

# アンダマン諸島における 2004 年スマトラーアンダマン地震の地殻変動および津波調査

## Study of crustal movement and tsunami associated with the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake in the Andaman Islands, India

宍倉正展<sup>1</sup>・池田安隆<sup>2</sup>・茅根 創<sup>3</sup>・越後智雄<sup>4</sup>・鎌滝孝信<sup>5</sup>

Masanobu Shishikura<sup>1</sup>, Yasutaka Ikeda<sup>2</sup>, Hajime Kayanne<sup>3</sup>, Tomoo Echigo<sup>4</sup> and Takanobu Kamataki<sup>5</sup>

<sup>1,5</sup> 活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ/AIST, m.shishikura@aist.go.jp)

<sup>2,3,4</sup> 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻 (Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo)

**Abstract:** We surveyed vertical crustal movement and tsunami heights in Andaman Islands, associated with the 2004 Sumatra-Andaman earthquake. Along the western coast of North Andaman, we found biological paleo-shoreline indicators: uplifted micro atolls (*Porites* of coral) and oyster banks. Their height suggests that the amount of uplift was 1.5-1.6 m in maximum since the 2004 earthquake. Based on the eyewitness account in the northern margin of Middle Andaman, over 1 m of postseismic subsidence may have occurred during one month after the 2004 earthquake. In the eastern part of South Andaman, the tide gauge data shows ca. 1 m of coseismic subsidence. Therefore the Andaman Islands were tilted southeastward during the 2004 earthquake. We also identified several levels of old micro atolls higher than those uplifted by the 2004 earthquake, and their heights are distributed at intervals of 7-10 cm. These observations indicate that the same type of uplift events and following interseismic subsidence have occurred repeatedly. Recurrence of large earthquake can probably be evaluated by dating them. For the tsunami heights, measurements of watermark or other traces indicate that the inundation height was 1.2-5.0 m (ave. 3.1 m) in Andaman Islands. This result is smaller than Sumatra Island and the southwestern coast of Thailand. Because of such relatively small tsunamis, tsunami deposits were not preserved in most of the coastal areas. Our results provide important parameters to discuss the seismic source and rupture process of the 2004 earthquake. The mega-thrust may have slipped relatively slow beneath Andaman Islands.

**キーワード:** 2004 年スマトラーアンダマン地震, アンダマン諸島, 地殻変動, 津波, マイクロアトール, 古地震

**Keywords:** 2004 Sumatra-Andaman earthquake, Andaman Islands, crustal movement, tsunami, micro atoll, paleoearthquake

### 1. はじめに

2004 年スマトラーアンダマン地震では, 地震波の解析から推定された震源断層の長さが約 800 km 前後である (山中, 2005 など) のに対し, 余震分布から判断される破壊領域は北へ長く伸び, 長さ 1000 km を超える (第 1 図). この地震の震源過程をより正確に推定するためには, 地殻変動や津波などの地震に伴う諸現象を広域的かつ定量的に明らかにする必要がある. そこで本研究では, 地震から約 3 ヶ月後の 2005 年 3 月に, 破壊領域の北端部に位置するインド領アンダマン諸島において地殻変動と津波の調査を行った.

アンダマン諸島は, スマトラ島の北方延長上に南北に細長く連なり, 主要な島は北, 中, 南に分かれる. 本地域は, 地震前後の衛星写真の比較から, 明らか

な海岸の離水・沈水現象が窺える (宍倉・土田, 2005). これは地盤の隆起/沈降が生じたことを示している. 本研究の第一の目的は, 震源断層を推定するパラメータを取得するため, この隆起/沈降のパターンと量や, 今回の地震で生じた津波の到達時間, 浸水高, 遡上高, 遡上距離等を正確に計測し, データを取得することである.

さらに, 今回のような規模の巨大地震が過去にも生じていたのかどうか, それはどのぐらいの再来間隔で発生しているのかを明らかにすることも, 沈みこみ帯の挙動を理解するうえで, また地震防災の観点からも極めて重要である. そこで本研究では, サング化石など, 過去の地殻変動を示す証拠から古地震学的研究の可能性について探った. また, 津波によって沿岸や海底の土砂が運ばれて生じる津波堆積

物は、過去の津波の履歴を把握する上で非常に重要な指標となることから、今回の津波による堆積物の分布や構造を観察し、記載を行った。

## 2. 調査方法

### 2.1 地殻変動調査

地殻変動調査では、地震に伴って隆起／沈降した(1) 海岸地形、(2) マングローブ林、(3) サンゴ・貝・海草等の生物遺骸、あるいは(4) 人工構造物（栈橋、防波堤等）から地震前の海面の位置を推定し、隆起／沈降量を求めることを試みた。本研究ではこれらのうち隆起／沈降量の測定精度が特に優れている(3)の方法を主に使った。いずれの場合も現在の海面高度（平均海面高度）を基準に、オートレベルを用いた水準測量によって高さを測定した。潮位補正は、TOPEX/ POSEIDON 海面高度計データに基づいた海洋潮汐モデル NAOTIDE99 (Matsumoto *et al.*, 2000) を用いて行った。

今回特に重点を置いて調査したのはサンゴ礁である。サンゴは海水準の変動に対して敏感に反応して成長し、様々なタイプの群体を形成する。このうち、過去の海面を高い精度で指示する指標となるのは、頂面が平坦になったマイクロアトール (microatoll) と呼ばれるハマサンゴの群体である。塊状に成長するハマサンゴは、頂部が低潮位に達すると、それより上部には成長できないため頭打ちとなり、外側に成長して頂面が平坦な筒状の形態をとる。外側がリング状に生きているので、ちょうど小さな環礁状の形態になる。そのために、マイクロアトールと呼ばれる。すなわちマイクロアトールの頂部は、生育時の低潮位を指示しており、これを用いた海水準復元の精度は一般に 10 cm 程度である。マイクロアトールはまた、相対的な海水準変動を高精度で復元するのに極めて有効である（たとえば Sieh *et al.*, 1999; Zachariasenn *et al.*, 1999; Natawidjaja *et al.*, 2004）。今回の調査では、アンダマン諸島における古地震復元研究の可能性を探るために、古いサンゴ群体の産状の観察も行った。

沈降量を測定するのは一般に難しいが、検潮記録などは比較的精度の良いデータである。今回の調査では、港に設置された潮位尺の読みとりや、聞き取り調査による地震前後の潮位の変化から沈降量を推定した。しかし、これらのデータは限られた場所でしか得ることが出来ない。一般に熱帯多雨地域の沿岸では、広くマングローブ林に覆われているが、これらは潮間帯にだけ繁茂するから、海面の指標となる。今回は行わなかったが、沈水したマングローブ林の分布高度を詳しく調べることによって、沈降量の空間分布を明らかにできる可能性がある。マングローブ林の分布は、可視～短波長赤外域の衛星リモートセンシングデータ (Landsat, ASTER など) を処理

