

## 4. 全体の成果の概要

本章では、本年度実施した各観測項目の成果の概要を述べることにする。平成 17 年度から始まった本重点的調査観測は、平成 20 年度で 4 年度目を向かえ、各項目とも最終取りまとめを視野に入れた調査観測が実施された。また、全体の取りまとめを念頭において、本調査観測の参加者が集まった意見交換会を 8 月と 1 月に行い、調査項目間の成果の一致点と矛盾点についての議論を行った。このような議論は、本断層帯で発生する地震の強震動予測モデルの構築にも、必要不可欠なものである。

### 4. 1 主たる成果

本調査観測及びパイロット的な重点的調査観測において実施された反射法・重力探査の最も重要な成果は、糸魚川－静岡構造線断層帯は諏訪湖を挟んで南と北でその構造が大きく異なるということ、を、解明したことである。その一方、平成 17 年度に本断層帯南部で行われた探査結果によれば、下田井-市ノ瀬断層は鮮新世ないしは第四紀前期以降 15～20 km 以上の水平短縮をしている可能性が高く、市ノ瀬断層は甲府盆地を越えてもっと南方まで活動的である可能性が考えられた。従って、甲府盆地の南の富士川河谷狭窄部の地下構造を解明することは、本断層帯南部で発生する地震の評価にとっても必要不可欠なものである。本年度は、糸魚川－静岡構造線断層帯の南方延長を横切る 2 測線上において反射法地震探査と重力探査を実施した。鯨沢測線(全長 5.6 km)は、大柳川に沿う測線で、市ノ瀬断層の南延長と考えられる曙逆断層を横切る。身延－早川測線(全長 17.8 km)は、早川に沿う測線であり、(狭義の)糸魚川－静岡構造線とその東側の静川層群の褶曲・断層構造を横切る。この測線は断層・褶曲構造の深部延長までをイメージングすることを目的に設定された。

鯨沢測線の西端部の約 2 km の間には、櫛形山層群が分布する。櫛形山層群と曙礫岩層との境界をなす曙逆断層は、測線西端から直線距離にして約 3.8km 付近を横切る。測線の南方約 1 km 及び北方約 0.5 km の地点では、60° 西北西に傾斜する断層面がこれまでに確認されていた。本年度の反射法・重力探査に伴って実施した地質調査でも、測線の北方で、ほぼ南北走向で 35° 西傾斜の断層面が確認された。本調査の反射法地震探査断面上で、曙逆断層の断層面は、明瞭な反射面を成していないが、反射面のテクスチャーの境界(40-50 度西傾斜)として認識することができた。重力異常も曙逆断層の上盤側(西側)で幅 1 km 以上にわたって負異常を示すので、この断層を境に低密度の曙礫岩層が西側の櫛形山層群の下に入り込んでいる可能性が高い。更に、測線西端から 4 km 付近から、低角で東に傾斜する明瞭な反射面が認められた。この反射面の西側は曙礫岩層の、東側は西八代層群の分布域であり、この反射面は両者の境界をなす東上がりの逆断層であると考えられる。曙逆断層の北方延長は、鯨沢南方まで追跡することができる。さらに、この断層はこの地点を経て更に北方の下田井-市ノ瀬断層に連続すると考えられる。今回の探査の結果、曙逆断層は曙礫岩層中の褶曲構造を覆っていることが分かった。更に新しい発見は、曙礫岩層のトラフの東縁が東傾斜の低角逆断層(手打沢断層と仮称する)であり、この断層自体も曙逆断層で覆われていることが分かったことである。この手打沢断層は、甲府盆地南縁を画する曾根丘陵断層帯の南西方延長である可能性がある。糸魚川－静岡構造線活断層帯と曾根

