

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01978

研究課題名(和文) 相模トラフ巨大地震の震源断層の活動による海底変動と地震履歴の研究

研究課題名(英文) Study on seafloor movement and earthquake history by activity of source faults of Sagami Trough great earthquakes

研究代表者

芦 寿一郎 (Ashi, Juichiro)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：40251409

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：相模湾東部のプレート境界断層から分岐し、海底面に達する断層の最近の活動と断層面に沿った流体湧出の変動の解明を目的に研究を行った。深海曳航式の音波探査により高解像の海底下浅部構造データを取得し、北西-南東方向に連続し北東へ傾斜した断層面が捉えられた。また、海底観察より断層に沿って化学合成生物群集の分布が初めて確認され、断層を流路とした活発な流体湧出が推定された。さらに無人探査機により採取された試料では、海底面近くの断層が崖錐堆積物を切断していることから、断層が最近も繰り返し活動していることを示した。湧水変動を捉える熱流量観測は約1年間実施したが音響切り離し装置の不具合で回収には至らなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

関東地震を引き起こしたプレート境界断層は反射法地震探査によって深部の構造が明らかにされ、派生した断層が海底下浅部まで延びていることが報告されている。しかし、最近の活動を議論するに足る、海底下極く浅部の構造は得られておらず、さらに試料にもとづく断層の活動に関する議論は全くなされていない。本研究は無人探査機を用いて、海底浅部の地質構造を高解像度で得るとともに、通常の方法では取得困難な断層近傍の試料を採取し、断層とそれに沿った流体湧出に伴う化学合成生物群集の分布を明らかにした。断層活動による表層堆積層の変形と流体湧出の理解は地震・津波災害軽減のための基礎的情報として重要と考える。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to reveal recent fault activity and fluid flow along the fault plane branched from the plate boundary fault in the eastern Sagami Bay. Deep-towed sub-bottom profiling survey was carried out for obtaining high-resolution shallow subsurface structures and exhibited a NW-SE trending and NE-dipping fault plane. Development of chemosynthetic biological community was found along the fault trend and suggested active fluid expulsion through the fault plane. Core samples obtained by a remotely operated vehicle shows that the fault near the seafloor cut the talus deposit and suggests recent repeated fault activity. Although heat flow measurement for monitoring seep activity was conducted for about one year using a pop-up type instrument, we failed to retrieve the instrument due to trouble of acoustic release system.

研究分野：海洋地質学

キーワード：活断層 タービダイト 地すべり サブボトムプロファイラー 無人探査機

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

相模トラフ沿いでは巨大地震が繰り返し発生しており、1923 年大正地震、1703 年元禄地震など、関東南部に甚大な被害をもたらしている。大正地震は相模湾内、元禄地震は房総半島の南が震源とされ、同様の地震は大正型関東地震、元禄型関東地震として繰り返し発生している。相模湾は水深 1300 m 以深の平坦な部分（相模トラフ）を中心に東西両側が斜面で囲まれている（図 1）。相模トラフの東側は北西-南東方向に相模海丘、三浦海丘、三崎海丘、沖ノ山堆などの海丘群が並び複雑な地形を示しており、その麓を繋げた相模構造線（木村, 1973, 科学）では活断層が推定されている。沈み込むプレートの移動方向から、斜め成分の多い沈み込みが複雑な地形を形成しているものとみられる。

大規模反射法地震探査によると、相模トラフ東側の海丘群の下に、東に傾斜したプレート境界断層とそこから派生する断層が捉えられている（佐藤ほか, 2010, 科学）。また、通常の反射法地震探査による研究においても、プレート境界から派生した断層が海底下浅部まで延びていることが報告されており、他の沈み込み帯に見られる付加体と類似した構造が発達する。しかし、最近の活動を議論するに足る、海底下極く浅部の構造は得られておらず、さらに試料にもとづく断層の活動に関する議論は全くなされていない。

相模湾では西側の初島沖とともに東側の斜面麓にシロウリガイ等の化学合成生物群集の分布が複数点で報告されている（森ほか, 2010, 地学雑誌）。しかし、断層等の地下構造との関係は明らかにされていない。また、湧水の活動に関する情報も得られていない。

