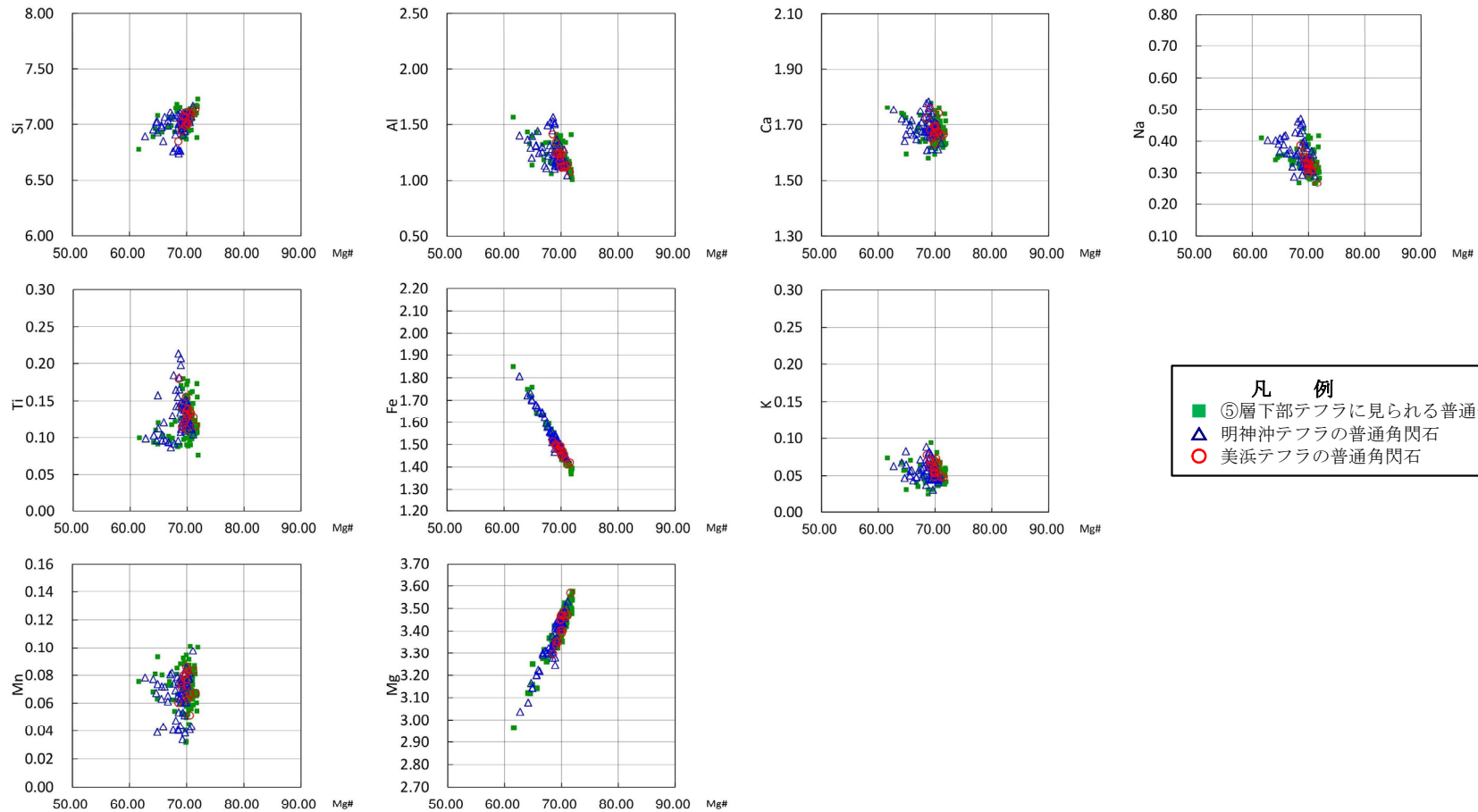


2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (⑤層下部テフラ(明神沖テフラ)の分析結果(その3))

• ⑤層下部テフラに見られる普通角閃石の主成分分析結果は、明神沖テフラの普通角閃石と美浜テフラの普通角閃石の両者の主成分分析結果に対応している。



凡 例
 ■ ⑤層下部テフラに見られる普通角閃石
 ▲ 明神沖テフラの普通角閃石
 ● 美浜テフラの普通角閃石

2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (D-1トレンチと海上ボーリングの地層の堆積速度(その1))

- **明神沖テフラのカミングトン閃石は、D-1トレンチの10cmの分析ピッチにおいては美浜テフラの降灰層準の分析深度と同一か上位に認められており、両テフラの層位関係は逆転していない。**
- **⑤層下部テフラについて10cmピッチで分析を行った結果、上部では明神沖テフラの主成分分析結果の特徴であるMg#70付近より低い測定値も含まれているが、下部では美浜テフラの主成分分析結果の特徴であるMg#70付近に測定値が集中していることから、⑤層下部テフラの上部は明神沖テフラと美浜テフラが混在しているが、下部では美浜テフラのみが分布していると判断される。**

第1202回審査会合
資料1-1 再掲

普通角閃石

測線C(濃集分析)

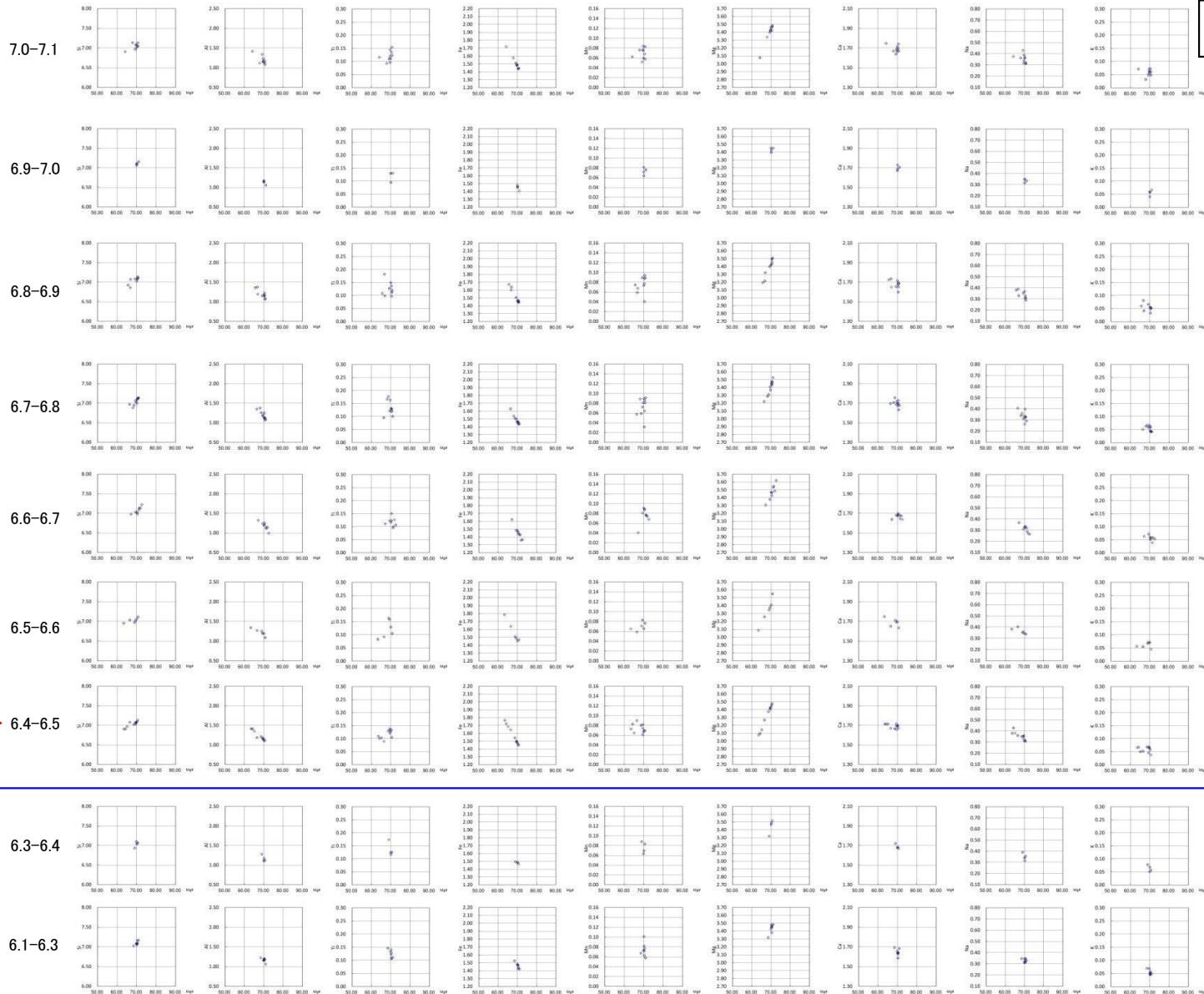
試料番号	総試料1g中の重鉱物含有個数	
	Gho	Cum
	100	200
	4	8
7.7-7.8		
7.6-7.7		
7.5-7.6		
7.4-7.5		
7.3-7.4		
7.2-7.3		
7.1-7.2		
● 7.0-7.1		
● 6.9-7.0		
● 6.8-6.9		
● 6.7-6.8		
● 6.6-6.7		
● 6.5-6.6		
● 6.4-6.5		
● 6.3-6.4		
□ 6.2-6.3		
□ 6.1-6.2		
6.0-6.1		
5.9-6.0		

● :主成分分析実施箇所

→ :Mh降灰層準

Mg#70付近より低い測定値を示す
普通角閃石も認められる

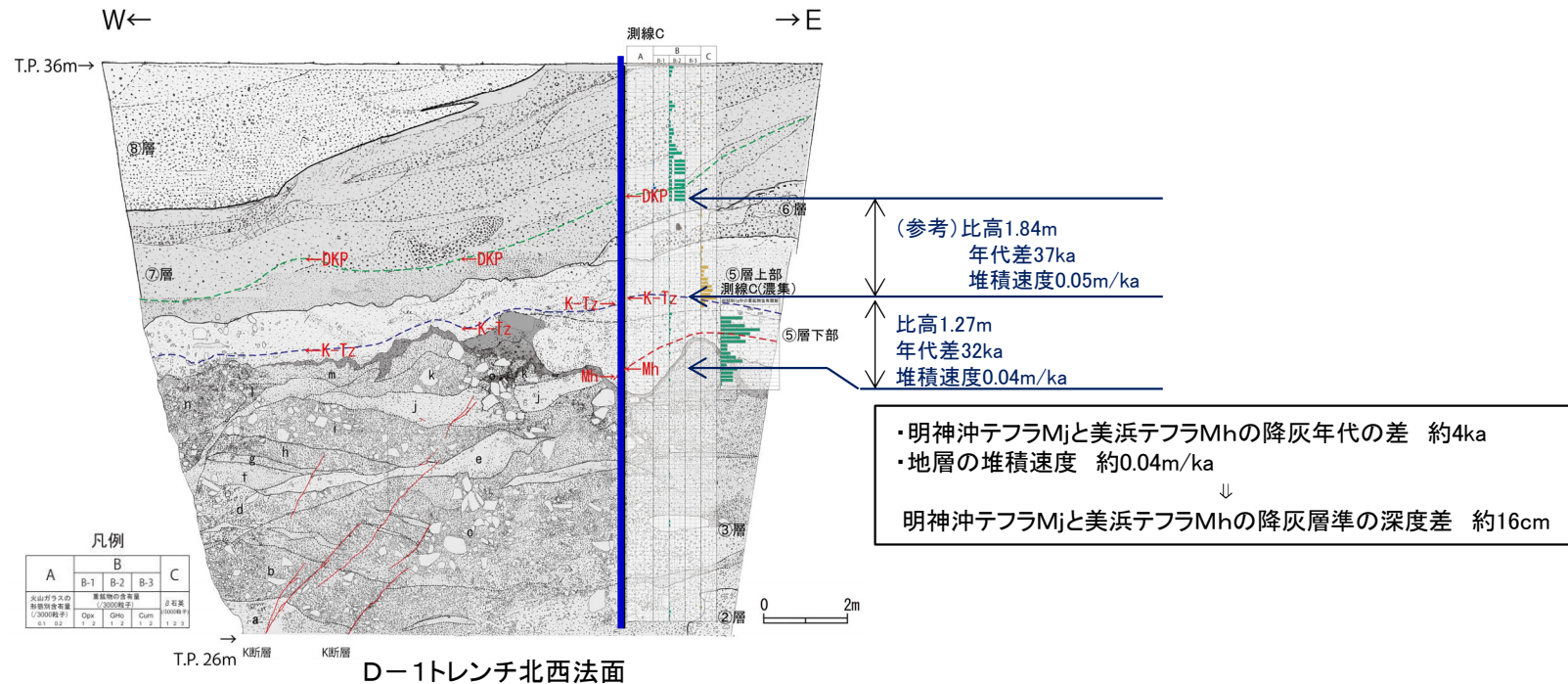
Mg#70付近に
測定値が集中



2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (D-1トレンチと海上ボーリングの地層の堆積速度(その2))

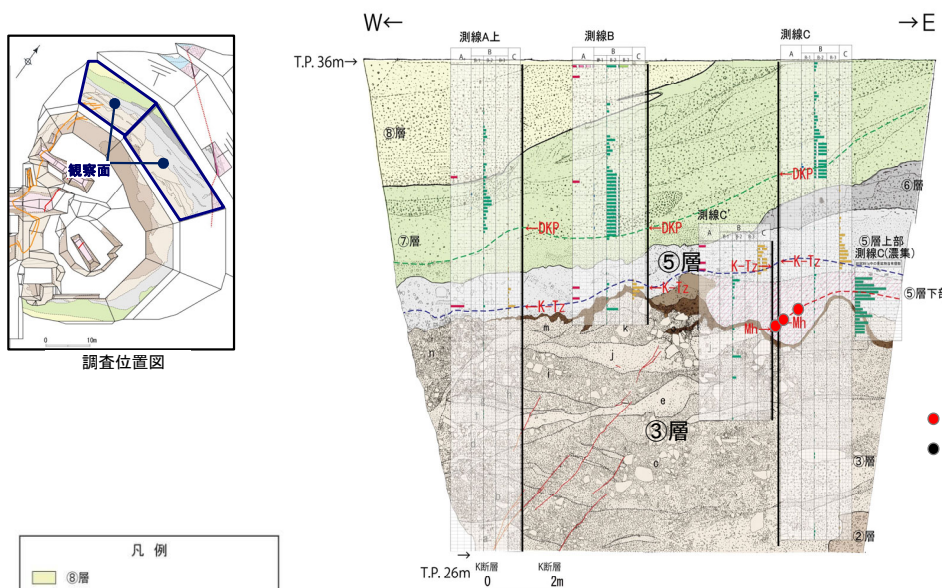
第1202回審査会合
資料1-1 再掲

- 10cmの分析ピッチにおいて明神沖テフラと美浜テフラが同一深度で認められることについては、両テフラの降灰年代及び本トレンチの地層の堆積速度の関係等を踏まえ、**地層の二次堆積によるものではないと判断した。**
- 明神沖テフラ及び美浜テフラの降灰年代はそれぞれ約12.3万年前及び約12.7万年前であり、その差は約4kaであるのに対し、D-1トレンチの地層の堆積速度は約0.04m/ka(Mh及びK-Tzの降灰層準に基づき算出)であることから、両テフラは深度差十数cmで近接して降灰したものと考えられる。
- このことから、上位のテフラである**明神沖テフラ**が近接する**下位の美浜テフラの降灰層準へ拡散した**ことによるものと判断される。

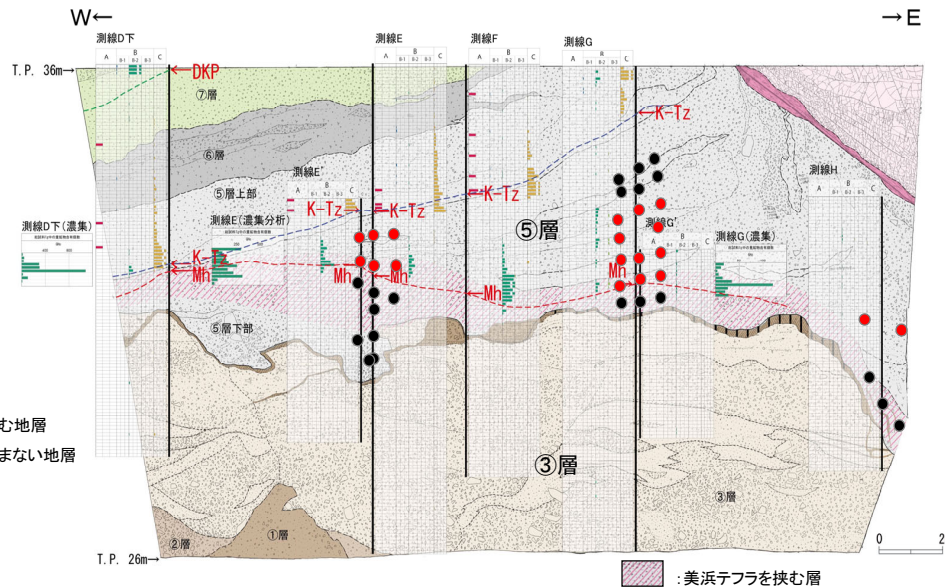


2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (D-1トレンチ ⑤層の粒度分析結果)

- 全てのテフラ分析測線において、⑤層最下部の地層にはテフラ起源の鉱物が一切認められない。一方、⑤層最下部の地層の粒度は、美浜テフラが認められる地層の粒度と同程度である。
- いずれの地層もテフラ分析粒径範囲に相当する粒径のもので構成されていることから、テフラ起源の鉱物だけが地下水等により流出することはないと判断した。
- ⑤層最下部の地層にテフラ起源の鉱物が認められないのは、降灰したテフラ起源の鉱物が流出したのではなく、テフラの降灰自体がなかったと判断した。
- ⑤層最下部の地層は、美浜テフラ降灰以前に堆積した地層であると判断した。



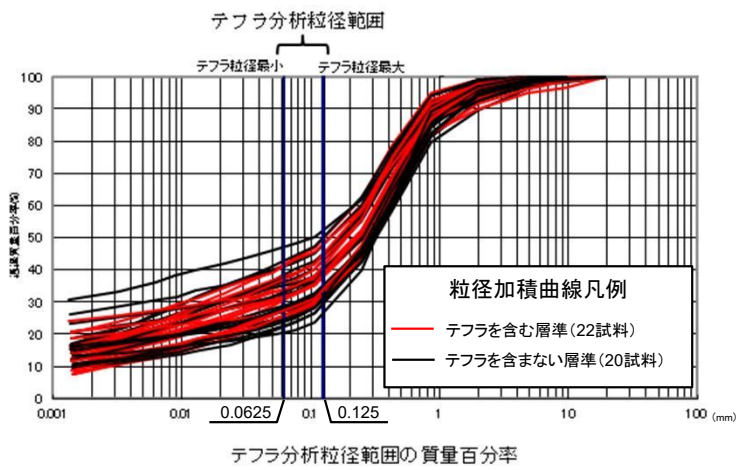
粒度分析用試料採取位置図(D-1トレンチ北西法面)



粒度分析用試料採取位置図(D-1トレンチ北法面)

凡例

⑧層	せん断面
⑦層	せん断面(不明瞭)
⑥層	地層境界
⑤層	酸化帯
③層	層相境界(主要なもの)
②層	



2.1.2 地層の堆積年代 花粉分析結果 (②層)

・②層は、花粉分析結果によれば、針葉樹のスギ属、マツ属が多く、次いでツガ属、モミ属等が検出される。他に広葉樹のコナラ属コナラ亜属を含む。スギ属をはじめとする温帯針葉樹が多産することから、②層堆積時は比較的温暖な気候であったと考えられる。

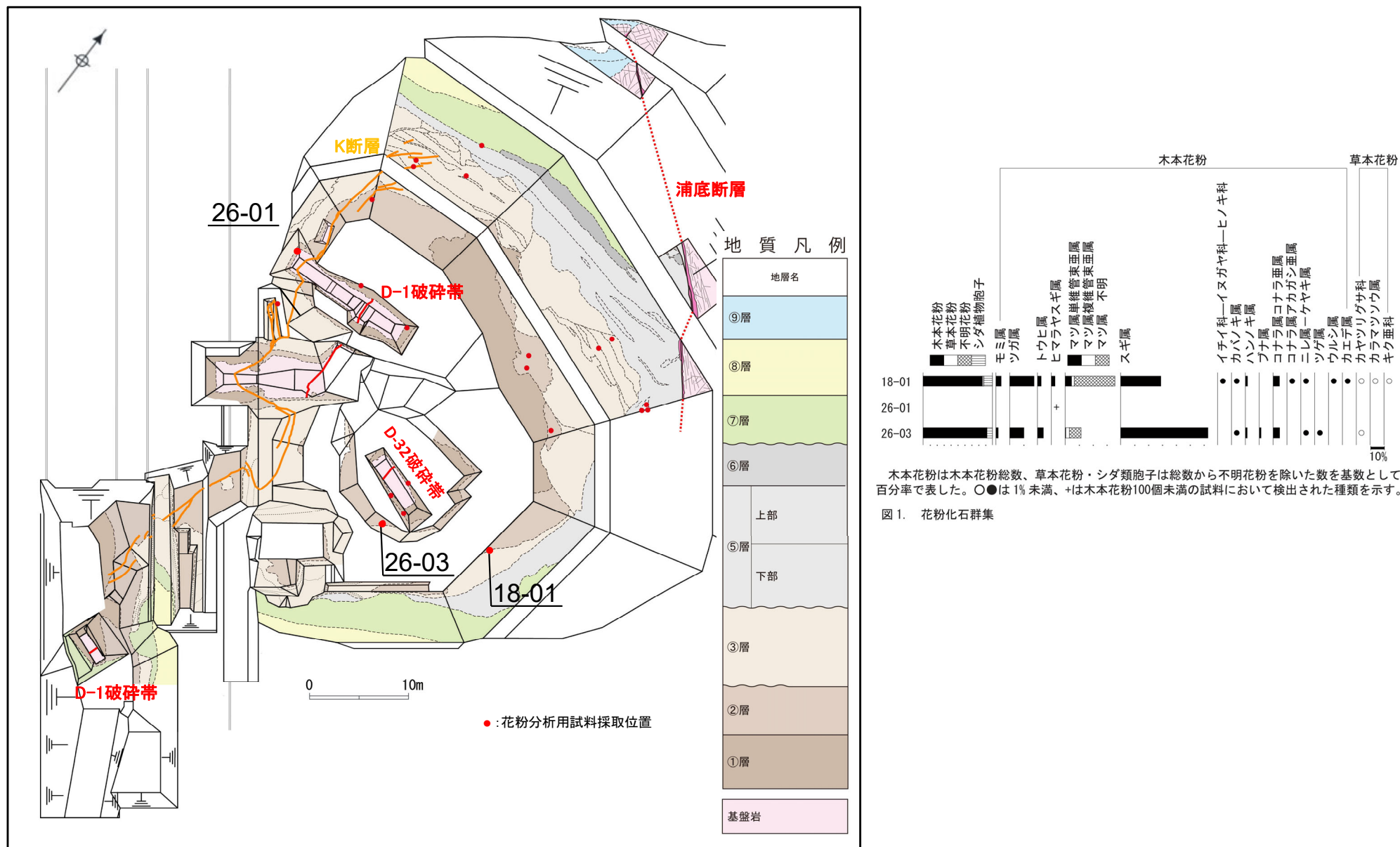
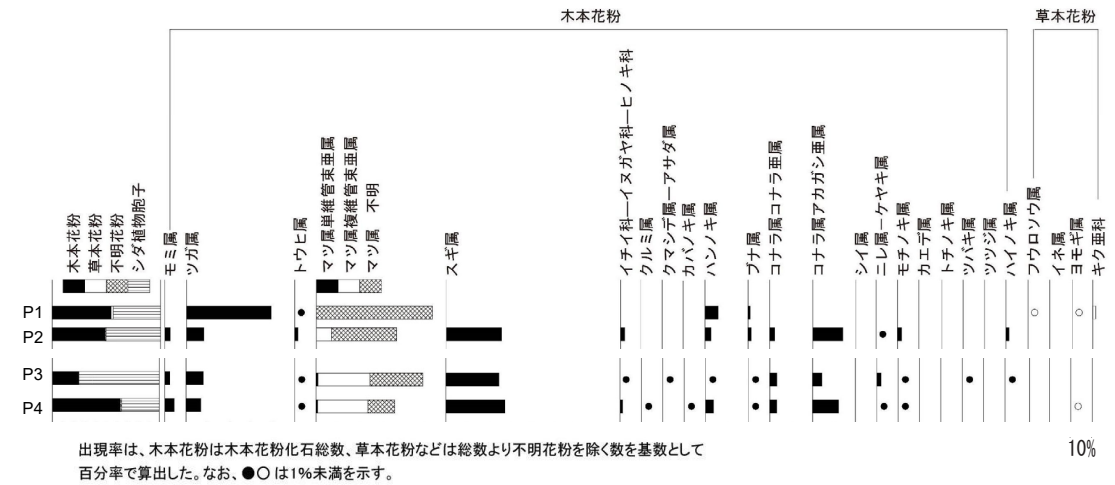
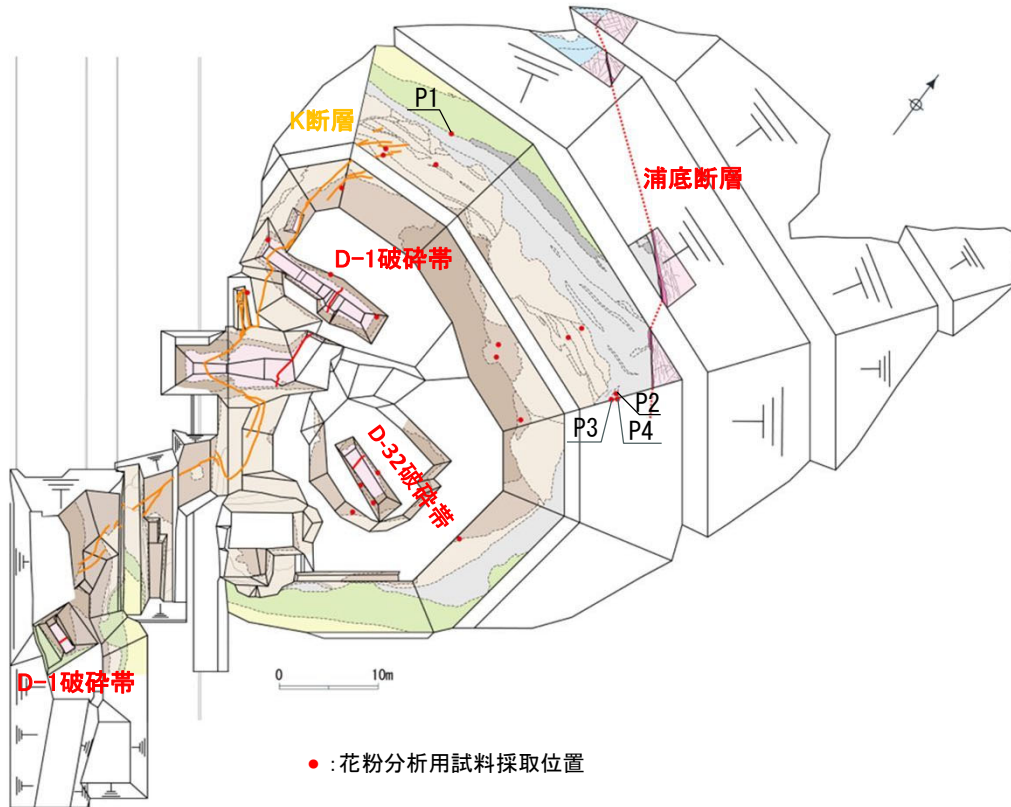


