

3. 研究報告

3. 1 活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等の調査及び断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等の調査及び断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人京都大学大学院理学研究科	教授	竹村 惠二
国立大学法人京都大学大学院理学研究科	准教授	堤 浩之
国立大学法人大分大学	名誉教授	千田 昇
国立大学法人広島大学大学院教育学研究科	准教授	熊原 康博
私立大学法人福岡大学	研究員	中西 利典
国立大学法人九州大学大学院理学研究院	助教	下山 正一
公立大学法人大阪市立大学大学院理学研究科	准教授	原口 強
国立大学法人北海道大学大学院自然科学研究院	准教授	山本 正伸
独立行政法人産業技術総合研究所	主任研究員	池原 研
国立大学法人愛媛大学	准教授	加 三千宣

(c) 業務の目的

別府一万年山断層帯（大分平野－由布院断層帯東部）の地表での詳細な断層位置と分布形状、および変位量分布を把握するため、詳細な変動地形学的調査・海域地形調査を断層帯域で実施するとともに、既存の地形・地質学的調査結果、既存反射法地震探査等の成果を整理し、断層の地表位置、分布、浅部形状等に基づく変動地形・活構造の分布を明らかにする。構成する各断層の最新活動時期を限定するとともに、地震発生の長期予測に資する複数の断層活動履歴を新たに復元するための古地震調査を実施する。さらに、既存の地形・地質情報の再検討および新規取得により、平均変位速度を推定する。

(d) 3 ヶ年の年次実施業務の要約

1) 平成 26 年度：

国立大学法人京都大学大学院理学研究科は、平成 26 年度は、調査領域を陸域（1－1）、海域（1－2）、伏在平野部（1－3）に分けて調査を実施した。まず、既存の地形・地質情報・歴史資料の収集・整理を行った。別府一万年山断層帯（大分平野－由布院断層帯東部）の詳細な位置や分布を明らかにするために、既存の陸域・海域・伏在平野部の調査情報を整理し、陸域では、空中写真判読、地表踏査およびデジタル地形解析等による数値標高モデルの作成と活断層分布調査を進めた。海域では、海底地形調査および音波探査を実施して、位置や分布を検討した。伏在

平野部では、ボーリングデータ等の既存の資料および本観測研究以前に収集・保管されている堆積物試料を用いた解析を進めた。また断層帯を構成する個々の活断層の複数回の活動時期を明らかにするために、古地震調査適地を選定し、ボーリング掘削調査を行った。あわせて関連の試料分析（火山灰分析・年代測定等）を行った。また、各研究に関する情報交換と議論を行うために、関係者間の打ち合わせ、サブテーマ会議を実施した。なお、調査にあたっては、ボーリング候補となる地点について事前に情報を可能な限り入手するとともに、調査の実施方法等について十分な検討を行い、適切にスケジュール管理を行った。

2) 平成 27 年度：

国立大学法人京都大学大学院理学研究科は、平成 27 年度も、調査領域を陸域（1-1）、海域（1-2）、伏在平野部（1-3）に分けて調査を実施する。まず、既存の地形・地質情報・歴史資料の収集・整理を継続・実施する。別府一万年山断層帯（大分平野一由布院断層帯東部）の詳細な位置や分布を明らかにするために、既存の陸域・海域・伏在平野部の調査情報を整理し、陸域では、空中写真判読・地表踏査により、海域では、海底地形調査および音波探査の解析作業を継続し、位置や分布を明らかにする。また、湾内での堆積物採取を実施し、地震時イベント堆積物の分析・解析を実施し、活動履歴の高度化を図る。伏在平野部では、ボーリングデータ等の既存の資料および本観測研究以前に収集・保管されている堆積物試料および新規試料を用いた解析を進める。また断層帯を構成する個々の活断層の複数回の活動時期を明らかにするために、古地震調査適地を選定し、ボーリング掘削調査・トレンチ調査等を行う。あわせてサブ 1 関連の試料分析（火山灰分析・年代測定等）を行う。また、各研究に関する情報交換と議論を行うために、関係者間の打ち合わせ、サブテーマ会議を行う。なお、調査にあたっては、トレンチ・ボーリング候補となる地点について事前に情報を可能な限り入手するとともに、調査の実施方法等について十分な検討を行い、適切にスケジュール管理を行う。

3) 平成 28 年度：

別府一万年山断層帯（大分平野一由布院断層帯東部）の古地震調査（トレンチ、ボーリング等）として試料分析と変位速度の整理を 26 年度・27 年度調査結果を踏まえて、実施する。陸域・海域・伏在平野部を統合した断層帯の活動時期、地震時変位量、平均変位速度、断層帯の地下層序の高度化を行う。また、各研究に関する情報交換と議論を行うために、関係者間の打ち合わせ、サブテーマ会議を行う。なお、調査にあたっては、トレンチ・ボーリング候補となる地点について事前に情報を可能な限り入手するとともに、調査の実施方法等について十分な検討を行い、適切にスケジュール管理を行う。

(2) 平成 26 年度の成果

(a) 業務の要約

26年度の陸域調査では、1970年代撮影の縮尺約2万分の1、1948年に米軍が撮影した縮尺約1.5万分の1空中写真を用いて、活断層のトレース及び変位様式を検討した。歴史資料の調査を実施し、1596年の慶長豊後地震の記録の収集・解析を実施した。また、大分平野については、ボーリング資料によるアカホヤ火山灰の深度分布も考慮して断層トレースを推定した。海域調査では海底地形調査および音波探査による位置・形状の把握を目的とした調査を実施した。伏在部の調査では、別府扇状地の南側に分布する朝見川断層の活動履歴を解明するために、同断層の沈降側において新たに二本のボーリングコア掘削とそれらの分析を実施した。これらの掘削地点近傍で得られていた既存の二本のボーリングコア試料の分析結果と総合して、同断層の活動履歴について検討した。

(b) 業務の成果

1) 陸域の調査 (サブ1-1)

a) 空中写真判読による活断層のトレース位置及び変位様式の認定

26年度調査では、1970年代撮影の縮尺約2万分の1、1948年に米軍が撮影した縮尺約1.5万分の1空中写真を用いて、活断層のトレース及び変位様式を検討した。また、大分平野については、ボーリング資料によるアカホヤ火山灰の深度分布も考慮して断層トレースを推定した。

i) 別府平野周辺 (図1)

大分県による活断層調査(大分県、2004)で明らかにされた断層トレースの位置や変位様式と大きな違いは認められない。ただし、湯山から伽藍岳北部にかけてのトレース上では、谷の屈曲から右横ずれ変位が新たに認められた。ここでは、南から北に向かって流れる開析谷中に比高約5~8mの逆向き低断層崖と、河谷の右横ずれ変位(約20m)が確認できる。このトレース上では、伽藍岳北斜面を開析する4本の谷が系統的に右屈曲している。

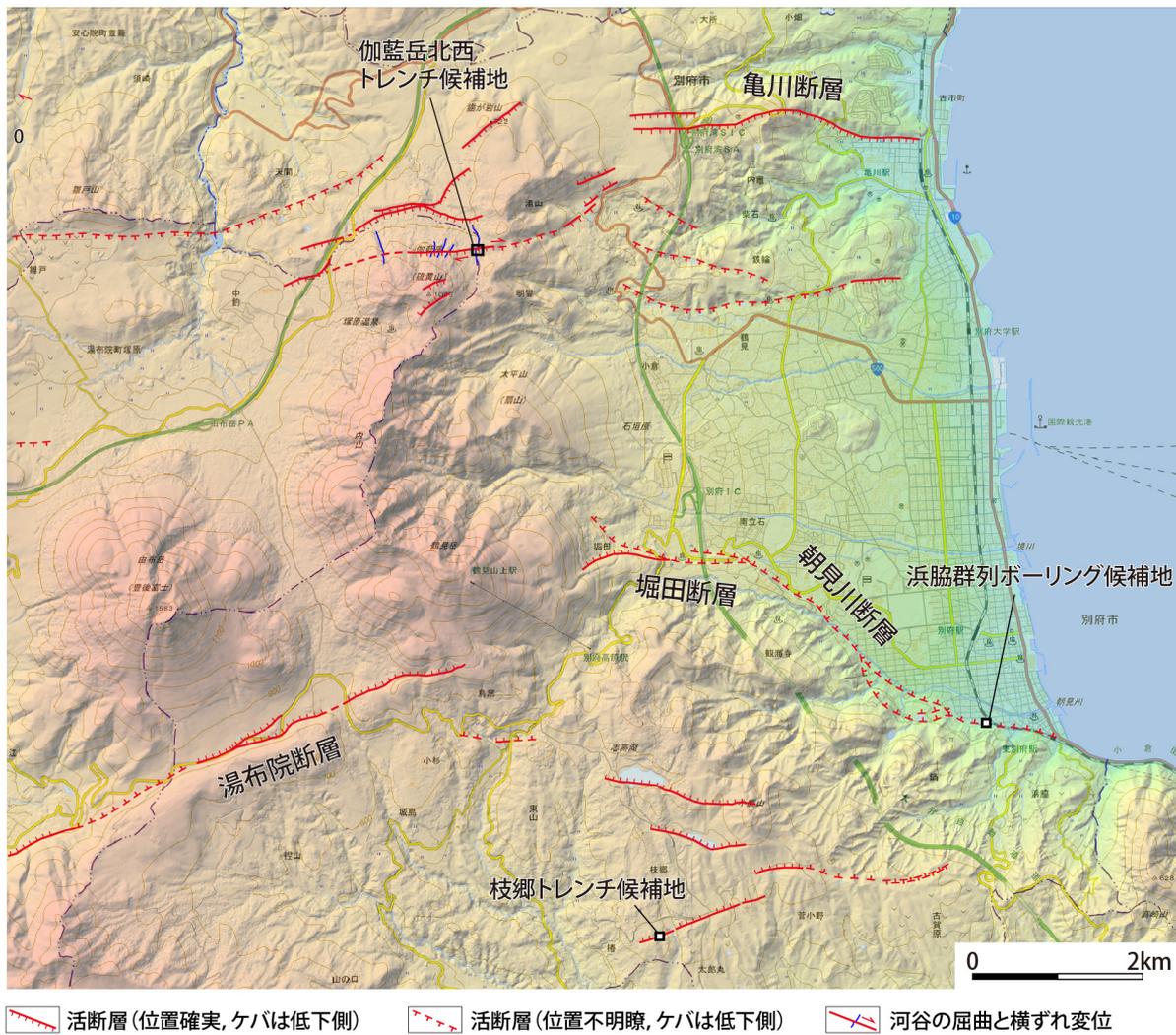


図1 別府平野周辺の活断層分布
基図は国土地理院の地理院地図から作成.

ii) 大分平野周辺 (図2)

大分県による活断層調査で明らかになった断層トレースと大きな違いは認められない。三佐断層・志村断層では、米軍撮影の写真では低断層崖状の地形が認められるが、海岸線と平行であるため、浜堤と海岸線の境界である可能性も否定できない。一方、府内断層については、牧地区周辺で低位段丘面上に低断層崖が認められた。

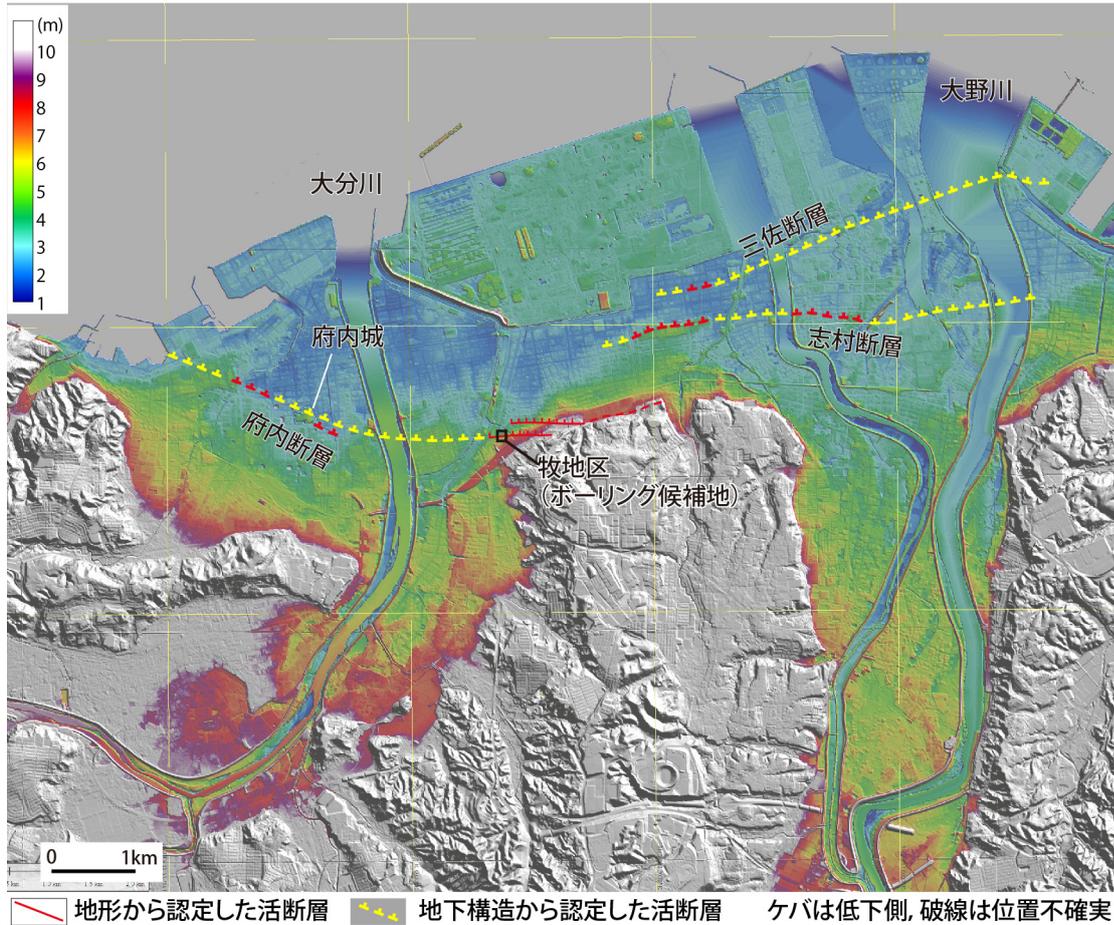


図2 大分平野周辺の活断層分布

基図は国土地理院 5m 標高メッシュデータから Global mapper を用いて作成.

b) トレンチ掘削調査・群列ボーリング調査候補地点の選定

i) 伽藍岳北東地区 (図3)

河谷の中に認められる低断層崖の存在から断層位置が確実に推定できること、下流側が隆起していることから細粒層の堆積が期待でき年代試料が得られやすいこと、右横ずれ変位の地質学的証拠を得られる可能性が高いことから、この地点をトレンチ掘削調査の候補地とした。

