

火山現象の理解と火山噴火予知

石原和弘

要 旨

1974年に開始された火山噴火予知計画の狙いと計画実施の特色、研究成果および火山防災との関連について概説した。地下のマグマの動きを種々の観測で捉えることが噴火予知につながり、研究観測成果を気象庁の業務に活かすことにより噴火予知の実用化を図るという当初計画の趣旨にそって、火山噴火予知計画は遂行され、噴火予知実用化の第一歩である噴火予警報が2007年に開始された。また、火山学の成果や火山学的知見は、ハザードマップ作成や火山危機時の助言など火山防災にも活かされている。

キーワード: 火山噴火予知, 火山防災, 噴火警報, ハザードマップ

1. はじめに

1955年10月に始まった桜島南岳山頂火口での爆発的噴火活動は、1960年に活動のピークを迎えたのち、次第に収まる傾向にあったが、1972年10月2日の大きな爆発を契機に激化し、降灰により農作物に大きな被害が生じ、山体斜面の急激な浸食がすすみ土石流も多発しはじめた。加えて、1914年の大正噴火のような大規模噴火の発生も懸念された。そのような背景のもとで、1973年には、「活動火山周辺地域における避難施設等の整備に関する法律（活火山法）」が制定され、測地学審議会（1973）は当面5ヶ年を目途とした「火山噴火予知計画の推進について」を内閣総理大臣、文部大臣、運輸大臣及び建設大臣に建議した。同計画は、9年先行して始まった地震予知計画を手本とした。建議を受けて、予算措置もなされ火山噴火予知計画は1974年に開始された。初年度は、活動的火山の多い北海道地区と九州地区の火山活動移動観測班（助手1、技官1）が、それぞれ、北海道大学と京都大学に設置された。筆者は、九州地区火山活動移動観測班助手として同年採用された。火山噴火予知計画は第7次計画をもって終了し、2008年の科学技術・学術審議会の建議「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」により、地震予知に関する観測研究と統合された計画として再出発することになった。火山噴火予知計画の出発から終了まで関わった研究者として、防災の観点も踏まえて、火山噴火予知に対する評価や考え方を述べたい。

2. 火山噴火予知計画とその成果

1973年当時は、気象庁の精密観測火山（浅間山、伊豆大島、阿蘇山、桜島）、大学の火山観測所のある火山（浅間山、阿蘇山、霧島山、桜島）であっても、観測点が少なく、煤書記録であったため火山性地震の震源決定ですら困難であった。しかも、地震観測以外の観測、たとえば、地殻変動観測がなされている火山はごく一部であり、火山噴火の予知には程遠い状況であった。

2.1 火山噴火予知計画の基本方針

1973（昭和48）年の建議の冒頭では、このような状況を踏まえて、火山噴火予知の現状分析及今後推進すべき重要課題として以下の7点を挙げている。

- (1) 火山活動の様相は各火山の溶岩の特質によって異なり、また時間とともに変わり複雑性を持つが、この地下のマグマの動きを各種の火山観測等により探知することが噴火予知につながるものである。
- (2) ところで、わが国には約70の活火山が分布しており、気象庁は現在その中の4火山で精密観測を、12火山で普通観測を実施している。これらは火山性地震の連続観測を主とし、他に年数回の現地観測を行っている。これらの観測結果にもとづき、気象庁は気象業務法による「火山情報」を発表し、附近の関係機関および一般住民に対する警戒を促している。
- (3) 主要な4火山に対しては、それぞれ大学の火山観

測所があり、火山性地震および地殻変動の観測を含む基礎的観測・研究を遂行しており、その成果を噴火予知に役立てようとしている。残りの火山については、大学と気象庁により臨時的な観測・調査を行い、監視を続けている。

- (4) 火山噴火予知の1日も早い実用化をはかるためには、火山学全般の基礎研究をはかると同時に、その成果を実際の業務にとりいれるよう、大学と気象庁の連携を緊密にする。
- (5) また、火山噴火予知の実用化をはかるため、従来の火山観測を強化し、火山性地震、火山性地殻変動等の観測を中心に、火山の特性に応じて必要な観測を行うとともに、そのための観測施設、移動観測班等を整備する必要がある。
- (6) さらに連続観測等においては、テレメタリング方式を採用するとともに、資料の自動処理化をはかる必要がある。
- (7) このほか、赤外線による主要な活火山の熱的状態の隔測など噴火予知および火山学全般に関する重要課題の研究を推進する必要がある。

火山噴火予知計画建議では、その目的として、火山噴火予知の「実用化」を強く前面に出している。具体的には、研究成果を、気象庁の業務、火山噴火に対する警戒を呼び掛ける「火山情報」に反映することを目標としている。同時に、建議は幅広い噴火予知研究及び火山学全般の進展が社会的な噴火予知実現に役立つという確信に立っている。

