

スリランカ南部 Tangalla における 2004 年インド洋大津波による 被害状況と海岸地形との関わり

岡田 穰^{1*}・坂本知己²・林田光祐³・井上章二⁴・阿子島功⁵・柳原 敦³・中島勇喜⁶

The relationship between the coastal topography affected and the damage caused by the 2004 Indian Ocean tsunami in Tangalla, Southern Sri Lanka

Minoru Okada^{1*}, Tomoki Sakamoto², Mitsuhiro Hayashida³, Shoji Inoue⁴, Isao Akojima⁵,
Atsushi Yanagihara³, Yuhki Nakashima⁵

Abstracts: The purpose of this study is to confirm the relationship between the coastal topography and the distribution of the extensive damage on the affected area caused by the 2004 Indian Ocean tsunami in the case of Tangalla DS Division, Southern Sri Lanka. By creating maps to depict the distribution of the degree of tsunami damage in Tangalla DS Division in a small area unit (GN Division unit), it is observed that the coasts that were severely damaged are located at the northern side of the cape and that they face the East. By conducting a field survey in the extensively damaged region of Medaketiya, which is one of the GN Divisions located at the northern side of the cape, it is discovered that the tsunami current approached from two different directions. One current that approached from the South might be the current that was reflected at the cape in the South, while the other one approached from the East directly from the ocean. The survey of the ground level and of the trace of the tsunami current in Medaketiya GN Division indicates that the flow of the current toward the northwest direction was blocked by a dune located in its path, and hence, the houses in that area were not severely damaged. Further, the current approaching from the southwest direction flowed toward a lagoon and caused extensive damage to the houses situated there.

1 はじめに

2004 年 12 月 26 日にスマトラ沖を震源とした M9.0 の地震 (スマトラ沖地震) は、大津波を発生させ、インド洋沿岸の多くの国で 30 万人以上の死者・行方不明者を出す大災害となった。この津波は震源地に近いインドネシアやタイだけでなく、地震発生の約 2 時間後に 1400km 以上離れたスリランカを襲い、死者行方不明者約 4 万人の被害を生ぜしめた。これについては災害状況の速報 (安田ら, 2005) や復興の状況 (村尾ら, 2006)、復興に向け

た支援についての考察 (青田ら, 2006) 等が報告されている。また、今回の津波では海岸林の存在によって津波被害が軽減されたことが確認されており (Danielsen et al., 2005 ; 田中ら, 2005 ; 柳澤ら, 2007), 海岸林の津波減災効果への関心が高まっている。一方で、阿子島ら (2009) は津波被害の程度が、海岸地形 (とりわけ砂丘の高さ) に支配されると述べ、また、Kerr ら (2006) も海岸線からの距離、地盤高が津波被害への影響が大きいと述べており、津波に対する海岸林の効果を把握するためには、海岸林自体の効果だけではなく、地形 (地形的位置、地盤高など) による影響を峻別する必要がある。その際、地形情報は調査対象とする空間スケールによって得られる情報が異なることから、複数の空間スケールで検討することは、地形による影響をより多面的に把握できる手段として有効であると考えた。

そこで本研究では津波被害と地形との関係を明らかにするために、GN Division 単位で記載された被害分布資料を用いて広範囲の空間スケールで津波被害の傾向の把握を行い、その後小範囲の空間スケール (GN Division 内) で被害が大きかった地区を抽出して現地調査を行った。

2 調査地概要

調査対象地はスリランカ南部の Tangalla DS Division と、Tangalla 内の GN Division のうち Rekawa West (被害なし)、Rekawa East (被害あり)、Medaketiya (被害あり) とし、特に Medaketiya に

¹ 専修大学北海道短期大学みどりの総合科学科,
Department of Agriculture and Environment, Hokkaido
College, Senshu University, 1610-1 Bibai, Bibai,
Hokkaido, 079-0197 Japan

² (独) 森林総合研究所, Forestry and Forest Products
Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki
305-8687 Japan

³ 山形大学農学部, Faculty of Agriculture, Yamagata
University, 1-23 Wakaba, Tsuruoka, Yamagata, 997-8555
Japan

⁴ 琉球大学農学部, Faculty of Agriculture, University
of the Ryukyus, 1 Sembaru, Nishihara, Okinawa,
903-0213 Japan

