## 3.3 断層の三次元地下形状把握のための調査観測

## (1)業務の内容

(a) 業務題目 断層の三次元地下形状把握のための調査観測

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学	教授	渡辺 俊樹
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学	教授	山岡 耕春
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学	准教授	田所 敬一
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学	助教	市原 寛

(c) 業務の目的

恵那山ー猿投山北断層帯の西半部と東半部の境界付近における複数の断層、ならびに屏風 山断層と猿投山北断層の地下での連続性を把握するとともに、猿投山北断層、猿投ー境川断 層、恵那山断層の地下での三次元的形状を明らかにする。これらの結果を本断層帯の構成断 層の妥当性や活動区間の検討、強震動の予測精度の高度化に活用する。

(d) 3 ヵ年の年次実施業務の要約

1) 令和2年度:

恵那山断層、猿投山北断層、猿投-境川断層の境界付近で、過去に生じた微小地震 の精密震源再決定を行った。得られた震源分布の三次元的形状を基に、各断層の地 下での関係について検討した。浅部反射法探査を実施するために予備調査を行い、 恵那山-猿投山北断層帯の西半部と東半部との境界付近、並びに屏風山断層と猿投 山北断層との間において反射法探査の測線を選定し、調査仕様を検討した。

2) 令和3年度:

令和2年度に実施した予備調査により選定した測線と調査仕様に基づいて浅部反 射法探査を実施する。また、当該地域の既存の反射法探査のデータの再解析に着手 する。

3) 令和4年度:

令和3年度に実施した浅部反射法探査データの解析、および既存の反射法探査の データ解析と解釈を行う。令和2年度に実施した地震活動の再解析結果と合わせて、 調査観測のまとめを行い、地下構造の観点から本断層帯の構成断層や活動区間の検討 に活用する。

## (2) 令和2年度の成果

- (a) 業務の要約
  - 1) 浅部反射法探查

令和3年度実施予定の浅部反射法探査について図上検討と現地踏査を行い、その結果 をふまえて測線や探査仕様を検討した。恵那山断層と猿投山北断層、猿投山-境川断層 において5~7km長の計3本の測線を選定した。断層周辺約2km長の反射法探査区間に 加え、トレンチにおいて断層位置が確認されている猿投山北断層区間に極浅層高密度探 査区間を設けることにした。

2) 過去に発生した地震活動の再解析

2006年12月19日に発生したM4.4の地震の余震を中心に恵那山断層、猿投山北断層、猿 投ー境川断層の境界付近で発生した一連の地震についてDouble Difference法によって 精密震源再決定を行った。その結果、本震のメカニズム解の節面と一致する面上や、こ れとはやや異なる面上などに震源が分布することが明らかになった。このことは、恵那 山断層西端付近の深部におけるこの断層に関係する小規模な面構造の存在を示唆して いる。

(b) 業務の実施方法

本年度の業務項目は、下記の2項目とした。

1) 浅部反射法探査のための予備調査

2) 過去に生じた微小地震の精密震源再決定

各項目の実施方法は以下の通りである。詳しくは次節「(c)業務の成果」で述べる。

1)では、全体計画、サブテーマ2で実施するトレンチ調査地点付近や道路網をふまえ て図上で選定した測線の候補に対して現地踏査を行い、その結果をもとに来年度実施す る浅部反射法探査等の測線や探査仕様を検討する。

2)では、恵那山断層、猿投山北断層、猿投-境川断層の境界付近で2006年12月19日に 発生したM4.4の地震の余震を中心にDouble Difference法によって精密震源再決定を行 い、恵那山断層、猿投山北断層、猿投-境川断層の境界付近における震源分布の面的形 状から深部の断層形状を把握する。

(c) 業務の成果

1) 浅部反射法探査のための予備調査

浅部反射法探査によって検討すべき項目は、(1) 猿投山北断層と猿投-境川断層の地 下における関係、(2) 猿投山北断層と恵那山断層の関係、(3) 屏風山断層と猿投山北断 層の間の構造の活断層の可能性、(4) 恵那山断層帯の東部の構造、である。計画段階に おける各断層における調査対象の概略位置を図1に示す。まず、これに基づき、地形図、 航空写真、地質図、および道路図等による図上での検討により、図2に示す区域①から ⑤の5 区域を調査候補区域として設定し、道路図を基に各区域内で複数の候補測線を選 定した。次に、各区域において候補測線およびその周辺を対象として現地踏査を行い、 道路条件による探査実施の可否や周辺環境による制約条件の有無等を確認した。候補で ある測線上での探査実施に制約が大きいと判断される場合等には、候補測線の周辺にお いて探査が実施可能な追加候補を選定した。