大学等と気象庁との連携の具体的な仕組みとして、地震予知計画にならって、1974年に「火山噴火予知連絡会」が発足した。大学、気象庁、地質調査所等

の調査研究機関に加えて、文部省のほか、防災を担当する国土庁を構成員としたことが特徴である。関係機関の研究及び業務に関する成果及び情報の交換、火山現象についての総合的判断を行い、火山情報の質を向上させて防災に資すること、火山噴火予知に関する研究及び観測体制の整備等を検討することを任務としている。また、活火山の定義と認定も重要な任務のひとつである。加えて、1977年有珠山噴火のような顕著な噴火発生時には、火山噴火予知連絡会は総合観測班を編成し、現地で即時的な活動評価が出来るような体制を構築してきた。

1974年度の実施状況、成果と問題点を踏まえて、1975年には火山噴火予知計画の一見直しがなされ、多機関による「特定火山集中総合観測」、「有珠火山観測所の新設」、雲仙火山を含む既設火山観測所の整備、火山ガスの隔測や電気探査的方法によるマグマ上昇の検出などの試験研究が建議された(測地学審議会、1975)。

1978年の第2次火山噴火予知計画以降は、活火山を活動度に応じて区分して、火山観測所の新設・整備や特定火山集中総合観測、移動観測等を計画的に実施することとした。1983年の第3次火山噴火予知計画(測地学審議会、1983)では、活動的で特に重点的に観測研究を行うべき火山、活動的火山及び潜在的爆発活力を有する火山、その他の火山の3つに区分した。限られた人材と予算を有効に活用し、火山噴火予知計画を推進するための措置であり、地震予知連絡会による特定観測地域、観測強化地域の指定に相当する。

Table 1 Main volcanic events and preparation before eruptions

Volcanic event	Preparation before the eruption
The 1977 Usu Eruption	Foundation of the volcano observatory(1977)
The 1983 Miyakejima Eruption	Joint Observation(1980)
The 1986 Izu-Oshima Eruption	Joint Observation(1974, 1983)/Foundation of the volcano observatory(1984)
The 1988 Tokachidake Eruption	Joint Observation((1987)/Strengthen of volcano monitoring, including an underground observation tunnel(1985)
The 1990 Unzen Eruption	Joint Observation((1986)/ Strengthen of the volcano observatory(1984)
The 1998 Iwate Volcanic Crisis	Joint Observation((1988)/ Strengthen of volcano monitoring, including borehole seismometers/tiltmeters, GPS and so on.
The 2000 Usu Eruption	Joint Observation((1993,1997)/ Strengthen of volcano monitoring by universities immediately before the eruption
The 2000 Miyakejima Eruption	Joint Observation((1985, 1990,1995)/ Strengthen of volcano monitoring
The 2011 Kirishima Eruption	Joint Observation((1994,1996)/ Strengthen of volcano monitoring, including borehole seismometers and tiltmeters, GPS, TV monitors, infrasonic microphones and so on

2.2 火山噴火の前駆現象と予知

予知計画開始以降の主な火山噴火と予知計画による事前の取り組みをTable 1にまとめた。1977年有珠山噴火と1986年伊豆大島噴火に先立ち、それぞれ火山観測所を新設する、また、他の火山についても特定火山集中総合観測を実施するなど、5ヶ年ごとの火山噴火予知計画建議で観測研究強化の対象火山の選定が概ね妥当であったことを示している。

他方、歴史時代の噴火記録がなく、数10年前からしばしば顕著な群発地震と地変を繰り返し、1989年に海底噴火を引き起こした伊豆東部火山群に対しては、地震予知の対象としては取り上げられていたが、

火山噴火予知計画では事前の対応がなされていなかった。地震活動が活発な火山地域、特に、東北から中部地方の地域については、地震と火山の研究者が連携して調査研究することが、地震学、火山学及び防災の観点から重要であろう。

噴火に先立ち、観測研究がある程度強化されていた火山では、Table 2に示すような噴火に先立つ種々の現象が観測された(石原, 1997)。しかし、1983年三宅島噴火では、観測体制が貧弱で前兆時間が短いために情報の発表が遅れ、1986年伊豆大島噴火については多項目の観測で異常が検知されたが、噴火の切迫性が十分認識されない間に事態が進行した。