⁵ 山形大学人文学部, Faculty of Literature and Social
Sciences, Yamagata University, 1-4-12 Kojirakawa,
Yamagata, Yamagata, 990-8570 Japan

⁶ 山形大学, Yamagata University, 1-4-12 Kojirakawa,
Yamagata, Yamagata, 990-8570 Japan

*Corresponding author: okada @ senshu-hc.ac.jp

において詳細な調査を行った。スリランカ国内は行政的地域区分として 9 Province, 25 District, 324 DS Division, 14,008 GN Division の順に区分されている (HIC Sri Lanka, 2005)。また、それをさらに細分化した単位として GN Division 内を都市部では 60 軒毎、農村部では 80 軒毎にまとめた Department of Census and Statics 特有の単位である Census block が存在する。

2.1 スリランカ南部の概要

スリランカ南部の海岸平野は奥行きが内陸側へ約 30～50km の広がりを持ち、高度 100～200m の丘陵状の台地地形が広く分布し、その内のところどころに基盤岩の露出した孤立丘がある (Samasekaram et al., 1997)。

海岸線付近の地形は、台地が海に臨む岩石海岸と、海岸砂浜（ごく狭い入り江・谷底低地・潟湖性低地などを背後にもつ砂嘴や砂丘からなる）があり、海岸砂丘は 1 列で、臨海低地のなかに旧浜堤列はない (阿子島ら, 2009)。

津波の高さは、National Geophysical Data Center 提供のデータ (NGDC ホームページ, 2009) によると、スリランカ南部では Galle (Port) で 6.03m, Hambantota (Harbor) で 10.87m であった。

2.2 Tangalla DS Division

Tangalla は Southern Province を構成する 3 地区のうち東部の Hambantota District にあり、11 の DS Division のうち西部に位置し (図 1), 72 の GN Division から構成される。総面積は約 140 km², 海岸線の長さは約 35 km (直線距離で約 25km) で、うち 66.0%は砂浜で、残りは磯浜 (31.5%) と港湾 (2 か所, 2.5%) から成る。

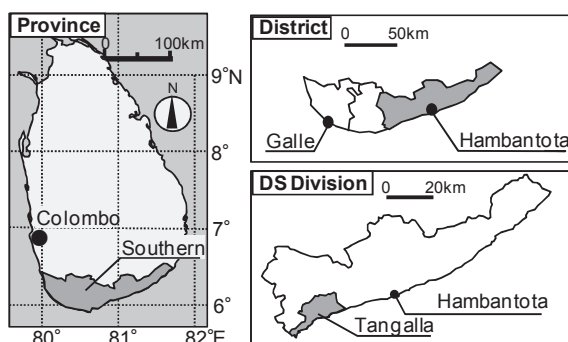


Figure 1: Location of Tangalla DS Division

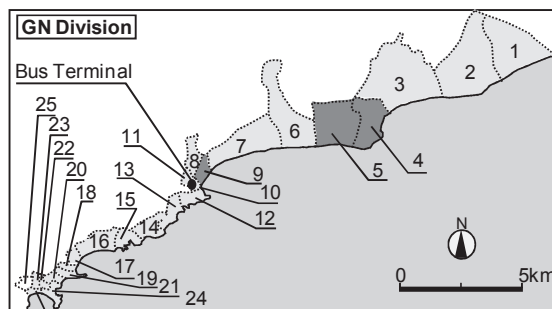


Figure 3: GN Divisions facing along the sea coast in Tangalla DS Division

2.3 GN Division

2.3.1 Rekawa West, Rekawa East

Rekawa WestはTangalla中心部から東側約6kmに位置し、Rekawa Eastはその東側に隣接する、共に海岸に面したGN Divisionである。Rekawa Eastの南側には岬（磯浜、長さ約1.4km）があり、その北側に南北方向の砂浜（長さ約1.1km）が存在する。Rekawa Westは岬部分の磯浜（Rekawa East部分）から西側方向に東西方向の砂浜（長さ約1.7km）が存在する。なお、Rekawa Westの内陸側には大規模なラグーン（Rekawa Kalapuwa）が存在する。

