短 報

静岡県下田市海岸から発見された津波石

北村晃寿*1.a·大橋陽子*2·宮入陽介*3·横山祐典*3·山口寿之*4



静岡県下田市大浦湾奥の海食台で、離水した海生固着動物の遺骸が付着した巨礫を発見した. 巨礫の長軸,中軸,短軸はそれぞれ3.4m,2.5m,2.5mで,重量は約32tと推定される.巨礫の 陸側に傾いた平坦面の標高約0.7~2.2mに遺骸が見られ、フジツボ類を主体とし、Pomatoleios kraussiiの棲管と Saccostrea kegaki などを随伴する.それらの¹⁴C年代測定の結果,最も若い年 代値(2o)は西暦1720年~1950年を示すことが分かった.この年代値と海生固着動物の生態お よび歴史記録から、巨礫は西暦1854年の安政東海地震に伴う津波によって転動した津波石と推 定される.

キーワード:安政東海地震,津波石,下田,離水海生動物遺骸,AMS¹⁴C年代測定

I. はじめに

数 m~十数 m の大きさの巨礫が津波で移動すること があり,日本では「津波石」現象として知られている(例 えば,後藤,2009).静岡県下では,西暦 1854 年の安 政東海地震や 1707 年の宝永地震などに伴う大津波が襲 来したが,我々の知る限り,津波石の報告はない.今回, 我々は静岡県下田市大浦湾奥の海食台で,離水した海生 固着動物の遺骸が付着した巨礫(以下では巨礫 I とす る)を発見した.そして,動物遺骸の AMS¹⁴C 年代測定 から,巨礫 I は西暦 1854 年の安政東海地震に伴う津波 によって転動した津波石であることが分かったので報告 する.

II. 巨礫 | と海生固着動物遺骸の記載

巨礫 I は,下田市大浦湾奥の海食崖の根元に広がる海 食台にある(図1,2).海食崖の高さは約20mで,白 浜層群の安山岩質角礫岩が露出する(松本ほか,1985). 海食台は崖の根元から約74m沖まで広がり,安山岩質 角礫岩からなる長径1m以上の巨礫が60個余り見られ る. 巨礫 I は海食崖の根元から約 23.2 m 海側に位置し (北緯 34 度 39 分 58.8 秒, 東経 138 度 56 分 19.1 秒), その直下の海食台の標高は約 0 m (東京湾平均海面) で ある. 角ばった形状で,長軸,中軸,短軸はそれぞれ3.4 m,2.5 m,2.5 m である. 巨礫 I の長軸の方向は N71°W で,海岸線にほぼ平行である. 巨礫 I の陸側に傾いた平 坦面の標高約 0.7~2.2 m に遺骸が見られ (図 3), 直径 約 1 cm のフジツボ類が卓越し, Pomatoleios kraussii (ヤッコカンザシ)の棲管を伴い Saccostrea kegaki (ケ ガキ)をわずかに含む. 一方,これらの動物群の生体は, 巨礫 I には見られない.

III. 方 法

巨礫 I に固着する動物遺骸を採取し,室内でクリーニ ングし,種同定の後、5 試料の¹⁴C 年代を東京大学大気 海洋研究所の所有するシングルステージ加速器質量分析 装置 (YS-AMS) で測定した.年代測定に供した試料は, 2 個体の *S. kegaki*, 2 個体の *Tetraclitella chinensis* (ム ツアナヒラフジツボ) と 1 つの *P. kraussii* の棲管であ る (図 4). 試料調整は Yokoyama *et al.* (2007) の方法に

²⁰¹⁴年4月16日受付. 2014年8月3日受理.

^{*1} 静岡大学大学院理学研究科 〒422-8529 静岡市駿河区大谷 836.

^{*2} 静岡大学理学部 〒422-8529 静岡市駿河区大谷 836.

^{*3} 東京大学大気海洋研究所 〒277-8564 柏市柏の葉 5-1-5.