丘陵断層帯とは本地域で収斂し、複雑な地下構造を形成している可能性が高くなった。

身延—早川測線の西端のから約 6 km の区間は、瀬戸川層群のスレート劈開を持つ泥岩を主体とし、分布域東部の約 1 km の区間では砂岩が優勢となる。この部分の反射法断面では、瀬戸川層群中に連続性の良い反射面は認められず、全体として「透明」である。また、屈折波トモグラフィによる速度解析の結果も、この区間で速度の速い岩体が浅部から存在することを示している。本年度の反射法地震探査断面上で糸魚川—静岡構造線は、測線西端から 5.5km 付近を切るが、その東側の地層は全体として「不透明」であり、西側の瀬戸川層群が「透明」であるのと対照的である。この反射パターンの相違は深度 2 km 付近まで比較的明瞭に追跡でき、したがって糸魚川—静岡構造線の傾斜は 50~60° 西傾斜であることがわかった。また、屈折波トモグラフィによる速度解析の結果からは、この西傾斜の面に沿って低速度領域が存在する。また、この測線の東部にも断層構造が見られた。これは、地質学的には、西八代層群と静川層群下部層が断層（浅部では層面すべり断層）で接していることを意味する。この層面すべり断層は、身延断層の北方延長である可能性があり、今後の検討が必要とされる。

電磁氣的探査では、平成19年度までの観測から、諏訪盆地直下に鉛直状の低比抵抗異常が見出され、さらにその深部延長が西傾斜であることがわかってきた。平成20年度の調査では、この深部延長の構造を高精度で求めるために、さらに観測点を密に配置して観測を行った。今年度取得したデータを加えた解析によれば、その延長が地下深部でU字型をした低比抵抗異常としてイメージされた。得られた比抵抗モデルと、Double-differenceトモグラフィによる震源分布との対応関係を見ると、今回得られたU字型の低比抵抗異常の周辺に微小地震が分布している可能性が高く、断層のshear zoneに対応するものかもしれない。

自然地震観測の長期機動観測では、計器深度が 50m の孔井地震観測点を糸魚川—静岡構造断層帯の北部と長野盆地西縁断層帯に挟まれた領域の 4 箇所（長野県白馬村神城 [観測点名：白馬神城]、小川村瀬戸川 [同：小川瀬戸川]、長野県大町市社 [同：大町社]、および長野県筑北村東条 [同：筑北東条]）に新設し、高感度地震観測網 Hi-net に準じたデータ流通を行い、それらのデータと高感度地震観測網 Hi-net や大学・気象庁の観測点のデータとの効率的な即時併合処理を行った。一方、前年度までに整備した観測点については、引きつづいてその維持管理を行うとともに、それらの観測点のデータ蓄積と公開を行った。

また、観測網が十分に整備された 2007 年以降のデータによって地震波速度構造解析を行った。本年度の解析では、これまで用いられていなかった稍深発地震や深発地震のデータも利用した。観測網の整備及び深い地震からの波線の効果によってトモグラフィ解析の解像度が向上した。この解像度の向上によって、従来の解析結果と比べて速度異常域の分布形状がより明瞭になった。推定された速度構造によれば、飛騨山脈の直下には低速度帯が存在し、跡津川断層帯の場合と同様に糸魚川—静岡構造線断層帯の北端は、この低速度帯の存在が規定している可能性があることが明らかになった。更に、地震波の散乱によって励起される S コーダ波のエンベロープ形状の地域性を調べた。その結果、断層帯に沿って発生する地震をその近傍の観測点で観測した記録について、震源経過時間約 15 秒程度までのコーダ波の時間減衰率がその周囲よりも大きいことが明らかとなった。この特徴は、断層帯周辺における地殻内の強い内部減衰によって定性的に説明可能であることがわかった。

