

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

活断層の地表形状・ずれ量データにもとづく地震発生予測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

- (1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象
オ．地震発生サイクルと長期地殻ひずみ

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

活断層の地表形状は、地震規模や強震動特性を推定するための基本情報であり、具体的にアスペリティの位置やセグメンテーション及び破壊開始点を解明するためにも、より詳細な、活断層トレースの末端及び接合部の構造や、地点ごとのずれ量に関する情報の取得が必要である。また、平成 20 年岩手・宮城内陸地震のような事前の検出が難しい地震予測のためにも、活断層認定に関する有効な手法の検討が必要である。

本研究は、近年の活断層判読手法・調査方法の高度化や LiDAR 及び写真測量等による地形計測の技術革新を背景に、従来不明であった活断層をあらたに認定するほか、地表形状とずれ量分布を詳細に明らかにして、従来の静的な断層モデルや経験式に依存した予測に留まらず、動的な断層モデルの構築に貢献することを最終目標とする。

1) 1 回変位量と累積変位量を区別し、地震時のずれ量分布及びその再現性に関する基礎的検討を実施する。

2) モーメントマグニチュード、アスペリティ位置、破壊開始点及びセグメンテーションを明らかにする。

3) GIS を応用することにより、活断層地形に関する膨大な数値情報を、更新性を十分に確保した形で整備する。将来起こる地表変位予測情報としても活用できるようにする。

このため本研究では、a．実際に出現した近年の地表地震断層とその起震断層、b．比較的長大な活断層、c．強震動予測の精度を高める要請の高い都市域周辺の活断層を対象とする。また、d．地表形状に関して再検討が必要な活断層、e．近年発見された活動性が不明の活断層についても検討を行い、上記目標の達成を目指す。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

全体の地表形状や活動性に関する基礎的情報を取得しつつ、以下の調査を実施する。(1) 計測作業として、a．地表における測量基準 (GCP) の取得、b．写真測量システムや LiDAR による計測。(2) 活断層調査として、a．多時期の大縮尺航空写真判読、b．活断層変位地形の認定及び計測測線の決定、c．現地調査による地形面編年調査、d．詳細な変位地形に関する現地測量及び掘削調査。

調査対象は到達目標に記した活断層であり、具体的には横手盆地東縁断層、阿寺断層帯、北部九州の活断層、中国地方の活断層、中央構造線、西山断層帯のほか、熊野 新宮断層帯等、その存在の可

能性が新たに指摘されているものを含める。精査段階においては、詳細写真判読を再度実施するとともに、LiDAR、航空写真測量等により変位地形の細密な標高モデルを作成し、1回変位量・累積変位量・平均変位速度の高密度取得作業を行う。加えて地形面の編年、現地測量及び掘削調査を実施する。最終的には、アスペリティ、モーメントマグニチュード、破壊開始点等を考察し、dislocation modelの検討や動的な断層モデルの推定に資するデータの取りまとめを行う。

(7) 計画期間中(平成21年度~25年度)の成果の概要:

本課題は、活断層判読・調査手法の高度化、ならびにLiDAR計測・写真測量等の技術革新とDEMの整備を背景としており、地表形状・変位量分布・活動繰り返しパターンを明らかにして、断層モデルを構築し地震発生予測に資する方法論の確立を目指して実施された。

糸静線断層帯の北部では(2のa)、航測システムやLiDAR計測を導入して、活断層分布や変位量等に関する高密度・高精度の情報を網羅的に取得すると同時に、地形面編年等の現地調査を実施し、平均変位速度・地震時変位量とその分布を把握して地震規模を算出した。アスペリティやセグメンテーション、破壊開始点、地震発生の繰り返しパターンの検討も実現している。活断層の分布形状を含む高密度高精度の変動地形データセットは「活断層情報ステーション」としてGISベースで整備され、更新性も確保された。こうした一連の手法について、他の活断層への展開を検討しているところである。

活断層分布等の基礎的情報に関する変動地形学的検討も行った。活断層分布はそのまま地震発生源モデルに直結する重要な知見である。地形的に明瞭なものについては連続性や地震発生の再現性などを、また不明瞭なものについては、わずかな変形が長波長に及ぶ、地表表現が弱い、また都市域、植生下などの要因を考慮しながら検討した。

