

## 「第三者レビュー会合」と「国際レビューグループ」

### 第2回独立したレビューにより得られた知見の概要

2014年6月3～5日

### 敦賀発電所近傍の断層の評価

N. チャップマン、K. ベリーマン、W. エプスタイン、H. 加藤、N. リッチフィールド、K. 奥村

2014年6月5日

#### 1. 内容

「第三者レビュー会合 (TRM)」と「国際レビューグループ (IRG)」は、2013年7月に敦賀を訪れ、敦賀発電所の岩盤内にある断層の活動性に関する証拠について、評価を行った。我々は、2013年8月28日に日本原電 (JAPC) に報告書を提出し、その中で断層の活動性に関する問題についての見解を示し、またこのような問題の解決に向け、国際的に受け入れられている方法 (国際原子力機関、IAEA、国連の組織) を踏まえ、JAPC と原子力規制委員会 (NRA) がどのような取組みを行うべきかについて提言した。簡単に言えば我々は、「NRA が問題視している特定の断層 (G/D-1 と K) は、NRA の定義に従えば、活断層ではない。」との JAPC の調査結果に同意した。主要な提言は、「最新の国際的な標準を踏まえつつ、原子力プラントの地震ハザード解析について継続的な改善を図り、かつ新しいデータと技術が得られる都度、これを用いた更新 (恒常的な安全評価) が図れるよう、JAPC と NRA が協働することを検討すべき。」といったものであった。

その後、2014年1月に NRA は、専門家グループとともに2013年の JAPC の情報を評価するために敦賀発電所を訪れたが、2013年5月の彼らのポジション (G/D-1 と K は、‘活動性がある’) を大きく変更するには、至っていない。

我々は、2014年5月26日に JAPC から提供を受けた追加資料をレビューした。それには以下のものが含まれる。

- ・ 2014年4月14日に JAPC が NRA に提出した資料
- ・ 2014年4月14日の NRA の有識者会合でのプレゼンテーション

また我々は今週、敦賀サイトを再び訪れ、物的証拠を再び評価した。

「2013年8月28日付の我々の国際レビュー報告の結論を変更する必要はない。」というのが、我々の総合的な知見である。

## 2. G/D-1 断層

(NRAの活動性の定義に基づく) G/D-1断層の非活動性は、もはや議論される問題でないようである。NRAの専門家は、昨年からのこの断層に関して更なる問題を提議していない。G/D-1が有する特徴は、K断層のそれと全く異なっており、またもっとも古い表面の堆積物(①層)が堆積されて以降に活動した形跡のない古い断層である。

このことは、敦賀発電所2号機の下に、活断層がないことを意味する。

## 3. K断層

K断層の最新活動時期についての評価は、断層の上に載る堆積物(主に⑤層)内の火山灰(テフラ)層から得られる情報や断層の構造から得られる情報を基に行われた。

### 3. 1 テフラの年代

⑤層下部テフラは低濃度であり、確実な同定を行う上では、多様な根拠が必要である。美浜テフラの斑晶鉱物粒子は、特徴的な主成分化学組成を有しており、調査対象となっている断層を覆う堆積物中で、特に有用な時間示標(127,600年前)である。それは、G/D-1及びK断層の最新活動時期の境界を見極めるのに用いられる。

主成分化学組成の散布図には、ある程度のバラつきがあるものの、全体的にデータは網羅的であり、敦賀湾の海上掘削孔のコアや美浜テフラの模式地と良い相関を示している。JAPCは、敦賀付近の広い地域において(最大60km離れたところまで)、美浜テフラの分布と特徴を調査した。斜方輝石班晶の化学的性質を評価することで、JAPCは普通角閃石班晶(テフラの一部である結晶)についての補完的な化学分析データを取得した。

JAPCは、⑤層下部テフラ、美浜テフラおよび同時期のテフラの普通角閃石の主成分化学組成の差異について統計解析をすべきとの我々の以前の提言に取り組み、⑤層下部の普通角閃石班晶と美浜テフラが他の同時期のテフラに較べてはるかに高い類似性をもつことを示した。場所によって美浜テフラの性状が異なることに対するNRA専門家の懸念については、風化の程度や層厚変化にそのような多様性は想定されることから、問題はない。