2.3.2 Medaketiya

Medaketiya は Tangalla 中心部に近く、Bus Terminal の北東側に位置する海岸に面した GN Division で、総面積は約 0.5km² である。海岸線は地区の東側に南北方向に存在し、距離は約 1.8km (直線距離もほぼ同距離) で、砂浜で構成される。地区の南側境界には河川が、中央部にはラグーンが存在し、地区西側境界の国道は地区東側の海岸線から 300～600m に位置する。

樹林の分布 (Google Earth 画像より判読—2006



Figure 2: Distribution of woodland in Medaketiya GN Division

年2月撮影)をみると、主に屋敷林(home garden woodland (Hayashida et al., 2007))と河畔林が存在している。屋敷林は地域内全体に、河畔林は南部分を東西に流れる河川に沿って分布し、海岸付近の樹林の多くは屋敷林であった。屋敷林の主要樹種は、現地調査よりココヤシ(*Cocos nucifera*)が最も本数が多く、ニーム(*Azadirachta indica*)、サキシマハマボウ(*Thespesia populnea*)、マンゴ(*Mangifera indica*)、モモタマナ(*Terminalia catappa*)が主な樹種で、それ以外にもバナナ(*Musa banana*)や木材、薬として利用できる植物が育てられていた(図2)。

津波の高さは、National Geophysical Data Center 提供のデータ(NGDC ホームページ, 2009)に記載された「Tangalle」の情報(2か所)は共に Medaketiya 内にあり、それぞれ 7.00m (N 6.030°, E 80.798°), 3.09m (N 6.031°, E 80.799°)であった。

3 調査方法

調査は現地およびインターネットで入手した資料より GN Division 単位の被害状況を図化して被害甚大地区を抽出し、次いで GN Division 内では聞き取り調査と測量調査より津波の流れや被害、地盤高と微地形を把握した。

3.1 DS Division スケールでの津波被害分布調査資料

現地での資料は Medaketiya にある津波センター(Tsunami Housing Reconstruction Unit, THRU)と役所(Divisional Secretariat, Tangalle)にて、津波被害に関する統計資料を入手した(HAMBANTOTA DISTRICT, 2005)。

統計調査は、Tangalla 内の全 72 GN Division のうち、海岸に面した、および海岸に面していないものの津波被害を受けた 24 地区を対象とした(図3)。資料には Province, DS Division 毎と、GN Division 内をさらに細分化した Census block における建物の被災軒数とその被災程度を利用する。

今回は GN Division 毎の被害建物の数と、その被害程度を把握した。

3.2 GN Division スケールでの詳細調査

Rekawa West と Rekawa East では各 1 か所にて津波の状況についての聞き取りと、聞き取り調査地点における海岸線からの断面(1ライン)の縦断測量を 2006 年 8 月に行った。

Medaketiya では聞き取り調査を 2006 年 8 月に 3 か所と 12 月に 24 か所の 2 回行った(図4)。聞き取りは調査対象地の住民に対し、現地人通訳を介して(質問者の質問(日本語)をシンハラ語に、回答者の回答(シンハラ語)を日本語に翻訳)インタビュー形式で行った。1回の聞き取りに要した時間は 15 分程度であった。聞き取り内容はその場所における津波の到達の有無、津波の高さ、津波の進入方向、建物の被害とした。また、聞き取り調査地の地形の概要を把握するため、図4に示した測線(図中、LineA 及び LineB)で地形断面調査を 2006 年 12 月と 2007 年 12 月に行った。

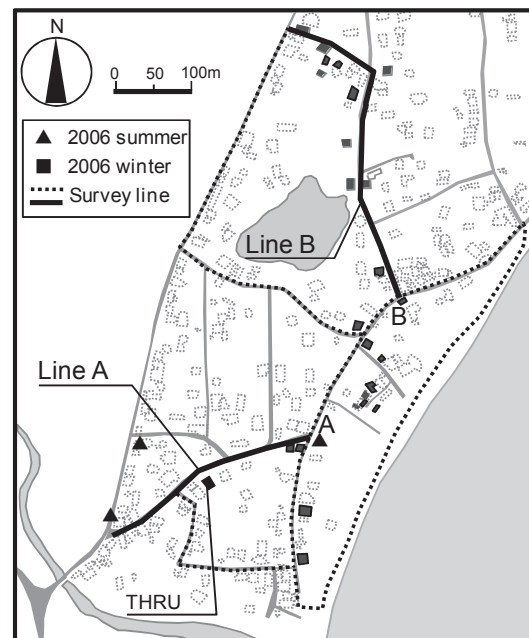


Figure 4: Location of the interview houses and survey lines in Medaketiya GN Division

