

Evidence of probable paleotsunami deposits on Kho Khao Island, Phang Nga Province, Thailand

Yawsangratt, S., Szczuciński, W., Chaimanee, N., Chatprasert, S., Majewski, W., Lorenc, S., Nat Hazards (2012) 63:151-163

タイのパンガー県のコー・カオ島における推定古津波堆積物の証拠

要約

2004年の津波堆積物と推定古津波堆積物を、タイのアンダマン沿岸のコー・カオ島南部で研究した。2004年の津波は、層厚約8 cmの級化する中粒砂層と、局地的に約40 cmの層厚の塊状粗粒砂を堆積した。塊状粗粒砂はマッドクラストを含む。それらの堆積物は海生有孔虫群集により特徴づけられた。しかし、すでに5年経ったので、ほとんどの有孔虫の炭酸塩殻は部分的または完全に溶解していた。推定古津波堆積物は約1 mの厚さの層を形成していた。その層は大きな貝とマッドクラストを含む塊状極粗粒砂からなる。その組成は、海起源であることとマッドクラストの存在を示唆し、2004年の津波堆積物との類似は、同層が古津波によることを示唆する。その古津波は後期完新世に発生した可能性があり、同層に含まれる二つの貝の¹⁴C年代は40,000年前以上を示した。

1. はじめに

タイのアンダマン海岸は、2004年12月26日のインド洋津波によって深刻な影響を受けた海岸の一つであり、約20,300 haが海水で浸水した(UNEP 2005)。津波の発生は前代未聞で、この海岸への津波の災害アセスメントに対する疑問が挙げられた。原則として、このよ

うなアセスメントを行うには、可能性のある津波の波源と、それらの波源からの沿岸の様々な地域での津波の特徴と発生の見込みに関する情報を持つことが必要である。過去の津波のデータは、これらの要因の定量化に非常に貴重な助けを提供する。アンダマン海沿岸では昔の津波の歴史文書がないため、この地域の津波災害アセスメントの作成は過去の津波（古津波）の堆積学的記録とモデル研究に基づくことが必要である。

津波堆積物は、泥から巨礫まで様々な堆積物のタイプによって示される（例えば Dawson and Shi 2000; Goff et al., 2001; Scheffers and Kelletat, 2003; Bourgeois, 2009）。それらは他の堆積物、例えば、嵐の堆積物（例えば Morton et al., 2007; Switzer and Jones, 2008）と類似するかもしれないし、堆積後の変化によって変質するかもしれないので（Nichol and Kench, 2008; Szczuciński, 2011）、結果的にそれらの明白な同定はたいへい難しい。タイのアンダマン海沿岸域の 2004 年の沿岸の津波堆積物の広範囲の調査は、範囲、厚さ、粒径（泥から巨礫）、内部構造、組成、保存の可能性に関して非常に様々な研究である。しかし、詳細な分析で、堆積学的（例えば Szczuciński et al., 2006; Choowong et al., 2007 2008a, b; Goto et al., 2007, 2008; Hori et al., 2007 ; Kelletat et al., 2007; Fujino et al., 2008; Matsumoto et al., 2008）、微化石的（Hawkes et al., 2007; Kokociński et al., 2009; Sawai et al., 2009）、地球化学的（例えば Szczuciński et al., 2005, 2007; Kozak et al., 2008）そして鉱物学的（Jagodziński et al., 2009）特徴を使って 2004 年の津波堆積物と他の沿岸の堆積物からの識別が可能となった。これらの堆積特性はより古い津波堆積物の探究に役立つかもしれない。

