

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 恵二
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
大分県立先哲資料館	主任研究員	櫻井 成昭
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 of 長期予測に資する複数回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した。まず、既存の地形・地質情報・歴史資料の収集・整理を継続・実施した。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情報を整理した。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、活動履歴の高度化が図られた。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および新規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・トレンチ調査等を行った。あわせてサブテーマ 1 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、サブテーマ会議を行った。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った。

3) 平成 28 年度：

別府一万年山断層帯（大分平野－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 27 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 27 年度の陸域調査では、平成 26 年度調査で対象とした伽藍岳北断層について、1970 年代に国土地理院が撮影したの縮尺約 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再検討・確認した。それらの情報と現地踏査で確認した地点でピット調査を実施した。また、慶長元年(1596)に発生した「慶長豊後地震」に関する、大分県内外の古文書・記録類を収集し地震に関する基本情報の整理を行った。古文書・記録類のうち、地震発生と同時期あるいは時期を隔てたものではないものでは慶長元年閏 7 月 9 日、後世に編纂されたものでは同月 12 日や 13 日と様々である。このことは、別府湾沿岸に被害をもたらした地震が、複数回発生した可能性を示唆する。また、古文書・記録による被害状況の情報整理も実施した。海域調査では海底地形調査および音波探査調査結果を解析した図面作製等を実施した。また、長期間（数千年程度）にわたる地震時イベントの記録を明らかにするために、大分沖や高崎山沖、別府沖の別府湾最深部などで 20m～10m 級の堆積物採取を行い、各種解析を実施した。その結果、30 回程度のイベント層が認定された。伏在部の調査では、大分平野において、府内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一本のボーリングコアを掘削して分析を進めた。同コアは上位から人工盛土、デルタプレーン、デルタフロント、プロデルタ、エスチュアリー、網状河川流路の堆積物で構成されていることが明らかになった。

(b) 業務の成果

1) 陸域の調査（サブ1-1）

a) 伽藍岳北断層ピット調査

i) 伽藍岳北断層の変位地形の概要

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。その結果、伽藍岳北東（図

3.1.1)において、北流する河谷に対して逆向き(南向き)の断層崖があること(図3.1.2)、

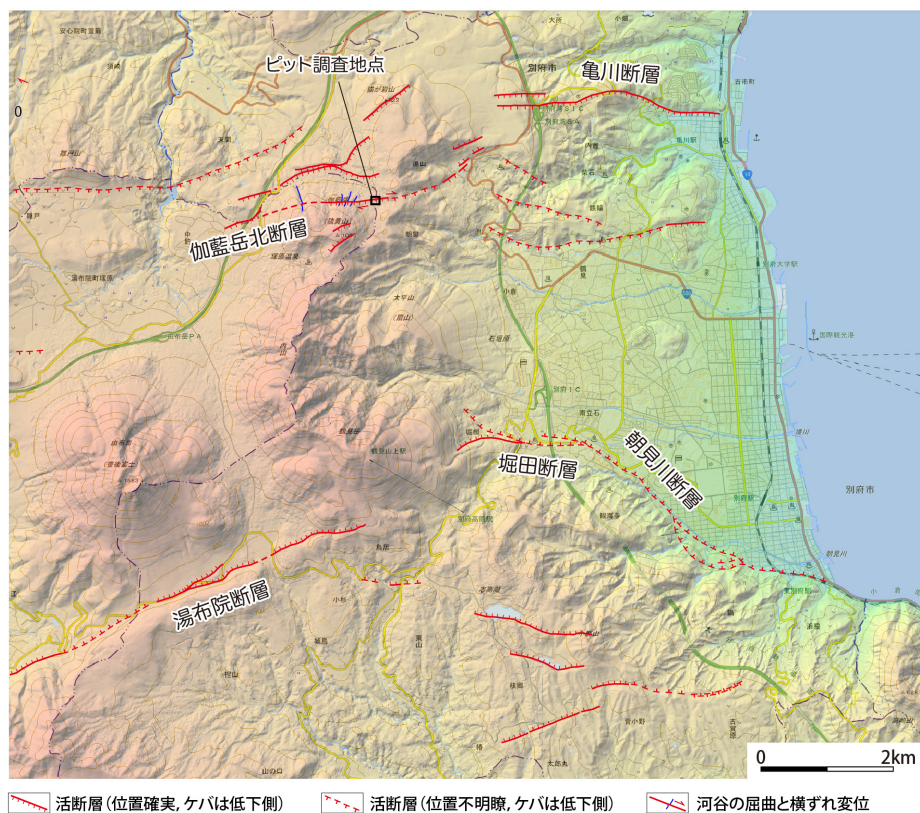


図 3.1.1 別府平野周辺の活断層分布とピット調査地点

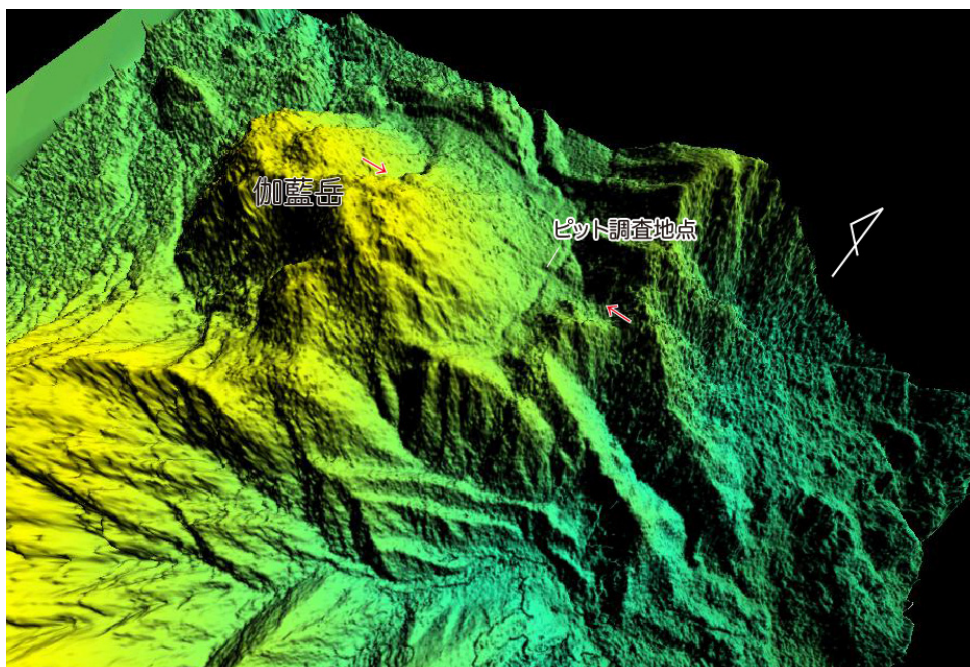


図 3.1.2 ピット調査地点周辺の鳥瞰図(南東からの視角)

断層を境に右横ずれ変位が認められることが明らかとなった。この断層は、都市圏活断層図『別府』(千田ほか、2000)にも記載されているものの、大分県などによる詳しい

調査はこれまで行われてこなかった。なお、この断層トレースの名称がこれまでなかったため、本報告では伽藍岳北断層と命名する。本断層は別府地溝北縁断層帯（大分県、2003）の一部にあたるが、その中で最も南側の断層にあたる。

本断層は、走向は $N80^{\circ}E$ 、南落ちの変位をもつ約 4km の断層である。断層の中より西側は伽藍岳の北麓を横切って、斜面上に断層鞍部が形成されている（図 3.1.3）。



図 3.1.3 逆向き断層崖と伽藍岳北断層トレースの現地写真

山体斜面を構成する伽藍岳溶岩は藤沢ほか（2002）によると、10.5ka より若干古期に形成されたものであることから、少なくともそれ以降に断層変位が生じたといえる。現在認定されている断層の西端は、10.5～7.3ka に噴出した鬼箕山（おにのみやま）溶岩（藤沢ほか、2002）を越えていないが、今後精査が必要である。なお伽藍岳山麓を開析する河谷では 4 本程度に右屈曲が確認できる。ただし、後述するように、ピット調査で露出した地質構造からは明瞭な右横ずれ変位を示す構造は認められなかった。本断層の中央部には、伽藍岳と標高 810m の山の間に、断層より上流側に小盆地地形が広がる（図 3.1.3）。これは、逆向きの断層崖に伴い生じた凹地に堆積物が埋積したと推定される。このあたりは断層崖近傍に道路が敷設されており、人工改変があると判断して掘削調査は実施しなかった。断層トレースは、東へ向かって鞍部を越えて湯山・明礬（みょうばん）地区へ抜ける。ここより東側は明瞭な変位地形は認められないが、地獄めぐりで有名な鉄輪地区の盆地北縁部に連続しており、断層が延長している可能性もある。

ii) ピット調査地点と調査の概要

伽藍岳北断層の活動履歴を明らかにするため、本調査では、伽藍岳北東の逆向き断層崖の基部でピット調査を行った（図 3.1.4、図 3.1.5）。調査地点での盆地



図 3.1.4 ピット調査と逆向き断層崖の現地写真

面と断層崖の頂部との高度差は、7.0～7.5mである。ピットは3箇所掘削した。当初、断層面は、盆地と断層崖の傾斜変換線に沿って現れると予想し、No.1ピットを掘削した。しかし、No.1ピットは深さ2m程度と浅かったため、明瞭な断層変位が認められなかった。そのため、より深い地層を観察するためNo.2ピットを掘削したところ、岩屑なだれ堆積物起源の移動土塊が確認できた。一方、断層崖の基部が埋積された可能性があると予想し、No.2ピットに近接した南側でNo.3ピットを掘削した。しかしNo.3ピット

では断層は露出せず、盆地を埋積する整合的な層序しか確認することができなかった。

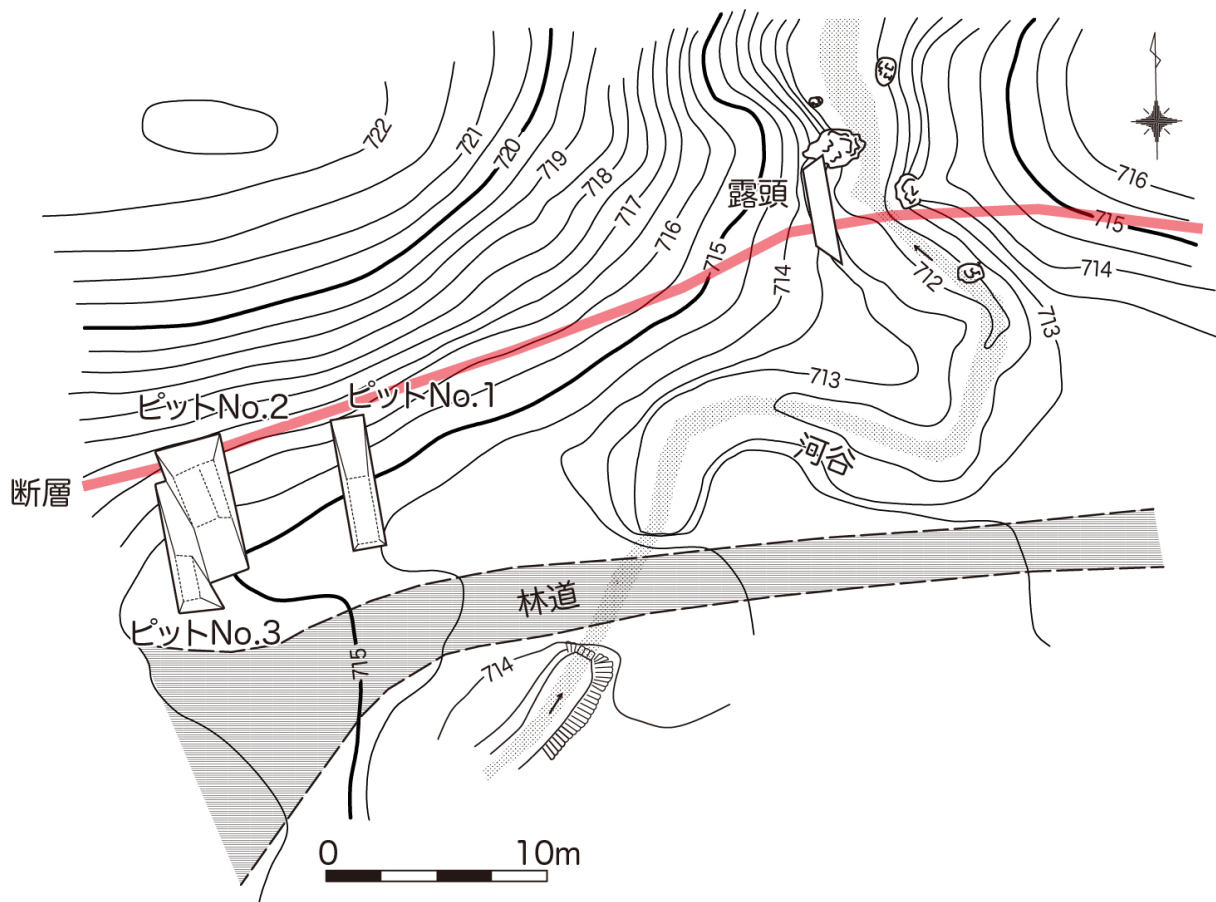


図 3.1.5 ピット調査周辺の詳細地形図

そのため、移動土塊よりも北側に断層面があると考え、No.2 ピットを北側に延伸した。その結果、岩屑なだれ堆積物と移動土塊の境界部に断層面と推定される構造が認められた。さらに、No.2 ピットでは、ピット底をさらに掘り込み、下盤側の岩屑なだれ堆積物の上面高度を明らかにすることができた。以上の経緯から、下記の地層層序や断層構造の記載は No.2 ピットを中心に行う。

また断層崖を横切る河谷の右岸で、未固結堆積物中に断層構造が認められる自然露頭も確認できたのであわせて報告する。

iii) No.2 ピット壁面の地層の層序

ここでは、断層上盤側に堆積した地層および、断層崖から崩落とみられる地層（移動土塊および混濁層）が認められた。地層の区分は、東壁面（図 3.1.6、図 3.1.7）の方が西壁面よりも細分化することが可能であるため、東壁面の層序区分を規準として記載する。以下では、上位の地層から 1 層とし、簡潔に層序の記載を行う。

1 層：地表付近では緩く草木根を含み、下部ではシルト質でやや締まっている、黒色～赤紫灰色表土（黒ボク土）である。

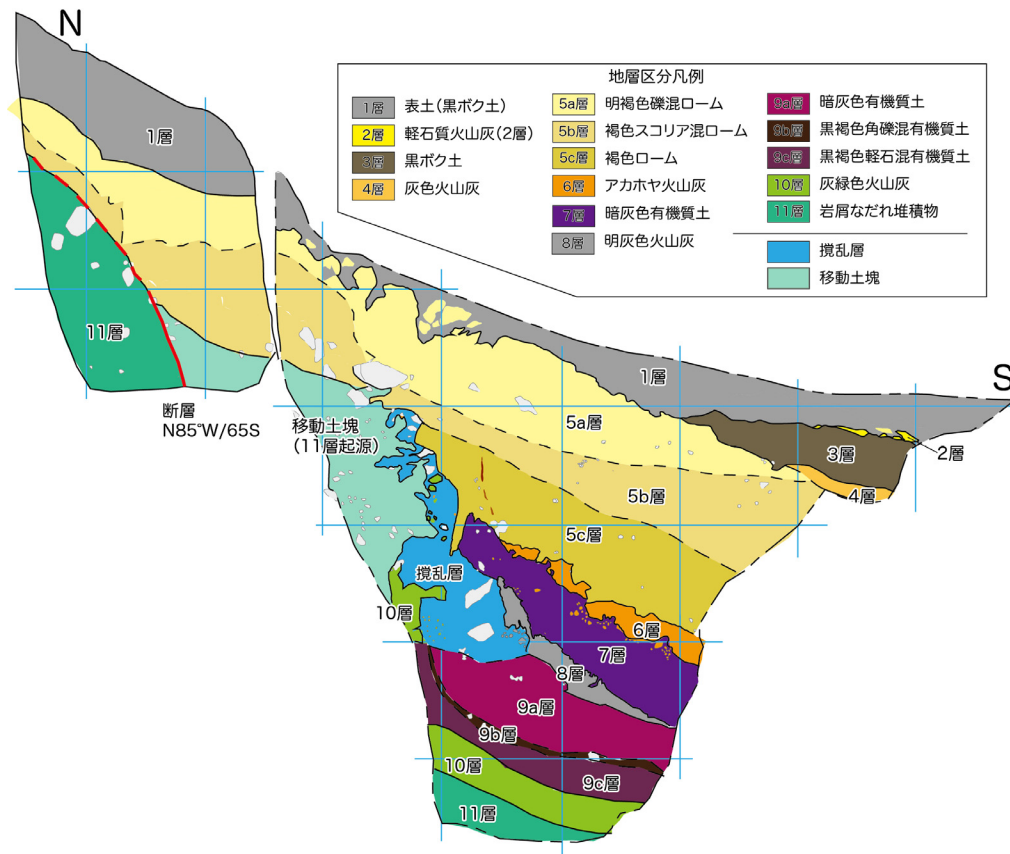


図 3.1.6 ピット No. 2 の東壁面のスケッチ

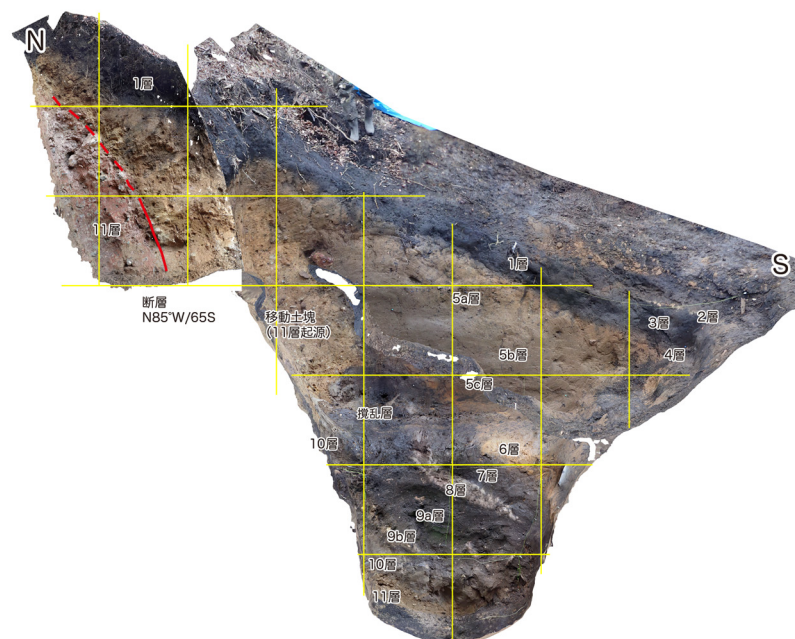


図 3.1.7 ピット No. 2 の東壁面のモザイク写真

2層：軽石質火山灰で2層認められる。層位と層序から伽藍岳の水蒸気爆発の噴出物とみられる。

3層：シルト質で締まっている黒色有機質土（黒ボク土）。

4層：灰色火山灰。

5層：褐色ローム層であり、含有物の違いにより3層に細分できる。それぞれの境界線は漸移的である。5a層は明褐色礫混ローム層、5b層は褐色スコリア混ローム層、5c層は褐色ローム層である。

