

## 火山噴火の危機管理—北海道十勝岳を例として—

伊藤英之\*

### 1 はじめに

火山噴火時における危機管理では、対象とする火山における噴火癖を知ることが重要である。2000年有珠山噴火では、少なくとも有史以降記録されてきた7回の噴火と火山地質学的情報から噴火様式、噴火の規模、活動の推移および継続時間等から活動が類推され、リアルタイムに観測される地球物理学的データとあわせて、火山活動の現状を的確に評価することが可能であった。

一方、十勝岳は有珠山のような長期的・短期的な火山活動の評価を行うに必要な情報が残されていない。これは、有珠山や北海道駒ヶ岳等のように頻繁に噴火活動が記録されていないことに加え、火山体の形成過程や噴出物の性質などの詳細な火山地質学的記載が行われていないことに起因すると考えられる。

近年、有珠山、三宅島が相次いで噴火活動を再開し、改めて噴火時における組織対応として「危機管理」が問われるようになった。しかしながら火山噴火を含む自然災害の「危機管理」の本質を明確に指摘できる人は少ないと考えられる。

ここでは、北海道中軸部に位置するAランク活火山である十勝岳を例として、近年明らかになった火山地質学的情報から噴火時の特徴を整理し、噴火災害シナリオ構築までの検討過程について述べる。次に噴火時における危機管理のあり方について議論を行う。

### 2 十勝岳火山の概要

十勝岳火山は、北海道中軸部を構成する大雪—十勝火山列のほぼ中央部に位置する活火山であり、有史以降1857年、1926年、1962年、1988-89年に噴火活動を発生させた記録を持つ。特に1926（大正15）年の噴火では、噴火活動自体はきわめて小規模なものであったが、水蒸気爆発に伴い中央火口丘が崩壊、積雪を急速に融解して融雪泥流を生じ死者行方不明者144名、我が国20世紀史上最悪の火山災害を引き起こした。また、1988-89（昭和63～平成元）年の噴火では、積雪期に火砕流が断続的に発生したため、火砕流災害に加え融雪泥流による災害も懸念された。

十勝岳火山は泥流災害を生じやすい火山と考えら



写真1 十勝岳火山群遠望

\* (財) 砂防・地すべり技術センター 総合防災部課長代理

れている<sup>1)</sup>。そのため融雪泥流をターゲットとした防災工事が著しく進捗している一方、噴火による直接的災害は、有史以降山頂付近に限られて発生していることから、噴火そのものをターゲットとした防災対策はあまり進んでいなかった。

図1に最近明らかになった十勝岳の火山地質図を、また図2に層序ブロック図を示す<sup>2)</sup>。十勝岳火山は古期・中期・新期十勝岳火山に分類され、現在活動を行っている新期十勝岳火山は約3,500年前程度から活動を開始したと考えられる<sup>3)</sup>。

現地調査、航空写真判読および全岩化学組成分析結果によると、新期十勝岳火山は、すり鉢火口火山体とグラウンド火口火山体との2つの火山体の複合体であると判断され、噴火活動の初期にはグラウンド火口火山体が噴出中心であったが、9~10世紀頃にはグラウンド火口北側に位置するすり鉢火口火山体へと噴出中心が移動し、北向火口から複数枚の溶岩流を流出させた。また、一部は山麓噴火により溶岩流を流出させた。すり鉢火口火山体活動の末期には爆発的噴火を山頂付近で起こし、すり鉢火口丘を

形成した。この活動では火砕流も伴った<sup>4)</sup>。その後噴出中心はグラウンド火口火山体にシフトし、中央火口丘の形成や、約280年前には中央火口丘溶岩流を流出させた<sup>5)</sup>。

現在の噴火活動の中心は1962年の噴火においてグラウンド火口南縁に形成された4つの火口群であり、その中でも特に62-II火口が活発な噴煙活動を継続しており、十勝岳における最新の噴火である1988-89年噴火もこの62-II火口が主たる活動の場であった。