いくつかの調査グループは、タイのアンダマン海沿岸で、津波後数か月以内に古津波の記録の調査を始めた。しかし、津波堆積物と他の沿岸の堆積物との類似性、激しい堆積後

の変化, 良い堆積記録を提供するラグーンや沿岸湖の欠如, 沿岸平野の広範囲での鉱石の採鉱により, 古津波の記録の最初の探究は失敗した (Szczuciński et al., 2006; Tuttle et al., 2007). または, 古津波イベントの認識と年代決定で問題に直面した (Jankaew et al., 2008; Fujino et al., 2009; Yawsangratt et al., 2009). しかしすぐに, 古津波の説得力のある証拠がプラトン島北部で見つかった (図 1, コー・カオ島の北). Jankaew et al. (2008)は, 2.5-2.8 ka より新しい数枚の砂層を発見した. 推測された古津波のもっとも最近のものは, 西暦 1300-1450 年よりわずかに新しいものが見つかった. これらの発見は, Fujino et al. (2009) により予期され, 彼らは少なくとも 2 枚の砂層を古津波の記録で, それぞれ 700 年前以前, 100 年前以前に発生したと報告した. また, プラトン島では最も新しい砂層と同年代 (15 世紀の初め) のイベント層として解釈された, 貝殻の堆積物が, Harper (2005) によってクラビー県 (100 km 以上南) で報告された. 加えて, タプラム海軍基地 (図 1) の近くから, 年代の分からない古津波によって堆積した可能性のある巨礫が Yawsangratt et al. (2009) によって記載された. タプラムの近くでも, Rhodes et al. (in review)により, マングローブの環境中で中期完新世の津波の可能性がある痕跡が見つかった. 最近では, Brückner et al. (2010) がバンバーンサック (図 1) から, 2 つの古津波イベントの証拠の可能性を報告し, 新しい年代のものが西暦 1300-1400 年で, 古いほうのイベントはパンガー湾の数十 km 南に位置するパカラン岬 (図 1) からのものである.

限られた地質記録の他に, タイのアンダマン沿岸の津波の再発間隔のアセスメントが, プレーートのテクトニックな状況の分析と, 地震の歴史, 数値解析モデルを基にして, Løvholt et al. (2006) によって作られた. 彼らは, 2004 年 12 月の地震で放出されたエネルギー

が蓄積するのに少なくとも 300-400 年かかると見積もった。また、彼らは、津波についても、1.5-2 m の遡上高で、50-100 年の発生間隔の可能性があると見積もった。しかし、Szczuciński (2011) により議論されたように、これらのより小規模の津波の堆積記録は保存ポテンシャルがとても低いだろう。Meltzner et al. (2010) は、シメルー島北部の隆起の証拠を見つけた。そこは 2004 年の破壊の南端に近く、1390 年代と 1450 年頃に巨大地震があったと推定される。それらのうち 1 つの地震が Jankaew' s et al. (2008) のユニット B で、プラトン島で最後から 2 番目の砂層を説明するかもしれない。

本研究の目的は、タイのアンダマン海沿岸の古津波の記録を拡大することである。本研究は 2004 年の津波堆積物と、堆積後の変化とコー・カオ島の南部で見つかった古津波の可能性のある堆積物を記す。本研究の最終目的は、調査地の津波災害アセスメントを改善することである。

2. 調査地

コー・カオ島はタイのパンガー県に位置し (図 1), 2004 年の津波によりかなりの被害を受けた。この地域は、南西モンスーンの間、激しい雨が降る熱帯気候帯である。調査地は、島の南部の沿岸域であり、コー・カオ島ビーチリゾートの隣に位置する (図 1, 2)。この地域は、中期完新世の海水準高位期 (Sinsakul 1992) の後の海水準低下期に形成された一連の浜堤で主に形成されている。リゾートで測定された調査地での 2004 年の津波の浸水距離と最大遡上高は、それぞれ 540 m と 7.7 m であった (Szczuciński et al., 2006)。津波は、0.5 m 以下の厚さの様々な堆積物の組成や構造のある砂質堆積物の層を 1 層残した (Jagodziński et al., 2009, Szczuciński et al., in review)。

