

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01227

研究課題名(和文) サンゴ骨格年輪による台風接近頻度の復元法の確立

研究課題名(英文) Attempt of coral-based reconstructions of tropical cyclone frequency in the Northwestern Pacific

研究代表者

森本 真紀 (Morimoto, Maki)

岐阜大学・教育学部・准教授

研究者番号：30377999

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、古気候指標であるサンゴ年輪の大きな特徴である、高時間分解能で降水と水温情報を復元できることを活かし、サンゴ骨格年輪を用いた台風記録の復元法の開発を目的とした。個々の台風の復元には、高精度で高時間分解能なサンゴ骨格の分析データが必要であり、この目的のための分析手法の改良を行った。沖縄県八重山諸島の石西礁湖において、過去の気象と海洋観測記録から、過去の台風接近やその他の大雨の降水量記録と海面水温や塩分の変化の関係について解析した。これらの記録と同時期に生息したサンゴの骨格試料の同位体組成の週単位での季節変化を示し、台風やその他の降水イベントの検出について検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の特色は、地質試料を用いた古気候復元研究においてほとんどおこなわれたことのない、1つの季節内の気象現象、特に台風の検出を進めたことである。検出が可能になれば過去の台風復元に適用可能となり、現在と過去の台風や豪雨の大きさや頻度の比較、さらには気候システム研究の発展に繋がる。

研究成果の概要(英文)：Annual banded corals have been used as high time-resolution proxy of past climate such as sea water temperature and salinity changes, so that coral skeletal records are potential archives of tropical cyclone activity. We improved a drilling and weighing method of subsampling for high precision and time-resolution intraseasonal reconstructions. At the Sekisei Lagoon of Ryukyu Archipelago in the Northwestern Pacific, daily and weekly instrumental records of sea surface temperature and salinity, and weekly coral isotope and Sr/Ca records from a core of living massive Porites colony were compared to cyclone and heavy rainfall events to test for detecting them.

研究分野：古気候学

キーワード：サンゴ骨格年輪 高時間分解能 降水量 塩分 台風

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 台風研究の重要性

熱帯低気圧が発達した台風は気象現象の中で最も激しい擾乱のひとつであり、風害、水害、高潮害、波浪害などの数多くの災害を引き起こしてきた。これらの自然災害は人間の生活に大きな影響を与えることから、台風の発生数やその規模と経路は重要な情報である。

日本における過去 60 年間の気象観測結果からは、台風の発生数と接近数の変化において明瞭な長期傾向は見られない。しかし、地球温暖化の進行に伴って、全球的に熱帯低気圧の発生頻度は減少するか現在と同程度とみられるが、風力や降水量の増加により大きな被害の発生頻度が高まる可能性が予測されている (Knutson *et al.* (2010)他)。

### (2) これまでの台風復元研究と不足点

温暖化による台風の変化を解明するためには、過去の温暖期の台風の挙動を明らかにすることが研究手段の一つである。しかし、機器による気象観測が本格化する前、すなわち 100 数十年以上前の台風の記録は非常に少ない。数少ない研究例としては、古文書の記録から、江戸時代のある年に関東地方に上陸した台風の進路について示された (町田 (2014)) が、気象記録を含む古文書を用いて遡れる年代には未だ限界がある。

また、地質試料による過去の熱帯低気圧の復元では、タイの海岸に打ち上げられたサンゴの巨礫の年代から 17 世紀と 18 世紀の大型サイクロン接近が推定された (Terry *et al.* (2016)) が不連続記録であり、長期傾向の復元は難しい。

年単位の連続記録では、木の年輪セルロースが熱帯低気圧に伴う大量の降水と低い酸素同位体比を記録することを利用して、アメリカ東部における過去 220 年間の毎年のハリケーン接近の有無を検証・復元したが (Miller *et al.*, (2006))、年単位の記録のため、1 年の中の季節性や複数のハリケーンの接近の復元は難しい。

### (3) 造礁サンゴ骨格年輪を用いた台風復元の可能性

熱帯・亜熱帯に広く生息する造礁サンゴの内、塊状サンゴは骨格密度変化による年輪を持ち、個体によっては連続して数百年間の海洋環境の連続記録を保存している。サンゴ骨格の酸素同位体比は形成時の水温と海水の酸素同位体比 (塩分とほぼ等価) の二成分で決定される。サンゴ年輪は、骨格成長量が 1 年に数 mm~20mm 程度と他の地質試料と比較して非常に速く、骨格の詳細な分析により週~月単位の高い時間分解能で水温や塩分の復元を行うことができる。

台風の接近・通過に伴って、降水・海水同位体比の急激な変化と暴風に因る海水の攪拌での海水温の大幅な低下が観測されてきた (Abe *et al.*, (2009), 東田他(2006)他)。この台風による水の同位体比と水温変化がサンゴ年輪の同位体比に記録されていると考えた。

