

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K01165

研究課題名(和文) 琉球海溝沿岸におけるマイクロアトールを用いた地殻変動と海成段丘形成に関する研究

研究課題名(英文) Crustal movement using the structure of micro atoll along the Ryukyu Trench

研究代表者

前空 英明 (Maemoku, Hideaki)

法政大学・文学部・教授

研究者番号：50222287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：沈み込み型プレート境界に位置する日本列島太平洋側、とりわけ琉球海溝沿岸において、定常的地殻変動と地震性地殻変動との相互関係の具体を解明することによって、完新世海成段丘の形成メカニズムをより精密に解読することを目的とした研究を行った。具体的には、マイクロアトール(微環礁)とよばれる、その頂面の高さがほぼ平均低潮位に規定されるサンゴ群体の形状、分布高度および形成年代などを利用して、検潮計では捉えられない過去数100年間以上の陸地の定常的な隆起・沈降様式を推定し、これまで主に地震性隆起によって説明されてきた完新世海成段丘の形成メカニズムにどのように寄与しているのかを明らかにするため解析中である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、沈み込み型プレート境界に位置する日本列島太平洋側において、定常的地殻変動と地震性地殻変動との相互作用を解明することによって、完新世海成段丘の形成メカニズムをより詳細に理解し、ひいては地震や津波の長期発生予測による防災・減災に寄与することを目的としている。本研究の中心となる調査地域は琉球海溝に面した南西諸島である。南西諸島は海溝に面していることから考えても地震災害発生の頻度は低くないと推定されるにもかかわらず、過去の大地震に関する歴史史料などが少ないことから、過去の地震履歴に関する自然地理学的研究が少なく、南海地震のような集中的観測も進んでいないため社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：The formation mechanism of the Holocene marine terraces will be elucidated by elucidating the relationship between stationary crustal deformation and seismic crustal deformation on the Pacific side of the Japanese archipelago, which is located on the subductive plate boundary, especially along the coast of the Ryukyu Trench. A study was conducted with the aim of deciphering more precisely. Specifically, the tidal gauge uses the shape, distribution altitude, and formation age of a coral colony called a microatoll, whose top surface is defined by the average low tide level. Analysis is underway to clarify whether the steady uplift and subsidence pattern of the land over the past few hundred years, which has not been captured by tide gauge station, and how it contributes to the formation mechanism of the Holocene marine terraces, which has been mainly explained by seismic uplift.

研究分野：自然地理学

キーワード：マイクロアトール 地殻変動 喜界島 南西諸島 年輪解析

1. 研究開始当初の背景

(1) 2011年3月11日に発生した東北日本太平洋沖地震(東日本大震災)以降、日本各地で内陸直下型地震が発生し、大地震による災害(強震動、津波、液状化、土砂災害など)に国民的関心が高まっている。そのような状況の中、近い将来に発生が危惧される南海トラフ巨大地震が注目され、歴史史料や隆起化石、隆起地形を利用した古地震に関するさまざまな自然地理学的調査が行われ、応募者自身もその種の研究に深く関わってきた。

(2) 本研究の中心的フィールドとなる南西諸島でも大地震や大津波が歴史時代にも発生していることが指摘されている。しかし残されている歴史史料の数が京都や江戸(東京)など大都市がある日本本土に比べ圧倒的に少ないため、その発生時期や間隔に関する知見がきわめて少なく、海溝型大地震の危険性にさらされているにもかかわらず、調査研究が遅れている。

(3) 南西諸島の島々は主に第四紀のサンゴ石灰岩に取り囲まれており、隆起地域ではサンゴ礁段丘が形成されている。サンゴ石灰岩は、放射性核種を使ったさまざまな年代測定法が直接適用できるため、自然地理学的手法を用いた段丘形成過程に関する資料はむしろ日本本土よりも蓄積されている。Shikakura(2014)は、南西諸島で最も隆起速度が速いとされている鹿児島県喜界島において、国土地理院が設置した電子基準点(GNSS)のデータを解析し、サンゴの成長速度と侵食速度などのパラメータから数値シミュレーションすると、定常隆起に加えて僅かな地震性隆起で完新世段丘地形の形成が説明できるとし、これまで段丘地形は1000~2000年に1回の頻度で発生する巨大地震により形成されたとする研究成果(中田ほか、1978など)とは異なる結果を報告した。

