

静岡市清水区の花長寺のボーリングコアに基づく後期完新世の環境変化の復元

静岡県立磐田南高等学校

地学部地震気象班 2年 鈴木大介 伊奈朋弥 葛原敬登

1 はじめに

この研究では、静岡県静岡市清水区の花長寺の地層記録から後期完新世の環境変化を復元し、東海地震の発生場所である駿河トラフ西岸の隆起の履歴の検討を行った。駿河トラフの西岸（静岡市から御前崎市）は、ユーラシアプレートの下へフィリピン海プレートが沈み込むことにより、6~8mm/年の速度で沈降しているが、安政東海地震では約 1m の隆起(図 1) が起きたことが先行研究(石橋, 1984; Kitamura &

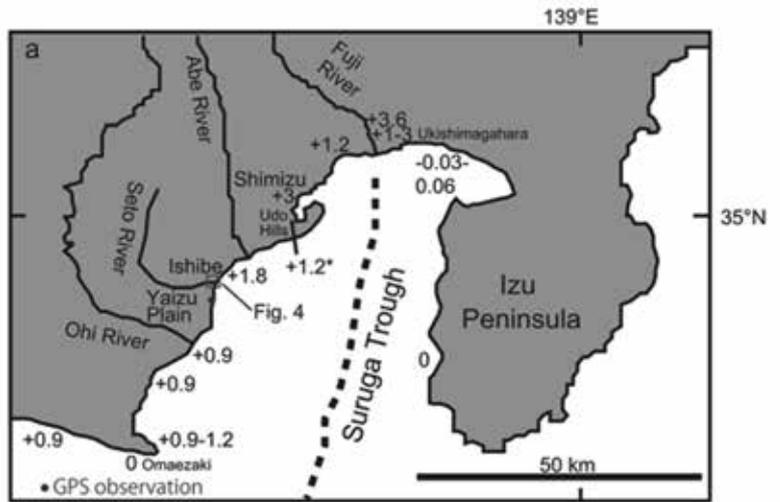


図 1 1854 年安政東海地震にともなう地震性隆起

Kobayashi, 2014) で分かっている。しかし、1707 年の宝永地震や 1498 年の明応東海地震で駿河トラフ西岸が隆起した証拠は得られておらず、駿河トラフの隆起を伴う安政型地震の発生間隔は不明なままである。

最近、御前崎で隆起貝層が発見され、1361 年の正平地震で隆起したことが明らかとなった(Kitamura, 2018)。このことは、駿河湾西岸において、地震の隆起に関する研究を行う余地が残されていることを物語る。そこで、未だ発生しない東海地震が、過去、どのように発生してきたのかを明らかにすべく、私たちはこの研究を行った。

2 先行研究

歴史地震による駿河トラフ西岸の地殻変動について、石橋(1984)は古文書などから 1854 年の安政東海地震では、約 1m 隆起したことを述べている。また、Kitamura & Kobayashi (2014) は静岡市清水地区の詳細なボーリング調査より、同様に安政東海地震で約 1 m 隆起したことを明らかにした。地形発達に関する先行研究として、松原

