost to go to school, that generally located far from refugees camps.

Role of local community (1 - 2 months)

Generally, refugees camps are organized into several blocks. Blocks are consisted of several tents. Each tent was occupied by one or several families who came from the same village. Such organizations were formulated automatically (because people tend to unite with familiar people), or pushed to enable easy data collecting and future organization, such as relocalization purpose.

Geuchik from each village often met with refugees. The *Geuchik* gave information about refugee's development, and possibly their future life in post-Tsunami period. *Geuchik* from several villages had been organized meeting with all member of the community that sparated from several camps. In such meeting they decided wether they will return to their original village, looking for new village, or to spread based on each interest. Lam Kruit Village, for example, had decided to return to their original village. One

respondent reported that his villagian spread out without any coordination. Such situation was happened because his geuchik did not come from local communities. The geuchik came from other province. So, right after Tsunami, the geuchik went to his original village.

Refugees attitude about possibility to return to their damaged original village are varied. Fishermen, pond farmers, and people who got birth and grew up in the village; prefer to return to their village. Such choice is due to their love to the village, and because their jobs are related to their village and community. Respondents who prefer not to return to their village have reasons: 1) their jobs are not related to the village. Their jobs are for example civil servants or tailor. 2) They didn't got birth and grew up in the village, so they have experience to start new life in the new places. 3) They have traumatic feeling toward Tsunami. They didn't want to return to their original village because they are afraid of being sad and remember again to their dead or missed families.

What are the Interviewer's thinking about TSUNAMI now?

All respondent convicts that EQ and Tsunami is not just natural phenomenon. It is Allah signs for human being. Their perceptions about Tsunami are:

1. Tsunami is a little doomsday. In Islamic religion, doomsday is the end of the world live, that are started by the destroyed of earth. There are two kinds of doomsday: the little one that happened partially in one part of the earth; and the big one that will be happened in all parts of earth. The little doomsday of Tsunami make their dead families live near Allah; and push them to aware about world impermanency and be a good believer of Allah.
2. EQ and Tsunami is ordeal from Allah. Allah want to see who are the good and the bad believer.
3. EQ and Tsunami is "bala". In Islamic conviction, bala is disaster that plays as ordeal. Whoever faces the ordeal with kindness, they will get reward and become beloved Allah servants.

With all convictions, respondents are not afraid of EQ and Tsunami itself. Bala and ordeal could be happened to anyone. They are afraid do Allah as the owner of bala and ordeal.

Some respondents did not recognize local term for Tsunami. Only two of them who heard term Ie Beuna, as high water coming from the sea. They heard such term from the old people.

3. Refugee Camps Organization

There are three kind of refugee camps in Aceh. 1). The camps directly organized by local government, such as camps in Rukoh Kampong and Lam Kruit village. Those camps are organized by sub-district government (*Kecamatan*). *Camat* (public official that lead sub-district) coordinated directly with *geuchik* and tent leaders about aid distribution, data collecting, and future settlement.

2) The camps that organized by foundations. Usually foundations make camps in their yard. Logistic and consumption were distributed directly by foundations. The foundations got aid from local and international volunteer's groups. Usually foundation did not take any responsibility about post disaster live of refugees. Such problems are coordinated between refugees and *Geuchik*. From the beginning, refugees

knew that they could stay in foundations yard for temporary time. Relationship between foundations and refugees were not always good. Respondents among refugees in foundation camps perceived that foundation had utilized them to get aid for foundations interest. They perceived that not all aids were distributed to refugees. Foundations had used them to develop the foundations.

3) The camps that organized by student organization, such as camps around Baiturrahman mosque and TVRI complex. Baiturrahman Camp is organized by unsyiah student. This camp organized very large refugees, about 13.000 people. TVRI camp is organized by Student Association of Aceh Mapala. They organize about 4500 refugees, or about 688 head of family. In such camps, all aid came through student organizations. Then they distributed the aid to tents. Mapala groups for instance organized refugee into 4 blocks. Each blocks appointed their geuchik. The student coordinated things with geuchik. Geuchick then distributed any information to other refugees in their block.

In the first time, refugees just laid down in the camps. In 4th day, tent, sanitation, and clean water aid came. The coming aid attracted other refugees to come. The camps population growth then became high. Darussalam camp recorded refugees increase for 300 people each day in the first week. Favourite places were big mosques, office with big yard and mosque, and city parks that free from Tsunami impact. In such place, facilities for refugees including mosque commonly were well. In camps with big number refugees, there were also activities like alternative education, therapy for depressed people, and religion service.

Not all refugee organizations have good relationship with the government and *Satuan Koordinasi Pelaksana (Satkorlak/Implementing Task Force Coordination)*. Refugee camps coordinated by students, for example, had no contact with the government. They preferred to access aid from international institutions that have office in Aceh. They distributed the aid directly to the refugees.

4. Organization of Disaster Relief

Organizations of EQ and Tsunami disaster relief in Aceh and Medan are consisted of:

1. Organization at policy level (national level)
2. Organization at operational level
3. Organization at field operational level
4. Organization that are existed in victim's community

Organization structure can be seen at picture 1.

Badan Koordinasi Nasional (Bakornas/National Coordination Board) coordinates disaster management at national level. *Bakornas* coordinates departments at national level and international organization like the UN, foreign country aid, and international nonprofit organizations. *Bakornas* organized by *Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas/National Development Planning Board)*. *Bakornas* is led by the minister of Bappenas. *Bakornas* has duties to set policies about disaster management, emergency relief, rehabilitation, and reconstruction stages. They also have duties to negotiate aids, debt moratorium, and allocate the government budget for managing the disaster impact.

In implementation level, *Satkorlak* plays important role. They coordinates activities with Aceh Civil Government, District Government, international agencies that open their office in Aceh, and local organization especially NGO and voluntary groups. *Satkorlak* is led directly by Coordinator Minister of People Welfare.

In field implementation, community and volunteer organizations play important roles. They act as mediator among TNI, province government institutions, and international agencies in distributing good and services.

In beneficiarie's level, refugee organizations make relationship with local and volunteer organizations, with informal leader like *Tengku* (local religious leader), and with community leaders. The smallest refugee organizations cover 3-7 families. The larger refugee organizations cover blocks of refugee tents.

In practice, the relationship between disaster relief organization levels doesn't run well. Observation and interviews in Aceh shows several facts:

1. Direct relationship between community/volunteer organizations and *Satkorlak* often didn't work. They didn't share information and didn't cooperate in managing disaster impacts. This condition could make *Satkorlak* release improper policies.
2. Information sources about field situation for *Bakornas* are not clear. *Bakornas* relies on consultants who they sent from Jakarta to observe, report, and formulate policies. Local communities and volunteer organizations did not involve in policy making. This situation is reflected from very limited knowledge among local communities and volunteer organizations about the existence of *Bakornas*.
3. In operational level, *Satkorlak* is weak in coordinating aids. It makes several refugee camps receive excessive aids, meanwhile the other lack of aids.

5. Lesson Learn

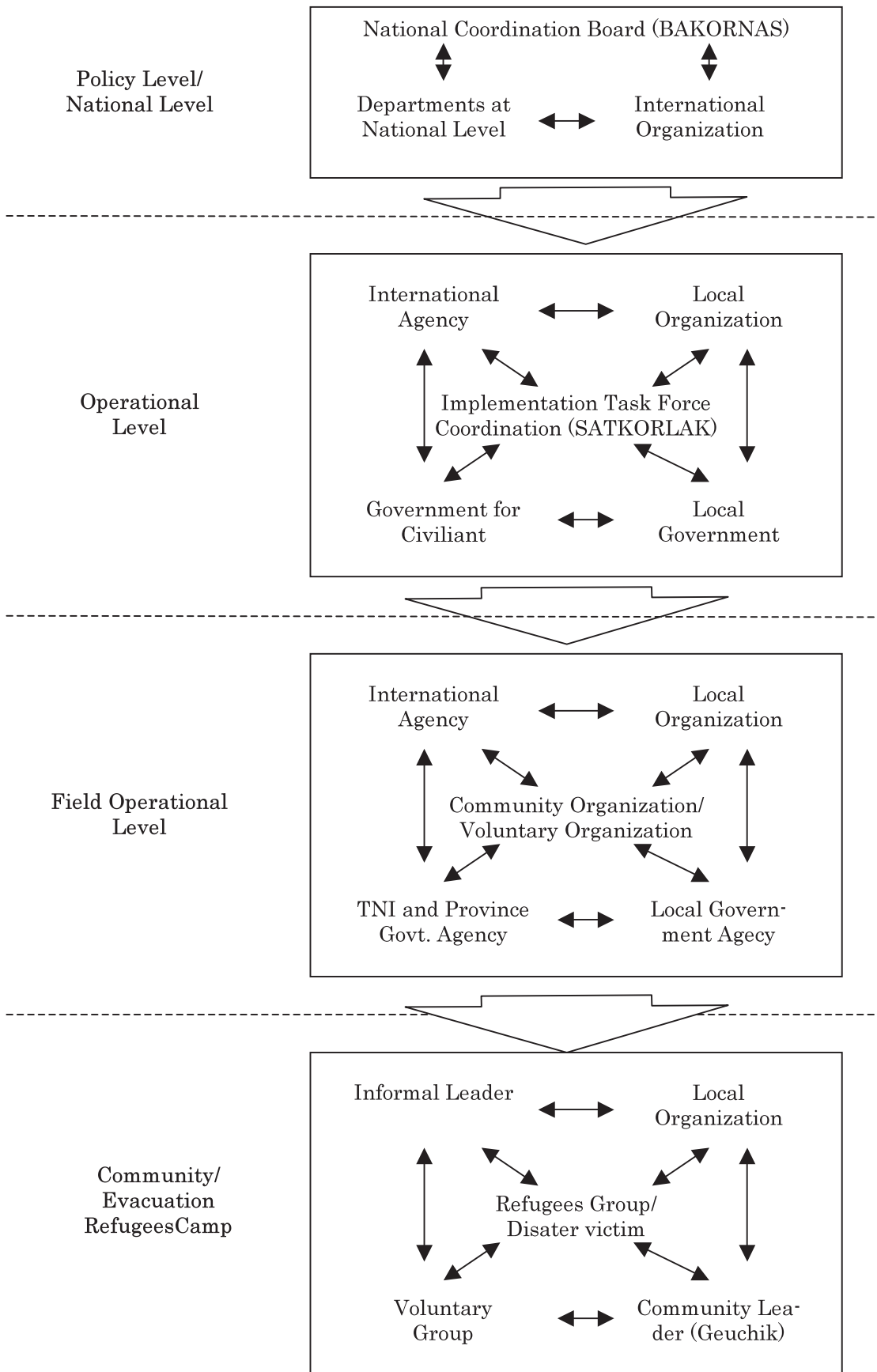
There are 4 important things that could be learnt from Aceh case, which are important in managing disaster impact. *First*, religion conviction can help people to face post-disaster impact. *Tengku/imam* in praying place continuously stresses that Tsunami was ordeal from Allah, to make people closer to them. Through religion, people believe that children and wealth are only Allah property that could be rewithdrawn by Allah. They are convinced that their lost families are might be placed in better place by Allah. Their duties are to start a new and better living. Those convictions make disaster victims calmer. Respondents said that without this conviction, they might be stressed or even mad.

Second, the capability of local communities to organize themselves around the *meunasah* (small mosque) and mosque had helped them through the disaster impacts. In a very hard situation, they went to *meunasah* or mosque for 2 reasons. 1) Because *meunasah* or mosque was higher and stronger building and 2) They believe that *meunasah* or mosque was the haouse of Allah. By living in the haouse of Allah, they also could be saved. Short time after disaster happened; groups were established at *meunasah* and mosque to protect each other in facing disaster. Refugees are usually organized based on their original village. It make easier for *Geuchik* to make data collection and coordinated his people.

Third, geuchic played important role as mediator between refugees, volunteer, and the government. Meunasah, the mosque, and geuchik are center for social cohesiveness in Aceh. So, it's important to formulate the role of meunasah, the mosque, and geuchik in Aceh recovery stages.

Fourth, local volunteer groups especially that were established one day after disaster happened; played very important role. In critical time, they tried to provide foods, water, clothes, and medicine for refugees. Without them, possibly many refugees could be dead due to hunger, poisoned, or wounded. This groups also acesed and organized aids that came from TNI, the government, and foreign institutions commonly 4th days after disaster. The interesting thing is that full time volunteers are often came from victim groups.

