

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	講師	市原 寛

2) 過去に発生した微小地震の精密震源再決定

昨年度は、恵那山断層、猿投山北断層、猿投一境川断層の境界付近（領域A：図18）で過去に発生した微小地震の精密震源再決定を行い、当該領域の深部における面構造の推定を行った。本年度は、領域Aの解析期間を延長するとともに、恵那山断層の地表トレースがステップしている地点に発生した地震群（領域B：図18）についても同様の解析を行った。

領域A、領域Bともに2002年6月3日から2018年12月31日に深さ20km以浅で発生したマグニチュード（M）0.2以上の地震を解析対象とした。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、領域Aが439個、領域Bが77個であった。精密震源決定に先立ち、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（領域A：70点、領域B：77点）で収録された地震波形を用いて、P波およびS波の手動検測を行った。次に、hypoDDプログラム（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、上記の手動検測結果を用いて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、P波速度とS波速度の比（ V_p/V_s ）は1.73とした。解析候補とした地震の中から、地震ペアとの距離が60km以内に位置する観測点のうち8観測点以上で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領域Aが438個、領域Bが77個であり、走時差ペアの数は、領域Aが777941ペア、領域Bが31619ペアであった。また、DD法での解析に使用された観測点数は、領域A、領域Bともに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計36であった。

震源再決定結果を図19に示す。領域Aで発生した地震は、主に3つのグループ（①～③）に分離していることが明らかになった。地震群①は、深さ12～14kmに位置しており、2006年12月19日に発生したM4.4の地震を含む走向235°（N55°E方向）、傾斜70～80°（70～80°NW）の面上に分布している。走向、傾斜の値は、気象庁の初動発震機構解（走向228°，傾斜63°）や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（走向228°，傾斜70°）と整合的である。この面的地震分布の傾斜の向きは近くに位置する猿投山北断層や恵那山断層とは異なるため、地震群①はこれらの断層面上で発生したものとは考えにくい。一方、愛知県（1999）は、瀬戸市東白坂地区においてボーリング調査を実施しており、猿投山北断層の傾斜を約78°SEと報告している。地震群①付近においてもこの傾斜が保たれており、かつ地下深部まで一定であると仮定すれば、地震群①が分布する面の深部で猿投山北断層と接続することになる。また、この面的分布をそのまま地表まで延長した地点には、5万分の1地質図「明智」に断層の存在が示されている。領域Aでは、ほかにも走向73°のほぼ鉛直（南西にやや傾斜）な地震群②や、走向253°（N73°E方向）のほぼ鉛直な地震群③が分布している。地震群③は、2007年9月24日に発生したM2.9の地震を含む面上に分布しており、その走向、傾斜は気象庁の初動発震機構解（走向240°，傾斜80°）に近い。

領域Bで発生した地震も、主に3つのグループ（④～⑥）に分離していることが明らか

になった。地震群④は、走向 39° 、傾斜 45° (45° SE)の面上に分布している。この傾斜は恵那山断層の一般的な傾斜 ($30\sim 50^{\circ}$ SE；地震調査研究推進本部地震調査委員会， 2004)と整合的であり、恵那山断層の地表トレースがステップしている地点の深部約11kmに、恵那山断層と平行な面的地震分布が検出された。地震群⑤は、地震分布の連続性には乏しいが、走向は 230° ($N50^{\circ}$ E方向)であり、恵那山断層の一般的な走向である $N55^{\circ}$ Eとよく一致している。また、傾斜が約 40° (40° NW)であり、恵那山断層と共役な構造を成していると考えられる。この地震群も深さ約11kmに位置している。これらのほかに断層の地表トレースから離れた地点に走向 50° のほぼ鉛直（南東にやや傾斜）な地震群⑥が分布している。

このような面状の地震分布は、恵那山断層沿いの深部におけるこの断層に関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20に示す。

