

糸魚川－静岡構造線断層帯における重点的な調査観測について

REPORT ON THE HIGH-PRIORITY OBSERVATION AND SURVEY OF THE FAULT BELT OF THE ITOIGAWA-SHIZUOKA TECTONIC LINE (ISTL)

佐野滋樹 *
Shigeki SANO

The Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 was caused by a previously unknown active fault. The Government decided to develop a “Basic Map of Active Fault” for seismic hazard.

The pre-existing Active Fault Map was determined from interpretation of aerial photography of the ground surface and drawn by professionals. This report introduces a methodology for active fault survey using digital photogrammetry technology that was used for “the geographical fluctuation survey for improvement of predictive accuracy on fault movement (active section, distribution of displacement) caused by earthquakes” conducted by Nagoya University and other institutes. This report also describes a significant improvement in the positional accuracy of the ISTL and a method for dissemination of high precision data on the active fault with WebGIS.

Keywords : Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line (ISTL), active fault, photogrammetry, US Army Photos, GIS, DTM

1. はじめに

2008 年 6 月 14 日に、岩手・宮城内陸南部で発生した M7.0 の地震は内陸の活断層地震だった。地震を引き起こした活断層が、研究者も認知していない「未知で無警戒な活断層」であったことを重視し、政府の地震調査研究推進本部の専門委員会は、地表に現れない短い活断層の調査を実施することとした。また、この 10 年間で発生した内陸直下型地震の多くは、沿岸海域に分布する活断層やひずみ集中帯で発生していることから、これまで調査した主要な 110 の活断層帯以外にも、調査対象を広げ活断層の詳細な位置を記した「活断層基本図」を作成することを決めた。これをきっかけに一般市民も活断層という言葉を理解し、ハザード情報であることの認識を持ったと考えられる。

本報告は、地震調査研究推進本部において策定した重点的な調査観測の方針に従って、文部科学省から平成 15 年度に委託され現在も継続している「糸魚川－静岡構造線活断層帯を対象とした重点的な調査観測」の内、名古屋大学、岡山大学、東洋大学、東京大学、鶴岡高専、愛知工業大学の研究機関と実施している“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”の概要を紹介し、活断層調査のプロセスと今後の課題について報告する。

「糸魚川－静岡構造線活断層帯を対象とした重点的な調査観測」の方針は、下記の①～③である。

- ① 長期的な地震発生時期および地震規模の予測精度を向上させる。
- ② 地殻活動の現状把握を高度化等地震発生前・後の状況把握。
- ③ 強震動の予測精度を向上する。

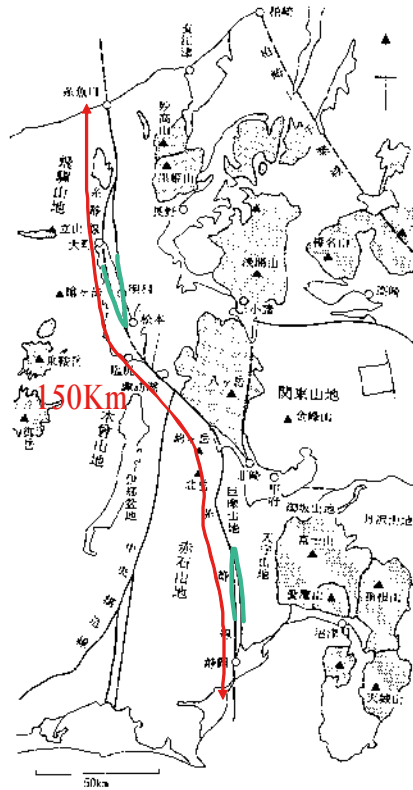
本調査研究は、①（および③）に貢献する位置付けとして、航測システム（写真測量・LiDAR）を用いた変動地形の高解像度 DTM（数値地形モデル）作成を通じ、断層線の位置情報や変位量情報を高密度・高精度で取得し、活動規模や変位量分布の推定精度を向上させることを目標としている。

尚、本稿は平成 18 年に開催された「国土空間管理・空間計測シンポジウム」―地震災害に備える空間計測技術の役割―で発表し、(財)日本測量調査技術協会発行の機関誌「測量最先端技術 91」に掲載したものを再校正した。

