

3. 2 横手盆地東縁断層帯（南部）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）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
学校法人法政大学	教 授	杉戸 信彦

(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）において、令和元～3年度に実施した「活断層評価の高度化・効率化のための調査」（以下、過年度事業）で新たな調査手法等により平均変位速度や活動間隔が推定されている。本事業では、主に従来の調査手法である地形地質調査、トレンチ調査、ボーリング調査及び反射法地震探査等を実施し、既往の平均変位速度や活動間隔の信頼性や妥当性を検証する。

(d) 年度毎の実施業務の要約

1) 令和4年度：

ドローン LiDAR 計測を1箇所以上で実施し、計測データ及び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箇所以上で反射法地震探査及びボーリング調査を行い、極浅部の断層形状の推定及び平均変位速度等の検討を行った。

2) 令和5年度：

ドローン LiDAR 計測を1箇所以上で実施し、詳細な断層変位地形を把握した。1箇所以上でトレンチ調査、試料分析等を実施し、平均変位速度と活動履歴等について既往調査研究成果を総合して比較検討した。

3) 令和6年度：なし

(2) 令和6年度の成果

なし

(3) 令和4～令和6年度の成果

(a) 業務の要約

横手盆地東縁断層帯（南部）（以下、南部区間）を対象として、過年度事業により間接的な手法で算出された平均活動間隔を直接的な手法によって検証するため、ドローン LiDAR と

トレンチ調査を実施した。

令和5年度は、南部区間を構成する金沢断層の北端付近に位置する仙北郡美郷町六郷東根の上四天地地区において、ドローンLiDARによる地形解析、トレンチ調査を実施し、西側低下の累積的な撓曲変形を確認した。その結果、約1万年前以降に2回の古地震イベントが識別され、最新活動は約4600～9400年前、先行する活動は約9600～11100年前と推定された。これらによる活動間隔は、 3400 ± 2500 年程度と算出される。撓曲崖の比高と低下側を埋積する地層の高度差を基に、最新活動に伴う上下変位量は3.2m、先行する活動に伴う上下変位量は2.3m以上と計測される。よって、ここでの最新活動は、西暦1896年陸羽地震に伴うものではないと判断でき、既存文献の地震断層分布と調和的である。さらに、最近2回の活動間隔は北部区間と南部区間それぞれで従来推定された平均活動間隔よりも長い。これらの活動は、北部と南部が連動した活動を示す可能性が高く、これまで南部区間で推定された1600～3500年の活動間隔は妥当である可能性が示された。

(b) 令和4年度の業務の成果

1) 横手盆地東縁断層帯（南部）の概要

横手盆地東縁断層帯は、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って横手市を経て、雄勝(おがち)郡稲川(いなかわ)町(現・湯沢市)付近までの約56kmに延びる活断層帯である(図1～2)。横手盆地東縁断層帯では、これまで多数の調査が実施されてきており、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)。横手盆地東縁断層帯では、北部、南部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。

本断層帯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帯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、南部区間は、約5000～6000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。断層帯の北部では、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されてきたものの、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。

過年度事業の「活断層評価の高度化・効率化のための調査」において、横手盆地東縁断層帯（南部）を対象として、ドローン LiDAR 等の新たな手法とトレンチ、ボーリング、反射法地震探査等の従来手法を組み合わせ、複数の地点で平均変位速度等を推定した。その結果、南部区間の平均活動間隔について、盆地内の前縁断層上に相当する鳥海山断層上の湯沢前森地区において 2900～3500 年、山地／盆地境界断層上に相当する金沢断層上の吉沢川・睦成地区において 1500～2100 年と推定された。しかし、これらの平均活動間隔は北部で推定されている 3400 年程度と比較して、やや短い間隔となっている（近藤・Arora, 2022）。そのため、長期評価で実際に採択され地震発生確率の評価等に資するためには、調査手法やデータ、平均活動間隔の算出方法について信頼性や妥当性を検証する必要がある。

そこで、本事業による調査では、主にトレンチ調査やボーリング・反射法地震探査等の直接的な手法によって、平均変位速度や平均活動間隔、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を行う。今年度は、活断層の正確な位置・極浅部の形状や層序を明らかにするため、次の 2 地区で調査を実施した。北部と南部の境界付近に位置する仙北郡美郷町金沢乗上地区では、ドローン LiDAR、ボーリング調査および S 波反射法地震探査を実施し、盆地内の前縁断層にあたる横手市平鹿地区では、過年度事業の補備調査としてボーリング調査、S 波反射法地震探査を実施した。

2) 仙北郡美郷町金沢乗上地区における調査

美郷町金沢乗上地区は、金沢断層の北端付近に位置し、1896 年陸羽地震で活動した北部区間と南部区間の境界付近にあたる（図 3）。松田・他（1980）は、陸羽地震に伴う地表地震断層の分布を詳細に明らかにし、地震断層の南端を金沢乗上地区の北方約 2 km の美郷町六郷東根蛇沢付近とした。蛇沢周辺の地震時上下変位は、2 m 程度であったとされている（松田・他, 1980）。一方、現行の長期評価では、さらに南方の横手市金沢本町に至る区間においても、山崎（1896）による微小な地変の報告があることから、金沢断層の北端付近でも地表地震断層が出現した可能性を指摘している。また、近藤・Arora（2022）は、さらに南方の横手市睦成（むつなり）地区におけるトレンチ調査において、西暦 1700 年以降の古地震イベントを検出した。このイベントに伴う水平短縮量は 20 cm 程度と微小なため、陸羽地震に伴う受動的な変位である可能性を指摘している。いずれの指摘についても、松田・他（1980）による地震断層の南端である美郷町六郷東根蛇沢より南では、陸羽地震に伴って生じた地表変位は数十 cm 程度以下の微小なものである。よって、本調査の金沢乗上地区においても陸羽地震に伴い同程度の微小な変位が生じた可能性はあるものの、メートルオーダーに及ぶ固有規模の変位は生じなかったものと判断した。そのため、南部区間の活動履歴や平均変位速度を明らかにする調査地として、断層変位地形の明瞭さや細粒な堆積層の分布を考慮し、金沢乗上地区を令和 4 年度の主な調査地として選定した（図 3）。

a) ドローン LiDAR 等による地形調査

金沢乗上地区では、山地と盆地の境界付近を延びる断層、および盆地内の前縁（西側）へ張り出す断層の2条が並走すると推定される（図3）。本調査では、両者の関係や正確な断層位置の把握、トレンチ調査等の適地選定などを行うため、ドローン LiDAR による 0.1mDEM の作成と地形解析を実施した。ドローン LiDAR による地形陰影図を図4、地形断面図を図5に示す。

山地と盆地の境界付近には、西側が相対的に低下する低断層崖が認められ、概ね山麓に沿って南北走向に延びる（図4、5）。低断層崖の比高は4～5m程度である（図5：11～13測線）。陸羽地震の上下変位が北方約2kmの六郷東根蛇沢で2m程度であったことから、この上下変位は複数回のイベントの累積と判断できる。また、西側の盆地内には、南北走向で延びる撓曲崖が認められる（図6）。撓曲崖の比高は1～2m程度であるが、低下側と隆起側で地形面の傾斜が異なるため、上下変位量は後述するボーリング層序とあわせて検討する。変形帯の幅は30～50mと幅広く、地下の断層傾斜が低角度であることが示唆される。

b) ボーリング調査

ボーリング調査は、上述の撓曲崖を横断して、地形断面測線の12測線に沿って4孔の群列ボーリングを実施した（図4）。MSKN-01孔～MSKN-04孔にみられた地層は、新しいものから主に6つのUnit I～VI層に区分した。また、Unit III層及びV層は礫の量比や層相を基に、sub Unit IIIa層とIIIb層、Va層とVb層にそれぞれ細分した。ボーリング各孔（MSKN-01～MSKN-04）の写真を図7、ボーリング柱状図を図8、ボーリングから採取した¹⁴C年代測定の結果を表1に示す。以下では、ボーリングみられた地質・層序と年代の概略を既述する。

Unit I層：本層は、田圃の耕作土等を構成する砂・礫混じりシルトからなり、人工改変土層である。

Unit II層：本層は主にシルトからなり、4孔全てに分布する氾濫原堆積層である。一部、有機質シルト、砂や礫を挟在し、層厚は相対的に低下側である西側で厚くなり、MSKN-01孔で2m程度である。

Unit III層：本層は、砂・礫層を主体とする砂礫層（IIIa層）と、シルトを主体とするシルト層（IIIb層）からなる氾濫原堆積層である。東側のMSKN-3及びMSKN-4の2孔では、IIIa層の砂礫を主体とするが、MSKN-3孔では有機質シルトやシルト層が増える。西側のMSKN-1孔及びMSKN-2孔ではIIIb層を主体とし、MSKN-2では砂や細礫など相対的に粗粒な堆積物を多く挟む。層厚は西に向かい増し、MSKN-01孔で増す。本ユニットの年代測定の結果は、MSKN-01孔から採取された試料が20460±70 y. B. P. 以降、MSKN-04孔から採取された試料は20230±70 y. B. P. 以降である。以上から本ユニットの堆積年代は20ka頃と推定される。

Unit IV層：本層は砂・礫層を主体とし、層厚は概ね等層厚で広く分布する。本ユニットの堆積年代は、MSKN-04孔の試料の年代から24710±110 y. B. P. および26700±130 y. B. P.、MSKN-01孔のIV層下部から採取された試料の年代から28360±150 y. B. P. および28900±150 y. B. P. 頃と推定される。

Unit V層：本層は、主に有機質シルトを挟むシルト層からなり、砂・礫が卓越するシルト (Va層) と、細粒な堆積物が卓越する腐植シルト (Vb層) からなる。両者は指交関係にあるとみられ、境界は不明瞭である。層厚は西（相対的に低下側）に向かい増し、MSKN-01 孔で層厚 9 m 程度まで増加する。本ユニットの年代測定の結果は、MSKN-01 孔から採取された試料は V 層最上部で 32590 ± 240 y. B. P.、MSKN-04 孔の V 層最下部から 42720 ± 780 y. B. P. であった。以上から本ユニットの堆積年代は 33～43ka 頃と推定される。

Unit VI層：本層は、主に砂礫からなりシルトを挟在する。MSKN-02 孔では、深さ-15.5m に剪断が認められる。この剪断面は低角度で傾斜し、他のボーリングではみられないが、出現位置や後述する反射断面など、調査地の大局的な地質構造からみて、撓曲崖を形成する断層ないしその一部と判断した。本ユニットの年代測定の結果は、MSKN-04 孔から採取された試料がいずれもスケールオーバーの古い年代を示した。

以上から、本調査地では 43ka 以降に湿地性の腐植質シルトからなる堆積層と細粒な河川性の氾濫原堆積層が厚く堆積していることが明らかとなった（図 8；MSKN-01 孔）。これは最終氷期の寒冷期に盆地を埋積した細粒な堆積層と考えられる。28ka 以降には堆積間隙を伴う不整合が認められ、28～43ka の間の堆積速度は約 0.5mm/yr である。28ka 以降は堆積速度がやや低下するものの 20ka 頃までは同様の細粒な堆積層が認められる。この間の堆積速度は、0.2mm/yr 程度と 28～43ka の半分程度である。最終氷期極相期である 18ka 以降の堆積速度も同様であり、地表付近の自然堆積層の最上部付近で 1.1ka となり、堆積速度は 0.2mm/yr である。したがって、本調査地では最終氷期に 0.5mm/yr 程度の速度で盆地が埋積され、最終氷期極相期以降は半分程度の 0.2mm/yr で緩やかに盆地が埋積されたことが明らかとなった。

c) S 波反射法地震探査

反射法地震探査は、既述のドローン LiDAR および群列ボーリングの測線沿いで長さ 220m の測線（金沢乗上測線）、さらに南方で長さ 280m の測線（吉ヶ沢測線）の 2 測線で実施した（図 3）。振源は mini-vib を用いて、発信点、受振点間隔はそれぞれ 2 m である。処理の模式図を図 9、金沢乗上測線および吉ヶ沢測線の時間断面とマイグレーション後時間断面及び深度断面をそれぞれ図 10 および図 11 に示す。

金沢乗上測線は盆地側の前縁に延びる撓曲崖を横断して設定した。反射断面では、大局的に西に傾斜する反射面が認められ、盆地を埋積する堆積層、それらに東側隆起の撓曲変形を生じる断層構造のイメージングがなされた。断面中央付近に位置する撓曲崖の西側では、西傾斜の反射面群は傾斜が緩やかになり、CDP50 前後以西では概ね水平な反射面群になる（図 10）。一方、断面の東側では、西傾斜の反射面群は中央付近で一部断続的になる。さらに東側では連続性のよい西傾斜の反射面がみられ、下位のものほどわずかに累積的な増傾斜を示す。これらの構造は、東に低角度で傾斜する断層と上盤側で形成された撓曲変形と解釈できる。さらに詳しい解釈は、地形とボーリングによる地質構造を総合して後述する。

吉ヶ沢測線は、上述の撓曲崖の南延長に位置する。変位地形としては、金沢乗上測線より

も明瞭であり、比高 1.5m 程度の西側低下の撓曲崖が米軍撮影の空中写真や現地でも認められる（図 11）。ただし、原地形は人工改変により修飾されている。反射断面では、撓曲崖の通過位置である断面中央付近を境として、東西で明瞭な反射面群の高度差が認められた。東側では深度 15m（標高 65m）前後に、連続性がよい明瞭な強い反射面がみられる。この反射面は、CDP150-180 前後で西に撓み下がり、CDP160 付近で不連続となる。さらに西側では、深度 30~35m（標高 45~50m）に強い反射面が認められ、西へ向かって連続的に識別できる。この強い反射面は、断面で最も連続的かつ明瞭な反射面であり、同層準の地層ないし地層境界を反映すると考えられる。よって、撓曲崖付近を境に、この反射面の上下変位は 15~20m の西側低下であり、地表と比較して累積的な変位・変形を受けているものと判断できる。ただし、断層面そのもののイメージングはさほど明瞭ではない。

以上から、金沢乗上地区の S 波反射法地震探査において、西側低下の撓曲崖と調和的な構造が認められ、上下変位の累積性が確認された。

d) 統合地形地質断面図と上下平均変位速度・最新活動時期・活動間隔

ドローン LiDAR による地形解析、ボーリングによる地質、金沢乗上測線の S 波反射法地震探査を総合して、地形地質断面を作成した（図 12）。ボーリング MSKN-02 孔でみられた断層は、反射断面で推定された断層位置と概ね一致する。また、ボーリング間で対比した地層境界は、大局的に西側低下であり、ユニット V 層と VI 層の境界は東傾斜の断層を境として、食い違っている可能性がある。よって、撓曲崖を形成する断層が地下に伏在し、ユニット V 層より上位の地層に撓曲変形を生じていると解釈される。

ユニット V 層と VI 層の境界は、上下変位 7.8m である。この境界の年代として、V 層最下部から 42720 ± 780 y. B. P.、下位の VI 層からは 44ka よりも古くスケールオーバーした年代が得られた。両地層ともに湿地性と河川性の細粒な堆積層であるため、境界の年代は 43ka 頃と考えられる。したがって、累積上下変位量 7.8m を 43ka で除して、0.18mm/yr の上下平均変位速度が求められる。また、上位の IV 層と V 層の境界は、上下変位 4.8m であり、上記の V 層／VI 層境界と累積性を示す。この地層境界は、MSKN-01 孔の試料の年代によって、 $28900 \pm 150 \sim 32590 \pm 240$ y. B. P. に限定される。よって、IV 層／V 層境界を変位基準とした上下平均変位速度は、0.15~0.17mm/yr と推定される。さらに、III 層／IV 層境界を基準として、4.1m の上下変位量と $21100 \pm 80 \sim 24710 \pm 110$ y. B. P. の年代を基に、0.16~0.2mm/yr の上下変位速度が推定された。これらの値は、概ね互いに整合的であるが、下位の V 層／VI 層の境界を基準とした平均変位速度に比べ、わずかに小さな値となる。以下の検討では、小数点以下 1 桁で丸めて、0.2mm/yr を本地区の上下平均変位速度と考える。

活動履歴については、個別のイベントを識別し、活動時期を解明するための高解像度の地層は得られなかった。ただし、最新活動時期は次のように推定された。撓曲崖の比高は、測線沿いで 1.1m 程度である。地形面を構成する最も新しい自然の堆積層はユニット II であり、 1110 ± 30 y. B. P.（西暦 880~1020 年）の年代値が得られている。ユニット II は、群列ボーリングの全てのコアに概ね等層厚で広く分布しており、撓曲崖を形成する地層のメンバー

である。よって、最新活動に伴う撓曲変形は、西暦 880～1020 年以降に生じた可能性がある。

この最新活動の年代は、年代値のみからみれば 1896 年陸羽地震に伴い生じた可能性がある。また、金沢断層・睦成地区のトレンチ調査では、西暦 1700 年以降に生じ、陸羽地震に伴うとみられる受動的変位に先立ち、約 650～910 年前（西暦 1050～1300 年）に生じたイベントも検出された。金沢乗上地区の最新活動時期は、このイベント年代とも調和的である。よって、今後の検討によって、最新活動は陸羽地震時か、あるいは 11～12 世紀の歴史時代かについて、より正確に検討する必要がある。

さらに、上記の上下変位速度と撓曲崖から推定される地震時上下変位量から平均活動間隔を算出した。上下変位速度は、前縁断層にあたる撓曲崖トレースのみで 0.2mm/yr である。地震時変位量は、記述のようにドローン LiDAR の地形断面をもとに 1.1m と計測される。この値は、厳密には撓曲崖の地表での比高であり、低下側と隆起側で同勾配の変位基準をもとに計測されたわけではない。しかし、ボーリングの層序をみるかぎり、地形面を構成するユニットⅡはほぼ等層厚で調査地に広く分布し、低下側のみで厚く堆積する地層は確認されない。そのため、人工改変の影響はあるものの、地表での比高 1.1m が概ね上下変位量そのものを示すと考えられる。よって、上下平均変位速度は、1.1m を 0.2mm/yr で除して 5500 年が求められる。ただし、この平均活動間隔は前縁断層のみの値であるため、南部区間の活動間隔としては最大値（最長値）となる。

3) 横手市平鹿地区における補備調査

横手市平鹿地区では、過年度事業において令和元年度にドローン LiDAR による地形解析と S 波反射法地震探査、令和 2 年度にボーリング調査を実施した（図 13）。その結果、西側低下の撓曲崖及び地層の撓曲変形が見いだされ、最新活動時期が 3600 年前もしくは 7200 年前以降と推定された（近藤・Arora, 2022）。しかし、この最新活動時期は再堆積した古い年代値である可能性があり、低い信頼度に留まっていた。また、撓曲崖直下でみられた堆積層の変形構造と基盤深度は顕著な累積変位を示しておらず、探査測線よりも西側に伏在する断層の存在が示唆された。この場合、撓曲崖と撓曲変形は、主断層である伏在断層の上盤側で形成された副次的な構造という判断になり、評価すべき活動間隔や変位速度が異なってくる。よって、これまでは盆地内の前縁断層としての上下平均変位速度は平鹿地区において算出できなかった。そのため、令和 4 年度は、盆地側及び撓曲崖の隆起側で各 1 孔のボーリングを追加掘削するとともに、反射法地震探査測線を盆地側に延長し、断層・変形構造の全体像を把握するよう努めた。以下では、ボーリング調査及び S 波反射法地震探査の結果を略述し、平鹿地区における上下変位速度や平均活動間隔を検討する。

a) 横手市平鹿地区におけるボーリング調査

本調査では、盆地内の低下側にあたる YKHS-01 孔（深さ-30m）と撓曲崖の隆起側にあたる YKHS-02 孔（深さ-10m）の 2 孔を新たに掘削した（図 13）。ボーリング孔に露出した地

層はこれまでの調査結果と総合して、新しいものからユニットⅠ～Ⅴ層に区分した。各ボーリング孔の写真をそれぞれ図 14 および図 15、ボーリング柱状図を図 16 および図 17、既往のボーリングを含めた地質断面図を図 18 に示す。以下では、ボーリングでみられた地層の層相と年代を略述する。

UnitⅠ層：田圃の耕作土直下の砂・礫混じり有機質シルトからなる。一部、砂や礫を挟在する。撓曲崖を挟んで東西の両側に広く分布し、1.5m程度 of 上下変位を受けている。既往のボーリング YH-3 孔から 7200 ± 30 y. B. P. の年代値が得られていた。今回、新たに YKHS-02 孔から 1670 ± 30 y. B. P. (西暦 330～510 年) の年代値が得られたため、本層の堆積年代は約 1700 年前頃と推定される。

UnitⅡ層：シルトを主体とするシルト層 (Ⅱa 層) と、砂・礫層を主体とする砂礫層 (Ⅱb 層) からなる。YKHS-02 孔の礫は主に風化泥岩からなり、背後の丘陵を構成する地質が給源とみられる。一方、YKHS-01 孔の礫は主に泥岩、安山岩、流紋岩からなり盆地内を流れる大屋川流域の地質が給源と推定される。層厚は、相対的に低下側にあたる西側の YKHS-01 孔で著しく増す。過年度事業の YH-1 孔～YH-3 孔では、UnitⅡa 層の年代測定結果は既往の結果として 3700 ± 30 y. B. P.、及び 12360 ± 660 y. B. P. と 12460 ± 40 y. B. P. の年代を示す。

UnitⅢ層：シルトを主体とするシルト層 (Ⅲa 層) と、砂・礫層を主体とする砂礫層 (Ⅲb 層) からなる。YH-1 孔では、シルトが卓越し砂や礫を挟む。YKHS-02 孔の礫は主に風化泥岩で背後の地質が給源で、YKHS-01 孔の礫は主に泥岩、安山岩、流紋岩からなり大屋川流域の地質が給源と推定される。各孔の層厚は概ね同じである。UnitⅢ層の年代測定結果は、既往の YH-1 孔～YH-3 孔で採取された、 43480 ± 660 y. B. P. ないし測定限界より古いスケールオーバーの年代を示す。

