

3. 研究報告

3. 1 横手盆地東縁断層帯（南部区間）の調査

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 横手盆地東縁断層帯（南部区間）の調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人産業技術総合研究所	主任研究員	近藤 久雄
国立研究開発法人産業技術総合研究所	特別研究員	ARORA Shreya

(c) 業務の目的

これまで地震発生確率が不明と評価されている横手盆地東縁断層帯・南部区間において、新たな調査手法による平均変位速度と地震時変位量に基づく活動間隔の推定や、活動履歴に基づく活動間隔の検証等を実施する。それらの結果を基に地震発生確率を算出するための調査・評価手法の整理を行う。

(d) 年度毎の実施業務の要約

1) 令和元年度：対象地域の既往成果の整理を行う。既往成果に基づき、南部区間は山麓沿いと盆地内を併走する2条の断層により構成されるとみられる。それら並走する2条の断層のうち1条について、新規手法であるドローン LiDAR 等による細密地形データ計測を2箇所で実施し、計測データ及び既存数値標高モデルの解析により詳細な断層変位地形の把握を行った。また、1箇所で反射法地震探査及びボーリング調査、試料分析等を行い、断層帯の浅部地下形状の推定及び平均変位速度等の検討を行った。

(2) 令和元年度の成果

(a) 業務の要約

横手盆地東縁断層帯・南部区間の詳細な活断層分布を再検討するため、2 m メッシュの詳細地形標高モデル (DEM) を整備し、変位地形の再検討を実施した。その結果、従来よりも詳細な変位地形の分布を明らかにした。盆地内を延びる断層の横手市平鹿（ひらか）地区において、ドローン LiDAR による 0.1 m メッシュの細密地形計測を実施した。その結果、最新活動に伴い形成されたとみられる、比高 1 ~ 2 m の撓曲崖を沖積面上で新たに検出した。同地区において、地下極浅部の断層形状を推定するため、長さ約 1 km の測線において S 波反射法地震探査を実施した。その結果、東傾斜約 20° の断層がイメージングされた。断層帯南部区間の南西側に指摘されている東鳥海山断層を対象に次の調査を実施した。湯沢市岩崎地区において、ドローン LiDAR による 0.1 m メッシュの細密地形計測を実施した。その結果、最新活動に伴い形成されたとみられる、比高 3 m 程度の撓曲崖を沖積面上で新たに検出した。さらに、東鳥海山断層が分布する湯沢市前森地区において平均変位速度を

推定するため、詳細 DEM による地形解析、総延長 0.7km の S 波反射法地震探査、ボーリング調査、放射性炭素同位体年代測定等を実施した。その結果、調査地周辺には複数の活断層トレースが分布し、それらを横断する上下平均変位速度は 1.0～1.2mm/yr であることを予察的に推定した。さらに、変位速度と地震時変位量の関係式から平均活動間隔を 2900～3500 年と推定した。

(b) 業務の成果

1) 横手盆地東縁断層帶南部区間の概要

横手盆地東縁断層帶は、秋田県仙北(せんぼく)郡田沢湖町（現・仙北市田沢湖）付近から横手盆地東縁に沿い横手市を経て、雄勝(おがち)郡稻川(いなかわ)町（現・湯沢市）付近までの約 56km に延びる活断層帶である（図 1～2）。横手盆地東縁断層帶では、これまで多数の調査が実施されており、構成する活断層のトレースの連続性、深部形状、活動形態、活動履歴等の特徴に基づき、北部と南部の活動区間に分割されている（例えば、地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2005）。横手盆地東縁断層帶では、北部、南部とともに断層の東側が相対的に隆起する逆断層であるが、それらの断層は変位様式や変位速度等が異なることから、長大な内陸活断層のセグメント区分の問題を検討しつつ、将来発生する大地震の長期予測に資する情報を蓄積していくことが重要である。

本断層帶の最新の地震活動としては、地震調査研究推進本部地震調査委員会（2005）では次のようにまとめている。北部において 1896 年（明治 29 年）の陸羽地震（M7.3）の際に、北方の駒ヶ岳西麓断層群、東方の真昼山地東縁断層帶の一部とともに活動し、その活動時には断層の東側が西側に対して、相対的に 2.5～3m 程度隆起した。また、北部の平均的な上下方向のずれの速度は、1m/千年程度の可能性があり、平均活動間隔は 3400 年程度であった可能性がある。

一方の南部区間は、約 6000～5000 年前以後に活動したと推定されるが、少なくとも陸羽地震の際には活動していない。断層帶の北部では、将来発生する大地震の長期評価に資する過去の断層活動時期については多数の調査が実施してきたものの、南部では活断層研究会編(1991)、中田・今泉(2002)、池田・他 (2002)、澤・他(2013)、産業技術総合研究所 (2010) など活断層の分布に関する調査研究が中心であった。活動性評価のための調査としては秋田県(1998)、秋田県(1999)などがあるものの平均活動間隔や平均的なずれの速度が明らかでない。そのため、地震調査研究推進本部地震調査委員会による長期評価では、将来の地震発生確率は不明とされている。

そこで、本調査では南部区間の平均変位速度、地震時変位量、極浅部の断層形状を明らかにするための調査研究を実施した。特に、従来の調査研究では困難であった、詳細な活断層位置を把握するための 0.1m～2 m メッシュの詳細 DEM の整備と解析を積極的に実施し、地震時変位量の推定やトレンチ調査候補地の探索、反射法地震探査・ボーリング調査実施測線の選定などに利活用した。

2) ドローン LiDAR 等による DEM に基づく地形解析

ドローン LiDAR 結果に基づく 0.1m DEM から詳細微地形解析図を作成した。横手市平鹿(ひらか)地区の地形解析結果図を図 3、湯沢市岩崎地区の地形解析結果図を図 4 に示す。

さらに、対象地域において航空レーザー計測による2mDEMを整備し、南部区間の長さを検討するための変動地形解析を実施した(図5)。また、地形解析図の作成とともに、東鳥海山断層に沿う複数の地区で地形断面図を作成し、変動地形の検討をおこなった(図5a~1)。いずれの地区においても支流性の扇状地や崖錐、山麓緩斜面といった西傾斜の地形面に対して、それらを切断し南北方向に延びる低崖が検出された。ここでは、地形面に撓みを伴うもの、河川の浸食や人工改変によるとは考え難い低崖地形を東鳥海山断層により形成された変動地形と判断した。

a) 横手市平鹿地区

平鹿地区では、丘陵を開析する沖積面上に西側低下の撓曲崖が抽出された(図3)。撓曲崖は幅100~200mと幅広く、H1~H3の地形断面における比高は1.2~2.0m程度である。H4~H5測線は現在の河道に近く人口改変の影響も見られるため、撓曲崖のオリジナルな比高とは判断しなかった。後述するように、この地区ではS波反射法地震探査を実施し、断層傾斜が約20°と推定される(図6)。ドローンLiDARの地形解析による沖積面の幅広い撓曲崖はこの断層構造と調和的である。現段階では沖積面の年代は明らかではないが、横手盆地東縁断層帯南部区間の最新活動時期が約6000~5000年前以後と推定されており(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2005)、今回新たに抽出された変動地形は南部区間の最新活動に伴うものと判断される。

b) 湯沢市岩崎地区

岩崎地区では、沖積扇状地面上に形成された西側低下の撓曲崖が新たに抽出された(図4)。I1~I3の地形断面では比高3.2~3.7mであり、変形帶の幅は50m程度である。一方、I4~I6測線では比高は0.7~1.5mと見かけ上減少する。これは、北流する本流による浸食と埋積の影響によると見られる。沖積扇状地面の形成年代は明らかではないが、平鹿地区と同様に、この撓曲崖は東鳥海山断層の最新活動に伴う可能性が高い。今後、トレンチ調査等により年代を明らかにする必要がある。

3)湯沢市前森地区における調査結果

ここでは、航空レーザー計測による2mメッシュDEMの地形解析、ボーリング調査、S波反射法地震探査を実施した。それぞれの調査項目毎に結果を略述する。S波反射法地震探査の結果を図7、ボーリングコアの写真を図8、地形地質断面図を図9に示す。

a) 地形解析

ここでは西流する支流の沖積扇状地面上に西側低下の撓曲崖が2条認められた(図5a~f)。先行研究では、伏在する断層として図示されている(澤・他, 2013)。2条のトレースを横断する比高は2~4m程度であり、それぞれのトレースの比高から判断して西側のトレースが主断層とみられる。ボーリング・反射法地震探査を実施した測線沿いでは、約3.5mの比高が検出され、後述する地層の年代等を考慮して、最新活動に伴う地震時変位量とみられる。

b) ボーリング調査

調査地域の地形は紡錘状の丘陵からなり、その西には幹川である雄物川が南から北に流下し、その本流に向かって支川が西または東から合流する。調査地域の測線沿いでは、東から西に流下する雄物川水系の小支川の山谷川と角間沢が裏門で合流し、支川である白子川となって北西に流下する。

