

平成 25 年度
沿岸海域における活断層調査
概要報告書

平成 26 年 5 月

独立行政法人 産業技術総合研究所

目 次

1. 業務の内容	1
2. 研究実施体制及び担当研究者	3
3. 1 高田平野断層帯／直江津沖の断層	4
3. 2 三方・花折断層帯／三方断層帯(海域部)	9
3. 3 野坂・集福寺断層帯／野坂断層帯(海域部)	15

1. 委託業務の内容

1) 委託業務の題目

「沿岸海域における活断層調査」

2) 主任者氏名

阿部信太郎

(独立行政法人 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 地震災害予測研究グループ長)

3) 委託業務の目的

地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会が平成 21 年 4 月に策定した「新たな活断層調査について」のなかで、「陸域部の活動履歴は求められているが海域部の長さが明らかになっていない活断層」とされている高田平野断層帯／直江津沖の断層，三方・花折断層帯／三方断層帯(海域部)，野坂・集福寺断層帯／野坂断層帯(海域部)について，海域部の活断層の正確な位置や形状を明らかにするとともに，陸域部と同時に活動する可能性を明らかにするため，可能な限り海域部における断層帯の活動性を明らかにする。

4) 当該年度における成果の目標及び業務の方法

(1)-①総合的評価

a. 調査・解析手法の標準化と総合評価

3つの沿岸海域活断層帯で，調査データから得られる解析結果について，その妥当性を検討し，長期評価の改訂に資する信頼性の高い活断層の形状と活動履歴ならびに活動性に関する情報を提出する。

b. 陸域部の情報収集と比較検討

3つの沿岸海域活断層帯について，陸域活断層に関する既存情報に基づいて適切な調査計画への助言及び調査結果に対する妥当性と陸域活断層の評価との整合性・合理性を検討する。

(1)-②高田平野断層帯／直江津沖の断層

高田平野断層帯の一部である高田平野西縁断層帯は，概ね南北方向に延びており，直江津北方沖から妙高市に至る長さ約30 km，西側隆起の逆断層である。陸域の断層と直江津北方沖の断層とは6km程度の隔たりがあるが，微小地震分布，地質構造の類似性から一連として評価されている。平均的な上下方向のずれの速度は，約0.5－1.1 m／千年，最新の活動は，1751 年(寛延4年<宝暦元年>)の地震であった可能性がある。また，経験則から求めた1回のずれの量と平均的なずれの速度に基づくと，平均活動間隔は2千2百－4千8百年程度となる。全体が1つの区間として活動する場合，マグニチュード7.3 程度の地震が発生し，断層近傍の地表面では，断層の西側が東側に対して相対的に2－3m 程度高まる段差や撓(たわ)みが生じる可能性がある。

a. 海域断層形状の解明

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構および独立行政法人産業技術総合研究所の反射記録を参照し，調査範囲を設定する。それに基づき，断層南端から陸域に至る活構造の有無，および断層北端部の位置を確認するためブーマー等を音源とするマルチチャンネル音波探査を実施する。

b. 活動履歴の解明

断層近傍の完新統分布域において柱状採泥地点を選定するためにチャープソナー等を実施して完新統分布を確かめた上でバイプロコアラ等により柱状採泥を実施する。得られた試料の年代分析結果に基づき，完新世における活動履歴の解明を試みる。

(1)-③三方・花折断層帯／三方断層帯(海域部)

三方断層帯は、福井県三方(みかた)郡美浜(みはま)町沖合の若狭湾から遠敷(おにゅう)郡上中(かみなか)町に至る断層帯である。全体として長さは約26kmで、ほぼ南北方向に延びており、断層の東側が西側に対して相対的に隆起する逆断層である。最新活動は1662年(寛文2年)の地震と推定される。その際に三方湖付近では断層の東側が相対的に隆起するずれや撓(たわ)みが生じ、その量は断層両側の幅の広い範囲にわたって合計で3-5m程度に達した可能性がある。過去十数万年間の平均的な上下方向のずれの速度は約0.8m/千年で、その平均活動間隔は約3千8百-6千3百年であった可能性がある。断層帯全体が一つの区間として活動し、マグニチュード7.2程度の地震が発生すると推定される。また、その際に幅の広い範囲にわたって断層の東側が相対的に隆起する段差や撓みが生じ、その隆起・沈降量の合計は、3-5m程度に達する可能性がある。

なお、本断層帯及び後述する野坂・集福寺断層帯／野坂断層帯(海域部)の分布海域は、ほぼ隣接しており、調査は一連のものとして実施する。

a. 断層活動層準の認定

本断層帯の海域部については、関西電力(株)、日本原子力発電株式会社などによる詳しい調査データが得られていることから、それらをできる限り活用する。三方断層帯の最新活動は1662年寛文地震とされているが、このときに海域部まで活動したか否かについては、確定的なデータが得られていない。そこで、ブーマーを音源とするマルチチャンネル音波探査とパラメトリック方式高分解能シングルチャンネル音波探査を行い、最終氷期以降の断層活動の層準を明らかにする。

b. 活動履歴の解明

断層両側で海上ボーリングを実施して沖積層基底から海底に至る堆積物コアを採取し、その詳細肉眼観察と帯磁率測定、¹⁴C年代測定、火山灰分析等の測定・分析を行い、最終氷期以降の活動時期と活動間隔、海域部の最新活動と1662年寛文地震との関係解明を試みる。

(1)-④野坂・集福寺断層帯／野坂断層帯(海域部)

野坂断層帯は、若狭湾から福井県三方(みかた)郡美浜(みはま)町を経て敦賀市に至る断層帯である。長さは約31kmで、北西-南東方向に延びており、左横ずれかつ北東側が相対的に隆起する逆断層である。最新活動時期は、15-17世紀と推定され、その平均的な活動間隔は、約5千6百-7千6百年もしくはこれらよりも短い間隔であった可能性がある。全体が一つの区間として活動し、マグニチュード7.3程度の地震が発生すると推定される。この場合、2-3m程度の左横ずれと断層の北東側が南西側に対して高まる段差が生じる可能性がある。

なお、本断層帯及び前述した三方・花折断層帯／三方断層帯(海域部)の分布海域は、ほぼ隣接しており、調査は一連のものとして実施する。

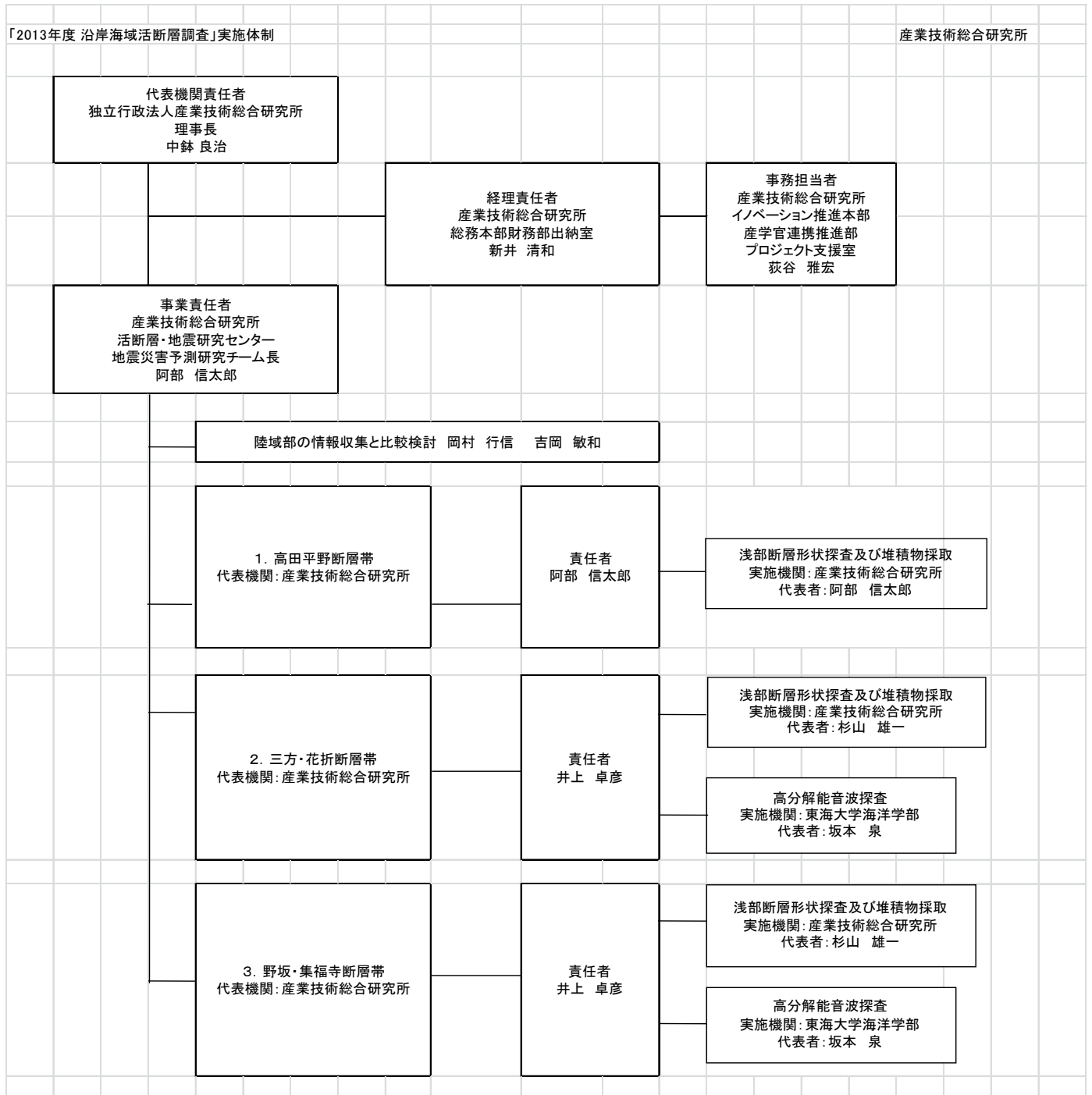
a. 断層活動層準の認定

本断層帯の海域部については、関西電力(株)、日本原子力発電株式会社などによる詳しい調査データが得られていることから、それらをできる限り活用する。音波探査結果から完新世に複数回の活動があった可能性が指摘されているが、詳細な活動時期及び陸域の野坂断層の活動との同時性についてはデータが得られていない。そこで、ブーマーを音源とするマルチチャンネル音波探査を実施すると共に、パラメトリック方式高分解能シングルチャンネル音波探査を行い、断層活動層準を認定する。