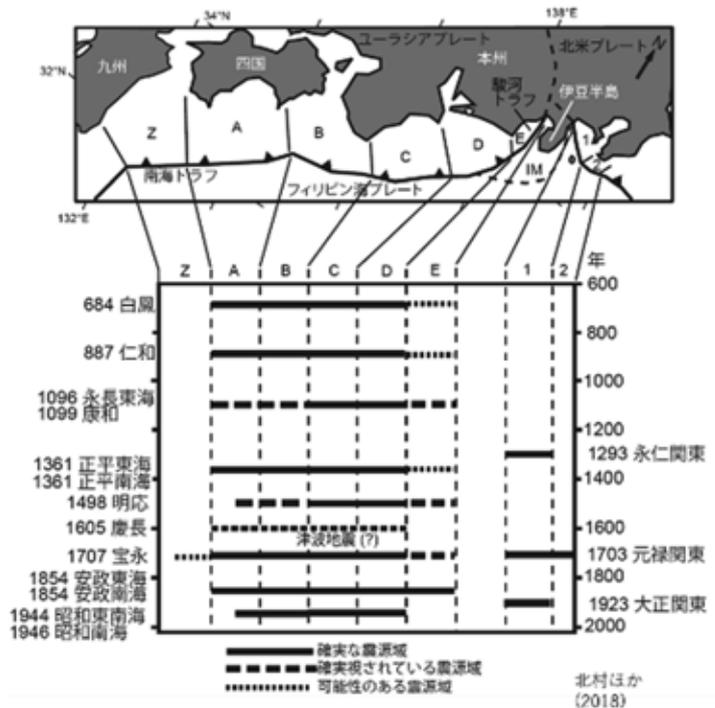


図 2 南海トラフで発生した巨大地震
北村ほか(2018)より引用

(1989) は駿河湾沿岸の低地の砂州地形の発達過程を海成層中の有孔虫解析によって復元し、完新世前半に海面上昇期に起源をもつ砂州地形を確認するとともに、砂州地形による内湾の閉塞過程を明らかにした。

3 調査地点

駿河トラフ西岸は南海トラフのEブロックに区分されている、フィリピン海プレートの沈み込みにより6~8mm/年の速度で沈降しているが、1854年の安政東海地震では約1mの急激な隆起が発生した(図1)(石橋, 1984; Kitamura & Kobayashi, 2014). この隆起を伴う地震を安政型地震と呼ぶことにする. 安政東海地震よりも前の時代の安政型地震の発生については全く分かっていない(図2).

調査地点は、静岡県静岡市清水区村松にある海長寺である(図3). 海長寺は標高4mの浜堤の上であり、その東側には折戸湾、その先には駿河湾が広がる. この研究は、安政型地震の履歴の解明を目的の一つとしており、そのためには、年代決定が重要である. 海長寺は西暦1011年に建てられており、駿河トラフ西岸の海岸近くの場所で、陸地になっていた時代がはっきり分かっている場所として最も古い. この点が調査地点を海長寺にした理由である.

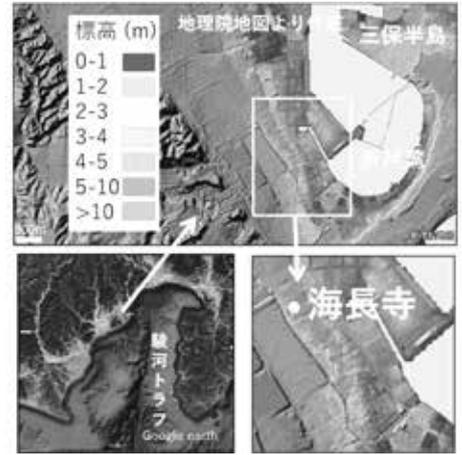


図3 海長寺の位置

4 方法

海長寺とその周辺で、地中レーダー(ふじのくに地球環境史ミュージアム所有)を用いて地中探査を行った. 次に海長寺にて、地点1(標高4.45m)、地点2(標高3.80m)の2地点で長さ14mのボーリング掘削を実施した(図4). その後、コア試料を半裁し、堆積物を観察し、柱状図の作成、軟X線写真の撮影、植物片や貝化石の採取、放射性炭素年代測定試料の採取、1cm毎に堆積物試料の採取をし、乾燥させた. 放射性炭素年代測定はBeta Analytic社に依頼した.



図4 地中レーダーの側線, ボーリング掘削地点

本研究では、地点1, 2のそれぞれ標高0.20m, 0.25mにある砂礫層と粘土層の明瞭な境界において、その直上の砂層、直下の粘土堆積物、またそこから5cm間隔で採取した堆積物の計8試料について粒度分析を行った.

粒度分析は、各試料について、乾燥重量を量り、ふるいを用いて5φから0.5φ単位で粒径ごとに堆積物を分別し、乾燥重量を測定した. その結果からヒストグラムを作成し、平均粒径や粒径のモードを求め、堆積物の沈降速度を計算した. 沈降速度の計算には、次の式を用いた.

粒子の直径が0.002~0.1mmの場合は、沈降速度 V (cm/s)、粒子径 D (cm/s)、粒子の密度 ρ_s (g/cm³)、液体の密度 ρ_f (g/cm³)、重力加速度 g (cm/s²)、液体の粘度 η (g/(cm·s))として、以下のストークスの式を用いた.

$$V = \frac{D^2(\rho_s - \rho_f)g}{18\eta}$$

粒子の直径が0.1~1.0mmの場合は、沈降速度 V (cm/s)、粒子径 D (cm/s)、粒子の密度 ρ_s (g/cm³)、液体の密度 ρ_f (g/cm³)、重力加速度 g (cm/s²)、動粘性係数 ν (cm²/s)として、Gibbs et al. (1971)より、以下の式を用いた.

$$V = \frac{-3\nu + \sqrt{9\nu^2 + g(D/2)^2\rho_f(\rho_s - \rho_f)\{0.015476 + 0.19841(D/2)\}}}{\rho_f\{0.011607 + 0.14881(D/2)\}}$$

なお、5φ以上(直径0.032mm以下)の細かい粒子については5φとして計算した.

