

# 原子力施設における火山活動のモニタリングに 関する検討チーム（第3回会合）

原子力規制委員会

（注：この議事録の発言内容については、発言者のチェックを受けたものではありません。）

# 原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チーム

## 第3回会合 議事録

### 1. 日時

平成26年12月16日（火） 10:00～12:06

### 2. 場所

原子力規制委員会（六本木ファーストビル13階）A会議室

### 3. 出席者

#### 原子力規制委員会

石渡 明 原子力規制委員会 委員

#### 外部専門家

井口 正人 京都大学防災研究所 火山活動研究センター センター長 教授

石原 和弘 京都大学 名誉教授

篠原 宏志 独立行政法人 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 首席研究員

島崎 邦彦 東京大学 名誉教授

清水 洋 九州大学大学院理学研究院 附属地震火山観測所センター センター長  
教授

棚田 俊收 独立行政法人 防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 総括主任研究  
員

藤井 敏嗣 東京大学 名誉教授

#### 原子力規制庁

平野 雅司 技術総括審議官

櫻田 道夫 原子力規制部長

小林 勝 原子力規制部 安全規制管理官（地震・津波安全対策担当）

森田 深 原子力規制部 安全規制調整官（地震・津波安全対策担当）

安池 由幸 技術基盤グループ 専門職

(オブザーバー)

北川 貞之 気象庁 地震火山部 火山課長

飛田 幹男 国土交通省 国土地理院 地理地殻活動研究センター 地理地殻活動総括研究官

矢島 広樹 海上保安庁 海洋情報部技術・国際課 火山調査官

#### 4. 議題

火山観測の事例紹介など

#### 5. 配付資料

資料1 原子力施設に係る巨大噴火を対象とした火山活動のモニタリングに関する基本的考え方（案）

資料2 今後の検討事項（案）

資料3 桜島大正噴火の経緯概要

資料4 井口先生 発表資料

資料5 清水先生 発表資料

参考資料1 日本火山学会 巨大噴火の予測と監視に関する提言（平成26年11月2日）

#### 5. 議事録

○石渡委員 定刻になりましたので、ただいまから原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チーム第3回会合を開催します。

最初に、本日から新たに2名の方に会合に参加いただくことになりましたので、御紹介いたします。

京都大学の井口正人教授。

○井口教授 京都大学の井口でございます。よろしくお願いいたします。

○石渡委員 九州大学大学院理学研究院の清水洋教授。

○清水教授 九州大学の清水と申します。よろしくお願いいたします。

○石渡委員 よろしくよろしくお願いいたします。

なお、前原子力規制委員であられた東京大学名誉教授の島崎邦彦先生には、本検討チーム員として引き続き御参加いただきますので、よろしくお願いいたします。

それでは、ほかのメンバーにつきましても、事務局から改めて御紹介をお願いいたします。

○事務局 原子力規制庁の田上です。

お配りしております資料の一番上に、メンバーの名簿を入れてございます。その次に座席表がございます。座席表の順番に御紹介させていただきます。

まず、座長の原子力規制委員会委員、石渡明。

続きまして、東京大学名誉教授、藤井先生。

続きまして、産業技術総合研究所、活断層・火山研究部門、首席研究員の篠原先生。

続きまして、防災科学技術研究所、観測・予測研究領域、総括主任研究員の棚田先生。

続きまして、国土地理院、地理地殻活動研究センター、地理地殻活動総括研究官の飛田先生。

続きまして、気象庁、地震火山部、火山課長、北川先生。

続きまして、海上保安庁、海洋情報部、技術・国際課、火山調査官の矢島先生。

引き続きまして、京都大学名誉教授、石原先生。

続きまして、東京大学名誉教授、島崎先生。

続きまして、京都大学防災研究所、火山活動研究センター教授、井口先生。

続きまして、九州大学大学院理学研究院、附属地震火山観測所センター、センター長、教授の清水先生。

続きまして、原子力規制庁技術総括審議官の平野です。

続きまして、原子力規制庁原子力規制部長の櫻田です。

続きまして、原子力規制庁原子力規制部安全規制管理官（地震・津波安全対策担当）の小林です。

続きまして、原子力規制庁原子力規制部安全規制調整官（地震・津波安全対策担当）の森田です。

最後、原子力規制庁技術基盤グループ専門職の安池です。

以上が、メンバーでございます。

○石渡委員 それでは、皆様、どうぞよろしく願いいたします。

申し遅れましたが、本会合の進行役を島崎前委員より、私、石渡が引き継ぐことになりました。そこで、御挨拶を兼ねまして、本会合の目的と会合の進め方について、私の考えるところを手短に述べさせていただきたいと思っております。

日本における低頻度、高リスクの自然災害として、巨大台風などの気象災害や、巨大地震及び津波のほかに、巨大噴火がございます。富士山の宝永噴火あるいは桜島の大正噴火などは、大体噴出物の量が1~2km<sup>3</sup>程度の普通の噴火であります。例えば日本で最後の巨大噴火と言われている、約7,300年ほど前の九州南方の鬼界カルデラの噴火の噴出物の量は、大体150km<sup>3</sup>以上とされておりまして、富士山とか桜島の噴火の約100倍に達する大噴火であります。その火山灰というのは、東北の宮城県より南の日本各地に降り積もったということが確認されております。

鹿児島県の始良カルデラは、2.5万年~3万年ぐらい前に、噴出物量がさらに大きい450km<sup>3</sup>以上という巨大噴火を行い、その火山灰は北海道を含む全国に降り積もっており、その火砕流の堆積物は南九州で今なおシラス台地を形成していて、川内原子力発電所の敷地付近にまで火砕流が到達したという可能性がございます。

川内原子力発電所の稼働期間中に、このような巨大噴火が発生する可能性というのは極めて低いと考えられますが、今回、事業者から申請された同発電所の新しい保安規定では、万一を考えて、周辺地域の火山活動をモニタリングすること、そして、巨大噴火の危険性があると判断される場合は、原子炉の停止、あるいは核燃料の燃料体の搬出を行うこととしております。

火山と、それに関連する現象についての専門家から成るこの検討チームは、原子力規制委員会が、巨大噴火につながるような火山活動に対して適切に対応するために、火山学上の知見や考え方を整理するために、今年8月20日に設けたものであります。

これまでに2回の会合で議論を行ってまいりました。ここでは、火山活動に対する原子力施設の安全を確保するという観点から、過去の巨大噴火の事例研究や、最近の火山活動の傾向についての情報交換、火山活動モニタリングの技術的な問題点の検討、火山活動の評価方法や判断基準についての考察、火山活動モニタリングのシステム構築へ向けた議論などを行っていききたいというふうに考えます。メンバーの皆様には、本チームの目的に沿った活発かつ建設的な議論を進めていただくことを期待いたします。

それでは、まず、原子力規制庁から、配付資料の確認をお願いいたします。

○事務局 原子力規制庁の田上です。

本日の議事次第を御覧ください。そちらに配付資料を表記しております。まず、資料1、こちらが原子力施設に係る巨大噴火を対象とした火山活動のモニタリングに対する基本的考え方、資料2、同じく、今後の検討事項、いずれもこれは案でございます。資料3、桜島

大正噴火の経緯概要、資料4、井口先生の発表資料、資料5が清水先生の発表資料、参考資料1としまして、日本火山学会巨大噴火の予測と監視に関する提言(平成26年11月2日)が資料となります。

配付資料は以上でございます。

○石渡委員 ありがとうございます。

資料に不備などがございましたら、原子力規制庁のほうにお申し付けいただければと思います。

それでは、議事に移らせていただきます。

まず、モニタリングに関する基本的な考え方について、第2回会合でいただいた御意見をもとに、原子力規制庁が再度修正をしております。チーム員の皆様には事前にメール配信をいたしました。その後もコメントが届きましたので、さらに修正した版を準備しております。

まず、これについて、原子力規制庁から説明をお願いいたします。

○小林管理官 原子力規制庁の管理官の小林でございます。

資料の1と2をあわせて説明させていただきます。

今、御紹介ありましたように、前回の会合でいろいろ御指摘をいただきまして、それを修正したものでございます。その修正部分については赤い字で記してございます。

まず、第1パラグラフのところでございます。ここでは、この赤字のところでございますように、「VEI7以上の巨大噴火活動の可能性が十分低いと判断している。」ということと、それから、また、「原子力施設者が巨大噴火を対象とした火山活動のモニタリング」、括弧してございます。

この文については、特にモニタリングについては、事業者が公的機関によるデータを入手して分析するケースが多いと。自ら観測する例はあまりないということもありまして、括弧書きでつけ加えてございます。括弧書きを読ませていただきますと、「(既存観測網等による地殻変動及び地震活動の観測データ、公的機関による情報の収集・分析等)を実施する場合に関し、」というようなことをつけ加えさせていただきます。

次のパラグラフでございます。これは、このパラグラフ全体をつけ加えてございます。

「国内の火山活動情報としては、気象庁が防災の観点から火山活動の状況に応じた現在の「噴火警報」を発表するという運用を行っているが、噴火がいつ・どこで・どのような規模で起きるかといった的確な予測は困難な状況にある。」ということでございます。

それから、第3パラグラフ目、「他方、ここで議論するVEI6以上の巨大噴火については、発生が低頻度であるためにモニタリング観測例がほとんど無く」ということで、メールでお配りしたときには「観測例が無く」ということでございましたけど、今日、御欠席の中田先生のほうから、ピナツボは、これはモニタリングしていたということで、「ほとんど」という言葉をつけ加えるべきだというコメントがございまして、それをつけ加えてございます。

それから、ただし書きの部分でございます。「ただし、モニタリングで異常が認められたとしても、それをどの程度の巨大噴火の予兆なのか或いは定常状態からの「ゆらぎ」の範囲なのかを科学的に識別できないおそれがある。」ということで、これも中田先生のほうから御指摘ございまして、末尾に「懸念がある。」というような言葉をあえてつけ加えさせていただいてはいたしましたが、それはやっぱり削除すべきということで、「識別できないおそれがある。」ということで、断定したものとしてございます。

それから、1ページの一番下の部分でございます。「このため、原子力施設における対応には」、この辺、リードタイムということを書き加えるということで、「期間を要するものもあることも踏まえれば、」というようなことをつけ加えてございます。その後、赤字で書いてございますように、「予測の困難性や前駆現象を広めにとらえる必要性があることから、」というような文章もつけ加えてございます。

その後へ参りまして、2ページ目でございます。

なお書きの部分でございます。「国として巨大噴火の可能性を考慮した処置を講ずるためには、今後、国土防災計画とも連携して、住民の移住計画や噴火未遂時の経済損失の取扱い等に係る対応策」構築に向けて模索していく。」ということで、これも中田先生のほうから指摘ございまして、最後のところに「という指摘があった。」という表現を改めて、こういうような形で「構築に向けて模索していく。」というような言葉に直してございます。

一番最後のパラグラフでございます。ここでは、「巨大噴火の可能性を考慮した処置を講ずる判断の目安及びその設定・改定の考え方、」と、このようなことを今後、引き続いて検討していくということで、列記した部分を追加してございます。それから、「モニタリングの体制や取り組み方」、こういったものも引き続き検討していくべきだということなどを追加してございます。

最後に、※印でVEIの定義を書いてございます。火山爆発指数、VEI0～8の大きさがある

というようなことで、追記してございます。

それから、資料2のほうでございます。これについては、今後の検討事項(案)ということで、これを全て、この検討チームで検討するわけではなくて、当方のいろいろなセクションでの検討とか、それから、今行っております新規制基準の適合性審査会合、こういったものを通じての検討、いろんな形での議論があると思われまいますが、こういった形でまとめてございます。

1としまして、モニタリング方法の具体化等ということで、この中でつけ加えさせていただいたのが、三つ目の「モニタリング(観測・監視・評価)の体制や取り組み方」ということをつけ加えてございます。

それから、五つ目でございます。「巨大噴火の可能性を考慮した処置を講ずる判断の目安及びその設定・改定の考え方」、一番最後の「モニタリング結果の検証と基準への反映方法」ということで、前回のお示しさせていただいたものを修正したものを、今回、提出させていただきました。