b. 活動履歴の解明

断層両側で海上ボーリングを実施して沖積層基底から海底に至る堆積物コアを採取し、その詳細肉眼観察と帯磁率測定、¹⁴C年代測定、火山灰分析等の測定・分析を行い、最終氷期以降における活動時期と活動間隔、海域部の最新活動と15~17世紀とされる陸域の最新活動との同時性、及び歴史地震との関係の解明を試みる。

2. 研究実施体制及び担当研究者



3.1 高田平野断層帯／直江津沖の断層

1) 調査内容

高田平野断層帯／直江津沖の断層を対象として、陸域部に分布する高田平野西縁断層との連続性の有無、および断層北端の位置を確認するため、ブーマーを音源とする高分解能マルチチャンネル音波探査を実施した(測線長180km)。調査は、必要に応じて補足のための測線を追加することが可能なように、オンボードで地質構造を確認しつつ実施した。加えて岡村他(1994)の音波探査記録、石油公団(現、石油天然ガス・金属鉱物資源機構)(1988)の反射法地震探査記録も併せて検討を行なった。

また、活動履歴の把握に必要な堆積物の年代試料を得るための柱状採泥(4箇所)は、分解能の高いチャープソナーによる探査を併用して実施した。

2) 断層の位置・形状

本調査結果に基づく、沿岸部における一部の測線を除いて、取得された反射記録断面の深度内においては、地下の震源断層の動きが直接的に地層を変位させたと解釈される断層は認識されない。その一方で、形状的には非対称性を有する背斜構造が並走しており、それらは地下に逆断層を伴う断層関連褶曲であると解釈される。したがって、本調査結果において記載された断層は伏在断層である。

陸域に分布する高田平野西縁断層と「直江津北方沖の断層」との間には、断層を挟んで相対的に西側が東側に対して隆起する地質構造が分布しており、両断層は構造的に連続していることが確認された。さらに、「直江津北方沖の断層」によって形成された地質構造は、断層関連褶曲として、北東方向に連続しており、米山崎沖の褶曲帯を経て岡村(2010)に記載された柏崎沖北背斜(図 3.1-1 上の NKA)まで、一連の地質構造としては連続していないが、5km 程度の幅を持つ変形帯として連続している。ただし、これらの地質構造の形成に寄与すると考えられる深部に伏在する断層の傾斜角は、米山崎沖付近において、西傾斜から東傾斜に変化している可能性もある。

高田平野西縁断層延長部の海岸線から柏崎沖北背斜(NKA)の北端部までの高田平野西縁断層帯海域延長部の全長は約 55km となる。また、陸域部も含めた断層帯の全長は約 70km となる(図 3.1-1)。

3) 活動時期

本調査によって把握された高田平野西縁断層の海域延長部から岡村(2010)に記載された柏崎沖北背斜付近に至る褶曲帯は断層関連褶曲であり、第四紀層である T 層(高田沖層群)、S 層(佐渡海峡層群)は、全域にわたって変形を被っている。また、T 層浅部の地層である A 層、B 層については、背斜軸上で特に大きく削剝を受けており、全域にわたって変形の有無を判断できる層厚を有している領域は少ない。

高田平野西縁断層の海域延長部で最も陸に近い F1 断層は、断層上盤は大きく削剝を受けているものの、断層を覆って薄く A 層が堆積している。F1 断層を横断する TK2 測線においては、海底面における変位・変形は認められないが、A 層基底面における断層を挟んだ上下変位量を計測すると約 1.4m となる(図 3.1-2)。一般的には削剝などの影響を考えると必ずしも海底面、もしくは A 層基底面における断層を挟んだ高低差が 1 回の断層活動の垂直変位量を反映しているとは言い切れないが、約 1.4m という値は陸域で想定されている一回の変位量 2~3m と同程度と考えられる。したがって最終氷期最低海水準期以降、A 層堆積前に基底面に変位をもたらした活動が少なくとも一回はあったものと推察する。なお、この地点における A 層基底面の深度は海面下 20m 程度である(図 3.1-2)。本調査における柱状採泥結果から A 層基底面は沖積層の基底に対応すると解釈される。最終氷期以降の汎世界的海水準変動を考慮すると、海面下 20m 程度に位置する不整合面の形成はおおよそ 8000 年から 9000 年前と推察される。また、この不整合面の形成年代と本調査における柱状採泥の結果から見積もられた堆積レート 3.3cm/100 年から計算される沖積層の層厚は 2.8m 程度となり、反射断面で確認される沖積層の層厚とも整合的である(図 3.1-2)。なお、本調査海域に分布する背斜構造の軸部は大きく削剝を受けており、褶曲の成長に伴う変形を受けている最上位の層準は不明であるが、海底地形に僅かに撓みを持っている領域もあることから、海底に変位を与える活動があった可能性もある。

4) 活動区間

本調査範囲において確認された高田平野西縁断層の海域延長部は、F1 断層、直江津北方沖の断層にほぼ並行して認められる Fo2 褶曲、さらにその北東方に位置する F4 断層と Fo5 褶曲からなる(図 3.1-1)。

これらの各地質構造は一連の地質構造としては連続していないが、5km程度の幅を持つ変形帯としては、岡村(2010)の柏崎沖北背斜付近(NKA)まで連続する。したがって、高田平野西縁断層帯海域延長部約55kmの区間に分布する活構造は、活動区間として一連となるポテンシャルを有する可能性がある。

5) 平均活動間隔

本断層帯の海域部においては、複数回の活動に関する直接的な情報は得られておらず、平均活動間隔は不明である。

ただし、前述した3)活動時期における議論と同様に、本調査範囲の陸側に近いTK2測線に認められるF1断層の沖積層基底における上下変位量約1.4mを1回の断層活動に伴う上下変位量と仮定すると、8000年から9000年前に形成された侵食面に1回の活動が認識されることになり、なおかつ海底には明瞭な変位が認められないことから、活動間隔は8000年から9000年程度、もしくはそれ以上となる可能性がある(図3.1-2)。

6) 1回の変位量

本断層帯の海域部においては1回の変位量に関する直接的資料は得られていない。

ただし、前述した3)活動時期における議論と同様に、本調査範囲の陸側に近いTK2測線に認められるF1断層の沖積層基底における上下変位量約1.4mは、削剝などの影響を考えると必ずしも1回の断層活動の垂直変位量を反映しているとは言い切れないが、陸域で想定されている一回の変位量2~3mと同程度の値となっている(図3.1-2)。

7) 平均変位速度

本断層帯の海域部においては、複数回の活動に関する直接的な情報は得られておらず、平均変位速度は不明である。

ただし、前述した3)活動時期における議論と同様に、本調査範囲の陸側に近いTK2測線に認められるF1断層の沖積層基底における上下変位量約1.4mを1回の断層活動に伴う上下変位量と仮定すると、8000年から9000年前に形成された侵食面に1.4mの垂直変位が存在することになり、変位速度は約0.16m/千年~約0.18m/千年と見積もられる(図3.1-2)。