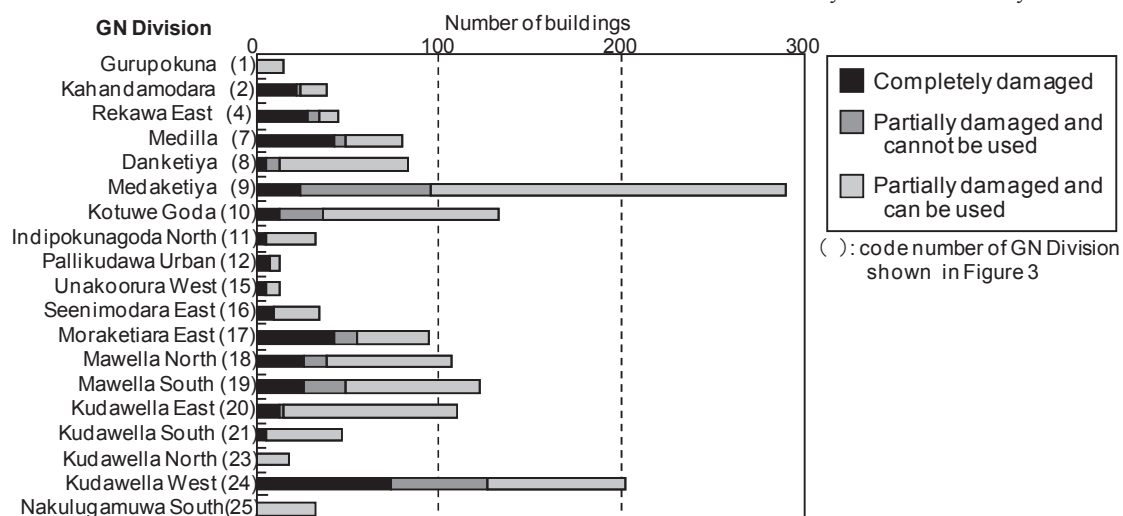


Figure 5: The number of the buildings and the degree of the damage by the tsunami (GN Division)

4 津波被害分布の特徴

4.1 GN Division スケールでみた津波被害分布と地形的配置

資料より被害建物数と被害程度をみると、Tangalla 全体での被害建物の総数は 1,514 軒となり、うち全壊 (Completely damaged) が 23.4%、一部損壊 (家屋の使用不可: Partially damaged and cannot used) が 14.9%、一部損壊 (家屋の使用可: Partially damaged and can used) が 61.7% であった。GN Division 単位でみた場合、被害軒数が最も多かったのは Medaketiya の 290 軒で、次いで Kudawella West の 203 軒、Kotuwe Goda の 134 軒の順であった (図 5)。

次に被害のあった GN Division の分布 (図 6) をみると、Danketiya (図内番号 8) と Indipokunagoda North (同 11)、Kudawella North (同 23)、Nakulugamuwa South (同 25) を除き、海岸線を有する地区で、内陸に位置する (8)、(11)、(23)、(25) はラグーンを含む地区であった。一方、Wella Odaya (同 3)、Rekawa West (同 5)、Medagama (同 6)、Pallikudawa Rural (同 13)、Unakoorura East (同 14) は海に面するにも関わらず、被害はなかった。

各 GN Division において被害を受けた Census block の割合を算出した。その分布をみると、被害を受けた Census block の割合が高かったのは岬の北側に位置し、東西方向の海岸線を有する GN Division

であり、図 5 で被害が大きかった Medaketiya、Kudawella West、Kotuwe Goda では Census block の割合が 100% だった (図 7)。