調査地区周辺の地質は大沢・他(1988)によると、白子川の上流には、下位から中新世前期の老ノ沢層 (0h:輝石安山岩溶岩及び溶岩)、中期の金山層 (Kc:砂岩及び礫岩、Kt:酸性火碎岩及び泥岩)、山内層 (Sm:硬質泥岩)、女川層 (0m:硬質泥岩)、それらに貫入または覆う流紋岩からデイサイト溶岩、中新世後期から鮮新世の前期の相野々層 (Am:暗灰色泥岩)、支川沿いに沖積層 (a) などが分布する。

雄物川の南方の上流には、白子川の上流の地質に加え、白亜紀の阿武隈花崗岩類 (G3:花崗閃綠岩、黒雲母花崗岩など)、黒雲母片麻岩及び角閃岩 (gn)、鬼首一湯沢マイロナイト帯 (笛田, 1988)、中新世前期の湯ノ沢川層 (Ya:輝石安山岩溶岩及び火碎岩)、中新世中期の畠村層 (Hb:かんらん石玄武岩溶岩及び火碎岩)、同、飯沢層 (Ia:輝石安山岩溶岩及び火碎岩、かんらん石玄武岩溶岩・火碎岩及び酸性凝灰岩) 同、台山閃綠岩類など (Qd)、同、女川層 (0p:酸性凝灰岩及び火山礫凝灰岩)、中新世後期から鮮新世前期の虎毛山層 (Tt:黒雲母デイサイト火山礫凝灰岩及び凝灰岩)、同、花山層 (Hs:砂岩・泥岩及びデイサイト凝灰岩)、鮮新世後期の兜山安山岩・北川石英安山岩など (Kw:角閃石輝石デイサイト溶結凝灰岩及び凝灰岩)、それらを貫くまたは覆う安山岩溶岩及び火碎岩 (An1, An2, An3)、栗駒火山・焼石火山 (Vl:輝石安山岩溶岩及び火碎岩)、雄物川や支川沿いに段丘堆積物などが分布する。

一方、調査地域の東において北に流下する皆瀬川の右岸側では、雄物川上流の中新生代前期より古い地質に加え、中新世前期から中期の大石層 (0b:かんらん石玄武岩溶岩及び火碎岩、0k:輝石安山岩溶岩及び火碎岩、0t:酸性火碎岩) などが分布する。

本地区の調査測線沿いおよびボーリング地点にはそのような地質の礫や砂粒子から構成される沖積面が広く分布し、その沖積低地面を南北に横断する 1 条の活断層が判読されている（沖積面分布および活断層；澤・他, 2013）。本調査ではさらに 1 条の東側隆起の低崖を検出した。

YM-1 孔は堆積物の構成粒子の種類から支流白子川流域の地質から構成され、YM-2 孔および YM-3 孔はその種類から白子川と雄物川流域の地質から構成される。各コアの最上部は盛土・埋土および敷均し土である。各コアの層相と特徴に基づいて、盛土・埋土および敷均し土より下位を A～K のユニットに区分した。それらのユニットに挟まれる細粒堆積物または有機質堆積物から放射性炭素年代値が得られた。以下に各ユニットについて述べる。

Unit A 層は淘汰の悪い礫層からなる。同層は基質が中粒～極粗粒砂を主体とした基質支持の礫層で YM-1 孔、YM-2 孔、YM-3 孔に分布する。礫種構成は YM-1 孔および YM-2 孔では流紋岩が卓越し、少量の安山岩とごく少量の玄武岩が混じる。YM-3 孔ではデイサイトが混じる。

Unit B 層及び C 層は淘汰の悪い礫層からなる。YM-1 孔、YM-2 孔に分布し、上位に比べて基質のシルト分がやや増加する。礫種構成は上位の Unit A 層に類似するが、含まれる安山

岩・玄武岩の割合が増加する。

Unit D層はシルト～細粒砂を主体として礫層を挟む。YM-2孔およびYM-3孔に分布する。シルトは一部有機質で、砂質シルト～極細粒砂には発達の弱い平行葉理または低角な斜交葉理が見られる。礫種構成は流紋岩を主体とする。本ユニットの年代測定の結果は約5,430年前以前、9,060年前以降の年代を示す。

Unit E層は淘汰の悪い礫層からなる。YM-2孔およびYM-3孔に分布する。礫種は安山岩、デイサイト、ひん岩および花崗岩を主体として、流紋岩、玄武岩が混じる。基質は淘汰の良い砂を主体として高温型石英(β -Quartz)や黒雲母などの有色鉱物を含む。

Unit E層は砂・礫層を挟むシルト層と、淘汰の悪い礫層からなる。YM-2孔およびYM-3孔に分布する。

Unit F層は炭質物が散在するシルト～砂質シルトを主体として細粒砂～中礫を挟む。一部に弱い平行～低角斜交葉理を伴う。礫層は細礫～中礫からなり、礫種構成は流紋岩がほぼ全体を占める。

Unit G層の礫種構成は流紋岩、デイサイト、安山岩を主体として、玄武岩、ひん岩、花崗岩を含む。基質は砂～細礫を主体として高温型石英(β -Quartz)や有色鉱物を含む。YM-3孔のG層下部では含まれる玄武岩、ひん岩、花崗岩の割合が増加する。Unit G層の年代測定の結果は約11,730年前以前、14,610年前以降の年代を示す。

Unit H層は淘汰の悪い礫層からなる。本層は上位のUnit G層の礫層に比較して含まれる玄武岩、ひん岩、花崗岩の割合が増加する。基質はシルト分を含み、高温型石英(β -Quartz)や有色鉱物が多く混じる。

Unit I層はYM-2孔、YM-3孔に分布する。H層とほぼ同様の礫種構成を示すが、基質のシルト分の割合が減少する。また、YM-2孔のUnit I層はYM-3孔に比較して含まれる安山岩の割合が多い。

Unit J層はYM-2孔、YM-3孔に分布し、礫種構成は上位のI層に比較して含まれるデイサイト、ひん岩、玄武岩の割合が増加するほか、基質に含まれる高温型石英(β -Quartz)や有色鉱物が減少する。

Unit K層は砂層を挟む淘汰の悪い礫層からなる。YM-1孔、YM-2孔に分布する。YM-1孔では上位に比べ流紋岩礫の割合がやや減少すること、YM-2孔では流紋岩礫主体となることから区別される。礫種構成は流紋岩を主体として、安山岩を含み、ごく少量の玄武岩を含む。本層の年代測定の結果は約21,860年前以前、28,760年前以降の年代を示す。

4) S波反射法地震探査

横手市平鹿地区及び湯沢市前森地区において、S波反射法地震探査を実施した。各測線図、解析結果(断面図)を図6～7に示す。なお、マイグレーション深度断面のみウイグル波形の他にカラー表示の断面図を作成した。断面図について、ウイグル波形は正の振幅を黒で描画し、カラー表示は正の振幅を赤、負の振幅を青で示した。また、断面図の横軸は左を西側とした。各測線の解析結果の概要を以下に述べる。

a) 横手市平鹿測線

標高40～60mに明瞭な反射面が確認できる。この反射面は水平構造ではなく撓んでいて、CDP150より西側では連続性が悪くなる。CDP100～120付近にはおおよそ20°東に下が

る連続する反射面のずれが確認される。この反射面のずれは東傾斜の逆断層と推定される。

b) 湯沢市前森測線

CDP重合時にオフセット距離を10～200mとしたため、反射断面において地表から最大4m程度反射面がカットされている。CDP50～150付近に西に約30°で傾斜する反射面のずれが確認できる。CDP450～500付近には標高40～60m付近の反射面が凸状に変形している。また、CDP750～930付近には東に約30°で傾斜する反射面のずれが確認できる。これらのおよび変形は東傾斜の逆断層によるものと推定される。

c) 湯沢市表町測線

反射面の傾向は約44m離れている湯沢市前森測線の端部と類似していることから、湯沢市前森測線の延長部として考えることができる。CDP70～140には東に約40°で傾斜する反射面のずれが確認でき、このずれは東傾斜の逆断層によるものと推定される。