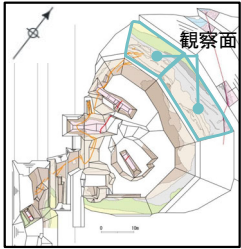
図1. 花粉化石群集

2.1.2 地層の堆積年代 花粉分析結果 (⑤層)

・⑤層下部は、花粉分析結果によれば、**針葉樹のマツ属、スギ属が優勢**であり、他に**広葉樹のコナラ属アカガシ亜属**を含むことから**比較的温暖な気候**と判断した。

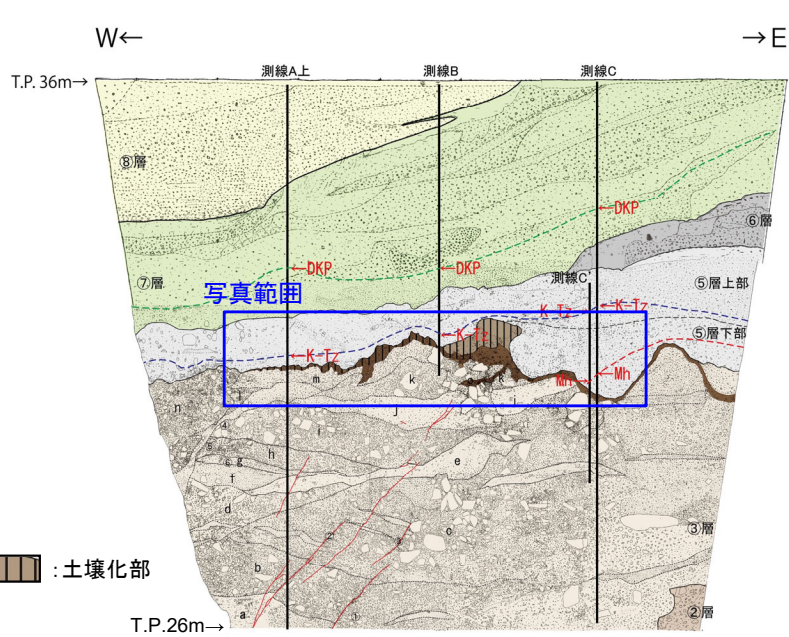


2.1.2 地層の堆積年代 土壌分類と遊離酸化鉄分析（土壌化部の分布）

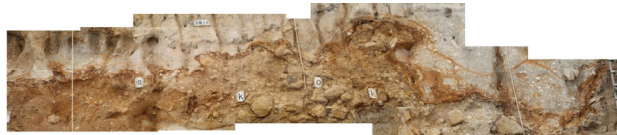


調査位置図

- ③層は、D-1トレンチ北西法面及びD-1トレンチ北法面の上位の美浜テフラを含む⑤層に不整合関係で覆われている。
- ③層の最上部には、褐色を帯びて土壌化した地層が認められ、D-1トレンチ北西法面から北法面にかけて広く分布している。
- このことは、③層堆積後、⑤層が堆積するまでには土壌を生成するだけの時間間隙があったことを示している。

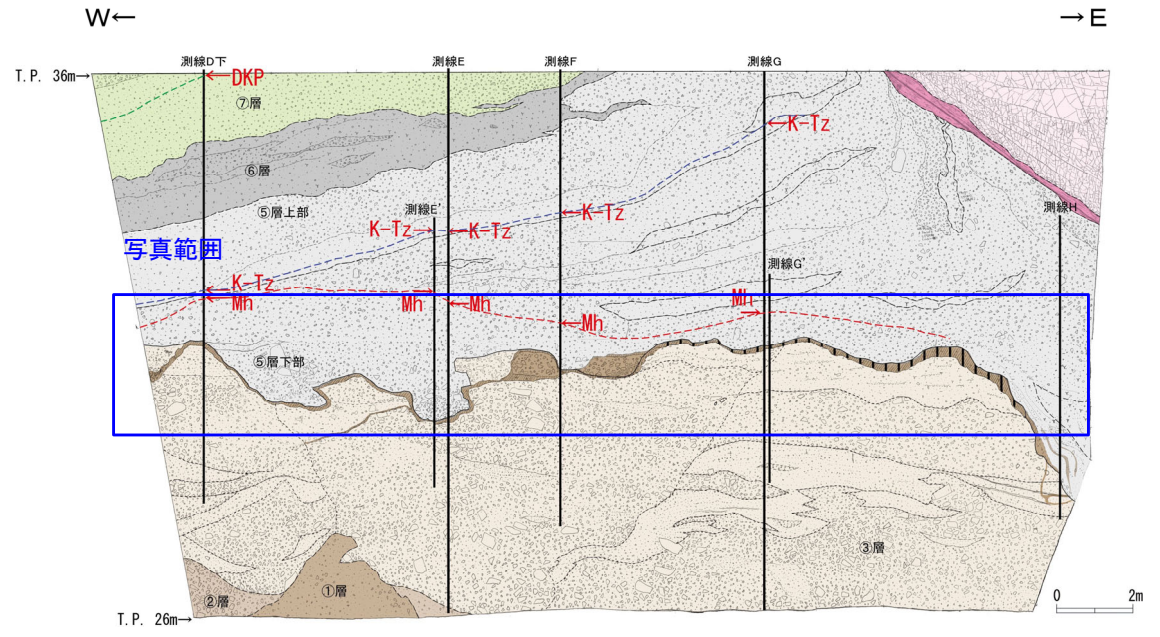


現場確認: 2012年12月



撮影: 2014年6月

D-1トレンチ 北西法面



現場確認: 2012年12月



撮影: 2014年2月

D-1トレンチ 北法面

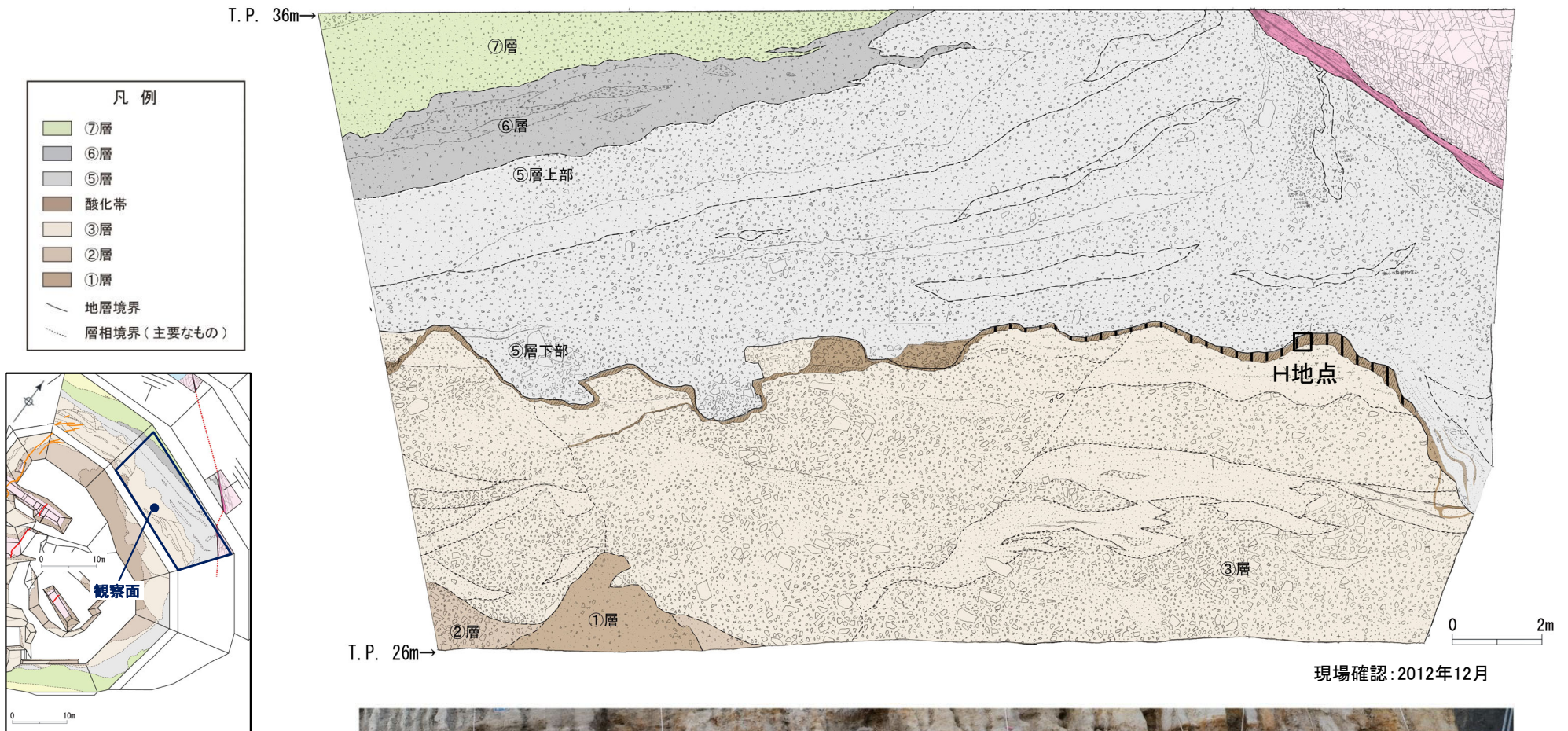
凡例	
	⑧層
	⑦層
	⑥層
	⑤層
	酸化帯
	③層
	②層
	①層
	花崗斑岩
	破碎帯
	地層境界
	層相境界 (主要なもの)

2.1.2 地層の堆積年代 土壌分類と遊離酸化鉄分析 (D-1トレンチ北法面 試料採取位置)

第1202回審査会合
資料1-1 再掲

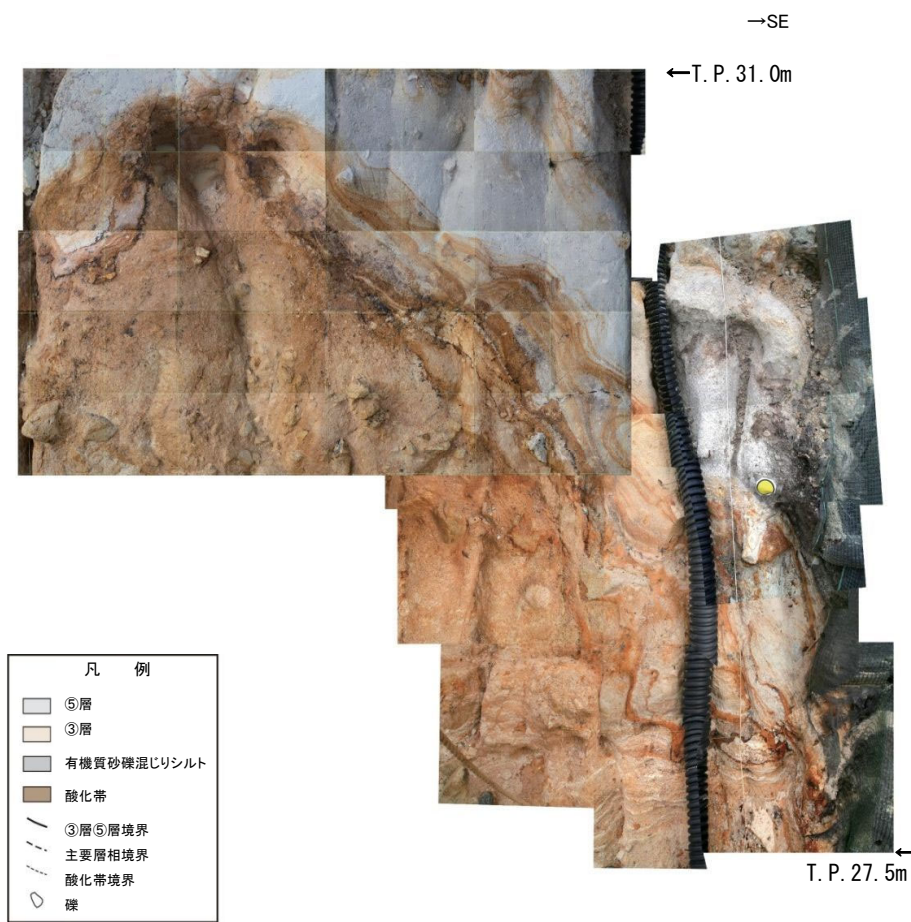
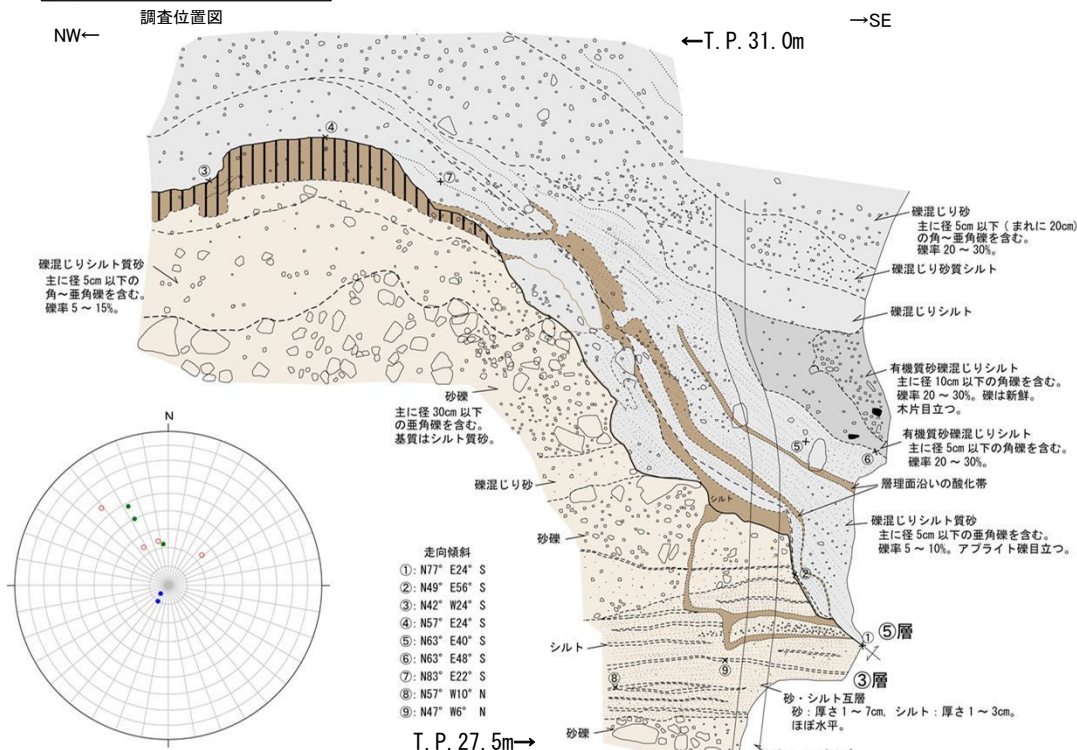
W←

→E



2.1.2 地層の堆積年代 土壌分類と遊離酸化鉄分析 (D-1トレンチ北法面 スケッチ)

- ③層は、⑤層に不整合関係で覆われている。
- ③層の最上部には土壌化した地層が分布することから、③層堆積後、⑤層が堆積するまでには土壌を生成するだけの時間間隙があったことを示している。



③層: 砂礫を主体とする。浅黄橙色(10YR8/3) 観察範囲においては上部の砂礫と下部の砂・シルト互層からなる。いずれもほぼ水平～傾斜10°程度の堆積構造を示す。

⑤層: 礫混じり砂質シルト～シルト質砂からなる。灰白色(7.5YR8/2) 礫率30%以下で径3～10cm程度の礫を含むシルト～砂からなる。葉片や木片などの有機物も伴う。南側に40°程度傾斜した堆積構造を示す。

③層と⑤層の境界は、ほぼ水平な堆積構造をもつ③層を⑤層が傾斜20～60°程度で削り込む傾斜不整合を示す。

現場確認: 2014年5月

撮影: 2014年5月

- 土壌の区分にあたっては、土壌区分で一般的な区分であるA層、B層及びC層の区分を用いており、それらの細区分には下記の区分を参照している。

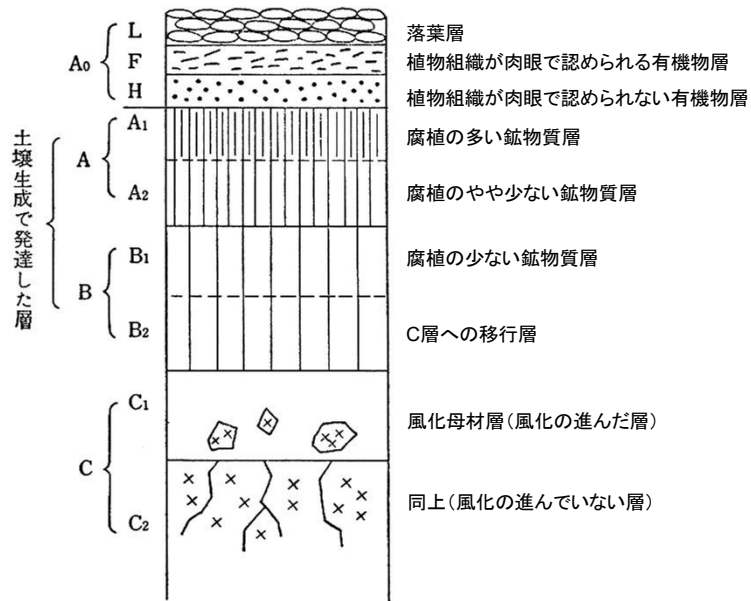


図 3.5 断面順位の模式図（林野土壌とその調べ方¹³⁾より）

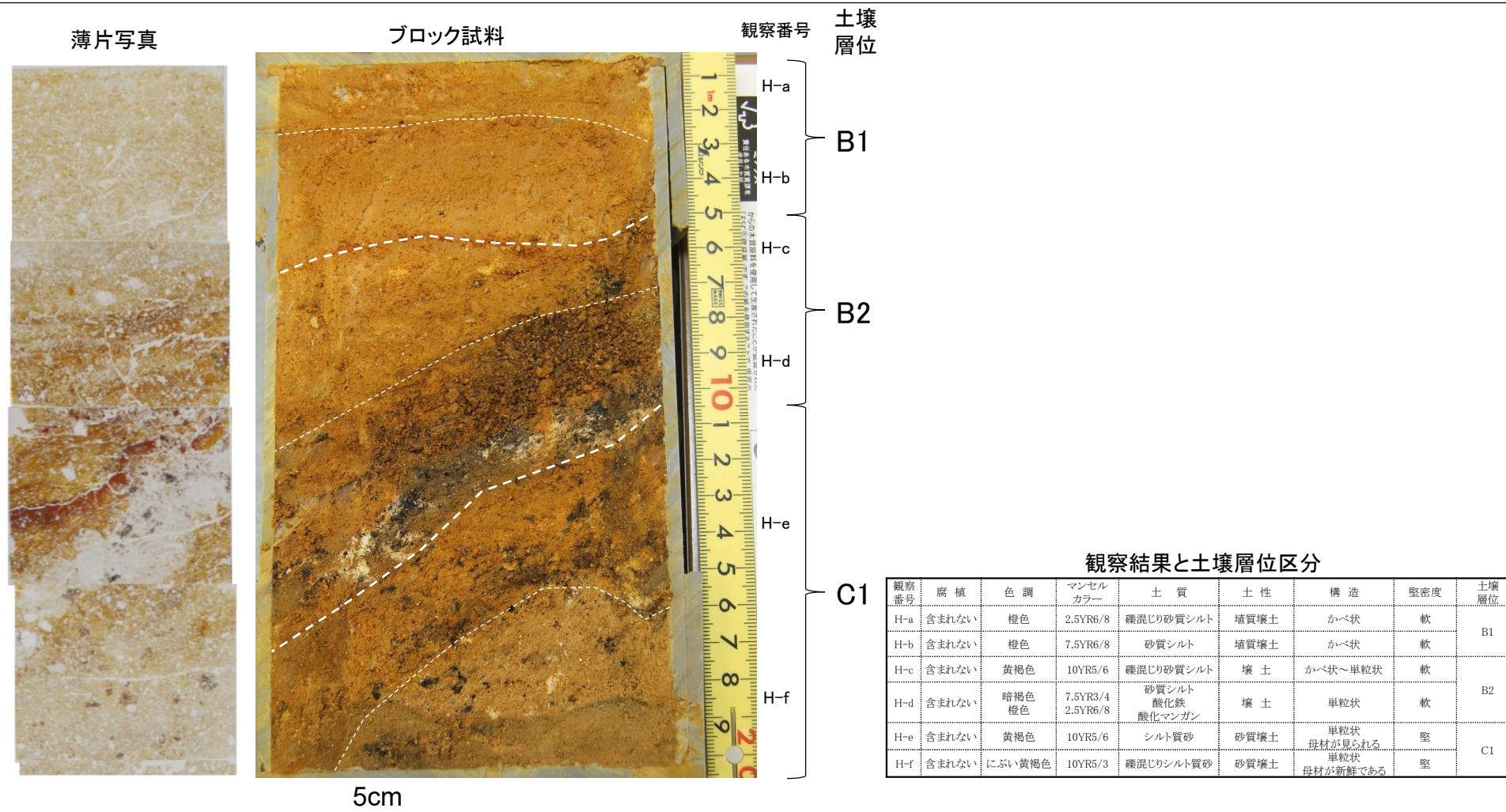
河田・小島(1979):生態学研究法講座30
環境測定法IV－森林土壌－(新訂版)を引用

