

鳥取県西部, 小町一大谷リニアメント系のトレンチ調査

Trenching study on the Komachi-Ohdani lineament system in Tottori Prefecture, western Japan

杉山雄一¹・宮下由香里²・小林健太³・佐藤 賢⁴・宮脇明子⁵・宮脇理一郎⁶

Yuichi Sugiyama¹, Yukari Miyashita², Kenta Kobayashi³, Masaru Sato⁴, Akiko Miyawaki⁵
and Riichiro Miyawaki⁶

^{1,2} 活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ/AIST, sugiyama-y@aist.go.jp)

³ 新潟大学大学院自然科学研究科 (Graduate School of Science and Technology, Niigata University)

^{4,5,6} 株式会社阪神コンサルタンツ (Hanshin Consultants Co., Ltd.)

Abstract: Our precise aerial-photograph interpretation and geological reconnaissance detected a 12-km-long lineament system, the Komachi-Ohdani lineament system, running parallel, about 9 km northeast, to the NW-SE-trending aftershock area of the 2000 Tottori-ken Seibu earthquake. The lineament system is divided by a 1-km-wide, 1.5-km-long left-handed stepover into the Komachi lineament composed of left-stepping short (<1 km) lineaments and the Ohdani lineament represented by a 5-km-long continuous lineaments. On the Komachi lineament, we excavated a trench across a saddle on the low-relief surface of Early Pleistocene basalt lavas, and identified faults having a gouge zone 6 to 8 cm thick and exhibiting a flower structure. Trench-wall observation and tephra analysis revealed two faulting events on the excavated faults; an older event after hpm1 tephra (ca. 230 ka) and before DMP tephra (120 to 130 ka), and a younger post-DMP event. On the Ohdani lineament, we identified a fault with a shear zone 30 to 60 cm wide in granites exposed by excavation survey. According to trench-wall observation and tephra analysis, the last event on the excavated fault predated AT tephra (26 to 29 ka) and possibly postdated SUn tephra (50 to 90 ka).

キーワード: 小町リニアメント, 大谷リニアメント, 2000年鳥取県西部地震, 破碎帯, 断層ガウジ, トレンチ, 活断層, 地形表現, フラワー構造, 古地震

Keywords: Komachi lineament, Ohdani lineament, 2000 Tottori-ken Seibu earthquake, shear zone, fault gouge, trench, active fault, geomorphic expression, flower structure, paleoearthquake

1. はじめに

2000年鳥取県西部地震 (M_{JMA} 7.3) は, 活断層やその可能性があるリニアメントが知られていなかった場所で発生した. 地震後に行われた詳細な空中写真判読 (堤ほか, 2000; 井上ほか, 2002; 高田ほか, 2003) では, 同地震の余震域に, 長さ数 km 以下の複数の変位地形と推定される, あるいはその可能性があるリニアメントが認定されている. また, これらの研究及び地震前の空中写真判読 (200万分の1活断層図編纂 WG, 2000; 中田・今泉編, 2002) によって, 鳥取県西部地震の余震域周辺には, より連続性のよいリニアメントや推定活断層が認定されている. それらのうち最も連続性がよいものは, 鳥取県西部地震の余震域の南西約 5 km に分布する日南湖リニアメント (井上ほか, 2002) であり, 8 km 以上にわたって北西-南東方向に連続する (第1図). 杉山ほか (2004) は, 平成15年度に日南湖リニアメントを横断するトレンチ調査を2ヶ所 (榎ヶ峠南東方地点と

呼子西方地点) で実施した. その結果, 両地点において, リニアメントに対応する位置の花崗岩中に幅 50 cm 以上の断層破碎帯を確認した. また, 呼子西方地点では, 後期更新世に最新の断層活動があったと判断した.

活断層と推定される, あるいはその可能性があるリニアメントは, 鳥取県西部地震の余震域の北東側にも判読されている. 堤ほか (2000), 井上ほか (2002) 及び高田ほか (2003) は, 余震域の東約 9 km の伯耆町~江府町の日野川左岸に, 長さ約 4 km の北北西-南南東方向のリニアメントを認定している. また, 井上ほか (2002) は, その北方に当たる伯耆町~会見町の日野川左岸にも, 長さ約 4 km の同方向のリニアメントを認定している. 後述するように, 本研究の結果, これら2つのリニアメントは, 左雁行状の並走部を介して連なり, 全体として長さ約 12 km のリニアメント系を構成することが判明した. このため, 本報告では, このリニアメント系を小町一大谷

リニアメント系 (Komachi-Ohdani lineament system) と呼ぶ (第1図)。

本報告では、まず、空中写真判読と地表踏査に基づく小町一大谷リニアメント系の概査結果について述べる。次に、概査結果に基づいて、2地点で実施したトレンチ調査の結果を報告する。最後に、調査結果に基づき、低活動性断層の調査及び評価手法の標準化に向けた展望に言及する。

なお、本研究は、産業技術総合研究所深部地質環境研究センターが原子力安全・保安院の委託を受けて実施した「平成16年度地層処分に係る地質情報データの整備」の一環として実施された。

2. 小町一大谷リニアメント系の概要

本研究では、トレンチ調査に先立ち、小町一大谷リニアメント系とその周辺の空中写真判読を行った。空中写真判読には、縮尺4万分の1(国土地理院1973年撮影)及び縮尺1万分の1(同院1974年撮影、カラー)の空中写真を用いた。

空中写真判読の結果、小町一大谷リニアメント系は、越敷山北東方の伯耆町吉定付近から江府町熊ヶ山北方まで、北北西-南南東方向に約12kmにわたって追跡されることが確認された(第2図)。本リニアメント系は、日野川と野上川との合流点付近において、幅約1km、長さ約1.5kmの左雁行状のステップオーバー構造を示す。本報告では、このステップオーバーから北へ伸びるリニアメント群を小町リニアメント、南へ伸びるリニアメント群を大谷リニアメントと呼ぶ(第2図)。

2.1 小町リニアメント

小町リニアメントは、伯耆町吉定西方から同町小町、会見町鶴田東方を経て、伯耆町中祖に至る日野川左岸域に判読される(第2図)。本リニアメントは、主に直線状の谷、鞍部(溝状凹地)、水系の左方向への屈曲・湾曲(最大50~80m)の連なりからなり、その多くの部分は土木学会(1985)及び井上ほか(2002)の L_D ランクのリニアメントに相当する。個々のリニアメントの長さは数百m程度と短く、これらが全体として左雁行配列して、約6kmのリニアメントを形成している。

吉定西方から鶴田南方にかけては、約1Maに噴出した可能性が高いとされる鶴田玄武岩(猪木ほか、1987)からなる小起伏面や中期更新世の火砕流堆積面が分布する。小町リニアメントの東側に沿って発達するこれらの地形面には、西下がりの撓みが認められる(第2図)。伯耆町宇代付近から同町中祖に至る間では、小起伏の山地内に、1ないし2条のリニアメントが認められる。この地域のリニアメントは直線状の谷、尾根の傾斜変換部の連なりとして認められるが、いずれも連続性や直線性に乏しい。伯耆

町中祖の小町リニアメント南端では、同リニアメント上の花崗岩中に、 $N8^\circ E$ 走向で東に $40\sim 50^\circ$ 傾斜する幅 $20\sim 30\text{ cm}$ の断層破碎帯が認められる(第3図)。

小町リニアメントの北方延長域に当たる伯耆町こしきが丘(越敷山の北約 $1.5\sim 2\text{ km}$)付近には、最終間氷期に形成されたと推定される中段丘面が広く分布するが、同面上にリニアメントは判読されない。また、同リニアメントの南方延長域に当たる伯耆町古市付近には、2.5万年前頃に噴出したと推定される火砕流の堆積面が広く分布するが、同面上にリニアメントは判読されず、その南の山地内にもリニアメントは認められない。

2.2 大谷リニアメント

大谷リニアメントは、概ね小町リニアメントの南南東延長に位置し、伯耆町谷川付近から、同町荘、江府町大谷西方を経て、同町熊ヶ山北方に至る約7kmの区間に判読される(第2図)。但し、本リニアメント北部の約 $1.5\sim 2\text{ km}$ の区間は南北走向となり、小町リニアメントの南部と左雁行し、幅1.0km、長さ1.5kmのステップオーバーを形成している。

本リニアメントの主部は、土木学会(1985)及び井上ほか(2002)の L_C ランクのリニアメントに当たる直線状の谷と鞍部の連なりからなる。直線状の谷は深いV字状を呈し、谷底及び谷壁は直線性が高い。上述のステップオーバー部に当たる伯耆町谷川から宮原付近にかけては、山地西縁の急崖、小扇状地面上的の比高2m程度の西側低下を示す低崖、東側に凹地を伴うバルジ状の高まりなどが認められる。荘の南方や江府町大谷西方の鞍部では、 $20\sim 30\text{ m}$ 程度の尾根の左屈曲が認められる。また、荘の南方では、このリニアメントの東側約500mを、主に直線状の谷と鞍部からなる長さ約2km、 L_C ランクのリニアメントが並走している。

なお、リニアメントの主部と北部の境界付近に当たる伯耆町荘付近の日野川沿いには低位段丘面が広く分布するが、これらの低位段丘面上には約800mにわたって、リニアメントは判読されない。

3. トレンチ調査の概要

3.1 トレンチ調査地点の選定と調査実施時期

空中写真判読で認められた上記2つのリニアメントについて、対応する断層の存在とその活動性を確認することを目的として、トレンチ調査を実施した。

鞍部、屈曲した河谷・尾根、地形面の傾動など、変位地形の可能性のある地形の分布に加え、重機搬入の難易、土地の利用状況、予想される被覆層の厚さなどを考慮して、トレンチ掘削候補地点を小町リニアメント上で4地点、大谷リニアメント上で2地点、それぞれ選定した。小町リニアメント上の4地点は、上に列挙した事項を総合的に検討して決めた優先順

位の高い方から，小町地点（傾動した小起伏面上の鞍部），吉定西方地点（左屈曲した小河谷，閉塞丘），小町北地点（尾根の高度不連続と小起伏面の傾動），小野地点（傾動した火砕流堆積面）である．大谷リニアメント上の2地点は，同様にして決めた優先順位の高い方から，大谷地点（鞍部），大谷南地点（左屈曲した尾根）である．優先順位の高い候補地点から，土地所有者と用地交渉を行った結果，各リニアメントで最も優先順位の高い小町地点と大谷地点（第2図）について，掘削工事实施の了承が得られた．この結果を受け，小町地点では2004年の9月中旬～12月下旬，大谷地点では同年の10月下旬～12月上旬に，それぞれトレンチ調査を実施した．

3.2 小町地点のトレンチ調査概要

小町地点は小町リニアメントの北部に位置し，鶴田玄武岩からなる小起伏面上の鞍部に当たる（第4図）．この鞍部はL_Dランクのリニアメント上にあり，北東側に分布する小起伏面は鞍部に向かって南西に傾いており，日野川に対して逆傾斜している．この鞍部は20 m以上の幅があるため，まず鞍部を横断して，長さ24 m，幅6 m，深さ約6 mのトレンチを試掘した．その結果，トレンチ壁面には断層は認められなかったものの，トレンチの北東端において，玄武岩とこれを覆う火砕流堆積物の境界が50度程度北東に傾斜していることを確認した．そこで，試掘したトレンチの北東端から小起伏面に切り込むように，約14 mトレンチを延伸した．その結果，延伸部の壁面に明瞭な断層が認められたため，壁面を成形し，観察・スケッチ・計測・写真撮影・試料採取などの作業を実施した．

3.3 大谷地点のトレンチ調査概要

大谷地点は大谷リニアメントの中央部に位置し，それぞれ北流及び南流する直線状の谷（対頂谷）の境界をなす顕著な鞍部に当たる（第4図）．この鞍部とその南北両側の直線状谷はL_Cランクのリニアメントとして判読され，鞍部には小規模な平坦面が分布する．この鞍部の平坦面を横断して，長さ12 m，幅4 m，深さ約4.5 mのトレンチを掘削した．その結果，トレンチ壁面に露出した花崗岩中に明瞭な断層が確認されたため，壁面を成形し，観察・スケッチ・計測・試料採取などの作業を行った．

4. 小町地点のトレンチ調査結果

小町地点では，基盤岩として鶴田玄武岩に相当すると考えられる玄武岩が現れ，これを覆って中期更新世から完新世の堆積物が認められた．また，鞍部の北東側斜面上に，堆積物にまで達する数条の断層が確認された（第5～8図）．

4.1 トレンチ壁面に現れた地層

(1) 玄武岩

玄武岩は岩相に基づき，玄武岩Ⅰ，玄武岩Ⅱ，玄武岩Ⅲ及び強風化・粘土化玄武岩の4つに区分した．玄武岩Ⅰ～Ⅲの層位関係は不明である．

1) 玄武岩Ⅰ

熱水変質及び風化により赤褐色に変色した玄武岩である．本玄武岩はトレンチ南東壁面に広く分布し，北西壁面では後述する断層αの断層面沿いや断層γの南西側に分布する（第6,8図）．

2) 玄武岩Ⅱ

灰白色の縞状玄武岩と黒色の硬質な玄武岩からなる．縞状玄武岩は断層近傍の玄武岩Ⅰと後述の玄武岩Ⅲとの間に分布しており，一部は玄武岩Ⅰ中の断層面沿いに細長く分布する．黒色の硬質玄武岩は縞状玄武岩と玄武岩Ⅲとの間にレンズ状に分布する．

