

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

平成 25 年5月

産業技術総合研究所  
福井大学

## 目 次

頁

1. 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の概要と残された課題	1
1.1 断層帯の概要	1
1.2 長期評価公表後に公開された調査研究資料	1
1.3 残された課題	1
1.3.1 断層帯の北端	1
1.3.2 最新活動時期と1回の活動による変位量	2
2. 調査目標と調査項目	2
2.1 調査目標	2
2.2 調査項目と各項目の主な目標	2
3. 音波探査	3
3.1 探査海域及び探査測線	3
3.1.1 探査海域	3
3.1.2 探査測線	3
3.2 使用機器、データ取得諸元及びデータ処理	4
3.2.1 音波探査	4
3.2.2 音響測深	4
3.2.3 船位測定・誘導	4
3.2.4 データ処理	5
3.3 探査結果	5
3.3.1 音響層序	5
3.3.2 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の北方延長	6
3.3.3 マツダシ（越前堆列）の背斜とその東側の断層	8
3.3.4 マツダシ南方の正断層	9
3.4 まとめ－断層帯主部／北部の海域延長及びその周辺の活断層の性状	10
4. 堆積物採取調査	10
4.1 調査地点	10
4.2 調査方法及び使用機器	11
4.3 調査結果	11
4.3.1 堆積物の採取	11
4.3.2 堆積物コアの処理と観察・分析フロー	11
4.3.3 帯磁率測定・色調測定結果	12
4.3.4 コア観察結果	12
4.3.5 層序区分とコア間の対比	17
4.3.6 <sup>14</sup> C年代測定結果	17
4.3.7 火山灰分析結果	18
4.4 まとめ－福井港沖における断層帯の最新活動時期	18

<b>5. 離水海食地形調査</b>	<b>19</b>
5.1 離水海食地形に関する従来の研究と課題	19
5.2 調査地域	19
5.3 調査方法	19
5.3.1 遺跡調査	19
5.3.2 <sup>14</sup> C年代測定	19
5.3.3 微地形計測	20
5.4 調査結果	20
5.4.1 遺跡の調査結果ー越前海岸の離水年代（上限年代）	20
5.4.2 <sup>14</sup> C年代測定結果ーローカルリザーバー効果の検討と離水年代	21
5.4.3 微地形計測結果ー越前海岸の旧汀線高度と隆起回数	22
5.5 まとめー越前海岸における断層帯主部／北部の最新活動の時期と隆起量	26
<b>6. まとめー柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の位置・形状と過去の活動</b>	<b>26</b>
6.1 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の位置・形状	26
6.2 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の過去の活動	28
<b>7. その他の資料</b>	<b>31</b>
7.1 地元（都道府県、市町村）等への説明	31
7.2 貸与・開示資料	31
7.3 マスコミ等の取材への協力状況	31
7.4 成果の公表等	31
<b>謝辞</b>	<b>32</b>
<b>文献</b>	<b>33</b>
<b>図表等のキャプション</b>	<b>35</b>

## 1. 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の概要と残された課題

### 1.1 断層帯の概要

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、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯は、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（図1）。

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、山中峠付近を通って梶の木峠北方に達し、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（図1）。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り、断層帯主部全体の長さは約100km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。

柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／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、南半部（山中断層など）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程度であり、平均活動間隔は約2300 - 2700年であった可能性がある。

### 1.2 長期評価公表後に公開された調査研究資料

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、2004；以下、海洋情報部（2004）と呼ぶ）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音波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も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）。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本断層帯主部／北部の活動履歴を論文として公表している。また、阿部ほか（2011）は、本文部科学省「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。

### 1.3 残された課題

#### 1.3.1 断層帯の北端

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

など)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10km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10km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。

### 1.3.2 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)の研究結果では、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1回の活動による本断層帯主部/北部の上下変位量を4-6m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5m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/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. 調査目標と調査項目

### 2.1 調査目標

上述のような残された課題を踏まえて、本調査では、1)柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部/北部の北端の確認、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 調査項目と各項目の主な目標

上述の目標を達成するため、本調査では、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。

1)音波探査では、ブ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・位置情報を得ると共に、更新・完新統の変位・変形を詳細に解明することを目標とした。

2)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。

3)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。

1) 音波探査と 2) 堆積物採取調査は産業技術総合研究所が担当し、3) 離水海食地形調査は福井大学が担当した。

### 3. 音波探査

#### 3.1 探査海域及び探査測線

##### 3.1.1 探査海域

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 1～1.5km 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－福井沖」の音波探査記録（貸与・開示資料 1）を検討したところ、海洋情報部（2004）の解釈と整合的に、福井港の沖約 4～5km 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、その前面（西側）の陸棚上には、一部の測線（測線 36、37 など）では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が、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 年に実施された福井平野東縁断層帯海域延長部の音波探査によって、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－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 12km 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（陸棚斜面上部）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 20km 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 35km（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（ 図 2）。

##### 3.1.2 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 2km 間隔）もしくは 2 つおき（約 3km 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 2km 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

1km 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 192.5km 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、その後には 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 1km 間隔のマルチチャンネル探査 2 測線 (測線長 7.0km と 5.1km)、約 0.5km 間隔のシングルチャンネル探査 8 測線 (測線長 1.1~3.1km、延べ測線長 17.5km、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。

探査測線の位置を図 3 に、探査測線の一覧を表 1 に示す。

## 3.2 使用機器、データ取得諸元及びデータ処理

### 3.2.1 音波探査

音源には公称最大送振出力 300J 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 2.5m、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 200J、音源深度 0.3m、発振間隔約 1.25m、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 100J、音源深度 0.3m、発振間隔約 0.625m、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ともに、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 25m と 30m に配置した (図 4)。

### 3.2.2 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 1m 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。

### 3.2.3 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、125m 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。

### 3.2.4 データ処理

収録したマルチチャンネル探査データの処理は産業技術総合研究所が担当した。使用したソフトウェアは Parallel GeoScience 社製 SPW である。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。

## 3.3 探査結果

各測線において認められた断層、撓曲、褶曲（背斜・向斜）の位置を図 5 に、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図 6 に示す。図 7～図 28 に、各測線の反射断面（音波探査記録）を示す。

### 3.3.1 音響層序

本調査では送信出力 200J 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（表 2）。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 130m 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 層と定義する。I 層の厚さは、調査地域南部の越前海岸沖で厚く、大味沖測線 54BM では最大約 30m に達する（図 28）。また、安島岬北方～福井港沖の測線 27BM（図 11）～38BM（図 17）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 150m 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（図 22～26）。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 90m 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、越前堆積部を除く本調査海域が全体として数 10 万年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）。

## 3.3.2 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、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の北方延長は、越前堆積のマツダシ東方、大グリ南方まで延びていることが分かった。この延長部は、主要断層の走向と断層周辺の地質構造の特徴から、北側より、1) 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区間（マツダシ東方の大陸棚外縁部区間）、2) 北西－南東走向の主断層からなり、南部ではその東側に南北に延びる断層と背斜を伴う区間（安島岬沖～福井港沖区間）、3) 海岸に沿う北北東－南南西走向の断層からなる区間（和布沖～大味沖区間）に分けられる。以下、それぞれの区間の調査結果を述べる。

### （1）マツダシ東方の大陸棚外縁部区間（測線 16MB～測線 30BM）

この海域では、概ね海洋情報部（2004）の測線 19 から 29 までの範囲に、ほぼ南北に延びる背斜構造がⅣ層中に発達する。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も背斜の軸部でやや盛り上がっている。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判断される。海洋情報部（2004）の反射記録では、背斜はこの区間南部の測線 29 から測線 20 までは明瞭に追跡されるが、その北の測線 19 では不明瞭となり、測線 18 以北では認められなくなる。

また、測線 19 から測線 30 の背斜の西翼には、南北に延びる西下がりの急傾斜部が認められる。北部の測線 18～20 付近では、この急傾斜部の西側に南北に延びる凹地状の地形が存在する（図 5）。この西下がりの急傾斜部には、大部分の測線で、1 つまたは複数の東側上がりの急崖が認められる。海洋情報部（2004）の測線 25 と測線 27 では、崖直下のⅡ層中の反射面（プログラデーションにより強く西に傾斜する）に、東側上がりの変位が認められる。しかし、測線 24 以北の反射断面では、崖の直下や急傾斜部に明瞭な断層は確認できない。

今回の音波探査で得られた反射断面のうち、測線 22BM、25BM、27BM（図 9～11）では背斜構造が明瞭に捉えられた。測線 25BM と 27BM では西翼部の断層も鮮明に認められるが、測線 22BM では明瞭な断層は確認できない。区間北部の測線 19BM（図 8）では、今回の音源出力（200J）は結果的にエネルギーが十分ではなく、断層と背斜構造は確認できない。背斜については、海洋情報部（2004）の記録を参照することによって、大まかな位置と形状を推定して反射断面に示した。最も北側の測線 16BM（図 7）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。

## （2）安島岬沖～福井港沖区間（測線 30BM～測線 45BM）

この区間では断層は走向を南西に変え、福井港沖において次第に陸に接近する。区間北端の測線 30BM（図 12）では、測位点 52 付近の海底に東上がりの撓曲状の崖が認められる。直下のⅡ層中の反射波列はやや不明瞭であるが、東側上がりの撓曲変形を被っている。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 12km（測線 31 付近）に東上がりの明瞭な断層を捉えている（図 29）。

その南の測線 33BM の測位点 3 付近、同 35BM の測位点 75 付近、同 36BM の測位点 19 付近、及び同 37BS-2 の測位点 6 付近（図 13～図 16）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 36BM と 37BS-2 では、断層は海底にまで達している。

福井港沖の測線 38BM（図 17）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（図 20 上段）、横ずれ成分の存在が示唆される。

その南の測線 39.5BS 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、かわって海底に V・VI層が突き出た背斜が出現し、その西側基部に断層が存在する（図 20 中・下段）。この断層と背斜のペアは、測線 41BM の測位点 30 付

近と測線 43BM の測位点 105 付近の断層と背斜のペアに連続すると判断した。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、上述した断層の東側に、背斜構造を伴う断層がほぼ南北に並走する（図 6；図 16～20）。このうち、測線 35BM 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 41 の測位点 26 付近を通過した後、測線 43BM 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 10m 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 2km 沖に東側上がりの断層が見出された（図 5、12）。

### （3）和布～大味沖区間（測線 45BM～測線 54BM）

この海域では、海岸から約 1.5～1km 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 45BM（図 23、24）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、上述した測線 43BM 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。測位点 72 付近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 47BM（図 25）では、海岸から約 1.6～1.2km 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 49BM（図 26）では、海岸から約 1km 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 52BM（図 27）では、海岸から約 1km 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 54BM（図 28）では、海岸から約 1.5km 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 5km 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（図 6、図 25～28）。

#### 3.3.3 マツダシ（越前堆列）の背斜とその東側の断層

調査海域北西端部では、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 16BM (図 7) 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斜面地形が見られる。

測線 19BM (図 8) 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、16BM 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 22BM (図 9) 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。

### 3.3.4 マツダシ南方の正断層

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。

今回探査した最も北側の測線 33BM (図 13) では、断層の実際の傾斜は約  $53^\circ$  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 43BM (図 22) 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 5m) 東側上りに変位させており、北半の測線 33BM (図 13)、35BM (図 14)、38BM (図 17) 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  $N20\sim 25^\circ W$  方向に約 11km (海洋情報部、2004 の測線 32~43) にわたって追跡されることがわかった。

この断層の西側にはほぼ平行な断層群が存在する (図 30)。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 (図 31、32)。これらの断層は、測線 44-46 間で一端、連続性が途切れた後、測線 47 以南では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 (図 30)。これらの東北東-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 (図 33)。