私からは以上でございます。

○石渡委員 ありがとうございます。

ただいまの基本的な考え方の修正案について、もし、御質問あるいはコメントがございましたら、ちょっと議論をしたいと思います。

今回、いろいろ加わった部分がございますが、これ全部、この検討チームで全て最後までやるというわけではございませんで、このチームは、火山学上の知見や考え方を整理するというのが主眼でございますので、そこのところは御理解をいただきたいと思いません。

それでは、今の基本的な考え方、それから今後の検討事項の案につきまして、御意見のある方は、どうぞお手を挙げて、このボタンを押して御発言ください。何かございますでしょうか。よろしいでしょうか。

事前にお送りして、御意見を伺って、その上の修正案でございますので、特になければ。

どうぞ。

○北川火山課長 気象庁の北川でございます。

資料1の2ページ目の最初のパラグラフなんですが、この国土防災計画というのは、具体的には何を示しているというのがちょっとよくわからない部分があるんですが。実際、こういったものを担当されている内閣府の防災等にも御意見等をお伺いすればと思いますが、



いかがでしょうか。

○石渡委員 小林管理官。

○小林管理官 管理官の小林でございます。

これにつきましても、内閣府のほうに相談させていただきたいというふうに考えてございます。

○石渡委員 よろしいでしょうか。

ほかにございますでしょうか。

どうぞ。

○櫻田部長 規制部長の櫻田でございます。

大変細かいところで、しかも、事務方からのコメントで恐縮なんですけど、資料1の最初のパラグラフの3行目の一番最後のところですが、「原子力施設者」という表現がありまして、これは原子力施設を設置して運転している人という、そういう意味であると思うんですけども、通常、法令用語では「原子力施設設置者」とかという言い方をしているので、そのようにさせていただいたほうが紛れがなくてよろしいかなと思います。

○石渡委員 小林管理官、それでよろしいですか。

○小林管理官 はい、修正させていただきます。

○石渡委員 ほかにございますでしょうか。

石原先生。

○石原名誉教授 石原です。

今のところですが、「原子力施設設置者が巨大噴火を対象とした火山活動のモニタリング」で、その括弧のところですが、これの意味するところは、原子力施設設置者は火山のモニタリングといたしますか、実際の観測等はしないということなのか、ちょっとその意味がよくわかりません。

○石渡委員 小林管理官のほうから説明をお願いします。

○小林管理官 しないというわけではなくて、中田先生からもメールでコメントがあったんですけど、モニタリングを全て事業者がやるというような認識を持っておられる方もいらっしゃるものですから、そうではなくて、やはりそういった公的なデータも入手して分析することもあるし、自ら観測する場合もあるということを強調するために、この中で括弧書きであえて記させていただきました。

○石渡委員 よろしいでしょうか。

○石原名誉教授 はい。

○石渡委員 ほかにございますでしょうか。

ほかにございませんでしたら、そうしますと、今ちょっとした文言の修正、「原子力施設者」というのを「施設設置者」にするというような文言の修正がございました。あと、国土防災計画の件については、内閣府のほうと今後相談していくということです。

基本的考え方につきましては、これで、皆さんの間で共通の認識が持てたというふうに思いますが、そういうことでよろしいでしょうか。

じゃあ、一応そのように理解します。

基本的な考え方に関連して、参考資料1というのを用意してございます。これは先月開催された日本火山学会の秋季大会において、石原先生が委員長を務められている原子力問題対応委員会より公表された「巨大噴火の予測と監視に関する提言」というものでございます。

これについて、石原先生から簡単に御紹介をいただきたいと思っております。よろしいでしょうか。

○石原名誉教授 はい。

○石渡委員 よろしくお願ひします。

○石原名誉教授 ここに書いてございますように、昨年、内閣府のほうから、大規模火山噴火災害対策に対する提言というのと、同時にといいますか、全く独立ではありますけれども、原子力発電所の火山影響評価ガイドというものが出てきております。ともに火山学会会員が何らかの形で関わるというようなことが当然あるわけでありまして、そういう中で、基本的に巨大噴火の予測・監視、あるいは原子力施設に対する影響等の評価に関しては、基本的に火山学会の会員がどういうことを踏まえて認識を持つべきであるかということ、それから同時に、こういう問題に関わる現在の火山学の知見等を踏まえて、社会あるいは関係の機関等に対するメッセージということで出しております。ですから、これは火山学会の原子力問題対応委員会と、そこが火山学会の会員も含めて出したものというふうに理解いただきたいと思っております。

この内閣府のほうの提言においては、富士山や桜島の大正噴火とか、そういうふうな、先ほど石渡委員がおっしゃったような大規模、それから、その程度の噴火に対しても、いまだ日本としては、この100年間、そういうのを経験していないということで、さまざまな問題がある。その中で、火山のモニタリングに関する専門家というのは極めて少ないと。

そういうふうなことで、今後、それを取り組むべきかというのをまとめているわけです。

一方で、原子力発電所の火山影響評価ガイドを見ますと、その前文等を見ますと、火山学あるいは火山噴火史のレベルを非常に過大に評価しておられる。その上で、電気事業者に対して、そういう火山噴火が原子力施設に対して影響評価を及ぼすということに関して、独自の判断をモニタリング、あるいは公的機関の指導、それから、同時に火山専門家の意見を聞いてやれというふうなことになっていまして、その間に非常に大きなギャップがあるというようなことがあったわけで、そういうことを踏まえて、これが、提言を出したということでもあります。

この中の要点だけ申し上げますと、巨大噴火の監視体制や噴火予測のあり方について、これは火山学会として取り組むべき重要な課題であると。同時に、こういう巨大噴火というのは、一つの機関あるいは地方にとどまるものではなくて、国全体の対策を講じる必要があつて、関係省庁を含めた協議の場が設けられるべきである。先ほどのところでは内閣府等も今後相談されると言っておられましたけれども、結構だと思いますけれども、それと同時に、協議の結果は、原子力施設の安全対策の向上にも活用されることが望ましいというふうに言っています。

それから、巨大噴火の予測に必要な調査・研究、これは、一つは基礎、応用の両面から推進する。成果は、気象庁等が出しています噴火警報に関わる判断基準の見直し、精度向上に活用されることが重要である。これは、今までも、第1回の会合でも申し上げましたが、小さな噴火から、大きな噴火、さらにもっと大きな噴火という発展もあるわけでありまして、現在の噴火警報は中小噴火、この数十年に経験したようなことでありまして、大規模噴火、桜島の正噴火、安永、富士山の宝永の噴火を必ずしも視野に入れていないということが背景にあつて、こういうことを書いております。

それから、最後の火山監視態勢や噴火警報の全般についてということは、とはいっても、現在、既に起きている問題、御嶽山の噴火等も含めましてですけども、そういう課題、それから、火山の調査・観測研究の現在を踏まえた将来のことを考えながら、国として組織的に検討する必要があるということを申しています。

最後に、噴火警報を、これは国民に対して、あるいは場合によっては、今後、原子力施設に対しても出てくるとは思いますけれども、それを有効に機能させるためには、噴火予測の可能性、限界、それから曖昧さの理解が不可欠である。同時に、火山影響評価ガイド等においては、そういう噴火予測の特性、あるいは現在の水準というものを十分理解した上で、

考慮した上で、慎重にそのようなものを作成されるべきであるというふうなことをまとめております。

なお、これは火山学会の——私個人のものではありませんし、特定の意見を申したものではなくて、火山学会の会員の中には、何らかの形で原子力施設に関わる方もたくさんおられます。そういうこと、それから一方では、否定的な方もおられますけど、それを含めた火山学会の全体の最大公約数の意見をまとめたものであるということ、理解いただきたいというふうに思っています。

以上です。

○石渡委員 ありがとうございます。

この提言の内容というのは、先ほどお示ししました、合意をいただきました本検討チームのモニタリングに関する基本的な考え方ということと、ほぼ一致しているものであるというふうに思いますが、そういう理解でよろしいでしょうか。

○石原名誉教授 個々にいろいろ出てくるとは思いますけれども、概ねは一致しているんだろうと思います。

それから、先ほど北川委員からも言われましたけど、やはり原子力規制委員会、規制庁だけではなくて、この問題というのは、やはり内閣府なり、あるいは人の何らかの避難とかになりますと、総務省、消防庁とかもいろいろ関わってくる問題ですから、あるいは国土全体の計画なら国交省も関わってくるわけですから、そういうことを含めてやるべきであるということを含めて考えますと、概ね先ほどまとめられたことと一致しているんだろうというふうに私は思います。

もしかしたら、そのほかの意見を持っておられる方もおられるかもしれませんので、確認いただければと思います。

○石渡委員 ありがとうございます。

ほかの方で、この点について何か御意見ございますか。よろしいでしょうか。

○小林管理官 規制庁管理官の小林でございます。

1点だけ、ちょっと確認させてください。この提言、原子力だけではなくて、いわゆる一般防災も、先ほど石原先生もおっしゃっていましたが、一般防災を含めた広い範囲でのこの提言だと思いますけど、このまま、この原子力問題対応委員会として検討されていくのでしょうか。それとも、対応委員会は、これでもう終わったということでございますか。

○石渡委員 石原先生、どうぞ。

○石原名誉教授 これは原子力対応委員会という名称は、とりあえず、今回の場合、昨年、この原子力影響評価ガイドが出たということで、こういうふうな名称、火山学会の理事会で決められて、それを指示されたということでやっております。

今後は少し広い意味で、名称はこの提言に沿ったような名称の委員会として、今後やっていくというふうなことを、べきであろうということを原子力問題対応委員会では言っております。あとは火山学会の理事会で検討いただくということで、今日、井口委員が火山学会の会長ですので、現在、今後どんなふうに今、理事会のほうで、この委員会のその後について考えておられるか、もし定まっておれば、意見を言っていたきたいと思いたすけども。

○石渡委員 あと、この提言の一番最後のところにございますが、「火山影響評価ガイド等の規格・基準類においては、このような噴火予測の特性を十分に考慮し、慎重に検討すべきである」というふうに提言では述べていらっしゃいますが、特性を十分に考慮することとはもちろんですが、火山噴火の場合は、とにかく事例が比較的少ないということもございますので、今後、例えば海外で新たに噴火が起きたとか、あるいは研究の進展に伴って新たな事実がわかったというような場合は、新知見をどんどん取り入れて考慮しながら、規格・基準等を見直していく必要があるというふうに考えますが、そういう理解でよろしいでしょうか。

○石原名誉教授 はい。そういうことでいいと思います。

それから、内閣府のほうにも幾つか、もっとかなり具体的なことが書いてあります。つまり、火山灰の影響というのはどの範囲に、どういう影響があるのか。範囲というのは、空間的なものと、いろんな分野ですね。さまざまな分野、交通からいろいろなことがありますけども、そういうことに関して、必ずしも現在の段階では理解、研究が進んでいるわけではないと。そういうものを今後やるべきであるということもありますので、そういうことを幅広く、そこを幅広く見た上で、そういう研究の進展を見た上で検討いただきたいということで、単に、いわゆる現象が起きるか起きないかだけではないというふうに理解いただきたいと思いたす。

○石渡委員 ありがとうございます。

これらの点につきまして、何かほかの方で、メンバーの方で、御意見のある方はございますか。よろしいでしょうか。

それでは、この会は一応12時半までを予定しておりますが、この会合では、過去の噴火事例とか、それから最近の火山活動の傾向につきまして情報共有を行い、チーム内で認識を共有したいというふうに考えております。

今日は、井口先生と清水先生に御紹介をいただくわけですが、巨大噴火というのは、これまでに、先ほどの基本的考え方の中にもございましたが、あまり噴火事例がございません。フィリピンのピナツボ山が火山爆発指数で5か6かというところで、90年代の噴火の例、これしかございませんので、国内でなかなかそういう大きな噴火というのが、これは幸いにしてということでありましょうが、最近100年間は起きておりません。

ちょうど100年前、桜島が大きな噴火を起こしました。桜島大正噴火です。この噴火の前後の経緯というものを私自身でまとめてみましたので、これは資料の3に、皆様に配付してございます。この資料3をもとにして、5分間ぐらいで簡単に、どういう経緯だったかということをお紹介したいと思います。よく御存じの方もいらっしゃるのですけれども、こういう公開の場での議論が必要かと思しますので、一応簡単に済ませますので、お聞きいただきたいというふうに思います。

