

## 2.3 糸魚川-静岡構造線断層帯の過去の地震活動履歴解明のための調査

### 2.3.1 トレンチ調査及び過去の調査のコンパイル

#### (1) 調査観測の内容

(a) 課題 トレンチ調査及び過去の調査のコンパイル

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
広島大学大学院文学研究科 (独)産業技術総合研究所 活断層研究センター	教 授 特別研究員	奥 村 晃 史 近 藤 久 雄

(c) 調査観測の目的

糸魚川-静岡構造線活断層系で過去に実施されたトレンチ調査と関連する地形・地質調査のデータを収集・整理し、データの分布状況、問題点を検討して今後の調査研究の方針を検討するための資料とする。また、収集・整理したデータを再度分析して地震発生時期、発生間隔等を高い信頼度で数値化する。

#### (2) 平成14～16年度（3カ年）の成果

(a) 調査観測の要約

糸魚川-静岡構造線活断層系の古地震データの補完と既存データの再検討と有効利用を実現するために、トレンチ調査と過去の調査成果のコンパイルのパイロット的調査研究を行った。

- 1) 糸魚川-静岡構造線活断層系下葛木断層の既往調査の問題点の検討と補完的トレンチ調査、地形・地質調査の実施
- 2) 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を行い、活用事例として牛伏寺断層の活動時期の定量的再検討を実施。

(b) 下葛木断層の補完的トレンチ調査

1) 調査観測の実施方法

糸魚川-静岡構造線活断層系中部の横ずれ断層帯南端部は糸魚川-静岡構造線活断層系南部の西傾斜逆断層帯との接点に位置し、複雑な活動履歴が予想される。従来の調査研究では、連続的な堆積物の存在しない地点でトレンチ調査が行われてきたため、下葛木断層が低湿地を通過する地点で、過去5000年間の連続堆積が確認できた地点（図2.3.1-1）で、ジオスライサ・トレンチ調査を実施した。

## 2) 調査観測の成果

下葛木断層におけるトレンチ・地層抜き取り調査の結果、断層の活動時期、平均変位速度に関して以下の新たな知見を得た。5500年前以降に3回の断層活動が認められ、それぞれの発牛年代は、新しいものから順に、約1500年前以降、2000～3300年前、3300～5500年前と推定される(図2.3.1-2・表2.3.1-1)。最新活動の発牛年代は従来の推定と大きな矛盾がなく、歴史史料に記録された841年信濃国大地震もしくは762年地震に対応する可能性がある。下葛木断層の最近3回の活動間隔は最大で3500年、平均的には1800年程度と推定される。この活動間隔は、釜無山断層群で推定された活動間隔と調和的である。この点については、個々の活動時期を精度良く求め、さらに検討を加える必要がある。また、調査地点周辺の地形発達史とトレンチ壁面の層序・年代から、下葛木断層の横ずれ平均変位速度は最大で5.5mm/yrと算出できる。この結果、下葛木断層の平均変位速度は、従来の1.5mm/yrという推定を上回る1.5～5.5mm/yrとなる。

## 3) 結論ならびに今後の課題

連続的に地層が堆積し、断層運動の記録が完全に保存されている可能性の高い地点で綿密なトレンチ・ジオスライサ調査を実施した結果、従来の下葛木断層の活動史を改訂することが可能となった。糸魚川-静岡構造線活断層系に沿う地域は急峻な山地の山麓で土石流や洪水など高エネルギーの浸食・堆積作用が卓越する。このような環境ではイベントの記録の欠落は頻繁に発生することが予想される。従って、既往のトレンチ調査研究成果を慎重に再検討し、再度慎重な調査を行うことによって、合理的な活動履歴の解明が可能である。今後、引き続き、分解能が高く信頼性のある古地震調査を広く実施する必要があると確認された。

## c) トレンチ調査のコンパイルおよびイベント年代の定量的再検討

### 1) 調査観測の実施方法

既存論文に掲載されたトレンチ壁面のログについて、イベントの認定を確認したのち、イベント層準と年代測定試料の採取層準、年代測定結果の妥当性について検討した。さらに、イベント発生時期の議論の正当性を確認した。

問題がないと確認されたイベント層準と年代値を、Ramsey (2003) に含まれるベイズ理論に基づく改良年代決定ルーティンを用いて、イベントの年代を定量的に求めた(図2.3.1-3)。

### 2) 調査観測の成果

糸魚川-静岡構造線活断層系においてこれまでに実施されたトレンチ調査の報告では、イベントの年代は、イベント後とイベント前の年代値から最も妥当と思われるものを選び、それぞれの暦年換算値の1 $\sigma$ に対応する年代範囲の下限から上限までの期間として記述されていた。Okumura (2001) では、最新イベントからその3回前までのイベントが、1135～788 Cal. B.P.、1800～1506 Cal. B.P.、2342～2138 Cal. B.P.、3316～2881 Cal. B.P. と求められている。この年代推定方法では、暦年換算値の不規則な確率分布が考慮されていない。また、年代値の前後関係と層序をもとにベイズ理論を適用して年代値の確率分布を再計算する Biasi and Weldon (1994) の方法も適用されてこなかった。

並柳トレンチ（図2.3.1-4）と中山トレンチの年代再計算結果（図2.3.1-5）の比較からは、従来見落とされていた問題が明らかとなった。中山トレンチのイベント2の年代は並柳トレンチのイベント1の年代と一致し、並柳トレンチのイベント2の年代とは大きく食い違っている。奥村ほか（1994）、Okumura（2001）では、並柳トレンチのイベント2の年代を精度よく求めることができなかつたため、中山トレンチのイベント2と区別することができなかつた。しかし、今回の分析では、一つのイベントが全く重なりあわない二つの時期に推定されていることが明示されている（図2.3.1-3）。

二つのトレンチ地点は、牛伏寺断層の連続したトレースの上で約5km離れた位置にある。それぞれのトレンチで別の時期に地震が発生した可能性は考えにくい。従って、二つのトレンチ調査地点のいずれかの地質記録が不完全であると考えられる。並柳地点では、複数のトレンチで同じ層準と年代にイベント2が認められている。一方、中山地点のデータは一つの壁面だけから得られている。さらに、このトレンチの断層上端部は20～25°の傾斜をもつ急斜面を切っており、不安定な斜面で表土が地震のたびに崩壊したことがわかっている。このため、中山トレンチのイベント1と2に関わる断面は斜面で擾乱を受けたため、断層運動の記録としては不完全であると考えることができる。以上のことから、中山トレンチのイベント1とイベント2の年代値は、牛伏寺断層の活動記録を正確に記録していない可能性が高い。

### 3) 結論ならびに今後の課題

本調査観測では糸魚川-静岡構造線活断層系の過去のトレンチ調査の成果を批判的にレビューしてそのデータのコンパイルすることを試みた。牛伏寺断層のトレンチ調査の結果に、Ramsey（2003）のプログラムを適用することによって、イベントの発生時期を客観的な方法で特定することができた。その結果、牛伏寺断層の活動時期の推定の精度を高めることができた。また、不完全な地質記録を見出して、古地震時系列から排除することもできた。今後、同様のデータコンパイルと、イベント年代の再計算をすすめて、糸魚川-静岡構造線活断層系の活動史を定量的に再現する作業を進めたい。

#### (d) 引用文献

- 1) Ramsey, B.: OxCal version 3.9, 2003
- 2) Okumura, K.: Paleoseismology of the Itoigawa-Shizuoka tectonic line in central Japan, *Journal of Seismology*, 5, 411-431, 2001.
- 3) Biasi G. and Weldon R.J., Quantitative refinement of calibrated C-14 distributions, *Quaternary Research*, 41, 1-18, 1994.
- 4) 奥村晃史・下川浩一・山崎晴雄・佃 栄吉、：糸魚川-静岡構造線活断層系の最近の断層活動-牛伏寺断層・松本市並柳地区トレンチ発掘調査。地震第2輯、46、425-438、1994.
- 5) Stuiver M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G.S., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., van der Plicht, J. and Spurk, M.: INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration, 24000-0 cal BP, *Radiocarbon* 40, 1041-1083, 1998
- 6) 奥村晃史、糸魚川-静岡構造線活断層系下葛木断層の断層露頭-山梨・長野県境-。第四紀露頭集編集委員会編『第四紀露頭集-日本のテフラ』、236-236、1996.

- 7) 澤 祥、中部フォッサマグナ西縁、富士見周辺の活断層、地理学評論、58、 695-714、1985.
- 8) 三浦大助・幡谷竜太・宮腰勝義・井上大栄・白井正明、糸魚川-静岡構造線活断層系中部の最近の断層活動(その1)-釜無山断層群のトレンチ調査結果、地球惑星科学関連学会2000年合同大会、S1-P008、2000.
- 9) 三浦大助・幡谷竜太・阿部信太郎・青柳恭平・宮腰勝義・井上大栄、糸魚川-静岡構造線活断層系中～南部のセグメンテーションモデル、地球惑星科学関連学会2002年合同大会、J029-P011、2002.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著 者	題 名	発 表 先	発表年月日
近藤久雄・ 奥村晃史・ 杉下一郎	糸魚川-静岡構造線活断層系・下葛木断層の活動履歴と平均変位速度の再検討	活断層研究	2005年6月 (印刷中)

2) 口頭発表、その他

発 表 者	題 名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
奥村晃史	オンフォールト古地震学の展開：地震発生時期の解明を中心に	日本地理学会 2004 年度秋季学術大会、日本地理学会・地理科学学会、広島大学	2004 年 9 月