Table 2 Precursory phenomena observed at recent remarkable volcanic eruption

Volcano	Onset of eruption	Observation	Significant phenomena
Usu	Aug.7, 1977 (summit eruption)	Seismic	Earthquake swarm: 31 hours before LF events: a few hours before
		Deformation	Inflation in half a day before, indicated by the measurement of cable length of the ropeway
Miyakejima	Oct. 3, 1983 (fissure eruption)	Seismic	Earthquake swarm: 1.5 hours before LF events: an hour before
Izu-Oshima	Nov.15, 1986 (summit eruption)	Geomagnetic	Total force change: .5 years before
		Geoelectric	Variation of apparent resistivity: half an year before
Izu-Oshima	Nov.15, 1986 (summit eruption)	Seismic	Activation of volcanic tremors: .4 months before
		Geothermal	Increase of heated area at the crater wall: 3 months before
		Visual	Fumarole activity at the crater wall: 3 days before
		Seismic	Earthquake swarm: 2 hours before
Izu-Oshima	Nov.21, 1986 (Fissure eruption)	Deformation	Tilt & strain change: 1-2 hours before
		Seismic	Earthquake swarm: 2 weeks before LF events: 3 days before Tremor: 2 days before
Teishi knoll	Jul. 13, 1989 (submarine eruption)	Deformation	Tilt, strain, distance changes: 10days before
Unzen	Nov. 17, 1990 (phreatic eruption)	Seismic	Earthquake swarms west of Unzen: 1 years before Volcanic tremors:4 months before
		Seismic	Earthquake swarm & tremor: 1week before
		Deformation	Rapid tilt & distance change: 1 week before
Unzen	May 20, 1991 (extrusion of dacite lava dome)	Geomagnetic	Rapid change in total force: 1 week before
		Visual	Cracks at the summit: a few days before
Usu	March 31, 2000 (flank eruption)	Seismic	Earthquake swarm:4 days before
Usu	March 31, 2000 (flank eruption)	Deformation	Inflation monitored by GPS: 3 days before
		Seismic	Earthquake swarm and migration: half a day before
Miyakejima	Jun.27, 2000 (submarine eruption)	Deformation	Tilt change: half a day before
		Seismic	Earthquake swarm: 4 days before
Miyakejima	Jul. 8, 2000 (Eruption & collapse of the summit caldera)	Microgravity	Lack of mass: a few days before
		Geoelectric	Variation of apparent resistivity: a few days before

他方、多くの火山では、観測により捕捉された現象が噴火の予測、あるいは火山情報の発表に活かされた。

1997年の第5次火山噴火予知計画レビューでは、適切な観測体制を実現すれば、差し迫った火山活動の高まりを把握できること、他方、観測体制がある程度整備された火山であっても、噴火の規模、様式及び推移を正確に予測することは容易ではないことが確認された。しかしながら、正確な噴火の発生及び推移の予測が困難な段階でも、噴火の実態や活動推移を逐次、総合的に把握することは、災害の軽減にとって有益であると結論した。この結論を踏まえて、噴火予知実用化の第一歩を踏み出すことになった。

2.3 マグマの挙動把握と火山現象の理解

「地下のマグマの動きを各種の火山観測等により探知することが噴火予知につながる」という火山噴火予知計画の基本的方針に沿って、火山観測に種々の手法が導入され、地下のマグマの挙動の把握、噴火現象及びマグマ供給系の理解が大きく進展した。地球物理学的観測だけではなく、火山ガス、火山灰や温泉など地球化学的分析、火山噴出物の地質岩石学的分析からも、地下のマグマの挙動や組成変化などの情報が得られた。ここでは、地球物理学的観測について述べる（石原，1997）。

顕著な噴火・異変が発生した火山では、地震観測、及び水準測量・光波測量・GPS観測により、地下数km～10kmのマグマ溜まりの所在の理解が深まり、火山活動の予測や各種観測データの評価に役だてられた。観測坑道や観測井での傾斜や歪観測により、噴火の数10分～数日前からの地盤の隆起膨張やマグマの貫入・後退に対応する地殻変動が、十勝岳、岩手山、浅間山、伊豆大島、三宅島、雲仙岳、霧島山、

桜島など多くの火山で観測され、噴火の短期・直前予測の手がかりが得られた。多くの場合、観測された噴火の前兆傾斜・歪は 10^{-9} ～ 10^{-7} と微小である。

大地電気比抵抗測定や地磁気の観測が、マグマの貫入などに伴う地下浅部の熱的状态の変化の捕捉に有効であることが、いくつもの火山で実証された。特に、磁性鉱物が少ないデイサイト質火山、雲仙普賢岳で1991年5月の溶岩ドーム出現過程が地磁気観測で捕捉された事は特筆される（Tanaka, 1995）。溶岩ドーム出現に先立ち、火山噴火予知連絡会は溶岩流出の可能性を明確に警告したが、地震、傾斜計・光波測量データに加え、地磁気データが見解の根拠となった。

