

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：32511

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26247084

研究課題名(和文)3次元全波動場インバージョン・全成分反射法探査による富士川河口断層帯浅部構造解明

研究課題名(英文)Shallow structure of the Fujikawa-kako fault system revealed by 3D FWI

研究代表者

伊藤 谷生 (ITO, Tanio)

帝京平成大学・現代ライフ学部・客員教授

研究者番号：50111448

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究によって明らかになったことは次の3点にまとめられる。(1)富士川河口断層帯の最前縁とされてきた大宮断層-入山瀬断層は地下では単一の西傾斜逆断層である。この断層は浅部に向かって低角化し、星山丘陵東縁急崖下でほぼ水平となるが、地表には到達しない。したがって東縁急崖は断層崖ではなく断層運動に伴う撓曲崖である。(2)撓曲のヒンジは東縁急崖に沿って東に凸の馬蹄形トレースを示す。このことは断層変位量が先端部で大きく両側で小さいということを示唆しており、逆断層上盤で普遍的に認められる現象と考えられる。(3)大宮断層-入山瀬断層を正断層とした文科省(2010)の活動性評価は再検討する必要がある。

研究成果の概要(英文)：The results of this study are summarized as follows. (1) The Omiya and the Iriyamase faults that represent the frontal faults of the Fujikawa-kako fault system, form a single w-dipping reverse at depth. The dip of the fault becomes gentler towards the surface, and nearly horizontal beneath the eastern cliff of the Hoshiyama Hills, although it does not breach the surface. As a result, the cliff does not correspond to the fault scarp, but to the flexure of the hanging wall associated with the subsurface faulting. (2) The hinge of the flexure follows the eastern edge of the cliffs forming a horseshoe shape. This suggests that the eastward displacement of the hanging wall is estimated to be larger at the tip of the horseshoe and smaller at its sides, which is common for hanging walls of thrusts. (3) It is necessary to reexamine MEXT's (2010) evaluation of the Fujikawa-kako fault system activity assuming the Omiya and the Iriyamase faults to be high-angle normal faults.

研究分野：構造地質学

キーワード：富士川河口断層帯 浅部構造 活断層 反射法地震探査 3次元全波動場インバージョン 大宮断層 入山瀬断層

## 1. 研究開始当初の背景

本研究に先立つ2011～13年度科学研究費補助金『基盤研究A』(課題番号23244098、代表:伊藤谷生)『自然・制御震源統合探査による伊豆弧北西縁衝突-沈み込み全遺体南端の地殻変動』研究における富士川河口断層帯-糸魚川静岡構造線横断反射法地震探査(Fujikawa-kako Fault System - Itoigwa-Shizuoka Tectonic Line Transect = FIST)は富士川河口断層帯について以下の2点までを明らかにしていた。

(1) 富士川河口断層帯について文科省地震調査委員会(以下、文科省)(2010)は、その東縁をなすとされる大宮断層-入山瀬断層を西方上昇の高角正断層と判断し、変位速度4mm/年に達するA級活断層としている。しかし、大宮断層を通過するFISTの結果、同断層は地表近傍で数度程度まで低角化する西傾斜の逆断層ということが判明した。この断層は地表に到達せず、従って大宮断層の断層崖とされた星山丘陵東縁の急崖は低角逆断層に伴う上盤の撓曲(断層関連褶曲翼部)と判断される。その結果、文部省(2010)が示す変位速度は過小評価の恐れがあり、実変位速度はもっと大きいと考えられる。

(2) 上記の低角逆断層は沈み込むフィリピン海プレート上面からおよそ40度西傾斜をもって派生した逆断層群のうち東側から2番目のものであると推定される。最も東側の逆断層は富士市街地下に到るが、地表には到達していないと思われる。

本研究はこれらの成果を背景として開始された。

## 2. 研究の目的

1で示した2つの成果を踏まえつつ、富士川河口断層帯の活動性の解明という本研究の大目標めざして、以下の具体的目的が設定された。

(1) FISTは大宮断層の構造についてのみ論じたが、富士川河口断層帯の地表における東縁は大宮断層と入山瀬断層が接合して、東に先端を向けたカस्प状トレースを示すとされている。そしてそのトレースの西側には標高100～200mの星山丘陵が広がる。従って、星山丘陵東前方の市街地から星山丘陵主部にかけての浅部地下構造を3次的に明らかにすることが富士川河口断層帯の活動性解明の基礎作業であると認識し、これを第1の研究目的とする。

