

敦賀発電所における破砕帯 に関する日本原電の報告書 (2013年7月) に対する国際レビュー

レビュー結果概要

- 日本原電は、レビューチームからの中間報告に応じて、敦賀発電所敷地内の地質データをさらに取得した。
- 敦賀発電所敷地内の K 断層及び G 断層／D-1 破砕帯が活断層ではないことを示す明白な証拠があり、これらは少なくとも 12～13 万年前以降活動していない。
- 日本原電と原子力規制委員会が、敦賀原子力発電所の耐震安全性に関する評価と運営管理を継続的に『改善』する対話を開始していくための、適切な科学的共通理解が存在している。

**K. Berryman, N. Chapman, W. Epstein, H. Kato,
K. Okumura, P. Villamor and P. Yanev**

2013 年 8 月 28 日

目次

1	経緯.....	1
1.1	目的とアプローチ.....	1
2	主要な知見の概要.....	2
3	解説.....	2
3.1	高度なコメント.....	2
3.2	より詳細なコメント.....	3
3.2.1	断層と破碎部の形状.....	3
3.2.2	編年.....	3
4	結論.....	5
5	将来の工学的アプローチに関する提案.....	6
添付 1	: 第 3 章に係る詳細なコメント.....	7
D-1	破碎帯の連続性.....	7
G	断層の特徴と D-1 破碎帯との連続性.....	7
D-1	トレンチの K 断層.....	7
	当該地域のテクトニクスと固有の地質構造の形成.....	8
	層序及び編年.....	8
添付 2	: 「報告する会」(8 月 1 日)のプレゼンテーション資料.....	9
添付 3	: 将来の工学的アプローチに関する提案.....	31
添付 4	: ディアブロキヤニオン原子力発電所の長期地震プログラム及び確率論的リスク情報に基づく手法.....	32

1 経緯

この報告書は、敦賀発電所における破砕帯に関する以下に示す日本原電の報告書に対する 2 つの別々の独立したレビューにおける意見をまとめたものである。

「敦賀発電所 敷地の地質・地質構造 調査報告書」(平成25年7月11日,日本原子力発電株式会社)

その 2 つのレビューグループ (IRG (International Review Group) と TRM (Third-party Review Meeting)) は、2013年3月に日本原電によって提出された敦賀発電所における破砕帯に関する中間報告書をレビューするため、2013年3月に結成された。

日本原電による7月の報告書は、敷地内の追加調査や追加の鉱物分析の結果に基づいた重要な新たな知見を提供している。

日本原電の報告書レビュー及び地質学的な証拠を見るために7月29日に敦賀発電所を訪問するとともに、日本原電の技術者と議論をした IRG と TRG のメンバーは、以下のとおりである。

Dr Kelvin Berryman (ケルビンベリマン博士)	GNS サイエンス (ニュージーランド) : IRG
Professor Neil Chapman (ニール・チャップマン教授)	MCM コンサルタント (スイス)、英国シェフィールド大学 (IRG プロジェクトマネージャー、報告書編集者)
Mr. Woody Epstein (ウッディ エプシュタイン氏)	Lloyd's Register Consulting (日本) (TRM プロジェクトマネージャー)
加藤 碩一 博士	名誉リサーチャー、(独) 産業技術総合研究所 (日本) :TRM
奥村 晃史 教授	広島大学: TRM
Dr Pilar Villamor (ピラー・ビラモア博士)	GNS サイエンス (ニュージーランド) : IRG
Dr. Peter Yanev (ピーター・ヤネフ博士)	Yanev Associates (カリフォルニア) :TRM

このチームは地質学、地震工学、リスクアセスメント、原子力を専門とし、政府機関、原子力産業、原子力規制機関及び IAEA のような国際機関とともに幅広く活動している科学者から成る。

この国際チームの何人かは、日本原電によるこれまでの調査を見るために 2013年3月と5月に発電所を訪問する機会があった。

1.1 目的とアプローチ

このレビューの目的は、それらのデータを評価するために使われた地質学的な情報と科学的アプローチのレビューチームによる評価に基づき、新たな報告書における地質学的な議論の正当性の客観的かつ公平な評価を日本原電に与えることである。

レビューチームは、日本原電による敦賀の破砕帯に関する7月の地質評価報告書をレビューし、トレンチ、露頭及びボーリングコアにおける地層の状況や破砕帯の現地調査を行うために発電所を訪問した。レビューチームは、東京と敦賀で日本原電のスタッフや地質コンサルタントと十分な議論を尽くした。

レビューチームは、敦賀発電所の破砕帯に関する原子力規制委員会有識者会合の議論や、有識者と日本原電のスタッフの間の解釈の違いを良く認識している。レビューチームは、関連する原子力規制委員会の報告書を読んだが、それらのレビュー又は意見は行わない。

次節では、我々の評価結果の概要を、さらに添付 1 にはより詳細なコメントを示す。また、添付 2 には、8 月 1 日に東京で行われたシンポジウムにおいてチームのメンバーによってなされたプレゼンテーションを含める。

レビューチームは、添付 3 及び 4 のとおり、地震ハザードに関して原子力安全を確保するための今後の課題に関して、日本原電及び原子力規制委員会への提案を行っている。

2 主要な知見の概要

1. 日本原電は、原子力規制委員会が関心を持つ破砕帯について、科学的な調査を注意深く実施してきた。これらの調査は、破砕帯に関わる基本となる地質学的理解を得るだけでなく、原子力規制委員会により提示された具体的な論点に答えることを念頭に行われた。
2. 日本原電の最新の報告書には、新たに得た重要な地質学的な知見が含まれており、それらは 2013 年 5 月の原子力規制委員会の有識者会合で提示された論点について明確に答えている。レビューチームは、この新たに得られた知見は、日本原電と原子力規制委員会が議論を再開するための重要な理由付けになるものと考ええる。
3. 原子力規制委員会の関心の中心は、2 号機の近傍もしくは直下にある K 断層及び G 断層/D-1 破砕帯が活断層であるかどうか、もしくはこれらが浦底断層（数千年ごとに地表破壊を発生させてきたことが知られている）による地震に伴い動き得るかどうかということである。
4. 日本原電の調査には包括的な地質学的調査は含まれていないものの、レビューチームは、日本原電の調査結果が、原子力規制委員会によるこれらの具体的な関心事項に回答するには十分なものであると考える。包括的な地質学的調査については、後の 5 章で触れる。
5. 日本原電は、原子力規制委員会が関心を持つ破砕帯が「活断層」ではないとする妥当かつ説得性のある証拠を、主に 2013 年 5 月からの追加調査によって示して来ている。
6. レビューチームは、それらの破砕帯が少なくとも約 12~13 万年前以降（おそらく、より長い間）、そのサイトで動いていないという明確な証拠があることを認めた。
7. それ故、レビューチームは、敦賀発電所 2 号機の直下に「活断層」が存在するか否かという、唯一かつ単純な判定基準は解決されていることから、その基準自体はアクションの根拠にはなりえないと考える。

3 解説

3.1 高度なコメント

1. 新たな証拠は、3 月の日本原電の報告書で出された結論を支持し、強固なものとするものである。また、新たな証拠はそれらの結論と矛盾するものではなく、結論を変更するものでもない。
2. いわゆる原子力規制委員会の「見た目の」意見（ここで「見た目の」とは、5 月 22 日の日本原電の公開質問状にある「印象的、感覚的な」の意味合いで用いている。）に対する日本原電の反論は、新たな科学的な証拠に基づいていると思われる。
3. レビューチームは、K 断層及び G 断層の最後の活動の年代に対して、説得力があり、かつ、有力な構造的証拠と層序の年代的証拠を見つけた。また、レビューチームは、G 断層と D-1 破砕帯が構造的に繋がっているという証拠を確認した（以下、G/D-1 断層と呼ぶ。）。
4. 単に活断層であるか否かを証明するという原子力規制委員会の明白な要求は、K 断層及び G/D-1 断層の最後の活動時期が相当古い年代（12 万~13 万年前またはそれ以上）であることを証明する新たな証拠によって解決された。

- もし、どちらの断層もこの期間にわたる浦底断層の繰り返し活動（20回か、又はそれ以上）に伴い動かなければ、浦底断層の次の変位によりそれらの断層が動く確率は低い。

3.2 より詳細なコメント

断層が活動的か否かを理解するために取り組む必要がある主要課題には、その形状と物理的特性、及びその活動時期を特定する根拠（年代学）がある。年代学の枠組みは上部第四系の年代層序学からもたらされ、海上ボーリングコアのデータで補足される。これら二つの領域について、以下では別々に扱う。

3.2.1 断層と破碎部の形状

- G断層とサイトを横切るD-1破碎帯が繋がっているということは、D-1トレンチ、2号機南部の露頭、建設時の掘削における図面及び非常に多くのボーリングの解釈から得られたデータに基づいている。G断層とD-1破碎帯が同じ構造であることが良く立証されている。それ故、G断層とD-1破碎帯が非常に古く、かつ、後期更新世の堆積物を切っていないことは、D-1トレンチの新たなピットにおいて明白に示されている。D-1破碎帯に活動性がないという明らかな結論については、反論の余地がないと思われる。
- 各せん断部と関係する節理及び条線の姿勢について、統計的な分析が行われた。その結果、G断層とD-1破碎帯が同じ姿勢と同じ節理系を有していることが示された。K断層は、G断層やD-1破碎帯とはかなり異なる特徴を有している。K断層の走向はNW-SEからNNE-SSWに著しく変化している。K断層の傾斜は活動当時の地表近くで低角化するが、これは表層で堆積物を変位させる逆断層に普遍的に認められる現象である。条線のデータと1~3層の変位から、K断層の動きはわずかな左横ずれ成分を伴う逆断層が支配的であることを確認した。最新活動面の微視的観察における技術的な処理と結果については徹底的に再評価され、適切であると評価された。微視的観察の結果は、統計分析と同じ結論となった。
- K断層の南端が、ふげん敷地の北東境界付近（原電道路ピット）で確認された。D-1トレンチ内のK断層は、走向と傾斜を変えながらかなり曲がりくねっている（浦底断層から離れて南方へ、N-S, NW-SE, NNE-SSWの順で変化する。）。2層の変位は北から南に1.2m以上から0.05mに減少する。走向の変化と同様に、変位の減少は断層端部を示唆する。1~3層を変形させる他の断層は、変位が減少していく区間でもその南方でも認められていない。これは、K断層の変位が乗り移るような別の後期更新世の断層がないことを示す。K断層が続き得るあらゆる方向を捉えられるよう、多くのボーリングが扇状に行われた。それらは基盤岩内においてK断層に類似する断層活動があった証拠を何も示していない。よってK断層は2号機の方に続いてはいない。
- 日本原電の新しい報告書では、「その他の破碎帯（D-5,6,15, H-3a等）」の評価に関し、それらの活動履歴と「活動性」を決定的に述べるにはデータが不十分であるため、結論が述べられていない。

3.2.2 編年

- 示された議論の多くはテフラ年代のデータに基づくもので、特に3層と5層の火山灰の絶対的及び相対的な年代が決定的に重要。データを慎重に評価した結果、日本原電が導いた最高レベルの結論が妥当であることを確認した。即ち、3層と5層の火山灰は別々の火山灰であるが、両火山灰層はともに、およそ12~13万年前もしくはそれより古い時期に降下堆積したということである。海上ボーリングコアのデータを含めることは有用である。しかし、火山灰の対比を行うために比較検討を行う手法の対象範囲と結果の提示方法について、特に角閃石の組成データを用いる点については、軽微な課題がある。即ち、
 - 報告書では角閃石の主成分分析について述べているが、主成分の分析値を分析点（粒子）ごとにクロスプロットしたものしか示されていない。分析値を厳密に統計的に分析することで、これらの比較から導かれる全ての結論が正確であることの確信が増すことになる。（例：5層テフラとDMP, hpm1, hpm2, DOPの比較）

4 結論

レビュー結果に基づき、以下の結論を導いた。

- 日本原電は、レビューチームからの中間的な報告に応じて、敦賀発電所敷地内の地質データをさらに取得した。
- 敦賀発電所敷地内の **K** 断層及び **G** 断層／**D-1** 破碎帯が活断層ではないことを示す明白な証拠があり、これらは少なくとも **12～13** 万年前以降活動していない。
- 日本原電と原子力規制委員会が、敦賀原子力発電所の耐震安全性に関する評価と運営管理を継続的に『改善』する対話を開始していくための、適切な科学的共通理解が存在する。

5 将来の工学的アプローチに関する提案

上述のとおり、レビューチームは、K断層、G断層及びD-1破砕帯が活動していかどうかという地質学的な疑念は、それらが活動していないことを明らかにする新たに得られた情報によって解決されたと結論付けている。レビューチームは、この単純な調査のみが規制委員会によって要求され、これは、今、完了したと理解している。しかしながら、レビューチームは、敦賀発電所敷地内での地震ハザードとそれらの原子力安全への影響を評価及び管理するための適切な工学的アプローチには、単なる断層の活動性の調査よりも幅広い考慮が必要であると考えます。

現状では、日本原電と原子力規制委員会は、サイトにおけるある特定の地質構造体の活動に、関心を集中している。IAEA¹が推奨している既設原子力プラントの再評価のための良好事例のアプローチは、ハザードについてより完全な解析を実施し、これを科学的及び工学的な根拠に基づいた意思決定の基礎とすることである。これについては、浦底断層が動く可能性の解析や関連する断層が動く可能性（これらは、原子力発電プラントにおける構造体への影響の潜在的な可能性の評価やそれを緩和するための工学的な措置を評価する上で活用できる）が含まれるかもしれない。

専門家の正しい指導の下で、このリスク情報を用いた断層の動きに関するハザードの解析を行うことにより、原子力発電所の敷地及びその近傍における変位の性質や発生見込みを考査するための、より多く、より行き届いたデータと、より広い分野の専門家の意見の両方が得られるはずである。更に、原子力発電プラントへの条件付影響の評価もできる。（すなわち、条件付の多様な変動のシナリオに関するサイトの特徴）

添付3では、原子力規制委員会がより包括的で定期的に見直される地震リスク評価の実施に同意した場合に考慮される可能性がある、幾つかの評価のパターンを予備的に提案する。評価範囲は日本原電と原子力規制委員会の対話によって定められる必要があり、我々の提案はその議論におけるインプット情報の1つと考えている。