調査地域は、西から、海浜とビーチバームがあり、それらは河道と潮流の水路として使われている水路により横切られている (図 2)。さらに陸側は低地で、定期的な浸水域 (ラグーン) で、厚い (平均で 40 cm) 2004 年の津波堆積物で覆われ、津波堆積物は下位の泥層を浸食した数 cm 幅の特徴的なマッドクラストを含んでいる (図 3 の KK6)。東方は高い段丘 (平均海拔約 3 m) で、密集した古い森に覆われている。この段丘の上で、調査した孔のほとんどを掘った。段丘は古い錫鉱業の活動の間に部分的に除去されたため連続していないが、それ以後のなごりは景観の中や特徴的な堆積物として見られ、堆積物はスズ石の豊富な破片を採取した残りかすである。

3. 試料と方法

古津波の記録の調査では、筆者らはパンガー県の沿岸の異なるサイトで 2005 年、2007 年、2008 年と 2009 年に調査を行った (図 1, 表 1)。サイトのそれぞれで、地下水面にまで達する深さ 1-2 m の孔を掘削した。しかし、本論で記載した以外に、古津波の証拠は見つからなかった。一般的な問題は錫鉱業や土地開発により擾乱されたところから、調査したシーケンスを見つけることだった。

本研究は、2005 年 2 月 (KK6) の 2004 年の津波堆積物の調査と、2009 年 7 月の 5 つの孔の掘削 (KK1-KK5) に基づいている。掘削した堆積物は記載、撮影、そしてサンプル採取 (2004 年の津波堆積物と古い堆積物の両方とも) した。18 サンプルは 0.5 φ 間隔の 13 のセットの乾式篩を通し粒径分布を分析した。10 サンプル (2004 年の津波堆積物から 5 サンプル、推定古津波堆積物から 5 サンプル) は、光学顕微鏡と SEM で有孔虫群集を分析した。推定古津波堆積物からの 2 つの炭酸塩からなる貝の ^{14}C 年代決定を Poznań Radiocarbon Laboratory の高精度加速器質量分析 (AMS) で行った。

4. 結果

4.1 堆積物

4.1.1 2004年の津波堆積物

全ての調査孔で、最上部の堆積物は2004年の津波堆積物だった。KK6の孔を除いて、津波堆積物は比較的一様で、平均8-12 cmの厚さだった(図3)が、1つの孔の中では1-15 cmの範囲で変化した。それらは主に中粒砂~極粗粒砂で構成され、分級度は中程度から低く、級化する。その層と下位の土壌との境界は明瞭なでこぼこした境界面である。全てのケースで、新しい土壌、すなわち厚さ3 cmまでの表層の有機物が多い層、の発達が観察された。5年後、2004年の津波堆積物は既に、堆積後の変化—成長する根、齧歯動物、昆虫による混合—により乱されていた。

KK6孔(2005年に記録した)が掘られ、そこは他の孔と対照的に、低地で定期的に浸水する地域である(図2)。2004年の津波堆積物は厚さ40 cmであり、黒色の硬い泥層を覆い、この泥層は「生えていた場所で曲がった草」がまだ保存されている(図3)。下部の30 cmは塊状極粗粒砂からなり、層の上部には貝とマッドクラストを含む(図3)。マッドクラストは津波堆積物の下位にある堆積物と同じ色・組成であった。津波堆積物の上部10 cmは中粒砂からなり、級化していた。

4.1.2 古い堆積物

2004年の津波より前の堆積物は、全体的に中粒砂~極粗粒砂から構成されていた。KK3孔とKK4の大部分は、堆積物のほとんどは、部分的にラミナのある砂からなり、2004年より前の土壌の残留物で覆われていた。しかし、KK1, KK2, KK5そしてKK4の最下部の場合、

この層は沿岸の巻貝や二枚貝 (*Turritella* spp. と *Anadara* spp. が最も多い) の大きな貝殻をよく含み、「円磨され、わずかに伸びた形の、黒色ないし茶色、または黄色がかった、最大直径 4-30 cm のマッドクラスト」を含む、層厚約 1 m の極粗粒塊状砂層が見つかり (図 3), その層は少なくとも 150 m に渡って連続していた。下位の良く淘汰された中粒砂～粗粒砂との境界面は明瞭だった。粒径は、最も内陸のサイト (KK2) を除いて、地点間でほぼ同じ (極粗粒砂) で、KK2 はより細粒な粒子を挟在している。KK2 ではマッドクラストの数は最少で、サイズは最小である。層の上部は 2004 年の津波以前の土壌である (KK4 を除く)。それは、貝とマッドクラストがほとんどなく、以前の土壌と地下水が関連した過程、例えばマッドクラストや砂の色の変化で例示される酸化還元の変化によって変化している。