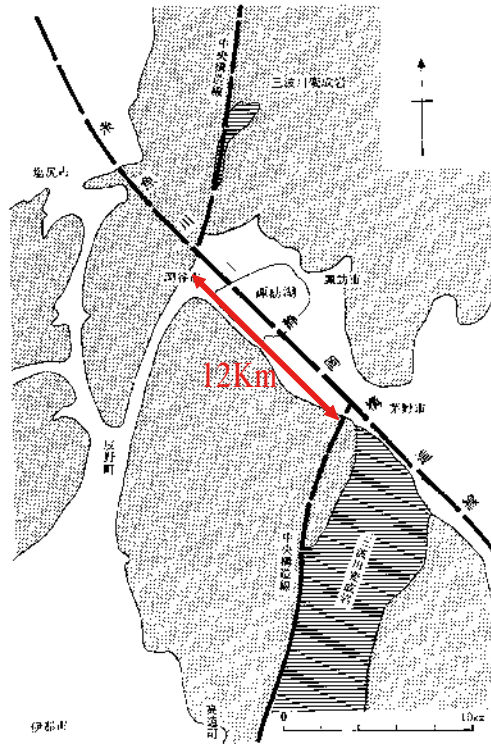
2. 糸魚川－静岡構造線について

- ① 図－1 の糸魚川構造線の概観図に示すとおり、糸魚川－静岡構造線（糸－静線と省略）系は、日本列島のほぼ中央部に位置する、全長 140 ～ 150km の活断層系であり、北部では東側が隆起する逆断層成分、南部では西側が隆起する逆断層成分、中部では左横ずれ成分が卓越している。

* 玉野総合コンサルタント株式会社 品質・環境・情報管理室



図－１ 糸魚川－静岡構造線の概観図¹⁾



図－２ 糸静線による中央構造線の水平変位¹⁾

- ② これほど大規模な構造線にしては、著しく曲がりくねっているのが重要な特徴の一つである。北部では２つに分かれて、その間に大峰帯を挟み、南部でも２本に分かれて竜爪山地帯を挟んでいる。
- ③ 牛伏寺断層を含む区間では、現在を含めた今後数百年以内に、M8程度（M7.5～8.5）の規模の地震が発生する可能性（30年以内の発生確率は14%）が高い。しかし、地震を発生させる断層区間（場所）がどこまでかは判断できない。
- ④ 図－２に示すとおり、諏訪湖地域で中央構造線とその東に接する三波川帯が、糸静線を挟んで12kmほどずれている¹⁾。

3. 調査研究の概要

糸静線重点調査研究に至るまでの経緯は、パイロット事業として平成14年度に航測図化とLiDARの精度・効率比較、平成15年度は牛伏寺地区のLiDAR（延長約5km）計測、平成16年度には全域をGPS/IMUによる撮影（写真縮尺：1/10,000）と10mメッシュのDSMおよびオルソフォト画像によるストリップマップを作成した。

平成17年度以降は、活断層変位地形高精度DTMの完成を目標に以下の調査作業を地区単位に実施している。

- ① 植生が密な地域のLiDAR計測（地面出し作業）
- ② 航測図化システム上でのDTMの作成（既成図の修正：地表面形状の把握）

- ③ 地形変化が著しい場所の米軍写真による断層線位置・変位地形形状の分析
- ④ 地形面分類図作成（写真判読・現地調査・年代測定）
- ⑤ WebGISによる情報配信

