

3. 4 地震時断層挙動（活動区間・変位量分布）の予測精度向上に向けた変動地形調査

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 地震時断層挙動（活動区間・変位量分布）の予測精度向上に向けた変動地形調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人名古屋大学	教授	鈴木 康弘
東洋大学	教授	渡辺 満久
独立行政法人国立高等専門学校機構 鶴岡工業高等専門学校	教授	澤 祥
愛知工業大学	研究員	廣内 大助
国立大学法人岡山大学	助教授	隈元 崇

(c) 業務の目的

糸魚川－静岡構造線重点調査研究（文科省平成17～平成21）の3つの目的のうち、Ⅰ：「長期的な地震発生時期及び地震規模の予測精度の向上」と、Ⅲ：「強震動の予測精度の向上」に貢献するため、航測システムを用いた変動地形の高解像度DEM作成を通じて、断層線の位置情報や変位量情報を高密度・高精度で取得し、活動規模や変位量分布の推定精度を向上させる。

活断層全域において、航空写真測量と LiDAR（レーザレーダー）計測により、地表の詳細な高精度 DEM を作成し、変位地形に現れた断層運動による累積的な変位量を高密度で計測し、地形学的手法により平均変位速度（slip rate）分布を明らかにする。これにより地震時の変位量やアスペリティーの分布予測精度を高める。同時に、これまで植生に被われ断層変位が明瞭でなかった箇所を精査を行うことにより、活動区間推定精度を向上させ、断層の dislocation model の検討につなげる。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画

1) 平成 17 年度：

webGIS、写真測量システムの環境整備を行うとともに、北部（神城～松本）区間において、以下のデータ作成および調査を実施した。①航測図化による地表面 DEM の作り込みを行い、10 m メッシュの高精度 DEM を作成した。②全域の活断層空中写真判読を行い、地形改変が著しい場所については大縮尺米軍航空写真をも併用しながら断層線位置・変位地形形状を把握し、断層位置情報、地形面に現れた上下変位量を数値情報化した。③2万5千分の1地形図を拡大使用することで、詳細な（概ね1万～5千分の1相当の精度の）地形面分類図を作成した。④現地調査により地形面年代決定のための年代測定を実施した。⑤平均変位速度分布を明らかにし、地震時変位量の相対的な分布の推定を行い、強震動予測に資するデータを得た。

2) 平成 18 年度：

中北部（松本～茅野）区間において、以下のデータ作成と現地調査を実施する。

- ①航測図化による地表面 DEM の作り込み、②植生が密な地域の LiDAR 計測、③地形改変が著しい場所の大縮尺米軍航空写真による断層線位置・変位地形形状の分析、④大縮尺地形面分類図作成（写真判読・現地調査）、⑤GIS による活断層空間数値情報の整備。

3) 平成19年度：

中南部（茅野～白州）区間において、以下のデータ作成と現地調査を実施する。①

- 航測図化による地表面DEMの作り込み、②植生が密な地域のLiDAR計測、③地形改変が著しい場所の大縮尺米軍航空写真による断層線位置・変位地形形状の分析、④大縮尺地形面分類図作成（写真判読・現地調査）、⑤GISによる活断層空間数値情報の整備。

4) 平成 20 年度：

南部（白州～鯉沢）区間において、以下のデータ作成と現地調査を実施する。①

- 航測図化による地表面 DEM の作り込み、②植生が密な地域の LiDAR 計測、③地形改変が著しい場所の大縮尺米軍航空写真による断層線位置・変位地形形状の分析、④大縮尺地形面分類図作成（写真判読・現地調査）、⑤GIS による活断層空間数値情報の整備。

5) 平成 21 年度：

全域の変動地形学的に求められた平均変位速度分布を取り纏め、活動区間や地震時変位量分布を予測できるよう、数値情報の整備を行う。また、活断層の高精度位置情報を GIS 上に整理・統合する。

(e) 平成 17 年度業務目的

糸魚川－静岡構造線断層帯北部（神城～松本）区間において、空中写真の詳細な判読を実施し、活断層トレースの従来よりも高精度な位置情報を取得しデータベース化する。また、地形面に現れた上下変位量を間隔約500 m ～1 kmの密度で取得するとともに、地形面の年代を現地調査により決定し、平均変位速度の分布を明らかにする。詳細なデジタル情報を得るため、航測システムを用いて変動地形の高解像度DEM作成を行い、高精度オルソ空中写真をベースとしたデータベース化を図る。こうした一連の高精度データに基づいて、地震時の変位量分布や活動区間の推定精度を向上させる。こうしたデータは強震動予測に対しても重要な知見を与える。