このようなほぼ  $90^\circ$  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 (日本原子力発電、2010 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。このように考えた場合、マツダシ南方の正断層は、図 34 に模式的に示すように、左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構造とマツダシの北西側上がり構造の境界に位置する（図 30）。越前堆列の地質構造の不連続とこれらの正断層との間には、何らかの関係があると推定される。

### 3.4 まとめ—断層帯主部／北部の海域延長及びその周辺の活断層の性状

#### (1) 断層帯主部／北部の海域延長

柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の北端はこれまで鮎川付近の陸上の鮎川断層群北端とされていたが、福井市大味～和布の約 1～1.5km 沖に東側上がりの活断層が確認された。この断層は福井港沖の南北方向の断層・背斜群（海洋情報部、2004）に連続することが判明した。このうち最も西側の断層は北北西～北西に延び、越前堆列のマツダシ南東方の南北方向の背斜（海洋情報部、2004）の西側へ連続することが分かった。

断層帯主部／北部の北端は、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）となる。南北に延びる急斜面とその西側の凹地の消滅地点と考えた場合には測線 17－18 間（北緯 36° 22′、東経 136° 0′ 付近）となる。前者の場合、断層のトレースに沿って長さを計測すると、地震調査委員会（2004）による長期評価の北端よりも約 30km 北になる。後者の場合には約 31km 北になる。

越前海岸沿いでは鮎川断層群と同様の西側上がりのバックスラストを伴い、マツダシ南東方の背斜は断層関連褶曲と考えられることから、これらの地域における本断層帯は逆断層成分が卓越すると推定される。福井港～安島岬沖の北北西～北西走向部分には背斜やバックスラストを伴わず、横ずれ成分の卓越が示唆される。

#### (2) 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認められた。

#### (3) 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）のうち、最も東側に分布する東上がりの断層を調査した。その結果、この断層は N20～25° W 方向に約 11km にわたって追跡され、Ⅱ層の基底を最大 5m ほど東側上がりに変位させていることが分かった。断層北部の傾斜は約 53° であり、南部ではほぼ垂直となる。既存の探査データを検討した結果、正断層群は地塁・地溝状構造や反射面が V 字状に落ち込む構造を伴い、横ずれ断層浅部の花卉状構造に当たると推測される。

## 4. 堆積物採取調査

### 4.1 調査地点

今回の調査では、和布以南の越前海岸沿岸については、離水海食地形の調査によって

過去の断層活動の時期の解明を目指すため、堆積物採取による過去の活動時期の解明は、福井港沖以北の海域を対象とすることにした。

海洋情報部(2004)などの既存音波探査データの検討に基づき、福井港沖の水深100m未満の海域に3列並列して分布する南北～北北西方向の断層を調査対象候補とした。これらの断層については、3章で述べたように、約1km間隔のマルチチャンネル探査と約0.5km間隔のシングルチャンネルを実施した。その結果、この海域では全体に沖積層が数m程度以下の層厚しかなく、主に砂礫からなると予想され、試料採取の条件は厳しいことが判明した。このことを踏まえて、できるだけ沖積層が厚く堆積していると推定されると共に、断層による海底の撓曲が明瞭な地点を探索した。その結果、37BS-2測線(北緯36°12′)付近の最も沖の断層を調査対象に選定した(図35)。

#### 4.2. 調査方法及び使用機器

堆積物の採取には長さ2mの採泥管を装着したピストン式柱状採泥器を用いた。ピストン式柱状採泥器の模式図を図36に、今回使用した採泥器の規格を表3に示す。ピストン式柱状採泥器による堆積物の採取は、調査船から海中に投下された採泥器が海底から2～5m程度の高さに達した時点で自由落下させ、海底の堆積物に貫入させる方法である(図37)。この際、ワイヤーロープの先端に取り付けられたピストンは海底面に固定され、採泥管のみが海底下の堆積物に貫入する。ピストンは採泥管に真空部を作り、試料が入りやすくすると共に、引き上げ時に試料の抜け落ちを防止する機構になっている。また、保存・運搬のため、ポリカーボネート製のインナーチューブを使用した。

採取地点の位置測量は、Hemisphere社のVS110Sを使用して、音波探査の場合と同様にDGPS方式で行った。採取地点の音響測深には音波探査と同じ千本電気社製のPDR-1300を用い、3.2.2で述べた音波探査と同様の方法で実施した。

#### 4.3 調査結果

##### 4.3.1 堆積物の採取

堆積物の採取は2012年8月8日～10日に実施した。断層の隆起側(東側)では10地点、総試料長4.02m、沈降側(西側)では11地点、総試料長4.63mの堆積物コア試料が得られた。コア採取地点の詳細位置を図38に、同地点を測線37BS-2の反射断面に垂直投影した図を図39に示す。また、コアの採取状況を表4に示す。

作業前に予想された通り、堆積物は砂礫を主体とするため、採泥器の貫入が困難であり、1mを超える長尺の試料は得られなかった。隆起側では最長74cm、沈降側では最長88cmであった。このうち、隆起側6コア、沈降側11コア、合計17コアを観察・記載及び測定・分析に供した。

##### 4.3.2 堆積物コアの処理と観察・分析フロー

採取した堆積物のコアは実験室に運び込み、まず帯磁率を測定した。次にコアを半割してラップで包み、色調測定を行った。その後、ラップを取り外して写真撮影を行い、次いで堆積物の観察・記載を行った。最後に、<sup>14</sup>C年代測定用試料と火山灰分析用試料を採取し、<sup>14</sup>C年代測定と火山灰分析に供した。

帯磁率測定は、Bartington 社製 MS2 型を用いて行った。センサーには内径 90mm のループ型センサー (Core Logging Sensor MS2C) を用い、長さ 4m、外径 80mm のポリカーボネート製インナーチューブに収納された堆積物コアをループに通して、2cm 間隔で帯磁率を測定した。

次に電動丸ノコでチューブのみを半割し、ステンレスワイヤーと金属ヘラを用いて堆積物本体を半割した。次に、半割面を薄く金属ヘラで削り、霧吹きで表面を洗浄した後、ラップで覆った。半割コアの一方は観察・試料採取用、もう一方は保存用とした。ラップで覆った状態で、土色計 (ミノルタ SPAD-503) を用いて 2cm 間隔で色調測定を行った。その後、ラップを外したコアをコア箱に入れ、室内の蛍光灯下において三脚を用いてコアの写真を撮影した。

写真撮影を行ったコアは、肉眼で詳細に観察し、粒度、色、固結度、堆積構造、層厚、火山ガラス、軽石粒等の火山起源物質、植物片や貝などの動植物遺体、礫形・礫種、マトリックス、含水の程度などについて記載した。最後に、炭素同位体年代測定試料として貝殻を、火山灰分析試料としてコア最上部の細粒堆積物を採取した。貝の殻については、水深20~500mの岩礫底に棲息するベッコウガキと水深50~600mの細砂底に棲息するヒョクガイ (波部、1977) を主な対象とした。貝の殻はAMS法による<sup>14</sup>C年代測定に供し、火山灰分析用堆積物は、火山ガラス含有量、火山ガラスの屈折率測定などからなる火山灰分析に供した。

#### 4.3.3 帯磁率測定・色調測定結果

帯磁率測定と色調測定の結果のうち、隆起側と沈降側の代表的な例をそれぞれ図 40 と図 41 に示す。測定された帯磁率は、コアの上端と下端を除いて、多くのコアで 100~1000  $10^{-5}$ SI の値を示したが、A3-2 コアの上半部は 10~100  $10^{-5}$ SI の低い値を示した。次の 4.3.4 で述べるように、A3-2 コアは全体が明黄褐色に変色しており、低帯磁率ゾーンは明黄褐色の粘土層に対応する。色調については、明黄褐色に変色した A3-2 コアは 40~50 の明度 (色調 L) を示したが、他のコアは 30~40 前後の明度を呈した。

帯磁率及び色調とも、コアの対比に有効な共通の変化パターンや特徴的なピークは認められなかった。

#### 4.3.4 コア観察結果

各コアの肉眼観察結果を以下に記載する。コアの柱状図を図 42 と図 43 に示す。

##### (1) A1-1 (0.52m)

0.00~0.13m : 灰オリーブ (7.5Y6/2) 色粘土。生クリーム状を呈し、塊状・均質。

0.13~0.21m : 灰 (10Y5/1) 色 (細~) 中粒砂。貝殻微細片を多く含み、塊状であるが、概ね上方細粒化を示す。基底には粗粒砂を伴い、上方へ細粒砂が増加し、最上部はシルト分を含む。

0.21~0.52m : 灰 (10Y4/1) 色砂礫。塊状、不均質で貝殻など破片を多く含む。基質は中~粗粒砂、礫は頁岩、チャート円礫などからなり、最大径6cm、平均径0.3~0.4cm、含礫率40~45%。

##### (2) A1.5-1 (0.51m)

0.00～0.10m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色粘土。生クリーム状を呈し、塊状・均質。下位との境界はやや漸移的。

0.10～0.13m：灰（7.5Y5/1）色細（～中）粒砂。貝殻微細片を多く含み、塊状であるが、概ね上方細粒化を示す。最上部はシルトを伴い、シルトレンズ（径0.1cm）を挟む。基底には粗～極粗粒砂を伴う。淘汰やや良好。下位との境界は不明瞭であるが、淘汰の差と粒度で区別できる。

0.13～0.51m：灰（10Y4/1）色砂礫。塊状。不均質で貝殻など破片を多く含む。基質は中～粗粒砂、礫は頁岩、安山岩、チャート円礫などからなり、最大径11cm、平均径0.3～0.5cm、含礫率55～60%。

### （3）A2-2（0.63m）

0.00～0.18m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色粘土。生クリーム状を呈し、下位との境界明瞭。

0.18～0.27m：灰（10Y5/1～6/1）色細～中粒砂及びシルト質極細～細粒砂。貝殻微細片・ブンブクの棘を含む。

0.18～0.19m：灰（10Y5/1）色細～中粒砂。下位のシルト質砂中に発達した生痕（？）に沿って充填。貝殻微細片を伴う。

0.19～0.27m：下部は灰（10Y5/1）色細～中粒砂（ブンブクの棘を多く含む）。上部は灰（10Y6/1）色シルト質極細～細粒砂で、上方細粒化を示す。

0.27～0.52m：灰（10Y4/1）色砂礫。塊状、不均質で貝殻片を散在的に含む。基質は（中～）粗粒砂、礫は安山岩、頁岩など円礫からなり、最大径8cm、平均径0.6～0.7cm、含礫率70～75%。

### （4）A2-3（0.56m）

0.00～0.15m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色細～中粒砂混じり粘土。生クリーム状を呈し、基底付近は砂混じりであり、上部は砂分がない。下位とは漸移的。

0.15～0.22m：灰（10Y5/1）色細～中粒砂。貝殻微細片を伴い塊状、淘汰やや良好。不明瞭ながら上方細粒化し、最上部はシルト混じりとなる。

0.22～0.56m：灰（10Y4/1）色砂礫。塊状、不均質で貝殻片を散在的に含む。基質は中～粗粒砂（円磨されている）、礫は安山岩を主体とし、頁岩、チャートを伴い、最大径6.5cm、平均径0.5cm、含礫率45%。

### （5）A3-1（0.51m）

0.00～0.06m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色粘土。生クリーム状を呈し、塊状・均質。

