

津波の発生した季節を貝殻から解明

北村 晃寿
Kitamura Akihisa

1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震はマグニチュード9の巨大地震で、それによる巨大津波は沿岸地域に壊滅的な被害を与えた。そのため、国は南海トラフの海溝型地震の被害想定を、「想定外のない想定」という方針に変更し、これまで防災対策の対象としてきた「東海地震、南海地震、南海地震とそれらが連動するマグニチュード8クラスの地震・津波」を「レベル1の地震・津波」とし、「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波」を「レベル2の地震・津波」とした。前者の発生間隔は約100～150年であるのに対して、後者は千年あるいはそれよりも発生頻度が低いが、発生すれば津波高10m以上の巨大な津波が13都県に襲来し、国難とも言える巨大災害になるとした。国は、この報告の中で、レベル2の地震・津波の想定は限られた科学的知見によるので、津波堆積物調査等の促進を図り、巨大地震・津波の全容を解明するための努力が必要と述べている。

この提言を受け、筆者は共同研究者や自治体と共に、津波堆積物調査がほとんど行われていなかった静岡県中・東部の海岸低地を調査している¹⁻⁸⁾。更に、筆者は、これらと先行研究⁹⁾を総括し、静岡県の過去4,000年間の地層・地質記録にはレベル2（詳しく言うと、11ケースのシナリオのうち、静岡県で最大被害の出るケース1のシナリオ）の津波の発生の証拠がないことを明らかにした¹⁰⁾。ケース1は首都圏でも最大被害の出るシナリオなので、この知見は首都圏の防災に関しても重要である¹¹⁾。

このような津波堆積物の調査は、日本はもとより世界各国で行われており、その際には、地点間での

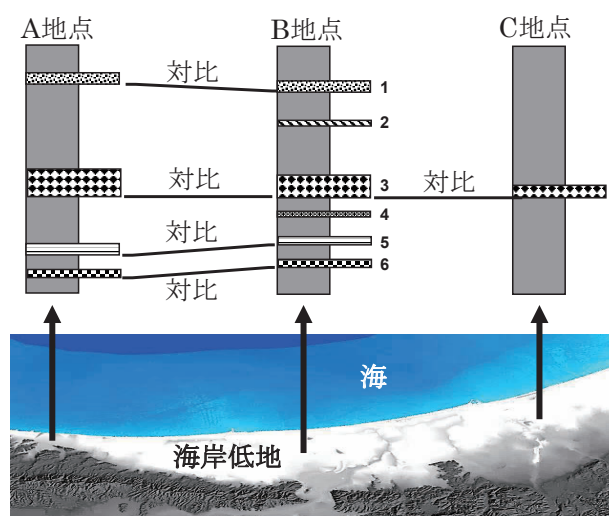


図1 対比の概念図

津波堆積物層の対比が重要である。対比とは、離れた地域に分布する地層が同時に堆積したかを検討することである。例えば、A地点で4層、B地点で6層、C地点で1層の津波堆積物層が分布する場合、対比により、全地点に分布する津波堆積物層が識別されたならば、それは他のものより規模の大きい津波の痕跡と考えられる（図1）。地層の堆積年代が数千年前以降の場合、津波堆積物層の対比には¹⁴C年代測定が有効である。筆者らは、¹⁴C年代測定と合わせることで、対比の精度をより高める方法を先島諸島の津波堆積物を例に提示した¹²⁾。すなわち、津波堆積物中の二枚貝の貝殻の酸素同位体比（以下では $\delta^{18}\text{O}$ ）による津波の発生季節の特定である。本稿では、この方法を紹介するが、それに先立ち、津波堆積物、先島諸島の巨大津波、二枚貝の貝殻の $\delta^{18}\text{O}$ について概説する。