PICTURE 1: ORGANIZATION OF DISASTER RELIEF



13. スマトラ地震からの生活復興

田中 重好 (名古屋大学環境学研究科)

1. 景観から見た生活復興

私は、バンダアチェ市内に、地震発生から1ヵ月半後の2月初旬と、約一年後の12月初旬の二度、調査に入った。この二つの時点の町の様子の違いをまず報告する。

2月の時点で見たものは、津波の威力であった。海岸近くを10メートルを越える津波が進入し、建物をすべてなぎ倒し、後には、家屋の土台しか残っていなかった光景を目にしたとき、津波の威力を痛感した(写真1)。わずかに、海岸近くに、周辺にあった樹木は半数以上も根っこからなぎ倒されているにもかかわらず、立っている大木が印象的であった。海岸から1~2キロにあった建物がほとんど全壊であったため、かつてバンダアチェの主要港湾であったウレレ港から、市内の繁華街に建つ中央モスクが見渡せた(写真2)。町全体を見たときに、地盤型災害は津波被害に比べて、はるかに小さかった。

町の様子は、中央モスク周辺の中心市街地にも3~4メートル規模の津波が進入したため、すべての商店は破壊され、道路にもあちこちに水溜りができていて(写真3)、ようやく、道路を占拠していた瓦礫や破壊された自動車が撤去されていたばかりであった。しかし、容易に動かすことのできない大型の漁船は、自動車交通の邪魔にならないように移されていたが、町のあちらこちらに散在していた。時には、家屋の屋根の上に、あるいは、建物に突き刺さる形で、船舶が残されていた。道路は重機によって平らになり、船を除いて、瓦礫などが撤去されていたが、津波とともに運ばれてきた泥水の後に残った泥は、道路わきに詰まられたままであった。ちょうど、大型ダンプが、その泥を市街地の隣接地域へ運んでおり、その地域の道路沿いには、泥と建築廃材、瓦礫がまざった廃棄物がうずたかく積まれていた。

そのため、町全体は埃っぽく、とくに、バイクに乗っている人は大半、マスクをしながら運転していた。

また、反政府ゲリラとの和解が成立していなかった時期でもあり、さらに、地震後の秩序の維持のために、幹線道路の交差点には装甲車や軍隊のトラックが止まっており、小銃をもった軍人が数多く見られた。

また、津波で被害を受けた中央病院がドイツ軍の医療部隊の病院として活用されており、赤十字を始め医療関係の活動も目立っていた。

津波被害者は、ほとんど、避難テント生活か、あるいは、親戚を頼った避難生活を余儀なくされていた。一定の空き地が確保される場所(典型的にはモスクの広場)には、テント村があちこちに作られていた。そのテント村では、ボランティアの活動が目立った。尋ねたどのテント村でも、幼児や小学生を集めた「臨時の幼稚園や小学校」が、ボランティアの人々によって再開されていたのも印象的であった。

このテント村には、どこにも、尋ね人の張り紙があったし、地元紙でも、見開き前面を尋ね人の写真が掲げられていた。一瞬のうちに人々を襲った津波によって、家族や親族、友人や恋人が「行方不明」になったままであった。身元確認も十分なされないままに、集団墓地に数多くの人が埋葬された。

産業としても、町中心部の商店は閉鎖されたままであり、津波をかぶった耕地も放置されたままで、わずかに沖に出ていて助かった漁船が、崩れかけた港に停泊していた程度であった。

しかし、津波が到達しなかった地域では、他の地域の商店街が壊滅したために、かえって活況を呈していた。その点で、津波来襲地域だけではなく、フラッドの形（津波の破壊力が低減し、洪水の形で被害を受けた）で被害を受けた地域でも、日常生活には戻っていなかった。その点で、津波が入った地域とそうでない地域とのコントラストが強い印象を与えた。

以上の2月時点のバンダアチェの様子は、12月調査時点では、大きく変化していた。

和平が成立したため、軍隊の数は大きく減少し、警戒態勢がはるかに緩和されていた。

中央の商店街も、仮設店舗の含めると、再開されており、かつて見ることもなかった買い物客でにぎわっていた（写真4）。ホテルの近くでは、夜遅くまで野外の食堂が営業していたのが、街の印象を大きく変化させていた。ただし、商業の復興が進んでいるのに対して、津波に浸食された水田地帯では、耕地の復興はまったく未着手であり、ただ雑草が茂っているだけであった（写真5、6）。

しかし、全体に、復興は遅れているという印象はぬぐえない。津波来襲地域は、まだ大半は仮設住宅か、テントであった（写真7、8）。一部には、恒久的な住宅建設が進められていた（写真9）。わずかに、フラッド地域において、部分的に残った住宅を修理しながら、かつての生活が取り戻されつつあった。

地盤型被災住宅も含めて、破壊された建物が「放置されている」という印象が強い。

しかも、社会的インフラの復旧がほとんど手付かずのままである。河川沿いの漁港の護岸は崩れたままであり（写真10）、中心の港湾地域は建物がまったく再建されないばかりか、橋げたの崩落もまったく修理されていない。一般道路も陥没や津波による侵食などの損壊は、ほとんど修復されてはいなかった。公共空間で修復された箇所は、橋が落ちて通行が不可能となった場合、恒久的な、あるいは仮設の橋がかけられていた。あるいは、道路に関しては幹線道路だけが修復されただけであった。

一般の人々の生活関連の復興が遅れ、公共施設も中心部だけが修復されただけでも、人々の生活は、街頭で見ると、急速に元通りになった。しかし、町全体を見て、中心市街地さえ破壊されたバンダアチェという都市の復興プランが見えない状態であった。

以上は、町を観察することで分かったことである。次に、津波あるいはフラッド地域に住んでいた人々を対象としたアンケート調査から、生活復興の様子を見てゆこう。



写真1 2005年2月時点のウレレ港湾近くの住宅地跡
津波が通った後が、鉄筋の押し曲げられた方向でよく分かる。



写真2 2005年2月 ウレレ港から中央モスクまでの眺望
住宅が全壊しているため、モスクが見える。



写真3 2005年2月 中央の商店街 まだ、水溜りがあり、商店は再開されていない。



写真4 2005年12月 中央の商店街 仮設店舗ながら、商店はにぎわっている。



写真5 2005年2月 津波に浸食され、瓦礫が堆積している水田跡。



写真6 2005年12月 津波に浸食された水田跡（写真5と同じアングル）



写真7 2005年12月 建設中の仮設住宅



写真8 2005年12月 仮設住宅とテントとが混在する被災地



写真9 2005年12月 ウレレ港から中央モスクまでの眺望（写真2と同じアングル）
復興の住宅建設が進んでいることが分かる。



写真10 2005年12月 河川沿いの漁船停泊のための港 まだ整備されていない。

2. アンケート調査から見た生活復興

2005年12月に、バンダアチェ市および周辺地域の、津波被害地域で実施したアンケート調査（調査対象地域や対象者については、田渕報告参照）から、生活復興において、どういった社会関係、集団、組織が重要な働きをしたのかを、住民の視点から見ておこう。

アンケート調査において、親戚、友人、コミュニティ、国内のNGO、海外のNGO、地方政府、中央政府ごとに、どの程度頼りになったかを尋ねた。この回答の中から、「たいへん頼りになった」「かなり頼りになった」というプラスの評価を集計したのが、表1である。

この表に見るように、「たいへん頼りになった」という回答のもっとも多いのは19.7%の、海外のNGOである。次いで、親戚が7.1%と回答されている。

「たいへん頼りになった」「かなり頼りになった」を合計した割合で見ると、海外のNGOとインドネシア国内NGOのグループが高いポイントを示している。次いで、インフォーマルな関係である親戚32.3%、友人18.9%となっている。こうした中で、注目すべきは、行政機関は中央政府、地方政府ともに、「頼りになった」と回答している割合が低いことである。さらに、堅固に見えるコミュニティが予想よりも低い値しかとっていない。

表1 「どの程度頼りになったか」

	親戚	友人	コミュニティ	国内NGO	海外NGO	地方政府	中央政府
たいへん	7.1	3.9	3.9	4.7	19.7	4.7	1.6
かなり	25.2	15.0	9.4	20.5	32.3	9.4	2.4
合計	32.3	18.9	13.3	25.2	52.0	14.1	4.0

それぞれの関係や組織、機関ごとに「どの程度頼りになったか」という質問の総括として、「もっとも頼りになった」関係・組織はどれかと尋ねた。その結果が、表2である。各関係・組織ごとの回答結果と同様に、海外NGOと親戚がほぼ同じ割合で指名されている。すなわち、海外のNGOと親戚関係が、これまでの生活復興において最も重要な働きをしていると考えられているのである。第三番目に、地方政府が上げられていることにも注目しておこう。

表2 もっとも頼りになったもの

親戚	友人	コミュニティ	国内NGO	海外NGO	地方政府	中央政府
36.2	3.1	5.5	2.4	40.2	9.4	3.1

「頼りになった」という形で、援助の内容・領域を限定せずに尋ねたが、今後は、経済面、生活の相談相手、精神的な支えと領域を分けて尋ねた。

財政的な支援としては、自分の蓄えだけで十分かどうか、を含めて、さらに、家族親戚、友人、政府、コミュニティ、NGOからの財政的な支援が十分であったのか、不十分だったのか、さらに、まったくなかったのかを尋ねた。

復興のための経済的資源としては、自分の貯蓄だけで十分と回答している人は10%にすぎない。逆に言えば、90%の人々は、他からの経済的な支援を必要としているのである。

表3 財政的支援

	自分	家族親戚	友人	政府	コミュニティ	NGO
十分	10.2	18.1	2.4	6.3	3.1	18.9
不十分	26.0	15.0	5.5	11.0	7.9	18.1
まったく	43.3	40.2	74.8	52.0	54.3	18.1

「自分」については、自分の経済的な蓄えが「十分かどうか」という回答である。

では、そうした経済的な支援をどこから得ているのであろうか。「十分」という回答に注目すると、自分の家族親戚と NGO とがほぼ同じ数値である18%を示している。しかしここで注意しなければならないのは、「家族親戚からの財政的な支援が十分」という回答は、回答者が持っている期待値との関係を表しているにすぎず、経済的な支援の絶対額を意味しているわけではない。このことは、NGOからの財政的支援についても同じである。こうした点に留意しながらも、自己資金では生活復興ができない90%の人々にとって、家族親戚と NGOからの財政的な支援がもっとも重要なエージェントであることがわかる。

各社会的支援の主体の重要性を比較検討するために、個人、家族親戚、友人、政府、コミュニティ、NGOのなかで「財政的にもっとも頼りになったもの」はどれかという質問をした。

その結果(表4)、表3の質問形式ではほぼ同等の「十分」という回答を得た家族親戚と NGO とが、大きく異なる値をとっている。すなわち、「財政的な支援でもっとも頼りになったもの」は半数の人にとっては NGO であり、次いで、約20%の人にとっては家族親戚なのである。このことを、もう少し検討すると、5人に1人は確かに家族親戚が頼りになったが、そして、10人に1人は自己資金で生活復興のめどをつけられたが、それ以外の7割の人々は、自己あるいはインフォーマルな関係による生活復興が不可能で、フォーマルな組織からの支援を必要としていたことを示している。

そして、財政的な面でも、圧倒的に重要なのは NGO であったのである。

ここで、コミュニティがもっとも頼りになったという回答が9.4%あることに注目しておこう。表3に示した、コミュニティからの財政的な支援が十分だったかどうかという質問に対しては「十分」という回答が3.1%しかないにもかかわらず、もっとも頼りになったのはコミュニティという回答が、その3倍の値を示している。このことは、一見すると不思議である。しかし、このことは、後にも検討するように、コミュニティ自体が直接に財政的な支援をしたから「もっとも頼りになった」という意味ではなく、NGOや政府などの財政的な支援の仲介役となり、住民が財政的な支援を受けられるようになり、個人の生活復興に役立ったからと解釈できる。

表4 財政的な支援でもっとも頼りになったもの

個人	家族親戚	友人	政府	コミュニティ	NGO
11.0	19.7	0.8	9.4	9.4	49.6

次に、生活復興の経済的な面を離れて、生活相談や精神的なサポートについてみてゆこう。

被災後、アチェの人々はさまざまな生活上の困難な問題に直面してきた。その生活上の問題の相談相手を尋ねた。表5は「あなたの問題をもっともよく聞いてくれた人は」という質問に対する回答である。相談相手としては、インフォーマルな関係である親戚、友人がもっとも重要であった。

それに対して、コミュニティの人々やリーダーは意外なほど低い値しかとっていない。同様に、宗教リーダーの回答率も低い。アチェ州はインドネシアで唯一国家法と並んでイスラム法が適用されている地域である。また、この地域のコミュニティは、先進国に比べて堅固な組織である。それにもかかわらず、コミュニティや宗教関係の人間関係への回答が低いことは、予想外であった。

また、「相談者がいない」という回答も9.4%あったことも注目しておかなければならない。それは、調査対象地域では、津波による全半壊という建物被災率はほぼ100%で、死亡率も50%をこえる地域も含まれている。そのため、それまでの家族親族や友人の社会関係を喪失してしまった場合も含まれていることを推察される。

表5 相談者

親戚	友人	コミュニティの人々やリーダー	ボランティア組織／NGO	宗教リーダー	相談者がいない
59.1	26.0	1.6	2.4	1.6	9.4

相談者ととも、「精神的な支え」について重ねて質問をした。

回答結果としては、生活上の相談者とほぼ同じ回答傾向を示している。インフォーマルな関係である親戚がもっとも多く59.8%、次いで、友人が29.1%である。

表6 精神的な支え

親戚	友人	コミュニティの人々やリーダー	ボランティア組織／NGO	政府機構の官僚	宗教リーダー	精神的な支えがない
59.8	29.1	0.8	1.6	0.8	0.8	7.1

以上の考察を、今度は、援助主体ごとに整理しておこう。

災害からの生活復興において、家族親戚の役割はきわめて重要である。財政的な面でも、さらに、生活上の問題についての相談役、そして、精神的な支えの、すべての面において家族親戚は重要な役割を果たしている。そのため、全体的に見ても、「もっとも頼りになったもの」でも高い指摘がなされているのである。

次に、生活復興における友人の役割について検討しておこう。生活復興全般において頼りになった人や集団についての質問、さらに、財政的な支援の質問においては、友人はほとんど重要な存在として挙げられてはこなかった。しかし、相談者や精神的な支えの面では、親戚に次いで重要な存在と指摘されている。

コミュニティは、災害復興過程で、アンケート調査から見ると重要なエージェントであるという指

摘は少ない。先にも指摘したように、インドネシア社会におけるコミュニティの堅固さを勘案すると、この結果は意外な感じがする。しかし、今回の津波の大災害は、コミュニティ成員全体に同程度の被害を及ぼしたため、コミュニティ成員全員が被災者である。そのため、財政的な資源をはじめとして、社会的資源はコミュニティ内には残っていない。このことが第一の理由であるが、第二に、相談役や精神的な支えに関しても、重要が低い。このことは、大津波によるコミュニティ内の社会関係の破壊を考慮に入れてもなおかつ、低すぎる。災害だけではなく、普段から、この社会において、コミュニティの関係が親戚や友人に比べて、「二次的な意味」しか持っていなかったのではないかと推察される。

では、宗教的なリーダーについては、どうであろうか。アチェではイスラム教信仰が強い。一日のお祈りは、厳格に行われており、昼のお祈りの時間には街のなかが空っぽになるくらい、人々は礼拝習慣を守っている。こうしたアチェ社会において、宗教的なリーダーの指摘率が低いことは意外である。

アチェ社会のコミュニティは、一つ、あるいは複数のモスクを含んでいる。このモスクは、地域住民の寄付によって建設され、維持されている。その点で、モスクを中心とした小コミュニティの複合体が、コミュニティである。コミュニティそれ自体が小規模の場合には、モスク・コミュニティが同時にコミュニティとなっている。さらに、イスラム教は、キリスト教や仏教の場合と異なり、専門的な宗教リーダーを持たない。専門家である神父や僧侶が存在せず、コミュニティ内で居住者の中から宗教リーダーが選ばれてゆく。