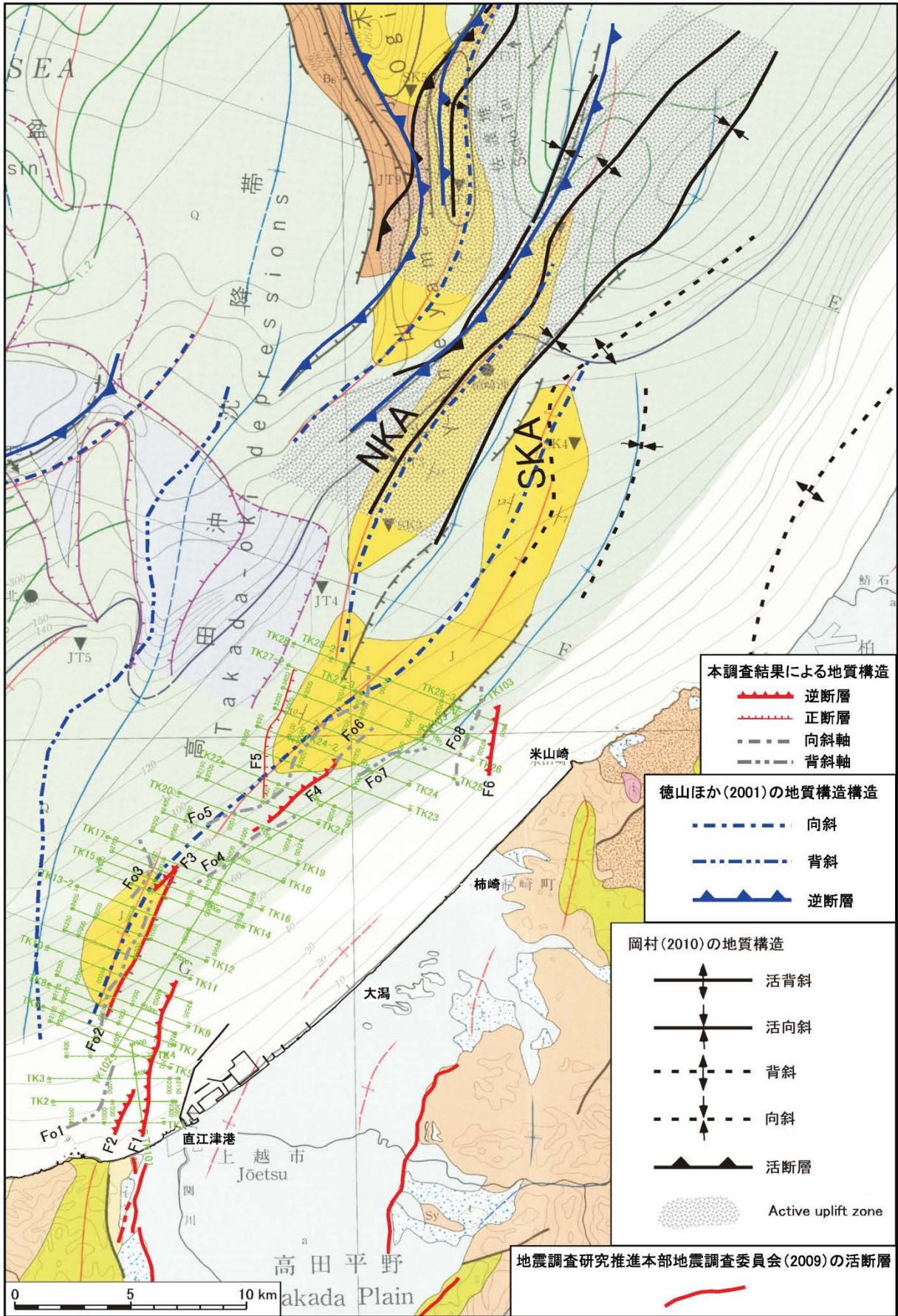


図 3.1-1 地質構造図. 地質図は岡村ほか(1994)による.

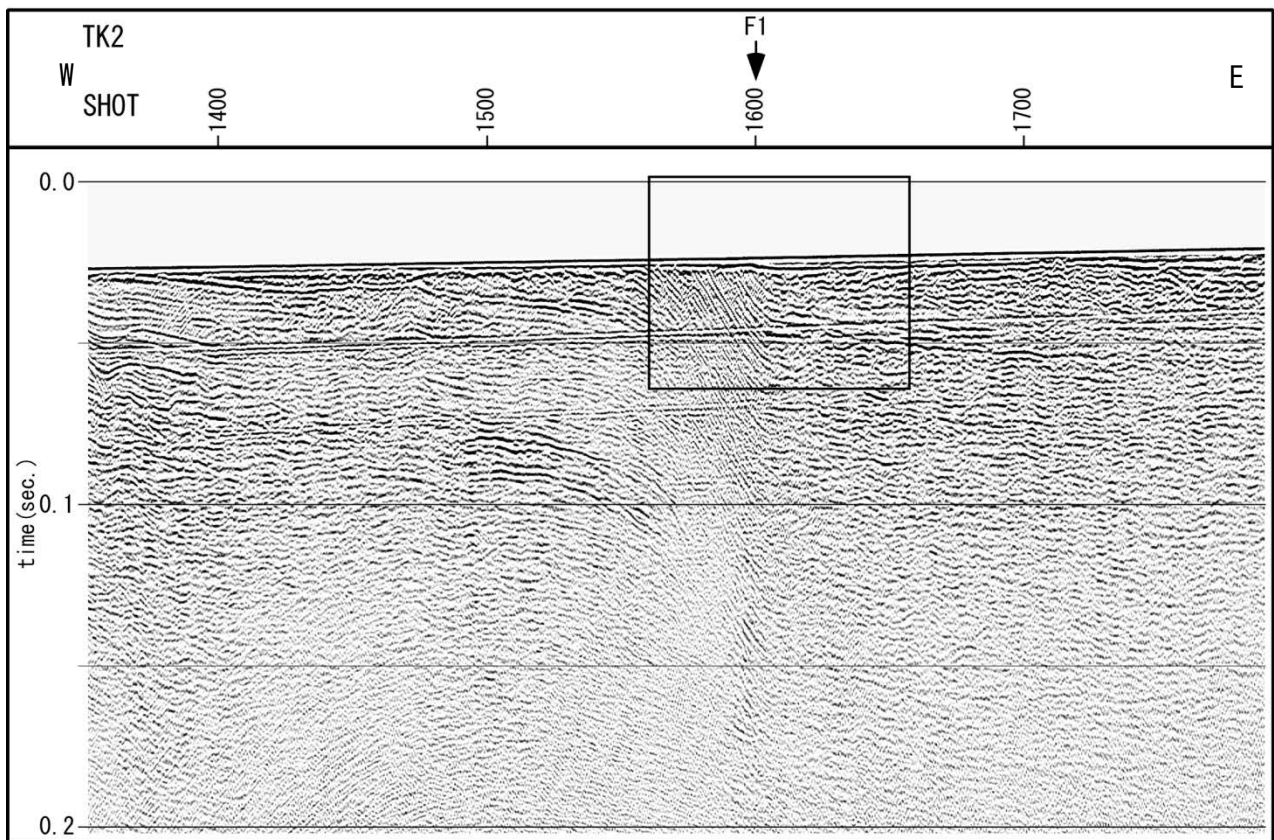
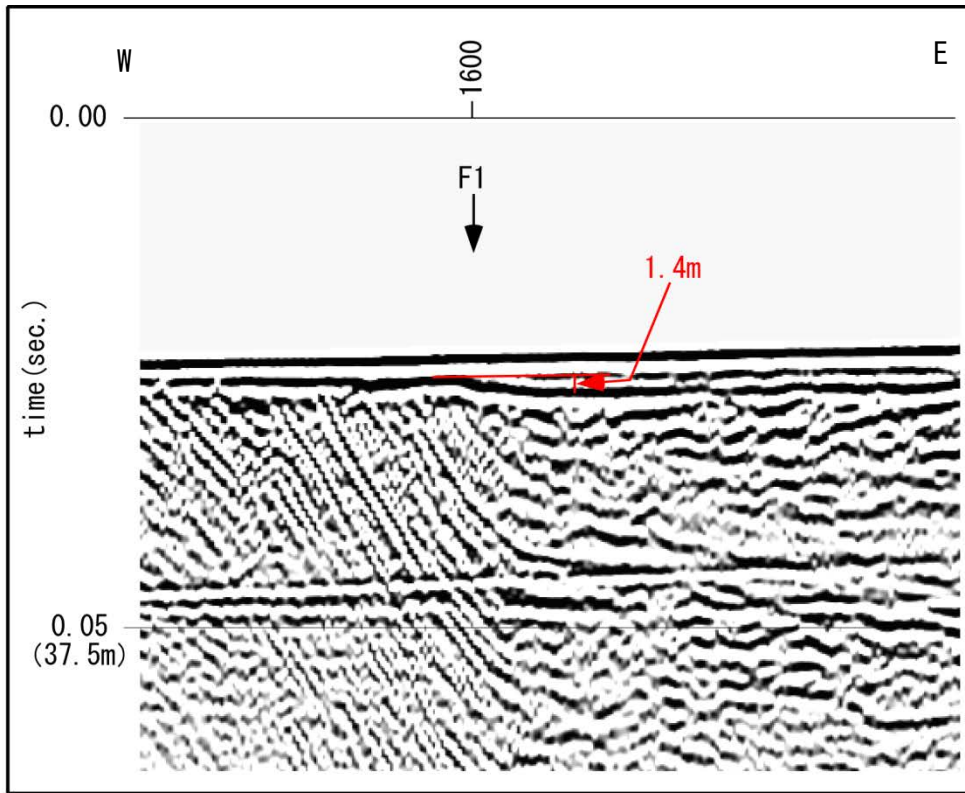


図 3.1-2 TK2 測線における F1 断層の変位量. 上図は下図の枠内の拡大.