UnitⅣ層：シルトや有機質シルトを主体とするⅣa 層と、砂・礫層を主体とするⅣb 層からなる。最も東側の YKHS-02 孔にはみられず、撓曲崖の低下側を埋積する地層とみられる。YH-1～YH-3 孔で採取された UnitⅣ層中の試料の年代測定結果は、いずれも測定限界より古い年代を示す。

UnitⅤ層：主に有機質シルトを挟むシルト層からなるが、砂・礫層を多く挟むシルト層 (Ⅴa 層) と、主に低下側に分布し礫を主体とする礫層 (Ⅴb 層) からなる。その層厚は西 (相対的に低下側) に向かい増す。YKHS-01 孔の礫は主に泥岩、安山岩、流紋岩からなり大屋川流域の地質が給源と推定される。UnitⅤ層の年代測定は、YH-1 孔～YH-3 孔で採取された試料がいずれも測定限界より古い年代を示す。

以上をまとめると、層序や層相は既往のボーリングと調和的であり、盆地内の断層低下側で掘削した YKHS-01 孔では、深さ 30m (標高 34m) まで後期更新統の砂礫層が堆積することが明らかとなった (図 18)。一方、隆起側にあたる YH-1～YH-3 孔では、深さ 10m 程度 (標高 58m) で基盤の中新統・シルト岩が確認されている。この約 20m 以上の基盤の高度差は、撓曲崖の西側に伏在する逆断層で形成されたとみられる。この点については、後の反射法地震探査の結果も含めて検討する。

b) 横手市平鹿地区における S 波反射法地震探査

令和 4 年度の探査測線は、既往の探査測線を西側の盆地側へ延長して検討するため、長さ 340m の測線で実施した (図 13)。探査の仕様は既述の美郷町金沢乗上地区と同様である。探査結果の時間断面、マイグレーション後時間断面、マイグレーション後深度断面をそれぞれ図 19 に示す。

探査の結果、反射面群に顕著な不連続や曲率の変化が認められ、断面の中央付近から東へ傾き下がる断層がイメージングされた。盆地側では概ね水平な反射面群がみられ、盆地を埋積する堆積層に相当する。また、断面の東端付近から西へ向かって傾きさがる反射面もみられ、断層の上盤側で生じた変形構造とみられる。

c) 統合地形地質断面図と上下平均変位速度・最新活動時期・活動間隔

令和元年度から令和 4 年度までに得られた、群列ボーリングと S 波反射法地震探査の結果を統合して、地形地質断面図を作成した。地形断面は、国土地理院・地理院地図の 5 mDEM から作成した。地形地質断面図を図 20 に示す。

統合した地形地質断面図では、今回実施した S 波反射法地震探査でイメージングされた断層を境として、明瞭な基盤の高度差が明らかとなった (図 20)。ボーリングの項で記述した通り、隆起側では深さ 10m 程度 (標高 58m) で基盤の中新統・シルト岩が確認されている。一方、低下側ではボーリングでは基盤岩まで到達していないものの、深さ 55m (標高 10m) 付近に顕著な反射面がみられ、これが基盤岩に相当するとみられる。よって、伏在断層及び撓曲崖を挟んだトータルの基盤上面の累積変位は、約 50m に達すると考えられる。さらに、上位のユニット IIIb 層は砂礫からなり、その下面が断層を境に 25~29m の累積上下変位を示す。IIIb 層は 40~43ka の年代値が得られているため、累積上下変位量を除して、0.6~0.7mm/yr の上下平均変位速度が明らかになった。

また、最新活動は撓曲崖と調和的な西側低下がユニット IIa 層でみられ、上面の上下変位は 1.5m である (図 18, 図 20)。I 層から 1670±30 y. B. P. (西暦 330~510 年) が得られたため、最新活動時期はこれ以降に限定された。この年代は、従来の最新活動が約 7000 年前以降とされた推定値よりも新しく、また、金沢断層の横手市睦成地区トレンチ調査で推定された、約 650~910 年前 (西暦 1050~1300 年) のイベント年代とも矛盾しない。この最新活動時期については、さらに確実度が高いデータによって検討を続ける必要がある。

さらに、上下平均変位速度と地震時変位量を基に、平均活動間隔の算出を行った。0.6~0.7mm/yr の上下平均変位速度と最新活動に伴う上下変位を 1.5m とした場合、平均活動間隔は、2100~2500 年と算出される。ただし、この上下変位は撓曲崖沿いのみで計測できたものであり、西側の伏在断層では不明である。よって、平均活動間隔としては最小値となる。このように、Wallace (1970) の関係式を用いた場合、地震時変位量が小さければ平均活動間隔は短く、逆に大きければ平均活動間隔は長く算出される。これは、相対的に小規模な地震がより高頻度で生じる G-R 則と矛盾しないが、正確な活動間隔を算出するためには、平均変位速度だけでなく地震時変位量も正確に求め、それらのばらつきも含めて評価する必

要がある。

(c) 結論ならびに今後の課題

横手盆地東縁断層帯（南部）を対象として、過年度事業により間接的な手法で算出された平均活動間隔を直接的な手法によって検証するため、上下平均変位速度、地震時変位量、極浅層の断層構造、平均活動間隔等を明らかにする調査を実施した。

南部区間を構成する金沢断層北端に位置する美郷町金沢乗上地区では、ドローン LiDAR 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、西側低下の撓曲崖および地層の撓曲変形を確認した。その結果、地表でみられる比高 1.1m の撓曲崖の地下では、43ka 以降に堆積した盆地を埋積する細粒堆積層が厚く分布し、それらの地層に累積的な上下変位が認められた。年代が異なる 3 つの層準を変位基準として、上下平均変位速度は 0.2mm/yr であることを明らかにした。また、最新活動に伴う上下変位量は撓曲崖の比高と同程度とみなすことができ、1.1m の上下変位量と上下平均変位速度を基に、間接的な平均活動間隔として 5500 年が得られた。ただし、撓曲崖を形成する活断層は、盆地内を延びるトレースであり、盆地と山麓の境界付近にも低断層崖が並走して延びる。そのため、これらの平均活動間隔や平均変位速度等は、金沢乗上地区における金沢断層の最小値となる。また、最新活動時期は、西暦 880～1020 年以降に生じた可能性が明らかとなった。このイベントは、1896 年陸羽地震に伴う地表変位、もしくは睦成地区のトレンチ調査で検出された西暦 1050～1300 年のイベントに対応する可能性がある。

横手市平鹿地区では、既往のドローン LiDAR 調査、ボーリング調査、S 波反射法地震探査に加えて、新たにボーリング調査と S 波反射法地震探査を実施した。過年度事業で推定された撓曲崖の地下では、基盤岩に顕著な累積を伴う上下変位が認められず、さらに西側の盆地内に伏在する逆断層の存在が指摘されていた。そのため、既往の探査測線を西側の盆地内へ延長する形で測線を設定した。また、この探査測線の西端付近と既往の群列ボーリング調査の東延長において、それぞれ 1 孔のボーリング調査を追加した。その結果、平鹿地区における地形地質断面をより高い信頼度で作成することが可能となった。その結果、中新統・シルト岩からなる基盤岩の上面高度には、反射法地震探査でみられる伏在逆断層を境として、比高 50m 以上の高度差が認められた。堆積層中の 40～43ka の層準には、25～29m の上下変位が計測でき、これらを基に 0.6～0.7mm/yr の上下平均変位速度が推定された。この値は、周辺で実施された既往の平均変位速度と調和的である。さらに、撓曲崖を横断する断面では、最新活動に伴う上下変位 1.5m が西暦 330～510 年以降に生じた可能性が明らかになった。この地震時上下変位量と 0.6～0.7mm/yr の上下平均変位速度を基に、平均活動間隔は 2100～2500 年と算出された。ただし、地震時変位量は撓曲崖を横断する範囲のみで計測され、伏在逆断層の地震時変位量については不明なため、この平均活動間隔は最小値となる。

以上、令和 4 年度は、南部区間の北端付近の金沢断層および盆地内を延びる大森山断層において、新たな平均変位速度と活動間隔、最新活動時期、地震時変位量等が得られた。令

和5年度は、これらの評価パラメーターの妥当性と信頼度について、トレンチ調査等の直接的な手法から求める活動時期や活動間隔によって検証する。

表 1 美郷町金沢乗上地区における放射性炭素同位体年代測定の結果

sample	type of material	Conventional Radiocarbon Age		cal	13C	Pretreatment	comment
MSKN-01 0.46-0.48	organic sediment	1110	30	95.4% probability (93.9%) 882 - 995 cal AD (1068 - 955 cal BP) (1.5%) 1006 - 1016 cal AD (944 - 934 cal BP)	-26.63	acid washes	
MSKN-01 3.64-3.66	organic sediment	20460	70	95.4% probability (95.4%) 22955 - 22338 cal BC (24904 - 24287 cal BP)	-26.27	acid washes	
MSKN-01 4.24-4.26	organic sediment	21100	80	95.4% probability (95.4%) 23723 - 23276 cal BC (25672 - 25225 cal BP)	-26.52	acid washes	
MSKN-01 6.19-6.21	organic sediment	28360	150	95.4% probability (95.4%) 31126 - 29981 cal BC (33075 - 31930 cal BP)	-28.29	acid washes	
MSKN-01 7.03-7.05	organic sediment	28900	150	95.4% probability (95.4%) 32032 - 30934 cal BC (33981 - 32883 cal BP)	-28.37	acid washes	
MSKN-01 8.22-8.24	organic sediment	32590	240	95.4% probability (95.4%) 35586 - 34393 cal BC (37535 - 36342 cal BP)	-28.82	acid washes	
MSKN-01 10.18-10.20	organic sediment	38570	450	95.4% probability (95.4%) 40908 - 40184 cal BC (42857 - 42133 cal BP)	-28.26	acid washes	
MSKN-01 13.96-13.98	organic sediment	> 43500	***	***	-28.54	acid washes	*infinite age(43500BPより古い)
MSKN-04 2.68-2.69	plant material	20230	70	95.4% probability (95.4%) 22630 - 22113 cal BC (24579 - 24062 cal BP)	-25.57	acid/alkali/acid	
MSKN-04 4.07-4.08	plant material	24710	110	95.4% probability (95.4%) 27216 - 26791 cal BC (29165 - 28740 cal BP)	-25.85	acid/alkali/acid	
MSKN-04 5.48-5.49	plant material	26700	130	95.4% probability (94.7%) 29214 - 28785 cal BC (31163 - 30734 cal BP) (0.7%) 28580 - 28546 cal BC (30529 - 30495 cal BP)	-28.12	acid/alkali/acid	
MSKN-04 9.67-9.68	organic sediment	40690	610	95.4% probability (95.4%) 42632 - 40923 cal BC (44581 - 42872 cal BP)	-31.96	acid washes	
MSKN-04 11.63-11.64	organic sediment	42720	780	95.4% probability (95.4%) 44804 - 42215 cal BC (46753 - 44164 cal BP)	-28.52	acid washes	
MSKN-04 13.37-13.38	plant material	> 43500	***	***	-27.66	acid/alkali/acid	*infinite age(43500BPより古い)
MSKN-04 14.23-14.24	plant material	> 43500	***	***	-26.15	acid/alkali/acid	*infinite age(43500BPより古い)
MSKN-04 14.84-14.85	plant material	> 43500	***	***	-29.04	acid/alkali/acid	*infinite age(43500BPより古い)

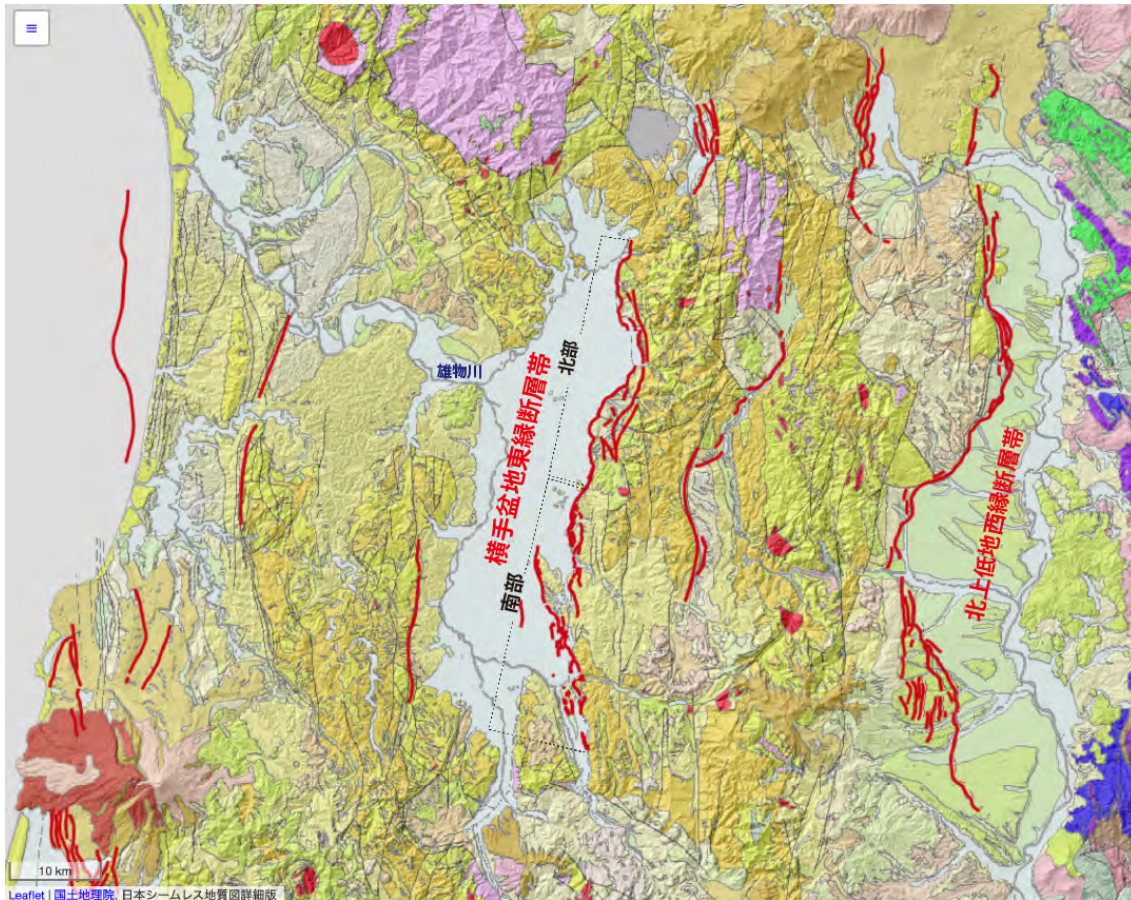


図1 横手盆地東縁断層帯と南部区間の位置
 活断層分布は本研究及び産総研活断層データベース（産業技術総合研究所、2020）
 による。基図は産総研・地質調査総合センターのシームレス地質図。

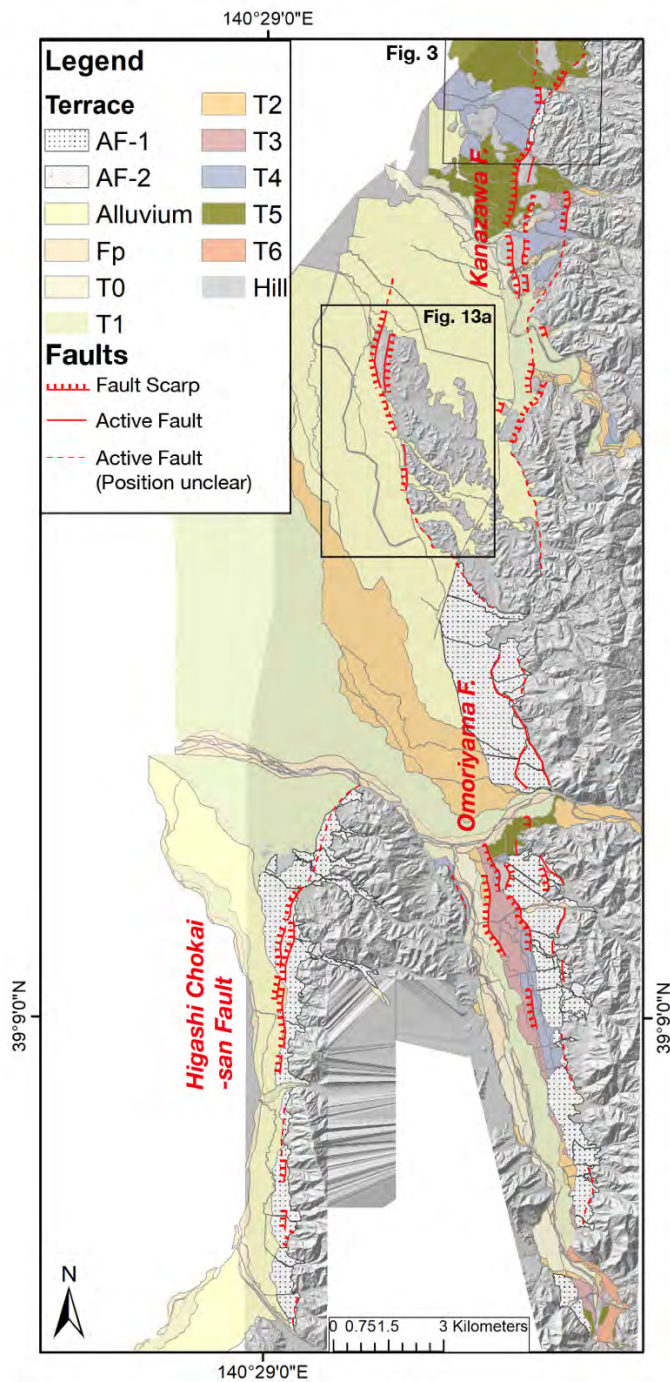


図2 横手盆地東縁断層帯（南部区間）の分布と調査位置
地形陰影図は2 mDEMを使用。近藤・Arora（2022）に加筆。



図3 美郷町金沢乗上地区周辺の活断層分布
基図は、地理院地図による活断層図。

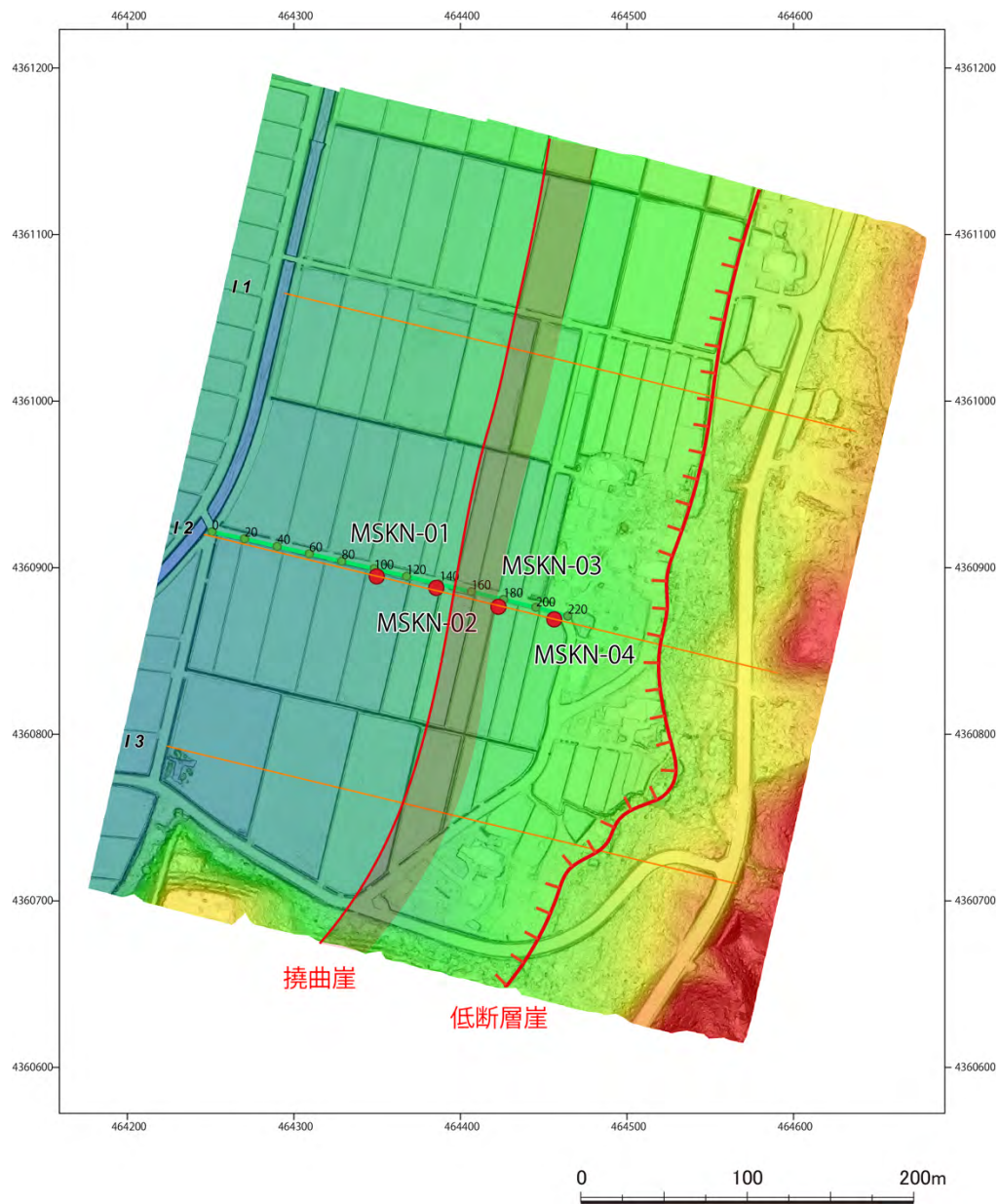


図4 金沢乗上地区におけるドローンLiDARによる地形陰影図
0.1mDEMによる地形陰影図。赤丸はボーリングの位置、オレンジ色線は図5の地形断面測線の位置。位置は図3を参照。

