

### 3. 14 雲仙断層群（北部）の調査

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 雲仙断層群（北部）の調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人 産業技術総合研究所	研究グループ長	丸山 正

(c) 業務の目的

雲仙断層群（北部）（以下、雲仙断層群北部とする）の平均変位速度については、既往の調査で報告された値の信頼性が十分高いとは言えないため、地震調査研究推進本部地震調査委員会（2006）において不明とされている。本業務では、雲仙断層群北部を構成する断層が分布する同中部の普賢岳北方地域を対象として、既存資料を整理した上で、航空レーザ計測地形データに基づく断層運動による地形面の鉛直隔離の計測、地形面の構成層の確認及び形成年代推定のためのボーリング調査、ボーリングコア試料の年代測定及び化学分析を実施し、それらに基づいて信頼度の高い平均変位速度を明らかにすることを目的とする。

(d) 3 ヶ年の年次実施業務の要約

1) 令和元年度：

雲仙断層群北部の平均変位速度を明らかにすることを目的として、対象地域の既往成果を整理した上で、空中写真判読により、詳細な断層変位地形の分布や形態などを把握した。また、既存詳細数値標高モデルの解析により地形面の変位量を計測した。さらに、断層変位を受けた地形面の形成年代を明らかにするため、1箇所（20 m×1 孔、10 m×1 孔）でボーリング調査を実施した。ボーリングコア試料について、火砕流堆積物の岩塊の全岩化学組成分析、褐色火山灰質層の火山灰分析、有機質堆積物の放射性炭素（<sup>14</sup>C）年代測定を実施した。これらの結果に基づいて、雲仙断層群北部の平均変位速度について検討した。

2) 令和2年度：

なし

3) 令和3年度：

なし

#### (2) 令和3年度の成果

なし

#### (3) 令和元年度～令和3年度の成果

(a) 業務の要約

雲仙断層群北部を構成する複数の断層が分布する普賢岳北方地域を調査対象として、各断層の平均変位速度を明らかにすることを目的として、以下の調査を実施した。1) 航空レーザ計測詳細デジタル地形データを用いて作成した地形表現図の判読により、断層変位地形を認定するとともに、断層を横切る地形断面図の作成により、地形面の鉛直隔離を計測した。2) 断層変位を受けた地形面の形成年代に関する既存データを整理するとともに、普賢岳北方に広く分布する断層変位を受けた地形面（火山斜面）の構成層を明らかにし、その年代を推定するために1箇所（九千部南断層の北側（相対的隆起側）で1孔（掘削深度10 m）及び南側（相対的沈降側）で1孔（掘削深度20 m）ボーリングを掘削した。3) ボーリングコアから採取した腐植質堆積物4試料について<sup>14</sup>C年代測定、褐色火山灰質土層11試料及び火山灰質シルト1試料の計12試料について火山灰分析及び凝灰角礫岩の岩塊6試料について全岩化学組成分析を実施し、それらの結果に基づいて地形面の形成年代を推定した。以上の結果から推定される地形面の形成年代とその上下変位量に基づき、約2万5千年前以降における国見岳北断層の上下方向の平均変位速度は約0.2~0.3 m/千年、九千部南断層は約0.7~0.8 m/千年と推定された。

(b) 令和元年度の業務の成果

1) はじめに

雲仙断層群は、橘湾から島原半島を経て島原湾にかけて分布する断層群である（図1）。本断層群は、ほぼ東西に延びる多数の断層から構成されるが、地震調査研究推進本部地震調査委員会（2006）は、断層の分布や走向、変位の向きから、雲仙断層群北部、雲仙断層群南東部及び雲仙断層群南西部の3つに区分している（図1）。

調査対象とする雲仙断層群北部は、長崎県島原市から同県諫早市南方沖に至る断層群である。雲仙断層群北部は橘湾の断層群（湾奥北部）、千々石（ちぢわ）断層、小倉断層、舞岳断層、九千部（くせんぶ）断層、普賢岳北断層などから構成され、全長30 km程度以上で、ほぼ東西に延びる、主として相対的に北側が隆起する正断層である（図1）。

雲仙断層群北部の平均変位速度については、これまでに松岡・竹村(1993)や長崎県(2003, 2004, 2005)、松岡・他(2005)などにより地形・地質調査に基づき平均変位速度の算出が試みられてきた。しかしながら、これらの調査・研究により報告された平均変位速度について評価を行なった地震調査研究推進本部地震調査委員会(2006)では、松岡・竹村(1993)や長崎県(2003, 2004, 2005)による千々石断層西部、諫早市南東部の唐比（からこ）低地の沈降から推定された平均変位速度は、「低地の沈降の原因が断層活動によるものとは限定できない」、また、長崎県(2004)や松岡・他(2005)による雲仙火山起源の溶岩流・火砕流または火山麓扇状地を変位基準として報告した上下変位速度は、「(変位基準の)形成時の起伏が不明であることや沈降側が浸食されている可能性がある」との理由から、「参考扱い」としている。その上で、「雲仙断層群北部の平均上下変位速度については、上述した個々の値の信頼性が十分高いとは言えないため、不明とする。」と評価している。ただし、「長崎県(2004)で示された多くのデータから、雲仙断層群北部の平均上下変位速度が、1 m/千年を超える可能性が十分示唆されることには留意する必要がある。」と同断層群が高い活動性を有している可能性を指摘している。

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2006)による評価の後、雲仙断層群周辺地域で

は、国土交通省により航空レーザ計測が実施され、大部分が国有林野に位置するため現地調査が困難な断層群北部の詳細な地形解析が可能となった（国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所，2016）（図1）。また、雲仙火山起源の溶岩流や火砕流についての年代測定も充実しつつある（例えば、山縣・他，2004；守安・他，2008；Xu et al.，2013）。これらのデータを活用することで、本断層群の上下方向の平均変位速度を効率的にかつ高い精度で検討可能になることが見込まれる。

そこで、本調査では、雲仙断層群北部を構成する主要な断層が分布する普賢岳北方の山麓地域を対象として、それらの更新世後期以降の活動性、特に平均変位速度を推定すること目的として、1）航空レーザ計測詳細デジタル地形データを用いた地形判読及び断層を横切る地形断面図の作成、2）断層変位を受けた地形面の形成年代に関する既存データの整理及び普賢岳北方に広く分布する断層変位を受けた地形面の構成層を明らかにし、またその年代を推定するためのボーリング調査、3）ボーリングコアの分析に基づく地形面の形成年代の推定を行った。なお、上述したように地震調査研究推進本部地震調査委員会（2006）により雲仙断層群北部を構成する断層の名称が与えられているが、断層名と断層トレースとの対応を示す図の縮尺が小さいため、両者の詳細な対応関係が不明である。そこで、本報告では断層トレースの名称については松岡・他（2005）に従う。

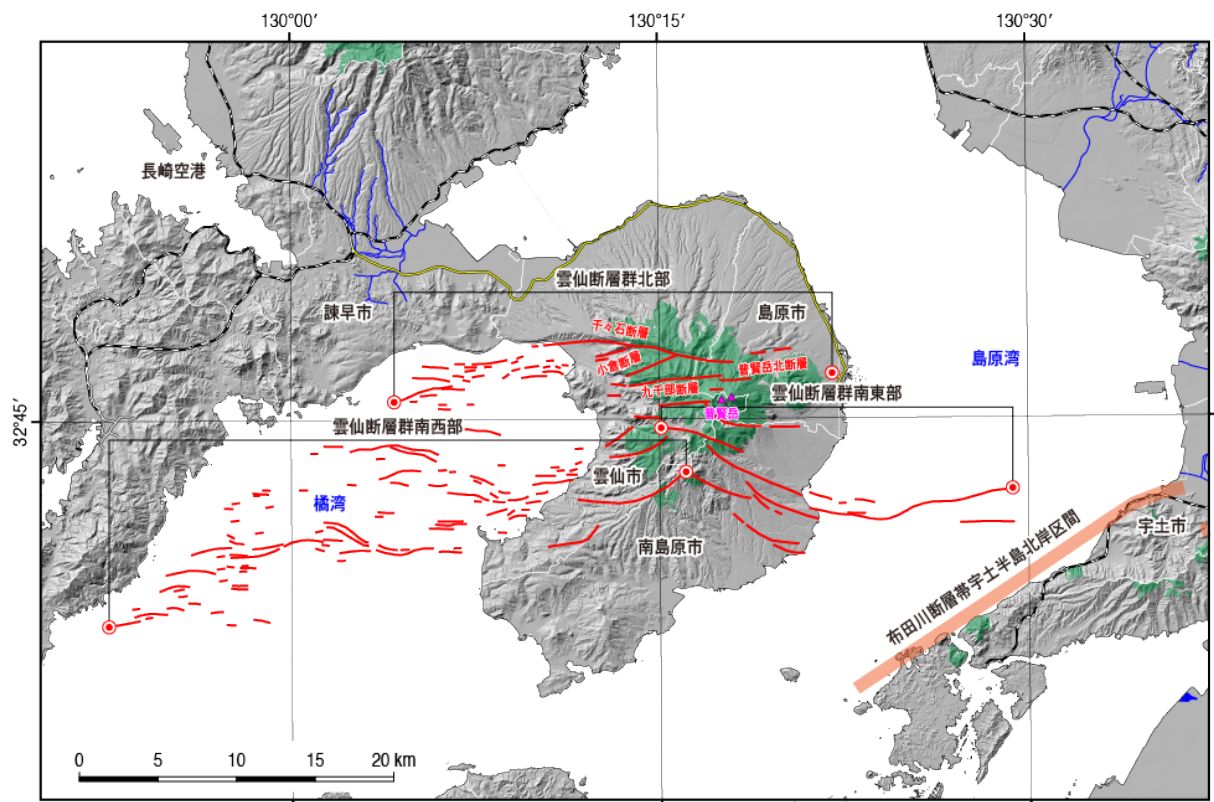


図1 島原半島周辺の主要活断層

雲仙断層群の分布及び雲仙断層群北部を構成する断層の名称は地震調査研究推進本部地震調査委員会（2006）による。布田川断層帯の分布は地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）による。緑で塗った範囲は国有林野。陰影図は国土地理院基盤地図情報数値標高モデル（10 mメッシュ）から作成。

## 2) 地形解析

雲仙断層群北部の詳細な位置や分布の把握、新期の活動の確認及び断層運動による地形面のずれ量の計測のために、国土地理院から提供を受けた国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所により島原半島全域で取得された航空レーザ計測詳細デジタル地形データ（2009年度取得、計測密度：1 m）を用いて地形解析を行なった。地形解析は、航空レーザ計測詳細デジタル地形データを用いて作成したデジタル標高モデル（DEM）から生成した陰影図、傾斜量図、等高線図などの地形表現図の判読（図2）及び断層を横切る地形断面図に基づく地形面の上下方向のずれの見積もりからなる。

### a) 高解像度の地形表現図の判読

高解像度の地形表現図の判読の結果、雲仙断層群北部を構成する断層の詳細な位置や分布が明らかになった（図2）。また一部では、従来認定されていた断層トレースの延長上や近傍において新期の地形面（火砕流堆積物の堆積面や段丘面）形成以降の活動を示唆する微小な低崖が認められた。例えば、普賢岳北方の千々石断層沿いでは、図3aに赤破線で囲んだ3箇所において、北に傾斜する地形面（西から河成段丘面、山麓斜面、火砕流堆積物の堆積面）に南側下がりの低崖が等高線のパターンや地形断面図（後述）などから認められる。これらの低崖は、従来落差の大きい明瞭な断層崖として認定・図示されていた千々石断層のトレースの延長部もしくはそれに近接していること（図3b）、また南側下がりの特徴は千々石断層の累積変位から示されるずれの向きと同様であることから、千々石断層の新期の活動により形成されたものである可能性が高い。なお、図3aに赤破線で囲んだ3箇所のうち最も東側の低崖については、渡辺・星住（1995）が推定断層として図示している。一方、松岡・他（2005）では、この低崖（付近）を湯江川火砕流堆積面（南側）と低地扇状地Ⅲ面（北側）との境界と認定している。

