

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 24 日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350430

研究課題名(和文) 津波石の垂直移動を考慮した明和津波の規模推定に関する研究

研究課題名(英文) Estimation for a transport agent of historical tsunamis from huge boulders on a marine terrace

研究代表者

青木 久 (Aoki, Hisashi)

東京学芸大学・教育学部・准教授

研究者番号：30423742

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：琉球列島南部の宮古諸島と八重山諸島周辺には、1771年の明和津波を含む複数回の津波が襲来したと報告されている。本研究では、津波によって陸上に打ち上げられた津波石のうち、海岸段丘上に定置する津波石に焦点をあて、宮古諸島(宮古島・下地島)と八重山諸島(石垣島・黒島)に襲来した過去最大の津波営力の違いを明らかにすることを目的とした野外調査を実施した。津波石の重量と海食崖の高さを求め、過去最大の津波営力を考察した結果、宮古諸島の方が八重山諸島よりも大きな規模の津波が襲来した可能性が高いことがわかった。この結果は石垣島で最大であった明和津波の傾向とは異なっている。

研究成果の概要(英文)：Mega-boulders are found on a marine terrace along the shores of the Miyako and the Yaeyama Islands, both located in the western part of the Ryukyu Islands. The boulders are thought to have been transported onto the marine terrace by the action of historical tsunamis ever assaulted these islands. To estimate the transport ability of such tsunamis, this study investigated the weight (W) of boulders and the relative height (H) of a steep cliff at the seaward edge of the marine terrace. It is found that the quantity WH is available for a useful index for representing tsunami energy. The maximum value of WH at the study site of the Miyako Islands is higher than that of the Yaeyama Islands. This suggests that a transport agent of tsunamis hit the Miyako Islands was larger, which is different from the previous view that the 1771 Meiwa tsunami attacked Ishigaki Island, one of the Yaeyama Islands, had the largest agent in the Ryukyu Islands.

研究分野：地形学

キーワード：津波 津波石 海食崖 海岸段丘 琉球列島 宮古島 石垣島

### 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震に伴う大津波が発生した。東北地方では波高10m以上、最大遡上高40mにも達する大津波が押し寄せ、大災害をもたらした。しかし、日本には過去にこの津波をしのぐ、あるいは同規模の大津波が存在したといわれている。それは1771年(明和8年)に琉球海溝付近で発生した地震に伴って石垣島・宮古島などの琉球列島南部を襲った津波である。年号を取って『明和大津波』とよばれている。この津波は、石垣島では全住民の3分の1が死亡するという未曾有の大災害をもたらした。

この明和大津波に関しては地形学、地質学、津波工学など様々な分野の研究者によって研究が行われてきた。明和大津波に関する先行研究の成果については、後藤・島袋(2012)にまとめられている。明和大津波が注目される理由の一つとして、明和大津波は発生から240年という歳月を経ているにもかかわらず、豊富な古文書や津波で打ち上げられた津波石が残されており、こうした記録から過去の津波現象の実態に迫ることができることを挙げている。古文書『大波之時各村之形行書』によると、石垣島で遡上高は最大85mに達したと記載されており、もしこの数値が正しければ、この津波遡上高は2011年東北の最大遡上高の約2倍で、日本の記録史上最大の遡上高となる。

### 2. 研究の目的

津波石とは、津波によって陸上やサンゴ礁上に打ちあげられた岩塊のことである。石垣島・宮古島などの琉球列島南部の島々には、過去の大津波で打ちあげられたとされる津波石が多数存在するため、その津波石を用いた琉球列島南部に襲来した津波の時期や明和大津波の規模に関する先行研究がある。

河名・中田(1994)は石垣島や宮古島、多良間島など琉球列島南部に存在する津波石や津波堆積物に付着しているサンゴ化石を対象に<sup>14</sup>C年代測定を行い、琉球列島南部には、複数回の津波が襲来していることを明らかにした。また今村ほか(2001)は津波石の数値解析を行い、琉球列島南部の島々に襲来した明和大津波の最大痕跡高を推定した。石垣島での痕跡高が30mと最大であり、宮古島では10m、黒島では5mであることを報告している。