4. 活断層変異地形の高精度DTM作成

(1) 目的

活断層変位地形DTM作成の目的と効果は以下のとおりである。

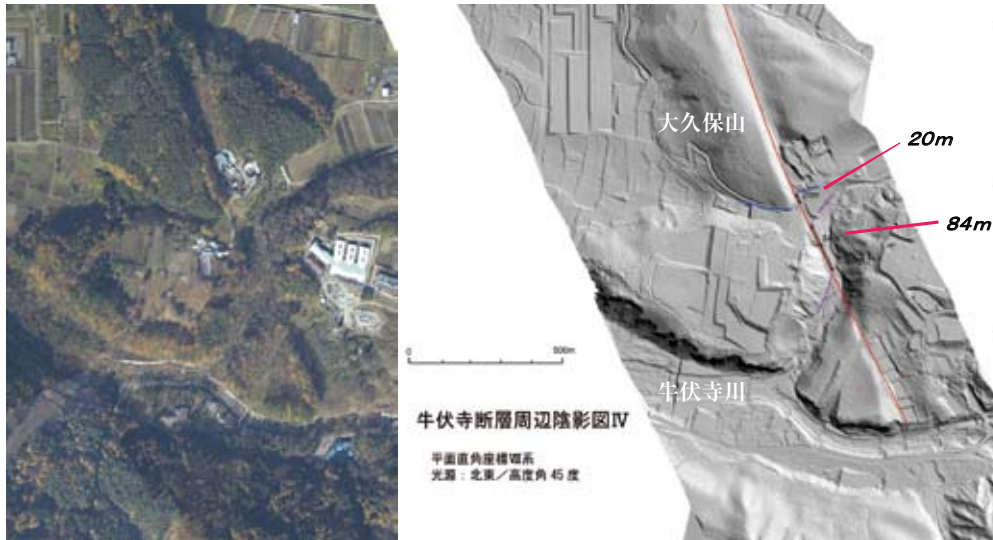
- ① 活断層線位置情報の高度化および連続性の再検討
- ② 平均変位速度（slip rate）分布の高密度取得
- ③ 活動区間の再検討
- ④ 強振動予測のための基礎情報取得
- ⑤ 断層のdislocation（断層が動いて位置を変えること）modelの検討
- ⑥ 平均変位速度データ充実による強振動試算

(2) DTMの作成方法

1) LiDAR計測

樹木が茂った自然地形が残る地域のDTM作成は、航空写真測量と比較するとLiDAR計測の方が高精度であることから、LiDAR計測する地域を選定しつつDTMの整備を進めている。

図－３は牛伏寺断層周辺のオルソフォト画像と50cm



図－3 牛伏寺断層沿い大久保山付近のオルソ画像と LiDAR 陰影図³⁾

メッシュ DTM による陰影図である。活断層変位地形が分かりやすく表現され、連続した地形の変位量の分析に効果があった。

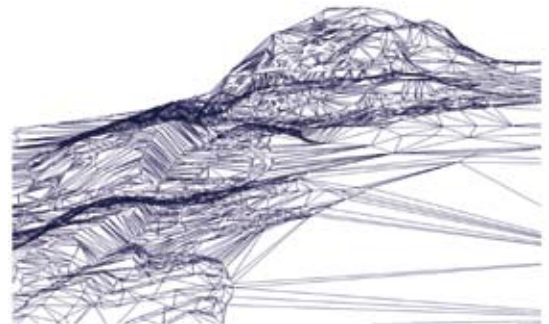
しかしながら、LiDAR 計測の問題点は、ランダムな点群情報（不連続情報）であることから地物の特定が困難で、地物による位置検証が出来ないことにある。これは航空写真を活用することにより改善を図っている。

2) 航測図化システム（航空写真測量）

写真測量の長所は、記録としては忠実客観性が高く、撮影時点の同時性を持って、広域をほぼ均一の精度で反復して 3 次元計測が可能ながことが上げられる。

図－4 に示した地形変化箇所を連続的に 3 次元計測したブレイクラインによる DTM 作成は、専門家の判読イメージを主観的に捉え、わかりやすく表現できることが特徴である。従って、崖などのエッジが際だった地形や造成地等の人工地形の計測に適している。

写真測量による 3 次元計測は、LiDAR 計測の計測点群密度と異なる精度管理により精度が保持される。様々な誤差要因を勘案し写真測量の一般論では、撮影縮尺 1/10,000、焦点距離 15cm の航空写真による 3 次元計測の精度（絶対精度）は、平面位置 $\pm 20 \sim 30\text{cm}$ 、標高値 $\pm 30 \sim 45\text{cm}$ と言われてきた。現在では、デジタル化の効用で機械的誤差が大きく改善され、地物と地物の相対的な位置関係を測る精度（相対精度）では、一般論に示す絶対精度の 1/2 ～ 1/3 以下の精度が期待できるようになった。



