

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05220

研究課題名(和文) 亜熱帯・中緯度帯における台風・津波による巨礫分布の歴史的評価

研究課題名(英文) Field survey of coastal mega boulders induced by typhoons and tsunamis in the low to mid-latitude

研究代表者

森 信人 (Mori, Nobuhito)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：90371476

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：地震津波の発生海域は、熱帯～中緯度帯に存在する場合、熱帯低気圧の発生・発達域と重なる。巨礫の移動には津波と台風による高波の2つの自然現象が密接に関連していることが示唆されている。

本研究では、海中から移動し陸域に打ち上げられた巨礫の分布について、環太平洋およびカリブ海を中心に台風による巨礫の移動限界と分布位置の評価を行うものである。該当地域に現存する巨礫の大きさ、位置、物性および沿岸地形について広範囲かつ詳細な海外調査を行うことを主目的とする。本調査研究により、環太平洋およびカリブ海における巨礫の分布をもとに、過去数百年～数千年間のイベントの大きさの評価の基礎データとする。

研究成果の概要(英文)：A earthquake tsunami occurs along the plate boundary but they co-exists tropical cyclone active regions in the tropical to mid-latitudes. In the case of Okinawa, clear overlapping of tsunami and typhoon induced boulders, and therefore understanding coastal boulder characteristics by tsunamis and tropical cyclone waves is important to know.

In this study, the distribution of coastal boulders transported from the ocean to land were surveyed in the Pacific Rim and the Caribbean Ocean. It can evaluate the historic gigantic tsunami and typhoons, potentially. The main objective is to conduct extensive and detailed field investigations on the size, position, physical properties and coastal topography of tropical coast. Based on the results of survey, the distributions and characteristics of boulders in the Pacific Rim and the Caribbean Sea will be summarized for the estimation of magnitude historical of events of tsunami and tropical cyclones.

研究分野：海岸工学

キーワード：自然現象観測・予測 台風 津波 巨礫

1. 研究開始当初の背景

【1. 研究の背景】

2011年東北地方太平洋沖地震の前後から、文献等では推定できない数百年以上前の過去の津波（以下、過去津波）の規模について堆積物調査等による推定が行われている。海中から移動し陸域に打ち上げられた巨礫の分布特性の把握は過去津波推定の1つの有力な手掛であり（例えば Barbara, 2011）、津波石として知られるようになってきた。津波石の分布特性については、研究参画者を含め、沖縄やカリブ海での調査が進められている。巨礫について、我が国で特に注目されているのは沖縄先島諸島であり、1771年明和津波より過去に遡る宮古・八重山諸島に襲来した津波の規模が推定されつつある（後藤・島袋, 2012）。このような陸上に残る巨礫の分布は、数百年から数千年間隔と低頻度で発生する巨大津波の発生状況を把握することができ、事例の非常に少ない Mw 9.0 規模の巨大地震津波の発生頻度および規模等を理解できる有効な痕跡である。

地震津波の発生海域は、プレート境界に位置するが、南アメリカやアラスカを除いて、太平洋、インド洋、カリブ海の熱帯域～中緯度帯に存在するため、熱帯低気圧の発生・発達域と重なる。沖縄の例では、幾つかの台風で発生した高波による巨礫の打ち上げと移動が確認されており、巨礫の移動には津波と台風による高波の2つの自然現象が密接に関連していることが示唆されている。台風でも代表径 5m を超える巨礫が水中から内陸に打ち上げられており、太平洋、インド洋、カリブ海の熱帯域～中緯度帯における打ち上げられている巨礫の評価については、巨大津波と台風による移動範囲を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、歴史的巨大津波の評価の1つとして注目されている、海中から移動し陸域に打ち上げられた巨礫の分布について、環太平洋およびカリブ海を中心に台風による巨礫の移動限界と分布位置の評価を行うものである。該当地域に現存する巨礫の大きさ、位置、物性および沿岸地形について広範囲かつ詳細な海外調査を行うことを主目的とする。

本調査研究により、環太平洋およびカリブ海における巨礫の分布をもとに、過去数百年～数千年間のイベントの大きさの評価の基礎データとする。

3. 研究の方法

太平洋、インド洋、カリブ海の熱帯域～中緯度帯の台風の発生域を調査対象に、台風により海中から移動し陸域に打ち上げられた巨礫の大きさ、位置および物性等の特性を明らかにするとともに、物性から海中から陸に

打ち上げられた時期の推定を行う。ついで、津波と台風による巨礫移動の数値モデルの開発を行い、過去の事例が明らかになっている数地点の観測海域を対象に、巨礫移動の数値モデルの精度検証とチューニングを行う。最終的には、調査対象海域における過去巨大台風による巨礫移動限界を推定するとともに、記録のある歴史津波、推定された過去巨大台風による巨礫移動限界と観測された巨礫分布の差から、歴史資料のない過去津波による巨礫分布の分布特性と過去津波の大きさについて推定することを目標とする。

