

3. むすび

これまで、糸魚川-静岡構造線断層帯中部は、諏訪湖を境にして南北でその構造が大きく異なっていることが示唆されてきた。この構造線断層帯の深部までの構造や運動の特性、地殻活動の詳細については、この断層帯沿いに発生する地震の規模予測や強震動予測のために不可欠な情報であるにも拘わらず、まだ多くの不明な点が残されている。平成14年度より、本委員会は構造線断層帯の形状・物性解明、地殻活動把握及び地震活動履歴解明を3つの柱として掲げ、有効な調査手法の検討も含めたパイロット的な調査研究を実施してきた。

1. 糸魚川 静岡構造線断層帯の形状・物性解明のための調査研究

本調査研究では、糸魚川-静岡構造線の構造が大きく変わるとされる諏訪湖を挟んで北と南に調査地域を設定し、北側を平成14年度に、南側を15年度に実施した。その結果、両者の構造が大きく異なることが確実になった。なお、電磁探査は、平成14年15年とも予備的観測にとどまったが、断層帯最浅部の構造について反射法・重力探査と調和的且つ興味深い結果を得ることができた。

平成14年度に諏訪湖の北側の松本地域で行われた反射法・重力探査では、牛伏寺断層の北延長に相当する鮮新世-第四紀の盆地堆積物とその東側の中新世岩石の境界が、比較的高角な東傾斜の反射体群としてイメージングされた。更に、この境界は東傾斜の反射面として3,500mの深さまで追跡できた。この部分の反射波は位相が逆転している可能性が高い。これは、断層上盤側の中新統がより密度の小さい堆積層（鮮新統-第四系？）の上に衝上しているためであると考えられる。その下には、盆地堆積物の下位と存在する先第三紀の基盤岩類との不整合面が、やはり東傾斜の反射面として捉えられた。一方電磁気学的探査では、牛伏寺断層再浅部は、東側の高比抵抗体と西側の低比抵抗体の境界部として捉えられ、その低比抵抗体は明瞭な東下がり形状を示す。

平成15年度の調査研究は、諏訪湖の南側の富士見地区で実施された。この地域における糸魚川-静岡構造線は、大別して2列の平行する断層からなる。南西側の列は若宮断層・大沢断層（南西側低下で左ずれ）に対応し、北東側の列は、青柳断層やその南に続く下蔦木断層から成り、北東低下とされている。反射法・重力探査は、釜無川上流部に沿った北東-南西方向の測線を実施された。反射法測線の長さは13kmであり、重力探査測線は反射法測線を更に北東及び南西方向に延長した。調査の結果、青柳断層は、南西傾斜の反射面として深さ3.5kmの深度まで追跡することができた。断層帯の東側では、地表から600-1000mの深度まで、ほぼ水平な反射面が見られ、表層地質から第四紀から鮮新世の堆積物と判断される。その下には、中・古生代の基盤上面に相当するやはり南西傾斜の反射面がイメージングされた。この基盤と第四紀-鮮新世堆積物に挟まれた部分は、重力探査の結果から判断して低密度の盆地堆積物（中新統？）と推定され、しかも断層に沿ってかなり深部まで潜り込んでいると考えられる。

電磁探査の結果からは、青柳断層下の深度1km付近で、高比抵抗基盤が南西落ちを示しており、反射法の結果と調和的である。また、反射法探査で明らかとなった青柳断層深部延長部の反射面に対応した低比抵抗が存在することがわかった。これは、断層深部の流体

に富む破砕帯に対応する可能性がある。一方、若宮断層下では北東落ちの傾向を示し、これまでの地質学・地形学的な予想と調和的であった。しかし、断層自体の破砕帯は、低比抵抗異常を示さなかった。

2. 糸魚川 静岡構造線断層帯周辺域における地殻活動把握のための観測研究

構造線断層帯及びその周辺における地震活動・地殻変動を観測するために臨時の地震観測点を設置し、既存観測網データと組み合わせることによって、詳細な地震活動を求めることとした。さらに、GPSによる観測、SRAデータから構造線周辺の地殻変動を明らかにするための平成14年度から調査研究を実施した。これらの観測項目は、長期間のデータの蓄積が必要とされるが、その有効性を示す結果が出つつある。

テレメータ方式による自然地震観測は、平成14年度に2点(長野四賀、松本中山)平成15年度に1点(長野穂高)が整備され、これらの観測点を入れた場合の微小地震検知能力や震源決定精度が調べられた。その結果、最新の期間(H15年5月-H16年7月)では、従来に比べて小さな地震まで検知されている傾向が示された。但しその期間が短いため、検知能力向上を定量的に証明するには至っていない。また、本計画による3観測点と新規Hi-net観測点の両方を使用した震源決定では、特に糸魚川-静岡構造線北部の地震についてその分布がより集中するようになり、震源分布下限の深さのばらつきが小さくなった。Double-Difference法による震源決定においても、新観測点を導入することによって、震源のクラスター的な分布がより明瞭になった。