A ₀ 層	落葉や落枝、草木類遺体やその分解過程にあるものが、地層に堆積した層。堆積腐植ともよばれる。
A層	最表層を占め、腐植で汚染された暗色ないし黒褐色を呈する土層。腐植が無機物と結合して多量に集積している土層で、植生や気候などの環境諸因子の影響をもっとも強く受けている。発達が進み、土色、構造、堅密度などの相違によって層内での分化が認められる場合には、A1, A2, …などに細分する。
B層	A層よりも外界からの影響の受け方が弱い層。腐植による汚染は少なく、母材の色や鉄化合物の影響を受けて、褐色を帯びていることが多い。A層に比べると堅密である。土色、構造、堅密度などによって層内での分化が認められるときには、B1, B2, …などに細分する。
C層	土壌の最下部にあって、母材の風化物からなり、土壌の生成作用の影響をあまり受けていない土層。土色や組成の状態には、母材の影響が強くあらわれている。堅密で、構造は見られず、一般に風化礫が多い。風化の程度によって細分できる場合には、C1, C2層に細分する。

河田・小島(1979):生態学研究法講座30 環境測定法IV－森林土壌－(新訂版)を要約

2.1.2 地層の堆積年代 土壌分類と遊離酸化鉄分析 (D-1トレンチ北法面 土壌分類)

- D-1トレンチ北法面の③層の最上部でサンプリングした試料について、土壌区分で一般的な区分を用いている河田・小島(1979)に基づき、詳細な観察を行い、同層が土壌生成で発達したB層(B1層及びB2層)に対応する特徴を有していることを確認した。
- ブロック試料の観察の結果、土壌を構成する粒子の状況からH-a~H-fに分帯される。
- H-a~H-fに分帯したゾーンのうち、観察番号H-a~H-dは土壌化していると判断される。
- 観察番号H-a, H-bは粘土を含む礫混じり砂質シルトからなり、母材の色や鉄化合物の影響を受けていることがみられるため、河田・小島(1979)の文献に照らして土壌層位B1層に区分される。
- 観察番号H-c, H-dは粘土を含む礫混じり砂質シルトからなり、B1層よりも母材の色や鉄化合物の影響を強く受けていることがみられるため、河田・小島(1979)の文献に照らして土壌層位B2層に区分される。
- 母材の風化物からなり、土壌の生成作用の影響をあまり受けていない、堆積物の性状が明瞭になる観察番号H-e, H-fはC1層に区分される。
- この土壌について、土壌生成で発達したと判断したB1層及びB2層を対象に遊離酸化鉄分析を実施した。



2.1.2 地層の堆積年代 土壤分類と遊離酸化鉄分析 (遊離酸化鉄分析結果)

- Maejima et al. (2002)によれば、年代が明らかな喜界島の石灰岩を母材とする土壤について、土壤の絶対年代と遊離酸化鉄の結晶化指数との間に高い相関関係があると、遊離酸化鉄の活性度と結晶化指数が、年代が古いほど活性度は小さく、結晶化指数が大きくなる傾向があることを示した(図1)。
- 山家・八木(1983)によれば、越後平野周辺の新第三紀鮮新世及び前期更新世の泥岩、並びに白亜紀の花崗岩を母材とする土壤には、風化が進行した赤色土でも、遊離酸化鉄の生成がそれほど進んでいないものと、鉄のほとんどが遊離態となっているものが存在し、各土壤の結晶化指数の値の範囲がいずれも大きいから、この地域の土壤の区分の根拠として結晶化指数を使用するのは困難があるとされている(図2)。
- 永塚(1975)によれば、西南日本の段丘堆積物や風成塵(レス)を母材とする土壤について分類を行い、高位段丘及び丘陵の赤色土の遊離酸化鉄の分析値が、活性度が0.4より小さく、結晶化指数は0.5より大きくなるとし、全鉄中の結晶質遊離酸化鉄の割合が極めて高いのは、生成年代が古いために結晶化が進行していることを推定した(図3)。
- D-1トレンチ北法面の③層最上部の土壤化した地層について、**遊離酸化鉄分析を行った結果、活性度は0.1よりも小さく、結晶化指数は0.7程度以上**となった。この結果は、**3つの文献が示す赤色土の範囲に概ね一致**した。結晶化指数は0.69~0.95の範囲で大きくばらついているが、土壤化が最も進んだB1層であるH-a及びH-bについては0.9よりも大きい値になっている(表1)。
- 以上のことから、**③層最上部に分布する土壤化した地層は、⑤層下部が堆積するまでに大きく風化が進行し、赤色土化したものと判断した。**
- なお、山家・八木(1983)によれば、結晶化指数を根拠に土壤区分を判断することは困難であるとされていることから、③層最上部に分布する土壤化した地層について、結晶化指数のみに基づき土壤化作用を被った期間を特定することは困難であると判断した。

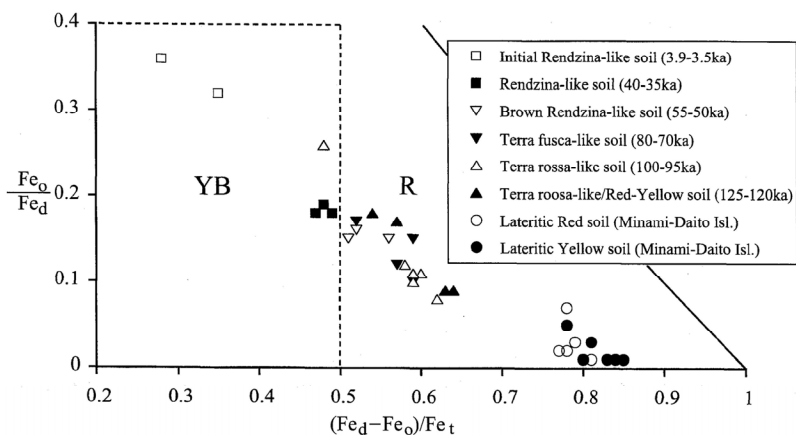


図1. 遊離酸化鉄の活性度—結晶化指数 (Maejima et al. (2002))

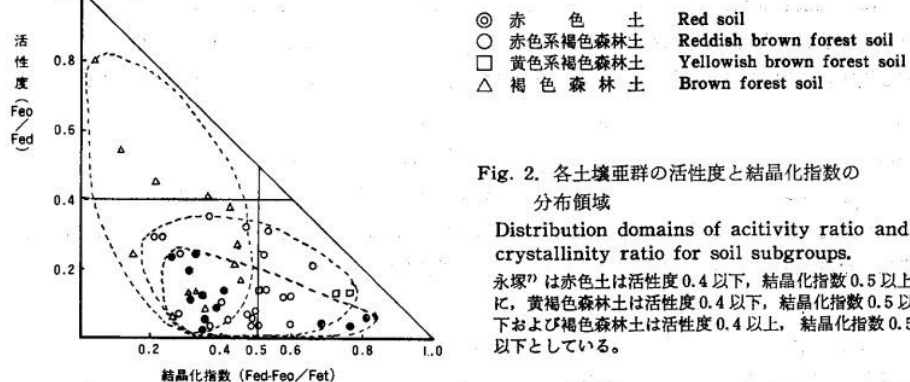


Fig. 2. 各土壤亜群の活性度と結晶化指数の分布領域

Distribution domains of activity ratio and crystallinity ratio for soil subgroups.

永塚⁷⁾は赤色土は活性度0.4以下、結晶化指数0.5以上に、黄褐色森林土は活性度0.4以下、結晶化指数0.5以下および褐色森林土は活性度0.4以上、結晶化指数0.5以下としている。

図2. 遊離酸化鉄の活性度—結晶化指数 (山家・八木(1983))

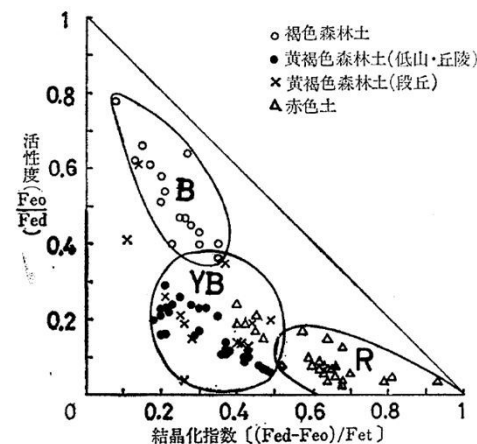


図3. 遊離酸化鉄の活性度—結晶化指数 (永塚(1975))

表1. D-1トレンチ③層最上部土壤の遊離酸化鉄分析結果

土壤層位観察番号	分析手法	活性度	結晶化指数
		Fe_o/Fe_d	$(Fe_d - Fe_o)/Fe_t$
H-a	乾式	0.07	0.91
H-b	乾式	0.05	0.95
H-c	乾式	0.02	0.69
H-d	乾式	0.04	0.76

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定 (文献調査結果(その1))

- K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2017) 及び K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2018)^{※1}によれば、上北平野のMIS5eの海成段丘上の2地点から採取した試料に対してOSL年代測定をpIR法^{※2}のpIR₅₀IR₂₉₀法～pIR₂₀₀IR₂₉₀法の加熱温度の異なる複数の条件で実施した。
- フェーディング^{※3}試験の結果、最初のIR刺激温度が50°C (pIR₅₀IR₂₉₀法)の場合、OSL強度の減衰率(g2day) 値が2%/decade程度あったものが、200°C (pIR₂₀₀IR₂₉₀法)では、はるかに小さくなった(g2days = 0.16 ± 0.49%/decade)(図2)。
- 最初のIR刺激温度が異なるgsj13-039(Site1)の未補正年代は、pIR₅₀IR₂₉₀法を除き、予想される年代(MIS5e, 123 ± 7ka)と概ね一致した。一方、pIR₅₀IR₂₉₀法、pIR₁₀₀IR₂₉₀法、pIR₁₅₀IR₂₉₀法、pIR₂₀₀IR₂₉₀法、pIR₂₅₀IR₂₉₀法の未補正のgsj13-094(Site2)の年代は、自身の年代の大きなばらつきを考慮しなければ期待される年代よりもわずかに古い。全サンプルのpIR₂₀₀IR₂₉₀法の未補正年代は予想年代と一致した(図3)。
- Site1は pIR₂₀₀IR₂₉₀法で得られた年代にフェーディング補正を行った値が最も層序から予想される年代(MIS5e, 123 ± 7ka)とのバラつきが少なくなった(図3で、Site1のpIR₂₀₀IR₂₉₀法は補正しなくても推定年代に近い数値が得られた)。Site2はフェーディング補正は必要がなかった(図2)。
- 以上の結果から、**pIR₂₀₀IR₂₉₀法を上北平野の海成段丘堆積物の信頼できる年代を検出するために最も適している**と結論づけている。

※1 K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto(2018)はK. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto(2017)の誤植訂正版
 ※2 加熱温度の異なる2段階の励起を行い、2回目の励起においてカリ長石のフェーディングの影響の小さい信号を得るOSL年代測定的手法。1回目の加熱温度と2回目の加熱温度を下付き文字で示している。
 ※3 蓄積したOSL信号が減る現象のことを指し、年代値の若返りに繋がる。

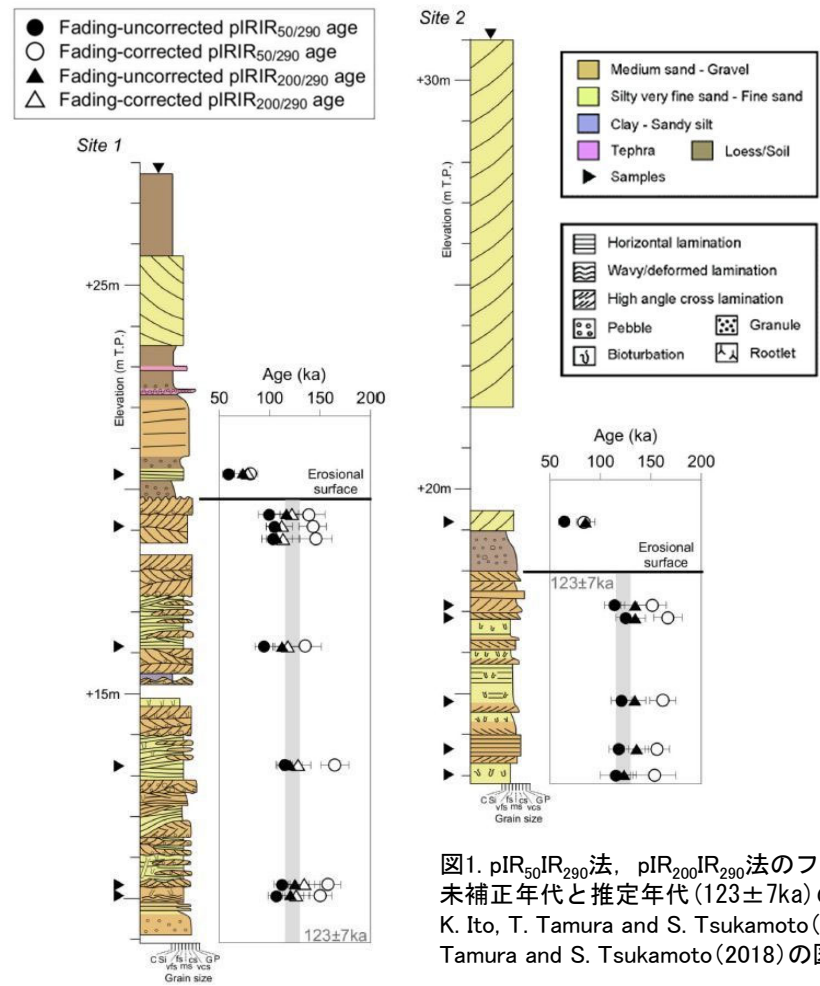


図1. pIR₅₀IR₂₉₀法、pIR₂₀₀IR₂₉₀法のフェーディング補正、未補正年代と推定年代(123 ± 7ka)の比較
 K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2017), K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2018)の図を改訂

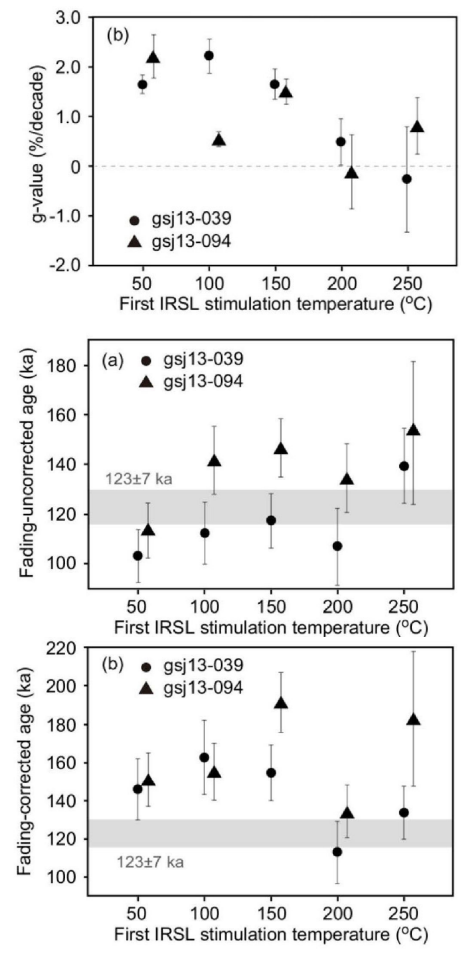


図2. フェーディング試験結果 (b) gsj13-039(Site1)と gsj13-094(Site2)の最初のIR刺激温度を変えて得られたg値 エラーバーは1標準誤差を示す。
 K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2018)

図3. 異なる最初のIR刺激温度で得られた gsj13-039と gsj13-094の (a) 未補正と (b) 補正されたpIRIR年代 エラーバーは1標準誤差を示す。
 K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2018)

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定 (文献調査結果(その2))

- 林崎(2022)によれば、福島県南相馬市の塚原海岸において、年代が既知の安達太良-岳テフラと田頭テフラに挟まれた地層に対してOSL年代測定をpIR法及びpIR₅₀IR₂₉₀法及びpIR₂₀₀IR₂₉₀法で実施した。
- pIR₅₀IR₂₉₀法で得られた未補正值が火山灰層序で予想される年代値よりも若く、フェーディングの影響を受けている一方で、pIR₂₀₀IR₂₉₀法で未補正の年代値は予想される年代値と一致した(Buylaert et al(2012)による、1~1.5%/decade程度の小さなg2days値は測定に起因するものでフェーディング補正は必要ないとする報告と整合的な結果である)。
- pIR₂₀₀IR₂₉₀法はフェーディングの影響を受けず、12万年前以降の年代測定法として有効である**ことが示されたと結論付けている(図1, 表1)。

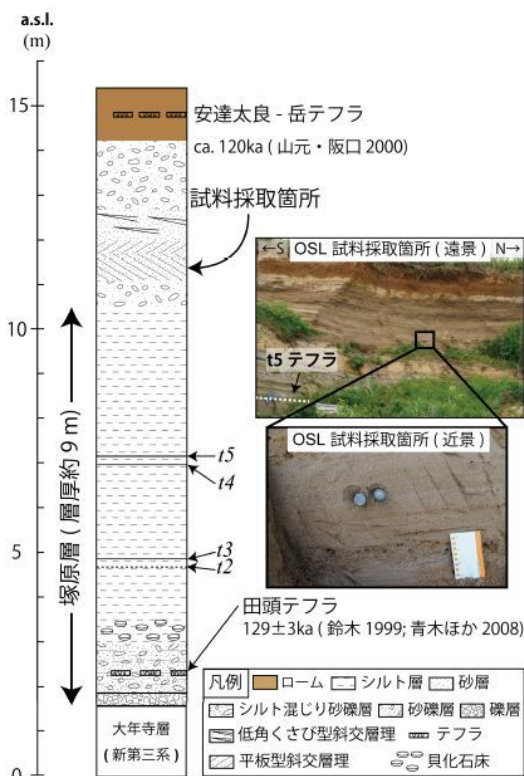


図 1. 福島県南相馬市塚原海岸の柱状図, 試料採取位置 林崎(2022)

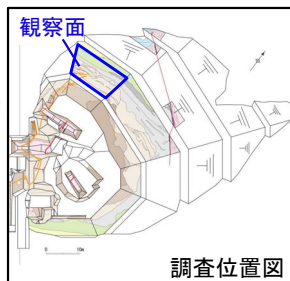
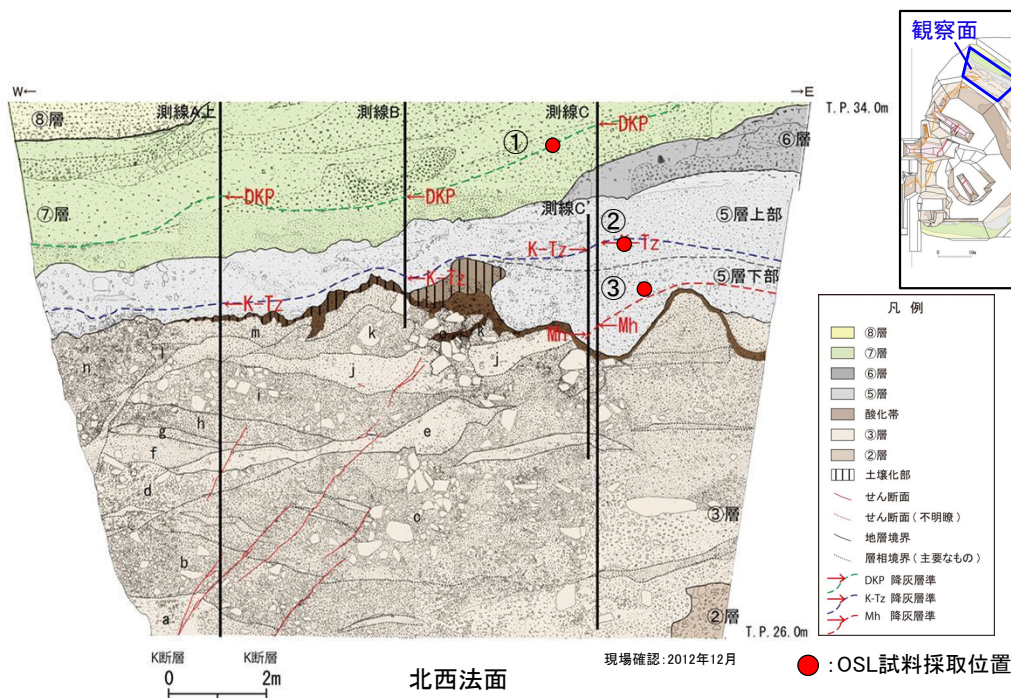
表 1. pIR₅₀IR₂₉₀法, pIR₂₀₀IR₂₉₀法による年代測定結果
林崎(2022)

試料名	測定手順	装置	等価線量 (Gy)	年間線量率 (mGy/year)	年代 (ka)	g2days 値 (%/decade)	フェーディング補正年代 (ka)
塚原海岸 段丘堆積物	pIR ₅₀ IR ₂₉₀ 法	Lexsyg Smart	233.4 ± 9.5	2.99 ± 0.14	78.0 ± 4.9	0.9 ± 0.3	96.2 ± 7.6
		Lexsyg Research	226.8 ± 5.0		75.8 ± 3.9	-0.5 ± 0.3	-
		Risø TL/OSL reader	257.9 ± 19.3		86.3 ± 7.6	1.8 ± 0.3	122.8 ± 10.8
	pIR ₂₀₀ IR ₂₉₀ 法	Lexsyg Smart	364.7 ± 24.8		122.0 ± 10.1	1.1 ± 0.4	164.5 ± 17.2
		Lexsyg Research	364.6 ± 26.1		121.9 ± 10.5	-0.7 ± 0.3	-
		Risø TL/OSL reader	369.2 ± 22.2		123.5 ± 9.4	1.3 ± 0.4	166.1 ± 12.5

K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto(2017), K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto(2018)及び林崎(2022)の文献を踏まえ、本調査ではpIR₂₀₀IR₂₉₀法によりOSL年代測定を実施した。

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定 (D-1トレンチ北西法面 試料採取位置)

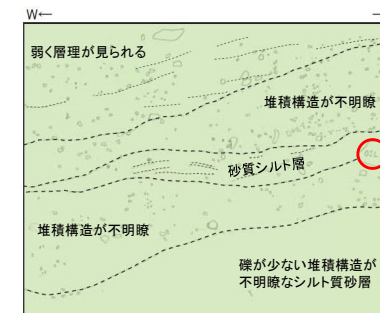
- OSL年代測定用の試料採取位置を下図に示す。
- OSL年代測定はD-1トレンチ北西法面の⑤層下部中のMhテフラの降灰層準付近、D-1トレンチ北西法面の⑤層上部中のK-Tzテフラの降灰層準付近及びD-1トレンチ北西法面の⑦層中のDKPテフラの降灰層準付近で実施した。



①DKPテフラ降灰層準付近(⑦層)



写真 スケッチ作成範囲



スケッチ

・礫混じりシルト質砂からなり、褐灰色を呈する砂質シルト層を挟む。緩く西に傾斜する堆積構造が見られる。

②K-Tzテフラ降灰層準付近(⑤層上部)



写真 スケッチ作成範囲



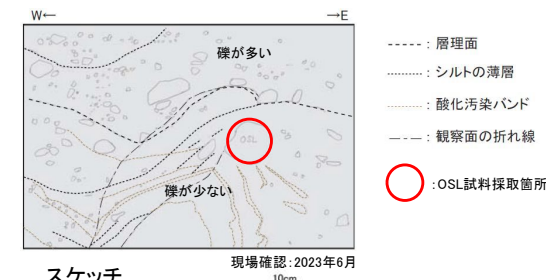
スケッチ

・礫混じり砂質シルト～シルト質砂からなり、南側に傾斜した層状構造が見られる。上位ほどやや腐植質である。

③Mhテフラ降灰層準付近(⑤層下部)



写真 スケッチ作成範囲

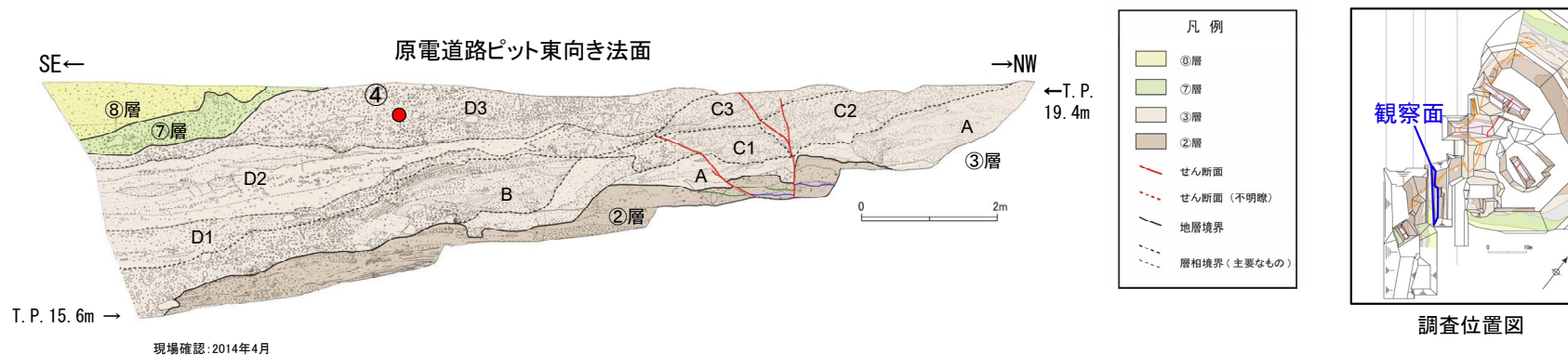


スケッチ

・礫混じりシルト質砂からなり、下部の礫が少ない部分にはシルトの薄層を多く挟む。南側に傾斜した堆積構造が見られる。堆積構造と斜交して酸化汚染のバンドが見られる。

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定（原電道路ピット東向き法面 試料採取位置）

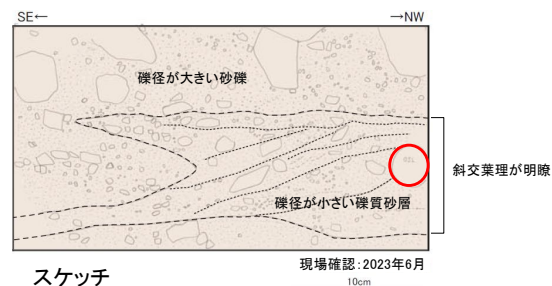
- OSL年代測定用の試料採取位置を下図に示す。
- OSL年代測定は原電道路ピット東向き法面の③層中のD3層で実施した。