今回着手した、DEMに立脚した全国各地の活断層再判読は、今後の変動地形研究の鍵のひとつであろう(1のa)。また、2008年岩手・宮城内陸地震を受けて、事前に認定困難であった断層変位地形の見直し判読等を実施して、活断層認定手法を検討している(2のb)。糸静線断層帯中部における活断層の連続性と活動区間に関する検討や(1のc)、1896年陸羽地震を引き起こした横手盆地東縁の活断層分布の再検討とその地質学的検証(1のd)、都市域近傍における活断層の新たな発見(太田断層)とその地質学的検証(1のe)も、活断層分布等の基礎的情報に関する重要な成果である。石狩平野や長野盆地、糸静線断層帯北部の白馬村、紀伊半島南部の活断層においても分布や活動性、地震発生の繰り返しパターンを検討したほか(2のc~f)、長さ約55kmと長大であるにもかかわらず活動性がわかっていなかった弥栄断層について、掘削調査によって最新活動を含む少なくとも2回の古地震を解読した(2のg)。以上の検討を優先的に実施したため、一部の調査対象については予算の都合上検討を見送った。

その他、革新的な地形データ取得手法として小型UAVとSfMソフトウェアを用いた地形図・地形断面図作成を試行した(1のb)。活断層研究をはじめとする各種の地形研究だけでなく、災害後調査など多くの研究に活用が期待される。

1. 平成25年度成果(平成24年度以前の成果があるものはそれらも含めて記載;その場合でも平成25年度実施内容がわかるように記載)

a. 「活断層判読支援システム」の整備と活断層の新たな発見(広島大)

高解像度の数値標高モデル(DEM)を空中写真同様に実体視可能とし、かつ地形表現手法を工夫することで、活断層地形判読に新たな展開が期待される。こうした観点から「活断層判読支援システム」の整備を行った。システムには、国土地理院の高解像度DEMに立脚するステレオ画像やアナグリフ画像を整備した。既存の活断層図や沿岸海底活断層図、地質断層図、重力図、および今回作成したりニアメント分布図なども含めている。GISで管理されているため各データの重ねあわせが可能であり、かつGIS上で地形判読を行って断層線を書き入れることで直ちに正確な地理情報データとして管理できる。本システムを援用しながら活断層の系統的な判読作業および活断層図作成作業を行った。ステレオ画像やアナグリフ画像はDEMに立脚するため、大地形から微地形まで1枚の画像で判読可能であり、変形に要した時間スケールの異なる変動地形を多面的に検討することができる。また市街地化

や人工改変の進んだ都市域や植生の覆われた地域についても地表面を可視化でき、かつわずかな長波長変形についても垂直誇張率を自在に調整して観察可能である。変位量計測も自在に行える。大縮尺の空中写真を用いて確認を行いながら作業をすすめたところ、京都盆地(図1)や濃尾平野、富山平野、新潟平野、十勝平野、嬬恋、柳井平野北部などに新たに活断層が認定された。平成25年度にはステレオ画像の追加整備や判読作業等を実施しており、今後さらに系統的な判読作業・活断層図作成作業が期待される。

b. 小型 UAV と SfM ソフトウェアを用いた根尾谷断層水鳥断層崖の断層変位地形把握の試み(広島大ほか)

近年のラジコン技術の進歩によって、UAV の小型化と低価格化が進み、研究者が機材を自ら操作して低空空撮を行うことが可能となった。こうした空撮画像から DSM 等を作成し地形解析を行う技術も飛躍的に進展しつつある。平成25年度、根尾谷断層水鳥地震断層崖において空撮画像を取得し、Agisoft 社の SfM ソフトウェア PhotoScan を用いて、DSM とオルソ画像を作成し、ArcGIS を用いて DSM から地形図・地形断面図を作成した(図2)。今回は特に飛行ルートを設定して撮影したものではないが、高解像度の3D画像が生成され、任意の角度や縮尺で断層変位地形を容易に観察できる。カメラのレンズ特性や GCP を設定すれば DSM の書き出しも可能であり、詳細な等高線図や地形断面図が作成可能で、変位量計測などにも活用できる。この手法は、活断層研究をはじめとする各種の地形研究だけでなく、災害後調査など多くの研究に活用が期待される。

c. 糸静線断層帯中部、岡谷市西山における変動地形調査・トレンチ掘削調査(産総研・法政大・名古屋大・鶴岡高専・信州大)