図－4 ブレイクラインによる TIN モデルの DTM イメージ

5. 断層位置精度の高精度化

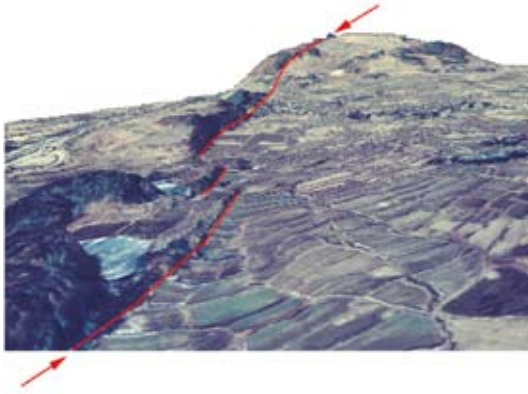
(1) デジタル図化機の効用

従来の写真測量は、画像メディアとしてネガフィルムから精密に転写したポジフィルム（23 cm × 23 cm）を用いていたため、高価で大きな測定機器が必要で、複数人で同時に判読と計測をすることは困難であった。

今日のデジタル写真測量（画像データ）では、測定機器は基本的にコンピュータのモニター上で、実体観測による 3 次元計測を行うため、複数の専門家が同時に協議しながらの計測作業が可能になった。

本調査では、活断層の専門家のアドバイスを受けながら、図化機オペレータが図－5 のイメージのとおり、活断層の位置を地表面に沿って 3 次元データを取得している。

表層の活断層判読のレベルとしては、最も確からしい位置精度を有している成果が作成できたと考える。当然のことながらこの情報は、高精度 DTM のブレイクラインデータとして用いている。

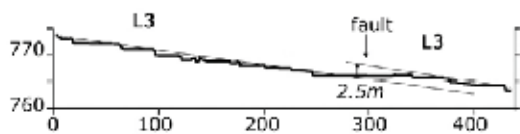


図－5 活断層情報の3次元計測イメージ

(2) 写真測量による横断面図作成

実体視による変異地形判読が困難な箇所は、想定される断層の横断面図を写真測量により作成し、微小な自然地形の変異について机上で分析した結果を用い、活断層位置を想定する方法で実施した。解析事例として図－6に示すとおり、L3面上に比高2.5mの崖の存在が確認できる⁴⁾。

また、地表面からの活断層判読において、判読精度が低い活断層については、破線表示としている。



図－6 横断面図による断層面箇所解析イメージ

6. 米軍写真を用いた変異地形の解析と判読

(1) 米軍写真

米軍写真は、1945～1956年にかけて連合国軍最高司令官総司令部（GHQ/SCAP）が撮影した最初の航空写真である。撮影縮尺約1/10,000と約1/40,000の2種類があり、縮尺1/40,000の米軍写真は日本全土を覆うように撮影され、縮尺1/10,000の米軍写真は主要都市および鉄道沿いの地域について撮影されている（測量・地図百年史編集委員会、1970）。米軍写真は国土地理院から密着印画および画像データで提供されているが、国土地理院に保管されている米軍写真はオリジナルのネガではなく、ネガを撮影したポジフィルムである。このため全般的に周辺減光が著しく、コントラストが明瞭でない⁵⁾。