堆積物の特徴および噴火記録から、新期十勝岳の噴火は水蒸気爆発から始まり、わずかな噴火休止期または連続的にマグマ-水蒸気爆発あるいは激しいマグマ噴火に移行すると考えられており、定性的な噴火モデルも提案されている<sup>20)</sup>。このモデルによると、十勝岳グラウンド火口直下の比較的浅い部分に帯水層があり、この帯水層にマグマが直接的に接触することにより爆発的な噴火が発生、しばしば火砕サージや火砕流を伴うと考えられている。また、マグマの上昇速度が十分に遅い場合には、帯水層がマグマの熱により蒸発し、その結果、爆発的噴火には至らず溶岩流が流下する。このモデルでは有史以降、噴火の数年前から直前までに認められる噴気異常に代表される表面現象異常を合理的に説明できる。

図3に新期十勝岳火山における噴出物-時間積算

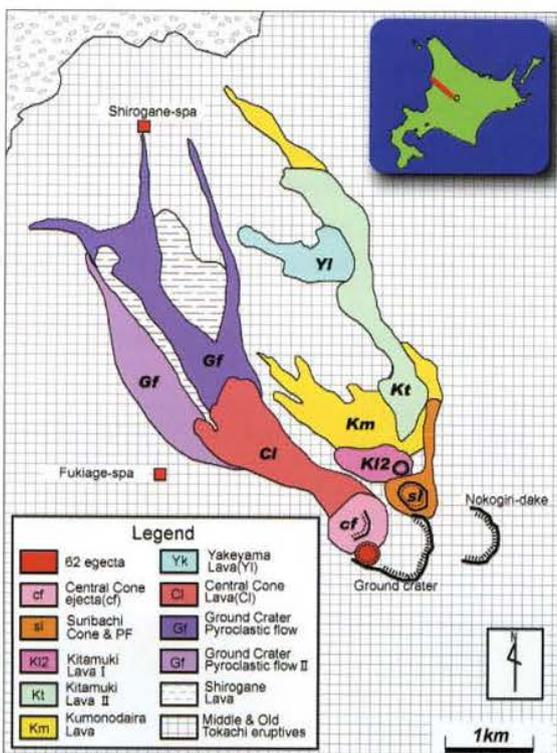


図1 新期十勝岳火山地質図 (伊藤,2003)。新期十勝岳火山は山頂北西に中心を持つすり鉢火口火山体とその南側を噴出中心とするグラウンド火口火山体に区分される。現在の噴出中心はグラウンド火口火山体であり、最新の噴火活動である1988-89年噴火もこのグラウンド火口火山体で発生した。

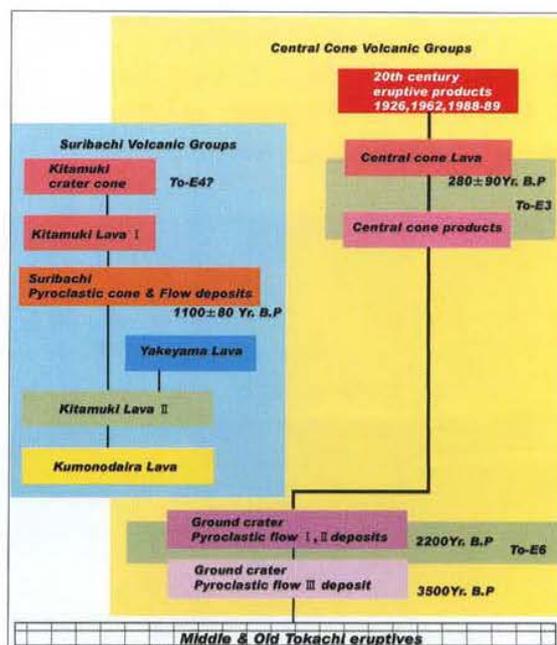


図2 新期十勝岳におけるブロックダイヤグラム。凡例は図1と同様。

階段図を示す。噴火規模は過去3,500年間安定しており、一回の噴火で $10^7\text{m}^3$ オーダーのマグマが噴出する傾向が認められ、マグマの長期的噴出率は $0.05\text{km}^3/1\text{k.y}$  ( $1\text{k.y}=1,000$ 年)と見積もられる。