塩尻峠周辺には、北西走向の左横ずれ断層が複数並走する(図3)。塩尻峠付近の南東側では2条にわかれて分布し、北北西方向に延びる細長い凹地状の地形を形成するが、明瞭な横ずれ変位地形は報告されていなかった。しかし平成24年度に実施した高解像度 DEM を用いた地形学的再検討の結果、調査地点に発達する沼池や湿地といった平坦面は、2条の断層の左横ずれに伴って右雁行部分で中心部が落ち込み、谷の下流側(東側)が閉塞されて形成されたと考えられる。平坦面下には泥炭層が発達し、その堆積開始は概ね閉塞凹地が形成された時期に相当すると考えられ、年代測定結果に基づく約1万年前と推定される。東側の活断層線に沿っては、東側隆起のバルジ状の高まりが形成されている。平成24・25年度に実施したトレンチ掘削調査では、トレンチ T4 の壁面に明瞭なほぼ垂直に近い高角な断層が数条観察され、変位を受ける地層とこれを覆う地層の年代から、最新活動は2909 BC 以後1989 BC 以前であったと考えられる。この年代は周辺で得られている最新活動より古く、調査地点付近における活断層の連続性と活動区間の関係を理解する上で重要な新知見である。

d. 試錐による横手盆地南部の断層変位地形の変動地形学的検討(鶴岡高専・東洋大・名古屋大)

横手盆地東縁断層帯は角館から横手に至る約60 km の活断層として認定されてきた。1896年陸羽地震の際には北部の約35 km 区間に地震断層が現れている。しかし近年、詳細な航空写真判読によって横手盆地南部に活断層が新たに認定されてきた。このことは、陸羽地震の割れ残り区間がより長い可能性を示唆するなど新たな課題を提起している。そこで、この活断層の存在を地質学的に検証するため、2地点において群列ボーリングを実施した。

d-1) 横手市赤川

この付近に新たに認定された活断層は赤坂丘陵の西縁を限り、北方延長では扇状地面に比高約1 m の東上がりの撓曲崖が形成されている。平成22年度に、この撓曲崖を横切る測線を設けボーリング調査を実施した。その結果、最近の数万年間に断層変位が累積していることが確認された。

d-2) 横手市平鹿町浅舞

浅舞付近においては、最終氷期後期後半以降に形成されたと推定される扇状地面上に、西流していた小河川の流路跡が多数認められ、複数の流路跡を切断する南北走向で東側隆起を示す比高約1 m の変動崖が約4 km にわたって新たに認定されている。この変動崖を横断する測線においてボーリング調査を行った。得られたコアは平成23年度4本、平成25年度3本である。地形地質断面(図4)をみると、礫層上限高度が地表よりもやや急傾斜で西へ低下していることがわかる。今後、年代等をさら

に詳しく検討し、より詳細な解析を行う予定である。

e. 太田断層の変動地形調査・掘削調査・コア分析（群馬大・広島大）

首都圏周辺において、地形学的観点からあらたに認定された活断層（太田断層と呼ぶ）について、地質学的観点から検証を行った。本断層は少なくとも長さ 18 km に及ぶ。とくに太田市石神には、断層変位を強く示唆する地形が認められる。平成 21・22 年度、同市龍舞において、撓曲崖を対象としてトレンチ掘削調査を実施した。地層の変形と傾斜不整合から西傾斜の低角な逆断層が想定された。地層の傾斜に差異があるため、複数回の断層変位が認定される可能性が高い。より深部をさぐるため、平成 24 年度、ボーリング調査を行い、平成 25 年度、コアのテフラ分析を実施して地層を対比した。分析は火山灰考古学研究所に委託した。群馬県東部農業事務所の厚意により事務所収集の既設資料も参照できた。得られた地形地質断面図を図 5 に示す。コア No.5 と 2 の間に浸食崖を想定すると地形や地層の形成を合理的に説明できる可能性があるが、しかしトレンチ掘削調査で As-YP や腐植層に異常傾斜が確認されることや、下盤側の既設資料において地表下 2.5 m から水中堆積の As-YP が認められることなど、断層変位である可能性を示す証拠があることを考えると、この撓曲崖が単純な浸食崖とみなすことは難しい。浸食崖付近において断層運動が生じて撓曲崖が形成された可能性が考えられる。今後さらなる検討が必要である。