0.06～0.13m：灰（10Y4/1～5/1）色（細～）中粒砂及びシルト質細（～中）粒砂。貝殻微細片含む。

0.06～0.09m：灰（10Y4/1）色（細～）中粒砂。基底に粗粒砂を伴い上方細粒化が認められる。下位のシルト質砂がフレーム状を呈して不連続となる。

0.09～0.13m：下部は灰（10Y4/1）色細（～中）粒砂。上部はシルト質細粒砂で上方細粒化。

0.13～0.51m：灰（10Y4/1）色砂礫。塊状、不均質で貝殻片を散在的に含む。基質は粗～極粗粒砂、礫は頁岩、チャート、安山岩などの円礫からなり、最大径8cm、平均径0.5cm、含礫率55～60%。最上部を除いて、上方粗粒化しており、土石流的。

### (6) A3-2 (0.74m)

0.00～0.42m：明黄褐（10YR6/6）色粘土。生クリーム状、塊状、均質。

0.42～0.53m：鈍い黄橙（10YR7/4～6/4）色粘土・シルト質中（～粗）粒砂。塊状、淘汰不良で貝殻微細片を多く含む。不明瞭ながら概ね上方細粒化を示す。全体的に酸化鉄（？）を含んだ粘土・シルトが砂粒子間を充填しており、上部で著しい。

0.53～0.74m：鈍い黄橙（10YR7/4）色シルト混じり砂礫。塊状、不均質で貝殻片を伴う。基質は粗～極粗粒砂であり、上位から浸透した酸化鉄を伴う粘土・シルトが混入。礫は安山岩・頁岩円礫などからなり、最大径4.7cm、平均径0.5cm、含礫率40～45%。

なお、本コアの特異な色調の原因を特定するため、深度0.2mの粘土試料のエックス線回折分析を行った。その結果、シデライト（ $\text{FeCO}_3$ ）、赤鉄鉱（ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）、黄鉄鉱（ $\text{FeS}_2$ ）が検出され、これらの鉄鉱物の存在が明黄褐ないし鈍い黄橙色の原因と推定される。

### (7) B1-1 (0.22m)

0.00～0.03m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色細～中粒砂混じり粘土。生クリーム状を呈する。下位とは漸移的。

0.03～0.09m：灰（10Y4/1）色（細～）中粒砂。貝殻微細片を下部に多く含み、塊状、淘汰やや良好。不明瞭ながら上方細粒化し、最上部はシルト混じりとなる。下位との境界は不規則、やや不明瞭であるが区分可能。

0.09～0.16m：灰オリーブ（7.5Y5/2）色シルト質（細～）中粒砂。塊状、淘汰不良、貝殻微細片を多く含む。下位とは漸移的。

0.16～0.22m：灰（5Y5/1）色シルト混じり砂礫。塊状、不均質で貝殻微細片を多く含む。基質はシルト混じり（細～）中粒砂、礫は頁岩、チャート円礫を主体とし、最大径3cm、平均径0.4～0.5cm、含礫率35～40%。

### (8) B1-2 (0.23m)

0.00～0.05m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色細～中粒砂混じり粘土。生クリーム状を呈する。下位との境界は不規則に擾乱を受けているが明瞭。

0.05～0.12m：灰（10Y4/1）色（細～）中粒砂。貝殻片を下部に多く含み、塊状、淘汰やや良好。不明瞭ながら上方細粒化を示し、基底に粗粒砂を伴い、上方へ細粒砂増加。

0.12～0.19m：灰オリーブ（7.5Y5/2）色細礫混じりシルト質（細～）中粒砂。塊状、淘汰不良、貝殻微細片を多く含む。下位とは漸移的。

0.19～0.23m：灰（5Y4/1）色シルト混じり砂礫。塊状、不均質で貝殻細片を多く含む。基質はシルト混じり中粒砂、礫は頁岩円礫などからなり、最大径1.6cm、平均径0.4～0.5cm、含礫率5～10%。

### (9) B1.5-1 (0.88m)

0.00～0.02m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色粘土。生クリーム状を呈する。

0.02～0.10m：灰（7.5Y4/1）色中（～粗）粒砂。下部に貝殻細片を多く含み、細円礫や砂混じりシルト偽礫をわずかに伴う。塊状、淘汰不良であるが不明瞭ながら上方細粒化を示す。

0.10～0.88m：灰（5Y5/1）色シルト質砂礫。塊状、不均質で貝殻片を点在的に伴う。基質はシルト質中～粗粒砂、礫は安山岩、頁岩、チャートなどの円礫からなり、最大径8cm、平均径0.4～0.5cm、含礫率15～20%、礫の多い部分が間歇的に存在しており、含

礫率は一定ではない。

**(10) B1.5-2 (0.30m)**

0.00～0.07m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色粘土。生クリーム状を呈し、塊状、均質、下位との境界は明瞭。

0.07～0.14m：灰（5Y4/1）色（細～）中粒砂。貝殻微細片を含み、塊状、淘汰やや不良であるが、上方細粒化を示す。下位との境界は不明瞭。

0.14～0.19m：灰（5Y5/1）色細礫を伴うシルト混じり（細～）中粒砂。貝殻微細片を多く含む、塊状、淘汰不良。

0.19～0.30m：灰（5Y4/1）色シルト混じり砂礫。塊状、不均質で貝殻細片を多く含む。基質はシルト混じり粗粒砂、礫は頁岩円礫などからなり、最大径1.9cm、平均径0.3～0.4cm、含礫率10%程度。

**(11) B2-1 (0.63m)**

0.00～0.08m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色粘土。生クリーム状を呈し、基底を除けば砂分を含まない。下位とは漸移的。

0.08～0.16m：灰（10Y4/1）色（細～）中粒砂。貝殻微細片を多く含む、塊状、淘汰やや不良であるが上方細粒化を示し、基底には粗粒砂～細礫を伴い、上方へ細粒砂が増加、下位を削剥。

0.16～0.21m：灰オリーブ（7.5Y4/2）色細礫混じりシルト質中（～粗）粒砂。塊状、淘汰不良。貝殻微細片を多く含む。下位とは漸移的。

0.21～0.38m：灰（5Y6/1）色シルト質砂礫。塊状、不均質で貝殻細片を伴う。基質はシルト質粗～極粗粒砂、礫は頁岩円礫を主とし、最大径6.5cm、平均径0.5cm、含礫率40～45%。

0.38～0.63m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色細礫混じりシルト質中～粗粒砂。貝殻細片を点在的に含む、塊状、不均質、淘汰不良。礫は頁岩、チャート円礫などからなり、最大径1.7cm、平均径0.2～0.3cm、含礫率5～10%。

**(12) B2-2 (0.82m)**

0.00～0.13m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色細粒砂混じり粘土。生クリーム状を呈し、基底付近は砂混じりであるが、上部では砂分がなくなる。

0.07～0.13m：幅0.2～0.3cmの細（～中）粒砂で充填された生痕（？）が認められる。砂中には貝殻細片を伴う、下位とは漸移的。

0.13～0.19m：灰（10Y5/1）色細～中粒砂。貝殻など微細片を多く含む、塊状、淘汰やや不良であるが上方細粒化を示し、基底部は中（～粗）粒砂からなり、上方へ細粒砂が増加し、最上部（厚さ約1cm）はやや粘土混じり細粒砂となっている。下位との境界は不規則でやや削り込んでいる。砂粒子は円磨されている。

0.19～0.28m：灰オリーブ（7.5Y5/2）色細礫混じりシルト質中（～粗）粒砂。塊状、淘汰不良、貝殻など微細片を多く含む。下部に細礫を伴い上方では減少、下位とは漸移的である。

0.28～0.82m：灰（5Y6/1）色シルト質砂礫。塊状、不均質で貝殻片を点在的に含む。基質はシルト（粘土）質粗（～極粗）粒砂からなり、礫は頁岩、チャートの円礫を主体とし、最大径4.2cm、平均径0.5cm、含礫率10～15%。

**(13) B2-3 (0.30m)**

0.00～0.09m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色粘土。生クリーム状を呈し、大半は流出、下位との境界は明瞭。

0.09～0.16m：灰オリーブ（7.5Y4/2）色中（～粗）粒砂。貝殻など微細片を散在的に含み、細円礫をわずかに伴い、概ね上方細粒化している。下位とは漸移的。

0.16～0.22m：灰（7.5Y5/1）色礫を伴うシルト混じり細～中粒砂。淘汰不良、貝殻片を散在的に含む。

0.22～0.30m：灰オリーブ（7.5Y4/2）色中（～粗）粒砂。貝殻など微細片を散在的に含み、細円礫をわずかに伴う。塊状、上方細粒化は認められない。

**(14) B2-4 (0.23m)**

0.00～0.05m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色細～中粒砂混じり粘土。生クリーム状を呈し、上部は砂分がない。下位との境界はやや不規則であるが明瞭。

0.05～0.14m：灰（10Y4/1）色中（～粗）粒砂。貝殻微細片を下部に多く含み、基底に極粗粒砂～細礫を伴い、概ね上方細粒化を示す。塊状、淘汰やや不良。下位を削剥。

0.14～0.19m：灰オリーブ（7.5Y5/2）色細礫混じりシルト質中（～粗）粒砂。塊状、淘汰不良、貝殻微細片を多く含む。下位とは漸移的。

0.19～0.23m：灰（5Y6/1）色シルト質砂礫。塊状、不均質で貝殻片を伴う。基質はシルト質中（～粗）粒砂、礫は頁岩、チャート円礫を主体とし、最大径3.4cm、平均径0.5cm、含礫率30～35%。

**(15) B2.5-1 (0.23m)**

0.00～0.06m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色細～中粒砂混じり粘土。生クリームを呈し、上部は砂分がない。下位との境界はやや不規則であるが明瞭。

0.06～0.12m：灰（10Y4/1）色中～粗粒砂。貝殻微細片を多く含み、一部は下位のシルト質砂を取り込んでいるため下位との区別が難しく、礫も伴う。

0.12～0.19m：灰オリーブ（7.5Y5/2）色細礫混じりシルト質中（～粗）粒砂。塊状、淘汰不良、貝殻細片を点的に含む。下位とは漸移的。

0.19～0.23m：灰（5Y6/1）色シルト質砂礫。塊状、不均質で貝殻片を伴う。基質はシルト質中～粗粒砂、礫は頁岩などの円礫からなり、最大径0.6cm、平均径0.2～0.3cm、含礫率10～15%。

**(16) B2.5-2 (0.22m)**

0.00～0.05m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色粘土。生クリーム状を呈し、基底にわずかに砂分を伴う。下位との境界は明瞭。

0.05～0.11m：灰（10Y4/1）色中～粗粒砂。貝殻微細片を多く含み、塊状、淘汰不良であるが、概ね上方細粒化を示す。下位との境界は不規則。

0.11～0.22m：灰（5Y5/1）色シルト質砂礫。塊状、不均質で貝殻片を伴う。基質はシルト質粗粒砂、礫は頁岩などの円礫からなり、最大径5.5cm、平均径0.4～0.5cm、含礫率15～20%。

**(17) B3-1 (0.57m)**

0.00～0.11m：灰オリーブ（7.5Y6/2）色細～中粒砂混じり粘土。生クリーム状を呈し、基底付近は砂混じりであり、上部は砂分がない。

0.11～0.22m：灰（10Y5/1）色（細～）中粒砂。貝殻微細片を多く含み、塊状、淘汰不良であるが、概ね上方細粒化を示す。基底部は極粗粒砂を伴い上部では細粒砂が増加、下位との境界は不規則で削剥している。

0.22～0.39m：灰（5Y5/1）色シルト質砂礫。塊状、不均質で貝殻片を伴う。基質はシルト（粘土）質（中～）極粗粒砂からなり、礫は頁岩、チャートを主体とし、最大径7.0cm、平均径0.6cm、含礫率40～45%。