6層：攪乱層。層相からは11層起源の有機質土壌であると考えられるが、8、10、12層の火山灰がパッチ状に混入する。移動土塊の割れ目等にも充填して堆積している。土塊（7層）の移動によって攪乱されたと見られる。

7層：移動土塊。13層起源のくさり礫と比較的新鮮な礫が褐色のシルト質～粘土質の基質中に混在する。

8層：橙色の火山灰であり、色調や含有する火山ガラスの形状から鬼界-アカホヤ火山灰（K-Ah、7,300年前噴出、（町田・新井，2003））と認定される。

9層：暗灰色有機質土である。上位のK-Ahがパッチ状に混入するが、土塊（7層）の移動の衝撃によって攪乱されたと見られる。10層：シルト質で、かなり締まっている明灰色火山灰である。

11層：暗灰色～黒褐色の有機質土壌であり、含有物の違いにより3層に細分できる。それぞれの境界線は漸移的である。11a層は暗灰色有機質土層、11b層は黒褐色角礫混有機質土層、11c層は黒褐色軽石混有機質土層である。

12層：灰緑色火山灰。

13層：変質した凝灰角礫岩灰色火山灰、くさり礫と比較的新鮮な礫が褐色のシルト質～粘土質の基質中に混在する、岩屑なだれ堆積物である。

iv) 地層構造から推定される断層運動

断層構造は、東壁面(図 3.1.6)では、トレンチ北側の13層と7層の間に認められ、西壁面(図 3.1.8)では、13層と6層の間に認められる。断層の走向・傾斜はN85°W/65Sであり、断層面に沿って、断層面に平行なシルト層が細長く分布する。なお、これより地表に向かっては、13層と5b層との境界は平滑な面であるが、5b層が断層変位を受けたものか、あるいは13層を不整合に覆ったものかは判別できなかった。横ずれ変位を示す構造は認められなかった。

次に7層の移動土塊の成因について検討する。東壁面や北壁面(図 3.1.10)に認められる移動土塊は、もともとピットの位置よりも高いところにあった岩屑なだれ堆積物である。何らかの原因により、断層面に沿って土塊と攪乱層が滑落するとともに、回転して横倒しになり、6、8～12層に変形を与えたと推定される。6層は、層相から11層起源の有機質土壌であると考えられるが、8、10、12層の火山灰がパッチ状に混入する。移動土塊の割れ目等にも充填して堆積している。土塊（7層）の移動によって攪乱されたと見られる。9層はK-Ahの下位にあるにも関わらず、上部のK-Ahがパッチ状に入り込んでいることは、滑落の衝撃の大きさを示していると思われる。西壁面では、K-Ahが見かけ上異常に厚く堆積している。東壁面で認められるK-Ahの層厚が20～25cmであるのに対して、西壁面で認められるK-Ahの層厚は40～60cmに及ぶ。これはK-Ahが移動土塊の押出しにより折り畳まれた結果、堆積当時の層厚よりも約2倍の厚さになったと解

積される。9層は6層の押し出しに伴って上方に曲げられており、K-Ah が地層中に散在している。一方、両壁面とも 5c 層には目立った変形は認められない。なお、西壁面の 5b 層と 5c 層の境界は垂直となっており、断層変位を受けている可能性もあるが、5c 層中に明瞭な剪断面が認められないことから、断層変位ではないと判断した。

西側壁面では、5c 層は 8 層や 9 層の変形を覆う傾斜不整合となっていることから、移動土塊の崩落と攪乱層の形成は、6 層と 5c 層の間である可能性が高い。このような崩落現象は必

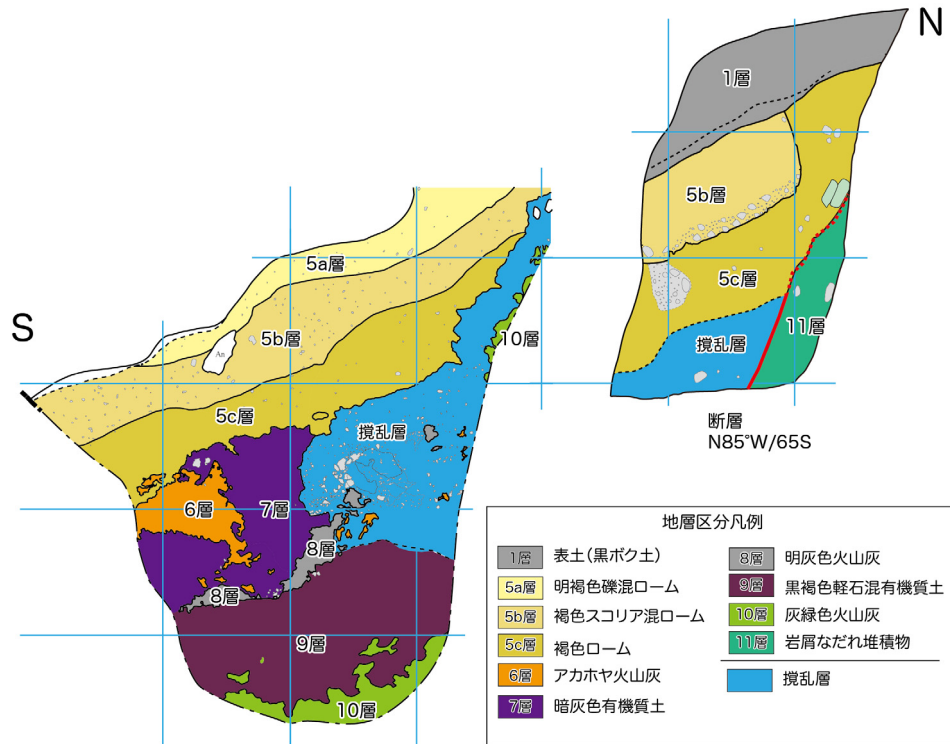


図 3.1.8 ピット No. 2 の西壁面のスケッチ

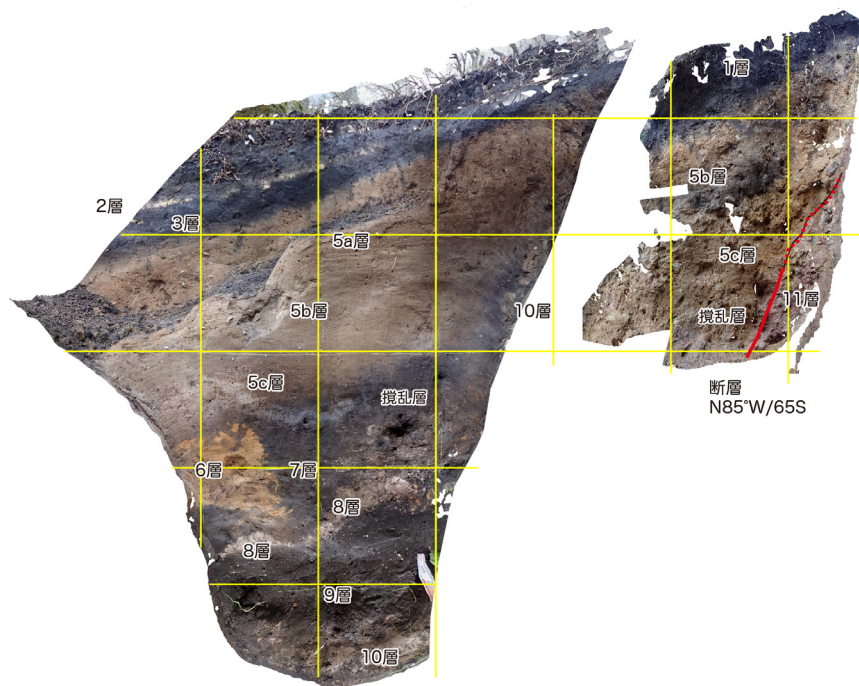


図 3.1.9 ピット No.2 の西壁面のモザイク写真

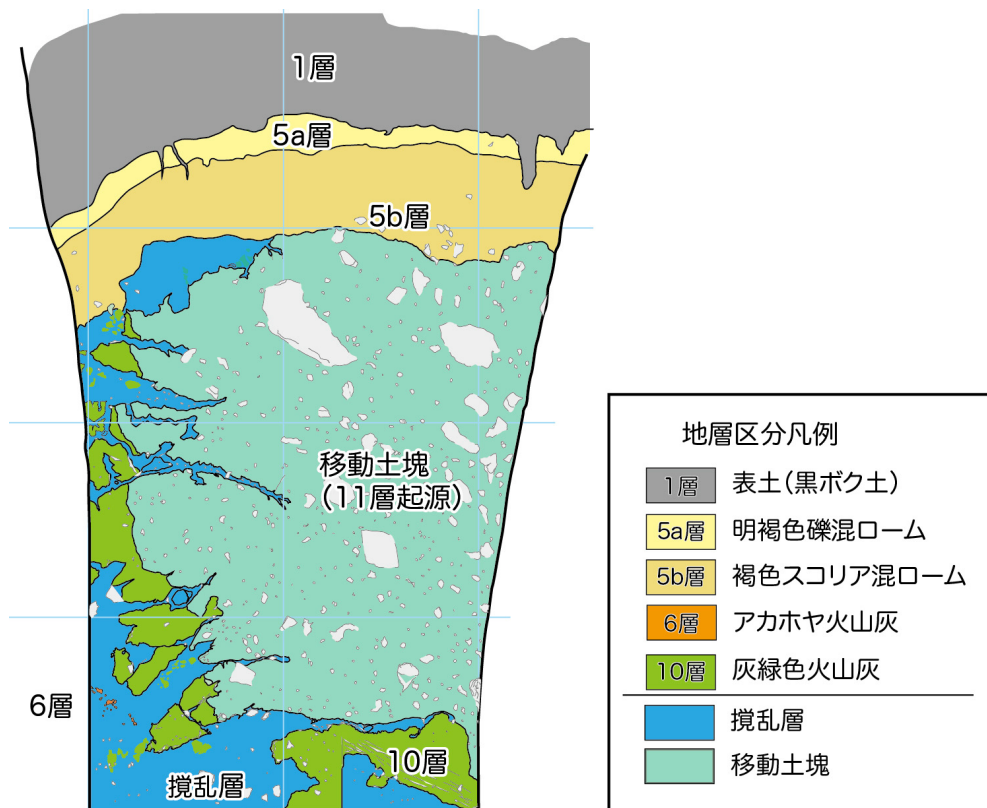


図 3.1.10 ピット No.2 の北壁面のスケッチとモザイク写真

ずしも強い地震や断層運動だけによって生じるものではないが、高さ約 2.5m、東西幅 2.5m 以上、南北幅 2m 程度という非常に大きな土塊が断層面に沿って滑落したというこ

とを考えると、この断層の活動によって土塊の滑落が生じたと考えるのが合理的であろう。

ピット底では、13層の岩屑なだれ堆積物の上面が認められる。下盤側にあたる断層崖の頂部は岩屑なだれ堆積物からなるため、上盤側の岩屑なだれ堆積物の上面と断層崖の頂部の比高は約11mとなる。下盤側には少なくとも1m程度のローム層が堆積していると予想されるため、実際の比高は10m程度と推定される。この比高は、岩屑なだれ堆積物の堆積以降に生じた総変位量といえる。現状では、岩屑なだれ堆積物の年代は不明であり、変位量も不確定な部分も多いが、岩屑なだれ堆積物堆積以降の正確な変位量の計測やスリップレートの算出は今後検討すべき課題と言える。

v) 自然露頭の観察結果

自然露頭は幅4.5m、高さ1mで、ほぼ断層走向に直交した向き(N10°W)の壁面である(図3.1.11)。露頭の位置は、断層崖基部よりも5m程度北側に位置するが、ピットNo.2でも崖の基部よりも7m程度北側を通過していたことと整合的である。ここでは、大きく6層に区分することができる。ピット調査の地層とは必ずしも類似した地層とはいえないため新たにローマ数字の地層番号とした。

I層：黒色／暗紫灰色の黒ぼく土でピット調査の1層に対比される。

II層：明褐色礫軽石混ロームで、層相や層序からはピット調査の5a層に近い。

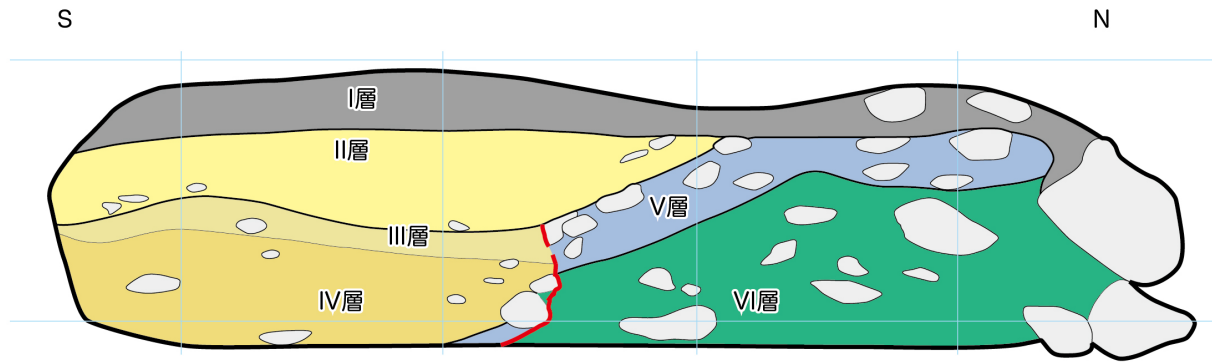
III層：褐色礫混ローム。

IV層：暗褐色有機質土質礫混じりローム。ピット調査の地層に対比するのは難しい。

V層：暗褐色礫質シルト。

VI層：変質した凝灰角礫岩灰色火山灰、くさり礫と比較的新鮮な礫が褐色のシルト質～粘土質の基質中に混在する、岩屑なだれ堆積物である。

本露頭では、ピット調査と同様の層相をもつ岩屑なだれ堆積物が南に向かって、その分布がたたれることから、断層であるといえ、不明瞭ながら露頭下部で傾斜50°Sの断層面が認められる。また、少なくともIV層までは断層変位を受けていると見られるが、III層については不明確である。またI層、II層は断層を覆って堆積しているといえ、断層変位を受けていない地層とみられる。



地層区分凡例			
I層	表土(黒ボク土)	IV層	暗褐色有機質土質ローム
II層	明褐色礫軽石混ローム	V層	暗褐色礫質シルト
III層	褐色礫混ローム	VI層	岩屑なだれ堆積物 (11層)

