

特別
講演「火山噴火予測における
測量データの重要性」

(2011年6月1日 新宿明治安田生命ホール)

東京大学地震研究所火山噴火予知センター 教授 中田 節也

1. はじめに

ただいまご紹介いただきました東京大学地震研究所の中田です。よろしくお願いいたします。今日は、最近の火山噴火予知研究で、測量がらみでどういうことが分かってきて、測量技術の進歩と共に噴火予知研究がどう進んできたかということを紹介したいと思います。特に、GPSが導入されてから、さらに、合成開口レーダーの導入されてからの噴火予知についての話です。GPSは1990年代に火山分野に導入され2000年位から花開きました。レーザー測量は、2000年位に入ってから次第に正確なデータとして、火山噴火予知にも使えるようになってきました。

最近の我々噴火予知グループの中での共通認識は、地殻変動の観測データが非常に重要であるということです。最近では地形データにより地下で何が起きているかを判断するなど、地下の状態が間接的に見えるような時代に突入したという気がします。つまり、地殻変動を観測すると、噴火の準備状態（マグマがどのくらい下に溜まっているか）とか、噴火の規模とか、場合によっては噴火の推移（地下で起きているプロセス）も把握することができます。しかも、重要なことはそれらの結果が防災にもきちんと活用されるようになってきているということです。

90年代より前の地殻変動の把握には、水準測量とか傾斜計とか、光波測量を使いました。もちろん、これらは今も使っておりますし、精度的にはそれらの方がGPSより勝るものも

あります。噴出物量についても、昔は航空写真で測量していましたが、最近ではいろいろな手法で非常に精度良く、短期間で求められるようになってきています。

今日は、雲仙普賢岳噴火、これは私が噴火予知研究に携わるきっかけとなったイベントなので、主に測量の側面から最初に紹介し、それから三宅島の2000年の噴火、浅間山の2004年の噴火、最後に新燃岳の2011年の噴火について紹介したいと思います。

2. 最近の噴火予測

噴火の実例に入る前に、最近の噴火予測の現状について紹介しておきますが、観測機器の整った火山では、異常をつかまえて噴火が迫っていることをある程度言える状態になっています。後で紹介する新燃岳の噴火の場合は、観測データから怪しいと分かっていたはいましたが、いつ噴火するかという短期予測には残念ながら成功しませんでした。噴火の開始はある程度予測可能であるのですが、噴火予測のもっとも大きな課題は、一旦、開始した噴火の推移予測が難しいということです。さらに、観測面からの問題としては、噴火が始まると火口に接近するのが危険になり、噴火で破壊された観測機器の復旧や、噴出物の調査を火口の近くで行うことができなくなります。火口付近の監視データや地形変化のデータは大変重要なのですが、そういう条件下でも、迅速に良質のデータを取ってきて予測や災害予防に活かすことが、今後の課題である

うと思います。

3. 雲仙普賢岳噴火

1990年に始まった雲仙普賢岳の噴火の約1年前から西側の橘湾で地震が起きました(図1)。普賢岳山頂に向かって地震が移動してきたわけです。1989年から地震が起き、91年5月に溶岩ドームが出現、そして95年に噴火が終わりました。図1を見ると、溶岩が噴出し始めると、地下深部では地震がもう起こらなくなり、溶岩ドーム成長中は火口付近でだけ地震が起こって、噴火が終わると地震活動がなくなったということが分かります。この時の溶岩の総噴出量は約2.1億m³と見積もられています。

最初出現した溶岩は次第に大きな塊となり、下から新たに供給されるマグマに押されて割れ、割れた塊が横方向に押し出されました。押された溶岩塊は斜面に転げ落ち、砕けて火山灰が大量に生成され、それが高温のまま流れ下って火砕流となったわけです。火砕流に特有の地震波形から発生回数を数えると、4年間の間に約1万回も火砕流が起きたことになります。その中で、規模は大きくはないけれど

一番悲劇的だったのは、91年6月3日に起こった火砕流です。そこでは43名が犠牲になりました。この火砕流は、山頂火口の縁に乗かって成長した溶岩ドームが火口縁と一緒に大きく崩れたために発生しました。このような火砕流が起こる前に、溶岩ドームのどの部分がどれだけ不安定であるかが判断できれば、火砕流の規模、流下方向、発生時期について、ある程度予測できただろうと思います。

我々は定点写真を使って溶岩ドームの成長の仕方を観察しました。それをトレースして作ったドームの成長の仕方が図2です。第二次世界大戦中に、昭和新山の成長を記録した三松正夫さんという郵便局長さんが、庭の木に釣り糸を縦横に何本も張って、山が隆起する過程をスケッチしたので有名ですが、これはそれと似たことを写真で行っただけです。これは原始的な方法でしたが、約4年も続いた普賢岳噴火の後半ではセオドライトとレーザー測距儀を併用して、きちんと溶岩ドームの変化をより定量的に計測することができました。

また、我々は毎日、ヘリコプターで飛んで溶岩ドームの変化を調べました。沢山写真を撮り、スケッチに落としました。精度は良く

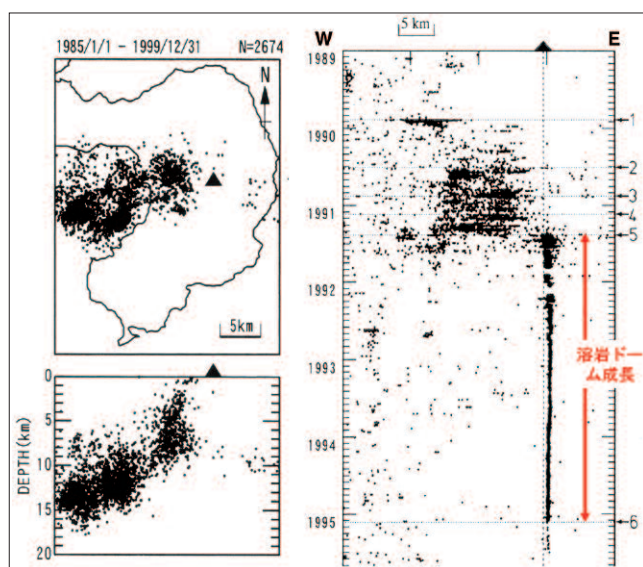


図1 雲仙普賢岳の噴火で発生した火山性地震(九大地震火山観測研究センター資料。Nakada et al., 1999. J. Volc. Geotherm. Res., vol. 89, nos. 1-4)