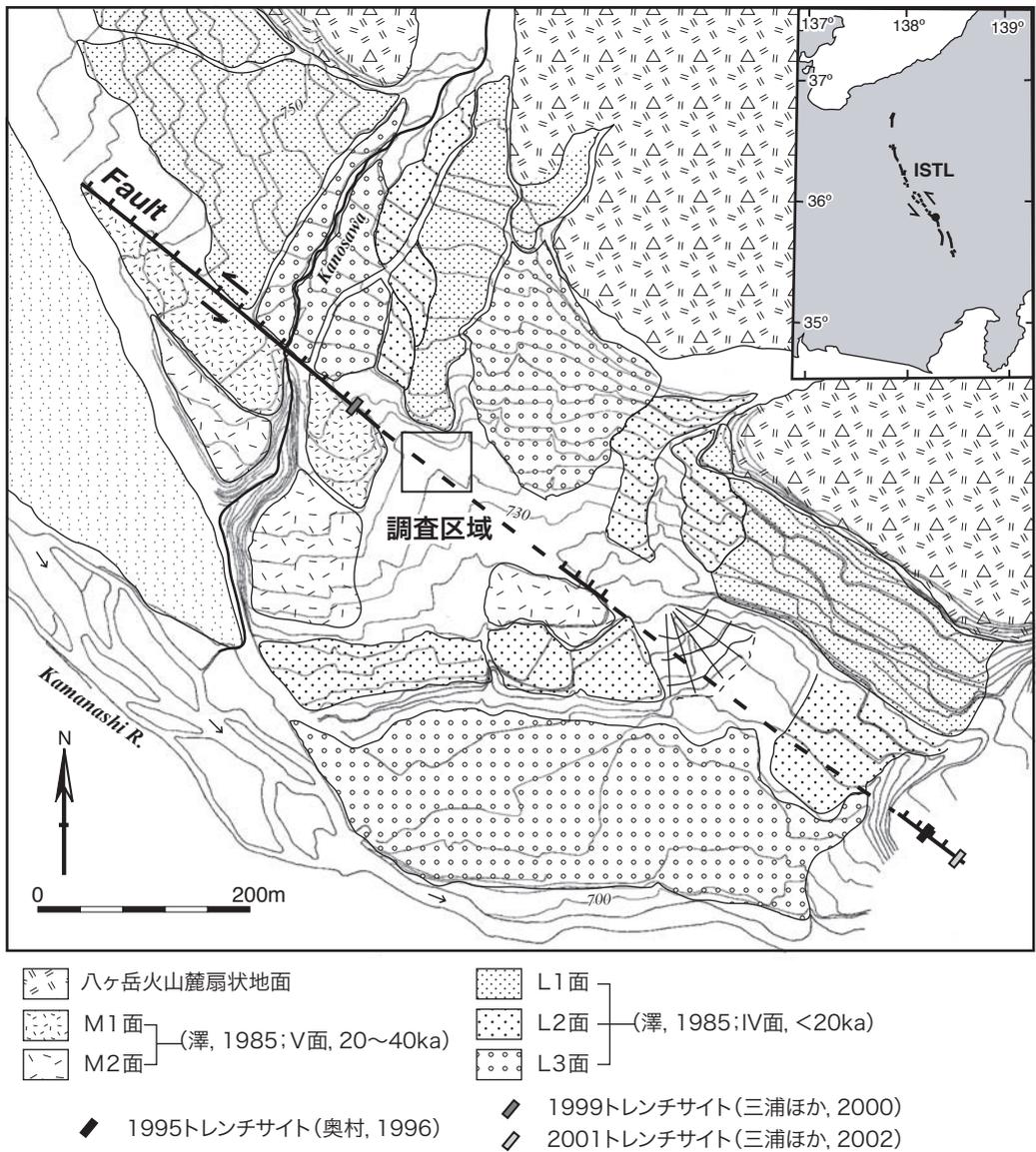


図1 下葛木断層と周辺の地形。等高線間隔は2m。文献 6) ~9)。

図 2.3.1-1 下葛木断層と周辺の地形。等高線間隔は2 m。文献 6)~9)

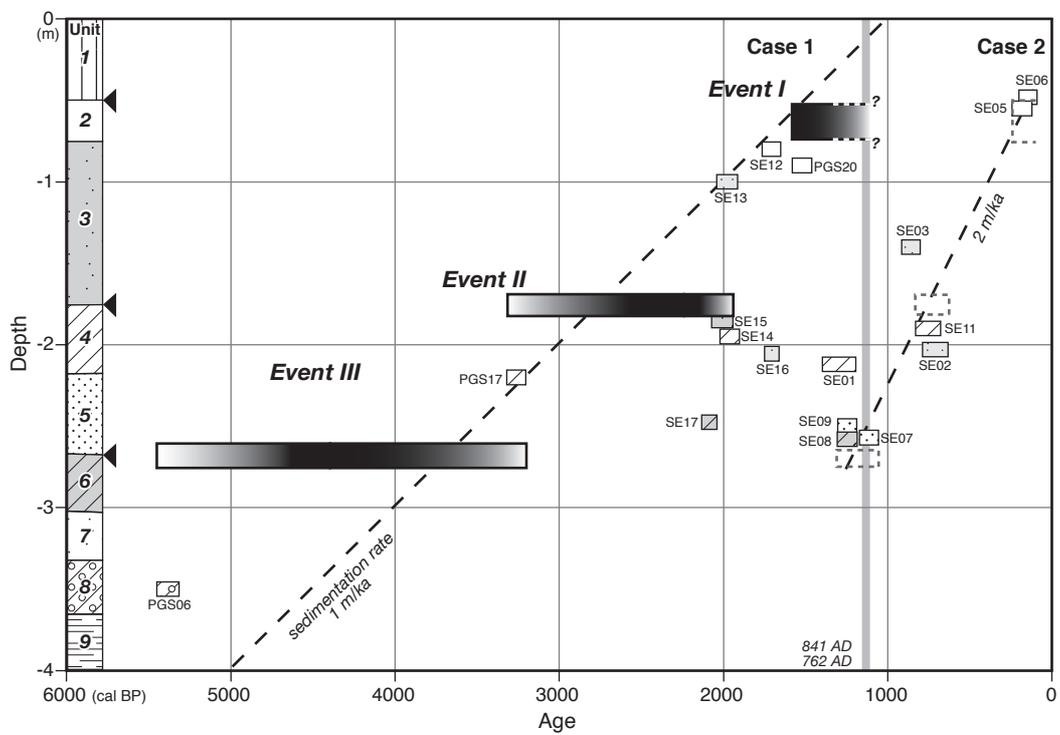


図 2.3.1-2 イベント発生年代の解釈。年代測定値は表 1 を参照

図2 イベント発生年代の解釈。年代測定値は表 1 を参照。

Sample no.	Labo code	Unit	Method	Material	<sup>14</sup> C age (1sigma)	<sup>13</sup> C (‰)	Cal. age (1sigma)
SE 06	JNC-4797	2	AMS	seed	145 ± 55	-27.8	cal AD 1668 – 1950
SE 05	JNC-4796	2	AMS	seed	184 ± 61	-27.9	cal AD 1654 – 1949
PGS 20	HR-001	2	β	humic silt	1523 ± 59	-25.0	cal AD 435 – 616
SE 12	JNC-4803	2	AMS	humic silt	1708 ± 56	-23.7	cal AD 255 – 413
SE 02	JNC-4794	3	AMS	charcoal	710 ± 78	-27.5	cal AD 1260 – 1384
SE 03	JNC-4795	3	AMS	charcoal	858 ± 57	-24.3	cal AD 1066 – 1256
SE 16	Beta-179562	3	AMS	humic silt	1700 ± 40	-22.3	cal AD 260 – 400
SE 13	JNC-4804	3	AMS	humic silt	1977 ± 63	-23.4	cal BC 43 – cal AD 81
SE 15	JNC-4836	3	AMS	humic silt	2008 ± 65	-22.8	cal BC 88 – cal AD 68
SE 11	JNC-4802	4	AMS	wood	755 ± 76	-29.0	cal AD 1218 – 1296
SE 01	JNC-4793	4	AMS	charcoal	1297 ± 101	-27.1	cal AD 653 – 864
SE 14	JNC-4805	4	AMS	humic silt	1962 ± 59	-23.1	cal BC 38 – cal AD 121
PGS 17	HR-002	4	β	humic silt	3262 ± 57	-25.0	cal BC 1453 – 1616
SE 07	JNC-4798	5	AMS	wood	1113 ± 58	-28.4	cal AD 887 – 996
SE 09	JNC-4800	5	AMS	charcoal	1247 ± 58	-27.0	cal AD 687 – 879
SE 08	JNC-4799	6	AMS	wood	1247 ± 60	-23.6	cal AD 687 – 881
SE 17	Beta-179561	6	AMS	humic silt	2080 ± 40	-22.9	cal BC 160 – 40
PGS 06	HR-003	8	β	humic silt	5382 ± 67	-25.0	cal BC 4051 – 4331

表 2.3.1-1 放射性炭素同位体年代の測定結果。半減期は Libby による 5568 年。暦年較正は Ramsey (2003) および Stuiver et al. (1998) によるデータセットを使用。Labo Code は JNC : 核燃料サイクル開発機構, Beta : Beta Analytic 社, HRS : 広島大学。測定は、AMS : 加速器質量分析計、β : β線計測による。

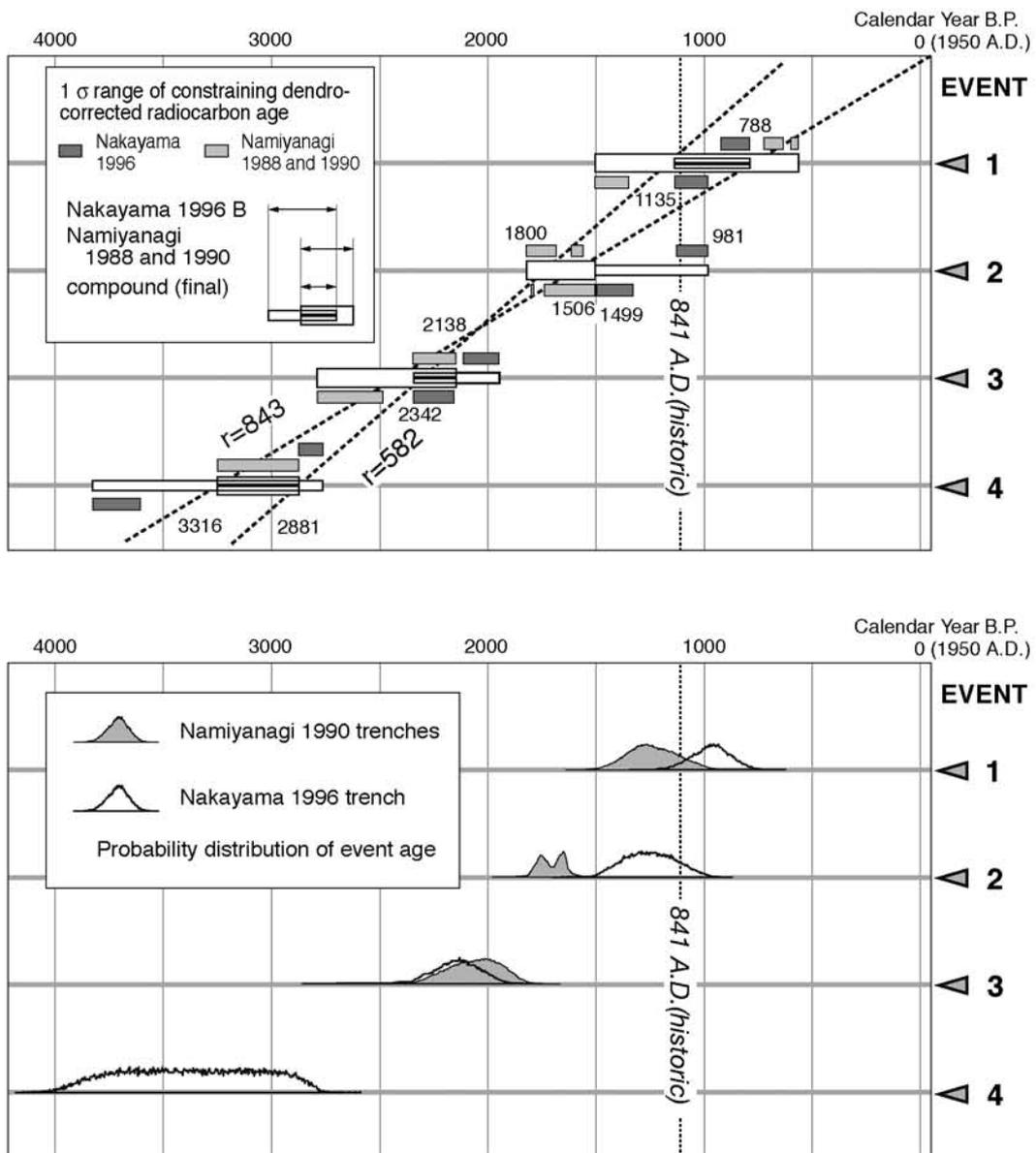


図 2.3.1-3 Okumura (2001) による暦年換算値の上限・下限だけを用いた牛伏寺断層のイベント年代の推定 (上) と、暦年の確率分布と試料の層位関係をもとに Ramsey (2003) により再計算したイベントの年代 (下)