絶対重力計とスプリング式重力計を用いた重力観測により、火道内のマグマの上昇・下降やマグマの後退に伴う重力の微小な変化が、伊豆大島、浅間山、三宅島などで観測された(Watanabe et al, 1998; Furuya et al, 2003)。

火山の表面活動を捉えるために、ビデオカメラ・赤外線カメラ、超低周波マイクロホン（空振計）、火山ガス（二酸化硫黄）隔測装置なども火山観測に導入、改良がくわえられた。これらによって得られた表面活動の情報は、地震や地殻変動などの観測データと併せて、火山噴火、火砕流の発生機構や火山性地震の理解にも役立てられた（Ishihara, 1985；石原・井口，1989；Yamasato,1998; Oshima, 2000）。これら火山噴火予知研究で開発・導入された表面現象に関わる観測機器は、地中傾斜計・地震計やGPSと併せて、気象庁の標準的な火山観測機器となっている。

2.4 火山噴火予知の実用化にむけて

第5次計画のレビューを受けて、第6次火山噴火予

Table 3 Volcanic alert levels operated by the Meteorological Agency of Japan since December 2007

	対象地域 Target area	噴火警戒レベル Alert level & Keyword
噴火警報 Warning	居住地域 Residential area	5 避難 Evacuate
		4 避難準備 Prepare to evacuate
火口周辺警報 Near-crater Warning	居住地域近く Near residential area	3 入山規制 Do not approach the volcano
	火口周辺 Around the crater	2 火口周辺規制 Do not approach the crater
噴火予報 Forecast	火口内 Inside the crater	1 平常 Normal

知計画（測地学審議会，1998）では，気象庁は，関係する機関の協力のもと，（1）常時監視観測火山すべての活動度を定量的に評価する手法を検討し，浅間山，伊豆大島，阿蘇山，雲仙岳及び桜島については，第6次計画終了時（2003年）までに火山活動に関する情報の定量化を試行すること，（2）火山の活動状況について迅速な情報収集と適切な評価を行うため地域火山監視センター的機能を有する拠点を整備することを提言した。（1）は，インドネシア等海外の火山国における経験・実績（石原，1997）を踏まえた提案である。加えて，三宅島，有珠山など噴火の切迫している火山の観測研究体制の強化と併せて，中長期的観点から富士山など静穏期にある火山の噴火の可能性等，噴火ポテンシャルを評価する研究の推進を新たに提案した。

2001年10月に気象庁は，提言(2)を受けて，本庁火山課と，札幌，仙台および福岡の3つの管区気象台地震火山課に「火山監視・情報センター」を設置した。

また，提言(1)については有識者による検討を経て，2003年11月から上記5火山の火山情報について，5段階の「火山活動度レベル」の提供を開始した。その後も順次，活動度レベル提供の対象火山を増やした。2007年12月には気象業務法を改正，従来の火山情報を廃止して，Table 3 に示す「噴火予報・警報」の運用を開始した。同時に，ハザードマップ（火山防災マップ）と避難等規制計画が整った16火山については，噴火の脅威が及ぶ危険性のある範囲に応じた5段階の「噴火警戒レベル」の提供を開始した（2012年現在噴火警戒レベル提供火山は29）。火山噴火予知計画が目標とした研究成果を気象庁の業務に活かした実用的な火山噴火予知の第一歩である。

2009年から2011年にかけて，火山噴火予知連絡会が「監視・観測体制の充実等の必要のある火山」として選定した47火山について地中傾斜計・地震計，空振計等の整備がなされた。気象庁の常時観測対象火山は一気に倍増し，わが国の陸上活火山の約半数が監視対象火山となった。

2007年12月以降2012年3月の期間に噴火警戒レベル3が発令された火山は，浅間山，霧島山，桜島，口永良部島の4火山，レベル2が発令された火山は，雌阿寒岳，三宅島，阿蘇山，薩摩硫黄島，諏訪之瀬島の5火山である。2012年3月の時点では，上記火山のうち，雌阿寒岳，浅間山，阿蘇山，口永良部島の4火山はレベル1に戻っている。

噴火警戒レベルは，必ずしも学術的な意味での噴火予知情報ではない。当該火山に関する知見と観測データの分析をもとに，5段階の噴火警戒レベルで，現時点での噴火の切迫性と脅威が及ぶと予想される範囲を公表して，周辺の自治体や住民に被災を避け

る行動を促すための情報である。

3. 火山災害の軽減

1974年の火山噴火予知計画開始以降に噴火による犠牲者が出たのは，1974年7月28日の新潟焼山の噴火（死者3名），1979年9月6日の阿蘇山の爆発的噴火（死者3名）及び1991年6月3日の雲仙普賢岳の火砕流（死者行方不明43名）の3例である。