3) 玄武岩Ⅲ

暗灰色を呈する比較的新鮮な硬質玄武岩であり，トレンチの北東部に分布する．断層近傍では北西壁面にのみ分布する．

4) 強風化・粘土化玄武岩

玄武岩の上面直下及び断層近傍に認められる．暗褐色～黒褐色を呈し，粘土化している．玄武岩Ⅰ～Ⅲから漸移し，これらの玄武岩をブロック状に含む．

(2) 堆積物

玄武岩を覆う厚さ1.5～4 m程度の堆積物は，累重関係，層相，挟まれるテフラにより，下位よりA層，埋没土壌，B層，C層及び最上部の黒色土壌の5層に区分した（第6,8図）．このほか，試掘トレンチにおいては，鞍部の最も低い位置にC層の同時異相と考えられるD層を区分した．

1) A層

玄武岩の強風化・粘土化帯を覆って分布し，その両側を後述の断層βと断層γに境され，両断層間に落ち込んだ分布形態を示す（第5～8図）．本層の下部はシルト質礫層であり，上部は火砕流堆積物からなる．シルト質礫層は最大1 m程度の厚さがあり，基質のシルトは黒～黒褐色を呈し，土壌化が進んでいる．含まれる礫は玄武岩起源であり，長径1～3 cm程度のものが多く，くさり礫状を呈する．本層上部の火砕流堆積物は最大約2 mの厚さがあり，最上部の厚さ0.5 m程度の部分は土壌化して黒褐色を呈する．火砕流堆積物中には直径5～30 mm程度の岩片が多く含まれ，直径10～50 mm程度の黄色の軽石が点在する．基質は橙色～黄橙色を呈し，風化してシルト質となっている．

テフラ分析の結果によると，この火砕流堆積物は斜方輝石を含まず，普通角閃石とカミングトン閃石を主体とする．普通角閃石の屈折率(n₂)は1.670～1.680，カミングトン閃石の屈折率(n₂)は1.658～1.663である（付図1）．このような分析結果と後述する大

山松江テフラより下位という層序的位置から、本火砕流堆積物は火山最下部テフラの hpm1 (約 23 万年前; 木村ほか, 1999; 古澤・梅田, 2002) と同定される。

2) 埋没土壌

玄武岩と A 層を覆って分布する。赤褐色～黒褐色を呈し、層厚は 5～20 cm 程度のところが多い。この埋没土壌の形成時期は不明であるが、テフラ分析の結果 (付図 1 の試料 16) によると、上位の B 層 (大山松江テフラ) に由来すると推定される普通角閃石とカミングトン閃石が多く含まれている。

3) B 層

上述の埋没土壌を覆い、埋没土壌が分布しないところでは、玄武岩及び A 層を直接覆う。本層下部は粗粒火山灰層からなり、上部は降下軽石層である。粗粒火山灰層は白色を呈し、粗粒の黒雲母を多く含む。層厚は 5 cm 程度であるが、トレンチ北東側に向かって薄くなり、トレンチ北東端では認められない。本層上部の降下軽石層は主に黄白色～橙色を呈する粒径が揃った軽石からなる。軽石は粘土化しており、特に上部で風化が著しい。軽石層の層厚はトレンチ南西側では 3 m 程度であるが、北東に向かって薄くなり、トレンチ北東側では 0.5 m 程度となる。

テフラ分析の結果 (付図 1, 2) によると、粗粒火山灰層と降下軽石層は、いずれも普通角閃石とカミングトン閃石を主体とし、普通角閃石の屈折率 (n_2) は 1.670～1.676、カミングトン閃石の屈折率 (n_2) は 1.656～1.664 である。このような分析結果から、本層は大山松江テフラ (DMP: 12～13 万年前頃; 木村ほか, 1999; 町田・新井, 2003) と同定される。

4) C 層

B 層を覆う褐色～赤褐色のローム層であり、最下部にややシルト質な部分を伴う。層厚は 1 m 前後であり、下位の B 層 (DMP テフラ) との間に明瞭な境界は認められず、同層から漸移する。テフラ分析の結果 (第 12 図, 付図 1～5) によると、本層下部には、鬼界葛原テフラ (K-Tz: 9.5 万年前; 町田・新井, 2003) に由来すると推定される高温型石英やバブルウォール型の火山ガラス (屈折率 (nd) は 1.496～1.500) が含まれる。本層中部には、屈折率 (nd) が 1.495～1.498 で低発泡の火山ガラスや緑色普通角閃石がやや多く含まれる。これらは三瓶雲南テフラ (SUn: 5 万年前以前; 町田・新井, 2003) の特徴と一致する。また、本層上部は、屈折率 (nd) が 1.497～1.500 のバブルウォール型の火山ガラスを多量に含んでおり、始良 Tn テフラ (AT: 2.6～2.9 万年前; 町田・新井, 2003) の降灰層準に当たると考えられる。

5) D 層

トレンチを試掘した鞍部の最も低い位置に、下位の B 層を覆ってチャンネル状に分布する。また、北東側の鞍部斜面に分布する C 層に側方変化する。本層はシルト質のロームないしローム質のシルトからな

り、上部のローム層中に AT テフラの純層を団子状に挟む。テフラ分析の結果によると、本層最下部には、C 層と同様に K-Tz テフラの特徴と一致する高温型石英やバブルウォール型の火山ガラスが含まれる。また、本層中部には、SUn テフラの特徴と一致する低発泡の火山ガラスや緑色普通角閃石が含まれる。C 層が鞍部斜面に堆積した風成層であるのに対して、D 層は鞍部中央において水の影響を受けて堆積した地層と推定される。

6) 黒色土壌

鞍部の現地表面に沿って分布する。層厚は 0.5 m 前後のところが多いが、鞍部中央では 1.5 m 程度まで厚くなる。下位の C 層あるいは D 層との境界は漸移的であり、下部はややシルト質である。現地表面下 30～50 cm 程度の黒色土壌は耕作土の可能性はある。テフラ分析の結果によると、本土壌最下部あるいは下部に、鬼界アカホヤテフラ (K-Ah: 約 7300 年前; 町田・新井, 2003) に由来すると考えられる屈折率 (nd) 1.510 程度のバブルウォール型火山ガラスの産出下限が認められる。

4.2 トレンチ壁面に現れた断層

(1) 断層の性状

小町地点では、玄武岩内に顕著な破砕部を伴い、堆積物に変位を与える主要な断層が 3 条認められた (第 5～8 図)。いずれの断層も NNW - SSE 走向の高角断層であり、本報告では北東側のものから、断層 α 、断層 β 及び断層 γ と呼ぶ。これら 3 断層はいずれも、玄武岩中あるいはこれを覆う堆積物中にフラワー構造を形成することから、横ずれ成分を持つと推測される。また、断層 α と断層 β は、より規模の大きなフラワー構造を構成している可能性があり、底面上では両断層は 80～90 cm の間隔で並走している (第 9 図)。

1) 断層 α

断層 α の走向・傾斜は概ね N25°W, 70°W であり、玄武岩内では断層に沿って幅 6～8 cm 程度の赤褐色のガウジが認められる。断層面上には 18° 程度の南南東方向への傾斜 (レイク) を示す条線が観察される。また、断層 α から派生する N82°W 走向, 84° 南傾斜の断層面上にも、12° 程度の東方向への傾斜 (レイク) を示す条線が認められる (第 11 図)。トレンチの底面では、断層 α は玄武岩 II に左横ずれを与えると共に、左方向への引きずり構造を伴う (第 10 図)。北西壁面では、本断層は玄武岩内で上方に向かって開くように 2 条に分岐し、この 2 条の断層に挟まれた玄武岩の上面が突き出る形で B 層 (DMP テフラ) の基底に変位を与えている。また、南東壁面では、B 層 (DMP テフラ) 基底に北東落ちの変位を与えている。断層はさらに上方に向かって分岐しながら、B 層から C 層下部まで達している。南東壁面の B 層 (DMP テフラ) 中では、断層面に沿って最大幅

10 mm 程度の黄橙色ガウジを断続的に伴う。

2) 断層β

断層βの走向・傾斜は概ね N10°W, 75°E である。玄武岩内では，断層面に沿って幅 6~8 cm 程度の黄橙色のガウジが認められる。北西壁面では，断層βとその北東側の玄武岩Ⅱとの間にも，最大幅 20 cm 程度の黄橙色のガウジが認められる。本断層は A 層 (hpm1 テフラなど) 及びその上位の B 層 (DMP テフラ) に変位を与えている。本断層による A 層の見かけ上下変位は 2 m 以上の北東側上がりであるのに対して，B 層の本断層による見かけ上下変位は逆に 0.8 m 程度の北東側落ちである (第 6, 8 図)。

A 層は断層βを境界として玄武岩と接しており，断層近傍では A 層に北東側上がりの引きずりが認められる。引きずりを受けた A 層中には，断層βから派生する複数の断層が認められ，いずれも北東側上がりの逆断層状の見かけを呈する。これらの派生断層の多くは A 層中で連続が不明瞭となるが，一部の派生断層は主断層と同様に，B 層の基底に見かけ北東側落ちの変位 (A 層中の北東側上がりの上下変位とは逆) を与えている。南東壁面では本断層の B 層中への連続は不明瞭であるが，北西壁面では断層は斜め上方に向かって分岐しながら，B 層から C 層下部にまで達している。B 層 (DMP テフラ) 中では，断層面に沿って最大幅 10 mm 程度の黄橙色ガウジを断続的に伴う。

3) 断層γ

断層γは N30~60°W の走向を有し，北西壁面では 75~85° 程度の西傾斜，南東壁面では 50~60° 程度の東傾斜を示す (第 6, 8 図)。断層面はやや不明瞭で，シャープな面は認められない。南東壁面では，断層面に沿って幅 10 cm 程度の黄橙色ガウジが認められるが，ガウジと玄武岩及び A 層との境界は不明瞭で，断層面は剥離しない。断層γは A 層 (hpm1 テフラなど) に見かけ南西側上がりの変位を与えている。北西壁面では逆断層状の見かけを呈し，A 層基底に 1 m 以上，同層上部の hpm1 テフラの基底に約 0.7 m の見かけ上下変位を与えている。一方，南東壁面では正断層状の見かけを呈し，A 層基底に約 1 m の見かけ上下変位を与えている。本断層による変位は hpm1 テフラにまで及ぶが，これを覆う埋没土壌と B 層 (DMP テフラ) には及んでいない。

4) その他の断層

上記の 3 断層の他に，断層αと断層βとの間及び断層αの北東側の玄武岩中には，10 条以上の断層が認められる (第 6, 8 図)。断層αと断層βとの間に分布する断層の多くは，両断層に合流するか両断層に切られており，B 層 (DMP テフラ) 基底に 5~20 cm 程度の見かけ上下変位を与えている。これらの断層の走向は WNW - ESE 方向のものが卓越しており，断層α及び断層βの走向とは 45° 程度斜交している。また，断層αと断層βとの間に分布する断層では，

70° より高角度で北東あるいは南西に傾斜するものが多いのに対して，断層αの北東側に分布する断層は北東傾斜 70° 前後のものが多い。

(2) 断層の活動性

断層α及び断層βは B 層 (DMP テフラ: 12~13 万年前頃) の基底に見かけ上下変位を与えている。両断層は B 層中で上方に向かって分岐し，C 層中ではローム層中の断裂として確認される。テフラ分析の結果によると，断裂の先端は K-Tz テフラ (9.5 万年前) の層準にまで達しているように見える (第 12 図)。

これらのことから，断層α及び断層βの最新活動は，12~13 万年前頃の DMP テフラの堆積後と考えられ，9.5 万年前の K-Tz テフラの降下後である可能性がある。前述のように，断層α及びβは B 層中でフラワー状を呈すること，断層αには水平に近い条線が認められることから，DMP テフラ堆積後の断層活動においては横ずれ成分が卓越していた可能性が高い。

断層βによる A 層上部 (hpm1 テフラ) の見かけ上下変位は北東側上がりであり，埋没土壌と B 層基底の断層βによる見かけ上下変位 (北東側下がり) とは逆で，変位量も遥かに大きい。これは，hpm1 テフラの堆積後/埋没土壌の堆積前にも，断層βが活動したことを示唆する。

断層γは hpm1 テフラに変位を与えているが，埋没土壌と B 層基底には変位を与えていない。したがって，断層γの活動時期は，hpm1 テフラの堆積後，埋没土壌の堆積前と考えられる。

以上から，小町地点では，約 23 万年前の hpm1 テフラの堆積後/埋没土壌の堆積前 (即ち，12~13 万年前頃の DMP テフラの堆積前) と，DMP テフラの堆積後に，小町リニアメントに対応する断層の活動があったと考えられる。DMP テフラ堆積後の活動は，9.5 万年前の K-Tz テフラ降下後の可能性がある。

5. 大谷地点のトレンチ調査結果

大谷地点では主に花崗岩からなる基盤岩が現れ，これを覆って後期更新世から完新世の堆積物が認められた。また，堆積物の下部にまで変位を与える断層が確認された (第 13~16 図)。

5.1 トレンチ壁面に現れた地層

(1) 基盤岩

基盤岩は主に花崗岩からなり，岩相に基づき，花崗岩Ⅰ，花崗岩Ⅱ，花崗岩Ⅲ，破碎花崗岩，アプライト及び玄武岩質貫入岩の 5 つに区分した (第 14, 16 図)。

1) 花崗岩Ⅰ

比較的新鮮な橙色粗粒花崗岩からなり，主断層の南西側に分布する。剪断面及び破断面が発達し，剪

断面沿いに幅 5 mm 程度の玄武岩質貫入岩及び幅 5～20 mm 程度の白色細粒物を挟む。

2) 花崗岩Ⅱ

桃色粗粒花崗岩からなり、断層の北東側に分布する。花崗岩Ⅰよりも熱水変質が進んでおり、源岩の組織が部分的に失われている。また、不規則な剪断面と破断面が多く、剪断面沿いに幅 5～10 mm 程度の灰白色を呈する軟質な細粒部が認められる。

3) 花崗岩Ⅲ

灰白色～桃色の粗粒花崗岩からなり、断層の北東側の花崗岩Ⅱ中に岩脈状に分布する。花崗岩Ⅱよりも更に熱水変質が著しく、源岩の組織は大部分失われている。断層に接する部分では、変質により白色細粒化している。