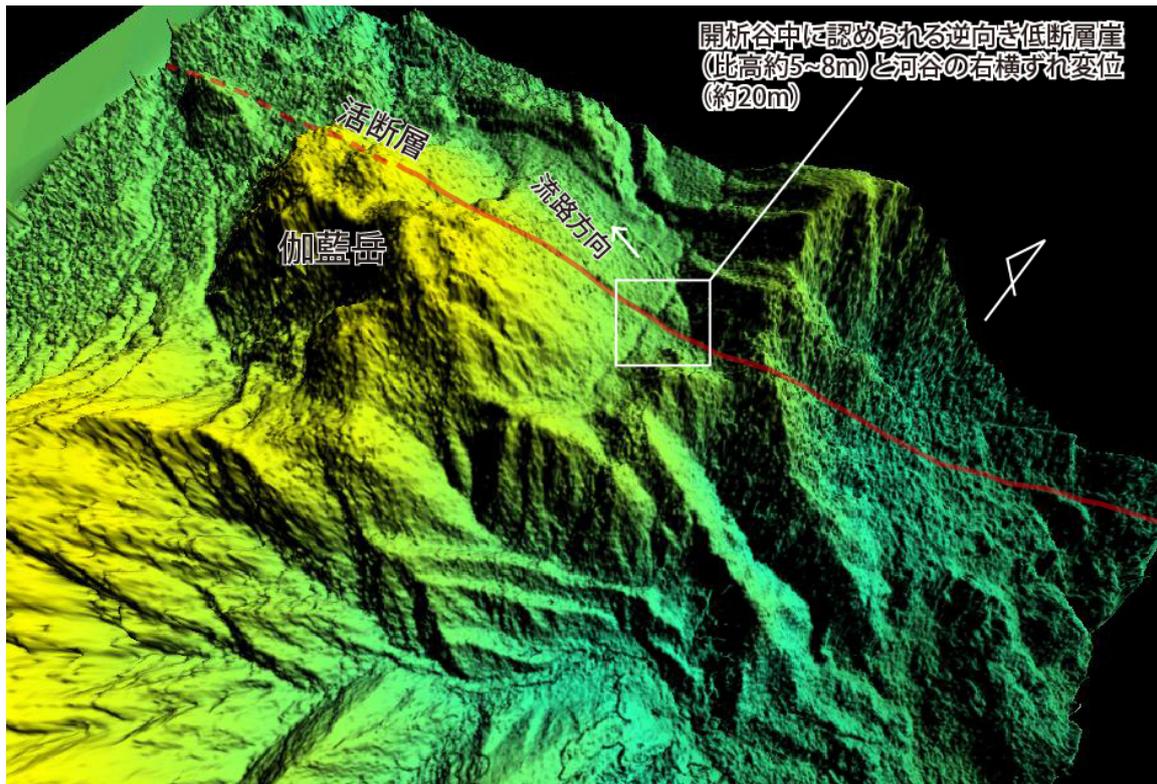


図3 伽藍岳北東地区の断層地形の鳥瞰図

鳥瞰図は、米軍撮影空中写真を Photo Scan を用いて作成。

ii) 枝郷地区

枝郷地区を通る断層トレースは、別府平野南部の山地南麓に認められる逆向き（北側低下）の断層群の一つである。この地点では、図4に示すように、もともと南流していた河川が断層崖によってせき止められ、現在では、断層崖を迂回するように東に向かって流れている。また、排水不良により一時的にせき止めが生じて谷底平野が広がる時期もあったと推定されるが、浸食の回春が生じた結果、谷底平野は段丘化している。離水した谷底平野南縁と断層崖の地形境界には、比高2m程度の低断層崖が認められる。この低断層崖を横切るようにトレンチ掘削調査を実施することで最新活動時期などが明らかになると期待される。



図4 枝郷地区の現地写真
写真は南東に向かって撮影。

iii) 浜脇地区

朝見川断層については、活動度が別府一万年山断層帯の中で最も高いと考えられているものの、これまで最新活動時期に関する知見が十分ではなく、詳細な調査が望まれている断層の一つといえる。断層西端の堀田地区から海岸までの別府平野南縁の断層トレースを踏査したものの、都市化が進行し、トレンチ掘削調査地点としてふさわしい地点を見いだすことはできなかった。ただし、浜脇地区においては、山地から流れる河川の小扇状地の扇央を横切る1～2m程度の低断層崖が認められる(図5)。家屋が密集した集落内に位置するためトレンチ掘削調査は難しいものの、断層に直交した群列ボーリング調査を実施できる可能性がある。



図5 浜脇地区の現地写真
写真は西に向かって撮影

iv) 牧地区

府内断層の東部に位置する地区で、米軍撮影の空中写真の判読によると低位段丘上に低断層崖が認められる（図6）。現在では、土地区画整理事業が実施されたため断層崖は認められないが、明瞭な高低差があることから、群列ボーリング調査を行うことで、比較的新しい時代の地層の断層変位を確認できると判断した。

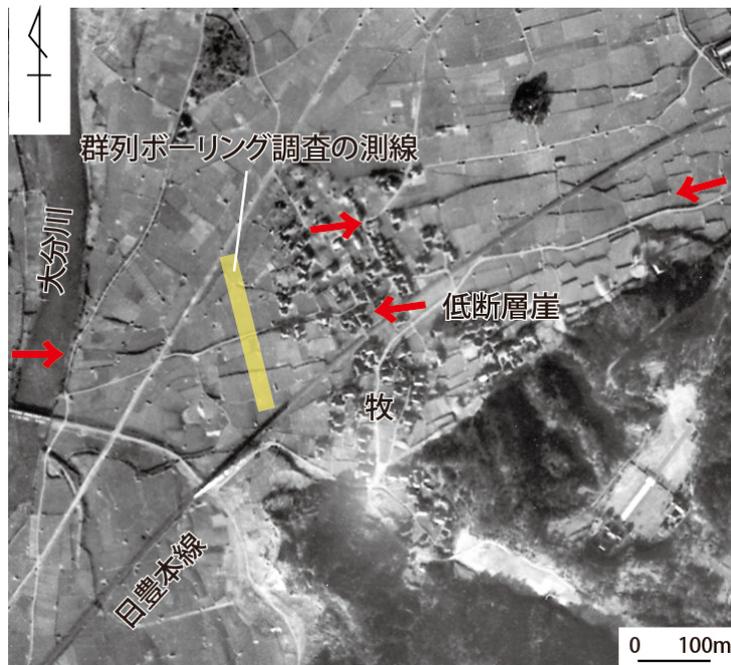


図6 牧地区の断層トレース

基図は米軍撮影（1948年1月13日撮影）の空中写真。
2つの赤矢印で挟まれる部分が低断層崖の部分

c) 歴史資料調査

慶長元年(1596)に発生した「慶長豊後地震」に関する、大分県内の古文書・記録類を収集し、発生日等の地震に関する基本情報の整理を行った。古文書・記録類は、その成立時期という点から、2種に分けることができる。1つは、何がしかの出来事が起きた時と同時期に成立したもの(以下Ⅰ類と呼ぶ)(図7)。いま1つは、後世に編纂されたもの(以下Ⅱ類と呼ぶ)(図8)である。なお、古文書・記録類の記載内容は、書き手によって「切り取られた情報」である。そこで、本業務では、古文書・記録類にかかるフィルターを除去しつつ、「慶長豊後地震」の実相に迫ることを目的とする。大分県内の古文書等をみる限り、発生日が、Ⅰ類では慶長元年閏7月9日、Ⅱ類では同月12日や13日と様々である。このことは、いずれかが正しいとみなすよりも、別府湾沿岸に被害をもたらした地震が、複数回発生したことを示唆するものと予測される。「慶長豊後地震」の調査は、慶長元年に発生した一連の地震研究に直結するものでもある。同時期の伊予における地震のまとめとして、中西(2002, 2009)などがある。

「慶長豊後地震」に関する古文書・記録類について、大分県内で所在確認調査を行った。あわせて、デジタル撮影を実施した。このうち、量などが多い記録に関しては、撮影を専門業者に依頼した。また、得られた情報の比較検討を行うとともに、絵図などの視覚資料の所在確認も実施した。

平成26年度は、興導寺(国東市)の大般若経(図7)とともに、Ⅰ類の代表である『柴山勘兵衛記』を記した柴山氏の末裔の津山氏に伝わった系譜類(竹田市立歴史資料館所蔵)の調査を実施した。『柴山勘兵衛記』では、地震の発生日は閏7月9日である(図7)が、後世の『津山氏世譜』などの記録では閏7月12日あるいは13日に変化していた。次に、Ⅱ類の代表で、「慶長の地震で瓜生島が沈んだ」と語られ、瓜生島の名前の初見である『豊府紀聞』(『豊府聞書』)について、大分県立先哲史料館所蔵本(19世紀前半書写)、耶馬溪風物館所蔵本(寛政7年・1795書写)(図8)の調査を行った。これらの記録では、地震発生は閏7月12日あるいは13日のこととされていることが確認でき、古文書や記録の作成時期によって、記された地震の発生日が異なることが認められた。

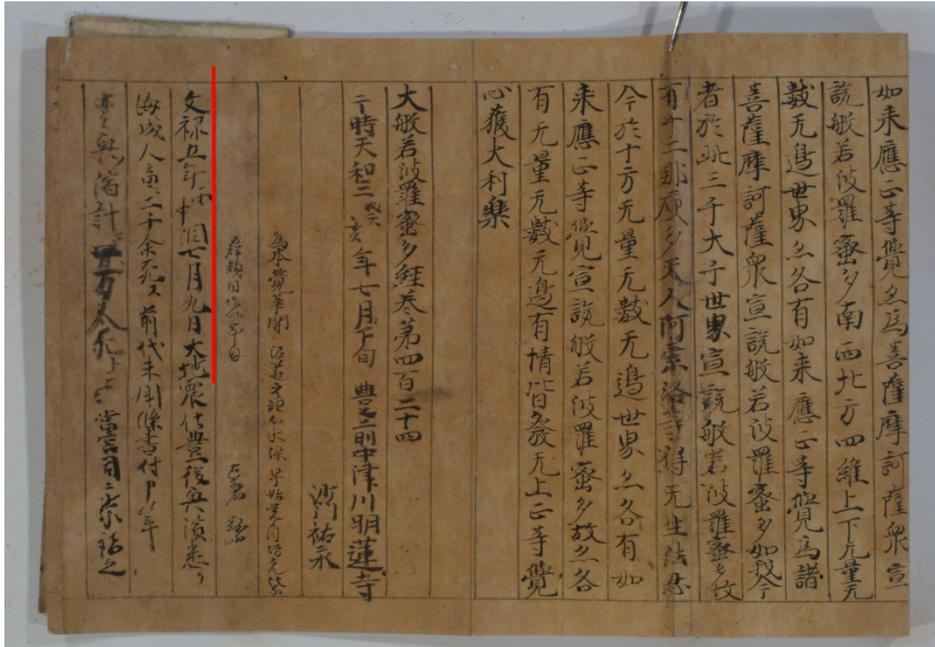


図7 興導寺大般若経巻 424。I類の代表。画面左側に「文禄五年丙申閏七月九日大地震」とある。

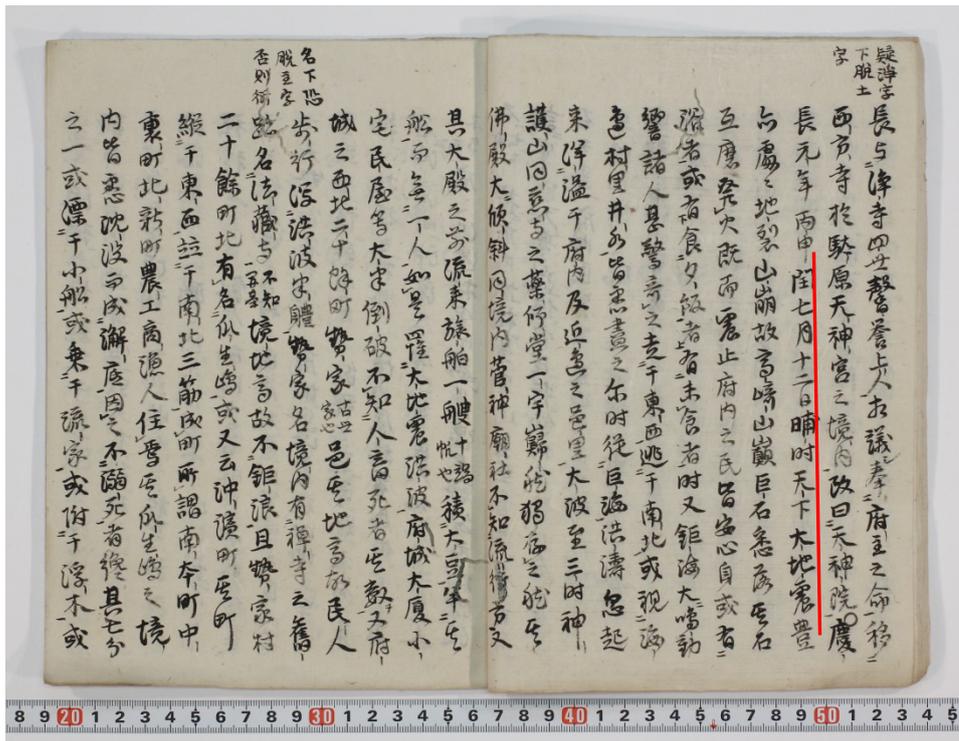


図8 豊府紀聞（耶馬溪風物館蔵）。II類の代表。

2) 海域の調査（サブ1-2）

活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等の調査及び断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測に関連し、海域では海底地形調査および音波探査による位置・形状の把握を目的とした調査を実施した。以下、海底地形調査と音波探査にわけて説明する。

a) 海底地形調査

i) 調査内容

海底地形調査（ナローマルチビーム） 20km²（平均水深-40m）

ii) 調査場所

大分県大分市及び別府市沿岸域（図9）

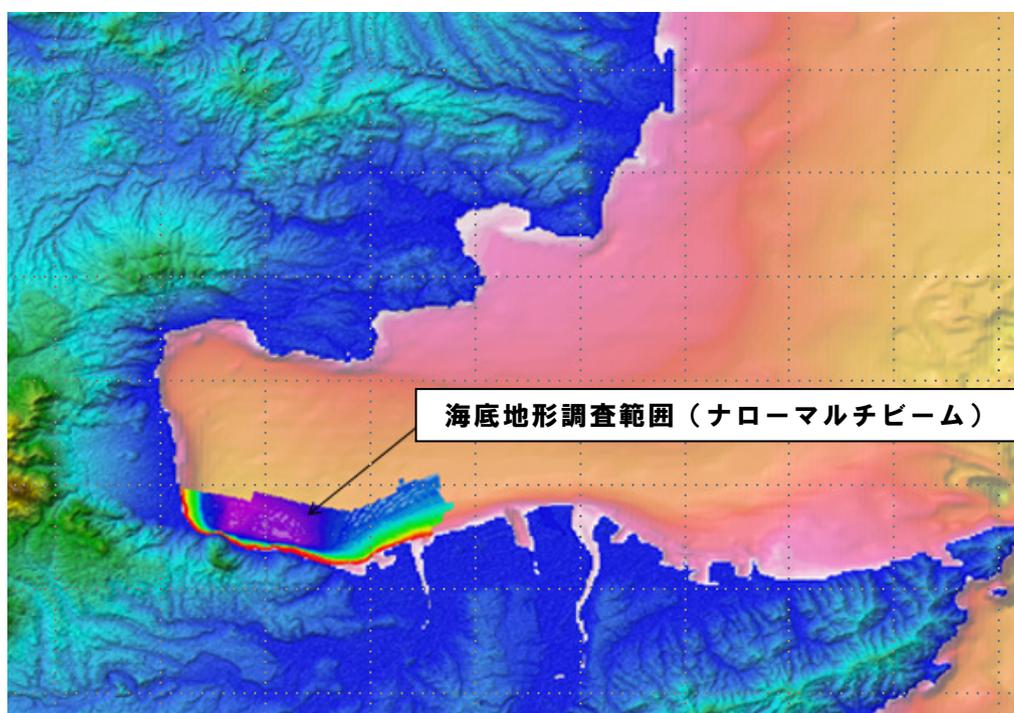


図9 調査位置

iii) 海底地形調査の測量基準

- ①基準面：国土交通省九州地方整備局所管の別府湾検潮所の観測基準面（T.P-1.232m）を零位とした。
- ②基準点：公共基準点 3級基準点「海岸-11」を使用した。

iv) 主要機器

調査に使用した主要機器は表1の通り。

表1 主要機器一覧表

名 称	型 式	性 能	単 位	数 量	用 途
GNSS 測量機	ニコン・トリ ンブル AgGPS124	精度 水平位置 1mrms 以下	台	1	海底地形調査
ナロー マルチビ ーム 測深機	R2SONIC 社 SONIC 2024 型	仮定音速度 1500m/s 発振周波数 200kHz~400kHz 精度 ±(0.03+水深/1,000) 以上 レンジ分解能 1.25cm 最大スワ幅 160° 最大測深レンジ 500m ビーム幅 0.5° ×1.0°	台	1	海底地形調査
慣性 GPS ジャイロ	APPLANIX 社 POS/MV	ロール、ピッチ : 0.03° 真方位 : 0.03° ヒーブ : 5cm	台	1	海底地形調査
音速度計	AML 社 SVPS 型	精度 0.06m/s (RMS)	台	1	海底地形調査

