

2004年インド洋地震津波のタイ国海岸 Phuket 島及び Khao Lak 以外の場所での浸水高調査

行谷佑一*・都司嘉宣**・松本浩幸***・Wattana Kanbua****
Mongkonkorn Srivichai*****・Vorawit Meesuk*****・岩崎伸一*****

2004年インド洋地震津波のタイ国の調査は、松富他(2005)および佐竹他(2005)が Phuket 島および Khao Lak 周辺の地域について行った。そこでわれわれは、タイ国インド洋沿岸 (Phuket 島以北 Ranong 以南) における津波浸水高や被害状況の全体像を知るために、Phuket 島以北 Ranong 以南で、調査が完了している地点以外の地域の調査を行った。その結果、Ko Phra Dap 島にある Ban Thung Dap での浸水高が、この周辺では一番高い 19.6 m であったことがわかった。またこの地域から北に向かうにつれて、津波の高さが低くなっていることもわかった。すなわち、われわれの調査結果と、すでに行われた調査結果を重ねると、Ban Nam Kim 周辺で津波の浸水高分布が最高となり、ここをピークとして南北に次第に低くなっていることがわかった。

1. はじめに

2004年12月26日0時58分53秒(UTC)にインドネシア・スマトラ島北部西岸沖合でマグニチュード9.0の巨大地震が発生した(USGS, 2005)。周知の通り、この地震により発生した津波はインド洋沿岸を中心に甚大な被害をもたらした。たとえばUSGS(2005)によると、2005年2月25日の時点で、死者・行方不明者あわせて30万人に近いことが報告されている。死者の内訳として、インドネシア約23万人、スリランカで3万人、インドで1万人、タイで5千人などである。

ところで、この津波の浸水高調査・被害調査については、わが国からも各種の調査団が、それぞれインド洋沿岸の現地にむかった(たとえば、京大防災研, 2005)。タイ国の津波浸水高調査については、松富他(2005)が地震発生の日後(2004年12月30日)から6日間の調査を行った。また、佐竹他(2005)も2005年1月28日から2日間の津波浸水高調査を行った。これらの結果によると、Phuket 島で5mを越す津波浸水高が測定され、Phuket 島から北に約50 km 離れた Khao Lak では10mを越す浸水高が測定されたことが報告されている。しかし、これらの調査は、Phuket 島および Khao Lak 周辺に限られており、タイ国のインド洋に直接面した沿岸(Phuket 島以北 Ranong 以南)を全てに関して網羅したわけではなかった。

そこで、われわれはこの Phuket 島以北 Ranong 以南での津波浸水高や被害状況の全体像を知るために、この地域の現地調査を行った。なお、すでに上述のような調査が完了している Phuket 島および Khao Lak の地域については、調査を大幅に省略し、他の地域を重点的に調査した。

また、タイ国インド洋沿岸には、王立海軍あるいは王立海洋局が管理する検潮所が8ヶ所存在する。津波来襲時には1ヶ所の検潮儀を除き機能しており記録を残している。そこで、津波浸水高の調査と同時に、これらの検潮儀についてもその状況を調査した。

本稿では以上の調査の結果について述べることにする。

2. 津波浸水高の現地調査概要

(1) 現地調査全体のスケジュール

われわれは、日本人3人(都司・松本・行谷)、タイ人3人(Kanbua・Srivichai・Meesuk)の計6人から成る調査団(全員著者)を組織し、都司が団長を務めた。また、著者の一人である岩崎は、この調査に先行してタイ国気象庁、王立海洋局の各責任者などとの予備交渉を行った。さらに岩崎は、日本に残りわれわれとの連絡および情報収集も担当した。

調査期間は2005年2月24日から3月4日にかけての9日間である。このうち、2月24日と25日はバンコクにある Hydro and Agro Informatics Institute (HAI) などで津波による被害や浸水高についての情報交換を行った。そして、26日から3月3日にかけて、Phuket 島から Ranong までの津波浸水高と検潮儀の状態を調査した。また、3月4日にはバンコクに戻り、タイ国気象庁で調査結果を報告し、調査活動を終了した。