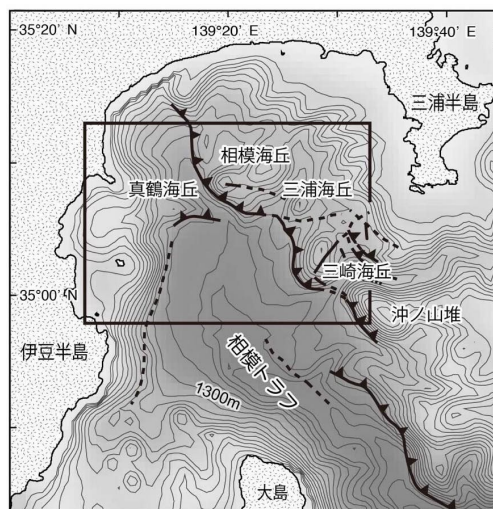


図 1 相模湾の海底地形と断層分布。黒枠は図 2 の範囲を示す。

### 2. 研究の目的

相模湾においては反射法地震探査により大構造が明らかにされてきているが、海底付近の堆積や変形についての情報が限られており、最近の活動に関する情報を欠いている。本研究は震源断層から分岐した断層が海底に達する地点の海底調査を行い、堆積・変形・流体移動に関する情報を得ることを目的とした。まず、音波による高分解能の海底下構造探査を行い、断層の分布の把握と断層による地層の変位・変形を捉える。次に得られた地下構造をもとに、ピンポイントで試料採取を行い断層の活動の情報を得る。また、地震動をトリガーとし「混濁流から堆積したタービダイト」と「崖錐堆積物」の年代から地震の発生履歴の解明を行う。さらに、相模湾では化学合成生物群集が多く、断層沿いの湧水が推定されるが、湧水の量や変動についての情報がないため現場での地温の長期観測を行う。これらの観測、試料採取により海底付近の堆積、変形、湧水と断層活動の関係を明らかにすることを目的に研究を行なった。

### 3. 研究の方法

海底下の浅部構造は高周波を用いたサブトムプロファイラー（以下 SBP）で探査されるが、深海域や断層の発達する複雑な地形の所では音波が散乱・減衰して構造を捉えることが困難である。一方、無人探査機を用いて海底面の近傍で発振・受信する SBP 探査では音波の散乱や減衰の影響を低減した高解像度の断面が得られる。本研究では無人探査機 NSS に 1.5~6kHz のチャープ式の送受信を行う装置を搭載し、海底面上 10~30 m の高度で探査（以下、深海曳航 SBP 探査）を行ない、揺動補正、高度補正等の処理を行なった。また、無人探査機 NSS は地下構造と海底を見ながら吊り下げたピストンコアラーによってピンポイントで採泥を行うことができる。これらの手法は白鳳丸 KH-10-3 次航海および KH-16-5 航海で運用試験と事前調査を行なった。この際に得られた断面データと試料も今回の研究において解析、分析を行なった。

研究期間内の航海は白鳳丸 KH-19-5 次および KH-20-8 次航海で、KH-19-5 次航海では無人探査機を用いた海底観察、深海曳航 SBP 探査、ピンポイントでのピストンコアラー採泥、ならびに機器設置と、マルチプルコアラーによる表層採泥、KH-20-8 次航海ではピストンコアラーとマルチプルコアラーの採泥を行なった。採取試料は、陸上の研究室にて X 線 CT 画像撮影、帯磁率測定、古地磁気測定、浮遊性有孔虫および貝殻の放射性炭素年代測定による年代推定を行なった。

湧水観測は現場の堆積層に複数の温度センサーを備えたプローブを突き刺して長期の温度観測によって間隙水の流動速度を推定する手法を用いた。用いた機器は東京大学地震研究所で開発した自己浮上式熱流量計 2 台で、うち 1 台は湧水点に、もう 1 台は湧水の認められない地点に設置を計画した。自己浮上式熱流量計の設置は、KH-19-5 次航海において無人探査機 NSS を用いることにより、海底下の構造と海底面の状態を確認しながら行なった。



#### 4. 研究成果

本研究は、(1)深海曳航 SBP 探査による断層分布と地質構造の研究、(2)採泥による断層活動と地震履歴の研究、(3)流体湧出の調査と長期観測、の3つの課題に分けられる。以下では、それぞれについての研究成果を述べる。

##### (1) 深海曳航 SBP 探査による断層分布と地質構造の研究

断層の分布が想定される三浦海丘の斜面基部を中心に深海曳航 SBP 探査を行なった(図2)。測線は斜面に直交する方向に設定した。KH-19-5 次および KH-20-8 次航海の結果と、H-10-3 次および KH-16-5 次航海のデータと合わせて解析した結果、北東側に傾斜した反射面が海底面まで達している様子が3つの測線において確認された。それらの地点は概ね斜面の方向と平行で、北西-南東方向の断層による反射面であると解釈される。断層の上盤と下盤の音響断面に見られる構造は、上盤側はいずれも無構造であるが、下盤側にはほぼ水平の堆積層による反射面が認められる断面と、上盤と同じく無構造である断面がある。無構造の部分は崖錐堆積物が断層により切断されている構造を示すものとみられ、断層活動による崖の形成と断層による切断変形が繰り返し生じていることが推定できる。



図2 KH-19-5, KH-20-8 次航海による深海曳航式 SBP 探査測線と採泥点。

海底地形と深海曳航 SBP 記録から、三浦海丘の西側斜面基部の断層の走向は概ね北西-南東方向であることが明らかとなったが、一部で地形が直線的でなく約 400 m のずれが見られる。この部分を横断する SBP 記録には上方に枝分かれした複数の高角の断層からなる構造(フラワーストラクチャー)が認められる。これは地下で雁行配列する断層のジョグに相当し、横ずれ成分に卓越した変位による構造である可能性が高い。