稠密アレー観測では、現地収録式の自然地震観測装置 44 台を、糸魚川—静岡構造線断層

帯北部（豊科市と大町市の間）に設置した。観測点は、断層帯の走行にほぼ直交する方向に列状に配置し、断層周辺の微小地震を観測した。本年度までに得られた自然地震データと周辺の定常観測データに対して、トモグラフィ法を適用することで、断層帯の深部構造の推定を行った。その結果によれば、断層帯北部では、北部フォッサマグナに対応する低速度域が断層帯の東側に存在する。周辺の微小地震は、活断層の糸静線から北部フォッサマグナの底に沿って東傾斜の分布を示す。一方、断層帯中部では、松本盆地に対応する低速度域が断層帯の西側に現れる。微小地震は断層帯直下に概ね分布するが、2つのクラスターに分かれている。即ち、断層帯から東側に深さ 10 km まで低角に傾斜した分布及び断層帯から高角に深さ 15 km まで続く分布である。即ち、北部と中部では地震分布の特徴に差が見られ、その分布パターンの変化する部分にこの断層帯の構造的境界が存在する可能性がある。この稠密観測に加え、本年度は、本断層帯北部で発生する地震のメカニズム解を解明する目的で、松本以北から白馬村周辺に至る断層帯北部域 8ヶ所において新たに臨時観測を開始した。メカニズム決定には、P波初動に加えて振幅値も用いている。まだデータの蓄積が不十分なため、決定できた地震は4個に過ぎないが、北部域北端部（神城断層に相当）まで純粋な横ずれタイプの微小地震が起こっていることが明らかになった。

変動地形調査では、平成 20 年度は糸魚川－静岡構造線断層帯南部において、航空写真測量および現地地形調査に基づいて、平均約 500 m 間隔（断層変位が明瞭な範囲ではさらに短い間隔）という高密度で鉛直変位量を計測した。また変位している地形面の年代を推定して平均変位速度を算出し、その分布を明らかにした。地形改変により変位地形が残っていない場所は大縮尺国土地理院航空写真（1975 年撮影、縮尺約 1/10,000）を併用・解析した。その結果、活断層線そのものの認定においても、例えば、巨摩山地の山麓線から 200～300m 東方（盆地側）に撓曲崖を確認したこと等、新知見を得ることができた。

また、断層周辺のオルソ航空写真画像、活断層線の位置情報、変位地形の三次元標高データ、地形面分類情報等がすべて GIS 上で管理できる数値情報として整備され、データ検証の再現性・更新性を確保し、情報公開を考慮した活断層基礎情報整備の雛形を提示した。WebGIS を構築し、北部・中北部について、「活断層情報ステーション」として専門家向け・一般向けに公開した。公開に際しては、活断層認定の変動地形学的根拠を整理し、個々の地形断面や横ずれについて、活断層の認定根拠とその位置精度に関する説明文を作成して、あわせて公開した。中南部・南部についても早期公開をめざしている。更に、変動地形学的調査結果については、そのデータを保存・公開するため、資料集として整理している。今年度は第三弾として平成 19 年度の調査成果を取り纏めた。平成 17～19 年度に行った変動地形調査により明らかになった北部・中北部・中南部の平均変位速度分布を、地下の断層面に沿うネットスリップ速度分布に換算し、変動地形調査の成果を強震動予測に生かすための検討も行っている。LiDAR 計測は、中南部の茅野市坂室～木舟、富士見町御射山神戸、および北杜市白州において実施され、活断層の連続性や断層変位地形の詳細を明らかにしたほか、富士見町御射山神戸ではピット調査・ボーリング調査を実施して、平均変位速度や断層変位地形発達史について検討した。

より詳しい地震活動履歴解明のための地質学および史料地震学的研究においては、糸静線中部と北部の合計 4 箇所ですべり掘削調査を実施した。中部では、釜無山断層群上に位置する長野県茅野市金沢下、同市旭ヶ丘、富士見町若宮の 3 箇所ですべり掘削を



行った。全ての調査地点で、ほぼ垂直の断層と堆積物の切断・撓曲などの明瞭な変形構造が確認され、過去約1万年間に3回の地表変位を伴う地震の痕跡が見いだされた。最新活動時期は約1,200~1,000年前であり、西暦762年もしくは西暦841年の歴史地震に対応する可能性がある。これに先行する2回の活動は5,000年前頃、9,000~10,000年頃に推定される。活動間隔は約4,000~5,000年とみられる。一方、断層帯北部の松本盆地東縁断層帯の調査では約1,000年前以降の堆積物に断層変位は認められなかった。平成19年度の調査結果と合わせると同断層帯の最新活動は約1,700~1,000年前に発生した可能性が高いことがわかった。

