

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23684041

研究課題名(和文) 琉球列島の沿岸巨礫群を用いた過去数千年間の津波・高波規模の定量評価

研究課題名(英文) Evaluation of tsunami and storm wave sizes during past few thousand years in the Ryukyu Islands based on the coastal boulders

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) 10,500,000円、(間接経費) 3,150,000円

研究成果の概要(和文)： 琉球列島全域において沿岸巨礫群の分布調査を行った。その結果、津波起源と考えられる巨礫群は、先島諸島の一部の島々にのみ分布していることが明らかとなった。一方、台風の高波起源の巨礫群は、ほぼすべての島に分布している。奄美諸島においては、台風の高波起源の巨礫分布を変更しないという制約条件のもとで数値計算を実施し、約1500年前に喜界島を大きく隆起させたイベントは、プレート内の高角逆断層による可能性があることを指摘した。また、先島諸島においては、石垣島での過去2000年間の津波履歴の検討を行い、1771年の大津波を含めて、同等規模の津波が過去三回発生していた可能性があることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)： Spatial and clast size distributions of boulders on the reefs at the Ryukyu Islands were investigated. Tsunami boulders were observed only in some islands of Sakishima Islands in the south, whereas boulders of storm wave origin were observed almost all islands. In the Amami Islands, we conducted numerical modeling of tsunami inundation under the constraint condition that the tsunami did not change the spatial distribution of storm wave boulders. Then, it was revealed that the seismic event at 1500 years before present were probably caused by the rupture of high-angle intraplate reverse fault. The tsunami history over the past 2000 years was investigated based on the numerical modeling in the Ishigaki Island. As a result, it was found that three large tsunamis, including the 1771 event, were occurred during this period.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地質学

キーワード：津波 高波 巨礫 琉球列島

1. 研究開始当初の背景

琉球海溝沿いに位置する琉球列島では、古文書記録が残る過去約 400 年の間に大きな被害を出す巨大地震は発生していない。また、1771 年に石垣島南東沖で発生した明和津波（最大遡上高 30 m、犠牲者 1.2 万人）を除けば、大きな津波災害も発生していない。そのため、琉球海溝沿いで海溝型巨大地震・津波が発生する可能性は低いと考えられてきた。一方、琉球海溝沿いで物理探査が近年行われ、マグニチュード 8.0 を超える巨大地震が将来起きる可能性が指摘され始めている (Ando et al., 2008)。しかし、琉球海溝での巨大地震・津波に関する本格的な研究は、ごく最近始まったばかりであり、数千年スケールで巨大地震が起きた可能性、規模、再来周期を示す物的証拠は未だ提示されていない。そのため、この地域では適切な地震・津波対策ができていないのが現状である。

一方、琉球列島でもっとも深刻な自然災害は、頻度から考えても台風災害である。特に、台風時に 10 m を超える高波が押し寄せる海岸部の被害対策は重要である。防波堤設置などの災害対策を適切に行うために、想定最大波の水理量（波高、周期）の推定精度の向上が不可欠である。しかし、既往最大波の記録は限られた観測点で過去数十年間分が存在するのみであり、数百年スケールで発生する特大の高波の水理量推定は、統計解析に依存しているのが現状である。地球温暖化が進行し、波浪災害が激甚化する危惧がある今、観測史を遥かに超える数百～数千年スケールの長期的な波浪情報に基づき、対策を講じる必要がある。

過去の津波・高波災害の規模や頻度を知る手がかりとして、沿岸部に堆積する直径数メートル大の巨礫群が、近年世界的に注目を集めている。これは、巨礫の移動過程の解析を行うことで、巨礫を運搬した波浪の流体力を定量的に推定できると考えられるからである。琉球列島の島々のリーフ上にも、礁縁付近のサンゴ礁基盤が津波や高波により剥がされてきた巨礫が大量に堆積している。こうした巨礫群から、津波・台風の高波により打ち上げたものを識別できれば、次の段階として、それぞれの巨礫群を運搬しうる津波・高波の規模や、災害の発生時期や頻度も推定できると考えられる。

2. 研究の目的

以上のような背景を踏まえ、本研究の目的は、琉球列島広域における過去数百～数千年間の津波と台風の高波の規模（最大値）の定量的推定を、リーフ上に堆積している沿岸巨礫群を対象とした現地調査、年代測定、数値計算により明らかにすることである。