^{*4} 神奈川大学理学部 〒259-1293 平塚市土屋 2946.

^{*}a Corresponding author : seakita@ipc.shizuoka.ac.jp



図1位置図

(a) 伊豆半島の位置と安政東海地震に伴う津波の波高 (m). 波高は渡辺 (1998) に基づく. (b) 巨礫 I (★) の位置.

Fig. 1 Location maps of the study site

(a) Map of the Izu peninsula showing the distribution of tsunami wave heights (m) caused by the AD 1854 Ansei-Tokai earthquake (after Watanabe, 1998). (b) Map of study site. Star means the site of tsunami boulder I.



17 March 2014 (10:30 am on Japan Time)

図 2 海食台に点在する巨礫 Fig. 2 Boulders on the wave-cut bench at the study site

従った.今回の放射性炭素年代値の計算に用いる δ^{13} C値は、AMS で測定された δ^{13} C値を用いた(表 1).加速器質量分析計で得られる δ^{13} C値は、分析試料の前処理過程やAMS分析計内での試料のイオン化時などにおこる同位体分別効果を含んだ値であり、測定試料本来の δ^{13} C値とは同値とならない場合がある.しかしながら、 14 C-AMS測定に至るまでの全過程を含んだ δ^{13} C値であ

るため、本来この値を使用するのが最も適当であり、今 回も放射性炭素年代値の算出にはこれを採用した。年代 値は補正曲線には Marine 13 (Reimer *et al.*, 2013)、 ローカルリザーバー補正には Yoneda *et al.* (2000) が下 田の海生貝類から得た *AR*=109±60 を使用し、OxCal v4.2.3 で暦年較正した (図5). 巨碟 I の重量を算出す るために、現地で安山岩質角礫岩からなる大礫 3 個の



図 3 巨碟 I の離水海生固着動物遺骸 番号は¹⁴C 年代測定用試料を示す.

Fig. 3 Emerged sessile assemblages on boulder I Numbers mean fossil specimens used for $\rm ^{14}\!C$ dating.



図 4 ¹⁴C 年代測定とした試料

1, 2: Tetraclitella chinensis (ムツアナヒラフジツボ), 3: Pomatoleios kraussii (ヤッコカンザシ)の棲管, 4, 5: Saccostrea kegaki (ケガキ).

Fig. 4 Photographs of fossil specimens used for ${}^{14}C$ dating

1, 2 : Tetraclitella chinensis, 3 : tube of Pomatoleios kraussii, 4, 5 : Saccostrea kegaki.

表 1 ¹⁴C 年代測定の結果

Table 1 Results of 14C dating

Sample no.	Laboratory number	Altitude (m above msl)	Materials	δ^{13} C measured by AMS (‰)	Conventional ¹⁴ C age (yr BP)	Calibrated age (2σ) (cal AD) (95.4%)
1	080523-1	2.20	Tetraclitella chinensis	-13.73	631±68	1682 (95.4%) 1950
2	080806-10	2.02	Tetraclitella chinensis	-14.02	644±34	1680 (92.5%) 1900 1930 (2.9%) 1950
3	080523-2	1.78	Pomatoleios kraussii	3.47	504±62	1720 (1.7%) 1740 1750 (4.1%) 1790 1800 (89.6%) 1950
4	080523-3	1.65	Saccostrea kegaki	15.25	974±106	1300 (95.4%) 1660
5	080523-4	1.44	Saccostrea kegaki	10.79	780±90	1450 (95.4%) 1860

A regional marine reservoir effect of $\Delta R = 109\pm60$ was adopted.



Fig. 5 Calibrated ages of fossil sessile collected from boulder I See Table 1 for sample numbers.

体積と重量を測定し、密度を求め、巨碟 I の計測値と写 真から 50 分の 1 の模型を作成し、体積を求めた.