④原電道路ピット（③層D3層）



写真 スケッチ作成範囲



・砂礫からなり、間に礫径が小さい礫質砂層を挟む。礫質砂層中には南東側に傾斜した斜交葉理が明瞭に見られる。

○ OSL試料採取箇所

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定（分析結果）

- OSL年代測定結果を下表に示す。
- 林崎(2022)によれば、 pIR_{200}/IR_{290} 法においてg2days値が小さい場合、フェーディング^{※1}補正は必要ないとしており、今回のg2days値はいずれも $0.04 \pm 0.56 \sim 1.16 \pm 1.12$ (%/decade)と小さい値であることから、補正は不要と判断した。
- D-1トレンチ北西法面で実施したOSL年代測定結果は、テフラ分析の結果と整合的である。
- 原電道路ピット東向き法面で実施したOSL年代測定結果は、OSL信号が飽和しており③層の堆積年代は $133 \pm 9ka$ より古いことを示している。

※1 フェーディングは長石のOSL信号強度が時間とともに減衰する現象。フェーディング補正の有無の判断には、48時間あたりのOSL信号強度の減衰率g2days値(%/decade)が用いられる。

OSL年代測定用試料採取箇所			等価線量 (Gy)	g2days値 (%/decade)	年間線量 (mGy/year)	年代値 (ka)	飽和年代 (ka)	テフラの降灰年代
①	北西法面	⑦層(DKP降灰層準)	333.5 ± 20.7	0.91 ± 2.18	5.83 ± 0.15	57.2 ± 3.8	142.0 ± 5.6	約5.8～5.9万年前
②	北西法面	⑤層上部(K-Tz降灰層準)	738.4 ± 14.4	0.04 ± 0.56	6.76 ± 0.16	109.3 ± 3.3	181.9 ± 4.9	約9.5万年前
③	北西法面	⑤層下部(Mh降灰層準)	793.5 ± 21.1	0.21 ± 0.55	6.29 ± 0.15	126.2 ± 4.6	204.7 ± 5.9	約12.7万年前
④	原電道路ピット 東向き法面	③層(D3層)	1051.4 ± 90.8	1.16 ± 1.12	7.01 ± 0.16	$150.0 \pm 13.4^{**2}$	$133.2 \pm 8.9^{**2}$	—

※2 OSL信号が飽和しており、 $133.2 \pm 8.9ka$ より古い

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定（第1202回審査会合におけるコメント）

【コメントNo.1202-7, 1202-8】

- OSL信号の飽和を踏まえた測定結果の信頼性、年代測定の根拠の妥当性を説明すること。
- OSL年代測定結果の飽和年代の取扱いについて、説明すること。

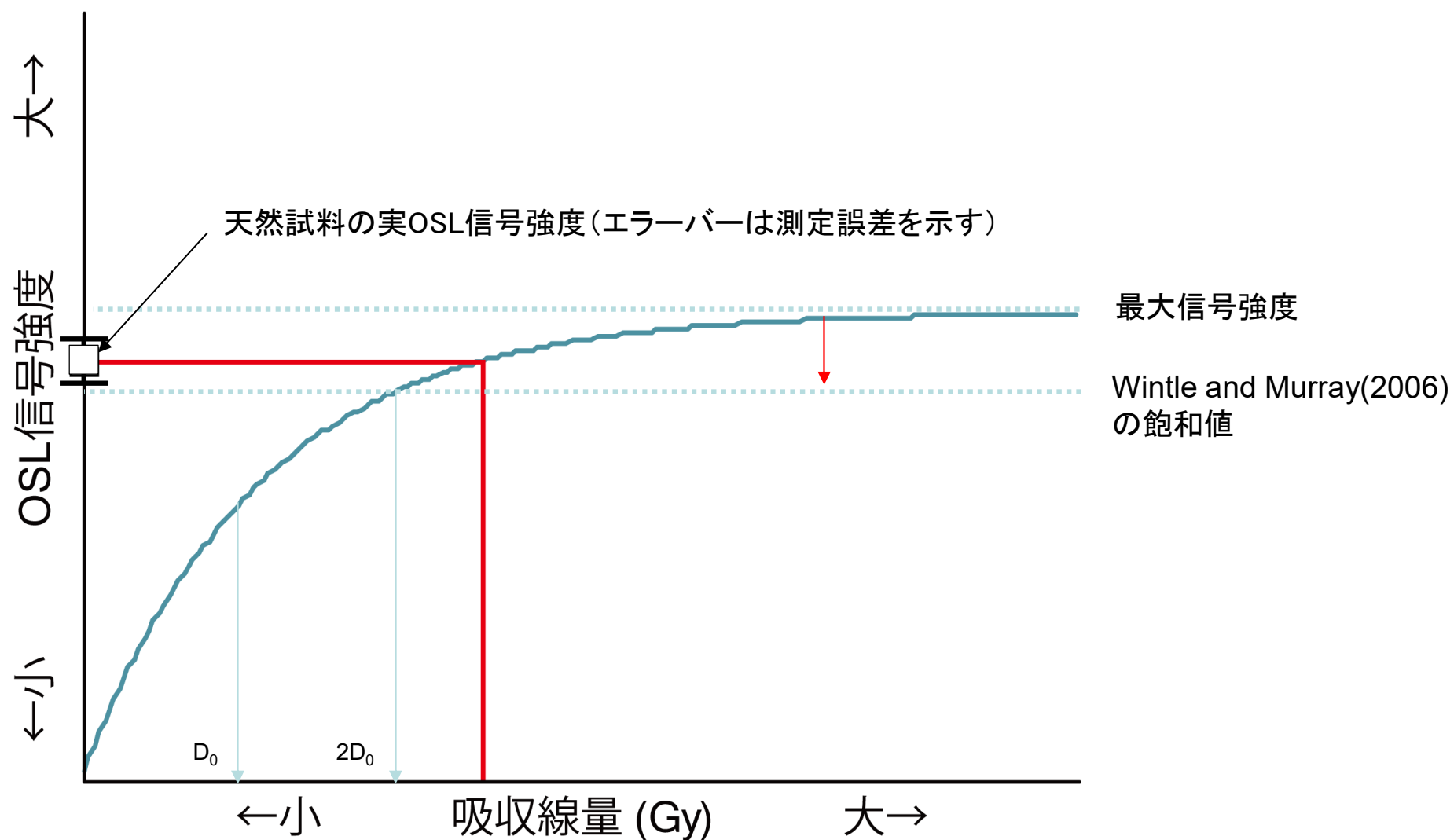


【回答要旨】

- 飽和値について、測定結果から得られる生長曲線にWintle and Murray (2006)の飽和値を適用し、天然試料の実OSL強度がその飽和値を超えている場合に飽和として扱っている。
- 測定結果の信頼性について、測定結果から得られる生長曲線は、Wintle and Murray (2006)の除外基準に基づき信頼性を判断している。除外基準に当てはまるデータは除外し、信頼できるデータを用いて年代を求めている。また、各試料の生長曲線データを「補足説明資料3 データ集」に示す。
- 飽和している時の誤差の扱いについて、実際に採取した試料からはWintle and Murray (2006)の飽和値より古いデータが得られていることが事実であり、飽和値としたものより古いとしか評価はできない。また、測定における誤差の要因についても説明を追加する。Thiel et al.(2011)及びMurray et al. (2014)では、誤差を付けず〇〇万年前(>〇〇)と扱っている。原電道路ピット東向き法面③層中のD3層から採取した試料についても、年代値の評価としては「13.3万年前より古い」という評価である。

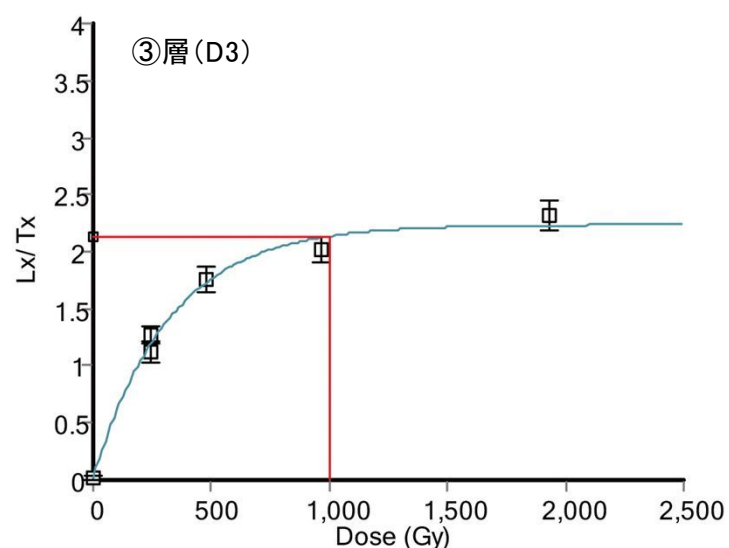
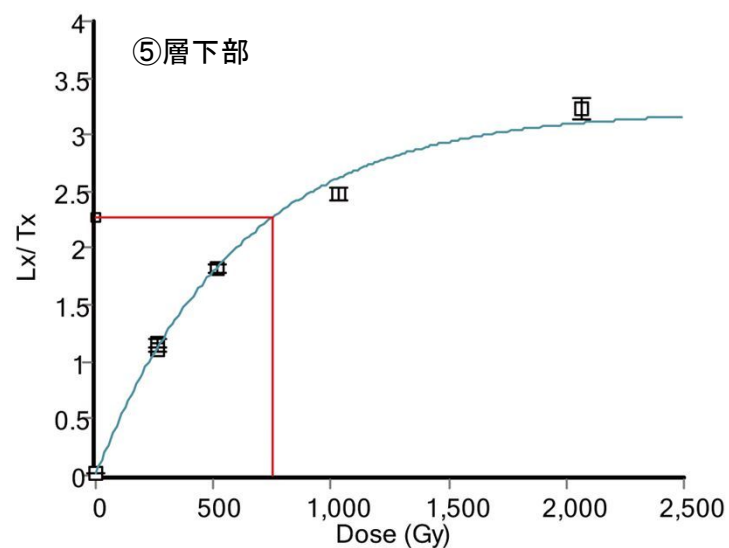
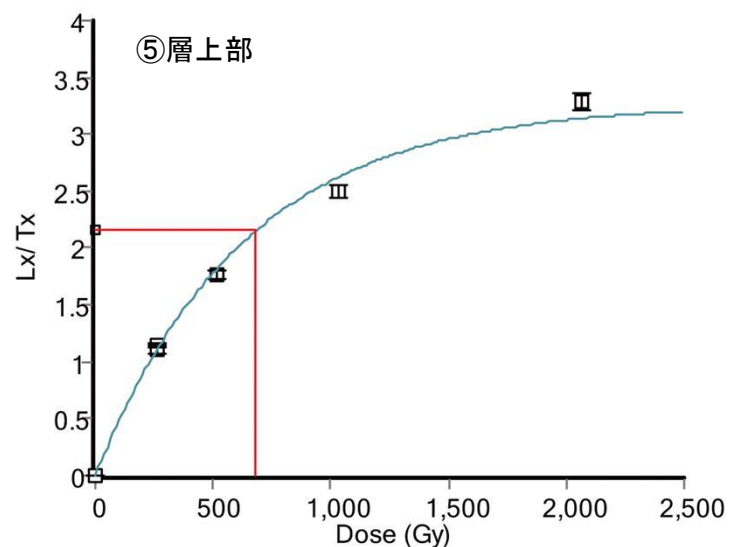
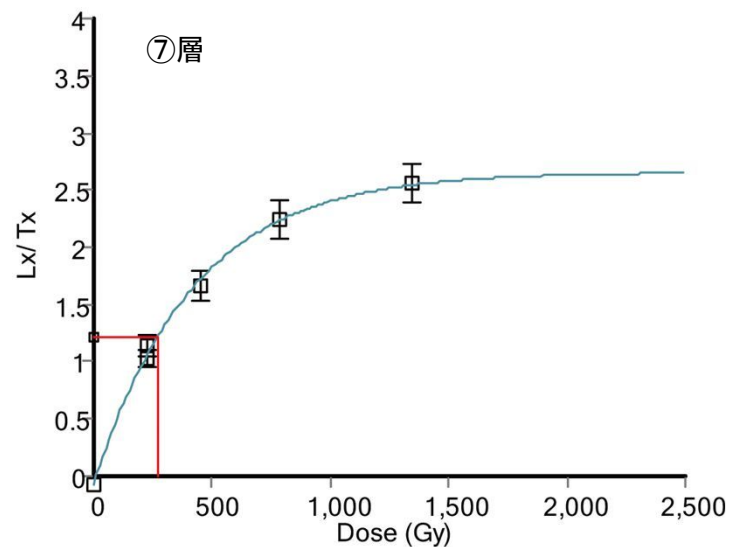
2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定（飽和値と誤差）

- 天然試料の実OSL信号強度はWintle and Murray(2006)の飽和値を超える場合がある。
- この場合は明らかに飽和値より古い年代値が求まる。年代値は等価線量を年間線量率で除して求める。
- D_0 は、近似した生長曲線から得られる係数である。等価線量がその2倍の $2D_0$ を超えるとOSL信号強度が飽和している。
- Wintle and Murray(2006)の飽和値を超える場合は“飽和年代より古い”と考える。
- 実際に飽和値を超える場合、Thiel et al. (2011)やMurray et al.(2014)においては〇〇万年前より古い(>〇〇万年前)と扱い、誤差での議論はしていない。



2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定（生長曲線の例）

• 年代値と飽和値はWintle and Murray (2006)の除外基準※に該当しない試料台で計算しており、信頼性を確認している。

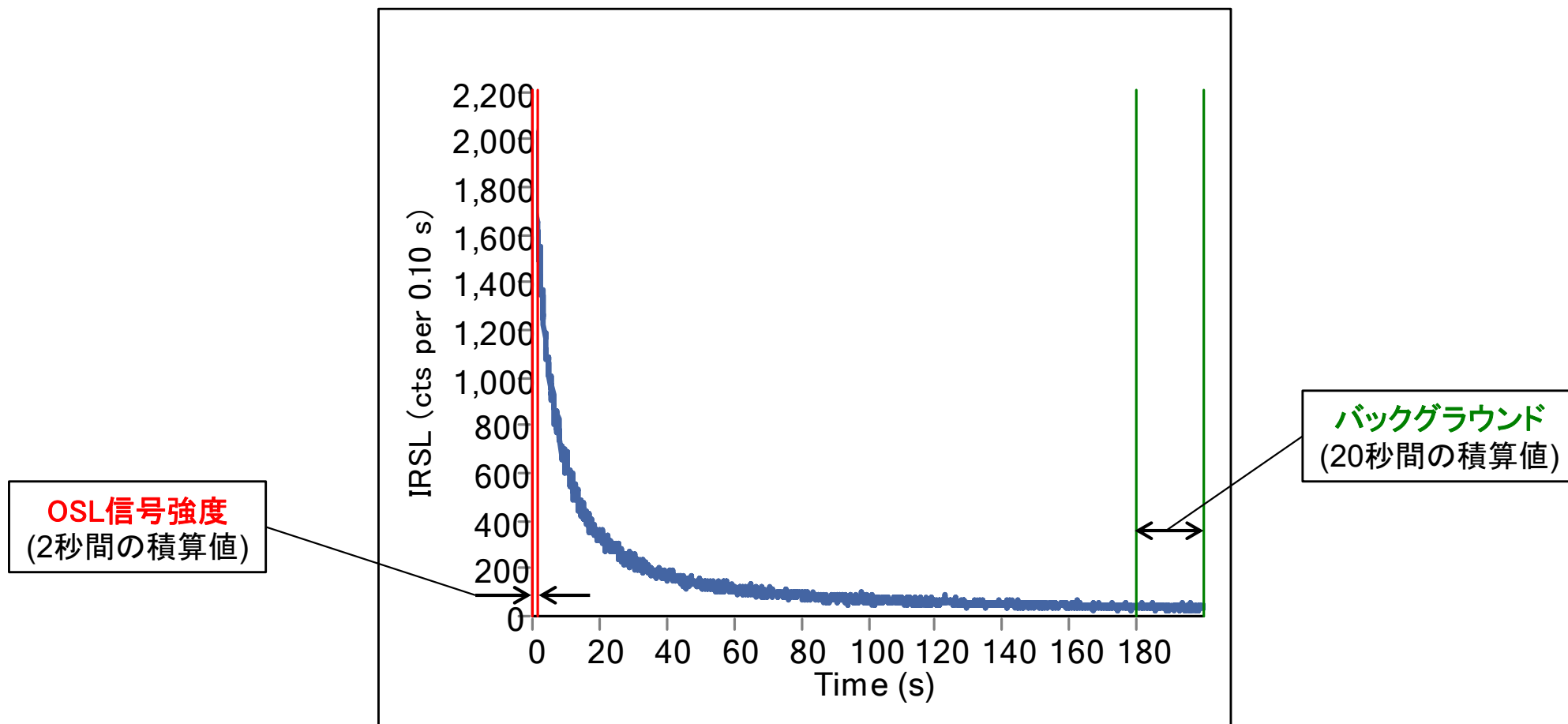


※ Wintle and Murray (2006)の除外基準

- ① 吸収線量0GyのOSL信号強度が、実OSL信号強度の5%を超える場合、OSL測定後に信号が回復していると考えられ、棄却する。
- ② 同じ吸収線量で実施した2回のOSL信号強度が±10%を超える場合、再現性のある測定ができていないと考えられ、棄却する。

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定 (OSL信号強度の誤差について)

- 天然試料の実OSL信号の例を示す。OSL信号は測定開始後、時間とともに減少する。
- 年代測定に用いるOSL信号強度は、林崎(2022)に基づき、加熱、光照射開始後の2秒間の積算値と装置バックグラウンドの測定開始180秒後から20秒間の積算値を用いる。OSL信号は、0.1秒ステップで計測している。
- OSL信号強度と、バックグラウンドにはゆらぎがあり、この‘ゆらぎ’が誤差となる。ゆらぎは装置の励起光源や光電子増倍管などの安定性に関係し、どの分析装置にも一般的に認められる。
- 誤差を含めてOSL信号強度を求めている。



⑤層上部(K-Tz降灰層準) 天然試料の実OSL信号測定の実例

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定（飽和年代値の記載について その1）

- Thiel et al.(2011)は、誤差を付けず〇〇万年前(>〇〇)と扱っている。
- Wintle and Murray(2006)の飽和値を超えた試料の年代は、飽和年代値より古いとしている。

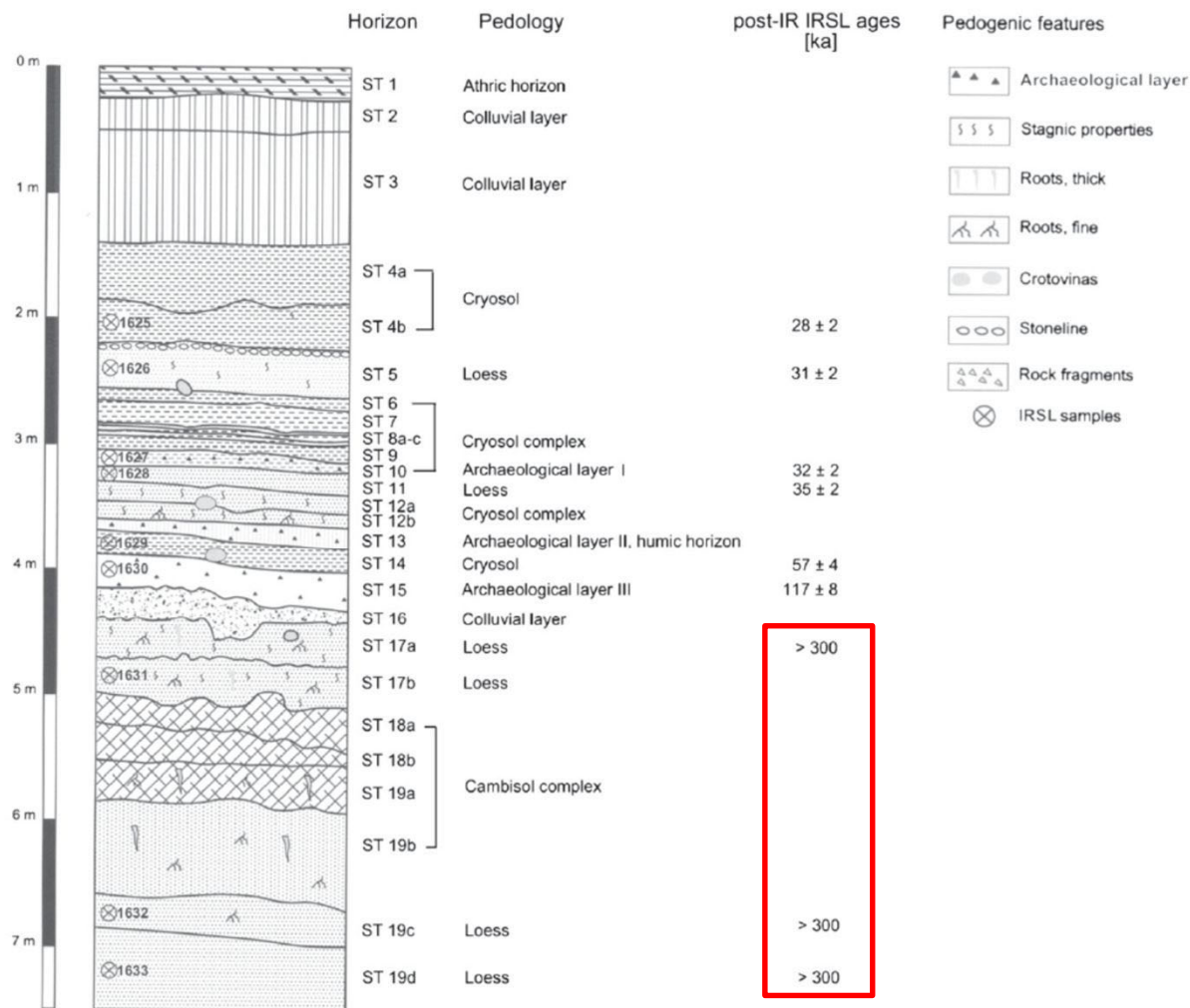
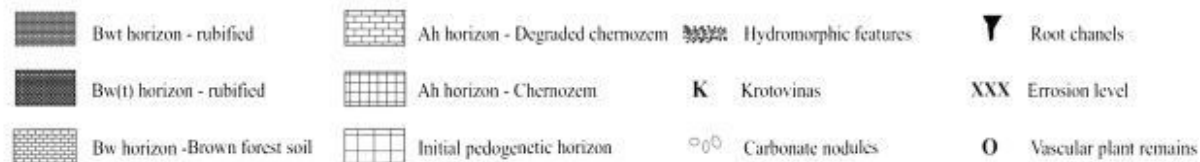
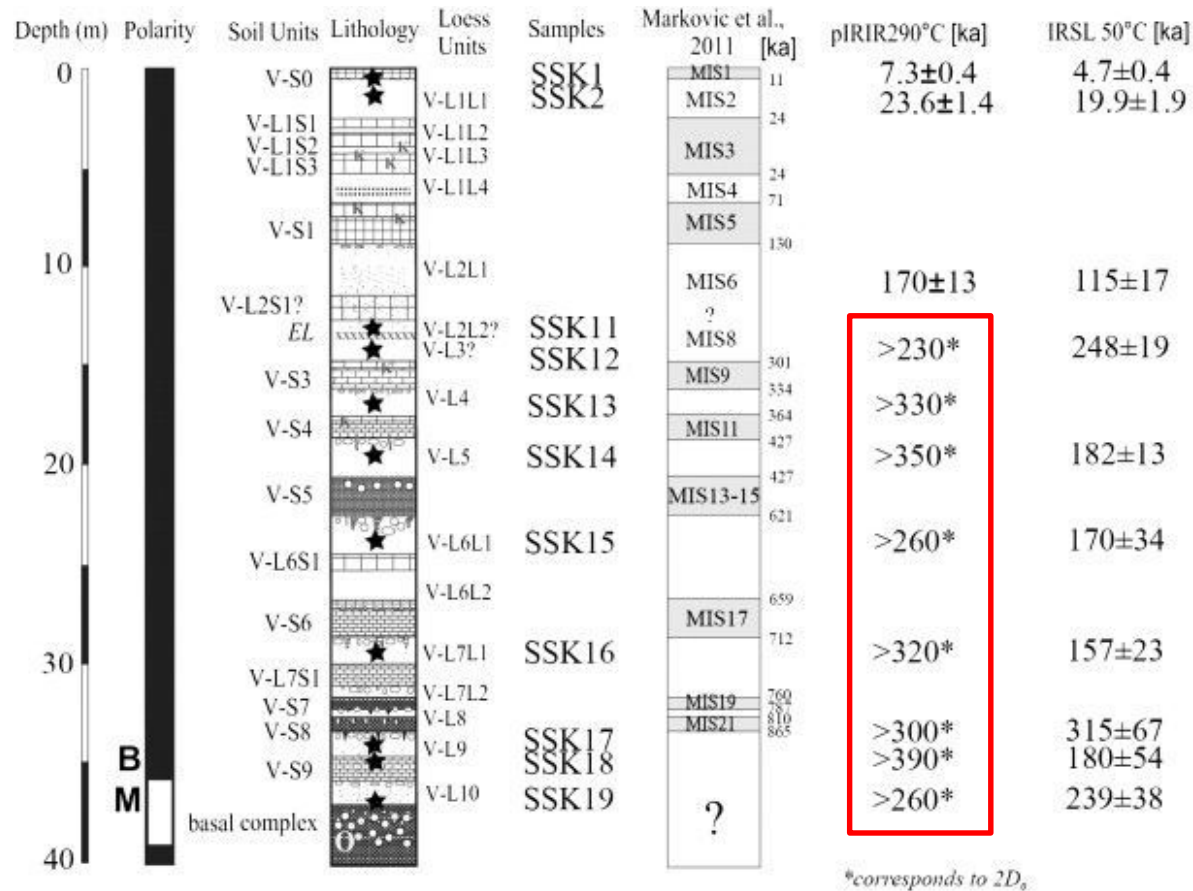


Fig. 2. Log of the investigated loess/palaeosol sequence in Stratzing. The ages presented are based on post-IR IRSL at 290 °C without subtraction of the residual. Further details on why this signal was chosen for age estimates see section 5.