具体的には、①奄美、沖縄、先島諸島において、台風の高波の最大波の水理量（波高・周期）の推定、②奄美、沖縄諸島での地震・津波規模の「上限」の推定、③先島諸島で約

二千年前に発生した巨大津波の規模と波源推定、を行う。そして、琉球海溝における巨大地震・津波規模の地域差を明らかにするとともに、過去数百～数千年間に繰り返した台風の高波の実態を解明する。

3. 研究の方法

現地調査：本研究では、代表者らによるこれまでの調査地域と相補的かつ琉球列島全域（東シナ海側を含む）を広域にカバーする巨礫分布データを収集するため、奄美諸島、沖縄諸島、先島諸島の複数のリーフにおいて巨礫調査を実施した（図 1）。調査は、長軸の直径が 1 m を超える巨礫を中心に、一地域あたり統計的に有意な個数になるまで巻尺、クリノメーター、ハンディ GPS を用いてサイズ・長軸の方向、位置情報の収集を行った。さらに、密度および年代測定用試料採取も行った。また、波浪の挙動は地形に敏感であり、津波・高波の数値計算を高精度で行うためには、リーフ上の精密地形データが不可欠である。ところが、琉球列島のリーフは、水深 0～5 m 程度と浅すぎて調査船が進入できないため、海図に精密値は含まれていない。また、海面近くまで成長した大型サンゴが障害となるため、測量もほとんど実施されていない。そこで、高精度かつ浅海域での測量を可能とする機器を用い、対象地域のリーフ内の高精度測量を行った。また、海岸線から砂丘にかけては、GPS 測量機器を用いて測量を行った。これにより、高精度かつ広域の地形データを短時間で得ることができる。

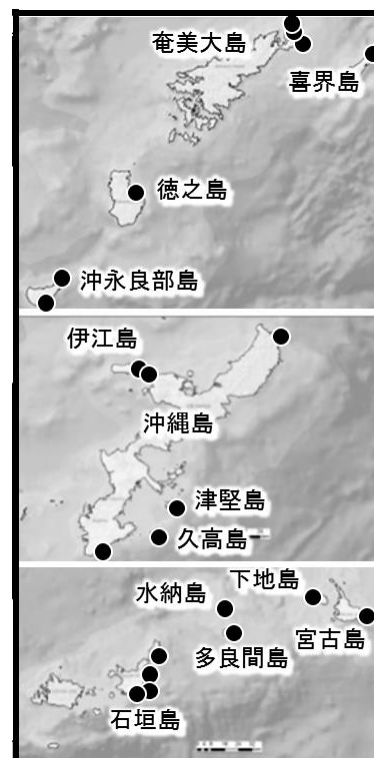


図 1 本研究および既往調査地域 (Goto et al., 2013 に基づき作成)。

数値計算：後述のように、奄美・沖縄諸島には、台風起源の巨礫しか存在しない。つまり、これらの巨礫をより内陸に移動させるだけの規模の津波は、打ち上げから現在まで発生しなかったといえる。そこで、奄美諸島を対象として、琉球海溝沿いに様々なサイズの断層を地震の相似則（マグニチュードに關係）に基づき設置し、巨礫移動モデルを組み込んだ津波遡上計算を行った。そして、断層モデルごとに、発生する津波によるリーフ上の巨礫の陸側限界線を計算により求め、現在の分布以上に巨礫を内陸方向へ移動させない初期条件（地震のマグニチュード）および津波高さを推定した。

先島諸島では、過去に巨大津波が繰り返し発生している。しかし、1771年明和津波以前の津波の規模や波源は未だ不明である。本研究では、各地域の先島津波起源の最大サイズの巨礫に注目して、巨礫移動モデルを組み込んだ津波遡上計算を実施し、津波規模と波源の推定を行った。

