

柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部北方延長域（坂井市沖～福井市沖）における 活断層の分布と活動性

Distribution and activity of active faults in the northern extension area of the
Yanagase-Sekigahara Fault Zone (main part) off Sakai and Fukui Cities, Fukui
Prefecture, central Japan

杉山雄一¹・山本博文²・村上文敏¹・宇佐見琢哉³・畑山一人³・島崎裕行³

Yuichi Sugiyama¹, Hirofumi Yamamoto², Fumitoshi Murakami¹,
Takuya Usami³, Kazuhito Hatakeyama³ and Masanori Shimazaki³

¹ 活断層・地震研究センター (AIST, Geological Survey of Japan, Active Fault and Earthquake Research Center, sugiyama-y@aist.go.jp)

² 福井大学教育地域科学部 (Faculty of Education and Regional Studies, University of Fukui)

³ 総合地質調査株式会社 (Sogo Geophysical Exploration Co., Ltd.)

Abstract: We conducted seismic profiling in the offshore extension area of the Yanagase-Sekigahara Fault Zone (main part) in order to reveal its northern termination and fault distribution. The survey area is 35 km long in the N-S direction, and survey lines were located in the E-W direction at 2- to 3-km intervals along the tracks of active fault survey by Japan Coast Guard in FY 2003. We carried out 16-channel and single-channel seismic profiling using a 200-J boomer source. The seismic survey has made clear that the fault zone extends northwards to the area where it meets the NE-SW-trending Echizen Bank Chain. The northern termination of the fault zone proved to be 29 to 30 km north of the tentative northern end by the Earthquake Research Committee (2004). The northern part of the Yanagase-Sekigahara Fault Zone (main part), a resultant 77- to 78-km-long zigzag fault, is divided into four sections based on the fault geometry. The northernmost and the third sections are an N-S-striking and E-dipping reverse fault, accompanied by an N-S-trending fold and back thrusts, respectively. The second and fourth sections are an NW-SE-striking fault, having both left-lateral strike-slip and east-side-up reverse components. The fault activity is highest at the southern part of the third section with average vertical slip rate of ~1.5 m/ky. For the first and second sections in the offshore extension area, the average vertical slip rate is estimated at less than 0.3-0.4 m/ky and 0.3-0.4 m/ky, respectively, from the vertical offset of the reflection surface identified as the base of the Late Pleistocene deposits.

キーワード: 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯, 越前海岸, 越前堆列, 音波探査, 活断層, 活褶曲, 変位速度

Keywords: Yanagase-Sekigahara Fault Zone, Echizen Coast, Echizen bank chain, seismic profiling, active fault, active fold, slip rate

1. 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部の概要

1.1 断層帯の概要と2003年までの研究史

柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004)は, 福井市鮎川町の越前海岸から, 岐阜県不破郡垂井町に達する全長約100 kmの活断層帯である(第1図)。この断層帯の西側には若狭湾と琵琶湖が存在するのに対して, 東側には丹生山地や伊吹山地が存在し, 対照的な地形が発達する。このような本断層帯の東西両側の地形の相違は古くから注目され, 更新世以降の断層活動との関連が指摘されてきた。

小川(1906)は, 干飯崎より南の若狭湾と丹生山

地の境界をなす北西-南東方向の直線状の急崖を「敦賀湾東岸の断層崖」と呼んだ。山崎・多田(1927)は, 柳ヶ瀬断層を命名すると共に, 同断層と敦賀湾東岸の断層は後期更新世以降に繰り返し活動し, 両断層の東側は隆起し, 西側は沈降したと指摘した。辻村(1926, 1929, 1932)は, 敦賀湾東岸の断層崖や柳ヶ瀬断層(余呉川断層谷)の存在を指摘した。その後, 岡山(1956)は, 敦賀湾(若狭湾)から伊勢湾に達する地形境界として, 「敦賀湾伊勢湾線」を命名し, 敦賀湾東岸の断層崖や柳ヶ瀬断層はその東側に沿う断層と位置付けている。杉村(1963)は柳ヶ瀬断層が左ずれ断層であることを指摘し, 塚野・伊藤(1964)と塚野(1969)は敦賀湾東岸の断層崖を甲楽城断層

と命名した。活断層の研究が本格化した1970年代には、藤田・岸本(1972)、岡田(1973, 1979)、松田ほか(1976)、東郷(1974)、村井・金子(1975)、などによって、甲楽城断層、柳ヶ瀬断層の研究が進められると共に、山中断層、鍛冶屋断層、関ヶ原断層の存在が明らかになった。

本断層帯の活動履歴については、武藤ほか(1981)、杉山ほか(1993)、吉岡ほか(1998)、岐阜県(1996)及び福井県(1997, 1998)によってトレンチ調査などが行われ、柳ヶ瀬断層では完新世の活動が指摘されている。

越前海岸沿いに分布する段丘・離水海食地形の研究、及びそれに基づく隆起・断層活動に関する研究は、市川(1929)の先駆的研究の後、太田(1973)及び太田・成瀬(1977)によってなされた。その結果、鮎川断層群の存在が明らかになると共に、最大1m/千年に達する隆起速度が求められた。その後、山本ほか(1996)は甲楽城断層の隆起速度を求め、山本・木下(2001)は同断層の活動時期を推定している。

陸域の本断層帯及び周辺の活断層の位置を示した文献としては、活断層研究会編(1980, 1991)、杉山ほか(1994)、岡田・東郷編(2000)及び中田・今泉編(2002)などがある。本断層帯の海域延長については、海上保安庁(1980)、福井県(1997)及び山本ほか(2000)によって音波探査が実施され、海域における断層帯の実態の一部が明らかとなっている。

1.2 地震調査委員会による長期評価の概要

2004年1月に公表された地震調査研究推進本部地震調査委員会(以下、地震調査委員会と呼ぶ)の柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の長期評価では、同断層帯は大きく同断層帯主部と浦底-柳ヶ瀬山断層帯に二分されている(第1図)。

柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部は、福井市鮎川町から越前海岸~河野海岸の沿岸を通り、山中峠付近を通過して栃の木峠北方に達し、北国街道沿いに南下して長浜市木之本に至り、更に伊吹山地の西~南縁沿いに南東に延び、岐阜県不破郡垂井町に達する(第1図)。地震調査委員会(2004)によると、本断層帯主部を構成する断層は、北から鮎川断層群、海域の甲楽城断層、山中断層、柳ヶ瀬断層、鍛冶屋断層、醍醐断層、大清水断層、関ヶ原断層及び門前断層である。同委員会は、過去の活動時期の違いから、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部を北部、中部、南部に区分している(第1図)。

本稿では、以下、これら3つの断層区間を、それぞれ断層帯主部/北部、同主部/中部、同主部/南部と略記する。

断層帯主部/北部を構成する断層は、鮎川断層群、甲楽城断層及び山中断層であり、全体の長さは約48kmである。これらの断層はその東側が相対的に隆起する逆断層であり、南半部は左横ずれ成分を伴

う。地震調査委員会(2004)によると、断層帯主部/北部の平均上下変位速度は0.6~0.8m/千年もしくはそれ以上、最新活動は17世紀頃、1回の活動による上下変位量は概ね4~6m程度、平均活動間隔は約2300~2700年の可能性がある。

1.3 2004年の長期評価公表後に公開された主な調査研究資料

柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の長期評価公表(2004年1月)後に公開された断層帯主部/北部に関連する重要な調査資料として、沿岸海域海底活断層調査「加賀-福井沖」(海上保安庁海洋情報部(以下、海洋情報部と呼ぶ)、2004)がある。この調査では、越前岬西方から加佐ノ岬北方にかけての南北約55kmの海域について、概ね1km間隔の東西方向のスパーカーによる探査記録が得られている。

また、日本原子力発電株式会社(以下、日本原子力発電と呼ぶ)は、敦賀発電所の原子炉増設申請のため、若狭湾から越前海岸(福井市大味付近)沖のウォーターガンなどによる音波探査を行い、調査結果を公表している(日本原子力発電、2004)。日本原子力発電はその後追加の音波探査を行い、その結果を公表している(日本原子力発電、2008, 2010)。

岡田(2004)は、断層帯主部/南部を構成する柳ヶ瀬断層南部の累積変位量と平均変位速度を地形・地質学データに地球物理学的な探査データを加えて検討している。また、岡田ほか(2005)は5万分の1地形図「敦賀」内の柳ヶ瀬断層とその周辺に分布する活断層の詳細位置を公表している。

山本ほか(2010)は、2004年の長期評価時には私信として引用された越前海岸沿いの断層帯主部/北部の活動履歴を論文として公表している。

阿部ほか(2011)は、文部科学省「沿岸海域における活断層調査」の一環として実施した福井平野東縁断層帯海域延長部の調査の中で、安島岬の沖合約10kmに東側隆起の活断層を確認している。

2. 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部/北部の残された課題と2012年度調査の概要

2.1 残された課題

2.1.1 断層帯主部/北部の北端

2004年に公表された地震調査委員会の長期評価によると、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部/北部の北端は越前海岸沿いの福井市鮎川付近に分布する鮎川断層群(太田, 1973)とされている。鮎川断層群の多くは断層西側の相対的隆起を示す。これは、東側隆起を示す主断層が西方海域に存在し、鮎川断層群が主断層の副次的な断層(バックスラスト)である可能性を示唆する。しかし、海洋情報部(2004)の調査を含めて、従来の調査では越前海岸から約2km沖までは調査が行われておらず、海岸から2km沖合まで

の沿岸部における海底活断層の存否は不明のまま残されている。海洋情報部（2004）によると、鮎川の約 10 km 北方の福井港沖には、南北方向の背斜と東側隆起を示す断層・撓曲が見出されており、変形・変位は更新統に及ぶとされている。また、その約 10 km 北西方の大陸棚縁辺部にも少なくとも鮮新統を変形させる南北方向の背斜が確認されている。阿部ほか（2011）が安島岬沖で確認した東側隆起の活断層は、この左雁行配列する背斜構造の中間に位置する。これらのデータは、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部が福井港沖さらには安島岬の北西沖にまで延びている可能性を示唆する。

2.1.2 最新活動時期と 1 回の活動による変位量

地震調査委員会（2004）の長期評価及び山本ほか（2010）は、越前岬付近の柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部は 17 世紀頃に最新活動を行ったとしている。地震調査委員会（2004）は、同断層帯主部 / 北部の 1 回の活動による上下変位量を 4～6 m と推定し、山本ほか（2010）は越前岬付近では最新活動に伴って最大で 5 m を超える隆起があったとしている。しかしながら、山本ほか（2010）が指摘しているように、本断層帯主部の北部周辺（福井県嶺北地域）では、年代的に対応する 1662 年寛文近江・若狭地震を含めて、17 世紀前後の地震による顕著な被害を示す史料は知られていない。

2.2 2012 年調査の概要

2.2.1 調査目標

上述のような残された課題を踏まえ、2012 年度の文部科学省委託「沿岸海域における活断層調査」では、1) 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の北端の確認、及び 2) 最新活動時期とその時の上下変位量の再検討を主要調査目標とした。

2.2.2 調査項目と各項目の目標

上述の目標を達成するため、2012 年度の調査では、1) 越前海岸沖～安島岬沖の音波探査、2) 福井港沖での堆積物採取調査、及び 3) 越前海岸における離水海食地形調査を行った。

音波探査では、プーマーを音源とするマルチチャンネル音波探査を行い、越前海岸沖から安島岬の北西沖における断層の詳細な分布と活動性に関する情報を得ることを目標とした。堆積物採取調査では、断層の両側でコアを採取し、肉眼観察・年代測定・火山灰分析などを行って地層の層序を明らかにし、音波探査断面との対比を通じて断層変位を抽出し、断層活動時期を特定することを目標とした。また、離水海食地形調査では、遺跡の年代から離水の上限年代を求め、岩礁に残された生物遺骸の放射性炭素同位体年代測定を行って離水の下限年代を求めることによって最新活動時期を限定すると共に、最新活動に伴う隆起量の再検討を目標とした。

音波探査と堆積物採取調査は産業技術総合研究所

が担当し、離水海食地形調査は福井大学が担当した。

本報告では、これら 3 つの調査項目のうち、音波探査の結果を報告する。堆積物採取調査と越前海岸における離水海食地形調査の結果については、産総研・福井大学（2013）を参照されたい。

3. 探査海域と探査測線

3.1 探査海域

本調査では、越前岬沖から加賀沖の既往音波探査記録の検討に基づき、探査海域を決定した。この検討に資するため、海洋情報部、日本原子力発電及び福井県から、音波探査記録の貸与もしくは開示を受けた。これらの貸与・開示資料については、6. 考察とまとめの後にリストを示した。

日本原子力発電が 2005 年に越前岬からその北方の福井市大味の沖で実施したウォーターガンを音源とする音波探査記録（貸与・開示資料 2）を検討した結果、日本原子力発電（2010）の解釈と同様に、海岸から約 1～1.5 km 沖に、沖積層の基底と推定される反射面を東側上がりに変形させる断層が確認された。また、海上保安庁海洋情報部が 2003 年に実施した沿岸海域海底活断層調査「加賀一福井沖」の音波探査記録（貸与・開示資料 1）を検討した結果、海洋情報部（2004）の解釈と同様に、福井港の沖約 4～5 km に南北に延びる 2 つの背斜が確認された。2 つの背斜の西側には、最終氷期の堆積物と推定されるプログラデーションパターンを示す反射面を東側上がりに変位・変形させる断層が認められた。また、その沖側（西側）の陸棚上には、一部の測線（測線 36, 37 など）において、海底面までを東側上がりに変位させる断層が北西方向に追跡された。この断層の北西延長は測線 32 以北の海洋情報部の音波探査記録では不明瞭となる。しかし、文部科学省「沿岸海域における活断層調査」の一環として 2010 年に産総研が実施した福井平野東縁断層帯海域延長部の音波探査により、この断層の北西延長部に東側上りの活断層が確認された（阿部ほか、2011）。海洋情報部「加賀一福井沖」の音波探査記録を用いて、さらに北方の海域を検討したところ、安島岬の北西 12 km 付近の陸棚に、海洋情報部（2004）の指摘のように、南北に延びる背斜が認められ、その西翼の海底には東側上がりの崖地形が認められた。このような検討結果は、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部が北東－南西方向の越前堆列の南（マツダシの東方、大グリの南）まで延びている可能性を示唆する。このほか、福井港の沖合約 20 km には、海洋情報部（2004）の指摘の通り、北北西－南南東方向に追跡される正断層が確認された。

以上の検討結果に基づき、本調査では、越前堆列のマツダシの北部から福井市大味までの南北約 35 km（北緯 36°22'43" から 36°02'54"）、越前岬より

もやや西の東経 135°55'35" を西端とする範囲を探査対象海域とした (第 2 図)。

3.2 探査測線

探査測線の設定に当たっては、海洋情報部 (2004) の音波探査記録との比較が容易にできるように、海洋情報部の探査測線に沿って設定した。今回設定した最も北側の探査測線は、海洋情報部 (2004) の測線 16 である。ここから南へ、海洋情報部 (2004) の測線 1 つおき (約 2 km 間隔) もしくは 2 つおき (約 3 km 間隔) に東西方向に 16 本の測線を設定した。越前海岸沖の測線 (測線 45, 47, 49, 52, 54) については、これまで海岸から約 2 km 沖までは反射記録が得られていないことを考慮し、海岸からの距離 1 km 以内までの反射記録を得ることを目指した。これらの測線では、平成 24 年 8 月 1 日から 8 月 10 日にブーマーを音源とするマルチチャンネル探査を実施した。延べ測線長は 192.5 km に達した。測線名は海洋情報部 (2004) の測線と同じ番号を付け、その後に BM の文字を加えた。

以上のマルチチャンネル探査測線に加えて、堆積物採取地点の選定のため、福井港沖では約 1 km 間隔のマルチチャンネル探査 2 測線 (測線長 7.0 km と 5.1 km)、約 0.5 km 間隔のシングルチャンネル探査 8 測線 (測線長 1.1~3.1 km、延べ測線長 17.5 km、うち 3 測線はマルチチャンネル探査と同一測線) を実施した。シングルチャンネル探査測線には、測線番号の後に BS の文字を付し、マルチチャンネル探査測線と区別した。

探査測線の位置を第 3 図に、探査測線の一覧を第 1 表に示す。

4. 使用機器、データ取得諸元及びデータ処理

4.1 音波探査

音源には公称最大送振出力 300 J の Applied Acoustics 社製 AA300 型ブーマーを用い、エネルギーソース (送信器) には同社製の CSP-P を使用した。受振には 5 ハイドロフォン素子 / チャンネル、チャンネル間隔 2.5 m、チャンネル数 16 の総合地質調査社製ストリーマーを使用し、データの収録 (デジタル変換) にはティアック電子計測社の LX110 を用いた。

福井港沖で実施した 2 測線を含めて、合計 18 測線で行ったマルチチャンネル探査は 16 チャンネル受振とし、ブーマー音源の発振出力 200 J、音源深度 0.3 m、発振間隔約 1.25 m、収録時間 0.6 秒、サンプリング周波数 10 kHz、船速 3~4 ノットで実施した。福井港沖で実施したシングルチャンネル探査では、音源に最も近接する No. 1 チャンネルを受振に用い、発振出力 100 J、音源深度 0.3 m、発振間隔約 0.625 m、収録時間 0.3 秒、サンプリング周波数 10 kHz、船速

3~4 ノットで実施した。

探査実施中は、反射データの船上モニター用として、EPC Laboratories 社製の GSP-1086-2 サーマルプロッターを使用して探査記録 (反射断面) の出力を行った。また、調査中の事故の回避を最優先すると共に、調査船のエンジン音のノイズレベルテストの結果を参照して、ブーマー及びストリーマーの第 1 チャンネルを、それぞれ船尾後方 25 m と 30 m に配置した (第 4 図)。

4.2 音響測深

音響測深には千本電気社製の PDR-1300 を用い、調査船の舷側に取りつけて測深を行った。測深機の吃水は 1 m とした。測定された水深は用紙にアナログ出力すると共に、デジタルデータとしてログファイルに取り込んだ。潮位の補正には、国土交通省国土地理院がインターネットで公開している三国検潮所のデータを使用し、基準面は T. P. (東京湾平均海面) とした。

4.3 船位測定・誘導

船位の測定は Trimble 社製の DSM 232 を用いて、ディファレンシャル GPS (DGPS) によって行い、計画測線上を調査船が進むように誘導を行った。船位、ブーマーなどの曳航体の位置 (船位と進行方向から計算)、時刻のデータはログファイルに記録した。また、125 m 毎 (マルチチャンネル探査では約 100 ショット毎) に、測位座標と音波探査データとを対応させる測位点 (イベント点) を記録に挿入した。

4.4 データ処理

マルチチャンネル探査データの処理には Parallel GeoScience 社製の SPW を使用し、デコンボリューション処理、ゲイン回復、帯域通過フィルタ処理などを行った。速度解析を行った後、CMP 重合法により 16 重合の反射断面を得た。

5. 調査結果

各測線において認められた断層、褶曲 (背斜・向斜) 及び急崖の位置を第 5 図に示す。また、海洋情報部 (2004) などの既存データも加えた検討に基づく断層と褶曲のトレースを第 6 図に示す。第 7 図~第 28 図には、各測線の反射断面 (音波探査記録) を示す。反射断面は、総て図の左方を西、右方を東に揃えてある。1 つの図に、同一測線の反射断面が分割して表示されている場合は、上段の図ほど西側の断面である。各反射断面の横軸に付した数字は測位点 (イベント点) 番号であり、第 3, 5, 6 図の各測線に付した番号に対応する。また、各反射断面の縦軸は、水中及び堆積物中の音速を 1,500 m/秒と仮定した場合の深度 (m) である。

5.1 音響層序

今回の音波探査では、送信出力 200 J のブーマーを用いたため、探査深度では海洋情報部（2004）や山本ほか（2000）の探査に及ばず、調査範囲も限られている。このため、調査地域の音響層序は、海洋情報部（2004）に従った（第 2 表）。但し、本調査は活断層の調査を目的としていることから、断層の活動性評価の基準となる上部更新統及び完新統（概ね、海洋情報部（2004）のⅠ層とⅡ層）については、以下に述べるように海水準変動との対応を考慮した堆積ユニットの認定と層序区分を行った。

(1) Ⅰ層

調査地域の反射断面（特に南部の越前海岸沿いの反射断面）では、概ね水深 130 m 以浅の海底面直下に、陸側へオンラップ、海側へダウンラップする反射波列が上位ほど陸側へ積み重なる構造（バックステップパターン）が認められる。このような反射波構造は、約 1.8 万年前を極相期とする最終氷期後の海進に伴って堆積した浅海～海浜層の堆積構造と判断され、最上部更新統を含む広義の沖積層に相当する。本報告ではこの広義の沖積層をⅠ層とする。Ⅰ層の厚さは、調査地域南部の越前海岸沖で厚く、大味沖の測線 54 BM では最大約 30 m に達する（第 28 図）。また、安島岬北方～福井港沖の測線 27 BM（第 11 図）～38 BM（第 17 図）では、陸に近接する測線東端部の海底面直下に、海側へ傾斜する反射波列が上位ほど海側へ累重する構造（プログラデーションパターン）が認められる。これは主に完新世中期以降（縄文海進最盛期頃以降）の高海面期に堆積した沖積層と考えられる。Ⅰ層は概ね山本ほか（2000）の T2 層最上部、阿部ほか（2011）の A 層に対比される。