このように、津波石を用いた琉球列島南部に襲来した津波の時期や明和大津波の規模に関する研究は存在するものの、琉球列島南部に襲来した過去最大の津波の規模を明らかにしようとした研究は見当たらない。そこで本研究では、琉球列島南部に襲来した過去最大の津波の規模を明らかにする第一歩として、宮古島、下地島、石垣島、黒島の海岸段丘上に分布する津波石を対象に津波石の重量と海食崖(以後、海崖とする)の高さを明らかにし、各島に襲来した最大津波の規模

を明らかにすることを目的とする。

また、研究課題のタイトルが示すように、当初、段丘上の津波石に着目し、明和大津波の規模を推定する目的で本研究は開始された。しかし、明和大津波で打ち上げられた津波石の認定が困難であったため、本研究は最終的に、琉球列島南部に襲来した(明和大津波を含めた)過去最大の津波の規模を考察する目的に変更してまとめられた。

ある特定の地域において、過去にどのくらいの規模の津波が襲来したのかを知ることは、津波災害の対策をとる上できわめて重要である。各島に襲来した過去最大の津波の規模が明らかになることは、住民の津波に対する防災意識を高め、自治体の津波ハザードマップの作成や津波防波堤の設置基準に関しても有用な情報となると考える。

### 3. 研究の方法

本研究では、宮古諸島に属する宮古島・下地島、八重山諸島に属する石垣島・黒島の4島を調査対象地域として選び、宮古島東平安名崎海岸(図1)、下地島西海岸(図2)、石垣島大浜・真栄里海岸(図3)、黒島南海岸(図4)において、津波石の調査が実施された。

これらの海岸には琉球石灰岩からなる海岸段丘が発達する。海崖の基部や段丘上には大小様々な岩塊が分布する。これらの地域において、岩塊の質量(M)と海崖の平均海面からの高さ(H)に関する現地調査を行った。質量(M)を求めるため、岩塊の体積(V)と密度( $\rho$ )の推定を行った( $M = \rho V$ )。

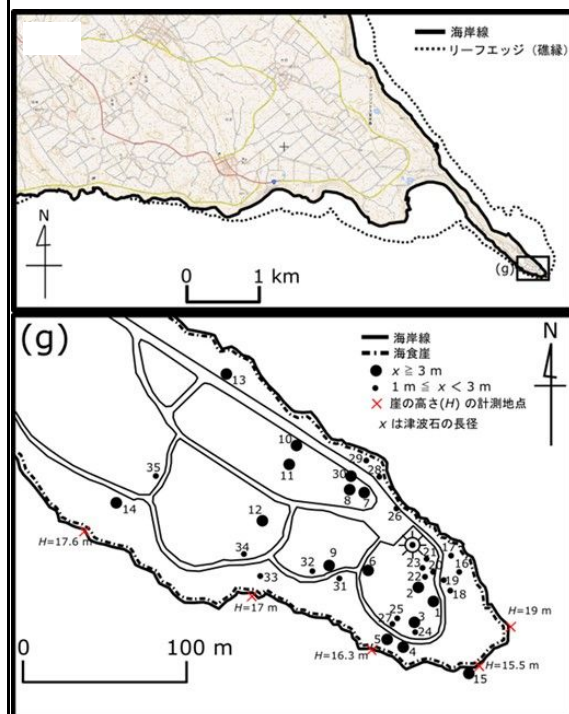


図1 宮古島東平安名崎と岩塊の分布

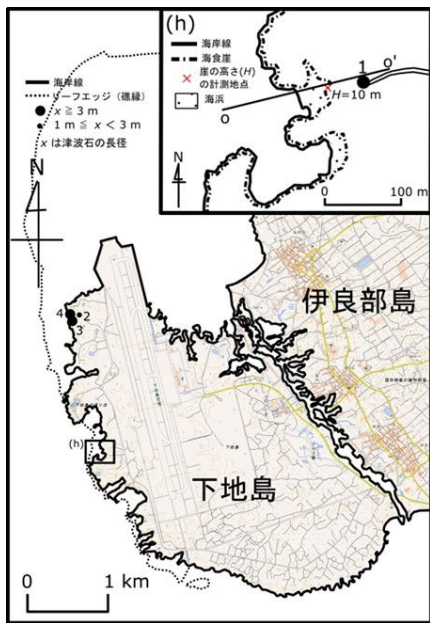


図2 下地島と岩塊の分布

体積の推定には、岩塊の長径と中径と短径を計測し、岩塊を直方体とみなして体積 ( $V_1$ ) を算出する方法と、高精細地形測量 (TLS 測量および UAV-SfM 測量) による 3D 解析から体積 ( $V$ ) を求める方法を用いた。岩塊の密度 ( $\rho$ ) は PS-1 (応用地質) による弾性波速度の値から推定された。海崖の高さ ( $H$ ) はレーザー距離計を用いて計測された。