2. 平成 24 年度までの成果

a. 平均変位速度分布に基づく糸静線断層帯北部の地震発生予測（名古屋大・鶴岡高専・東洋大・信州大ほか）平成 21・22 年度

平均変位速度分布に基づいて、糸静線断層帯の地震規模を 2 通りの方法で推定した。

1) 1 回変位量の地点データから M_w を求める方法：ネットスリップ速度分布を考慮して地震時ネットスリップ量分布を推定し、 M_o を計算して M_w を算出する。

2) 一定期間の M_o 蓄積量を求める方法：一定期間（例えば 1000 年間）の M_o 蓄積量を推定する。活動間隔を仮定すれば次回の大地震の M_w を、最新活動時期を仮定すれば現在までの M_o 蓄積量をそれぞれ算出できる。

断層帯北部について、地下構造等を仮定し、1 の方法で M_o を計算し M_w を算出した（図 6）。横ずれがないと仮定した場合（Case 1）には M_w は 7.46、最大せん断応力の方向に滑ると仮定した場合（Case 2）には M_w は 7.55、という結果が得られた。気象庁マグニチュードに換算すると 8.2~8.3 となる。最近の大地震について、地表変位量分布から上記関係式によって求めた M_o は、近代観測による M_o とよく一致するらしい。今後、平均変位速度分布と地震時変位量分布、地表変位量と地下の滑り量の相関の程度を解明し、地下の滑り量分布や破壊領域の予測精度をさらに向上させることが望まれる。

b. 2008 年岩手・宮城内陸地震の地表地震断層と断層変位地形（広島工大・京都大・東洋大・名古屋大ほか）平成 21 年度

2008 年岩手・宮城内陸地震は事前に活断層の存在が指摘されていない場所で発生したが、地震直後の調査により、巖美町はの木立付近の長さ 1 km 程度の区間に活断層の証拠が存在し、完新世に複数回活動したことも明らかになった。河岸段丘面の高度分布にこの地震に伴ってみられたような緩やかな変形が累積的に現れていることも指摘されている。今回、地震前後の多時期に撮影された航空写真や LiDAR データを利用して、震源域周辺の活断層と推定活断層および地滑り地形の詳細な分布図を作成し、詳細活断層図として刊行した（図 7）。その結果、1) 餅転から荒砥沢ダムに至る北北東-南南西走向の 15 km 程度の範囲に推定活断層が認定されること、2) 地表地震断層と活断層の位置が一致するのは、はの木立と岡山の 2 地点であること、が明らかになった。また、地震前後の LiDAR 計測結果の差分図によれば、3) はの木立や岡山では地表地震断層から推定された隆起沈降が明瞭にとらえられること、4) 磐井川沿いにおいては矢櫃ダム付近を境に西方が隆起域、東方が沈降域であり、その変化は緩やかであること、5) 差分図によって地震断層と地滑りとは明瞭に区別できること、などがわかった。

（以下は分量の都合上省略）

c. 石狩低地東縁断層帯北部、岩見沢周辺の断層変位地形の地表形状詳細調査（鶴岡高専）平成 22 年度

- d. 長野盆地西縁断層帯中部，中野市における変動地形調査・ボーリング調査（名古屋大）平成 22・23 年度
- e. 糸静線断層帯北部，白馬村におけるボーリング調査（産総研・名古屋大）平成 24 年度
- f. 紀伊半島南部の活断層における完新世離水海岸地形と古地震，変位量に関する検討（名古屋大）平成 23 年度
- g. 弥栄断層の分布と活動履歴（広島工大・広島大ほか）平成 21 年度