図1 調査地域の断層と、各断層を対象とした探査計画の概略位置(赤線)地形データは 国土地理院による基盤地図情報数値標高モデル(10m メッシュ)を、断層の地表トレー スは産業技術総合研究所による活断層データベースをそれぞれ使用した。



図2 探査測線選定のため検討対象区域①~⑤。地形データは国土地理院による基盤地図 情報数値標高モデル(10mメッシュ)を、断層の地表トレースは産業技術総合研究所による 活断層データベースをそれぞれ使用した。

サブグループ1、2、4とも情報交換した上で、実施計画全体の観点、特にサブグル ープ1の震源シナリオ評価の観点から、屏風山断層よりも恵那山断層の方が探査の優先 度が高いものとした。また、トレンチ調査等の他の調査との関係も考慮し、区域①、②、 ④を最優先、次いで⑤、③の順とした。ここで、区間③は既存の反射法探査(東濃地震 研究所1999年実施)(地震予知総合研究振興会,2000)の測線と近いことから、優先度 を高くする必要がないと判断した。これらの情報に基づき、各測線の意義、探査実施の 可能性と周辺状況による制約等を総合的に検討し、測線を選定した。

最終的に選定した探査測線は図3に示す測線1、2、3の3測線であり、測線長合計 は約17.7 kmである。

- a) 測線1:猿投山北断層地表位置および猿投-境川断層地表位置を横切る全長約5.4 km(図4)
- ・ 測線概要:愛知県県道33号線上の東西約5.4 km区間。
- ・断層との位置関係:測線西側において猿投山北断層を横断し、測線東側で猿投-境 川断層を横切る測線である。地震調査研究推進本部(以下、「地震本部」)による 長期評価(2004)および都市圏活断層図(岡田・他,2017)によれば、本区域にお いて猿投山北断層は北西傾斜を伴う高角の右横ずれ断層、猿投-境川断層は西側隆 起の逆断層とされている。
- ・ 表層地質:猿投山北断層地表位置の周辺のごく狭い範囲および猿投-境川断層地表 位置の東側に段丘堆積物が分布するほかは、大半の区間で中生代後期白亜紀の花崗 岩が分布している。
- 探査や周辺環境における留意事項:全区間で大型バイブレータによる発振が可能である。ただし、道路は片側1車線で路肩スペース等がほとんどない。また、猿投ー境川断層地表位置近傍では道路に面して民家が点在しており、発振環境は良好とは言えない。交通量はやや多く、大型車の通行がみられる。
- b) 測線2:恵那山断層地表位置南端付近において猿投山北断層地表位置を横切る全長約7.0 km (図5)
- ・ 測線概要:岐阜県県道13号線および同県道33号線上の東南東-西北西方向の約7km 区間。
- 断層との位置関係:測線中央部において猿投山北断層地表位置を横切る。
- ・ 表層地質:猿投山北断層地表位置の周辺のごく狭い範囲および周辺の短い区間上で 沖積層が分布するほかは、大半の区間で中生代後期白亜紀の花崗岩、花崗閃緑岩が 分布している。
- 探査や周辺環境における留意事項:全区間で大型バイブレータによる発振が可能である。交通量は少なく、道路に面した民家等も比較的少ないため、全般的に比較的静穏な環境である。ただし、測線西側に採石場があり、ノイズ源となることが予想される。
- c) 測線3: 恵那山断層地表位置を横断する全長約5.3 km (図6)
- ・ 測線概要: 富田川および吉田川に沿う南東-北西方向の約5.3 km区間。
- ・ 断層との位置関係: 測線中央部の二か所で恵那山断層地表位置を横切る。地震本部