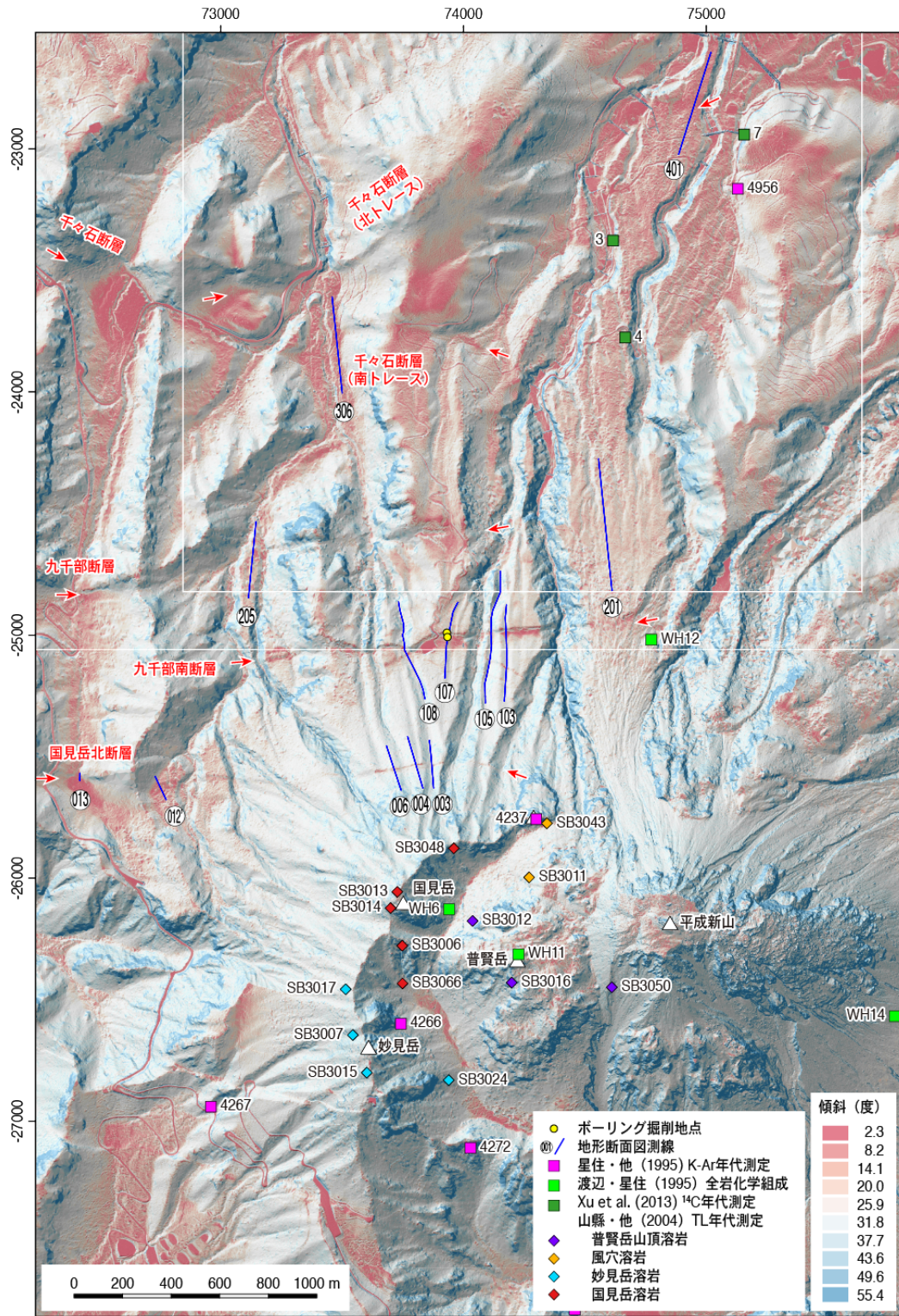


図2 航空レーザ計測詳細デジタル地形データから作成した普賢岳北方の山地斜面の地形表現図

陰影図(光源は北西:入射角 35°)に傾斜量図を重ね合わせたもの。断層名は松岡・他 (2005) による。座標系は平面直角座標 (I系)。

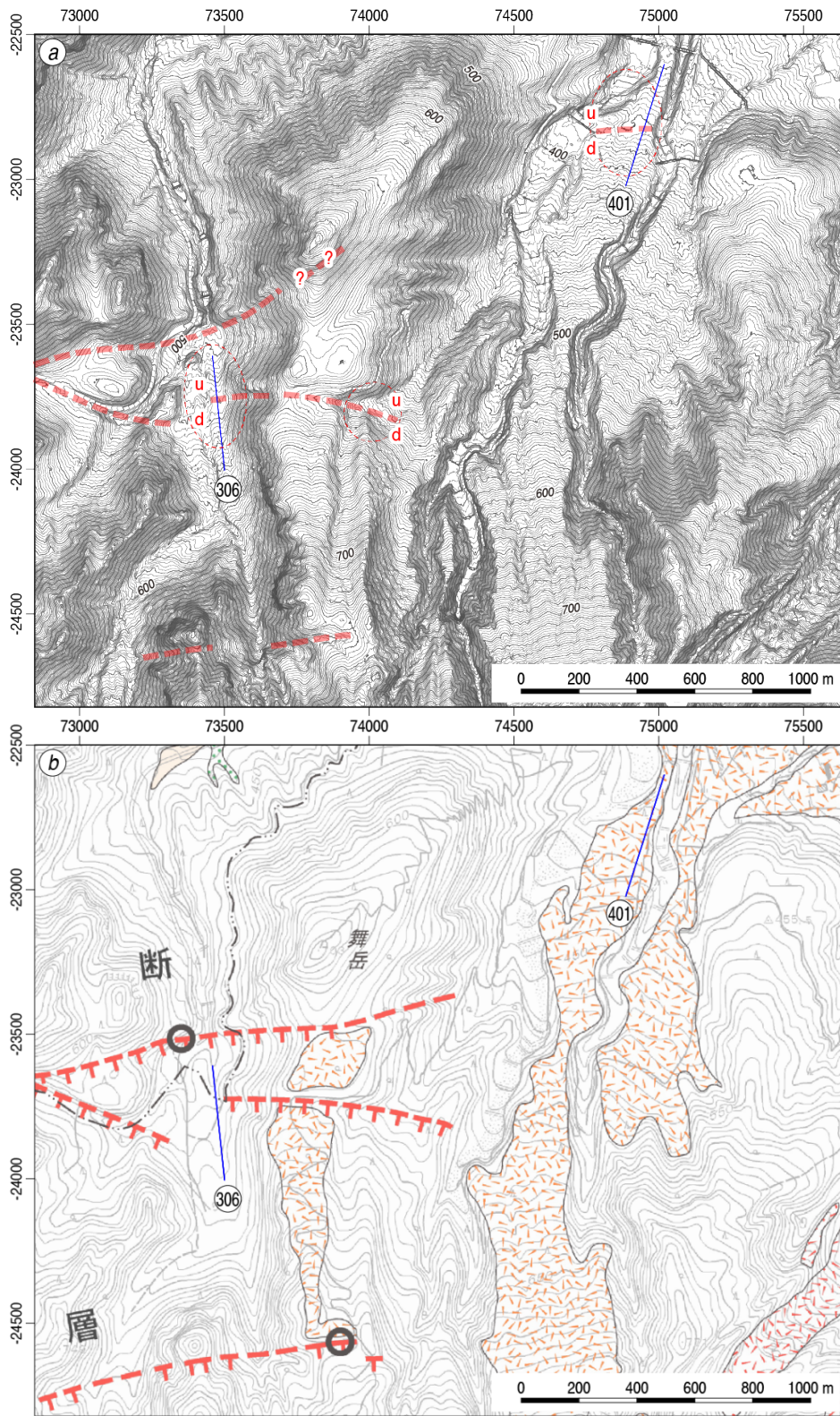


図3 地形表現図から推定された断層トレース

(a) 基図は航空レーザ計測詳細デジタル地形データから作成した2m等高線図。u、dは、それぞれ相対的隆起側、沈降側を示す。306及び401は地形断面図測線。等高線間隔は2m。本図の位置を図2に白枠で示す。(b)は(a)と同じ範囲の都市圏活断層図(堤・他, 2015)。

## b) 地形断面図

雲仙断層群北部を構成する千々石断層、九千部断層、九千部南断層及び国見岳北断層の更新世後期以降の活動性、特に平均変位速度を推定するため、これらの断層により変位を受けた地形面（山地斜面、火砕流堆積物堆積面及び河成段丘面）を横切る地形断面図を作成した。千々石断層、九千部断層、九千部南断層及び国見岳北断層は、いずれも普賢岳北方の北向き斜面に生じた南側低下の正断層であるため、それらの地形表現は逆向き断層崖で特徴付けられる。

断層崖を横断する地形断面図から取得できる断層のずれに関する情報は、地形面の鉛直隔離（ $V_s$ ：断層を挟んだ両区間におけるオリジナルの地形面を断層区間まで延長したところでの高度差）と崖高（ $Sh$ ：断層崖の頂部と基部との比高）の2つである（図4）。断層の平均変位速度を見積もる際に必要となる断層の変位量の傾斜成分（ $D_s$ ）やその上下成分（上下変位： $D_v$ ）や水平成分（ $D_h$ ）は地形断面図から直接見積もることはできない。見かけの上下変位を示す  $V_s$  及び  $Sh$  は、地形面の勾配（ $\alpha$ ）が大きいほど、また断層面の傾斜角（ $\theta$ ）が緩いほど、 $D_v$  との差が大きくなる。ただし、地形断面図から推定あるいは算出することができる  $V_s$  及び  $\alpha$  に  $\theta$  についての情報が加われば、図4のように地形面の傾斜方向と断層面の傾斜方向が向かい合うような逆向き低断層崖の場合には、式(1)から上下変位を推定することができる（例えば、Caskey, 1995）。

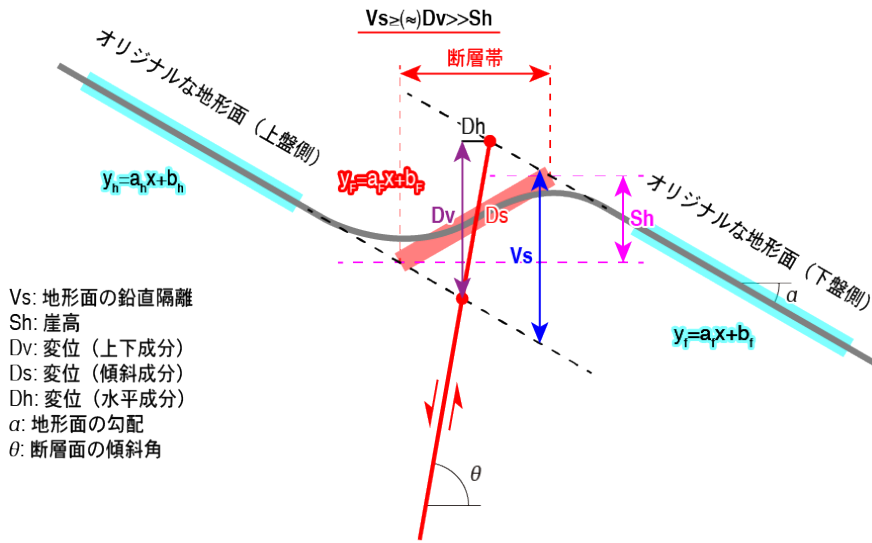
$$D_v = V_s \cos \alpha \sin \theta / \sin(\theta + \alpha) \dots\dots\dots (1)$$

こうしたことから、本調査では航空レーザ計測地形データを用いて断層を横断する地形断面図を作成し、Yang *et al.* (2015)の手法に従い、 $V_s$ の推定と $\alpha$ の算出を行なった。 $V_s$ の推定に際しては、相対的低下側では断層近傍での埋積により、また隆起側では断層崖の崩壊によりいずれもオリジナルの地形面より緩傾斜になっている可能性があることを考慮して、断層の両側で十分に長い測線を設けてオリジナルの地形面を検討した上で鉛直隔離を推定した。なお、地形面の鉛直隔離から上下変位に変換する際に必要となるパラメータの1つである $\theta$ については本調査では新たなデータを取得することができなかった。ただし、長崎県（2005）が九千部断層の東方延長（長崎県（2005）の九千部岳Ⅱ断層）において、新期雲仙火山の火砕流堆積物を変位させる、断層面の姿勢が走向  $N72^\circ W$ ・傾斜  $78^\circ S$ の断層を報告している。こうしたことから、後述する平均変位速度の推定に際しては、雲仙断層群北部を構成する断層の地表付近における断層面の傾斜はいずれも  $70\sim 80^\circ$ と高角度と仮定して地形面の鉛直隔離から上下変位に変換した。