4.2 GN Division 内でみた津波被害分布と微地形

4.2.1 Rekawa West, Rekawa East

岬の北側にある Rekawa East (図 3 内の番号 4、この GN Division は岬も含んでいる) は、西隣にある Rekawa West (同 5) の聞き取り調査で「周辺で被害が非常に大きかった地区」として挙げられていた。そこで岬の西側に位置する Rekawa West と Rekawa East 内で岬の北側に位置する地点にて聞き取り調査結果と海岸線からの断面図を比較した (図 8)。その結果、Rekawa East の聞き取り地点では津波高が 7.5m であったという証言があり、聞き取り地点より約 200m 北側のココヤシ林内にあった住宅の全壊跡地の部分の砂丘高は 5.7m あり、波は内陸側へ約 500m 浸入していた。一方、Rekawa West の聞き取り地点の砂丘高は最大で 4.5m で、砂丘を遡上してきた波がウミガメ産卵地の監視小屋 (Turtle Watch House) に達したにとどまったことがわかった。

4.2.2 Medaketiya

建物の被害程度をみると、海岸線に近い箇所および南側で全壊・半壊が多く、北側では一部損壊、被害なしが多くみられた (図 9)。

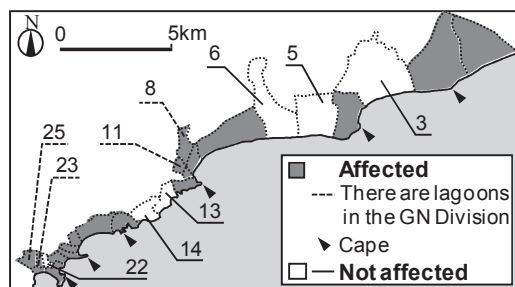


Figure 6: Tsunami affected GN Divisions in Tangalla DS Division (The code numbers were shown in Figure 3.)