このため、レビューチームは以下のことを推奨する。

1. 原子力発電所の地震ハザード解析は、最新のデータや手法を用いて継続的に改善・更新することを推奨する。その際には、浦底断層の活動に伴う施設付近の破断変位の可能性を含め、地震災害のすべての側面を含むように拡大されるべきである。これはIAEAの安全基準で推奨されているように、国際的なベストプラクティスと軌を一にするものであると考える。
2. 日本原電と原子力規制委員会は、そのような評価の範囲と枠組みを合意の上で定めて、協調して取り組まなければならないと考える。これは、カリフォルニアのディアブロキャニオン原子力発電所でUSNRCと原子力事業者の間で行われたアプローチと類似のものである。（添付4参照）
3. レビューチームは、この地質調査を、独立した相互レビューにより評価していくことが有効と考える。

¹ IAEAの安全ガイドSSG-9は、断層の活動性についての疑念がある既存施設の再評価における明確なガイダンスを与えている：「しかしながら、それは、作られる可能性がある断層変位の最新の評価を必要とする情報が明確になっている場合においてもかもしれない。そのような状況において、関心のある断層に関する更なるデータを得るための努力が最初になされるべきである。8.3～8.7節で述べられた定義と決定論的手法を使うことによってなされるかもしれない。また、不十分な根拠はその断層が活動性を有しないということを最終的に決定するのに与えられる。利用可能なデータの全体を用いた場合において、地震動ハザード解析のために使われるものと類似し、密接に関係する確率論的手法は、表面であるいは表面近くでのさまざまな量の変位の超過頻度の評価を得るために使われるべきである。」

添付 1：第 3 章に係る詳細なコメント

以下のコメントは第 3 章で概要を説明した項目に関連するもの。

D-1 破砕帯の連続性

1. 中間報告書における露頭、基盤岩及びボーリングコアの D-1 破砕帯の関係は正確であると思われるが、より良い記載を整える必要がある。
2. 断層の構造：2 号機原子炉建屋南方斜面における露頭レベルでの観察では、D-1 破砕帯は灰褐色～灰白色の断層ガウジ（厚さ 10～20mm）を伴う N20～30° E 走向・高角度西傾斜の明瞭なせん断面と、N-S 及び N20～30° E 走向・高角度西傾斜の破砕部もしくは厚さ約 1m のカタクレサイトまたは節理からなる。色調・組織が異なる花崗岩が断層ガウジを伴うせん断面で接していることから、有意な変位が認められる。白色の断層ガウジの片側もしくは両側は、黒色帯による縞状構造を呈する。これらの特徴は D-1 破砕帯を G 断層と関連付ける、もしくは D-1 破砕帯を K 断層と区別するために重要。微視的特徴を検証するための基礎として、破砕帯のこのような巨視的構造をボーリングコアや現存する図や写真で確認することは重要。
3. 奥村氏は、D-1 破砕帯を NS 走向のせん断面で、NS かつ N20～30° E の節理の中にある右ステップ階層構造且つ N20～30° E 走向の斜めのせん断面と繋がっていると解釈している。この解釈については構造地質学者による改良と検証が必要。

G 断層の特徴と D-1 破砕帯との連続性

1. D-1 トレンチ北側ピット内の G 断層と 2 号機原子炉建屋近傍南側の露頭における D-1 破砕帯は、巨視的構造の特徴から同一のもの。このことは、G 断層と D-1 破砕帯が同じ環境で同じ断層運動によって形成された可能性が高いことを示唆している。巨視的観察によれば、北側ピット内の G 断層は、N13° E 走向・急角度西側傾斜で黄白色断層ガウジ（厚さ 20mm）を伴う明瞭なせん断面と、N-S 及び N20～30° E 走向・高角度西側傾斜の破砕部もしくは節理を有する厚さ 1m 程度のカタクレサイトから構成されている。色調・組織が異なる花崗岩が断層ガウジを伴うせん断面で接していることから、有意な変位が認められる。黄白色の断層ガウジの片側は、黒色帯による縞状構造を呈する。
2. D-1 破砕帯の連続性については、2 号機の直下を横切っていることが示され、D-1 トレンチ内の G 断層の走向に沿っている。2 号機北方の D-1 トレンチへの連続性はボーリング位置に依存する。D-1 破砕帯の G 断層との連続性は走向に沿ったボーリング位置・結果の総合的な検討により、より明らかにすることができる。

D-1 トレンチの K 断層

1. 断層岩とガウジの非常に弱い成長から判断すると、K 断層の変位は、地表面もしくは地表近傍で生じており、D-1 破砕帯に比べはるかに浅く、活動の回数も少ない。
2. 明瞭なせん断面に沿って非常に薄い（数～10mm）断層ガウジが存在するが、せん断面に沿っての角礫化は認められない。K 断層周辺に疎らに存在する節理とカタクレサイトは、古く連続性のない構造である。断層ガウジと破砕帯は、浦底断層と比べても有意に薄い。断層は、トレンチ内で N-S から NW-SE 方向に顕著に方向を変えている。NW-SE という傾向は、G 断層及び D-1 破砕帯とは異なっている。この曲がりによって、N-S～NW-SE 方向の破砕部が形成されている。これらのことから、K 断層は、G 断層とは異なるメカニズムで形成されている。
3. 3 層内の K 断層上端は傾斜角が小さく、上方へ分岐しているが、これらは、浅い地下で未固結堆積物を切る逆断層に一般的に見られる特徴である。

4. 3層において、K断層を挟んで堆積層の厚さが異なる（cm オーダ）のは、断層の曲がりに起因する小さな横ずれを示している可能性がある。しかしながら、複数の条線の測定によれば、顕著な横ずれは認められない。
5. 浦底断層に近接する K 断層の変位の理由は興味深い。仮説として、浦底断層断層面の不連続や不整形が原因で局所的な圧縮応力場を生じ、K 断層にて確認された逆方向への変位を生じた可能性がある。地震時に発生した地表断層の観察例からは、圧縮性のジョグ、折れ曲がりもしくは m オーダのふくらみが、不均一な形状の周辺で 10m オーダーの圧縮応力場を生ずることもある。K 断層の折れ曲がりや消失は、その様な局所的なテクトニクス条件を示唆している。

当該地域のテクトニクスと固有の地質構造の形成

1. G 断層及び D-1 破砕帯、K 断層の運動に関する微視的観察及び露頭～標本観察を統一的に纏め、敦賀半島地域の同時期における東西方向の圧縮応力場との関係について議論する必要がある。
2. 東西方向の圧縮応力場において南北走向・西傾斜の D-1 破砕帯と G 断層は、現在のテクトニクス条件下では西側隆起の逆断層としてのみ再度動く可能性がある。縦ずれに伴うわずかに左横ずれを生じることもあるが、走向と応力場を考慮すれば、縦ずれの方が支配的のはず。
3. D-1 破砕帯と G 断層の微視的構造分析からは、正断層が優位な様相が示され、条線もより小さい右横ずれを示している。逆断層が上書きされたものという可能性を排除するために、更に徹底的な分析が行われるべき。
4. 日本海が拡大した中期中新世（2000～1500 万年前）には東西引張応力が日本の広い範囲で認められる。東西圧縮応力場による構造運動は、鮮新世（600～260 万年前）から徐々に現始め、第四紀後期に非常に顕著となった。東西引張と東西圧縮は異なる地質時代に特有な別個の応力場である。テクトニックインバージョンは、中新世に東西引張応力下で形成された正断層が、第四紀の東西圧縮応力下で逆断層となり運動方向が反転することを意味するが、東北地方に多く見られる現象である。

層序及び編年

1. 新たな安全指針において、断層等の将来の活動性を判断する原則的な時期は、未だに 12-13 万年前までである。40 万年前というのは、12-13 万年前の第四期層がない場合において判断するための、予備的な時期である。これが規則であれば、K 断層の最終活動時期は、発電所及び発電所周辺のテフラ及び古気候のデータから明らかに 12-13 万年前よりも古い。美浜テフラは信頼の置ける年代指標と思われるが、サイトにおける美浜テフラの同定は、単に、テフラの一つの特徴である角閃石の粒子の存在によっている。同定された角閃石の粒子数は増加しており、D-1 トレンチについてより充実したサンプリングを行ってきた。これらの新しいデータは、総合的な方法で統計的な不確かさを考慮に入れて、その地域の他の美浜テフラの確認地点とのデータと統合し扱う必要がある。

添付 2 : 「報告する会」(8 月 1 日)のプレゼンテーション資料

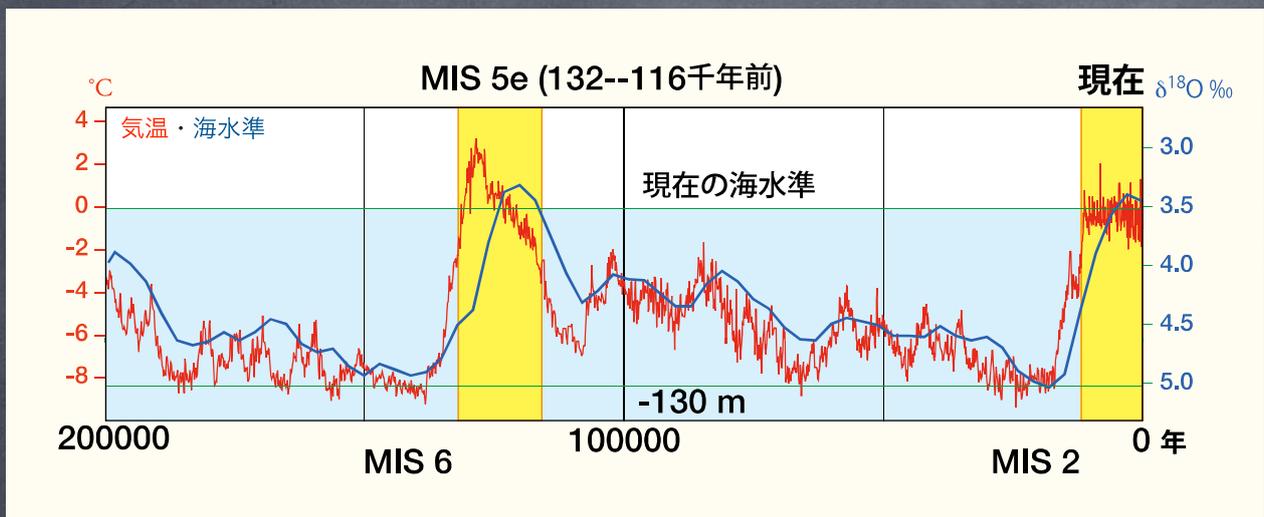
敦賀発電所敷地内の第四紀堆積物

＊

海水準変動・環境変動・時代対比

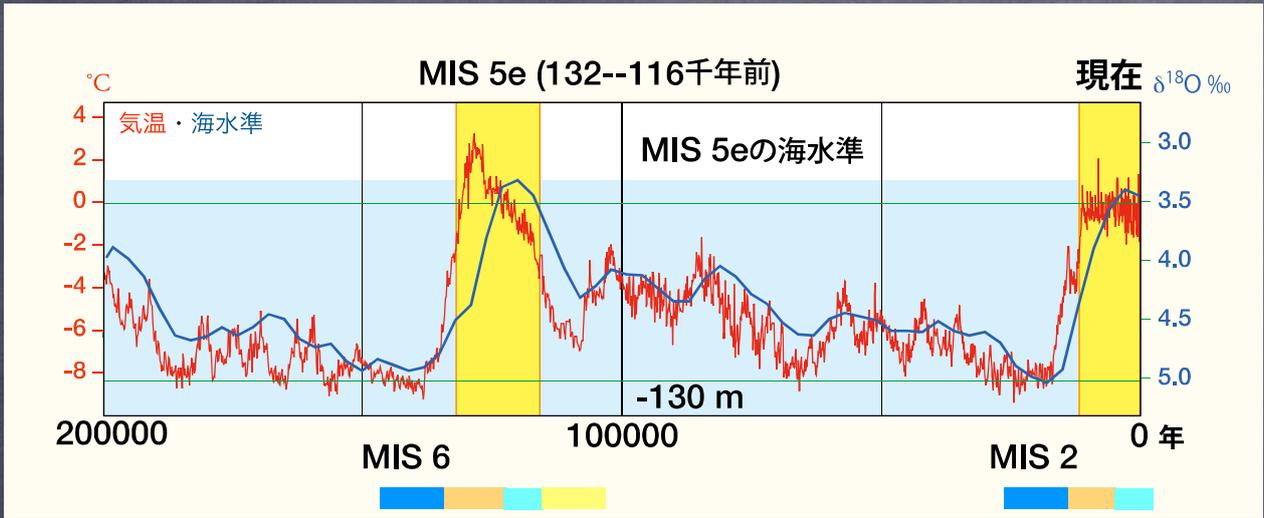
奥村晃史（広島大学・TRM）

MIS: Marine Isotope Stage = 海洋酸素同位体ステージ



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)

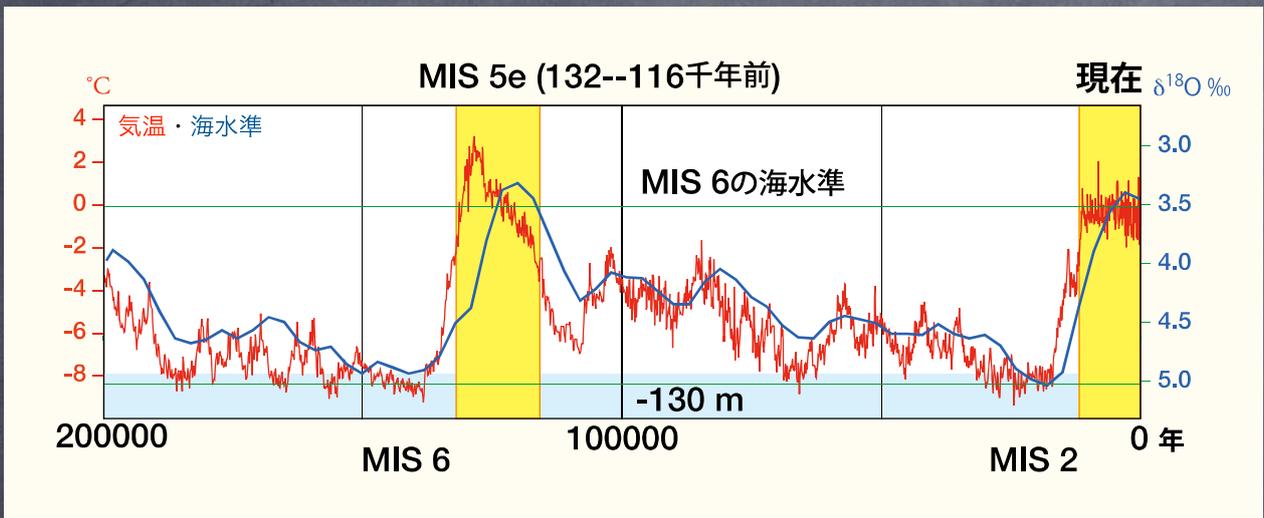
過去20万年間の気温（南極Vostok基地）・海水準（底生有孔虫殻の酸素同位対比）変動