以下、普賢岳に近接する国見岳北断層、九千部南断層、九千部断層、千々石断層の順に地形面の鉛直隔離と勾配などの特徴について代表的な断面をもとに紹介する。

逆向き断層崖の地形断面（正断層）

a. ケース1:  
断層面の傾斜が急な正断層



b. ケース2:  
断層面の傾斜が緩やかな正断層

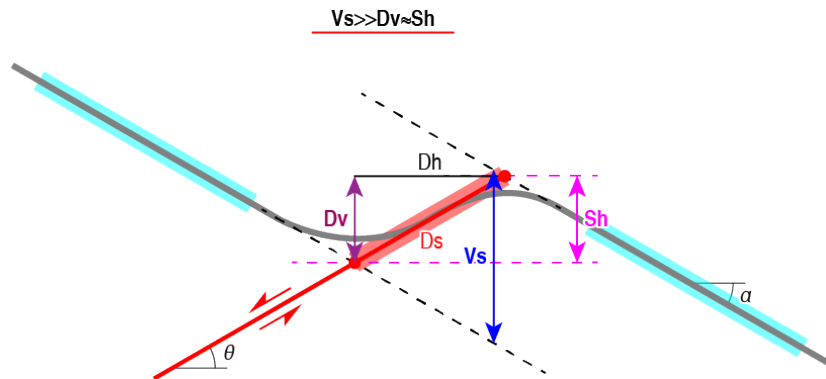


図4 地形面の傾斜方向と正断層の傾斜方向が向かいあう場合における地形面の鉛直隔離、崖高と断層変位の3成分の関係を示した模式的地形断面図

(a) 断層面の傾斜が急な場合。(b) 断層面の傾斜が緩やかな場合。図中の水色太線区間が上盤及び下盤におけるオリジナルな地形面。赤太線が断層帯区間。断層帯区間におけるオリジナルな地形面の投影線の高度差を地形面の鉛直隔離として測定した。

i) 国見岳北断層

普賢岳北方では、部分的に開析が進むものの原面の保存された斜面が広がる(図2)。この斜面は、山頂に向かって勾配が急になり、最大  $30^\circ$  以上に達する。国見岳及び妙見岳から北～北西方向に広がるこの斜面は、国見岳北断層及び九千部南断層を越えて分布している。既往研究によると、この斜面を構成する地層は一部デイサイトを含む安山岩溶岩及び火砕岩からなる妙見岳火山の主火山体とされており、その形成はおよそ2～3万年前と推定されている(Hoshizumi *et al.*, 1999; 星住・宇都, 2000; 星住・他, 2005; 渡辺・星住, 1995)。航空レーザ計測データから作成した詳細地形図では、斜面には溶岩に見られるような凹凸がほとんど見られないこと、また斜面の勾配が最大  $30^\circ$  以上に達することから、



この斜面は溶岩流や土石流ではなく、火砕流堆積物の堆積面の可能性が高いと考えられるが、ここでは成因について十分な情報がないため、火山斜面と呼ぶことにする。

雲仙断層群北部のうち、最も南に分布する国見岳北断層は、 $30^\circ$  以上の勾配を持つこの北向きの火山斜面に南側下がりの変位を与えており、東西方向に延びる明瞭な逆向き低断層崖として認定される。また、国見岳北断層に沿っては火山斜面のみならず、この斜面を浅く開析する谷にも南側低下の変位が認められる。火山斜面とそれを開析する谷に沿った地形断面図を図5及び図6に示す。国見岳北断層による火山斜面の鉛直隔離は  $7.7 \pm 0.6$  m であり、開析谷のそれは  $4.8 \pm 0.5$  m と火山斜面の半分程度である。2つの地形断面図の位置が近接していることから、この鉛直隔離の違いは、火山斜面が形成されてから少なくとも2回の断層活動を示している可能性がある。なお、測線004付近の火山斜面の鉛直隔離は測線006(図2)で  $9.5 \pm 1.3$  m と最大の値を示すものの、概ね7~9mである。

国見岳北断層の西端部付近では、新期の活動を示唆する低崖が認められた。測線012'では火山斜面より下位の段丘面と見られる平坦面に、また測線013では、北向きの規模の大きい谷の谷底にいずれも1m程度の南向きの低崖が発達する(図2)。図7に測線012'の地形断面図を示す。谷底などの埋積されやすい環境において、比高の小さい逆向きの低崖が保存されていることから、極めて新しい時期の国見岳北断層の活動に伴う地震断層の可能性はある。

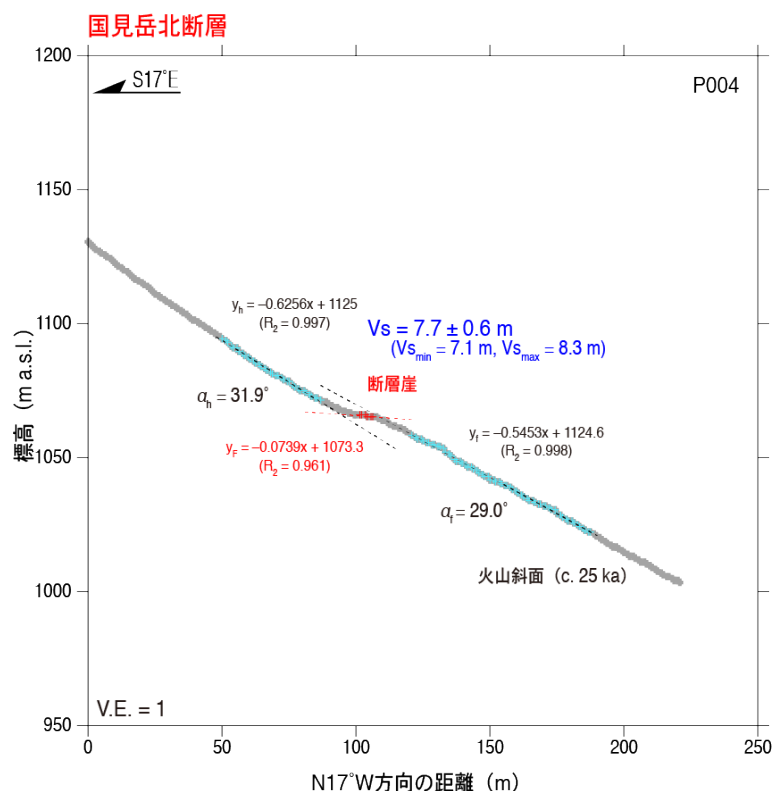


図5 国見岳北断層を横切る地形断面図(測線004)

測線の位置は図2参照。

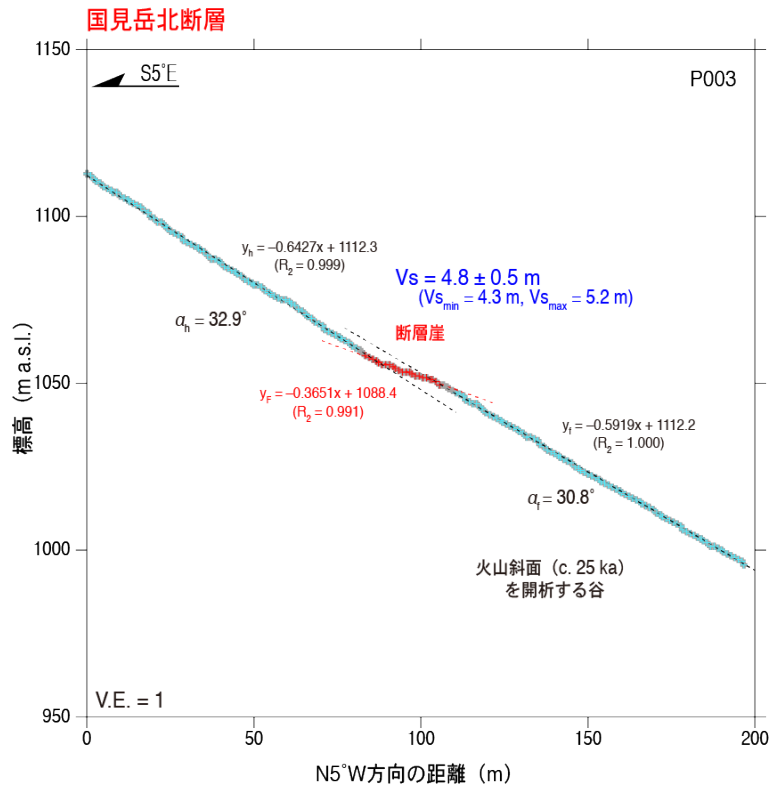


図6 国見岳北断層を横切る地形断面図（測線 003）  
測線の位置は図2参照。

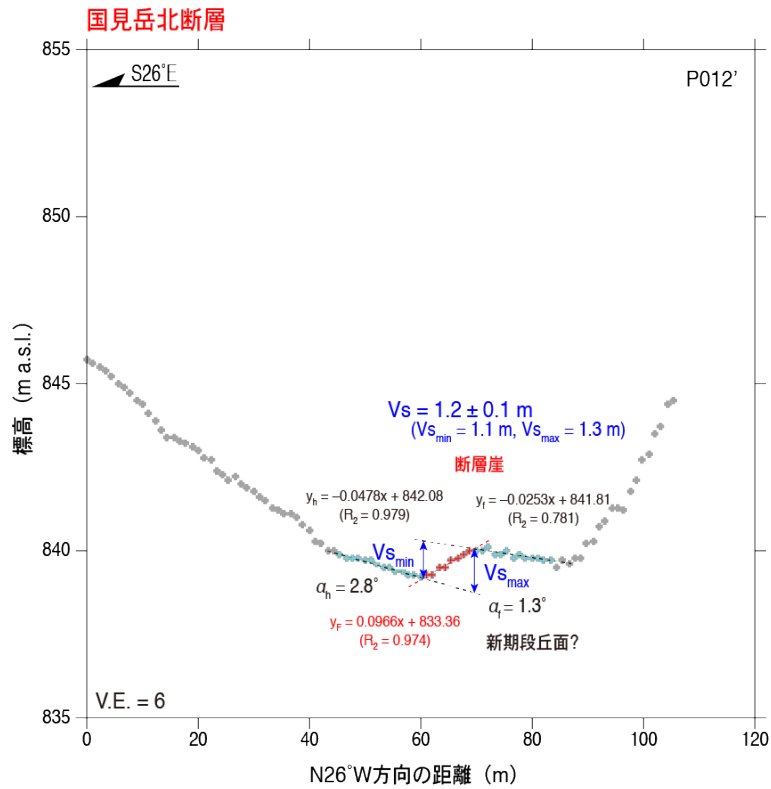


図7 国見岳北断層を横切る地形断面図（測線 012'）  
測線の位置は図2参照。

## ii) 九千部南断層

九千部南断層は、国見岳北断層と同様に北傾斜の火山斜面を変位させる顕著な南側下がりの逆向き低断層崖として認められる(図2)。九千部南断層の分布範囲付近における火山斜面の勾配は $20^{\circ}$ 程度である。光源が北西の陰影図に傾斜量図を重ねた図2を見ると、九千部南断層の低下側(南側)断層近傍では、周囲より傾斜が緩くなっており、断層崖基部の埋積や断層崖頂部の崩壊による後退が予想される。そのため、断層近傍のみの地形断面図では、実際の地形面の鉛直隔離より小さい値を示す可能性が高い。また、東西方向に延びる九千部南断層では、図2の中央付近の測線107付近において、断層の南側において、南東に枝分かれするように2条の南西側低下の微小な崖が認められる(堤・他, 2015)。こうしたことを踏まえて、地形断面図の作成に際しては、分岐断層を含めた断層(帯)の両側で十分に長い測線を設定して地形断面図を作成するように努めた(図2)。

九千部南断層が分岐せず一条に収斂する区間における火山斜面の鉛直隔離を検討した測線107の地形断面図を図8に、またその西方で火山斜面を浅く開析する谷の谷底の地形断面図を図9に示す。見積もられた火山斜面の鉛直隔離は $21.0 \pm 1.0$  m、開析谷のそれは $10.7 \pm 0.1$  mであり、有意な違いが認められた。こうしたことから、九千部南断層も国見岳北断層と同様に、火山斜面が形成されてから少なくとも2回の断層活動が推定される。