IV. 結 果

巨礫 I の体積は約 16.3 m³と算出された.大礫 3 個の 体積・重量から得た安山岩質角礫岩の平均密度は 1.9 g/ cm³ である.これらの値から,巨礫 I の重量は約 32 t と 算出された.すべての試料は暦年代 (2σ) で西暦 1300 年から 1950 年の範囲にあり,最も若い年代値と古い年 代値 (2σ) は,それぞれ試料 3 の西暦 1720 年~1950 年, 試料 4 の西暦 1300 年~1660 年である (図 5,表 1).

V. 考 察

下田市周辺での最大潮(位)差は約1.7mであり(気 象庁, 2014), 巨碟 I の直下の海食台の標高は約0mであ る. しかしながら, 巨碟 I には S. kegaki, T. chinensis, P. kraussii の生体は見られない.

Kitamura et al. (2014) によると、下田市周辺におけ る P. kraussii の生息上限高度は標高 0.1~0.2 m であ る.山口・久恒 (2006) によると、T. chinensis は潮間帯 では干出時でも乾燥せず、波の強い影響を受けない岩陰 や礫の下面などに生息するという、一方、現在の巨礫 I の T. chinensis と P. kraussii の遺骸は太陽光の直射を 受ける標高 2.2 m まで分布し、元々の生息場とは考え られない、また、下田市周辺では S. kegaki は標高 0.5 mまで分布するが(Kitamura *et al.*, 2014),巨礫 I にお いては同種の遺骸は標高1.65 mまで分布し,満潮時で も海水に浸ることはない.これらのことから,巨礫 I の 固着動物遺骸は離水したものと解釈される.そして,最 後に離水した年代は最も若い試料の暦年代から,西暦 1720年以降と推定される.

この期間には、西暦 1729 年に下田市や南伊豆町に被 害を与えた地震が発生したが、隆起現象は記録されてい ない(宇佐美,2003).また、基盤の隆起による離水な らば、他の巨礫にも固着動物遺骸が見られるはずであ る.したがって、巨礫 I の固着動物遺骸の離水は、巨礫 I の転動によると解釈される.つまり、固着動物遺骸の 見られる平坦面は、もとは海食台に接しており、そこに 固着動物が生息していたのである.この生息状況は T. chinensis の生態とも符合する.

西暦 1720 年以降の下田市沿岸では、1944 年の東南海 地震、1923 年の関東地震、1854 年の安政東海地震に伴 う津波の被害を受けている。東南海地震の津波高は1.6 m (中央気象台、1945)、関東地震の津波高は2.3~3 m (福富、1936)と記録されており、安政東海地震の津波 高は4.4~6.8 mと推定されている(羽鳥、1977;図1). 一方、荒川ほか(1961)による日本高潮史料を調べてみ ても、西暦 1720 年以降、下田市を襲った高波の記録は ない.したがって、巨礫を最後に転動させた事象として は、西暦 1720 年以降に発生した最も高い流水エネル 南海トラフ沿岸では、和歌山県串本町橋杭岩に分布す る巨礫の一部が宝永地震の津波石と推定されている(行 谷ほか、2011; 宍倉ほか、2011).一方、我々の知る限 り、安政東海地震の津波による津波石の報告はないの で、巨礫1が初めての発見となる。

謝辞 本研究は大学ネットワーク静岡の助成金と静岡 大学防災総合センターの経費を用いた. 静岡県賀茂危機 管理局の協力を得た. 匿名の査読者と藤原 治博士のご 助言によって本論は改善された. 以上の方々に感謝申し 上げる. なお, 試料採取は富士箱根伊豆国立公園で行っ たため, 環境省関東地方環境事務所下田自然保護官事務 所から許可を得た.

