

2004年インド洋大津波後の海浜地形の回復過程 ～タイ国・カオラック北部，ナムケム・パカラン岬の例～

原口 強

大阪市立大学大学院理学研究科 e-mail: haraguchi@osaka-cu.ac.jp

巨大津波は浸水被害とともに地形変化を生じ復旧や復興計画に影響を与えるため，その実態把握が必要である。2004年インド洋大津波で被災したタイ・カオラック北部の海浜を対象に，津波後の海浜の回復過程の検証を行った。浸食した浜は，自然の沿岸漂砂系の中で10年オーダーの時間がかかる場所があるものの，津波前の地形に順次回復しつつある。一方，人工構造物が漂砂系を阻害する要因となり，自然地形の回復を遅らせる場所があることも理解された。

Key words : 2004年インド洋大津波，海浜，地形変化，UAV空撮

1. 研究の背景と目的

巨大津波では，沿岸部で大規模地形変化が生じ，その後の復旧や復興計画に大きな影響を与えている。この影響は現在も継続しており，さらに余効変動による地盤隆起も加わり，今後数十年を超えるスケールで沿岸部の地形変化が継続するとみられる。このためには現在進行中の地形変化をモニタリングし，将来の地形変化を予測しておく必要がある。

地質学的には巨大津波後の地形変化は過去にも繰り返された現象で，地形に固定された痕跡が残されているものの，その変化の過程は不明であった。進行中の地形変化をモニタリングするには多くの労力と高額のコストが必要で，これを解決する方法が求められている。

本研究では2004年インド洋大津波や2011年東北地方太平洋沖地震津波を対象に，タイ，スリランカ及び東日本沿岸部の津波浸水域の砂浜海岸での海浜地形変化を調査している。本文では，被災後に防潮堤を造らない対応をとっているタイ・カオラック北部の海浜，ナムケム・パカラン岬の大津波前後の海浜地形の長期変化を把握することで自然の復元能力を評価することを目的としている。この事例は，東北地方太平洋沖地震津波後の日本の巨大防波堤による防災対策を考える上の資料として有用となろう。

2. 調査手法

海岸線の変動を広域に把握するには，対象領域を撮影した上空からの写真が有効である。本研究では，公開されている衛星画像と現地でのUAV空撮による方法について述べる。

(1) 衛星画像の読画による方法

多くの人が自由に利用できる画像として，Google Earthの公開画像がある。サイトから閲覧したい場所を検索してその場所の公開されている最新の衛星画像を読み込む。その後サイドバー「過去のイメージ」を選択し，スライドバーから順次公開されている過去の画像を得ることが出来る。画像から汀線を読み取り，ツールバーのパスを使ってトレースすることで，画像が撮影された時点の汀線を描くことが出来る。これを他の時期の画像で繰り返すことで，閲覧場所の汀線の時空間変化を読み取ることが出来る。この際，潮位差による汀線位置が変化誤差を少なくするため，現地でのUAV空撮時に満潮時と干潮時の画像を取得し，これを参考に満潮時と判定される汀線位置を過去の衛星画像を選択した。

(2) UAV空撮による方法

海浜地形は沿岸漂砂や波浪の影響で，短期的に大きく変化する。この状況を捉える衛星画像があれば良い

が，実際には必要な海岸線の範囲や撮影時期を選ぶことができない．タイやスリランカはモンスーンの影響を強く受ける地域で，季節変動が汀線位置に与える影響も考慮する必要がある．この場合，自由に計測範囲や時期を選ぶことが出来，費用も抑えられる UAV 空撮が効果的である．撮影した空撮画像からオルソ画像化し，Google Earth で閲覧可能な形式で保存することで，十分な観察が可能となる．