主断層から2条分岐する断層帯区間における火山斜面及びそれを開析する谷の谷底の地形断面図を図10及び図11に示す。主断層を含めた3条の断層による火山斜面及び谷底の鉛直隔離は、それぞれ $21.1 \pm 0.8$  m、 $10.3 \pm 0.2$  mであり、断層が収斂する区間とほぼ同様の値を示す。したがって、九千部南断層による火山斜面の鉛直隔離は、約21 mと推定される。

ところで、九千部南断層の東端部付近(図2のWH12の上の赤矢印)には、火山斜面より下位の斜面にわずかに南側下がりの低崖が認められる。星住・他(2005)、松岡・他(2005)及び守安・他(2008)によると、この斜面は湯江川火砕流堆積物からなり、その年代は $^{14}\text{C}$ 年代測定で17 ka (kaは千年前を表す)、熱ルミネッセンス年代測定で $14 \pm 4$  kaと報告されている(Xu *et al.*, 2013)。しかし、この低崖は、雲仙岳の平成噴火に伴い堆積した岩塊及び細粉からなる火砕流堆積物及び崖錐堆積物の北限であり(例えば、渡辺・星住, 1995)、それ以前に発達していた断層崖が一部埋め残されたものである。したがって、この低崖については平成噴火後に取得された航空レーザ計測地形データを用いた九千部南断層の活動性の検討には適さないと判断した。

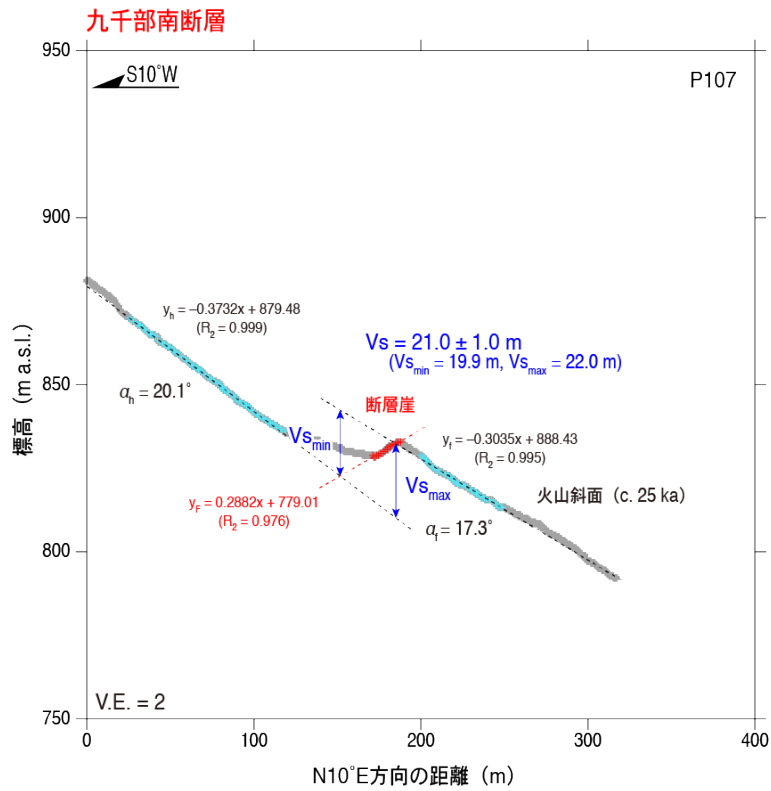


図 8 九千部南断層を横切る地形断面図 (測線 107)  
測線の位置は図 2 参照。

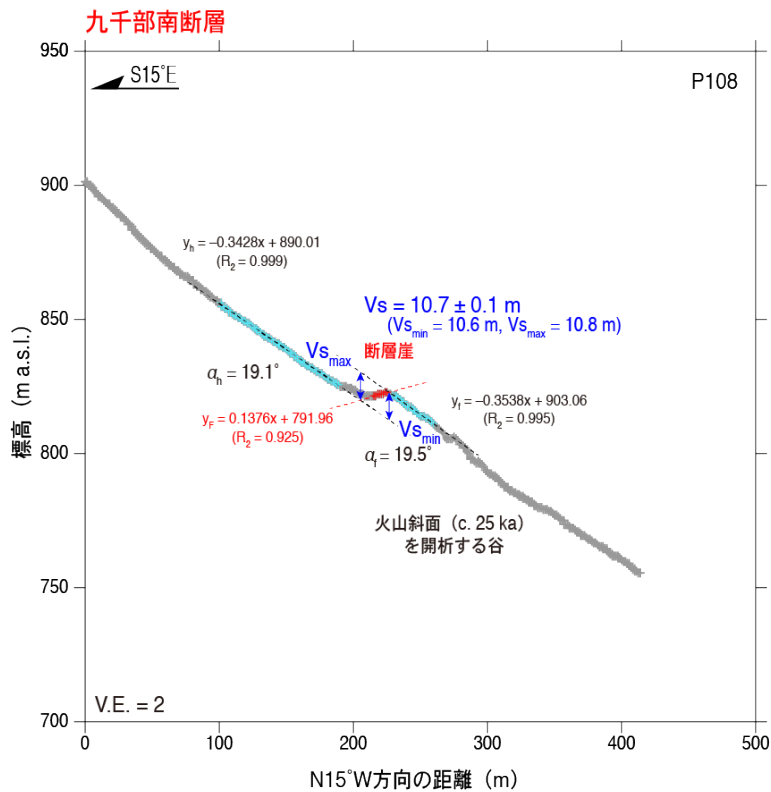


図 9 九千部南断層を横切る地形断面図 (測線 108)  
測線の位置は図 2 参照。

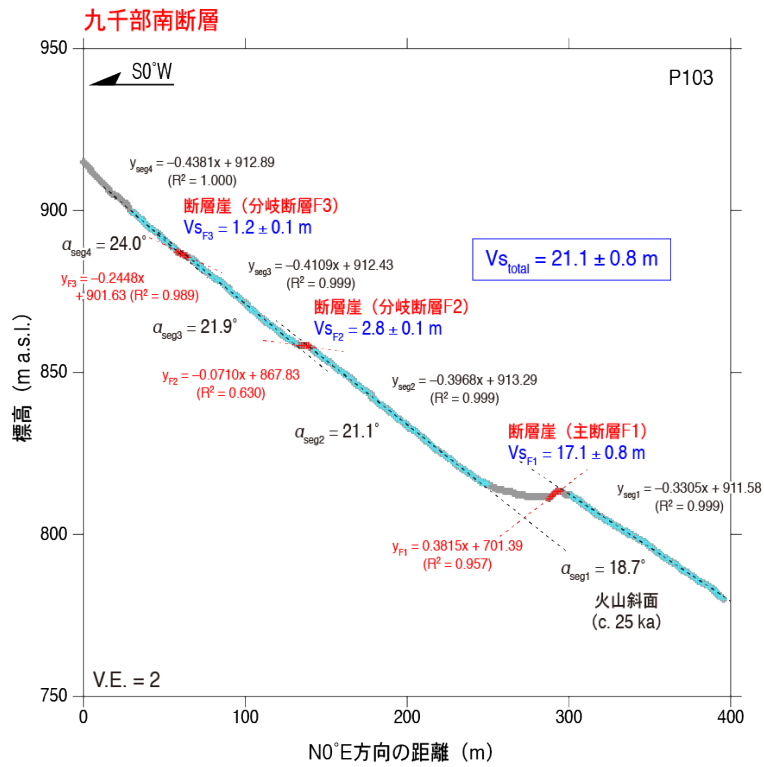


図 10 九千部南断層を横切る地形断面図 (測線 103)  
測線の位置は図 2 参照。

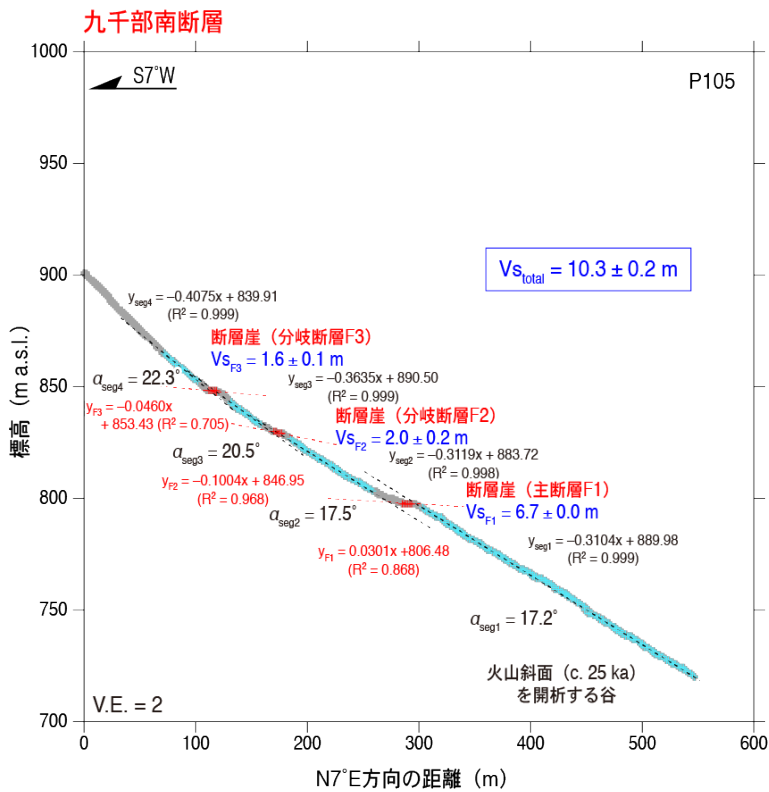


図 11 九千部南断層を横切る地形断面図 (測線 105)  
測線の位置は図 2 参照。

### iii) 九千部断層

九千部断層は、九千部南断層の約 400～500 m 北に分布する (図 2)。同断層に沿っては、古期雲仙火山の噴出物 (例えば、渡辺・星住, 1995) からなる尾根地形などに南側下がり  
の崖が認められるものの、新期の活動を示す確実な地形表現は認められない。例えば、九  
千部断層東端部では同断層を横断するように広く湯江川火砕流堆積物の堆積面が広がるが、  
断層変位を示唆する低崖は認められない (図 12)。また、測線 205 付近では分布が狭いも  
のの九千部断層を横断するように現河床からの比高が 15～20 m の段丘状の平坦面が分布  
するが、それにも断層変位を示唆する低崖は認められない (図 13)。したがって、地形判  
読及び地形断面図からは、調査範囲における九千部断層の新期の活動は認め難い。一方、  
松岡・他 (2004) は同断層沿いで鬼界ーアカホヤテフラ (K-Ah : 約 7,300 年前 ; 町田・新  
井, 2003) を変位させる断層露頭を報告しており、活動性について矛盾が認められる。こ  
れについては、測線 201 が九千部断層の東端部に位置するため、変位量が小さく地形断面  
から湯江川火砕流堆積物堆積面上のずれを検出することができなかった可能性や断層が湯  
江川火砕流堆積物堆積面分布域まで延びていない可能性、また測線 205 の段丘状の平坦面  
が松岡・他 (2004) が報告した断層活動より後に形成された可能性などが考えられる。