することによって極めて明瞭に可視化できる。第2図は、Landsat ETM+ の 5, 4, 2, 8 バンドにそれぞれ CMYK の 4 色を割り当てて合成したカラー画像である。この画像において海岸線に沿って分布する鮮やかな緑色の部分がマングローブ林である。アンダマン諸島（とくにその東側）には、かなり広範にマングローブ林が広がっていることがわかる。沈降域の調査は今後に残された課題である。

### 2.2 津波調査

津波調査では、UNESCO (1998) や今村 (1998) による津波調査マニュアルに従い、おもに津波高を測定するため、まず津波が陸域に遡上した際の浸水面を示す指標を探した。指標は、建物の壁などに残された浸水痕（ウォーターマーク）や植生の変化（枝折れ、傷、色、傾斜など）、打ち上げられた漂流物（瓦礫、ごみ）等を用いた。また、目撃者などが明確に示した浸水地点なども重要な指標となる。これらの海面からの高度を、レーザー距離計 (Laser Technology 社製 Impulse200) やスタッフなどを用いて測定した。海面の高度補正については、測定時の日時における計算潮位を求め、津波襲来時の潮位との差を計測した高度に加減した。潮位補正は、地殻変動調査と同様に NAOTIDE 99 を用いて行った。

津波堆積物については、まず今回の津波で生じたものかどうか、他の営力による可能性はないかを分布状況などから判断し、その特徴を記載した。内部構造については表層を掘削し、断面を露出させて観察するとともに、メッシュ布を当ててスプレー接着剤を吹きつけ、地層のはぎ取りを行った。

### 2.3 調査で使用した地図類

現地調査に当たっては、地図や航空写真を必要とする。入手可能な地形図は、1 : 500,000 Operational Navigation Chart (Defense Mapping Agency Aerospace Center, USA, 発行)、および 1:250,000 Andaman & Nicobar Islands (Geographical Survey of India, 1926 ; 陸地測量部により複製) の 2 種類であったが、両者とも精度の点で不十分であった。現地調査において最も役に立ったのは、正確に地図座標に投影された Landsat ETM+ 映像であった。この衛星映像は、礁原や潮間帯等を識別するに十分なスペクトル情報をもつ（用いたバンドは 2, 4, 5 バンド ; 解像度 25 m/pixel）。さらに panchromatic の 8 バンド（解像度 12.5 m/pixel）を加えてカラー合成することにより、必要な解像度を得ることができた。調査地点の位置決めには、小型の GPS 受信機を用いた。

## 3. 地殻変動調査結果

本研究で明らかになった隆起／沈降量の分布を第2図に示した。アンダマン諸島の南部および南東部

は沈降を、西部および北部は隆起を示す。最大隆起 (1.5~1.6 m) は北西部の沖にある North Reef Island や Interview Island で観測された。隆起の軸は島の海溝側 (西側) にあると推定され、南アンダマンでも西岸沖に位置する North Sentinel Island では、Indian Coast Guard が撮影した写真に基づき、1~2 m の隆起が生じたと推定されている (Bilham *et al.*, 2005)。詳しい結果を以下に南、中、北アンダマン島に分けて説明する。

### 3.1 南アンダマン島

南アンダマン島の Port Blair とその周辺では、広範囲にわたって沈降が生じており、沈水した家屋や田畑が見られる (第 3 図, 地点 D1)。Port Blair における検潮記録によれば、沈降量は 1.0 m と報告されている (Department of Ocean Development, 2005)。本研究では、波止場に設置された潮位尺の読み値から、地点 D2 で  $1.0 \pm 0.15$  m, 地点 D3 で  $1.1 \pm 0.1$  m という値が得られた。このほか地点 D1 において沈水家屋での聞き取り調査から、地震前後の高潮位のレベルの差を計測したところ、 $1.0 \pm 0.2$  m であった。したがって Port Blair 周辺では約 1 m 沈降したと考えられる。

南アンダマン島西岸では、顕著な隆起/沈降を示す証拠はなかった。しかし地点 D4 において、頂面が死滅したマイクロアトールが観察され、その高度から  $0.2 \pm 0.1$  m の隆起量が推定された。したがってこの地域では、地殻変動が小さいものの、若干隆起傾向にあると考えられる。

### 3.2 中アンダマン島

中アンダマン島南東岸では、明確な隆起/沈降の証拠は見られなかった。しかし、地点 D5 では現地住人の証言から、やや沈降した可能性が示唆された。西岸は立ち入り禁止区域のため、データは得られていないが、衛星写真からは隆起の可能性が窺える。

中アンダマン島北東端に位置する Mayabunder (第 2 図の地点 D6) では、coseismic な隆起に引き続いて 1~2 ヶ月間に 1 m を超える余効変動 (沈降) が生じた可能性がある (第 4 図, 第 5 図)。Mayabunder の遠浅な干潟に小舟を用いて毎日漁に出ている地元の漁民から、大潮時の高潮位汀線の位置を聞きとり、その高度を測定した (第 4 図)。この測定値に潮位補正を施して平均海面高度に引き戻し、相対的海水準変動を求めた (第 5 図)。この結果によれば、地震時におよそ 2 m 隆起したものの、その後 1 ヶ月程度で急速に回復し、余効変動によって約 1.3 m 沈降したことがわかる。これらのデータは一漁民の記憶に頼っているが、彼は月の満ち干のサイクルをかなり正確に記憶しており、また汀線の位置も周囲のマングローブ林との関係から決めていた。したがって精度はやや悪いが、非常に信頼できるデータであり、この地点で大きな量の余効変動があった可能性はかなり高い。

### 3.3 北アンダマン島

アンダマン諸島北部における隆起量は主として生物指標によって求めた。北アンダマン島と中アンダマン島とを境する海峡に沿った岩礁 (第 2 図の地点 D7, D8, D9, D10) や栈橋 (地点 D13) では、2004 年の地震で離水したカキ礁を確認した。カキは、*Saxostrea mordax* (オハグログキ) など *Saxostrea* 属からなる (松島義章博士同定による)。これらのカキは、岩礁海岸で中潮位から低潮位までに生息することが知られている。すなわち、離水カキ礁の最上位線は離水前の中潮位 (平均海面) の位置を指示する。ただし、その位置は種構成や局地的な環境によって変化するため、それぞれの地点において、離水したカキ礁最上位の位置と現在生きているカキの最上位の位置とを比較して、離水量を求める必要がある (第 6 図)。こうしてカキ礁から求めた各地点の隆起量は  $0.6 \sim 0.9$  m である (第 2 図, 第 6 図)。