災害は、客観的な事実であると同時に、「精神的な事実」である。そのため、「自分に大災害がふりかかったのはなぜか」「自分の家族や親しい人がなぜ死ななければならなかったのか」「自分は（時には、自分だけが）なぜ生き延びたのか」という問に直面する。さらに、それは「あの時、なぜ自分は家族を救えなかったのか」「ああすれば、助けられたのではないか」「家族のために、自分が代わりに死んでしまえばよかったのに」といった、贖罪感にもつながってゆく。もちろん、被災後、「深い悲しみ」や「心の傷」を背負って、長い間、生活し、「災害という精神的な事実を受け入れる、納得する」ことが必要となる。

こうした事態に対して、宗教リーダーは、お祈りのなかで人々にどう説明しているのであろうか。

地震と津波は「神(アラー)からの罰」である。災害で亡くなった人は「神によって天国を与えられた」。生き延びた人は「神から祝福された」。「われわれは津波によって家や車など多くのものを失くしたが、信仰だけは失くしてはならない」と、説明していると、ある宗教リーダーは説明してくれた。

政府や地方政府に対する評価は、総じて低い。精神的な支えになっていないばかりか、生活上の困難に直面しても、人々は行政へ相談することはしていない。さらに、財政的な支援もそれほど受けてはいない。そのため、生活復興過程で「頼りになる」機関とは評価されない。

これに対して、NGOの評価は高い。財政的な支援において、もっとも重要な働きをしているのはNGOである。さらに、もっとも頼りになるのもNGOである。とくに、海外NGOは、人々の生活復興において重要な働きをしていることが分かる。

ちなみに、今回のスマトラ地震では、海外からの災害支援が大規模に行われた。こうしたケースとして今後歴史的にも語り継がれるであろうほど、多くの海外支援が行われた。海外援助の中でもとくに、非政府レベルでの支援が大きなウェイトを占めている。たとえば、アメリカは、政府援助よりも

民間援助のほうが金額が多い。しかも、こうした国はアメリカだけに限らない。

さらに、財政的な支援だけでなく、直接、海外から被災地に多くの NGO 団体が直接入って支援活動を行っている。アチェに限って見ても、インドネシア政府の発表では 380 の海外支援団体が入ったと報告されている。さらに、バンダアチェに政府機関と民間支援団体の調整のための設けられた国連人道問題調整支援室 (OCHA) によれば、4 月 20 日の時点で、登録団体は 535 団体に上っている。

3. 生活復興過程でのコミュニティの役割

アンケート調査から見るように、コミュニティは、生活復興過程において、人々からそれほど頼りにされていないし、実際、財政的な支援も精神的なサポートも果たしていない。コミュニティはフォーマルな集団の面と、インフォーマルな集団の両方の性格を持っている。

コミュニティの人々は、個々の被災者と同様、大きな被害を被っている。コミュニティ内には、経済的資源はもちろん、社会的資源も多くは残されていない。そのため、コミュニティからの財政的な支援は期待できない。この点では、政府や NGO とは比肩することはできない。

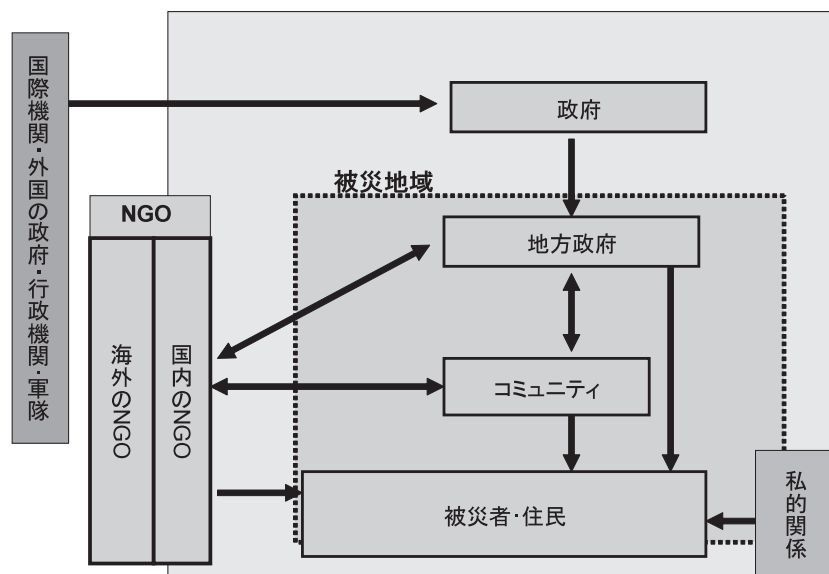


図 1 バンダアチェにおける災害復興をめぐる諸集団・組織関連

さらに、先に触れたように、インフォーマルな集団として見ると、親戚や友人ほど「親密さ」はなく、そのため、相談者としての役割や精神的なサポートという機能は果たしてはならない。インフォーマルな集団としては、二次的な存在である。

では、コミュニティは何の役割も果たしていないのであろうか。

現在のバンダアチェの災害復興をめぐる多くの主体の間関係を整理すると、図 1 のようになる。

ここでは、コミュニティは、被災者と行政機関との中間の位置にある。同様に、コミュニティは被災者と国内、海外の NGO との中間に位置する。

構造的に行政機関や NGO との中間に位置するだけでなく、機能的にも、被災者と行政機関との

媒介機能、被災者と NGO との媒介機能を果たしている。

全員が被災者であるため、コミュニティ内には経済的、社会的資源は残されていない。それに対して、被災地以外、とくに、今回の地震・津波災害においては、海外からの支援が多く寄せられたこともあり、被災地以外では経済的、社会的資源は豊富に存在している。災害支援のロジスティックから言えば、被災地外の豊富な援助資源を、どう効率的かつタイムリーに被災地に分配するかが、最大の問題となる。

その分配の基礎となるのは、被害状況の正確な把握と被災者のニーズの把握である。日本の場合には、被害状況の把握と被災者ニーズの把握は地方自治体が中心になって行われてきた。しかしながら、元来インドネシアの地方行政組織が脆弱であり、さらに、地方行政リーダーの不在（州知事の汚職による逮捕拘留中、市長の津波による死亡）と、独立運動のための軍事的対立状態という特殊事情も重なっていたため、地方政府がこうした役割を十分果たしてはいない。地方政府は被害状況の正確な把握が不十分であり、まして、被災者のニーズの把握がなされていなかった。

こうした行政の欠陥を補ったのが、NGO であった。2005 年 2 月の大学構内で避難民の支援を行っていた学生を中心とした NGO リーダーへのインタビューでも、12 月のイギリスの NGO 団体 Oxfam の生活支援担当責任者へのインタビューからも、NGO が地域コミュニティと接触し、被災状況の把握と被災者ニーズの把握を行い、その援助物資の配分を行っていた。とくに、被災から 1 ヶ月半しか経過していなかった 2 月調査時点では、避難民はコミュニティごとにまとまってテント生活をしており、この避難地コミュニティを地域リーダーがまとめて、どんな物質が不足しているかを NGO へ伝えていた。Oxfam の場合にも、発災直後にアチェに入って最初にしたことは、被災状況の把握と被災者ニーズの把握であったという。

このように被災者ニーズの把握、あるいは、被災者のニーズの NGO への伝達・交渉をコミュニティは行ってきた。限られた数ではあるが、インタビューから見ると、多くの場合には、NGO の側から直接地域に入ってきて交渉が持たれている。少数のケースでは、コミュニティリーダーが自ら、自分たちの今不足しているもの、あるいは要求実現を求めて NGO の事務所を直接訪ねている。

発災から一年後の 12 月調査においては、各地域で津波で家屋が全壊し、土台しか残っていない地域や土地の形状が変わってしまった地域でも、特別の委員会がコミュニティごとに組織され、土地区画・境界の確定と所有者の確認（とくに、それまで住んでいた家族が全員死亡・行方不明になってしまった場合の相続人の確定）が進められていた。このプロセスにおいて、当事者同士の立会いのもとに、地域のリーダーが中心になって、土地の位置の確認、境界画定、所有者の確定が進められていた。それが文書として完成すると、この結果の妥当性を保証するために、地域リーダー、モスクのリーダーの署名がなされていた。

NGO が仮に地域の仮設住宅あるいは復興住宅の建設支援を行おうとするとき、この土地確定がすすんでいることが前提条件となる。さらに、どこに、どういった形の住宅を建設するのかを検討するのも、コミュニティリーダーを中心とした地域組織と NGO との間で行われる。このように、住宅復興の際にも、コミュニティが媒介的な役割を果たすことになる。

この構図の中で、地方行政の果たした役割はそれほど大きくないと考えられる。しかしながら、2005 年 4 月（発令、実際の活動は 5 月より）に中央政府の直轄で組織化された復興再建局（BRR:

Rehabilitation and Reconstruction Agency) 組織後、NGO と BRR との定期的な連絡会議がもたれるようになった。

いずれにしろ、生活復興過程においては、コミュニティは豊かな外部資源を「自分の地域へ導きいれる」という意味で重要な働きをしている。それが、一般住民には「見えない」ために、さらに、それ自体は媒介的な機能であるために、被災住民へのアンケート調査においては、「頼りになる」組織として指摘されなかったのである。

より一般的にいえば、NGO とコミュニティ、そして地方行政組織との三角形のあり方が、生活復興のための重要なフレームとなり、ここに着目することが重要である。

4. 海外からの復興戦略と災害支援

以上、アチェの生活復興において海外 NGO の役割が重要であることを示した。

だとすれば、次に検討するべきは、その支援のあり方、復興戦略である。この点に関して十分な研究をできなかったが、今後の検討課題を見据えて、この問題を議論しておきたい。

まず、具体例から紹介しよう。

すでに述べたように、2月調査時点から見ると、12月の時点では、中心商店街の復興し、街に活気もどってきていた。それを具体的に紹介すると、写真4のようになる

このように、USAID によって建設された仮設店舗で商売が再開された。これらの商店はもともと、図2にみるように、この仮設店舗の裏側にある商店街の建物で商売を行っていた。この商店街は、写真11のように、中央に広場を挟んだ構造になっていた。

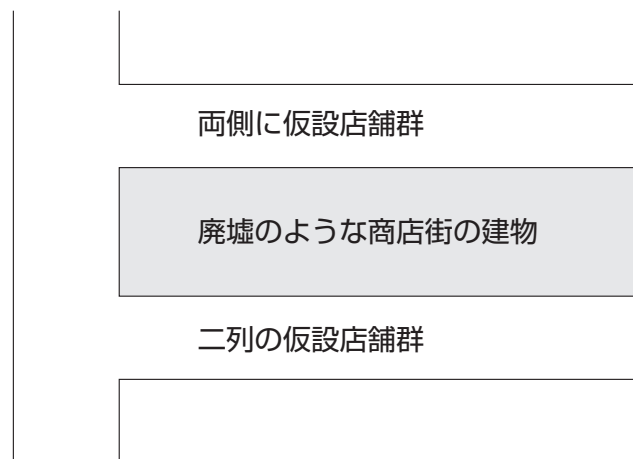


図2 2005年12月 中央モスク横の仮設商店街

しかし、写真 11 に見るように、一年経過した現在でも、その建物は手付かずのままである。むしろ、汚水がたまり、ゴミが捨てられて、環境は悪化している。

しかし、街は確実に活気が戻っている。ここで重要なのは、この商業者が小額の資本金を元手に、商売をできるだけ早く再開することである。そして、その日々の商業活動によって小資本を回転させながら、資金を蓄積し、建物再開のための資本を形成してゆくことである。

これは、発展途上国の災害支援のあり方を示している。このケースのように、津波によって失った職業を再開し、自分の生産・流通活動をとおして、資本を蓄積し、元の経済活動レベルへと復帰することが大切である。そして、災害支援は、こうした人々の自立支援を助けることを最優先して行われるべきである。どんなに巨額の支援を道路・港湾や水道施設等の再建に支援しても、肝心な生活者の収入に結びつかず、さらに、職業の自立・復興に効果がないような支援は、この地域の再建に重要な役割を果たさない。

現在、アチェでは、すでに、一年間、自分のかつての仕事の再開のめどが立たないまま、海外援助に頼って生活している人も少なくない。こうした「援助漬け」が続くと、被災者の自立へ志向する意欲を殺ぎかねない。重要なのは、被災者地震のエンパワーメントにつながる支援であり、さらに、それがコミュニティのエンパワーメントや、地方行政組織の整備にもつながってゆくような支援である。

今後、災害支援のあり方を、スマトラ地震をケースにして、再検討することが求められている。



写真 11

第5章 シャクアラ大学からの報告

LIVE WITH EARTHQUAKE AND TSUNAMI IN JAPAN

H.M.H BINTORO

Association of Indonesian Alumni From Japan

INTRODUCTION

Indonesia same as Japan is an achipelago country and sorounding by Ocean. Those two countries are sorounding by Asian, Australian and Pacific plates, so the countries are very sensitive to earthquake. The plates are always move, its speed is about 1 – 2 cm/years. The movement of the plates cause earthquake. It is about 3000 earthquake/year in Indonesia. Some of the earthquake is week, it cause less attention by the people and the government.

In the end of the year 2004, especially on December 26, the were big earthquake between Simeulue and Andaman islands. Its scale was about 9.3 and the earthquake caused big tsunami in Aceh (Indonesia), Ceylon, India, Thailand and Malaysia. The earthquake and tsunami caused 310.000 people in Aceh passed away or disappeared. Another big earthquake is in Nias island on March 29, 2005.

Up to now the people in Aceh had not known how to save their live from tsunami. In the developed countries the technology to save the people has been developed. The technology can minimalize the victim because of the earthquake and the tsunami. Japan has developed the technology so the victim because of tsunami and earthquake became less and less (Table 1.)

Table 1. People pass away because of earthquake and tsunami in Japan

Year	Name of earthquake/tsunami	People pass away	The height of tsunami (m)
1771	Yaeyama	12.000	85.0
1854	Ansei Tokai	2.000 – 3.000	-
1896	Meiji Sanriku	22.000	24.4
1933	Showa Sanriku	3.000	26.7
1944	Showa Tonankai	1.200	10.0
1946	Showa Nankai	1.400	10.0
1960	Chilean	140	4 – 6
1968	Tokachi – oki	50	3 – 5
1983	Nihonkai chubu	100	> 9.0
1993	Hokkaido Nansei-oki	230	29.0

Sourch : Takahashi Koki dan Torikai Shin-ichi, 2005. Nipponia

In the last 10 year so many big earthquake in Japan. Since the year of 1995 there was big earthquake in Kobe (Hyogo Perfecture), there were also big earthquake in Nigata Perfecture (2004) and in Fukuaoka off shore (2005).