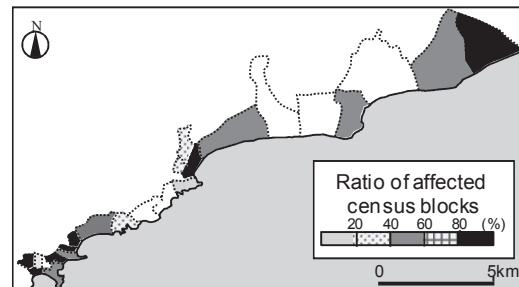


Figure 7: Map to show the tsunami affected "census block" ratio of GN Division

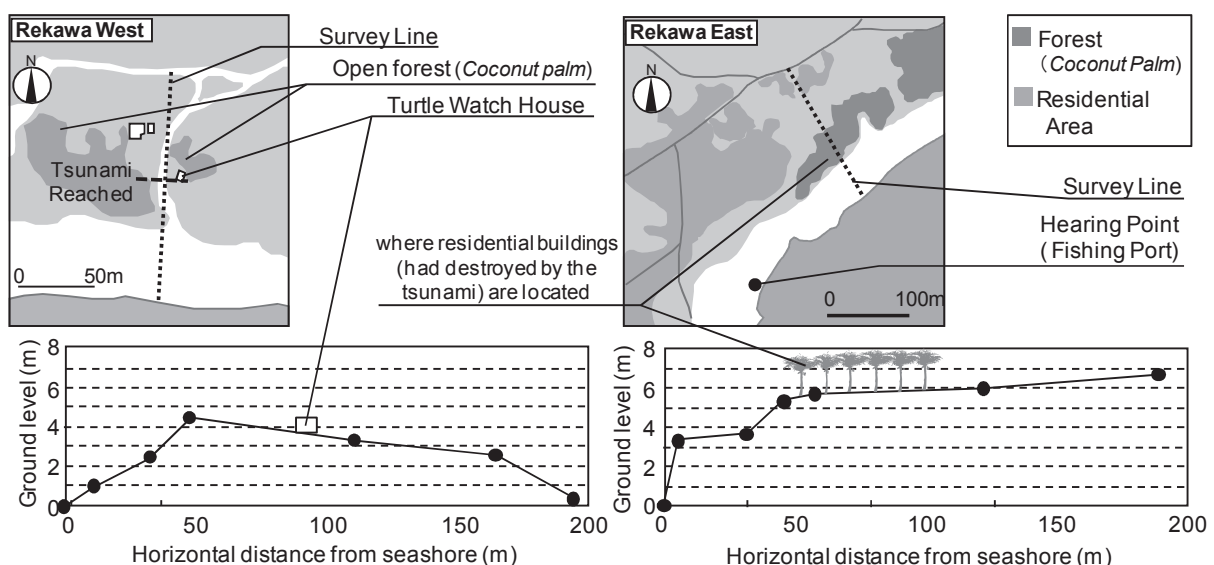


Figure 8: Longitudinal sections in Rekawa West and Rekawa East

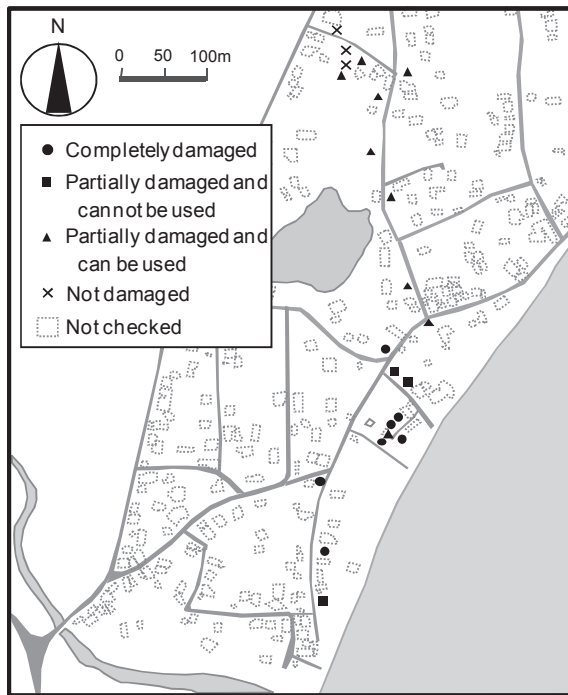


Figure 9: The degree of damage of house by tsunami

津波の高さ（地上高）は全般に南側で高く、海岸部の多くの場所で 3.0m、内陸部でも 2.5m という証言を得た。また、聞き取り調査結果に基づいて当時の津波の流れを整理した(図 10)。

その結果、北側では道路に沿って流入した津波が途中で止まり、南側では川沿いに、あるいは西方向に浸入して Tangalla の中心部（バスターミナル）方向へ流れ、図中 B 地点にいた証言者は波によってバスターミナル付近の橋（図中 B0 地点）まで流された。また、中央部での証言（図中 A 地点の居住者による）では、ENE 方向からと SE 方向からの波が合流し、道路に沿って WSW 方向へ流れ、津波高の証言も 5.0m と他の場所と比べて高い証言を得た（図 10）。

図 4 に示したラインでの縦断測量の結果、Medaketiya では北側内陸部の標高が高く、南側内陸部の標高が低く、海岸側よりも低くなった箇所もみられた（図 11）。これは津波センターでの聞き取り調査での証言にもあった（津波センターがある付近が Medaketiya では一番低い地域である）。また津波の浸入経路にあわせて設定した測量ライン A・B（図 4）によって北側と南側の地盤高および津波高の変化を比較すると、ライン A では内陸方向にいくに連れて標高は低くなり、高低差は最大で約 1.5m だったのに対し、ライン B では内陸方向にいくに連れて標高が上昇し、高低差が最大で約 8m だった。そして両ラインに沿った聞き取り調査による津波高（地盤高をあわせた高さ）を比較すると、海岸から近い地点で津波高が高く、その内陸側は両ラインとも 3m 前後で推移し、北側のライン B では途中で津波の浸入が停止した。また被害程度をみると、ライン B では全般にドアや窓、台所やトイレの損壊といった一部損壊（家屋の使用可）であった（図 12）。

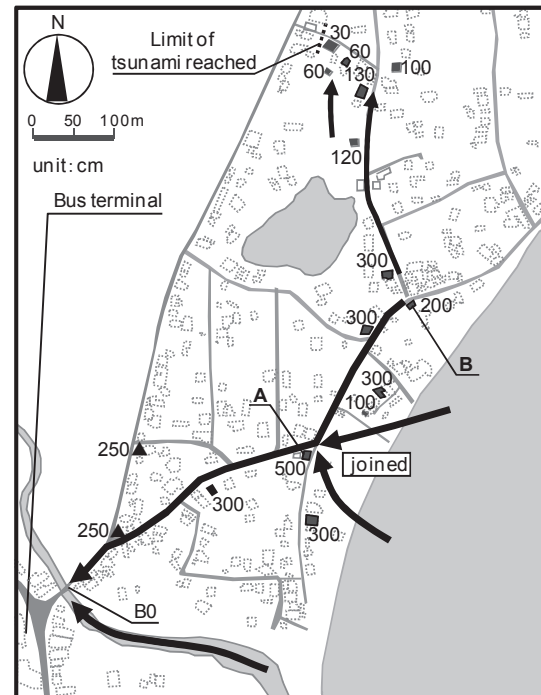


Figure 10: Height and trace of tsunami (pattern diagram)

