

国際シンポジウム 2018
火山モニタリング観測と
火山活動予測
報告書



日程：平成 30 年 10 月 8 日（月・祝）
会場：富士吉田市民会館 小ホール
主催：山梨県富士山科学研究所
後援：富士山火山防災対策協議会、富士吉田市、
特定非営利活動法人 日本火山学会、日本測地学会

山梨県富士山科学研究所公開講座

C-01-2019

国際シンポジウム 2018

火山モニタリング観測と 火山活動予測

報 告 書

日程：平成 30 年 10 月 8 日（月・祝）

会場：富士吉田市民会館 小ホール

主催：山梨県富士山科学研究所

後援：富士山火山防災対策協議会、富士吉田市、

特定非営利活動法人 日本火山学会、日本測地学会

目次

目次.....	i
シンポジウムプログラム.....	iii

シンポジウム講演議事録【平成 30 年 10 月 8 日（月・祝）】

開会の挨拶	立川弘行（山梨県県民生活部長）.....	1
趣旨説明	本多 亮（山梨県富士山科学研究所）.....	5

富士山はどんな噴火をしてきた火山なのか

—地質学的なアプローチからわかっていること—

高田 亮（(国研) 産業技術総合研究所 研究員）.....	8
-------------------------------	---

富士山の地下構造

青木陽介（東京大学地震研究所 助教）.....	23
-------------------------	----

水蒸気噴火を地殻変動データから読む～北海道雌阿寒岳～

高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター 教授）.....	34
---	----

静穏火山における噴火準備過程—蔵王山総合観測の成果から

三浦 哲（東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター 教授）.....	47
---	----

観測に基づく情報発信：火山災害の軽減に向けたインドネシアの現状と問題、そして挑戦

ウィウィット・スルヤント（インドネシア ガジャ・マダ大学 教授）.....	57
---------------------------------------	----

富士山頂における絶対重力観測 —その学術的・技術的意義と地震・火山観測への展開

大久保修平（東京大学地震研究所 教授）.....	72
--------------------------	----

キラウエア火山の 2018 年噴火に際してのコミュニケーション

クリスティーナ・ニール（USGS ハワイ火山観測所 所長）.....	104
------------------------------------	-----

パネルディスカッション.....	121
------------------	-----

閉会の挨拶	上小澤 始（山梨県富士山科学研究所 副所長）.....	150
-------	-----------------------------	-----

講演要旨.....	153
-----------	-----

山梨県富士山科学研究所国際シンポジウム 2018
— 火山モニタリング観測と火山活動予測 —
平成 30 年 10 月 8 日 (月・祝)

プログラム

司会進行：吉本充宏（山梨県富士山科学研究所）

10:00-10:05 開会の挨拶 **立川弘行**（山梨県県民生活部長）
10:05-10:10 趣旨説明 **本多 亮**（山梨県富士山科学研究所）

第 1 部 火山モニタリング観測と火山活動予測

10:10-10:30 「富士山はどんな噴火をしてきた火山なのか
—地質学的なアプローチからわかっていること—」
高田 亮（(国研)産業技術総合研究所 研究員）

10:30-10:50 「富士山の地下構造」
青木陽介（東京大学地震研究所 助教）

10:50-11:10 「水蒸気噴火を地殻変動データから読む～北海道雌阿寒岳～」
高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター 教授）

11:10-11:30 「静穏火山における噴火準備過程—蔵王山総合観測の成果から」
三浦 哲（東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター 教授）

11:30-12:00 「観測に基づく情報発信
：火山災害の軽減に向けたインドネシアの現状と問題、そして挑戦」
ウィウィット・スルヤント（インドネシア ガジャ・マダ大学 教授）

(12:00-13:00 昼 休 憩)

13:00-13:40 「富士山頂における絶対重力観測
—その学術的・技術的意義と地震・火山観測への展開」
大久保修平（東京大学地震研究所 教授）

13:40-14:40 「ハワイ・キラウエア火山 2018 年噴火の複合的な火山災害
：危機対応と観測所の役割」
クリスティーナ・ニール（USGS ハワイ火山観測所 所長）

(14:40-14:55 休 憩)

第2部 パネルディスカッション

14:55-15:55 観測・監視による噴火活動の推移予測の難しさとはどのようなものであるか
現時点で様々な観測項目にどの程度の検知能力があり、どのような難しさがあるのか

コーディネーター **藤井敏嗣** (山梨県富士山科学研究所 所長)

パネリスト **クリスティーナ・ニール**

ウィウイット・スルヤント

三浦 哲

高橋浩晃

西島 潤 (九州大学 工学研究院 准教授)

青木陽介

15:55-16:00 閉会の挨拶 上小澤 始 (山梨県富士山科学研究所 副所長)

-- Session2 Panel Discussion --

14:55-15:55	Discussions are about... The difficulty in predicting the volcanic activity by observation / monitoring. Detection capabilities of present various observation methods and those difficulty.	
	Coordinator	Toshitsugu Fujii (Director, MFRI)
	Panelists	Christina Neal Wiwit Suryant Satoshi Miura Hiroaki Takahashi Jun Nishijima (Associate Professor, Department of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University) Yosuke Aoki
15:55-16:00	Closing Remarks	Hajime Kamikozawa (Deputy Director, MFRI)

山梨県富士山科学研究所 国際シンポジウム 2018 — 火山モニタリング観測と火山活動予測 —

開催日：平成 30 年 10 月 8 日（月・祝）

会 場：富士吉田市市民会館 小ホール

主 催：山梨県富士山科学研究所

後 援：富士山火山防災対策協議会、富士吉田市、特定非営利活動法人日本火山学会、
日本測地学会

司会（吉本）：ご多忙の中、多数ご来場いただきまして、誠にありがとうございます。お時間となりましたので、「山梨県富士山科学研究所国際シンポジウム—火山モニタリング観測と火山活動予測—」を開会させていただきたいと思ひます。

本日、司会進行を務めさせていただきます、山梨県富士山科学研究所火山防災研究部主任研究員の吉本と申します。よろしくお願ひいたします。

まず初めに、お詫びなのですが、ご講演 7 で来日していただける予定であったクリスティーナ・ニール博士ですが、急遽ご都合が合わなくなり、本日ご欠席ということになりました。詳しくは趣旨説明の中で、本日の予定等とあわせて説明させていただきたいと思ひます。よろしくお願ひいたします。

それでは、開会に当たり、山梨県県民生活部立川弘之部長より挨拶申し上げます。立川部長、よろしくお願ひいたします。

【 開会の挨拶 】

立川弘行（山梨県 県民生活部 部長）



立川：皆さん、改めまして、こんにちは。ただ今ご紹介いただきました山梨県県民生活部長の立川でございます。本日は、富士山科学研究所国際シンポジウム 2018 にご参加いただきまして、誠にありがとうございます。

このシンポジウムは、2001 年から国内の研究者の方々はもとより、海外の研究者の方をお招きして開催しているものでございまして、今回、火山モニタリング観測と火山活動予測という形で実施することにしております。

このシンポジウムは日本のシンボルでもあり、2015 年に世界文化遺産に登録された富士山についての保存管理ですとか活用方策、あるいは火山防災対策などの課題に対応するために、国内あるいは海外の先進事例を基に、解決策を探ることを目的として実施しているわけでございます。

ご存じのとおり、この富士山周辺には約 140 万人の方々に住まわれています。そして、観光という形で富士山五合目を訪れる方は、ほぼ同じく 120 万人を今年の夏で数えております。さらに、

裾野も入れた富士山の世界文化遺産の構成資産の観光地を訪れる方々となりますと、その 10 倍、去年では 1200 万人、こういった方々が訪れているわけです。正に山梨の一大観光地でございます。このようなところで、一度大規模な火山噴火が起これば、何らの対策なしには大規模な被害が発生することが予想されるわけでございます。

私から申し上げるまでもなく、火山の災害を軽減するためには、火山噴火の予知、推移などをしっかりデータとして取って、住民の方や登山客あるいは観光客の方々へ正確な情報提供をし、効率的・効果的な避難誘導につなげることが大変重要なわけでございます。

富士山科学研究所では、国内外の研究機関とも連携いたしまして、富士山の火山モニタリング観測を行っております。富士山の噴火予兆を捉える観測を行っているわけですが、本日のシンポジウムでは、国内・海外における火山モニタリング観測の先進事例ですとか、実際に噴火に対応された事例、こういったものを基にご講演をいただくとともに、そのご講演いただいた方々にパネラーとして、パネルディスカッションを行っていただくことを予定しております。

山梨県としても、大変参考になるシンポジウムであると考えておりまして、今後の対策に生かせればと考えております。

結びになりますが、本日までご参加の皆さま方にとって、このシンポジウムが大変有意義なものなることをご期待申し上げまして、開会に当たっての挨拶とさせていただきます。

本日はどうぞよろしくお願いいたします。

司会：立川部長、どうもありがとうございました。

続きまして、当研究所火山防災研究部本多研究員より、本会の趣旨説明をさせていただきたいと思っております。本多研究員、よろしくお願いいたします。

Moderator (Mitsuhiro Yoshimoto)

Thank you very much for coming to our symposium. It's already time to start. We would like to start the International Symposium on Monitoring and Observations for Prediction of the Volcanic Activity organized by Mount Fuji Research Institute. My name is Yoshimoto, Senior Researcher of Mount Fuji Research Institute. I will serve as the moderator today. I need to start with the apology. Seventh presentation we were going to have by Dr. Christina Neal. She would not be able to make it today, because she has urgent business. However, we would like to make a presentation on her behalf on the topic that she was to present. We would like to invite Director, Mr. Hiroyuki Tachikawa from the Resident Affairs Department of Yamanashi Prefecture to make an opening greeting.

Hiroyuki Tachikawa

Good morning ladies and gentlemen. As was just introduced, I'm Tachikawa, Director of Resident Affairs Department of Yamanashi Prefectural government. Thank you very much for joining at this MFRI International Symposium on Monitoring and Observations for the Prediction of the Volcanic Activity. Since 2001, we have invited experts from within and outside this country to organize similar events.

We would be focusing on monitoring and observations and prediction in this symposium. The symposium is a national icon of volcanic activity research. Mount Fuji was inscribed as the World Heritage in 2011. There are challenges that we face with regard to evacuation and disaster response. In order to enhance disaster response, we have invited experts from overseas to learn from their experiences.

As you know, in the surrounding area of Mount Fuji, we have 1.4 million people living in the vicinity. There is a major tourism industry here. We have annual population visiting at least to the half way of Mount Fuji 1.2 million people visit. Tourists and visitors that visit Mount Fuji for any touristic purpose is twice that number 12 million. Once a major volcanic event occurs without any specific disaster mitigation response, there may be a very tragic impact without me telling you. In order to mitigate volcanic disasters, we should be able to predict the eruption based on scientific data. And then, at the same time, we need to communicate the result of research to residents as well as tourists. The information we provide and communicate should be as accurate as possible so that we'll be able to engage in wide area disaster response.

MFRI is working with other research institutes in Japan and outside Japan to carry out the volcanic monitoring so that we'll be able to detect precursors of volcanic episodes.

Today, we decided to focus on advanced cases and experiences of monitoring and observations to predict volcanic activities. We have many presentations scheduled today. Those who are supposed to present today are asked to join in, in the panel discussion later on. Yamanashi prefectural government I'm pretty sure is going to learn so much from this symposium. We are hoping to use that outcome for better disaster response.

In closing, I would like to present my wish that this symposium is going to be very useful to all of the participants in the audience. Thank you very much.

Moderator

Thank you very much Mr. Tachikawa. Next, from MFRI, our researcher, Dr. Ryo Honda would like to brief you on today's program.

【 趣旨説明 】

本多 亮（山梨県富士山科学研究所）



本多：皆さん、おはようございます。私から簡便にはありませんが、今回のシンポジウムの趣旨を説明させていただきます。

まず、こちらにおいでの方は多くが耳にされたことがあると思いますが、富士山がどういう山かということに関して、特に火山防災上気を付けないといけない点を挙げますと、まず1つは、火口がどこに開くか分からないという特徴があります。もう1つは、非常にさらさらとしたマグマを

流しますので、前兆的な現象が起こってから噴火に至るまでが短いのではないかとということが予測されます。

これらの2つのことから、どんなことが言えるかということですが、いわば不意打ちのような噴火に見舞われることも十分考えられるということです。ですので、どういうことが必要になってくるかということなのですが、まず火山に関する情報が絶えず皆さんに公開されて、情報が提供されていることが必要になると思います。もう1つは、近傍にお住まいの方々に、その情報が十分に理解できるような形であることが必要になると思います。

言い換えますと、住民の皆さんにも火山の情報がどんなものなのかという知識を、いきなり全部は難しいと思いますが、これから少しずつ蓄積していって、理解が進んでいけばという思いがあります。

火山の情報、避難の指示は、もともと我々が観測しているデータから、こういった経路で住民の皆さんに伝わっていくと思いますが、その観測データ自体の見方であるとか、そういったものを感覚的に分かっていただくことで、この伝わり方がスムーズになることを目指していきたいと思っています。

今回、非常に経験豊富な先生方をお呼びしていますので、そういうお話を聞きながら、いろいろな手法を実際の事例を含めながら聞いていただいで、どのぐらいのことまで分かるのかということ、肌で感じていただければと思います。火山の情報が皆さんにとってより身近なものになっていただければと思います。

趣旨等の説明としては以上なのですが、冒頭紹介がありましたように、クリスティーナ・ニールハイ火山観測所所長が来られなくなってしまったということで、急遽講演の原稿を送っていただきましたので、映像などと一緒に、その原稿を私が紹介させていただきます。大変申し訳ありません。

本日はよろしく申し上げます。

司会：本多研究員、どうもありがとうございました。

それでは、第1部「火山モニタリング観測と火山活動予測」を始めさせていただきますと思います。

まず初めに、講演 1 といたしまして、産業技術総合研究所研究員の高田亮先生による「富士山はどんな噴火をしてきた火山なのかー地質学的なアプローチからわかっていることー」と題しまして、ご講演をお願いいたします。

それでは、高田先生、よろしくをお願いいたします。

Ryo Honda

Good morning ladies and gentlemen. I'll just briefly explain the objectives of this symposium. As most of you may have heard about this, but we would like to understand what kind of mountain Mount Fuji is and also look at some of the characteristics of the volcanic disaster mitigation at Mount Fuji. We, first of all, don't know where the event location will be and the magma that flows out is quite fluid. Therefore, we expect that from the precursor to the actual eruption, the time will be very short. From these two aspects, we can understand that the eruption will be very sudden and abrupt.

So, what is it that we need to do to prepare against such a disaster? First of all, volcano information, we need to have real time disclosure of information on the volcanic activities. There are people who live close to the mountain, therefore, we will have to make sure that the information provided is understandable to the residents. In other words, it means that we need to have residents understand what they will hear. Of course, it may not be easy but we have to make sure that we continue to educate residents so that they can understand about the information.

Now, the warning level as well as the evacuation order will be communicated to the residents in this order. First of all, they observed data. How do you understand and read the observed data? By making sure that people can understand how to look at the observed data, we believe that it would be very easy to understand the warning levels as well as the evacuation order that will be provided by the authorities. Now, we have many experts gathered here today. And, we will be learning about actual examples of monitoring and observations. We hope that people can grasp what and how much can be understood through these data. We hope that we will be familiarized with volcanic information. That's the objective of this symposium.

Dr. Christina Neal, the scientist in-charge of the USGS Hawaiian Volcano Observatory was unable to come here in person. So, I would like to read her script that she has prepared while we show her PowerPoint presentation. I hope to have your cooperation and understanding. Thank you very much.

Moderator

Thank you very much Dr. Honda. Now, we would like to start the first session, 'The Eruptive History of Fuji Volcano, Japan'. Our first speaker is Dr. Akira Takada, the Geological Survey of Japan from AIST. He will talk from a geological approach about Mount Fuji as volcano. Dr. Takada please.

「富士山はどんな噴火をしてきたか火山なのか
—地質学的なアプローチからわかっていること—」

「富士山はどんな噴火をしてきた火山なのか —地質学的なアプローチからわかっていること—」

高田 亮（(国研) 産業技術総合研究所）



図 1

高田：おはようございます。

今日は富士山の噴火の歴史のダイジェストをお話します。今まで富士山はたくさんの研究者が研究されてきました。我々は火山地質図を作ったわけですが、それ以前に津屋先生とか、町田先生とか、ここの研究所もそうですが、多くの研究者が富士山の研究をしてきました。そういうものの集大成を簡単にお話をします。

富士山は 3776m と高い火山ですが、一般の方が嫌われる方向はこれです（図 1）。浮世絵の葛飾北斎、彼らが書かなかった方角です。富士山はきれいな形をしている日本の美の象徴のように昔から考えられていて、浮世絵などでは絶対に描かない方角があるのです。

ところが、我々火山の研究者にとっては、非常に重要な方向であります。ご存じのように、これは 1707 年の宝永火口ですが、これ以後約 300 年、富士山は静かです。これから富士山はどうかということが一番の課題だと思います。

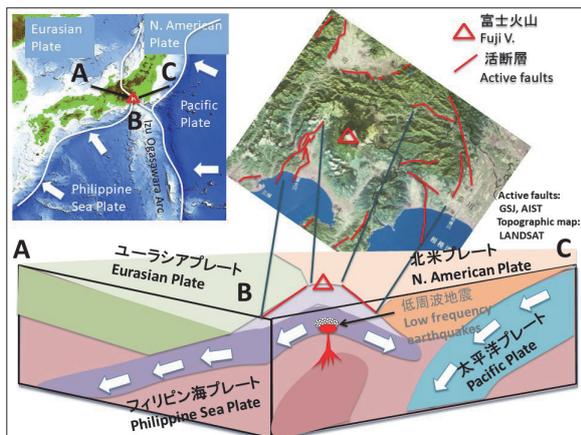


図 2

富士山の位置ですが（図 2）、日本列島は 4 つのプレートが複雑な形で接合していますが、その中で、よく見ると非常にややこしい場所に富士山はあるのです。拡大しますと、このような感じで、富士山は活断層に囲まれ、周りから力を受けやすい位置にあります。

模式断面図で見ると、こんな形だと推定されています。ここに富士山があり、フィリピン海プレートの上に乗っています。実は東側から太平洋プレートが入ってきて、その原因でマグマが上昇してきて、フィリピン海プレートの中を突き抜けて、富士山という火山が成長していた。このよう

に断層で囲まれ、周囲からいろいろな力を受けやすい場所にあります。

「富士山はどんな噴火をしてきたか火山なのか
—地質学的なアプローチからわかっていること—

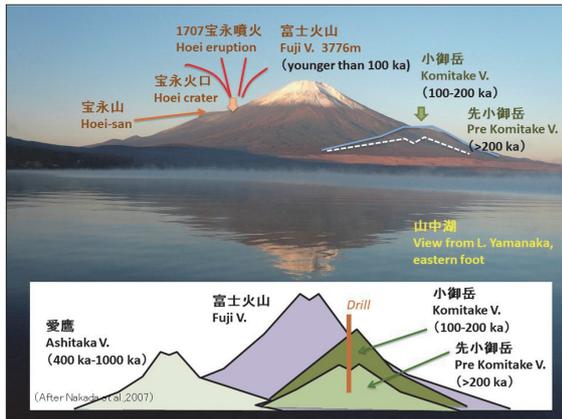


図 3

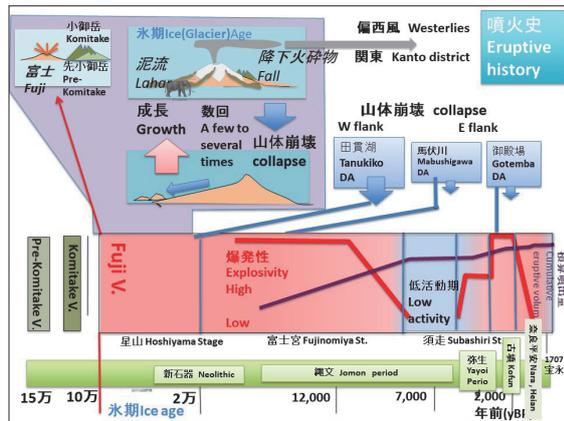


図 4



図 5

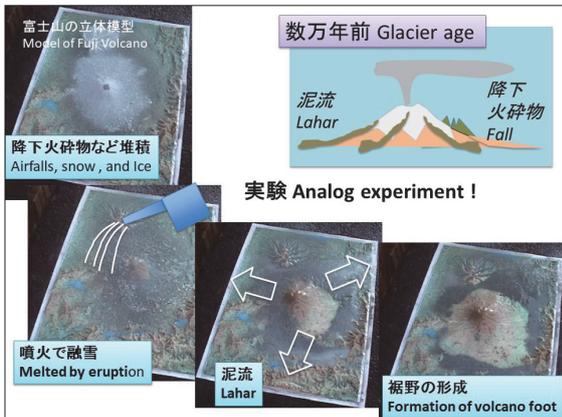


図 6

富士山を山中湖のほうから見ますと(図3)、変な形なのです。昔の浮世絵の画家が絶対に描かなかった方角です。きれいな富士山の形をしていない。富士山はきれいな形をしているというイメージを皆さんお持ちかもしれません。富士山の発達史にとっては非常に重要な方角であります。

模式断面図を描きましたが、こちらに愛鷹山という火山があって、その上に先小御岳、小御岳という古い火山があって、その上に富士山が乗っています。富士山は自分自身で高くなったように思えますが、実はこういう土台の上に富士山が成長したわけです。

さて、富士山の歴史を見ますと(図4)、10万年ぐらいの歴史があると言われています。これは約10万年前に遠くから来た火山灰がありまして、その上に乗っかっているということで、推定されています。富士山の下に先ほど言った先小御岳、小御岳という火山があって、その上に富士山が乗っています。

富士山は、氷に覆われていた氷河期、旧石器時代とか、縄文時代、弥生時代と人間の歴史とパラレルに発達してきました。初期のころは、古い火山の横に富士山が生まれました。大きくなってきて、氷河期を迎えると氷に覆われて、氷河期が終わると氷が解けて土石流などが裾野に流れて、富士山の大きな裾野を作っていました。

富士山は高くなるだけではなくて、恐ろしい話ですが、山が崩れるということが何回か起こっていたと考えられています。そういう時代を経ながら、富士山は爆発的な噴火をしながら少し静かになって、また活動的になって、ということを繰り返して現在に至りました。縄文時代の人たちが見ると、爆発的噴火を繰り返した非常に怖い火山でした。

山が崩れる事件も幾つかありました。基本的な話ですが、爆発的な噴火はこのような形で、これは桜島の例ですが、溶岩が流れるようなイメージです。こういうことが昔は起こっていました。

富士山の裾野に行きますと、爆発的な噴火をし

「富士山はどんな噴火をしてきたか火山なのか
—地質学的なアプローチからわかっていること—

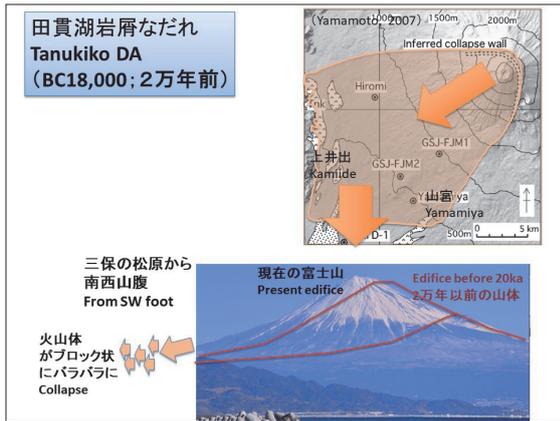


図 7



図 8

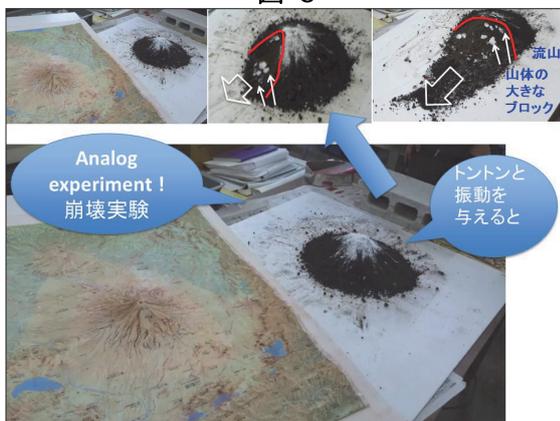


図 9

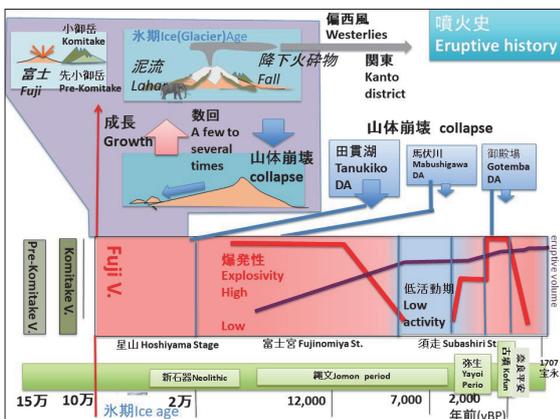


図 10

ていた時代の降下火砕物がたくさん重なっているところがあります(図5)。例えばこれは九州から飛んできた火山灰で、3万年とか、2万年とか、年代が分かっているものがあります。例えば始良カルデラの噴出物などが飛んできています。その間にたくさんの富士山の噴出物があります。

氷河期で氷に覆われていた時代に噴火すると、熱い溶岩、火砕物だけでなく、周りの氷が解けてしまうので、裾野に泥流が流れてくる。イメージとしては、こんな感じのことが起こっていたわけですね。結果として広い富士山の裾野を作った。今は美しい裾野ですが、当時はこんな裾野を作っていたわけですね。

実験してみますと(図6)、富士山の立体模型の上に砂をかけて、水をかけると、裾野に砂が流れ下り広がります。こんなことで富士山の広い裾野が形成されてきました。

このように火山泥流が広がるだけではなく、怖い話としては、富士山は山が高くなるだけでなく、崩れるということが起こっていました(図7)。規模の大きなものは約2万年前に西側に崩れた田貫湖の岩層なだれです。山頂を含めてこのように崩れていってしまいました。現在の富士山はちょっとずれた場所に成長しました。

この岩層なだれの堆積物の断面はこんな形です(図8)、もともと富士山の山体を構成していたものがばらばらになってきますので、個別のブロックがたくさん見えます。

イメージとしてはこんな感じです(図9)。小規模な山崩れは最近しょっちゅう起きていますが、こんなイメージの巨大なものが起きていたわけですね。

次に、いよいよ富士山の歴史に行きますが、今言った岩層なだれが幾つか起きていました(図10)。

富士山はたくさん割れ目噴火を起こしました。割れ目噴火の位置をプロットしますと(図11)、こんな形になっていて、山頂から大体13.5kmぐらいの円を書きますと、その中にほとんど入ってしまいます。色で分けてありますが、2万年ぐらい前から最近までの割れ目噴火の位置を書いてありま

「富士山はどんな噴火をしてきたか火山なのか
—地質学的なアプローチからわかっていること—

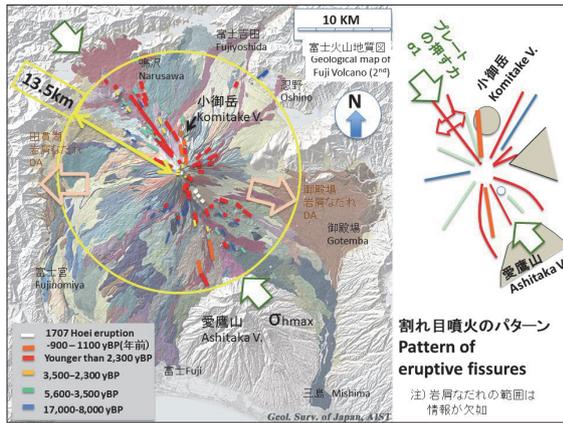


図 11

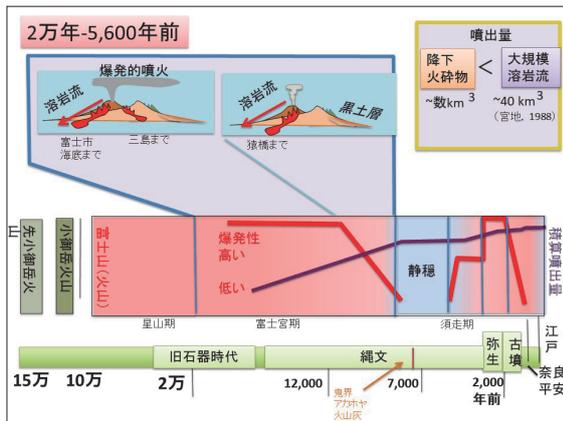


図 12

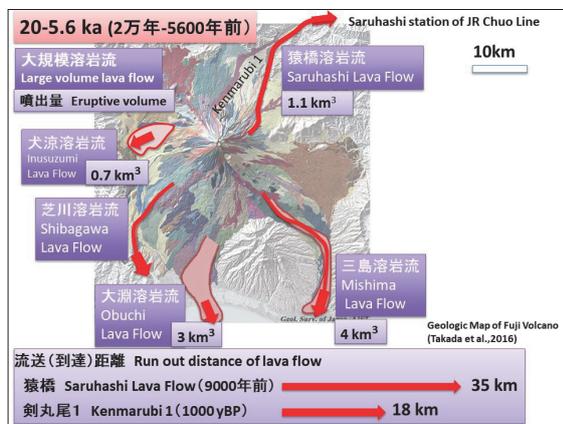


図 13

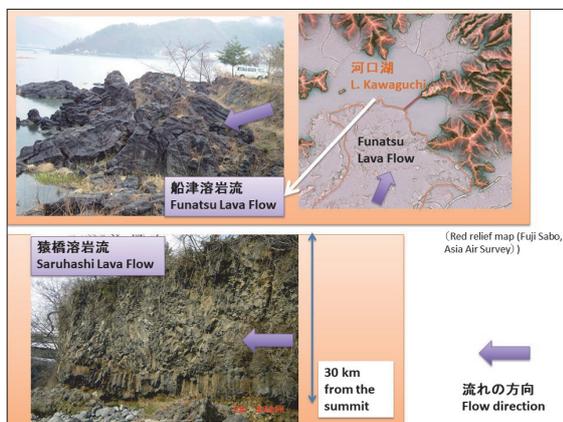


図 14

す。アバウトに言いますと、大体放射状ですが、統計を取りますと、北西-南東方向に集中しています。特に北西側は長い割れ目噴火が起きていたようです。

富士山は詳細に分かるようになった時代、2万年から5600年前は、爆発的な噴火もするし、溶岩流を流すような噴火も起きていました(図12)。大体このころは縄文時代、当時の人たちはいろいろな富士山の噴火を見ていたわけです。

裾野では、2万年から5600年前は、多量の溶岩流が流れてきました(図13)。富士山の裾野にある溶岩流の大規模なもの、このような形でたくさんあります。長いものは中央線の猿橋まで到達しました。イメージとしては、右側にハワイの絵が描いてありますが、こんな感じで溶岩流が流れていったわけです。非常に規模の大きい溶岩流です。

裾野に行きますと、こんな形で溶岩流の露頭があります。北麓の船津溶岩流です(図14)。河口湖に流れ込んでいます。

次に溶岩流が大量に出た時期の後になりますと、今度は、溶岩流だけでなく爆発的な噴火を起こすような時代になり、山もどんどん高くなりました(図15)。このころの堆積物は、例えば大沢の大きな露頭の断面では、5600年から3500年前の火砕物と溶岩流が見えています(図16)。

3500年から2300年前になりますと、山頂で爆発的な噴火が卓越した時代になりました(図17)。御殿場岩屑なだれという山が崩れる現象も1回発生しました。火砕流なども発生した多様な時代でした。これは縄文から弥生で、当時の人たちはいろいろな噴火を見ていたわけです。

イメージとしてはこんな噴火もしていました。火山灰は偏西風により、大体は西から東に飛びますが、たまに西に飛ぶものもありました。火山灰の厚さの分布をこのようにプロットしましたが、大体こんな感じの分布になっていました(図18)。

山頂ですが、2300年前以後は静かになりました。現在の山頂に行きますと、250m ぐらいの深さがあります(図19)。山頂の断面を見ますと、

「富士山はどんな噴火をしてきたか火山なのか
—地質学的なアプローチからわかっていること—」

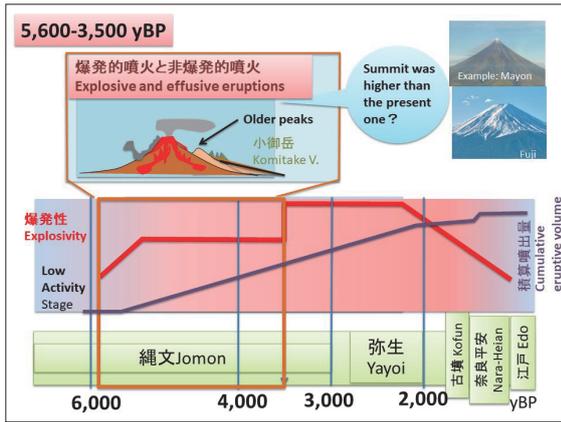


図 15

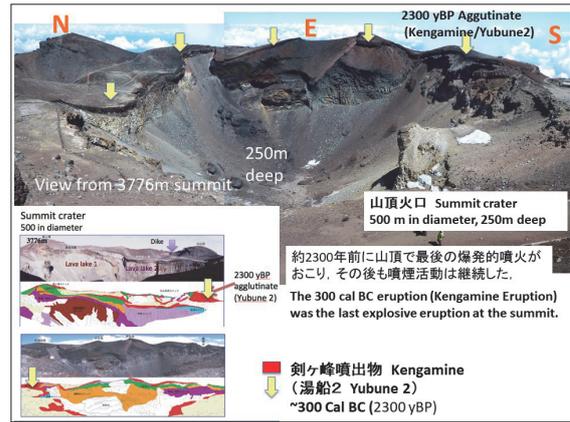


図 19

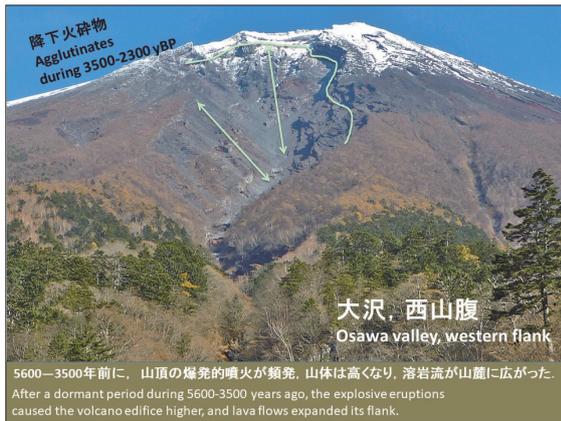


図 16

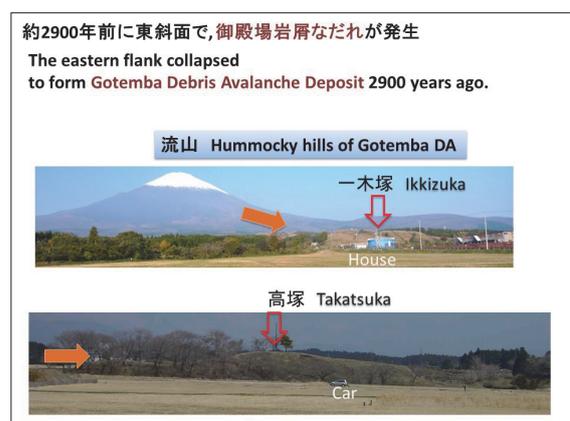


図 20

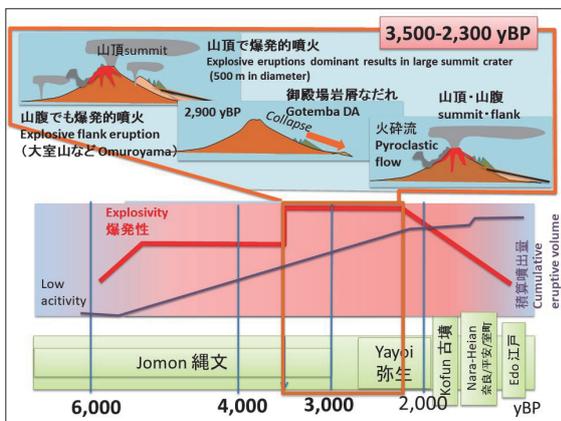


図 17

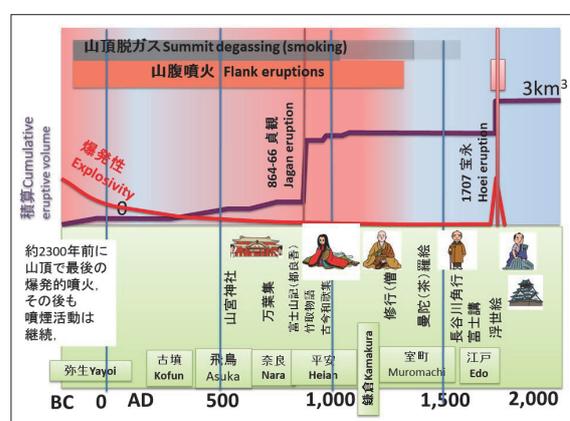


図 21

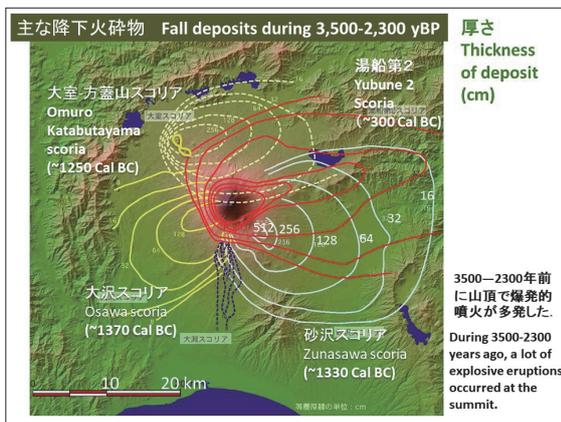


図 18

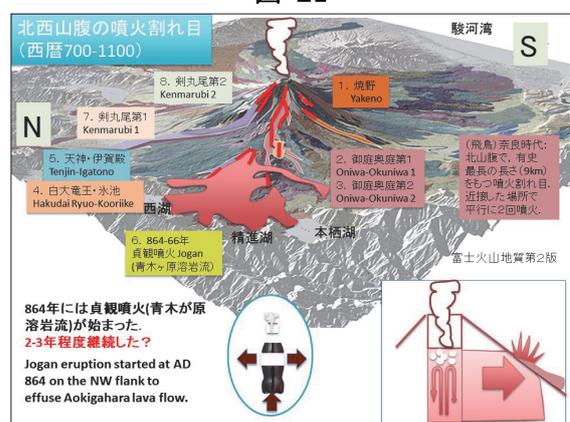


図 22

「富士山はどんな噴火をしてきたか火山なのか
—地質学的なアプローチからわかっていること—

たくさんの火砕物で覆われています。当時の山頂噴火の噴出物が毛布で覆ったように幾つか重なっているのが見えます。山頂噴火の最後が湯船第二という遠くに飛んだ剣ヶ峰の噴出物です。この 2300 年前の噴出物が黄色い矢印で書いた部分に乗っかっています。これ以後、山頂では噴火はありません。山腹の噴火になりました。

2900 年前には、御殿場側に 1 回山が崩れました(図 20)。図のような感じで山が崩れますと、山の部分がブロックとして残っているのです。これらは流山と呼ばれる小山群で、何とか塚と呼ばれており、現在も東麓の御殿場側に多く見られます。

いよいよ 2300 年前以後山頂の噴火が収まり、山腹の噴火が卓越し、山頂から火山ガスや噴煙のみが出るような時代になった(図 21)。弥生、古墳、奈良とか、有史の時代になっていきます。

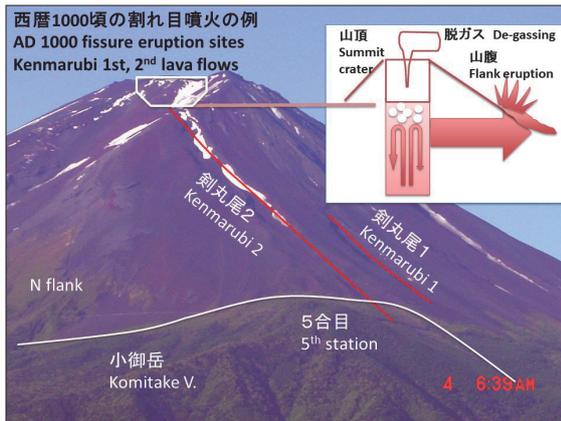


図 23

2300 年前以後多くの山腹割れ目噴火が起こりました(図 22)。有名なのが青木ヶ原溶岩流噴火で、864 年に北西麓で始まり、少なくとも 2 年ぐらいは続きました。当時せのうみと呼ばれていた湖が、溶岩流により西湖と精進湖に分裂しました。

その後は、少し標高が高いところでも噴火がありました。例えば、北山腹で噴火した剣丸尾第一、第二溶岩流です(図 23)。これらは、標高の高い八合目で起きている。当時のイメージとしてはこんな感じで、山頂火口内に溶岩がたまっていて、噴煙が上がり、ガス抜けした溶岩が山腹から漏れ出したのかもしれない。



図 24

これは山頂火口底に下りた画像ですが(図 24)、現在火口は何もありませんが、火口底からは火口の断面が見えます。当時溶岩がたまっていたような時代がありましたので、その断面が見えています。

この写真では、産総研の研究者が火口底に下りて何か拾っています。実は古銭が落ちていたのです。奈良とか平安時代には、山頂から火口底へ賽銭を投げ込んでいたりしていたのです。古銭はたくさん落ちています。けど、今のお金は 1 枚も落ちていない。今の人にはけちなのか、そういう習慣がないのか、よく分かりません。

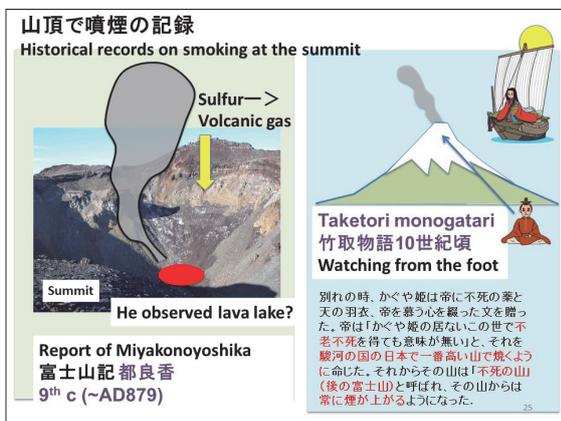


図 25

有史の記録に戻ると、山頂からはそれ以後噴煙が続いていた記録が残っています(図 25)。かぐや姫の話なども本当かどうかは分かりませんが、都良香という人が山頂に登った記録があります。山頂からはガスが出ていた。赤いものが見えた

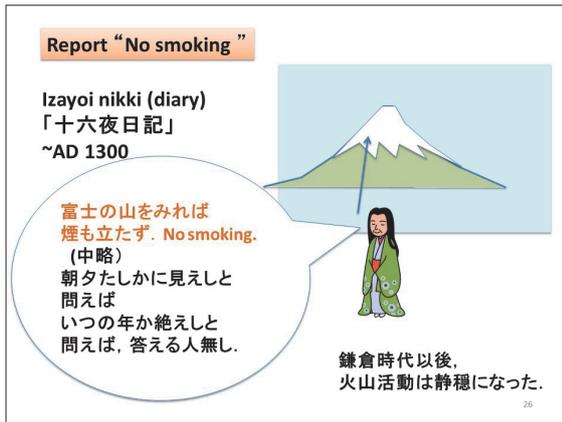


図 26

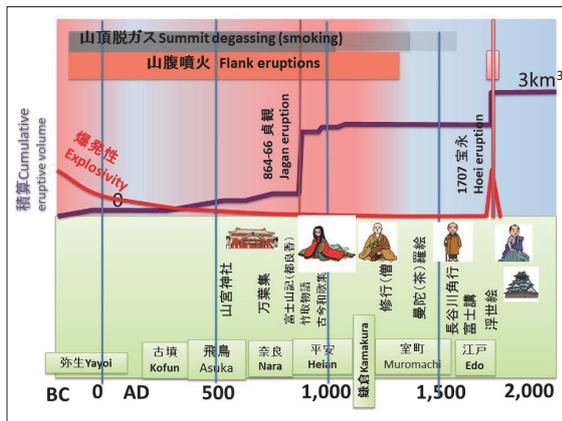


図 27

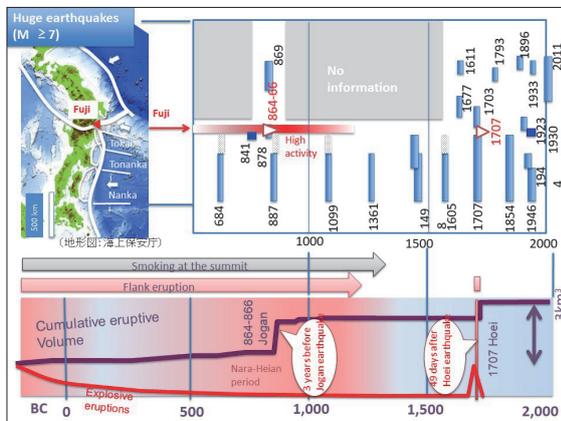


図 28



図 29

か、そんな記録もありました。でも、山頂から爆発した噴火は起こっていない。有史の噴火は、全て山腹からの噴火でした。

それ以後、だんだん山は静かになってきて、いよいよ鎌倉以後になりますと、歌にもありますが、煙も出なくなってしまったということになりました(図 26)。

ずっと静かな時代が江戸時代の宝永まで続きました。富士山は 300 年ぐらい静かでありました。宝永噴火は突然南東山腹から大きな爆発が発生し(図 27)(図 28)、大きな火口が 3 つあいてしまいました(図 29)。溶岩流を出さない噴火で、地震が増えて、それから鳴動がして、49 日後、爆発的噴火が発生しました。翌年の正月に噴火が終了しました。宝永噴火では南東山腹に 3 つの火口が形成されました。富士山は、裾野を広げる美しい火山ですが、南東山腹の火口群は、異様な形であります。この噴火様子は、当時の絵にも残されています(図 30)。

この噴火は今起こったら大変なのです。富士山が宝永噴火のような噴火をすると、偏西風によって西から東に火山灰が流れて飛んできます(図 31)。宝永噴火では、例えば当時の江戸(東京)でも数センチ、特に南側で火山灰が積もっていたそうです。大きな災害も出ています。当時家が燃えたり、つぶれたりというだけではなくて、裾野では泥流が発生して、小田原では洪水が発生したり、いろいろな災害が出ました。細かい灰が当時の江戸に飛んできました。現在細かい灰が東京上空まで飛んでくると一体どうなるのかということは、非常に大変な問題であります。

そういうわけで富士山は、大体この 300 年静かで、将来どうなるかということ、これからの若い人が考えていただくことだと思います。富士山は噴火だけでなく、裾野にはたくさん水が湧いています(図 32)。こういう多くの恵みも与えてくれているわけです。

それから、富士山は信仰の対象になっています(図 33)。神社の起源は、昔裾野に溶岩流が流れ

「富士山はどんな噴火をしてきたか火山なのか
—地質学的なアプローチからわかっていること—」



図 30

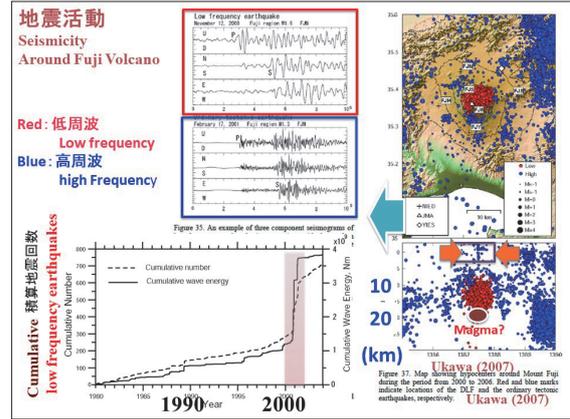


図 34

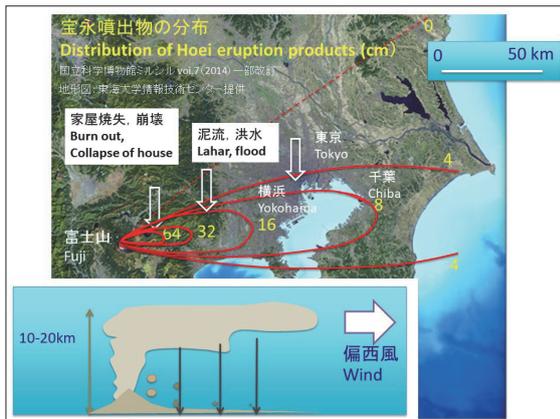


図 31

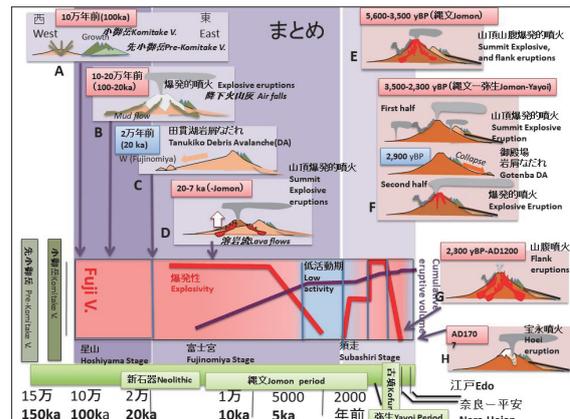


図 35

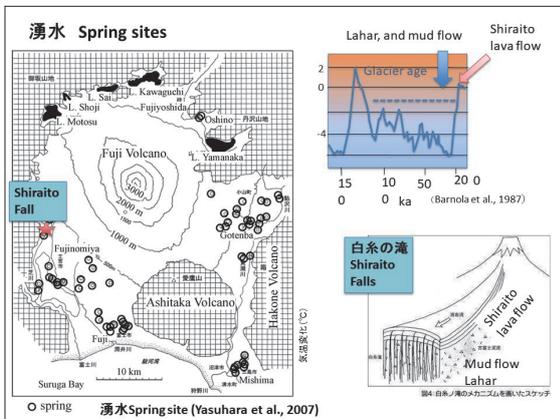


図 32

宝永噴火後 300年以上 静か？
低周波地震は起きている。

図 36

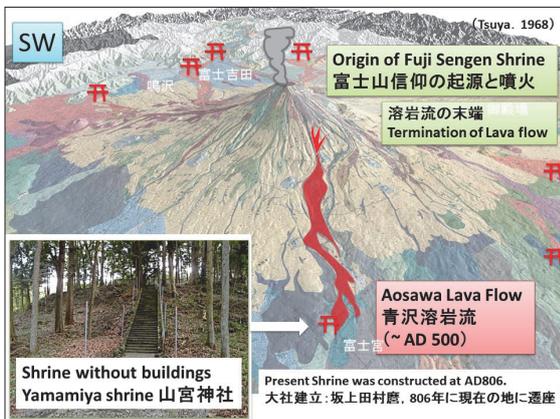


図 33

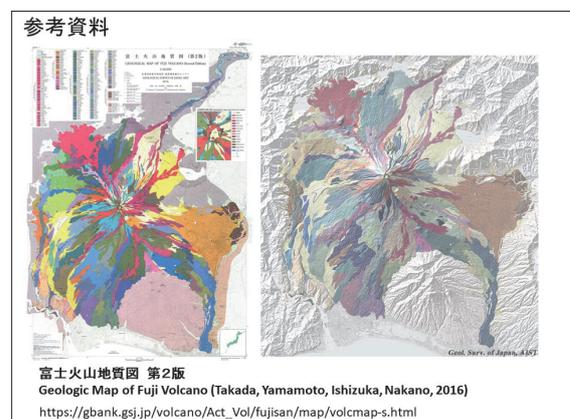


図 37

て、溶岩流が止まってくれとか、流れてこないようにということで、溶岩流末端に、神社が建てられたのかもしれませんが。また、山が静かになるようにと、神社を作ったのかもしれませんが。非常に火山と関係のある神社です。

富士山はご存じのように静かですが、時々低周波地震などが起きているということが現状だと思います（図 34）。

富士山のお話を簡単にまとめました（図 35）。10 万年ぐらいの歴史がありまして、一時静かになる時代がありましたが、また活動的な時代になって、現在は静かになっています。一方、山は何回か崩れたようですが、最後の 2 万年前に崩れた以後は、富士山は大きく高くなってきました。爆発的な噴火の時代もありましたが、現在は宝永噴火以後 300 年静かです。今後どうなるか非常に謎なところであるわけです。

今後課題としては、富士山の下 15km 前後の深さでは地震は起きているので、どうも火山が生きているようです。ただ、300 年以上何で静かなのか？（図 36）という問題があります。

我々産総研はこんな形で富士山の調査をし、火山地質地図を作成しました（図 37）。富士山は、内閣府によりハザードマップなどもできています（図 38）。最近は、噴火やハザードのシミュレーションも進んでいるようです。

ということで、富士山の概略のお話をしました。

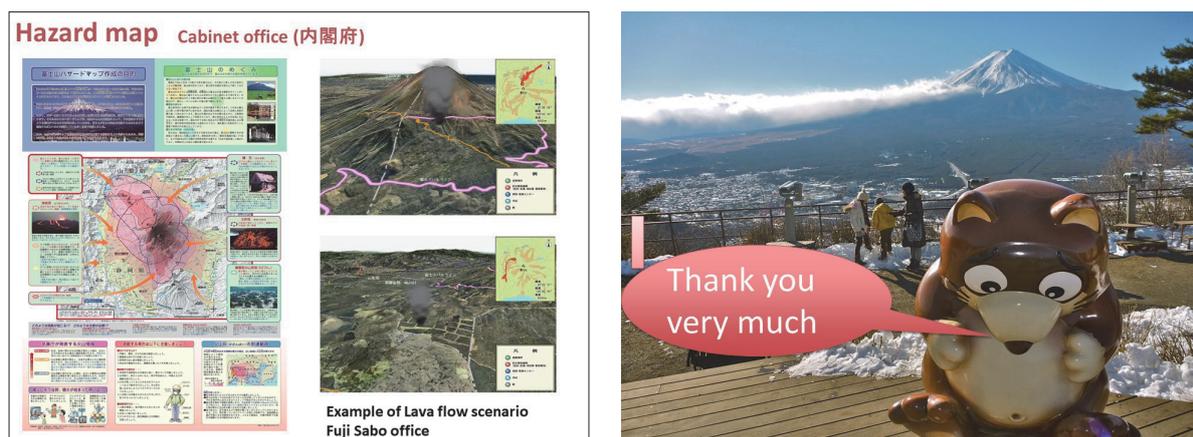


図 38

司会：高田先生、どうもありがとうございました。本講演に関わるところで 1 つだけ質問を受けたいと思いますが、どなたかいらっしゃいますでしょうか。特にないようでしたら、後のほうで質問の時間を取りたいと思います。高田先生、どうもありがとうございました。

それでは、2 つ目の講演といたしまして、東京大学地震研究所の青木陽介先生に「富士山の地下構造」と題しまして、ご講演いただきたいと思います。青木先生、よろしくお願いたします。

Akira Takada

Good morning ladies and gentlemen. Today, I will talk about the digest of the eruptive history of Mount Fuji. Well, Mount Fuji had been researched by many researchers. We created this geology aspect after Professor Tsuya or Professor Machida. All those researchers in this institute (MFRI) also have been researching Mount Fuji. I would like to talk about just brief digest-of it.