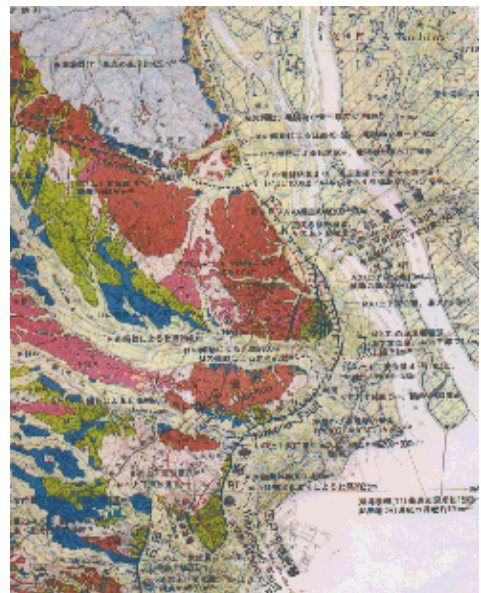
米軍写真は高度経済成長期以前の国土の様子を記録しているため、地形改変を定量的に捉える解析や変異地形の判読に有効であることから、米軍写真を利用した写真測量による3次元計測の要望が高まっている。しかしながら、米軍写真による写真測量には、以下の制約と技術的な課題が存在する。

- ・ 確実に正確なGCPの取得が困難
- ・ カメラディストーションの補正値が不明
- ・ 指標の計測が困難なので、写真主点が不明確
- ・ 指標間距離が不明なので、焦点距離の調整が困難
- ・ 画像に計測が困難な歪みがある。

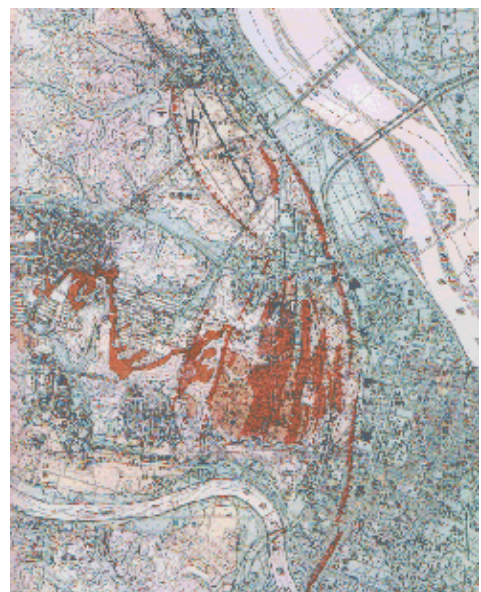
(2) 従来の活断層図

従来から地形改変が激しい地域の活断層等の判読には、米軍写真による実体判読が専門家により行われ、図－7断層系ストリップマップ(1/10万)、図－8首都圏活断層図(1/2.5万)が作成されていた。

しかしながら、都市域の土地改変は大規模であり、判読結果を正確に移写することは専門化でも困難であった。



図－7 断層系ストリップマップ(1/10万)



図－8 都市圏活断層図(1/2万5千)

(3) 米軍写真を用いた写真測量

1/2,500 ～ 1/10,000 の大縮尺の活断層図では、活断層の位置正確度は重要な品質要件である。

桑名断層調査の事例では、都市計画基本図 (1/2,500) の地物を GCP (Ground Control Point) とし、米軍撮影航空写真 (撮影縮尺 1/10,000) による写真測量を有効性について報告している⁵⁾。

図-9 に示すとおり、地形改変前の変位地形について米軍写真を用い、DM (デジタルマッピング) 手法で取得した等高線データをグリッド間隔 5m の DTM データに加工して、陰影図 (図-10) を作成することで、変位地形が専門家以外にも判読しやすく表現できた。桑名断層の変位地形の解析に用いた米軍写真 (撮影縮尺 1/10,000) では、写真測量で重要な内部定位が不確定なため、相互標定における交会残差は、公共測量の許容誤差内には収まらないものの都市計画図 GCP との対地標定結果として、単一モデル内の基準点残差は、平面位置で標準偏差 ± 2m 程度を得ることができた⁶⁾。

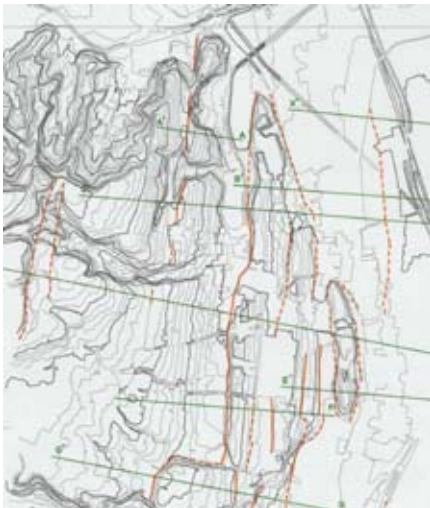


図-9 米軍写真による 2m 等高線図化 (1/2,500 レベル)