- (8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
- Goto, H. and N. Sugito, 2013, Fault geomorphology interpreted using stereoscopic images produced from digital elevation models, IGU 2013 Kyoto Regional Conference, Abstract 00650, Kyoto JAPAN, August 6-7th.
- 中田 高・熊原康博・後藤秀昭・井上 公・内山庄一郎，2013，UAV による活断層地形把握の試み - 根尾谷断層水鳥断層崖を例に - ，日本活断層学会 2013 年度秋季学術大会講演予稿集，P-7，茨城，11 月．
- 谷口 薫・杉戸信彦・松多信尚・丸山陽央，2013，糸魚川 - 静岡構造線活断層系中部におけるトレンチ調査（速報） - 岡谷市西山地点の調査結果 - ，日本地球惑星科学連合 2013 年大会予稿集，SSS32-P16，千葉，5 月．

- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鈴木康弘・杉戸信彦（名古屋大学）

他機関との共同研究の有無：有

堤 浩之（京都大学） 後藤秀昭（広島大学） 廣内大助（信州大学） 熊原康博（群馬大学） 松多信尚（台湾大学） 澤 祥（国立鶴岡工業高等専門学校） 渡辺満久（東洋大学） 中田 高（広島工業大学）

- (10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：名古屋大学環境学研究科 地震火山・防災研究センター