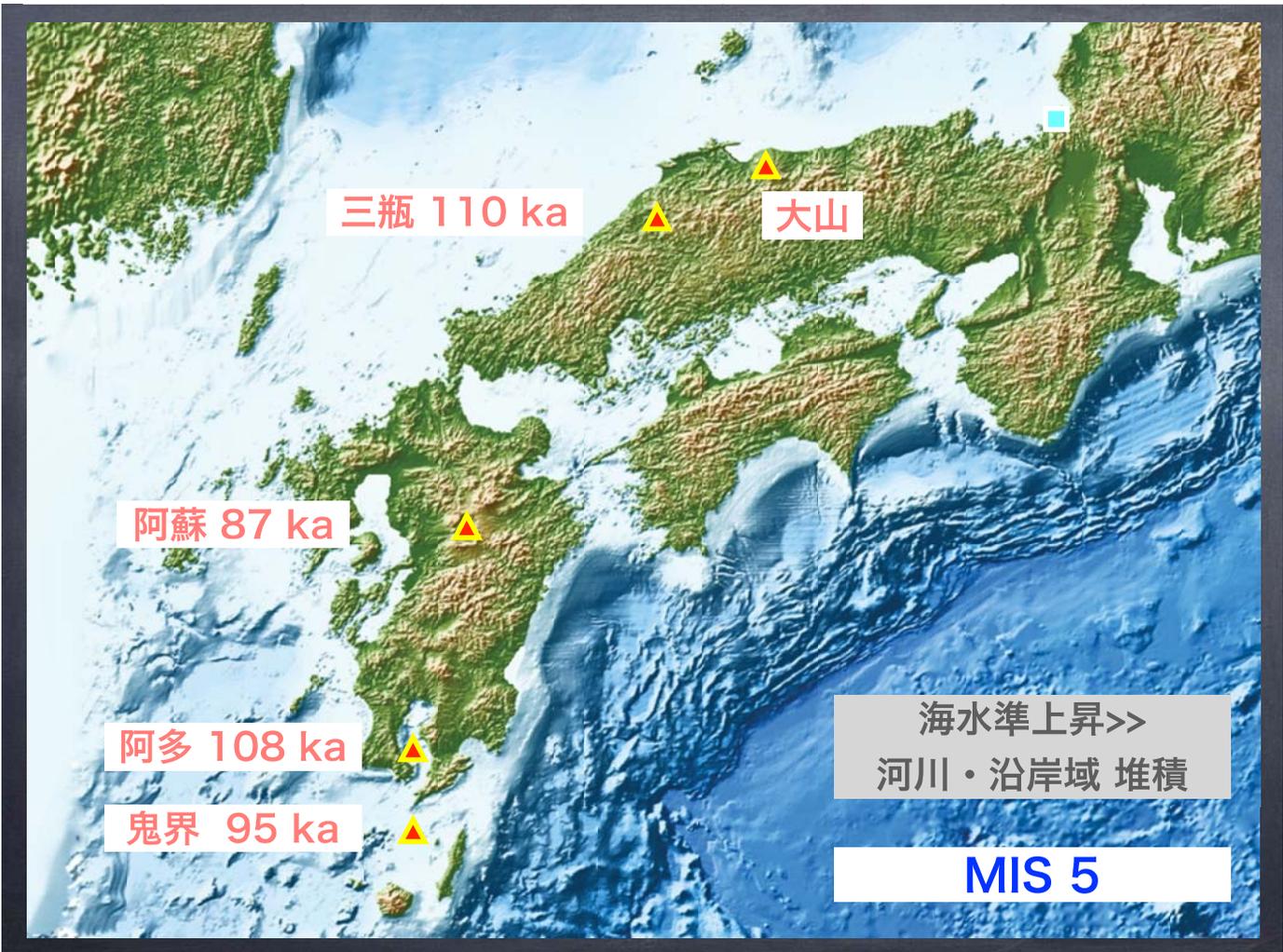
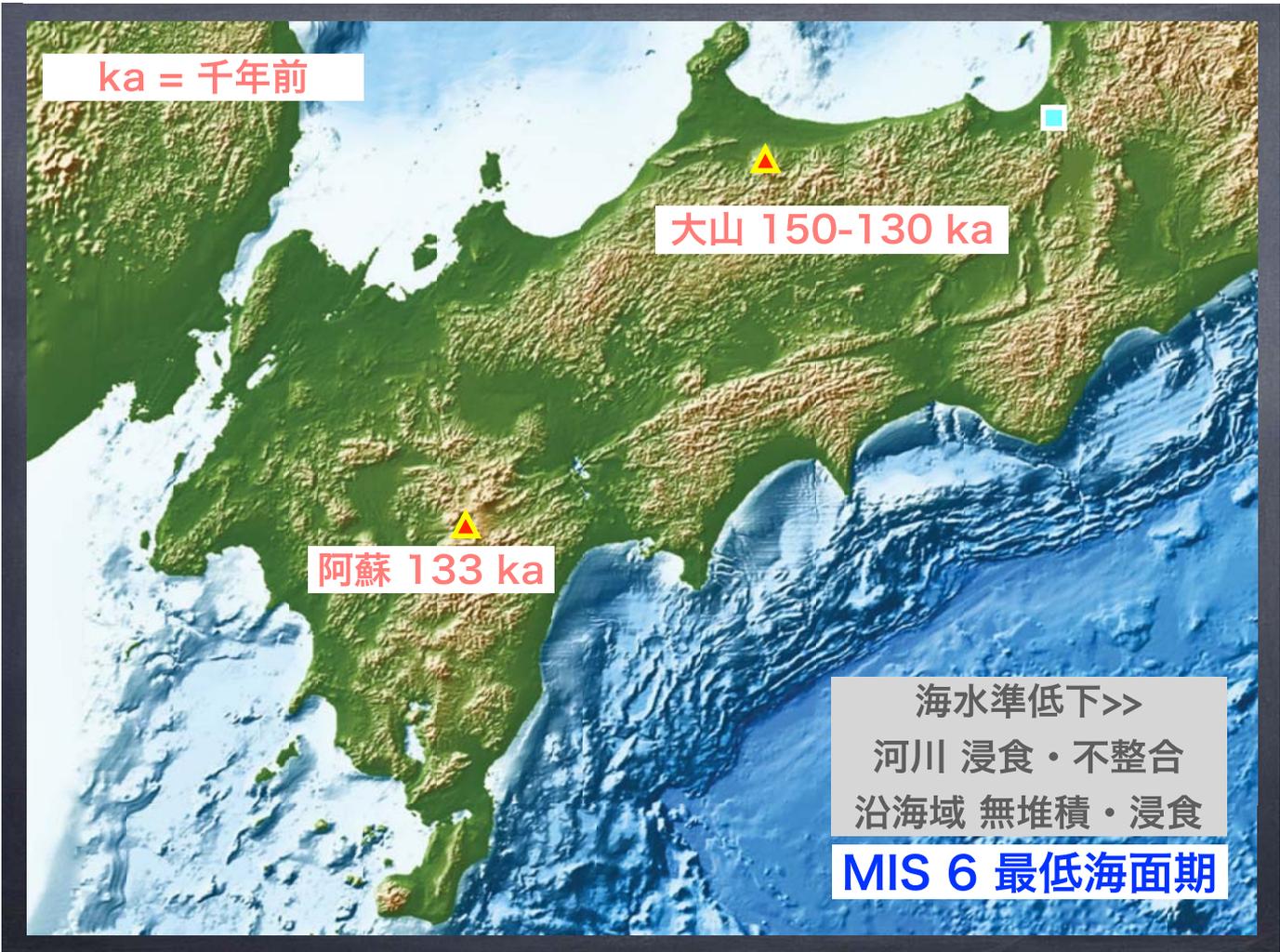
最 海最海
 低 面高面
 海 上海低
 面 昇面下

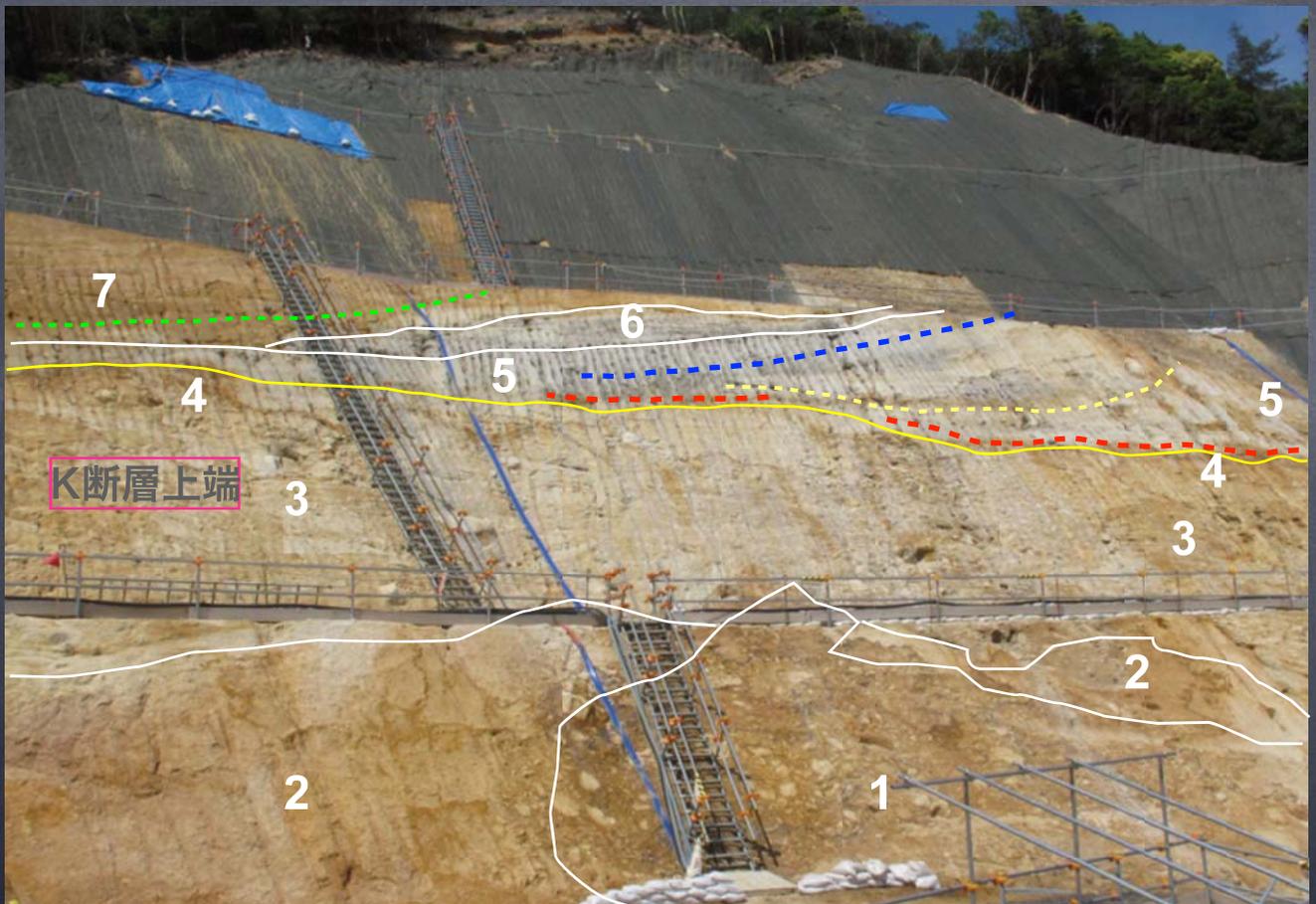
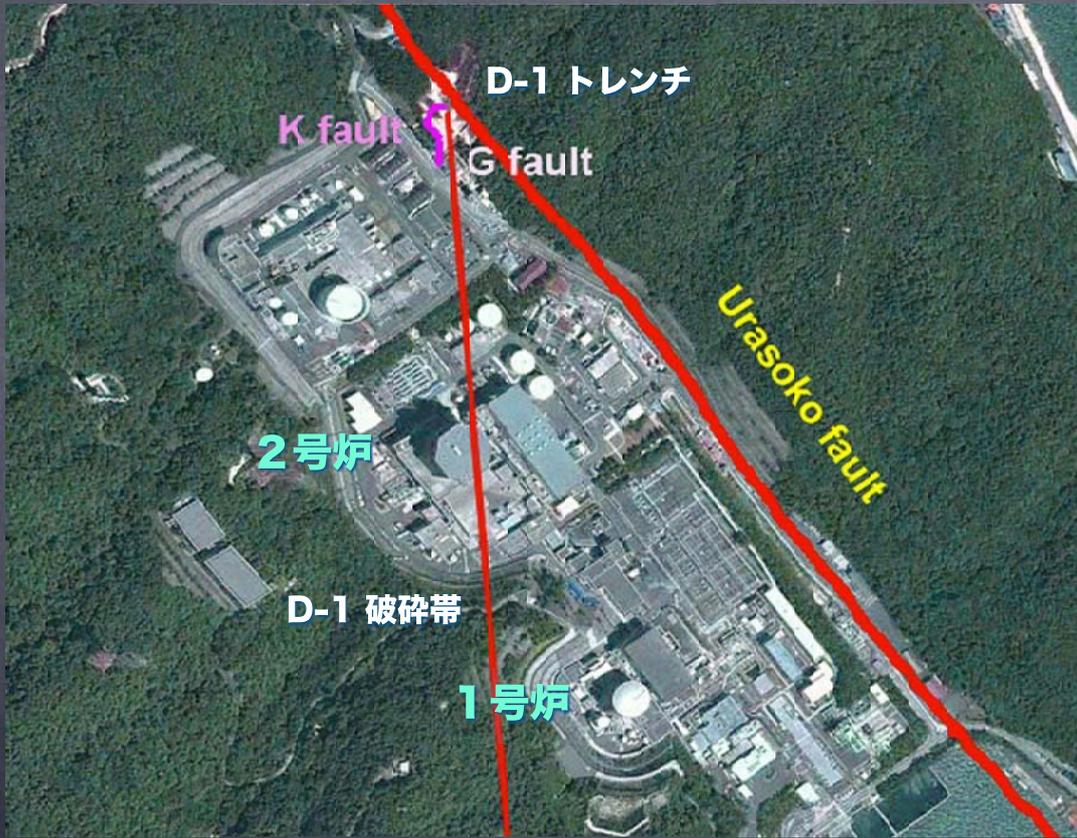
最 海最
 低 面高
 海 上海
 面 昇面