4) 破碎花崗岩

花崗岩Ⅲが破碎されたものであり、断層面とその南西側の花崗岩Ⅰとの間に、10～20 cm 程度の幅で分布する。

5) アプライト

断層の南西側に分布する花崗岩Ⅰ中に、岩脈状あるいはブロック状に産する。灰白色を呈し、破断面が発達する。

6) 貫入岩

断層沿い及び花崗岩Ⅲに沿って分布する。断層沿いでは破碎され、部分的に粘土化している。

(2) 堆積物

大谷地点では、上述の基盤岩を覆って、層厚 1～2.5 m 程度の堆積物が分布する。これらの堆積物は、累重関係、層相及び挟まれるテフラに基づき、下位より a 層、b 層、c 層の 3 層に区分した (第 14, 16 図)。

1) a 層

基盤岩との不整合面の直上に分布する層厚 2 m 以下の角礫層である。基盤岩の凹地に沿うように堆積しており、鞍部の中央部で厚くなっている。長径 5～10 mm 程度の花崗岩の角礫からなり、基質はシルト分を多く含む。本層の基底部には、層厚 20 cm 程度の砂質角礫層が認められる。テフラ分析の結果 (第 17 図、付図 6) によると、この砂質角礫層中には火山ガラスの付着した緑色普通角閃石が極微量含まれている。この角閃石の屈折率 (n_2) は 1.670-1.680 を示し、三瓶雲南テフラ (SUn: 5 万年前以前; 町田・新井, 2003) の特徴と一致する。

2) b 層

下部は始良 Tn テフラ (AT: 2.6～2.9 万年前; 町田・新井, 2003)、上部はローム質砂層からなる。AT テフラはほぼ純層で、最大層厚は 20 cm 程度である。ローム質砂層の層厚は 1 m 以下であり、下位の a 層と同様に、鞍部の中央部で厚くなっている。

テフラ分析の結果 (付図 7) によると、AT テフラ中には低発砲の火山ガラスや同ガラスに付着した斜方輝石と普通角閃石が混在する。斜方輝石の屈折率

(γ) は 1.703-1.708、普通角閃石の屈折率 (n_2) は 1.675-1.685 である。これらの組成と屈折率は、大山ホーキテフラ群 (AT とほぼ同年代; 町田・新井, 2003) の特徴と一致する。また、本層上部のローム質砂層中からは AT テフラ起源の火山ガラスや鉍物が多く検出されるほか、ローム質砂層の上部には、低発砲で屈折率 (n_d) が 1.497-1.504 の火山ガラスと屈折率 (n_2) が 1.670-1.680 の緑色普通角閃石が比較的多く含まれている (付図 6, 7)。このような粒子組成と屈折率の特徴は、阪手テフラ (1.5～1.6 万年前; 吉川ほか, 1986; 東郷ほか, 1997) の特徴と類似する。

3) c 層

下位の b 層及び a 層を削り込んだチャネルの充填堆積物で、下部は腐植層と崖錐性の細角礫層との互層からなる。上部は黒色土壌からなるが、一部は人為的な土層の可能性もある。テフラ分析の結果によると、腐植層及び角礫層中には、屈折率 (n_d) が 1.510 程度のバブルウォール型の火山ガラスの産出下限が認められる。このガラスの形態と屈折率は鬼界アカホヤテフラ (K-Ah: 約 7300 年前; 町田・新井, 2003) の特徴と一致する。

5.2 トレンチ壁面に現れた断層

(1) 断層の性状

大谷地点では、基盤の花崗岩中に、粘土質のガウジを伴う 1 条の明瞭な断層 (主断層) が認められた (第 13～16 図)。主断層面の走向・傾斜は概ね N30°W, 70°E であり、断層面は平滑である。

既述のように、主断層は南西側の花崗岩Ⅰと北東側の花崗岩Ⅱの境界をなす。また、主断層の北東側には変質の著しい花崗岩Ⅲが 20～40 cm 程度の幅で分布し、南西側には同花崗岩起源の破碎花崗岩が 10～20 cm 程度の幅で分布する。主断層面沿いのガウジは灰紫色を呈し、軟質な粘土である。ガウジの幅は 2～20 mm であり、5～10 mm 程度の幅のところが卓越する。主断層近傍に分布する玄武岩質の貫入岩は、破碎されて部分的に粘土化しており、長径 20 mm 以下の玄武岩及び花崗岩Ⅰの角礫～レンズを含む。

主断層面上には、トレンチの両壁面において明瞭な条線が認められた。条線は 50～60° 程度の北西方向への傾斜 (レイク) を示すことから、尾根の左屈曲などから推定される左横ずれに加えて、南西側が相対的に上昇する見かけ正断層的な上下変位成分の存在が示唆される。一方、トレンチの底面では、花崗岩Ⅱ中の貫入岩の分布から、主断層に切られる N17°E 走向の剪断面に右横ずれ変位が推定された。

主断層を挟む幅 60～70 cm 程度の間では、主断層と同じ北北西-南南東ないし北西-南東走向の剪断面と、これと直交する北東-南西走向の剪断面が分布する。主断層から離れると、剪断面の分布密度は下がるが、主断層の南西側の花崗岩Ⅰ内では、北西

ー南東走向，70～80°北東傾斜の剪断面が卓越する．一方，主断層の北東側の花崗岩Ⅱ内では，北東ー南西走向，50～60°南東傾斜の剪断面が卓越する．

(2) 断層の活動性

トレンチの両壁面において，主断層が a 層の中部にまで変位を与えていると判断した．特に南東壁面では，断層面に沿って，幅 10 mm 程度のガウジが a 層下部にまで注入していることが確かめられた．a 層基底の見かけ上下変位は，北西壁面で北東側上がり約 32 cm，南東壁面では北東側落ち約 12 cm である．両壁面の見かけ上下変位のセンスが逆であることから，横ずれ変位を伴うと推定される．断層変位が a 層上部にまで達しているか否かは判断できないが，b 層の基底には断層による変位を示唆する構造は認められない．

以上から，大谷地点では，a 層下部の堆積後／b 層堆積前に，大谷リニアメントに対応する断層の最新活動が生じたと考えられる．テフラ分析の結果によると，その年代は 5～9 万年前の三瓶雲南テフラの降下後／2.6～2.9 万年前の AT テフラの降下前と推定される．但し，三瓶雲南テフラに諸特徴が一致する鉱物の産出は極微量であることから，上述した最新活動の下限年代の信頼度は高いとは言えない．

6. 考察

6.1 小町リニアメントの特徴

小町リニアメントはリニアメントの連続性が悪く，多くの短い雁行トレースからなる．このような小町リニアメントの特徴は，鳥取県西部地震に伴って緑水湖～鎌倉山付近に出現した地表地震断層の分布の特徴（伏島ほか，2001）と類似する．これに対して，大谷リニアメントはリニアメントの連続性がよく，日南湖リニアメントに類似する．このような小町，大谷両リニアメントの差異は，前者は後者に比べて，断層の“進化”（杉山ほか，2004）がより初期の段階に留まっていることを示唆する．

小町リニアメントは，既述のように，水系の屈曲及びトレンチ底における玄武岩Ⅱの変位から，左横ずれ断層運動によって形成されたと考えられる．模型実験結果（上田・谷，1999）や個別要素法によるシミュレーション結果（筈本ほか，2005）によると，基盤の花崗岩中に 1 条の左横ずれ断層が存在した場合，その活動に伴って被覆層に当たる玄武岩中に形成される剪断面（断層）群は，北西ないし西北西方向に伸び，右雁行すると期待される．しかし，小町リニアメントを構成する個々のリニアメントのトレースは，リニアメントの全体的な方向（北北西ー南南東）と平行ないし南北方向に伸びており，左雁行している．

松田ほか（2004）は，中国地方に分布する北西ー

南東走向の活断層では，第三紀に南北圧縮の応力場において，右横ずれの活動があったことを指摘している．小町，大谷，日南湖の各リニアメントをはじめ，調査地域の北西ー南東方向のリニアメント沿いの基盤岩類の累積変位の向きと量は不明である．しかし，松田ほかの指摘に基づくと，小町リニアメントに対応する基盤岩中の断層は，第三紀の南北圧縮応力場において，右横ずれ断層運動に伴う左雁行剪断面群として形成された可能性がある．

6.2 低活動性断層の調査及び評価手法についての展望

上述のように，その大部分が L_D ランクと認定された小町リニアメントにおいて，対応する断層破碎帯の存在，後期更新世以降の活動，及び中期更新世に遡っての活動の繰り返しが確認された．ところで，本研究と並行して実施された断層岩の研究（小林ほか，2005）によると，4.1 (1) で述べた玄武岩Ⅱのうち，断層近傍の縞状玄武岩の少なくとも一部はカタクレサイトとされている．その一方，小町リニアメントについては，既存文献では，縮尺 2 万分の 1 及び 1 万分の 1 の空中写真を用いて地形判読を行った井上ほか（2002）によって図示されているに過ぎない．これらの事実は，活動性の低い断層の抽出には，高い精度の地形情報の解析が不可欠であると共に，物質科学的な情報をも含む地質学的データと総合する必要があることを示唆している．詳細は別稿に譲るが，本研究の一環として実施した断層岩の予察的分析によると，断層ガウジの色相，更にはそれを支配している断層ガウジの鉱物組成や酸化還元状態から，断層の活動性を見積もれる可能性が出てきた（小林・杉山，2004；深部地質環境研究センター，2005）．この成果を受け，平成 17 年度からは断層ガウジなどの断層岩の物質科学的な研究を本格的に開始し，断層の活動性に関する新たな評価指標の開発を目指したい．

7. まとめ

1) 2000 年鳥取県西部地震の余震域の東方約 9 km の日野川西岸に，約 12 km にわたって北北西ー南南東に追跡されるリニアメント（小町ー大谷リニアメント系）を認定した．このリニアメント系は北部の小町リニアメントと南部の大谷リニアメントから構成され，両者は幅約 1 km，長さ約 1.5 km の左雁行状のステップオーバーを介して連なる．

2) 小町リニアメントは，その大部分が井上ほか（2002）の L_D ランクのリニアメントに相当する．本リニアメントは直線状の谷，鞍部，水系の屈曲などからなり，長さ数百 m 程度の短いリニアメントが左雁行配列して，全体として長さ約 6 km のリニアメントを形成する．大谷リニアメントは，大部分が井上

ほか (2002) の L_c ランクのリニアメントに相当し、その主部は直線状谷と鞍部からなり、約 5 km にわたって追跡される 1 条のリニアメントによって代表される。

3) 小町リニアメントについては、下部更新統と推定される玄武岩溶岩からなる小起伏面上の鞍部 (小町地点) を横断してトレンチを掘削した。その結果、フラワー構造を伴う 3 条の断層が玄武岩中に確認された。断層と玄武岩を覆う堆積物との関係から、小町地点では、約 23 万年前の hpm1 テフラの堆積後/12~13 万年前頃の DMP テフラの堆積前と、DMP テフラの堆積後に、小町リニアメントに対応する断層の活動があったと考えられる。DMP テフラ堆積後の活動は、9.5 万年前の K-Tz テフラ降下後の可能性がある。

4) 大谷リニアメントについては、花崗岩からなる山地を刻む直線性の高い対頂谷の境界をなす顕著な鞍部を横断してトレンチを掘削した。その結果、花崗岩中に幅 30~60 cm 程度の破碎・変質帯を伴う明瞭な断層が確認された。断層と花崗岩を覆う堆積物との関係から、大谷地点では、同堆積物下部の堆積後/2.6~2.9 万年前の AT テフラの降下前に、大谷リニアメントに対応する断層の最新活動が生じたと考えられる。この最新活動の時期は、5~9 万年前の三瓶雲南テフラの降下後の可能性がある。

5) リニアメントの分布形態から、小町リニアメントは、大谷リニアメントに比べて、断層の“進化”がより初期の段階に留まっていると推定される。また、小町リニアメントに対応する基盤岩中の断層は、第三紀の南北圧縮応力場 (松田ほか, 2004) において、右横ずれ断層運動に伴う左雁行剪断面群として形成された可能性がある。