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp>

- (11) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鈴木康弘

所属：名古屋大学

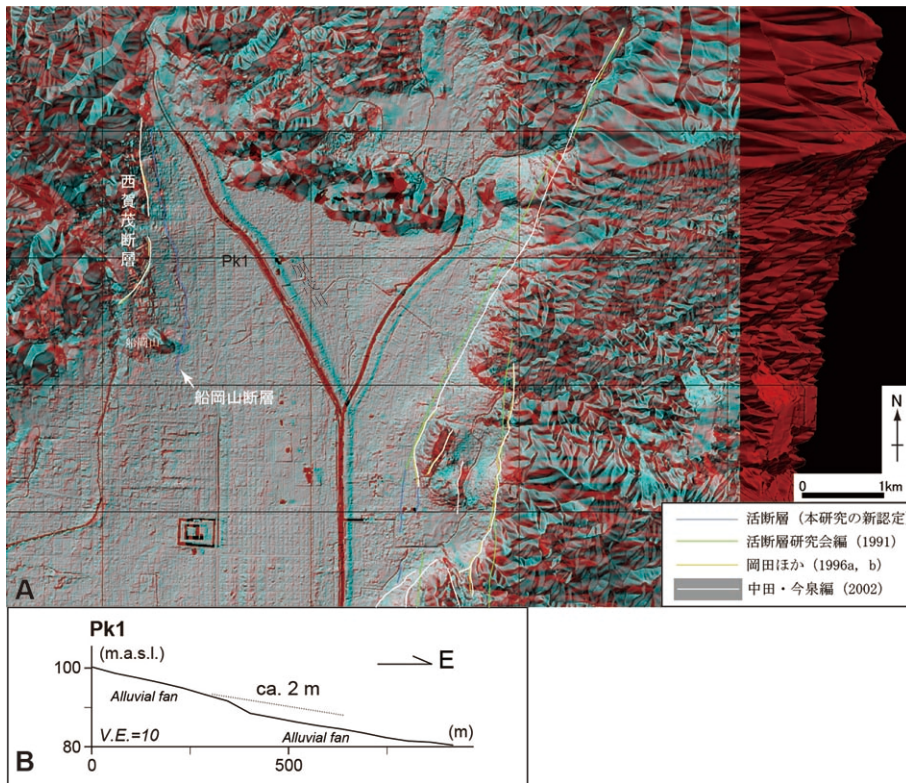


図1 高解像度DEMから作成した京都盆地北部のステレオ画像(アナグリフ)と活断層分布(後藤・杉戸, 2012)。

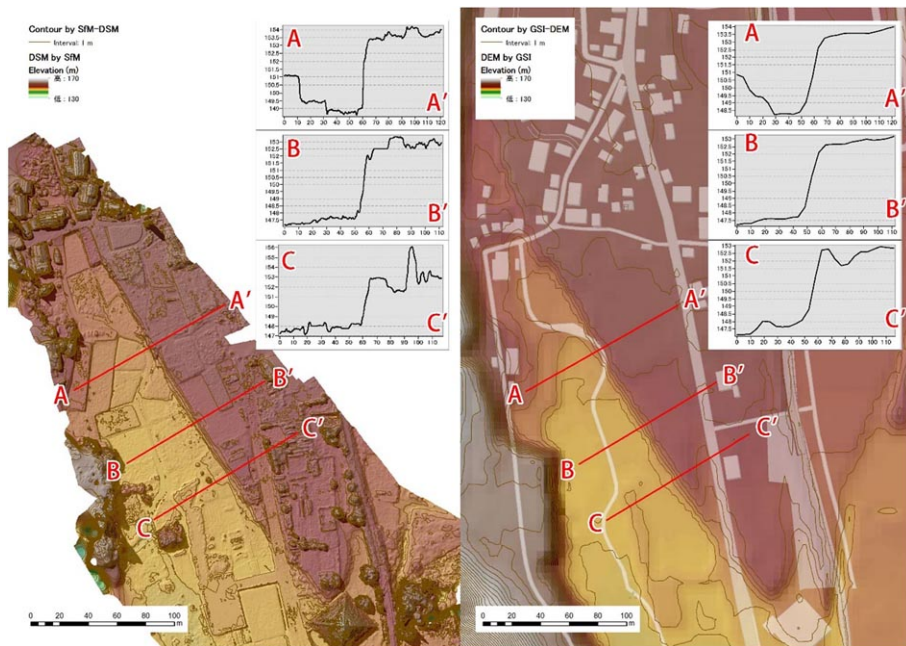