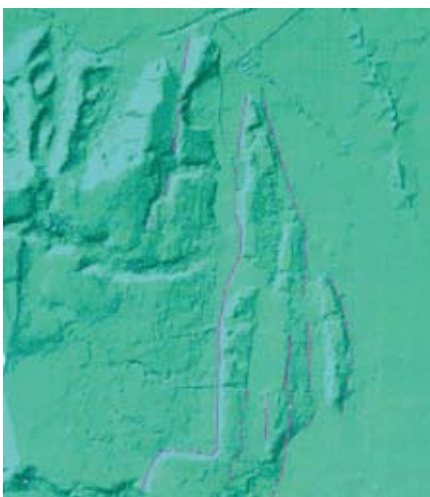


図-10 5mDTM データによる陰影図

7. 地形面分類図の作成 (1/25,000)

地形面分類図とは、地形が出来た時期ごとに地形面を分類したものである。

地形面は海水準の変動などの様々な要因によって作られ、出来た時期によって面の分布高度や傾斜角度、浸食の進み具合などが異なるという特徴がある。本調査では、詳細な空中写真判読および現地調査結果を踏まえて地形面分類図 (図-11) を作成するとともに、地形面を構成する堆積物中に含まれる火山灰の種類や、C¹⁴ 年代測定結果などにより、地形面が出来た年代を特定した。

また、写真測量により多数の地形面横断測量を行い、それぞれの断面について変位量を求めた。この変位量と地形面の年代から、活断層の平均変位速度を高密度で求めることができ、従来よりも高精度な強震動予測モデルの構築に役立てられるものと期待される。



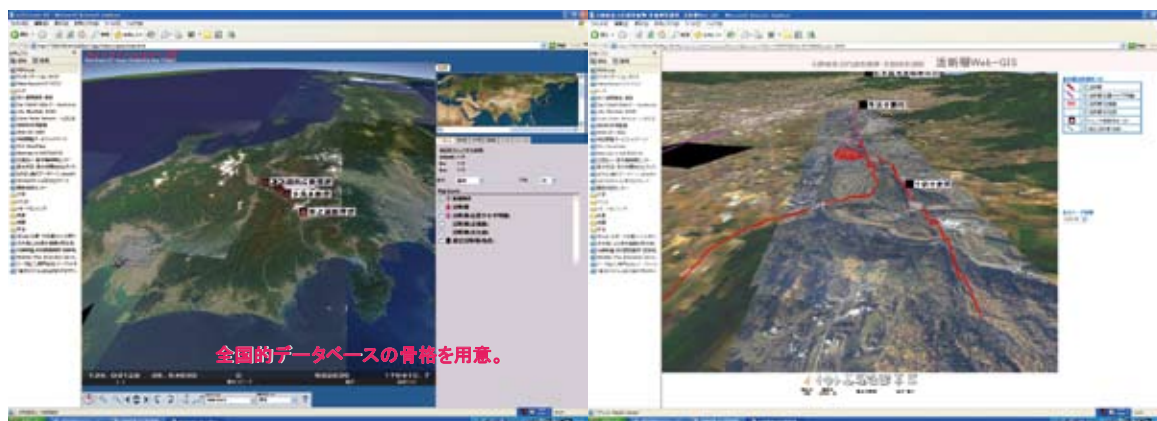
図-11 地形面分類図イメージ

8. WebGIS による情報配信

活断層の WebGIS による配信の目的と機能は、変動地形について真の理解を得ること、誰もがデータ検証・データ追加・数値解析可能な「変動地形情報 3D 管理システム」を構築し、活断層付近の地域は、任意測線上で断面測量を可能にすることである。ただし、重要な箇所は写真測量システム上での変位量計測の必要性について、適宜検討する。併せて、WebGIS による 3D グラフィクスを利用した活断層・変動地形に関する住民啓発を目的にしている。図-12 は全国的な骨格から当該地区の詳細図に導く WebGIS の画面イメージを示す。