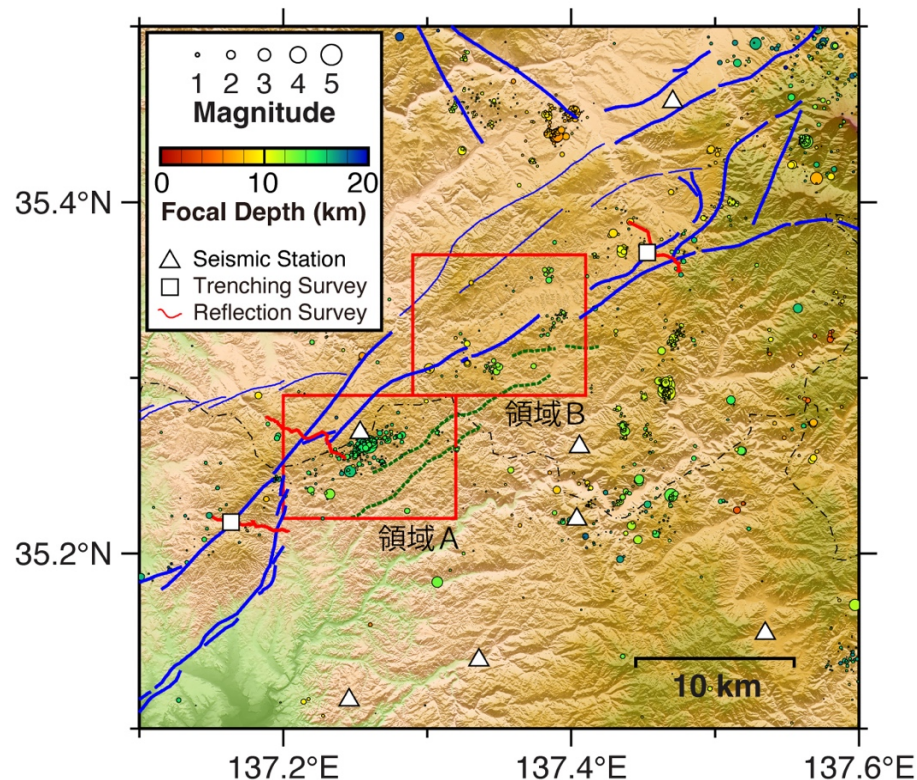


図18 2002年6月3日から2018年12月31日に深さ20km以浅で発生したM0.2以上の地震（気象庁一元化震源リストによる）の震源分布、および精密震源再決定の解析対象領域（領域Aおよび領域B）。サブテーマ2で実施したトレンチ調査の位置とサブテーマ3で実施した浅部反射法探査の測線も併せて示す。地形データは国土地理院による基盤地図情報数値標高モデル（10mメッシュ）を使用した。青の実線は産業技術総合研究所による活断層データベースによる断層の地表トレース。緑の破線は産業技術総合研究所による5万分の1地質図「明智」（山崎ほか，2020）に記されている断層の地表トレース。

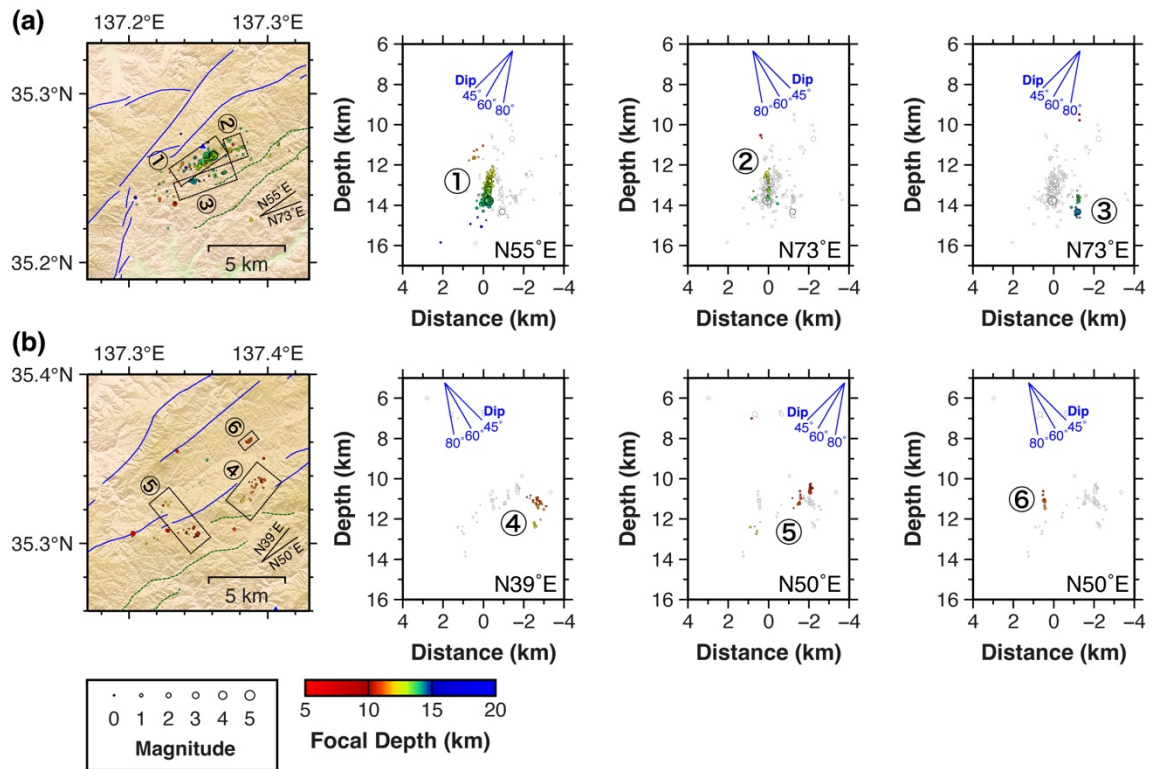


図19 (a)領域Aおよび(b)領域BにおけるDD法による精密震源再決定結果に見られる地震群(①~③および④~⑥)の深さ分布。地震群ごとにそれぞれの地震群の並びの方向に投影している。青三角は地震観測点(気象庁愛知小原)。地形データは国土地理院による基盤地図情報数値標高モデル(10mメッシュ)を使用した。青の実線は産業技術総合研究所による活断層データベースによる断層の地表トレース。緑の破線は産業技術総合研究所による5万分の1地質図「明智」(山崎ほか, 2020)に記されている断層の地表トレース。