Big earthquake damage Hanshin Highway (Fig 1), buildings and arcades near Sannomiya station in Kobe (Fig 2).



Figure 1. Hanshin highway was ruined after big earthquake in Kobe



Figure 2. Some buildings and arcades near Sannomiya Station were ruined after big earthquake in Kobe

Source :Takahashi Koki and Torikai Shin-ichi 2005. Nipponia

In the year of 1993, 3-5 minutes after tsunami about 400 buildings were ruined in Okushiri island (Fig 3). In order to protect buildings. Japanese government built check dam as high as 6 m and as long as 14 km at the coastal of Aonae (Fig 4).



Figure 3. Tsunami crashed Okushiri

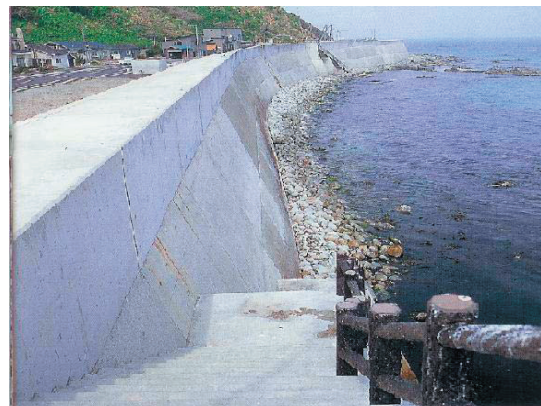


Figure 4. Check dam as long as 14 km and as high as 6 m at Aonae coastal

Source :Takahashi Koki and Torikai Shin-ichi 2005. Nipponia

EARTHQUAKE AND TSUNAMI PREDICTION

Department of Meteorology introduce tsunami prediction. The department has made 100.000 pattern of tsunami based on different intensity of earthquake and epicentrum depth. The pattern are located at 4000 locations as long as plate line near the coastal of Japan. Calculation was made for tsunami prediction and how long tsunami reach a certain location

after the earthquake occurs. The result of calculation is made for data base. When the earthquake occurs, data base will search the prediction value about location, depth and intensity of earthquake, so warning can be developed only in 3-5 minutes after earthquake. In the future early warning can be received less than 2 minutes.

In order to know the movement beneath the soil, chikyu has been developed. Chikyu can dig as deep as 2111 m. In the future chikyu can dig as deep as 7500 m (Fig 5).

Earthquake destroyed Japan long-long ago, may be thousands years ago. The ancient story told that earthquake because of the movement of giant fish in the earth (Fig 6.). So the fish should be managed

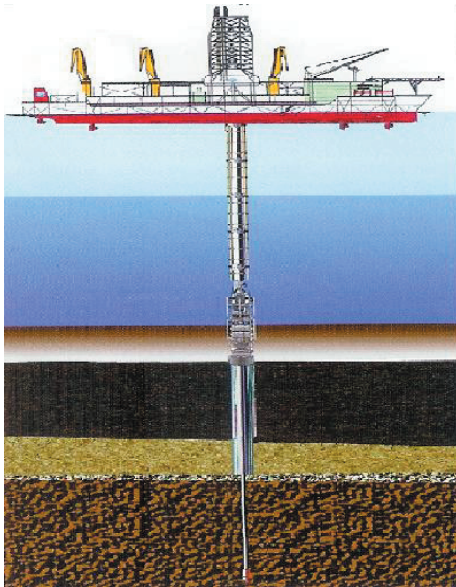


Figure 5. Chikyu can dig 2500 – 7000 m to know the plate movement

Sourch : Takahashi Koki and Torikai Shin-ichi 2005. Nipponia



Figure 6. The ancient story about earthquake
Sourch : Ito Kazuaki, 2005. Nipponia

PREPARATION TO FIGHT EARTHQUAKE

Cirene, under wear, shampoo, cooker, candle, flash light, radio, drinking water, hat and dry food, should be put into a bag. Cirene should be had frequency 3 kHz, is need when the people under building material (Fig 7). Shampoo that can be used without water is also needed, because under earthquake and tsunami condition no clean water is available. Cooker and pan are needed under emergence condition (Fig 8)

It is possible that electricity generator will disfunction because of earthquake or tsunami. That's why candle and flash light are needed especially in the dark night (Fig 9).

Radio is needed to get information. In Japan radio for earthquake condition has lamp, charge and cirene. Drinking water is needed when earthquake or tsunami, because without water, human being and other organism can not life. It is very difficult to find clean water in the emergency condition (Fig 10).



Figure 7. Cirene and shampo for emergence condition



Figure 8. Under wear, cooker and pan for emergence condition



Figure 9. Candle and flash light for emergence condition



Figure 10. Radio and drinking water for emergence condition

Sourch : Sanada Kuniko, 2005. Nipponia

When the earthquake is occurs, there are so many building materials is falling down. This condition is very dangerous for the people who are live in the earthquake area. Special hat may be can avoid head injury. Dry food can be eaten directly should be prefared (Fig 11). All goods that mention above should be put into special bag (Fig 12).



Figure 11. Hat and dry food for emergence condition



Figure 12. Special bag for emergence condition

Sourch : Sanada Kuniko, 2005. Nipponia

Preparation to fight earthquake can be classified as before, occurring and after earthquake. Preparation before earthquake is exercise the people how to save their live while the earthquake occurs and everybody has to know where is the save area. Every body has to make agreement in his/her family after earthquake, they have to go to a certain place in order to know his/her family save or not.

Some activities that should be carried out when the earthquake occurs, first We have to put out fire, electricity and gas in order to avoid fire. Pleas do not use lift because lift cannot open when the electricity out. Please do not use vehicle, if you are in a vehicle, please stop the vehicle and get out. When We get out from our building please protect our head by use table. We take the small table and put the table above our head, and then We go to the save area.

After earthquake and all member of our family can be found; somebody who can help the other people can do it. In Japan a tool namely hyper can be used to look for people under the ruin. The machine can detect someone who still a life. Police usually use special dog to look for human beeing under the ruin buildings. Robot also can be used in this activities (Fig 13 and 14).



Figure 13. Special dog was looking for human beeing under ruin building

Sourch : Takahashi Koki and Torikai Shin-ichi 2005. Nipponia

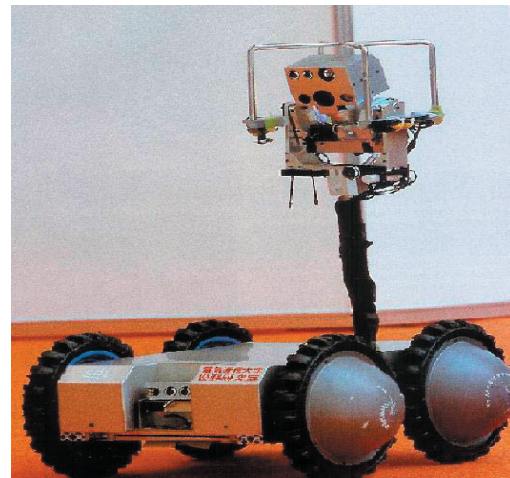


Figure 14. Robot can be used after earthquake.

Mosque and other praying building relatively save after earthquake and tsunami. It is possible that good material is used for praying building and the people construct the building seriously and the praying building especially mosque in Aceh have so many ventilation. The condition cause the water through the building without or minimalize damage the building.

THE ASSESSMENT OF THERMAL COMFORT OF LIVING ENVIRONMENT IN TSUNAMI DISASTER PLACE

By

Zulfian, Hedi Syukriadi, M.Nawawi
Acoustic laboratory, Unsyiah
Darussalam-Banda Aceh

Abstract

Tsunami disaster has affected the thermal condition as one of the features that must be concerned in the housing development. In this study case the use of two instruments, namely Thermal Comfort Data Logger type 1221 and type 7307 software, bases all the predictions.

The objective of this paper is to measure the thermal comfort condition. As guided by ISO 7730 thermal comfort is shown by PMV and PPD, which are influenced by the following parameters, temperature; humidity and air velocity. Thermal prediction shows that the index value of PMV and PPD display the uncomfortable atmosphere, particularly in refugee camp. This condition shows that there is a bad alteration of thermal condition in Tsunami disaster place.

1. Overview

On 26th December 2004, tectonic earthquake with 8.9 scales had attacked west of Sumatra-Indonesia and Banda Aceh as the capital city of Acehese province (located in northern of Sumatra) as well. It was then followed by tsunami wave rolling up over the shore and town, which caused a lot of destructions to any building constructions and the surrounding environment.

This disaster has caused many alterations particularly on climate change, which is felt uncomfortable individually. It is due to the raised temperature, humidity and the air velocity, which makes the people living in that area feel the environment much warmer than it was. This phenomenon is agreed by ISO 7730, which defines thermal comfort as the air condition in one area once it changes it makes any one in that place feel uncomfortable.

In order to know the uncomfortable thermal, this study needs an empirical approach through study case in a dwelling in the affected place in one of sub districts in Banda Aceh town that is Meuraxa.

The aims of this study are:

- To predict the internal thermal comfort in a residence
- To asses the internal thermal condition in residences affected by tsunami disaster

2. Thermal comfort prediction

The prediction of thermal comfort can be determined by some subjective scale index, they are:

- PMV-Index (Predicted Mean Vote)
- PPD- Index (Predicted Percentage of Dissatisfied)

2.1. Predicted Mean Vote (PMV-Index)

PMV is an environmental thermal condition which is statistically regarded as cold, cool, slightly cool, neutral, slightly warm, warm, and hot. The PMV scale is a seven point thermal sensation scale ranging from -3 (cold) to +3 (hot), where 0 represents the thermally neutral sensation.

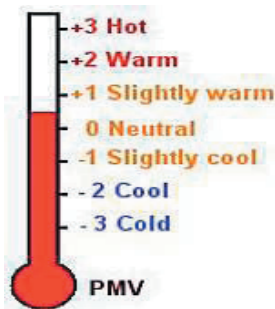


Figure1. The PMV Scale



2.2. Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD-Index)

This parameter is aimed to predict how many people feel uncomfortable due to a particular thermal condition in one room. Figure 2 shows the relation between PPD and PMV.

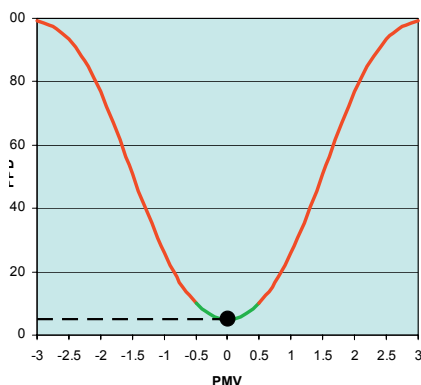


Figure 2. The relation between PPD and PMV.

The PMV scale either -2 or +2 is regarded comfortable by around 75 % of the occupants (PPD=25%), PMV scale of -1 and +1 are regarded comfortable by around 25% of the occupants (PPD=75%), while PMV scale of 0 is regarded comfortable by only 5% of the occupants (PPD=5%).

3. The method of assessing thermal comfort.

Based on the International standard ISO 7730, the determination of PMV and PPD scale index can be achieved by a direct measurement in a living environment with the measuring instruments (thermal comfort meter) and its software, they are Thermal comfort data logger type 1221 and its software type 7301 and comfort module UA1276, Air tech instrumentation, INNOVA, Denmark.



Figure 3. 1221 Thermal Comfort Data Logger

In order to know the index value of PMV and PPD, this study carried out the measurement with the instrument of thermal comfort data logger type 1221 related to computer, PC and its software type 7301 that is run by window program TM 3.1. The result is displayed in the computer screen as the result of the measurement done by software 7301. This result can be displayed in a graphic curve representing the temperature, the air humidity, the air velocity and the index value of PMV and PPD.

From those thermal curves, the assessment of either comfort or discomfort rate in living environment in places affected by tsunami disaster can be done.



Figure 4. Measuring Instrument for Thermal Comfort

4. Case study: tent

The first case study is carried out in a tent located closed to Baiturrahman mosque, Ule Lheue Banda Aceh. This tent is occupied by a man who is save from tsunami. This tent is a representative of the temporary dwellings occupied by tsunami's victims before getting the permanent house.

The measurement is done at 12.11 pm when the sun is on its maximum radiation. The thermal parameter and index value of PMV and PPD can be measured by determining the measuring point and its height from the surface where it is standing. Figure 5 shows that thermal parameter, like temperature degree that is 38.20°C is quite high compared with the Indonesian national standard (SNI) that is only 25.80-27.100C.

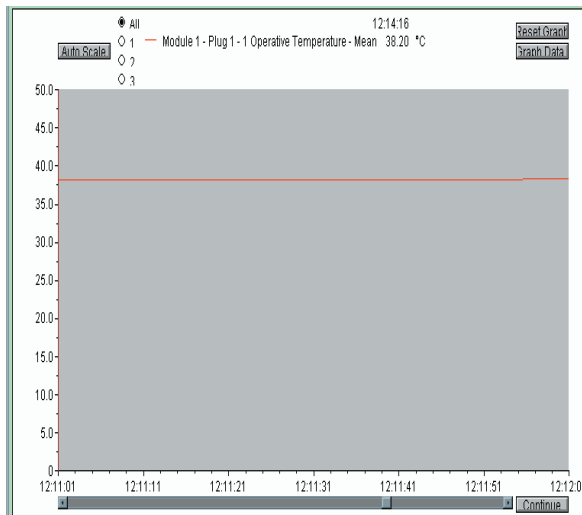


Figure 5. The air temperature

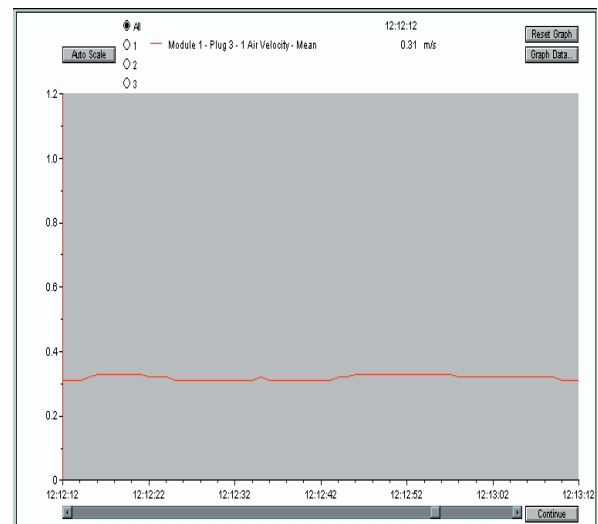


Figure 6. The air velocity

Mean while figure 6 shows that the air velocity parameter was altered every single time, however the average of air velocity value of 0.31 was relatively higher compared with the standard air velocity value (0.23m/s). In order to predict the thermal comfort, some calculations are carried out by using software 7301. The results of calculating the PMV and PPD index are displayed in the graphic curve in the figure 7 and 8.

