

原子力発電所の耐震設計における最近の検討事例
に見る活断層調査・評価技術

2012年3月

公益社団法人 土木学会

原子力土木委員会 活断層評価部会

原子力発電所の耐震設計における最近の検討事例

に見る活断層調査・評価技術

目 次

1. まえがき.....	1
2. 用語の定義.....	3
3. 調査の計画と実施.....	5
3. 1 全体計画.....	5
3. 2 文献調査.....	7
3. 3 変動地形学的調査.....	9
3. 4 地表地質調査.....	21
3. 5 海域調査.....	36
3. 6 物理探査.....	46
4. 調査結果の解釈.....	53
4. 1 地質層序区分.....	53
4. 2 陸域における詳細検討を行う断層の抽出.....	61
4. 3 海域における断層の認定.....	67
4. 4 断層の活動性の解釈.....	73
5. 活断層評価.....	80
5. 1 考慮すべき断層の長さの評価.....	80
5. 2 断層モデルのパラメータの設定.....	111
6. 調査の信頼性及び調査結果の表示様式.....	121
7. プレート間地震に関する調査.....	123
参考文献.....	128
本技術書策定に参加した委員等の氏名.....	132

1. まえがき

本技術書は、原子力発電所の耐震設計を行うにあたり、基準地震動策定における原子力発電所の敷地周辺の活断層等（撓曲や褶曲を含む）の位置、長さ、形状、活動性等を明らかにするための、具体的な調査及び評価方法等について、平成 21 年度～平成 23 年度にかけて、土木学会 原子力土木委員会 活断層評価部会（以下「活断層評価部会」という。）において検討した結果を取り纏めたものである。ただし、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に関する知見については、現時点で十分解明されているとは言い難いことから、本技術書では、この地震に関する知見については反映できたものは一部に限られ、現在も議論が継続されている知見については留意事項を付記するに留めている。本技術書の使用に当たっては、この点について十分留意しなければならない。また、今後の新しい知見・技術と経験の蓄積に応じて、適宜見直される必要がある。

従来、原子力発電所の耐震設計における活断層の調査及び評価に関しては、原子力安全委員会により **発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針**（平成 18 年 9 月 19 日原子力安全委員会決定）（以下「**耐震設計審査指針**」という。）、**発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き**（平成 22 年 12 月 20 日原子力安全委員会了承）（以下「**安全審査手引き**」という。）が安全審査に用いる指針類として策定されているほか、原子力安全・保安院により、**海上音波探査に関する安全審査要領案**（以下「**海上音波探査安全審査要領**」という。）が平成 22 年 1 月に提示されている。

これらの指針類に基づいた既設発電所の耐震安全性の確認（以下「**耐震バックチェック**」という）は、平成 19 年 4 月から総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会に設置された地質・地盤ワーキンググループ（同年 10 月に地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループに改編）において審議が始まり、平成 20 年 4 月には同ワーキンググループの下に 3 つのサブグループが編成され審議がなされている。一方、原子力安全委員会では、耐震安全性評価特別委員会並びに配下の地震・地震動評価委員会、施設健全性評価委員会及び 4 つのワーキンググループにおいて平成 19 年 12 月から審議がなされている。本技術書では、これらの審議に用いられた資料及び電力共通研究の成果を本文や解説に対する具体的な事例として取りまとめた。事例内に記載されている評価等の内容については出典資料のままであり、活断層評価部会において修正などはしていない。また、耐震バックチェックにおいて審議中のものも事例としては取り上げているため、今後の審議の進展によっては事例内に記載されている評価等が変更される可能性もある。

平成 23 年 3 月 11 日に東北地方を襲った地震は、従来の想定をはるかに超えた巨大な地震・津波が未曾有の被害をもたらした。また、この地震により広範囲に亘って応力場の変化が生じ、これまで地震活動がほとんど観測されていない地域で地震活動が活発になり、同年 4 月 11 日の福島県浜通りの地震では、従来、活動的ではないと考えられていた湯ノ岳断層に沿って明瞭な地表地震断層が現れた。これを機に原子力安全委員会に地震・津波関連指針等検討小委員会が新たに設置され、**耐震設計審査指針**及び関連指針類に反映させるべき事項について検討がなされている。また、原子力安全・保安院では、地震・津波の解析結果の評価に関する意見聴取会において、今回の地震に関する新たな科学的・技術的知見について耐震安全性評価に対する反映方針の検討がなされている。その他各機関においても地震及び津波の想定方法等について研究が進められているところである。

このように、指針類の改訂作業がなされている最中、本来なら、この改訂を踏まえるべ

きであるが、各機関において検討の途上であり今後も継続して研究が進められることから、本技術書では、現時点での経験や知見を取りまとめることとし、原則としてこれまでの耐震バックチェックにおける事例等を基に作成した。

2. 用語の定義

(1) 活断層

「耐震設計審査指針」においては、『活断層』とは最近の地質時代に繰り返し活動し、将来も活動する可能性のある断層をいうとしており、『耐震設計上考慮する活断層』は、最終間氷期の地層又は地形面に断層による変位・変形が認められるか否かを認定した上で、後期更新世以降の活動が否定できないものとしている。本技術書においてもこの定義及び認定に従うこととする。

(2) 変動地形

地殻変動に起因する特徴的な地形。地形の切断・屈曲、撓曲、傾動・逆傾斜等として確認される。組織地形（地質構造を反映した浸食等による地形）の対義語。なお、広くは、隆起や沈降などの地殻変動によって形成された、山脈、高原、盆地、平野、海溝、海嶺などの大きな起伏も変動地形と呼ぶこともある。（JEAG4601-2008）

(3) 活断層の疑いのある地形

変動地形学的調査によって判読される、リニアメントなどの断層運動に起因する可能性がある地形を、本技術書では「活断層の疑いのある地形」と呼ぶ。ただし、事例等で、「活断層の疑いのある地形」と同義でリニアメントと記載されているものについては、修正せずにそのまま掲載してある。

なお、リニアメントとは、地形図や空中写真等において判読される、直線あるいはゆるやかな弧状に配列する地形的な特徴であり、地殻変動に起因するもののほか、既に活動が終息した断層、地質構造、堆積構造などを反映したものがある。

(4) 最終間氷期

過去数百万年でより温暖な時期の間氷期うち、後氷期（完新世）を除く最新の時代で、海洋酸素同位体ステージ（MIS）5と同義。MIS 5は約7万1千年前から約13万年前とされる。（年代はLisiecki and Raymo（2005）による）

(5) 後期更新世

前期・中期・後期と三分される更新世のうち、最も新しい時代で、12万6千年前から1万1千7百年前までの地質年代のこと。（年代は日本第四紀学会HPによる）

(6) 活褶曲・活撓曲

層状の地層が連続的に波状に変形する構造を褶曲と呼び、厚く重なった地層の一部が連続したまま屈曲する現象を撓曲と呼ぶ。その内最近の時代から将来にかけて変動が継続する可能性があるものを活褶曲・活撓曲と呼ぶ。（JEAG4601-2008）

(7) 震源断層

地震の震源となる断層。地表付近で認められる活断層に対して、地震発生深度に達する地下空間において2次的に広がる断層面を有するもの。

(8) 起震断層

まとまって1つの地震を発生させる可能性が高い近接する活断層のグループ。

(9) 活動セグメント

活断層を，過去の活動時期，平均変位速度，平均活動間隔，変位の向きなどに基づいて区分した断層区間のこと。Behavioral segmentと同義。

(10) アスペリティ

震源断層面のうち，通常は強く固着していて，あるとき急激にずれて強い地震波を出す領域。

3. 調査の計画と実施

3. 1 全体計画

「耐震設計審査指針」、「安全審査手引き」及び「海上音波探査安全審査要領」の要求を満たすように調査を計画し実施する。

調査目的は、敷地周辺の地質・地質構造、広域テクトニクス、更に基準地震動策定における耐震設計上考慮する活断層の位置、長さ、形状、活動性などの把握であり、調査計画は、検討対象とする活断層を見逃すことがないように策定することが重要である。

調査範囲は、敷地周辺 30km 程度、敷地近傍 5km 程度を目安として設定し、調査範囲の広さに応じて、得られる成果品の精度・縮尺等を予め規定しておくことが必要である。

また、文献等で指摘されている活断層等が敷地へ与える影響が大きいと想定される場合には、30km 以遠についても調査対象とする。

調査手法は、調査地域の地質・地質構造、地震活動の性質及びテクトニクスの背景を踏まえ、変動地形学、地質学、地球物理学的手法等を適切に組み合わせる。

調査計画の策定に当っては、個々の調査結果・評価が他の調査項目と密接に関連することから、調査・評価の全体の流れを十分検討するとともに、必要に応じて調査計画の見直しを行う。本技術書における調査及び評価の流れを図 3-1 に示す。

〔解説〕

文献活断層の中には、空中写真判読では地形要素が認められない、地質学的な根拠がない等の認定根拠が明確でない活断層がある場合があるが、その際にも、重要な活断層を見逃すことがないようにとの観点から、必要に応じて調査を実施するなど、慎重な調査計画の策定と実施及び評価が必要である。

活断層の長さや活動性の評価を行う際に、必要に応じてボーリング調査、トレンチ調査、物理探査等を実施する。特に以下の場合においては、詳細な調査が必要となる。

- ① 変動地形学的調査及び地表踏査で地表において活断層の一部が認められ、その延長への連続が想定されるが、厚い完新統や風化岩が分布する等のために必要な資料を十分に取得できない場合
- ② 活断層の疑いのある地形が個々には短いか又は不明瞭であっても、断続や雁行による連続が想定され、規模や活動性に関する資料が得られない場合
- ③ 活断層の疑いのある地形に対応して顕著な重力異常や微小地震が認められる場合

また、調査範囲については、敷地周辺 30km 程度、敷地近傍 5km 程度を目安とするが、敷地へ与える影響が大きいと想定される場合には 30km 以遠についても調査対象とし、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震で得られた知見等、関連する新知見に留意して調査範囲を設定する必要がある。

なお、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震では、海洋プレート内地震が観測された。海洋プレート内地震は海溝の陸側から見て外側で起きるため地震動による影響は比較的小さいが津波の波源として考慮が必要な場合がある。また、海底地すべりが津波をもたらすとの指摘もある。本技術書は、津波波源のための活断層等の調査においても参考となるが、海底地すべりの調査やより遠方の活断層の調査が必要となる場合があるなど留意が必要である。

3. 調査の計画及び実施

3.1 全体計画

検討対象とする活断層を見逃すことが無いよう、また、活断層の位置、形状、活動性等が把握できるよう、調査計画を策定する。調査範囲は、敷地周辺30km程度、敷地近傍5km程度を目安として設定する。調査手法は、調査地域の地質・地質構造、地震活動の性質及びテクトニクスの背景を踏まえ、地形学、地質学、地球物理学的手法等を適切に組み合わせる。

3.2 文献調査

敷地周辺及び敷地近傍の地形、地質、地質構造及び地震活動の状況又はテクトニクスの背景を明らかにする。

3.3 変動地形学的調査

変動地形学的視点により、活断層等の存在を判断する活断層の疑いのある地形を抽出し、抽出した活断層等の活動性等についても検討する。

3.4 地質地質調査

概査により調査範囲内の地質・地質構造を把握し、精査により文献調査や変動地形学的調査による活断層の疑いのある地形・地質構造について、断層・褶曲の存在、位置、性状及び活動性を明らかにする。

3.5 海城調査

敷地周辺海域の海底地形、地質層序、地層分布、地質構造等を解明し、活断層の位置、形状、活動性等を明らかにする。

3.6 物理探査

断層の地下構造及び褶曲等の広域的な地下構造を明らかにする。

7. プレート間地震に関する調査

歴史記録等を検討する必要があるが、歴史記録が存在しない場合でも、古地震学的調査、考古学的調査、敷地周辺の海成段丘の分布や津波堆積物等の資料について検討する。震源領域の最大規模の運動を適切に設定する。

- 過去の地震
- プレート間及び海洋プレート内で発生する地震
- 敷地周辺の中・小・微小地震
- その他地球物理的な知見

- 検討用地震の選定
- 地震動評価及び基準地震動Ss応答スペクトル
- 基準地震動Ss地震波形

(本技術書の対象外)

敷地への影響

小

大

その他の活断層

4. 調査結果の解釈

4.1 地質層序区分

調査範囲内に分布する地層を区分し、各層の水平方向及び鉛直方向の分布・連続性について検討するとともに、それらの地層の構成岩種、岩相、層序及び地質時代について検討する。

4.2 陸域における詳細検討を行う断層の抽出

活断層の疑いのある地形をすべて抽出する。詳細検討を行う断層を抽出する際には、敷地への影響等を動案して、適切に選定する。

4.3 海城における断層の認定

海上音波探査記録上の反射面に断層運動を示す変位・変形の累積が認められるか否かを判断する。

陸海の地質・地質構造の対比・連続性の確認

4.4 断層の活動性の解釈

後期更新世以降の活動が否定できない断層を耐震設計上考慮すべき活断層とする。その認定に当たっては、最終留水期若しくはそれ以前の地層または地形面に断層による変位・変形が認められるか否かによって判断することができる。適当な地層等が存在しない場合には、近傍の地形・地質の状況等によって評価することもできる。

活断層を否定する明確な根拠

Yes

No

活断層ではない

5. 活断層評価

5.1 考慮すべき活断層の長さの評価

活断層長さは、地表あるいは地下浅部に存在する活断層の分布等を基に評価する。必要に応じて、微小地震の活動等地球物理学的知見を参考に評価する。長大な活断層あるいは複数の活断層が距離に連続して分布する場合には、セグメント区分等を考慮して、起震断層を設定し考慮すべき断層の長さを決定する。

5.2 断層モデルの/パラメータの設定

調査結果に基づき、断層モデルのパラメータ設定に資するデータの整備を行う。活断層調査から設定することができるパラメータとしては、すべり角、断層面の傾斜角、アスペリティの位置等が挙げられるが、一義的に決定できない場合がある。パラメータは、断層周辺の地質構造や広域応力場との整合性が考慮される必要がある。

6. 調査の信頼性及び調査結果の表示様式

図表等の資料作成にあたっては、調査の信頼性を十分説明できるように詳細に検討を行い、必要と得られた成果について詳細に検討を行う。また、調査の過程において新知見等が得られた場合には、再評価の必要性について検討を行う。

図 3-1 : 本技術書の活断層調査及び評価の流れ

3. 2 文献調査

文献調査は、敷地周辺及び敷地近傍の地形、地質・地質構造及び地震活動の状況又はテクトニクス的背景を明らかにし、引き続き実施される変動地形学的調査、地表地質調査、海域調査及び物理探査において検討対象とする活構造（活断層、活褶曲、活撓曲）の存在、活動履歴、地震発生様式などを抽出することを目的とする。

調査範囲は、敷地中心から概ね 100km 以内を対象とするが、遠方の長大活断層又は規模の大きな地震等による敷地への影響が考えられる場合には、それらを含む地域についても文献調査の対象とする。

収集対象とする文献は、地形（特に、変動地形）、地質・地質構造（特に、活断層等）、過去の地震（歴史地震及び微小地震活動の状況）、津波、GPS 等の測地資料、地球物理学的調査研究（重力、磁気など）に関する資料とし、個々の内容に応じて整理する。

〔解説〕

対象とする文献・資料は、学術雑誌に掲載の文献、公刊の地形図・地質図類のほかに、他機関が保有する音波探査、重力探査、磁気探査等の記録・データも対象とする。なお、他機関が保有する記録・データについては、その目的・仕様などに十分留意して解析等を行うことが重要である。

また、収集に当たっては、その対象を幅広く計画しておくことが望ましく、必要に応じて道路・トンネル・鉄道などの公共構築物建設に係る調査及び工事記録あるいはその他未公開資料なども収集の対象として検討する。

更に、以後の各種調査が進み結果が纏まった段階においても、常に最新の文献・知見の収集に努め、必要に応じて、それらに基づいた調査結果の再評価の必要性を検討する。

[事例]

収集文献の例（1）：全国規模で取り纏められた資料

- ① 活断層研究会編（1991）：「[新編] 日本の活断層」分布図と資料
- ② 小池・町田編（2001）：日本の海成段丘アトラス
- ③ 池田ほか編（2002）：第四紀逆断層アトラス
- ④ 中田・今泉編（2002）：活断層詳細デジタルマップ
- ⑤ 海域地質構造マップワーキンググループ（2001）：日本海周辺海域中新世最末期以降の構造発達史
- ⑥ 地震調査研究推進本部資料
- ⑦ 宇佐美龍夫（2003）：最新版 日本被害地震総覧 「416」－2001
- ⑧ 渡辺偉夫（1998）：日本被害津波総覧 第2版
- ⑨ 佐藤良輔 他 編著（1989）：日本の地震断層パラメーター・ハンドブック
など

収集文献の例（2）：地域ごとの資料

- ① 地質調査所又は地質調査総合センター：地域地質研究（5万分の1地質図幅）
- ② 東京大学出版会：日本の地形
- ③ 各都道府県：各県の地質図及び説明書
- ④ 海上保安庁：20万分の1海底地形図及び海底地質構造図
- ⑤ 地質調査所：20万分の1海洋地質図
- ⑥ 国土地理院：10万分の1沿岸広域地形図及び土地条件図
- ⑦ 海上保安庁：5万分の1沿岸の海の基本図
- ⑧ 地質調査所：地域重力図
- ⑨ 地質調査所：50万分の1活構造図
- ⑩ 国土地理院：都市圏活断層図
など

収集文献の例（3）：個別地域の地形・活断層に関する資料・学術誌

- ① 第四紀研究
- ② 活断層研究
- ③ 地震
- ④ 地質学雑誌
- ⑤ 地球科学
- ⑥ 地理学評論
など

3. 3 変動地形学的調査

変動地形学的調査は、変動地形学的視点により、活断層等の存在を判断する活断層の疑いのある地形を抽出することと、抽出した活断層等の活動性等について検討することを主な目的とする。

調査範囲は、「3. 1 全体計画」に記載のとおりとする。

調査手法については、段丘面等の地形面を抽出し分類するとともに、活断層等の存在を判断する活断層の疑いのある地形を抽出するために、空中写真や地形図等を用いて空中写真判読等を行うのが一般的である。また、空中写真判読等だけでは認定の難しい微地形については、必要に応じて、現地測量や航空レーザ測量等の最新技術を用いるのがよい。

〔解説〕

変動地形学的視点とは、地形発達過程及び地形の成因の考察に基づき、広範囲にわたる段丘面等の地形面の変位・変形、並行する河川の系統的な屈曲といった、変動地形に関する多くの指標を手掛かりとして、活断層等の存在の可能性を検討することである。また、地形面の特徴や活断層の疑いのある地形の性状などの一定の指標に基づいて、活断層の疑いのある地形を全て抽出することが重要である。

活断層の疑いのある地形の認定に当たっては、次に示す各事項の内容に留意して基準を作成し、検討することが望ましい【事例3. 3-1】。

- ① 段丘面などの地形面上と山地・丘陵地内とに分けて、崖・撓み・その他の高度不連続などの断層の縦ずれ変位に起因する地形と、崖や尾根・谷の屈曲などの断層の横ずれ変位に起因する地形とについてそれぞれ基準を示していること。
- ② 断層変位に伴う地形の切断・屈曲だけでなく、撓曲、傾動、逆傾斜などのように地表に断層変位を示さないものも抽出対象としていること。
- ③ 活断層の疑いのある地形は、明瞭だけでなく、連続性、地形要素の構成などに着目していること。
- ④ 地殻変動に起因するものであることの可能性の低いものまでもれなく含むこと。

調査範囲は、抽出した活断層等の存在を判断する活断層の疑いのある地形の周辺だけでなく、段丘面等に現れている広域的な変形も検討対象とする。

広域的な変形とは、沖積面や段丘面、斜面等の地形面の変形（撓曲、傾動、波状変形）、段丘面から復元される過去の河床縦断面の変形、海成段丘面・旧汀線の高度変化及び堆積物に現れている撓曲構造等の幅数十メートル～数十キロメートルにわたる変位・変形をいい、これらに着目して検討する必要がある【事例3. 3-2】。また、地域によっては、海岸付近の離水ベンチ、ノッチ等の分布及び海棲生物（カキ、ヤッコカンザシ等）の分布高度に着目したり、広域的な応力場の把握、隆起・沈降傾向の把握も必要である【事例3. 3-3】。特に段丘面が示す旧汀線高度分布の把握は、広域的な変形の認定に重要であり、同一編年の段丘面上における明瞭な旧汀線等、同じような条件のポイントで高度を算定して比較することが重要である。

変動地形学的調査から、地形面あるいは地形要素の成因が特定できない場合には、地表

地質調査の実施についても必要により検討する。

使用する空中写真は、適切な撮影時期の写真を選定することが重要である。特に、地形改変が進んでいる地域では改変前に撮影された写真を使用するのがよい。

使用する空中写真の縮尺の選定も重要である。例えば、小縮尺の空中写真を用いて広域的な地形を概観した上で、大縮尺の空中写真を用いれば、小縮尺の空中写真で見落とされていた微地形が確認できる場合もある。更に、航空レーザ測量による詳細な検討により、微地形の成因を特定できる場合もある。また、植生の影響のため空中写真等では判読できないより微小な地形面についても、航空レーザ測量が有効な場合がある。

ただし、航空レーザ測量による詳細地形データに基づく検討に当たっては、下記について留意する必要がある。

- ① 航空レーザ測量の計画に当たっては、目的や調査対象の地形等に応じて測量範囲、メッシュの大きさ、実施時期等を適切に選定する必要がある【事例3. 3-4, 5】。
- ② 航空レーザ測量の信頼性に関しては、ノイズや樹木、建物等を取り除く作業を行った結果得られた数値標高モデル（DEM）データについて、十分な測点が得られていることの検証が必要である【事例3. 3-6】。
- ③ 地形の改変が進んでいる場所では、本来の地形を確認できない可能性が高く、地形改変前の空中写真に基づいて図化した地形図を用いたほうが有効な場合がある【事例3. 3-7】。

空中写真判読等に用いる主な資料として、以下のものがある。

陸域については、

- ① 国土地理院、日本林業技術協会、米軍で撮影された空中写真及び事業者で撮影した空中写真（縮尺4万分の1、2万分の1、1万分の1等）
- ② 国土地理院発行の地形図及び国土基本図、地方自治体発行の森林基本図、都市計画図等
- ③ 航空レーザ測量による高解像度の地形データに基づく等高線図及び立体地図等【事例3. 3-8～10】

海域については、

- ① 音響測深法（マルチビーム、シングルビーム）による地形データに基づく海底地形図（「3. 5 海域調査」参照）

変動地形学的調査結果（地形調査結果を含む）の表示方法として、以下のものがある。

- ① 活断層の疑いのある地形の分布図、空中写真判読図等
- ② 段丘面分布図、段丘面高度分布図等
- ③ 航空レーザ測量により取得した詳細データに基づく段彩図、陰影図、鳥瞰図、立体地図、傾斜区分図等

〔事例〕

【事例3. 3-1：空中写真判読の基準事例】

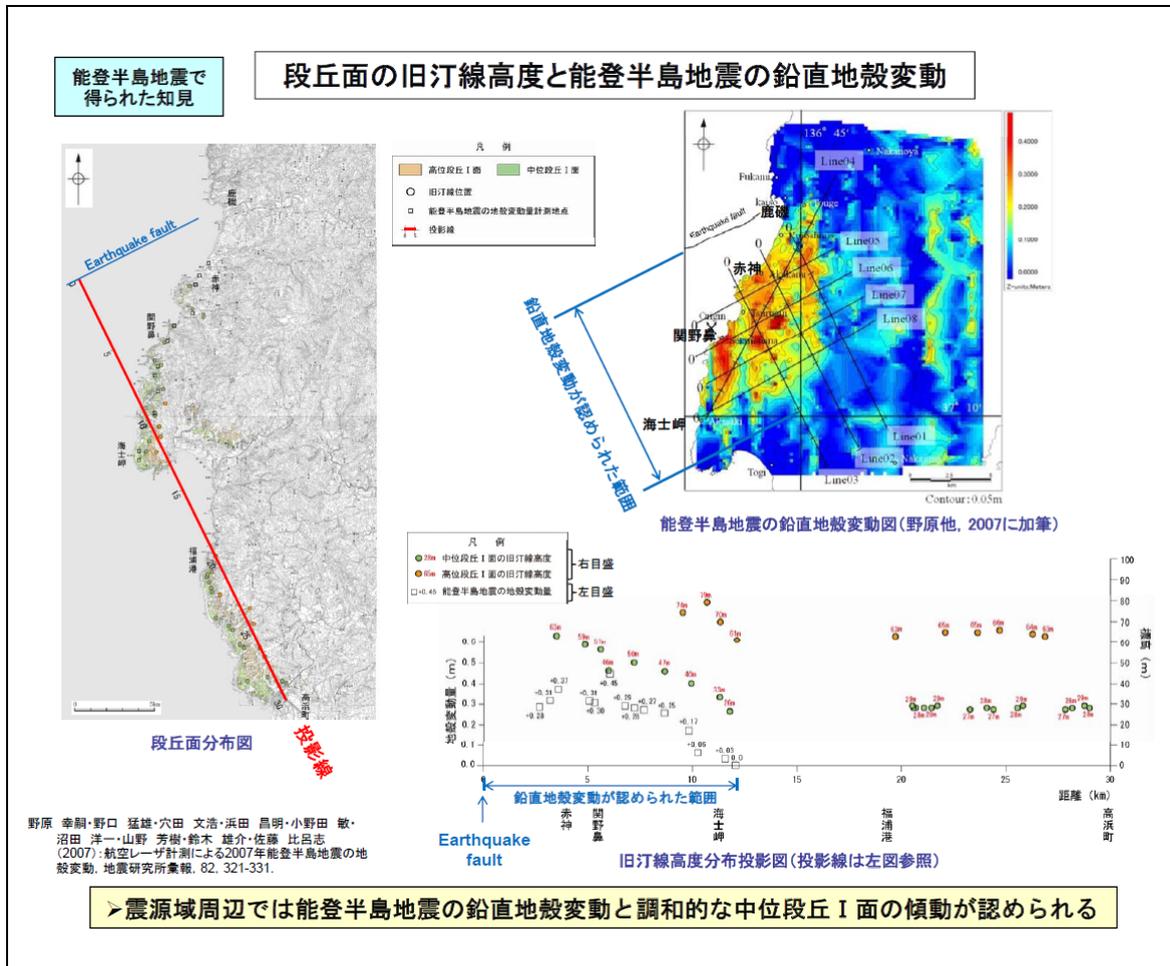
空中写真によって判読された活断層の疑いのある地形については、地形形態、基準地形、比高等を整理するとともに、地形的特長、連続性、明瞭さ等の要素から、表に示す判読基準に基づき、変位地形の可能性の高いものから、L_A、L_B、L_C、L_Dの4ランクに区分している。

(2) 変動地形的調査〔空中写真判読基準〕				
リニアメント ¹⁾ のランク	山地・丘陵内		段丘面、扇状地等の平坦面上	
	崖・鞍部等	尾根・水系の屈曲	崖・溝状凹地等	撓み・傾斜面
<p>L_A 変位地形と認定できる数多くの地形要素が認められ、他の成因による可能性が否定でき、かつ、新しい基準地形に累積的な不連続が認められ、その位置が確実に認定できるもの</p>	<p>新鮮な崖、鞍部等の連続の良い直線状ないし弧状の配列からなり、連続区間が長く、両側の地形形態が類似し、一様な高度差が認められ、かつ、延長上の段丘面に同方向の崖が認められるもの。</p>	<p>尾根・水系が長い区間で同方向に屈曲し、かつ、 (1)屈曲は鮮明であり、河川の規模と屈曲量との相関。 あるいは、 (2)閉塞丘、風隙等の特異地形。のいずれかが認められるもの。</p>	<p>崖、溝状凹地等の連続の良い配列からなり、方向が水系の側方方向と異なり、延長が長く、かつ、 (1)時代の異なる複数の段丘面に連続し、古い段丘面ほど比高が大きい。 (2)崖面が山地・丘陵側に向き、段丘面の傾斜方向とは逆向きを示す。 (3)山地・丘陵内の明瞭な崖、鞍部等に連続する。のいずれかが認められるもの。</p>	<p>a. 撓み状の形態が鮮明であり、その量が多いもの。 b. 平坦面の傾斜角が大きいもの。 上記a、bのうち、量や傾斜角に累積性があり、かつ、延長が長いもの。</p>
<p>L_B 変位地形と認定できる地形要素及び新しい基準地形に不連続が認められるものの、位置に不確実さがあるもの、あるいは、変位地形として認定できる地形要素がやや少なく、その他の成因によるものである可能性が若干残るもの</p>	<p>崖、鞍部等の連続の良い直線状ないし弧状の配列からなり、連続区間が長く、両側の地形形態が類似し、一様な高度差が認められ、かつ (1)地形形態は鮮明であるもの。 あるいは、 (2)地形形態はやや不鮮明であるが、延長上の段丘面に同方向の崖が認められるもの。</p>	<p>尾根・水系が同方向に屈曲し、屈曲は鮮明であり、かつ、 (1)連続区間は長い、河川の規模と屈曲量との相関、あるいは、閉塞丘、風隙等の特異な地形のいずれも認められないもの。 あるいは、 (2)連続区間は短い、河川の規模と屈曲量との相関があり、閉塞丘、風隙等の特異な地形が認められるもの。</p>	<p>崖、溝状凹地等の連続の良い配列からなり、延長は短い方向が水系の側方方向と異なるもの、あるいは、方向が水系の側方方向であるが延長が長いものうち、 (1)時代の異なる複数の段丘面に連続し、古い段丘面ほど比高が大きい。 (2)崖面が山地・丘陵側に向き段丘面の傾斜方向とは逆向きを示す。 (3)山地・丘陵内の明瞭な崖、鞍部等に連続する。のいずれかが認められるもの。</p>	<p>上記a、bのうち、延長は短い、量や傾斜角に累積性があり、段丘面の傾斜方向とは逆向きであるもの、あるいは、累積性は認められないが、延長の長いもの。 撓み状の形態が鮮明であり、その量が小さいが、延長が長く、傾斜方向が段丘面の傾斜方向とは逆向きであるもの。</p>
<p>L_C 変位地形と認定できる地形要素が認められるが、リニアメントの両側の基準地形が同一であるか否かの認定に不確実さがあり、その他の成因によるものである可能性があるもの、あるいは、比較的大きな不連続が認められるもの、新しい地形面での変位が不明瞭なもの</p>	<p>崖、鞍部等の直線状ないし弧状の配列からなり、両側で一様な高度差があるが、地形形態は一部で不鮮明、不連続か、あるいは、延長上の段丘面に崖が認められないもの。</p>	<p>尾根・水系が同方向に屈曲し、かつ、 (1)連続区間は長い、かつ、屈曲は不鮮明であり、屈曲量も小さく、河川の規模と屈曲量との相関が認められないもの。 あるいは、 (2)連続区間は短い、かつ、屈曲は鮮明であり、河川の規模と屈曲量との相関が認められるもの。</p>	<p>崖、溝状凹地等の配列からなり、かつ、 (1)方向が水系の側方方向とやや異なり、時代の異なる複数の段丘面に連続するが、延長が短いもの。 あるいは、 (2)方向が水系の側方方向であるが、延長が長いもの。</p>	<p>撓み状の形態が鮮明なもののうち、上記以外のもの。 撓み状の形態が不鮮明であり、平坦面の傾斜角も小さいが、延長が長いもの、あるいは、延長が短い段丘面の傾斜方向とは逆向きであるもの。</p>
<p>L_D 基準地形が古く、リニアメントをなす地形がやや開断が混在しているもの、あるいは、新しい基準地形面に認められるものの、延長が短い、その比高や屈曲量が少ないため、変位地形かその他の成因によるものか識別が困難なもの</p>	<p>崖、鞍部等の直線状ないし弧状の配列からなるが、連続が断片的か、あるいは、地形形態が不鮮明であり、両側の高度差が一様ではないもの。</p>	<p>尾根・水系が同方向に屈曲しているが、連続区間が短く、屈曲が不鮮明であり、屈曲量が小さいもの。</p>	<p>崖、溝状凹地等の配列からなるが、延長が短いもの。</p>	<p>撓み状の形態が不鮮明なもの及び平坦面の傾斜角が小さいものうち、上記以外のもの。</p>

1)リニアメント：変位地形及びその可能性のある地形
2)変位地形：活断層や傾動等の地殻変動に起因した変動地形

【事例3. 3-2: 海成段丘の旧汀線高度分布による検討事例】

地震による地殻変動と海成段丘面の旧汀線高度変化との関係について検討を行っている。



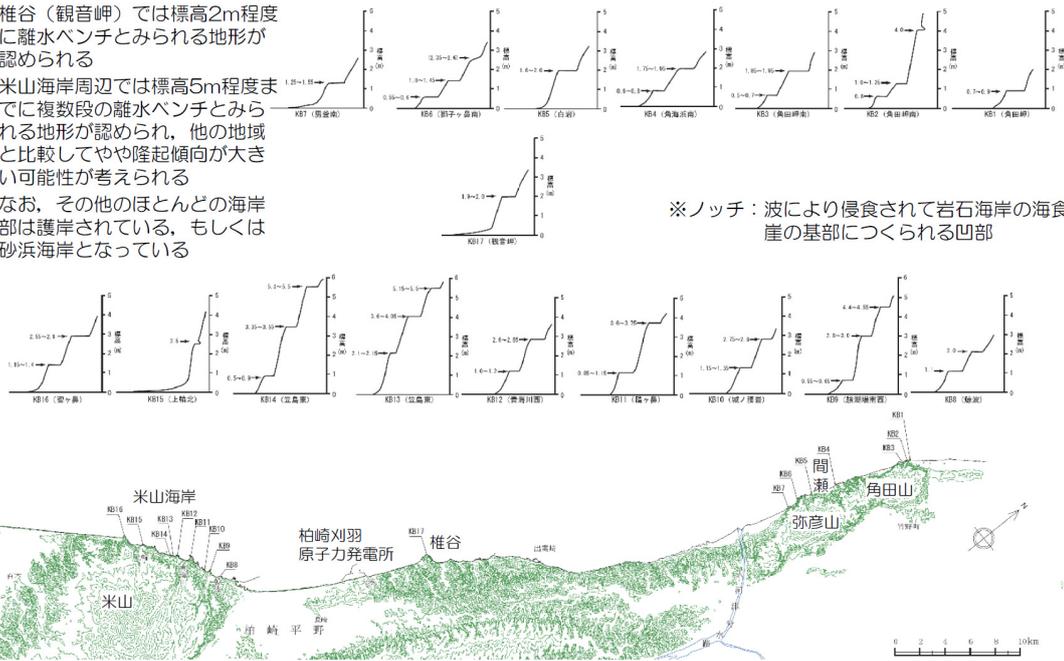
原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ2 (第5回)
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_05/siryu2.pdf

【事例3. 3-3: 離水ベンチ・ノッチによる検討事例】

敷地周辺の離水ベンチとみられる地形について、分布標高や段数から隆起傾向の違いを調査している。

離水ベンチ・ノッチの分布と標高

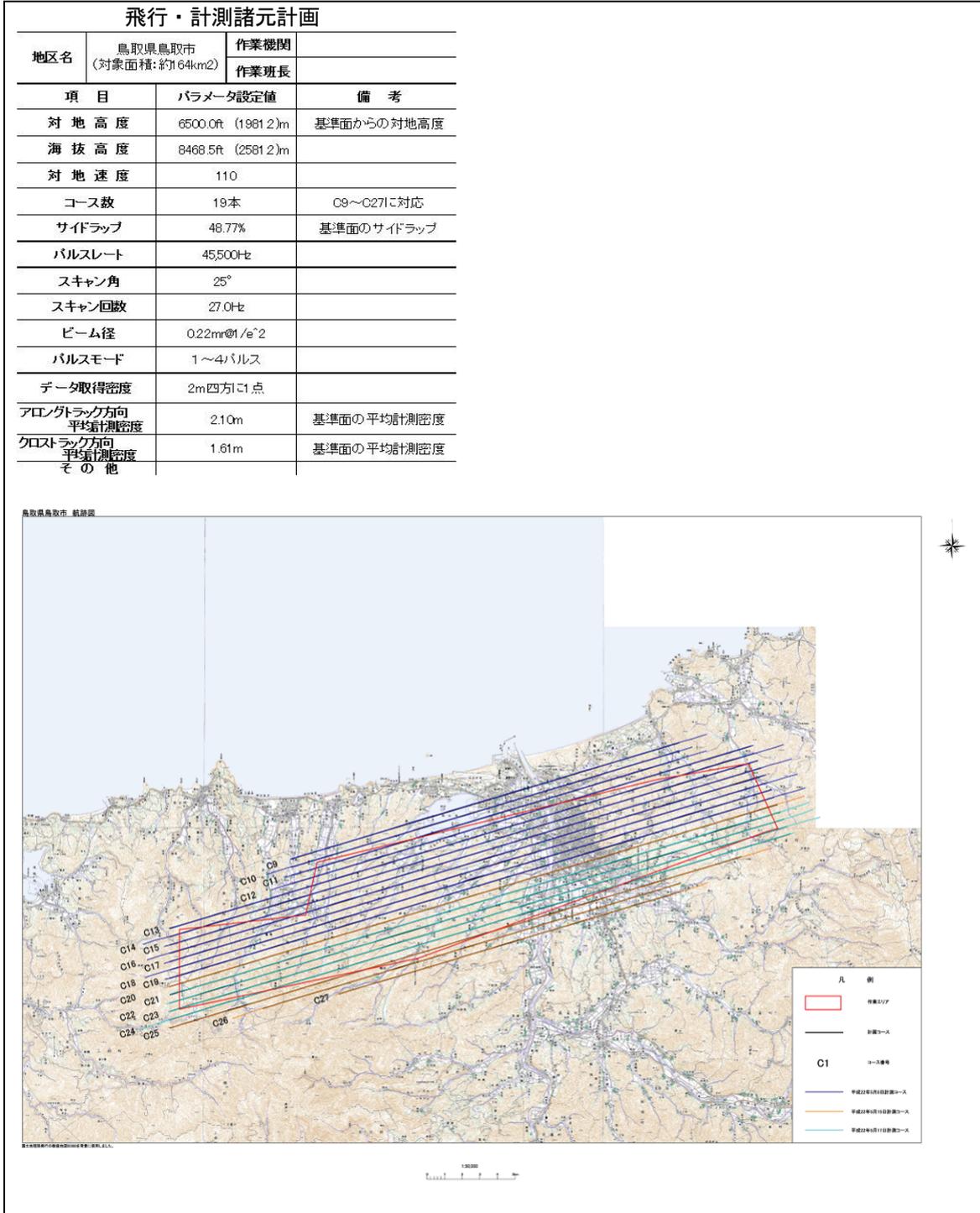
- 間瀬（角田山・弥彦山）周辺では標高1m~2m付近に離水ベンチとみられる地形が、角田岬では標高4m付近にノッチ※とみられる凹部が認められる
- 椎谷（観音岬）では標高2m程度に離水ベンチとみられる地形が認められる
- 米山海岸周辺では標高5m程度までに複数段の離水ベンチとみられる地形が認められ、他の地域と比較してやや隆起傾向が大きい可能性が考えられる
- なお、その他のほとんどの海岸部は護岸されている、もしくは砂浜海岸となっている



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ（第19回）
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/019/19-2-1.pdf>

【事例3. 3-4：航空レーザ測量の仕様例1（航空機編）】

航空レーザ測量を行う時には、事前にその目的に沿った諸元を計画する必要がある。以下の事例は、1943年鳥取地震震源域においてセスナ機によって航空レーザ測量を行った際の計画である。広域の地形判読図を作成するなどの目的では、2mDEMを作成しうる以下の諸元程度が望ましい。

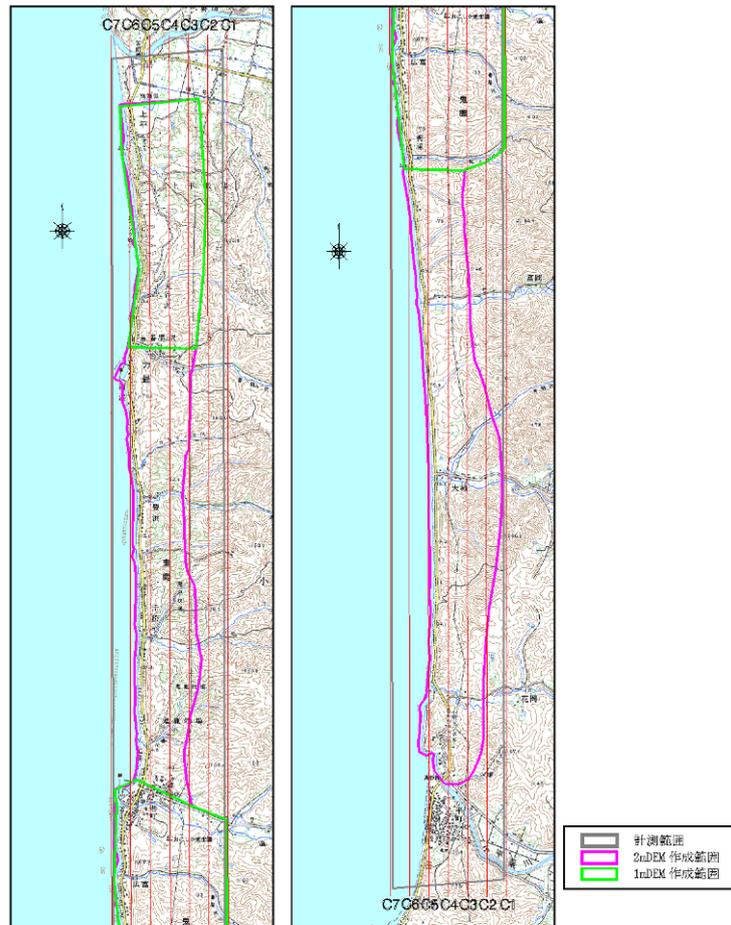


【事例3. 3-5：航空レーザ測量の仕様例2（ヘリコプター編）】

航空レーザ測量を行う時には、事前にその目的に沿った諸元を計画する必要がある。以下の事例は、2004年留萌支庁南部の地震震源域においてヘリコプターによって航空レーザ測量を行った際の計画である。段丘面の傾動や逆向き低崖の形状など、詳細な地形図が必要な場合には、1mDEMを作成する以下の諸元程度が望ましい。

表1 航空レーザ計測 計測諸元

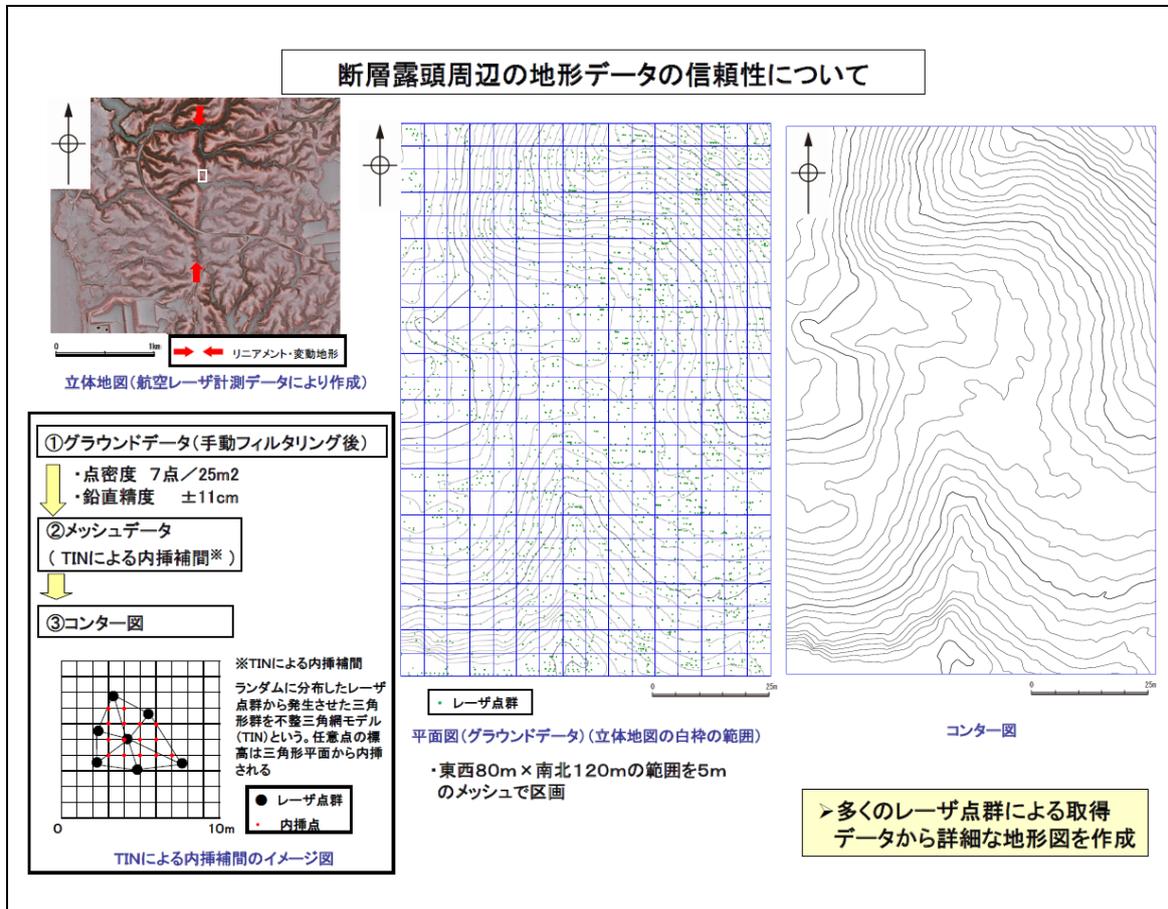
項目	パラメータ設定値
対地高度	600m
海拔高度	600m
対地速度	約100km/h
コース数	6本
コース間重複	50%
パルスレート	50,000Hz
スキャン角度	±30°
スキャン回数	39Hz
ビーム径	0.5mrad
パルスモード	波形記録方式
飛行方向計測点間隔	0.74m
飛行直角方向計測点間隔	0.71m



航空レーザ計測計画コース図

【事例3. 3-6：航空レーザ測量から作成したデータ精度の確認事例】

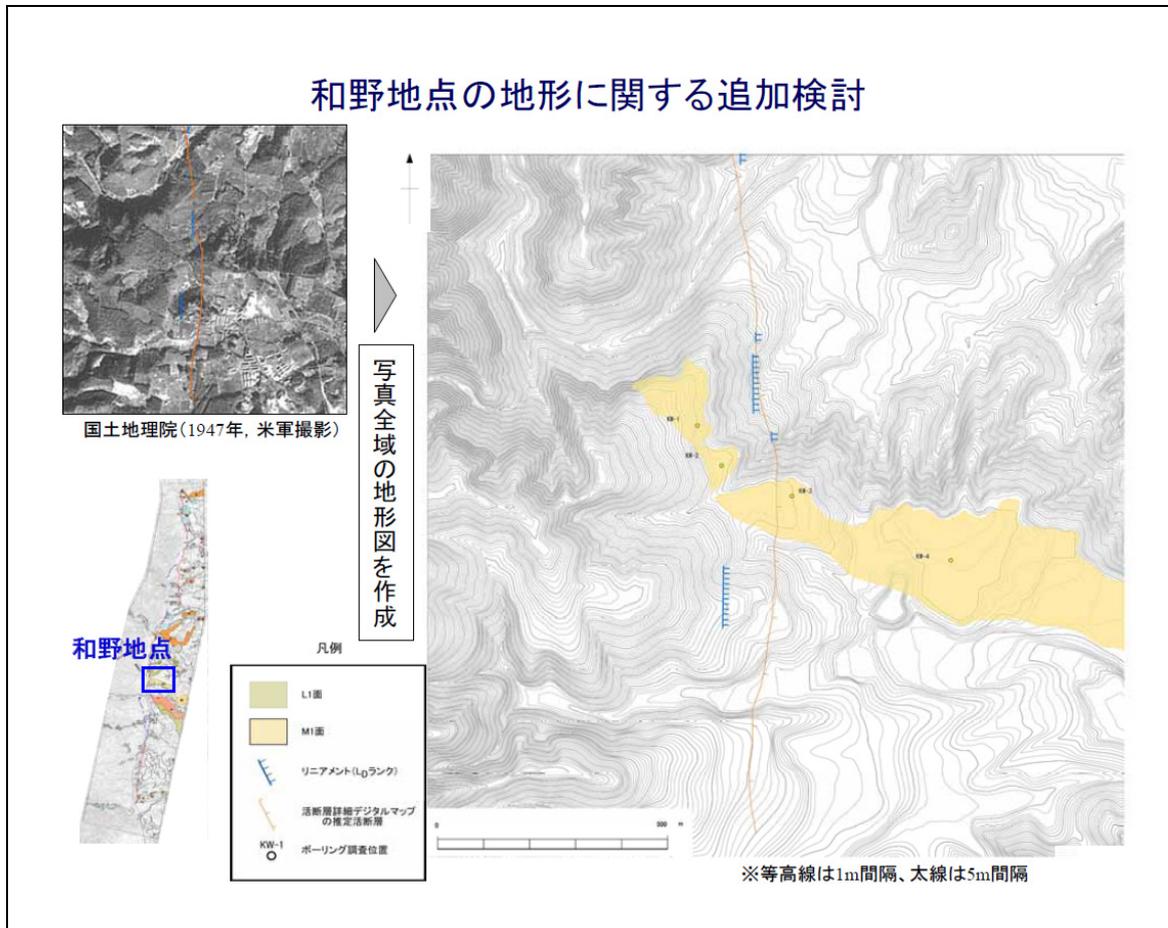
航空レーザ測量による地形データについて、数値標高モデル（DEM）の作成に用いたグランドデータを示し、データ精度の確認を行っている。



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ2 (第4回)
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_08/siryo2-7.pdf

【事例3. 3-7: 空中写真による図化の事例】

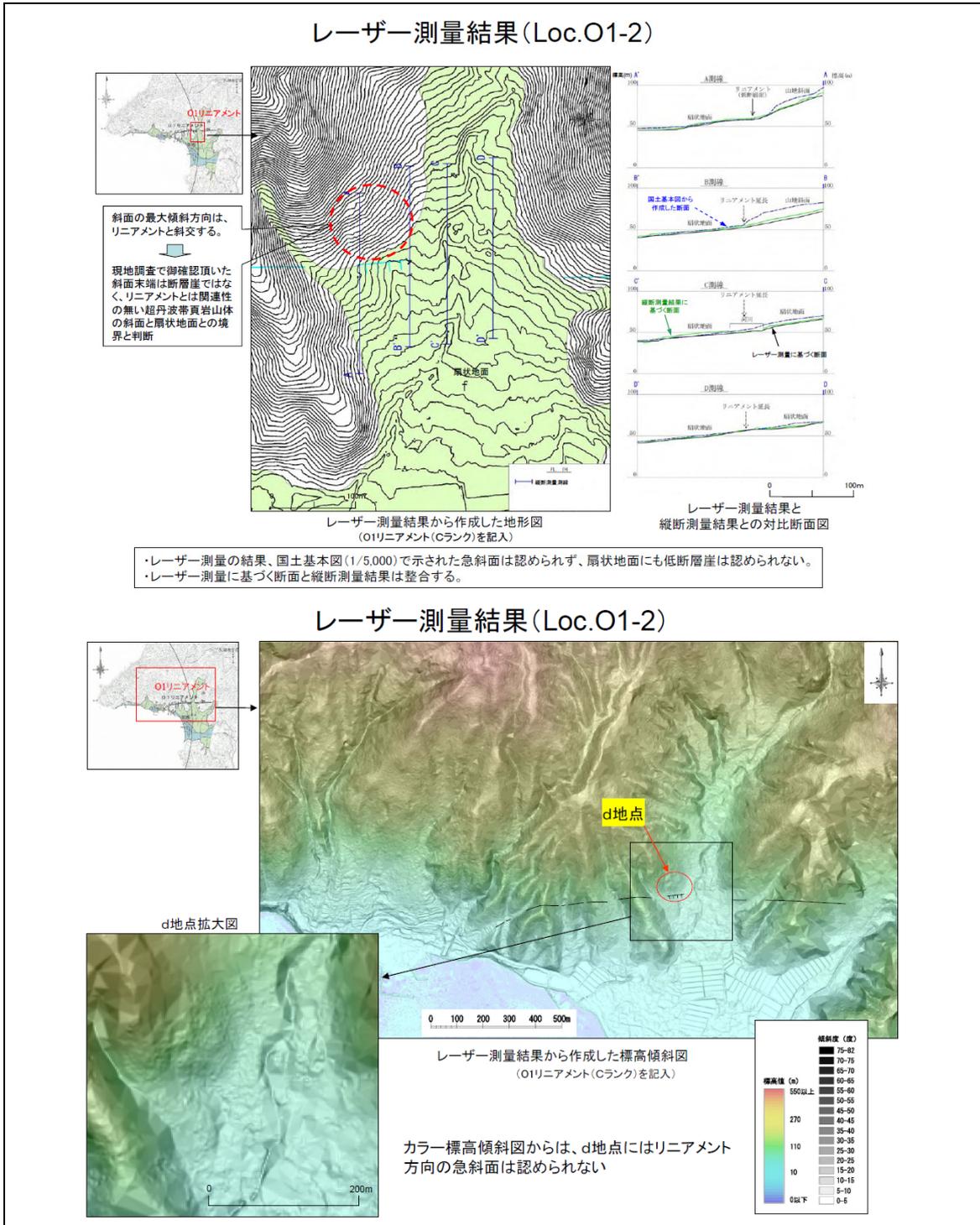
人工改変前の国土地理院の空中写真から地形図 (DEM) を作成している。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会
地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループAサブグループ (第27回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/1/027/27-2-1-1.pdf>

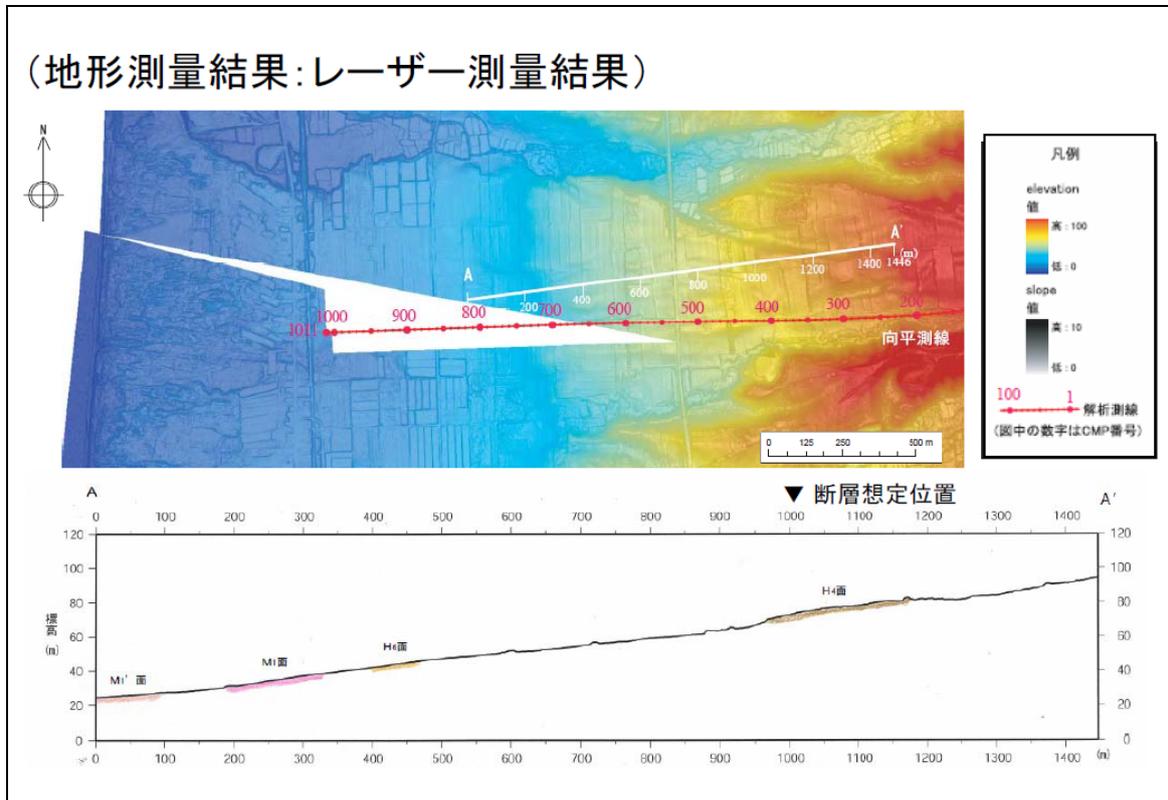
【事例3. 3-8：航空レーザ測量による検討事例1】

航空レーザ測量結果に基づき詳細な地形図を作成することができる。また、任意の区間について正確な地形断面図を作成することが可能となる。これにより、国土基本図では確認できないような、より詳細で正確な地形に関する検討が可能となる。