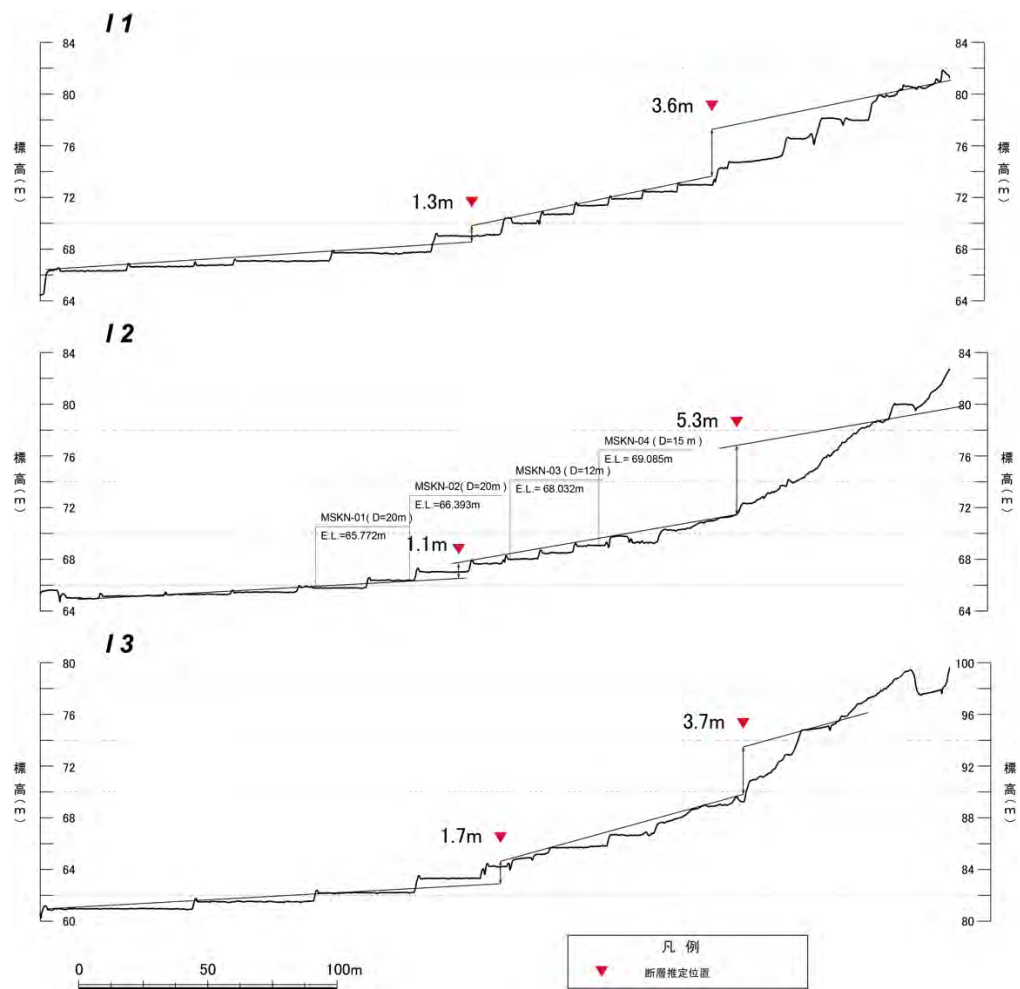


図5 ドローンLiDARによる0.1mDEMに基づく地形断面図
11、12、13測線の位置は、図4を参照。



図6 金沢乗上地区における東側隆起の撓曲崖
写真は東へ向かって撮影。

美郷町金沢乗上地点ボーリングコア MSKN-01 孔 0.00 ～ 15.00m

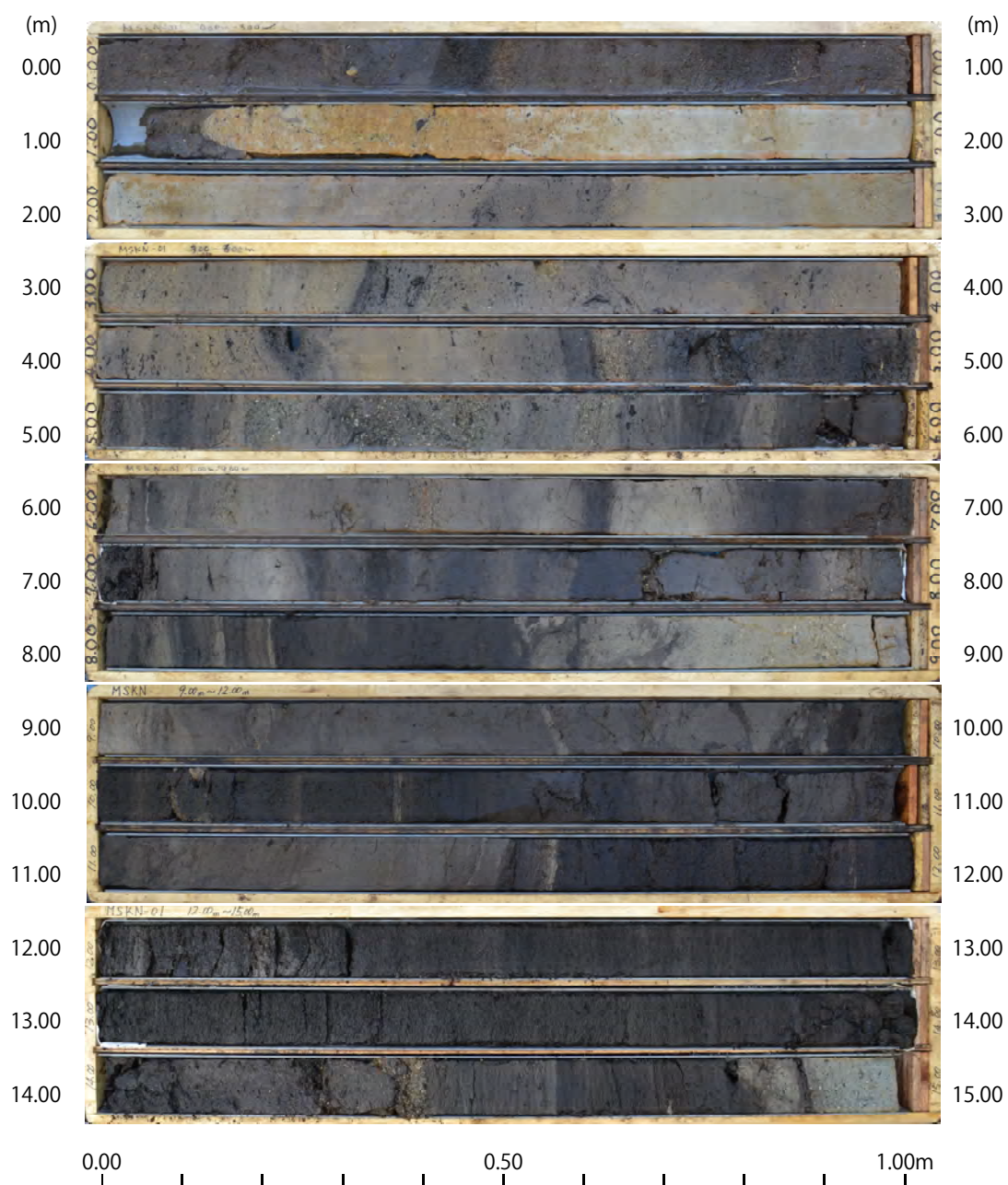


図7 金沢乗上地区におけるボーリングコアの写真

美郷町金沢乗上地点ボーリングコア MSKN-01 孔 15.00 ～ 20.00m

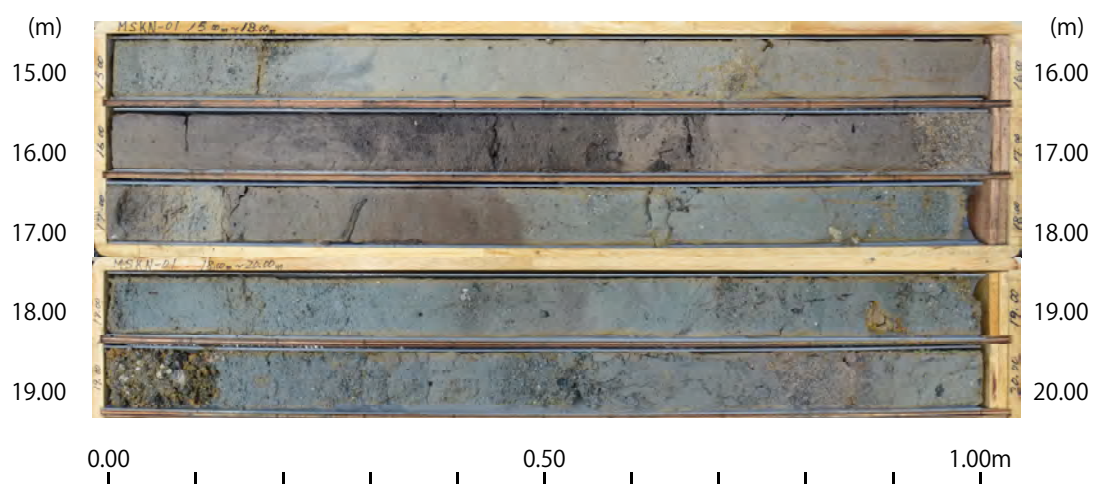


図7 金沢乗上地区におけるボーリングコアの写真（続き）

美郷町金沢乗上地点ボーリングコア MSKN-02 孔 0.00 ～ 15.00m

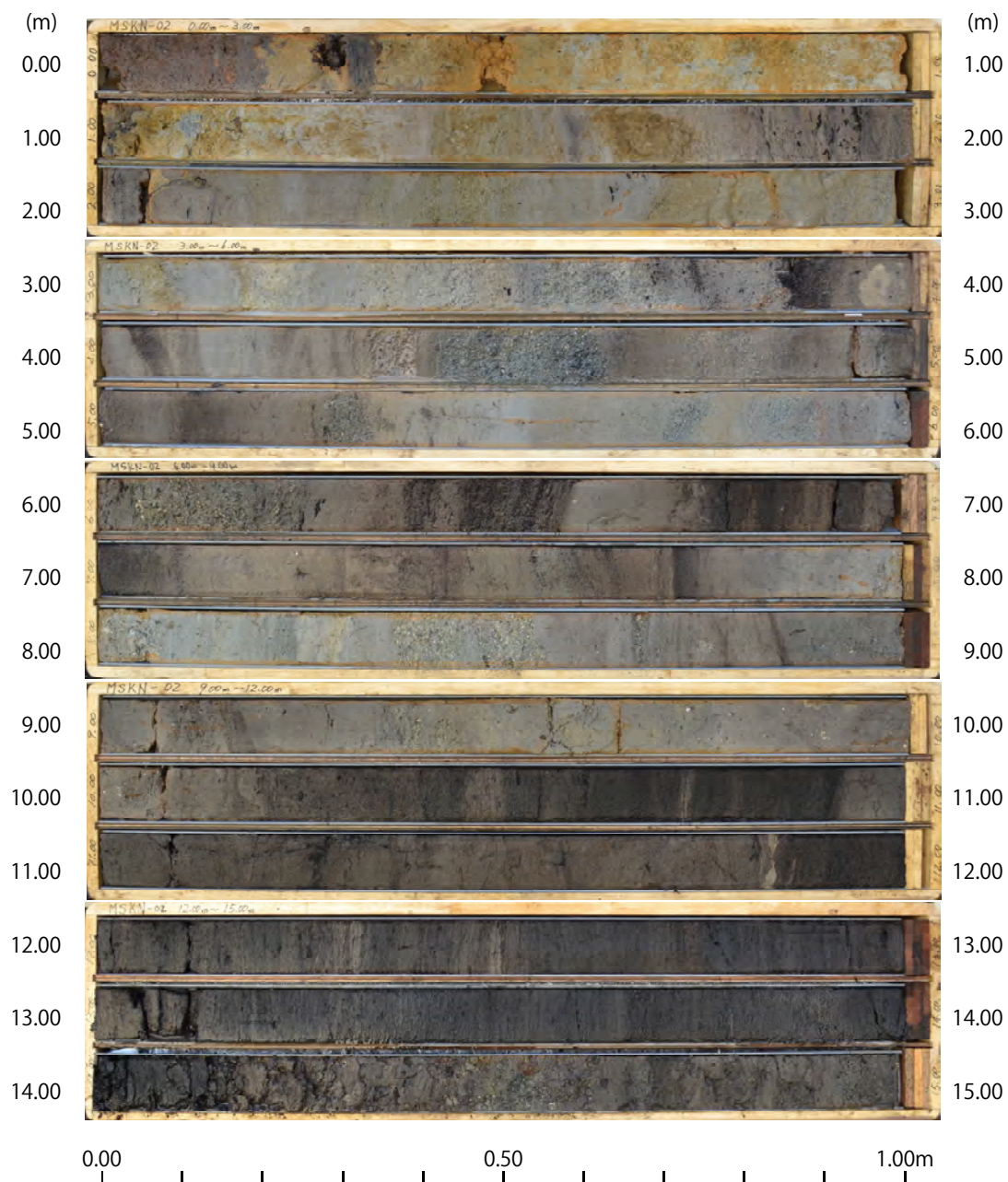


図7 金沢乗上地区におけるボーリングコアの写真（続き）

美郷町金沢乗上地点ボーリングコア MSKN-02 孔 15.00 ～ 20.00m

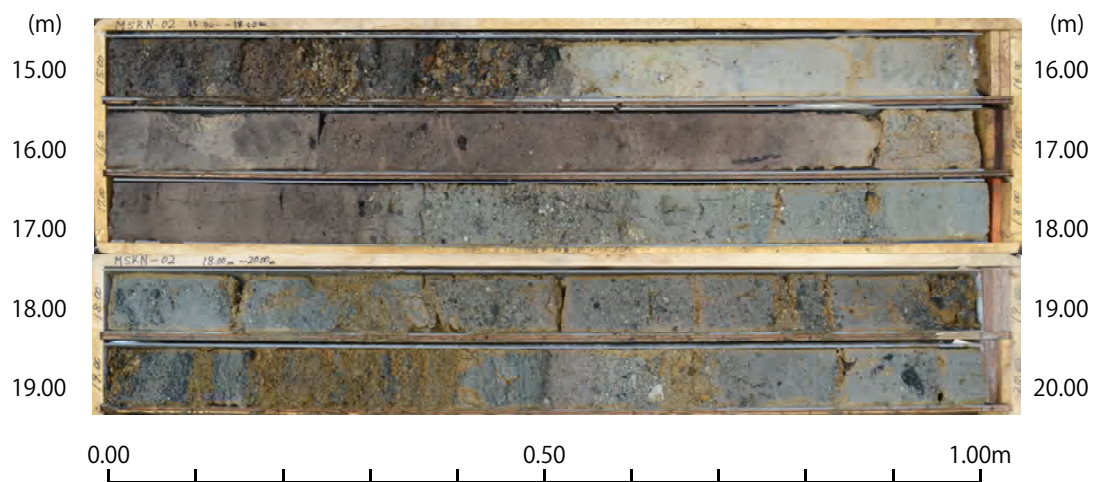


図7 金沢乗上地区におけるボーリングコアの写真（続き）

美郷町金沢乗上地点ボーリングコア MSKN-03 孔 0.00 ～ 12.00m