4.2 有孔虫

有孔虫は 2004 年の津波堆積物から採取されたサンプルのみに見つかった。古い堆積物には有孔虫は産出しなかった。

2004 年の津波の層の 5 サンプルの全てで、底生有孔虫のみが産出した (表 2, 図 4)。その群集は多様性がかなり低く、炭酸カルシウムの殻からなるものが優占する。膠着質の *Quinqueloculina agglutinata* の 2 標本のみが KK1 孔のサンプルから見つかった。有孔虫の組織の大部分は保存状態が不良である。それらは化学的または機械的な風化の痕跡があった。この理由で、標本の 10.6% から 62.4% を特定の属と同定するのが不可能だった。それらは“見分けられていない”区分に分類した。

最も豊富 (56% まで) なものは *Ammonia* spp. で、*Ammonia parkinsoniana* とその類縁種 (図 4, 9-11) と *Pararotalia stellata* (図 4, 4-5) によって多くを占めた。後者は、非

常に丈夫で、KK1 と KK4 のサンプルの全群集の 3 分の 1 を構成する。それらは両方とも内側陸棚に典型的なものである (Hawkes et al., 2007)。数の少ない種は *Quinqueloculina* (2.6-7.2%), *Amphistegina* (5.5-14.3%), そして *Elphidium* (2.1-6.3%), *Elphidium* 属は *Elphidium crispum* と *Elphidium craticulatum* によって占められている。他の分類は *Eponides*, *Asterorotalia* と, miliolid 目の有孔虫を含む。

有孔虫群集は、津波後すでに 5 年を経た間の堆積後の過程で変質したと思われる。KK4 と KK5 のサンプルは、識別できない有孔虫の割合が最も高く (表 2), *Ammonia parkinsoniana* の割合が低く示され、微小な種がない。

4.3 ¹⁴C 年代

沿岸の巻貝 (*Turritella* spp.) と二枚貝 (*Anadara* spp.) の 2 つの比較的大きな貝 (図 5) が KK1 孔の推定古津波堆積層の深度 29 cm と 60 cm のそれぞれで採取され、AMS¹⁴C 法で年代測定した。得られた年代の 40,000BP 以上 (表 3) は ¹⁴C 年代法の適用範囲の限界にとっても近く、年代は最小値 (minimum values) としてのみ扱われる。

5. 議論

提示した結果は、コー・カオ島の南の沿岸堆積物には、2004 年以前の津波堆積物の層があり、その層の特徴は高エネルギーの突然のイベントに典型的ないくつかの特徴を示す。さらに、特徴の多くは同サイトの 2004 年の津波堆積物と共通する。要約すると、議論したイベント層は定期的に浸水する場所 (ラグーン) の陸側の孔で見つかり、層はかなりの厚さ (1 m まで) で、側方に連続していて (少なくとも 100 m にわたって)、数 cm の大きな貝 (しかし小さい貝や有孔虫はない) を含む極粗粒砂からなり、大きなマッドクラストを含