North Reef Island と Interview Island の 2 島では、地震隆起によって離水したサンゴ礁を観察した。North Reef Island では、低潮位以下に生息するサンゴ群集が広範囲に干出していた (第 7 図)。海側では板状・皮覆状のミドリイシ (*Acropora*)、コモンサンゴ (*Montipora*) など、波の強い環境に分布するサンゴが、やや内側では枝状のミドリイシなどやや中間的な環境に分布するサンゴが、さらに内側は砂地になって枝状サンゴと塊状のハマサンゴ (*Porites*) など、波の穏やかな環境に分布するサンゴが帯状に干出している。隆起前のサンゴ群集の分帯構造がそのまま干出したことが明らかである。このうち、過去の海面を高い精度で指示する指標は、頂面が平坦になったマイクロアトールと呼ばれるハマサンゴの群体である (第 7 図)。North Reef Island におけるマイクロアトール頂面の高度から復元された地震隆起量は、North Reef Island の地点 D12 で  $1.47 \pm 0.07$  m, 地点 D13 で  $1.50 \pm 0.07$  m である (第 2 図)。また、Interview Island の地点 D11 でも同様な離水したマイクロアトールが多数分布し、それらから求めた地震隆起量は  $1.63 \pm 0.02$  m である (第 8 図)。しかしながら前述の Mayabunder で観察された余効変動による沈降が、仮にこの地域でも生じていたとすれば、地震直後の隆起量はもう少し大きくなる。離水したマイクロアトールは、2 重ないし 3 重のリング状になっており、地震前の海面の変動に対応している可能性がある。マイクロアトール断面の年輪解析によって、地震時のみならず地震間に生じる地殻変動を復元できる可能性がある。

## 4. 津波調査結果

本研究では、アンダマン諸島において、海溝に面する西岸で 3 地点、反対側の西岸で 8 地点の合計 11 の地点で津波高のデータが得られた。これに加藤

(2005)と佐藤(2005)が南アンダマン島で取得した6地点のデータと併せて第9図と第1表にまとめた。

南アンダマン島東岸のPort Blair周辺(地点T2, T5)では、港周辺の建物に明瞭なウォーターマークを確認した(第10図)。その高度を測定した結果、2.3~2.9 mの浸水高が推定された。なお、加藤(2005)は地点T4~6で1.9~2.7 mの浸水高、佐藤(2005)は地点T1, T3において3.3~3.9 mの浸水高と地点T6で3.8 mの遡上高を推定している。地点T7で住人の聞き取りから明らかになった津波高は1.3 mと低かったが、これは計測地点が内湾奥の入り江でやや内陸に入った場所であったことによると考えられる。南アンダマン島南端付近の地点T8では、津波高は比較的大きく、佐藤(2005)が4.3 mと報告している。南アンダマン島西岸の地点T9では、海岸沿いの建物に明瞭なウォーターマークはなかったものの、住人の証言から浸水高を知ることができ、3.1~3.2 mと推定できた(第10図)。また、地点T10では佐藤(2005)が3.3 mの津波高を推定している。

中アンダマン島では東岸の3地点(地点T11~13)でウォーターマークおよび聞き取り調査に基づく浸水跡を計測した。その結果、地点T11とT12の津波高は3.4~3.5 mであったが、地点T13は1.2 mと低く推定された(第9図、第1表)。これは地点T7と同様に入り江の奥であったためである可能性が高い。またこの地点は、前章で余効変動を報告した地点D6と同地点であり、測定時の潮位が津波時よりも高くなっている可能性も考慮する必要がある。この場合、津波高は1.3 m程度高いことになる。

北アンダマン島東岸の地点T16では、本地域で最高となる4.7~5.0 mの浸水高が植生の枝の折れ曲がりとして記録されていた(第10図)。地点T17では、津波は2.5 mの高さの浜堤を超えていない。北アンダマン島西岸沖の島々(地点T14, T15)では、枝の折れ曲がりや瓦礫の分布などから、3.5~3.6 mの浸水高が推定された。

以上の結果をまとめると、局所的に地点T7で小さく、地点T16で大きい値を示すが、その他の地点では、津波高は2.3~4.3 mの範囲内に収まり、島の東岸と西岸で違いがなく、ほぼ同じ程度の値(平均値3.1 m)を示す(第9図、第1表)。スマトラ島やタイ南西部の沿岸と比べると、津波高は比較的低かったと言える。また、津波の到達時間は、聞き取り調査に基づけば、地震発生から5~20分程度後である(第1表)。Port Blairにおける検潮データでは、地震から20分後より後から異常な海面上昇があったことが明らかになっている(Department of Ocean Development, 2005)が、地盤の沈降の影響も考慮する必要がある。

## 5. 古地震学的研究の可能性

### 5.1 サンゴ化石からみた地震の履歴

今回、隆起が確認された北アンダマン島西沖の島々では、過去にも隆起した痕跡が見られる。North Reef Islandの入り江では、今回の地震で離水したマイクロアトールより $25\pm 6$  cm高位に、見かけ上古いマイクロアトールが散在する(第11図)。これらは2004年地震以前に起こった地震隆起に伴って離水した可能性が高く、その年代を測定することによって、過去の地震履歴を明らかにすることができる。この古いマイクロアトールは、直径が5 m以上と、2004年の地震で離水したマイクロアトール(直径1~2 m)と比較して大きい。マイクロアトールの径は、海面が安定していた期間に対応するから、1つ前の地震前には、より長期間安定した時期があったことを示唆している。

Interview Islandでは、こうしたハマサンゴのマイクロアトールが、今回の地震で隆起したもの(平均海面からの高さ $0.48\pm 0.02$  m)より上位に少なくとも5つの異なる高度で分布している(第8図)。その高度は $0.58\pm 0.02$  m,  $0.72\pm 0.04$  m,  $1.09\pm 0.03$  m,  $1.16\pm 0.02$  m,  $1.23\pm 0.02$  mである。こうした古いマイクロアトールの年代を測定することによって、過去の地震履歴を詳細に復元することができる。アンダマン諸島北東岸では、数カ所の海岸においてこうした古いマイクロアトールが様々な高度に分布していることを確認した。より詳細な調査を行い、それらの年代を比較することによって、過去の地震隆起の空間的な変化をイベントごとに復元することができる可能性がある。

### 5.2 津波堆積物の記載

津波堆積物に関しては、今回の津波がアンダマン諸島では比較的小さかったため、明瞭に残されている場所はほとんどなかった。しかし、Interview Island(地点T14)では、今回の地震で隆起、離水したサンゴ礁の中を、陸側から沖側に向かって幅10~50 mの砂堆が舌状に延びて分布していることが確認された(第12図)。この砂堆を構成する堆積物は、層厚は10~20 cmで白色の細粒砂からなる。堆積物は周辺の海浜砂を主体としていて、津波によって海岸から侵食されたものが運搬、再堆積したものと思われる。堆積構造は不明瞭で、流向は判定できないが、砂堆の分布形態から見て、海岸に直交方向に陸から沖へ向かって堆積した可能性が高く、津波の引き波時に堆積したと判断される。