高田平野西縁断層帯海域延長部の総括表

項目	従来評価	海域部の調査結果
1. 断層帯の位置・形態		
(1)断層帯を構成する断層	直江津北方沖の断層、高田平野西縁断層、高城山(たかしろやま)断層	直江津港沖合から佐渡海盆にかけての断層関連褶曲
(2)断層帯の位置・形状	<p>地表における断層帯の位置・形状</p> <p>断層帯の位置(両端の緯度・経度)</p> <p>(北端)北緯37° 17′ 東経138° 15′</p> <p>(南端)北緯37° 01′ 東経138° 15′</p> <p>長さ 約30km</p> <p>地下における断層面の位置・形状</p> <p>長さ及び上端の位置</p> <p>地表での長さ・位置と同じ</p> <p>上端の深さ 0 km</p> <p>一般走向 N-S</p> <p>傾斜 西傾斜</p> <p>幅 不明</p>	<p>(北端)北緯37° 36′ 25″、東経138° 31′ 07″ *1</p> <p>(南端)北緯37° 10′ 49″、東経138° 13′ 42″ *2</p> <p>約55km(海域部のみ) 全体では約70km</p> <p>反射断面図で得られた長さ・位置と同じ</p> <p>北西傾斜。ただし、TK26測線以北では南東傾斜の可能性がある。*3</p> <p>不明</p>
(3)断層のずれの向きと種類	西側隆起の逆断層	北西側隆起の逆断層。TK26測線以北では南東側隆起の可能性もある。横ずれ成分は不明。
2. 断層の過去の活動		
(1)平均的なずれの速度	約0.5-1.1m/千年(上下成分)	不明
(2)過去の活動時期	<p>活動1(最新活動)</p> <p>1751年(寛延4年<宝暦元年>)の地震</p> <p>活動2(1つ前の活動とは特定できない)</p> <p>約3千9百年前以後</p>	<p>活動1(最新活動とは特定できない)</p> <p>約8,000~9,000年前以降。約6,000年以前</p>
(3)1回のずれの量と平均活動間隔	<p>1回のずれの量 2-3m程度(上下成分)</p> <p>平均活動間隔 2千2百-4千8百年程度</p>	<p>約1.4mの見かけ垂直変位量。横ずれ変位量は不明。</p> <p>不明</p>
(4)過去の活動区間	断層帯全体で1区間	断層帯全体で1区間
3. 断層帯の将来の活動		
(1)将来の活動区間及び活動時の地震の規模	<p>活動区間 断層帯全体で1区間</p> <p>地震の規模 マグニチュード7.3程度</p> <p>ずれの量 2-3m程度(上下成分)</p>	<p>断層帯全体で1区間</p> <p>マグニチュード7.9程度</p> <p>垂直変位量が2-3m程度</p>
備考		<p>*1: 本調査で確認された断層関連褶曲が連続していると考えられる岡村(2010)の柏崎北背斜(NKA)の北端の位置を表す。</p> <p>*2: 陸域に連続すると思われるが、本調査で確認された伏在断層の南端部であるTK101測線での断層の位置を表す。</p> <p>*3: 褶曲の非対称性から推定。</p>

3.2 三方・花折断層帯／三方断層帯(海域部)

1) 調査内容

三方断層帯海域部(A断層系)の過去の活動時期、平均変位速度及び1回の活動による変位量に関するデータを取得し、1662年慶長地震とされる陸域～沿岸部の最新活動時におけるA断層系の挙動の解明を目的として、高分解能シングルチャンネル音波探査(測線長約131km)、マルチチャンネル音波探査(測線長約27km)、及び海上ボーリング調査(1孔、コア長4m)を実施した。採取したコアについては、詳細な観察を行うと共に、¹⁴C年代測定、火山灰分析、帯磁率測定等を実施した。また、音波探査断面上の海底下4m以深に認められる複数の断層活動イベントの時代を見積もるため、更新世末以降の海水準に関する文献のレビューと調査地域周辺の広域上下変動の検討を行った。

2) 海域部の位置と形状

三方断層帯は、福井県三方郡美浜町沖合の若狭湾から、三方五湖東部を通過して同県三方上中郡若狭町に至る、ほぼ南北走向、東側隆起の逆断層である。本断層帯は北側から、A断層系、日向断層、三方断層、倉見峠断層からなる。このうち、A断層系と日向断層の北部が海域に位置する(図3.2-1)。両断層は左雁行配列し、北西-南東に延びる緩い撓曲構造を介して連続する。音波探査断面では、両断層の東側(隆起側)に背斜構造が認められる。A断層系の北端は北西-南東走向の野坂断層帯海域部に収斂する。陸域の日向断層は三方断層の西側を並走し、日向湖、水月湖及び菅湖内をほぼ南北に走る。三方断層帯の長さは約26kmであり、このうち海域部の長さは約9kmである。

3) 平均変位速度

ボーリング調査地点付近の三方断層帯海域部(A断層系)の更新世末以降の平均上下変位速度は、約0.7~0.8m/千年(調査地域周辺の広域の上下変動を考慮しない場合)、若しくは約0.8~1.0m/千年(同変動を考慮した場合)と推定される。この値は、陸域の三方断層帯の平均上下変位速度(約0.8m/千年)や日向断層北部(海域部)の同速度(約1m/千年)と同等である。

4) 過去の活動層準と活動時期

音波探査結果(図3.2-2)から、三方断層帯海域部(A断層系)は、沖積層の堆積開始以降、複数回の断層活動を行ってきたことが分かった。また、深度4mのボーリング調査結果(図3.2-3)、更新世末以降の海水準に関する文献のレビュー結果、及び既往音波探査データから推定される広域の上下変動を検討して、断層活動の年代を推定した。推定された断層活動の層準・時期・回数は以下の通りである。

1) 反射面D-反射面C間の活動

- ・活動時期は約13ka以降、約10~12ka以前(広域の上下変動を考慮しない場合)、若しくは約11.5~12ka以降、約9~11.5ka以前(同変動を考慮した場合)。
- ・1回以上の断層活動があった可能性がある。

2) 反射面B形成後の活動

- ・活動時期は約8~11.5ka以降(広域の上下変動を考慮しない場合)、若しくは約7.5~11ka以降(同変動を考慮した場合)。
- ・反射面Bは約7~8mの上下変位を被っており、この形成後に2回以上の断層活動があった可能性が高い。
- ・形成年代が約6.5~7kaと推定される反射面Aが4m以上の上下変位を被っていることから、最新活動は反射面Aの形成後である。ボーリング調査結果からは約5kaに断層活動が生じた可能性がある。

3) 1662年寛文地震時の活動の有無

今回の調査では、1662年寛文地震時に三方断層帯海域部(A断層系)が活動したか否かについては、確定的なデータが得られなかった。

5) 1回の変位量と平均活動間隔

反射面D-C間の活動が1回だけであったとすると、この時の三方断層帯海域部の変位量は約2~3mであったと考えられる。

この変位量を平均的な1回の変位量と見なした場合、三方断層帯海域部の活動間隔は、上述の平均変位

速度から、大雑把に 2 千～4 千年程度と推定される。この活動間隔は、陸域の三方断層帯について求められた活動間隔(約 3.8 千～6.3 千年;地震調査委員会、2003)よりも短い。

6)活動区間

三方断層帯は、海域部及び陸域部を通じて、雁行・並走する断層から構成されるが、雁行・並走部のステップ幅は最大でも約 2km である。また、各断層はいずれも東に傾斜する逆断層であり、地下深部では連続した一つの断層面に収斂している可能性が高い。したがって、本断層帯は、その全体が一度に活動するポテンシャルを有すると考えられる。なお、1662 年寛文地震の際には、断層帯の北端に当たる A 断層系は活動しなかった可能性も残っており、A 断層系の活動によって、分割放出型の地震が発生する可能性についても検討する必要がある。

