

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2015

課題番号：24654159

研究課題名(和文) 鍾乳石から過去数千年間の津波履歴を読む

研究課題名(英文) Speleothems as past-tsunami archives over the last several centuries

研究代表者

山田 努 (YAMADA, Tsutomu)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：50321972

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：鍾乳石を用いた津波履歴の復元可能性を検討し、東北地方太平洋沿岸部における過去数千年間の津波履歴復元を試みた。東日本大震災で被災した気仙沼市神明崎や港町の洞穴(石灰洞)を精査し、津波が洞穴や鍾乳石に与えた影響や痕跡を明らかにした。採取した鍾乳石の表面には、泥などの碎屑物と共に海棲生物骨格も付着しており、津波の痕跡として残る可能性が考えられた。鍾乳石には内部の複数の成長中断跡が認められるものがあり、過去の津波の影響で形成された可能性を示す。

研究成果の概要(英文)：This study aim to investigate potential of speleothems as past-tsunami archives and to retrieve tsunami history over the past several centuries on the Pacific side of Northeast Japan. The disaster situations of limestone caves at Shinmei-saki and Minato-machi (Kesennuma, Miyagi Prefecture) attached by the Great East Japan Earthquake and subsequent tsunami were surveyed. Remains of some marine organisms as well as fine-grained siliciclastic sediments were found on the surface of several speleothems. These impurities as a marker of tsunami inundation will be fixed by calcium carbonate and be incorporated into the speleothem. Some speleothems collected from lower-elevation site have growth hiatuses which may indicate influence of past-tsunami inundations.

研究分野：同位体地質学

キーワード：鍾乳石 津波履歴 東北地方

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 2011. 3. 11 に発生した大津波は、鍾乳石を用いた気候変化の研究の対象の一つであった宮城県気仙沼市の洞穴群にも押し寄せた。震災直後の調査では、洞口標高の高い(海拔約 11m)の洞穴は海水の流入が辛うじて免れたが、近傍の洞口標高の低い洞穴(海拔約 6m と 0m)には海水が流入したことを確認した。したがって、内部の鍾乳石は一時的に海水に没し、その表面には「津波(海水)の痕跡」が刻まれたと予想した。これら 3 つの洞穴を含む近傍の洞穴内の鍾乳石をあわせて分析すれば、津波の時期と規模(浸水深)に関する情報が得られる可能性があると考えた。

(2) 貞観地震津波などの歴史津波の研究(例えば、Minoura & Nakaya, 1991)は東日本太平洋沖地震津波以前から行われていたが、これら歴史津波の存在は津波堆積物の調査や古文書の記述によって明らかにされてきた。従来手法では、津波堆積物が後世の人的な土地改変などで失われてしまえば津波履歴を認定することができなくなる。しかし、沿岸部で人類の影響をあまり受けずに過去数百~数千年間連続的に成長し、幾度となく津波の影響を受けた鍾乳石には成長様式や化学成分の変化として津波履歴が消去されずに残されていることが期待されるとともに、それらの年代も特定できる可能性がある。

### 2. 研究の目的

東北地方太平洋沿岸部の鍾乳石を用いた津波履歴の復元可能性を検討し、過去数千年間の津波履歴復元を試みる。

### 3. 研究の方法

(1) 東北地方太平洋沿岸にある洞穴(気仙沼湾奥の神明崎洞穴群の 9 洞穴、港町の 3 洞穴、唐桑町の 1 洞穴)と、震災復興関連の工事中に発見された陸前高田市の洞穴および鍾乳石記録の比較対象として内陸の洞穴(岩手県紫波町)を調査した。地震動による鍾乳石に破壊状況や浸水状況を詳細に調べるとともに、各洞穴の洞口標高、洞内外の浸水深、研究対象の鍾乳石の標高を正確に測量した。必要に応じて、各洞穴の測図も作成した。

(2) 神明崎の 3 洞穴から採取した 9 本の石筍と 1 つのカーテン、陸前高田市の洞穴から採取した 1 本の石筍および紫波町の洞穴から採取した 2 本の石筍を研究対象とした。採取した鍾乳石の内、3. 11 津波で浸水したものについては、それらの表面に付着していた泥や植物片などを採取後に成長方向に切断した。その他の鍾乳石も成長方向に切断し、研磨した切断面を肉眼および実体鏡で観察・記載した。また、成長軸を含む薄片(厚さ 0.5 mm 程度)を作成し、白色の落射光で顕微鏡観察するとともに、波長 365 nm の紫外線を照射