(4) これらの相反する研究結果は、琉球海溝における隆起を伴う活発な地震活動の存在そのものが新たな議論として再提示されたことになる。そこで、本研究の核心をなす「問い」は、南西諸島における海成段丘形成過程はどのような地殻変動様式に起因しているのかについて、GNSSよりも長期間の地殻変動を検出できるマイクロアトールの成長構造を用いてより明確にし、琉球海溝沿岸部の地殻変動様式の特徴とは何かということである。

2. 研究の目的

本研究は、沈み込み型プレート境界に位置する日本列島太平洋側において、定常的地殻変動と地震性地殻変動との相互作用を解明することによって、完新世海成段丘の形成メカニズムをより詳細に理解し、ひいては地震や津波の長期発生予測による防災・減災に寄与することを目的とする。本研究の中心となる調査地域は琉球海溝に面した南西諸島である。これは後述する本研究手法の独自性とも関連するが、南西諸島は海溝に面していることから考えても地震災害発生の頻度は低くないと推定されるにもかかわらず、過去の大地震に関する歴史史料などが少ないことから、過去の地震履歴に関する自然地理学的研究が少なく、南海地震のような集中的観測も進んでいない。

3. 研究の方法

(1) 本研究の独自性はその研究方法にある。琉球海溝に面する南西諸島は第四紀のサンゴ石灰岩に取り囲まれており、さまざまな形態のサンゴ礁が形成されている。それらのサンゴ礁を形成するサンゴ群体の一種としてマイクロアトール(微環礁)とよばれるアトール(環礁)を縮小した形態の、通常直径数10センチ~数メートルのサンゴ群体が、礁池の中に比較的普遍的に分布している。マイクロアトールは礁池の底面から成長し始め、平均低潮位まで成長すると、その上面は死滅し、その後同心円状にほぼ年1センチメートルの速度で横方向に成長し始める(Meltzner, A. et al., 2015)。結果として、土俵のような丸い形態になり、一番外側のみ生息中のサンゴが付着しているため、勝負俵のように盛り上がっている(図1)。頂面の高さはほぼ当時の平均低潮位を示しており、マイクロアトール頂面が作る平面がほぼ水平な円形をしていれば、少なくとも成長期間中は海面がほぼ安定していたことを示す。このことから、インドネシアなどの地殻変動が激しい地域では、地盤隆起の過程をマイクロアトールの構造解析から明らかにする研究が行われてきた(Natawidjaja, D. et al., 2007など)。

いふならば、マイクロアトールは測器による検潮観測が行われはじめた19世紀半ば以前の平均潮位の長期的変化を復元できる古潮位計として利用できる自然の産物と考えることができる。IPCC第4次報告書(2007)によると、温暖化によると考えられる平均海面上昇率は、特に1940年代以降加速され、1961~2003年の年平均上昇率は世界平均で 1.8 ± 0.5 ミリとされている。地殻変動速度をマイクロアトールから導き出すには、温暖化による急激な海面上昇期間より

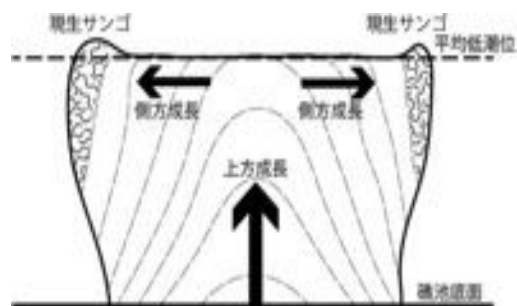


図1 海面安定時のマイクロアトールの成長構造

古い時代にさかのぼれる、少なくとも直径が2mを超える、つまり概算で100年以上成長し続けているマイクロアトールを利用する必要がある。デジタル測量機器を用いたマイクロアトールの形状の精密測量、VRS 測量や水準測量を用いた分布高度の精密測量、および放射性炭素年代測定やサンゴ群体の切り出しによるサンゴ年輪分析、さらに地元住民への聞き取り調査なども併用して、総合的な自然地理学的研究方法により検潮計ではとらえられない過去数100年間以上の古水深の長期変動、すなわち陸地の定常的な地殻変動様式を推定し、それがこれまで主に地震性隆起によって説明されてきた完新世海成段丘の形成メカニズムにどのように具体的に關与しているのかを明らかにすることが最終目的である。