3. 調査事例

インド洋津波は 2004 年 12 月に発生 (図 1) し，プーケットで 5m 程度，カオラックで 10m 前後の津波高が観測 (図 2) されている．

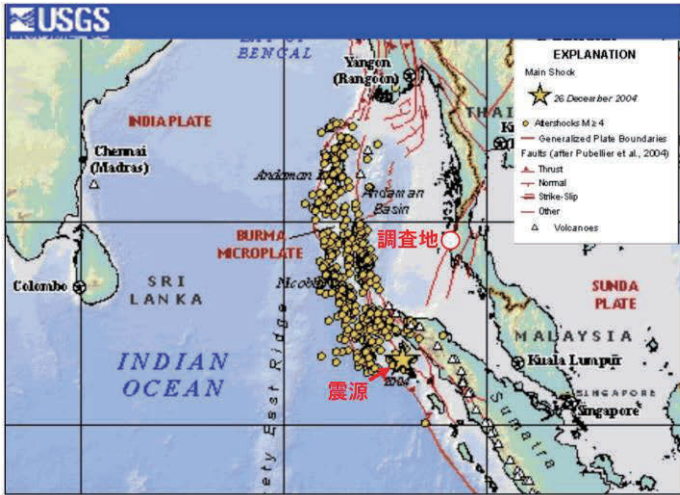


図 1 2004 年インド洋津波の震源域¹⁾と調査地

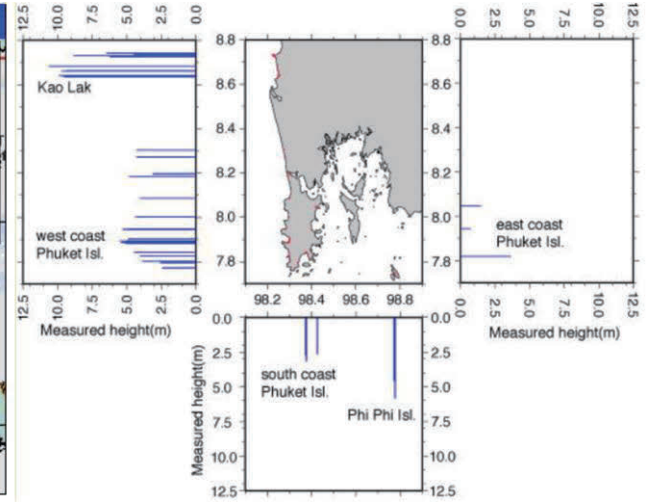


図 2 調査地周辺の津波高²⁾

調査地は，カオラックの北部，ナムケムとパカラン岬の海浜を対象 (図 3) とした．津波はこの地域にも，浸水被害と海浜浸食による地形変化をもたらした．津波前の 1985 年 12 月 31 日の画像 (図 4) にトンボロや砂嘴などの海浜地形が確認され，沿岸流による海浜地形の発達過程が読み取れる．ナムケムでは，流域河川からの土砂の土砂供給と沿岸流によって河口部右岸に形成された干出した島も確認できる．



図 3 調査対象地 (Google Earth に加筆)



図 4 調査地付近の地形と推定される沿岸流 (Google Earth に加筆)

(1) タイ・ナムケム周辺海岸

a) 衛星画像の読み取りによる地形観察

津波前の1957年航空写真を基本に、津波前後のGoogle Earthの公開画像（図5）を順次示し、画像から読み取った満潮時の汀線のトレース図（図6）を示す。空白期間を挟むが、全体の地形変化が把握できる。