班晶の濃集する層準は、⑤層下部の特徴的な礫/砂混じりのシルト質堆積物の層準に限られており、この層準以下の⑤層内で混ざっていない。⑤層最下部にテフラ班晶が無いことは、美浜テフラより下の堆積物が美浜テフラより古いことを示している。したがって、美浜テフラは、降下堆積後に降下堆積層準以下の堆積物と混合していない。美浜テフラが下位の堆積物と混合している可能性は、NRA専門家の主要な懸念であったと思える。我々は、美浜テフラの定置は、主に空中からの降下堆積によると推定する。その後にくらかの再堆積(例えば降雨による)があったが、これは⑤層下部の堆積物が堆積する過程で起きた

ものである。それ故、⑤層最下部は美浜テフラよりも古く、かつ K 断層により切断されていない事実をもって、断層活動が 127,600 年よりも古いことを立証している。また、敦賀の D-1 トレンチ及び複数のボーリングコアからも、美浜テフラの上下に位置する堆積物が同様の環境での陸成堆積物であることを実証している。これらは、約 130,000 年前以前の MIS (海洋酸素同位体ステージ) 6 から上方の MIS5e への移り変わりを記録している。

花粉分析は、敦賀湾海上ボーリングや⑤層下部に美浜テフラが堆積した時期の温暖な気候を独立に示す証拠を提供している。これは、MIS5e の温暖期に対応している。敦賀湾の海上ボーリングコアや 1991 年の安野論文の記載に見られる陸成の砂礫層から浅い海成の堆積物への移り変わりは、気候の温暖化に伴い発生した過去に陸であった部分への海域の拡大を示している。この堆積層の移り変わりは、D-1 トレンチでははっきりしていないものの、テフラ、花粉、層序に基づく他地点との対比等の一連の複数の証拠が、D-1 トレンチにおける評価の根拠を確実に強固なものとしている。

### 3. 2 K 断層の活動性

K 断層は、浦底断層が動いたことにより引き起こされた可能性があると考えられている。NRA 専門家の一人は、K 断層が起震断層である主断層（ここでは浦底断層を指す）の動きの結果生じた副断層であるとの考えを表明している。これは我々の考え方と一致する。さらに K 断層にみられる変位は、1 回限りの事象によって発生した可能性が高いと考える。浦底断層のような主断層近傍の狭い範囲には副断層が発生する‘ダメージゾーン’が存在する。この‘ダメージゾーン’の中で副断層の変位量は主断層から離れるにつれ急激に減少する。我々は K 断層がこのような副断層であると考えている。

この点において、K 断層の変位がどの地点においても浦底断層から約 60m を越えて生じていないこと及び、後期更新世より古い時期の小規模な動きが特定された K 断層の端部が、敦賀発電所 2 号機から約 270m であることは、主要な観察結果となっている。

K 断層は、③層内に上端を有する。D-1 トレンチ内の露出している部分において、後期更新世以降に活動した証拠はない。

従って、K 断層は NRA の定義による‘将来活動する可能性のある断層等’には分類されない。

また我々は、JAPC が更新／改善した幾何学的アプローチを用いて、K 断層に沿う変位量分布を再評価したことを確認した。この結果は、広範囲にわたり 2013 年の解析で得られた値と同様の値を示している。また、D-1 トレンチ北西壁面の K 断層上端部について、NRA 専門家は

