

# 雲仙火山掘削の科学的意義

宇都浩三<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

雲仙科学掘削プロジェクトは、文部科学省の科学技術振興調整費総合研究で行っているプロジェクトで、正式な名称を「雲仙火山：科学掘削による噴火機構とマグマ活動解明のための国際共同研究」といい、平成11-16年度の6年計画で行っています。このプロジェクトは、産業技術総合研究所が単独で行っている研究ではなく、東京大学地震研究所、九州大学地震火山観測研究センターをはじめ日本の14の研究機関が参加しています。それとともに、アメリカの地質調査所、アラスカ大学、ドイツのミュンヘン大学、ハノーバー大学をはじめ、6以上の外国の研究所も参加する世界的なプロジェクトであり、ドイツに本部がある国際陸上科学掘削計画(ICDP)からも掘削費用の一部を拠出されることになっています。私は、本プロジェクトの国内研究組織の研究代表者をつとめており、産総研地質調査総合センターはプロジェクトの特に前半3年間の中心的な役割を担っています。地質調査総合センターの活動の一例として、雲仙科学掘削プロジェクトの概容を説明します。

九州には、久住、阿蘇、霧島、桜島、開聞岳と、中心部を南北に並ぶ多くの活動的火山がありますが、雲仙火山はそれらの火山から西側に約60km離れて存在する例外的な活火山で、火山フロント上の他の活火山とは多少違った特徴を持っています。雲仙火山の直下では、九州に沈み込むフィリピン海プレートに由来する深い地震が全く起こっていません。それとは対照的に、地殻内部での浅い微小地震が多数起こっており、雲仙火山の位置する島原半島中央部に東西に群集して分布していません。別府から島原にかけては、たくさんの正断層が



写真1 講演する宇都浩三氏。

走っており、別府-島原地溝と呼ばれる地溝帯になっていますが、この正断層群は、雲仙火山の中央部を東西に横切って走っており、雲仙火山の中央部は現在も年間2mmの速度で沈降し続けています。このように、雲仙火山は、琉球弧の背弧にあって、噴火による山体成長と断層運動による山体の沈降を繰り返す、やや特殊な火山です。

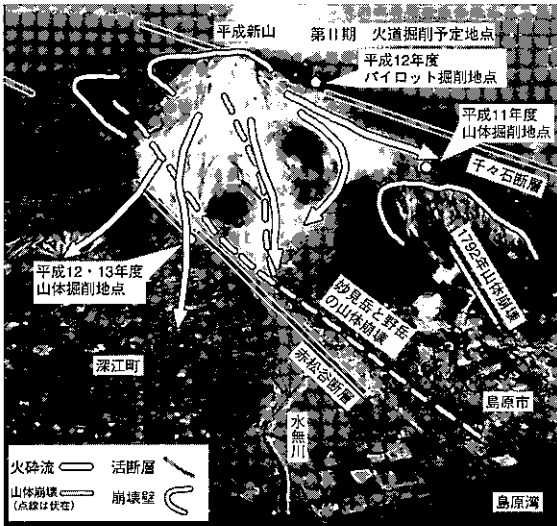
## 2. 雲仙火山1990-95年噴火

その雲仙火山は、約250年間の休止期を経て、1990年から95年の5年間という非常に長い期間にわたり噴火活動を行い、その際の予期せぬ規模の火砕流発生により、残念ながら合計で44名の尊い犠牲者をだしました。私どもにとっても痛恨の出来事でしたが、その長い火山活動の中で、多くの噴火観測によりマグマの動きや噴火のメカニズムについて多くの知見を得ました。

噴火の約1年前頃から島原半島の西側、橘湾の地下10kmで地震が起こり始め、震源は東に移動しながらだんだん浅くなり、雲仙西側の5-6kmの深さでマグマがいったん蓄積されたと思われる膨

1) 産総研 地球科学情報研究部門火山活動研究グループ

キーワード：雲仙火山、科学掘削、国際プロジェクト、研究紹介



第1図 雲仙火山の地形と科学掘削地点 (写真提供: アジア航測).