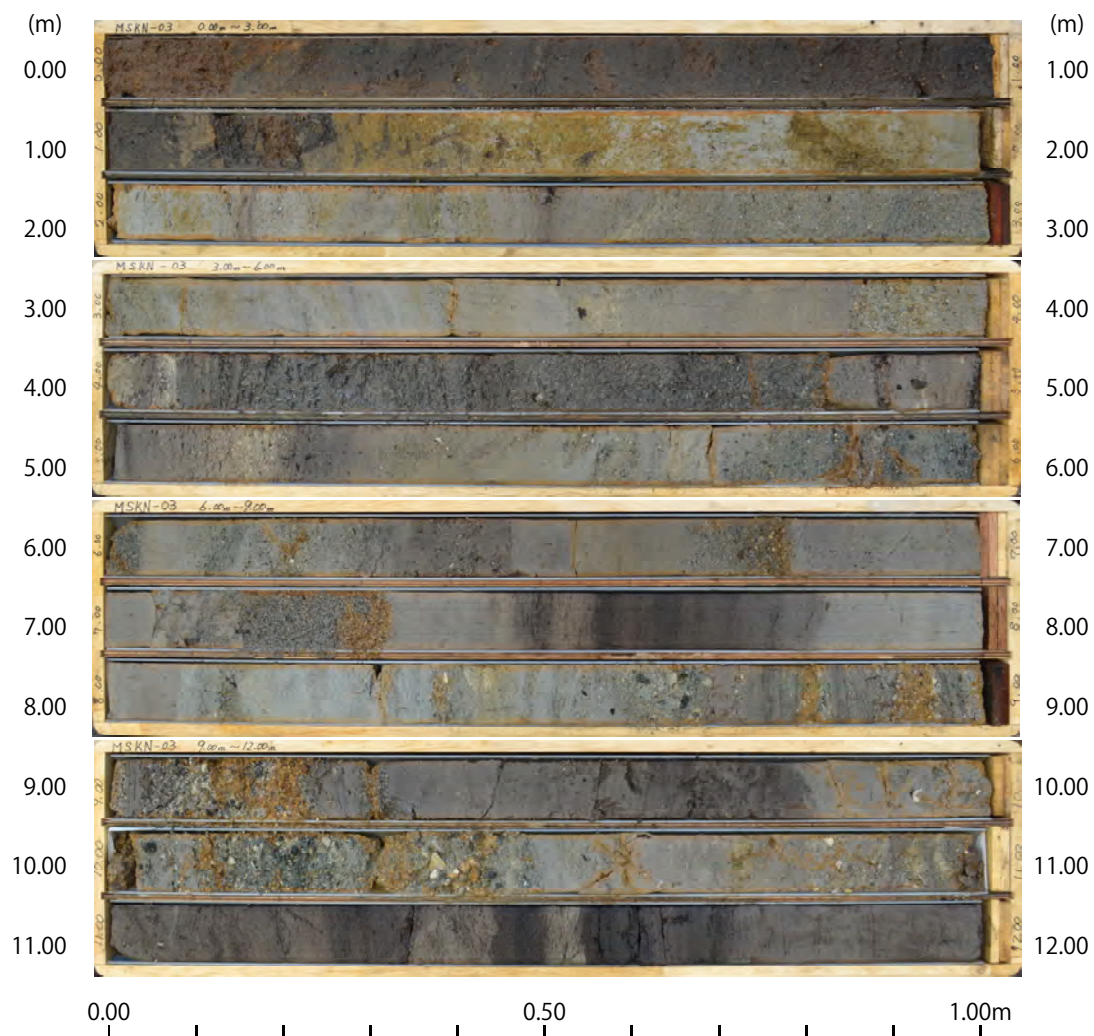


図7 金沢乗上地区におけるボーリングコアの写真（続き）

美郷町金沢乗上地点ボーリングコア MSKN-04 孔 0.00 ～ 15.00m

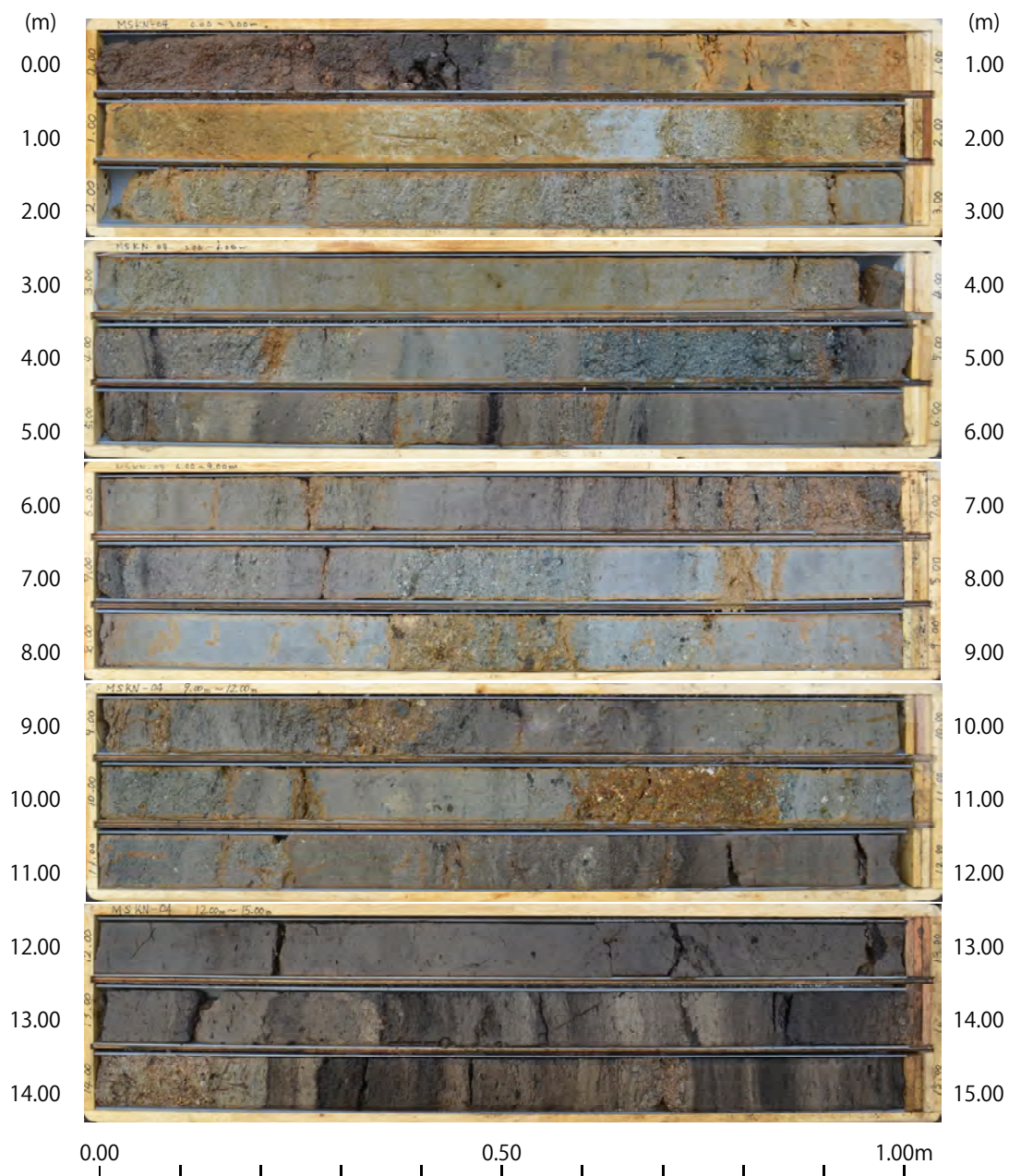


図7 金沢乗上地区におけるボーリングコアの写真（続き）

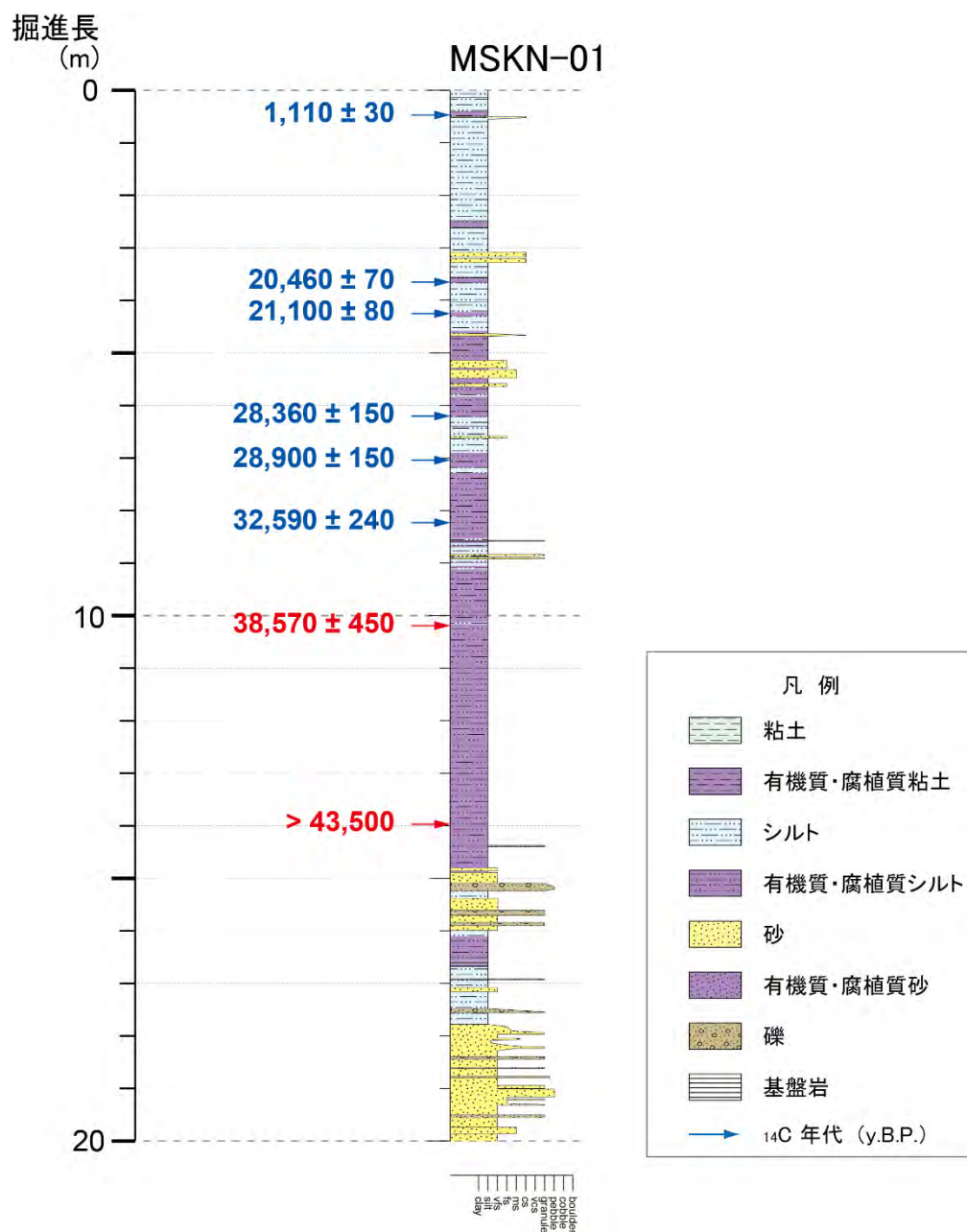


図8 金沢乗上地区におけるボーリングコアのスケッチ

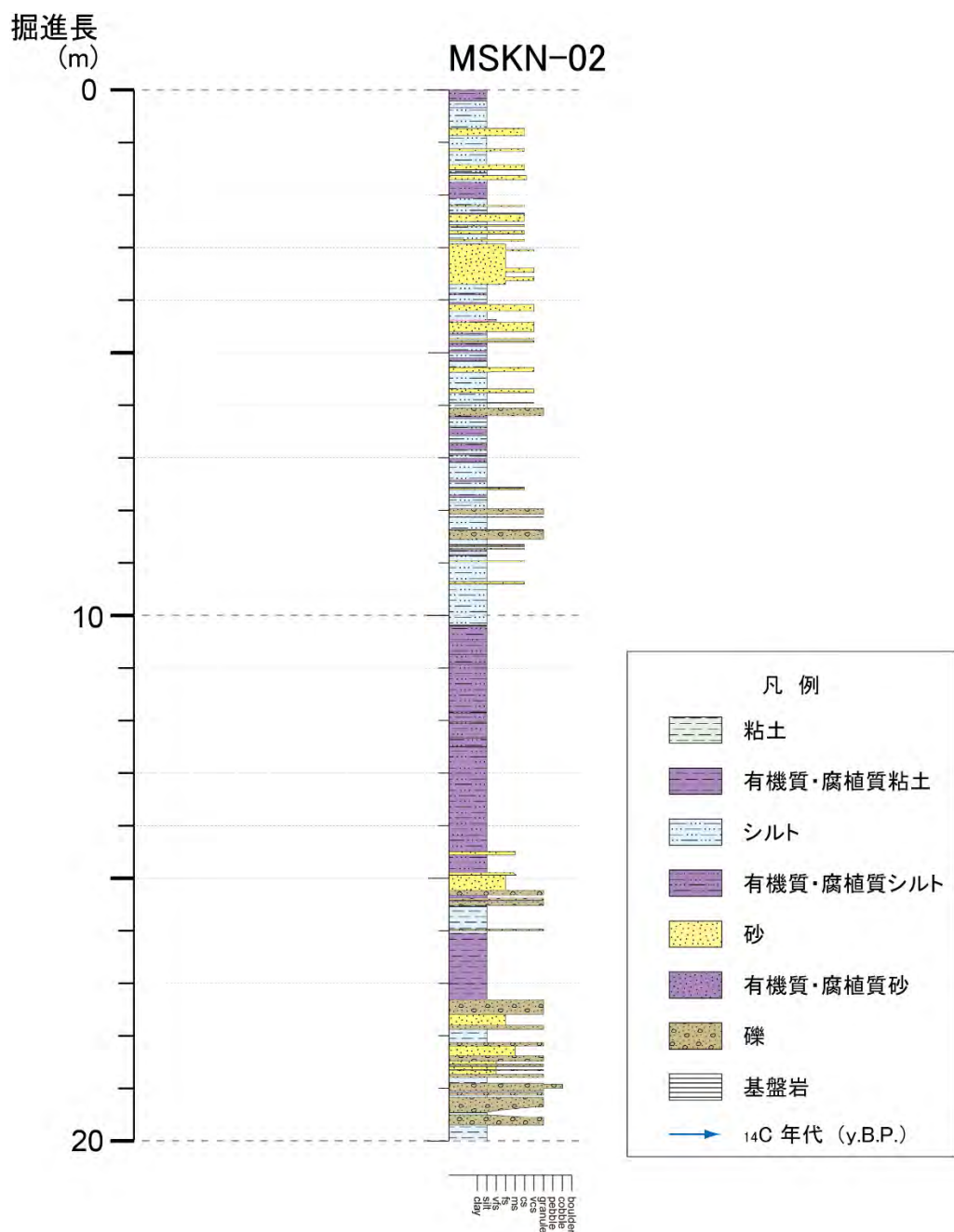


図8 金沢乗上地区におけるボーリングコアのスケッチ (続き)

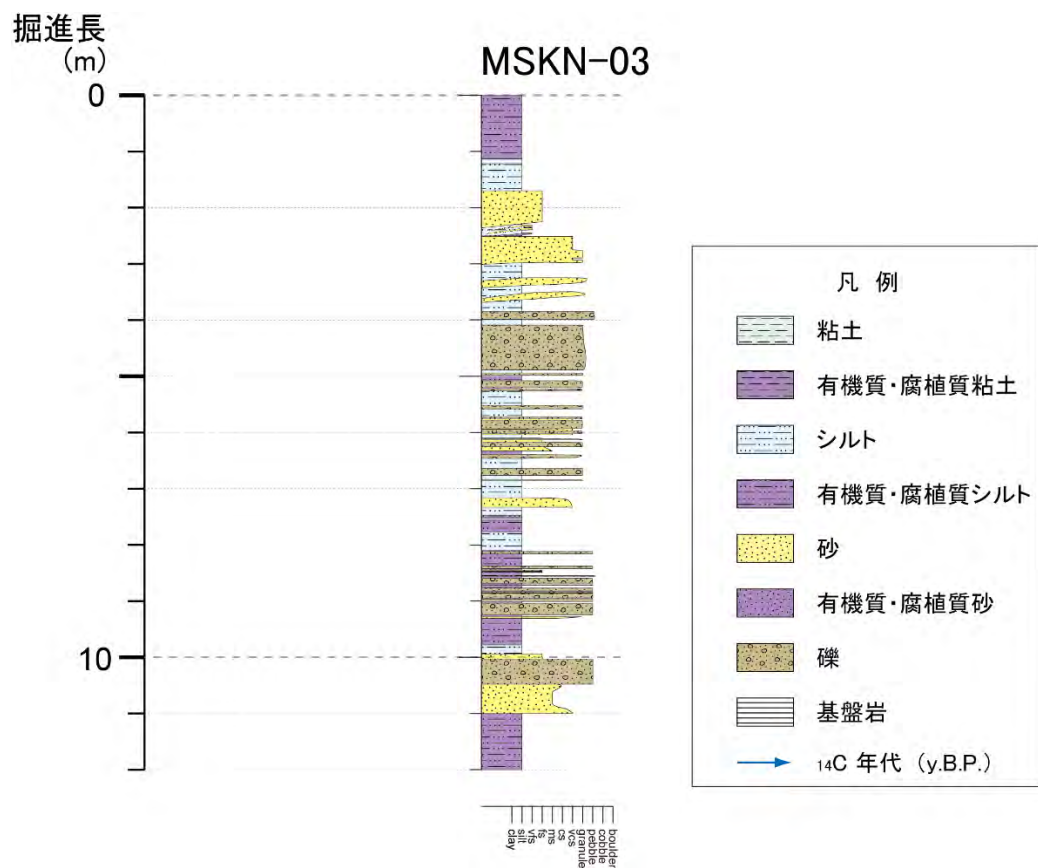


図8 金沢乗上地区におけるボーリングコアのスケッチ (続き)

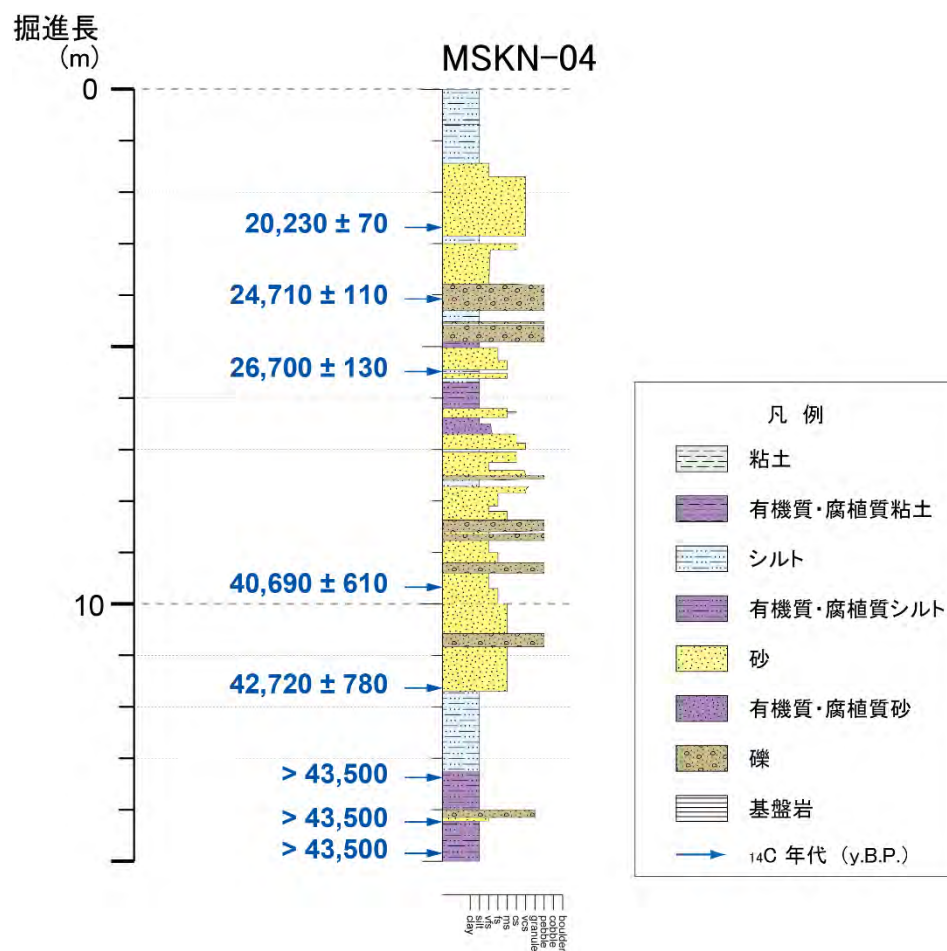


図8 金沢乗上地区におけるボーリングコアのスケッチ (続き)

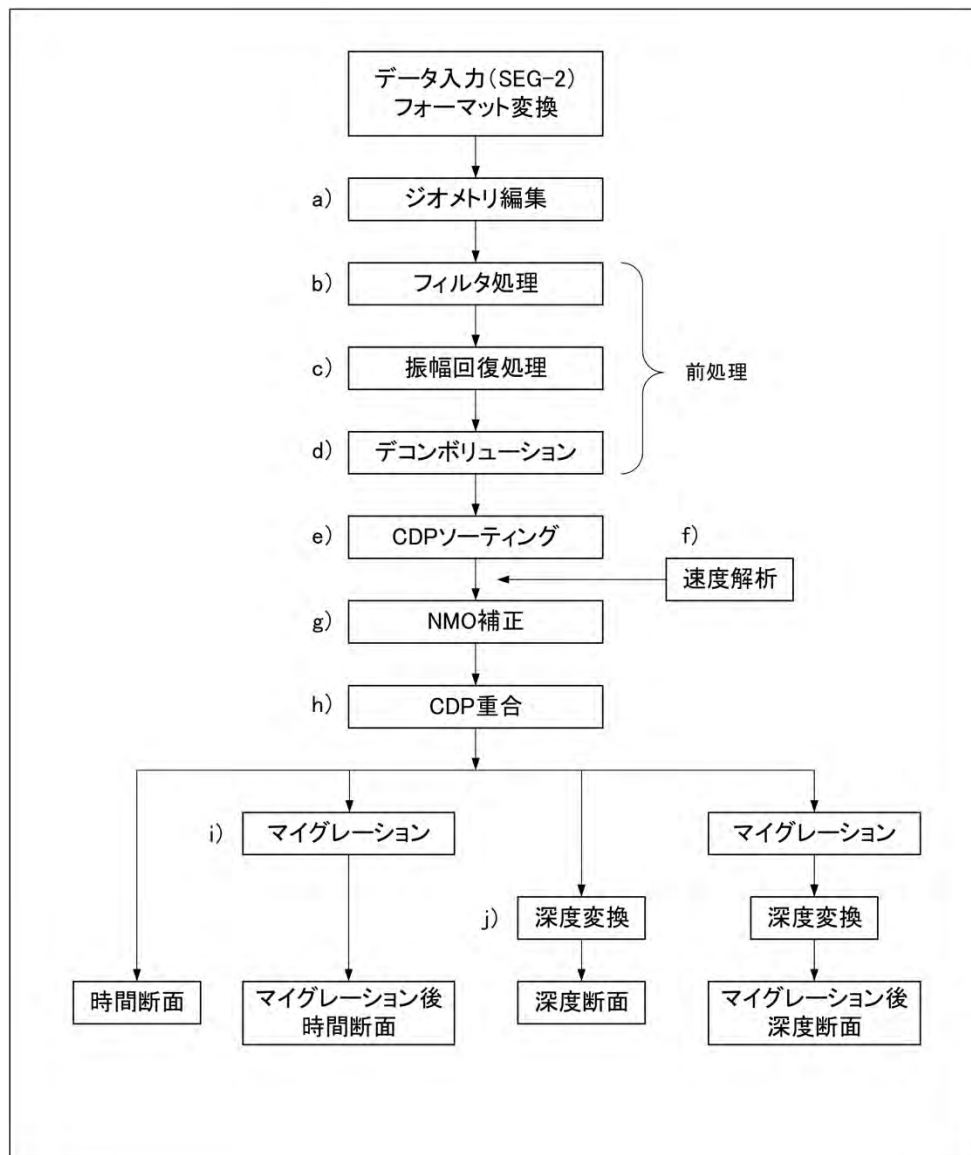
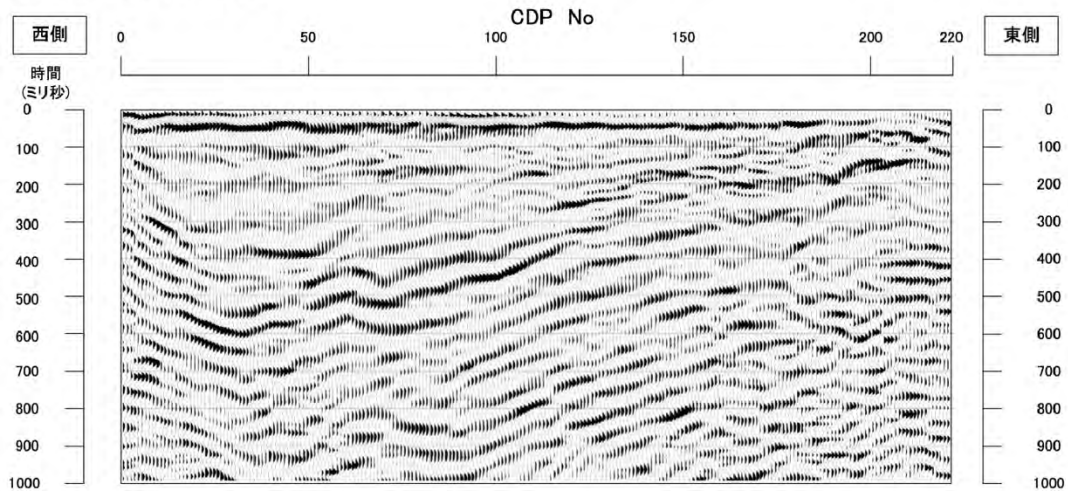
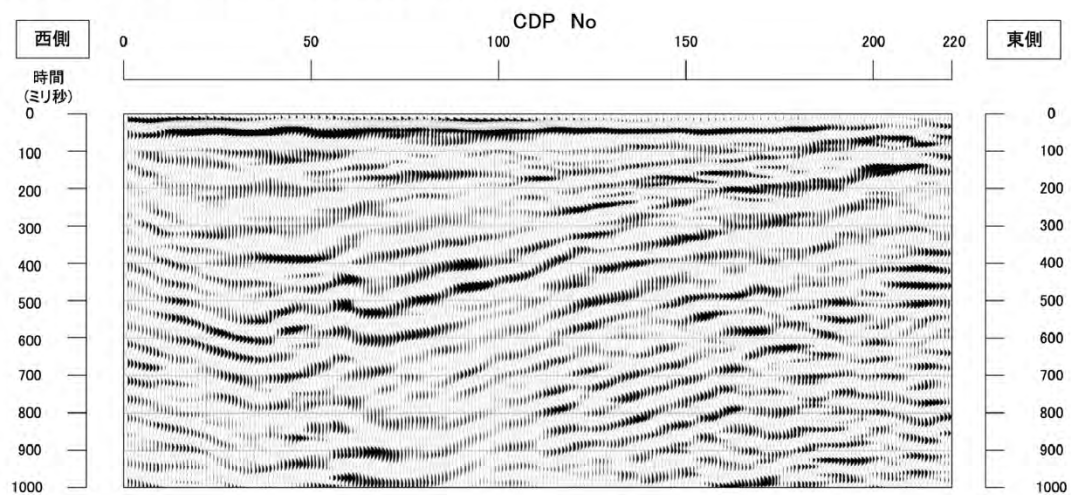