## 2. 研究の目的

本研究では、古気候指標であるサンゴ年輪の大きな特徴である、高時間分解能で降水と水温情報を復元できることを活かし、サンゴ骨格年輪を用いた台風記録の復元法の開発を目的とした。

まず、個々の台風記録の復元には、高精度で高時間分解能なサンゴ骨格の分析データが必要であり、さらには高時間分解能での解析には多数試料の分析が必要なことから、これらの目的に沿うための分析手法の改良を行う。次に、過去の気象と海洋観測記録から、過去の台風接近やその他の大雨の降水量記録と海面水温や塩分の変化について解析する。これらの記録と同時期に生息したサンゴの骨格試料の同位体組成及び金属濃度比分析から水温と降水についての季節内の変化を示し、台風やその他の降水イベントの検出の可否について検討する。

## 3. 研究の方法

研究対象地域は、沖縄県八重山諸島の石西礁湖である。八重山諸島は過去 70 年間で 1 年あたりの台風接近が 4.3 個と日本の他の地域よりも多く、さらに接近時の勢力が強いとされる (石垣島地方気象台(2001))。また、石西礁湖では気象・海洋環境・サンゴ礁の研究が多くおこなわれてきた。よって、サンゴ骨格年輪を用いた台風記録の復元法の開発と検証に適した地域と考えられる。

### (1) サンゴ試料採取と分析方法

この石西礁湖において、名古屋大学大学院環境学研究科の阿部理博士と株式会社ジオアクトの協力のもと、2018 年度に 2 回の現地調査を行なった。阿部他 (2017) の手法により、空中写真の画像解析から石西礁湖内のハマサンゴ属の現生群体の可能性のある物体の位置抽出を事前におこない、1 回目の現地調査では約 20 地点において、現生ハマサンゴ群体が生息しているか、採取・分析に適した群体であるかどうかを調べた。このうち 1 群体を選び出し、2 回目の調査において水中ボーリングによって、海底水深 7.7m に生息する現生

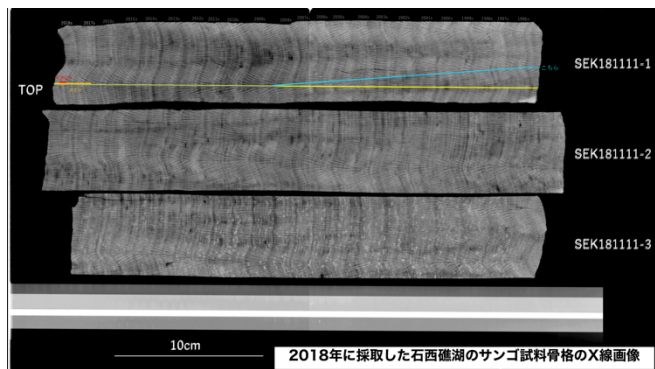


図1 サンゴ試料骨格の X 線画像

群体のコア試料の採取をおこなった。全長 187cm の長さのコア試料であり、少なくとも最近 50 年について明瞭な年輪を持つことが X 線画像による年輪（密度）バンド解析から確認された（図 1）。この試料の年輪幅は平均で 14~15mm であった。

サンゴ骨格年輪の高時間分解能分析による水温・塩分の季節内変化の復元をおこなうため、分析の解像度（時間分解能）を決定した後、マイクロドリルにより試料を削り出した。削り出した試料の酸素・炭素同位体比を名古屋大学環境学研究所の質量分析計で、金属濃度比（Sr/Ca 比）を総合地球環境学研究所の ICP 発光分析計で測定した。

#### (2) 気象・海洋観測記録

石西礁湖から近く観測項目も多いことから、降水量データは石垣島地方気象台の気象観測記録を用いた。海洋については水温、塩分、流行流速、波高などの項目が、環境省によって 2008 年 8 月より石西礁湖の中央部（小浜島東側海域）の海上に設置されたモニタリングブイで 1 時間ごとの観測がおこなわれており、本研究の試料採取地点とも近いため、これらのデータを用いて解析をおこなった。

### 4. 研究成果

#### (1) 高時間分解能測定のための分析手法の改良

従来法では、測定精度を高めるために分析試料を一つずつ秤量していたが、金属比（Sr/Ca 比）の ICP 発光分光分析時の迅速多数測定を行うために、秤量過程を省略することが可能であることが示された。さらに、マイクロドリルでの試料削り出しの際に、これまでの削り出し方法では前後の試料とのクロスコンタミネーションが、時間分解能 1 ヶ月単位の削り出し分解能で数% 分は発生していた。同じ方法のまま分解能を 1 週間に上げると、20-30% のクロスコンタミネーションが発生してしまい、1 試料に含まれる環境記録に前後の期間の記録が混在し、記録が不明瞭になることが問題であった。そこで、削り出し工程を変更することによって、コンタミネーションをほぼ解消した。さらに 1 回の削り出しから得られる試料量の調節によって、同位体比と金属比測定それぞれに適当な量を削り、秤量過程の省略に繋がった。