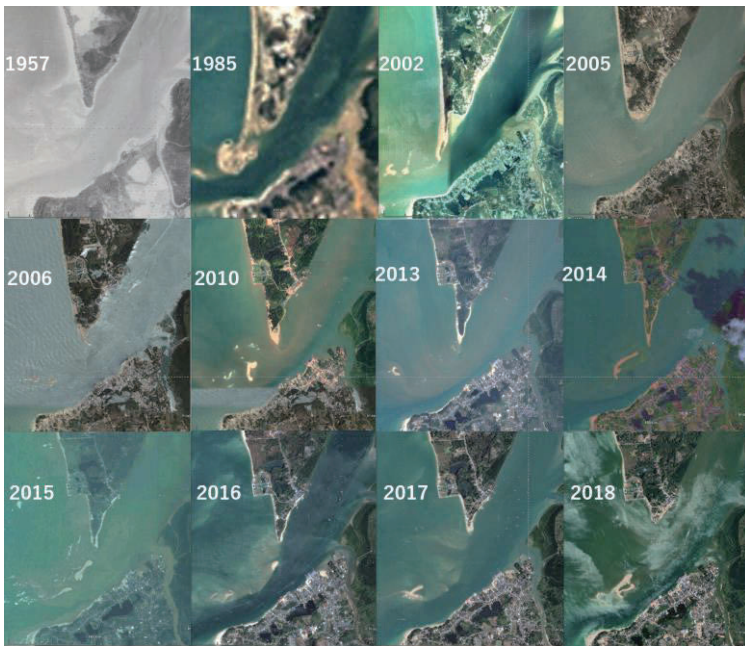


図5 汀線の時空間変化画像（1957年～2018年）

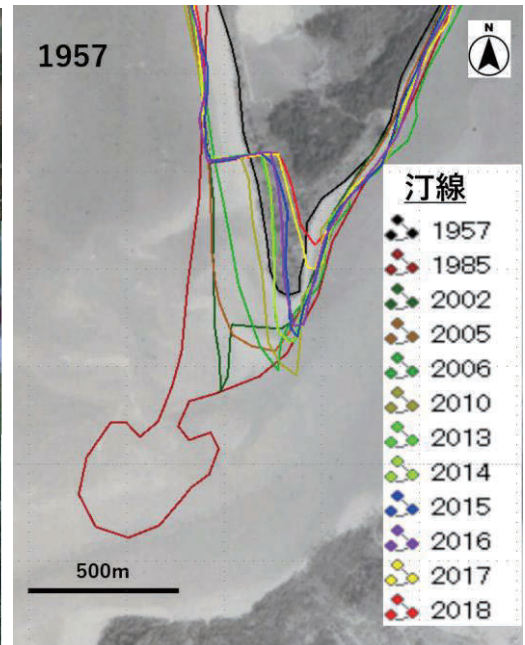


図6 汀線変化図（1957年～2018年）

1957年から約30年後の1985年には南に延びる砂嘴の面積が最大となり、2002年は先端が浸食され島状の浅瀬が並ぶ。2004年の津波で浸食され、2か月後の2005年には丸くなった岬の先端が見える。2006年は砂嘴が延び始め、南西延長部の島も顔を出す。4年の画像の空白後の2010年には、西側海浜の浸食が顕著となる。この部分を拡大（図7）すると、最大200m以上の汀線後退が確認される。これはリゾート施設を保護するための人工護岸の下手側の浸食によるものである。一方、この間岬先端の延長には海面下の土砂の堆積が進み（図5）干出した島が顔を出し始め、津波以前の地形（図8）に戻る前兆傾向がみられる。

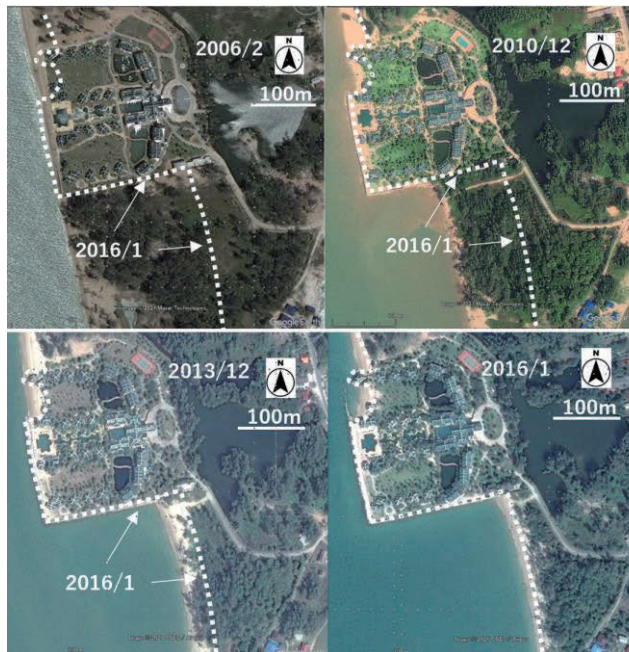


図7 人工護岸の下手側洗堀に伴う逆L型浸食過程

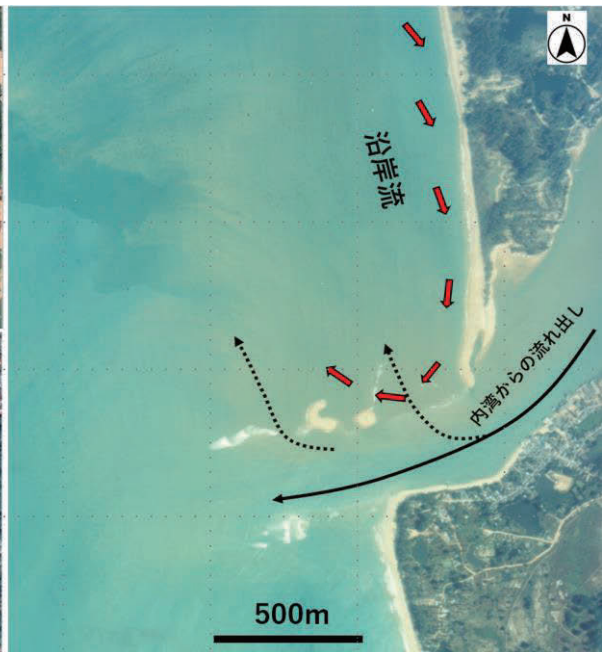


図8 2002年航空写真から推定される沿岸漂砂系

これらのプロセスは，2002 年航空写真で読み取れるこの海域の沿岸流から推定される沿岸漂砂系（図 8）と整合的である．すなわち，南に発達する南北方向の砂嘴からは，北から南向きに流れる強い沿岸流が推定される．湾口部で砂嘴の延長が大きく西に折れ曲がり分断する形態は，内湾からの流れによるものと判断でき，この海域の地形形成プロセスは，こうした沿岸漂砂系に支配されていると推定される．