0.39～0.57m：灰（5Y6/1）色礫混じりシルト質粗粒砂。貝殻微細片を多く含み、塊状、淘汰不良。

#### 4.3.5 層序区分とコア間の対比

各コアの観察結果に基づき、採取された堆積物を、上位から a 層、b 層、c 層及び c' 層に区分した。以下に各層の特徴を述べる。

##### （1）a 層

灰オリーブ（7.5Y6/2）色を帯びる粘土からなる。生クリーム状を呈し、塊状、均質で、基底付近は細～中粒砂が混じる場合がある。断層の両側で共通して認められる。

##### （2）b 層

灰（10Y5/1）色を呈する細～中粒砂からなる。一部は灰（7.5Y4/1）色、中（～粗）粒砂からなる。貝殻微細片を多く含み、塊状であるが、概ね上方細粒化を示し、基底には粗粒砂～細礫を伴う。上方へ細粒砂が増加し、最上部はシルト分を含む。断層の両側で共通して認められる。

##### （3）c 層

灰（10Y4/1）色の砂礫層。塊状、不均質で貝殻の破片を多く含む。基質は中～粗粒砂からなる。礫は頁岩、チャート、安山岩円礫などからなり、最大径 11cm、平均径 0.5cm、含礫率は約 10～70%。断層の隆起側（東側）に認められる。

##### （4）c' 層

灰（5Y5/1）色のシルト混じり～シルト質の砂礫層。塊状、不均質で貝殻片を多く含む。基質はシルト混じり～シルト質の細～中粒砂からなる。礫は頁岩、チャート、安山岩円礫などからなり、最大径 8cm、平均径 0.5cm、含礫率約 10～40%。c 層と比較して、基質がやや細粒で、含礫率が低い場合が多い。断層の沈降側（西側）に認められる。

コアの対比図を図 44 に示す。次に述べる  $^{14}\text{C}$  年代測定結果から、沈降側の c' 層は隆起側の c 層に対比されると考えられる。

#### 4.3.6 $^{14}\text{C}$ 年代測定結果

本調査では、隆起側の A1.5-1 コアと A2-2 コアの c 層から採取した各 5 個の貝試料、沈降側の B2-1 コアと B2-2 コアの c' 層から採取した各 5 個の貝試料、合計 20 試料の  $^{14}\text{C}$  年代測定を実施した。暦年代の算出に当たっては、IntCal09 及び Marine09 (Heaton *et al.*, 2009 ; Reimer *et al.*, 2009) を用い、ローカルリザーバー効果 ( $\Delta\text{R}$  値) はゼロと仮定した。試料のリストと測定結果を表 5 に示す。

c 層からは、10 試料のうち 8 試料から、海洋リザーバー効果を考慮した  $2\sigma$  の暦年代

として、9千 cal yBP 台から8千 cal yBP 台の年代値が得られた。但し、試料の採取層準と年代は逆転した関係を示すところが多い。特に A2-2 コアでは、コアの最下部から採取した試料より、最も若い 5990–5890 cal yBP の年代値が得られた。また、A1.5-1 コアの深度約 0.3m から採取したベッコウガキからは、950–860 cal yBP の飛び離れて若い年代が得られた。

c' 層からは、c 層と同様に、10 試料のうち 9 試料から、海洋リザーバー効果を考慮した  $2\sigma$  の暦年代として、9千 cal yBP 台から8千 cal yBP 台の年代値が得られた。試料の採取層準と年代にもやはり逆転関係が見られ、B2-2 コアでは、A2-2 コアと同じく、コアの最下部の試料から最も若い 7980–7840 cal yBP の値が得られた。

A1.5-1 コアの深度約 0.3m から得られた 950–860 cal yBP の値の意義については、本報告書作成時点では不明であり、調査結果のまとめからは除外する。

A2-2 コアと B2-2 コアで見られたコア最下部から最も若い年代が得られた例は、2011 年度の敦賀湾内での堆積物採取の際にも 6 コア中 2 コアで報告されており（杉山ほか、2012）、コアの引き上げ時に上位の b 層もしくは a 層を吸い込んだ可能性がある。

各コアで年代と層序の逆転が見られることについては、4.4.3 の層相記載で述べたように、c 層と c' 層は砂礫卓越層であり、土石流やタービダイトを示唆する堆積構造が見られることから、両層に含まれる貝の少なくとも一部は異地性遺骸の可能性はある。

以上の推定に基づくと、隆起側の c 層と沈降側の c' 層は、いずれも 9千 cal yBP 台から8千 cal yBP 台もしくはこれより新しい時代に堆積した完新統と考えられる。

#### 4.3.7 火山灰分析結果

本調査では、隆起側の A1.5-1, A2-2, 沈降側の B2-1, B2-2, B2.5-2 の合計 5 コアの a 層（厚さ 1~7cm）について、上下方向 1cm 間隔で火山灰分析を実施した。分析数は、A1.5-1 コア 5 試料、A2-2 コア 7 試料、B2-1 コアと B2-2 コア各 1 試料、B2.5-2 コア 2 試料の合計 16 試料である。分析結果を表 6 に示す。

火山灰分析の結果、いずれのコアからも、約 7300 cal yBP の鬼界アカホヤ（K-Ah）火山灰（町田・新井、2003）が検出された。複数の試料を分析した A1.5-1 コア、A2-2 コア、B2.5-2 コアでは、AT 火山灰起源の火山ガラスに対する K-Ah 火山灰起源のガラスの出現頻度は最下部の試料で最も高い。

以上の分析結果から、a 層は K-Ah 火山灰が降下した約 7300 cal yBP 以降に堆積したものと推定される。

#### 4.4 まとめ—福井港沖における断層帯の最新活動時期

以上の堆積物採取調査結果に基づくと、断層の低下側に分布する c' 層は、隆起側に分布する c 層と同時期の堆積物、もしくは c 層の堆積後に断層の低下側を埋積した堆積物の可能性がある。いずれの場合にも、最新の断層活動は、撓曲崖状の海底地形をかたち作る地層と判断される c 層の堆積後、すなわち、おおよそ 8 千年前以降に生じたと推定される。b 層及び a 層については、断層活動による撓曲変形を被っている可能性があるが、上方細粒化する層相から、最新活動後の被覆層（マントル層）の可能性もあり、両層の堆積と最新の断層活動との前後関係は不明である。

## 5. 離水海食地形調査

### 5.1 離水海食地形に関する従来の研究と課題

若狭湾は日本海側では数少ない湾入部の一つであり、湾奥は典型的なリアス式海岸の様相を呈している。この海域で行った音波探査記録から、若狭湾海底には第三系が削剥されて形成された侵食平坦面が広く分布し、東に傾動しながら沈降していることが明らかとなっている（山本ほか、2000 など）。これに対して、若狭湾東側に位置する越前海岸は直線的な海岸線となっており、海成段丘の年代と高度から、最大で0.9m/千年という隆起速度が求められている（太田・成瀬、1977；山本ほか、1996、2010）。この沈降する若狭湾と隆起する越前海岸との境界部に、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部に当たる東側隆起の活断層が存在する。

越前海岸では、これらの断層の活動に伴い、離水した海食微地形が何段も認められる。これまで山本ほか（2010）の調査により、離水した海食微地形高度、並びに岩礁に付着していた二枚貝等の<sup>14</sup>C年代値及び遺跡の年代から、越前岬付近を中心に17世紀前後に最大で5mを超える隆起があったと推定されている。しかし、この17世紀頃の断層活動を示唆する古文書等の記録は見出されていない。また、5mを超える隆起が1回の活動によるものなのか、北から南まで同時に活動したのか、さらには最新活動時期が17世紀前後なのかどうかについて、さらに詳しい調査・検討を行う必要がある。

### 5.2 調査地域

上述の課題を踏まえ、本調査では、離水地形が比較的明瞭で、岩礁に生物遺骸がより多く見出されている越前海岸沿いの8地区（北より和布地区、亀島地区、鮎川地区、佐武地区、大味地区、越前岬地区、森腰隧道地区および米ノ地区）を調査地域に選定した（ 45）。

### 5.3 調査方法

上記の8地区を中心に、海岸沿いの遺跡の調査、汀線指標生物の<sup>14</sup>C年代測定、及び岩礁地帯の微地形計測を行った。

#### 5.3.1 遺跡調査

離水した波食棚や海食洞に残された遺跡や遺物は、その年代が分かれば、越前海岸が隆起した時期、すなわち本断層帯の最新活動時期に上限年代を与えることができる。このため、越前海岸沿いの標高20mより低い位置にある遺跡について、福井県埋蔵文化財調査センターの協力を得て、遺跡資料の再検討を行った。

#### 5.3.2 <sup>14</sup>C年代測定

<sup>14</sup>C年代測定は、汀線付近に生息していた生物遺骸の年代を決めることによって、最新の越前海岸の隆起時期、すなわち本断層帯の最新活動時期を明らかにすることを目的とする。このため、各地区の最低位の離水波食棚面の外縁部において、カモメガイ、トマヤガイ、ヤッコカンザシなどを採取し、AMS法による<sup>14</sup>C年代測定を行った。カモメガイは潮間帯の泥岩などに穿孔している穿孔貝の仲間であり、トマヤガイは岩に足糸

で固着して生活しているが、越前海岸で見つかったものは、カモメガイの巣穴の中で見出された。カモメガイの巣穴は入り口が狭く、中が広い徳利状の形状をしており、巣穴の中で育った貝は外へ出ることはできない。ヤッコカンザシは、中潮位付近の岩礁に固着して生息している石灰質の棲管を持つゴカイの仲間である。以上のように、今回採取した生物遺骸はいずれも生息していた場所から移動しておらず、その殻の<sup>14</sup>C年代測定によって得られた年代はその場所が海の中にあった、すなわち離水前であった年代を示すと言える。

年代測定を行った試料の数量は、和布地区 9、亀島地区 15、鮎川地区 6、佐武地区 2、大味地区 5、越前岬地区 9、森腰隧道地区 2、米ノ地区 2 の合計 50 試料である。生物種の内訳は、トマヤガイ 7、カモメガイ 13、ヤッコカンザシ 27 であり、このほかにミミエガイの仲間 (*Striarca* sp.) などの二枚貝も 3 試料を年代測定に供した。なお、これらの生物遺骸の採取に当たっては、採取位置の標高も同時に測定した。標高値の算定は、試料採取位置の海面からの比高をレーザー測距儀で測定し、同時刻における三国験潮所における潮位データを用いて補正することにより求めた。

海棲生物遺骸の年代については、その値に影響を与える様々な要因が存在し、正確な年代値を得ることは容易ではないとされている。その主な要因としては、貝の炭酸塩の同位体交換、再結晶化、海洋リザーバー効果などが挙げられる。同位体交換と再結晶化については、本調査では試料表面を酸によるエッチング処理を行っていること、対象としている年代が比較的新しいことから、影響は小さいと判断される。このため、本調査では、海洋リザーバー効果のみについて検討することとした。

### 5.3.3 微地形計測

微地形計測は、旧汀線高度を明らかにし、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の最新活動時の隆起量を見積もることを目的とする。和布から米ノまでの 10 地点の岩礁（離水海岸）で、空中写真測量により、1 : 100 の地形図と 1 : 50 地形断面図を作成した。

作成した地形図の数量は和布地区 3、亀島地区 2、鮎川地区 1、佐武～大味地区 1、越前岬地区 1、森腰隧道地区 1、米ノ地区 1 の合計 10 区画である。また、地形断面図は和布地区 8、亀島地区 7、鮎川地区 3、佐武～大味地区 3、越前岬地区 3、森腰隧道地区 4、米ノ地区 3 の合計 31 断面を作成した。