この津波堆積物は、現海岸に面した低い場所に分布していることから、今後、地震間の地盤の沈降によって沈水し、消失する可能性が高い。今回の調査では過去の津波の履歴を知る指標としての津波堆積

物の検出はできなかった。しかし、North Reef Island には浜堤の背後に後背湿地が分布しており、そのような場所では、堆積物中に過去の津波の痕跡が残されている可能性がある。掘削調査等による古津波の検出は今後の課題である。

## 5. まとめ

本研究で明らかになった地震後 3 ヶ月における隆起・沈降量分布に基づけば、アンダマン諸島は北西部で 1.5~1.6 m の隆起、南東部で 1.0 m の沈降を伴い、背弧側に向かって東南東方向に傾動していると推定される。また、中アンダマン島北東端に位置する Mayabunder では、coseismic な隆起に引き続いて 1~2 ヶ月間に 1 m を超える余効変動（沈降）が生じた可能性があることが分かった。この沈降は、プレートの沈み込み速度に比べて極めて短期間に生じていることから見て、深部での aseismic なすべりによって生じた可能性が高い。

このように、アンダマン諸島は今回の地震で地殻変動を伴っているにも関わらず、津波高はスマトラ島などに比べて低く、島の東岸と西岸で大きな差がない。これは、本地域の津波が、直近のプレート境界からは生じず、スマトラ沖の断層を波源としていた可能性を示している。すなわち、アンダマン諸島直下の断層運動は、地震波解析や津波波源として推定される震源断層とは異なり、破壊過程が比較的ゆっくりとしたすべりであったと考えられる。

また、今回の調査では、アンダマン諸島中~北部において、過去の地震に伴って離水/死滅したと推定される古いマイクロアトールが複数のレベルに存在することが確認できた。マイクロアトールの成長線解析や年代測定を行うことによって、古地震イベントと地震間の地殻上下変動とを復元することが今後の課題である。

**謝辞** A&N Islands Tours & Travels の Koushik Neogy 氏には、車や船の手配をはじめ、現地で調査を行う上で様々な便宜を図っていただいた。Vinod Wilson 氏には調査に同行いただき、車を運転していただいた。民宿 Sea N' Sand のオーナーには島まで船を出していただき、また地震後の潮位の変化に関し、貴重な証言をいただいた。記して謝意を表します。本調査はおもに科学振興調整費による緊急調査「2004 年 12 月 26 日スマトラ島沖地震・津波に関する緊急研究」によった。

## 文 献

Bilham, R., E. R. Engdahl, N. Feldl and S. P. Satyabala, (2005) Partial and Complete Rupture of the Indo-Andaman plate boundary 1847-2004, *Seismol Res. Lett.*, 76, 299-311.

Department of Ocean Development (2005) Preliminary Assessment of Impact of Tsunami in Selected Coastal Areas of India, Chennai, India. (<http://dod.nic.in/tsunami.htm>).

今村文彦 (1998) 津波被害調査のマニュアル, 津波工学研究報告, 15, 107.

加藤照之 (2005) 平成 16 年度振興調整費 2004 年スマトラ沖地震及びインド洋津波被害に関する緊急調査研究報告グループ 2: 震源近傍における地殻変動・津波調査「GPS による余効変動の観測」. [http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/sumatra/andaman/kato\\_report.pdf](http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/sumatra/andaman/kato_report.pdf).

Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe (2000) Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan, *Journal of Oceanography*, 56, 567-581.

Natawidjaja, D. H., K. Sieh, S. N. Ward, H. Cheng, R. L. Edwards, J. Galetzka, and B. W. Suwargadi, (2004) Paleogeodetic records of seismic and aseismic subduction from central Sumatran microatolls, Indonesia, *J. Geophys. Res.*, 109, B04306, doi:10.1029/2003JB002398.

佐藤魂夫 (2005) 2004 年スマトラ沖地震の津波. <http://www.st.hirosaki-u.ac.jp/~tamao/Sumatra.html>

宍倉正展・土田 聡 (2005) ASTER データからみた 2004 年スマトラ沖地震におけるアンダマン諸島の地殻変動. 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集.

Sieh, K., S. N. Ward, D. H. Natawidjaja, and B. W. Suwargadi (1999) Crustal deformation at the Sumatran subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 3141-3144.

Tsuji, Y., Namegaya, Y. and Ito, J. (2005) Astronomical Tide Levels along the Coasts of the Indian Ocean. (<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/namegaya/sumatera/tide/>).

UNESCO (1998) Post-Tsunami Survey Field Guide, Intergovernmental Oceanographic Commission, Intergovernmental Manuals and Guides, 63pp.

山中佳子 (2005) 遠地実体波でみた 2004 年スマトラ沖地震. 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集.