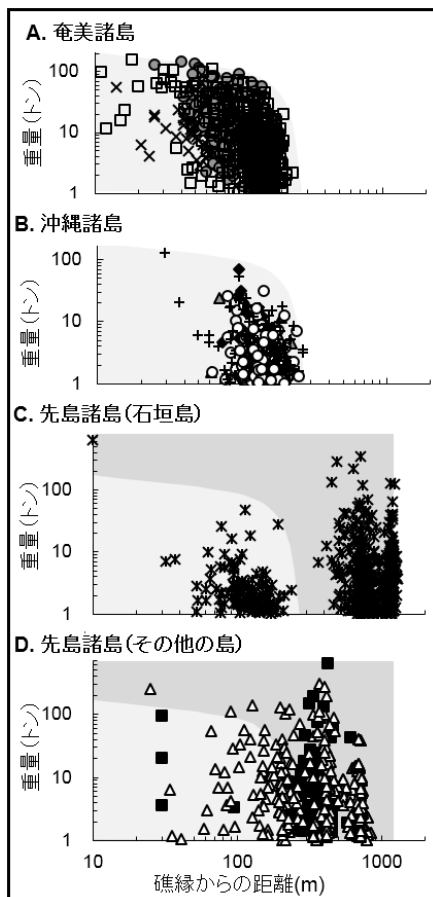


図2 奄美、沖縄、先島諸島の代表的な地域に分布する巨礫の礁縁からの距離 (m) と重量 (トン) の關係 (Goto et al., 2013)。

4. 研究成果

現地調査：本研究では、奄美諸島（奄美大島、喜界島、徳之島）、沖縄諸島（沖縄島、久高島）、先島諸島（石垣島、宮古島、下地島、与那国島）などで現地調査を実施した。巨礫分布の経年変化を調べた結果、サイズの

小さい一部の巨礫群は、最大数 m 移動している事例があるものの、大半の巨礫は位置が変わっていないことがわかった。

先行研究に基づけば、奄美・沖縄諸島に分布する巨礫群は、礁縁から最大約 300m 内陸までの範囲にしか分布しておらず、指数関数的なサイズ減少を示す (例えば, Goto et al., 2009)。本研究の結果からも、奄美、沖縄諸島に分布する巨礫群は、いずれも上記の特徴を有しており、台風の高波により打ち上げられたものと判断される。

一方、先島諸島においては、台風の高波により打ち上げられたと考えられる巨礫群が礁縁近くに存在する一方で、幅約 1.5km ものリーフを超えて、沿岸部にはよりサイズの大きい巨礫が大量に存在することが知られており、津波起源であると推定されている (Goto et al., 2010)。本研究の調査結果からも、先島諸島においては、台風の高波と津波起源の巨礫の両方が存在することが明らかとなった。ただし、先島諸島の中でも与那国島には、台風の高波起源と解釈される巨礫しか分布していないことが明らかとなった。

図2は、本調査の結果および代表者らによる先行研究の結果をまとめたものである (Goto et al., 2013)。このように、先島諸島に分布する巨礫の一部は、奄美・沖縄諸島に分布する台風の高波起源の分布限界をはるかに超えた内陸に存在することがわかる。

現地調査では測深器を用いたリーフ内の深浅測量も実施した。まず、精度検証を行った結果、図3に示すように、従来のスケールを用いた測量に比べて、高解像度かつ迅速な測量を実施することができたことがわかった (本郷ほか, 2013)。石垣島伊原間などで高精度分析を行い、地形データを作成した。

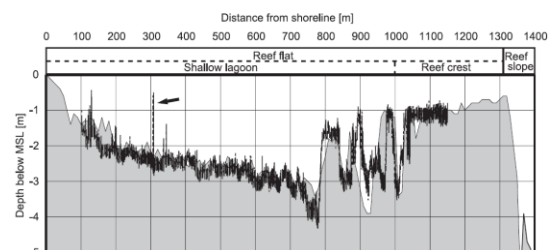


図3 本研究で計測したリーフ地形断面図（石垣島伊原間地域）（黒）と計測棒を用いて人力で測量した場合の地形断面（灰色）（本郷ほか, 2013）。

数値計算結果：現地調査の結果、①奄美、沖縄諸島には台風の高波起源の巨礫しか存在しないこと、②先島諸島には、台風の高波起源の巨礫以外に、多数の津波起源の巨礫（津波石）が存在することが明らかになった。奄美、沖縄諸島でリーフが現在の形状になったのは、およそ 3000 年前ごろと推定される (Goto et al., 2013)。したがって、奄美、沖縄諸島では、過去約 3000 年間は台風の高波の波力を超えるような巨大な津波は来襲