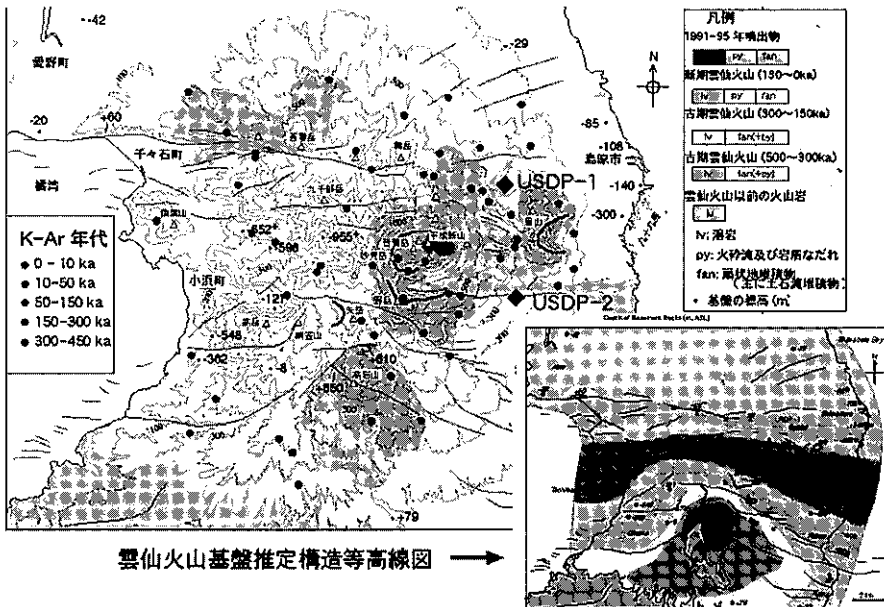
張がおこりました。その後、地震の震源は、普賢岳に向かって移動し、ついには火山活動が開始しました。このような明瞭な前兆現象をともないながら火山活動が始まり、溶岩ドームの下で多くの低周波地震や微動が起こっているとか、山体が膨張しているとか様々な火山現象を捉えることができました。

当時、地質調査所では、研究の一環として、マグ

マの貫入による普賢岳山体の膨張現象を、光波測距という方法を用いて観測を行いました。その結果、溶岩ドームが出現した1991年5月20日の直前に普賢岳の山体が急激に膨張するという現象を観測し、溶岩ドームの出現の予知として噴火観測に大きく貢献しました。また、地質調査所では、噴火活動の開始前から雲仙火山地質図の作成に取り組んでいましたが、調査の最中に噴火活動が開始されたため、最新の噴出物である1991-95年噴出物の分布を取り込んだ形で、雲仙火山の成り立ちを明らかにする詳細な地質図を作成しました。このように、我々は雲仙火山からたくさんのことを学びました。

### 3. 雲仙科学掘削の重要性と概要

前述のように雲仙火山は、日本の他の活火山に比べて多少特異な火山で、火山体を横切るたくさんの正断層により切り刻まれています(第1, 2図)。その結果、雲仙火山の中央部は、断層帯の外側である南北斜面に比べ大きく落ち込んでおり、雲仙地溝と呼ばれています(第2図)。第2図の右下は雲仙火山の基底の深度を海拔深度で示した図で、寒色が強いほど雲仙火山の底が深い位置にあるこ

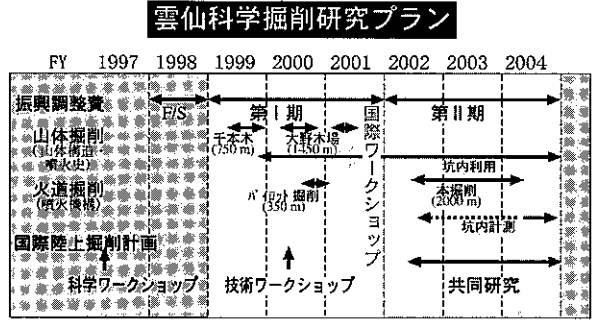


第2図 雲仙火山の地質概略図と基底等高線図(右下)図(星住ほか, 未公表資料).