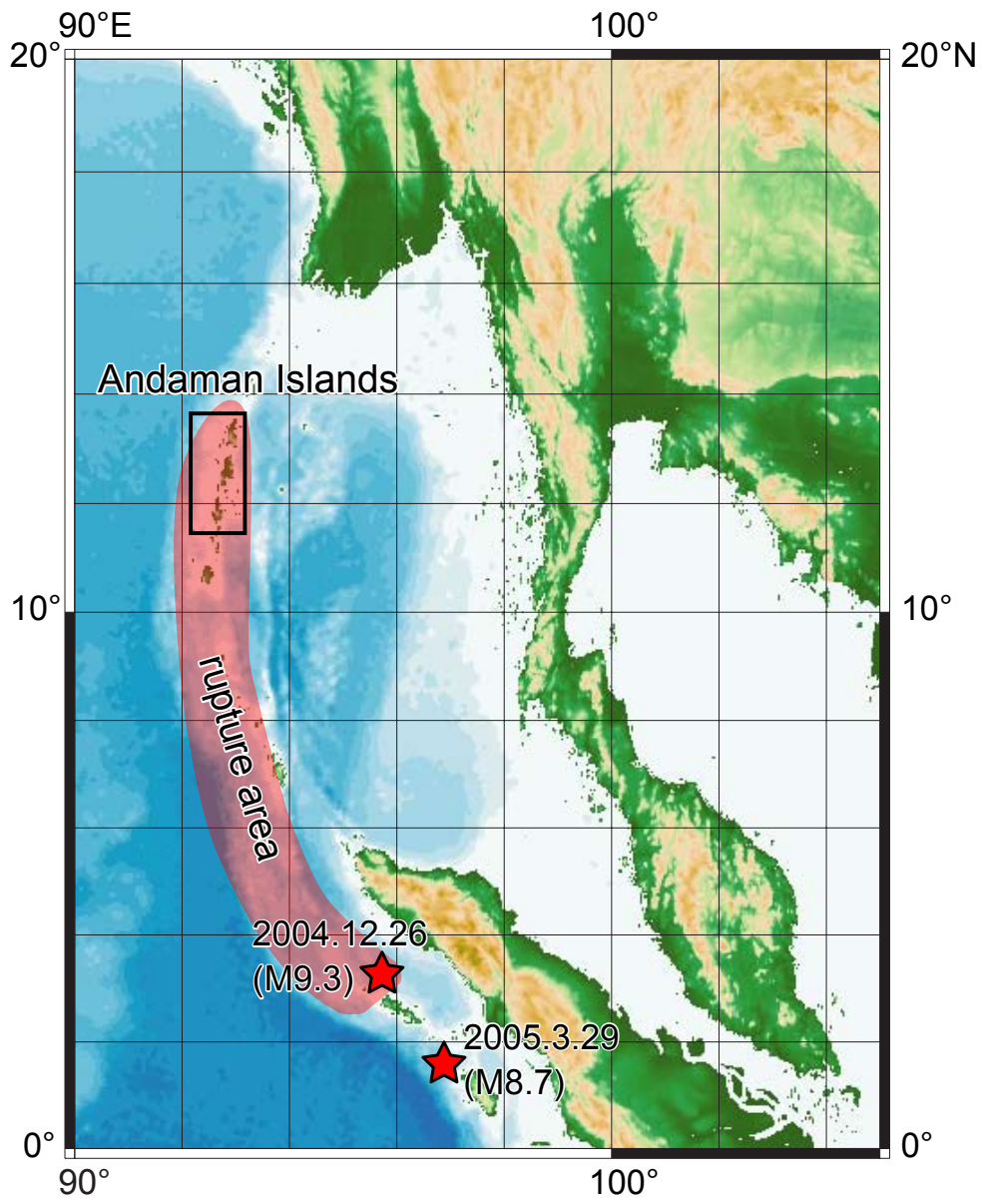
Zachariasen, J., K. Sieh, F. W. Taylor, R. L. Edwards, and W. S. Hantoro (1999) Submergence and uplift associated with the giant 1833 Sumatran subduction earthquake: Evidence from coral microatolls, *J. Geophys. Res.*, 104, 895-919.

(受付: 2005 年 9 月 14 日, 受理: 2005 年 10 月 12 日)

第1表. アンダマン諸島における津波調査結果.  
Table 1. Tsunami survey results in Andaman Islands.

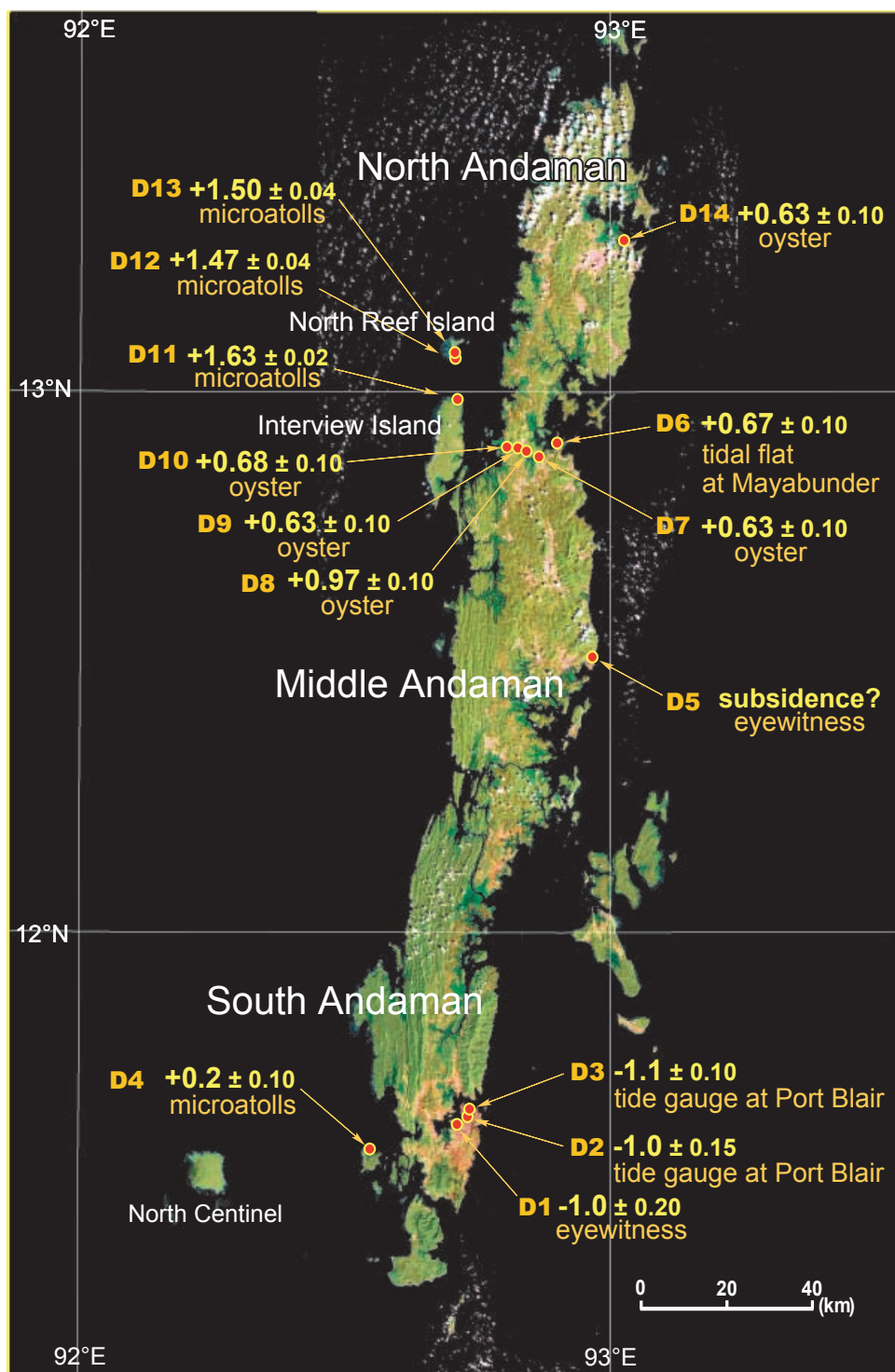
	loc. No.	loc. name	longitude	latitude	inundation height (m)	inundation depth (m)	run up height (m)	distance between shoreline and inundation indicator (m)	time at measurement (local time)	time at tsunami (local time)	inundation indicator	reliability		
South Andaman	<b>T1</b>	Bamboo Flat	92.7172	11.7058	<b>3.3</b>	<b>2.7</b>		7	2005/3/22 9:00	15 min. after quake			Sato (2005)	
	<b>T2</b>	Phoenix Bay	92.7347	11.6729	<b>2.29</b>			5-6	2005/3/19 13:30	6:45	water mark	A	This Study	
	<b>T3</b>	Ross Island	92.7606	11.6758	<b>3.9</b>	<b>2.4</b>		5	2005/3/21 16:15	4-5 min. after quake			Sato (2005)	
	<b>T4</b>	Marina Park	92.7479	11.6693	<b>2.62</b>	<b>2</b>		39	2005/3/16 11:15		water mark	A	Kato (2005)	
	<b>T5</b>			92.7284	11.6591	<b>2.88</b>		0	2005/3/19 14:16	6:45	water mark	A	This Study	
			Jungli Ghat	92.7308	11.6593	<b>2.69</b>	<b>1.585</b>		30.7	2005/3/16 10:25		water mark	A	Kato (2005)
				92.7306	11.662	<b>1.91</b>	<b>1.12</b>		18	2005/3/16 10:30		water mark	A	Kato (2005)
	<b>T6</b>		Corby's Cove	92.7468	11.6428	<b>2.55</b>	<b>1.85</b>		69.2	2005/3/16 11:45		water mark	A	Kato (2005)
				92.7469	11.6430			<b>3.8</b>	149	2005/3/21 9:00	7:30			Sato (2005)
	<b>T7</b>	Zodakline	92.6961	11.6054	<b>1.32</b>				2005/3/19 15:20	6:45?	eyewitness	B	This Study	
	<b>T8</b>		Chidia Tapu	92.7010	11.5044	<b>4.3</b>	<b>3.2</b>		3	2005/3/21 10:00	6:45	eyewitness		Sato (2005)
				92.6074	11.5949	<b>3.23</b>			25-30	2005/3/20 14:14	6:45?	eyewitness	B	This Study
	<b>T9</b>		Wondur	92.6079	11.5950	<b>3.07</b>	<b>1.22</b>		25.9	2005/3/13 16:00		eyewitness	B	Kato (2005)
				92.6152	11.5872	<b>3.4</b>			20	2005/3/22 16:45	5 min. after quake			Sato (2005)
	<b>T10</b>			92.6132	11.5905	<b>2.2</b>			7	2005/3/22 16:30	5-7 min. after quake			Sato (2005)
			Colin Pool Beach	92.5991	11.6930	<b>3.3</b>	<b>1.2</b>		38	2005/3/20 16:30	5 min. after quake			Sato (2005)
	Middle Andaman	<b>T11</b>	Aamkunju Beach	92.9660	12.5120	<b>3.48</b>			50-100	2005/3/21 12:36	6:45?	water mark	A	This Study
<b>T12</b>		Dharmapur Beach	92.9561	12.6006	<b>3.42</b>			50-100	2005/3/21 13:52	6:45?	eyewitness	B	This Study	
<b>T13</b>		Mayabunder	92.8981	12.9079	<b>1.24</b>			50-100	2005/3/22 7:30	6:45?	eyewitness	A	This Study	
North Andaman	<b>T14</b>	Interview I.	92.7109	12.9882	<b>3.56</b>			0-200	2005/3/24 13:44	6:45?	bended branch	B	This Study	
	<b>T15</b>	North Reef I. beach	92.7059	13.0706			<b>3.5</b>	50-200	2005/3/22 13:35	6:45?	beach ridge	B	This Study	
				93.0452	13.2242	<b>4.65</b>			50-200	2005/3/23 14:45	6:45?	bended leaf	B	This Study
	<b>T16</b>	Kalipur Beach	93.0452	13.2242	<b>5.04</b>			50-200	2005/3/23 14:59	6:45?	bended leaf	B	This Study	
<b>T17</b>	Ross & Smith I.	93.0813	13.3313			<b>2.46</b>	50-200	2005/3/23 13:00	6:45?	beach ridge	B	This Study		