(2)本研究は、南西諸島奄美大島の南東沖に位置する喜界島を主たる調査地域に設定する。喜界島は海成段丘高度から我が国で最も隆起速度が速い地域の一つとされ、地殻変動が激しいと考えられている。4段の完新世海成段丘の分布が報告されており、房総半島や室戸半島の海成段丘と同様、地震性隆起によって形成されたとする研究が見られる(中田ほか,1978など)。しかし、房総半島や室戸半島と異なる点は、歴史時代に隆起したとする史料がないことであり、地震性隆起説に対する反論もみられる(太田ほか,1978など)。Shikakura(2014)はGNSSを利用した地殻変動分析からアプローチした研究であり、地震性隆起より主に定常的隆起で喜界島の完新世海成段丘の分布は説明可能であるとしている。本研究は、このような議論を確かめるべく、大型マイクロアトールの成長構造を精密に分析することにより、1000年オーダーの段丘形成期間より短く、10年オーダーのGNSS観測よりも長い期間、つまり100年オーダーの地殻変動の様式を求め、喜界島における地震隆起と定常的隆起の關係を検証する。

(3)本研究の仮説はきわめてシンプルである。地盤が定常的に隆起し、相対的に海面が低下している場合は、図2のように側方へ成長する際に海面低下に伴って斜め下方向に成長し、結果として中央が突出した「富士山型」のマイクロアトールが形成される。逆に地盤が定常的に沈降し、相対的に海面が上昇している場合は、図3のように側方へ成長する際に海面上昇に伴って斜め上方向に成長し、結果として中央がくぼんだ「すり鉢型」のマイクロアトールが形成される。喜界島のマイクロアトールについて、研究方法で述べたような調査を行うことにより、容易に情報を得ることができる。喜界島では現生サンゴ礁を形成する入り江の中に、現生マイクロアトールが各地に分布していることをすでに予備調査で確認しており、中には直径5メートルほどの群体も見られる。完新世段丘などから古地震を復元する研究の専門家である研究分担者とともに喜界島のマイクロアトールの本格的な調査を、総合的な自然地理学的研究方法により行い、同地域での地殻変動の傾向を、時間スケールで10年オーダーから1000年オーダーまで切れ目無く復元し、琉球海溝における沈み込み帯の地殻変動様式の特徴を詳細に捉えることができれば、最終的に地域防災・減災計画に寄与できると考えている。