v) 調査方法

測深は、ナローマルチビームとGNSS測量機（DGPS）を作業船に装備して実施（図10）した。艀装状況を図11に示す。

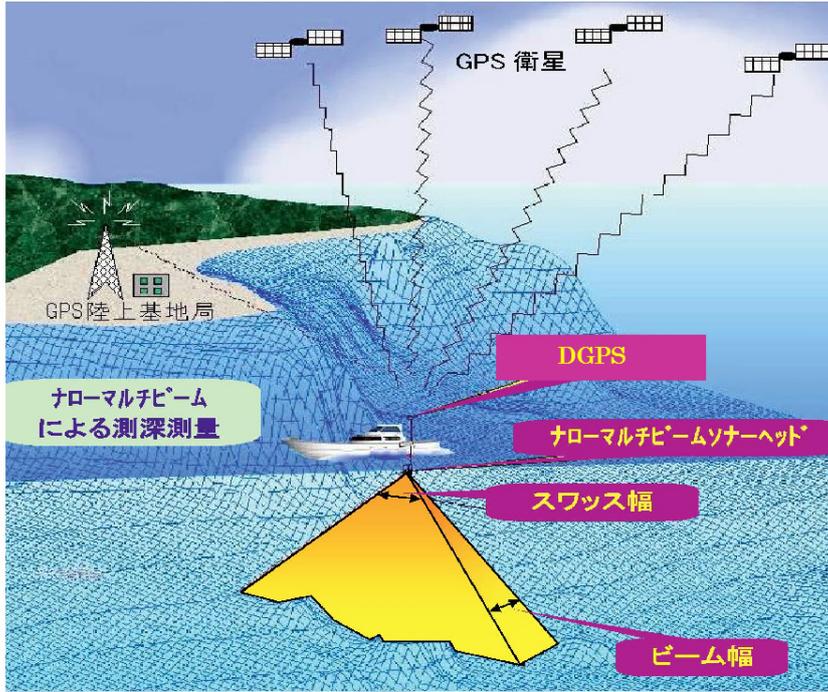


図10 ナローマルチビームによる測深状況



図11 艀装状況

測量前には、マルチビーム測深システム（測深機、動揺センサー、方位センサー、測位システム、収録・解析ソフトのシステム構成）の補正情報が正常に取得していることを確認した。測位システムの点検として既設基準点（公共3級基準点「海岸-11」）で5分間GNSS測量機の位置情報を取得し、成果値と変わらないことを確認した（表2）。

表2 GNSS精度確認結果

測定日時	平成 26年11月10日		8時11分 ~ 8時16分			
測定場所	大分県別府市京町		既知点		3級基準点	海岸-11
	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)	観測精度 (m)	制限値 (m)
既知点成果値	31983.347	47253.190	—	—	—	—
測定平均値	31983.076	47253.115	-0.271	-0.075	0.281	± 1.00

世界測地系(第Ⅱ系)

潮位データは、国土交通省九州地方整備局所管の別府港検潮所のデータを全国港湾海洋波浪情報網（以下ナウファス）で取得し、使用した。音速度補正は、音速度計を海底付近まで垂下させ記録した(図12)。



図12 音速度計測状況

動揺補正は、同一測線並びに隣接する測線を往復測深(パッチテスト)することでナローマルチビームソナーの取り付け角を測定し補正量を求めた。

表3 往復測深(パッチテスト)項目

テスト項目	内容
ロール補正	平坦な海底において同一測線で往復測深を行い、相互の測定値より補正値を算出する。
ピッチ補正	地形変化のある海底において往復測深を行い、相互の測定値より補正値を求める。
ヨー補正	地形変化のある海底において片側ビーム幅が100%重複するように平行な測線を設定し、同一方向で測深を行い、相互の測定値より補正値を求める。
時間遅れ (レーテンシー)補正	地形変化のある海底において、高速、低速で測線上をそれぞれ一往復し、位置ズレを算出し補正値を求める。

ナローマルチビーム測深システムを図13に、測量作業中のPC画面を図14示す。



図13 ナローマルチビーム測深システム(データ収録)

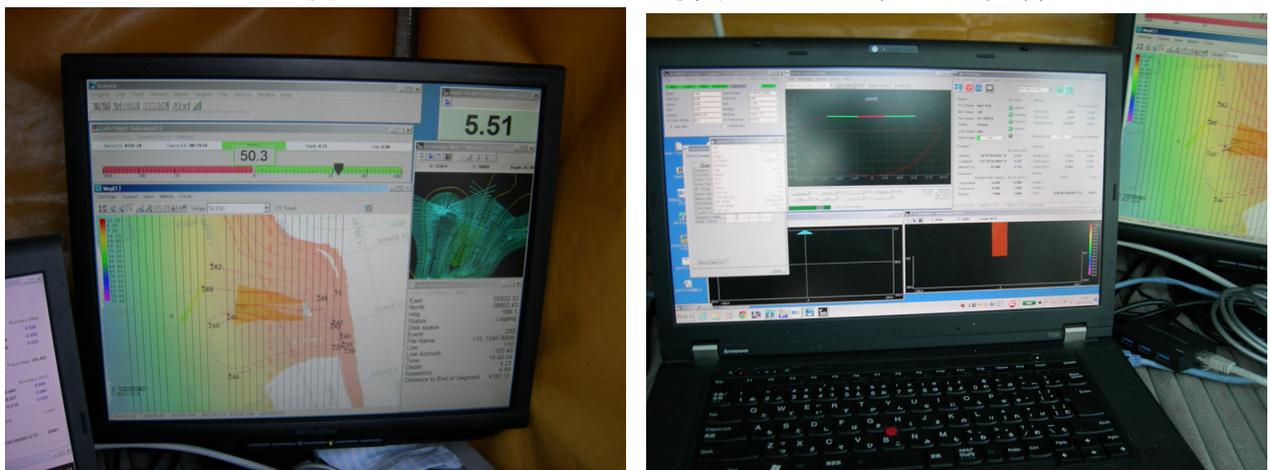


図14 PC画面(測量作業中)

データは、潮高改正、音速度改正、動揺補正などの各種補正を行った後に、オリジナル水深データ（1mグリッドデータ）を作成（図15）した。

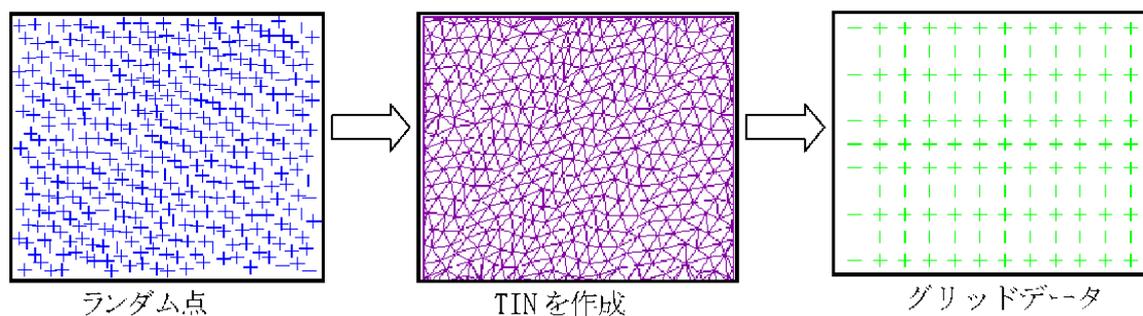


図15 グリッドデータ作成概念図

vi) 調査結果

グリッドデータから作成した詳細な海底地形の3Dイメージング（図16）をみると、南岸沿いに地形の急変部が断続的に連続することと、別府沖、高崎山沖および大分沖に海底地すべり地形が確認された。

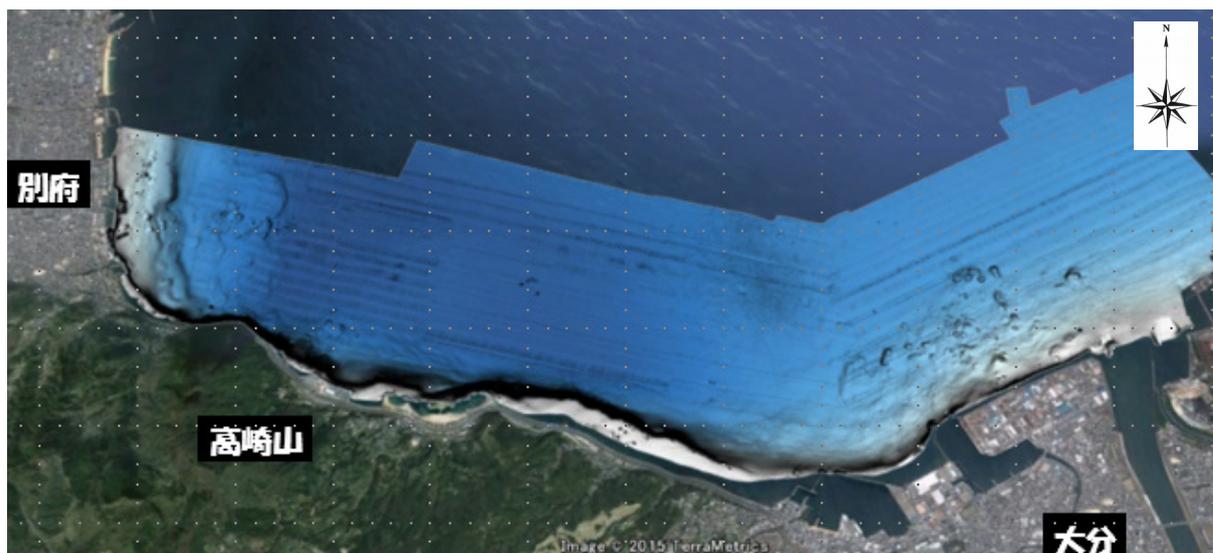


図16 別府湾南岸沿いの海底地形の3Dイメージング

ここでは、断続的な直線的な地形の急変部と地すべり地形にわけてその特徴を整理する。

ア) 別府湾南岸沿いの海底地形の急傾斜地形

海底地形の急傾斜地形に着目して、別府から別府湾南岸にそって大分までを3区間にわけて、3次元地形イメージ図を作成した。区間としては①別府沖～高崎山沖区間、②高崎山沖区間、③高崎山沖～大分沖区間である。

① 別府沖～高崎山沖区間

海岸とほぼ平行するように急傾斜部（図 17）が連続する。水深 10m 付近に傾斜変換線があり、これより浅海部は緩やかな傾斜（図 18）となることから、形態的には沿岸漂砂による堆積構造地形と考えられる。また、朝見川断層のトレース延長とは斜交するトレンドとなる（図 19）。

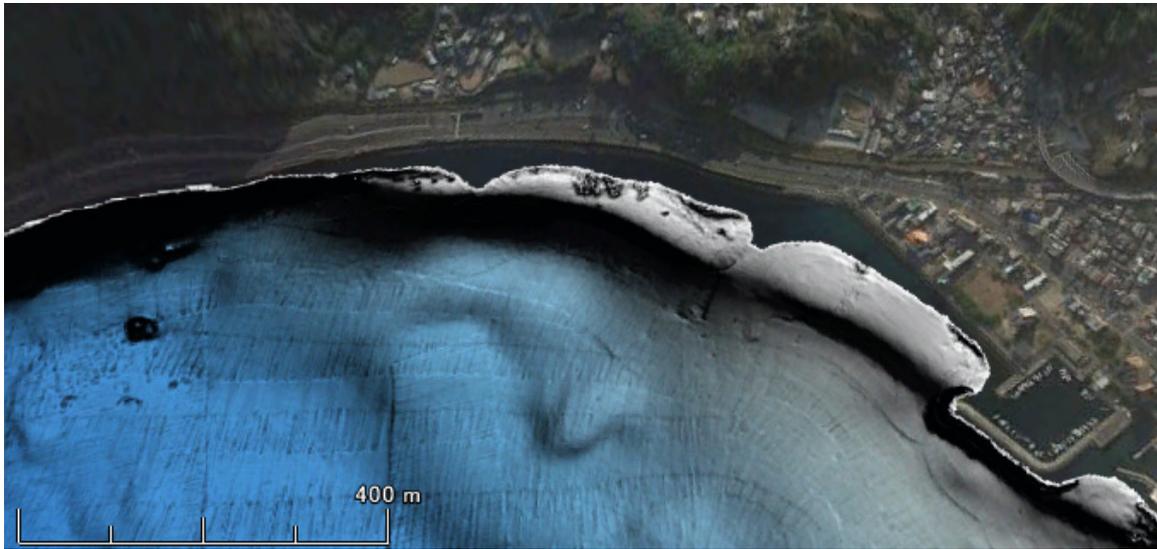


図 17 別府湾南岸沿いの地形急変部（別府沖～高崎山沖区間）

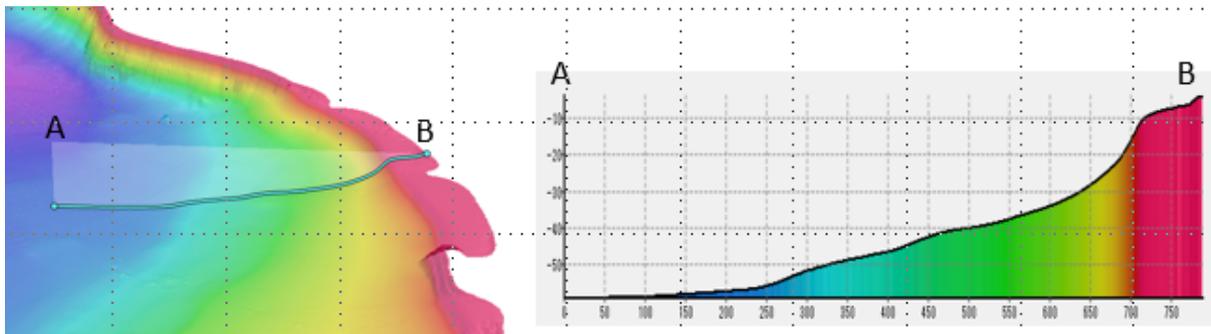


図 18 地形急変部の地形断面（色は海底面の深さを示す）

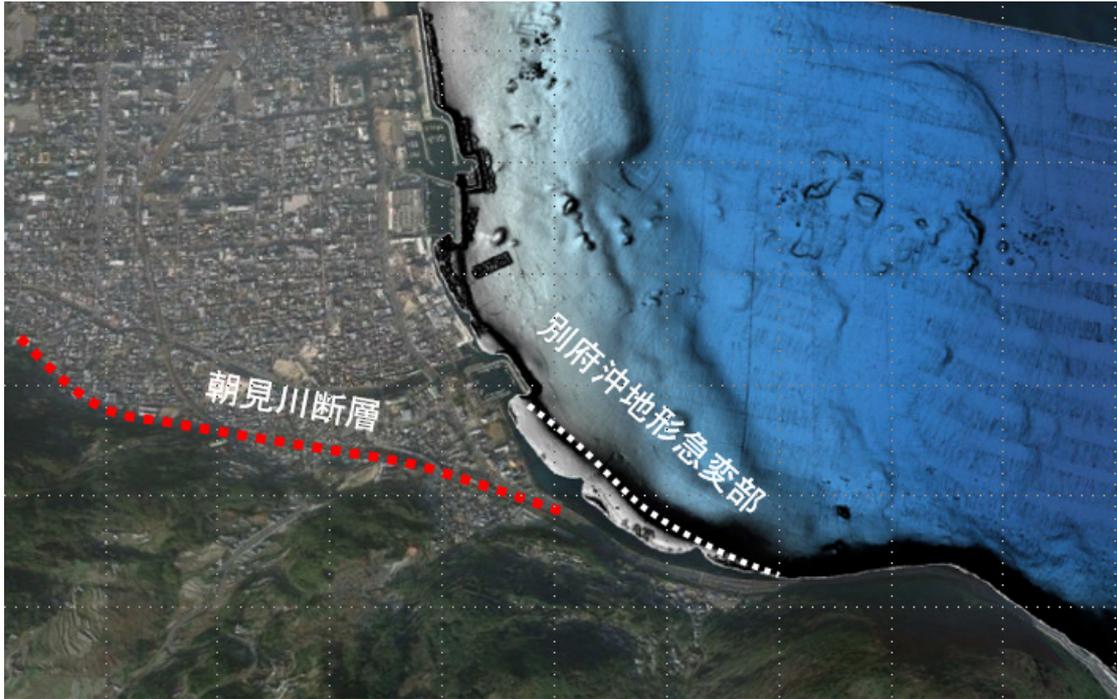


図 19 別府南岸沿いの地形急変部と朝見川断層

②高崎山沖区間（図 20）

この区間は急傾斜であるが、地形傾斜変換部はなく高崎山から連続する陸上の地形傾斜がそのまま海中に没しているとみられる。



図 20 別府湾南岸沿いの地形急変部（高崎山沖区間）

③高崎山沖～大分沖区間

海岸とほぼ平行するように急傾斜部（図 21）が連続する。水深 10m 付近に傾斜変換線があり、これより浅海部は緩やかな傾斜（図 22）となることから、形態的には沿岸漂砂による堆積構造地形と考えられる。