(2) 平成 17 年度の成果

(a) 業務の要約

活断層の地震時挙動（活動区間・変位量分布）を推定するためには、最近の活動の痕跡である変動地形の分析から、累積変位量および平均変位速度を地点毎に高密度で明らかにすることが最も重要であり、そのデータは強震動予測にも重要な知見を与える。

平成 17 年度は糸魚川－静岡構造線北部（白馬・神城～松本）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 800 m 間隔（断層変位が明瞭な範囲では 500～600 m）

という高密度で上下変位量を計測し、地形面年代決定を経て平均変位速度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米軍航空写真を併用・解析し、活断層線そのものの認定においても新知見を得た。断層周辺のオルソ航空写真画像、活断層線の(x, y, z)位置情報、変位地形の3次元標高データ、地形面分類情報等のすべてが、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・更新性を確保した。ここにも従来にない新規性があり、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。

(b) 業務の実施方法

本研究の実施方法・手順は以下の通りとした。

- 1) 糸魚川－静岡構造線北部全域の1万分の1航空写真測量により、10 mメッシュ DSM と DEM を作成。
- 2) DSM を用いて航空写真をオルソ化。
- 3) 航空写真判読により断層線を認定し、オルソ写真上に精密に記入。
- 4) 写真測量システム上で断層線の位置情報(x, y, z)を計測し、高精度断層線位置情報データを作成。
- 5) 航空写真判読により地形面分類を行い、現地調査により年代測定試料を得て、地形面の形成年代を決定。
- 6) 航空写真判読により、断層の上下変位量を決めるために最適な地形断面測線の位置を決定。
- 7) 写真測量システム上で地形断面を精密に測量し、地形面の上下変位量を算出。
- 8) 上下変位量を地形面年代で除した平均変位量を算出し、それぞれの地点におけるデータの代表性を考慮しながら平均変位速度分布図を作成。また同時に、最新の地形面に現れた変位量から、最新活動による一回変位量を推定。
- 9) 最終的なアウトプットとして以下の数値データを整備。①高精度断層線位置情報、②変位地形の地形断面形状データ、③高密度平均変位速度データ、④変位基準面年代データ、⑤2005年時点の断層帯周辺の標高(x, y, z)データセット。

(c) 業務の成果

上述のデータを整備することにより、断層の地震時挙動を推定するための基礎データを以下のように得た。

1) 断層線認定（断層線位置情報）

活断層の位置情報は、通常は地形図上に描き、これをデジタイズする手法により作成される。しかしこの方法では、地形図そのものの誤差（2万5千分の1地形図で標準偏差約20 m）が付加されてしまう。本研究では空中写真を拡大判読し、認定した断層位置をそのまま写真測量システム上で計測した。そのため、断層位置の誤差は、地形改変等による変位地形の位置のズレおよび写真測量誤差（約50 cm以下）に収めることが可能になった。

また、平成16年度に糸魚川－静岡構造線パイロット重点調査で取得した航空写真はGPS/IMUを搭載して撮影しており、正確な位置標定を行っている。このため、活断

層の地震前の現況を高度な数値解析可能な状態で記録しており、地震後の地殻変動の検討ができるようになっている。図 1 に、オルソ化した航空写真に断層線を重ねた様子を例示する。



図 1 写真測量システム上での断層線および変位地形の表現（例）

図 2 は、糸魚川－静岡構造線北部の断層分布図および地形面分類図である。断層線の認定そのものについては、従来の都市圏活断層図等の資料とほぼ整合するが、細部においては認定変更がある。断層線の変更に伴い、新たに提示される活断層像（解釈）については研究論文を準備中である（澤ほか、2006 予定；松多ほか、2006 予定）

2) 地形断面測量から推定される最新活動に伴う一回変位量

図 2 に、測量した地形断面測線の位置を、図 3 には一部の地形断面を例示している。図 3 に示す断面は、最新の地形面上における測量結果であり、断層の最新活動に伴う一回変位量である可能性が高い。最北部の白馬（N-8）で 5 m、神城（N-16）で 3 m、大町（C-5, 6, 7）で約 3 m、信濃池田（C-27, 28）で約 5 m、松本北部（S-12, 13）で約 2 m を示している（なお、実際の断層変位量は、これに断層面の傾斜と横ずれ成分を考慮して決定する必要がある）。