(2) FISTはフィリピン海プレート上面を反射面として直接とらえたのではなく、反射断面におけるイベント群のパターン状の特徴とフィリピン海プレートの沈み込みに起因する

と考えられている微小地震活動からフィリピン海プレート上面の位置を推定したのである。本研究ではフィリピン海プレート上面形状を直接把握することを第2の研究目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) パラレルライン高分解能反射法探査

第1の目的達成をめざしてパラレルライン高分解能反射法探査(略称:パラレルライン探査)が2015年3月12～18日に実行された。

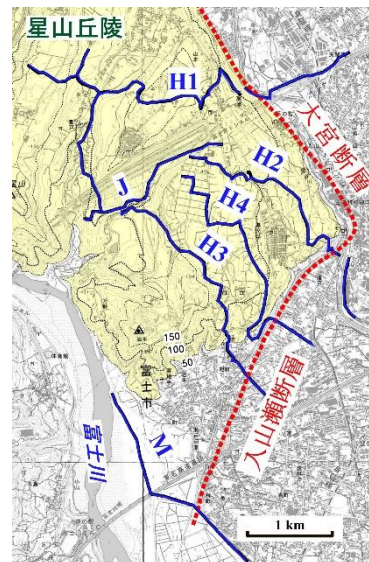


図1: 測線図

赤破線は都市圏活断層図『富士宮』による、星山丘陵のコンターは50間隔。

① 測線ならびに仕様  
図1に測線図、表1に探査仕様を示す。発震は中型バイブロサイズ(Envirovib)2台を投入し、サンプリング間隔は4msecである。測線H1は2012年FISTの高分解能測線と同一にすることにより処理過程でFISTデータもマージで

きるようにした。測線Jは(株)地球科学総合研究所による自社研究である。同測線の仕様はH2と一致し、そのデータも本研究の取得データに加えられている。

測線		H1	H2	H3	H4	M
測線長(km)		3.5	2.5	4.7	2.3	2.0
発震	間隔(m)	12.5	10.0	10.0	50.0	10.0
	総数	199	201	352	47	170
受振	間隔(m)	12.5	10	10	100	10
	総数	272	262	444	24	200

表1: 探査仕様

### ② 取得データの処理

取得された膨大なデータに対しては、以下の処理が行われた。処理においては必要に応じて補助測線が設定されている。

- ・通常の反射法処理
- ・MDRSによる反射法処理
- ・セグメント・マイグレーション処理
- ・スケルトン解析
- ・トモグラフィー解析
- ・全波動場インバージョン(FWI)の試行

## (2) 稠密 2 次元格子状アレイ地震観測

第 2 の目的達成をめざして 2015 年 12 月下旬から 2016 年 4 月下旬の約 4 か月に亘って、星山丘陵ならびにその周辺地域に自然地震観測点を格子状に展開した稠密 2 次元地震計アレイを設置し、地震観測を実施した (図 2)。東西方向に平行する測線 Line2~Line6 を約 1 km 間隔に平行に設定し、各測線では約 0.5 km 間隔で 10~14 点の地震観測点を配置した結果、その総数は 60 点に達した。各観測点には

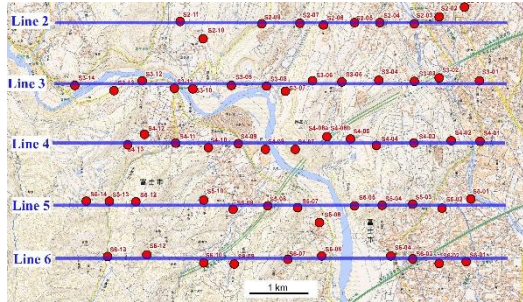


図 2 : 観測点配置. 赤丸 = 観測点

固有周波数 1 Hz の 3 成分速度型地震計 (レナーツ社製 LE-3Dlite) を設置し、データロガー (クローバテック社製 DAT-5A) でサンプリング周波数 200 Hz で収録した。