【事例3. 3-9：航空レーザ測量による検討事例2】

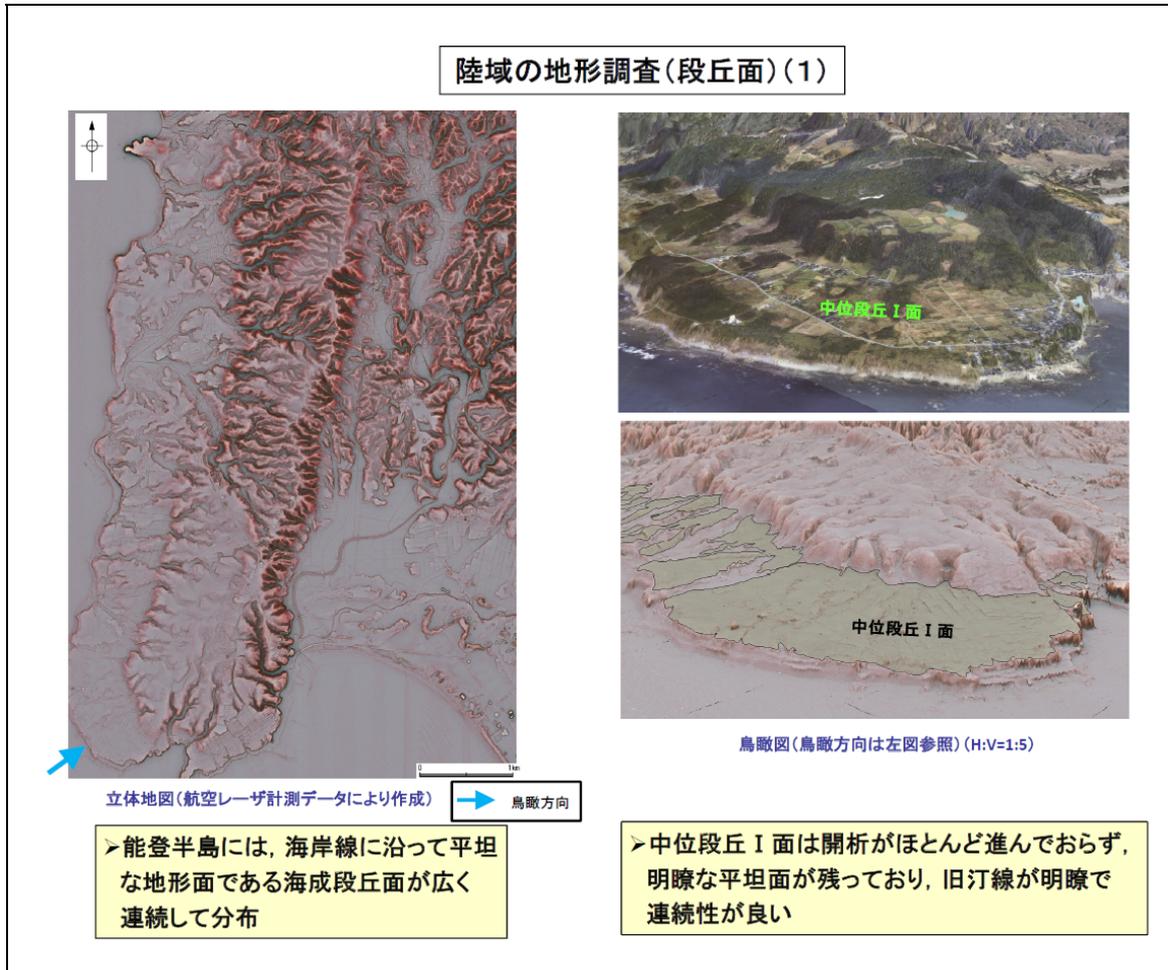
航空レーザ測量から平面図を作成し、任意の区間について断面図を作成している。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループBサブグループ（第6回）
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/2/006/6-2-1.pdf>

【事例3. 3-10：航空レーザ測量による段丘面表示例】

航空レーザ測量により植生下の高精度の地形データを得ることが可能であり、空中写真とともにこれを利用した高解像度の地形図や鳥瞰図を示すことで面の広がりや旧汀線の連続性をより客観的に判断できる。



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ 2 (第 4 回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_04/siryo4-1.pdf

3. 4 地表地質調査

地表地質調査は、概査により調査範囲内の地質・地質構造を把握し、精査により文献調査や変動地形学的調査による活断層の疑いのある地形・地質構造について、断層・撓曲の存否、位置、性状及び活動性を明らかにすることを目的とする【事例3. 4-1～3】。

地表踏査においては、特に断層露頭や地層が変形している露頭の発見と、その露頭観察による断層活動時期の特定が重要であり、露頭と活断層の疑いのある地形・地質構造との位置関係、断層破碎帯の性状、地層の変位・変形構造を詳細に把握する。

地表踏査により断層活動の証拠が明確に確認されず、活断層の存在を否定できない場合は、より詳細な資料を得るために、ボーリング調査、トレンチ調査等を追加実施し、断層の存否及び活動性の解明に努める。

〔解説〕

地表踏査により活断層の存在が推定され、敷地への影響が大きいと判断される場合は、その存在及び形状を確認し、活動区間や変位量を適切に評価するために、断層主部、断層末端部等の重要な箇所においては、ボーリング調査、トレンチ調査等を追加実施し、調査密度・精度を上げることが重要である【事例3. 4-4】。

ボーリング調査、トレンチ調査等は、断層あるいは活断層の疑いのある地形・地質構造の走向・傾斜、位置関係、調査地点の代表性等を考慮し、位置、規模及び数量を適切に定める【事例3. 4-5, 6】。

断層活動時期については、断層による変位・変形を受けた地層・地形面と断層による変位・変形を受けていない地層・地形面との年代関係から推定するため、信頼性の高い地層の層序対比・編年に関する調査を行うことが重要である。対比・編年に用いる層序としては、火山灰層序、海洋酸素同位体層序、化石層序、古地磁気層序等がある。特に火山国である我が国においては、火山灰層の鉱物組成、火山ガラスの屈折率測定・成分分析等による火山灰層序は、層位関係の検討に有効な手法となっている。

断層活動時期を明らかにするためには、必要に応じて断層により変位・変形した地層及びこれらを被覆する地層の年代測定を行う。主な年代測定手法としては、以下のものがあり、測定年代や試料の種類により適用可能な測定手法が限られることから、目的や条件に即した手法を適切に選定することが重要であり、測定結果を使用する際にも十分に考慮する必要がある。

- ① 炭素同位体年代 (^{14}C age)
- ② フィッシュントラック年代 (F T age)
- ③ カリウム-アルゴン年代 (K-A r age)
- ④ アルゴン-アルゴン年代 ($^{40}\text{A r} - ^{39}\text{A r}$ age)
- ⑤ ルビジウム-ストロンチウム年代 (R b - S r age)
- ⑥ ウラン-トリウム-鉛年代 (U-T h - P b age)

また、液状化等の地震随件事象に関する情報から断層活動時期を推定できる場合もある。断層活動の変位基準となる地層・地形面が分布しない地域においては、地表踏査により

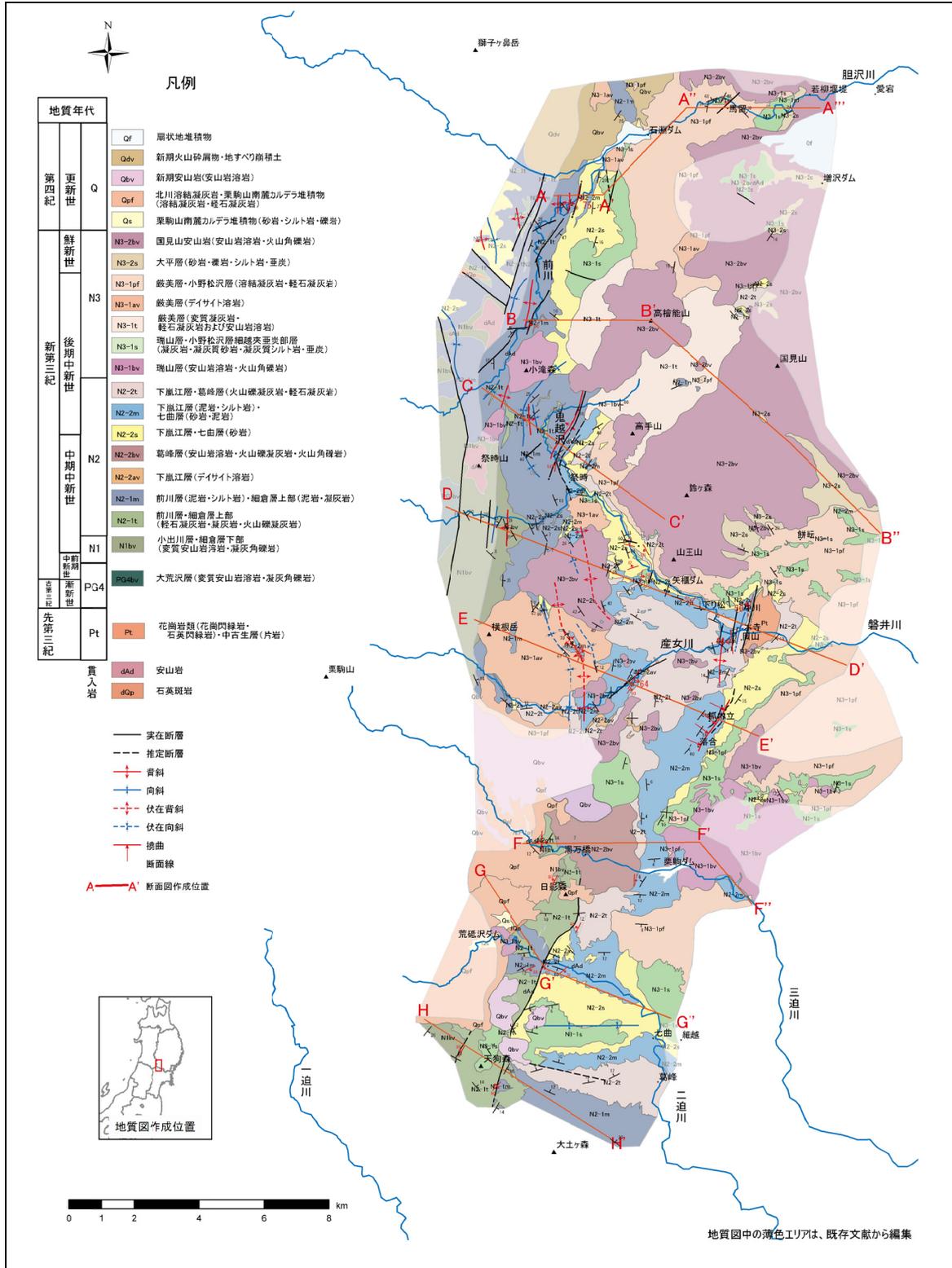
風化・劣化などの影響を避けた新鮮な箇所で断層破碎帯の固結状況，顕著な粘土状物質の有無等を確認することが重要である。必要に応じて断層破碎帯から採取した試料について軟X線写真，電子顕微鏡等による断層破碎帯の内部構造，構成物質等の詳細な観察，X線回折分析，化学分析等を行うことにより，断層の活動性の有無を検討できる場合がある【事例3．4－7～9】。

なお，敷地への影響が明らかに小さいと判断される断層及び活断層の疑いのある地形・地質構造は，詳細な調査の対象から除外してもよい。

〔事例〕

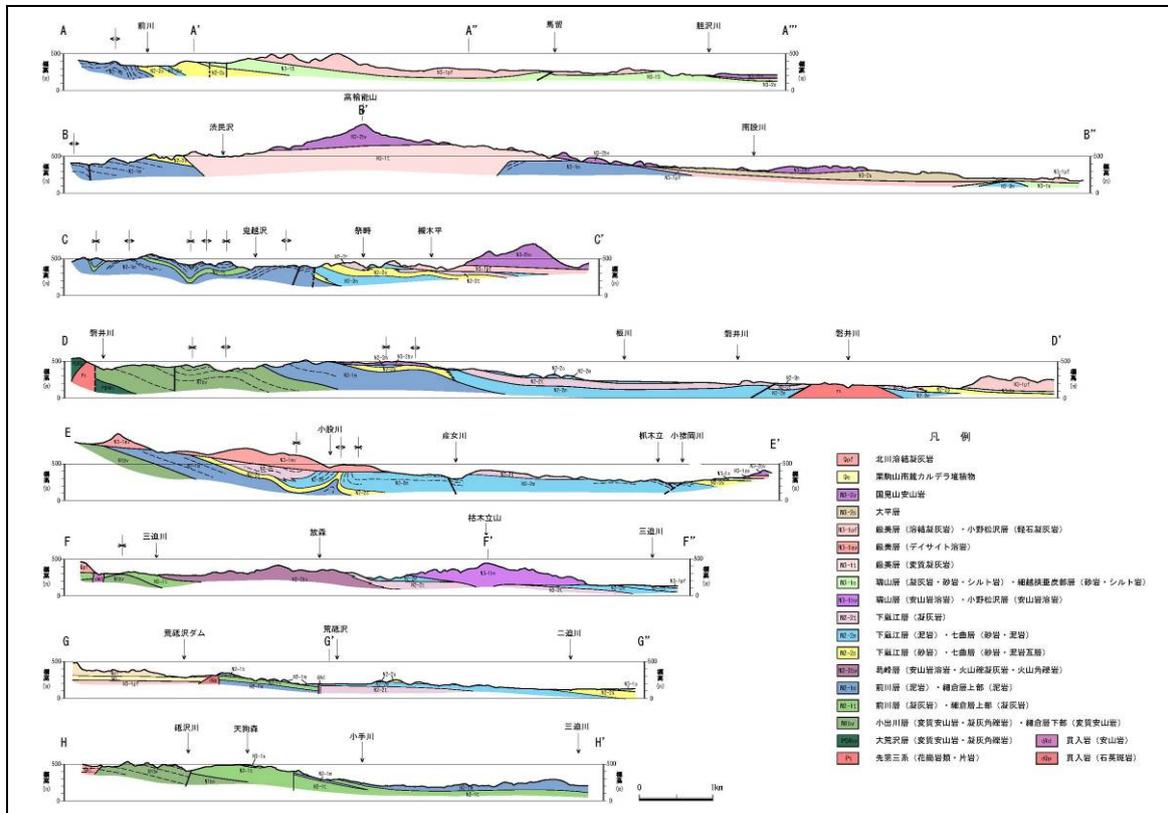
【事例3. 4-1：地表地質調査による地質図の事例1】

岩手・宮城内陸地震震源域における地表地質調査の結果例（平面図）



平成 21-23 年度 電力共通研究「震源断層評価のための活構造調査手法の確立に関する研究」

【事例3. 4-2: 地表地質調査による地質図の事例2】
 岩手・宮城内陸地震震源域における地表地質調査の結果例 (断面図)

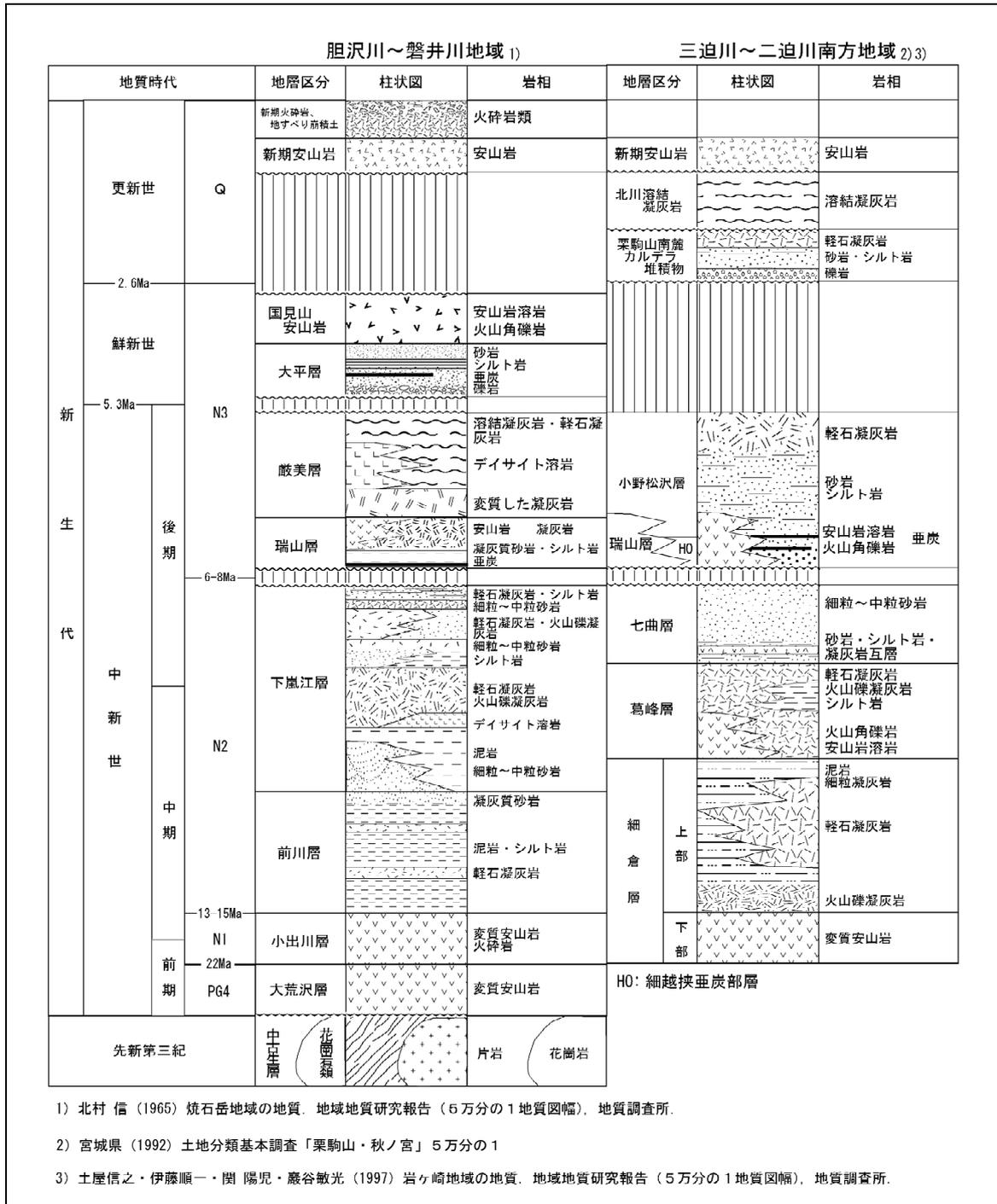


平成 21-23 年度 電力共通研究「震源断層評価のための活構造調査手法の確立に関する研究」

【事例3. 4-3: 地表地質調査による地質層序表の事例】

岩手・宮城内陸地震震源域における地表地質調査の結果例(層序)

地質時代に対応した、地層、柱状図、岩相などについてまとめている。また、調査範囲が広範囲の場合には、流域ごとにまとめている。



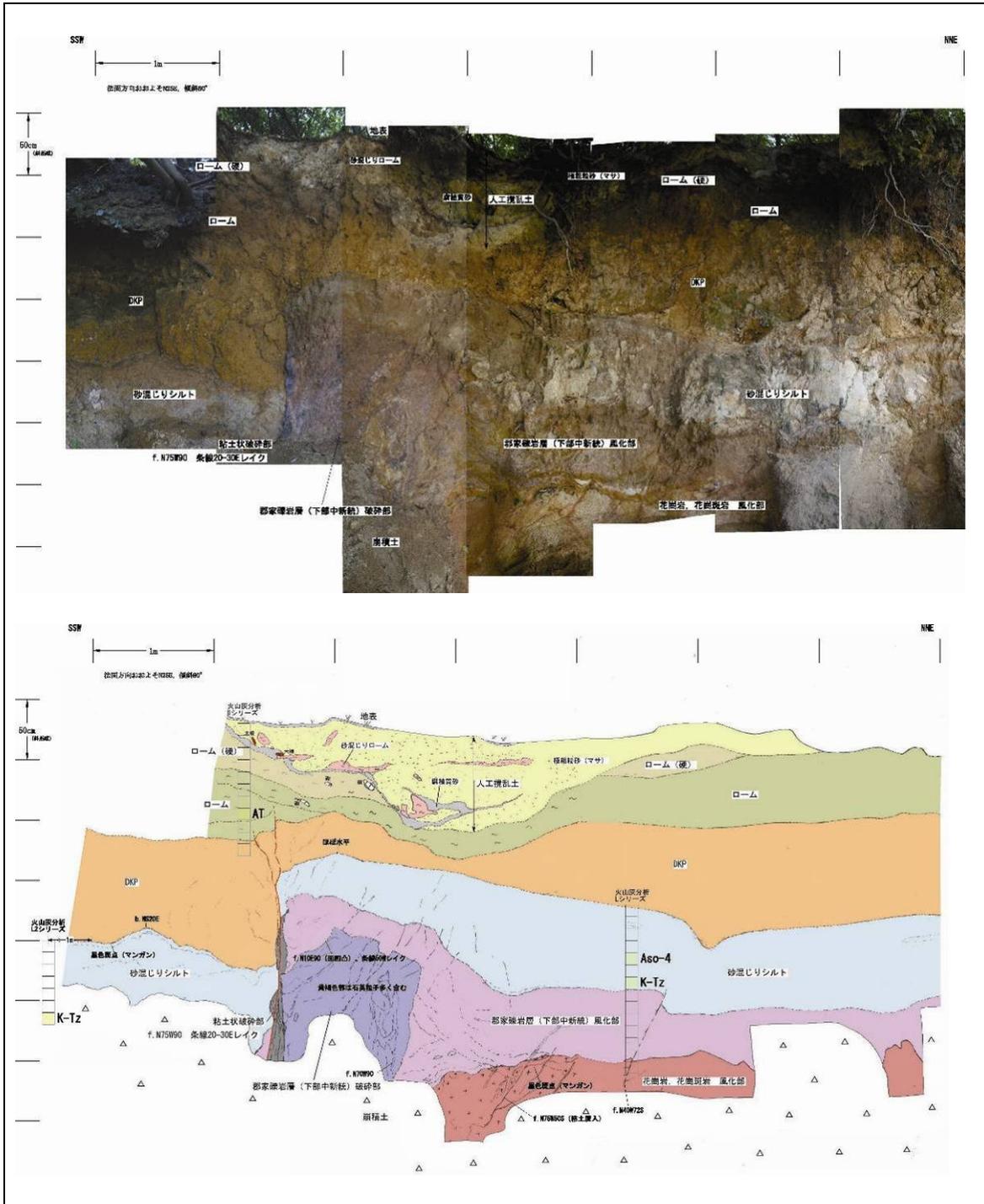
1) 北村 信 (1965) 焼石岳地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所.

2) 宮城県 (1992) 土地分類基本調査「栗駒山・秋ノ宮」5万分の1

3) 土屋信之・伊藤順一・関 陽児・巖谷敏光 (1997) 岩ヶ崎地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所.

【事例3. 4-4：断層露頭調査の事例】

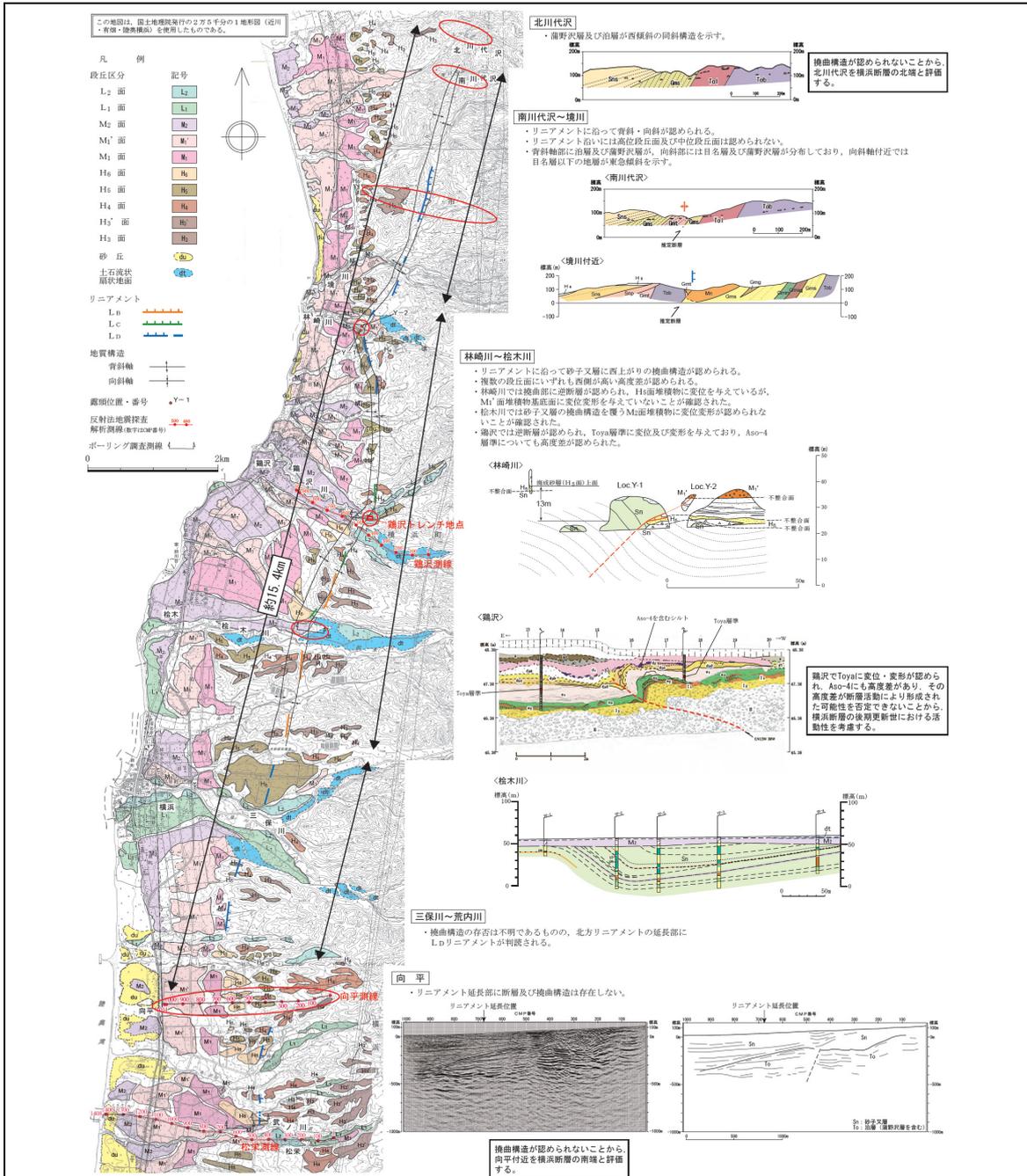
昭和18年（1943年）鳥取地震震源域における地表地質調査による断層露頭の例
 地質構造が把握できるよう、露頭クリーニング後、写真撮影、スケッチを行っている。



活断層評価部会

【事例3. 4-5：トレンチ調査の事例】

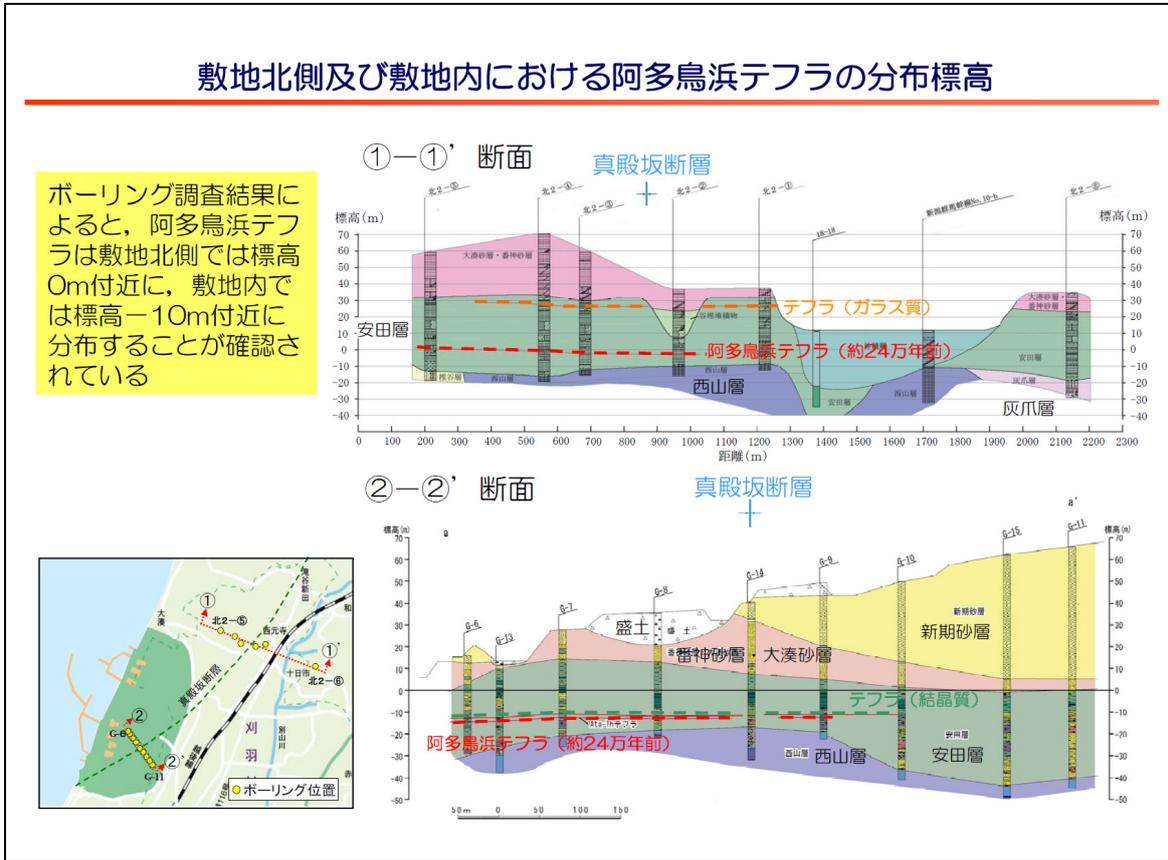
地表踏査により活断層の疑いのある地形が判読される区間北部の断層露頭において、 M_1' 面堆積物基底面に変位・変形を与えていないことが認められるものの、同地点は活断層の疑いのある地形の屈曲部に当たるため、活断層の疑いのある地形が判読される区間中央部においてトレンチ調査及び火山灰分析を追加で実施している。



横浜断層に係る「地盤耐震意見聴取会」, 「使用済燃料貯蔵事業ご意見を聴く会 (耐震関係)」及び「J-MOX意見聴取」並びに「総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会 地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ Bサブグループ」(第2回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/3/002/2-2-35.pdf>

【事例3. 4-6：ボーリング調査の事例】

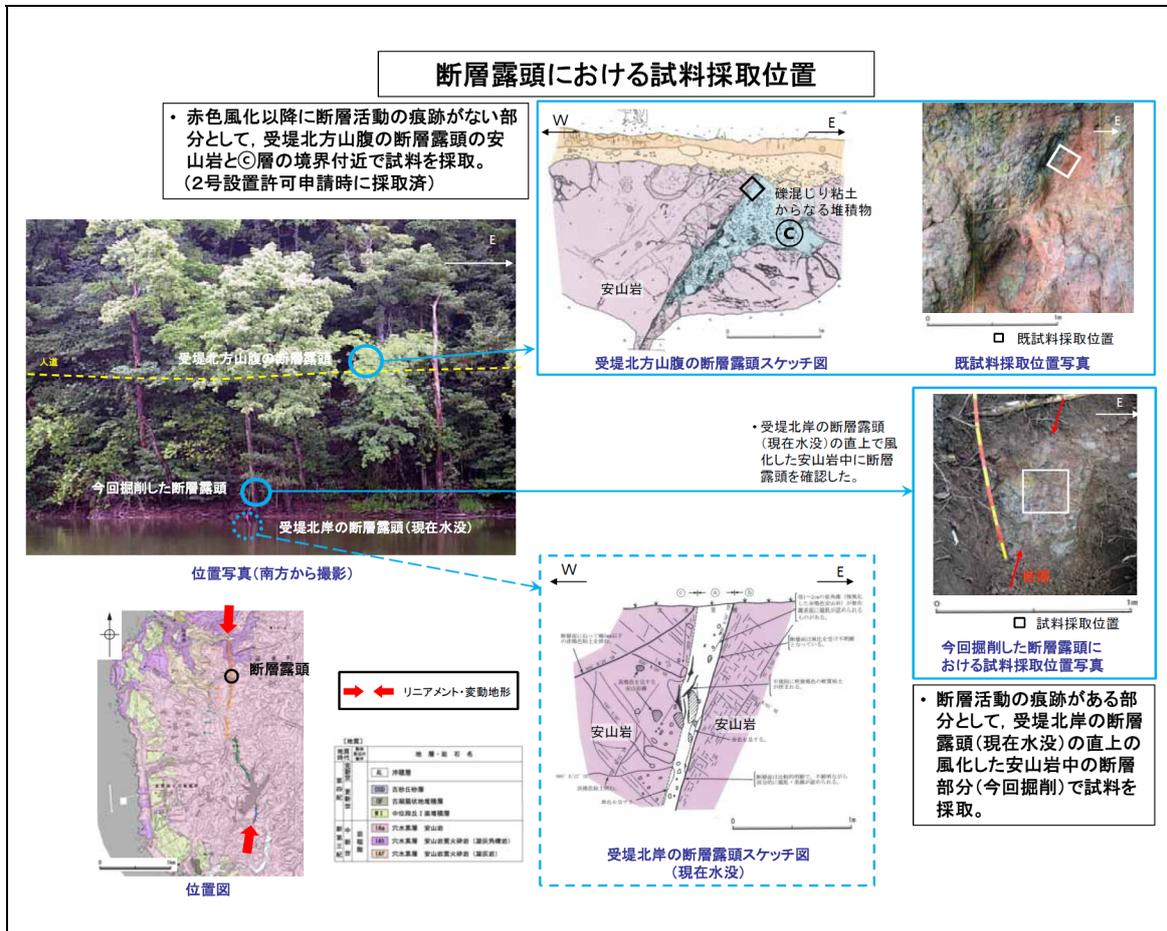
断層活動が確認されない地域においては、変動地形学的調査、地表踏査、反射法地震探査等に加えて群列ボーリングを実施し、火山灰層の分布標高を確認している。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ (第26回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/026/26-1-2.pdf>

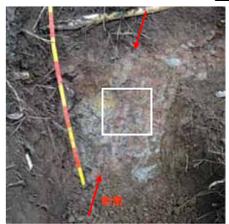
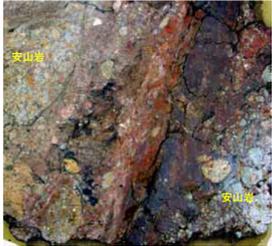
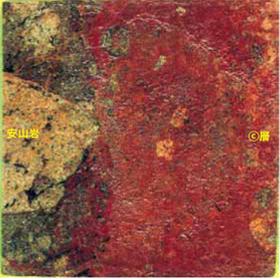
【事例3. 4-7：断層破碎帯から採取した試料による詳細調査の事例1】

断層露頭の複数箇所において試料採取を行い、両部分の構造を研磨面や軟X線写真により詳細に観察・検討している。

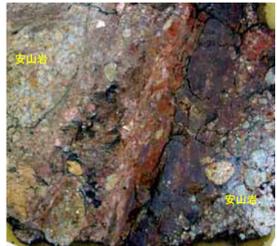
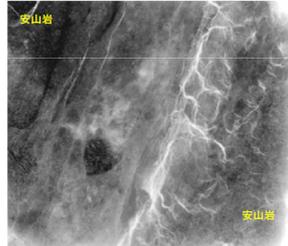
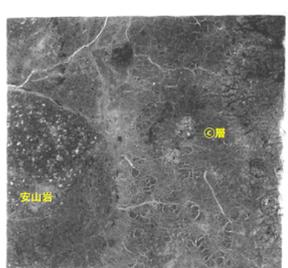


経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
 地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ Aサブグループ (第8回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/1/008/a8-3-2.pdf>

研磨面による詳細地質観察結果

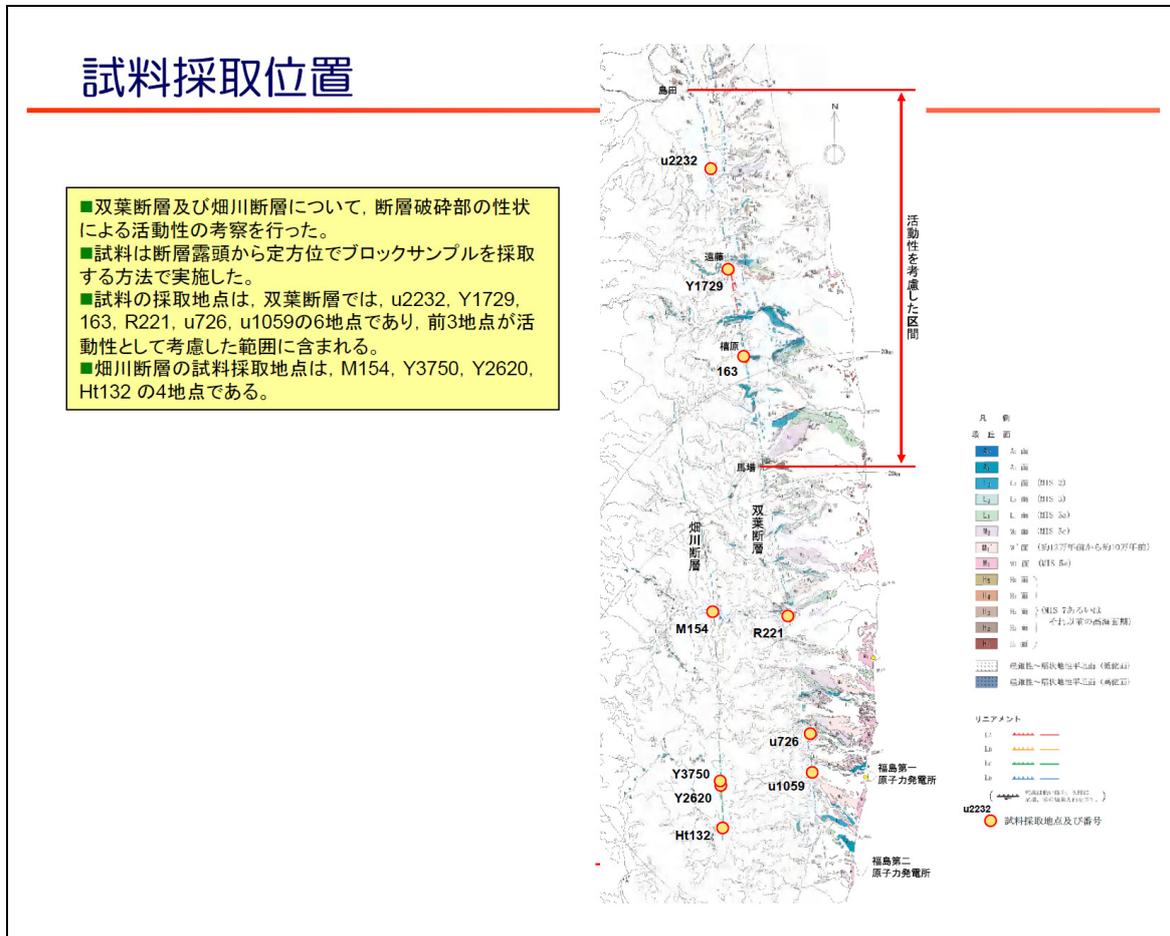
	試料採取位置	研磨面の写真	観察結果
安山岩中の断層部分	 <p>試料採取位置</p> <p>・風化した安山岩中に断層を確認した。 ・断層の走向・傾斜はN10° E78° NWである。</p>	 <p>角礫質破砕部 粘土部 礫混じり粘土部</p> <p>破砕部</p> <p>(試料採取位置の写真の口の範囲を拡大)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 試料は安山岩と、中央に分布する破砕部からなる。 破砕部は、左側から角礫質破砕部、礫混じり粘土部及び粘土部からなる。 粘土部及び礫混じり粘土部では、破砕部と平行に色調の違う縞状の構造が明瞭であり、そこに認められる礫の長軸方向や暗褐色の粘土片の伸長方向も破砕部と平行する。 礫の長軸方向が破砕部と平行するのは角礫質破砕部でも認められる。 <p>➤破砕部(粘土部、礫混じり粘土部及び角礫質破砕部)では、破砕に伴う内部構造が帯状に認められる。</p>
安山岩と㊟層の境界部分	 <p>既試料採取位置</p>	 <p>安山岩 ㊟層</p> <p>(試料採取位置の写真の口の範囲を拡大)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 試料は安山岩と㊟層からなる。 ㊟層は、赤褐色を呈する粘土であり、径数cm以下の円～垂円礫を含む。 安山岩と㊟層との境界は凹凸し、境界を横断して赤色土壌化に伴う風化生成物の細脈が安山岩中に入り込んでいる。 <p>➤安山岩と㊟層との境界は凹凸し、赤色土壌化に伴う風化生成物が安山岩中に入り込んでいる。</p>

軟X線写真による観察結果

	研磨面の写真	軟X線写真	観察結果
安山岩中の断層部分	 <p>角礫質破砕部 粘土部 礫混じり粘土部</p> <p>破砕部</p>	 <p>安山岩</p> <p>角礫質破砕部 粘土部 礫混じり粘土部</p> <p>破砕部</p>	<ul style="list-style-type: none"> 安山岩は、濃い部分として現われている。 破砕部は、安山岩に比べ淡い帯状に現れており、安山岩との境界は明瞭で直線的である。 粘土部及び礫混じり粘土部には、詳細地質観察で認められた内部構造に対応する直線的な筋状の構造が明瞭に認められる。 同構造は角礫質破砕部でも安山岩との境界付近に明瞭に認められる。 <p>➤安山岩と破砕部との境界、破砕部の帯状の構造が識別でき、内部構造に対応する筋状の構造も明瞭に認められる。</p>
安山岩と㊟層の境界部分	 <p>安山岩 ㊟層</p>	 <p>安山岩 ㊟層</p>	<ul style="list-style-type: none"> 安山岩は、濃い部分として現れている。 ㊟層は中央部では安山岩に比べ淡い部分として識別可能である。 詳細地質観察で認められた安山岩と㊟層との境界の凹凸と対応するように、安山岩と㊟層との境界付近では濃淡の分布が一樣でなく、全体として湾曲しており、直線的な構造は認められない。 <p>➤安山岩と㊟層との境界付近の濃淡の分布が一樣でなく、直線的な構造は認められない。</p>

【事例3. 4-8：断層破砕帯から採取した試料による詳細調査の事例2】

活断層と非活断層の破砕帯の性状を比較するため、複数の破砕帯からそれぞれ試料を採取し、微小構造解析、色調解析、X線回折分析及び化学分析を実施している。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
 地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ Aサブグループ (第22回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/1/022/22-2-1.pdf>

分析内容

各地点の試料について、①微小構造分析、②色調分析、③X線回折分析、④化学分析を実施した。

①微小構造分析

最新活動面の特徴並びに地質断層の特徴の把握及び変位センスと現応力場との関係の検討を行うことを目的として、研磨片及び岩石薄片による微小構造解析を行った。

定方位ブロック試料は、主断層面の走向に平行で傾斜方向に直行する面(XZ面)と主断層面の走向に直交で傾斜方向に並行する面(YZ面)とについてそれぞれ切り出し、破砕帯の特徴を観察するとともに、面構造を観察した。

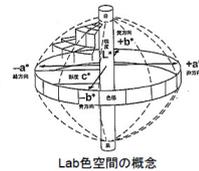
断層岩の分類(狩野ほか, 1998から引用)

名称	破砕帯の割合	破砕帯の粒径
断層角礫	>30%	メガブレッチャー >256mm メソブレッチャー 10~256mm マイクロブレッチャー <10mm
断層ガウジ	<30%	通常 <10mm
プロトカタクレースイト カタクレースイト ウルトラカタクレースイト	>50% 10~50% <10%	通常 <10mm
ポーフイロクラストの量		基質構成鉱物の粒径
プロトマイロナイト マイロナイト ウルトラマイロナイト	原岩の種類により多様	>100 μm 20~100 μm <20 μm

②色調解析

微小構造、活動時期等との関係の把握を目的として、色調の程度を定量化した。

測定方法は、拡散照明垂直受光方式(JIS Z 8722)によるLabカラーとした。これは、Lab色空間(JIS Z 8729)によって定義されており、Lが色の明度、aが赤-緑、bが黄-青をしめす。また、 (a^2+b^2) の平方根cはLab色空間のab面上に投影された測定値の原点からの距離を示し、彩度に相当する。



③X線回折分析

ガウジを構成する鉱物の組成を明らかにすることを目的として行った。粉砕した試料に直接X線を照射する方法(無定方位法)により造岩鉱物他の鉱物組成の概要を把握した後、粘土鉱物組成を詳細に把握するために、粉砕した試料を水懸し沈殿させて鉱物結晶を一定方向に配列させた試料にX線を照射する方法(定方位法)による分析を実施した。

④化学分析

色調、微小構造等と化学組成の関係の把握を目的として行った。分析方法は、酸化・還元指標となるFeO/Fe₂O₃比については湿式分析で行った。

その他の成分については、誘導結合プラズマ質量分析装置(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer, 以下 ICP-MS)を用いて行った。

微小構造分析結果

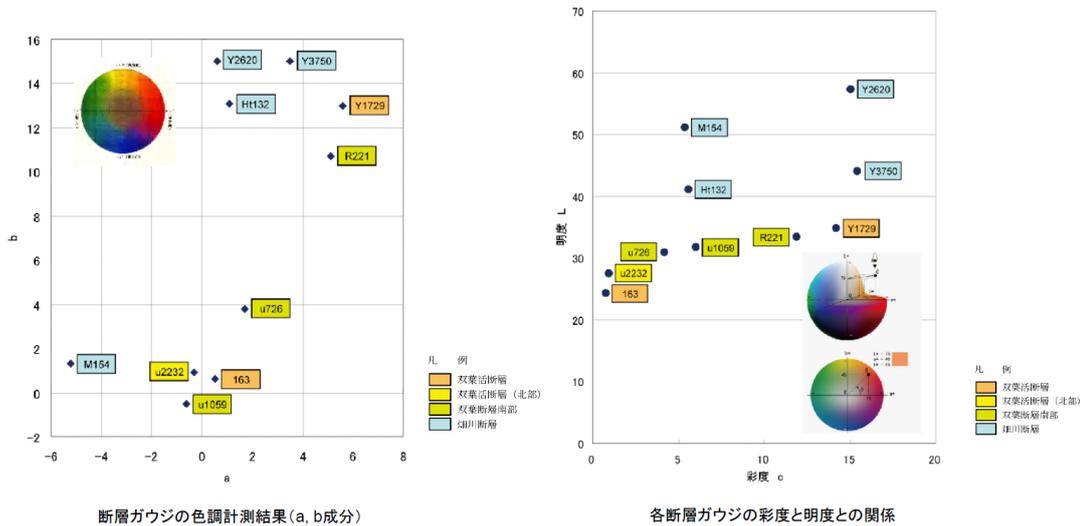
断層名	露頭名	地形		地質	断層岩				
		横ずれ	縦ずれ		断層岩	変形幅		変位センス	
						直線性	連続性		薄片
双葉断層	u2232			芳ヶ沢層	断層ガウジ	広い	凹凸・湾曲	良い	左ずれ・東上り
	Y1729	左ずれ		相馬中村層群 /天明山層	断層ガウジ~断層角礫	広い	直線的	良い	—(※)
	163	左ずれ	西上がり	塩手層/相馬中村層群	断層ガウジ	狭い	直線的	良い	左ずれ・西上がり
	R221	-	西上がり		カタクレースイト~断層ガウジ	広い	直線的	良い	左ずれ・西上がり
	u726	-	西上がり	緑色岩	断層ガウジ	広い	直線的	良い	左ずれ・東上り
	u1059	-	西上がり	平層/富岡層	断層ガウジ	広い	凹凸・湾曲	良い	右ずれ・西上がり
畑川断層	M154	-	-	黒色片岩/ 圧砕花崗岩	断層ガウジ	狭い	直線的	良い	左ずれ・東上り
	Y3750	-	東上がり	圧砕花崗岩/ 緑色片岩	断層ガウジ	狭い	直線的	良い	右ずれ・東上り
	Y2620	-	東上がり	圧砕花崗岩/ 緑色片岩	カタクレースイト~断層ガウジ	広い	凹凸・湾曲	良い	右ずれ・東上り
	Ht132	-	-	圧砕花崗岩	カタクレースイト~断層ガウジ	広い	凹凸・湾曲	良い	右ずれ・東上り

黄色 活断層的
青 非活断層的

(※)最新活動面上載地層の落ち込みにより破壊されており、変位センスについて判断できない。

■双葉断層については、Loc. 163 が活断層的の性状を示すが、その他は非活断層的の性状を含む。
■畑川断層では、Loc.Y3750、Loc.Y2620、Loc.Ht132 では非活断層的の性状が認められるものの、Loc.M154 では非活断層的の性状が認められない。

色調分析結果



■ a 及び b で規定される色調のトレンド(グラフ中の傾き)は、双葉断層と畑川断層とで異なっているが、双葉断層の活動性の有無と色調との間に関連性は認められない。
 ■ 各断層ガウジにおける彩度と明度との関係については、双葉断層のガウジよりも畑川断層のガウジが明度が高い傾向が認められる。また、双葉断層の明度については、活断層地点 (Loc.163) が最も低い。

X線回折分析結果

断層名	試料名	鉱物名																	
		混合層鉱物	緑泥石	スメクタイト	カオリナイト	雲母粘土鉱物	石英	クリストパライト	斜長石	カリ長石	方解石	黄鉄鉱	沸石類	クリノプチロライト	菱沸石	輝沸石	角閃石類	普通角閃石	
双葉断層	u2232	1				◎		△											
		2		*			◎												
		3		*	△		◎												
	Y1729	1			○		△		△										
		2			△				△							△			
		3			△				△										
		4		*	○		△		△										
	163	1		*	○		△		*	△					*				
		2		*	○					△					*				
		3		*	○					△					*				
	R221	1		*	△	△	◎		△										
		2		*	△		◎		△										
3			*	△		◎		△		○								△	
u726	1		*	△		◎		△											
	2		*	△		◎		△											
	3		*	△		◎		△											
	4		△			◎		△		○									
u1059	1			△		△		△											
	2			○		△		△											
	3			△		△		△											
畑川断層	M154	1	△			△	◎		*										
		2	△			△	◎		*	△									
		3	△			△	◎		*										
	Y3750	1	*	△			◎		*										
		2	*	△			◎		*										
		3	*	△			◎		*										
	Y2620	1	△				◎		*										
		2	△				◎		*										
		3	△				◎		*										
		4	*	△			◎		*	△	△								
	Ht132	1		△			◎		*										
		2		△			◎		*										
3			△			◎		*											
4			△			◎		*	△	△									

相対含有量 ◎:多量、○:中量、△:少量、*:微量、*:定方位のみ検出

■双葉断層においては、活動性を認定している北部と否定されている南部との間において、鉱物組成上の系統的な相違は認められない。主要な粘土鉱物はスメクタイトである。
 ■畑川断層においては、鉱物組成上の系統的な相違や変化は認められない。主要な粘土鉱物は緑泥石及び雲母粘土鉱物の場合と、スメクタイトの場合とがある。
 ■Loc. M154及びY2620には、緑泥石が認められることから、両者は地下の比較的深い所で生成された可能性がある。

化学分析結果(色調及び鉱物の特徴を併せて示す)

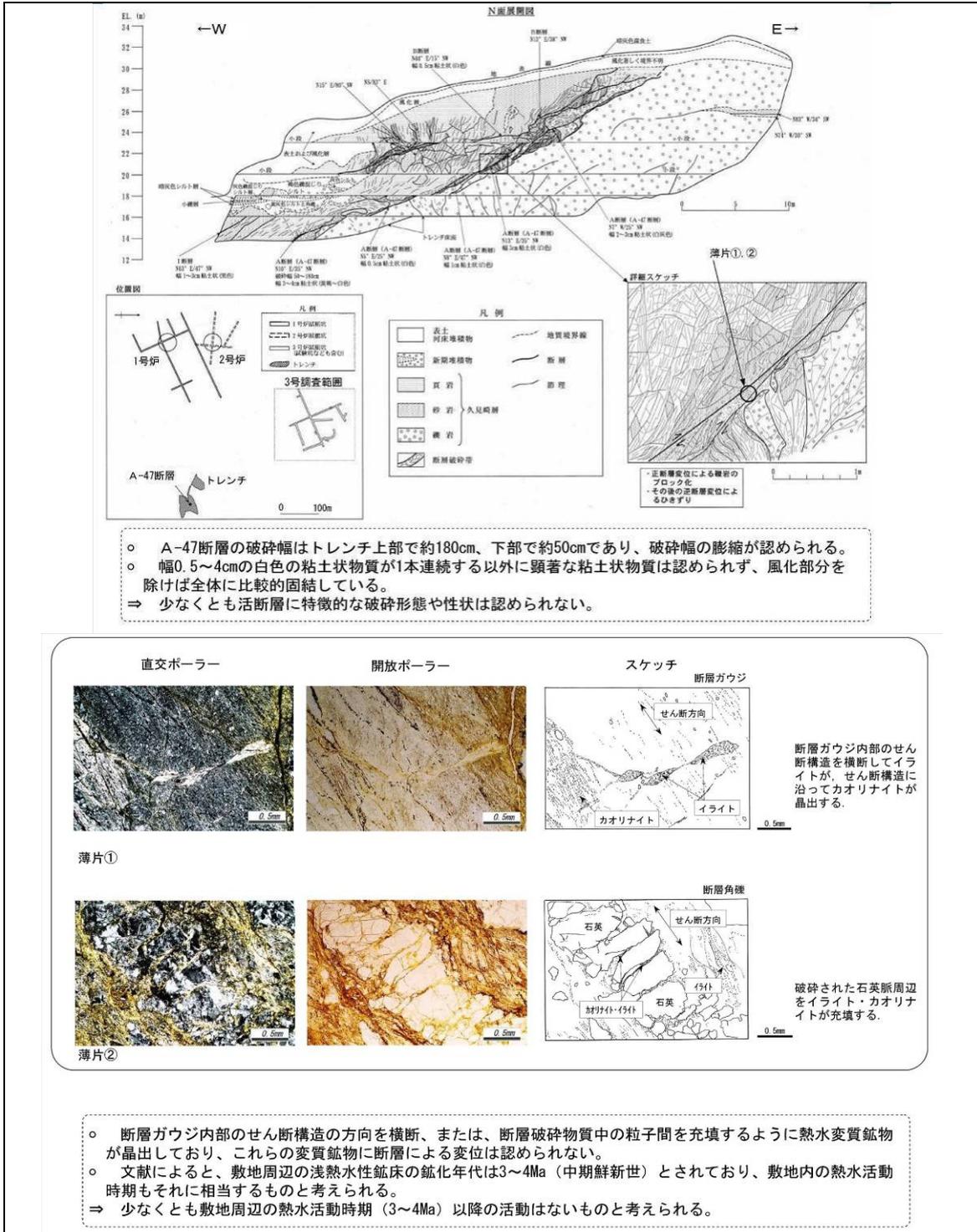
各断層ガウジにおける色調、鉱物の特徴、化学成分の整理表

断層名	露頭名	色調		鉱物の特徴			主成分(%)		
		明度	彩度	粘土鉱物(主)	粘土鉱物(副)	長石類	SiO ₂	FeO/Fe ₂ O ₃	LOI
双葉断層	u2232	27.5	0.95	スメクタイト		△	64.33	0.85	6.91
	Y1729	34.9	14.15	スメクタイト		△	54.38	0.33	9.97
	163	24.3	0.78	スメクタイト	緑泥石	*	49.18	0.93	13.06
	R221	33.5	11.85	スメクタイト	カオリナイト	△	62.17	0.05	9.47
	u726	31.0	4.16	スメクタイト		△	61.72	3.37	9.06
	u1059	31.8	6.02	スメクタイト		△	55.78	0.57	9.19
畑川断層	M154	51.2	5.36	緑泥石	雲母粘土鉱物	*	60.42	5.07	4.76
	Y3750	44.1	15.40	スメクタイト	緑泥石	*	64.32	0.35	6.70
	Y2620	57.4	15.01	緑泥石	雲母粘土鉱物	*	68.28	0.21	4.86
	Ht132	41.1	5.59	スメクタイト	カオリナイト	*	64.58	1.24	7.84
					雲母粘土鉱物				