まず、噴火の概要ですけれども、この資料は時系列順になっております。年代というか、日にちの順になっておりますが、御紹介は事項別にさせていただきます。

噴火の概要ですけれども、この噴火が起きたのは大正3年(1914年)1月12日でございます。冬のさなかです。午前10時5分ごろに発生しました。火山爆発指数が4と言われる噴火でありまして、これははっきり人数はわからないんですが、60人程度の死者と、恐らく2,000戸以上の家屋の全壊、焼失を出した。溶岩が多量に流出して、桜島の西側と、それから南東側に大きく溶岩が流れ出して、桜島が島だったんですけれども、このときに大隅半島とつながってしまったという大きな噴火でございます。

降り積もった火山灰は、大隅半島の桜島に近いところで、大体1.5mぐらい積もった。宮崎県の日南海岸付近でも10cm程度の降灰があったと言われております。一応溶岩とかも含めまして、全噴出量は2km<sup>3</sup>程度と言われております。最近数百年間では、日本では一番大きな噴火であろうと思います。

このリストの資料3の最初が1909年から始まっております。この1909年というのは噴火の5年前です。5年前になりますが、これはその年の暮れですので、大体ほぼ4年前ということなんです。このときに日向灘で海溝型の巨大地震、M7.6~7.9ぐらいの深発地震がございました。2年半前には奄美大島付近で、同じく海溝型のM8という地震があつて、このときは10数人の

死者が出たということでもあります。そういう海溝型の大きな地震が数年前に2回続けて起きたということです。

それから、噴火の直前の地震ということになりますと、半年ほど前から内陸直下型の地震が頻発しました。霧島の近くで——現在のえびの市の辺り、群発地震が起きた。それから、鹿児島県の西部、伊集院の辺りで、やはり群発というか、2回ほど続けて大きな地震がありました。

それから、噴火の一週間ぐらい前から、鹿児島市周辺で地震が頻発し、もちろん桜島でも地震が頻発するようになった。特に噴火の前日の11日には、有感地震が82回に達したということがございました。

桜島では、噴火の二日前から地震が特に激しくなったので、住民の方は、これは噴火があるかもしれないということで、もうその二日前から自主的に避難を始めたということです。

12日の朝に噴火が起きたんですが、その日の夕方、午後6時半ごろ、この桜島あるいは鹿児島付近を震源とするM7.1というかなり大きな直下型の地震が発生しまして、この地震でもって鹿児島市内で多数の死者が出た。ですから、火山噴火そのものによる死者と、この地震による死者は、大体同程度の被害が出ております。

周辺の火山の活動も、この時期、活発でありまして、数カ月前から霧島の活動が活発になって、桜島の噴火の2カ月前と1カ月前、そして、4日前、3回、霧島の火山が御鉢の火口から噴火しました。

1月から3月にかけて、口永良部、今日、御紹介がありますが、それから、中之島、薩摩硫黄島、諏訪之瀬島などでも火山活動があった。したがって、桜島だけが噴火したというわけではなくて、この周辺の火山も、この時期、相次いで数カ月前後の間に噴火していたということです。

それから、桜島では、半年前に薪を取りにいった母子が火山ガスを吸って死亡するという事件が半年前に起きています。噴火の三日ぐらい前から、これは多分マグマの熱が伝わってきて、地中の温度が高くなったせいだと思いますが、冬眠中のヘビとかカエルが穴からぞろぞろ出てきたということがあったそうです。

噴火の当日の早朝、10時ごろに噴火したんですが、その日の朝早く、桜島の南側の温泉場がございすけども、そういう複数の温泉場で湯が吹き上がったということがございす。

午前10時に噴火が起きたわけですが、このときの噴煙は高さ8kmぐらいに達したと。それで、爆発音は九州全域のほか、四国や山口県でも聞こえた。噴火の衝撃波というのは、遠く紀伊半島にまで伝わって、紀伊半島でも窓が揺れてがたがたしたり、そういう衝撃波が感じられたということです。

噴火の次の日から、13日から、先ほど申したように、西側と南東側の2方向へ溶岩の流出が始まった。月末まで、この1月の終わりまで約20日間、溶岩の流出が続いた。それまで島だった桜島が大隅半島と陸続きになってしまった。

噴火が激しかったのは一週間ぐらいでありまして、1月18日、6日後には大体静かになってきたと。東京帝国大学の当時の教授、大森房吉先生が、この18日に桜島に渡って、現地を視察されて、23日に大森博士が今後の噴火の危険はないであろうということを講演された。それ以後、実際、大きな噴火や溶岩流出などは起こらずに、4月の末ごろにはほぼ噴火が終息したと、こういう経緯だったということでございます。

これを見ますと、噴火というのは、決してその火山単独で突然に起きるというものではなくて、この場合は、直前直後に隣近所の火山がかなり噴火をした。それから、地震活動が非常に活発であったということがよくおわかりになるというふうに思います。

桜島大正噴火の経緯につきましては、以上でございます。

何か、これについて、コメント、御意見などございましたら、お願いいたします。

皆様よく御存じのことだと思しますので、特になければ、先へ進みたいと思ひます——どうぞ。

○石原名誉教授 これは、石渡先生、よくまとめておられるんですけども、その当時の鹿児島測候所長も言っていたんですけども、霧島のほうに注目してしまったわけですね。ですから、よく火山の場合でも、後になると、いろいろ大きな出来事の前にこういうことがあったということなんだけど、実際には、あるところの火山が噴火したというときに、それにばかり集中していると、概してそうなんですけど、ほかのところということもありますので、火山のモニタリングというのは、結構そのときに立ち戻って、その立場で見るとなかなかこれは難しいことで、そこら辺も踏まえた上で、モニタリングというものはやっぱり考えるべきだろうというふうに思います。簡単なコメントですけども、お願いいたします。

○石渡委員 貴重な御意見、ありがとうございます。

ほかにもございますでしょうか。よろしいでしょうか。



それでは、次に、今回からこのチームに新たに御加入いただいたお二人の先生から、火山観測、モニタリングの事例を御紹介いただきたいというふうに思います。

最初に、井口先生に、今年、噴火がありました口永良部島ほかでの観測事例に関してお話しいただき、次に、清水先生に、雲仙普賢岳での観測事例に関してお話しをいただきたいというふうに思います。

それでは、まず、井口先生からお願いいたします。どうぞよろしく。

○井口教授 京都大学の井口でございます。

ただいま御指名いただきましたので、火山噴火の前兆的活動の多様性と複雑性ということで、口永良部島・桜島の例を御紹介したいと思います。

それで、今回、私がこの委員会のほうに呼ばれたという理由は、やはり具体的な事例をきちんと整理して示すことであろうというふうに思っております。特に桜島のような活動的火山において、その現場において、要するに、どういう考え方をしているのかということをお話しするということが、私は重要であろうというふうに認識しております。

今回、口永良部島と桜島という例を挙げさせていただいたのは、一つは、口永良部島、今年の8月3日に噴火が起きました。これは非常に長期の、長期といっても15年なんですけども、前兆過程があって、それで、要するに、直前に変動が起こって爆発したという例であります。この前兆過程の中で、我々がどういうふうに考えてきたかということをお話ししたいと思います。

それから、桜島のほうですけども、これは、要するに、火山噴火そのものは、噴火発生頻度は低いものであります。特に巨大噴火となると、これはもうほとんどめったに起こるようなものではございません。ある意味、桜島というのは、それに比べたら噴火の規模は非常に小さいです。今起こっている昭和火口の噴火などは、その巨大噴火に比べれば、わずか100万分の1の大きさしかないという程度の取るに足らない噴火ではありますけれども、その噴火の発生頻度が非常に高い。つまり、昭和火口の噴火でも5,000回ほどの爆発が要するに起こっておるので、我々は、そこに対してデータを蓄積することができるわけでありまして、つまり、小規模とはいいいながら、これはやはり噴火は噴火なので、そこから我々は学ぶことがあるだろうというわけでありまして、今日は、その二つについてお話ししたいと思います。

口永良部島ですけども、これ、最後の噴火が1980年なんですけども、それ以前からも、噴火はよく起こっております。20～30年に1回ぐらいは噴火が起こっております、これは、

要するに、今回の2014年の噴火というのは、ある意味、予定どおり、噴火史から見たら、予定どおり起こったような噴火であったわけであります。

今年の噴火ですけれども、新岳の火口が破裂しまして、それで、噴石が大体1kmですね。それから、火砕流、これは低温火砕流と言っていいのかわかりませんが、それから、ブラスト、そういう熱風が大体2kmぐらいまでの距離まで到達したと、そういった噴火でございます。

次に、この前兆過程についてお話しします。これは京都大学のほうで観測しています地震計の月別の地震回数でございますが、1999年から月別の地震回数が急激に増えているということがわかります。オレンジと赤の矢印をつけているのは、気象庁のほうで臨時火山情報、それから2007年以降ですと、噴火警戒レベルが導入されておりますので、その途中でレベル2あるいはレベル3に上がったところをポイントとして示しておりますけれども、大学、気象庁とも、99年以降は、要するに、要注意ということで、警戒をもって、その監視と、それから観測を続けてきたのが口永良部島であります。

99年以降、地震活動は活発化していたんですが、それに同期して、下のほうが、これはGPSによるある観測点の変位ですけれども、確かに上下変動でも20cmぐらい、非常に大きいです。それから、水平変動でも、やはり20cm程度の変動が15年間にわたって続いていたということがわかります。ですから、前駆的な活動においては、地震活動と地盤変動というのは非常に有用であるということがわかるわけであります。

さらに言いますと、このオレンジで書いているところですが、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲというふうに書いているところがございまして、これが地震活動と地盤変動が連動して観測されたというわけです。つまり、2004年と2006年、2008年といった時代には、その地震活動も活発になるし、それとほぼ同時、もしくは若干先行しているんですが、要するに、地盤の膨張がちゃんと確認されていたわけでありまして、そういうような、要するに、2004、2006、2008のような活動の——それから、これはGPSの地盤変動です。これは山頂を中心として地盤が、要するに、膨張しているということがわかりますし、それから、地盤の膨張の中心というのは、地盤の膨張が観測されるのは山頂付近だけですから、その圧力源というのは極めて浅い場所にあるということがわかるわけです。山麓はほとんど動いていません。これはそのキャンペーン観測の一例でございます。

そういうような地震活動と地盤変動が連動して動くようなときになりますと、それから地表面の、これは、要するに、熱赤外装置を使いまして、空中からヘリコプターで撮った

ものでございますけども、やはり火口周辺の温度異常域の拡大、あるいは、要するに、温度の上昇ということが見てとれるわけでありまして。ですから、これで言いますと、要するに、2006年のほうが明らかに温度上昇、それから異常域の拡大ということが見えますし、そういう温度変化があるということは、地下でも既に温度変化が出ているということでもあります。

これは、全磁力測定によりまして、全磁力測定を行いますと、地下のある程度の深さのところの温度変化を反映した変化が出てきます。この結果を、あまり詳しくは申し上げませんが、2002年ごろから、その新岳の火口直下、深さで言いますと、500mのところまで温度上昇があったと。熱を蓄積していく過程が、地震活動や、要するに、地盤変動の活発化と同時にそれが観測されていて、温度も変わってきたと。地下においても温度が変わってきたということがわかるわけでありまして。

当然そういうような状態になってきますと、例えば2002年のときですと、噴気というのはなかったんですけども、2003年の4月ごろから、火口底の中に噴気が若干見られるようになってきて、そして、2008年の10月になりますと、火口の南の縁から白色噴煙が出てくるように明瞭に認識されるようになってきて、そして、その白色噴煙活動というのは、噴火が至るまで、ずっと続いてきたわけでありまして。

当然こういうような表面の活動が変わって、噴気ガスの様子が変わってきますと、その噴気ガスの組成というようなものが変わってきております。例えば、二酸化硫黄と硫化水素の比も増加しておりますし、これは見かけ平衡温度が上昇する、つまり、温度が上昇しているということを意味しますし、それから、水素の濃度も増加しているというようなデータが得られてきているわけでありまして。