## 5.4 調査結果

### 5.4.1 遺跡の調査結果—越前海岸の離水年代（上限年代）

今回調査を行った越前海岸の範囲では、後述する最新の隆起量と考えられる 3～7m 程度の高さにある遺跡はごくわずかである。福井県の遺跡地図（福井県教育委員会、1993）では、調査地域の標高 20m 以下の遺跡として報告されているものは、表 7 に示した遺跡のみであり、これ以降の調査でも見出されていない。この遺跡地図を見る限りでは、最新活動時に離水した高さにあり、かつ時代が判明している遺跡はない。

これらの遺跡地図で報告されている遺跡以外に、大味地区の約 4km 南西、福井市浜北山町の国道 305 号線沿い、水仙公園駐車場の東側にある離水海食洞内の遺跡（鯨穴洞穴遺跡）がある。この洞窟遺跡について青木（1988）は、「洞窟中程の床面には 3ヶ所、

焚き火跡が見られた。洞窟内出土土器が日常生活に必要な各種の土器を含むことから、江戸時代初期（17世紀中葉頃）の一時期、海とかかわりのある仕事をする人が居住した洞窟」と記している。この離水海食洞の旧汀線高度は5.0mと求められている（図46；伊藤ほか、2002）。これに加え、森腰隧道地区南東の越前町新保（城ヶ谷）では、標高4.5～5mの低位段丘堆積物を覆う表土より、遺物として越前赤瓦（17世紀）が見出されている（山本ほか、2010）。

以上の遺跡・遺物のうち、最新活動によって離水した高さにあり、かつ年代の判明しているものは、鯨穴洞穴遺跡（17世紀中葉頃）と越前町新保の越前赤瓦（17世紀）のみということになる。これらの遺跡の年代からすると、越前海岸の最新の離水は17世紀（中頃？）以前と考えられる。

#### 5.4.2 $^{14}\text{C}$ 年代測定結果—ローカルリザーバー効果の検討と離水年代

今回測定した50試料の $^{14}\text{C}$ 年代測定結果を山本ほか（2010）で報告されている19試料の年代値と合わせて表8～表11に示す。これらの表には、各測定試料の採取位置の標高と生物種を合わせて示す。このうち表8と表9には、下で述べるローカルリザーバー効果（ $\Delta\text{R}$ ）の値をゼロ（0  $^{14}\text{C}$  yr）とした場合の暦年代（1 $\sigma$ 及び2 $\sigma$ の範囲）を示す。一方、表10と表11には、 $\Delta\text{R}$ の値を $-50 \pm 30$   $^{14}\text{C}$  yrとした場合の暦年代（1 $\sigma$ 及び2 $\sigma$ の範囲）を示す。また、図47と図48には、それぞれ、 $\Delta\text{R}$ の値をゼロとした場合と $-50 \pm 30$   $^{14}\text{C}$  yrとした場合の生物遺骸年代値の空間分布を示す。

##### （1）越前海岸周辺地域のローカルリザーバー効果

海棲生物の $^{14}\text{C}$ 年代値は、海洋リザーバー効果のため、陸上の動植物の年代値より平均で約400年古い年代値（R）を示す。しかしこの値は、主として $^{14}\text{C}$ 濃度の低い深層水循環等の影響を受け、海域によって、また年代によって変動する。この平均値との差がローカルリザーバー効果（ $\Delta\text{R}$ ）と呼ばれる値である。この $\Delta\text{R}$ 値は、1950年以前の採取年代が明確な貝などの年代測定や、海棲の貝などと同時に出土した陸上生物の遺物との比較から求められる。

今回調査を行った越前海岸は、対馬海流の影響下にあり、同様の環境が推定される周辺地域での $\Delta\text{R}$ 値の報告としては次のようなものがある。Nakamura *et al.*（2013）は九州西岸、有明海沿いの東名（Higashimyo）遺跡の貝塚（8000～7800 cal yBP）において、 $-60 \pm 35$   $^{14}\text{C}$  yrという $\Delta\text{R}$ の値を、韓国南部、対馬海峡沿いのKimhaeの貝塚（較正暦年で紀元前1世紀～紀元後3世紀）で $21 \pm 34$   $^{14}\text{C}$  yrという値を報告している。Nakamura *et al.*（2007）は能登半島真脇遺跡（4600～7900 cal yBP）において、 $-71 \pm 33$ 、 $-30 \pm 85$ 、 $-78 \pm 74$   $^{14}\text{C}$  yrという $\Delta\text{R}$ 値を報告している。また宮田ほか（2010）は青森県東道ノ上遺跡（4960  $\pm$  35 yr BP）において対馬暖流から分かれた津軽暖流影響下での $\Delta\text{R}$ 値として $60 \pm 90$   $^{14}\text{C}$  yrを報告している。しかしこれらの $\Delta\text{R}$ 値は、今回の試料とはかなりかけ離れた年代のものである。今回の試料により近い年代値で求めた $\Delta\text{R}$ 値としては、1950年以前の、採取年代が明らかな貝試料から求めた $\Delta\text{R}$ 値がある。Yoneda *et al.*（2007）、Yoshida（2010）は日本近海における1900年前後に採取された貝試料から求めた $\Delta\text{R}$ 値を報告しており、対馬暖流から分岐した津軽暖流の影響下にある南北海道函館では $34 \pm 42$   $^{14}\text{C}$  yr、太平洋側、青森県八戸では $12 \pm 24$   $^{14}\text{C}$  yr、宗谷

暖流沿いの小樽では  $94 \pm 38$   $^{14}\text{C}$  yr、日本周辺の黒潮影響域では  $89 \pm 22$  ～  $-36 \pm 24$   $^{14}\text{C}$  yr という値になっている。しかし、明確に対馬暖流影響下といえる地点の値は見当たらない。

## (2) 遺跡調査結果との比較による越前海岸のローカルリザーバー効果の検討

近世における越前海岸の  $\Delta R$  値を  $0$   $^{14}\text{C}$  yr とした場合、北部地域では亀島 1-3 で AD 1670～1810 (2  $\sigma$  値、以下同じ)、亀島 6-2 で AD1660～1720、和布 2-3 で AD1640～1700、大味 5-1 で AD1640～1700 という値となる (表 8、図 47)。これらの値は、5.4.1 で述べた 17 世紀中葉頃に離水した大味地区南西方の鯨穴洞穴遺跡の年代とやや矛盾する。また、南部地域では越前岬 3-2 で AD1680～1830、越前岬 8-1 で AD1700～1890 年 (表 9、図 47) であり、森腰隧道地区南東方の越前赤瓦 (17 世紀) の年代と矛盾する。

そこで今回、位置的に最も近い能登半島真脇遺跡 (4600～7900 cal yBP) で  $-30 \pm 85$  ～  $-78 \pm 74$   $^{14}\text{C}$  yr の  $\Delta R$  値が報告されていることから、越前海岸での近世の  $\Delta R$  値を  $-50 \pm 30$   $^{14}\text{C}$  yr と仮定した場合の暦年代補正值を求めた。この場合、表 10 に示すように、北部地域では亀島 1-3 で AD1590～1710、亀島 6-2 で AD1550～1700、和布 2-3 で AD1530～1690、大味 5-1 で AD1530～1690 という値となり、鯨穴洞穴遺跡とほぼ矛盾はなくなる。また南部地域では、越前岬 3-2 で AD1650～1810、越前岬 8-1 で AD1660～1830 年となり (表 11)、越前赤瓦の年代と矛盾はなくなる (図 48)。

## (3) 越前海岸の離水年代

越前海岸におけるこの時期の  $\Delta R$  値が  $-50 \pm 30$   $^{14}\text{C}$  yr でよいかどうかについては、さらに検討が必要であるが、 $\Delta R$  値としてこの値を採用した場合、越前海岸が最後に離水した年代は、北部地域では 16 世紀後半～17 世紀前半、南部地域では 17 世紀後半頃となる。これらの年代値からすると、越前海岸では越前岬の北側を境として、北部が先に離水し、南部が引き続いて離水した可能性を指摘できる。しかし、年代値を見る限り誤差範囲内で重なっており、同時に離水した可能性も残されている。

### 5.4.3 微地形計測結果—越前海岸の旧汀線高度と隆起回数

各地区における 1 : 100 地形図の作成位置を図 49～図 51 に示す。作成した地形図のうち、代表的なものを図 52～図 56 に示す。また、各地区で作成した地形断面図のうち、代表的なものを図 57～図 61 に示す。なお、作成した全地形図及び全地形断面図は、福井大学教育地域科学部地学教室 (2013) に収納した。

#### (1) 越前海岸の旧汀線高度

##### 1) 和布地区

山本ほか (2010) はこの地区の旧汀線高度を 3.2～3.3m としている。作成した地形図や断面図からは明瞭な波食棚状の平坦面は 3.0～3.6m、中でも 3.2～3.4m 付近の高さを示すものが多く認められる (図 62、63)。また、保存状態の良い穿孔貝の巣穴の上限は、和布地区東部では標高 3.15m、中部で 3.00m、西部で 2.90m である。最も高位のヤッコカンザシは 3.42m (和布 4-3) である。また和布地区西部の岩礁では、3.5～3.6m 付

近を境に岩礁表面の風化の状態が異なっている。以上のことから、和布地区の旧汀線高度を 3.2~3.5m とした。

## 2) 亀島地区

亀島南東部では、地形図や断面図から小半島部では岩礁の頂部の高さが 6.1~6.5m 程度でやや揃っており、不明瞭ながら 4m 台の平坦面も認められる。この付近では、測定した穿孔貝の巣穴の上限は小半島部では 4.12~4.85m、小半島の付け根付近の岩礁では 5.85m と、4m 台の平坦面と同程度ないしそれより高い位置まで観察できる。平坦面の形状が不明瞭なことと合わせ、4m 台の平坦面は、旧汀線を示す波食棚ではないと判断した。島の北部では 6.8~7.0m 前後の高さを示す平坦面が複数認められ (図 64、65)、山本ほか (2010) は 6.2m の高さまで保存状態の良い穿孔貝の巣穴を見出している。以上のことから、亀島における旧汀線高度を 6.8~7.0m とした。

## 3) 鮎川地区

この地区では穿孔貝の巣穴の上限は 5.22m であり、旧汀線高度はこれより高い位置にあることは確かである。しかし、この地区では明瞭な波食棚状の離水地形は認められず、旧汀線高度を認定することはできなかった。穿孔貝の巣穴の上限、及び風化の状態が 6~7m 付近で変わることからすると、旧汀線高度は 6m 程度である可能性が高い。

## 4) 佐武地区及び大味地区

山本ほか (2010) はこの地区の旧汀線高度を 5.1~5.3m としている。作成した地形図や断面図からは明瞭な波食棚状の平坦面は、地点数は少ないものの、5.2~5.4m で認められた。また保存状態の良い穿孔貝の巣穴の上限は 3.85m であり、ヤッコカンザシは 3.86m の高さで見出された。以上のことから、佐武地区及び大味地区の旧汀線高度は 5.2~5.4m とした。

## 5) 越前岬地区

山本ほか (2010) はこの地区の旧汀線高度を 5.4~5.7m としている。作成した地形図や断面図からは波食棚状の平坦面は明瞭ではない。穿孔貝の巣穴の上限は 4.96m、ヤッコカンザシの最高位は 5.24m であった。以上からすると、旧汀線高度はヤッコカンザシの最高位 5.24m より高い 5m 台と考えられるが、はっきりしない。

## 6) 森腰隧道地区

この地区では、明瞭な波食棚状の平坦面は 5.4~6.0m、中でも 5.6~5.8m の高さによく認められた。また、カモメガイの遺骸が 4.8m から採取されている。以上のことから、森腰隧道地区の旧汀線高度を 5.6~5.8m とした。