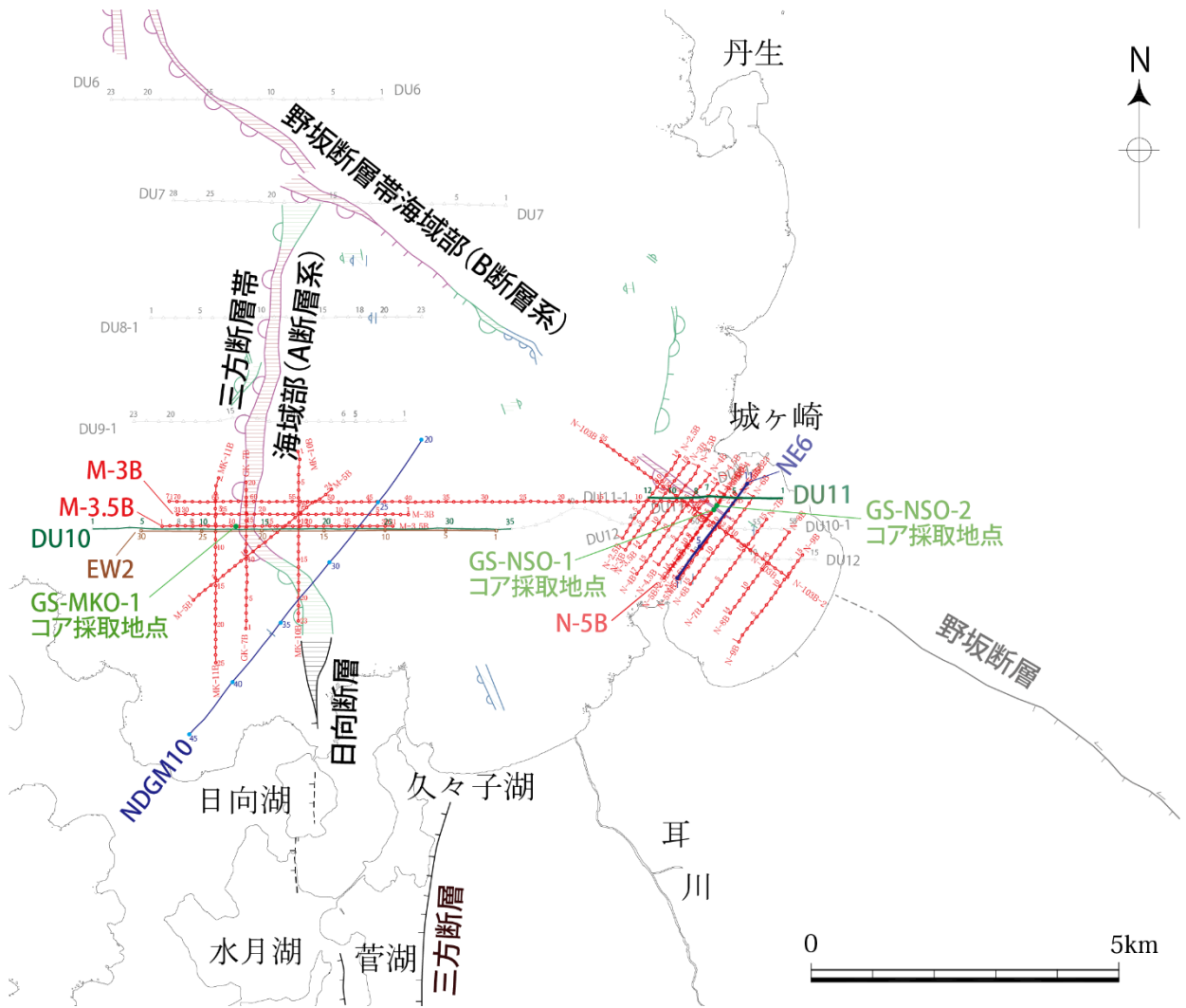
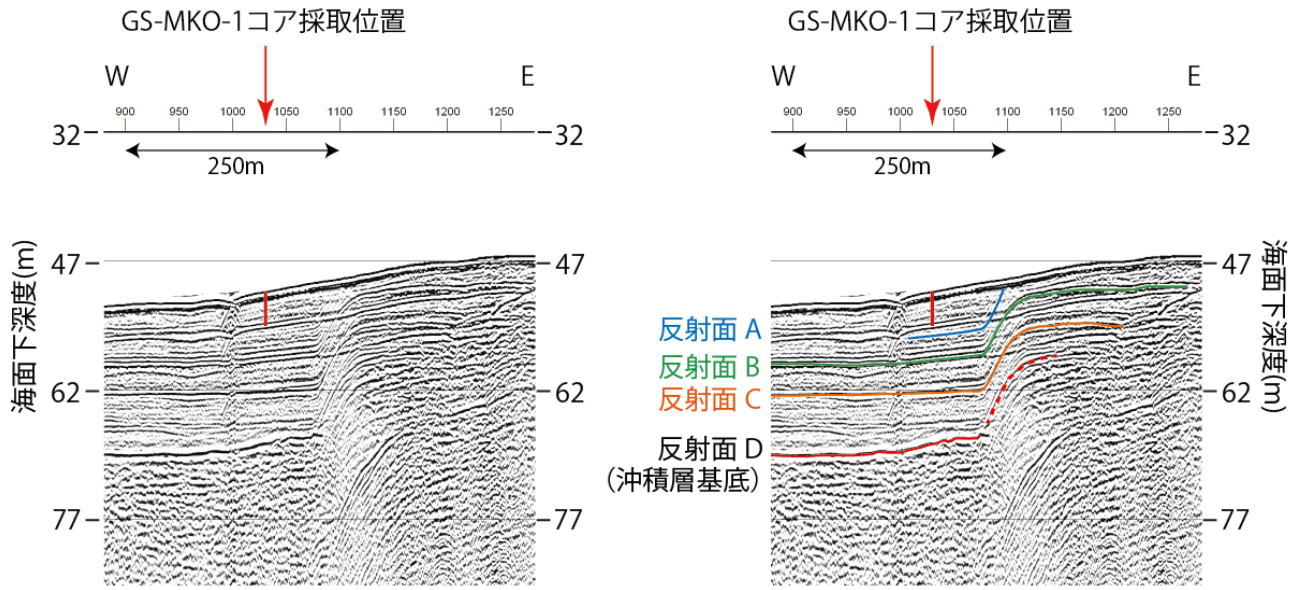


図 3.2-1 三方断層帯海域部の構成断層、音波探査測線及び GS-MKO-1 コア採取地点位置図

M-3B と M-3.5B は本調査の測線、EW2 は小松原ほか(2000)の調査測線、DU10 と NDGM10 は日本原子力発電の調査測線。海域の断層・撓曲の位置は日本原子力発電による。日向断層と三方断層の位置は小松原ほか(1999, 2000)と金田ほか(2000)による。