引用文献

- 荒川秀俊・石田祐一・伊藤忠士(1961)日本高潮史料. 272 p, 気象研究所.
- 中央気象台(1945)昭和十九年十二月七日東南海大地 震調查概報,94 p,中央気象台.
- 福富孝治(1936)伊豆下田における過去地震津波の高 さ. 地震研究所彙報, 14, 68-74.
- 後藤和久(2009) 津波石研究の課題と展望―防災に活 用できるレベルにまで研究を進展させるために―. 堆 積学研究, 68, 3-11.
- 羽鳥徳太郎(1977)静岡県沿岸における宝永・安政東 海地震の津波調査. 地震研究所彙報, 52, 407-439.
- 気象庁 (2014) 潮位表 下田. http://www.data.kishou. go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/suisan.php?stn=D6, 2014年3月3日引用.
- Kitamura, A., Koyama, M., Itasaka, K., Miyairi, Y. and Mori, H. (2014) Abrupt Late Holocene uplifts of the southern Izu Peninsula, central Japan : Evidence from emerged marine sessile assemblages. Island Arc, 23, 51–61.
- 松本 良・片山哲哉・飯島 東(1985)伊豆半島南部 下田周辺の地質の再検討:堆積盆の変遷,火成活動と

熱水変質作用. 地質学雑誌, 91, 43-63.

- 行谷佑一・前杢英明・宍倉正展・越後智雄・永井亜沙香 (2011)和歌山県串本町橋杭岩周辺の漂礫分布の形成 要因.日本地球惑星科学連合 2011 年大会講演要旨, SSS035-12.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Haflidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, M.E., Southon, J.R., Turney, C.S.M. and van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 yr cal BP. Radiocarbon, 55, 1869–1887.
- 宍倉正展・前杢英明・越後智雄・行谷佑一・永井亜沙香 (2011) 潮岬周辺の津波石と隆起痕跡から推定される 南海トラフの連動型地震履歴.日本地球惑星科学連合 2011 年大会講演要旨, SSS035-13.
- 字佐美龍夫(2003)最新版日本被害地震総覧[416-2001]. 645 p,東京大学出版会.
- 渡辺偉夫(1998)日本被害津波総覧(第2版).238p, 東京大学出版会.
- 山口寿之・久恒義之(2006)フジツボ類の分類および 鑑定の手引き.付着生物研究,23(1),1-15.
- Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Matsuzaki, H. and Tsunomori, F. (2007) Relation between acid dissolution time in the vacuum test tube and time required for graphitization for AMS target preparation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 259, 330–334.
- Yoneda, M., Kitagawa, H., van der Plicht, J., Uchida, M., Tanaka, A., Uehiro, T., Shibata, Y., Morita, M. and Ohno, T. (2000) Pre-bomb marine reservoir ages in the western north Pacific : Preliminary result on Kyoto University collection. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 172, 377–381.

Discovery of a tsunami boulder along the coast of Shimoda, Shizuoka, Central Japan

Akihisa Kitamura^{* 1, a}, Yoko Ohashi^{* 2}, Yousuke Miyairi^{* 3} Yusuke Yokoyama^{* 3} and Toshiyuki Yamaguchi^{* 4}

We found a boulder to which emerged sessile assemblages cling, $3.4 \times 2.5 \times 2.5$ m in size and estimated at 32 tons, on a wave-cut bench at Shimoda, Shizuoka, Central Japan. The emerged sessile assemblages are distributed at 0.7-2.2 m above mean sea-level, and consist mainly of small

barnacles, oysters, and polychaetes. Based on AMS ¹⁴C dating (AD 1720-1950) and the ecology of the emerged sessile assemblages, we conclude that the boulder was rolled to emergence by a tsunami associated with the AD 1854 Ansei-Tokai earthquake.

Keywords : Ansei-Tokai earthquake, tsunami boulder, Shimoda, emerged sessile assemblages, AMS ¹⁴C dating

^{*1} Graduate School of Science, Shizuoka University. 836 Oya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529, Japan.

^{*2} Faculty of Science, Shizuoka University. 836 Oya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529, Japan.

^{*3} Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo. 5–1–5 Kashiwanoha, Kashiwa, 277–8564, Japan.

^{*4} Faculty of Science, Kanagawa University. 2946 Tsuchiya, Hiratsuka, 259-1293, Japan.

^{*}a Corresponding author : seakita@ipc.shizuoka.ac.jp