図9 反射法地震探査の解析処理フローチャート

(a) 重合後時間断面



(b) マイグレーション処理後時間断面



(c) マイグレーション処理後深度断面

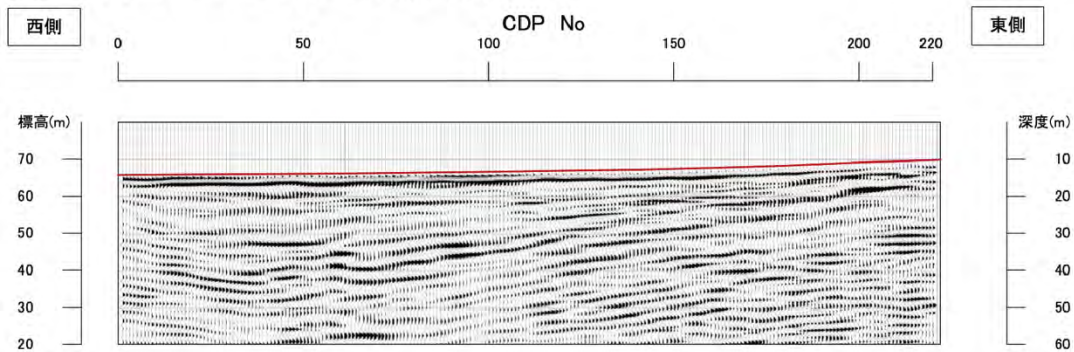
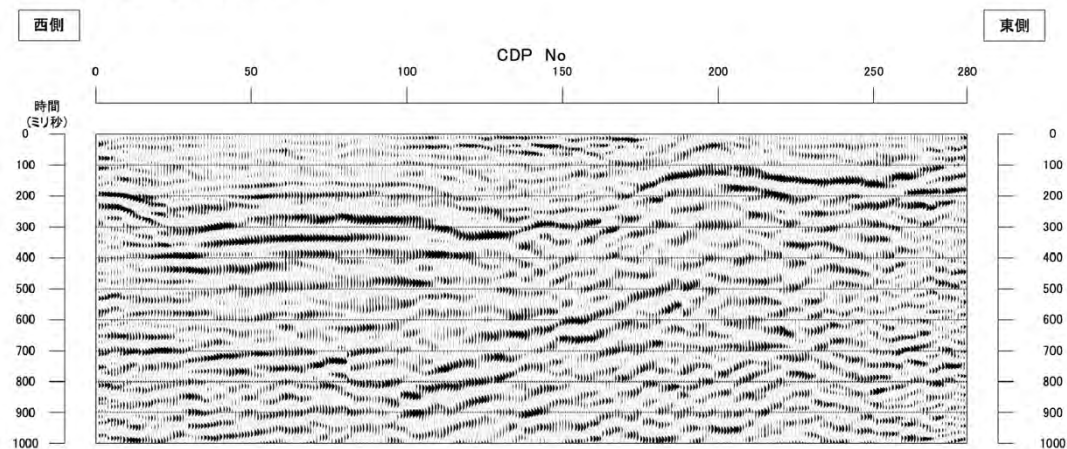
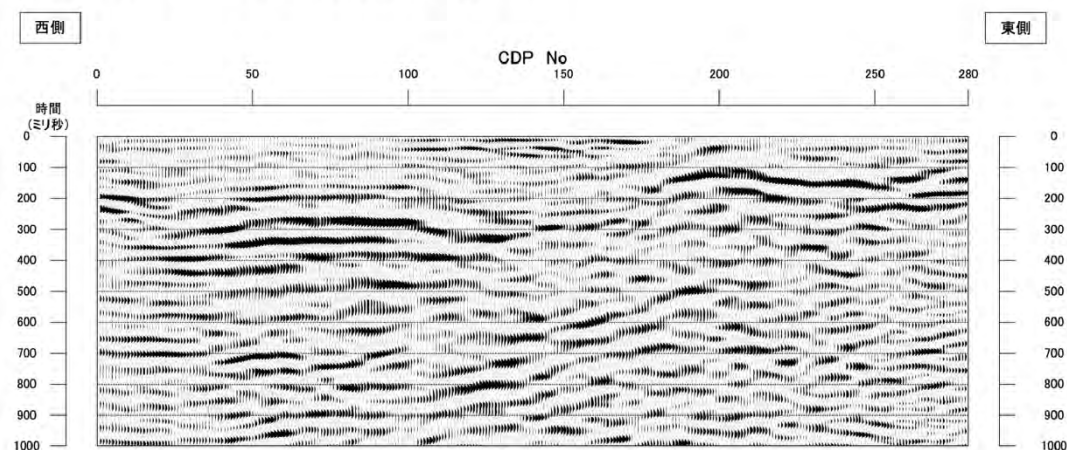


図 10 金沢乗上測線における S 波反射法地震探査の結果

(a) 重合後時間断面



(b) マイグレーション処理後時間断面



(c) マイグレーション処理後深度断面

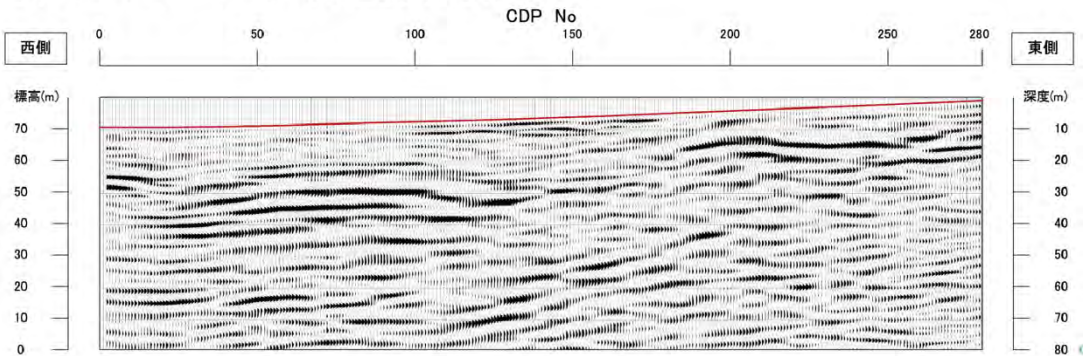


図 11 吉ヶ沢川測線における S 波反射法地震探査の結果

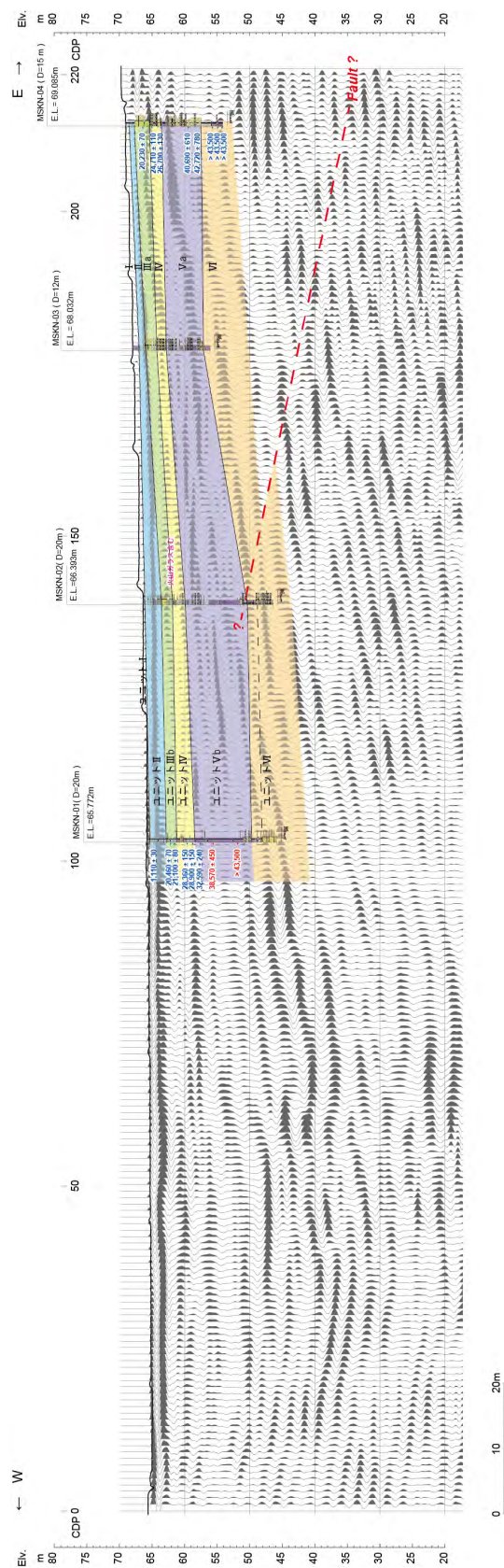


図 12 金沢乗上地区における統合地形地質断面図



図 13 横手市平鹿地区におけるボーリング・反射法地震探査測線の位置

横手市平鹿地点ボーリングコア YKHS-01 孔 0.00 ～ 15.00m

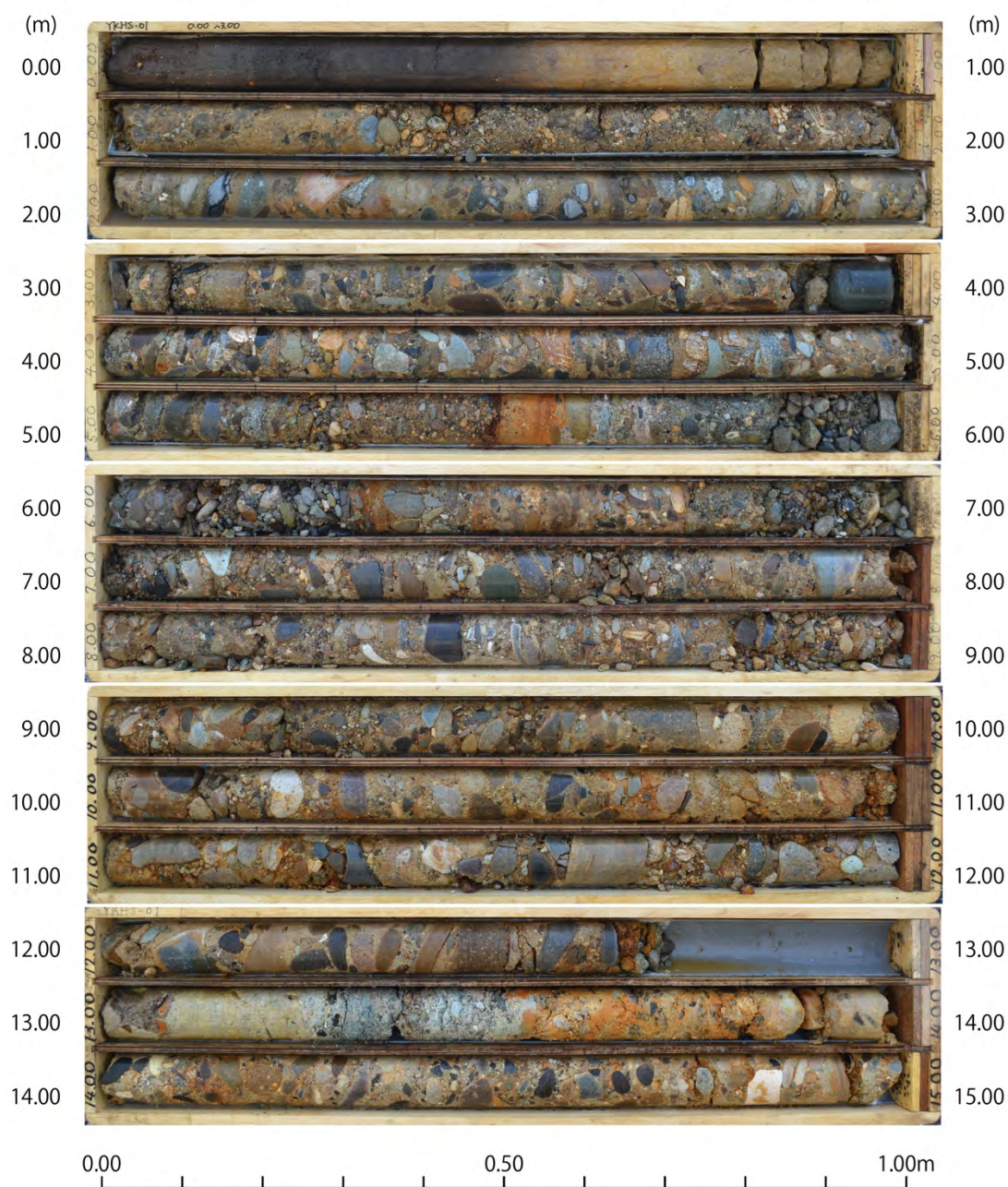


図 14 横手市平鹿地区におけるボーリングコアの写真 (YKHS-01 孔)

横手市平鹿地点ボーリングコア YKHS-01 孔 15.00 ～ 30.00m

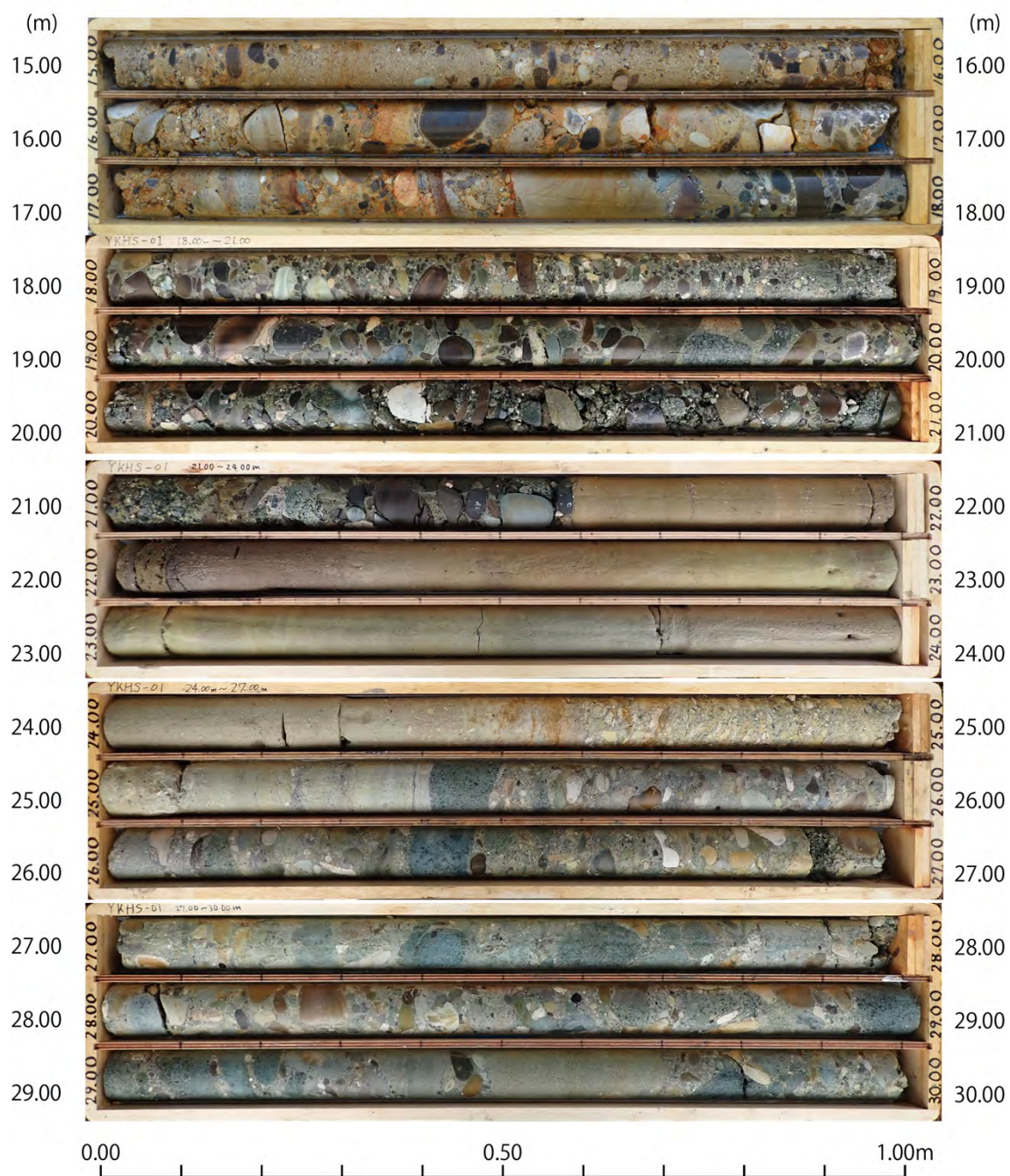


図 14 横手市平鹿地区におけるボーリングコアの写真 (YKHS-01 孔) (続き)

横手市平鹿地点ボーリングコア YKHS-02 孔 0.00 ～ 9.00m

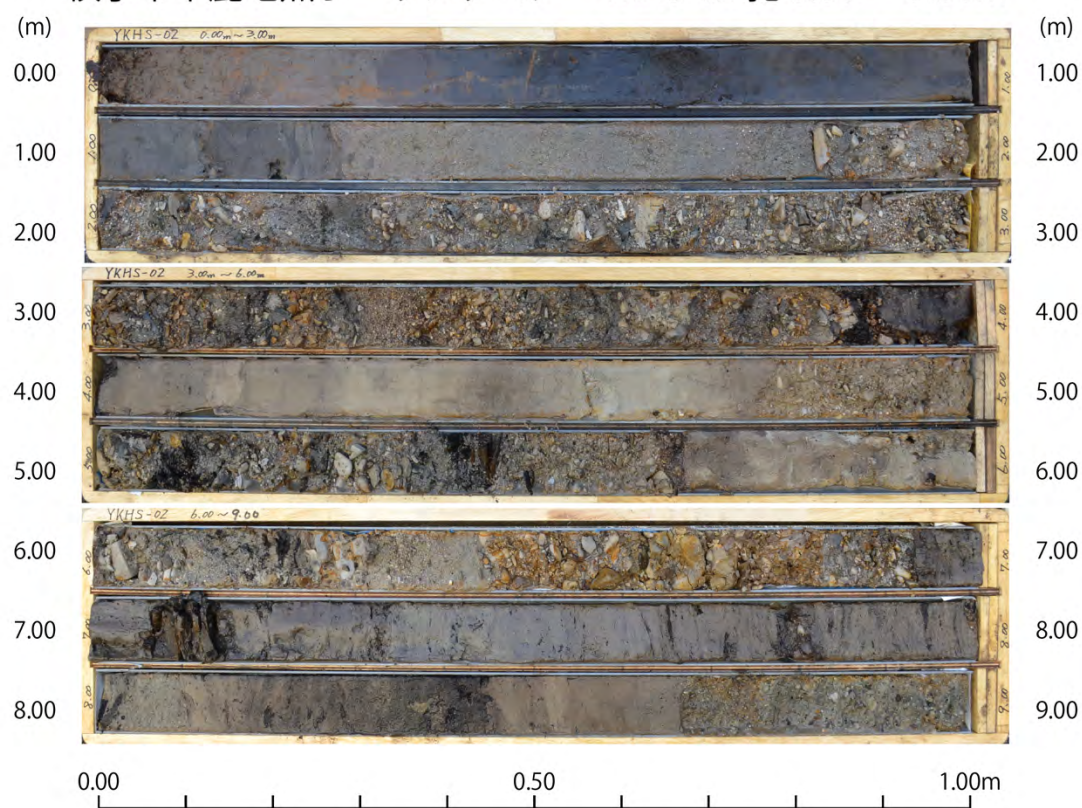


図 15 横手市平鹿地区におけるボーリングコアの写真 (YKHS-02 孔)