#### 4. 研究成果

##### (1) 津波石の分布

本調査で確認された岩塊は、宮古島で 35、下地島で 4、石垣島で 4、黒島で 6、計 49 個であった。各海岸の段丘背後には、岩塊が供給される丘陵などの高台が存在しないため、段丘上の大きな岩塊は津波によって崖を乗り越えた可能性が高い。そこで本研究では長径が 3 m 以上の岩塊を津波石とみなした。したがって、本研究で解析対象とする津波石は、宮古島では ( $H=17$  m の段丘上に) 14 個、下地島では ( $H=10$  m の段丘上に) 1 個、石

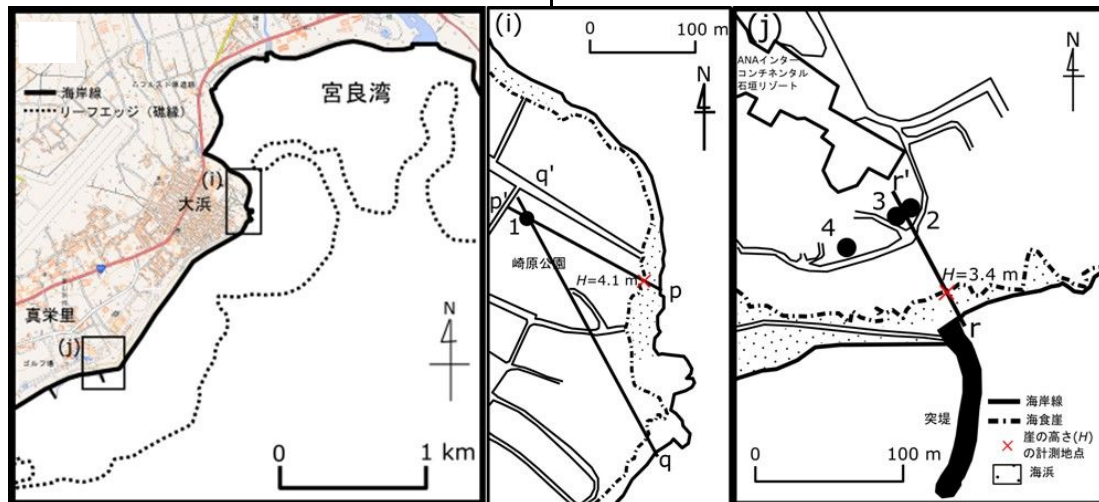


図3 石垣島と岩塊の分布

垣島では ( $H=3$  m の段丘上に) 4 個、黒島では ( $H=3 \sim 4$  m の段丘上に) 6 個、計 25 個となる。

##### (2) 津波石の質量 ( $M$ ) の推定

津波石の質量 ( $M$ ) は、体積 ( $V$ ) と密度 ( $\rho$ ) の積で求めることができる。まず津波石の体積 ( $V$ ) について述べる。宮古島を除く下地島、石垣島、黒島の津波石について、TLS 測量と UAV-SfM 測量を行い、3D 解析によって体積 ( $V$ ) を求めた。実際の津波石は様々な形状をしているが、津波石を長径と中径と短径を 3 辺とする直方体の体積 ( $V_1$ ) を求め、体積 ( $V$ ) と直方体体積 ( $V_1$ ) との関係調べたところ、両者の間には、 $V = 0.57V_1$  の関係がみられることがわかった。宮古島の津波石の体積 ( $V$ ) は、この式に  $V_1$  値を代入し、求められた。

次に密度 ( $\rho$ ) について述べる。小暮ほか (2005) は、琉球石灰岩を対象とし、一軸圧縮強度に与える寸法効果を明らかにしている。論文中には、圧縮試験を行ったサンプルの密度 ( $\rho$ ) や弾性波速度 ( $v$ ) の値が記載されている。これらのデータを用いて、琉球