■SiO₂は双葉断層のY1729と163とu1059が少なめである。畑川断層は全て60%台である。
 ■FeO/Fe₂O₃比はu726とM154が目立って大きい(還元的である)ものの、その他は1程度である。
 ■強熱減量(LOI)は、163が目立って大きな値を示す。
 ■畑川断層では、双葉断層と比較して強熱減量の値は小さい。

【事例3. 4-9：断層破碎帯から採取した試料による詳細調査の事例3】

トレンチ観察結果などでは、活断層に特徴的な破碎形態や性状は認められない断層について、トレンチ調査により露出した断層破碎部の薄片観察を行っている。



3. 5 海域調査

海域調査は、敷地周辺海域の海底地形、地質層序、地層分布、地質構造等を解明し、活断層の位置、形状、活動性等を明らかにすることを目的とする。

海域調査は、既往の文献や音波探査記録等を参照し、調査対象海域の地形、地質・地質構造等を踏まえ、音源及び測定方法の仕様、測線の配置等を適切に策定し、海底地形調査、海上音波探査等を実施する。また、必要に応じて、海上ボーリング等によって試料採取を行い、海底の地層を直接確認するとともに、堆積年代を把握する。

〔解説〕

(1) 海底地形調査

海底地形調査では、調査地域の特性に応じ十分な精度を有する測深調査等により詳細な海底地形図を作成する。

測深調査には、船が航行しながら直下に向けて音波を発振し、海底からの反射波を連続的に受振するシングルビーム音響測深、船の左右に指向角が広く前後方向に指向角の狭い音波を発振して、船の真下の水深だけでなく船の左右方向の水深までを一度に測量するマルチビーム音響測深等がある。

マルチビーム音響測深は、シングルビーム音響測深に比べ海底を面で捉えるため、より精度の高い測深データを取得することができる。また、発振する音波の周波数が高いほど分解能が高いが対応水深は浅く限られ、周波数が低くなると分解能は低くなるが対応水深は深くなることから、調査対象海域の水深に合わせて適切な仕様を選定しなければならない。

なお、広域的な海底地形データとして、日本水路協会発行の海底地形デジタルデータ等があり、使用することができる。

(2) 海上音波探査

音波探査記録は、後期更新世以降の断層の活動の有無を評価するために後期更新世以降の地層の分布・構造が明瞭であること、浅部から深部への変位・変形の累積性の確認ができるよう分解能及びS/N比の高いデータを得ることが重要である。

海上音波探査の実施に当たっては、その可探深度や音波探査記録の分解能が、装置の仕様（音源、測定方法等）や調査地点の地質等に影響されることから、必要に応じて複数の方法を併用することが望ましい【事例3. 5-1, 2】。

a. 音源

海上音波探査における分解能には、垂直分解能と水平分解能があり、前者は音源の発振波形及び周波数に依存し、後者は反射点の密度（発振間隔等）及び音源の指向性によって決まる。

分解能と可探深度は相反関係にあり、高周波数では、分解能が高いが、エネルギーの減衰が大きく可探深度が浅くなる。反対に低周波数では、減衰は少なく可探深度は深くなるが、分解能は低くなる。また、音波探査の可探深度は、分布する地質によっても大きく左右される。

音波探査では、一つの音源で高周波数から低周波数までカバーできるものがない。したがって、音源は、調査対象海域の水深、地質及び調査目的に合わせて選定し、必

要に応じて併用する【事例3. 5-3】。

b. 測定方法

測定方法には、反射波を一つの受振器で受振するシングルチャンネル音波探査と複数の受振器で受振するマルチチャンネル音波探査に大別される。

(a) シングルチャンネル音波探査

シングルチャンネル音波探査は、比較的高い周波数の音源を用いて、海底下の比較的浅い部分の明瞭な記録を得るために用いられることが多い。

シングルチャンネル音波探査の主な特徴を物理探査学会（2008）から引用（一部編集）して以下に示す。

- ① 発振間隔を短くできるので、水平方向に密度の高い地質情報が得られる。
- ② 探査装置が小規模で小型船でも調査が可能であるため、マルチチャンネル音波探査では航行が困難な沿岸域でも調査が可能である。
- ③ 多重反射が除去できないため、それより深部の真の反射面形状が読みとりにくい。
- ④ 起伏の多い断面では回折波が多く検出されるため、真の反射面形状が読み取りにくい。

(b) マルチチャンネル音波探査

マルチチャンネル音波探査は、比較的深部を対象として行うことが多い。マルチチャンネル音波探査の対象深度は、使用する音源、ストリーマケーブルの長さ及び地質に左右される。

マルチチャンネル音波探査の主な特徴を物理探査学会（2008）から引用（一部編集）して以下に示す。

- ① 複数の受振器からの反射波を重合することにより S/N 比の高いデータが得られ、より深部の微弱な信号を検出することができる。
- ② データ処理により多重反射や回折波を除去することができるので、より深部まで真の反射断面形状が得られる。
- ③ 地層の音波伝播速度を推算できる。
- ④ 大型船による調査となり、また、曳航するストリーマケーブルが長い（数百 m）ことから、調査実施箇所に制約がある。

(c) 定置式マルチチャンネル音波探査

定置式マルチチャンネル音波探査は、ストリーマケーブルを曳航できないような水深の浅い沿岸部で海底に複数の受振器（バイケーブル）を敷設し、反射波を観測する方式であり、陸域と海域の地質・地質構造を連続的に把握する場合等に用いられる。

(d) ショートマルチチャンネル音波探査

ショートマルチチャンネル音波探査は、チャンネル数が少なくチャンネル間隔の狭いストリーマケーブルを曳航し、反射波を観測する方式である。

前述のマルチチャンネル音波探査と比べ、探査装置が小規模で小型船に搭載され、ストリーマケーブルが短いことから、マルチチャンネル音波探査で調査不可能であった沿岸域において、シングルチャンネル音波探査に比べS/N比が高いデータを得ることができる。

ショートマルチチャンネル音波探査は、ブーマー、ウォーターガン等の音源を用い、浅部～中深部の高分解能の記録を得る目的で使用される。

(e) 三次元音波探査

三次元音波探査は、複数のストリーマケーブルを曳航し同時に受振を行うマルチチャンネル音波探査で、海底の地質・地質構造を三次元的に把握することができる。複数のストリーマケーブルを大型船で曳航することから、実施に当たっては、他の測定方法に比べ地形や海象等による制約が大きい。

なお、測線間隔を反射面の対比が容易に行える程度に二次元音波探査をちゅう密にすることで、三次元音波探査と同様のデータを得ることができる。

c. 測線計画

音波探査には、敷地周辺海域の大局的な地質・地質構造の解明を目的とする調査と断層の活動性の評価を目的とする調査がある。測線は、それぞれの目的に応じ、海底地形、地質構造、調査地域の障害物等を考慮して、適切に配置しなければならない。

大局的な地質・地質構造の解明を目的とする調査では、4km程度の格子状の測線を配置することが望ましい。

断層の分布・活動性の解明を目的とする調査ではより密な測線間隔で、断層に直交した測線を配置することが望ましい。また、断層の端部やその延長部においては、断層や大局的な地質構造に直交した複数の測線を設定することにより、活動性の変化を連続的に捉えることができる場合がある。

既往の調査資料等との対比により地質層序を対比・編年する場合は、その妥当性を高めるため、既往調査位置又はその近傍に測線を設け、反射面を連続して追跡できることが望ましい。

陸域と海域の境界部において、陸域と海域の地質・地質構造を連続的に把握する場合には、定置式マルチチャンネル音波探査等を用いて陸域から海域に連続する調査測線を設定することができる。ただし、沿岸部は、地形的な制約や障害物等で測線の設定が困難な場合が多いことに留意する。

d. データ処理

マルチチャンネル音波探査やシングルチャンネル音波探査（デジタル収録したもの）については多重反射やノイズの除去処理等のデータ処理を適切に行わなければならない。

海上音波探査のデータの処理は、作業実施者が設定したパラメータに依存する。信号処理の過程で真の情報が何らかの原因で弱められたり、偽の情報が現れ、真の情報が見えにくくなること等があることから、処理前後の比較を行ったり、マルチチャンネル音波探査のデータでは、ニアトレースや同一測線で実施している既往のシングルチャンネル音波探査記録と比較することで処理の妥当性を確認することが望ましい。

(3) 試料採取

音波探査記録は、反射波の強弱を連続したもので、地層の組成物については、反射パターンである程度は推定されるが、堆積年代を直接確認することはできない。音波探査により区分した音響層序に対応する地層の年代を確認するためには、海上ボーリング等による試料採取を行い、採取した試料について年代測定等を行うことが望ましい。

試料採取方法としては海上ボーリング、ピストンコアボーリング、ドレッジ等があり、対象とする地層及び調査実施箇所の状況に応じて適切な方法を選択しなければならない。

海上ボーリングは、海上に足場を設置し、コアボーリングにより柱状試料を採取する方法で、地質の制約が比較的少なく深部まで柱状試料を採取することができる。

ピストンコアボーリングは、船上から吊り下げたサンプラーを海底に突き刺し、数 m ～十数 m の柱状試料を採取する方法である。岩盤及び礫の採取は困難であるが、泥質ないし砂泥堆積物については大きく攪乱させることなく柱状に採取できる。

海上ボーリング及び柱状採泥は、採取した柱状試料による経時的な堆積状況の把握が可能であり、断層の活動性評価において重要な第四系の堆積物の編年に有効である。

ドレッジは、バケツ型の採泥器で、海底を引っ掻き表層の底質を採取する方法である。採泥器の機構は比較的簡単であり、採取作業も比較的容易であるが、海底表面を曳航することから、採取位置の精度が悪く、試料も乱される。そのため、年代測定試料として岩石試料を採取する場合等に用いられることが多い。

耐震設計上考慮する活断層の評価では、上部更新統の確認が重要であることから、海上ボーリングやピストンコアボーリングにより、浅部の地層の試料採取を行い、採取した試料の年代測定等を行うことにより、地層の対比・編年を行うことが望ましい【事例 3. 5-4】。

試料採取位置の選定に当たっては、海水準変動等による侵食の影響や変動地形の影響等を受けていない地点が望ましい。また、試料採取した地層が音波探査記録の反射面を用いて追跡できるよう、調査地点は測線上又はそのごく近傍で、かつ、反射面の追跡が困難となるような断層や地質構造を跨がないで展開できるような地点が望ましい。

海上音波探査、試料採取等については、海洋調査協会（2004）、物理探査学会（2008）、日本水路協会（2008）に詳しいので参考となる。

〔事例〕

【事例3. 5-1：海上音波探査の仕様の事例】

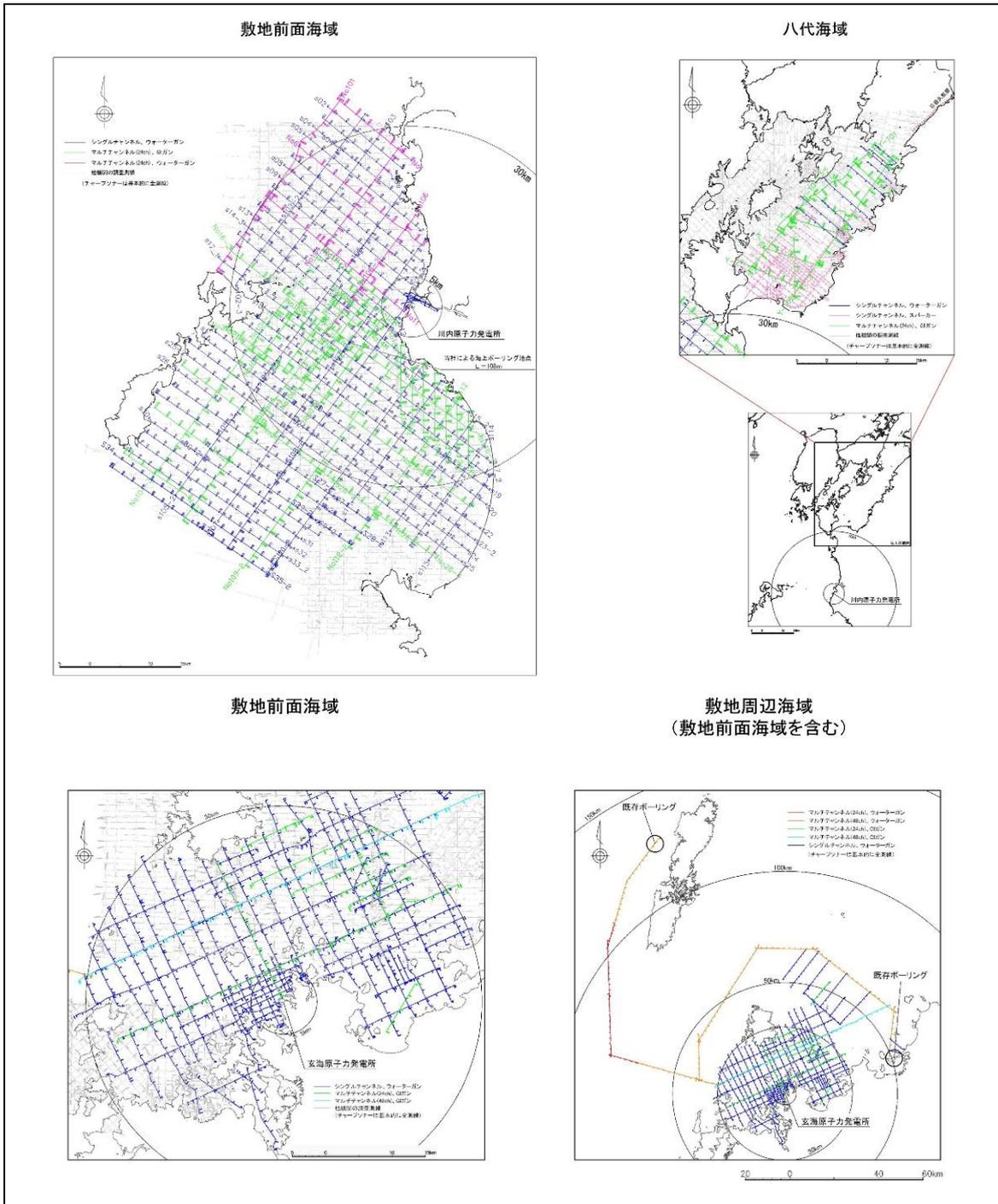
敷地周辺海域の海上音波探査では、主に大局的な地質・地質構造の把握を目的としたマルチチャンネル音波探査、断層の活動性評価を目的とした浅部における鮮明なデータの取得が可能なシングルチャンネル音波探査を実施し、調査地点の地質等を考慮し、音源等の仕様を決定している。

原子力地点	川内原子力発電所				玄海原子力発電所				
	表層探査	シングルチャンネル音波探査 (八代層)	シングルチャンネル音波探査 (八代層)	マルチチャンネル音波探査 (北都海層)	マルチチャンネル音波探査 (南都海層・八代層)	表層探査	シングルチャンネル音波探査	マルチチャンネル音波探査	マルチチャンネル音波探査 深層探査
探査方式	A層対象	海底下 約500~500m	海底下約200m	海底下約500m	海底下約1000m	A層対象	海底下 約100~200m	海底下約300m	海底下約300m以上
発振部	音源	チャープソナー	ウォーターガン15cbl	スパーカー	ウォーターガン15cbl	チャープソナー	ウォーターガン15cbl	GIガン ジェネレーター-45cbl インジェクター-105cbl	GIガン ジェネレーター-45cbl インジェクター-105cbl
	発振エネルギー	2kw (0.5~10kHz)	約2500J	約340J	約2500J	約7500J	2kw (0.5~10kHz)	約2500J	約7500J
	発振周波数	3.5kHz	50~500Hz	0.1~1.2kHz	50~500Hz	20~400Hz	3.5kHz	50~500Hz	20~400Hz
	音源深度	4m	2.5m	0.5m	5m	5m	4m	3m	5m
受振部	受振器タイプ・素子数	トランスデューサー4個	8素子	8素子	12.5m間隔 8素子/ch	12.5m間隔 8素子/ch	トランスデューサー4個	8素子	12.5m間隔 8素子/ch
	チャンネル数	1ch	1ch	1ch	24ch	24ch	1ch	1ch	24ch
記録記録	チャンネル間隔	-	-	-	12.5m	12.5m	-	-	12.5m
	受振器の深さ	4m	1.5m	0.5m	5m	5m	4m	1.5m	5m
	収録時間	海底下0.1sec	1sec(デレイ)	0.4sec	2sec	2sec	海底下0.1sec	0.5sec	2sec
	サンプリング周波数	0.05msec	0.5msec	0.25msec	1msec	1msec	0.05msec	0.5msec	1msec
データ処理	サンプリング周波数	20kHz	2000Hz	4000Hz	1000Hz	1000Hz	20kHz	2000Hz	1000Hz
	サンプリング間隔	0.05msec	0.5msec	0.25msec	1msec	1msec	0.05msec	0.5msec	1msec
測位	重合数	-	-	-	12重合	12重合	-	-	12重合
	反射点間隔	約1.5m	約3m	約1.5m	0.25m	0.25m	約1.5m	約3m	0.25m
測位	DGPS				DGPS				
調査船の船速	約4.0ノット		約3.5ノット		約4.0ノット		約3.5ノット		

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ3 (第14回)
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_14/siryu4.pdf

【事例3. 5-2：測線配置の事例】

敷地周辺海域の海上音波探査では、既存文献等で示されている地質・地質構造を参考に測線の方向、間隔等を設定し、断層の端部等においては測線を密に配置している。また、30km以遠においても、必要に応じて、断層の活動性・連続性の評価及び既存ボーリングからの地層の追跡・対比を行うための測線を配置している。



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ3 (第14回)
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_14/siryu4.pdf

【事例3. 5-3: 代表的な音源の諸元の事例】

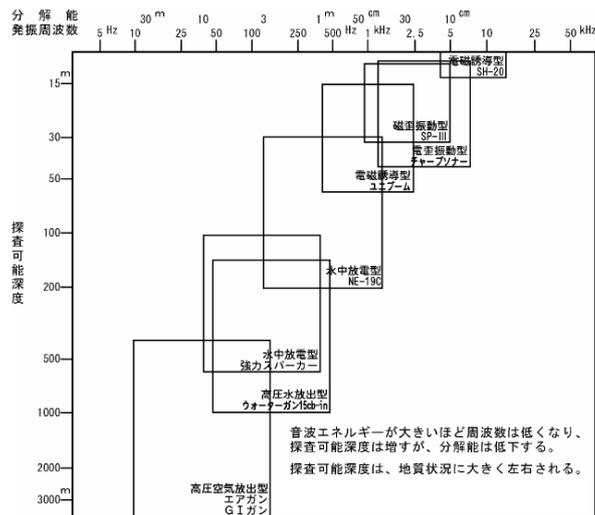
音源によって分解能や可探深度が異なる。

音源装置名	ソノプローブ	プーマー	チャープアコースティックプローファイラー	スパーカー	ウォーターガン	エアガン
発振原理	磁歪振動	電磁誘導式振動	電歪振動	海水(塩水)中での尖端放電による水の瞬間沸騰	水の瞬間放出により生じる真空キャビティの爆縮	圧縮空気の水中への放出による気泡振動
発振周波数	2000~8000 Hz	400~14000 Hz	500~10000 Hz	100~4000 Hz	1~1000 Hz	1~500 Hz
発振波形	波連	単一パルス	スイープFMパルス	連続した2パルス	単一パルス	減衰振動波形
エネルギー	36 J	100~300 J	2000 J	50~20000 J	3000~80000 J	400~400000 J
地層の分解能	高	高	高	高~中	中	中~低
調査可能水深	2~50 m	2~100 m	2~6000 m	2~2500 m	2~3000 m	2~5000 m
海・河底下の可探深度	シルト~細砂の場合 約 30 m	50~100 m	約 100 m	30~500 m	50~3000 m	500~5000 m

出典: 地質学ハンドブック
産業技術総合研究所 地質調査総合センター (2001)

《音波の特性》

周波数が高い	——	分解能が高い	——	可探深度は浅い
装置は小さい 音波エネルギー小さい		記録精度に優れる		表層部の探査
周波数が低い	——	分解能が低い	——	可探深度は深い
装置は大規模 音波エネルギー大きい		記録精度が劣る		深部までの探査



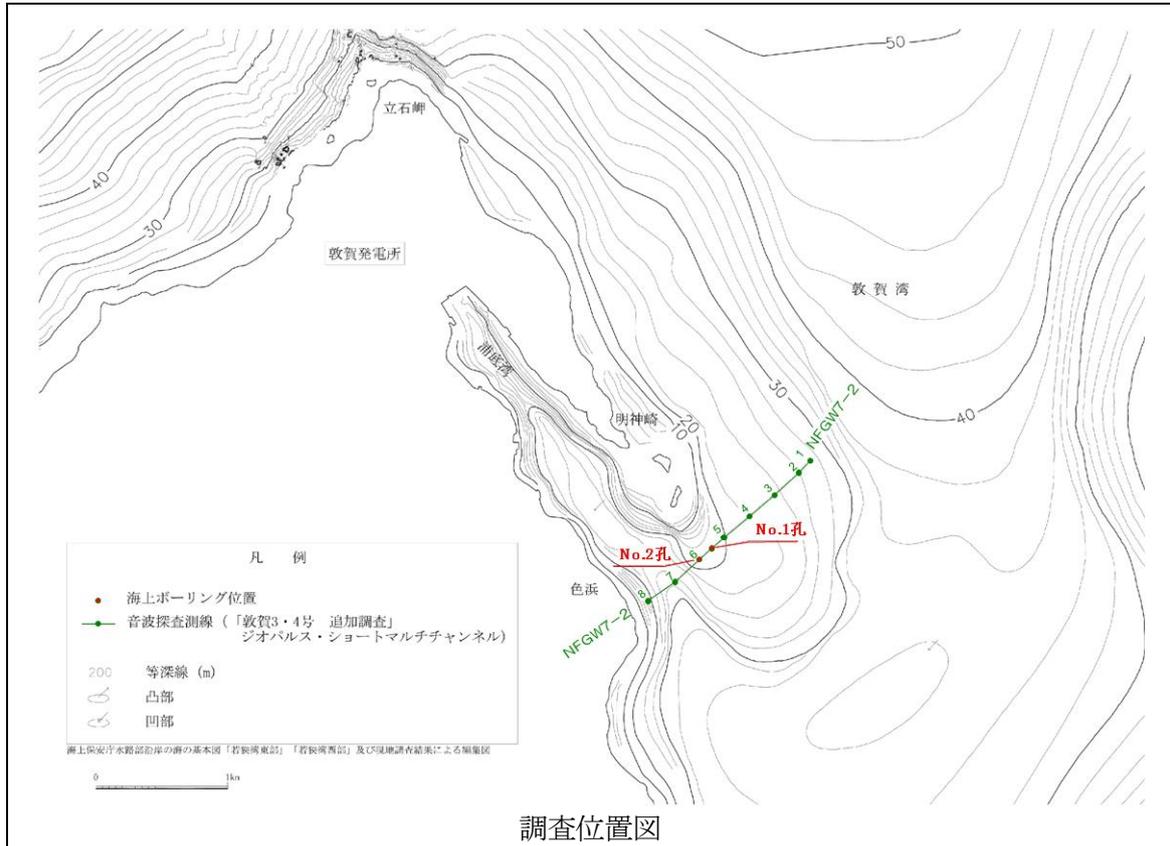
(社団法人 物理探査学会 標準化検討委員会 (2008) より引用)

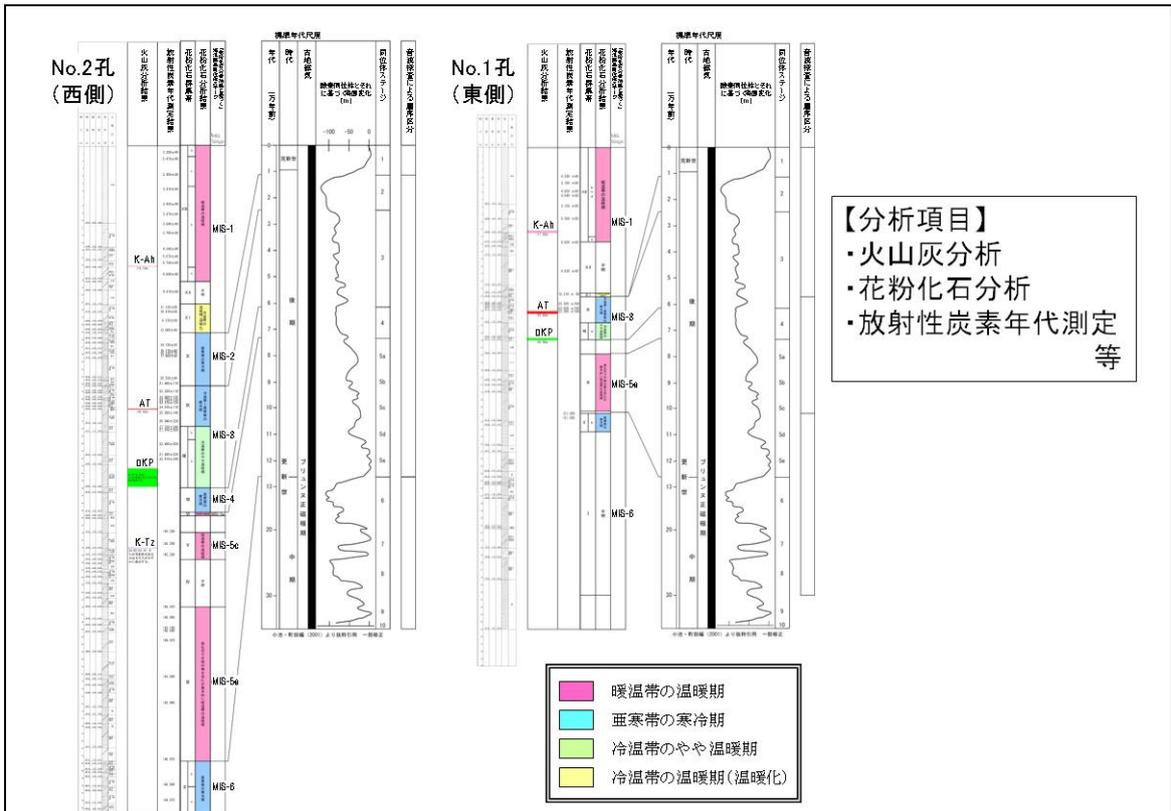
図1 音源周波数と分解能・可探深度との関係

【事例3. 5-4：海上ボーリング試料による地質年代対比の事例】

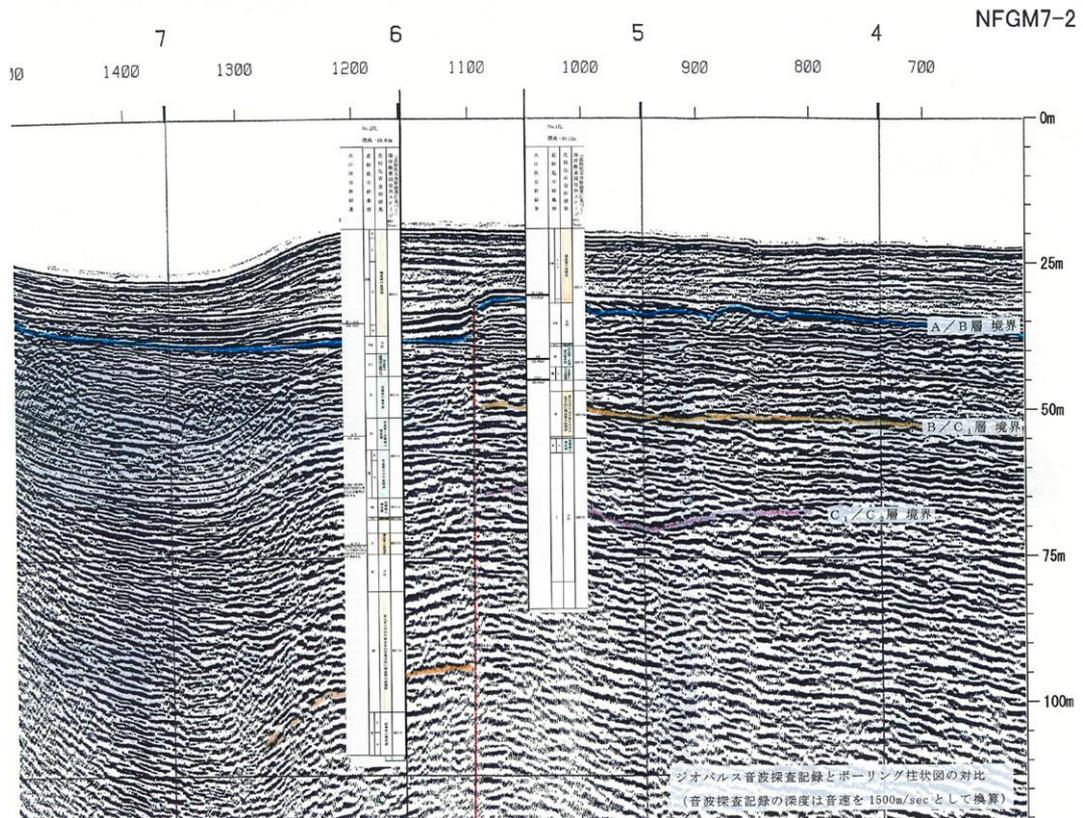
各地層の地質年代について、敷地周辺海域の海上音波探査測線上において実施した海上ボーリング調査結果を基に、ボーリング試料等の年代分析を行っている他機関等の地質年代を参考として対比を行っている。

なお、海上ボーリング調査試料については、火山灰分析、放射性炭素年代測定、花粉分析等を実施している。





海上ボーリング調査結果



海上ボーリング調査結果と音波探査記録の対比

海上音波探査
海上ボーリング

区分		陸域	海域												
文献名	地質時代	申請書※3	申請書※3	海上保安庁水路部 ※1	海上保安庁海洋情報部	地質調査所 ※2		関西電力㈱	福井県	田中・小草					
		敷地周辺	敷地前面	若狭湾東部 (1980a)	若狭湾西部 (1980b)	加賀-福井沖 (2004)	経ヶ岬沖 (1993)	ゲンタツ瀬 (2000)	大飯3.4号炉 (1986)	柳ヶ瀬断層帯 (1997)	山陰沖 (1981)				
第四紀	完新世	沖積層 新期扇状地堆積物	A	I _w	I _w	I			A	P ₁	e				
	更新世	後期	段丘堆積物	B	II _w	II _w	II	T2 F.	T2 F.			B			
		中期	古期扇状地堆積物	C ₁						C		P ₂			
		前期	能登野層	C ₂									III	T1 F.	T1 F.
			古琵琶湖層群	C ₃											
	第三紀	鮮新世	古琵琶湖層群	C ₄	III _w	III _w	IV	H2 F.	HF.	H2 F.		d ₂			
				D				H1 F.	H1 F.	d ₁					
		中新世	後期	固見岳山岩及び相当層 市ノ瀬層 笠谷層	R	IV _w	IV _w	V	K2 F.			K2 F.	D	B	c
			中期					因見層及び相当層 糸生層及び相当層		VI					K1 F.
			前期					竹田層及び相当層 西谷流紋岩類 鉢伏山花崗岩	VII	R		a			
先新第三紀								美濃-丹波褶 中・古生層 江若花崗岩等			V _w				V _w

※1：現 海上保安庁海洋情報部 ※2：現 産業技術総合研究所
 ※3：敦賀発電所原子炉設置変更許可申請（3号及び4号原子炉の増設）

海域の地質層序

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会(合同) ワーキング・グループ2 (第30回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_30/siryo2-1.pdf

3. 6 物理探査

物理探査（地球物理学的調査）は、断層の地下構造及び褶曲等の広域的な地下構造を明らかにすることを目的とする。

調査範囲は、基本的に敷地中心から半径 30km の範囲とし、敷地への影響が大きい活断層が想定される場合は、半径 30km 以遠も対象とする。

平野等の新しい堆積物の変形を明らかにし、活断層の存否を確認する必要がある場合には主に浅部構造探査を行い、深部の断層形状や褶曲構造を解明する必要がある場合には主に深部構造探査を行う。

物理探査には、反射法地震探査、屈折法地震探査、重力探査、電気探査、電磁探査等の手法があり、調査対象とする地域の地質・地質構造、調査目的、現地状況等を踏まえて、適切な手法を選択して実施する。

なお、他機関データが利用可能な場合は、必要に応じてデータの入手、再解析を行い、その上で、事業者独自の物理探査の必要性を検討する。

物理探査の結果は、変動地形学的調査、地表地質調査等によって想定される地表の活断層や地表付近の地質構造の特徴と、相互に矛盾のない合理的な説明ができることを確認するなど、総合的な検討を行う。

〔解説〕

(1) 反射法地震探査【事例 3. 6-1】

反射法地震探査は、地表付近で人工的に発生させた弾性波（P波又はS波）が、地中を伝播し、再び地表に戻ってきた反射波を地表に多数設置した受振器で測定し、地下構造を推定する手法である。

この探査は、水平層の仮定に基づいた重合を基本とした方法であるので、急峻な地形や極端に凹凸が激しい地形では適用が難しい。

また、反射波は、音響インピーダンス（地層の密度と弾性波伝播速度の積）の境界を反射面とするため、上位に位置する地層と下位に位置する地層の音響インピーダンスのコントラストが小さい場合には、その地層境界を把握することは難しい。

(2) 屈折法地震探査【事例 3. 6-2】

屈折法地震探査は、地表付近で人工的に弾性波（P波又はS波）を発生させ、地下の速度の異なる地層境界で屈折して戻ってきた屈折波を、地表に設置した装置で測定し、地下構造を推定する手法である。

地中を伝播する弾性波には、P波とS波があるが、屈折法ではP波の初動を利用した測定方法が一般的である。一方、S波探査は、比較的浅部の速度構造を求める場合に実施される事例が多い。

屈折法は、地盤の深部ほど弾性波速度が速くなるという層状の速度構造を想定して解析される。このため、火山岩分布域や、深層風化若しくは破碎を受けた軟質岩上に緻密な溶岩などの硬質岩が分布する地域などでは、適用が困難な場合がある。

層状の速度構造であっても、下位の速度層の層厚が薄い場合はブラインド層となり、屈折波が初動として地表に現れず、下位の層が検出されないことがある。

測線に平行又は鋭角に高速度層が分布する場合は、測線に直交する測線を追加するなどして、解析精度を高めることが望ましい。

(3) 重力探査【事例3. 6-3, 4】

重力探査は、地表における重力の値が地下に分布する岩石・岩盤の密度、分布深度及び形状を反映することを利用し、地表において重力を測定し、地下構造を推定する手法である。

地下に密度の大きい岩盤が存在する場合や、同じ密度であっても深度が浅い場合に、地表の重力が大きく測定される。

測点付近に存在する大きな建造物や地形が急激に変化する箇所は、微小な測定値に影響を与えるため、これらを避けることが望ましい。

(4) 電気探査

電気探査は、地層の状態に応じて電流の流れやすい部分と流れにくい部分がある性質を利用し、電流の流れやすさの違いを比抵抗で表現することによって地下構造を推定する手法（比抵抗法）である。

地中に電流を流すと、地中の比抵抗の分布と地形の形状に対応した電位分布が地中に生じ、この電位分布を地表面上で測定したデータから、地中の比抵抗分布を推定する。

電気探査には、この比抵抗法のほかに自然電位法や強制分極法がある。

測線の近くに送電線、鉄道、鋼製構造物が存在する場合には、ノイズや異常値の原因となりうるため、これらに近接しないように測線を配置する。

また、解析断面の底部、測線の両端部では解析精度が低下するため、探査範囲を対象範囲よりも広く設定する必要がある。

(5) 電磁探査（電磁誘導法）

電磁探査は、地中に入射した電磁波が電気及び磁気的な特徴が異なる物質に当たると二次的な電磁波を発生させることを利用し、ボーリング孔内等に設置した装置で電磁波を測定し、その強さから地下構造を推定する手法である。

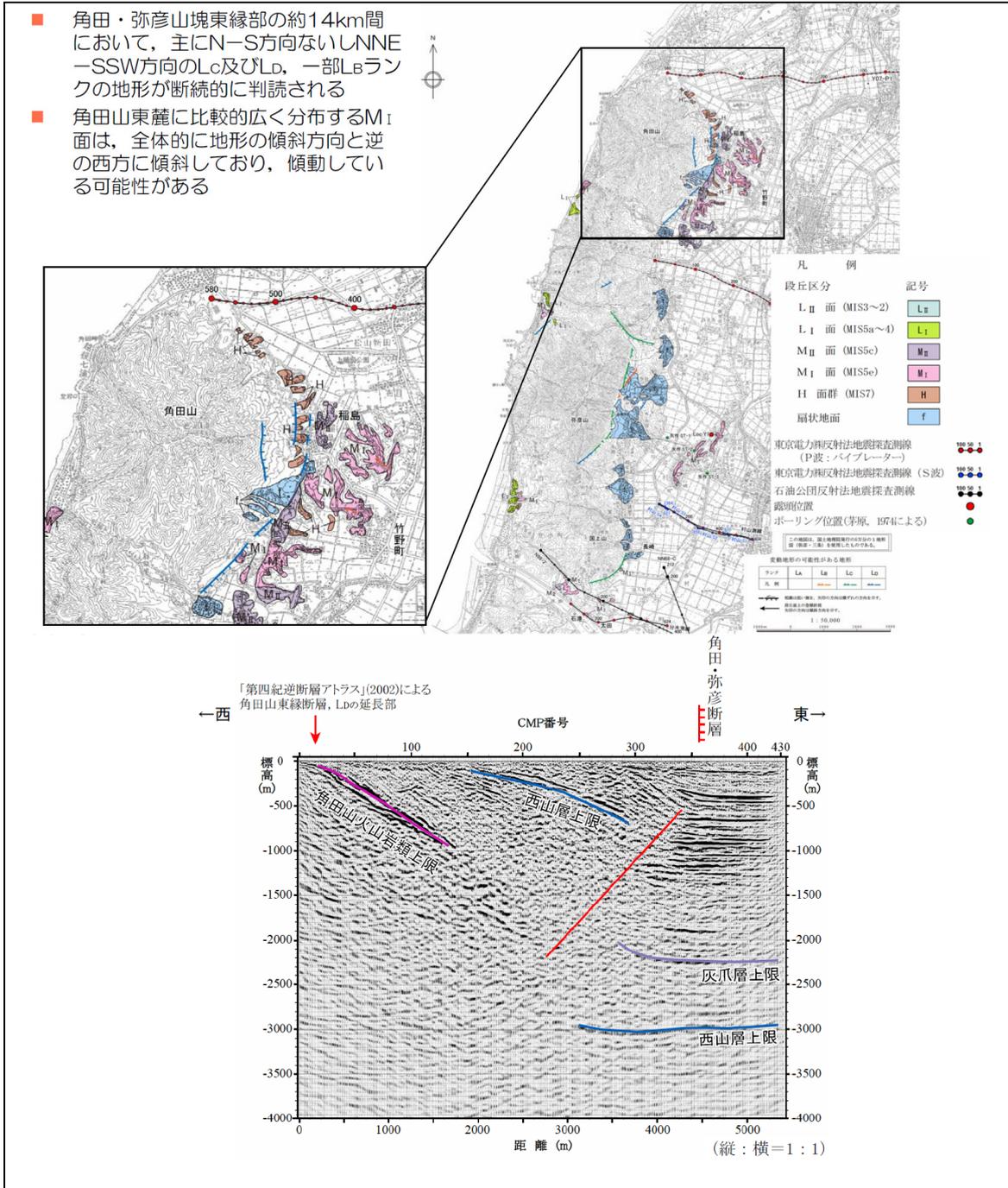
測線の近くに送電線、無線中継所、工場等が存在する場合には、ノイズや異常値の原因となりうるため、これらに近接しないように測線を配置する。ノイズ源が集中する市街地での測定は難しい。

〔事例〕

【事例3. 6-1：反射法地震探査の事例】

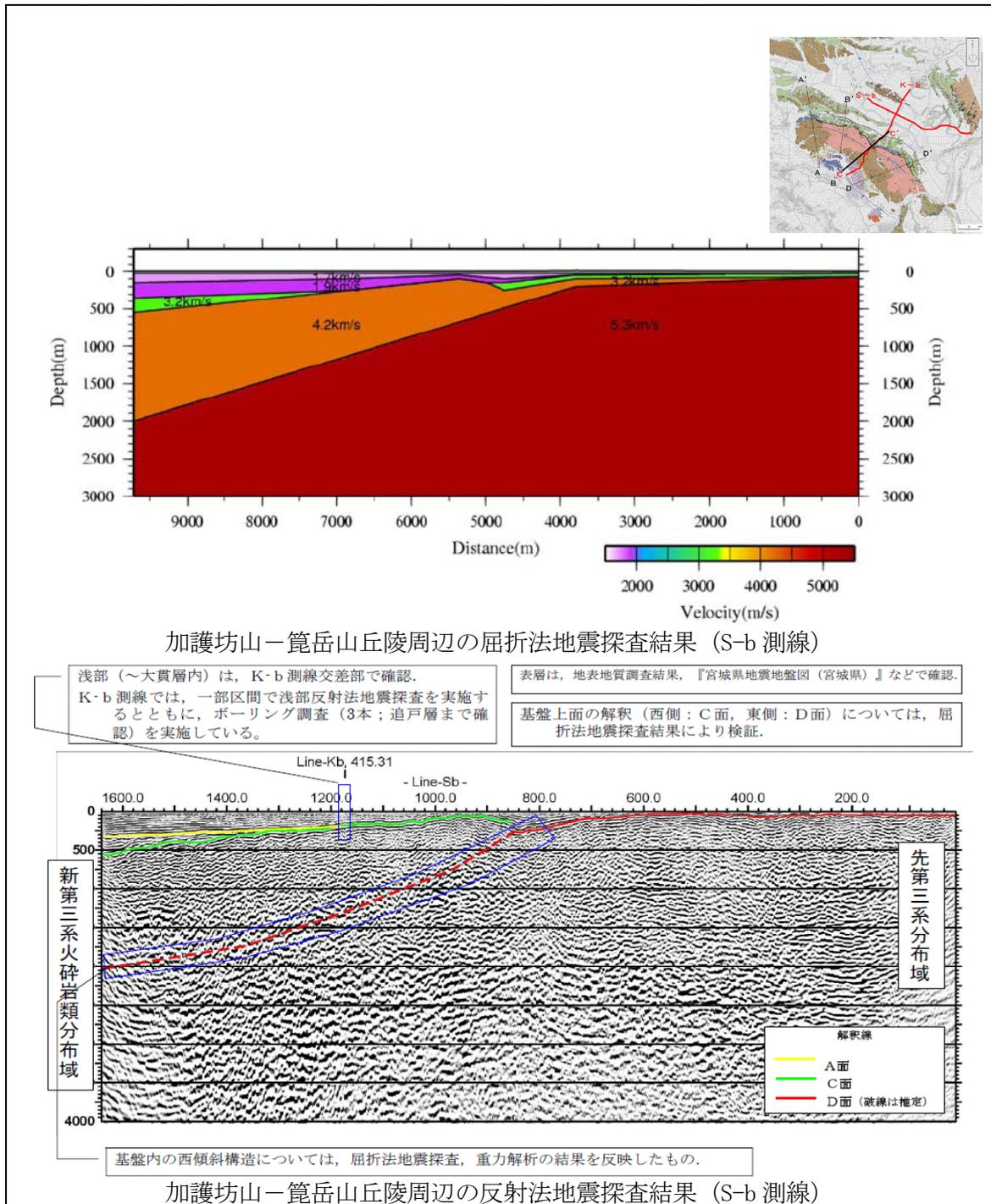
完新統分布域において反射法地震探査を実施し、西上がりの逆断層を確認している。

変動地形学的調査により比較的広く分布するM_I面に地形の傾斜方向と逆の東上がりの傾動が認められることから、東側の完新統分布域に活断層の存在を推定している。



【事例3. 6-2：屈折法地震探査の事例】

深部地質構造の把握を目的とした屈折法地震探査の結果を基に、浅部構造の把握を目的とした反射法地震探査結果について、地表地質調査、ボーリング調査等の各結果と合わせて総合的に検討し、基盤上面の位置や基盤の傾斜構造などを把握している。



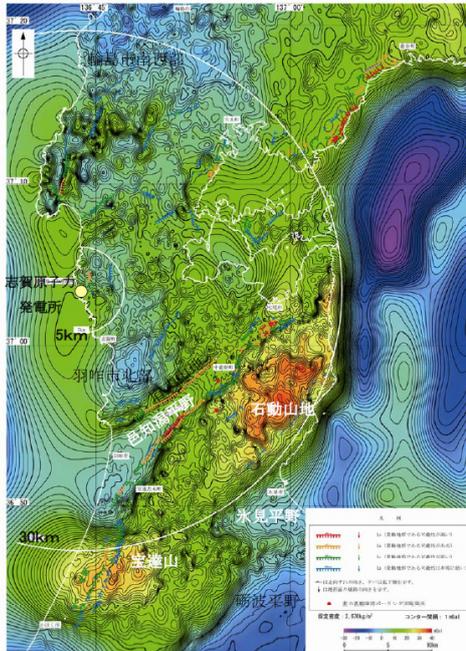
原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ1 (第11回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG1/taishin_godo_WG1_11/siryo2-1.pdf

【事例3. 6-3：重力異常の事例】

重力探査により深部構造を検討し、直線的な重力異常急変部の位置関係を把握している。また、その妥当性を確認するため大深度ボーリングを実施し、基盤岩（花崗岩）の深度を確認している。

陸域の地球物理学的調査(重力探査)

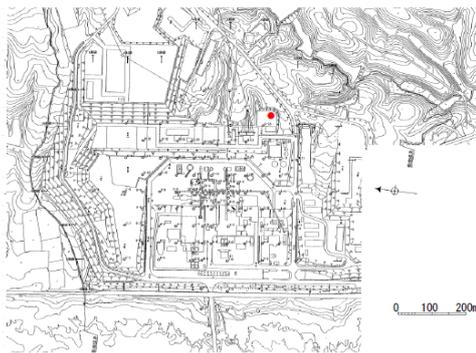


敷地周辺陸域の重力異常図(ブーゲー異常図)

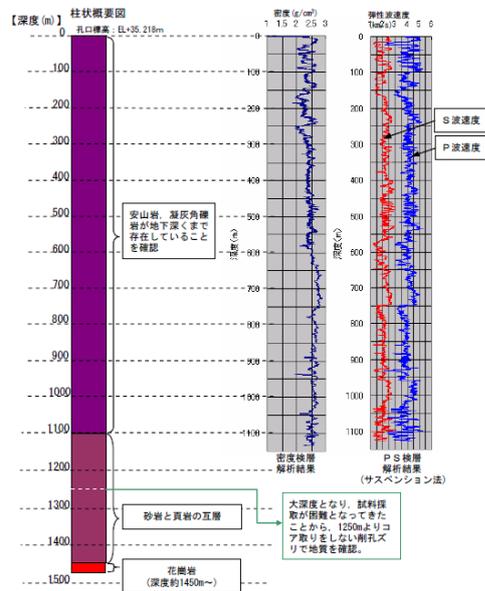
- 能登半島では基盤の花崗岩を新第三紀以降の地層が直接覆っており、これらの密度差が大きい能登半島の地下構造を把握するのに適した手法であることから、高密度重力探査を敷地から半径約30kmの全域で実施
- 敷地近傍陸域ではさらに測定密度を高くした重力探査を実施

- 規模が大きく直線的に連続する重力異常急変部
 - 色知潟平野の北西縁及び南東縁
 - 石動山地と氷見平野との境界
 - 宝達山北部 等
- 能登半島北部、中部では能登半島南部に見られるような重力異常急変部はない(河野他, 2006)

河野 秀輝・本多 亮・浜田 昌明(2006)：能登半島中部の重力異常。日本地震学会2006年度秋季大会予集録, D58.