Mount Fuji, the height is 3776 m, so it's the highest mountain in Japan. But the direction that people don't like is this (the southeastern foot), for example, Katsushika Hokusai in his ukiyo-e never drew from this direction. Mount Fuji is really beautifully shaped and it is the symbol of the Japanese beauty. In ukiyo-e pictures, an angle that was never depicted is that of eastern or southeastern foot. But, for us volcano researchers, this is a very important angle. As you know, this is the Hoei craters of 1707 eruption. Since then Mount Fuji has been quiet. So, what is going to happen to Mount Fuji? I think that is going to be the major challenge from now on.

Now, Mount Fuji, the location, well, this is the Japanese archipelago. Japan island is developed on four plates in a very complicated manner. As you can see, Mount Fuji is located in a very complicated place as plate boundary. It is surrounded by many active faults. It is prone to many stresses from around. This is Mount Fuji here. Mount Fuji lies on the northern top of the Philippines sea plate subducting beneath Japan Island. But actually, there is the Pacific plate from the eastern side. Magma of Mount Fuji is produced in the Pacific plate, and goes up and through the Philippines sea plate. And Mount Fuji is surrounded by active faults. So, it is prone to many stress.

Now, a photo of Mount Fuji is taken from the Lake Yamanaka. It has a rather strange shape. This is the angle which the ukiyo-e painters never drew. It's not really a beautifully shaped Mount Fuji, as we know.

Mount Fuji is believed to be a beautifully shaped volcano. But the direction which the ukiyo-e painters never draw Mount Fuji is from the eastern foot. But in the historical process, this is a very important angle scientifically. I show a schematic section. This is the Ashitaka volcano, a very old one. On top of that is Komitake volcano overlying and also pre-Komitake. And, Mount Fuji lies on Komitake volcano. Mount Fuji didn't rise higher on its own. Actually, it's built on such foundations.

Mount Fuji, if you look at the history, it goes back to 100,000 years. This is the volcanic ash 100,000 years ago that came from a far. Mount Fuji has grown on top of that since 100,000 years ago. Below Mount Fuji, there are Komitake and pre-Komitake volcanoes. Mount Fuji lies on top of those volcanoes and 100,000 years have passed since then. The volcano has grown through an ice glacier age, Jomon period, Neolithic period, Yayoi period and all those histories of human kind.

In the beginning, Mount Fuji was adjacent to these Komitake and pre-Komitake. And then, it was covered by the ice and they melted to cause many mud flows (lahars). And then, Mount Fuji not just went higher but it's scary. But sometimes it experienced some collapses. So, through those years, Mount Fuji underwent explosive eruption and then sometimes went really quiet and sometimes again made some eruptions. So, for people in Jomon period, this was a really scary mountain.

There were cases of edifice collapse. This was very basic information but explosive eruption goes like this. This is Sakurajima and also you see lava flow. This was what was happening in old days. If you go to the foot of the Mount Fuji, you can actually see the products of the explosive eruptions deposited and accumulated. For example, this is the volcanic ash from Aira Caldera, Kyushu, southern part of Japan 24,000 years ago intercalated in between. In that sense Mount Fuji underwent explosive eruptions. You see all the accumulation of the products.

During the ice age or glacier age, it was covered by the ice. When erupts, very hot lava goes out, flows out and it melts all the ice and it involves many things as it flows. This is what happened. It created a very wide area of foot. Right now, it's very beautiful but this is how it was made. We made some analog experiment on a model of the volcano. We actually created an analog model of the volcano and put sand on and then put water on. Then, you can see that it spreads out.

The foot spread out in a wide area and it's in the very right. This is how the very wide foot of Mount Fuji was created and formed. Not just in mud flow (lahar) spread but it's also scary, Mount Fuji not just went higher but also collapsed sometimes. The major one occurred about 20,000 years ago, and it collapsed to the Western foot and created the Tanukiko debris avalanche deposits. The current Mount Fuji was formed in a little bit side way. This is the blocks of the Tanukiko debris avalanche. You can see lot of individual or independent collapsed blocks. We often see very small scale lahar or avalanche these days. And, we believe that the debris avalanche of Mount Fuji was something like this although much bigger in size.

And then, I would like to talk about the history of Mount Fuji. As I said, there were some debris avalanches in the past. Mount Fuji underwent many fissure eruptions. This is what the fissure eruption is. You can see that it all comes within the radius of 13.5 kilometers. The figure shows all the fissure eruptions that started from 20,000 years ago. The distribution pattern isn't radial but they are mainly trending the Northwest - Southeast direction. Particularly, there are many long fissures on the northern foot.

Now, Mount Fuji was seen in detail starting from 20,000 years ago. There were a lot of lava flow and also explosive eruptions. During this time, we believe that this is the Jomon period and people were watching the eruptions of the Mount Fuji. From 20,000 to 5600 years ago, a large amount of lava came flowing down. The major ones were like this. The longest flow reached to the location of the recent Saruhashi station of JR Chuo Line. You see a picture of a Hawaiian Kilauea, Hawaii. We believe that the lava flow at that time was like this.

If you visit the foot of the Mount Fuji, you can find a lot of geological sights. For example, you will observe Funatsu Lava flow at the northern foot. This is Lake Kawaguchi. Now, the lava flow was massive in amount at the lakeside. After that followed the period of explosive eruptions. That made Mount Fuji higher and higher. You can see the various deposits from 5600 to 3500 years ago along the Osawa valley at the western flank. From 3500 years ago to 2300 years ago, the summit eruptions were dominant but Pyroclastic flows were associated. This is a period from Jomon to Yayoi period so people at this time were watching such explosive eruptions.

Airfalls (Volcanic ash) usually carried from west to east due to the Westerly, but sometimes they flung to west. Isopach map shows the distribution of the thickness of the volcanic ash.

Since 2300 years ago, the summit has been quiet. If you climb to the summit, you can observe 250 meters deep summit crater. At the cross-section, you find the summit covered with many pyroclastic deposits like a blanket. The last summit eruption is named Kengamine or Yufune-2. You can see the products indicated in the yellow arrows. Since then, the volcano has caused no summit eruptions, just the flank eruptions. And, 2900 years ago, the eastern flank collapsed to cause a debris avalanche to Gotemba. This created some hummocky hills. When a flank collapse occurs, the parts of the mountain are left as blocks at the mountain foot as small hills. For example, one of them is now named as Takatsuka, a small

mountain. If you go to the eastern foot, in the Gotemba side, you can find such hummocky hills.

About 2300 years ago, AD 0, we see well the summit eruption went quiet. Only flank fissure eruptions became dominant. We see now active human history period. The very famous one is the Aokigahara lava flow (AD 864- Jogan eruption). The fissure eruptions occurred at the northwestern foot and buried some lakes. You can see some fissures created. The last one was the Jogan eruption started from 864. -The eruption lasted at least for 2 years.

After that in a higher altitude, the volcano caused some eruptions. For example, Kenmarubi 1st lava flow reached the present location of research institute and 2nd lava flows reached apso. This started in a very high altitude place for example 8th station of the mountain. The image was like this. There was lava with de-gassing in the summit crater. The lava sometimes had flown over the crater or broken its summit flank to flow down.

This is the picture at the summit crater. Right now at the crater, there is nothing so if you go down that crater, you can see the cross-section of the crater. There was a time when the lava was deposited here. So, you can see that in the cross-section. Our researchers went down and they were picking up some things. Actually, they found some old coins. I think they are the coins of Nara period long time like 1200 years ago. People at that time threw in the coins, so we found very ancient coins but we found no current coins. Probably, people are stingy these days. It's so surprising but we found lots of ancient coins with holes in the middle from the Heian period or Nara period 1200 years ago or something like that. Since then or after that smoke kept coming out from the summit. You see many records, for example, 'The Tale of Taketori'. We don't know if it's real or not but there was also a record that Miyako no Yoshika climbed top of the mountain in 9th century. But there was no explosive eruption at the summit. All of them occurred in the flanks. And then after that Mount Fuji became quiet. In Kamakura period 12th or 13th period, we can see as people wrote in the poem even no smoke came out and then the quiet period lasted.

And then after that lastly we go up to Hoei period 1707. Mount Fuji kept quiet for about 300 years but the Hoei eruption suddenly started from the east side or southeast and made three great holes in the flank. It created no lava but it saw an increase in earthquakes and they were sound and then the eruption started. This was a very major event. And, 49 days later at the New Year's Day of the next

year, it stopped. In creating a very beautiful foot, the shape is quite strange and created three big craters in the flank. The picture remains a drawing at that time.

Now, this eruption, well, it's going to have a major impact if it occurs today but if there was an eruption of Mount Fuji, the Westerly will carry all the ashes. For example, even in Tokyo, they see some piling up of the ash for several centimeters right here in the southern part. There were also major damages. Also, not just collapsed houses and burnt houses but at the foot of the mountain, there was a mud flow and creating a flood in Odawara and bringing about many disasters. Also, very minute ash reached Tokyo.

Except for Ibaraki if such ash is to reach Tokyo, well, it's going to have a major impact. Mount Fuji has been quiet for 300 years. What is going to happen from now on? This is something that younger people have to think about but Mount Fuji not just the eruption but there are a lot of springs at the foot. These springs brought about many benefits and blessings to us. And also, Mount Fuji is the subject of worship. There are many shrines also. It seems that these shrines were built on the lavas in order to make Mount Fuji very quiet. These shrines are deeply related with volcanoes. These days Mount Fuji is quiet but sometimes we feel earthquakes.

I talked briefly about Mount Fuji, but it has a history of about 100,000 years. There was a time when it went quiet. But also it underwent active periods. Right now, it's quiet. Also, there is some collapse in the mountains. But ever since the last collapse, Mount Fuji has been quiet and there was also a period of explosive eruption. But right now since Hoei eruption, it's been quiet for 300 years. So, what is going to happen we have to see.

So, the challenges would be, as I said, there were earthquakes occurring in the bottom. It seems that the mountain volcano is alive, but it's been quiet for 300 years. We made a research on Mount Fuji and we published a geological map. In case of Mount Fuji, hazard maps have been created by Cabinet Office and many simulations are taking place. This is a brief history of Mount Fuji. Thank you very much.

Moderator

Thank you very much Dr. Takada. I would like to entertain one question for this lecture. If you have no question right now, we will have a question and answer session later on. So, Dr. Takada, thank you very much. Let's move on to the next presentation. We have the speaker, Assistant Professor Yosuke Aoki from the

Earthquake Research Institute of the University of Tokyo. He is going to talk about the internal structure of Mount Fuji.

「富士山の地下構造」

青木陽介（東京大学地震研究所）



青木：どうもありがとうございます。

今日のシンポジウムの主題は、火山活動の予測ということなわけですが、その基礎となる資料として、富士山の火山の地下の構造がどのようになっているか、マグマがどのように上がってきて、どのようにたまり、どのようにさらに上昇していくかということを理解する必要があります。この講演では、富士山の地下構造について、どのようなことが分かっている、どのようなことが分かっていないのか。分かっていないこともたくさんあるのですが、お話ししたいと思います。

<p style="text-align: center;">富士山は何が特別なのか What is special about Mt. Fuji?</p> <p>✓ 景観 / Landscape ✓ 大きさ / Size</p> <p>富士山のマグマ噴出率は日本の一般的な火山の10-100倍 Mt. Fuji has ejected magmas 10-100 times faster than other Japanese volcanoes</p> <p>疑問 / Questions</p> <ol style="list-style-type: none">1. 富士山はなぜそこにあるのか？ / Why does Mt. Fuji exist here?2. なぜ富士山は大きいのか？ / Why is Mt. Fuji large?3. なぜ富士山のマグマは低粘性なのか？（なぜ富士山の石は黒いのか？） Why is Mt. Fuji dominated by basaltic rocks while arc volcanoes are generally more felsic?
--

図 1

富士山はいろいろな意味で特殊な山です(図 1)。いろいろな意味で特殊というのは、いろいろな捉え方があるかと思いますが、まずは景観、きれいな形をしているということはもちろんそうですが、何よりも大きいです。日本の中で一番高い、山体も大きい。この山体が大きいということはどういうことかということ、火山というのは、噴火を繰り返して山体が作られているわけですが、つまりたくさんマグマが噴出してきた。

富士山というのは、先ほどの高田さんの講演にもありましたが、過去 10 万年ぐらいで作られたわけですが、割と若い火山なのです。それにも関わらず、非常に大きな山体を持っている。つまり、富士山のマグマの噴出率は、日本の一般的な火山よりもかなり大きい。10 倍から 100 倍。10 万年で平均すると、かなり活発な活動を繰り返してきた火山で、大量のマグマを出してきたという特徴があるわけです。

そうすると、富士山に関していろいろな疑問が浮かんでくるわけですが、幾つか挙げてみますと、富士山はなぜここにあるのかということ。なぜ富士山はこんなに大きいのか。もう 1 つは、なぜ富士山のマグマは低粘質なのか。もっと平たい言葉で言い換えると、なぜ富士山の石は黒いのか。一般的な日本の火山は、安山岩質、デイサイト、石が灰色とか白とか、そういう感じなのですが、富士山の色は登った方はお分かりですが、黒いです。なぜ黒いのか。もっと専門的な言

葉でいうと、なぜ粘性が低いのかという疑問が湧いてくるわけです。

この中で、3番からいくと、なぜ低粘質なのかということは、富士山は恐らく深いところからのマグマの供給スピードが非常に高い。だから、時間にならした噴出率が非常に高いわけです。供給レートが高いですから、マグマが地下にとどまっている時間があまりなくて、どんどん出ていく。だから、粘性が低いのだろうと何となく考えることができるかと思います。

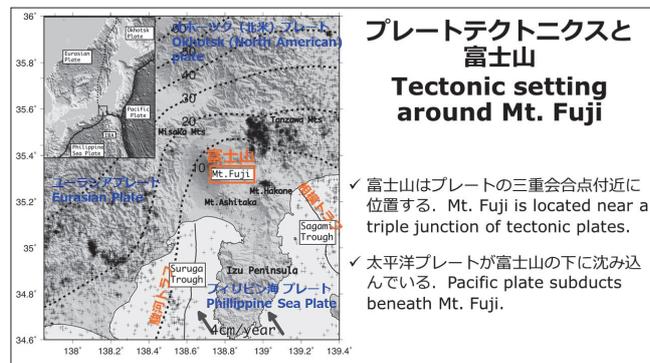
ちなみに、マグマは地下にとどまっている時間が長ければ長いほど、結晶分化とか言いますが、どんどん粘性が高くなって、ねばねばになってくるわけです。ねばねばになって粘性が高くなるわけですが、富士山の場合はマグマが地下にとどまっている時間が恐らく短いのではないかと。何となくそのように思います。

なぜそこにあるのかということは、部分的には答えを言うことができ、それは次のスライドでお話しします。問題は、なぜ大きいのかということで、これに関しては、少なくとも私はちゃんと分かっていないし、恐らく専門家の間でもコンセンサスは取れていないのではないかと思います。ですから、どうして富士山は大きいのかということに関しては、富士山が日本のほかの火山とどう違うかといういろいろなピースを集めてきて、そこから考えていこうという段階ではないかと思います。

富士山の話に行く前に、日本の火山はどのようにできているかをより大きなスケールで考えてみたいと思います。世界の火山は、でき方について幾つか分けることができまして、例えばハワイの火山と日本の火山はでき方が違うわけです。

日本の火山は、基本的にはプレートが沈み込む。太平洋プレートとかフィリピン海プレートがここにありますが、プレートが沈み込むポイントは海ですから、水を引きずり込んで沈み込むわけですが、100kmとか150kmの温度・圧力になりますと、含水鉱物といいます、石が脱水するのです。水を吐き出す。水を吐き出すと、周囲の岩石の融点が下がりますから、岩石の融点が下がって、部分的に溶ける。部分的に溶けると、密度が下がって浮力によって上昇する。浮力によって上昇するけれども、周囲の岩石も浅くなればなるほど、かかっている圧力が下がりますから、密度も低くなる。ですから、浮力で上がれなくなって、マグマだまりというものがこういうところにある。

さらに、いろいろな働きによってさらに浮力を得て、地上まで来て噴火する。それで火山ができるというものが基本的なでき方です。これは富士山でもほかの浅間山とか、伊豆大島とかも基本的には同じです。そういう意味では、富士山は太平洋プレートが沈み込んで100kmぐらい行ったところの真上にあるという意味で、なぜここにあるかということ、部分的には答えることができている。



ちなみに、日本には111の活火山がありまして、見にくいのですが、ここに赤く三角で記してありますが、大体一直線上に並んでいる。正確に言うと2列になっている部分もありますが、それは置いておいて、九州でも阿蘇とか桜島とか、このように1列に火山が並んでいる。

つまり、沈み込むプレートが大体100kmとかそれぐらいの深さになったところで、

図 2

マグマのもとができます、それが上がってきて火山ができるので、地上で見ると日本の火山の列は一直線に見えるわけです。富士山もその一つということになります。

富士山のところを拡大してみますと(図 2)、富士山は先ほど高田さんの講演にもありましたが、ちょっと特殊な場所にありまして、フィリピン海プレートがあつて、南から日本列島に向かって進んでくる。駿河トラフというところで沈み込み、相模トラフでもこちらに沈み込み、ここで衝突しているわけです。

この駿河トラフは、この延長が南海トラフになりまして、報道などでもたまに出てくる言葉かと思いますが、大きな地震が起きる。このあたりで最後に地震が起きたのは1854年ですが、もっと南側の沈み込み帯では、1944年、46年に南海地震、東南海地震というマグニチュード8を超えるような地震が起きた。相模トラフでは、1923年に関東大震災が起きたということがあつて、プレートの沈み込みがあります。ここで衝突している。このユーラシアプレート、オホーツクプレート、フィリピン海プレートの3つのプレートがぶつかるような三重会合点に富士山は位置しているという特殊な事情があります。

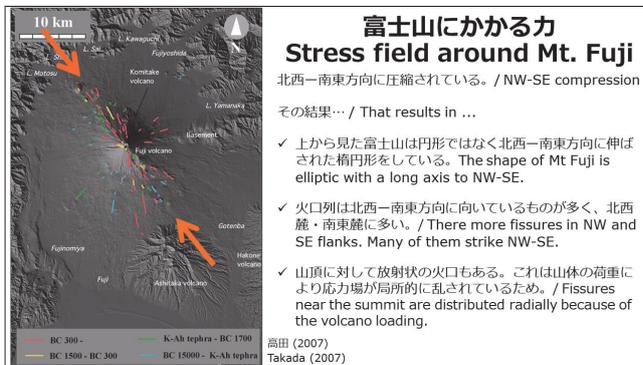


図 3

富士山にかかる力というものは(図 3)、こういう事情がありまして、こちら側で沈み込んでここでも沈み込んで、ここで衝突ですから、先ほどの高田さんの講演にもありましたが、北西-南東に圧縮されて、北東-南西に引き伸ばされているわけです。そうすると、何が起こるかという、マグマが上がってくると、圧縮の力が弱い方向に開きたいので、北西-南東方向に割れ目ができやすくなる。

これが過去の富士山の割れ目を書いたものですが、ここが山頂で、北西と南東方向にたくさん噴火口がありますし、北西-南東方向に割れ目がある。さらに、富士山そのものの形も円形の形をしているわけではなくて、北西-南東に引き伸ばされたような形をしています。それは周囲にかかる応力場と言いますが、力によってそのような形ができているわけです。

ですが、山頂付近を見ると、放射状に伸びるような火口列があつて、山頂あたりは周囲からかかる北西-南東の圧縮の力に加えて、自分の山体自身の重みによって、山頂付近はより放射状の火口ができやすいような力のかかり方になっているということが言えます。

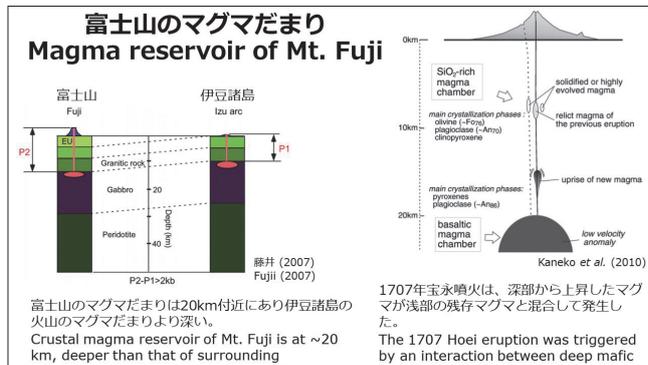


図 4

ですから、富士山の場合は次の噴火がどこで起きるかということを考えるのが大きな問題になるわけですが、これを見ると、確率的には北西か南東で起きる可能性が高いということが言えます。

過去に噴出した岩石などを見ますと(図 4)、富士山と伊豆諸島、伊豆大島とか三宅島とかと比べると、マグマが地下から上がってきて、いったん滞留する、浮力が得られなくなってきた深さが違います。富

士山のほうが深い。伊豆諸島ですと 10km とかそれぐらいですが、富士山ですと 20km 近くになっています。それは先ほど申しましたように、フィリピン海プレートが富士山のところで衝突していますから、フィリピン海プレートの部分が厚くなっているわけです。より浅い部分の岩石の密度が低くなっていると思われますから、富士山のほうがマグマだまり深さが深いであろうということが考えられます。

1707 年の前回の宝永噴火は、非常に爆発的な噴火だったわけですが、ここにマグマだまりが 20km とかにあって、それが前の噴火で残っていたマグマとミックスして、非常に爆発性を得て噴火したということが言えるのではないかと思います。その場合、このマグマだまりは 20km のところに当たるといことです。

では、富士山のより浅い、このあたりの地下構造を調べよう。いろいろな方法で調べることができるわけですが、どうやって調べるか。大きく分けて地震の波を使うやり方、電気的な方法、ここには書いていないですが、重力とか、いろいろあります。ここでは、地震波速度と比抵抗を取り上げたいと思います。

地震波速度を使う方法は、今は季節外れですが、スイカをたたいて、これはいいスイカだとか、たたいてその音でスイカの中身を推測するということがあると思います。そういうものと基本的には似たような考え方です。医学の世界ですと、MRI とか、レントゲンとか CT スキャン、そういうもので体の中身を見ていこうというものと同じです。地球の中を伝わる、もしくは人体の中を伝わる波を使って、中の様子を見よう。

ただ、地球は大きいですし、観測も自由自在に観測点を展開できるわけでもないので、人体と違って全てを明らかにすることができるわけではないのですが、いろいろな方法を使って、火山の内部構造を明らかにしようと思っています。

これは富士山の地下 30km ぐらいまでの地震波の速度構造を見たものです。地球の内部は深くなればなるほど圧力が上がりますから、地震波の速度は上がります。ですけれども、この低周波地震が発生しているあたりですと、ちょっと遅くなっている。2000 年から 2001 年にかけて、たくさん低周波地震が発生しましたが、そのあたりは地震波速度が遅くなっている、それは何かというと、こういうところにマグマとか、高温の物質がありますし、地震波速度が遅くなりますから、このあたりにマグマがあるのかなということを示唆するわけです。これが大体 10~15km です。

さらに、もうちょっと深いところを知りたいと思ひまして(図 5)、地震波をより違った方法で解析しまして、地震波の伝搬速度のコントラスト、浅いところと深いところで物質のコントラスト

があるところに敏感な方法で、レーシーバ関数といいます、そういう方法を使って行って解析を行ったところ、このようなちょっと見にくいのですが、速度境界、これは 50 ぐらいのところまで速度境界が得られて、この絵だと見にくいのですが、プレートの沈み込みによる速度境界も見られた。

これを模式的にどんなことが起きているかということを描くと (図 6)、低周波地震がこちらで起きている、低周波地震が起き

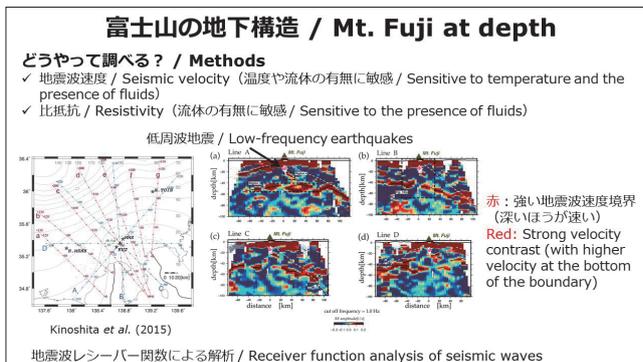


図 5

にあって、ほかの火山、伊豆大島とか伊豆諸島の近隣の火山のマグマだまりよりも深い。最後になりますが、富士山はなぜ巨大なのか。なぜ低粘性のさらさらとしたマグマばかり出てくるのかということは、火山活動を理解するに当たり重要な問題ではありますが、きちんと解決されているとは言いがたいというのが現状です。

以上です。ありがとうございました。

司会: 青木先生、どうもありがとうございました。何かご講演に関するご質問等ございますでしょうか。青木先生、どうもありがとうございました。

それでは、次に講演の3番目に移りたいと思います。北海道大学地震火山研究観測センター教授の高橋先生に「水蒸気噴火を地殻変動データから読む～北海道雌阿寒岳～」と題しまして、ご講演をいただきたいと思います。高橋先生、よろしく願いいたします。

Yosuke Aoki

Thank you very much. The topic of today's symposium is prediction of volcanic activity. Therefore, the basic information that is needed for the prediction has to do with internal structure, how magma rises? How it's stored in magmatic chamber and so forth. So, in my presentation, I want to talk about the internal structure what we know and what we do not know about the structure. There are a lot of things that we do not know.

In many ways, Mount Fuji is special by which I mean that it has beautiful landscape, it has beautiful shape. Also, the sheer size of the mountain itself, in Japan, it's the highest mountain. It has large volume of edifice meaning that volcano repeats eruptions. Every time it erupts, the body of the mount is formulated. There will be a lot of magma erupted from the vent. As Dr. Takada said for the past 100,000 years, Mount Fuji was formed but it's a young volcano. Having said that it has a very large volume. In other words, magmatic eruption extends to 100 times bigger than other volcanoes in Japan.

Over the last 100,000 years, Mount Fuji on the average is very active compared to other volcanoes erupting large amount of magma. That's one feature of Mount Fuji. And then, naturally, we have multiple questions on our mind. Let me introduce some. Why Mount Fuji is located here and why Mount Fuji is so large? Is magma from Mount Fuji low viscosity? Why is the rocks that are erupted from Mount Fuji black? A lot of times, the volcano has rocks that are whitish or grayish but the rocks that you found on Mount Fuji are black. Why the rocks erupted from Mount Fuji are of low viscosity?

The last question here is the question about this low viscosity of magma in Mount Fuji. Magmatic supply space is done from the depth. And, as a result it has a very high velocity of ejection, very high supply of magma. New magma will be ejected from the crater. That's probably why we have low viscosity in erupted rocks from the Mount Fuji. If magma is retained for a long time in the magmatic chamber, it increases viscosity. But in the case of Mount Fuji, the magma does not stay in the chamber for a long time.

Why Mount Fuji is located here? We have at least a partial answer to that. Let me show you the next slide to answer that question at least partially the reason why Mount Fuji exists there. We have the partial answer. But bigger question is why is Mount Fuji large? For this question, I do not have an answer. There is no consensus amongst researchers.

So, why Mount Fuji is so large compared to other volcanoes in Japan? We have to collect pieces of information to try to understand why Mount Fuji is so large. To try to talk about Mount Fuji specifically, I want to look at all the other Japanese volcanoes from the point of view of how they were formulated.

If you look at the global volcanoes, they are grouped into different types in Hawaii, for example. Volcanoes in Japan they were formed differently. But Japanese volcanoes were formed when you have a plate subducting. Under the magma, we have Pacific plate and Philippine Sea plate. They subduct. Subducting point is under the sea. So, the sea water will join in. There will be a pressure applied to 100 to 150 kilometers. There would be the rocks that are dehydrated. The water will be excluded from the rocks. With this dehydration of rocks, melting point will decrease in the rock. So, partially the rock will melt and dissolve. Meaning there will be lower density. There will be a lift applied to the rocks. They will rise. When the depth is shallower, the pressure will be much less with lower density. As a result, there will be a magma chamber formed.

There will be other reasons it gains additional lift to come close to sub-surface. This is how volcanoes are actually formed. The same applies to Mount Asama as well as Mount Fuji. So Pacific plates subducted under the depth of 100 kilometers. We partially understand how Mount Fuji was made. We have 110 active volcanoes in Japan. They are actually marked by red triangles. As you can see, they are lined up in a linear way. There are two lines there. To be more precise in Kyushu too there is a line of volcanoes. They are all aligned on this line in Kyushu area.

Again, at the depth of 100 kilometers when there is a subducting plate, they will be the source of magma created. This source of magma started to rise to a shallower area to form magmatic reservoir and this forms a volcanic mountain.

This is a magnified view of Mount Fuji. As Dr. Takada mentioned, Mount Fuji is located in a special location. Philippines sea plate is here from the south to Japanese peninsula. It has a strike in this direction. There will be subduction through the trough and there is another subduction at the point of Sagami Trough and there will be the contact. If we extend this, it reaches to Nankai Trough which is often reported in news media. The last major earthquake was observed here in 1945. The southern subduction plate in 1964, there was a major Nankai Trough earthquake with over a magnitude 8.4. In 1993, there was Kanto earthquake caused by subduction plates. There is a clash of plates at this specific location. The Eurasian plate, Okhotsk plate and Philippine Sea plates, they actually meet, there will be triple junction under Mount Fuji. That makes Mount Fuji so special.

Now, what forces are applied to Mount Fuji? Because of this special location on this side, there is subduction of plates and there is subduction on the other side. This is a junction point of multiple plates. As Dr. Takada said from northwest to southeast, the compression occurs. There is a strike of this direction northwest to southeast. When compression force is weak, there will be a tendency of events formed. These indicate fissures. We had a summit there and northwest and southeast direction, there are a lot of events, craters formed. In the same direction of northwest to southeast, there are a lot of fissures observed. The shape of Mount Fuji as well, it is not a perfect circle. It is extended in this direction from northwest to southeast because of the disturbed stress field.

If you look at summit area, there are radial extensions of craters close to the summit. Compression force of northwest to southeast and also the weight of its edifice both of these are the loading factors and that is why we have the alignment of events created radially around the summit. We are trying to predict the next eruption of Mount Fuji. It's very important to be able to predict exactly where the event is formed. It is likely the events will be formed in the direction of northwest or southeast. In terms of probability, if you look at erupted rocks in the past Izu Oshima Island and Miyakejima Island when they are compared to Mount Fuji, there will be magma that rises there. There is a lift applied but the lift saturates. The height of magma is different between Mount Fuji and Izu arch. It's about 20 kilometers for the Mount Fuji, magma head height that is.

As I said earlier, Philippine Sea plate contacts with other plates under Mount Fuji and Philippine Sea plate thickness is thicker there. The density of rocks in the shallower area is lower because of that. That is why the depth of magmatic chamber of Mount Fuji is deeper than other Izu volcanoes.

In 1707, there was Hiei eruption. This was a major explosive eruption. This is the magma chamber at about 20 kilometers deep. They were all existing magma and newly supplied magma they were mixed together to make it more explosive. Again, the magma chamber was located at the depth of 20 kilometers from the ground.

If you look at shallower internal structure under Mount Fuji, there are multiple ways to approach that. That would be the best possible way. Largely, we can look at seismic velocity and also electric survey and gravity. These are major events. Today, I want to focus on seismic velocity and also electromagnetic measurement or resistivity. If you need to study seismic velocity, you actually tap a watermelon to try to predict the sweetness of watermelon. It's kind of similar to that. In the

medical world, we have MRI, X-rays, CT scans to try to understand what's inside the body. It's similar to that as well. We are trying to understand the waves that trans pass a body but the ground body is so large we cannot select multiple or many observation points. It's not that we get to understand everything what is inside the volcano, but we do use this method to try to understand the internal structure of Mount Fuji.

This is close to 25 or 30 kilometers in terms of depth trying to understand internal structure inside the ground, deeper the depth, there will be higher pressure. So, the earthquake velocity will be faster. But when there are low frequency earthquakes areas 2000 to 2001, we had multiple low frequency earthquakes. Because of that the seismic velocity was slow because we had magma high temperature [Unclear] exists. The magma may exist close to this low frequency earthquake area. This is 10 to 15 kilometers deep.

If you go deeper, we have to apply different measurements. We would look at seismic velocity, but we apply different analysis. [Unclear] velocity of the seismic waves, we would look at also contrast, the contrast between shallower or a deeper level. We have receiver function to calculate. As a result for this analysis, maybe, high for you but you can see that there are velocity boundaries. This is 40 or 50. You see the velocity boundary also because of plate abduction, there is also a new velocity boundary formed around here.

This is the model trying to describe what is taking place. The frequency, low frequency earthquakes occur here. In the same area, just below low frequency earthquake area, there is magma chamber. At the depth of more than 20 kilometers, the bottom of magma chamber is clearly observed. So, 10 to 15 kilometers deep up to 20 kilometers, you will see the area of low frequency earthquakes as well as magma chamber. I don't have a model to show you but more recent research shows the size of magma chamber is not as big as we had expected early on.

Around here, there are weaker velocity contrast areas, this will be the pathway for magma supply from the deeper area. The magma will be stored at the depth of 20-25 kilometers from the ground.

If we look at resistivity structure, the low frequency earthquake area is here. It's below that at the deeper area, there is low resistivity area indicated by red and white low resistivity area were discovered. Meaning that with low resistivity, liquid

does not draw a lot of electric current. When there is resolved liquid, there would be electric current that passes that indicates the fluid magma existence there.

We have come to understand that Mount Fuji has at the depth of 10, 15 further down to 25 kilometers in terms of depth, there is magma chamber of smaller size. In relation to that, there are low frequency earthquakes that constantly occur. In 2001-2002, we had more of these low frequency earthquakes. The low frequency earthquakes do indicate the volcanic activities of Mount Fuji.

This is my last slide, the summary slide. As I said earlier, Mount Fuji is located near triple junction of three different tectonic plates. It has a special location. Due to tectonic deformation, there is a stress applied to Mount Fuji from southeast direction. Because of that the shape of Mount Fuji is influenced by that stressed field. Magma chamber existed at the depth of 20 kilometers from the ground which is deeper than neighboring volcanoes in Izu Island.

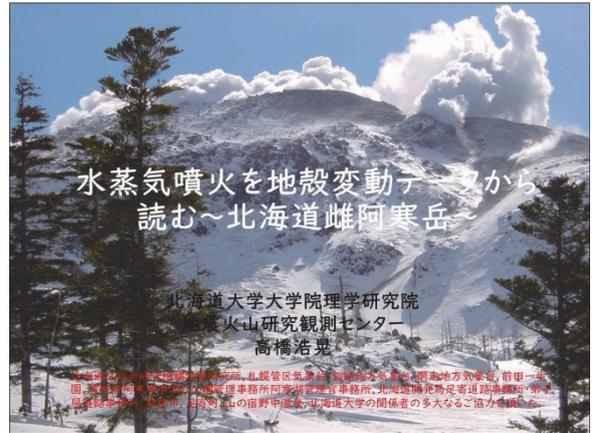
Why Mount Fuji is large and why we have low viscosity magma generated and erupted this is an important issue to understand the Mount Fuji magmatic activity, although we do not have the perfect answer to this. That concludes my presentation. Thank you.

Moderator

Thank you very much Dr. Aoki. I'd like to invite questions on this presentation. Thank you Dr. Aoki. Next, we would like to move on to the third lecture. So, we have from Hokkaido University, the Institute of Seismology and Volcanology, Professor Hiroaki Takahashi who will talk about deformation signals prior to phreatic eruption in Meakan-dake volcano. So, Dr. Takahashi please.

「水蒸気噴火を地殻変動データから読む～北海道雌阿寒岳～」

高橋浩晃（北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター）



高橋： 皆さん、どうもこんにちは。北海道大学の高橋と申します。よろしくお願いいたします。

今日は、こういうタイトルで、ここからはかなり離れますが、北海道の火山の話をさせていただきたいと思います。

今日、お話しする火山は雌阿寒岳という火山で、どこにあるかということ(図1)、北海道の東、ここにあります。先月北海道で地震があったのはここなのですが、大体200kmぐらい離れているところになります。



図1

この火山は、何枚か写真をお見せしますが、阿寒の国立公園の中にありまして、大きく2つの山から成る火山です(図2)。左側に見えているのが雌阿寒岳といって、1499mです。右側にある富士山によく似た火山は阿寒富士と言っております。非常にきれいな形をしております。

山自体の高さは1500m程度ということで、ふもとから山頂まで3時間ぐらいで登ることができて、小学生も遠足で十分に登れるという火山になっております。このふもとは、阿寒富士が噴火したときに出した溶岩流でせき止められたオンネトーという湖がありまして、このように非常に風光明媚なところに位置する火山になっております。

普段は非常に静かです。いい火山ですが、この火山はこの50年間ぐらいに非常に多くの水蒸気爆発



図2

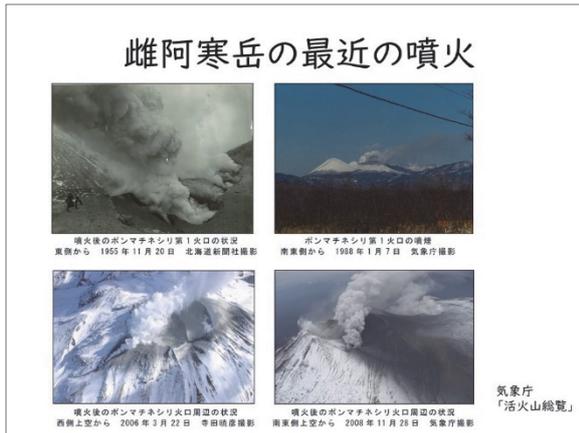


図 3

の150年ぐらいの間に最初に噴火が記録されたのは、1955年の噴火でありまして、こんな形であります(図3)。

その後も、10年おきぐらいの水蒸気噴火を繰り返していきまして、右上は1988年の噴火で、左下が2006年の噴火で、一番右下が2008年の噴火ということで、このように水蒸気噴火を繰り返しているわけですが、左上の写真を見ていただければ分かりますように、ここに人がいますが、全ての噴火は水蒸気爆発ということで、直接マグマが関与するような噴火ではなかったと考えられております。

なおかつ、噴火の規模自体もそれほど大きな噴火ではないということで、直接的な人的あるいは経済的な被害は、これらの噴火では発生していないということになるわけです。

現在の状況は、こういう火山でありまして、山頂に登ると、これは先ほどお見せしました富士山によく似ている阿寒富士の山頂ですが、山頂があつて、このように亀裂があつて、そこから火口があつて、煙が出ているということでもあります。

左下、2006年の水蒸気爆発の直後に山腹まで雪の中を歩いて行って撮った写真ですが、このときはここから噴火したのですが、そこから熱水が出て、泥流が発生して、この谷沿いにずっと下ってきたということになります。雪があると、かんじきを履いていればどこでも行けますので、夏は行けないのですが、このときはたまたま冬でどこでも行ける条件だったので、この泥流のところまで行ってみると、こんな形になっていて、一応犬も一緒に連れて行って、観察したということでもあります。



図 4

を繰り返してきた火山として知られております。北海道の場合は、今年北海道ができて150年ということで、それ以前はアイヌの方々が生きていたわけですが、アイヌの方々には文字を持っていませんでした。文字を持っていませんでしたので、本州のように過去の火山の噴火の記録がほとんど残っていないという問題がございます。

ですから、もう200年前にどのような噴火をしたかということは、いわゆる古文書等から調べることはできなくて、それは地質の調査をするしかないということになっております。少なくともこ

これも水蒸気噴火の一例ということで(図4)、雌阿寒岳で発生する噴火は、この50年は水蒸気爆発という形で、直接マグマが関与するような噴火ではありませんでした。

水蒸気爆発というと(図5)、思い出されるのが4年前、御嶽山で噴火があつて、非常に多くの方々の方が亡くなられたわけですが、この左側の図が御嶽山で、亡くなられた方がどこで亡くなられたかということを示した図です。この赤で示したところが4年前の噴火でできた火口ですが、その火口のすぐ近く、山頂がここにありますので、すぐ近

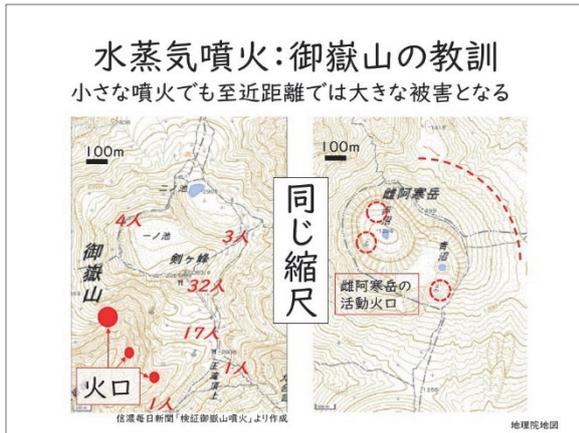


図 5

くのところで非常に多くの方が亡くなられたということになります。

一方、雌阿寒岳でも水蒸気爆発が起こると何かそういう人的な被害が出るのかということをお我々は心配するわけです。左の御嶽と右の雌阿寒岳の地図は同じ縮尺で書いてありまして、雌阿寒岳の登山道はこちらから登ってきて、火口の縁を通過してこちら側に抜ける形になっておりまして、最近 50 年間の噴火が起こった場所は火口の中で発生して、一部外に出たことがありますのが、こうなっています。これを見ると、御嶽山で火口の周辺で非常に多くの方が亡くなったということ、もし雌阿寒岳でも特にこの時期は北海道は紅葉ですから、たくさんの方が土日には登山しているわけでありまして、そういう中で噴火が起こると、非常に多くの人的な被害が出るのが容易に予見できることになるわけです。

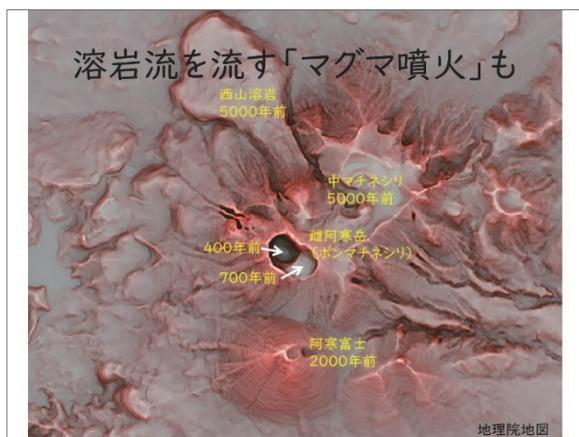


図 6

そういうこともありまして、雌阿寒岳の地下がどうなっているのかとか、雌阿寒岳で頻発する水蒸気爆発のシグナル、何か信号が出ていないかということをお我々は観測で調査することを行っております (図 6)。

いろいろな観測を行っていますが、例えばこれは 2 年前に人工衛星のデータから見つかった雌阿寒岳の周辺で地下が膨れている、膨張しているという現象です (図 7)。雌阿寒岳の山頂の東の部分で紫色になっているところが、地下の大体深さ 5km ぐらいのところ、何らかの力が働いて、膨張しているということがあります。こういうさまざまな観測データを突き合わせることに

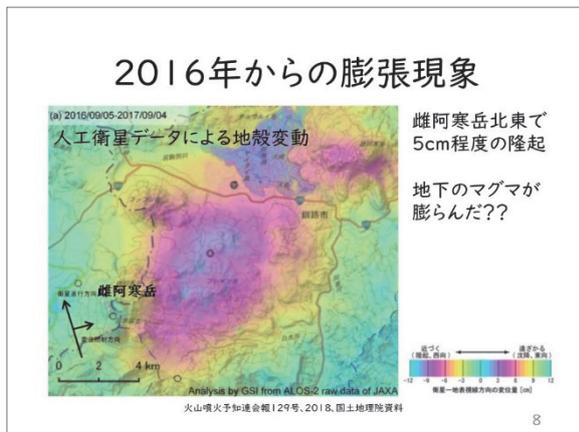


図 7

によって、雌阿寒岳の地下がどのようになっているのかということが、だんだん見えてきました。

最初に我々が頭に描いているイメージ図をお見せいたしますが (図 8)、雌阿寒岳は深いところからいきますが、大体 20km のやや深いところ、日本で 2 番目に深部低周波地震の活動が活発であることが知られております。日本で 1 番深部低周波地震の数が多いのは富士山ですが、実は 2 番目はこの雌阿寒岳ということになります。この深さ 20km から深さ 5km ぐらいのところまでどうなっているかは、現在全く分かっていない状況になります。

先ほどお見せしましたように、深さ 5km ぐらいのところには、何かしらマグマだまりか何か分かりませんが、物をため込むようなものがあるのではないかと、最近の観測で見えて

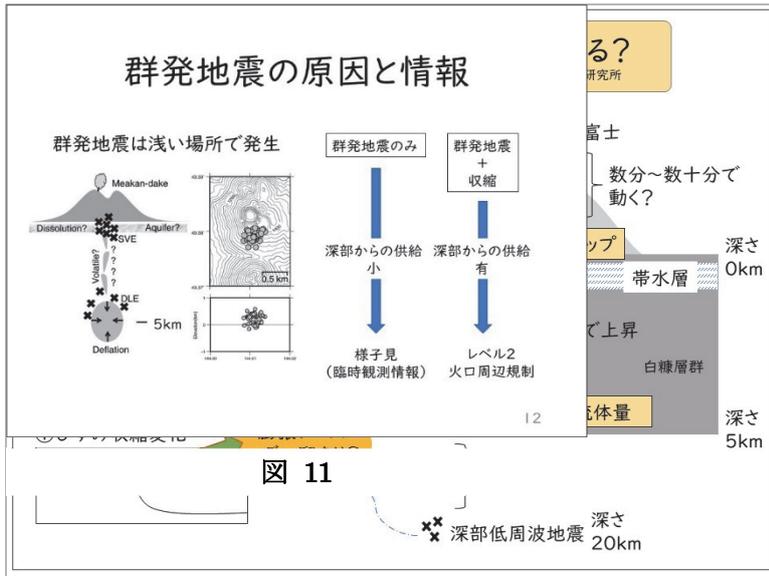


図 11

図 8

この深さ 0km ぐらいのところでは、深さ 5km ぐらいのところから、何らかの火山性流体が上昇してきて、ここでトラップされて、地震が発生しているのだろうと考えています。