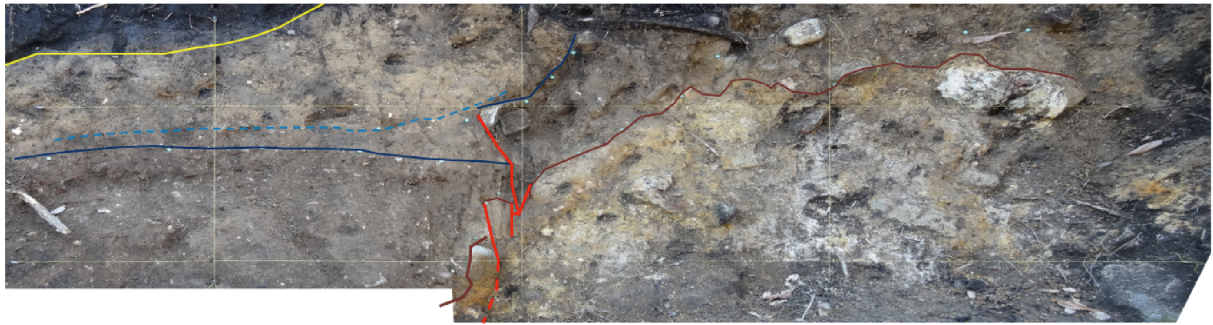


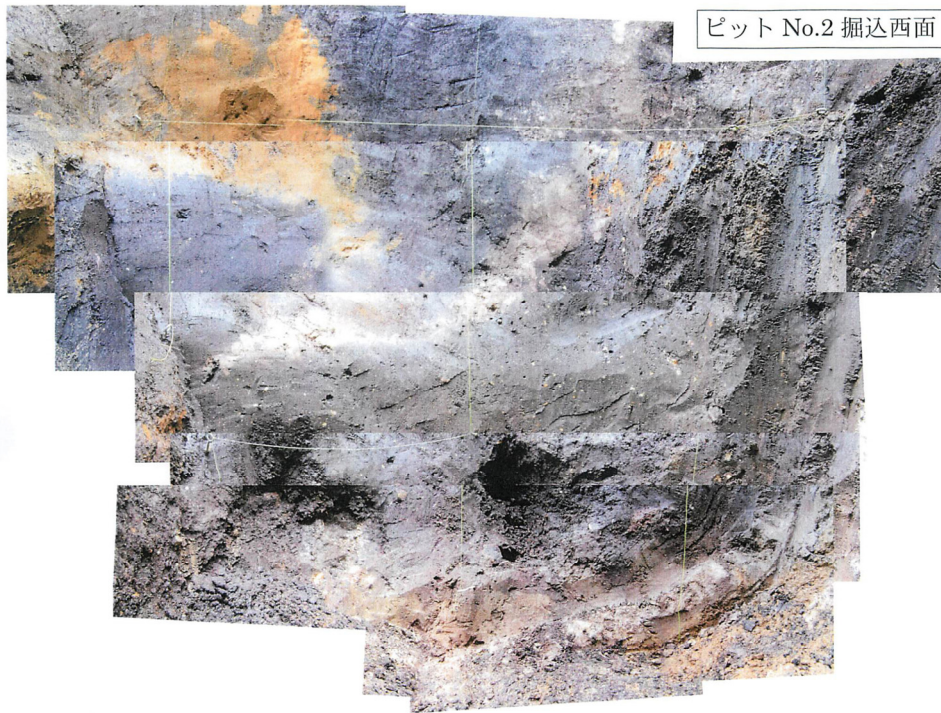
図 3. 1. 11 自然露頭のスケッチと写真

次ページから各ピットの写真

付図：トレンチ写真

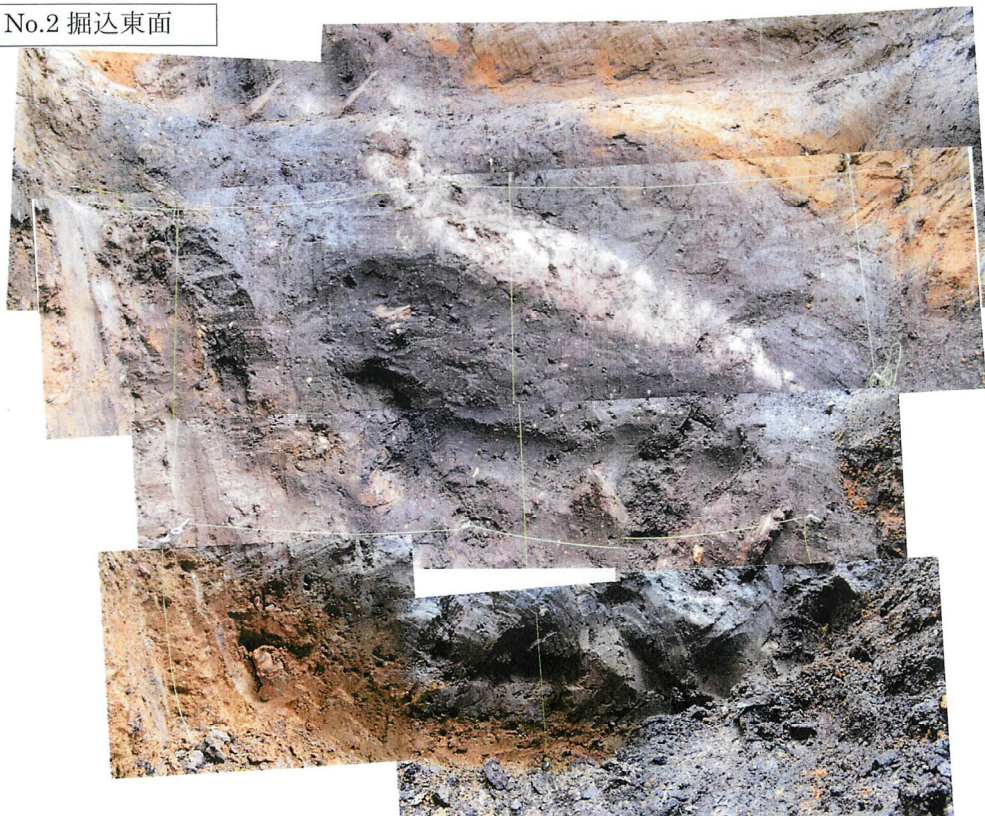
・

- ピット No. 2
- ピット No. 3
- 川沿い露頭

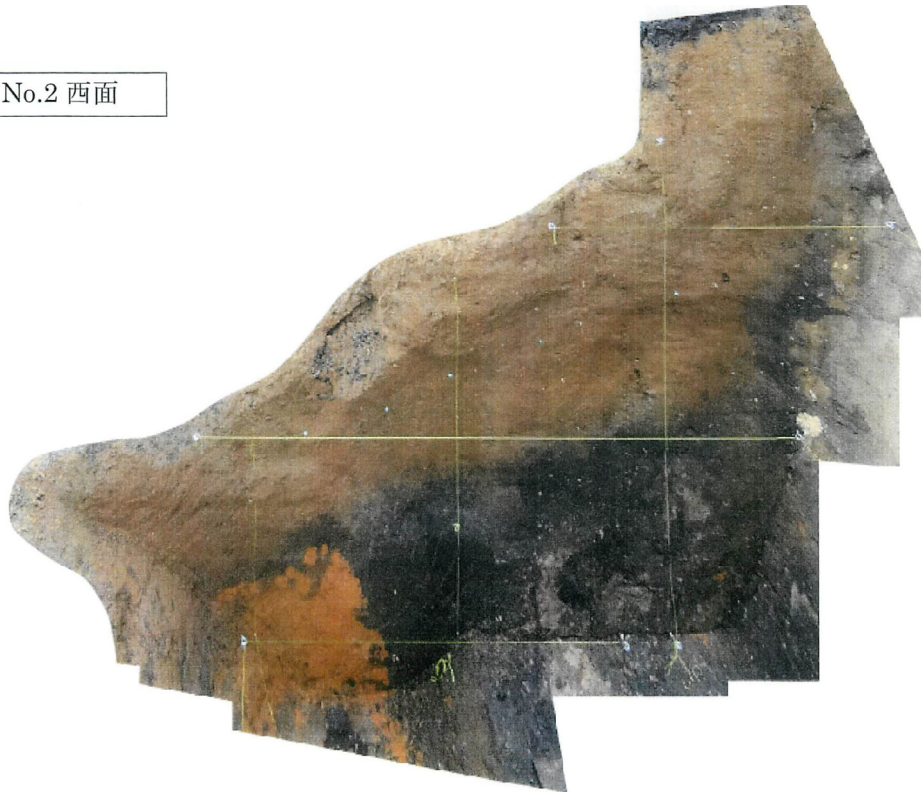


ピット No.2 掘込西面

ピット No.2 掘込東面



ピット No.2 西面



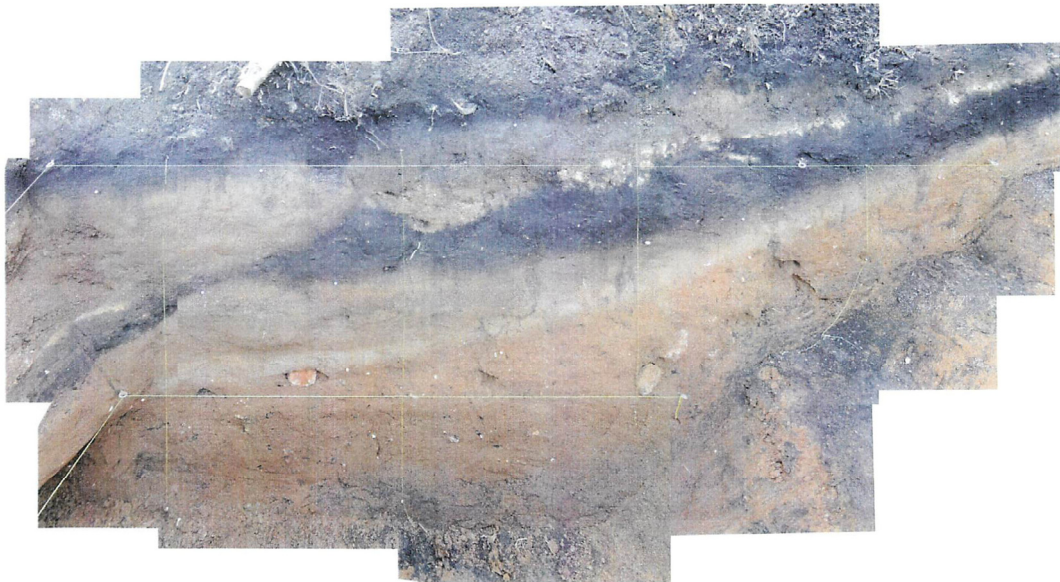
ピット No.2 東面



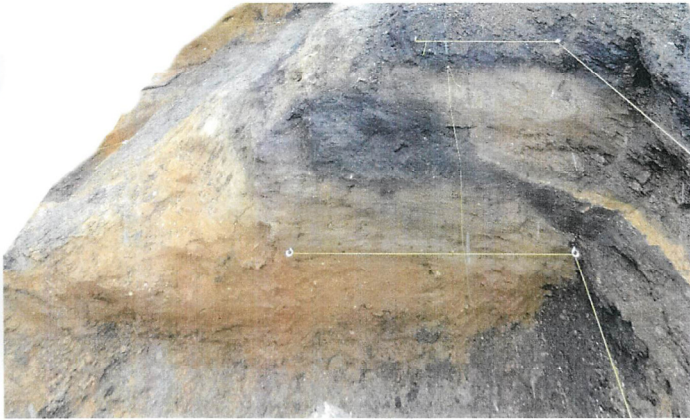
ピット No.3 全体



ピット No.3 西面



ピット No.3 東面



ピット No.3 南面



川沿い露頭



b) 歴史資料調査

平成 27 年度は、光西寺や杵原八幡宮（大分市）の記録を調査し慶長豊後地震の具体的様相を再検討した。ともに、慶長豊後地震については、地震の発生日を閏 7 月 9 日としている。このうち、杵原八幡宮の記録は 12 日にも地震があったことを記している。このことは、地震とほぼ同時代の記録である玄与日記（『群書類従』）に、12 日の地震で大分市佐賀関では大波でさらわれたとあることもふまえると、12 日にも地震があったことを示唆している。

また、慶長 16 年（1611）作成の「国東郡速見郡御検地帳」（熊本大学附属図書館）では、「先年地震」により、由布院（由布市湯布院町）、別府・浜脇・立石・南石垣（以上別府市）で耕地などが復興できないと記されている（図 3.1.12、図 3.1.13）。あるいは、地震から約 50 年後に編纂された「豊後国郷帳」では、地震のため速見郡全体の 5 % 余りの耕地など「滅地」になり、豊後国全体で 1 % 余りの土地が地震による「崩込」や「入込」で「滅地」になったとある。これらの地域名は明確でないが、慶長元年の地震の被害の大きさを物語っているよう。

なお、こうした成果をふまえ、平成 28 年 3 月 11 日に講座「大地の歴史と私たちの暮らし」を豊の国情報ライブラリー（大分県立図書館 2 階視聴覚ホール）で開催した。

文献調査の結果をまとめると以下のようなになる。

豊後国では、慶長元年閏 7 月 9 日と 12 日に 2 度地震があり、ともに被害があったことがわかる。

また、被害状況の記録を整理すると、慶長豊後地震は別府湾沿岸だけでなく速見郡由布院付近でも大きな被害をもたらしたことが確認できる。特に速見郡では地震による復興が困難な地が多い。

あるいは、19 世紀初に完成した「豊後国志」の附図では、大分市沿岸部が慶長元年の地震で陸地が海になったと記され、杵原八幡宮の記録では、「府中近辺」（大分市付近）の村は津波で海底になったとある（図 3.1.14）。このような表現は、地震によって沿岸部が海没したことを示唆している。なお、地震後の速見郡での検地帳には、地震や洪水などの災害で荒地となったことを示す「永荒」の記載もあり、地震の被害地範囲を確認することが今後の課題である。また、前述したように、豊後国では閏 7 月 9 日と 12 日に大きな被害をもたらした地震が発生したが、各々の発生時間などの整理も課題として挙げられる。そこで、28 年度は、より多くの情報を得るため、熊本大学附属図書館所蔵の松井氏（細川氏の家臣）の諸史料や愛媛県での史料調査を実施する。

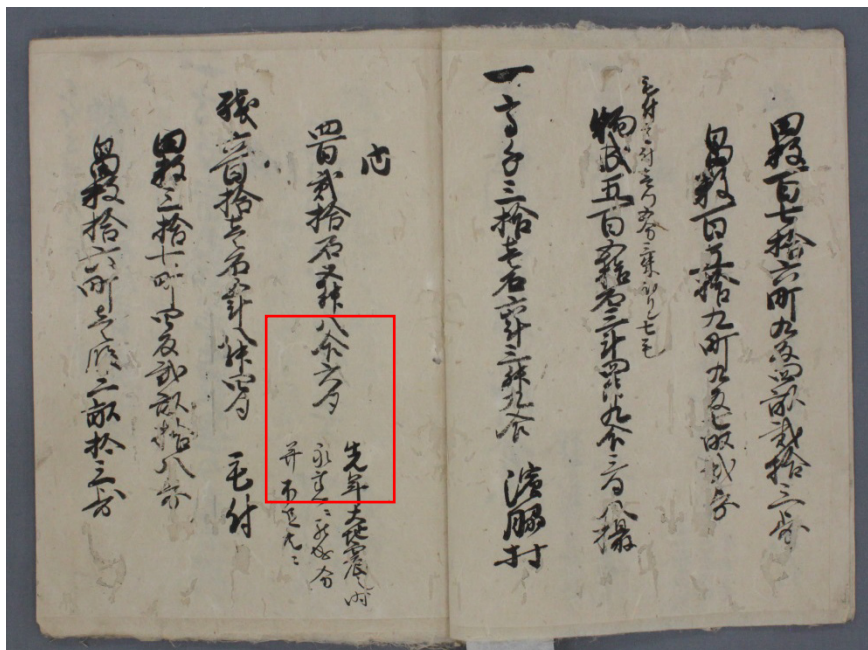


図 3.1.12 国東郡速見郡御検地帳（熊本大学附属図書館蔵）
 囲み部分に、先年大地震で耕地などが復興できていない状況が記される。



図 3.1.13 速見郡域被害箇所概要図

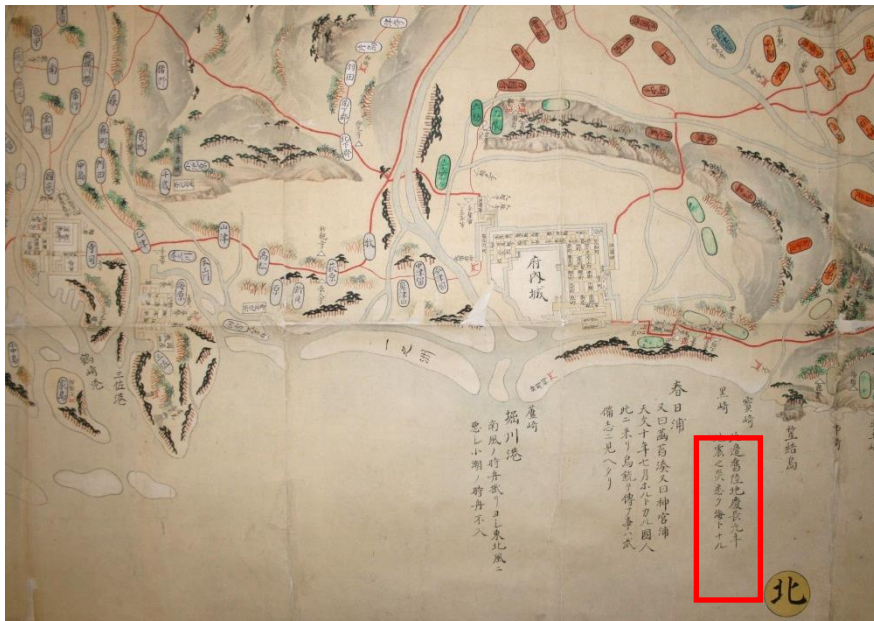


図 3.1.14 「豊後国志」の附図（大分県立先哲史料館蔵）
 囲みの部分に「此辺旧陸地、慶長元年地震之災悉海トナル」とある。

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平成 26 年度調査の解析、堆積物採取と解析を実施した。