していないと判断することができる。



図4 喜界島の隆起サンゴ礁。



図5 奄美大島東海岸のサンゴ礁。喜界島のような隆起が見られず、台風の高波起源の巨礫が点在する。

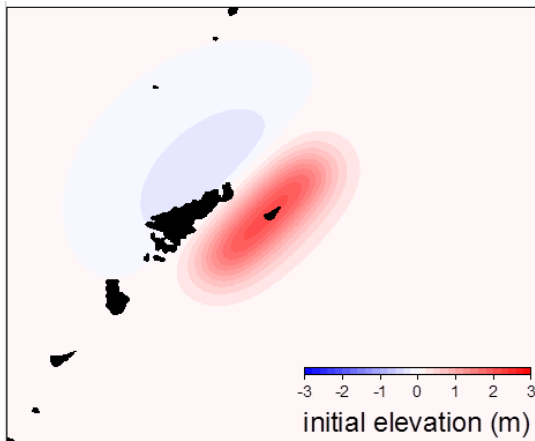


図6 喜界島、奄美大島での隆起量および巨礫の分布を説明する断層モデルの初期地殻変動量 (m) の一例。

奄美諸島の喜界島は、約 1500 年に一度程度の頻度で 1–4m もの隆起を繰り返していることが知られている (図 4, Webster et al., 1998). 一方、奄美大島はほとんど隆起していないという特徴がある (図 5, 河名, 2006). つまり、約 1500 年前に喜界島を大きく隆起させた地震は、奄美大島では地殻変動を起こさず、かつ台風の高波起源の巨礫群の配置を変えるほどの巨大津波は発生していないということになる。こうした特徴を制約条件とし津波計算を繰り返すことによって、1500 年前に発生した地震の断層モデルを推定した。その結果、海溝型一枚断層よりも、プレート内の高角逆断層 (図 6) を仮定した場合のほうが上記の地質学的制約条件を説明しやすいことが明らかになった。これは、喜界島

と奄美大島が 30km 程度しか離れておらず、奄美大島東海岸に断層のヒンジラインが来る場合にのみ両島の隆起・沈降量を説明できることから、そのためには断層幅が狭く、かつ高角である必要があるためである。

次に、石垣島のリーフにおいては、実施した深浅測量データを用いて断面地形データの作成した (図 3). そして、伊原間海岸に堆積する最大の巨礫 (約 216 トン) と傍にある小さな巨礫 (約 42 トン) が同時に現在地に堆積する津波の初期振幅、周期の組み合わせを検討した。その結果、周期が約 4 分である必要があること、遡上高は約 32m と推定されることが明らかになった。古文書記録に基づく調査では、対象地域近辺では 9.4m 以上かつ 29.3m 以下の遡上高だったと推定されており (後藤ほか, 2012), 本研究で推定された遡上高は、古文書記録から推定される上限値に近いものであることがわかる。一方、台風の高波起源の巨礫分布を変更しないという条件のもと、CADMAS-SURF を用いて高波計算を実施し、過去の高波の最大波が推定できる可能性があることがわかった。

本手法で必要とする初期条件は、地形、巨礫のサイズ、および初期位置と現在位置のみである。初期位置を地質学的に推定することができれば、その他の情報は容易に入手することができるため、世界中に分布する津波石を用いて、局所的な津波波高を推定することができるものと考えられる。



図7 石垣島大浜の「津波大石」。

琉球列島南部では、石垣島などに約 2000 年前に襲ったとされる先島津波により打ち上げられた巨礫のサイズや位置情報に基づき数値計算を実施した。対象とした巨礫は、石垣島大浜の崎原公園にある津波大石と呼ばれる巨礫である (図 7). 現在標高 10m 地点に堆積しているこの巨礫は、放射性炭素年代測定の結果、およそ 2000 年前に礁縁付近から打ち上げられたことが明らかにされている (河名・中田, 1994). そして、古地磁気学的検討の結果、2000 年前に打ち上げた津波のあと、もう一度この石を移動 (回転) させる津波が発生していた可能性が指摘されている (Sato et al., 2013). このような地質学的条件に基づき、巨礫移動モデルを組み込

んだ津波遡上計算を実施した。

その結果、1 度目（約 2000 年前）の津波の規模は明和津波に匹敵する規模である必要は必ずしも無く、サンゴ礁から離水し海岸付近に打ち上げられる程度で良いものの、2 度目の津波は明和津波と同等以上の規模を仮定する必要があることがわかった（図 8）。つまり、過去約 2000 年の間に、1771 年の明和津波を含めて、石垣島では 3 回の大津波が来襲していた可能性があると考えられる。