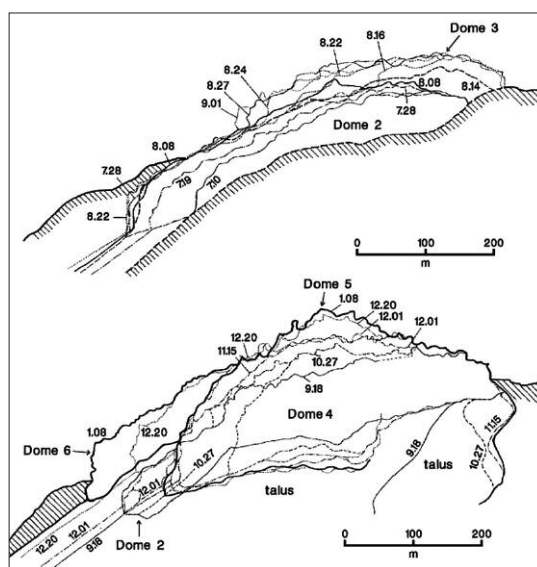


図2 1991年に見られた雲仙普賢岳の溶岩ドーム成長。地質観測班が北東側(島原市折橋)から撮影した定点写真に基づく。図中のdomeはその後lobeと読み替えた。

ないのですが、どこで成長や崩落が起こっているかを解りやすく表現したものです。ラフなスケッチでも、防災に充分役立てることができました。報道関係に噴火の情報を分かりやすく伝えるためだけでなく、避難勧告の判断材料に使われたり、自衛隊の監視の目標を決めるのにも使われました。自衛隊は、火砕流がどこまで達したかを、海岸の国道沿いで南北2箇所からドップラーレーダーを使って監視し、火砕流の流れた方位と到達距離の情報を提供していました。その情報はケーブルテレビを通じてリアルタイムで各家庭に流されていました。今どの方向が危ないとか、距離がだんだん増えておれば、次はさらに遠くまで火砕流が達するかもしれないなどの情報として使われたわけです。

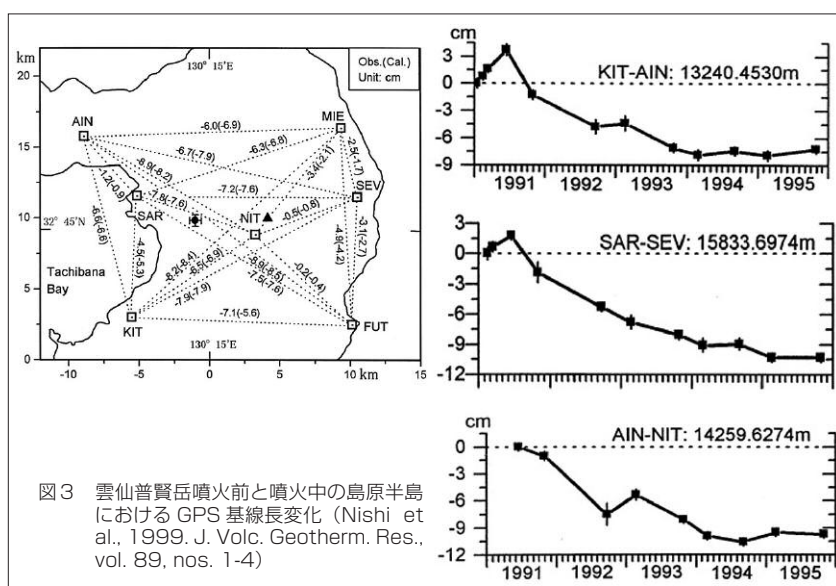
溶岩が表面に新しく出て、スムーズな表面の溶岩の盛り上がりができるのが外成的成長です。一方、饅頭に例えると、中心のアンコの部分が次第に増えて、表面（饅頭の皮）が膨張してひび割れてボロボロになりながら、全体として大きくなるのが内成的成長です。普賢岳では前半は外成的成長を、後半になって溶岩ドームが大きくなると、主に、内成的成長をしました。後者の時期に、セオドライトとレーザー測距儀を使っ

て調べると、崖錐が発達した溶岩ドームの側面の前進速度が、ドームの天辺付近の表面の移動速度の半分であることが分かりました。その関係から思いついたのがカタピラーモデルです。つまり、ブルトザの前進速度とカタピラーの回転する速度には1:2の関係があります。溶岩ドームが、

カタピラー、あるいは机の上を転がる水風船のように回転しながら前進していることを示していたようです。溶岩ドームが前進する方向に観測された、地面の皺寄りや逆断層は、カタピラーが進む前面にできた構造と考えると理解しやすいと思います。このような溶岩ドームの成長の仕方、溶岩の崩れ方（火砕流の発生）に影響を与えるため、防災に活かすことができました。

このように我々が約20年も前に行ったのはやや原始的な観測方法でしたが、もっと定量的な測量データを取っていたら良かったと今になって思います。例えば、今なら、上空から数日おきにSARのデータが繰り返し取れます。新燃岳でSARのデータが大変有効であったという話を後でしますが、仮にそのようなデータが取れていれば、もっと違う方法で防災に活かされたかもしれません。

普賢岳噴火ではGPSが使われましたが、GPS火山観測の黎明期であったらと思います。図3に示すように、北串山と愛野の距離(KIT-AINO)を見てみると、噴火が始まる前に伸びて、噴火が始まると縮み始め、1年半ぐらい経ってやや伸びに転じて、その後、再び縮んで噴火が終わったというのがよく分か