M-3.5B 測線



M-3B 測線

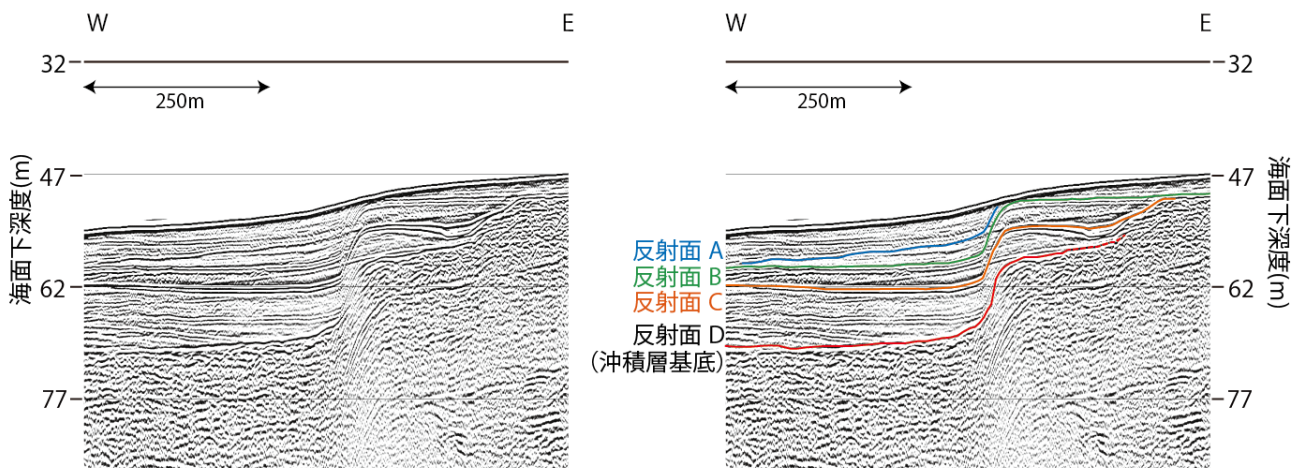


図 3.2-2 M-3.5B 測線(上)と M-3B 測線(下)の音波探査結果

各測線の左の図は音波探査記録、右の図は反射面 A~D の解釈を加えた図。

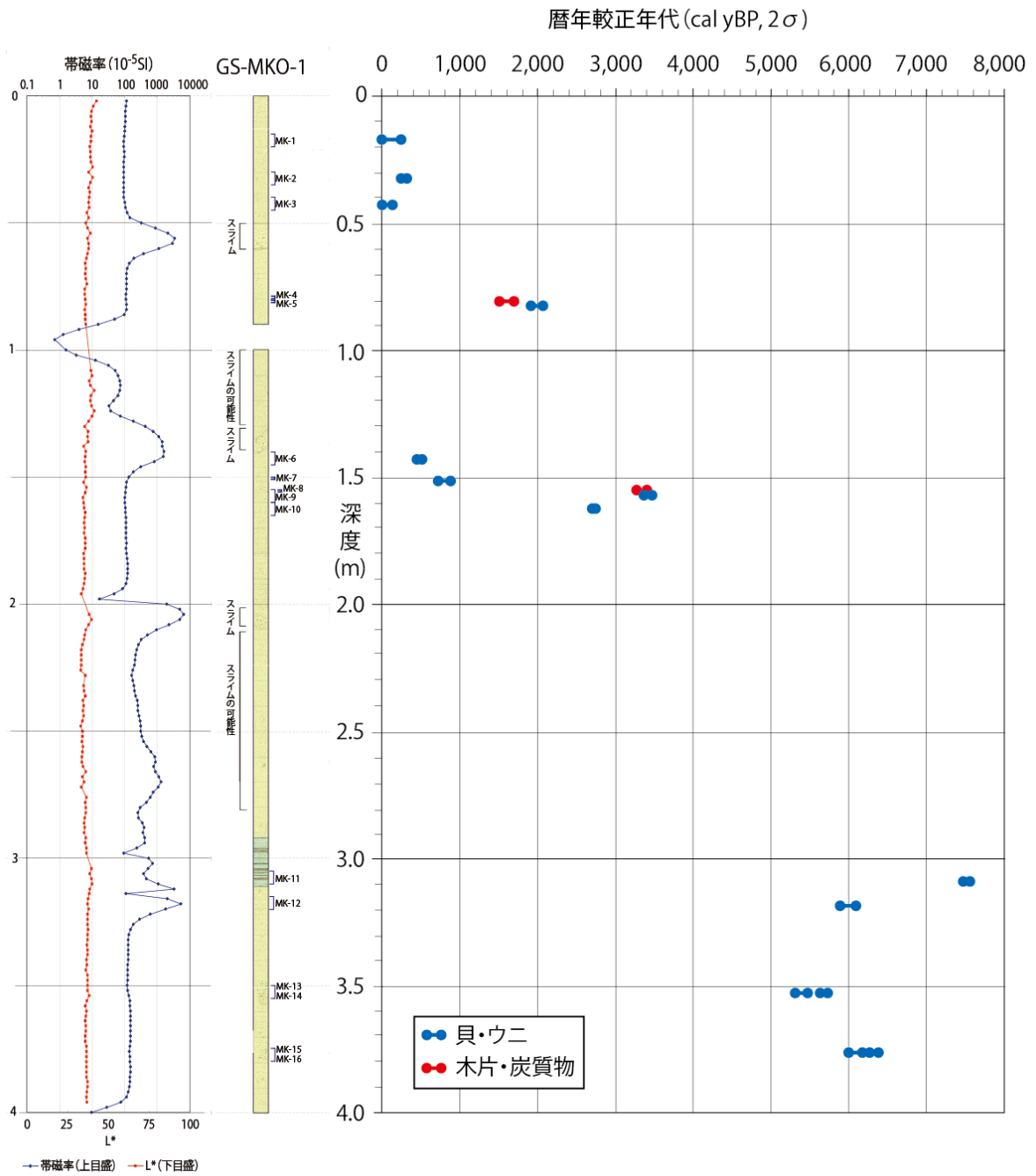


図 3.2-3 GS-MKO-1 コアの帯磁率・色調測定結果(左)と ^{14}C 年代-深度関係(右)

三方断層帯の総括表

項目	従来評価	海域部の調査結果
1. 断層帯の位置・形態		
(1) 断層帯を構成する断層	陸域: 三方断層、倉見峠断層、日向断層 海域: A断層系	陸域: 三方断層、倉見峠断層 陸域～海域: 日向断層 * 1 海域: A断層系
(2) 断層帯の位置・形状	地表における断層帯の位置・形状 断層帯の位置(両端の緯度・経度) (北端)北緯35° 41′ 東経135° 53′ (南端)北緯35° 27′ 東経135° 54′ 長さ 約26km	地表における断層帯の位置・形状 断層帯の位置(両端の緯度・経度) (北端)北緯35° 41′ 東経135° 53′ (南端)北緯35° 27′ 東経135° 54′ 長さ 約26km (うち海域部は約9km)
	地下における断層面の位置・形状 長さ及び上端の位置 地表での長さ・ 位置と同じ 上端の深さ 0km 一般走向 N-S 傾斜 高角度、東傾斜 幅 不明	地下における断層面の位置・形状 長さ及び上端の位置 地表での長さ・ 位置と同じ 上端の深さ 0km 一般走向 N-S 傾斜 高角度、東傾斜 幅 不明
(3) 断層のずれの向きと種類	東側隆起の逆断層	東側隆起の逆断層
(A断層系の調査結果)		
2. 断層帯の過去の活動		
(1) 平均的なずれの速度	約0.8m/千年(上下成分)	約0.7～0.8m/千年(上下成分) (地殻上下変動を考慮しない場合) 約0.8～1.0m/千年 (同変動を考慮した場合)
(2) 過去の活動時期	1662年(寛文二年)の地震(最新活動) それ以前の活動時期は不明	反射面D-反射面C間の活動 ・約13ka以降、約10～12ka以前(広域の上下 変動を考慮しない場合) ・約11.5～12ka以降、約9～11.5ka以前(同変 動を考慮した場合) 反射面B形成後の活動(2回以上) ・約8～11.5ka以降(広域の上下変動を考慮し ない場合) ・約7.5～11ka以降(同変動を考慮した場合) ・最新活動は約6.5～7ka以降で、約5kaに活動 した可能性 1662年寛文地震時の活動の有無 不明
(3) 1回のずれの量と 平均活動間隔	1回のずれの量 3～5m程度(上下成分) 平均活動間隔 約3千8百年～6千3百年	約2～3m(上下成分) (反射面D-C間の活動が1回だけであった とした場合) 約2500～4300年 * 2 (地殻上下変動を考慮しない場合) 約2000～3800年 * 2 (同変動を考慮した場合)
(4) 過去の活動区間	断層帯全体で1区間	断層帯全体で1区間 但し、1662年寛文地震時にはA断層系は活動し ていない可能性がある
3. 断層帯の将来の活動		
(1) 将来の活動区間及び地震 の規模	活動区間 断層帯全体で1区間 地震の規模 マグニチュード7.2程度 ずれの量 3～5m程度(上下成分)	活動区間 断層帯全体で1区間 地震の規模 マグニチュード7.2程度 ずれの量 3～5m程度(断層帯中部、上下成分) 2～3m程度(断層帯北部、上下成分)
備考	* 1 小松原ほか(2000)、日本原子力発電(2004)による。 * 2 平均的なずれの速度と1回のずれの量から計算。	

3.3 野坂・集福寺断層帯／野坂断層帯(海域部)

1) 調査内容

野坂断層帯海域部の過去の活動時期、平均変位速度及び1回の活動による変位量に関するデータを取得し、15～17世紀とされる陸域の最新活動時における海域部の挙動の解明を目的として、高分解能シングルチャンネル音波探査(測線長約146km)、マルチチャンネル音波探査(測線長約28km)、及び海上ボーリング調査(2孔、合計コア長39m)を実施した。採取したコアについては、詳細な観察を行うと共に、 ^{14}C 年代測定、火山灰分析、珪藻分析、帯磁率測定等を実施した。更に、小松原ほか(2000)及び日本原子力発電株式会社が本調査海域で実施した音波探査の記録についても検討した。

2) 海域部の位置と形状

野坂断層帯は、若狭湾から福井県三方郡美浜町を経て敦賀市に至る、北西-南東走向の断層である(図3.3-1)。本断層帯は、北西側から、若狭湾内のB断層系、若狭湾内から敦賀平野の南部に至る野坂断層、同断層南東部の南側を並走する野坂南方断層の3断層からなる。B断層系と野坂断層海域部との間は、約4kmにわたって断層の存在が確認されていない。野坂断層帯は、陸域の変位地形から、左横ずれ成分が卓越する断層と考えられる。また、変位地形、トレンチ壁面に現れた地質・地質構造、海域の音波探査記録(図3.3-2)のいずれもが北東側隆起の上下変位成分の存在を示す。日本原子力発電(2010)などの最近の調査結果によると、野坂断層帯の全長は約34kmに達し、このうち海域部の長さは約26kmである。

3) 平均変位速度

ボーリング調査地点付近の野坂断層帯海域部の完新世における平均上下変位速度は、8～9千年前の層準の累積上下変位量(図3.3-3)から、約0.6m/千年と算出される。約1万年前の沖積層基底の断層帯を挟んだ高度差からは約0.8m/千年と算出されるが、現時点では同層基底の初生水平性の検証が十分ではない。横ずれ方向の変位速度については、直接的なデータは得られなかった。

4) 過去の活動層準と活動時期

断層帯を挟んだ各層の層厚変化(図3.3-3)から、3回の断層活動(若い方から、活動1、活動2、活動3)が推定される。各活動の層準は、活動1:A1層下部堆積中-A1層堆積前、活動2:B2層堆積中-B1層堆積前、活動3:C層下部堆積中-C層上部堆積前である。但し、活動3については、C層下部の層厚の違いは沖積層基底の初生傾斜・凹凸に起因する可能性があり、確度が落ちる。このほか、断層帯を挟んだ各層基底の高度差の変化から、B1層堆積中-A3層堆積前にも、断層活動(活動2')が生じた可能性がある。

得られた年代データから、各活動の時期は、活動1:約4千～6千年前、活動2:約8千年前、活動3:約9千～1万5百年前と見積もられる。また、活動2'の発生時期は約7千5百～8千年前と推定される。

なお、陸域の野坂断層帯は、トレンチ調査結果から15～17世紀に活動したと推定されているが、野坂断層帯海域部が一緒に活動したか否かについては、確定的なデータが得られなかった。ボーリング調査結果からは、約4千年前以降(活動1以降)に、0.8m程度の上下変位を伴う断層活動が生じた可能性が残っている。

5) 1回の変位量と平均活動間隔

各層基底の初生傾斜をほぼゼロと考えた場合、活動1に伴う上下変位量は最大約1.7m、活動3に伴う上下変位量は3.2m程度であったと考えられる。また、活動2'は発生しなかったと仮定した場合、活動2に伴う上下変位量は約3.3mと考えられる。一方、活動2'も発生したと考えた場合には、活動2と活動2'に伴う上下変位量は各1.7m前後であったと推定される。