(2) Ⅱ層

上述したⅠ層の下位には、明瞭なプログラデーションパターンを示し、水深 150 m 前後の大陸棚外縁の急斜面を構成する反射波列が認められる。この反射波列は、12～13 万年前を極相期とする最終間氷期以降の海面低下に伴って堆積した上部更新統（最終氷期の堆積物）に対応する。調査地域南部の三里浜から鮎川沖では、プログラデーションパターンを示す堆積物の下位に、部分的に沖積層に類似するバックステップパターンや平行成層パターンを示す反射波列が認められる（第 22～26 図）。これは、最終間氷期の海進に伴って形成された堆積物（最終間氷期の海進時の堆積物）と考えられる。Ⅱ層の厚さは調査地域南部の越前海岸沖で厚く、最大約 90 m に達する。沿岸部及び安島岬の西方～北西方の陸棚上では薄くなる。

(3) Ⅲ層

Ⅲ層は下部～中部更新統（高位段丘堆積物相当層など）と考えられ、海水準の昇降に伴って形成された平行成層する反射波列とプログラデーションパターンを示す反射波列が繰り返し積み重なった地層

である。Ⅲ層中には、埋没した過去の陸棚外縁斜面（プログラデーションの先端）も複数認められる。このような堆積構造は、越前堆列部を除く本調査海域が全体として数 10 万年間にわたって沈降してきたことを示唆している。

(4) Ⅳ層

Ⅳ層は安島岬の北西沖、マツダシの東方に分布する南北方向の背斜構造をなす地層であり、上位のⅢ層及びⅡ層に不整合に覆われている。このほか、今回の調査範囲では、マツダシの東側に分布するⅢ層の下位に、本層に対比される可能性がある地層が認められる。海洋情報部（2004）は本層の時代を鮮新世と推定している。

(5) Ⅴ層

Ⅴ層はマツダシの地形的高まり部に背斜構造をなして分布する。また、福井港沖の南北方向の背斜構造部や安島岬周辺では、Ⅲ層の下位に本層に対比される可能性がある地層が分布する。本層は山本ほか（2000）の香住沖層群の上部（K2 層）に対比され、その時代は中新世～鮮新世初頭とされている。

(6) Ⅵ層

Ⅵ層は福井港沖の南北方向の背斜構造の軸部や越前海岸周辺に分布する主に火山岩類や礫岩などからなると推定される地層で、音波探査記録では地層上面で強く反射し、内部の構造が読み取れない。沿岸陸域中新統の東尋坊火山岩、加佐ノ岬層、国見層（鹿野ほか、1999；脇田ほか、1992）などに対比される（海洋情報部、2004）。

(7) Ⅶ層

Ⅶ層はマツダシの背斜の軸部に分布する。本層は山本ほか（2000）の香住沖層群の下部（K1 層）に対比され、沿岸陸域の中新統系生層に対比される（海洋情報部、2004）。

5.2 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の北方延長

今回の調査により、福井港沖から安島岬沖にかけて、これまで知られていなかった北西－南東走向の断層の存在が確認された。この断層は、安島岬北西沖に存在する南北方向の断層・背斜と福井港沖の南北方向の断層・背斜を繋ぐかたちで分布する。この結果、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の北方延長は、安島岬北西沖の南北方向の背斜・断層にまで延びていることが分かった。この延長部は、主要な断層の走向と断層周辺の地質構造の特徴から、北から、安島岬北西沖区間、福井港沖区間、越前海岸北部区間の 3 つの区間に分けられる（第 6 図）。

最も北側の安島岬北西沖区間は南北走向の断層からなり、その東側に南北に延びる背斜構造を伴う。福井港沖区間は、北西－南東走向の断層からなる北部と複数の南北走向の断層からなる南部に分けられ、中間に両者の並存部が存在する。越前海岸北部区間は海岸に沿う北北東－南南西走向の断層からなる。

以下、それぞれの区間の調査結果を述べる。

5.2.1 安島岬北西沖区間（測線 19 BM～30 BM；第 8～12 図）

今回の調査では、測線 22 BM（第 9 図）、25 BM（第 10 図）及び 27 BM（第 11 図）において、南北に延びる背斜構造が明瞭に捉えられた。背斜構造をなす IV 層は III 層及び II 層に覆われ、II 層が直接露出する海底は背斜の軸部で盛り上がっている。このことから、この南北の背斜は後期更新世以降も成長を続けている活背斜と推定される。区間北部の測線 19 BM（第 8 図）では、背斜構造は確認できなかったため、海洋情報部（2004）の記録を参照して大まかな位置と形状を推定した。海洋情報部（2004）の反射記録では、背斜は測線 20 から測線 29 までは明瞭に追跡され、その北側の測線 19 では不明瞭となり、測線 18 以北では認められなくなる。

本区間南部の測線 25 BM（第 10 図）の測位点 37 付近、測線 27 BM（第 11 図）の測位点 36 付近及び測線 30 BM（第 12 図）の測位点 52 付近には、背斜西翼部の II 層に東側上がりの変位を与え、海底にまで達する断層が確認された。このうち測線 27 BM では、バックスラストと推定される東上がりの断層も認められる。区間北部の測線 22 BM（第 9 図）では、背斜の西翼部に幅の広い西下がりの斜面が見られるが、明瞭な断層は確認できない。その北側の測線 19 BM（第 8 図）では、測位点 41 付近に西落ちの急崖が確認されるが、II 層中の反射面の変位・変形はリンギングのため確認できない。また、測線 19 BM 付近では、西落ちの急崖の西側に南北に延びる凹地状の地形が存在する（第 5 図）。

最も北側の測線 16 BM（第 7 図）では、本断層帯の北方延長が想定される位置（測位点 20～35 付近）に、その存在を示唆する構造は認められない。

5.2.2 福井港沖区間（測線 30 BM～45 BM；第 12～23 図）

この区間の北部では断層は走向を南東に変え、福井港沖において次第に陸に接近する。区間北端の測線 30 BM（第 12 図）では、5.2.1 で述べたように、測位点 52 付近に II 層に東側上がりの変位を与え、海底に達する断層が認められる。その南側の海洋情報部（2004）の測線 32 と 31 では反射記録の S/N 比が低く、断層は確認されない。最近、阿部ほか（2011）は、安島岬の西方約 12 km（測線 31 付近；第 5 図）に東上がりの明瞭な断層を捉えている（第 29 図）。

その南の測線 33 BM（第 13 図）の測位点 3 付近、同 35 BM（第 14 図）の測位点 75 付近、同 36 BM（第 15 図）の測位点 19 付近、及び同 37 BS-2（第 16 図）の測位点 6 付近では、断層は II 層中の反射波列に東側上がりの変位や撓曲変形を与えている。このうち、測線 36 BM（第 15 図）と 37 BS-2（第 16 図）では、

断層は海底にまで達している。

福井港沖の測線 38 BM（第 17 図）では、断層による変位・変形は不明瞭であるが、測位点 89 及び 93 付近に見られる反射波列の V 字状の落ち込みに対応する可能性がある。この V 字状の落ち込みは、その南の海洋情報部（2004）の測線 39 でより明瞭に認められ（第 20 図上段）、横ずれ成分の存在が示唆される。

その南の測線 39.5 BS と海洋情報部（2004）の測線 40 では、V 字状の落ち込みは認められなくなり、かわって、V 層と VI 層の海底への突出を伴う背斜が出現し、その西側基部に断層が存在する（第 20 図中・下段）。この断層と背斜のペアは、測線 41 BM（第 21 図）の測位点 30 付近と測線 43 BM（第 22 図）の測位点 105 付近の断層と背斜のペアにほぼ南北に連続すると推定される。背斜の盛り上がりは南ほど小さくなっている。

福井港沖のほぼ測線 35～41 の範囲には、上述の北西－南東走向の断層及び南北走向の断層の東側に、背斜構造を伴う南北走向の断層が並走する（第 6 図、第 16～20 図）。このうち、測線 35 BM（第 14 図）の測位点 55 付近から南に連続する東側上がりの断層は、測線 38 BM（第 17 図）の測位点 100 付近、測線 41 BM（第 21 図）の測位点 26 付近を通過した後、測線 43 BM（第 22 図）では測位点 108～109 間の東側上がりの急崖に連続すると判断される。この海底崖は比高 10 m 以上に達し、この部分に東側隆起の断層が存在すると考えられるが、断層部はノイズが激しく、地質構造の詳細は不明である。

この他、安島岬～東尋坊の約 2 km 沖に東側上がりの断層が見出された（第 5 図、第 12 図）。

5.2.3 和布～大味沖区間（測線 45 BM～54 BM；第 23～28 図）

この区間では、海岸から約 1.5～1 km 以内に、II 層と、I 層の基底及び同層内の反射面を東側上がりに変形・変位させる断層もしくは撓曲が見られる。

和布沖の測線 45 BM（第 23、24 図）では、測位点 65 付近に I 層基底と同層内の反射波列に明瞭な東側上がりの変位を与える断層が認められる。上下変位には累積が認められ、I 層の堆積開始以降、複数回の断層活動が発生したことを示唆する。この断層は、5.2.2 で述べた測線 43 BM（第 22 図）の測位点 108～109 間の海底に達する断層の南方延長と考えられる。測線 45 BM の測位点 72 付近（第 24 図）にも海底に達する東側上がりの断層が存在する可能性がある。

測線 47 BM（第 25 図）では、海岸から約 1.6～1.2 km 沖の測位点 54 付近、同 55～56 間、同 57 付近の 3 ケ所で、II 層の反射波列に東側上がりの変位ないし撓曲変形が見られる。このうち、測位点 55～56 間の断層変位は I 層に及んでいる可能性がある。

測線 49 BM（第 26 図）では、海岸から約 1 km の測位点 52-53 間で、II 層の反射波列に、不明瞭ながら東側上がりの変位が見られる。I 層の基底には明瞭な変位・変形は認められない。陸側の測位点 55 付近にも、断層が存在する可能性がある。

測線 52 BM（第 27 図）では、海岸から約 1 km 沖の測位点 51 付近で、I 層の基底が東側上がりに撓曲変形し、隆起側（東側）の海底には最終氷期以前の堆積物が直接露出している。その陸側の測位点 53～54 間には、西側上がりの逆断層が存在し、沖側（西側）に海底に達するバルジ状の高まり、陸側（東側）に小規模な堆積盆地が認められる。この西側上がりの逆断層は、周辺陸域に分布する鮎川断層群と同様の変位センスである。

最も南の大味沖の測線 54 BM（第 28 図）では、海岸から約 1.5 km 沖の測位点 51 と 52 の間で、I 層の基底と同層内の反射波列が東側上がりの撓曲変形を被っている。直上の海底には断層崖、撓曲崖などは認められない。陸側の測位点 58 付近には、海底にまで達する東側上がりの断層が存在する可能性があるが、詳細は不明である。

本区間ではこの他に、海岸の約 5 km 沖に、II 層中部にまで東側上がりの変位を与え、南南西に追跡される断層が確認された（第 6 図、第 25～28 図）。

5.3 マツダシ（越前堆列）の背斜とその東側の断層（第 6～9 図）

調査海域の北西端部（第 6 図）ではマツダシの背斜が明瞭にイメージされ、その東側に II 層に変位を与える断層が確認された。また、西側上がりの断層による向斜状の変形の可能性がある小規模な堆積盆地状の構造が認められた。

測線 16 BM（第 7 図）では、背斜が明瞭に捉えられた。背斜は西翼が長く東翼が短い非対称な形を示す。背斜の東側には、西側上がりの断層と東側上がりの断層のペアが 2 組認められる。背斜の形状と両断層の位置関係から、東側上がりの断層はバックスラストと考えられる。測位点 40 付近の断層は II 層に西上がりの変位を与えており、ノイズのため確度は高くないが、変形は海底に達しているように見える。また、海底にはこの断層の位置を基部とする東下がりの斜面地形が見られる。

測線 19 BM（第 8 図）では S/N 比が低く、背斜を明瞭に捉えることはできなかった。背斜の東側には、測線 16 BM と同じく、西側上がりの断層とバックスラストと考えられる東側上がりの断層が認められる。測位点 19 付近の東側上がりの断層は II 層を変形させており、変形は海底に達している。これらの断層の東側には小規模な堆積盆地状の構造が見られ、東から西へ厚さを減ずる堆積物（II 層）で埋積されている。これは堆積構造の可能性もあるが、盆地の西部が西

側上がりの断層によって持ち上げられた向斜状の変形の可能性がある。

測線 22 BM（第 9 図）でも、測位点 60 付近を中心とする堆積盆地状の反射構造が見られ、東から西へ厚さを減ずる堆積物（II 層）で埋積されている。これも向斜状の変形である可能性があり、測位点 61 付近には西側上がりの撓曲が推定される。

5.4 マツダシ南方の正断層（第 6, 13, 14, 17, 21, 22 図）

海洋情報部（2004）によって指摘されているように、マツダシの南方と北方には正断層群が存在する。本調査では、このうち、マツダシ南方の断層群の中で最も東側に分布する東上がりの断層の探査を 5 測線で実施した（第 6 図）。

今回探査した最も北側の測線 33 BM（第 13 図）では、反射断面の縦横比を考慮した断層の傾斜（厳密には見かけの傾斜）は約 53° である。断層の傾斜は南の測線ほど急になっており、最も南側の測線 43 BM（第 22 図）ではほぼ垂直となる。この断層は II 層の基底を数 m 程度（最大約 5 m）東側上がりに変位させており、北半の測線 33 BM（第 13 図）、35 BM（第 14 図）及び 38 BM（第 17 図）では、海底直下の II 層上部にまで変位が及んでいる。しかし、海底面には急傾斜部や段差は認められない。

既存の探査データも合わせて検討した結果、この断層は N20～25°W 方向に約 11 km（海洋情報部、2004 の測線 32～43）にわたって追跡された。

6. 考察とまとめ

今回の調査結果と既存の調査データに基づいて、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の断層分布と性状を総括すると共に、その活動性について考察する。また、マツダシ周辺で確認された断層の性状についても考察とまとめを行う。第 3 表に柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の分布と性状及び活動性について、従来の評価（地震調査委員会、2004）と本調査の結果を示す。

6.1 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の分布と性状 (1) 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の北端

今回の音波探査結果と海洋情報部（2004）の調査データの検討結果に基づく、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の北端は、越前堆列のマツダシの北端東方、大グリ南方となる。北端の詳細位置は、マツダシ東方の南北方向の背斜の消滅地点と考えた場合には、海洋情報部（2004）の測線 18～19 間（北緯 36°21'、東経 136°0' 付近）である。また、背斜の西側を南北に延びる急斜面とその西側の凹地の消滅地点を断層帯北端と考えた場合には、測線 17～18 間（北緯 36°22'、東経 136°0' 付近）である。

(2) 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の全体トレース及び全長

柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の全体トレースは、南北ないし北北東-南南西走向の部分と北西-南東走向の部分の繰り返すジグザグパターンを示す(第30図)。また、その全長は77 km(北端を測線18~19間とした場合)もしくは78 km(北端を測線17~18間とした場合)となり、従来の全長(約48 km)よりも約30 km長くなる。

(3) 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の区間区分

断層トレースの屈曲と断層周辺の地質構造の特徴から、本断層帯主部 / 北部は、北から、安島岬北西沖区間(断層帯北端-測線30)、福井港沖区間(測線30~45)、越前海岸北部(測線45-地震調査委員会、2004の干飯崎北西沖の屈曲点;第1図)、及び甲楽城・山中断層(上記屈曲点以南)の4区間に分けられる(第30図)。

(4) 各断層区間の走向、長さ、随伴する褶曲・断層、断層の傾斜と種類

1) 安島岬北西沖区間: 本区間は平均走向 $N5^{\circ}E$ であり、長さは約11 km(北端を測線18~19間とした場合)ないし約12 km(北端を測線17~18間とした場合)である。断層の東側に東翼が長く西翼が短い非対称背斜を伴うことから、東傾斜の逆断層と考えられる。

2) 福井港沖区間: 本区間は平均走向 $N33^{\circ}W$ 、長さ約10 kmの北部(測線30~39)と、走向 $N5^{\circ}W$ 、長さ約6 kmの南部(測線39~45)に細分される。また、北部の南半(測線35~39)では、北西-南東走向の断層の東側にほぼ南北走向の断層が分布する。北部の北西-南東走向の断層は北東側隆起を示すが、背斜やバックスラストを伴わず、測線39(第20図上段)などでは反射面のV字状の落ち込みがみられる。これらの性状と阿部ほか(2011)の反射記録(第29図)から、北西-南東走向の断層は左横ずれ成分と北東側隆起の逆断層成分を併せ持つ断層と考えられる。北部の南半と南部に分布する南北走向の断層は、東側に背斜構造を伴うことから、東傾斜の逆断層と考えられる。

3) 越前海岸北部区間: 本区間は平均走向 $N20^{\circ}E$ 、長さ約25 kmである。本区間は東側上がりの断層・撓曲を主断層とし、その東側に変位量がより小さい西側上がりの逆断層を伴っており、東傾斜の逆断層と考えられる。従来、本断層帯の北端部とされている鮎川断層群は、海域の東側上がりの逆断層のバックスラストと位置づけられる。本区間では、上述の東側上がりの断層の西(沖)約2~5 kmに、 $N15^{\circ}E$ ~南北走向で全体の長さが15 km以上に達する数条の断層が存在する。

4) 甲楽城・山中断層区間: 本区間は平均走向 $N45^{\circ}W$ 、長さ約25 kmである。日本原子力発電(2010)の音波探査結果から、福井港沖区間と同様に東側上

がりの逆断層成分に加えて左横ずれ成分を伴い、断層面は東に高角度で傾斜すると推定される。

6.2 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の活動性

本断層帯主部 / 北部の活動性を次に述べる上下変位速度から概観すると、越前岬-干飯崎付近(越前海岸北部区間の南部)で最も高く、平均上下変位速度は最大1.5 m/千年に達する可能性がある。断層帯の活動性は、ここから南北両側へ向かって低減し、和布以北(福井港沖区間以北)の海域延長部の平均上下変位速度は0.3~0.4 m/千年程度と推定される。越前岬-干飯崎付近からその南北両側への平均変位速度の低減は、越前海岸沿いに分布する段丘面の高度分布(山本ほか、1996、2010; 太田、1999など)に明瞭に示されている。以下、安島岬北西沖区間・福井港沖区間と、越前海岸北部区間・甲楽城・山中断層区間に二分して、本断層帯の活動性について考察する。

(1) 安島岬北西沖区間及び福井港沖区間

北部の安島岬北西沖区間では、測線27BM(第11図)の断層低下側(西側)のII層基底は、堆積構造の特徴から、海底下60~70 m付近にあるものと推定され、隆起側のII層基底との高度差(初生的な高度差を含む)は大雑把に50~60 m程度と見積もられる。福井港沖区間では、測線36BM(第15図)において、3条の並走する断層によるII層基底の合算上下変位量は50~60 m程度と見積もられる。

以上から、安島岬北西沖区間と福井港沖区間の最終間氷期以降の平均上下変位速度は、各々、最大0.3~0.4 m/千年程度(これを大きく下回る可能性がある)、及び0.3~0.4 m/千年程度と推測される。なお、福井港沖区間の横ずれ速度に関するデータは得られなかった。

(2) 越前海岸北部区間及び甲楽城・山中断層区間

1) 断層上盤側の隆起速度

山本ほか(1996)及び山本ほか(2010)によると、酸素同位体ステージ5e(最終間氷期最盛期の約12~13万年前)に離水した中段段丘1面(M1面)の高度は、越前海岸北部区間では、和布付近で37~46 m、鮎川付近から越前岬南方付近で84~116 mである。甲楽城・山中断層区間では、干飯岬周辺から河野にかけての地域で88~96 mである。

これらのデータから、越前海岸北部区間のうち、その北部の和布付近における後期更新世以降の平均隆起速度は、0.3~0.4 m/千年程度と推測される。隆起速度は南に向かって増大し、区間南部の越前岬付近では最大約0.9 m/千年に達する(山本ほか、2010)。甲楽城・山中断層区間の後期更新世以降の平均隆起速度は、0.7~0.8 m/千年程度と推測される。

2) 干飯崎北西沖の断層屈曲点付近における断層下盤側の沈降速度

越前海岸の西側に広がる海域は、福井県(1997)

の音波探査断面に見られる最大 800 m に達する第四系の分布などから、絶対的に沈降していると考えられる（山本ほか，2010 など）。

干飯崎北西沖の断層屈曲点（地震調査委員会，2004）付近を横断する音波探査断面（日本原子力発電，2010 の測線 AW14E の反射記録；第 31 図）では、プログラデーションパターンを示す最終氷期の堆積物の下位に、最終間氷期の海進時の堆積物と考えられる陸側へオンラップし、平行成層する反射波列が認められる。この堆積物は一つ前の氷期の堆積物であるプログラデーションパターンを示す反射波列を覆っている。最終間氷期の堆積物の基底は、最終氷期の堆積物を覆う沖積層の基底と同じ堆積学的意味をもち、海進・海退堆積サイクルの境界に当たる。両境界の深度の差は、両時代のプログラデーションの先端よりも沖側（大陸斜面上）で約 90 m、海底断層の沖側（沈降側の陸棚上）でも約 90 m である。