3) 平均変位速度分布

図 4 に、糸魚川－静岡構造線北部地域の、平均変位速度（上下成分）分布図を示す。地形断面 68 測線分の地点で上下変位量と地形面推定年代が得られたため、平均間隔 800 m（断層変位が明瞭な範囲では 500～600 m）という高密度で平均変位速度分布を明らかにすることが可能となった。平均変位速度分布図はそもそも整備が遅れており、あっても数キロ間隔であったり、測量結果の根拠が明示されていなかったりして、信頼性の高いデータはほとんどない。これほど高密度で信頼性の高いデータが得られたことは初めてである。しかも地形断面および地形面年代がすべてデジタル情報として整備され、データ解釈の再現性や更新性が保証されている。

上下方向の平均変位速度分布図が如何なる意味を持つかについては、強震動予測や断層活動区間推定等の目的で多角的に議論がされることになる。少なくとも、強震動計算におけるアスペリティ設定には大きく貢献すると考えられる。

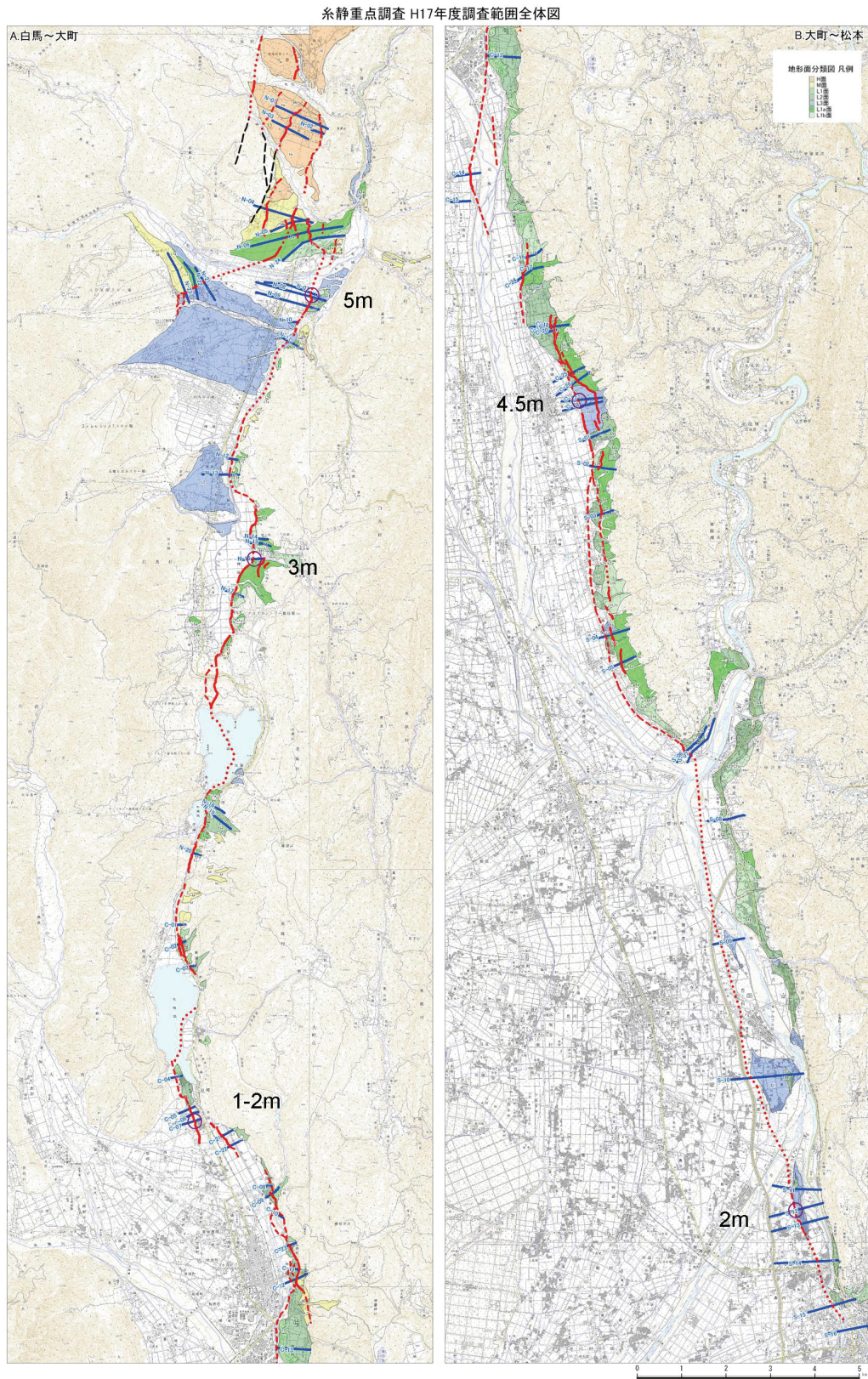


図2 糸魚川－静岡構造線北部（拇池～松本間）の断層線と地形面
 赤線：断層線、青線：変位量計測のための地形測量測線、地形面年代は、H：12
 万年以上、M：5～10万年、L1：1～2万年（L1a：2万、L1b：1万）、L2：4
 ～7千年、L3：1～2千年。（最新イベントによる1回の上下変位量が推定され
 た地点、およびその量）

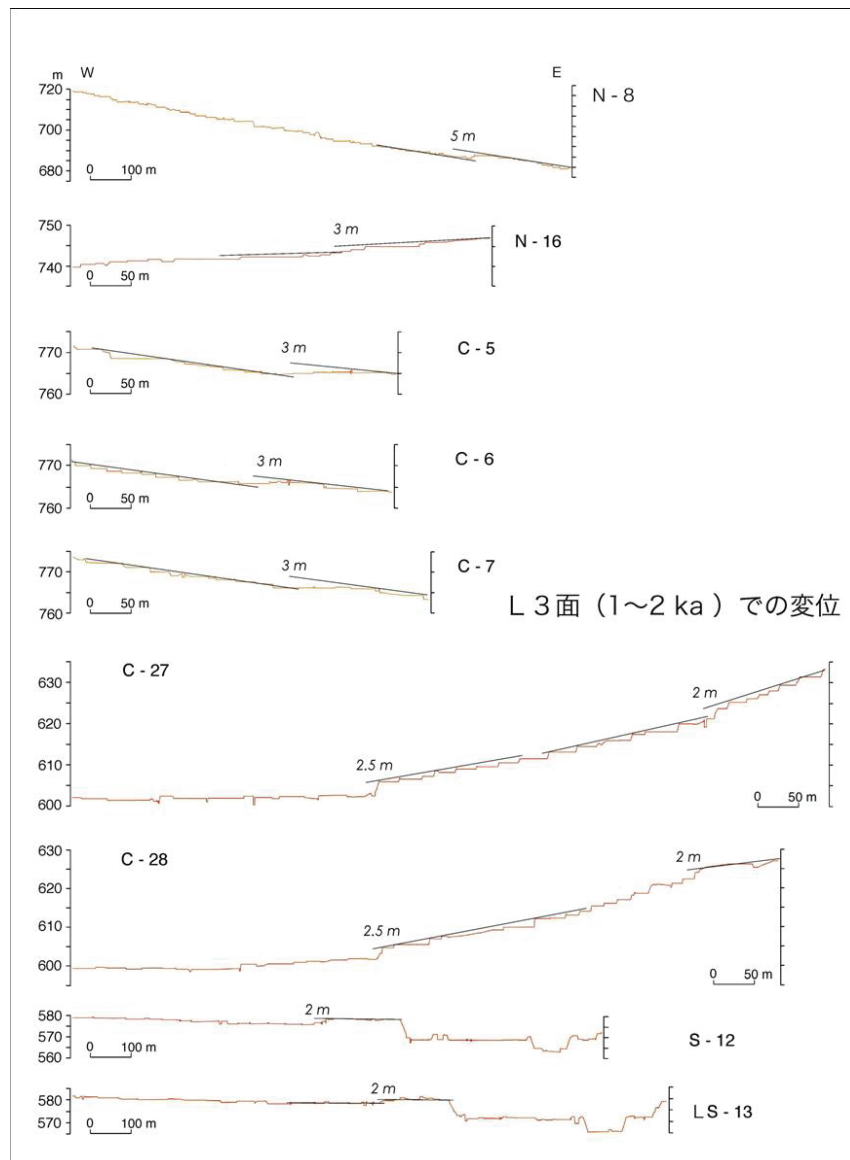


図3 地形断面と変位量の一部(一回変位量を記録していると推定されるもの)