本研究では、粘土の堆積物に関して、CNS 元素分析を行った。この方法は、ガスクロマトグラフ法による C(炭素), N(窒素), S(硫黄)の定量化を行うことにより、堆積物の供給源や、堆積環境を推定する手法である。今回は地点 1, 2 のそれぞれにおいて、粘土層と砂礫層の明瞭な境界の直下の粘土層の堆積物及び、その 5cm 下と 10cm 下の粘土層の堆積物において、各 2 試料ずつ、計 12 試料の分析を、ふじのくに地球環境史ミュージアムで行った。方法は、メノウ鉢で、堆積物を均質な粉末試料とし、約 10mg の試料に量り分ける。CNS 元素分析装置を用いて各有機元素の質量パーセントを測定する。分析値から CS 比(C/S)を求めた。

5 結果

(1) 地中レーダー探査

地中レーダー探査で深さ 3～4m までの堆積構造を観察した。具体的には、地層の連続性や地中に含まれる異物、地中の堆積構造を調べた。地中レーダーによる探査は図 4 に示した側線で行った。地中レーダーの結果、海岸線に平行な東西方向の側線を見ると水平に堆積しているが、海岸線に垂直な南北方向を見ると南側に堆積面が傾斜していることがわかった。これは、浜堤が海側に発達したためである。

(2) ボーリングコア試料

ボーリング掘削は株式会社 GEEBEC に依頼し、2 地点で、長さ 14m、のボーリング掘削を実施した。コア試料は半裁して、堆積物の粒径や組織、種類、堆積構造、植物片や貝化石などを記載し、柱状図を作成した。現在までに、地点 1 の表層から深度 8m(標高 4.45m～-3.55m)と、地点 2 の表層から深度 5.0m(標高 3.80m～-1.20m)のコアについて記載が終わっている。図 5 は作成した柱状図である。

各地点の堆積物の詳細は次の通りである。

地点 1 では、下位より、砂礫層、粘土層、砂礫層の順に重なる。深さ 4.9m～8.0m(標高 -3.55m～-0.45m)は灰色砂礫層で、多くの貝化石が産した。深さ 4.2m～4.9m(標高 -0.45m～0.25m)は平行葉理のある灰色粘土層で、潮間帯に生息する巻貝 *Umbonium moniliferum* (イボキサゴ)が産した。またこの粘土層中から木片や葉が産出した。表層～深さ 4.2m(標高 0.25m～4.45m)は堆積物表層まで一連の砂礫層で、不淘汰である。下位の粘土層との境界は明瞭である。

地点 2 では下位より、砂層、粘土層、逆級化構造を示す砂層、木片密集層、砂礫層の順に重なる。深さ 3.92m～5.00m(標高 -0.12m～-1.2m)は多くの貝化石を含む砂層であり、*Batillaria multififormis* (ウミニナ)や *Umbonium moniliferum* (イボキサゴ)などの潮間帯に生息する巻貝が産出した。深さ 3.60m～3.92m(標高 0.20m～-0.12m)は灰色粘土層である。深さ 2.13m～3.60m(標高 1.67m～0.20m)は淘汰の良い砂層である。深さ 2.06～2.13m(標高 1.67m～1.74m)は木片密集層であり、木片間に泥や砂はほとんど見られなかった。表層～2.06m(標高 3.80m～1.74m)は砂礫層からなり、表土とみられる。