Figure 7 and 8 show that the thermal comfort in the tent is indicated by the PMV and PPD index of 4.42 scale and 100% respectively. The index value figures that the air condition in the tent can be categorised very hot and uncomfortable for any occupants in the tent.

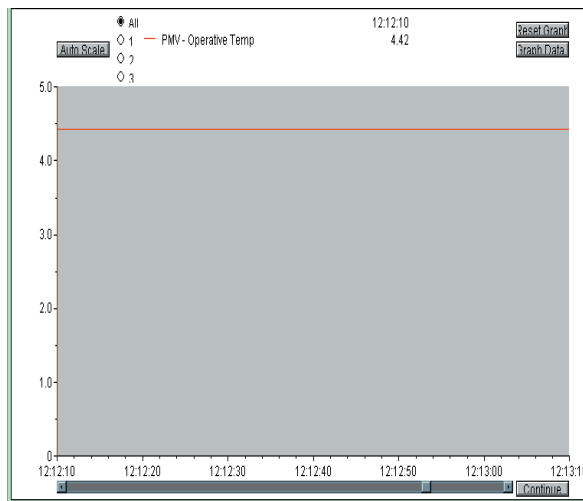


Figure 7. PMV index in the tent

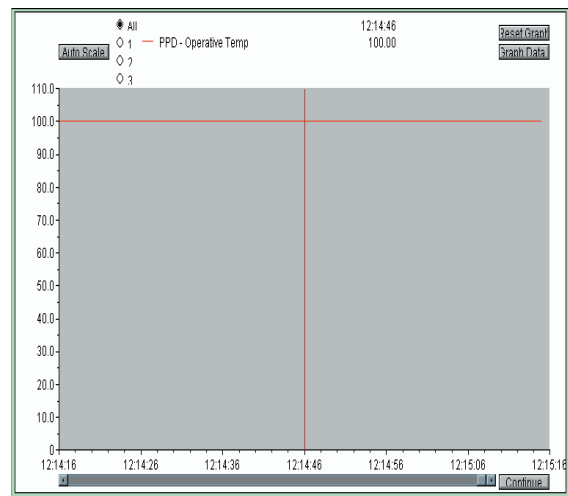


Figure 8. PPD index in the tent

5. Case study 2: Meunasah (prayer room)

The second case study analysed the internal thermal comfort in meunasah (prayer room) located in lambung village, Meuraxa sub district, Banda Aceh.

Generally Meunasah is functioned as prayer room besides facilitating the gathering place used to discuss the village problems. In addition it is also used by teenagers as the resting place and even for sleeping.

Nowadays, Meunasah is used either as the security camp or home for the tsunami victims or refugees. It is constructed with zinc roof, timber wall and wooden floor, which is, raised 0.8 m from the ground.

The measurement was done at 4.05 pm when the sun position was in the western. Picture 9 shows that the internal temperature was 32.20°C, which was relatively higher, compared with the standard internal temperature. Other result, picture 10 shows that the average of air velocity was 0.41m/s, which was relatively very high as well that it could cause the human body dry.

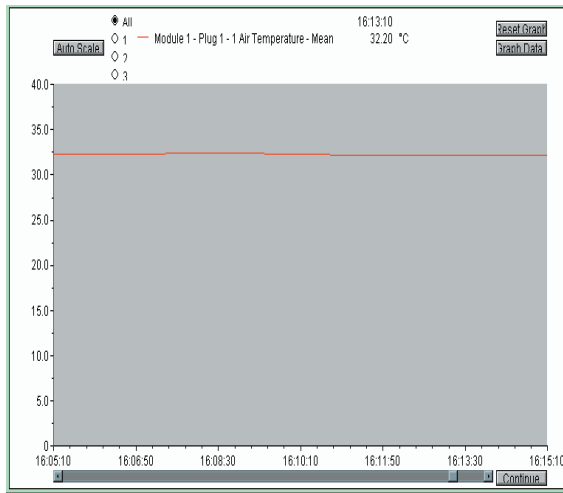


Figure 9. The air temperature

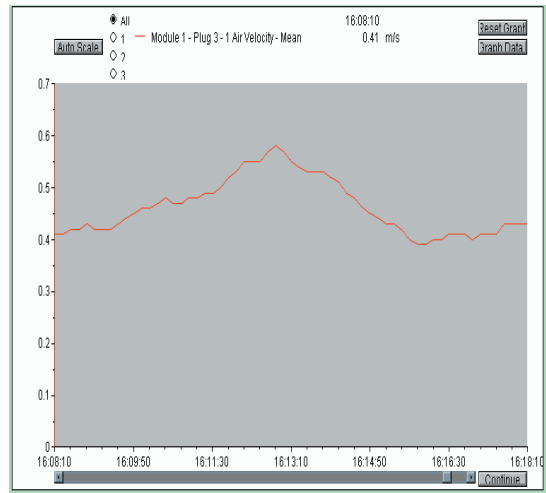


Figure 10. The air velocity

Picture 11 and 12 display the graphic curves of PMV and PPD index in meunasah in the scale of 2.57 and 94.72% respectively. These index values mean that 95% of the occupants don't feel comfortable.

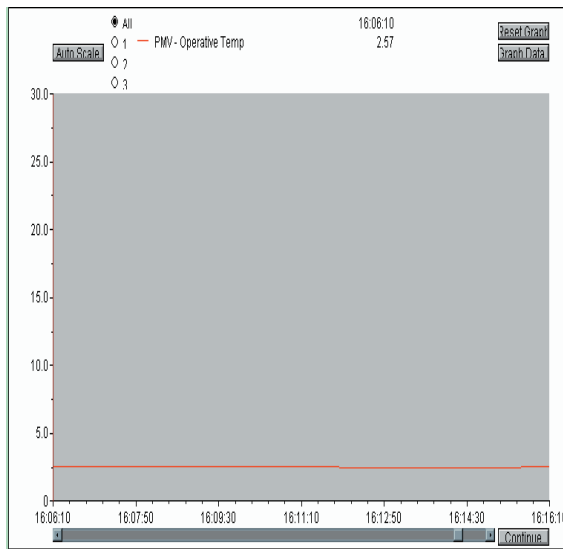


Figure 11. PMV index in Meunasah

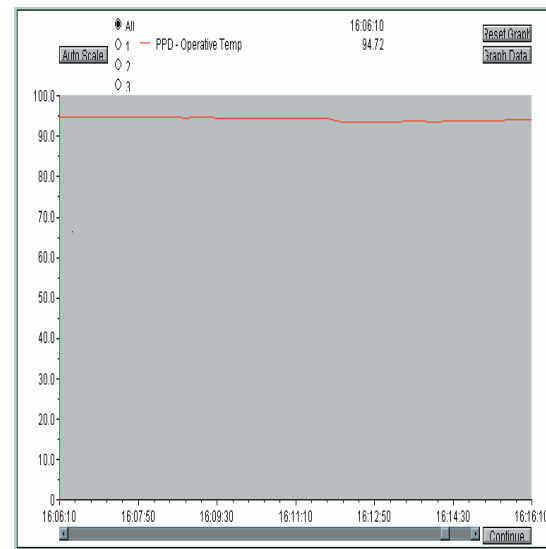


Figure 12. PPD index in Meunasah

6. Conclusion

From those analyses of internal thermal comfort, it can be concluded that:

1. The prediction of internal thermal comfort based on ISO 7730 explains that the thermal condition of living space in places affected by tsunami disaster is not comfortable.
2. The comparison of PMV and PPD index curves shows that the worst internal comfort suffered by the occupants is in the refugee tent.
3. All thermal parameters value achieved in this study proves that there has been an indoor climate change in places affected by tsunami disaster due to the unbalance thermal environment influenced by Tsunami disaster.

References

- ISO 7730, Moderate Thermal Environments- Determination of The PMV and PPD Indices and Specification of The Conditions for Thermal Comfort, 1995
- Technical Documentation, 1221Thermal Comfort Data Logger, 7301 Application Software, INOVA Air Tech Instruments, 1999
- Worker, Howard V, Energy Conservation Design resource Handbook, 1979
- Threlkeld, Thermal Environmental Engineering. 2nd edition Prentice-Hall International, 1970
- Standar, Tata Cara Perancangan Konservasi Energi Pada Bangunan Gedung, Departemen Pekerjaan Umum, SK.SNI I-14-1993.

ALUE NAGA BEACH CONDITION BEFORE TSUNAMI DISASTER

Salmawaty Arif

Mathematics Department, Syiah Kuala University, Banda Aceh, Indonesia

Abstract. *There were two big problems encountered in Alue Naga beach adjacent to Krueng Aceh river estuary before tsunami disaster, during the time interval 1992-2004. One was sand deposit in the river mouth that creates transportation problem. The other was erosion along the beach, which became heavier during 2003-2004 due to the harbor building near the area. A study to investigate the beach characteristics of the area during that time interval had been conducted. The process of investigation covered some phenomena in the beach process such as wave energy, shoaling, breaking, refraction, momentum flux, currents, etc. Mathematical models described the physics, which then were solved by numerical methods. The results showed that the waves come from northwest direction drive longshore currents to the amount of 0.6 m/sec which agrees with the field measurements in that area. Breaking line occurred at about 300 m distance from the shore line, and the highest set up at the shore line was 0.04 m.*

1 Introduction

Before 1992, Banda Aceh suffered from periodic flood which happened every five years. The problem came from the Krueng Aceh river which flows through the city, as shown by the map in figure 1. To handle the problem, the local government built a canal to split the river upstream of the city. The operation of the canal discharges the river flow more than $400 \text{ m}^3/\text{sec}$ into the canal.

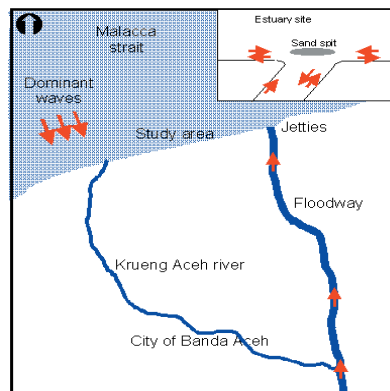


Figure 1: Situation of the area.

However, this created new problems due to the absence of the periodic peak discharge. At the river mouth the sand deposit no longer flushed by the water force, as shown schematically in the insert of figure 1. This created transportation problems, especially for the fishermen. Their boats were unable leave or enter the river, except during the high tide. The local government attempted to solve the problems with some temporary measures, such as the construction of jetties at the river mouths. However, they seemed to make the situation even worse. Problems concerning erosion occurred. The mangrove forest around the area, the fish and shrimp fields were abandoned.

The information of wave and flow behavior provides great support to solve the problem. The mathematical-physical properties of waves, flow, and their relations, were studied to formulate a representative model. A reliable tool to implement the model was established. A computer program for the numerical method had been analyzed and verified as an appropriate tool. Specific problem encountered in Alue Naga beach was simulated. The model provides wave and current fields of the area, as the input to help overcoming the sedimentation and erosion problems.

2 Mathematical and Physical Properties of the Problem

Some related phenomena are important to be studied in the process investigating the problem. The relation between mathematical and physical properties are very close in these coastal behavior, such as about wave energy, shoaling, breaking, refraction, flux of momentum, and currents. Knowledge on those phenomena might be useful in understanding the tsunami, and will be discussed here.

Consider a two dimensional horizontal xy -plane. x refers the on-offshore axis and y is the axis parallel to the shoreline, as shown in figure 2. The reference axis is taken at the still water surface. Let z to be distance measured upwards, $\eta = \eta(x,y)$ is the mean water level elevation measured above the still water level and $h = h(x,y)$ is defined as the depth of the water measured from the reference axis to the bottom. θ represents the angle between the incident wave with the positive x -axis. E stands for energy, H is wave height, g is the acceleration of gravity, and ρ is the fluid density. Moreover, let ω be the angular frequency of incident wave, and k is the wave number. Flow velocity components in x - and y -directions are represented by u and v . Figure 3 shows the schematic reference of notations.

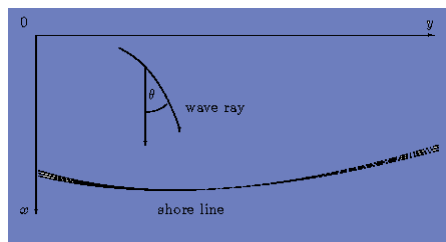


Figure 2: Plan definition sketch.

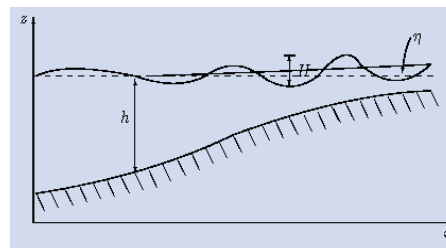


Figure 3: Schematic reference of notations.

2.1 Wave energy

General relationship between the waves and water particles is formulated by observing a float on the surface of waves. The wave profile moves forward passing the float with a definite phase velocity c , while the float oscillates in a small circle about a fixed position with water particle velocity vector, $\mathbf{u} = (u,v)$.

The linear wave theory that models waves in a deep ocean based on the assumption that the waves are considered as linear superposition of sinusoid. For a wave length L , the water is commonly considered as deep for $h > \frac{L}{2}$, and shallow for $h < \frac{L}{20}$. When the water is relatively shallow, linear wave theory shows that wave quantities are the same as those used for long waves, so waves on shallow water is alternatively called long waves. Two kinds of wave in terms of wave length involved in this model are short waves representing waves and long waves representing flow or currents.

Waves as we see on the surface of the sea are not the transfer of water. Such waves are energy, propagating across the surface of the sea, and released on shorelines. Progressing wave from offshore to the shoreline, passes two processes, namely shoaling process that occur before breaking, and the breaking process.