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 17 年度に目指した、断層挙動の推定精度向上のための変動地形調査は、以下の点において概ね当初目標を達成した。

- 1) webGIS、写真測量システムの環境整備。
- 2) 航測図化による地表面 DEM の作り込みを行い、10 m メッシュの高精度 DEM を作成した。

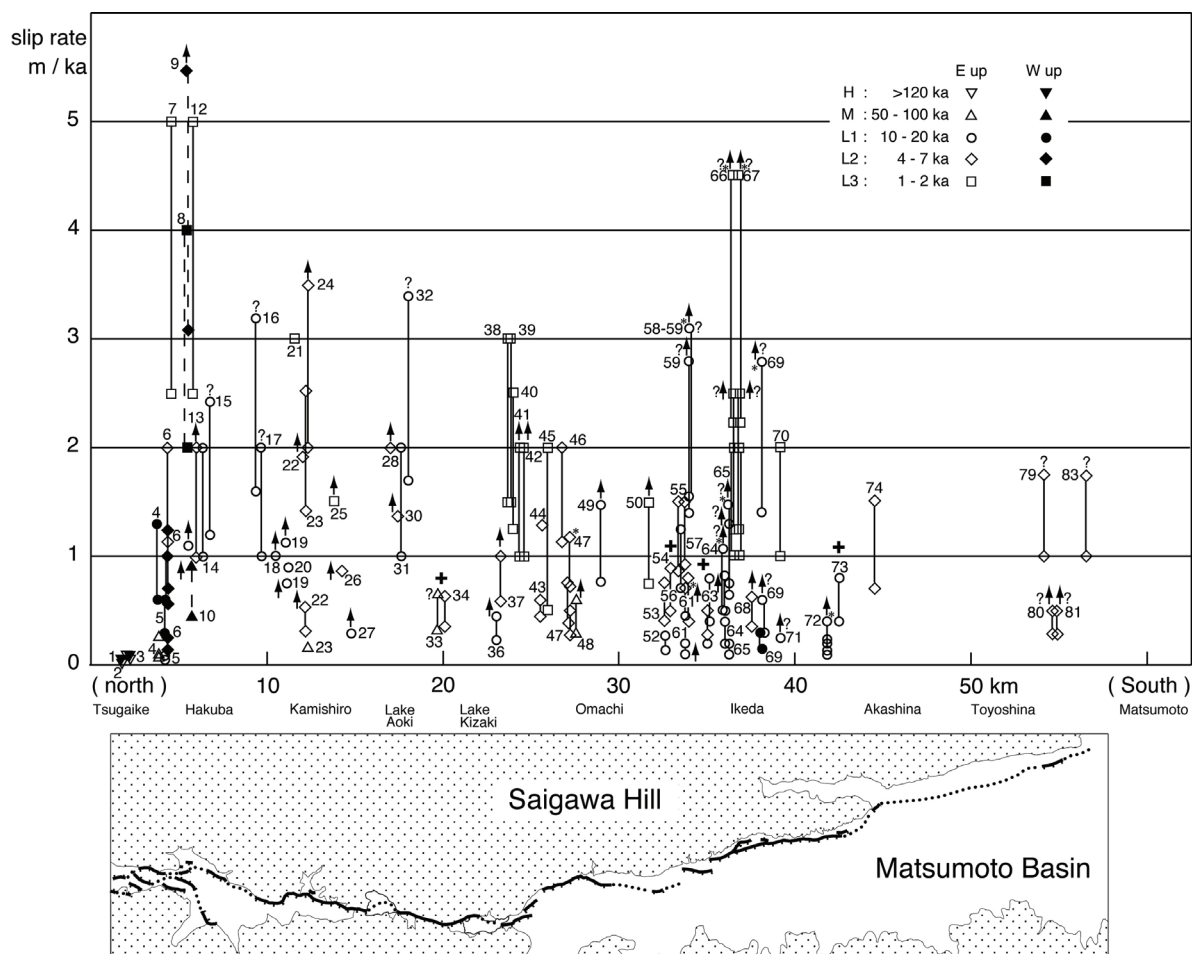


図4 糸魚川－静岡構造線北部（白馬～松本区間）の平均変位速度（上下方向）の分布

- 3) 活断層空中写真判読を行い、地形改変が著しい場所については大縮尺米軍航空写真をも併用しながら断層線位置・変位地形形状を把握し、断層位置情報、地形面に現れた上下変位量を数値情報化した。
- 4) 2万5千分の1地形図を拡大使用することで、詳細な（概ね1万～5千分の1相当の精度の）地形面分類図を作成した。
- 5) 現地調査により地形面年代決定のために年代測定を実施した。
- 6) 平均変位速度分布を明らかにし、地震時変位量の相対的な分布の推定を行い、強震動予測に資するデータを得た。