a) 海底地形および音波探査結果の三次元可視化

i) 調査内容

26 年度調査データ（詳細海底地形調査および音波探査）およびそれ以前の調査結果の統合と可視化

ii) 調査場所

大分県大分市及び別府市沿岸域（図 3.1.15）

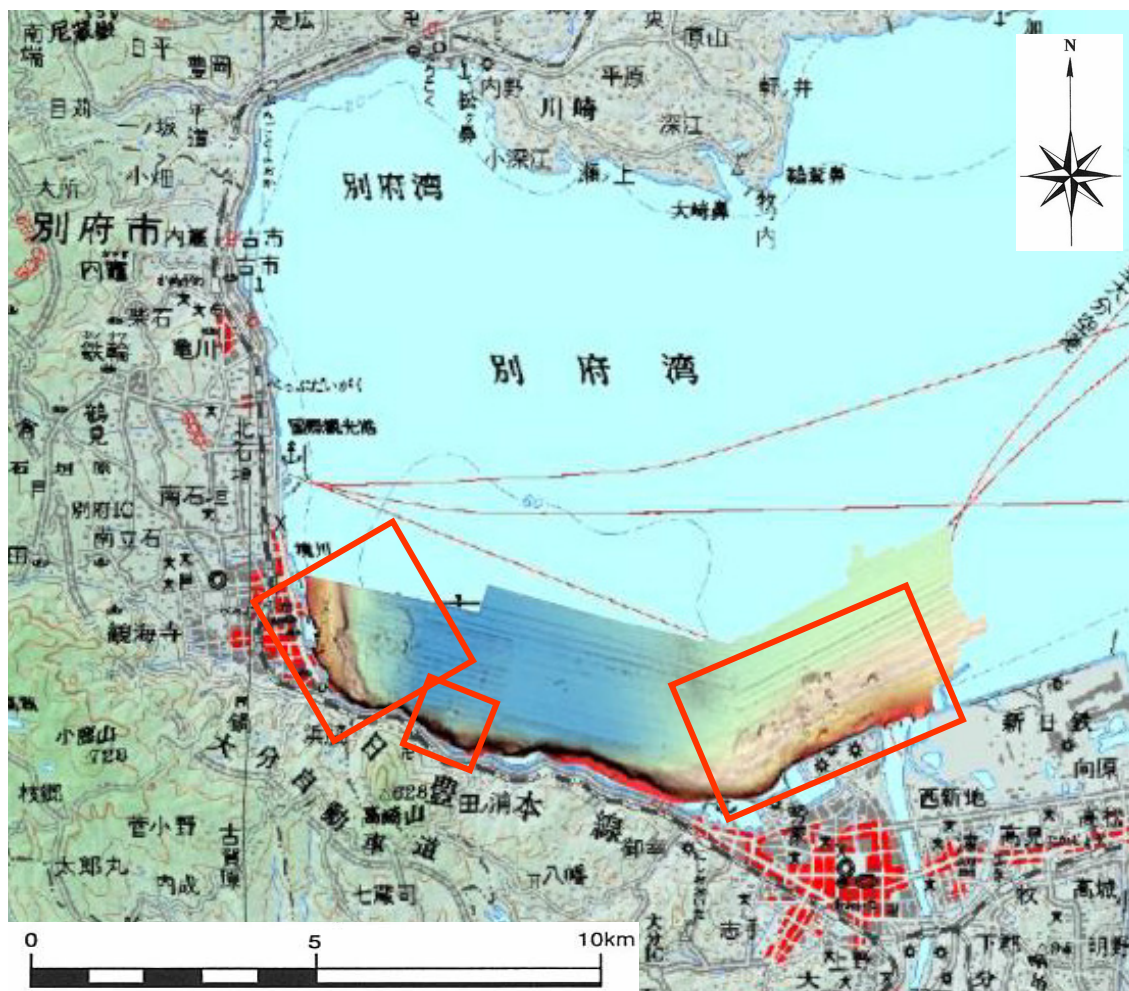


図 3.1.15 海底 3 次元可視化 対象範囲図
赤枠部は実施対象範囲を示す。 対象範囲合計 11 km²

iii) 解析結果

・水深データの 3 次元可視化

本調査では、平成 26 年度調査より取得した 1m メッシュの海底地形データ（マルチビーム方式深淺測量データ）をもとに海底地形図を作成した。

海底地形データは、XYZ 形式のテキストファイルであるため、GIS エンジンを用いて、図 3.1.16 の手順に従って海底地形図を作成した。

図 3.1.17、図 3.1.18 に本調査で作成した海底地形図を示す。

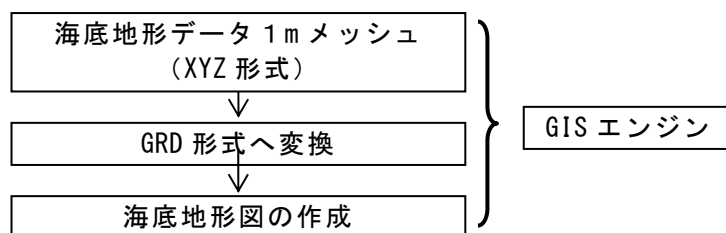


図 3.1.16 海底地形図 作成フロー

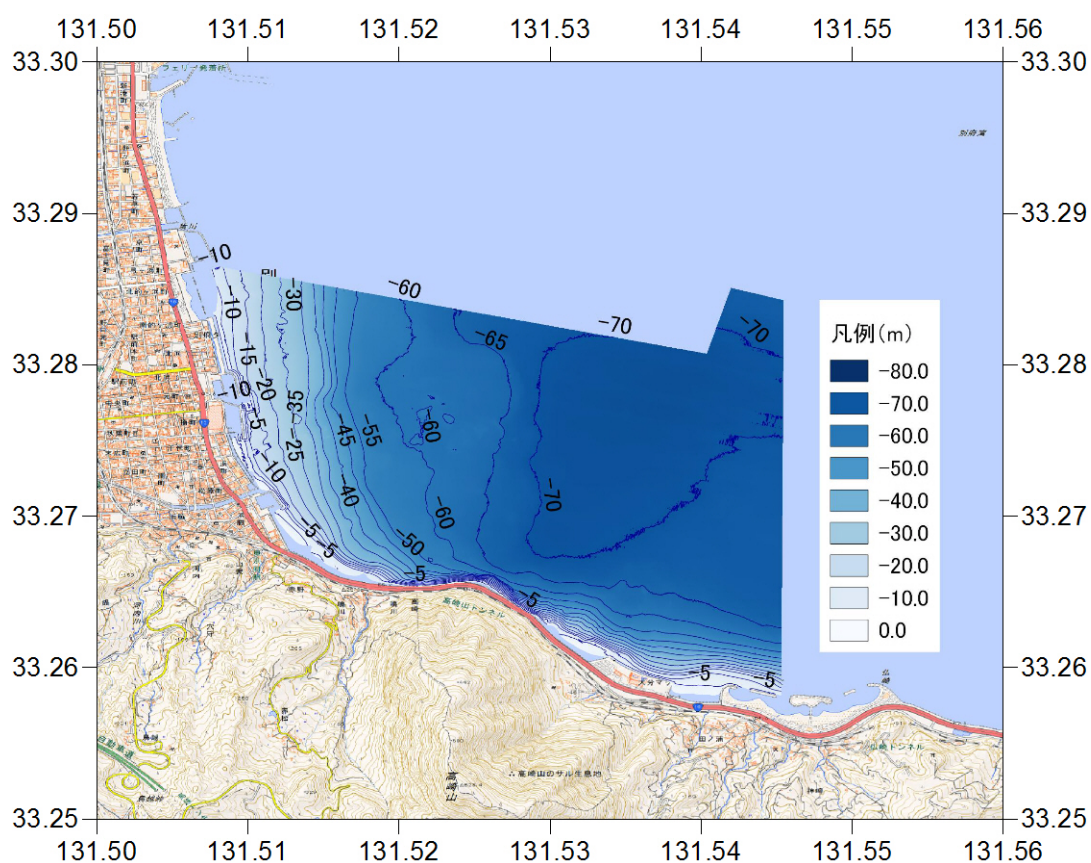


図 3.1.17 別府沖、高崎山沖の海底地形図

1m メッシュの海底地形データ（平成 26 年度調査）より作成

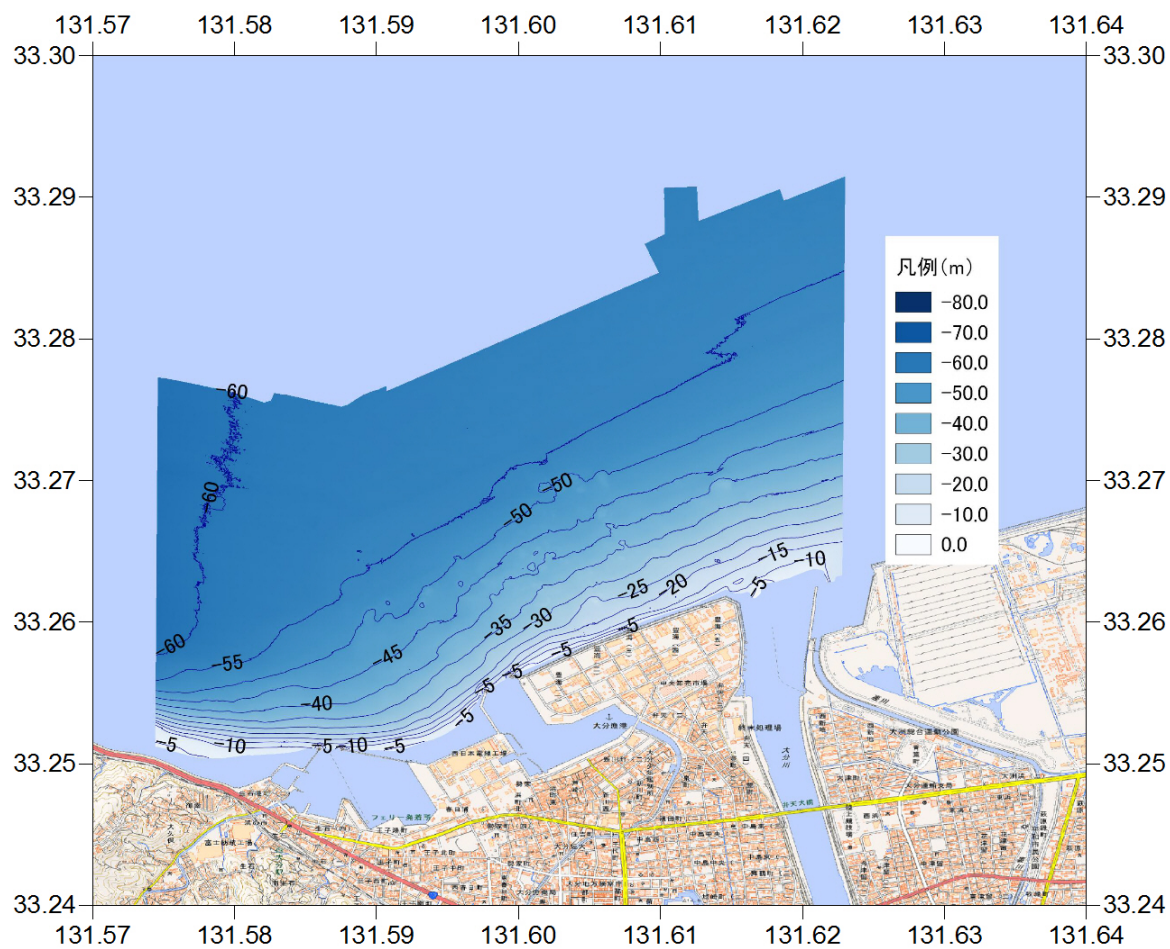


図 3.1.18 大分川沖の海底地形図
1m メッシュの海底地形データ（平成 26 年度調査）より作成

・ 音波探査データの 3 次元可視化

別府湾海域で取得された音波探査波形データと同時に実施取得された GPS 測量記録から、デジタル波形処理プログラムを用いて、整合した距離-深度断面図へ変換した。

図 3.1.19、3.1.20 に音波探査記録の収録状況および発受振 NO. (Ping) -深度断面図、距離-深度断面図の作成フローを示す。また、各種断面図の作成例を図 3.1.10 に示す。

図 3.1.22、図 3.1.23 に別府沖、高崎山沖、大分川沖の音波探査測線を示す。

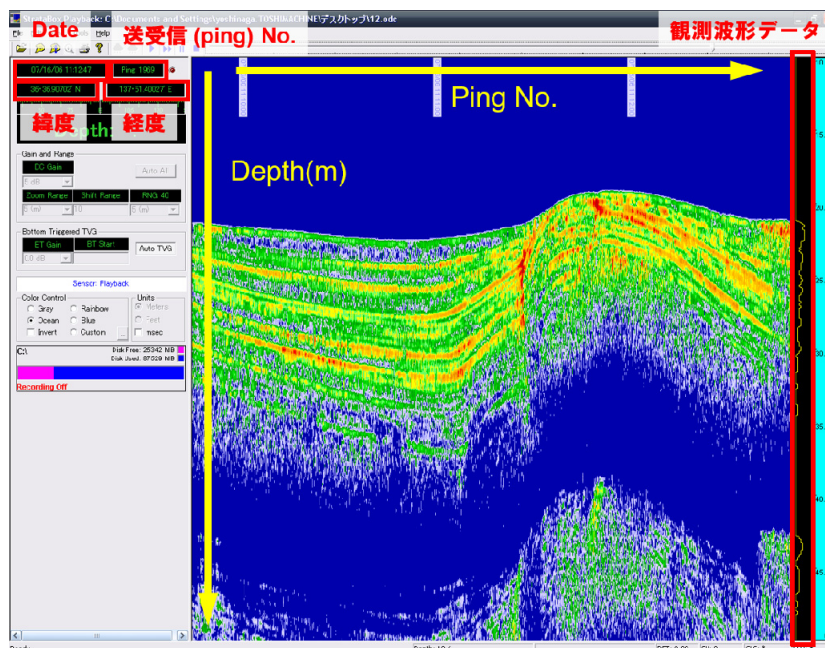


図 3.1.19 音波探査ソフトの探査収録画面表示例
(音波探査機：SyQwest 社製 Strata Box)