以上の成果から、本研究のサンゴ試料についての測定可能な削り出し間隔、すなわち時間分解能を決定した。0.25mm 間隔の削り出しをおこない、1 年につき 50~60 試料が得られた。よって、約 1 週間（6~7 日）の高い時間分解能となった。

#### (2) 台風や大雨などの降雨イベントと海洋環境

台風や大雨によって変化する気象・海洋環境を調べるために、石垣島地方気象台の観測記録と環境省による石西礁湖モニタリング記録を用いて、気象現象と降水量、風速、海水温、塩分などの変化を解析した。2016 年~2018 年の海面水温と塩分、降水量の変化を図 2 に示す。

台風や低気圧と前線などによる多量の降水によって数時間スケールでは表層塩分の 1, 2psu の低下が起こるが、日平均データでは 1psu 以内、6 日平均ではほとんどが 0.5psu 以内（最大でも 1.0psu 程度）と変化が小さくなる。サンゴ骨格の同位体比を用いた塩分復元を行うには、より高い時間分解能で分析し、0.5psu 程度の変化の読み取りが必要であることが示された。

多量の降水は塩分の低下だけでなく海水温の低下ももたらし、特に、強風を伴う台風は表層海水の大きな混合をもたらすため海水温を低下させる。図 2 の期間では、2017 年 7 月下旬の台風 9 号により 6 日平均で塩分が約 0.4psu 低下し、水温は約 0.6°C 低下した。2016 年は塩分変化が小さかったが、2018 年は特に夏季に塩分が大きく低下するイベントが数回発生していた。台風 8 号、14 号、18 号などが原因であり、6 日平均で塩分が 0.6~1psu 低下し、水温は 1°C 以上の低下を示した。塩分が低下した一方で、水温が上昇もしくはほとんど変化がなかったイベントもあり、低気圧とそれに伴う前線による 2017 年 4 月末の大雨や、2017 年 8 月下旬から 9 月にかけての長期間の低塩分期、秋雨前線による 2018 年 9 月中旬の低塩分である。台風の規模や通過経路との関係をさらに詳細に調べる必要があるものの、台風の方がそれ以外の原因の大雨よりも水温を低下させていたことが示された。

#### (3) サンゴ骨格年輪の酸素同位体比変化

図 2 に水温と塩分の観測データから計算し推定した 6 日平均のサンゴ骨格年輪の酸素同位体比変化と、実際の石西礁湖のサンゴ骨格を分析した酸素同位体比を示す。塩分と海水の酸素同位体比、さらに、水温と海水の酸素同位体比とサンゴ年輪酸素同位体比の関係式は、澤田 (2019) で検討された式を用いた。

多量の降水によって塩分が低下すると海水の酸素同位体比も低下する（塩分 1psu 低下で海水の酸素同位体比は 0.31‰ 低下）。水温が 1°C 低下すると、サンゴ年輪の酸素同位体比は 0.1274‰ 上昇する。よって、塩分低下と水温低下の酸素同位体比に与える効果は正反対であり、両者のバランスで降水イベントがサンゴ骨格に記録されるかどうかが決まる。(2) で示した 2018 年夏季の台風による塩分低下イベントのうち、7 月上旬と 9 月では -0.14‰ と -0.19‰ の年輪酸素同位体比の変化が推定され、この変化は検出可能な大きさである。一方で、8 月中旬については、塩分低下の効果が水温低下によって相殺され、年輪酸素同位体比の推定変化量は -0.08‰ と小さく変化の検出は難しい。

サンゴ骨格年輪の酸素同位体比（測定値）と水温と塩分観測値から計算した6日平均のサンゴ骨格年輪酸素同位体比を比較すると、年変化傾向は非常に良く似ており、さらに夏季の季節内変化の回数と振幅も似ていることが示された。一方で、季節内変動の時期が正確には一致しておらず、サンゴ骨格年輪の時間軸が不正確なことが原因と考えられる。また、2016年の後半は測定酸素同位体比の季節内変動の回数が多く、計算値とは大きく異なる。これらの問題点は、現在測定を進めている金属濃度比（Sr/Ca比）を水温指標として用いることで、時間軸がより正確となり、さらには、水温変化を差し引くことにより海水の酸素同位体比（塩分）の変化が復元でき、より直接的に多量の降水イベントとの比較が容易になる。