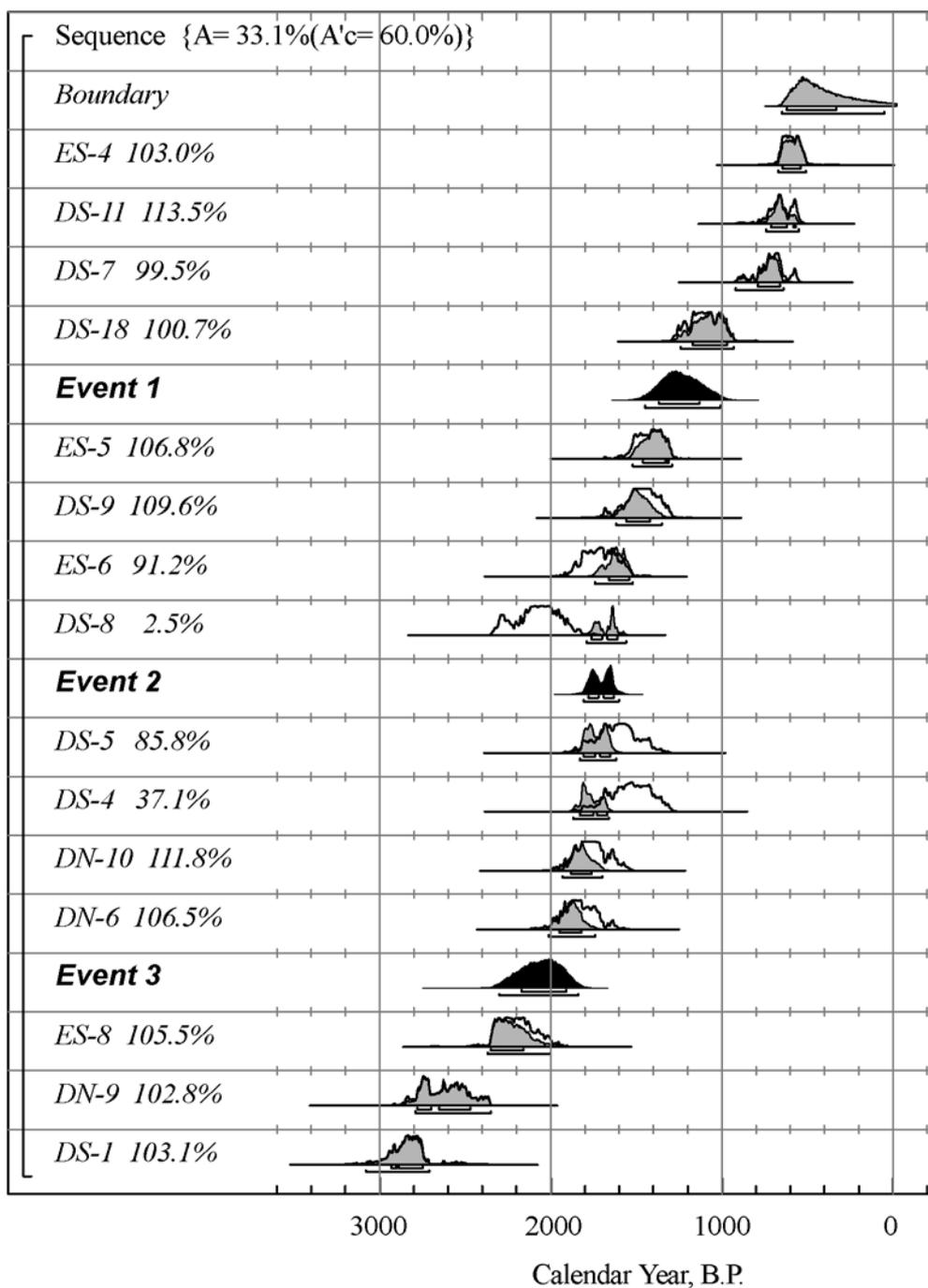


図 2.3.1-4 Ramsey (2003) を用いて再計算した牛伏寺断層並柳 1990 年トレンチの個々の試料の暦年とイベント年代の確率分布。白：再計算前の年代 (Prior)、灰：再計算後の年代 (Posterior)、黒：イベントの年代

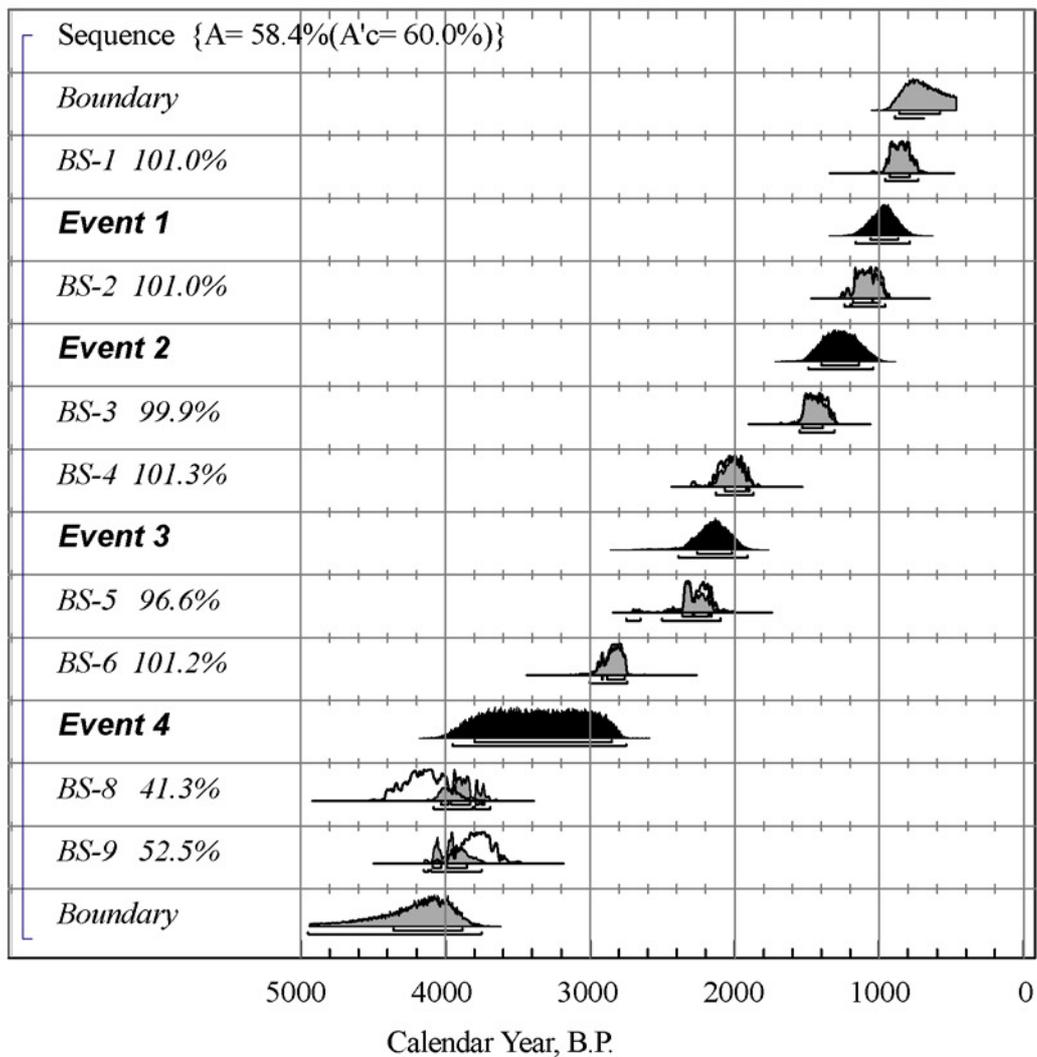


図 2.3.1-5 Ramsey (2003) を用いて再計算した牛伏寺断層中山 1996 年トレンチの個々の試料の暦年とイベント年代の確率分布. 白: 再計算前の年代 (Prior)、灰: 再計算後の年代 (Posterior)、黒: イベントの年代

## 2.3.2 高解像度 DEM(Digital Elevation Model)等に基づく変動地形情報解析

### (1) 調査観測の内容

- (a) 課題 糸魚川ー静岡構造線断層帯の過去の地震活動履歴解明のための調査  
(2)高解像度 DEM(Digital Elevation Model)等に基づく変動地形情報解析

### (b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
名古屋大学大学院環境学研究科 (平成 15 年度までは愛知県立大学情報科学部)	教 授	鈴木 康弘

### (c) 調査観測の目的

高解像度 DEM・リモートセンシング・GIS に基づいて変動地形の数値情報解析を行い、断層変位地形の 3D 情報の整備とそれをベースとした断層活動評価・監視計画の雛形を作成する。

### (2) 平成 14～16 年度の成果

#### (a) 調査観測の要約

平成 14～16 年度は次の項目を実施した。

- 1) LiDAR (レーザーレーダ) 計測による変動地形解析の有効性を検討するため、LiDAR により牛伏寺断層付近の計測を行い、50cm メッシュ DEM を作成した。その結果、地表の植生や構造物を数値処理により除去した DEM が得られ、通常は観察困難な地表形状が把握できることがわかった。
- 2) 活断層沿いの POS/IMU 計測を併用した空中写真撮影による変動地形解析の有効性を検討するため、糸魚川ー静岡構造線全域の航測および数値解析を実施した。その結果、POS/IMU を併用することで精度の高い航測図化を効率的に行うことができ、全域に及ぶ高解像度 DEM を GIS 上に整理し、強震動予測の高度化に資するデータ整備が可能になることがわかった。

#### (b) LiDAR (レーザーレーダ) 計測による変動地形解析の有効性の検討

##### 1) 調査観測の実施方法

牛伏寺断層について、平成 15 年 11 月に LiDAR 計測を実施し、16 年 2 月までの間にデータ処理を行った。実施方法の詳細は表 2.3.2-1 に、使用機材は表 2.3.2-2 に示す。データ処理の後、50cm メッシュ DEM から陰影図を作成し、変位地形の判読を実施した。

表 2.3.2-1：調査仕様

1. 件名：糸静線・牛伏寺断層周辺の LiDAR 計測
2. 場所：長野県松本市牛伏寺断層周辺
3. 期間：平成 15 年 11 月 10 日～平成 16 年 2 月 20 日
4. 目的：糸静線に沿う変位地形の詳細な計測を行って地表面の 50 cm メッシュ DEM を作成し、古地震活動の際の断層変位形状および変位量計測を行う。
5. 内容
  - (1)使用機材
    - ①航空機：セスナ 208 型
    - ②レーザースキャナ ALTM2050DC (Optech 社製)
    - ③デジタルカメラ 4K02 (Optech 社製)
  - (2)計測内容
    - ・レーザースキャナ、GPS/IMU 搭載航空機にて計測。
    - ・1 秒間に 50, 000 発以上のレーザー光を射出可能なレーザースキャナを使用。
    - ・レーザー計測は、測点間隔 0.5 m 以下。
    - ・地上参照局（電子基準点「松本」）において同時 GPS 観測。
    - ・レーザースキャナ付属のデジタルカメラで画像取得。
  - (3)計測諸元
    - ①飛行高度：海拔 1,500 m
    - ②測線数：6 km × 5 コース
    - ③測線間隔：100 m
    - ④データ取得点間隔：0.5 m 以下
    - ⑤デジタルカメラの解像度：約 20 cm / pixel
  - (4)データ処理
    - ・一次処理として、GPS/IMU および地上 GPS データから撮影点の位置・高度・航空機の姿勢を算出。
    - ・空中浮遊物などノイズデータの除去。
    - ・二次処理として、地形フィルタリング処理により、DEM と DSM をともに 50 cm メッシュで作成。