図 21 別府湾南岸沿いの地形急変部（高崎山沖から大分沖区間）

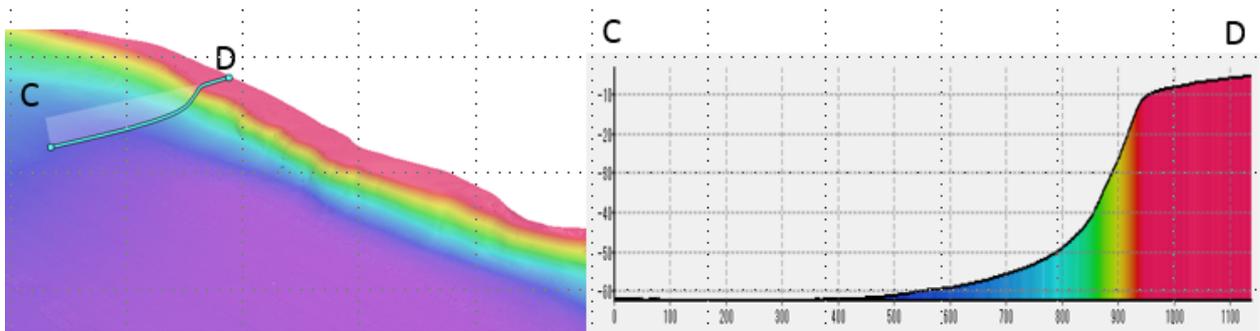


図 22 地形急変部の地形断面（高崎山沖～大分沖区間）

イ) 地すべり地形

今回新たな特徴的な海底地すべり地形が、①別府沖、②高崎山沖および③大分沖に観察された。以下それぞれの地形の特徴について述べる。

① 別府沖

別府市街地の南東部沖合に、海底地すべり地形（図 23）が認められる。拡大して 3 次的に観察（図 24、図 25）すると中央部の凹凸のある「流れ山」地形を挟んで南北に 2 つのブロックが認められる。

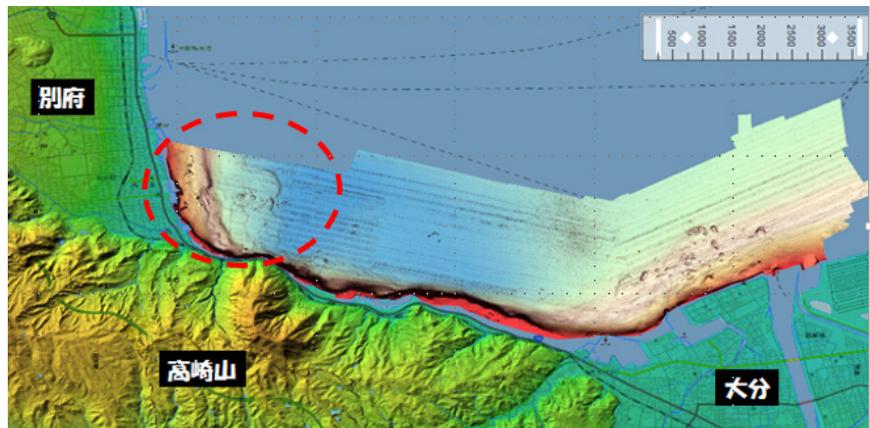


図 23 別府沖の海底地すべり地形（赤破線枠内）

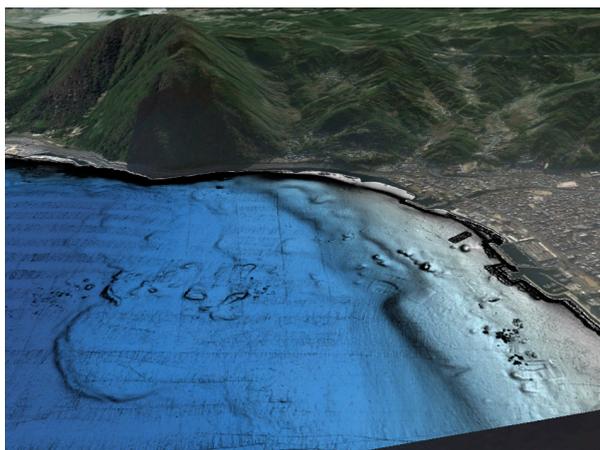


図 24 別府沖地すべり地形の詳細

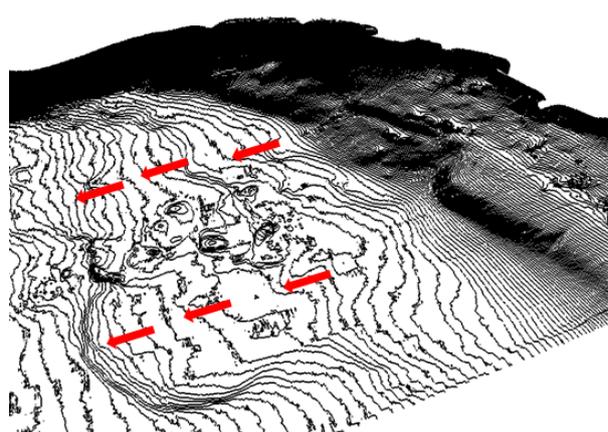


図 25 別府沖地すべり地形の等高線表示
（赤矢印部分が地すべり移動方向）

地すべり北部ブロックの中央を通る代表的な地形断面（図 26）をみると、地すべりは長さ 1000～1200m 程度、すべり厚さ 2～6m 程度の極めて緩い泥流状すべりであると想定される。

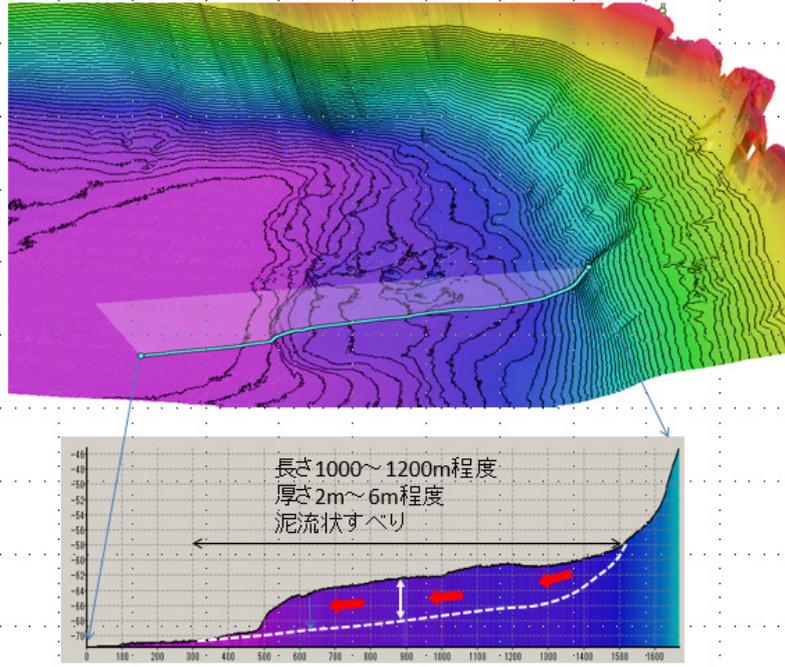


図 26 地すべり北部ブロックの中央を通る代表地形断面

全体の地すべり地形から推定されるすべりブロックの形状（図 27）を見ると、ブロック①を覆うように②と③が分布する。このことから、流れ山を含むブロック①が滑ったあとに、②、③のすべりブロックが滑ったと見られる。この際、ブロック①とブロック②③の活動の時差に関しては、比較的スムーズにブロック①を覆っていること、さらにブロック②③にも後ろから追いかけるようなすべり形状がみられることから、あまり時間差をおかずにほぼ連続的に発生した可能性が高いと判断される。

今後、このすべりブロックに対して、発生時期や発生メカニズム等を検討する必要がある。

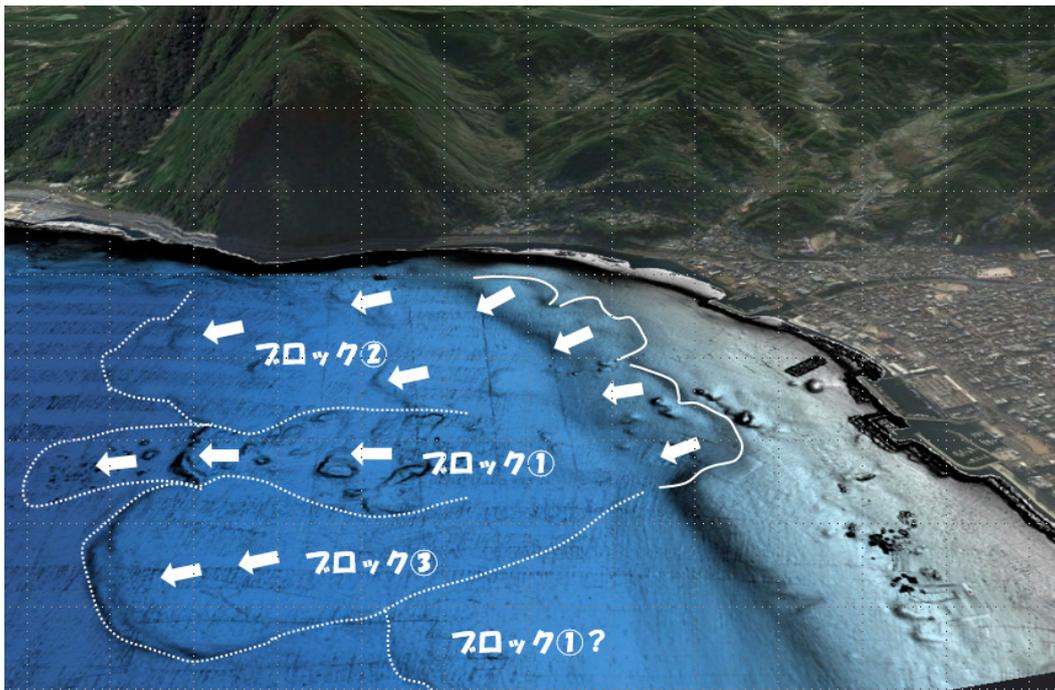


図 27 推定されるすべりブロックの形状と運動形態

② 高崎山沖

高崎山沖合には、小規模の海底地すべり地形（図 28～30）が認められる。その規模は厚さ 3～4m、長さ 60～120m 程度（図 31～32）とみられる

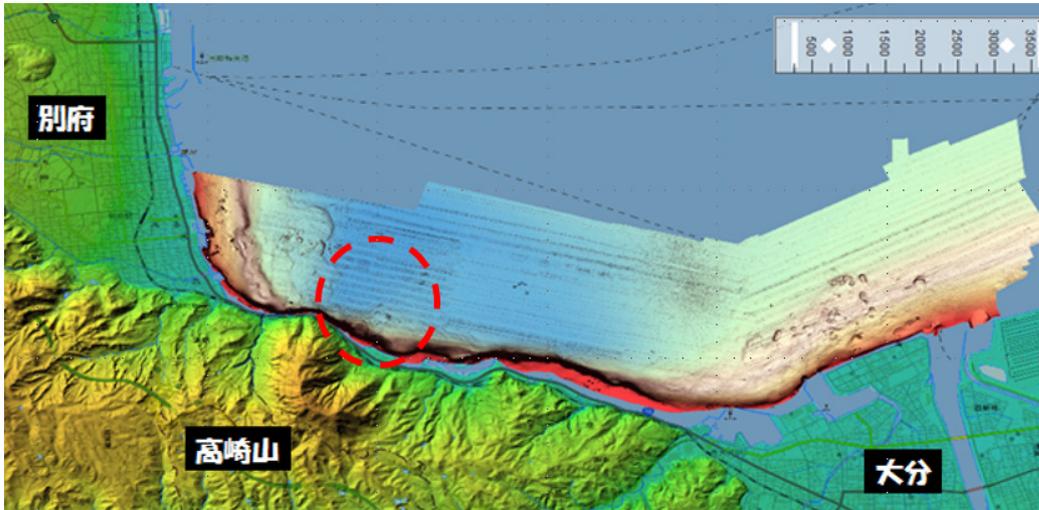


図 28 高崎山沖合海底地すべり地形（赤破線枠内）

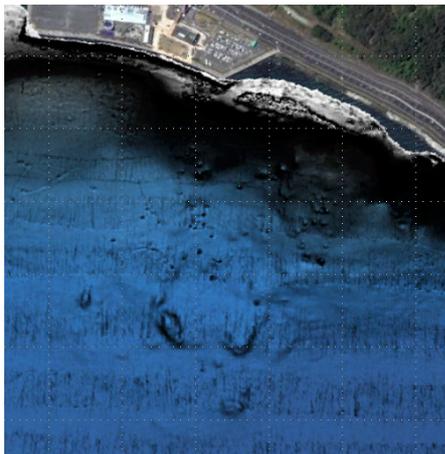


図 29 海底地すべり地形の拡大図

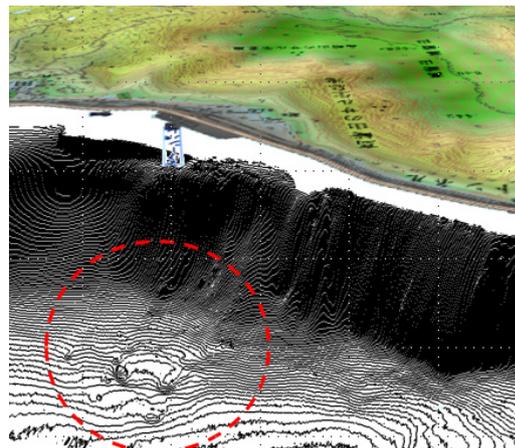


図 30 海底地すべり地形等高線表示
（赤破線枠内）

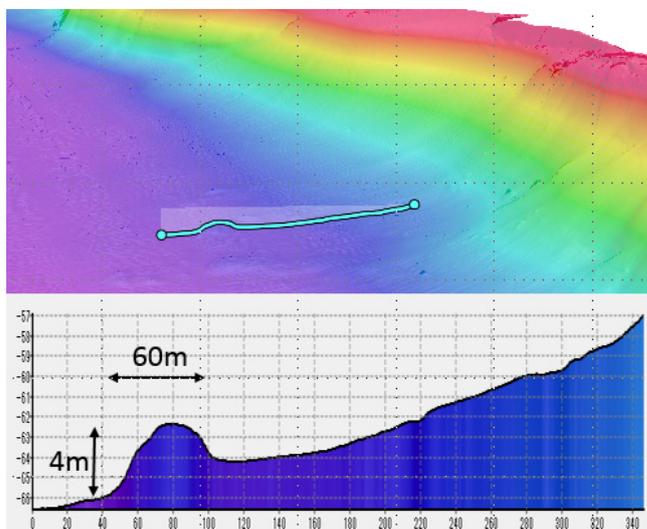


図 31 海底地すべり地形の規模 1

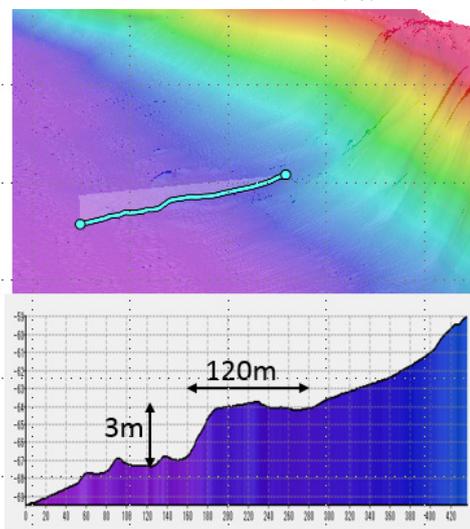


図 32 海底地すべり地形の規模 2

③ 大分沖

大分沖には、流れ山を多数含む海底地すべり地形（図 33）が認められる。流れ山は明瞭に識別されるが、地すべりの輪郭がやや不明瞭となる。これは大分川の河口から排出された多量の土砂によって、地すべりブロックが埋積されたものと推定される。