Thiel, C., et al. (2011). "Luminescence dating of the Stratzing loess profile (Austria) – Testing the potential of an elevated temperature post-IR IRSL protocol." *Quaternary International* 234(1-2): 23-31.

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定（飽和年代値の記載について その2）

- Murray et al. (2014)は、年代既知の地層でOSL年代測定を実施した。
- MIS6より古い試料で飽和していた。
- 多くの論文では、誤差を付けず〇〇万年前(>〇〇)と扱っている。
- Wintle and Murray(2006)の飽和値を超えた試料の年代は、飽和年代値より古いとしている。



Murray et al. (2014) Dating middle pleistocene loess from stari slankamen (vojvodina, serbia) - limitations imposed by the saturation behaviour of an elevated temperature IRSL signal. *Catena*, 117, 34-42

余白

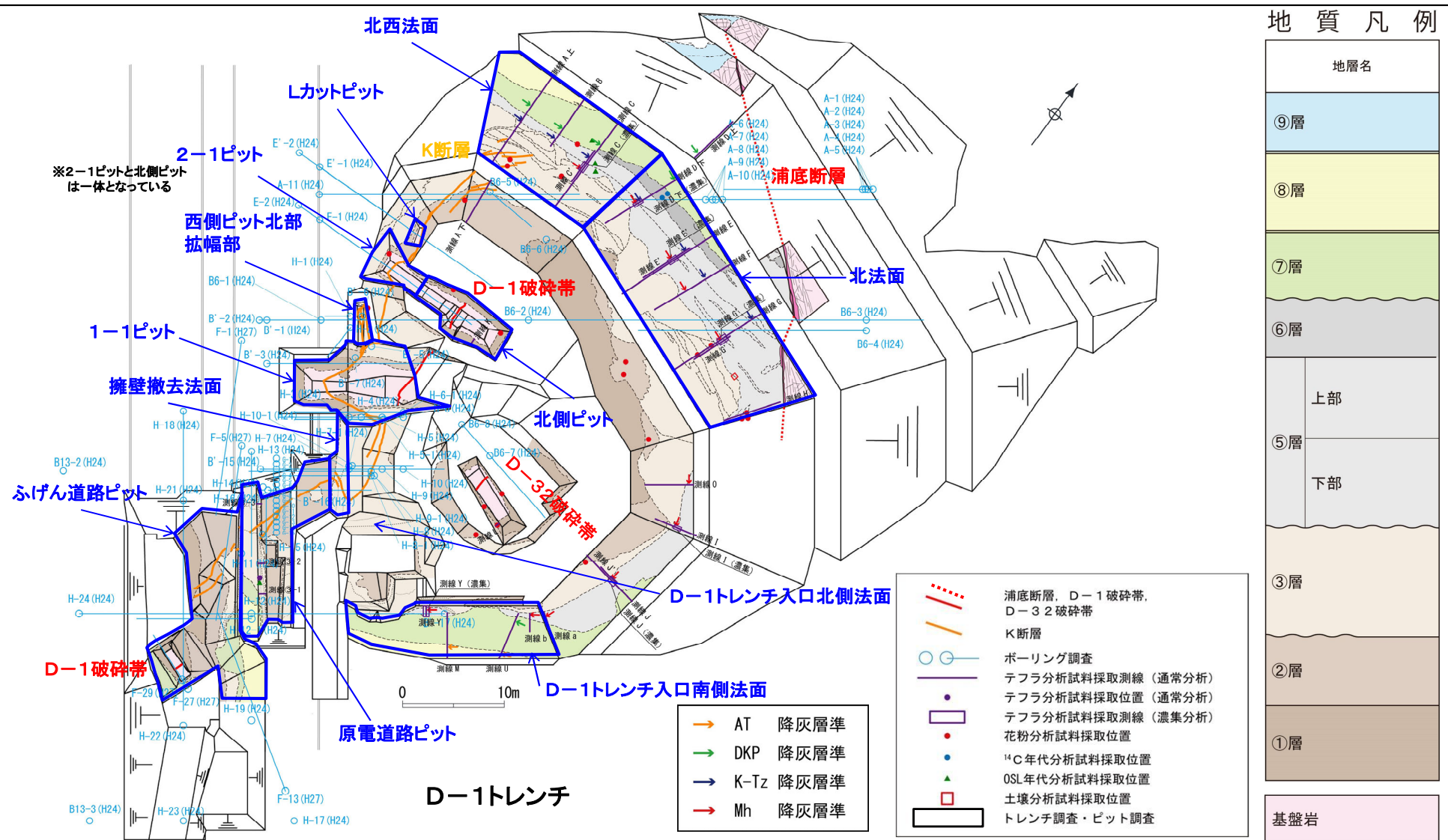
2.2 K断層の分布及び性状

余白

2.2.1 K断層に関する調査内容

2.2.1.1 K断層に関する調査内容

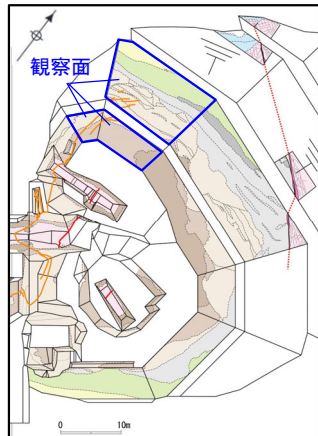
- K断層は、D-1トレンチ北西法面からふげん道路ピットに至る区間において連続して認められる断層である。
- D-1破碎帯に関する調査の過程において、D-1トレンチの西端付近で基盤岩及び第四系に変位・変形を与えていることを確認したK断層の連続性及び活動性を把握するため、文献調査、空中写真判読、航空レーザー測量や、K断層の分布や走向・傾斜や変位センス等の性状を把握するため、トレンチ調査、ピット調査、ボーリング調査等を実施した。
- D-1トレンチでは、Lカットピット、2-1ピット、西側ピット、1-1ピット、原電道路ピット及びふげん道路ピットでピット調査を実施した。また、ボーリング調査はD-1トレンチにおけるK断層の確認地点の最南部にあたるふげん道路ピットの南方から2号炉原子炉建屋間で実施した。
- 地層の堆積年代を評価するため、テフラ分析(通常分析, 重鉍物濃集分析, 主成分分析)、OSL年代測定、放射性炭素[¹⁴C]年代測定、花粉分析、土壌分析を実施した。
- 調査位置、分析試料採取位置を示す。



2.2.2 北西法面

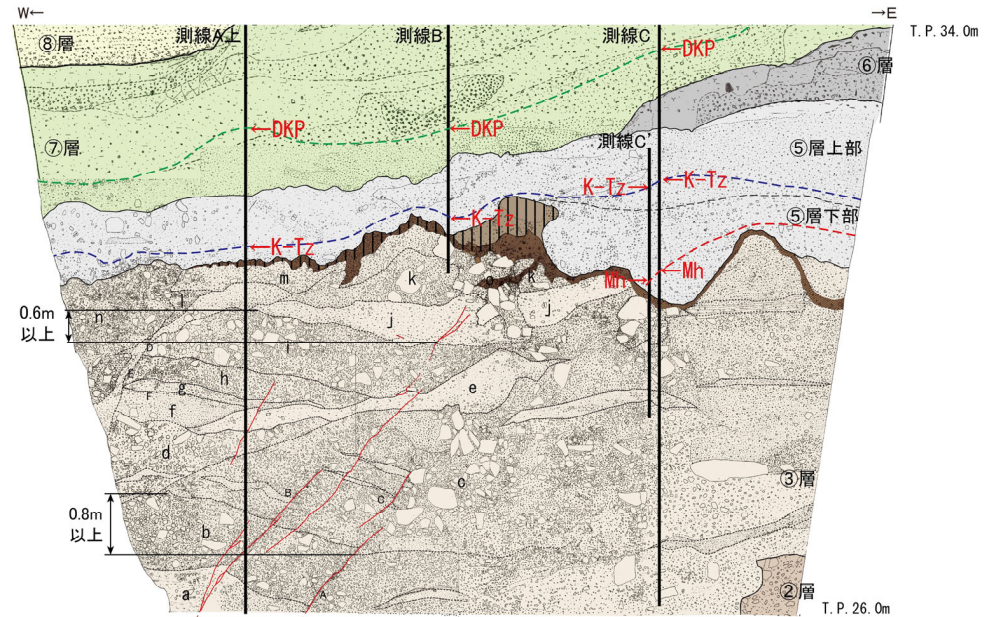
2.2.1.2 北西法面 (D-1トレンチ北西法面 スケッチ)

- K断層は、D-1トレンチ北西法面の付近の②層と③層の境界に逆断層変位を与え、北西法面の③層中の鉛直変位量は0.9mであり、D-1トレンチ北西法面の上方に向かって変形が主体となっている。
- 断層の変位・変形量を鉛直面に投影した量を「鉛直変位量」と呼称する。鉛直変位量については、同一の地層境界などを変位基準として、断層による変位や変形を受けたと判断した範囲を挟んだ上盤と下盤の同一層準の比高差として求めている。

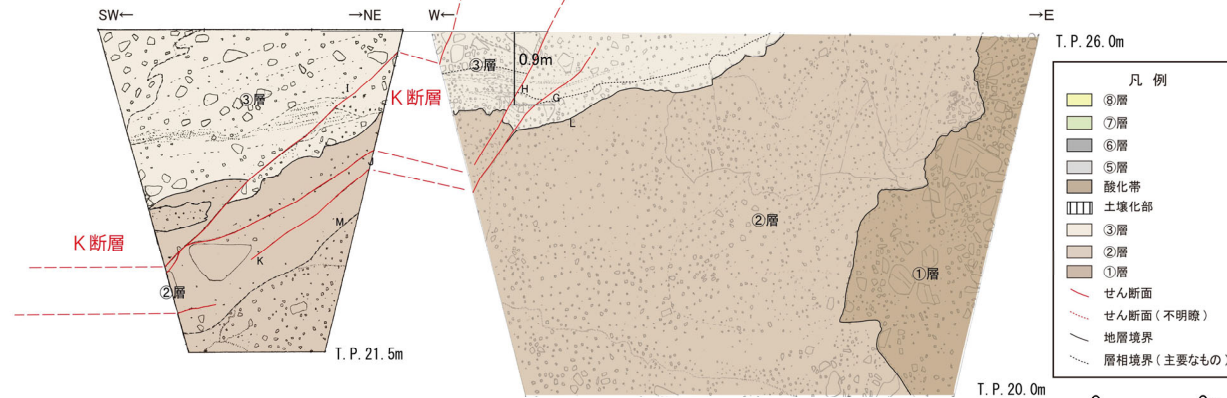


調査位置図

- ⑧層：砂礫
礫径5cm以下。特に1cm以下の角～亜角礫を主体とし、まれに10cm程度の礫を含む。礫種は新鮮な花崗閃岩、アブライト、石英である。基質はシルト質細～中粒砂からなり、ゆるい。成層構造（ほぼ水平、一部斜交葉理様）が見られる。
褐 (7.5YR4/6)、黄橙 (7.5YR7/8) を呈する。
- ⑦層：礫混じりシルト質砂～礫混じり砂質シルト（砂礫を伴う）
橙色～明黄褐色 (7.5YR6/6～10YR6/6)、灰色 (10Y6/1) を呈する。
- ⑥層：腐植質砂質シルト～シルト質砂（一部に砂礫を伴う）
木片を多数含む。
暗灰 (N3/7)、灰 (10Y6/1) を呈する。
- ⑤層：砂礫主体（礫混じりシルト質砂～礫混じり砂質シルト層を伴う）
礫は径0.5～20cmの角～亜円礫主体。
大局的には上方細粒化の傾向を示す。
黄灰色～明オリープ灰色 (2.5Y6/1～2.5GY7/1) を呈する。
- 酸化帯：③層と⑤層の境界面付近に多い。
- ③層：砂礫
主に20cm以下（まれに50cm大）の角～亜角礫を含む。
礫種は花崗閃岩、花崗岩である。淘汰は極めて悪い。
基質は細～粗粒砂で、締まりは良好である。一部レンズ状に砂礫を挟む。
にふい橙色～橙色 (7.5YR7/3～7.5YR6/6) を呈する。
K断層近辺の砂礫層は、擾曲を示す。
- ②層：礫混じりシルト
礫径0.2～30cm（まれに50cm以上）で、亜角～角礫を含む。
礫種はアブライト、粗粒花崗岩からなる。礫率10～20%である。
にふい橙色～明黄灰色 (5YR6/4～10B67/1) を呈する。
- ①層：砂礫
礫径0.5～30cm（最大100cm以上）で、亜角～角礫を含む。
礫種は花崗閃岩、粗粒花崗岩、アブライト、石英である。淘汰は悪い。
基質は砂質シルトで、締まりは良好である。
黄褐色 (10YR5/8) を呈する。



北西法面 (上段)
現場確認: 2012年12月



- A: せん断面: N25° E58° W
B: せん断面: N20° E63° W
C: せん断面: N22° E57° W
D: 層理面 (チャネル壁): N87° W42° S
E: 層理面 (チャネル壁): N33° W46° W
F: 層理面 (堆積構造): N69° E16° S
G: せん断面: N41° E60° NW
見かけ15cm変位 (逆断層)
H: せん断面: N33° E72° NW
見かけ10cm変位 (逆断層)
I: せん断面: N11° W64° W
J: せん断面: N9° W44° W
K: せん断面: N13° E48° NW
L: 層理面 (②層③層境界): N47° W20° SW
M: 層理面: N19° E56° NW

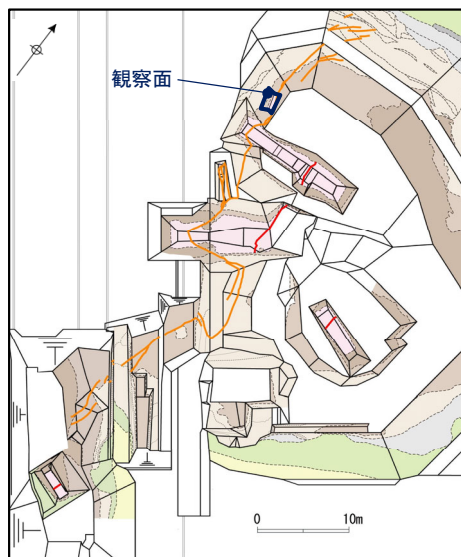
- 凡例
- ⑧層
 - ⑦層
 - ⑥層
 - ⑤層
 - 酸化帯
 - 土壤化部
 - ③層
 - ②層
 - ①層
 - せん断面
 - せん断面 (不明瞭)
 - 地層境界
 - 層相境界 (主要なもの)

北西法面 (下段)
現場確認: 2013年6月

2.2.3 Lカットピット

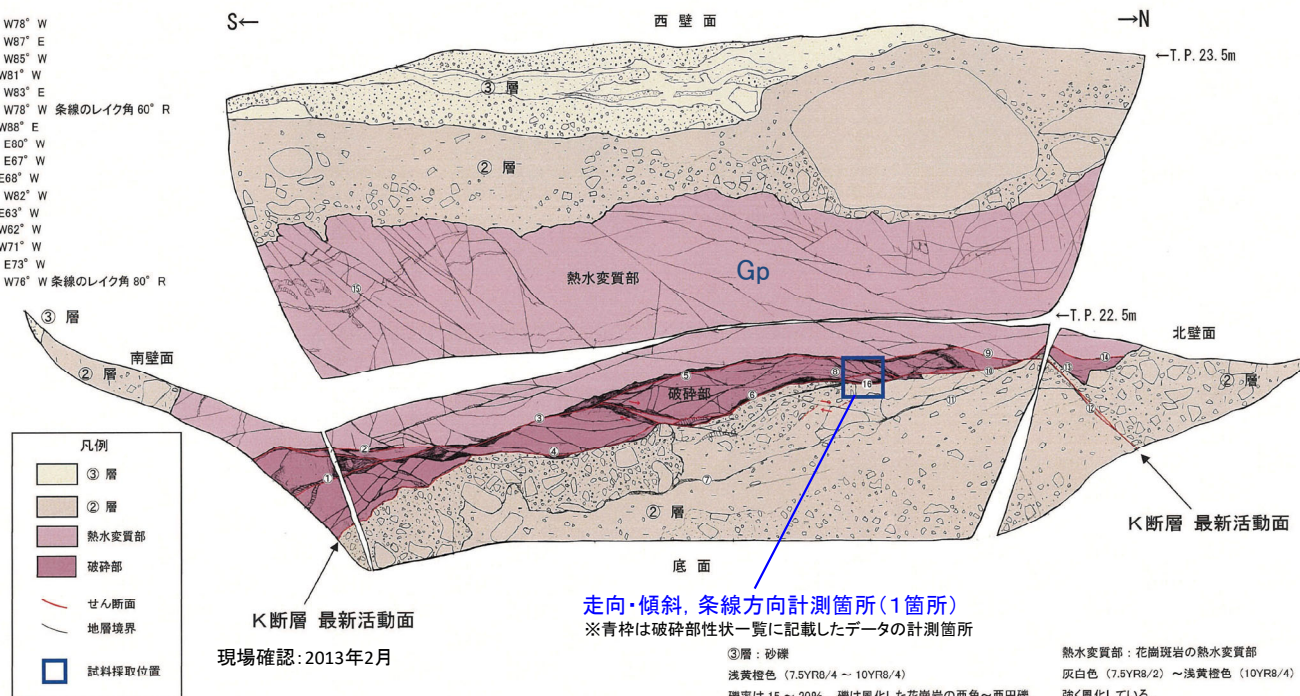
2.2.1.3 Lカットピット (Lカットピット スケッチ)

- ・D-1トレンチLカットピットでは、K断層は基盤岩と②層とを境している。
- ・最新活動面について条線方向を確認した結果、縦ずれ成分が卓越する。最新活動面の薄片試料観察による変位センスは逆断層センスである。



調査位置図

- ① FN29° W78° W
- ② FN10° W87° E
- ③ FN20° W65° W
- ④ FN9° W81° W
- ⑤ FN10° W83° E
- ⑥ FN14° W78° W 条線のレイク角 60° R
- ⑦ FN7° W88° E
- ⑧ FN28° E80° W
- ⑨ FN11° E67° W
- ⑩ FN2° E68° W
- ⑪ FN15° W82° W
- ⑫ FN2° E63° W
- ⑬ FN1° W82° W
- ⑭ FN9° W71° W
- ⑮ FN18° E73° W
- ⑯ FN13° W76° W 条線のレイク角 80° R



K断層 最新活動面
現場確認: 2013年2月

走向・傾斜, 条線方向計測箇所(1箇所)
※青枠は破碎部性状一覧に記載したデータの計測箇所

・せん断面を挟んで上盤側に基盤岩が下盤側に堆積物(②層)が分布している。
・せん断面上の上盤側は10~30cm幅で変質した破碎部が分布し、堆積物(②層)中には基盤との境界面に沿って破碎・せん断構造が発達している。全体をせん断する直線的な断層ガウジは認められない。変位量が数cm程度のR1面がせん断面を細かく右ずれさせている。
・破碎部および堆積物(②層)中に認められるR1面から右ずれが判読される。

③層: 砂礫
淡黄橙色 (7.5YR8/4 ~ 10YR8/4)
礫率は15~20%。礫は風化した花崗岩の亜角~亜円礫。
礫径は2~10mm。
シルト質砂~砂質シルトを層状に挟在する。
基質は細~粗砂からなる。

②層: 礫・砂混じりシルトおよび砂礫
淡黄橙色 (7.5YR8/3 ~ 10YR8/3)
礫率は10~40%。礫は風化した花崗岩の亜角~亜円礫。
礫径は2~250mm主体。最大150cmの礫を含む。
基質はシルト, 細~粗砂からなる。

熱水変質部: 花崗斑岩の熱水変質部
灰白色 (7.5YR8/2) ~ 淡黄橙色 (10YR8/4)
強く風化している。
全体的に変質している。

破碎部: 花崗斑岩の変質したカタクレーサイト
灰白色 (7.5YR8/2) ~ 淡黄橙色 (5YR8/4)
シルト質砂状~砂質シルト状
カタクレーサイトの特徴が認められる。
全体的に軟質である。

K断層の最新活動面に関するデータの計測箇所について 破碎部性状一覧に記載した走向・傾斜, 条線方向:

全ての観察面について、断層面のトレンドを示す代表的な箇所計測。一連の断層面については、複数計測した平均値を記載。(ただし、Lカットピットについては、走向・傾斜が断層面のトレンドを示す範囲が狭いことから1箇所とした。1-1ピット北面, 南面, 底盤については各観察面の平均値とした。)

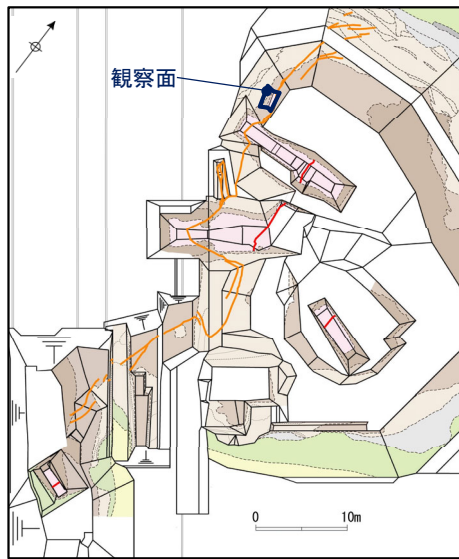
破碎部性状一覧に記載した断層ガウジ・断層角礫の幅:

岩盤中の断層ガウジ・断層角礫について、平均的な幅を示す箇所計測。

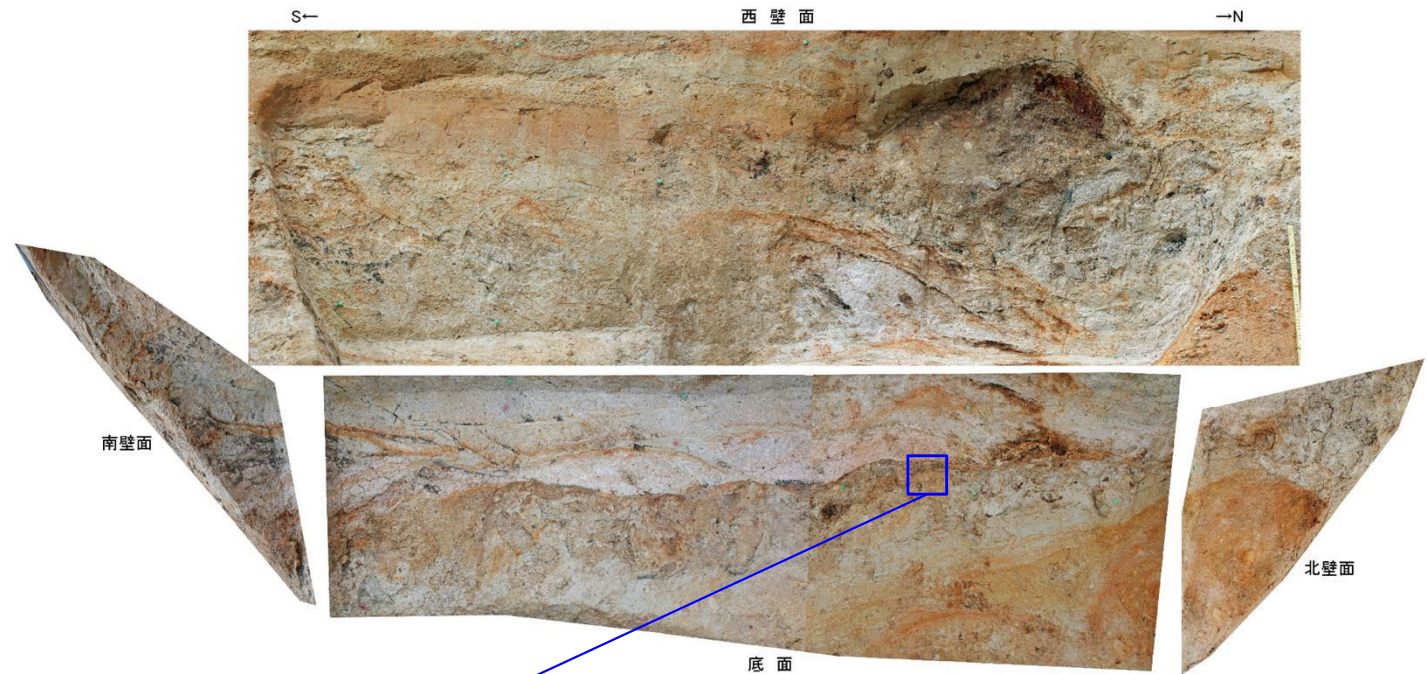
スケッチに記載したデータ:

上記に限らず走向・傾斜, 条線方向及び断層ガウジ・断層角礫の幅を計測可能な出来るだけ多くの箇所計測。

2.2.1.3 Lカットピット (Lカットピット 写真)



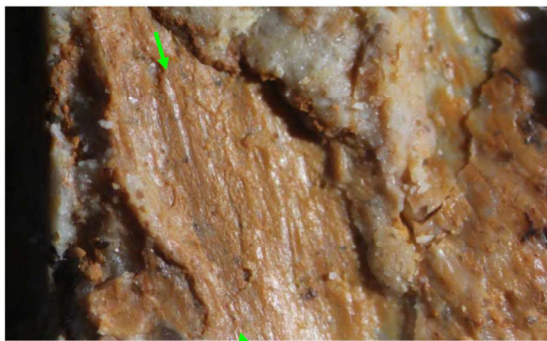
調査位置図



Lカットピット写真

撮影: 2013年2月

条線写真



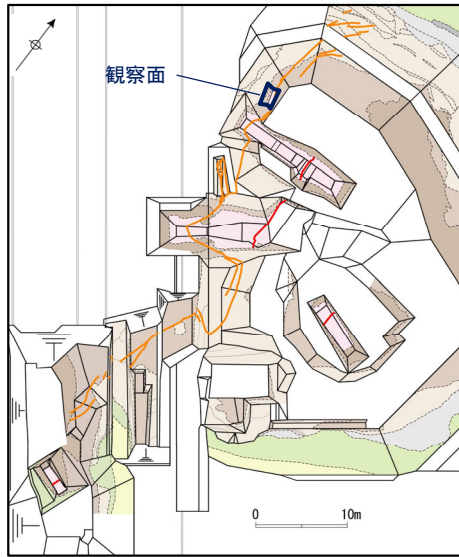
水平方向

1 mm

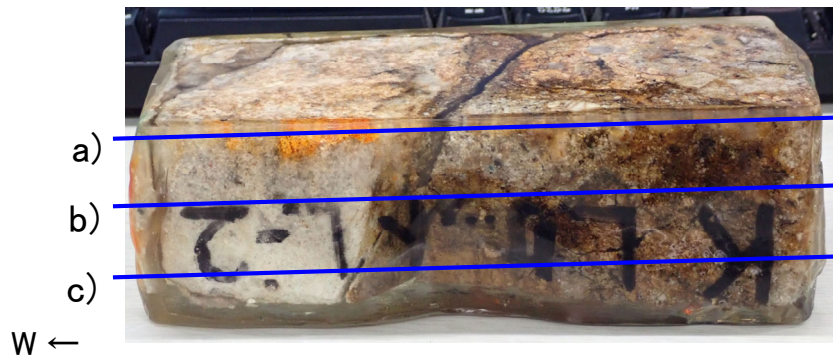
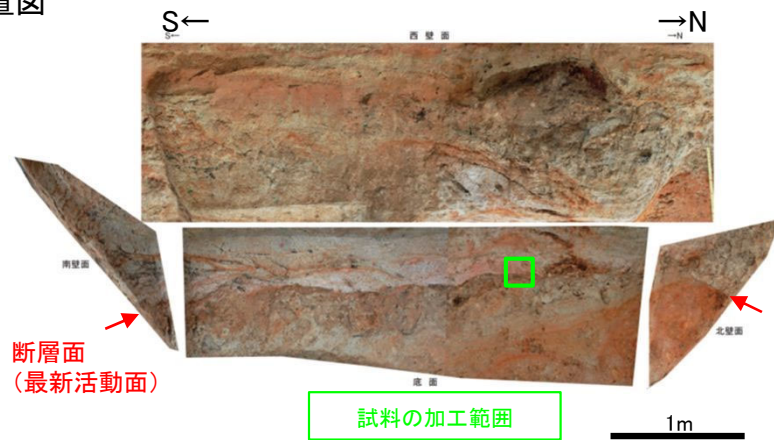
凡例
→ ← 条線方向

LカットピットにおけるK断層の最新活動面の条線方向を確認した結果、80Rの条線が認められる。

2.2.1.3 Lカットピット (Lカットピット ブロックサンプル及びCT画像)



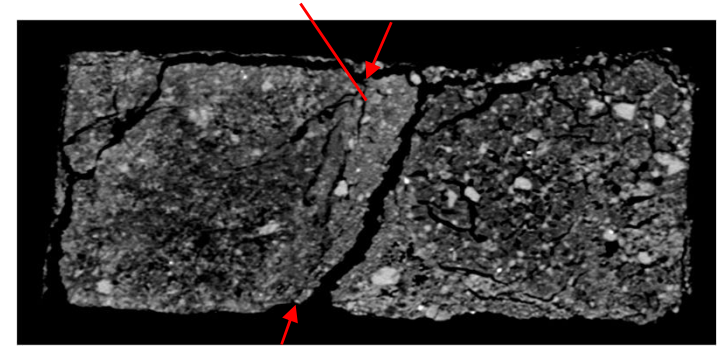
調査位置図



研磨片CT画像

湾曲及び凹凸が認められるが、不連続部が認められない

a)

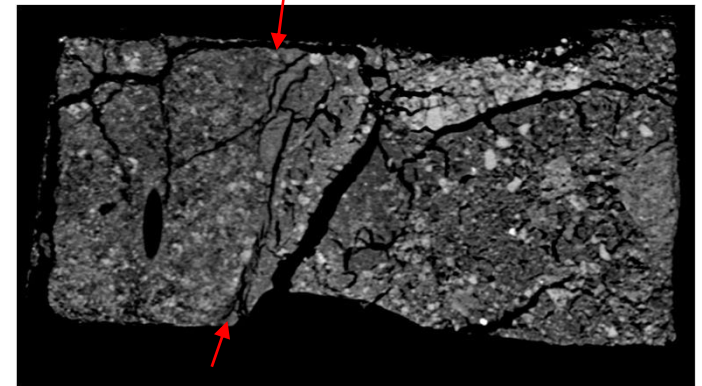


断層面 (最新活動面)

5 cm

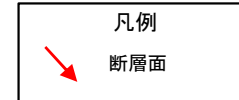
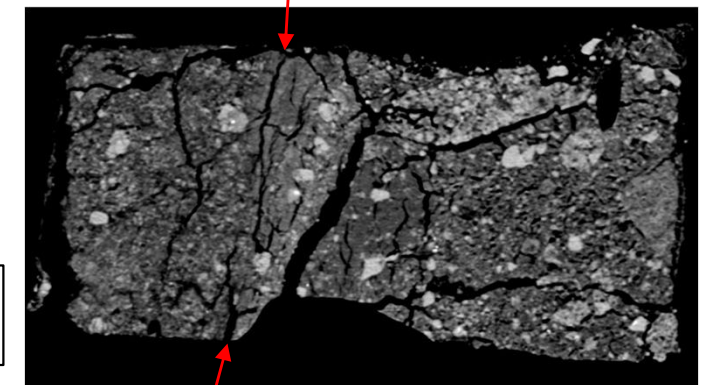
断層面 (最新活動面)

b)



断層面 (最新活動面)

c)

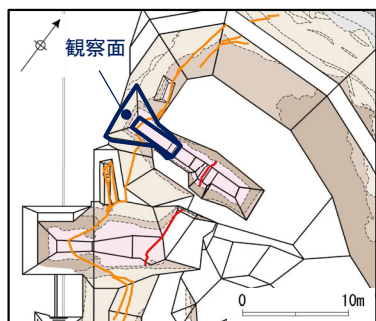


→E

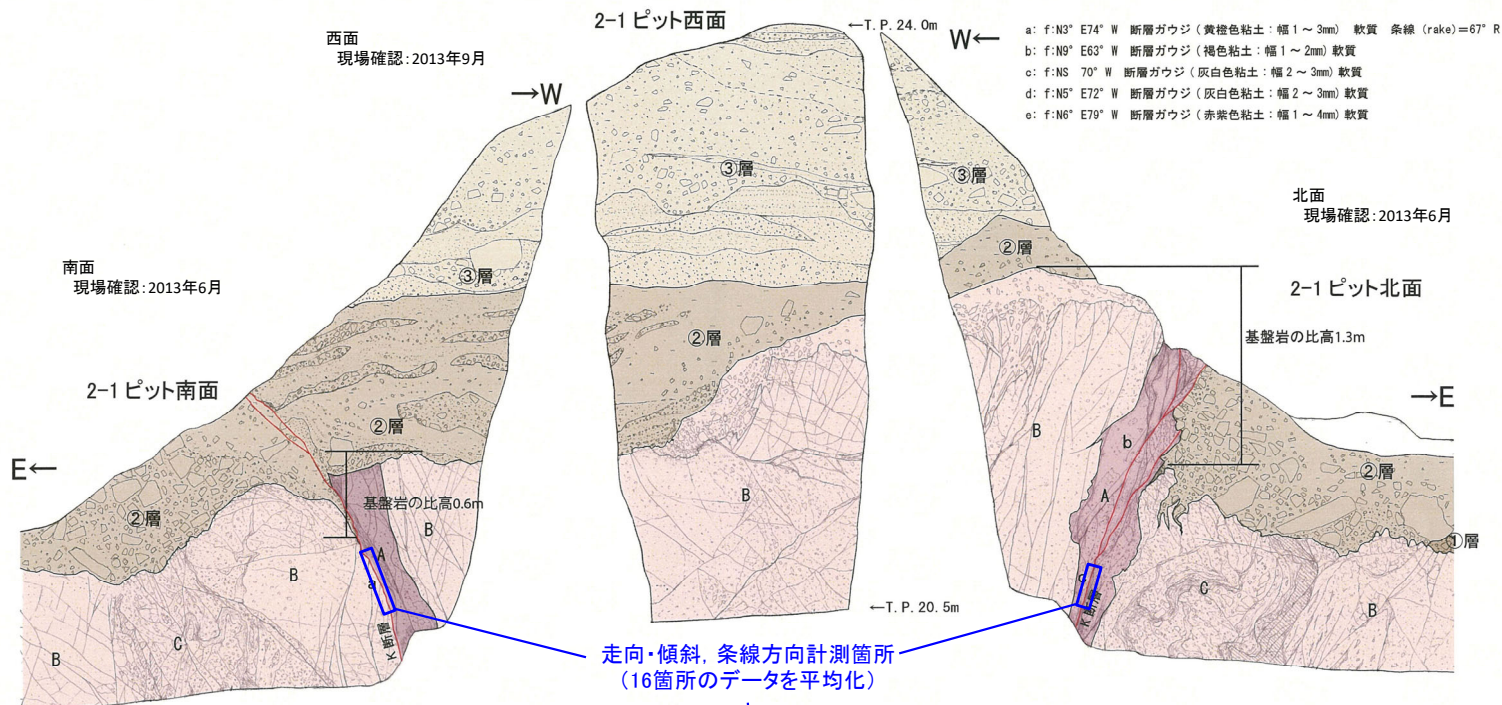
2.2.4 2-1ピット

2.2.1.4 2-1ピット (2-1ピット スケッチ)

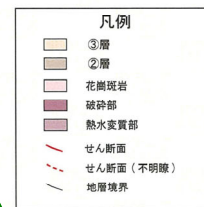
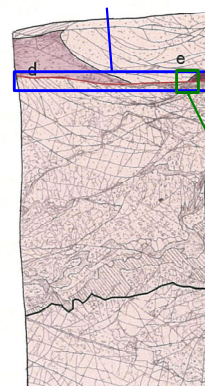
- D-1トレンチ2-1ピットでは、K断層は**基盤岩から②層までを変位させ**、**基盤岩上面の比高は、北面で1.3m、南面で0.6m**である。
- 最新活動面について条線方向を確認した結果、**縦ずれ成分が卓越する**。最新活動面の薄片試料観察による**変位センスは逆断層センス**である。



調査位置図



- 基盤岩 (花崗斑岩)
- A: 花崗斑岩質の変質したカクレーサイト: 浅黄褐色~灰白色 (7.5YR8/3 ~ 7.5YR8/1)。砂質シルト~礫混じりシルト質砂状。やや軟質。全体的に変質を受けている。カクレーサイトの特徴が認められる。
 - B: 風化花崗斑岩: 浅黄褐色 (7.5YR8/4 ~ 7.5YR8/6)。主にやや脆弱な角礫状。
 - C: 花崗斑岩 (破碎質部): 黒褐色~浅黄褐色 (7.5YR3/2 ~ 7.5YR8/6)。主に砂質細礫状。部分的に砂質シルト~シルト質砂状を呈する。
 - ②層: 礫混じり砂質シルト: 明褐色~浅黄褐色 (7.5YR7/1 ~ 7.5YR8/6)。礫は径5cm以下の風化礫。下部ほど細粒。シルト質砂礫: 礫径50cm以下の亜角礫を含む。
 - ③層: 礫混じりシルト質細砂: 橙~浅黄褐色, 灰白色 (5YR7/8 ~ 7.5YR8/6, 7.5YR8/2)。基質はシルト、細~中砂主体。砂礫層をレンズ状に挟み、淘汰が悪い。礫は径5cm以下の風化花崗斑岩の亜角礫主体。径15cmのものも見られる。



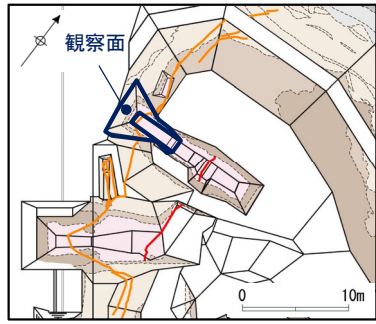
断層ガウジ・断層角礫の幅計測箇所

※青枠, 緑枠は破碎部性状一覧に記載したデータの計測箇所

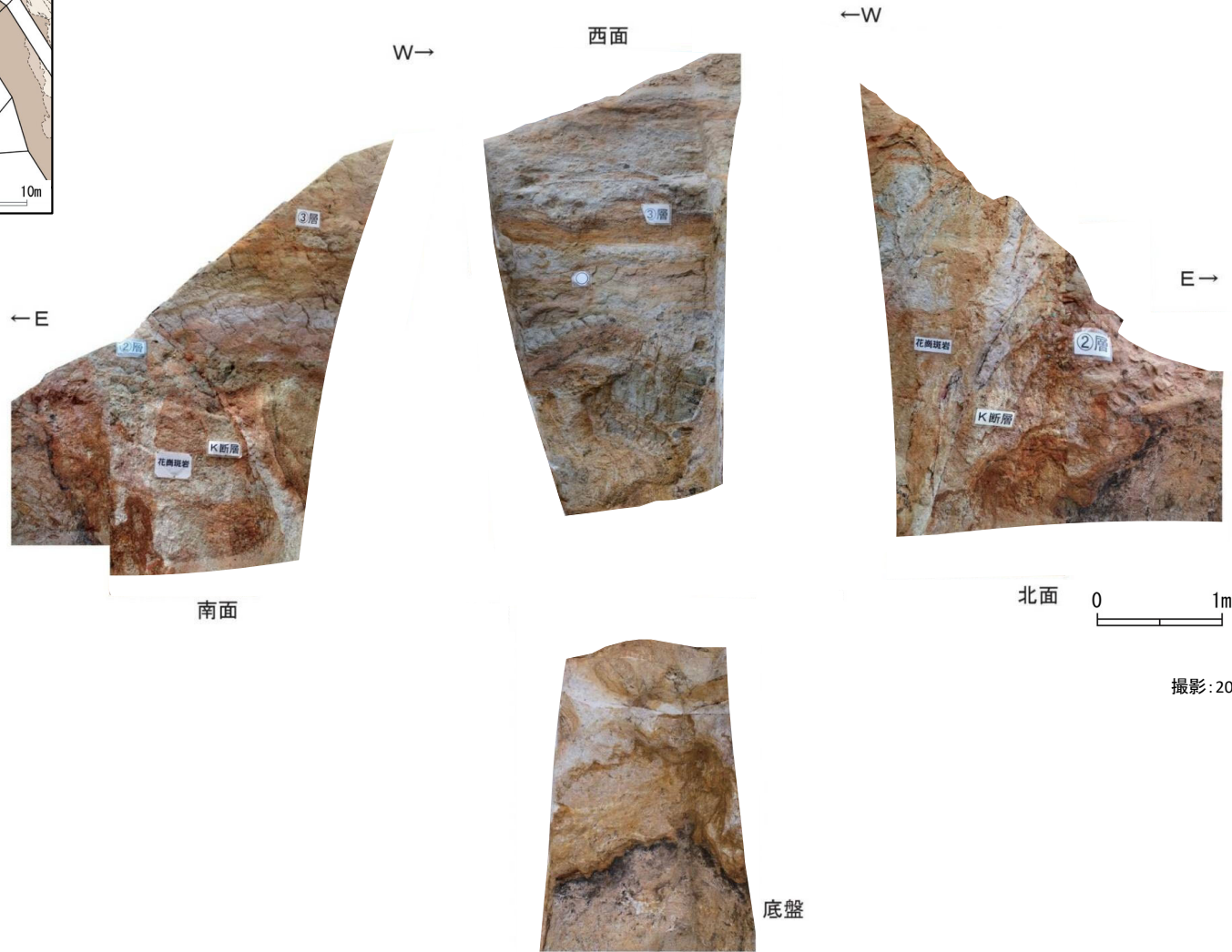
2-1ピット底盤

底盤
現場確認: 2013年9月

2.2.1.4 2-1ピット (2-1ピット 写真)



調査位置図

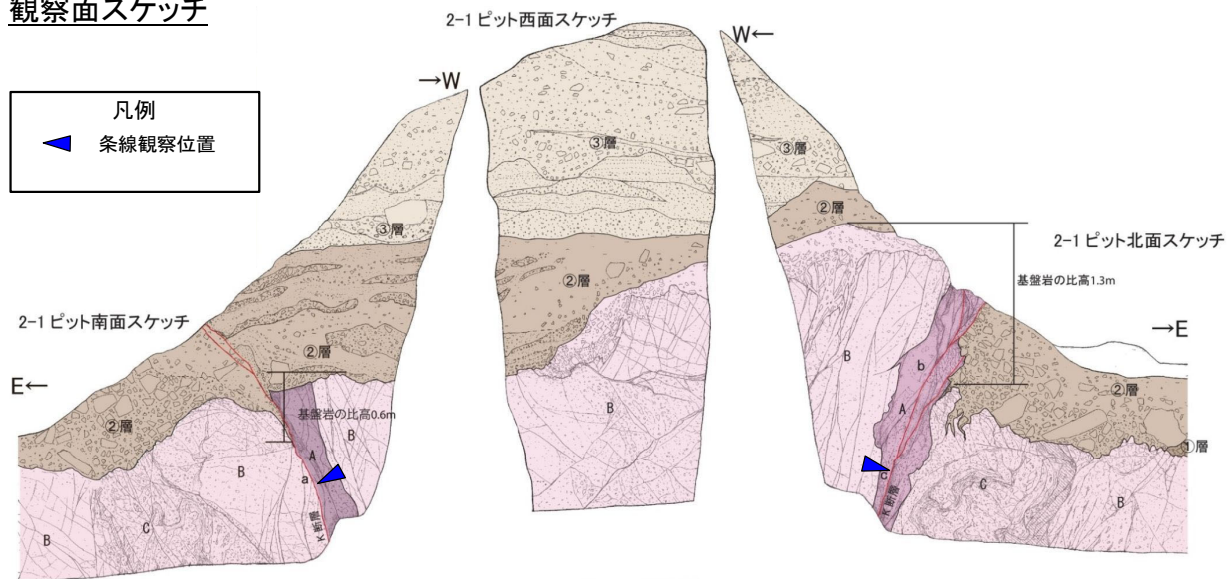
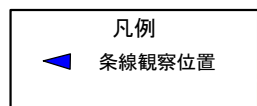


撮影：2013年9月

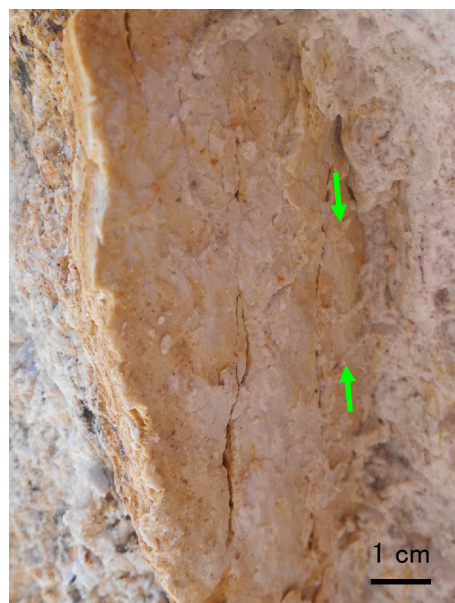
2-1ピット写真

2.2.1.4 2-1ピット (2-1ピット 条線観察結果(その1))

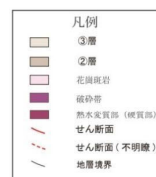
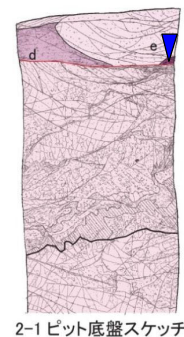
観察面スケッチ



条線の例(2-1ピット北面)※
N9W64W, 80R (平均値)

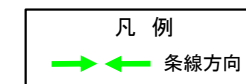


条線の例(2-1ピット南面)※
N3W59W, 82R(平均値)