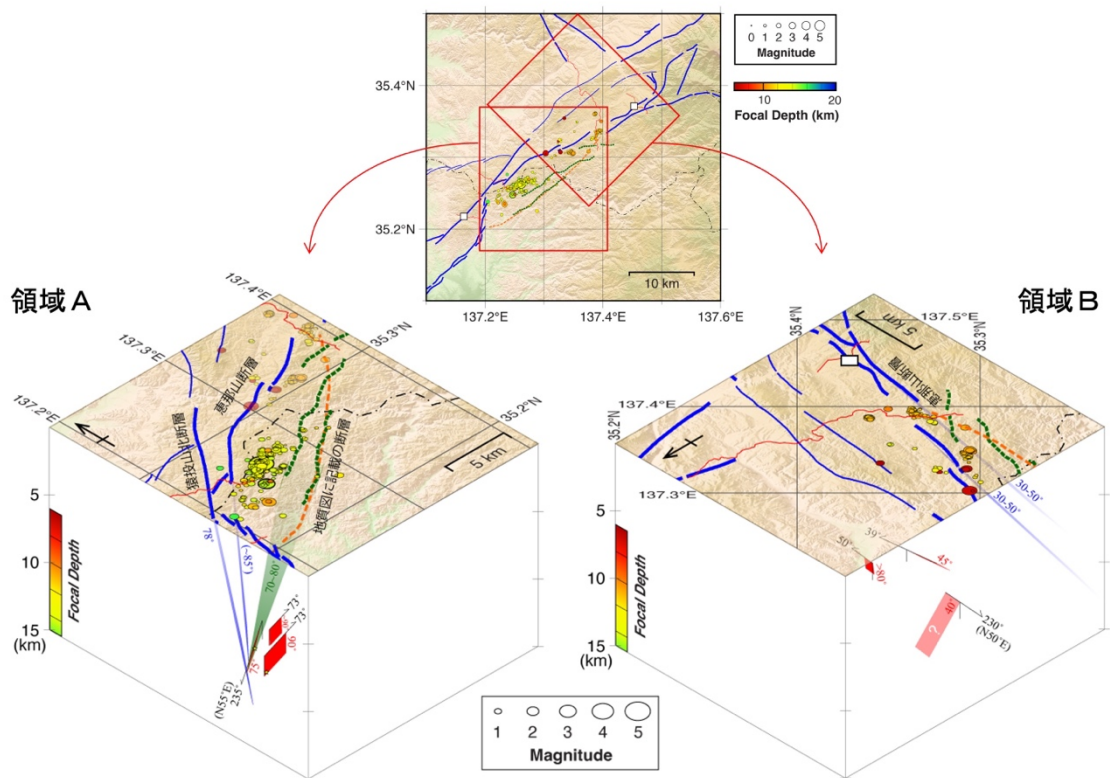


図20 DD法による精密震源決定結果から明らかになった深部における面構造の模式図。領域A、領域Bそれぞれについて別の断面に投影している。

(d) 結論ならびに今後の課題

昨年度選定した測線と探査仕様にに基づき2021年9月に浅部反射法探査を実施した。恵那山断層と猿投山北断層、猿投山一境川断層において、約5～7 km長の計3本の測線において反射法探査および屈折法探査を実施した。猿投山北断層測線においては極高密度高分解能探査を実施した。探査は計画通り実施され、一部の測線や受振点でS/N比が低かったものの、良好なデータが得られた。各測線で初動はほぼ全体にわたって視認でき、簡単な見かけ速度の算出結果でも各測線の地下構造を反映していることが推察できた。また、ほぼ原記録の状態でも基盤面からの反射波や基盤面での屈折波が明瞭に視認できた。断層からの反射波や断層構造を反映していると考えられる波形変化も確認できた。次年度はこのデータと既存の反射法調査のデータから地下構造断面を作成し、解釈を加えて、断層帯とその周辺の地下構造を明らかにする。記録された波形には断層の存在を示す兆候が認められるものの、断層構造そのものをどこまで詳細に描けるかは挑戦的な課題である。

過去に生じた微小地震の精密震源再決定によって、恵那山断層、猿投山北断層、猿投一境川断層の境界付近や、恵那山断層の地表トレースがステップしている地点の直下に合わせて6つの面状の地震分布が確認された。恵那山断層、猿投山北断層、猿投一境川断層の境界付近の深部12～14kmには、この地域としてはやや規模の大きいM4.4の地震を

含む面構造が存在している。この面構造は、近くに位置する猿投山北断層や恵那山断層の断層面とは異なるものであり、そのまま地表まで延長した地点には地質図に断層の存在が示されている。恵那山断層の地表トレースがステップしている地点の直下約11kmには、恵那山断層と平行な面構造や共役な面構造が存在していることが明らかになった。