稠密アレーによる自然地震観測は、平成15年度に初めて実施されたものである。観測は、青木湖周辺、松本南部、諏訪湖南部地域及び富士見地区の反射法測線上で実施された。平成15年度の主目的はデータの取得であるが、本観測中に青木湖周辺で群発地震活動が捉えられ、解析が行われた。その結果、このアレー観測では気象庁が決定した震源の4倍にのぼる微小地震を検知しており、しかも一元化震源では分離できなかった地震のクラスター的な分布が明らかとなった。更に、震源決定精度の向上により、この群発地震は、想定される糸魚川-静岡構造線断層帯の断層面よりも有意に深い場所に発生したことがわかった。また、震源位置の時間的移動がかなり定量的に明らかとなった。即ちこの群発活動は、発生から2時間の間に深さ15.5kmから14kmまで、約2km/sの速度で北に移動した。このような移動には地殻内の流体が関与している可能性があり、糸魚川-静岡構造線断層帯域の地震発生のプロセスを考える上でも重要である。

GPSによる詳細地殻変動分布の解明については、平成14年度に引き続いて28箇所で行われた。取得されたデータは周辺のGPS観測点(62点)におけるデータとともに解析され、平成14年から15年までの1年間の水平変位が求められた。この結果と周辺のGPS連続観測点の4年間の地殻変動速度との比較を行った。この比較によって、前者の変位ベクトルにばらつきが目立つものの、後者の特徴である北西側観測点の東への変位を的確に捉えていることがわかった。1年間の変動量の絶対値は小さく、有意な地殻変動検出の限界に近い。このような状況にも関わらず、本調査観測2ヶ年で長期的変動傾向に近いものが得られたことから、あと1-2回の同様の観測を繰り返すことによって、詳細な地殻変動分布が得られる可能性が高い。

平成15年度の干渉SARによる構造線断層帯周辺の地殻変動観測は牛伏寺断層及

び松本盆地東縁断層周辺域を対象とし、ERS-1 及び ERS-2 データを用いて観測間隔が 1 年以上のペア 11 シーンの解析を行った。ERS-1 及び ERS-2 は、波長の短いマイクロ波を用いるために地表変動量の分解能は高いが、植生に対する透過率が低い。このために干渉が得られたのは松本盆地、長野盆地、諏訪湖周辺などの平坦な領域に限られたが、これらの領域における精密軌道値は十分な精度を持っていると考えられる。従って、植生による影響の少ない平野部の活断層であれば、その周辺の地殻変動を SAR によって調査することは可能であろう。

3. 糸魚川 静岡構造線断層帯の過去の地震活動履歴解明の為の調査研究

構造線断層帯の過去の地震活動履歴を解明する目的で、地質学的調査・資料調査を実施してきた。

トレンチ調査及び過去の調査のコンパイルについては、糸魚川-静岡構造線断層帯におけるトレンチ調査、地形・地質成果の収集、トレンチ調査における年代測定結果とイベント層準の確認とデータベース設計、牛伏寺断層の活動時期の定量的再検討を実施した。特に、イベントの年代の定量的推定法の高度化を行い、過去のトレンチ調査（並柳及び中山トレンチ）のデータに適用し、過去 4 回のイベントの年代を最終決定するとともに、中山トレンチのデータ中に信頼性の乏しいものが混在していたことを明らかにした。

また、高解像度 DEM 等に基づく変動地形情報解析は、平成 14 年度にそのフィージビリティ調査を行ったところである。平成 15 年度は、LiDAR 計測のよって糸魚川-静岡構造線断層帯のうちの牛伏寺断層付近の詳細な地形観測を行い、50cm メッシュ DEM を作成した。LiDAR では地表の植生・構造物を数値的に除去することによって、通常は観察困難な地表形状の把握ができ、古地震活動の際の断層変位形状や変位量計測が可能となると期待される。この方法の有効性検証のために、横ずれ変位が明瞭な牛伏寺断層付近にこの方法を適用した。その結果、植生の被覆のために上空から判別不能な変位地形が明瞭に観察され、断層線の位置情報の高精度把握が可能となるとともに、横ずれ変位地形が複数確認でき、変位量計測が可能となった。更に、撓曲を含む変位形状が明瞭に把握できることがわかった。これらの結果から、この調査方法が断層変位の把握に有効であることが明らかとなった。

糸魚川-静岡構造線断層帯付近の過去の地震活動の解明においては、正徳 4 年(1714)小谷地震と安政 5 年(1858)大町地震の震度分布調査が進展した。また、青木湖など木崎三湖の湖底ピストンコア採取用の観測筏の制作と木崎湖における作動試験を行った。小谷地震の詳細震度分布を見ると震度 7 を生じた場所はこの断層帯上に位置し、この地震が糸魚川-静岡構造線断層帯を構成する断層の一つの滑りによって生じたことは間違いないものと思われる。また、震度の大きな場所が湖の東方の山岳地帯（現在の美麻村）の集落に集中している。大町地震の震度分布についても、震度の大きい場所は断層帯の東側に集中している。従って、これらの地震に対応する断層面は、東下がりである可能性が高く、本計画で行った反射法・重力探査及び電磁氣的探査の結果と調和的である。