3年間の研究計画は、(1) 巨礫の現地調査と(2) 津波・台風による巨礫移動の評価の2つに大別される。現地調査では、太平洋、インド洋、カリブ海の熱帯域～中緯度帯において、津波もしくは台風による巨礫が現存する代表的な海域9地点を調査候補対象地点とし(表1)、この中から調査可能な地点を絞り込み、現地調査を行う。

巨礫形状、位置そして物性等についての計測とサンプリングを行う。得られた調査データ・サンプルを解析し、書く調査地点における巨礫の特性をデータベース化する。これと平行して、巨礫移動モデルの開発を行うとともに、対象調査海域における過去津波および過去巨大台風を評価可能なモデルの基礎データを作成する。

研究は以下のように2つの課題とこれを構成するとサブ課題で構成される。

(1) 巨礫の現地調査

- ・衛星画像データを用いた事前調査および調査地点の絞り込み
- ・現地調査：巨礫位置、形状、サンプル採取、地形測量
- ・調査結果の解析とデータベース化、物性値の測定、打ち上げ時期の推定

(2) 台風による巨礫移動の評価

- ・巨礫移動モデルの開発、台風による高波時系列モデルの開発
- ・過去巨大台風による巨礫移動の評価、歴史・過去津波による巨礫移動の評価

表1：主な調査候補対象国・地点、巨礫打ち上げ要因、役割分担

対象国	調査地点	ターゲット	担当者	
北西太平洋	沖縄	先島諸島	津波・台風	森・後藤・下園
北西太平洋	フィリピン	サマル島	津波・台風	後藤・中條
北西太平洋	パラオ	カヤンゲル島	台風	安田・二宮
南太平洋	トンガ	トンガタブ島	津波・台風	渡部・森
インド洋	タイ	インド洋側	津波	中條・後藤
北太平洋中部	ハワイ	ハワイ島	津波・台風	下園・安田
カリブ海北部	バハマ	エルセラ島	津波・台風	Cox・安田
カリブ海北部	キューバ	キューバ島	津波・台風	Consuegra・後藤
カリブ海南部	バージン諸島	アナガダ島	津波・台風	Andrew・森

4. 研究成果

海外調査は、2015年度にバヌアツ共和国およびキューバ、2016年度に台湾、フィリピン、トンガおよびキューバ、2017年に台湾で実施



図1 台湾緑島郷東海岸での調査の様子

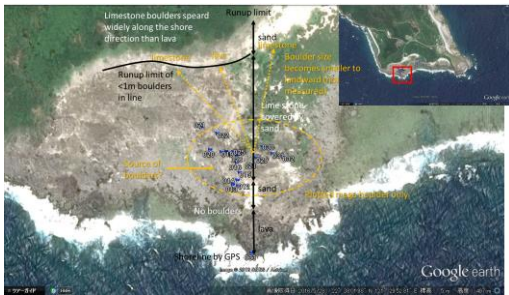


図2 台湾緑島郷南海岸での調査の結果。図中の番号は巨礫の番号を示す。

した。

図1に示すのは、台湾緑島郷東海岸での調査の様子である。緑島郷東海岸は、太平洋に面し、台風が頻繁に来襲する環境である。2016, 2017年と2回にわたって台湾南東海岸および緑島郷における巨礫分布の調査を実施した。図2は、その結果であり、海岸線から岸に向かって、5mを超える数十個の巨礫が広範囲に散乱している様子を調査した。台湾における巨礫は、主に石灰岩および火山性の歴によるものであり、生成された年代は数千年前と推定された。

図3に示すのはフィリピン・サマル島東海岸における調査風景である。フィリピン・サマル島の調査は、2013年11月にフィリピンに上陸した台風Haiyanの直後の事前調査結果から、この台風により生成された事がわかっている巨礫分布エリアを対象に行なった。図4はその結果であり、図中の丸の大きさは巨礫の直径であり、最大で12mを超える。図中に示す色のように、巨礫の移動形態についても現地に残る痕跡から推定し、GPSにより位置および地形についても計測を行った。これにより、発生イベントが明確である巨礫の移動特性についての貴重なデータを収集した。

同様な調査をバヌアツ、フィリピン・バタン島、トンガおよびキューバにおいて実施し、形状、位置および地形についてのデータを得た。さらに地点によってはサンプルを日本に持ち帰り、年代推定を行った。