## (3) 地質調査ならびにボーリングデータの活用

パラレルライン高分解能反射法探査結果の解釈に資するために星山丘陵ならびに周辺の地質調査を行うとともに『静岡県地震対策基礎資料-ボーリング柱状図集-』などを活用してボーリングデータ収集を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 大宮断層-入山瀬断層の浅部構造

パラレルライン探査によって明らかとなった大宮断層-入山瀬断層の浅部構造は以下のようにまとめられる。

①入山瀬断層の構造は H3 測線のトモグラフィーに明瞭に示されている (図 3)。F1 は西傾斜の低角逆断層、その後方に東傾斜の低角逆断層が存在する。F1 の前方の市街地下に速度逆転層があることから東傾斜の逆断層を想定して F3 としておくが、古富士の厚い溶岩層の可能性もある。これらの断層中、F1 と F3 は

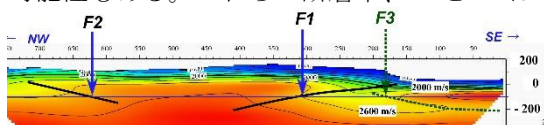


図 3 : H3 測線のトモグラフィー

H1~H4 測線のすべてで確認されるので、海拔下 100m におけるトレースを描くと図 4 のよ

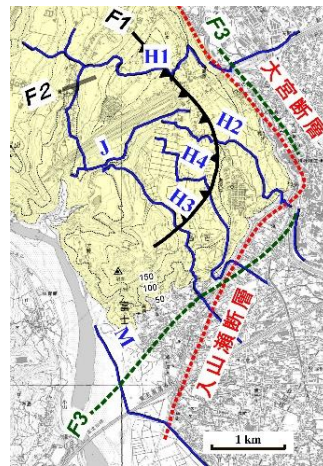


図 4 : -100m における F1、F2、F3 のトレース

うになる。この図から F1 は星山丘陵東縁急崖にほぼ平行な走向を有する一続きの低角逆断層であることがわかる。F2 は星山丘陵をポップアップさせることに寄与していると考えられるが、H3 測線

でのみ確認されるため詳細は不明である。なお M 測線において確認され

るのは F3 のみである。従って入山瀬断層は赤破線で示した都市圏活断層図『富士宮』のようには追跡されず星山丘陵南東縁急崖を巻くように位置していると判断される。

②H1 測線において F1 が地表に到達せずに星山丘陵東縁急崖の地下でほぼ水平になっていることは FIST で明らかになっていたが、入山瀬断層を横断する H2、H3、H4 でも F1 は同様であり、地表に到達しない低角逆断層と判断される。従って、従来、大宮断層-入山瀬断層とされていた急崖は低角逆断層上盤の撓曲 (断層関連褶曲に伴う背斜翼部) によるものと判断される。このことは 3 次元構造表現としてのフェンス・ダイアグラム (図 5) 上の H1 測線、H2 測線プロファイルでも明らかである。H1、H2 とも F1 の上盤の黄破線楕円内の背斜軸は急崖の方向と平行であり、しかもこれは都市圏活断層図『富士宮』が示す地形面の隆起軸とほぼ一致している。

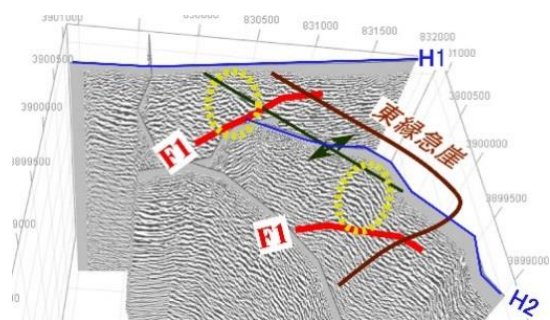


図 5 : H1、H2 プロファイルのフェンス・ダイアグラム。

③F1 の下盤にも低角なデタッチメントの存在を示唆する尖頂背斜の構造が認められるので、下位にも低角逆断層が存在すると考えられる。このことは、星山丘陵が大宮断層-入山瀬断層を含む低角逆断層群によって構成される小