阿蘇山では，1979年9月6日の爆発の約2カ月前から火山性微動の振幅が増大，約10日前に急減した。微動振幅の増大後の振幅急減は，阿蘇山の爆発の最も確かな前兆である。警戒を呼び掛ける火山情報に対応して，地元も火口周辺半径1km以内の立ち入り禁止措置をとっていた。しかし，観光客のための展望所が規制範囲外になるよう，規制円の中心をずらしたため，爆発発生時に展望所付近で死者3名，重傷2名，軽傷9名の被害を出すことになった。

雲仙普賢岳では，1991年5月20日の溶岩ドーム出現前から火山噴火予知連絡会は，種々の観測データをもとに溶岩流出の危険性を指摘し，火山活動に対する警戒を呼び掛けていた。溶岩ドームからの崩落火砕流が頻発する状況を受け，雲仙岳測候所は6月26日，当時の最高レベルの警戒を呼び掛ける「火山活動情報」を発表し，5月31日に火山噴火予知連絡会は火砕流に対する厳重な警戒を呼び掛ける統一見解を発表した（澤田，1996）。ところが，火砕流の流下方向，普賢岳の東麓，住民がすでに避難していた集落周辺に陣取っていた報道関係者を中心に43名の人々が6月3日の火砕流に飲み込まれ命を失った。すでに1週間前に火砕流による負傷者が出ていたにもかかわらず，このような事態に陥っている。インドネシアMerapi山では，2006年5月に溶岩ドームが成長，火山局は火砕流発生が必至と判断して最高レベルの情報を発表して数千人の住民も避難した。ところが，火山局Merapi火山観測所長の退避勧告を振り切ってシェルターにとどまった災害支援ボランティア2名が5月15日発生した火砕流により死亡した。火山現象，特に火砕流は，報道関係者，外来者にとっては自らに降りかかる危険を忘れさせるほど魅惑的な現象のようである。噴火予知の現場・現実には誠に厄介である。

いづれにしても，噴火が切迫していることを事前に警告するだけの噴火予知では，噴火災害の軽減は実現しない。切迫している火山噴火の脅威の実態と脅威が及ぶ範囲を，火山監視官署が地域の行政と住民に対して，災害予測図（ハザードマップ）等を活用して具体的に解説する必要がある。そのうえで，行政責任者による避難や立ち入り禁止等の規制が適

切かつ確実に実施されなければ、火山の脅威から人命を守ることはできない。火山災害を軽減するには、Fig.1に示したように、火山研究者、火山監視機関及び住民と行政が相互に連携協力し、それぞれの役割を果たすことが不可欠である。

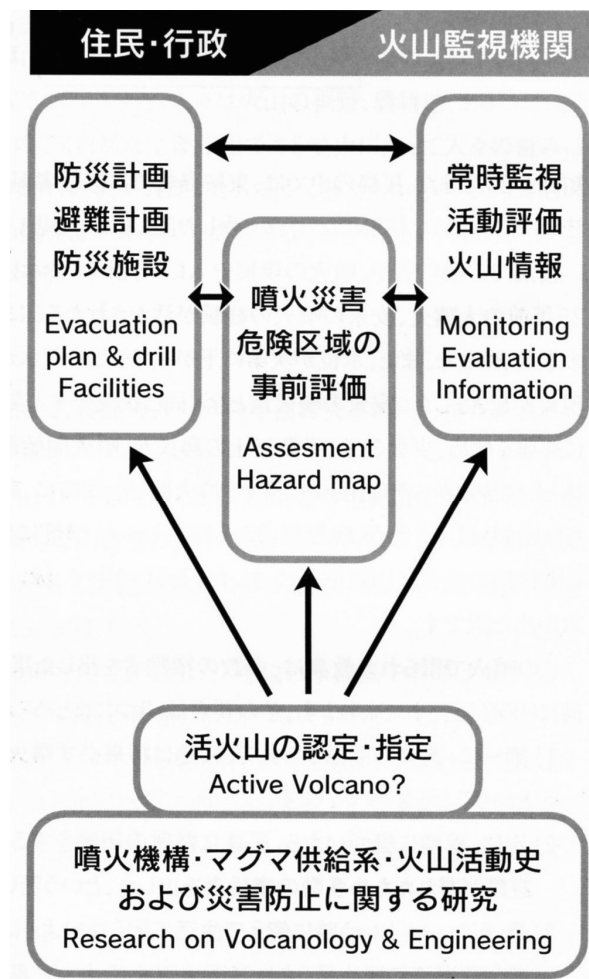


Fig.1 Procedure to minimize volcanic disasters

3.1 火山防災マップ

火山の防災マップ、及びその基礎となるハザードマップの意義と重要性については、国内外の火山研究者の間では早くから認識され、わが国でも1970年代後半に全国の火山研究者が作成に着手した（下鶴編，1981）。しかし、公表については、社会的影響を危惧する声が大きく、実現までに10数年を要した。