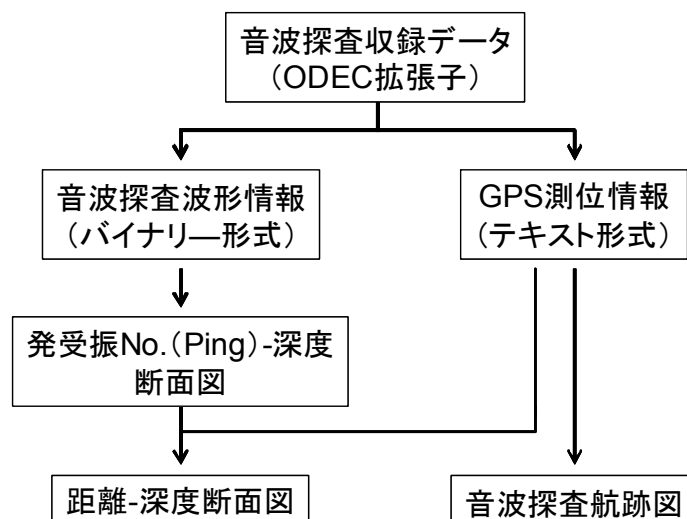


図 3.1.20 音波探査解析フロー図

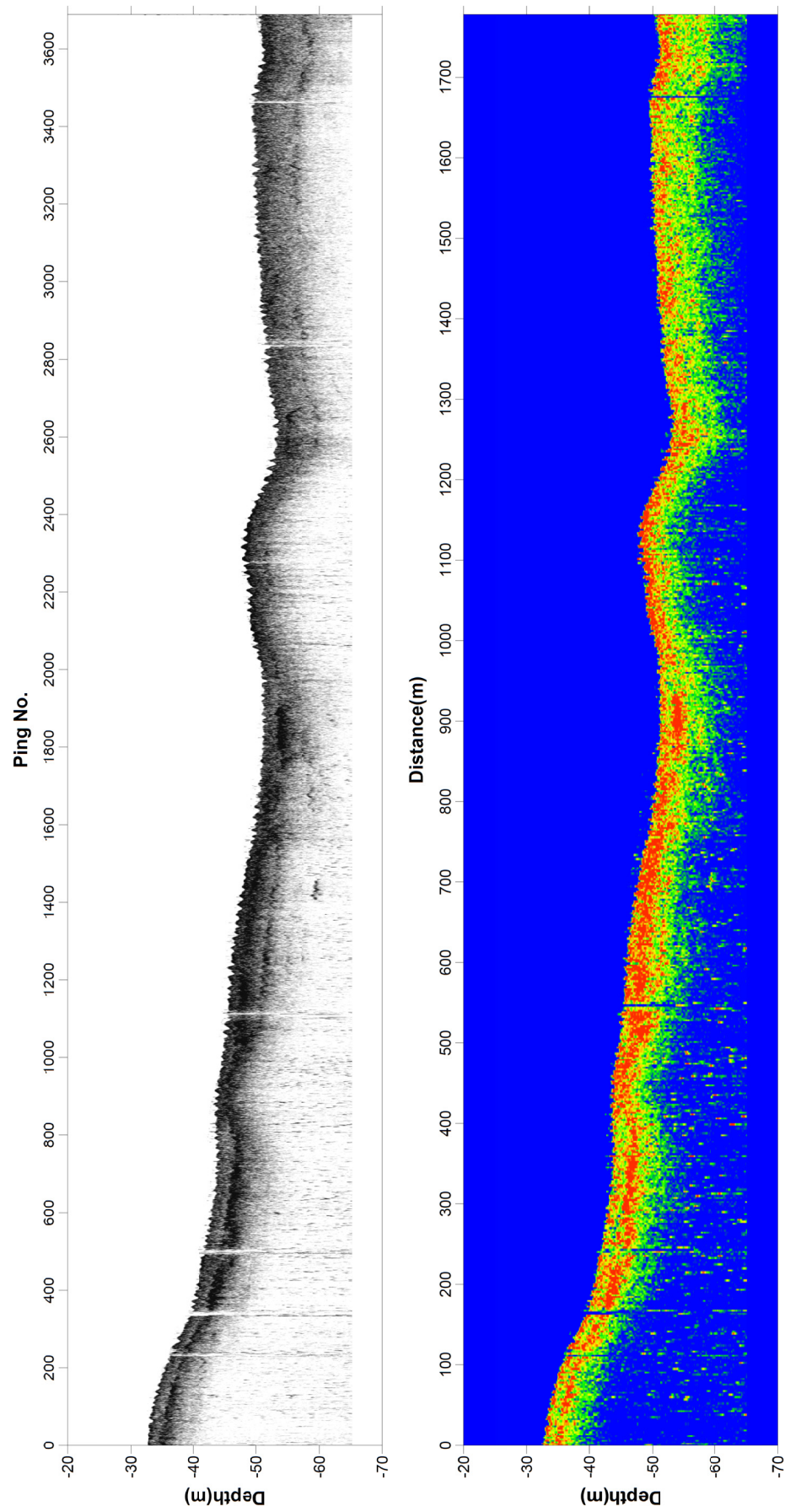


図 3.1.21 発受振 No. (Ping) -深度断面図 (上) および距離-深度断面図 (下) 作成例

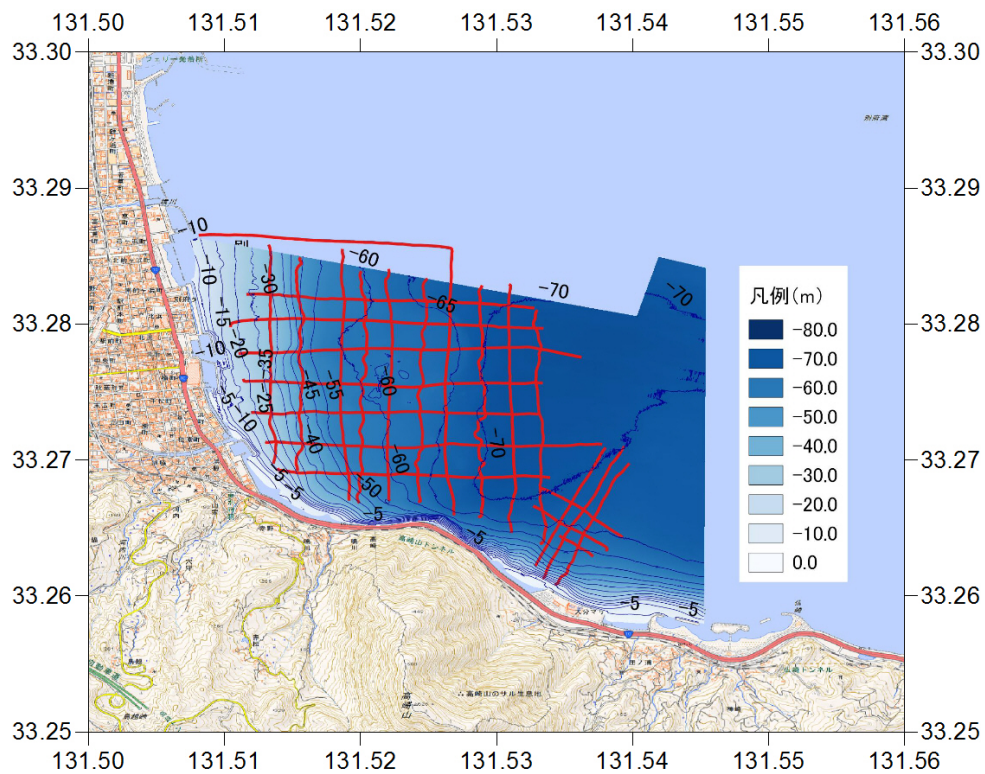


図 3.1.22 別府沖、高崎山沖の音波探査航跡図

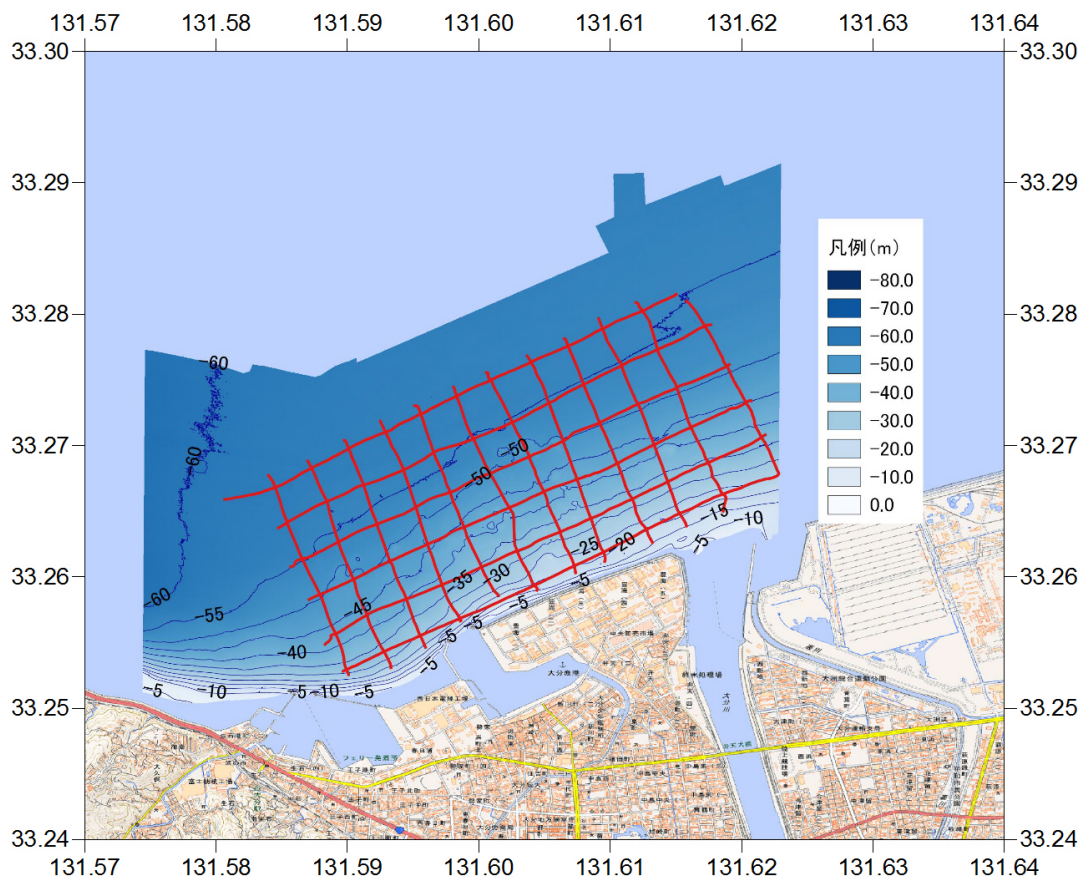


図 3.1.23 大分川沖の音波探査航跡図

- ・各種 3 次元データの重ね合わせ

処理した断面図は、パネルダイアグラム法による全測線の 3 次元可視化データを構築し、上記の海底地形データとの重ね合わせを行った。

使用した 3 次元可視化プログラムは QPS 社製の Fledermaus である。

図 3.1.24～図 3.1.26 に別府沖、高崎山沖、大分川沖 3 次元可視化データ表示例を示す。

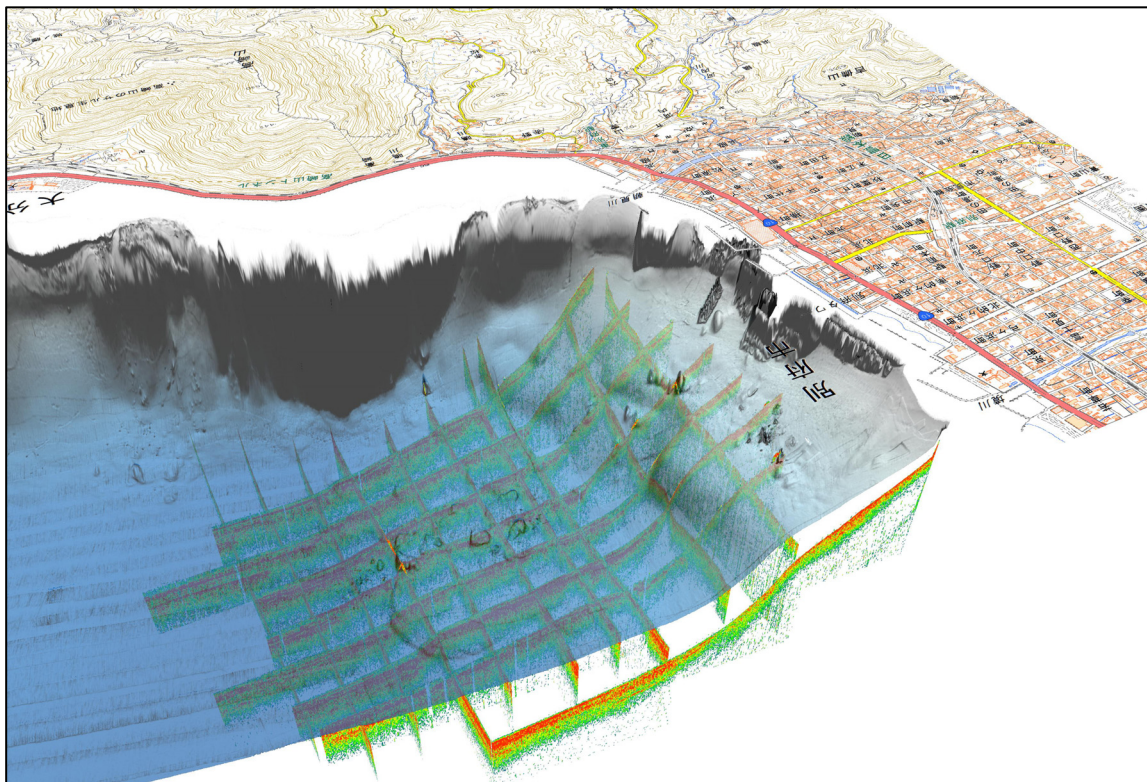


図 3.1.24 別府沖の鳥瞰図（北東から南西へ俯瞰）

地理院地図の標準地図，1m メッシュ海底地形図，音波探査断面のパネルダイアグラムを重ね合わせている。

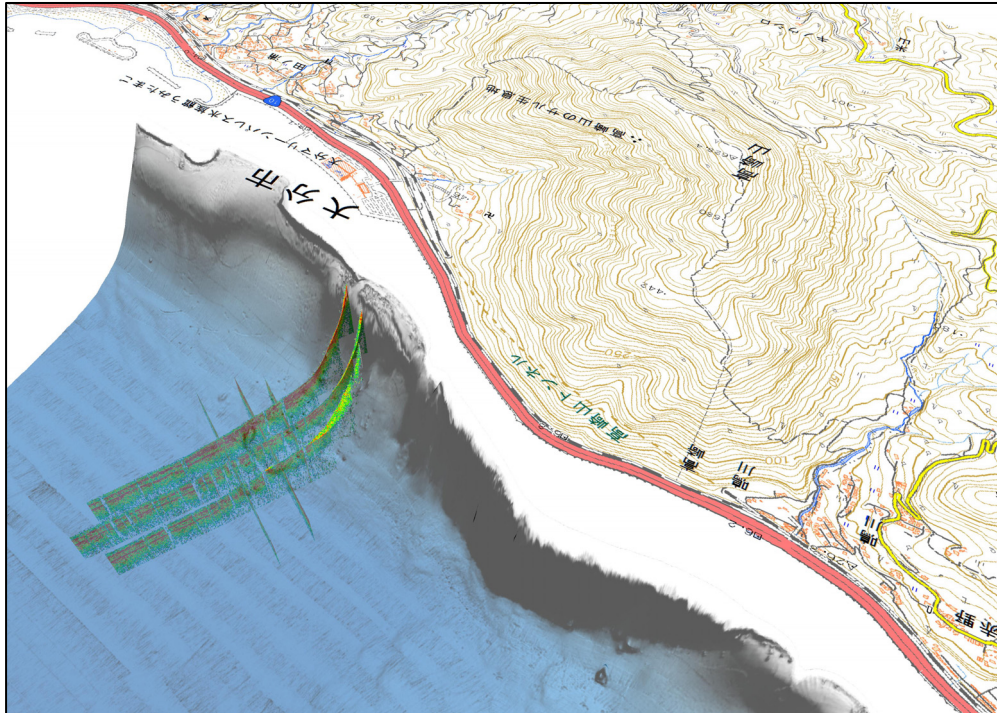


図 3.1.25 高崎山沖の鳥瞰図（北西から南東へ俯瞰）

地理院地図の標準地図，1m メッシュ海底地形図，音波探査断面のパネルダイアグラムを重ね合わせている。

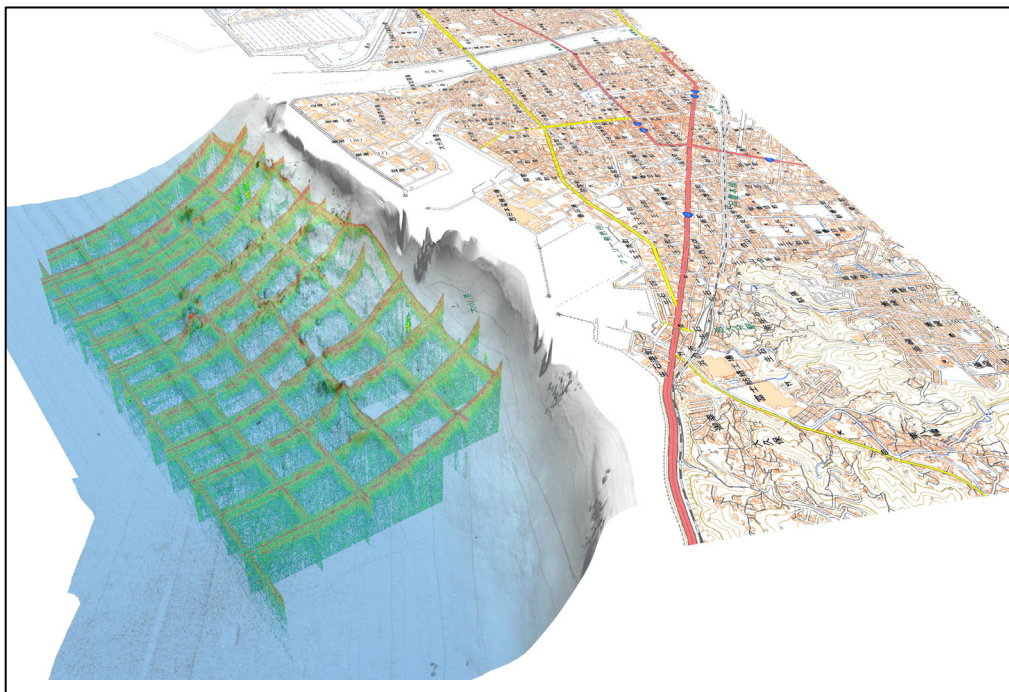


図 3.1.26 大分川沖の鳥瞰図（北西から南東へ俯瞰）

地理院地図の標準地図，1m メッシュ海底地形図，音波探査断面のパネルダイアグラムを重ね合わせている。

b) ピストンコアリング

別府湾に堆積している堆積物記録から、イベント情報を読み解くために堆積物採取を実施した。

i) 調査内容

海底堆積物採取は7地点で実施された（表 3.1.1。）

表 3.1.1 堆積物採取地点と経緯度および掘進長

コアリング地点	緯 度	経 度	掘進長(m)
BP15-1	N33°16'23.97"	E131°32'11.76"	20.0
BP15-2	N33°16'24.02"	E131°32'11.95"	20.0
BP15-3	N33°16'39.97"	E131°31'46.50"	10.0
BP15-4	N33°16'39.95"	E131°31'34.89"	10.0
BP15-5	N33°16'18.38"	E131°36'07.14"	8.0
BP15-6	N33°16'08.29"	E131°36'11.25"	10.0
BP15-7	N33°16'18.94"	E131°36'07.39"	10.0

ii) 調査場所

大分県別府湾南岸沿岸域（図 3.1.27）である。

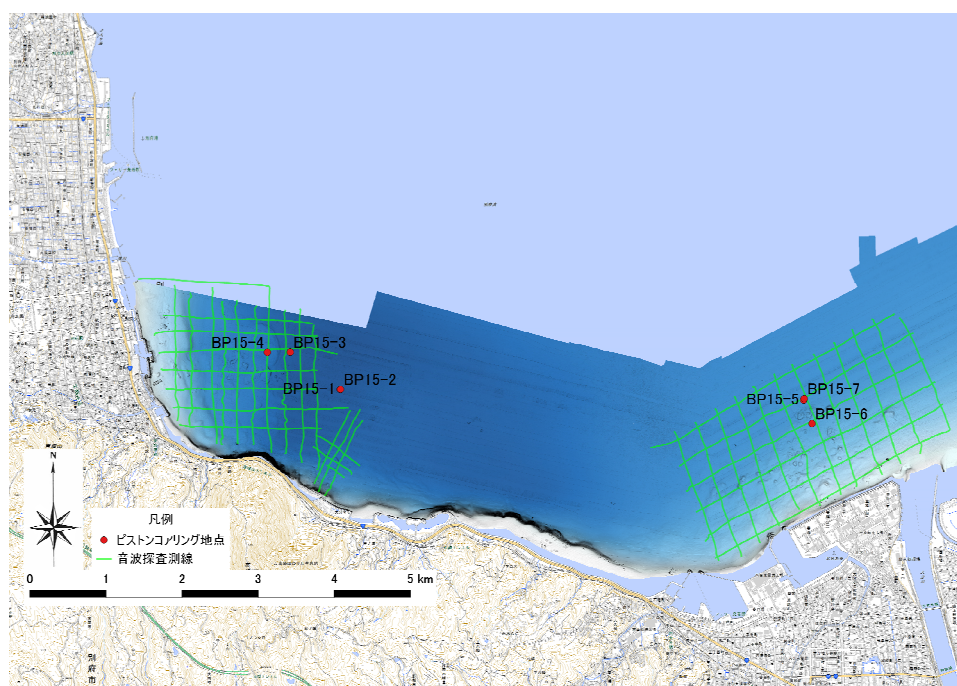


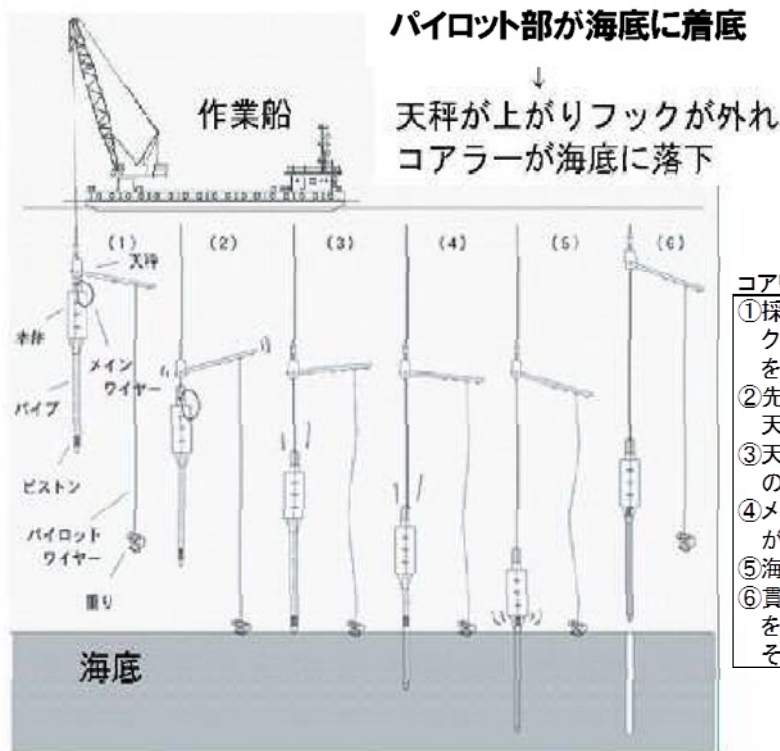
図 3.1.27 ピストンコアリング位置

試料採取（ピストンコアラ法）の目的と方法（図 3.1.28）

地盤内に堆積する軟弱粘性土の地盤情報を得るために、不攪乱（地盤内にあったときと同じ状態）の試料を採取し、地質観察や室内試験に供することを目的とする。なお、今回使用したコアラは、サンプリングパイプ 20.5 m、パイプ内径 82 mm、おもり 1,000kg である。

方法：

- ① コアラを作業船上で組み立てた後、ゆっくり降下させる。
- ② 先端の重りが海底に着くとワイヤーが緩み天秤があがり始める。
- ③ 天秤のフックからパイプがはずれて、ウエイトの重みで堆積物の中に貫入し始める。
- ④ メインワイヤー先端のピストンの作用で、堆積物がパイプ内に採取される。
- ⑤ 海底にパイプが貫入し、停止する。
- ⑥ 貫入後直ちにワイヤーを巻き上げ、コアラを海底から引き抜く。その後作業台船に引き上げる。