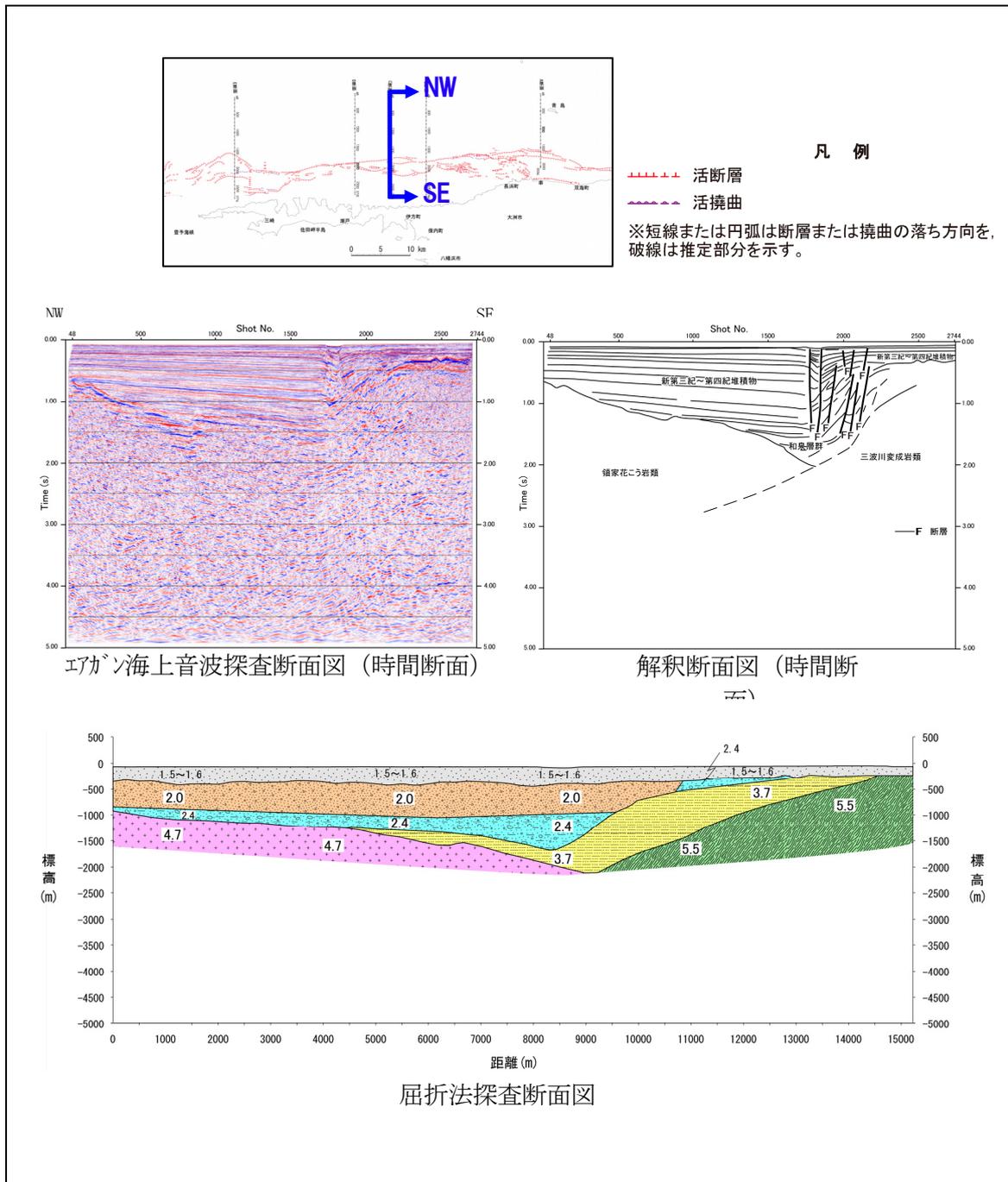
敷地内ボーリング調査地点

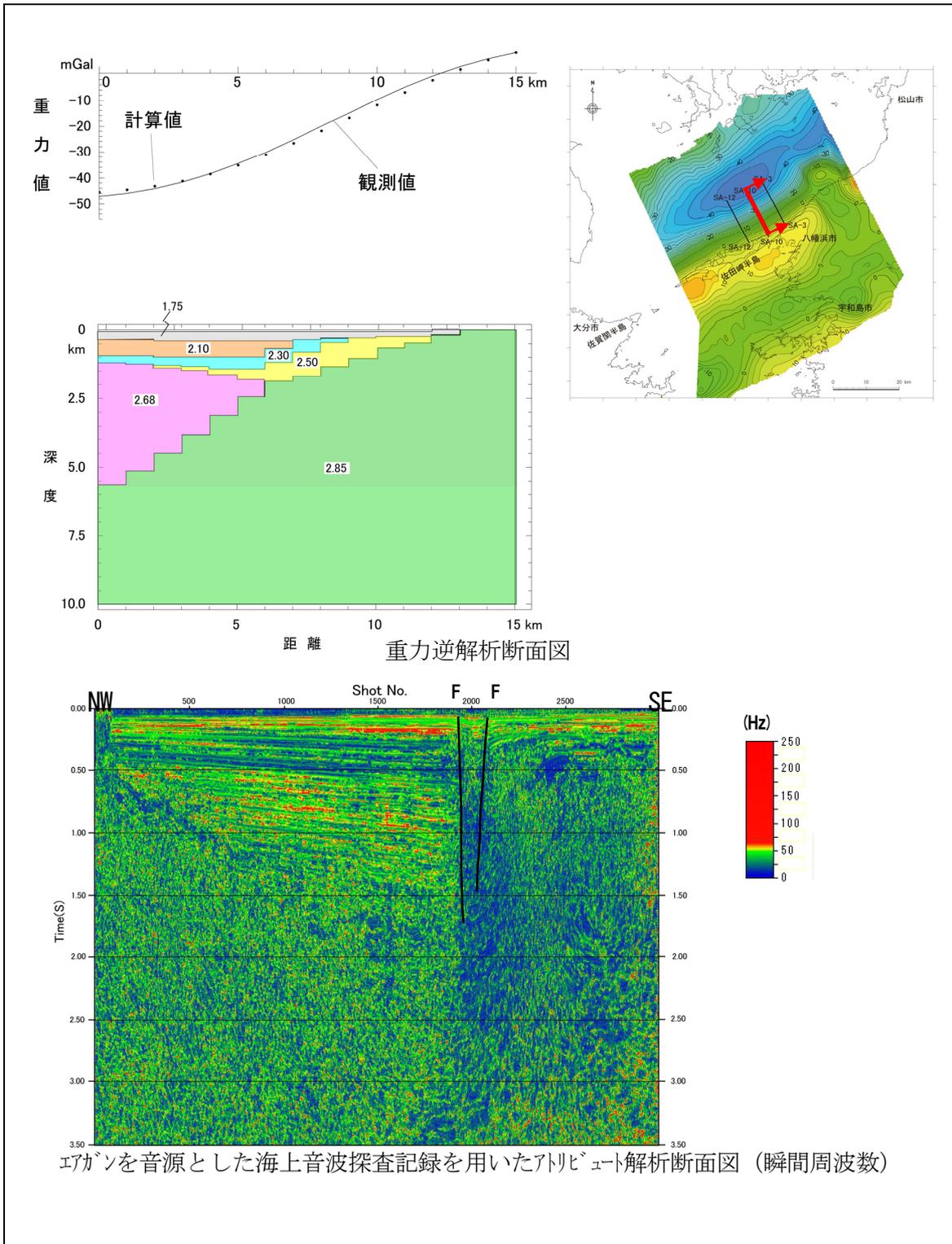


大深度ボーリングに基づく柱状概要図およびPS換層解析結果

【事例3. 6-4：大深度探査の事例】

エアガンを音源とした海上音波探査および屈折法探査を行い、地下数 km 程度までの構造を把握した。また、航空重力測定もあわせて行い、海上音波探査および屈折法探査で得られた速度構造や基盤岩上面形状を既知情報として活用した重力逆解析によって、より深部の構造を評価した。さらには、海上音波探査記録を用いたアトリビュート解析を行い、基盤岩以深の構造を分析した。





原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ3 (第19回, 第38回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_19/siry02-2.pdf

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_38/siry06.pdf

4. 調査結果の解釈

4. 1 地質層序区分

調査範囲内に分布する地層を区分し、各層の水平方向及び鉛直方向の分布・連続性について検討するとともに、それらの地層の構成岩種、岩相、層序及び地質時代について検討しなければならない。

〔解説〕

地層や地形面の形成年代は、耐震設計上考慮する活断層の評価に当たり重要な指標となる。特に、後期更新世の地層や地形面については、最終間氷期に形成されたものか否かの判定が重要である。

地層や地形面の形成年代特定の手段として、火山灰や段丘面の対比による手法が有効である。例えば、洞爺 (Toya)、三瓶木次 (SK)、阿多 (Ata)、御岳第 1 (On-Pm1)、鬼界葛原 (K-Tz)、阿蘇 4 (Aso-4) 等の最終間氷期に降下した広域火山灰や、南関東に分布する下末吉、小原台、三崎等の中位段丘面に対比される段丘面やその構成層は、耐震設計上考慮する活断層の認定に当たって、最終間氷期を示す基準面や地層として利用することができる【事例 4. 1-1】。

また、段丘面の区分及び形成時代、段丘堆積物の堆積時代の検討に当たっては、段丘面の開析の程度、海面や現河床からの比高差や赤色土分布なども参考とすることができる【事例 4. 1-2, 3】。

海域における地質層序区分・地層の編年に際しては、以下の各事項に留意することが望ましい。

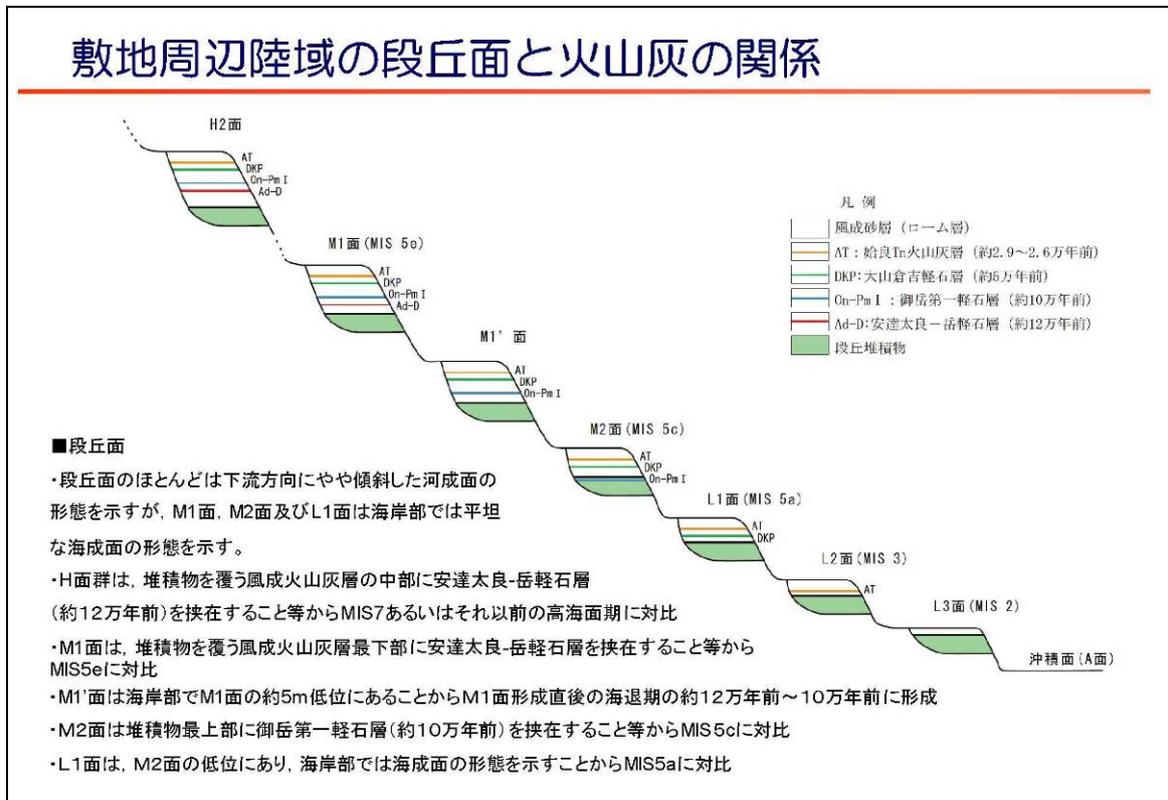
- ① 地層境界を示す海上音波探査の反射面を連続的に追跡していること【事例 4. 1-4】。
- ② 反射面の有無や形状の特徴を考慮した層序区分を行っていること【事例 4. 1-5】。
- ③ 区分された地層の編年については、試錐データやプログラデーションパターン等に基づき、既存資料との対比を踏まえ、検討を行っていること【事例 4. 1-6】。
- ④ 試錐データ等に基づく層序対比の検討では、試錐データによる地層区分と反射パターンとの対比を行っていること【事例 4. 1-7】。
- ⑤ 火山灰や微化石の分析等により、地層の堆積時代を検討していること。この際、再堆積の可能性等について十分検討していること。

地質層序区分の検討に際しては、陸域と海域との整合性に留意する。

[事例]

【事例4. 1-1 : 段丘面と火山灰の関係図の事例】

段丘面の形成年代については、風成砂層（ローム層）に挟在している火山灰との関係も踏まえて推定している。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ Aサブグループ（第2回）
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/1/002/a-2-2-1.pdf>

【事例4. 1-2: 段丘面の分類基準の事例】

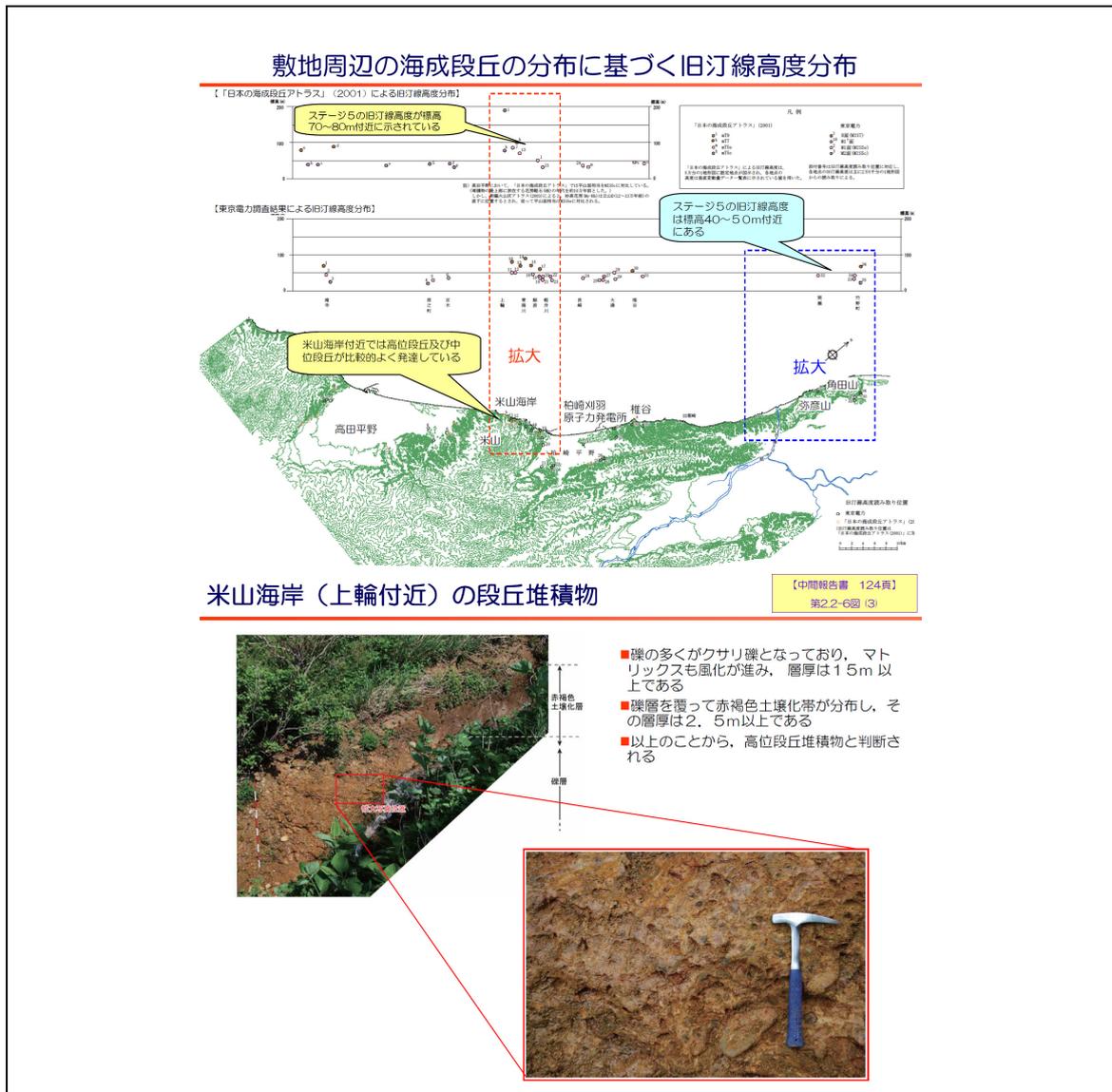
河川沿いに点々と分布する段丘について、段丘面の開析状況、現河床からの比高、堆積物の風化具合、火山灰の挟在などに着目して分類した。

名称	段丘面の開析(平面形と断面形)	推定年代	現河床からの比高	段丘面の開析状態	堆積物	時代あるいは指標
P面		MIS16 約60万年前	200-230m	定高性がある尾根。	著しいクサリ礫。大洲層(山下ほか,2006)の堆積面と考えられる。	葛蒲火山灰(約60万年前)を挟在。
HHf1面			155-170m	定高性がある尾根であるが、まれに段丘面が残っている。	赤色土が発達する。チャート以外の礫はクサリ礫、チャート礫は白濁風化。	浅野ほか(1992)が栗木付近で0.39±0.13MaのFT年代を報告。
HHf1'面			90-150m			
HHf2面			100-120m	平坦面が尾根状に残る。	赤色土が発達する。礫は芯まで風化するが、クサリ礫ではない。チャート以外の礫の断面は赤色化。マトリクスは粘土化し良く締っている。	
HHf3面			85-100m			
Hf1面		MIS10	40-80m	平坦面が残る尾根あるいは開析された台地。	赤色土が発達する。礫は厚さ5-15mmの風化皮膜をもつが、クサリ礫ではない。	最上部にNg-1火山灰(30万年前)とKkt火山灰(33-34万年前)を挟在。
Hf2面		MIS8	30-70m	樹枝状の谷に開析される台地。		Aso-1火山灰(25万年前)が挟まれている可能性が高い。
H3面		MIS7	40-45m	小面積のため平坦面が残る尾根あるいは開析された台地。		瀬戸内海沿いの海成H3面に連続する河成段丘。
Hf3面			25-60m	樹枝状の谷に開析される台地。		
Mf1面		MIS6	15-35m	あまり開析されていない台地であるが、段丘崖が丸みを帯び、段丘面には緩やかなうねりが生じている。	褐色～黄褐色レス層に覆われる比較的新鮮な礫層。礫の表面が変色、風化皮膜は1~3mm程度。	被覆レスからAso4の角閃石、K-TzのβQzを少量検出。
Mf2面			20-30m			被覆レスからAso4の角閃石、K-TzのβQzを少量検出。
M面		MIS5e	15-20m			黄褐色レス層に覆われる。比較的新鮮な砂礫層。風化した角礫を含む。
Lf1面		MIS4	20-25m	わずかに開析谷が発達する台地。	露頭状況は良くないがLf3面では黒色土壌に覆われる新鮮な礫層。	
Lf2面		MIS2	5-20m			
Lf3面			5-20m			
A面		数千年前	10m以下	開析谷が発達しない。		

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ3 (第16回)
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_16/siryo16-2-5.pdf

【事例4. 1-3：海成段丘の旧汀線高度分布による検討事例】

文献調査結果によると、MIS5e の最高位旧汀線高度は米山海岸付近において標高 70m～80m 程度の値を示すとされている。このため、米山海岸付近の段丘堆積物について地表踏査を実施した結果、クサリ礫層からなりマトリックスも風化が進んでいること、クサリ礫層は層厚 2.5m 以上のローム層に覆われ、ローム層上部に阿蘇4火山灰層を挟在することを確認し、高位段丘面と判断している。

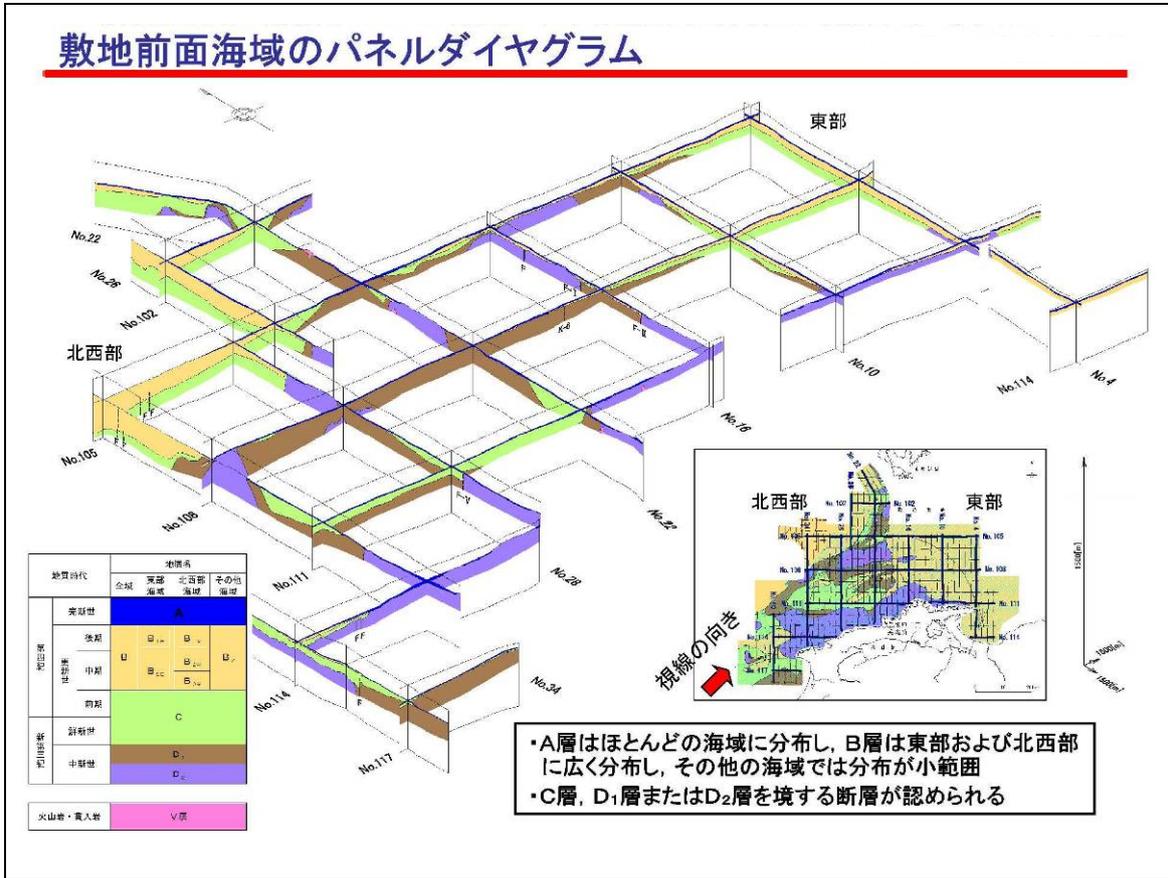


経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ (第19回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/019/19-2-1.pdf>

経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ (第8回)
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80513b05j.pdf>

【事例4. 1-4：パネルダイヤグラム（3次元表示）による層序区分の妥当性検討の事例】

層序区分された地層の分布深度，厚さ等の整合性については，各測線のクロスチェックで確認しているが，その結果についてはパネルダイヤグラムを用いて説明している。



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会（合同）ワーキング・グループ3（第39回）
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_39/siryo6.pdf

【事例4. 1-5：層序の記録パターンの特徴の事例】

海域における地質層序区分は、海上音波探査で認められる反射面の連続性、下位層との不整合関係、堆積構造及び反射パターンの特徴に着目して実施している。

海底地質(層序区分)

- ・海上音波探査で認められる反射面の連続性、下位層との不整合関係、堆積構造および反射パターンの特徴により、上位からA層、B層、C層およびD層の堆積物または堆積岩と火山岩・貫入岩のV層に区分
- ・B層は敷地前面海域の東部および北西部に広く分布し、その他の海域では分布が小範囲分布
- ・B層は層内の不整合面等により、東部海域では上位からB_{1E}層、B_{2E}層に、北西部海域ではB_{1W}層、B_{2W}層、B_{3W}層に細区分し、その他の海域では分布が限られ、かつB層の層厚が薄いことから細区分せずB_x層とした
- ・D層については、層内の不整合面により、上位からD₁層、D₂層に細区分

地層名		地層境界及び堆積構造	反射パターンの特徴
A層		下位層上面の浸食面を不整合に覆う。	一般に海底面にはほぼ平行な成層パターン、一部で散乱パターン、一部で海底面に斜交するパターンを示す。
東部海域	B _{1E}	下位層上面の浸食面を不整合に覆い、下位層上面が起伏面の場合は、部分的にオンラップ状の不整合関係を示す。	連続性に乏しい波状パターン又は一部でプログラデーションパターンを示す。
	B _{2E}	下位層上面の浸食面を不整合に覆い、下位層上面が起伏面の場合、部分的にオンラップ状の不整合関係を示す。	ほぼ水平かやや傾斜する成層パターンを示す。
北西部海域	B _{1W}	下位層上面をオンラップ状の不整合で覆う。	連続性の良い層理パターンを示し、ほぼ水平かやや傾斜する成層パターンを示す。
	B _{2W}	下位層上面を不整合に覆う。 層内の一部に軽微な不整合面が見られるが、B _{2W} に一律する。	連続性の良い層理パターン又は顕著なプログラデーションパターンを示す。
	B _{3W}	下位層上面を不整合に覆う。	ほぼ水平かやや傾斜する成層パターンを示す。
その他	B _x	下位層上面を不整合に覆う。	連続性に乏しい波状パターンを示す。
C層		下位層上面の浸食面を不整合に覆い、下位層上面が起伏面の場合は、部分的にオンラップ状の不整合で覆う。	一般に極めて緩やかに褶曲した波状パターン又は連続性に乏しい成層パターンを、一部で成層パターンを示す。
D層	D ₁	起伏する下位層上面をオンラップ状の不整合で覆う。	褶曲した成層パターンを示す。
	D ₂	音響基盤	連続性に乏しく褶曲した成層パターン又は無層理パターンを示す。
V層		D層又は一部でC層に貫入し、岩床状又は岩脈状を呈する。	無層理パターンを示す。

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ3 (第3回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_03/siryu3.pdf

【事例4. 1-6：プログラデーションパターンの形成時期・形成過程検討の事例】

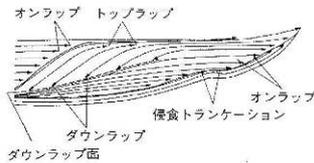
海域における地質層序区分については、シーケンス層序学に基づいた地層区分及び編年を実施している。

シーケンス層序学に基づいた地層区分および編年

シーケンス層序学に基づいて地層区分および編年を実施した

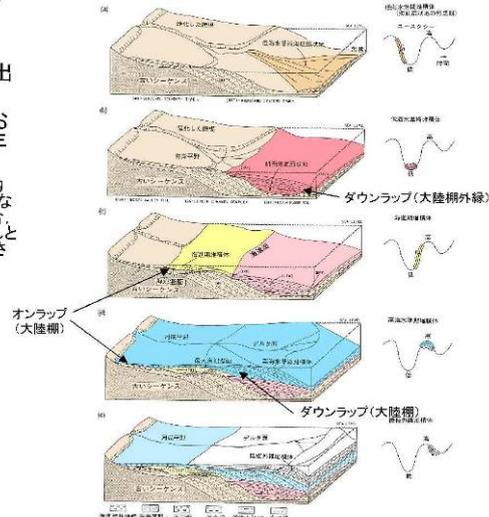
- 音波探査記録断面から反射波の不連続面を抽出（従来の音響層序区分とほぼ同様の手法）
- 不連続面により区分された地層ユニットの形態および位置と海水準変動の関連から地層の形成年代を推定

（例えば、プログラデーションの形態を示す地層ユニットは比較的浅海域で堆積する海退相であることが知られているが、このような地層が現在の大陸棚外縁付近に分布することが確認された場合、過去に海水準が下がった時期に堆積したことが想定される。これと海水準変動曲線とを対比することにより、MIS2やMIS6等に形成されたことが推定できる。）



第1図 磁気特異で見られる特徴的な反射面の連続性のパターン (Mitchum et al., 1977)

【酒井ほか(1995)⁽⁴⁾から引用】



第4図 北東シベリア (A)、南東シベリア (B)、東シベリア (C) の地層のシーケンス層序学による地層区分と編年 (Ishiguchi, 2013)

【酒井ほか(1995)⁽⁴⁾から引用・加筆】

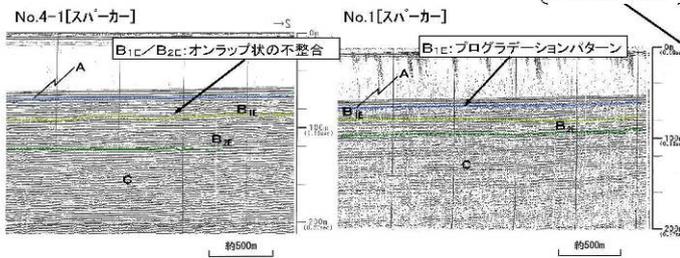
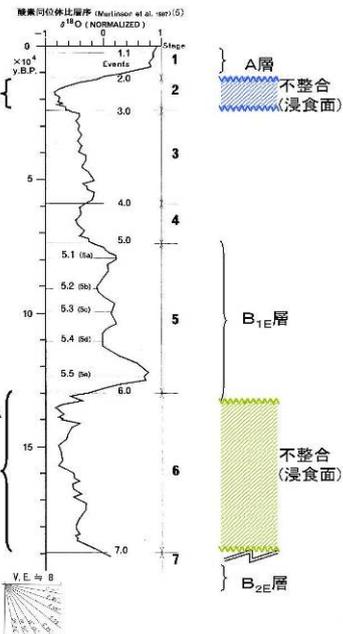
東部海域のB層の年代対比

- ・B_{1E}層とB_{2E}層の境界面は、東部海域の大陸棚において、B_{2E}層の上面に顕著な浸食面が広く認められ、A層とB_{1E}層の浸食面の下位に位置することから、至近の低海水準期の時期 (MIS6) の陸化に伴う浸食面と判断
- ・B_{1E}層はB_{2E}層上面の浸食面をオンラップ状に不整合に覆い、一部にプログラデーションパターンが認められることから、高海水準期である最終間氷期 (MIS5) の堆積物とし、上部更新統と判断
- ・B_{2E}層はB_{1E}層の下位に位置し、B層が中部～上部更新統であることから、中部更新統と判断

地質時代	地層名	地形学的位置	地層境界及び堆積構造	反射パターンの特徴
完新世	A層	大陸棚	下位層上面の浸食面を不整合に覆う。	一般に海進面にほぼ平行な成層パターンを、一部で散乱パターン、一部で海進面に斜交するパターンを示す。
	B _{1E} 層	大陸棚	下位層上面の浸食面を不整合に覆い、下位層上面が起伏面の場合、部分的にオンラップ状の不整合関係を示す。	連続性に乏しい波状パターン又は一部でプログラデーションパターンを示す。
第四紀 更新世	B _{2E} 層	大陸棚	下位層上面の浸食面を不整合に覆い、下位層上面が起伏面の場合、部分的にオンラップ状の不整合関係を示す。	ほぼ水平かやや傾斜する成層パターンを示す。

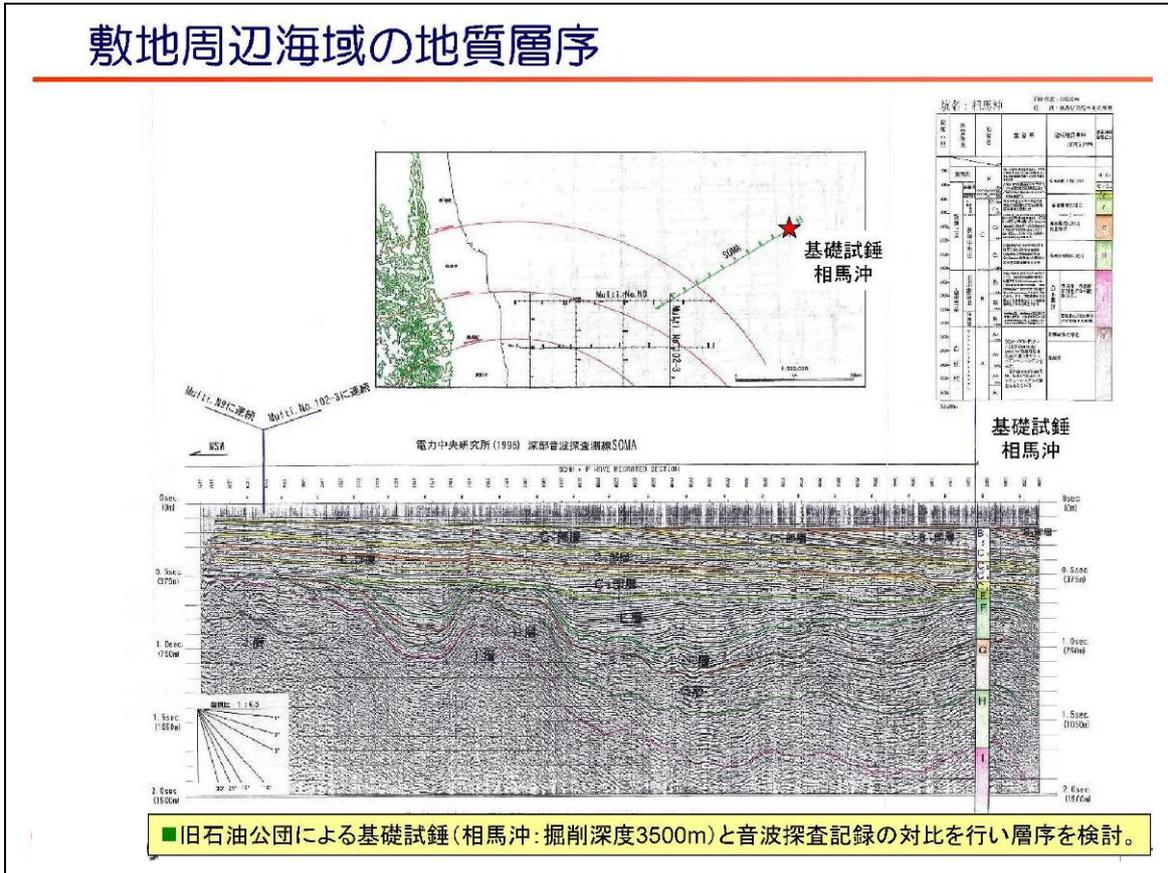
最終氷期の浸食面

B_{1E}層/B_{2E}層境界の不整合面が形成されたと考えられる最も若い時期



【事例4. 1-7：試錘データと音波探査記録の対比による層序の検討の事例】

敷地周辺海域に分布する地層の層序区分については、反射パターンの特徴、陸域に分布する地層との連続性、ドレッジ等により採取した試料の岩相及びその微化石分析結果に加えて、他機関による資料（基礎試錘データ）の解析及び音波探査記録との対比等に基づき、陸域の地層との対比、堆積年代の推定を行っている。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ Aサブグループ (第4回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/1/004/4-3-1.pdf>

4. 2 陸域における詳細検討を行う断層の抽出

陸域における詳細検討を行う断層については、まず、文献調査結果、変動地形学的調査結果等に基づき、活断層の疑いのある地形をすべて抽出する必要がある。抽出した活断層の疑いのある地形の中から、敷地への影響等を勘案して、詳細検討を行う断層を適切に選定する。

〔解説〕

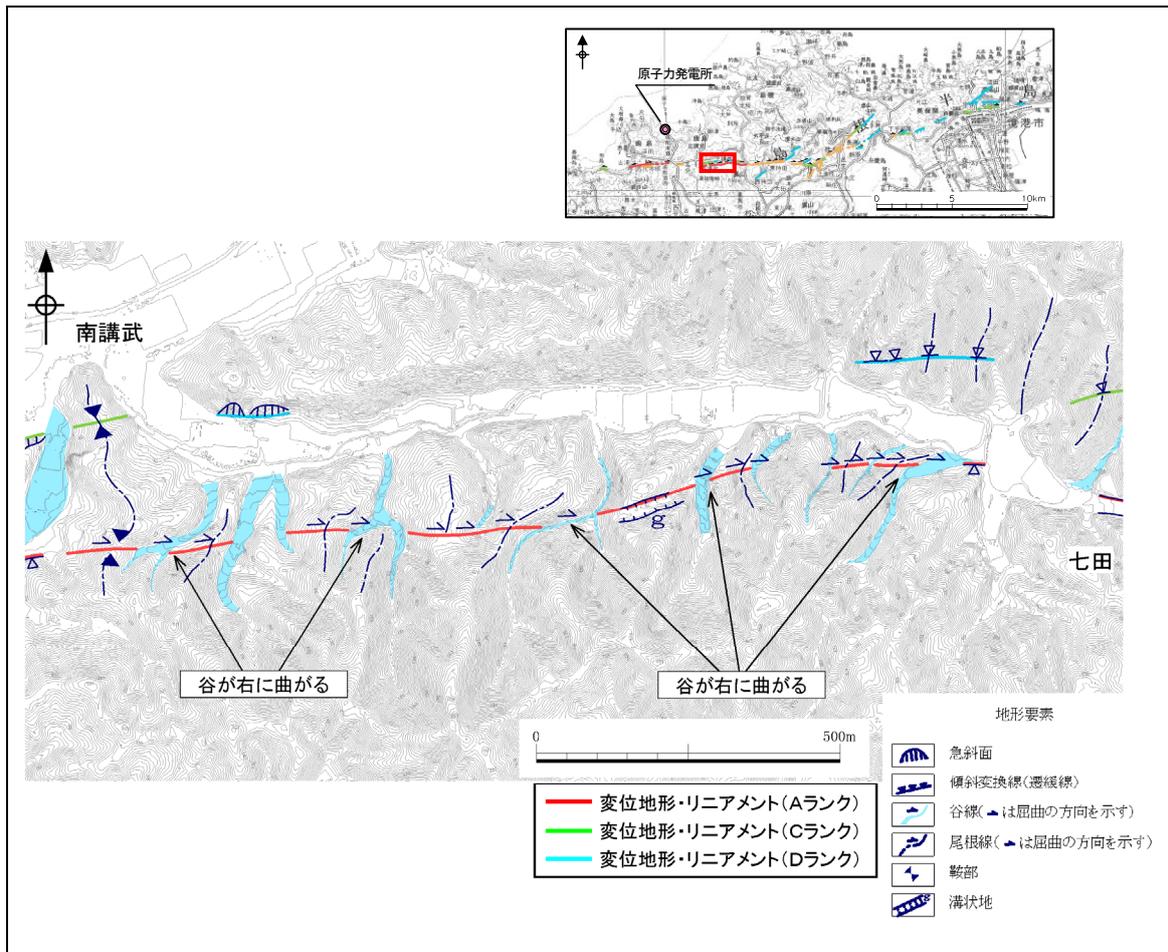
活断層の疑いのある地形の抽出では、調査地域の地形面の抽出と区分を行い、対象とする地域の一般的な地形から想定される地形発達史に合致しないもの、断層等の活構造の影響を考えないと合理的に説明することができないものを対象とする【事例4. 2-1～5】。

また、断層の端部付近では、変動地形が不明瞭となる場合もあるため、様々な可能性について考慮することが望ましい。

地表踏査においては、活断層の疑いのある地形に一致する断層が確認された場合、断層の活動性について検討する。また、地表踏査により活断層の疑いのある地形に必ずしも一致しない断層が確認された場合にも、その成因等について検討することが望ましい。

【事例4. 2-1：活断層の疑いのある地形の抽出結果の事例】

調査地の一般的な地形発達史からはその成因を浸食による組織地形として説明することが難しいと判断され、右に曲がる谷や尾根の連続に対して、判読基準に従い高いランクの活断層の疑いのある地形を抽出している。また、この周辺に認められる急斜面や傾斜変換線などの連続に対しては、判読基準に従い低いランクの活断層の疑いのある地形を抽出している。

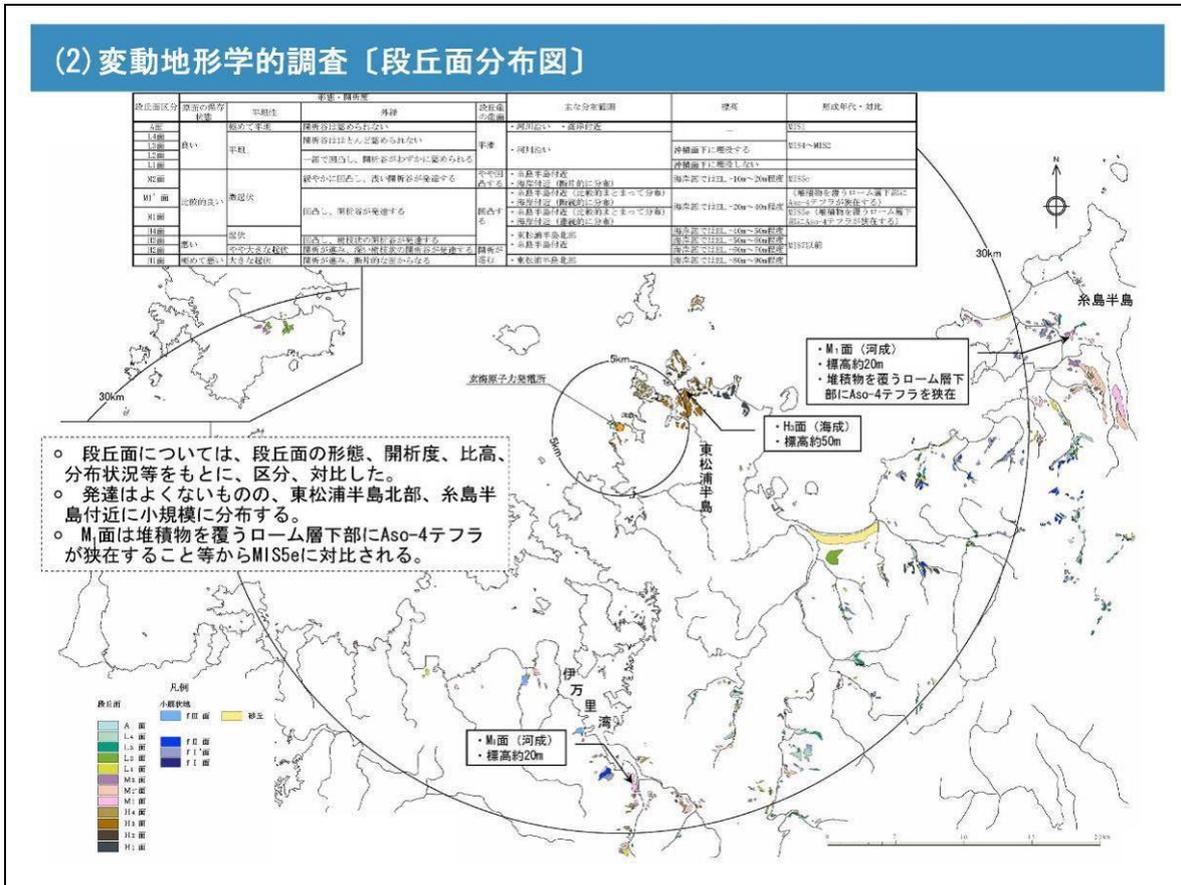


原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ3 (第24回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_24/siryu2.pdf

【事例4. 2-2：活断層の疑いのある地形の分布図の事例1】

空中写真判読によって認められる平坦面を、その平面・断面形態、分布状況から、段丘面、火砕流堆積面等に分類・抽出し、段丘面については、段丘面の形態、開析度、比高、分布状況等をもとに区分、対比している。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
 地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ Bサブグループ (第6回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/2/006/6-6-2-1.pdf>

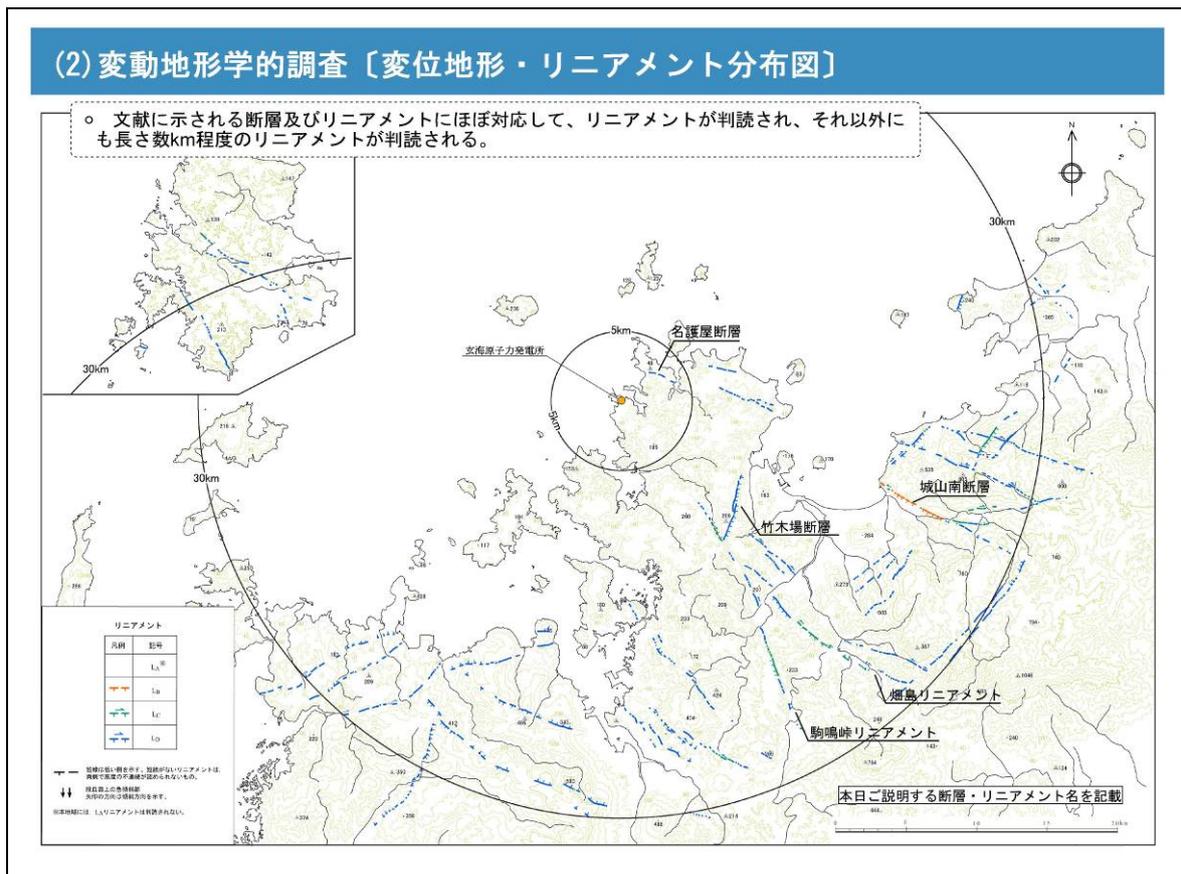
【事例4. 2-3：活断層の疑いのある地形の分布図の事例2】

活断層の疑いのある地形の表示は、急崖、低崖、鞍部等の地形要素が確認できる所のみとし、より新しい沖積面等に覆われているものと判断される所には表示していない。

地形面に高度差が認められる場合には、低下側に短線（ケバ）を加え、尾根・水系等に屈曲が認められる場合には、矢印でその方向を示している。

地形面に傾動あるいは撓み状の地形が認められる場合には、矢印で地形の低下方向を表示し、矢印の長さでその区間を示している。

急崖、低崖等の場合、活断層の疑いのある地形は、崖地形の基部に表示している。



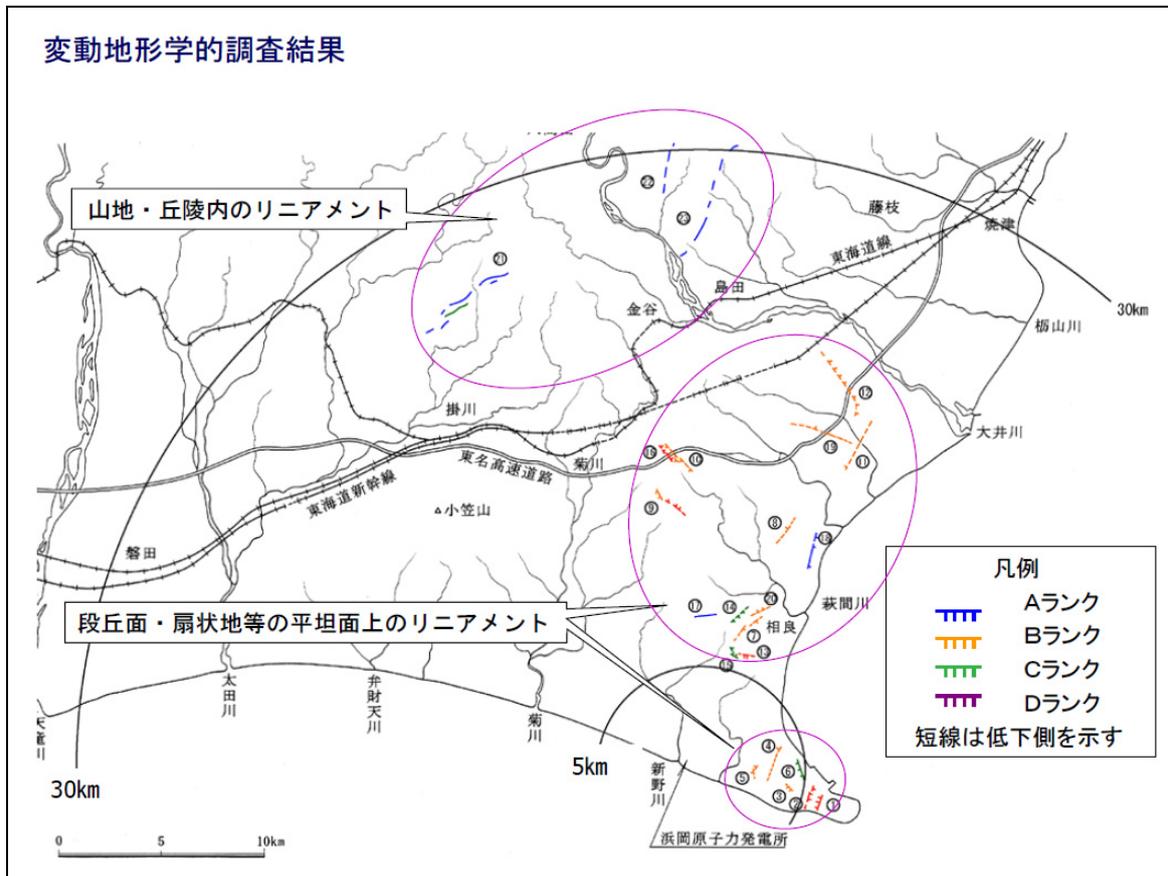
経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ Bサブグループ (第6回)

<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/2/006/6-6-2-1.pdf>

【事例4. 2-4：活断層の疑いのある地形の分布図の事例3】

段丘面・扇状地等の平坦面上には、低崖、緩斜面、高度不連続、地形面の傾斜からなる活断層の疑いのある地形が認められる。

また、山地・丘陵内には、鞍部・直線谷の連続、尾根・河谷の屈曲、傾斜遷緩線などからなる活断層の疑いのある地形が認められる。

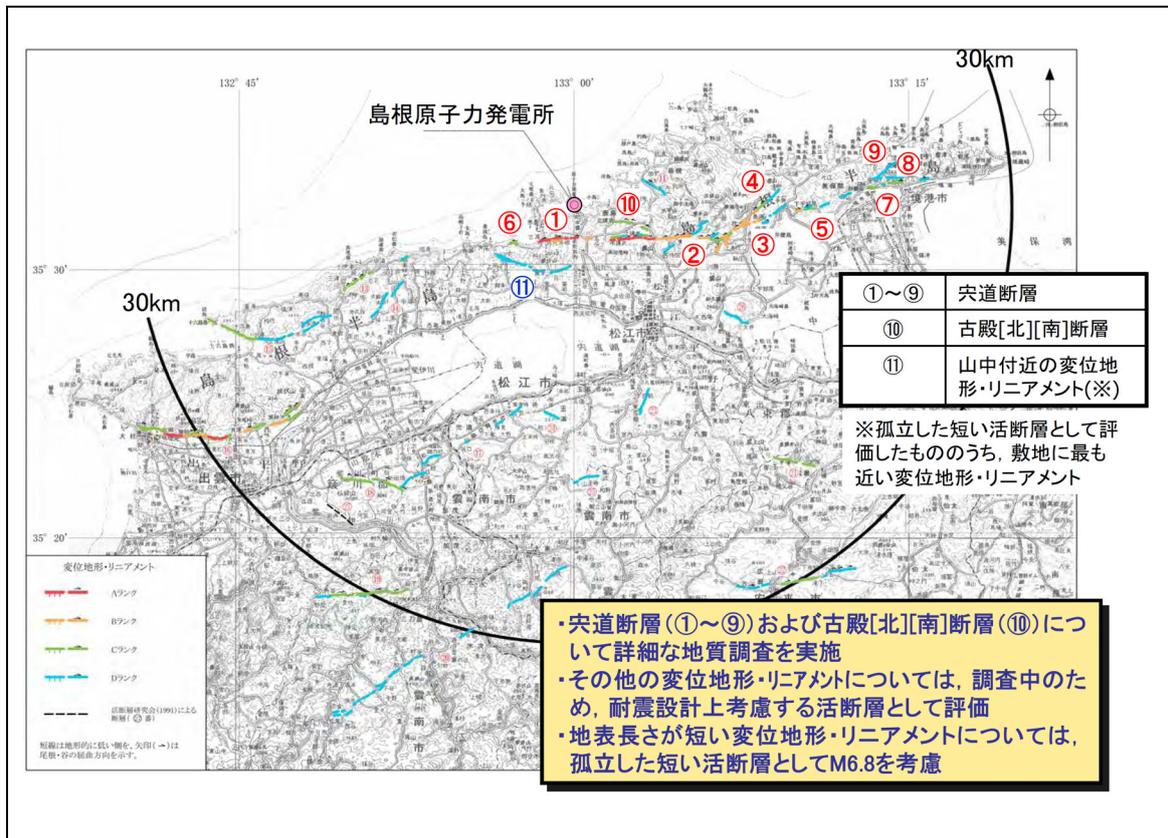


経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地質・地盤ワーキンググループ (第1回)

<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g70531b07j.pdf>

【事例4. 2-5：活断層の疑いのある地形の分布図の事例4】

島根半島の全域に亘って、ほぼ東西方向の活断層の疑いのある地形の分布が認められ、これらの中にはランクの高いものが含まれる。一方、南部に広がる山地では、半島部と同様にほぼ東西方向の活断層の疑いのある地形が認められるが、これらは散在して分布しており、ランクは総じて低い傾向にある。



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ3 (第6回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_06/siryoy1-1.pdf

4. 3 海域における断層の認定

海域における断層を認定するに当たっては、海上音波探査記録上の反射面に断層運動を示す変位・変形の累積が認められるか否かを判断する。

地質構造を解釈するためには適切な縦横比の断面図を用いることが重要であるが、必要に応じて、縦横比を大きくした断面図で断層を認定しなければならない。

〔解説〕

海上音波探査記録に基づく断面図を総称して、音波探査記録断面図という。音波探査記録断面図には、地層境界等の解釈に係る情報が記入されていない反射断面図、地層境界等の解釈結果のみを表現したスケッチ及び両者を重ね合わせた解釈断面図があり、これら3種の音波探査記録断面図を作成することが望ましい。

海域における断層を認定するに当たっては、以下に示す反射パターンに着目する【事例4. 3-1～5】。

- ① 反射面の切断
- ② 反射面の傾斜の急変
- ③ 水平方向の反射パターンの急変
- ④ 反射面の不連続
- ⑤ 反射面の系統的な曲がり（傾斜変換点の連続）

断層の形状を把握するためには深度断面も有効であるが、深度変換の際に地層の弾性波速度として速度解析の値を用いる場合には、地層の真の速度とは限らないことや真の深さに対応していない場合もあることに留意が必要である。

後期更新世よりも古い地層には断層や褶曲構造が認められるが、その上位の後期更新世以降の地層には変形構造が一見して認められない場合でも、その活動性を慎重に検討する。その場合、当該部分の縦横比（反射断面を鉛直方向に引き延ばして見やすくした際の比率）を上げるなどして判読することにより断層等の解釈に有効な場合がある。ただし、地質構造の傾斜角が強調されていることから、その傾斜が構造運動によるものか否かを慎重に検討する必要がある。更に、縦横比を大きくした場合、紙面の大きさが限られていると水平方向の分解能が低下するため、断層の測線上の位置関係や断層の傾斜角を把握することには不向きであることに注意が必要である。

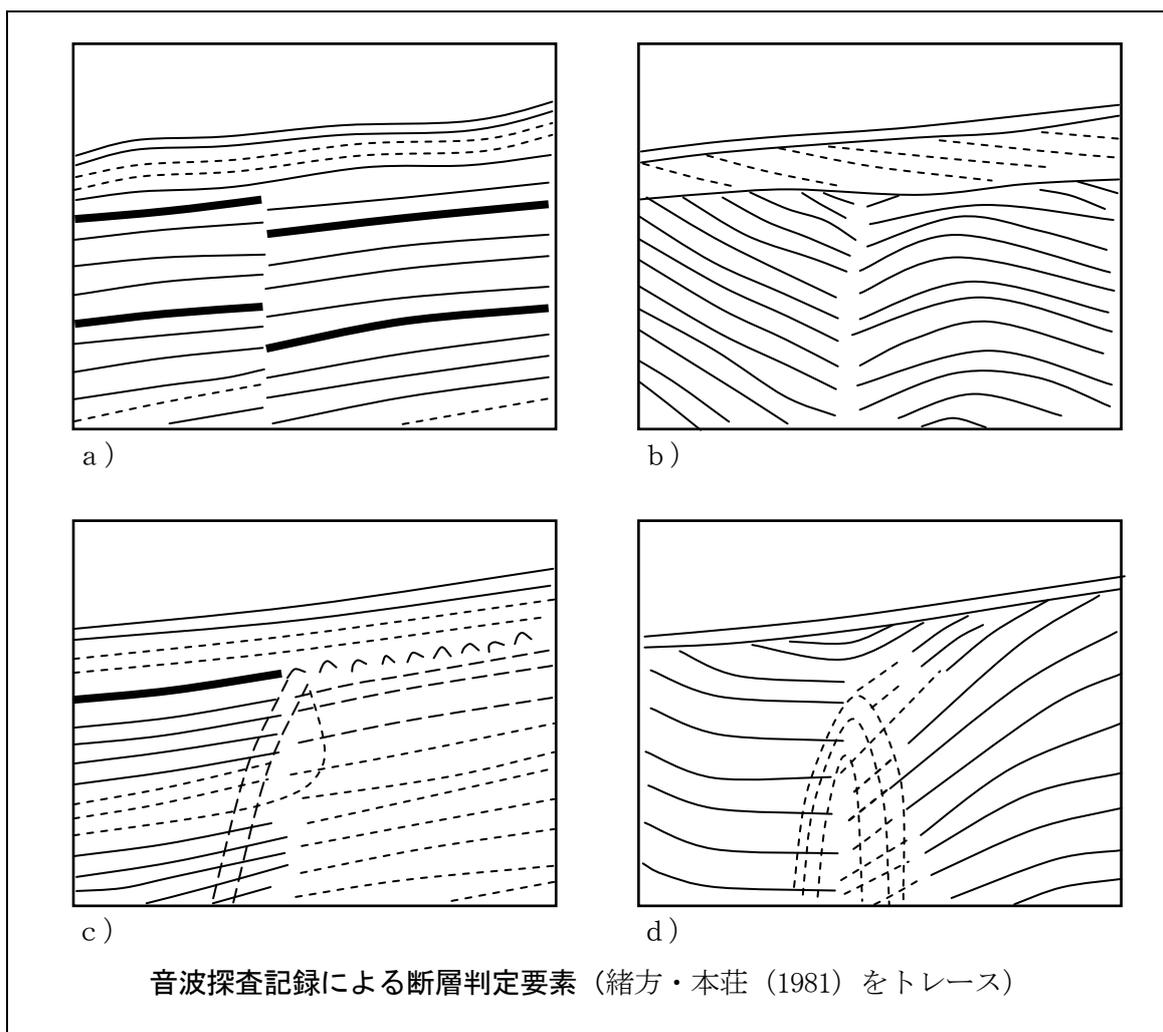
なお、反射波の特性を分析するアトリビュート解析が断層の認定に有効な場合もあり、参考にすることができる（M. T. Taner, 1979）。