最低海水準期 (MIS 6, 2) から約1万年で最高海水準期, 数千年間継続。



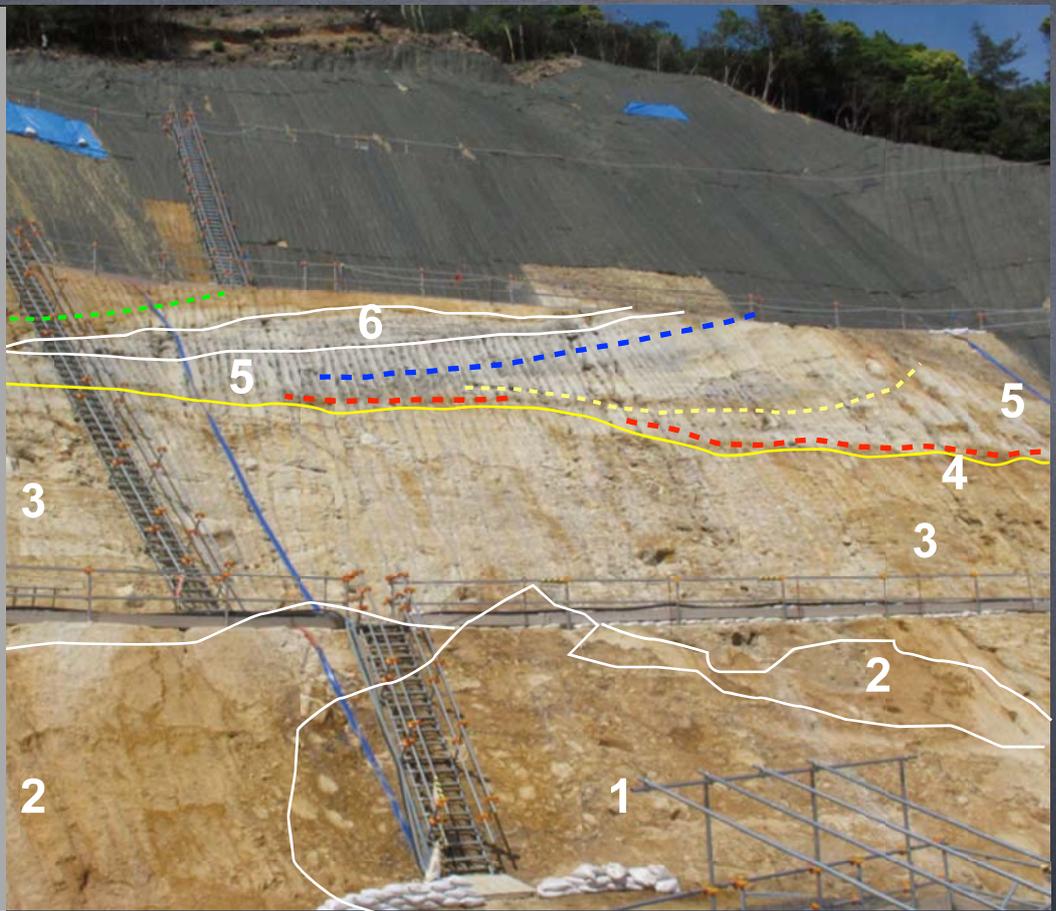
最低海水準期 (MIS 6, 2) は現在より120--130 m海水準が低下する。





D-1トレンチの第四紀堆積物

DKP
 KTZ
 (不整合)
 5層角閃石
 不整合
 (3層角閃石)
 K断層上端



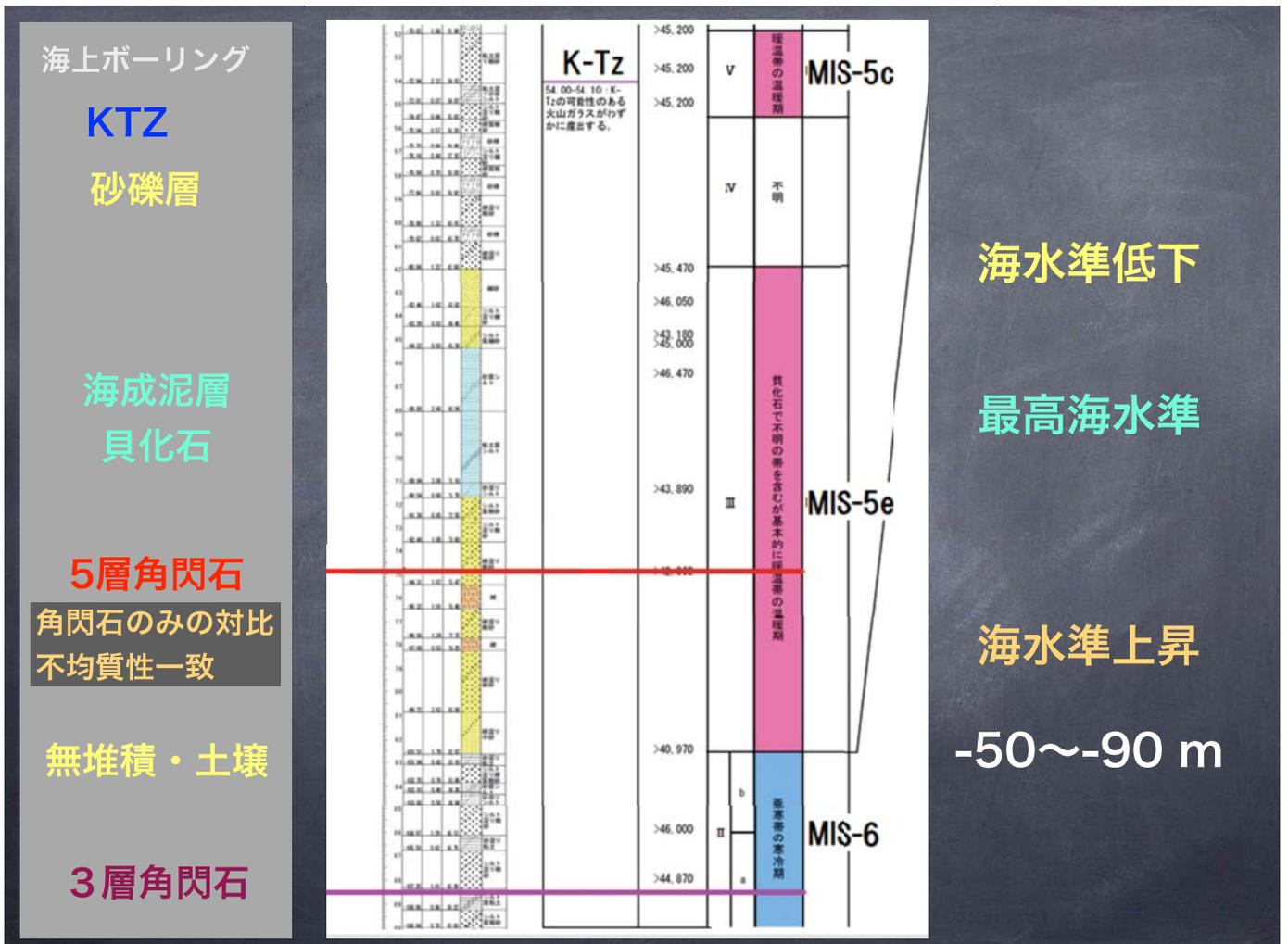
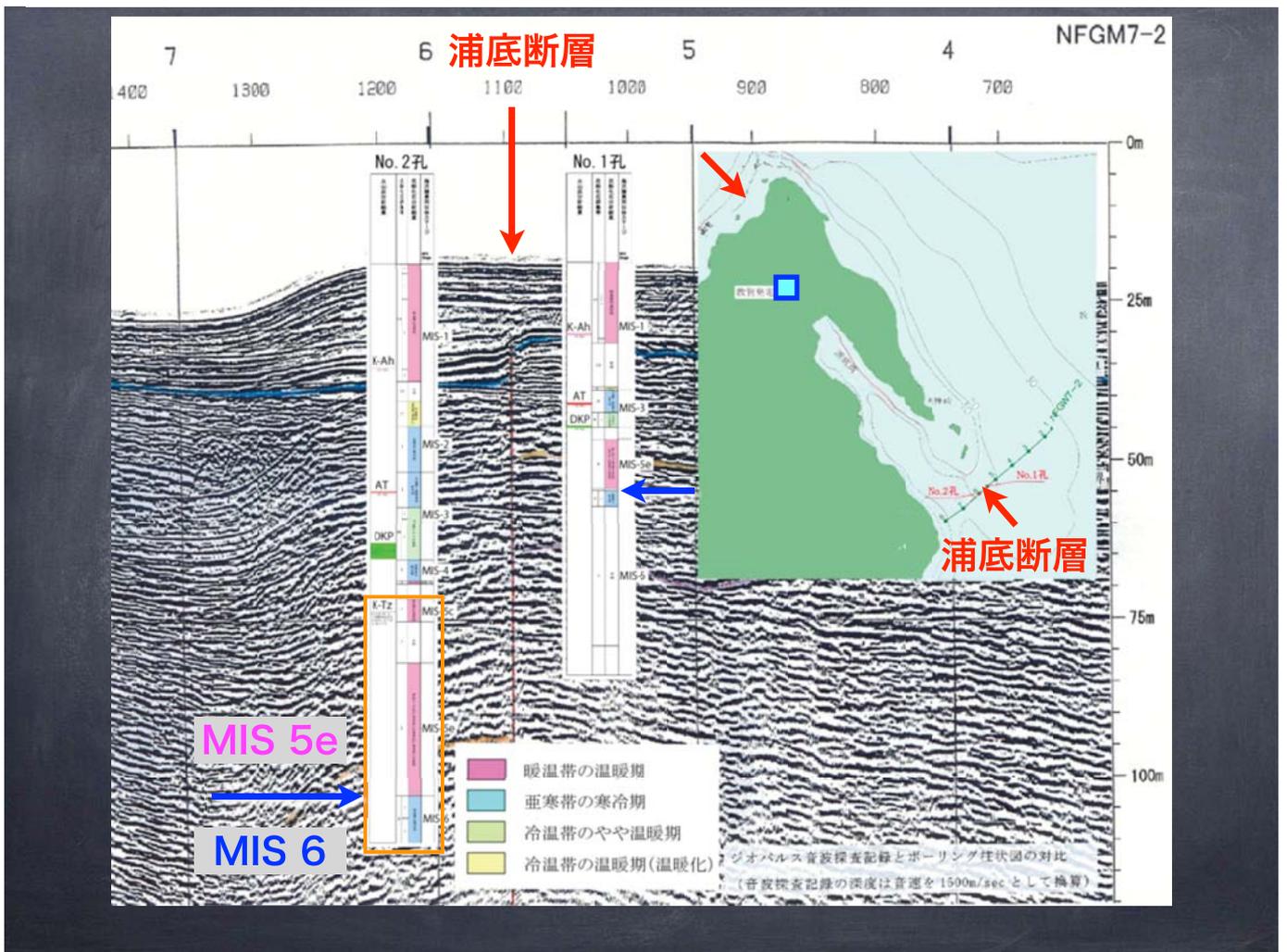
堆積シーケンス・火山灰 (5層角閃石降灰層準確認・3層角閃石は散在)

5層角閃石の対比と降灰年代



角閃石：屈折率・主成分 [不均質性のため技術未完成]

角閃石+火山ガラス：屈折率・主成分化学組成, 斜方輝石 [確実]



5層角閃石の対比と降灰年代



角閃石：屈折率・主成分 [不均質性のため技術未完成]

角閃石+火山ガラス：屈折率・主成分化学組成, 斜方輝石 [確實]

