

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 25 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2016

課題番号：26302007

研究課題名(和文) 波源推定の高精度化に向けた島嶼部での津波堆積物研究

研究課題名(英文) Paleotsunami research at small islands for better estimating tsunami source model

研究代表者

後藤 和久 (Goto, Kazuhisa)

東北大学・災害科学国際研究所・准教授

研究者番号：10376543

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ニュージーランド、米国、日本の本土近隣の島嶼部における古津波研究を行い、津波履歴と規模を明らかにすること、従来進められてきた本土での津波堆積物研究に新たな情報を加え、数値計算により津波波源を精度良く推定することを主目的とした。各調査地において津波または台風の高波起源の沿岸巨礫および砂礫質堆積物を見出し、これらを説明する津波波源について数値計算により検討した。

研究成果の概要(英文)：This study investigated geological evidence of paleotsunami at the islands near mainland of Japan, New Zealand, and United States of America. At Hachijo Island in Japan, we found numerous boulders on top of the 5 meter high cliff. Water tank experiment and numerical modeling revealed that these boulders can be explained by high storm wave although tsunamis with shorter wave period can also move these boulders. At Chatham Island in New Zealand, we identified boulders and sand to gravel sheet were deposited together. Field evidence as well as numerical modeling results may imply that these geological evidences could be explained by trans-Pacific tsunamis such as generated along Peru-Chile Trench, although further detail modeling is required. In Hawaii Islands, we identified possible evidence of 1946 Aleutian tsunami. These evidence would be useful to constraint the source model of this tsunami event.

研究分野：地質学

キーワード：津波堆積物 津波 島嶼 波源

### 1. 研究開始当初の背景

古津波研究において、各国の本土近隣の島嶼地域はこれまであまり重視されてこなかった。しかしながら、島嶼地域では近地・遠地津波の履歴や規模の推定精度を大幅に向上するための重要な地質学的情報が得られる可能性がある。特に、津波波源モデルを推定するうえで極めて重要であると考えられるが、研究例がほとんどない。その理由として、①いずれの国でも巨大地震・津波に見舞われれば甚大な被害が出る本土（主要島）の沿岸が防災上重要視され、津波堆積物研究もこうした地域に重点が置かれていたこと、②津波堆積物の保存状態が良いと考えられる低平地が島嶼部では少なく津波堆積物を見つけにくい可能性があるため、研究対象地域として積極的に検討されてこなかったこと、などが背景にあると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、ニュージーランド、米国、日本の本土近隣の島嶼部における古津波研究を行い、津波履歴と規模を明らかにする。そして、従来進められてきた本土での津波堆積物研究に新たな情報を加え、数値計算により津波波源を精度良く推定することを主目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究計画では、チャタム島（ニュージーランド）、ハワイ諸島（米国）、および八丈島において、砂質堆積物と巨礫堆積物の分布や特徴を明らかにするため現地調査を実施した。また、放射性炭素または古地磁気学的年代測定、および化学分析等の結果に基づき、津波堆積物の認定や古環境復元を行った。そして、各島々について、島内で対比される任意の時代の津波堆積物の分布範囲（内陸への分布限界など）を合理的に説明しうる津波波源について予察的に検討した。以上の3島での研究成果を踏まえ、近地・遠地津波リスク評価における本土近隣の島嶼域での津波堆積物の活用可能性を検討した。

### 4. 研究成果

#### (1) チャタム島

チャタム島では、巨礫が多数分布しているオカワ・ポイントにおいて現地調査を実施した。巨礫は沿岸部のみならず内陸部にも多数分布しており、まずサイズ・空間分布を把握した。その結果、内陸部の巨礫は風化の程度が大きく、かつ土壌中に部分的に埋没していることがわかった（図1）。また、地形的特徴



図1 チャタム島オカワ・ポイントに点在する巨礫群。



図2 地層中に堆積している砂礫質イベント堆積物。

について調査を行い、複数のストームリッジが存在することもわかった。

次に、砂質堆積物について調査を行ったところ、基盤岩までの間に1層の砂礫堆積物を確認した（図2）。この砂礫質堆積物と巨礫の層序関係について調べたところ、両者には堆積の同時性が認められることがわかった。巨礫群が内陸部広範にわたって堆積していることと合わせて考えると、これらは過去の津波により堆積したものと考えられる。ただし、沿岸部の巨礫群については、台風の高波やうねり等により打ち上げられる可能性もあり、数値計算による検証が必要となる。