本研究の結果より、量が多くとも短い降雨継続時間の場合はサンゴ骨格に記録されにくく、台風の接近・通過や広域の大雨など数日間の影響がある場合に、サンゴ骨格に記録されやすいことが明らかになった。現在、187cmのコアの酸素同位体比とSr/Ca分析を継続し、気象・海洋観測記録との比較から、サンゴ骨格に記録された塩分・水温変化と降水イベントの対応と検出されやすいイベントについて解析を進めている。本研究の結果を応用することにより、観測記録のない過去の温暖期や寒冷期の台風や豪雨の変動の復元が期待される。

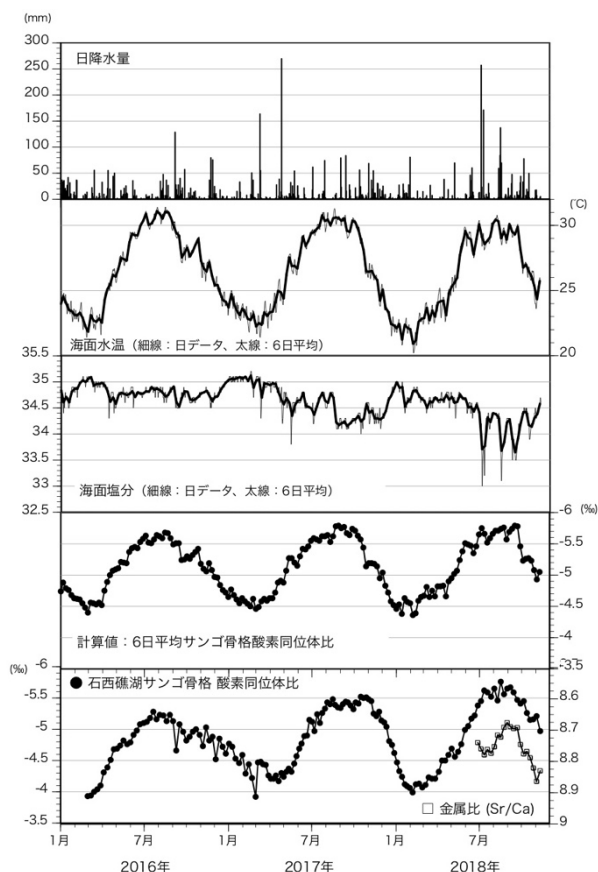


図2 海洋環境データとサンゴ骨格記録

<引用文献>

- ① Knutson *et al.* (2010) Tropical cyclones and climate change. *Nature Geosci.*, 3, 157-163.
- ② 町田 (2014) 寛保2年災害をもたらした台風の進路と天候の復元, *地学雑誌*, 123(3), 363-377.
- ③ Terry *et al.* (2016) Ancient high-energy storm boulder deposits on Ko Samui, Thailand, and their significance for identifying coastal hazard risk. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 454, 282-293.
- ④ Miller *et al.* (2006) Tree-ring isotope records of tropical cyclone activity. *PNAS*, 103(39), 14294-14297.
- ⑤ Abe *et al.* (2009), A 6.5-year continuous record of sea surface salinity and seawater isotopic composition at Harbour of Ishigaki Island, southwest Japan, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 45 (3), 247-258.
- ⑥ 東田他 (2006) 石垣島の降水の水素・酸素同位体組成および化学組成の特徴, *地球化学*, 40, 111-123.
- ⑦ 石垣島地方気象台 (2011) 八重山地方の気候変動, 20pp.
- ⑧ 澤田 (2019) 石西礁湖の化石サンゴ年輪による9~11世紀の海洋環境復元, 名古屋大学環境学研究科博士前期課程修士論文.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0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 阿部 理・森本真紀・野坂信之	4. 巻 60
2. 論文標題 石西礁湖内に広く分布する黒点の解析とその応用	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 号外海洋	6. 最初と最後の頁 63-69
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 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 阿部 理，森本 真紀，浅海 竜司，中塚 武
2. 発表標題 石垣島化石サンゴ年輪を用いた中世気候異常期の海水温および塩分の復元
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

1. 発表者名 宮西勇太，高村一希，勝田長貴，森本真紀，安田敦，川上紳一
2. 発表標題 原生代前期ストロマトライトの縞状構造における高分解能解析：安定同位体比と化学組成分析
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

1. 発表者名 安田晃治，勝田長貴，森本真紀，阿部理，内藤さゆり，川上紳一
2. 発表標題 トゥファ年輪の酸素・炭素同位体高分解能分析と形成年代の検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大宮奈美, 伊佐治佑太, 森本真紀
2. 発表標題 濃尾平野北部における降水同位体の季節変化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高村一希, 勝田長貴, 森本真紀, 安田敦, 川上紳一
2. 発表標題 原生代前期ストロマトライトの化学組成・炭素酸素同位体比の高分解能解析
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田浩加, 森本 真紀, 勝田 長貴
2. 発表標題 濃尾平野における降水同位体の南北分布
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017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