海上ボーリング

KTZ

砂礫層

海成泥層

貝化石

角閃石のみの対比：不均質性一致

5層角閃石

無堆積・土壤

3層角閃石

気山

砂礫層

海成泥層

生痕・貝化石

美浜火山灰

不整合

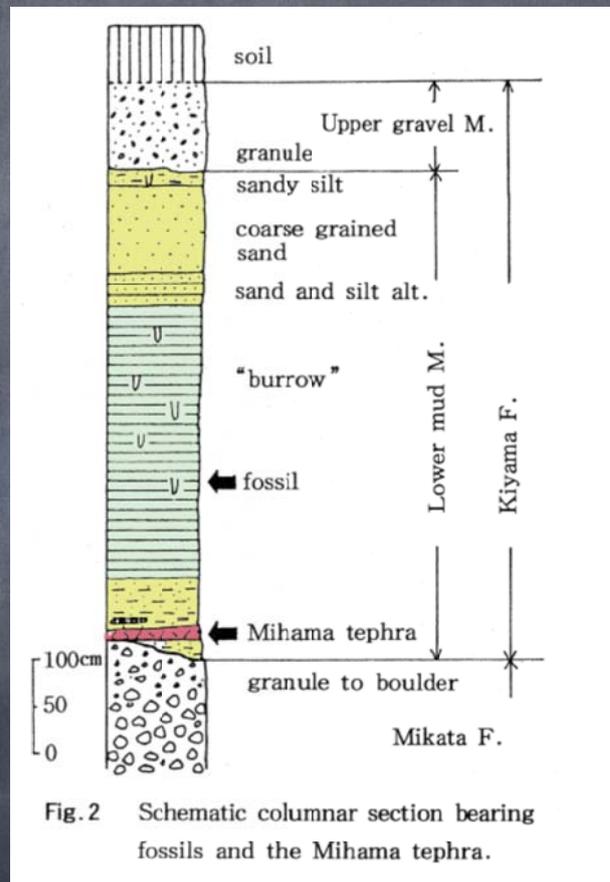
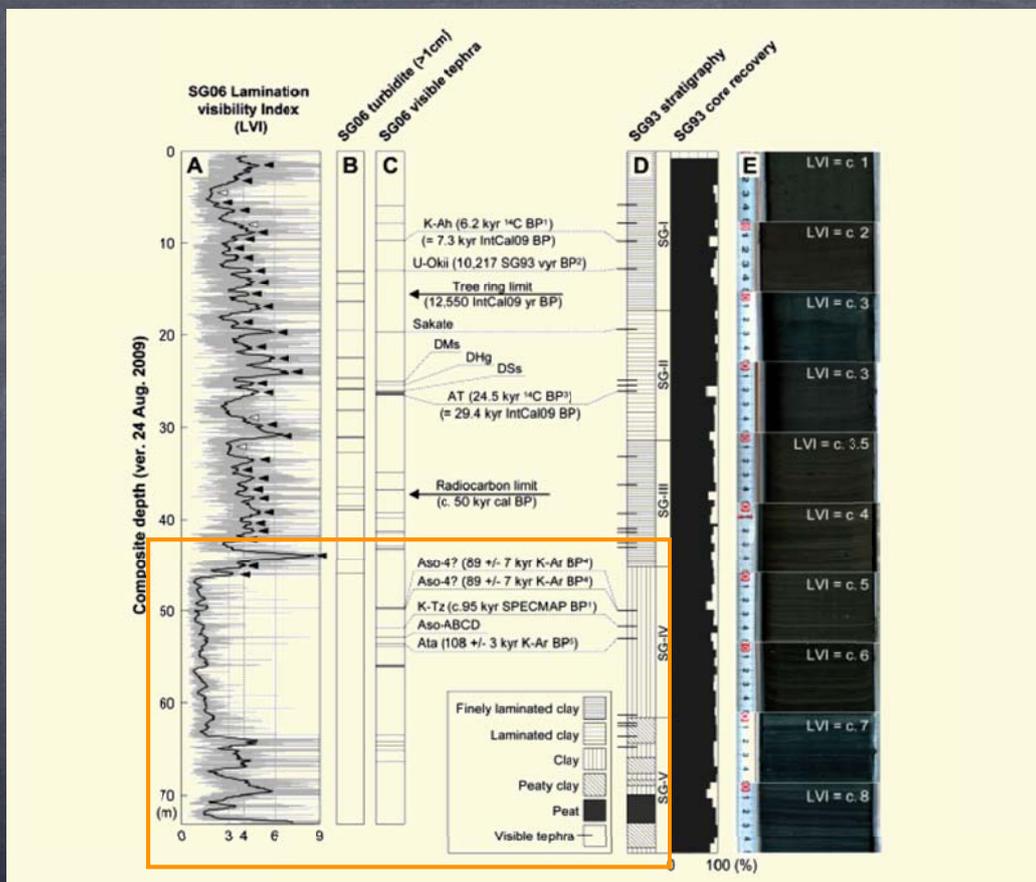
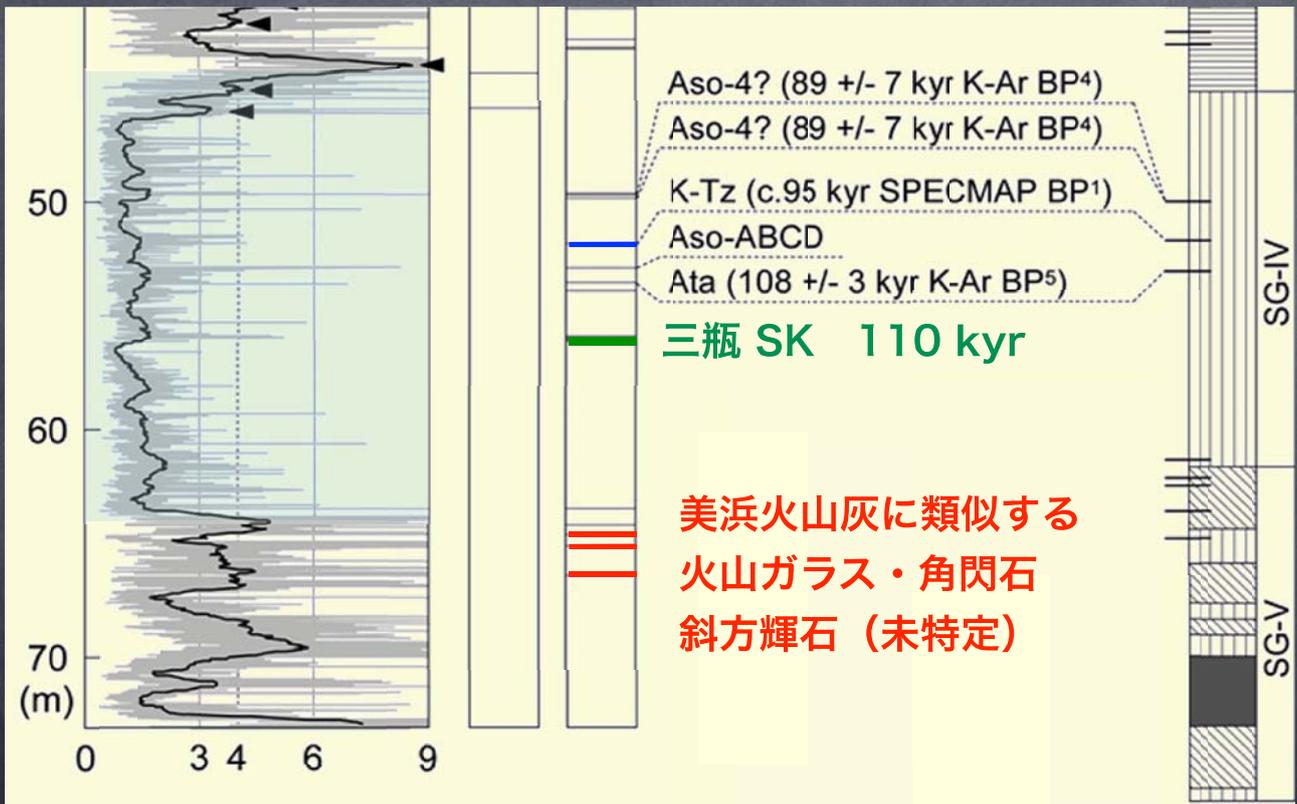


Fig. 2 Schematic columnar section bearing fossils and the Mihama tephra.

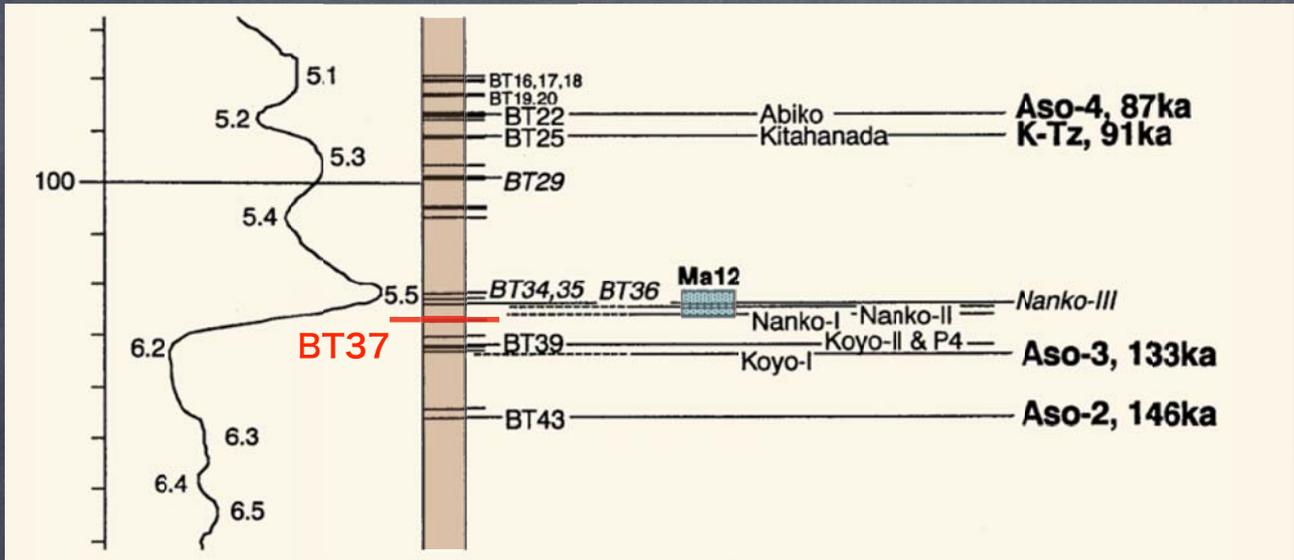
Yasuno (1991)



水月湖 Suigetsu 2006 drilling (Nakagawa et al., 2012)



壇原 徹 (2013私信) を加筆. 水色は年縞の欠如するゾーン.



琵琶湖高島沖 大阪南港

BT37 火山ガラス主成分化学組成 (長橋ほか, 2004) = 気山・美浜火山灰

Ma12 : MIS 5e 最高海面期海成層の基底に BT36 (Nanko-I)

BT36 = 125000--130000 年前

BT37 は BT36 以前, 127600 年前(長橋ほか, 2004) 海面上昇期

琵琶湖高島沖コア・大阪南港ボーリングの火山灰 (長橋ほか, 2004)



3層角閃石

(MIS 5d海面低下・不整合)