この深さ 0km ぐらいのところでは、もっと浅いところ、山体の非常に浅いところに上がって行って、最後に火山性の流体、たぶん液体が気体に相変化することによって、小規模な水蒸気爆発を起こすのではないかと考えております。

これらの漫画を支えるデータとしましては、実は雌阿寒岳では非常に活発な群発地震活動が起

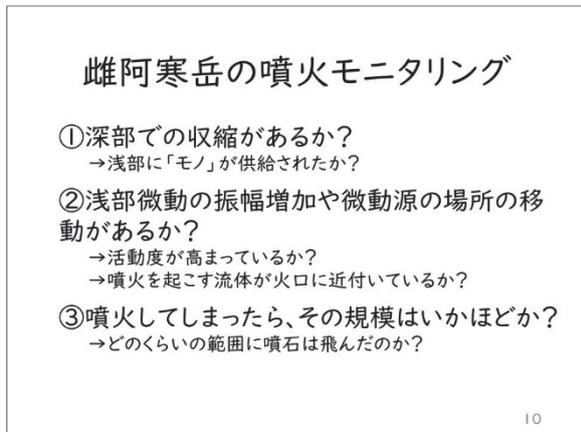


図 9

こる直前に、深い大体 5km ぐらいのところのマグマだまりか何か分かりませんが、それが収縮するという現象が知られているということであり、この深いところが収縮して、収縮した分が浅いところに上がって行って、それが群発地震活動を引き起こす。そういうことを考えております。

そして、これがより浅いところに行くと、相変化をして液体が気体になると、非常に体積が増えるわけですが、そういう現象を示唆する観測データも得られておりまして、火口のすぐ直下でこういう火山性の微動が起こるときには、ひずみの変化と長周期の地震計で非常に顕著な、何かものが急激に膨らむという現象が見えていますので、そういうデータを使うと、この深さ 5km から火口に至る雌阿寒岳の一つのシステムというものが、おぼろげながら見えてきているということになります。

ですから、今お示したようなイメージ図に基づいて観測を行えば、水蒸気爆発に至る何らかのシグナルを捉えることができるのではないかと考えています (図 9)。1 つは、深いところ、5km

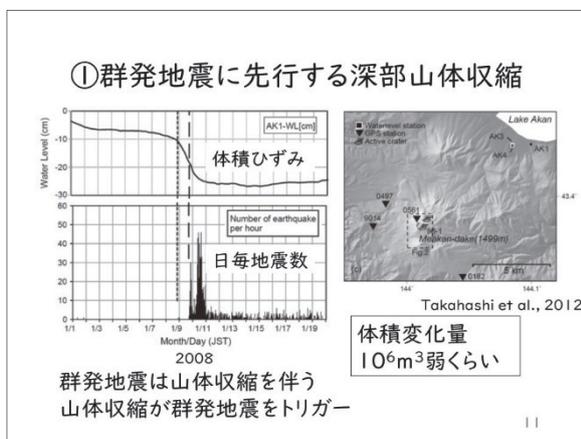


図 10

ぐらいのところで収縮があるか。その後は、非常に浅い火口直下の微動の振幅とか、その場所が移動しているかどうかということ。この2つはきちんと観測していれば、現在の技術では検出することができる形になっております。

今お話ししたような例をお見せしますが(図10)、これは例えば群発地震の前に山の深いところが収縮しますというデータです。この下の図は1日当たりの火山性地震の数を示していますが、この地震の数が増える前に、雌阿寒岳の周辺に設置してある体積ひずみ計が動くのです。この動きは、山が収縮しているということを示しておりまして、深いところで収縮した後に、浅いところで火山性地震が起こっていることが分かってきますよということであります(図11)。

浅いところまで上がってきた火山性流体が、その後どういう動きをするかということについては、山体に設置しているある地震計あるいは傾斜計等で検出することができる形になっております(図12)。

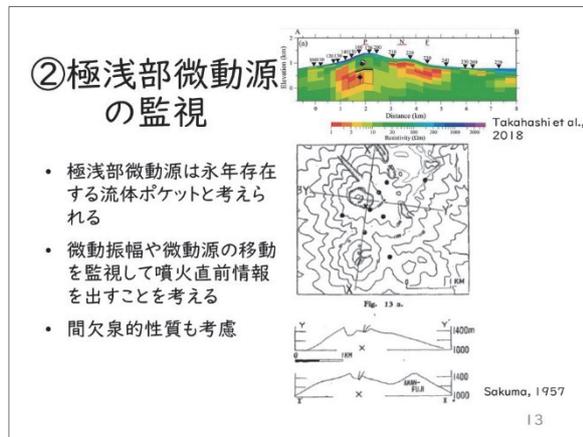


図 12

雌阿寒岳では、もう50年ぐらい前から火口の直下の深さ1kmぐらいのところに、微動を起こすような微動源があるということが分かっておりますし、電気の流れやすさを調べるような電磁気観測が最近やられました。それでもこの微動があるようなところに、低抵抗体とって、何らかの流体が存在するようなデータが得られているということになっておりますので、この微動源を詳しい観測することで、それに変化があったときには、何らかの噴火に対する警戒をしなければいけないのではないかと考えております。

実際に、火口のすぐ直下のところの熱水だまりが動いていることが見えるようなデータもありまして(図13)、これは火口のすぐ下で起こった火山性微動の地震波形等のデータになります。地震波形で見ますと、火山性微動はこういう形で見えるのですが、これを例えば体積ひずみとって、地面の伸び縮みを測るような機械で観測いたしますと、このように山が膨れる。急激に何らかの膨張が火口のすぐ直下で起こっているということが、こういうデータから明らかにされたということでございます。

こういう火口のすぐ直下で急激な膨張が起こると、起こった気体が火口から出てくるのではないかと考えるわけですが、まさにそういう観測データもありまして、今、お見せした火山性微動

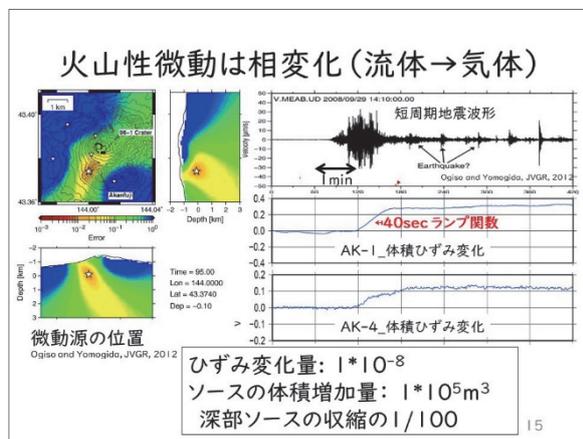


図 13

データもありまして、今、お見せした火山性微動が起こったすぐ後に、雌阿寒岳の火口のすぐ脇に温度計を設置してあるのですが、その温度計のデータになります。

先ほどお見せした火山性微動がここで起こったのですが、その後この火口の周辺の温度が沸点まで上昇したということが捉えられていますので、今お話ししたような火口の浅いところで微動が起こって、恐らく流体が気体に相が変わって、このときは噴火に至らなかったのですが、火口か

ら徐々に排出されることによって、火口周辺での温度上昇というものが捉えられたのではないかと考えております。

このように火口周辺あるいは山体の地震計、ひずみ計、傾斜計、そういうさまざまな観測機器のデータを突き合わせることによって、雌阿寒岳については、水蒸気噴火に至るところまでのさまざまな変化が、現在まで検出されてきているということになっております。

このような情報を使えば、ひょっとすると火山情報、レベル化ということが今されていますが、そういうものに使えるのではないかとということを考え始めておまして、これはそのフローチャートを示しています。まず観測には、火山性の地震が増えるということはよくあるわけです。火山性の地震が増えたときに、最初にお話ししました深さ 5km ぐらいのところにあるマグマだまりかなというものが、収縮しているかしていないか。収縮した場合には、恐らく火山のすぐ浅いところまで深いところから火山性の流体が注入されていますから、ある程度の収縮が見られたときには、火口周辺の規制を入れたほうがいいのではないかと考えています。

その火口周辺の規制を入れた上で、先ほどお話ししましたように、火口のすぐ直下で微動が起こって、その微動が起こるとひずみ計でどれぐらいのボリュウムの体積変化があったかということがリアルタイムに計測できますので、火口直下の膨張量が大きい場合には、爆発的な噴火に至る可能性があるわけですから、ある程度の大きさの膨張量が火口の直下で見られた場合には、即座に入山規制を出す。

これは一つの私案ですが、先ほどから話しているような、地下でどういう仕組みになっているのかということをよく考えていけば、こういう火山情報にも活かしていけるのではないかと思います。

ですが、やはり水蒸気噴火の予測は非常に難しく、今お話ししたのは非常に理想的な場合ですが、何も気付かずに噴火してしまうということが多々あると思います。噴火したときに一番大事なのは、噴火の規模がどれくらいかということを実タイムに捉えるのが重要です。

噴火の規模が小規模な場合には、火口周辺で一気にそこだけ立ち入り規制すればいいわけですが、噴火の規模が大きい場合には、ふもとの温泉とかがたくさんありますから、そういうところにも規制をかけなくてはいけないということで、噴火の規模を実タイムにきちんと捉えることが重要だと思いますが、最近火山の周辺にはいろいろな機関がいろいろな観測機器を設置しておりますので、そういう機器を使えば、噴火の規模の即時把握ということも技術的には可能ではないかと考えております。

まとめ

- 深部からの流体供給が群発地震の原因
- 深部収縮量から噴火の可能性を判断
- 浅部の微動監視から直前予測を目指す
- 噴火時にも即時に規模を推定

16

以上になりますが、まとめは雌阿寒岳の群発地震はなぜ起こるのか (図 14)。それは深いところから火山性流体が上がってきている可能性が高い。深いところから浅いところまでどれぐらいの量の火山性流体が上がってきているのかということは、観測から捉えられれば、噴火の可能性はある程度判断できると思いますし、より噴火の直前は、火口のすぐ下にある微動源の動きをモニターしておくことが、非常に重要なのではないかとということが分かってきました。

以上になります。ありがとうございました。

図 14

司会：高橋先生、どうもありがとうございました。では、高橋先生の講演に対して、講演の中身に関する質問等ありましたら、お受けいたします。特にございませんでしょうか。

質問者：私は地元の忍野村の大森と申します。先ほどの水蒸気爆発のことなのですが、御嶽山も水蒸気爆発で、NHKでも観測計がなかったから分からなかったということなのですが、どうなのでしょうか。

高橋：観測していても分からないこともまだまだたくさんあると思います。今お話ししたのは、本当に一つの例です。自然現象はいつもそうなるというわけではないのです。そこは難しいところだと思います。もちろん観測は必ず必要ですが、観測をしていたから必ず分かるかと言われると、それは現在は難しいかと感じています。

質問者：仰っていることは分かりました。NHKの番組ではそうでしたから。どうもありがとうございました。

司会：高橋先生、どうもありがとうございました。

続きまして、講演4、東北大学地震・噴火予知研究観測センター教授の三浦哲先生に「静穏火山における噴火準備過程－蔵王山総合観測の成果から」と題しまして、講演をいただきたいと思えます。

Hiroaki Takahashi

Good morning ladies and gentlemen. I'm from Hokkaido University. My name is Takahashi. I'll be talking on this theme. Far away from here is Hokkaido, and I would like to talk about the volcanoes on Hokkaido. Now, the volcano I focus on today is Meakan-dake Mountain. It's located on the eastern side of Hokkaido right here. Just last month, there was an earthquake here centered around this area. It's about 200 kilometers away from the earthquake area.

I have several photographs, I would like to show you. It's located in the Akan National Park and there are two peaks, two mountains. On the left hand side is the Meakan-dake mountain which rises 1499 meters and on the right hand side a mountain shaped like Mount Fuji is called the Akan Fuji. It is a very beautiful shaped mountain. The height of this mountain is about 1500 meters. So, from the foot all the way to the summit, it takes about 3 hours to go up. Elementary school students even can do the trek all the way up to the summit. At the foot of the mountain when Akan Fuji erupted, it created a crater and now there was a lake there called Lake Onneto.

Usually, the mountain is very quiet but this volcano in the past 50 years has repeated phreatic eruptions. In the case of Hokkaido this year, it's been 150 years since Hokkaido became Hokkaido. Before that it was habituated by the Ainu people. Ainu people didn't have letters or writings, so there are no records of past eruptions that date back more than 150 years ago. We don't know through documents about eruptions for example that occurred 200 years ago. We would have to do a geological survey. But in the past 150 years ago, the first recorded eruption was in 1955. This is the photograph from that eruption and then every 10 years or so, phreatic eruptions occurred. In 1988, we had the famous one and then the left hand bottom is the 2006 eruption and the right hand bottom is the 2008 eruption.

So, phreatic eruptions have been occurring repeatedly. But if you look at the left hand side, you can see people are here. All the eruptions were phreatic explosions. They were not magma related eruptions. The scale of the eruption was not that large. There were no direct physical or property damages.

This is what it looks like today. If you go up to the summit, this is the mountain that looks like Mount Fuji, the Akan Fuji at the top. You have some fissures like this and then you have the craters and you have smoke coming out like this.

This is the phreatic eruption of 2006. I went up to the middle of the mountain in snow, and it erupted here and thermal water spurted out and debris flow occurred

along the slope. And, because there is snow here, it means that you wear the traditional Japanese snow shoes called *kanjiki*. Therefore, I used that to climb up the mountain and I went all the way up to where the mud flow occurred. I took my dog with me and the dog was interested in the mud flow. This is an example of a phreatic eruption.

The Meakan-dake eruptions in the past 50 years were basically phreatic explosions. There was no direct magma coming out. However, I believe phreatic explosion you will be reminded about Mount Ontake eruption where many people died 4 years ago. Left hand side is the Ontake-san map and it indicates how many people died where. The red dots are the craters created in the eruption 4 years ago. This is the summit. Close to the summit, you can see that many people have lost their lives.

Now, what about Meakan-dake? Let's say a phreatic eruption occurs, will there be human damages, any deaths or casualties? The two maps are created at the same scale. You climb up Meakan-dake here and then you walk around the crater and come down this way. In the past 50 years, these are the craters or some eruptions did occur outside of the crater but these are the areas where the eruptions occurred in the past 50 years ago or so. And so, if Meakan-dake especially around this time of the year many people will go up the mountain to enjoy the colorful leaves. And, therefore, if an eruption occurs it means that many people may become victimized just as in the case of Ontake-san.

So, Meakan-dake what is happening inside of the mountain? Are there signals that will tell us that phreatic eruptions are imminent? So, we have tried to carry out a survey from that viewpoint. We have carried out all kinds of observations but this is from 2 years ago. We have looked at the satellite information around Meakan-dake. We saw that the land is bulging and rising. So, this is the summit on the eastern side here, this purplish part, underground, about 5 kilometers underground something is forcing the ground to expand and inflate. Using these observation data, we are trying to understand what is happening under Meakan-dake and we are starting to learn some things.

This is the image that we have created based on our observations. Deep down under Meakan-dake, about 20 kilometers deep, the second largest active deep low frequency earthquakes are occurring. Of course, number one is Mount Fuji but number two where we have the deep low frequency earthquakes is Meakan-dake. So, from 20 kilometers underground to 5 kilometers underground, we right now do not know what structure looks like here. But from about 5 kilometers

underground, we see that some sort of magma chamber or other thing is accumulating a lot of matter or substances.

And, from 5 kilometers to zero kilometer, the very shallow areas, there is an aquifer. According to our survey, we understand that and so there are a lot of earthquake swarms that occur around Meakan-dake. We believe that it's occurring around this area. From 5 kilometers underground probably some kind of volcanic fluid is trapped here causing these earthquake swarms. So, at zero kilometer depth, the fluids may come up the mountain edifice and in the end, probably this fluid turns into gas. There is a phase change that occurs and that is probably causing the small scale phreatic eruptions.

As data to support this in Meakan-dake, we do see these earthquake swarms and before they happen at the depth of about 5 kilometer maybe a magma chamber or something is deflating. We do understand that that is the phenomenon that is being observed. There is a deflation occurring at this depth and then that is transferred to the more shallow areas causing the earthquake swarms. As it goes up, a phase change occurs where liquid turns into gas meaning that the volume increases. We do have some observation data that is indicating that. Right under the crater when these volcanic tremors occur and we can also capture these long period seismometer readings, we do see that something is happening here. And by using such data, we can understand what is happening in between 5 kilometers underground all the way up to the crater.

Based on the image that I have just shown you, we are trying to carry out some observation so that we can capture signals indicating an imminent phreatic eruption. We are trying to look at deflation occurring at a depth of about 5 kilometers underground and also shallow tremors. We are looking at the change in amplitude and whether the area of tremors are moving about. So, these are things that we are trying to capture. Based on the technology that we have, we can get these readings.

To give you an example like before an earthquake swarm there is a deflation that occurs underground. This is the number of earthquakes per day of volcanic earthquakes. Before the earthquake numbers goes up around Meakan-dake, we use these volume distortion measures which indicate that there is deflation occurring in the mountain and that occurs deep underground and that creates more shallower earthquake and tremors.

Now, as it goes up to the shallow areas on the magmatic fluid, what happens to them? We have the seismometers and the tilt 10 meters on the mountains. On

Meakan-dake from about 50 years ago right under the crater about 1 kilometer below the crater, we have understood that there is a source of tremor there that is causing these tremors all the time. And also, we are looking at how electricity flows. We have devices to measure that. We understand that there is some kind of fluid matter that exists in this area.

So, we are trying to look at these tremor sources. If some change occurs in these sources, we may have to prepare for an imminent eruption. Right under the crater in the thermal chambers, we see some data that indicates some movements in these chambers. These are the volcanic tremors and these seismic waves that were captured. It looks like this. If we look at the deflation or inflation of the ground, we can see that there are some inflations occurring on the mountain edifice that is being caused by some movement that is occurring right under the craters.

If the sudden inflations occur under the crater, we can expect that gas may spurt out from the crater. We do have some data indicating that. Volcanic tremors occur and right after that a thermometer was placed close to the crater of Meakan-dake. This is the thermometer data. But this is where the tremors occurred. And then, after that we see that the temperature around the crater has moved all the way up to close to the boiling point.

In a very shallow area under the crater something is happening. Probably fluid has turned into gas because of phase change and at this time no eruption occurred. However, from the crater, it is slowly being emitted. Therefore, that is causing this sudden change in temperature. So, around the crater and the seismometers on the mountain and also the tilt meter are being used to observe the changes occurring on the mountain. By using all these data, we can capture changes that may lead up to phreatic eruptions. By using such information, maybe, we can provide volcanic eruption warnings. We have started to think of such a flow.

First of all, we do have the sudden increases in volcanic tremors. As I said earlier at a depth of about 5 kilometers, maybe, the magma chambers are deflating or inflating. If it is deflating probably in the shallow area of the volcano some fluid is being injected from the more deeper areas. So, if there are deflations occurring, we may have to go for issuing a warning telling people not to go close to the crater. And then, after that right under the crater if there are tremors being observed, the distortion meter will be looking at the volume change on a real time basis. And so, if the inflation is sudden, it may lead to an explosive eruption. Therefore, under the crater if we observe some inflation, we will have to issue a warning telling

people not to enter or approach the crater. So, we have to understand the mechanism under the crater but by understanding that we will be able to utilize the information for issuing the warnings.

But it is very difficult to try to predict when an eruption may occur. I've just talked about the ideal situation. We may notice nothing and suddenly we see an eruption. But what the most important thing after an eruption is to capture at a real time the scale of that eruption. If the eruption is very small, we suggest ban people from entering the crater or approaching the crater. However, if the scale is large, we may have to ask people to stay farther away from the mountain. Therefore, capturing the scale of the eruption on a real time basis is very important. Around volcanoes many organizations have now installed all kinds of observation devices. Therefore, we may be able to capture the changes occurring on the mountain much easier.

So, to conclude, in the case of Meakan-dake what's causing these earthquake swarms that's because of the fluids coming up from deep down. What is the volume of the fluid coming from the deeper area to the shallower area? If we can capture that, we may be able to understand the scale of the eruption. And also right before the eruption under the crater there are these tremor sources which we can look at and observe. That is all from myself. Thank you very much.

Moderator

Thank you very much Professor Takahashi. Are there any questions about the presentation that was just made? We may be able to accept maybe one question.

Female Questioner

I'm Omori from Oshino Village close by. You have talked about phreatic explosions. Mount Ontake also was a phreatic explosion. It was said that I think the NHK broadcasted that there were no observations being made therefore it wasn't known when the eruptions would occur.

Hiroaki Takahashi

Well, there are many things that we cannot understand even if we do carry out observations and what I've just presented here is just an example. It's not as if we can predict everything that happens in nature. Yes, we do need to observe but it doesn't mean that we will understand everything just because we have been observing. I believe that's the difficulty right now.

Female Questioner

Yes and the NHK program also said that so I understand. Thank you very much.

Moderator

Thank you very much Dr. Takahashi. Our next speaker is number four, Professor Satoshi Miura from Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University. His title is 'Preparatory Process toward an Eruption after a Long-Term Rest of Zao Volcano, Northeastern Japan'.

「静穏火山における噴火準備過程－蔵王山総合観測の成果から」

三浦 哲（東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター）

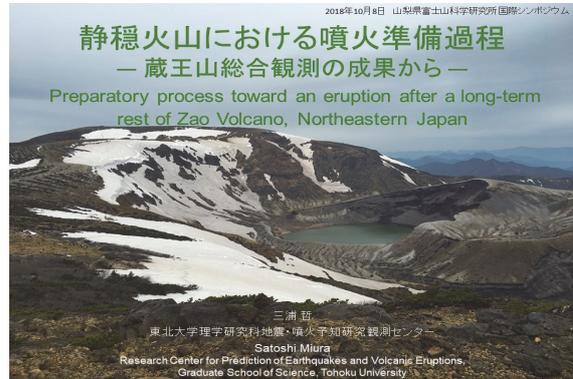


図 1

三浦：東北大学の三浦と申します。本日はこのような場でお話しをする機会をいただきまして、どうもありがとうございます。

私からは、東北地方の活火山である蔵王山についてお話させていただきます。背景の写真は(図1)、仙台市から南西に 60km ほど離れた場所に位置する蔵王山の山頂周辺の写真です。山頂には「御釜」と呼ばれる火口湖があり、これが最も最近では 1895 年に噴出した火口の中にたまった水によってできたものです。この蔵王山は、山頂のすぐ近くまで観光道路が整備されており、普通の自家用車等で行けることから、宮城県・山形県の代表的な観光地の一つとなっています。駐車場から 1、2 分も歩けば、このような写真が撮れるわけですので、万一休日の日中に噴火が起きた場合には多くの観光客が危険に晒されるため、十分な防災対策が必要な火山ということが言えます。

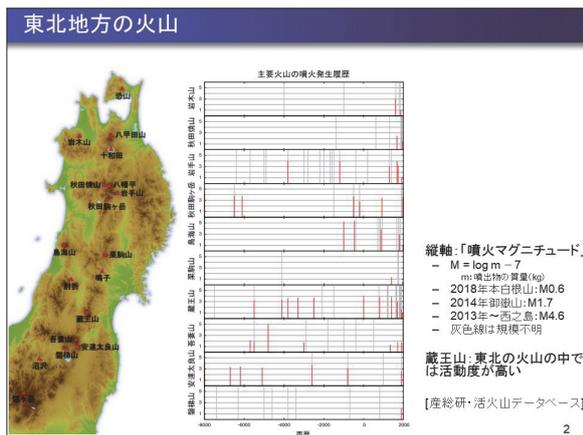


図 2

年	現象	活動経過・被害状況
773	噴火	刈田岳？
1227	噴火	火砕物効果
1624	噴火	火砕物降下、鳴動、噴石、降灰
1694	中規模、水蒸気噴火	神社焼失。8月30日地震、河川毒水化、川魚死ぬ(M3.0)
1809	水蒸気噴火？	噴火場所は五色岳(御釜)。12月29日に爆発。硫黄流入し、川魚被害。
1831	噴火	11月22日。
1867	水蒸気噴火？	、鳴動、御釜沸騰、硫黄混じりの泥水が増水し、洪水を起し死者3名。
1895	小規模、水蒸気噴火	火砕物降下、鳴動、白煙。御釜沸騰し、川魚被害。河川増水。有毒ガス発生。白石川洪水。火砕物降下、火砕サージ(M1.6)
1940	小規模、水蒸気噴火	火砕物降下。噴火場所は御釜北東島地獄。新噴気孔生成。(M1.0)

[日本活火山総覧(第4版)より抜粋] 3

図 3

2 枚目の図は（図 2）、産総研の活火山データベースから過去約 1 万年間の噴火の履歴を火山ごとに北から並べたものです。横軸は時間で紀元前 8000 年から最近まで取ってあります。赤いバーで示したところで噴火が発生しており、縦軸は噴火マグニチュードで噴火の規模を表す指標です。東北地方の火山は比較的静穏な火山が多いと言われており、この図に示されているように、そも

そも噴火回数が少なかったり噴火の時間間隔が長い火山がほとんどであります。蔵王山について注目すると、静かな東北の火山の中にあつて比較的コンスタントに活動していることが分かります。

蔵王山の活動履歴を、気象庁の日本活火山総覧から抜き出してみたのが次のスライドの表になっています（図 3）。1800 年代には比較的噴火活動が活発だったのですが、最新の噴火活動は

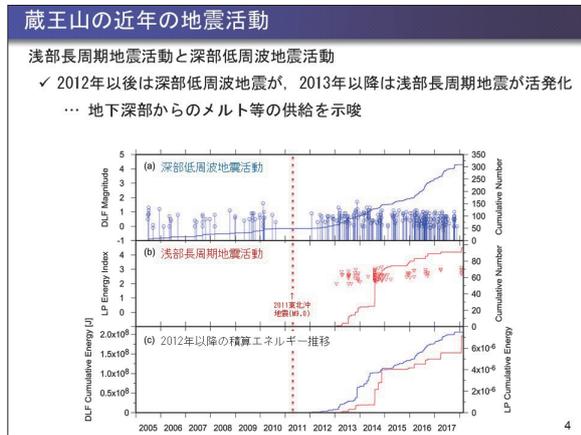


図 4

2011 年までは比較的低頻度だったのですが、2012 年以降はかなり発生頻度が上昇しているということがわかります。この深部低周波地震活動の活発化のタイミングは、2011 年東北地方太平洋沖地震発生後、1 年ぐらいたってからということになります。

一方、深部低周波地震の活発化から約 1 年遅れる形で、深さ数 km の浅部で起こる長周期の火山性地震も活発化してきたことが 2 段目のグラフから分かります。これら 1 個 1 個の地震のエネルギーを計算し、それを積算してグラフにしたものが最下段です。青で示した深部低周波地震活動が 2012 年頃から上昇傾向にあること、それから約 1 年遅れて浅部の火山性長周期地震のエネルギーが増大している様子が分かります。

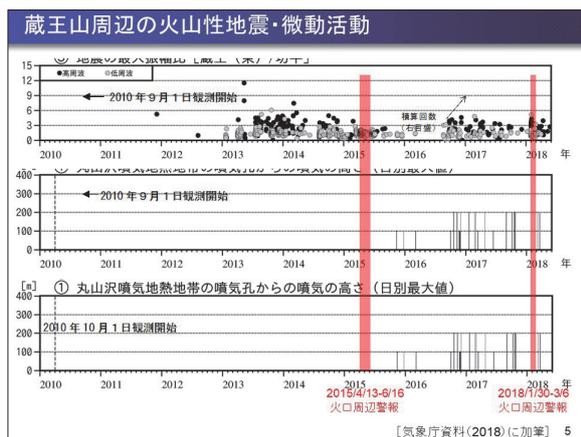


図 5

次のスライドで示した 2018 年の気象庁資料でもう少し詳しく見てみます（図 5）。上段が日ごとの地震回数とその積算、2 段目が火山性微動の発生履歴を示したもので、丸印の大きさを微動の振幅の大きさを、縦軸で振動の継続時間を表しています。気象庁が山頂から約 5km 西に坊平観測点を設置した 2010 年以降初めて 2013 年 1 月に火山性微動が観測され、その後断続的に微動が発生していることが分かります。特に 2015 年の前半には、火山性地震の数も多かったわけですが、最下段に示したのは GNSS (Global Navigation Satellite System、全地球測位システム) 衛星からのデータを使って、山頂を挟んで地盤の伸び縮みを測定した結果ですが、この結果でも同時期に比較的大きな伸びの変化が見えていました。これらの諸現象に基づき、気象庁から火口周辺警報が発表されました。幸いなことに、このときには噴火には至らずに、約 2 か月たつて地震活動も収まり、レベルは 1 に戻されました。

その後のGNSSの基線長変化を見るとほぼフラットな状況が続いており、火山活動も静穏な状態が続いていたのですが、今年の1月になって、また少し地震の数が増えました。このときには、基線長の変化は特になかったのですが、微動が観測され地震の個数も増えたこともありまして、気象庁は噴火警戒レベルを再び2に上げましたが、このときも約1か月で平常に戻ったという判断の下に、レベルは1に下げられました。

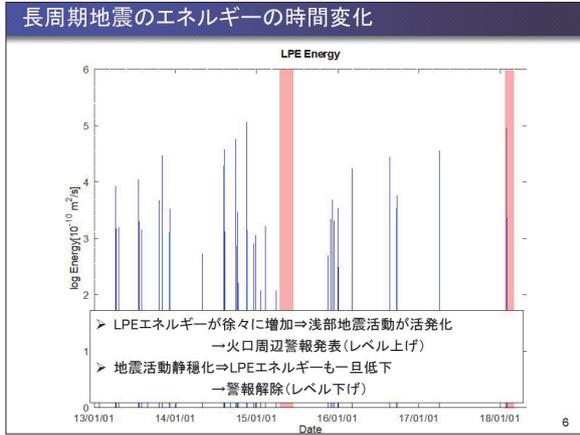


図 6

これらの一連の活動を低周波地震のエネルギーの推移で見たものが、6枚目のスライドに示したグラフです(図6)。期間は2013年以降です。低周波地震の発生を示す青い線の長さが各地震のエネルギーを表しています。先ほど述べた火口周辺警戒が出ていた時期を赤のハッチで示していますが、赤ハッチで示した二つの期間に向かって発生するイベントのエネルギーが徐々に増加している傾向が見られます。まだ2回のサイクルしかありませんので偶然であった可能性もありますので、今後もモニタリングを継続していきたいと考えています。

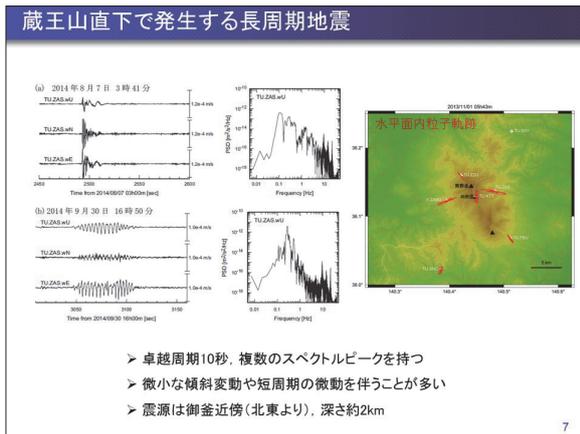


図 7

これらの浅部長周期地震の震源については、通常の震源決定法では決まらないのですが、次のスライドでは各観測点での地震波形から地面の動きを再現し、それに基づいて概略の震源を推定することを試んでいます(図7)。地図中の赤線で示しているのは、各観測点の地震波形データに基づいて再現した地面の水平面内の揺れの様子(粒子軌跡)を地図上にプロットしたものです。どの観測点もそれぞれある一定の方向に地面が動いている様子がわかりますが、長周期地震の震央はこれらの延長線上にあると考えられるわけです。このようにして推定された震央は、御釜の少し北東側に位置しています。同様に各観測点において震央方向を向いた鉛直面内で同じように粒子軌跡を書いてみると、深さについても大体分かることとなります。そのようにして推定された深さとしては、地表面から2kmぐらいということが分かりました。

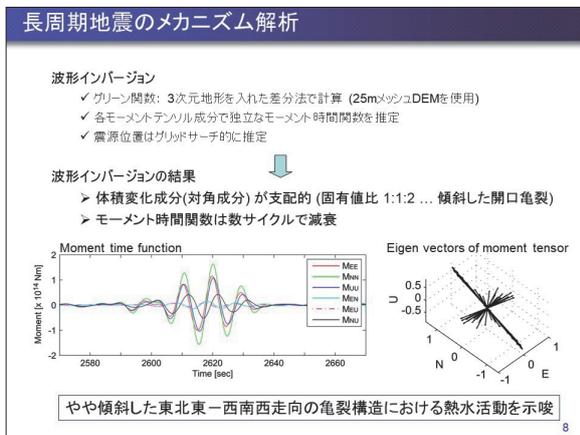


図 8

次のスライドで示す長周期地震の発震機構(メカニズム)を調べた結果からは(図8)、やや傾斜した東北東-西南西方向に走向を持つような亀裂内における熱水の動きが原因となって、これらの長周期地震が発生しているらしいことが分かりました。

こういった長周期地震や火山性微動の中の規

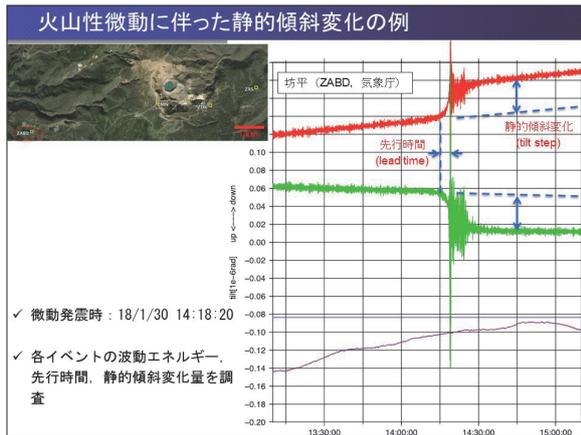


図 9

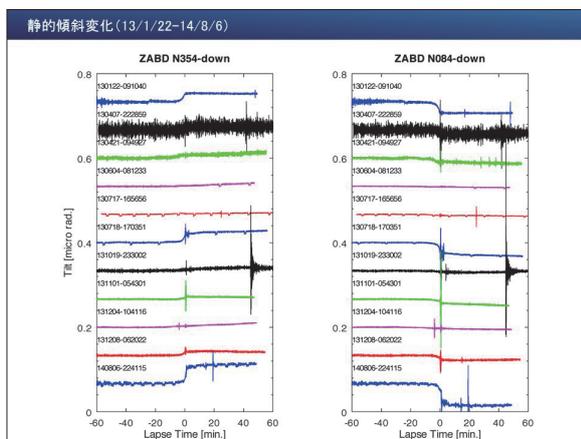


図 10

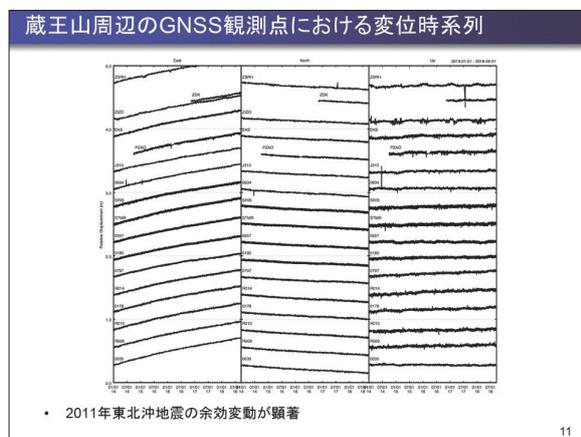


図 11

模の大きなものでは、前兆的な傾斜の変化を伴うことがあります。次のスライドはその一例ですが（図 9）、気象庁の坊平観測点で観測された傾斜変化です。短周期で大きな振幅のところが長周期地震を表しています。それに先立って、数分前から前兆的な傾斜変動が見えています。その傾斜変化は一時的なものではなく、イベント前後で元に戻らないような変化を示しています。そういう意味で、我々はこのような変化を静的（スタティック）な傾斜変化と呼んでいます。

気象庁で作成している火山性微動のカタログによると、これまで 56 回発生しており、そのうち約半数の 26 個について、静的傾斜変化が見えています。次のスライドにはそのうちのいくつかの事例を並べて示したものです（図 10）。このように並べて見てみると、各イベントごとに傾斜変化量は異なっているのですが、先行時間（傾斜変化が起こり始めてから微動の発震時刻までの時間）についてはどのイベントについても概ね同じということがわかります。傾斜変化量はイベントごとに異なっている一方で、先行時間は振幅（規模）によらず概ね一定であることから、微動の原因となる流体の移動量は毎回異なるけれども、微動の発生機構は各イベントに共通していることを示唆していると考えられます。具体的な発生機構については今後の検討課題です。

一方、東北大では 2013 年以降蔵王山の周辺に地震計や GNSS などの観測点を増強し、火山性地震や微動、山体の地盤変動等を観測しています。次のスライドは GNSS で観測された各観測点の変位（動き）の時系列を示しておりまして、左側が東西成分、真ん中が南北成分、右端が上下成分です（図 11）。東西成分においては右上がりの変化が顕著になっていますが、これは 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動（大地震発生後に引き続いて起こるゆっくりした地殻変動）によるものであり、このままでは、火山性地殻変動を抽出するのは困難です。この余効変動の影響を関数近似法という方法で除去してやって、火山性地殻変動を抽出した結果が次のスライドになります（図 12）。左側が 2015 年の 1 月から 6 月までの期間に蔵王山の周辺で観測された地殻変動の水平成分を矢印で示したものの、右側が上下成分を棒の向き（上向きが隆起、下向きが沈降）と長さで示したものです。水平変動では、山頂付近を中心とする放射状の動きが特徴的で、変動量は山頂に近い観測点ほど大きくなっています。上下

化が顕著になっていますが、これは 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動（大地震発生後に引き続いて起こるゆっくりした地殻変動）によるものであり、このままでは、火山性地殻変動を抽出するのは困難です。この余効変動の影響を関数近似法という方法で除去してやって、火山性地殻変動を抽出した結果が次のスライドになります（図 12）。左側が 2015 年の 1 月から 6 月までの期間に蔵王山の周辺で観測された地殻変動の水平成分を矢印で示したものの、右側が上下成分を棒の向き（上向きが隆起、下向きが沈降）と長さで示したものです。水平変動では、山頂付近を中心とする放射状の動きが特徴的で、変動量は山頂に近い観測点ほど大きくなっています。上下

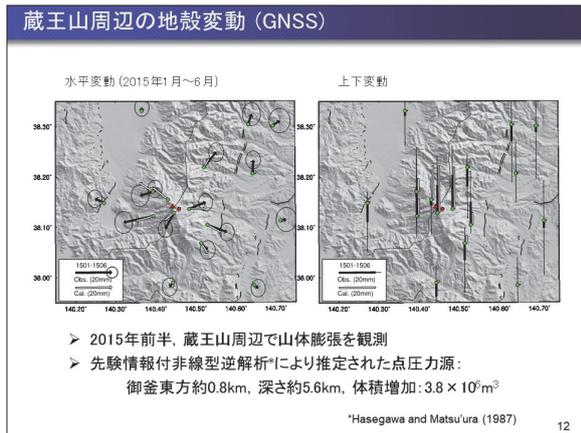


図 12

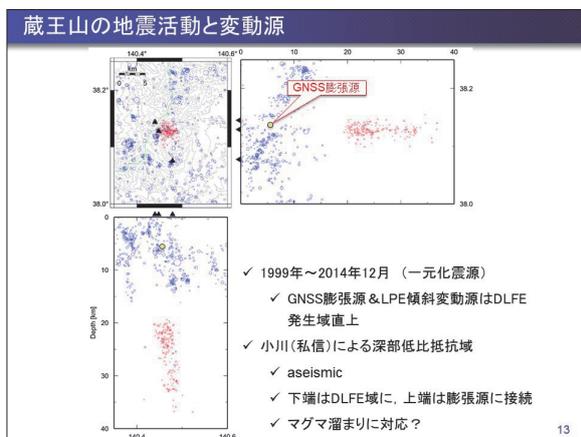


図 13

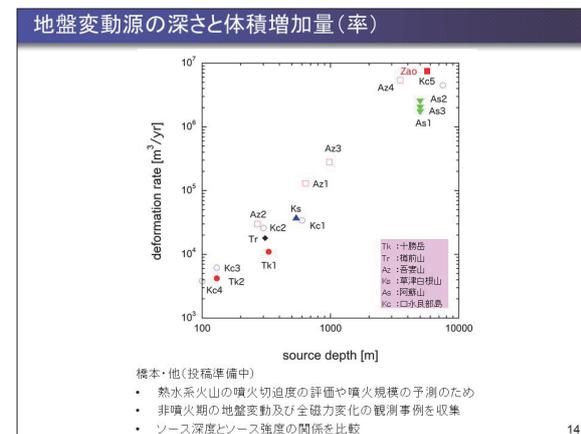


図 14

変動についても山頂に近い観測点ほど隆起傾向が顕著であることを示しています。このような地盤変動の特徴は、地下の球状圧力源（茂木モデル）の増圧に伴う地盤変動で説明可能です。観測データを最も良く説明する圧力源の場所については、冒頭の写真でお見せした御釜の中心から東側に約 800m、深さは約 5.6km という推定結果になりました。圧力変化を体積増加量に換算すると 3.8×10^6 立方 m いった量になります。

推定された圧力源の位置を蔵王山周辺の震源分布図と比べてみた結果を次のスライドに示します（図 13）。左上が震央分布、その下が東西方向の断面図、右上が南北方向の断面図になります。赤丸が深部低周波地震といわれる下部地殻（深さ約 15km 以深）で起きている地震、青丸が上部地殻内の地震です。これに茂木モデルの圧力源の位置を重ねてみると、深部低周波地震群のほぼ直上で上部地殻内地震発生域の中ということになります。東工大の小川康雄教授のグループによって推定された蔵王山直下の地下の電気伝導度構造と比較すると、球状圧力源は蔵王山以西で深さ 5km 以深に推定されている高電気伝導度域の上端付近に相当することから、この高電気伝導度域がマグマ溜まりに相当している可能性も考えられます。

このような地下の圧力源に関する研究は国内の多くの火山で実施されており、北海道大学の橋本武志教授が熱水系の火山の噴火切迫度の評価や噴火規模の予測を行うために、それらの結果をコンパイルしており、次のスライドは橋本教授からお借りした図に上述の蔵王山の結果を追記したものです（図 14）。このグラフでは、横軸に圧力源の深さ、縦軸に体積変化率をと

ていますが、2 つの量の間にはきれいな相関関係が見えます。追記した蔵王山の事例もほかの火山と同様に、相関関係の中に入っていますので、こういった現象が共通の物理過程の中で起きている可能性が示唆されます。

以上まとめますと（図 15）、蔵王山では 2012 年以降火山活動の活発化が見えはじめた、特に活動度が高かった 2015 年の前半約半年の間はわずかな山体の膨張現象が見られた、その圧力源は深さ約 6km に推定された、そしてほかの観測事実等を併せて考えると蔵王山直下の深さ 5km 以深に蔵王山のマグマ溜まりがある可能性が示唆された、ということになります。

まとめ

- ✓ 蔵王山では2012年以降深部低周波地震が、2013年以降浅部低周波地震（LPE）が活発化
- ✓ 2015/4/13-6/16, 2018/1/30-3/6の2期間で火山性地震活発化により火口周辺警報発表
 - ✓ 活発化に際して徐々にLPEの規模が増大？
- ✓ 2015年1月～6月の期間には僅かな山体膨張
 - ✓ 点圧力源：深さ約5.6km, 体積増加約 $3.8 \times 10^6 \text{m}^3$
 - ✓ 深部低抵抗域（小川, 私信）の上端付近に対応
 - ✓ 深さ約5km以深にマグマ溜まり？
- ✓ 2013年以降58回の微動（長周期地震）が発生
 - ✓ LPEの震源は御釜の北西側, 深さ約2km
 - ✓ やや傾斜した東北東－西南西走向の亀裂構造における熱水活動を示唆
 - ✓ 電磁気観測による熱消磁源も概ね同じ位置
 - ✓ うち26回で先行する静的傾斜変化を観測
 - ✓ 静的傾斜変化量及び先行時間（2～10分程度）はLPEの規模に依存しない
 - ✓ 静的傾斜変化量と先行時間も無相関
 - ◇ 静的傾斜変動源と長周期地震の震源は近接
 - ◇ 傾斜変動源サイズの時間的変化は殆どなく流入する熱水量がイベント毎に異なる？

◇ 今後の課題：
◇ LPEを伴わない静的傾斜変化の有無の調査
◇ 統一的な変動源モデルの構築

15

図 15

蔵王山に関する研究はまだ道半ばであり、今後も今日のお話の中でご紹介したようないろいろな観測を総合的に進めまして、蔵王山の活動についてモニターしていくことにしています。

ご清聴ありがとうございました。

司会：三浦先生、どうもありがとうございます。時間が押しておりますので、パネルディスカッションのときに、先生への質問をお受けしたいと思います。

続きまして、講演 5 に入りたいと思います。インドネシアのジャワ州にあるガジャ・マダ大学から来ていただきました、教授のウィウィット・スルヤント先生に「観測に基づく情報発信：火山災害の軽減に向けたインドネシアの現状と問題、そして挑戦」ということで、講演をいただきたいと思います。

もし通訳の機械を持っていない方がいらっしゃいましたら、手を挙げていただきましたら、こちらからお持ちいたします。

では、ウィウィット先生、よろしく願いいたします。

Satoshi Miura

I'm Satoshi Miura from Tohoku University. Thank you very much for inviting me to speak here today. Now, I would like to talk about a volcano in Tohoku region. This photo in the first slide shows the summit area of Zao Volcano, which is located about 60 km SW from Sendai. You can see a lake, which is the crater activated in the recent eruption in 1895. This area is one of the most popular tourist spots in Miyagi and Yamagata prefectures, and can be easily reached by car through the paved road with an additional few minutes walk. It means that the area is the potential hazardous area if the volcano erupts in a fine daytime.

The second slide shows the eruption history of volcanoes in Tohoku region from north to south in the past 10,000 years based on the online database provided by the National Institute of Advanced Industrial Sources of Technology. The horizontal axis is the time starting from 8000 BC up to present. The vertical axis is eruption magnitudes. As you can see, the most of them are very quiet with only a few eruptions, or with long resting intervals. However, Zao volcano is one of the most active one in the generally quiet volcanoes in Tohoku as you can see in this diagram.

If you look at the eruption history in the historic time shown in the table of the third slide, which is compiled from "National Catalogue of the Active Volcanoes in Japan (JMA)", the volcano was very active in 17th and 19th centuries. The latest one occurred in 1940 with rather small magnitude. Some researchers propose that this is not an eruption, though.

However, the activity of Zao volcano has been raised since 2012. The uppermost diagram in the fourth slide shows magnitudes of the deep low frequency earthquakes (DLFE), which are characterized by their low frequency contents and depth below about 15 km, vs. time (M-T diagram) from 2005 up to present, together with the cumulative number of those earthquakes represented by the continuous line. While DLFE's did not occur very frequently from 2005 to 2011, they were activated since 2012. It is interesting to note that the timing of the change corresponds to the occurrence of the 2011 Tohoku earthquake (M9.0). The activity of shallow low frequency earthquakes (SLFE) was also raised around 2013, about one year after the activation of DLFE's as shown in the middle diagram. The lowermost diagram shows time-series of the cumulated energy of both DLFE's and SLFE's demonstrating the characteristics mentioned above.

The fifth slide shows a M-T diagram of volcanic earthquakes and their cumulative number from 2010 to present as a top. In the middle panel, duration times of

volcanic tremors are indicated along the vertical axis and their maximum amplitudes are shown by the size of the circles. Length changes of a baseline between Bodaira and Kawasaki, which runs across the summit are demonstrated as the bottom panel. These diagrams are drawn by JMA. The first volcanic tremor was observed in 2013 since JMA constructed Bodaira observatory in 2010, and the following tremors has occurred frequently since then.

You see that the volcanic seismicity raised very much in the first half of 2015. In the same period, the GNSS baseline changes also show expansion, which may related to volcanic deformation. The JMA issued a volcanic warning near the crater in Apr., 2015. Fortunately, the seismicity and extension calmed down in Jul., 2015 and it didn't erupt. After this activity the baseline change becomes flat and the volcanic activity have been quiet. But in Jan. 2018, the number of the earthquakes again increased. There was not much change in the baseline, however, the JMA observed volcanic tremors and again issued the volcanic warning near the crater. Things went to normal one month later and the JMA turned the warning down.

The sixth slide shows a time-series of the energy of SLFE's since 2013 together with two periods of the volcanic warning as mentioned above indicated by two red hatches. We notice that the energies of each event were getting larger toward the periods of the activity maximum, even though this tendency could be just a coincidence. Anyway, the temporal change in the energies of each event may possibly indicate the activity of the volcano.

It is really difficult to determine the hypocenters of the SLFE's based on the usual method. So, using the motions of the ground, or the particle motions, from seismograms, we try to find out the hypocenters. As shown in the seventh slide, the red traces at each station indicate the particle motions on the horizontal plane, which direct the epicenter. You see every particle motion directs the summit area, slightly east of the crater lake. Taking the same procedure for the vertical planes, we can estimate the depths of each event, too, which are estimated as 2-3 km.

The eighth slide shows an example of wave form inversions to estimate the source mechanisms of a SLFE. These events can be interpreted as vibrations of geothermal fluid in a crack directing ENE-WSW.

The ninth slide shows an example of typical tremors on 30th Jan., 2018 observed by a tiltmeter at Bodaira station. You can see the tremor as high frequency variation of tilt in this time scale following precursory gradual change a few minutes before the tremor. It should be noted that the step-like tilt changes

remain the same after the tremor, so we call this kind of phenomena as “static tilt change”. I found 26 events out of 56 in the JMA tremor catalog beneath Zao volcano, demonstrating the similar characteristics with this event.