Wave as energy is modeled by the energy conservation equation. The relation between energy density E and wave height H is formulated in the linear wave theory. Other quantities related to wave expressions are the wave phase velocity c , group velocity c_g with its component in x - and y -direction c_{gx} and c_{gy} .

Consider the case of the bottom sloping gently, so that energy reflection is negligible, and wave crest is normal to the slope direction. In the area before the line of breaking, the energy flux is independent of the distance from the shore, namely

$$Ec_g = \text{constant}. \quad (1)$$

As c_g varies with the depth h , then E also varies with h . In this area, radiation stress components expressed as S_{xx} , S_{yy} , S_{yx} and S_{xy} , which will be discussed in the next section, plays an important role. Work done to the current strain by the radiation stress tends to reduce wave energy. The phenomena is stated in an unsteady wave energy conservation equation as

$$\partial_t E + \partial_x [E(c_{gx} + u)] + \partial_y [E(c_{gy} + v)] + S_{xx} \partial_x u + S_{xy} \partial_y u + S_{yx} \partial_x v + S_{yy} \partial_y v = 0, \quad (2)$$

where

$$\begin{aligned} c &= \sqrt{gh}, & n &= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right), \\ E &= \frac{1}{8} \rho g H^2, & S_{xx} &= \left((\cos^2 \theta + 1)n - \frac{1}{2} \right) E, \\ c_{gx} &= nc \cos \theta, & S_{yy} &= \left((\sin^2 \theta + 1)n - \frac{1}{2} \right) E, \\ c_{gy} &= nc \sin \theta, & S_{xy} = S_{yx} &= \frac{1}{2} n E \sin 2\theta. \end{aligned}$$

2.2 Refraction, Shoaling and Breaking

Waves propagate from the open sea to the beach along a line called wave ray. A wave ray could be defined as a line tangent to the wave number vector at every point. Wave refraction can be seen as a bend of the wave ray at an oblique angle when it enters the water with smaller depth.

When the wave direction makes an angle with the beach normal, the wave number oriented in the direction is a normal vector of the wave phase function. This fact represents irrotational condition of the wave number vector. This implies that wave length and wave angle are reduced when the waves enter the shallow water, while the wave heights are higher near the point of breaking than those farther offshore.

This property is expressed according to the following consideration. Since the wave number vector is the gradient of a scalar, we can take the curl of \mathbf{k} which satisfies

$$\nabla \times \mathbf{k} = 0, \quad (3)$$

such that the refraction equation reads

$$\partial_x (k \sin \theta) - \partial_y (k \cos \theta) = 0. \quad (4)$$

This equation leads to another shoaling related property as follows. On the coastline, where y variations of the variables are zero, the above equation (4) turns to

$$\partial_x (k \sin \theta) = 0. \quad (5)$$

Therefore,

$$k \sin \theta = \text{constant}. \quad (6)$$

Considering the steady state condition where the angular frequency ω is constant, and by using the Snel's law, the phase speed c for the shallow water and the deep water are established. For shallow water where kh is much smaller than 1, $c = \sqrt{gh}$. This means the speed decreases while approaching the coastline. For deep water where kh is greater than 1, $c = \sqrt{\frac{g}{k}}$. It shows that the speed does not depend on the depth.

In this model, a breaking criterion based on comparison of wave height and water depth is used, for a breaking constant γ ,

$$H = \gamma(h + \eta). \quad (7)$$

Thus the wave height as well as energy decrease when propagating to the shore. This criterion is used as soon as the computed wave height exceeds the above condition.

2.3 Radiation stress

Radiation stress is an important factor in the wave current mechanism, particularly the x -component, because it causes the change of mean water level.

Longuet-Higgins and Stewart [1] introduced the radiation stress as an important factor that should be taken into consideration. A stress is defined as the flow of momentum, whereas the horizontal momentum flux across a vertical plane is the pressure per unit vertical distance. The radiation stress is defined as the net difference of momentum flux per unit time caused by the fluctuation of wave motion, with the momentum flux without the wave effect.

The momentum of the surface waves is parallel to the wave propagation. If a wave train is reflected from an obstacle, its momentum will be reversed, therefore there is a force exerted by the obstacle. The force can be expressed as the rate of change of a wave momentum. This force creates a radiation stress. Therefore the radiation stress is a force exerted by waves to conserve the momentum.

In the area around the breaking waves, which is called the surf zone, the changes of momentum flux or radiation stresses drive the currents. The wave driven currents, becomes an important factor for sediment transport.

2.4 Flow

Flow model represented by the shallow water equations could be written as flow equations [2]

$$\begin{aligned}
 a). \quad & \partial_t u + u \partial_x u + v \partial_y u + g \partial_x \eta + M_x + L_x + F_x = 0, \\
 b). \quad & \partial_t v + u \partial_x v + v \partial_y v + g \partial_y \eta + M_y + L_y + F_y = 0, \\
 c). \quad & \partial_t \eta + \partial_x [u(h + \eta)] + \partial_y [v(h + \eta)] = 0,
 \end{aligned} \tag{8}$$

where

$$\begin{aligned}
 M_x &= \frac{1}{\rho(h + \eta)} (\partial_x S_{xx} + \partial_y S_{xy}), & M_y &= \frac{1}{\rho(h + \eta)} (\partial_x S_{yx} + \partial_y S_{yy}), \\
 \varepsilon &= Nx \sqrt{g(h + \eta)}, & \tau_{xy} = \tau_{yx} &= \varepsilon(h + \eta)(\partial_x v + \partial_y u), \\
 \tau_{xx} &= 2\varepsilon(h + \eta)\partial_x u, & \tau_{yy} &= 2\varepsilon(h + \eta)\partial_y v, \\
 L_x &= -\frac{1}{h + \eta} (\partial_x \tau_{xx} + \partial_y \tau_{xy}), & L_y &= -\frac{1}{h + \eta} (\partial_x \tau_{yx} + \partial_y \tau_{yy}), \\
 F_x &= \frac{c_f u}{h + \eta} \sqrt{u^2 + v^2}, & F_y &= \frac{c_f v}{h + \eta} \sqrt{u^2 + v^2}.
 \end{aligned}$$

Here, M_x and M_y are the forces caused by the gradients of wave radiation stresses in the x - and y -directions, respectively. L_x and L_y are the lateral momentum exchange terms, F_x and F_y are the bottom friction forces for the bottom friction coefficient c_f .

1 Results

The area investigated covers a rectangular area of 1600 m x 3400 m. The data are extrapolated from the deepest position in measurement. With the wave period 4.0 sec, the water depth range along the shallowest line considered as 'shore line', deviates from 0.4 to 2.5 m, while along the offshore boundary it deviates in an interval of about 16 to 18 m. Other quantities along the offshore boundary are the wave angle of incidence 135° from north direction or 45° to the positive x -axis, the bottom friction coefficient 0.005, the coefficient for eddy viscosity 0.01, the wave height 0.8 m, the wind velocity component parallel to the shore line is 3.8 m/sec and normal to the shore is 2.6 m/sec.

The effect of waves on flow is represented by the current driving forces determined from the radiation stress gradients. On the other hand, the effect of flow on waves is represented by wave set up. The wave field of Alue Naga beach shows that the breaker line occurs almost parallel to the shore line, at a position about 300 m from it. The current field shows that waves come from northwest drive the currents to the east direction. The radiation stress in normal direction reaches a maximum value of 1.3 N/m² and in alongshore direction reaches 0.3 N/m². These stresses produce the set up to reach 0.04 m from the still water level, and the longshore currents of 0.6 m/sec, the latter agrees with the ones from field measurement. The local engineers obtained the mean longshore currents of about 0.5–0.6 m/sec in that area. The complicated topography close to the estuary produces a circulation of the flow field, before following the longshore currents to the east direction [3].

Shoaling and set up for wave height and elevation through out the area is shown in figure 4, while flow field is shown by figure 5.

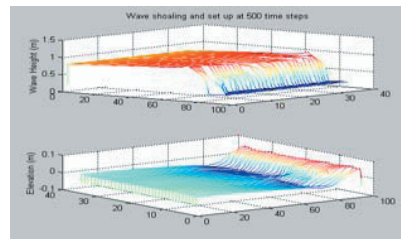


Figure 4: Wave shoaling and set up

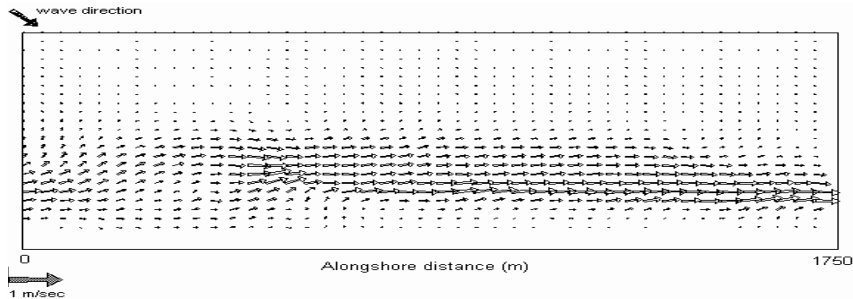


Figure 5. Wave driven longshore currents at Alue Naga beach

2 Concluding Remarks

The model has provided wave and current fields of Alue Naga Beach before the tsunami disaster, as the input to help overcoming the sedimentation and erosion problems, but the condition of the area has changed afterwards. The rivermouth now is clogged by debris from the tsunami. Another treatment should be conducted in the area. However, the coastal process in normal situation as described in this paper might be useful in understanding about tsunami.

Acknowledgements

The author thanks Prof. Dr. C. B. Vreugdenhil for supervising the research. Funding for this work was provided by KNAW through Extended Program Applied Mathematics, Project Coastal Engineering.

References

- [1] Longuet-Higgins, M. S., R. W. Stewart (1964), Radiation stresses in water waves; a physical discussion, with applications, *Deep Sea Research*, **11**, 529-562.
- [2] Vreugdenhil, C. B. (1998), *Numerical Methods for Shallow-Water Flow*, Kluwer Academic Publishers.
- [3] Arif, S. (2003), *Numerical study of nearshore waves and currents*, S3 dissertation, Institut Teknologi Bandung.

Tidal Front in the Andaman Sea and the Malacca Strait

¹Syamsul Rizal and ¹Yopi Ilhamsyah

1. Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas MIPA Universitas Syiah Kuala

Abstract – Numerical experiments were carried out for the M_2 tide in the Andaman Sea and the Malacca Strait using a one-layer model, based on finite-difference and a semi-implicit numerical scheme. The model obtained by calculating anticlockwise (R_+) and clockwise (R_-) rotary components, semi-major (M) and semi-minor (m) of M_2 ellipses, and its ellipticity (m/M). Further, tidal fronts are determined from the formula proposed by *Simpson and Hunter* [1974], i.e. $\chi = {}^{10}\log(h/M^3)$, where h is depth, M amplitude of the tidal current (semi-major of M_2 -tide).

Keywords: Tidal front, The Andaman Sea and the Malacca Strait, Finite different, Semi-implicit-scheme.

1. Introduction

Tidal shelf sea fronts are the boundaries between stratified and well-mixed regimes. They occur in shelf regions of the continental shelf that experience high tidal dissipation [*Simpson and Bowers*, 1981].

The Andaman Sea is the smallest of the major Indian Ocean situated along the eastern side of the Indian Ocean between the Malay Peninsula in the eastern and the Andaman-Nicobar islands in the western. The Andaman and Nicobar islands geologically are convergence zone which formed volcanic area. From the highlight view, the Andaman Sea is considered to be the most complex topography and still far fully understood oceanographically.

In this paper, the tidal currents in the Andaman Sea and the Malacca Strait are investigated by means of a one-layer numerical model. After the solution of numerical model is found, the numerical results, i.e. the anticlockwise (R_+) and clockwise (R_-) rotary components, semi-major (M) and semi-minor (m) of M_2 ellipses, and their ellipticity (m/M). Further, tidal fronts may be determined by the SH parameter from the formula proposed by *Simpson and Hunter* [1974], i.e. $\chi = {}^{10}\log(h/M^3)$, where h is water depth, M amplitude of the tidal current.

1. Fundamental Equations

The equations of motion are written as follows [e.g. *Sündermann, 1971*]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f v = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f u = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

The equation of continuity (3) reads:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\zeta} u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^{\zeta} v dz = 0, \quad (3)$$

where $u(x,y,z,t)$, $v(x,y,z,t)$ and $w(x,y,z,t)$ are the current velocities in the x , y and z directions, respectively, $f = 2\omega \sin \varphi$ is the Coriolis parameter, ω the angular speed of the Earth's rotation and φ the geographical latitude; $\zeta(x,y,t)$ is the water surface elevation measured from the undisturbed water surface, $h(x,y)$ is the water depth which is also measured from the undisturbed water surface, g is the constant gravitational acceleration, H_{x_k} and H_{y_k} are the layer thickness in the u and v points in the k -th layer, respectively, and ∇_H is the horizontal gradient operator. A_h is the horizontal turbulent exchange coefficient and A_v is the coefficient of vertical eddy viscosity. At the bottom ($z = -h$), the conditions

$$\frac{A_v}{H_b} \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{-h} = \gamma u_b \quad (4)$$

and

$$\frac{A_v}{H_b} \frac{\partial v}{\partial z} \Big|_{-h} = \gamma v_b \quad (5)$$

are assumed, with bottom friction parameter γ [s^{-1}], as follows:

$$\gamma = \frac{g \sqrt{u_b^2 + v_b^2}}{C^2 H_b}, \quad (6)$$

where H_b is the bottom layer thickness and C is the Chézy bottom friction coefficient. The semi-implicit numerical solution is also based on the model developed by *Backhaus* [1983 and 1985] which has previously been successfully applied to the Malacca Strait [*Rizal*, 1994 and 2000; *Rizal and Sündermann*, 1994] and the North Sea [*Rizal*, 1996].

3. The results of one-layer numerical model

All calculations shown below are based on the M_2 -tide with time period of $T = 12.4206$ hours. The semi-major amplitudes, i.e. $M = R_+ + R_-$ is shown in Figs. 1. From Fig. 1 it is seen that the amplitude of M_2 -tide reach 0.9 ms^{-1} in the narrow and shallow part of the strait. Even, during spring tides, current velocities can reach 1.8 ms^{-1} (Keller and Richards, 1967). For a tidal flow of 1 ms^{-1} , the stress is equivalent to that due of a wind of about 31 ms^{-1} in the atmosphere, which is close to hurricane force (Beaufort scale 12 = 32.7 ms^{-1}), see *Simpson* [1988]. Hence, this narrow part of the strait experiences the equivalent of a twice-daily hurricane.