〔事例〕

【事例4. 3-1：海域活断層の評価基準の事例（緒方・本荘（1981））】

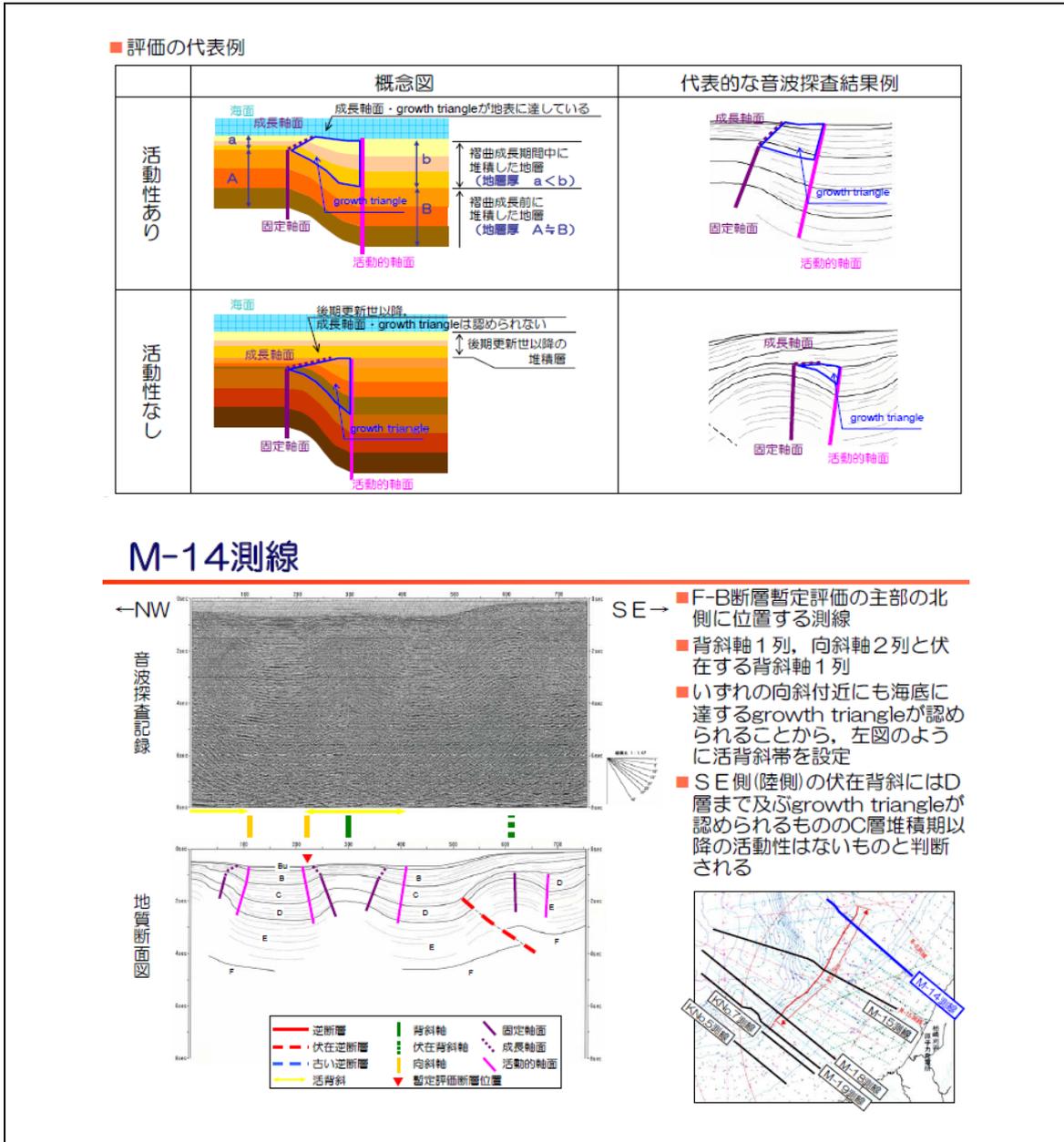
- a) 地層の切断
- b) 地層の傾斜の急変
- c) 水平方向の岩相の急変
- d) 地層面（反射面）の不連続

a) は記録上で対応する反射面に明瞭な落差が認められるものであり，陸上の断層露頭における地層の切断に相当し最も確実な断層判定である。b), c), d) はそれぞれ断層存在の可能性を示すものであり，使用した探査手法の要素（分解能，記録上の縦横縮尺比など），周辺，海域の地質構造の特徴，及び隣接測線における性状などを考慮して断層の存否を判断する必要がある。b), d) のパターンにおいては，音波探査の原理上背斜構造は真に近い形で表現されるが，急傾斜の向斜構造は地層の不連続とみることが多いので，褶曲と断層の判別に注意を要する。またc) における記録上岩相変化を示す断層以外の諸要因，例えば礫層，火山岩層の分布などについての考察が必要である。



【事例4. 3-2：海上音波探査による断層関連褶曲（逆断層）の評価結果の事例】

音波探査記録による断層の評価に当たっては、断層構造のみでなく断層運動に伴って形成される撓曲を含む褶曲構造も対象としている。断層運動に関連した褶曲構造の解析においては、岡村（2000）に基づき、褶曲構造の成長過程に伴って形成されるgrowth triangle及びgrowth strataと呼ばれる特徴的な構造に着目して評価している。

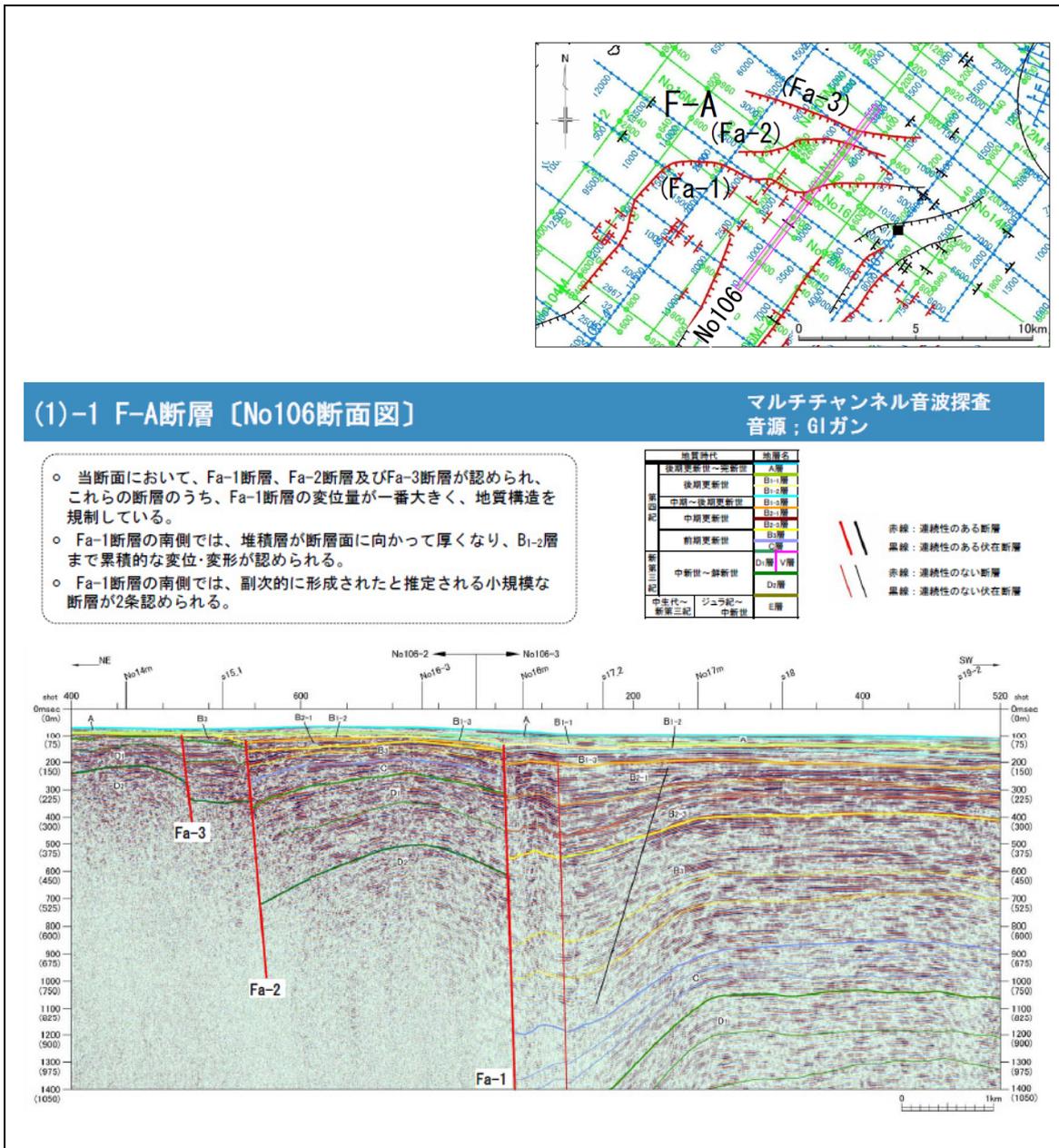


経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ（第5回）

<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80327d03j.pdf>

【事例4. 3-3：海上音波探査による正断層の評価結果の事例】

断層を挟んだ両側の地層分布状況，断層の傾斜方向等から，正断層と判断される。

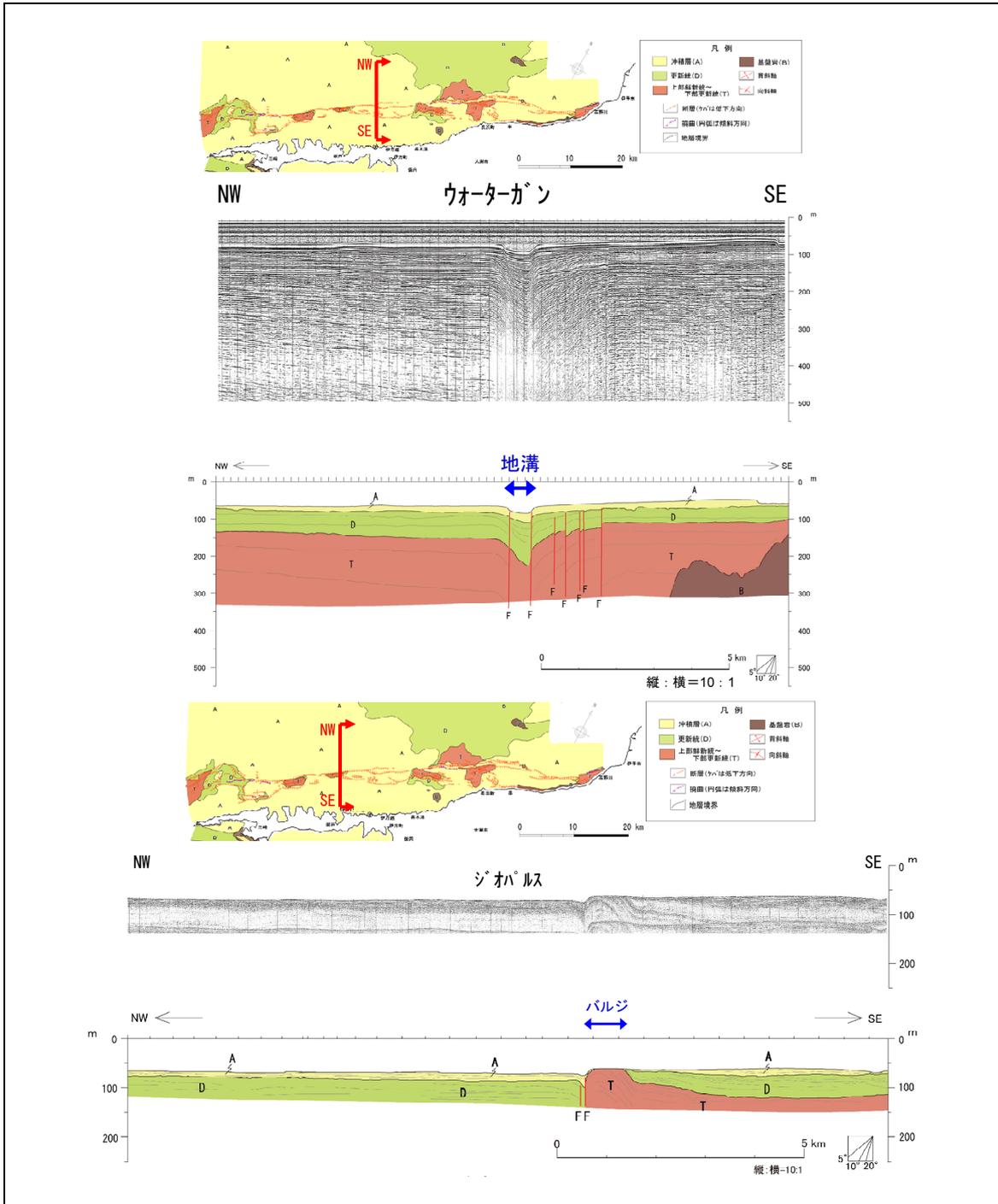


原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会（合同）ワーキング・グループ3（第40回）

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_40/siryu5-1.pdf

【事例4. 3-4：海上音波探査による横ずれ断層の評価結果の事例】

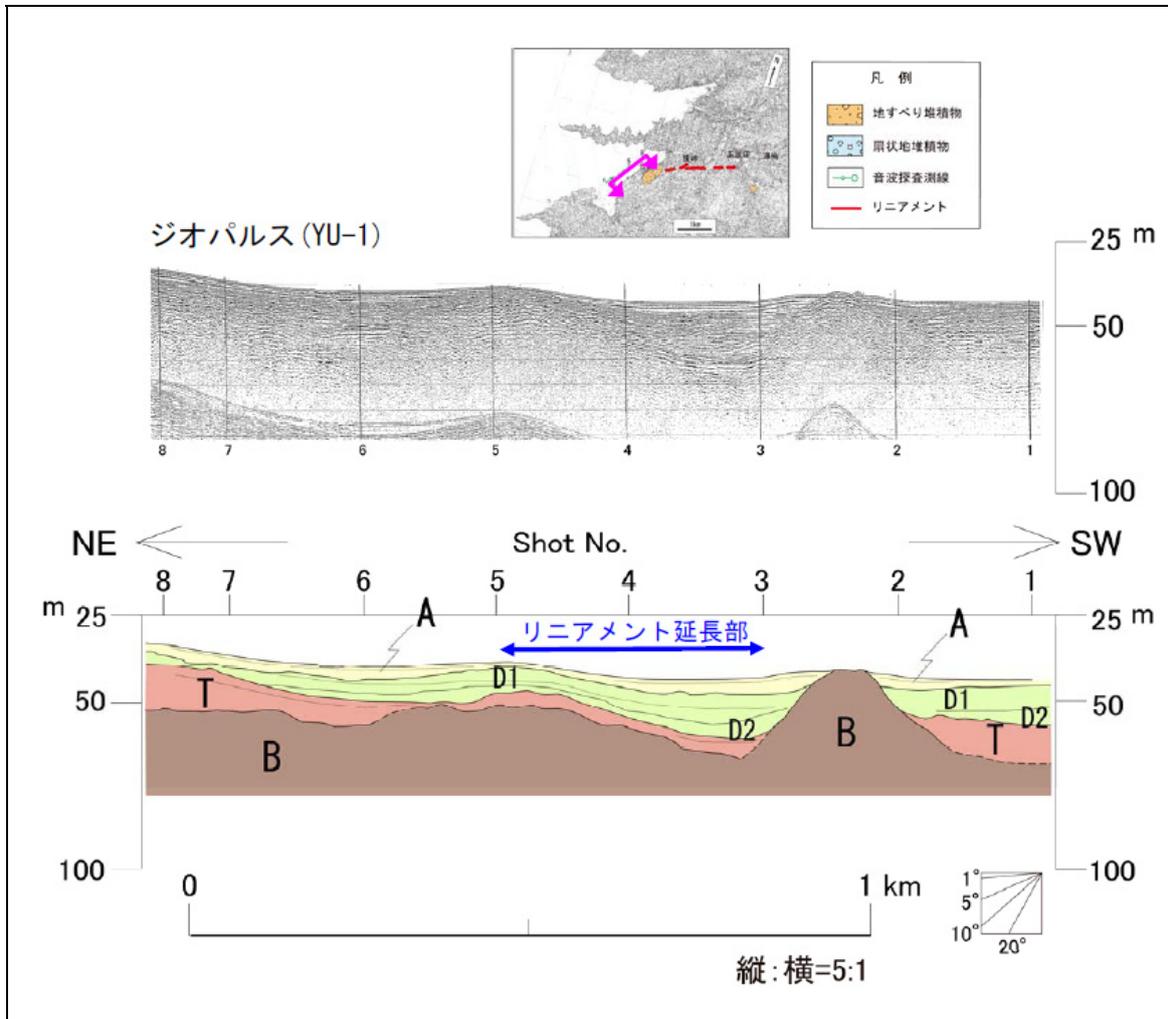
海上音波探査記録に高角の断層が認められ、地溝やバルジが交互に現れるなど、断面ごとの変化が著しいことから、横ずれ断層と判断される。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ（第40回）
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/040/40-2.pdf>

【事例4. 3-5：海上音波探査による断層端部の評価結果の事例】

陸域で判読される活断層の疑いのある地形の海域延長部で海上音波探査を実施し、後期更新世以降の地層（A層及びD1層）に変位・変形が認められないことを確認している。



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会（合同）ワーキング・グループ3（第22回）

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_22/siryoy2-3.pdf

4. 4 断層の活動性の解釈

耐震設計上考慮する活断層としては、後期更新世以降の活動が否定できない断層を取り扱うこととする。

活断層の認定に当たっては、最終間氷期若しくはそれ以前の地層又は地形面に断層による変位・変形が認められるか否かによることができる。

断層の活動性については、上載地層の変位・変形の有無により評価すること（以下「上載地層法」という。）を基本とするが、断層近傍の地形・地質の状況等により総合的に判断することもできる。

変動地形学的調査により、後期更新世以降の活動の可能性が推定される場合は、他の手法の調査結果も考慮し、安全側の判断を行う。

〔解説〕

断層の活動性を上載地層法によって評価する場合には、下記の点に留意する必要がある。

- ① 断層直上の変動地形の有無だけではなく、段丘面等に現れている傾動等の広域的な変形についても確認し、当該断層の活動性評価を行う必要がある。
- ② 断層直上の段丘面等の地形に変位・変形が確認されない場合であっても、断層と地層の関係を直接的に確認し、当該断層の活動性評価を行うことが望ましい。

断層の活動性評価に当たっては、上載地層法による評価以外にも近傍の地形・地質の状況等を考慮して総合的に判断することもできるが、最新の知見に留意して慎重に検討する必要がある。

下記に具体的な調査・検討方法を例示する。

(1) 断層破碎部性状による検討【事例4. 4-1】

断層破碎部の固結の程度（断層粘土の有無を含む）、最新活動面の性状（直線性、連続性）等により、後期更新世以降の活動の可能性を判断する。

耐震設計上考慮する活断層の端部の評価に当たっては、考慮対象と判断した区間及び考慮対象外の区間の断層破碎部性状との比較を行うことが望ましい。

(2) 調査から確認された最新活動時の断層運動と現在の広域応力場から想定される断層運動との整合性による検討【事例4. 4-2】

最新活動時の断層運動については、断層を挟んだ地質状況、断層面の条線方向、断層露頭から採取した切片・薄片の観察結果等から確認することができる。

現在の広域応力場から想定される断層運動については、下記により推定することが可能である。

- ① 同一の応力場と考えられる範囲の活断層の断層運動からの推定
- ② 当該断層周辺の測地データ（GPSの連続観測データから想定される歪変化等）や地震発生機構からの推定

また、現在の広域応力場に基づいた数値シミュレーション等により、当該断層の運動を推定することもできる。

ただし、当該断層の近傍あるいは遠方であっても平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震のような規模の大きな地震が発生した後は、広域応力場には大きな変化が生じる可能性があること、地殻構造が不均質で、局所的な応力場が広域応力場と異なっている可能性があることに注意する必要がある。

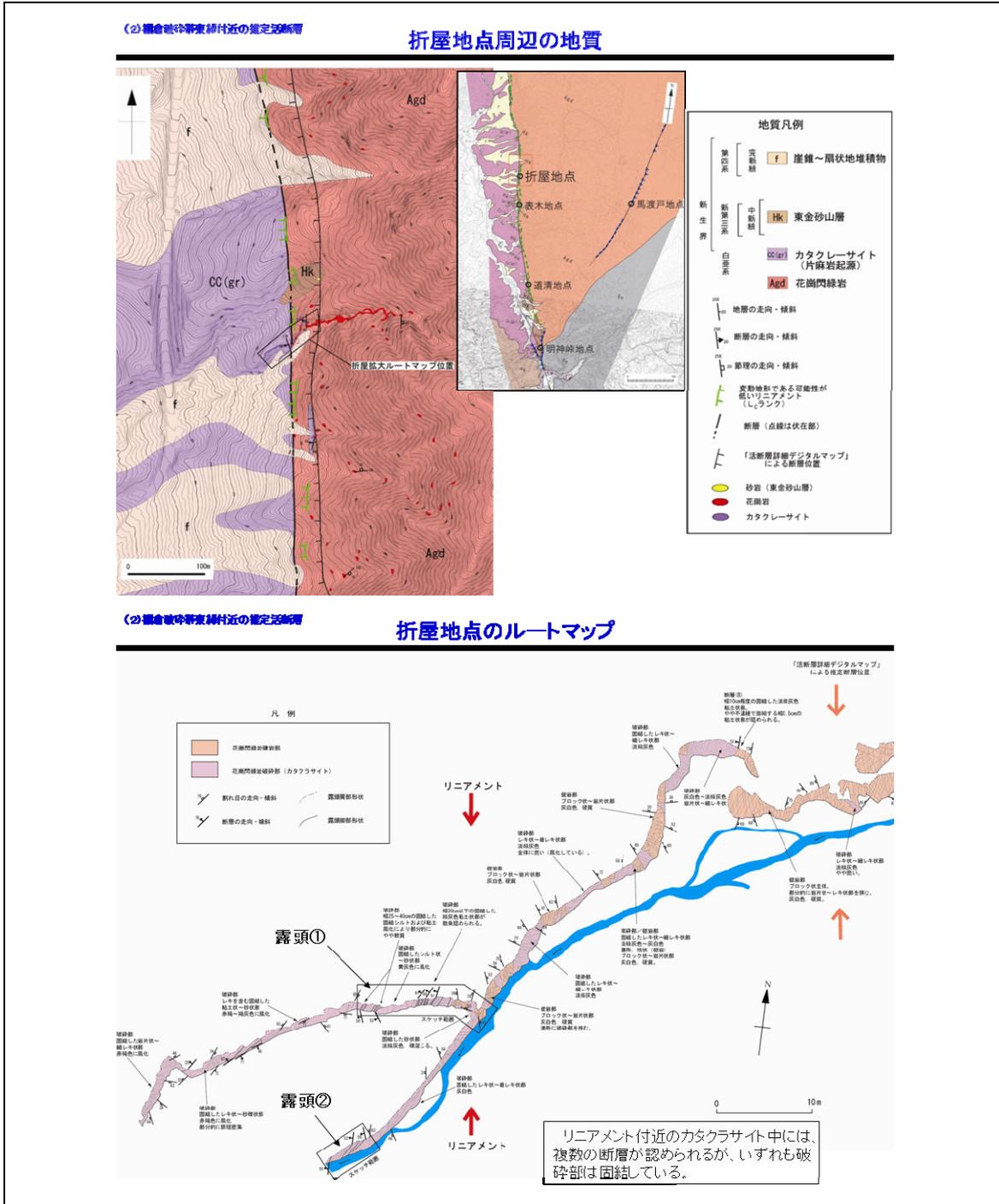
（3）深部への断層の連続性等による地震を発生させる断層か否かの検討【事例 4. 4-3】

地下浅部においては断層が確認されるが、深部まで連続せず、また累積的な変位も認められない場合、その断層は地震動検討の対象としては、対象外と判断することができる。

なお、後期更新世以降の活動を否定する場合には、判読された活断層の疑いのある地形の成因について、地形・地質構造発達過程の観点から解明することが望ましい。

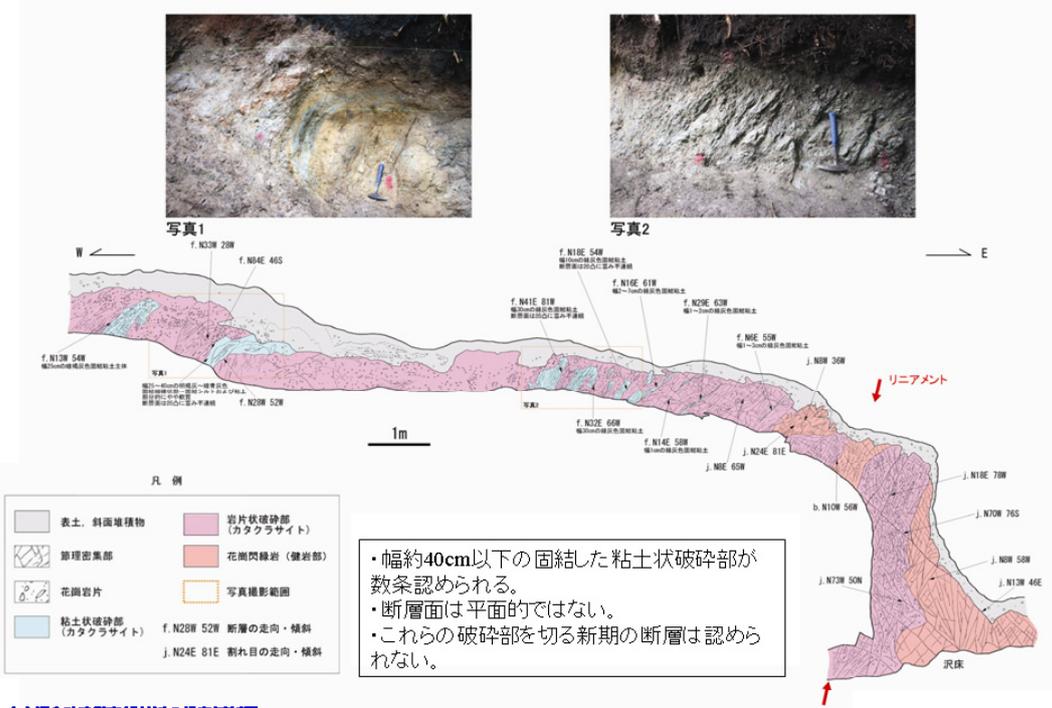
【事例4. 4-1：断層破碎部性状による検討の事例】

棚倉破碎帯東縁付近の推定活断層については、活断層の疑いのある地形及び延長部において複数の露頭で断層破碎部性状を確認している。破碎部は固結していること、最新の活動を示す断層面は平面的ではないことから、少なくとも後期更新世以降の活動はないものと評価している。

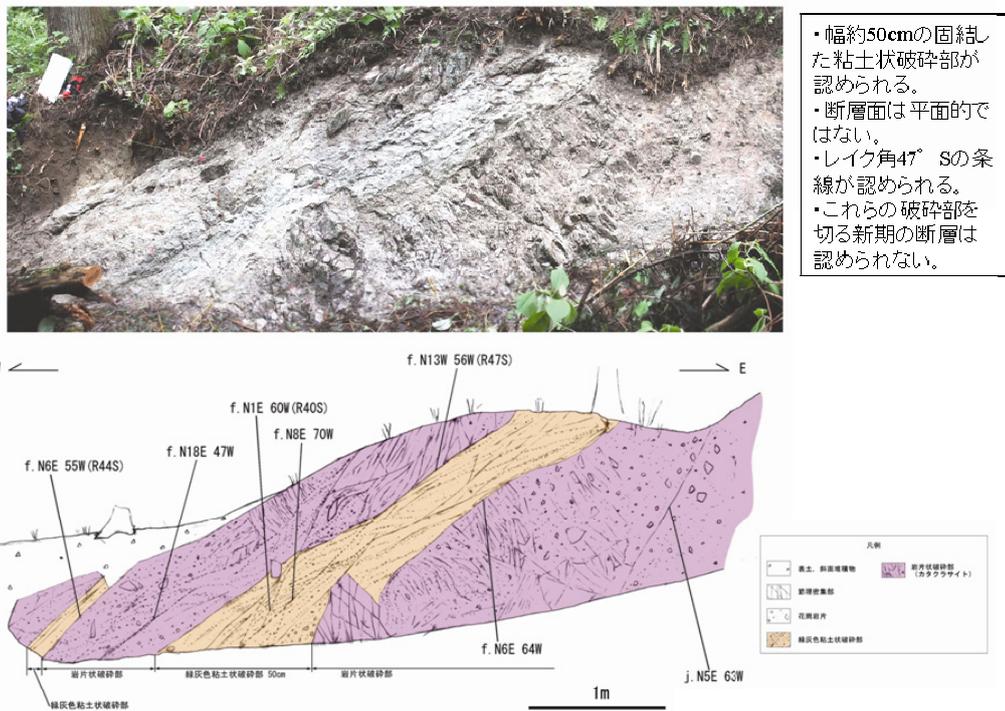


原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキンググループ1 (第21回)
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG1/taishin_godo_WG1_21/siryoy1.pdf

折屋地点の露頭(露頭①スケッチ)



折屋地点の露頭(露頭②スケッチ)



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキンググループ1 (第21回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG1/taishin_godo_WG1_21/siry01.pdf

【事例4. 4-2：調査から確認された最新活動時の断層運動と

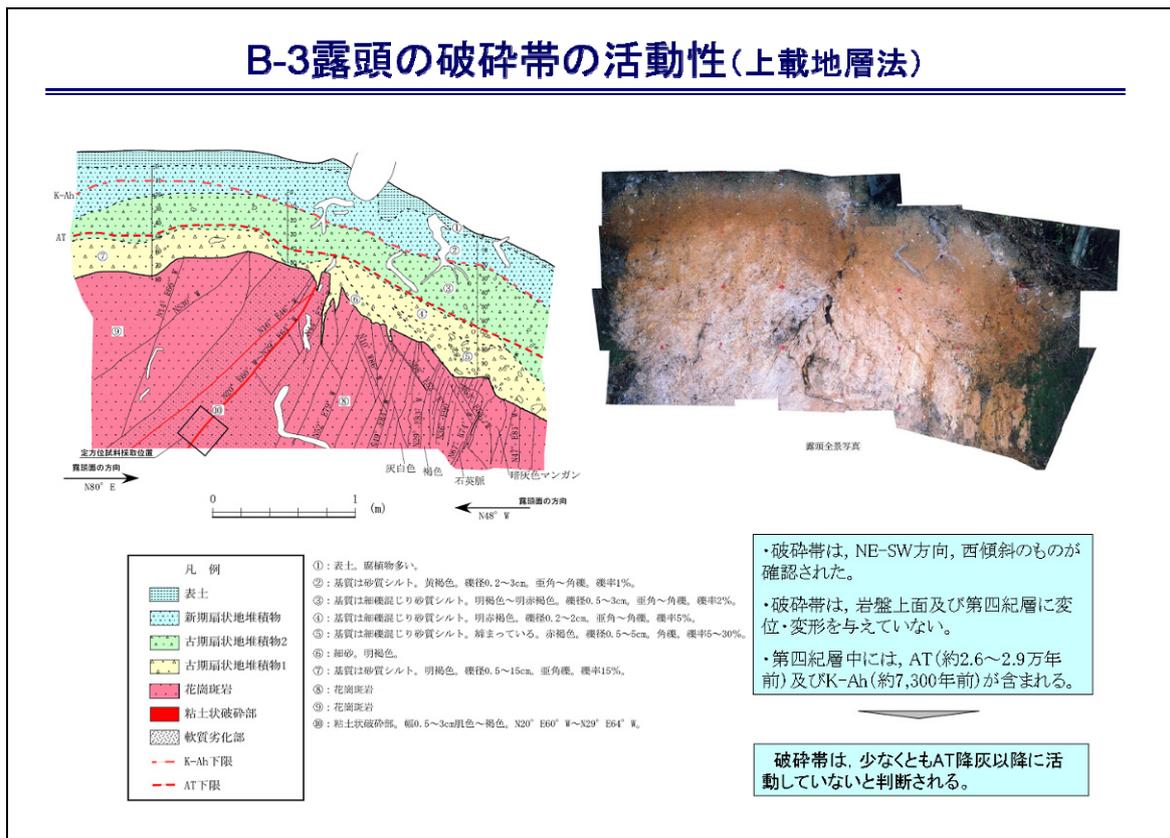
現在の広域応力場から想定される断層運動との整合性による検討の事例】

調査から確認された最新活動時の断層運動と現在の広域応力場から想定される断層運動との整合性にも着目し、断層の活動性を検討した事例である。

破砕帯について、下記のとおり評価している。

- ① 変動地形が認められない。
- ② 上載地層法によって評価可能な地点においては、少なくとも始良 Tn テフラ（約 2.6～2.9 万年前）降灰以降に活動していない。
- ③ 岩種境界に変位を与えている破砕帯は、岩種境界の変位方向からみて、横ずれ成分を含む正断層センスの変位である。
- ④ 破砕帯中の微細構造の観察結果によれば、最新活動面は横ずれ成分を含む正断層センスの変位が推定される。

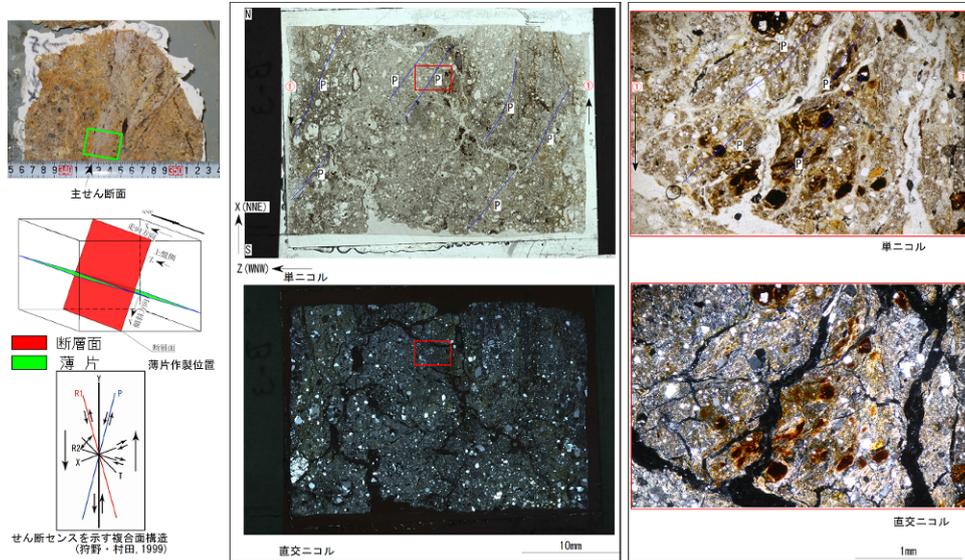
以上のことから、破砕帯は現在の広域応力場（東西圧縮）から想定される断層運動（逆断層成分を含む運動）とは調和しないことから、少なくとも後期更新世以降に活動したものではないとしている。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ Cサブグループ (第25回)

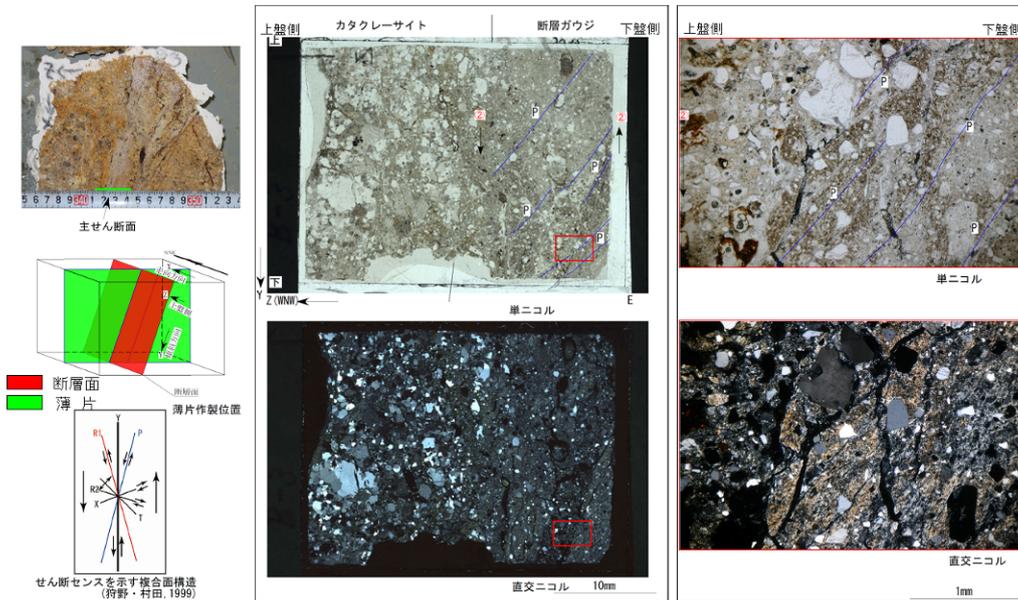
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/4/025/25-4.pdf>

B-3露頭の破碎帯の活動性(概ね水平方向の薄片観察)



①断層ガウジ(最新活動面)
粘土鉱物及びフラグメントの配列からなるP面は、主断層(Y面)が左ずれセンスであることを示す。

B-3露頭の破碎帯の活動性(鉛直方向の薄片観察)



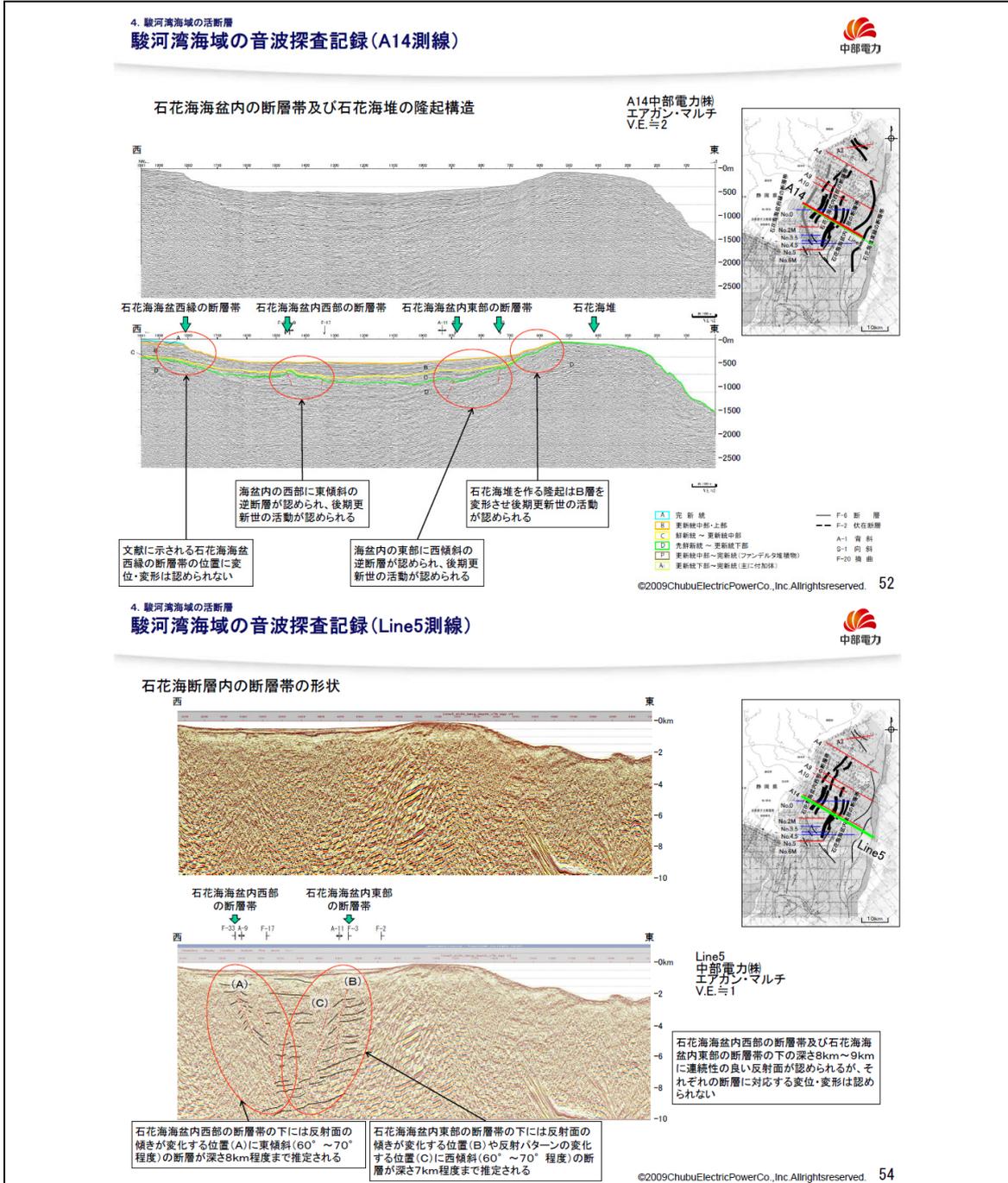
①カタクレーサイト(上盤側)
破碎された花崗岩からなる。
②断層ガウジ(最新活動面)
粘土鉱物及びフラグメントの配列からなるP面は、主断層(Y面)が正断層センスであることを示す。

経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ Cサブグループ (第25回)

<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/4/025/25-4.pdf>

【事例4. 4-3：深部への断層の連続性等による地震を発生させる断層か否かの検討の事例】

駿河湾海域において 80cu. in. のエアガン・マルチチャンネル音波探査と 7,800cu. in. の大容量チューンドアレイエアガン・マルチチャンネル音波探査を実施した結果、石花海盆内の西部及び東部に確認された断層については、後期更新世以降の活動が否定できないが、大深度の音波探査記録において深さ 8 km～9 km では断層が認められないことから、外縁隆起帯の隆起に付随して変位した構造と評価している。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ（第38回）
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/038/38-5-2.pdf>

5. 活断層評価

5. 1 考慮すべき断層の長さの評価

耐震設計において地震規模を想定する場合に用いる活断層長さは、地表あるいは地下浅部に存在する活断層の分布等を基に評価しなければならない。

完新統が厚く分布すること等により、活断層の存否や性状が明瞭でない場合には、近傍の地形・地質の状況を考慮し、必要に応じて、微小地震の活動等地球物理学的知見を参考に評価する。

長大な活断層、あるいは、複数の活断層が近距離に断続して分布する場合には、対象とする活断層の活動性や、地質構造との関連、セグメント区分等を考慮して、起震断層を設定し考慮すべき断層の長さを決定しなければならない。

〔解説〕

耐震設計において地震規模を想定する場合に用いる活断層長さは、後期更新世以降の活動がないとする根拠のある地点を端点とし、地震動評価に用いる地震規模を求める算定式を念頭に適切に評価するものとする。

複数の連続して分布する活断層や近接して分岐、並走する複数の活断層が連動または同時活動して、より規模の大きな地震を引き起こすことがあるため、起震断層を適切に設定する必要がある。また、長大な活断層については、一括放出型地震（起震断層全体の活動による地震）よりも分割放出型地震（起震断層を構成する一部の活断層の活動による地震）の方が敷地に大きな影響を及ぼす可能性があるため、セグメントとして適切に区分する必要がある。

セグメント区分、起震断層の設定に当たっては、既存文献調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査の結果に基づき、地形発達過程、地質構造、断層の三次元的な相互の位置関係、活動履歴や変位量分布、過去及び現在の地震活動の特徴等を総合して設定する【事例5. 1-1～10】。

具体的には、

- ① 断層の分布状況
 - ・ 断層の走向・変位センスの差異
 - ・ 断層間を横切る別の断層
- ② 地形発達過程
 - ・ 活動履歴、平均変位速度、単位変位量など活動性の差異
- ③ 地下構造の連続性
 - ・ 断層傾斜角の差異（地下で「ハ」の字の分布となり離れていくなど）
 - ・ 重力異常等による地下構造の差異
- ④ 断層末端部を示唆する現象
 - ・ 断層が分岐する
 - ・ 累積変位量が小さくなる

などを勘案して、セグメント区分や起震断層の設定を行う。

また、セグメント区分、起震断層の設定に関する文献としては、松田（1990）、吉岡ほか（2005）、中田他（1998）、地震調査研究推進本部地震調査委員会（2005）、Wesnousky（2006）、社団法人 土木学会 原子力土木委員会 断層活動性分科会（2004）などがあり、参考にすることができる。

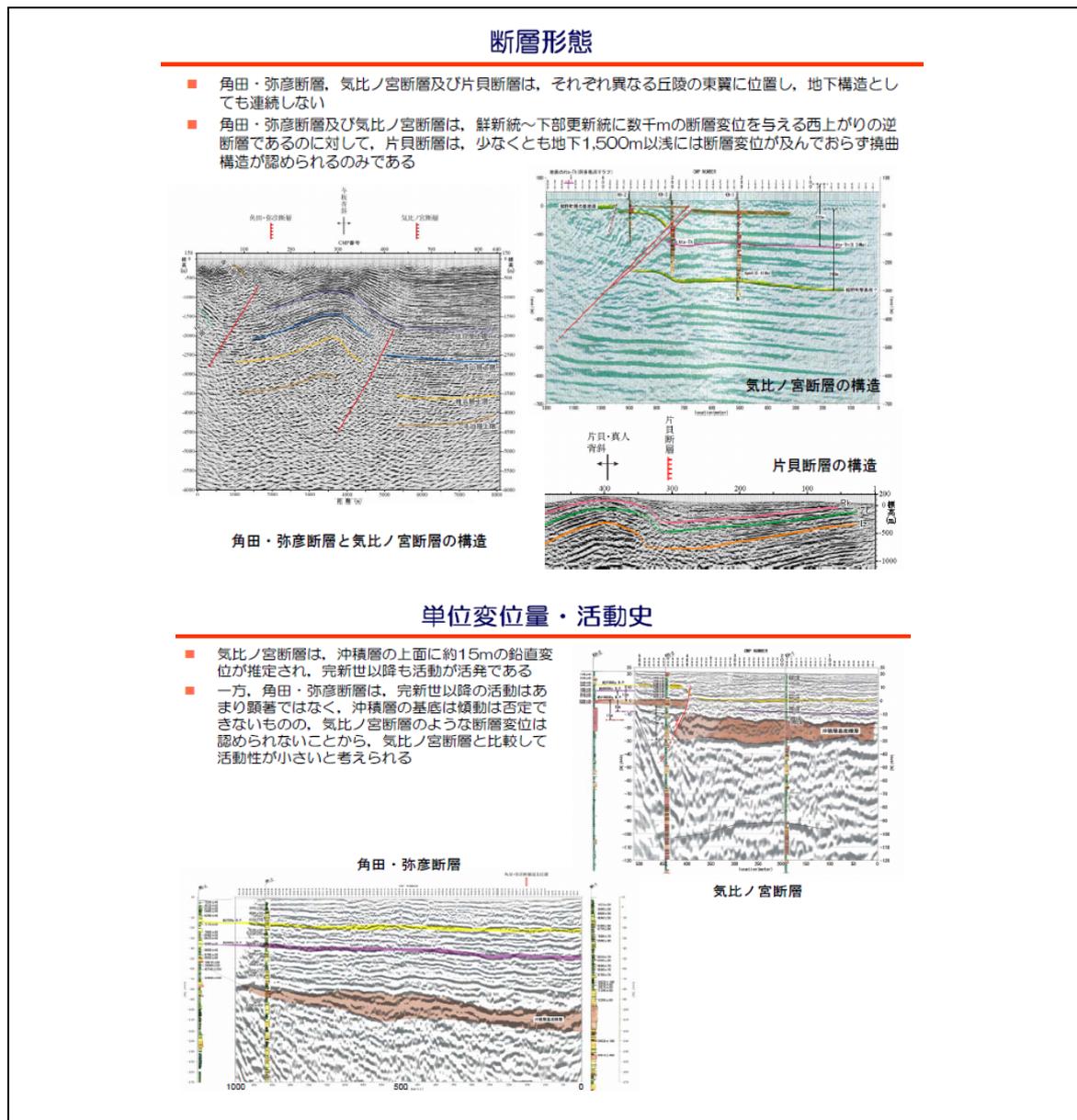
最近では、断層間相互作用（動力的検討や Δ CFFによる検討）に関する調査研究成果（例えば、King et al.（1994）、橋本（2002）、Freed（2005）、Toda et al.（2011））もあり、参考にすることができる。

なお、活断層の連動評価については、関係機関で議論されているところであり、最新知見に注意が必要である。

【事例5. 1-1:セグメント区分, 起震断層の設定の事例1】

長岡平野西縁断層帯を構成する角田・弥彦断層, 気比ノ宮断層及び片貝断層は, 主活動時期, 活動開始時期, 平均変位速度, 重力異常との対応性等がそれぞれ異なること, これら3断層のセグメント境界は地震時における水平変動パターン境界に対応していること, 3断層が同時に活動したことを示唆する地形・地質情報が認められないことなどから, 基本的にはそれぞれの断層が単独で活動する分割放出型の断層帯と判断している。

なお, 不確かさの検討として, 念のため, これらの断層の同時活動についても考慮(長さ約90km)した。



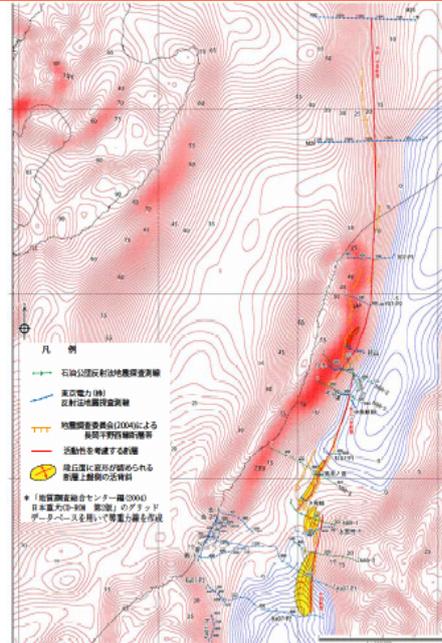
経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ (第7回)

<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80428a23j.pdf>

<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80428a24j.pdf>

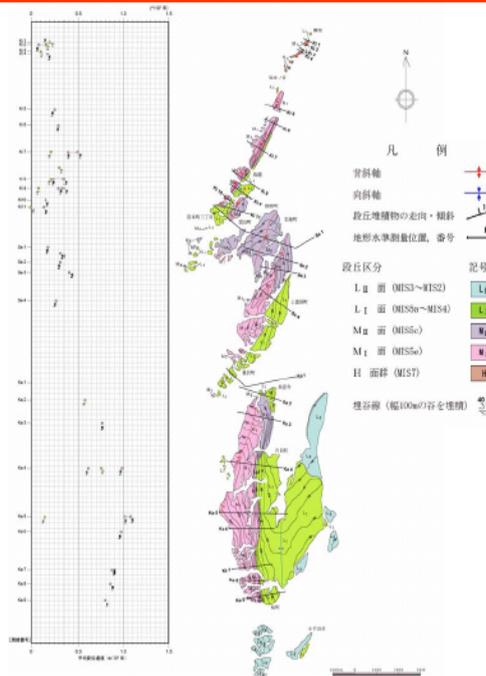
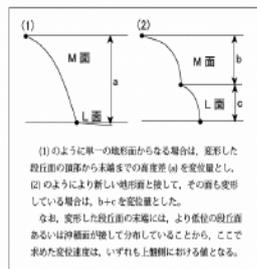
重力異常との関係

- 角田・弥彦断層は、西側の角田・弥彦山塊付近の高重力異常域と東側の低重力異常域との境界部に直線的に連続する重力異常の急変域に位置していることから、比較的古い時代に活発な活動があり、地質構造の形成に寄与したものと推定される
- 気比ノ宮断層は、信濃川沿いの低重力異常域の西縁付近に位置しているものの、急変帯は認められず、等重力線の走向ともやや斜交する
- 片貝断層は、断層の東低下側は高重力異常域、西隆起側は低重力域となっており、重力異常との対応は認められない



平均変位速度

- 気比ノ宮断層及び片貝断層は、断層の上盤側における段丘面の変形が顕著であることに對して、角田・弥彦断層は、その前線が中橋面下に伏在しており、地形上の特徴が異なる
- 気比ノ宮断層及び片貝断層の上盤側における段丘面の変形から両断層の平均変位速度を求めた結果、最大値は気比ノ宮断層の約0.5m/千年に對して、片貝断層は約1.2m/千年の値を示し、大きな差異が認められる



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ (第7回)

<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80428a23j.pdf>

<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80428a24j.pdf>

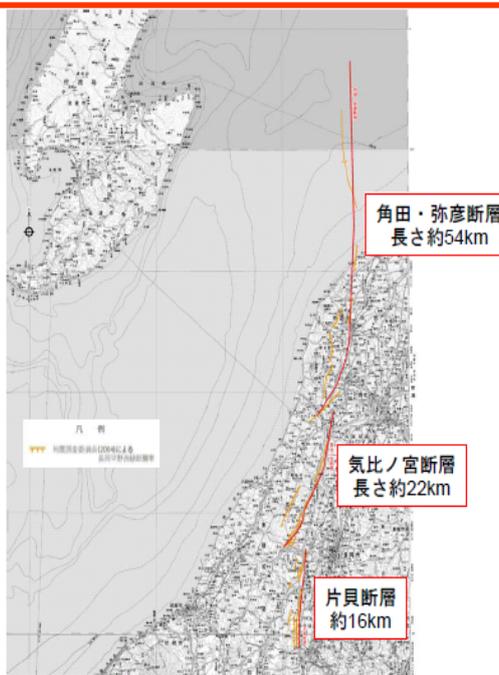
水平変動

- GPS測量結果（基準点数：33点）に基づく2004年新潟県中越地震を挟んだ6年間（1998年～2004年）及び2007年新潟県中越沖地震を挟んだ3年間（2004年～2007年）の水平変動パターンは、角田・弥彦断層、気比ノ宮断層及び片貝断層のそれぞれの境界付近で差異が認められることから、基盤ブロックの境界に対応している可能性がある



長岡平野西縁断層帯の評価

- 角田・弥彦断層、気比ノ宮断層及び片貝断層との関係について、反射法地震探査結果、測地データ、地球物理学的データ等に基づき検討した
- その結果、主活動時期、活動開始時期、平均的な変位速度、重力異常との対応性等がそれぞれ異なることが把握された
- このことから、角田・弥彦断層、気比ノ宮断層及び片貝断層は、それぞれ個別の断層として評価することを基本とする
- なお、これらの断層の同時活動についても不確かさの検討として、念のため、考慮することとし、その長さは約90kmとする