最高海面期 120000-130000 年前

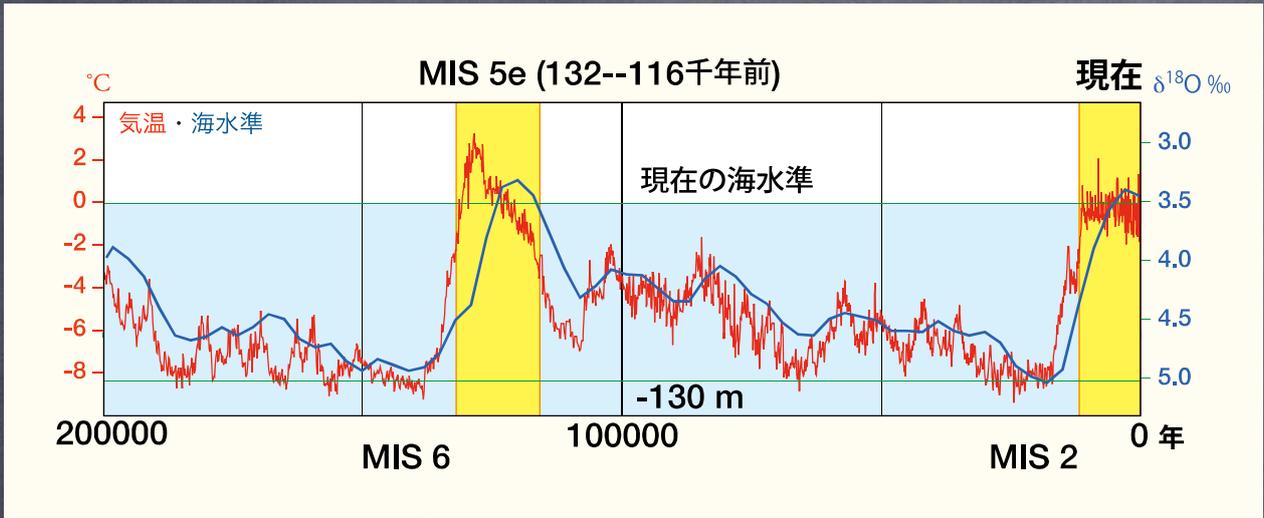
K断層最新活動

海面上昇期 5層角閃石 = 美浜火山灰

最低海面期 135000--150000 年前

4層/5層不整合・海上ボーリング無堆積

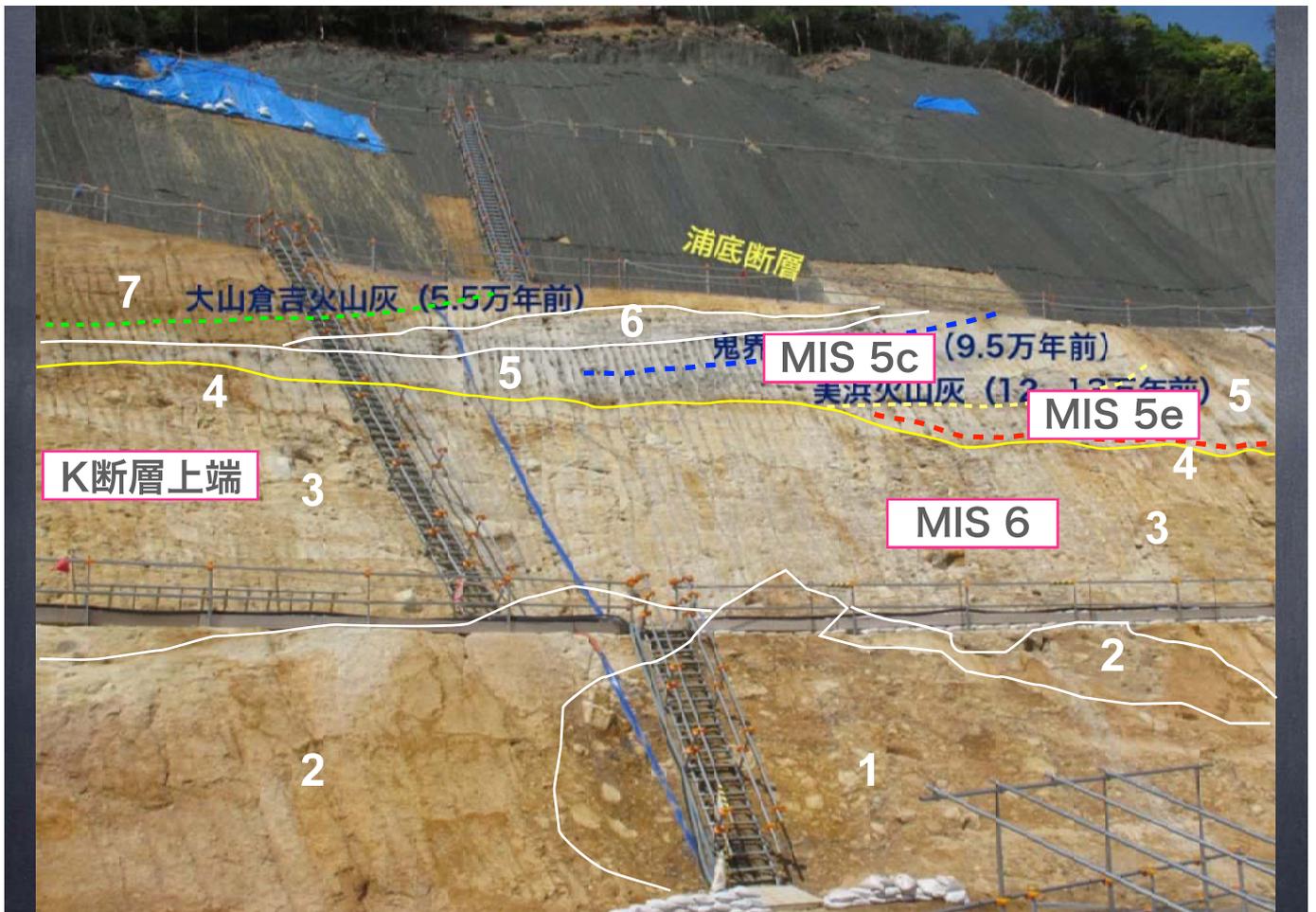
MIS: Marine Isotope Stage = 海洋酸素同位体ステージ



←
↑
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)**

過去20万年間の気温（南極Vostok基地）・海水準（底生有孔虫殻の酸素同位対比）変動

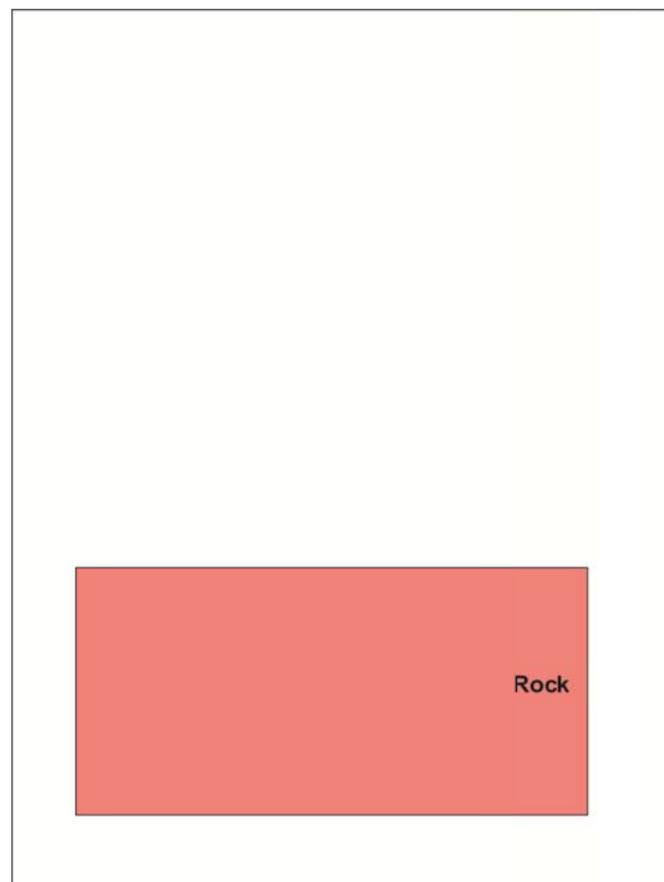


D-1トレンチ

STRUCTURAL RELATIONSHIPS

- **1) FAULT UPWARD TERMINATION: WHEN WAS THE LAST FAULT MOVEMENT IN RELATION TO THE DEPOSITION OF SEDIMENTS?**
- **2) FAULT ALONG – STRIKE EXTENSION: DO THE FAULTS EXPOSED IN THE NEW TRENCHES LINK TO THOSE MAPPED DURING UNIT 2 CONSTRUCTIONS?**
- **3) FAULT DISPLACEMENT SENSE: IS THE FAULT NORMAL, REVERSE OR LATERAL? THIS HELPS TO UNDERSTAND THE LINKS BETWEEN FAULTS EXPOSED IN THE TRENCHES AND THE BOREHOLES**

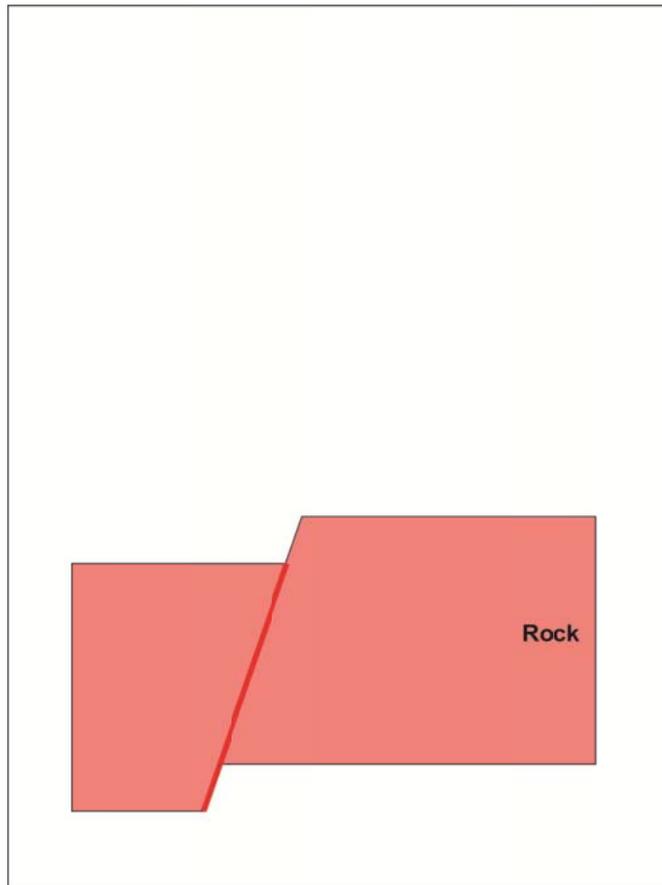
G fault
When did the last
fault movement
occur?



1) STRUCTURAL RELATIONSHIPS: FAULT UPWARD TERMINATION

G fault

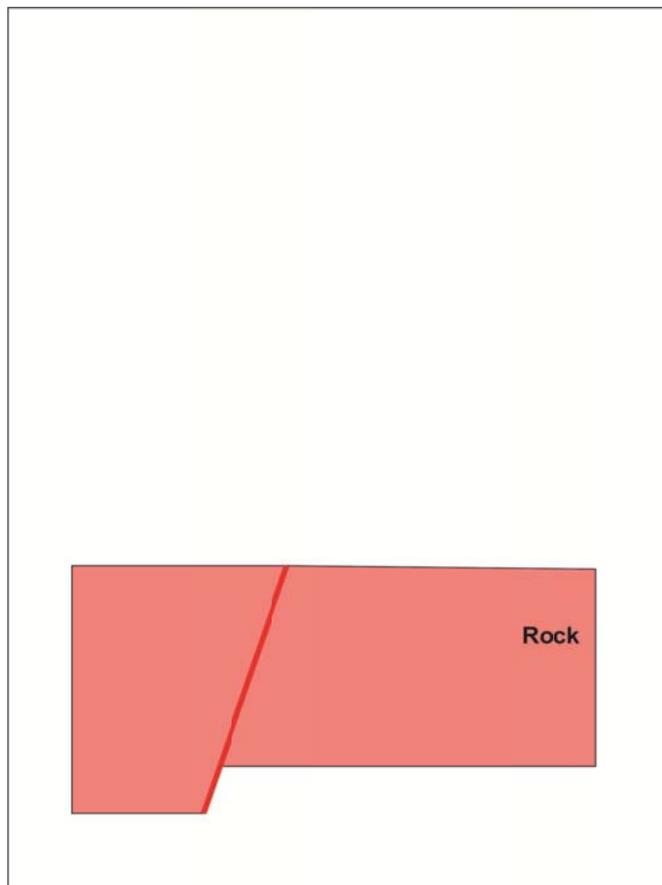
When did the last fault movement occur?



1) STRUCTURAL
RELATIONSHIPS: FAULT
UPWARD TERMINATION

G fault

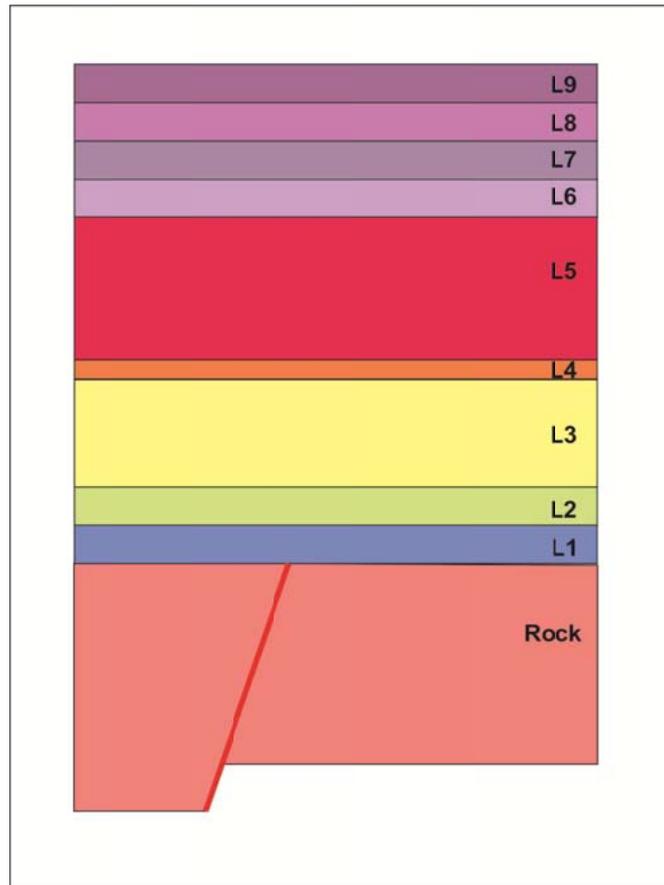
When did the last fault movement occur?



1) STRUCTURAL
RELATIONSHIPS: FAULT
UPWARD TERMINATION

G fault

LAST OBSERVED FAULT MOVEMENT BEFORE DEPOSITON OF LAYER 1



1) STRUCTURAL RELATIONSHIPS: FAULT UPWARD TERMINATION

G fault



LAST OBSERVED FAULT MOVEMENT BEFORE DEPOSITON OF LAYER 1

Layer 1

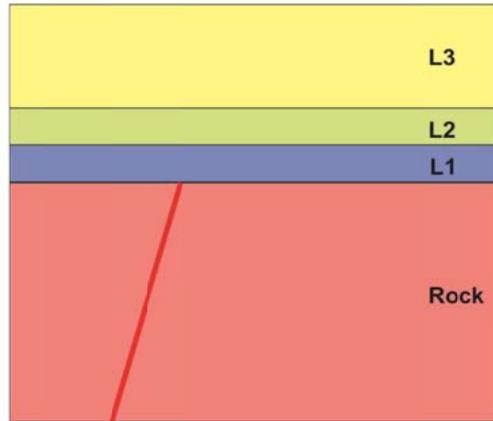
Rock

1) STRUCTURAL RELATIONSHIPS: FAULT UPWARD TERMINATION



K fault

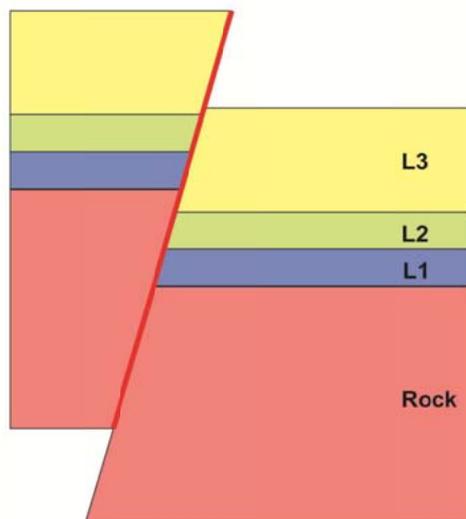
When did the last fault movement occur?



1) STRUCTURAL RELATIONSHIPS: FAULT UPWARD TERMINATION

K fault

When did the last fault movement occur?

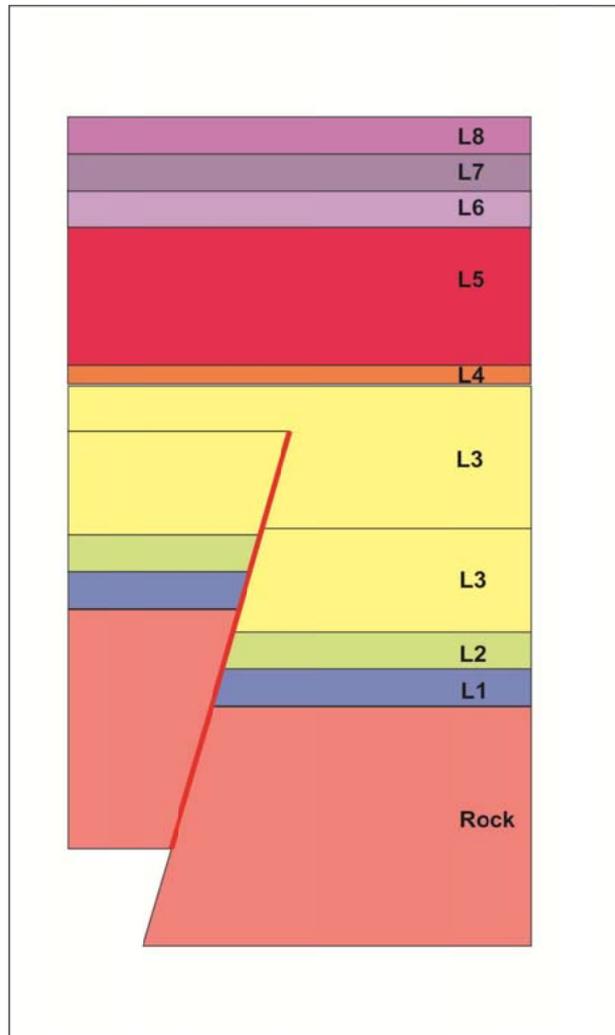


1) STRUCTURAL RELATIONSHIPS: FAULT UPWARD TERMINATION

K fault

LAST OBSERVED FAULT MOVEMENT OCCURRED:

- AFTER DEPOSITION OF MOST OF LAYER 3
- BEFORE DEPOSITION OF LAYER 5

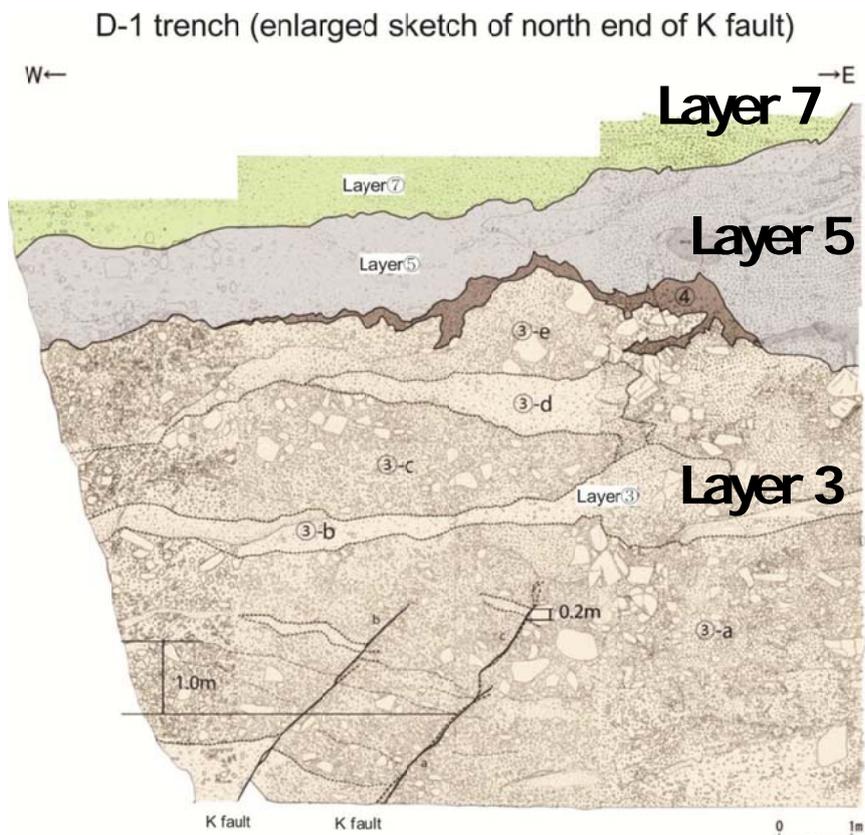


1) STRUCTURAL RELATIONSHIPS: FAULT UPWARD TERMINATION

K fault

LAST OBSERVED FAULT MOVEMENT OCCURRED:

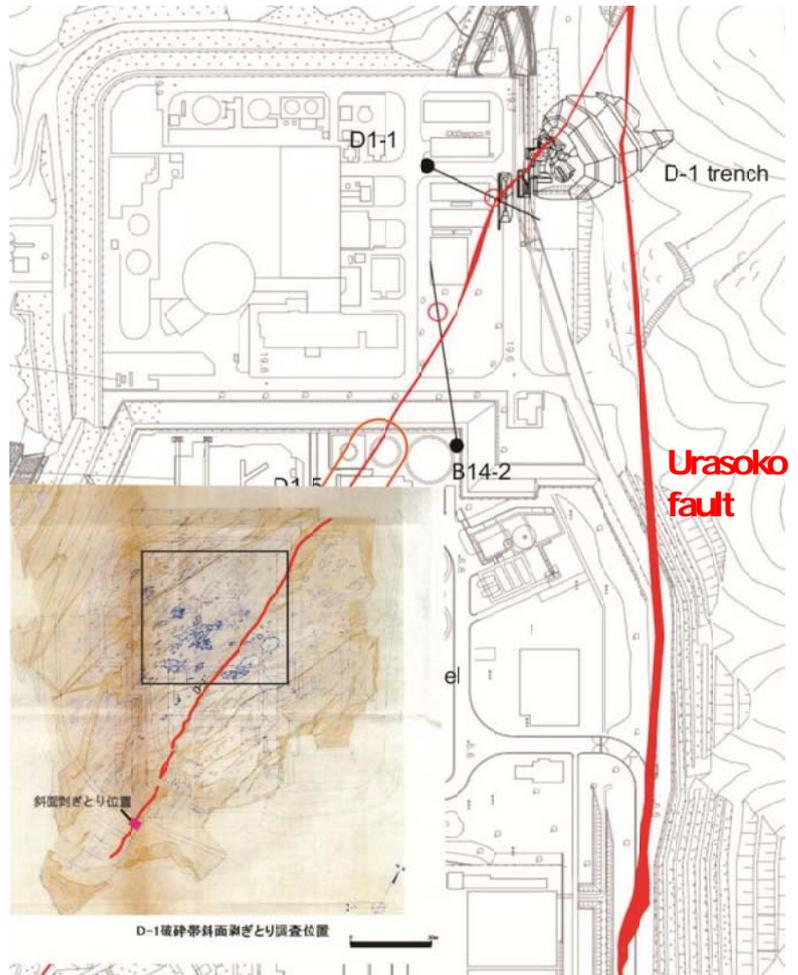
- AFTER DEPOSITION OF MOST OF LAYER 3
- BEFORE DEPOSITION OF LAYER 5



1) STRUCTURAL RELATIONSHIPS: FAULT UPWARD TERMINATION

D-1 shatter zone connects with G fault:

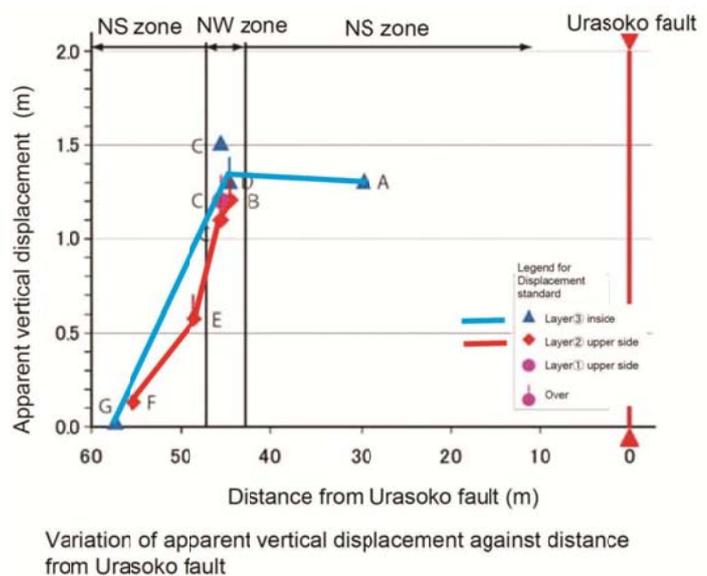
- Mapping during construction showed the location and continuity of the D-1 shatter zone
- Characteristics of the D-1 shatter zone in the gap between the end of this map and the new excavation further north can now be studied in outcrop and in drill cores
- New excavation (D-1 trench) exposes the G fault



2) STRUCTURAL RELATIONSHIPS: FAULT ALONG-STRIKE EXTENSION

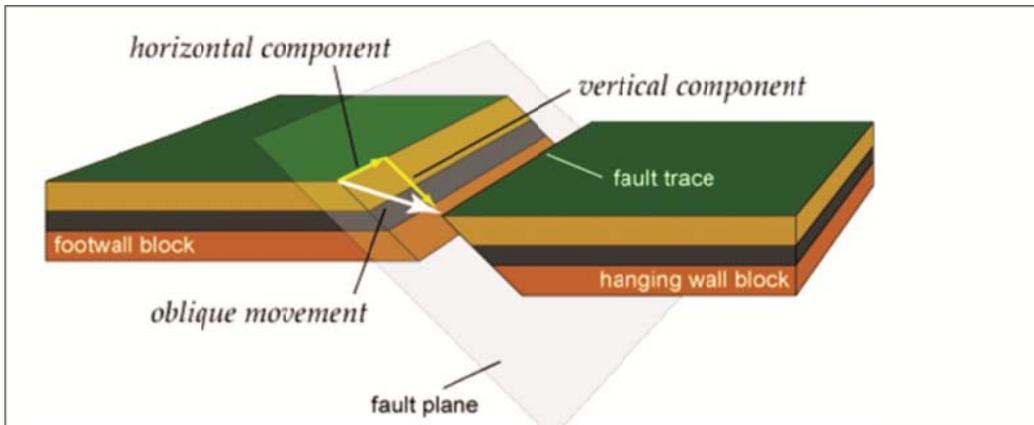
K fault does not continue to the south:

- Displacement decreases towards the south suggesting that the K fault ends
- Drilling further south has not found an extension of the K fault
- In the D-1 trench the K-1 fault clearly changes direction from N-S close to the Urasoko fault, to SW further away from Urasoko fault



2) STRUCTURAL RELATIONSHIPS: FAULT ALONG-STRIKE EXTENSION

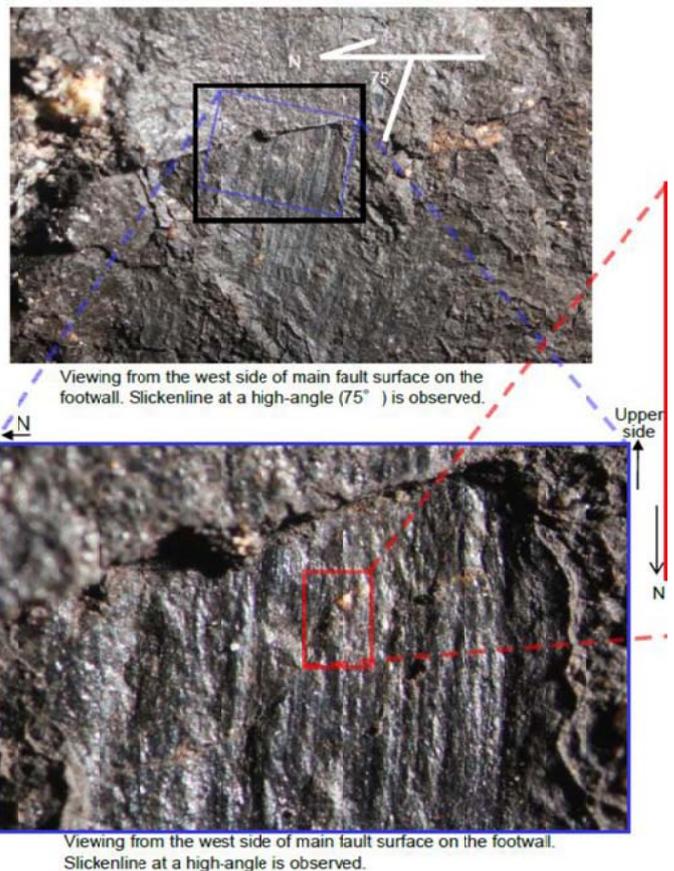
Sickensides / Sickenlines (scratch marks)



3) STRUCTURAL RELATIONSHIPS:
FAULT DISPLACEMENT SENSE

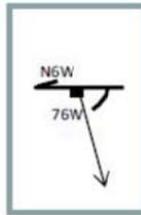
The movement sense of the D-1 shatter zone is mainly dip-slip

- Example of D-1 shatter zone slickenlines from an exposure on the south side of Unit 2
- Total number of measurements: 13
- Steep or moderate plunges are predominant

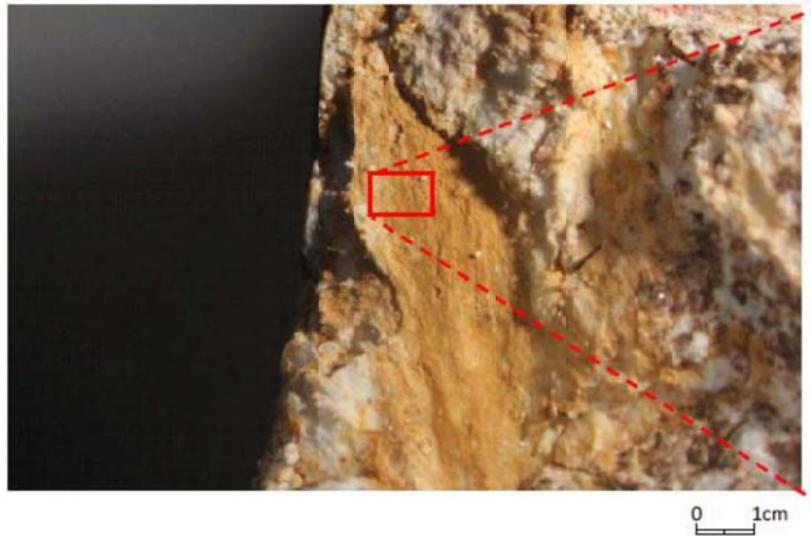


STRUCTURAL RELATIONSHIPS:
FAULT DISPLACEMENT SENSE

The movement sense of the K fault is reverse



- Example of K fault slickenlines from the D1 trench
- Total number of measurements: 16
- Steep or moderate plunges are predominant
- Exposure in the trench: reverse fault

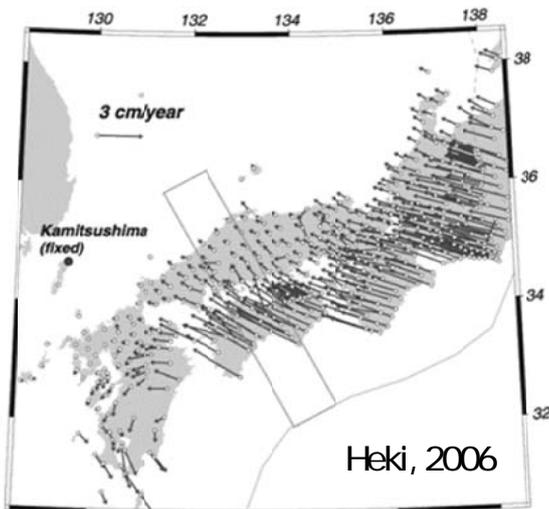


View of K fault at L-cut pit, from west side to east side of the footwall of the last slip.

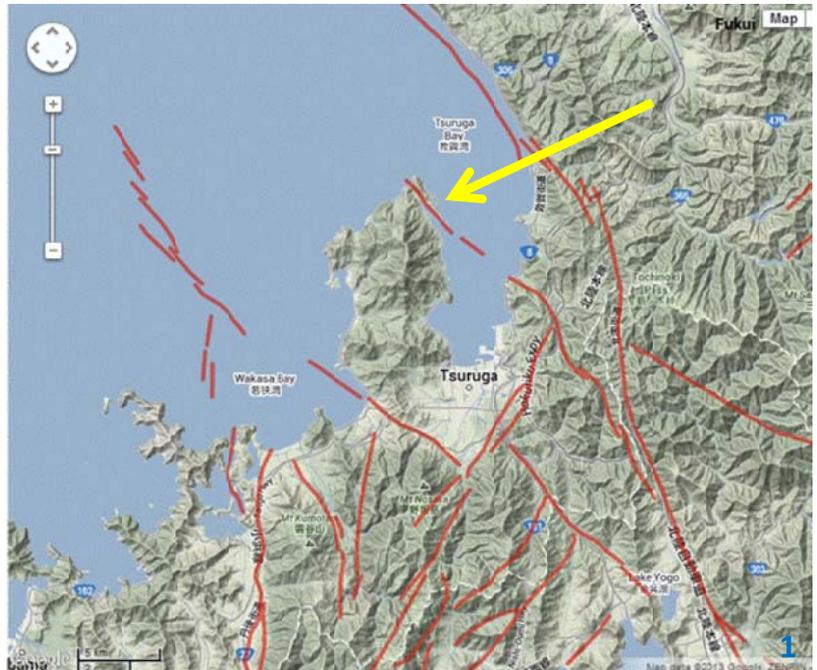
High angle slickenlines is observed on the main fault surface.