最終氷期とその一つ前の氷期における海水準、海岸の位置、堆積環境などが同じであったかどうか不明であり、造盆地運動による沈降の見積もりも難しいが、仮にこれらの相違は無視できると考えた場合には、大陸斜面上及び沈降側の陸棚上における 90 m の深度の違いは、大雑把に、一つ前の氷期－最終氷期間の断層活動による沈降量に対応する可能性がある。また、越前海岸北部区間の南端部付近は、第 30 図に示すように海側と陸側の 2 条の東側上がりの断層からなり、海側の断層による最終間氷期の堆積物基底の上下変位量（沖側の相対的沈降量）は約 40 m である（第 31 図）。陸側の断層の変位量は不明であるが、最終間氷期の堆積物の基底は、バックスラスト付近では沖積層の基底よりも 25 m ほど低い位置にある。

以上から、一つ前の氷期－最終氷期間の断層活動による沈降量を 65～90 m と見なし、Prell *et al.* (1986)、Ruddiman *et al.* (1989) などに基づき、それらの最盛期の年代をそれぞれ約 2 万年前、約 16 万年前とすると、この間の断層屈曲点付近における断層下盤側の平均沈降速度は 0.5～0.6 m/千年となる。

3) 越前岬－干飯崎付近の上下変位速度

上述の隆起速度と沈降速度から、越前岬－干飯崎付近（越前海岸北部区間の南部）の最終間氷期以降の平均上下変位速度は最大で 1.5 m/千年程度に達する可能性がある。その内訳は陸側の隆起が最大約 0.9 m/千年、海側の沈降がおおよそ 0.6 m/千年であるが、後者の信頼度は低い。

6.3 マツダシ周辺で確認された活断層

(1) マツダシの東側の断層

北東－南西方向の背斜構造をなすマツダシの東側には、II 層及び一部では海底にまで変位を与える西側上がり及び東側上がりの逆断層が確認された。後者はバックスラストと考えられる。また、西側上が

りの断層による向斜状の変形の可能性がある小規模な堆積盆地状の構造が II 層中に認められた。

(2) マツダシ南方の正断層

マツダシの南方に存在する正断層群（海洋情報部，2004）については、最も東側に分布する東上がりの断層を調査した。この断層は N20～25°W 方向に約 11 km にわたって追跡され、II 層の基底を最大 5 m ほど東側上がりに変位させている。断層北部の傾斜は約 53° であり、南部ではほぼ垂直となる。

海洋情報部（2004）の探査結果によると、この断層の西側にはほぼ平行な断層群が存在する（第 30 図）。これらは地塁状や地溝状の構造を呈し、横ずれ断層によく見られる花卉状構造や反射面が V 字状に落ち込む構造を伴う（第 32, 33 図）。これらの断層は、測線 44 の南（和布沖）で一旦連続性が途切れたのち、鮎川沖で南北から南西に向きを変え、山本ほか（2000）や日本原子力発電（2010）が指摘している越前海岸沖の東西ないし東北東－西南西方向の断層に連続する（第 30 図）。これらの東西ないし東北東－西南西方向の断層も、横ずれ断層によく見られる反射面が V 字状に落ち込む構造を伴う（第 34 図）。

このようなほぼ 90° 走向が変化する断層の分布形態は、立石岬西方に分布する大陸棚外縁断層（日本原子力発電，2010）と野坂断層の海域延長部（海上保安庁，1980、日本原子力発電，2010 などの B 断層）との関係に類似し、互いに共役な横ずれ断層であることが示唆される（第 30 図）。このように考えた場合、マツダシ南方の正断層は、第 35 図に模式的に示すように、横ずれ断層浅部の花卉状構造に当たると推測される。

また、これらの正断層はマツダシとゲンタツ瀬のステップ部に位置する。今回の調査の対象としなかったマツダシ北方の正断層も、最も顕著なものは大グリ北東の南東側上がりの構造とマツダシの北西側上がりの構造の境界に位置する（第 30 図）。越前堆列の地質構造のステップとこれらの正断層との間には何らかの関係があると推測され、今後の研究課題である。

貸与・開示を受けた資料

本調査に際しては、海上保安庁海洋情報部、日本原子力発電株式会社及び福井県から、それぞれ下記の資料の貸与・開示を受けた。

貸与・開示資料 1：海上保安庁海洋情報部より

沿岸海域海底活断層調査「加賀－福井沖」の航跡図、水深図、スーパーカーシングルチャンネル音波探査記録、地層探査（表層）記録、資料整理作業報告書。

貸与・開示資料 2：日本原子力発電株式会社より

越前海岸沖ウォーターガンシングルチャンネル音波探査記録（14 測線）、越前海岸沿いウォーターガンシングル及びマルチチャンネル音波探査記録（17

測線)。

貸与・開示資料3：福井県より

平成8年度地震調査研究交付金「柳ヶ瀬断層帯に関する調査」で実施したエアガンマルチチャンネル音波探査の測線図及び探査記録(7測線)。

謝辞 本調査に際しては、福井県安全環境部危機対策・防災課，同原子力安全対策課，同農林水産部水産課，同福井港湾事務所，福井県漁業協同組合連合会及び福井市漁業協同組合の関係者の皆様にご協力・ご指導を戴いた。また，調査船の借り上げに際しては，福井市漁業協同組合のご関係の皆様にご協力・ご尽力を賜った。更に，海上保安庁海洋情報部，日本原子力発電株式会社及び福井県には，既存調査データの開示・借用について全面的なご協力を戴いた。

ここに記して，以上の皆様に篤く御礼申し上げます。

文 献

阿部信太郎・伊藤谷生・山本博文・荒井良祐・中山貴隆・岡村行信(2011) 福井平野東縁断層帯海域延長部における断層分布と活動性について。活断層・古地震研究報告，11，151-175。

福井県(1997) 平成8年度地震調査研究交付金柳ヶ瀬断層帯(柳ヶ瀬断層，山中断層，甲楽城断層)に関する調査成果報告書。福井県，165p。

福井県(1998) 平成9年度地震関係基礎調査交付金柳ヶ瀬断層帯(柳ヶ瀬断層，山中断層，甲楽城断層)に関する調査成果報告書。福井県，48p。

藤田和夫・岸本兆方(1972) 近畿のネオテクトニクスと地震活動。科学，42，422-430。

岐阜県(1996)「平成7年度地震調査研究交付金 関ヶ原断層に関する調査 成果報告書」。岐阜県，100p・216p・12p。

市川 渡(1929) 越前城崎村地方の地形と其の発達に就いて。地理学評論，5，1058-1072。

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2004) 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の長期評価について。 http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04jan_yanagase/index.htm

海上保安庁(1980) 5万分の1沿岸の海の基本図 海底地形地質調査報告書「若狭湾東部」。33p。

海上保安庁海洋情報部(2004) 沿岸海域海底活断層調査「加賀ー福井沖」資料整理作業報告書。55p。

鹿野和彦・原山 智・山本博文・竹内 誠・宇都浩三・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久(1999) 20万分の1地質図幅「金沢」，地質調査所。

活断層研究会編(1980) 日本の活断層一分布図と資料一。東京大学出版会，363p。

活断層研究会編(1991) 新編日本の活断層一分布図

と資料一。東京大学出版会，437p。

松田時彦・岡田篤正・藤田和夫(1976) 日本の活断層分布図およびカタログ。地質学論集，12，185-198。

村井 勇・金子史朗(1975) 琵琶湖周辺の活断層系。地震研究所彙報，50，93-108。

武藤 章・豊蔵 勇・松浦一樹・池戸正行(1981) 活断層調査の例ー柳ヶ瀬断層。応用地質，22，32-51。

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。DVD-ROM 2枚，付図1葉，60p。

日本原子力発電株式会社(2004) 敦賀発電所原子炉設置変更許可申請書(3号及び4号原子炉の増設)。

日本原子力発電株式会社(2008) 敦賀発電所3号及び4号炉の安全審査に係る追加調査報告書。

日本原子力発電株式会社(2010) 敦賀発電所原子炉設置変更許可申請書(3号及び4号原子炉の増設)(平成21年10月一部補正，平成22年12月一部補正)。

小川琢治(1906) 西南日本地質構造概観(二) 丹波高原。地質要報，19，45-53。

岡田篤正(1973) 中央構造線の第四紀断層運動について。杉山隆二編「中央構造線」，東海大学出版会，49-86。

岡田篤正(1979)「愛知県の地質・地盤(その4)[活断層]ー愛知県とその周辺における活断層と歴史地震ー」。愛知県防災会議地震部会，122p。

岡田篤正(2004) 柳ヶ瀬断層南部における第四紀後期の累積変位量と平均変位速度。活断層研究，24，129-138。

岡田篤正・今泉俊文・熊原康博・千田 昇・東郷正美・中田 高(2005) 1:25,000都市圏活断層図「敦賀」。国土地理院技術資料，D・1-No.449。

岡田篤正・東郷正美編(2000) 近畿の活断層。東京大学出版会，408p。

岡山俊雄(1956) 柳ヶ瀬断層と敦賀湾伊勢湾線。駿台史学，7，75-101。

太田陽子(1973) 海成段丘面上の活断層ー丹生山地西縁および佐渡ヶ島の例一。お茶の水地理，14，10-15。

太田陽子(1999) 変動地形を探るI。古今書院，204p。

太田陽子・成瀬 洋(1977) 日本の海成段丘ー環太平洋地域の海面変化・地殻変動の中での位置づけ一。科学，47，281-292。

Prell, W.L., Imbrie, J., Martinson, D., Morley, J., Pisias, N., Shackleton, N. and Streeter, H. (1986) Graphic correlation of oxygen isotope stratigraphy application

- to the late Quaternary. *Paleoceanography*, 1, 137-162.
- Ruddiman, W.F., Raymo, M.E., Martinson, D.G., Clement, B.M. and Backman, J. (1989) Pleistocene evolution: northern hemisphere ice sheets and North Atlantic Ocean. *Paleoceanography*, 4, 353-412.
- 産業技術総合研究所・福井大学（2013）沿岸海域における活断層調査「柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部/北部（海域部）」成果報告書. 文部科学省, 37p. http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/engankaiiki/h24/h24_yanagase.pdf
- 杉村 新（1963）柳ヶ瀬断層. 第四紀研究, 2, 220-231.
- 杉山雄一（2012）越前沖～若狭湾周辺の海域活断層. 日本活断層学会 2012 年度秋季学術大会及びシンポジウム「近畿の活断層と大地震」講演予稿集, 8-11.
- 杉山雄一・栗田泰夫・佃 栄吉・吉岡敏和（1993）1992 年柳ヶ瀬断層（椿坂地区）トレンチ調査. 活断層研究, 11, 100-109.
- 杉山雄一・栗田泰夫・吉岡敏和（1994）柳ヶ瀬－養老断層系ストリップマップ. 構造図 10, 地質調査所.
- 東郷正美（1974）琵琶湖北岸・野坂山地の変動地形. 地理学評論, 47, 669-683.
- 辻村太郎（1926）断層谷の性質並びに日本島一部の地形学的断層構造（予報）. 地理学評論, 2, 192-218.
- 辻村太郎（1929）日本地形誌. 古今書院, 455p.
- 辻村太郎（1932）東北日本の断層盆地（上・中・下）. 地理学評論, 8, 641-658, 747-760, 977-992.
- 塚野善蔵（1969）福井県地質図説明書. 福井県, 117p.
- 塚野善蔵・伊藤政昭（1964）敦賀市東部山地の古生層について. 福井大学学芸学部紀要第二部 自然科学, 14, 101-116.
- 脇田浩二・原山 智・鹿野和彦・三村弘二・坂本 亨・広島俊男・駒澤正夫（1992）20 万分の 1 地質図「岐阜」. 地質調査所.
- 山本博文・上嶋正人・岸本清行（2000）ゲンタツ瀬海底地質図及び同説明書. 海洋地質図, no.50, 地質調査所, 35p.
- 山本博文・木下慶之（2001）福井県越前海岸沿い活断層群の活動履歴. 地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集, Jm-005.
- 山本博文・木下慶之・中川登美雄・中村俊夫（2010）福井県越前海岸沿い断層群の活動履歴について. 福井大学地域環境研究教育センター紀要「日本海地域の自然と環境」, 17, 57-78.
- 山本博文・中川登美雄・新井房夫（1996）越前海岸に発達する海成中位段丘群の対比と隆起速度. 第四紀研究, 35, 75-85.
- 山崎直方・多田文男（1927）琵琶湖付近の地形と其の地體構造につきて. 地震研究所彙報, 2, 85-108.
- 吉岡敏和・杉山雄一・細矢卓志・逸見健一郎・渡辺俊一・田中英幸（1998）柳ヶ瀬断層の最新活動－滋賀県余呉町椿坂峠におけるトレンチ発掘調査－. 地震, 第 2 輯, 51, 281-289.

（受付：2013 年 7 月 30 日，受理：2013 年 9 月 3 日）

第1表. 音波探査測線一覧.
Table 1. List of seismic profiling lines.

測線 番号	調査日	測点	方向	測線 長 (km)	重複 部長 (km)	重複部	備考
16BM	8月5日	#1~68	E→W	8.3			
19BM	8月5日	#1~67	W→E	8.2			
22BM	8月5日	#1~67	E→W	8.2			
25BM	8月5日	#1~67	W→E	8.2			
27BM-2	8月10日	#1~157	W→E	19.5			
30BM	8月6日	#1~54	E→W	6.6		#49~54 重複	
30BM-3	8月10日	#1~86	E→W	10.6	0.625	#1~6 重複	
33BM	8月6日	#1~78	W→E	9.6		#76~78 重複	
33BM-2	8月6日	#1~83	W→E	10.2	0.250	#1~3 重複	
35BM-2	8月2日	#1~54	E→W	6.6		#1~5 重複	
35BM-3	8月9日	#1~105	E→W	13.0	0.500	#101~105 重複	
38BM	8月1日	#1~138	W→E	17.1			
41BM	8月3日	#1~114	E→W	14.1			
43BM	8月7日	#1~127	W→E	15.7			
45BM	8月9日	#1~74	W→E	9.1			東側約 1km を北方向へ 偏針
47BM	8月4日	#1~64	W→E	7.7			
49BM	8月4日	#1~58	W→E	7.0			東側約 86m 不足
52BM	8月4日	#1~58	W→E	7.0			東側約 8m 不足
54BM	8月4日	#1~60	W→E	7.2			
合計				193.9	1.375		
重複部を除いた合計					192.5		
[追加測線]							
36BM	8月1日	#1~57	W→E	7.0			採泥の事前調査用
37BM	8月1日	#1~42	E→W	5.1			採泥の事前調査用
36BS	8月7日	#1~10	W→E	1.1			採泥の事前調査用
36.5BS	8月3日	#1~15	E→W	1.7			採泥の事前調査用
37BS	8月3日	#1~19	W→E	2.2			採泥の事前調査用
37BS-2	8月6日	#1~23	W→E	2.7			採泥の事前調査用
37.5BS	8月3日	#1~17	E→W	2.0			採泥の事前調査用
38BS	8月3日	#1~14	W→E	1.6			採泥の事前調査用
38.5BS	8月3日	#1~13	E→W	1.5			採泥の事前調査用
39BS	8月3日	#1~14	W→E	1.6			採泥の事前調査用
39.5BS	8月3日	#1~26	E→W	3.1			採泥の事前調査用
合計				29.6	0.000		
重複部を除いた合計					29.6		

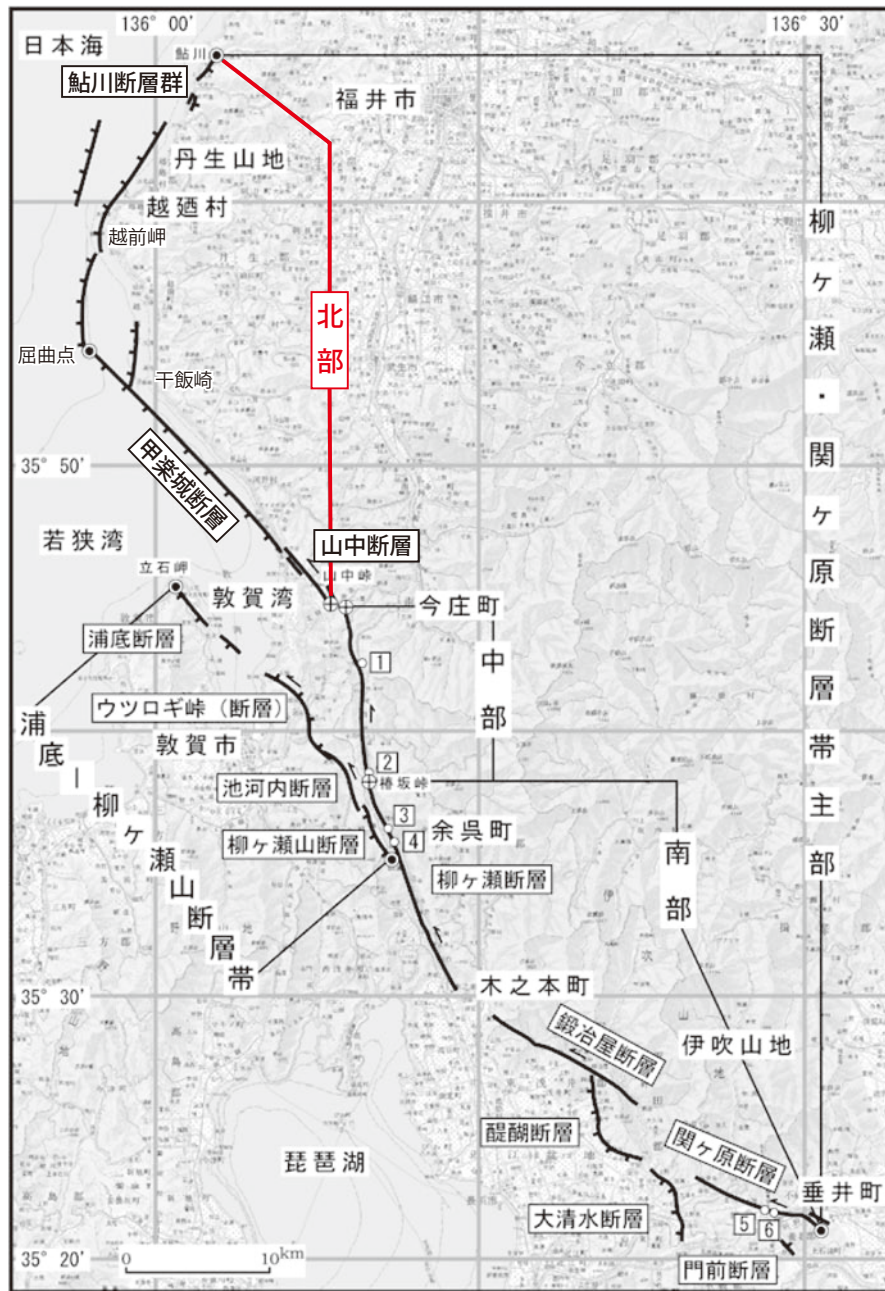
第2表. 調査地域の音響層序と陸上地質層序との対比.

Table 2. Correlation of offshore acoustic stratigraphy of the study area with onshore geologic stratigraphy of the Echizen-Kaga district.

時代	音響層序 (海洋情報部, 2004)	ゲンタツ瀬 海底地質図 (山本ほか, 2000)		陸上地質層序 (鹿野ほか, 1999; 脇田ほか, 1992)
完新世	I層	鳥取沖層群	T2層	沖積層
後期更新世	II層			中・低位段丘堆積物
前・中期更新世	III層			高位段丘堆積物
				大桑層
鮮新世	IV層	浜坂沖層群	T1層	音川層
			H2層	
	中新世	V層	香住沖層群	H1層
VI層		K2層		糸生層
VII層		K1層		

第3表. 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部 / 北部の分布・性状と活動性.
 Table 3. Summary of geometrical and activity data of the northern part of
 the Yanagase-Sekigahara Fault Zone (main part).