(2) 津波浸水高調査地点

われわれはまずタイ国インド洋沿岸の25万分の1地図のコピーを岐阜県立図書館にて入手した。そしてこの地

* 学生会員 修(工) 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻

** 理博 東京大学助教授地震研究所

*** 正会員 博(工) (独法)海洋研究開発機構

**** ph. D Marine Meteorological Department, Thailand

***** Rangsit University, Thailand

***** Hydro and Agro Informatics Institute, Thailand

***** 理修 (独法)防災科学技術研究所

図をもとに、Phuket 島と Ranong の間に位置する海岸に面した集落の配置状況を、調査前に把握しておいた。配置状況把握には HAII などのミーティングも役に立った。これらの集落のほとんどは、海岸線にはほぼ平行に走る国道4号線に沿って点在しているため、車で移動することが可能であった。しかしながら、中には国道からだいぶ離れて、小さな川を渡らないと測点に向かえない場所もあったが、これについては行けるところまで車で行き、そこからは徒歩で測点に向かった。

さらに、Phuket 島と Ranong のほぼ中間に位置する地域には、車で直接行けない Ko Ra 島や Ko Phra Thong 島などの離島が存在する。これらの西岸はインド洋に直接面しているため、高い津波が襲った可能性が高く、浸水高調査を行う価値が高いと判断された。そこで、定期船や傭船により各島にも渡り調査を行った。

この結果、われわれは Phuket 島以北 Ranong 以南の37地点について、津波浸水高を調査することができた。この37地点のうち、松富他(2005)が測定した Phuket 島の Chalong と、佐竹他(2005)が測定した Ban Nam Kim とが重複しているが、それ以外の測定点については重複していない。

(3) 津波浸水高調査方法

まず各集落での津波の浸水高を測定するには、津波がどの高さまで浸水したのか、その判断が必要である。今回の調査では、以下の6種類を判断の根拠とした。

すなわち、①「津波がこの高さまで来た」といった住民の証言によるもの(H)、②津波による木の枝の折れ、ないしは浮遊してきた物の木の枝や建物などへの付着(T)、③津波に浸かったことによる植物の枯死(D)、④住居の壁などに明確に残された浸水線(W)、⑤津波の流体力による屋根などの破損(B)、⑥沿岸砂丘、原野、広場などへ津波が浸水したことによる浮遊物の打ち上げ(R)、である。

現地で津波浸水高を調査した場合、そのほとんどの場合について、上記①～⑥にあてはまる。このような判断をもとに、津波浸水高を測定した。

つぎに、実際の津波浸水高の測定には、スタッフやハンドレベル、およびトータルステーションを用いて、汀線から浸水高痕跡部までの高さを測定した。この測定値は、汀線を基準にしているため、天文潮汐の影響が含まれている。純粋な津波高さを知るためには、測定時の天文潮位と津波来襲時の天文潮位との差を測定値に加える必要がある。計算天文潮位は、国立海洋局で提供を受けたものと Tsuji 他(2005)で公開されているものがあり、これらの潮位を用いて補正を行った。なお、この補正に関しては、大気圧や風の吹き寄せなどの気象学的な潮位の変化などは考慮していない。