図2 左：今回作成のDSMによる等高線図(等高線間隔1m)、右：国土地理院5mメッシュDEMによる等高線図(同)、および水鳥断層崖の地形断面。

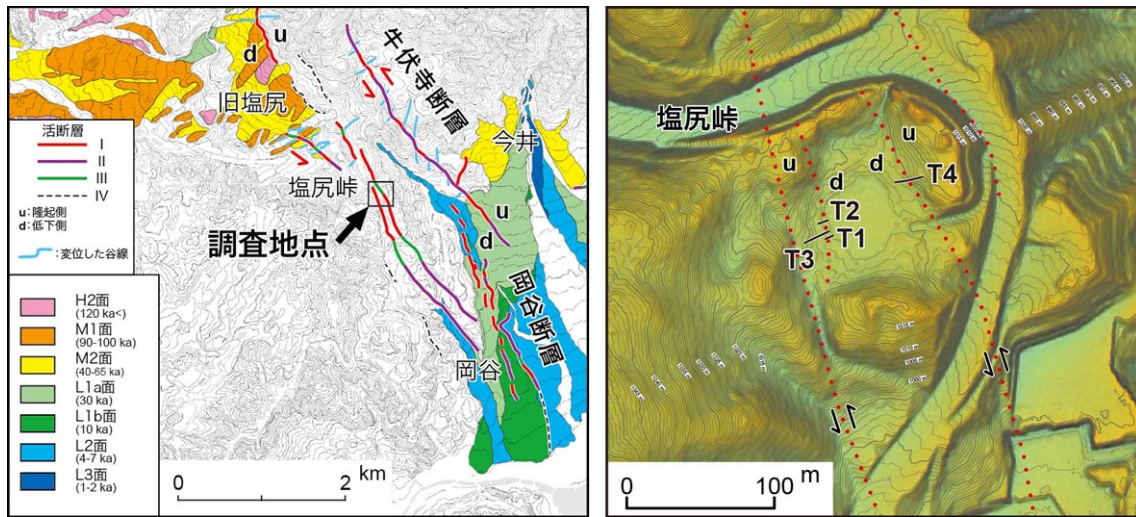


図3 岡谷市西山付近の活断層分布・地形面区分（谷口ほか，2011，一部改編）および掘削地点の詳細マップ。

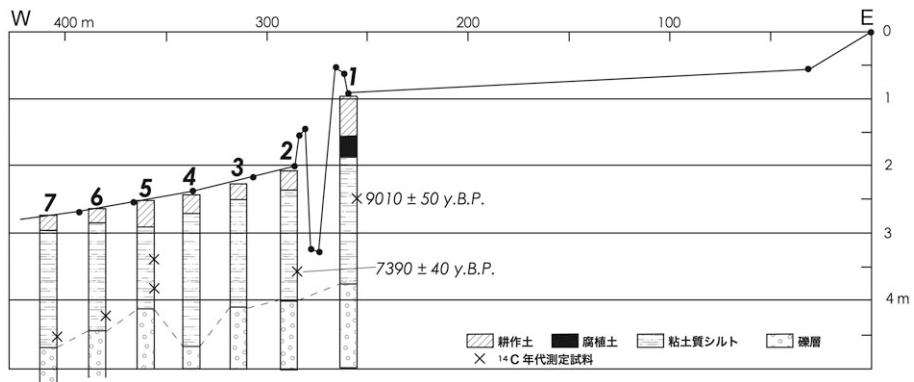


図4 横手市平鹿町浅舞の地形地質断面図。