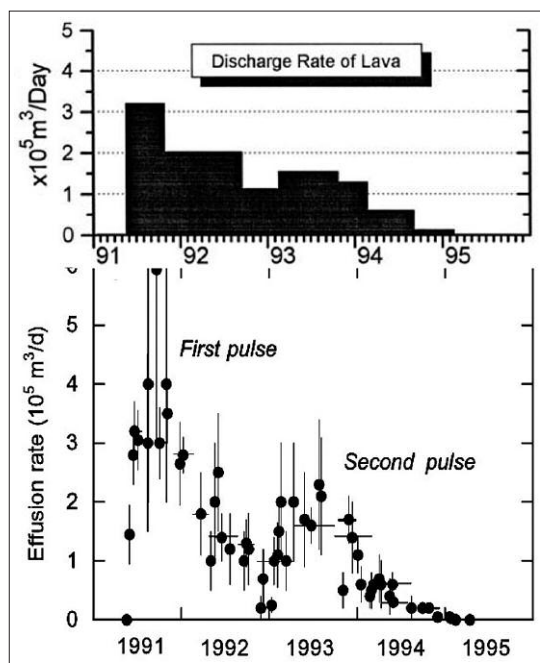


図4 溶岩噴出量の時間変化。(上)国土地理院の解析結果(Nishi et al., 1999 を一部改変)。(下)地質観測班が現場でまとめた結果。

ります。GPS 観測点のデータから三次元的に解析すると、変動源は普賢岳の直下ではなく、普賢岳の西側、島原半島内にあることが分かりました。深さ 11.5km にあたり、それがマグマ溜まりの位置だと推定されました。図 1 の震源分布のすぐ直下にあたります。

図 4 の上は、異なる時期に撮影された航空写真から国土地理院が計算した溶岩の噴出量の時間変化です。解析誤差を少なくするためにある程度の変化が必要なので、撮影間隔は数ヶ月から半年、長い時は 1 年近く空いています。しかし、我々にはこれでは解像度に不満があって、もっと細かいデータが欲しいのです。我々の毎日のセオドライトによる計測結果や、上空からの観測の結果に基づいて見積もった噴出量変化を図 4 の下に同時に示してあります。溶岩の腫れ上がった部位の体積を「エイヤー」で見積もって出しました。それゆえ精度はやや落ちますが、2つの波がきちんと表現されているということです。国土地理院のデータでは噴出量の減少がガラガラと見

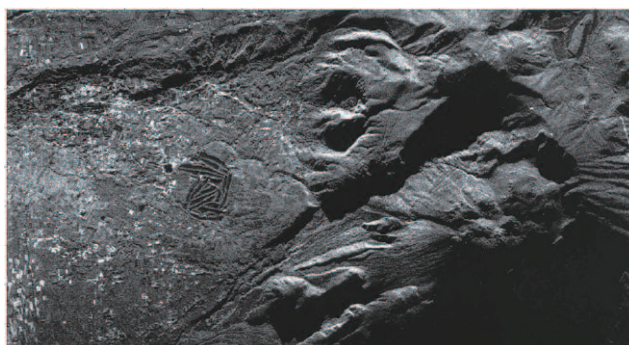


図5 雲仙普賢岳で撮影された航空機 SAR 画像。北は右下方向。右中央やや下に妙見カルデラの中に成長する溶岩ドームが見える。溶岩ドームから火砕流堆積物を作る扇状地地形が左方向に広がる。平野部は水無川流域（主に深江町）。1992 年 6 月 28 日。NEC 提供。

えて、マグマ供給に中断があったことが良くわかりません。

太田一也先生（元島原観測所所長）が、92 年 1 月、地元の講演会の際に、「今は火砕流も起こってないし山も動いていない。地震も少なくなっている。先生、これで噴火は終わったのではないですか」と聴衆に詰問されました。噴火がもう 1 年以上も続き、避難生活にも飽きて、早く家に帰りたい、噴火は収まったように見える。噴火は終わったというお墨付きが欲しいという背景にあったのです。太田先生は仕方がなく、「ひょっとしたら終わったかもしれない」と口走ったところ、翌日の新聞に「終息宣言」と出て、大変なことになりました。その約 1 週間後には、新たな溶岩がニョキニョキと出てきて、2つ目の噴火の波が始まったのです。

図 5 は、たぶん日本の火山としては最初に撮影された、雲仙普賢岳の SAR 画像です。NEC が本田航空と提携して撮ったものです。関係者がこれを僕の所に持ってきて、「これで何か判りますか？」と聞かれたのだけれども、正直言ってあまり役に立つとは思いませんでした。当時の SAR は頻繁に撮影できるものではなかったし、解析にも時間がかかり、我々が毎日ヘリで飛んで集めたデータ以上のものを与えてはくれませんでした。

4. 三宅島 2000 年噴火

有珠山が噴火した 2000 年、三宅島でも噴火が起きました。有珠山も三宅島も噴火がきちんと予測できた火山の例です。過去の噴火経験から、噴火に先立って火山性地震が群発する癖のある、比較的分かりやすい火山だったからです。三宅島でも急に地震が群発したので緊急火山情報を出しました。その翌朝には三宅島の西沖海底で噴火が起きました。そこまでは過去の噴火と同じでしたが、それ以降の展開は、これまでと全く異なっていました。我々が噴火の推移予測ができなかった最も代表的な例でした。次々に新たなことが観測されてもその意味が分からず、次に何が起こるかをきちんと言うことができませんでした。そのため、すべての対応が後手、後手になり、研究者として非常に忸怩たる思いをした噴火でした。

この噴火で 9 月の初めに全島民が東京方面に避難しました。その前、8 月 18 日に最も大きな噴火があり、29 日に島の北海岸に達する低温の火砕流が発生していました。今後さらにもっと大きな噴火が起きて、もっと熱い火

砕流が全島を覆う可能性があると考えられたのです。予知連会長が村長に説明をして、村長が避難命令を出しました。実は、これが結果オーライの措置だったのです。その後、大きな噴火は起きなかったのですが、代わりに、大量の二酸化硫黄ガスが火口から放出され始めました。もし島に住民が残っていたら、多くの人が危険にさらされたと考えられます。これも推移予測ができなかった例です。