5)湯沢市前森地区における上下変位速度の予察的検討

湯沢市前森地区において実施した詳細DEM解析、ボーリング調査、S波反射法地震探査の結果を総合して、横手盆地東縁断層帶南部区間の予察的な上下平均変位速度を推定した(図9)。

ボーリングの層序、年代測定の結果、UnitK層を基準に24.0～27.8mの累積的な上下変位量が計測された。同層の年代はおよそ22kaであるため、累積上下変位量をこの年代で除して1.0～1.2mm/yrの上下変位速度が求められる。地層の年代や変位量の計測には検討の余地があるものの、この変位速度は横手盆地東縁断層南部区間の上下変位速度と判断することができる。また、反射法地震探査の結果から推定される断層の傾斜は約30°であり、これを基に実変位速度に換算した場合、2.1～2.5mm/yrの平均変位速度の可能性がある。さらに、前森地区における撓曲崖は比高約3.5mであり、Wallace(1970)の関係式に基づき、上述の上下平均変位速度で除すことによって平均活動間隔2900～3500年が予察的に求まる。今後、平均変位速度算出の基になる地層の年代や対比など、さらに詳細を検討する。

(d) 結論ならびに今後の課題

これまで地震発生確率の長期評価が実施できていない横手盆地東縁断層帶南部区間において、平均変位速度と地震時変位量により平均活動間隔を推定するため、ドローンLiDARによる細密DEMの解析、ボーリング調査、S波反射法地震探査等を実施した。横手市平鹿地区において、ドローンLiDARによる0.1mDEMにより新たに変位地形を検出し、最新活動に伴う上下変位量を1～2mと推定した。湯沢市岩崎地区においても0.1mDEMによる地形解析を実施し、比高3m程度の撓曲崖を抽出した。湯沢市前森地区では、2mDEMによる地形解析、ボーリング調査、S波反射法地震探査を実施し、平均変位速度を1.0～1.2mm/yrと予察的に推定した。この変位速度と地震時変位量3.5mを基に、平均活動間隔は2900～3500年と予察的に推定される。以上から、これまで未解明であった平均活動間隔を間接的に推定し、ポアソン過程に基づく地震発生確率を算出できる可能性を示した。今後、トレーンチ調査等により活動間隔を直接的に推定して上述の活動間隔を検証するとともに、最新活動時期を特定してBPTによる地震発生確率の算出を試みる。

(e) 引用文献

- 秋田県, 土地分類基本調査「横手」. 1:50,000 表層地質図「横手」, 1976.
- 秋田県, 「平成 9 年度 地震関係基礎調査交付金 横手盆地東縁断層に関する調査成果報告書」, 103p, 1998.
- 秋田県, 「平成 10 年度 地震関係基礎調査交付金 横手盆地東縁断層に関する調査成果報告書」, 150p, 1999.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 横手盆地東縁断層帯の長期評価について, 2005.
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編, 第四紀逆断層アトラス, 東京大学出版会, 254p, 2002.
- 活断層研究会編, 「新編日本の活断層－分布図と資料－」, 東京大学出版会, 437p, 1991.
- 中田 高・今泉俊文編, 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会, 60p, 2002.
- 大沢 稔・広島 俊男・駒沢 正夫・須田 芳朗, 20 万分の 1 地質図幅「新庄及び酒田」, 地質調査所, 1988.
- 産業技術総合研究所, 横手盆地東縁断層帯(南部)の活動性および活動履歴調査, 「活断層の追加・補完調査」成果報告書, No. H21-2, 産業技術総合研究所, 82p, 2010.
- 笹田政克, 鬼首-湯沢マイロナイト帯, 地球科学, 42, 6, pp. 346-353, 1988.
- 澤 祥・堤 浩之・杉戸信彦・楮原京子, 1:25,000 都市圏活断層図横手盆地東縁断層帯とその周辺「田沢湖」「横手」「湯沢」解説書, 国土地理院技術資料 D1-No. 642, 24p, 2013.
- Wallace, R. E., Earthquake recurrence intervals on the San Andreas fault, Geol. Soc. Am. Bull., 81, 2875-2890, 1970.