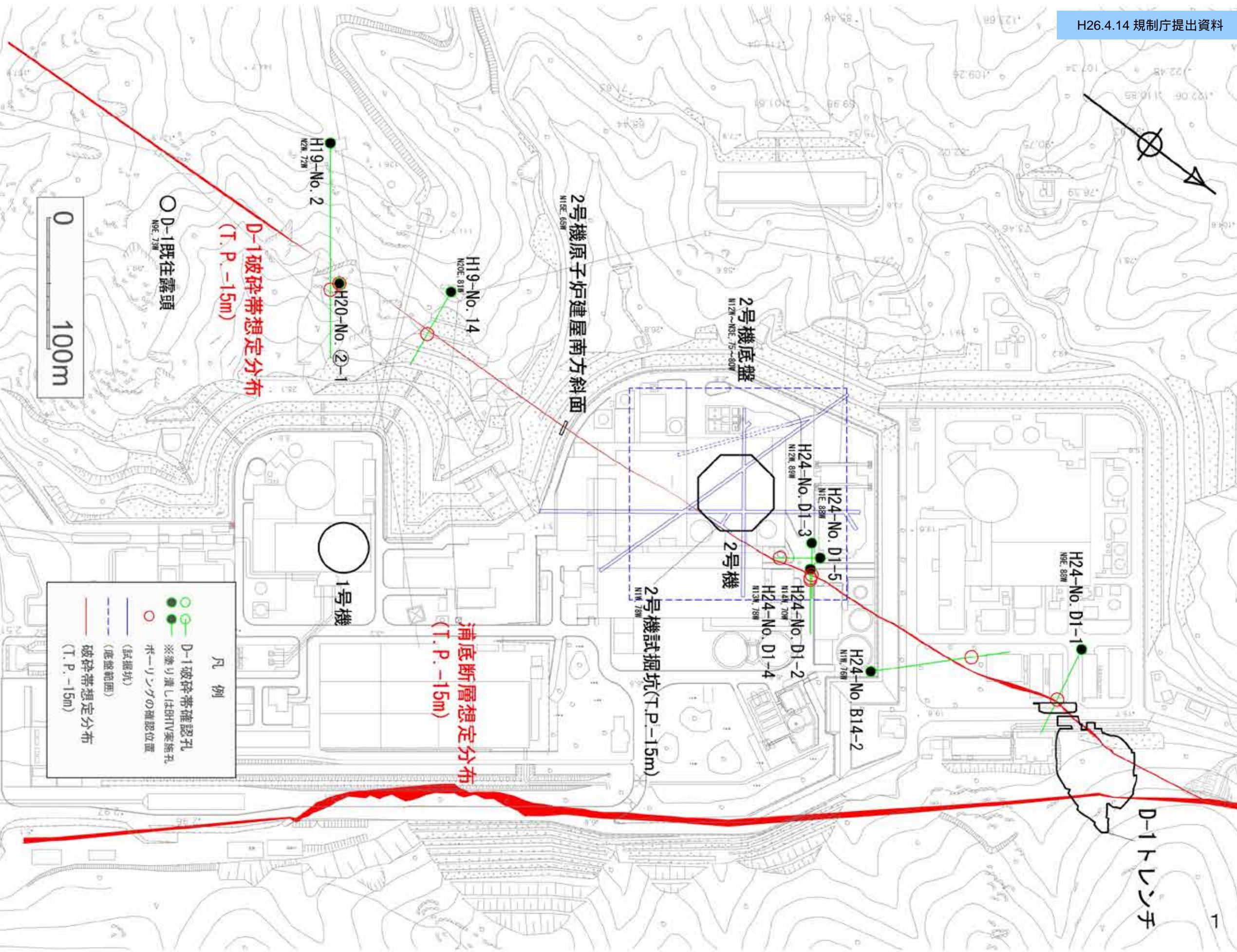
「露頭下部で変位量が大きく、③層上部に向かって変位が減少あるいは消滅する可能性」を指摘した。もしも③層中で変位量が減少、消滅するとすれば、断層変位の発生時期は③層堆積後現在までいつ起きたか特定することができない。これに対して、JAPCの断層変位と地層変形の分析結果からは、③層の中で断層変位と地層変形を合わせた変形量は一定しており、未変形の③層最上部に覆われることが確認された。したがって、K断層の活動時期が③層堆積中で一回だけであることは確実といえる。