我が国で、ハザードマップの重要性が社会に認識され始めたのは、1985年のコロンビアのネバド・デル・ルイス火山の噴火以降である。同火山では、事前にハザードマップが作成されていたが、住民に配布される前に噴火が発生した。ハザードマップが予想した危険区域で2万人以上が泥流の犠牲になった。この教訓を踏まえて、十勝岳では1988年12月からの噴火に先立ち、地元自治体が大学研究者の協力を得

て作成した融雪泥流の防災マップが住民に配布された。12月24日夜の小規模な火砕流を伴った噴火発生直後の気象台の火山情報（火山活動情報）を受けて、地元自治体は観光客を含め約900名の迅速な避難を行った（岡田，1993）。その後、国土庁（1992）は数年間の調査検討を経て、1992年に火山噴火災害危険区域予測図作成指針を公表した。この指針と国からの財政的支援を受けて、火山を抱える都道府県が研究者の協力を得て、ハザードマップの作成を開始した。早くにハザードマップの意義が社会に認知されていれば、雲仙普賢岳で火砕流により多数の犠牲者を出すことは防げた可能性があったであろう。2012年3月現在、活火山110の内、ハザードマップが整備されているのは37火山にとどまっている。過去に噴火災害が発生した火山、特に、事前の避難が不可欠な離島火山のハザードマップの早急な整備が望まれる。

3.2 火山防災と自治体

災害対策基本法により、住民に対する避難等の勧告及び指示、また警戒区域設定権は市町村長にある。しかし、多くの火山の噴火は数10年～数100年間隔で発生する稀な現象であり、初めて直面する火山噴火に対して市町村長が単独で警戒区域設定や住民の避難指示の判断を迅速かつ適切に下すのは困難である。何らかの市町村長に対する助言者、あるいは助言の仕組みが必要である。

国、あるいは都道府県からの助言が考えられるが、北海道と鹿児島県を除けば火山噴火災害に関わった経験を有する行政担当者は少なく、同様の困難に直面する。火山に関する公的情報を発表する責務と権限を有する気象庁でも、顕著な火山噴火、特にその始まりから経験した職員は数少ない。学識経験者も参加した火山噴火予知連絡会の活動評価に関する見解が避難等の契機になった事例が多い。具体的な規制範囲の設定については、本来は気象庁・気象台が助言すべき事項であるが、これまでは、地元の自治体が主に当該火山の研究やハザードマップ作成に関わり周辺の社会的環境も熟知した地元大学の研究者など、いわゆる“ホームドクター”に相談して決定する事例が少なくなかった。筆者は、研究者個人が避難・規制等の行政的措置に直接的に関わるのは好ましいことではないと考えていた。しかし、1986年十勝岳噴火や2000年有珠山噴火のように活動開始前から研究者が関わった場合の防災対応は比較的円滑になされたことも事実であり、ホームドクター待望の声は各地にある。

鹿児島県防災会議は、1997年3月に地域防災計画（火山災害対策編）を策定公表した。同計画では県

内6火山に対して、それぞれの火山に関わる市町村長に対する助言組織として、関係自治体と関係機関で構成する「噴火（爆発）災害対策連絡会議」の設置を定めている。関係機関には、気象台、大学、海上保安庁、自衛隊、NTT、九州電力、運輸局、食糧事務所、日赤、警察、消防等が含まれる。県は、必要に応じて同会議を開催し、鹿児島地方気象台や大学の報告及びハザードマップ（火山防災マップ）に基づいた検討協議を行い、同会議は関係自治体に対し、検討結果に基づく助言・勧告を行うこととしている。2000年12月には開聞岳での噴気出現と、諏訪之瀬島で新たな場所から噴火という事態が発生した。それぞれの事態に対して、防災ヘリコプターを用いた鹿児島県、大学及び気象台の合同緊急調査が即時的に実施され、直ちに地元町村に対して登山規制の設定や解除などの助言がなされた。このような枠組みの中では、少なくとも研究者個人がホームドクターとして前面に立つことは避けられる。



Fig.2 Volcanic hazard map of Sakurajima revised after the onset of eruption at the Showa crater in June, 2006.