All tsunami heights were measured from sea level. Time difference from UTC is +5h30m.



第 1 図. 2004 年スマトラ-アンダマン地震の震源域と調査範囲.

Fig. 1. Source area of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake and locality of the surveyed area.



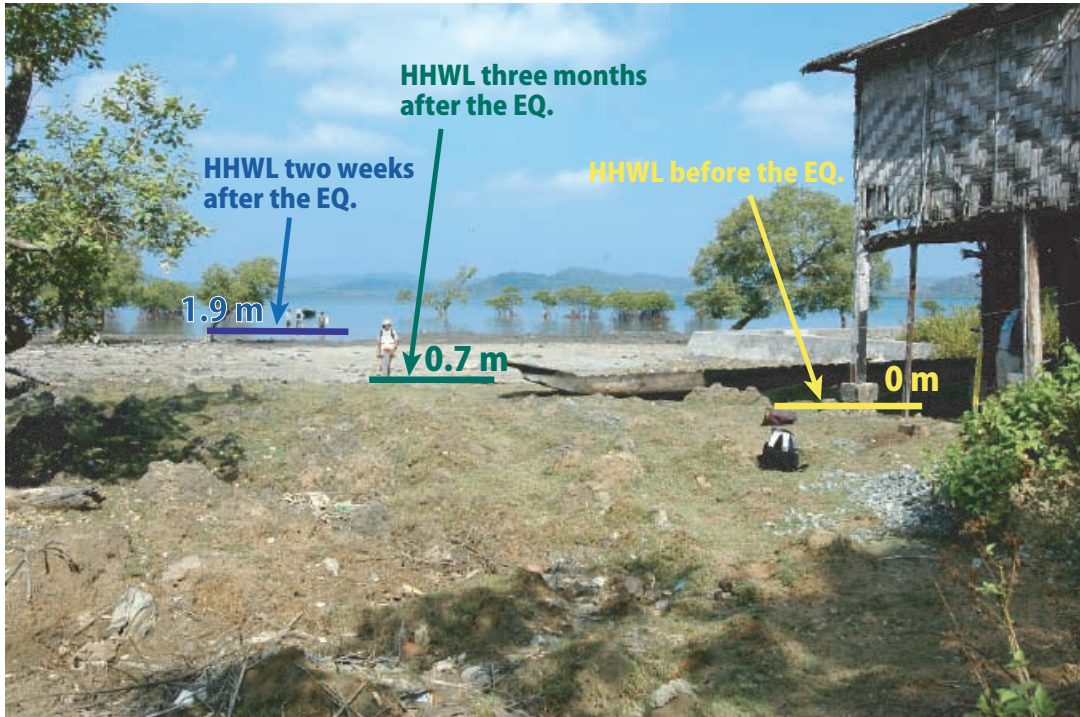
第2図. 2004年スマトラ-アンダマン地震におけるアンダマン諸島の隆起/沈降量分布.  
 Fig. 2. Distribution of vertical crustal movement associated with the 2004 Sumatra-Andaman earthquake in Andaman Islands.