とを示してあります。この図から雲仙地溝の内側ほど深く山体が落ち込んでいること、地溝の中心が雲仙の山頂から東側の側火山である眉山にかけて走っていることがわかります。雲仙火山の形成開始は約50万年前ですが、その時の噴出物が、火山体の中心部では海面下1,000m以上沈降しており、雲仙火山の過去の噴出物の大半が、地表にいる我々から見えない地下に埋もれていることがわかります。そのような雲仙火山の成長の歴史を明らかにし、将来の噴火の可能性を探るためには、地下に埋もれた過去の噴火の産物を掘り起こして解析することが重要です。そのためのもっとも有効な手段は地面に穴を掘って実際に岩石を採取すること、すなわち掘削です。

次に、1990-95年噴火の観測により、先ほど述べたようなマグマの上昇過程に関して多くの知見を得て、詳細なモデルが提案されました。しかし、それはいずれも地下において起こった現象であり、誰も直接確かめたものはいません。科学研究にとって重要なことは、観察により組み立てられたモデルが、正しいかどうかを別の手段を用いて検証することです。たとえば、医師が聴診器、レントゲンやMRIなどの様々な手段を使って、体の外側から体内の異常を探りますが、診断の正誤を確認するためには内視鏡を用いたり開腹手術をしたりして直接的に体の内部を検証します。噴火モデルを検証し、マグマが地下の浅い部分でどのような振る舞いをしたかを知るためには、そこに穴を掘り、マグマの通路である火道内で固結した岩石やその周辺の岩石を採取して研究することがもっとも確実な検証研究になります。

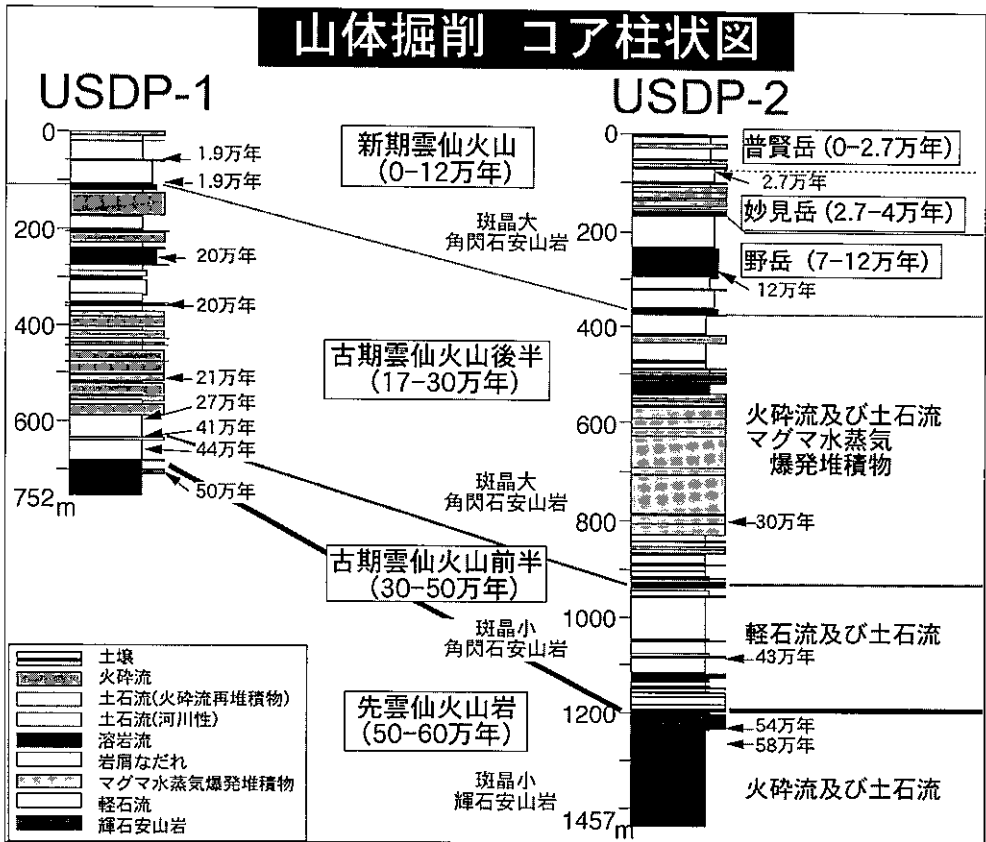
雲仙科学掘削のきっかけは、国際陸上科学掘削計画(ICDP)というドイツに本拠のある国際組織の資金援助を得て、東京大学地震研究所の中田節也教授とアラスカ大学のJohn Eichelberger教授が中心となって、平成9年6月に島原市で開催された国際科学ワークショップです。ここで、世界中の研究者が集まって、雲仙火山における科学掘削、とりわけ400℃以上の高温を保持している1990-95年噴火火道を掘り抜く火道掘削の科学的意義を認めました。それをもとに、私が研究代表者として平成10年度に当時の科学技術庁に対して、科学掘削を中心とした総合研究の提案を行いました。その結果、