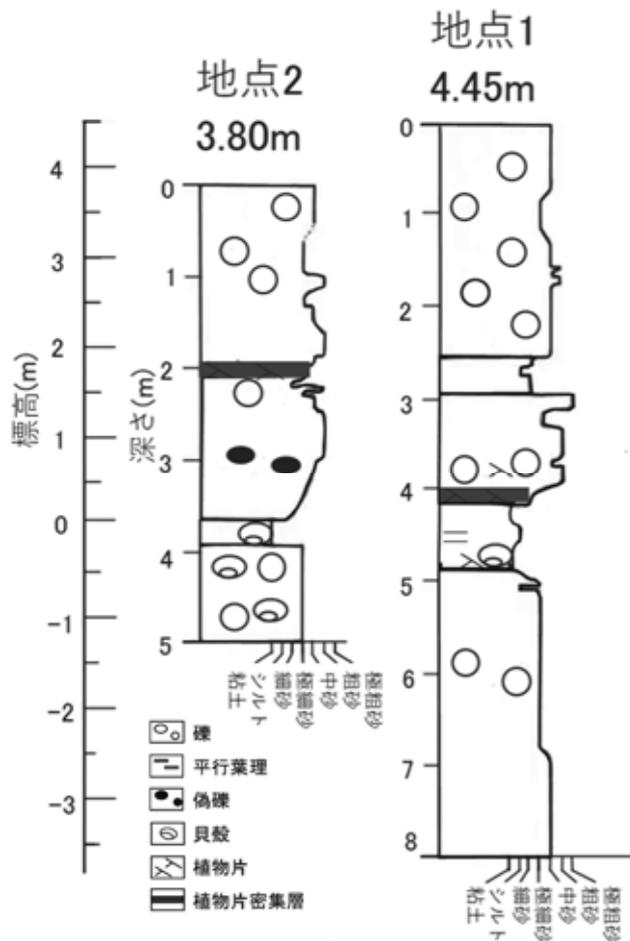


図 5 柱状図

今回の研究で注目するのは地点1の深度4.20m(標高0.25m)、地点2の深度3.60m(標高0.20m)にある粘土層とそれを覆う淘汰の良い砂層の境界部分である。境界付近には粘土と砂の互層があり、地点2の砂層は逆級化構造を示す。

(3) 軟X線写真の撮影

半裁したボーリングコアを20cmごとに裁断し、静岡大学で軟X線写真を撮影した。これにより、肉眼では見え難い堆積構造を観察できた。

この結果、地点1の粘土層や、地点2の粘土層に平行葉理などの堆積構造を確認できた。また、地点2の砂層には不明瞭な斜交葉理が見られた。

(4) 放射性炭素年代

堆積物中に含まれていた木片や葉を用いて放射性炭素年代測定(14C年代)を行った。葉は木片に比べもろいため、再堆積の可能性が低く、木片より正確な年代値が期待できる。地点1の粘土層から産出した葉の14C年代は西暦398~539年、地点2の木片密集層から産出した葉の14C年代は西暦258~428年を示した。したがって、陸化した時代は、西暦398年から西暦428年の間の可能性が高い。

(5) 貝化石の分析

地点1の深度4.2m(標高0.25m)より下位の粘土層および地点2の深度4.7m付近の砂層から産した *Batillaria multiformis* や *Umbonium moniliferum* は潮間帯に生息する巻貝である。

(6) 粒度分析

粒度分析の結果、2地点ともに、粘土層の粒度はいずれも5φ以上(直径0.032mm以下)が最頻値となり、約80%を占める。平均粒径と最頻値(5φ)の沈降速度は0.09cm/sとなる。砂層の平均粒径と最頻値から計算した沈降速度は1.54cm/sとなる。なお、砂層部分は淘汰された堆積物が観察できたが、粒度に5φ以上が多くみられ、これは粘土やシルトが塊をつくり、砂と同じような働きをしていたためだと考えられる。

沈降速度を比べると、粘土層と砂層の間には、約17倍の明らかな差が見られるため、境界を境に堆積環境が大きく変化したと考えられる。

(7) C. N. S 元素分析

Sampei et al (1997) と藤原ほか (2008) を参考にして堆積環境の推定を試みた。C/N比について「一般にC/N比はプランクトン起源の有機物では6~9程度、陸源有機物では15より大きい」ことが知られているが、12試料のC/N比の平均値は12.025であった。また、C/S比について、Sampei et al (1997) に記載されているグラフへ今回の結果をプロットする(図6)と、汽水から内湾の環境で堆積したことが分かった。以上より、C. N. S 元素分析から推定できる堆積環境は汽水域から内湾である。

(8) 有孔虫の同定

地点1, 2の粒度分析を行った8試料のうち、粘土層の堆積物である4試料について有孔虫の抽出を行ったが、検出できなかった。

6 考察

結果より、次の考察を行った。

1. 地点1の深度4.90~4.20m(標高-0.45~0.25m)の粘土層、及び、地点2の深度3.92~3.60m(標高-0.12m~0.20m)の粘土層について、①地点1では潮間帯に生息する巻貝であるイボキサゴが産出