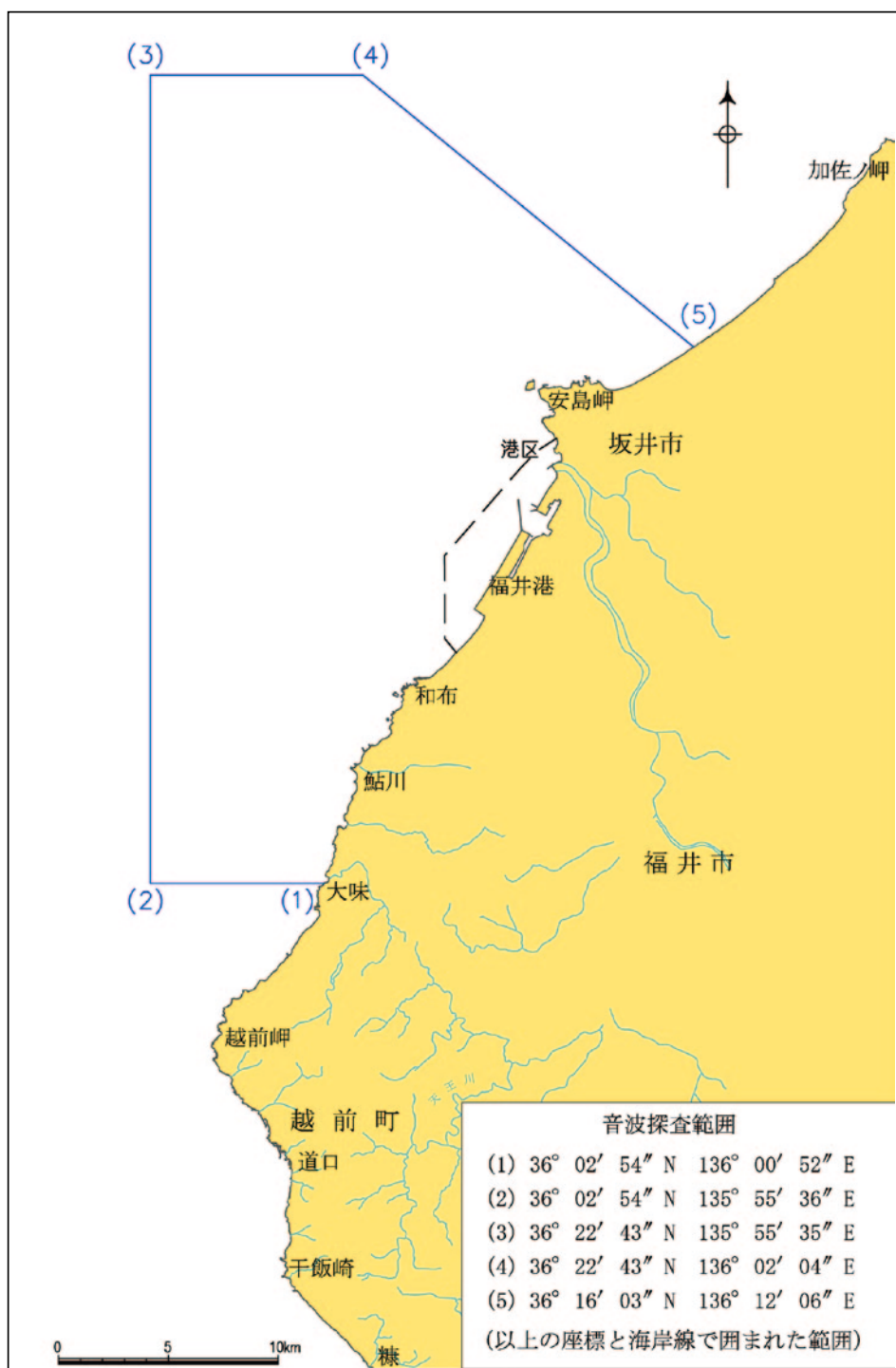
	従来評価	本調査の結果
(1)断層帯を構成する断層	鮎川断層群 甲楽城断層 山中断層	3つの屈曲点を境として, 以下の4区間 安島岬北西沖区間 福井港沖区間 越前海岸北部区間 甲楽城・山中断層区間
(2)断層帯の位置・形状と規模		
断層帯の位置(北端・南端と屈曲点)	(北端) 北緯36°06' 東経136°03' (屈曲点) 北緯35°54' 東経135°57' (南端) 北緯35°45' 東経136°08'	(北端) 北緯36°21~22', 東経136°0' (屈曲点1) 北緯36°15', 東経135°59' (屈曲点2) 北緯36°08', 東経136°03' (屈曲点3) 従来の屈曲点 (南端) 変更なし
長さ	約48km	約77~78km 安島岬北西沖区間: 11~12km 福井港沖区間: 16km(北部: 10km, 南部: 6km) 越前海岸北部区間: 25km 甲楽城・山中断層区間: 25km
一般走向	北半部: N20°E 南半部: N50°W	安島岬北西沖区間: N5°E 福井港沖区間: N23°W(全体) (北部: N33°W, 南部: N5°W) 越前海岸北部区間: N20°E 甲楽城・山中断層区間: N45°W
傾斜	北半部: 東傾斜 南半部: 約40°北東傾斜	安島岬北西沖区間: 東傾斜 福井港沖区間: 北部はほぼ鉛直 南部は東傾斜 越前海岸北部区間: 東傾斜 甲楽城・山中断層区間: ほぼ鉛直
(3)断層のずれの向きと種類	北半部: 東側隆起の逆断層 南半部: 北東側隆起の逆断層 (左横ずれ成分を伴う)	安島岬北西沖区間: 東側隆起の逆断層 福井港沖区間: 北部は左横ずれ断層 (北東側隆起の逆断層成分を伴う) 南部は東側隆起の逆断層 越前海岸北部区間: 東側隆起の逆断層 甲楽城・山中断層区間: 左横ずれ断層 (東側隆起の逆断層成分を伴う)
(4)平均変位速度	0.6~0.8m/千年もしくはそれ以上 (上下成分)	安島岬北西沖区間: 0.3~0.4m/千年程度以下(上下成分) 福井港沖区間: 0.3~0.4m/千年程度(上下成分) (福井港沖区間は左横ずれ成分を伴う) 越前海岸北部区間: 最大1.5m/千年程度(上下成分) (陸側の隆起速度最大約0.9m/千年, 海側の沈降速度およそ0.6m/千年) 甲楽城・山中断層区間: 陸側の隆起速度約0.7~0.8m/千年 (左横ずれ成分を伴う)



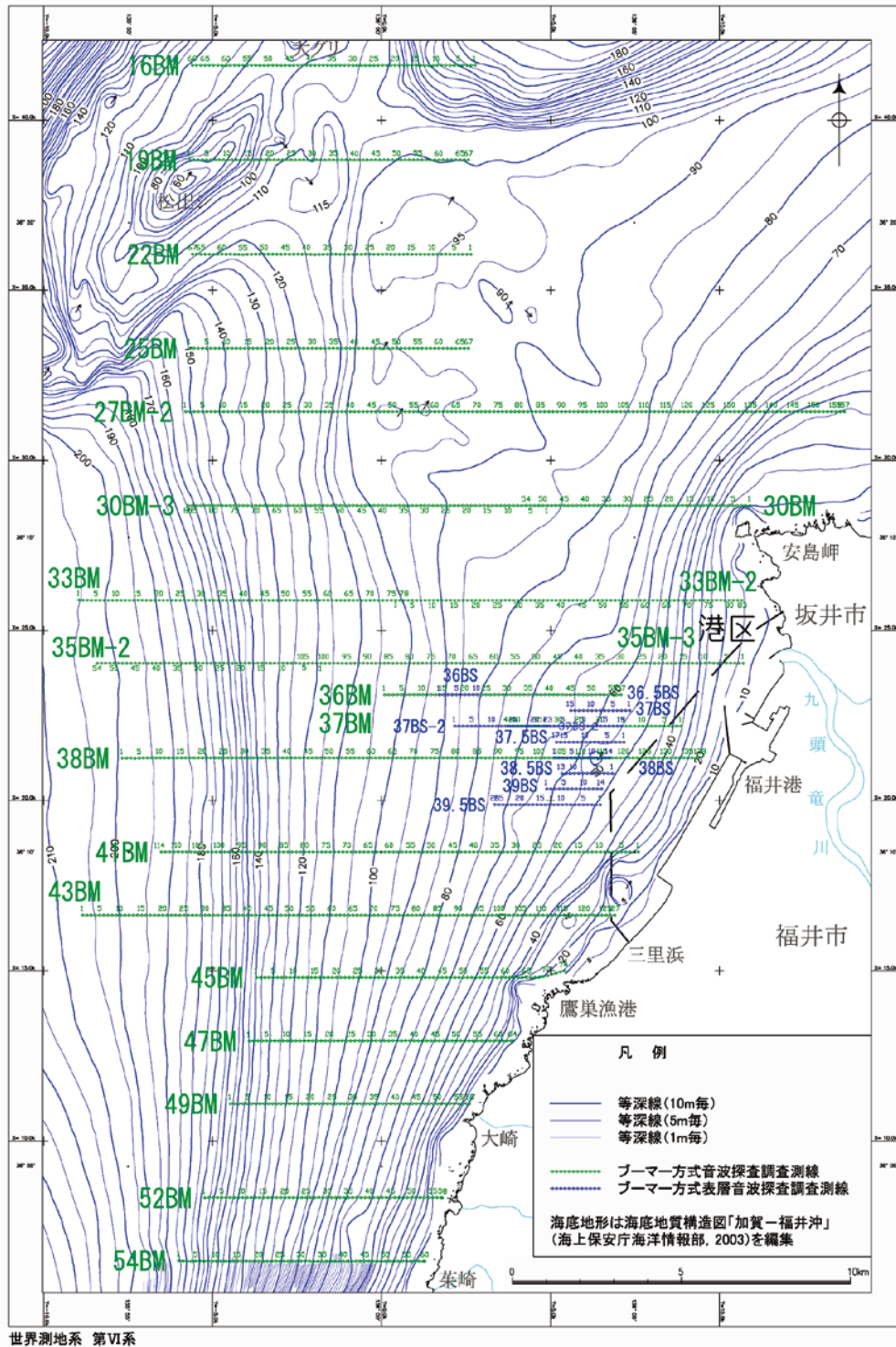
1：清水洞地点，2：椿坂峠地点，3：椿坂地点，4：雁ヶ谷口地点，5：丸山地点，6：秋葉地点
 ●：断層帯の両端と屈曲点，⊕：断層帯の北部，中部，南部の境界

第1図．柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の位置と構成断層．地震調査研究推進本部地震調査委員会（2004）．

Fig. 1. Location and constituent faults of the Yanagase-Sekigahara Fault Zone. After the Earthquake Research Committee, Headquarters for Earthquake Research Promotion (ERC/HERP, 2004).



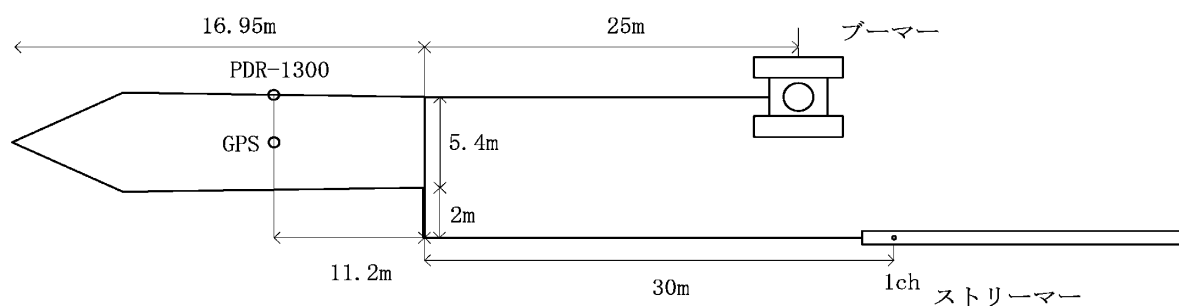
第2図. 音波探査対象海域.
Fig. 2. Planned area of seismic profiling.



第3図. 音波探査測線位置図.

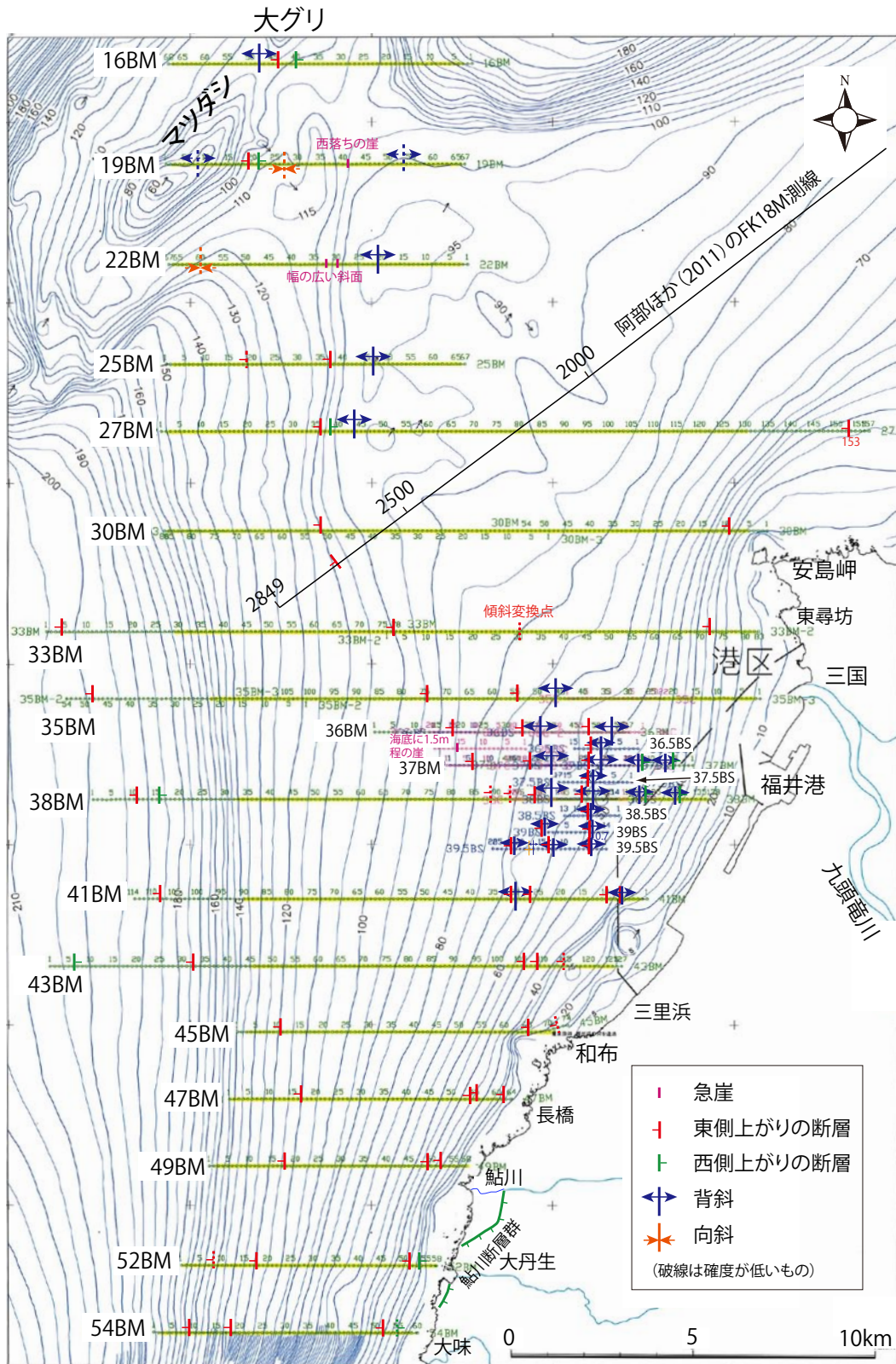
Fig. 3. Location map of the seismic profiling lines.

調査船 シーホース3



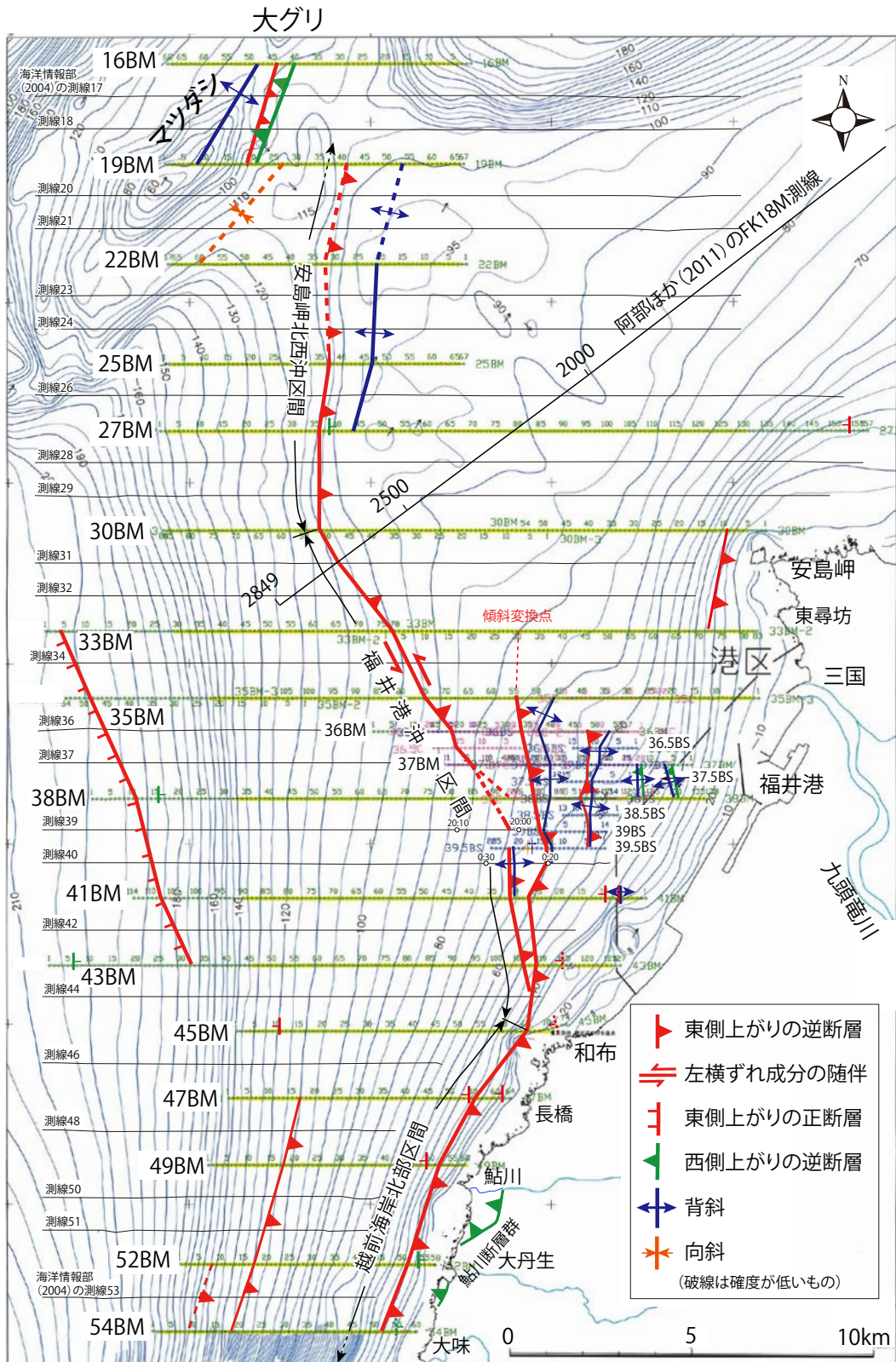
第4図. ブーマー音源及びストリーマー配置図.

Fig. 4. Configuration of survey vessel, seismic source (boomer) and receiver (streamer cable).



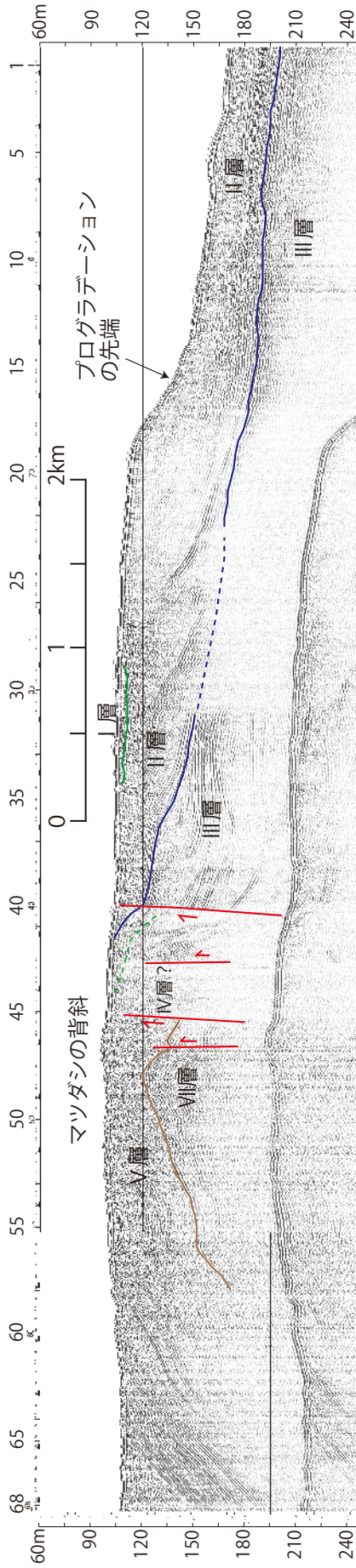
第5図. 確認された断層、褶曲及び崖の位置.

Fig. 5. Location map of identified faults, folds and scarps.