地すべりの規模は最大幅 3km、長さ 1.3km 程度（図 33）、個々の流れ山の規模は高さ数m、長さ 100m 規模（図 34）であり、推定されるすべり土塊の厚さは 10m 程度とみられる。

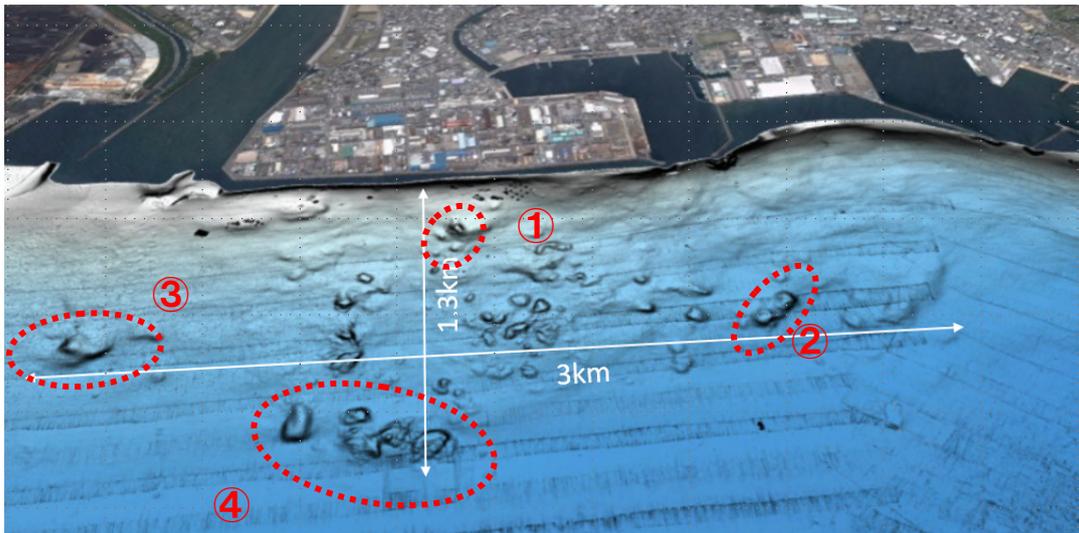


図 33 海底地すべり地形の規模（図中の①～④は図 34 に示す流れ山）。

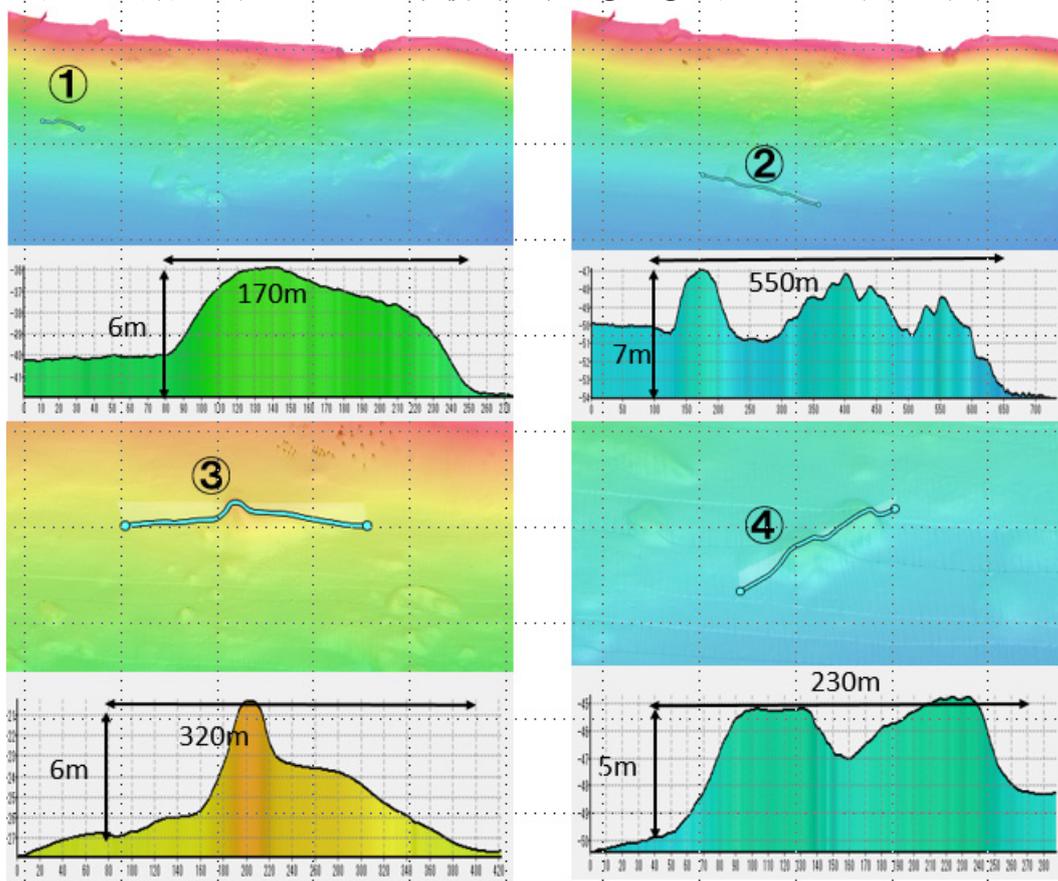


図 34 代表的な流れ山の規模

b) 音波探査

i) 調査内容

海底音波探査 延長 190 km (図 35)

ii) 調査場所

大分県別府湾南岸沿岸域 (図 35)

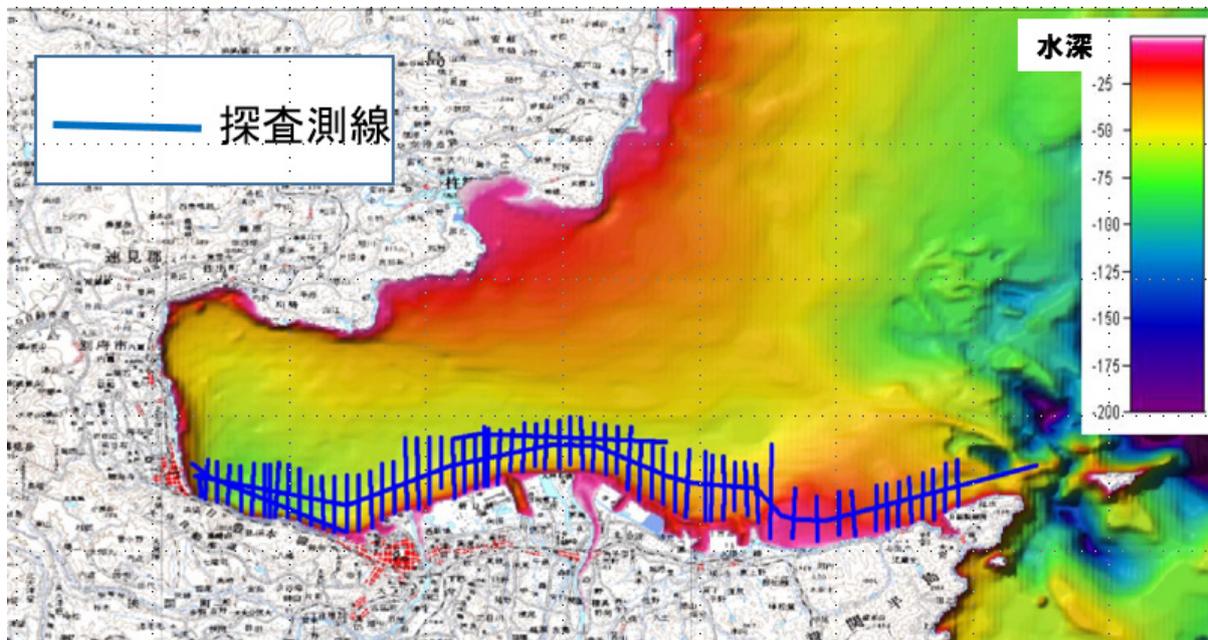


図 35 音波探査測線

iii) 調査方法

音波探査は、別府湾南岸沿いに南北方向ほぼ 500m 間隔を原則として実施した。使用した機材は、StrataBox (SyQwest 社製) で、卓越周波数は 3.5kHz である。

iv) 音波探査記録データの処理

探査データは図 36 に示すとおりで、デジタル波形データから、発受振 (Ping No.) - 深度断面図と、GPS の位置情報から変換した距離 - 深度断面図を作成した。

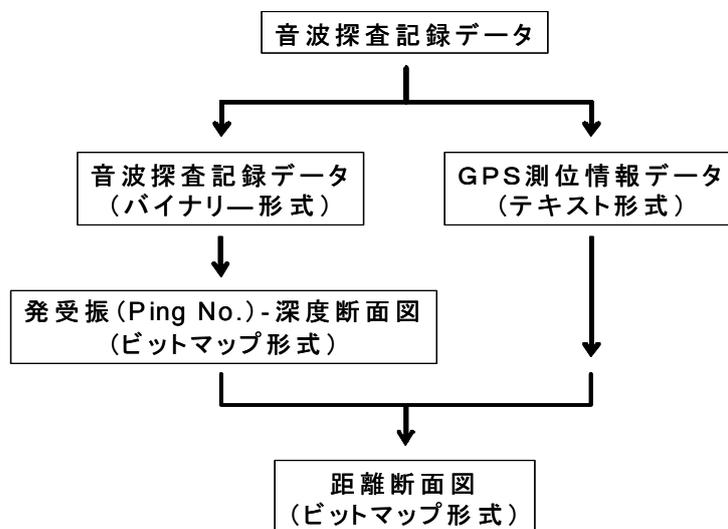


図 36 音波探査解析フロー図

v) 音波探査結果

音波探査の代表断面を図 37～図 43 に示す。全体的特徴として、沖合の水深 50m 以上の平坦な部分では複数の反射面が明瞭に認められる。一方、南岸沿いの急傾斜部分では地形調査で明らかとなった流れ山の状況も確認される。

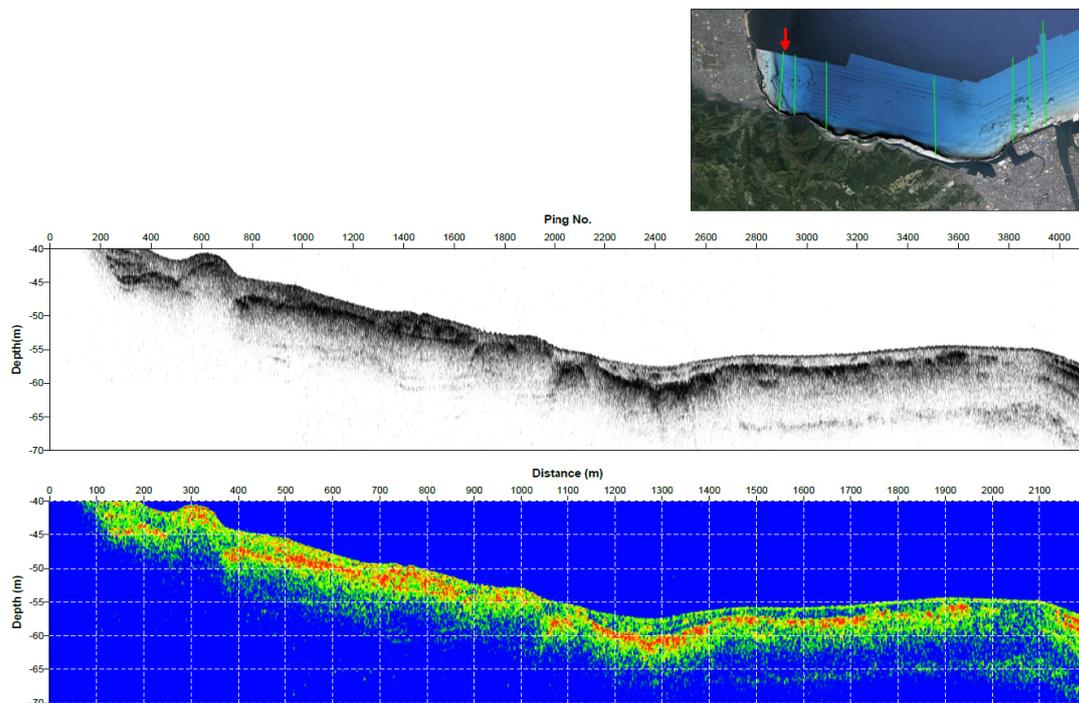


図 37 発受振 (Ping No.) - 深度断面図 (上) および距離 - 深度断面図 (下)
各断面図の配色は固有の反射強度の階調を示し、上図は白 (弱) → 黒 (強)、
下図は青 (弱) → 黄緑 → 赤 (強) を示す。以下同じ。

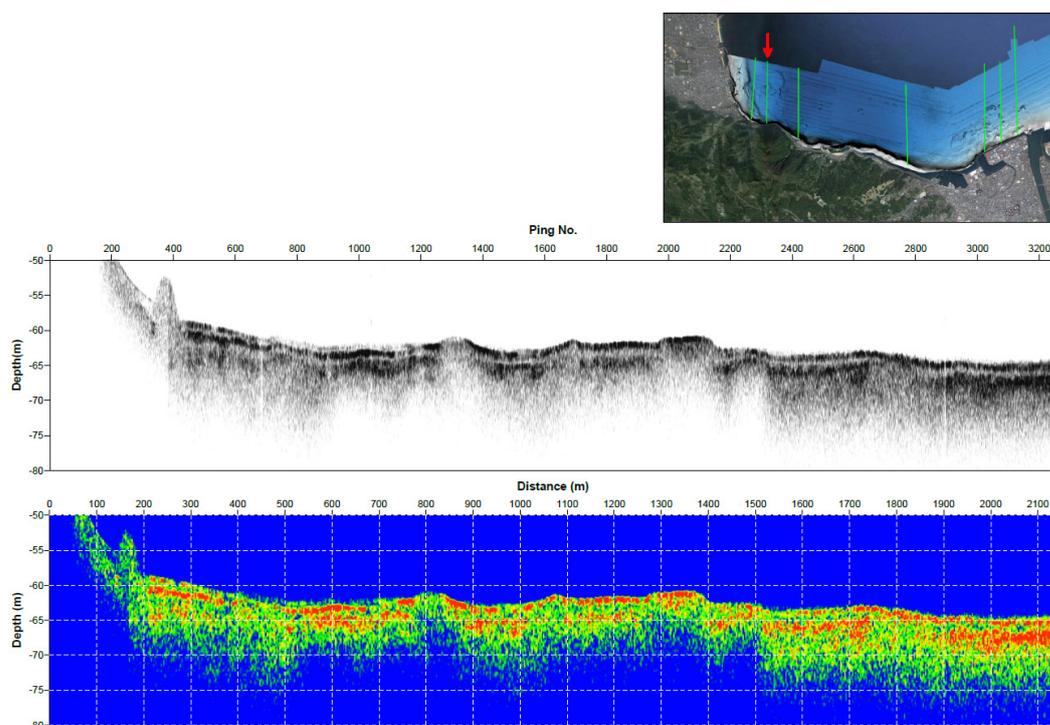


図 38 発受振 (Ping No.) - 深度断面図 (上) および距離 - 深度断面図 (下)