In the Andaman Sea, the current are lower on order of $2\text{-}3 \text{ cms}^{-1}$ at the center and $4\text{-}10 \text{ cms}^{-1}$ in the eastern part. The lower current in this region is affected by the morphology of topography, so that the tidal current is ignored in the deep ocean. In the northwestern Sumatra, the currents are on order $7\text{-}10 \text{ cms}^{-1}$. In the Andaman-Nicobar islands chain, the velocity varies from $4\text{-}7 \text{ cms}^{-1}$. In the Indian Ocean, the lower velocity found on order of $2\text{-}5 \text{ cms}^{-1}$. In the Gulf of Martaban, the strongest current reaches 75 cms^{-1} , meanwhile of the Gulf of Martaban and along the western coast of Myanmar, the strongest are on order $30\text{-}50 \text{ cms}^{-1}$.

According to *Simpson*, these stresses take energy from the mean flow and transform it into turbulent eddies which are responsible for the stirring of the water column. When, however, the water column is stratified, or is receiving a positive input of buoyancy, a small, but important fraction of the turbulent kinetic energy is used to work against the buoyancy forces and bring about vertical mixing. This phenomenon occurs in this narrow part of the strait, as reported by *Keller and Richards* [1967] who suggest that in the narrow, shallow part of the Malacca Strait there is little variation in salinity either laterally or vertically as a direct result of this mixing process.

The ellipticity and tidal ellipses generated by the numerical models, i.e. $\varepsilon = m/M$, is displayed in Fig. 2. Further, we also calculate the tidal front based on the formula proposed by *Simpson and Hunter* [1974], i.e. $\chi = 10 \log(h/M^3)$. The distribution of SH parameter (χ) is presented in Fig. 3. From these measurements, see also *Keller and Richards* [1967], it is known that the front in the Malacca Strait is found between the narrow and wide part of the strait. By comparing between the observations made by *Keller and Richards* [1967] and

the results presented in Fig. 3, it can be concluded that the position of tidal front in the Malacca Strait exists in the region where the SH parameter $\chi = 2.5$.

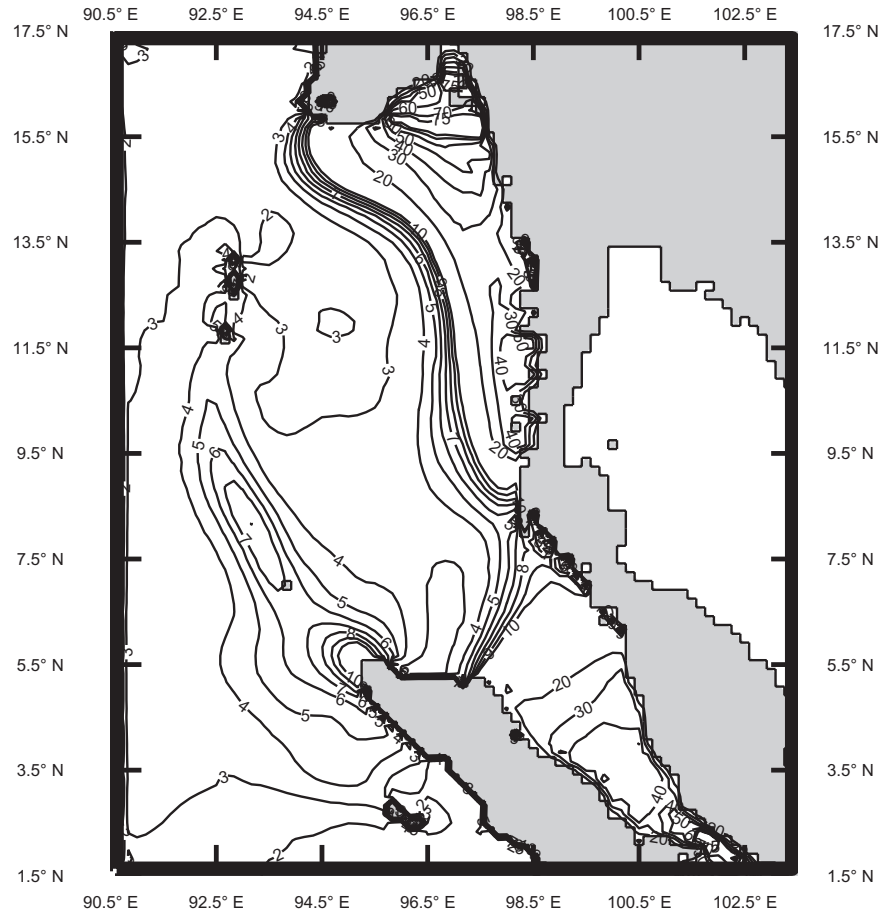


Fig. 1. Semi-major amplitudes (cm s^{-1}) in the Surface Layer of the Andaman Sea.

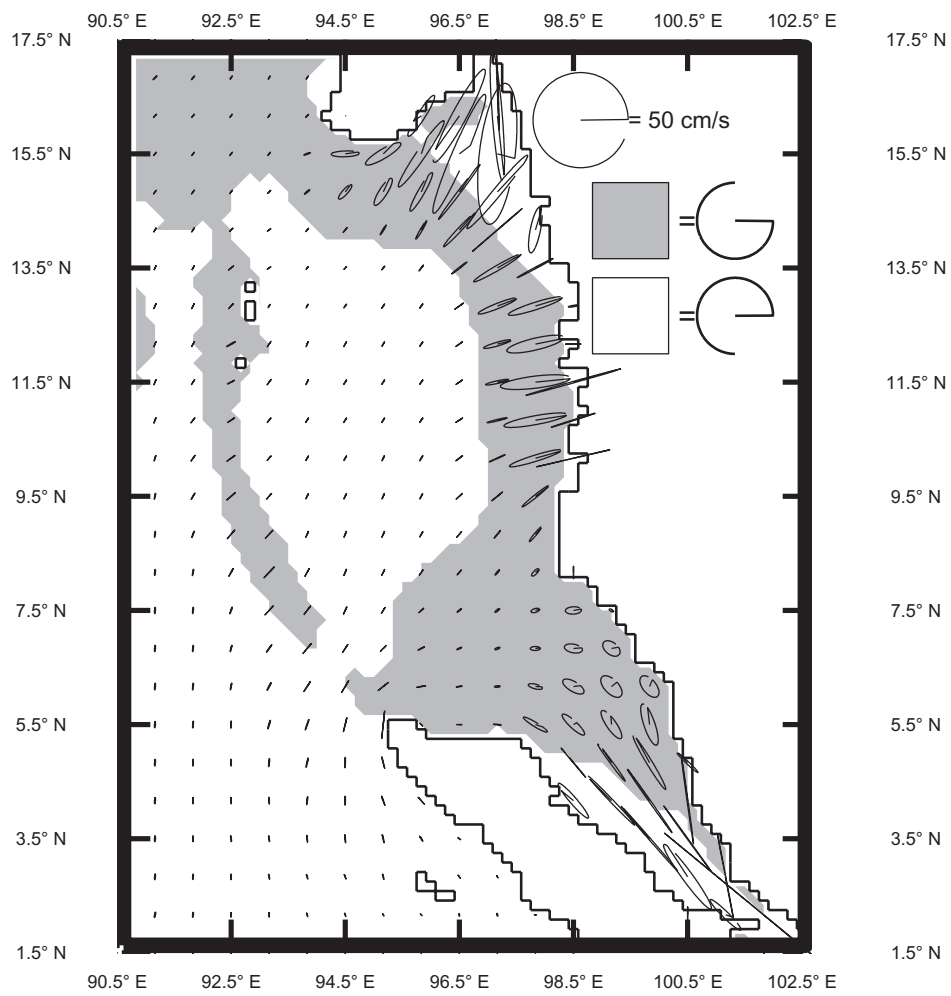


Fig. 2. Tidal Current Ellipses (cm s^{-1}) and Ellipticity (shaded and non-shaded areas) in the Surface Layer of The Andaman Sea.

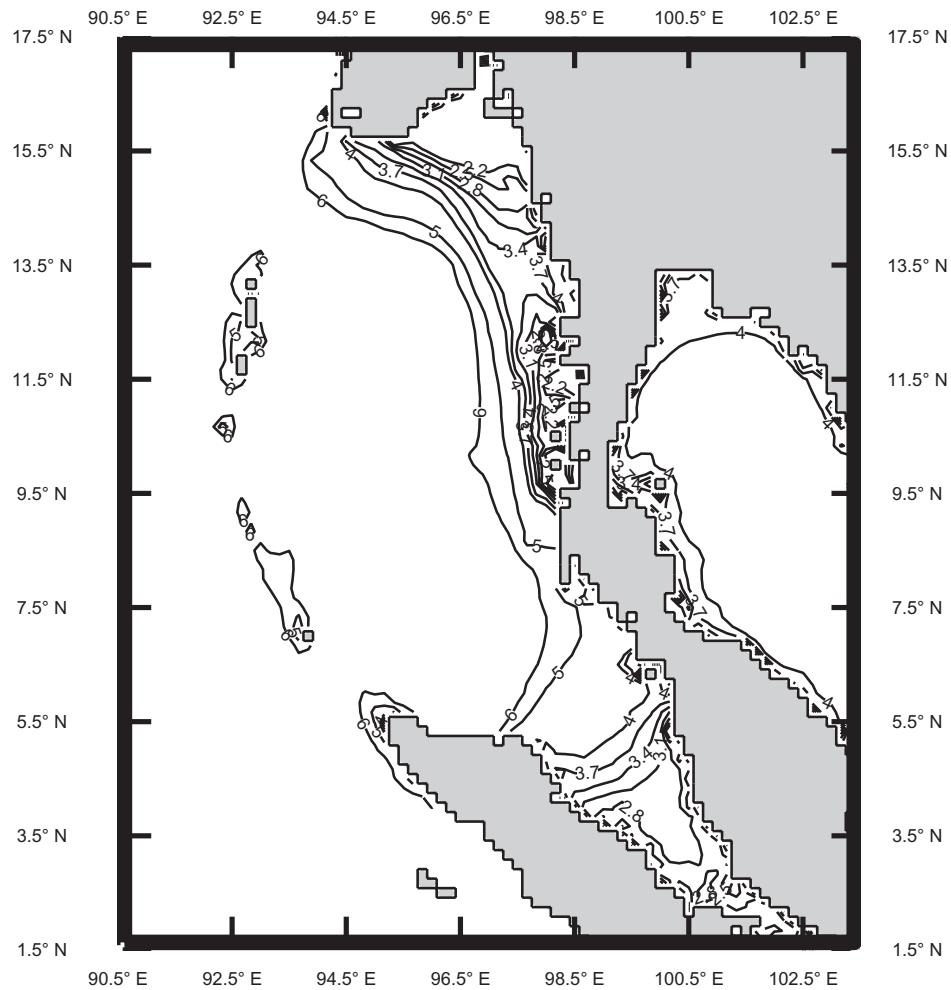


Fig. 3. Simpson-Hunter Parameter $\chi = {}^{10}\log(h/M^3)$ of the Andaman Sea.

References

1. Backhaus, J.O., A Semi-implicit scheme for the shallow water for application to the shelf sea modeling. *Cont. Shelf Res.*, 2, 243-254, 1983.
2. Backhaus, J.O., A three-dimensional Model for the Simulation of Shelf Sea Dynamics, *Deuts. Hydr. Zeits.*, 38(4), 165 – 187, 1985
3. Brown, P.J., Kelvin wave reflection in a semi-infinite canal, *J. Mar. Res.*, 31, 1-10, 1973
4. Carbajal, N., Two applications of Taylor's problem solution for finite rectangular semi-enclosed basins, *Cont. Shelf Res.*, 17, 803-817, 1997.

5. Davies, A.M. and J.E. Jones, The influence of bottom and internal friction upon tidal currents: Taylor's problem in three dimensions, *Cont. Shelf Res.*, 15, 243-254, 1995.
6. Defant, A., *Physical Oceanography*, Vol. 2, Pergamon Press, Oxford, 598pp., 1961
7. Hendershott, M.C. and A. Speranza, Co-oscillating tides in long narrow bays; the Taylor problem revisited, *Deep Sea Res.*, 18, 959-980, 1971.
8. Keller, G.H. and A.F. Richards, Sediments of the Malacca Strait, Southeast Asia, *J. Sed. Petr.*, 1967, 102-127, 1967.
9. Rienecker, M.M. and M.D. Teubner, A note on frictional effects in Taylor's problem, *J. Mar. Res.*, 38, 183-193, 1980.
10. Rizal, S., Numerical Study of the Malacca Strait (Southeast Asia) with a Three-Dimensional Hydrodynamical Model, *Berichte aus dem Zentrum fuer Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg*, No. 5, Ph.D. Dissertation, 1994.
11. Rizal, S. and J. Sündermann, On the M2-tide of the Malacca Strait: a numerical investigation. , *Deuts. Hydr. Zeits.*, 46, 61- 80, 1994.
12. Rizal, S., Coupling nested models: German Bight versus North Sea, *Max-Planck Institut für Meteorologie, Deutsches Klimazentrum GmbH, Jahresbericht 1994*, 1996.
13. Rizal, S., The role of non-linear terms in the shallow water equation with the application in three-dimensional tidal model of the Malacca Strait and Taylor's Problem in low geographical latitude, *Cont. Shelf Res.*, 20, 1965 – 1991, 2000.
14. Simpson, J.H. and J.R. Hunter, Fronts in the Irish Sea, *Nature* 250, No. 5465, 404-406, 1974.
15. Simpson, J.H. and D. Bowers, Models of stratification and frontal movement in shelf seas, *Cont. Shelf Res.*, 28A, 727-738, 1981.
16. Simpson, J.H., Tidal processes in shelf seas, In Brink, K.H., Robinson, A.R. (Eds.), *The Sea*, Vol. 10, Chap. 5, John Wiley & Sons, Inc., 1998.
17. Simpson, J.H. and J. Sharples, Does the earth's rotation influence the location of the shelf sea fronts?, *J. Geoph. Res.*, 99, C2, 3315 – 3319, 1994.
18. Sündermann, J., Die hydrodynamisch-numerische Berechnung der Vertikalstruktur von Bewegungsvorgängen in Kanälen und Becken. *Mitteilungen des Instituts für Meereskunde der Universität Hamburg*, XIX, 1971.