コアリング方法

- ①採取器(コアラ)を作業船上で組立した後、クレーン台船のワイヤーを繰り出しコアラを海底にゆっくりと降下させる。
- ②先端の重りが海底に着くと、ワイヤーが緩み天秤が上がり始める。
- ③天秤のフックからパイプがはずれて、ウエイトの重みで堆積物の中へ貫入し始める。
- ④メインワイヤー先端のピストン作用で、堆積物がパイプ内に採取される。
- ⑤海底にパイプが貫入し、停止する。
- ⑥貫入後直ちにワイヤーを巻き上げ、コアラを海底から引き抜く。その後作業台船に引き上げる。



ピストンコアラ



コアラ投入状況

図 3.1.28 ピストンコアリング法の概略図

c) ピストンコア堆積物解析結果 (27 年度分)

採取されたコア (図 3.1.29) を京都大学理学研究科地球熱学研究施設において、各 1 m ずつに切り、梱包し、冷蔵保管した。それらの 1m コアを高知コアセンターに輸送し、平成 27 年 8 月 (BP15-1、および Bp15-2 コア) および 28 年 3 月 (BP15-3~BP15-6 コア) に、試料処理および各種分析試料採取を下記の項目で実施した。

コア半切：コアパイプの両面を平行にカットして、堆積物部分をピアノ線やテグスを用いて半切した。

整形：

写真撮影：

MSCL データ採取：

岩相記載：

試料採取：構造および保存 (1 m スラブおよび 20 cm スラブ) ・古地磁気用 (キューブ) ・有機地球化学 ・花粉 ・年代測定 ・火山灰 ・その他各種試料を採取し、アーカイブ試料は高知コアセンターに保管した。

BP15-1 および BP15-2 の 20m コア 2 本について報告する (図 3.1.29) 。

結果の概要は以下のとおりである。

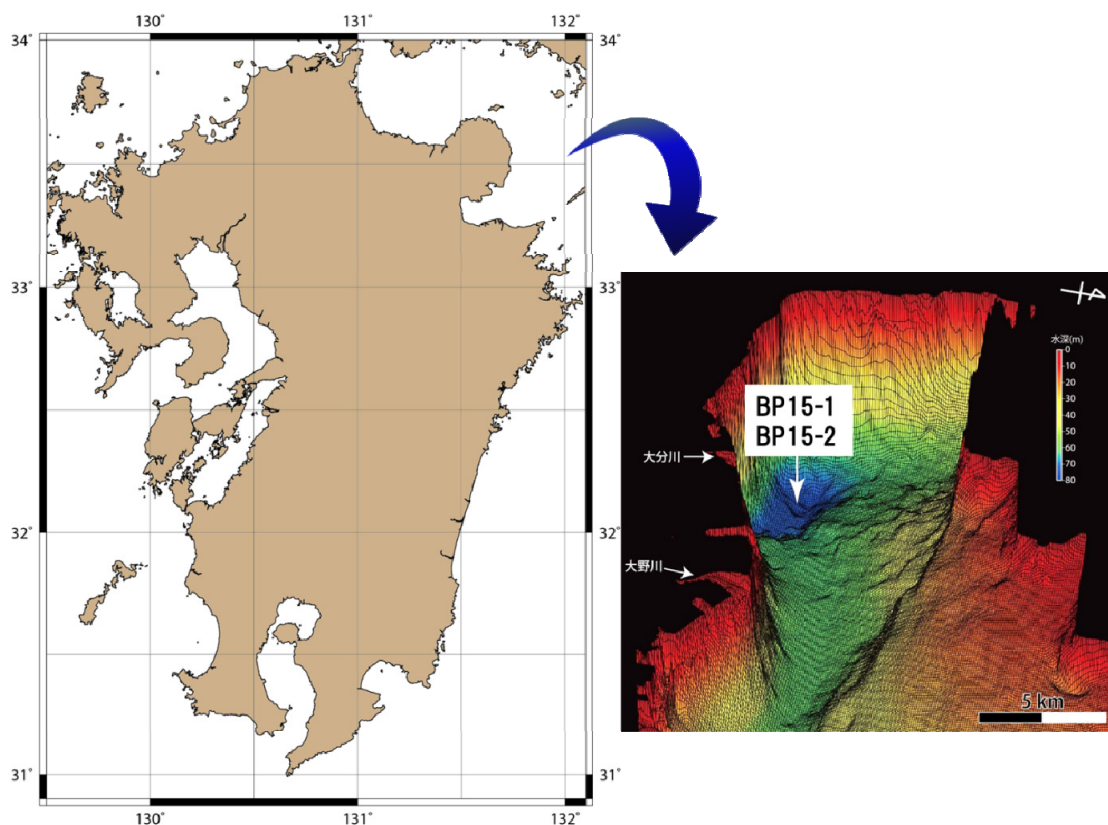


図 3.1.29 BP15-1 及び BP15-2 コアの掘削地点

BP15-1 及び BP15-2 コアは約 20m の長さのコアで、コア写真、CT 画像、写真から抽出した色情報(L*、 a*、 b*)、及び帯磁率(MS)を図 3. 1. 30 に示す。層相や物性データに基づいた主要な対比線が赤線で示される。また、青枠で示した層準については、コアリング時の影響で乱れが生じた層準を示すので、分析や解析時に注意する必要がある層準である。

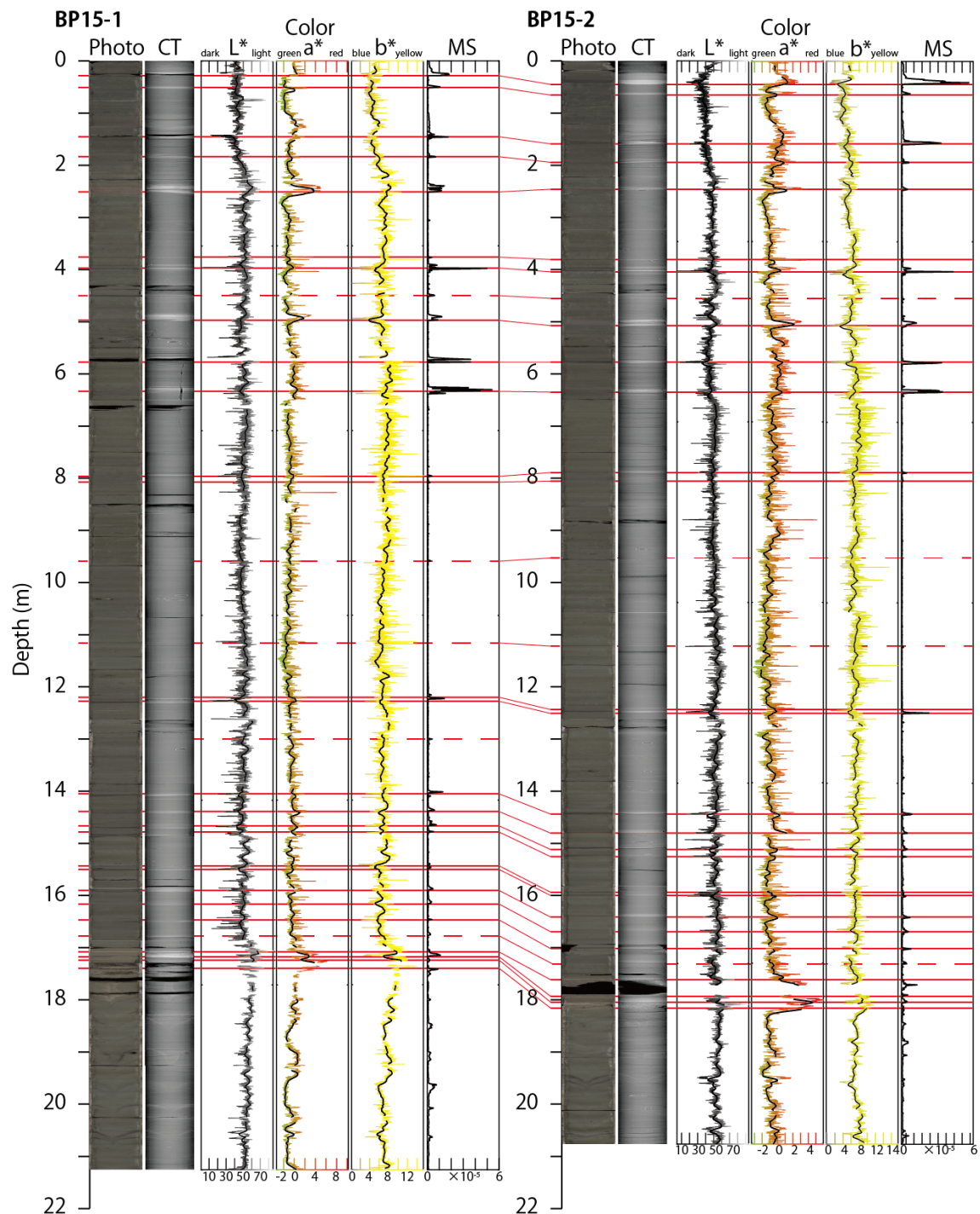


図 3. 1. 30 BP15-1 及び BP15-2 コアのコア写真、CT 画像、写真から抽出した色情報(L*、 a*、 b*)、及び帯磁率(MS)の測定結果

年代測定試料は BP15-1 および BP15-2 から採取した (表 3. 1. 2)

試料の種類は、貝試料と一部植物葉等の試料である。

表 3.1.2 BP15 コア (site1 及び site2) 中の年代測定試料

H27 年度中に測定した試料 (5 試料) については太字で示す

Type	Core	Sec.	Distance (cm)	Depth (cm)
bivalve shell	BP15-1	1-4	11.4	2029.8
bivalve shell	BP15-1	2-1	40.0	1314.1
bivalve shell	BP15-1	2-3	47.0	1522.5
bivalve shell	BP15-1	3-1	43.0	907.5
bivalve shell	BP15-1	3-2	65.0	1029.5
bivalve shell	BP15-1	3-2	68.0	1032.5
bivalve shell	BP15-1	3-2	59.5	1024
bivalve shell	BP15-1	3-3	40.0	1094.3
bivalve shell	BP15-1	4-1	83.1	531.7
bivalve shell	BP15-1	4-1	89.3	537.9
bivalve shell	BP15-1	4-1	92.7	541.3
bivalve shell	BP15-1	4-1	11.1	459.7
bivalve shell	BP15-1	4-1	70.0	518.6
leaf	BP15-1	4-1	6.0	454.6
bivalve shell	BP15-1	5-3	85.0	311.4
bivalve shell	BP15-2	1-3	98.0	1977.4
snail	BP15-2	1-3	34.2	1913.6
snail	BP15-2	1-3	37.5	1916.9
bivalve shell	BP15-2	2-1	84.0	1341.5
bivalve shell	BP15-2	2-1	57.0	1314.5
bivalve shell	BP15-2	2-1	31.5	1289
bivalve shell	BP15-2	2-2	20.0	1378.4
bivalve shell	BP15-2	2-3	8.0	1464.8
bivalve shell	BP15-2	2-3	19.0	1475.8
leaf	BP15-2	3-3	26.0	1066.5
leaf	BP15-2	3-3	40.0	1080.5
bivalve shell	BP15-2	4-1	86.0	524.1
leaf	BP15-2	4-4	61.0	799.2
bivalve shell	BP15-2	5-3	27.0	245.6

このうち、5 試料については、27 年度に測定が完了した (表 3.1.3)。

表 3.1.3 年代測定結果. 測定は AMS 法で行い、暦年較正は Marine13 (Reimer et al., 2013)に基づき、OxCal v 4.2. 4 (Bronk Ramsey, 2009)を用いて較正した. ΔR 値は Kuwae et al. (2013)に基づき 135 ± 20 yrs とした.

Type	Core	Sec.	Distance (cm)	Depth (cm)	Age (yr BP)	Error (+/-)	ΔR	Error (+/-)	cal. yr BP (95.4%)
									Av.
bivalve shell	BP15-1	2-3	47.0	1522.5	5890	20	135	20	6181 6096 6266
bivalve shell	BP15-1	3-1	43.0	907.5	3390	25	135	20	3071 2960 3182
bivalve shell	BP15-1	3-3	40.0	1094.3	3970	20	135	20	3784 3686 3881
bivalve shell	BP15-2	1-3	98.0	1977.4	5670	30	135	20	5930 5830 6029
bivalve shell	BP15-2	2-1	57.0	1314.5	4640	20	135	20	4703 4596 4809

堆積物中には、火山灰やそれに関連するイベント層が検出できた。それらの噴出可能性のある火山との対比を鉱物組成や屈折率に基づいて検討できた (図 3.1.31)。

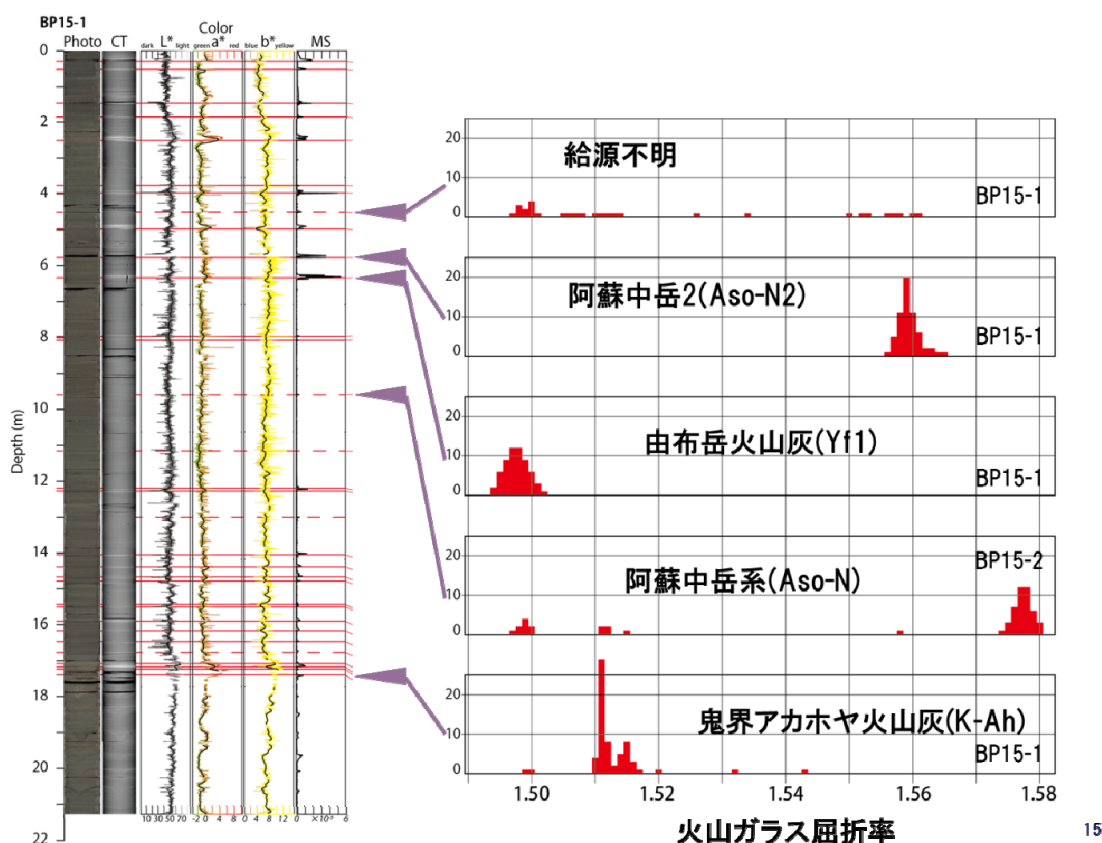


図 3.1.31 BP15-1 及び BP15-2 コア中のテフラの分析結果。今回の分析からは、阿蘇中岳、由布岳に由来する火山灰および鬼界アカホヤテフラ(K-Ah; ca. 7200 cal. yr BP; Smith et al., 2013)に対比される火山灰が検出された。

得られた炭素 14 年代や Kuwae et al. (2013)との対比、火山灰年代等から、BP15-1 及び BP15-2 コアの現時点での年代深度モデルが提案できた (図 3.1.32)。まだ年代測定値が少ないが、概略の年代モデルとして示す。各データ点のうち、ca. 2700 cal. yr BP 以降については Kuwae et al. (2013)に、ca. 2700 cal. yr BP 以前については今回測定した ^{14}C 年代及びテフラ年代(鬼界アカホヤテフラ; Smith et al., 2013)に基づいている。

各データは全体として調和的である一方で、BP15-2 コアの深度 20 m 付近で採取した年代サンプルについては明らかに若い年代値が得られた。本サンプルはコアリング時に乱れた箇所から採取したサンプルであることから、上位層準からのコンタミネーションと考えられ、年代モデルからは除外した。

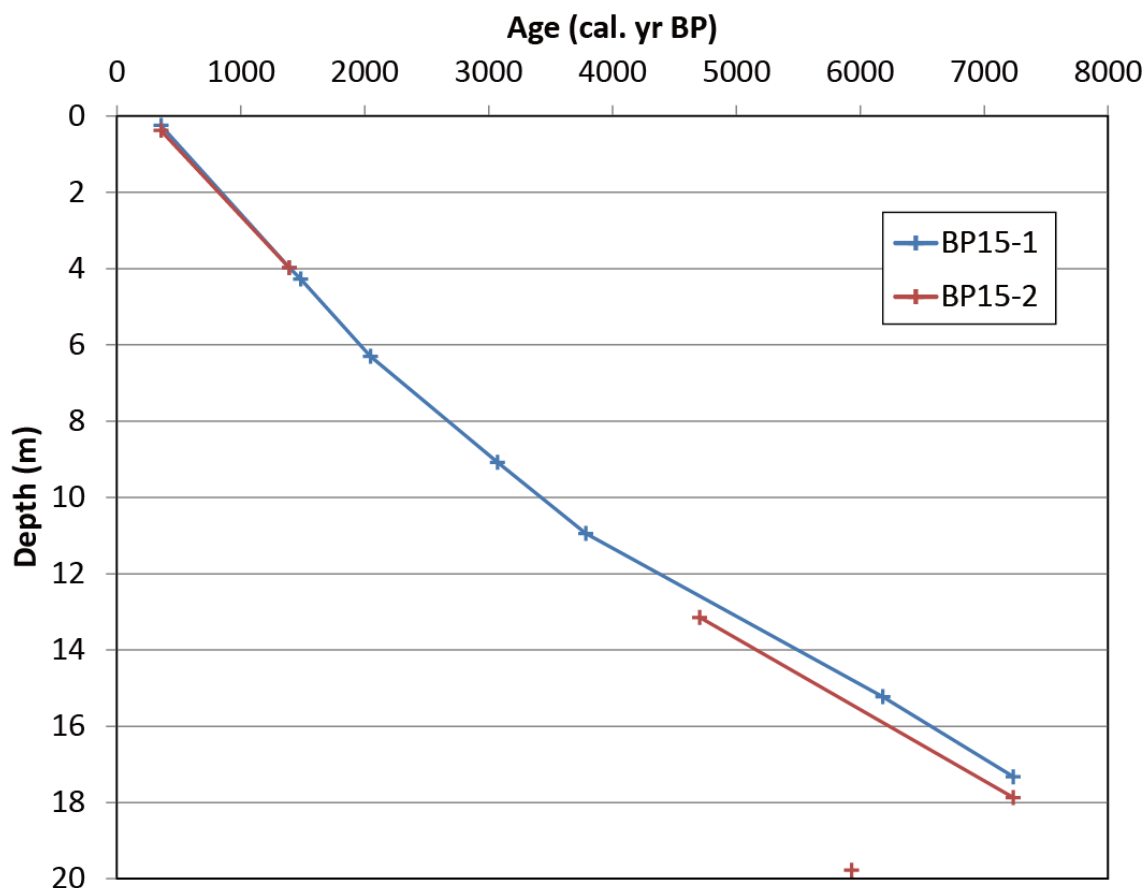


図 3.1.32 BP15-1 及び BP15-2 コアの年代深度モデル. 各データ点のうち、ca. 2700 cal. yr BP 以降については Kuwae et al. (2013) に、ca. 2700 cal. yrs BP については今回測定した ^{14}C 年代及びテフラ年代(鬼界アカホヤテフラ; Smith et al., 2013)に基づく.