Comments from the Review Panel Experts on new results

1. Dr Villamor – evaluation of faults G/D-1 and K
2. Prof Okumura – evaluation of tephra and paleoclimate
3. Dr Berryman – summary



AIST active
fault database

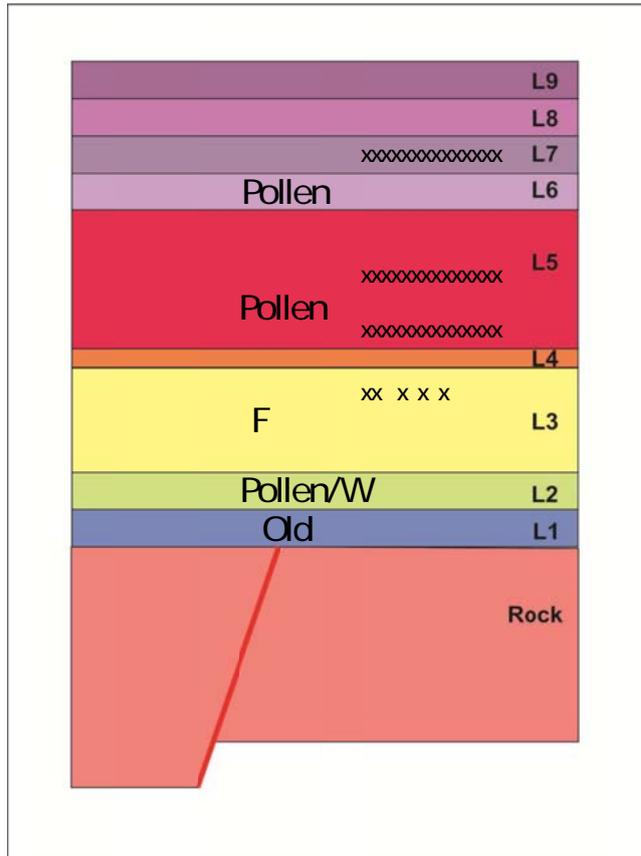


Background

1. The international review panel has evaluated two reports prepared by JAPC (March 2013 & July 2013), has undertaken field examinations at the Tsuruga site, and read the NRA's reports.
2. We find that the work undertaken by JAPC and their contractors has been to a good international standard.
3. The review team has had access to a wide range of technical information, and we have had numerous opportunities to question JAPC's geological team.
4. Since May 2013 significant new work has been undertaken and the international review team presents here the results of that review today.

Summary comments on the G/D-1 Fault

LAST OBSERVED MOVEMENT WAS BEFORE DEPOSITON OF LAYER 1

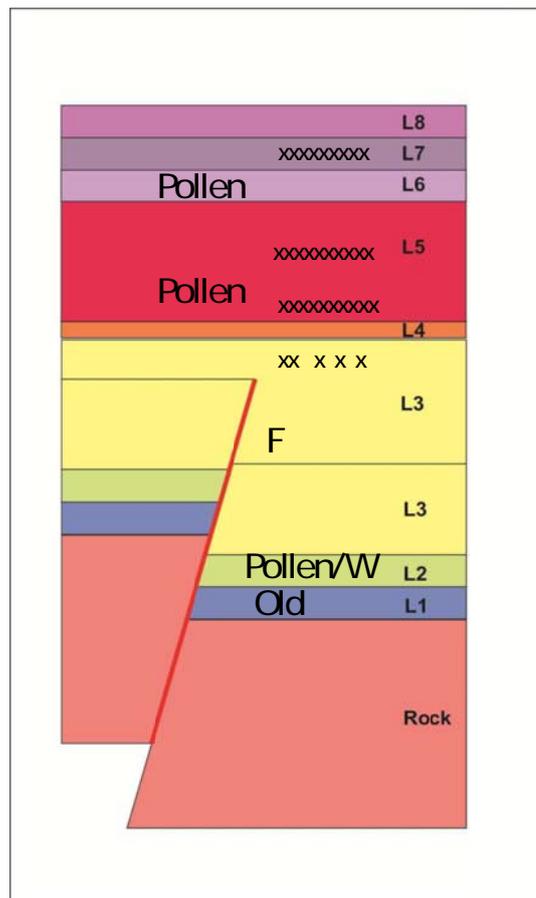


- ← DKP – 58 ka
- MIS 5a-b
- MIS 5c
- ← K-Tz – 95 ka
- MIS 5e
- ← Mihama – 127 ka
- MIS 6 (130-200 ka)
- MIS 7? – 200-220 ka

3

Summary Comments on the K Fault

LAST OBSERVED MOVEMENT IS AFTER DEPOSITION OF MOST OF LAYER 3 AND BEFORE DEPOSITION OF LAYER 5



- ← DKP – 58 ka
- MIS 5a-c
- MIS 5c
- ← K-Tz – 95 ka
- MIS 5e
- ← Mihama – 127 ka
- MIS 6 (130-200 ka)
- MIS 7? – 200-220 ka

4

Prior Recommendations

Recommendations of the review team were provided to JAPC in May 2013. The main points were:

- (i) Need to continue with structural analysis of the fractures and old faults ✓
- (ii) Need to track the K fault southward toward Unit 2 ✓
- (iii) Continue investigations of the tephra layers that have been discovered within the soil layers at the site and within the region ✓
- (iv) Continue mechanical and kinematic analyses of induced rupture associated with movement on the Urasoko Fault – **these have begun and more is needed for the future**
- (v) For an international best practice seismic hazard assessment of the Tsuruga NPP, active faults, earthquake occurrence, and geodetic strain measurements in an a region beyond the NPP (30–50 km radius may be appropriate) is needed - **these have begun and more is needed for the future**

5

Conclusions

1. Detailed field studies show that neither the G/D-1 shatter zone, nor the K fault can be classified as active faults.
2. There is no evidence that the G/D-1 shatter zone or K fault have had sympathetic movement in association with fault movement of the Urasoko fault for at least the past 130 thousand years.
3. There is a possibility that future movements of the Urasoko fault could induce sympathetic rupture of fractures and old faults near to the Urasoko fault. If a comprehensive seismic hazard evaluation were to be conducted in future this aspect should be included.

6

添付 3：将来の工学的アプローチに関する提案

地震ハザード解析を実施するには最低限以下を含まなければならない。

- a) 地質学、地震学及び地球物理学の調査
- b) 断層変位ハザード解析
- c) 地震のマグニチュードと地震源の特徴付け
- d) 地震動の調査
- e) 決定論と確率論の両方の地震裕度とフラジリティ評価

この添付資料では、今後の地震リスク評価のための活動の基礎として考慮されるべき上記 a)項に係る地質学的なトピックのいくつかについて予め明確にする。なお、ここでは上記 b)項から e)項に必要な作業の範囲と性質については議論していない。

1. 敷地周辺数キロの範囲にわたり、より広い範囲で断層及び破砕帯に関する地形学的証拠を得るための、上空及び地上からの調査。僅かなりニアメントも検出可能な十分に高い精度で空中からの LiDAR (Light Detection And Ranging) 調査を行うことで、今後の地形図作成に資する良い出発点が得られる。
2. 起源及び相対的な活動履歴が比較出来るようにするための、調査対象の断層及び破砕部の内部構造に関する、継続した微視的及び巨視的調査。
3. 主応力の向きと大きさを決めるための、現地での基盤岩の応力測定。過去の応力場における変化も考慮に入れること。
4. 種々のパラメータ及びや応答の指向性を有する構造への、ひずみやある条件により生ずる局所応力場の影響の更なる力学的解析。モデル及び解析は破壊や変形に関する地質学的証拠により律せられるべき。動的破壊解析と破壊の終了解析は、敦賀半島の地上部には顕著な不連続や分岐が認められないことから、浦底断層には適用できない。
5. 変位解析の土台となる、過去 20 万年以上に遡った敷地の変遷の包括的な説明。これにおいては、海水準と気候の変動、局所的な陸地における浦底断層の隆起及び動き、堆積層をもたらす海中の堆積パターンの影響に特に着目する。これらの起源と広い範囲における相関に関する情報は、より広い範囲の地形及び地層の履歴に基づき年代判定を行う際の助けとなる。地層の消滅形態に関する更なる情報（淘汰、級化、碎屑岩の寸法及び組成、基質の組成）と接触状態を定義する基準（層の境界）も、その結果はこれらの境界面の定義に強く依存するため有用である。
6. 最終的な目的は、破砕帯の起源と成長及びそれらの相互又は浦底断層との関係を説明する、敷地構造の履歴を充実させること。3, 4 号機の敷地では、ドレライト岩脈が D-1 破砕帯に類似した北東方向の正断層をずらしている。これは敷地のテクトニクス的運動履歴を充実させるために有益である。

レビューチームは、この地質調査を、独立した相互レビューにより評価していくことが有効と考える。

添付 4：ディアブロキャニオン原子力発電所の長期的地震プログラム及び確率論的リスク情報に基づく手法

1. 日本原電及び敦賀発電所に対するモデルとしてのディアブロキャニオン原子力発電所の長期的地震プログラム

1978年7月14日に、NRCの原子炉安全諮問委員会(ACRS)は、最新の知見とデータを組み込むために、10年以内にディアブロキャニオン原子力発電所の地震ハザードとリスク評価の更新を行うべきであると勧告した。

1985年、ディアブロキャニオン原子力発電所(DCNPP)近くのHosgri断層の発見により、PG&E(DCNPPの所有者)とNRCは、DCNPPの運転継続の条件として、DCNPPの耐震設計基準の検討と再評価を実施するために、Long Term Seismic Program(LTSP)を行うことに合意した。

このプロセスには、日本原電と原子力規制委員会に注意を払うべきと思われる2つの重要なポイントがある。

1. NRCは、LTSPの実施中もDCNPPを停止させず、運転継続することを認めた。
2. DCNPPは以下を要求された。
 - a. 1979年のASLBの審査以降に行われた、すべての関連する地質学的及び地震のデータ、情報、及び解釈について確認、調査及び評価すること
 - b. DCNPPの耐震設計基準として使用される地震の大きさを再評価すること
 - c. 地震動調査を再評価すること
 - d. 地震マージンを適切に確保するため、必要に応じて、確率論と決定論の両方のリスク分析を活用し、上記の耐震再評価の結論の意義を評価すること

上記のとおり、DCNPPはLTSP実施中も運転を継続していた。

LTSPは極めて顕著な成功例である。NRCは1991年6月に、米国地質調査レビューの付録Cで以下のように述べている。

「LTSPは、一組のあらかじめ定義された地質学的問題に対処するために計画され、実行された。その結果、Los Osos断層及びSan Luis Bay断層といった新しくかつ予想外の調査結果への対応において、かなりの柔軟性があることが示された。用いられ多くの手法、広範囲な検討、及び重大な問題に係る徹底的な調査は、これがサイトの地震ハザードに関する非常に広範囲の研究であることを示している。この評価は、PG&Eによって集められた有能で非常にプロフェッショナルなチームの努力によるものである。」

「NRCスタッフは、LTSPのためにPG&Eによって行われた地質学的、地震学的、地球物理学的な調査と分析は、これまでアメリカ合衆国の原子力施設に対して行われたものの中で、最も広範囲で、完全なものであると考えている。PG&Eは、これらの分野の知識においてかなりのアドバンテージを有している。」

DCNPPでのケースは、敦賀原子力発電所の停止や規制上の再起動プロセスにとって、最良の参考例である。1973年の試運転から1991年までの間、1985年のDCNPP近傍におけるHosgri活断層の発見により、フルパワーライセンスは、活断層と関連する耐震安全性の問題によって脅かされていた。LTSPは、海底地震計や反射法地震海洋調査により、DCNPPの"継続的安全性評価"の一環として、敷地近傍のShoreline断層の調査を今日も継続的に進めている。

その結果、PG&EはLTSPの下ですべてのライセンス問題に十分に対処しているとして、NRCは全出力運転の承認を継続した。

日本原電と原子力規制委員会が学ぶべき最も重要な点は、事業者と規制当局、公衆が対話を行うこ

とである。DCNPPとNRCの例を参考にすべきである。DCNPPとNRC、および、関係するアドバイザーは、活断層の脅威について公開の場で議論し、その脅威を解決するための計画を策定するためのプロセスに合意した。この計画は公開で透明性があり、過去の誤りを全て開示し、NRCと共に作業するというDCNPPの約束でもあった。

我々は、「活断層か否か」といった問題については日本原電により十分に回答されているため、原子力規制委員会は、直ちに、新たな証拠とこの報告書の第三者レビュー結果に基づきこの問題に関する再評価を行うべきであることを強く推奨する。また、それに引き続いて、原子力規制委員会と日本原電は、NRCとPG&Eとの間の合意に基づくLTSPをモデルとした敦賀発電所の継続的な耐震安全評価に関する対話を始めるべきである。

2. 確率論的リスク情報に基づく手法

世界中の規制当局及びIAEAは、確率論的リスク評価(機器の破壊、地震、洪水、外部電源の喪失等を含む)が、“ベストプラクティス”であり、必要不可欠のものであると考えている。

NRCは1993年にリスク情報を活用した手法を採用することを決定した。その結果、NRCが新しい規制を提案する際には、リスク情報に基づく手法が、代替手法の一つとして要求されることとなった。

1995年には、PRAの利用を拡大し、NRCがリスク情報を活用した規制を行うこととし、「PRA Policy Statement」(60FR42622,1995年8月16日)を公式なものとして発出した。「PRA Policy Statement」の一部に以下の記載がある。

「NRCの決定論的な手法を補うように、またNRCの伝統的な深層防護の考え方を補うように、PRA技術の活用は、最先端のPRA手法とデータにより、全ての規制事項において推進されなければならない。」

地震について外部事象 PRAを行う場合、確率論的地震ハザード解析(PSHA)を用いることが一般的である。PSHAは原子力発電所に影響を及ぼす地震動の範囲を計算する手法であり、原子力産業界では地震動とフラジリティを解析するためによく知られた手法である。この手法はNRC、IAEA、スイス連邦原子力安全視察団、仏国原子力安全局によって認められている。メキシコでは、連邦電力委員会(CFE)がラグナベルデ原子力発電所(LVNPP)のPSHAを要求した。PSHAは1985年に初めて適用され、現在に至るまで重要な成功を収めている。

敦賀発電所については、これまでに収集した追加情報に基づき有識者会合と議論しても断層問題について解決や合意に至らない場合には、リスク情報に基づいた明確な意思決定につながる確率論的断層変位ハザード解析(PFDHA)を行うことを推奨する。

PFDHAは、PSHAほどは、良く知られていないが、ユッカマウンテン、スロベニアのクルシュコ原子力発電所、ニュージーランドの危険度の高い水力ダムや、廃棄物処分場の適合性を審査する手続きに関する日本の研究開発において、用いられ良い結果を出している。PFDHAはNRCによって認められた手法である。

断層変位ハザード評価を組み込んだ包括的な地震ハザード解析には、次の中間的なステップが必要であると考えられる。

- (1) 断層が活動する可能性への着目(PFDHA)
- (2) 様々な時点での様々なマグニチュードの地震における、断層変位の確率評価
- (3) 確率論的な地震動の検討(PSHA)
- (4) 構築物、系統および機器の強度を評価するための、確率論的フラジリティ解析
- (5) プラント固有の確率論的、および、決定論的リスク評価への統合