桜島南岳山頂火口の爆発的噴火活動は1995年以降次第に低下する一方、桜島北方の鹿児島湾、始良カルデラを中心に地下のマグマ蓄積による地盤の隆起・膨張が進行していた。噴火活動の再開・激化は必至という認識のもとで、関係自治体と関係機関で構成された「桜島火山防災委員会」は桜島火山防災マップ改訂版を作成した。鹿児島市は同マップを2006年3月に桜島の全戸に配布するとともに、広報紙で鹿児島市民に桜島の噴火活動活発化が迫っていることに対する警戒を呼び掛けた。

そのような状況の中で、2006年6月4日に南岳東斜面の昭和火口で58年ぶりに噴火が始まった。桜島の住民にとっては必ずしも例外は出来事ではなかったが、一般には想定外の場所から噴火が始まったと受け取られた。数日後から噴火に伴い火口から噴出・流下する小規模な熱雲（火砕流）が発生するように

なった。気象台は噴煙高度が1000mに達しないことから噴火と認定しなかった。そのため、観光客等が火口から約3km付近まで接近して噴火と熱雲を見物するという状況が続いた。京都大学防災研究所は、6月5日に火山活動研究センターのホームページで、この事態の背景と今後の見通し、注意すべき事項について解説した。自治体関係者は危機感を持ち、何らかの規制等を実施する根拠となる気象台からの火山情報発表をまった。6月12日の火山噴火予知連絡会の検討結果を受けて、気象庁は南岳山頂火口の爆発に加え、昭和火口の噴火にも注意を喚起する臨時火山情報を発表し、火山活動度レベルを2（比較的静穏な噴火活動）から3（活発な火山活動）に引き上げた。これを受けて、鹿児島県は、6月13日に気象台、大学等と事前協議を行い、翌14日に桜島爆発災害対策連絡会議を開催し、現状と今後の火山活動、および当面の対策について協議を行った。同会議は南岳山頂火口から2km以内に、昭和火口から2km以内も立ち入り禁止区域に加えるべきことを鹿児島市長に勧告した（Fig.2）。鹿児島市は、即日、鹿児島県、国土交通省の協力を得て立ち入り禁止区域に通じる道路にゲートを設置するとともに、消防・警察の協力を得て住民の所在確認等を行った。同会議の利点は、火山危機に際して防災関係者が一堂に会することから、事態と必要な対策等についての認識の共有が短時間でできること、しかも会議は公開されているために偏った報道が意図的になされる恐れが少ないという事である。

2011年1月26日からの霧島山新燃岳噴火に際しては、内閣府を中心とする政府支援チームと宮崎、鹿児島両県の危機管理局が核となって、関係自治体と関係機関による定期的な協議会（コアメンバー会議）を開催し、火山活動や防災対策に関する情報交換・協議及び関係市町への助言等を行った。

最近の桜島、霧島山の経験を踏まえて、2011年12月に国の防災基本計画（火山災害対策編）が修正され、火山防災にかかわる協議会を通じて、事前の避難計画の策定や火山防災マップの作成等に取り組むことを盛り込むなど、火山防災対策を検討するための協議会等の位置付けが明確化された。

4. おわりに

1974年に開始された火山噴火予知計画の成果の概要と火山防災に関わる取り組みについて解説した。筆者は、予知を「予め知る」ではなく、「予め知らせる」ことであると考えてきた。より具体的には、観測データなどから、地域や住民に迫りくる脅威と事態を「予め知らせ」、災害を回避する行動を促す

社会的行為である。このような観点から以下のように取りまとめた。

[1] 地下のマグマの動きを種々の観測で探知することが火山噴火予知につながる、観測研究成果を気象庁の業務へ反映することが噴火予知の実用化に近づく道である、また、火山噴火予知には火山学全般の進展が不可欠であるという火山噴火予知計画発足時の認識は妥当であった。

[2] 具体的にいえば、多くの火山噴火に対して事前に各種観測調査が開始されたことにより、噴火の先駆けとなる現象、噴火前後の変化等が捉えられ、噴火予測や噴火機構の理解、及び火山情報に役立てられた。また、大学等で開発された観測手法は気象庁の業務に取り入れられ、陸上火山の約半数に当たる47火山の監視観測体制が整備された。

[3] 噴火の開始時期、規模、場所、様式あるいは活動の推移を観測データからの確に予測することは困難であるものの、噴火の何らかの兆候は検知される。2007年に開始された噴火警報は火山噴火予知実用化の第一歩である。より定量的な5段階の噴火警戒レベルの一層の普及が望まれる。

[4] 火山災害を軽減する、噴火災害による犠牲者を出さないためには、住民や行政関係者が迫りくる火山の脅威の実態をハザードマップなどで理解し、避難計画などに基づき危険を回避する行動をとることが必要である。ハザードマップが整備された火山は陸上火山の半分以下、具体的な避難計画は数火山でしか策定されていない。火山防災協議会等での早急な作成が望まれる。