## 7) 米ノ地区

この地区では、地形図や断面図からは明瞭な波食棚状の平坦面は認められず、3.6~4.0m の高さいくつかの平坦面が認められた。山本ほか (2010) は 4.2m の高さにある穿孔貝の巣穴から二枚貝の遺骸を採取しているが、貝殻は摩耗しており、波などで打ち上げられ、巣穴の中に入り込んだものの可能性が高い。現在この露頭は埋め立てられ、消滅しており、産出状況を確認することはできなかった。以上のことからすると、米ノ地区の旧汀線高度ははっきりしないが、4m 程度と推測される。

## (2) 生物遺骸の採取標高と <sup>14</sup>C 年代値との関係による隆起回数の検討

上述した越前海岸各地区の旧汀線高度は、越前海岸の3~7mの隆起を示している。また、旧汀線付近ないしその直下で採取した生物遺骸の<sup>14</sup>C年代は、最新の隆起が越前海岸の北部地域では16世紀後半~17世紀前半、南部地域では17世紀後半頃に生じたことを示している。しかし、これまでの検討では、3~7mに及ぶ隆起量が16~17世紀の1回の隆起(断層活動)によるものなのか、検討が十分ではない。そこで、この隆起量が1回の隆起によるものかどうか明らかにするため、岩礁に付着しているヤッコカンザシやカモメガイなどの生物遺骸について、標高の低いものと高いもので、その年代値に違いがあるかどうか検討を行った。もし3~7mの隆起量が2回の隆起によるものであるならば、岩礁上部の試料は古い年代を、下部は新しい年代を示すはずである。

### 1) 得られた<sup>14</sup>C年代値の全体的な傾向

得られた<sup>14</sup>C年代値(Conventional radiocarbon age (yBP))を見ると、全体にややばらついている。全69試料でみると、500 yBP台が6試料、600 yBP台が15試料、700 yBP台が15試料、800 yBP台が12試料と多く、これより古い年代を示す試料では900 yBP台が2試料、1000 yBP台が3試料、1100 yBP台が3試料、1200 yBP台が4試料、1300 yBP台が2試料、1400 yBP台が4試料、これ以前のものが3試料と格段に少なくなっている(表8、9)。

年代値がやや古いものまで含まれている原因としては、カモメガイの巣穴の形状は入り口が狭くて中が広い徳利状の形態をしており、その死後も貝殻がその巣穴から外へ出ることはなく、巣穴の中に残りやすいためと考えられる。またトマヤガイなどは、自ら巣穴を開けることはないが、カモメガイの巣穴に入りこんだ状態で見出されており、同様のことが考えられる。実際にこれらの貝殻を採取する際には、多くの場合、入り口が狭いためそのままでは取り出すことができず、入り口付近の岩を取り除く必要があった。またヤッコカンザシは穿孔貝やウニの巣穴の中、また岩の窪み等に固着していたため、残りやすかったものと推定される。

### 2) 地区ごとの生物遺骸試料の採取標高と<sup>14</sup>C年代値との関係

次に、地区ごとに、生物遺骸試料の採取標高と年代値との関係を検討する。

a) 和布地区(図66):本地区では標高3.04mから1.72mにかけての11試料のうち、3.04mで得られたヤッコカンザシ(和布4-1、4-2)はいずれも<sup>14</sup>C年代で $1160 \pm 30$  yBP (Cal AD 1120~1280:  $2\sigma$ の較正暦年、 $\Delta R = -50 \pm 30$  <sup>14</sup>C yr、以下同じ)、 $1280 \pm 30$  yBP (Cal AD 1010~1170)と古い年代を示すが、その0.6m低位のヤッコカンザシ(2.41m、和布4-4)は $680 \pm 30$  yBP (Cal AD 1500~1670)を示し、これより新しい年代を示した試料は標高2.03mのヤッコカンザシ( $640 \pm 30$  yBP (Cal AD 1530~1690):和布2-3)のみであった。和布地区では3.2~3.5mに旧汀線高度が推定されていることからすると、最上部の数10cmがAD1000~1300のやや古い時期に、その下位が300~500年後に離水した可能性もある。しかし、離水後約400年程度経った現在の岩礁を見ると、常に波の影響を強く受けている海面から少なくとも数10cmの範囲は、波の穏やかな湾入部でも削られたりして穿孔貝の巣穴の保存状態は悪く、穿孔貝等の貝殻は全く得られない。すなわち、仮に最上部数10cmがいち早く離水し、300~500年後にその下部が離水したとすると、最上部が離水した後、下部が離水するまでの300~500年間、離水した最上部は常に波の影響下に置かれ、この間に削られ、穿孔貝の巣穴の保存状態は悪くなり、

貝殻等はほとんど残っていないように思われる。現在の状況を見ると、3m 付近まで保存状態の良い穿孔貝の巣穴が連続してみられ、ヤッコカンザシが残っている。このことからすると、1 回の隆起であった可能性が高いと思われる。

b) 亀島地区 (図 67) : 本地区では、標高 3.55m から 1.01m にかけての 15 試料のうち、3.55m で得られたトマヤガイ (亀島 3-1) は  $1340 \pm 30$  yBP (Cal AD 950~1080) とやや古い年代を示すが、すぐ下位、3.47m のトマヤガイ (亀島 2-1) は  $740 \pm 30$  yBP (Cal AD1460~1630) と新しい年代値を示している。また亀島で最も新しい年代値を示した試料は 3.06m から得られたトマヤガイ (亀島 1-3 :  $590 \pm 30$  yBP、Cal AD1590~1710) であった。亀島地区では 6.8~7.0m に旧汀線高度が推定されているが、3.55m よりも高位では、試料は得ることができなかった。4~6m 台の高位の試料が得られていないことから、上部については、やや古い時期に離水した可能性も否定できない。しかし保存状態のよい穿孔貝の巣穴は 5.82m (山本ほか、2010 では北側の地点で 6.2m) まで連続的に認められており、巣穴の連続性からすると 1 回の隆起であった可能性が高い。

c) 鮎川地区 (図 68) : 本地区では、標高 4.33m から 1.52m にかけての 7 試料のうち、最上位の 4.33m で得られたヤッコカンザシ (鮎川 1-3) が  $840 \pm 30$  yBP (Cal AD1410~1500)、またこれとほぼ同じ高さの 4.24m のヤッコカンザシ (鮎川 1-1) が  $670 \pm 30$  yBP (Cal AD1500~1680) とこの地区では最も新しい年代を示している。調査を行った大崎付近では、6~7m の旧汀線高度が推定されているが、5~6m 台の高位の試料が得られていないことから、上部については、やや古い時期に離水した可能性も否定できない。しかし保存状態のよい穿孔貝の巣穴は 5.22m (山本ほか、2010 では 5.9m) まで連続的に認められており、巣穴の連続性からすると 1 回の隆起であった可能性が高い。

d) 佐武・大味地区 (図 69) : 本地区では、標高 3.86m から 1.35m にかけての 14 試料のうち、最上位の 3.86m で得られたヤッコカンザシ (大味 4-1) が  $1010 \pm 30$  yBP (Cal AD1280~1400) とやや古い年代を示しているが、3.05m のヤッコカンザシ (大味 5-3)、2.99m のヤッコカンザシ (大味 5-1) は  $660 \pm 30$  yBP (Cal AD1510~1680)、 $640 \pm 30$  yBP (Cal AD1530~1690) という新しい年代値を示している。最も新しい年代値はこの 2.99m のヤッコカンザシ (大味 5-1) であった。この地区では 5.2~5.4m の旧汀線高度が推定されており、3.85m まで保存状態の良い穿孔貝の巣穴が認められることからすると 1 回の隆起が推定される。

e) 越前岬地区 (図 70) : 本地区では、標高 5.24m から 0.8m にかけての 17 試料のうち、最上位の 5.24m で得られたヤッコカンザシ (越前岬 7-1) が  $1270 \pm 30$  yBP (Cal AD1020~1180) とやや古い年代を示しているが、4.94m のヤッコカンザシ (越前岬 6-2) が  $610 \pm 30$  yBP (Cal AD1550~1700) という新しい年代を、さらに 4.05m のヤッコカンザシ (越前岬 8-1) は  $530 \pm 30$  yBP (Cal AD1660~1830) というこの地区で最も新しい年代を示している。また越前岬地区では、17 試料中 10 試料が 500 yBP 台、600 yBP 代の年代値を示しており、採取された高さも 1m 以下までさまざまである。この地区では 5m 台 (山本ほか、2010 では 5.4~5.7m) に旧汀線が求められており、得られた年代値からすると、1 回のみの隆起が推定される。

f) 森腰隧道・米ノ地区 (図 71) : 本地区では、標高 4.8m から 1.2m にかけての 8 試料のうち、最上位の 4.8m で得られたカモメガイ (森腰隧道 1-1) が  $1134 \pm 83$  yBP

(Cal AD1034~1382) とやや古い年代を示している。この下位、2.9m のヤッコカンザシ (一本木 1-1) は  $660 \pm 30$  yBP (Cal AD1510~1680)、2.45m の *Striarca* sp. (森腰隧道 2-1) は  $630 \pm 30$  yBP (Cal AD1530~1690) と新しい年代を示している。この付近の旧汀線高度は 5.6~5.8m であり、年代値からすると、2 回の隆起の可能性も否定はできない。

### 3) 越前海岸の隆起回数

以上の各地区における生物遺骸試料の採取標高と得られた年代値、及び旧汀線高度からすると、越前海岸の 3~7m の隆起量は、全体からすると 1 回の隆起による可能性が高いと言える。

## 5.5 まとめ—越前海岸における断層帯主部／北部の最新活動の時期と隆起量

### (1) 断層帯主部／北部の最新活動時期

越前海岸における過去 2 千年のローカルリザーバー効果 ( $\Delta R$  値) を  $-50 \pm 30$   $^{14}\text{C}$  yr とすると、同海岸の離水時期、すなわち断層帯主部／北部の最新活動時期は大味地区以北では 16 世後半~17 世紀前半、それより南の地域では 17 世紀後半頃となる。これらの年代値からすると、越前岬の北側を境として、北部が先に活動し、南部が引き続いて活動した可能性がある。しかし、年代値を見る限り、誤差範囲内で重なっており、北部と南部が同時に活動した可能性も残されている。

### (2) 最新活動時の隆起量

離水海食地形の測量結果と保存状態の良い穿孔貝などの巣穴の上限高度から、越前海岸の旧汀線高度は和布地区で 3.2~3.5m、亀島地区で 6.8~7.0m、鮎川地区では 6 (?) m、佐武・大味地区で 5.2~5.4m、越前岬地区では 5.24m を超える 5m 台、森腰隧道地区では 5.6~5.8m、米ノ地区では 4 (?) m と見積もられる。この隆起が 1 回の断層活動によるものなのか、複数回の活動を含むものなのかを、旧汀線高度以下の岩礁から得られた生物遺骸の採取標高と年代値から検討した。その結果、年代値のみからすると、2 回の断層活動を否定できない地区もあるが、穿孔貝等の保存状態の良い巣穴の分布を考慮すると、最新の活動 1 回によって 3~7m 隆起したものと考えられる。

## 6. まとめ—柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の位置・形状と過去の活動

本報告のまとめとして、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／北部の位置・形状と過去の活動に関するデータを総括する。

### 6.1 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の位置・形状 (表 12)

#### (1) 断層帯主部／北部の北端

3.4 で述べたように、今回の音波探査結果と海洋情報部 (2004) の調査データの再検討結果に基づくと、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、大グリの南方となる。北端の詳細位置は、断層関連褶曲と考えられる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  $36^{\circ} 21'$ 、東経  $136^{\circ} 0'$  付近) となる。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）となる。