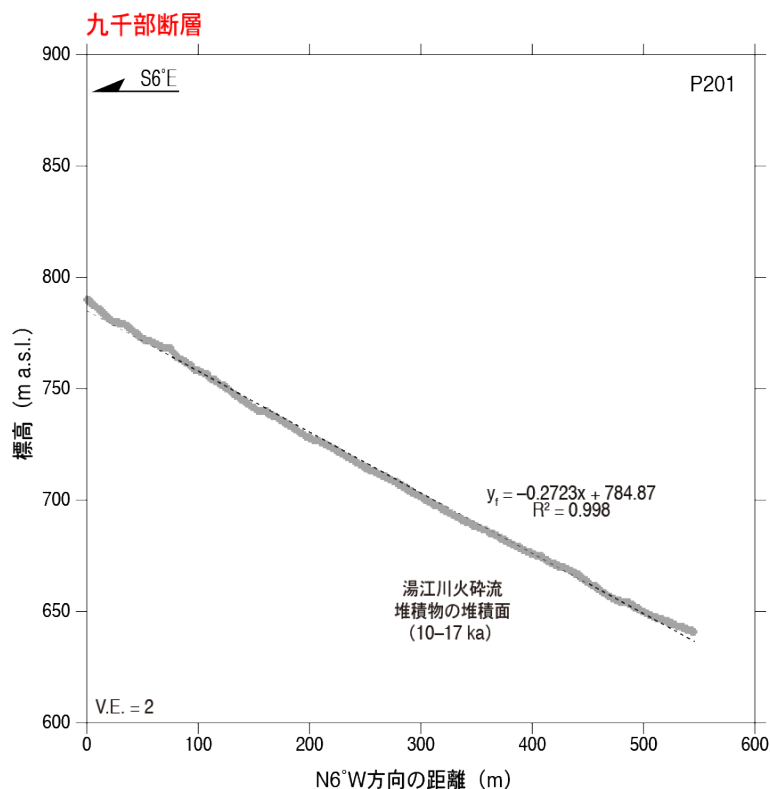


図 12 九千部断層の東延長部を横切る地形断面図 (測線 201)  
測線の位置は図 2 参照。

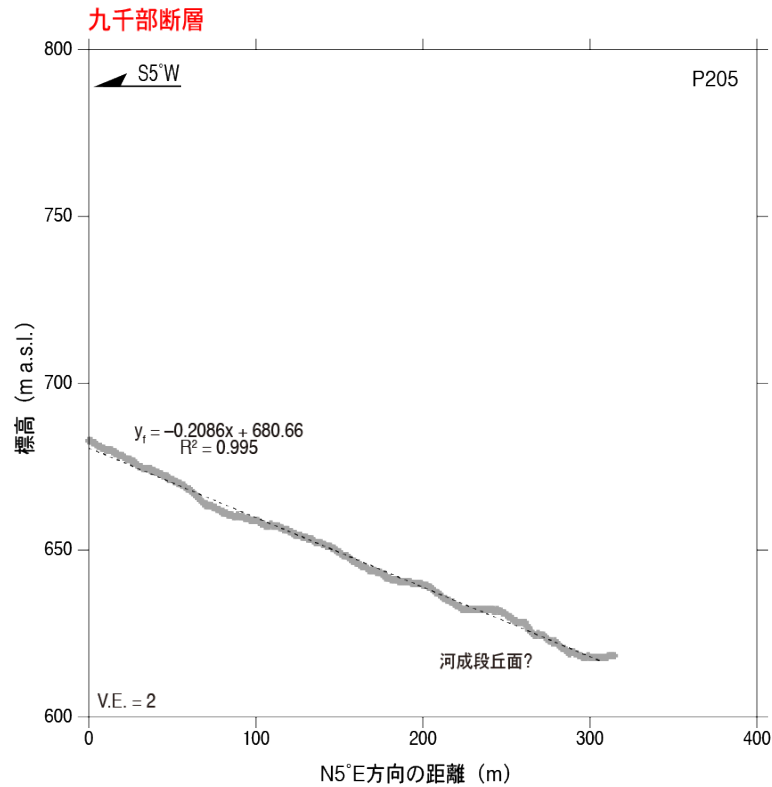


図 13 九千部断層を横切る地形断面図（測線 205）

測線の位置は図 2 参照。

iv) 千々石断層

千々石断層は、雲仙地溝の北限を限る雲仙断層群北部の最も北に位置する断層である。同断層に沿っては顕著な南側下がり断層崖が発達している（図 1 及び図 2）が、更新世後期以降に繰り返し活動したことを示す地形学的特徴は認められなかった。ただし、2) a) で述べたように、同断層に沿って新期の地形面（火砕流堆積物の堆積面や段丘面）形成以降の活動を示唆する微小な低崖が認められた。

測線 306 付近では北に流下する谷の右岸側に北に 7° 程度傾く狭小な平坦面が発達しているが、千々石断層が通過する付近で、この平坦面に南側下がり断層崖の高度差が認められ、その鉛直隔離は、 $5.1 \pm 0.1$  m と見積もられる（図 14）。また、千々石断層が測線 306 付近で東に向かって 2 条に分岐するうち、北トレースの延長部付近の測線 401 において、湯江川火砕流堆積物の堆積面と見られる、北に 7～8° 程度傾斜する平坦面に鉛直隔離が  $6.5 \pm 0.5$  m の南側下がり断層崖が認められた（図 15）。上述したようにこの低崖について渡辺・星住（1995）は推定断層として図示している。一方、松岡・他（2005）では、この低崖（付近）を湯江川火砕流堆積面（南側）と低地扇状地Ⅲ面（北側）との境界と認定している。しかしながら、図 15 に示すように低崖の両側で地形面の勾配に大差がないことから、低崖は一続きの地形面が断層変位を受けて生じた逆向き低断層崖の可能性があると考えられる。

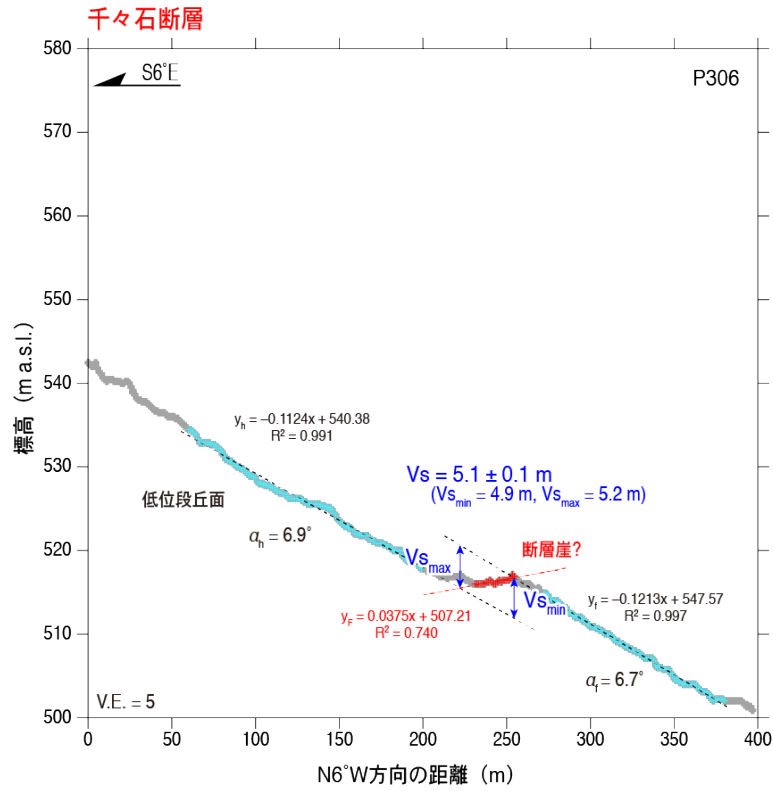


図 14 千々石断層（南トレース）を横切る地形断面図（測線 306）  
測線の位置は図 2 及び図 3 参照。

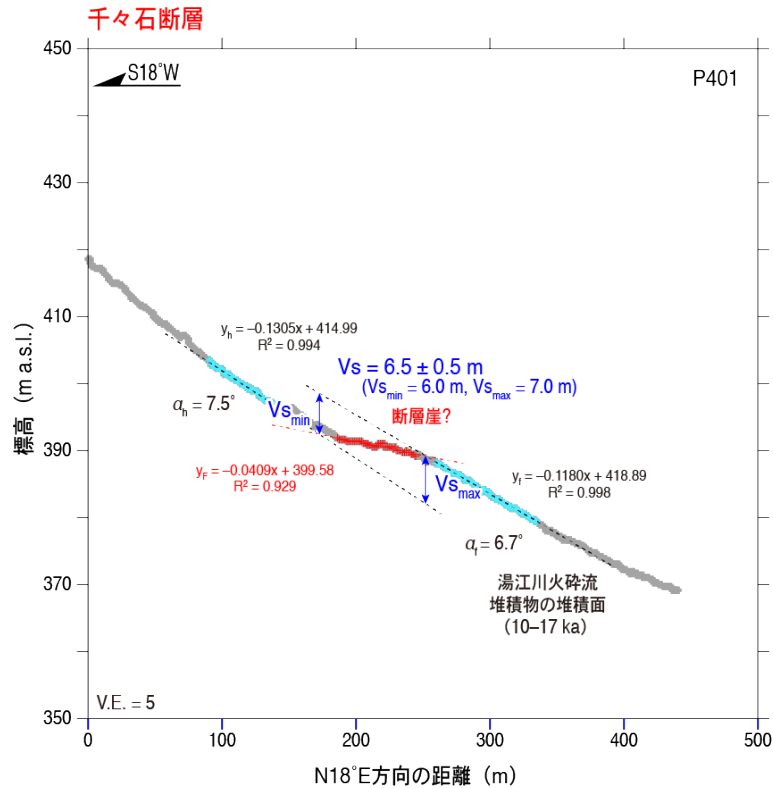


図 15 千々石断層（北トレース）北東延長部における地形断面図（測線 401）  
測線の位置は図 2 及び図 3 参照。



### 3) ボーリング調査

#### a) 調査地点の選定

普賢岳北断層及び九千部断層沿いに広く分布し、また両断層の複数の活動を記録している山地斜面の構成層を明らかにし、その形成年代を把握することを目的として、同斜面を変位させる断層の両側をボーリング調査の対象とした。今回の調査対象地域は国有林野に位置しており、調査資機材を搬入する道路工事といった大規模な地形の改変を伴う工事を行うことはできない。そのため、調査は既存の林道沿いで実施することとし、雲仙科学掘削プロジェクト（例えば、Nakada *et al.*, 2005 ; 中田, 2013) のために整地された林道の終点付近の九千部南断層に調査地点を選定した（図 16）。調査地点は、測線 107 の地形断面面沿いに近接している（図 2）。

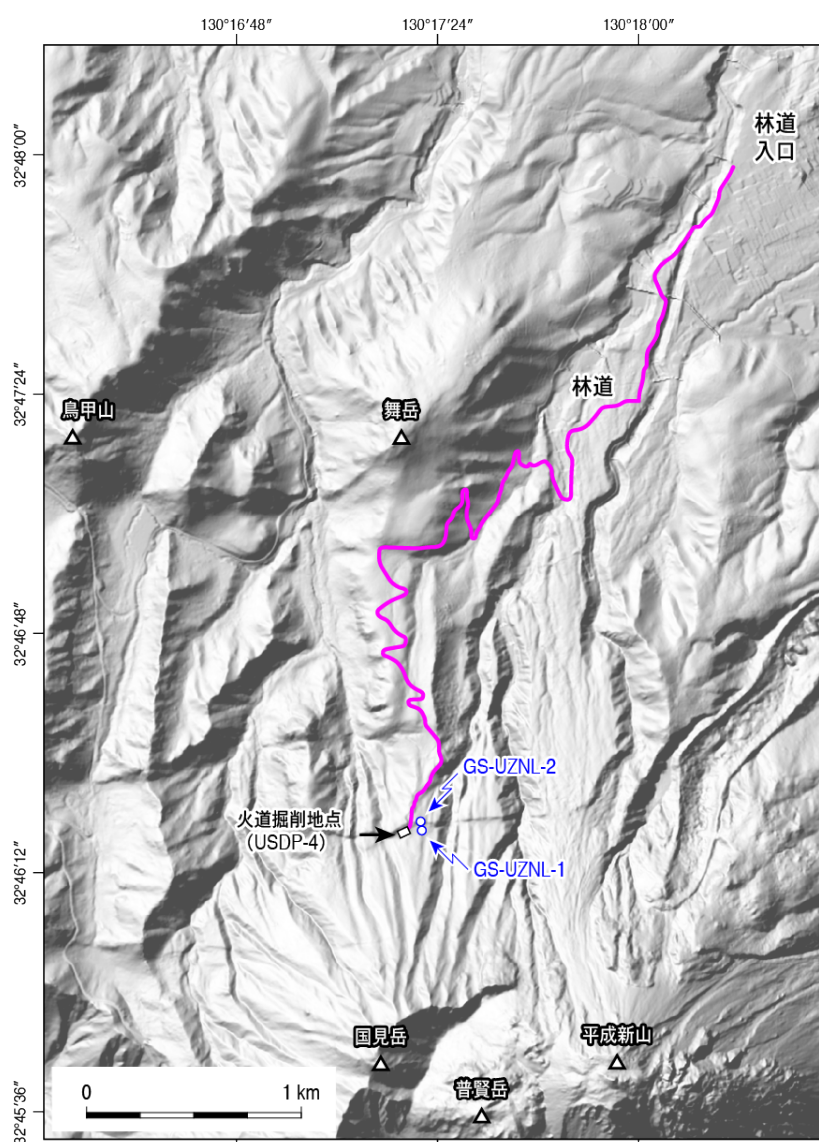


図 16 ボーリング調査地点位置図

背後の陰影図は国土地理院基盤地図情報数値標高モデル（5 m メッシュ）から作成。

#### b) 事前準備

調査地点は、林道入口から約 5 km に渡って大部分が未舗装の林道の終点部に位置している（図 16）。この林道は長期に渡り使用されていない状況であったため、全範囲において草木や土砂に覆われており、そのままではボーリング資機材の搬入出が難しい状況であった。このため、関係機関に許可を得た後に、進入路を重機で整備（整地、下草伐採等）した。