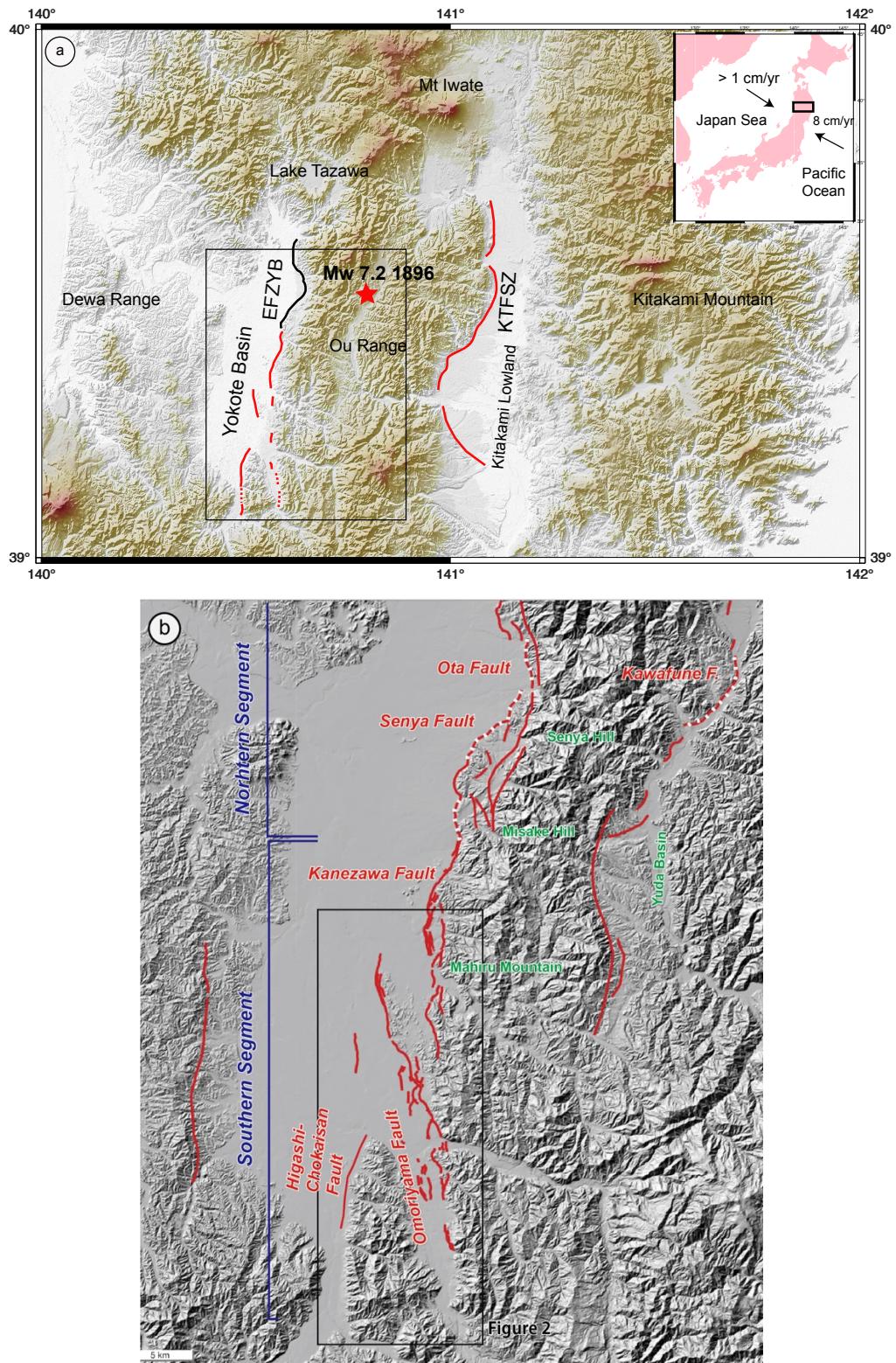


図 1 横手盆地東縁断層帯と南部区間の位置

a) 地形陰影図は 10mDEM を使用。図郭は b の範囲。b) 活断層分布は本研究及び産総研活断層データベースによる。

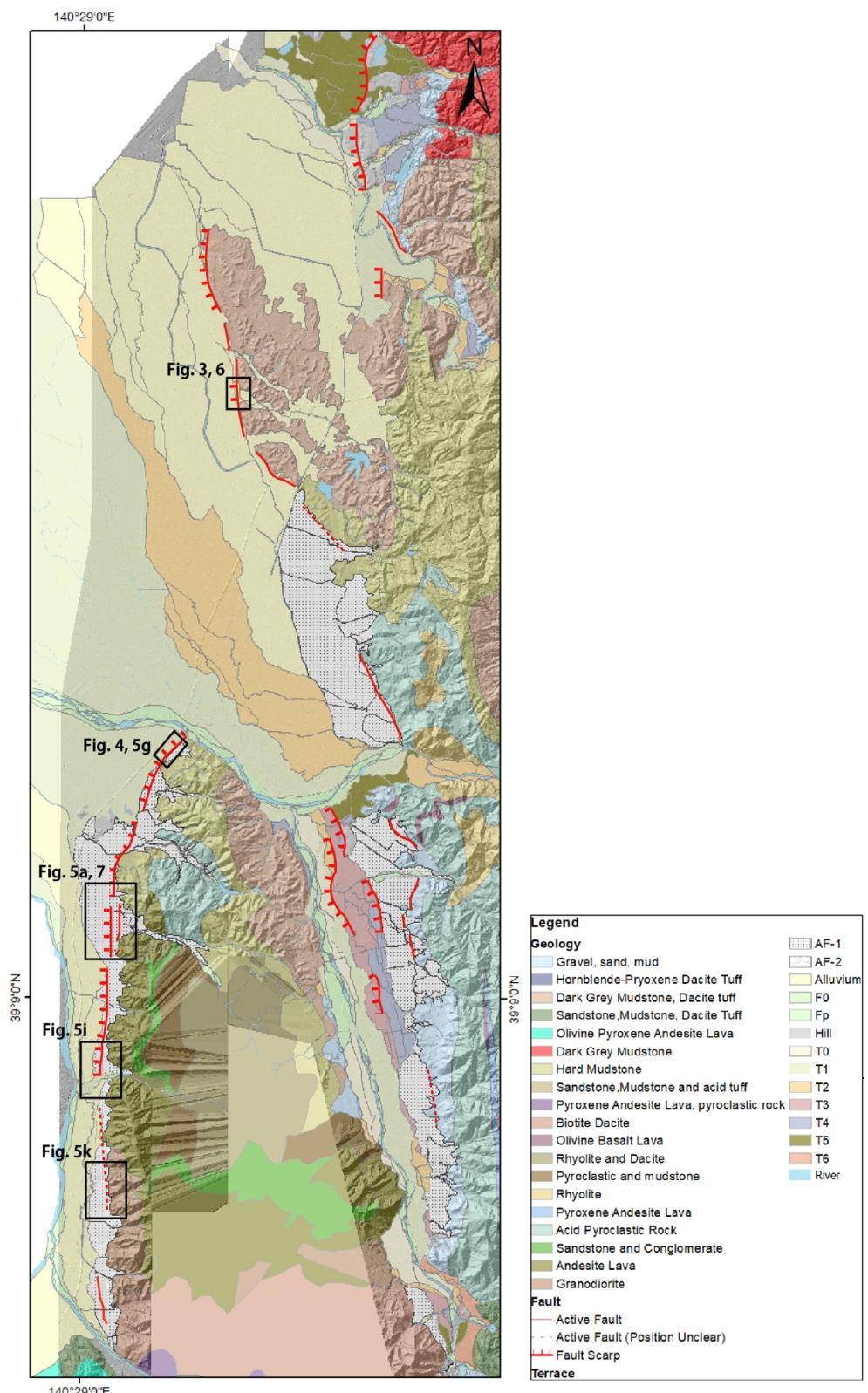


図2 横手盆地東縁断層帯・南部区間の分布と調査位置
地形陰影図は2 m DEMを使用。