第3図 雲仙科学掘削の研究スケジュール。

1年間のフィジビリティスタディを行ったあと、平成11年度から6年間の計画で本プロジェクトはスタートしました。

雲仙科学掘削プロジェクトは、平成11-13年度の第1期と平成14-16年度の第2期に分かれます(第3図)。第1期では、雲仙火山成長史の解明を主目的とした南東側および東側山麓の2箇所における山体掘削と放射年代測定、岩石学的研究を行うとともに、各種地球物理学的手法を用いた雲仙火山を含む島原半島の三次元構造の解析を行いました。また、マグマの上昇・脱ガスプロセス解明のための岩石学的地球化学的研究、さらには第2期で実施予定の火道掘削のための最適な掘削地点および掘削手法の検討を行うとともに、北側斜面においてパイロット掘削も実施しました。このうち、2本の山体掘削は、前身の地質調査所および現在の産業技術総合研究所地質調査総合センターが工事発注をして行いました。今年度から開始した第2期では、いよいよまだ高温状態を保持している1990-95年噴火のマグマの通路である火道を掘り抜くという世界でも例を見ない画期的な掘削を開始します。これは、文部科学省の研究費を中心とし、前述のICDPからの資金援助を得て、中田節也教授をリーダーとした国際的なプロジェクトとして実施されます。火道掘削およびそれにより採取された試料、得られた地球物理学データによるマグマの上昇・噴火機構の研究のほか、第1期で実施した山体掘削のコアや地球物理学的観測データの解析を推進し、雲仙火山および島原半島全体の発達史、3次元構造に関する総合モデルの構築を目指します。



第4図 雲仙火山, 第1期山体掘削のコア柱状図(星住ほか, 未公表資料).

#### 4. 第1期山体掘削の成果

第1期では、火山体の三次元構造および成長史の解明を主目的として、2本の山体掘削を行いました(第1図)。まず、平成11年度には雲仙地溝の北端に近い雲仙火山南東側斜面の島原市千本木地区において750mの掘削(USDP-1)を行いました。次に、平成12-13年度には、雲仙地溝の中軸部で雲仙火山の東側山麓にあたる深江町大野木場において1,460mの掘削(USDP-2)を行いました。この2本の掘削は、産業技術総合研究所の研究分担として、得られたコアの記載、各種分析および解釈も中心的役割を果たしました。いずれも雲仙火山の噴出物を掘り抜き、95%を超える高い回収率で円柱状の岩石(コア)を採取することが出来ました。2本の掘削により得られたコア柱状図をこれまでに得られた放射年代と共に第4図に示します。

まず、地溝の北端に近い位置で掘削したUSDP-1

では、当初の予想通り地表から750mの所で雲仙火山の基底に達し、その下の雲仙火山の直前に活動した塔ノ坂安山岩といわれる50万年前の輝石安山岩まで到達しました。雲仙火山噴出の最下位には、最近の雲仙火山の噴火では全く認められない爆発的噴火の産物である軽石質火砕流堆積物も見つかかり、雲仙火山の誕生直後には、現在とは異なるタイプの噴火をしていたことが明らかになりました。また、驚くべきことには、約20万年前のおそらく1-2万年間に、火砕流を発生させるような噴火が20回以上も繰り返し発生していたことが判明しました。これまでの地表における地質調査では、同じ頃には、雲仙火山の西側に露出しているような厚さ数十mを超えるような厚い溶岩流を主体とする噴火が繰り返したと推定されていました。しかし、実際は火砕流が繰り返し発生していたわけで、雲仙火山の噴火の歴史において1990-95年噴火のような火砕流噴火は特殊なものではなく、むしろ一