それから、これは二酸化硫黄の放出率をはかってみますと、やはり2008年の地震活動の活発化と、それから地盤変動の膨張というようなきが見られますと、それと連動して白色噴煙が出るようになっておりますので、二酸化硫黄の放出量も急激に増加してきたというわけでありまして。

そうしたことで、例えば2004年、2006年、2008年というのは、地震活動の活発化と地盤の膨張というのが連動して見られて、さらに、要するに、温度変化あるいは噴気活動の活発化、あるいはガスの組成の変化というものが連動して起こっているのです。我々は、そういう多項目の観測をもってやっておけば、特に地震と地盤変動ですけども、要するに、何回かは空振りではありますが、次の噴火の直前においても、それと同様に、その地震活動の

活発化と、それから地盤の膨張が観測されると思い込んでしまったわけであります。

ところが、要するに、2009年以降ですけれども、このグラフで紫の丸をつけているところでありまして、2004年、2006年、2008年は、地震活動の活発化と地盤の膨張が連動していたわけでありまして。ところが、噴気ガスが出て、白色噴煙が出てくるようになると、地震活動の活発化と地盤の膨張というのが連動してなくなっているわけでありまして。

例えばこの紫のこのポイントで、地震活動の活発化のときには地盤変動は起こっていない。これは地盤変動が起こっているところですが、これは地震活動が活発化していない。これ、地震活動は増えているけれども、地盤の膨張は見えないというふうに、その連動性がもう崩れてきたわけでありまして。これは明らかに何がしかが変わってきて、今まで僕らが思ってきたことが、既に破綻してきている兆候がこの時点で見えてきているわけですね。

その一方で、地盤変動の速度はやや低下傾向ですし、地震のほうは安定的に、要するに、高値安定状態で推移していったわけでありまして。ですから、こういう状況ですから、気象庁のほうも、これは噴火警戒レベル1の状態をキープしたままで、その状態で噴火が起こってしまったというわけでありまして。ここの場合で言いますと、そういう非常に難しさがあったというわけでありまして。

これは、今お話ししたことをまとめたものでありまして、要するに、15年間の前兆過程があつて、その前兆過程、前期、中期におきましては、地震活動と地盤変動の連動というものが明瞭に見えてきたんだけど、その関連が、やっぱり前兆過程が進行すれば進行ほど、それが曖昧化してきているわけですね。どんどん難しくなっているわけです。つまり、状況が変わってきているわけです。

そして、直前になりますと、わずか1時間前ですけれども、これは傾斜計の記録なんですけれども、要するに、火口方向が隆起するという急激な、極めて早い変化ですけれども、これが大体1時間ぐらい前から起こって、20分ぐらい前から加速して、そして一挙に爆発に至ってしまったというのが、今回の口永良部島の噴火であります。

これで言いますと、一つは要するに、前兆過程としては、多項目観測を駆使することによって、我々は確実につかんでおります。特に2004年、2006年、2008年のイベント卓越期においては、いろんな観測項目が同期して動いているので、要するに、異常現象は確実につかんでいきます。ただし、この段階では噴火していません。ところが、実際に噴火が起こったときには、そういう異常現象の急激な変化というのはほとんどなくて、直前に1時間ぐ

らい前から傾斜変化はありますけども、そのところで起こってしまったというわけで、さらなる活発化がなしに起こってしまったというわけであります。

ですから、要するに、私は口永良部の例を見てみますと、やっぱり火山の活動というのは、非常に長い長期の準備過程があって、そして、極めて短い前兆過程というやつの二つに分けて考えるべきではないかというふうに、口永良部島の噴火について思いました。

そのところで、問題なんですけども、つまり、一つは、地震活動のバックグラウンドを把握するというのは非常に難しいです。つまり、我々の観測データは非常に短い歴史しか持っていないわけであります。これは京都大学は92年からやっているのですが、99年の増加を気がついたわけでありますけども、気象庁の連続観測は99年10月からしか行っていませんので、つまり、地震活動の活発な時期のデータしかないわけであります。

つまり、これが要するにバックグラウンドだというふうに認識したかどうかはわかりませんが、それをバックグラウンドとして考えてしまうおそれがあるわけであります。これはほかの全ての火山において同じ、言えることでありまして、ほかの観測項目も同様であります。

それから、これは、2番目には、先ほど申し上げましたけども、その前兆過程の特性が前半期には非常にうまく連動して動いております。ですから、それをもって、できると思込んでしまったというのが、今までの知見でできると思ってしまったのが、最大の誤りであるというふうに、私は認識しております。

それから、もう一つは、やはり直前の過程というのは、全体の前兆過程に比べれば、極めて短い。例えば口永良部島の場合は、わずか、直前の過程というのは13万分の1しかなかったというわけであります。これを分けて考える必要があるかと思えます。

これはちょっと時間があれなので、ちょっと飛ばして行きます。

次に、地盤変動の話をしていきます。それで、これは主に桜島の現在非常に頻繁に繰り返されている噴火活動についてお話ししますが、例えば、これ、諏訪之瀬島の例なんですけども、現在におきましては、それなりの観測をやりさえすれば、要するに、噴火直前の火口の周辺の地盤の隆起あるいは膨張現象というのは必ずつかまえることができます。これは諏訪之瀬島の場合は、そういうセンサーを非常に火口に近いところに持っていったからであります。

桜島の場合は、非常にセンサーを近いところに持っていくことはできないのですが、要するに、観測坑道のデータを使うことによって、若干離れて、2km~3kmぐらい離れていて

も、非常に高感度のひずみ計あるいは傾斜計を観測坑道の中に設置することによって、その前兆現象をつかむことができます。

これは、桜島の活動で非常に頻繁に爆発しているということを言いたいがためのグラフなんですけども、南岳の爆発でも7,900回、それから昭和火口の爆発でも約5,000回起こっております。これは石原先生がまとめられたデータですけども、やはり南岳の活動期においては、傾斜変化におきましては、爆発の1時間ぐらい前からは火口方向が隆起していく。そして、ひずみ変化におきましては、要するに、火口周辺の地盤の膨張が見てとれるわけでありまして、これはとりもなおさず、マグマ溜まりから火道内へのマグマの貫入というものを現しているわけでありまして。

これは最近の南岳のデータですけども、これは2年前、やはり12年7月24日に爆発が起こっております。これも確実に傾斜変化を捉えております。これで行きますと、傾斜変化して、最後に加速して爆発が起こっているということがわかります。

一方、これが現在の昭和火口の爆発でありまして、これ、ひずみ計のほうが強くなるので、この青と赤の線を見ていただきたいんですけども、一つは、こういう爆発の前に、こういう火山体の膨張を示す変化というのは、ほとんど90%の爆発で、これを前兆的に捉えることができます。この青と赤の線が、方向がそれぞれ逆になっているのは、要するに、圧力源が非常に浅いので、この極性が逆になっております。

このところで、一つ指摘したいのは、先ほど南岳の噴火の場合は、爆発の直前に膨張速度が加速しています。ところが、一方、昭和火口の場合は、むしろこれが減速する方向にあるわけでありまして。つまり、同じ桜島の爆発なんですけども、要するに、その地盤変動のパターンが明らかに違うわけでありまして。

特に、さらにいきますと、これ、直前のところをさらに詳しく見てみますと、これが停滞して、直前になりますと、逆に若干微小な収縮まで起こっているわけでありまして。つまり、我々は、要するに、噴火が起こるに当たっては、ずっと火山体の膨張が起こり続けて、そして、噴火に至る。つまり、ふうっと風船が膨らんでいくような感じで、それがぽんと破裂するというふうに思っているかもしれませんが、それは違います。それは、要するに、単純に膨張していくわけではなくて、噴火の直前には必ず収縮というのが見られるということでありまして。

それから、もう一つは、こういう前兆的な地盤変動から噴火の規模が予測できるかどうかという問題なんです。これは、今の昭和火口のひずみ計のデータです。これ、爆発、

一日、それぞれの日の約16時間の記録なんですけども、爆発が非常に頻繁に起こっております。そして、噴火の前に膨張が起こって、噴火が起こると収縮しますので、こういう一連のサイクルを繰り返していつているんですが、この一連のサイクルの中で、必ずこの青の線で描いてありますベースラインというところまで戻ります。こういう変動をしておれば、前兆的な地盤変動から噴火の規模、つまり、次の噴火が起こったときにどれだけ収縮するか、その収縮量が火山灰の量に比例しますから、大きさが事前にわかるわけですね、このパターンであります。

ところが、問題は次に示すようなパターンでありまして、これも時々起きます、今の昭和火口で。例えばこの例ですと、大体13時ぐらいからずっと膨張が進行して、ここで爆発が起こって、これだけ下がる。ここで爆発が起こって、これだけ下がる。ここで爆発が起こって、これだけ下がる。ここで、20時20分の爆発が起こって、一挙にこのレベルまで下がってくるわけでありまして。つまり、膨張が進行しているので、爆発が起こるといことはわかります。

ただし、要するに、どれだけの規模の噴火が起こるかというのは、このデータからでは非常に難しいわけでありまして。ポテンシャル的には、この噴火はここまで下がってもいいんです。ところが、下がり切らない。次も下がり切らない。そして、最後に下がり切るといことが、これは現実のデータですから、起こっているわけでありまして。

ただし、我々はこのデータではスタート時点を知っています。ここがベースラインであるということは知っているんで、小さな噴火が起こっても、ポテンシャル的にはさらに大きな噴火が起こるといことがわかるわけです。つまり、常にポテンシャルとしては、例えばこの時点でもここまでは下がるということが常にわかっているんです。

ところが、もしこのデータがないとすると、つまり、これぐらいのデータしかないとしましょう。ないとして、これ、仮に世紀というふうに単位を変えましたけども、今、我々が持っているデータというのは19世紀ぐらいしかありませんから、ここで切ってしまうと、これだけのデータしかないんです。これだけのデータで、要するに、この20時20分のこれだけの噴火の規模を予測することができるでしょうかというわけです。つまり、我々が持っているデータというのは、その量において限界があって、変動の全体像をつかむ、こういうふうにつかんでおればいいんですが、それをつかむといことが、その噴火の規模が大きくなればなるほど、それが難しくなるというわけでありまして。

特に難しい場合が、現在の小規模な噴火でも、やはり若干難しい場合があります。これ

は昨年8月18日に起こった噴煙5,000mという噴火でありまして、この場合の前兆的な活動を見てみますと、爆発8月18日、噴煙5,000mはここで起こっております。この青を見ていただければわかるんですけども、その膨張というのが4日ぐらい前から起こっております。通常の爆発でありますと、その大体数時間前から起こるので、我々はここで膨張が起こると思っていたんですが、これで見ると、実はその一日ぐらい前には何も変化がないんです。本来、爆発が起こる数時間前には、大体変動が起こると思っていたんですけど、要するに、一日前には何も変化がない。その前には確かに膨張が起こっています。このデータでは、要するに、この時点を認識することがわかるので、できるので、それを認識することができるんですけども、実際には直前のところには何もないわけです。わずかに地震活動は活発化していますけども、つまり、ほとんど地盤変動がなしに爆発したというのがこの8月18日の例であります。

これは、現在の始良カルデラの地盤の膨張ですけども、確かに、大正噴火では、始良カルデラを中心として地盤の沈降が起こっていて、これで、大体地盤の沈降の中心というのがここにあると。つまり、模擬モデルと行きますと、このところに圧力源が求められて、そして、こちらのほうのデータは、現在のGPSを使った、水平変動を使って求めた圧力源の位置でありますけども、100年前の大規模な噴火でマグマを失った同じ場所で、現在もマグマが増え続けていっているというわけであります。

そして、これは始良カルデラの西の端のベンチマーク2474の最近120年間の上下変動の記録でありますけども、大正噴火で約80cm地盤沈下が起こったというふうに推定されております。そして、100年かけて、今、大体この辺まで、約9割程度まで戻っていて、今後、10年程度には大正噴火の地盤沈下が起こる前のレベルまで戻るというふうに考えて、推定しております。