#### 4. 展望

NRA と JAPC の間でより良い対話が必要であることは、明らかである。我々は、昨年からの主要な観察結果について、今一度述べることにしたい。

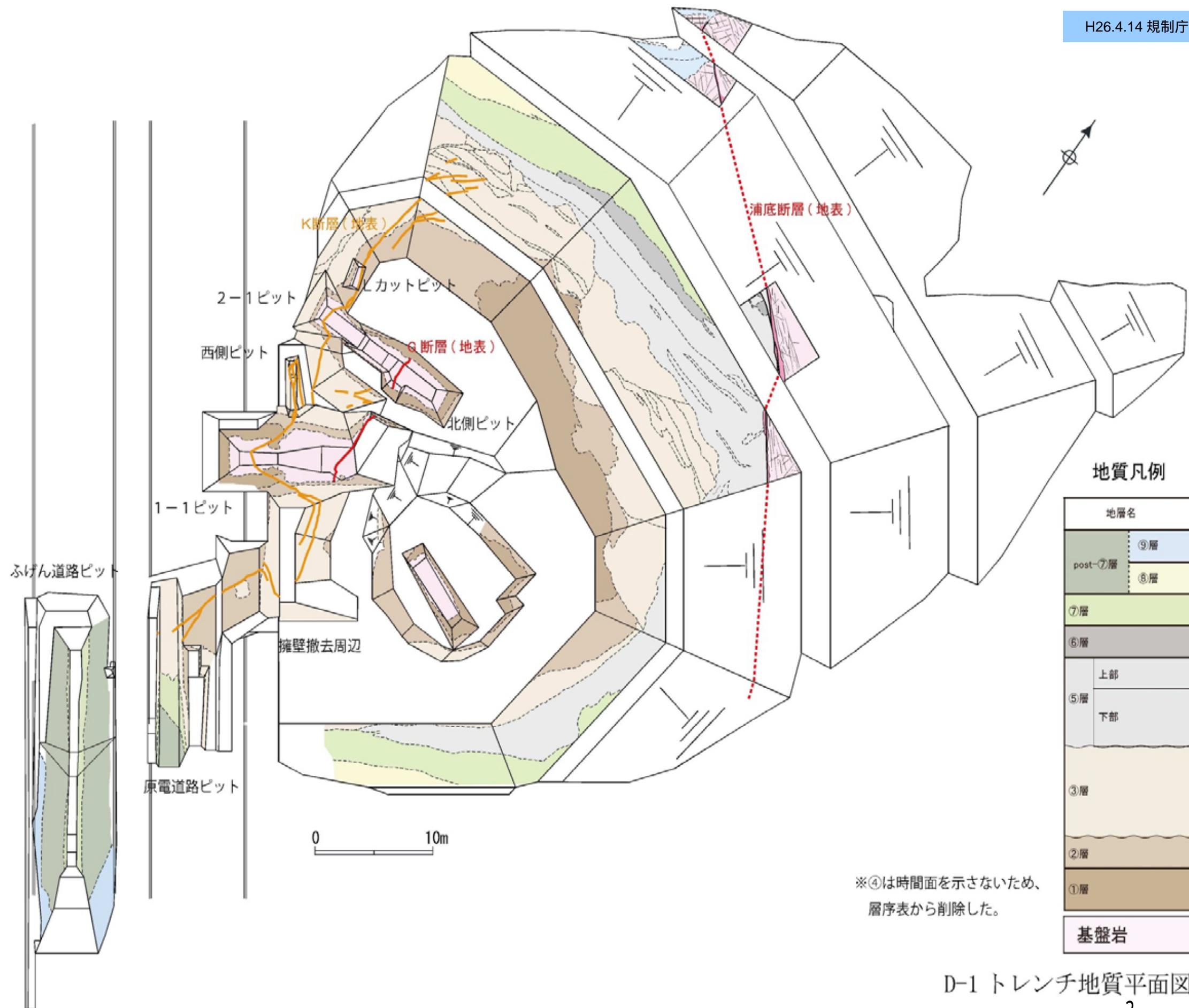
- ・敦賀発電所の K 及び G/D-1 断層は、活断層ではないとの明確な証拠がある。：これらは、少なくとも 120,000～130,000 年前から動いていない。
- ・ JAPC と NRA が地震の安全評価と原子力発電プラントのマネジメントを継続・改善することについて対話を始める上での健全な科学的根拠がある。