一般的な噴火であったことも明らかになりました。また、低い土地を選んで堆積するような火砕流堆積物およびそれらが降雨により再移動して堆積した土石流堆積物が、1-2万年間のうちに500m以上も厚く堆積したことから、雲仙地溝は20万年前には、頻発する火山噴火と連動して大きく沈降したことも示唆されます。

次に、東側山麓のUSDP-2地点は、雲仙地溝の中軸部にあつて最も沈降量が大きく、繰り返し供給された過去の噴出物が1,000m以上も堆積していると推定されていました。掘削の結果、事前の推定よりも100mほど深い地表から約1,200mの深さで雲仙火山の基底部にあたり、その下でやはりこの50万年前の輝石安山岩である塔ノ坂安山岩に到達しました。当初の計画では、1,400mの掘削によりさらに古い火山噴出物あるいは基盤の先新第三系堆積岩に到達したいと考えていましたが、予想を超える地溝の沈降量によりそこまで到達することができず、当初予定から60mを増し掘りした1,460mにて残念ながら掘削を終了しました。この掘削においても、溶岩流はわずかしか出現せず、火砕流堆積物およびその再堆積物である土石流堆積物が大半を占めています。この掘削のコアについては、現在も詳細な放射年代測定を継続しており、雲仙火山の50万年の歴史を詳細に解明しようと努力しています。

USDP-2コアで特徴的なものは、いくつかの山体崩壊堆積物の存在とマグマ水蒸気爆発の噴出物です。雲仙火山では一つ前の噴火である1792年噴火時の地震活動で、側火山である眉山が大きく崩壊し、その物質が有明海に流入して津波を起こし、合計で1万5千名もの死者を出す大災害が起きました。雲仙山頂部の妙見岳、野岳にも、眉山のような崩壊の跡が残っていますが、山麓部には崩壊堆積物が見つかりませんでした。USDP-1では、妙見岳起源と思われる山体崩壊堆積物が見つかりましたが、USDP-2ではさらに2枚の山体崩壊堆積物が発見されました。一方、マグマ水蒸気爆発堆積物は、マグマが地下水あるいは海水と接触して爆発的な噴火を行った産物であり、これらの堆積物が厚く存在することは、ある時期、地溝の沈降が著しく、マグマが比較的低い地形の場所で地下水あるいは海水と接触しやすい条件があった可能

性があります。これらの堆積物の研究は現在進行中で、詳細研究により新しい知見が得られるものと期待されます。第1期において、産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、これ以外にも火山ガス、地下水、火道形状および島原半島全体でのマグマ進化の研究を行い、めざましい成果を上げています。これについては、稿を改めて紹介する予定です。

## 5. 地元の期待と一般普及活動

多数の犠牲者と被害を出した噴火からまだ間もない時期に、噴火災害のあった場所あるいはその近くで掘削という大がかりな作業を行うにあたり、地元の方々との十分な理解と協力を得る必要があります。計画当初から、地元の島原市および深江町をはじめ、関係各機関には説明に上がり、協力をお願いをしてきました。幸い、各機関には大変好意的に対応して頂き、そのせいもあって地元の方々からも我々のプロジェクトに対して暖かい支援と積極的な興味を持って頂いています。なかでも、わざわざ今回の記念講演会に出席しご講演を頂く吉岡庭二郎島原市長は、計画当初から積極的なご支援を下さり、プロジェクト開始の初年度にはつくばの私どもの研究所まで来られ、地元自治体としての積極的な支援を約束して下さいました。また、我々のプロジェクトは新聞、テレビなどの報道機関に何度も紹介され、例えばNHKの「おはよう日本」の日曜特集として取り上げられたり、大手新聞の全国版に繰り返し紹介されています。