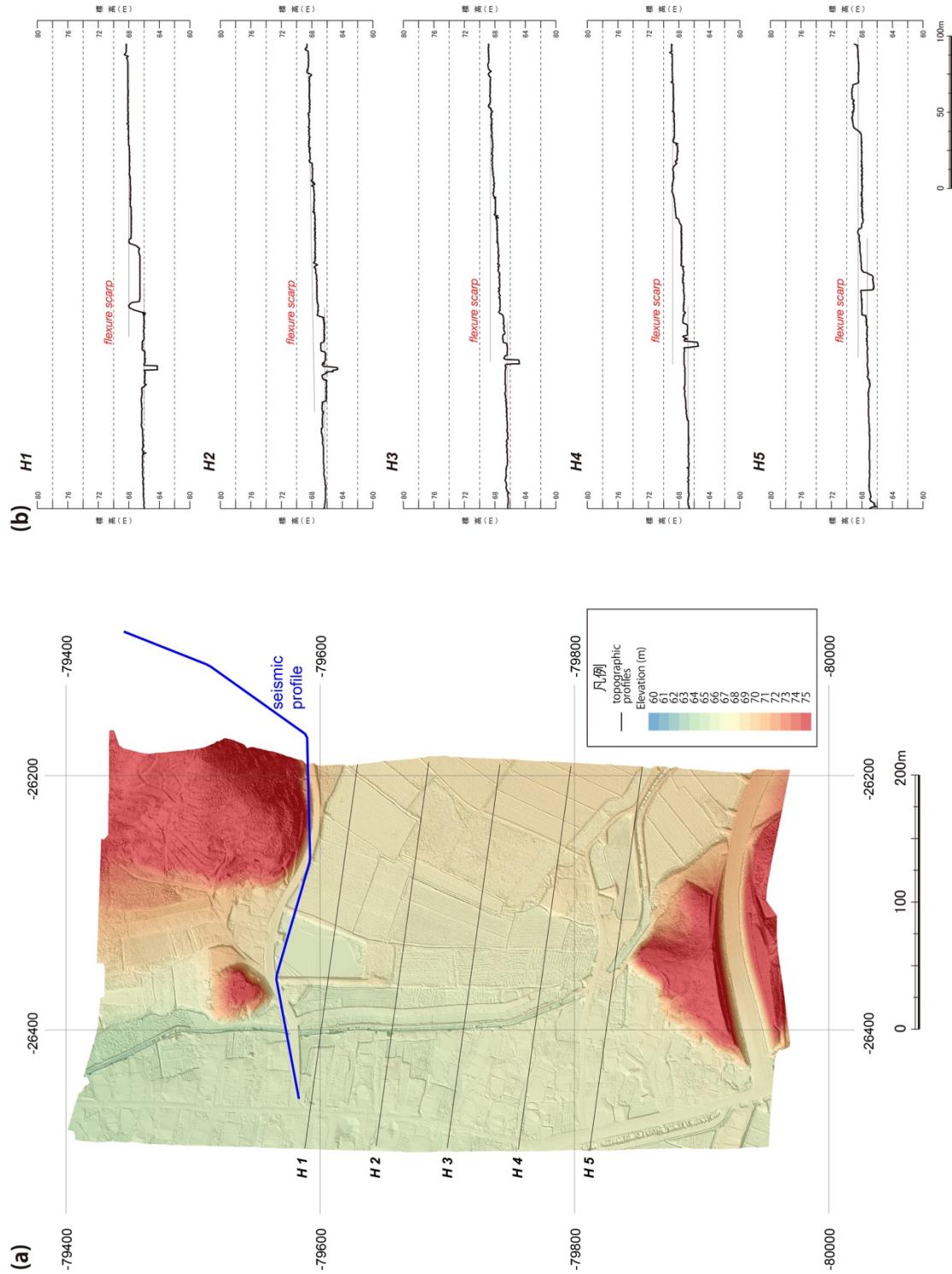


図3 横手市平鹿地区におけるドローンLiDARによる地形解析
(a) 0.1mDEMによる地形陰影図。位置は図2を参照、(b) 地形断面図。縦軸は5倍強調。

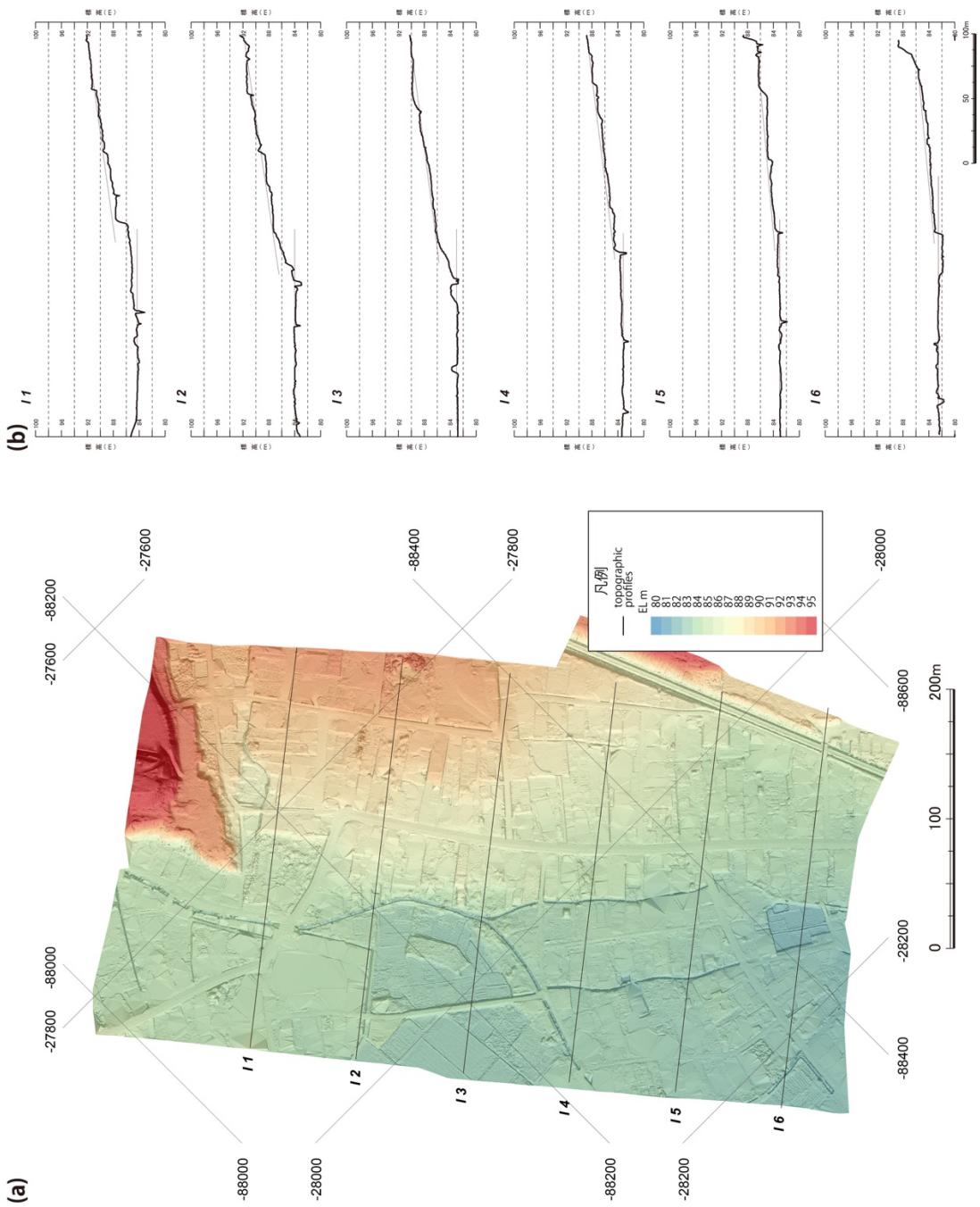


図4 湯沢市岩崎地区におけるドローン LiDAR による地形解析
(a) 0.1mDEM による地形陰影図。位置は図2を参照、(b) 地形断面図。縦軸は5倍強調。