[5] 火山噴火予知計画発足以降の30数年間に、種々の火山噴火を経験して噴火機構の理解は進んだが、いずれも中小規模の噴火である。強い水蒸気爆発や山体崩壊等科学的観測の実績のない噴火様式も視野に入れるとともに、これまでの火山噴火予知計画のように、当面5～10年間に噴火発生の可能性が高い火山を対象とした重点的な観測研究を望みたい。

謝 辞

筆者が、火山の観測研究に専念し、不十分であるものの火山噴火機構や噴火機構などに研究成果を得て無事定年退職を迎えることが出来たのは、先輩と同僚のおかげである。また、学内、国内及び海外の研究者から多くの刺激と知識を得た。野外観測や観測研究施設の設置に当たっては、それぞれの地元の関係者の方々、国及び地方公共団体の方々、京都大学の事務方に大変お世話になった。これらの方々に記して謝意を表したい。

参考文献

- 石原和弘 (1997) : インドネシアの火山活動のレベル化に関する規定, 火山, 第42巻, pp.53 - 57.
- 石原和弘 (1997) : 火山観測による噴火の仕組みの理解, 火山, 第42巻, pp.445 - 458.
- 石原和弘・井口正人 (1989) : 火山体の変形, 表面活動と火山性地震発生の関係 (I), 京都大学防災研究所年報, 第21号B - 1, pp.153 - 162.
- 岡田 弘 (1993) : 十勝岳の火山噴火の予知と防災, 月刊地球, 号外, No.7, pp.155 - 169.
- 鹿児島県防災会議 (1997) : 鹿児島県地域防災計画 (火山災害対策編), 400pp.
- 国土庁防災局 (1992) : 火山噴火災害危険区域予測図作成指針, 153pp.
- 澤田可洋 (1996) : 気象庁, 火山噴火予知連絡会の対応, 雲仙普賢岳の噴火, 月刊地球, 号外, No.15, pp.186 - 191.
- 下鶴大輔編 (1981) : 噴火災害の特質とHazard Map作成及びそれによる噴火災害の予測の研究, 文部省科学研究費自然災害特別研究成果, A-56-1, 186pp.
- 測地学審議会 (1973) : 火山噴火予知計画の推進について (建議), 文術測第48 - 16号, 3pp.
- 測地学審議会 (1975) : 火山噴火予知計画の一部見直しについて (建議), 文術測第50 - 20号, 4pp.
- 測地学審議会 (1983) : 第3次火山噴火予知計画の推進について (建議), 文術測第58 - 12号, 11pp.
- 測地学審議会 (1998) : 第6次火山噴火予知計画の推進について (建議), 文術測第2号, 24pp.
- Furuya, M., Okubo, S., Sun, W., Tanaka, T., Oikawa, J., Watanabe, H. and Maekawa, T. (2003): Spacio-temporal gravity changes at Miyakejima volcano, Japan: Caldera collapse, explosive eruptions and magma movement, J. Geophys. Res. Vol.108, 2219, doi:10.1029/2002JB001989, 2003.
- Ishihara, K. (1985): Dynamical analysis of volcanic explosion, J. Geodynamics, Vol.3, pp.327-349.
- Oshima, H. and Maekawa, T. (2001) Excitation process of infrasonic waves associated with Merapi-type pyroclastic flow as revealed by a new recording system, Geophys. Res. Lett., vol.28, pp.1099-1102.
- Watanabe, H., S. Okubo, T. Maekawa and S. Sakashita (1998): Drain-back process of basaltic magma in the summit conduit detected by microgravity observation at Izu-Oshima volcano, Japan. Geophys. Res. Lett., Vol.25, pp.2865- 2868.
- Yamasato, H. (1998): Quantitative analysis of pyroclastic flows using infrasonic and seismic data at Unzen Volcano, Japan. J. Phys. Earth, Vol.45, pp.397-416.

Understanding of Volcanic Phenomena and Prediction of Volcanic Eruptions

Kazuhiro ISHIHARA

Synopsis

This manuscript describes the outline of the National Project of Prediction of Volcanic Eruptions (1974-2008): scientific and social purposes and results. Several methods and instruments developed under the project and scientific knowledge on volcanic activities were transferred to the Japan Meteorological Agency, which started a quantitative volcanic alert in December 2007. Volcanologists have contributed to mitigation of volcanic hazards in various aspects, making of volcanic hazard maps and evacuation plans, and as experts in volcano crisis, based on scientific research and experiences of volcano crises at several volcanoes.

Keywords: prediction of volcanic eruptions, mitigation of volcanic hazards, volcanic alert, hazard map