表 2.3.2-2 : 使用機材

航空機

Cessna 社製 C208 (Caravan)

エ ン ジ ン : PT6A-114A(ターボプロップ)  
675SHP  
全 長 : 11.5m  
全 幅 : 15.9m  
全 高 : 4.5m  
最大離陸重量 : 3,629kg



航空機搭載型レーザ測量システム

Optech 社製 ALTM2050DC

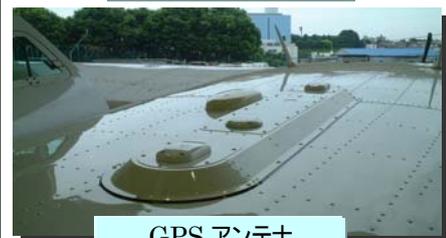
使用レーザ波長 : 1,064nm  
レーザクラス : 4(アイセーフ機能保有)  
レーザ発射回数 : 50,000Hz  
測距分解能 : 0.01m  
最大スキャン回数 : 70Hz(0.1Hz 単位調整)  
最大スキャン角度 :  $\pm 20^\circ$  (0.1 $^\circ$  単位調整)  
ビーム幅 : 0.19mrad、0.6mrad 切替  
計測高度 : 対地 210m~2,000m  
取得測距データ数 : 2(1st, last) + 反射強度  
位置姿勢計測装置 : Applanix 社製 POS  
GPS レシーバ : Novatel 社製 Millennium  
標高精度 : 15cm(対地 1200m)  
25cm(対地 2,000m) (1 $\sigma$ )  
水平精度 : 対地高度の 1/2,000 以上



コントロールラック部



レーザヘッド部



GPS アンテナ

デジタルカメラ

画素数 : 4,092(along) × 4,077(cross)  
レンズ焦点距離 : 55mm  
フットプリント : 37 $^\circ$   
バンド :  
カラーモード / 400-500、500-600、600-680nm  
近赤外モード / 510-600、600-720、720-800nm  
最大フレーム間隔 : 4 秒

## 2) 調査観測の成果

LiDAR 計測結果を数値処理し、地表構造物および植生を除去した 50cmDEM から陰影図を作成した (図 2.3.2-1, 図 2.3.2-2)。この図を観察すると、断層変位の詳細が読み取れる。図 2.3.2-1 では、旧河道沿いの河食崖が 59m 左ずれし、図 2.3.2-2 では 127m 左ずれしている。これらの変位は現地でも確認できるが、横ずれ量計測は容易ではない。

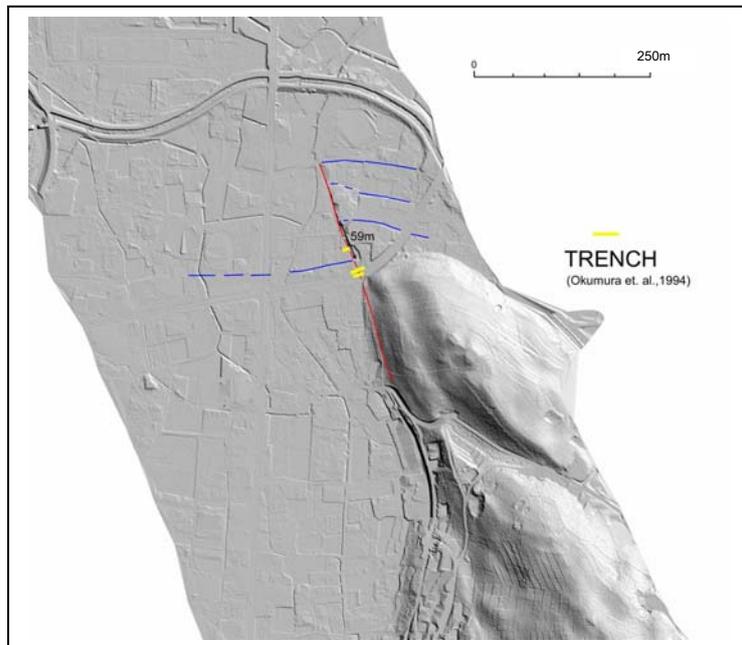


図 2.3.2-1 : 牛伏寺断層観測区間北部の陰影図

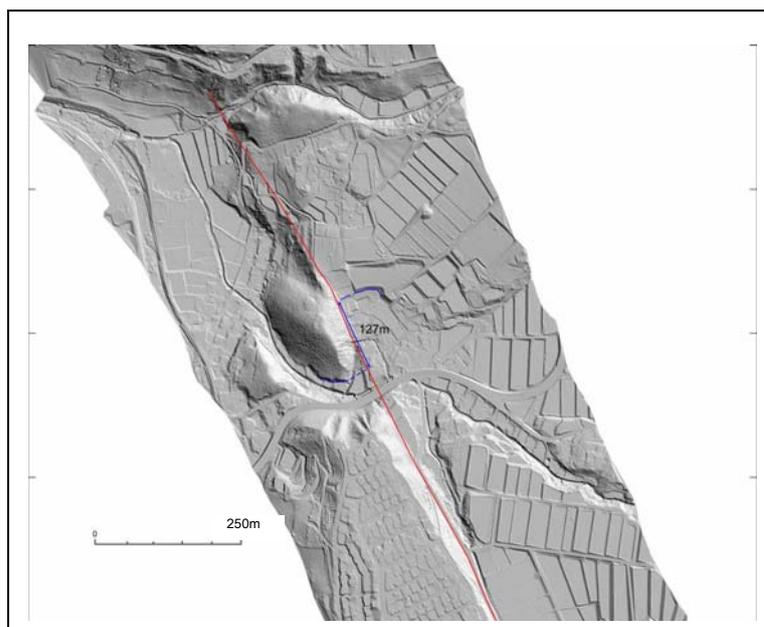


図 2.3.2-2 : 牛伏寺断層観測区間中部の陰影図

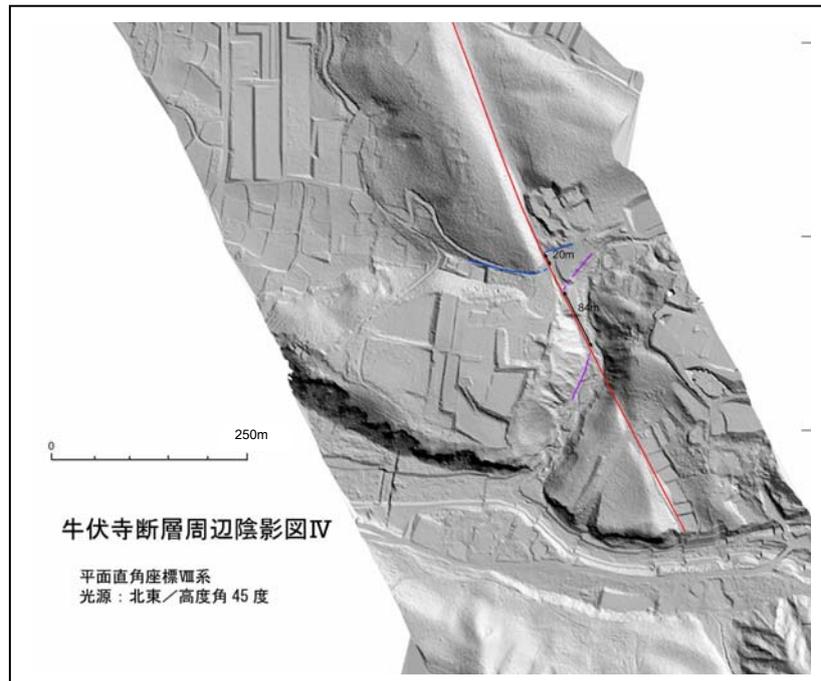


図 2.3.2-3：牛伏寺断層観測区間南部の陰影図

図 2.3.2-3 は牛伏寺断層観測区間南部の陰影図である。ここでは開析谷の谷壁に 84m と 20m の左横ずれが観察できる。これは植生のため、通常の航空写真判読では確認が困難だったものであり、新知見である。

### 3) 結論ならびに今後の課題

LiDAR (レーザーレーダ) 計測により、糸静線活断層帯のうち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 では地表の植生や構造物を数値処理により除去することができるため、通常は観察困難な地表形状を把握し、古地震活動の際の断層変位形状や変位量計測が可能になることが期待される。LiDAR の有効性を検証するため、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、植生に被覆され、上空からは判別不能な変位地形が明瞭に観察され、①断層線の位置情報を高精度に把握できること、②横ずれ変位地形が複数確認でき、変位量の計測が可能になったこと、③撓曲を含む変位形状が明瞭に把握できること、が明らかとなり、本調査法が断層変位の把握に有効性が高いことが明らかとなった。

LiDAR 計測は植生に覆われた地域の変位地形(断層変位)の確認に有効である。ただし、地表まで光が透過しない程度の、鬱蒼とした森林地帯においては限界がある。今回の撮影は広葉樹が落葉した直後をねらって撮影したため、良好な結果を得ることができた。今後は、光の投影方向を変化させた陰影図を複数作り、横ずれ変位の見え方を検討し、細かな横ずれの判別を追求するとともに、DEM を活用して上下方向の変位量や、撓みを含めた変

位形状の同定を進める必要がある。調査地域全域の詳細な判別を行うことにより、断層変位の詳細が明らかになることが期待される。

(c) POS/IMU 計測を併用した空中写真撮影による変動地形解析の有効性の検討

1) 調査観測の実施方法

変動地形は活断層の過去の活動様式を示唆する重要なデータである。その変動地形について、十分な精度と空間解像度を有する空間デジタル情報を整備する目的で、POS/IMU を用いた航空写真撮影および航測図化を行った。航空写真撮影は縮尺 1 万分の 1 で実施し、POS データ解析・検証を行った後、スキヤニングし、10m メッシュ DEM(DSM) の作成、および活断層位置の 3 次元データ解析、デジタルオルソ画像作成を行った。

具体的な実施内容は下記の通りである。

- ①航空写真撮影：縮尺 1/10,000 13 コース、208 枚、
- ②POS データ解析及び検証
- ③航空写真スキヤニング 208 枚、
- ④10m メッシュ DEM(DSM) 作成
- ⑤活断層位置の 3 次元データ作成、
- ⑥デジタルオルソ画像作成、
- ⑦活断層 GIS モデルの検討