BP15-1 及び BP15-2 コアの深度年代モデルと層厚 2 cm 以上の砂質イベント層の層準分布からイベント年代の分布を考察する。深度年代モデルに基づく、それぞれのイベント層の内挿堆積年代(仮)を図 3.1.33 の右側に示す。別府湾の最深部付近では、過去 7000 年間に 10 層の層厚 2 cm 以上の砂質イベント層が認められた。またその周期は必ずしも一定ではなく、時期によってばらつきが認められた。

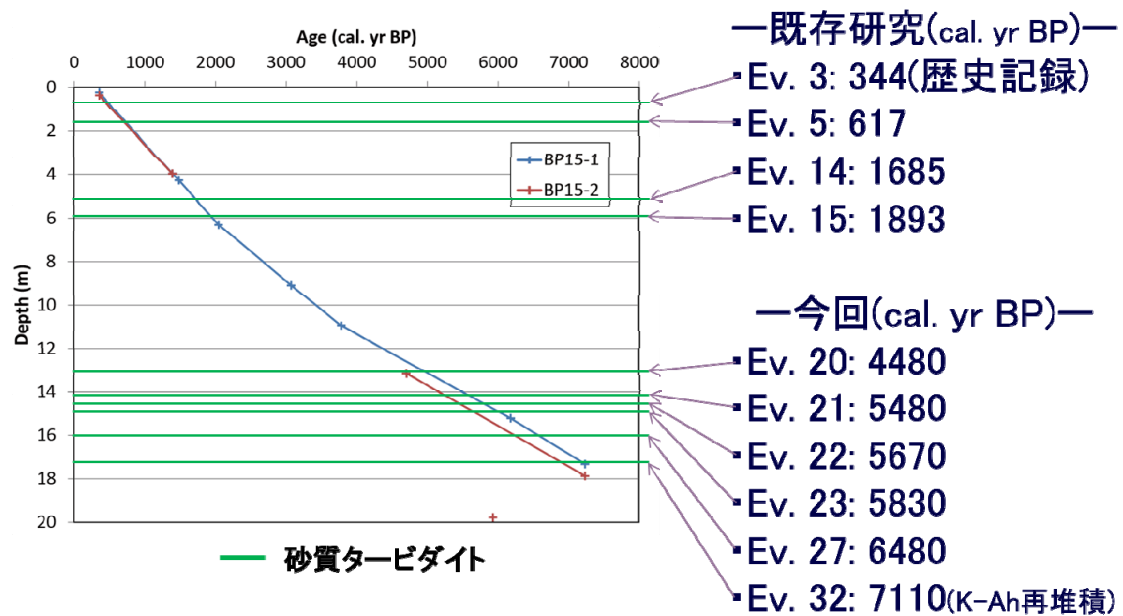


図 3.1.33 BP15-1 及び BP15-2 コアの深度年代モデルと層厚 2 cm 以上の砂質イベント層の層準分布. 深度年代モデルに基づく、それぞれのイベント層の内挿堆積年代(暫定)を右に示す.

3) 伏在部の調査 (サブ 1-3)

大分野西部に伏在する府内断層（図 3.1.34A）の最新活動時期を解明し、将来の地震発生を長期予測するために複数回分の断層活動履歴を復元するため、ボーリングコア掘削を実施して、それらで得られた堆積物試料を分析する。また、府内断層群周辺で得られている既存の堆積物試料の分析を追加して、断層活動の履歴復元に関する解釈の信頼性を高める。

a) 大分市中島西地区のボーリングコア解析

大分平野北西部の大分市中島西地区（33° 14' 33.9"N, 131° 36' 26.6"E, 標高+2.38 m）で KU0-1 コアを掘削した（図 3.1.34B）。この掘削地点は府内断層の沈降側にあたり、西側の砂丘と東側の沖積低地の境界部に位置している（国土地理院、2010）。同コアは岩相、その境界の特徴、堆積構造、粒度、その指示様式、植物片と貝殻片の含有度、貝種および色調の変化を基にして、上位から人工盛土、デルタプレーン、デルタフロント、プロデルタ、エスチュアリー、網状河川流路の堆積物で構成されと考えられる。同コアの堆積柱状図と初磁化率値、植物と貝の含有度を図 3.1.35 に、コア半裁面と軟 X 線による写真を図 3.1.36 に、確認した貝化石のリストを図 3.1.37 に、それらの写真を図 3.1.38 および図 3.1.39 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。

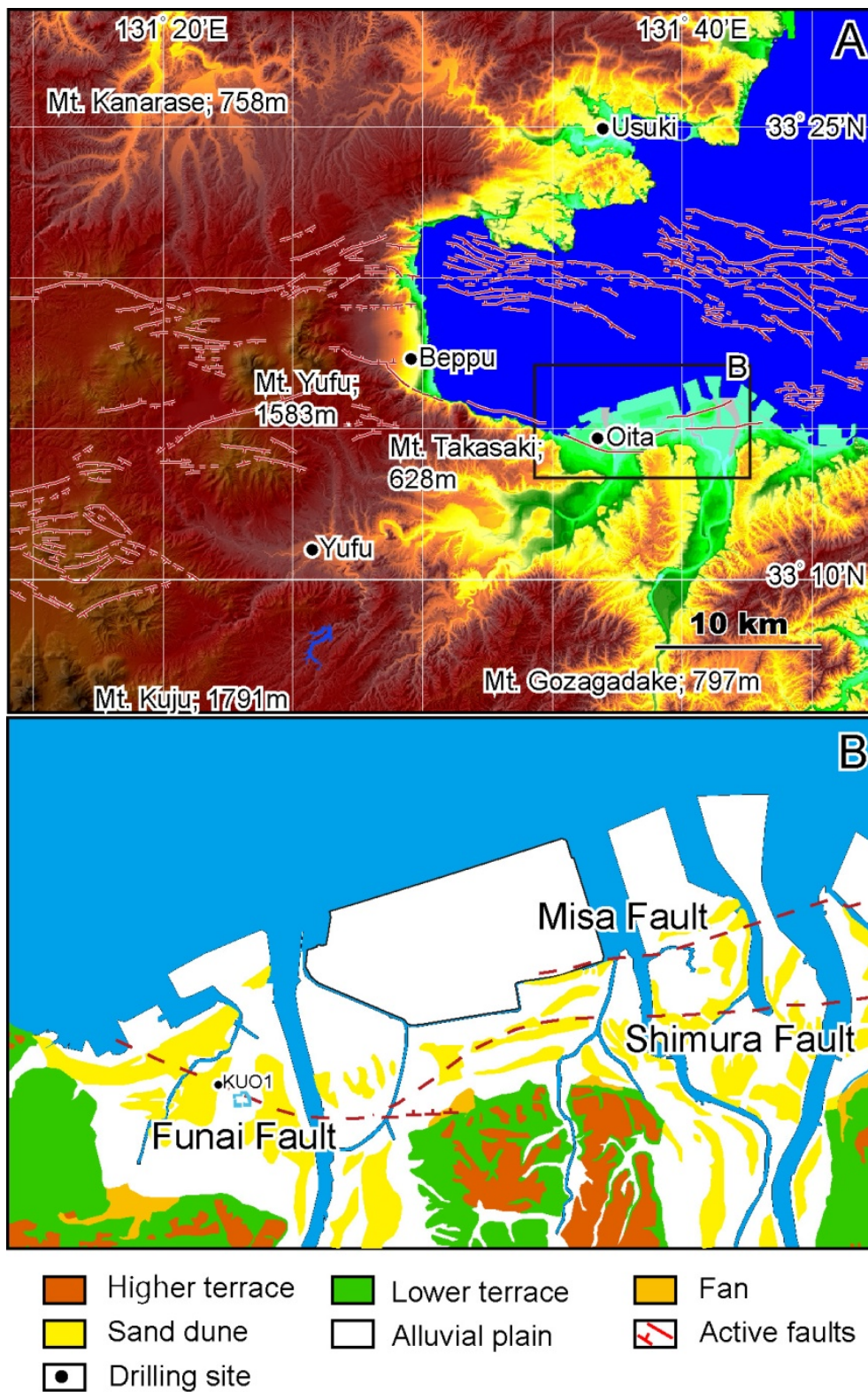


図 3.1.34 調査地域の地形と活断層．A：別府－大分地域の標高段彩図と活断層（地震調査研究推進本部、2005）．B：大分平野の地形分類図と活断層．地形分類は国土地理院（2011）、活断層の分布は岡田ほか（2001）および地震調査推進本部（2005）による．

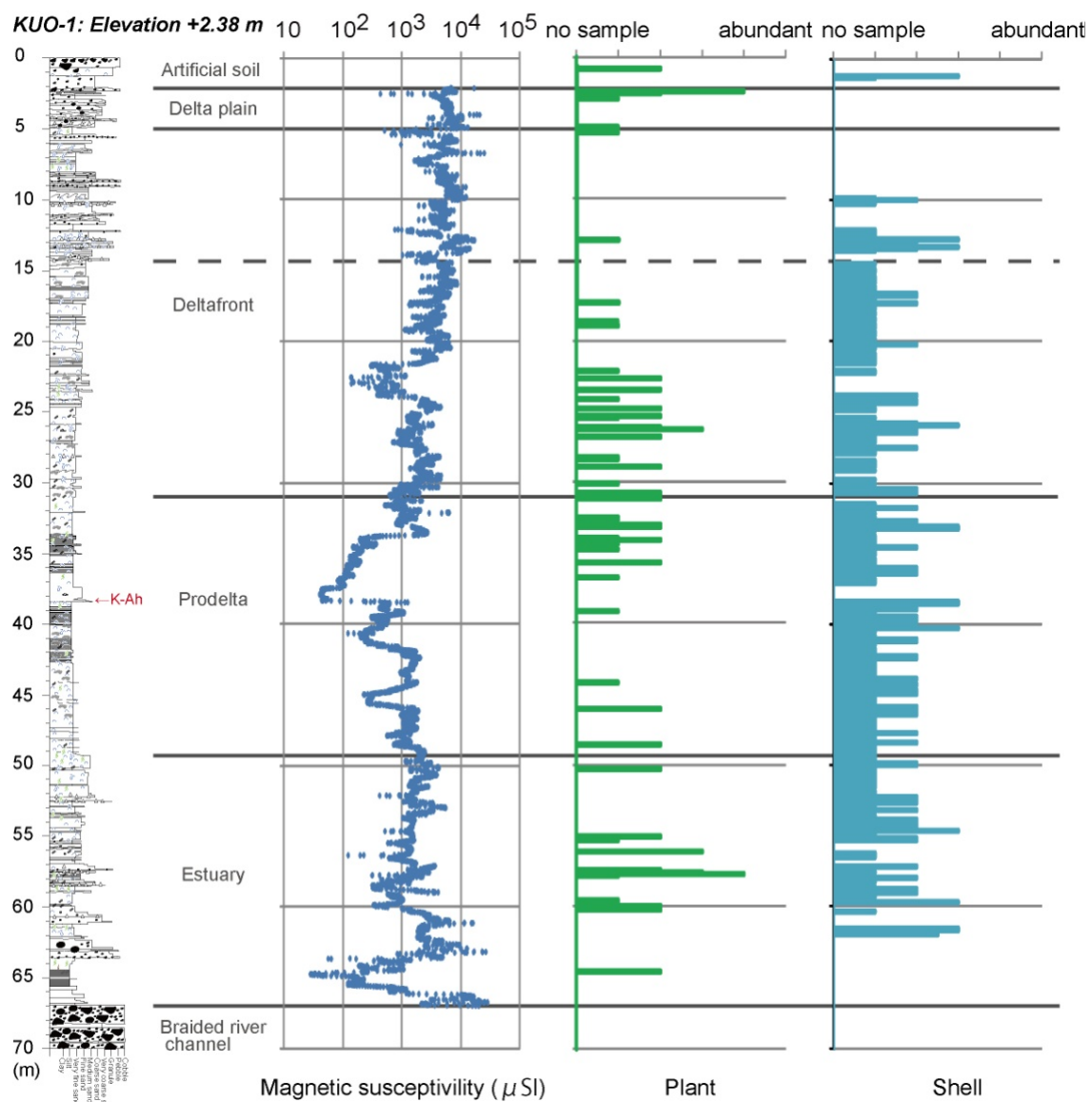


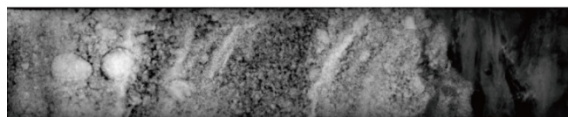
図 3.1.35 KUO-1 コアの堆積柱状図と初磁化率、植物と貝の含有度



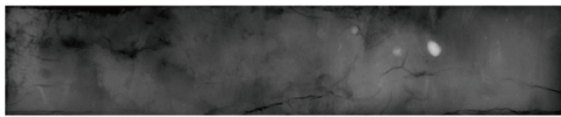
★1; 2.35-60 m; Alternation of sandy mud and sand layers



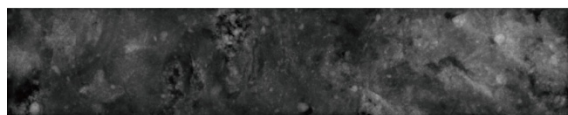
★6; 38.26-51 m; Base of Kikai-Akahoya tephra



★2; 4.75-5.00 m; Gravely sand with cross-laminations



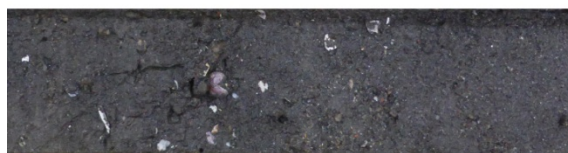
★7; 41.25-50 m; Homogeneous mud bed with concretions



★3; 7.25-50 m; Burrowed sandy mud bed



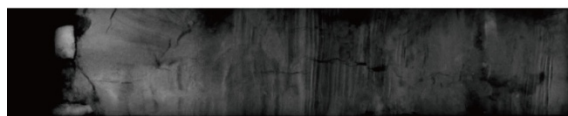
★8; 57.60-85 m; Mud/sand alternation with organic layers



★4; 12.70-95 m; Shelly sand bed



★9; 61.50-75 m; Sandy mud bed with burrows and shells



★5; 17.00-25 m; Mud bed with Parallel-laminations



★10; 69.65-90 m; Alternation of gravel- & matrix- supported conglomerate

図 3. 1. 36 KU0-1 コアのコア半裁面および軟X線写真

人工盛土（深度 0.00～2.37 m）

深度 1.36 m よりも上位の砂質礫層と礫まじり砂層からなる部分と、その下位の中粒～粗粒砂層および砂質礫層とで構成される。上位の砂礫層は陶器片やレンガ片、貝殻片を含み、掘削地点の現標高（+2.38m）を加味すると人工盛土であると考えられる。

デルタプレーン堆積物（深度 2.37～4.95 m）

深度 2.89 m よりも上位の砂質泥層と粗粒砂層の互層からなる部分（図 3.1.36★1）と、下位の砂層と礫層の互層によって構成される。下位の砂層にはクロスラミナがみられ（図 3.1.36★2）、軽石の濃集層が深度 4.16～4.20 m および 4.59～4.60 m に観察される。礫は直径 2～40 mm の亜角～亜円礫が主体で、砂層は主に中粒～極粗粒砂からなる。この層準は全体として上方細粒化を示し、初磁化率値が上方減少する。同様な傾向は中西ほか（2011）などでも報告されている。こうした特徴は蛇行河川流路の側方移動などによって上位に向かって運搬力が減少した堆積物（Miall, 1992）のものと一致する。陸源の植物片を含むが、海水の影響を示唆する貝化石や生物擾乱痕は認められず、本層は現海水面付近に分布するので、デルタプレーン堆積物であると解釈した。