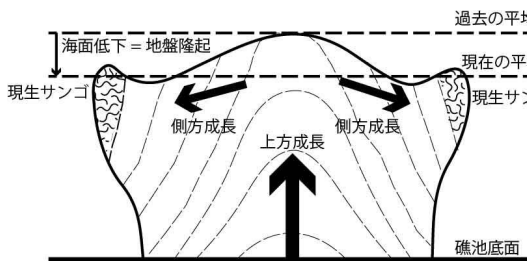


図2 地盤隆起時のマイクロアトールの成長構造

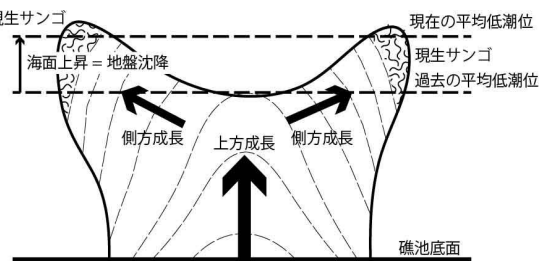


図3 地盤沈降時のマイクロアトールの成長構造

4. 研究成果

(1)マイクロアトールを採取するためには、海水中で作動するチェーンソーなどの切削機が必要であり、電気やエンジン式は使えないため、油圧式チェーンソーを使用することとした。これにはオイルのコンプレッサーとそれを動かす発電機などを、マイクロアトールから半径10m以内に設置する必要があり、危険なサンゴ礁海岸での重量物の運搬を伴うため、非常に困難を極めた。人員や潮位などを調べ、器具の周到な準備のもと、2019年は8月30日～9月2日、9月28日～30日に、南西諸島奄美大島の南東沖に位置する喜界島東海岸(嘉鈍海岸)において、内湾に成長している直径約3m程度のマイクロアトールを、その中央付近から外側に向けて幅10cm、深さ20cm程度の柱状の試料を、油圧チェーンソーを用いて連続的に採取することに成功した。採取した試料は、研究分担者の所属機関が所有するCTスキャンなどを利用して堆積構造を可視化し、年輪をカウントするなどの方法により、成長方向や時期・期間などについて分析を進めている。予察的な分析結果によると、試料採取したマイクロアトールは、一様な隆起・沈降を示すような傾向はみられず、かなり複雑な相対的上下運動を繰り返していることがわかった。マイクロアトールの年輪からは、AD1914～1950までは年平均1.04cmの速度で成長し、AD1973～現在までは年平均1.12cmの速度で成長していることがわかった。また、このマイクロアトールは現海面まで垂直に成長した後、約120年側方に成長し続けていることもわかった。



図4 喜界島で採取したマイクロアトールの切削試料

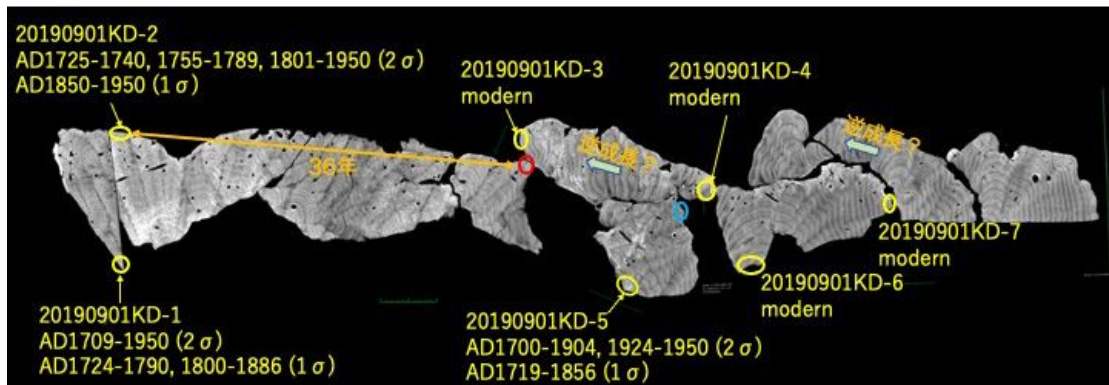


図5 喜界島で採取したマイクロアトールの年輪読み取りと年代値

(2) 2020 年は 8 月 18 日～8 月 21 日に、南西諸島奄美大島の南東沖に位置する喜界島東海岸（嘉鈍海岸）において、内湾に成長している直径約 1m 程度のマイクロアトールを、その中央付近から外側に向けて幅 10cm、深さ 20cm 程度の板状の試料を、油圧チェーンソーを用いて連続的に採取することに成功した。採取した試料は、研究分担者の所属機関が所有する CT スキャンなどを利用して堆積構造を可視化し、年輪をカウントするなどの方法により、成長方向や時期・期間などについて分析を進めている。予察的な分析結果によると、試料採取したマイクロアトールは、一様な隆起・沈降を示すような傾向はみられず、単純に中心から外側に向かって成長していることがわかった。マイクロアトールの年輪からは、30～40 年間の成長が読み取れそうであった。成長速度などの詳細は現在解析中である。

(3) 2021 年は 6 月 24 日～6 月 27 日に、南西諸島奄美大島の南東沖に位置する喜界島北海岸（ハワイ海岸）において、内湾に成長している直径約 1m 程度のマイクロアトールを、その中央付近から外側に向けて幅 10cm、深さ 20cm 程度の板状の試料を、油圧チェーンソーを用いて連続的に採取することに成功した。採取した試料は、研究分担者の所属機関が所有する CT スキャンなどを利用して堆積構造を可視化し、年輪をカウントするなどの方法により、成長方向や時期・期間などについて分析を進めている。ただし、もう一箇所試料を採取する予定であったが、covid-19 の流行により、8 月の調査を中止したため、最終的な分析ができず、2022 年度に研究期間を延長した。