による長期評価(2004)および都市圏活断層図(岡田・他, 2017)によれば、本区 域における恵那山断層は南東側隆起の逆断層とされている。

図3 選定した探査測線(全体)。国土地理院20万分の1地図に加筆。断層の地表トレースは産業技術総合研究所による活断層データベースによる。



図4 測線1 (長さ約 5.4 km)。国土地理院の地理院地図に都市圏活断層図(岡田・他, 2017)の断層の地表トレースを参照して加筆。



図5 測線2(長さ約7.0 km)。国土地理院の地理院地図に都市圏活断層図(岡田・他, 2017)の断層の地表トレースを参照して加筆。



図6 測線3 (長さ約 5.3 km)。国土地理院の地理院地図に都市圏活断層図(岡田・他, 2017)の断層の地表トレースを参照して加筆。

- 表層地質:恵那山断層地表位置を含む中央部および北西部に段丘堆積物および沖積 層が比較的広く分布し、南東側には中生代後期白亜紀の花崗岩が分布している。
- 探査や周辺環境における留意事項:全区間で大型バイブレータによる発振が可能である。2か所の断層地表位置横断箇所のうち北西側横断箇所の低下側で民家が密集しているため発振条件が悪いが、全般的に受発振環境は良好である。
- 上記の測線に対して以下の調査を行う。
- · 浅層反射法探查

各測線について、それぞれ以下の区間でバイブレータ震源による受振点間隔10 m、 発震点間隔5mの浅層反射法発震記録を取得する。

- ・ 測線1:猿投山北断層地表位置を横断する2km区間および猿投ー境川断層地表 位置を横断する2km区間
- ・ 測線2:猿投山北断層地表位置を横断する3km区間
- 測線3:恵那山断層帯地表位置を2箇所で横断する測線中央部4km区間極浅層 反射法探査

測線1のうち、猿投山北断層地表位置を横断する 200 m区間において、バイブレー タ震源による受振点間隔2m、発震点間隔1mの極浅層反射法発震記録を取得する。 区間の詳細位置は過去のトレンチ調査およびサブグループ2で実施したトレンチ 調査の結果をもとに検討を行い決定した。

• 屈折法探查

各測線について、バイブレータ震源による受振点間隔 25 m以下、発振点間隔 100m の屈折法発震記録を取得する。

各探査の仕様をまとめると表1~3の通りである。

表1 震源仕様

	浅層反射法	極浅層反射法	屈折法
震源	大型バイブロサイス 1台		
標準発震点間隔	5 m	1 m	100 m
標準スウィープ数	2 回	1 回	10 回
標準スィープ長	16 秒	16 秒	20 秒
スィープ周波数	10 - 100 Hz	10 - 250 Hz	6-50 Hz

## 表 2 受振仕様

	浅層反射法	極浅層反射法	屈折法
受振器	上下動ジオフォン (5Hz速度計)		
受振点間隔	10 m	2 m	25 m以下
展開長	片側展開 1 km以上	固定展開200 m	全受振点による
			固定展開

表 3 記録仕様

	浅層反射法	極浅層反射法	屈折法
記録システム	24ビットA/Dによるディジタルテレメトリ型または独立型		
サンプル間隔	1 m秒	0.5 m秒	2 m秒
記録長	3秒	1秒	4秒
(相互相関後)			

測線1、2、3について、現地踏査での確認結果に基づいて、反射法探査の基本情報 の把握および民家等の周辺環境の制約による発振欠落区間が探査結果に与える影響を 検討した。まず、地形図上において受振点と発振点を設定し、受振点、発振点からのオ フセット(発振点と受振点との距離)が測線全体を通して大きく偏らないように重合測 線を設定した。次に、各測線について重合数分布図とオフセット分布図を作成した。発 振欠落区間の影響について検討するために、最も条件のよい、測線上の発振点全てにお いて発振を行えるケースと、最も条件の悪い、民家の存在等により発振の欠落の可能性 がある場所での発振を全て除いたケースとを比較した。図7、8、9に測線1、2、3 についてそれぞれ最も計測条件の悪いケースについて、測線、オフセット分布、重合数 分布の図を示す。

測線1では、測線東側の民家区間における発振欠落を想定した結果、測線中央部から 東側にかけて重合数が1/2から1/3程度まで減少することが確認された。また、オフセ ット分布図から、猿投ー境川断層上ではニア・オフセットからファー・オフセットまで データが欠落することが想定された。したがって、可能な限り周辺住民への周知を行い、 平日の日中での発振、あるいは出力を減じた発振を行う必要があることがわかった。

測線2では、民家、交差点やT字路などでの発振欠落を想定した結果、重合数が1/2 程度に減少する箇所が点在することが確認された。ただし、オフセット分布図から各 CMP においてオフセット欠落は点在しており、発震欠落の影響は限定的である。交差点やT 字路での発振欠落は免れないが、民家周辺では測線1と同様の対応を行う必要がある。