デルタフロント堆積物（深度 95～31.00 m）

深度 14.38 m よりも上位の斜交葉理がみられる砂層と礫層、泥層の互層（図 3.1.36★3, 4）からなる部分と、下位の平行葉理がみられる砂層と泥層の互層（図 3.1.36★5）によって構成される。全体として上方に向かって粗粒な粒子の含有率が増加して、泥層には巣穴（図 3.1.36★3）やコンクリーションが多く観察される。礫は直径 2～50 mm の亜角～亜円礫が主体で、砂層は主に細粒砂～粗粒砂からなり部分的に貝化石が濃集する（図 3.1.36★4）。一方、植物片は深度 14.38 m よりも下位の砂層と泥層の互層に含まれることが多く、それより上位にはほとんど認められない。深度 14.38 m よりも上位にはハマグリやイボキサゴなどの潮間帯種群が、それ以深ではウメノハナガイ、サクラガイ、ムシロガイなどの潮間帯種群およびトリガイやオカメブンブクからなる潮下帯種群が認められる（図 3.1.37、3-1.38、3-1.39）。深度 10.24～10.39 m および 12.84～12.90 m、13.32～13.39 m、14.13～14.38 m には軽石の濃集層が認められる。初磁化率値の上方増大が示すように全体として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。潮間帯から潮下帯に生息する二枚貝や巻貝、棘皮動物の化石群集の変化が上位から下位に向けて認められ、掘削地点は大分川の河口付近に位置しているので、デルタ性の堆積物であると考えられる。外海種のチゴバカガイやイタヤガイも一部に含まれるため、外洋からの流入も示唆される。

プロデルタ堆積物（深度 31.00～49.08 m）

泥層と砂層の互層によって構成される。粒度の変化が不明確なほぼ均質な泥層が主体（図 3.1.36★7）で、部分的に平行葉理がみられる。巣穴やコンクリーションが部分的に観察される。深度 37.40～38.41 m には白色の極細粒～中粒砂層（図 3.1.36★6）がみられ、極細粒砂はバブルウォール型の火山ガラスからなる。千田（1987）も大分平野の

地下において同様の火山灰層を多く報告しており、それらは 7300 cal BP の鬼界アカホヤ火山灰（町田・新井、2003）に対比されている。イセシラガイやヒメムシロガイからなる潮下帯種群およびシヅクガイやオカメブンブクなどの内湾潮下帯種群が認められる（図 3.1.37、3-1.38、3-1.39）。この層準は細粒な泥層で主に構成され、潮下帯および内湾潮下帯に生息する二枚貝や棘皮動物の化石群集が認められるので、河川からの掃流物質が到達しづらいプロデルタの堆積物であると考えられる。深度 37.40～38.41 m の極細粒～中粒砂層は上下の層準よりも顕著に粗粒であり（図 3.1.36★6）、平穏な内湾底においても一時的に運搬力が大きい堆積環境に置かれたことを示唆しており、鬼界アカホヤ火山灰を噴出した巨大カルデラ噴火に伴う津波（Maeno et al., 2006; Maeno & Imamura, 2007; 藤原ほか、2010）によって形成されたと推定される。外海種のヒメムシロガイ、ハナムシロガイ、アラレガイも一部で含まれるため、外洋からの流入も示唆される。

エスチュアリー堆積物（深度 49.08～66.95 m）

砂層と泥層、礫層の互層から構成される。植物片や貝化石、巣穴（図 3.1.38★9）が頻繁に観察される。礫層や砂層から泥層へと上方に向かって細粒化する場合が多く（図 3.1.38★8）、これらの基底付近には軽石の濃集層がみられる場合がある。深度 64.32～64.43 m には植物根が、深度 64.64～65.70 m には暗色の有機質泥層がそれぞれ認められる。ユウシオガイ、シオフキ、ハマグリ、イボウミニナ、ウミニナ、ヘナタリガイ、アラムシロガイなどの潮間帯を主な生息場とする二枚貝および巻貝が含まれる（図 3.1.39、3-1.40、3-1.41）。最下部では陸上や氾濫原の環境を強く示唆する植物根や有機質泥層がみられるが、大半の層準で潮間帯種群の貝化石や巣穴などの生物擾乱痕がみられるので、海水準の上昇に伴って沿岸域で形成されたエスチュアリー性の堆積物であると考えられる。

網状河川堆積物（深度 66.95～70.00 m）

層厚 30～120 cm の粒子支持礫層と層厚 20～30 cm の基質支持礫層の互層からなる（図 3.1.36★10）。最大礫径は 18 cm であり、垂角～垂円礫が主体で、それらを中粒～極粗粒砂が充填する。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（例えば Miall, 1992）であると考えられる。

表 3.1.4 KU0-1 コアから産出した貝化石のリスト

50 samples

NKH27-1

中島西地区H27-1コア

同定数48

生息環境

			完全 or	淡水	汽水	海水(内湾)				海水(外海)				
Depth (m)	Species name	種名(和名など)	破片			潮間帯砂泥底	潮間帯岩礁	潮下帯砂底	上部浅海帯	潮間帯岩礁	潮下帯砂底	潮下帯岩礁	浅海帯砂泥底	区分
9.92-9.95	<i>Meretrix rusoria</i>	ハマグリ	破片			○		○						潮間帯群6
12.8	<i>Umbonium moniliformis</i>	イボキサゴ	完全			○								
13.25	<i>Meretrix rusoria</i>	ハマグリ	破片			○		○						
13.28	<i>Umbonium moniliformis</i>	イボキサゴ	破片			○								
15.65	<i>Pilucinaa pisidium</i>	ウメノハナガイ	完全					○	○		○		○	堆積環境5
16.87-16.90	<i>Nitidotellina hokkaidoensis</i>	サクラガイ	破片			○		○	○		○		○	
17.42	<i>Niotha livescens</i>	ムシロガイ	完全			○		○						
18.88	<i>Fulvia mutica</i>	トリガイ	破片					○						
25.05	<i>Moerella rutila</i>	ユウシオガイ	完全			○					○			堆積環境4
25.08	<i>Mactra nipponica</i>	チゴバカガイ	破片								○		○	
25.44	<i>Moerella rutila</i>	ユウシオガイ	完全			○					○			
27.71	<i>Pecten albicans</i>	イタヤガイ	破片								○		○	
30.43		不明二枚貝(球状塊)	破片											堆積環境3 外海種混入
30.55-30.60	<i>Echinocardium cordatum</i>	オカメフンブク	破片					○			○			
31.40-31.45	<i>Fulvia mutica</i>	トリガイ	破片					○						
32.00-32.05	<i>Anodonta stearnsiata</i>	イセシラガイ	破片					○						
	<i>Reticunassa multigranosa</i>	ヒメムシロガイ	完全								○			堆積環境2
33.29-33.30		不明巻貝(軸柱なし)	破片											
33.82	<i>Niotha variegata</i>	アラレガイ	破片								○		○	
38.58	<i>Zeuxis costus</i>	ハナムシロガイ	破片								○		○	
38.73-38.74	<i>Echinocardium cordatum</i>	オカメフンブク	破片					○			○			堆積環境2
40.25-40.27	<i>Dentalium (Paradentalium) octangulatum</i>	ヤカドツノガイ	破片			○		○	○		○		○	
41.72	<i>Theora fragilis</i>	シヅクガイ	破片			○		○	○		○		○	
41.9	<i>Theora fragilis</i>	シヅクガイ	破片			○		○	○		○			
		不明二枚貝	破片											堆積環境2
43.8		不明二枚貝(球状塊)	破片											
45.55	<i>Theora fragilis</i>	シヅクガイ(球状塊)	破片			○		○	○		○			
45.64	<i>Echinocardium cordatum</i>	オカメフンブク	破片					○			○			
46.25	<i>Macrophthalmus (Mareotis) japonicus</i>	ヤマトオサガニ(球状塊)	完全			○								堆積環境1
46.42	<i>Theora fragilis</i>	シヅクガイ	破片			○		○	○		○			
	<i>Echinocardium cordatum</i>	オカメフンブク	破片					○			○			
47	<i>Macrophthalmus (Mareotis) japonicus</i>	ヤマトオサガニ(球状塊)	破片			○								
49.89	<i>Mactra veneriformis</i>	シオフキ	完全			○								堆積環境1
49.91	<i>Mactra veneriformis</i>	シオフキ	破片			○								
52.11	<i>Moerella rutila</i>	ユウシオガイ	完全			○					○			
52.25	<i>Moerella rutila</i>	ユウシオガイ	破片			○					○			
52.32-52.35	<i>Batillaria multiformis</i>	ウミニナ	完全			○				○				
52.88	<i>Reticunassa festiva</i>	アラムシロガイ	完全			○								
53.08	<i>Nitidotellina minuta</i>	ウズザクラガイ	完全			○		○			○			
53.12	<i>Mactra veneriformis</i>	シオフキ	破片			○								
53.5	<i>Mactra veneriformis</i>	シオフキ(球状塊)	完全			○								
54.49	<i>Batillaria multiformis</i>	ウミニナ	破片			○				○				
54.5	<i>Meretrix rusoria</i>	ハマグリ(球状塊)	完全			○								
54.6	<i>Mactra veneriformis</i>	シオフキ(球状塊)	完全			○								
54.79	<i>Mactra veneriformis</i>	シオフキ(球状塊)	完全			○								
55.15	<i>Mactra veneriformis</i>	シオフキ	完全			○								
55.22	<i>Cerithidea (Cerithideopsilla) cingulata</i>	ヘナタリガイ	完全	○		○								
55.25	<i>Moerella rutila</i>	ユウシオガイ	破片			○					○			
55.47	<i>Reticunassa festiva</i>	アラムシロガイ	完全			○								
57.55		不明二枚貝(球状塊)	破片											堆積環境1
57.88	<i>Moerella rutila</i>	ユウシオガイ	完全			○					○			
58.9	<i>Batillaria zonalis</i>	イボウミニナ	破片			○								
59.82	<i>Cerithidea (Cerithideopsilla) cingulata</i>	ヘナタリガイ	破片		○	○								



図 3.1.37 KU0-1 コアから産出した貝化石の写真



図 3. 1. 38 KU0-1 コアから産出した貝化石の写真 2.

(c) 結論ならびに今後の課題

陸域調査(1-1)では、伽藍岳北断層が活断層であること、南落ちの正断層の性格を有することが明らかになった。また、断層を横断するピット壁面に露出した移動土塊や攪乱層の存在は、これをもたらした断層イベントの可能性を示しており、その時期はK-Ah 降下(約7,300年前)より少し新しい時代である、さらに、岩屑なだれ堆積物の上下変位量が少なくとも約10mであることが明らかとなった。

今後、岩屑なだれ堆積物の年代を推定した上で平均上下変位速度を求めることや、より直接的な断層イベントの証拠をピット調査等で明らかにすることが必要であると考えられる。

1-1のうち、歴史資料の調査・解析では、豊後国では、慶長元年閏7月9日と12日に2度地震があり、ともに被害があったことがわかった。また、被害状況の記録を整理すると、慶長豊後地震は別府湾沿岸だけでなく速見郡由布院付近でも大きな被害をもたらしたことが確認できる。特に速見郡では地震による復興が困難な地が多い。あるいは、19世紀初に完成した「豊後国志」の附図では、大分市沿岸部が慶長元年の地震で陸地が海になったと記され、柞原八幡宮の記録では、「府中近辺」(大分市付近)の村は津波で海底になったとある。このような表現は、地震によって沿岸部が海没したことを示唆している。なお、地震後の速見郡での検地帳には、地震や洪水などの災害で荒地となったことを示す「永荒」の記載もあり、地震の被害地範囲を広域で確認することが今後の課題である。

また、前述したように、豊後国では閏7月9日と12日に大きな被害をもたらした地震が発生したが、各々の発生時間などの整理も課題として挙げられる。そこで、より多くの情報を得るため、熊本大学附属図書館所蔵の松井氏(細川氏の家臣)の諸史料や愛媛県での史料調査を実施する。

海域調査(1-2)では、平成26年度の高精度の海底地形調査を実施した、別府沖から高崎山沖を経て、大分平野沖までの範囲で、海底地形の3次元可視化を実施できた。

また、平成27年度に実施したピストンコア堆積物の解析から、過去7000年間にわたる断層周辺のイベント層を検出できた。炭素14年代や火山灰分析により、それらの時系列的な関係を明らかにできる情報がそろいつつある。今後は、年代値の増加を図り、より詳細なイベント層の時系列解析からイベントの再来間隔等の情報を整理して、再来間隔などの情報を高度化することが必要である。

伏在平野部調査(1-3)では、大分平野の府内断層の低下側でボーリングを実施した。

ボーリングコアの岩相6区分は、千田(1987)や千田ほか(2003)の区分と対比すると、(1)人工盛土=盛土・埋土、(2)デルタプレーン堆積物=最上部泥層および上部砂礫層の上部、(3)デルタフロント堆積物=上部砂礫層の中部以深および上部砂層、(4)プロデルタ堆積物=中部泥層、(5)エスチュアリー堆積物=下部砂層および下部砂礫層、最下部泥炭層、(6)網状河川堆積物=沖積基底礫層である。千田(1987)や千田ほか(2003)は大分地域の過去の地形発達の指標として、鬼界アカホヤ火山灰層の下底および下部砂礫層の上面を用いている。KU0-1 コア掘削地点においては鬼界アカホヤ火山灰層の下底

が深度 38.41 m（標高-36.03 m）、標高下部砂礫層の上面が深度 52.50 m（標高-50.12 m）にそれぞれ相当する。これらの深度は、千田（1987）や千田ほか（2003）に記された府内断層の隆起側における鬼界アカホヤ火山灰層の産出高度と比較すると 20 m 以上も深いため、KU0-1 コアの掘削地点が同断層の沈降側に位置していることを示している。平均変位速度は、千年あたり 2.7m 程度と算出されるが、大分平野での他のボーリングコアの情報も整理して、考察を進めたい。

府内断層の活動履歴をさらに解明するために、今後は（A）KU0-1 コアの詳細分析および（B）周辺の追加調査を進めることが必要である。

（A）KU0-1 コアでは堆積年代を詳しく検討するために、放射性炭素年代測定を実施する予定である。また、過去の急激な堆積環境の変化を検討するために、珪藻化石の群集組成解析をおこなう。既往の活動履歴とコアの暫定的な年代から判断して、最新の古地震とそれ以前 1～2 回分を検討するためには、デルタプレーン堆積物およびデルタフロント堆積物の最上部が対象となる。特に別府浜脇地域においては氾濫原堆積物が慶長豊後地震によって沈下した可能性が指摘された（中西ほか、2015）ので、大分地域でもそうした特異な地層の有無を検討したい。また、古地震の周期性を検討するために、エスチュアリー堆積物の堆積環境の変化について詳しく検討する予定である。

（B）周辺の追加調査は KU0-1 コア掘削地点近傍で群列ボーリング調査を実施し、約 10 m 長程度の複数本のコア試料を分析して過去 2～3 回分の古地震の活動履歴を検討する予定である。府内城跡付近での千田ほか（2003）による調査研究結果との整合性の議論は特に重要である。また、同地点の周辺で地中レーダ探査を実施して、浅層の地質構造を面的に可視化することで同断層が浅部地質にもたらした変形構造について検討する予定である。日程的に可能ならば、同探査結果を基にして、前述の追加ボーリングコア掘削の地点を決定する。

d) 引用文献

1) 陸域調査 (1-1)

千田 昇・池田安隆・中田 高・岡田篤正・宇根 寛 (2000) 1:25000 都市圏活断層図『別府』国土地理院技術資料 D・1-No. 375

藤沢康弘・奥野 充・中村俊夫・小林哲夫 (2002) 九州北東部, 鶴見火山の最近 3 万年間の噴火活動. 地質学雑誌, 108, vol.1, 48-58.

大分県 (2003) 別府-万年山断層帯に関する調査成果報告書.

2) 海域調査 (1-2)

Bronk Ramsey (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon 51, 337-360.

Kuwae, M., Yamamoto, M., Ikehara, K., Irino, T., Takemura, K., Sagawa, T., Sakamoto, T., Ikehara, M., Takeoka, H., (2013). Stratigraphy and wiggle-matching-based age-depth model of late Holocene marine sediments in Beppu Bay, southwest Japan. Journal of Asian Earth Sciences 69, 133-148.

Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., (2013). IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. Radiocarbon 55, 1869-1887

Smith, V.C., Staff, R.A., Blockley, S.P., Ramsey, C.B., Nakagawa, T., Mark, D.F., Takemura, K., Danhara, T. (2013). Identification and correlation of visible tephras in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronising of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka. Quaternary Science Reviews 67, 121-137.

3) 伏在部調査 (1-3)

千田 昇 (1987) 大分平野西部の完新世における地形発達. 地理学評論, 60(7), 466-480.

千田 昇・竹村恵二・松田時彦・島崎邦彦・池田安隆・岡村 眞・水野清秀・松山尚典・首藤次男 (2003) 大分平野直下に伏在する府内断層の位置と最新活動時期. 活断層研究, 23, 93-108.

藤原 治・町田 洋・塩地潤一 (2010) 大分市横尾貝塚に見られるアカホヤ噴火に伴う津波堆積物. 第四紀研究, 49(1), 23-33.

国土地理院 (2011) 土地条件調査解説書「大分地区」: 20p.

地震調査研究推進本部 (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.

町田 洋・新井房夫 (2003) 『新編火山灰アトラス[日本列島とその周辺]』: 東京大学出版会, 336pp.

- Maeno, F., Imamura, F. and Taniguchi H. (2006) Numerical simulation of tsunamis generated by caldera collapse during the 7.3 ka Kikai eruption, Kyushu, Japan. *Earth Planets Space*, 58, 1 - 12.
- Maeno, F. and Imamura, F. (2007) Numerical investigations of tsunamis generated by pyroclastic flows from the Kikai caldera, Japan. *Geophysical Research Letters*, 34, L23303, doi:10.1029/2007GL031222.
- Miall, A.D. (1992) Alluvial deposits. In Walker R.G. and James, N.P., eds., *Facies Models: Response to Sea Level Change*: Geological Association of Canada, Waterloo, Ontario, 119-139.
- 中西利典・田辺 晋・木村克己・中島 礼・内山美恵子・柴田康行 (2011) 埼玉県三郷市彦成地区の沖積層ボーリングコア (GS-MHI-1) の堆積相・珪藻化石群集組成・物性・放射性炭素年代値, 地質調査研究報告, 62 (1/2), p.3-46.
- 中西利典・竹村恵二・松山尚典・齋藤武士・柴田康行・香月興太 (2015) 別府市浜脇地区のボーリングコア試料から認定した朝見川断層の完新世における活動, 地形, 36(3), 159-171.
- 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.