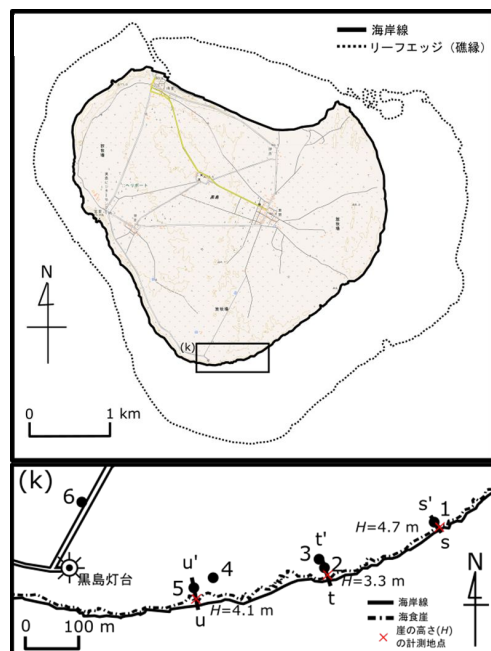


図4 黒島と岩塊の分布



石灰岩の密度( $\rho$ , g/cm<sup>3</sup>)と弾性波速度( $v$ , km/sec)との関係を調べた。弾性波速度が大きくなると、密度が大きくなるという比例関係が認められ、回帰分析を行うことにより、両者の関係は  $\rho = 0.28v + 0.81$  で表されることがわかった。この式を用いることにより、弾性波速度から密度を推定することが可能になる。

そこで全ての津波石を対象として、ハンマーとPS-1を用いて弾性波速度( $v$ )の計測を行った。弾性波速度は、ハンマーの打撃点から3 m離れた地点に受信器を置き、打撃点から何秒かかって地震波が届くのかを計測することによって求められた。各津波石で5回計測し、その平均値を、その津波石の弾性波速度( $v$ )とした。弾性波速度( $v$ )の値を上式に代入することにより密度( $\rho$ )を求めた。本研究で対象とした津波石の密度( $\rho$ )は1.2 ~ 1.7 g/cm<sup>3</sup>であることがわかった。

以上、得られた体積( $V$ )と密度( $\rho$ )から、津波石の質量( $M$ )を求めた。全津波石のうち最も質量( $M$ )が大きいものは下地島の津波石(帯大石)で、2,500,000 kg(約2,500 ton)であった(図5)。



図5 下地島の津波石(帯大石)

### (3) 津波営力の場所的差異に関する考察

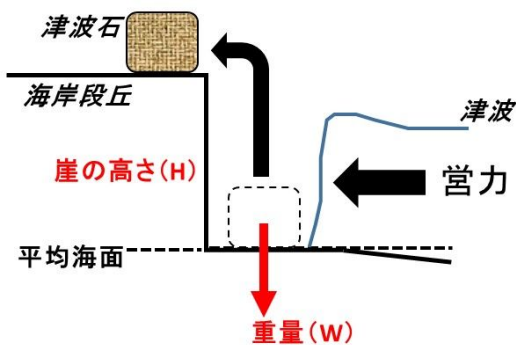


図6 本研究で想定した津波石の移動

本研究の目的は、段丘上に分布する津波石のみを対象として、津波石の重量( $W$ )と海崖の高さ( $H$ )を明らかにし、宮古諸島(下地島と宮古島)と八重山諸島(石垣島と黒島)に襲来した過去最大の津波営力の差異を考察することである。ここで、全ての津波石は、海崖基部(崖下)の岩塊が押し寄せた津波によって段丘上に運搬されたものであると仮定する(図6)。もし崖の高さ( $H$ )が同じで

あれば、津波石の質量( $M$ )が大きいほど津波石は段丘上に乗りにくくなり、また津波石の質量( $M$ )が同じであれば、崖が高いほど段丘上に乗りにくくなると考えられる。