巨礫については年代を調べることができないものの、砂礫層については上下の土壌層中の有機物の放射性炭素年代を調べることで制約することができる。測定の結果、砂礫質堆積物の堆積年代は約4000年前頃（あるいはそれ以前）の可能性のあることがわかった。ただし、地点により年代値にばらつきがみられること、堆積速度が遅いことから、今後統計的な処理により津波発生年代について明らかにする必要がある。

チャタム島においては、1868年にチリ沖で発生したアリカ地震津波による浸水記録が残されている(例えば, Goff et al., 2010). この津波によると思われる明確な地質記録を確認することはできなかった. また, 数値計算の結果を見ても, 波の指向性の関係で, チャタム島には巨礫を内陸まで動かすほどの巨大津波が襲来していない可能性があることがわかった(図3). そのため, 今回発見した堆積物を堆積させた津波は, アリカ津波を上回る規模か, あるいは波源位置の違いに伴う津波の指向性により説明できる可能性がある. 今後さらなる検討が必要であるものの, 本調査地域の津波堆積物はトンガ海溝など周辺地域というよりは, チリ沖など太平洋を広域に伝播する巨大津波によって形成された可能性が高く, 津波波源モデルの制約条件として有効活用できるものと期待される.

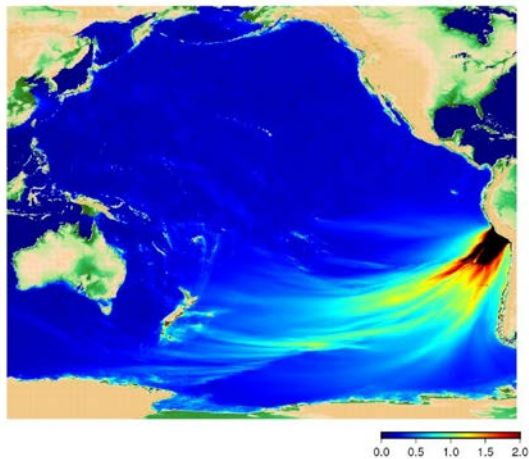


図3 1868年アリカ津波の最大水位分布図. 波源モデルはOkal et al. (2006)に基づく.

## (2) ハワイ諸島

ハワイ諸島においては, ハワイ島, カウアイ島, オアフ島において現地調査を行った. ハワイ島では, シンマチ地区において現地調査を行った. 本地域は1946年のアリューシャン津波により大きな被害を受けたものの復興し, 1960年チリ津波により再び甚大な被害を受けた地域である. 同地域においては砂層を2層確認することができた(図4). 非破壊蛍光X線分析装置(ITRAX)により高解像度分析を行った結果, 下位層はFe, Mn, Rbが高いものの, SiやKのカウント数が低いという特徴がある. この結果から, 火山性起源の岩石片を含む過去の洪水堆積物である可能性が考えられる. 一方, 上位層はSi, K, Ti, Mn, Fe, Ca, Sr, Zr, Asなど様々な元素が確認され, 海域あるいは入り江付近の堆積物が含まれる可能性が考えられる. Asは, 近代の工業施設に伴うものである可能性が考えられ, これを年代制約とすると, 上位の砂層は1946年アリューシャン津波堆積物である可能性が高いと考えられる.

カウアイ島では, ハワイ諸島に襲来した歴

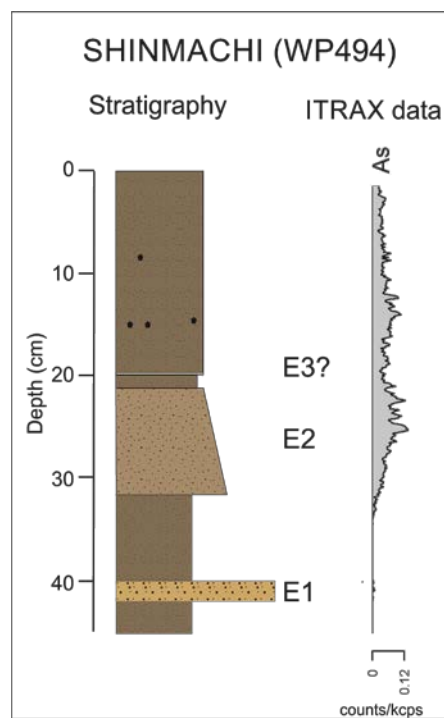


図4 シンマチ地区での柱状図(左)とAs濃度(右). E1, E2がイベント層.

史・先史時代の遠地津波を対象として, Anahola 地区の湿地帯でハンドコアラー及びパイプロコアラを用いて24カ所で掘削を行った. 長さ40~230cmの柱状試料には, 貝殻片を含む細~中粒の砂層が最大で2層検出された. また, 砂質泥層も最大で3層が確認された. 細~中粒砂層の1つは湿地帯に広く分布して連続性も良く, 津波起源である可能性を有していると考えられる.