以 上

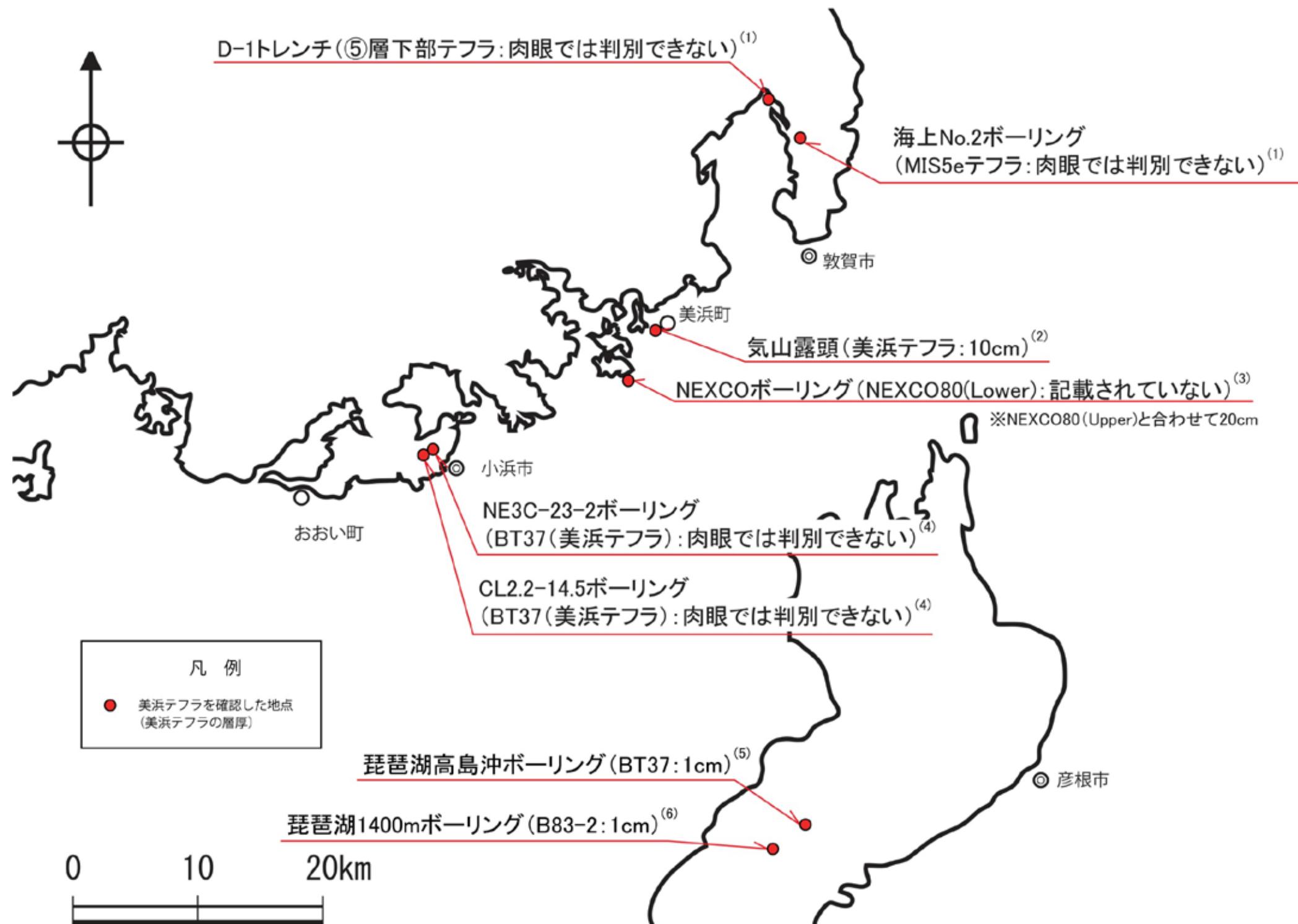


D-1破碎帯確認位置図

D-1トレンチ



D-1 トレンチ地質平面図



- (1) 日本原子力発電株式会社が実施
- (2) Yasuno, T (1991) Discovery of Molluscan fossils and a tephra layer from the Late Pleistocene Kiyama Formation in the west of Fukui Prefecture, central Japan. *Bull. Fukui Mus. Nat. Hist.*, no.38, p9-14  
\* 露頭名は(2)文献による。テフラの層厚は日本原子力発電株式会社が計測
- (3) 石村大輔, 加藤茂弘, 岡田篤正, 竹村恵二 (2010) 三方湖東岸のボーリングコアに記録された三方断層帯の活動に伴う後期更新世の沈降イベント, *地学雑誌*, 119(5), p775-793
- (4) 関西電力株式会社(2013) 大飯発電所、高浜発電所 FO-A~FO-B断層と熊川断層の運動に関する調査結果 コメント回答, 125p
- (5) 長橋良隆, 吉川周作, 宮川ちひろ, 内山 高, 井内美郎 (2004) 近畿地方および八ヶ岳山麓における過去43万年間の広域テフラの層序と編年 - EDS分析による火山ガラス片の主要成分化学組成 -, *第四紀研究*, 43(1), p15-35
- (6) 壇原 徹, 山下 透, 岩野英樹, 竹村恵二, 林田 明 (2010) 琵琶湖1400m掘削試料の編年:フィッション・トラック年代とテフラ同定の再検討, *第四紀研究*, 49(3), p101-119

美浜テフラの給源を特定する論文はない。

日本原電  
(H25.4.24 第4回評価会合)