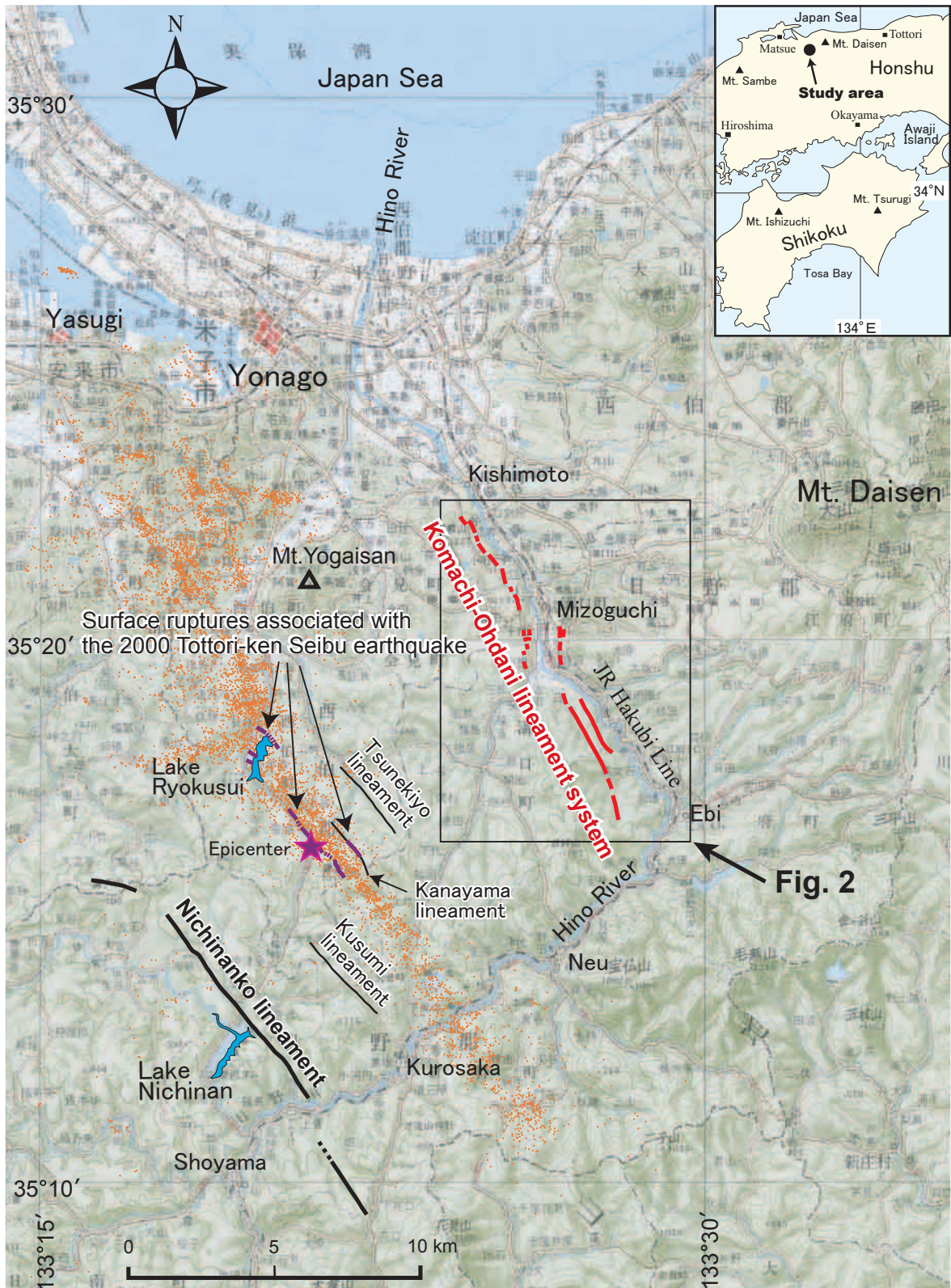
文 献

- 土木学会 (1985) 「原子力発電所地質・地盤の調査・試験法および地盤の耐震安定性の評価手法」報告書, 土木学会, 1-48.
- 古澤 明・梅田浩司 (2002) 大山最下部および下部火山灰には含まれるテフラの岩石記載的特徴. 第四紀研究, 41, 413-420.
- 伏島祐一郎・吉岡敏和・水野清秀・宍倉正展・井村隆介・小松原 琢・佐々木俊法 (2001) 2000 年鳥取県西部地震の地震断層調査. 活断層・古地震研究報告, No. 1, 1-26.
- 伏島祐一郎・井村隆介・森野道夫・杉山雄一・水野清秀 (2002) 2000 年鳥取県西部地震断層のトレンチ掘削調査. 活断層・古地震研究報告, No. 2, 183-208.
- 堀川晴央・関口春子・岩田知孝・杉山雄一 (2001) 2000 年鳥取県西部地震の断層モデル. 活断層・古地震研究報告, No. 1, 27-40.
- 猪木幸男・村上允英・大久保雅弘 (1987) 日本の地質 7 中国地方. 日本の地質『中国地方』編集委員会, 共立出版, 288p.
- 井上大榮・宮腰勝義・上田圭一・宮脇明子・松浦一樹 (2002) 2000 年鳥取県西部地震震源域の活断層調査. 地震 2, 54, 557-573.
- 木村純一・岡田昭明・中山勝博・梅田浩司・草野高志・麻原慶憲・館野満美子・檀原 徹 (1999) 大山および三瓶火山起源テフラのフィッシュトラック年代とその火山活動史における意義. 第四紀研究, 38, 145-155.
- 小林健太・宮下由香里・杉山雄一・家村克敏・佐藤 賢・大橋聖和・大川直樹・萩原知之・坂 啓惟 (2005) 鳥取県西部, 低活動性断層 (小町一大谷リニアメント) に分布する断層岩. 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集 (CD-ROM), J027-P017.
- 小林健太・杉山雄一 (2004) 2000 年鳥取県西部地震の余震域とその周辺における断層と断層岩—“未知の活断層”の検出に向けて. 地質ニュース, No. 602, 36-44.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編 火山灰アトラス—日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 336p.
- 松田時彦・岡田真介・渡邊トキエ (2004) 横ずれ活断層の累積変位量・断層長・破碎帯幅から見た断層の発達度—中国地方と中部地方の比較. 活断層研究, No. 24, 1-12.
- 中田 高・今泉俊文編 (2002) 活断層詳細デジタルマップ. 東京大学出版会, 60p.
- 200 万分の 1 活断層図編纂ワーキンググループ (2000) 「200 万分の 1 日本列島活断層図」—過去数十年間の断層活動の特徴—. 活断層研究, No. 19, 3-12.
- 竿本英貴・吉見雅行・国松 直 (2005) 横ずれ断層運動に伴うせん断帯発達過程に関する DEM シミュレーション. 土木学会地震工学論文集, 28, CD-ROM, ISSN: 1880-4624, 7p.
- 深部地質環境研究センター (2005) 5-2 低活動性断層の研究. 地層処分にかかる地質情報データの整備平成 16 年度事業報告書, 78-84.
- 杉山雄一・宮下由香里・伏島祐一郎・小林健太・家村克敏・宮脇明子・新谷加代 (2004) 鳥取県西部, 日南湖リニアメント上でのトレンチ調査. 活断層・古地震研究報告, No. 4, 193-207.
- 高田圭太・中田 高・野原 壯・原口 強・池田安隆・伊藤 潔・今泉俊文・大槻憲四郎・鷺谷 威・堤 浩之 (2003) 震源断層となりうる活断層とリニアメントの検討—中国地方を事例として—. 活断層研究, No. 23, 77-91.
- 堤 浩之・隈元 崇・奥村晃史・中田 高 (2000) 鳥取県西部地震震源域の活断層・月刊地球号外, No. 31, 81-86.

東郷正美・佐藤比呂志・岡田篤正・松山紀香（1997）
1994年堅田断層（比叡辻地区）トレンチ調査。
活断層研究，No. 16，53-58。
上田圭一・谷 和夫（1999）基盤の断層変位に伴う
第四紀層及び地表の変形状況の検討（その3）
ー横ずれ，斜めずれ断層模型実験ー。電力中央

研究所研究報告，U98049。
吉川周作・那須孝悌・樽野博幸・古谷正和（1986）
近畿地方中部に分布する後期更新世～完新世の
火山灰層について。地球科学，40，18-38。

（受付：2005年7月22日，受理：2005年10月20日）

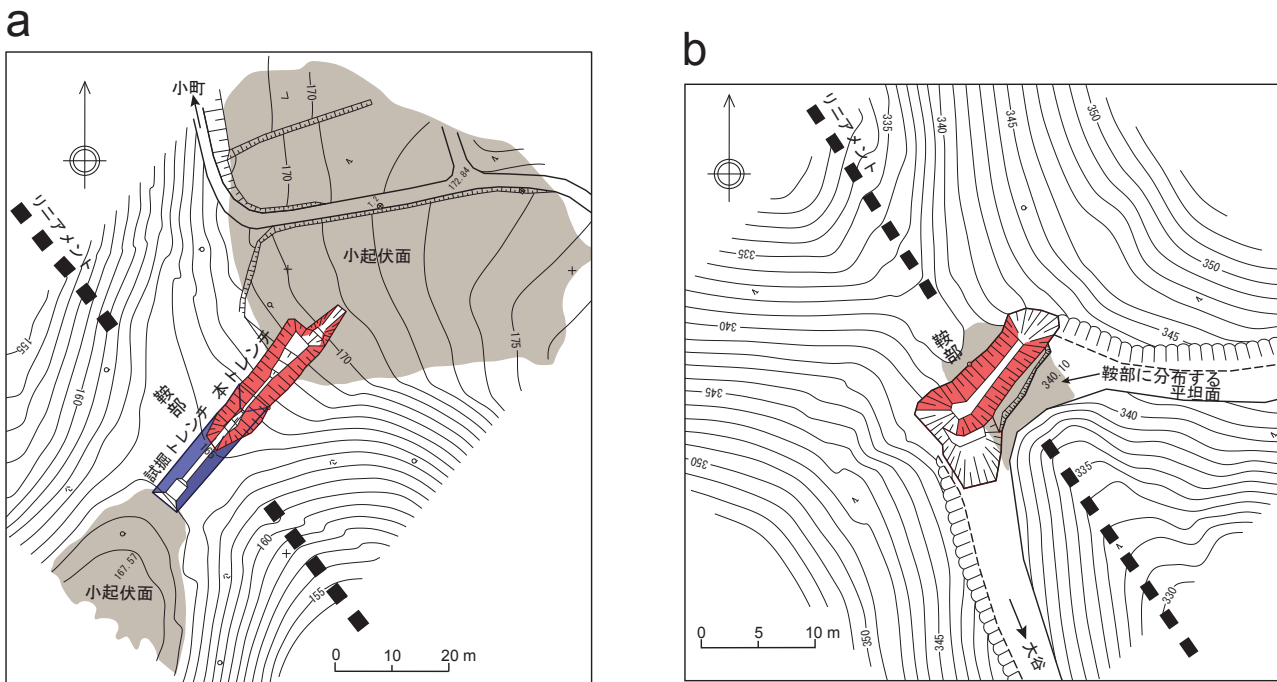


第1図. 調査地域位置図. 橙色の小点は防災科学技術研究所福山英一氏による2000年鳥取県西部地震の余震分布(堀川ほか, 2001から転載). 国土地理院発行20万分の1地勢図「松江」及び「高梁」を使用.
 Fig. 1. Aftershock distribution (orange dots) and surface ruptures of the 2000 Tottori-ken Seibu earthquake, and location of the Komachi-Ohdani lineament system. Aftershock distribution is courtesy of Dr. Eiichi Fukuyama at National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention.



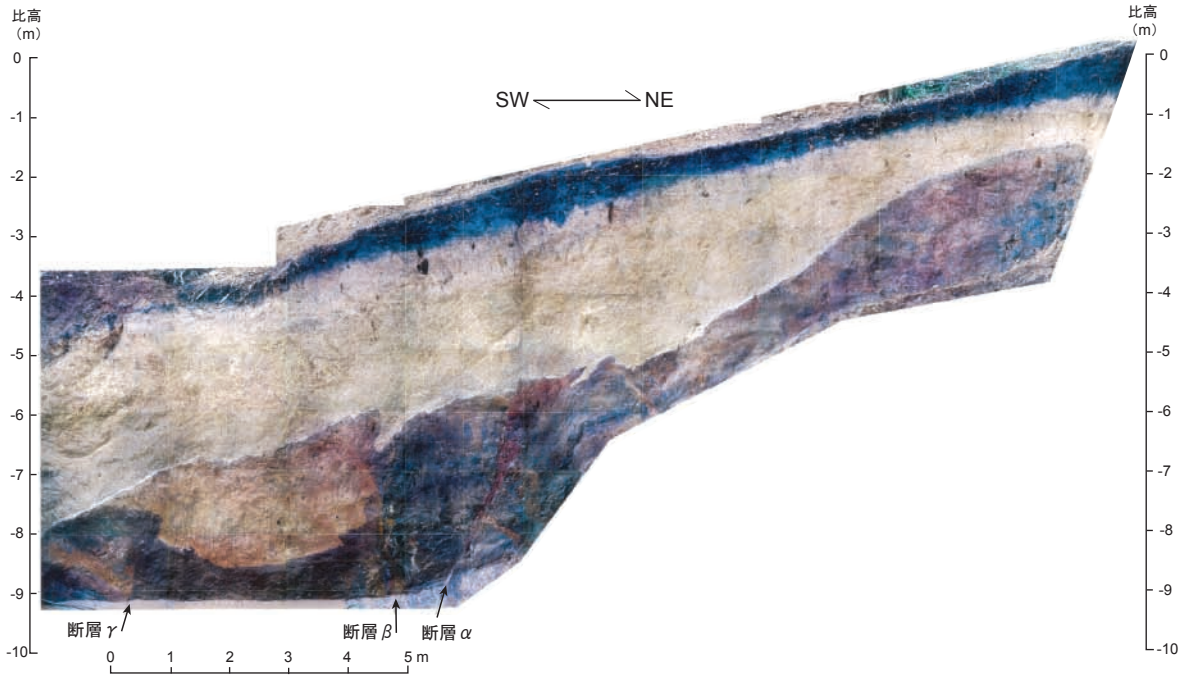
第3図. 伯耆町中祖の小町リニアメント上に見られる断層破碎帯の露頭。露頭位置は第2図参照。

Fig. 3. Shear zone at the southern tip of the Komachi lineament.