三宅島では、海底噴火直後に、マグマが地下で横方向に移動したのですが、その現象が国土地理院の GPS のデータで見事にわかります(図 6)。海底噴火の直後から三宅島から北西方向の新島・神津島の間では有感地震が起これるとともに、両島の距離が、次第に広がっていきました。これはマグマが貫入したために起きた現象です。一方、三宅島について言えば、島の直径を示す側線は、逆に縮小し続けました。これは、三宅島のマグマが、地下で北西方向に横移動してしまったために起きた現象です。8 月 18 日の大きな噴火の後に、マグマの貫入は止んだのですが、三宅島はさらに縮み続けました。これはマグマの中

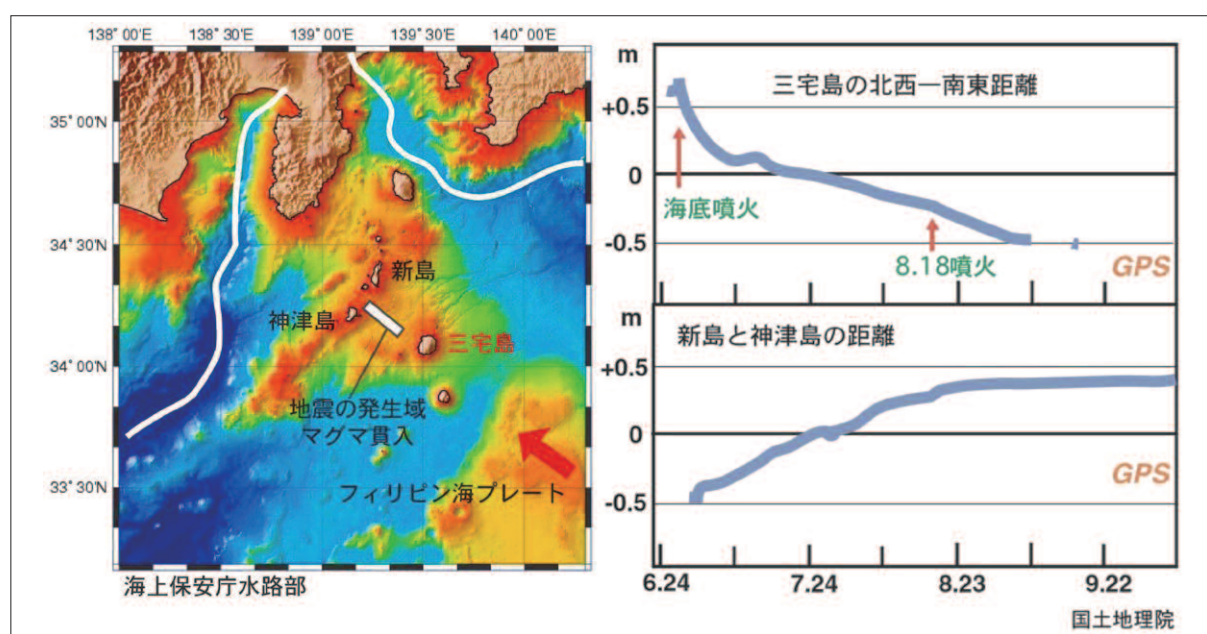


図6 三宅島噴火の造構的背景を示す模式図と GPS 側線の時間変化の模式図。右は国土地理院資料にもとに作成。

の火山ガスがどんどん
抜け続けたために、こ
ういう現象が起きたと解
釈されています。

このように、GPSを
使って地下で起こって
いる現象がきちんと分
かり始めるようになりました。三宅島ではマグ
マの地下移動に伴って
山頂が陥没してカルデ
ラが形成されました。今
になって思うと、この時
のカルデラの成長プロ

セスが分かるように、もう少し密な時系列で
地形データが欲しかったと思います。

山頂の陥没の進行とともに噴火も起きました。
2000年8月18日に起きた噴火(図7)の
噴煙高度は16キロくらいありました。この
時、アメリカの航空機がこの噴煙の中に突っ
込んで、あわや墜落寸前という事件がありま
した。この時間帯に、日本の航空機は飛んで
いなかっただけなのですが、後で「日本だけ
が秘密のデータを持っていたのだらう」と、航
空機の火山灰災害の会合で日本人が疑いをか
けられたとのことでした。この時に堆積した火
山灰の分布を図7に示しています。噴煙高度
が約16kmと高かった噴火でしたが、水蒸気
が多い噴火であったので、火口近くでも火山灰
の厚さはわずかに1m程度でした。島の周辺
部ではほんの数mmです。これだけの薄い火山灰
があっても、雨の時には、土石流や泥流が発
生しました。我々研究者は三宅島で噴火が起
こるたびに上陸して、灰まみれになって野山
を這いずり回って堆積した火山灰の分布図を
作りました。これが防災上たいへん重宝がら
れました。だけど、大学の研究者のボランテ
ィア的な調査に頼らなくても、国の機関が航

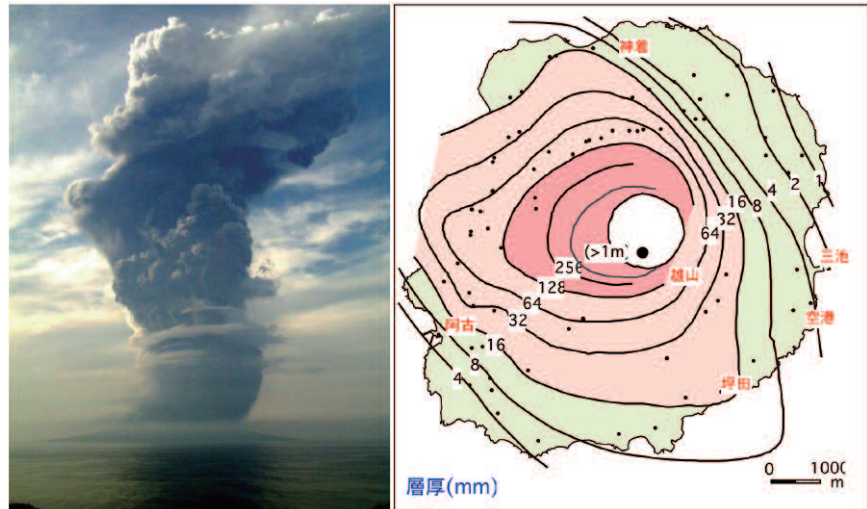


図7 三宅島で起きた2000年8月18日夕方の大噴火とその火山灰分布図。写真は御蔵島から撮影(竹入敬司さん提供。Nakada et al., 2005. Bulletin of Volcanology, 67, no.3)。火山灰分布図は東京大学地震研究所資料による。