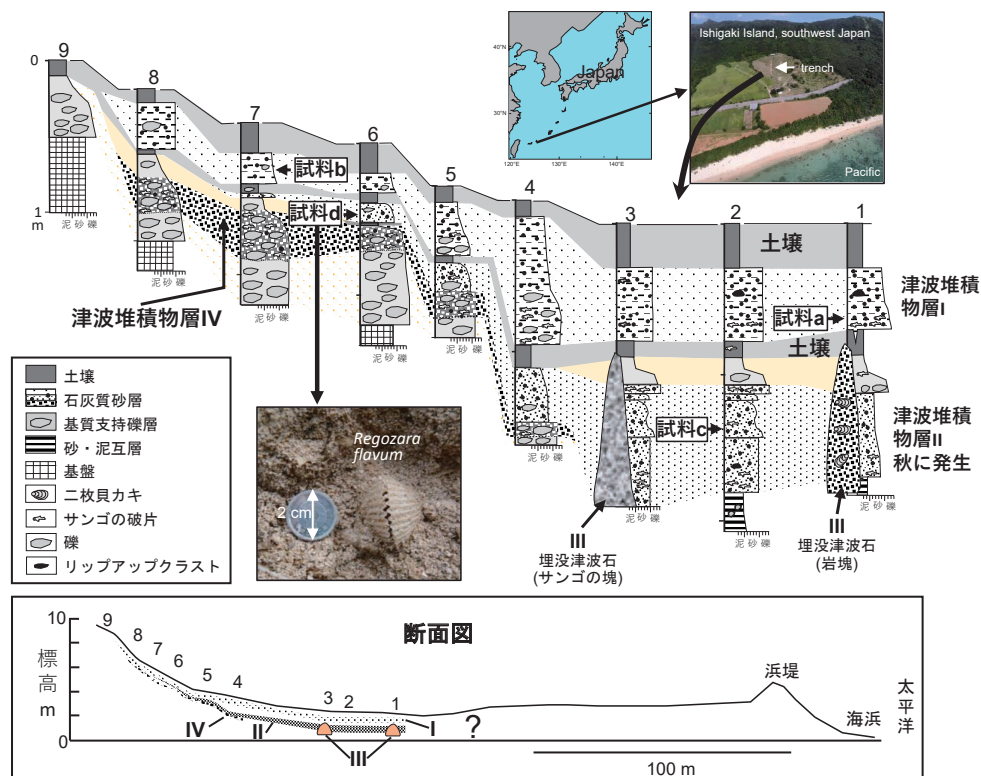


図2 石垣島の位置，トレンチの場所，トレンチの柱状図，本研究で分析した二枚貝試料の採取位置及び産状の写真

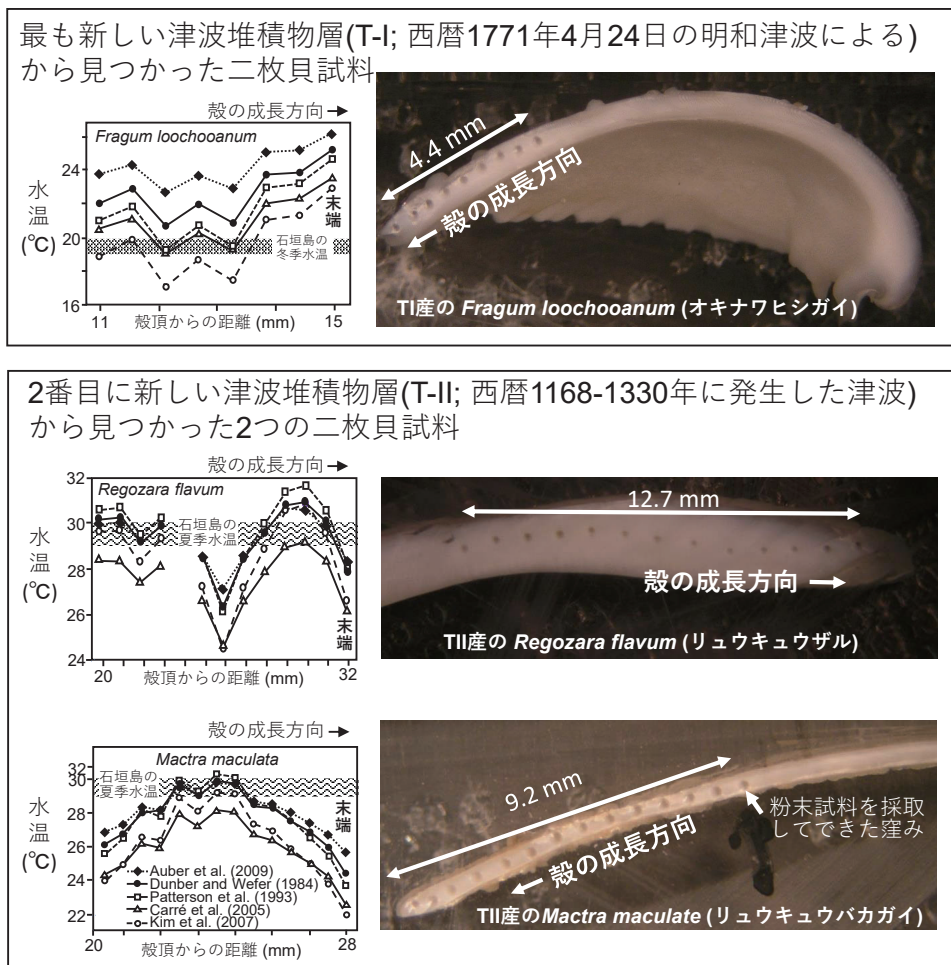
2. 津波堆積物

津波堆積物とは、津波により移動し、波が引いた後に地表・湖沼底・浅海底に残された泥、砂、礫等の堆積物の総称である。海側からの突発的な流水には、津波以外にも高潮があるため、津波堆積物と高潮堆積物の識別について活発に議論されており、次のように砂質堆積物の運搬力は、巨大高潮より巨大津波のほうが大きいことが明らかになっている。すなわち、2013年のスーパー台風ハイヤンでは、遡上高が13 mに達した低地における砂質高潮堆積物の陸側末端は内陸1.7 kmの標高2 mまでである¹³⁾。一方、東北地方太平洋沖地震の砂質津波堆積物の陸側末端に関しては、仙台平野の低地で津波が内陸4.5 kmまで遡上した所では、砂質津波堆積物が2.8 kmまで分布している。また、同平野の海岸に面した丘陵地帯で津波が内陸2.2 km、標高6.9 mまで遡上した所では、砂質津波堆積物が内陸2.0 km、標高5.5 mまで分布しているのである¹⁴⁾。これらはまた砂質堆積物の分布から高潮・津波の規模を復元できることを示す。そして、復元した津波の規模から

津波波源モデルを作成し、地震のマグニチュードを推定できる。つまり、巨大津波・地震の実態解明には津波堆積物の面的分布の調査は極めて重要で、この際に地点間での津波堆積物層の対比が最重要課題となるのだ。

3. 先島諸島の巨大津波

西暦1771年4月24日、沖縄県南西部の先島諸島に巨大津波が襲来した。この巨大津波は八重山津波あるいは明和の大津波と呼ばれ、津波遡上高は石垣島南東岸で最高で30 mに達し、2011年東北地方太平洋沖地震津波と1896年明治三陸地震津波に次ぐ規模である。先島諸島全体で約12,000人が亡くなったと推定されている。1771年の巨大津波は多数のサンゴ塊の巨礫を打ち上げた。これらを津波石といい、大きいものは11×9×6 mもある。更に、津波石の¹⁴C年代測定によって、1771年の津波以前の大津波で打ち上がった津波石が多数見つかった¹⁵⁾。しかし、津波石では津波の遡上限界を推定できないという問題があった。この状況を打開したのは、