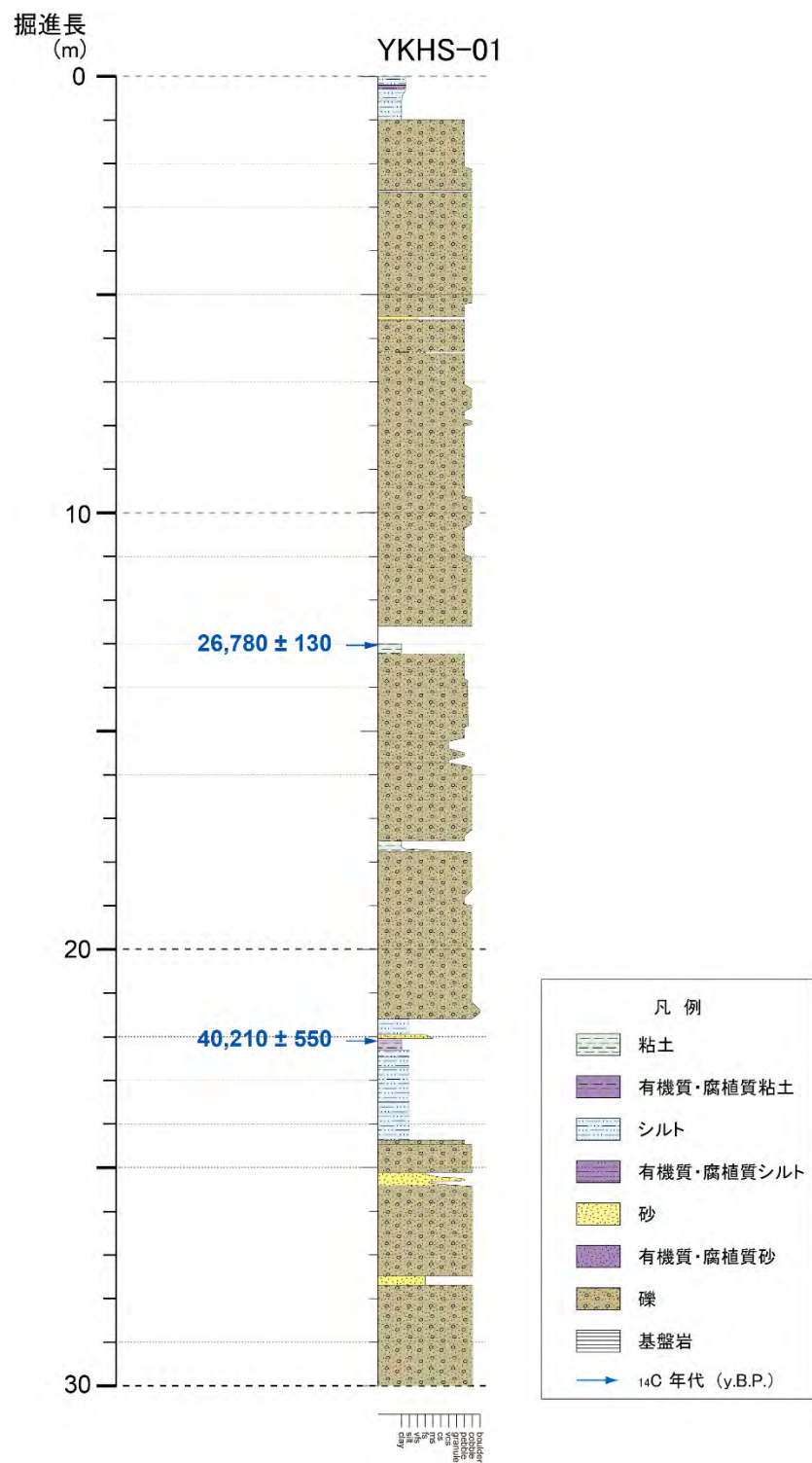


図 16 横手市平鹿地区におけるボーリングコアの柱状図

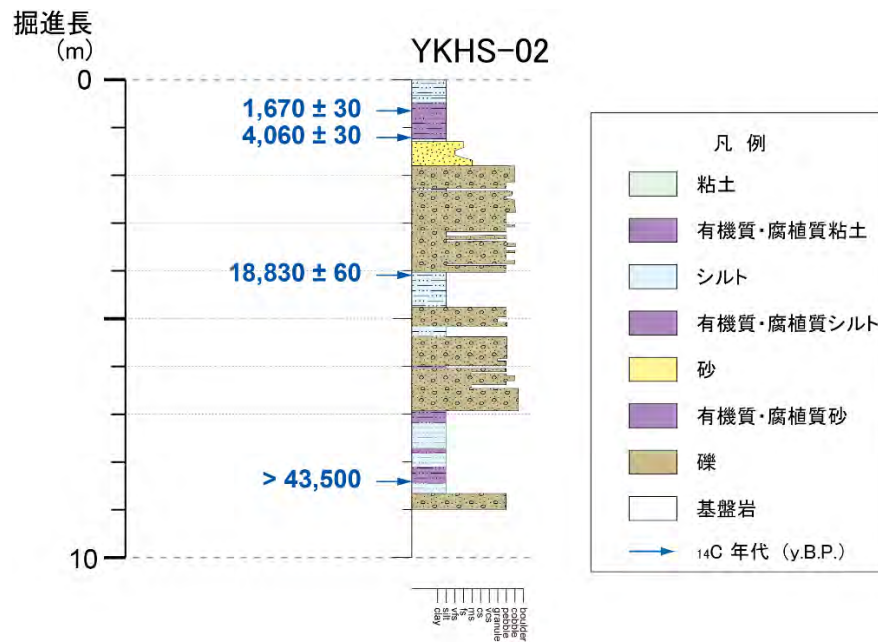


図 17 横手市平鹿地区におけるボーリングコアの写真

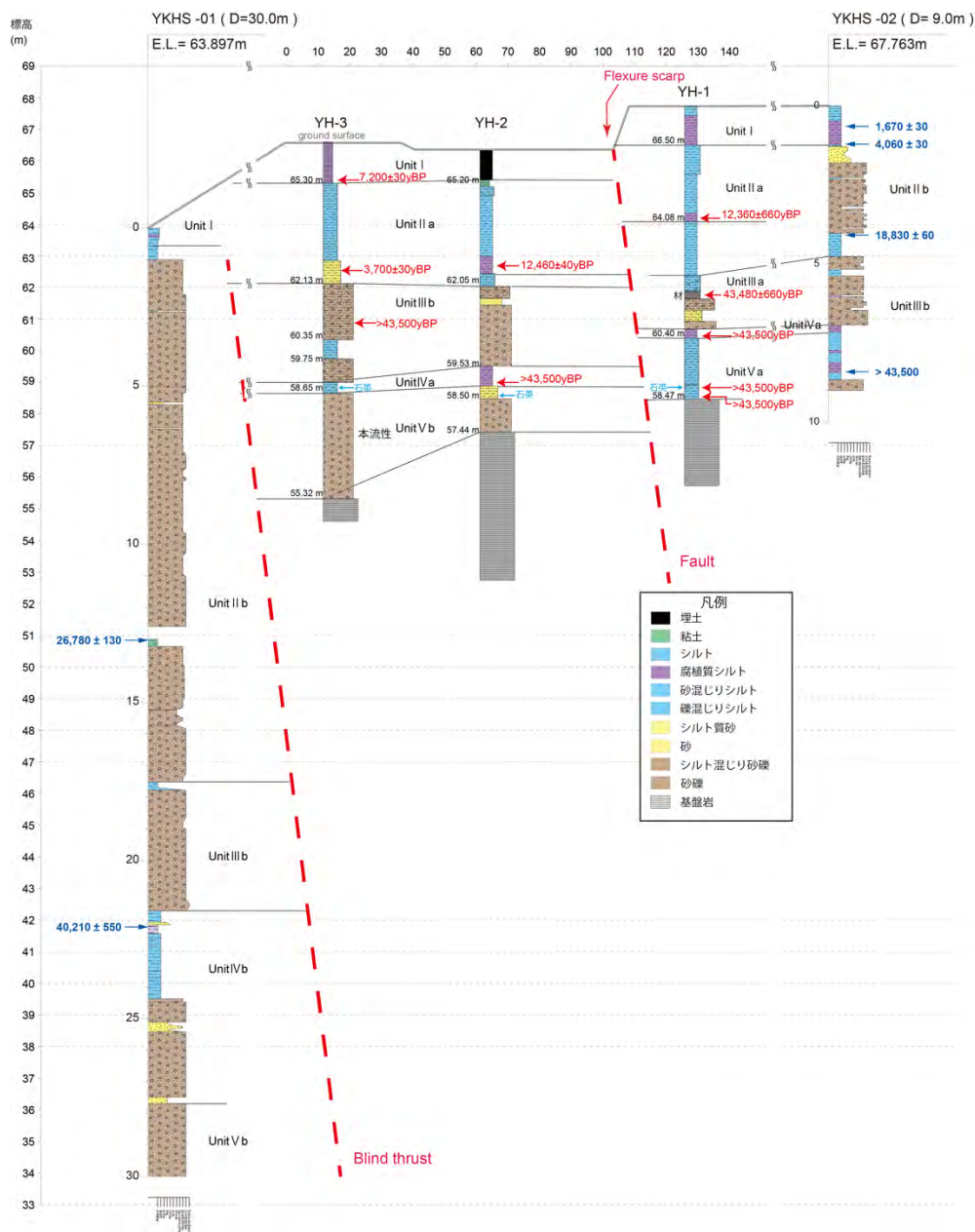
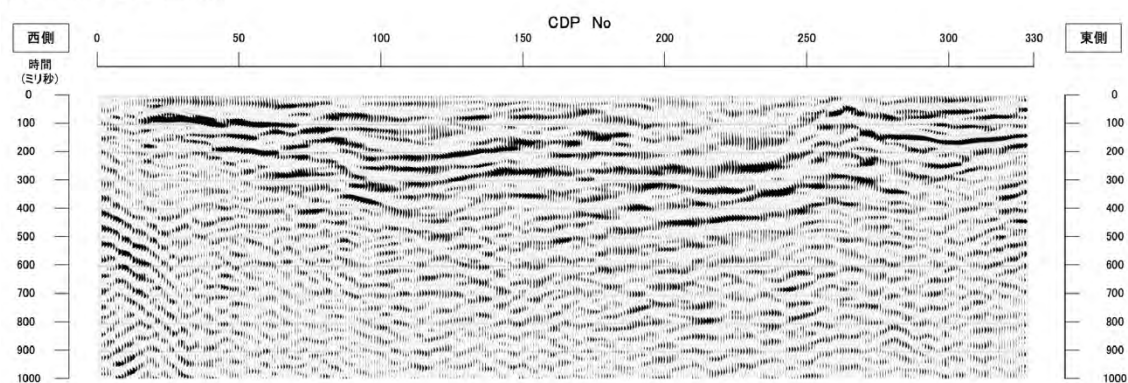


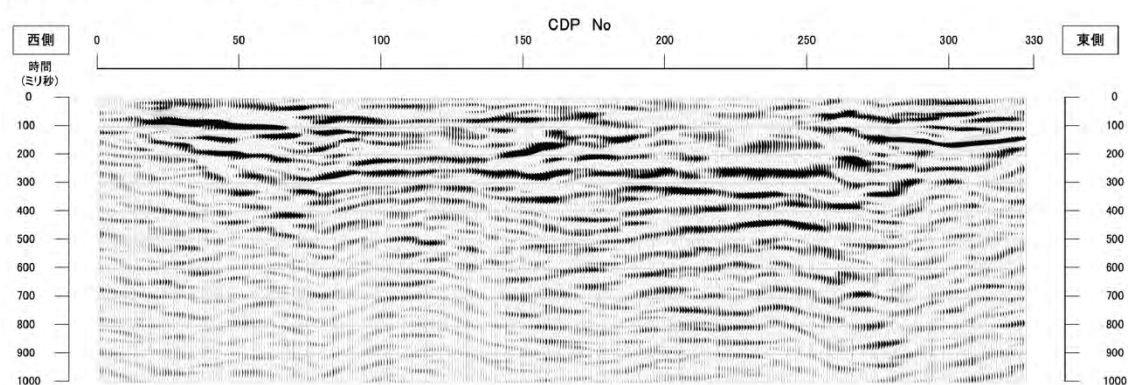
図 18 横手市平鹿地区における地質断面図

YKHS-01 孔および YKHS-02 孔は本事業、YH-1～3 孔は過年度事業（近藤・Arora, 2022）によるボーリング。

(a) 重合後時間断面



(b) マイグレーション処理後時間断面



(c) マイグレーション処理後深度断面

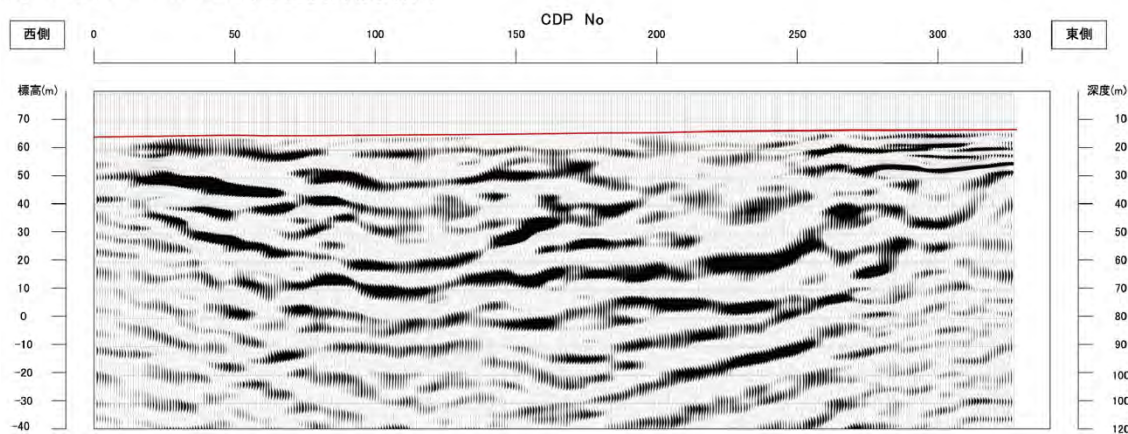


図 19 横手市平鹿地区における S 波反射法地震探査の結果
測線位置は図 13 に示す。

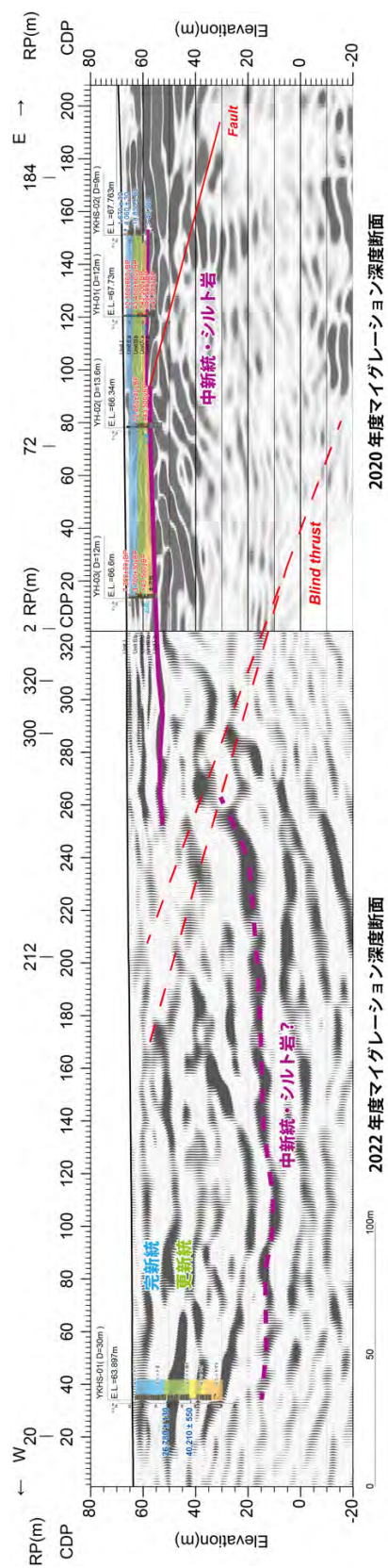


図 20 横手市平鹿地区における統合地形地質断面図

(d) 令和5年度の業務の成果

1) 横手盆地東縁断層帯（南部）の概要

横手盆地東縁断層帯は、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って横手市を経て、雄勝(おがち)郡稲川(いなかわ)町（現・湯沢市）付近までの約 56km に延びる活断層帯である（図 21～22）。横手盆地東縁断層帯では、これまで多数の調査が実施されてきており、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）。横手盆地東縁断層帯では、北部、南部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。

本断層帯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帯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 2.5～3.0m 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、1 m/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、南部区間は、約 5000～6000 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。断層帯の北部では、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されてきたものの、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はない。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。

過年度事業の「活断層評価の高度化・効率化のための調査」において、横手盆地東縁断層帯（南部）を対象として、ドローン LiDAR 等の新たな手法とトレンチ、ボーリング、反射法地震探査等の従来手法を組み合わせ、複数の地点で平均変位速度等を推定した（Arora et al., 2021；近藤・Arora, 2022）。その結果、南部区間の平均活動間隔について、盆地内の前縁断層上に相当する鳥海山断層上の湯沢前森地区において 2900～3500 年、山地／盆地境界断層上に相当する金沢断層上の吉沢川・睦成地区において 1600～1900 年と推定された。しかし、これらの平均活動間隔は北部で推定されている 3400 年程度と比較して、やや短い間隔となっている（近藤・Arora, 2022）。そのため、長期評価で実際に採択され地震発生確率の評価等に資するためには、調査手法やデータ、平均活動間隔の算出方法について信頼性や妥当性を検証する必要がある。

そこで、本事業による調査では、主にトレンチ調査やボーリング・反射法地震探査等の直

接的な手法によって、平均変位速度や平均活動間隔、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を行った。令和5年度は、北部と南部の境界付近に位置する仙北郡美郷町上四天地地区において、ドローンLiDARとトレンチ調査を実施した。

2) 仙北郡美郷町上四天地地区における調査

美郷町六郷東根上四天地地区（以下、上四天地地区）は、金沢断層の北端付近に位置し、1896年陸羽地震で活動した北部区間と南部区間の境界付近にあたる（図22）。松田・他（1980）は、陸羽地震に伴う地表地震断層の分布を詳細に明らかにし、地震断層の南端を美郷町六郷東根蛇沢付近とした。蛇沢の北方約1kmの丸子川周辺では、地震時上下変位は2m程度であったとされている（松田・他，1980）。今回調査を実施した上四天地地区は、蛇沢集落の南へ約1kmに位置する。一方、現行の長期評価では、さらに南方の横手市金沢本町に至る区間においても、山崎（1896）による微小な地変の報告があることから、金沢断層の北端付近でも地表地震断層が出現した可能性を指摘している。また、近藤・Arora（2022）は、さらに南方の横手市陸成（むつなり）地区におけるトレンチ調査において、西暦1700年以降の古地震イベントを検出した。このイベントに伴う水平短縮量は20cm程度と微小なため、陸羽地震に伴う受動的な変位である可能性を指摘した。いずれの指摘についても、松田・他（1980）による地震断層の南端である美郷町六郷東根蛇沢より南では、陸羽地震に伴って生じた地表変位は数十cm程度以下の微小なものである。よって、蛇沢以南では、メートルオーダーに及ぶ固有規模の変位は生じなかったものと判断した。そのため、南部区間の活動履歴や平均変位速度を明らかにする調査地として、令和4年度の高沢乗上地区に続き、金沢断層の北端を主な調査地として選定した（図22）。

a) ドローンLiDAR等による地形調査

上四天地地区周辺では、大局的には真昼山地と横手盆地の境界付近を延びる断層が推定されている（図22；澤・他，2013）。さらに詳細には、谷を湾曲して延びる東側の断層、および盆地内の前縁（西側）へ張り出す断層の2条が推定された。本調査では、両者でトレンチ調査を実施し、地層の撓曲変形や年代を調べるとともに、ドローンLiDARによる0.1mDEMの作成と地形解析を実施した。ドローンLiDARによる地形陰影図を図23に示す。

山地と盆地の境界付近には、西側が相対的に低下する低断層崖が認められ、上四天地集落がある谷中へ、東へ向かって湾曲する断層トレースが推定された（図23）。また、西側の盆地内には、谷中から西へ向かって張り出す扇状地面上に、西側低下の撓曲崖がみられる。ただし、この撓曲崖は米軍撮影の空中写真では明瞭に視認されるが、現在は圃場整備によって著しく人工改変を受け、正確な位置が不明確である。谷中に推定されたトレースを横断してAトレンチ、扇状地面上の撓曲崖付近でBトレンチを掘削し、断層や地層の撓曲変形の有無を確認した。

b) トレンチ調査

トレンチ調査は、上述の通り、2つのトレンチを掘削した。Aトレンチは、撓曲崖を横断して、長さ 48m、幅 6 m、深さ 3 m程度で掘削した。Bトレンチは、米軍撮影の空中写真でみられる撓曲崖の推定位置に、長さ 15m、幅 6 m、深さ 3 m程度で追加掘削した。トレンチ壁面には、下位から湖沼性堆積物（F層）、扇状地礫層（E層）、低下側を埋積するチャンネル堆積物（D層）、低下側を埋積するチャンネル堆積物（C層）、人工改変土層（B層およびA層）が露出した。両トレンチともに明瞭な剪断を伴う断層は認められなかったものの、AトレンチではF層に背斜状の変形が認められ、AトレンチとBトレンチを横断する地形地質断面では、C層より下位の地層に西側低下の累積的な撓曲変形が認められた。トレンチ壁面の写真を図 24～27、スケッチを図 28～31、地形地質断面を図 32、地質・層序を表 2、トレンチから採取した ^{14}C 年代測定の結果を表 3 に示す。年代値の暦年較正は、Ramsey (1995 ; 2009) を基に Reimer et al. (2020) の較正曲線を使用し、 2σ に対応する暦年代を西暦もしくは calBP で表記する。以下では各地層の層相と年代を略述する。

i) トレンチの層序と年代

A層：本層は、表土および耕作土を構成する砂礫混じりシルトからなり、褐色を呈する人工改変土層である。層厚 20～50 cmで広く分布する。巨礫をあまり含まない。

B層：本層はシルト混じり砂礫からなり、黒褐色を呈する埋め土である。Bトレンチの西側のみに層厚 80～100 cmで分布する。 ϕ 2-200 mm の亜円～亜角礫を含み、非常に淘汰が悪い。陶器の破片を含み、Bトレンチのグリッド 6 付近では、人口の水路の痕跡が見られる。B層からは 910 ± 30 y. B. P. （西暦 1040～1214 年）の年代が得られた。

C層：本層は、シルト混じり砂礫を主体とし、青灰～淡褐色を呈するチャンネル堆積物である。Bトレンチのみに層厚 40～120 cmで分布する。 ϕ 5-350 mm の亜角～角礫を主とし、非常に淘汰が悪い。礫は安山岩を主とし、扁平状の礫を多く含む。複数のチャンネル堆積物が累重して堆積しており、グリッド 1～8 付近では巨礫を含まない。C層からは 2 試料の年代測定値が得られ、それらは 3910 ± 30 y. B. P. （4240～4420 calBP）および 4150 ± 30 y. B. P. （4580～4830 calBP）である。よって、C層は約 4200～4800 年前に堆積した。