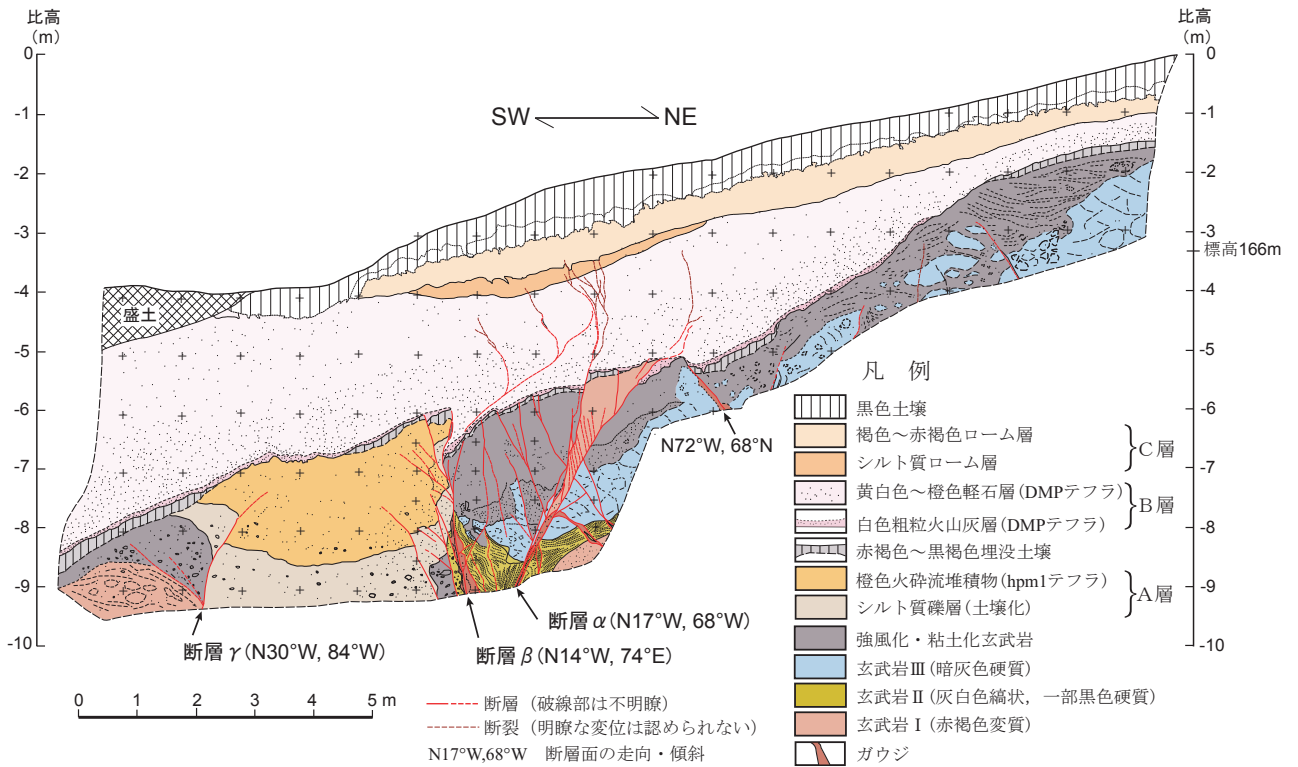


第4図. トレンチ調査地点の見取り図。a : 小町地点, b : 大谷地点。

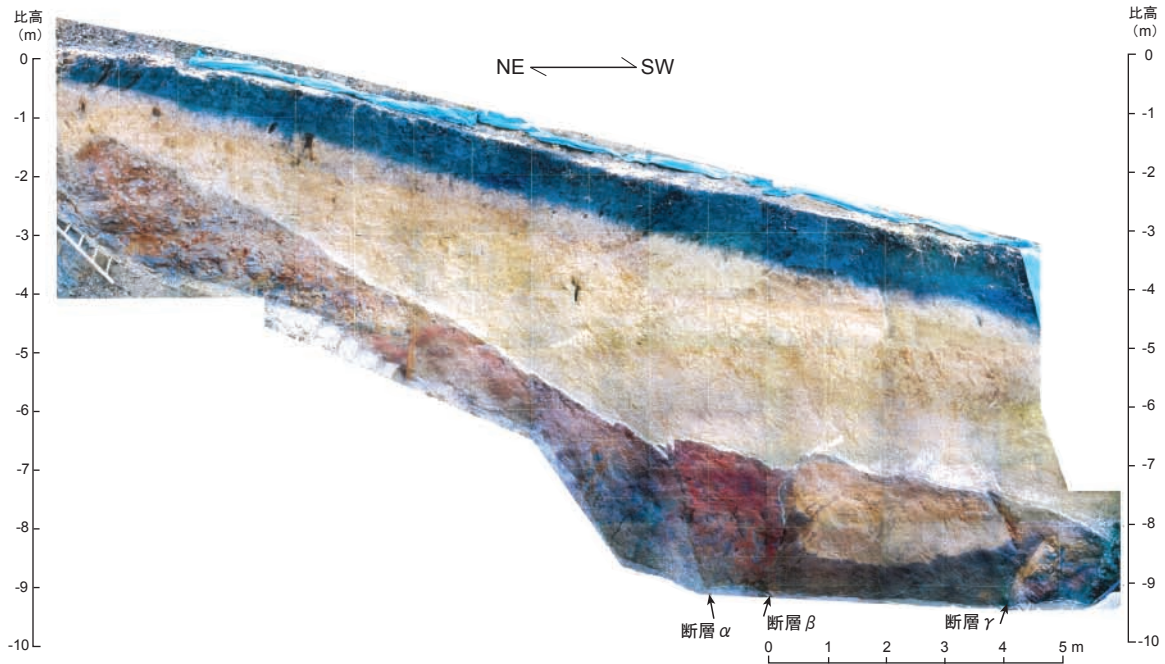
Fig. 4. Simplified plans of the Komachi (a) and Ohdani (b) trench sites.



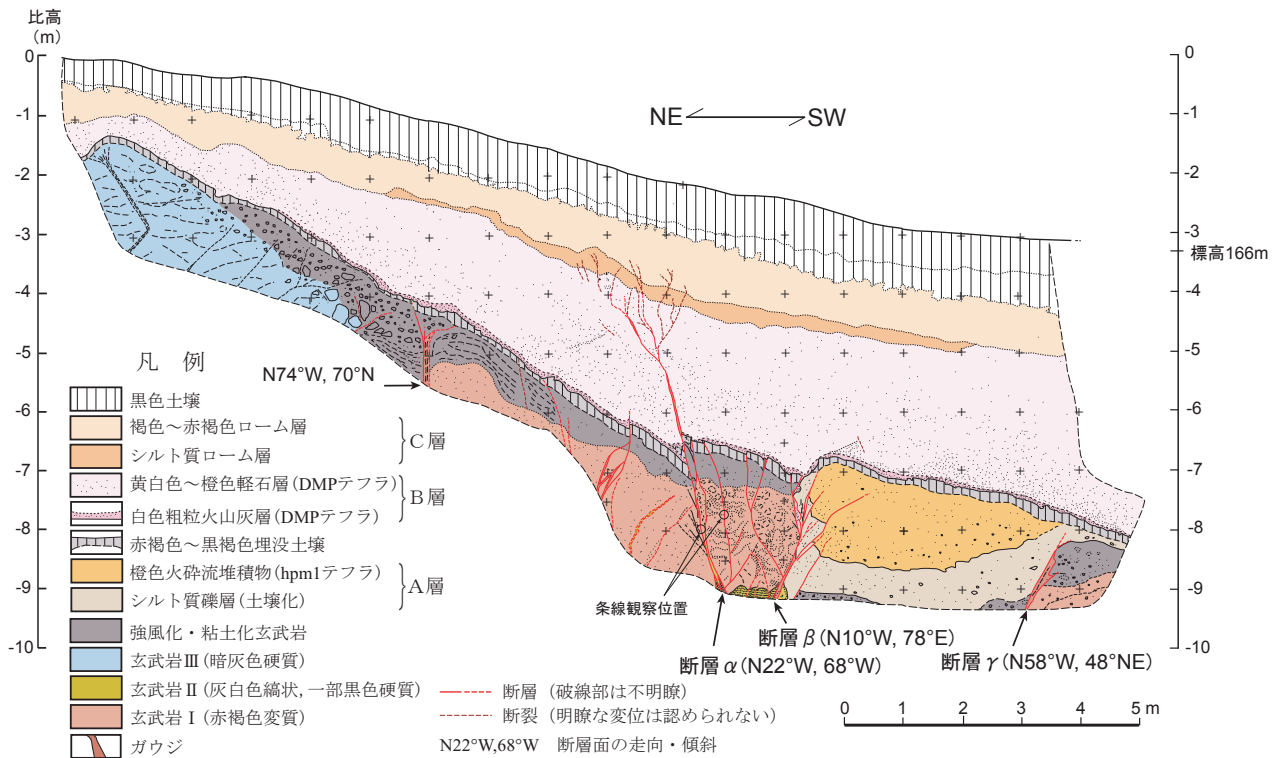
第5図. 小町地点のトレンチ北西壁面.
Fig. 5. NW trench wall at the Komachi site.



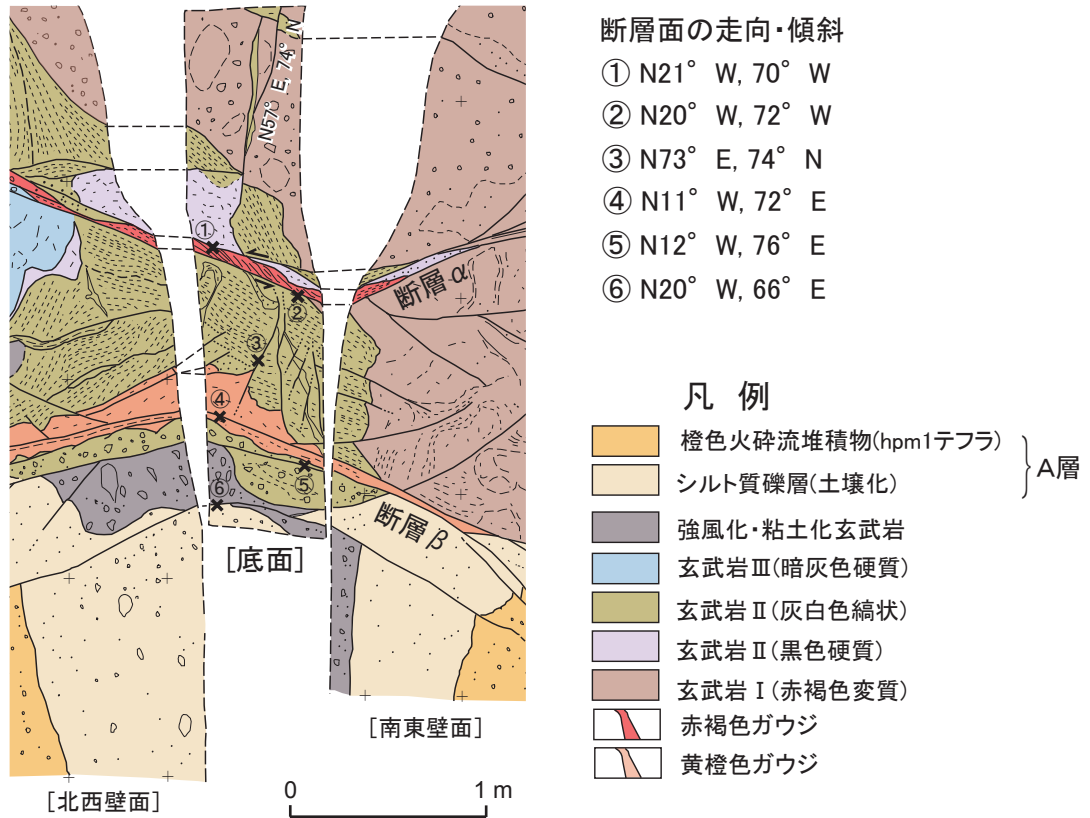
第6図. 小町地点のトレンチ北西壁面スケッチ.
Fig. 6. Sketch of NW trench wall at the Komachi site.



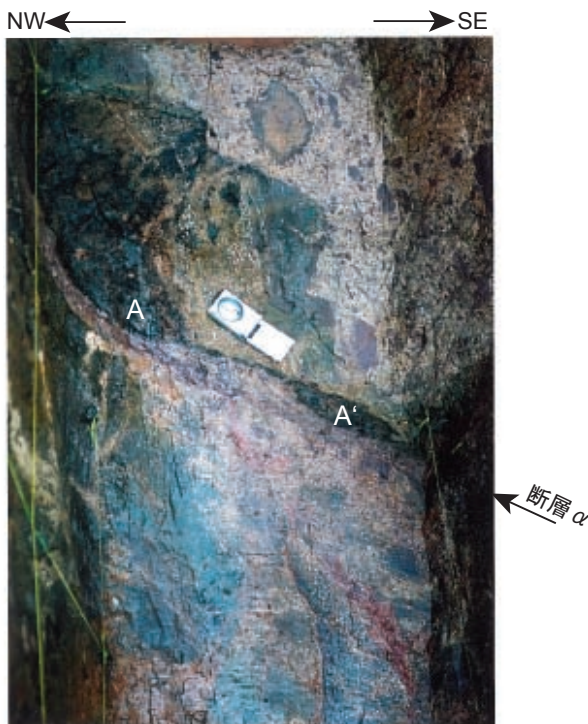
第7図. 小町地点のトレンチ南東壁面.
Fig. 7. SE trench wall at the Komachi site.



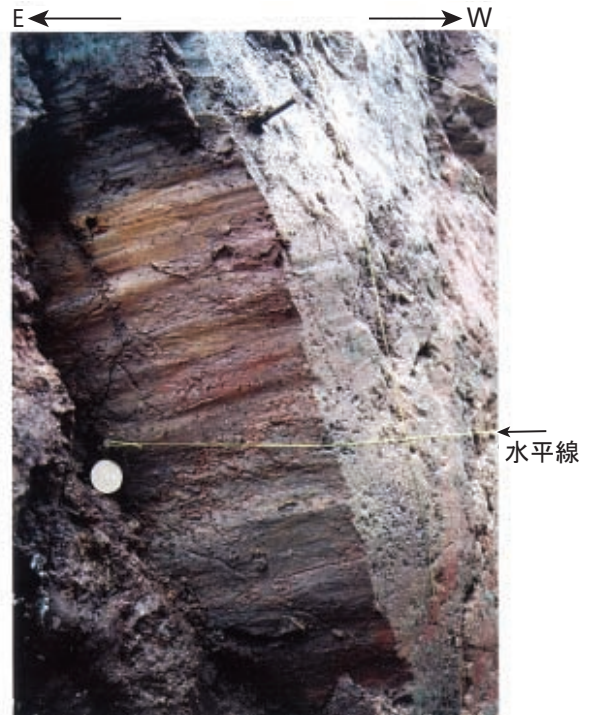
第8図. 小町地点のトレンチ南東壁面スケッチ. 図中に示した2つの条線観察位置のうち, 南西寄り地点の状況を第11図に示す.
Fig. 8. Sketch of SE trench wall at the Komachi site.