## （２）断層帯主部／北部の全体トレースと構成断層

柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部は、上述の北端から安島岬の沖約 12km へ南下し、ここから向きを南南東に変えて九頭竜川河口の沖約 10km、福井港の沖合を経て、三里浜の沖約 4km に達する。ここから、越前海岸に沿って、和布沖、鮎川沖を南南西方向に南下し、大味沖付近で既知の甲楽城断層に連続する。

本報告では、安島岬沖と三里浜沖の断層トレースの屈曲点、及び地震調査委員会（2004）による干飯崎北西沖の屈曲点を境として、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部を便宜的に 4 つの区間に分け、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、甲楽城・山中断層区間と仮称する。

なお、福井港沖区間の南部には、上述の主断層の東側 3~4km の範囲に、2 条のほぼ南北走向で長さ 3km 以上の断層が分布する。また、越前海岸北部区間では、上述の主断層の西側約 2~5km の範囲に、N15° E~南北走向で全体の長さが 15km 以上に達する数条の断層が存在する。

## （３）各断層区間の走向・長さ と断層帯主部／北部の全長

断層帯の北端と 3 つの屈曲点を折れ線で結んで求めた各断層区間の走向と長さは以下の通りである。

安島岬北西沖区間の一般走向は N5° E、長さは約 11km（北端を測線 18-19 間とした場合）もしくは約 12km（北端を測線 17-18 間とした場合）である。

福井港沖区間の走向は N25° W、長さは約 13km、越前海岸北部区間の走向は N20° E、長さは約 28km である。甲楽城・山中断層区間は N45° W、長さは約 25km である。

これらの各断層区間の長さを足し合わせた柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の全長は、77km（北端を測線 18-19 間とした場合）もしくは 78km（北端を測線 17-18 間とした場合）となり、従来の全長（約 48km）よりも約 30km 長くなる。

## （４）断層帯のずれの向きと傾斜方向

柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部を構成する主な断層は、全域にわたって、東側上がりの上下変位成分を有する。

安島岬北西沖区間は、断層の東側に、断層関連褶曲と考えられる東翼が長く、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。

福井港沖区間の北北西~北西走向の断層（最も西側の断層）は、その南端付近を除いて、背斜構造やバックスラストは見られない。また、海洋情報部（2004）の測線 39 では、横ずれ断層によく見られる反射面の V 字状の落ち込みが顕著である。これらの性状と断層の走向から、この区間では左横ずれ成分を伴う、もしくは同成分が卓越すると推定される。この区間の断層の傾斜は、安島岬北西沖区間よりも高角度の可能性がある。なお、この断層の東側に分布するほぼ南北走向の 2 条の断層は、その東側に背斜構造を伴っていることから、東傾斜の逆断層と考えられる。

越前海岸北部区間は、主要な断層の東側にバックスラストと考えられる西側上がりの逆断層を伴っていることから、東傾斜の逆断層と考えられる。これまで断層帯主部／北部の北端部とされている陸上の鮎川断層群は、海域で確認された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。

甲楽城・山中断層区間は、日本原子力発電（2010）の音波探査結果などから、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う、もしくは左横ずれ成分が卓越し、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／北部の過去の活動（表 13）

### （1）平均変位速度

#### 1）越前海岸の隆起速度

山本ほか（1996）及び山本ほか（2010）によると、越前海岸の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）に離水した中位段丘 1 面（M1 面）の高度は、北部の和布付近では 37～46m、鮎川付近から越前岬南方付近では 84～116m、干飯岬周辺から、甲楽城・河野にかけての南部地域では 88～96m である。これらのデータから、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の後期更新世以降の平均隆起速度は、越前岬付近（越前海岸北部区間南部）において、最大で約 0.9m／千年に達すると推定される。

#### 2）越前海岸沖海域の沈降速度

柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の西側、すなわち、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 800m 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）。

越前海岸北部区間の南端部を横断する音波探査断面（日本原子力発電、2010 の AW14E 測線；図 72）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明瞭に認められる。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（シーケンス境界）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で約 90m、海底断層の沖でも約 90m である。最終氷期とその一つ前の氷期における海水準や堆積環境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、仮にこれらは無視できると考えた場合には、90m の深度の違いは、大雑把に、越前海岸北部区間の活動による沈降量に対応する可能性がある。なお、越前海岸北部区間の南端部は、図 30 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 40m である（図 72）。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 25m ほど低い位置にある。

以上から、越前海岸北部区間の活動による沈降量を仮に 70～90m と見なし、酸素同位体ステージの年代（Prell *et al.*, 1986、Ruddiman *et al.*, 1989 など）に基づき、最終氷期とその一つ前の氷期の最盛期をそれぞれ約 2 万年前、約 16 万年前とすると、この間の平均沈降速度はおおよそ 0.5～0.6m／千年となる。

### 3) 平均上下変位速度

以上より、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の中で最も活動的と考えられる越前岬付近（越前海岸北部区間南部）の最終間氷期以降の平均上下変位速度は、最大で 1.5m／千年程度に達すると推定される。内訳は、陸側の隆起が最大約 0.9m／千年、海側の沈降がおおよそ 0.6m／千年であり、後者の信頼度は高くない。

福井港沖区間では、測線 36BM（図 15）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 50～60m 程度と見積もられる。また、北部の安島岬北西沖区間では、測線 27BM（図 11）の断層低下側（西側）の II 層基底は、堆積構造から、海底下 60m 付近にあると推定され、隆起側の II 層基底との高度差は、大雑把に 50m 程度と見積もられる。これらより、福井港沖区間と安島岬北西沖区間の最終間氷期以降の平均上下変位速度は 0.3～0.4m／千年程度と推測される。

### （2）最新活動時期

遺跡調査の結果から、越前海岸付近の断層帯主部／北部（越前海岸北部区間）の最新活動時期は 17 世紀（中頃？）以前と推定される。

一方、旧汀線付近ないしその直下で採取した生物遺骸の  $^{14}\text{C}$  年代は、ローカルリザーバー効果 ( $\Delta R$  値) をゼロとした場合、遺跡調査結果より新しい時代の断層活動を示した。このため、周辺地域のデータを踏まえて検討した結果、 $-50 \pm 30$   $^{14}\text{C}$  yr とすると、遺跡調査結果と矛盾しないことが分かった。越前海岸における  $\Delta R$  値を  $-50 \pm 30$   $^{14}\text{C}$  yr とした場合、大味以北の越前海岸北部区間の最新活動時期は 16 世後半～17 世紀前半と考えられる。それより南の越前海岸北部区間から甲楽城・山中断層区間の北端部の最新活動時期は 17 世紀後半頃となる。これらの年代値から、越前岬の北側を境として北部が先に活動した可能性と北部と南部が同時に活動した可能性の両方が考えられる。

他の断層区間については、安島岬北西沖区間は音波探査の結果から後期更新世以降（II 層の堆積開始以降）、福井港沖区間は堆積物採取調査の結果からおおよそ 8 千年前以降の完新世と推定される。甲楽城・山中断層区間については、その北端部については上述したが、日本原子力発電（2010）の音波探査データでも、I 層に断層変位が及んでおり、最新活動は約 2 万年前の後氷期海進の開始以降と判断される。

### （3）1 回の隆起量

#### 1) 最新活動に伴う隆起量

離水海食地形の調査結果から、16 世後半～17 世紀後半頃の最新活動による越前海岸（越前海岸北部区間から甲楽城・山中断層区間北端部）の隆起量は 3～7m と求められた。地区ごとの隆起量は、和布地区 3.2～3.5m、亀島地区 6.8～7.0m、鮎川地区 6 (?) m、佐武・大味地区 5.2～5.4m、越前岬地区では 5.24m を超える 5m 台、森腰隧道地区 5.6～5.8m、米ノ地区 4 (?) m である。亀島地区から越前岬南方の森腰隧道地区にかけての約 20km の範囲では、5.2～7.0m のかなり一定した隆起量を示す。

#### 2) 過去の活動に伴う平均隆起量

山本ほか（2010）は、縄文海進期以降の海水準変動（弥生時代の小海退など）を考慮し、越前海岸では BC850 年頃に 3.6～4.6m、BC3350 年頃に約 2.8m の隆起があったと

推定している。また、最新活動を含めた 3 回の活動に伴う平均隆起量を 4.1~4.5m と推定している。なお、弥生の小海退で離水したとされている海食地形も断層活動によって離水したと仮定した場合には、最新活動を含めて 4 回の断層活動があったことになり、1 回当たりの平均隆起量は 3.1~3.4m となる。これらの平均隆起量に比べて、最新活動に伴う亀島地区~森腰隧道地区の隆起量 (5.2~7.0m) はかなり大きい。

(1) で述べた海域の沈降を考慮すると、上述の最新活動に伴う隆起量と過去の活動に伴う平均隆起量は、上下変位量の下限值と考えられる。

他の断層区間の 1 回の活動による隆起量や上下変位量は不明である。

#### (4) 平均活動間隔

山本ほか (2010) は、上でも触れたように、越前海岸では、16 世後半~17 世紀後半頃の最新活動に先立って、BC850 年頃に断層活動があったとしている。これら 2 回の活動の間隔は約 2500 年であり、これを柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部/北部の平均活動間隔と見なせば、約 2500 年となる。但し、弥生の小海退で離水したとされている海食地形も断層活動により離水したと仮定した場合には、海水準の上昇が終わった約 6000 年前の縄文海進最盛期以降に 4 回の断層活動が生じた可能性がある。この場合、4 回の活動の平均間隔はおおよそ 2000 年かそれより短くなる。

#### (5) 活動区間

松田 (1975) による断層の長さとの経験的關係に、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部/北部の全長 (77~78km) を代入して、断層帯全体の活動に対応する 1 回のずれの量を求めると、約 6m となる。この値は本断層帯の最新活動に伴う亀島地区~森腰隧道地区の隆起量 (5.2~7m) にほぼ対応する。但し、海域の沈降を考慮した場合、最新活動に伴うこれら地区の総上下変位量はさらに大きい可能性がある。また、最新活動時の越前海岸の最大隆起量 7m を、栗田 (1999) による 1 回の最大ずれ量と地震セグメント長に関する経験的關係に代入すると、対応する地震セグメント長は 63km となる。越前海岸海域の沈降を考慮した場合には、対応する地震セグメント長はさらに長くなる可能性がある。また、隆起量の最頻値を 5m と仮定し、栗田 (1999) による 1 回のずれ量の最頻値と地震セグメント長に関する経験的關係に代入すると、対応する地震セグメント長は 75~100km となる。これらの経験式による試算は、過去の活動よりも大きな隆起を伴った 16 世後半~17 世紀後半頃の最新活動では、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部/北部の全域もしくはそれに近い広い範囲が活動した可能性を示唆する。

一方、現在においても、この時期の大規模な地震や顕著な地殻変動を裏付ける古文書などの記録は見出されていない。謎はさらに深まった感があり、多方面からの更なる調査研究が期待される。

## 7. その他の資料

### 7.1 地元（都道府県、市町村）等への説明

- 1) 2012年6月14日に、福井県安全環境部危機対策・防災課、同部原子力安全対策課、農林水産部水産課、福井県漁業協同組合連合会に、調査内容と実施予定時期などについて説明を行うと共に、調査への協力を要請した。
- 2) 2012年8月20日頃に、同年8月29日に開催される第196回地震予知連絡会において、8月上旬に実施した柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の北方延長部の音波探査の結果を公表する旨、講演要旨を添えて福井県安全環境部危機対策・防災課に連絡した。
- 3) 2012年10月10日頃に、同年11月16,17両日に開催される日本活断層学会2012年度秋季学術大会とシンポジウム「近畿の活断層と大地震」において、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部北方延長部と2011年度に実施した浦底－柳ヶ瀬山断層帯の調査結果を公表する旨、講演要旨を添えて福井県安全環境部危機対策・防災課に連絡した。
- 4) 2013年2月21日に、福井県安全環境部危機対策・防災課を訪問し、同課及び原子力安全対策課に調査結果の取りまとめ資料を手渡すと共に、その概要を説明し、質問に答えた。

### 7.2 貸与・開示資料

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。

#### (1) 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。

#### (2) 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）。

#### (3) 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）。

### 7.3 マスコミ等の取材への協力状況

特になし。

但し、2012年8月29日開催の地震予知連絡会において、本調査の成果を一部公表（10.4参照）したところ、次の報道がなされた。

- ・読売新聞 2012年8月30日夕刊14面 見出し「福井の断層帯30キロ長く」

### 7.4 成果の公表等

本調査については、以下の成果公表等を行った。

- 1) 杉山雄一：沿岸海域の活断層－柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の若狭湾～越前・加賀沖への

延長部の例. 第 196 回地震予知連絡会, 2012 年 8 月 29 日.