活動間隔については、活動2'は発生しなかったとした場合、3回の活動の間隔は最短約1,000年、最長約4,000年、平均の活動間隔は約1,500～3,300年となる。活動2'も発生したとした場合、4回の活動の間隔は最短約0～500年、最長約4,000年、平均の活動間隔は約1,000～2,200年となる。活動1と活動2の2回の活動だけに絞った場合には、活動の間隔は約2,000～4,000年である。また、上述の平均変位速度と1回の変位量(約1.7～3.3m)からは、平均変位速度を0.6m/千年とした場合には平均活動間隔は約2,800～5,500年、0.8m/千年とした場合には約2,100～4,100年と計算される。

6)活動区間

野坂断層帯は、海域部及び陸域部を通じて、直線性の高い分布を示す。また、既述のように、海域～陸域の全域にわたって、安定的に北東側隆起を示す。したがって、本断層帯は、その全体が一度に活動するポテンシャルを有すると考えられる。なお、本断層帯陸域部が活動したと推定される 15～17 世紀には、野坂断層の海域部とB断層系は活動しなかった可能性が残っており、本断層帯海域部の活動によって、分割放出型の地震が発生する可能性についても検討する必要がある。

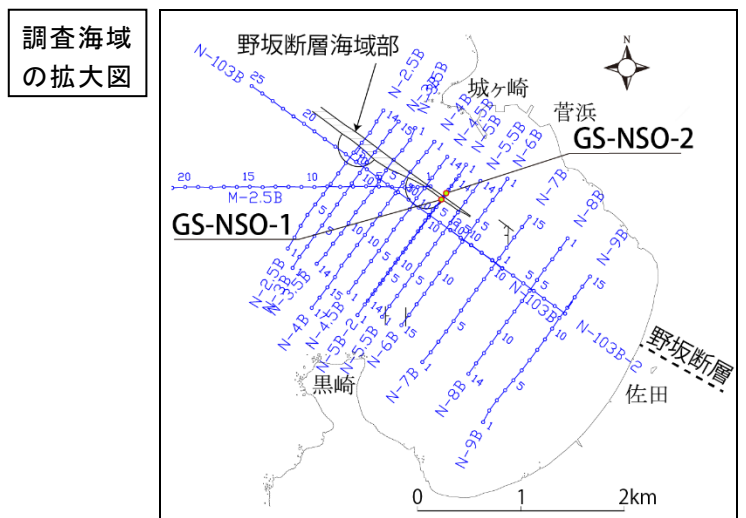
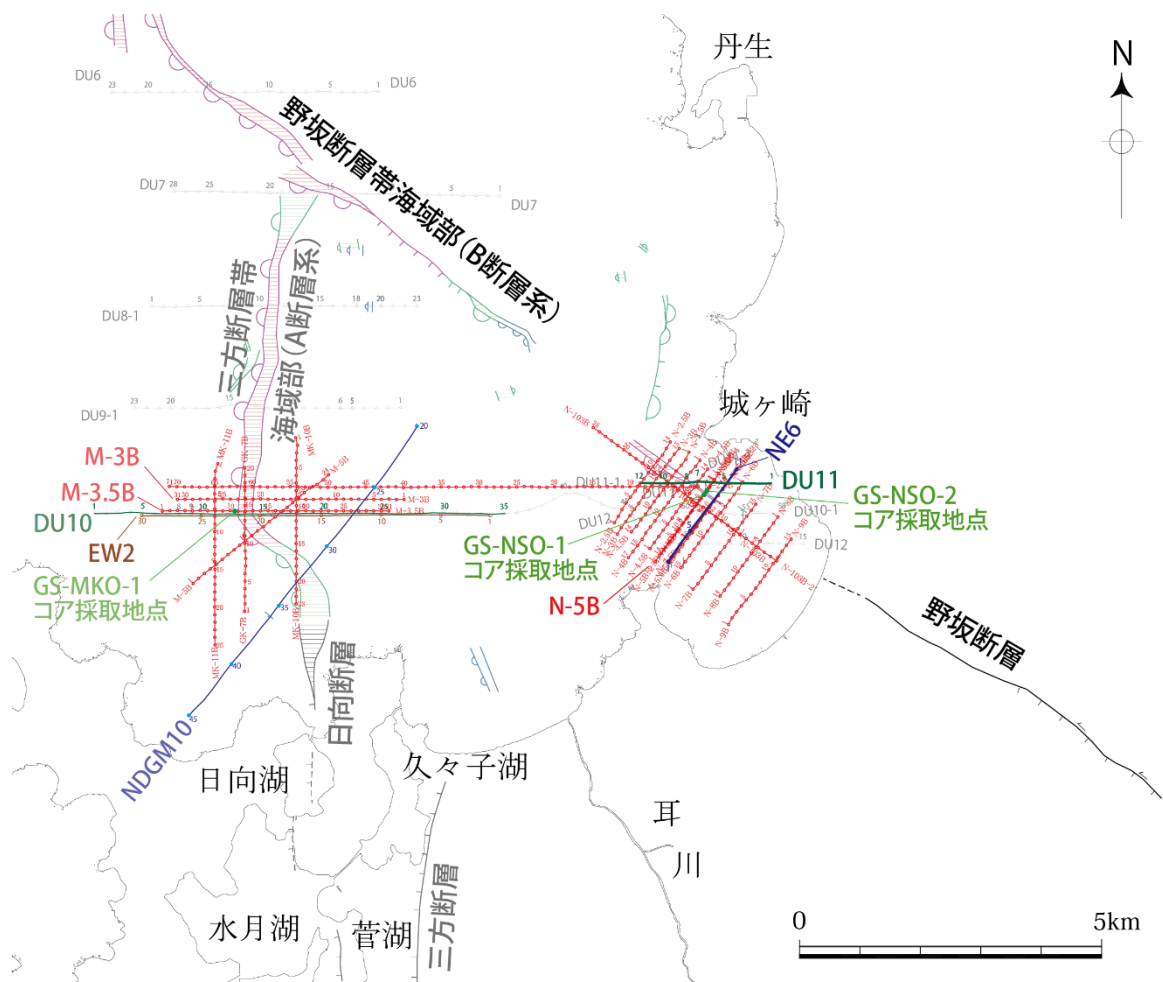


図 3.3-1 野坂断層帯の主要構成断層、音波探査測線及び GS-NSO-1・GS-NSO-2 コア採取地点位置図

拡大図に示した青線が本調査の測線、NE6は小松原ほか(2000)の調査測線、DU11は日本原子力発電の調査測線。海域の断層・撓曲の位置は日本原子力発電による。野坂断層の位置は日本原子力発電(2004)及び杉山の未公表資料による。

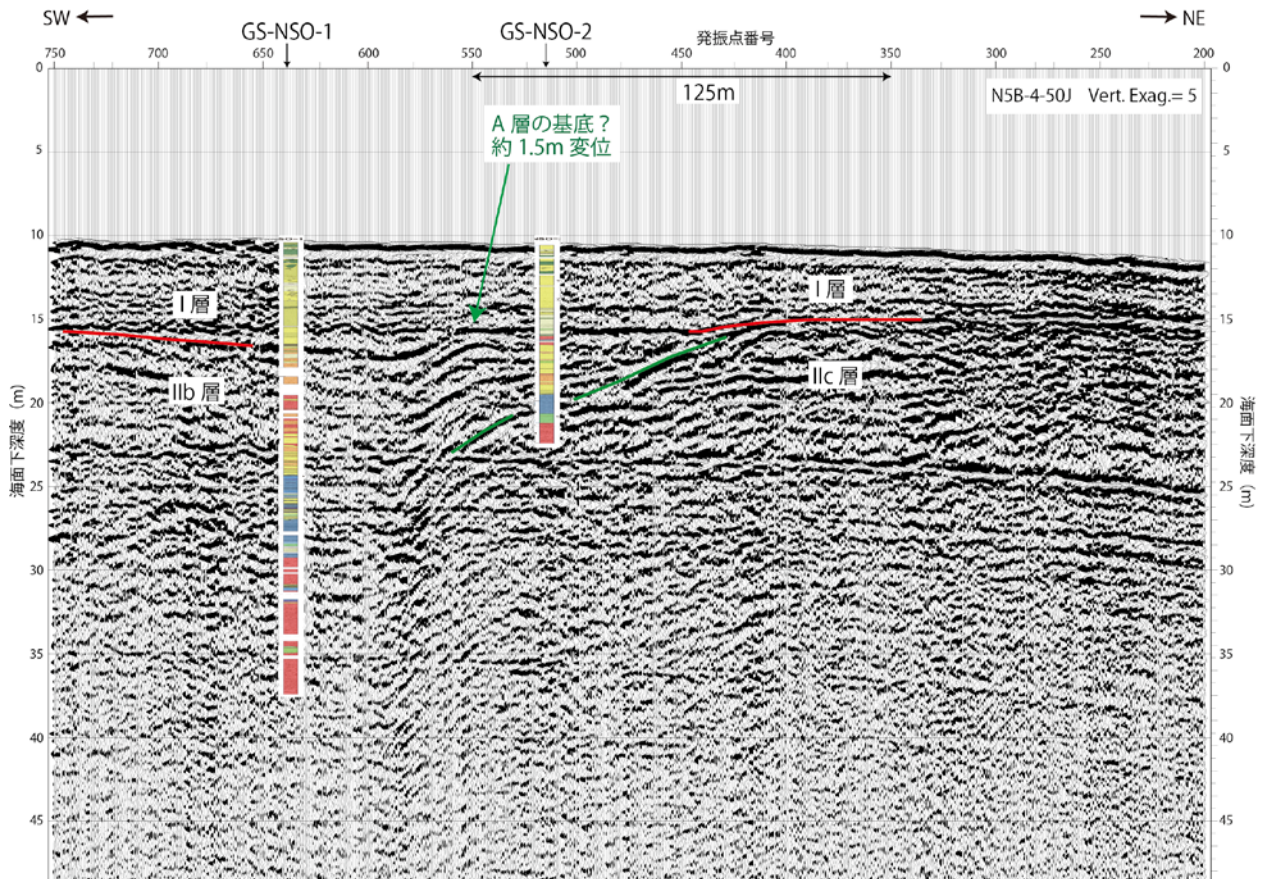


図 3.3-2 N-5B 測線(ブーマー50J、発振間隔 0.625m、受振間隔 2.5m、12 チャンネル探査)の重合処理時間断面にボーリング調査結果を重ねた図