規模なパイル・ナップ構造によって形成されていることを示唆する。上盤の前縁が東に凸な馬蹄形をなしていることから、上盤の運動方向は概ね東方向であり、その変位量はパイル・ナップ構造で普遍的に認められるようにその頂部で最大で両側で小さいと考えられる。

④FISTの成果と結合するならば、大宮断層-入山瀬断層、すなわちF1はフィリピン海プレート上面から西傾斜40度程度で派生し、地下の海拔下約300mから低角化する。このように浅部で低角化するの星山丘陵に限られていることを考慮すると富士川河口断層帯の東縁をなす断層は約-300m以深では庵原丘陵東縁から安居山断層に接続すると考えるのが合理的であろう(図6)。



図6：富士川河口断層帯東縁の構造。背景図は文科省(2010)

## (2) 大宮断層-入山瀬断層ならびに富士川河口断層帯の活動性評価

①星山丘陵ならびにその周辺の地層は下位より岩渕安山岩・鷲ノ田礫岩(両者は指交関係)、古富士溶岩・火砕岩、新富士溶岩・火砕岩であるが、古富士溶岩・火砕岩の詳細な層序が依然として不明であること、星山丘陵ならびに周辺でのボーリングデータが浅部に限られていることからパラレルライン探査で得られたプロファイル上で具体的な地層を記入することができない。このため各地層の変位量も見積ることも残念ながら保留状態である。従ってFISTによる「文科省(2010)が示す変位速度は過小評価の恐れがあり、実変位速度はもっと大きいと考えられる」という指摘を越えて定量的な評価に踏み込むまでには至らなかった。

②(1)の③に示したように大宮断層-入山瀬断層は構造的に特異であり、富士川河口断層帯の活動性評価に使用することには疑問がある。むしろ(1)④に示されている安居山断層によって活動性を評価することが妥当と考えられる。

## (3) 富士川河口断層帯下のフィリピン海プレート

稠密2次元格子状アレイ地震観測データの解析に使用した地震は、USGSのカatalogに記

載されている震央距離30~90度、M5.5以上の遠地地震である。観測期間中に発生した83個のイベントから解析に使用可能と思われる22個のイベントを選択した。座標回転、0.8 Hzローパスフィルタに相当するGaussianフィルタを適用した後、Radial成分をVertical成分でデコンボリューションしてレシーバ関数を求めた。データを精査して最終的に8個のイベントのレシーバ関数を重合した。深度変換のための速度構造は、浅部では2012FISTのトモグラフィ解析で得られた速度構造、深部ではJMA2001(上野ほか, 2002)の速度構造を接合して使用した。図7に示すレシー

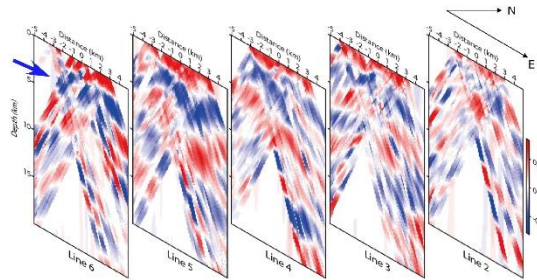


図7：レシーバ関数解析結果。Line 2~6：図2参照

バ関数断面では、深さ5kmに見られる負の極性のフェイズ(図中の青矢印)をフィリピン海プレート上面と解釈することができる。しかし、このフェイズは予想される深度と比較してやや浅いと思われる。この地域でのプレート境界では島弧地殻同士が接していることから境界面の上下で大きな物性値の差がないことが考えられること、プレートの衝突により境界面が変形し複雑な構造をしていると考えられることから、解釈は容易ではない。丹沢地域のレシーバ関数断面では正の極性のフェイズをプレート境界と解釈の方が妥当である(佐藤, 2010)ことから、その下の正のフェイズを選択すべきかもしれない。