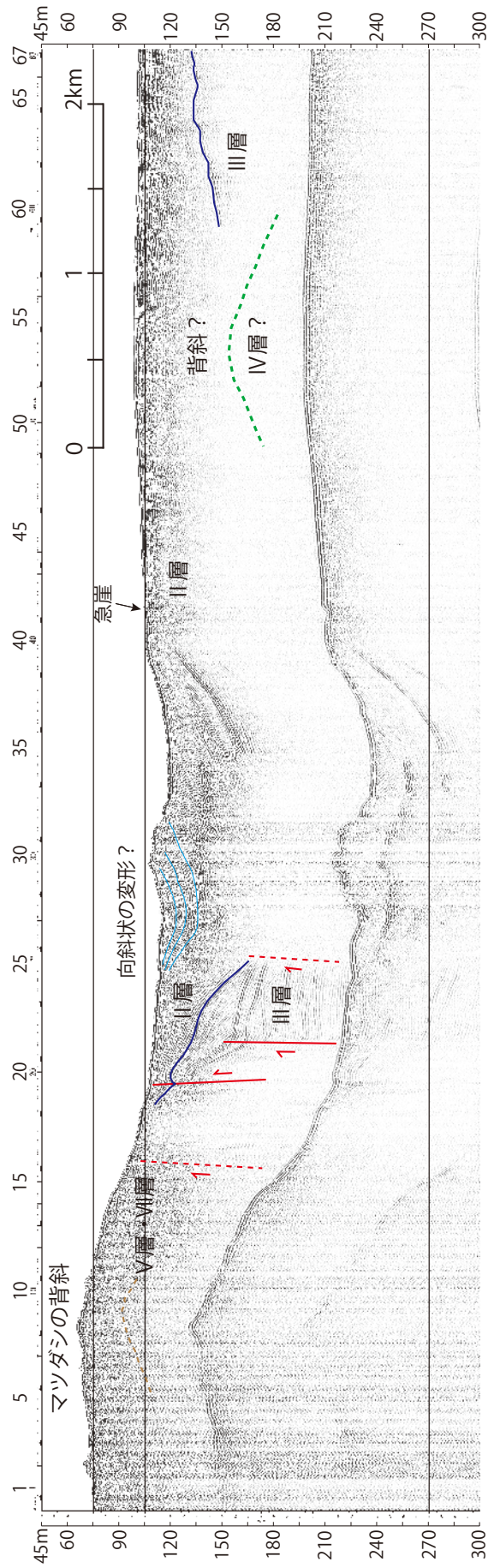


第6図. 断層及び褶曲の分布(トレース).

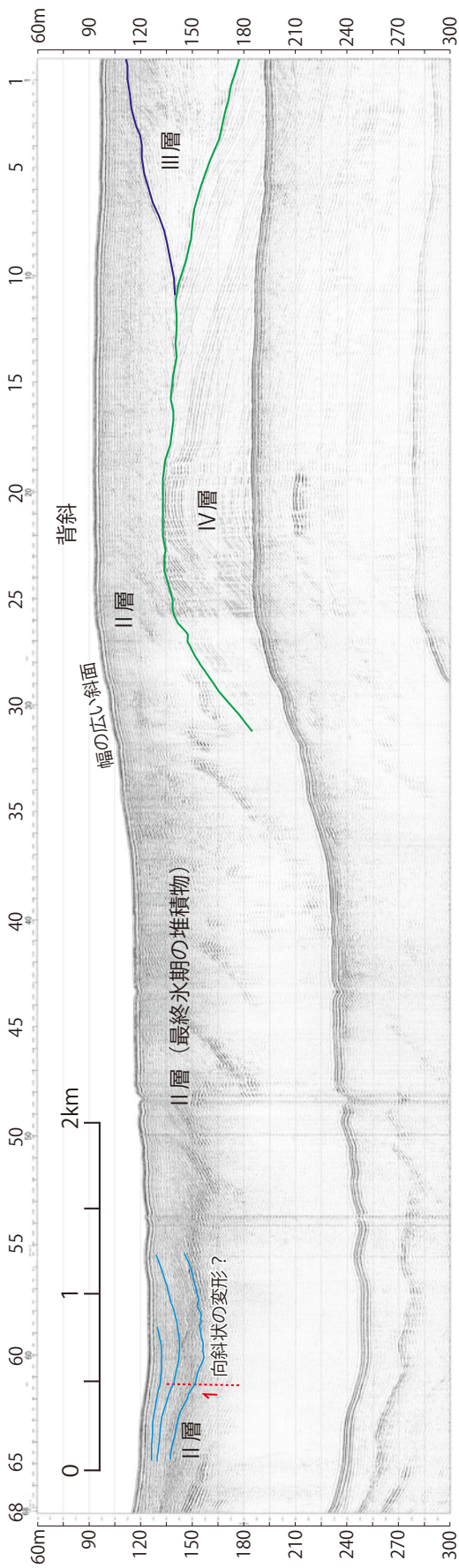
Fig. 6. Inferred distribution (trace) of faults and folds.



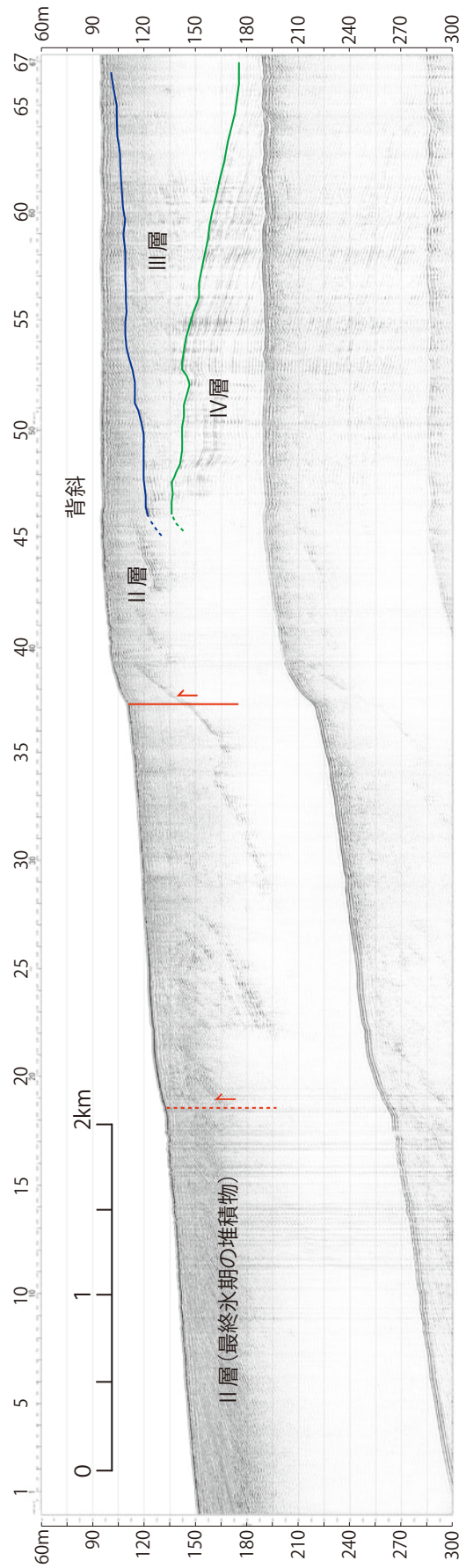
第7図．測線16 BMの反射記録。
Fig. 7. Seismic profile of line 16 BM.



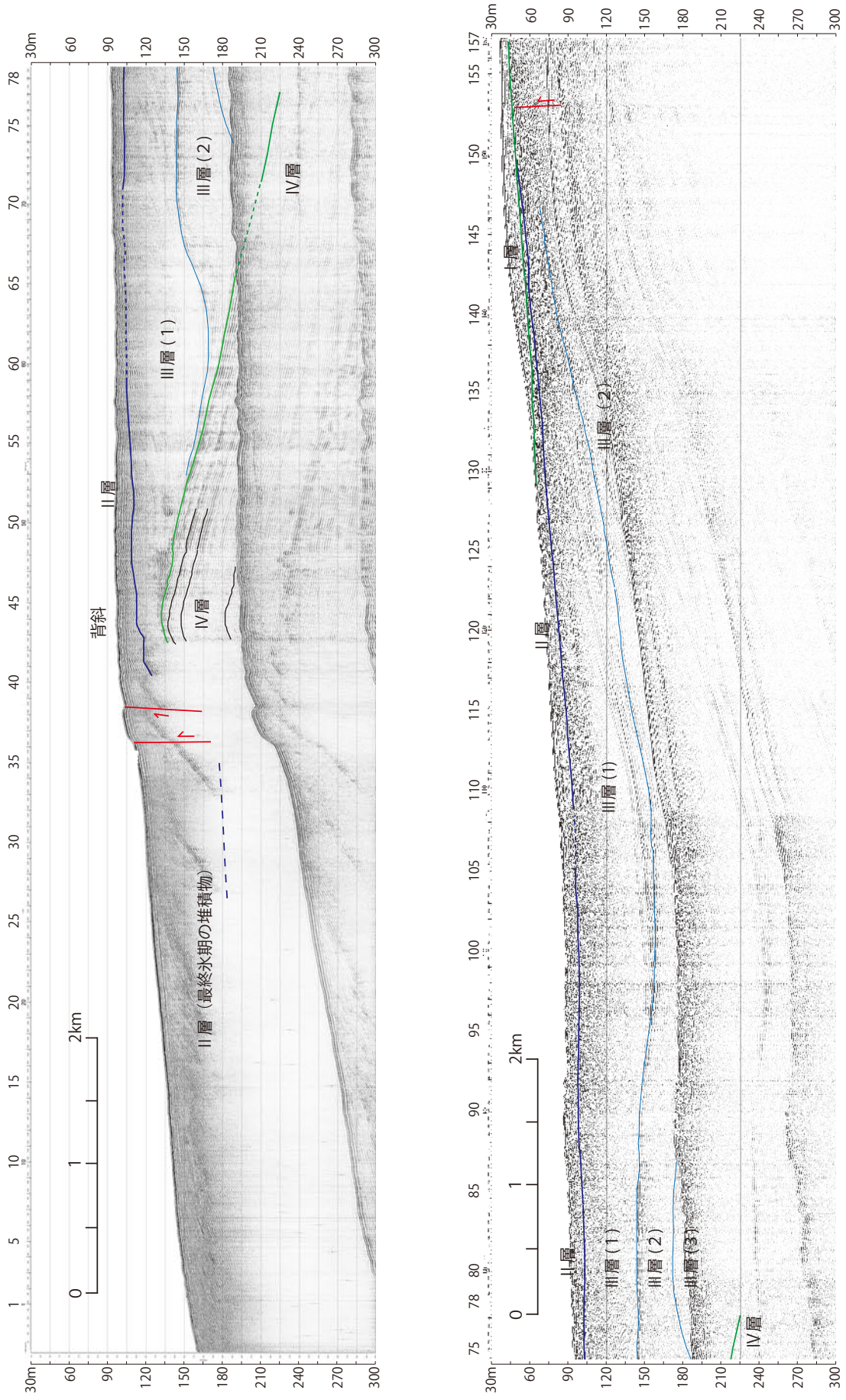
第8図．測線19 BMの反射記録。
Fig. 8. Seismic profile of line 19 BM.



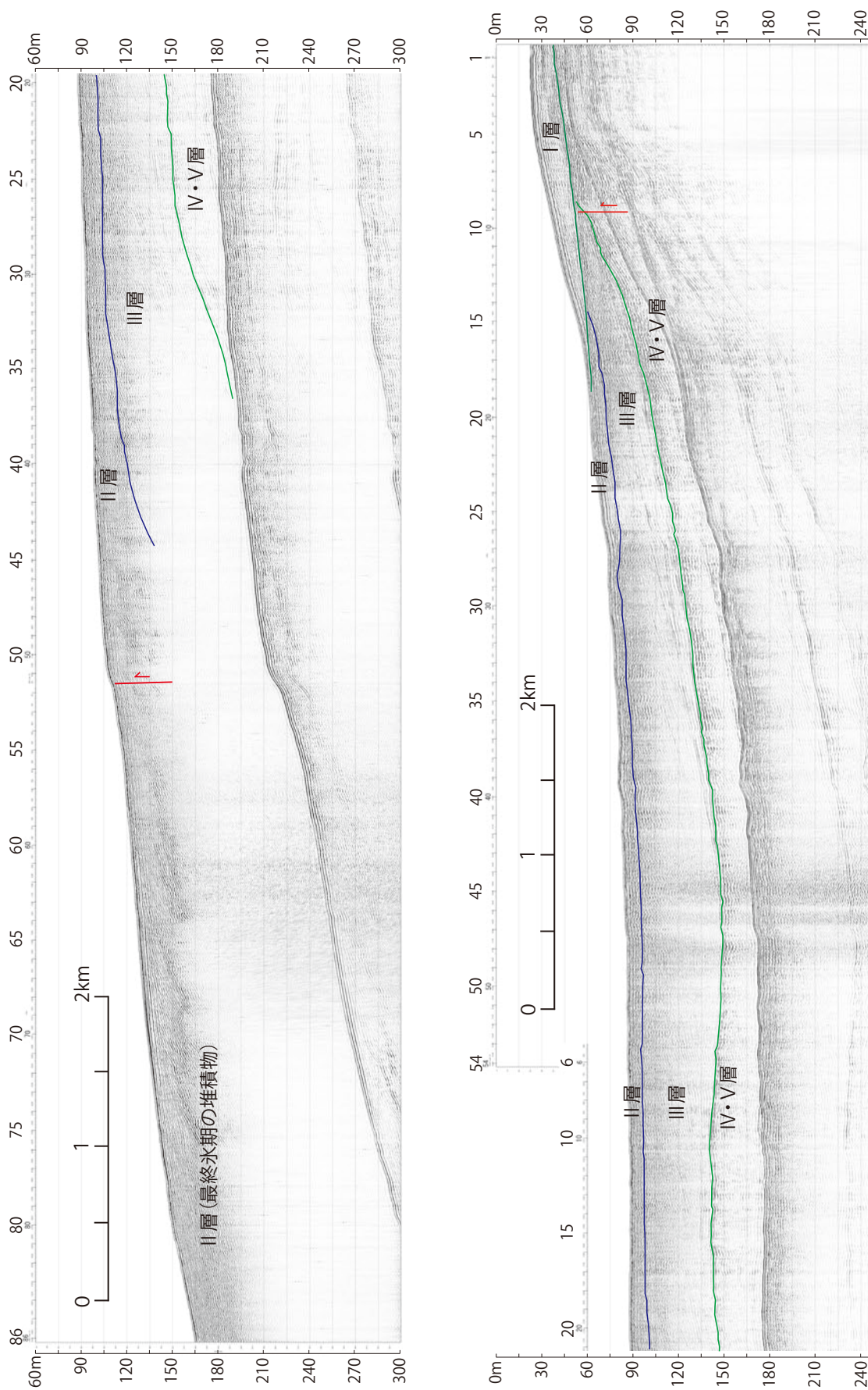
第9図. 測線 22 BM の反射記録.
Fig. 9. Seismic profile of line 22 BM.



第10図. 測線 25 BM の反射記録.
Fig. 10. Seismic profile of line 25 BM.

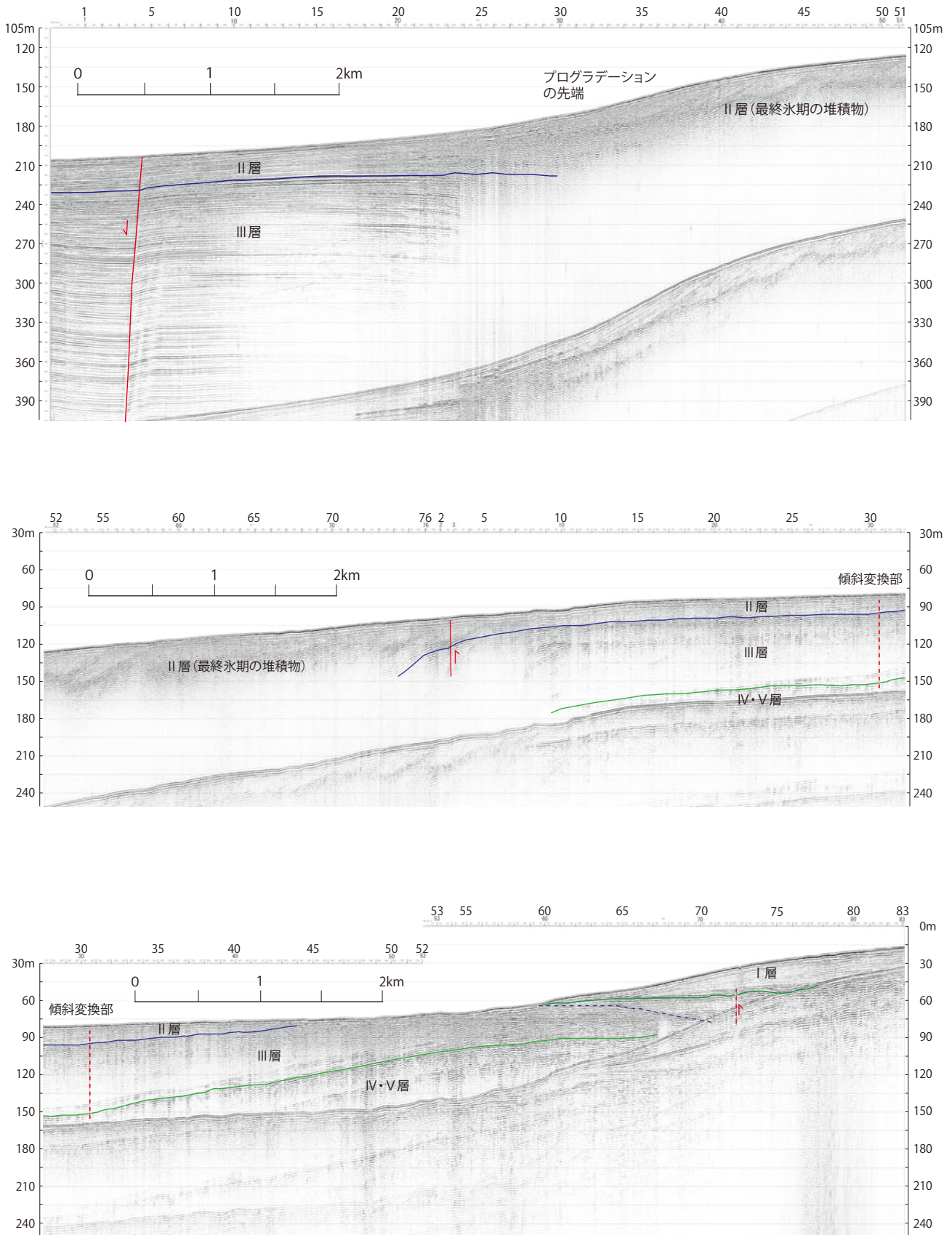


第 11 図. 測線 27 BM の反射記録. 上: 西部, 下: 東部.
Fig. 11. Seismic profiles of line 27 BM. Top: western part, bottom: eastern part.



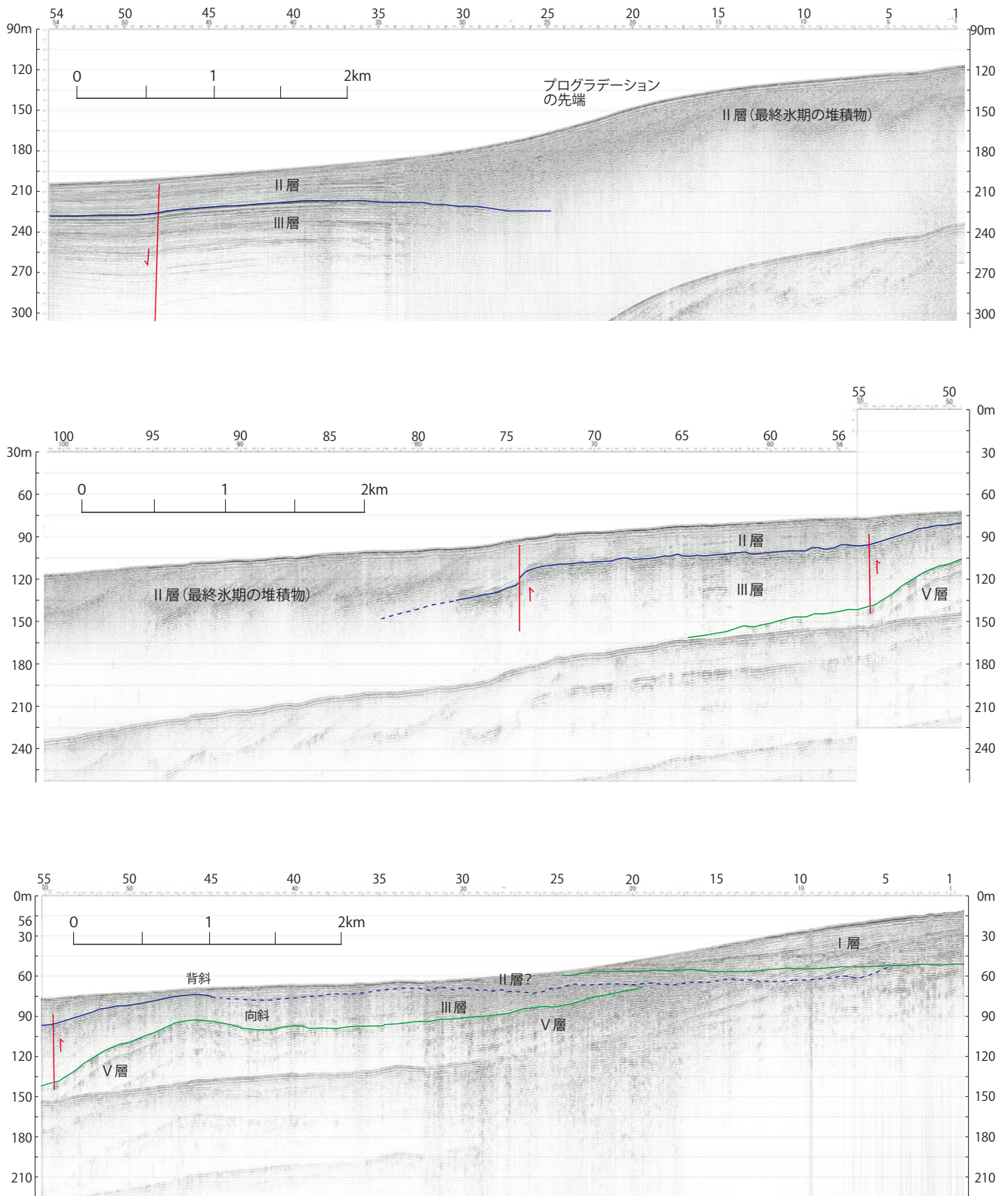
第12図. 測線30 BMの反射断面. 上: 西部, 下: 東部.
Fig. 12. Seismic profiles of line 30 BM. Top: western part, bottom: eastern part.

柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部北方延長域（坂井市沖～福井市沖）における活断層の分布と活動性



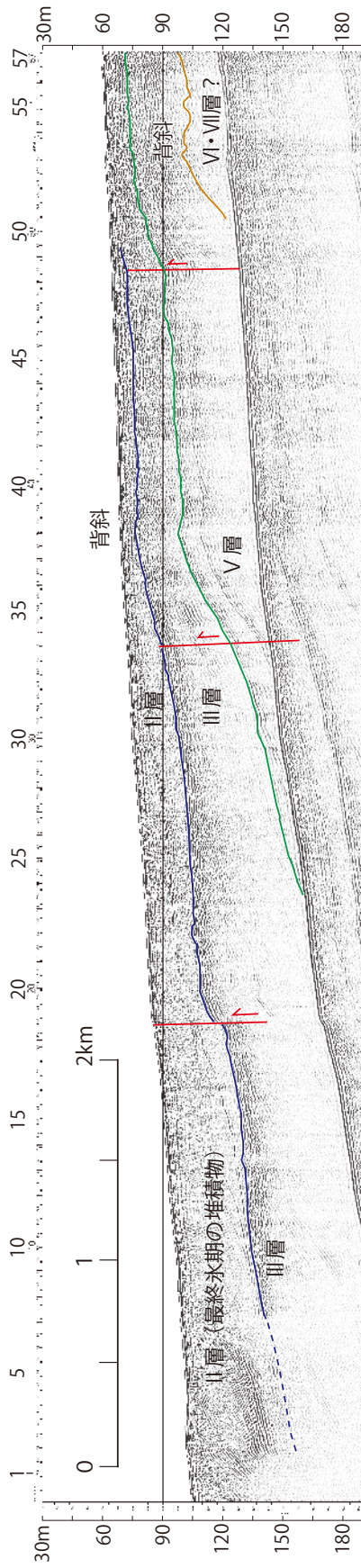
第13図. 測線33 BMの反射断面. 上: 西部, 中: 中部, 下: 東部.

Fig. 13. Seismic profiles of line 33 BM. Top: western part, middle: central part, bottom: eastern part.

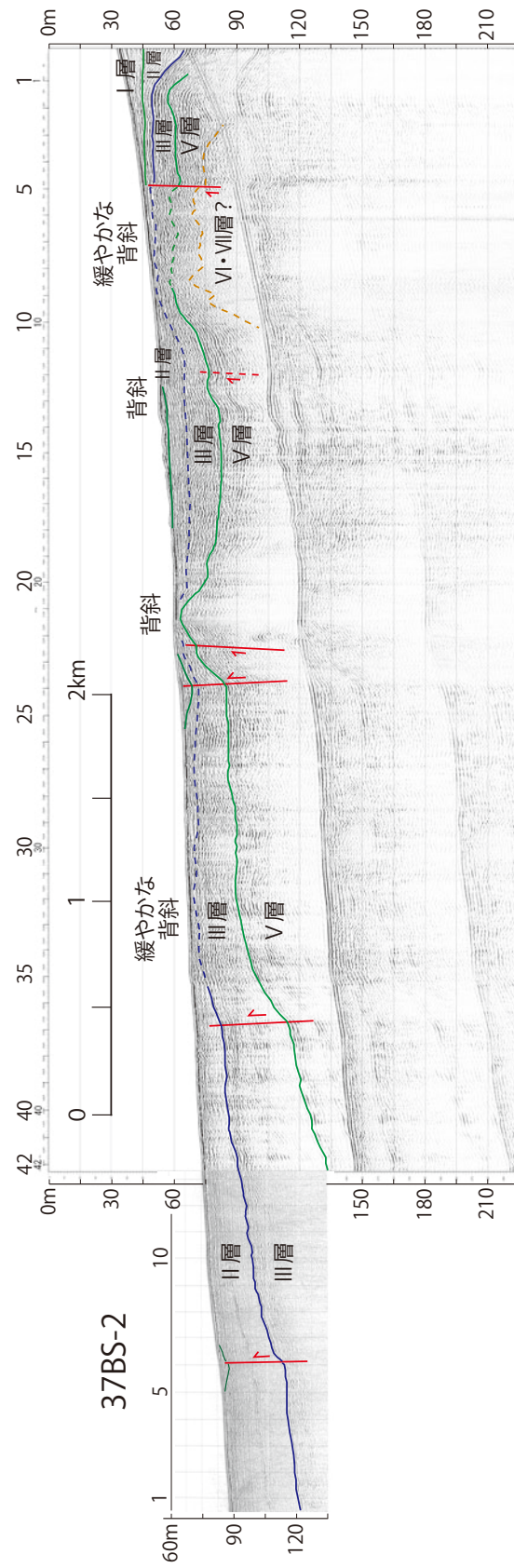


第 14 図. 測線 35 BM の反射断面. 上: 西部, 中: 中部, 下: 東部.

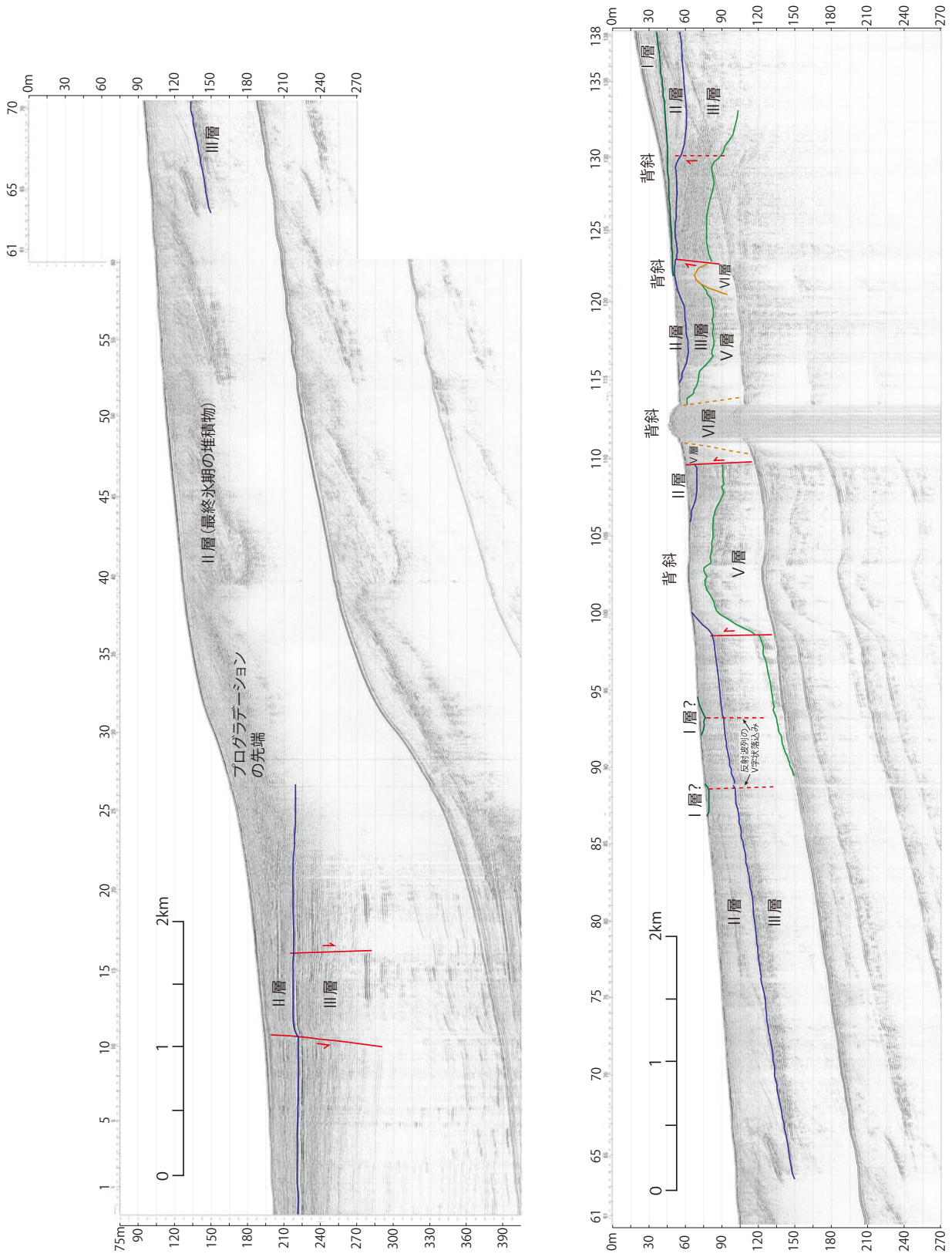
Fig. 14. Seismics profile of line 35 BM. Top: western part, middle: central part, bottom: eastern part.



第15図. 測線 36 BM の反射断面.
Fig. 15. Seismic profile of line 36 BM.

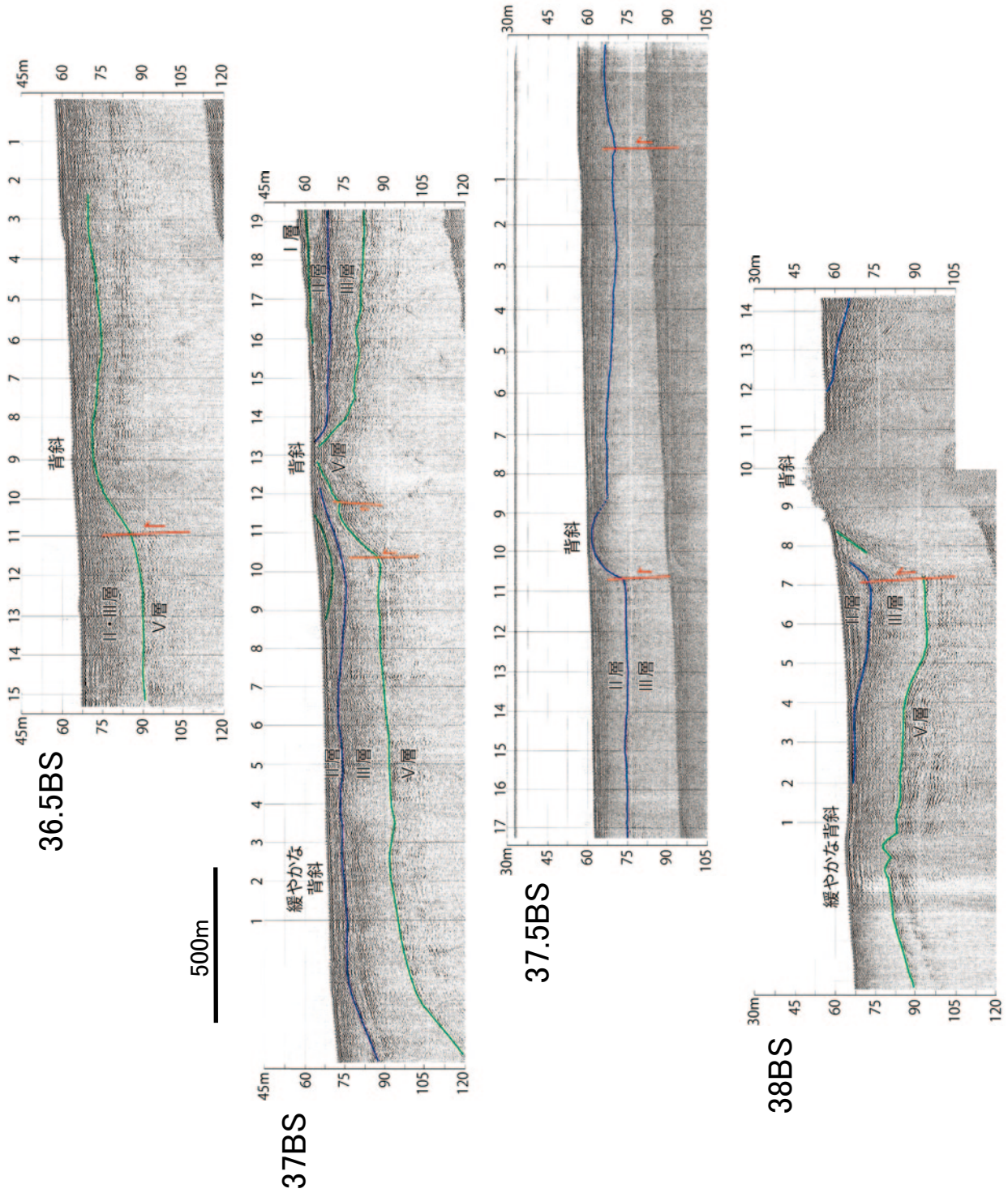


第16図. 測線 37 BS-2 及び 37 BS-1 の反射断面.
Fig. 16. Seismic profile of lines 37 BS-2 and 37 BS-1.

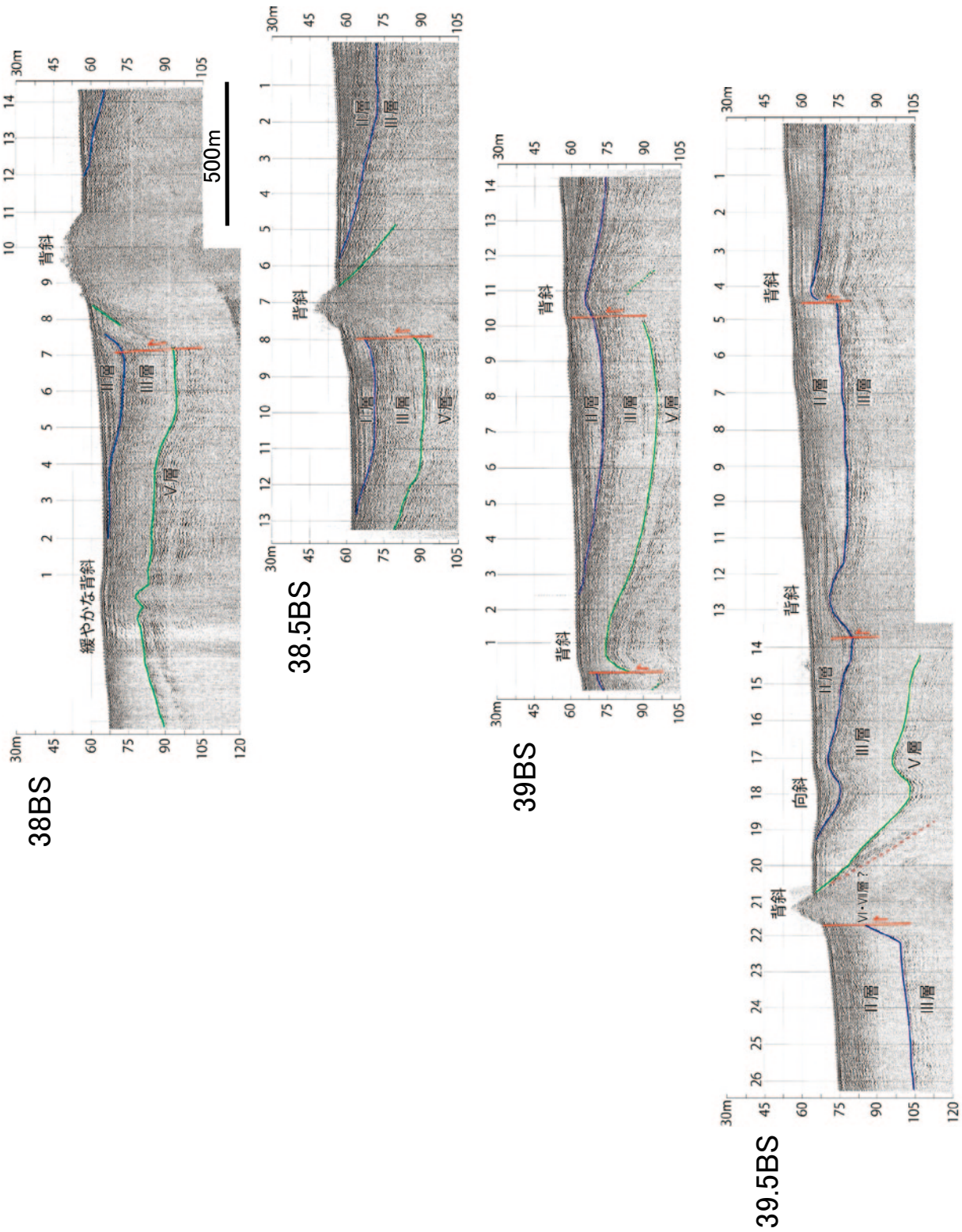


第17図. 測線38 BMの反射断面. 上: 西部, 下: 東部.

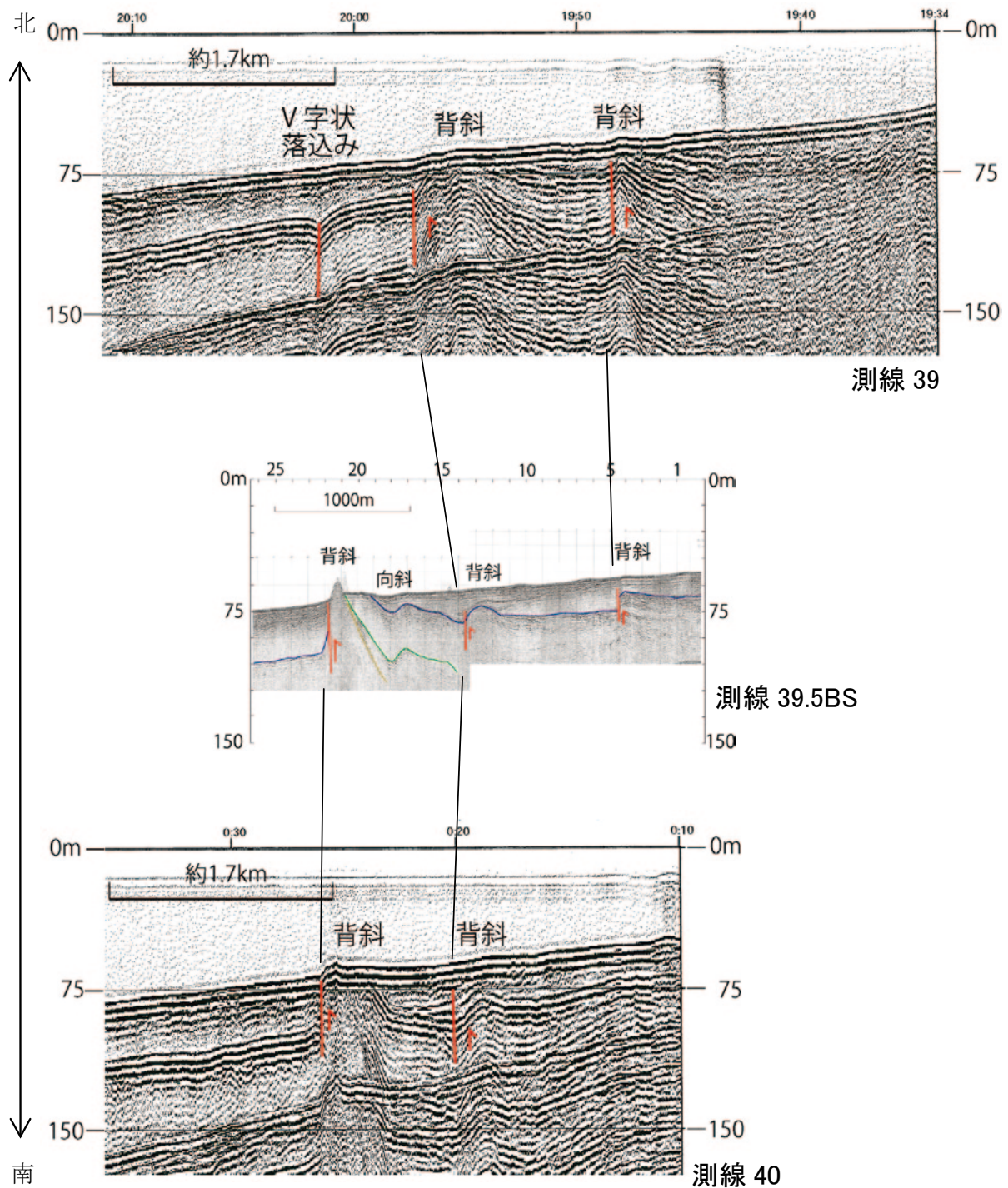
Fig. 17. Seismic profiles of line 38 BM. Top: western part, bottom: eastern part.



第18図. 福井港沖でのシングルチャンネル探査による反射断面（その1：測線 36.5BS, 37BS, 37.5BS, 38BS）.
 Fig. 18. Seismic profiles by single-channel survey off Fukui port (1: lines 36.5Bs, 37BS, 37.5BS and 38BS).