なお、上述したように調査地点は国有林野に位置している。そのため、調査開始に際して、入林届・国有林野使用許可・林道利用許可（長崎森林管理署）、保安林内作業許可（長崎県島原振興局）などの必要な許可を得てから実施した。

#### c) 掘削地点の設定

ボーリングは、九千部断層の断層崖の北側（相対的隆起側）で 1 孔（掘削深度 10 m）、南側（相対的沈降側）で 1 孔（掘削深度 20 m）の計 2 孔を掘削することとした（図 16）。掘削地点は、国有林野内に位置しているため、木の伐採は行わず、木と木の間を設定した。

#### d) 現場機材搬入

機材搬入は、礫石原町の林道起点から林道終点まではトラック搬入、林道からボーリング地点まではクローラー運搬車による搬入を行なった。林道からボーリング掘削地点までは 80 m 程度の距離があったが、クローラー搬入の際もなるべく草木に影響がないルートの設定を心がけた。

#### e) 掘削地点の座標及び地盤高の測定

ボーリングを掘削した 2 地点はいずれも空が開けていない森林中に位置しており、GNSS の信号を捕捉することが困難である。そのため、まず空の開けた林道終点の空き地において GNSS 測量（VRS-GPS）により基準点を設け、そこからトータルステーションを用いて展開し、ボーリング孔口の座標及び地盤高を計測した（表 1）。

表 1 ボーリング掘削地点の座標と地盤高

孔名	平面直角座標系（座標系=1）		経緯度		地盤高
	X	Y	北緯	東経	
GS-UZNL-1	-25008.287	73934.095	32°46'19.18''	130°17'21.05''	828.91
GS-UZNL-2	-24990.482	73931.719	32°46'19.76''	130°17'20.96''	832.78

#### f) ボーリングコアの地質

コアの地質は、表層部の表土、腐植質シルト及び褐色火山灰質土を除き、斜長石の斑晶が目立つデイサイト質の亜角～角礫を主体とする火山砕屑物である。コアの写真を図 17 及び図 18 に、柱状図を図 19 に示す。全体的に錆色を呈し、部分的に灰色の岩塊が認められる。岩塊の中には一続きの色調が錆色から灰色に変化するものもある。岩塊の間は、錆色を呈する粗粒砂が埋める。断層の相対的沈降側にあたる GS-UZNL-1 コアでは、深度 2.16 m

付近までは表土やシルトが分布するが、それ以深ではコア径以上の礫を含む砂礫で構成される。一方、断層の相対的隆起側の GS-UZNL-2 コアでは、深度 0.82 m 以深で砂礫が分布し、表土及び腐植質シルトは GS-UZNL-1 コアに比べて薄い。GS-UZNL-1 コア、GS-UZNL-2 コアともに火山碎屑物中には、層理面などの堆積構造や風化帯の存在、また顕著な岩相や色調の変化は認められず、砂礫層を細分することはできなかった。また、火山碎屑物中には木片などの年代測定試料は認められなかった。

GS-UZNL-1



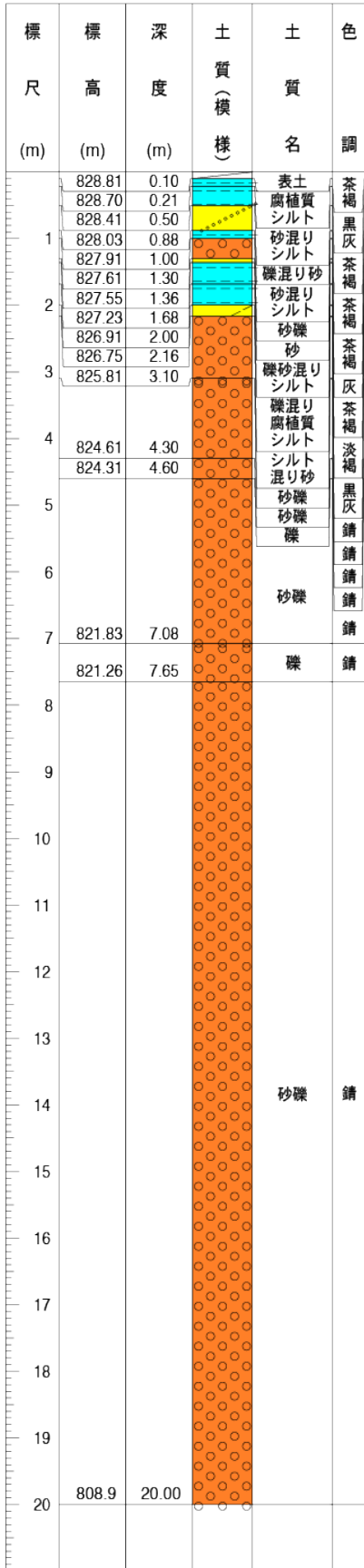
図 17 GS-UZNL-1 コアの写真 (深度 0 ~ 20 m)

GS-UZNL-2



図 18 GS-UZNL-2 コアの写真 (深度 0 ~ 10 m)

a GS-UZNL-1



b GS-UZNL-2



図 19 GS-UZNL-1 コア (a) 及び GS-UZNL-2 コア (b) の柱状図

#### 4) 試料分析

採取されたボーリングコア表層付近に見られる有機質堆積物及び褐色火山灰質土の年代を推定するため  $^{14}\text{C}$  年代測定及び火山灰分析を、また山地斜面を構成する火山砕屑岩については周辺の溶岩・火砕流堆積物との対比を行うことを目的として岩塊試料の全岩化学組成分析を実施した。

##### a) $^{14}\text{C}$ 年代測定結果

コア GS-UZNL-1 と GS-UZNL-2 の表層部分に分布する有機質堆積物の年代を推定するためにコア GS-UZNL-1 で 3 試料、コア GS-UZNL-2 で 1 試料を採取し、AMS $^{14}\text{C}$  年代測定を行なった。測定は (株) 地球科学研究所を通して Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory (米国フロリダ州) に依頼した。測定試料の一覧及び測定結果を表 2 に示す。

$^{14}\text{C}$  年代測定の結果、コア GS-UZNL-1 では深度 0.21 m (CUZNL-1-1) で  $590 \pm 30$  BP (同位体分別補正後の  $^{14}\text{C}$  年代、以下同じ)、深度 1.72 m (CUZNL-1-2) で  $8,430 \pm 30$  BP、深度 1.98 m (CUZNL-1-3) で  $220 \pm 30$  BP の年代値が得られ、試料の採取深度に対して年代に顕著な逆転が認められた。後述する火山灰分析の結果、試料 CUZNL-1-2 の採取深度のやや上位の深度 1.5 m の試料に K-Ah が混在する可能性があることから、試料 CUZNL-1-2 が地層の年代を表していると考えられる。一方、試料 CUZNL-1-3 の年代は試料 CUZNL-1-2 のみならず、地表近傍の試料 CUZNL-1-1 よりも新しい年代値を示すことから、試料 CUZNL-1-3 は根の混入等により実際よりも新しい年代を示している可能性が高い。コア GS-UZNL-2 では地表近傍の深度 0.27 m (CUZNL-2-1) で  $580 \pm 30$  BP の年代値が得られた。

表 2 ボーリングコアから採取した試料の AMS $^{14}\text{C}$  年代測定結果

試料番号	採取コア	測定コード	深度 (m)	測定試料種	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conventional $^{14}\text{C}$ 年代 (BP, $\pm 1\sigma$ ) #3	暦年較正年代 (cal BP : 95.4%) #5
CUZNL-1-1	GS-UZNL-1	Beta-554814	0.21	有機質堆積物#2	-21.84	$590 \pm 30$	650-530
CUZNL-1-2	GS-UZNL-1	Beta-554815	1.72	有機質堆積物#2	-16.57	$8,430 \pm 30$ #4	9,530-9,320
CUZNL-1-3	GS-UZNL-1	Beta-554816	1.98	有機質堆積物#2	-22.74	$220 \pm 30$	320-Post
CUZNL-2-1#1	GS-UZNL-2	Beta-554817	0.27	有機質堆積物#2	-22.18	$580 \pm 30$	650-530

#1 令和元年度成果報告書の CUZNL-1-4 は CUZNL-2-1 の誤りである。

#2 バルク試料。

#3 半減期は 5,568 年を使用した。

#4 暦年較正プログラム OxCal (Bronk Ramsey, 2009) を使用し、暦年較正には較正曲線として IntCal20 (Reimer *et al.*, 2020) を用いた。

#5 令和元年度成果報告書の  $8,430 \pm 50$  は  $8,430 \pm 30$  の誤りである。

b) 火山灰分析

コア GS-UZNL-1 の凝灰角礫岩及び火山礫凝灰岩を覆って表層付近に分布する褐色火山灰質土を対象として、深度 0.6 m～1.6 m において 10 cm 間隔で試料を採取し、火山灰分析を実施した。また、コア GS-UZNL-1 の深度 0.1 m 付近では黒褐色有機質堆積物中に認められた桃色の団子状シルトについても、火山灰分析を行なった。火山灰分析は株式会社古澤地質に依頼した。分析結果を表 3 及び表 4 に示す。

分析の結果、各試料とも火山ガラスの含有量は少ないものの、試料 TUZNL-1-1、TUZNL-1-2 及び TUZNL-1-4～TUZNL-1-6 ではバブルウォールタイプ (Bw タイプ) の火山ガラスが検出され、また試料 TUZNL-1-1～TUZNL-1-6 には直方 (斜方) 輝石 (Opx) 及び緑色普通角閃石 (Gho) を含む。こうした火山ガラスの形態及び重鉱物組成ならびに火山ガラス、直方 (斜方) 輝石の屈折率から、試料 TUZNL-1-1～TUZNL-1-6 には K-Ah が混在している可能性が高い。また、試料 TUZNL-1-11 中から検出された火山ガラスと直方 (斜方) 輝石の屈折率から、この層準でも K-Ah が混在している可能性がある。なお、今回分析した試料からは始良 Tn テフラ (AT: 約 3 万年前; Smith *et al.*, 2013) は検出されなかった。

表 3 ボーリングコアから採取した試料の火山灰分析結果

試料名	採取コア名 (GS-)	深度 (m)	火山ガラスの形態別含有量			軽鉱物 F1・Qu	重鉱物							岩片	火山岩片	計
			Bw	Pm	0		Opx	Cpx	Gho	Ba-Ho	Bi	Oth	Opq			
TUZNL-1-1	UZNL-1	0.1	1	0	0	50	1	0	9	6	0	0	2	231	0	300
TUZNL-1-2	UZNL-1	0.6	1	0	0	238	2	1	6	15	0	0	17	0	20	300
TUZNL-1-3	UZNL-1	0.7	0	0	1	221	2	0	2	22	0	32	5	0	15	300
TUZNL-1-4	UZNL-1	0.8	2	0	1	211	4	0	3	15	18	25	7	0	14	300
TUZNL-1-5	UZNL-1	0.9	1	1	1	177	5	0	8	8	1	21	6	0	71	300
TUZNL-1-6	UZNL-1	1.0	5	0	5	220	6	1	3	7	5	11	2	0	35	300
TUZNL-1-7	UZNL-1	1.1	0	0	2	156	6	0	6	2	1	1	4	0	122	300
TUZNL-1-8	UZNL-1	1.2	0	0	0	244	2	1	3	3	1	17	2	0	27	300
TUZNL-1-9	UZNL-1	1.3	0	0	0	169	4	0	3	4	3	50	4	60	3	300
TUZNL-1-10	UZNL-1	1.4	0	0	0	198	1	0	6	6	6	31	5	47	0	300
TUZNL-1-11	UZNL-1	1.5	0	0	1	145	2	0	4	14	3	56	5	70	0	300
TUZNL-1-12	UZNL-1	1.6	0	0	0	190	4	0	7	10	10	25	7	47	0	300

Bw : バブルウォールタイプ, Pm : パミスタイプ, 0 : 低発泡タイプ

F1・Qu : 長石・石英

Opx : 直方 (斜方) 輝石, Cpx : 単斜輝石, Gho : 緑色普通角閃石, BaHo : 酸化角閃石, Bi : 黒雲母, Opq : 不透明鉱物, Oth : その他の重鉱物