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ（第7回）

<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80428a23j.pdf>

<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80428a24j.pdf>

【事例5. 1-2：セグメント区分，起震断層の設定の事例2】

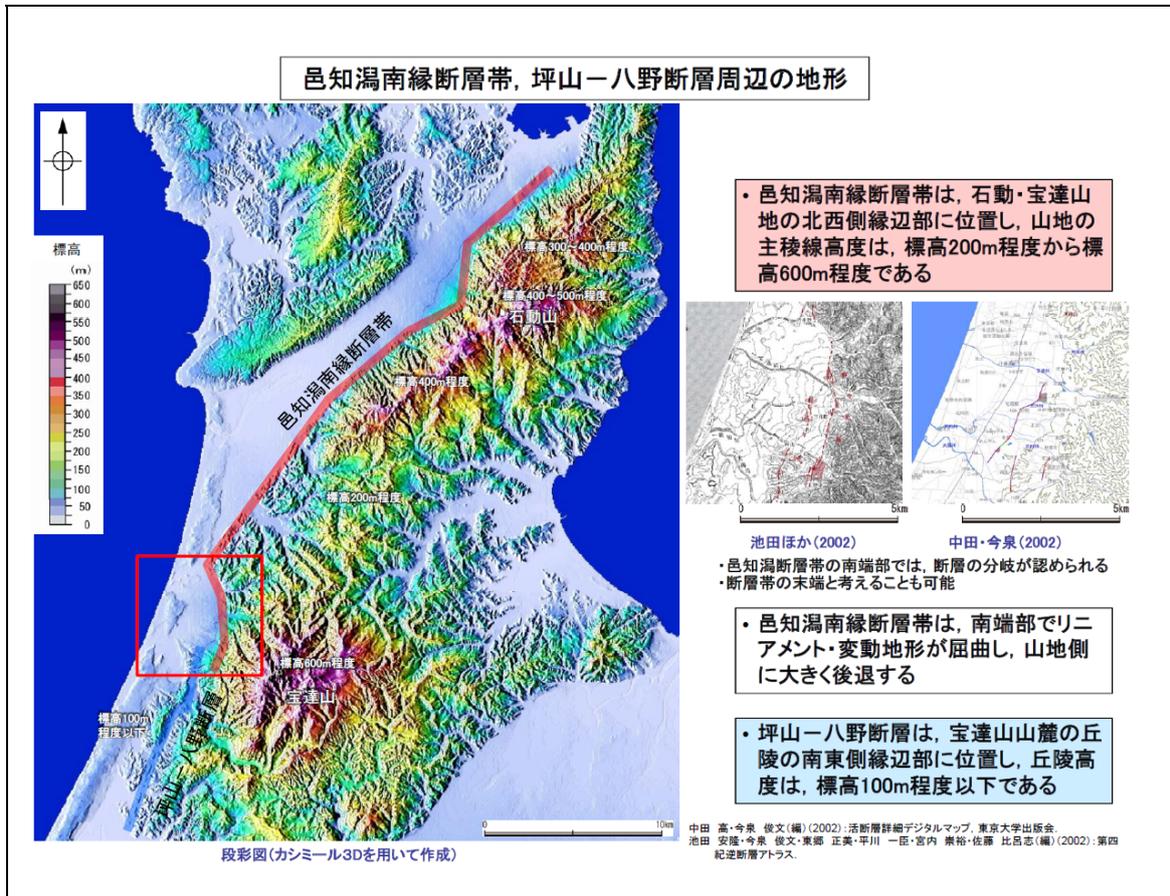
断層の走向，変位センスの差異に着目して検討した事例である。陸域活断層である高田平野西縁断層の走向は，海域のF-D褶曲群や高田沖褶曲群の走向と大きく異なっている。また，高田平野西縁断層付近には，海域の佐渡島南方断層延長部が延びてきているものの，前者は西上がりの断層であるのに対して後者は東上がりの断層であり，この付近では活動性も認められないことから，両者の同時活動を考慮する必要はないと評価している。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ (第8回)
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80513b05j.pdf> (一部加筆)

【事例5. 1-3: セグメント区分, 起震断層の設定の事例3】

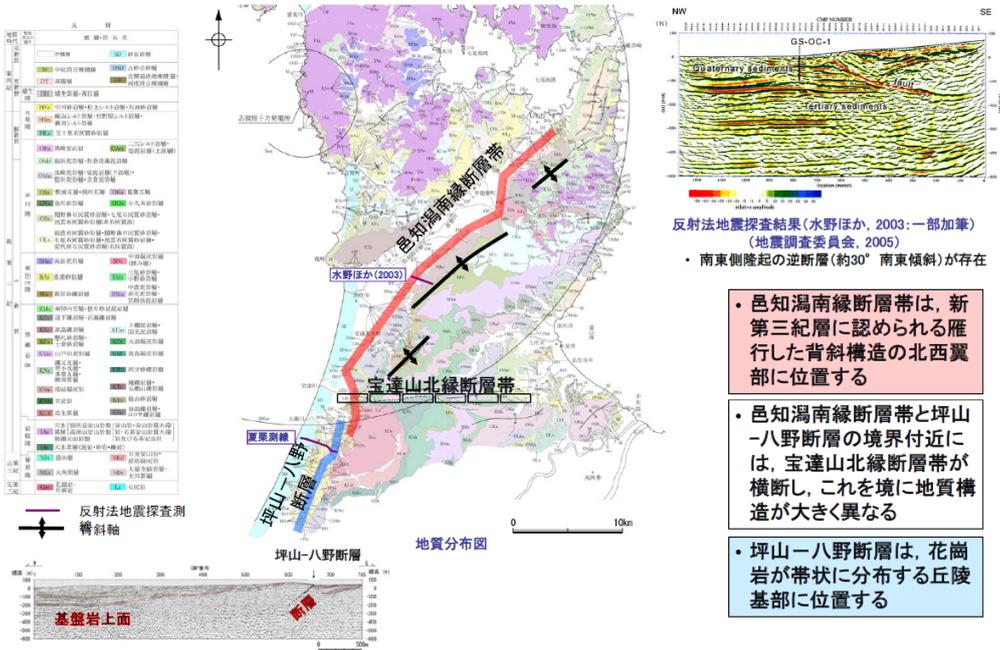
邑知潟南縁断層帯と坪山-八野断層帯の連動の可能性(同時活動)について, 両断層の地形, 地質構造, 重力異常, 平均変位速度, 活動性の差異や断層面の3次元的形状を考慮し, 動力学による連動性の知見も踏まえ検討した結果, 地下で断層面が離れていく両断層が連動して活動するとは考えがたいとしている。



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ2 (第12回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_12/siryo2-3.pdf

邑知潟南縁断層帯, 坪山-八野断層帯周辺の地質



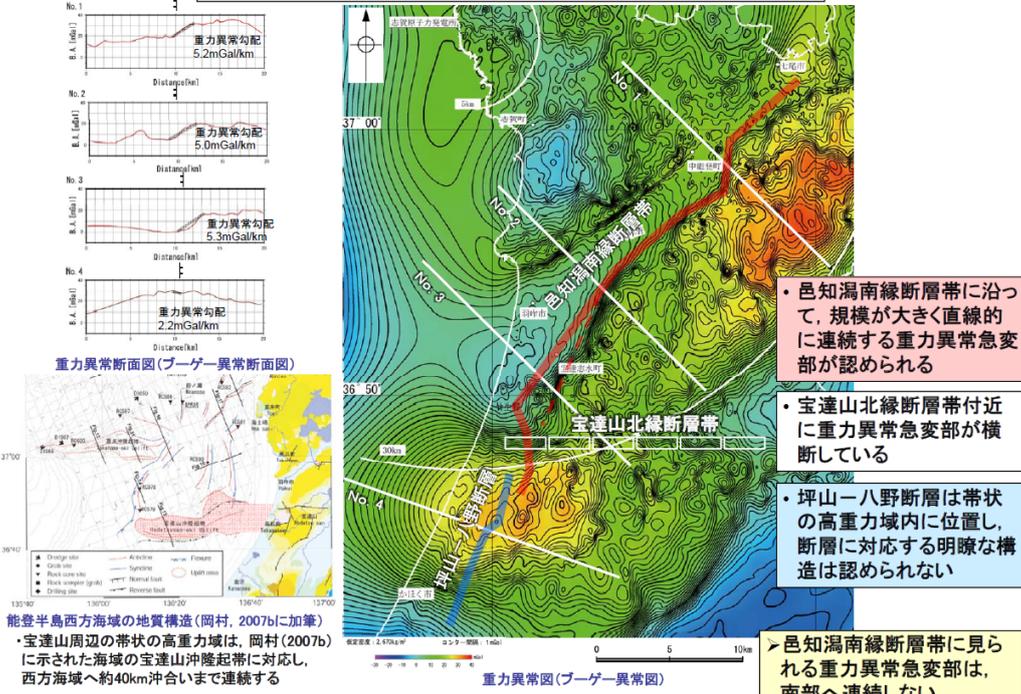
反射法地震探査結果(水野ほか, 2003;一部加筆)
(地震調査委員会, 2005)
・南東側隆起の逆断層(約30° 南東傾斜)が存在

- ・邑知潟南縁断層帯は, 新第三紀層に認められる雁行した背斜構造の北西翼部に位置する
- ・邑知潟南縁断層帯と坪山-八野断層の境界付近には, 宝達山北縁断層帯が横断し, これを境に地質構造が大きく異なる
- ・坪山-八野断層は, 花崗岩が帯状に分布する丘陵基部に位置する

反射法地震探査断面図(夏栗測線)
・北西側隆起の逆断層が存在

水野 清秀・下川 浩一・香妻 崇・杉山 雄一・片川 秀基・栗田 俊治・吉田 進・浜田 昌明(2003): 浅層反射法地震探査とボーリングによる邑知潟断層帯南縁部の地下地質構造調査, 活断層・古地質研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, No. 3, 33-46.
地震調査委員会(2005): 邑知潟断層帯の長期評価について, 地震調査研究推進本部.
産総研承諾第 60635130-A-201206005-001 号 (H24.6.5)

邑知潟南縁断層帯, 坪山-八野断層帯周辺の重力異常(2)

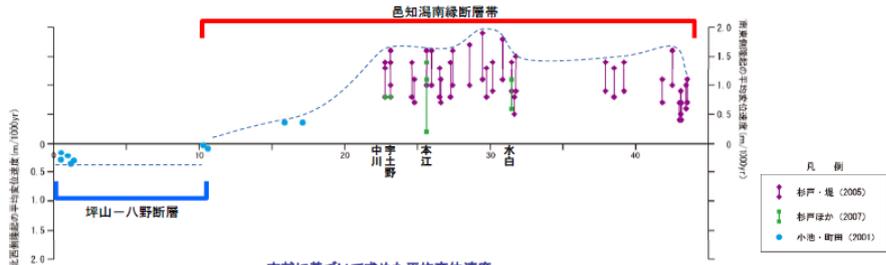
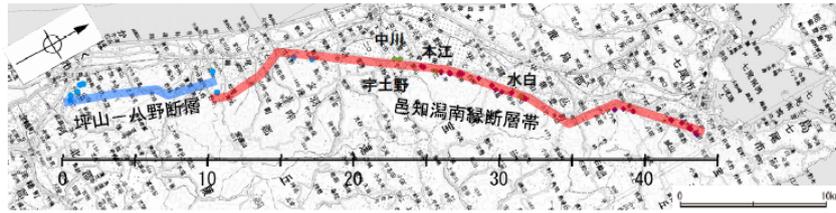


- ・邑知潟南縁断層帯に沿って, 規模が大きく直線的に連続する重力異常急変部が認められる
- ・宝達山北縁断層帯付近に重力異常急変部が横断している
- ・坪山-八野断層は帯状の高重力域内に位置し, 断層に対応する明瞭な構造は認められない
- ・邑知潟南縁断層帯に見られる重力異常急変部は, 南部へ連続しない

能登半島西方海域の地質構造(岡村, 2007b)に加筆)
・宝達山周辺の帯状の高重力域は, 岡村(2007b)に示された海域の宝達山沖隆起帯に対応し, 西方海域へ約40km沖合いまで連続する

岡村 行徳(2007b): 20万分の1能登半島西方海域地質図及び同説明書, 海洋地質図, no.61(CD), 独立法人産業技術総合研究所地質調査総合センター.
産総研承諾第 60635130-A-201206005-001 号 (H24.6.5)

邑知潟南縁断層帯, 坪山-八野断層の平均変位速度



文献に基づいて求めた平均変位速度

坪山-八野断層の最大値は約0.5m/千年

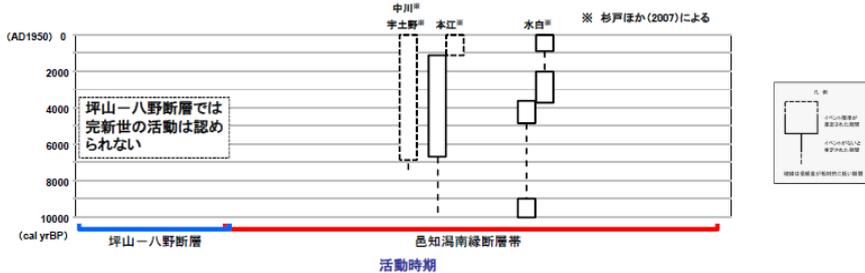
邑知潟南縁断層帯の最大値は約2.0m/千年
南端部では、平均変位速度が小さくなる

・杉戸ほか(2007)によれば、変動地形学的に復元された地震時上下変位量分布には信頼性があり、長さ約33kmの石動山断層は、約4分の3以上の区間が同時に活動する可能性が高いとされている

平均変位速度の最大値に大きな差異が認められる

杉戸 信彦・堤 浩之(2005): 邑知潟平野南東縁・石動山断層の断層変位地形と完新世における断層活動史, 地学雑誌.
杉戸 信彦・菅妻 崇・水野 清秀・堤 浩之(2007): 邑知潟平野南東縁・石動山断層の活動時期と地震時変位量, 地震 第2輯, 第60巻.
小池 一之・町田 洋(編)(2001): 日本の海成段丘アトラス, 東京大学出版会.

邑知潟南縁断層帯, 坪山-八野断層の活動性



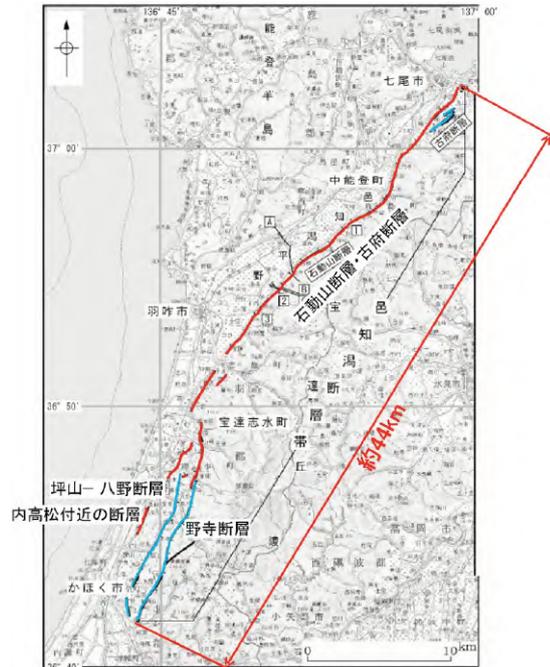
平均活動間隔は約1,400年~2,300年 (杉戸ほか, 2007)

邑知潟南縁断層帯と坪山-八野断層では最新活動時期が異なり、活動履歴に差異があると判断される

杉戸 信彦・菅妻 崇・水野 清秀・堤 浩之(2007): 邑知潟平野南東縁・石動山断層の活動時期と地震時変位量, 地震 第2輯, 第60巻.

問題

逆傾斜の断層が連動するか？

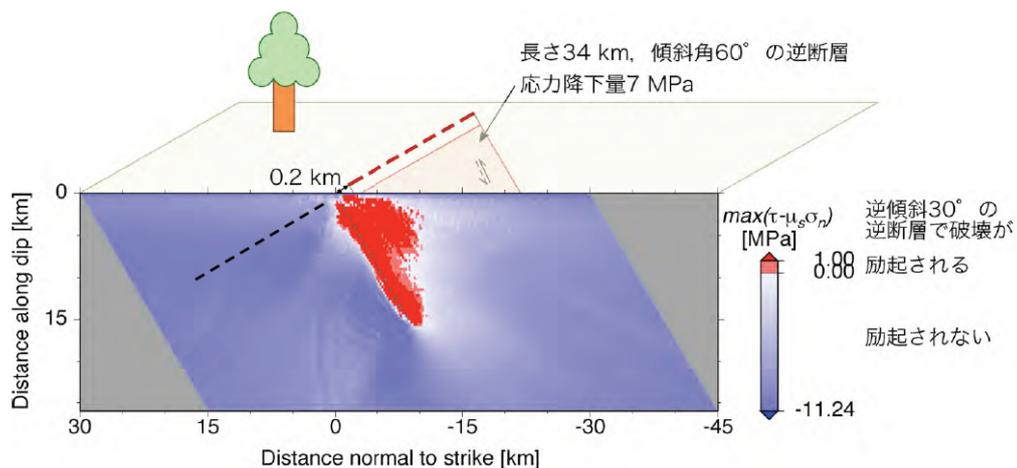


WG2 第4-4号 p.12より抜粋



現時点での答

- ・ 地表トレースが近い（鉛直断面が「八」の字型の）
2つの逆断層は連動しにくい。



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会
地震動解析技術等作業会合（第8回）

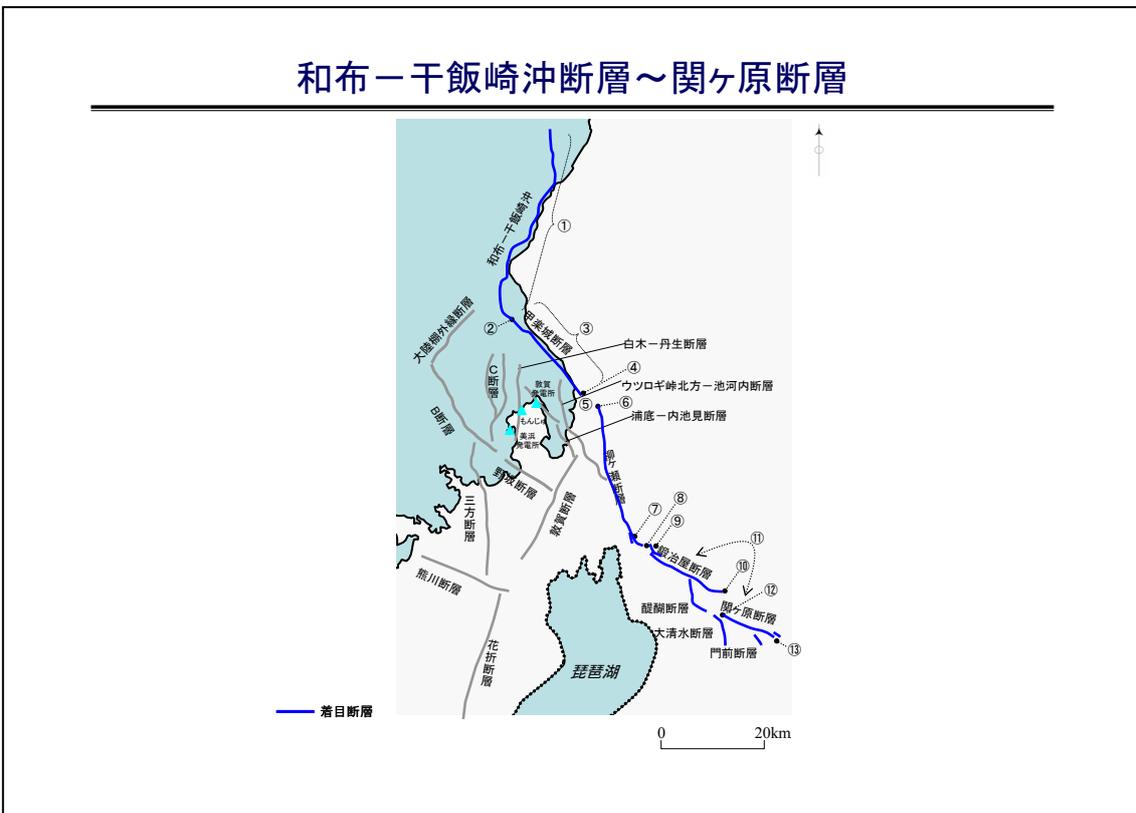
<http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/kaisekigijutu/kaisekigijutu08/siry02.pdf>

【事例5. 1-4：セグメント区分，起震断層の設定の事例4】

和布一干飯崎沖断層と甲楽城断層については，両断層の走向・傾斜に差異があること，断層の累積変位量が連続的ではないこと等から，両断層を区分するとしていた。一方，両断層の傾斜は地下浅部では異なるが両者の地下深部での傾斜は明確ではないこと等の指摘がなされた。以上のことから，和布一干飯崎沖断層と甲楽城断層の同時活動を考慮するとしている。

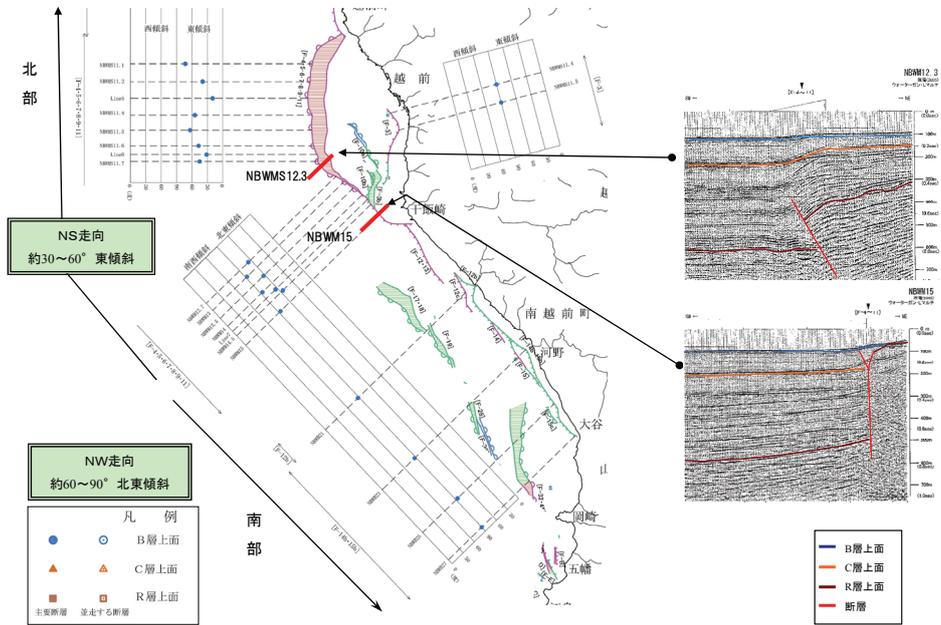
山中断層については，ボーリング調査，大規模剥ぎ取り調査で活断層が認められないとしている。

柳ヶ瀬断層と鍛冶屋断層については，反射法地震探査，ボーリング調査の結果から活断層が連続しないとしている。

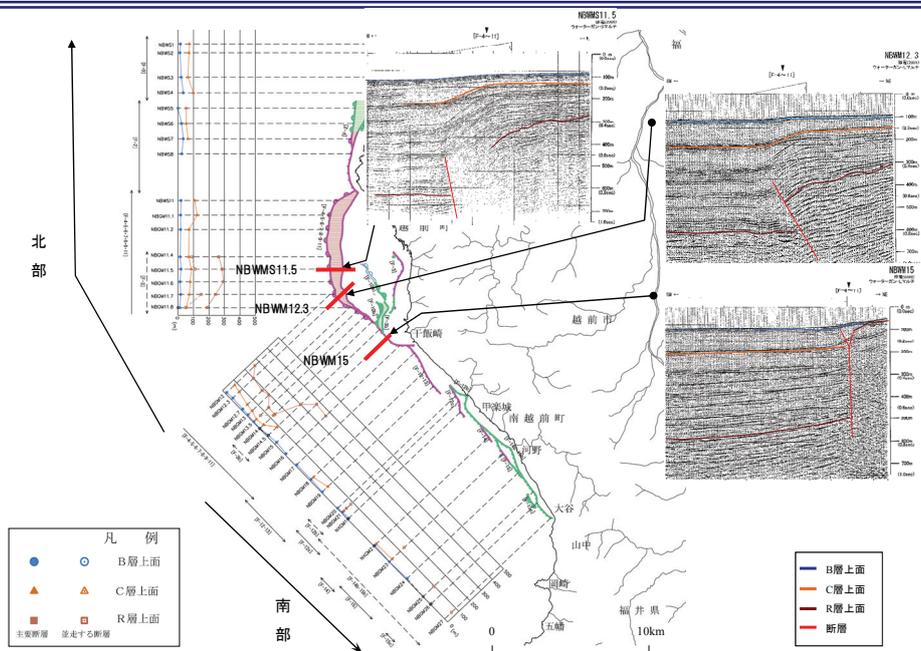


原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会（合同）ワーキング・グループ2（第36回）
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_36/siryoy2.pdf

① 和布一干飯崎沖断層～② 甲楽城断層の走向・傾斜(海域部)



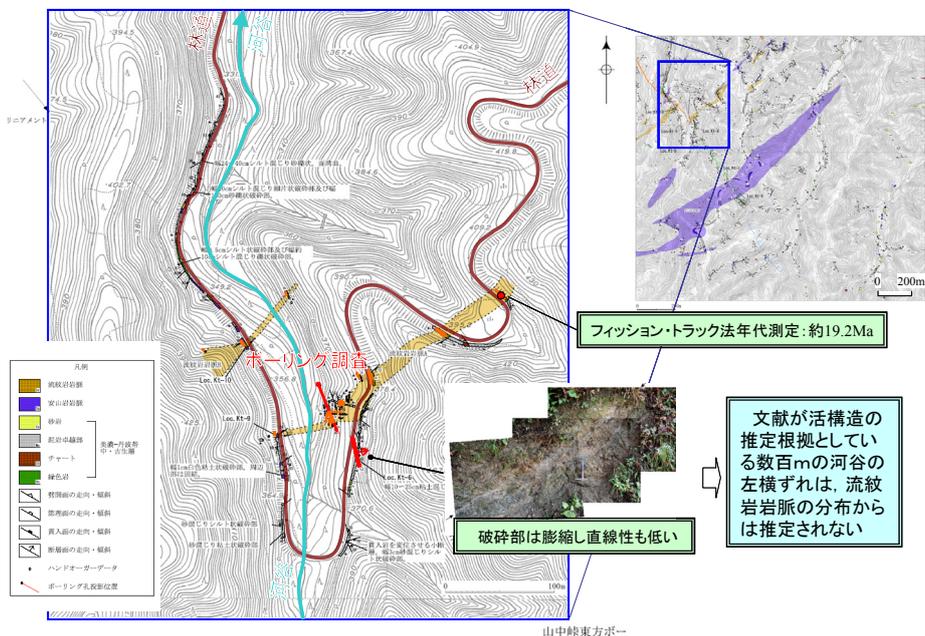
① 和布一干飯崎沖断層～② 甲楽城断層の累積変位量(海域部)



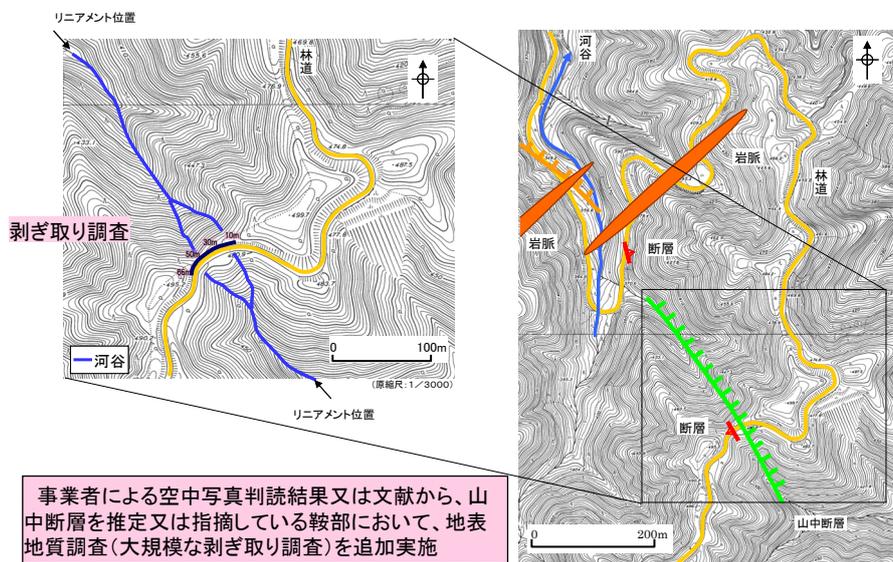
原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ2 (第30回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_30/siryu2-2.pdf

山中断層を横断する流紋岩岩脈

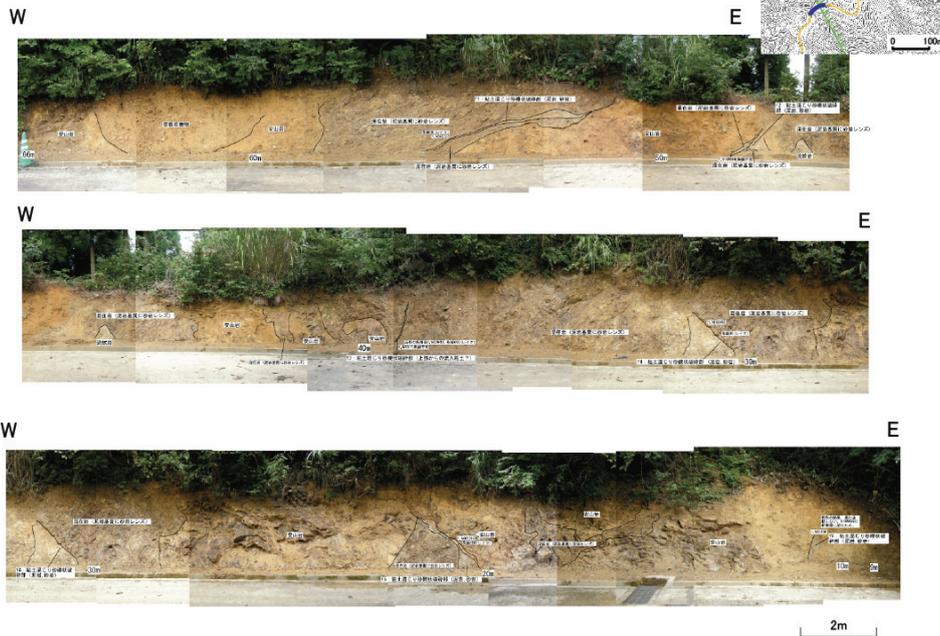


山中断層に関する補足調査

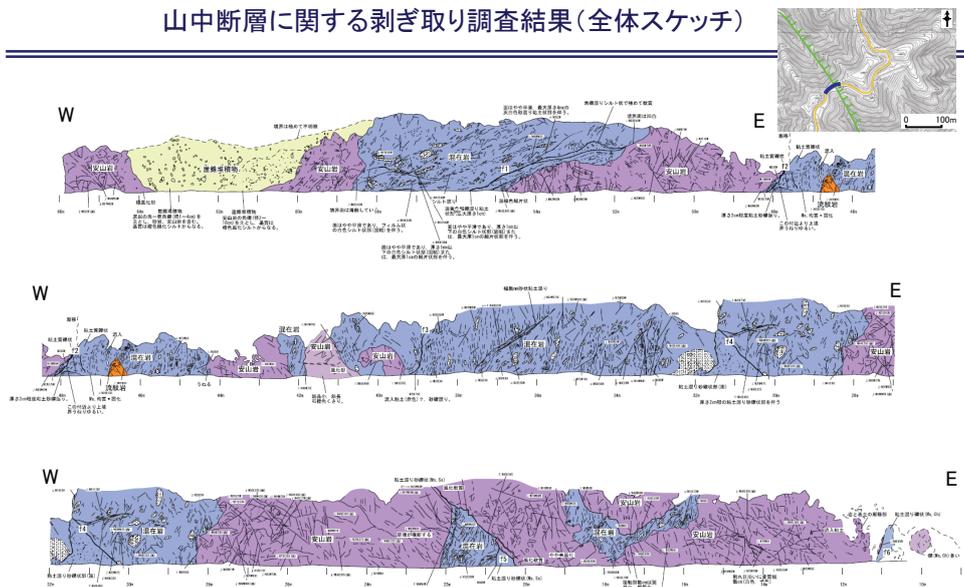


原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ2 (第30回)
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_30/siryo2-2.pdf

山中断層に関する剥ぎ取り調査結果(全体写真)

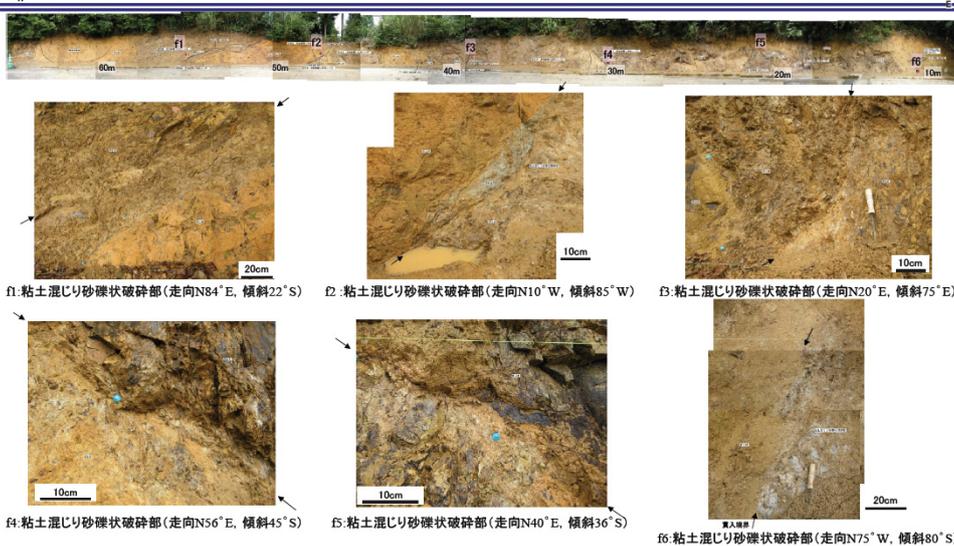


山中断層に関する剥ぎ取り調査結果(全体スケッチ)



約50m間の林道法面の剥ぎ取り調査を実施し、岩盤が連続して露出した。岩盤は美濃-丹波帯の中・古生層の混在岩(泥岩を主体とし、砂岩のブロック～レンズを含む。)とそれに貫入した安山岩岩脈(一部流紋岩)からなる。これら岩盤中には小規模な断層(粘土混じり砂礫状破碎部)が6箇所確認された。

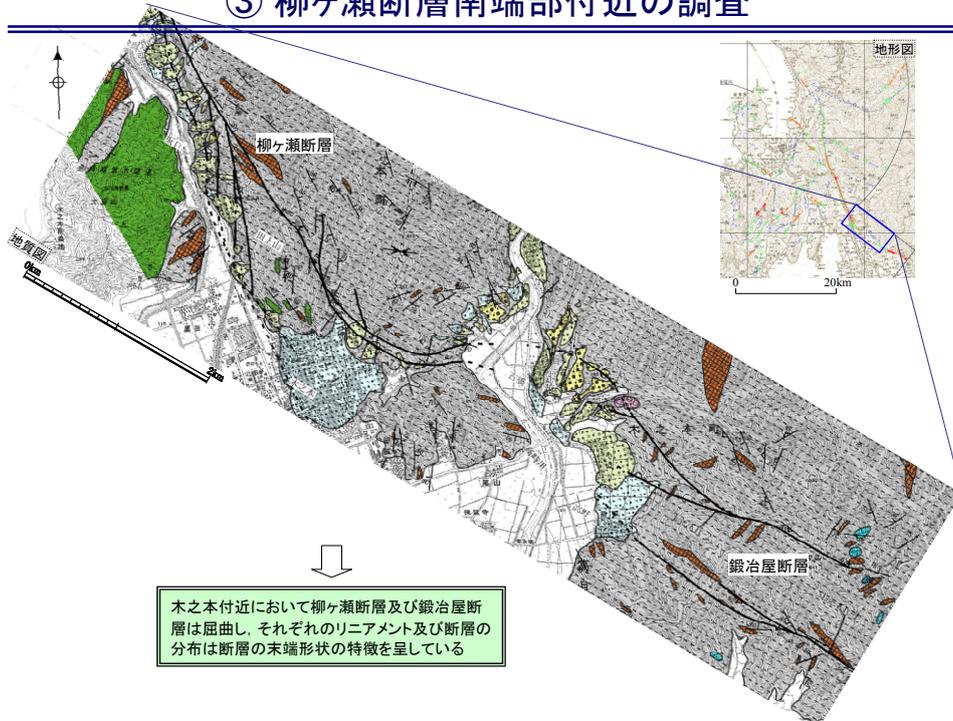
山中断層に関する剥ぎ取り調査結果(拡大写真)



破砕部の走向はリニアメント方向とは一致せず、破砕部は膨縮、湾曲し、活断層の破砕部に特徴的な明瞭な面構造のある粘土状破砕部、連続性の良い平面的な断層面は認められない。

文献が指摘する山中断層は存在しないものと判断される。

③ 柳ヶ瀬断層南端部付近の調査



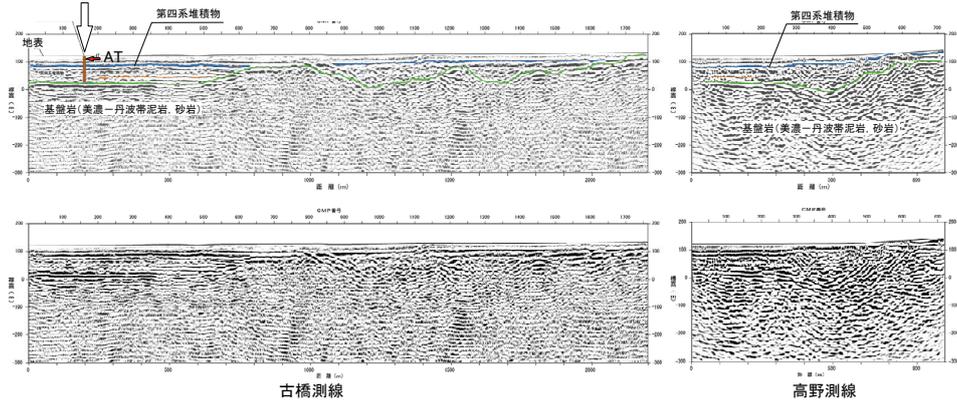
③ 柳ヶ瀬断層南端部付近の調査結果(その1)

柳ヶ瀬断層と鏡冶断層を連続させるような明瞭な断層構造は認められない



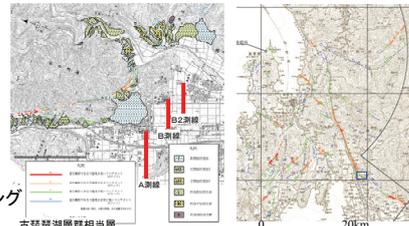
高野地点ボーリング

古橋地点の測線位置

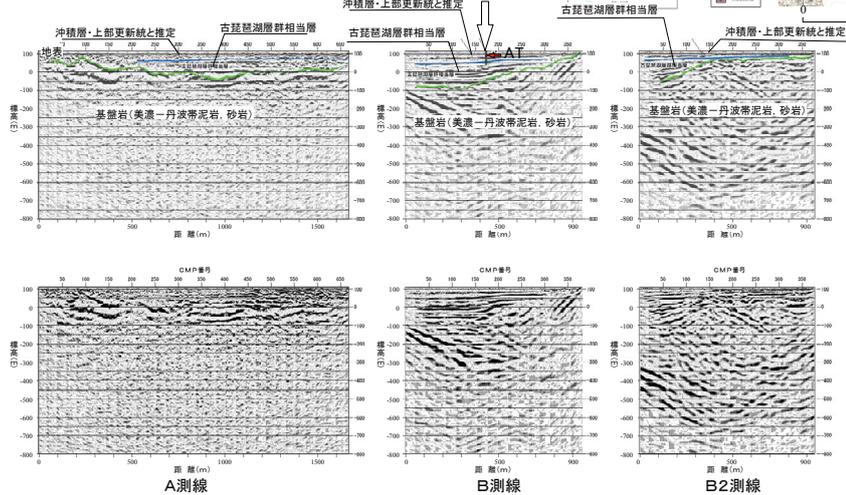


③ 柳ヶ瀬断層南端部付近の調査結果(その2)

旧地質調査所が木之本地区で実施した反射法地震探査記録を再解析した結果、柳ヶ瀬断層南方延長部の基盤岩には断層は推定されない



田部地点ボーリング



和布一干飯崎沖断層～関ヶ原断層

活断層	走向	傾斜	変位 センス	活動性		地質状況他	関連する 5kmルール	(参考)文献等での評価	同時活動
				上段:最新活動時期	下段:活動間隔				
和布一 干飯崎沖断層	N-S	東	東側隆起の 縦ずれ	完新世 2.5千年※1(産総研)	①	・海上音波探査、変動地形調査で東傾斜の逆断層と推定される。 ・両断層の傾斜は地下法部では異なるが、両者の地下深部での傾斜は明確ではない。 ・両断層の海底地層の累積変位量は連続的ではない。	2) 走向方向に5km以内の分布間隔をもって、ほぼ一線にならぶほぼ同じ走向の複数の断層に相当	地震本部「柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯(北部(一部))」、産総研DB「柳ヶ瀬起震断層(甲斐城Sg.(一部))」	↑ 考慮
					②				
甲斐城断層	NW	鉛直	北東側隆起の 左横ずれ	完新世 2.5千年※1(産総研)	③	・海上音波探査で横ずれ卓越の断層と推定される。 ・断層構造はWNW走向の日野川断層と連続する。 ・(南端) 大谷付近の直線谷の断層露頭については断層性状から新期の活動はない。	2) 走向方向に5km以内の分布間隔をもって、ほぼ一線にならぶほぼ同じ走向の複数の断層に相当	地震本部「柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯(北部(一部))」、産総研DB「柳ヶ瀬起震断層(甲斐城Sg.(一部))」	↓ 念のため
					④				
山中断層	活断層ではない				⑤	・ボーリング調査、大規模剥ぎ取り調査で活断層が認められない。			↑ 同時活動を考慮
柳ヶ瀬断層	NNW	鉛直	左横ずれ	1,200年代後半～1,400年代初頭	⑥	・(北端) 尾根・河谷の変動地形が認められない箇所と考えるが、文献が示す最北端部と安全側に評価。 ・(南端) 変動地形調査、地表地質調査で活断層が南方に向かって分岐状を呈する。	2) 走向方向に5km以内の分布間隔をもって、ほぼ一線にならぶほぼ同じ走向の複数の断層に相当	地震本部「柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯(中部及び南部(一部))」、産総研DB「柳ヶ瀬起震断層(椿坂峠Sg., 余呉川Sg.)」	
				5.4千年※2～7.4千年※3(産総研)	⑦				
鍛冶屋断層	NW	鉛直	左横ずれ	約4千9百年前以後、15世紀以前(地震本部)	⑧	・反射法地震探査、ボーリング調査で活断層が連続しない。 ・両者の傾斜は共に鉛直。 ・(北端) 変動地形調査、地表地質調査で活断層が北方に向かって分岐状を呈する。 ・(南端) 変動地形の可能性のある地形が関ヶ原断層とは不連続。	2) 走向方向に5km以内の分布間隔をもって、ほぼ一線にならぶほぼ同じ走向の複数の断層に相当	地震本部「柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯(南部(一部))」、産総研DB「柳ヶ瀬起震断層(鍛冶屋Sg.)」	↑ 考慮
				14千年※4(産総研)	⑨				
関ヶ原断層	WNW	鉛直	左横ずれ	約4千9百年前以後、15世紀以前(地震本部)	⑩	・変動地形の可能性のある地形は連続的でない。 ・両者の傾斜は共に鉛直。 ・(北端) 変動地形の可能性のある地形が鍛冶屋断層とは不連続。 ・地震調査委員会では関ヶ原断層以北、活断層研究センターでは大清水活動セグメント以北の活断層群を一連のものとしている。	2) 走向方向に5km以内の分布間隔をもって、ほぼ一線にならぶほぼ同じ走向の複数の断層に相当	地震本部「柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯(南部(一部))」、産総研DB「養老起震断層(関ヶ原Sg.)」	
				3千年※5(産総研)	⑪				

※1: 甲斐城活動セグメント ※2: 余呉川活動セグメント ※3: 椿坂峠活動セグメント ※4: 鍛冶屋活動セグメント ※5: 関ヶ原活動セグメント

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性
評価委員会 (合同) ワーキング・グループ 2 (第 36 回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_36/siryu2.pdf

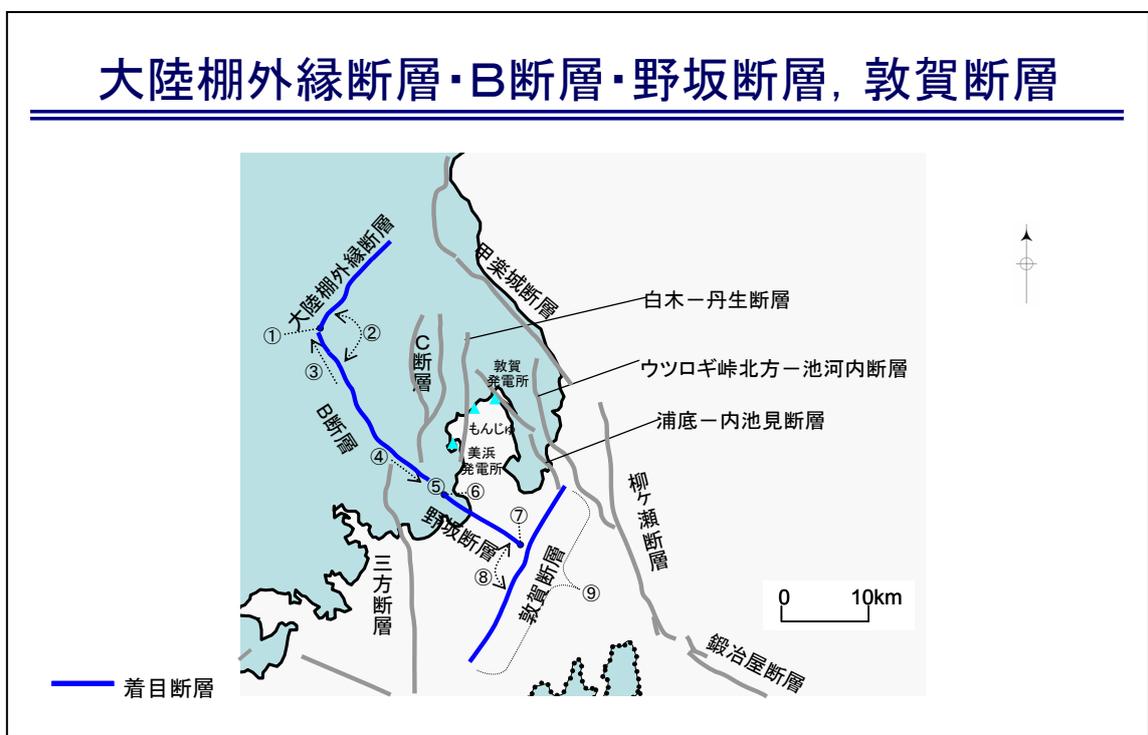
【事例5. 1-5：セグメント区分，起震断層の設定の事例5】

断層の走向，変位量分布，地質構造に着目して検討した事例である。大陸棚外縁断層とB断層については，音波探査記録から大陸棚外縁断層南西方に古い断層が延び，B断層とはT字状に分布し，両断層が共役の関係にあるとしていた。これに対して，原子力安全・保安院が実施した音波探査等の結果からは南西方に延びる活構造は確認されず，また，活構造が連続的で地下の断層面も連続的に推定できること，両断層の累積変位量は連続的であるとの指摘がなされた。

B断層と野坂断層間については，両断層間にR層（音響基盤）の張出しが認められ，B断層の変位量分布が終息しており，両断層をつなぐ構造は認められないとしていた。これに対して，両断層は一直線上で各断層の延長部がR層張出しの際にあたるため慎重な評価が必要との指摘がなされこと，また，海上音波探査記録からはC層（鮮新世後期～中期更新世）上面の盛り上がりが認められ，変動があることが否定できないとされた。

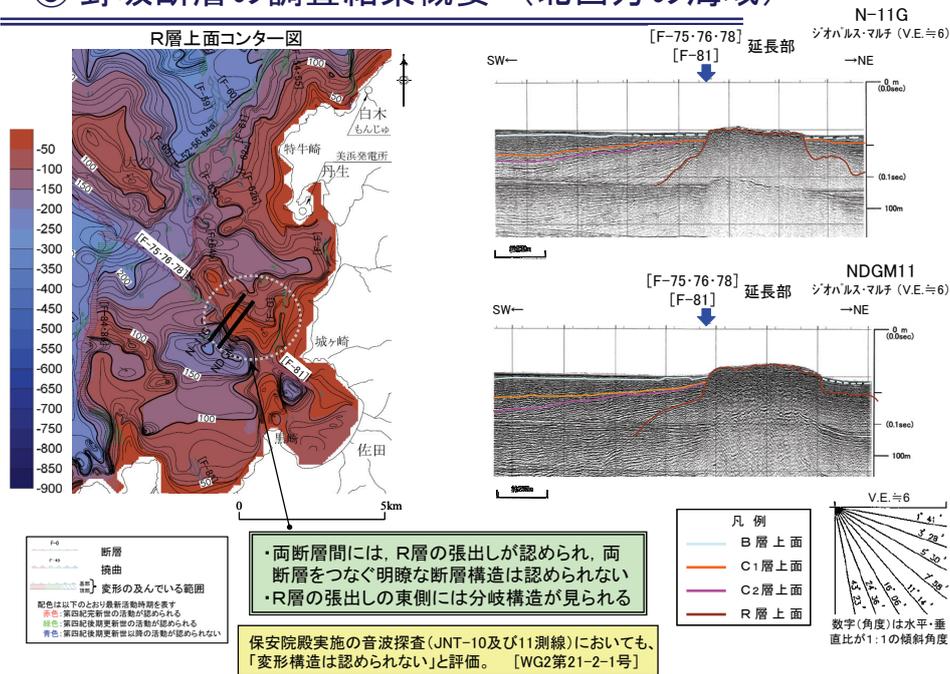
以上の指摘を踏まえ，野坂断層，B断層及び大陸棚外縁断層の同時活動を考慮している。

一方，地震調査研究推進本部地震調査委員会（2003a）で湖北山地断層帯北西部と評価される敦賀断層と，野坂断層とは，走向が大きく異なり，T字状に分布すること，野坂断層と敦賀断層は，地震調査研究推進本部地震調査委員会（2003a, b）ではそれぞれ「野坂断層帯」と「湖北山地断層帯北西部」として，また産総研の活断層データベースでは，「野坂起震断層」と「敦賀起震断層」として，異なるものとして評価していることから，両断層の同時活動は考慮しないとしている。

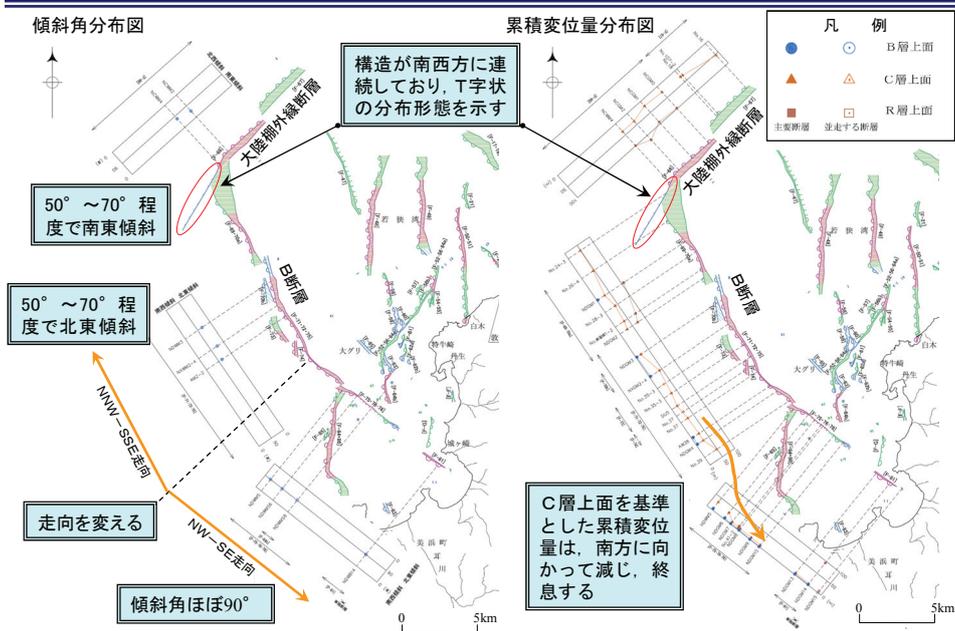


原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会（合同）ワーキング・グループ2（第36回）
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_36/siryu2.pdf

⑨ 野坂断層の調査結果概要（北西方の海域）



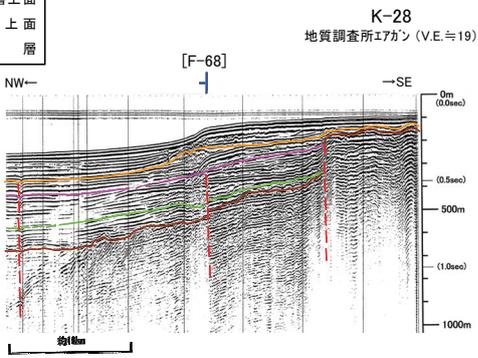
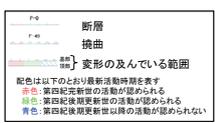
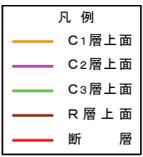
⑩ B断層, ⑪ 大陸棚外縁断層の調査結果概要（走向・傾斜・累積変位量）



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会（合同）ワーキング・グループ2（第30回）

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_30/siryo2-9.pdf

⑪ 大陸棚外縁断層の調査結果の概要(海上音波探査記録)



地質調査所実施のエアガンの音波探査記録では、深部に断層が認められると判断した。しかし、浅部に関しては不明瞭であり、変位・変形について言及するのは難しい。

保安院殿実施の音波探査記録(測線JNT20-17)では、「大陸棚外縁断層の南西延長部においては、変形構造は確認できなかった。」と評価。 [WG2第21-2-2号]

大陸棚外縁断層・B断層・野坂断層, 敦賀断層

活断層	走向	傾斜	変位 センス	活動性 上段:最新活動時期 下段:活動間隔	地質状況他	関連する 5kmルール	(参考)文献等での評価	同時活動
大陸棚外縁断層	NE	南東	南東側隆起の右横ずれ	1963年 越前沖地震	① [南西端] 音波探査記録で、南西方に古い断層が延び、B断層とはT字状に分布。ただし、原子力安全・保安院が実施した音波探査等の結果から、南西方に延びる活構造は確認できない。(WG2第30-2号 p.119)	5kmルールの何れにも該当しない	-	考慮
					② 活構造が連続的で、地下の断層面も連続的に推定できる。 ③ 断層の累積変位量は連続的である。(WG2第30-2号 p.120)		-	
B断層	NW	[北部] 北東 [南部] 鉛直	北東側隆起の左横ずれ 左横ずれ	完新世 7.0千年 ^{※12} (産総研)	④ [北西端] 音波探査で、B層のプログラデーションパターンに変位・変形が認められないが、このプログラデーションパターンは水深が100mより深いことから2万年くらい前の最終氷期に一気に溜まった地層と考えられ、確実に後期更新世以降の活動がないとは言えない。(WG2第30-2号 p.114,115) ⑤ [南東端] 断層の走向が変わる辺りで徐々に累積変位量が終息する。(WG2第30-2号 p.119)	2) 走向方向に5km以内の分布間隔をもって、ほぼ一線にならばほぼ同じ走向の複数の断層に相当	地震本部「野坂断層帯」 産総研DB「野坂地震断層」	考慮しない
野坂断層	NW	鉛直	左横ずれ	15世紀~17世紀 約5,600~7,600年もしくはこれらよりも短い間隔(地震本部) 7.0千年 ^{※12} (産総研)	⑥ [北西端] 海上音波探査で、断層の末端を示唆するように分岐状を呈する。(WG2第30-2号 p.112) ⑦ [南東端] リニアメント延長部で江若花崗岩の礎岩が連続的に分布。(WG2第30-2号 p.110)			
敦賀断層	NE	鉛直	右横ずれ	12世紀後半~14世紀末(北部は少なくとも3万年前以降活動なし) 約3千年~約4千年(地震本部) 3.0千年 ^{※7} , 14.0千年 ^{※8} (産総研)	⑧ 走向が大きく異なる(T字状に分布)。 ⑨ 変曲北東方から大谷山南西方までの約23kmと評価。(WG2第30-2号 p.82, 83)	5kmルールの何れにも該当しない	地震本部「湖北山地断層帯北西部」 産総研DB「敦賀地震断層」	