D層：本層はシルト混じり砂礫～砂からなり、青灰色を呈する扇状地性堆積物である。両トレンチに層厚 50～220 cmで広く分布する。シルト混じり砂層にレンズ状に砂礫が挟在する。Aトレンチでは大部分が酸化色を帯びる。一方、Bトレンチの東側では、礫をあまり含まずシルト～砂を主体として分布し、ローム質である。構成する礫は安山岩礫に加え、凝灰岩礫やスコリアを含む。部分的にマンガンが薄層状に濃集する。また、腐植質シルト層を複数挟み、木材片を含む。礫は風化しており、ねじり鎌で削ることが出来る程度に脆い。D層からは 6 試料の年代値が得られた。6 試料のうち 5 試料については、 8270 ± 30 y. B. P. ～ 8760 ± 30 y. B. P. と概ね整合的な年代値である。一方、AトレンチのD層上部からは 3600 ± 30 y. B. P. と著しく若い年代が得られた。これは層序や他の年代値と矛盾し、新しい根やフミン

酸などが混入したとみられる。そのため、D層の堆積年代を示す試料ではないと判断した。この場合、D層は 8270 ± 30 y. B. P. (9130~9410 calBP) から 8760 ± 30 y. B. P. (9560~9900 calBP) にかけて、約 9100~10000 年前にかけて堆積したと考えられる。

E層：本層は、主にシルト～シルト混じり砂礫からなり、青灰色を呈するチャンネル堆積物である。Bトレンチのみに層厚 20~120 cm で分布し、全体に西へ傾斜してグリッド 9~10 付近でトレンチ底面に交差する。流路の流向は壁面に直交方向（南北方向）であり、複数のチャンネル堆積物からなる。礫は $\phi 10 \sim 40$ mm 程度の円礫～亜円礫からなり、礫種は安山岩、凝灰岩、シルト岩、スコリア等である。礫は風化し、ねじり鎌で削ることが出来る程度に脆い。E層からは年代試料が得られなかった。

F層：本層は、粘土混じり砂礫～粘土からなる湖沼性堆積物である。Aトレンチの広範とBトレンチの東端のみに層厚 60~80 cm で分布する。青白色～白色の粘土を主体とし、レンズ状の砂礫を挟んで互層状となる。礫は $\phi 10 \sim 30$ mm 程度の亜円～円礫を主とする。礫種は主に凝灰岩であり、風化してねじり鎌で削ることが出来る程度に脆い。F層からは、Aトレンチから 2 試料、Bトレンチから 2 試料の年代値が得られた。これらのうち、Bトレンチの 1 試料のみ層序と矛盾する 13520 ± 50 y. B. P. の古い年代値がみられ、古い試料の再堆積と判断される。他の 3 試料は、 $9570 \pm 30 \sim 10120 \pm 40$ y. B. P. と調和的な年代値が得られている。よって、F層は、 9570 ± 30 y. B. P. (10700~11100 calBP) から 10120 ± 40 y. B. P. (11500~11900 calBP) にかけて、約 10700~11900 年前にかけて堆積したと考えられる。

以上から、調査地は完新世の約 1 万年前以降に湖沼の環境であり、その後、複数の扇状地が約 9100~10000 年前、約 4200~4800 年前の異なる時代に発達したことが明らかとなった。

ii) イベント層準の認定と発生年代

地形地質断面図では、調査地に生じた西側低下の累積的な撓曲変形が認められ、Bトレンチでは低下側を埋積する地層も確認できた。撓曲変形の変形帯の幅は、Aトレンチの西端付近からBトレンチの中央付近に至る約 60m と幅広い。これらの地層の変形と低下側をアバットする地質構造を基に、最近 2 回のイベントが識別される。以下では、それらの根拠と層準について記載する。

イベント 1：イベント 1 は、D層・扇状地礫層が堆積後、C層・チャンネル堆積物の堆積前に生じた。D層は調査地周辺に広範に分布し、隆起側の地形面を構成する地層である。AトレンチとBいずれの壁面にも露出する。一方、C層はBトレンチのみで確認され、緩やかに東へ向かって傾斜して下位のD層にアバットする。東延長はBトレンチの範囲外であるものの、Aトレンチには露出せず、傾斜を東へ延長しても撓曲崖の基部までに到達しない。よって、C層は、Bトレンチの東延長で撓曲崖の基部に至る間でせん滅するとみられる。アバットする構造は、南壁面のD層内部構造が西側低下の撓曲変形を受けているのに対し、C層の内部に共在する腐植質シルト層が標高 80.22m 付近で概ね水平に堆積することから判断できる。変形帯の幅を考慮して、地形地質断面上で計測できるD層の上下変位は、西傾斜

の堆積構造を加味して、西側低下 3.2m である。以上から、イベント 1 は、D 層・扇状地礫層の堆積後、C 層・チャンネル堆積物の堆積前に、地震時上下変位 3.2m を伴って生じた。

イベント 1 の発生年代は、C 層と D 層の堆積年代から限定される。D 層の堆積年代を示す試料のうち、最も新しい年代は 8270 ± 30 y. B. P. (9130~9410 calBP) である。また、C 層の最も古い年代は、 4150 ± 30 y. B. P. (4580~4830 calBP) である。よって、イベント 1 の発生年代は、4580~9410 calBP の間となり、約 4600~9400 年前に生じたと推定される。

松田・他 (1980) がまとめた 1986 年陸羽地震の地表変位は、調査地である上四天地地区では知られていない。イベント 1 に伴う上下変位は、幅広い撓曲変形とはいえ、上下変位 3.2m と十分に視認できる大きさである。松田・他 (1980) は、地表地震断層の出現位置や変位量を地元住民への丹念な聞き取りと地表踏査によるものであり、3m の顕著な地震時変位が見過ごされたとは考えにくい。また、イベント 1 の発生年代は、陸羽地震よりも古い時期に限定された。よって、本調査によるイベント 1 は、陸羽地震に伴う上下変位ではなく、それ以前に生じたイベントと判断できる。

イベント 2：イベント 2 は、F 層・湖沼性堆積物の堆積後、E 層・扇状地礫層の堆積前に生じた。F 層は両トレンチでみられ、一部が上位の D 層に浸食される。B トレンチでは、壁面の南端付近に露出し、上位よりも急斜する。上位の E 層との境界の傾斜は 20° W 程度であり、湖沼性堆積物の初生的な傾斜がほぼ水平であるのに対し、強い変形を受けたことを示す。B トレンチ内の F 層は白色の粘土を主体とし、腐植質な部分が示す内部構造は不明瞭ながら 20° W 程度と F 層上面と概ね平行である。B トレンチでは、F 層の上位を E 層・チャンネル堆積物がアバットして堆積する。E 層も既述の C 層と同様に、B トレンチ内で西へ傾斜して堆積するとともに、東へ向かって層厚が減じる。A トレンチ内では、E 層に対比される地層は露出せず、下位の F 層を直接不整合に D 層が覆っている。よって、E 層は撓曲崖付近でせん滅し、下位の F 層にアバットするものと判断できる。F 層の上面は B トレンチのトレンチ底付近では概ね水平になり、変形帯を離れた F 層の累積上下変位は西側低下 5.5m である。よって、この累積変位量と上述のイベント 1 に伴う上下変位量を差し引きして、イベント 1 に伴う地震時上下変位は 2.3m である。以上から、イベント 2 は F 層堆積後、E 層堆積前に地震時上下変位 2.3m を伴って生じた。

イベント 2 の発生年代は、F 層と D 層の堆積年代から限定される。F 層の最も新しい年代値として 9570 ± 30 y. B. P. (10700~11100 calBP) が得られた。上位の E 層からは堆積年代を示す年代試料は得られていない。さらに上位の D 層の最も古い年代として、 8760 ± 30 y. B. P. (9560~9900 calBP) が得られた。イベント 2 は F 層堆積後、E 層堆積前であることから、発生年代は 9560~11100 calBP に限定され、約 9600~11100 年前に生じたと推定される。

以上のイベント 1 および 2 の発生年代をもとに、上四天地地区における活動間隔を推定する。イベント 1 の年代約 4600~9400 年前とイベント 2 の年代約 9600~11100 年前から、2 回のイベントの年代を単純に差し引きした場合、200~6500 年が求まる。ただし、200 年

の発生間隔は、一般に海溝型地震やプレート境界断層並みの短さであり、内陸活断層の平均変位速度B級の活動間隔とは考えにくい。そのため、最近2回のイベントから間隔を求める方法としては妥当ではない。それぞれのイベント年代の中央値で比較した場合、イベント1は約7000年前、イベント2は約10400年となり、両者の発生間隔は約3400年となる。推定誤差は、それぞれの誤差の二乗和の平方根から2500年と求まる。この算出方法では、発生間隔は 3400 ± 2500 年程度と推定される。

3) 上四天地地区における活動間隔と周辺との比較検討

上四天地地区において最近2回の活動時期が明らかとなり、その活動間隔は活動時期の範囲中央から算出した場合、3400年程度と求められる。これは、推定幅が大きいものの、南部区間で過年度事業で推定された間隔とオーダーとしては同程度である。しかし調査地点毎に詳しくみると、南部区間の活動間隔2100～2500年（横手平鹿地区）、1600～1900年（吉沢川睦成地区）、2900～3500年（湯沢前森地区）と比較して、誤差を考慮すれば有意に長い。

また、最新の地震時変位は3.2m、1つ前のイベント2に伴う上下変位は2.3mである。両イベントの上下変位は、地震断層長に換算して20～30kmに相当する。調査地が南部区間の北端付近に位置することを考慮すれば、これらの顕著な上下変位が南部区間が活動した際の地震断層末端で生じたとは考えにくい。したがって、イベント1と2はいずれも北部区間と南部区間が連動した場合の上下変位とみることが妥当である。この解釈に基づけば、ここで求められた活動間隔は、北部区間と南部区間の連動間隔を示す可能性がある。

これらを総合して、北部区間の活動間隔は3400年程度、南部区間は場所により異なる値であるものの、1600～3500年程度、両区間の連動間隔は 3400 ± 2500 年程度と推定される。この推定に基づけば、北部区間単独と南部区間単独の活動は同程度か、もしくは南部区間がやや高頻度であり、数回に1回程度の割合で連動イベントが生じる可能性がある。

(e) 結論ならびに今後の課題

横手盆地東縁断層帯（南部）を対象として、過年度事業により間接的な手法で算出された平均活動間隔を直接的な手法によって検証するため、トレンチ・ドローンLiDAR調査を実施した。

南部区間を構成する金沢断層北端に位置する美郷町上四天地地区において、ドローンLiDARによる地形解析、トレンチ調査を実施し、西側低下の撓曲崖および地層の撓曲変形を確認した。その結果、最近2回の活動が識別され、最新活動時期は約4600～9400年前、1つ前の活動は約9600～11100年前と推定された。これらを基に、活動間隔は 3400 ± 2500 年程度と算出される。また、最新活動に伴う地震時上下変位は3.2m、1つ前のイベント2に伴う上下変位は2.3mと計測された。同地区では、1986年陸羽地震に伴い地表地震断層が出現していないため、上下変位2.3mを伴う最新活動は同地震以前の活動に伴うものと判断さ

れる。

上四天地地区で推定された活動間隔は、北部区間と南部区間それぞれで推定されてきた活動間隔と比較して長い可能性が高い。よって、上四天地地区が南部区間の北端付近に位置することも考慮すれば、最近2回の活動に伴う顕著な上下変位は、北部区間と南部区間が連動したイベントを記録している可能性が高い。この場合、北部区間と南部区間はそれぞれ同程度の頻度、もしくは南部区間がやや高頻度で大地震を生じ、連動イベントはそれらの数回に1回程度の割合で生じたものと推定される。

以上、令和5年度は、南部区間の北端付近の金沢断層・美郷町上四天地地区において、新たな活動時期、活動間隔、地震時変位量が得られた。これまでの結果を総合し、上四天地地区の活動間隔が北部区間と南部区間の連動間隔を示すと考えた場合、南部区間で推定された活動間隔は概ね妥当なものである。今後、1回の変位量や活動間隔のばらつきも考慮して、直接的な手法と平均的な手法による平均活動間隔の算出について、妥当性を検討する必要がある。

(f) 引用文献

- 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」, 73p, 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.
- Arora, S., Kondo, H., Kurosawa, H., and Koshika, K., Estimation of the slip rate along the unruptured fault segment of the M7.2 1896 Rikuu earthquake, northeast Japan. *Tectonics*, 40, e2020TC006434. <https://doi.org/10.1029/2020TC006434>, 2021.
- 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.
- 近藤久雄・Arora Shreya, 3.4 横手盆地東縁断層帯(南部区間)の調査, 「活断層評価の高度化・効率化のための調査」令和元～3年度成果報告書, 154-231, 2022.
- 松田時彦・山崎晴雄・中田高・今泉俊文, 1896年陸羽地震の地震断層, 地震研究所彙報, 55, 795-855, 1980.
- 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.
- Ramsey, C.B., Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: the OxCal program. *Radiocarbon*, 37(2), 425-430, 1995.
- Ramsey, C.B., Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1), 337-360, 2009

Reimer, P., Austin, W., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P., Ramsey, C.B., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R., Friedrich, M., Grootes, P., Guilderson, T., Hajdas, I., Heaton, T., Hogg, A., Hughen, K., Kromer, B., Manning, S., Muscheler, R., Palmer, J., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R., Richards, D., Scott, E., Southon, J., Turney, C., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A., and Talamo, S., The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62, 2020.

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.

産業技術総合研究所，活断層データベース 2020 年 1 月 7 日版．
<https://gbank.gsj.jp/activefault/>，2020.

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.

山崎直方，陸羽地震調査概報，震災予防調査会報告，11，50-74，1896.

表 2 美郷町上四天地地区における地質・層序表

記号		地質	色	層厚	分布 (壁面)	層相
A	表土	砂礫混じりシルト	褐	20～50cm	Aトレンチ (N, S) Bトレンチ (N, S)	耕作土～表土。巨礫をあまり含まない。
B	埋め土	シルト混じり砂礫	黒褐	80～100cm	Bトレンチ (N, S)	Bトレンチの西側に分布する。φ2-200 mmの亜円～亜角礫を含み、非常に淘汰が悪い。陶器の破片を含み、地点2のグリッド6付近では、入口の水路の痕跡が見られる。
C	チャネル堆積物	シルト混じり砂礫	青灰～淡褐	40～120cm	Bトレンチ (N, S)	Bトレンチに分布する。φ5-350 mmの亜角～角礫を主とし、非常に淘汰が悪い。安山岩礫を主とし、扁平状の礫を多く含む。複数のチャネル堆積物が重なって堆積しており、グリッド1～8付近では巨礫を含まない。
D	扇状地性堆積物	シルト混じり砂礫～砂	青灰	50～220cm	Aトレンチ (N, S) Bトレンチ (N, S)	Aトレンチ、Bトレンチに分布する。シルト混じり砂層に、レンズ状に砂礫を挟む。地点1では大部分が酸化色を帯びる。地点2の東側は、礫をあまり含まず、シルト～砂が分布し、ローム質である。安山岩礫に加え、凝灰岩礫やスコリアを含む。部分的にマンガンが薄層状に濃集する。また、腐植質シルト層を複数挟み、材片を含む。礫は風化しており、ねじり鎌で削ることが出来る程度に脆い。
E	チャネル堆積物	シルト～シルト混じり砂礫	青灰	20～120cm	Bトレンチ (N, S)	Bトレンチの東側に分布し、全体に西側に傾斜してグリッド9～10付近でトレンチ底面に交差する。流路が壁面に直交する（南北方向）複数のチャネル堆積物からなる。礫はφ10～40 mm程度の円礫～亜円礫からなり、礫種は安山岩、凝灰岩、シルト岩、スコリア等である。礫は風化し、ねじり鎌で削ることが出来る程度に脆い。
F	湖沼性堆積物	粘土混じり砂礫～粘土	青灰～白灰	60～80cm	Aトレンチ (N, S) Bトレンチ (N, S)	Aトレンチの下部およびBトレンチの東側に分布する。白色の粘土を主とし、レンズ状の砂礫を挟んで互層状となる。礫はφ10～30 mm程度の亜円～円礫を主とする。礫種は凝灰岩を主とし、風化してねじり鎌で削ることが出来る程度に脆い。

表3 美郷町上四天地地区における放射性炭素同位体年代測定の結果
斜体の年代は、層序と矛盾する年代値を示す。

Trench	Wall	Unit	sample	type of material	Measured Radiocarbon Age		Conventional Radiocarbon Age		cal	13C	Pretreatment
B	S-wall	B	MST-2-6	wood	920	30	910	30	95.4% probability(95.4%) 1040 – 1214 cal AD (910 – 736 cal BP)	-25.43	acid/alkali/acid
B	S-wall	C	MST-2-5	organic sediment	3860	30	3910	30	95.4% probability(95.4%) 2470 – 2295 cal BC (4419 – 4244 cal BP)	-22.21	acid washes
B	S-wall	C	MST-2-4	organic sediment	4150	30	4150	30	95.4% probability(95.4%) 2876 – 2626 cal BC (4825 – 4575 cal BP)	-24.84	acid washes
A	N-wall	D upper	MST-1-6	organic sediment	3540	30	3600	30	95.4% probability(95.1%) 2035 – 1882 cal BC (3984 – 3831 cal BP) / (0.3%) 1835 – 1831 cal BC (3784 – 3780 cal BP)	-21.41	acid washes
A	N-wall	D	MST-1-4	charred material	8290	30	8270	30	95.4% probability(74.8%) 7380 – 7179 cal BC (9329 – 9128 cal BP) / (20.6%) 7464 – 7396 cal BC (9413 – 9345 cal BP)	-25.91	acid/alkali/acid
A	N-wall	D	MST-1-3	plant material	8370	30	8360	30	95.4% probability(95.4%) 7521 – 7344 cal BC (9470 – 9293 cal BP)	-25.62	acid/alkali/acid
A	N-wall	D	MST-1-5	charred material	8380	30	8360	30	95.4% probability(95.4%) 7521 – 7344 cal BC (9470 – 9293 cal BP)	-26.31	acid/alkali/acid
B	S-wall	D	MST-2-3	organic sediment	8500	30	8510	30	95.4% probability(95.4%) 7591 – 7526 cal BC (9540 – 9475 cal BP)	-24.69	acid washes
A	N-wall	D	MST-1-1	wood	8820	30	8760	30	95.4% probability(94%) 7948 – 7653 cal BC (9897 – 9602 cal BP) (1.4%) 7622 – 7611 cal BC (9571 – 9560 cal BP)	-28.5	acid/alkali/acid
B	S-wall	F upper	MST-2-2	plant material	9610	30	9570	30	95.4% probability(95.4%) 9144 – 8792 cal BC (11093 – 10741 cal BP)	-27.33	acid/alkali/acid
B	N-wall	F upper	MST-2-1	organic sediment	13520	50	13520	50	95.4% probability(95.4%) 14559 – 14181 cal BC (18508 – 16130 cal BP) /	-25.01	acid washes
A	N-wall	F	MST-1-7	organic sediment	10010	40	9970	40	95.4% probability(74.8%) 9561 – 9309 cal BC (11510 – 11258 cal BP) / (19.3%) 9670 – 9571 cal BC (11619 – 11520 cal BP) / (1.3%) 9737 – 9723	-27.71	acid washes
A	N-wall	F	MST-1-8	organic sediment	10170	40	10120	40	95.4% probability(82.4%) 9935 – 9652 cal BC (11884 – 11601 cal BP) / (8.1%) 9629 – 9547 cal BC (11578 – 11496 cal BP) / (3.3%) 9489 – 9455	-28.02	acid washes

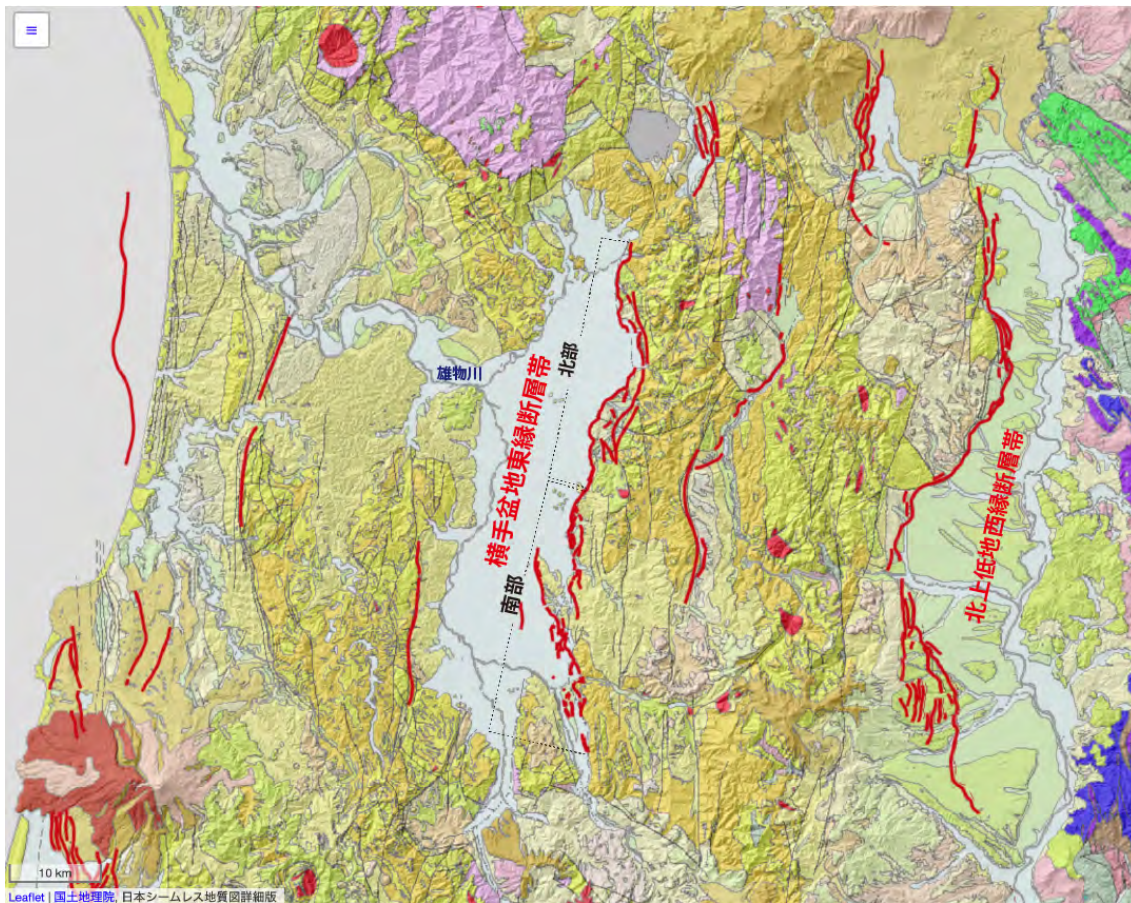


図 21 横手盆地東縁断層帯と南部区間の位置
 活断層分布は本研究及び産総研活断層データベース（産業技術総合研究所、2020）
 による。基図は産総研・地質調査総合センターのシームレス地質図。