The tenth slide shows some of the major events, which have similar lead time from event to event, even though their amplitudes are different. This may suggest that the amount of fluid causing SLFE’s differed for each event but the mechanism may be almost the same.

We can monitor volcanic deformations using continuous GNSS observations. The eleventh slide shows time-series of site coordinates from Jan. 2014 to Sep. 2018. The left, middle, and right panels show eastward, northward, and upward displacements, respectively. Looking at the eastward component, you can see the large eastward movement, which are the effect of the postseismic deformation caused by the 2011 Tohoku-oki earthquake (M9.0). So, it is difficult for you to see any volcano-related deformation. However, if we approximate the postseismic deformation by a combination of mathematical functions, it can be excluded effectively and the volcanic deformation in the first half of 2015 can be extracted and shown in the twelfth slide.

The left and right demonstrate the horizontal and vertical movement around Zao, respectively, from Jan. to Jun. of 2015. The black arrows shows the observed ground movement. You can see the radial pattern of movement around the summit of the volcano. And the upheaval indicated by the black bars also centered around the summit. These characteristics of deformation can be modeled by a infinitesimal pressure source underground (so called Mogi model). I tried inversion analyses to find its location and magnitude. It is located about 0.8 km east of the crater lake with depth of about 5.6 km, and the volumetric change equivalent to the pressure change is $3.8 \times 10^6 \text{m}^3$.

The thirteenth slide shows the hypocenter map with the pressure source estimated above. The red and blue circles shows DLFE’s and upper-crust earthquakes, respectively. The pressure source indicated by a yellow circle is located just above the DLFE cluster. This suggests that the pressure source might be activated by geothermal heat supplied by magma or fluid. Prof. Yasuo Ogawa of the Tokyo Institute of Technology found a conductive zone beneath Zao volcano deeper than about 5 km and this may support our result.

Recently, Prof. Takeshi Hashimoto of Hokkaido University compiled the depths of pressure sources and their deformation rates for some activated volcanoes in

Japan showing clear correlation between them. This suggests that there may be some common physical processes even for different volcanoes. I add the parameters for Zao volcano on the same diagram by Prof. Hashimoto to find they also satisfy the relation. The comparison with other volcanoes may help to understand volcanoes with so long time intervals that we cannot have modern geophysical data before the previous eruption such as Zao.

In summary, since 2012, we have been experiencing two maxima in the volcanic activities. Particularly, in the first half of 2015, we observed the volcanic deformation. The pressure source was about 6 km in depth. Combining with other data, there may be a possible magma chamber beneath that depth. We still need to promote the research of the volcano by putting together as many kinds of observations as possible. Thank you very much.

Moderator

Dr. Miura, thank you very much. Sorry, we are running out of time so if there are any questions, we would like to invite the questions at the panel discussion. Thank you very much. So, the next stop is presentation number 5 from Gadjah Mada University in Indonesia in Java. We are very honored to have Professor Wiwit Suryanto. He is going to talk about 'From Geophysical Data to Public Information: Status, Problems, and Challenges of Mitigating Volcanic Disasters in Indonesia'. Please professor. If you do not have translation receivers, raise your hand. We have some receivers ready for you. Please.

「観測に基づく情報発信」： 火山災害の軽減に向けたインドネシアの現状と問題、そして挑戦」

ウィウィット・スルヤント（インドネシア ガジャ・マダ大学）



From geophysical data to public information:
Status, problems, and challenges of mitigating
volcanic disasters in Indonesia

International Symposium
on Monitoring and Observations for the Prediction of the Volcanic Activity
Fujiyoshida, October 8, 2018

Wiwit Suryanto
Seismology Research Group Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
wsw@ugm.ac.id

スルヤント：ありがとうございます。おはようございます。私はウィウィット・スルヤントと申します。ジョグジャカルタにありますガジャ・マダ大学からまいりました。

今日は、科学的な話はしません。むしろインドネシアで直面している災害軽減への取り組みについてご紹介したいと思います。

そこで地球物理データを情報発信へ、インドネシアの火山災害軽減に向けた現状と課題と題して、話をさせていただきます。

Outline

- Merapi Volcano
- Mitigation Effort
- Recent Status and updates
- Preparing the next generation
- Problem and some ideas
- Concluding remark

図 1



図 2

これが概略です（図 1）。最初にメラピ山という火山についてご紹介します。その災害軽減努力についてご紹介し、最新情報をご紹介します。私たちが行ってきた教育、啓蒙活動があります。MFRI と一緒にやってきた活動と、幾つかの残る課題、結論としてご紹介します。

これがインドネシアです。メラピ火山はジャワ島の中心にあります（図 2）。インドネシアには 140 の活火山があります。また 100 ほどの休火山がありますが、こういった火山を管理することは簡単なことではありません。メラピ火山の場所は、このあたりにあります。大体人口密度が 1 平方 km あたり 1000 人となっております、これが問題です。人口の少ない地域がありますが、この火山があるところの人口密度が高いという問題です。



図 3

これがメラピ火山の位置となります（図 3）。ジャワ中央にジョクジャカルタ市があります。大体 25km ぐらい離れています。火砕流が発生したのが大体 13km ぐらい先、一番最近の噴火です。



図 4

これは古い絵画で、Raden Saleh が 1865 年のメラピ山の噴火を描いたものです（図 4）。初期の段階のメラピ山の噴火の状況を描いたものですが、Raden Saleh は 2 つの絵画を残しています。1 つはメラピ山の昼間の噴火と、こちらが夜間のメラピ山の噴火を描いた絵となっています。2 枚の火山の絵があります。これでこういった種類のメラピ山の噴火だったのか分かります。

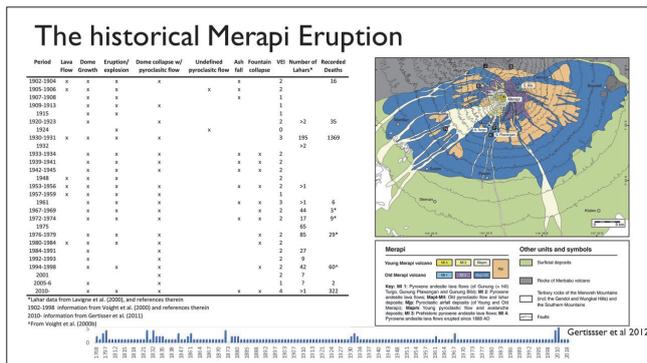


図 5

歴史を振り返ってみますと（図 5）、毎年のように私たちはメラピ山の追跡調査を行っています。1900 年代初めからこういった火山噴火があったのか。また被害がどのぐらいあったのか。最近のものでは 2010 年に噴火がありました。322 人が死亡しました。この火山の噴火で火砕流が発生し、それが火山の南側に流出しました。前回の流出経路ですが、南西に加えて南部も危険地域となった。ここにジョグジャカルタ市があります。火山のちょうど南側に当たります。

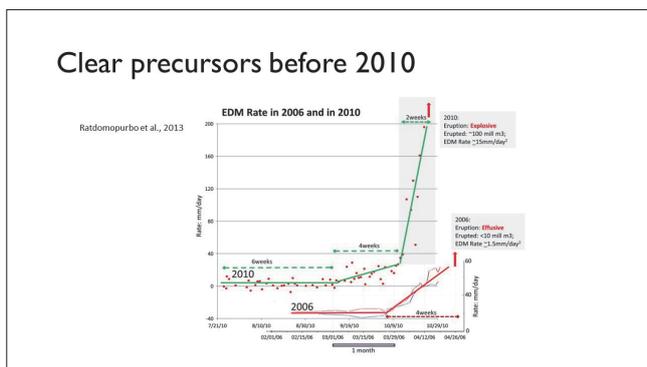


図 6

では、ここでどのような形でこの火山をモニタリングしているのか。メラピ山の最も重要なデータは、地殻活動データとなります。これは EDM 電子距離測定によるデータなのですが、ここで距離が分かります（図 6）。ある 1 地点から、通常は火山の山頂近くになります。

実際に 2006 年の数週間後に噴火するまで見ていきますと、火山の地盤変動が大きくなっています。2010 年の噴火のときも、明らかに地殻変動が噴火の 2 週間前に大きく

観察されました。ですので、一番高いレベルから 1 つ下の第 3 のレベルに警戒レベルが引き上げられまして、避難準備をしたという経緯があります。このときに、政府が市民に対して早急な避難を要求したわけです。とはいえ、まだ問題が残っています。それを次のスライドでご紹介します。

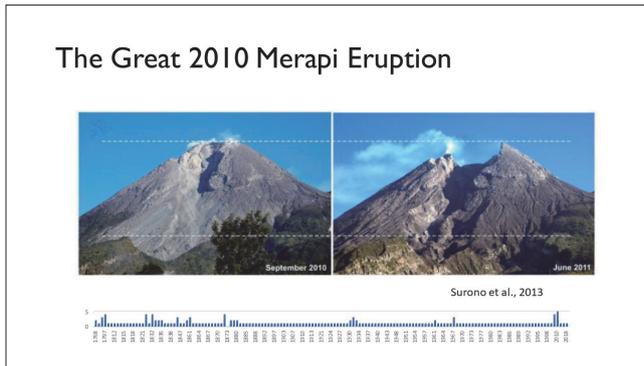


図 7

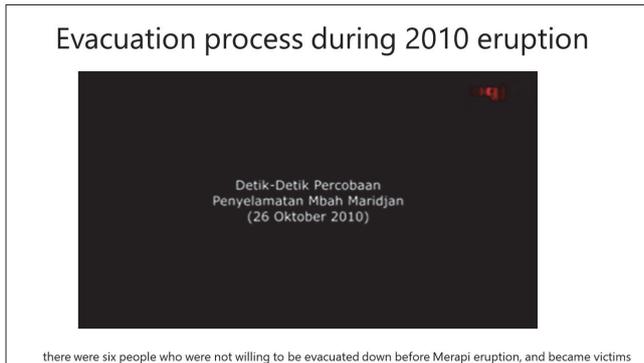


図 8

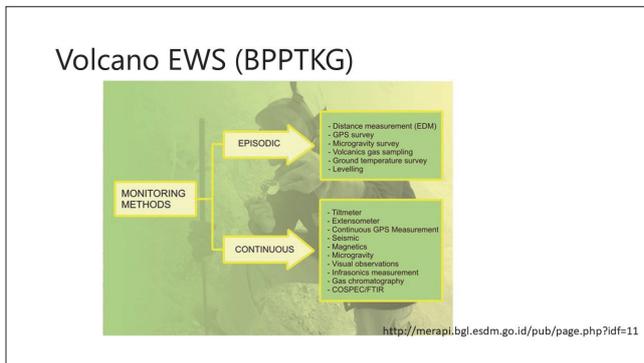


図 9

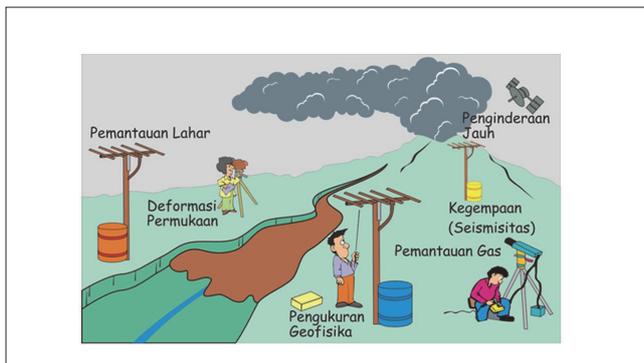


図 10

2010年の噴火で、実際に山頂の形がいかに変わったかをお見せしたいと思います(図7)。これは2010年9月に撮った写真が左側、噴火直後、火口地域がほとんど崩落、陥没しているのが分かります。そこにあった物質が実際に噴火してしまったということです。

ここで動画をお見せしたいと思います(図8)。どのように避難した人たちに対して対応が取られ、災害軽減への取り組みが行われたかです。少し飛ばしますが、2010年の噴火時の様子がお分かりになるとと思います。避難が進められています。これは噴火の15分前です。市民は霊的なリーダーの安否を気にしているために、避難したくない、残りたいという要求をしています。

もう1人、別の人たちもこの地域に残って、最終的に6人が避難を拒否しました。その場に残ると主張しました。説得することができなかったために、この残った6人が火山の犠牲者となってしまいました。ですので、私たちはどうやってこの火山災害の啓蒙を、実際に活火山ですから、市民に教育するかということが問題となりました。

実際にモニタリングを積極的に行っているわけですが、いろいろな装置、機器を使っています(図9)。実際に噴火発生時の測定と連続観測があります。これは地球物理、地球科学的方法を使って測定をしています(図10)。メラピ山に設置しましたいろいろな装置を示したものですが、既にモニタリングシステムはかなり質の高いものができました。これが火山の山頂、全てさまざまな装置、機器がメラピ山周辺に設置されています(図11)。

この災害軽減への取り組みのために基準を作りました。火山活動が活発になったときに、どのような対応をするかを決めています。例えば行政地区のレベルで警報を出しますし、国のレベルにおいても警報が出されます。市町村レベルでも警戒が行われます。それが全て集約されるのが国家防災庁ということになります(図12)。国の軽減対策の取りまとめ、BNPBと略されます。これはインドネシア共和国の大統領に直属し

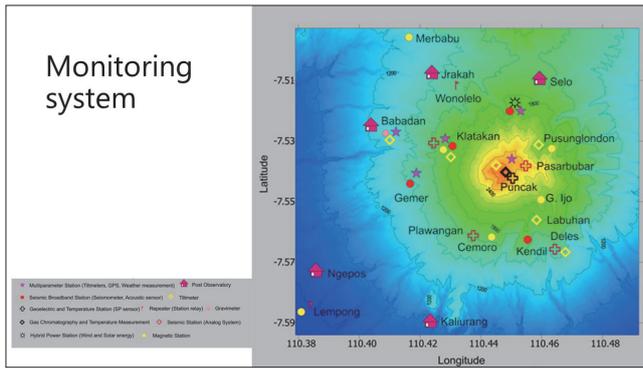


図 11

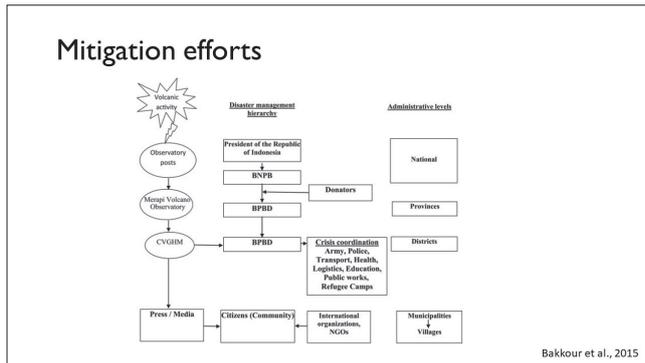


図 12

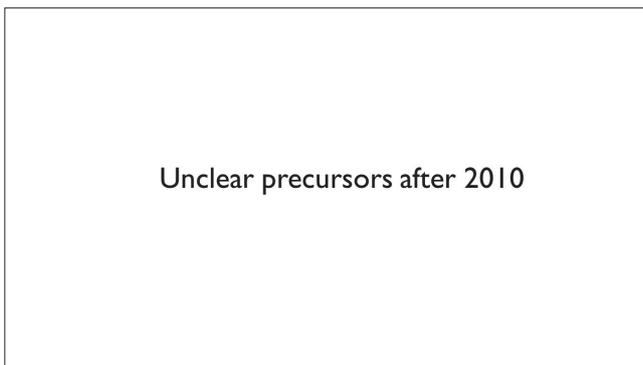


図 13

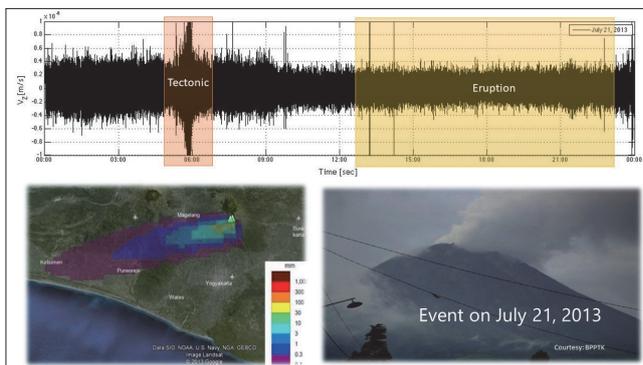


図 14

ている組織であって、その国家防災庁の下に自然災害に対応する地域防災局があります。そこと連絡を取るのが、インドネシア火山・土砂災害防災センターとなっています。これはバンドンにあります。メラピ山の情報については、インドネシア火山・土砂災害防災センター（CVGHM）に集約されまして、そこから情報が発信されるわけですが、いろいろなステークホルダーに提供されます。それが使われまして、軍ですとか警察に情報が渡り、そこから避難指示が行われます。

火山モニタリング部局は、マスコミとも関係を持っていますので、情報をマスコミ経由でも市民に提供しています。どのように情報提供、情報発信を市民に向けて行うのか。直接各省庁を使って行うか、あるいはマスコミ経由で提供するかという2系列になっています。

2010年に大噴火があったわけですが、そこでメラピ火山の活動については、新しい段階に入ったと思われています。2010年以降の前兆現象が明確ではないという問題です（図13）。1回目の2013年7月21日の噴火ですが（図14）、これは小さい水蒸気噴火で、50kmぐらいまで到達したのが分かりますが、構造的な地震の活動がありましたが、その後活動は沈静化しています。実際に噴火時は沈静化していました。速報所は火山から遠く離れたところにあります。また、とても賑やかな観光地にあるので、データの正確さが低いということもあります。

これは2013年11月17日の噴火時のものですが（図15）、同じように噴火直前、ジャワの南部で地盤構造運動が見られました。

これは東側ですが、ジャワ中央にまで影響が及びました。

2014年3月の噴火時、噴火制動において、必ず地盤活動があつて噴火があります（図16）。山の中の活動そのものは割合静かで、地震活動などからは全く情報は出てきませんでした。

では、ここで2018年5月、最近の噴火の様子をお見せしたいと思います（図17）。通常状態、

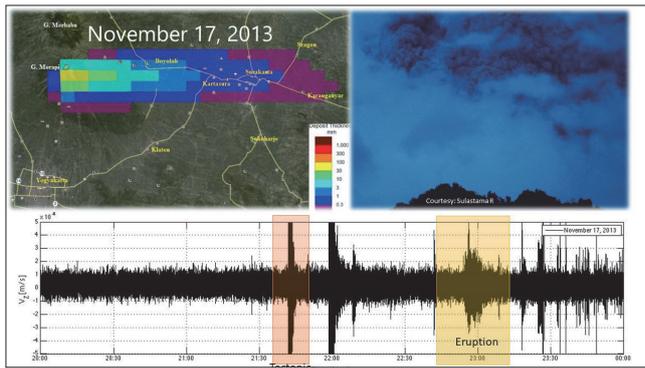


図 15

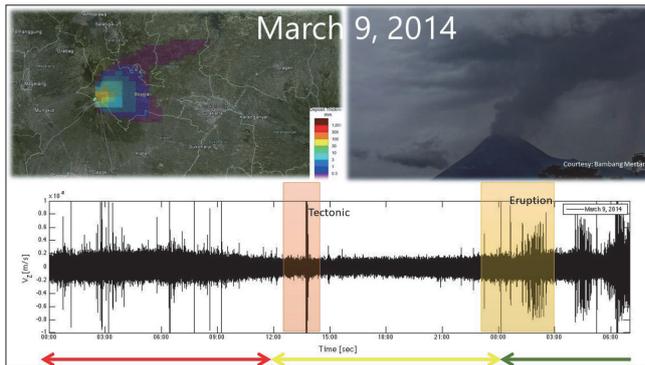


図 16



図 17

Recent Status and update

Communication Problem:

- Since 1997 Kelud Volcano eruption the CVGHM has experienced to carefully convey the current conditions of a volcanic activity to the community
- How to bring the scientific language into a plain language.
- Education to people, especially media is important.



図 18

レベル 0 という状態だったのですが、このように噴火しました。かなり大きな水蒸気噴火で、5km ぐらいまで吹き上がりました。登山者も多く、噴火したときに 200 人ほど登山者がいました。幸いにして、皆無事でした。ですので、今回の噴火では犠牲者は出ませんでした。これも私たちにとっては宿題です。どうやって皆を啓蒙するだけでなく、教育をすることです。科学的な観点から、噴火に至る構造ですとか、前兆現象などについて理解したいと思います。

どういう状況だったのか。地球物理学的なデータを見てみたいと思います。2018 年 5 月の噴火の状況を見てみたいと思います。5 月 9 日、ほとんど何の活動も見られません。非常に静かな状態で、何の活動もありませんでした。10 日も状況は小さな変化しかありません。11 日も特に地震活動は見られませんでした。ところが、突然噴火ということになったわけです。

宿題の 2 つ目が出てきたわけですが、まずは 1 つ目、人々の啓蒙というところから取り組むことにいたしました。これはコミュニケーションの問題に関することとなります(図 18)。コミュニケーションの問題が出てきたのが 97 年でした。ケルウト火山、ジャワの東にあるのですが、1970 年、火山活動が増加しました。これが以前のクレーターの状態。湖がありまして、これがクレーターのところにあったわけです。火山・土砂災害防災センターは、この地震活動の状況を見て、人々に避難を呼びかけました。

ところが、噴火したのですが、人々が想像していたような噴火ではありませんでした。一般の人たちは、噴火といいますと、爆発的な噴火を想像しますが、このときは

火山ドームが膨らんだだけでした。この湖だったところがドーム状になって、膨らみました。これは 2014 年の状況ですが、これが崩壊して再び湖ができました。ですので、またこのような状態に戻ったわけですが、被害の緩和という観点からいいますと、人々にどう伝えたらいいのかという問題があります。



図 19

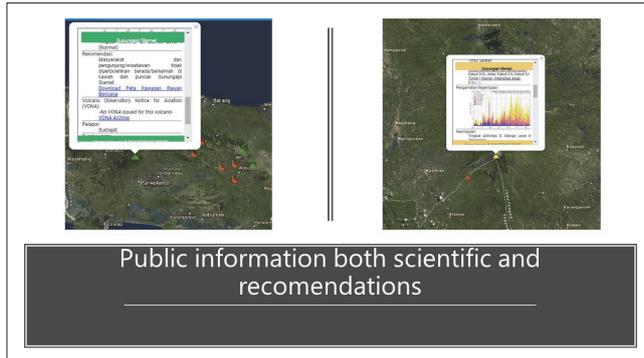


図 20

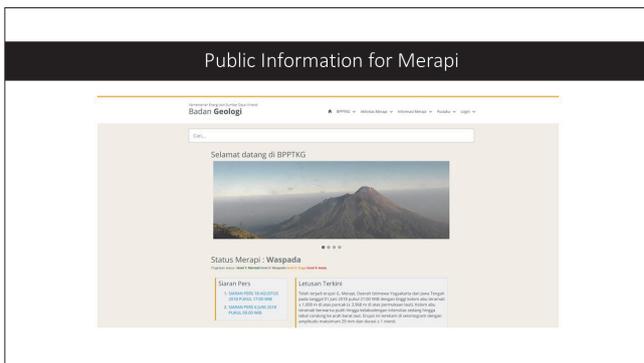


図 21

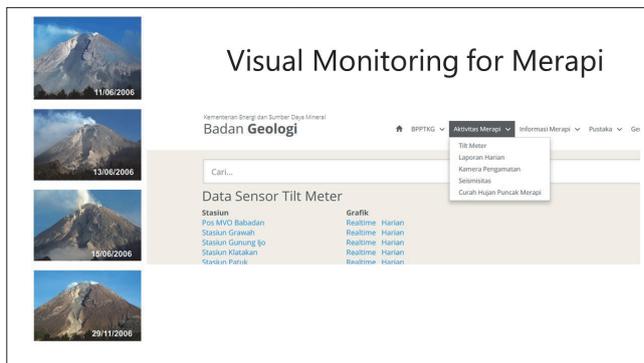


図 22

インドネシアでは特に、当局が火山活動が活発だと、噴火するかもしれないと考えて、人々を避難させようとするわけですが、避難するとなりますと、例えば滞在場所、避難場所なども全部用意します。ですので、当局としてもかなり負担が大きいわけです。科学的な説明をどのように一般の人にも分かるような言葉に直していくのかという問題もあります。ですので、今、どのように伝えるのが良いのかということに取り組んでいます。

今では、科学的なデータも人々に公開するようになりました。こちらはウェブサイトの例です(図 19)。インドネシアの火山研究センターからの情報ですが、それぞれインドネシア全体の火山の状態を示しています。メラピはレベル 2 となっています。黄色で示されています。黄色は地震活動レベル 1 になります。緑は通常の状態。特に心配する必要がない。赤はかなり活発だということを表しています。

この情報は一般の人たちはインターネットでアクセスすることができます(図 20)。また、さまざまな火山に関する勧告も簡単にアクセスすることができます。関心のある火山のところをクリックしますと、そこに科学データが出ています。例えばこちらは地震活動なのですが、火山での地震活動のレベルが示されています。通常状態なのか、警戒レベル 1 なのかということを見ていただくことができます。

特にメラピ山については、このウェブサイトが作られています(図 21)。ここでは科学データ、傾斜計のデータも見ることができます。日々の火山の状況、カメラで火山をモニタリングしているので、それも見

ることができます(図 22)。また、地震活動度ですとか、気象学的なデータについても見ることができます。例えば今では火口の中の状態も見ることができます(図 23)。火口の温度分布についても見ることができます。こちら一般の人がアクセスできるデータです。

さらに、一般の人に分かりやすい言葉で SNS でも発信しています。ソーシャルメディアは非常

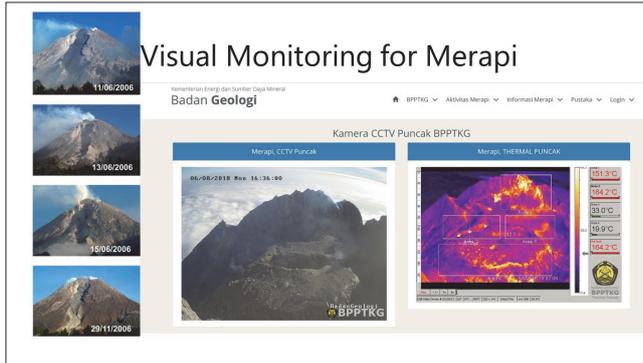


図 23

に重要だと我々は考えています。こちらが BPPTKG の公式なソーシャルメディアです (図 24)。今の火山の状態はここで説明がされています。メラピ山について説明が欲しいと思った場合には、このソーシャルメディアを開いて、これをフォローすれば、火山の状況についても直接知ることができます。



図 24

2 つ目ですが、次世代の教育ということに取り組んでいます (図 25)。長い間をかけて火山信仰というものも出てきたので、教育を通して、火山に近いところに住んでいる場合、どう対応したらいいかということをお伝えしようとしています。吉本先生とともに、去年から学校での教育を始めております。メラピ山の危険について伝えるようにしています。

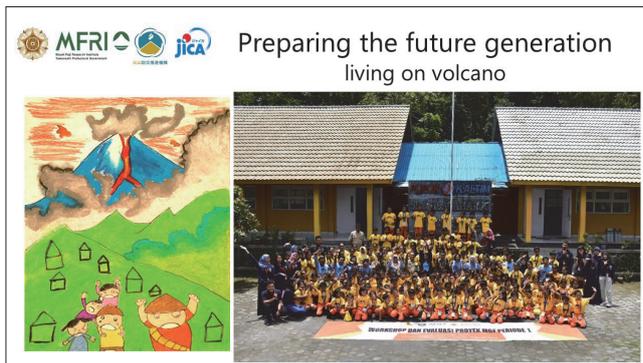


図 25

これは 1 つの学校なのですが、ターゲットにしているグラガハルジョにある学校です。2010 年、メラピ山の噴火で破壊されてしまいました (図 26)。実はここに当時学校があったわけですが、全て失われてしまいました。新しい学校をこの地域の別な場所に再建いたしました。

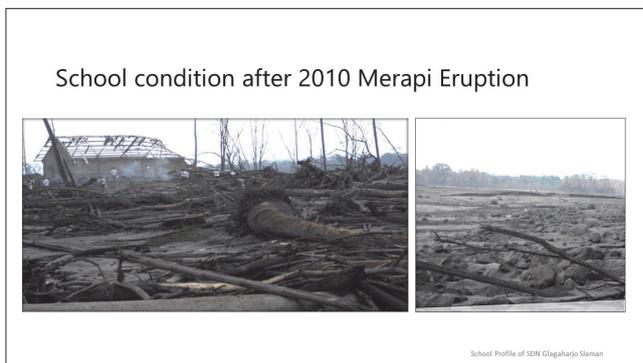


図 26

まずは火山のことを説明し、火山の構造はどうなっているのか。噴火すると何が起るのかといったことから伝え始めました (図 27)。また、技術を使ったモニタリング活動も分かってもらおうということで、学校の中に地震計も設置しました (図 28)。このメラピ山の周辺の小学校にモニターを付けて、揺れなどが感知された場合には見られるようにしました。このプロジェクトは 2017 年からスタートしております。

2018 年 5 月 11 日に演習ができました。先ほどのスライドでお見せしたビデオの噴火なのですが、この噴火によりまして、煙が 5km も上空まで上りました (図 29)。子どもたちは既にかなり火山の情報を意識することができました。子どもたちの中には、「自分たちが学んだことだ」と「コカ・コーラなどの炭酸飲料を振ったときと同じだ」と言った子どもたちもいました。先生たちもそんなに不安に襲われることはありませんでした。ですので、教育によりまして、こ



Volcano Education for elementary school student

図 27



school seismometer installation

図 28



The latest eruption:
Phreatic Eruption May 11st, 2018



Phreatic Eruption that was seen from Glagaharjo



Evacuation Process Situation

図 29

ここまでいくことができました。

まとめになりますが、インドネシアでは、情報を一般の人たちに届けることにこれまで問題を感じていました。特に噴火活動についての情報提供で問題がありました。というのも、いろいろな例をお話ししましたが、どういう噴火なのか。噴火のタイプがいろいろあります。かなり噴出物が発生するような噴火、雪崩が起こるような噴火、その場合は川沿いが危険地域になります。水蒸気噴火はガス噴火でありますので、火口、山頂部分が一番被害を受ける。そういういろいろなタイプがありますので、その情報をどう提供するか。

2 つ目は、火山について子どもたちに学校でどう教育するか。先生に対して、噴火による危険について教育を提供し、子どもたちにも広げる。そして、社会に対する啓蒙もやっていかななくてはなりません。メディアなどと協力して、正しい情報を一般の人に伝えてもらえるようにし、あまり心配だけを広めないようにすることも努力していきたいと考えています。

以上です。ありがとうございました。

Summary

- In Indonesia, information about disasters, including volcanic eruptions, becomes a dilemma, on the one hand information must be conveyed to the public, on the other hand there is a lot of scientific information that requires more detailed studies that cannot be known at this time.
- Disaster education at school for students and teacher especially about volcano mitigation is very effective.
- Community education through social media is very helpful to reduce false information (hoaxes) in public and introduce them to scientific terminology

図 30

司会：スルヤント先生、どうもありがとうございました。

時間も来ておりますので、スルヤント先生に対する質問等につきましても、パネルディスカッションのときに併せてさせていただきたいと思います。

それでは、これもちまして、午前の部を終了させていただきたいと思います。午後の部は13時より開始いたしますので、それまでにご参集いただければと思います。どうもありがとうございました。

司会：それでは、お時間となりましたので、第1部の午後の部を開始させていただきたいと思います。

午後の最初の講演は、東京大学地震研究助教授・大久保修平先生による、「富士山頂における絶対重力観測—その学術的・技術的意義と地震・火山観測への展開」と題して講演をいただきたいと思います。大久保先生、よろしくお願いたします。

Wiwit Suryanto

Good morning ladies and gentlemen. My name is Wiwit Suryanto. I'm coming from the University of Gadjah Mada University in Yogyakarta where the Merapi Volcano exist. Today, I will not give a talk about the scientific point of view about the Merapi Volcano but this is more about the mitigation effort that we are facing in Indonesia. I create the title 'From Geophysical Data to Public Information: Status, Problems, and Challenges of Mitigating Volcanic Disaster in Indonesia'.

This is my outline of the talk this morning. At the beginning, I will give introduction about the Merapi Volcano and how we try to make a mitigation effort of the volcano. Then, I will talk about the recent status and updates that we are now working on in Merapi Volcano. And then, some notes about the education works that we have done together with MFRI and also some ideas that we want to share and some concluding remarks.

This is our country Indonesia and Merapi Volcano is located at the center of the Java Island. We have about 140 active volcanoes and more than 100 dormant volcanoes along this. We have problem on managing all of these volcanoes in Indonesia. Concerning the people living in our country so Merapi Volcano is located in Balerante, fully dense area, so it's more than 1000 people per square meters. This has become a real problem because mostly the population lives in an area where the volcano exists. This is another problem that we are facing in Indonesia.

This is the Merapi Volcano. It's located in the central part of central Java. This is the Yogyakarta city. This is around 25 kilometers from the volcano. This is the last pyroclastic flows eruption up to 13 kilometers of the flame of the Merapi Volcano.

I will show you this is an oil paint from Raden Saleh in 1865. This is the very beginning picture of explaining how is the eruption of Merapi. Raden Saleh, the painter has two paintings. The first is Merapi eruption in the day time and this is the painting of Merapi eruption in the night time. It's a very bold painting and showing how is the type of Merapi eruptions.

From the historical point of view, we are facing almost every year of Merapi eruption. Since the beginning of 19th, we have the record of the type of volcanoes and also the casualties caused by the volcano eruption. The last explosive eruption happened in 2010 and it caused 322 people died.

This is more or less the geological map of the Merapi Volcano. Also showing the last pyroclastic flow path to the south part of the volcano. The previous eruption

path is to the southwest and now the south part has become a dangerous area. The Yogyakarta city is located in the south part of the volcano.

Okay, I will give you some idea on how we monitored the volcano. For Merapi Volcano, the most important data is the deformation. This is a record from the EDM, Electro Distance Meters measuring the distance from some point to one station usually at the summit of the volcano. I will show you here that during 2006 eruption, we have clear precursor before the eruption. So, 4 weeks before the eruption, there is increase in the deformation of the volcano. Also, from 2010 eruption, we have also clear deformation observed 2 weeks before the eruption. So, at that time, the status of the volcano is in the third level so one level below the highest level. The evacuation is prepared during the eruption.

Actually, at this time, the government asked the people to leave the volcano soon because the eruption will take place, but we still have problem that I'll show you in the next slide. But before I will show you how the 2010 eruption greatly changed the morphology of the summit of the volcano. This is taken in September 2010. This is just after the 2010 eruption. So, almost all the crater area collapses to the south. This is the path of the materials that erupted.

I will show you some video taken by amateur showing how the mitigation to evacuate people from the volcano is taking place. I will skip this part. This is how the situation during 2010 evacuation process. This is about 15 minutes before Merapi erupts. The people tried to save our Merapi Volcano guard Mbah Maridjan who is the spiritual leader in Merapi but he refused. He just wanted to stay there. Other people still stay in this area. There are six people. Also, they refused to be evacuated down.

After they failed to convince Mbah Maridjan to going down then people tried to ask the six people going down but they say, no, I will stay here in the volcano and they become victims of Merapi eruption. At this point, I will say that this is our first homework how to educate about the volcano hazard to the people living in active volcano.

Actually, the standard to monitor the volcano with many instruments from so called episodic measurements and also continuous measurements with geophysical method and also geochemical. This is how is the instrument located in the Merapi Volcano. Actually, we have already a good shape of monitoring system. This is the summit of the volcano and we have all instruments in and around the Merapi Volcano.

According to the mitigation effort, we have already a standard how to mitigate when the activity of the volcano is increased. So, we have several level of administrative to give alert to the people from the national level into the people's level, the villages' level and how it's connected to the so-called the Hazard Mitigation Agency of Indonesia. This is the national level of the Hazard Mitigation Agency called the BNPB. This is just under the president of Republic of Indonesia. And then, in the regional level, in the province level, we have like the agency for natural hazard also BPBD. It has connection with our volcano observatory.

This CVGHM is the Center for Volcanology and Geophysical Hazard Mitigation. It's in Bandung. All the information about the Merapi status is given by the CVGHM to the agency. Then, of course, we have many stakeholders helping the evacuation process from army, police and other authorities. From the volcano monitoring agency, they have a link to the media and press to give information to the citizen.

In my talk, I would like to take in place this issue about how we provide information to the people through media or directly through the agency itself.

After the big 2010 eruption, we are facing a new phase of Merapi activity. It actually has unclear precursor after the 2010 eruption. I will give you some example on this eruption. The first one happened on 21st of July, 2013. This is a small phreatic eruption causing the ash fall up to about 50 kilometers to the southwest. You see here that there are almost no activities. The one tectonic event, it's in the south coast of Java. Then, this is the seismic data when the eruption happens. But because the station is located quite far from the volcano and it's located in the very busy touristic area, so the data is not quite excellent.

This is the second one happened on November 17, 2013. Similar to previous event before the eruption we have tectonic event in the south of Java and then eruption happens. This is the ash fall to the east of Merapi Volcano up to the Surakarta city in Central Java.

And then in March 2014, so all of these eruptions before it's following by the tectonic so the tectonic event in the south of Java and then eruption. But concerning the activity in the volcano itself, it's quiet in the volcano. There is no information from the seismic activity.

So then, I will show you the eruption on May 2018, quite recently, how when the level of the volcano is zero, so it's in the normal level but we get the eruption. This is quite big phreatic eruption up to 5 kilometers. There are a lot of climbers

on volcano. There are around 200 climbers during the eruption but fortunately they are all safe. There are no victims of this event.

This is something really our homework. First is about educating the people. And of course from scientific point of view, we would like also to understand the structure of the eruption process and also the precursory signals if it's possible.

I will show you how is the situation on the geophysical data before the May eruption, 2018. So, you can see here in May 9 there is almost calm. There are no prominent activities. On 10th even it's smaller. Even on 11th just before the eruption, we have almost no seismic activities. So, it just suddenly erupted. This is the second homework. Between these two homework, we took the first one, the easiest one how to educate the people about the volcano hazard. This is related to the communication problem.

We started facing communication problem since 1997 when the Kelud Volcano, Kelud Volcano is in the east of Java. In 1970, there is increasing activity of the volcanoes. This is the previous condition of the crater of the Kelud Volcano. It has a lake in the crater. During that time, the seismic activities increased. The Center for Volcanological Hazard increasing the activity level of the Kelud Volcano and asking the people to evacuate it. But then the volcano is erupted, but it's not the eruption like what people think. The eruption for common people means explosion. But this time the eruption is dome growth of the volcano. This lake now has become a dome growth but this is just after 2014 because in 2014 it collapses and creating again the lake. Now, the condition is just like this one.

But in the sense of mitigation, we have problem how to educate people especially because in Indonesia if the agencies say the volcano is active or there are eruptions to the volcano, it means that people should be evacuated. And when people should be evacuated, everything should be prepared so accommodation, place to evacuation so meaning a lot of work. This is the problem how to bring the scientific language into the people language. This is one effort that we are trying to solve in Indonesia.

Now, we try to give all scientific information to the people. This is the example of the website from the Volcanological Survey of Indonesia. People can access the situation of the volcano in all Indonesia. So, for example, Merapi Volcano is now in the second level means the yellow color. Yellow color means the first level of volcanic activity. Green means that the volcano is in the normal condition so nothing, white. Red, this is Sinabung volcano. It means that the volcano is still

in active condition. This all can be accessed by public via internet. All the information also the recommendation about the volcano can be accessed easily by the people. The people just click the volcanoes and then all the scientific information is there.

This is for example the information of the seismic activity in a volcano and then the recommendation whether the volcano is in normal or in the alert level 1 and so on. So, all this can be accessed freely by the public. Especially for Merapi, they also have this website. Here, we can access all the scientific information, for example, the tilt meter data, the daily status of the volcano, even the camera monitoring of the volcano, the seismicity and so on. Also, the meteorological information, for example, people now can easily see the condition of the crater of the Merapi Volcano including the temperature distribution on the crater. All is start by the public. Plus on this they also give in plain language using social media.

We think that social media is very important. You can see here this is the official social media of the BPPTKG. This is the volcanological agency in Yogyakarta. All the information about the status of the volcano is explained here. People just if they want to have information about the Merapi Volcano, they just go to this social media or they are following the social media and they will inform the status of the volcano directly.

The second one, we are trying to prepare the future generation because we think that the belief on volcano is developed during long time, so we want to have the education since the beginning about how we should act when we live closer to the volcano. We have starting last year with Yoshimoto sensei a project to educate the school people about the Merapi Volcano hazard.

This is one school that is our target. It is located in Glagaharjo. This school in 2010 is destroyed by the volcanic eruption of Merapi. This is exactly the place where their school existed at the time and it's removed. Then, they built the new school in the other part of the area. Then, we try to educate the school people by explaining about the volcano and how is the volcano structure inside and what is the product of eruption and so on. This is really interesting. Also, we try to give them the sense of technology in the monitoring system of volcano. We plan to build school seismometers in elementary schools around Merapi Volcano including the monitor that record the shaking activity.

The project is starting in 2017 and we have one exercise on May 11, 2018. This is just eruption that I showed in the video on the previous slide. You see that the

eruption material is up to 5 kilometers. What we gain from our project is the awareness of the student is already built. Some of the students they said that, oh, this is just the same experiment that already learnt like the Coco Cola experiment where the gas content increased. And when the pressure is enough, it will erupt. The hazard area is just around the crater. That makes the student and the teacher is not so worried about this. This is one thing that we get as a gain of the education process in Merapi Volcano.

This is some of my summary that in Indonesia actually we are facing the problem on delivering the information to the public. This is especially for volcanic eruption because there are many, for example, I give example on the type of eruption. We know that the type of eruption is several kinds or sometimes we say effusive eruption means that this is relating to the dome growth and then the avalanche coming. The hazard area is just along the river. And then, for example, the phreatic eruption is just the gas explosion so the hazard area is around the summit and the crater of the volcano. This is one thing that we should take care in the future. And then, the second is about the disaster education at school about the volcano. We think that this is very effective to give them basic information about the volcano hazard. The third is the community education. This is maybe our next project to educate the community, for example, the media or the press so they can share the correct information to the public and not make the public worried about the hazard. Thank you very much. This is all my talk.

Modetator

Thank you Dr. Suryant. We have run short of our time.

Moderator

So, now it's time. We would like to begin the afternoon part of the section one. Now, our first speaker is Professor Shuhei Okubo from Earthquake Resistant Institute of University of Tokyo. His title is 'Absolute Gravity on the Top of Mount Fuji – its Scientific and Technical Implications to the Studies on Earthquakes and Active Volcanoes'.

「富士山頂における絶対重力観測 —その学術的・技術的意義と地震・火山観測への展開」

大久保 修平（東京大学地震研究所）

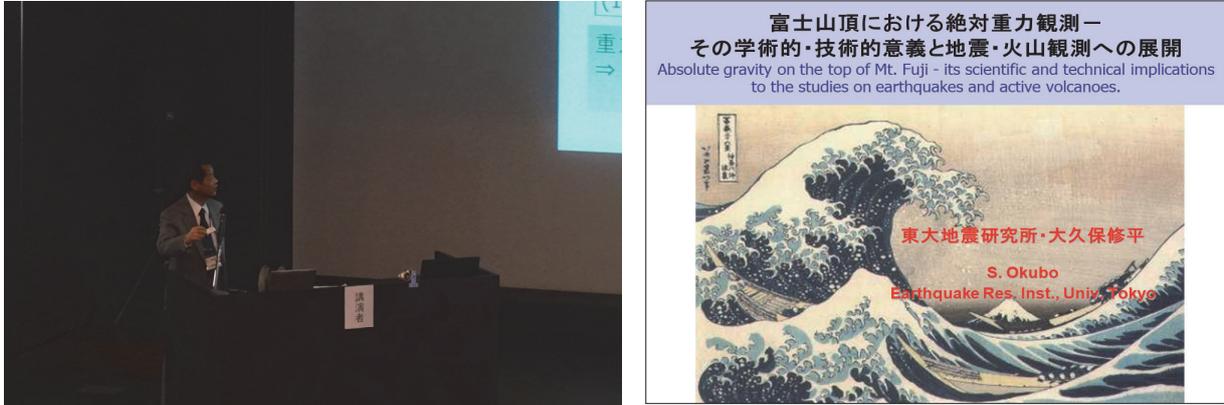


図 1

大久保：皆さん、こんにちは。

ただいまご紹介いただきました、東大地震研究所の大久保と申します（図 1）。大学で講義をしていますと、午後の最初の時間というのは一番嫌な時間帯、魔の時間帯とも言います。おなかがいっぱいになって、私の声を聞きながら、子守歌になさっても構いません。

それはともかくとして、今日はここにお呼びいただいたのは、ちょっと昔ですけども、富士山頂まで登って重力を観測したときの話を、「プロジェクト X」風に喋ってくれと、なかなか難しい注文をいただいたからでございます。

皆さま方のお手元にもこういう要旨集が届いているかと思えます。他の先生方は非常に真面目に書いてらっしゃるんですが、私のところだけ、「豚もおだてりや木に登る」というところから始まってまして、ちょっとふざけたような題になっているかもしれません。ただ、学術的なところと、それだけじゃなくて、実際にどんな苦労があったかについて、プロジェクト X もどきの話をさせていたいただきたいと思えます。

お話は主に 3 つあります（図 2）。2 枚目のスライドの上段で、0 番というのは、要するに、「重力ってなぜ火山の研究に必要なんですか」という話をちょっとさせていただきます。もしかし

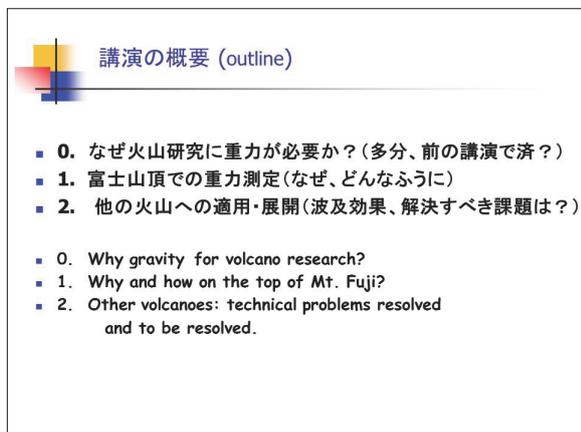


図 2

ら前の講演で済んでいるのかなと思ったけどあまりお話がなかったので、これについてもお話をさせていただきます。画面中段の 1 番と書いたところには、「富士山頂で重力測定をするってどういうことなのか？なぜ富士山頂まで行かなきゃいけないのか？どんなふうに行われたのか？」というようなことについてお話をしたい。最後に、スライドの最下段で 2 番と書きましたけども、「富士山頂で得られた経験をどのように活かしていくのか？まだ解決できてない問題は何かないのか？」というような話をしたいと思えます。



図 3

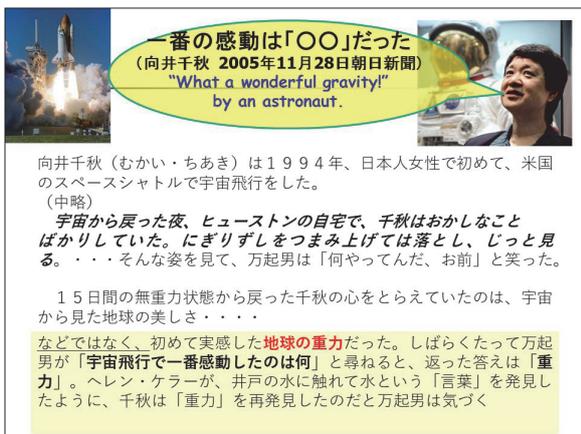


図 4

ちるのを見てニュートンが大発見をしたように、向井さんもこれが非常に印象に残ったんだと思います。というわけで、重力というものについて、それを使うとどのようなことが分かるかということをお話したいと思います。

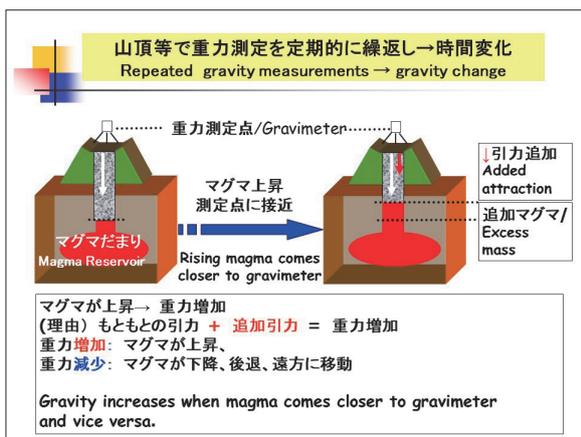


図 5

もって私もあなたも分け隔てなく、全てのものを引きつけるわけです。この重力計も下向きに引っ張られます。もし、ここにあるマグマがだんだん上昇して噴火に近づいてくるといいう状況になるとどうということになるか、考えてみましょう。

さて、スライド 3 枚目に登場した、この方を皆さんよくご存じだと思います (図 3)。日本人女性で初めてスペースシャトルで宇宙飛行した向井千秋さんですね。スライド 4 枚目の朝日新聞の記事によりますと、宇宙から帰られてきて、こういうことがあったそうです (図 4)。宇宙から戻ってきた夜に、ご自宅は日本じゃなくて、NASA ですので米国ヒューストンにあったんだそうですが、おかしなことばかりしていたということです。握りずしをつまみ上げては落としじっと見る、落としてはまた見ると、こういうことを繰り返していたそうです。そんな姿を見て、夫の万起男さんが、「何やっているんだ、おまえ？」と笑ったということです。

15 日間の無重力状態から戻ってきた千秋さんの心を捉えていたのは、宇宙から見た地球の美しさではなかったようです。そんなものはごく当たり前だと思っていて、向井千秋さんが一番感動したのは、地球の重力だということです。「物を持ちあげて手を離せば落ちるという、当たり前だと思っていたことが、実は宇宙では当たり前ではない」と、不思議に思ったのでしょうか。リンゴが落ちるのを見てニュートンが大発見をしたように、向井さんもこれが非常に印象に残ったんだと思

スライド 5 枚目左側の模式図は (図 5)、山の中身を透視できたらこんなふうになっているだろうという絵です。マグマだまりというものが火山の下にはあって、深さ 10km だとか、大体それぐらいのところにあると思われております。さて、山のとっぺんでも山腹でもいいんですが、火山に重力計を置いたといたします。図では、3 本足の漫画で描きましたけども、これで重力を測るわけです。