※7:黒河川活動セグメント ※8:釜の川活動セグメント ※12:野坂活動セグメント

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ2 (第30回) (第36回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_30/siry0-9.pdf

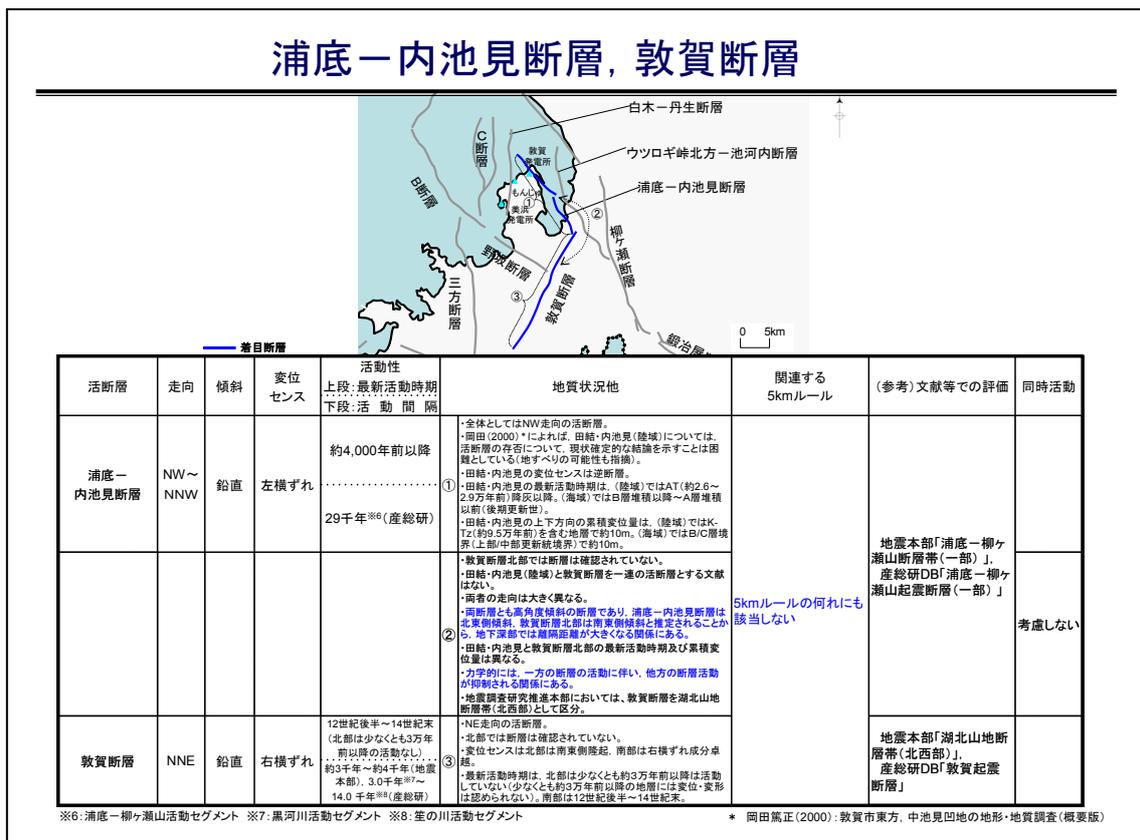
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_36/siry02.pdf

【事例5. 1-6：セグメント区分，起震断層の設定の事例6】

浦底-内池見断層と敦賀断層については，走向は大きく異なり，浦底-内池見断層は北東側傾斜，敦賀断層北部は南東側傾斜と推定されることから，地下深部では離隔距離が大きくなる関係にある。また，力学的には，一方の断層の活動に伴い，他方の断層活動が抑制される関係にあること，地震調査研究推進本部（2003a）では敦賀断層と称される「湖北山地断層帯北西部」として，独立行政法人産業技術総合研究所 活断層・地震研究センターの活断層データベースでは「敦賀起震断層」として区分していること，以上のことから同時活動を考慮しないとしていた。

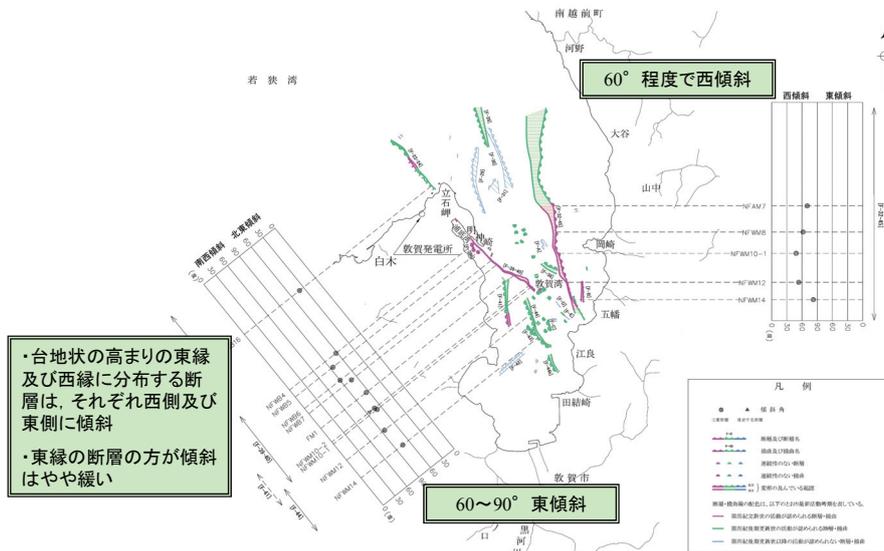
これに対して，浦底-内池見断層も敦賀断層も単純な横ずれ断層ではなく逆断層成分も含んでいることから，敦賀断層の北部と浦底-内池見断層との関係について検討を加えるよう指摘がなされた。

これに対して，敦賀断層の北部と南部では地形・地質の状況が異なり，南部で確認された断層は後期更新世以降に活動しているが，北部では断層は確認されていないこと，浦底-内池見断層の南端部付近（文献が示す田結・内池見に相当）と敦賀断層を一連の活断層とする文献はないこと，岡田（2000）のボーリング調査結果等から田結・内池見と敦賀断層北部の最新活動時期は異なり，後期更新世における累積変位量には差異があると考えられること，から同時活動を考慮しないと判断している。



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ2 (第36回)
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_36/siryu2.pdf

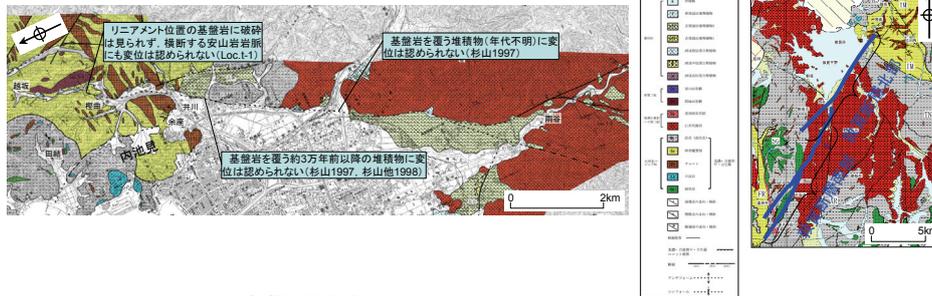
④ ウツロギ峠北方一池河内断層～⑤ 浦底一内池見断層の走向・傾斜(海域部)



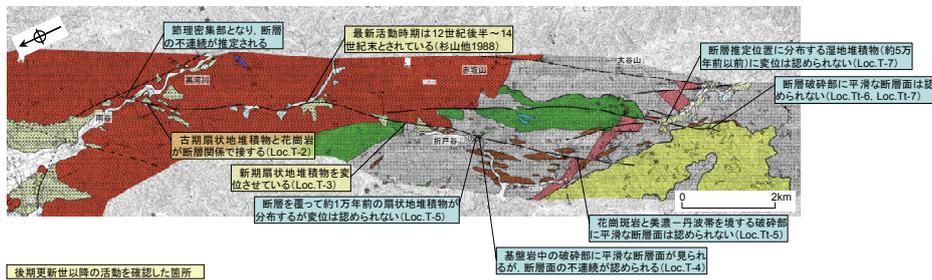
・台地状の高まりの東縁及び西縁に分布する断層は、それぞれ西側及び東側に傾斜
 ・東縁の断層の方が傾斜はやや緩い

敦賀断層に関する地質調査結果

敦賀断層北部



敦賀断層南部



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ2 (第30回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_30/siryo2-5.pdf

経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ Cサブグループ (第14回)

<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/4/014/14-3.pdf>

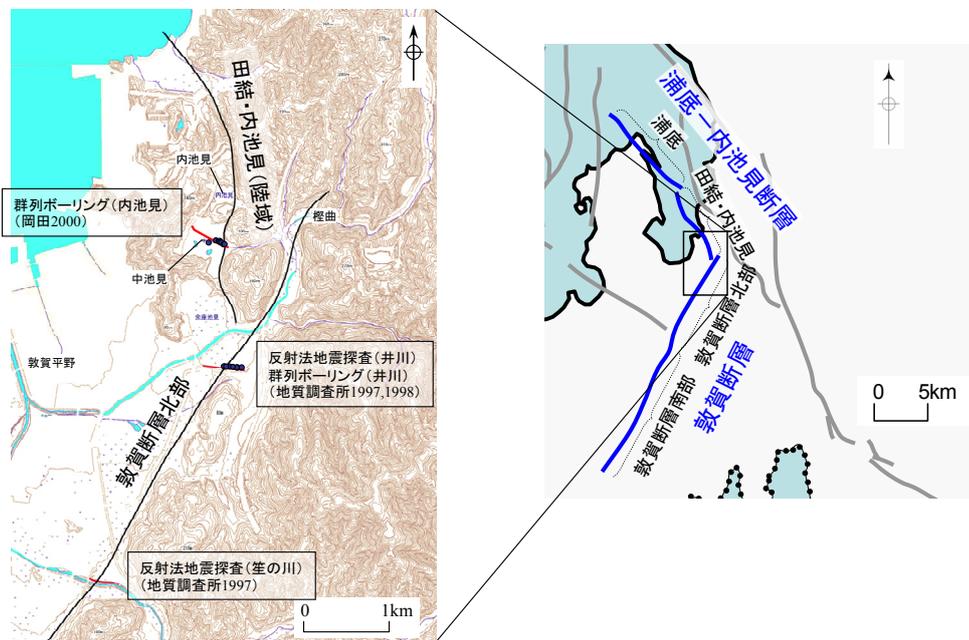
② 田結・内池見(陸域)と敦賀断層の関係に関する文献の見解

- a. 新編 日本の活断層(活断層研究会編, 1991)
- b. 近畿の活断層(岡田・東郷編, 2000)
- c. 活断層詳細デジタルマップ(中田・今泉編, 2002)
- d. 都市圏活断層図(国土地理院, 2005)
- e. 敦賀市東方, 中池見凹地の地形・地質調査(概要版)(岡田, 2000)
- f. 湖北山地断層帯の長期評価について(地震調査委員会, 2003)

→ 田結・内池見(陸域)を示す文献(上記b.~f.)においては, 田結・内池見(陸域)と敦賀断層を一連の活断層とはしていない

田結・内池見(陸域)と敦賀断層を一連の活断層とする文献はない。

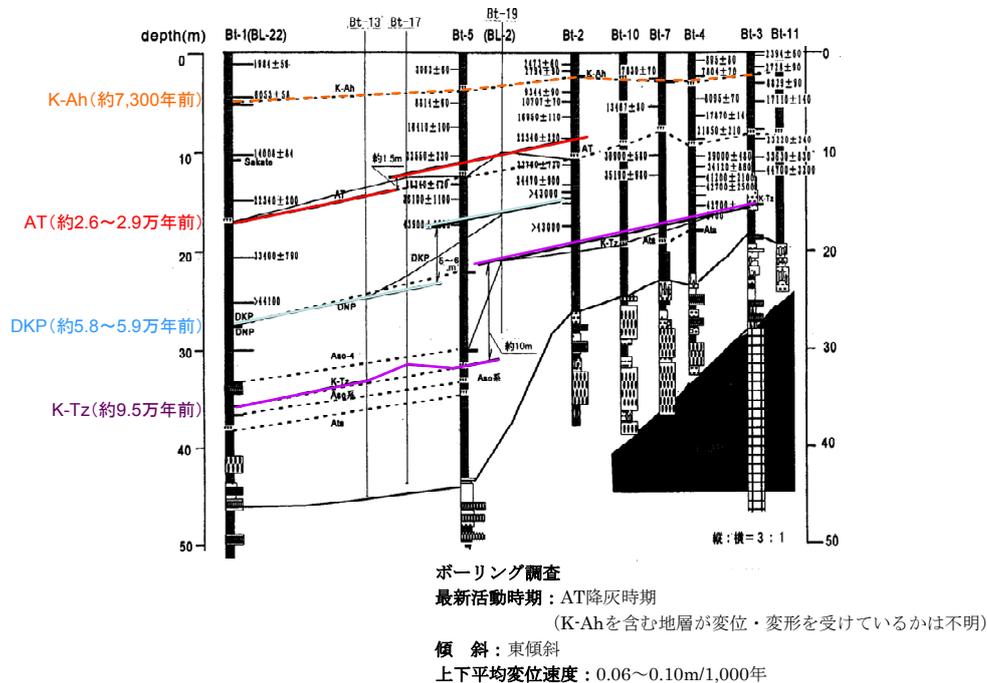
他機関が実施した地質調査の位置図



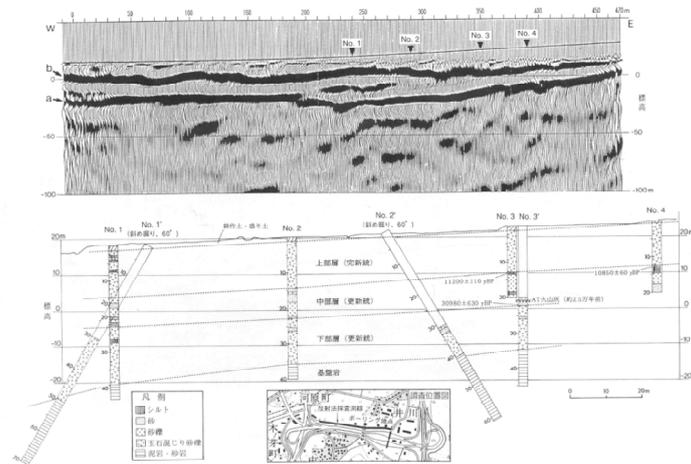
経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ Cサブグループ (第14回)

<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/4/014/14-3.pdf>

田結・内池見(陸域)の活動履歴(岡田2000)



敦賀断層北部の活動履歴(杉山ほか1998)



第2図 敦賀市井川における敦賀断層北部の反射法地震探査及びボーリング調査結果。
 断層の推定通過位置はNo.2地点とNo.3地点の間。反射面aは基盤岩と更新統の境界、反射面bは上部層(完新統)の基底に対応する。

杉山ほか(1998)※

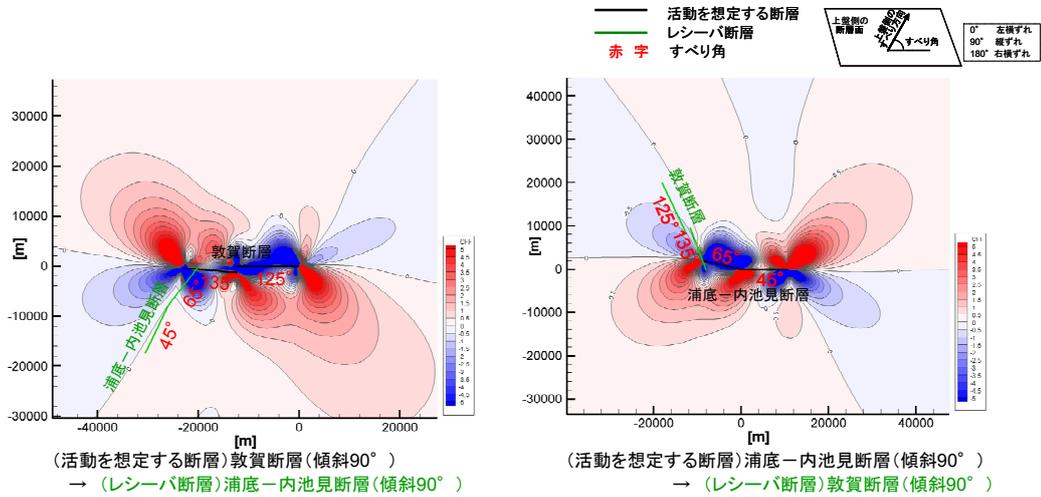
- ・敦賀断層北部の井川において、反射法地震探査(1997)及びボーリング調査(1998)を実施。
- ・その結果、敦賀断層北部は少なくとも最近の約3万年間は活動していないと判断される。
- ・調査データから判断する限り、敦賀平野東縁の山地-平野境界には断層そのものが存在しない可能性が高いと考えられる。しかしその一方で、断層活動以外の成因により、敦賀平野東縁の直線的な地形境界の形成を説明し得るだけのデータは今のところ得られていない。

杉山雄一・吉岡敏和・寒川旭・佐竹健治(1998):敦賀断層の活動履歴調査。地質調査所速報, no.EQ/98/1(平成9年度活断層・古地震研究調査概要報告書), 101-112

産総研承諾第 60635130-A-201206005-001号(H24.6.5)

経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
 地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ Cサブグループ (第14回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/4/014/14-3.pdf> (一部修正)

(参考)力学的検討



- ・地盤を弾性体と仮定し、断層運動に伴う地盤内の応力変化(クーロン破壊応力変化 ΔCFF)を求めた。
- ・断層の運動方向については、断層の走向・傾斜と広域応力場との関係や地形・地質の状況から設定(浦底-内池見断層は北東側隆起成分を含む左横ずれ断層、敦賀断層は南東側隆起成分を含む右横ずれ断層と推定)。
- ・その結果、活動を想定する断層の運動に伴い、レシーバ断層の運動は抑制される(ΔCFF が負になる)結果となった(浦底-内池見断層北部についても、北部断層をレシーバ断層とした場合の ΔCFF 図において、抑制側に位置していることを確認)。

- ・解析コード: Coulomb2.5
 - ・圧縮軸の向き: 東西方向
 - ・摩擦係数: 0.6
 - ・ポアソン比: 0.25
 - ・地盤の剛性率: $3.2 \times 10^{10} \text{N/m}^2$
- $\Delta CFF (\times 10^5 \text{Pa})$ は、起震断層に1mの変位量を与えた場合の深度11kmの水平スライスにおける値

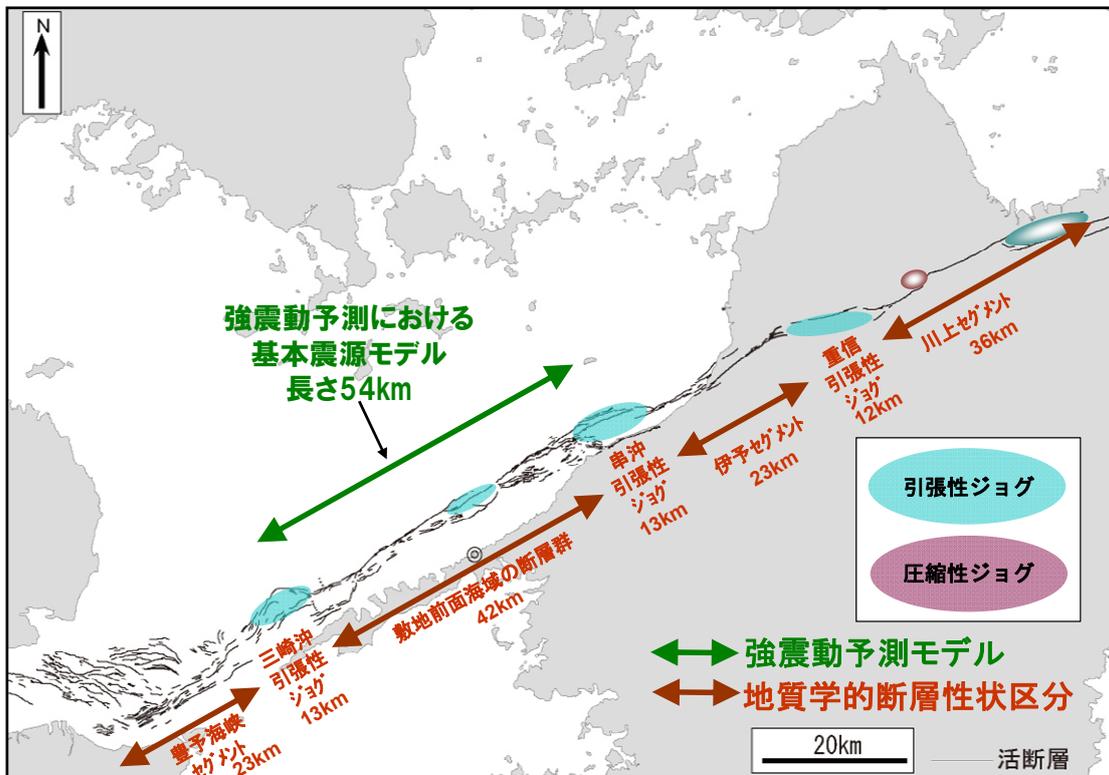
原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ2 (第36回)
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_36/siryo2.pdf

【事例5. 1-7:セグメント区分, 起震断層の設定の事例7】

右横ずれの卓越する長大活断層のセグメント区分に際して, 断層の屈曲, 分岐及び他の断層との交差, 第四紀堆積盆, 断層の変位センス及び平均変位速度等を総合した検討を行い, 特に断層の分岐・屈曲などのジョグに着目してセグメント区分を行っている。

なお, 地震動評価におけるモデル化に際しては, 基本震源モデルの長さを両端の引張性ジョグの中央付近までの 54km とし, 隣合う活動セグメントとの連動を最長で伊予灘～金剛山地の約 360km までを基準地震動の評価上考慮している。

性状	断層名		伊予灘セグメント		串沖引張性ジョグ		伊予断層		重信断層		川上-小松断層							
	豊予海峡セグメント	三崎沖引張性ジョグ																
海/陸	海						陸											
走向	北東-南西						東北東-西南西											
活動様式	正断層						右横ずれ断層											
縦ずれ変位の向き(落ち方向)	全般に北落ち優勢		南落ちと北落ちの断層に挟まれた地溝・バールジの形成(断層帯全体として南北で顕著な縦ずれ変位は見られない)															
分布形態	並走配列 別府活断層系と斜交	右屈曲(分岐)	分岐	雁行配列	右屈曲	雁行配列	右屈曲(分岐)	雁行配列	直線状	分岐	ギヤップ 直線状	ギヤップ 直線状	分岐	左屈曲	直線状	直線状 岡村断層と並走		
第四紀堆積盆	無	有	無	有	無	フルカハートベースン	無	フルカハートベースン	無	フルカハートベースン	無	フルカハートベースン	無	無	無	無		
活動時期	最新	伊予セグメントや伊予灘セグメントより活動性が低いと推定される	-	伊予セグメントと同程度以下の活動性と推定される	約6千年前以降	14世紀以降	11世紀以降	9世紀以降	約1万年前以降	2~3.5千年前	6.2千年前~11世紀	1~8世紀	4.9千年前~3世紀	平均活動間隔(千年)	3.3~5.0	2.5	(3.5-4.0)**	1.0-1.4
1つ前	約1万年前以降				2~3.5千年前	6.2千年前~11世紀	1~8世紀	平均活動間隔(m/回)	-	2.0	2.5	4.0						
2つ前	約1万年前以降				3.5~7千年前	(3.5-4.0)**	1.0-1.4	変位	-	0.8-1.6	(0.6-0.7)**	2.8-4						
平均活動間隔(千年)	3.3~5.0				2.5	(3.5-4.0)**	1.0-1.4	変位	-	0.8-1.6	(0.6-0.7)**	2.8-4						
平均活動間隔(m/回)	-	2.0	2.5	4.0	変位	-	0.8-1.6	(0.6-0.7)**	2.8-4									
変位	-	0.8-1.6	(0.6-0.7)**	2.8-4	変位	-	0.8-1.6	(0.6-0.7)**	2.8-4									
変位	-	0.8-1.6	(0.6-0.7)**	2.8-4	変位	-	0.8-1.6	(0.6-0.7)**	2.8-4									
変位	-	0.8-1.6	(0.6-0.7)**	2.8-4	変位	-	0.8-1.6	(0.6-0.7)**	2.8-4									
変位	-	0.8-1.6	(0.6-0.7)**	2.8-4	変位	-	0.8-1.6	(0.6-0.7)**	2.8-4									

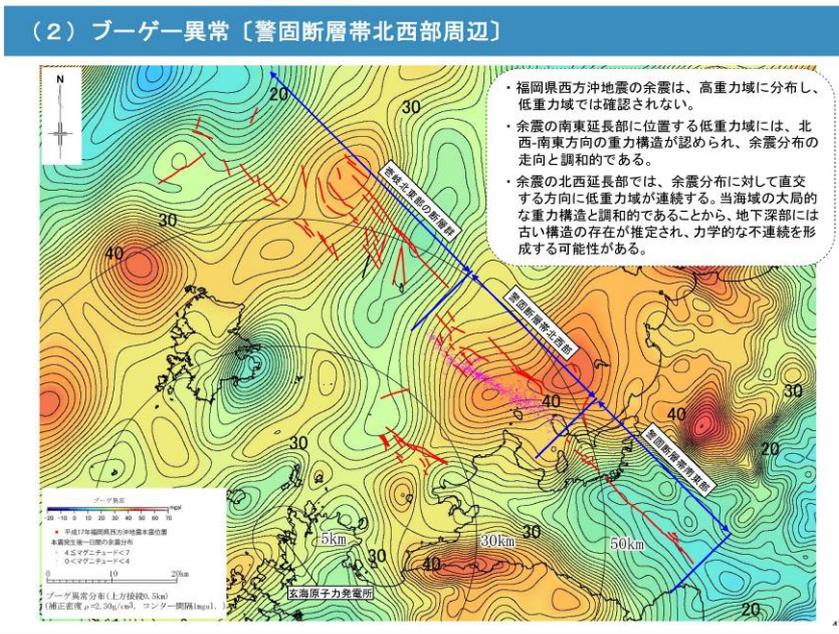
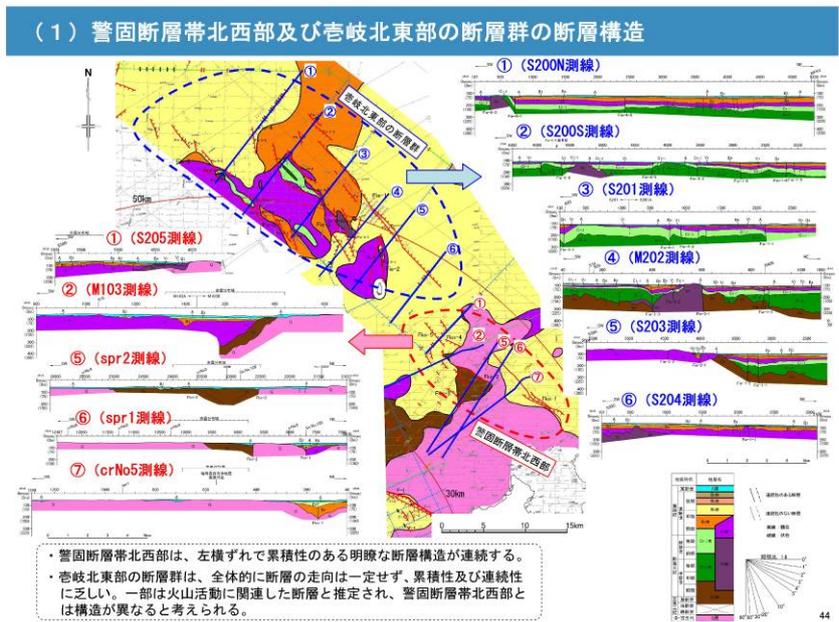


経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ (第40回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/040/40-2.pdf>

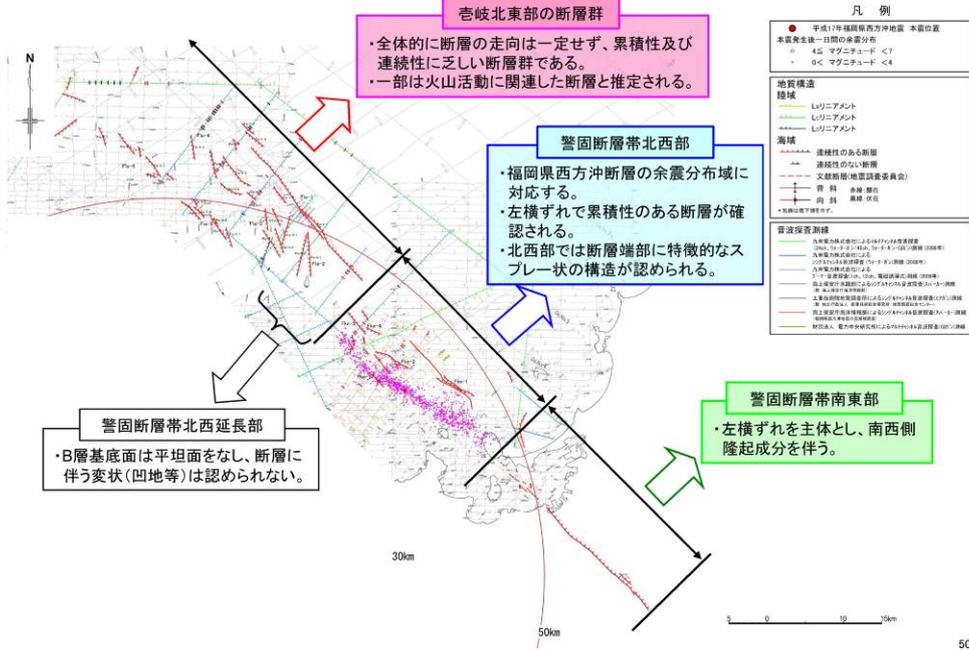
【事例5. 1-8:セグメント区分, 起震断層の設定の事例8】

地質構造, 重力異常に着目して検討した事例である。警固断層帯北西部と壱岐北東部の断層群の連続性に関して, 前者は左横ずれで累積性のある明瞭な断層構造が連続するのに対し, 後者は全体的に断層の走向は一定せず, 累積性及び連続性に乏しい。重力異常は大局的に北東-南西方向に連続する高重力及び低重力の領域が認められ, 北西-南東走向の警固断層帯北西部はこれらに対して直交し, 調和的な傾向は認められない。このような地質構造の違い, 重力異常の分布, B層の基底面の形状などから両断層は連続しないと判断している。

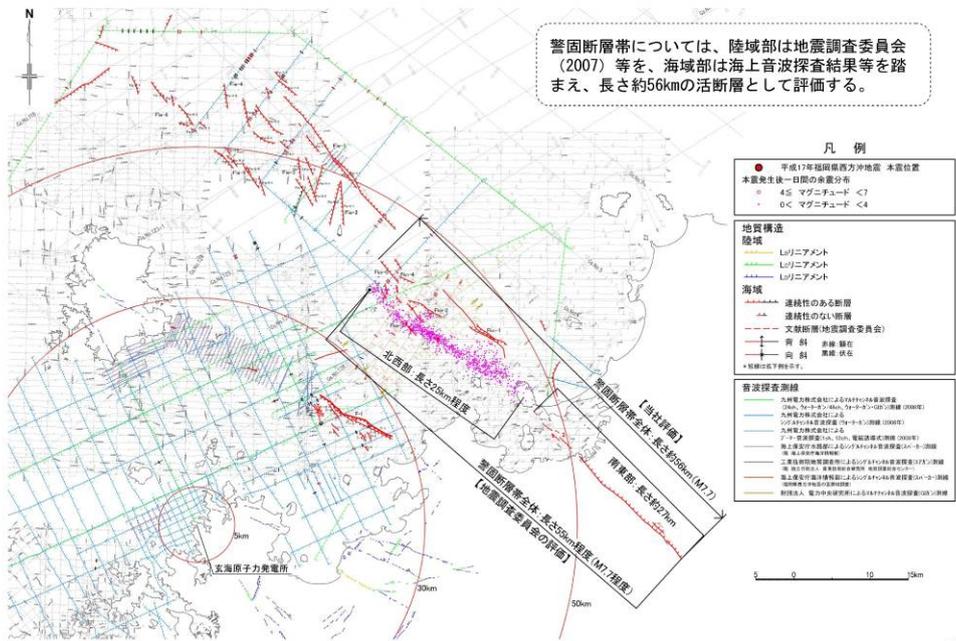
なお, 不確かさの検討として, 念のため, これらの断層の同時活動についても考慮(長さ約110km)している。



(5) 警固断層帯と彦岐北東部の断層群の連続性



警固断層帯の評価



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ3 (第33回)

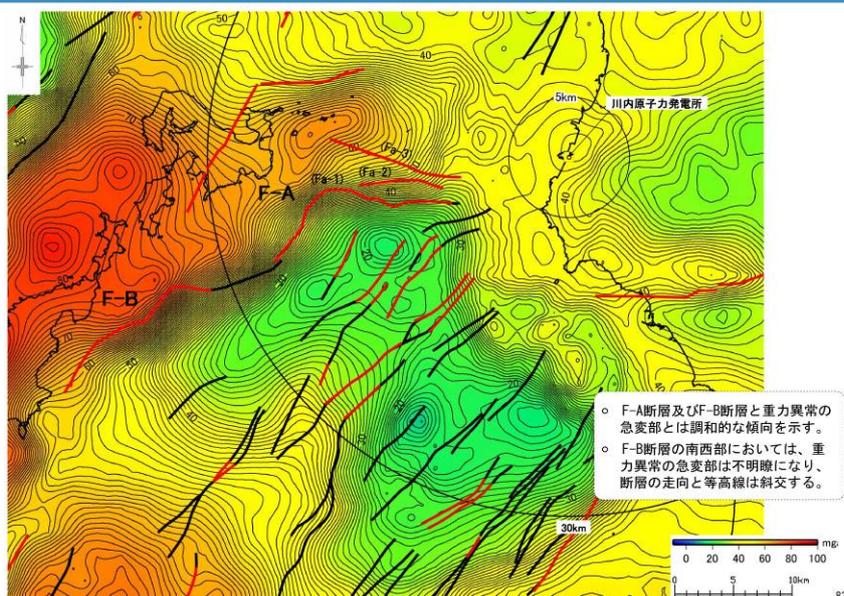
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_33/siryo3_3.pdf

【事例5. 1-9：セグメント区分，起震断層の設定の事例9】

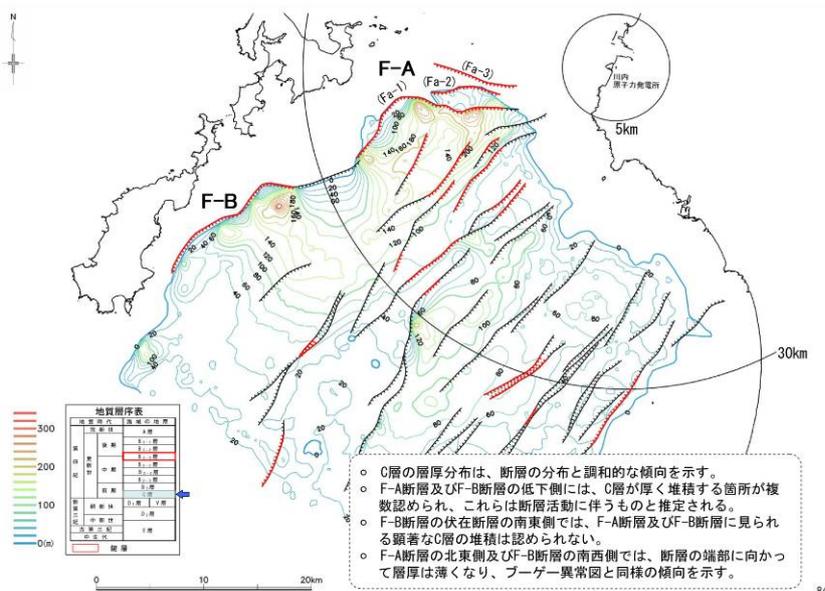
断層の位置関係，活動履歴，地質構造，重力異常に着目して検討した事例である。F-A断層及びF-B断層の連続性に関して，重力異常において，両断層周辺では連続する構造が認められるものの，前期更新世の地層であるC層の層厚分布の形態等からは，両断層が連続する構造は認められず，後期更新世以降の活動が認められる両断層の離隔は5km以上であることから，両断層は連続しないと判断している。

なお，不確かさの検討として，念のため，これらの断層の同時活動についても考慮（長さ約40km）している。

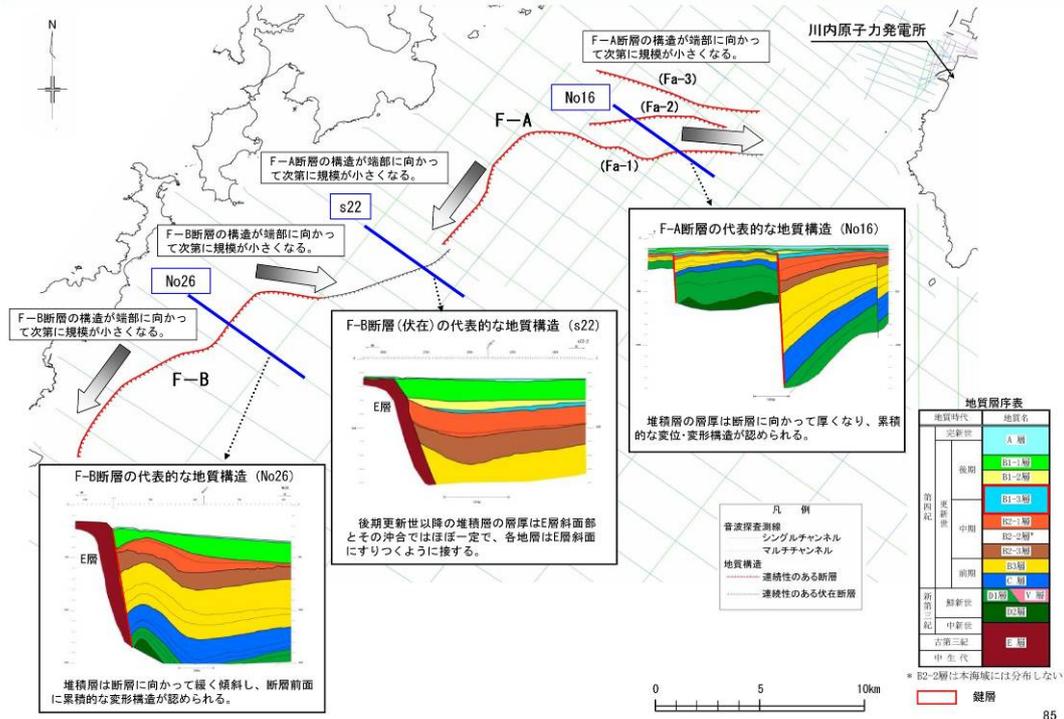
(3) F-A断層とF-B断層の連続性について[ブーゲー異常図]



(3) F-A断層とF-B断層の連続性について[C層層厚分布図]



(3) F-A断層とF-B断層の連続性について



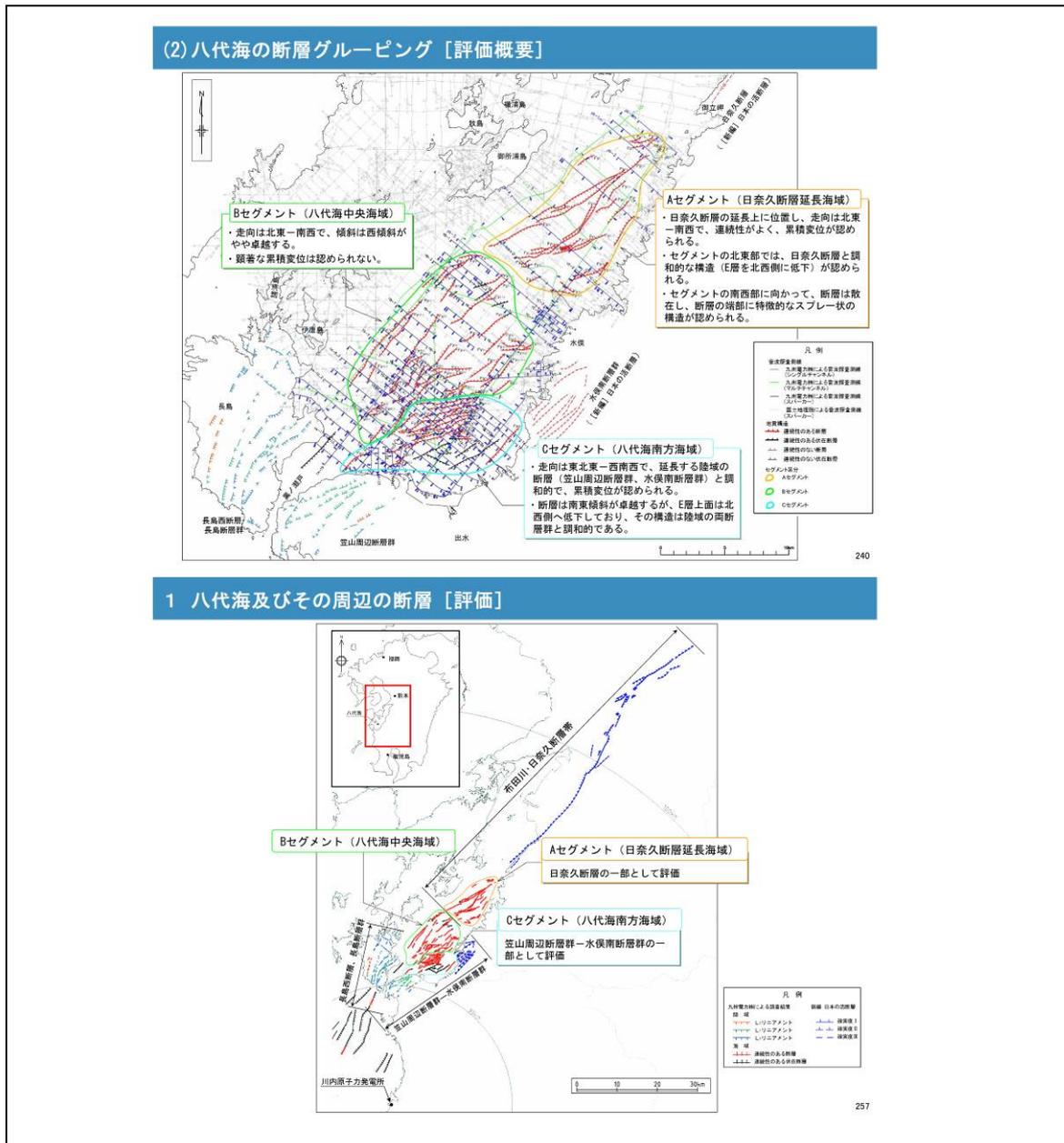
原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ3 (第40回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_40/siryo5-1.pdf

【事例5. 1-10：セグメント区分，起震断層の設定の事例10】

八代海の断層群を，陸域に分布する断層との構造対比や走向・傾斜及び累積変位量の特徴等を総合的に検討することにより，Aセグメント（日奈久断層延長海域），Bセグメント（八代海中央海域）及びCセグメント（八代海南方海域）の3つのセグメントに区分している。Aセグメント及びCセグメントについては，それぞれ陸域の断層との連続性を考慮するなど個別に評価している。

なお，不確かさの検討として，念のため，布田川・日奈久断層帯～八代海の断層群～長島断層群，笠山周辺断層群が一連で活動する場合（約120km）についても評価している。



原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会（合同）ワーキング・グループ3（第40回）

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_40/siryos5-2.pdf

5. 2 断層モデルのパラメータの設定

前項までの調査結果に基づき、断層モデルのパラメータ設定に資するため、データの整備を行なう。

断層モデルのパラメータのうち、調査から設定することができるものとしては、長さ、すべり角、断層面の傾斜角、アスペリティの位置等がある。ただし、いずれのパラメータも調査結果から一義的にパラメータの数値を決定できるとは限らず、範囲を限定するに留まることに注意する必要がある【事例5. 2-1～3】。

〔解説〕

長さについては、5.1 考慮すべき断層の長さの評価に基づき評価する。すべり角、断層面の傾斜等の断層モデルのパラメータを調査結果から推定する場合は、以下のような考え方があり。いずれの場合も、もっとも蓋然性が高い、基本モデルのケースの推定であり、不確かさを考慮するケースや念のために確認する場合のパラメータを調査結果のみから特定することには、限界があることに注意する必要がある。更に、もっとも蓋然性が高いといってもその程度は、パラメータごと、断層ごとに違いがある。特に地震 PSA において、調査結果から特定したパラメータを使用する場合には、何らかのばらつき、信頼性について示すことが望ましい。

パラメータは、断層周辺の地質構造や広域応力場との整合性について考慮される必要があるが、規模の大きな地震によって広域応力場が変化する可能性があること、また、局所的に周囲の応力場と異なる可能性があることに留意が必要である。

なお、設定したパラメータを使用したシミュレーションを行い、調査結果との比較によるパラメータの検証が有効である場合もある。

(1) すべり角

すべり角の設定に当たっては、地表又は地下浅部の断層のずれセンスが参考となる。ただし、横ずれ断層、逆断層とも、断層の端部付近では、本来のずれセンスとは別の見かけのずれセンスを伴うことがあることに注意する必要がある。

(2) 断層面の傾斜角【事例5. 2-4, 5】

断層面の傾斜角の設定に当たっては、地表又は地下浅部の断層の傾斜が参考となる。また、地表における断層の平面的な形状が、直線性が高いと断層の傾斜は高角度である傾向がある。

地下浅部から深部へは、傾斜が変化することが多いことに注意する必要がある。

地下浅部に明瞭な断層面が存在せず、撓曲構造のみが存在する場合、地下深部の断層面の形状推定には、バランス断面法（例えば、岡村（2000））による検討が参考となる場合がある。ただし、バランス断面法では、一義的な解が得られないことが多いことに注意する必要がある。

断層に伴う地表の変形域の幅が広い場合には、断層面の傾斜は低角度である傾向がある。

横ずれ断層の場合、地下浅部付近ではフラワー構造状の構造を示し、個々の断層面の傾斜と地下深部の断層面の傾斜が異なることがあることに注意する必要がある。

調査結果、地質構造から推定される物質境界は、力学境界と必ずしも一致しない場合があることに注意する必要がある。

(3) アスペリティの位置【事例5. 2-6】

アスペリティの位置の設定に当たっては、断層沿いの平均変位速度の分布が参考となる。

平均変位速度の算出に当たっては、実変位量から求めることが望ましい。ただし、断層の傾斜に不確定性が大きい場合には、実変位量の不確定性も大きくなることに注意する必要がある。

地表における変位量は、地表近くの地盤状況により大きく異なる場合があることに注意する必要がある。

また、特に横ずれ断層における変位基準（河川、尾根等）の形成年代の推定には慎重な検討が必要である。

平均変位速度が求められない場合でも、地表の変位・変形が相対的に大きく、明瞭な箇所は、平均変位速度が相対的に大きい箇所とみなすこともできる。

なお、震源断層の深部にアスペリティがあったとしても、そこでの変位量は地表の変位量には反映されないことに注意する必要がある。

(4) その他

単位変位量は、過去の活動における1回当たりの縦ずれ又は横ずれ変位量のいずれか大きい方の値で評価することを原則とする。単位変位量により地震のマグニチュードを求めることがあるが、その場合の単位変位量の算出に当たっては、当該箇所が当該活断層の過去の活動を代表している箇所か否か、変位量が断層変位以外の要因を含んでいる可能性がないか否か、過去の活動回数の認識に重複や不足はないか等について慎重な検討が必要である。

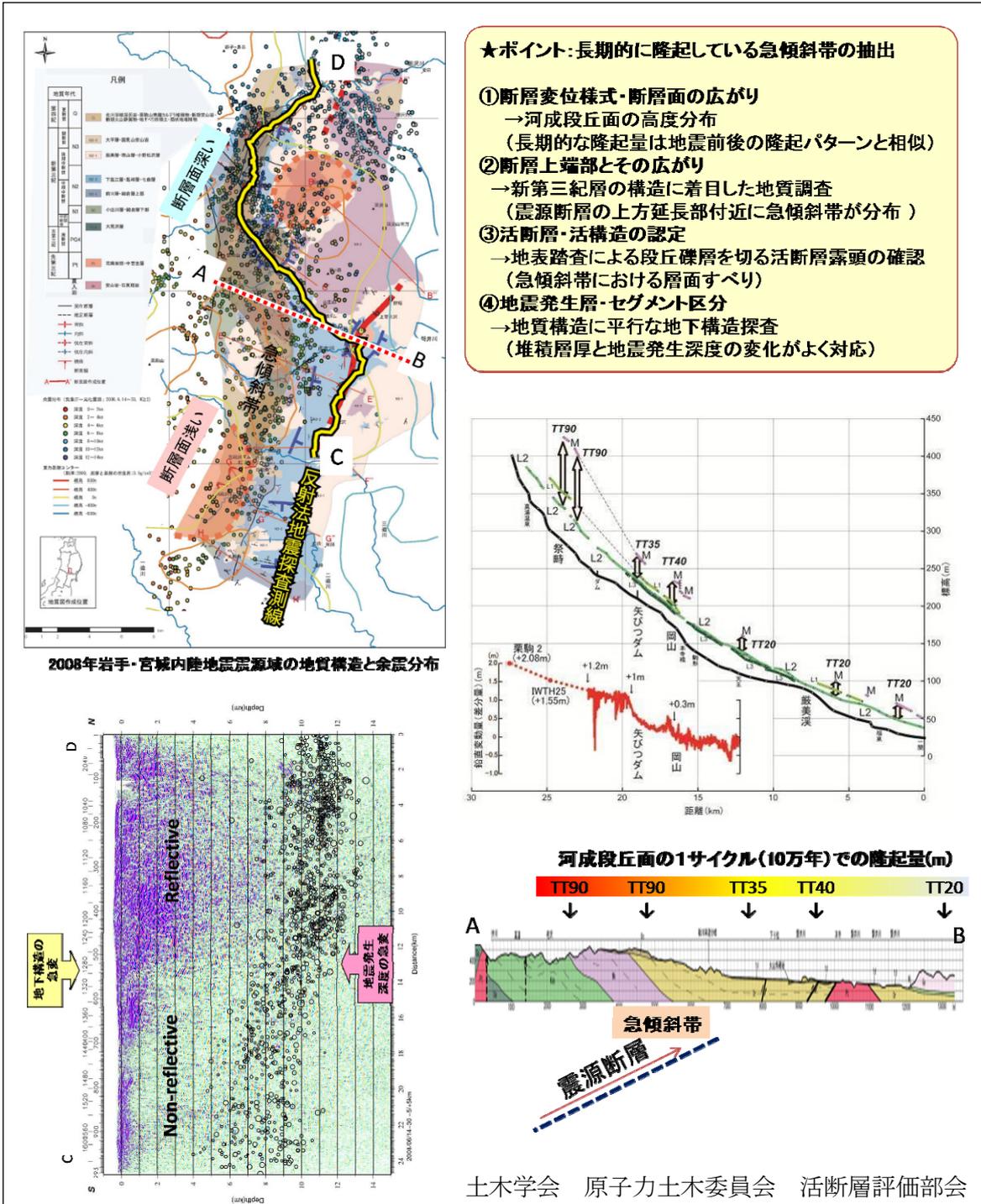
断層幅は、地震発生層や弾性波速度構造をもとに決められる【事例5. 2-7】。

なお、地表の活断層の分岐形状等の地表形態から、その活断層が活動した時の破壊開始点の位置を推定する方法の研究例として、横ずれ断層の場合、断層の枝分かれの平面的な形状により、破壊開始点を推定できるとしたものがある（中田他，1998）。

〔事例〕

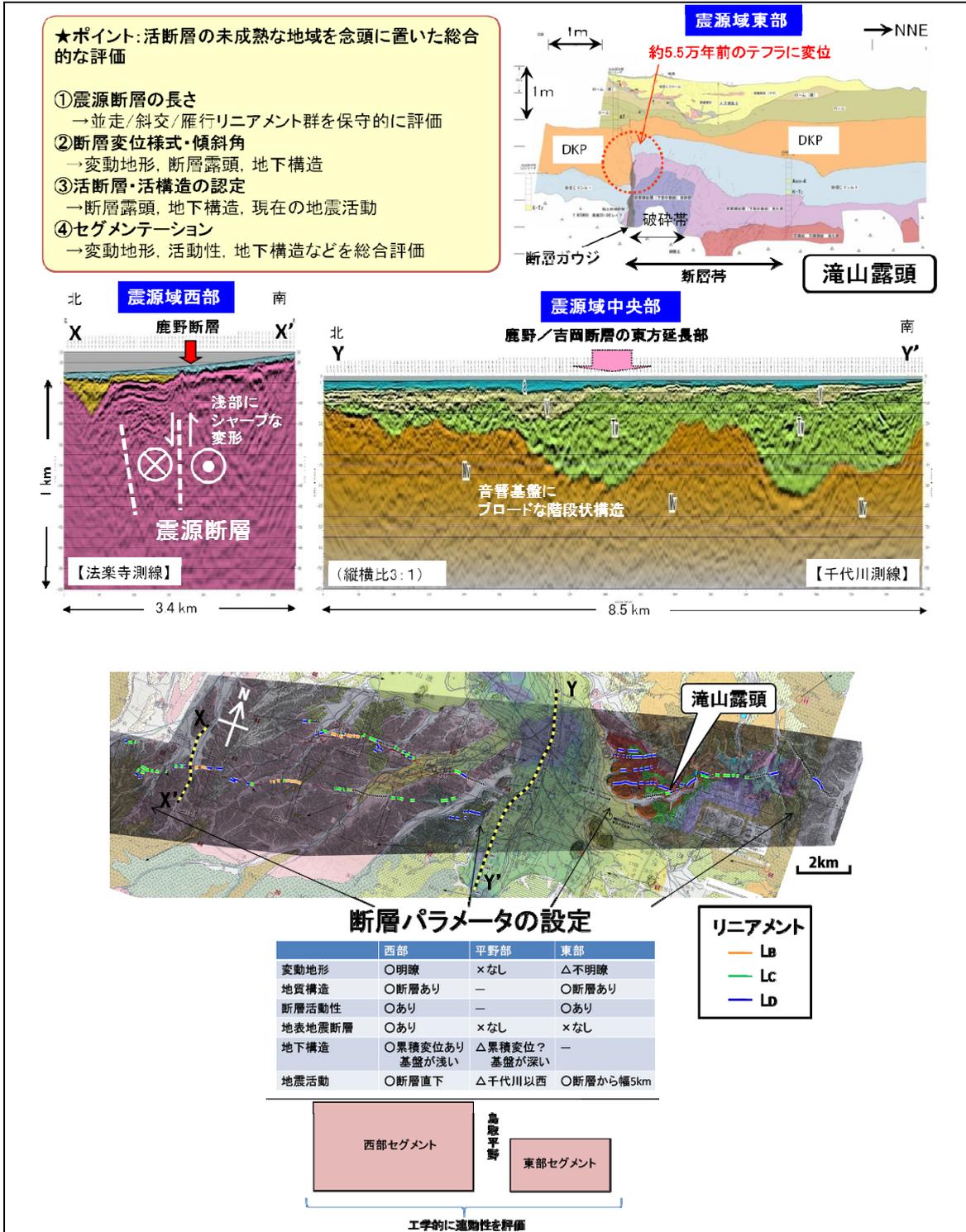
【事例5. 2-1：活断層の不明瞭な内陸逆断層の評価事例】

2008年岩手宮城内陸地震（M7.2）の震源域を対象に、活断層の不明瞭な内陸逆断層型地震の震源断層評価を行った。河成段丘面の高度分布に着目し、TT値が急増するゾーン及び対応する新第三紀層の急傾斜帯から逆断層の上端部とその広がりを推定できる可能性を指摘した。また、地質構造を縦断する地下構造探査により地震発生層の変化に対応する堆積層厚の急変を認め、セグメンテーションに有効と評価した。