測線3では、測線と恵那山断層の交差部において民家が集中しているため、民家付近 を発振欠落とした場合、測線中央部で重合数が1/2程度に減少すること、オフセット分 布図から、該当CMPにおいてニア・オフセット領域でデータが欠落することがわかった。 浅層探査においてニア・オフセットのデータ欠落は望ましくないことから、民家周辺に 関しては測線1、2と同様の対応を行う必要があることが確認された。

屈折法の可探深度を検討するために、波線計算によるシミュレーション(岩崎, 1988) を行った。各測線について、速度構造を堆積層および花崗岩体からなる単純な二層構造 であると仮定して波線計算を行った。速度構造は以下の通りとした。

- ・ 第1層(堆積層): Vp = 2000 m/s、鉛直速度勾配 0 (m/s)/m
- ・ 第2層(花崗岩体):上面 Vp = 5000 m/s、鉛直速度勾配 0.1 (m/s)/m

第1層の層厚を測線1および2では5m、測線3では100 mとした。

各測線に対する波線計算結果を図 10 に示した。地表ごく浅部まで新鮮な花崗岩体が 存在し、鉛直速度勾配が 0.1 (m/s)/m ときわめて小さい値であれば、波線の到達深度は 深さ数十m程度でしかないことが想定される。波線の通過する深さ(速度構造を求められる深さ)は鉛直速度勾配を大きくするに従って大きく(深く)なり、鉛直速度勾配1.0 (m/s)/mの場合数百m程度となる。実際には花崗岩体の年代や花崗岩に含まれる成分、 風化や破砕の程度などにより速度値、速度勾配ともに変化するが、ごく表層の速度分布 しか得られないこともあると考えられる。



図7 測線1の、上から測線図、反射法オフセット分布、反射法重合数分布。測線図は 国土地理院の地理院地図に都市圏活断層図(岡田・他,2017)の断層の地表トレースを加 筆。測線図で赤は反射法、緑は屈折法の測線を表し、反射法解析の投影断面位置(黒線) と CMP 番号も示す。反射法オフセット分布は発振点-受振点の組み合わせと距離(オフセ ット)を示し、白く空いた箇所はデータが得られないことを示す。反射法重合数分布は、 上記の発振点-受振点の組み合わせの CMP(中点)の空間分布と数を表し、赤い色になる ほどデータ数が多くその場所での解析の信頼性が高いことを表す(以下同じ)。図は民家の 存在等により発振の欠落の可能性がある場所での発振を全て除いた最も調査条件の悪いケ ースを示す。



図8 測線2の、上から測線図、反射法オフセット分布、反射法重合数分布。民家の存 在等により発振の欠落の可能性がある場所での発振を全て除いた最も調査条件の悪いケー スを示す。



図 9 測線 3 の、上から測線図、反射法オフセット分布、反射法重合数分布。民家の存 在等により発振の欠落の可能性がある場所での発振を全て除いた最も調査条件の悪いケー スを示す。





図10波線計算による屈折法可探深度の見積もり。上から測線1、2、3。

2) 過去に生じた微小地震の精密震源再決定

恵那山断層、猿投山北断層、猿投-境川断層の境界付近では2006年12月19日にマグニ チュード(M)4.4の地震が深さ約15kmで発生し(図11)、この地震によって岐阜県や愛 知県の一部で最大震度3を記録した。この地震の震源メカニズムは、気象庁の初動発震 機構解によると(走向,傾斜,すべり角) = (228°,63°,175°)および(320°,85°, 27°)であり、防災科学技術研究所の広帯域地震観測網F-netで取得された地震波形から 求められたモーメントテンソル解によると(走向,傾斜,すべり角) = (228°,70°, 175°)および(320°,86°,20°)であり、ともに東西方向にP軸をもつ横ずれ断層型で あった。この地震では明瞭な余震活動がみられるほか、その発生前から同じ場所で微小 地震活動が観測されていた(図11の時空間分布図参照)。

本解析では、2002年6月3日から2018年8月31日の間に北緯35.22°~35.29°、東経 137.20°~137.32°の領域内の深さ20km以浅で発生したM0.2以上の地震を対象に精密震 源再決定を行った。なお、地震の規模別頻度分布によると、当該領域ではM0.2以上の地 震に対しては充分な検知能力を有していることが分かっている。気象庁一元化震源リス トから抽出した解析候補の地震は435個であった。