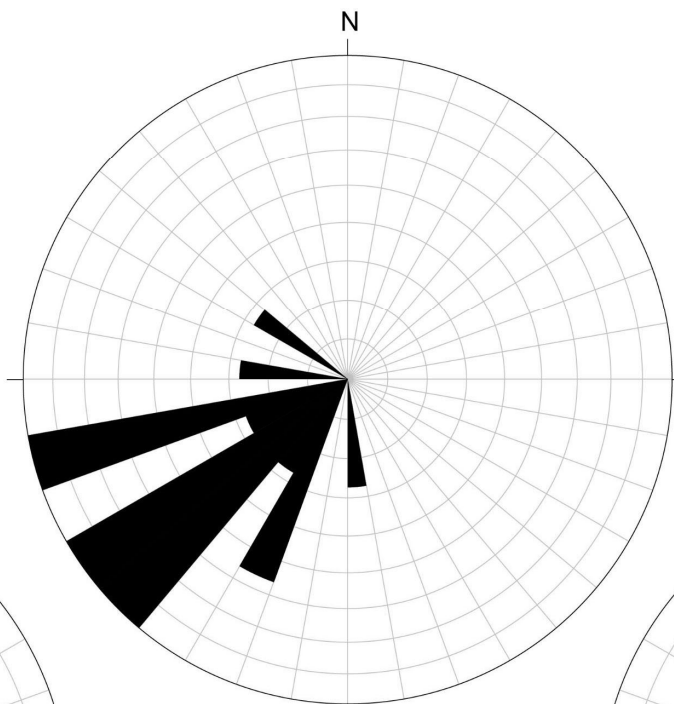
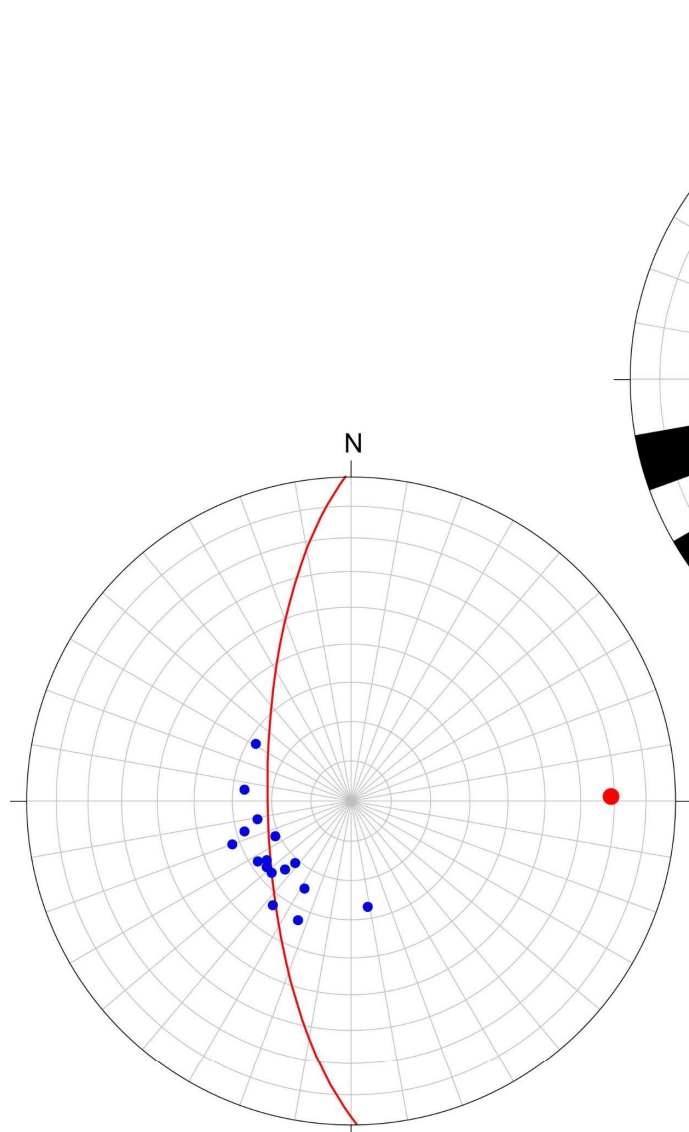


条線の例(2-1ピット底盤)※
N5E64W, 77L (平均値)

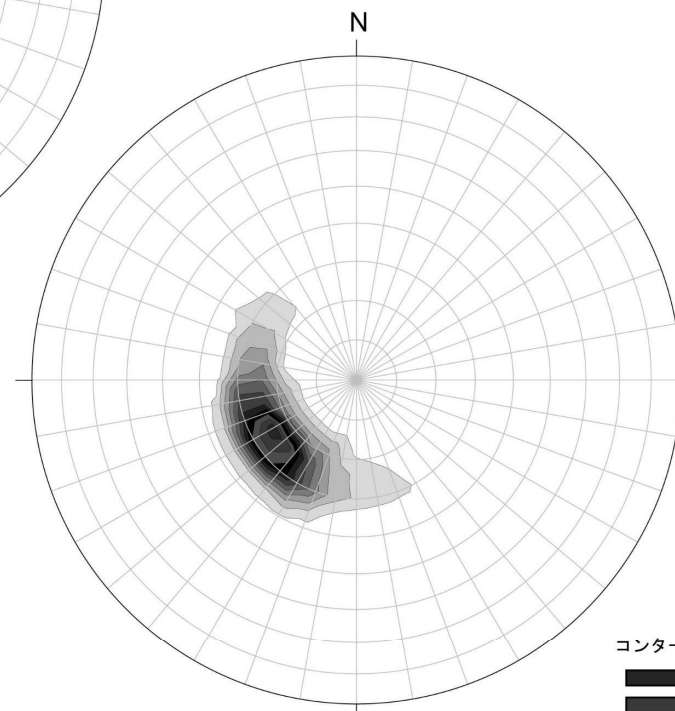
※上盤側から観察



2.2.1.4 2-1ピット (2-1ピット 条線観察結果(その2))



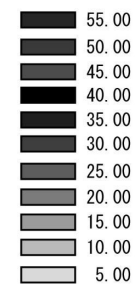
総データ数 : 16
 最大頻度 : S40° W~S60° W方向
 S70° W~S80° W方向
 最大頻度数 : 3
 最大頻度数/総データ数×100 : 18 %



コンターダイアグラム (下半球投影)

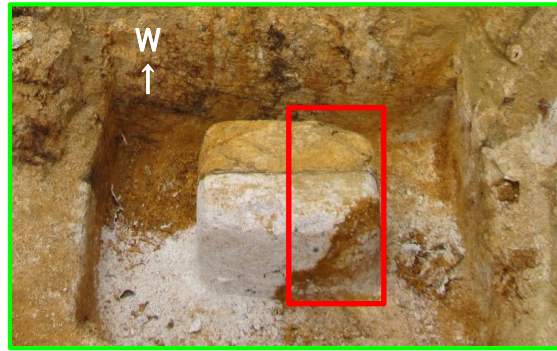
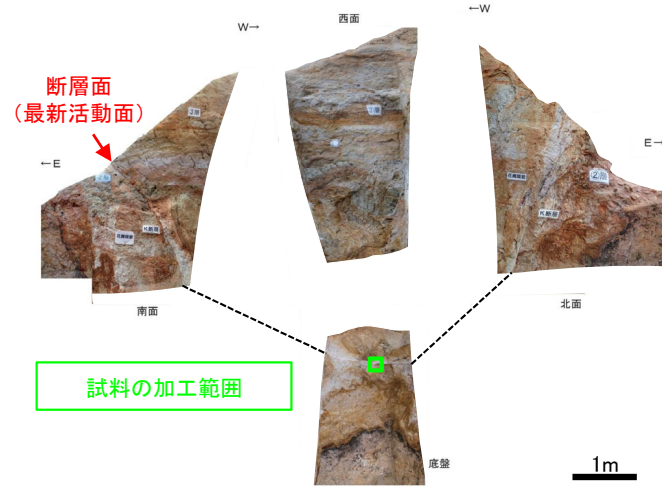
総データ数 : 16
 最大集中点 : 59.28 (S60° W66° S)
 最小集中点 : 0

コンター 凡例 (%)



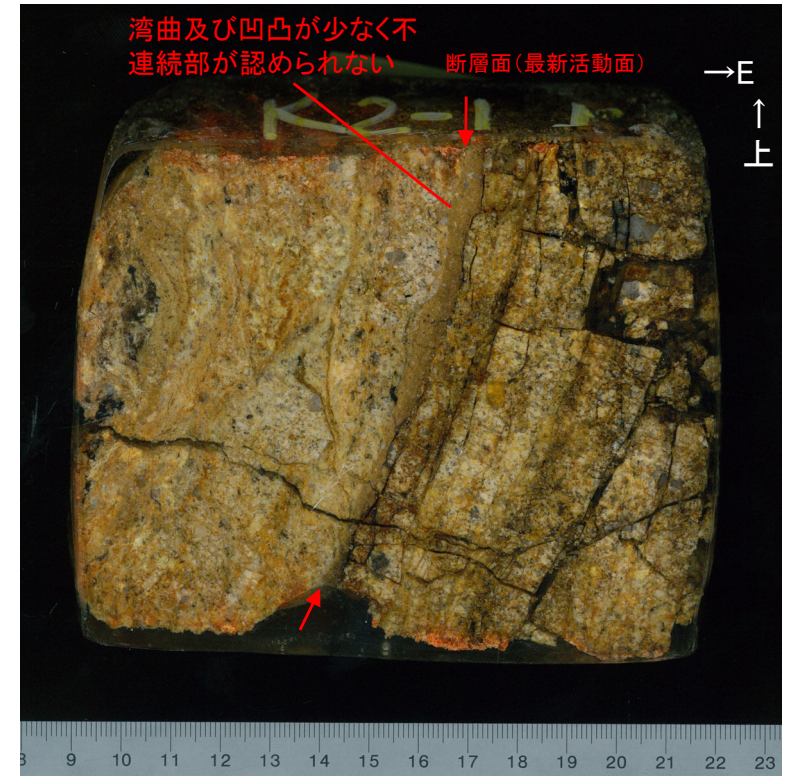
・平均走向・傾斜:N1° W69° W
 ・平均レイク角:78° 南傾斜

2.2.1.4 2-1ピット (2-1ピット ブロックサンプル及びCT画像)



試料採取時画像

研磨片写真

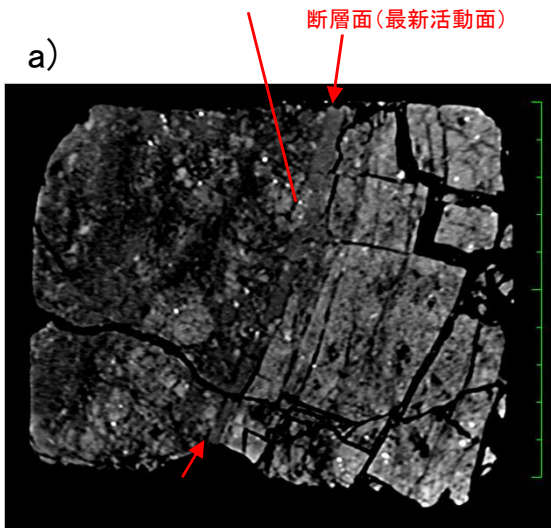
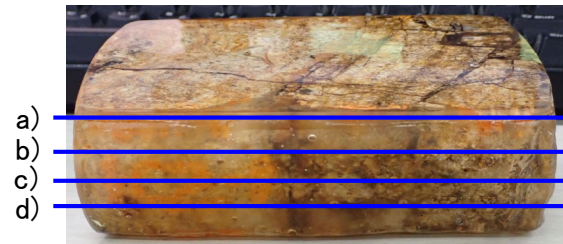


5 cm

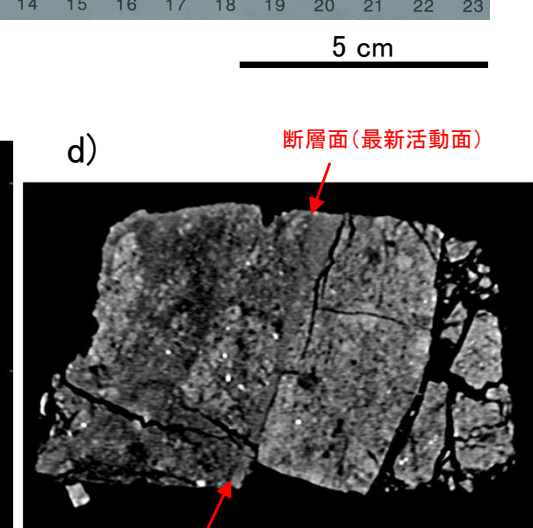
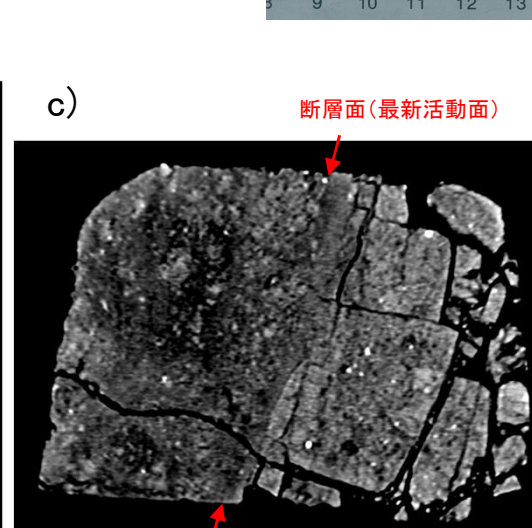
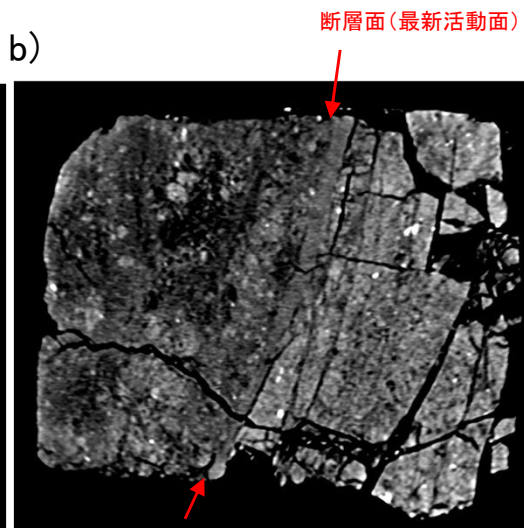
凡例
断層面

研磨片CT画像

湾曲及び凹凸が少なく、不連続部が認められない



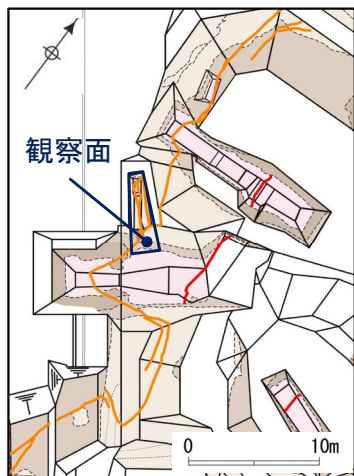
5 cm



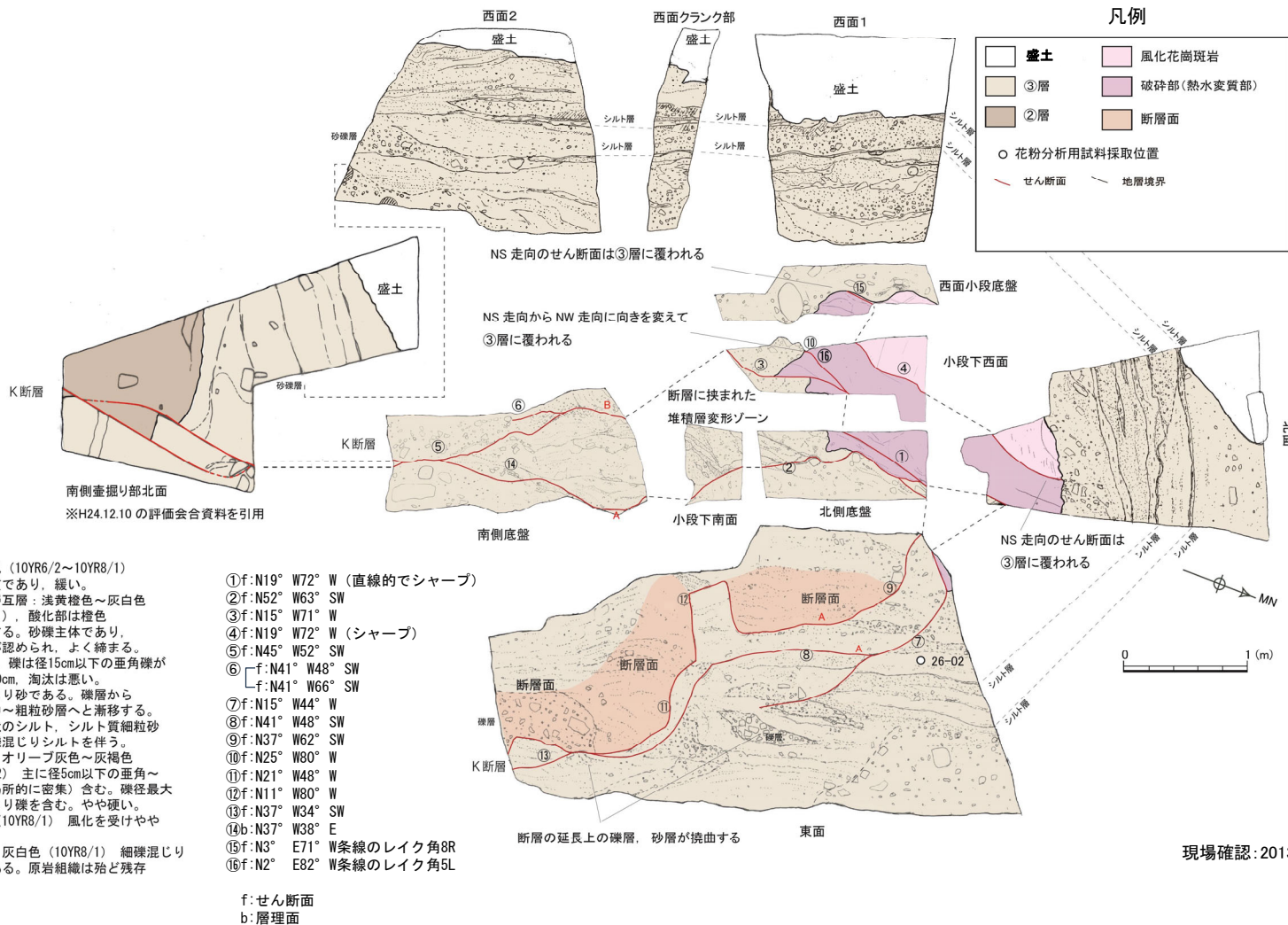
2.2.5 西側ピット

2.2.1.5 西側ピット（西側ピット スケッチ）

- D-1トレンチ西側ピットの北部拡幅部では、K断層は③層を変位させ、ピット内においてN-S~NNW-SSE方向の断層に屈曲して走向を変えている。
- 屈曲部から南方へ分岐するN-S方向の断層は、③層に変位・変形を与えていない。



調査位置図



2.2.6 1-1ピット

2.2.1.6 1-1ピット (1-1ピット北面 スケッチ)

- D-1トレンチ1-1ピットでは、**K断層は基盤岩から③層を変位させ**、北面では、**②層上面の鉛直変位量は1.1m**である。
- 岩盤部において、K断層は北法面では**N-S方向で高角度西傾斜**であり、**断層ガウジを伴う**。
- 最新活動面について複数の条線方向を統計的に整理した結果、**縦ずれ成分が卓越**する。

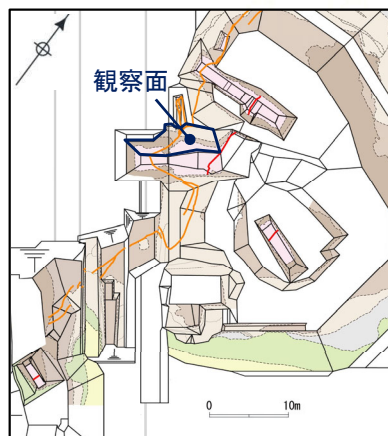
- ③層: 砂礫を主体とする。浅黄橙色 (7.5YR8/3)。礫率20~40%で径10cm以下の亜角礫からなる。淘汰は良い。基質は中~粗粒砂からなり、一部、細砂及びシルトからなり、細礫を含み、葉理が発達する。
- ②層: シルト質砂礫を主体とする。にぶい橙色 (5YR7/4)。礫率15~25%で径10~70cm程度の角~亜角礫からなる。基質はシルト及び中~細粒砂からなる。上部には砂礫混じりシルトが分布し、主に粘土、シルト、細粒砂からなる。また、下部の一部には、シルト質砂礫が分布している。
- ①層: 砂礫を主体とする。浅黄橙色 (7.5YR8/3)。礫率30~60%で径30cm以下(最大径50cm)の亜角礫からなる。淘汰は極めて悪い。基質は中~極粗粒砂からなる。
- Gp: 花崗斑岩: 浅黄橙色 (7.5YR8/4)。全体に風化を受け、一部、土砂状を呈する。また、断層周辺部では、花崗斑岩質の変質したカタクレーサイトが分布し、礫状及びシルト質砂状を呈する。花崗斑岩質の変質したカタクレーサイトは全体的に変質し、やや軟質でカタクレーサイトの特徴が認められる。また細粒部は網目状に分布する。

- ①: f: N14° W64° W 断層ガウジ (灰褐色粘土: 幅2~6mm) 軟質。
②: f: N10° W61° W 断層ガウジ (灰褐色粘土: 幅3~6mm) 軟質。
③: f: N6° E65° W 断層ガウジ (橙色粘土: 幅2~15mm) 軟質。

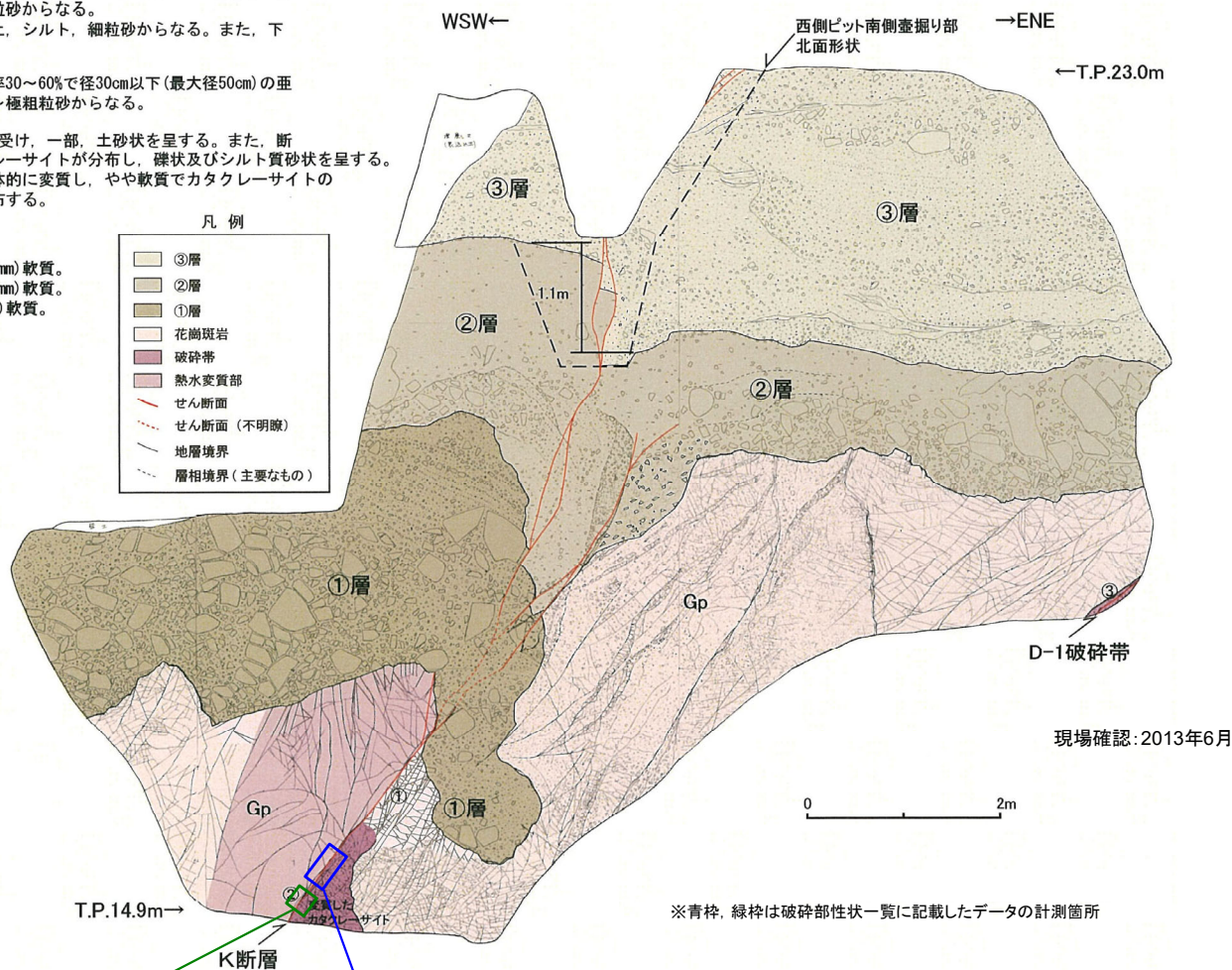
f: せん断面

凡例

	③層
	②層
	①層
	花崗斑岩
	破碎帯
	熱水変質部
	せん断面
	せん断面 (不明瞭)
	地層境界
	層相境界 (主要なもの)