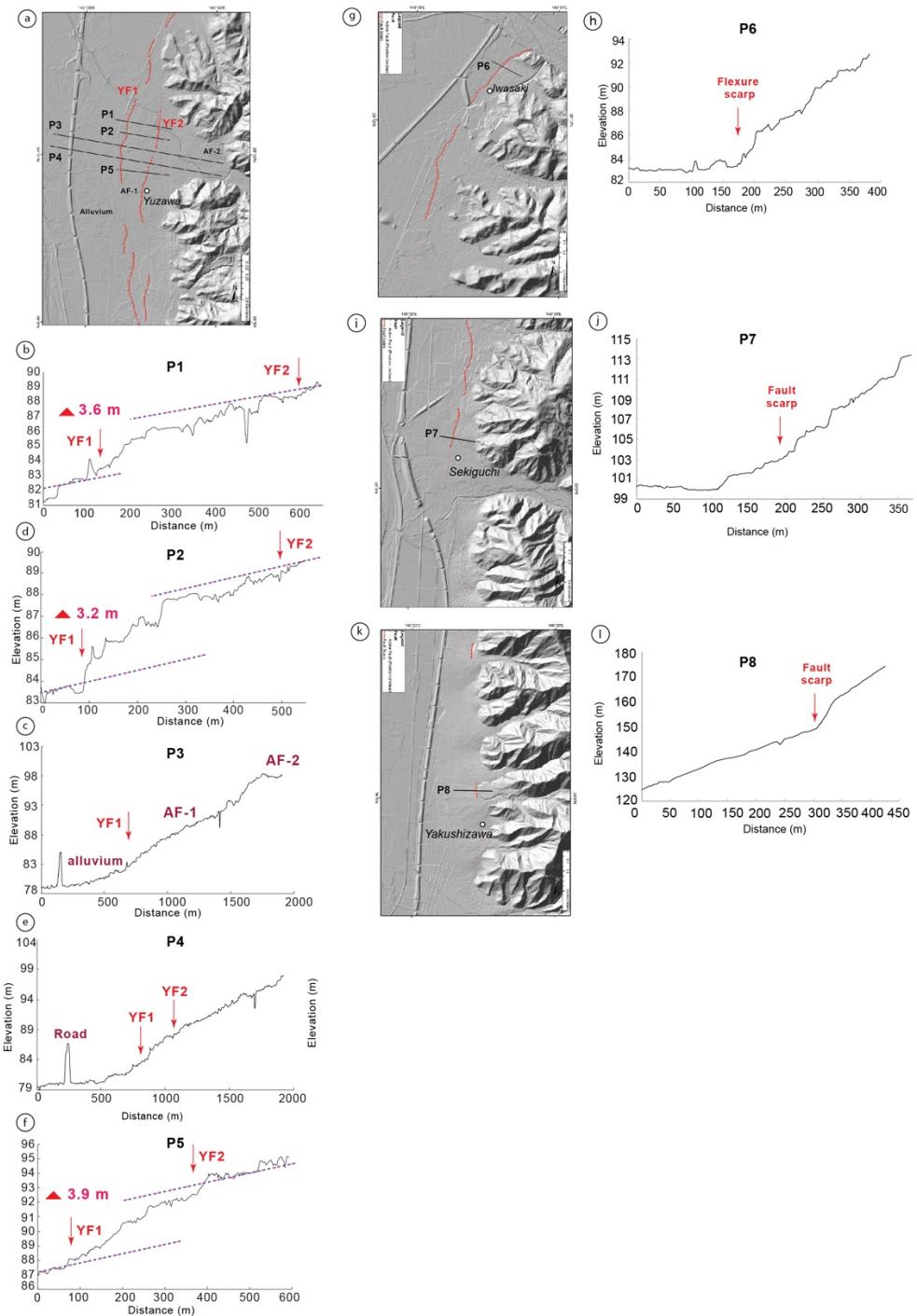


図 5 航空レーザー計測による 2 m DEM に基づく地形解析図
a、g、i、k の位置は図 2 を参照。

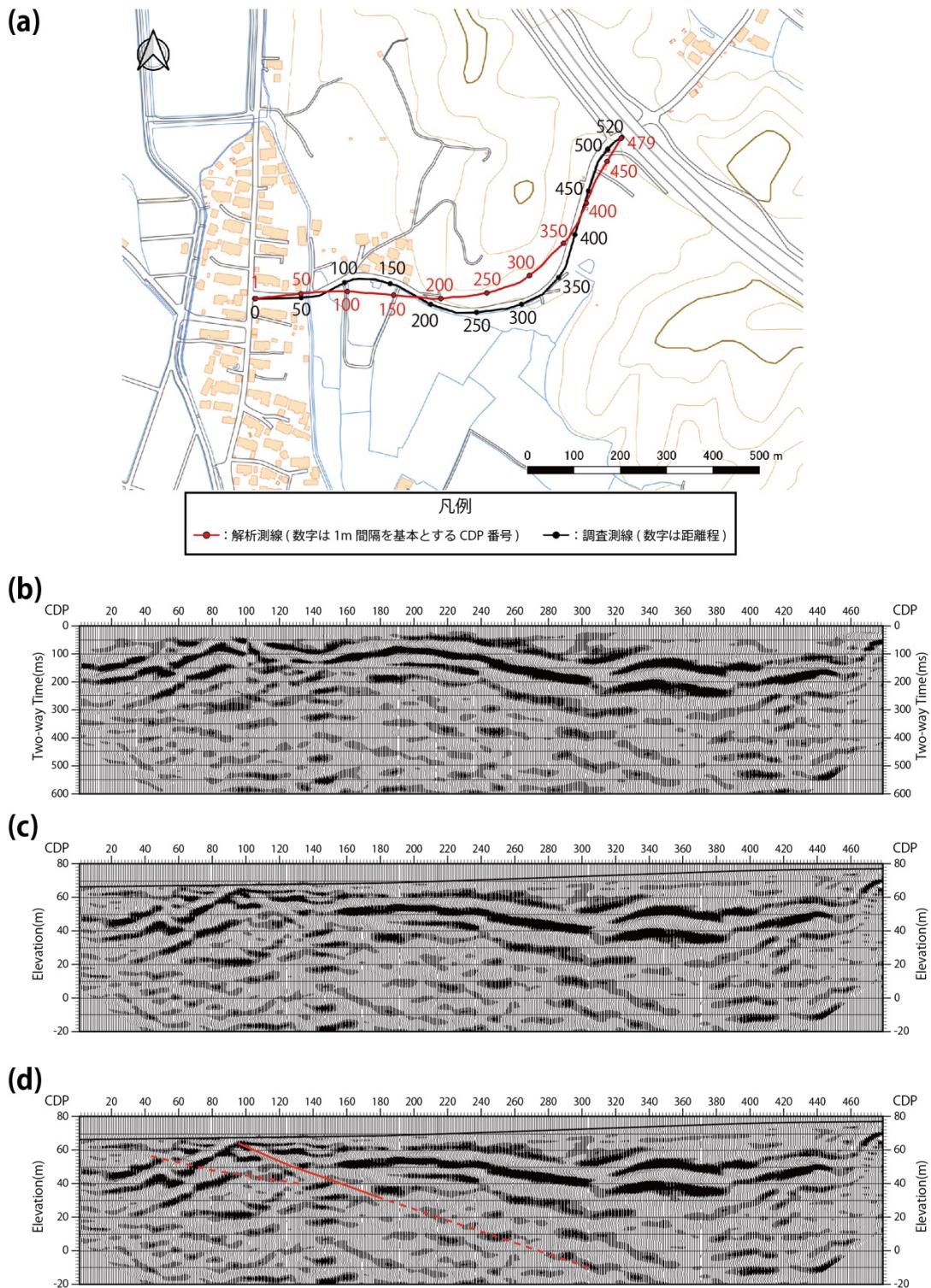


図6 横手市平鹿地区におけるS波反射法地震探査の結果
 a) 探査測線の位置。基図は地理院地図を使用。b) マイグレーション処理後の時間断面図。c) マイグレーション処理後の深度変換断面図。d) 活断層（赤線）の解釈。基図はマイグレーション処理後の深度変換断面図。

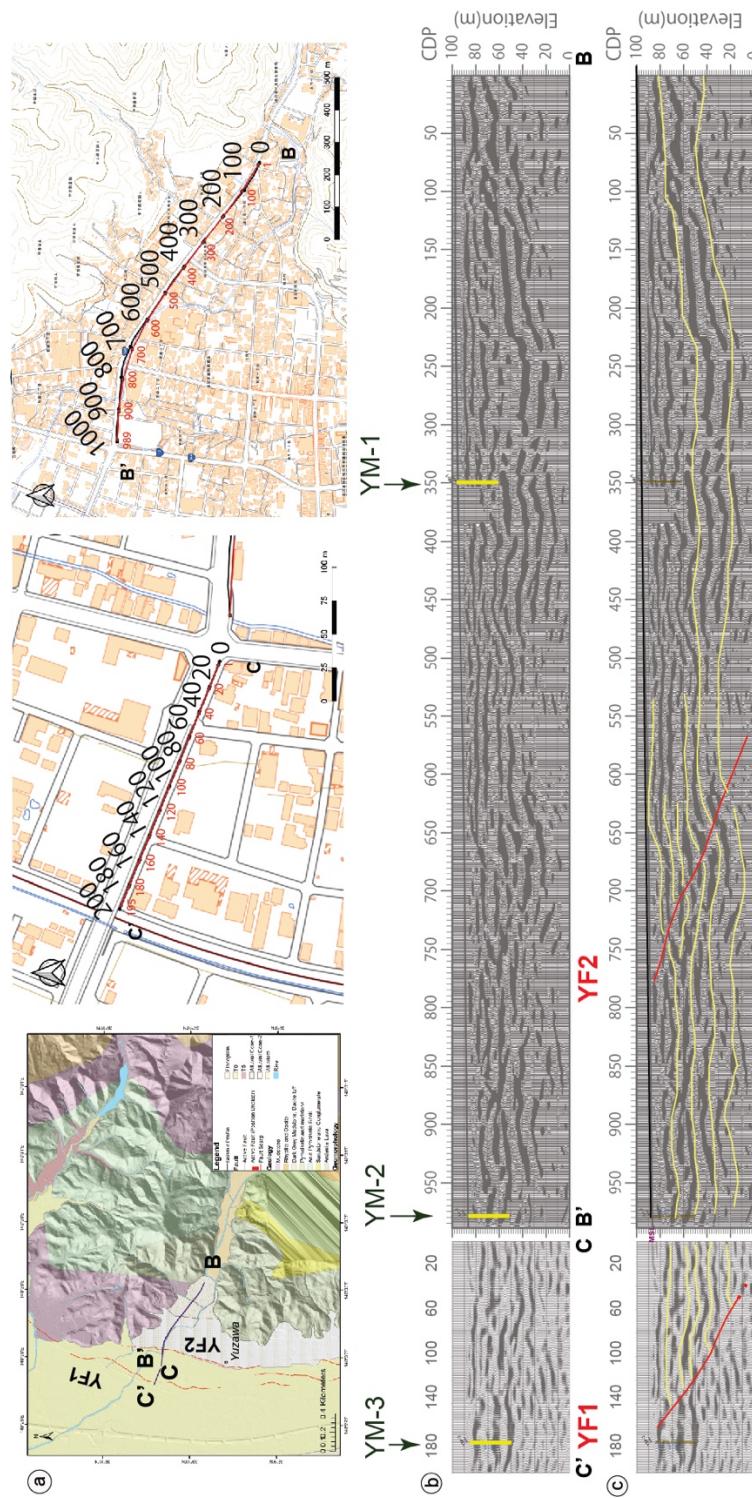


図7 湯沢市前森地区におけるS波反射法地震探査の結果

(a) 探査測線の位置図、(b) マイグレーション処理後の深度変換断面図。YM1～3はボーリングの位置、(c) 解釈断面図。黄色線は連続的かつ明瞭な反射面、赤線は活断層を示す。