空測量できちんとデータを出してくれないも
のかと思います。この時の噴火では数センチ
の精度が必要ですが、将来、噴火毎に、航空
測定が瞬時にできるようになればいいと思
います。

図7を見て分かるように、火口のそば、カ
ルデラのそばにはデータポイントがありません。
噴火中にアクセスできないからデー
タに抜けが出るのです。ただ、噴火が収ま
ってから山頂部を調査して、火口付近の火山
灰の厚さを確認しました。この時の経験が、
2011年の新燃岳の噴火の時にはずいぶん活か
されました。

2000年の三宅島噴火の際のもう一つの大き
な印象は、SAR技術が威力を発揮し始めた
ということです。航空機SARでしたが、図8の
左のようにカルデラの内部がきちんと捉えら
れるようになりました。ヘリコプターからは、
カルデラの内部は水蒸気や二酸化硫黄などの
ガスがいつも充満していて良く見えません
でした。雲が切れた時でも火口付近は噴煙で
見えません。ところが、SARでは噴煙も気に
せず、火口の中までクリア見えるようになった
というのは画期的なことだったと思います。

5. 浅間山 2004 年噴火

SAR は、浅間山の噴火でも活躍をしました。浅間山の火口は直径約 500m、深さが約 200m あります。そこにはいつも火山ガスが充満して底は滅多にのぞけません。図 8 の右は 2004 年に活発に噴火している最中に撮られた SAR 画像です。火口底に饅頭のように見えるのが溶岩ドームです。成長縞もぼんやりと見えます。この時期、日中は、火口から噴煙が数分から数十分おきにボンボンと上がりました。夜間は、赤い溶岩片が弾け飛ぶ様子が撮影されていました。これは「ストロンボリ式噴火」が起きている証拠で、その間に火口底に溶岩ドームが成長し始めていたという訳です。

これは、SAR がないと絶対に分からなかったと思います。その 2 週間後くらいにやっとヘリコプターから、噴煙の下を透かしてやっと見えた火口底では、饅頭のような溶岩ドームがやや凹んで見えました。それが肉眼で見られる限界でしたが、この時、熱画像も一緒に撮りました。それは SAR ほどではありませんが、熱画像は噴煙を透かしてある程度撮ることができます。その時の熱画像を立体視すると、真ん中が明らかに凹んでいるのが見えました。これは一旦出た溶岩が地下の圧力が減少して下に戻る現象が起きたことを示しています。ドレーンバックといいます。ここで

気づくことは、SAR などの測量データの中に熱データも加えられたら、もっと情報量が増えるのではないのでしょうか。しかも、異なる帯域のデータを合わせることによって、将来的には、物質科学的な情報も取り入れることができるのではないかと思います。

最近の、浅間山を挟む 2 地点間の基線長変化を国土地理院の GPS データで見ると、長期的には縮んでいますが、何度か伸びる時期が繰り返して起こっています。浅間山ではこれまでに何回か規模の小さな噴火が繰り返しましたが、それらの噴火がちょうどこの伸びの時期に対応します。A 型地震、すなわち深い所で起こる地震で、マグマが上がってきた時に起こるタイプの地震ですが、この GPS の伸びる時期に A 型地震も発生しています。つまりマグマが上昇して来て A 型地震が起きて、山が膨張するという仕組みです。2004 年の浅間山の噴火は、SAR 画像と同様に GPS が噴火のモニタリングとして非常に重要になってきたことを認識したイベントでもありました。

6. 新燃岳 2011 年噴火

新燃岳では水蒸気爆発が 2008 年から起こっており、2011 年 1 月末には本格的な軽石噴火が起きました。専門的には準プリニー式噴火といいます。準プリニー式噴火は 2 日間に

3 回起こりました。

その後、4 日間かけて火口に溶岩が溜まりました。さらにその直後から、溶岩を噴き飛ばす爆発的な噴火に移行しました。こちらはブルカノ式噴火といいます。火口に溶岩が蓄積されたのは、

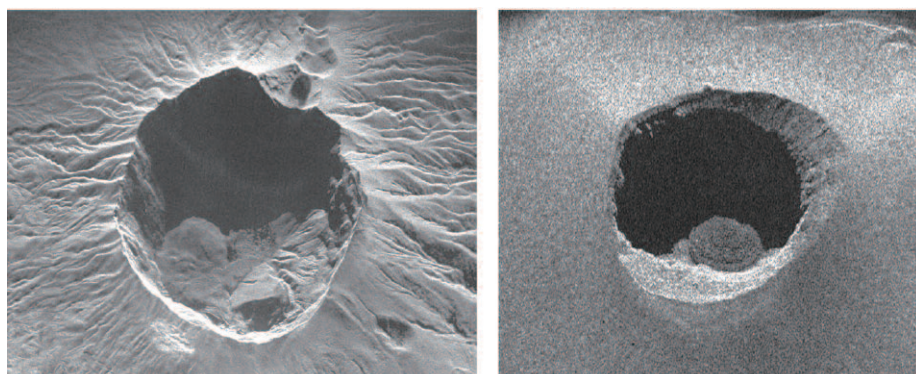


図 8 2000 年の三宅島噴火および 2004 年の浅間山の噴火の際に得られた山頂部の SAR 画像。(左) 三宅島の山頂で一連の活動で出現したカルデラ。カルデラの南壁際に見える不規則な窪地が火口。2000 年 9 月 28 日撮影。(右) 浅間山頂火口。明瞭な溶岩ドームが出現している。2004 年 9 月 15 日撮影。いずれも国土地理院資料による。