特に大正噴火のマグマの量 $2\text{km}^3$ と、マグマの供給率を考えますと、大正級の大噴火の繰り返し間隔というのは大体200年程度でありますし、それから、安永噴火との間が135年あります。つまり、大正級の大噴火というのは100年～200年ぐらいの間隔で起こるというふうに考えていますので、この時点で大規模噴火が起こるとは限りませんが、100年～200年ということでありまして、現在、今年で100年が既に経過してきております。つまり、次の100年には必ずそういうものが起こるということでもあります。

つまり、先ほども申し上げましたように、この時点からの推測はできますが、我々のデータはこの前のデータ、データとしては、要するに、その前がないということに注意する



必要があります。

これは、桜島の噴火のまとめですけれども、とにかく非常に頻繁に起こる爆発対象として  
いる。小規模な爆発であっても、要するに、それなりの観測をすれば、前駆する山体の隆  
起・膨張というのは、ほとんどの場合、必ずといっていいほど、つかまえることができま  
す。ただし、そのパターンというのはそんなに単純ではなくて、南岳の場合は加速するパ  
ターン、昭和火口の場合は減速していった、ほとんど直前には停滞してしまうことが多い  
ということです。そして、極端な場合は、要するに、その直前には収縮に反転してしまう。  
つまり、単純に膨張していくというわけではありませんよということです。

それから、最後が一番問題なんですけれども、地盤変動の全貌が全て把握できる。つまり、  
ここから膨張が起こっているんだということがわかっていれば、我々は全部それを、最大  
これだけの規模を見込む必要があるということが言えます。ただし、やはり観測データと  
いうのは、我々の近代観測というのは100年程度のデータの蓄積しかありませんから、それ  
だけからやはり予測するという事は、おのずから限界があるということでもあります。

私のほうからは以上です。

○石渡委員 ありがとうございます。

ただいまの御発表につきまして、御意見、御質問などがございましたら、どうぞお手を  
挙げて、ボタンを押して、御発言ください。どうぞ。

それでは、まず私のほうから、一つ質問したいんですが、最初のころにお示しいただい  
た口永良部の時系列の地震活動の変化を表した図がございましたよね。あそこで警戒レベ  
ルを上げた例が幾つか示されていたと思うんですけれども、これですね。レベル2にしたり、  
レベル3にしたり、ただ、この中には、矢印がついていない地震活動のピーク、かなり高い  
ピークというのがございますが、このときは、なぜそのレベルを上げなかったんでしょ  
うか。

○井口教授 レベルを上げるのは気象庁のほうの仕事なので、私の仕事ではないんですが、  
危なそうなときは必ず私のほうで助言をいたしますので。

実は、これ、月別の爆発回数を書いております。上げるときは短時間の間、つまり、一  
日のときに何十回起こったかということを目安にして、短期間の間に群発する場合を目安  
にしておりますので、実は、この月別の回数が多い割には上げていないというのは、要す  
るに、それは、その月においては定常的に地震回数が多かったということの意味しており  
ます。

○石渡委員 要するに、そのデータをとる時間の問題だということですね。

○井口教授 ええ。評価する時間の問題だということです。

○石渡委員 わかりました。ありがとうございます。

ほかにございますでしょうか。よろしいでしょうか。

特にございませんようでしたら、次に、清水先生から、雲仙について御発表をお願いしたいと思いますが、御準備はよろしいでしょうか。

○清水教授 九州大学の清水です。

先ほど、井口さんのほうから、最新の非常に精密な詳しいデータ、非常に多様性があるという紹介がありましたけど、私のほうは雲仙ということで、非常に古い、もう20数年前の噴火です。そういうことで、大分、データの質とか精度については、大分、今の井口さんの話よりは劣るんですが、雲仙の場合には、非常に休止期間が長いと。数百年間休んで噴火を行うというような事例として、最近では非常に人的被害も大きかったということで、私のほうからは紹介をしていきたいと思います。

これは雲仙火山の有史以降の記録です。これ以前としては、大体、数千年、4,000年に1回くらい、溶岩ドームをつくる、山をつくるような大規模な噴火を繰り返していたということが地質学的には指摘されておりますが、有史以降は、今、ここに示した3回なんですね。うち2回は江戸時代です。最後が平成の噴火、1990年～95年にかけて、大体、4年半ぐらい続いた噴火活動ということになります。

この有史以降だけを見ても、大体、休止期間が100年～200年、特に1792年の噴火から平成の噴火までの間が大体200年ということで、こういう休止期間が長い、その間は地震活動はあるんですが、非常に表面的な活動は静かな状態の火山の事例、しかも一たび始まった場合に数年以上の長く続くという場合の観測事例と、課題について御紹介したいというふうに思います。

これは、もう平成の噴火の時系列ですね。時間がないので、これはもう全部詳しくは説明しませんけども、これを見るとわかりますように、一応、明らかに明瞭な前駆的な現象、つまり前兆現象として、我々が理解したというか、気がついたのが大体噴火の1年くらい前なんですね。

ただ、ここに書いてあるのは、90年からの噴火開始に対して、その1年前の89年11月からの群発地震発生ということしか書いてございませんけれども、実は島原半島は大正時代に大正の島原地震というのがございまして、死者が出ています。実はこれを契機にして気象

庁で地震の観測が始まります。大学のほうとしても、九州大学が1970年代の後半から地震計を設置して連続観測に入るということで、この平成の噴火に対しては、おおよそ100年くらい前からの観測があったわけです。実際観測が始まった時点で、もう既に地震活動は結構活発でして、島原半島周辺で時々群発地震活動が起こると。地元の人たちは、自分たちの住んでいるところは群発地震の巣だというようなことを認識しているような状況でございました。これが定常状態と思っていたんですが、平成の噴火を経験した後では、実はそれが長期的な前兆であったということがわかりました。

これはちょっと後で示しますが、実は平成噴火の後ですね、島原半島周辺の地震活動は非常に低調になっています。ということで、その前の大正時代から続く地震活動、繰り返しの群発地震というのは、実はこれは長期的な準備過程であったということが後でわかったということでございます。

我々が明らかにおかしいというのを認識したのは1年前と先ほど申し上げましたが、ここからの話をちょっと今日は紹介しますが、最初の水蒸気噴火のおよそ1年前の1989年の11月くらいから、島原半島の西側にある橘湾の海底で群発地震が始まります。今、スライドで示していますが、ここです。これが島原半島で、島原半島は人間の胃袋のような格好をしています、その真ん中に雲仙普賢岳があるんですが、橘湾という西側の湾の中の深さ大体10km~20kmぐらいのところでは群発地震が始まるわけです。その後、実は翌月の12月になると、非常に数は少ないんですが、ここにちょっと御覧になるとわかるんですが、半島内の普賢岳にかなり近いところで、少し浅い地震活動が始まります。

実は我々九州大学が1970年の後半から観測を始めて以降、この半島内、つまり雲仙のすぐ近くで浅い地震活動が始まるというのは非常に珍しいことでした。それまでは、ほとんど西側の橘湾での群発地震だったんですが、島原半島内、雲仙に近いところで地震が始まったということで、それで明らかに我々は意識し始めたわけです。

それで、さらにそれが決定的になったのが90年の7月ですが、7月に地震活動がさらに半島内で活発化するんですが、普賢岳の直下ですね、震源は決まらなかったんですが、恐らく海水面ぐらいの浅い、つまり海拔0mぐらいのところでは孤立型の火山性の微動という、いわゆる地震と明らかに波形が違う微動が発生を始めたということでございます。

それで、それを受けて、その秋の10月の火山学会で発表しまして、それでいわゆる火山学会全体のコミュニティとしても、異常だということで、文部科学省等に対して予算を獲得、緊急的な観測の予算申請をします。それが認められたのが11月なんですが、ちょうど

そのときに水蒸気噴火が始まったということになります。

ですから、そういう意味では、雲仙の場合には非常に休止期間が長かったわけですが、噴火前の1年間ぐらいからの高まりについては、データとしては地震活動しかないわけですが、一応、把握することができたということでございます。

これは地震活動を後から精度を高精度に決め直したもの、震源を再決定したのですが、上が平面図で、下が東西断面図ですが、この東西断面図を見ていただくとわかりますように、震源は西側の橘湾で深く、大体数十kmですが、普賢岳に向かってほとんど斜め45°ぐらいに浅くなっていくということがおわかりになると思いますし、地震活動も西からだんだん東に向かって移っていたということで、恐らくそれがマグマの上昇経路であろうというふうに思っているわけです。

ここに丸がA、B、C、GPSという丸が示してありますけど、これは実は地殻変動から推定された圧力源の位置でして、このA、B、CとGPS、これ全部が、これは噴火が、マグマが出てきてから詳しく推定されたわけですが、実はマグマが出る前についても、光波測量等によって、大体、恐らくこれはCという、このCという位置ですが、この位置を中心とした島原半島の膨張が検知をされたということで、地震活動に加えて、地殻変動からもある程度の圧力の高まりというのは検知できた。

ただし、これらはマグマの上昇を示唆するものではあったんですが、本当に噴火するのかどうかと。それから、もし噴火するとしたら、1カ月後なのか、1年後なのかということについては、わからないという状況だったということでございます。

その後、観測体制の強化がなされます。これは大学の合同観測班なんですが、地球物理観測に加えて、地球化学観測、地質学・岩石学的調査といったものを、大学でチームを組んで観測が強化されました。

ここに一例として、地震の——これは赤い字で書いてございますけども、A型地震と、その下にある孤立型微動の波形を示してございますが、先ほどの震源分布で示したのは、この図のA型地震というタイプでございます。ところが、噴火の数カ月前から発生した孤立型微動、これは初動がわからないので、震源がうまく決まらないんですが、こういったものが観測が始まってから初めて噴火の数カ月前に観測されたということです。

その消長というか増減ですが、地震のほうは非常に消長が激しくて、増えたり減ったり繰り返しながら、このAというのが最初の水蒸気噴火、Cのところでマグマが出てくるわけですが、一様にただ増えるというよりは、増減を繰り返しながら、だんだんだんだんピ

ークが高くなっていくというようなことを繰り返しております。一方、微動のほうも時々増えるんですが、その後、休止期間を挟んで、必ずしも単調増加というわけではないというわけでございます。Aの位置が水蒸気噴火、AとBの段階で孤立型微動が一旦休止して、一旦、表面的にも静かになるんですが、またBのところでもう一回水蒸気噴火が再開いたします。

実はこのときに、この水蒸気噴火、再開した噴火をめぐっては火山学会内でも議論がありました。地震あるいは微動だけ見ていると、これから次に本格的なマグマ噴火へ移行するかどうかということはわからないわけですが、Bの噴火のときのこの火山灰を分析した物質科学的な調査によって、本質物質が入っていると、マイクロパミスが含まれているということが見つかりまして、こういういわゆる地球物理的な観測だけがわからなかったわけですが、これは物質科学の分析によって本格的なマグマ噴火に移行する可能性が認識されたということでございます。このCの直前の——Cのところのマグマ水蒸気噴火で、ほとんどの研究者がマグマ噴火を確信したということです。実際にマグマが出てくるわけですが、これが溶岩ドームが出る前に直前、といっても、大体10日ぐらい前なんです、から観測された前駆現象を並べたものです。

上は、これは光波測距儀による距離、それから真ん中は、これは傾斜計です。一番下が全磁力、プロトン磁力計による全磁力でして、いずれもですね、この点線で示したところが溶岩ドームが出てきた5月20日なんです、それのおよそ10日ぐらい前から、大体全ての、この3種類の観測データが同じように動き出しています。

光波測距儀についてはグラフが下がっていますが、これは左側の縦軸を見ると1,649m～1,648mということで、これは途中から（山腹から）、カルデラのリムから、外輪山から普賢岳の距離をはかっているんですが、その距離が1m短縮ということで、それは普賢岳が外輪山のほうに向かってせり出してくる、膨張しているということを示します。

真ん中は、これは傾斜計ですが、これは火口から大体700mぐらいのところに置いた傾斜計なんです、これは2成分ございまして、これはいずれもいわゆる火口方向上りを示します。つまり、火口方向が隆起をして、いずれも山体が膨張しているということを示すデータでございます。

一番下は、これは全磁力でして、これは火口の南側に置いた磁力計を示したのですが、全磁力が低下ということで、これは熱消磁を示している。つまり、非常に山が膨張しつつ、その膨張源になる浅い部分には高温のものが存在していると。入ってきたということ