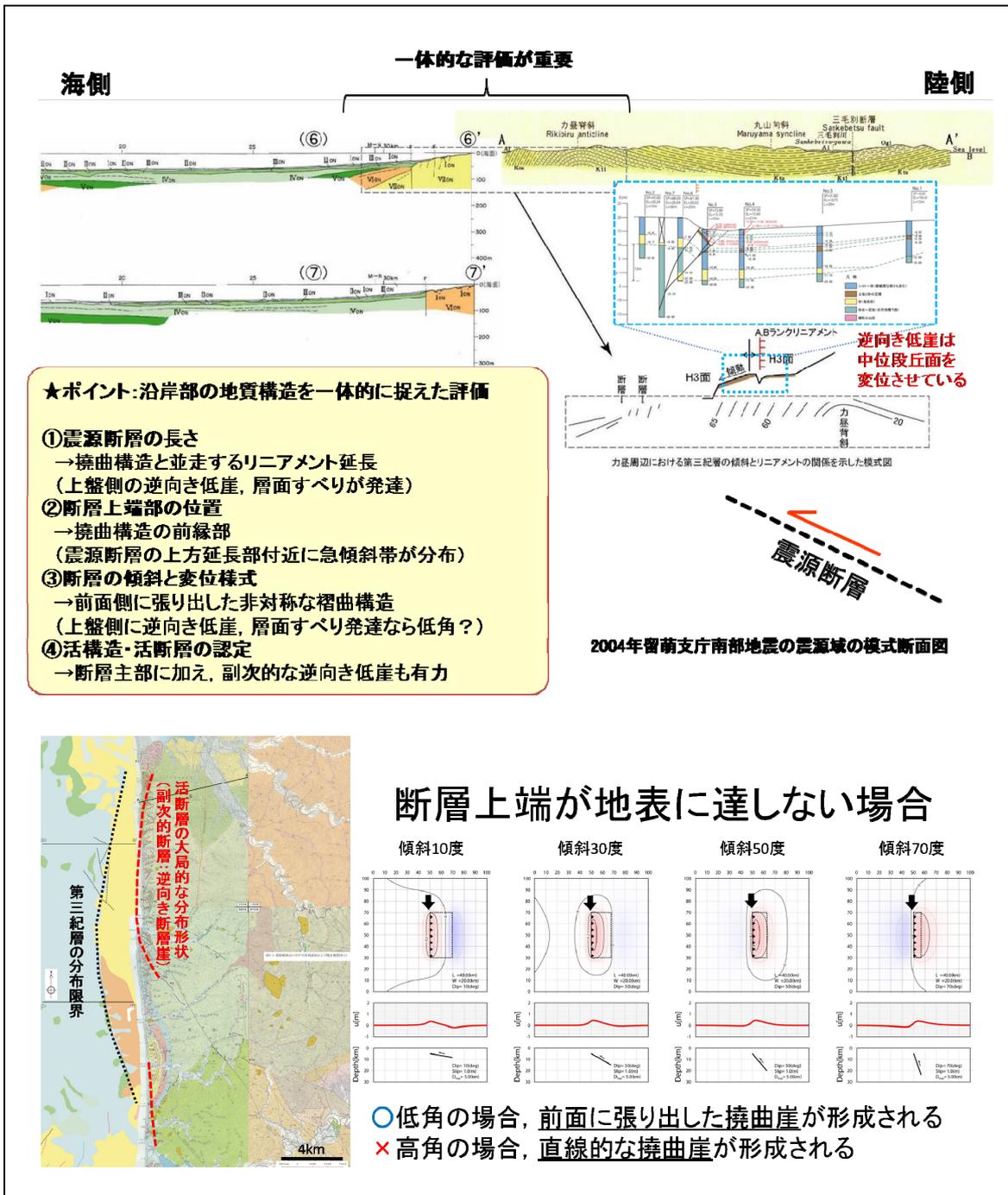
【事例5. 2-2: 活断層の未成熟な地域における横ずれ型地震の評価事例】

1943年鳥取地震(M7.2)の震源域を対象に、活断層の未成熟な地域における横ずれ型地震の震源断層評価を行った。平野を挟んで両側にはほぼ同走向の活断層が認められるが、変動地形の明瞭度など多くの点で両者に差異が認められるため、平野を挟んで震源上端深さの異なる二つの活動セグメントから成ると推定した。



【事例5. 2-3: 海陸境界部における逆断層型地震の評価事例】

2004年留萌支庁南部の地震 (M6.1) の震源域を対象に、海陸境界部における逆断層型地震の震源断層評価を行った。沿岸部の非対称な褶曲構造 (撓曲構造) を海陸で一体的に捉え、その前翼部で中位段丘面を切る活断層を副次的な逆向き低崖として評価した。震源断層の長さは、この逆向き低崖及び撓曲構造の長さから推定でき、前翼部の張り出しを解析的に再現しうるモデルとして、低角で地表に達しない逆断層が想定できるとした。



【事例5. 2-4：地震調査研究推進本部のレシピ】

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2009）の震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）では、震源断層モデルの傾斜として以下を示している。

反射法探査結果など、断層の傾斜角を推定する資料がある場合にはそれを参照する。また、周辺にある同じタイプの断層から傾斜角が推定できる場合にはそれらを参照する。それらの資料が得られない場合は、断層のタイプ（ずれの方向）により次に示す傾斜角を基本とする。

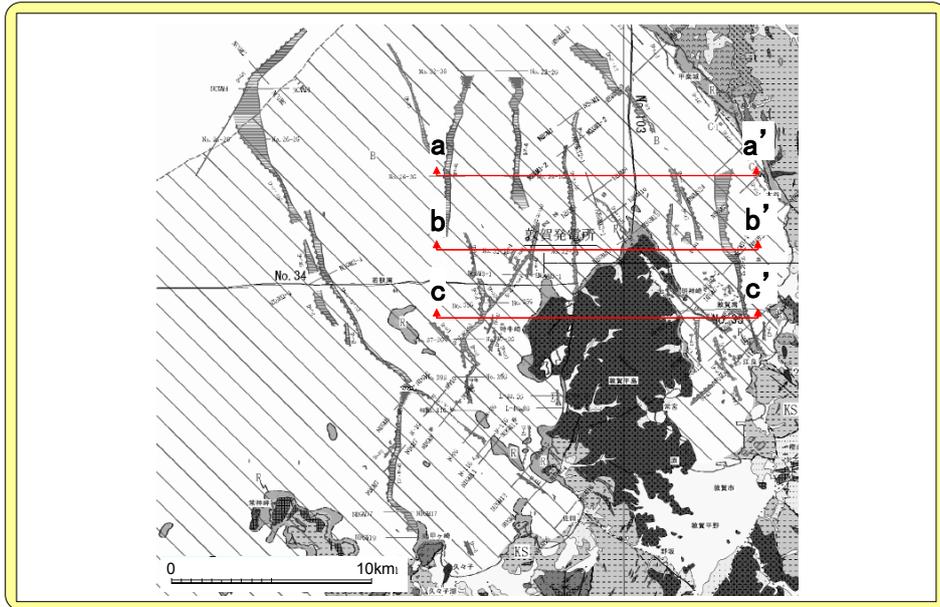
- ① 逆断層：45°
- ② 正断層：45°
- ③ 横ずれ断層：90°

ただし、周辺の地質構造、特に活断層の分布を考慮し、対象断層とその周辺の地質構造との関係が説明できるように留意する。また、「長期評価」により、「低角」又は「高角」とある場合には、上記の点に留意して、それぞれ 0°～30°、60°～90° の範囲内で設定する。

【事例5. 2-5：断層の傾斜角の検討事例】

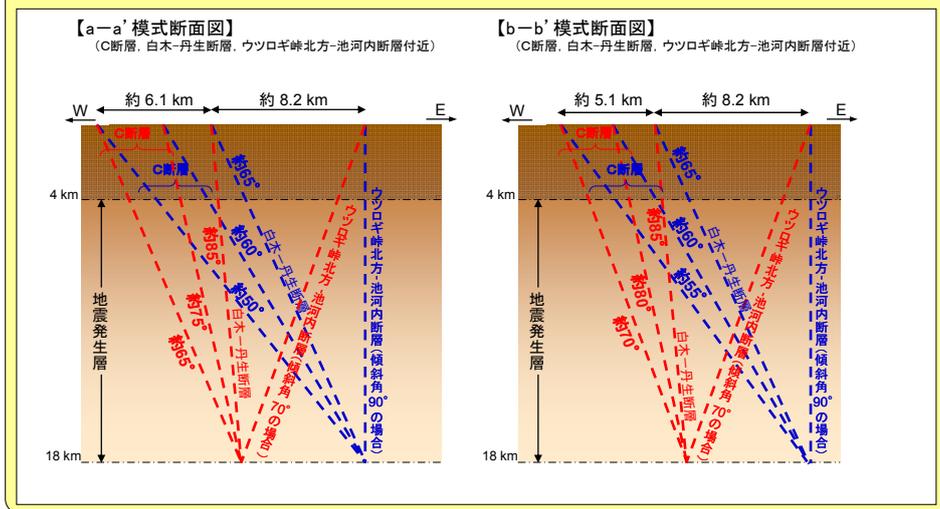
近接する白木-丹生断層とC断層の傾斜角について、断面図による活断層分布の検討から、周辺の地質構造が形成されるように、その活動を妨げないよう活断層分布を考慮した結果、白木-丹生断層及びC断層は概ね 60° 程度の高角度傾斜が適切であるとしている。

断面図による活断層分布の検討(断面位置図)



断面図による活断層分布の検討

白木-丹生断層、C断層と東側のウツロギ峠北方-池河内断層等との関連から断層傾斜角を模式断面図上で示す



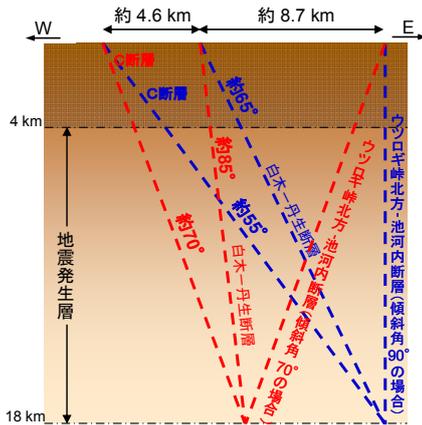
原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 (合同) ワーキング・グループ2 (第30回)

http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG2/taishin_godo_WG2_30/siryoy2-8.pdf

断面図による活断層分布の検討

白木-丹生断層、C断層と東側のウツロギ峠北方-池河内断層等との関連から断層傾斜角を模式断面図上で示す

【c-c' 模式断面図】
(C断層、白木-丹生断層、ウツロギ峠北方-池河内断層付近)



傾斜角範囲一覧

断面線	C断層	白木-丹生断層
a-a'	75~60°	85~65°
b-b'	80~60°	85~65°
c-c'	70~55°	85~65°

C断層については、長さが長くなる北東部~南部の系列で代表させている。

⑦ 白木-丹生断層、⑧ C断層傾斜角のまとめ

【地震調査研究推進本部における傾斜角の設定】

- ・周辺の地質構造、特に活断層の分布を考慮し、その周辺の地質構造が説明できるように留意し、「低角」の場合は $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 、「高角」の場合は $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の範囲内で設定。

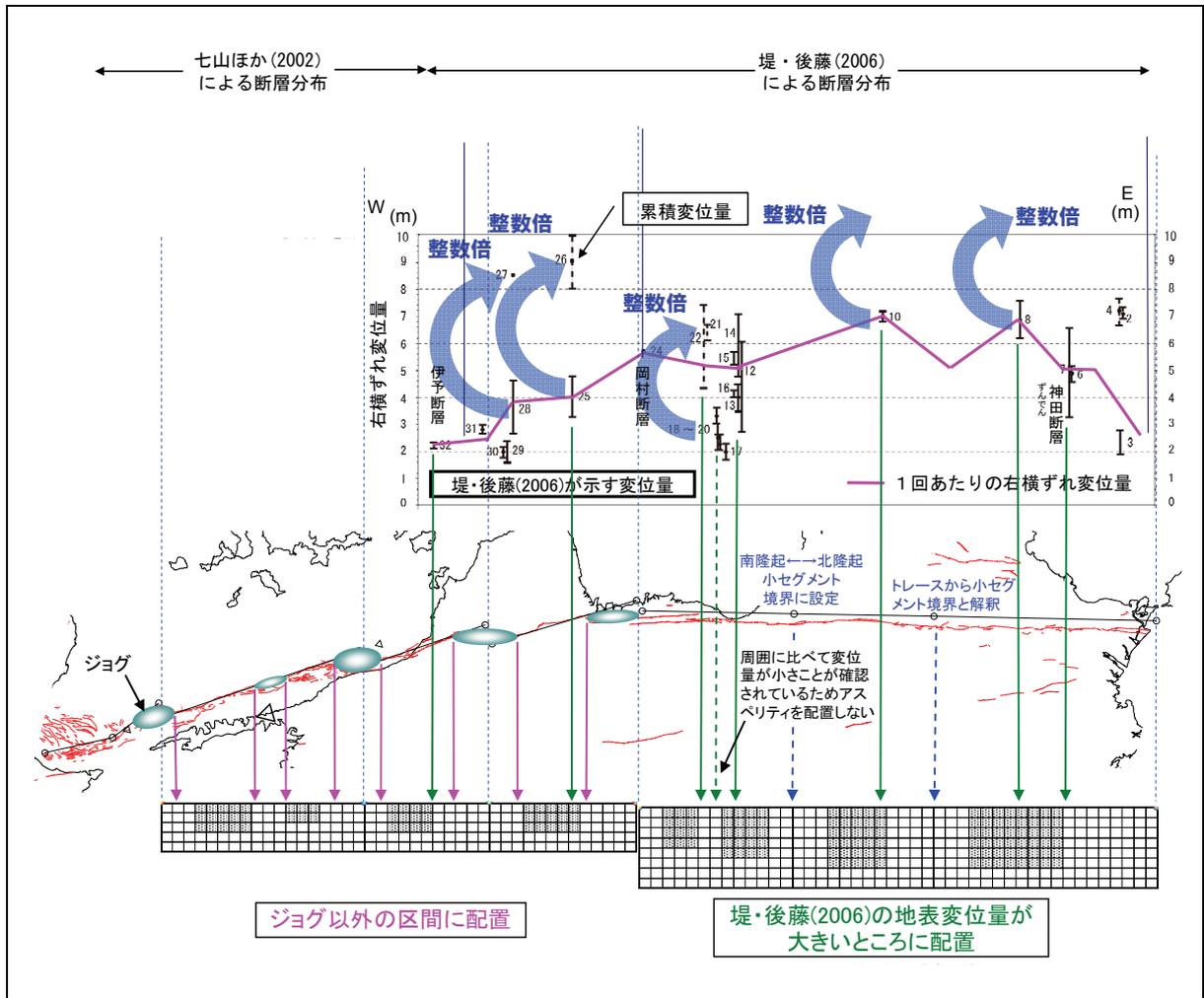
断面図による検討から、周辺の地質構造が形成されるように、その活動を妨げないよう活断層分布を考慮した結果、白木-丹生断層およびC断層は概ね 60° 程度の高角度傾斜が適切である。

白木-丹生断層およびC断層は不確かさも考慮したうえで、**高角逆断層で 60° 傾斜として設定する。**

ただし、C断層については、 55° のケースも不確かさとした検討を実施する。

【事例5. 2-6 : アスペリティ配置の検討事例】

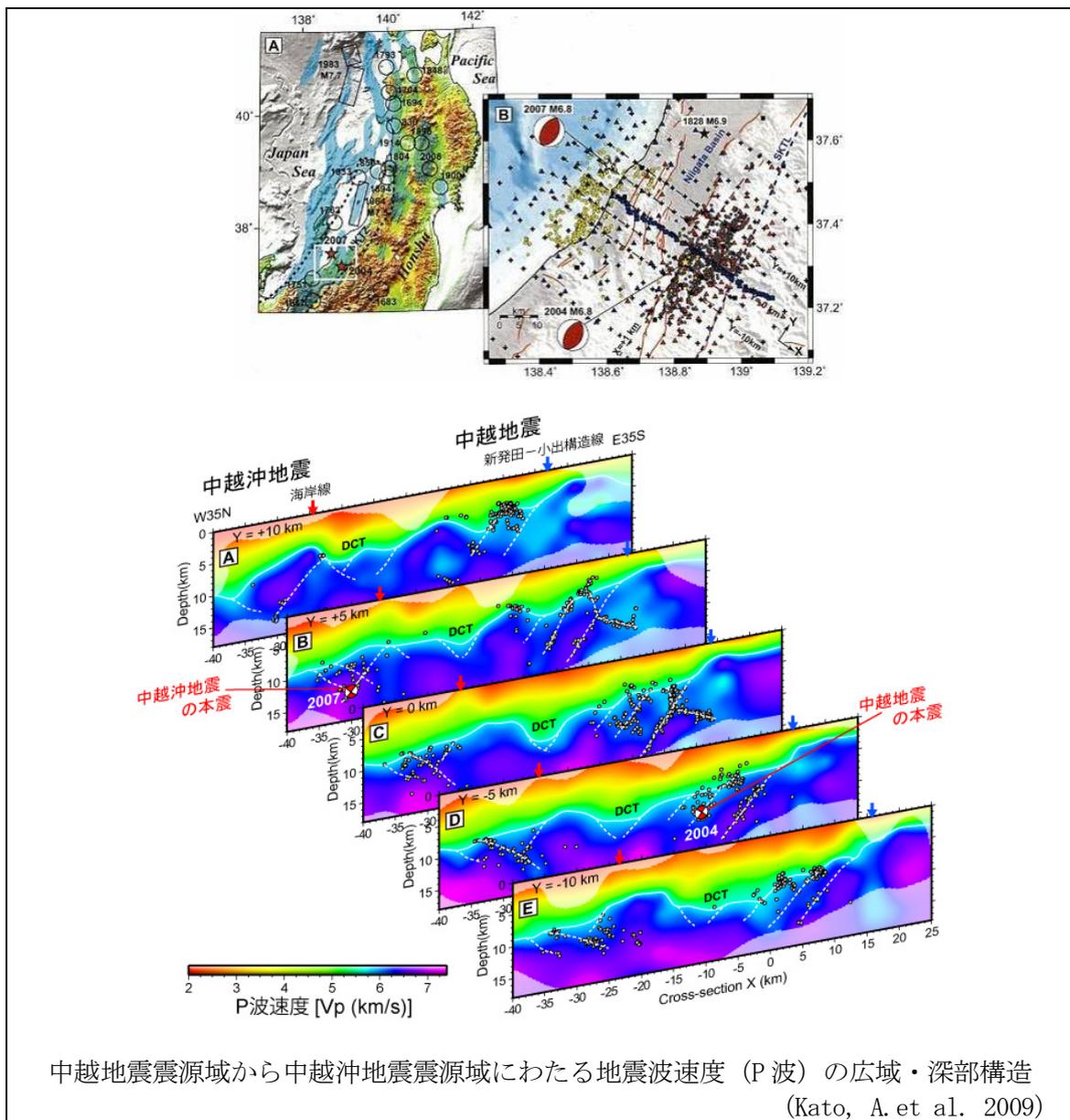
右横ずれの卓越する長大活断層のアスペリティ配置に際し、ジョグ以外の区間で地表の右横ずれ単位変位量の大きいところにアスペリティを配置している。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会
地震・津波、地質・地盤合同WG Aサブグループ (第28回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/1/028/28-3.pdf>

【事例5. 2-7: 震源断層評価に関わる余震分布と地震波速度構造の評価事例】

2004年新潟県中越地震と2007年新潟県中越沖地震の稠密余震観測データを統合して、高分解能の地震波トモグラフィ解析を実施した。余震分布の上盤側に見られる厚い低速領域を日本海拡大時の地殻の引き延ばしによって形成されたリフト堆積物、一方、 V_p が5.7km/s以上の高速度領域を30Ma以前の基盤岩と解釈している。基盤岩上面(白実線)は階段状にその中央部で最も深くなっており(DCT)、余震の並び、基盤岩上面形状、基盤岩内部の速度変化から基盤岩内の傾動ブロック境界(白点線)が推定される。余震分布は、DCTより東側では約60度の西傾斜、西側では約35度の東傾斜でブロック境界に一致して並ぶことから、ブロック境界が現在の圧縮場で逆断層として再活動したと評価している。今後は、まだ地震の起こっていないブロック境界が震源断層になりうると指摘している。



6. 調査の信頼性及び調査結果の表示様式

本節は、原子力安全委員会「耐震設計審査指針」、「安全審査手引き」等の要求事項を踏まえた調査結果の記載方法、調査計画へのフィードバックの考え方について示す。

安全審査手引きでは、調査の信頼性に関して、(1) 調査の実施機関・体制が十分な能力・信頼性を有していること、(2) 調査手法については、技術の進歩を踏まえ適切に選択されていること、(3) 調査の原資料については、目的に応じた十分な精度、信頼性を有していることが求められている。図表等の資料作成に当たっては、これら要求事項に対して十分説明できるようにしなければならない。

調査の結果、得られた成果について詳細に検討を行い、必要に応じて、調査の計画から再度検討を行う。また、調査の過程において新知見等が得られた場合には、再評価の必要性について検討を行う。

敷地周辺調査の結果は次の図に表示する。

- ① 敷地から少なくとも半径 30km 範囲の原縮尺 1/20 万以上の活断層の疑いのある地形の分布図
- ② 敷地から少なくとも半径 30km 範囲の原縮尺 1/20 万以上の地質図
- ③ その他、地質・地質構造に関する評価に必要な図面

なお、敷地から半径 30km の範囲を超えて敷地に影響を与えることが予想される活断層が存在する場合には、該当活断層に関する資料を含む。

敷地近傍調査の結果は次の図に表示する。

- ① 敷地から少なくとも半径 5km 範囲の原縮尺 1/25,000 以上の活断層の疑いのある地形の分布図
- ② 敷地から少なくとも半径 5km 範囲の原縮尺 1/25,000 以上の地質図
- ③ その他、地質・地質構造に関する評価に必要な図面

なお、敷地近傍調査の結果は敷地周辺調査と整合的であること。

敷地内調査の結果は次の図に表示する。

- ① 炉心予定位置から少なくとも半径 1km 範囲の原縮尺 1/5,000 以上の地質図
- ② その他、地質・地質構造に関する評価に必要な図面

なお、敷地内調査の結果は敷地近傍調査と整合的であること。

海域調査結果は次の図に表示する。

- ① 発震点等の視認性が高い測線図
- ② 調査で得られた全ての反射断面図及び解釈断面図
- ③ 地質層序区分根拠（試錐データ等及び展開した測線の解釈断面図）
- ④ 各層の等深線図、層厚分布図

〔解説〕

調査結果については、各種資料が十分な精度と信頼性を有していることを示す必要がある。

変動地形学的調査結果については、判読した地形要素を明示するとともに、地形面の変形・傾斜方向、比高についても必要に応じて記載すると分かりやすい。

地質図の作成に当たっては、JIS A 0204（日本規格協会，2008a），JIS A 0205（日本規格協会，2008b），JIS A 0206（日本規格協会，2008c）等が参考となる。

海域調査結果については、測線図や反射断面図は大きくて視認性のよい図面での確認が必要となる場合がある。特に断層の後期更新世以降における活動性を評価する際の判断には、大きなサイズの図面を用意するとよい。更に、当該測線と交差する測線がある場合には、交差位置を反射断面図及び解釈断面図に記載するとよい。

断層の端部や傾斜角は、地震の規模を設定する基本的な情報であり、その認定根拠を示す必要がある。端部や傾斜角を認定するために実施した調査については、各地点で得られたデータの断層帯全体における位置づけを整理し、調査地点の代表性・妥当性を説明できるようにする。

7. プレート間地震に関する調査

プレート間地震は、活動間隔が数百年以内のものが多く、歴史記録から地震規模や震源領域を推定することが可能である場合が多いため、歴史記録等を検討する必要がある。また、歴史記録が存在しない場合でも、古地震学的調査、考古学的調査、敷地周辺の海成段丘の分布や津波堆積物等の資料を検討する。

プレート間地震の評価においては、隣り合う震源領域が連動して、より規模の大きな地震を引き起こすことがあるため、震源領域の最大規模の連動を適切に設定する。

〔解説〕

プレート間地震の位置、形状、単位変位量、活動間隔を設定する際には、海底地質構造並びに海底の変動地形学的証拠、海岸の隆起・沈降等の変動地形学的証拠、重力異常・地震波速度構造・微小地震分布・発震機構解分布・地震時及び地震間の地殻変動等の地球物理学的データを十分に考慮して設定する。また、想定すべき最大規模の連動は、地震や津波の観測記録及び歴史記録、津波堆積物等の地質学的証拠等に基づいて設定する。

プレート間地震では海底に分岐断層が露出する場合は知られていることから、海底地形図や弾性波探査記録を用いて、分岐断層の分布と形状についても検討する必要がある【事例7-1, 2】。

津波堆積物によるプレート間地震の推定については、北海道東部の太平洋岸における津波堆積物からの千島海溝の地震の例（佐竹他，2004）や、東北地方石巻平野や仙台平野における津波堆積物からの日本海溝の地震の例（行谷他，2010）等がある。

プレート間地震の設定については、中央防災会議や地震調査研究推進本部地震調査委員会で議論されており、参考となるので、それらの動向を注視する必要がある。

〔事例〕

【事例 7-1 : プレート間地震に分岐断層を付加して評価した事例 1】

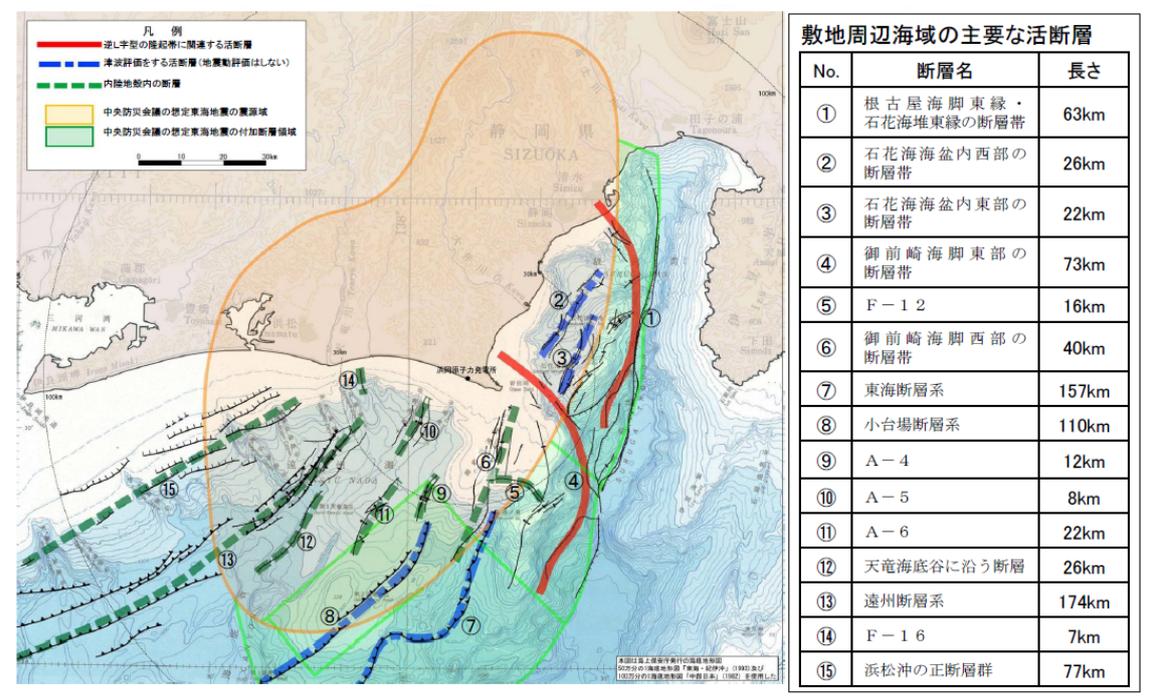
御前崎段丘の隆起・傾動について、内陸地殻内の分岐断層の活動を伴ったプレート間地震に起因するとして、内陸地殻内に「御前崎海脚東部の断層帯」を想定している。

また、完新世段丘の高度から推定される局所的な地殻変動について、プレート間地震と御前崎海脚東部の断層帯の活動によって説明している。

完新世段丘の旧海面高度についてはハイドロアイソスタシーの影響、地層の形成年代については海生生物のリザーバー効果の影響について検討を加えている。

完新世段丘の隆起速度については、プレート間地震及び付随する分岐断層の活動間隔について、不確かさを考慮し複数のパターンを想定し、安全側の評価を行っている。

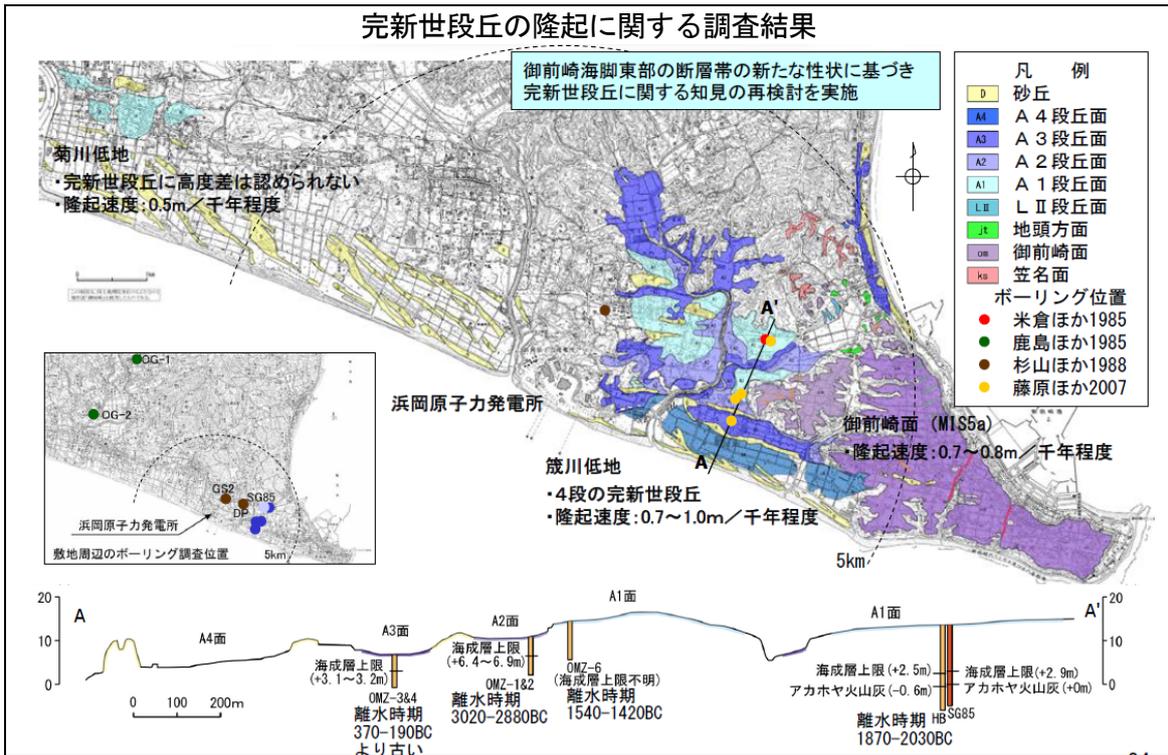
敷地周辺海域の主要な活断層と中央防災会議における想定東海地震のモデル



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ (第 39 回)

<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/039/39-2.pdf>

完新世段丘の隆起に関する調査結果

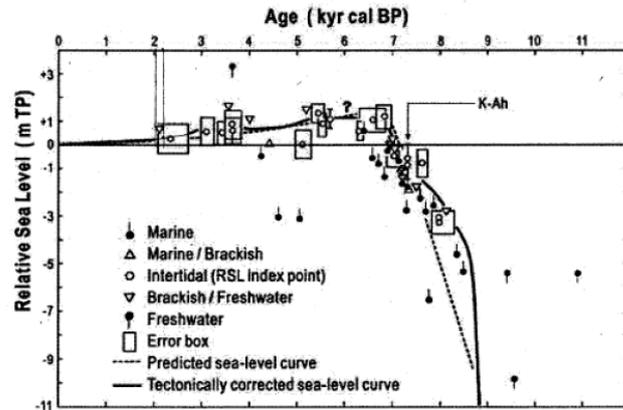


経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ (第 38 回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/038/38-5-2.pdf>

海水面高度変化を踏まえた隆起速度の補正

縄文海進期の海面上昇の補正について、佐藤(2008)の局地的地殻変動を補正した播磨灘沿岸域の完新世海水準変動曲線に基づき、より詳細な補正を行った。

佐藤(2008)は、播磨灘沿岸において、局地的な地殻変動量を差し引いた完新世海水準変動を明らかにしている。その結果、海水準高度は約8,000calBPに標高約-3m、K-Ah降下時には約-1m、高海面期は約7,000~5,300calBPに認められ、その間の海水準高度は約+1.0m(最高で約+1.5m)としている。



局地的地殻変動量を補正した播磨灘沿岸域の完新世海水準変動曲線
©日本第四紀学会

佐藤(2008)

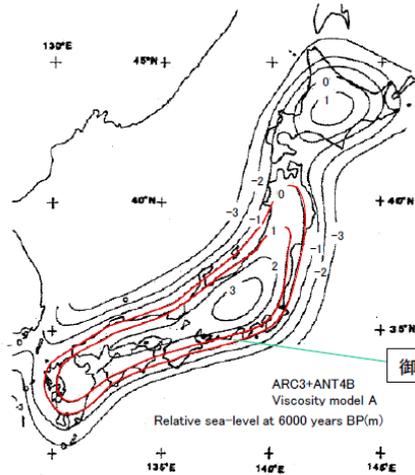
経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ (第 46 回)
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/046/46-4.pdf> (一部加筆)

ハイドロアイソスタシーを考慮した隆起速度の補正について

ハイドロアイソスタシー：最終氷期以降、氷床が解けて、海水量が増えることにより海底を圧迫し、海域が沈降し陸域が隆起する地殻変動。

Nakada et al.(1991)は、現海面に対する相対的な海面変化を、氷床の融解による海水量の増加に伴う海面上昇、氷床の融解による氷床荷重の減少に伴う地殻変動(glacial-isostasy)、氷床の融解による海水荷重の増加に伴う地殻変動(hydro-isostasy)によってモデル化し、日本列島周辺の旧海水面高度を解析的に推定している。

御前崎半島周辺の6000年前の海水面高度は0m~1m程度とされている。

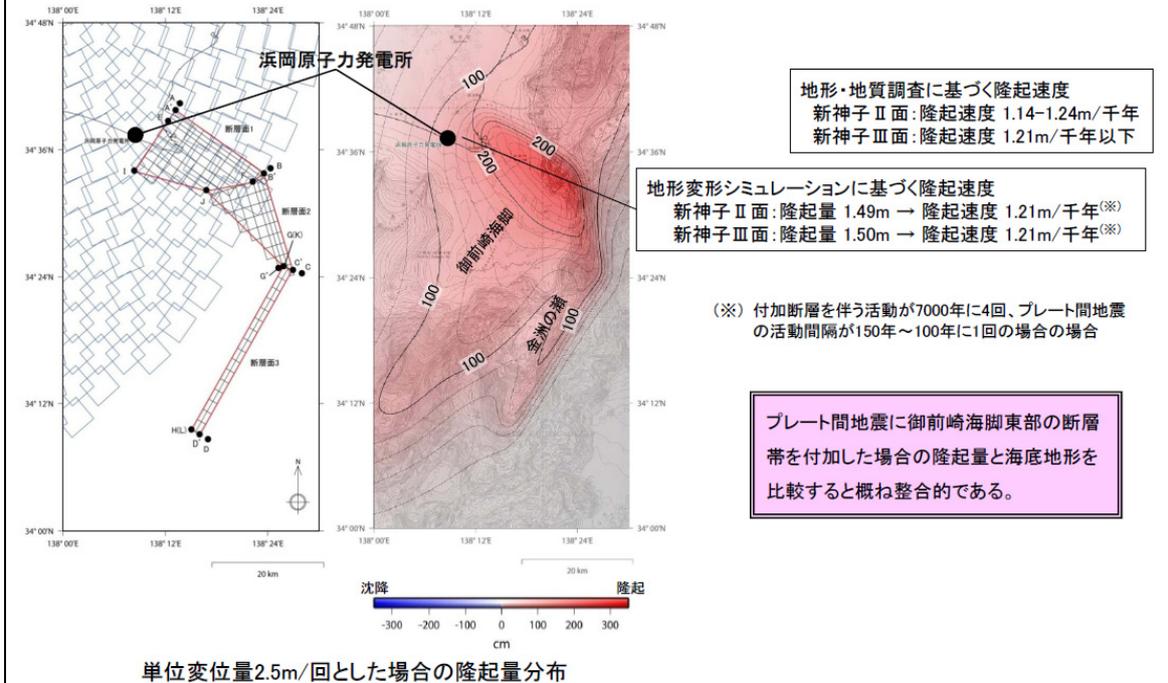


Nakada et al.(1991):ハイドロアイソスタシーの影響を踏まえた、6000年前の現海面に対する相対的な海面高度

御前崎半島付近での海水面変動の経時変化については示されていないが、6000年前の海水面高度が、0m~1m程度であったとの知見を踏まえ、縄文海進の補正値を使わない場合についても検討を行うこととした。

経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ（第48回）
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/048/48-2.pdf>

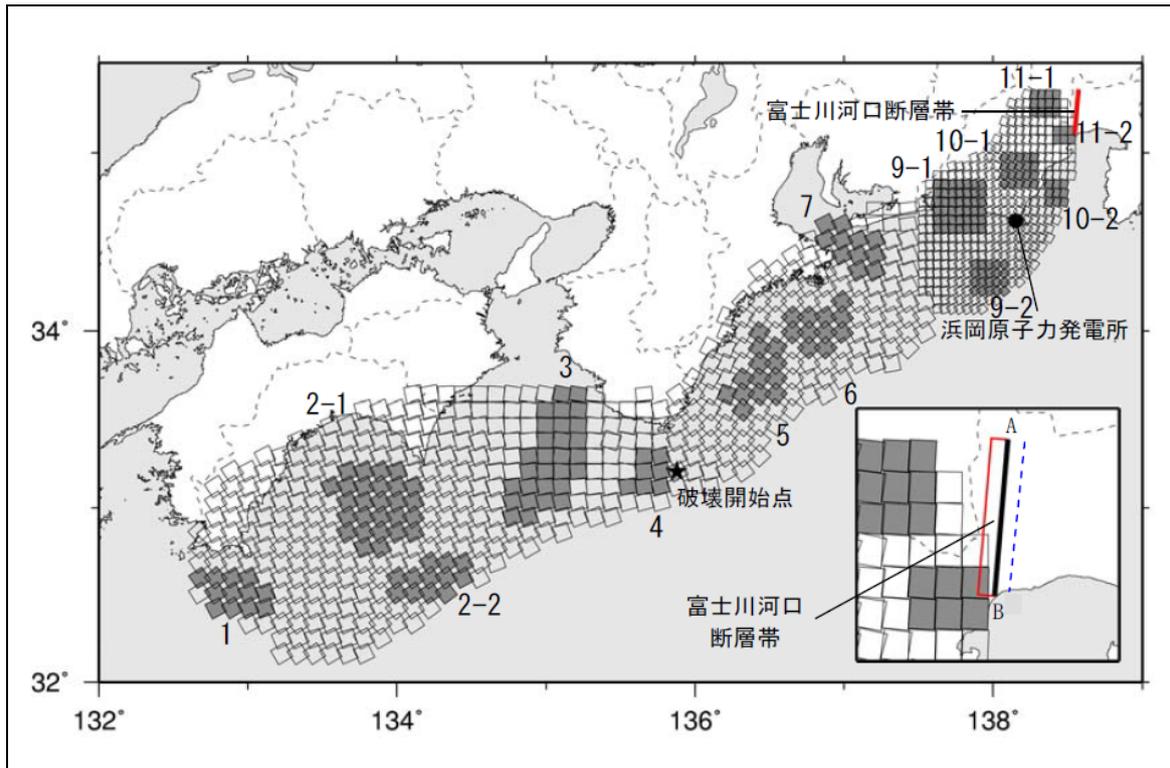
地形変形シミュレーションの結果



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ（第48回）
<http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/107/3/048/48-2.pdf>

【事例7-2：プレート間地震に分岐断層を付加して評価した事例2】

地震調査研究推進本部地震調査委員会（1998, 2010）では、富士川河口断層帯の地震時の変位量が7m程度あるいはそれ以上であると推定されることや、海溝型地震と連動して同時に活動すると推定していることなどから、同断層帯をプレート間地震と関連させて、断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施している。具体的には、プレート間地震の震源の不確かさとして、想定東海・東南海・南海地震（中央防災会議（2003）による地震規模：Mw8.7）に富士川河口断層帯を付加したケースを設定している。



経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会
地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ（第1回）

<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g71012a10j.pdf>

参考文献

- Freed A.M. (2005). Earthquake triggering by static, dynamic, and postseismic stress transfer. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33:335 - 67 doi: 10.1146/annurev.earth.33.092203.122505.
- Kato A., E.Kurashimo, T.Igarashi, S.Sakai, T.Iidaka, M.Shinohara, ほか. (2009). Reactivation of ancient rift systems triggers devastating intraplate earthquakes. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L05301, doi:10.1029/2008GL036450.
- King G., R.Stein, J.Lin. (1994). Static stress changes and the triggering of earthquakes. Revised for *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 2 March.
- Lisiecki E.L., E.M.Raymo. (2005). A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, VOL. 20, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.
- Martinson, D. G., N. G. Pisias, J. D. Hays, J. Imbrie, T. C. Moore and N. J. Shackleton. (1987). Age Dating and the Orbital Theory of the Ice Ages - Development of a High-Resolution-0 to 300,000- Year Chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27(1): 1-29.
- Nakada M., Yonekura N., Lambeck K. (1991). Late Pleistocene and Holocene sea-level changes in Japan: implications for tectonic histories and mantle rheology. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, 85.
- Taner M.T., F.Koehler, R.E.Sheriff. (1979). Complex seismic trace analysis. *GEOPHYSICS*, Vol. 44, pp.1041-1063.
- Toda S., Stein R., Lin J. (2011). Widespread seismicity excitation throughout central Japan following the 2011 M=9.0 Tohoku earthquake, and its interpretation by Coulomb stress transfer. Published in *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G03, doi:10.1029/2011GL047834.
- Wesnousky S.G. (2006). Predicting the endpoints of earthquake ruptures. *Nature*, Vol. 444, pp. 358-360.
- 池田安隆, 今泉俊文, 東郷正美 [編]. (2002). 第四紀逆断層アトラス. 東京大学出版会.
- 宇佐美龍夫. (2003). 「最新版」日本被害地震総覧[416]-2001. 東京大学出版会.
- 岡村行信. (2000). 音波探査プロフィールに基づいた海底活断層の認定 ; fault related fold, growth strata 及び growth triangle の適用. *地質調査所月報*, vol. 51, p. 59-77.
- 岡村行信. (2002). 能登半島東方海底地質図(CD). 海洋地質図 No. 59, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 岡村行信. (2007). 能登半島西方海底地質図(CD). 海洋地質図 No. 61, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 岡田篤正. (2000). 敦賀市東方、中池見凹地の地形・地質調査(概要版). 大阪ガス(株)敦賀 LNG 基地建設予定地地質調査結果説明会資料.
- 岡田篤正, 東郷正美編. (2000). 近畿の活断層. 東大出版会.
- 緒方正虔, 本荘静光. (1981). 電力施設の耐震設計における断層活動性の評価. *応用地質*, 22 巻, 67-87.
- 海域地質構造マップワーキンググループ. (2001). 「日本周辺海域中新世最末期以降の構

- 造発達史」付図 日本周辺海域の第四紀地質構造図. 海洋調査技術, 第 13 巻, 第 1 号.
- 鹿島薫, 長澤良太, 宮崎隆. (1985). 静岡県菊川平野における完新世の海水準変動に関する資料. 第四紀研究, vol. 24.
- 活断層研究会〔編〕. (1981). 新編 日本の活断層—分布図と資料. 財団法人 東京大学出版会.
- 北村信. (1965). 焼石岳地域の地質 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅). 地質調査所.
- 原子力安全委員会. (2006). 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針.
- 原子力安全委員会. (2010). 発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き.
- 原子力安全・保安院. (2010). 海上音波探査に関する安全審査要領案.
- 小池一之, 町田洋〔編〕. (2001). 日本の海成段丘アトラス. 東京大学出版会.
- 財団法人 日本水路協会. (2008). 水路測量 第 3 巻.
- 財団法人 日本電気協会 原子力規格委員会. (2008). 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008.
- 河野芳輝, 本多亮, 浜田昌明. (2006). 能登半島中部の重力異常. 日本地震学会 2006 年度秋季大会予稿集, D58.
- 酒井哲弥, 斎藤文紀, 増田富士雄. (1995). シーケンス層序学入門. 地質学論集, 45, 1-14.
- 佐竹健治, 七山太, 山木滋. (2004). 17 世紀に北海道東部で発生した異常な津波の波源モデル (その 2). 活断層・古地震研究報告, No. 4, p. 17-29.
- 佐藤裕司. (2008). 瀬戸内海東部、播磨灘沿岸域における完新世海水準変動の復元. 第四紀研究, 47(4). p. 254
- 佐藤良輔〔編著〕. (1989). 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック. 鹿島出版会.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会. (1998). 富士川河口断層帯の調査結果と評価について.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会. (2003a). 湖北山地断層帯の長期評価について.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会. (2003b). 野坂・集福寺断層帯の長期評価について.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会. (2005). 基盤的調査観測対象活断層の評価手法—これまでの長期評価のとりまとめ—.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会. (2005). 邑知潟断層帯の長期評価について.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会. (2007). 警固断層帯の長期評価について.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会. (2009). 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」).
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会. (2010). 富士川河口断層帯の長期評価の一部改訂について.
- 社団法人 海洋調査協会. (2004). 海洋調査技術マニュアル —海洋地質調査編—.
- 社団法人 土木学会 原子力土木委員会 断層活動性分科会. (2004). 原子力発電所の活断層系評価技術 —長大活断層系のセグメンテーション—. 社団法人 土木学会.
- 社団法人 物理探査学会 標準化検討委員会. (2008). 「新版 物理探査適用の手引き」(—土木物理探査マニュアル 2008—).
- 杉戸信彦, 堤浩之. (2005). 邑知潟平野南東縁・石動山断層の断層変位地形と完新世にお

- ける断層活動史. 地学雑誌.
- 杉戸信彦, 吾妻崇, 水野清秀, 堤浩之. (2007). 邑知潟平野南東縁・石動山断層の活動時期と地震時変位量. 地震第2輯, 第60巻.
- 杉山雄一, 寒川旭, 下川浩一, 水野清秀. (1988). 5万分の1地質図幅「御前崎地域の地質」. 通商産業省工業技術院地質調査所発行.
- 杉山雄一, 吉岡敏和, 寒川旭, 佐竹健治. (1998). 敦賀断層の活動履歴調査. 地質調査所速報, No. EQ/98/1(平成9年度活断層・古地震研究調査概要報告書).
- 中央防災会議. (2003). 東南海、南海地震の強震動と津波の高さ(案)図表集. 東南海、南海地震等に関する専門調査会(第16回).
- 土谷信之, 伊藤順一, 関陽児, 巖谷敏光. (1997). 岩ヶ崎地域の地質 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 地質調査所.
- 堤浩之, 後藤秀昭. (2006). 四国の中央構造線断層帯の最新活動に伴う横ずれ変位量分布. 地震2, 59, 117-132.
- 独立行政法人 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター. 活断層データベース.
- 独立行政法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター[編]. (2001). 地質学ハンドブック.
- 中田高, 後藤秀昭. (1998). 活断層はどこまで割れるのか?—横ずれ断層の分岐形態と縦ずれ変位分布に着目したセグメント区分モデル. 活断層研究, Vol. 17, pp. 43-53.
- 中田高, 島崎邦彦, 鈴木康弘, 佃栄吉. (1998). 活断層はどこから割れ始めるのか?—活断層の分岐形態と破壊伝播方向—. 地学雑誌, 第107巻, 第4号, pp. 512-528.
- 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.
- 七山太, 池田倫治, 大塚一広, 三浦健一郎, 金山清一, 小林修二, ほか. (2002). 伊予灘～佐賀関沖 MTL 活断層系の広域イメージングとセグメント区分. 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 活断層・古地震研究報告, 2, 141-152.
- 行谷佑一, 佐竹健治, 山木滋. (2010). 宮城県石巻・仙台平野および福島県請戸川河口低地における 869 年貞観津波の数値シミュレーション. 活断層・古地震研究報告, No. 10, p. 1-21.
- 日本規格協会. (2008a). JIS A 0204:2008 地質図—記号, 色, 模様, 用語及び凡例表示.
- 日本規格協会. (2008b). JIS A 0205:2008 ベクトル数値地質図—品質要求事項及び主題属性コード.
- 日本規格協会. (2008c). JIS A 0206:2008 地質図—工学地質図に用いる記号, 色, 模様, 用語及び地層・岩体区分の表示とコード群.
- 日本第四紀学会[編]. (2010年1月22日). 第四紀と更新世の新しい定義と関連する地質時代・年代層序の用語について. 参照日: 2011年12月9日, 参照先: 日本第四紀学会: <http://wwwsoc.nii.ac.jp/qr/news/teigi09.html>
- 野原幸嗣, 野口猛雄, 穴田文浩, 浜田昌明, 小野田敏, 沼田洋一, ほか. (2007). 航空レーザ計測による 2007 年能登半島地震の地殻変動. 地震研究所彙報, 82, 321-331.
- 橋本学, 遠田晋次. (2002). 特集「地震・火山噴火活動の相関とトリガリング」に寄せて. 地学雑誌, 111(2) 149-153.
- 藤原治, 平川一臣, 入月俊明, 長谷川四郎, 長谷義隆, 内田淳一, ほか. (2007). 静岡県御前崎周辺の完新世段丘の離水時期. 日本第四紀学会 2007 年大会予稿集.

- 松田時彦. (1990). 最大地震規模による日本列島の地震分帯図. 地震研究所彙報, Vol. 65, pp. 289-319.
- 水野清秀, 下川浩一, 吾妻崇, 杉山雄一, 片川秀基, 柴田俊治, ほか. (2003). 浅層反射法地震探査とボーリングによる邑知潟断層帯南縁部の地下地質構造調査. 活断層・古地震研究報告 産業技術総合研究所地質調査総合センター, No. 3, 33-46.
- 宮城県. (1992). 土地分類基本調査「栗駒山・秋ノ宮」5万分の1.
- 吉岡敏和, 栗田泰夫, 下川浩一, 杉山雄一, 伏島祐一郎. (2005). 200 万分の 1 全国主要活断層活動確率地図. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 米倉伸之, 池田安隆, 薫鹿島, 松原彰子. (1985). 駿河湾周辺の海岸低地における沖積層掘削調査. 昭和 58・59 年度東京大学特定研究経費成果報告書「最終氷期以降の自然環境の変動」(研究代表者: 坂口豊).
- 渡辺偉夫. (1998). 日本被害津波総覧 (第 2 版). 東京大学出版会.

本技術書策定に参加した委員等の氏名

土木学会 原子力土木委員会 活断層評価部会（敬称略，審議当時の所属）

主査	山崎 晴雄	首都大学東京
副主査	井上 大榮	(財)電力中央研究所
委員	吾妻 崇	(独)産業技術総合研究所
〃	阿部信太郎	(財)地震予知総合研究振興会
〃	大野 裕記	四国電力(株)
〃	岡田 知己	東北大学
〃	奥村 晃史	広島大学
〃	小野寺正典	日本原燃(株)
〃	香川 敬生	鳥取大学
〃	片川 秀基	北陸電力(株)
〃	金折 裕司	山口大学
〃	北川 陽一	日本原子力発電(株)
〃	國西 達也	中国電力(株)
〃	蔵下 英司	東京大学地震研究所
〃	高尾 誠	東京電力(株)
〃	高橋 成実	(独)海洋研究開発機構
〃	佃 榮吉	(独)産業技術総合研究所
〃	伝法谷宣洋	電源開発(株)
〃	仲村 治朗	中部電力(株)
〃	原口 和靖	関西電力(株)
〃	平松 良浩	金沢大学
〃	藤田 亮一	九州電力(株)
〃	三和 公	東北電力(株)
〃	藪 正樹	北海道電力(株)
幹事長	仲田 洋文	中部電力(株)
幹事	青柳 恭平	(財)電力中央研究所
〃	上田 圭一	(財)電力中央研究所
〃	佐々木俊法	(財)電力中央研究所
〃	高橋 明久	(株)地球科学総合研究所
〃	田中 竹延	(株)阪神コンサルタンツ
〃	長谷川 治	(株)ダイヤコンサルタンツ
〃	久松 弘二	中部電力(株)
〃	溝口 一生	(財)電力中央研究所
〃	宮腰 勝義	(株)セレス
旧委員	黒岡 浩平	中国電力(株)
〃	橋本 修一	東北電力(株)
〃	堀江 正人	関西電力(株)

土木学会 原子力土木委員会 活断層評価部会
技術書作成作業会（敬称略，審議当時の所属）

調査チームリーダー	三和 公	東北電力(株)
メンバー	小田 満広	北陸電力(株)
〃	小野寺正典	日本原燃(株)
〃	齋藤 寿秋	北海道電力(株)
〃	土山 滋郎	東京電力(株)
〃	浜田 昌明	北陸電力(株)
評価チームリーダー	伝法谷宣洋	電源開発(株)
メンバー	天野 格	電源開発(株)
〃	大野 裕記	四国電力(株)
〃	香月 理	九州電力(株)
〃	坂上 武晴	日本原子力発電(株)
〃	重光 泰宗	関西電力(株)
〃	西坂 直樹	四国電力(株)
〃	家島 大輔	中国電力(株)
〃	藤田 亮一	九州電力(株)
調査・評価兼務	青柳 恭平	(財)電力中央研究所
〃	上田 圭一	(財)電力中央研究所
〃	川崎 慎治	(株)地球科学総合研究所
〃	佐々木俊法	(財)電力中央研究所
〃	田中 竹延	(株)阪神コンサルタンツ
〃	仲田 洋文	中部電力(株)
〃	長谷川 治	(株)ダイヤコンサルタンツ
〃	久松 弘二	中部電力(株)
〃	溝口 一生	(財)電力中央研究所
〃	宮腰 勝義	(株)セレス
旧メンバー	奥村 洋	北陸電力(株)
〃	広兼 修治	中国電力(株)
〃	福本 彦吉	関西電力(株)