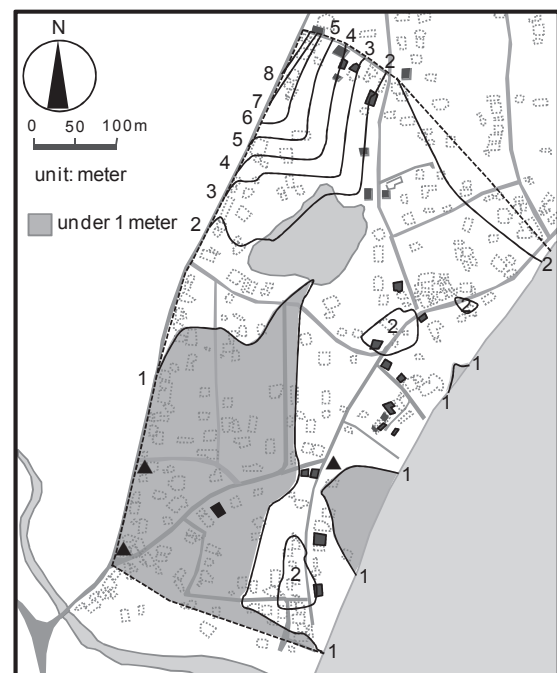


Figure 11: Map of ground level

5 まとめ

5.1 津波被害と地形的位置

Tangalla DS Division 内の GN Division という空間スケールで被害状況をみると、岬の北側に位置し、かつ海岸線が東西方向に向いた GN Division での被害が大きくなる傾向がみられた。Rekawa の例では、岬の両側での砂丘高と津波の入り具合を比較した結果、岬の北側（Rekawa East）の砂丘高は岬の西側（Rekawa West）の砂丘高よりも高かったにもかかわらず、津波が内陸まで浸入し、住宅に被害を及ぼした。岬の北側に位置し被害が大きかつ

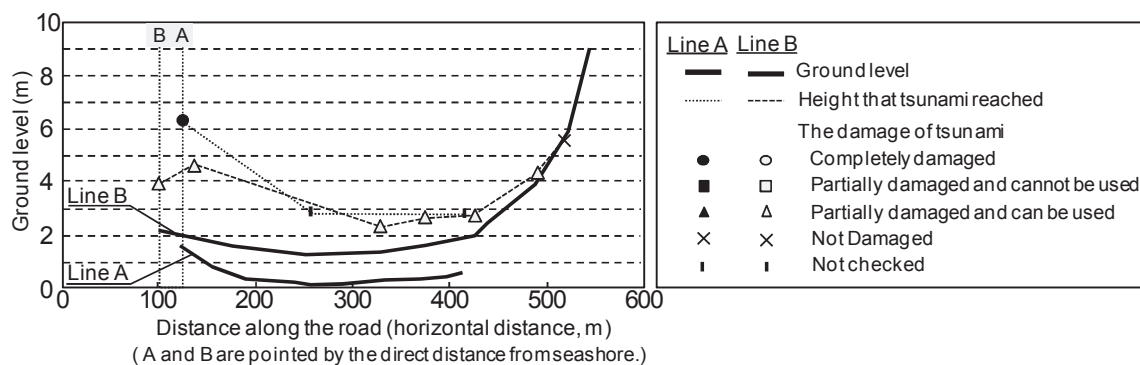


Figure 12: Ground level and the degree of the damage by tsunami on Line A and Line B

た Medaketiya では、直接来た波と岬方向から来た波とが合流したという証言があり、この傾向は岬の北側にある GN Division において岬によってはね返された津波が合流したため被害が大きくなったと考えられる。

5.2 津波被害と微地形

Medaketiya では、北側の海岸線に近い箇所で地盤高の高い北西方向と地盤高の低い南西方向の両方向に波が流れたが、北西方向に流れた波は途中で止まり、住居の被害程度が比較的小さかった。このことは、目撃者や津波で流された人の証言と一致した。よって津波は主に地盤高の低いほうへ流れたと考えられ、津波の入り方に地盤高が大きく影響したことが確認された。