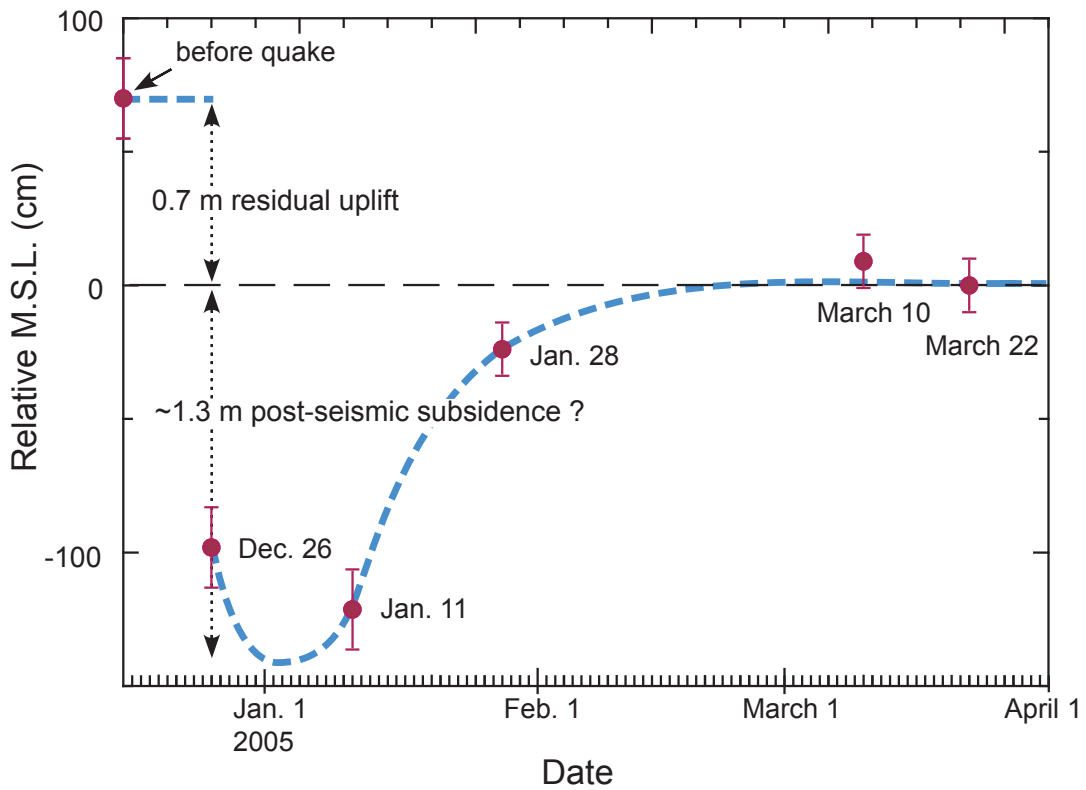


第 3 図. 南アンダマン島東岸 Port Blair 周辺の沈降を示す証拠. a : 浸水被害を受けた家屋, b : 海面上昇によって侵食された砂浜海岸, c : 沈水した田畑と森林.

Fig. 3. Evidences of subsidence around Port Blair, the eastern coast of South Andaman. a: submerged house, b: eroded sandy beach by sea level rise, c: submerged field and forest.



第4図. 中アンダマン島北東端 Mayabunder の干潟における地震前後の高潮位汀線.  
 Fig. 4. High water shorelines before and after the earthquake in Mayabunder, the northeastern margin of Central Andaman.



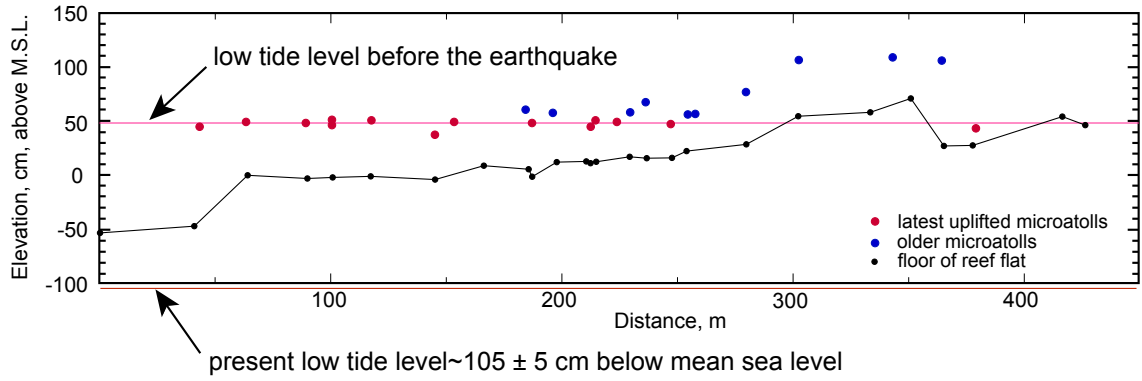
第5図. 中アンダマン島北東端 Mayabunder における地震後の相対的海水準変動.  
 Fig. 5. Relative sea level change after the earthquake in Mayabunder, the northeastern margin of Central Andaman.