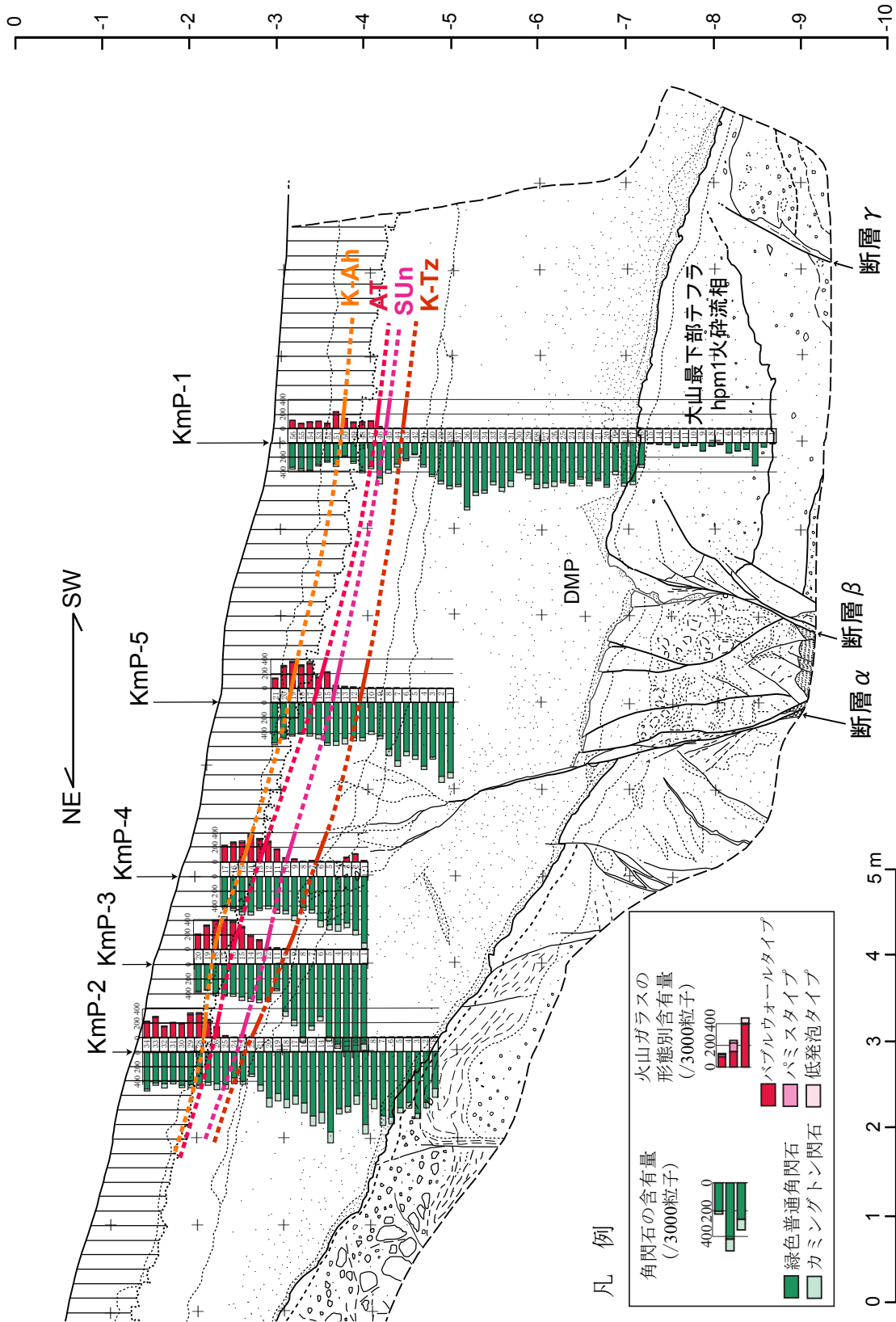
第9図. 小町地点のトレンチ底面と北西，南東両壁面下部のスケッチ。
Fig. 9. Sketch of the bottom and lower parts of NW and SE walls at the Komachi site



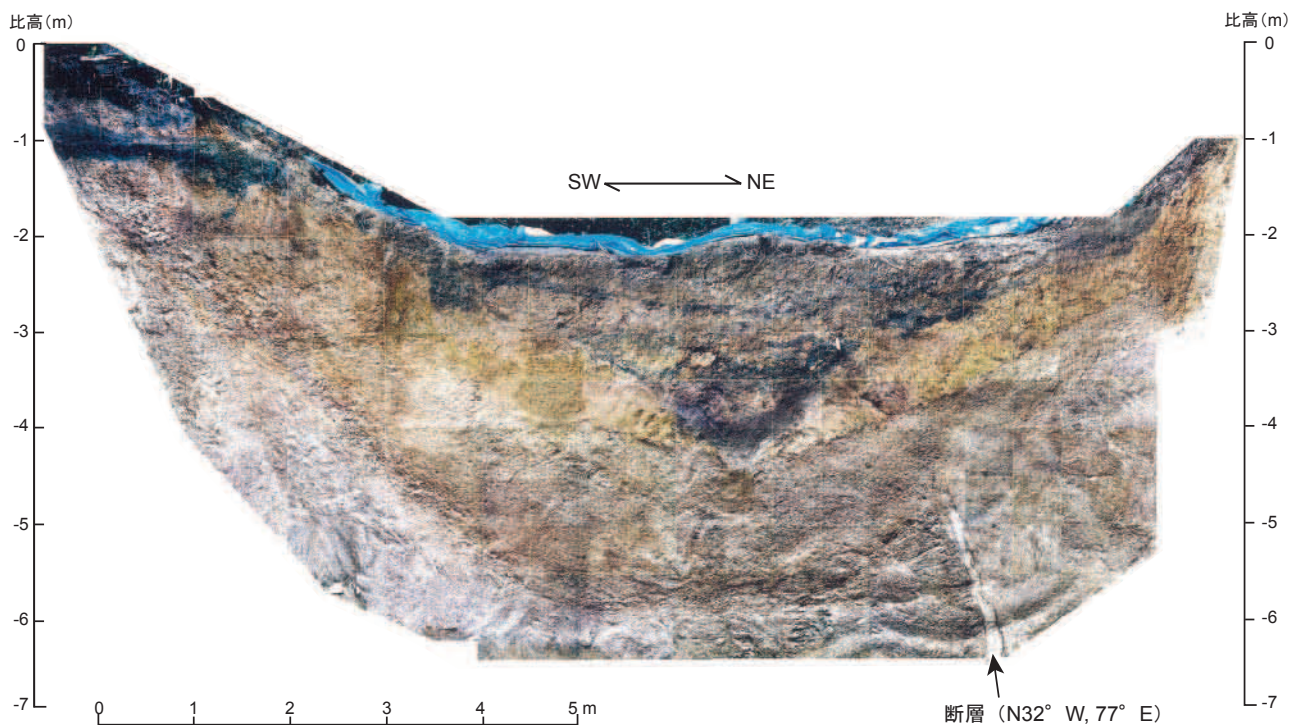
第10図. 小町地点トレンチ底面の断層α. 玄武岩Ⅱ(第9図参照)の黒色硬質玄武岩(A及びA')が断層αによって左横ずれしている。
Fig. 10. Fault α and left-laterally displaced black basalt (A and A') on the trench bottom at the Komachi site.



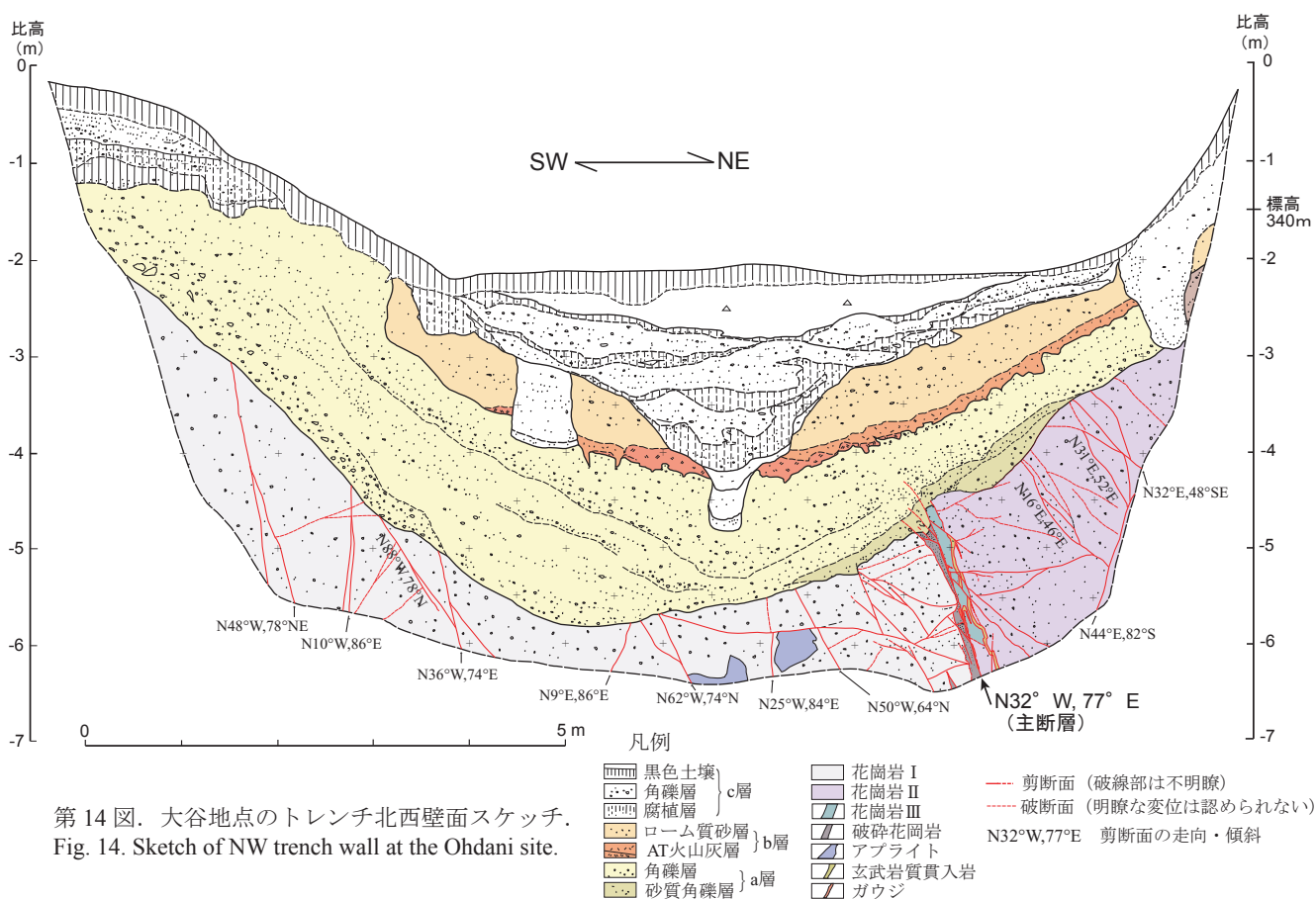
第11図. 断層αから派生する断層に認められる条線. 観察位置は第8図参照。
Fig. 11. Striations of a branch fault of fault α at the Komachi site.



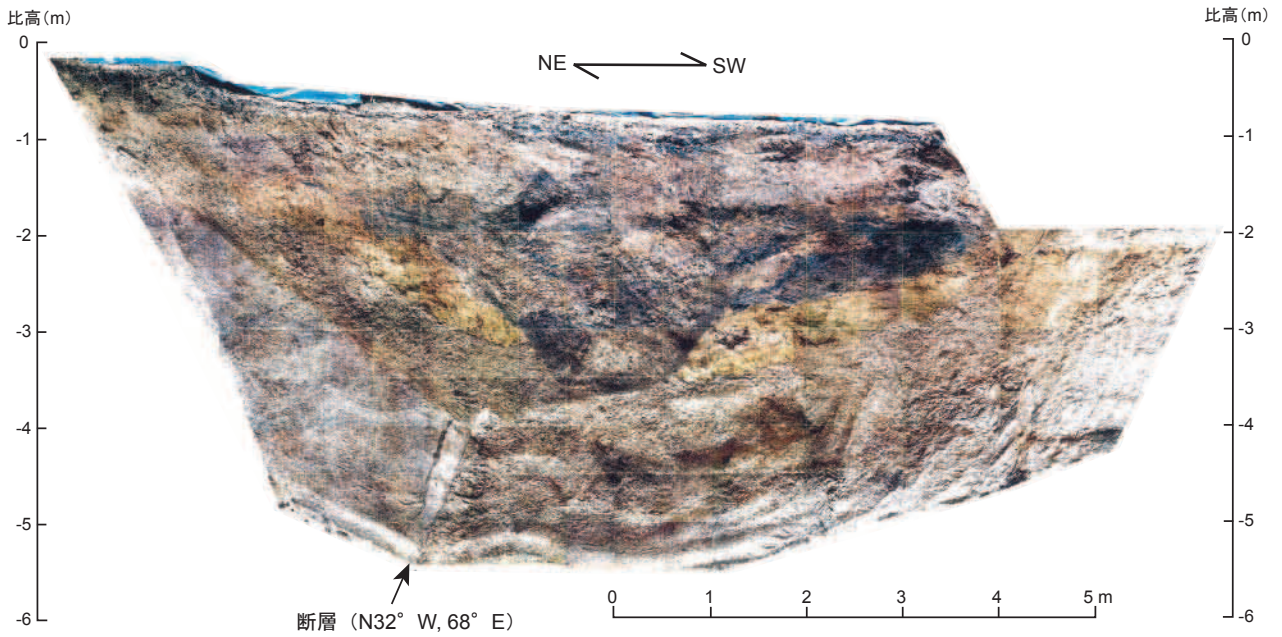
第12図. 小町地点のトレンチ南東壁面におけるテフラ分析結果
 Fig. 12. Summarized results of tephra analysis of SE trench wall at the Komachi site.