しての観察も行った。

(3) 各鍾乳石の成長年代を決めるために、ウラン系列年代測定を試みたが不調に終わったため、間接的な方法での年代推定を行った。すなわち、鍾乳石の年縞に基づく年代推定および、いくつかの石筍の成長基盤となっていた洞内堆積物中に含まれる哺乳動物化石の動物相に基づく年代推定、炭素 14 年代測定、フッ素含量に基づく年代推定を試みた。

### 4. 研究成果

(1) 調査した全 15 洞穴の内、内陸の洞穴(紫波町)、陸前高田市の洞穴および神明崎の 2 洞穴(洞口標高が 8 m 以上)を除く洞穴には、3. 11 津波が流入した痕跡(瓦礫や貝殻・海藻の堆積・付着など)が認められた。特に、神明崎先端部に開口する管弦窟では、標高約 6.3 m までの壁面に流入した海水によって運ばれたと考えられる海藻片等が付着しており、また、標高約 4.0 m には明瞭な浸水ライン(図 1)が認められた。これらの標高は、神明崎付近での津波痕跡高と調和的な値であった。



図 1 気仙沼神明崎管弦窟内の鍾乳石表面に残る 3. 11 津波の浸水跡(標高約 4 m)

(2) 神明崎の管弦窟から採取した鍾乳石(KKT-2、KKT-4 および KKT-5; 図 2)の表面には、泥が付着しており、その中には植物片と共に海棲の底生有孔虫殻が複数含まれていた。鍾乳石の成長と共に、今後これらの付着物(ケイ酸塩碎屑物と海棲生物骨格)が鍾乳石内部に取り込まれれば、津波の痕跡として利用できると思われる。

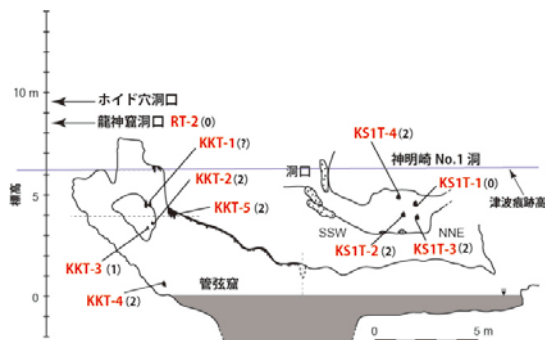


図 2 気仙沼神明崎の鍾乳石の標高と各鍾乳石内に認められる不連続面の数(かっこ内の数字)

(3) 神明崎の洞穴から採取した鍾乳石（石筍9本およびカーテン1つ）には、その内部に明瞭な成長中断跡が認められるものがあった（図3）。また、表面の凹部に成長中断時に集積したと考えられる碎屑物を含む石筍もあった。成長中断の数は、一般に標高の低いところに位置していた鍾乳石に多く、龍神窟（洞口標高が8.6m）で採取した長さ約40cmの石筍内部には明瞭な成長中断の跡は認められなかった。

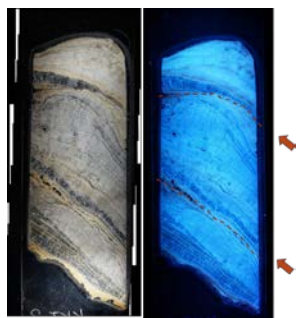


図3 気仙沼神明崎の鍾乳石内部に認められる成長中断の痕跡（矢印で指し示した点線の位置）。左は白色光、右は波長365 nm 紫外線照射による薄片写真。成長方向は下から上。

(4) 鍾乳石中に認められる成長中断の時期を特定するために放射年代測定を試みたが不調に終わったため、間接的な年代推定を行った。鍾乳石中にしばしば認められる年縞は有用な時間軸を与えうるが、適用にはいくつかの条件が必要となる（例えば、Kurisaki & Yoshimura, 2008; 加藤ほか, 2013）。神明崎の鍾乳石のいくつかは現在も成長中であるという明確な証拠が得られなかった。また、特にその表面近傍（つまりは最近成長したと考えられる部位）での年縞が不明瞭な場合が多かった。そこで次善の策として、管弦窟の石筍が成長基盤とする堆積物中に含まれる動物化石を用いて年代の推定を試みた。