b) UAV 空撮オルソ画像による地形観察

UAV 空撮から，人工護岸の下手側洗堀に伴う逆 L 型の浸食部の汀線状況（図 9）や海面上に現れた島と海面下の地形（図 10）が詳細に観察される．



図 9 海岸浸食が進む護岸

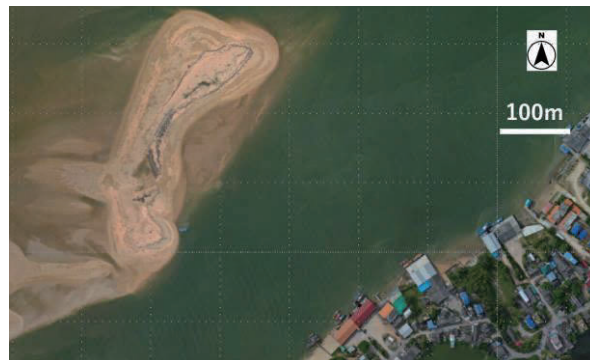


図 10 土砂の堆積によって干出した砂嘴の一部

現地は潮位差が最大 3m 程度に及ぶことから，海面下の堆積状況が把握できる干潮時をねらって撮影した．さらに季節変動を評価するため，1 年間に亘って 2 か月ごとに空撮を行った．

干満時のオルソ画像（図 11）から，堆積が進む部分や島などが確認できる．半年後の画像（図 12）との比較では汀線に目立った変化はないが，海水面下の堆積場が約半年間で移動している様子が確認できる．

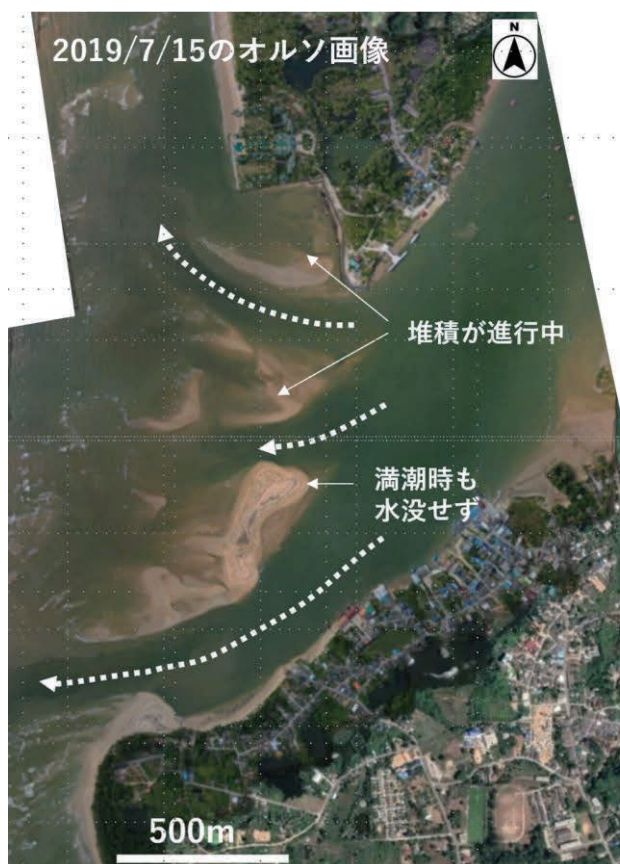


図 11 UAV 空撮オルソ画像 (2019/7/15)



図 12 UAV 空撮オルソ画像 (2020/1/8)

津波から16年が経過し，この地域の汀線は津波前の地形に回復していない．しかし，干潮時の空撮画像から，自然の沿岸漂砂系の中で海水面下ではすでにかかなりの土砂が堆積し，地形の回復過程が確認できる．今後この状態が継続すれば，あと10年程度で津波前の地形に戻ることが期待される．