Ando *et al.* (2018)¹⁶⁾ による石垣島の太平洋岸の丘陵斜面からの3層の砂質津波堆積物層と埋没津波石の発見である(図2)。彼らは、これらを上位から、T-I, T-II, T-III, T-IVと命名し、T-Iは1771年の津波、T-II, T-III, T-IVの堆積年代(津波発生年代)は、西暦1950年を基準として、920-620年前、1,670-1,250年前、2,700-2,280から1,670-1,250年前と推定した。更に、砂質津波堆積物層I, II, IVの陸側末端高度は、9 m, 6 m, 8 mであることを明らかにした。

Ando *et al.* (2018)¹⁶⁾ は砂質津波堆積物層T-IとT-IIの年代決定に津波堆積物層から見つかった特異な埋没状態の二枚貝一殻が閉じており、殻の内側が空で、殻表面が摩滅していない一を用いた(図2)。このような埋没状態の二枚貝がT-IとT-IIからそれぞれ2個体が見つかり、それらの¹⁴C年代値は、同じ津波堆積物層から採取した試料では極めて高い一

致を示した。年代値の一致と埋没状態を考え合わせると、これらの貝殻は、津波によって生きたまま運ばれ、埋没し、その死後、軟体部が腐敗し、殻の内側が空になった状態で化石になったと推定される。よって、これらの貝が死んだ季節が津波の発生した季節ということになる。

4. 二枚貝の成長と貝殻の $\delta^{18}\text{O}$

二枚貝の成長と貝殻の $\delta^{18}\text{O}$ を概説するが、詳細は筆者が2018年に公表した日本語の総説¹⁷⁾を参考いただきたい。

二枚貝類の貝殻は、貝殻物質(アラレ石・方解石)を縁辺部に付加して成長する。成長速度は、誕生当初は遅く、徐々に増加し、性成熟後は次第に遅くなり、最終的には成長は停滞する。貝殻のアラレ石や

方解石の $\delta^{18}\text{O}$ は、海水の $\delta^{18}\text{O}$ とはほぼ同位体平衡が成立しており、かつそれらの $\delta^{18}\text{O}$ は殻形成時の水温に依存することが判明している。しかし、無機沈殿させたアラレ石や方解石から得られた温度と海水の $\delta^{18}\text{O}$ の関係式からわずかにずれ、ずれ方は種によって異なる¹⁷⁾。したがって、研究対象種の $\delta^{18}\text{O}$ からの水温換算式を検討することが望ましい。

5. 貝殻の $\delta^{18}\text{O}$ に基づいた津波の発生季節

前述の石垣島の砂質津波堆積物層 T-I と T-II から採取した特異な埋没状態の二枚貝の貝殻を樹脂に埋包し、貝殻の最大成長方向に切断し(図3)、 $\delta^{18}\text{O}$ を測定し、貝殻成長時の水温変化を復元した。測定した種は、T-I 産試料は *Fragum loochooanum* (オキナワヒシガイ) で、T-II 産試料は *Regozara flavum* (リュウキュウザル) と *Macra maculate* (リュウキュウバカガイ) である。これらの種の水温換算式は無いので、筆者らは先行研究で報告された5つの水温換算式を用いた(図3)¹⁸⁻²²⁾。その結果、T-I 産試料は、水温上昇期に殻成長が終了(貝の死亡)しており、1771年の津波の発生時期(4月24日)と符合する。そして、T-II 産の2試料は、殻の成長速度は違うがともに水温低下期に殻成長が終了していたので、津波の発生季節は秋と推定される(図3)¹²⁾。