調査位置図



※青枠、緑枠は破碎部性状一覧に記載したデータの計測箇所

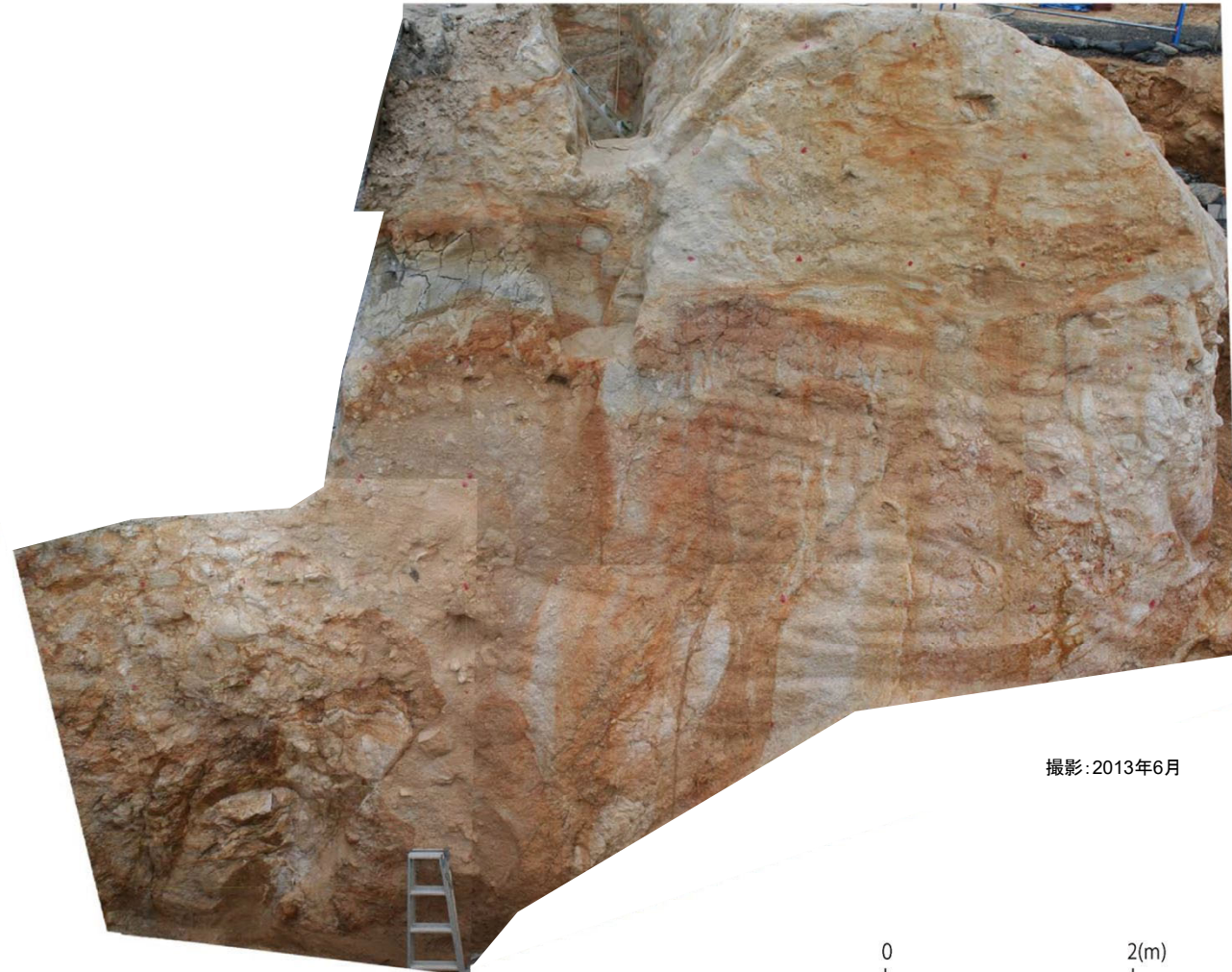
断層ガウジ・断層角礫の幅計測箇所(1-1ピット北面)

走向・傾斜、条線方向計測箇所(1-1ピット北面: 12箇所のデータを平均化)

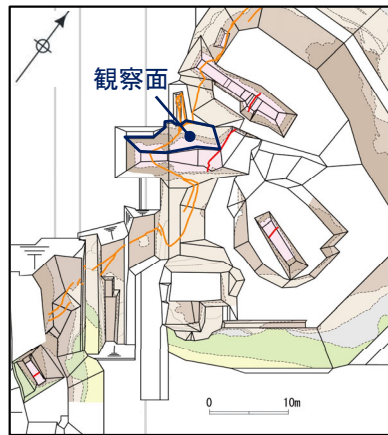
2.2.1.6 1-1ピット (1-1ピット北面 写真)

WSW←

→ENE



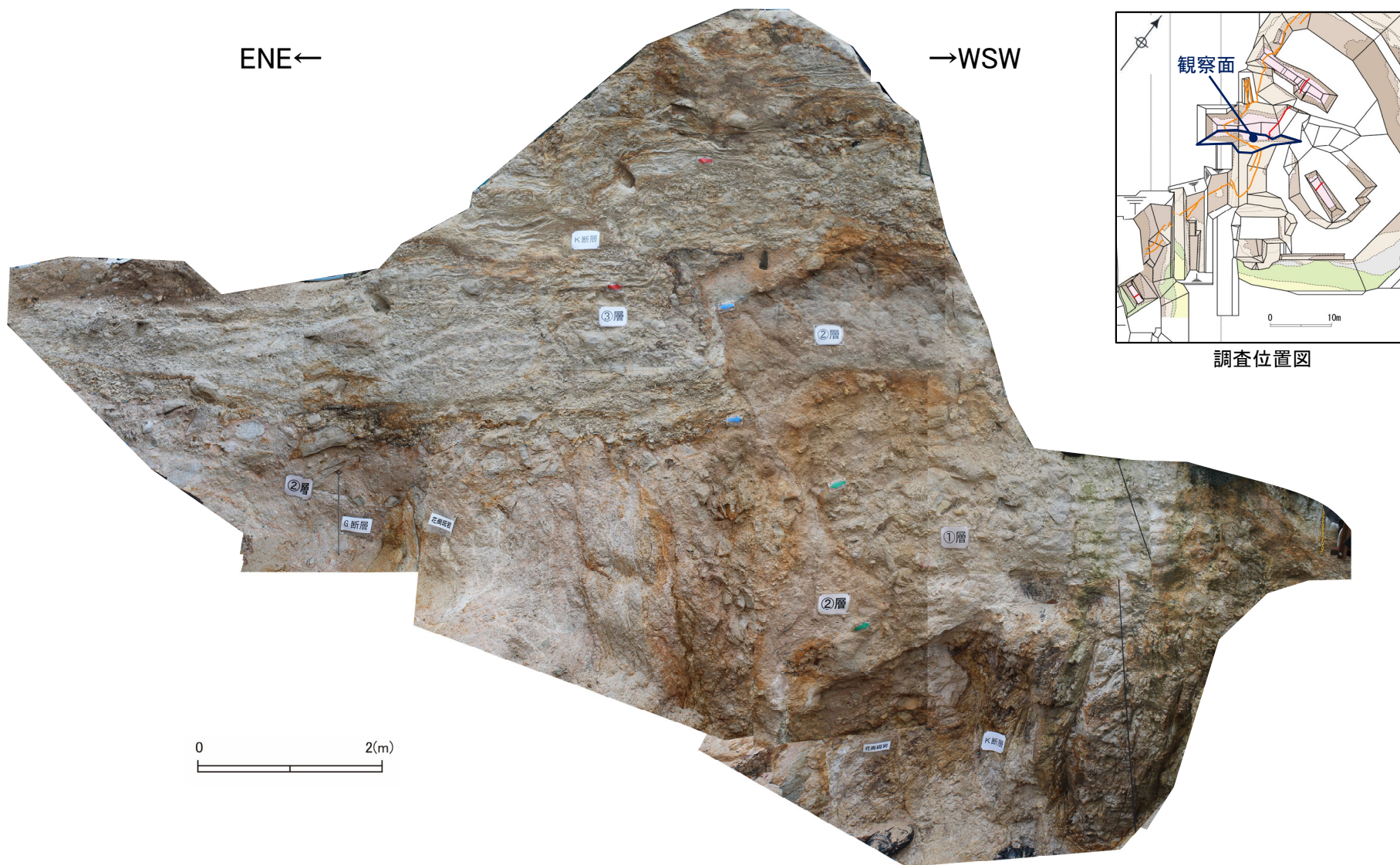
撮影: 2013年6月



調査位置図

1-1ピット北面写真

2.2.1.6 1-1ピット (1-1ピット南面 写真)

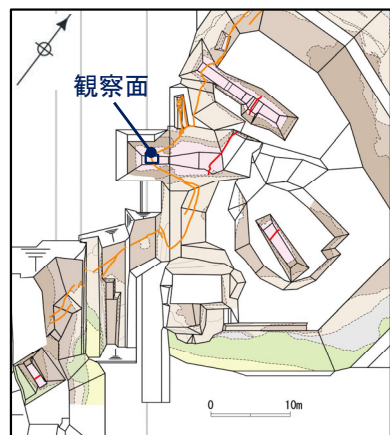


1-1ピット南面写真

撮影:2013年12月

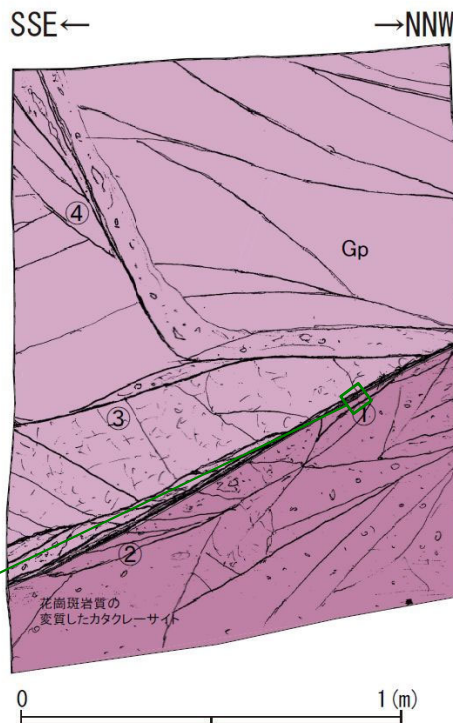
2.2.1.6 1-1ピット (1-1ピット底盤 掘り込み前)

・K断層はWNW-ESE方向で高角度南傾斜である。



調査位置図

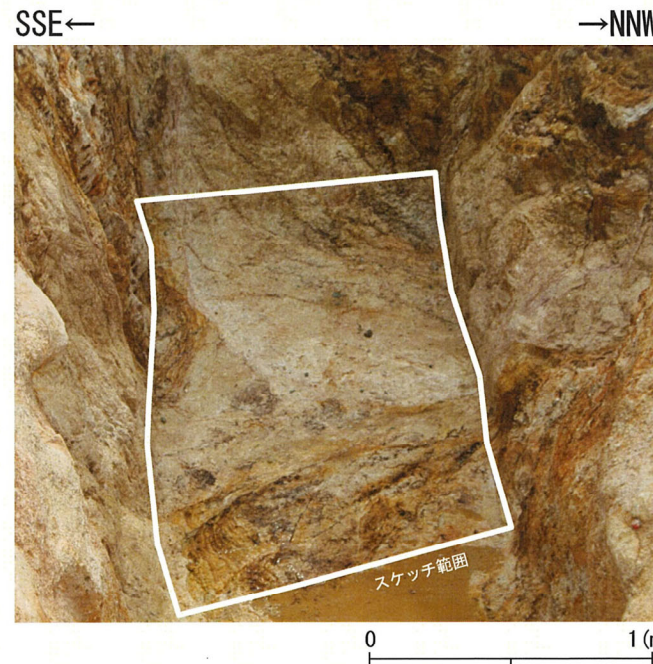
断層ガウジ・断層角礫の幅
計測箇所
(1-1ピット底盤1)



現場確認:2013年6月

※緑線は破碎部性状一覧に記載したデータの計測箇所

1-1ピット底盤



撮影:2013年6月

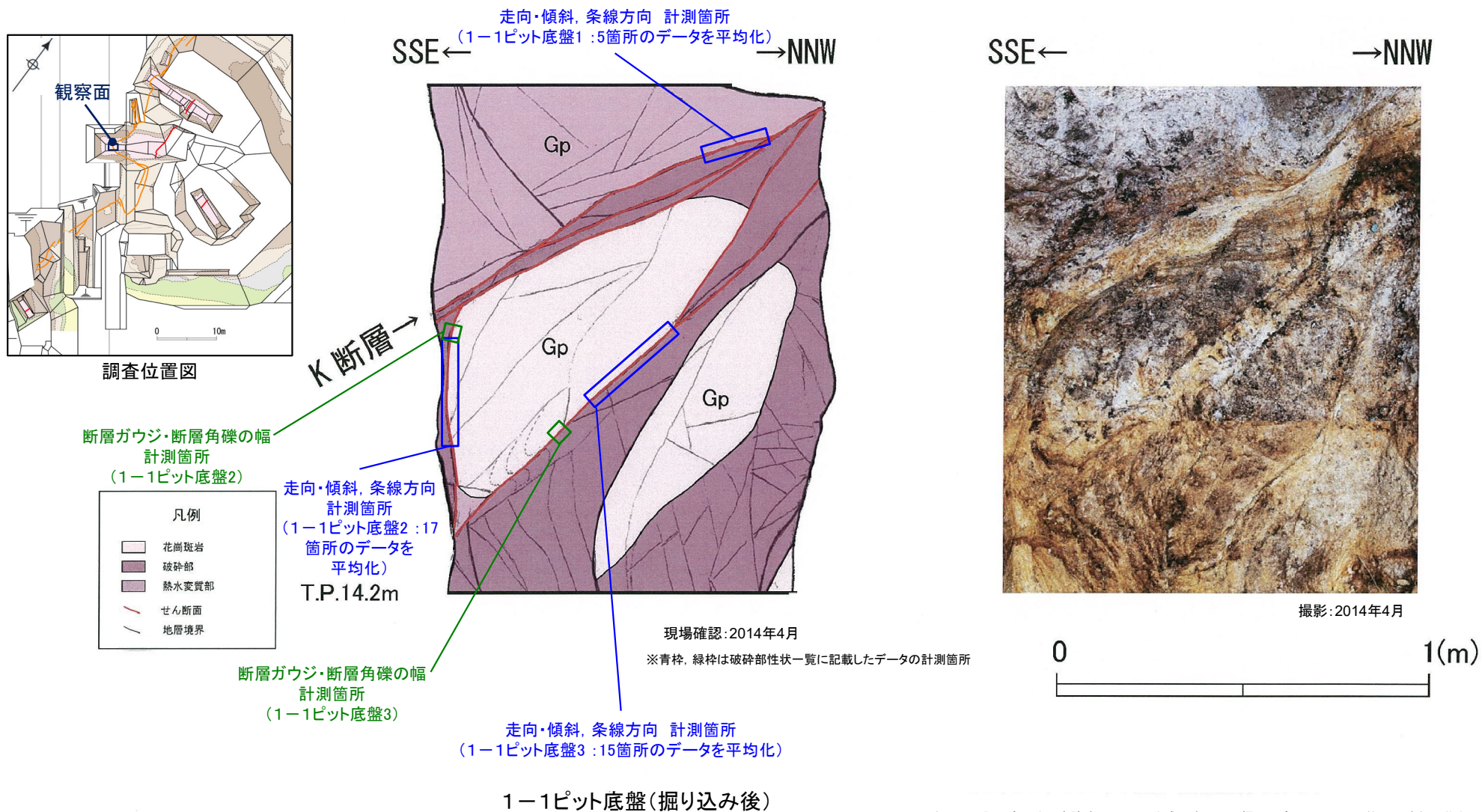
- ① f: N63° W53° S 断層ガウジ (灰褐色粘土: 幅 3 ~ 6mm) 軟質
- ② f: N67° W62° S 断層ガウジ (灰褐色粘土: 幅 3 ~ 5mm) 軟質
- ③ f: N54° W74° S 断層ガウジ (灰白色粘土: 幅 1 ~ 4mm) 軟質
- ④ f: N18° E86° W
f: せん断面

凡例	
	破碎部
	熱水変質部

Gp: 花崗斑岩: 橙色~浅黄橙色 (7.5YR7/6 ~ 10YR8/3)
全体的に変質を受け、やや軟質である。断層周辺部では、
花崗斑岩質の変質したカタクレーサイトが分布し、
礫混じりシルト質砂状を呈する。

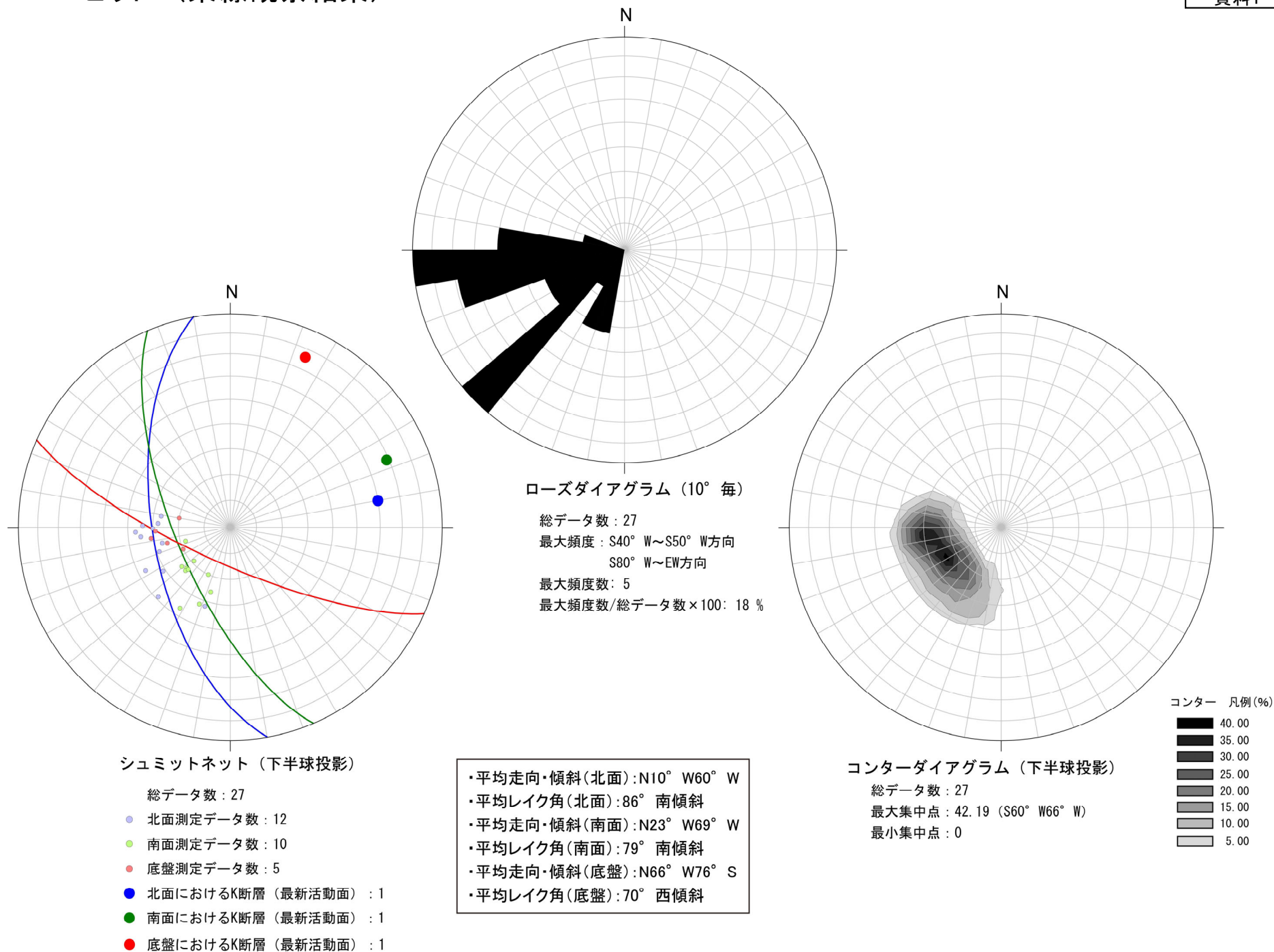
2.2.1.6 1-1ピット (1-1ピット底盤 掘り込み後)

- 1-1ピット底盤については、2015年11月の設置変更許可申請時のスケッチ作成以降にサンプリングを実施したことから、**底盤を整形し再観察**を行っている。
- K断層は**WNW-ESE方向で高角度南傾斜**である。最新活動面について複数の条線方向を統計的に整理した結果、**縦ずれ成分が卓越**する。



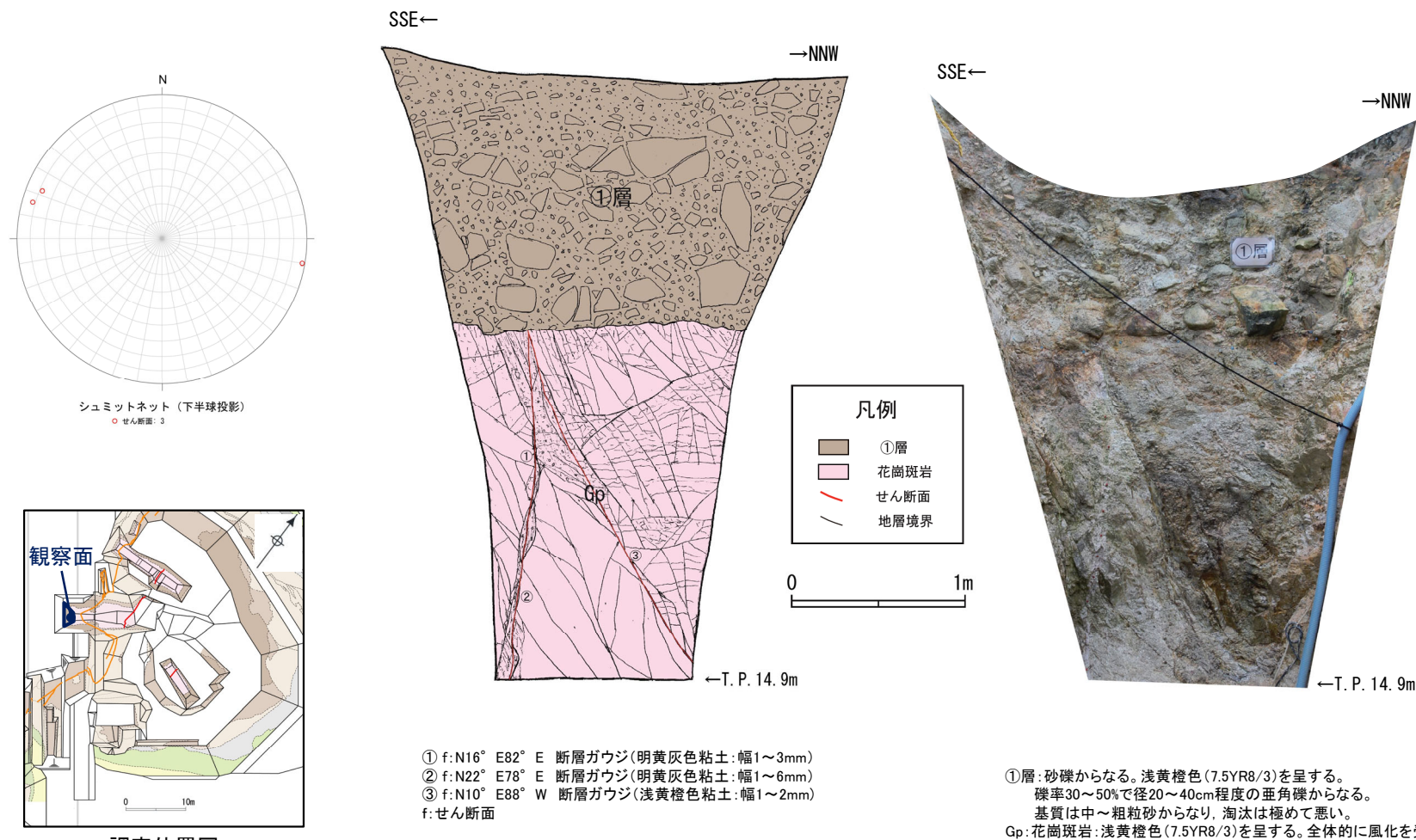
※2015年11月の設置変更許可申請時のスケッチ作成以降に70cm掘り下げ。スケッチ面は約40cm東側に移動。

2.2.1.6 1-1ピット (条線観察結果)



2.2.1.6 1-1ピット (1-1ピット西面)

- D-1トレンチ1-1ピット西面の基盤岩内には、北面で認められたK断層と連続する熱水変質を伴うNNE-SSW方向、高角度東傾斜の破碎帯が認められるが、これを覆う①層に変位・変形は認められない。



現場確認: 2013年6月

撮影: 2013年6月

余白

2.2.7 擁壁撤去法面