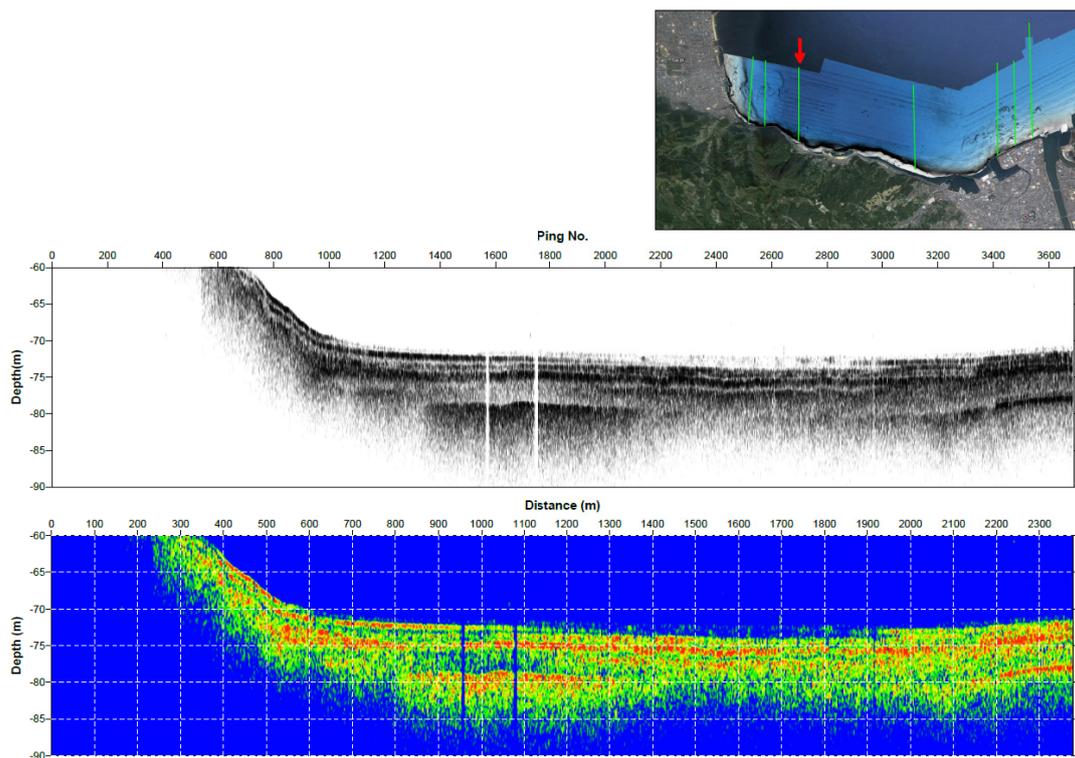


図 39 発受振 (Ping No.) - 深度断面図 (上) および距離 - 深度断面図 (下)

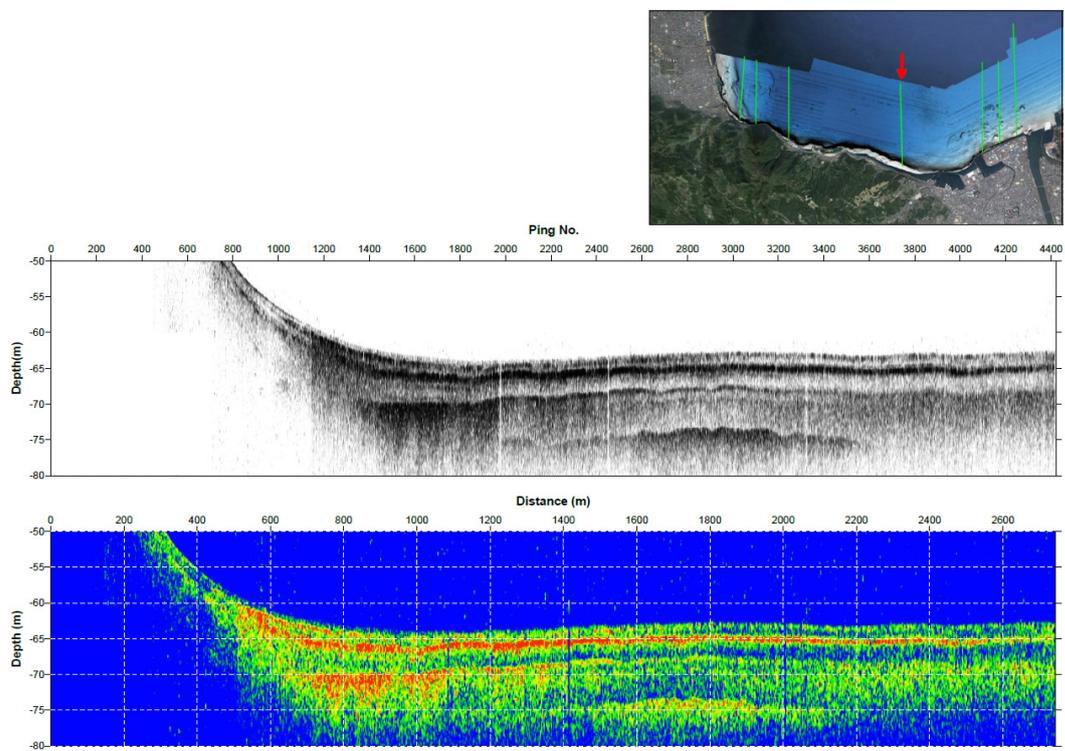


図 40 発受振 (Ping No.) - 深度断面図 (上) および距離 - 深度断面図 (下)

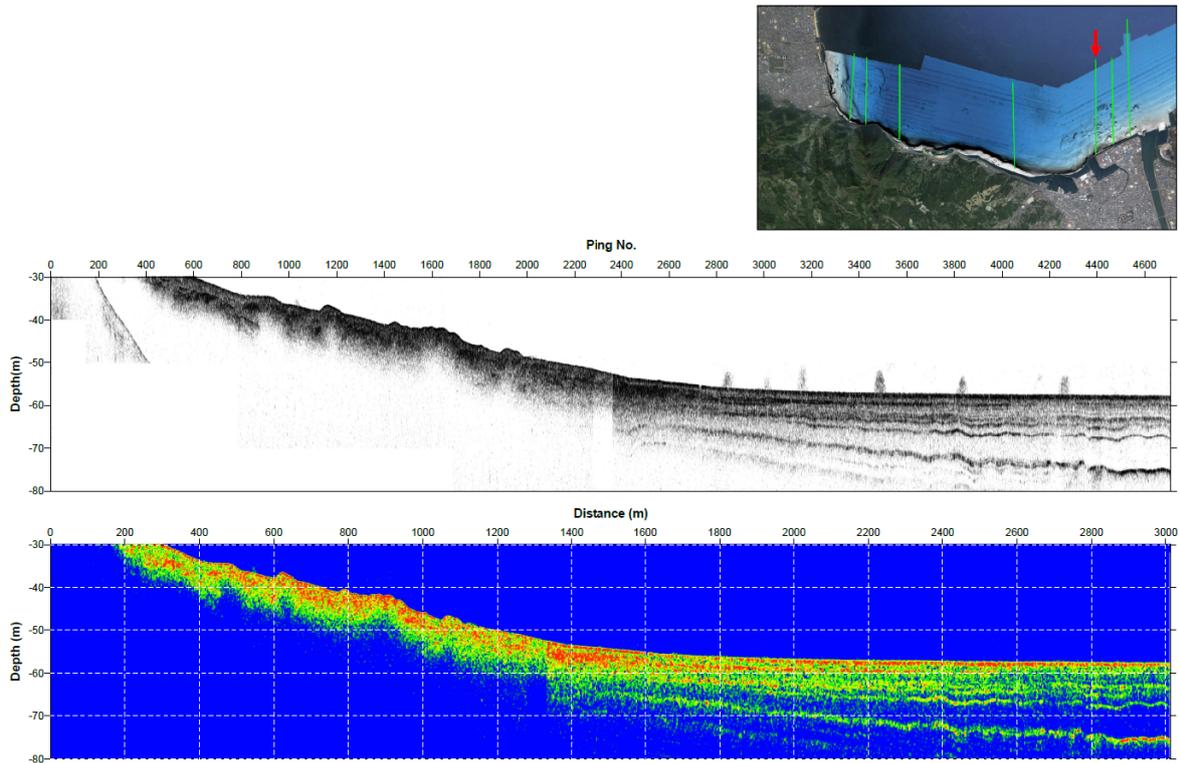


図 41 発受振 (Ping No.) - 深度断面図 (上) および距離 - 深度断面図 (下)

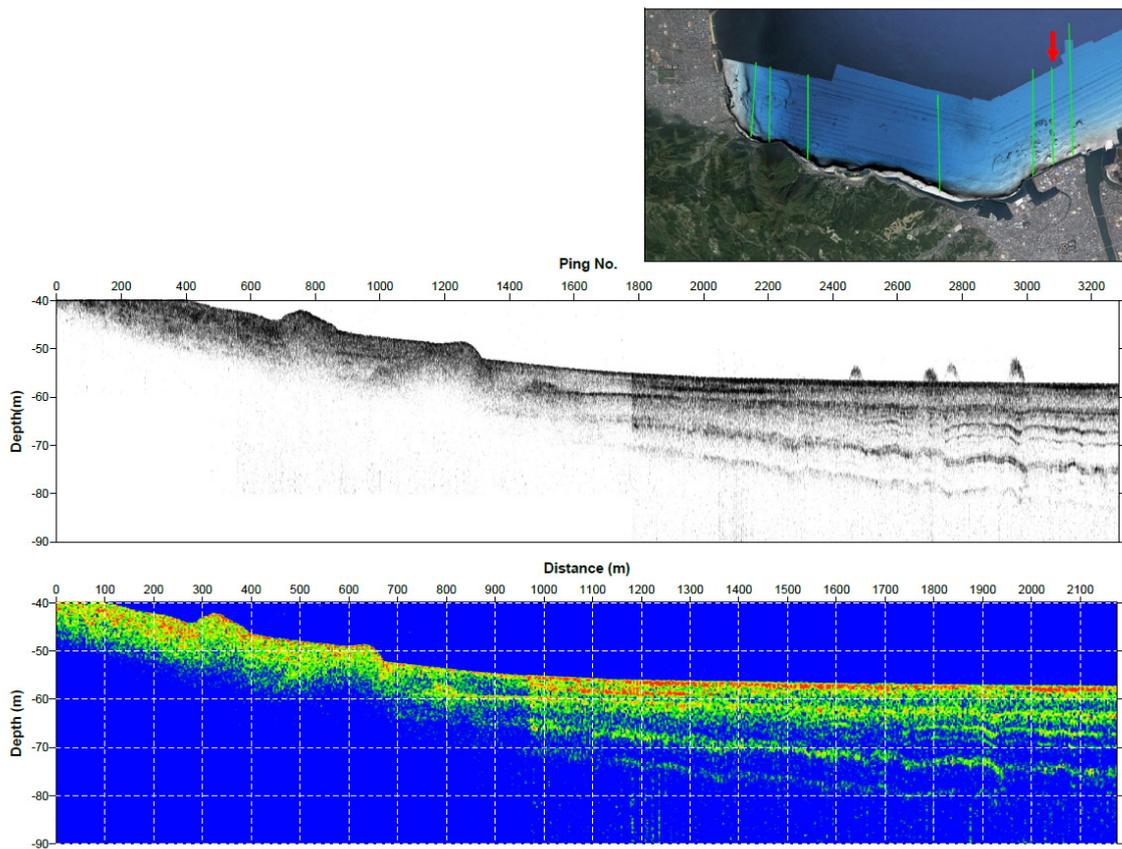


図 42 発受振 (Ping No.) - 深度断面図 (上) および距離断面図 (下)

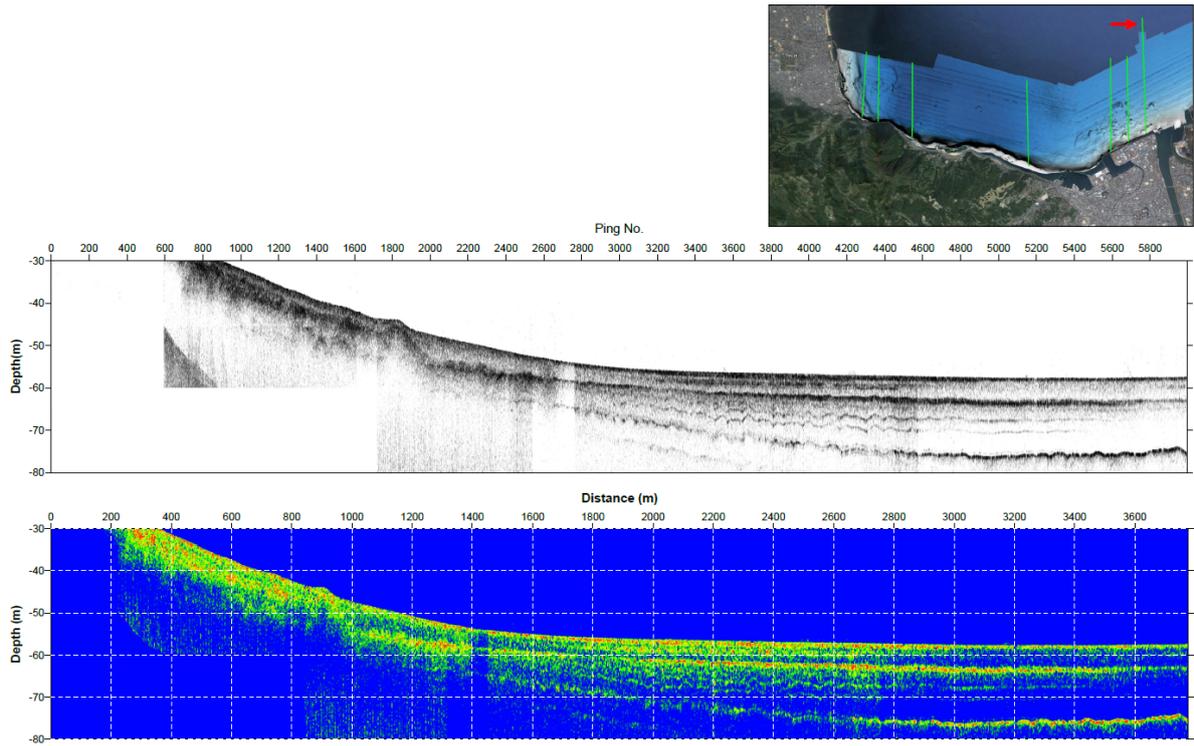


図 43 発受振 (Ping No.) - 深度断面図 (上) および距離 - 深度断面図 (下)

3) 伏在部の調査 (サブ1-3)

朝見川断層の活動履歴を解明するために、同断層の沈降側において新たに二本のボーリングコア掘削とそれらの分析を実施した。これらの掘削地点近傍で得られていた既存の二本のボーリングコア試料の分析結果と総合して、同断層の活動履歴について検討した。

a) 別府市浜脇地区の地質

別府扇状地南東端にあたる別府市浜脇地区の浜脇東浜公園で HMP1-3 コアを掘削した(図 44)。この掘削地点は朝見川断層の断層崖の延長線上にある山地と砂丘を画する地形境界から約 100 m 北東側の埋立地に位置している(国土地理院, 2011)。この地点の西方深度 9 m 付近は粗粒な堆積物が厚くて回収率が悪かったので、水平距離 2 m 以内で合計三本のコアを採取して岩相を確認した。HMP1 コアは表層～深度 10 m、HMP2 コアは深度 9～30 m、HMP3 コアは表層～深度 9 m の地層に相当する(表 4)。なお、図 45 および 46 の柱状図は HMP2 および 3 の解析結果を用いた。同コアは上位から人工盛土、デルタ堆積物、エスチュアリー堆積物で構成されると考えられる。同コアの柱状図と写真を図 45 に、放射性炭素年代値を表 5 に、堆積曲線を図 48 にそれぞれ示す。各堆積物の特徴と堆積環境を解釈した根拠を以下に記載する。

人工盛土 (HMP1 コア ; 深度 0.00～5.74 m : HMP3 コア ; 深度 0.00～5.70 m)