今後の課題として、以下の点を検討することが重要である。

- 1) 地域ごとで断層面の立体構造および変位のセンスを推定し、上下方向の平均変位速度をネットスリップに変換する。
- 2) 断層線の位置をより明確にするために、既存ボーリング試料を収集するほか、特に重要な地点では調査ボーリングを実施する。
- 3) 一回分の変位であることを確かめること、および地形面の年代をさらに絞り込み、断層活動時期を推定することを目的に、白馬においてボーリング調査を実施する。

(e) 引用文献

- 1) 澤 祥・廣内大助・谷口 薫・田力正好・松多信尚・佐藤善輝・安藤俊人・石黒聡士・内田主税・坂上寛之・隈元 崇・渡辺満久・鈴木康弘：糸魚川－静岡構造線活断層帯北部、大町～松本北部間の変動地形認定と平均変位速度解明（投稿準備中）
- 2) 松多信尚・澤 祥・田力正好・谷口 薫・安藤俊人・廣内大助・佐藤善輝・石黒聡士・内田主税・坂上寛之・隈元 崇・渡辺満久・鈴木康弘：糸魚川－静岡構造線活断層帯北部、梅池～仁科三湖間の変動地形認定と平均変位速度解明．（投稿準備中）

(3) 平成 18 年度業務計画案

(a) 業務計画・目標

平成 17 年度に確立した、変動地形を重点的に表現できる写真測量を用いた高解像度 DEM 作成法、および高密度な平均変位速度評価法について、中北部（松本～茅野）地域への展開を図る。また森林地帯で活断層トレースが従来明らかでなかった塩尻～岡谷間について LiDAR 計測を実施し、活断層の連続性を明らかにする。さらに、平成 17 年度の北部地域における調査において、平均変位速度を確定させるために有効なボーリング調査地点が数カ所リストアップされたため、これらの地点でボーリング調査による平均変位速度の確定を行う。WebGIS ベースの情報管理・情報提示システムの具体的な設計も併せて実施する。

(b) 実施方法

中北部（松本～茅野）区間において、以下のデータ作成と現地調査を実施する。①航測図化による地表面 DEM の作り込み、②地形改変が著しい場所の大縮尺米軍撮影写真による断層線位置・変位地形形状の分析、③地形面の年代を決めるための現地調査、④詳細な地形面分類図作成、⑤塩尻～岡谷間の LiDAR 計測。また北部（松本以北）区間において、⑥ボーリング調査による平均変位速度の解明を行う。具体的作業手順は以下の通りである。

- 1) 糸魚川－静岡構造線中北部（松本～茅野）地域の 1 万分の 1 航空写真測量により、10 m メッシュ DSM と DEM を作成。
- 2) DSM を用いて航空写真をオルソ化。
- 3) 航空写真判読により断層線を認定し、オルソ写真上に精密に記入。
- 4) 写真測量システム上で断層線の位置情報(x, y, z)を計測し、高精度断層線位置情報データを作成。
- 5) 航空写真判読により地形面分類を行い、現地調査により年代測定試料を得て、地形面の形成年代を決定。
- 6) 航空写真判読により、断層の上下変位量を決めるために最適な地形断面測線の位置を決定。
- 7) 写真測量システム上で地形断面を精密に測量し、地形面の上下変位量を算出。
- 8) 上下変位量を地形面年代で除した平均変位量を算出し、それぞれの地点におけるデータの代表性を考慮しながら平均変位速度分布図を作成。また同時に、最新の地形面に現れた変位量から、最新活動における一回変位量推定。

(c) 最終的アウトプット

最終的に以下の数値データを整備し、糸魚川－静岡構造線中北部の地震時断層挙動を議論できるようにする。

- ①高精度断層線位置情報、②変位地形の地形断面形状データ、③高密度平均変位速度データ、④変位基準面年代データ、⑤2005 年時点の断層帯周辺の標高 (x, y, z) データセット。