(2) タイ・パカラン岬周辺海岸

a) 衛星画像の読画による地形観察

パカラン岬周辺では，津波により砂浜が消失し河川沿いの浸食や汀線浸食（図13）が確認できる．



図13 津波前後（2002/2 と 2005/2）のパカラン岬

津波後の2005年の写真を基本に，満潮時（2014年のみ，ほぼ干潮時）のGoogle Earthの公開画像（図14）を順次示す．津波後少なくとも約9年後の2014年2月の画像から，汀線は津波前の段階まで回復していると確認でき，汀線のトレース図はここでは省く．一方，岬の先端には複雑な形状の砂嘴が成長し，2017年以降は一部が陸化して島となっている．2019年以降は島を取り囲むように砂嘴が繋がり，その先端は南東方向（図15）に伸びている．この砂嘴の発達は，岬周辺海域の沿岸流による漂砂系に関係した現象と理解される．

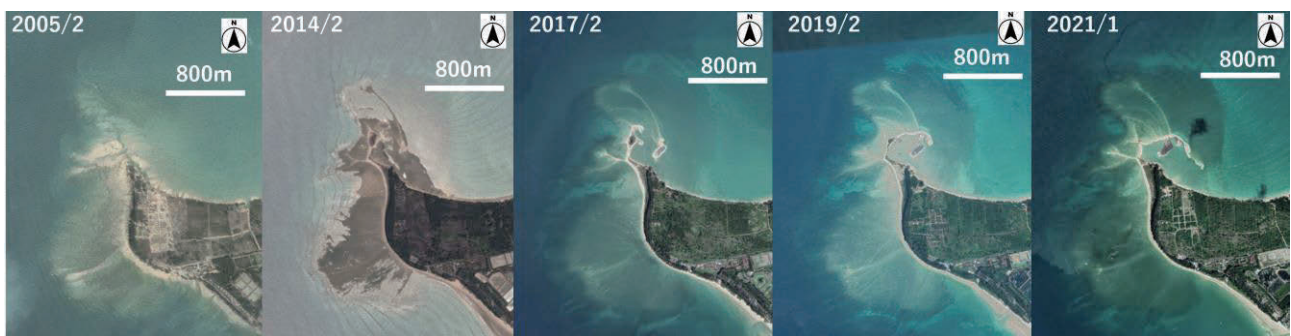


図14 衛星画像の読画による汀線付近の時空間変化（タイ国・パカラン岬付近）



図15 岬先端部の砂嘴の発達過程（タイ国・パカラン岬付近）

b) UAV 空撮オルソ画像による地形観察

干潮時のオルソ画像（図16）では，沿岸流による砂嘴の周囲の詳細な堆積状況が確認できる．汀線部には数センチ大のサンゴ片（図17）が多数見られ，岬の西側の浅瀬には津波によって運ばれた無数のサンゴ岩塊からなら津波石（図18）が見られる．



図16 干潮時のパカラン岬先端部の地形（左：全体，右：砂嘴部の拡大）



図17 汀線部のサンゴ片と津波石（サンゴ岩塊）

図18 干潮時に干出す津波石（サンゴ岩塊）

4. まとめ

本研究では，2004年インド洋大津波で被災したタイ・カオラック北部の海浜を対象に，津波後の海浜の回復過程の検証を行った．手法としては，費用対効果の観点から広域の長期的地形変化には過去の航空写真やGoogle Earthの公開衛星画像，狭い範囲の地形変化にはUAV空撮オルソ画像が有効であった．過去の画像と画像からトレースした汀線の変遷から海浜の回復過程を検証した．

浸食した浜は，自然の沿岸漂砂系の中で10年オーダーの時間がかかる場所があるものの，津波前の地形に順次回復しつつある．これは，現地海浜の本来の漂砂系システムによるものと推定される．一方で，リゾート施設を護るために施工された人工構造物が漂砂系を阻害する要因となり，自然地形の回復を遅らせる場所があることも理解された．建設されたリゾート施設されたその場所は，自然の漂砂システムの視点からは，海浜の移動範囲内であった．海浜の利活用では，自然の漂砂系を理解した柔軟な対応が必要である．

謝辞

本研究は，科研費基盤研究(A)17H01631「研究課題名：巨大津波後の長期的地形変化を考慮した沿岸防災機能強化（研究代表者：今村文彦）」の補助を受け実施した．

参考文献

- 1) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c7/Tectonics_Sumatra_quake.gif
- 2) <http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/sumatota/index-j.html> [京都大学防災研究所ホームページより](#)