ところで、先島諸島の津波石²³⁾や砂質津波堆積物¹⁶⁾の年代決定は、サンゴや海生貝類の ^{14}C 年代測定で専ら行われているが、年代決定には海洋リザーバー効果を考慮する必要がある。海洋表層部の ^{14}C 濃度は、大気中に比べて平均5%低く、これは海洋への溶解に要した時間のうちに放射壊変するためである。これを海洋リザーバー効果(R値)といい、平均値は400年だが、 ^{14}C の低い深層水循環の影響を受けるので、場所によって異なる。これをローカルリザーバー効果(ΔR 値)という。 ΔR 値は、人為的な ^{14}C の大量放出のあった核実験以前の時代の、「生きたまま採取されかつ採取日が分かっている試料」あるいは「サンゴ骨格や貝殻の成長線の計数から石灰質硬組織の形成時期を特定できる試料」が得られる場所では、 ΔR 値の時代変化を復元できる。最近、Hirabayashi *et al.* (2017)²⁴⁾は石垣島と鹿児島県喜界島のサンゴから、西暦1900~1950年の ΔR 値の時代変化を明らかにし、平均値は -36 ± 78 だが、

1947~1950年の間の ΔR 値の季節変化の範囲は -136 ± 42 から 62 ± 42 に及ぶことを明らかにした。この ΔR 値の変化は約200年の年代差をもたらす。このような状況なので、本稿で示した津波の発生季節の特定は、津波堆積物層の対比の精度の向上に重要な役割を果たす。

6. まとめ

石垣島の砂質津波堆積物に見られた「特異な埋没状態」の二枚貝の貝殻の $\delta^{18}\text{O}$ 分析から、津波の発生季節を推定できることを、世界で初めて明らかにした。この方法は、世界各地の地震・津波の対策に不可欠な津波堆積物の研究に新たな研究アプローチを与える。

参考文献

- 1) 北村晃寿, 他, 静岡大学地研報, **38**, 3-19 (2011)
- 2) 北村晃寿, 他, 静岡大学地研報, **40**, 1-12 (2013)
- 3) 北村晃寿, 他, 第四紀研究, **53**, 259-264 (2014)
- 4) 北村晃寿, 他, 地学雑誌, **123**, 813-834 (2014)
- 5) 北村晃寿, 他, 静岡大学地研報, **42**, 1-14 (2015)
- 6) 北村晃寿, 他, 静岡大学地研報, **45**, 1-16 (2018)
- 7) Kitamura, A., *et al.*, *The Holocene*, **23**, 1682-1696 (2013)
- 8) Kitamura, A., *et al.*, *The Holocene*, **24**, 814-827 (2014)
- 9) 藤原 治, 他, 地学雑誌, **122**, 308-322 (2013)
- 10) Kitamura, A., *Progress in Earth and Planetary Science*, **3**:12 (2016)
- 11) 北村, 学術の動向, **11**, 34 (2016)
- 12) Kitamura, A., *et al.*, *Marine Geology*, **403**, 57-61 (2018)
- 13) Pilarczyk, J.E., *et al.*, *Sedimentary Geology*, **339**, 104-114 (2016)
- 14) Abe, T., *et al.*, *Sedimentary Geology*, **282**, 142-150 (2012)
- 15) Goto K., *et al.*, *Earth Science Review*, **102**, 77-99 (2010)
- 16) Ando, M., *et al.*, *Tectonophysics*, **722**, 265-276 (2018)
- 17) 北村晃寿, 第四紀研究, **57**, 19-29 (2018)
- 18) Aubert, A., *et al.*, *Coral Reefs*, **28**, 989-998 (2009)
- 19) Dunbar, R.B., *et al.*, *Marine Geology*, **59**, 215-225 (1984)
- 20) Patterson, W.P., *et al.*, *Geophysical Monograph Series*, **78**, 191-202 (1993)
- 21) Carré, M., *et al.*, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **228**, 4-25 (2005)
- 22) Kim, S.-T., *et al.*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **71**, 4704-4715 (2007)
- 23) Araoka, D., *et al.*, *Geology*, **41**, 919-922 (2013)
- 24) Hirabayashi, S., *et al.*, *Journal of Quaternary Science* **32**, 1-6 (2017)

(静岡大学 理学部地球科学科)