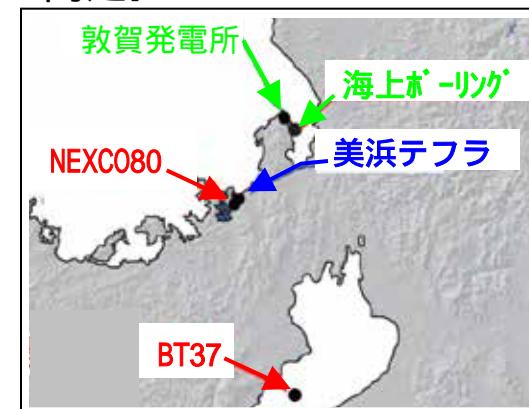
評価会合  
(H25.5.22 第7回原子力規制委員会等)

日本原電  
(H25.7.11報告書等)

【火山灰の同定】



【火山灰の同定】



層下部  
テフラ

美浜テフラ

普通角閃石

屈折率 = 屈折率  
主成分組成 = 主成分組成

普通角閃石だけでは不十分

三瓶木次 (11~11.5万年前) より古い (Yasuno.T(1991))

可能性を示しているのみ  
層序的に論証されていない

層下部テフラ = 美浜テフラ

層下部  
テフラ

海上ボーリング  
MIS5e

美浜テフラ

NEXC080  
(Lower)

BT37

普通角閃石

屈折率 = 屈折率 = 屈折率 = 屈折率 = 屈折率  
主成分組成 = 主成分組成 = 主成分組成 = 主成分組成

斜方輝石

屈折率 = 屈折率 = 屈折率 = 屈折率 = 屈折率  
主成分組成 = 主成分組成 = 主成分組成 = 主成分組成

火山ガラス

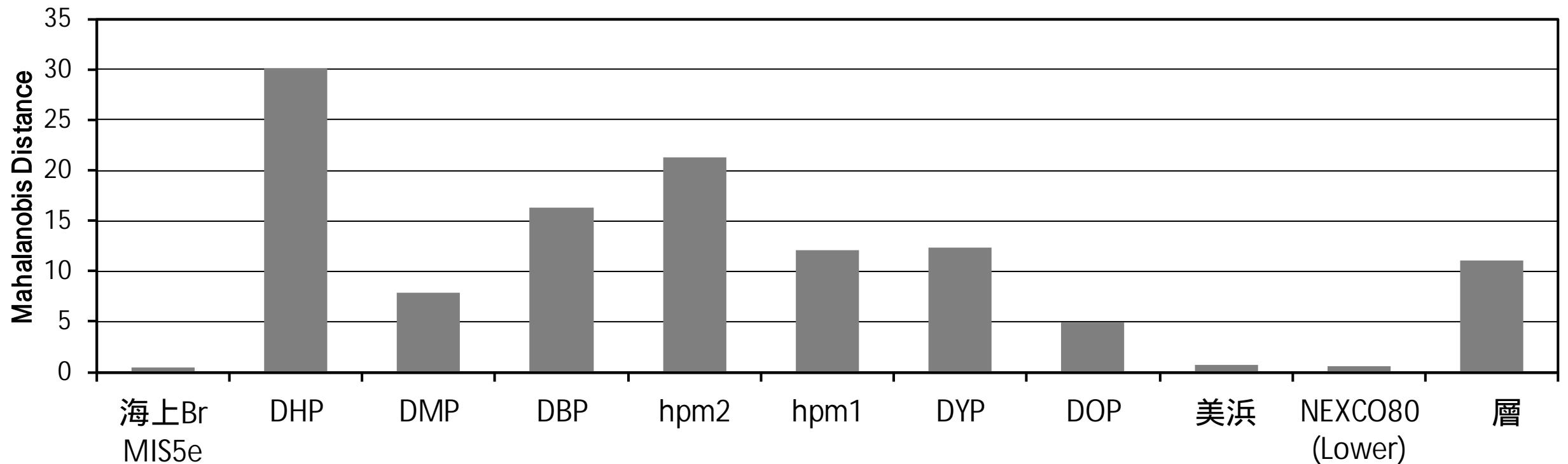
屈折率 = 屈折率  
主成分組成 = 主成分組成

12.76万年前  
(長橋他(2004))