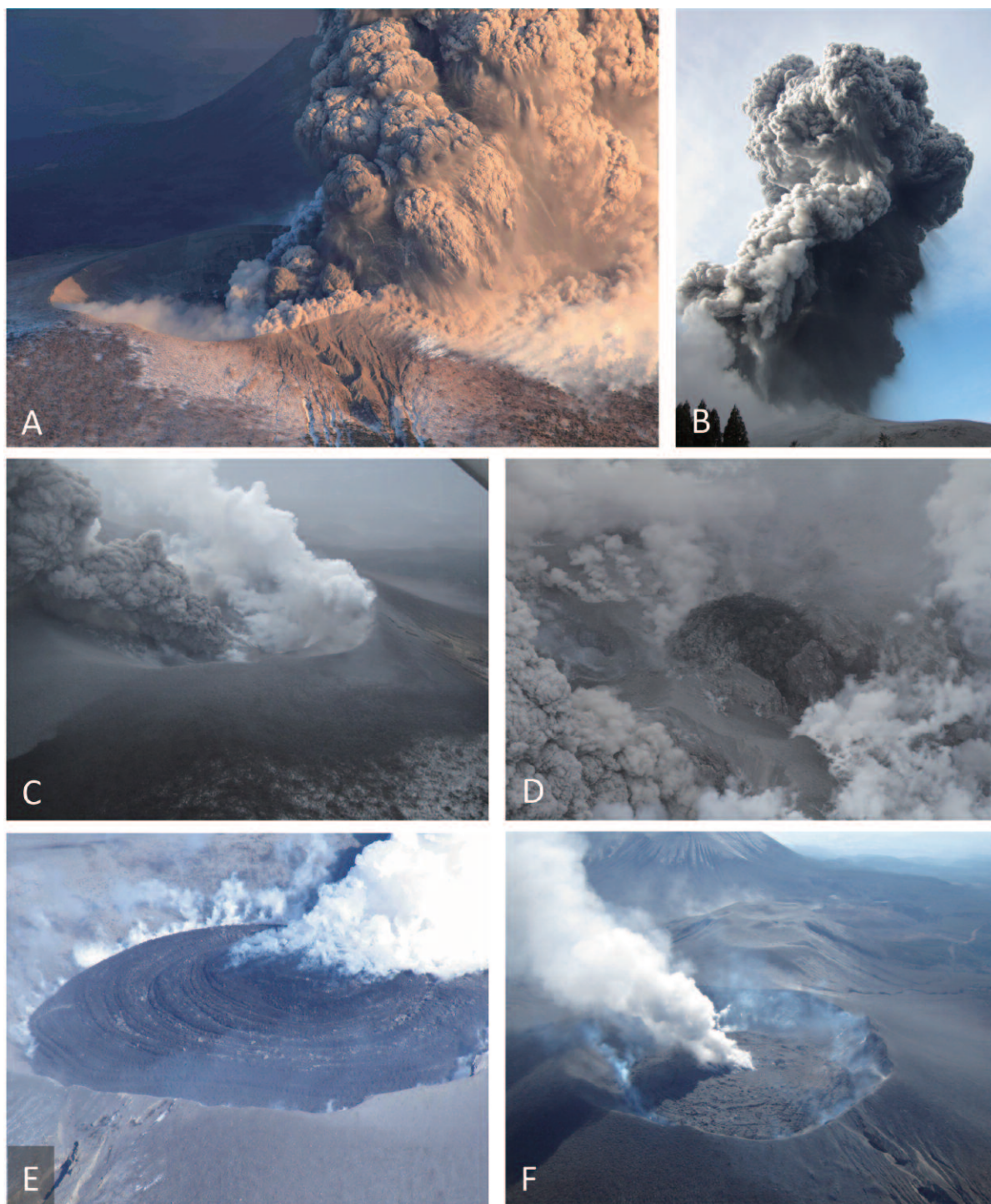


図9 霧島山新燃岳の2011年噴火。(A) 最初の準プリニー式噴火の後半の火口の様子。火口西側上空から撮影。軽石を含んだ火山灰が激しく噴き出している。1月26日夕方、下宇宿和男氏撮影。(B) 3回目の準プリニー式噴火開始時の様子。1月27日午後3時40分過ぎ。高千穂河原北東付近から撮影。(C) 上空から見た新燃岳の火口の様子。準プリニー式噴火の火口は右側の白煙の下でもやっている所にあたる。1月28日午前11時頃。北側から撮影。(D) Cの中央部の拡大写真。黒っぽく丸い溶岩ドームが出現し始めている。(E) 新燃岳火口をすっぽり埋め尽くすように溶岩ドームが成長。焼き餅のように膨らんだドームの表面には成長縞が見える。1月31日午前中、小林哲夫氏撮影。(F) ブルカノ式噴火が開始し、山頂火口の溶岩表面は破碎された溶岩と火山灰で覆われ始めた。北西側から撮影。2月4日。

先ほどの浅間山の2004年噴火と同じ現象でしたし、その後のブルカノ式噴火が繰り返したことも同様でした。ただ、新燃岳では準プリニー式噴火が先行したというのが違いま

す。

図9Aが1月26日午後の写真です。新燃岳の火口の直径は700mほどであり、軽石噴火が真ん中よりもやや西側で起きています（写

真では手前)。図9Bは27日午後に3回目の準プリニー式噴火が起きた瞬間の写真です。翌28日セスナで飛んで上から見ますと、準プリニー式噴火の火口の横、ほぼ火口の中央部で溶岩ドームが成長し始めているのが見られました(図9C, D)。その後、この溶岩が広がって、火口をすっぽり塞いでしまいました(図9E)。2月1日からは溶岩を噴き飛ばしてガス抜きを行うブルカノ式噴火が始まりました。この繰り返す噴火によって、溶岩が破碎されてできた土砂に溶岩全体が覆われたので、成長する時にできた綺麗な溶岩の皺は隠され、溶岩の表面はまるで砂場のような状態になりました(図9F)。

この噴火には前兆現象がきちんとありました。噴火に向けて火山周辺の地震活動が高まっていた。そんな中、水蒸気爆発が2008年、さらには2010年に繰り返し起こりました。図10は新燃岳の火口を挟む二つの観測点のGPSの基線長を示していますが、2009年末からはその基線長が急に伸び始めました。地下にマグマが入って、山が膨張し始めているのがよく分かります。ところが、1月26、27日には準プリニー式噴火が起こって急に収縮