ここでニュートンの万有引力というものを思い出してください。そうしますと、マグマだまりにたまったマグマは、ニュートンの万有引力で

図の右側では、マグマが上昇しております。そうすると、ニュートンの万有引力が働きますので、おまけの引力が、赤い矢印の分だけ、下向きに働くということになります。引力が増加した分、下向きの重力が追加されるわけですね。白と赤の矢印を足した部分が現実の重力になりますので、白だけのときに比べて重力が強くなるということでもあります。

シナリオとしては、マグマが上昇すると重力が強くなり、大きくなる。逆に、重力が増加しているということから、マグマが上昇しているということが推察されるわけです。逆に重力が減少しているということは、右の状態から左の状態に移るわけですから、マグマが下に下がっていくなどして、どこか遠くへ行ったということの意味するということが、このシナリオから理解されるわけです。

「実際そんなことがあるのか?」とか、「実際それが見えるのか?」という疑問をぜひ持っていただきたいと思います。実はそういう疑問を持つのはごく当然のことでありまして、多くのサイエンティストにすら、こんなことは机上の空論だと思われていたわけです。ところが、20世紀の終わりの西暦2000年に、東京から何百kmか南に離れた三宅島という火山で噴火が起きました。この時の重力の変化というものをお示ししたいと思います。

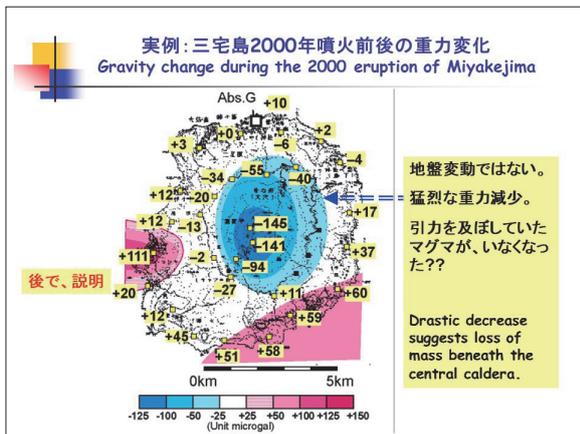


図 6

6枚目のスライドは三宅島の地形図に、噴火の時の重力の変化した様子を書き込んだものです(図6)。青いところと赤いところとに色分けしていますが、青は重力が減ったところです。145という数字がありますが、その単位はmgal(マイクロガル)といいます。皆さん、あまりピンとこないと思いますが、とりあえず145だけ、マイナスになったと思ってください。測定精度は大体1か2ぐらいなので、測定精度の100倍ぐらい大きい変化が起こっております。赤いところは重力が増えたというところです。

赤いところは後ほどお話をします。まず、青いところですが、重力が減っているところがあるということに着目していただきたい。一つ前のスライドで、「重力が減っているということはマグマが後退していった、マグマが下降していったということの意味する」ということを申しました。実際この部分では猛烈な重力の減少があったので、「引力を及ぼしていたマグマがどこか遠くへ去っていった」というのが素直な解釈です。

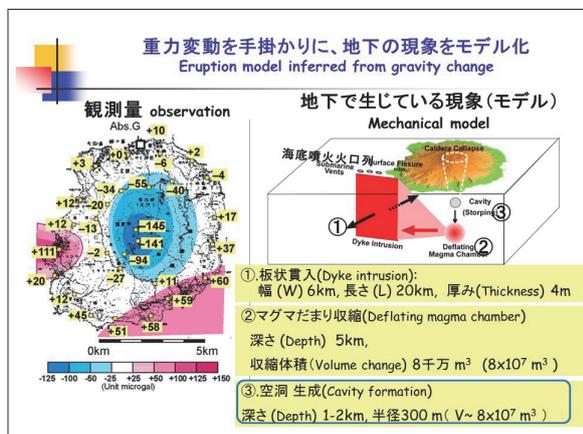


図 7

測った私自身がちょっと信じられなかったんですけども、実際これを数学的なモデルを作ってみますと、こういうことが起こっているんじゃないかというシナリオができました。7枚目のスライドを見ていただくと、その左側は同じ重力の測定データです(図7)。右側の図は、ここに三宅島があるとして、その下がどうなっているかという断面図です。①②③って書きましたが、物事が①②③の順に進んだと考えています。ほとんど

ど同時ではあるんですけども、説明の都合上、①②③とこういうふうに説明させていただきますと、①番は、地面の下に裂け目ができて、そこに②番のところからマグマが流れ込んでいったということです。地面の下にできる裂け目、亀裂、そういうものをダイク (dyke) と言いますが、板状に、垂直な板のようにスパンと入っていったというイメージです。

深さ方向に幅が 6km、水平方向に長さが 20km で、板の厚さが 4m ぐらいのものができたと思います。そういう隙間ができた以上、隙間を埋めるように物質が移動しなくちゃいけません。そのとき、埋める物質はどこから来たかという、火山の下にあるマグマだまりからこちらへ流れていったということになります。

マグマが流れ出していくと、その分だけ、ここのマグマだまりが収縮してしまうわけです。そのときの体積をざっと計算してみますと、8000 万立方 m という数字になりました。

じゃ、それで全てが終わりかという、そうではなくて、地面の下で一生懸命地盤を支えてくれていたマグマだまりのマグマがいなくなった影響を考えなくてはなりません。ちょうど建物の 1 階の梁がなくなると 2 階が落ちるというのと同じです。もうちょっと分かりやすい例としては、福岡の地下鉄の工事現場で道路が陥没したようなことがありましたけど、それと同じように、ここの部分がスポンと落ちていくと空洞ができていくということが予想されます。

計算してみますと、できた空洞の大きさというのは大体、半径 300m で、深さが 1km か 2km ぐらいのところにあるというのが、私たちのデータから言えました。



図 8

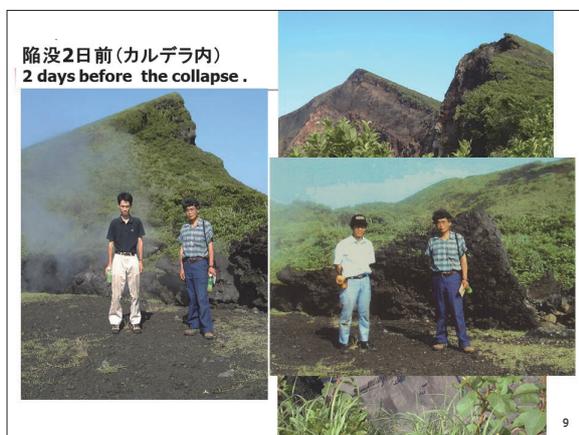


図 9

半径 300m って結構大きいんですね。「そんな穴が簡単に地面の下にできるかな、できるはずない」と、私も思いました。そう思ったんですが、世の中はよくしたもので、測定して 2 日後に、三宅島の山頂がぼこっと落っこちちゃったんですね。8 枚目のスライドをみてください (図 8)。道路工事の陥没と同じようなスタイルです。大体半径が 300m ぐらいで、段差ができています。ですから、私どもの重力の測定で見積もっていた半径 300m の空洞があるという説が、実際の現象で裏付けられたといえます。本当に地下に空洞ができていたということが証明できたということです。これの測定がうまくいったので、ご褒美に、当時の地震研究所長・藤井先生からもう 1 台重力計を買っていただくことができたというオチもついています。

9 枚目のスライドの左側は、陥没が起こる 2 日前に、三宅島の山頂カルデラ付近にまだ地面がちゃんとあるときに撮った記念写真です (図 9)。3 人でやっておりまして、この 2 人が記念写真を撮っているわけですが、その 2 日後には足元がぼろっと下に落ちることも知らず、無邪気に写真をとっているわけです。こういうわけで、実際に重



図 10

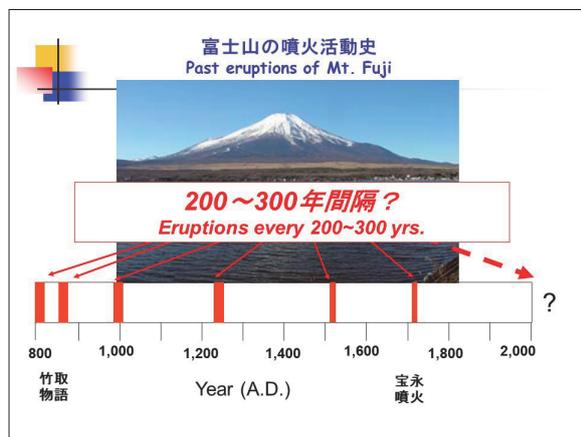


図 11

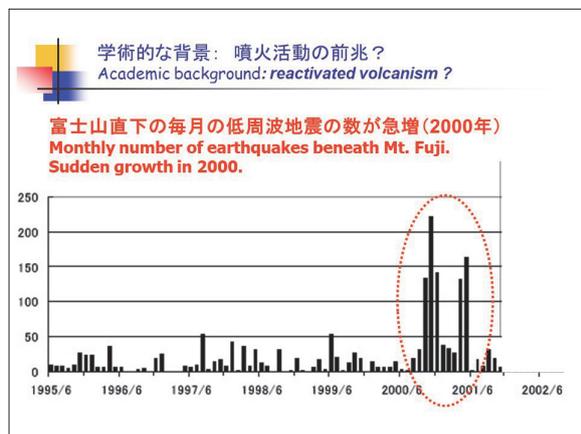


図 12

力を測ってその変化を見ることによって火山の下の状況を調べることができる、というのが、ここまでのまとめです。

それでは今度は、富士山頂で重力測定をすることなんですけれども、それはなぜやらなきやいけないとか、どんなふうに行ったのかとかについて、お話を進めたいと思います (図 10)。

午前中、高田先生のお話とかいろいろありましたけども、富士山の活動を見てみますと、11 枚目のスライドでは、9 世紀ぐらいのかぐや姫の時代から現在まで、大きな噴火を赤い縦の印で示しました (図 11)。一番最近のところでは宝永の噴火があるわけですが、大体 200~300 年おきに噴火しているということが分かっています。前回は 1700 年代ですから、もう 200 年を過ぎていまして、そろそろ噴火してもおかしくはない時期になっています。

そう思っているときに、たまたま西暦 2000 年ごろ、富士山の直下で地震が非常にたくさん起こる時期がありました。12 枚目のスライドに、富士山の地震活動を示します (図 12)。横軸に時間を振っており、1995 年の 6 月から 2001 年の 6 月までの月別の地震数を縦軸に棒グラフで示したものです。

この棒グラフを見ますと、富士山の下で地震は普段からぱらぱら起こってはいたんですが、2000 年の半ばぐらいから 2001 年にかけて急に数が増えてきて、ちょっと何かおかしいぞ、ということがあったわけです。富士山の活動が活発化しているんじゃないとか、あるいは何かひそかに進んでいるんじゃないかとかという懸念が持たれたわけでありまして。

というわけで急ぎよ、我々も重力を測ってみようということになりました。これは学術的にはそういう意味があるのですが、もう 1 つ、科学史的な意味もございまして。

13 枚目のスライドの表は、いろいろな人が富士山の山頂で重力を測ってみた結果をまとめたものです (図 13)。一番古いのは、1880 年というときに Mendenhall という方で、その当時お雇い外国人として東京大学にいられていた方が、田中館愛橘という非常に有名な日本人の科学者を助手にして、富士山頂で重力測定をしたものです。

このときの測定は、ケーター振り子 (Kater pendulum) という振り子式の機械を使って測定して、

科学史的意義 Historical significance
富士山頂:過去の測定値の混乱を正す

観測者(年代) Observer (Year)	測定法 Instrument	富士山頂の重力値 Gravity value
Mendenhall (田中館愛楠)(1880)	相対測定:振り子. Kater pendulum.	978860 mgal (場所不明;岩小屋)
Yokoyama and Tajima (1960)	相対測定; spring-type relative gravimeter	978863.1 mgal
Satomura et al. (1991)	同上、same as above	978865.41 mgal

重力値の1の桁が不揃い。100万分の1の精度しかない。
⇒ 10億分の1の高い精度の絶対重力計で測定して、
混乱に終止符を打つ。(disagreement > 1 ppm)

図 13

ちょっと違うんです。1の桁が違っているんですね。1の桁ぐらいどうでもいいじゃないかと思うかもしれませんが、違うんですね。

もうちょっと時代が下がって1990年、今から30年ほど前になると、当時静岡大学におられた里村先生がお測りになりました。その結果は、前の2回の測定と、また違うんですね。1の桁でこんなに違って、これは100万分の1の桁の精度でもめちゃくちゃ合っていないんです。重力の測定精度というのは10億分の1といわれており、100万分の1の食い違いに比べると1000倍以上精度がいいので、このへんの混乱を何とかしようじゃないかということもありました。

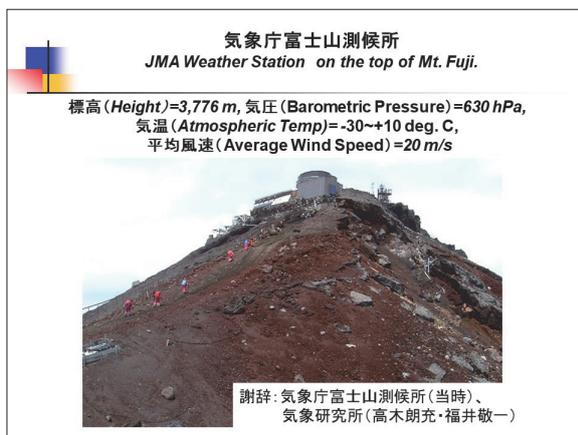


図 14

想定される困難
anticipated difficulties

事項 Item	絶対重力計の要求 Concern
輸送法 Safe Transport	400~500kg (コンテナ10個に分解して輸送) 振動に弱い(レーザー、原子時計、精密スプリング) Many fragile components.
気圧 Low Pressure	人は高山病、器械も高山病? Known and unknown effects on fragile components.
低温 Low Temp.	動作保証(15~25℃)範囲内であってほしい。 No warranty <15℃, or >25℃.
強風 Strong Wind	地盤振動が静かであってほしい。 Violent ground motion to be avoided.
雷 Thunder	安定な電源がほしい Avoid damage to electric circuit.

図 15

富士山頂の重力値を978860mgal(ミリガル)というふうに定めております。ただ、残念なことに、山頂といってもいささか広うございまして、どこなのかということが論文には書かれてなかったので場所が分からない。「岩小屋」としか書いてないんですね。

その後、しばらくどなたもお測りになったというのではなくて、1960年ごろ、火山学の分野では有名な横山先生と田島先生が、spring型の重力計を使って相対測定をされました。そうすると、1880年のMendenhallの測定結果と数字が

というわけで、14枚目のスライドのように、実際に富士山の山頂にある測候所にお邪魔して測定をさせていただきました(図14)。これは私ども地震研究所だけではなくて、気象研究所との共同研究でありまして、この施設での測定をするにあたっては気象庁の方のお世話をいただいております。

富士山といいますと皆さんよくご存じのとおり、標高が非常に高い。3776mということですね。それがどういう意味を持っているかというと、当然分かることですが、気圧が低い。気温も低い。マイナス30度からプラス10度。気圧は630hPa(ヘクトパスカル)ですから、平地の3分の2ですね。それから風が強い。平均風速20m。これは冬場が入っているからで、夏場はそうでもないかもしれませんが、環境的には非常に厳しいところでもあります。そこで重力を測るということをなぜか目指してしまったわけであり

ます。どんな困難が予想されるかなということも15枚目のスライドで挙げてみました(図15)。すぐ分かることは、絶対重力計の重さが400kgから

500kg ぐらいあるため、これを人間の背中で担ぎ上げるといことはとても無理です。10 個に分けても 1 個 40kg ですから、それはちょっと無理。それに、この機械はレーザーを使っていたり、原子時計を使っていたりして繊細な機械ですから非常に振動に弱いのです。

それから気圧が低いということも問題になります。気圧が低いと、人間が高山病にかかるということはよく知られていますが、機械も高山病にかかるのです。どういう高山病かということは、後ほどお話しいたします。

それから温度が低いという点ですが、気象庁の測候所の中にいけば、一応暖房がありますので、これは問題はない。それから風が強いということですが、強風のときには地盤振動が強く出てしまって、我々の測定にとっては非常に苦しいことになります。

それから気象条件としては、雷さまに非常に近くて、しょっちゅうコンセントからサージ電流が侵入してきます。我々がお邪魔しているときに気象庁の方とお話をしましたけども、我々の測定の数か月前にも中の装置が雷で壊れましたという話を伺っております。なかなか難しいところであります。

一つ一つそれをクリアしていくと、そういう話になりますが、その中でも重力計機材をどうやってここまで持っていくのか、というのが最大のポイントになります。

16 枚目のスライドの右側の写真は富士山頂です (図 16)。太郎坊というところに基地があったんですが、そこから見た絵なんですけども、ここ (破線枠) にはこういう道がついているんです



図 16

ね。登山道というより、ブルドーザーが通る道、ブル道です。左側にはブルドーザーと我々測定チームの 5 人が写っています。これが私で、こちら側のお二人が気象研究所の方。この上に 3 時間乗って、標高 900m ほどの太郎坊基地から、3 時間で富士山頂まで一気に標高差 2800m を登っちゃいます。そんなに早く登っては、本当は高山病になってよろしくないんですけども、ブルの都合上そうっております。

実際にはどんな感じかというのを 17 枚目のスライドで示します (図 17)。フォークリフトのように、前のほうに機材を載せるものがあって、そこに荷物を載せております。後ろのところに幌があって、そこに人が乗ったりあるいは小さい荷物を載せて運んでいきます。



図 17

このブルは、非常に小回りが利きまして、ほとんど 180 度反転して坂道の切り返しをできる優れものであります。このときの運転をお願いした方は、新田次郎の山岳小説の『強力伝』のモデルになった方だったということです。

引き続きまして、18 枚目では、ビデオで、実際にそれに乗っているとどんな感じなのかを



図 18



図 19



図 20

かんでいただきます(図18)。当然ですけど、ブルドーザーですから、道なき道に行くわけでありまして、ドシンドシンと結構上下に揺れております。

今までは運転者側の視点でしたが、今度は幌をかけた後ろ側、すなわちブルドーザーの後ろ側で幌内に乗っている人から見てどうなのかを19枚目のビデオで見ていただきます(図19)。すると、これは前後左右にかなり揺さぶられて、途中何回か、座っていたんですけど、宙にポーンと浮き上がったたりするのを2、3回経験いたしました。ですから、重力としては1Gを超える振動があるわけですね。

ビデオでは後ろに見えるのが山小屋ですけども、山小屋に寄って、途中でへたばった登山者を拾っていくということです。人間は、一人1万円ぐらいで上まで運んでくれるという話でした。荷物は確か1kg 300円か400円だったと思います。1kg 300円だとすると、体重が50kgなら15000円と、そういう勘定です。

さて、こんなにすごい振動があるということが分かったので、どう対策を打つかということが最大のポイントとなりました。20枚目のスライドには、私どもが使っている絶対重力計の一部分が写っています(図20)。強化プラスチックのコンテナに入っております。このまま運ぶと大変なことになるということはすぐ想像がついたので、その下に防振板と言いますが、板を付けました。この板は何が特別かということ、ここにスプリングが入っているんです。

このスプリングも実は特別なスプリングでして、これは何に使うんですかということ、魚雷を運んだり、ロケットの部品を運んだりするときなど、

振動を極力抑える必要があるときに使うんだそうです。そういう1個15000円だったか、結構いいお値段する特別なスプリングを見つけてきて、これでもって富士山に挑戦すると、そういうことでございます。

今のが、何とかの恐怖って言い方をしたら「Gの恐怖」ですね。要するに、1Gでばんばんと上がりますので、Gの恐怖と言いましたが、今度は気圧Pの、Pressureの恐怖です。Low Pressure。地上気圧の3分の2ということになりますと、実は通常のパソコンが動かないんです。なぜかというと、ハードディスクが回らないからです。あれはぐるぐる回してヘッドを浮かせるわけですから

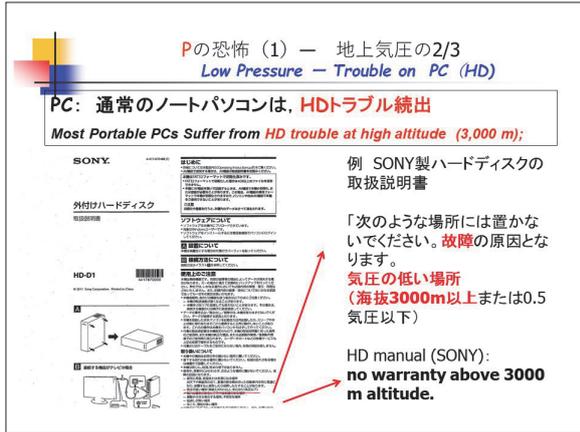


図 21

あるんです。ですから、そこで使って壊れてもメーカーは保証してくれません、そういうことを言っているわけです。



図 22

ですね。パソコンを持って登山される方はほとんどいないと思いますので、あまり気が付いてないと思いますが、こういう問題が実はあります。

それから、パソコンだけではなくて、レーザーも高山病になってしまいます (図 23)。つまり、レーザーチューブの周りにかかる気圧が変わってきます。そうすると、かなり細かい調整が、少

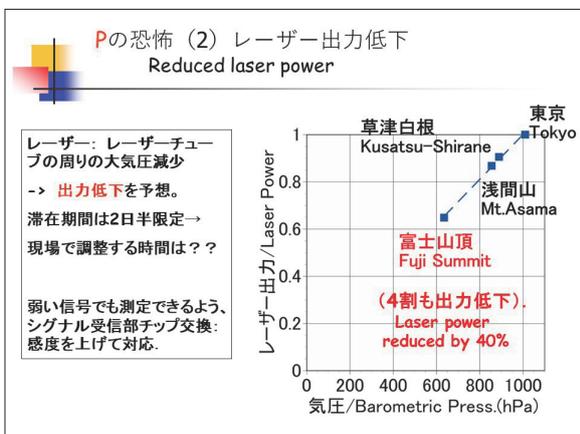


図 23

が、空気が薄いと揚力が出ない。真空中で扇風機を回しても風がこないようなものですから、普通の PC ですと使えません。それが、「機械も高山病になる」ということです。

調べてみますと、ハードディスクというものを買いますと、21 枚目のスライドのような取扱説明書が付いてくる (図 21)。普通、誰も読みませんが、ここら辺に小さい字で書いてあるんですね。拡大してみますと、「次のような場所には置かないでください。故障の原因となります。気圧の低い場所 (海拔 3000m 以上)」と、ちゃんと書いて

最近ではヘリウム充填型のハードディスクなんていうのがあって、こういう問題はだいぶ少なくなってきましたけども、この当時は普通のパソコンは使えないということでありまして、対応策として高いパソコンを使うしかない。そこで、探しまして、4500m まで保証してくれるやつが見つかりました (図 22)。これは落っことしても壊れない上に、振動でガタガタやっても壊れないということで、テスト登山のときに動作確認をいたしました。

実際、私の普通のパソコンを持って行って山頂で動かしてみましたけど、やっぱり動かなかった

ですね。どのくらい下がるかということ、24 枚目のスライドに示します。グラフの横軸は気圧で、縦軸にはレーザーの出力を取っています。たとえば平地の東京を 1 とすると、標高 1400m の浅間山に行くと出力が 1 割ぐらい落ちてきて、富士山頂に行くとなんと 4 割も落ちてしまう。レーザー出力がほとんど半分ぐらいになってしまって、信号が弱くなってしまいます。

それに対応するにはゆっくり調整すればいいのですが、山頂にいられる期間というのは 2 日間

(3) Vの恐怖—雷害 (Frequent thunder)

頻繁な雷.
2003年春には、山頂測候所でも雷サージ電流のダメージあり.
雷雲 接近時: 商用電源-> 自家発電に切替
自衛策: 雷雲 接近時に観測中断. 耐雷トランスの使用

(4) Tの恐怖 —低温(low temperature)

夏季;最高気温 10℃
レーザーの動作温度 15~25℃
... 測候所庁舎内室温 20℃ (No Problem)

図 24

ハイブリッド重力測定(絶対測定+相対測定)の連携
Hybrid gravity measurement



富士山測候所山頂庁舎電源室
FG5絶対重力計と山頂スタッフ
FG5 absolute gravimeter with the
JMA Weather Station staffs.

剣が峰三角点と測候所との間の
重力差の測定(相対測定)
Measuring gravity difference
between the FG5 and a
triangulation point.

図 25

山頂重力値の混乱解消
Settling down debate on gravity value

観測者(年代)	測定法	富士山頂重力値
メンデンホール (田中館堂機)(1880)	絶対測定; 振り子	978860 mgal (場所?)
Yokoyama and Tajima (1960)	相対測定; Wordon 重力計	978863.1 mgal @山頂三角点
里村ほか(1991)	相対測定; ラコステ重力計	978865.41 mgal @山頂三角点
本研究 This Study	ハイブリッド測定; FG5+LCR	978865.398 mgal @山頂三角点

図 26

限定とそんなに長くはないので、現場で調整する時間がない。そこで、弱い信号でも測定できるように、あらかじめ感度を上げておくということで対応いたしました。

それから雷の問題です(図24)。実際、頻繁に雷が起こります。雷雲が接近するかしないか、さすがに気象庁富士山測候所ですので、レーダーがあつてよく分かります。近づいてくると自家発電に切り替えるということはされていたそうです。我々もそれは使わせていただきますが、あとは耐雷トランスを使うというのが対策で、これはごく普通の火山観測と同じです。

あとは温度ですね。温度はこの場合は特に問題はありません。

というわけで、25枚目スライドの左側は、富士山頂のその当時の測候所の中の風景です(図25)。こちらの4人の方が測候所のスタッフの方で、ここにあるのが絶対重力計というものです。身長130cmで、重さが組み上げた状態で300kgぐらいだったかと思います。ここでの重力値を決めた上で、図の右側のように山頂の剣が峰三角点まで間の重力差を測ってあげると、その場所の重力値が決定できます。これは私です。

実際に測定してみてどうだったかということに話をすすめましょう。先ほど三つの測定があつて、1の桁がずれていますよという話をしました。おさらいで26枚目のスライドに、今回の私どもの研究結果もならべて、お示しします(図26)。1の桁はさすがに一番新しい、1991年の測定が正しいということが分かりました。これで、100年以上問題となっていた混乱は一応解消できたのではなかろうかと思っております。

ここまでのお話の中間まとめを27枚目のスライド

にお示しします(図27)。すなわち、富士山頂の庁舎で、もはや気象庁ではなくてNPOのほうで管理されているようですが、その山頂の庁舎で絶対重力測定をすることができました。それについては、非常に技術的な価値が高いのではないかと自分では思っております。つまり、難易度が非常に高いところで測定ができたということです。輸送の振動が激しいところ、それから気圧が低い、雷が来る、こういうところでも測定ができたということは非常に価値が高いと思います。ちょうど、よく車のレース、F1レースとかパリダカールラリーとか、ああいうところに自動車メーカーが車を出すのに、例えられます。あれは何のためにやっているかということ、遊びでやってい

ここまでの中間まとめ
Interim Summary

(1) 富士山頂庁舎での絶対測定に成功
技術的価値: 極めて難易度の高い場所での測定ノウハウ
<輸送振動、低圧、雷、ホコリ...対策>、

(2) 山頂三角点(2箇所)での重力値の決定
学術的意義: 富士山の活動推移を調べる基礎データ。
科学史的意義: 混乱の収束。

(1) *Technical advance : transport vibration, thunder, low pressure, dust....)*

(2) *Academic advance; first fundamental data with 100 times better accuracy.*

図 27

せんけれども、最初の一回目の測定値がないと、その後の重力変化を出すことができません。富士山の状況を知りたいと思った時に、行って測っただけでは駄目で、それより昔のデータがなくでは比較ができません。比較をするために必要となる、その最初の一点を取ったということで、今後は変化が出せるようになったことには、学術的な意義があるだろうと思います。

それから 3 番目の意義としては、科学史的な意義ですね。非常に混乱していた問題に決着を着けることができたし、絶対重力測定を富士山頂で初めて行うことができたという意味があると思っております。

るわけじゃなくて、車の耐久性だの何だの、そういうものをとことん、究極のところをpushしたいという目的があるわけですね。同じように、重力測定を富士山頂でやるということはパリダカールラリーに出るようなもので、ここでできたらどこでもできると、そういうことになるかと思えます。技術的な価値がこういうふうにあるだろうということは、御理解いただけただけでしょうか。

それから 2 番目ですけども、学術的な意義についての考えを述べさせていただきます。富士山の活動がこれからどういうふうになるか分かりま

講演の概要 (outline)

- 0. なぜ重力が必要か？(多分、前の講演で済?)
- 1. 富士山頂での重力測定(なぜ、どんなふう?)
- 2. 他の火山への適用・展開(波及効果、解決すべき課題は?)

- 0. Why gravity?
- 1. How on the top of Mt. Fuji?
- 2. Other volcanoes: technical problems resolved and to be solved.

図 28

富士山頂で得られたいろいろなノウハウというものがありましたが、それをどのように火山観測あるいは地震観測に活かしていくか、ということがまた次の話題になっていくかと思えます。28 枚目のスライドに示すように(図 28)、「どのように他の火山へ使うのか?波及効果は何か?それから、富士山の問題だけでは解決できていないものや、富士山では顕在化していない問題は何か?」というようなことについて、最後にお話をしたいと思います。

富士山頂での測定が終わった後、私たちは日本各地のいろんなところで重力を測ってきました。29 枚目スライドの右側の日本地図がありますが、赤い三角は火山、青い四角は地震を対象とした観測点です(図 29)。

地震については大きく 3 つの領域があります。北海道で十勝沖地震というのが 2003 年 10 月、すなわち富士山頂での測定が終わってから 2 か月後に起こりました。というわけで、早速ここでの観測に活かされました。それから真ん中の枠は、皆さんご存じの 2011 年の東北沖地震の後の観測ということ。それから、一番南の枠は、東南

その後の地震・火山観測にどう生かされたか?
(Gravity Obs. for seismic & volcanic studies)

時期 time	地震・火山噴火 event
2000~2004	三宅島噴火
2003 10	十勝沖地震(M8.0)
2004.9~11	浅間山噴火
2009-現在	桜島噴火
2011, 2018	霧島新燃岳噴火
2011.3~	東北地震とその後
2014~	有珠、蔵王、八甲田山 伊豆大島 定期検診

図 29

海、南海道地震に備えるための研究のための重力観測点です。

一方、赤い三角は、皆さんお分かりかと思いますが、北から、北海道の有珠山、青森の八甲田山と続き、仙台の西の蔵王山でも測定しました。これは三浦先生と一緒に測定させていただいております。更に本州中央部の浅間山は、我々が富士山で測定が終わった翌 2004 年に噴火をしたので、ここでも重力観測をしました。東京の南の伊豆諸島のうち、伊豆大島と三宅島でも測定しています。そのうち、三宅島は 2000 年から 2004 年ぐらいまでずっと噴火しておりましたので、富士山頂での観測とほとんど同じ時期です。それから九州に行くと、霧島新燃岳が 2011 年と今年 (2018 年 3 月) 噴火しましたので、観測を実施しました。最後に桜島がありますが、これは 2008 年、9 年ごろからずっと活発な活動を続けております。一年間に 1000 回以上の頻繁な噴火を起こしており、そこでも観測を継続しています。

ですから、2003 年に富士山頂で測定したということ非常に有効に使えるような機会に恵まれました。機会に恵まれましたという語弊があって、被害に遭われた方には申し訳ございませんが、観測の上では富士山頂の経験を活かすことができたということです。

その後の地震・火山観測にどう生かされたか?
(Lessons from the Mt. Fuji gravity campaign)

時期 time	地震・噴火 event	懸念材料(富士山: 対応/未対応) Concerns (resolved, unresolved)
2000-2004	三宅島噴火 Miyakejima volcano	激振動(海上輸送、豪雨道路損壊)、全島避難停電
2003.10	十勝沖地震(M8.0)	激振動(道路損壊、長距離移動)
2004.9~11	浅間山噴火	低圧(1400m)、雷害、低温、豪雨
2009-現在	桜島噴火 Sakurajima Volcano	激振動、粉塵(火山灰)、豪雨 Volcanic ash, Heavy rainfall
2011.2-5 2018.3	霧島新燃岳噴火	激振動(長距離移動)、粉塵(火山灰)、豪雨、低圧(1200m)
2011.3~	東北地震とその後	激振動(道路損壊、長距離移動)
2014~	蔵王山、八甲田山 伊豆大島 定期検診	激振動(海上輸送)、虫(蟻)

図 30

それでスライド 30 枚目に示すように、私たちの観測履歴を年表形式にまとめてみました (図 30)。青い字で書いたところは富士山の経験がそのまま使えるだろうということです。

例えば、三宅島に機材を運ぶということは、船で運ぶか、あるいは航空機で運ぶか、そういうことになります。また、ここは非常に雨がよく降るところで、道路がしょっちゅう損壊しますので、激しい振動が起こる場所です。しかし、富士山での観測のために用意した防振板があるので、安心して測定ができるというふうに技術を活用できました。十勝沖地震のときも道路がめちゃくちゃ

長期観測を成功させるための課題
Issues to be overcome for long-term observations.

長期連続観測で顕在化する課題
technical problems specific to long-term observations.

(1) 豪雨による地下水増減でも、重力が変動(擾乱)。
Heavy rain ... Increased groundwater ... increased gravity disturbance.

この擾乱効果は、マグマ移動による重力変化をマスクする
(火山活動による変動を見えにくくする)。
→降った雨粒の移動を計算機シミュレーション。その引力を除去
Eliminate disturbance with numerical simulation(Hydrological modeling)

(2) 火山灰環境下: 短期観測ではOKでも、長期連続観測では機器にダメージ。
Volcanic ash ... Troubles on electronic components.

図 31

に壊れまして、現場へ車で行くときも、相当ドシン・ドシンという振動がありましたし、また東京から十勝沖まで長い距離を延々と車で運ぶわけですので、大変な振動が予想されました。この振動も、富士山頂用に開発した防振版で問題なくクリアーできました。

31 枚目の表にはそういうものがずらずらと書いてありますが (図 31)、赤い字で書いたところは、問題が残っています。それは何かというと、桜島のところに示しましたが、火山灰なんですね。実際にやってみるまで火山灰がこんなにたちが悪いということは実感できませんでしたけども、大量の火山灰が降る環境での測定は非常に困難なものでした。

それから、霧島や桜島というところも非常に雨が降るところです。日本で 2 番目に雨量が多い所で、年間 4000mm ぐらい降ると思います。東京あたりだと年間雨量は 1000 から 2000mm 弱だ

と思いますので、その大体、2倍ぐらい降ります。雨が降るとどうなるかということ、地下水が増えたり減ったりするんですね。マグマの代わりに地下水が増えたり減ったりするので、本当はマグマの移動を重力変化として検出したかったのに、それがほとんど見えなくて、地下水を見ることになってしまいます。こういう擾乱を受けやすいという問題が出てきます。

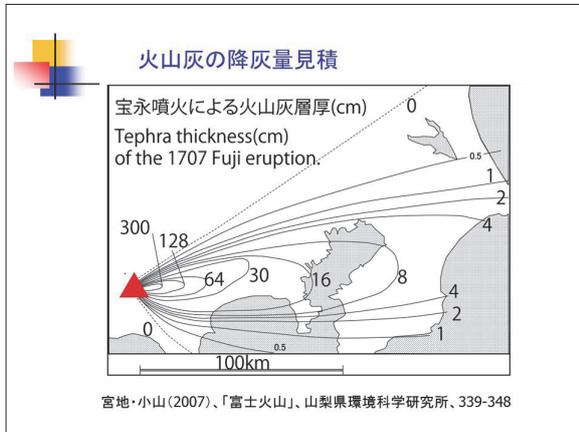


図 32

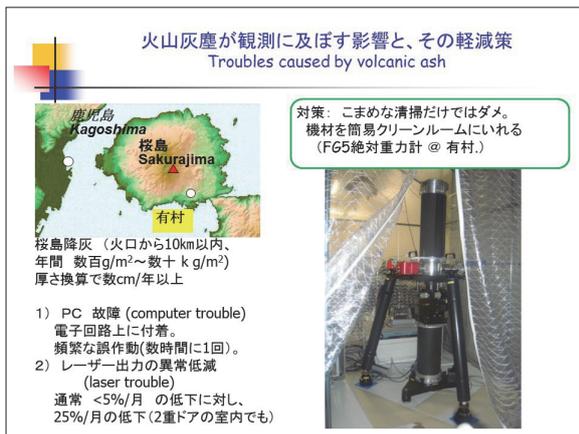


図 33

それから、火山灰が降るという環境は、観測を1年とか2年とかずっと続けていくと非常に観測計器に与えるダメージが大きいんですね。特に電子部品がよく壊れます。そこで、富士山の場合、仮に噴火したらどうなるかということを考えてみます。32枚目の図は、山梨県環境科学研究所、これは当時の名前、今は富士山科学研究所の方の論文から引用させていただきました(図32)。赤い三角印が富士山で、1707年の宝永噴火でどれくらいの火山灰が降ったのかという等厚線を示したものです。東京でも1cmぐらい降っていますが、1cm降ると大変なことになると思います。

現在、桜島で我々は観測しておりますが、厚さの換算で大体年間数cm以上、降っております。33枚目のスライドで示すように(図33)、火口から3kmくらいの有村というところで観測していますが、ここでも5cmぐらいは降っているんじゃないかなと思います。我々が経験したのは、まずパソコンが故障することです。電子回路の基盤の上に火山灰が侵入してきて、接点と接点の間をショートさせたりとかして頻繁な誤作動が起

こります。

それからレーザーも、出力がどんどん減っていくんですね。レーザーのチューブというのはヘリウムとネオンのものを使っておりますが、寿命が普通は3年ぐらいと言われております。ですので、1か月に数パーセントぐらいずつ出力が落ちるのはいいんですけども、この場合は25%/月。つまり、4か月でおしゃかになってしまいます。本当は3年間もつのが4か月しかもたないということです。

有村の観測室は普通の家じゃなくて、きちんとした室内でしかも二重ドアになっているのにもかかわらず、こういうことになってしまう。仕方がないのでこまめに掃除をするんですが、それだけでは駄目で33枚目スライドの右の写真のように、機材全体をクリーンルームに入れて守ってあげるといふようなこともしくはないということです。

こういうことをやることによって重力の観測を続けることはできます。34枚目のスライド上段には、例えば2015年から2016年まで、1年以上、ほとんど中断なく、観測できたことが示されています(図34)。この図の縦軸が重力の変化で、緑色の1点1点が測定値です。2015年の1月からしばらくはフラットにしているんですが、このへんで重力が下がって、また上がって下がっ

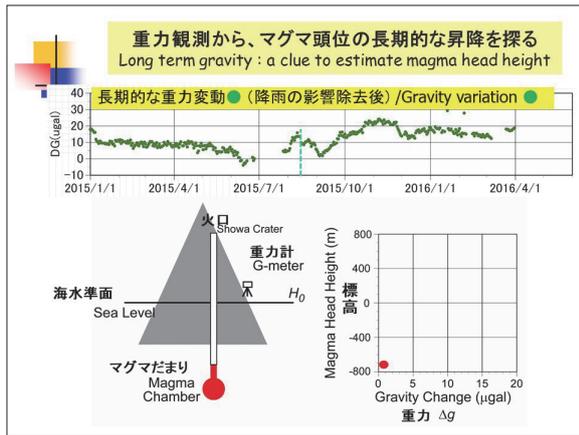


図 34

ております。

一番知りたいのは、今、何 m のところまでマグマが上がってきているのかということです。それが分かれば、噴火が近いのか、それとも、今はそれほど活発な時期ではないのかということが分かるということです。それが重力を使って分からないかなと思って計算してみたのが右側の図でありまして、縦軸に標高、横軸に重力というふうに書いてあります。これはアニメーションで、1点1点動いていきますが、例えば、標高 800m の火口までいくと、重力が 3 ぐらいのところに入りますねということです。

横軸が重力ですので、重力が一番強いのはどこかということ、重力計を置いてある場所ということになります。重力計を置いてある場所より高くなると重力は小さくなるんですね。先ほどマグマが上がってくると重力が強くなると申しましたが、非常に浅いところ、すなわち自分のいる場所よりも高いところへマグマが行ってしまうと、ちょうどマグマは私たちの頭を上へ引っ張り上げちゃうわけですから、そうすると、あたかも下向きの重力を打ち消すように上向きに引っ張り上げられちゃうので、重力が減るということです。そういう目で見れば、重力計が置かれた標高 80m を超すと、重力が急に減ってきているわけです。

ですから、重力の増えた減ったというのを頼りにして、マグマの先端、すなわち頭が海拔何 m のところにあるかということ計算してみたのが、スライド 35 枚目の上段のグラフです(図 35)。横軸に時間をとり、縦軸に重力変動量を目盛っています。ここに書いてある赤い数字がマグマの上端部、すなわち、「マグマの一番高いところが、海拔何 m まで来ているか」ということを示して

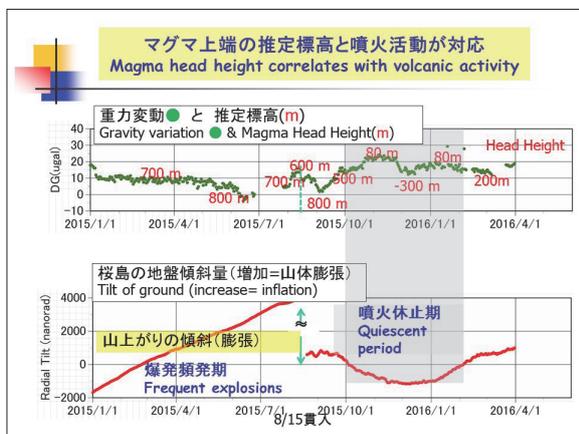


図 35

と、このようなことをやっております。

これだけでは何が起きているのか分かりませんので、マグマの上がり下がりによって生じる重力の増減を、モデルにもとづいて計算することにいたします。34 枚目スライドの下段には、桜島の火山下に想定されるマグマだまりを赤い丸印でしました。実際の形は分かりませんから、丸いかどうかは分かりません。マグマだまりは、深さ 10km とか 20km、5km とか 6km とかにあるんですが、そこから地表に向かってマグマの通り道がございます。それを火道(かどう)、と言っ

ています。2015 年の上半期は、ずっと 700m ぐらいのところまで来ていましたが、6月~7月にかけて重力が下がっています。下がっているのはなぜかという、マグマが火道をさらに高いところへ昇っていくため、上向きの引力が強まって、本来は下向きの重力の一部を打ち消してしまうからです。800m に達し、しばらく、また 700m のところに戻って 600m と、こういうふうにどんどん追跡していくことができるというわけです。

これを実際の他のデータと比べてみることにいたします。午前のお話でありましたように、地

盤の傾斜量なんかと比べてみると非常に面白いと思いますので、35枚目のスライドの下段に、それを示しました。2015年の1月から7月ぐらい、マグマの上端が700mの時期というのは、要するに火山活動が非常に活発なわけでありまして、どんどん山が膨らんでいる時期なんですね。爆発も頻繁に起こっております。一日に3回、5回あるのは当たり前と、そういう時期になっております。

それから、9月頃に800mになって、その後は500m、80m、マイナス300mのように、マグマがどんどん下がっていく時期があります、ちょうどこの時期というのは噴火が全然ない時期、噴火がお休みになった時期であり、また、桜島の山体もどんどん収縮して縮んでいる時期に対応しています。ですから、こういう重力の測定をしてあげると、マグマの上端の位置が分かってくるということの一つの証（あかし）かと思えます。

こういうわけで、重力観測を長い期間にわたって続けると、すなわち、富士山のように何年かおきにやるんじゃないくて、毎日毎日測定をするということが火山活動を追跡していく上で重要だと思います。我々もできることなら富士山頂で毎日やりたいんですけども、さすがに電力の問題だとかいろいろな問題があるので、それは今できておりませんが、しかし、将来、小さな重力計ができるとか、あるいは電力をあまり使わないような重力計ができるような時代が来れば、富士山頂での連日観測もできるようになるかと思えます。



まとめ / Summary

- (1) マグマの上昇・下降を、重力変化で探ることが可能。
三宅島、桜島の例。
(そのほか、2004年浅間山噴火、2011年霧島新燃岳噴火)
- (2) そのとき、生かされたノウハウ
 - a) 苛酷な富士山頂での観測経験
＜輸送振動、低圧、雷、…対策＞、
 - b) 長期連続観測を行っている桜島で得た対策
＜火山灰、豪雨…対策＞、

Technical advance enables us to detect rise/fall of magma head using gravity change.

図 36

以上を36枚目のスライドにまとめました（図36）。すなわち、マグマの上昇や下降というものを、重力の増減、すなわち重力の変化で探ることができます。一番最初にお話したのは三宅島の例で、地面が陥没するというのを予測することができました。それから桜島の例では、マグマの通り道のどの辺までマグマが上がってきているのかということを探ることができたということです。これは学術的なお話です。

2番目は、過酷な富士山頂での観測経験を通じて、いろんなテクニカル（技術的な）ノウハウを身に付けることができました。それから火山灰

や豪雨などに、別の火山で得た教訓に基づいて対策を取ってきたということでもあります。これが重力観測と火山防災ということの接点になるかと思えます。

我々の研究が何らかの形で今後の火山防災に活かされれば幸いです。私の話は以上でございます。どうもありがとうございました。

司会： 大久保先生、どうもありがとうございました。それでは、大久保先生のご講演に対しましてご質問等がございましたら、よろしく申し上げます。どうぞ。

質問者： 一般市民のサトウといいますけども。なかなか面白い話をありがとうございました。

重力測定における重力の外乱に対しては、どういう具合な対策をしているかということをお聞きしたいんですけども。例えば月とか惑星、木星あたりだったら結構大きいんじゃないかと。あと太陽ですね。地球側の地軸が傾いているので、時刻によってそのへんの影響というのは違うと思うんですけども、どういう具合にしているかと。

大久保：非常に専門的で高度なご質問をありがとうございます。

仰るとおり、太陽や月の位置によって潮の満ち引きが起こるように、潮汐という現象がございます。それは非常に周期的に起こるものですから、数学的モデルで予測することができて、何年何月何日、どの場所だったらどれくらいの重力が変わるということを計算の上で求めることができます。非常に高い精度で求めることができますので、それを使って補正してお示しするということになるかと思えます。

それからもう一つは何でしたっけ。

質問者：木星。

大久保：木星もそうです。今、木星、金星、そういう惑星も含めた潮汐の力を計算しております。

質問者：どうもありがとうございます。

司会：他にありますでしょうか。大久保先生はこの後、また別の会議の予定がありまして、この講演が終わりましたら退席されますので、ぜひこの講演の後の間に先生のご質問をいただければと思いますが、よろしいでしょうか。

質問者：コバヤシと申します。レーザー、ヘリウムネオンというお話だったと思うんですけど、現在なら半導体でそのくらいの波長が出るんじゃないか。パワー的にもかなり出ているんじゃないかという気がするんですけど、どうでしょう。

大久保：パワーが出るだけじゃなくて、光の波長ですね。波長が時間と共に変わってもらっては困るんですね。それを安定化といいます。安定化が一番できるのがヘリウムネオンレーザーであって、それをヨウ素安定化という特別な技術を使って、それが世界で一番いい技術ということになっています。まだ半導体を使ってそこまで安定化ができてないので我々は使ってないんですけども、将来できるようになれば当然使いたいと思っております。

司会：他にございませんでしょうか。

質問者：ツカモトといいます。よろしくお願ひします。

この用紙に書いてあるんですけど、今回の話は火山が主にメインだったと思うんですけど、地震・火山観測への展開ってあるんですが、地震観測というのは、活断層を挟んで重力値が変わるということではなくて、地震そのものの観測ということなんでしょうか。

大久保：そうですね。ちょっと言葉足らずだったかと思いますが、地震の前と後とでどう変わったかという、専門家というコサイスマック。地震によってどれだけ重力が変わったかという情報を基に断層運動の議論をするというのが一つ。

それから、東北地震の例ですと、地震が起こった後、5年でも10年でも、ずっと変動が続きますね。重力も変動が続くので、それを観測して、地球全体がどのような形で変形を続けているのか、そういう研究を重力を使ってやると、そういうことでございます。それは今度、地震学会で、あさって話すということになりますけども。

質問者：これについてもモニタリングというか定点観測を続けて、それで地殻変動を探っていくという感じですか。

大久保：そうですね。具体的には、これは予告編ですけどもこんな感じですね。これは東北地震のデータなんですけど、赤いところは絶対重力計、先ほどお見せした大きな重力計を運んで行って測定したところで、これを使って2011年の地震の後、2014年まで重力場がどのように変わったかというのをここに示しております。

青いところは重力が減ったところ、赤いところは重力が増えたところと。これを比べてみると、

これはアフタースリップと呼ばれる部分。地震と同時にじゃなくて、地震が起こった後、元の断層域より深いところでずるずる滑りが継続していると。その部分の直上で変動が出ているとか、そういうことが非常に分かる。

あと、これですね。例えばこれは水沢や仙台なんですけども、横軸に時間を取って、縦軸に重力の変化を取っていますが、最初は激しく減るわけなんですけども、その後収まっていく。2013年とか14年ぐらいまではアフタースリップというのは起こっているということが分かって、このへんは粘弾性変形と言われることが起こっているということが分かると、そういう話につながっていくわけでありませう。

質問者：ありがとうございました。

司会：研究者の方も多数来られておりますが、研究者の方も質問していただいて結構ですがよろしいですか。

質問者：すみません、産総研のスミタと申します。よろしくお願いします。

三宅のデータなんですけれど、当時使われていた重力計は恐らくラコスト重力計じゃないかと想像するんですけれど。僕もラコスト重力計を使っているんですが。最近では精密観測ということで、割とローカルなところで測線を張って、数 m おきに測るようなことをやっています。ただ、なかなか、再測定などなんだのを繰り返してやっても、10mgal よりいい精度で取ることがなかなか困難で。けれど、1mgal という精度で自信を持って発表されていらっしゃるの、そのあたりはきっと企業秘密というか、研究者秘密があるんじゃないかと思うんですが、そのあたりを教えてくださいなれば。

大久保：すみません、私が誤解を生むようなことを申しました。1mgal というのは、絶対重力点、Abs.G のところだけですね。ここはラコストじゃなくて絶対重力計を使っているの、その精度が 1mgal です。ここを基準にして、今、仰ったようにラコスト重力計みたいなもので測っていると、どうしたって 10mgal ぐらいの精度にしか出ません。それも事実です。

ただこの場合、変動が大きいからというのと、企業秘密というほどのことはないんですけども、いろいろ調整して 10 よりも、5 か 7 か、そんなところまではいっていますけど。

質問者：もしよろしければ、また違う機会のときにご相談させていただければと思いますので、どうかよろしくお願いいたします。

大久保：はい。

司会：他にありませんでしょうか。よろしいでしょうか。

質問者：富士山科学研究所の特任研究員のセコと申します。火山は専門ではありません。

重力の話が研究所の職員もセミナーですることがあったんですが、地下水の影響も受けるということで、地下水の影響というのは、さっきの惑星の影響とは違って、計算では補正できないと思うのですが、そのへんを補正するポイントというのはどういうところになるのでしょうか。

大久保：計算で補正できないかということ、ある程度はできるんですね。それはどういうことかということ、仮に地面より下の部分の水の流れやすさ、透水性の性質が物理的に分かっていたとしましょう。そうすると、雨が降ったらどう水が粒が流れていくかということは計算で解くことができます。それを私のところにいた大学院生の人にやってもらって、今そのソフトを使ってやっています。それでも完全には取り切れないんですけども、先ほどお見せした桜島の例ではそのソフトがかなり有効に働いています。

質問者：そのためにはその地域の降水量を正確に把握する。

大久保：そうですね。降水量自体はある程度、最近はアメダスだの何だのいっぱいありますから、上から降ってくる分はよく分かる。あと、土壤の性質をきちんと決めることが必要です。

質問者：ただ、レーダーで降水量を推定するのも、高山帯では難しいという話も聞いたんですが、それもある程度、仮定の下にやって何とかすると。

大久保：ええ。

質問者：ありがとうございました。

司会：皆さま、ご活発なご質疑どうもありがとうございました。大久保先生、どうもありがとうございました。

Shuhei Okubo

Good afternoon, ladies and gentlemen. I am Okubo from Earthquake Research Institute, The University of Tokyo. I know from my own experience in the university that the first lecture in the afternoon is the hardest one to deliver because everyone has a full stomach and easily falls asleep while listening to my talk.