重点的な調査観測の成果として、平成 20 年 8 月下旬から下記の URL で“糸魚川—静岡構造線”活断層情報ステーション”の公開を開始した。

<http://danso.env.nagoya-u.ac.jp/istl-gis/>



図－12 WebGIS の画面イメージ

9. 今後の課題

(1) 写真測量による DTM 作成の品質基準

DTM の精度は、その解像度（グリッド間隔）への要求が高ければ高いほど、位置精度およびその標高の正確性も同等以上に高いものが要求される。例えば、写真測量において、航空写真の位置を決定する標定作業の誤差が 1.0m ある航空写真で、1m 間隔の DTM を作成するのは果たして適切か？という課題である。公共測量作業規定では、写真測量の対地標定における水平位置および標高の誤差を航空写真の撮影縮尺や地図の縮尺から許容誤差を定めている。同様に、航空写真から DTM を取得する場合の精度的な限界を評価して、地形の状況や作成目的および使用する航空写真の縮尺などからその解像度（グリッド間隔）と精度の品質基準の検討を進めていく。人為的な判断が必要な計測作業は、同一の観測者が計測を行わないかぎり、判読基準を統一することは困難であり、複数の計測者が作成した DTM は、人為的な誤差が多く含まれる可能性が高くなる。DTM データを効率的且つ高精度にデジタル化する技術への要望は、今後も増大するものと考えられ、DTM の製品としての品質評価の手法と精度評価の基準の検討が必要である。

(2) WebGIS の役割

ハザード情報の住民周知は、地図を見せるや配る程度の情報提供だけでは浸透しない。住民の防災意識の啓蒙に必要な WebGIS の機能は、興味を高める面白さに信憑性の高いハザード情報が分かりやすく示されることが、適切に情報更新がされるものでなければ陳腐化してしまう。現状の事実を見せることに主眼を置く防災関連の GIS は、「だからどうなり、どうしなければいけないのか」を中々うまく示すことが出来ない。今後は、WebGIS を用いた住民の防災意識の啓発方法について、GIS の機能も含め検討を進める。

10. まとめ

昨今の GIS に用いる空間情報は、一般的に見栄えと新鮮さが優先される傾向があり、精度に対する評価は高くない。しかし、専門家からは要求に沿った正確で安心な空間情報を求められることが多い。本研究で作成されるデジタルオルソ画像や高解像度 DTM は、地震災害を予測し備えるとともに、地震災害後の断層運動の解析に大きく貢献するものと期待されており、位置精度の付加価値は高い。

また、このプロジェクトで作成した活断層図には、「活断層がどこを通り、過去の活動で大地にどのような痕跡を残したか」を明らかにし、情報公開にあたっては「なぜそこに活断層が認定されるか」という認定根拠と、「確からしさ」について地点毎で解説を記している。

本プロジェクトで要求されている空間計測技術は、広域のある時点（時期）の地形を高精度に再現する技術である。それに加えて、データの利用者に対するデータ提供者としての説明責任も重要な使命となってきた。

今後も利用者の要求に対し、高品質の地理空間情報を提供する技術者の観点から研究活動に協力していきたい。

参考文献

- 1) 山下昇：フォッサマグナ、東海大学出版、6・7、1995
- 2) 鈴木康弘：「糸静線パイロット重点調査」の成果、文部科学省、2004
- 3) 鈴木康弘：累積変位量・地震時変位量・平均変位速度分布調査の意義と課題、地理科学投稿論文、2005
- 4) 「糸魚川・静岡構造線活断層帯を対象とした重点的な調査観測」成果、WebGIS「糸魚川・静岡構造線」活断層情報ステーション
- 5) 長谷川裕之・小白井亮一・佐藤浩・飯泉章子：米軍撮影空中写真のカラー化とその評価、写真測量とリモートセンシング、44(3)、pp.23-36、2005
- 6) 鈴木康弘・佐野滋樹・野澤竜二郎：航空写真測量に基づく桑名断層の変位地形の解析、活断層研究、22、76-82、2002