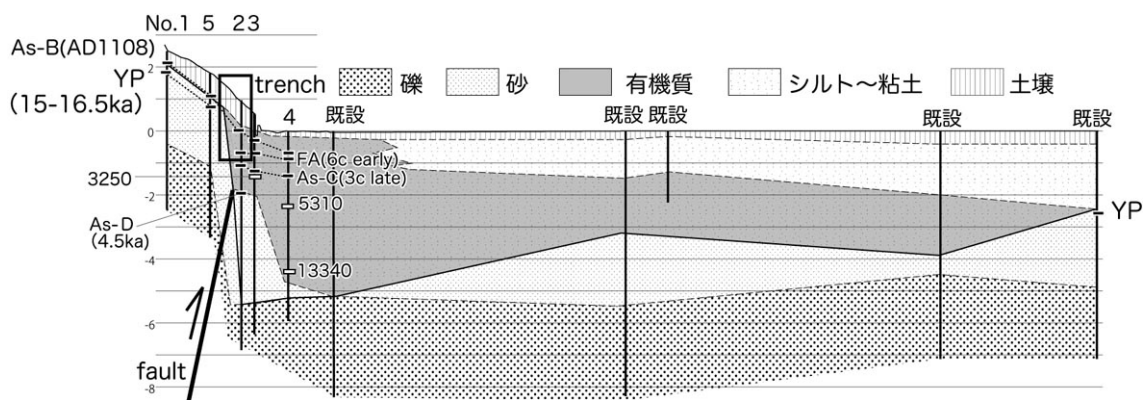


図5 太田市龍舞の地形地質断面図。

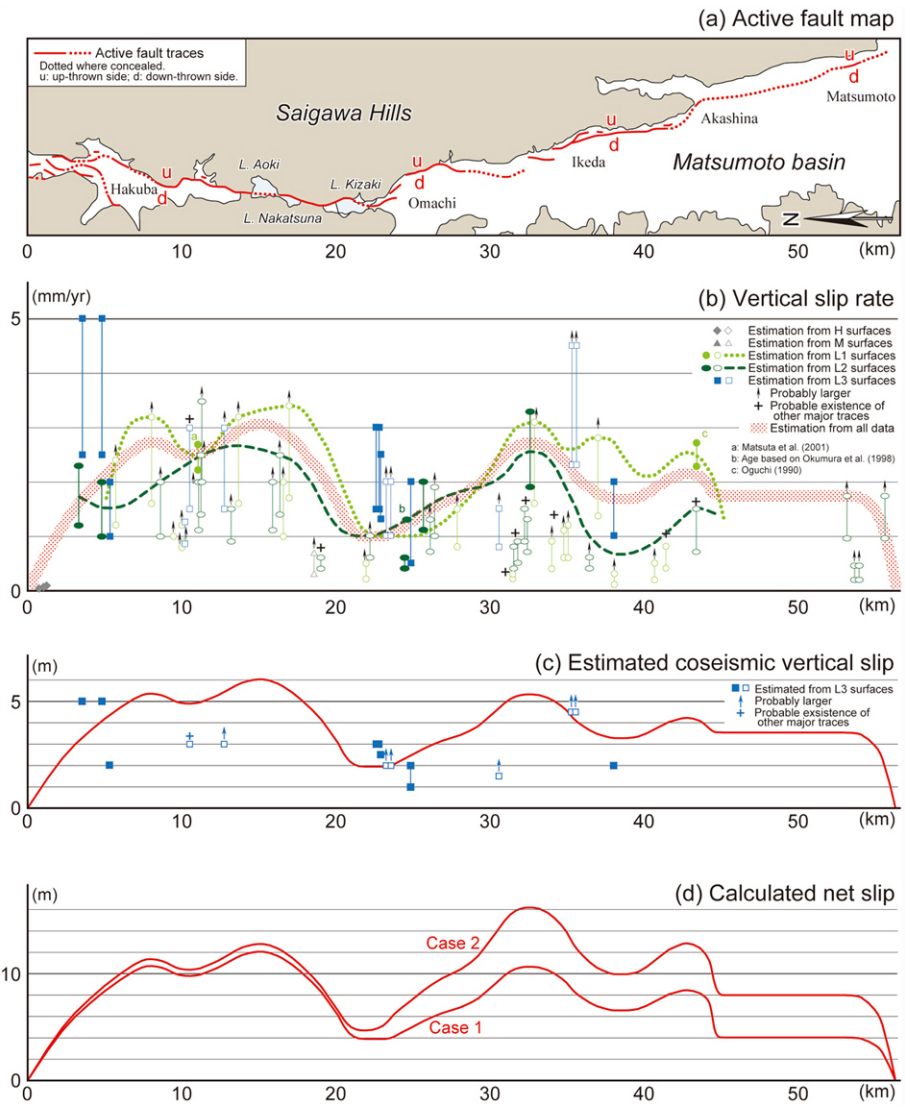


図6 糸静線断層帯北部の平均変位速度・地震時変位量・地震時ネットスリップの分布（鈴木ほか，2010）。

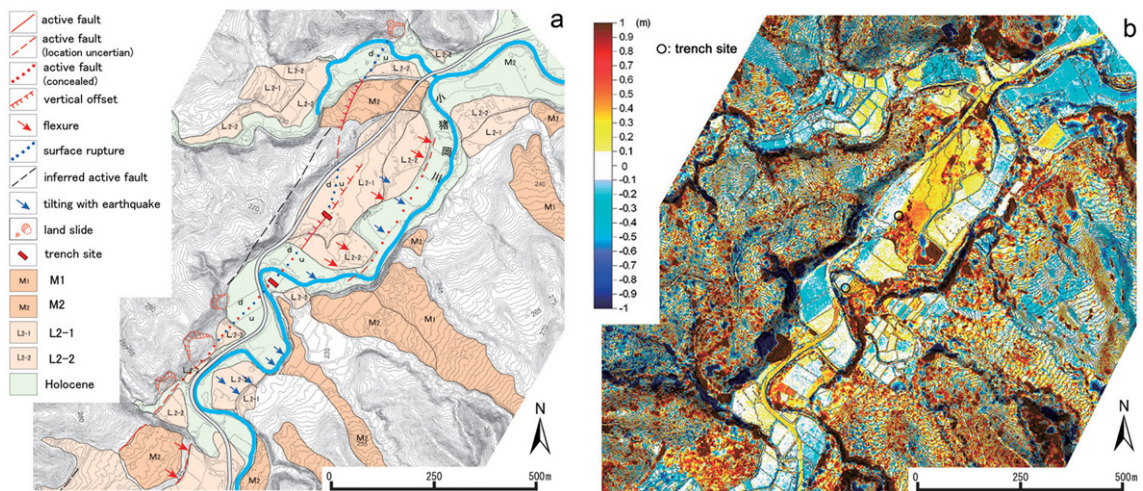


図7 2008年岩手・宮城内陸地震に関する a: 変動地形学図・b: 地震前後のLiDAR計測結果の差分図（国土地理院，2009）。