図11 2006年12月19日に発生したM4.4の地震の発生域を含む地域の震源分布。気象庁-元化震源リストから抽出した1997年10月~2018年8月に深さ20km以浅で発生したM0.2 以上の地震が示されている。赤枠内で発生した地震の時空間分布図も併せて示す。地形 データは国土地理院による基盤地図情報数値標高モデル(10mメッシュ)を、断層の地 表トレースは産業技術総合研究所による活断層データベースをそれぞれ使用した(以下 同じ)。

まず、防災科学技術研究所高感度地震観測網(Hi-net)、気象庁、名古屋大学、京都 大学防災研究所、産業技術総合研究所の定常観測点計70点で収録された地震波形を用い て、P波およびS波の手動験測を行った。次に、hypoDD(Waldhauser, 2001)を用いて Double Difference法(DD法; Waldhauser and Ellsworth, 2000)によって精密震源再 決定を行った。初期震源位置は、上記の手動験測結果を用いてhypomh(Hirata and Matsu'ura, 1987)によって決定した。地震波速度構造は、Matsubara *et al.*(2019)の P波速度構造を参照し(図12)、P波速度とS波速度の比(Vp/Vs)を1.73とした。解 析候補とした435個の地震の中から、地震ペアとの距離が45km以内に位置する観測点の うち8点以上でP波とS波の読み取り値がともに存在し、地震ペア間の距離が10km以内 のものを選別した。この条件に適合した地震の数は392個であり、走時差ペアの数は、 P波が224952、S波が248773の計473725ペアであった。また、DD法での解析に使用され た観測点は、防災科学技術研究所Hi-net、気象庁、名古屋大学、産業技術総合研究所の 25点であった(図13)。



図12 DD法による解析で用いた P 波速度構造 (Matsubara et al., 2019)



図13 DD法による解析に用いた観測点 (防災科学技術研究所Hi-net、気象庁、 名古屋大学、産業技術総合研究所)。断 層の地表トレースは産業技術総合研究 所による活断層データベースによる。



図14 (左)気象庁一元化震源リストによる解析候補とした地震の分布と(右)DD法に よる精密震源再決定結果。上段は震央分布図、中段および下段はそれぞれA-A'および B-B'方向に投影した深さ分布。全ての図で距離(東西・南北座標)の原点は震央分布 図中に×印で示した。青三角は地震観測点(気象庁愛知小原)。地形データは国土地理 院による基盤地図情報数値標高モデル(10mメッシュ)を、断層の地表トレースは産業 技術総合研究所による活断層データベースをそれぞれ使用した。



図15 DD法による精密震源再決定結果に見られる3つの地震群(①~③)の深さ分布。 地震群①~③ごとにそれぞれの地震群の並びの方向(N55°EまたはN70°E)に投影してい る。▼Eは恵那山断層の地表位置。青三角は地震観測点(気象庁愛知小原)。断層の地表 トレースは産業技術総合研究所による活断層データベースを使用した。

図14に気象庁一元化震源リストによる解析候補とした地震の分布とDD法による震源 再決定結果を示す。全体として再決定結果の震源分布が浅く求められているのは、両者 で用いている地震波速度構造の違いによる。再決定結果では、M4.4の地震の震源を含む 走向約235°(N55°E方向)、傾斜70~80°(70~80°NW)の面上に分布する地震群が顕著であ る。この面は、M4.4の地震のメカニズム解における片方の節面(走向228°、傾斜63~70°) とほぼ一致しており、恵那山断層の地表トレースとも平行に近い。また、この面から外 れた場所にも複数の地震群が見受けられる。それぞれの地震群の分布を図15に示した。 ①で示した地震群は上述の通りである。近接する恵那山断層の西端部が約80°SEで傾斜 していれば、①で示した地震群が分布する面の最下端で合流することになる。地震数は 少ないながらも、②および③で示した地震群は、ともにM4.4の地震のメカニズム解の節 面の走向とはやや異なるN70°E方向(走向70°または250°)の面上に分布しており、傾斜 は②の地震群が約80°(約80°SE)、③の地震群が約70°(約70°NW)である。③の地震群は、 他の2つの地震群よりもわずかに深い場所に位置している。面の長さ×幅は、①が1.5 ~ 2 km×2 km、②が1 km×2 km弱、③が2 km×1 kmである。ただし、③の地震群につい ては、地震が少ないために水平方向の連続性が明瞭ではない。このように、対象領域の 地震は、互いに近接した複数の高角な面上に分布していることが明らかになった。この ような面状の地震分布は、恵那山断層西端付近の深部におけるこの断層に関係する小規 模な面構造の存在を示唆している。DD法による精密震源決定結果から明らかになった深 部における面構造を模式的に図16に示す。ただし、③の地震群については、地震が少な いために水平方向の連続性が明瞭ではないため、分布域と地表投影位置を点線で描いて いる。