(<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/196/196.html>)

- 2) 杉山雄一・村上文敏・山本博文・宇佐見琢哉・畑山一人・島崎裕行：柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯北部延長部（越前沖）の音波探査（速報）. 日本活断層学会 2012 年度秋季学術大会, 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, 62-63, 2012 年 11 月 16 日.
- 3) 杉山雄一：越前沖～若狭湾周辺の海域活断層. 日本活断層学会 2012 年度秋季学術大会シンポジウム「近畿の活断層と大地震」, 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, 2012 年 11 月 17 日.
- 4) 杉山雄一：柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯海域延長部の構造と活動性. 第 150 回活断層・地震研究センターセミナー, 2012 年 11 月 30 日.  
(<http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/katsudo/seminar/index.html>)
- 5) 杉山雄一：沿岸海域の活断層－柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の海域延長部の例. 地震予知連絡会会報, 89, 399-407, 2013 年 3 月 14 日.  
([http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou89/12\\_04.pdf](http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou89/12_04.pdf))

以下は公表予定

- 6) 杉山雄一・村上文敏・山本博文・宇佐見琢哉・畑山一人・島崎裕行：柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯北部海域延長部の音波探査. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会.
- 7) 山本博文・平井祐太郎・杉山雄一：柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯北部の最新活動時期の再検討. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会.

## 謝 辞

本調査の実施に際しては、福井県安全環境部の危機対策・防災課と原子力安全対策課、同県農林水産部水産課、同県福井港湾事務所、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は、本調査の計画段階からご協力・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。

調査担当：杉山雄一・村上文敏（産業技術総合研究所）  
山本博文・平井祐太郎（福井大学教育地域科学部）

## 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.
- 青木豊昭 (1988) : 第二編 第一章 原始. 越廼村誌編集委員会編「越廼村誌」, 137-168.
- 栗田泰夫 (1999) : 日本の地震断層におけるセグメント構造とカスケード地震モデル (試案). 地質調査所速報, EQ/99/3 (平成 10 年度活断層・古地震研究調査概要報告書), 地質調査所, 275-284.
- 福井大学教育地域科学部地学教室 (2013) : 沿岸海域における活断層調査 (柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯/北部) 越前海岸離水岸礁調査 データ一覧.
- 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.
- 福井県教育委員会 (1993) : 福井県遺跡地図. 福井県.
- 波部忠重 (1977) : 日本産軟体動物分類学 二枚貝綱/掘足綱. 北隆館, 372p.
- Heaton, T.J., Blackwell, P.G. and Buck, C.E. (2009): A Bayesian approach to the estimation of radiocarbon calibration curves: the INTCAL09 methodology. *Radiocarbon*, 51, 1151-1164.
- 伊藤大輔・木下慶之・山本博文 (2002) : 越前海岸にみられる海食洞と旧汀線高度について. 福井大学教育地域科学部紀要 第Ⅱ部 (自然科学), no.54, 11-38.
- 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](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04jan_yanagase/index.htm)
- 海上保安庁海洋情報部 (2004) : 沿岸海域海底活断層調査「加賀一福井沖」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.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) : 新編 火山灰アトラスー日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 336p.
- 松田時彦 (1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震第 2 輯, 28, 269-283.
- 宮田佳樹・南 雅代・西本豊弘・松崎浩之・中村俊夫 (2010) : 貝の炭素年代測定値が示す意味. 名古屋大学加速器質量分析業績報告書, XXI, 32-39.
- Nakamura, T., Matsui, A., Nishida, I., Nakano, M. and Omori, T. (2013): Time range of accumulation of shell middens from Higashimyo (western Japan) and Kimhae (southern Korea) by AMS radiocarbon dating. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 294, 680-687.
- Nakamura, T., Nishida, I., Takada, H., Okuno, M., Minami, M. and Oda, H. (2007): Marine reservoir effect deduced from  $^{14}\text{C}$  dates on marine shells and terrestrial remains at archeological site in Japan. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 259, 453-459.
- 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).
- 太田陽子 (1973) : 海成段丘面上の活断層—丹生山地西縁および佐渡ヶ島の例—. お茶の水地理, 14, 10-15.
- 太田陽子・成瀬 洋 (1977) : 日本の海成段丘—環太平洋地域の海面変化・地殻変動の中での位置づけ—. 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.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. (2009): IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51, 1111-1150.
- 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.
- 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.
- 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・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」, no.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.
- Yoneda, M., Uno, H., Shibata, Y., Suzuki, R., Kumamoto, Y., Yoshida, K., Sasaki, T., Suzuki, A. and Kawahata, H. (2007): Radiocarbon marine reservoir ages in the western Pacific estimated by pre-bomb molluscan shells. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 259, 432-437.
- Yoshida, K., Hara, T., Kunikita, D., Miyazaki, Y., Sasaki, T., Yoneda, M. and Matsuzaki, H. (2010): Pre-bomb marine reservoir ages in the western Pacific. *Radiocarbon*, 52, 1197-1206.

## 図表等のキャプション

- 図 1 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の位置と構成断層
- 図 2 音波探査対象海域
- 図 3 音波探査測線位置図
- 図 4 ブーマー音源及びストリーマー配置図
- 図 5 確認された断層及び褶曲の位置
- 図 6 断層及び褶曲の分布（トレース）
- 図 7 測線 16BM の反射記録
- 図 8 測線 19BM の反射記録
- 図 9 測線 22BM の反射記録
- 図 10 測線 25BM の反射記録
- 図 11 測線 27BM の反射記録
- 図 12 測線 30BM の反射断面
- 図 13 測線 33BM の反射断面
- 図 14 測線 35BM の反射断面
- 図 15 測線 36BM の反射断面
- 図 16 測線 37BM 及び 37BS-2 の反射断面
- 図 17 測線 38BM の反射断面。
- 図 18 福井港沖でのシングルチャンネル探査による反射断面（1：測線 36.5BS～38BS）。
- 図 19 福井港沖でのシングルチャンネル探査による反射断面（2：測線 38BS～39.5BS）。
- 図 20 測線 39（海洋情報部、2004）、測線 39.5BS（本調査）、測線 40（海洋情報部、2004）の反射断面と地質構造の追跡
- 図 21 測線 41BM の反射断面
- 図 22 測線 43BM の反射断面
- 図 23 測線 45BM の反射断面
- 図 24 測線 45BM 東端部の断層近傍の反射断面（拡大図）
- 図 25 測線 47BM の反射断面
- 図 26 測線 49BM の反射断面
- 図 27 測線 52BM の反射断面
- 図 28 測線 54BM の反射断面
- 図 29 安島岬の西方約 12km（測線 31 付近）で確認された東上がりの断層
- 図 30 越前沖～若狭湾周辺の活断層
- 図 31 海洋情報部（2004）の測線 38 西部の反射断面
- 図 32 海洋情報部（2004）の測線 44 西部の反射断面
- 図 33 越前岬沖の東西走向の活断層を横切る反射断面
- 図 34 福井港沖の正断層の形成モデル
- 図 35 堆積物採取（コアリング）調査地点
- 図 36 ピストン式柱状採泥器の模式図
- 図 37 ピストン式柱状採泥器による堆積物試料採取概念図

- 図 38 堆積物コア採取地点の詳細位置図
- 図 39 測線 37BS-2 の反射断面へのコア採取地点垂直投影図
- 図 40 コアの帯磁率測定及び色調測定の結果
- 図 41 コアの帯磁率測定及び色調測定の結果
- 図 42 断層の相対的隆起側で採取された堆積物コアの柱状図
- 図 43 断層の相対的沈降側で採取された堆積物コアの柱状図
- 図 44 堆積物コアの対比図。
- 図 45 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部周辺の活断層と離水海食地形調査地点
- 図 46 C1 海食洞（鯨穴）の断面図，平面図及び洞底堆積物分布図
- 図 47 越前海岸の生物遺骸年代値。
- 図 48  $\Delta R = -50 \pm 30 \text{ }^{14}\text{C yr}$  とした場合の越前海岸の生物遺骸年代値。
- 図 49 1：100 地形図作成位置（1）
- 図 50 1：100 地形図作成位置（2）
- 図 51 1：100 地形図作成位置（3）
- 図 52 和布地区の地形図
- 図 53 亀島地区の地形図
- 図 54 大味地区の地形図
- 図 55 森越隧道地区地形図
- 図 56 米ノ地区の地形図
- 図 57 和布地区の地形断面図
- 図 58 亀島地区の地形断面図
- 図 59 大味地区の地形断面図
- 図 60 森越隧道地区の地形断面図
- 図 61 米ノ地区の地形断面図
- 図 62 和布地区西部の詳細地形図
- 図 63 和布地区西部の地形断面図
- 図 64 亀島地区北西部の詳細地形図
- 図 65 亀島地区北西部の地形断面図
- 図 66 和布地区の高さ別生物遺骸年代
- 図 67 亀島地区の高さ別生物遺骸年代
- 図 68 鮎川地区の高さ別生物遺骸年代
- 図 69 佐武・大味地区の高さ別生物遺骸年代
- 図 70 越前岬地区の高さ別生物遺骸年代
- 図 71 森腰隧道・米ノ地区の高さ別生物遺骸年代
- 図 72 干飯崎付近の反射断面

表 1 音波探査測線一覧

表 2 調査地域の音響層序と陸上地質層序との対比

表 3 ピストン式柱状採泥器の規格

表 4 堆積物コアの採取状況一覧

- 表 5  $^{14}\text{C}$  年代測定試料及び測定結果
- 表 6 5つのコアから採取した a 層試料の火山灰分析結果
- 表 7 福井県教育委員会 (1993) に記されている調査地域の標高 20m 以下の遺跡
- 表 8 年代測定を行った遺骸の試料番号・標高・種類と測定結果 (大味地区以北)
- 表 9 年代測定を行った遺骸の試料番号・標高・種類と測定結果 (越前海岸地区以南)
- 表 10 年代測定を行った遺骸の試料番号・標高・種類と測定結果 (大味地区以北)  
(ローカルリザーバー効果を  $-50 \pm 30$   $^{14}\text{C}$  yr と仮定)
- 表 11 年代測定を行った遺骸の試料番号・標高・種類と測定結果 (越前海岸地区以南)  
(ローカルリザーバー効果を  $-50 \pm 30$   $^{14}\text{C}$  yr と仮定)
- 表 12 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の位置・形状
- 表 13 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部／北部の過去の活動