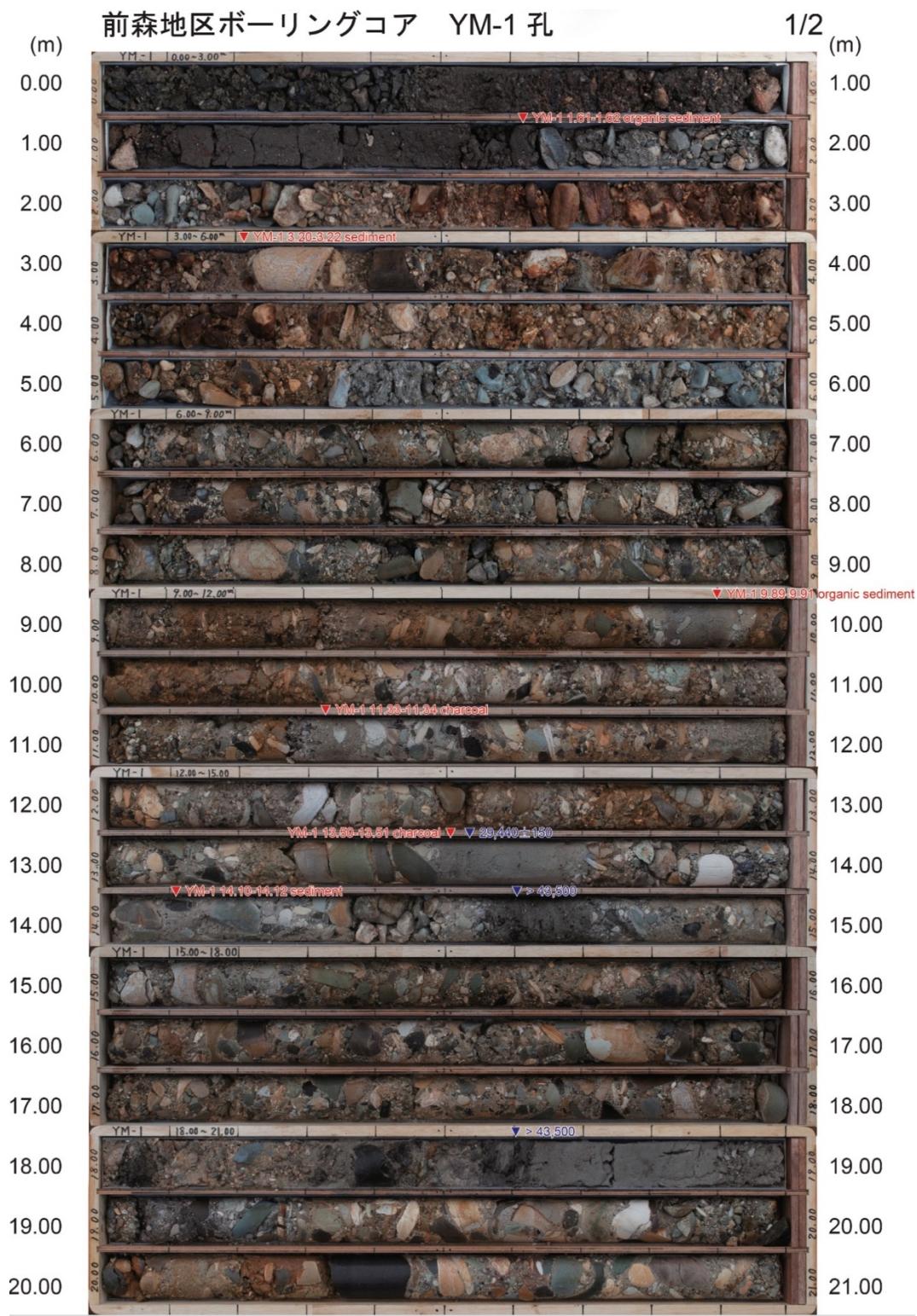


図 8 湯沢市前森地区におけるボーリングコアの写真



図8 湯沢市前森地区におけるボーリングコアの写真（続き）

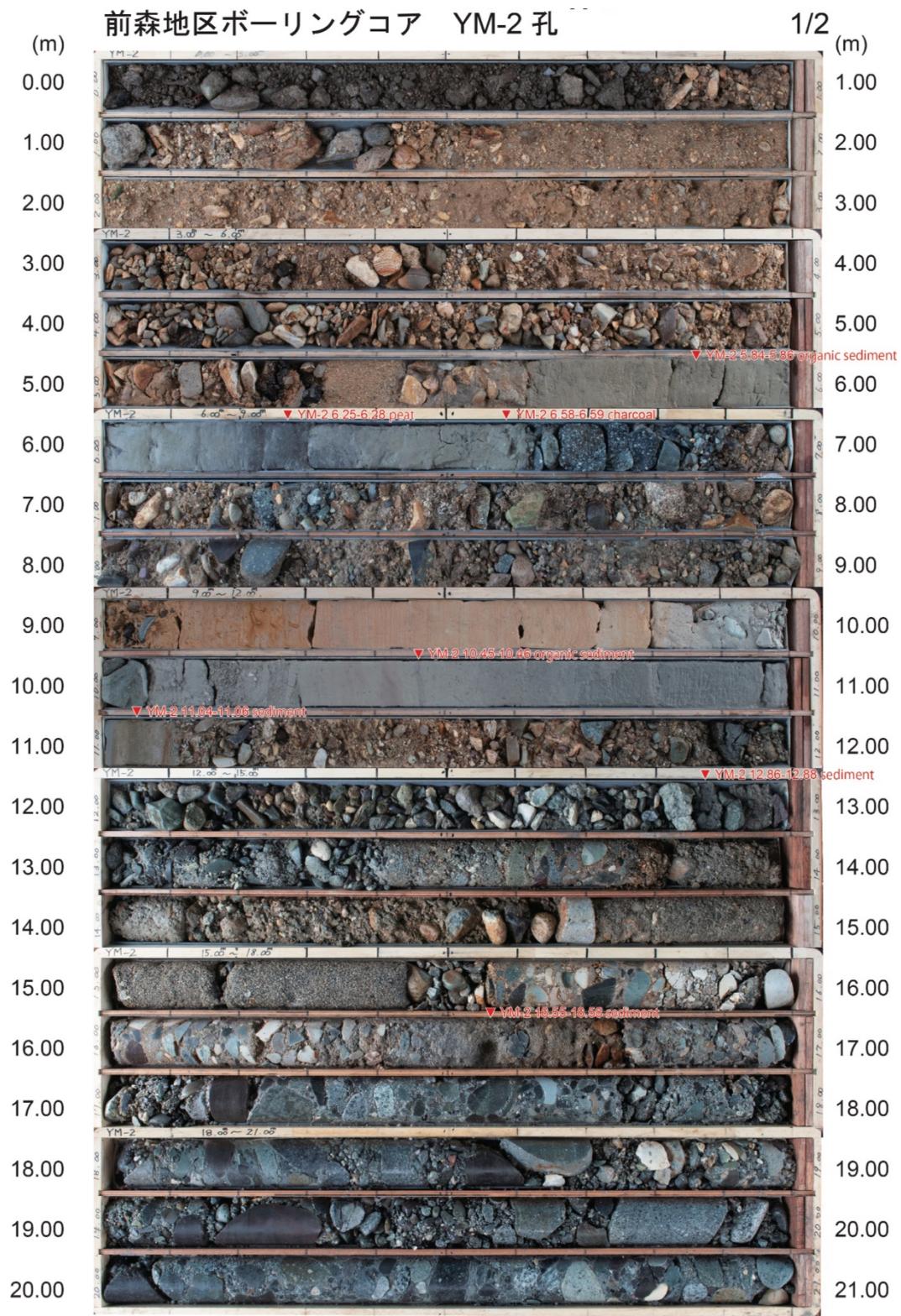


図8 湯沢市前森地区におけるボーリングコアの写真（続き）



図8 湯沢市前森地区におけるボーリングコアの写真（続き）