調査結果を踏まえ、得られた巨礫のマクロ



図3 フィリピン・サマル島東海岸での調査の様子。

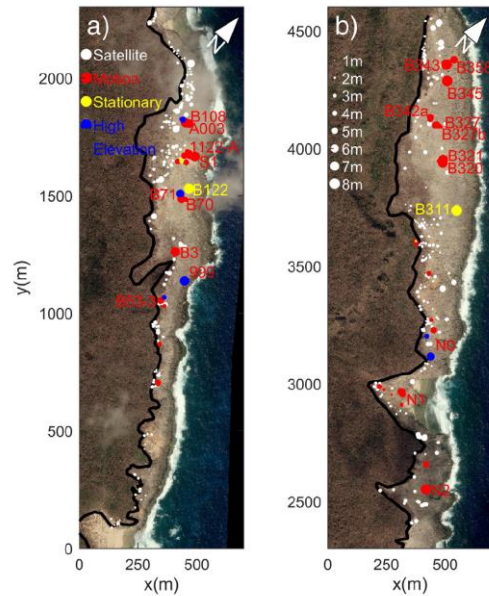


図4 2014年台風30号(Haiyan)により打ち上げられた巨礫(台風石)調査による巨礫分布(左の図上と右の図下は連続している)

情報元にデータ解析を進めた。図5に示すのはその一例であり、巨礫の大きさと界面からの距離をまとめたものである。これまでの先行研究の結果から、2011年東北地震津波による巨礫移動では、代表径6.5m、推定重量140tの巨礫が高さ18mまで打ち上がっている記録がある。2004年インド洋地震津波では、7.2mの巨礫、推定重量500tの巨礫が30mまで打ち上がった記録がある。今回の台風を中心とした海外調査の結果は、最大重量で約120tの巨礫が移動しており、最大12mまで打ち上がっていた。これらは、石垣島に残っている巨大津波による巨礫よりは小さなものの、2011年東北地震津波および2004年インド洋地震津波により移動した巨礫とほぼ同程度の移動特性を持つことがわかった。

現地調査と並行して、津波および高波により移動する巨礫の移動モデルの構築を進めた。流体力を時系列で与え、これに対応する礫移動を計算可能な質点モデルの開発を進めた。これにより、ついで、2013年台風Haiyanの高波の計算結果をもとに、高波に時系列を考慮した巨礫移動の計算を行い、台風による巨礫移動の移動範囲の評価を行った。