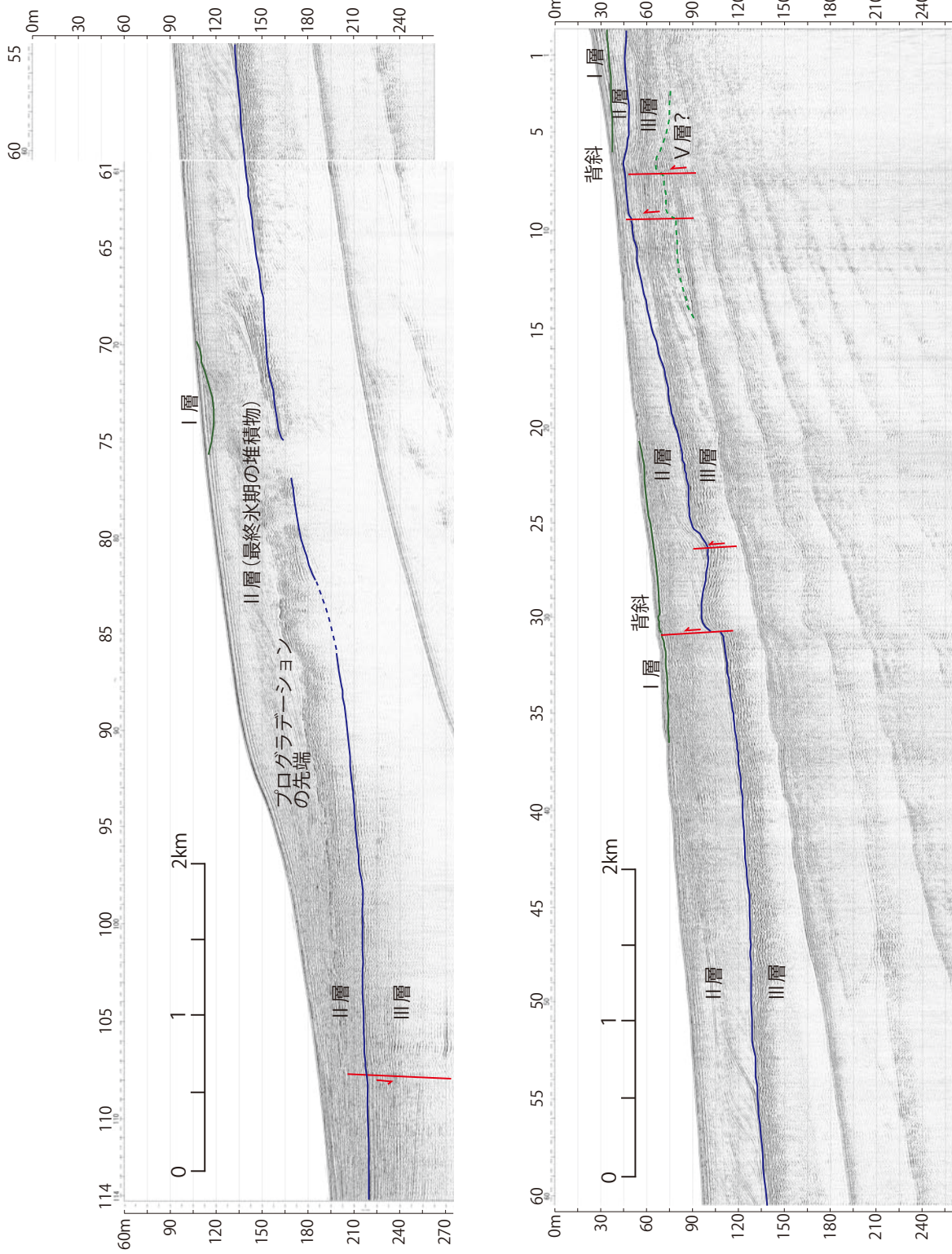


第 19 図. 福井港沖でのシングルチャンネル探査による反射断面 (その 2: 測線 38BS, 38.5BS, 39BS, 39.5BS).
 Fig. 19. Seismic profiles by single-channel survey off Fukui port (2: lines 38BS, 38.5Bs, 39BS and 39.5BS).

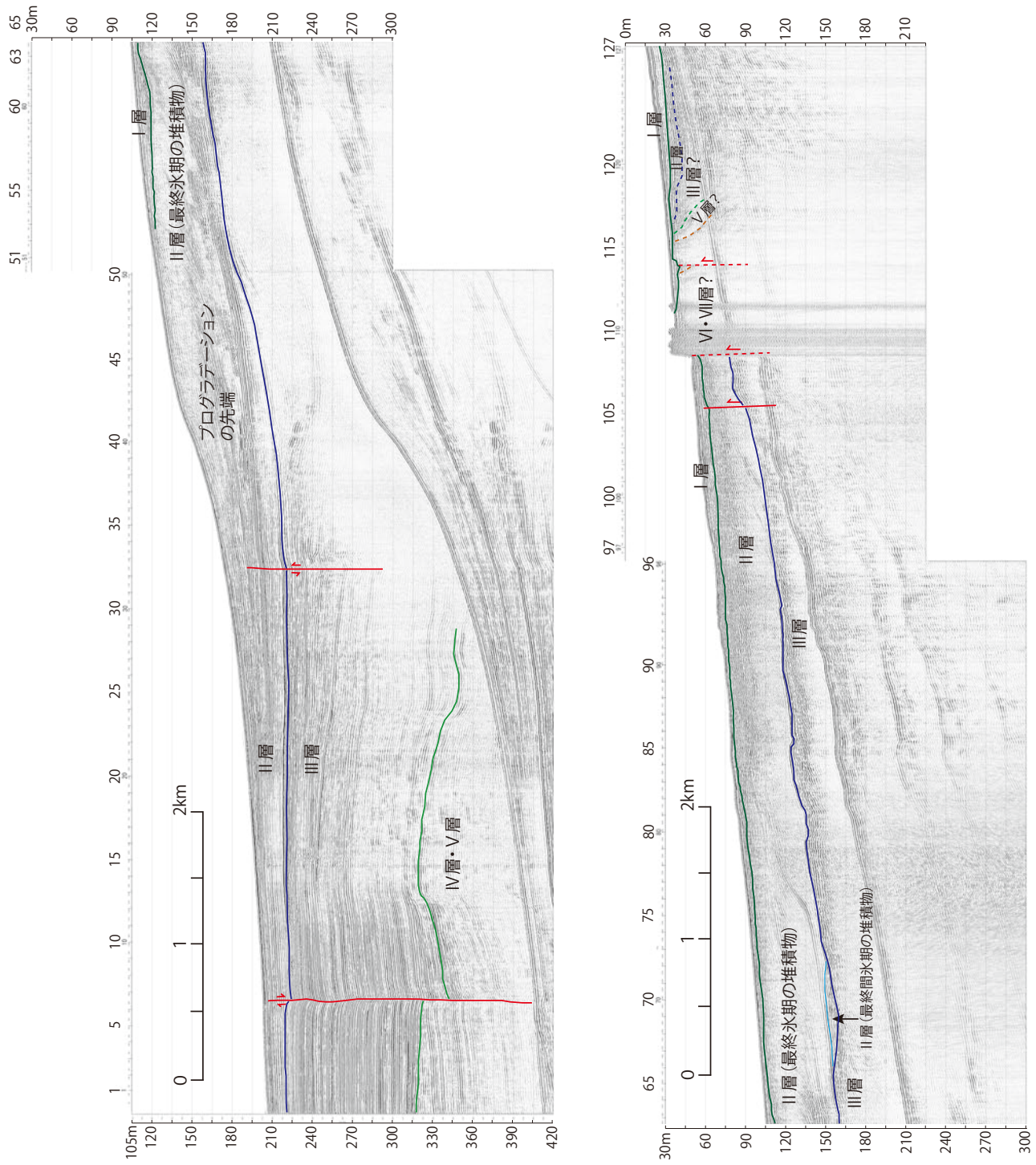


第20図. 測線39及び40（海洋情報部，2004）及び測線39.5BS（本調査）の反射断面と地質構造の北から南への追跡. 各測線の位置は第6図参照.

Fig. 20. Seismic profiles of lines 39 and 40 by Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard (2004) and line 39.5 BS by the present study, and north-to-south tracking of the geologic structures. See Fig. 6 for the location of each profile line.

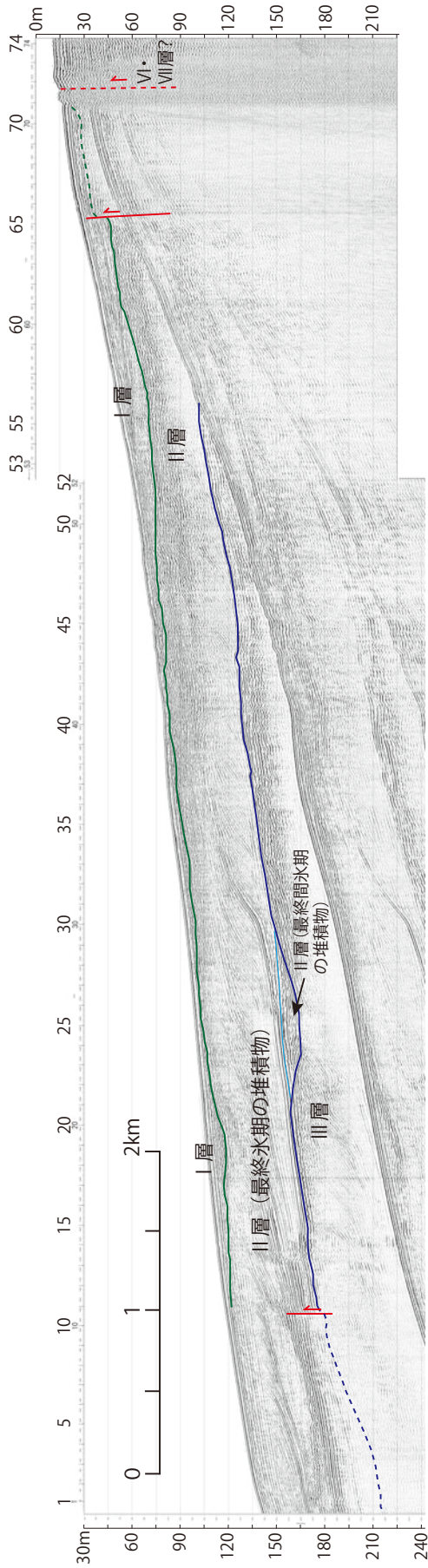


第21図. 測線41 BMの反射断面. 上: 西部, 下: 東部.
Fig. 21. Seismic profiles of line 41 BM. Top: western part, bottom: eastern part.

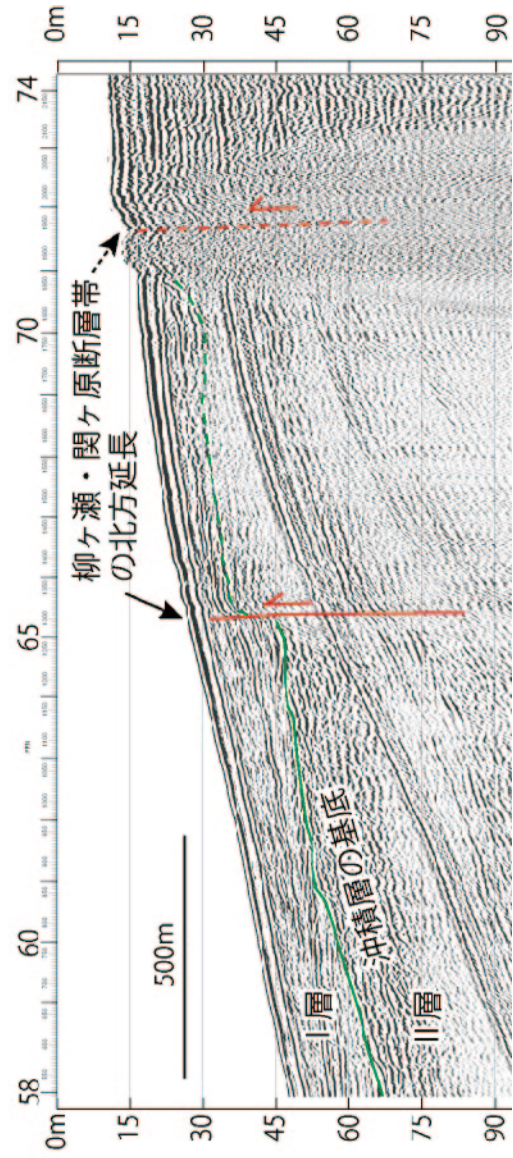


第22図. 測線43 BMの反射断面. 上: 西部, 下: 東部.

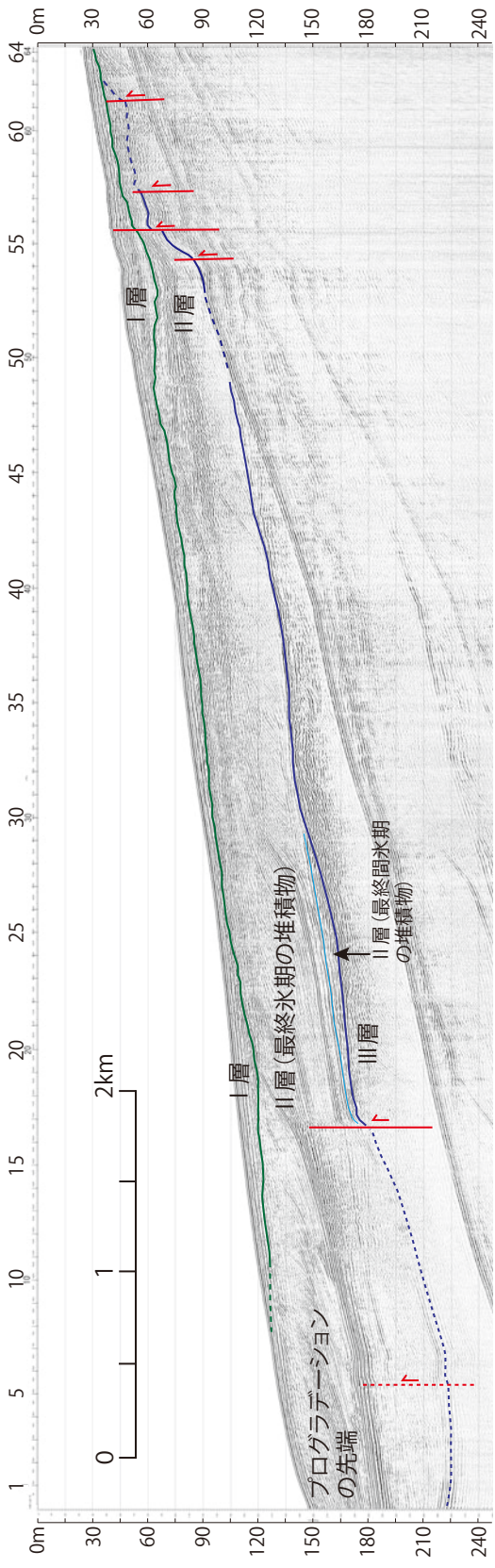
Fig. 22. Seismic profiles of line 43 BM. Top: western part, bottom: eastern part.



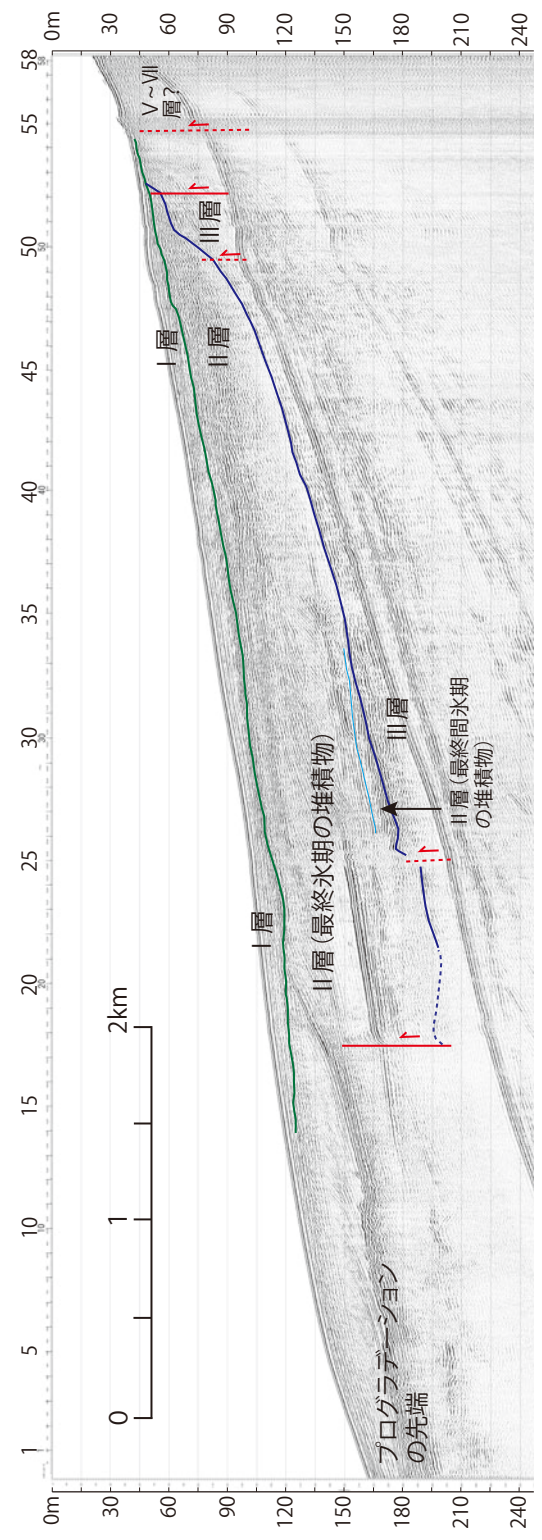
第23図. 測線45 BMの反射断面.
Fig. 23. Seismic profile of line 45 BM.



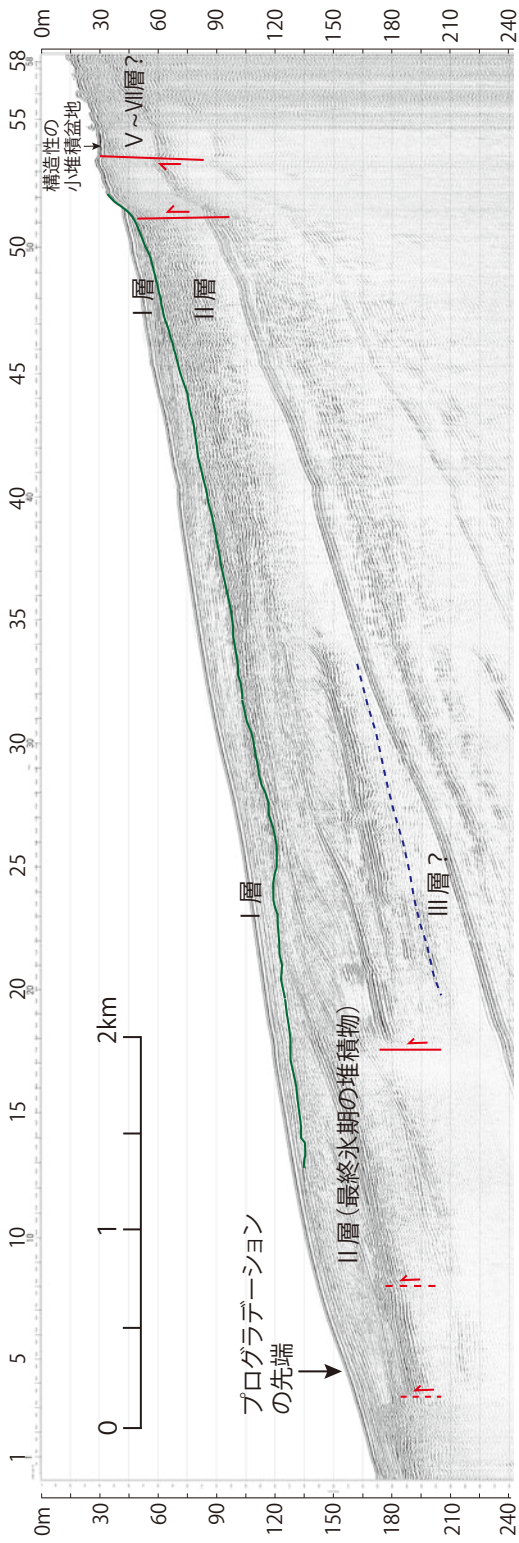
第24図. 測線45 BM 東端部の断層近傍の反射断面 (拡大図).
Fig. 24. Close-up of the easternmost part of line 45 BM.