表-1 われわれの津波浸水高調査結果

番号	測定地点	目標物の位置				水平距離 [m]	津波高さ [m]	種別
		経度	緯度	度	分			
1	Ban Pak Nam port	98	36.04	9	58.74	0	1.7	H
2	Ban Pak Nam	98	35.74	9	57.04	0	1.16	H
3	Ban Pak Nam fishing port	98	35.88	9	56.76	0	1.66	H
4	Ka Yu Harbor	98	33.23	9	46.88	0	1.98	H
5	Had Sai Dam	98	33.14	9	44.66	105	3.73	T
6	Ban Chang Hak	98	33.51	9	40.11	0	1.06	H
7	Ramson	98	28.22	9	36.13	329	4.80	H, W
8	Ramson	98	28.22	9	36.13	329	4.91	B
9	Ramson	98	28.22	9	36.13	—	0.58	H, W
10	Ban Thale Nok	98	26.24	9	27.59	121	6.77	B
11	Ban Thale Nok	98	26.24	9	27.59	121	6.21	W
12	Hat Praphat	98	24.04	9	22.57	939	4.97	W
13	Ban Ao Khoei	98	23.02	9	17.96	180	9.21	T
14	Ban Ko Dam	98	23.15	9	16.64	0	1.14	H
15	Ko Yao, fishing village	98	22.5	9	13.32	0	0.98	H
16	Ban Ao Luk Tum	98	16.33	9	12.17	74	8.62	R
17	Ban Pak Chok	98	16.26	9	9.586	236	6.63	W, T
18	Ban Thung Dap	98	15.42	9	1.702	30	19.57	T
19	Ban Nok Na	98	15.39	8	59.94	136	12.61	T
20	Ban Tam Nang	98	24.72	8	59.58	—	0.70	H
21	Ban Ma Kap	98	15.49	8	55.37	148	6.03	B
22	Ban Pak Ko	98	16.21	8	32.95	263	6.39	B
23	Ko Koh Kao port	98	16.52	8	52.32	43	3.72	H
24	Ban Nam Kim	98	16.5	8	51.59	0	4.08	W
25	Ban Nam Kim	98	16.35	8	51.59	133	5.78	W
26	Ban Nam Kim	98	16.34	8	51.53	25	6.38	W
27	Ban Nam Kim	98	16.09	8	51.43	63	15.77	T
28	Ban Bang Phng	98	15.96	8	48.75	9	13.09	T
29	Thai Muang, Natural Conservation Park	98	13.65	8	29.07	462	5.19	H, T
30	Thai Muang, visitor center	98	14.3	8	26.15	463	6.25	H, W
31	Thai Muang	98	15.02	8	23.91	114	6.07	H
32	Ban Thung Wa	98	15.32	8	22.66	444	6.78	O
33	Nai Rai	98	16.4	8	18.59	534	5.29	H, W
34	Rai Dan	98	16.3	8	17.82	41	6.77	H, D
35	Ban na Tai	98	16.67	8	16.44	—	4.80	R
36	Ta Phao Noi	98	25.34	7	50.03	—	2.53	H
37	Chalong	98	20.68	7	49.26	—	3.90	W

3. 津波浸水高の現地調査結果

われわれが測定した津波浸水高の結果を表-1に示す。ここには、地点名、浸水高を測定した地点の緯度経度、測定点と汀線との水平距離、津波浸水高の正味の高さ、および種別が示されている。種別は判断の根拠を表しており、前節(3)の①～⑥にあるH、T、D、W、B、およびRの記号でその区別を示した。また、水平距離は浸水高測定点と汀線基準点で測定した2種類のGPSデータから算出した。2点を結ぶベクトルは、汀線に対し垂直であるとは限らないことに注意を要する。

また、津波浸水高分布を図-1に示す。図中の○印、◇印および△印は、われわれ、松富他(2005)、および佐竹他(2005)による結果をそれぞれ表している。さらに、

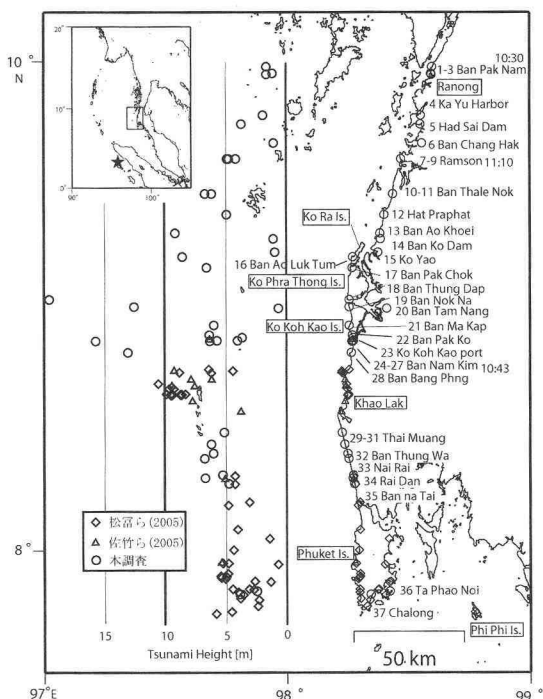


図-1 タイ国インド洋沿岸の津波浸水高分布

図-1 中の 3 地点 (Ban Pak Nam, Ramson, および Ban Nam Kim) には、時刻が記入されている。これは現地得られた津波到達時刻 (現地時間) を表している。

以下、おもだった測定点の状況を北から順に述べることにする。各測定点の位置関係は図-1 を参照されたい。

(1) Ban Pak Nam Port (番号 1, 表-1 の通し番号, および図-1 に対応, 以下同じ)