図16 DD法による精密震源決定結果から明らかになった深部における面構造の模式図。 ③の地震群については、地震が少ないために水平方向の連続性が明瞭ではないため、分 布域と地表投影位置を点線で描いている。

(d) 結論ならびに今後の課題

浅部反射法探査のための予備調査では、令和3年度に実施予定の浅部反射法探査について図上検討と現地踏査を行い、令和3年度に実施予定の浅部反射法探査について図上 検討と現地踏査を行い、測線と探査仕様を検討した。恵那山断層と猿投山北断層、猿投 山-境川断層において長さ5~7kmの計3本の測線を選定した。各測線においては、断 層周辺約2km長において浅層反射法探査区間を設けた。それらに加え、トレンチにおい て断層位置が確認されている猿投山北断層の200 m区間では高密度に発受振を行い、高 周波数を使用する極浅層探査を実施することにした。また、反射法測線延長部で屈折法 調査を実施することとした。各測線において、発受振条件がデータ取得に及ぼす影響を 検討し、できる限り欠落区間をなくして調査を実施することが望ましいことを確認した。 また、高速度の花崗岩体が地表浅部まで分布する現地の地質条件下では、屈折法による 探査深度はあまり期待できないことがわかった。来年度は、今年度の事前評価の結果を 踏まえて、できるだけ多くの発振位置で高品質な波形記録を取得することが必要である。 過去に生じた微小地震の精密震源再決定では、恵那山断層、猿投山北断層、猿投ー境川 断層の境界付近で発生した地震群が少なくとも3つの高角な面上に分布していること が明らかになった。このような面状の地震分布は、恵那山断層西端付近の深部における この断層に関係する小規模な面構造の存在を示唆している。ただし、地表の断層トレー スとの関係性の理解は不充分である。当該地域では来年度実施予定の浅部反射法探査の 測線が設けられる予定であり、その探査の結果もふまえて議論する必要がある。また、 本年度は、恵那山断層西端部の地震群を対象としたが、この領域以外にも地震群が見受 けられる(図11参照)。特に、恵那山断層中央部に見受けられる地震群の発生域は、来 年度にデータの再解析に着手する既存の反射法調査の測線直下にあたる。反射法調査結 果の解釈のため、この地震群についても精密震源再決定を行い、深部における面構造を 把握する必要がある。

(e) 引用文献

防災科学技術研究所, 広帯域地震観測網 F-net, https://www.fnet.bosai.go.jp/top.php Hirata, N. and M. Matsu' ura, Maximum-likelihood estimation of hypocenter with

original time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Int.*, 47, 50-61, 1987.

岩崎貴哉,1988,海底地震探査に基づく地下速度構造研究のための波線追跡プログラム, 地震第2輯,41,263-266

地震調査研究推進本部地震調査委員会, 屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯の評価, 2004.

地震予知総合研究振興会, 屏風山断層調查研究委員会報告書, 東濃地震科学研究所報告, Seq. No. 5, 2000.

気象庁,初動発震機構解,https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/ini/top.html 国土地理院,基盤地図情報ダウンロードサービス,

https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php

国土地理院,地理院地図 (電子国土Web), https://maps.gsi.go.jp/

Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, T. Kanazawa, N. Takahashi, K. Suzuki and S. Kamiya, Seismic velocity structure in and around the Japanese Island arc derived from seismic tomography including NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, *Seismic Waves - Probing Earth System*, IntechOpen, 1-19, 2019.

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, NIED Hi-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, doi:10.17598/NIED.0003, 2019.

岡田篤正・廣内大輔・松田信尚・宮内崇裕, 1:25,000都市圏活断層図屏風山・恵那山断層 帯及び猿投山断層帯とその周辺「中津川」,国土地理院技術資料,D1-No.758,2017.

産業技術総合研究所,活断層データベース2012年2月28日版,産業技術総合研究所研究情報公開データベースDB095,産業技術総合研究所,2012.

https://gbank.gsj.jp/activefault/index\_gmap.html

Waldhauser, F. and W. Ellsworth, A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward Fault, California, *Bull. Seismol.*  Soc. Am., 90(6), 1353-1368, 2000.

Waldhauser, F., hypoDD: A program to compute double-difference hypocenter locations, U.S. Geological Survey Open-File Report 01-113, 2001.