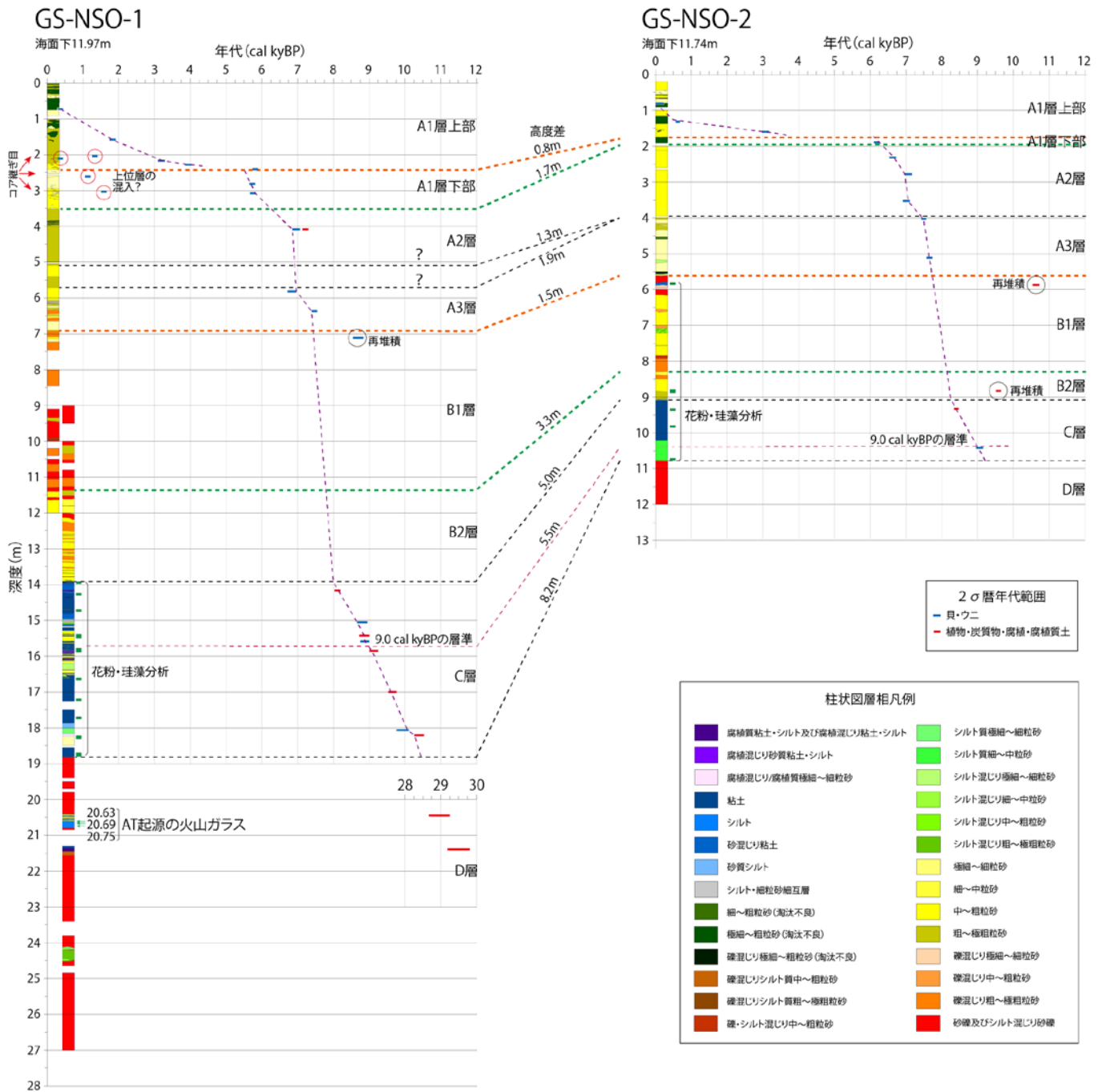


図 3.3-3 音波探査結果との照らし合わせに基づき修正した GS-NSO-1 コアと GS-NSO-2 コアの対比

野坂断層帯の総括表

項目	従来評価	海域部の調査結果
1. 断層帯の位置・形態		
(1)断層帯を構成する断層	海域:B断層系 海域～陸域:野坂断層 陸域:野坂南断層	海域:B断層系 海域～陸域:野坂断層 陸域:野坂南断層
(2)断層帯の位置・形状	地表における断層帯の位置・形状 断層帯の位置(両端の緯度・経度) (北西端)北緯35° 48' 東経135° 49' (南東端)北緯35° 36' 東経136° 03' 長さ 約31km	地表における断層帯の位置・形状 断層帯の位置(両端の緯度・経度) (北西端)北緯35° 49' 東経135° 49' *1 (南東端)北緯35° 36' 東経136° 03' 長さ 約34km (うち海域部は約26km) *1
	地下における断層面の位置・形状 長さ及び上端の位置 地表での長さ・位置と同じ 上端の深さ 0km 一般走向 N50° W 傾斜 高角度、北東傾斜 幅 約15km	地下における断層面の位置・形状 長さ及び上端の位置 地表での長さ・位置と同じ 上端の深さ 0km 一般走向 N50° W 傾斜 高角度、北東傾斜 幅 約15km
(3)断層のずれの向きと種類	左横ずれ、北東側隆起の逆断層	左横ずれ成分と北東側隆起の逆断層成分を併せもつ断層
2. 断層帯の過去の活動		
(1)平均的なずれの速度	上下成分 0.2～0.3m/千年(陸域) 0.8m/千年(海域) 左横ずれ成分 陸域では上下成分より大きいと考えられるが数値は不明	上下成分 約0.6m/千年 (8～9千年前の層準の変位量に基づく値) 約0.8m/千年 (沖積層基底の高度に基づく値で信頼度は落ちる) 左横ずれ成分 上下成分と同等以上と考えられるが数値は不明
(2)過去の活動時期	15～17世紀(最新活動)	・活動1 A1層下部堆積中-A1層堆積前 約4千～6千年前 ・活動2 B2層堆積中-B1層堆積前 約8千年前 ・活動3(信頼度は落ちる) C層下部堆積中-C層上部堆積前 約9千～1万5百年前 ・このほかに、B1層堆積中-A3層堆積前 (約7千5百～8千年前)にも断層活動(活動2') が生じた可能性がある。 ・15～17世紀の活動の有無は不明。
(3)1回のずれの量と平均活動間隔	1回のずれの量 約0.5m若しくはそれ以下(上下成分) 約2～3m(左横ずれ成分) 平均活動間隔 約5千6百～7千6百年若しくはこれよりも短い間隔	・活動1の上下変位量:最大約1.7m ・活動2の上下変位量:約3.3m (活動2'は発生しなかったと仮定した場合) ・活動3の上下変位量:約3.2m(信頼度は落ちる) ・活動2'も発生したと考えた場合には、活動2と活動2'の上下変位量はともに約1.7m ・実際に発生した断層活動から: 約1500年～3300年(活動2'は発生しなかったとした場合)若しくは約1000～2200年(活動2'も発生したとした場合) ・平均変位速度と1回のずれの量から: 約2800～5500年(平均変位速度を0.6m/kyとした場合)若しくは約2100～4100年(平均変位速度を0.8m/kyとした場合)
(4)過去の活動区間	断層帯全体で1区間	断層帯全体で1区間 但し、15～17世紀には野坂断層の海域部とB断層系は活動していない可能性がある
3. 断層帯の将来の活動		
(1)将来の活動区間及び地震の規模	活動区間 断層帯全体で1区間 地震の規模 マグニチュード7.3程度 ずれの量 約2～3m(左横ずれ成分) 約0.5m若しくはそれ以下(上下成分)	活動区間 断層帯全体で1区間 地震の規模 マグニチュード7.4程度 ずれの量 約2～3m(上下成分) 同等以上(左横ずれ成分)
備考	*1 日本原子力発電(2010)の調査結果の読み取りによる。	