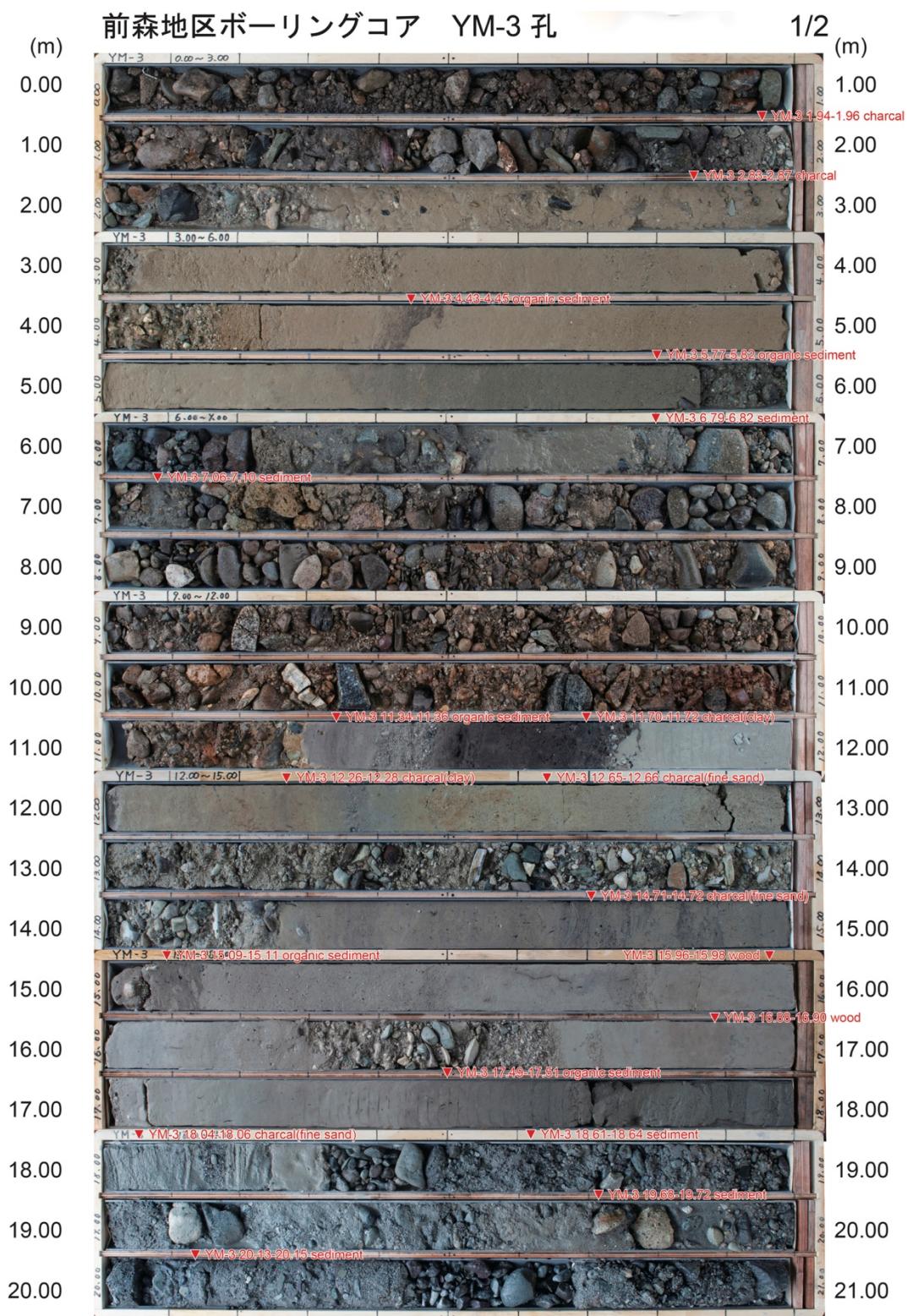


図8 湯沢市前森地区におけるボーリングコアの写真（続き）

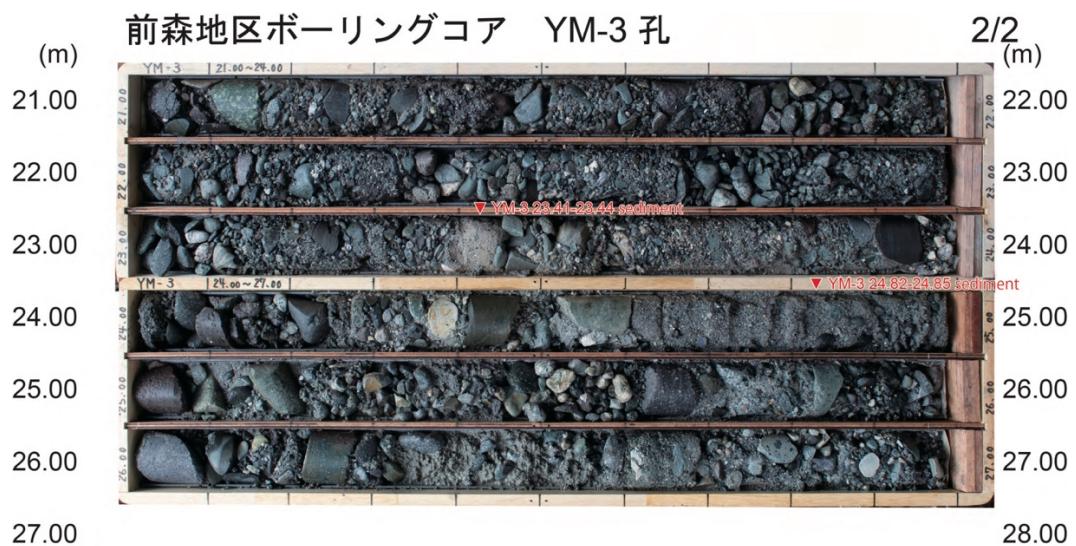


図8 湯沢市前森地区におけるボーリングコアの写真（続き）

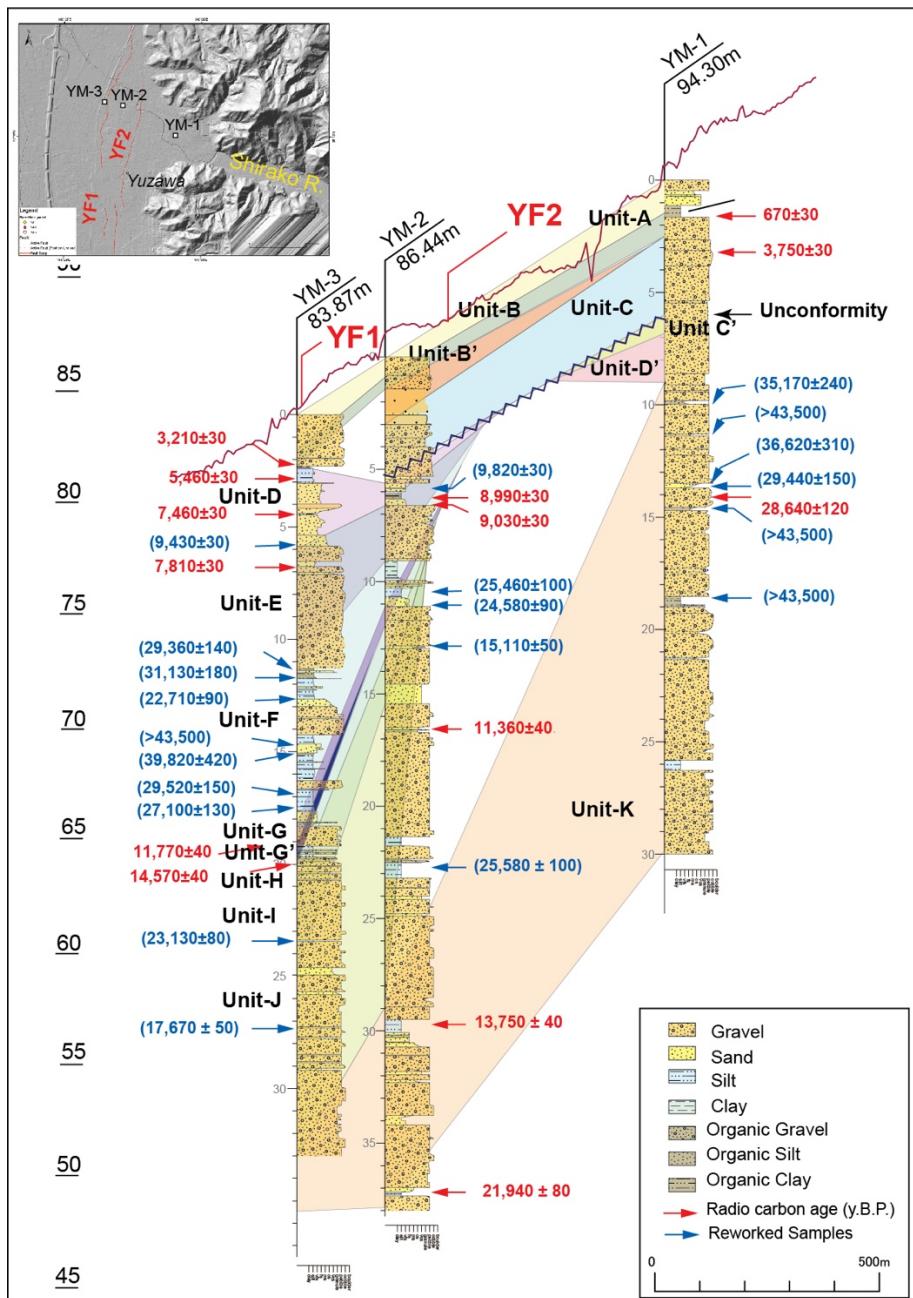


図9 湯沢市前森地区における地形地質断面図
YF1およびYF2はそれぞれ本調査による活断層トレース。