深度 2.10～2.40 m よりも上位の砂層と礫層からなる部分とその下位の砂層および礫層、泥層の互層とで構成される(図 45★1)。上位の砂礫層は陶器片やレンガ片、瓦片を含み、掘削地点の現標高(+4.50 および+4.67 m)と土地造成の履歴を加味すると人工盛土であると考えられる。上位と下位の構成物の相違は造成方法を反映していると推定される。

デルタ堆積物 (HMP1 コア ; 深度 5.74～10.00 m : HMP2 コア ; 深度 9.00～23.15 m : HMP3 コア ; 深度 4.34～9.00 m)

深度 11.72 m よりも上位の砂層と礫層の互層からなる部分と下位の砂層と泥層の互層によって構成される。これらは上方に向かって粗粒な粒子の含有率が增加して、深度 12 m 付近の砂泥互層では巣穴が多く観察される(図 45★4)。礫は直径 2～100 mm のデイサイトと安山岩の亜角～亜円礫が主体で、砂層は主に細粒砂～粗粒砂からなる。深度 10.36～11.55 m および 17.00～22.42 m には軽石の濃集層が認められる(図 45★3)。

HMP1 コアの深度 6.40～6.45 m で採取した木片および植物片は 570±60 cal BP の年代値を示した。HMP2 コアの深度 12.69～12.70 m の葉および種子は 1650±80 cal BP、深度 14.05～14.06 m の植物片は 1970±70 cal BP、深度 17.85～17.86 m の葉は 2760±20 cal BP、深度 19.77～19.78 m の木片、葉および小枝は 3400±50 cal BP、深度 22.52～22.53 m の葉および小枝は 5130±160 cal BP の年代値をそれぞれ示した。上位ほど新しい年代値を示し、層位関係と調和的であるので、再堆積の影響はみられなかった。

上方粗粒化がみられるので、上位ほど強い運搬力が及ぶ環境で形成されたことを示唆している。深度 12 m 付近の巣穴が多くみられる砂泥互層は河川からの掃流物質が到達し

ない海底において形成されたと推定される。掘削地点は朝見川の河口付近に位置しているので。河川からの土砂供給に伴うデルタ堆積物であると考えられる。

エスチュアリー堆積物（HMP2 コア；深度 23.25～30.00 m）

深度 25.40 m よりも上位の砂層と礫層の互層からなる部分と下位の砂礫層と泥層の互層によって構成される。これらは上方に向かって粗粒な粒子の含有率が増加する。深度 24 m 付近の砂層には巣穴や二方向流を示すカレントリップル葉理（図 45★5）が観察され。深度 25 m 以深には泥層から細粒～礫層へと逆級化する地層や植物片を多く含んだ有機質泥層、植物根が認められる（図 45★7）、礫は直径 2～70 mm のデイサイトと安山岩の垂角～垂円礫が主体で、砂層は主に極細粒砂～中粒砂からなる。深度 23.81～25.77 m には軽石の濃集層が認められる。

深度 26.09～26.11 m で採取した小枝および木片は 6780 ± 80 cal BP、深度 29.95～29.97 m の小枝は 8280 ± 90 cal BP の年代値をそれぞれ示した。層位関係と調和的であり、再堆積の影響はみられなかった。

上部には浅海底の堆積環境を示唆する巣穴や二方向流を示すカレントリップル葉理がみられ、下部には氾濫原堆積物に頻繁にみられる逆級化する地層（増田・伊勢屋，1985）や有機質泥層、植物根がみられるので、海水準上昇期に形成されたエスチュアリー堆積物であると考えられる。

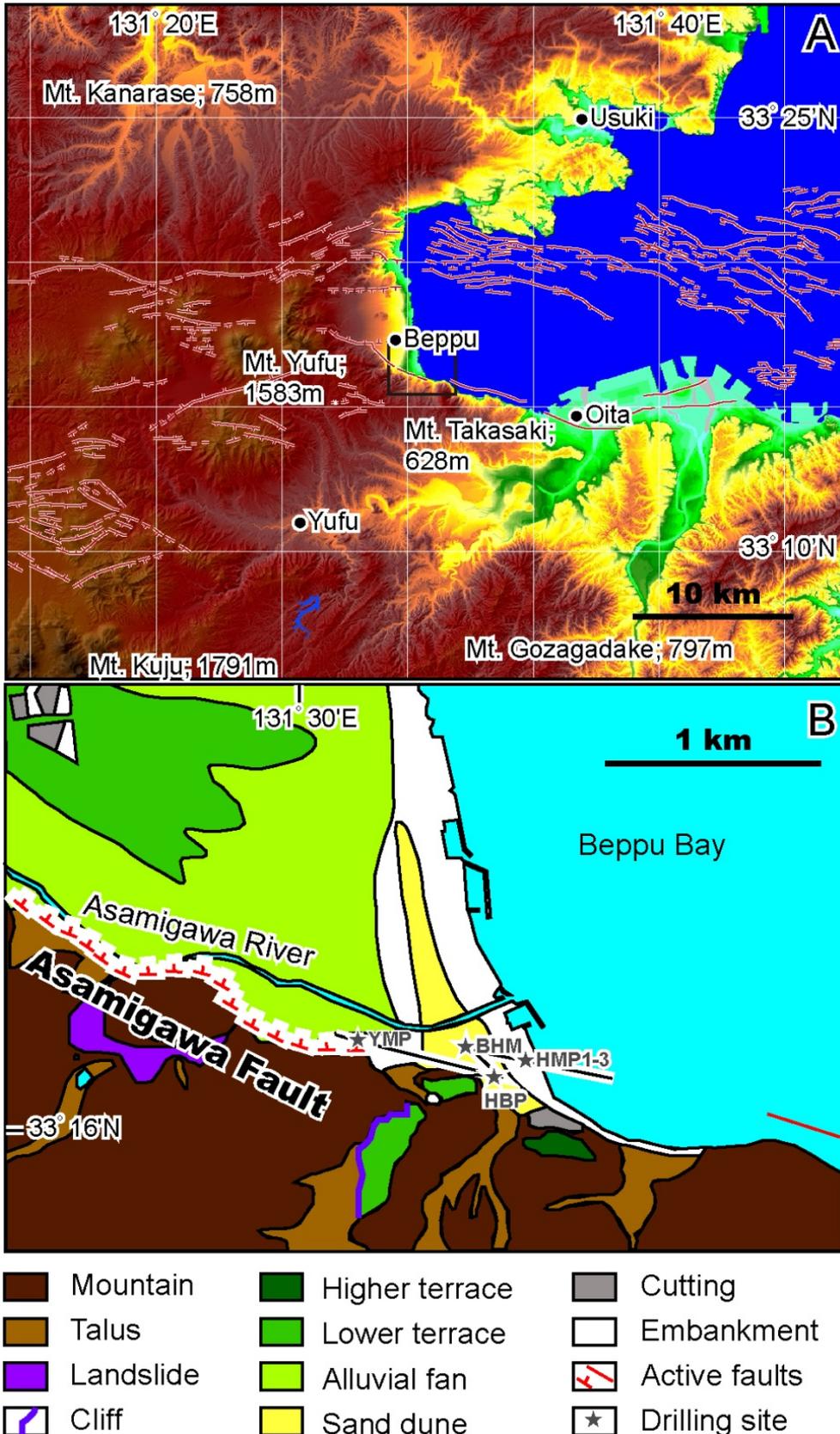


図 44 調査地域の地形と活断層

A：別府地域の標高段彩図と活断層（地震調査研究推進本部，2005）。B：別府扇状地南東端の地形分類図と活断層、地形分類は国土地理院（2011）、活断層の分布は千田ほか（2001）および岡田ほか（2001）による。

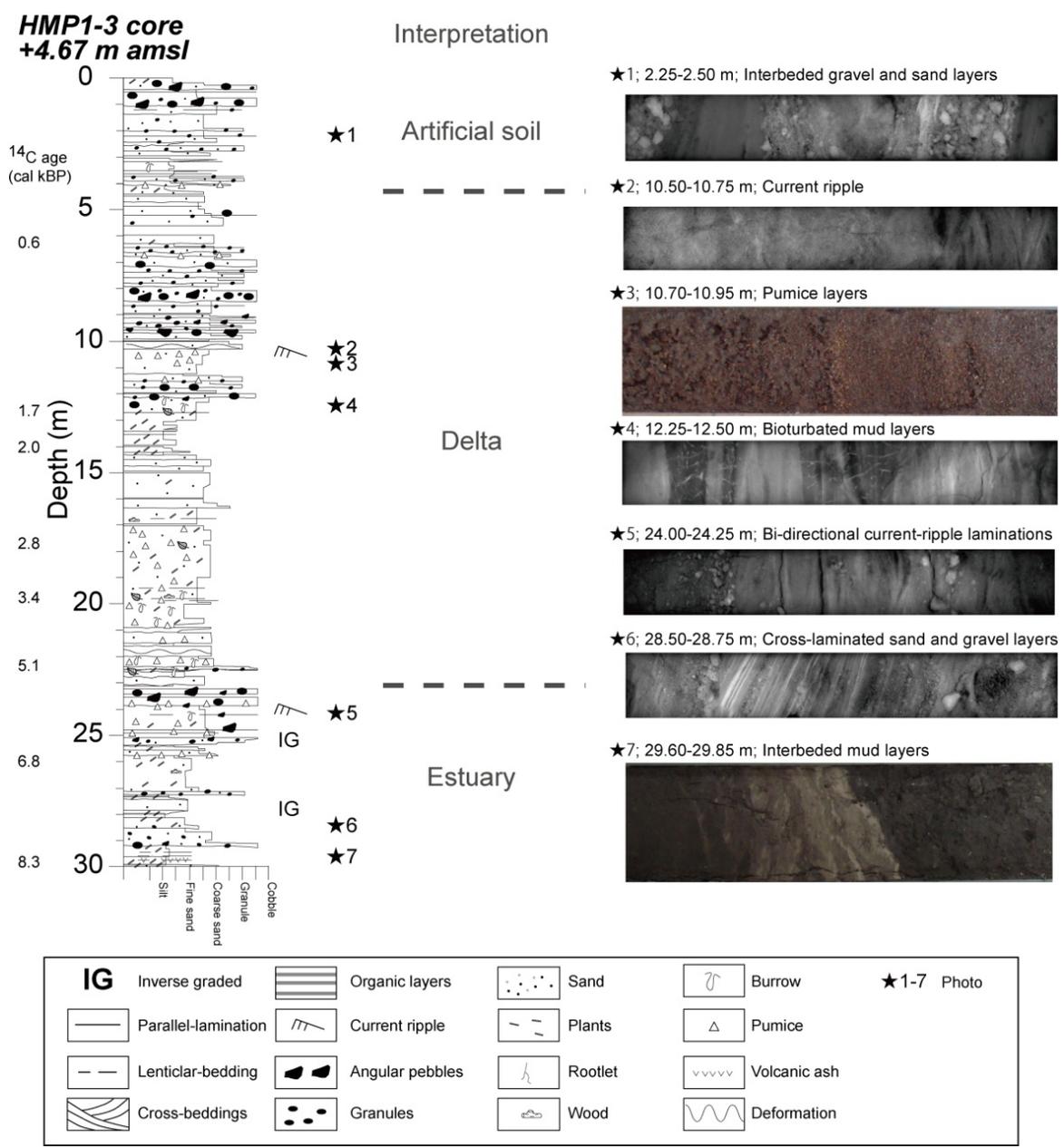


図 45 HMP コアの堆積柱状図と写真.

表 4 ボーリングコア掘削地点の位置と深度

Core	Latitude, WGS84	Longitude, WGS84	Altitude (m)	Depth (m)
HMP1	33 ° 16'08"N	131 ° 30'40"E	4.50	0~10
HMP2	33 ° 16'08"N	131 ° 30'40"E	4.67	9~30
HMP3	33 ° 16'08"N	131 ° 30'40"E	4.67	0~9
YMP	33 ° 16'10"N	131 ° 30'06"E	5.37	0~22
HBP	33 ° 16'05"N	131 ° 30'35"E	3.86	0~20
BHM	33 ° 16'10"N	131 ° 30'32"E	2.30	0~20

表5 HMP および YMP コアから得た放射性炭素年代値

Core	Depth			Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conventional ^{14}C age		Calibrated ^{14}C age		Sample code BETA-,
	Medium	Top	Bottom			(BP)	(+/- yr)	(cal BP)	(+/- yr)	
	(m)	(m)	(m)							
HMP1	6.425	6.40	6.45	Wood, plant fragments	-26.7	540	30	570	60	405852
HMP2	12.695	12.69	12.70	Leaf, seed	-29.5	1760	30	1650	80	404975
HMP2	14.055	14.05	14.06	Plant fragments	-27.0	2020	30	1970	70	404976
HMP2	17.855	17.85	17.86	Leaves	-28.4	2630	30	2760	20	404977
HMP2	19.775	19.77	19.78	Woods, leaf, twig	-27.8	3170	30	3400	50	404978
HMP2	22.525	22.52	22.53	Leaves, twigs	-29.2	4470	30	5130	160	404979
HMP2	26.10	26.09	26.11	Twigs, woods	-27.6	5950	30	6780	80	404980
HMP2	29.96	29.95	29.97	Twigs	-14.6	7460	30	8280	90	404981
YMP	4.585	4.58	4.59	Leaves	-28.9	910	30	830	90	404662
YMP	5.765	5.76	5.77	Leaves	-28.5	1840	30	1790	80	404663
YMP	7.405	7.40	7.41	Twigs, leaves	-28.0	1860	30	1800	80	404664
YMP	9.99	9.98	10.00	Twigs	-29.9	3940	30	4420	80	404665
YMP	11.855	11.85	11.86	Wood fragments	-26.0	6780	30	7210	50	404669
YMP	14.585	14.57	14.60	Plant fragments	-27.4	6250	30	7630	50	404666
YMP	15.82	15.80	15.84	Plant fragments	-27.7	6680	30	7550	40	404667
YMP	18.91	18.90	18.92	Leaves	-30.9	7550	30	8370	30	404668

b) 別府市朝見地区の地質

HMP コアを掘削地点の約 900 m 西方に位置するやまびこ公園東方の空き地で YMP コアを掘削した (図 44)。この掘削地点は朝見川断層の断層崖から約 50 m 北側の埋立地に位置している (国土地理院, 2010)。同コアは上位から人工盛土、河川～湿地堆積物、河川～湿地堆積物、網状河川堆積物で構成されると考えられる。同コアの柱状図と写真を図 46 に、放射性炭素年代値を表 5 に、堆積曲線を図 48 にそれぞれ示す。各堆積物の特徴と堆積環境を解釈した根拠を以下に記載する。

人工盛土 (YMP コア ; 深度 0.00~3.65 m)

砂層と礫層の互層とで主に構成される。アスファルトやコンクリート片、建材、ビニル片を含むので人工盛土であると考えられる。下位の氾濫原～塩性湿地堆積物との境界は不明瞭なので、近現代の人工物が含まれる深度を下限とした。

氾濫原～塩性湿地堆積物 (YMP コア ; 深度 3.65~10.51 m)

深度 11.72 m よりも上位の砂層と礫層の互層からなる部分と下位の砂層と泥層の互層によって構成される。上方に向かって粗粒な粒子の含有率が増加して、深度 5~7 m には泥から粗粒砂への逆級化 (図 46★2)、深度 8.50~9.75 m では巣穴 (図 46★3) が多く観察される、礫は直径 2~100 mm のデイサイトと安山岩の垂角～垂円礫が主体で、砂層は主に細粒砂～粗粒砂からなる。深度 10.36~11.55 m および 17.00~22.42 m には軽石の濃集層が認められる。

深度 4.58~4.59 m で採取した葉は 830±90 cal BP、深度 5.76~5.77 m の葉 (図 46★1) は 1790±80 cal BP、深度 7.40~7.41 m の小枝および葉は 1800±80 cal BP、深度 9.98~10.00 m の小枝は 4420±80 cal BP の年代値をそれぞれ示した。上位ほど新しい年代値を示し、層位関係と調和的であるので、再堆積の影響はみられなかった。