層下部テフラ = 海上ボーリングMIS5e = 美浜テフラ = NEXC080(Lower) = BT37

層下部テフラの降灰年代は、BT37に対比されることから約12.7万年前

普通角閃石の主成分分析結果の比較において、「層下部テフラに酷似するテフラ」としたものと「異なるテフラ」としたものの判断基準について、根拠を示し説明すること。

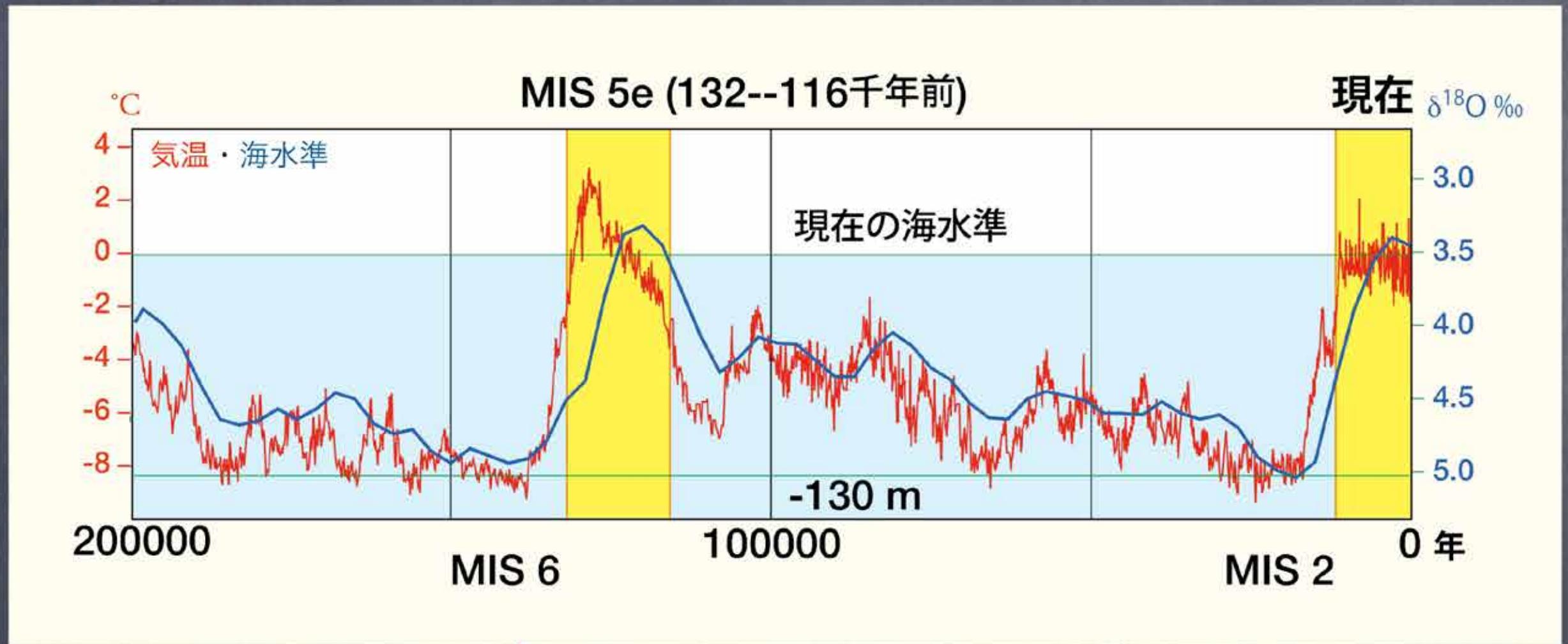


#### 層下部テフラと他のテフラとの間のマハラノビス平方距離

マハラノビスの平方距離(Mahalanobis distance,  $D^2$ )

- グループの重心どうしの距離を表す(値が小さいほど似通っている)。
- 2グループのとき  $D^2 = (\mu_1 - \mu_2)^T S^{-1} (\mu_1 - \mu_2)$  ただし  $\mu$  は平均値,  $S$  は分散共分散である。

- テフラの同定にあたっては、主成分組成の類似性にも着目して行っている。
- 主成分組成の類似性については、より客観的、定量的に判断するため、DFA (Discriminant Function Analysis: 判別分析) を実施した。
- その結果、「層下部テフラは美浜テフラ、NEXCO80(Lower) と酷似している」と判断された。



**K断層最新活動**

**将来活動する可能性のある断層等  
(耐震設計上考慮すべき活断層)**