表 4 ボーリングコアから採取した試料の火山灰分析結果 (続き)

試料名	火山ガラスの屈折率	直方 (斜方) 輝石の屈折率	角閃石の屈折率	テフラ名
TUZN-1-1	1.495-1.501 (6/30), 1.508-1.515 (24/30)	1.700-1.705 (6/35), 1.705-1.717 (29/35)	1.673-1.693	K-Ah 混在
TUZN-1-2	1.494-1.502 (18/30), 1.509-1.516 (12/30)	1.700-1.705 (7/35), 1.706-1.713 (28/35)		K-Ah 混在
TUZN-1-3	1.496-1.501 (17/30), 1.511-1.514 (13/30)	1.703-1.705 (2/35), 1.705-1.714 (33/35)		K-Ah 混在
TUZN-1-4	1.494-1.503 (18/30), 1.510-1.515 (12/30)	1.704-1.705 (1/34), 1.705-1.715 (34/35)		K-Ah 混在
TUZN-1-5	1.509-1.517 (30/30)	1.706-1.713 (35/35)		K-Ah 混在
TUZN-1-6	1.510-1.520 (28/29) (1.501 含む)	1.702-1.705 (4/35), 1.705-1.714 (31/35)		K-Ah 混在? (含有量非常に少ない)
TUZN-1-7	1.495-1.502 (29/31), 1.505-1.511 (2/31)	1.692-1.702 (21/35), 1.708-1.716 (14/35)		
TUZN-1-8		1.700-1.704 (6/35), 1.708-1.715 (29/35)		
TUZN-1-9		1.691-1.699 (22/35), 1.702-1.706 (6/35), 1.710-1.714 (7/35)		
TUZN-1-10		1.691-1.704 (26/35), 1.709-1.714 (9/35)		
TUZN-1-11	1.494-1.502 (25/30), 1.510-1.514 (5/30)	1.691-1.702 (17/35), 1.709-1.718 (18/35)		ローカルテフラ+K-Ah 混在
TUZN-1-12		1.691-1.701 (16/35), 1.707-1.718 (19/35)		

c) 全岩化学組成分析

コア GS-UZNL-1 及び GS-UZNL-2 に分布する凝灰角礫岩及び火山礫凝灰岩中と周辺の溶岩・火砕流との対比を行うことを目的として、コア GS-UZNL-1 から 3 試料、コア GS-UZNL-2 から 3 試料の計 6 試料の岩塊を採取し、蛍光 X 線分析により全岩化学組成を求めた。なお、分析に際しては、基本的に顕著な酸化を受けていない灰色部分を対象とした (図 20)。ただし、試料 WUZN-1-3 については、灰色の試料 WUZN-1-2 と一続きの岩塊の酸化部分であることから、酸化の程度が化学組成に与える影響を検討するために錆色部分について分析を行なった。なお、図 20 に示すように、コアに見られる凝灰角礫岩及び火山礫凝灰岩は長径が最大 1 cm を上回る斜長石など大きな斑晶で特徴付けられる。そのため、分析結果における斑晶鉱物の影響を考慮して、各試料について 40 g 以上を微粉碎し、分析を行なった。分析はパリオ・サーヴェイ株式会社に依頼した。全岩化学組成の分析試料一覧を表 5 に、分析結果を表 6 にそれぞれ示す。

分析の結果、6 つの試料はいずれも非常に似た化学組成を示していることが明らかになった。一続きの岩塊のうち、酸化を受けて錆色を呈する試料 WUZN-1-3 と灰色の試料 WUZN-1-2 では結果に大きな違いは認められない。また、 $\text{SiO}_2$ wt% が 62.60~63.73、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ wt% が 5.74~6.02 であり、これらを TAS (Total Alkali-Silica) 図にプロットすると、いずれも



デイサイトであることが判明した (図 21)。岩相に加えて、こうした化学組成の類似性から、断層の南側のコア GS-UZNL-1 と北側のコア GS-UZNL-2 に見られる凝灰角礫岩及び火山礫凝灰岩は、本質的には同一の火山活動に伴い形成されたものと判断される。

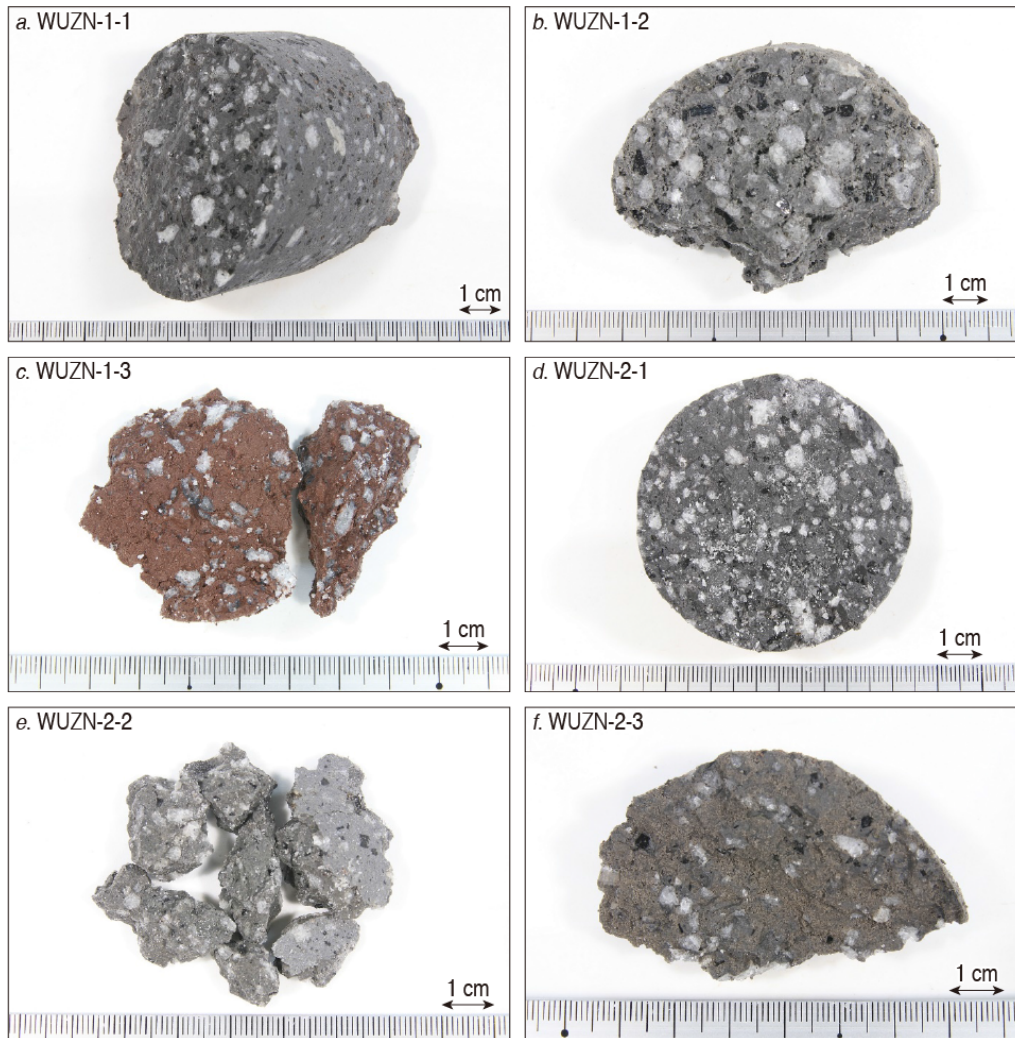


図 20 全岩化学組成分析試料写真

表 5 ボーリングコアから採取した全岩化学組成分析試料一覧

試料名	採取コア名	深度 (m)	重さ (g)
WUZN-1-1	GS-UZNL-1	17.10	244
WUZN-1-2	GS-UZNL-1	18.45	90
WUZN-1-3	GS-UZNL-1	18.75	68
WUZN-2-1	GS-UZNL-2	1.95	150
WUZN-2-2	GS-UZNL-2	4.15	48
WUZN-2-3	GS-UZNL-2	6.75	80

表6 ボーリングコアから採取した岩塊試料の全岩化学組成分析結果

試料名	WUZN-1-1	WUZN-1-2	WUZN-1-3	WUZN-2-1	WUZN-2-2	WUZN-2-3	
全岩化学組成 (質量%)	SiO <sub>2</sub>	63.65	63.55	63.73	62.69	62.60	62.63
	TiO <sub>2</sub>	0.59	0.62	0.62	0.66	0.70	0.64
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.83	15.22	15.55	15.84	15.82	15.89
	T-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4.38	4.54	4.71	4.84	5.06	4.72
	MnO	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10
	MgO	2.35	2.41	2.53	2.73	2.82	2.57
	CaO	4.92	4.67	4.86	5.05	4.89	4.96
	Na <sub>2</sub> O	3.61	3.52	3.52	3.56	3.46	3.58
	K <sub>2</sub> O	2.36	2.50	2.40	2.28	2.28	2.30
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.17
	Total	97.95	97.29	98.19	97.93	97.91	97.56

\*全鉄をFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に換算した値。

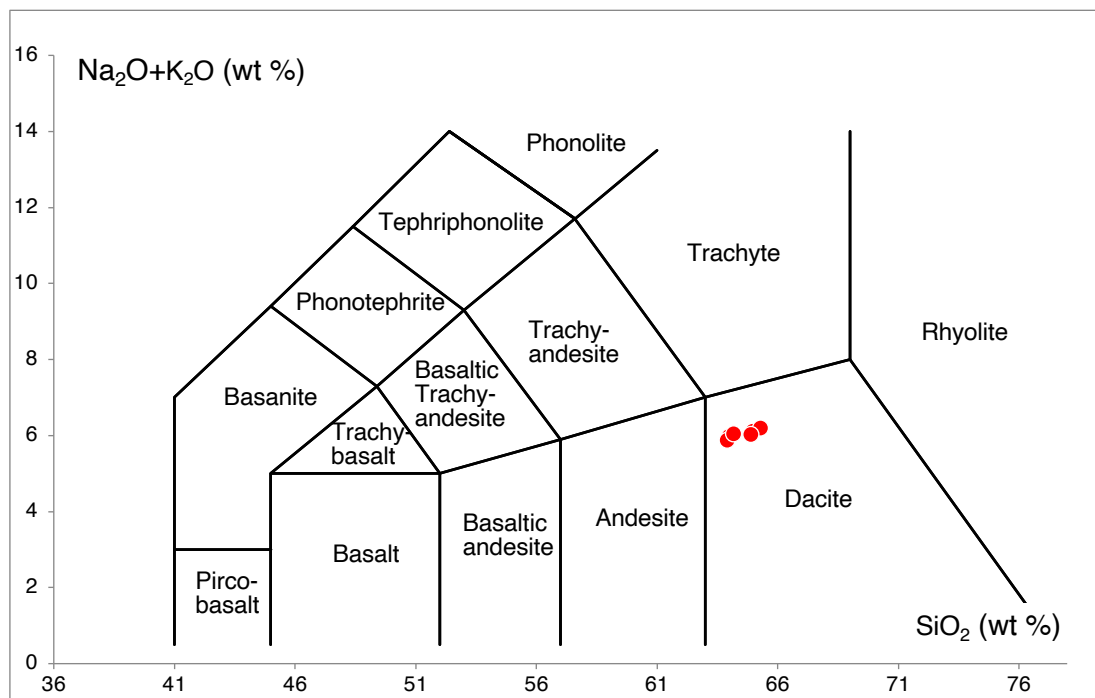


図21 ボーリングコアから採取した岩塊試料のTAS (Total Alkali-Silica) 図  
 図中の境界線はLe Maitre (2002)に基づく。図中の赤丸が全岩化学組成分析結果をプロットしたもの。

雲仙火山では、これまでに代表的な溶岩や火砕流堆積物について全岩化学組成分析が実施されている(渡辺・星住, 1995)。その化学組成と本調査における分析結果を比較すると、本調査で得られた岩塊の組成は、調査地点南方の妙見岳火山主火山体のそれ(渡辺・星住, 1995の表1のNo. 6; 図2のWH6)と類似している。妙見岳火山主火山体については、星住・他(1994, 1995)によりK-Ar年代値が、山縣・他(2004)により熱ルミネッセンス年