む。残念ながら、以前の採鉱のせいで、さらに内陸で、この層を追跡できなかった。

2004年の津波堆積物と著しく類似するものが近く（KK6）で見つかった。どちらの場合も、塊状極粗粒砂の厚い層でマッドクラストが豊富なことで、我々は、イベント層は古津波が起源だとみなすことを提案した。嵐はこの地域では頻繁ではない（Jankaew et al. 2008, Brand 2009）。調査地の近くでは20世紀の間にいくつか熱帯のサイクロンが記録されている（Brand 2009）。しかし、それらの記録は大陸棚中部の堆積物に認められるが（Szczuciński 2010）、アンダマン海の東岸で、西向きの進路をとったことによる著しい水位変化があったことは記録されていなかった（Brand 2009）。さらに、記録された層はいくつかの特徴を示した。その特徴は数人の著者により指摘された、嵐が陸に残した堆積物にはないもので、例えば大きなマッドクラストである（Kortekaas and Dawson 2007; Morton et al. 2007）。より小さなサイズのマッドクラストは、アンダマン海沿岸の他地域の2004年の津波堆積物にも見つかっている（例えば Szczuciński et al. 2006, in review; Choowong et al. 2008a）。一方で、マッドクラストは、浜堤を形成する嵐の堆積物には見つかっていない。貝殻の産出は堆積物が海起源であることを示唆する。より小さな貝や有孔虫の欠如は、堆積後の溶解に起因する。上述したように、2004年の津波堆積物から5年後に採取された有孔虫は保存状態がすでに悪く、部分的に溶解し、より小さな有孔虫はすでに失われた可能性が高い。炭酸塩の溶解は、保存されたより大きな貝でもよく見られた（図5）。

もしも議論した堆積物が古津波イベントによるのなら、いつ起こったかという疑問が挙がる。年代測定に適した唯一の物は堆積層中の貝だ。得られた年代は4万年以上前という最大値で、イベントの年代を示してはいないだろう。4万年前頃、本地域では海水準は約

80 m 低く (Hanebuth and Stattegger 2004), さらに, その時, 調査地は存在していない。なぜならばコー・カオ島の沿岸部は, 中期完新世の海水準高位期の後に形成された浜堤でできているからだ (Sinsakul 1992)。よって年代測定した貝殻は, より古い堆積物からの再堆積したものだろう。そして, 推定古津波イベントはおそらく後期完新世に起こり, その時には外側浜堤が既に形成され, その背後にはラグーンがすでにあり, 泥が堆積でき, その後に浸食されたのだろう。この地域にある古津波の記録は, 約 600 年前に津波が起きたことを示し (Harper 2005, Jankaew et al. 2008), その津波は同じ場所で 2004 年の津波より厚い堆積物を残した。津波堆積物の厚さと粒径は, 基本的に浸食と運搬される堆積物に依存し, そして津波の力に依存する。しかし, アンダマン海沿岸の 2004 年の津波で見つかったように, 津波の遡上高と生じた堆積物の厚さとは正の相関がある (Szczuciński et al. in review)。報告された推定古津波堆積物は, 2004 年の津波堆積物より厚い。よって, もし本論で述べたイベント堆積物が, 先行研究で記載されたものと同じ古津波イベントが起源であれば, それは 2004 年の津波よりさらに大きいと推定できる。あるいは, 過去のイベントの時は沿岸の地形がわずかに異なり, そのような厚い堆積層の堆積を増大したかもしれない。しかし, イベントの年代を確定するには, さらに広範囲のフィールドと分析が必要である。

6. 結論

得られた結果は, 3つの結論を導く。

1. アンダマン海の古津波の記録は限られた場所に限定され, そこは鉱石の採鉱の影響を受けていない場所であり, そしてほとんどの場所は, 堆積後の変化と下位の堆積物との類似によって認識が非常に困難である。

2. 2004 年の津波から 5 年後でも津波堆積物は多くの場所で良く見られるが、土壌の形成と炭酸塩（例えば、有孔虫）の溶解に関する堆積後の変化を被っている。
3. コー・カオの南の調査地は、2004 年の津波堆積物がマッドクラストを豊富に含む塊状極粗粒砂によって特徴づけられた場所で、それと類似する堆積物が見つかり、大きな海生の貝とマッドクラストが豊富な厚さ約 1 m の極粗粒砂層で形成されている。その特徴は、古津波イベントによって堆積したことを示し、2004 年の津波より大きく、後期完新世の間に起きたと示唆される。だが、イベントの正確な年代決定はできなかった。

（北村晃寿・山本有夏）