Ban Pak Nam Port は Ranong にある港である。この港は、タイとミャンマーとの国境付近に位置し、両者を結ぶ船が出る港である。ここで働く職員から、「海の水がだんだん引いていって、海の底が見えた。そのあと波があがってきた。」という証言を得た。どの辺まで水があがってきたか職員に教えてもらい、津波浸水高を測定すると 1.7 m (潮位補正済み, 以下同様) であった。

なお、ここでは、「10時30分 (現地時間, タイ国は GMT+7, 以下同様) くらいから海面が上下しはじめた」という証言も得た。参考までに地震が発生したのは現地時間で 7 時 59 分頃である。

(2) Ramson (番号 7-9)

Ramson は国立公園の事務所がある地点である。ここでは 3 ヶ所の津波浸水高を測定することができた。まず建物の屋根が津波により破壊されていた (4.91 m, 番号 8)。

つぎに、写真-1(a)にあるように、国立公園事務所内

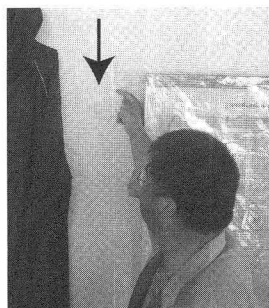


写真-1(a) Ramson 国立公園事務所内の浸水線(左)

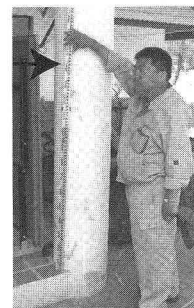


写真-1(b) 同, 柱の浸水線(右)

の壁には浸水線が残されていた。これより津波浸水高さは 4.80 m (番号 7) と測定された。

いっぽう、写真-1(b)は同じく国立公園事務所の柱に残された浸水線を表しており、写真-1(a)の浸水線とは 5 m 程度離れた場所にある。ここでの津波浸水高さは 4.22 m (番号 9) と測定された。

ところで、番号 7 と番号 9 の地点は、水平方向に 5 m 程度しか離れていないのに対し浸水高では 58 cm の差があった。2 本の浸水線が同じ津波の相でできたと仮定し、間にエネルギーの散逸がないと仮定すると、Bernoulli の式から約 3.4 [m/sec] の流速があったことが見積もられる。写真-1(b)からもわかるとおり、この場所での浸水深は約 1.5 m であるから、フルード数は 0.9 程度である。

なお、津波到達時刻については、「11:10 (現地時間) ころに来襲した」という証言が得られた。

(3) Ban Thale Nok (番号 10, 11)

Ban Thale Nok では、鉄筋コンクリート造で 2 階建ての病院がただ一軒残り、周辺は何も残っていない状況であった。この病院の屋根は津波により破壊されており、ここでの浸水高を測定すると 6.77 m であった。

ところで、この病院の 2 階の内壁には浸水線が残っていた。この浸水高を測定すると 6.21 m であった。これより、流速は 3.3 [m/sec] 程度と評価できる。浸水深は 3 m 程度であったので、フルード数は 0.6 程度である。

(4) Hat Praphat (番号 12)

Hat Praphat は、Ranong Coastal Resources Research Station がある場所である。この職員によると、「建物 1 階の屋根の一番低いところまで波が来た」とのことから津波浸水高を測定すると、4.97 m であった。なおこの職員は、車を運転中に津波に巻き込まれ、車が何回か回転したため車から抜け出し、マングローブに登ってようやく助かったそうである。

(5) Ban Thung Dap (番号 18)

Ban Thung Dap は、Ko Phra Thong 島にある地点で、Ko Yao 港 (番号 15) から傭船で渡った。ここでは、われわれの調査の中でもっとも高い 19.57 m の浸水高を測

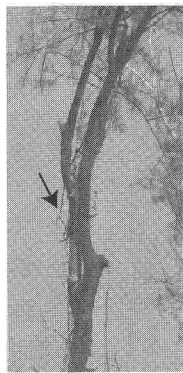


写真-2(a) Ban Thung Dap での津波による植物の折れ(左)

写真-2(b) (a)の○内の拡大写真(右)