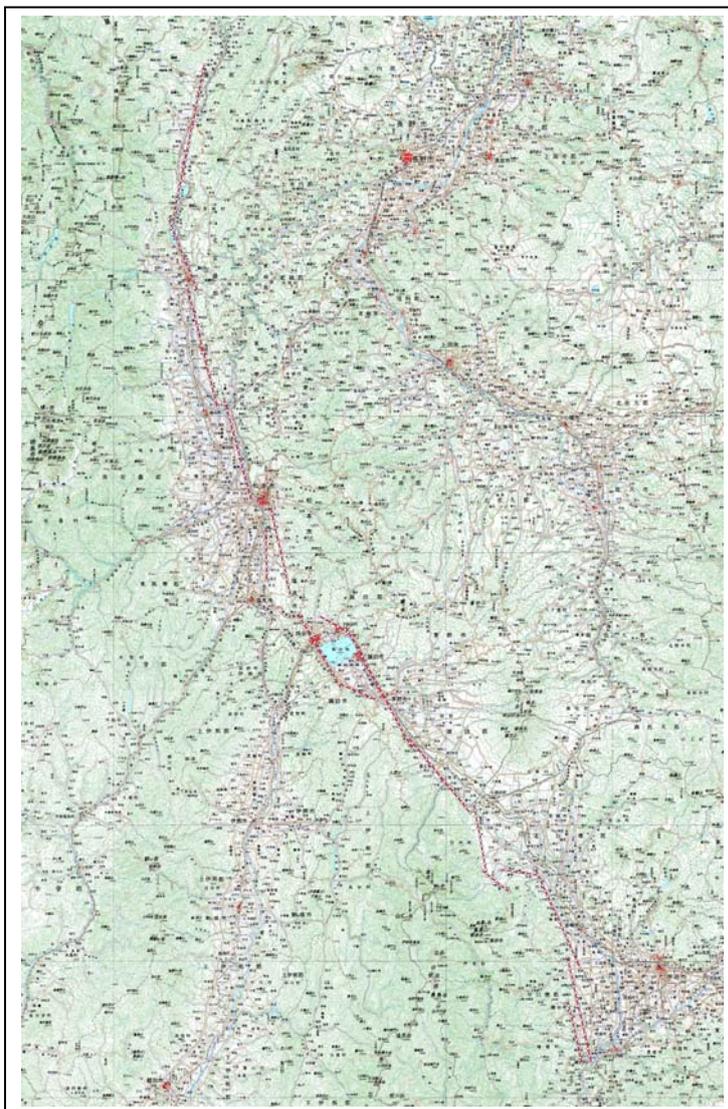


図 2.3.2-4：1 万分の 1 航空写真撮影コース

## 2) 調査観測の成果

航空写真は十センチサイズ以上の物体を識別でき、その位置 (X, Y, Z) を航空写真測量により数十センチ精度で計測することができる。断層変位地形を計測することで、断層変位量の分布を効率的に把握し、dislocation model の検討や強震動予測に資するデータの取得が可能となる。

ただし、通常の航空写真測量においては、GCP 取得のために多くの地点の現地測量を必要とすることが作業上の障害となり、全長 100km を超える糸魚川—静岡構造線の精密な測量は膨大な作業量となり、実現が難しかった。本研究では、この問題を解決するため、POS/IMU 計測 (図 2.3.2-5) を同時に実施し、写真撮影地点とその際の航空機の傾きを直接計測して、効率を飛躍的に向上させた。

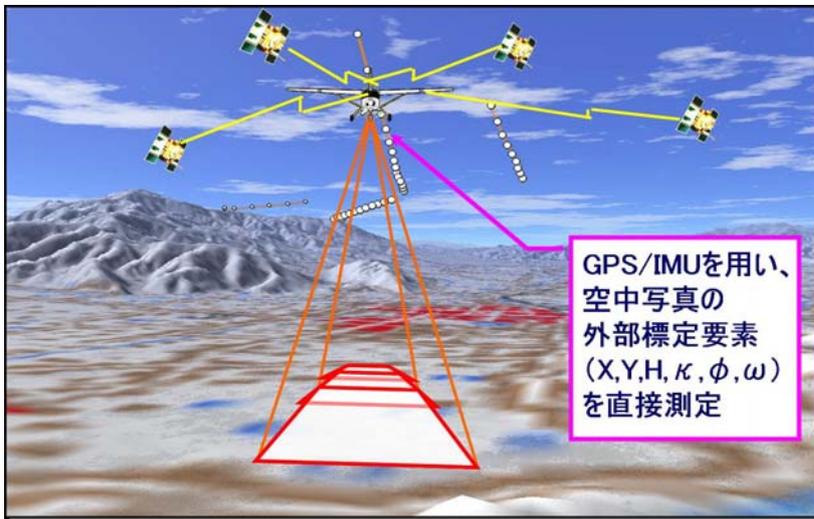


図 2.3.2-5 POS/IMU の説明図

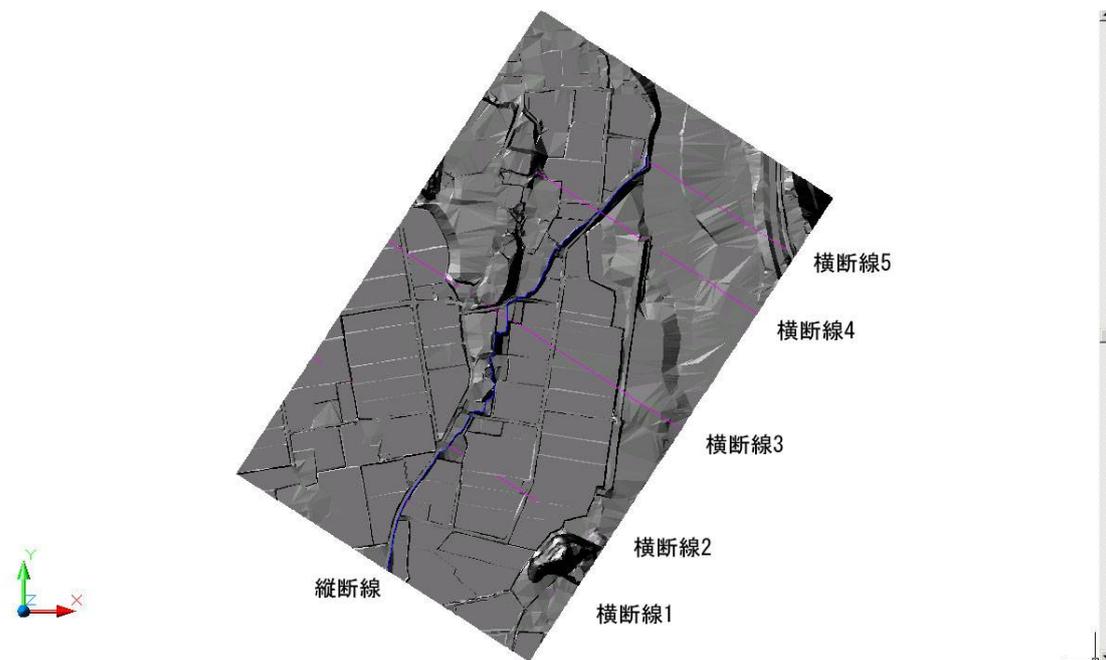


図 2.3.2-6 DEM による変位地形の表現

航空写真から DEM(Digital Elevation Model)を作成するには、ステレオマッチングの原理により、コンピュータ上で半自動的に作成する方法と、地形のブレイクラインをステレオ画像上でオペレータが入力し、精度を高めて作り込む方法がある。今回は経費的・時間的制約から、前者の方法を基本とし、後者の作り込み作業は今後の課題として残した。

10m メッシュの高解像度 DEM 情報が取得された場合の方法論を詰め、強震動計算に資するデータ取得の可能性を検討するため、一部地域において図 2.3.2-6 のような地形モデルを作成し、任意の場所で横断線に沿う地形測量を実施できるような基盤を整えた。

また、写真計測システム上で活断層トレースの位置情報をデジタル情報として取得することができる。これは、地図に表現した断層線をデジタル化する通常の方法に比べて、約 100 倍の精度向上が期待できる（通常の見誤差は約 30m、写真の直接計測の見誤差は数十 cm。鈴木ほか, 2002）。図 2.3.2-7 はこのようなデータ取得に向けて、数値情報を GIS 上に整備した一例である。計測システムとしての機能と、変動地形そのものを表現し、情報を共有化する機能を併せ持っていることに特徴があり、web を介した情報提供機能も付加されている。なお、GIS 開発は担当者（鈴木）の科研費による個人研究の成果である。

現時点でこの程度の航測図化を実施しておけば、もし仮に今後、断層が活動した際、断層沿いの幅 1km の範囲について、どれだけの断層変位が生じ、その結果地盤がどのように移動したかを面的・定量的に把握することが容易に行える。従来はこのような基盤情報がなかったため、例えば兵庫県南部地震の際の神戸地域の地震断層の評価も、不明な点を残すという残念な結果になっていた。

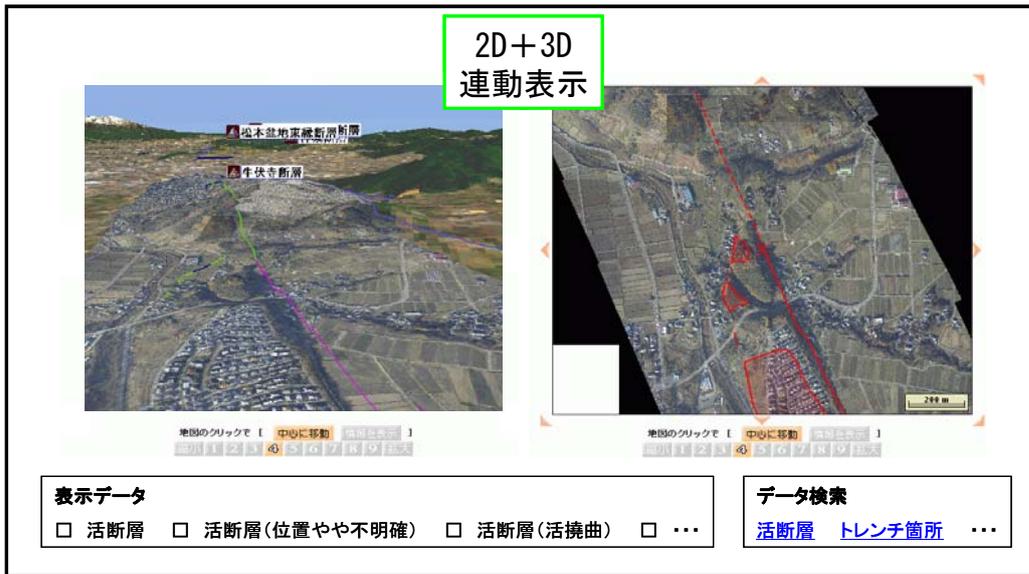


図 2.3.2-7 活断層 GIS の一例 (鈴木, 2005 発表準備中 : 科研費研究成果)

以上により、変動地形の計測が容易になり、地点ごとで地形に遺された過去の断層変位量情報を取得可能になった。こうした情報は、形成年代が既知の段丘面の変位量として、これまでも変動地形学において注目され、活断層の活動度解明のための重要な情報であった。図 2.3.2-8 は、こうした情報が高度に計測可能な地点の分布を示している。