強震動評価高精度化のための強震観測・地下構造調査では、地下構造モデルの高精度化と検証を実施するとともに、強震観測として、盆地内の地震動の伝播特性を詳細に調べるため、諏訪盆地内に観測点を2点増設した。最も強調すべきことは、糸魚川-静岡構造線断層帯における強震動予測高度化を目指し、本業務の他サブテーマで得られた当該断層帯の形状に関する情報を基にして強震動評価のための震源モデルの構築に着手し、さらに、得られた震源モデルを用いて簡便法による強震動予測を開始したことである(4.2参照)。

地下構造モデルの高精度化については、昨年度までに0.5次モデルを得ており、今年度は、実際に発生した地震の震源を用いた3次元の波動シミュレーションを通して構造を調整し、1次地下構造モデルの作成および検証を行った。この検証には、Mj6.8の新潟県中越沖地震の本震を使用し、合成波形と観測波形を比較することによって、1次構造モデルが0次モデルに較べてピーク周波数や全体の振幅レベルをよく説明することがわかった。強震観測については、昨年度に引き続き諏訪盆地における強震観測網の整備を継続し、観測点が整備されていなかった諏訪湖の西岸と南岸の畔に観測点を2点に増設した。中央防災会議の強震動予測結果などから、諏訪盆地での地震時の揺れは周辺地域に比べて顕著であることが示されている。そのため、当該地域は東海地震に係る地震防災対策強化地域および東南海・南海地震に係る地震防災対策推進地域に指定されており、このような地域の地震動を面的に把握することは極めて重要であると考えられる。

#### 4.2 震源のモデル化

震源のモデル化については、本重点的調査観測及び平成14~16年に実施されたパイロット的な重点的調査観測による多様な調査結果(地震波速度・比抵抗・地殻変動・変動地形・地震活動など)を基に、南部地域までも考慮した糸静断層帯の強震動予測のための新たな震源モデルの構築に着手した。強震動評価高精度化のための強震観測・地下構造調査において、当該プロジェクト他サブテーマで得られた構造データ、および既存の構造探査・トレンチ調査の結果を、断層の地表トレース位置、走向、変位様式、傾斜角、活動履歴に注目して、暫定的ではあるが、糸静線断層帯を定義する断層セグメントおよび巨視的断層パラメータを定義した。このモデルについて、本調査研究に携わっている研究者によって、2回の検討会を行った。その結果、各項目の成果に共通する特徴とともに相違点が明らかとなり、今後の調査観測の検討課題とすることとした。

これらの検討会では、主として、北部セグメントの傾斜角や中部セグメントの傾斜の方向について議論された。まず、北部については、東傾斜であるという点では見解が一致し

ているが、構造探査で求められた傾斜角(10° -20° )について幾つかの問題点が指摘された。即ち、この様な低角断層が地震発生層の底面まで連続するのか、低角断層が東側の長野盆地西縁断層を切るのかという問題である。前者は、この部分の断層のaspect ratioが通常考えられている断層の値に較べて大きくなり、まだ、強震動の領域が東側に大きく広がることを意味する。従って、このモデルの妥当性を検証するには、既往の探査データを見直すことが必要であろう。後者について、既往モデルではこの断層の浅部が複雑な形状を示していることに起因する。従って、本調査で構築するモデルで、この複雑性をどこまで近似するかが検討課題となろう。中部地域については、「構造探査」と「GPS観測」及び「変動地形学的な解釈」で断層傾斜角に関する見解が大きく異なっている。構造探査に基づく傾斜角は、やはり低角(30°程度)である。一方、「GPS観測」及び「変動地形学的な調査」では、垂直横ずれ断層を示唆するものであった。この差については、構造探査イメージの解釈の問題とともに、変動地形からどの程度の深さまで言及できるか、まだ犀川域の隆起が横ずれだけでなく逆断層運動も示唆する可能性があること、地質学的運動と地球物理学的運動の差異などが議論され、今後更なる検討と議論が必要である。