し、引き続く溶岩噴出でもゆっくり収縮しました。マグマが外に出ただけ山体が凹んだのです。噴火前に膨張した分が噴火で完全に元に戻ったわけではないことが分かります。その後、また回復、つまり膨張し始めているのが分かります。どこまで膨張したら再噴火するのかはよく分かりませんが、可能性としては、次の噴火に着実に向かっているようにみえます。

準プリニー式噴火の前兆は噴出物の中にもあらわれていました。その1週間前に起こった小噴火の噴出物には小さな軽石が10%近くも混ざっていたからです。水蒸気爆発では軽石がほとんど含まれません。つまり、地殻変動、地震活動、小噴火の頻度、噴出物を見ても、1月の本格的な噴火の前兆はきちんとあったのです。

我々は地質屋ですから、噴火の規模をつかむために噴出物の状態を直ぐに調べる必要がありました。噴火が始まると危険なので火口には近付けません。調査に基づいて火山灰分布図を作成するのですが、肝心の火口そばはデータが取れません。ただ、三宅島のような過去の噴火調査の経験があるので、それを

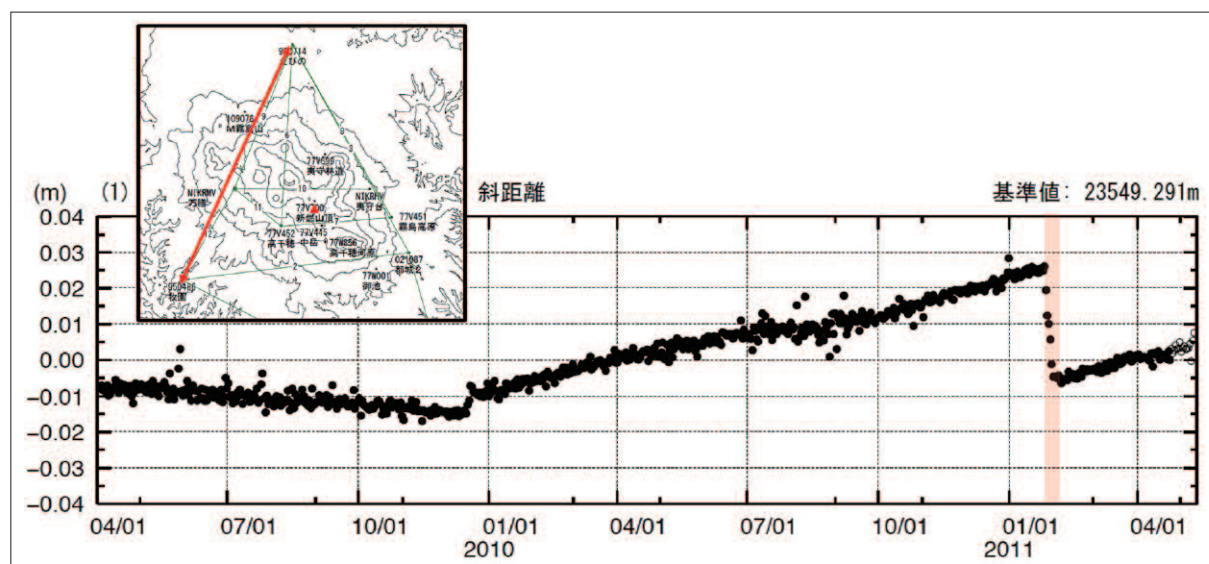


図10 霧島山新燃岳を挟むGPS基線長(左上図の赤線)の時間変化。赤三角は新燃岳。国土地理院資料による。ピンクの部分が準プリニー式噴火や溶岩噴出が起きた2011年1月下旬。

活かして堆積量のある程度の見積もりを行いました（図 11）。2011 年 2 月 3 日に、火山噴火予知連絡会の拡大幹事会がありました。我々大学側が出した最初の 3 日間の火山灰の堆積量は、火口縁で最大 10m の火山灰層の厚さを仮定し、総量が 2100～2800 万 ton になるという報告をしました。産業技術総合研究所（元の地質調査所）も独自の調査を行い、最初の 2 日間の火山灰堆積量を約 7200 万 ton、少なくとも 3200 万 ton と報告しました。この違いは火口に溜まった火山灰層の仮定した厚さと火口周辺の厚さ分布の違いに由来したものでした。予知連としては会長コメントを出す必要がありましたので、会長はこのデータの違いの收拾を諮りました。私は大学側を代表しましたので、国立研究機関を立てて「産総研の下限に近い値なら大学の上限と近いのでいいですよ」と答えました。それでも最初の数日以降の火山灰量を加えて「これまでの噴出量は 4000 万～8000 万 ton 程度と推定される」と発表されました。

これがどう決着がついたかというと、2 月中旬に行われた火口周辺のレーザー測量の結果が決め手となりました。新燃岳の上空は飛行規制があるために、その測量は火口付近全域をカバーしていませんでしたが、部分的に火口縁に堆積した火山灰の厚さはせいぜい 10 m であることが分かりました。計算された火山灰の堆積量は約 2400 万 ton となり、我々の推定値通りの値になりました。肝心のデータが少ないと、こういう混乱が起こるという例だと思います。

新燃岳噴火では GPS に加えて、傾斜計や伸縮計でさらに詳しく噴火に伴う歪みのデータが記録されました。準プリニー式噴火に対応した 3 回の急激な収縮が明瞭に記録され、火口に溶岩が出始めるとゆっくりと収縮して、溶岩が出終わっても収縮が続き、一週間後くらいに元のレベルに戻りました。火口に噴出した溶岩の量は、複数の斜め写真を使った測量や SAR データから見積もることができましたから、この歪みのデータを利用してマグ