遠地地震記録には2 Hz以上の周波数成分がほとんど含まれておらず、この方法ではこれ以上分解能を向上させることは困難である。

## (4) 今後の課題

上記のように本研究はきわめて重要なデータを取得しているが、2で示した2つの目的の達成という点では緊急を要する課題も明確になった。

①パラレルライン反射法断面に具体的な地質学的解釈を行う必要がある。地表における地質学的情報取得が困難であることに鑑み、F1を貫く少なくとも深度300m程度の掘削ならびにVSPによって地質層序の確定と検層を行うことが喫急の課題である。これ抜きには断層の活動性についての定量的評価はできない。

掘削地点としては星山丘陵の岩本山公園近傍が最適であろう。

②自然地震のトモグラフィ解析から研究対象領域の3次元速度構造を求め、レシーバ関数の深度変換の精度あげ、プレート上面深度を再決定する。さらにプレート上面までの構造の分解能を向上させるため、レシーバ関数解析よりも高い分解能が得られる近地深発地震を用いた地震波干渉法によるS波反射イメージングを行う。

### 【謝辞】

本研究は帝京平成大学と静岡大学防災総合センターとの連携によって進められた。連携を指揮された帝京平成大学沖永寛子学長に深く感謝する。静岡大学防災総合センター増田俊明センター長の支援に謝意を表す。また両大学の事務当局に御礼申し上げる。探査ならびに地震観測は静岡県、富士市、富士宮市ならびに住民の方々のご理解とご協力があっはじめて可能となった。特に記して感謝の意を表す。なお、データ取得・処理は(株)地球科学総合研究所ならびに(株)ジオシスによってなされた。さらに(株)地球科学総合研究所には同社の研究成果であるJ測線データの使用許可をいただいた。両社に深く感謝する。

## 5. 主な発表論文等

### 【学会発表】(計2件)

- ① Suzuki, S. and Kobayashi, K., 2017, Study of rheology and origin of deformed conglomerates, Pliocene Hamaishidake formation Fujikawa group, eastern part of Shizuoka Prefecture, central Japan - Tectonics of the collision zone recorded deformed conglomerates -, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017/5/23, Makuhari International Conference Hall, Chiba, Japan
- ② 長谷川大真, 渡辺俊樹, 伊藤谷生, 狩野謙一, 他2名, 2017, 南アルプス南端部地域における地下構造の地震波干渉法イメージング, 日本地球惑星科学連合2017年大会, 2017/5/25, 幕張国際会議場, 千葉市

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

伊藤 谷生 (ITO, Tanio)  
帝京平成大学・現代ライフ学部・客員教授  
研究者番号: 50111448

### (2)研究分担者

佐藤 剛 (SATO, Go)  
帝京平成大学・現代ライフ学部・准教授  
研究者番号: 00468406

狩野 謙一 (KANO, Ken' ichi)  
静岡大学・防災総合センター・客員教授  
研究者番号: 30090517

### (3)連携研究者

渡辺 俊樹 (WATANABE, Toshiki)  
名古屋大学・環境学研究科・教授  
研究者番号: 50210935

小田原 啓 (ODAWARA, Kei)  
神奈川県温泉地学研究所・主任研究員  
研究者番号: 00416083

山北 聡 (YAMAKITA, Satoshi)  
宮崎大学・教育学部・准教授  
研究者番号: 80210342

阿部 信太郎 (ABE, Shintaro)  
産業技術総合研究所・地質調査総合センター・グループ長  
研究者番号: 70371408

小森 次郎 (KOMORI, Jiro)  
帝京平成大学・現代ライフ学部・講師  
研究者番号: 10572422

### (4)研究協力者

山本 玄珠 (YAMAMOTO, Genshu)  
静岡県立富士宮東高等学校・教諭

小林 健太 (KOBAYASHI, Kenta)  
新潟大学大学院・自然科学研究科・講師

原田 昌武 (HARADA, Masatake)  
神奈川県温泉地学研究所・主任研究員

加藤 潔 (KATO, Kiyoshi)  
駒澤大学・総合教育研究部・講師

星場 遼 (HOSHIBA, Ryo)  
帝京平成大学・現代ライフ学部3年生