I am invited today to give a talk on my observation of the gravity at the top of the Mt. Fuji. I was told by the organizers to talk as in the TV program "Project X". It is really a tough job for me, but I will do my best.

So, my talk is made of three parts. The first is why gravity is needed in research of volcanoes. I was expecting that some of the previous speakers might have talked on this issue in the morning, but I didn't really find that. So I would like to touch up on that.

The second one is that how and why we measured gravity on the top of Mt. Fuji. And the last part is devoted to explanation on how we utilize the lessons we learnt at top of Mt. Fuji and what are the challenges that are still unsolved. Now, please look at this lady on the slide #3. I am sure you know her very well, Ms. Chiaki Mukai, the first Japanese female astronaut. According to Asahi Shimbun article in 1994, on the night she came back from space, she was doing all the strange things. That is, she picked up a piece of sushi and let it fall. And looking her doing that repeatedly, her husband Makio asked her what occupied her mind. After 15 days in space, the most impressive thing for her was the gravity on the earth. This is because falling objects are "not" natural in the space. It's just like Newton discovered the universal gravitation when he looked at an apple falling from a tree. So I would like to talk about what we can see from careful observation of the gravity.

Picture in the left of slide #5 is a cross-sectional view of a volcano. A magma reservoir is believed to exist at 10 km deep or so. Suppose that you put a gravimeter either on the top or in the flank. Magma in the reservoir or chamber exerts attraction to everything towards the direction of the arrow according to the Newton's law.

If magma here gradually goes up as shown in the right figure, then what would happen? Additional magma, or excess mass, exerts downward attraction to the gravimeter, according to the Newton's law. So, the attraction will be added as the small red arrow. The gravimeter feels the downward attraction, or gravity, as white and red arrows are added. So, it gets stronger gravity than before.

In other words, gravity increase suggests that magma is going up as well. On the contrary, gravity decrease implies that the magma is going down or has receded or has gone somewhere.

So, as a scenario, we may suppose these things happen. But, does it actually occur in the real world? Can you actually see that happening? I want you to have these questions in your mind. It's only natural that doubt the scenario and even many scientists say that this is just on the table or just on the theory. But I will show you that the scenario works by taking an example of the eruption of the Miyake-jima volcano in 2000.

Slide #6 shows the map of the Miyake-jima, on which gravity change is laid over. Blue part shows the places where the gravity went down. You may read the number -145 microgal, much larger than the expected observational error of 1 to 2 microgals.

But anyway please keep in mind that there are places where the gravity went down. Here if you go back, the decrease in gravity means that magma has gone away, has receded somewhere. That's what I said.

Actually in the central part of the volcanic island, we found a drastic decrease of the gravity. So, the interpretation is that the magma flowed out of the reservoir to somewhere. I was very much surprised with this result, and we created a mathematical model to explain the large gravity decrease, which is shown in the slide #7.

The left panel in the slide #7 shows once again the gravity change. The right panel schematically depicts what happened below the Miyake-jima volcano. We believe that things went in the sequence of stages one, two, and three as shown in the figure.

In the first stage, a fissure was created underground. Then probably the magma flowed in from the reservoir in the second stage. So, the fissure underground is geologically called dike. It's like a vertical slab intruding in the crust. We believe the dike is 6 km wide, 20 km long, and 4 m thick.

Now, the open space created by the fissure was filled with magma. That means that magma is away from the chamber. So, the reservoir got deflated and we believe that 80 million cubic meters of magma flowed out of the chamber.

Does it mean the end of everything? No. Because magma was taken away from the magma chamber, the ground lost supporting force from below and cavity must

have been created between the reservoir and the surface as the third stage. It is just like losing pillars of the first floor of a building, resulting into the collapse of the upper floors. A good example can be seen in the road collapse during the subway construction in Fukuoka. According to our analysis of the gravity change, this cavity has radius of 200 to 300 meters and is located at the depth of 1 to 2 km.

Now, 300-meter radius cavity might appear too big. It was not easy even for me to imagine a cavity of this size underground. But 2 days after we made this observation, the floor of the Miyake-jima summit caldera fell down, just like the road caved in during the traffic works. The slide #7 shows that the pit was about 300 meters in radius and its depth was about 200 meters.

So, our previous statement that there must be a cavity of 200 to 300 meters in radius was verified with this phenomenon.

The picture on the slide #9 was taken 2 days before the collapse. Though there was still solid ground, it was destined to fall in two days.

As an interim summary, I would like to point out again that we can see the change taking place under the volcano by careful analysis of gravity change.

Now, let me move on to the absolute gravity measurement at the top of Mt. Fuji.

In the morning, Dr. Takada and other colleagues discussed on the past activities of Mt. Fuji. The slide #11 shows the history of major eruptions indicated with thick red lines. We see here that eruptions have occurred every 200 to 300 years during the last 1200 years. The last one occurred in 1707 and it is 2018 now. So it is not surprising even if eruption of Mt. Fuji takes place in the very near future.

So, we were expecting that something might happen around Mt. Fuji. The slide #12 shows that monthly number of earthquakes grew suddenly below Mt. Fuji, suggesting reactivation of its volcanic activity.

The activity motivated us to measure the gravity on the top of Mt. Fuji from academic background.

One more point of our measurement is that it has significance from the viewpoint of the history of science. The slide #13 shows measurements of the gravity at the top of Mt. Fuji. The oldest one was taken in 1880 by Mendenhall, a teacher at the Imperial College, and Tanakadate Aikitsu, a very famous Japanese scientist.

At that time they used Kater's pendulum to measure gravity difference from Tokyo. They came up with the figure 978,860 milligal. To our regret, however, the observation site is not known to us exactly as they just referred to it as a rock hut. Then, in 1960, Prof. Yokoyama and Dr. Tajima, experts on the field of volcano gravimetry, used a spring gravimeter to make a relative measurement. They came up with a different figure as 978,863 milligal. You may feel that it's just a slight difference but it's not.

Then, in 1991, Prof. Satomura of Shizuoka University made the measurement and also came up with different figure, 978,865 milligal. We see in the table that all three measurements disagree with each other on the level of 1 milligal. The discrepancy is much larger than the nominal error of 0.01 mgal of conventional gravimeters. Our second motivation is thus to resolve the turmoil about the gravity value on the top of Mt. Fuji.

The slide #14 shows the weather station on the top of Mt. Fuji where we carried out our absolute gravity measurement. The observation was a joint research with the Meteorological Research Institute, and we acknowledge the strong support of Japan Meteorological Agency.

Talking about Mt. Fuji, everyone is well aware of its high altitude of 3776m that poses serious difficulties for the observation.

First of all, the atmospheric pressure there is about two-thirds of that on the sea level. In addition, it's very windy as the annual means of wind speed is 20 meters per second. The environment is thus really harsh.

Now, let me list up expected difficulties for our gravity measurement on the slide #15. Well, it is quite clear from the beginning that the safe transport of the absolute gravimeter is the most important issue; it weighs 400 to 500 kilograms. It's just impossible for human to carry this. Even if we disassemble it into 10 parts, it's quite impossible for a human being to carry one of them on his back because each one weighs still 40 to 50 kilograms. In addition, it is made of fragile components such as a sophisticated laser and a very precise atomic clock.

Secondly, people will suffer from altitude sickness due to low pressure. It is noteworthy that the machine will be seriously affected by the low pressure. Thirdly, it is very cold at the summit but as long as we are in the building of the weather station, this is not much problem.

Then comes the problem of strong wind that causes violent ground vibration: a significant error source for the gravity measurement. Lastly, the mountain top is often hit by thunders. So, we must protect our electronics from the surge current coming from AC outlets; we were told by the JMA staffs that the equipment inside the weather station broke down 2 or 3 months before our measurement. We have to overcome each of these difficulties. In the following, I am going to talk about how we overcome those difficulties.

The slides #16 shows how we actually carried this heavy equipment up to the top. In the right panel, you see the summit of the Mt. Fuji and a pathway where bulldozers transport commodities to huts. So, it's a bulldozer road. In the left panel are five member of our observation team. It was a 3-hour ride on a bulldozer to the summit.

Slide #17 shows how a bulldozer transported our equipments. It's like a forklift in the sense that we put our equipments on the front part. There is a cover on the rear side, where people as well as small luggage sat on.

This bulldozer was really agile and it made a 180 degrees' turn just like a car making a turn. The driver was told to be a model of the novel written by Jiro Nitta.

On the video of the slide #18, you may capture an image how you feel when you are on the bulldozer. This is the front view, and it was quite a shaky travel because we are in a bulldozer, and the road is not really paved and we felt all the violent shakes. That was the front view seen from the driver's seat. Slide #19 shows view taken from the rear seat.

As you can see, the bulldozer was shaking widely right to left, up to down, and we were frequently thrown up from our seats due to strong vibrations. I believe that this vibration exceeded 1G.

But the problem is this vibration and how can we mitigate the impact from the vibration? I show out solution on the slide #20. You can see a reinforced plastic container. Inside there is a fragile component and With this container alone, we cannot avoid strong impacts to the fragile component in it. So we actually applied a special board to isolate the strong vibration.

This board is made of special springs. What is this spring for? It is used to transport very delicate products such as torpedoes, components of rocket or aircraft. Just one piece of the spring costed ¥15,000. We employed the spring to mitigate the violent shocks to our gravimeter during our climbing up onto the Mt. Fuji.

So, that's the problem of G. The next problem to be fixed is P, that is, low pressure issue. Two-thirds of the normal atmospheric pressure on the summit means that we will not be able to operate the hard disk properly there. Ordinary PC does not work well in such low pressure environment because thin air there could not produce enough lift for a hard disk head. This is what I said before that equipment suffered from altitude sickness. Please look at the slide #21 where you see an instruction manual of a hard disk. It reads "please do not use this hard disk either at 3000 meters above sea level".

Currently, we have helium-filled hard disk that could eliminate this problem but it was not available at that time. So we had to purchase a very expensive PC which guaranteed the operation up to the height of 4500 meters. It was really rugged and resistant to the vibration as well.

I tried to operate my own PC on top of the Mt. Fuji, but it did not work.

On the slide #23 is shown the other problem of low pressure on the laser. Its power can be affected by the atmospheric pressure applied to its tube. So, there will be a lot of loss of accuracy due to lowered laser power.

In Tokyo, we have atmospheric pressure of about 1013 hectopascal. If you take the laser power at Tokyo as 1, 30% of the power is lost when you go to Mt. Asama. On the summit of Mt. Fuji Mt. the laser power is reduced by about 40%. It means that signals will be weakened when the laser is used at high mountains.

If we stay there for a long time, we could have made adjustment to increase the power. But we were allowed to stay there for only 2 days and a half, meaning that we could not afford to take time to make adjustment. So we had to raise sensitivity of the signal sensors.

There was also the problem of thunderbolts. It was fortunate for us that they had a meteorological radar to detect the approaching thunder clouds. When thunder clouds approach, they switch the power source from commercial AC to a generator. We also made use of a lightning transformer to avoid damages to our electronics. Slide #25 shows the inside of the weather station on the summit of Mt. Fuji. In the left panel, we see four staff members of the weather station beside our absolute gravimeter that weighs about 300 kilograms with the height of 130 cm. This is where we actually measured the gravity on the spot.

The right panel of slide #25 shows how we measured the gravity on a triangulation point in Kengamine.

What was the result of our measurement? It is shown in the lowermost row in the slide #26 with the three previous ones in the upper rows. The table clearly shows

the most recent measurement is quite close to ours. I am sure that the debate on the true gravity value at the top of Mt. Fuji is now settled.

Let me show you my interim summary on slide #27. I would like to emphasize that we succeeded in measuring the absolute gravity on the summit for the first time in the world. I believe it has technical importance because we could overcome a lot of difficulties arising from strong vibration during transportation, low atmospheric pressure, frequent thunderbolt and so forth.

Our measurement on the summit of Mt. Fuji can be compared to the F1 race in Paris-Dakar Rally. Why would automotive companies participate in such a harsh race? I guess that they would like to test the highest performance of their products and identify its weak points if any. So, it's the same for us. If we could make the measurement with high accuracy in the harsh environment of Mt. Fuji, we could actually measure gravity anywhere without difficulties. So, that is why I gave a high technical value to our measurement.

Secondly, there is also academic significance in our gravity mission. I don't know exactly what could happen to volcanic activities in Mt. Fuji, but we should be able to evaluate the gravity variation when necessary. You might go up there and take the measurement, but it's very important to be able to compare the measurement to the past record. Otherwise, we can never estimate the gravity "change" with time.

Now that we have established the standard gravity value by fixing large difference among previous results, we can make the comparison with high accuracy at any time. In particular, our measurement fixed the turmoil.

Up to here, I explained the know-hows that we have obtained by making measurement on the summit of Mt. Fuji. How can they be applied to future seismic observation? In other word, how can we make use of our experiences to studying other volcanoes and earthquakes? Are there any issues that we did not encounter during our Mt. Fuji mission?

So, we have visited different volcanoes earthquake prone areas across Japan to do the same measurement. Slide #29 shows a map in the right panel. Red triangles indicate the locations of our volcano research and the blue squares indicate observation points for studying earthquakes. There are three specific areas marked with rectangles.

In Hokkaido, Tokachi-oki earthquake occurred in October 2003, only 2 months after we completed the Mt. Fuji measurement. So, we apply that experience to our gravity study on the Tokachi-oki earthquake. In Tohoku, the Tohoku earthquake occurred in 2011. In the southwestern part is expected a future Tonankai-Nankai earthquake and we are studying the long-term pre-seismic gravity change there.

Red triangles are volcanoes such as Mt. Usu in Hokkaido, Mt. Hakkoda and Mt. Zao in Tohoku, Mt. Asama in central Japan, Izu-Oshima and Miyake-jima volcanoes to the south of Tokyo, Mt. Shinmoe-dake and Sakurajima volcanoes in Kyushu. These gravity measurements are summarized in the slide #30.

On the table, you can see that we had multiple occasions where we could use our experience during the Mt. Fuji mission. Blue items are those overcome through the lessons of the Mt. Fuji mission. For example, in order to measure absolute gravity on the Miyake-jima volcano that erupted during 2000 -2004.

we had to transport our delicate equipment by sea with strong vibration, but the special board designed for the Mt. Fuji mission mitigated possible troubles. Even on landing the island, the roads were severely destroyed, but the special board worked well to avoid strong vibrations to our equipment. We were thus able to make the measurement without problems.

In the case of the Tokachi-oki earthquake in 2003, the roads were severely damaged by the M8.0 earthquake and we felt strong vibration during the transport of our equipment from Tokyo. But the special spring board of the Mt. Fuji mission worked perfectly to avoid possible troubles on our gravimeter.

The issues in red fonts on the same table are remaining problems to be resolved. That is, the trouble from volcanic ashes. We did not know how difficult it could be to cope with volcanic ash. In the environment where there is a lot of ash, it's very, very challenging to try to operate electronic devices for measurement.

Heavy rainfall too could be a problem. In Sakura-jima volcano, it is prone to heavy rain. Yakushima Island is the island where they have the largest rain fall followed by Kirishima at 4000 millimeters every year. Compared to Tokyo, it's double the size. Tokyo's average rainfall is 2000 millimeters. So when it rains, it causes a lot of problems because groundwater level changes after a heavy rainfall.

That implies that the observed gravity change is dominated by the hydrological gravity variation. We must devise a way to recover the gravity signal of volcanic origin from the original gravity data.

Also, the continual ash-fall for more than a year or 2imposes damages on electronic devices. Slide #31 summarizes that we had two major concerns. They are problems of the hydrological disturbance and an instrumental damage from volcanic ash.

If Mt. Fuji erupts, what could happen? The slide #32 shows the tephra thickness during the 1707 Hoei eruption estimated by the Yamanashi Institute of Environmental Science, currently Mt. Fuji Research Institute. Even in Tokyo, it's as thick as 1 cm.

Currently, we are doing gravity observation every day in Sakurajima. We understand the ash-fall at our observation site, 3 km from the crater, is as thick as over 1 cm per year and probably 5 cm per year. In such an environment, we experienced frequent malfunction in PC. Only a small amount of ash creeping into electronics could cause short circuits on the PC board. In addition, the loss of laser power due to contaminated air was a big problem.

Our laser tube is made of helium and neon and its usual life is about 3 years. So, losing output power of 2% or 3% every month is normal, but in our case of the Sakurajima volcano, 25% of the laser power is lost every month. So after 4 months, all the power will be lost even inside the lab with the double doors.

We cleaned the floor of the building on a regular basis but it didn't help. We had to actually protect all the equipments inside a clean room as shown in the slide #33. By doing so, we could continue gravitation observation without major interruptions. The top panel in the slide #34 shows our long-term gravity records in Sakurajima. All these green dots indicate the daily gravity values. Please notice that over a year, we could continue observations without major troubles.

Since January 2015 up to June 2015, gravity kept almost constant. After July 2015, it goes up and down. But with this alone, it is hard to imagine exactly what was occurring in Sakurajima volcano. We were able to use a physical model to calculate the height of magma head in the conduit from the observed gravity change. The model of the volcano is shown in the bottom panel. Below the volcano, we suppose a magma chamber at depth of 5 to 10 km. From the magma chamber leads a conduit upward, a path vent for magma to go up.

We are primarily interested in the magma head height because it is a good indicator to diagnose whether eruption is likely to occur soon or not. We show

expected gravity change against the magma head height on the lower right panel of slide #34.

These changes in gravity can be utilized to estimate the location of the magma head. Using this mathematical model and observed gravity, we computed the head height and I show it on the top panel of slide #35. The numbers of red fonts indicate the height of the magma head. You see the head was at 700 meter above mean sea level in April 2015, whereas it went up to 800 meters in July 2015. In this way, we can actually track the height of magma head by looking at gravity change.

If you compare the estimated height to other types of data, such as the tilt of ground, you may grasp an idea what's going on beneath the volcano. For example, in January 2015 up to July, the height was 700 meters with gradual ground inflation revealed by the tilt change. These observations are consistent with the high volcanic activity during this time, when we had frequent eruptions, three to five episodes every day. And then the height was 800 meters at this point in time.

But then, it went down to 500, 80 and to -300 meters from October 2015 to January 2016. There was no eruption at all during this time, complete quiescent period, and the volcano deflated instead of inflation.

So, just by tracking gravity change, we may infer how high the magma has reached in the conduit. It's one possible example to understand the magma activities. I would like to emphasize that it is very important to track volcanic activity based on daily gravity measurement.

It will be nice if we can do this on Mt. Fuji, but I know there is also the problem of the power supply and so on. But eventually when much smaller gravimeters become available, we may be able to measure gravity every day on summit of Mt. Fuji.

So, the slide #36 summarizes my talk. Firstly, the rise and fall in the magma can be inferred from the gravity change with good accuracy. As I said, the first example was Miyake-jima. We were able to find a cavity under the ground. In case of Sakurajima, we were able to diagnose to what level it has reached. And this is an academic example.

Secondly, we obtained a lot of know-hows through the gravity mission in the harsh environment of Mt. Fuji. The technical tips have been utilized in many cases. We were able to take measures against such harsh environment in other cases as well. Thank you very much for your attention.

Moderator

Thank you very much, Professor Okubo. Now, if you have any questions to Professor Okubo, please.

Male Questioner

I am Sato, general citizen. Thank you very much for your very interesting presentation. Now, in the gravity measurement, what's the most serious disturbance? For example, moon or Jupiter or maybe sun could be major sources. Because the axis of the earth is tilted, probably it differs by time and how did you compensate for such disturbance?

Shuhei Okubo

Thank you very much for your advanced technical question. Yes, as you said, the sun, moon, and planets exert tidal attraction, depending on time and locations as you see in the tide. Because the phenomenon of tide is quite periodical, it's easy to make predictions how the gravity would change if time and location on the earth are given.. We can calculate that with very high level of accuracy. So, by using that, we make some adjustments and corrections.

What was the other question? Jupiter? Yes, Jupiter, Venus, all those planets, taken into account for our calculation.

Male Questioner

Thank you very much.

Moderator

Any other questions? Professor Okubo has to leave. He has another meeting to attend. So, he will be leaving as soon as this presentation is over. If you have any questions, don't miss this opportunity to ask questions. No questions?

Male Questioner

I am Kobayashi. You mentioned that helium-neon laser was employed in your observation. Right now, I believe that you can have the same frequency with the semiconductors laser

Shuhei Okubo

It's not just the power but the stability of frequency of the light. It shouldn't be changed with time, and we need to stabilize that. In order to stabilize that, helium-neon laser allows us to do that. We need to have the special technology to bring

this stability, and this is said to be the best technology in the world. In the future, if we can use this technology, we would like to use this certainly.

Moderator

Any other questions?

Male Questioner

I am Tsukamoto. Well, it's in this paper. You mainly talked about the volcanoes. But you just said you want to develop this into earthquake research. Do you intend to measure the gravity while the ground is shaking with an earthquake?

Shuhei Okubo

Well, I admit it might be misleading. We would like to show the co-seismic aspect, namely, how the gravity changes because of the earthquakes. Based on that data or information, we want to make analysis on the fault motion. In case of the Tohoku earthquake, , the crustal deformation and is still going on even after 5 or 10 years. The same thing occurs in the gravity. So, we would like to know what kinds of changes are taking place using the gravity. I will be talking about this day after tomorrow at the meeting of seismological society of Japan.

Male Questioner

So, are you going to keep on monitoring at the same place and to monitor and observe the changes in the ground?

Shuhei Okubo

Exactly, yes. Well, specifically speaking, this is like a PR part. This is the data of the Tohoku earthquake. The red squares on the map shows the site occupied with the absolute gravimeter. And using these, we monitored how the gravity changed from 2011 to 2014. The blue area on this map denote where gravity decreased while gravity increased in the red part. This is due to after-slip, not a simultaneous slip with the earthquake but slip motion after the earthquake. that takes place in the deeper part. So that is causing some changes in the surface above.

This slide shows of the gravity and elevation changes at Mizusawa and Sendai.. The rapid decrease from 2011 to 2013 is attributed to after-slip taking place.

Male Questioner

Thank you very much.

Moderator

There are many researchers in this auditorium. So, of course, researchers are welcome to make questions, too.

Male Questioner

I am Sumita. I guess you used a LaCoste-Romberg gravimeter on the Miyake-jima. I also use the Lacoste gravimeter for precise gravity measurements. For example, we measure gravity in a small area with spacing of a few meters. But even in such situations, it is difficult for us to obtain good data with accuracy better than 10 microgal. But you confidently mentioned about one microgal accuracy. So, I believe that there is some kind of secret behind your observation.

Shuhei Okubo

Sorry, this 1 microgal is the accuracy of the absolute gravimeter, not LaCoste gravimeter. We use the absolute gravimeter and so the figures at the absolute station has 1 microgal accuracy. But, if we measure gravity difference from the absolute station, at other places using a Lacoste gravimeter, the accuracy will be 10 microgal or so. But in the case of Miyake-jima eruption, gravity changes far exceeded the observational errors. When we make some kind of adjustments, the accuracy may reach 5 or 7 microgal.

Male Questioner

If we can have an opportunity to talk to you person to person, it will be very grateful.

Shuhei Okubo

Yes, certainly.

Moderator

Any other questions.

Male Questioner

I am Seko. I am not an expert of volcano. We often listen to the gravity studies at the seminars, but I am sure gravity is influenced by the ground water. And unlike the planetary disturbance questioned earlier, I don't think you can make appropriate correction to the ground water effect with calculation. If yes, please let me know what is important in doing such corrections.

Shuhei Okubo

Well, at a certain level, we can make corrections with calculation. For example, if we know about how easy the underground water can flow, in other word,

permeability and records of rainfall, we can compute how raindrops would be transported underground. We can find that out by the calculation. I had a graduate student who chose this correction for his dissertation. Right now, we are using the software developed by him.

Of course, we cannot make complete adjustment but in case of Sakurajima, that software was really effective.

Male Questioner

For that you need to know the distribution of precipitation of the local areas?

Shuhei Okubo

Yes, we may estimate the precipitation with AMEDAS. Input to the groundwater can be thus rather easily determined. Then, we need to know the nature of the soil, permeability.

Male Questioner

But I hear it could be very difficult to estimate precipitation with radar in higher altitude. Do you make some assumptions to do that? Is that right?

Shuhei Okubo

Yes.

Moderator

Thank you very much.

「キラウエア火山の 2018 年噴火に際してのコミュニケーション」

クリスティーナ ニール (USGS ハワイ火山観測所)

ハワイのキラウエア火山での夏の特別なイベントについて話す機会をありがとうございます。参加できなくなってしまい申し訳ありません。私の心からの謝罪を受け入れてください。いつか美しい富士山を見られることを願っています。

この短いプレゼンテーションでは、この夏にキラウエア火山で起こったことを簡単に紹介し、火山学者と、自治体、メディア、一般市民の間のコミュニケーションについて話したいと思います。日本でも同様の危機に備えて、ここで私が言いたいことが有益なものとなることを願っています。日本はすでに火山噴火や危機対応の経験が豊富でしょうから、項目ごとにまとめてより効果的に参考にされることを願っています。

火山活動の簡単なおさらい

ハワイ島のキラウエア火山は、マントルから供給されるマグマを頂上直下の浅いマグマ供給システムで受け取ります。そこで、マグマはマグマ溜りに貯蔵されています。マグマはまた、火山の2つのリフトゾーン：東リフトゾーンと南西リフトゾーンに沿って水平方向に数十キロメートル移動することもできます。

2018年4月30日の噴火より以前のキラウエアでは、山頂の溶岩湖と、もう一箇所、東リフトゾーンから20km麓側のプウ・オオコーンで噴火していました。

4月30日プウ・オオコーンが崩壊し、マグマは東リフトゾーン下部(LERZ)に向かって東へと移動し始めました。後に7kmに及ぶ24のフィッシャー火口システムとなったわけですが、その始まりはレイラニ居住区の下で5月3日に開きました。

続く3ヶ月間で、溶岩は複数の火口から噴火し、ひとつは最終的には100mの高さのスパターコーンに成長し、フィッシャー8と呼ばれています。時には毎秒100立方m以上の溶岩が噴出しています。最終的に、35.5平方kmが溶岩で覆われました。何百もの一般家屋を含む716の建物が破壊され、38メガワットの地熱発電所が閉鎖され、部分的に溶岩に飲まれました。噴火現場からのガス放出は顕著で、火口と同じ標高の場所で一日あたり50,000t以上の二酸化硫黄が計測されました。

この噴火は、40km離れたキラウエア山頂部のマグマを枯渇させ、山頂を中心として500回以上に及ぶカルデラの段階的崩壊を促しました。崩壊の大部分は、崩壊につながる小さな地震の数が増加した後、その地震の数が落ち着いてきた時期に発生し、それらは30-40時間間隔で繰り返されました。崩壊のたびにM5.2-M5.4の地震が発生し、広範囲にわたり数百mの地盤沈下が生じ

ました。溶岩柱が火山に近づくにつれて灰とガスの爆発が起こり、やがて5月中旬に溶岩湖の溶岩が流れ出しました。

8月2日の62回目の崩壊イベント以降、8月上旬にはカルデラ崩壊の数は激減し、頂上の崩壊は8月2日の62回目の崩壊後に終了しました。その時点で、キラウエアカルデラの底には長さ3km、幅2km、深さ500m以上の新しい崩壊地がありました。（実際、ハワイ火山観測所（HVO）の科学者たちは、危機の最中に三宅島2000年噴火のカルデラ崩壊事例に詳しい専門家に相談して、類似点やハワイの状況に対してどのような知恵があるのかを話し合い、その後の住民らとのコミュニケーションプロセスに役立てることができました。）

東リフト帯下部では、8月下旬に溶岩が海洋に流入しなくなり、最終的には9月上旬に、溶岩はフィッシャー8のコーン内でのみの活動になりました。

ハワイ火山観測所（HVO）では、噴火、カルデラ崩壊、そして地震や降灰による観測所の喪失という一度に3つの危機への対応となりました。これは、HVOや他の米国の火山観測所でこれまでにないほどの危機でした。

ありがたいことに、噴火や崩壊の際に人命が失われず、負傷者もほとんどありませんでした。これは、活動の性質と、危険な現象の発生確率が最も高い地域の急速な閉鎖にひとつの要因があります。しかし、何が起きているのか、リスクは何か、そして人々が安全を保つことができるかについてのコミュニケーションと情報の共有が続いていることも要因です。ではこれらのコミュニケーションとはどのようなものであったかを話していきましょう。

米国ではUSGSの火山観測所などの火山学者が、火山がどんな活動をしているのか、どのような危険が存在するか、または予想されているかについて、一般市民とメディアに直接話します。政府市民防災局もまた、国民とメディアに話す役割を担いますが、さらに重要なこととしては、実際に危険にさらされている人々に何をすべきかを助言または命令する責任も負っています。こうした市民へ向けたメッセージは、適切なタイミングで、正確に、一貫性をもって、常時アクセス可能で、有用であることが不可欠です。今述べた項目は新しいものでもユニークなものでもありません。このリストは効果的なメッセージングの重要な尺度として、USGSや他の科学コミュニケーションに携わる、火山学やその他の災害科学の多くの人々に認識されてきたと思います。中でも、過去にHVOに在籍して居た科学者であるドナルド・ピーターソンとロバート・ティリング氏に感謝したいと思います。

噴火対応のタイムライン

火山の危機はその性質上複雑で不確実性が高いものです。そして、いつ、どこで起こり、どのぐらい活動が続くのかという予測の正確さを増すために、火山学者は多くのことに取り組んでいます。しかし、警告が効果的であるためには、適切な準備のために十分な時間が必要です。つまり、火山が活動的である時期には、この情報を広く共有する必要があるということです。もちろん

ん、一般的に噴火が起こるという保証はなく、そのことははっきりさせておかなければなりません。当局と市民にとっては早期の警戒が最も効果的です。ある意味で、住民や観光客らに、彼らが活動的な火山の近くもしくは上にいることを思い出させることは、長期的な警報ということができます。その情報は、長期的なハザード評価とハザードマップ、また我々が継続して取り組んでいる一般市民の教育キャンペーンで共有できています。

活動が拡大すると、科学者は変化するモニタリングデータをすばやく解釈し、どのような危険性であるか、何が起こり得るか全ての可能性について説明する必要があります。そのためにはできるだけ早く情報を出すことと、その火山特有の知識とその火山の状態を可能な限り詳細に説明しなければなりません。

2018年のキラウエアの噴火でHVOは、火山の状況が変化する可能性について4月中旬に公表しました。我々は、市民を避難させる責任を担う市民防災局や国立公園などに、火山が新たな脅威をもたらしつつあることを強調しました。

プウ・オオの崩壊が4月30日に発生すると、HVOは5月1日に噴火の可能性を公表しました。情報は電子メールで送信され、HVOのウェブサイトとソーシャルメディアに投稿されたテキストメッセージの形式の情報は、少なくとも1日に1回、場合によっては2回公開されました。

人々は言葉に加えて写真やビデオを急いで欲しがります。HVOは、毎日できるだけ早く多数の画像や動画を投稿して共有し、何が起きているのかをメディアや一般の人々に視覚的に知らせるために努力しました。このことが、火山がどうなっていたのか、そして市民が直面したリスクについて彼らによりわかりやすい感覚を与えるのを助けたと思います。さらに、世界中の人々がキラウエアの噴火活動の状況を追うことができました。

課題は、大量の画像、動画ファイル、および毎日収集される膨大な数の画像を処理するための時間や、設備を準備する時間がかかることです。これをどのように達成するかを事前に計画しておくといいでしょう。HVOは市民らがSNSにアップした写真やビデオを積極的に探しませんでしたが、場合によってはこれらは非常に役立つことがあります。

情報の正確性

もちろん、科学者は、火山や火山災害についてのコミュニケーションにおいて、可能な限り正確であることが求められており、そうしなければなりません。提示された観測事実や得られたデータに忠実に、それぞれの声明や解釈において不確実性のレベルをはっきりとさせておくべきです。不明な事柄は、直接話すことが重要です。今回私は、火山のふるまいについて確実に理解することには限界があるということを一般市民がきちんと認識していることを発見しました。

いくつかの火山災害は、普段は火山の周囲で直接必要ではない専門知識を必要とします。例えば、キラウエアでは、ガスレベルが高いため、公衆衛生の専門家が災害についての議論の中心で

した。米軍は、安全確保を支援し、空路での避難が必要な場合には手を差し伸べるための対応努力をしました。

その後他の機関が避難者支援のために到着しました。反応の真っ只中に投入された新しい専門家のために新たな課題が発生しました。それはすべての当局の情報発信元がそれぞれひとつに集約されること、そして適切な人物やグループが適切な問題に取り組んでいることを確実にするためのコミュニケーション上の課題を意味します。時として、これは非常に困難なことでした。

情報の一貫性

火山の状態や危険の性質について議論する際には、一貫性が非常に重要です。一貫性の欠如は、信頼を失い、危険にさらされている人々の間で混乱を招く可能性があります。

メッセージの一貫性を確保するためには、災害時に市民とメディアと連絡を取り合う様々なグループの事前計画が必要です。地方自治体に情報を監視し提供する責任がある火山学者は、災害対応中の情報の円滑な流れを助けるために、火山の危機の間に時間を割かなければなりません。これは、典型的な科学者の役割の外ですが、信頼を確立したり、災害対応においてだれがどのような役割を担っているか明確にするため、災害が起きる前に、当局関係者と会う時間を取っておくといったことを意味します。火山の緊急時だけでなく活発ではない時期にコミュニケーションの計画を明文化しておくことは、異なるグループがお互いのコミュニケーション責任と様式を認識するために役立ちます。これは、複数の政府レベルが関与している場合に特に重要です。米国の場合これは、地方、州、連邦にあたります。

2018年のキラウエア噴火において、HVOと市の幹部はしばしば直接会談し、公表前のテキストメッセージの草案を共有し、同じ情報が複数の政府機関から来ていると確信できるようにしました。これは災害対応の主要な部分でHVOが緊急司令センターや市民防災局に24時間体制で詰めていたため容易に実現できました。そうしたやり方で、情報を求め、公的なコミュニケーションを調整したい当局には、いつでも連絡窓口を1つにしてありました。

所内コミュニケーションのもう一つの課題は、現場レポートと、危機の最中絶えず入って来る他のすべての情報を組みあげる方法です。コミュニケーションのためのあまりに多くの方法（ラジオ、携帯電話、衛星電話、テキストメッセージ、電子メールなど）が存在することにより、通信や情報が不完全なものになりやすいのです。HVOはこれに対処するいくつかの方法を試し、情報を知る必要がある他のすべての科学者のためのインターネットベースのコラボレーションツールで解決しました。組織は、将来の危機のためにこの課題を予測し、最善のツールを確保したり、ツールを事前に決定しておいたりするとよいでしょう。

研究機関は、火山の状態とその危険性について単一の声で発信することを確実にする方法を開発することが重要です。

これは、2018年のHV0のように、物事が急速に変化している危機の中では困難なことがあります。これは、中心的な研究施設を失い、複数の場所にスタッフを分散配置することによってさらに困難になりました。科学的解釈を理解し、コンセンサスを得る前、あるいは少なくともそのような合意がまだ達成されていない認識があれば、発言しないという規律は重要です。

噴火対応に関与している可能性のある外部からの研究者は、科学的な対応努力に貢献はしても、危険にさらされている人たちを混乱させないという重責を負います。外から研究に訪れる研究者は地元の指揮系統を認識し、助言等はいくまでも個人的に行い、一般市民に向けて安全に関する情報を出すのがどの機関であるかということ混乱なくわかる状態にしておかなければなりません。

情報へのアクセス簡便性

情報を有益なものとするには、アクセス可能で、見つけやすい、または受け取りやすい必要があります。これは、ソーシャルメディアを含むコミュニケーションのためのすべての新しいツールを活用することを意味します。いくつかの団体では、噴火の近くの住民を含むソーシャルメディアが彼らに連絡する最善の方法であることがわかりました。そのため、キラウエア噴火中のソーシャルメディアの重要性はこれまで以上に高まっています。日々の電話メディアのブリーフィングやライブインタビュー、ダイレクトメールによるWebサイトの情報の発行は継続していましたが、私たちのスタッフの何人もがソーシャルメディア上で何時間も過ごしていました。

また、HV0は、噴火現場の近く、カルデラ崩壊が発生していた火山の頂上近くで、多くの公開会合を開催したり、参加したりしました。

これらの会議は、常に市民防災局や公共事業者、国立公園などの他の機関の代表者と一緒に開催され、各イベントの中心において市民と強く結びつく非常に強力な方法でした。特にパワーポイント資料で共有される情報は、火山で何が起きているか（科学者が何を観測しているか）、何が起こりそうか、人々が直面する危険性が何かを説明しました。これらの会合の時間を経て、私たちはよりよく成長し、市民の質問を予測することができました。すべての会議には一般質問のための最後の時間があり、人々がそれぞれの何が懸念事項であるかを訴える機会になりました。いくつかの会議のために配布資料が用意され、会議の内容を説明する特定のレポートがオンラインで掲載、またはハードコピーでの入手が可能になりました。地元のテレビ局は、会議に出席できなかったり、小さすぎる会場に入りきれなかったりした人々と情報を共有するために会議の様子を放送しました。

これらのタイプのイベントは時間がかかり、疲れるかもしれませんが、コミュニティとの信頼関係を構築し、科学者と当局に反復と説明を通じてメッセージを改善するよう要求します。また、どのような情報が不明であるか、より詳細に説明する必要があるのか、危険にさらされている人の懸念が当局には明らかでないのかを知る方法となります。

アクセシビリティとはまた、理解できる言語を使用することも意味します。専門用語を最小限に抑え、直接的かつ簡単に話すことが重要です。高度な技術的言語を使用するように訓練された科学者にとっては、これはしばしば困難です。科学者は、危険に関する簡単で明確なコミュニケーションを実践し、重要な情報を伝達するために必ずしも必要でない専門用語があれば互いに指摘して変更したりする必要があります。これは、コミュニケーションの精度が低下することを意味しません。キーメッセージをより伝えやすくなるのです。

情報の有益性

警報メッセージにおいては、人々は何が起きているのか、それがどのように影響するのか、それについて何をすべきかを知りたいものである、と社会学者が教えています。つまり、コミュニケーションにおいては、人々が安全であるかどうか、安全のために行動するための指針や方法を提供すべきです。米国では、これはしばしば「call to action（実施要綱）」と呼ばれています。時には、これは「情報を受け続けてください」または「市民局からの追加情報を参照してください」といった単純なものでもよいのです。また、「閉鎖地域に留まらないでください」、「自己避難に備えてください」、「灰に長時間さらされないようにしてください」など、各機関のガイドラインの中で非常に明示的にすることもできます。

これらのガイダンスの記述は、正確性および妥当性を保証するために、専門家によって慎重に検討されるべきです。

HVO では今年の夏の噴火とカルデラ崩壊の過程でこうした方針で声明を発表していました。さらに、私たちの書面でのメッセージには、さらに多くのWebサイトのリンク、さらには質問の連絡先情報が掲載されていました。また、次の公式通知がいつであるか、大きな変化はいつ起こるか（明日なのか？など）を、市民とメディアに知らせることもお勧めします。

各噴火事例から学ぶこと

キラウエア火山の活動が落ち着いてきましたので、今夏に何が起こったのかを見直し、次回にもっとうまくいくように学ぼうとしています。キラウエアは世界で最も活発な火山の一つであり、隣接するマウナロア火山も再び噴火するでしょうから、「次回の噴火」があることは絶対確実です。私は、2018年にコミュニケーションプログラムを検討して得られた多くの洞察が、マウナロア噴火に対するより効果的な対応に役立つだろうと考えています。

火山災害においてはあらゆることがうまく運ぶことはなく、何がうまくいっていないのかを特定することで、危機時に情報を伝達する方法を含めて、改善することができます。批判的に振り返って、次の噴火イベントで何がうまくいくかを文書化しておくことが重要です。それに続く「平時」では、火山観測所は、コミュニケーションプログラムの有効性を徹底的に評価するために、社会学者などの助けを必要とするかもしれません。

2018年噴火から学べる事例

全体として、HVOは、2018年のイベントでのコミュニケーションのために、多方面から高い評価を得ているようにおもいました。私たちのコミュニケーションのいくつかの側面がありました。今後我々が取り組むべきことをいかに挙げていきます：

*予想される結果事象の予測のより迅速な共有。

我々のレポートは、日本の研究者仲間を含む多くの科学者が関与するコンセンサスプロセスを通じて行われました。これには数週間かかりましたが、さらに激動の状況では、これでは遅すぎるでしょう。このプロセスはより速く行わなければなりません。

*予測における確率の使用。

世界中の火山学者やその他の警察当局の間で議論的となっている話題です。火山噴火対応においてそれぞれ異なる事象の発生確率を決定するための確立された、広く使われている方法論はまだありません。確率系統樹やその他のツールはいくつかの観測所で使用されていますが、公共のコミュニケーションツールとしてこのアプローチをうまく使っている人はほとんどいません。公衆（そして科学者さえも）が確率をどれくらいうまく理解しているか、そしてこのアプローチが「非常に起こりそうもない」または「非常に可能性が高い」などの定性的な用語を使用するよりも有用であるかどうかについて懸念があります。

*市民局の主要なニーズに対応する。

個人的な印象ですが、当局が常に科学者に対して最も答えを貰いたい質問をするとは限りません。あるいは、科学者によって提供された情報が有用でなかったり、または不完全であったりした場合に不満を示すこともないようです。おそらく、これは科学者が最もよく知っているということ、そしてそうした専門性と何か関連がある情報であれば、科学者ら自身が話すことになるだろうと考えているためでしょう。対照的に、市の幹部は必ずしも科学者が作業の過程で収集しない情報を必要とします。そして、科学者は、市民局が直面する圧力や制約を常に理解しているとは限りません。将来的には当局が、適切な意思決定をするために、HVOや他の観測所に対して知っておくべき情報を直接的に求めるようになることを願っています。

科学的専門家、市民局、ゲスト研究者、住民、および危険にさらされている他の利害関係者を含み火山災害に対応する際には、幅広く分散した責任のネットワークが生まれます。各グループの具体的な役割を理解して説明することは、誰が何をいつ、誰にするのかを、できるだけ危機以前に書面で文書化しておくことで、情報伝達のプロセスを合理化することができます。リスクのあるステークホルダーは、長期的な準備を支援するために事前に情報を得ようとするべきであり、危機の最中には適切に対応するためにメッセージを監視し続ける必要があります。これは、オフィシャルな情報の適時性、正確性、一貫性、アクセシビリティ、有用性に依存します。

結論として、キラウエア火山の2018年の噴火およびカルデラ崩壊の危機は、多くのステークホルダーに一連の危険情報を効果的に伝えるHVOの能力のテストの場となりました。私たちの災

害対応の多くは、長い間確立されたプロトコルと手順に従っていましたが、「火事場の馬鹿力」的に多くの発展をせざるを得ませんでした。これは理想的な状況ではありませんでしたが、多くの科学者とコミュニケーターの創造性と献身のおかげで、大成功となりました。

本多：ニール博士のプレゼンは以上になります。

司会：本多さんありがとうございました。

ご本人がいらっしゃらないので、ご質問をお受けできることはできませんが、先程映像によく出てこられたのが、HVOの所長クリスティーナ ニール博士でございます。

それではこれで、第1部を終了させていただき、ここから15分の休憩後14時55分から第2部を始めさせていただきます。

COMMUNICATION DURING THE 2018 KILAUEA ERUPTION CRISIS

Informal, prepared remarks by Tina Neal, Scientist in Charge, US Geological Survey, Hawaiian Volcano Observatory
4 October 2018

Aloha and thank you for the opportunity to speak about the extraordinary events of the summer at Kilauea Volcano in Hawaii. I am very sorry I cannot be with you in person. Please accept my sincere apology. I hope to see your beautiful Mt. Fuji in person someday.

In this short presentation, I wish to share a brief summary of what happened during the summer at Kilauea Volcano and speak about communication between scientists, particularly volcano observatory scientists, civil authorities, the media, and the public. I hope what I have to say is useful for you as you prepare for similar crises in Japan. Japan has already a great deal of experience dealing with volcanic eruptions and crisis response, and with each experience, it is my hope that we become collectively more effective.

BRIEF SUMMARY OF VOLCANIC ACTIVITY

Kīlauea Volcano on the Island of Hawai'i, receives mantle-derived magma into a shallow magma plumbing system below the summit. There, the magma is stored in a reservoir system. Magma may also be transported laterally up to tens of kilometers along the volcano's two rift zones: the east rift zone and the southwest rift zone.

Prior to April 30, 2018, Kīlauea had been erupting from a lava lake at the summit and another location at the Pu'u 'Ō'ō cone 20 km away down the East Rift Zone.

On April 30, the Pu'u 'Ō'ō cone collapsed and a magmatic intrusion began to propagate eastward into the lower East Rift Zone (LERZ). The first of what was eventually a system of 24 eruptive fissures stretching 7 km opened on May 3 beneath a residential subdivision, Leilani Estates.

Over the next three months, lava erupted from multiple vents, eventually focusing on one known as fissure 8 where a 100 m-tall spatter cone grew. At times, more than 100 m³ per second of lava poured from the ground. Eventually, 35.5 km² were covered with lava. 716 structures including hundreds of homes were destroyed and a 38-megawatt geothermal power plant was shut down and partially

inundated by lava. Gas output from the eruption site was significant: more than 50,000 tonnes per day of sulphur dioxide were measured at the height of the eruption.

The eruption also drained the Kilauea summit magma system, 40 km away, and prompted a step-wise collapse of the summit caldera by more than 500 at the center of subsidence. Most of the collapse occurred during discrete events that happened 30-40 hours apart separated by periods of calm followed by increasing numbers of small earthquakes leading to the collapse. Each collapse produced the equivalent of a M5.2-M5.4 earthquake and up to several meters of subsidence over a broad area. Ash and gas explosions occurred as the lava column receded into the volcano, eventually draining the lava lake from sight in mid-May.

Eruption intensity diminished dramatically in early August and summit collapse ended after the 62nd collapse event on August 2. At that time, a new collapse feature 3 km by 2 km wide and more than 500 m deep was present on the floor of Kilauea caldera. This collapse event was similar in some respects to the Miyakejima eruption in 2000. (Indeed, Hawaiian Volcano Observatory (HVO) scientists consulted Miyakejima experts during the crisis to discuss similarities and what wisdom we could apply to the Hawaii situation and help with our communication process.)

In the lower east rift zone, lava ceased flowing in to the ocean in late August, and lava was last active inside the fissure 8 cone in early September.

For the Hawaiian Volcano Observatory (HVO), this a case of response to three crises at once: an eruption, a caldera collapse, and the loss of our Observatory due to shaking damage and ashfall. This was unprecedented in the history of HVO and indeed any US volcano observatory.

Thankfully, no lives were lost during the eruption and collapse event and injuries were few. This is in part due to the nature of activity and rapid closure of areas most at risk of dangerous phenomena. But it is also due to ongoing communication and information sharing about what was happening, what the risks were, and how people could stay safe.

Now to address the nature of some of these communications.

In the United States, volcano scientists (such as those at USGS volcano observatories) speak directly to the public and the media about what the volcano

is doing and what hazards are present or anticipated. Civil defense authorities are also responsible for speaking to the public and media, more importantly, advising or ordering those at risk what to do. It is essential that the messages be timely, accurate, consistent, accessible, and helpful. This list of attributes is not new nor a unique listing. I recognize the many USGS and other science communicators from volcanology and other hazard sciences who have put forth this short list of key measures of effective messaging. Among them, I'd like to especially call out Don Peterson and Bob Tilling, both former Scientists in Charge at the Hawaiian Volcano Observatory, to whom I owe a great deal of gratitude.

TIMELINESS

Volcanic crises are by their nature complex and highly uncertain. And the science of volcanology has much to accomplish in order to increase the accuracy of forecasts of what will happen, where, and for how long. However for warnings to be effective, they must allow enough time for proper preparation and reaction. This means that when a volcano is restless, this information should be shared widely. Of course there is typically no guarantee that an eruption will occur, and that has to be stated, but authorities and the public are best served by early warning. In a sense, reminding residents and visitors that they are near or on a potentially active volcano is a long term warning. That information can be shared in long term hazard assessments and hazard maps, and my ongoing public education campaigns.

When activity escalates, scientists must quickly interpret changing monitoring data and issue information as soon as possible to explain the nature of the unrest and what can happen - all the possibilities - with as much detail as possible given the state of knowledge about that particular volcano and situation.

For Kilauea in 2018, HVO issued a public notice of a possible change in the volcano's state in mid-April. We ensured that local authorities such as civil defense and the National Park who would be responsible for evacuating citizens knew that the volcano was presenting a new threat.

Once collapse of Puu Oo occurred on April 30, HVO issued a public notice of potential eruption on May 1. Other public notices followed throughout the eruption as the situation changed. Information in the form of text messages sent by email and posted to our web site and social media were shared publicly at least once per day, and sometimes twice.