(5) 管弦窟の洞内堆積物には多くの動物化石が含まれている。これらの化石には放射性炭素年代測定に必要なコラーゲンが含まれておらず、フッ素含量による年代の推定を行った。その結果、更新世最後期から完新世初に生息していた動物遺体であると推定された。したがって、この堆積物上に成長していた石筍は、主に完新世に成長したものであると推定された。しかし、各鍾乳石内部にみられる成長中断跡の年代および鍾乳石間での対比に必要なデータを得ることはできなかった。

(6) 洞床の堆積物にも津波痕跡が残っている可能性があるため、これら堆積物についても調査を行った。いくつかの洞穴では、3.11津波と共に瓦礫や泥あるいは貝などの海棲生物が流入して堆積していたが、いずれの洞穴も狭いため、人間が洞内に入ったために堆積物が擾乱を受けており、津波履歴を解明するための媒体として適したものではなかった。

(7) 神明崎洞穴群の浸水状況や採取した鍾乳石の状態（特に表面への付着物）などの観察結果も参考にして、津波履歴の記録媒体としての鍾乳洞や鍾乳石の可能性を考察した。上述のように、津波が流入した洞穴の鍾乳石の表面には泥および枯葉や海藻片などが付着する場合があります。それらの物質がその後通常の鍾乳石の成長に伴って付加していく炭酸カルシウムで固定される可能性がある。また、津波流入時の鍾乳石成長表面において海塩由来の成分（例えば硫酸塩）の濃度が他の部分よりも高くなる（直接的に海水に接したことが原因である場合と、洞内に滴下水を供給する石灰岩体やその上位の土壌層に残存した海塩由来成分が降水に溶存して滴下水として供給される場合が考えられる）ことや、塩害による植生変化（ただし、神明崎では津波前後で顕著な植生変化の証拠は見いだせなかった）に起因するたとえば鍾乳石の炭素同位体組成の変化すること、なども鍾乳石に残されうる津波痕跡の候補と考えられる（図4）。しかし、低い標高に位置する洞穴内の鍾乳石は、高潮などによっても海水の影響を受ける可能性があり、津波の影響との識別に注意を要すると考えられ、今後の課題でもある。



図4 津波などにより一時的に海水に没した鍾乳洞・鍾乳石に記録されうる痕跡

#### <引用文献>

- ① Minoura, K., & Nakaya, S., 1991. Trace of tsunami preserved in inter-tidal and marsh deposits of the Sendai Plain, northeast Japan. In: K.P. Stark (ed.), Proceedings of the 4th Pacific Congress of Marine Science and Technology. PACON 90, Tokyo, 141-144.
- ② Kurisaki, K. and Yoshimura, K. 2008, Novel dating method for Speleothems with microscopic fluorescent annual layers. *Analy. Sci.*, 24, 1-6.
- ③ 加藤大和・山田 努・栗崎弘輔・吉村和久, 2013. 岩手県内間木洞の石筍に見られる年縞幅の変化とその要因. *月刊地球*, 409, 603-607.

## 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2件)

- ① 山田 努・加藤大和、宮城県気仙沼市の管弦窟で発見された第四紀後期の哺乳類化石に富む洞窟堆積物、洞窟学雑誌、査読有、40巻、2015、1-24
- ② 山田 努・加藤大和、東日本大震災による気仙沼神明崎洞穴群の被災状況、洞窟学雑誌、査読有、38巻、2013、37-51

[学会発表] (計3件)

- ① 山田 努・加藤大和、鍾乳石に津波記録は残るか? 日本地質学会第121年学術大会、2014年9月15日、鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)
- ② 山田 努・加藤大和、古津波記録書としての鍾乳石の可能性、鍾乳石に津波記録は残るか? 日本洞窟学会第40回大会、2014年9月6日、西海公民館(長崎県西海市)
- ③ 山田 努・加藤大和、東日本大震災により被災した宮城県気仙沼神明崎・港町の洞穴群、日本洞窟学会第39回大会、2013年11月17日、銀座ルノアール新宿区役所横店会議室(東京都新宿区)

[その他]

- ① 被災地から-東日本大震災 「震災の記録の刻む? 鍾乳洞」(産経新聞)、2012年11月11日朝刊
- ② 写真劇場 「宮城県気仙沼市 震災くぐり抜けた龍神窟」(SANKEI EXPRESS)、2012年11月11日
- ③ 気仙沼の龍神窟調査 同行ルポ 「鍾乳洞 静寂の時刻む」(河北新報)、2012年6月10日朝刊

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山田 努 (YAMADA, Tsutomu)

東北大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号: 50321972