私たちは、このような地元の熱い期待に応えるべく、真剣な研究を続けていますが、私たちの研究成果を途中段階から積極的に市民の方々にお返しする努力を行っています。具体的には、平成11年度と12年度に、USDP-1、-2の掘削サイトにおいて、市民向けの掘削現場公開を行い、あわせて500名以上の見学者があり、我々の説明に耳を傾けて下さり、熱心な質問も多数頂きました。また、平成14年1月には、島原市においてプロジェクトの主体である文部科学省の主催による一般普及講演会を主催し、100名以上の市民に参加を頂き、我々の研究第1期の成果と第2期の展望について熱心に聞いて頂きました。さらに、我々の成果をいち早く公

開するため、長崎県からの要請に応じて平成14年7月に島原市に開館した島原災害復興記念館に対して山体掘削のコアを含め研究成果の展示コーナーに資料の提供を行いました。このコーナーは常設であり、今後末永く市民の方に見て頂けるものと期待します。

我々は、一般市民向けばかりではなく、実務に当たられている企業の方々にも成果の普及を心がけています。具体的には、2回の実務者対象のコア観察会を産業技術総合研究所の公式講習会という形で実施しました。1回目は、平成13年の7月に、USDP-2コアサイトに置いて2日間の日程で行いました。この時は45名の主に地質コンサルタント会社の技術者が参加し、上がったばかりの掘削コアを現場で観察すると共に、周辺の雲仙火山噴出物の地表露頭を見て、コアと地表噴出物の対比をしました。2回目は平成14年2月につくばの産業技術総合研究所内において地質学会関東支部との共催で実施し、約30名の方々がつくばに保管してあるコアを観察しました。最近では、火山防災に対する関心が高まりつつあり、特に火砕流と土石流の堆積物の識別法が地質技術者の間でも重要な課題となりつつあります。火砕流は空気を媒質とする高温の火山砕屑物の流れであり、土石流は100℃以下の水を媒質とする火山砕屑物の流れであり、発生様式や堆積様式が大きく異なりますが、多くの場合、降雨による火砕流堆積物の再移動として土石流が発生するため、堆積物の構成物質は殆ど同じということになり、地表露頭でも両者の判別は容易ではありません。ましてや、直径50mm足らずのコアだけで判別するのは大変困難です。これらの判別法について大変熱心に講習を受けて頂き、多数の質問を頂きました。全てに満足いく回答を差し上げられたかは分かりませんが、参加者には概

ね好評を頂きました。今後も、社会への還元を大いに心がけたいと思います。

## 6. おわりに

我々のプロジェクトも後半に入り、いよいよ世界に例のない火道掘削に挑戦します。予想もしない困難が待ち受けているかも知れません。また、掘削の主体は産業技術総合研究所を離れて、東京大学地震研究所の中田節也教授を中心に、東北地熱エネルギー株式会社掘削を実施する予定です。ですが、私は研究代表者を続けまし、産業技術総合研究所の研究者も研究の中心的役割を担います。

掘削予定地点は、いまだ災害の危険性があるとして警戒区域という立ち入りの制限された地域にあります。吉岡島原市長のご配慮により、きちんとした監視体制および避難体制を確立し安全に対する配慮を行うという前提で掘削関係者の立ち入りを許可して頂くことになりました。3年後に、無事に火道内の高温状態の岩石を手に入れられるよう、プロジェクトの関係者一同、努力したいと考えております。

最後に、本プロジェクトの発足から予算獲得およびICDPへの提案についてご指導頂いている文部科学省海洋地球課の関係各位、地元で便宜を図って頂いている国土交通省雲仙復興工事事務所、林野庁長崎森林管理署、環境省雲仙管理官事務所、長崎県島原振興局、長崎県雲仙公園事務所、島原市、深江町などの関係各位に厚くお礼申し上げます。

---

Uto Kozo (2002) : Scientific significance of the Unzen Scientific Drilling Project.

< 受付 : 2002年7月15日 >