19. Taylor, G.I., Tidal oscillations in gulfs and rectangular basins. *Proceedings of the London Mathematical Society* 20 (2), 148 – 181, 1921.
- Zongwan, X., N. Carbajal and J. Sündermann, Tidal current amphidromic system in a semi-enclosed basins, *Cont. Shelf Res.*, 15, 219 – 240, 1995.

ACEH RESOURCES DEVELOPMENT AFTER TSUNAMI DISASTER

by
Marlina, Rosnani N., Binawati G.

Chemistry Department, Syiah Kuala University, Darussalam – Banda Aceh

E-mail address : marlina_rachman@yahoo.com

ABSTRACT

Earthquake and Tsunami disaster make Acehness people lost everything included their family. They fall down in economic and mentally. Almost of country gave the help, but these just occasionally, so people need more for life continuity. Nanggroe Aceh Darussalam has more natural resources product, renewable or unrenewable. The resources are not using optimally yet. So Nanggroe Aceh Darussalam which the rich areas need some treatment therefore the resources could be grow up, and will help its society.

Key words: Earthquake, Tsunami disaster, resources, renewable, unrenewable

Introduction

Eartquake and massive tsunami disaster make Acehness people lost everything included their family. This extreme ravage unarguably not only ruined the physically-identified appearances, but much deeper, also brought the soft components of society such as spirit and passion, social cohesiveness, and long-lasting traditional institutions. They fall down in economic and mentally. Almost of country gave the help, but these just occasionally, so people need more for life continuity.

Nanggroe Aceh Darussalam has more natural resources product, renewable or unrenewable. The resources not using optimally yet.

There are some works we can do to relief mentally or to develop economic of acehness people, one of these is by using Aceh resources, especially renewable materials.

What types the resources?

There are some naturally resources in Aceh, including:

Geography

Total area : 57.365,57 km²
Kawasan hutan lindung 26.440,81 km²
Kawasan hutan budidaya 30.924,76 km²
Leuser Mountain area 17.900 km²
There are so many plants and animals not identified well

Aceh Bouderies:

North by Andaman Sea
East by Melacca Straits
South by South Sumatera Province
West by Hindia Ocean

There locations make Aceh strategically to transportation, so we need free port that can increase income of Acehness people.

Population

- Population in 2004 : 4.218.486 people, with closed area is North Aceh: 523.717 people, and rare is Banda Aceh: 3.669 people/km²

From this data can be concluded that many free or free area in Nanggroe Aceh Darussalam Province, that can be used o build the manufacture

Manufacture

Table 1. Number of industries and workers

Type Industry	1997	1998	2000	2001	2002
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
31 Food, bavarages and tobaccu	29	31	22	22	18
32 Textil, garment and leathers	14	13	12	12	8
33 Wood, bamboo and rattan	43	49	24	24	24
34 Paper and paper product	4	4	2	2	2
35 Chemical and chemical product	14	13	7	7	7
36 Non metalic manifral product	10	7	5	5	5
37 Fabrical metal product	5	4	3	3	3
Nanggroe Aceh Darussalam	119	121	75	75	67

Source: BPS of NAD Province

Table 1. Indicated that there are 37 types of industries in Aceh, and almost of its are small or home industries. Number of workers decrease time to time, this is caused of

economic crisis. So, we have to build the manufacture by using Aceh resourcers

Table 2. Number of industries wokers in some regency

Regency/Municipality	1996	1997	1998	2000	2001	2002
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Simeulue	-	-	-	-	-	-
Aceh Singkil				-	1	1
Aceh Selatan	11	27	18	9	8	8
Aceh Tenggara	1	1	1	1	1	1
Aceh Timur	48	49	42	22	22	22
Aceh Tengah	4	4	3	1	1	1
Aceh Barat	15	15	12	7	7	7
Aceh Besar	16	14	14	14	14	14
Pidie	2	1	1	1	1	1
Bireuen	-	-	-	-	-	-
Aceh Utara	22	21	18	10	10	4
Aceh Barat Daya						
Gayo Lues						
Aceh Tamiang						
Nagan Raya						
Aceh Jaya						
Banda Aceh	6	7	10	8	8	6
Sabang	3	2	2	2	2	2
Langsa						
Lhokseumawe						
NAD	128	141	121	75	75	67

Source: BPS of NAD Province

From Table 2 can be seen that not all municipal have the industries, more are in Aceh Timur. There are some resources not touched yet, so that we have to encourage people to some.

Total Electricity Utility

Number of villages : 5347

Number of electricity : 660.749 kHz

Right now, Nanggroe Aceh Darussalam Province used diesel oil to produce electricity, but this can make diesel oil used up, for that we can replace diesel oil with a new resource, ex. water or plants oil. One of plants oil can be used as enegy alternative is castor oil that derived from castor plant. Oil made by transesterifikation or by biocatalyst, to produce biodiesel oil. This oil can produce some energy as much as plant oil.

Table 3. Water Production Capacity

Regency/ City	Capacity Production (litre/second)	Effective Production (litre/second)	Effectivity (%)
(1)	(2)	(3)	(4)
1 Simeulue	10	6	60
2 Aceh Singkil	10	8	80
3 Aceh Selatan	35	35	100
4 Aceh Tenggara	60	50	83
5 Aceh Timur	442,5	280	63
6 Aceh Tengah	62,8	56,5	90
7 Aceh Barat	80	40	50
8 Aceh Besar	76	36	47
9 Pidie	40	40	100
10 Bireuen	70	58	83
11 Aceh Utara	205	187,5	91
12 Aceh Barat Daya ²⁾	-	-	-
13 Gayo Lues ³⁾	-	-	-
14 Aceh Tamiang ⁴⁾	-	-	-
15 Nagan Raya ¹⁾	-	-	-
16 Aceh Jaya ¹⁾	-	-	-
17 Banda Aceh	943 [*])	485 [*])	51
18 Sabang	137	34	25
19 Langsa ⁴⁾	-	-	-
20 Lhokseumawe ⁵⁾	-	-	-
Total	2.171	1.316	61

Table 3. showed that there is so much water production right now, but in the future this water could be used up, so we have to looking for another water resources, ex. lake and sea water. According to Marlina et al. sea water can

be used as drinking water by desalination using polyurethane membrane from castor oil.

From this point can be concluded that castor plants must be cultivated, caused its can be used as a source of energy and membrane for desalination.

Agriculture

Table 4. Wet Area and Productivity

Total area : 367.537 ha
 Productivity rate : 4,20 ton/ha
 Total production : 1.554.528 ton

Table 5. Dry Area and Productivity

Total area : 3.431 ha
 Productivity rate : 2,20 ton/ha
 Total production : 7.554 ton

From Tabel 4 and Table 5 can be seen that so many production are in Aceh. Table 4 indicated production from wet area including vegetable, otherwise Tabel 5 showed production from dry area including timber.

Table 6. Palm Oil Productivity

Total area : 77.108 ha
 Total production : 410.762 ton
 Total Oil : 53.1 ton

Palm oil only produced in Aceh Timur, but others area just produce the bunch. Usually, the bunch ecport to Medan or Malaysia. So, we need palm oil industry and side product industry. We now that side product of palm oil can be used as

raw materials in soap, composite, fatty acid and other industries.

Table 7. Rubber manufacture

Total area	: 90.724 ha
Total production	: 89.374 ton
Product	: -

There are no rubbery manufacture in Aceh, so if we need things made of rubber, we have to buy from others city. Raw rubber materials usually export to Medan or Java area.

Table 8. Meat Production

Cow	: 6.852.462 kg
Buffalo	: 3.568.378 kg
Goat	: 1.493.713 kg
Ship	: 208.792 kg

For this time, meat in Aceh just using as “dendeng”, whereas meat can be used to produce another raw materials, ex. canned meat, burn beef etc.

Table 9. Fish Production

Fresh Waterpond	: 9.137 kg
Brackish Waterpond	: 22.375 kg
Paddy field	: 5.016.5 kg
Open Waters	: 1.539.5 kg

There are no fish industry in Aceh. Fish just freezed and then exported to Medan or Malaysia. So, we need fish or fish product industry, ex. crispy, salted and canned fish.

What should we do?

1. Mental relief by self development and motivation
2. Build the skill, increase productivity
3. Built some industry by using local resources

References:

1. Badan Pusat Statistik 2005, *Manufacture and Agriculture Data*, <http://www.bps.nad>
2. Marlina, N.M. Surdia, C.L. Radiman, S. Achmad, 2004, *Pemanfaatan Minyak Jarak (Castor oil) untuk Pembuatan Membran Poliuretan*, Proceeding-ITB, Bandung
3. Manurung, R., 2005, *Peran Pengembangan Proses dan Produk dalam Menunjang Industri Kecil dan Menengah Berbasis Sumber Daya Alam Terbarukan*, disajikan pada Seminar Chemical Engineering Sciences and Application, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

名古屋大学環境学研究科

2004年北部スマトラ地震調査報告Ⅱ

—シャクアラ大学との学部間協定および現地における共同研究活動の成果—

発行日 2006年2月15日

表紙 木股文昭

裏表紙 高橋誠

編集 木村玲欧・木股文昭

<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/INFO/sumatra/index.html>

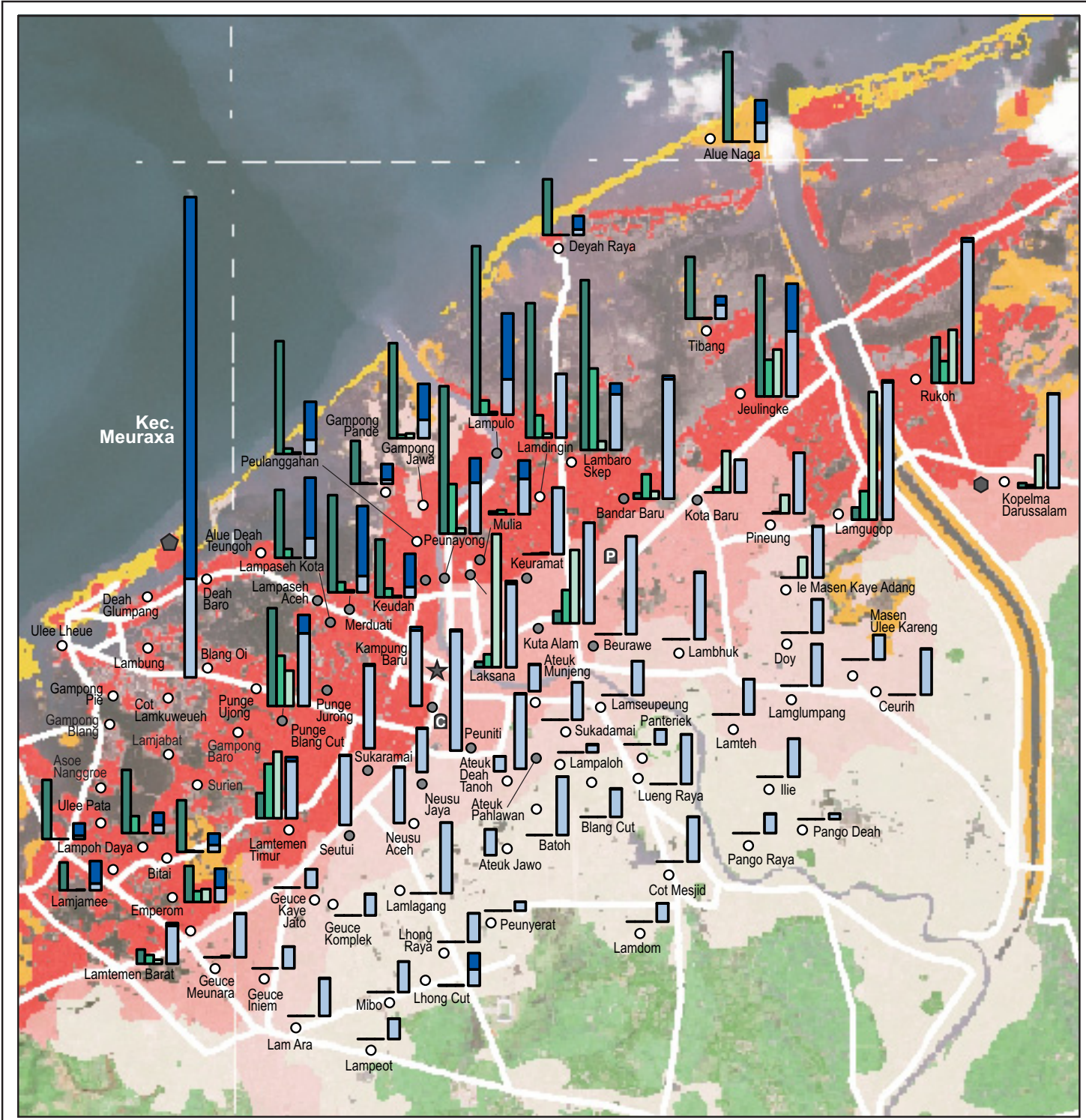
発行者 名古屋大学大学院環境学研究科

〒464-8601 名古屋市千種区不老町

<http://www.env.nagoya-u.ac.jp/>

印刷 株式会社クイックス

<http://www.kwix.co.jp/>



DAMAGED AREAS

- Devastated urban area
- Highly affected urban area
- Affected urban area
- Not/Slightly affected area
- Main Roads
- Completely destroyed shoreline
- Devastated rural area
- Devastated lagoon

Source: Damage Map (30 Dec 2004), created by SERTIT.

POPULATION CHANGE

Lost Population
 Post-tsunami Population

4-400
 4-400

NO. OF DAMAGED BUILDINGS

Collapsed
 Heavily Broken
 Slightly Damaged

400

Note: Each figure is accounted by village, with no sign meaning the missing value (except for Kec. Meuraxa whose villages pop. are summed up).

Source: Rencana Aksi, Rehabilitasi & Rekonstruksi, Kota Banda Aceh (Jul 2005).

LOCATION OF VILLAGES

- Desa (Rural Village)
- Kelurahan (Urban Village)

LANDMARKS

- ★ Grand Mosque
- ⬢ Port of Ulee Lheue
- ⬢ University of Syiah Kuala
- Ⓐ Province Government
- Ⓒ Major's Office

2 km

N

Produced by M. Takahashi
Department of Geography, Nagoya University