を示したということで、このデータが噴火予知連絡会に報告されて、溶岩ドームが出現する3日前に、予知連会長のコメントとして、溶岩が、マグマが噴出する可能性が極めて高いということが出されたということで、これは溶岩噴出の直前予測に成功した例というふうに考えられております。

そのときの——これはちょっと英語で申し訳ないんですが、火山活動の評価と情報伝達の仕組みなんです、現在でも基本的にはあまり変わっていないんですが、左上にあるのが気象庁ですね、気象庁が事務局で、噴火予知連絡会というのがございまして、基本的には、そこに大学とか気象庁とか研究所（国研等）のデータを提供すると。ということで、そこで気象庁がそれらを勘案して、予知連で議論をするんですが、気象庁から火山情報が出されると。それが自治体や住民に伝達されるという仕組みになっています。

この当時は、これが臨時火山情報とか、そういう形でしたが、現在は、それはレベル化され——火山によってはレベル化され、警報というものになっていますが、流れとしては、基本的にこういうシステムで、気象庁から一元的に情報が出るという仕組みになっています。実は雲仙の溶岩ドームが出る前は、このシステム、かなりうまく機能しまして、先ほどの溶岩流出3日前に、ちゃんとした情報が出たということでございます。

ただ、問題は、この後、火砕流の発生によって変わってまいります。溶岩ドームが出てから、およそ10日過ぎてくると火砕流——実は溶岩ドームが出たのは5月20日ですが、24日、4日ぐらいから火砕流の発生が始まります。火砕流が、その後91年、左上は6月3日の例ですが、これで死者・行方不明者43名という大きな犠牲を出しましたが、これ以降、火砕流が頻発するようになります。ここで大分状況が変わってまいります。つまり、これまでは比較的、物事の進展というか、現象がゆっくりだったものですから、割とゆっくり評価をし、情報を出すという、間があったわけですが、ここからがほとんど連続的な現象になってきます。

まず最初の問題となったのが、遺体収容活動とか避難活動なんです、そういう防災対策に対して、これは自衛隊が遺体収容活動をしている写真なんです、これは火砕流が頻発する中を縫ってこういう作業を行うわけですね。ところが、火山情報というのは、いわゆる当時臨時火山情報として出るわけですが、たまにしか出ないし、当然のことながら、現象が起こってから出る。しかも、出た後に解除がないわけですから、ずっと出っ放しなわけですね。そういう中で、こういう防災対応、危機管理を行うということというのが、なかなか情報が使えないという問題がございました。

そこで、噴火予知連絡会としては、実は現地に——これは気象庁ですが、予知連が島原観測所に、現地に会長代行というのを派遣して、まさに予知連が現地の観測所に常駐する形で緊急対応を行うと。いわゆる、そういう体制の整備を行ったということでございます。緊急的にはそういうことで対応したんですが、その後は、基本的に九大の観測所が、オフィシャルではないんですが、情報をリアルタイムで自衛隊あるいは警察、そういう自治体等に流すと。住民には、やっぱりリアルタイム情報を地元のケーブルテレビジョンを通じてですね、非常に言葉は悪いですが、垂れ流しの情報が出始めるわけです。

最初は若干の混乱がございましたが、同時にここで、点線がこれがリアルタイムじゃない流れなんですけど、同時に報道を通じて住民等あるいは自治体に、いわゆる記者レクというか、解説を行うということで、そういう啓発活動を併用することによって、情報は垂れ流しなんですけど、リアルタイムの垂れ流しですが、次第に落ちついて、予知はできない、予測はできないんですが、いわゆるナウキャスト、現状把握ができるようになったと。その後、4年以上に続く長期の噴火活動に応じて、それが比較的機能したかなというふうに考えております。

これは当時の観測所内における風景ですが、基本的に、火山研究者は数名しかいませんし、夜中じゅう起きているわけにはいきませんので、警察・自衛隊が中に24時間体制で常駐をして記録を見る、モニターをするということになります。その情報をヘッドクォーター及び住民にはケーブルテレビジョンを通じて流すということでございます。

先ほど言いましたように、同時に、毎日のヘリコプターフライトで、実際に溶岩ドームの観察あるいは観測結果を、火山研究者がマスコミあるいは自治体を通じて詳しい解説を行うということで、ナウキャストを補完するというようなことを行ったということです。

その後、実は溶岩ドームがずっと4年以上にわたって成長し始めます。こうなってくると、実は大変困った問題が起きるわけですね。これは溶岩噴出の推移を示したグラフなんですけど、横軸が時間（年）であって、91年の5月に溶岩が噴出し始めて、95年の春くらいまで溶岩の噴出が続くわけですが。実はこの後ちょっと出てきますが、それまでいわゆる地震活動とかが非常に有効な指標になっていたわけですが、あるいは物質学的な、地質学的な情報というのも非常に有効だったわけですが、安定して溶岩が出始めると、非常に、一種の平衡状態で、バランスがとれた状態になって、地震活動がなくなるんですね。こういう状態になってくると、なかなか先が読めない。

例えば噴出率もですね、ほとんどこれもいわゆる現状把握で、ナウキャストなんですけど、

ずっと現時点でどのくらい溶岩が出ているか、日量何万 $m^3$ 出ているかということはわかるんですが。例えば、これに第1期と書いてございますが、1992年の末に、ほとんど一旦溶岩噴出量が0に近くなります。この段階で、後ろは今我々は知っていますが、当時の我々はこの後ろがわからないわけですから、この段階で、噴火はこのままもしかしたら終わるかもしれないというような解説、地元に向けての説明というのが当時の火山観測所の所長からなされたわけですね。

ところが、実際は、それを裏切って、93年から、またもう1回溶岩の噴出量が増えるわけです。ということで、現状は把握できるんですけども、どうかということもわかって、その後の推移、あるいは何年続く、いつ終息するのかということについては、実は非常に難しい状況になるということの意味しています。

同じことは地震についても言えるんですが、これは地震の時空間分布といいまして、上に平面図があって、細かい黒い点々が地震なんですね。震央分布ですが、下は、これは横が西、東で、東西に地震の震源分布を投影したものなんですね。縦軸が時間の流れになります。一番上が1990年で、下に行くにつれて年数がだんだん最近になってくるわけですが。これを見ると、噴火が始まるまでは、島原半島内で非常に活発な地震があったことがわかります。

ところが、溶岩ドームが出始めた91年の5月以降、この半島内の活発な地震活動がぱたっとなくなって、ここがすかすかですね。ほとんど山頂直下の、溶岩ドーム直下の極めて浅い、つまり溶岩の出口、マグマの出口だけに地震が集中して発生すると。それがずっと安定的に起きるわけです。こういう状態になってしまうと、例えば自分自身が93年にいてもですね、見たとしても、これがどこまで続くのかということが非常にわからないという状態になるということになります。

そこで、これは現状でも非常に難しいんですが、一つの客観的なというか、使えるデータと今考えていますのは、やはり地殻変動なんですね。これがやっぱり一番客観性がございますし、こういうふうになったときに、一番有効な手法であろうと現在でも思っているところですが、今から島原半島西岸の水準測量の結果をお示ししますけど、今、ここに示しているのが地形ですね、水準測量を始めた1986年の地形を示したもので、これがどういうふうになるかと、沈降量を示します。これが噴火とともに溶岩の噴出とともに、どんどんどんどん下がります。基本的に、もともとのレベルから最大で8cmぐらい、この辺ですね、西側ですが、8cmぐらい沈降したと。時間を追ってずっと沈降したわけです。



この一番沈降したT119という水準点の今度は時間変化を見たものが下のグラフでして、86年が基準ですが、一番最初の測量ですが、溶岩ドームが出てきたのが、これが噴火開始ですね、噴火が開始しても、溶岩が出るまでの間は若干の膨張だったんですが、溶岩ドームが出てから、ぐんぐん沈降し始めて、噴火終了時期で大体底をついて、8cmぐらい下がったということになります。

基本的に、溶岩の推移、水準測量の推移から、実はマグマだまりの位置と、その辺のマグマの収支というのを計算できるわけございまして、この地殻変動から推定した雲仙のマグマだまり位置というのは、現時点で四つぐらいあると考えているんですが、これは東西断面ですが、A、B、C、Dと、四つぐらいのいわゆる圧力源があると。AからDに向かって深くなっているんですが、それが大体西に向かって並んでいると。

それぞれの推移、マグマの収支を見たものが左下なんですが、このマグマだまりのDというのがちょっと深くて、収支を計算する、誤差が大きくてちょっと推定できていないんですが、A、B、Cの推移を見たのが、この左下ですが、AとBについては非常に変化が小さいんですよね。ですから、これは恐らくマグマが一時的に停留する一種のマグマポケットであって、本質的なものは、マグマだまりのCだろうと思っています。Cを見ると、噴火とともに、溶岩の流出とともに、ずっと下がって、噴火が終わった段階で底をついて、その後、最近まで若干また隆起していますから、また次の噴火に向けてマグマが徐々に蓄積しているということを示しているわけです。これは雲仙が今も生きていうことを示すわけですが。

ここで注目したいのは、基本的に溶岩の流出に伴って下がっているんですが、よく注意して見ると、誤差は大きいんですが、この時期、1992年くらいなんですが、一旦、ちょっと持ち上がるんですね、わずかですけども。だから、傾向としては下がっている傾向の中で、1回持ち上がると。実は、このときに日量10万 $\text{m}^3$ ぐらい毎日のように溶岩が出続けているんですね。出続けているにもかかわらず、Cというマグマだまりというのは、一時期ですが、さらに膨らむということは、収支がプラスになるわけです。ということはどういうことを意味するかというと、より深部から、つまりDという圧力源からですね、この時期というのは、92年ぐらいというのは、供給がやはり一時的に増えたんじゃないかということがわかるわけです。

実際に、先ほど示した溶岩の流出を見ると、この時期ですね、この時期に、そういうふうにCのマグマだまりが一時的にちょっと増えたわけで、その後、数カ月～1年後に、もう

一回、マグマの噴出量が増えるということがありました。

ということを見ると、例えば、なかなか予測というのは難しいんですが、そういうマグマだまりの収支というのをきちんと正確に追いかけることができると、ある程度、そんなに長期ではありません、中期というのか、短期というのかわかりませんが、そういうくらいの時間スケールでのある程度の推移ということが可能になるのかもしれないというふうには思っています。

ただ、当時としては、なかなかそこまで言い切ることはできないという状況で、今の予知の実力を最後にまとめたものですが、基本的に、いつ噴火ということについては、前兆はつかめていたけれども、いつということ、例えば何日後とか、何カ月後ということ、言い切ることができないので、正しくは×なんですけど、それでも前兆をつかんだという意味では△というふうにしております。

それから、溶岩の流出については、3日前に情報が出たということで、これは一応○と。場所についても、ある程度は絞り込むことができる。つまり地震の震源が普賢岳の直下に向かって浅くなると移動する、膨張の中心がやはり西側の山体内にあるということから、ある程度の絞り込みはできるけど、厳密な意味では、どこの火口から出るかということ、わからないので、△ということになっています。

溶岩の流出については、これは地獄跡火口の直下で異常現象が集中したことから、地獄跡火口ということがわかるということで○になっています。

その後三つ、どれくらい、どのような、いつまでということについては、当時としてはほとんどわからないと。しいて言えば、先ほどの地盤の変動からある程度の目安を想像することはできるかもしれないけれども、これは非常に難しいと。

実は、その後、雲仙はもう20数年前の出来事ですが、科学掘削とか、あるいは人工地震探査とか、非常に雲仙は調査がなされました。かなり詳しいことがわかってきました。山体内部の構造について、あるいは科学掘削によって、脱ガスのプロセスについても、かなりのことがわかってきているんですね。そういうふうに知見はかなり増えてはいるんですが、非常に、いわゆる予知という、実用的な予知という観点で考えると、実は現在でも当時と同じような課題を抱えていると。

つまり、今、雲仙は休止期間に入りましたが、次の噴火が起こったときに、我々は、当時と比べてどれだけのことが言えるかというと、やはり現在でもですね、どれくらい、どのような、いつまでということについては、ほとんど正確な情報を出すことはできない