以上述べたように、本委員会が立てた 3 つの柱に従った調査研究は、順調に進みつつある。構造線断層帯の形状・物性解明については、平成 14 年度と平成 15 年度の調査から、諏訪湖を挟んでその北部と南部で構造に大きな差があることが明らかになりつつあ

る。今後は、両地域のより深部までの詳細な構造を明らかにするとともに、本計画では実施できなかった諏訪湖付近のセグメント境界部の構造の精査が重要となろう。電磁探査は、平成14年度、15年度とも予備調査として位置づけた。本格的な探査は、平成16年度に実施する。この2年間に得られた比抵抗構造は、反射法・重力探査と電磁探査における結果は概ね調和的であるが、違いの見られるところもある。この差が探査精度に起因するものか、実際の構造に起因するものなのか、今後入念に検討する必要がある。特に、電磁探査は地殻内流体に支配された構造を反映する場合があり、このような相互比較は糸魚川-静岡構造線断層帯に沿った地震発生プロセスを解明する上で非常に重要である。

また、地殻活動把握のための調査研究では観測点整備が進められ、今後のデータ集積によって、構造線断層帯の地震・地殻変動等の動的な特性が明らかになると期待される。観測点整備によって、糸魚川-静岡構造線断層帯周辺の検知能力向上の傾向が見られるとともに、震源決定精度向上によって得られた震源の分布パターンがより明瞭な形で明らかとなった。稠密アレーによる自然地震観測では、一元化震源ではわからなかった群発地震の分布パターンや震源位置の時間的推移を精度よく求めることができた。また、平成15年度反射法地震探査側線上に展開したアレーからは、より深部の構造が明らかになるものと期待される。一般に自然地震データは詳細な地殻活動把握(震源分布やメカニズム等)とトモグラフィ等の手法による3次元的な構造解明の2つの研究に資するものである。構造線断層帯の動的な特性を明らかにするためには、反射法や電磁探査によって求められる断層面と地震活動の位置関係を正確に把握することが必要不可欠である。この意味で、一様に分布している基盤的調査観測網に重畳する形で断層帯近傍において観測点密度を上げた地震観測を実施することは重要である。また、地殻の3次元的な構造不均質や地震発生プロセス(断層域への応力集中のメカニズム)に重要な地殻内流体の分布や性質に対して、新たな知見を与えるものである。GPSによる地殻変動観測は、本計画の短い観測期間ながらも、同じ地域における定常的長期間観測による変動の特徴を捉えつつある。自然地震と同じようにGEONETに重ねる形で断層帯近傍での稠密観測を実施することは、断層帯における運動特性(滑り特性)を反映した変動を抽出する上で有効であろう。糸魚川-静岡構造線域の変動や地殻活動は、プレート境界域に比較して低く、変動量も小さい。このような状況の中で、断層帯に起因する地殻活動情報を引き出すには、高密度・高精度の地震・GPS観測を継続的に実施することが極めて重要である。

過去の地震活動履歴解明の為に調査研究についても、資料調査から正徳4年(1714)小谷地震と安政5年(1858)大町地震の震度分布調査が進展し、これらの地震に対応する断層面は、東下がりである可能性が高いことが示された。この結果は、本計画で行った反射法・重力探査及び電磁探査の結果を、実際に起きた地震から裏付けるものといえる。更に、このような知見の集積は、将来における強震動予測にも資するものである。

本計画では、糸魚川-静岡構造線断層帯の地殻活動及び地質時代まで溯った活動履歴解明のための新技術として干渉SARによる構造線断層帯周辺の地殻変動観測及び高解像度DEM等に基づく変動地形情報解析を実施してきた。これらについても、その有効性と問題点等が明らかになりつつある。特にDEMによる変動地形情報解析では、植生による被覆の

ために上空から判別不能な変位地形が明瞭に観察され、断層線の位置情報の高精度把握が可能となるとともに、変位測量も可能となった。これらの新技術は、断層帯の運動による現在の变形と長期間の变形を比較検討する意味で重要な役割を果たすこととなろう。

以上、述べたように、本調査観測の2年度目が終了するにあたり、各観測項目の成果が揃いはじめ、その有効性についても議論できる状況になってきた。一般に、内陸側で発生する地震については、内陸域への歪・応力の蓄積、特定断層への応力の集中の過程がまだ十分わかっていない。これらの現象は不均質構造を持つ場の中で複雑な物理機構に支配されていると考えられ、特定の観測だけでその全貌を解明することは困難であろう。本調査観測の最終年度においては、各観測項目の一層の進展をはかるとともに、項目間の連携を強化して、得られた成果に対してより総合的・統一的な解釈を目指すべきであろう。