本年度のモデル計算においては、構造探査ベースと変動地形ベースの2つのモデルについて、強震動予測の方法のひとつである「簡便法」を用いて地表の最大速度分布を算出した。構造探査および変動地形ベースモデルに共通する特徴として、甲府盆地の揺れがこれまでよりも大きくなっていることと、揺れの範囲が広がっていることが挙げられる。これは、地震本部の評価では考慮されていなかった南部地域に断層を置いたこと、それにより地震規模が大きくなったことに起因する。構造探査ベースモデルにのみ見られる特徴は、伊那盆地で周囲よりも強い揺れが見積もられていることである。また、変動地形ベースモデルの特徴は、中部セグメントにおける揺れの強い地域が地表の断層トレースに沿って分布する結果となった。

上記のモデルは、本断層帯の北から南までの全領域が破壊することを想定している。しかしながら、構造探査や変動地形からは、本断層が複数のセグメントに分かれていることは明白である。また、GPSデータによれば、北部(白馬-長野域)については、クリープ運動の可能性が示唆されている。これらの知見を入れた破壊域の特定や、幾つかのシナリオに基づく強震動予測が必要であろう。

GPS観測では、平成18年度に糸静線中部の諏訪湖周辺に設置したGPSキャンペーン観測点6ヶ所および既存の観測点を合わせ、合計29ヶ所でGPSキャンペーン観測を実施した。このデータを周囲のGPS連続観測点のデータとともに解析し、正確な座標値を求め、2002年以降の日座標値に基づいて各観測点の地殻変動速度を求めた。得られた地殻変動の特徴は、ほぼ昨年までに報告した通りである。主な特徴は、北部における長野盆地西縁断層より西側で東西方向の短縮変形が顕著であること、中央隆起帯における変形が小さく、その西縁が変形フロントになっていること、明科付近を境として、北側では西北西-東南東方向の短縮が卓越するのに対し、南側(松本~諏訪)では糸静線に対する左横ずれの変形が見られることである。

白馬~長野方向の速度プロファイルについては、深部すべりのモデルによって水平方向

の短縮変形をほぼ再現することが可能である。しかし、このモデルでは同時に顕著な隆起が期待されるが、実際の観測値にはこのような隆起は認められないので、このモデルではまた不十分である。一方、松本から諏訪湖にかけての地域は、固着している弾性層の厚さを15km、断層を挟んだブロックの相対運動速度を7~8mm/yrとして観測データをよく説明できる。この結果は、松本から諏訪湖にかけての糸静線が基本的に横ずれ断層であること、また、糸静線の断層はほぼ垂直であること（深部延長が傾斜していれば、変形の中心が断層線からずれる）を意味している。これは、現時点においては、本重点的調査観測の構造探査から得られた結果とは一致しない見解である。

平成20年度は、GPSの観測結果を含む様々な情報に基づいて、断層帯北部で将来発生する可能性のある地震の震源モデルについて検討を行った。検討にあたっては、地殻構造探査（地震波、MT）、地震活動、応力分布、地殻変動等の様々なデータを考慮した。微小地震の応力テンソルインバージョン解析やCMTデータインバージョンの結果は、松本から大町にかけての糸静線周辺の応力場が、横ずれ型のタイプであることを示している。また、牛伏寺断層の北側の延長上には線状の地震活動が見られている。この地震活動を仮に一連の断層として考えた場合、上記の応力場は、この断層に左横ずれを生じるのに適している。地殻変動から見られる最大圧縮軸も応力場と一致している。これらのことから、従来糸静線の断層の下盤内の活動と考えられてきた、この地震配列こそが将来大地震の震源断層となる可能性がある。一方、構造探査により検出された低角で東に傾き下がる面は、地質構造境界としては明瞭であるが、そこに応力蓄積しているという直接的な証拠は無い。この考えに立てば、糸静線北部において見られる顕著な短縮変形は、未だ十分にモデル化されてはいないものの、深部の断層クリープ等によって、応力を蓄積せずに変形のみが進行している可能性を示しており、構造探査で見られる断層面も地震時に副次的な断層として、または非地震時に準静的にずれを起こす可能性が考えられる。