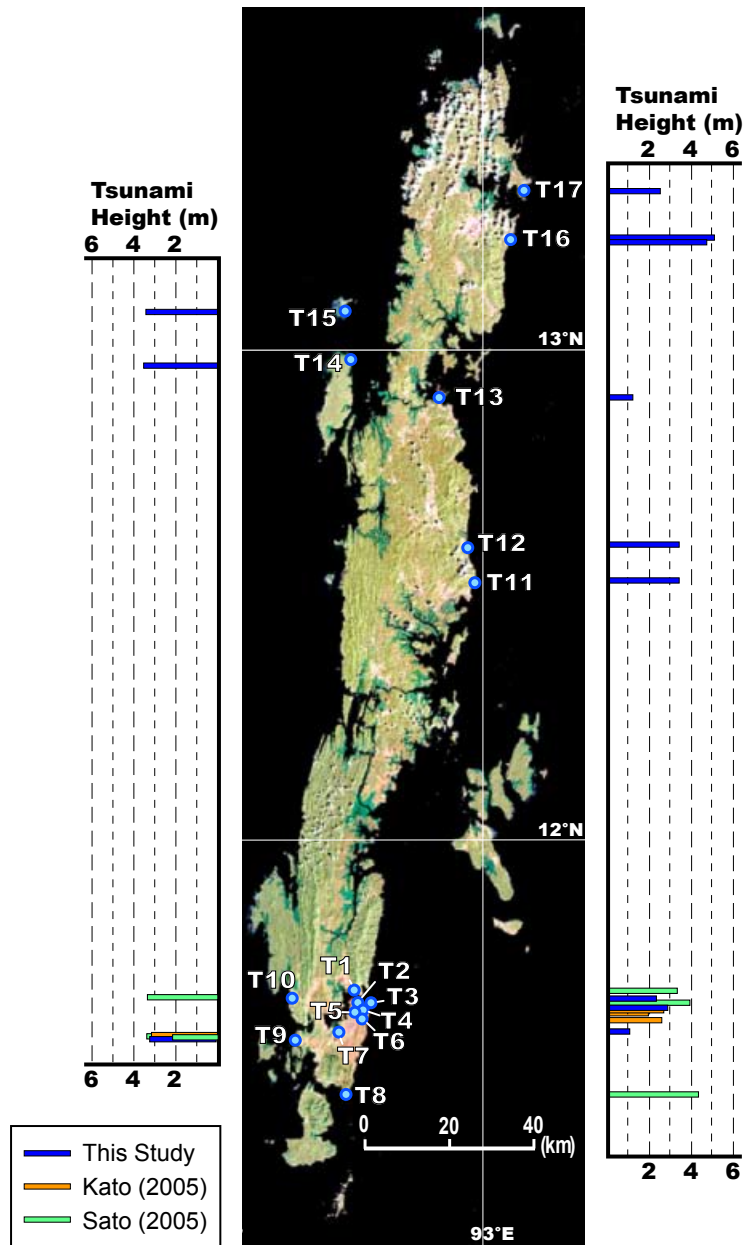
第 6 図. 北・中アンダマン島境界の海峡沿いに見られる隆起カキ礁 (地点 D10).  
Fig. 6. Uplifted oyster bank along the strait between North and Central Andaman (loc. D10).



第 7 図. 北アンダマン西沖 North Reef Island における隆起サンゴ礁.  
Fig. 7. Uplifted coral reef in the North Reef Island, off the western coast of North Andaman.



第 8 図. 北アンダマン島西方沖 Interview Island におけるマイクロアトールの高度分布.  
 Fig. 8. Height distribution of micro atoll in Interview Island, off the western coast of North Andaman.



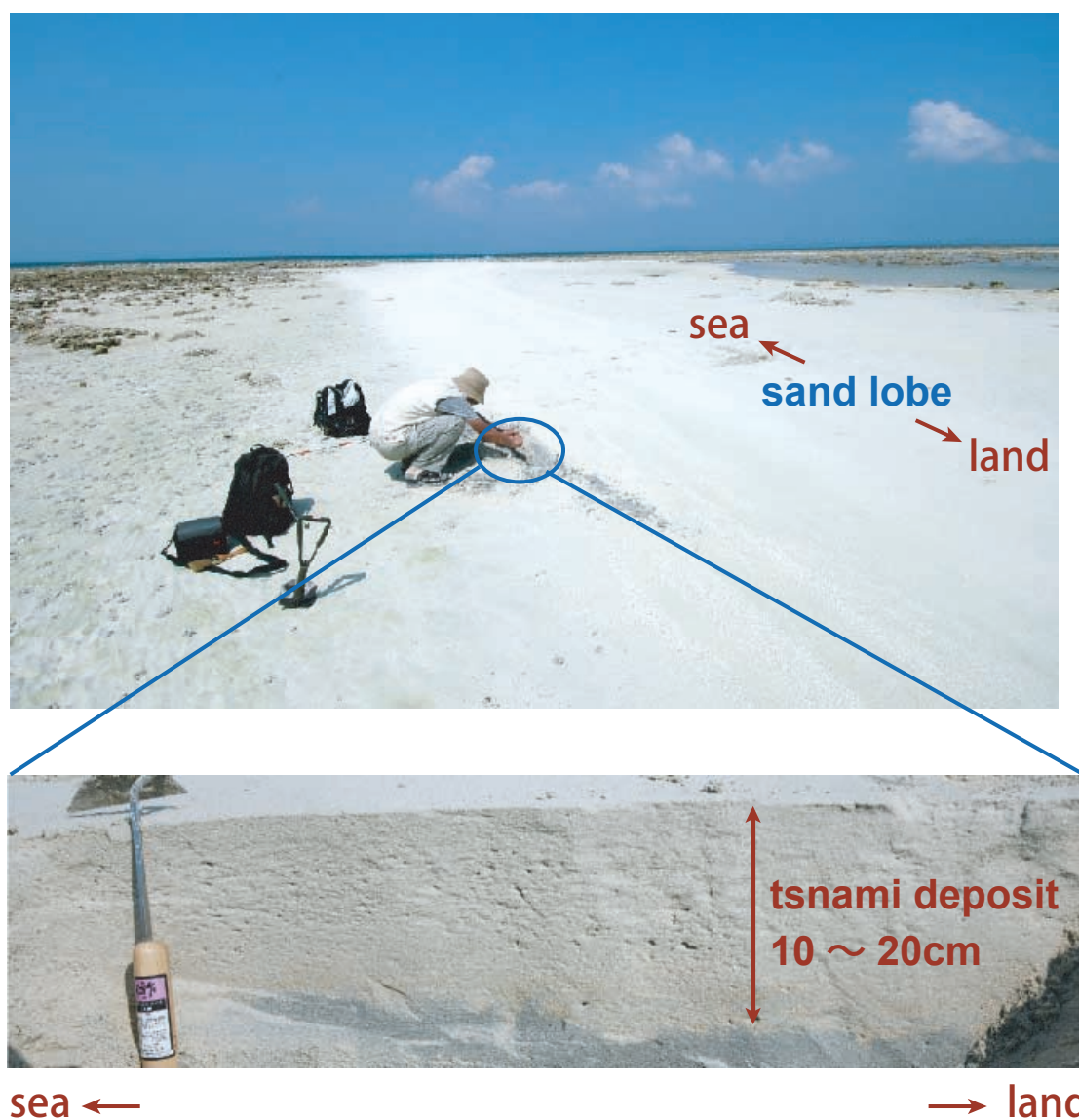
第 9 図. アンダマン諸島における津波浸水高の測定地点と結果.  
 Fig. 9. Measured points and results of tsunami inundation height in Andaman Islands.



第 10 図. アンダマン諸島で見られる津波浸水痕と津波高.  
 Fig. 10. Water marks and tsunami height in Andaman Islands.



第 11 図. 2004 年スマトラ-アンダマン地震より前に離水し化石化したマイクロアトール.  
 Fig. 11. Fossilized micro atolls emerged before the 2004 Sumatra-Andaman earthquake.



第12図. 北アンダマン西沖 Interview Island における 2004 年スマトラ-アンダマン地震の津波堆積物.  
Fig. 12. Tsunami deposit associated with the 2004 Sumatra-Andaman earthquake in Interview Island off the western coast of North Andaman.