代値が、それぞれ報告されている。それによると、図2に四角ピンクで表示した地点4266と地点4272でのK-Ar年代値は、 $25 \pm 10$  kaと $28 \pm 2$  kaを示す。一方、普賢岳周辺で多数の熱ルミネセンス年代測定を実施した山縣・他(2004)は、妙見岳火山主火山体が北部の国見岳溶岩と南部の妙見岳溶岩に区別され、両者は鉱物組成にも顕著な違いがあることを報告している。熱ルミネセンス年代値は、図2中に赤ダイヤで示した国見岳溶岩で $25 \pm 4$  ka(加重平均、以下同じ)、青ダイヤで示した妙見岳溶岩で $15 \pm 2$  kaと両者には有意な違いが認められる。妙見岳火山主火山体のK-Ar年代値のうち、地点4266の $25 \pm 10$  kaは誤差の範囲では、国見岳溶岩と妙見岳溶岩の熱ルミネセンス年代範囲内に収まるが、地点4272での $28 \pm 2$  kaは、妙見岳溶岩の年代範囲と重なり合わず、有意に古い。本調査で得られた岩塊の化学組成から、ボーリング地点の凝灰角礫岩及び火山礫凝灰岩は、妙見岳火山主火山体に対比され、また、今回のボーリング調査地点が山縣・他(2004)による国見岳溶岩の分布範囲に含まれることから、その堆積年代は、国見岳溶岩の熱ルミネセンス年代値に近接していると推定される。

したがって、以下のボーリング調査地点周辺の火山斜面の鉛直隔離から推定される上下変位量に基づく変位速度の見積りに際しては、凝灰角礫岩から構成される火山斜面の形成年代として山縣・他(2004)による国見岳溶岩の熱ルミネセンス年代値( $25 \pm 4$  ka)の平均値である約25 kaを採用する。

#### 5) 変位速度の見積もり

2) で述べたように、雲仙断層群北部を構成する断層のうち、国見岳北断層及び九千部南断層については、約25 kaに形成されたと推定した火山斜面に少なくとも2回の活動を示す累積変位が認められた。一方、九千部断層では湯江川火砕流堆積物堆積後の活動を示す明瞭な地形表現は認められなかった。また、千々石断層については、新期の活動の可能性を示唆する低崖が調査地域内では3地点で認められたが、更新世後期以降の複数回の活動を示す地形表現は認められなかった。したがって、以下では地形面(火山斜面)に複数回の変位が記録している国見岳北断層及び九千部南断層について、約25 ka以降の平均変位速度を検討する。

すでに述べたように、地形断面図から見積もられる断層変位に関する情報は、地形面の鉛直隔離と崖高であり、それらは断層面の傾斜が鉛直あるいは地形面が水平の場合を除いて、実際の断層変位の上下成分とは一致しない。逆向き断層崖の場合、今回の調査で計測の対象とした地形面の鉛直隔離は、地形面の勾配が大きくなるほど上下変位よりも大きくなる。地形断面図から算出された国見岳北断層の分布範囲及び九千部南断層の分布範囲における火山斜面の勾配は、それぞれ約 $30^\circ$ 、約 $20^\circ$ である。このように地形面の勾配が急な場合、既往調査結果に基づいて断層面の傾斜を $70 \sim 80$ 度と急傾斜を仮定した場合でも、鉛直隔離と上下変位の差は無視できない。そこで、上下変位の見積りに際しては、式(1)を用いて地形面の鉛直隔離から上下変位へ変換した。式(1)に測線004における国見岳北断層による火山斜面の鉛直隔離( $7.7 \pm 0.6$  m)、 $\alpha$  ( $30^\circ$ )及び $\theta$  ( $70 \sim 80^\circ$ )を与えると、上下変位は、 $5.9 \sim 7.5$  mに変換される。同様に、式(1)に測線107における九千部南断層による火山斜面の鉛直隔離( $21.0 \pm 1.0$  m)、 $\alpha$  ( $20^\circ$ )及び $\theta$  ( $70 \sim 80^\circ$ )を与えると、上下変位は、 $17.7 \sim 20.7$  mに変換される。これらの値と火山斜面の推定形成時期(約25

ka) から、国見岳北断層、九千部南断層における約 25 ka 以降の上下方向の平均変位速度は、それぞれ約 0.2～0.3 m/千年、約 0.7～0.8 m/千年と推定される。

(c) 令和 2 年度の業務の成果

なし

(d) 令和 3 年度の業務の成果

なし

(e) 結論

本調査では、既往の調査成果からは評価に採用できるほどの信頼度があるとは言えないため、地震調査研究推進本部地震調査委員会（2006）では、参考として記述するに留められている雲仙断層群北部の平均変位速度について、信頼度の高い情報を取得することを目的としている。同断層群中部の普賢岳北方地域を対象として、既存資料を整理した上で、航空レーザ計測地形データに基づく断層運動による地形面の鉛直隔離の計測、地形面の構成層の確認及び形成年代推定のためのボーリング調査、ボーリングコア試料の年代測定及び化学分析を実施し、それらに基づいて信頼度の高い平均変位速度を検討した。その結果、形成時期が約 25 ka と推定された火山斜面に国見岳北断層、九千部南断層による累積変位が認められ、約 25 ka 以降の上下方向の平均変位速度が、それぞれ約 0.2～0.3 m/千年、約 0.7～0.8 m/千年と推定された。一方、九千部断層及び千々石断層に沿っては、後期更新世以降に繰り返し活動したことを示す地形学的証拠は見出せない。ただし、九千部断層については、今回の微地形の検討から 17～10 ka 頃に形成された湯江川火砕流堆積物堆積面や新期の段丘状の平坦面に断層変位が認められないのに対して、同断層沿いでは K-Ah 降灰以降の活動を示す断層露頭が報告されており、この矛盾についてさらに検討する必要がある。また、千々石断層では、その延長部やその近傍で湯江川火砕流堆積物堆積面や新期の段丘状の平坦面に断層変位の可能性を示唆する低崖が認められた。ただし、それらにはそれらの地形面形成以降の累積変位の証拠が認められないため、平均変位速度の算出は行っていない。今後、これらの低崖が千々石断層の活動によるものか検討することが今後の課題である。さらに、国見岳北断層に沿って、極めて新しい時期に活動した可能性を示す低崖が検出された。雲仙断層群北部の最新活動時期を明らかにする上で、この低崖の形成時期を検討する必要がある。

（謝辞）

産業技術総合研究所の星住英夫氏には、星住・他（1994, 1995）の K-Ar 年代測定及び渡辺・星住（1995）の表 1 に示された化学組成分析の試料採取位置をご教示いただくとともに、雲仙火山の地形・地質について現地で解説していただきました。地形解析には、国土交通省国土地理院が管理する航空レーザ計測データを使用しました。以上の皆様に厚く感謝いたします。

(f) 引用文献

Bronk Ramsey, C., Bayesian analysis of radiocarbon dates, Radiocarbon, 51, 337-

- 360, 2009.
- Caskey, S. J., Geometric relations of dip slip to a faulted ground surface: new nomograms for estimating components of fault displacement, *Jour. Struct. Geol.*, 17, 1197-1202, 1995.
- 星住英夫・宇都浩三, 雲仙火山の形成史, *月刊地球*, 22, 237-245, 2000.
- 星住英夫・宇都浩三・松本哲一, 4.1 雲仙火山, 日本地質増補版編集委員会編, 「日本の地質 増補版」, 共立出版株式会社, 337-339, 2005.
- 星住英夫・宇都浩三・渡辺一徳, 雲仙火山の K-Ar 年代測定—新期雲仙火山の発達史—, *火山学会講演予稿集*, 1994 (2), 93, 1994.
- 星住英夫・宇都浩三・渡辺一徳, 雲仙火山の K-Ar 年代測定 (続報)—雲仙火山の発達史—, *火山学会講演予稿集*, 1995 (2), 99, 1995.
- Hoshizumi, H., K. Uto and K. Watanabe, Geology and eruptive history of Unzen volcano, Shimabara Peninsula, Kyushu, SW Japan, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 89, 81-94, 1999.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「雲仙断層群の評価 (一部改訂)」, 48p, 2006.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「布田川断層帯・日奈久断層帯の評価 (一部改訂)」, 66p, 2013.
- 国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所, 「空中写真で見る平成新山」, 2016.
- Le Maitre, R. W. (ed.), *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms*, 2nd Edition, Cambridge Univ. Press, 236p, 2002.
- 町田 洋・新井房夫, 「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, 336p, 2003.
- 松岡數充・竹村恵二, 雲仙地溝北縁・千々石断層の過去約 6000 年間の変位—長崎県唐比低地のボーリング調査結果に基づいて—, *地質学論集*, 41, 43-52, 1993.
- 松岡 暁・堤 浩之・竹村恵二, 雲仙活断層群の第四紀後期における活動—千々石町におけるトレンチ掘削調査と普賢岳北斜面で確認された断層露頭の解析—, *活断層研究*, 24, 199-207, 2004.
- 松岡 暁・堤 浩之・竹村恵二・星住英夫・松本哲一, 雲仙活断層群の変位速度と活動史, *活断層研究*, 25, 135-146, 2005.
- 守安 誠・奥野 充・高島 勲・長岡信治・阪口和則・鮎沢 潤, 新期雲仙火山, 古江・礫石原・湯江川火砕流堆積物の熱ルミネセンス年代, *福岡大学理学集報*, 38, 53-62, 2008.
- 長崎県, 「平成 14 年度 地震関係基礎調査交付金「雲仙活断層群に関する調査」成果報告書」, 242 pp, 2003.
- 長崎県, 「平成 15 年度 地震関係基礎調査交付金「雲仙活断層群に関する調査」成果報告書」, 1-1-8-1, 2004.
- 長崎県, 「平成 16 年度 地震関係基礎調査交付金「雲仙活断層群に関する調査」成果報告書」, 1-1-10-3, 2005.
- 中田節也, 雲仙火山で実施した火道掘削, *地学雑誌*, 122, Cover02-1-Cover02-2, 2013.
- Nakada, S., K. Uto, S. Sakuma, J. C. Eichelberger and H. Shimizu, *Scientific*

- Results of Conduit Drilling in the Unzen Scientific Drilling Project (USDP), Scientific Drilling, 1, 18-22, 2005.
- Reimer, P. J., W. E. N. Austin, E. Bard, A. Bayliss, P. G. Blackwell, C. Bronk Ramsey, M. Butzin, H. Cheng, R. L. Edwards, M. Friedrich, P. M. Grootes, T. P. Guilderson, I. Hajdas, T. J. Heaton, A. G. Hogg, K. A. Hughen, B. Kromer, S. W. Manning, R. Muscheler, J. G. Palmer, C. Pearson, J. van der Plicht, R. W. Reimer, D. A. Richards, E. M. Scott, J. R. Southon, C. S. M. Turney, L. Wacker, F. Adolphi, U. Büntgen, M. Capano, S. M. Fahrni, A. Fogtmann-Schulz, R. Friedrich, P. Köhler, S. Kudsk, F. Miyake, J. Olsen, F. Reinig, M. Sakamoto, A. Sookdeo and S. Talamo, The IntCal20 Northern hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP), Radiocarbon, 62, 725-757, 2020.
- Smith, V. C., R. A. Staff, S. P. E. Blockley, C. Bronk Ramsey, T. Nakagawa, D. F. Mark, K. Takemura, T. Danhara, and Suigetsu 2006 Project Members, 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, Quat. Sci. Rev., 67, 121-137, 2013.
- 堤 浩之・石村大輔・岡田真介・熊原康博・楮原京子・千田 昇, 1:25,000 都市圏活断層図 雲仙断層群とその周辺「雲仙」, 国土地理院技術資料, D1-No.739, 2015.
- 渡辺一徳・星住英夫, 「雲仙火山地質図 1:25,000」, 火山地質図 8, 地質調査所, 1995.
- Xu, S., H. Hoshizumi, K. Uto and Freeman, S. P. H. T., Radiocarbon dating of Fugendake volcano in Unzen, SW Japan, Radiocarbon, 55, 1850-1861, 2013.
- 山縣武彦・高島 勲・渡辺公一郎・井沢英二, 熱ルミネッセンス法による新期雲仙火山溶岩ドームの年代測定: 妙見岳火山以降 2 万 5 千年の噴火活動史, 火山, 49, 73-81, 2004.
- Yang, X., W. Li and Z. Qin, Calculation of reverse-fault-related parameters using topographic profiles and fault bedding, Geod. Geodyn., 6, 106-112, 2015.