オアフ島においては, 北西部に分布する沿岸巨礫を確認した(図5). これらは, 1946年アリューシャン津波により堆積した可能性が先行研究により示唆されている(Noormets et al., 2002). 巨礫の位置や空間分布などから, アリューシャン津波やその後発生した1960年チリ津波などの波源推定に活用できる可能性があることが分かった.



図5 オアフ島に分布する, 1946年アリューシャン津波による堆積の可能性が指摘されている巨礫.

数値計算はまず、1960年チリ津波を対象に実施した(図6)。この津波はシンマチ地区での影響が大きいという特徴がある。アリュシャン津波計算も実施することで、太平洋を広く伝播する津波の波源位置の違いにより、ハワイ諸島でどのような影響の差異が生じるのかを明らかにできるものと考えられる。

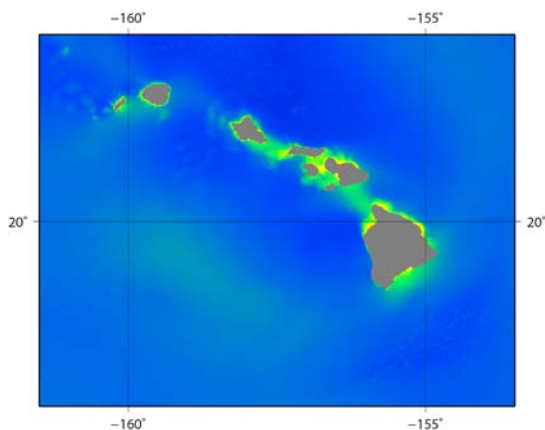


図6 ハワイ諸島周辺での1960年チリ津波を対象とした津波計算結果の一例。

### (3) 八丈島

八丈島北西部の沿岸を対象に巨礫群の分布調査を行なった。その結果、標高約5mの崖上に最大58tの巨礫が打ち上げられており、巨礫群は内陸約80mまでの範囲に分布していた(図7)。調査の結果、巨礫群の打ち上げ前の初期位置は崖端か崖の直下であると考えられる。これらの巨礫は火山岩からなるため放射性炭素年代測定法を用いることができない。そこで、古地磁気学的手法を用いた年代測定を実施しているが、理論や手法に改善の余地があることがわかった。



図7 八丈島北西部にある巨礫群。

これらの巨礫群の崖上への運搬プロセスを明らかにするために、水路実験を行った(図8)。水路実験に関しては25分の1のスケールで地形条件、巨礫の寸法、入射波条件を決定した。実験の結果、巨礫の崖下もしくは崖端から崖上への移動はともに実現可能であることが明らかになった。打ち上げ

プロセスとしては、入射した波が崖に衝突して鉛直方向に向かうことで、巨礫に鉛直方向の強い流体力が作用する。これにより、崖下もしくは崖端から崖上に打ち上げられることが明らかになった。また、この水路実験により本研究で独自に開発した巨礫移動モデルの精度検証に必要な実験データも得ることができた。



図8 崖端から崖上への移動の水路実験。

続いて、巨礫群の打ち上げに必要な津波、高波の水理条件を明らかにするとともに、巨礫群の分布が高波、津波のどちらで形成されたのかを検討するために、実地形条件上で断面2次元の高波・津波の浸水計算および(1)崖下から崖上、(2)崖端から崖上、(3)崖上の巨礫の水平移動の3つの移動計算を行った。(1)崖下から崖上、(2)崖端から崖上の巨礫移動に関しては独自に開発したモデルを使用した。

崖下から崖上への巨礫移動計算を行った結果、この地域で発生しうる規模の高波が作用した場合、重量12tの巨礫が打ち上げ可能であった。津波の場合、短周期の波で崖下から崖上への打ち上げが可能であったが、より長周期の津波では打ち上げられなかった。次に、崖端から崖上への移動計算を行った結果、高潮に伴う大きな水位上昇があれば、想定しうる高波条件で打ち上げが可能であった。津波の場合、短周期波で打ち上げ可能であったが、長周期波では崖の手前での水位上昇が緩やかになり、大きな鉛直方向の流速が生じないため巨礫が崖上へ打ち上げられなかった。