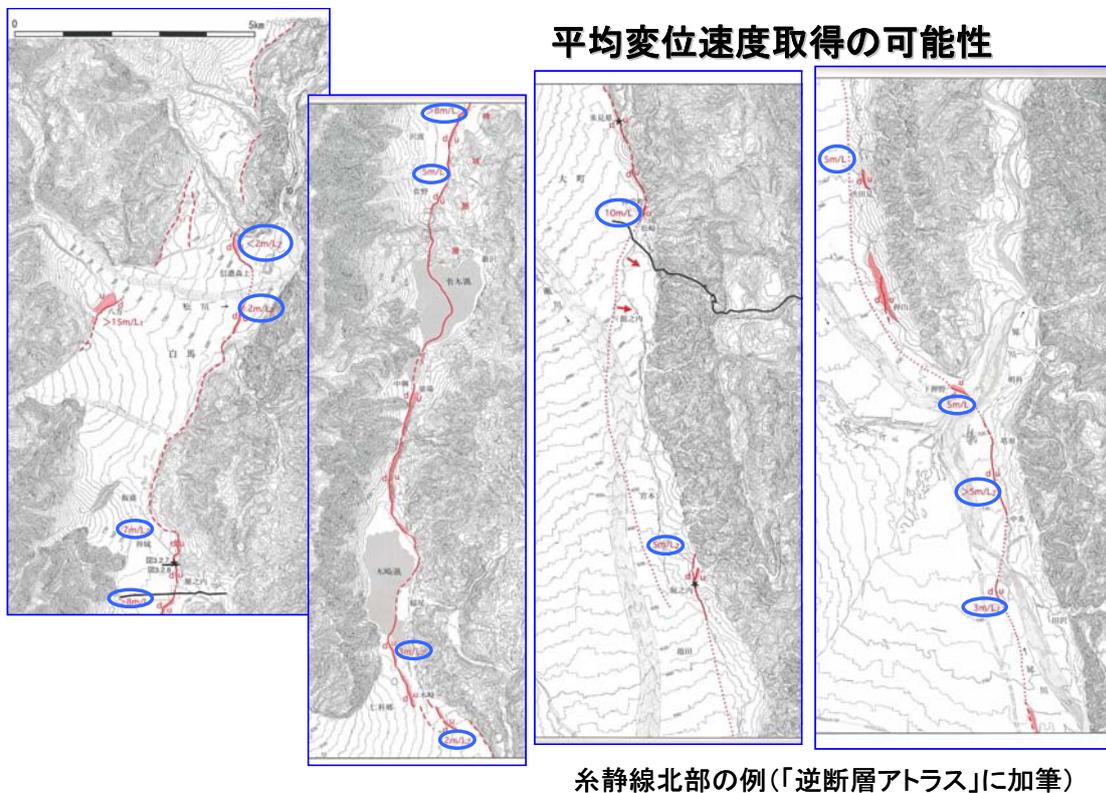


図 2.3.2-8 糸魚川—静岡構造線北部の断層変位量計測可能地点

図 2.3.2-8 に示された変位量は、実際に現地計測を行った結果ではなく、概数であったため、再測することが今後重要である。

### 3) 結論ならびに今後の課題

変動地形は活断層の過去の活動様式を示唆する重要な調査対象であるが、十分な精度と空間解像度を有する空間デジタル情報は整備されていない。このため、先端的航測リモセン技術を応用し、地震防災の実用に足る精度の断層線の位置情報や、変動地形の標高モデル (DEM) を取得するための最適な方法論を構築することが重要であった。

平成 16 年度において、糸魚川—静岡構造線断層帯について、数値解析を可能にする POS/IMU を用いた航空写真撮影および航測図化を行い、10m メッシュ DEM (DSM) の作成、および活断層位置の 3 次元データ解析、デジタルオルソ画像作成を行った。これにより、断層の累積変位量を多地点で計測して強震動予測のためのデータを提示できる、もっともベーシックなシステムが構築された。また、高度な幾何補正を施した航空写真を用いることで、活断層線の高精度な位置情報取得や、地震前後の地殻変動量計測を可能になり、活断層監視を目的とした活断層情報システム (活断層 GIS) のモデル開発が可能となった。

今後は、DEM をさらに正確に地面の高さを示す詳細なものに改良して、断層トレースの詳細な位置情報を取得し、整備すると共に、強震動予測に資する、断層変位量 (平均変位速度 slip rate) の詳細な分布を明らかにすることが重要な課題である。

#### (d) 引用文献

鈴木康弘・佐野滋樹・野澤竜二郎 (2002) : 航空写真測量に基づく桑名断層の変位地形の解析—米軍撮影航空写真による活断層航測図化の精度—。活断層研究, No. 22, pp. 76-82.

#### (e) 成果の論文発表・口頭発表等

##### 1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
なし			

##### 2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
鈴木康弘・石黒聡士・浅野宣方	デジタル写真測量および LIDAR による糸静線変動地形解析—活断層 GIS 情報の高度化と断層活動監視を目指して—	地球惑星科学関連合同学会	平成 15 年 5 月 28 日

### 2.3.3 断層帯付近の過去の地震活動の解明

#### (1) 調査観測の内容

(a) 題 目：断層帯付近の過去の地震活動の解明

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
東京大学地震研究所	助教授	都 司 嘉 宣
高知大学	教授	岡 村 眞
東京大学地震研究所	大学院	行 谷 佑 一

(c) 調査観測の目的

糸魚川－静岡断層線の活動によって起きたと見られる過去の地震活動の履歴と個々の地震の実態を解明することを目的とする。本項目は2このサブ・テーマから成る。すなわち、

##### ① 史料調査

糸魚川－静岡断層線の活動によって起きたと見られる歴史地震の実態詳細を古文書・文献史料、および現地調査によって解明する。

##### ② 構造線断層帯上及びその周辺の湖の湖底地質調査

糸魚川－静岡断層線の上には、青木湖、中綱湖、木崎湖および諏訪湖の4つの湖が存在する。これらの湖の湖底堆積層の音波探査による垂直断面記録には、断層線が明瞭に見られ、しかも、断層線の東西で明白にずれを生じているのが観察される。そのずれは、下部の層ほど大きくなっており、これらの断層にずれおこした地震が複数回起きたことを示している。本研究では青木湖の堆積物による断層線のように、研究期間中に採取したコアサンプルについての年代測定結果を述べる。

#### (2) 平成14～16年度の成果

(a) 調査観測の要約

糸魚川－静岡断層帯付近では、歴史上発生した被害地震である、正徳4年(1714年)小谷(おたり)地震、宝暦元年(1951)越後高田地震、安政5年(1858)大町地震、大正7年(1918)大町地震、などである。これらは本研究の主目的とする1セグメント全体が動いた大地震ではないにしても、糸静線断層帯そのものが部分的に滑った地震である可能性が高い。平成14～15年には正徳4年(1714年)小谷(おたり)地震、安政5年(1858)大町地震の詳細震度分布を解明した。平成16年には、宝暦元年(1951)越後高田地震と、それよりやや東方で起きた文政11年(1828)越後三条地震の歴史地震の詳細

状況を解明し、2004年の中越地震の震源域との比較を行った。

糸静線の北部溪谷上には、青木湖、中綱湖、木崎湖の3湖が並んでいる。音響鉛直構造調査によると、青木湖には糸静帯を構成する3本の断層線が南北に走っており、かつ各断層線では、過去1万5千年にさかのぼる年代に起きた地震によるずれの累積を示す縞模様がみられる。この縞模様の1本1本の形成年代が解明できれば、糸静線を構成する断層線上で起きた個々の地震の年代を、1万5千年前までさかのぼって解明することができるであろう。このことに注目して、平成15年度には、青木湖北東部の断層線C付近をテストフィールドとして、採取筏の制作とピストンコア採取試験を行ってみた。平成16年までにこのとき採取したサンプルについて、いくつかの縞模様の形成年代をC14法によって定めた。

## (b) サブテーマ1：史料地震調査

### 1) 調査の実施方法

平成15年度までの史料調査では、大町市の栗林家文書、美麻村の史料などの古文書を得て、14年－15年で相当数の解読が進んだ。これにもとづき長野県立図書館、長野県庁県史編纂室、美麻村役場教育委員会などの協力を得て、正徳4年(1714年)小谷(おたり)地震、安政5年(1858)大町地震で被災記録のある集落の現代の地図上の位置の評定お行い、詳細震度分布図が得られた。古文書に記された地名の半数近くは、現在住む人がいなくなって、現代の地図の上からは消滅した集落であった。

平成16年には、宝暦元年(1951)越後高田地震と、それよりやや東方で起きた文政11年(1828)越後三条地震について、「増訂・大日本地震史料」(武者、1943)や、地震研究所発行の「新収・日本地震史料(第三巻)」、および「同・補遺編」(1991)、「同・続補遺編(1993)」の中から史料を広うとともに、新たに新潟県立図書館でみいだされた古文書史料をもとに、詳細震度分布図を作成した。なお、宝暦元年(1951)越後高田地震と文政11年(1828)越後三条地震の震度6以上の強震域と2004年中越地震のそれとを比較、検討してみた。

### 2) 調査の成果・糸静線の北部に起きた四件の歴史地震の詳細震度分布

本研究で調査して得られた、正徳4年(1714年)小谷(おたり)地震、安政5年(1858)大町地震、宝暦元年(1951)越後高田地震と文政11年(1828)越後三条地震の四件の歴史地震に付いて、得られた詳細震度分布図が得られた。

### a) 正徳4年(1714)小谷地震の震度分布

1714年小谷地震

正徳4年3月15日亥刻 (1714-IV-28日、22h)

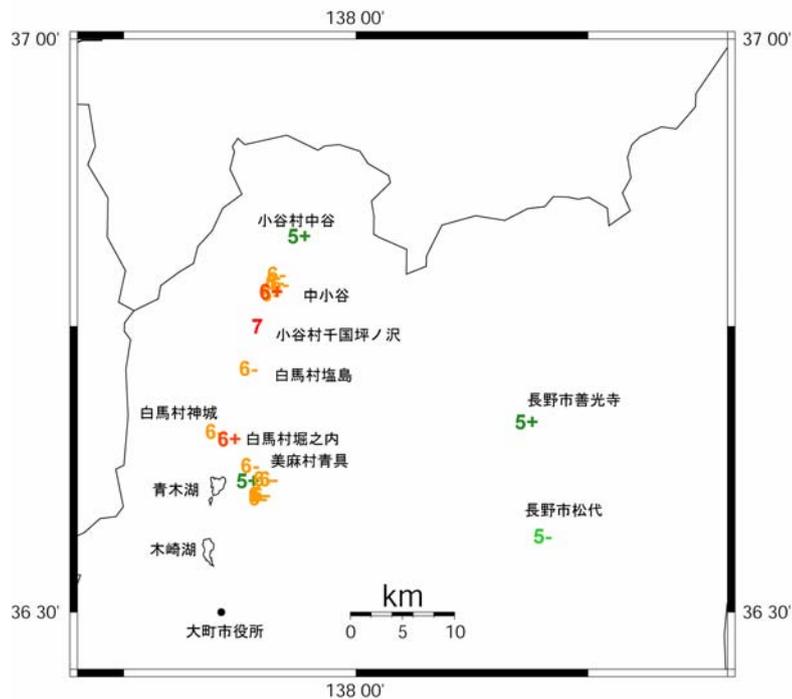


図 2.3.3-1 正徳4年(1714)小谷地震の震度分布

正徳四年(1714)小谷地震の詳細震度分布は図1の通り。震度6以上の場所は、きわめて狭く糸静線上に限定される。小谷村千国の坪の沢では全戸壊滅して震度7と見られ、また中小谷、白馬村堀之内でも過半数の家屋が全壊して、少なくとも震度6強以上であったと見られる。家屋全壊を伴った震度6以上の範囲は青木湖以北、小谷村中小谷にいたる南北25kmの範囲で、ほぼこの間が断層面の滑りが起きた野のと推定される。善光寺、松代でも家屋被害を生じており、この地震が東下がり断層の滑りによるものであったことが示唆される。西側に当たる富山県がわでは被害記録は見つかっていない。

### b) 安政5年(1858)大町地震の震度分布

図 2.3.3-2 は、安政5年(1858)大町地震の広域震度を、図 2.3.3-3 は同地震の震源域付近の詳細震度を示している。震度6以上の範囲は、青木湖周辺の南北15km、東西10km