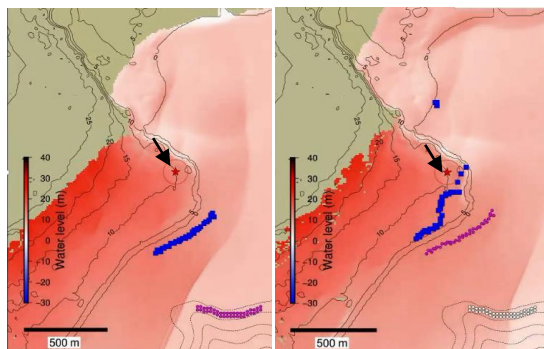


図 8 (左) 1 度目の津波イベント. 明和津波と同規模の津波を発生させた場合の巨礫の停止位置 (青). 赤い点が初期位置で、矢印の先が現位置. (右) 2 度目の津波イベント. 初期位置 (赤) が海岸線になったと仮定して、明和津波と同規模の津波を再び発生した場合の停止位置 (青).

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 5 件)

- ① Goto, K., Miyagi, K., Imamura, F., 2013, Localized tsunamigenic earthquakes inferred from preferential distribution of coastal boulders on Ryukyu Islands, Japan. *Geology*, 査読有, Vol. 41, 1139-1142. doi: 10.1130/G34823.1
- ② 本郷宙軌, 後藤和久, 岡田浩二, 八木田康信, 2013, 浅海域地形測量のための音響測深システムの評価: サンゴ礁における簡易高速測量の実施例. *第四紀研究*, 査読有, Vol. 52, 43-48.
- ③ 後藤和久, 2012, 津波石研究の課題と展望 II - 2009 年以降の研究を中心に津波石研究の意義を再考する -. *堆積学研究*, 査読有, Vol. 71, 129-139.
- ④ 後藤和久, 島袋綾野, 2012. 学際的研究が明かす 1771 年明和大津波. *科学*, 査読無, Vol. 82, 208-214.
- ⑤ 後藤和久, 西村裕一, 宍倉正展, 2012, 地質記録を津波防災に活かすために - 津波堆積物研究の現状と課題. *科学*, 査読無, Vol. 82, 215-219.

[学会発表] (計 9 件)

- ① Goto, K., Nakamura, N., Sato, T., Hisamatsu, A., Multiple paleotsunamis inferred from a single coral boulder. 2013 AGU Fall Meeting, 2013 年 12 月 12 日, San Francisco, 米国, 招待講演.
- ② Goto, K., Miyazawa, K., Imamura, F., Shimabukuro, N., Shimabukuro, A., Miyagi, K., Masaki, Y., Suppasri, A., Damages, source model and fragility function of the 1771 Meiwa Tsunami, southern Ryukyu Islands, Japan. IGU 2013 Kyoto Regional Conference, 2013 年 8 月 8 日, Kyoto.
- ③ Goto, K., The paleotsunami histories along the Ryukyu Islands inferred from coastal boulders. Paleotsunami workshop in Taiwan, 2013 年 7 月 3 日, Taipei, 台湾, 招待講演.
- ④ 後藤和久, 須田陽介, 今村文彦, 本郷宙軌, 八木勇治, 再考・喜界島の隆起問題. 地球惑星科学関連学会 2013 年合同大会, 2013 年 5 月 22 日, 千葉, 招待講演.
- ⑤ Goto, K., Tsunami geology: current understanding, future direction, and social relationship after the 2011 Tohoku-oki event. Western Pacific Sedimentology Meeting, 2013 年 5 月 13 日, Yaoyuan, 台湾, 基調講演.
- ⑥ 後藤和久, 須田陽介, 今村文彦, 本郷宙軌, 八木勇治, 琉球列島北部の地震・津波履歴と規模の推定. 2013 年日本堆積学会, 2013 年 4 月 13 日, 千葉.
- ⑦ 後藤和久, 巨礫分布に基づく琉球列島の古津波. 地球惑星科学関連学会 2012 年合同大会, 2012 年 5 月 20 日, 千葉.
- ⑧ 後藤和久, 物証に基づく想定津波の検討を. 日本地震学会 2011 年秋季大会特別シンポジウム, 2011 年 10 月 15 日, 静岡, 招待講演.
- ⑨ 後藤和久, 津波石研究の現状と課題. 日本堆積学会 2011 年長崎大会, 2011 年 12 月 24 日, 長崎.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

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