砂泥互層には増田・伊勢屋 (1985) が自然堤防帯における氾濫原洪水堆積物の示相堆積構造とした逆級化が認められるので蛇行河川流路～氾濫原の堆積物であると考えられる。下部では巣穴が多くみられるので、塩性湿地において形成された可能性がある。

蛇行河川堆積物 (YBP コア ; 深度 10.51~19.12m)

細粒～中粒砂層と砂礫層、有機質泥層の互層からなる。シルト層には根や葉などの植物片や藍鉄鉱が多く含まれている。深度 12 m 付近の砂層には変形を受けたラミナ (図 46★5) が観察された。

深度 11.85~11.86 m の木片から 7630±50 cal BP、深度 14.57~14.60 m の植物片から 7210±50 cal BP、深度 15.80~15.84 m の植物片から 7550±40 cal BP、深度 18.90~18.92 m の葉から 8630±30 cal BP の年代値がそれぞれ得られた。液状化痕が確認された層準の堆積年代は 7200 cal BP 程度であるので、それ以降に強い揺れの影響を受けたと考えられる。

泥層には根や葉などの植物片が多く含まれているので、氾濫原～蛇行河川の流路堆積物であると考えられる。

網状河川堆積物 (YBP コア ; 深度 19.12~22.00m)

最大礫径 26 cm の安山岩とデイサイトの垂角～垂円礫が主体で、それらを中粒～極粗粒砂が充填する (図 46★7)。放射性炭素年代測定が可能な試料は確認されなかった。掃流が卓越する網状河川の流路堆積物であると考えられる。

YMP core +5.37 m amsl

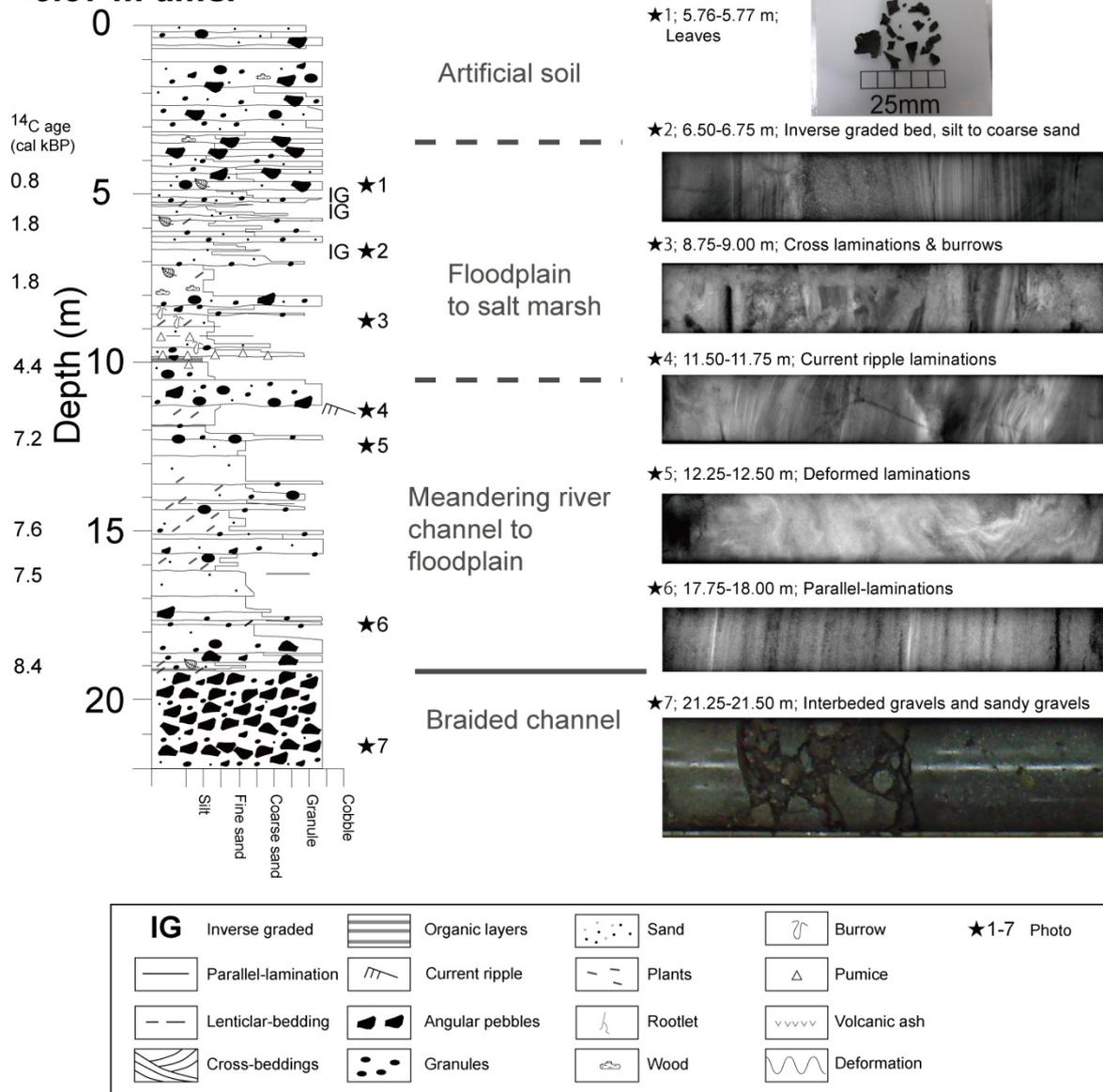


図 46 YMP コアの堆積柱状図と写真。

c) 朝見川断層の活動履歴

上記の HMP および YMP コアの解析結果を既存の HBP および BHM コアの結果（中西ほか，2006～2009）と対比すると、図 47 に示した地質断面が描ける。同図によると断層崖から 100 m 以内で掘削された YMP および HBP コアとそれ以外のコアとの間に堆積様式の相違が認められる。この違いは図 48 の堆積曲線の傾きの差としても明示されており、YMP および HBP コアは正断層である朝見川断層の断層面上において掘削されたことを反映していると考えられる。

一方、朝見川断層の沈降側の沖積層は、海側から陸側に向かって海成層が河川層に挟まれて楔状に分布している（図 47）。こうした堆積環境では断層活動による地盤の沈降イベントが地層に記録されている可能性がある、例えば、BHM コアの深度 4～7 m や YMP コアの深度 5～7 m には現在の海水面よりも低い標高において自然堤防および氾濫原堆

積物の示相堆積構造とされている逆級化が認められる。これらの堆積年代は 1800~600 cal BP にあたり、最新の時期は調査地点付近で大きな被害をもたらした歴史地震記録として西暦 1596 年の慶長豊後地震（宇佐美ほか，2013）に相当する可能性がある。こうした層準を中心として次年度は珪藻化石群集組成を解析して、堆積環境の変化について検討する予定である。

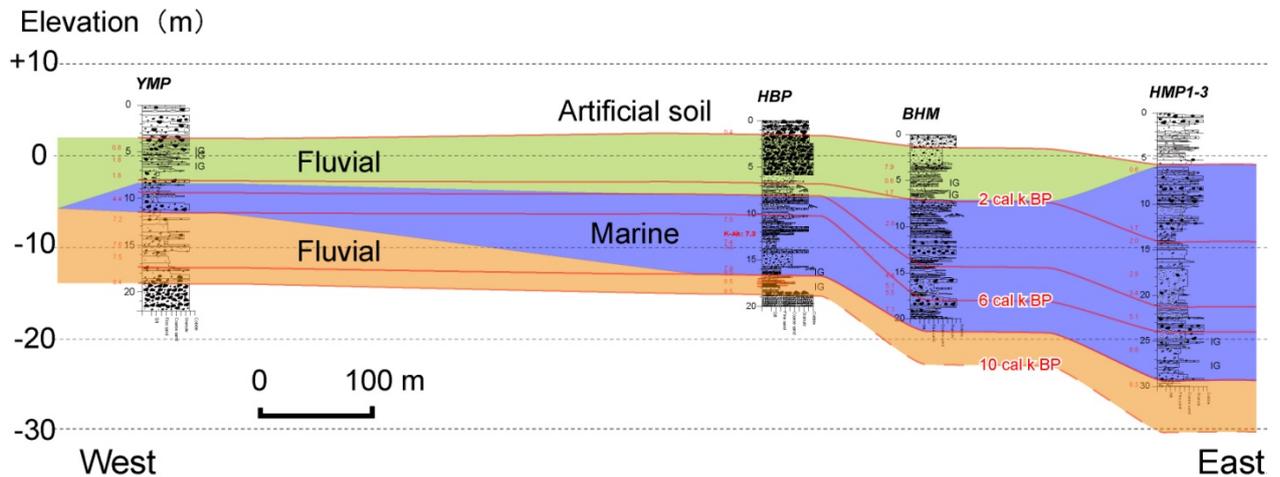


図 47 朝見川断層の沈降側の地質断面図.

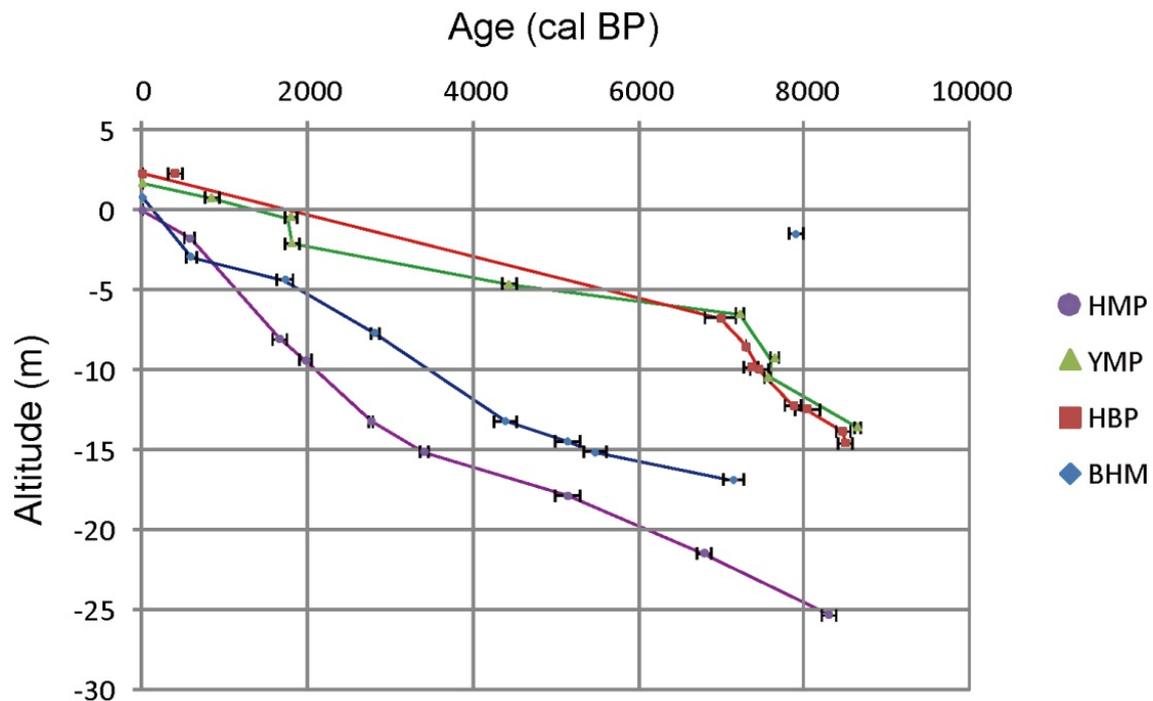


図 48 HMP, YMP, HBP, BHM 各コアの堆積曲線.

(c) 結論ならびに今後の課題

陸域調査(1-1)では、従来の活断層分布調査との整合性が明らかになるとともに、あらたに伽藍岳東方で横ずれ断層の可能性が指摘される活断層が認められた。また、詳細な現地踏査も踏まえて、トレンチや群列ボーリングの可能性のある地点の絞り込みが

できた。今後は、それらの検証とともに、活動時期の推定のための情報を獲得することが必要である。

1-1のうち、歴史資料の調査・解析では、いわゆる「慶長豊後地震」の発生日に関しては、I類がおしなべて閏7月9日としていることから、閏7月9日に地震と津波が起きたことが認められる。一方で、II類では閏7月12日あるいは13日を地震の発生日としている。ちなみに、豊後水道をはさんだ伊予国（愛媛県）の古文書でも、9日と12日の2種の記述がある(中西 2002・2009)。こうした点から、閏7月9日と12日は、災害が起きた日として記憶される日として伝承されたことが窺える。すると、上記の2ヶ日に地震が発生、言い換えれば2つの地震が発生したと捉えることも必要である。なお、I類に関わる柴山氏の古文書類で、後世の記録になると発生日が変化したことは、江戸時代に情報の整理が行われたことが窺える。そこで、より詳細に情報を整理し、地震の様相を提示するため、大分県内における古文書・記録類のより広い所在確認、愛媛県での史料調査が今後の課題である。

海域調査（1-2）では、別府沖から高崎山沖を経て、大分平野沖までの範囲の高精度の海底地形調査が実施できた。その結果、別府沖、高崎山沖、大分平野沖で地すべり地形や流れ山と想定される特徴的な、海底地形が認められた。また、音波探査により、海底堆積物の分布状況や地すべり地形の内部構造が明らかにできた。今後は、これらの構造の形成メカニズムや形成時期をあきらかにすることで、断層活動に関する情報の抽出の高度化を進めることが必要である。

伏在平野部調査（1-3）では、別府の浜脇地区と朝見地区でボーリングを実施し、断層変位にともなう堆積相の変化の時間的な推移が明らかにできた。その結果、年代測定や火山灰分析等により、陸域での堆積物が現在の海拔下に存在することもあきらかにされ、その年代から変位速度等の情報が得られた。今後は、微化石等の情報も含めて、高精度の堆積環境評価と年代分解能の高度化により、地震イベントの時期等の絞り込みと変位量の推定を試みる必要がある。

(d) 引用文献

1) 陸域調査 (1-1)

大分県 (2004) 平成 15 年度地震関係基礎調査交付金「別府-万年山断層帯に関する調査」
成果報告書

中西一郎(2002)文禄五年閏七月九日(1596年9月1日)の地震による伊予での被害を示す史料, 地震, 55, 311-316.

中西一郎(2009) 文禄五年(1596)閏七月豊後・伊予地震による伊予国板島城(現宇和島城)の被害―藤堂高虎の遺帖―, 北海道大学地球物理研究報告, 72, 383-386.

2) 海域調査 (1-2) なし

3) 伏在部調査 (1-3)

千田 昇・池田安隆・中田 高・岡田篤正・宇根 寛 (2001) 2万5千分の1都市圏活断層図「別府」: 国土地理院.

国土地理院 (2011) 土地条件調査解説書「大分地区」: 20p.

地震調査推進本部 (2005) 別府-万年山断層帯の長期評価:

http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar_beppu/index.htm, 19.1MB.

増田富士雄・伊勢屋ふじこ (1985)“逆グレーディング構造”: 自然堤防帯における氾濫原洪水堆積物の示相堆積構造: 堆積学研究会報特集号, 108-116.

中西利典・竹村恵二・松山尚典 (2006) 別府浜脇地区のボーリングコア解析―東別府駅前ボーリングコアの堆積相―: 大分県温泉調査研究会報告, 57, 1-5.

中西利典・竹村恵二・齋藤武士・松山尚典・柴田康行 (2007) 大分県別府浜脇地区の沖積層ボーリングコア解析―堆積相と炭素 14 年代値―: 大分県温泉調査研究会報告, 58, 11-19.

中西利典・竹村恵二・齋藤武士・松山尚典・柴田康行 (2008) 朝見川断層付近のボーリングコアの堆積環境と堆積年代の対比: 大分県温泉調査研究会報告, 59, 3-11.

中西利典・竹村恵二・松山尚典 (2009) 2本のボーリングコア試料から推定した朝見川断層の活動性: 大分県温泉調査研究会報告, 60, 51-55.

岡田篤正・池田安隆・中田 高・千田 昇・宇根 寛 (2001) 2万5千分の1都市圏活断層図「大分」: 国土地理院.

宇佐美龍夫・石井 寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子 (2013) 『日本被害地震総覧 599-2012』: 東京大学出版会, 56-57.