の範囲であって、西の縁は糸魚川－静岡断層線に沿って南北に広がっており、その線から西がわにはほとんど被害域は延びていない。これに対して、東がわには断層線から約 10km の範囲まで延びている。このことはこの地震が、東側傾斜の糸静線の断層面に沿って起きた地震であることを示している。諏訪湖に面した上諏訪で震度 5 強となったのは、地盤が軟弱なためであろう。図 2.3.3-3 は安政 5 年(1858)大町地震の震源付近での詳細震度の図である。現在的美麻村の山岳域に点在する集落で、震度 6 強の場所が現れている。美麻村域の集落のうち、古文書には名前が記載されているが、現在は住民がゼロとなって消滅した集落が多い。これらの集落の位置については美麻村の教育委員会の御教示によって確定することができた。

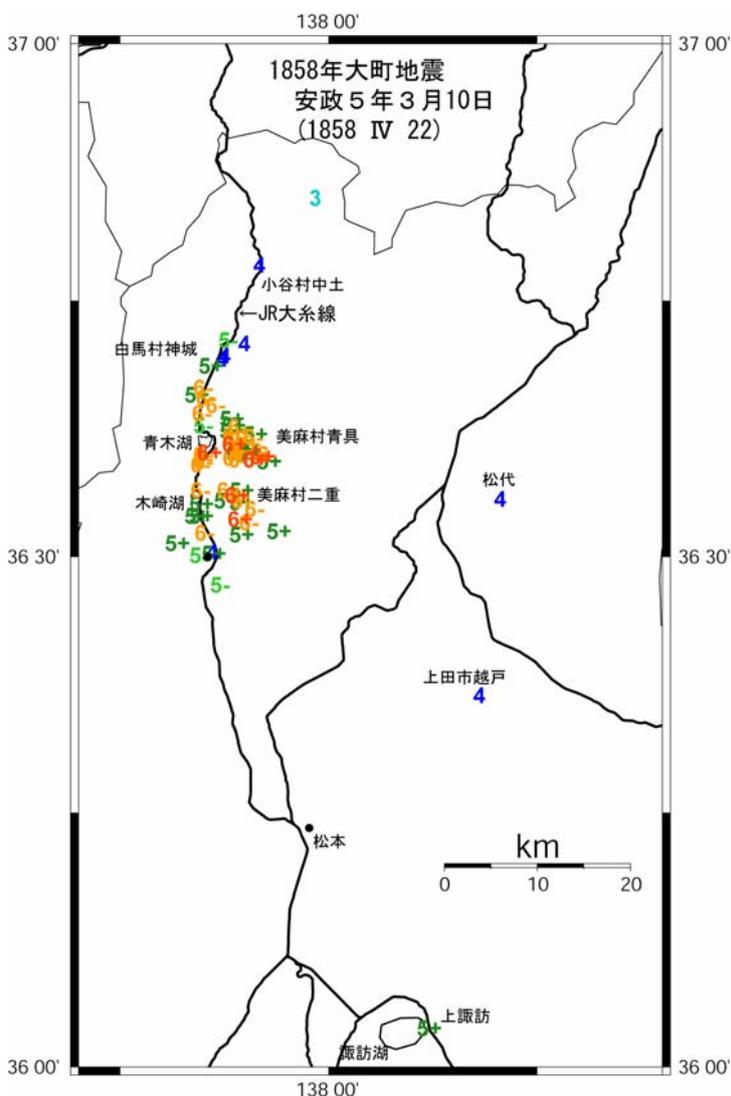


図 2.3.3-2 安政五年(1858)大町地震の広域震度

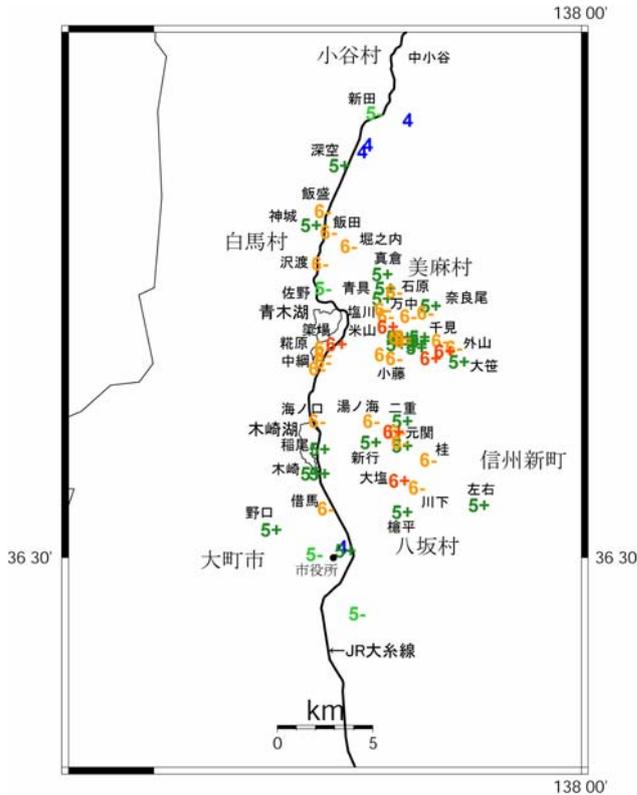


図 2.3.3-3 安政 5 年(1858)大町地震の震源域付近での詳細震度図

### c) 宝暦元年(1751)越後高田地震の詳細震度分布

宝暦元年 4 月 25 日(西暦 1751 年 5 月 20 日)越後高田地震は、糸静線の最北端付近の東側で起きた地震である。その広域震度分布を図 2.3.3-4 に示す。また、新潟県西部の震源付近の詳細震度分布を図 2.3.3-5 に示す。図 2.3.3-4 を見て気がつくことは、震度 5~6 の西側の境界が、糸静線のところで突然プツンとちょん切れているように見えることである。これに対して震源から東側へは次第になだらかに震度が減っている。西側は富山県側であるが、別に史料を残す能力がなかったわけではない。本当に突然、被害域の西側がスパッとちょん切れているのである。この宝暦元年(1751)越後高田地震が糸静断層の滑りによるものと判定するには異論が出るであろうから固執しないが、震源域のこの特異性は糸静線が大きな影響を及ぼしている、ということはあるであろう。図 2.3.3-5 によると、震源は上越市と名立町の間付近とするのが妥当であろうが、この点は地表に現れた糸静断層線のおよそ 25km 東方に当たっている。深さの推定が何とかできればこの地震も糸静断層面の滑りによるものである可能性がある。

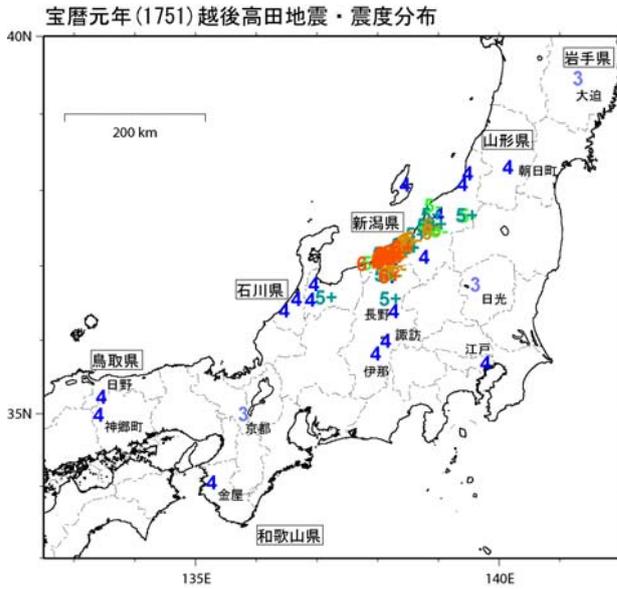


図 2.3.3-4 宝暦元年(1751)越後高田地震の広域震度分布

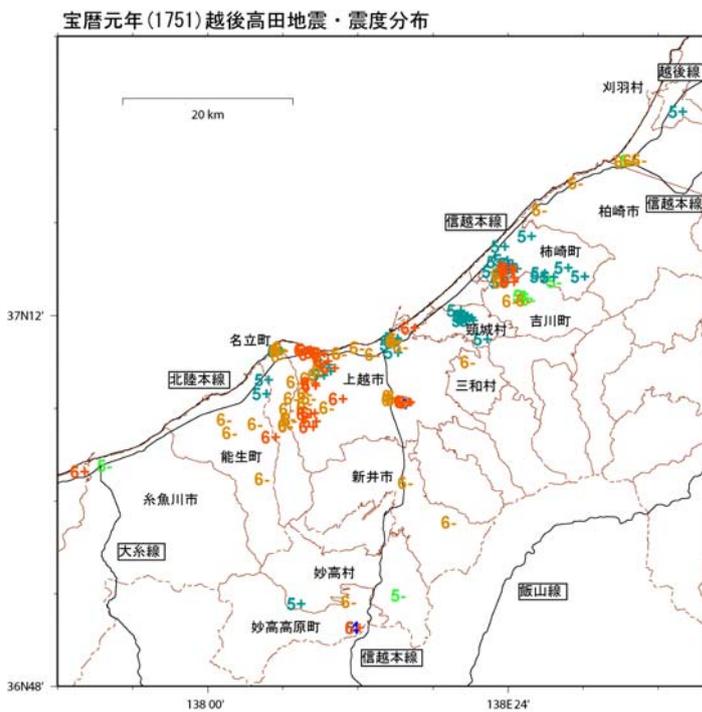


図 2.3.3-5 宝暦元年(1751)越後高田地震の震源付近の詳細震度分布

**d) 文政 11 年(1828)越後三条地震**

明らかに糸魚川静岡断層線の活動によるものではない文政 11 年 11 月 12 日 (1828 年 12 月 18 日) の越後高田地震の詳細震度分布を、今回調査したのは、2004 年中越地震に接近した場所で起きた地震だからである。その新潟県全域にわたる震度分布を図 2.3.3-6 に示しておく。さらに、震源付近の詳細震度を図 2.3.3-7 に示しておく。