次に、崖上の水平方向の巨礫移動計算を行った結果、高潮による水位上昇を伴えば、対象地域に到達しうる規模の高波で、現在の巨礫群のサイズ分布を説明できることがわかった。一方で津波の場合、周期が長いため巨礫群は内陸数百mまで広範囲に運搬される結果となり、現状の分布を大幅に超過し説明できないことがわかった。そのため、現在の巨礫空間分布は、高波で形成されたものと考えられる。

津波で巨礫が崖上に打ち上げられた可能性は否定できないが、高波の場合は特に崖下から崖上への打ち上げはうねりや冬季の季節風で生じた高波等の、水位上昇が発生しない条件のみで打ち上げ可能である一方、崖端から崖上への打ち上げと崖上の巨礫分布は

高潮による水位上昇を伴う条件で説明可能であった。そのため、同地域の巨礫分布は、水位上昇の発生しない波と台風の高潮による水位上昇を伴う波の両方により複合的に形成されたと考えられる。

#### 引用文献

- Goff, J., Nichol, S., Chague-Goff, C., Horrocks, M., McFadge, B., Cisternas, M., 2010, Predecessor to New Zealand's largest historic trans-South Pacific tsunami of 1868 AD. *Marine Geology*, 275, 155-165.
- Noormets, R., Felton, E. A., Crook, K. A. W., 2002, Sedimentology of rocky shorelines: 2 shoreline megaclasts on the north shore of Oahu, Hawaii-Origin and history. *Sedimentary Geology*, 150, 31-45.
- Okal E. A, Borrero J. C, Synolakis C. E (2006) Evaluation of tsunami risk from regional earthquakes at Pisco, Peru. *Bull Seismol Soc Am* 96(5):1634-1648

#### 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1件)

1. Goto, K., Fujino, S., Sugawara, D., Nishimura, Y., 2014, The current situation of tsunami geology under new policies for disaster countermeasures in Japan. *Episodes*, 37, 258-264. <http://www.episodes.org/>

[学会発表] (計8件)

1. 渡部真史, 後藤和久, 今村文彦, 菅原大助, 中村教博, 外崎貴之, 八丈島における巨礫群の崖上への打ち上げ過程の数値的検討. 日本堆積学会, 2017年3月26日, 信州大学(長野県・松本市).
2. Chague-Goff, C., Goto, K., Fogg, J., Gadd, P., Dudley, W., Sugawara, D., Nakamura, N., Evidence for the 1946 Aleutian and 1960 Chile tsunamis in Shinmachi, Hilo, Hawaii. 2016 AGU Fall Meeting, 2016年12月15日, サンフランシスコ(米国).
3. Goff, J., Goto, K., Chague-Goff, C., Watanabe, M., Boulders to mud? New Zealand's most easterly palaeotsunami deposit. 2016 AGU Fall Meeting, 2016年12月15日, サンフランシスコ(米国).
4. Tonosaki, T., Nakamura, N., Goto, K., Sato, T., Watanabe, M., A modified time-temperature relationship for titanomagnetite and its application to igneous erratic boulders in Hachijo

Island, Japan. 2016 AGU Fall Meeting, 2016年12月14日, サンフランシスコ(米国).

5. Goto, K., Watanabe, M., Imamura, F., Sedimentary features of cliff-top boulders in Japan. Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), 2016年8月5日, 北京(中国).
6. 外崎貴之, 中村教博, 後藤和久, 佐藤哲郎, 渡部真史, 粘性残留磁化を用いた八丈島津波石の回転履歴の推定. 地球惑星科学関連学会 2016年合同大会, 2016年5月24日, 幕張メッセ(千葉県・千葉市).
7. 外崎貴之, 中村教博, 後藤和久, 佐藤哲郎, 渡部真史, 八丈島津波石の古地磁気学的研究. 第138回地球電磁気・地球惑星圏学会, 2015年11月2日, 小柴ホール(東京都・文京区).
8. Watanabe, M., Goto, K., Imamura, F., Sugawara, D., Nakamura, N., Tonosaki, T., Numerical modeling on the cliff-top boulder transport by extreme waves at Hachijo Island, Japan. Arthur Holmes Meeting 2015, The Geological Society, 2015年9月25日, ロンドン(イギリス).

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

後藤 和久 (GOTO, Kazuhisa)  
東北大学・災害科学国際研究所・准教授  
研究者番号: 10376543

(2) 研究分担者

菅原 大助 (SUGAWARA, Daisuke)  
ふじのくに地球環境史ミュージアム・学芸課・准教授  
研究者番号: 50436078

中村 教博 (NAKAMURA, Norihiro)  
東北大学・高度教養教育・学生支援機構・教授  
研究者番号: 80302248

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

James Goff

Catherine Chague-Goff