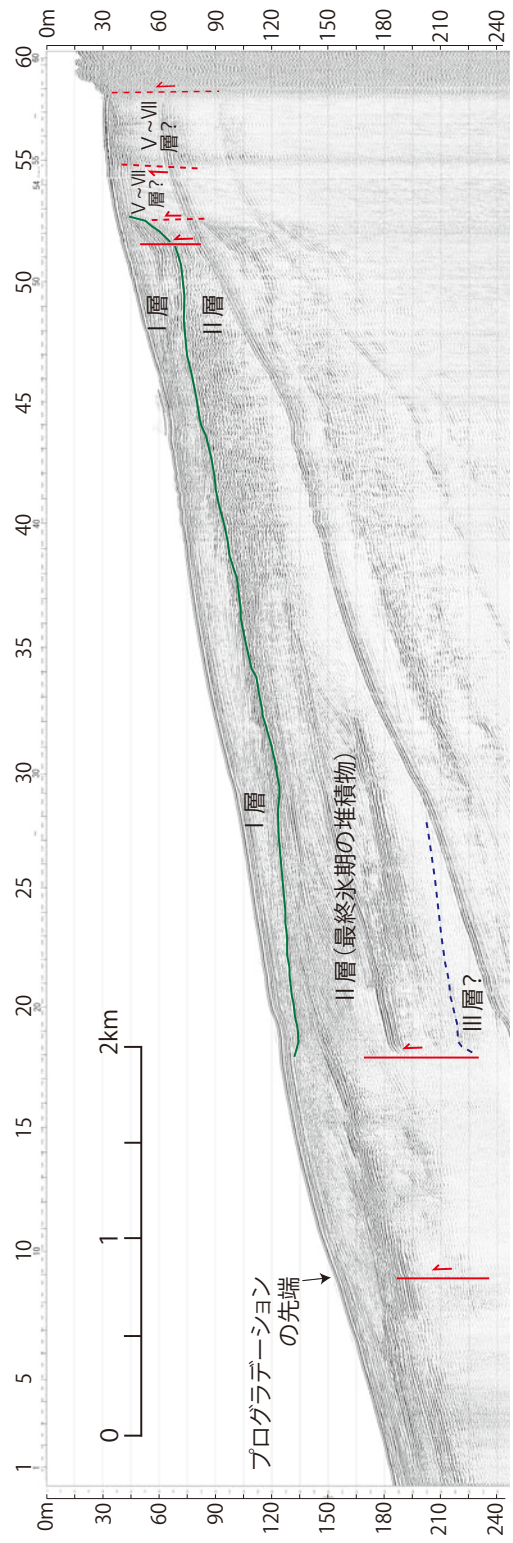
第25図. 測線47 BMの反射断面.
Fig. 25. Seismic profile of line 47 BM.



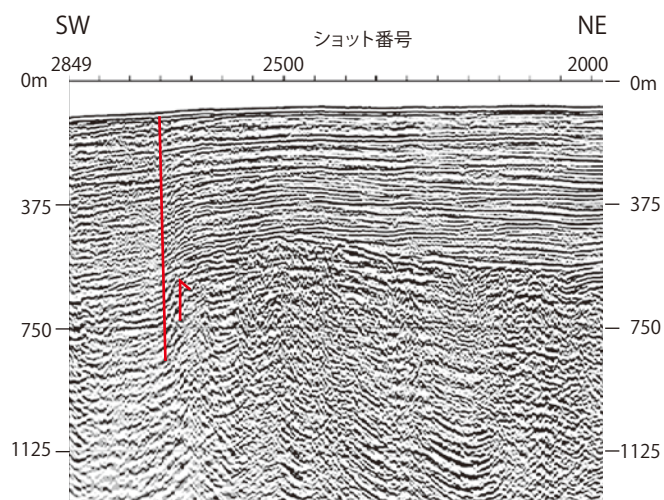
第26図. 測線49 BMの反射断面.
Fig. 26. Seismic profile of line 49 BM.



第27図. 測線 52 BM の反射断面.
Fig. 27. Seismic profile of line 52 BM.

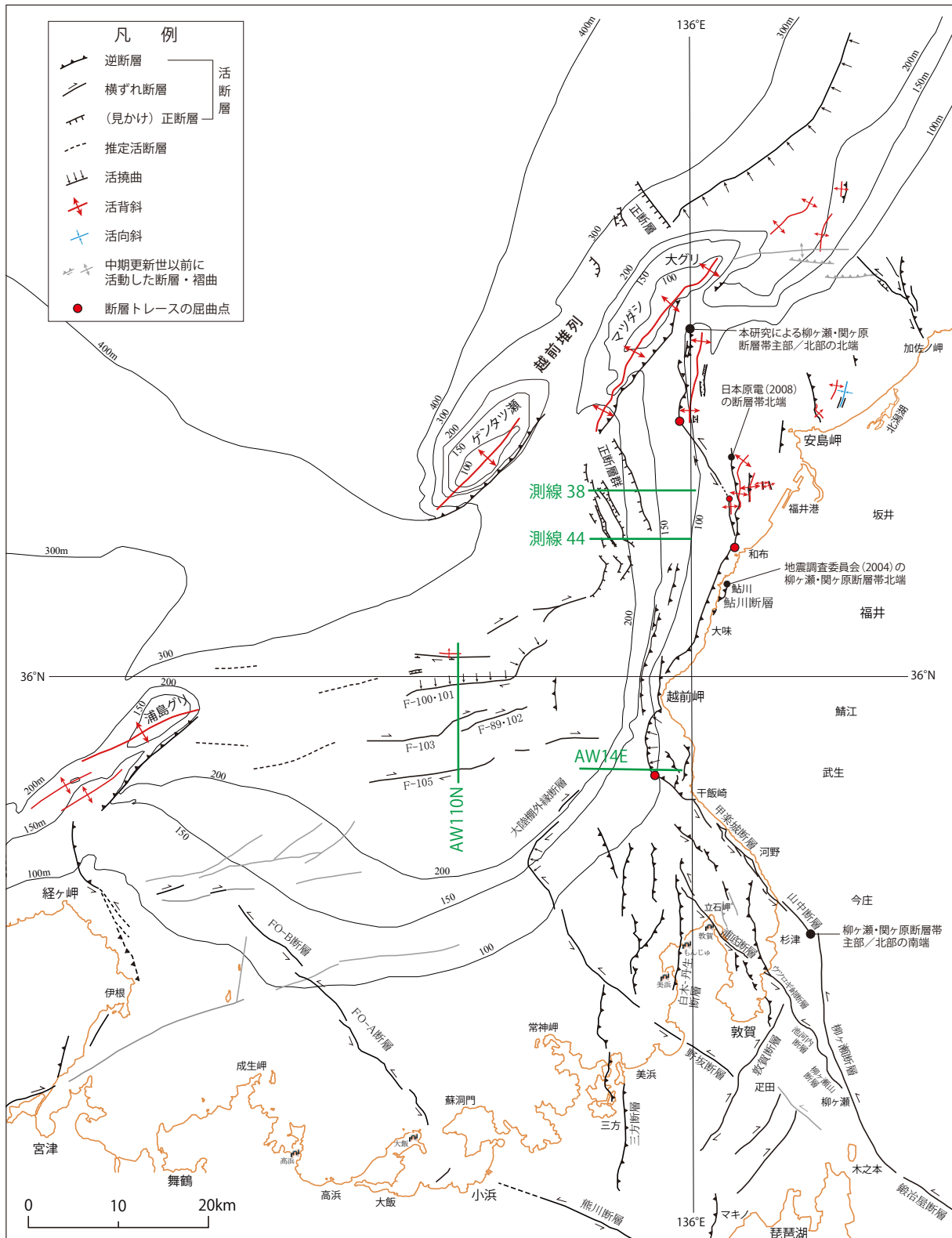


第28図. 測線 54 BM の反射断面.
Fig. 28. Seismic profile of line 54 BM.



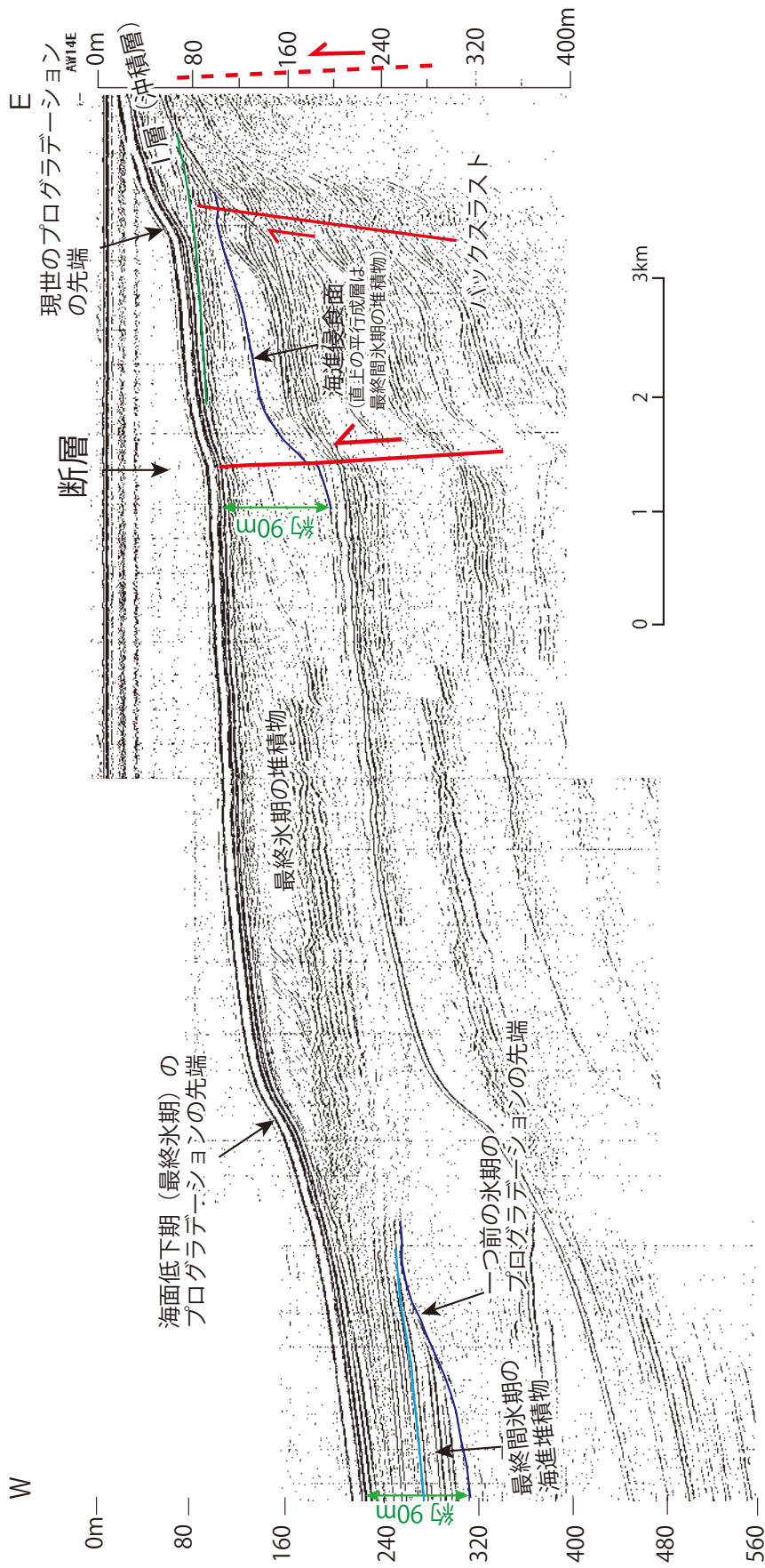
第 29 図. 安島岬の西方約 12 km（測線 31 付近）で確認された東上がりの断層.
阿部ほか（2011）による. 測線の位置は第 5 図参照.

Fig. 29. An east-side-up fault identified by air-gun seismic profiling about 12 km west of
Cape Anto. After Abe *et al.* (2011). See Fig. 5 for the location of the profile line.

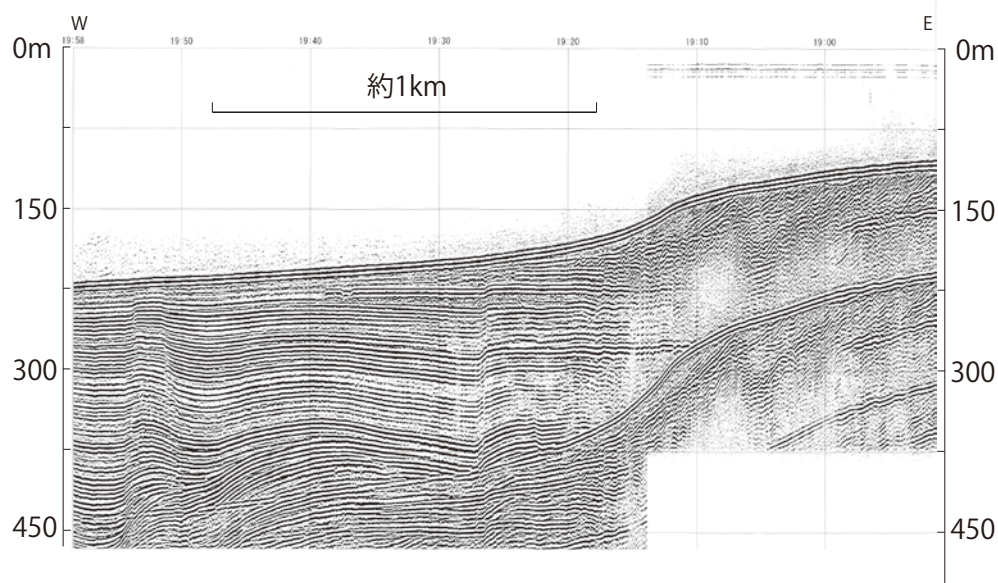


第 30 図. 越前海岸沖～若狭湾周辺の活断層. 杉山 (2012) を一部修正.

Fig. 30. Active faults off Echizen Coast and in the vicinity of Wakasa Bay. Partly modified after Sugiyama (2012).

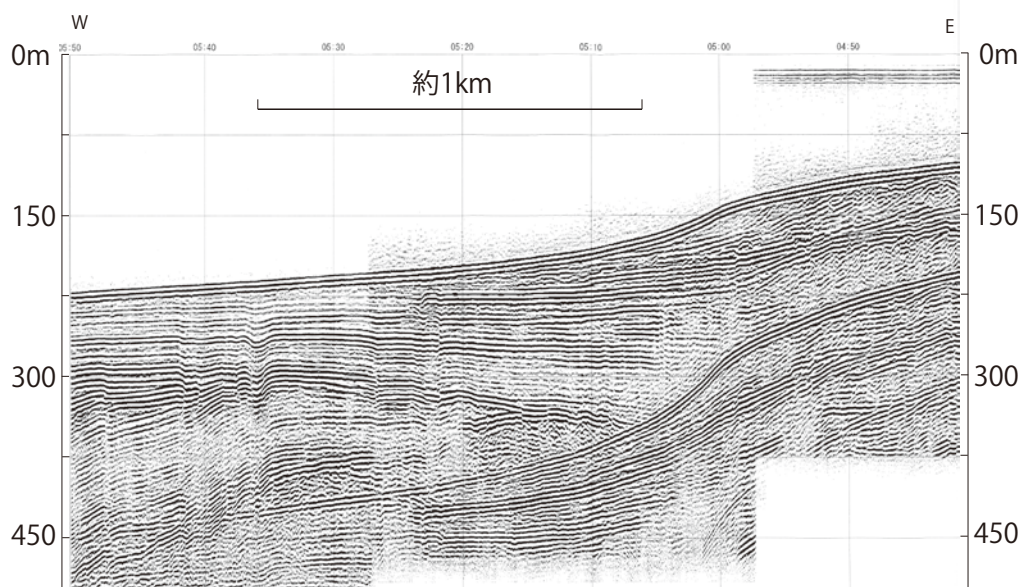


第 31 図. 干飯崎北西沖の反射断面. 日本原子力発電の測線 AW14E の探査記録の一部 (貸与・開示資料 2). 測線の位置は第 30 図中の AW14E. Fig. 31. E-W-striking seismic profile northwest off Cape Karei. Part of the profile along line AW14E by the Japan Atomic Power Company (granted/disclosed materials 2). See Fig. 30 for the location of the profile line.



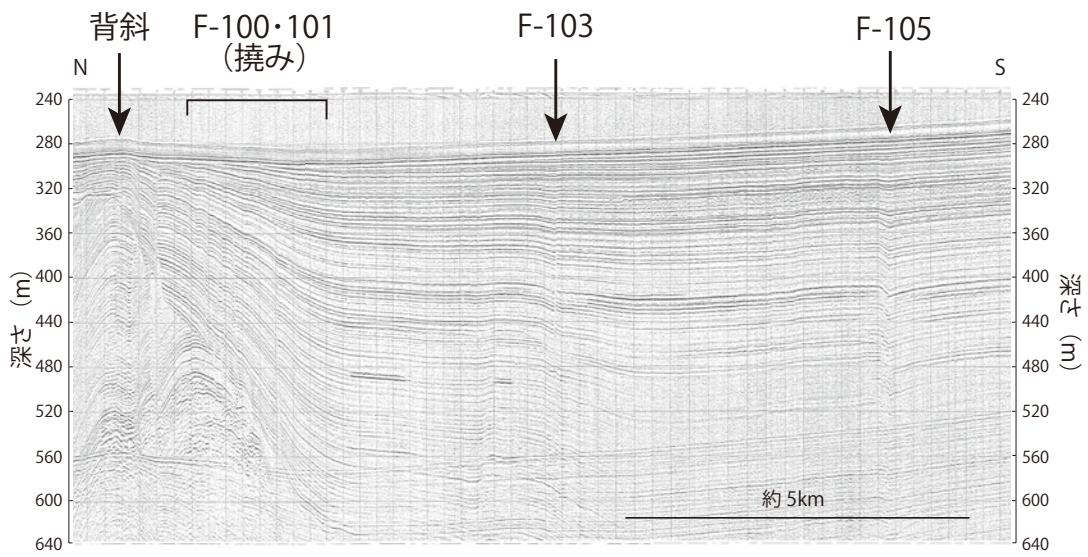
第 32 図. 海洋情報部 (2004) の測線 38 西部の反射断面. 正断層と地塁状の構造が見られる. 測線の位置は第 30 図中の測線 38.

Fig. 32. Seismic profile of the western part of line 38 by Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard (2004). Normal faults and horst-like structures occur. See Fig. 30 for the location of the profile line.

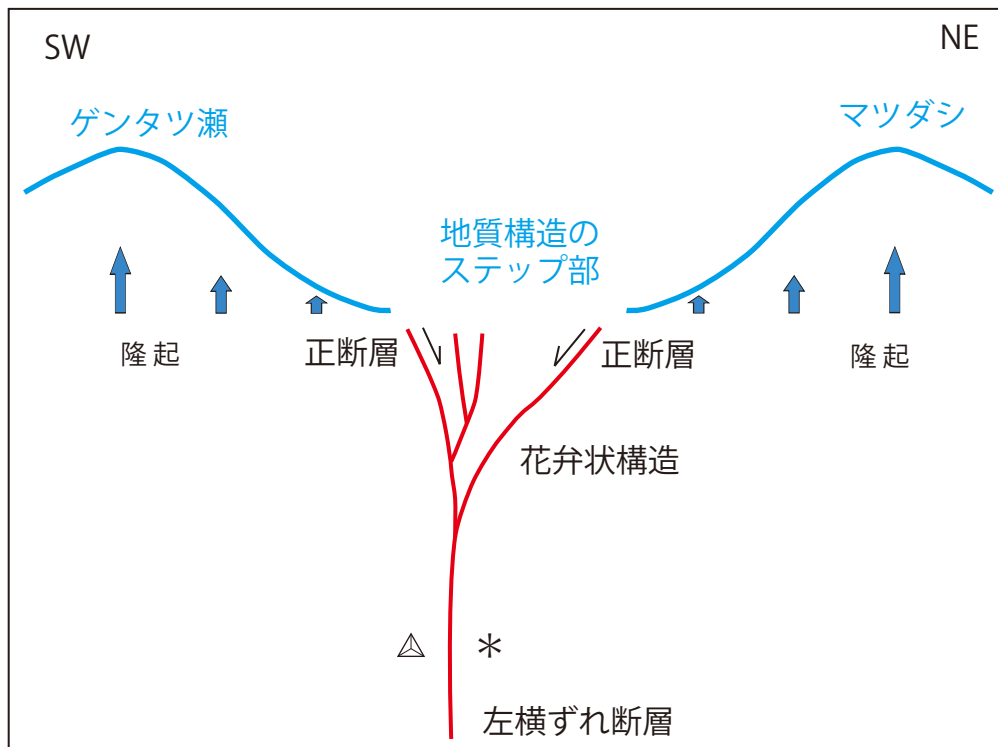


第 33 図. 海洋情報部 (2004) の測線 44 西部の反射断面. 正断層や V 字状の落ち込み構造が見られる. 測線の位置は第 30 図中の測線 44.

Fig. 33. Seismic profile of the western part of line 44 by Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard (2004). Normal faults and V-shaped depression of reflection surfaces occur. See Fig. 30 for the location of the profile line.



第 34 図. 越前岬沖の東西走向の活断層を横切る反射断面. 日本原子力発電の測線 AW110N の探査記録の一部 (貸与・開示資料 2). 測線の位置は第 30 図中の AW110N.
 Fig. 34. Seismic profile crossing E-W-striking active faults (F-100·101, F-103 and F-105) off Cape Echizen. Part of the profile along line AW110N by the Japan Atomic Power Company (granted/disclosed materials 2). See Fig. 30 for the location of the profile line.



第 35 図. マツダシ南方の正断層の形成モデル.
 Fig. 35. Schematic formation model of normal faults that occur to the south of Matsudashi Bank.