##### (2) 採泥による断層活動と地震履歴の研究

断層近傍のピンポイント採泥で得られた試料は、ほぼ水平のシルト質の薄層を 15 cm 前後の間隔で挟在する暗緑色の粘土からなる。1 本のコアでは深度 2.25 m に約 30 度傾斜した厚さ約 5 mm の剪断面と解釈される構造が見られた。この面は古地磁気による方位補正の結果、北~東の方向へ 30 度の傾斜を示した。当初、SBP 断面に見られた傾斜した反射面に相当すると解釈したが、面の上下の浮遊性有孔虫の放射性炭素年代は、一部逆転がみられるものの年代差は小さく、変位の小さい副断層に相当するとみられる。この面より上位には、暗緑色のシルト質粘土とシロウリガイの貝殻片を含んだ含礫泥層の互層が覆っている。貝殻片は生物群集が斜面の崩壊で堆積層に取り込まれたものとみられ、浮遊性有孔虫の放射性炭素年代測定の結果、それらは数百年オーダーの時間間隔で発生していることが推定された。

この地点の平均的な堆積の状況を調べるため、斜面基部より数百メートル離れた複数の地点における採泥では、暗緑色のシルトに細粒砂の薄層を複数挟む試料が得られており、千年で約 1 m の堆積速度が得られている。断層が海底面に達する位置は、急崖から平坦面への傾斜の変換点に一致すること、早い堆積速度の場であるにも関わらず断層が埋積されていないことから、断層の活動は活発であると推定できる。

##### (3) 流体湧出の調査と長期観測

KH-19-5 次航海では、断層が海底面に達する斜面を中心に無人探査機のビデオカメラを用いて観察を行なった。斜面の麓は崖から崩落した礫が多く見られ崖錐を形成している。崖錐堆積物は貝殻片を含み、崖錐の末端部には生きたシロウリガイと局所的ではあるがシンカイヒバリガイの生息も三浦海丘では初めて確認された。一般的にシンカイヒバリガイは高濃度のメタン湧出域に生息していることから、この地点でのメタン湧水が活発であることを示す。このような化学合成生物群集は崖基部に沿って北西-南東方向に連続していることがビデオカメラによる観察で明らかになった。これらの観察結果は、生物群集が地下の断層の位置に深く関係していることを示しており、流体湧出が断層に沿ってもたらされていることが推定できる。

同航海では、湧水現象と断層運動の関係の情報を得るため、三浦海丘南西斜面の麓において、自己浮上式熱流量計 1 台を断層近傍と推定される地点に設置した(図2)。また比較のため、化学合成生物群集の認められない地点への設置も行なったが、センサーのプロープが堆積物に十分に刺さらず観測を断念した。熱流量計は約 1 年の設置後に KH-20-8 次航海で回収を試みたが、機器の応答はあるものの音響切り離し装置の作動に至らず回収を断念した。このため当初予定していた熱流量の観測データの解析は行っていない。観測済みデータの回収とともに、音響切り離し装置の不具合の原因究明による自己浮上システムの改善のために、今後も調査航海の公募等を利用し回収を継続して試みる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Misawa Ayanori, Ashi Juichiro, Tara Kenji, Yamashita Mikiya, Kinoshita Masataka	4. 巻 40
2. 論文標題 Active deformation of Sagami Bay triggered by approach of the Izu island arc	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geo-Marine Letters	6. 最初と最後の頁 741 ~ 753
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00367-020-00668-2	査読の有無 有
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4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 芦 寿一郎, 池原 研, 金松敏也, 山野誠, 三澤文慶
2. 発表標題 相模湾東部の活断層の浅部地質構造と海底湧水
3. 学会等名 地震学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 芦 寿一郎・山口 飛鳥・奥津 なつみ・三澤 文慶
2. 発表標題 高分解能浅部構造探査と精密照準採泥による相模湾断層の活構造
3. 学会等名 地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山野誠・後藤秀作・川田佳史・濱元栄起
2. 発表標題 海域の断層近傍における熱流量異常に基づく流体流動の推定
3. 学会等名 地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Juichiro Ashi, Ayanori Misawa, Ken Ikehara, Toshiya Kanamatsu
2. 発表標題 Active Structures of Recurrent Great Kanto Earthquakes in Central Japan by High Resolution Subbottom Profiling and Pinpoint Core Sampling
3. 学会等名 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019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
研究分担者	池原 研 (Ikehara Ken)  (40356423)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・招聘研究員  (82626)	
研究分担者	金松 敏也 (Kanamatsu Toshiya)  (90344283)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門・専門部長  (82706)	
研究分担者	山野 誠 (Yamano Makoto)  (60191368)	東京大学・地震研究所・教授  (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------