以上のように、広くみると岬との位置関係と海岸線の向きが、詳しくみると2方向からの津波の合流や地盤高が津波による被害箇所と程度に影響を与えたことが確認された。

謝辞

本研究は平成 18～20 年度文部科学省科学研究費補助金による基盤研究 (A) 海外、「インド洋大津波に対する海岸林の効果の検証と今後の海岸域の保全のあり方」(代表：中島勇喜、研究課題番号 18255007) の研究成果の一部である。

注

- 1 Tangalla の DS Division の役所は中心部 (Bus terminal) の南側約 600m にある。なお Tangalla の表記について、Google Earth などの表記としては「Tangalla」が用いられているが、スリランカ国内の資料や看板の表記は「Tangalle」が多く用いられている。
- 2 Census block について、対象とした GN Division 内では 2～11 に分割され、平均は 5.4 だった。
- 3 被害の程度の表現は、資料で用いられていた英語表記を示す。

引用文献

- [1] 青田良介・北後明彦・松下友康 (2006)：スリランカにおけるスマトラ沖津波災害後の被災者の住宅再建支援に関する考察，神戸大学都市安全センター研究報告，10，PP.177-195。
- [2] 阿子島功・林田光祐・柳原敦・坂本知己・井上章二・岡田穰・中島勇喜 (2009)：スリランカ南部海

岸の津波ハザードマップ -2004.12.26 インド洋大津波被害調査から。日本地理学会 2009 年春季大会 100182

- [3] Danielsen, F., Sorensen, M.K., Oiwig, M.F., Selvam, V., Parish, F., Burgess, N.D., Hiraishi, T., Karunakaran, V.M., Rasmussen, M.S., Hansen, L.B., Quarto, A., and Suryadiputra, N. (2005): The Asian tsunami: A protective role for coastal vegetation. Science, 310, 643.
- [4] HAMBANTOTA DISTRICT (2005): Preliminary Statistics of the Census of Population and Buildings of the Census blocks Affected by the Tsunami – 2004.
- [5] Hayashida M., Satoh H., Yanagihara A., Akojima I. and Nakashima Y. (2007): Types of Coastal Forests in Southern Sri Lanka and their Characteristics. Journal of the Japanese Society of Coastal Forest 7 (1): 37-42.
- [6] HIC Sri Lanka (2005): Sri Lanka P-Code Atlas for Tsunami affected Districts. HIC Sri Lanka, 46pp.
- [7] Kerr, A. M., Baird, A. H., and Campbell, S. J. (2006): Comments on "Coastal mangrove forests mitigated tsunami" by K. Kathiresan and N. Rajendran [Estuar. Coast. Shelf Sci. 65 (2005) 601606]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 67, 539-541
- [8] 村尾修・仲里英晃 (2006)：スリランカにおける 2004 年インド洋津波被災地の復興状況調査報告 -2005 年 11 月時点でのゴール・マタラ・ハンバントタの事例-，日本都市計画学会 都市計画論文集，41-3，PP.683-688。
- [9] National Geophysical Data Center (NGDC) ホームページ：
http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=167&d=166, 2009.4.22 閲覧
- [10] Samasekaram T., et al (1997): ARJUNA's ATLAS of Sri Lanka. Aruuna Consulting Co. Ltd.: 17-19
- [13] 田中規夫・佐々木寧・湯谷賢太郎・Sanang Homchuen (2005)：津波防御に対する樹林幅と樹種影響について—インド洋大津波におけるタイでの痕跡調査結果—，海岸工学論文集，52，PP.1346-1350。
- [14] 柳澤英明・村越俊一・宮城豊彦・大家隆行・今村文彦 (2007)：2004 年インド洋大津波におけるインドネシア・バンダアチェでのマングローブ林の潜在的減災効果，海岸工学論文集，54，PP.246-250。
- [15] 安田誠宏・原田賢治 (2005)：2004 年 12 月 26 日スマトラ沖地震被災被害，自然災害科学，23-4，PP.603-615
〔受付 平成 21 年 8 月 19 日，受理 平成 21 年 11 月 25 日〕