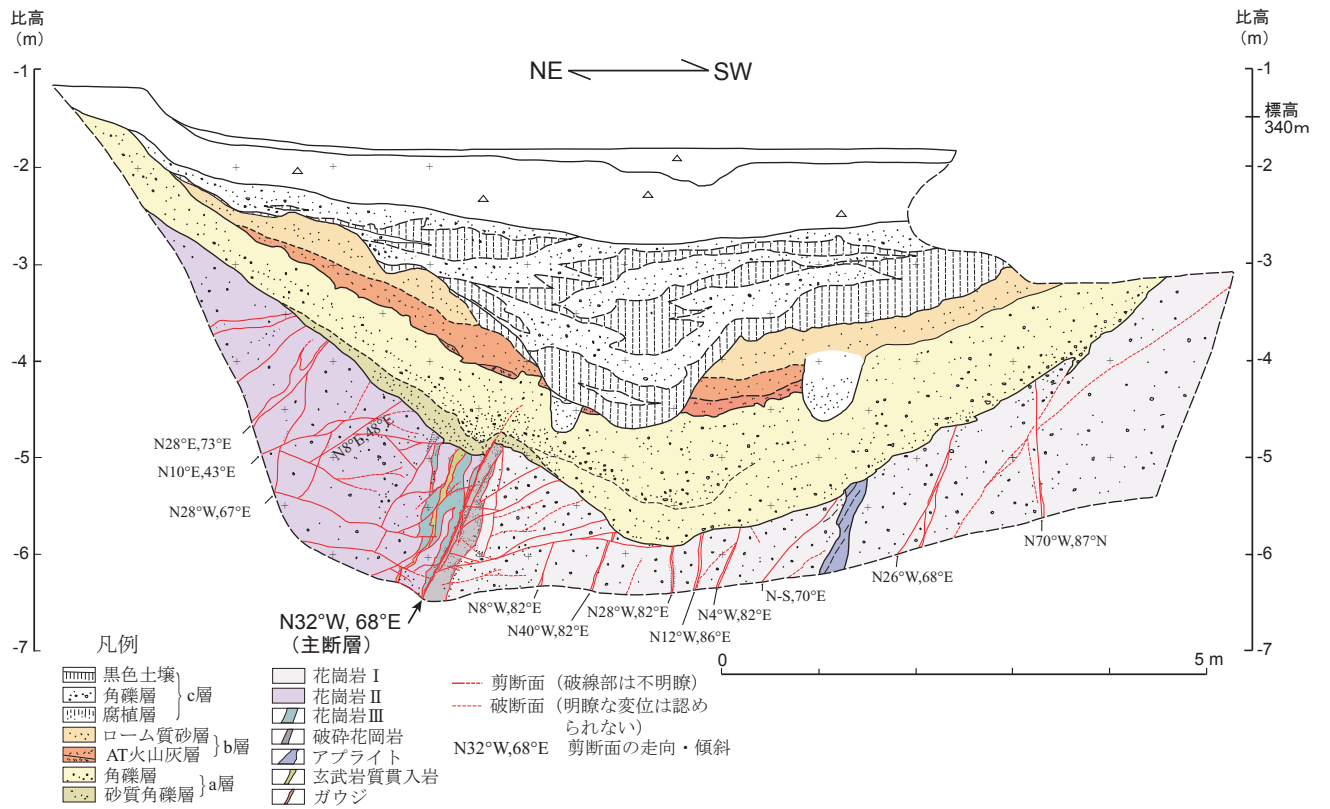
第 13 図. 大谷地点のトレンチ北西壁面.
Fig. 13. NW trench wall at the Ohdani site.



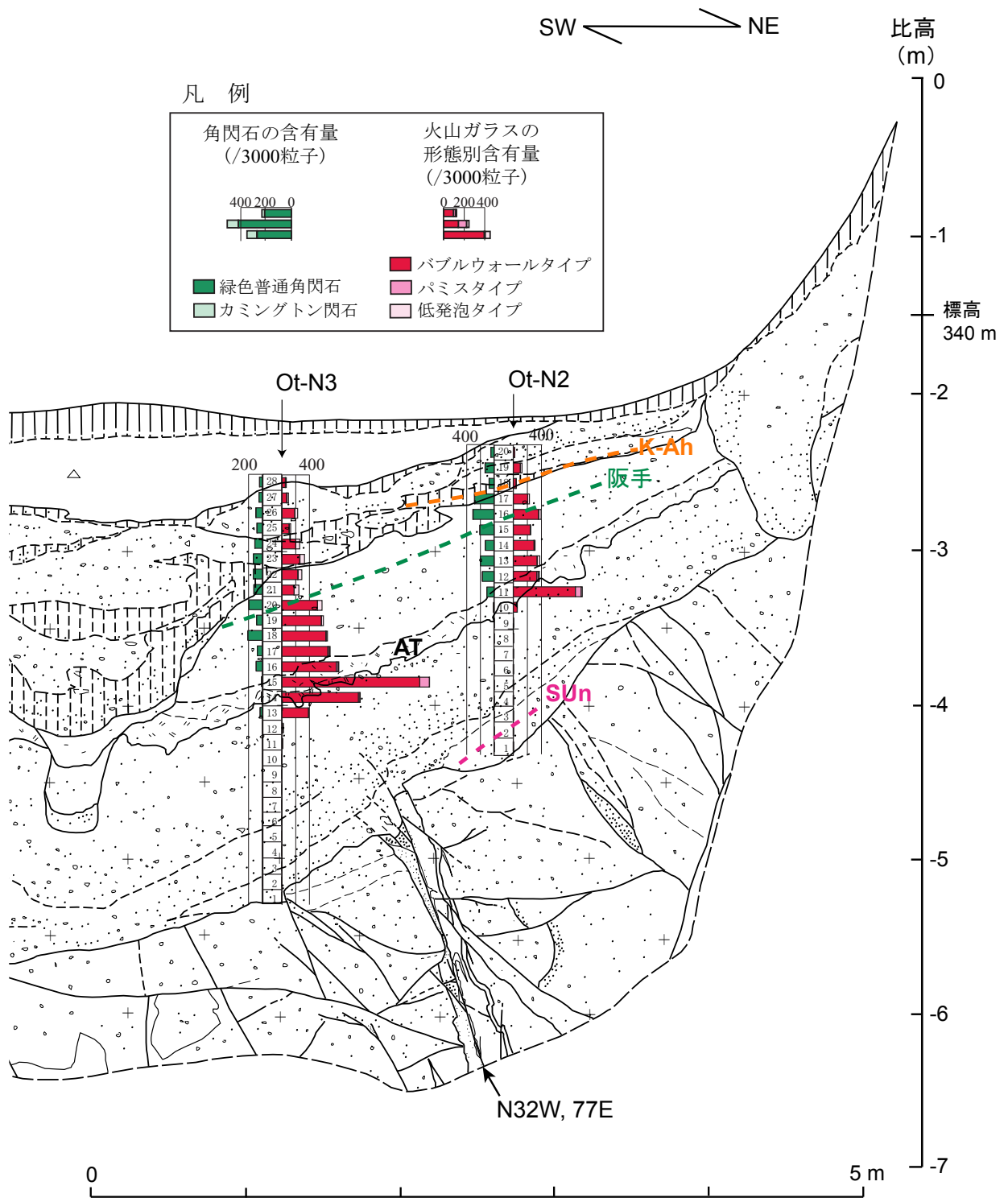
第 14 図. 大谷地点のトレンチ北西壁面スケッチ.
Fig. 14. Sketch of NW trench wall at the Ohdani site.



第 15 図. 大谷地点のトレンチ南東壁面.
Fig. 15. SE trench wall at the Ohdani site.

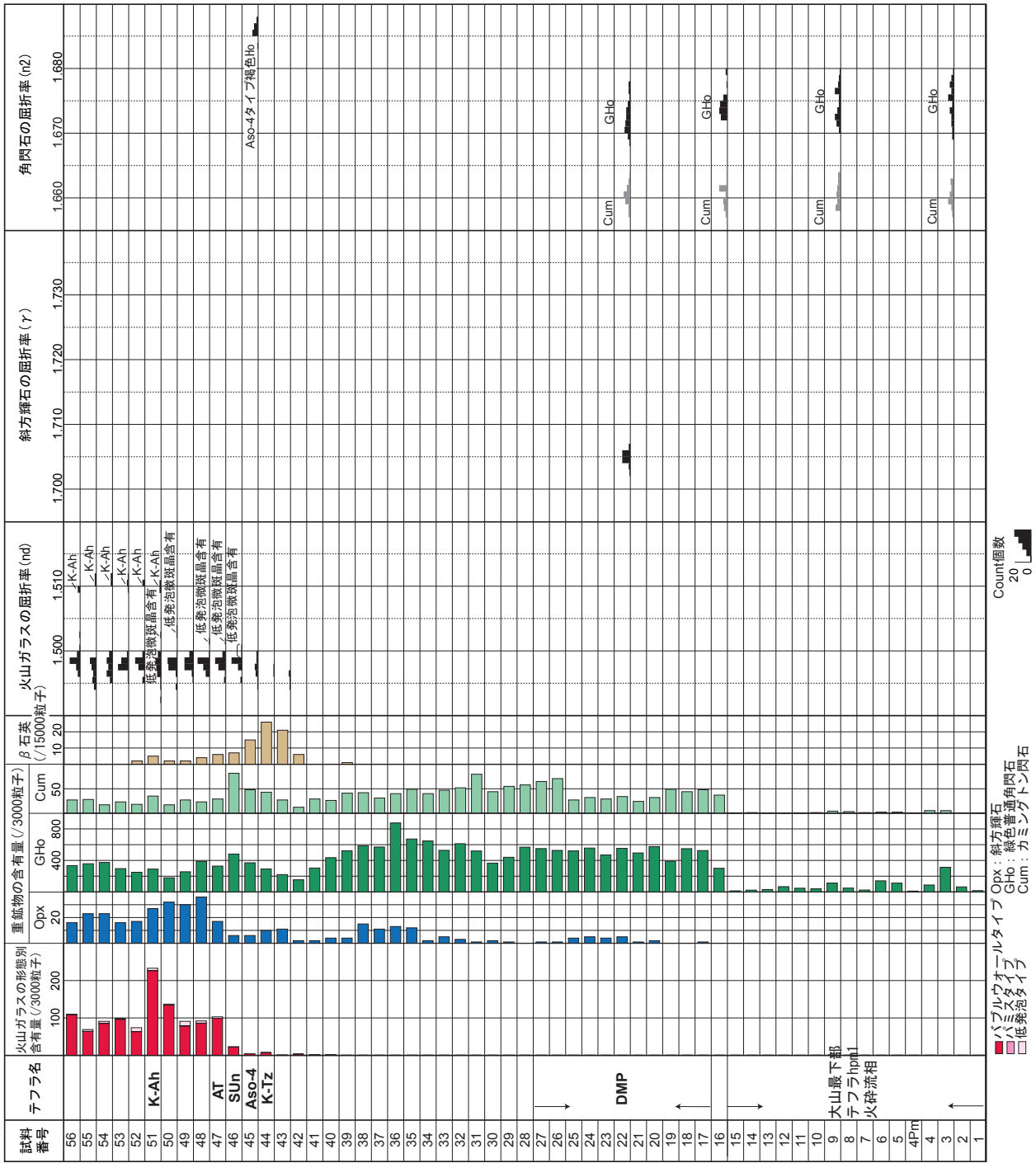


第 16 図. 大谷地点のトレンチ南東壁面スケッチ.
Fig. 16. Sketch of SE trench wall at the Ohdani site.



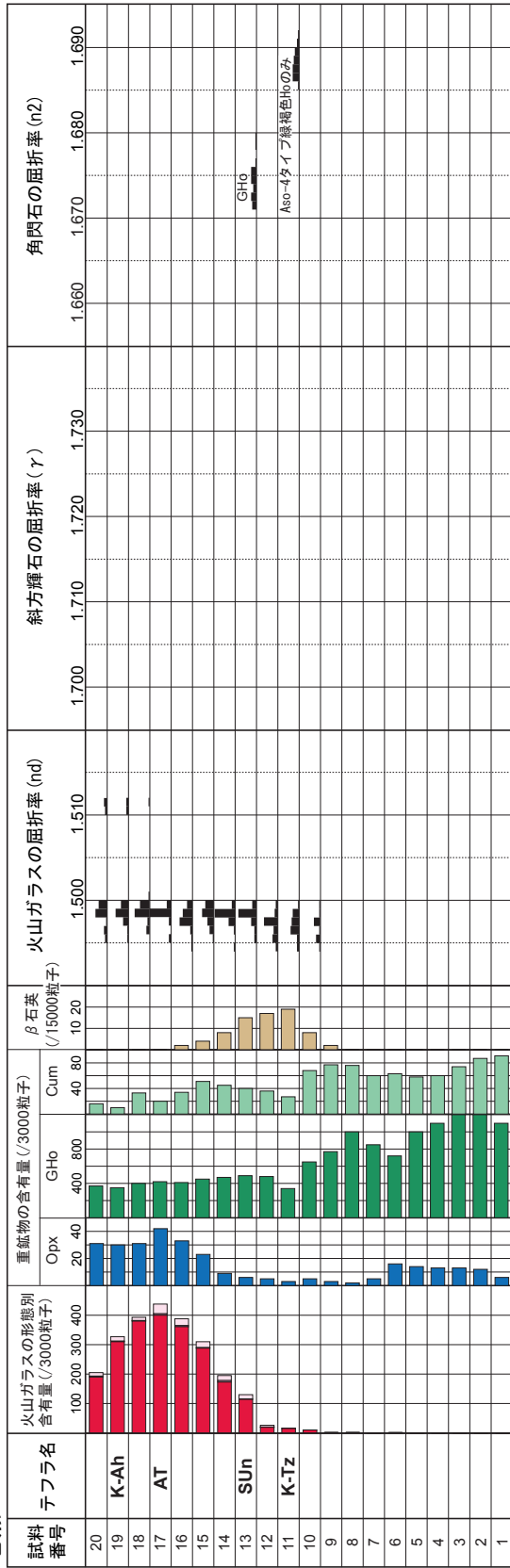
第 17 図. 大谷地点のトレンチ北西壁面におけるテフラ分析結果
 Fig. 17. Summarized results of tephra analysis of NW trench wall at the Ohdani site.