写真-3 Ban Ma Kap での津波被害

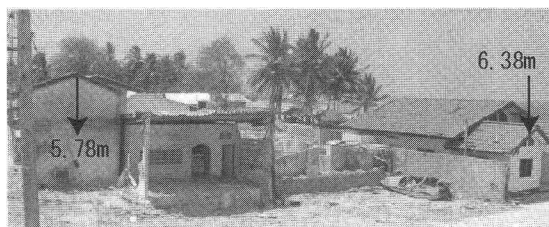


写真-4 Ban Nam Kim での津波浸水高

定した。判断の根拠となったのは、写真-2にあるように、津波が浸水したことによる木の枝の折れであるが、周辺の樹木にも同程度の高さに津波痕跡が観察された。

(6) Ban Ma Kap (番号21)

Ban Ma Kap は、Ko Koh Kao 島の南部にある地点である。この島へは Ban Nam Kim から定期船が1時間に1本の割合で出ている。ここでは、写真-3にあるように、津波で家の壁、ならびに屋根が破壊されていた。この破壊された上端まで少なくとも津波が来たと考えて、浸水高6.03 mを得た。

なお、人口800人の Ko Koh Kao 島の住民によると、この島では津波で400人が亡くなったそうである。犠牲者の大半はこの島へ仕事に来ていた外部の方々であったそうである。



写真-5 Ban Nam Kim での、津波により壊された時計

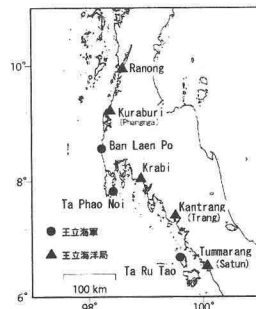


図-2 タイ国インド洋沿岸の検潮所分布

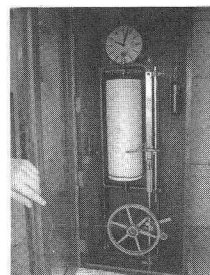
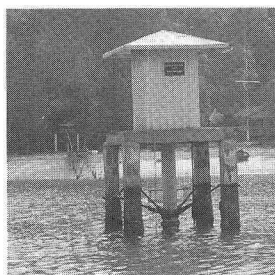


写真-6(a) Ta Phao Noi の検潮儀 (左)

写真-6(b) Ta Phao Noi の検潮儀の記録部 (右)

(7) Ban Nam Kim (番号25, 26)

Ban Nam Kim では、写真-4にあるように近接する家屋の浸水高を得ることができた。両者はいずれも壁に残された浸水線を根拠にしている。

しかし、この場合、浸水高の差から流速は求めないことにした。両者の距離は50 m 程度離れており、散逸の影響が無視できず、Bernoulli の式が使えないと判断したからである。

ところで、この地では津波により壊された時計を発見した(写真-5)。時計は10:42をさして止まっている。また、ここの住民から「津波は10:30頃に来た」という証言も得られた。発震後2時間43分で津波がここを襲ったことを示している。

4. タイ国インド洋沿岸の検潮所状況

タイ国インド洋沿岸には、タイ国海洋局が管理する検潮所が5ヶ所、王立海軍が管理する検潮所が3ヶ所存在する(図-2)。このうち Ban Laen Po は津波来襲時に故

表-2 各検潮所の諸量 H は津波来襲時の水深[m]を表し、D は水管の直径[cm]を表す。

地点	経度	緯度	H	D
Ta Phao Noi	98 25.274	7 50.029	4.7	30
Ban Laem Po	98 13.491	8 34.407	—	—
Kuraburi	98 22.613	9 13.503	2.43	23
Ban Pak Nam	98 35.744	9 57.044	2.86	17

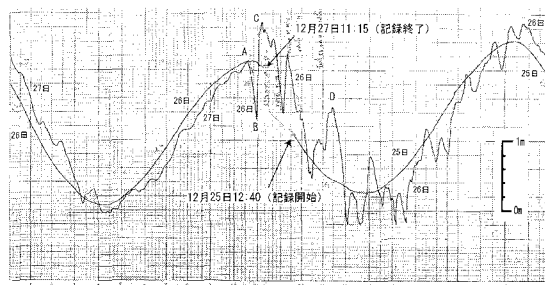


図-3 Kuraburi の検潮記録

障しており、記録がとれなかった。

写真-6(a)および(b)は、それぞれ王立海軍が管理する Ta Phao Noi の検潮儀およびその内部の記録部を表す。写真-6(a)の通り、検潮儀は海面に直径23[cm]の水管を立てた構造になっている。この水管の中で浮標が上下し、それが写真-6(b)の記録部に伝わって検潮データが記録される。記録部は、電気で回転するドラムに記録紙が巻き付けてあり、1日1周する構造になっている。そして、1枚の記録紙に2日分の潮位が記録されている。このような構造は、調査したすべての検潮所に共通していた。