People want photographs and video in addition to words, and they want them fast. HVO worked hard to post and share a number of images and movies as soon as possible each day to keep the media and the public informed visually about what was happening. I think this assisted greatly in giving people a better sense of what the volcano was doing and what risks they faced. In addition, people around the world could follow the eruption. The challenge is that it takes a great deal of time, photographic resources, and infrastructure ready to handle large image and movie files and the massive number of images collected each day. Planning for how to accomplish this ahead of time is helpful. HVO did not actively seek photographs or videos of citizens, but in some circumstances this could be very helpful.

ACCURACY

Of course scientists want to and must be as accurate as possible in communications about volcanoes and volcanic hazards. Information should be true to the observations and data at hand, presented with clear acknowledgement of the level of uncertainty for each statement or interpretation. It is important to say directly when something is not known. I have found that the public is generally very understanding that there are limits to what is known with certainty about the behavior of volcanoes.

Some volcano hazards require expertise that are not normally working around volcanoes directly. At Kilauea for instance, the high gas levels meant that public health experts were central to the discussion of hazards. The US military became part of the response effort to help with security and to be on hand in case air evacuations were necessary. Other agencies arrived to assist with evacuees. New experts inserted into the middle of the response meant new challenges in communication to ensure that all authorities were speaking with one voice and that the right person or group was dealing with a particular issue. At times, this was very challenging.

CONSISTENCY

Consistency is critical when discussing the status of volcanoes and the nature of hazards. A lack of consistency can erode trust and create confusion among those at risk.

Ensuring consistency of messages requires pre-planning among the various groups communicating with the public and media during a crisis. Volcano scientists who are responsible for monitoring and providing information to civil authorities must

invest time in between volcanic crises to assist with smooth flow of information during a response. This means doing things outside a typical scientist role such as taking the time to meet with authorities well before a crisis to build trust and develop a sense of who has what role during a crisis. It is helpful to have a written plan for communication during volcanic emergencies – as well as during quiet times – so that the different groups are aware of each other's communication responsibilities and protocols. This is especially important when multiple levels of government are involved: local, state, and federal in the case of the United States.

During the 2018 Kilauea activity, HVO and the civil authorities often conferred directly and shared drafts of text messages prior to issuance so that we could be certain that the same information was coming from several government agencies. This was made easier during the main part of the crisis when HVO had a scientist embedded around the clock at the emergency operations center or headquarters for civil defense. That way, there was always a single point of contact for authorities wanting information and wanting to coordinate public communication.

Another challenge of internal communication is how to assemble field reports and all the other information coming in 24/7 during a crisis. With so many ways to communicate (radio, cell phone, satellite phone, text message, email) it is easy for communications and information to become fractured and incomplete. HVO tried several ways to deal with this and settled on an internet-based collaboration tool for all other scientists needing to know the information. Organizations would do well to anticipate this challenge for future crises and try to identify the best tool or tools ahead of time.

Internally, it is important that scientific agencies develop a mechanism to insure that the volcano observatory speaks with a single voice on the status of the volcano and its hazards.

This can be challenging during a crisis when things are changing quickly, as it was for HVO in 2018. This was made more difficult by the loss of our central observatory building, putting staff in multiple locations. Discipline to not speak before understanding the consensus scientific interpretation, or at least to acknowledge that such a consensus has not yet been reached, is important.

External researchers who may be involved in eruption response have important responsibilities to contribute to the scientific response effort but not confuse those at risk. Visiting research scientists should be aware of and respect the local chain of command, offer advice and counsel privately, so that the media and the public

know which agencies are the ultimate authorities for information pertaining to public safety.

ACCESSIBILITY

For information to be helpful, it must be accessible, easy to find or receive. This means taking advantage of all the new tools for communication including social media. We found that for some groups, social media was the best way to reach them, including residents near the eruption. So, more emphasis was placed on social media during the Kilauea eruption than ever before. While we continued to issue information on our web site, via daily telephone media briefings and live interviews, and by direct email, we had multiple scientists spending many hours per day on social media.

HVO also held or participated in many public meetings both near the eruption site and near the summit of the volcano where caldera collapse was occurring.

These meetings, always held with representatives from other agencies such as civil defense or public works or the National Park, were an extremely powerful way to reach citizens at the center of each event. Information shared typically with powerpoint gave a description of what was happening at the volcano (what scientists were observing), what was likely to happen, and what hazards people would face. Through time at these meetings, we grew better able to anticipate questions. All meetings had time at the end for public questions so that people could address their particular concerns. Handouts were prepared for some meetings, and specific reports describing the content of the meetings were posted on line or made available in hard copy. Local TV stations broadcast the meetings to share the information with those that could not attend or could not fit in the sometimes small spaces.

These types of events are time consuming and they can be tiring, but they build trust with the community and require scientists and authorities to hone their message through repetition and explanation. They are also ways to find out what information is not clear, what needs to be more thoroughly explained, and what concerns of those at risk may not be clear to authorities!

Accessibility also means using language that is understandable. It is important to minimize jargon and speak directly and simply. This is often hard for scientists who are trained to use highly technical language. Scientists need to practice simple, clear communication about hazards and help each other change words that are not necessary to convey the important information. This does not mean to

make communication less accurate. It is to make the key messages more accessible.

HELPFULNESS

We are taught by social scientists that in warning messages, people want to know what is happening, how it affects them, and what to do about it. That means that communications should offer guidance or ways for people to take action to be safe or remain safe. In the US this is often called a 'call to action' statement. Sometimes, this can be as simple as 'stay informed' or 'refer to additional information from civil defense'. It can also be very explicit, within the guidelines for each agency, such as 'stay out of closed areas' or 'be prepared to self-evacuate' or 'avoid prolonged exposure to ash'.

These guidance statements should be carefully reviewed by subject matter experts to ensure accuracy and appropriateness.

HVO messages offered such statements over the course of the eruption and collapse this summer. In addition, our written messages contained numerous web site links for further information, as well as contact information for any questions. It is also advised to let the public and the media know when the next formal notice will be given: tomorrow? When a significant change occurs?

LEARNING FROM EACH EVENT

With Kilauea Volcano now quiet, we are looking back on what happened this summer and try to learn what we can do better next time. We know with absolute certainty there will be a next time because Kilauea is one of the world's most active volcano and neighboring Mauna Loa Volcano will also erupt again, although we do not know when. I think many of the insights we will gain from examining our communication program in 2018 will help with a more effective response to a Mauna Loa eruption.

Nothing goes completely right during a volcanic crisis and by identifying what does go well and what does not, we hope to modify our response, including how we communicate information during a crisis, to improve. It is important to look back critically and document what can be done better in the next eruption event. In the 'peacetime' that follows, it may be that volcano observatories need to enlist the help of social scientists and others to rigorously evaluate the effectiveness of communication programs.

SOME POSSIBLE LESSONS LEARNED FROM 2018

Overall, HVO seemed to get high marks from many corners for its communication during the 2018 events. There are several aspects of our communication that I think could have been better. Two that occur to me are:

*more rapid sharing of a prognosis or forecast of likely outcomes; our written reports were done through a consensus process involving many scientists, including colleagues from Japan. This took many weeks and in an even more dynamic situation, this would have been too slow. This process must occur faster.

*the use of probabilities in forecasting; this remains a controversial topic among volcanologists and other warning authorities worldwide. There is not yet an established, widely used methodology for determining probabilities of different outcomes during a volcanic crisis. Probability trees and other tools are used by some observatories, but few have practice successfully using this approach as a public communication tool. There are concerns about how well the public (and even scientists!) understand probabilities and if this approach would be more helpful than using qualitative terms such as 'highly unlikely' or 'very likely'.

*addressing the key needs of civil authorities; it is my impression that authorities do not always ask scientists the exact questions they most want answered. Or, they do not indicate when information provided by scientists is not helpful or is incomplete. Perhaps this is due to an assumption that scientists know best and that if they knew something relevant, they would speak up. In contrast, civil authorities need information that is not always exactly what scientists gather in the course of their work. And, scientists do not always understand the pressures and constraints that civil authorities face. In the future I hope that authorities are more direct in asking HVO and other observatories what they need to know to do their work and make good decisions.

There is a broad network of responsibility when responding to a volcanic crisis that involves the scientific experts, the civil authorities, guest researchers, and residents and other stakeholders at risk. Understanding and explaining the specific roles of each group can streamline the information process by defining 'who says what, when, and to whom', information that should be documented in writing well before a crisis if possible. At-risk stakeholders should try to be informed ahead of time to aid in long term preparations, and during a crisis need to continue to monitor messages to respond appropriately. This in turn depends

on the timeliness, accuracy, consistency, accessibility, and helpfulness of official information.

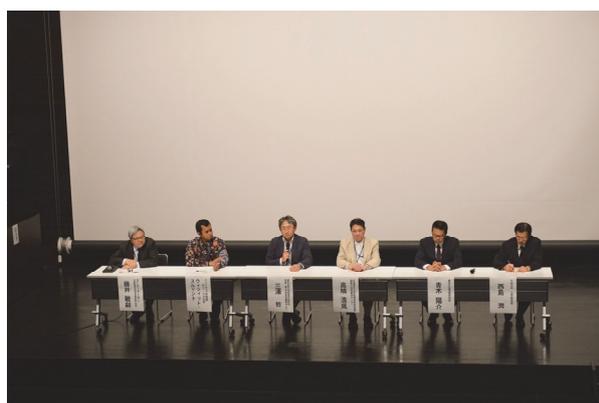
In closing, the 2018 eruption and collapse crisis at Kilauea Volcano tested HVO's ability to effectively communicate an array of hazard information to many stakeholders. Much of our response followed long-established protocols and procedures but much had to be developed in 'the heat of battle'. This was not ideal but thanks to the creativity and dedication of many scientists and communicators, it was largely successful.

【 パネルディスカッション 】

司会： それでは、ただ今より第2部のパネルディスカッションに入らせていただきます。第2部のパネルディスカッションは、「観測・監視による噴火活動の推移予測の難しさとはどのようなものであるか」、また「現時点でさまざまな観測項目にどの程度の検知能力があって、どのような難しさがあるか」ということについて、パネラーの皆さまと一緒に議論していきたいと思ひます。

それでは、パネラーの皆さまとコーディネーターを紹介させていただきます。まずコーディネーターといたしまして、山梨県富士山科学研究所の所長の藤井敏嗣先生にお願いしたいと思います。1人目のパネラーは、インドネシア、ガジャ・マダ大学教授のウィウィット・スルヤント先生、よろしくお願いいたひます。続きまして、東北大学教授、三浦哲先生、よろしくお願いいたひます。続きまして、北海道大学教授、高橋浩晃先生、よろしくお願いいたひます。次に、九州大学准教授、西島潤先生、よろしくお願いいたひます。最後に、東京大学地震研究所、青木陽介先生、よろしくお願いいたひます。

それでは、ご登壇された先生方と一緒にパネルディスカッションをさせていただきます。では藤井先生、コーディネートの方をよろしくお願いいたひます。



藤井： それでは、第2部のパネルディスカッションを始めたいと思ひますが、第1部のときに司会者が、フロアからの質問を遮って、残りにはパネルディスカッションで質問して下さいということは何人かの講師の講演に対して言われました。大久保先生はお帰りになりましたけども、第1部の講演に対して具体的な内容に関して質問がある方がいらしたら、まずそれを受け付けるところから、このセッションを始めたいと思ひますが、いかがでしょうか。どなたに対して

でも、今ステージにいる方々、あるいは最初に話をされた高田さんに対してでも結構ですが、何か質問がございますでしょうか。よろしいですか。それでは、特に具体的な質問はないようですので、パネルディスカッションのほうに移りたいと思ひます。

今日、壇上に上がっている方の大部分は、第1部で講演をしていただきましたけれども、お一人だけ、パネルディスカッションのみに参加しておられる方がいらっしゃいます。九州大学の西島先生です。先ほどフロアから、重力で地下水をどう探るかという質問がありましたが、西島先生は、それを専門でやっておられる方ですので、西島先生に自己紹介を兼ねて具体的にどうしているのか、あるいは重力観測でどういふことが分かるのかということをお話をいただきたいと思ひます。

西島： 九州大学の西島です。先ほど大久保先生が重力測定についてご紹介されていましたが、私がやっている研究は、今日の午前中ずっと火山の災害の恐ろしさということ、皆さん実感されたのではないかとと思ひますが、火山については別の側面から見ると、非常に膨大な熱を持っていて、私たちの生活に恩恵を与えてくれる面もあります。それは具体的に何かというと、温泉という形で現われてきます。ボイラーで温めないとお風呂に使えない温度の低いものから、200度から300度ある非常に高温のものまであります。

非常に高温のものは地熱発電という形で使うこととなります。私の専門は、地熱発電が専門になっています。ですので、地下にある温泉がどこにあるのかという視点で、火山の地下構造を研究しています。

それからもう一つ、先ほど水の話が出ましたが、温泉あるいは地熱発電所を長い期間で安定して使うというためには、たまっているところの持続可能性というのをきちんと評価する必要があります。重力の変化を使って、要は水の変化ですね。水を取り過ぎたら、たまっている量が少なくなるので重力が小さくなる。逆に、周辺から水が入ってきて増えると重力が増える。その増減を使って温泉の持続可能性を探るといような研究をしております。

先ほどありましたけれども、地下水で 2m ぐらい変化すると地表で重力として、深さにもよるんですけども、シグナルとしては十分出てくるぐらいです。地熱発電の場合は深さ 2000m ぐらいがターゲットになりますけれども、運転開始をすると非常に大きな重力変化が出てきます。こういったものは重力で捉えることが可能です。ですが、先ほど大久保先生の話にもありましたようにいろんな擾乱の要因がありますので、いろいろ難しい部分があるというのが現状です。

以上で私の自己紹介を終わります。

藤井：どうもありがとうございました。今西島先生から、先生の研究内容と重力との関係についてのお話をいただきました。パネラーとしてステージにいるほかの方がどういうことをやっておられるかというのは皆さんご承知のとおりだと思いますので、これから具体的なディスカッションに入りたいと思います。

本日のテーマは「観測・監視によって噴火活動の推移予測をどうするか」です。いろんな立場から、今日、第1部で観測についてのお話をいただきました。

青木さんからは、監視を行うためにはまず地球の内部がよく分からないと困る、地下構造が分からないところでの監視観測だけでは困るので、地下構造をきちんとさせるといことの重要性についてのご指摘がありました。

特に最近、日本で、今年の1月23日にもありましたけれども、水蒸気噴火というような、予知が非常に難しいと言われているものが何度か起こりました。2014年の御嶽山の噴火もそうでしたけれども、そういうものに対してどういう観測が必要なのか。難しいとは言いながら、きちんと監視・観測をやればそれなりの前兆をつかまえることができるということについて、高橋さんのほうから非常に精密な観測についてのお話がありました。

長く休んでいる火山でどういうことが起こって、何を調べれば噴火に関しての情報を得られるのかということについて、蔵王や東北の火山についてのお話を三浦先生からいただきました。

スルヤント先生からは、メラピやケルト噴火を題材に、噴火によって予測の前兆期間も違う中で観測所がどういうふうに情報を発信してくのか、それを人々の命を守るためにどう役立っているのか、さらには将来の噴火に備えて、子どもたちへの火山教育の重要性についての指摘をいただいております。

大久保先生はご存じのとおり重力観測の重要性についてのお話しでした。重力観測というのは実はマグマの移動を捉える唯一の直接的方法なんですね。地震計による観測も傾斜計による観測もその他の地殻変動の観測も、これは全て間接的な情報に基づいてマグマの動きを捉えるんですが、重力観測というのは唯一、直接的にマグマの動きを捉えることができます。もし地下水などの影響の補正がちゃんとできればという前提ではありますけれども。それについてのお話で、富士山で重力をやることの重要性についてお話をいただきました。

先ほど本多さんが代読をされましたけれども、ハワイの HVO、ハワイ火山観測所のニール所長が非常に詳しい、突然噴火に至ったような場所で、噴火の最中にどういう観測をやって、それを一般の方々にどう伝えていったのか。それから、先ほど本多さんは市民局と言いましたが、市民防災局というところとの役割分担についての重要性についてもきちんと説明をしてくれました。スルヤントさんの話と共通する部分がありますが、観測だけではなくて、観測結果をいかに住民に対して伝えていくかということに関しての難しさと重要さについての報告がありました。

これを全て、今日のパネルの中で議論することは難しいかもしれませんので、まずは火山監視あるいは観測ということが噴火活動の推移予測にいかに重要か、あるいはそれがどんなに難しいことなのか、だけどやらなくちゃいけないことなのか、というようなことについてパネラーの皆さんからご意見を、まずそれぞれの信念を語っていただけたらと思いますが、どちらからいきますかね。青木さんは地下構造の話がされましたけれども、実は彼は地殻変動を含めた観測もやっておられる方ですから、まず青木さんからいきましょうか。

青木：トップバッターということで、変な話をしてしまうとあれなんです。やはり火山の活動を時々刻々、地震や地殻変動や重力やガス、さまざまな方法で監視していくということは非常に重要であります、恐らく結果を解釈し国民の皆さんに伝えていくという点で、どんな観測も完璧ではないということですね。

要するに、重力の話で補正という話が出ましたけれども、見かけ上、何か重力の変化が起きているように見える、もしくは地殻変動が発生しているように見える、でも重力の計測値にはさまざまな補正が必要ですし、地殻変動の計測値にしても、例えば GPS なんかで測られた、衛星技術ですね。GPS とかレーダー、合成開口レーダーなんかで測られたデータには例えば、レーダー波が大気を伝わる時に屈折することによる誤差があったりと、非常に高度な目で見なくてはならないと。

そのような誤差があるということを考えて上で、これは見かけ上シグナルに見えるけどノイズですとか、そのようなことをきちんとお伝えするということが大事なことかなと。研究者サイドも、そのようなことを考えて起きている火山活動を解釈していくということが大事なことかなと思います。

藤井：ありがとうございます。今の青木さんの指摘は非常に重要な点で、先ほどのニール先生も同じようなことを言っていたんですね。測れば何でも分かるわけではないんです。観測をすれば全てが分かるわけではなくて、どこまで分かるのか、何が確実なことなのか、何が分からないのかということを実はきちんと伝えることが必要で、そのためにハワイの場合には、サイエンティストが一般の人たちと直接対応するという方法を取ったわけですね。

そういうことは本当に重要なことかもしれませんが、そういう点で考えると、例えば 2014 年の御嶽山の噴火のときの情報を含めて、水蒸気噴火に関する観測情報というのはなかなか分からないことがいっぱいあるのですが、それについて、高橋さんのほうから少し敷衍していただけますでしょうか。

高橋：高橋でございます。今日、私が午前中に雌阿寒岳の事例をご紹介させていただいたんですが、地下がこういうふうになってそうだというような、マグマというか、それをお見せしましたが、ああいうのがなぜ、あそこまで想像できるようになったかということ、雌阿寒岳は非常に噴火の回数が多いということです。なのでいろいろな経験をして、なおかつ、その場所である程度の観測網をきちんと整備してデータが取れたからこそ、おぼろげながら地下の構造が見えて

きたということになります。

水蒸気噴火に限らず、火山の研究を進展させるためにはどうしても、雌阿寒岳の場合は一つの火山でこの 50 年間に 7、8 回水蒸気爆発をしていますけれども、そういう事例は非常に少ないので、やはり一つの火山にこだわらず、いろんところで事例を積み上げていくということが、水蒸気噴火にしろ、火山の研究では非常に大事ではないかなと考えています。

少なくとも最近の 10 年間では飛躍的に、特に気象庁の火山の監視体制が拡充されてきて、例えば 2000 年の有珠山噴火が北海道であったのですが、そのときは気象庁の地震観測というのは実は 1 か所しかありませんでした。ですが、今は各火山に少なくとも 3 点とか 5 点とか、そういう地震の観測点、他の観測もそうですけれども、そういうものが整備されるようになってきたということもありますので、きちんと一つ一つの噴火のデータを取って行って、そこで何が起こっていたのかということをはっきりと、きちんと丁寧にそういう事例を積み上げていくということが一つ大事だと思います。

次のステップとしては、実況ですね。今、一体何が起こってそうなのかという実況を何とかできるようにしていく。そういうトレーニングを、先ほどティーナ所長も言っていましたけれども、事前にいろいろな想定をしてきちんとトレーニングをしておくことが大事だと。HVO は世界でも最も火山観測が進んだ観測所として知られていますけれども、その所長も今回の噴火でそういうのが一つの経験だということを知っていますので、そういう形で事前にきちんと想定をした上で、今我々が持っているデータで一体どういうことまで見られるのか、そういうのも含めてきちんと事前に検証しておく。

そして、最近には豊富ないろいろなデータが得られていますので、それをきちんと少なくともリアルタイムで実況できるような、大学に限らず、特に気象庁のほうでそういう体制をきちんとつくって経験を積み重ねていくような、今そういう状況じゃないかなと考えております。

藤井：ありがとうございます。確かにハワイの火山観測所と日本とはかなり状況が違って、ハワイの場合には、あそこにサイエンティストが 20 名、常に詰めているわけですね。その周辺に技術者集団がいる。そういう環境は日本の中にはどこにもないのですが…。

それとニール博士が言っていたことの中に、サイエンティストの間で意見を調整して、シングルボイスで聴衆に対して答えていくということが強調されていましたけれども、そういうことが可能でしょうか。つまり、今の大学のように研究者が日本中にばらばらでいて、各大学に 1 人か 2 人しか研究者がいないというところで、大学がその役割を担えるかどうかということについて、高橋さん、少しお願いできますか。

高橋：非常に難しいご質問ですが、皆さんご承知のとおり、今大学の観測所は非常に厳しい状態になっておりまして、北海道大学でも 20 年前は火山観測をしているスタッフは 5 人おりましたが、恐らく近い将来、3 人ぐらいまで減ってしまうと。半分とまではいきませんが、3 分の 2 ぐらいになってしまうということになりますので、やはりマンパワー的な部分を考えると、アメリカの USGS がやっているような体制というのは難しくなっているだろうとは思っています。

ただし、難しい難しいということばかり言ってもしょうがないところはありますし、ひと昔前に比べれば、例えばデータの流通も、インターネット回線が非常に発達してきたということもあって、昔は画像のデータ等を例えば九州から北海道に送るといったのは技術的に非常に困難だったわけですが、現在はそういうことも非常に簡単にできるようになってきています。

そういう意味では、近年のインターネット回線の向上等をうまく使うことによって、データを

いろんな機関で共有することで、人員が足りない部分等をうまくカバーするような、そういう技術的な部分でフォローしていくというのは一つあるのかなとは思いますが、ハワイにしろ、あるいはロシアにしろ、イタリアにしろ、日本より、大学も含めた火山監視体制というのは格段に違うということはあるので、今後どういうふうに持続的に火山の研究観測を進めていくかというのは、よく考えていくことが必要だろうと思っております。

藤井：ありがとうございます。かなり難しい話を最初に振ってしまいましたけれども、日本の火山防災あるいは火山監視・観測の体制というのは、決して世界一流ではないということを理解していただきかったです。

本来あるべき姿というのはどこにあるのか。一つは HVO みたいな組織ですし、あるいは、イタリアに INGV という国立の研究機関、監視機関がありますけれども、そういうものが一つの手本になるのではないかと思います。日本ではまだそういうものはありません。

なぜそういうものが必要か。一つは、火山というのがしょっちゅう噴火しているのであれば、そこに研究者はみんな寄ってくるんです。研究対象になりますから。ですから研究も進むんです。ハワイがそうですけれども。ところが三浦さんが紹介されたような東北の火山というのは、数百年ぐらい休んでいて突然活発になったり、それが収まったかと思うと別の火山が活発になる。普段は非常に静穏な火山がある。そういうものを監視するというか、観測を普段からやってないと、噴火したからそれ測れといっても、何が異常だったのかということすら分からない。

そういうことについて三浦さんはいろいろな悩みを抱えられていると思いますが、そのあたりのことを少しお願いできますか。

三浦：高橋さんが紹介された北海道の雌阿寒の事例は、比較的頻繁に噴火が起きているので観測事例が豊富ですので、その時々観測された事象と過去の事例との比較がしやすく、モデル化もやりやすいと思います。私からすると大変うらやましい状況だと思います。

一方、蔵王山は最も最近でも 1940 年の噴火で、当然ですが当時は近代的な観測がなされていなかったわけで、その前後で何が起きたかも分かっていないのが実情です。ですから、休止期間の長い火山では経験あるいはデータの積み上げがないため、今後ある現象が観測されたとしても、それがもつ意味や噴火サイクルにおける位置付けを的確に判断することが非常に難しいわけです。

講演の最後のほうでご紹介しましたが、北大の橋本先生によって、これまでの国内のいろいろな火山の研究から推定された山体膨張の圧力源の深さと変形速度の相関関係が明らかにされたように、異なる火山でも共通する物理過程が存在することも示唆されていますので、火山の比較研究が上記のような問題を解決していくことにつながる可能性があります。

先ほど藤井先生が仰いましたけれども、このような地道な研究を積み上げていかないと、次の噴火が起こるのかどうかといった予測や判断にはなかなか結びつかないだろうと思います。そういうモチベーションで、我々としては観測を続けていくことになろうかと思います。

藤井：ありがとうございます。日本の場合には桜島のように毎日噴火をしている火山から、東北の火山のように数百年休んでいる火山、もちろん富士山もそうですけれどもこの 300 年以上、全く噴火が起きていない火山もあるわけです。だけど、その噴火はいつやってくるか分からないですね。

長期的な予測というのが非常に難しい中で、でも噴火が近づいたときには、それがいつ来るかということをしてできるだけ早くにつかみたい。それをやるのが実は物理観測なんですね。歴史的な事実をいくら積み上げていっても、次の噴火を予想するというのは非常に難しいけれども、噴火

のきっかけになっているかもしれないという事実をつかみあげるのが、今日お話ししたいいろんな手法による物理観測です。

それをいろいろなところでやっていかなくちやいけないですけども、一つは、我々のお手本になるのがインドネシアの例です。特にメラピだとかケルトという活発な火山については、昔は **Volcanological Survey of Indonesia** だったりいろんな名前が使われ、その後も名前が時々変わりましたが、今の名前は **CVGHM**（火山および地質災害減災センター）というところが総括的に火山を監視して、観測によって得られた情報を防災局のほうに渡すという形で火山防災を成り立たせているんです。実はインドネシアはオランダの植民地であった時代から、火山に関しての観測情報をずっと積み上げてきて、それが今いろんなところで活かされています。先ほどスルヤントさんが不幸な例をご紹介くださいましたけど、ほとんどの場合、メラピの噴火に関しては、あらかじめ予兆を観測して避難勧告をすることができている。一体どうしてそういうことが可能だったのかということ、スルヤントさんから何かサジェスションがいただけますでしょうか。

スルヤント：ありがとうございます。2010年の噴火に関しましても、成功のうちに避難をさせることができました。ビデオの中でも言いましたが、犠牲者のほとんどは、そこにいたかったわけです。ですから、政府が住民たちに避難を呼びかけましたが、彼らは嫌だ、ここにずっととどまるんだ、と言っていました。これが大きな問題になっています。

2010年のメラピの噴火の場合は、非常にはっきりとした予兆がありました。というのは、爆発的な噴火であったからです。それまでの噴火は非爆発的噴火でした。非爆発的な噴火では、まず溶岩ドームが成長し、その溶岩ドームが崩落して、火砕流が発生します。2006年以降、メラピ火山で非常に大きな地殻変動が観測されていました。山体膨張が続いたのです。

それで当局は、非常に大きな噴火になるだろうと考えまして、噴火の2週間ほど前に警報をだしました。既にその時点で住民に対しまして非常に強い噴火が起きる可能性があるので、注意するようにと呼びかけました。そして、ちょうど噴火の前日ですけども、政府から、とにかくすぐに周辺の村から避難するようにという勧告を出しました。住民はそれに従いました。そのおかげで犠牲者はほとんど出ませんでした。死傷者は避難先から家に戻ったときに発生しました。たくさんの人たちが、11月5日の2回目の噴火で犠牲になりました。

インドネシアには火山および地質災害減災センターがあり、そこに多くの科学者たちがいますけれども、インドネシアには非常に多くの火山がありましてモニターしなければいけません。実際、多くの科学者たちがいて、ほとんど毎日、とにかく毎日、一生懸命観測をしています。科学的な研究という点では十分ではありません。特に火山の内部構造を理解するという点に関しては十分な研究は行われていません。

ですから、メラピ火山についても、火山の内部構造に関するモデルははまだできていません。そのために、どのような噴火が将来起きるのかというのなかなか予測できないでおります。

藤井：どうもありがとうございました。インドネシアではメラピのように非常に活発な火山に関しては、いろんな前兆現象を捉えてうまく避難に結びつけるということができているわけですが、今インドネシアの **CVGHM** のことをご紹介いただきましたけれども、ついでに **CVGHM** と大学の研究との関係について、特に大学の研究者と **CVGHM** との関係はどうなっているのか教えていただけたらと思います。

つまり、日本では火山の研究者の大部分は大学にいますね。気象庁は観測機器で監視をし

ていますが、研究は大学が行う。それが他の国と日本とで大きく違うところなんですけれども、インドネシアの場合には、大学と監視機関である CVGHM の関係はどういうふうになっていますでしょうか。両者の関係は有効に働いていますか。あるいは大学の研究者が CVGHM に異動したり、あるいはその逆があるのか、ということに関してはいかがでしょうか。

スルヤント：両者の関係は非常に良好であるとまず申し上げます。実際、非常にいい関係が大学と CVGHM の間にあります。

CVGHM はバンドンの防災センターですけれども、時として、ここのデータの共有ということに関しては結構、複雑な問題があります。2010 年以降のことですが、既に申し上げたように幾つかの水蒸気噴火がありました。これはやはり予測が難しいわけです。このようなメラピ火山の水蒸気噴火の前兆現象は非常にまれです。そもそも前兆現象を特定することが難しかったんです。今年初めから大学と CVGHM の関係が特に良好になりました。メラピ山が 11 回水蒸気噴火をした後で、大学の研究者が招聘されて、CVGHM のほうからこれだけの情報がありますと共有していただいて、一緒に前兆現象を突き止めましょうという話になりました。ですので、より良い関係になってきたと思います。

われわれの理論的な観点を実際の観測データに適用することができるようになると、将来的には問題解決につながるのではないかかと思っています。

藤井：インドネシアの例をお伺いしたのは、実は先ほど三浦さんが仰ったように、最近では気象庁による監視のレベルが高まって、データをたくさん出す、それが日本中に流通するようになった。大学と気象庁や防災科研が観測したデータが、大学の研究者との間でかなりよく共有できるようになったという事実があります。そのような事情がインドネシアでどうなっているかということをお伺いしたかったんです。若干の問題はあるけれどもデータ共有はちゃんとやられているようだということで、お互いの関係は更に良くなるだろうということでした。ただ、日本の場合には研究者は大学側にいて、気象庁側は技術者が主体を占めるという状態で、CVGHM にはたくさん研究者がいるという点で、ちょっと状況が違うかなという気がします。

その中で、気象庁が測っているいろんなデータを大学の研究者がどういうふうに料理するか。それを単に論文にするだけではなくて火山防災に活かすためには、気象庁との間のコミュニケーションも非常に重要になるわけですから、そのあたりのことに関して、この中では予知連関係者は三浦さんだけですかね。三浦さんはどういうふうにすればいいとお考えでしょうか。

気象庁のせっかくのデータを活かすためには、どういうふうな体制が望ましいのか。体制でなくても、研究者側はどういう姿勢を取ればいいのかということに関して少しお話をいただければと思いますが。

三浦：確かに今お話に出ましたように、気象庁のデータあるいは防災科研のデータにつきましては、ほぼリアルタイムで私どもの大学にも流れてくるような状況になっています。我々は研究をメインにしてやっていますので、例えばいろんな現象が起きたときの解釈について研究を進めているわけですけれども、現状、正直に申しますと、それをきちんと気象庁のほうに伝えられているのかなと、伝わっているのかなということ振り返ってみると、必ずしもそうはなっていないかもしれないなということです。これは自戒の念も含めてなんですけれども。

最大の問題は、全く別の機関であるため、どうしてもコミュニケーション不足という弊害が出てしまっているのかなという点です。これについては大学側から、なるべく気象庁の職員の方々と機会をつかまえて議論をしたいと考えています。一方で我々のほうも時間的制約もございます

ので、なかなか理想的な状況にはまだほど遠いのかなというふうに思います。

最近、各県の火山防災協議会や内閣府の会議等でのような会議に出席して思うことは、諸外国の火山防災を所掌する機関、例えば米国の USGS や、イタリアの INGV あるいはインドネシアの CVGHM もそうなのですが、防災対応機関と調査研究機関が、場合によっては一体化しているような体制をとっていて、コミュニケーションが非常によく取れているように思えます。そのへんが今の日本の火山防災体制において、大きな問題になっているということを最近特に感じているしだいです。

ご質問のお答えとしては、まだまだ我々大学側の努力も足りないですし、気象庁の側も最新の研究成果を積極的に取り入れようとする姿勢といったようなものがまだまだ十分ではないような気がしております。以上です。

藤井：ありがとうございます。議論を引っ張っているつもりはないんですけども、どうも変な方向に持っていくそうなので、当面はそのくらいにしておきましょう。

実は火山観測・情報発信をどこが担うかということについては非常に問題があります。例えば先ほどから議論にもなりましたが、有珠の 2000 年の噴火のときに、北海道大学の有珠火山観測所が実にきちんとした情報伝達の役割も果たしました。その前の 1990 年から 95 年にかけての島原の雲仙普賢岳の噴火のときには、九大の島原観測所が前面に立ってコミュニケーションに努めたわけですね。それを見た火山を抱えている日本中の自治体の人たちは、ああいうホームドクターが欲しいと。自分のところにホームドクターがなぜいないんだ、ホームドクターをつくれということをいろいろなところで言うておられます。

実はそれは非常に難しい話で、日本で今、大学が観測所を持っている火山は限られていて、特に人が常駐している大学の観測所は 5 つの火山にしかないんですね。北海道の有珠と本州の草津白根と、あとは九州に飛びます。阿蘇山と島原、それから桜島、これだけしかないんです。気象庁は 50 の活火山を常時観測火山として監視していますが、実は大学の研究者が常駐している観測所があるところは 5 つしかなくて、ホームドクターの役割を果たすはこの五つ以外にはとても難しいですね。

ホームドクターのいる火山を 50 まで拡充するということはおよそ不可能なので、それではどうしたらいいのかということについて、実はここにいる研究者に意見を聞きたいところなんですがね。普段、火山とは直接関係ないかもしれないけれども、いかがでしょうか。西島先生はどういうお考えをお持ちなのか。

西島：私たちも大分県の九重火山の観測をやっているんですけども、実は普通の教育と二股でやっているの、人はどんどん減っていてとても手が回らない状態なんですけれども、とにかく人手が欲しいですね。何とか 1 人でも協力していただける方、特に現場で計測するのに人手が要るので、大学だけだと難しいので例えば地元の方に手伝っていただくとか、そういうのができるといいなというふうには考えています。

藤井：確かに、観測所を構えているわけではないけれど、九重をやっておられたんですね。すみません。青木さんはどういうふうに思いますか。

青木：観測については、日本の場合は効率が悪い部分が多いと思うんです。例えば地震のデータをとっても、気象庁あり防災科学技術研究所あり大学ありと。

USGS のニール所長が「ワンボイスで何かあったら話す」という、それは非常に重要で、日本でもそうすべきで。それは恐らく、例えば気象庁がワンボイスの一つの声として機能するのは

いいんですけど、肝心のデータがいろんな機関で管理されていて、その流通がたとえうまくいっているとはいっても、それぞれの機関でそれぞれにデータの世話をするというかお守りをするというか、そういう人がいますから、そういう意味で人の無駄遣いになっているかなと。

そういう部分をだんだんと変えていって、データの管理する機関としてもなるべく一つに統一していくと。できれば USGS のようにデータを管理する機関、それから研究者が同じ機関で物理的に近い場所において、常に交流できるような体制をつくっていく必要があると思います。

ただ、それは非常に遠い未来の話で、いろいろな障壁をクリアしなければいけないわけなので、さしあたりは、私は大学の人間ですけれども、大学と気象庁、大学と防災科学技術研究所のコミュニケーションを密にしていくと。とりわけ東京の場合は、我々大学と気象庁の関係がちょっと、ややもすれば遠い関係になりがちかなという、自戒も込めてありますので。ただ、例えば北海道の北大さんなんかでは、気象庁との関係は非常に密だと聞いておりますので、我々もそれを見習わなくてはいけないかなというふうに思います。

藤井：高橋さんのお考えはいかがでしょう。

高橋：ホームドクターの問題ですけれども、先ほどご紹介がありましたように、北海道大学は有珠山の近くに火山観測所があって、2000年の噴火のときはそこに岡田所長がいたんですが、彼がいろいろ、北海道の場合は道庁とか、あるいは市町村とかそういうところと、非常に密なネットワークを持っていたということがありました。

もう一つ、北海道の場合は北海道の防災会議というものがあります。北海道の防災会議の特に火山の専門委員というのは歴史的に非常に綿密な関係があるということで、そういう意味で行政との非常に強いコネクションがあったという条件があったので、ホームドクター的な役割が果たせんじゃないかなというふうに思います。

それは、非常に個人のパーソナリティーの問題というのに大きく依存するというのもありますので、2000年のときは確かに、そういう形で行政あるいは住民の方と非常に良いコミュニケーションができたんですが、果たしてそれが今後もできるかと問われると、人員の問題もありますので、なかなか難しいのではないかなというふうに考えています。

そういう中では、一つ一つの火山で対応するというのはやはり人的に非常に難しいので、気象庁、札幌の場合は札幌管区気象台ですけれども、あと北海道庁と緊密な関係をつくっていくというのは、これは火山に限らず、地震のほうも非常に重要だというふうに考えておまして、札幌管区気象台と北海道大学は、火山の場合は3か月に1回、地震の場合は毎月、合同の検討会を開催して情報交換を行うというような体制を取っておりますし、余談になりますけれど、毎年野球大会をやって職員の親睦を図るというようなことをやっています。

北大対気象台の野球をやるんです。そうすると学生さんたちも、気象庁ってこういうところだっということがよく分かって、最近では、気象庁がどういうことをやっているかというのが分かった学生さんが気象庁に就職するという事例も、昔に比べると非常に増えるような形になっていますので、関係機関同士の連携をきちんと取っていくというのはいろんなベースになるんじゃないかなと考えております。

藤井：どうもありがとうございました。遠い将来には青木さんが言うように、例えばイタリアあるいは CVGHM、あるいは USGS のように、国の一つの機関の中に研究者も、観測をする技術者も1か所に集まったような形で日本中の火山を監視していく、観測していくということが必要だと思います。けれども、青木さんに言わせればそれは遠い将来のことだということですので、そ

れが実現できていない今は大学側と気象庁なりがもっと密接なコミュニケーションが必要かなというふうに思います。

北大と札幌管区気象台が今、そういう関係を試行錯誤しておられて、日常的な人間関係も含めていろいろなことをやろうとしているというのは非常に重要な試みだと思いますが、将来はやはり青木さんが仰ったような一元的な形を見据えながら、現状では気象庁と大学との連携を進めていくということが必要なのではないかと思います。

時間がだいぶ迫ってきましたので、監視をする機関と研究をする機関との関係ということについては今、日本の実情と他の国との違いということをご理解いただけたと思いますから、もう一つの課題として、監視・観測から得られた情報をいかに行政や国民に伝えるかということがあります。このことに関して、先ほどハワイの HVO の例でニール博士が強調しておられました。

シングルボイスで住民に伝えるべきであるということと、研究者の中での十分なディスカッションの後にシングルボイスで伝える。それから、行政との間もきちんとした議論が必要だということをおっしゃられました。行政は必ずしも研究者の言うことを理解しているわけではないので、そのギャップをきちんと埋めるべきだということも言われましたが、スルヤントさんはインドネシアでかなりそういう機会に遭遇されていると思いますが、何か我々にサジェスションがありますか。あるいは、ニール博士とほとんど同じようなご意見をお持ちなんですか。

スルヤント：はい。インドネシアの場合、当局 CVGHM とコミュニティ、それから BNPB という国家防災庁、あるいは地方防災局との間の関係は結構密になっています。ですので、毎月のフォーカスグループ・ディスカッションをしたり、そして科学的な観点から情報を共有したり、できるだけ平易な言葉で説明するように、分かりやすく説明するようにしています。

それから、メディアも招待して、特にジョクジャカルタのメラピの観測にあたっては特別なメディアのための部屋が用意されています。そこにいていただいて、何か質問があれば、科学的な問題について、あるいはその他の問題について、火山について質問があれば回答してもらえるようになっています。それがとてもいいアイデアになるんじゃないかと思います。メラピ山の活動が活発化したら、メディアを通じて情報を一般の人たちに向けて発信してもらうことができる。そして意識してもらうことができるようになっています。

藤井：どうもありがとうございます。インドネシアでは特にメラピを抱えているところには、地元で観測所がありますので、そのサイエンティストが住民に対して、あるいは行政に対して適切な助言を与えているということでしたが、日本の場合、さっきから議論してきたこととも関連するのですが、大学の研究者がどこまで関与すべきかということに関しては非常に難しい問題を抱えています。たぶん意見がいっぱいあって、それがみんな違うんですね。研究者は、業務として自分の本来やるべきことは研究と教育であって、なぜアウトリーチあるいは社会に対して自分が責任を持って喋らなければいけないんだ、という意見をお持ちの方も結構いらっしゃる。

ところが、例えば USGS は国の機関ですので、ちゃんと国民に対して説明をするという義務があるわけですね。そのあたりが、大学が中心となっている日本の火山防災という火山監視、火山観測のシステムとの間にはかなりギャップがあると思うのですが、そのへんについて三浦さんはどうお考えでしょうね。

三浦：大変難しい問題なんですけども、私自身も恐らく社会との対話という意味では非常に慣れてないということがあります。リスクコミュニケーションについてはもちろん訓練もされていま

せんし、これまで積極的に関わろうとしてこなかったのが実情です。ご指摘のように、研究と教育というこの二つの分野でこれまで生きてきたということもあるんですけども。

もちろん研究者によってはリスクコミュニケーションが非常に上手な方もいますので、そういう方はそのことを活かして、積極的に社会とのコミュニケーションを取っていただくことは大変結構なことだと思います。一方で私みたいに不得手な者に関しては、その部分を補助していただけるような仕組みがあれば、私としては大変助かると思っています。

特に社会科学系の先生方とこれまで以上に議論を深めていくことを通じて、当面はその方々の手を借りて社会に対して発信する一方で、我々理学系の研究者もリスクコミュニケーションのスキルを磨いていくというような仕組みを構築していければ、私としては大変ありがたいと思います。

個人的レベルでは、いろんな機会をつかまえて、そういう先生方の仰っていることを吸収して、今日 USGS の所長さんが仰っていたようなことが、自分としてもある程度できるよう努力していくことは必要であろうと思っています。以上です。

藤井：ありがとうございます。三浦さんが言われたことは、ニール博士自身もやっぱりこの間の危機管理の問題で悩んでいることだったんですね。

サイエンティストの間だけで通用する専門用語で一般に話しかけてしまう、あるいは行政に話しかけてしまうと、それは決して理解をされない。もっとコミュニケーションの技術の確立した社会学者を入れることも考えなくちゃいけないということを彼女は言っていましたけれども、そういう一般とのコミュニケーション、易しい言葉で、誤解のないように正確に伝えるという技術が本当は必要なんだろうと思います。

それを大学の研究者に求めることが本当にいいのかどうか。先ほど三浦さんも疑問視されましたけれども、私自身はかなり難しいんじゃないかなという気がします。特に最近いろんなところで話題になっていますが、日本の大学は非常に困難な状況に追い込まれているわけですね。研究費は少ない、人間は減らされるという中で、さらに研究のレベルを上げて、なおかつ社会とのコミュニケーションまで責任を持つというのは、これはちょっと過剰な要求ではないかと。私は今大学を離れていますから勝手なことが言えますが、ちょっとこれは行き過ぎではないでしょうか。

むしろ先ほど青木さんが言われたような一元的な組織に向けて、早急にそういう体制を国としてつくることを加速しないと、お互いに潰れてしまうのではないかと思います。大学の研究もそのうちできなくなってしまって、研究のレベルもあまり上がらないのに、コミュニケーションばかりやらされるということにもなりかねない。そういうことはたぶん、大学の人間からはなかなか言いにくいし、言っても信じてもらえないかもしれない。

むしろ、今日ここにいらっしゃる一般の方に、大学はそういう事情を抱えているんだということを理解していただく必要があると思います。この状況を放置していると、最後に降りかかってくるのは一般の方たちに対してなんです。どこかで火山噴火が起こって、そのときに正確な情報を迅速に手に入れられなかったとしたら、もしかしたらそのために被害を受けるかもしれない。そうだとすると、もっとちゃんとした組織を、あるいは体制をつくるべきだということを皆さん方がちゃんと理解をされて、それをいわば世論として、国に対して要求をしていくということが本当はあってほしいなと思います。

ここでみんな一生懸命、大学にいる研究者が観測に時間を割いているのは、自分が知りたいか

らです。基本は好奇心でいろんな研究をやっているんだけど、人の命を救うためにも努力をしなくちゃいけないと思って、不得手なことでも一般の人や行政とコミュニケーションを取ろうとしている。でも、そればかりにおんぶをしていたんでは、火山防災としてはたぶん駄目ですね。

今は日本の火山活動は非常に静かな状態ですからまだいいかもしれませんが、これがいつまでもつか誰も保証できない。富士山は300年をもう過ぎていますから、いつ来るか分からない。あらかじめ、例えば10年後に来ることが分かっていたら、それなりに順番に備えていればいいですけども、そうではないので、観測もきちんとやらなくちゃいけないし、コミュニケーションのための技術習得もちゃんとやらなくちゃいけない。

それから、インドネシアの例を紹介されましたけれども、スルヤントさんが、次の世代に備えて子どもたちに正しい火山防災教育をきちんとやって、彼らが火山災害に遭わないように正確な知識を与えるということが重要だ、ということをお話の中でお話になりましたけれども、そういうことも考えなくちゃいけない。

それを、今壇上にいる大学の人間だけに押し付けるだけでは駄目だと思います。ぜひ日本の火山監視・火山防災の現状をご理解いただいて、もっといい、しかも社会の安全のために役に立つような体制の実現に向けて、皆さんのほうから声を上げていただきたい。特に行政の方も含めてですね。というふうに思います。

私がいびき喋りすぎました。時間はあと1、2分残っていますが、パネラーの中で何か付け加えるべきご意見はございますでしょうか。よろしいですか。それじゃ、フロアから何かご意見はございますか。

質問者：産総研のスマタと申します。話の進行の中で一つ違和感があって、まるで研究者というのは大学と防災科研にしかないというふうに聞こえてしまって。むしろ、今日も自治体の研究機関である山梨県富士山科学研究所というところが主催してメインにやっているというところで、例えばその役割がすっぽり抜けているような形で議論が進んでいるように思います。また、ホームドクターだ何だという話のところも、なぜその自治体の研究機関が役割を果たし得ないのかなとか、そういうふうな違和感を持ったのですが。

藤井：ありがとうございます。実は半分、意図的にそうやったんです。研究にあたる大学あるいは防災科研と火山監視を担う気象庁という対立構造を強調しようと思ったのです。

実際には、日本の中にはさまざまな国立研究機関がある。産総研も一つです。火山防災に関して、地球化学的な手法で火山を監視するというのも、ほとんど産総研に集中している。かつては大学にあったんですけども、それがみんな産総研に吸収されてしまったという事情があります。

それぞれ専門的な役割を果たしているのですが、ばらばらの省庁に所属している。特に、一番違うのが産総研で、これは経産省なんです。他のところは国土交通省か文科省なんですね。その違いがあるんですが、本来は、そういうかつての国研と呼ばれるようなものが一体化することが必要で、青木さんが言われた将来像というのもそういうものを指していると思います。

つまり、それぞれの専門分野で火山に対応できるような人たちを集めた一つの機関が必要で、それに向けて今動くべきだと思います。現状としてはそれが成立していないので、各機関の間のデータの流通を通じてなんとかやろうとしているわけです。今年の春に内閣府で火山防災研究の連携体をつくるべしという報告がなされましたけれども、ようやく将来的な構想に向かって1歩踏み出ししかかったところです。

すみません、ちょっと私の偏見に基づいて進めてまいりましたけれども、本来あるべきことは、

例えば内務省に所属する USGS のように、あるいはイタリアの INGV のように、あるいはインドネシアの CVGHM のような、国が責任を持つ、研究者と監視・観測を行う部分が一体化した組織だと思います。それと同時に、住民に対するコミュニケーションをうけもつ組織、インドネシアの場合、正式な名前は忘れましたが防災局のようなものですね。ああいうものと、両方が本当は必要なんだろうと思います。

というところで時間が来ましたので、まとまりがありませんが、私の主張を聴いていただいたところで、パネルディスカッションを閉じたいと思います。どうもありがとうございました。

司会：藤井所長、パネラーの皆さま、どうもありがとうございました。これにて第 2 部のパネルディスカッションを終わりにしたいと思います。では先生方、ご降壇ください。

長時間にわたり、我々どもの国際シンポジウムを拝聴いただき、ありがとうございました。結びに、山梨県富士山科学研究所、上小澤始副所長より閉会の挨拶をさせていただきたいと思います。副所長、よろしくお願いいたします。

Moderator

Now, we would like to start second part, panel discussion. We will be looking at the challenges of predicting eruptive activities through observation and monitoring and to what extent do we need to accuracy in detection performance for each observation factor. I'd like to invite our panelists; first, the coordinator of the panel discussion from MFRI, Director, Dr. Toshitsugu Fujii.

The very first panelist, I'd like to introduce is Professor Wiwit Suryanto from Gadjah Mada University in Indonesia and then from Tohoku University Professor Satoshi Miura. We also have professor of Hokkaido University, Hiroaki Takahashi and associate professor, Professor Jun Nishijima of Kyushu University and Earthquake Research Institute of the University of Tokyo, Professor Yosuke Aoki.

So, we will start the panel discussion. I'd like to ask Dr. Fujii to proceed for the panel discussion.

Toshitsugu Fujii

Yes, we would like to begin the panel discussion. In the first part of the program, moderator said that the audience can wait their questions up to the panel discussion. So, I'd like to start off with accepting questions. Already Dr. Okubo left, but we have other speakers with us. I'd like to invite questions on the presentations we heard in the first part. Any questions from the audience, from the floor?

Please identify to whom you're asking the question. You can ask questions to the very first speaker, Dr. Takada. Any question, please?