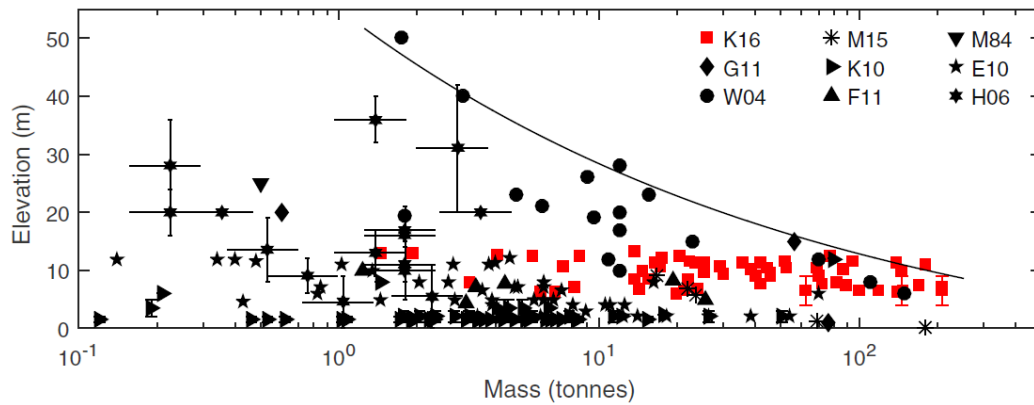


図5 観測された巨礫の推定重量と界面からの高さの関係. ■は本研究の調査結果, 他の印は先行研究の結果

#### 参考文献

- Barbara H., Keating, C. E. Helsley, M. Wanink, and D. Walker (2011) Tsunami Deposit Research: Fidelity of the Tsunami Record, Ephemeral Nature, Tsunami Deposits Characteristics, Remobilization of Sediment by Later Waves, and Boulder Movements, The Tsunami Threat - Research and Technology, ISBN: 978-953-307-552-5, InTech.
  - 後藤和久・島袋綾野 (2012) 学際的研究が解き明かす 1771 年明和大津波, 『科学』, 岩波書店, 2012 年 2 月号 pp. 208-214.
5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)
- [雑誌論文] (計 13 件)
1. Kennedy, A., N. Mori, T. Yasuda, T. Shimozono, T. Tomiczek, A. Donahue and T. Shimura (2017) Extreme block and boulder transport along a cliffed coastline (Calicoan island, Philippines) during super typhoon Haiyan, *Marine Geology*, Vol.383, pp.65-77. doi: 10.1016/j.margeo.2016.11.004
  2. Kennedy, A., N. Mori, Y. Zhang, T. Yasuda, S.E. Chen, Y. Tajima, W. Pecor and K. Toride (2016) Observations and modeling of coastal boulder transport and loading during super typhoon Haiyan, *Coastal Engineering Journal*, Vol.58, No.1, pp.1640004-1 - 1640004-25  
doi:10.1142/S0578563416400040
  3. 森 信人・志村智也・釜堀弘隆・Arun Chawla・安田誠宏・間瀬 肇 (2015) JRA-55 にもとづく長期波浪推算と波候特性の解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, p.I\_103-I\_108.
  4. Kishimoto, R., Shimura, T., Mori, N. and  
Mase, H.: Statistical modeling of global mean wave height considering principal component analysis of sea level pressures and its application to future wave height, *Hydrological Research Letters*, Vol.11(1), pp.51-57, 2017. doi: 10.3178/hrl.11.51
  5. 森 信人・千綿 蒔・二宮順一・間瀬 肇: JRA-55 を用いた日本周辺の冬期低気圧の長期変動特性について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.73, No.2, pp.I\_487-I\_492, 2017
  6. 岸本理紗子・森 信人・志村智也・間瀬 肇: 海面気圧の主成分を考慮した統計的波高推定法の高度化と波高の将来変化予測, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.73, No.2, pp.I\_1411-I\_1416, 2017
  7. 安田 誠宏・上山 浩茂・間瀬 肇: ブシネスクモデルによる波浪変形計算に基づくリーフ上の波高算定式の提案, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 73, No. 2, pp.I\_43-I\_48, 2017.
  8. 高 裕也・二宮順一・森 信人, 大規模アンサンブル気候予測データを用いた爆弾低気圧の将来変化, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.4, I\_175-I\_180, 2018.
  9. 29. 安田誠宏, 山本耀介, 森 信人, 間瀬 肇: MRI-AGCM3.2H アンサンブル実験を用いた高潮の将来変化予測に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, pp.I\_1477-I\_1482, 2016.
  10. 森 信人, 高木友典, 間瀬 肇, 安田誠宏, 島田広昭 (2015): 極端な気象擾乱における高波の非線形特性について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp.I\_457-I\_462.
  11. 森 信人, 岸本理紗子, 志村智也, 安田誠宏, 間瀬 肇 (2015): 全球の統計的波高推定手法の開発と将来変化予測への応用, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp.I\_1501-I\_1506.
  12. 志村智也, 森 信人, Mark A. Hemer, 安

田誠宏, 間瀬 肇(2015): 北太平洋における冬季の波候と大規模循環場の将来変化予測, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp.I\_1525-I\_1530.

13. 間瀬 肇, Tracey H. Tom, 池本 藍, 志村智也, 安田誠宏, 森 信人(2015): 日本沿岸海域の風況・波浪マッピング, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.70, No.2, pp.I\_115-I\_120.

[学会発表] (計 3 件)

1. Kiso, S., T. Yasuda, N. Mori and A. Kennedy (2018) Experimental study on transport characteristics of coastal boulders by tsunami and high waves, Proceedings of the 36th International Conference on Coastal Engineering, ASCE.
2. 森 信人・志村智也・釜堀弘隆・Arun Chawla・安田誠宏・間瀬 肇 (2015) JRA-55 にもとづく長期波浪推算と波候特性の解析, 海岸工学講演会.
3. Hisamastu, H., Goto, K., Consuegura, R. R., Rodríguez, E. A., Valdés, A. R. R., Mori, N., Imamura, F., Potential risk of extreme wave in Trinidad of Cuba inferred from coastal boulders. 2nd Symposium on Disaster Risks and Climate Risks in Cuba (5 June 2017)

[図書] (計 0 件)

該当なし

[産業財産権]

該当なし

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 信人 (MORI, Nobuhito)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号: 90371476

(2) 研究分担者

後藤 和久 (GOTO, Kazuhisa)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 0376543

(3) 研究分担者

渡部 靖憲 (WATANABE, Yasunori)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号: 20292055

(4) 研究分担者

安田 誠宏 (YASUDA, Tomohiro)

関西大学・環境都市工学部・准教授

研究者番号: 60378916

(5) 研究分担者

下園 武範 (SHIMOZONO, Takenori)

東北大学・工学研究科・東京大学・大学院

工学系研究科・准教授

研究者番号: 70452042

(6) 研究分担者

中條 壮大 (NAKAJO, Sota)

大阪市立大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号: 20590871

(7) 研究分担者

二宮 順一 (NINOMIYA, Junichi)

金沢大学・環境デザイン学系・助教

研究者番号: 20748892

(8) 研究協力者

Andrew Kennedy (KENNEDY Andrew)

ノートルダム大学・工学部・准教授