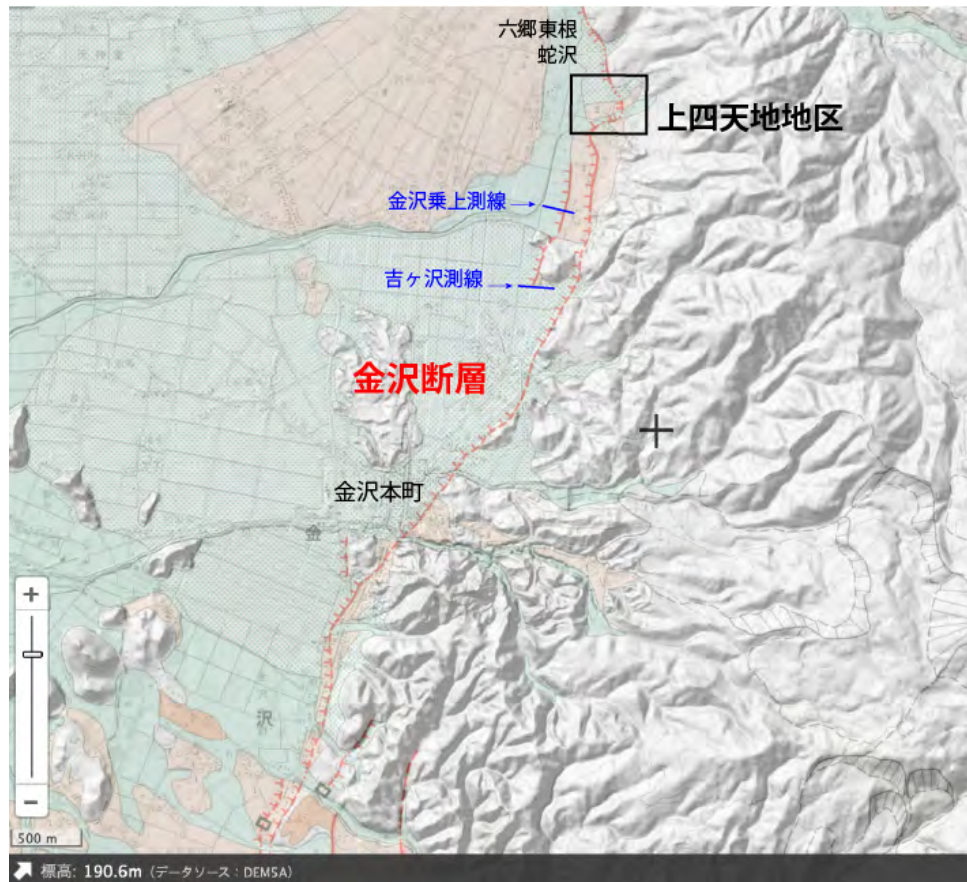


図 22 美郷町上四天地地区周辺の活断層分布
基図は、地理院地図による活断層図。

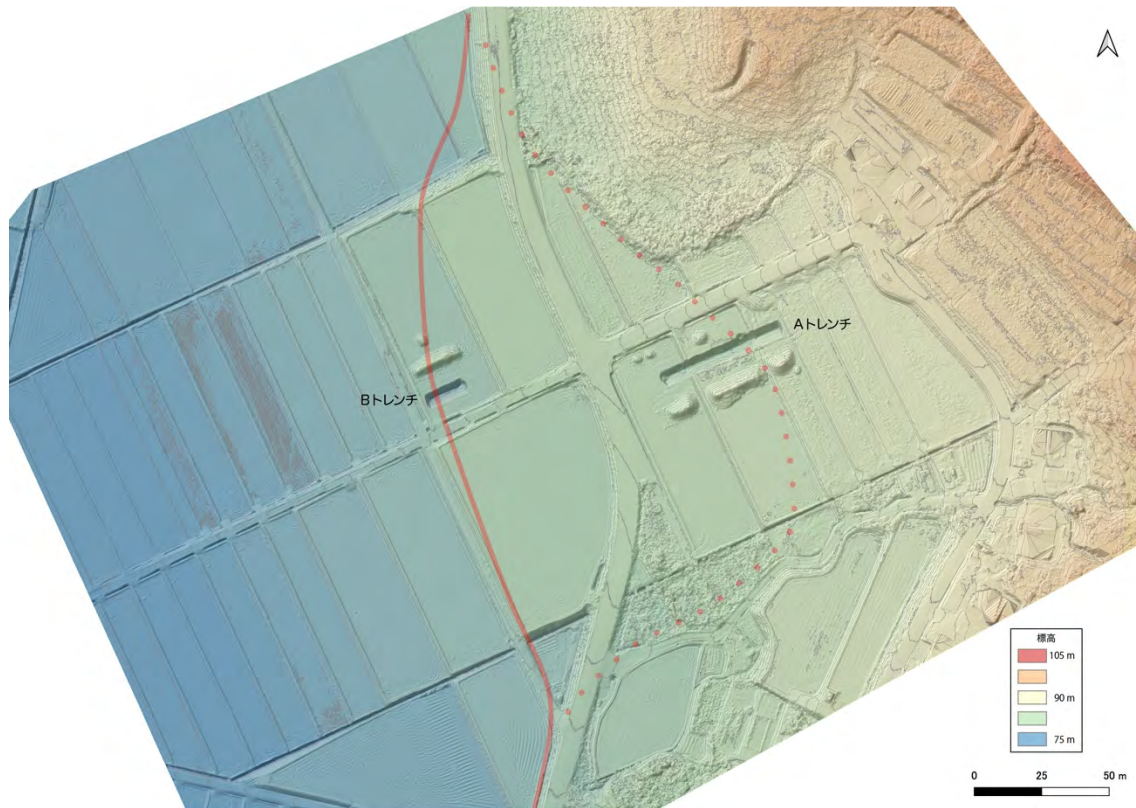


図 23 上四天地地区周辺のドローン LiDAR による地形陰影図
赤線は、米軍撮影の空中写真で判読された撓曲崖の変形フロント、赤破線は伏在断層。基図は、ドローン LiDAR による 0.1mDEM。



図 24 上四天地地区Aトレンチ北壁面の写真

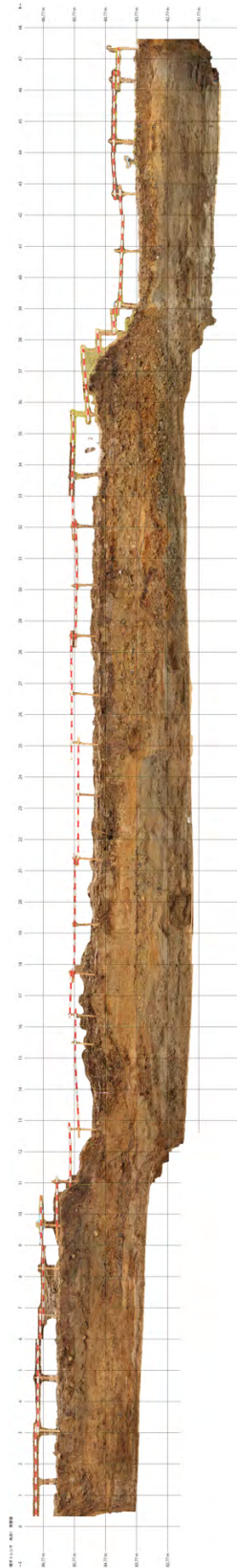


図 25 上四天地地区Aトレンチ南壁面の写真

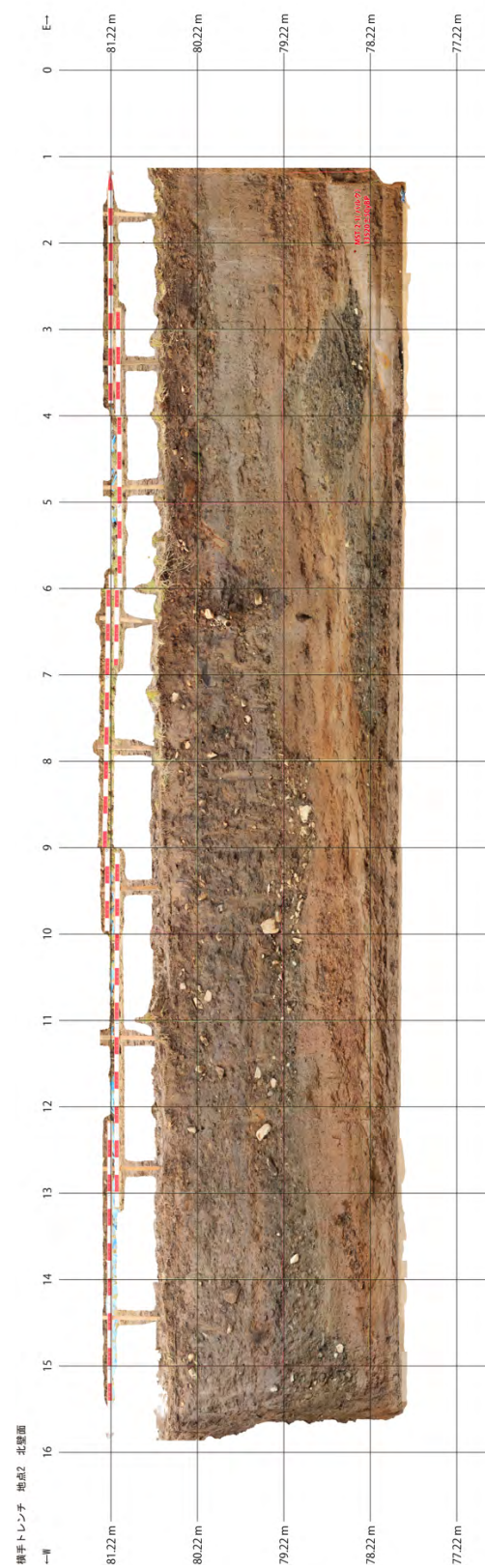


図 26 上四天地地区B トレンチ北壁面の写真

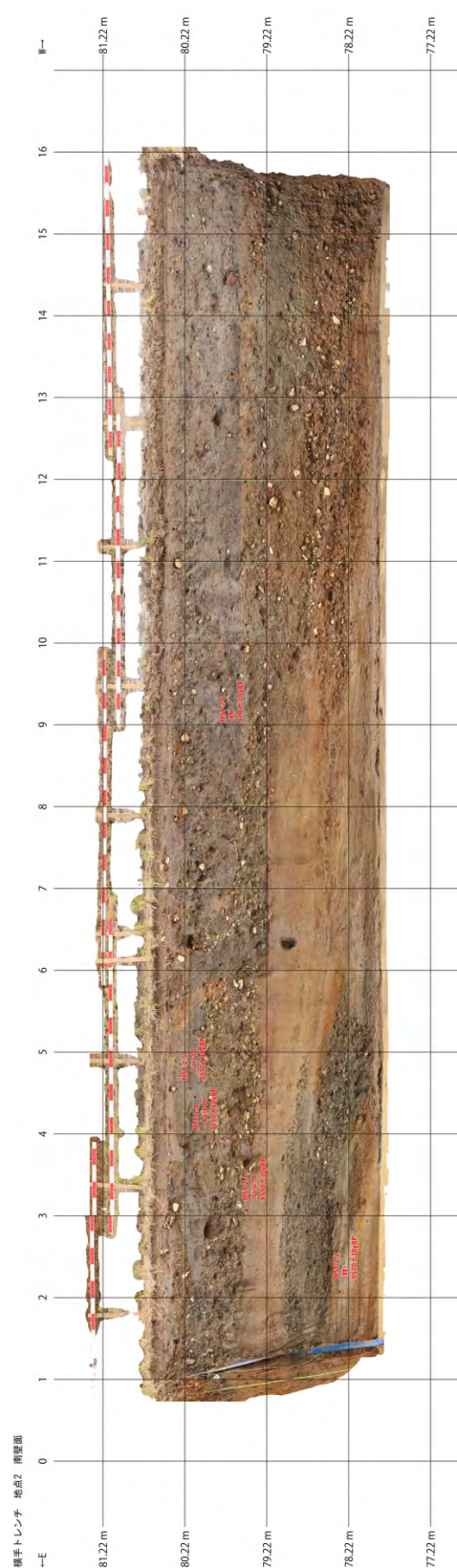


図 27 上四天地地区Bトレンチ南壁面の写真

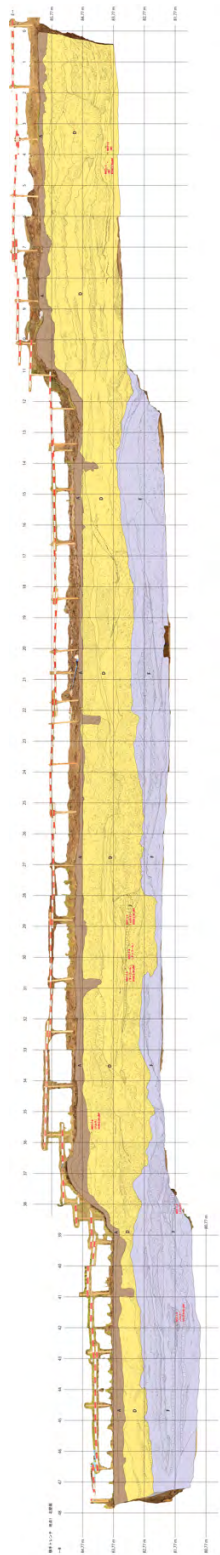


図 28 上四天地地区A トレンチ北壁面のスケッチ

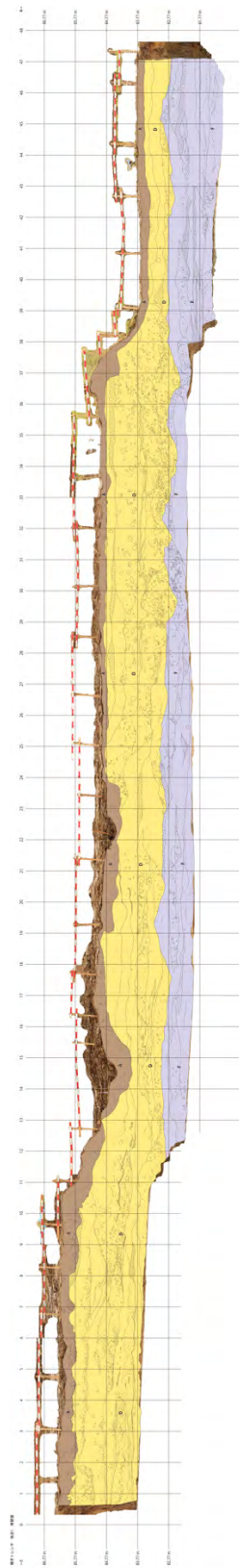


図 29 上四天地地区Aトレンチ南壁面のスケッチ

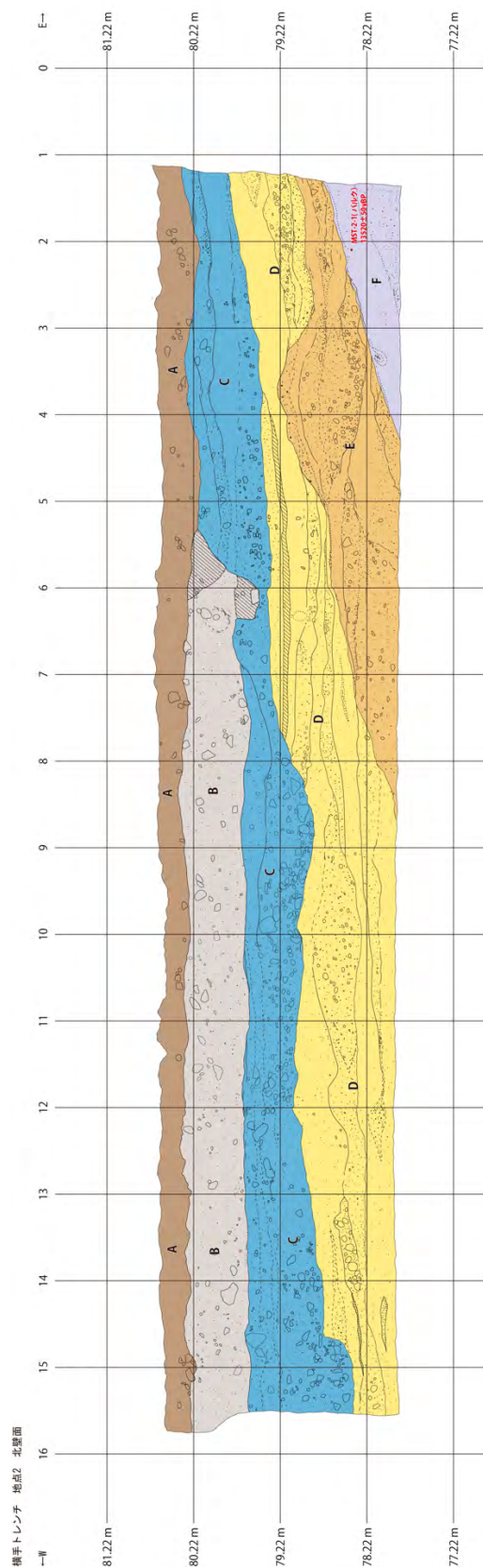


図 30 上四天地地区Bトレンチ北壁面のスケッチ

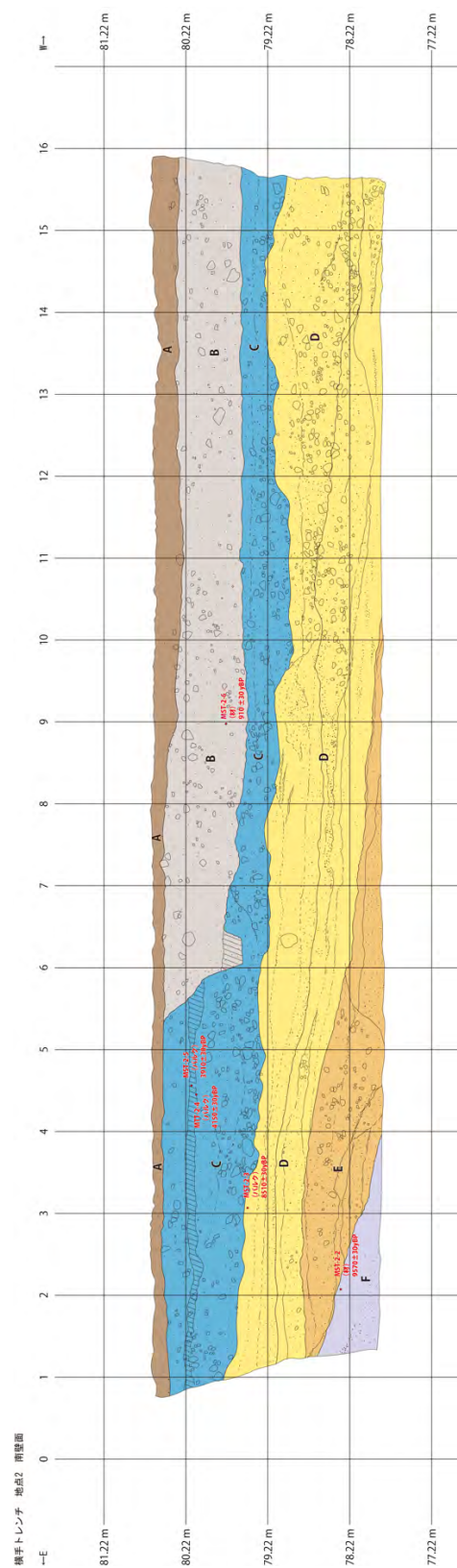


図 31 上四天地地区Bトレンチ南壁面のスケッチ

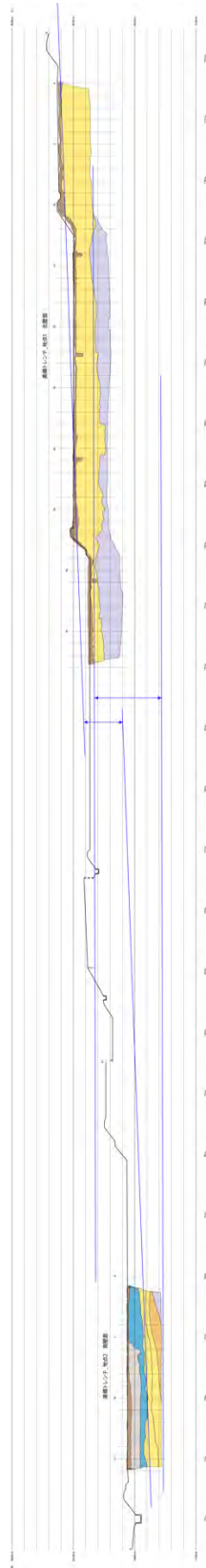


図 32 上四天地地区における地形地質断面図