

## 6. むすび

本研究課題では、我が国の主要活断層帯で最も地震発生可能性が高い断層帯の1つである糸魚川－静岡構造線断層帯の北部区間～中南部区間を対象として、これまで未解明であった連動型地震の発生確率の算出や連動条件の検討を目的とした調査研究を3カ年の計画で実施した。最終的な成果は、地震調査研究推進本部の長期評価における新たな評価手法を提案し、「活断層の長期評価手法（暫定版）」に反映されることを目指した。特に、活断層から生じる連動型地震の評価手法については、世界的には南カリフォルニア大が実施するUCERF3（Uniform California Earthquake Rupture Forecast）等においても検討されてきたものの、評価手法が未だに確立されていない。そのため、本事業でも既存の研究成果を踏まえつつ、新たな視点や独自の試みを重視して調査研究を実施した。

糸魚川－静岡構造線断層帯は、我が国で最も地震発生可能性が高い主要活断層帯の1つであり、これまでも各機関で活断層調査や重点的な調査観測が実施されてきた。これらの既往調査研究成果に加え、本研究課題では下記の4つの各研究項目間で成果の共有や連携を図りつつ、新たな観点から調査研究を実施した。

1) 変位履歴に基づく連動性評価のための地形地質調査では、北部区間・神城断層の2地点において前年度の補足的な地形地質調査を実施し、過去の地震時変位量等を明らかにした。また、中北部区間・松本盆地東縁断層南部の2地点において調査を実施し、過去の地震時変位量等を明らかにした。さらに、中南部区間の1地点において変位履歴調査を実施し、複数回の地震時変位量等を推定した。これらの新たなデータと既存成果を総合して、地震時変位量と断層長の経験式等から地震イベント毎の活動範囲を推定した。その結果をもとに、過去に周辺断層と連動した地震イベントの発生間隔（連動間隔）を推定し、連動間隔からポアソン過程に基づく連動確率の試算を各区間の組み合わせと断層帯全体に対して実施した。

2) 速度構造不均質を考慮した精密震源決定では、既存の研究成果等を含めて三次元速度構造モデルの検討を行い、2017年12月6日の長野県中部の地震（ $M_j5.3$ ）、及び2018年5月12日に長野県北部で発生した地震（ $M_j5.2$ ）とその余震に関して震源決定とメカニズム解推定をおこなった。それらの結果を基に地下深部の断層形状と周辺の応力場を推定した。また、既存の高精度震源カタログをもとに、中北部区間の牛伏寺断層周辺の断層形状について検討し、高角な断層形状を推定した。

3) 三次元FEMによる断層モデルの高度化では、複雑な断層形状を反映して、地震時変位量と断層長のスケール則を考慮した有限要素解析手法断層変位計算手法を構築した。スリップパーティショニングが発生しやすい条件を仔細に検討し、発生条件として断層形状と最大主応力の方位を明らかにした。さらに北部区間と中北部区間に適用し、研究項目1及び2の新知見を反映して応力方位に関するパラメトリックスタディーを実施した。その結果、調査観測結果と整合する最大主応力方位が $N60^\circ W$ となることを示した。中北部区間と中南部区間の境界付近に位置するプルアパート構造を対象として、ステップ幅、オーバーラップ、最大主応力方位を様々に変化させてパラメトリックスタディーを実施し、静的な相互作用に関する定量的な知見を得た。さらに、地震時変位量の調査結果と変位シミュレーション結果を比較検討し、区間毎の断層面をなめらかに接続する断層モデルへと改良をおこなった。

4) 動的破壊シミュレーションによる連動性評価では、2014年長野県北部の地震を端緒として動力的震源モデルを構築し、周辺断層との相互作用を検討した。続いて、研究項

目1～3による断層モデルを考慮し、シミュレーション用コードの改良をおこなった。さらに、北部～中南部区間のうち、中北部区間と中南部区間を対象として、震源モデルを構築し、連動可能性を具体的に検討した。その結果、中北部区間北端、もしくは南端から破壊が始まる場合には、中北部区間と中南部区間が連動する可能性を明らかにした。ただし、調査観測で得られた地震時変位量の全てを同時に説明できるイベントは、北部区間や南部区間も含めたより広い範囲での連動である可能性を指摘した。

5) 地表から地下深部までの統合的な断層モデル形状を北部区間及び中北部区間を対象に設定した。地表から深さ数 km 程度までは、新たな成果や既報の活断層分布、丘陵や平野の大地形と鮮新～更新統以降の地質分布を拘束条件とした。地下数 km 程度以深は、2014年長野県北部の地震と余震分布から地下で折れ曲がる断層形状を設定し、逆断層区間の基本モデルとした。その他の中北部区間や中南部区間では、既報の高精度震源カタログや余震分布等を参考に断層形状を設定した。

以上のように、本事業では各研究項目の調査研究成果が進捗するだけでなく、各項目の新知見を反映した断層モデル形状の推定やモデル構築と改良など、相補的に連携した成果も挙げることができた。本事業で提示した連動型地震の評価手法をプロトタイプとして、さらに改良を加えることにより、主要活断層帯から生じる連動型地震の長期的な発生可能性、連動時の詳細な地震規模と三次元的な変位分布、応力降下量や破壊伝搬方向を考慮した連動条件等を評価していくことが可能と期待される。