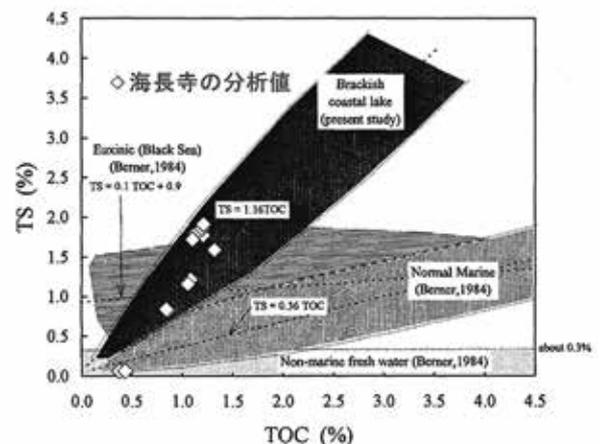


図6 全有機炭素濃度と全硫黄濃度のダイヤグラム(Sampey et al(1997))に加筆

したこと、②C. N. S 元素分析の結果より汽水から内湾環境で堆積したと解釈されることから、堆積環境は内湾の干潟であると考えられる。これは先行研究の松原彰子 (1989) に一致する。

2. 地点2の深度2.13~2.06m(標高1.67~1.74m)にある木片密集層は木片間に泥や砂がほとんどないことから、木片密集層より産出した木片は陸上に打ち上がったものと推定される。
3. 14C 代測定において、地点1の深度4.21m(標高0.24m)の粘土層より産出した葉の14C 年代が西暦398年から西暦539年を示し、地点2の深度2.10m(標高0.50m)の木片密集層より産出した葉の14C 年代が西暦321年から西暦428年を示したことから、この地点は西暦398年から西暦428年の間に陸化したと考えられる。また、この時代に汎世界的海水準の低下は知られていないので、陸化は堆積作用か地震性隆起のどちらかによるものである。地震性隆起の場合には、安政型地震が発生したことになり、南海トラフの歴史地震の中で、知られている最古の西暦684年の白鳳地震よりも280年古い。

なお、この時代の地震は古文書に残されていないが、静岡県埋蔵文化財調査研究発掘報告書の原川遺跡 I (1988)の中で加藤芳朗氏によって静岡県西部の原川遺跡で古墳時代後期よりも古い時代に地震による液状化が発生していたことが示唆されているほか、寒川(1995)によって坂尻遺跡において古墳時代後半の砂脈が多く検出されていることから、この時代に南海・東海地震が発生した可能性があるとしている。地震の場合は、これらの関連地震だと考えられる。

7 結論

- ①静岡市清水区海長寺のボーリングコアの解析より、地点1の深度4.20m(標高0.25m)、地点2の深度3.60m(標高0.20m)に粘土層と砂層の明瞭な境界があり、その下位の粘土層の堆積環境は内湾の干潟であると考えられる。
- ②14C 年代素年代測定より、調査地点は西暦398年から西暦428年の間に陸化し、その原因としては堆積作用か地震性隆起のどちらかである。
- ③堆積構造の観察や粒度分析などから、「陸化した時代は西暦398年から西暦428年であり、その原因は駿河トラフ西岸の隆起を伴う安政型地震の発生である」という仮説を立てた。

8 今後の課題

- ①地点2の深度3.60m(標高0.20m)にある境界の直下の泥層に含まれる葉の堆積物から放射性炭素年代測定を行い、堆積年代の同定を行う。
- ②残りのボーリングコア15m分について解析を行う。

9 謝辞

本研究を行うにあたり、静岡大学教授北村晃寿先生、ふじのくに地球環境史ミュージアム准教授菅原大助先生、ふじのくに地球環境史ミュージアム教授山田和芳先生に御指導いただきました。改めて感謝を申し上げます。

10 主な参考文献

- 藤原 治ほか (2008) 活断層・古地震研究報告, No. 8, 163-185.
石橋克彦 (1984) 第四紀研究, 23, 105-110.
Kitamura and Kobayashi (2014) The Holocene, 24, 814-827.
Kitamura et al. (2018) Marine Geology, 405, 114-119.
松原彰子 (1989) 地理学評論, 62, A-2, 160-183.
Sampei et al. (1997) Geochemical Journal, 31, 245-262.
寒川 旭 (1995) 日本文化財科学会誌, 29-43.
静岡県埋蔵文化財調査研究所 (1988) 原川遺跡 I
静岡県埋蔵文化財調査研究所 (1992) 坂尻遺跡
Gibbs et al. (1971)