ところで、われわれはこの記録紙が表す時刻についてその正確さを調べた。その結果、Ta Phao Noi では2005年2月26日時点で11分ほど検潮記録の時刻が正確な時刻よりも進んでいることが確認できた。この記録紙は2日に1回張り替えるので、津波来襲時の検潮記録も11分ほど進んでいるという結論にはならない。しかし、検潮記録から津波開始時刻などを読み取る場合には、注意を要する、ということが言える。この問題を解決する場合には、計算天文潮位と検潮記録を比べ、満潮や干潮の時刻を目安に補正するとよい。

また、本調査では北側にある Ranong および Kuraburi の検潮所についても、水管の直径、水深、および検潮儀の時刻の正確さを調査した。ただし、Ban Laem Po については、王立海軍の敷地内であったことから、これらの諸量を測定することは許可されなかった。なお、表-2 にわれわれが調査した各検潮所の諸元を示した。

図-3 は Kuraburi の検潮記録である。これによると

Kuraburi では、まず10:32に津波の第一波が引き波から始まり (A 部)、10:58に90 cm 引いたことがわかる (B 部)。つぎに11:12に全振幅136 cm の押し波が襲い (C 部)、その後14:28に最大全振幅140 cm の押し波が襲ったことが読み取れる。Kuraburi を襲った津波の周期は、おおよそ40分程度であったことがわかった。

5. ま と め

今回のわれわれの調査で、Phuket 島から Ranong にかけて37地点の津波の高さを測定することができた。図-1で明らかのように、われわれの調査で判明した一番高い津波高さは、Ban Thung Dap で19.57 m であった。ほかにも Ban Nam Kim では15.77 m の津波が測定された。いっぽうでこれらの地域から北に向かうにつれて、津波の高さが低くなっていることにも注目し値する。とくに、Ban Thale Nok では津波高さが平均して6 m を越える程度、Ranong 周辺では平均して3 m 程度である。このことから、Ban Nam Kim 周辺で津波の浸水深分布が最高となり、ここをピークとして南北に次第に低くなっていることがわかる。

謝辞：本稿は科学技術振興調整費「スマトラ島沖大地震及びインド洋津波被害に関する緊急調査研究」サブテーマ「2. 震源近傍における地殻変動・津波調査(4)検潮記録と現地調査による津波到達時刻・波高の推定」の補助を受けました。感謝いたします。

参 考 文 献

- Tsuji, Y., Y. Namegaya, J. Ito: Astronomical Tide Levels along the Coasts of the Indian Ocean(オンライン), <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/namegaya/sumatra/tide>, 参照 2005-05-20.
- USGS: Magnitude 9.0 - Sumatra-Andaman Islands Earthquake off the West Coast of Northern Sumatra(オンライン), <http://earthquake.usgs.gov/eqinthenews/2004/usslav>, 参照 2005-05-20.
- 京都大学防災研究所：2004年12月26日インド洋地震津波災害(オンライン), <http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/sumatra/index-j.html>, 参照 2005-05-20.
- 佐竹健治, 岡村行信, 矢倉正展, 藤間功司：2004年スマトラ沖地震津波 Phuket (Thai) 現地調査(オンライン), http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/sumatra/thailand/phuket_survey.html, 参照 2005-05-20.
- 松富英夫, 平石哲也, 高橋智幸, 松山昌史, 原田賢治, Sittichai Nakusakul, Seree Supartid, Wattana Kanbua, Chaitawat Siwabowon, Sittiporn Phetdee, Warisatha Jachowong, Mongkorn Srivichai: 2004年スマトラ沖地震津波 Phuket (Thai) 現地調査(オンライン), http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/sumatra/thailand/phuket_survey.html, 参照 2005-05-20.