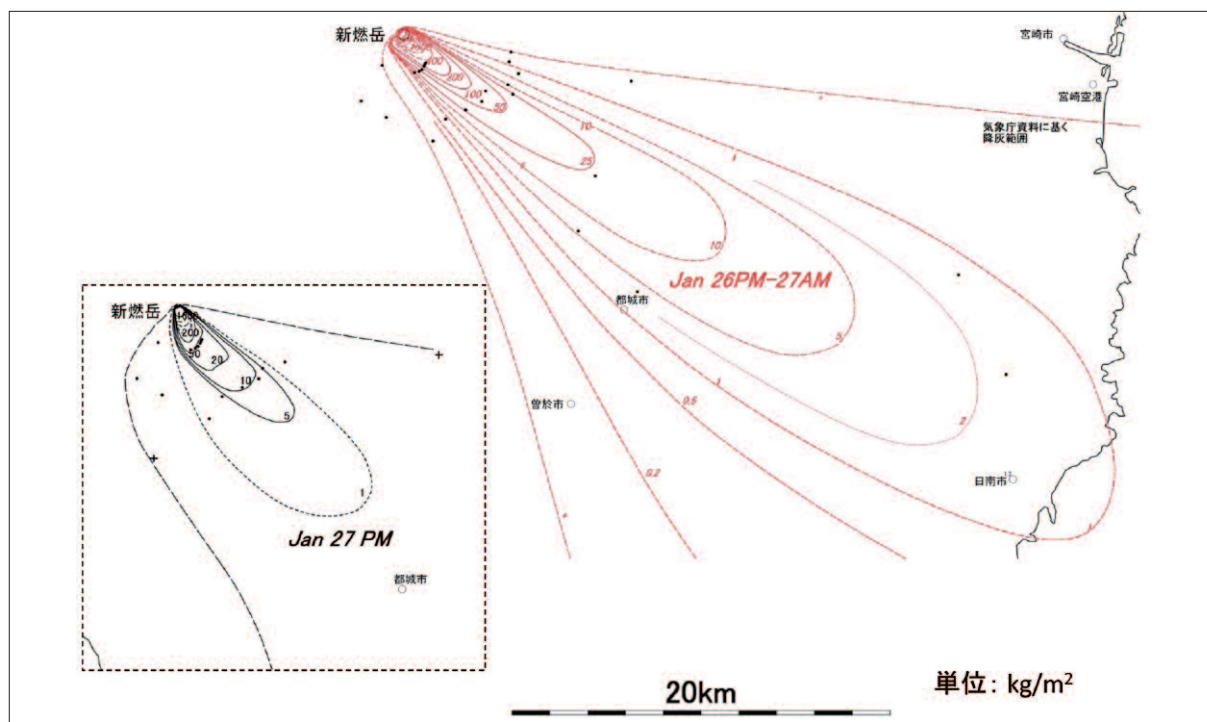


図 11 新燃岳における 2011 年 1 月 26 日 27 日の準プリニー式噴火の火山灰分布図。当重量線図。地震研究所と防災科学技術研究所資料による。

マの噴出量を計算することができたのです。

山頂火口の斜め写真を使って、我々が協力して、航空測量会社が見積もった火口溶岩の体積は約 1400 万 m^3 。山頂に溶岩が噴出した時期の歪量がその溶岩量を代表していると仮定すると、1 月末の歪み総量から噴出量が約 2500 万 m^3 と計算できます。溶岩以外の噴出物は火山灰ですから、約 1100 万 m^3 が溶岩(マグマ)体積に換算した火山灰量ということになります。これは重量では、2.5 を掛けて、約 2800 万 ton になります。上の火山灰堆積量の見積もり結果とだいたい調和的な値になります。

新燃岳の噴火の監視でも威力を発揮したのは SAR のデータです。TerraSAR のデータ、それから PALSAR、「だいち」のデータです。溶岩ドームが大きく成長し始め、火口を全部覆ってしまうのが刻々と分かりました。この間、火口は雲や噴煙に包まれ、航空機からは火口内がよく見えませんでした。準プリニー式噴火を起した爆発火口がすっぽり埋まったのが SAR 画像で確認できました。私はこれを見たときには、火口からマグマのガス抜きが不十分になって大きな爆発が起こると直感的に考え、気象庁や地元の防災関係者に危険性を指摘しました。ちょうどその日、新燃岳の東にある高原町では避難指示が行われました。その直後の 2 月 1 日から火口溶岩を噴きとばす激しいブルカノ式噴火が開始しました。避難指示は「行きすぎだ」、「もっと手続きを踏め」などの声があったようですが、私としては、よくぞ避難指示を出してくれたという思いでした。これは SAR データがなければこういう判断はできなかったわけです。山で何が起っているか分からないうちに爆発を迎えるという最悪のケースもあったのです。

その後、ブルカノ式噴火の間隔が時間とと

もに長くなりました。4 月 18 日に最後の噴火があって、それから(この講演の日 2011 年 6 月 1 日まで) 1 ヶ月半ぐらい何も起こっていません。もちろん地震は引き続いて起きています。表面的には、今回の一連の噴火はほとんど終わったとすることができます。ただ、図 10 の GPS で見ても、マグマが明らかに蓄積され始めているわけですから、また、1 月のような噴火のステージがやってくる可能性も高いと思います。

7. おわりに

これでほとんど時間が来てしまいました。この講演で何が言いたかったかと申しますと、最近の噴火予測研究は、レーザーを使った地形データ、GPS のデータ、SAR のデータなどがなくしては不可能であるということです。噴火時に地下で何が起っているかを理解する上で、地形の精度の良いデータが噴火前後を含んで、できるだけ多くのデータが時系列でそろっていることが望ましいと思います。特に、危険で立ち入ることができなくなった火口付近の陥没量や堆積物量などの情報が得られるように、危険地域の地形変化についてリアルタイムでデータが得られることが希望です。地形情報に加えて熱画像などの情報を含んだ統合的なデータもリアルタイムで得られるような技術開発を是非していただければと強く願っています。

今日のご清聴ありがとうございました。



講演者

中田 節也 (なかだ せつや)
東京大学地震研究所
火山噴火予知センター 教授

本稿は 2011 年 6 月 1 日、第 33 回測量調査技術研究会において特別講演をしていただいた東京大学地震研究所 中田節也先生のご講演を、先生のご監修をもとにまとめたものです。