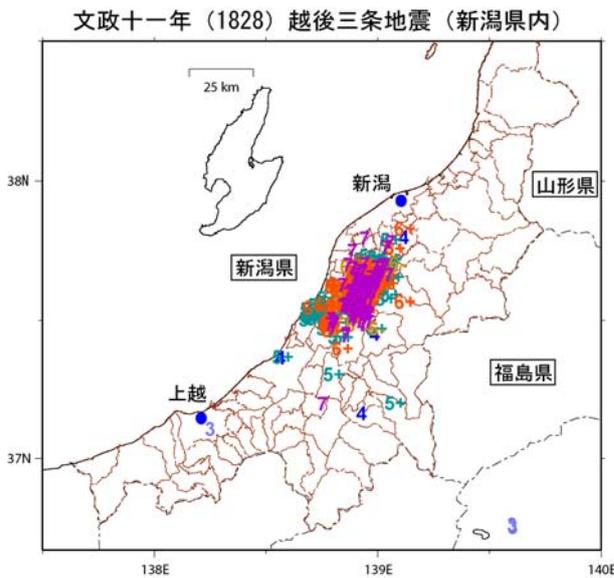


図 2.3.3-6 文政 11 年(1828)越後三条地震の震度分布

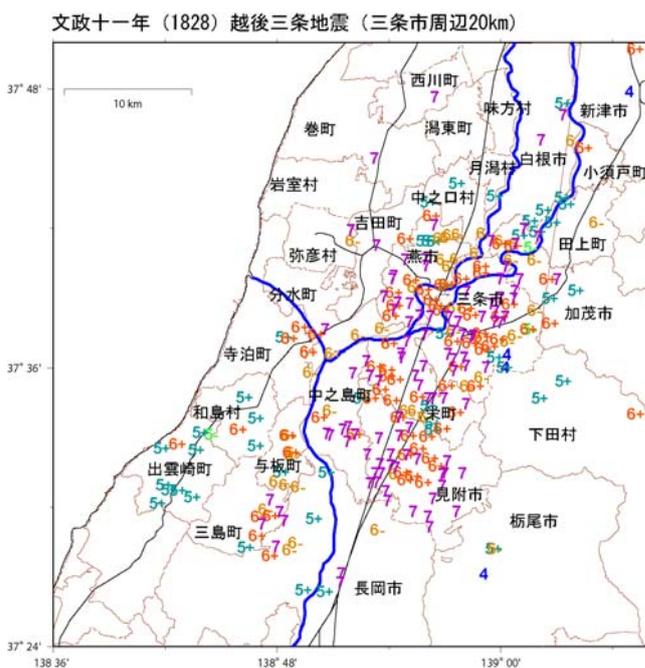


図 2.3.3-7 文政 11 年(1828)越後三条地震の詳細震度分布

さて、せっかく宝暦元年(1751)越後高田地震と文政 11 年(1828)越後三条地震の詳細震度図が得られたのであるから、これらと 2004 年中越地震のそれとを並べて比較してみよう(図 2.3.3-8)。図を一見して明らかなように、この 3 つの地震の震度 6 以上の範囲は、それぞれ外縁が接しあっていることがわかる。別の言い方をすれば、2004 年中越地震は、宝暦元年(1751)越後高田地震と文政 11 年(1828)越後三条地震の隙間を埋める形で発生したものの、ということができるとであろう。

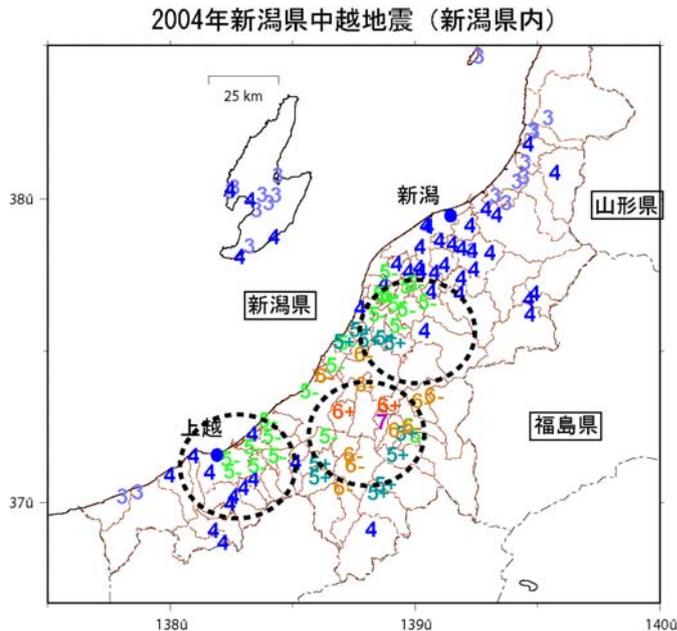


図 2.3.3-8 2004 年中越地震の震度分布 中央の破線の円はおおむね震度 6 以上の被害域  
 東側の円は文政 11 年（1828）越後三条地震の、西側の円は宝暦元年（1751）越後高田地震のそれぞれ震度 6 以上の被害域。この 3 つの地震の震度 6 以上の範囲はおおの外接しあっている。

### 3) 結論ならびに今後の課題

**結論** 糸静線上に歴史時代に生じたと考えられる正徳 4 年(1714)小谷地震、宝暦元年(1751)越後高田地震、および安政 5 年(1858)大町地震の詳細震度分布図を得た。その結果、小谷地震と大町地震は糸静断層船が滑って起きた地震であったことがほぼ確実にされた。この 2 つの地震の震度 6 以上の震域は、糸静線に沿いつつもの西側にはほとんど被害域が延びておらず、東側には張り出して次第に震度が弱まっていくような分布を示しており、糸静線がこの部分では東下がり傾斜の断層面を形成していることと調和的である。

宝暦元年(1751)越後高田地震の震源は糸静線から 20km ほど東によっているが、じつは糸静断層のやや深い面でのすべりによる可能性がある。この地震も被害域の西縁は明瞭に糸静断層線できわめて明瞭に縁取られているのに対して、東がわは震度分布はしだいに、弱まっていく様子が見取れる。

2004 年中越地震の震度 6 以上の震域は、宝暦元年(1751)越後高田地震、文政 11 年（1828）越後三条地震のそれと互いに外縁が接しあって起きている。すなわち、2004 年中越地震は、この両者の歴史地震の震源域の中間を埋める形で起きたものである、ということができる。

**今後の課題** 以上のような結論によると、2004 年中越地震も、文政 11 年(1828)越後三条地震も、間接的にはあるが糸静断層線に関連した地震であったということができよう。このことに関して、図 2.3.3-9 を見てみよう。この図は、理科年表にリストアップさ

れた有史以来 2003 年までの被害地震の震央位置をプロットしたもので、糸静線も書き込んだものである。

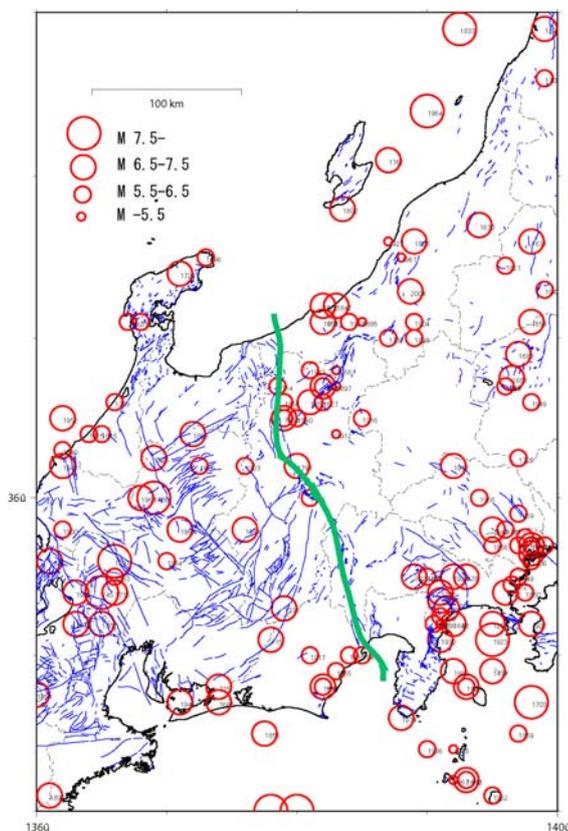


図 2.3.3-9 理科年表にリストアップされた有史以来の被害地震の震央位置  
緑色の曲線は糸静線

一見して明らかなように、長野県北部から新潟県西部にかけては、断層線の東側では被害地震が非常に密集して起きているが、西側の富山県側には被害地震がまったく起きていないことがわかる。この事実は、糸静線そのものの滑りによる地震以外に、長野県北部、新潟県平野部の広い範囲にわたる被害地震の発生にも糸静線は重大な影響を及ぼしていることはおのずから明らかなように見える。そのなかになにたとえば、2004 年中越地震も、文政 11 年(1828)越後三条地震も起きていることになる。弘化 4 年(1847)善光寺地震もまた糸静線の影響範囲の中に起きた地震であると見るべきであろう。してみると、「糸静線によって引き起こされる地震に対する防災」の研究に、糸静線そのものの滑りによる地震だけを研究するのは不十分であることは明らかである。微小地震活動、電磁気活動、地殻傾斜、地震波速度構造などの観測調査の守備範囲も、糸静線にあまりにもびったりとくっついた範囲だけを対象にするのではなく、図 2.3.3-9 に明らかに現れているような、長野県北部、新潟県中部にまで広がった、糸静線の影響範囲での観測監視を考えるべきである。

(c) サブテーマ2：断層帯上及びその周辺の湖の湖底地質調査

1) 調査観測の実施方法：パイロット研究では、高知大学の岡村によって行われた青木湖の湖底堆積層の音波探査結果(私信)を参考として、湖内の層状堆積構造を把握して、その層おなす縞模様の形成年代を調べ、断層のずれの進行お追跡して、過去約2万年の間にどのような地震活動があったのかを解明することを意図した。平成14年度にはコアサンプル採集いかだを製作し、平成15年度に試験的にコアサンプルを採集した。平成16年度には、2、3のサンプルについて年代を測定した。縞模様1本1本の年代に対応をつけるまでにはいたらなかった。

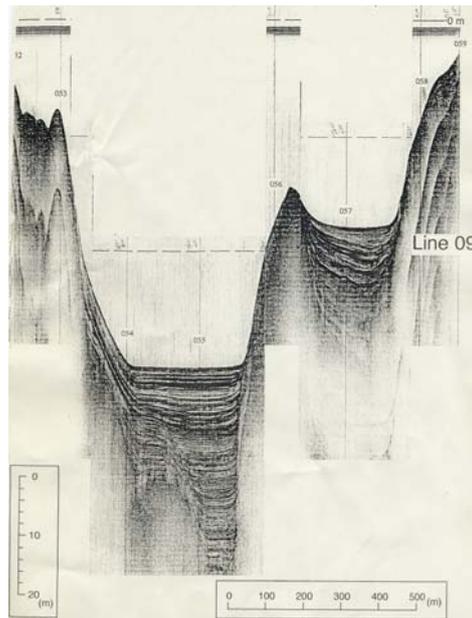


図 2.3.3-10 超音波鉛直構造探査による青木湖の湖底成層  
岡村 眞(高知大)提供による



図 2.3.3-11 青木湖に浮かべた湖底ピストンコア  
採取用いかだ

2)、3) 得られた成果と今後の課題：個々のサンプル結果お縞模様に対応づけを行い、断層の両側のずれの進行を明瞭に解明する作業を今後の課題とする。

(e) 引用文献

- 武者金吉、1941、「増訂・大日本地震史料・第二巻」、文部省震災予防評議会、pp754.
- 武者金吉、1941、「増訂・大日本地震史料・第三巻」、文部省震災予防評議会、pp944.
- 武者金吉、1951、「日本地震史料」、毎日新聞社、pp757.
- 東京大学地震研究所、1983、「新収・日本地震史料（第三巻）」、pp961.
- 東京大学地震研究所、1984、「新収・日本地震史料（第四巻）」、pp870.
- 東京大学地震研究所、1989、「新収・日本地震史料（補遺）」、pp1220.
- 東京大学地震研究所、1993、「新収・日本地震史料（続補遺）」、pp1043.
- 宇佐美龍夫、1987、「新編 日本被害地震総覧」、東京大学出版会、pp434.

(f) 成果発表

文献

都司嘉宣、2004、安政東海地震(1854)の顕著地震、特に文久元年(1861) 三河地震について、月刊地球、26,11,759-772.

口頭発表：

都司嘉宣、糸静線付近に起きた正徳四年(1714)信州小谷地震と安政 5 年(1858)大町地震の詳細震度分布、地震学会 2003 年秋(京都)、P035.

行谷佑一、都司嘉宣、伊藤純一、文政十一年(1828)越後三条地震および宝暦元年(1751)

越後高田地震の詳細震度分布－2004年中越地震との比較、2005合同学会、J027-012.