(4) 2022 年は 7 月 14 日から 7 月 17 日まで喜界島ハワイ海岸にてマイクロアトールの切削採取を行い、幅 10cm、深さ 20cm 程度の板状の試料を長さ 1.5m 程度取ることができた。現在はこれらの試料の年輪解析と年代測定を行っている。

(5) 今後の予定

現在は、これまで 4 ヶ所で採取したマイクロアトール試料について、CT スキャンなどを利用して堆積構造を可視化し、年輪をカウントするなどの方法により、成長方向や時期・期間などについて分析を進めている。これら 4 ヶ所の試料を年輪解析および年代測定によって対比できれば、ここ 1000 年間くらいの喜界島の相対的地盤運動が明らかになる。マイクロアトールは測器による検潮観測が行われはじめた 19 世紀半ば以前の平均潮位の長期的変化を復元できる古潮位計として利用できる自然の産物と考えることができる。IPCC 第 4 次報告書 (2007) によると、温暖化によると考えられる平均海面上昇率は、特に 1940 年代以降加速され、1961～2003 年の年平均上昇率は世界平均で 1.8 ± 0.5 ミリとされている。地殻変動速度をマイクロアトールから導き出

すには、温暖化による急激な海面上昇期間より古い時代にさかのぼれるマイクロアトールを利用する必要がある。デジタル測量機器を用いたマイクロアトールの形状の精密測量、VRS 測量や水準測量を用いた分布高度の精密測量、および放射性炭素年代測定やウラン系列の年代測定、サンゴ群体の切り出しによるサンゴ年輪分析、さらに地元住民への聞き取り調査なども併用して、自然地理学的研究方法により検潮計ではとらえられない過去数 100 年間以上の古水深の長期変動、すなわち陸地の定常的な地殻変動様式を推定し、それがこれまで主に地震性隆起によって説明されてきた完新世海成段丘の形成メカニズムにどのように具体的に關与しているのかを明らかにし本研究を取りまとめていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 穴倉正展・行谷佑一・前空英明・越後智雄	4. 巻 73
2. 論文標題 1872年浜田地震による石見置ヶ浦の隆起 - 離水生物遺骸群集と地形データによる検証 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地震第2輯	6. 最初と最後の頁 159-177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4294/zisin.2020-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 穴倉正展	4. 巻 52
2. 論文標題 地形・地質から読み解く過去の巨大地震	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 法政地理	6. 最初と最後の頁 1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 前空英明、行谷佑一、穴倉正展、越後智雄、鈴木奏衣
2. 発表標題 和歌山県串本町橋杭岩に分布する巨礫の1976年以降の移動について
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 行谷佑一、前空英明、穴倉正展、越後智雄
2. 発表標題 和歌山県串本町橋杭岩周辺に分布する漂礫から推定される南海トラフの地震
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前空英明、行谷佑一、宍倉正展、越後智雄、鈴木奏衣
2. 発表標題 和歌山県串本町橋杭岩に分布する巨礫の1976年以降の移動について
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 行谷佑一、前空英明、宍倉正展、越後智雄
2. 発表標題 和歌山県串本町橋杭岩周辺に分布する漂礫から推定される南海トラフの地震
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宍倉正展
2. 発表標題 地形・地質から読み解く過去の巨大地震
3. 学会等名 2019法政大学地理学会記念講演 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宍倉正展、前空英明、越後智雄、行谷佑一、石山達也、金城 遼、井上直人
2. 発表標題 奄美群島喜界島におけるサンゴマイクロアトールの分布と年代からみた過去約600年の地殻上下変動
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	穴倉 正展 (Shishikura Masanobu) (00357188)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究グループ長 (82626)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	越後 智雄 (Echigo Tomoo)		
研究 協力者	行谷 佑一 (Namegaya Yuici)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------