地点：KmP-1



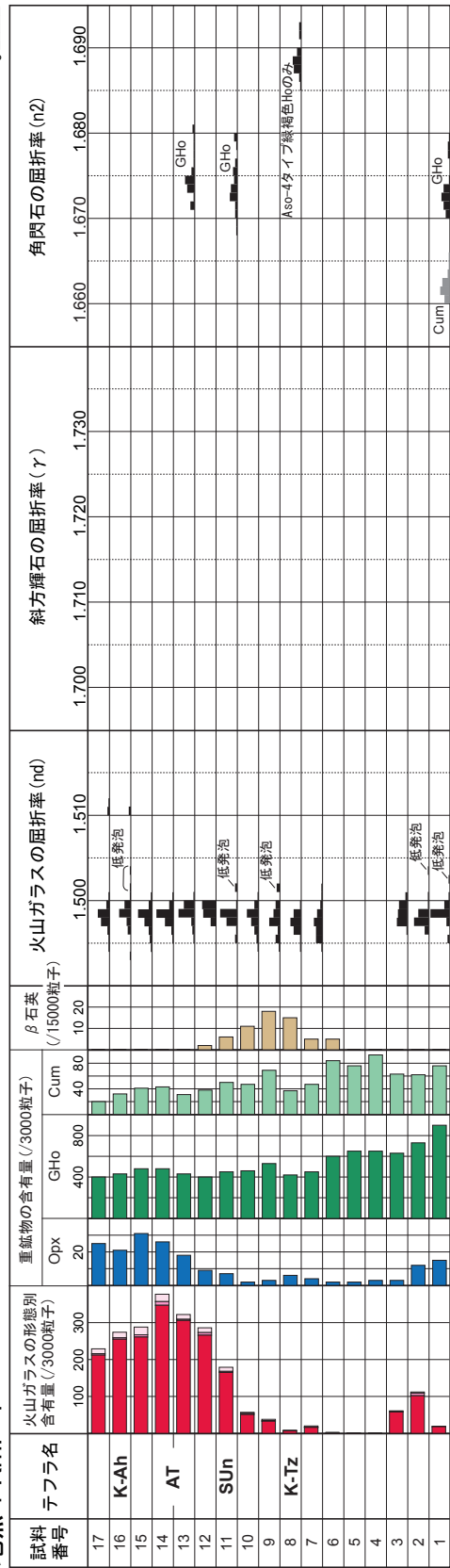
付図 1. 小町地点のトレンチ南東壁面のテフラ分析結果 (1). 分析は古澤地質調査事務所による.
Appendix 1. Result of tephra analysis for SE trench wall at the Komachi site (1).

地点：KmP-3



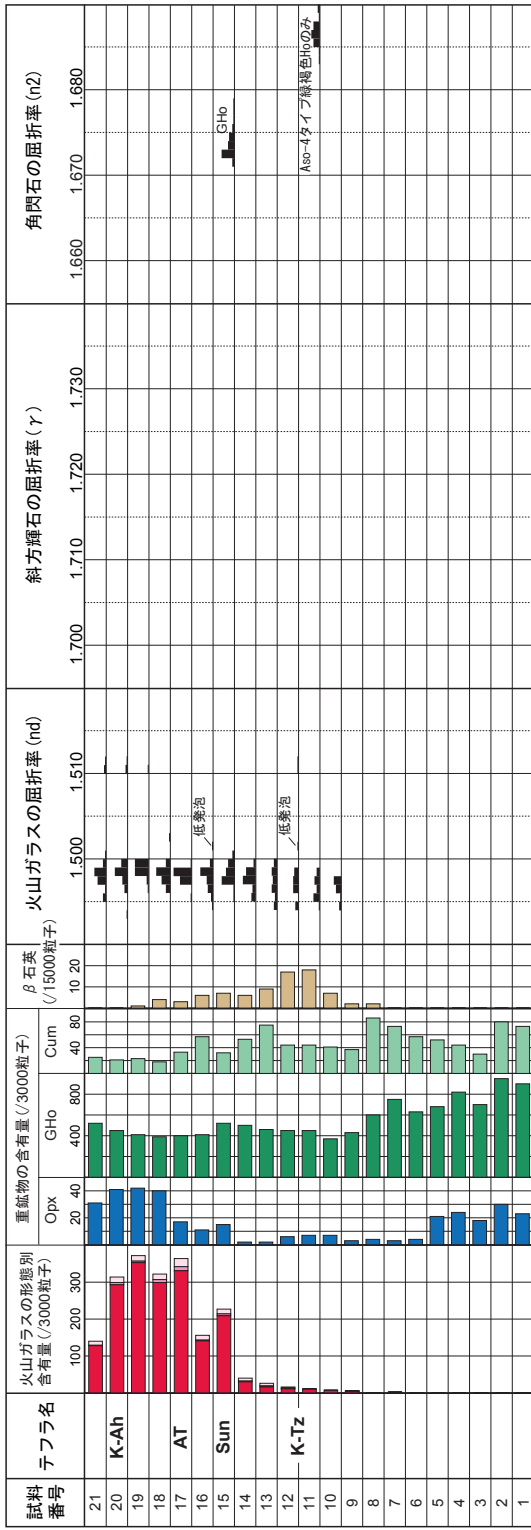
付図 3. 小町地点のトレンチ南東壁面のテフラ分析結果 (3). 分析は古澤地質調査事務所による。
Appendix 3. Result of tephra analysis for SE trench wall at the Komachi site (3).

地点：KmP-4



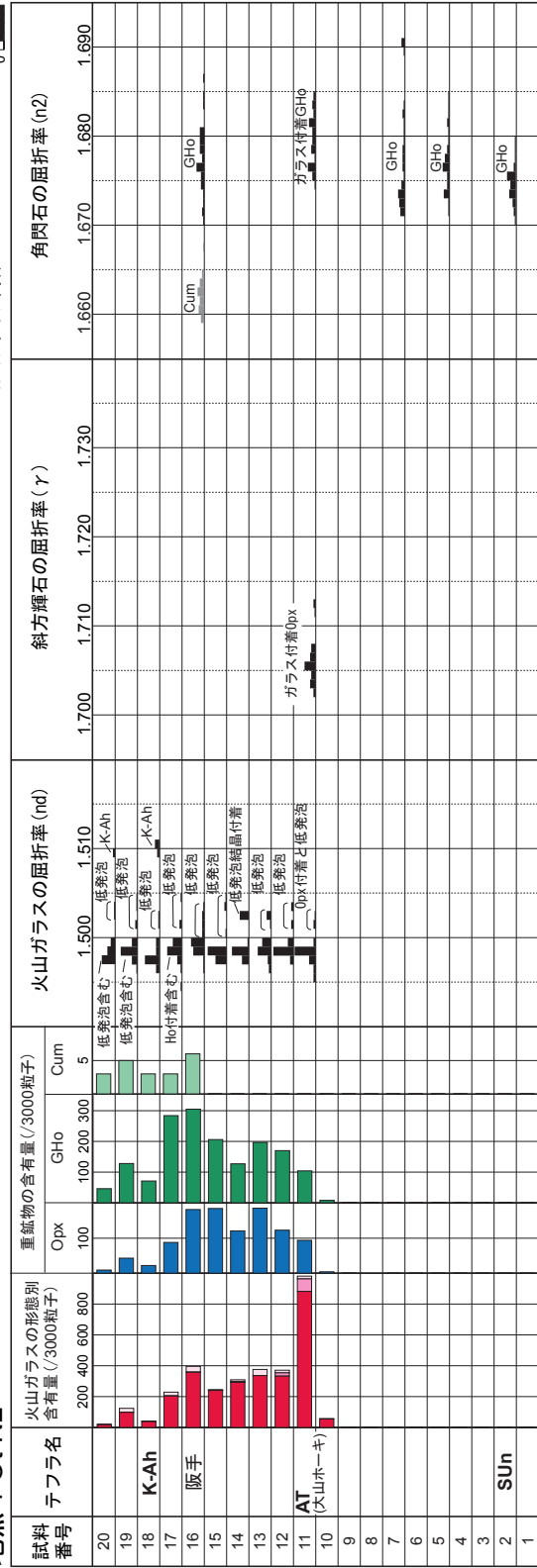
付図 4. 小町地点のトレンチ南東壁面のテフラ分析結果 (4). 分析は古澤地質調査事務所による。
Appendix 4. Result of tephra analysis for SE trench wall at the Komachi site (4).

地点：Kmp-5



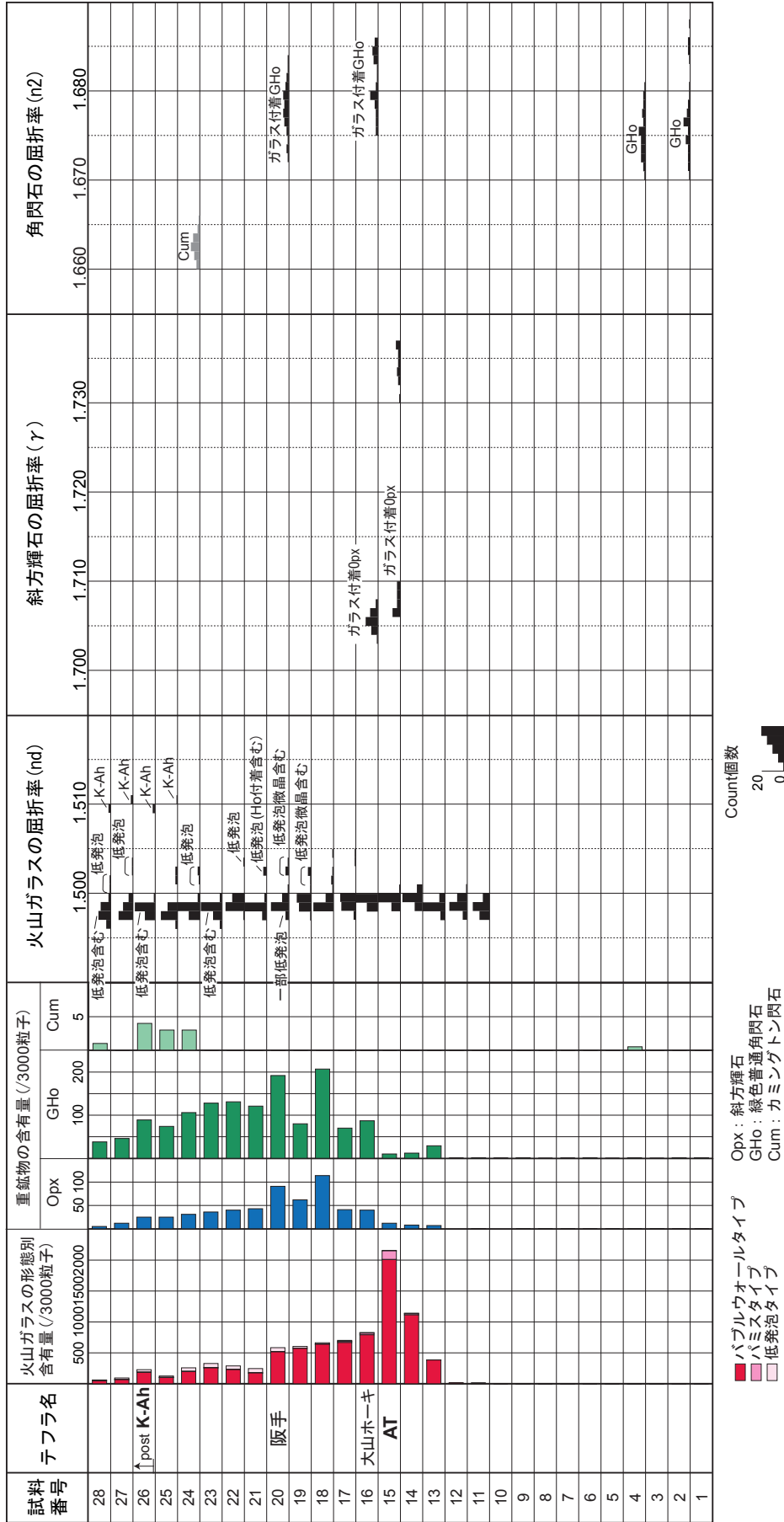
付図 5. 小町地点のトレンチ南東壁面のテフラ分析結果 (5). 分析は古澤地質調査事務所による。
Appendix 5. Result of tephra analysis for SE trench wall at the Komachi site (5).

地点：Ot-N2



付図 6. 大谷地点のトレンチ北西壁面のテフラ分析結果 (1). 分析は古澤地質調査事務所による。
Appendix 6. Result of tephra analysis for NW trench wall at the Ohdani site (1).

地点：Ot-N3



付図7. 大谷地点のトレンチ北西壁面のテフラ分析結果 (2). 分析は古澤地質調査事務所による.
 Appendix 7. Result of tephra analysis for NW trench wall at the Ohdani site (2).