ということで、そういう意味での難しさというのは相変わらず抱えているということで、今後とも調査研究の継続が必要だというふうに考えております。

以上です。

○石渡委員 ありがとうございます。

それでは、今の清水先生の御発表について、御意見とか御質問がございましたらばお願いいたします。

どうぞ。

○清水教授 ちょっと補足しますと、先ほど井口さんのほうから、例えば口永良部とか桜島のように、比較的活動的な火山で、特に桜島は頻繁に噴火している火山でも、前駆現象の現れ方というのは非常に多様性があるということの紹介がありました。指摘がありました。雲仙の場合は、非常に休止期間が長いので、有史以降、たった3回しかないわけですが、その3回も、全てがやっぱり違うんですね。

ですから、前駆現象だけじゃなくて、噴火自体も、同じ火山、雲仙という同じ火山であり、同じように有史以降3回とも地獄跡火口という、ほとんど同じクレーターを使った噴火であったにもかかわらず、噴火の様式がかなり違うと。

1792年の噴火では、溶岩流出、いわゆる溶岩流として流れて、その後、山体崩壊がありました。平成の噴火では、溶岩ドームと火砕流ということで、そういう意味では、火山自体、一つの火山であっても、非常に多様性に富んでいるということが、非常にやっぱり難しいのかなというふうに思っております。

ちょっと補足でした。

○石渡委員 ありがとうございます。

それでは、どうぞ、石原先生。

○石原名誉教授 一つコメントということでもあります。

今のお話、雲仙のほうの例えば話で言いますと、結局、前もっての事前の——九州大学、その前に気象庁があるわけですが、観測があったということ。それから、もう一つは、後で大学の総合観測班とか、追加の調査があったという、そこら辺のところ、火山の実際のモニタリングについては、やっぱり考えていけないといけないことではないかというふうに思います。

雲仙については、清水先生がまだ九大に移られてすぐ後ぐらいでしょうか、1986年、噴火の始まる4年も前に、集中総合観測をやっているんです。そのときに、私も実際には現地

に行かなくて、水準測量でいろんな、それまで雲仙火山は東側の水準測量とかで、半島の沈降しているということ、地溝帯、地溝帯で、ですから広がって、地面が沈降して、そういう絞り出しが起こるような、そういう火山であるというふうな理解があったんですけども、よくよく、いろいろ三角測量とか、データを見ていると、それはおかしいと。太田先生とか、既に前駆研究を調べるならば、やはり西側が怪しいということで、西側に1986年のときに水準路線をつくったわけですね。東京大学、それから私の京都大学、それから清水先生含めて測量をやったわけです。

やはりそれがあったお陰で、いざ89年、90年におかしいというときに、既にいろいろなほかの観測もやっているわけですから、おかしいという段階で、11月の段階で、さまざまな観測が全国共同してできたということがありますので。

決して、いわゆるGPS、あるいは地震計を配置していたら、予知できるというものではなくて、やはりある程度火山がおかしいという気配を、過去の履歴とかを含めて考えた場合におかしいというならば、そこに対しての予備的な調査研究と同時に、いざ事が起きたときに、どこで何をすればわかるかという、そういう研究を、事前に調査研究をやっておかないと、なかなか噴火予知というのはできるものではないと。それだけやっても、先ほどあった、清水先生の話にありましたように、なかなか難しいのであるということは、よくよく理解していただきたいというふうに思います。

決して、GPSとか、地震計とか、傾斜計を置いておくだけで済むものではないということは、火山のモニタリングができるものではないということは理解していただきたいと思いますね。

○石渡委員 ありがとうございます。

ほかのメンバーの方で、御意見はございますか。よろしいでしょうか。

雲仙では中田節也先生も大活躍されたわけですが、今日は、残念ながら御出張ということで、来られておりません。中田先生からも、例えば先ほど最初にやりました基本的な考え方とかにつきまして、コメントをいただきまして、それは反映させてありますが、それ以外に、火山学上の知見の整理ということについて、建設的な御意見を二つほどいただいておりますので、ちょっとここで紹介いたします。

中田先生の御意見として、火山爆発指数が6の噴火を巨大噴火に含めるということであれば、フィリピンのピナツボ噴火も含まれるのではないかと。地球物理学的な観測や地球化学的な観測の知見整理が、ある程度は可能であると。また、モニタリングがなかった噴火

についても、その記録ですね、それから地質学的な、歴史記録や地質学的なデータから、地球物理学や地球化学的な現象を抽出することは可能であろうと。また、ここでいう巨大噴火と、それから爆発指数が5以下の噴火というものを、火山学的といいますか、観測上で区別するという理由はないので、これらのモニタリングのデータを整理することが重要と。今、御紹介いただきましたような、井口先生や清水先生がなさったような、そういうモニタリングの結果も、巨大噴火を考える上で、決して役に立たないというわけではなくて、非常に参考になるものだという御意見だと思います。

もう一つは、巨大噴火というのは、カルデラ噴火が代表であるわけですがけれども、カルデラ地域で行われているモニタリングで、異常が検出されている例が幾つかございます。これは噴火につながったというわけではございませんけれども、例えばアメリカのロングバレーカルデラとかイエローストーンカルデラ、イタリアのカンピ・フレグレイカルデラ、これはベスビオスのすぐ近くにある火山地帯でありますけれども、それらの地域で見られる異常がどの程度のもので、何を意味したと考えられたかを整理することが重要であると。特に異常の閾値ですね、どのくらいになると噴火が起きるかというような、その考え方の上で重要になると思われると。カルデラ地域の現在までのモニタリングで捉えられた異常現象の整理をすることが重要であろうということを、中田先生がコメントを寄せておられます。

こういうことも含めまして、今まで御紹介いただいたお二人の先生のモニタリングについての御発表を含めまして、しばらく議論をしていただければというふうに思います。

まず、口火とっては何ですが、藤井先生、いかがでしょうか。例えば藤井先生はベスビオスの御研究もなさっていますし、伊豆大島とか、あの辺のことにも詳しいので、その辺のことでいかがでしょうか。

○藤井名誉教授 今、噴火を予知するという点に関しては、井口さん、それから清水さんが言われたとおり、かなり長いことバックグラウンドのレベルから研究をしていて、初めてそれに近づくことができるけど、それでも最終的な予知というのは非常に難しいんだ、多様性に物すごく富んでいるんだということを言われたと思うんですね。

ですから、石原さんがさっきまとめられたように、モニタリングをするGPSやら観測装置を据えれば何かつかまるというようなものではないということ、やっぱりきちんと理解をすべきだと思います。今の火山学のレベル、これはどのくらいたてばもっとやれるのかということに関しては、我々はまだ見通しも持っておりませんが、今のサイエンスで

言えることというのは、やはりかなりの限界があるんだということを認識をすべきだというふうに思います。

カルデラ噴火に関しての事例を集めるというのは、確かにそれは重要なことなんですね。我々、経験したことがないですから。例えば先ほどのピナツボでも、先ほど座長が言われたように、これがVEIの5であるのか6であるのかということすら、まだ決着がついていない。ある人は6であると言うし、ある人は5であると言う。噴出物量を推定するということについても、非常に困難があるような実態です。

そういうものの事例をたくさん集めることは非常に重要だとは思いますが、閾値を決めるということに関しては、かなり私は悲観的です。つまり噴火をした例がないですから、大きなものに関しては。カルデラで、いろんな地殻変動が例えば半年で数mぐらい持ち上がるというようなことや、地震が多発するというようなことが起こっても、噴火に至らなかった例というのはたくさんあるんですね。これはかつてUSGSが、非常に、1,000ページ以上のカルデラのアンレストに関するデータ集をまとめたことがあります。

ですから、それは非常に参考になると思いますが、それ以上に今できるとしたら、やはり地質データを年代——非常に細かな年代を入れるところまで含めて調査をするということ以外に、過去のものにたどる道はないだろうと思いますので、そういうデータをきちんと整備するという努力はしたほうがいい。ただ、それをやれば確実に先が見えるというものでもないということも、理解をしておいたほうがいいというふうに思います。

とりあえず、私のほうから。

○石渡委員 ありがとうございます。

ほかの先生で、いかがでしょうか。

どうぞ。

○篠原首席研究員 閾値を設定するのは難しいという、まさにそのとおりだと思いますし、先ほど例に挙げられましたベスビオス、カンピ・フレグレイの例なんかですと、非常に地殻変動が大きいということで、予兆ではないかと、マグマ噴火の予兆ではないかという議論もされたわけですが、原因について確定した定説があるわけではないですけれども、あそこの場合ですと、例えばそれはマグマそのものではなくて、熱水系の変動で、そういうような変動が起きたというようなモデルも出ていますので。例えば1mの変動があったからといって、それが必ずしもマグマの蓄積だけではないと。そういう意味では、原因についてのバリエーションも非常にあるということなので、やはり何が起きているかというこ

とを把握できないで、変動の大きさだけでは、マグマ噴火が起きるかどうかという、そういうことを判断できないという状況もありますので、やはりそういう意味でも閾値を定めるというのは非常に難しいという部分はあろうかと思えます。

○石渡委員 ありがとうございます。

今の御意見、篠原先生の御意見でした。

イタリアのカンピ・フレグレイというのは、もうカルデラの中にかかなりの人口がある場所でございますよね。ですから、物すごく社会的な影響が大きいというふうに思われますけれども、先生、御存知でしたら、その辺のこともちょっと御紹介いただけないでしょうか。社会的には、何か大きな混乱みたいなものがあつたんでしょうか。そうでもなかったんですか。

○篠原首席研究員 ちょっと、私は社会的にどういう影響があつたかということは直接存じ上げないんですけど、藤井先生、御存知ではないですか。

○藤井名誉教授 藤井ですけれども。

90年代に何度かそういう現象が起こっています。それで、地震活動が活発化して、地殻変動が非常に激しくなったときには、一部に避難命令が出たんですね。避難命令が出たけれども、結果として何も起こらなかったということで、当局側がかなり責められるというような事態も起こっています。

そのときには、裁判にはなりませんでしたが、いずれにしろ、市民側からの非常に反発が出たということがあります。それから、一部、避難をした後の略奪騒ぎまで起こったこともあります。

ですから、そういう避難をしたときの治安ということに関しても、物すごく重要なことなんですけれども、混乱が起こった例は各地でありますので、我が国で起こるかどうかは別ですけれども、ほかの例ですと、そういうことがあります。

○石渡委員 ありがとうございます。

ほかにございますでしょうか。

どうぞ。

○棚田総括主任研究員 防災科研の棚田でございます。

傾斜計を防災科研はハイネットというものでかなり広範囲に持っております。それは火山の中ではなくて、外側にももちろんある観測点です。大規模噴火ということになれば、そういう観測点もひょっとしたら役に立つかもしれませんが、今、例えばカルデラの中の

傾斜計、山体本体ではなくてですね、そういう傾斜計の変化を見ますと、例えば箱根とか阿蘇とを見ますと、非常に水の影響を受けます。降雨の影響、気象の影響ですね。

カルデラの中というのは、水が非常に豊かな場合が多いですので、傾斜計、我々は深さ・たかだか地表から100m、200mのところしか設置しておりません。マグマの深さ5kmとか、そういうマグマの深さのマグマの影響よりも、まずは地表の非常に影響を受けるということを常々感じております。

そういう場合に、火山活動に関連するかどうかというのは、私どもが普段見ている、やはり判断しがたい。ふらふら、ふらふらと記録が動いていることもありますので、もう一度、閾値とか予測という問題では、傾斜計、火口近くのところに置いていけば、浅い噴火ならばよろしいんでしょうけど、深いマグマだまり用の傾斜計というのは、やはりそれなりの体制をとっていかなきゃならないかと思えます。

○石渡委員 ありがとうございます。

ほかにございますか。

どうぞ。

○篠原首席研究員 産総研の篠原ですけども。

先ほど藤井先生がおっしゃられたことに、ちょっと追加でコメントをさせていただきたいんですけども、実はモニタリングだけではなくて、地質学的にどういう現象を経た火山が巨大噴火をしやすいのか、ないしは、しやすいというのはちょっと言い過ぎかもしれませんが、今まで巨大噴火をした火山というのは、その巨大噴火をする前にどういった噴火を繰り返してきたのか、そういった情報をやはり蓄積しないと、逆にどの火山を例えば巨大噴火の可能性があると思って評価するかということができないという部分もありますので。