Since there aren't any questions at this point in time, we will begin the panel discussion.

Majority of the panel members has already made presentations but there is only one person who did not speak this morning, who is Associate Professor Jun Nishijima from Kyushu University. One of the questions from the floor in the first part of the symposium was how we can understand the groundwater with gravity measurement. And, that is his specialty. So, I'd like to ask Professor Nishijima to introduce himself and also discuss just briefly what his research is all about.

Jun Nishijima

Thank you. I'm Nishijima from Kyushu University. Dr. Okubo talked about the gravity measurement early on. My research as opposed to volcanic disasters,

we've been discussing this morning. Now, volcano has a gigantic heat source. There is also the positive aspect of that heat. Specifically speaking we do enjoy hot spring and spa, that is low temperature spring water that we actually heat up with boiler. Sometimes, we get very high temperature spring, 200-300 degrees, which is usually used for geothermal heating, geothermal power, that is my specialty.

Where the heat source, hot spring is located, that's the question that I tried to answer by identifying internal underground structure. Geothermal power plant needs to be operated stably on the long-term basis. We need to assess sustainability of the heat source, in other words, the groundwater. If you pump too much groundwater, gravity goes down. If there is additional supply of water, there will be increasing gravity. We actually look at the gravity variation to try to understand the sustainability of hot spring.

Now underground water, when the water level changes about 2 meters depending on the depths, we will be able to identify clear signal through gravity change. For geothermal production, the depths 2000 m will be the target level. There will be a major gravity change when the groundwater level changes. As Dr. Okubo discussed, there will be disturbances that influence the groundwater and gravity. That would be present the challenge of our research. Thank you very much.

Toshitsugu Fujii

As Associate Professor Nishijima introduced his research, basically relations between ground water and the gravity. So, we already know who our panelists are in front of you. Without further ado, we would like to start our panel discussion. The theme we set today is, how we forecast the volcanic eruption based on observation and monitoring. There were presentations made from different fields in the first session. Dr. Aoki mentioned that we need to understand internal structure of volcano to be able to forecast the eruption, and the importance of understanding internal structure for the purpose of highly accurate observation. This January 23rd, we had a phreatic eruption which is a type of eruption we find difficult to predict. Ontake 2014 eruption was also a phreatic eruption. It is very difficult at present, but if we carry out careful observation and monitoring, we may be able to identify precursor even in such a phreatic eruption, which was presented by Professor Takahashi in his talk about the high precision observation.

On the long dormant volcanoes, what do we have to observe and what we can detect, Professor Miura talked mentioning about volcanoes in Tohoku district. Professor Suryanto talked about Merapi volcano and Kelud volcano as examples. He said that although the duration of precursors is variable, it is important how we

should interpret scientific information and translate that to public information to prepare citizens to respond to this crisis . He also emphasized the importance of educating citizens, especially children.

As you know, Professor Okubo emphasized the importance of gravity measurement. That is the only direct method to understand magma movements. Tiltmeter or seismometers are all indirect measurement. They gives us indirect information about movement of magma, but gravity is the way to directly understand the magma level if we can actually carry out precise correction. So Professor Okubo also talked about the importance of gravity measurement at Mt. Fuji. Also, Dr. Honda read out the statements presentation written by Professor Christina Neal, the head of HVO, USGS. When there is abrupt eruption at Kilauea, what type of observations being made and how that information is communicated to citizens? There were mentionings about different roles played by civil defense agency.

Professor Suryanto and Dr. Neal's presentation have something in common, that is, the importance of communicating scientific information to citizens in a very brief and concise, easy to understand manner. It will be very difficult for us to cover all of these issues in this limited time, but starting with observation and monitoring, how they are important to forecast volcanic activity. We know they are very difficult, but we need to carry out the observation and monitoring.

I'd like to invite comments from each panelist about the importance of observation and monitoring starting with Dr. Aoki, who talked about the internal structure of volcanoes. He also observes deformation of the ground as well. So, let's start with Dr. Aoki.

Yosuke Aoki

Thank you very much. Volcanic activities, if we're looking at gravity as well as deformation and other ways, if we are to observe volcanic activities through all these different methods, probably, we need to interpret the observed data and communicate that to the general public. Of course, whatever we do it, it will never be perfect. We heard about compensation in gravity measurement, but under surface, we might see some changes in the gravity or we may feel that some sort of crustal deformation is occurring where we need to adjust what we've measured. We need to compensate that. We might look at GPS technology, use of the satellite images as well as the EDM measurements. The radar waves, as they travel through atmosphere, it would be deflected and therefore it causes some errors. We need to understand all that and understand the errors as well. We need to incorporate such errors and understand that maybe this looks like some changes,

but actually it is a noise. We need to be able to communicate that to the general public. The scientists also need to keep in mind of those things as we try to interpret the observed data.

Toshitsugu Fujii

Thank you very much for that. Dr. Aoki has pointed out something very important. I believe, Christina Neal also said something very important. She also said that there is always something incomprehensible even if we made careful observation. How much will we be able to understand, what is it that we don't understand or know, that also needs to be communicated to the public. In case of Hawaii, the scientists directly communicated to the citizens.

I believe that is one very important point. So from that perspective, as we do not understand the phreatic eruption so well, the information that was provided at the 2014 eruption of Mount Ontake was not sufficient, of course.

I'd like to ask Professor Takahashi to explain a little bit more about the phreatic eruption.

Hiroaki Takahashi

Yes, thank you very much. I'm Takahashi once again. During the morning, I took the example of Meakan Dake to explain. I tried to explain what is happening under the ground which led to happenings or events of aboveground. Why is it that we can now imagine that Meakan Dake had many eruptions? Therefore, we had a lot of experience. We have been observing the mountain for a very long time. Therefore, we had a lot of data to begin with. That is why we were able to understand a little bit about the underground structure. Now, not just phreatic eruption but when we carried out research on volcanoes, in the case of Meakan, we have been focusing on one mountain for 50 years, which erupted 7-8 times, but that's a rare case.

We need to observe many different volcanoes, so that we can gain experience and understand the mechanisms. I believe that's very important when it comes to observation of volcanoes. Just recently in the past 10 years or so, especially the JMA observation of volcanoes has expanded. For example, after the Mount Usu eruption in Hokkaido in the year 2000, there was only one observation point of the meteorological agency, but now for all volcanoes around Japan, we do have three or more points of observation. Now, finally, we have many devices installed on these mountains. So, it's very important that we get data on each eruption to try to understand what actually happened. We need to accumulate these past experiences.

As a next step, understanding what is happening on real-time basis and try to train ourselves to grasp that. We believe Professor Christina Neal talked about that as well to have some assumptions, train ourselves. HVO is one of the most advanced observatories when it comes to volcanic activities, but even the director at HVO is saying that this Kilauea eruption was another part of their experience. So, you need to have assumptions and try to understand what we can learn based on the data that we have at hand. We need to verify the data later on. Nowadays, we do have a large amount of data, but we need to try to use that so that we can grasp on a real-time basis what is happening. Not just at the universities but we hope that meteorological agency can also do that so that we can accumulate experiences.

Toshitsugu Fujii

Thank you very much. The HVO, the Hawaii Volcano Observatory and the Japanese volcano monitoring system may be quite different. In the case of Hawaii, they have about 20 resident scientists at the observatory. Then, they also have the supporting technicians, but here in Japan, we don't have such a team anywhere you go.

Dr. Neal talked about having a single voice among scientists and also the authorities so that information can go out into the public as a single voice. Do you think this is possible in Japan where we have many scientists gathered around mostly in the university, but you only have one or two experts in each university? Do you think the universities can be able to provide a single voice to the public, Professor Takahashi?

Hiroaki Takahashi

That's a very difficult question, but as you all know, university observatories are now in a tough situation, at Hokkaido University also. Twenty years ago, we had 5 people for observing the volcanoes, but probably in the near future, it would go down to just 3 people. It's not half but just two thirds of where we were. In terms of manpower compared to the USGS, it's going to be very difficult to do the same thing as they are doing.

However, we can't just say what is difficult to do compared to about 10 years ago, the data flow because of the Internet connections becoming better. In the past, for example, image data if you get it in Kyushu and sending that to Hokkaido, it was a very difficult. However, nowadays, you can transfer image data very easily. Because of the development of Internet, we can share data better among different organizations. So even if we have a lack of manpower, we can utilize technology

to overcome that lack in human resources, albeit Hawaii or Russia or Italy. They have better teams to observe volcanoes compared to Japan. So, how are we going to continue in a sustainable manner the research of volcanoes, that is something we need to think hard about in Japan.

Toshitsugu Fujii

Thank you very much. I believe I gave you a very tough question from the outset. I think all of you have understood that the Volcano Disaster Management and volcano observation in Japan are not ahead in the world. We are far from the ideal. Maybe, having a team like HVO is the best or like INGV in Italy having a national institute might be a model that we can follow. However, right now that is not possible in Japan.

Now, why do we need such system? Because if volcanoes are erupting all the time, the researchers will be attracted because it is a very good subject to make research and that would also advance the research just like in the case of Hawaii. But just as Professor Miura said, the volcanoes in Tohoku region go quiet for a few hundred years and suddenly they may become unrest. Then, it becomes quiet, and other volcanoes start being unrest. To understand the whole sequence of such unsteady volcano, we have to monitor the volcano all the time daily, well, we need to do that; otherwise, we can't even recognize any precursors until the eruption starts. I'm sure Dr. Miura you have many concerns, could you like to elaborate that?

Satoshi Miura

Prof. Takahashi talked about Meakandake, which has frequently erupted, and then provide us rich experiences and data. These accumulated data are useful to compare with ongoing phenomena occurring around the volcano and to construct a model to interpret the volcano. Conversely, the last eruption of Zaozan volcano occurred in 1940 and needless to say, didn't provide any volcanological data through any modern observation system as we have now. So, we don't even know what happened at that time. Volcanos with long rests don't provide accumulated data or experience. Even though we observe one kind of a phenomenon, we don't know what is linked to. As I talked towards the end of my presentation, Prof. Hashimoto of Hoakkaido University showed clear correlation between the depths of pressure sources and the deformation rates by compiling the previous studies of Japanese volcanoes suggesting that some common physical processes exist even for different volcanoes. Comparative studies may be clue to understand the volcanos with long rests.

Toshitsugu Fujii

Thank you very much. So, in case of Japan, Sakurajima is erupting every day. While, we also have volcanoes in Tohoku region which had been dormant for several hundred years just like Mount Fuji which has been quiet for the past 300 years, but we don't know when the next eruption will come. Long term prediction is very difficult, but once the eruption is imminent, we need to grasp when that eruption will occur. That is done by physical observation. No matter how much the historical record is accumulated, it's difficult to predict when the next one will come. But it's necessary that we need to grasp the on-going phenomena that could lead to the next development. To achieve this, instrumental observations are necessary and we need to do that in many aspects.

One thing is that our model could be the case of Indonesia, particularly Mount Merapi or Kelud. Indonesia has national organization which used to be called Volcanological Survey of Indonesia and now it's called CVGHM. This is the organization which is observing volcanoes comprehensively and hand the information to the disaster prevention authority.

Indonesia have been accumulating all the data on volcanoes since it was the colony of the Netherlands. Those accumulated data are now utilized. Dr. Suryanto, you talked about a very unfortunate case but in case of Merapi, you had the precursors and were able to issue evacuation order. Why are you able to do this, any suggestion to us professor?

Wiwit Suryant

Thank you very much for the questions. Yes, for the case of 2010 eruption, we can say that successfully we could evacuate the people. As I explained in the video, most of the victims are the people that they just want to stay there. Although, the government asked them to evacuate it, they say, no, I will live and die in this land. This is our problem actually. The case of Merapi in 2010, is very clear precursor because it is supposed to be explosive comparing to the previous one which is effusive. The effusive was following by the dome growth of the volcano and then collapses as pyroclastic flows and since 2006, then we show a very increase deformation of the flank of the Merapi volcano.

Then, the authority was afraid that it will be a bigger eruption, so they have the alert for about 2 weeks before. They already asked the people to aware about the possibility of very high explosion of Merapi volcano and please be prepared. Then, one day just before the eruption, there was information from the government that the people should leave the villages around the volcano. All the people followed this and obeyed this. There were almost no victims there. Some victims they got when they went back to their home. This is the second eruption in Merapi volcano.

A lot of victims had happened in second eruption in 5th of November. As you said that in Indonesia, we have the center of volcanological agency, which is lot of scientists in this agency, but we have a lot of volcanoes to monitor. Although, there are a lot of scientists but almost every day they are very hard working in the daily basis of observation. For the scientific research, it's only a few especially for understanding the internal structure of the volcano. Including Merapi, until now, we still have unclear model of the subsurface. This also makes very difficult to predict what kind of eruption that will happen in the future of Merapi volcano. Thank you very much.

Toshitsugu Fujii

Thank you very much. In Indonesia, for the active volcanoes just like Merapi, they have been able to capture precursors and utilized them to issue evacuation orders. It is CVGHM of Indonesia you talked about. Could you please tell about the relationship with the CVGHM and the research of universities, especially about the relationship between university researchers and the staff of CVGHM? In case of Japan, most of the volcano researchers would stay in universities and JMA monitor volcanoes by their own observation instruments. I think that's the major difference between Japan and other countries. In case of Indonesia, the university and CVGHM, what is the relationship between these two organizations? Are they working effectively or it may happen the researchers in the universities shift to the CVGHM or other vice versa happens?

Wiwit Suryanto

The relation is fine. Actually, we have a good relation between the university and the CVGHM in Bandung, but sometimes considering the data, it's quite complicated for sharing with the university. It's after 2010, as I've explained in the presentation that we have several phreatic eruptions. As you know that it's quite difficult to predict, so at that time until now, the precursor of the Merapi activity is very few. So, it's very difficult to find the precursors. Just starting this year, I think we have more good relation with them. At that time, after the 11 eruptions of Merapi, they invite us as scientists from the universities to come to their office and they share everything to us, so please help us to solve the problems to find the precursor and so on and so. I think in the future, our relation is better and better and hopefully we can just use our theoretical point of view to the real observation data to hopefully you can solve the problems.

Toshitsugu Fujii

Thank you very much. It's the Indonesian experience that we just heard. As Dr. Miura said early on, recently in Japan, JMA has been able to advance the

observation technologies and has collected large amount of data, which is now widely shared. JMA observation data is more widely available to university volcanologists and researchers. I just wanted to understand what's that situation there in Indonesia. Prof. Suryant explained sharing has been done in a healthy manner in Indonesia, too, and the relation between Universities and CVGHM has been getting better.

Having said that in Japan, a lot of researchers belong to universities and JMA is mostly consist of engineers. They are two separate groups. Therefore, the nature of the relation may be a bit different, I feel. The JMA measurement data has been shared by university researchers. Now it is a big issue how that's going to be dealt with by volcanologists at universities. Just writing papers using those data is not enough for the mitigation of volcanic disasters. In relation to that, I think Professor Miura who belongs to the coordinating committee for the prediction of volcanic eruption would give us some comment. It's a very important data the JMA has. In order to make the best use of that data, what sort of organization or attitude the researchers should have, can you talk about this?

Satoshi Miura

It is true that data from JMA and NIED is transferred to universities and shared basically in real time. Since we university stuff focus on research to interpret observed phenomena taking place inside the volcanos. Honestly speaking though have we communicated the research results to JMA, it is not always the case. We need to actually change that. The biggest problem we have is that we are divided into completely different organizations. There is always lack of communication. Universities are trying to share knowledge with JMA taking every possible occasion. We wish to have more frequent discussion. On the other hand, we have time constraints. It's far from the ideal relations that we have with JMA.

A section of the cabinet office, which is responsible for volcanic disaster prevention, has surveyed the systems of research and disaster mitigation for volcanoes in foreign countries such as USA, Italy, New Zealand and Indonesia. Their report showed that organizations are integrated both for research and disaster prevention in the most of these countries. In the case of our country, however, many sections of each ministry of government agency including universities have partial responsibilities and promote them almost independently. This is a big problem.

Toshitsugu Fujii

I am not trying to guide the discussion to a certain direction. There is no intention, so I would like to set this discussion aside.

There is an issue of who will be responsible for volcanic observation. During the Usu 2000 eruption, Usuobservatory of Hokkaido university was successful in communicating the information. Between 1990 and '95, during the Unzen Fugen Mountain eruption, Shimabara volcano observatory of Kyushu University actually led the communication. Experienced these two cases, the other municipal governments where volcano existed wanted to have a similar researcher, that is, a home doctor, supporting them.

I understand they want to have their own home doctor for their volcanoes. However, it's very difficult in reality. University volcano observatories is located in Usu, , in Kusatsu-Shirane, Mountain Aso, Shimabara, and Sakurajima, only 5 locations. JMA are actually monitoring 50 volcanoes constantly but out of them, only 5 locations have university observatories. Expanding that to all 50 volcanoes will not be realistic. What should we do? I'd like to invite the opinions from researchers who are here today, maybe, not directly involved with volcano monitoring. Associate Professor Nishijima, what is your opinion? What are your thoughts?

Jun Nishijima

We are looking at Kuju Mountain in Oita Prefecture. We carry out monitoring. Aside the education, we constantly have lack of human resources. We want more people helping us especially those who are helping us in making infield observation, on-site observation, maybe from local community that would be nice if I can find somebody who would be helping us.

Toshitsugu Fujii

I did not remember that you were involved with Kuju observation. Now, Dr. Aoki, what is your opinion?

Yosuke Aoki

When it comes to observation, there is inefficiency in Japan. I think of seismic data, there is JMA, there is scientific center, there are universities, there are multiple groups that are involved. Dr. Neal from USGS said there should be one voice and this is something that we need to do in Japan as well. If JMA could lead all of these organizations, we can form one single voice. Having said that, there are diverse data that are managed differently by multiple organizations. Even when we have good communication, data taken by each individual organization will be different. There are people in each organization that have to take and collect data. That's where we need to change. As data management organization, we have to have one single united organization. If possible just like USGS did, the

organization that manages data should also have researchers and at least have researchers close by so that there will be constant smooth communication between them.

However, that may only happen in the faraway future after we clear many hurdles, but for the time being and since I am from university, the universities and meteorological agency and also NIED, the National Disaster Management Center, should communicate well and frequently and also in Tokyo the university as well as the meteorological agency's relationship is quite far apart. But the Hokkaido University has a very close relationship with the meteorological agency, so I believe universities in Tokyo need to do better.

Toshitsugu Fujii

Thank you very much, D Takahashi please?

Hiroaki Takahashi

Yes, home doctor, being a family doctor to the volcano. As was mentioned, Hokkaido University does have an observatory close to Mount Usu and in the 2000 eruption, Dr. Okada was the head there. He communicated with the prefecture as well as the municipalities around the mountain. He had a good network. Also, in the case of Hokkaido, Hokkaido's disaster management council, they also have volcano experts and the researchers have a close relationship. Therefore, back then, we did have a very close relationship with the local government. Probably that is why the university was able to function well as a volcano family doctor. It was really based on the personality of the people at the observatory back then. So, in 2000 yes, there were close contacts with the municipalities as well as the citizens are being able to do that. Now and into the future, we do have problems of manpower. It may be very difficult to repeat the same.

For each volcano rather than looking at individual volcano and trying to deal with the situation individually because of manpower, it's going to be difficult, so you have to have the meteorological agency and also the local observatory. In Hokkaido's case and also Hokkaido government, we need to have a close relationship with these organizations, not just for the volcanoes but also for earthquake issues. The Sapporo Observatory for volcanoes every 3 months and also on earthquakes every month we do have study group meetings to exchange information. Every year we have also a baseball contest so that we can build a good relationship among the staffs. So it's again between the local JMA versus Hokkaido University. At these times, students would also come and they would be able to understand what the meteorological agency is doing. Also, students may

want to find a job at the agency after these exchanges. Therefore, having these opportunities are very important in building the basis of good relationships.

Toshitsugu Fujii

Thank you very much for that. In the faraway future as Dr. Aoki says, maybe, like INGV in Italy where like CVGHM and also like USGS in the United States, we could have experts that can get together in one place to observe the volcanoes around Japan. Dr. Aoki is saying that it's not going to happen very soon. Right now probably universities and JMA at least should have good and close relationship. Hokkaido University and on the Sapporo local observatory of JMA is trying to build good human relationship among themselves. I believe that is a very important endeavor. Like Dr. Aoki said, we should continue what we're doing today so that we can have better relationships and better mechanisms in the future.

In order to understand the volcanoes, both functions of the research organizations and the monitoring organizations are necessary; however, the relationship between the two in Japan is a bit different from other countries. I hope everybody understands that.

Another issue that we face is, how to use the data gathered from monitoring and observation so that it could be communicated to the government and also to the public? HVO in Hawaii, Christina Neal, has emphasized the importance of doing that. Communicating in one voice and also having the researchers discussing among themselves before communicating the contents in a single voice. Also, it was pointed out good discussions are necessary with the local government. The government may not be able to totally understand what the researchers are saying. There needs to be efforts trying to fill in the gap. I believe, Professor Suryanto, you have also faced such situation in Indonesia, so are there any suggestions that you can give us here in Japan? Maybe, you share opinion with Christina Neal but any suggestions for Japan?

Wiwit Suryant

Yes, in Indonesia, it is very good relation between the two agencies, the CVHMG and the community through the agency of hazard mitigation, BNPB and BPBD in the regional scale. So, they have like monthly focus group discussion among them and share the information from the scientific point of view. They try to explain in the plain language, so it's hopefully easy to understand. Also, they invite usually the media to join. Especially, in Jakarta, in Merapi Observatory they have a special room for the media, for the press so they can stay there and they can ask anything about the, like scientific issue or anything else about the volcano. I think this is

very good idea to do. Whenever the activity of the Merapi Volcano occurs, then they can wisely share the information to the public so not make them worried but make them aware of this. Thank you very much.

Toshitsugu Fujii

Thank you very much for that. In Indonesia, especially for the Merapi Mountain, you have a local volcano observatory belonging to CVGHM. Also, the researchers/scientists there can communicate appropriately to the local government as well as the general public. Here, as we have been staying in Japan's case, there are many different opinions among university volcano researchers on how much researchers can get involved in communication because researchers or university people think that they should be involved in research and also education. Why is it that we need to be the ones to speak to the public? There are many people who think in that way, but USGS that is a national organization; therefore, they are mandated to speak to the public. I believe here in Japan, where the universities are the center of volcanic study and observation, there is this big difference between what we see in the United States and Japan. So now, I'd like to ask Professor Miura about what your thoughts are?

Satoshi Miura

That is a very difficult problem, but I myself am not very good at communicating with the public. I have never been trained to do it, since I have been focusing on research and also education. Yes, depending on the researcher, there are many people who are very good communicators. Maybe, they can utilize their skills and try to actively get involved in communicating with the public. I believe we would need a system to help us to cover-up for what we lack. I'm hoping that we can speak to good communicators who will be able to communicate to the public more efficiently. However, I know that this can't be done easily, so I should seize every opportunity to try to observe what other people are doing. Just as the Director of USGS said, I hope that I'll be able to do what she said by myself. Thank you.

Toshitsugu Fujii

Thank you. What Professor Miura said was also shared by Director Neal that was a concern in dealing with this eruption crisis there are some scientific jargons which only scientists can understand. If you use those words to administration or to the public people, you will never be understood. She also said that maybe she has to involve the social scientists in this risk communication. Their communication with ordinary people in plain language to be able to communicate without causing misunderstanding is very important. But is it correct to demand that to the university researchers? I myself believe that is quite difficult particularly these

days, we often talk about that the Japanese universities are in very dire situation. Research fund is being slashed and manpower is decreasing. On top of that to raise the level of the research and also try to be responsible to the communication with the society probably it is too demanding.

I no longer work for universities, so I can say whatever I can, but I believe that they're demanding too much universities. I believe we should have the organization that Aoki-san mentioned before. It is important that the national government creates such a system in a short time or accelerate creating such a system to facilitate university researcher to do so. Otherwise, all sites will be lost because the quality of the research wouldn't go up, but they still have to continue with the research with less manpower. University researchers don't easily speak out because they fear that they may not be believed, but I hope that the people here today will understand that this is the situation the universities are facing. It's the ordinary people, the general public that feel that impact because if they cannot get the accurate information in case of the volcano eruption, then they will be impacted.

In order to avoid that, it's really important to have an accurate and solid system. I hope that general public will understand that need and create a public opinion and demand that to the national government. I think that is how it should be. The researchers in the universities are really working hard because they want to know something new. Basically, that motivation comes from the curiosity. It is the curiosity that drives their research, but to save the lives of people, they are also working very hard. Although, they might be not good at it, they're trying to do the communication as well. But we cannot just ask everything and depend everything on the university researchers. Right now, the Japanese volcanoes are quiet these days, but we don't know until when this will last because 300 years had past in case of Mount Fuji since the last eruption.

If we know that the next eruption will come 10 years from now, where we can make preparations toward that but that is not the case. We have to do the monitoring. We have to do the observation. We also have to scale up our communication skills. And there was case of Indonesia as Dr. Suryanto said that for the next generation, it's important to provide accurate education for the next generation so that they will not be victimized by the volcano eruption. It's important to give them accurate information. That's also what we have to think about too. Just to demand that to the university researchers who are on the panelists today, I hope that the general public want to understand the situation of

the volcano disaster prevention and try to make a contribution to create a better system that serves for the disaster prevention.

I think I talked too much. What about the timekeeping? We still have 1 or 2 more minutes. Anything to add amongst the panelists? Are there any panelists who would like to add something more? No? Then any comments from the floor? Yes?

Male Questioner

I'm Sumita from AIST. During the process of talk, I felt something different. It seems that researchers are only in the universities and also the other organizations, but today this symposium was organized by the MFRI. It seems that the role of such a local research institution is completely missed here. You talk about the home doctor, but why doesn't this local organization can play that role?

Toshitsugu Fujii

Thank you very much for your comment. Actually, I said so intentionally the contrast between universities and JMA. I was trying to exaggerate the contrast to show clearly the present situation of the Japanese system for the mitigation of volcanic disaster.

Certainly, in Japan there are many national research institutes working for volcano study. AIST is the one and mainly using the geochemical approach. Geochemical approach is almost concentrated on the AIST, and rare in universities. These national research institutes including AIST are playing different roles and belong to different ministries AIST is under the METI. Other research organizations are under MEXT or Ministry of Land, Infrastructure, Transportation and Tourism. That means Japanese system for mitigation of volcanic disaster depends on the cooperation of many different ministries. I believe such cooperation may not work so well, especially in case of volcano crisis. Such national organizations or institutions should be integrated into single organ. I believe that future that Dr. Aoki mentioned as the best image is something like that. So, we need to have an integrated organization. Right now, we don't have that yet. We are trying to facilitate the distribution of the data amongst the research institutes of different ministries and agencies. There was a talk about creating some partnership of the organizations. We're just moving toward that step. I'm sorry. I have been saying a lot of things with my own bias.

I believe that Japan should have a single national research institute for mitigation of volcano disaster just like INGV in Italy, USGS in USA or just like CVGHM in Indonesia. Also we should have ministry or agency which defend the public people from disaster. In case of Indonesia, I forgot the name, but there is an

administrative organization that make the risk communication to the people. I think that's what we need in Japan.

We are running out of time. I am sorry I have been really fragmented but thank you very much for listening to my thoughts and session. We would like to end this panel discussion.

Modetator

Dr. Fujii and panelists, thank you very much. With this, we end the second part, panel discussion. Now panelists please get off the stage.

Thank you very much for coming to this symposium. It has been a long day and in conclusion Hajime Kamikozawa, Deputy Director of MFRI will make a closing remark, please.

【 閉会の挨拶 】

上小澤 始（山梨県富士山科学研究所 副所長）



上小澤：本日は長時間にわたり最後までご参加いただきまして、誠にありがとうございました。本日のシンポジウムは「火山モニタリング観測と火山活動予測」と題しまして、火山観測のさまざまな先進事例を紹介していただきまして、その重要性と火山予測の難しさにつきましてお話をいただきました。改めて火山研究の重要性を認識したところがございます。またパネルディスカッションにおきましては、それぞれのご専門の立場から活発なご意見をい

ただき、非常に有意義な時間を過ごすことができました。主催者として深く御礼を申し上げます。

講師の先生方には大変お忙しい中、遠路、来県していただき、貴重なご講演をいただきまして、誠にありがとうございました。また、ハワイ観測所のニール所長が急きょシンポジウムに参加できなくなり、皆さま方には大変ご迷惑をおかけしたことを改めてお詫び申し上げます。

本研究所では研究成果を発信するため、さまざまな公開講座やセミナー、研修会を開催しております。今後も新たな科学的知見を基にした公開講座などを積極的に開催していきたいと考えておりますので、皆さま方にはどうかご参加をお願いしたいと思います。

最後に講師の皆さま方、ご参加の皆さま方に感謝を申し上げますと共に、このシンポジウムの成果をそれぞれの活動の中で活かしていただけることを願いまして、簡単ではございますが閉会の挨拶とさせていただきます。本日は誠にありがとうございました。

司会：上小澤副所長、どうもありがとうございました。

これをもちまして「山梨県富士山科学研究所国際シンポジウム 2018—火山モニタリング観測と火山活動予測—」を閉会させていただきます。どうもありがとうございました。

Hajime Kamikozawa

Thank you very much for attending this symposium. It's been a long day. I understand. Now, this symposium was about the volcanic monitoring and observations for the prediction of the volcanic activity at many cases. I believe that you have been able to understand the difficulty of the observation and monitoring. I hope that you understand the importance of the monitoring the volcanos. Thank you very much also for the panel discussion has been a very meaningful occasion. I'd like to thank as an organizer the panelists. Thank you very much for coming to the symposium despite your very busy schedule. Also, Dr. Neal of USGS, she certainly was not able to come and I like to apologize that as an organizer. To disseminate the results of research, we are making and organizing many seminars and lectures. We hope to increase such occasions and I hope for your participation. Last but not least, I'd like to thank once again the panelists and presenters. I hope that we all will be able to utilize what we learn today. With this, I'd like to end my closing remark. Thank you very much indeed.

Moderator

Mr. Kamikozawa. Thank you very much. With this, we end this MFRI International Symposium 2018, Monitoring and Observations for the Prediction of the Volcanic Activity.

講演要旨集

(Abstract)

富士山はどんな噴火をしてきた火山なのか —地質学的なアプローチからわかっていること—

高田 亮

(国研) 産業技術総合研究所 研究員

富士山は、太平洋プレートの沈み込みで生じたマグマが、フィリピン海プレート内を上昇噴出した国内最大級の玄武岩質成層火山である。先小御岳、小御岳火山を覆って、約 10 万年前より活動開始し、多数の爆発的噴火で成長し、山体崩壊を伴い、裾野に火山麓扇状地を広げた。約 2 万年前に山体西側が崩壊した田貫湖岩屑なだれの後、山頂から爆発的を繰り返し再成長し、山麓に多くの長大な溶岩流を流した、8000 年前頃からの活動低下期を経て、5600-3500 年前に活発になり、山頂の爆発的噴火で山体は高くなり、溶岩流が山麓に広がった。3500-2300 年前に山頂で爆発的噴火が多発した。約 2900 年前に東斜面で御殿場岩屑なだれが発生した。約 2300 年前に山頂で最後の爆発的噴火がおこり、その後も噴煙活動は継続した、山腹では、864 年に始まった貞観噴火(青木が原溶岩流)など、割れ目噴火が頻発した。鎌倉時代以後、火山活動は静穏になった。1707 年に南東山腹で起こった宝永噴火は、溶岩流をださない爆発的噴火であった。噴火の 49 日前にフィリピン海プレート境界部で宝永東海地震 (M=8.4) が起こり、火山周辺で地震が頻発していた。

高田亮, 山元孝広, 石塚吉浩, 中野俊 (2016) 富士火山地質図 (第 2 版) 産業技術総合研究所.
https://www.gsj.jp/Map/JP/geology5.html#misc_12

The eruptive history of Fuji Volcano, Japan

Akira Takada

Researcher, Geological survey of Japan, AIST

Fuji Volcano is the largest polygenetic basaltic volcano in Japan. The magmatic activity is caused by westward subduction of the Pacific Plate beneath the Eurasian Plate and the Philippine Sea Plate. The volcano has grown overlying the Pre-Komitake, and Komitake Volcanoes, associated with several edifice collapses for 100 ky. The volcano developed volcanic fans widely. After the Tanukiko Debris Avalanche collapsing westward around 20 ky, the volcano started explosive eruptions, and erupted long lava flows toward its foot. After a dormant period during 5600-3500 years ago, the explosive eruptions caused the volcano edifice higher, and lava flows expanded its flank. During 3500-2300 years ago, a lot of explosive eruptions occurred at the summit. The eastern flank collapsed to form Gotenba Debris Avalanche Deposit 2900 years ago. The 300 cal BC eruption (Kengamine Eruption) was the final explosive eruption at the summit. A lot of flank eruptions followed this summit eruption. On the other hand, fume role activity continued at the summit. Jogan eruption started at AD 864 on the NW flank to effuse Aokigahara lava flow. The volcanic activity has decreased after 13th century. The Hoei eruption, violent explosive eruption, occurred on the SE flank 49 days after 1707 Hoei-Tokai Earthquake.

Takada, A., Yamamoto, T., Ishizuka, Y., and Nakano, S. (2016) Geological Map of Fuji Volcano (2nd ed.).
https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/fujisan/index-e.html

富士山の地下構造

青木陽介

東京大学地震研究所 助教

富士山はフィリピン海プレート・オホーツクプレート・アムールプレートの三重会合点付近に位置する火山である。富士山は約 10 万年前に誕生した比較的新しい火山であるにもかかわらず、400-500 立方キロメートルもの山体を持つ大きな火山である。その間のマグマの噴出率は、一般的な日本の火山より 1 桁以上大きい。また、富士山が噴出するマグマは玄武岩を主体とし、一般的な日本の火山が噴出する安山岩よりも粘性が低い。富士山がこのような特異な性質を持つのはなぜだろうか？

この疑問を解決するために、富士山では地震波速度構造や比抵抗構造など様々な手段で内部構造が調べられてきた。その結果、富士山においては約 15-25 km の深さにマグマだまりがあることがわかった。この深さは、富士山周辺の他の火山のマグマだまりの深さより深い。これは富士山付近でフィリピン海プレートが本州側のプレートに衝突していることと関連すると思われるが、このことが富士山の特異性とどのように関係しているかは明らかではなく、今後の研究が必要である。

Internal structure of Mt. Fuji

Yosuke Aoki

Assistant Professor, Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

Mt. Fuji, located near a triple junction among the Philippine Sea, Okhotsk, and Amurian plates, is a relatively young volcano which has been active in last 100,000 years. In spite of its age, Mt. Fuji possesses a volume of 400-500 cubic kilometers, much larger than other Japanese volcanoes. The eruption rate of Mt. Fuji is thus more than one order higher than other Japanese volcanoes. Also, Mt. Fuji is dominated by basaltic rocks, more mafic other Japanese volcanoes. What makes Mt. Fuji so distinct from other volcanoes?

To address this question, the internal structure of Mt. Fuji has been investigated by various methods including seismic and electromagnetic measurements. These studies show that Mt. Fuji possesses its crustal magma reservoir at depths of 15-25 km, deeper than that of other Japanese volcanoes. This difference in depth has something to do with the collision of the Philippine Sea plate to the Honshu island. However, how this is related to the singularity of Mt. Fuji is not clear, and addressing this question requires further studies.

水蒸気噴火を地殻変動データから読む～北海道雌阿寒岳～

高橋浩晃

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター 教授

北海道東部にある活火山雌阿寒岳は、最近 50 年間に頻繁に水蒸気噴火を繰り返している。群発地震活動が活発な火山としても知られ、噴火活動との関連が検討されてきた。地下のマグマや火山性流体の動きは、地殻ひずみの変化として観測される。ひずみ変化は、地盤の押し引きなので、地下水位にも変化をもたらす。雌阿寒岳周辺にある休止温泉井で精密に水位を測定することで、雌阿寒岳の群発地震活動時の微小な地殻変動が明らかになった。群発地震に先行して、火山性流体の浅部への上昇を示す山体の深い部分の収縮が見られる。この浅部に移動した流体が、群発地震の原因である可能性が高い。流体は、火山性微動を起こしつつ火口直下ごく浅部に移動する。微動時には膨張が観測されるため、流体の液相から気相への急激な相変化を示している可能性がある。火口に設置された温度計では、微動直後に温度上昇が捉えられた。以上のように、地殻変動観測から、水蒸気噴火に至るプロセスを追跡できる可能性があり、将来的には噴火警戒レベルへの利用も可能かもしれない。北海道立総合研究機構地質研究所との共同研究として実施されている。

Deformation signals prior to phreatic eruption in Meakan-dake volcano

Hiroaki Takahashi

Professor, Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University

Several phreatic explosions occurred at active Meakan-dake volcano in eastern Hokkaido. Strong volcanic earthquake swarms have frequently observed in this volcano. Physical meaning of earthquake swarm and its relation to phreatic explosion have been unclear. Crustal deformation measurement using groundwater level sensors have carried out. Groundwater in suspended hot-spring boreholes respond to tide strain well. Deflation signal prior to earthquake swarm was detected. No signal in GNSS was confirmed. High-sensitive crustal deformation observation is required to listen tiny volcanic signal. This deflation suggested volcanic fluid migrate from deep to shallow, and might cause earthquake swarm around sea level. Shallowest volcanic tremors beneath active crater was synchronized with inflation signal. It indicated rapid phase change from liquid to vapor toward explosion. In 1998 case, no explosion was observed but thermometer on active crater recorded rapid temperature increase just after the tremor. Microtremor amplitude distribution suggested persistent hydrothermal chamber beneath active crater at least since 1957. Injection of volcanic fluid from deep part to shallower above hydrothermal chamber might be essence of earthquake swarm. Early explosion potential evaluation may be available using total volume of injected fluid from deep. We suggest more than 107m^3 volume injection have potential to next stage. Short explosion warning and live eruption magnitude estimation also might be in vision using real-time shallowest tremor location tracking using dense seismic network. Our experience suggested that tremor with inflation volume of 105m^3 did not generate explosion. This might be lower limit of non-explosive regime.

静穏火山における噴火準備過程—蔵王山総合観測の成果から

三浦 哲

東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター 教授

宮城・山形県境に位置する活火山蔵王山では、1940年の小規模噴火を最後に概ね静穏な状態が続いていたが、2012年頃から深部低周波地震の発生頻度が増大するとともに、2013年以降は火山性地震・微動が観測されるなど、火山活動の活発化が顕在化している。本学では2013年以降、それまで火山観測が手薄であった蔵王山周辺に、新たに地震、地殻変動、地球電磁気観測点を新設するなど、観測網の拡充に努めてきた。その結果、例えば火山性の長周期地震の震源が、山頂火口湖御釜の北西側の深さ約2kmの位置にあることが判明した。2015年4月には多数の火山性地震が継続的に発生したため、気象庁が同月13日に火口周辺警報を発表するに至ったが、その後地震回数は徐々に減り始め、同年6月16日に警報は解除された。同時期には蔵王山周辺のGNSS連続観測網によって僅かな山体膨張も観測されている。それ以降2018年前半に至るまで蔵王山周辺では顕著な地殻変動は見られなかったものの、時折火山性地震の一時的な活発化や傾斜変化を伴った火山性微動の発生などが観測されている。本報告では、過去5年間進めてきた観測研究の成果により得られた蔵王火山の噴火準備過程について報告する。

Preparatory process toward an eruption after a long-term rest of Zao Volcano, Northeastern Japan

Satoshi Miura

Professor, Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

Volcanic earthquakes and tremors have been occurring beneath Zao volcano located in the northern Honshu, Japan since 2013, following the increase in the number of deep low frequency earthquakes from around 2012. Tohoku University has deployed some new seismological, geodetic, and geomagnetic stations to enhance rather poor observation network prior to the activity. On account of a burst of volcanic earthquakes initiated in April 2015, the Japan Meteorological Agency announced a warning of eruption, however, the number of events gradually decreased for the next two months and the warning was canceled in June 2015. In the same time period, minor expansive deformation was observed by GNSS. Small-scale volcanic earthquakes and tremors are occasionally occurring, and long-period earthquakes have taken place sometimes accompanied by static tilt changes. In this talk, I report the outcome obtained from the five-year observational research to monitor the preparatory process going under the volcano for evaluation of the eruption potential.

観測に基づく情報発信：火山災害の軽減に向けたインドネシアの現状と問題、そして挑戦

ウィウィット・スルヤント

インドネシア ガジャ・マダ大学 教授

インドネシアにおける自然災害軽減の課題の 1 つは、例えば火山活動に関して扱いの難しい科学的データを地域社会が正しく理解できる形で提供することです。これは科学的データの不確実性の要素による難しさであり、これを一般の人々が理解できる言葉に噛み砕くことで、結果的によくわからない情報になってしまう可能性があります。さらに、自治体が彼らの不十分な知識によって、科学的な情報を誤ったニュースとして伝えてしまうことも少なくはありません。

2010 年 10 月 26 日に発生したジョグジャカルタのメラピ火山の大噴火以来、ジョグジャカルタの地質災害研究開発機構（BPPTKG）ムラピ火山研究部では、地震活動、地殻変動、降雨、火口の状態や温度などの火山活動情報に関する科学的情報を公開しようと試みています。当然ながら、こうした一般への情報公開という良い側面に加えて新たな問題、つまり疑似科学につながる可能性のあるニュースが発信され始めるといった問題が生じました。こうしたニュースは人々にインパクトを与え、時には人々を不安に陥れます。

2018 年 5 月 11 日、ムラピ火山目立った地震活動の増加や地殻変動を伴わずに、突如ガスと水蒸気という形の火山噴出物を最大 5km の高さまで噴出させました。当然ながら自治体や当局からの警報がなかったことが主な原因で、ムラピの山腹に住む人々にパニックを引き起こしました。このことは、地域社会にムラピの状況に関する多くの憶測をもたらし、関連機関への信頼水準にも影響を与えました。

インドネシア火山局が実施した取り組みの 1 つは、ソーシャルメディアアカウントを通じて公衆が容易に理解できる公式情報を提供することです。SNS を通じて簡単な説明を提供することで地域社会に対して、パニックに陥らず、ムラピ火山の活動に関して全ての可能性に対して警戒を怠らない姿勢でいるための動機を与えることができます。

From geophysical data to public information, status, problems, and challenges of mitigating volcanic disasters in Indonesia.

Wiwit Suryant

Professor, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Delivering sensitive scientific information, for example on volcanic activity, that can be understood correctly by the community is one of the natural hazard mitigation challenge in Indonesia. This is due to the element of uncertainty in the scientific data, which for common people's language may become unclear information. Furthermore, in many cases, the community is trying to translate the scientific information into misleading news based on their minimal knowledge.

Since the great eruption of Merapi volcano in Yogyakarta October 26, 2010, the Merapi Section of the Agency for Research Center and Technology Development for Geological Hazard (BPPTKG) Yogyakarta has attempted to open the scientific information in accordance with volcanic activity, such as seismicity, deformation, rainfall, crater visual conditions and temperature. Of course, in addition to its positive impact regarding the opening of information to the public, new problems arise, namely the development of news that may lead to pseudoscience information. This has an impact on people's perceptions which sometimes cause public worried.

On May 11, 2018, suddenly Merapi volcano erupted by ejecting volcanic material in the form of gas and water vapour to as high as 5 km, without any significant increase of seismic signal activity nor deformation. This certainly causes a panic for the people lives on the slopes of Mount Merapi, mainly because no warning from the local government and the authority. This creates a lot of speculations in the community about the condition of Merapi and influences their level of trust to the relevant institutions.

One of the efforts carried out by the Indonesian Volcanology Agency is providing official information that is easily understood by the public through a social media account. It gives simple explanations and always gives motivation to the community so that they do not get panic but stay alert for any possibilities of the Merapi volcano activity.

富士山頂における絶対重力観測—その学術的・技術的意義と地震・火山観測への展開

大久保修平

東京大学地震研究所 教授

「豚もおだてりゃ木に登る」という諺があるが、総重量 500 キロ、レーザー・原子時計など精密機器の塊の絶対重力計が、富士山頂に登った話をしよう。まず、「なぜ、富士山頂か？」である。それに答えるには、2000 年 12 月に富士山直下で低周波地震活動が発生し、火山活動の高まりが懸念されたことを思い出す必要がある。富士山の火山活動、とりわけ地下深部からのマグマの上昇を捉えるには、高精度な重力変化の測定が望まれたのである。また科学史的には、これが富士山頂での最初の絶対測定という意味があった。ちなみに 128 年前の 1880 年には、メンデンホール・田中館愛橘による測定が行われているが、振子による相対測定である。さらに、絶対重力計の耐久性検証という技術的背景もあった。富士山頂で測定できれば、日本のどこの火山であっても測定できるだろう。車に例えれば、パリ・ダカール・ラリーに参加して、性能の限界に挑むといったところであろうか？

本講演では 2003 年 8 月末に東京大学地震研究所と気象研究所の合同チームが行った観測の概要を紹介し、その成果が三宅島、桜島、伊豆大島など他の火山や大地震前後の重力観測にどう生かされたかを紹介する。

Absolute gravity on the top of Mt. Fuji - its scientific and technical implications to the studies on earthquakes and active volcanoes.

Shuhei Okubo

Professor, Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

It was Mendenhall who first gave the gravity value on the top of Mt. Fuji (Mendenhall 1881). Since that time, several relative gravity measurements have been carried out (Yokoyama and Tajima 1960; Satomura et al., 1991), but there still remains a 2 mgal disagreement among the measured values. We carried out "absolute" gravity measurement on the top of Mt. Fuji in August 2003 to resolve the discrepancy. The most difficult part of this campaign was without doubt the safe transport of the delicate gravimeter FG5 composed of laser, atomic clock and so on that weighs ca. 500 kg.

In this paper, we shall describe tips to overcome technical problems for absolute gravity measurements at an unusual site as the summit of Mt. Fuji: severe vibration exceeding 1G during transportation and low barometric pressure (2/3 of that on the sea level) etc. Our gravity measurement will serve for studying long term volcanism of Mt. Fuji and tectonics of the Philippine Sea/Eurasian Plate boundary through monitoring the time change of gravity.

ハワイ・キラウエア火山 2018 年噴火の複合的な火山災害：危機対応と観測所の役割

クリスティーナ・ニール

USGS ハワイ火山観測所 所長

キラウエア火山山頂から東リフトゾーン中央部にかけてのマグマシステムの数週間に及ぶ加圧の後、長年噴火していた遠隔地にあったプウ・オオ火山錐が4月30日に崩壊し、マグマが人口が密集した東リフトゾーン下部に流入し始めた。5月1日には、10年前に形成されたキラウエア山頂の溶岩湖から溶岩が流れ出し、頂上が収縮し始めた。5月2日には東リフトゾーンの下部で地面の亀裂が発生し、5月3日、レイラニ エステーツの一部で溶岩が地面を割り吹き出した。

その後8月上旬までの3ヶ月間で、8億立方メートル以上の溶岩が東リフトゾーン下部から噴出した。収縮した山頂付近で繰り返し発生した崩落により周辺地域では数千回に及ぶ地震が発生し、そのうちのいくつかでは被害が発生した。一方、山頂のカルデラ床は400メートル以上も沈降した。排出された二酸化硫黄は風下にある住宅地を襲った。火山山頂で空となった火道からの爆発は、直径60cmに近い岩塊、高度9kmに達する噴煙、風下への降灰をもたらした。こうした活動により、5月11日にはハワイ火山国立公園が閉鎖され、米国地質調査所ハワイ火山観測所（HVO）も避難を余儀なくされた。

このイベントを通して、HVOは、ハワイ郡民間防衛および他の郡、州、および連邦当局と直接協力して情報を共有し、また危険性の変化を評価し、影響と回復のためのコミュニティを準備した。火山の活動状況、危険性および想定される結果を記載した複数のメッセージが、電子メール、Webページ、およびその他の手段によって共有された。ソーシャルメディアは、公共の会議やメディアのインタビューに加え、情報を配布するための主要な手段となった。危機発生時の噴火について研究しようとしていた各々の研究者による提案は、調査結果の危機管理への適用可能性と適時性の必要性の両面で評価された。噴火対応の多くは、急速に変化する状況、24時間365日続く活動、不確実な結果との競争であった。対応に当たる各機関間のコミュニケーションの一貫性が重要だった。

Complex volcanic crisis at Kilauea, Hawaii 2018: emergency and scientific response

Christina Neal

on behalf of the staff of the US Geological Survey/Hawaiian Volcano Observatory and many USGS and collaborating responding scientists

Following weeks of pressurization of the magmatic system from Kilauea Volcano's summit to the middle East Rift Zone, a collapse of the long-erupting, remote Pu'u 'Ō'ō cone on 30 April began an intrusion of magma into the populated lower East Rift Zone. On 1 May, the 10-year old Kilauea summit lava lake began to drain and the summit began to deflate. On 2 May, ground cracking commenced in the lower East Rift Zone and on 3 May, lava broke the surface within the Leilani Estates subdivision.

Over the next 3 months, until early August, more than 800 million cubic meters of lava erupted from the lower East Rift Zone. Repetitive collapse of the deflating summit region shook the surrounding area with thousands of earthquakes, some of them damaging, while the summit caldera floor subsided more than 400 meters. Sulfur dioxide emission plagued residential areas downwind of eruption. Explosions from the evacuated conduit at the volcano's summit produced ballistics approaching 60 cm in diameter, ash clouds reaching as high as 9 km ASL, and ashfall downwind. Activity prompted closure of Hawai'i Volcanoes National Park on May 11 and evacuation of the US Geological Survey's Hawaiian Volcano Observatory (HVO).

Throughout the event, HVO worked directly with Hawai'i County Civil Defense and other county, state, and federal authorities to share information, assess changing hazard conditions, and prepare communities for impacts and recovery. Multiple messages describing activity and the hazards and likely outcomes were shared by email, web page, and other means. Social media became a primary means of distributing information, along with public meetings and media interviews. Proposals by independent researchers who sought to work on the eruption during the crisis were evaluated for the applicability of the results to managing hazards and the need for timeliness. Many aspects of the eruption response were challenged by rapidly changing conditions, 24/7 activity, and uncertain outcomes. Consistency of communication across agencies was key.



山梨県富士山科学研究所公開講座

C-01-2019

山梨県富士山科学研究所国際シンポジウム 2018
ー火山モニタリング観測と火山活動予測ー 報告書

2019年3月発行

編集・発行
山梨県富士山科学研究所

〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾 5597-1

TEL : 0555-72-6211

FAX : 0555-72-6204

<http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/>

県産材利用促進



この印刷紙には、山梨の森林認証材も利用活用されていますので、
森林環境保護・水質保全等の支援に役立てられます。