津波石に働く重力の大きさは重量( $W$ )である。津波石の重量( $W$ )は、津波石の質量( $M$ )と重力加速度( $g$ )との積で求められる( $W = Mg$ )。ここで津波石の重量( $W$ )と崖の高さ( $H$ )から押し寄せた津波の営力を考察する。段丘上の津波石は、いずれも津波によって崖下から運搬されたと仮定すると、 $H$ は津波石の垂直方向の移動距離を、そして $WH$ は津波石が津波によって垂直方向への移動になされた仕事を示すことになる。したがって、 $WH$ の値は、津波石を段丘上に運搬する、海崖基部における津波営力の大きさの指標とみることができ。そこで、各島において $WH$ の最大値を用いて、各島に襲来した過去最大の津波営力の比較を行った。

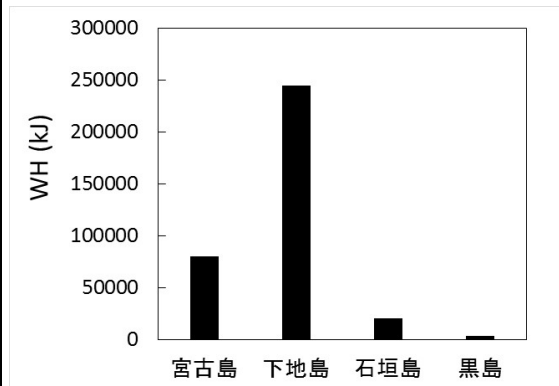


図7 各島のWHの最大値

図7は、各島における最大の $WH$ を示したグラフである。宮古島は約80,000 kJ、下地島は約240,000 kJ、石垣島は約20,000 kJ、黒島は約4,000 kJという値が得られた。このことから、過去最大の津波営力の大きさは、下地島 > 宮古島 > 石垣島 > 黒島(すなわち、宮古諸島 > 八重山諸島)となり、石垣島の営力を基準とすると、下地島は石垣島の12倍、宮古島は4倍、黒島は1/5倍であることがわかった。このことは過去に、八重山諸島よりも大きな津波が宮古諸島に襲来した可能性を示唆するものであり、先行研究で報告されている(八重山諸島の一つである)石垣島で最も大きな津波が襲来したとされる明和大津波の傾向とは異なる。

### <引用文献>

- 今村文彦・吉田 功・アンドリュー ムーア(2001): 沖縄県石垣島における1771年明和大津波と津波石移動の数値解析。海岸工学論文集, 48, pp.346 - 350.
- 河名俊男・中田 高(1994): サンゴ質津波堆積物の年代からみた琉球列島南部周辺海域における後期完新世の津波発生時期。地学雑誌, 103, pp.352 - 376.
- 小暮哲也・青木 久・前門 晃・松倉公

憲 (2005): 琉球石灰岩の一軸圧縮強度  
に与える寸法効果と岩石物性の影響. 応  
用地質, 46 (1), pp.2 - 8 .  
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, 82, pp.208 - 214 .

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

有賀夏希・青木 久 (2016): 高等学校地  
理における自然災害学習に活用可能な教  
材作成の試み. 沖縄地理, 16 号, pp.79  
- 86, 査読有

[学会発表](計 3 件)

Hayakawa, S. Y., Aoki, H., Kishino, K.  
and Maekado, A. Accurate volumetric  
measurement of tsunami boulders  
using 3D point cloud, JpGU-AGU Joint  
Meeting 2017, 2017 年 5 月 23 日, 幕張  
メッセ (千葉県・千葉市)

青木 久, 岸野浩大, 早川裕弐, 前門 晃.  
琉球列島南部, 宮古諸島と八重山諸島に  
襲来した津波営力の差異 - 海岸段丘上の  
津波石を用いた検討 -, JpGU-AGU  
Joint Meeting 2017 2017 年 5 月 22 日,  
幕張メッセ (千葉県・千葉市)

青木 久, 岸野浩大, 早川裕弐, 前門 晃.  
琉球列島南部, 宮古島・下地島・石垣島・  
黒島に襲来した津波営力の差異 - 海岸段  
丘上の津波石を用いた検討 -, 日本地理  
学会春季大会, 2017 年 3 月 28 ~ 29 日,  
筑波大学 (茨城県・つくば市)

## 6 . 研究組織

(1) 研究代表者

青木 久 (AOKI Hisashi)  
東京学芸大学・教育学部・准教授  
研究者番号: 30423742