ただ、地質学的な調査というのは、当然、巨大噴火がありますと、それ以前の例えば火口周辺の小さな噴火の情報というのは失われやすいので、なかなかそういう情報の蓄積が今までないという状況があります。

ですけれども、そうは言いつつも、例えばボーリング調査をやるとか、そういうようなことで、少しずつそういう情報も蓄積する、そういうことによって、初めて大きな噴火の前にあった現象——少し小さな噴火ですね、そういったものは、どういうものがあつた上で、それが巨大噴火につながったのかということを理解していくという知見もやはり蓄積していく必要があるかと思えます。



○石渡委員 ありがとうございます。

ほかにございますでしょうか。

石原先生。

○石原名誉教授 今までのこと、ずっと火山噴火予知計画が始まってからのを見ると、いわゆるどの火山が今後5年以内、5年ないしでおかしくなりそうかということ、かつての先生方、私の先輩の方々は、大体、お互いに中で議論されてこられた。その結果、例えば有珠山が噴火する前に、有珠山に観測所をつくるべきだということになっていますし、伊豆大島もしかりですし、雲仙についてもある意味そういうことなんですけども、ところが、現在のところは、そういうものがどこで行うか——行うかといいますかですね。やはり今後、当面注目——当面というのは、巨大噴火から小さいものを含めてですね、どの火山に長期的あるいは短期的に注目すべきなのかというような、そういうことを評価・検討する場というものが、やはりどこか、気象庁、火山噴火予知連絡会がいいのか、どうなのかわかりませんが、やはりそういうことが、今後、日本全体として何らか考えていかなきゃいけないのではないだろうか。

そうでないと、いわゆる不意打ちというようなことになるのではないだろうか。これは巨大噴火に限りません、VEI5であろうとも、あるいは4であっても、やはり場所によっては原子力関係の施設に影響する可能性もあるわけですから、そういう点の検討をする場というのが、何らか、ある程度オフィシャルな場というのが必要ではないのだろうかというふうに思います。

○石渡委員 貴重な御意見、ありがとうございます。

気象庁の北川火山課長は、そういう点について何か御意見はございますでしょうか。

○北川火山課長 気象庁の北川でございます。

現在、火山噴火予知連絡会におきましても、まさに石原先生に座長をしていただいております活動の評価の検討会等がございまして、例えばそちらでは、今後100年以内に噴火する可能性のある山等も、こういった山があるということをいろいろ検討いただきまして、それにつきまして、気象庁では常時監視火山に指定して、24時間ウォッチしているというのをやっているところでございます。

先ほど石原先生からの御議論がございましたのが、今後注目すべき山というところも、そちらのほうで御議論いただければというふうには思っております。

また、ここには委員として参加してございませんが、文部科学省のほうでも、重点的に

研究すべき山はこれだということを地震火山部会のほうでも議論をしているというふう  
に聞いておりますので、そちらのほうでも御議論いただければと思っております。

○石渡委員 ありがとうございます。

ほかにございますでしょうか。

どうぞ。

○藤井名誉教授 石原さんの先ほどの部分に補足なんですけど、我々も、先輩を5年ごとに  
噴火のある意味でポテンシャルを評価してきたというのは、今は文科省の中にありますけ  
れども、かつて文部省の中にあつた測地学審議会というところで、5年ごとに噴火予知計画  
を見直すたびに、ある種、長期的な評価をしてきたという事実はあります。それは今、文  
科省の中で、科学技術・学術審議会のもとに測地学分科会というのがつくられて、さらに  
その下に地震火山部会というのがつくられておりますが、今そこで議論がされているとこ  
ろであります。

先ほどの集中観測的なものは、ここしばらく途絶えていたという事実はありますけれど  
も、それは今後やるべき課題として、つい最近、11月に地震火山部会のほうでまとめた中  
に、そういう集中観測的なことを取り込んで今後やっていくということも、もう一度確認  
をされたということがあります。今年度から新しい計画が発足していますが、今後の5年間  
の中でも、そういうことが実現していくだろうというふうに思っております。

以上です。

○石渡委員 ありがとうございます。

ほかの方でございますでしょうか。

島崎先生。

○島崎名誉教授 先ほどのお話で、その後、御質問すればよかつたんですけれども、すみ  
ません、井口さんのお話で、最初のほうのお話だつたと思うんですけれども、地震活動と、  
それから地盤変動とが同時に出てくるという形が何回かあつて、それが今後も続くだろう  
と思つていたところが、地盤変動と地震活動の相関がなくなつたために、効果的に予測が  
できなくなつたというお話だつたと思うんですけれども、今から見て、地震活動と地盤変  
動が連動しなくなつたというのは、どういう状況だというふうに解釈されているんですか。

○井口教授 それはもうあくまでも解釈になりますけども、やっぱり地震活動そのものは、  
火山性地震といえども、これはやっぱり断層運動と同じように山体直下の微小せん断破壊  
だというふうに考えております。

ですから、ある段階においては、要するに圧力が上がっていくことによって周辺の岩盤にひずみが蓄積して、それを解放していくということが非常に連動していったんですけども、中に熱水、あるいは火山ガスでもいいんですけども、破碎度が進行していった段階で、要するにそういう圧力の増加というものと、それから地震活動というものがうまく連動してこなくなった。つまり、岩盤の中に、要するに非常に熱水系といいますか、ガスの部分ですね、それが発達してしまった結果だろうというふうには思っています。

大体、その段階から、火口の南のほうのところの噴気活動が桁違いに活発になっていますので、浅部への熱水の貫入というのが、その関係を破綻させてしまったんだらうというふうに、これは後づけの解釈ですけども、そう思っています。

○石渡委員 ありがとうございます。

よろしいでしょうか。

○清水教授 今のことで、関連してよろしいですか。

○石渡委員 清水さん、どうぞ。

○清水教授 補足と、あとはコメントもなんですが。

私も、今の問題、非常に興味を持っているんですが、やっぱり今の島崎さんの話に関連して言うと、地震と地殻変動が連動するというか、きれいに相関が良いときというのは、これはある意味弾性体力学が成り立っている範囲なんですね。だから、地殻変動で見ているのは、ひずみを見ているわけです。応力ではないんですね。でも、地震は基本的にやっぱり応力を反映して起きると一般的には思いますので、それが対応するといったときには、どれだけひずんだら、どれだけ応力が集中するかということを意味しているわけですから、非常にその相関がいいということは、ある意味、そういう範囲内でやっている。

ところが、やっぱり本当に臨界的な状態になってくる、あるいは流体が関与してくると、そこが崩れていく。だからrate and stateだって、流体を入れたら変わってくるわけですから、そういうところで、やっぱり崩れてくるところが非常に重要。

もっと言うと、今のは、井口さんの例というのは非常に、ある意味規模の小さい話ですけども、カルデラ噴火というのは、極端にもっと規模が大きいんですね。だから、もう到底私なんか、そこでいわゆる弾性体、普通の弾性体力学を適用すること自体が、もう破綻しているような状況になるんじゃないかと思うんです。

だから、非常にその辺のところというのは物すごく難しい。もうとにかく技術的というか、学問的に物すごく難しいので、やはり単に計器・機械を置いてモニタリングをすると

ということじゃなくて、やはり同時にそういう手法開発というのを、本当に国が力を入れて、人材確保、そういうことをやる。そういうのをあわせてやっていかない限り、私は、かなり悲観的というか、非常に厳しいんじゃないかなというふうには思っています。

○石渡委員 石原先生。

○石原名誉教授 関連してですけど。口永良部で地震と地殻変動の対応ができなくなったというのは、2011年で、私がちょうど退職する1年前です。井口先生には、これはどういうことかよく考えておいてくれというふうに宿題を残した結果、こういうことになっていますけども。今、井口先生が言われたように、そういう感じなんです。

それから、実際の観測データでいいますと、地熱とかよりも、地磁気も変化しているんですね。神田さんがいろいろ見積もっていますけど、ほとんど地表域まで含めてキュリー点を超えていますから、200～300℃で温度が上がっているはずですよ。そうすると、島崎先生はよくおわかりだと思いますけど、そうなった場合に、岩石の物性がどう変わるか、それに水やガス、そういうようなことがありますので。火山の場合は、こういうことはよくあることで、かつて地震がこう起こったから、これだけ起こってこの程度の噴火だから、次は、もうそれを超えているから、いや超えていないから、こうだああだということですね、そういう判断を仮定してしまうと非常に怖いことになる。多分、御嶽山の場合も、そういうことが多少あったんだと思うんですけども。

したがって、火山の場合は、だんだんと物事が発展していくんだと、成長していくという、あるいは変質していくということを念頭に置いて、火山活動を評価するということが非常に大事なことになってきますし、そういうデータの解釈については、先ほど清水先生、それから井口先生が言われていましたように、こういう問題を念頭に置いて、そのメカニズム、あるいはそれをはっきりさせる、原因は何かということをよくよく考えないと、巨大噴火等に関わる場合においても大事になるので、これは基礎的というべきか何かわかりませんが、そういう研究課題として、今後とも、大規模噴火のことを想定する上でも、念頭に置くべきことではないだろうかというふうに思います。

○石渡委員 ありがとうございます。

ほかにございますでしょうか。

それでは、大体予定していた議事は以上でございますが、よろしいでしょうかね。

今日は、お二人の実際の火山のモニタリングをされて御研究された方の発表をお聞きして、火山モニタリングについて、特に原子力規制庁側、あるいは規制委員会側の理解が非

常に深まったというふうに感じております。

次回以降の会合では、ほかのメンバーの皆様からも、火山の調査、あるいはモニタリングの事例、それから技術的なことなどにつきましてもですね、あるいは火山監視の現在の状況ですね、これを御紹介いただきつつ、過去の巨大噴火の事例研究とか、最近の火山活動の傾向についても、情報交換をしていただきたいというふうに考えております。また、巨大噴火のメカニズムについての、最新の理論的な、あるいは実験的な知見の収集・整理、それから火山活動モニタリングの技術的な問題点の検討なども行いながら、さらに議論を深めていきたいというふうに考えております。

それで、大体の方向につきまして、この会合ですね、一応、そういう方向でこれからしばらくはですね、そういう方向で進めていきたいというふうに思いますが、いかがでしょうか。大体、そういう形でよろしいでしょうかね。

今回、非常に実際のデータに基づくかなり深いといいますか、議論を行うことができたというふうに感じております。ぜひ、次回以降も、そのような知見を御紹介いただいて、我々の理解を深めた上で、火山のモニタリングということに対する施策の参考にするということをしていただければというふうに考えます。

それで、次回なんですけれども、時間につきましては、また事務局のほうから御連絡することになると思いますが、どなたに御発表をお願いするかということなんです、先ほども貴重な御意見をいただいた、防災科学技術研究所の棚田先生と、それから気象庁の火山課長の北川先生に、ぜひ、モニタリングに関する技術的、あるいはその周辺のいろいろな問題とか、最近の進歩というようなことについてお聞かせ願えればというふうに思うんですが、棚田先生、北川先生、いかがでしょうか。

○棚田総括主任研究員 防災科研の棚田です。

了解いたしました。

○北川火山課長 それについて、検討をさせていただきます。

○石渡委員 どうもありがとうございます。

大体、そういう方針でよろしいでしょうか。

それでは、最後に原子力規制庁から今後の予定等事務連絡をお願いいたします。

○事務局 原子力規制庁の田上です。

本日は、長時間にわたり御議論いただきまして、ありがとうございました。

原子力規制庁では、本日の議論などを踏まえまして、次回会合の議題を検討させていた

だきます。

本日の資料につきましては、そのままお持ち帰りいただいても結構ですし、机の上に置いていただきましたら、当方から郵送させていただきます。

第4回会合の日程と議題については、現時点で未定ですが、決まり次第、御連絡させていただきます。

原子力規制庁からは以上でございます。

○石渡委員 どうもありがとうございました。

以上をもちまして、原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チーム、第3回会合を閉会いたします。

以上