図4に過去1,000年間における災害因子の発生頻度を示す。図4より、十勝岳においては水蒸気爆発からマグマ噴火へ移行する可能性が極めて高く、水蒸気爆発のみで活動が終了する可能性は全体の18%しかない。また、噴火した場合、高々度まで噴煙柱を立ち上げる大規模噴火(サブプリニー式噴火)を発生する確率は36%あり、火砕流を伴う可能性が24%も存在している。この事実は噴火活動が発生した場合、その主たる原因はマグマに起因していることを強く示唆していると考えられる。

### 3 イベントツリー図を用いた十勝岳における長期的火山活動予測

火山噴火予測においては、火山体に設置された各種センサーから現在の火山活動状況を評価し、リアルタイムの火山活動予測を行う短期的火山活動予測と、主に地質学的なデータを吟味し、火山活動の兆候が認められない火山を対象として、噴火がどのよ

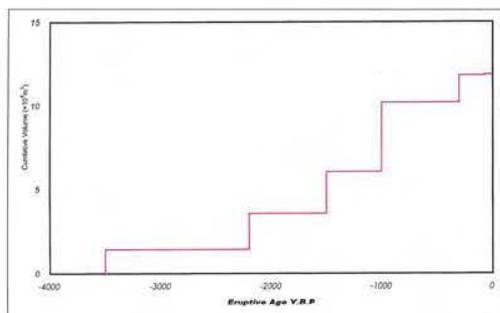


図3 十勝岳過去3,500年間における噴出物一時間積算階段図。横軸に時間、縦軸に累積噴出物体積を示している。

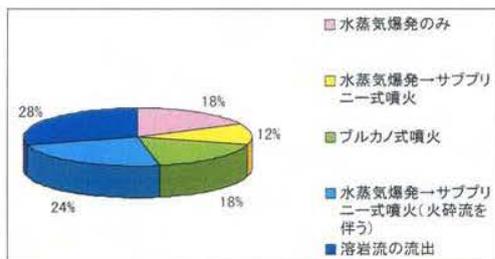


図4 グラウンド火口内における1,000年あたりの噴火出現頻度。十勝岳火山の場合、水蒸気爆発に始まり、爆発的なサブプリニー式噴火に移行する頻度が高く、しばしば火砕流を伴う爆発的噴火に移行することが多い。

うな形式でどのような頻度で発生するかなどを想定する長期的火山活動予測がある<sup>7)</sup>。ここでは長期的活動予測についての議論を行う。

長期的火山活動予測を行う際には、イベントツリー図(Event tree)による火山活動予測が有効である。イベントツリー図はNewhall and Hoblitt (2002)<sup>8)</sup>によって提唱されたフレームワークで、過去の噴火履歴や観測データを踏まえ、火山性異常の発生から噴火に至る可能性、噴火が発生した場合、発生の可能性がある現象とその発生確率を時間の推移を追いながら議論することができる。また、その議論の過程においてイベントに関連する災害予測や防災対策の効果、避難方法などの対応実施評価などについても議論することが可能である。

ここでは、噴火発生確率についての議論はしないが、図3、4で示した過去の噴火実績に関するデータ等から十勝岳における長期的な噴火予測を評価すると、図5に示すようなイベントツリー図を作成することが可能である。図5ではイベントツリー図から導き出される結果をシナリオ群としてとりまとめている。これらのシナリオ群についての数値シミュレーション解析を事前に行うことにより、火山活動の静穏時から想定可能な噴火に対する対策を検討しておくことが可能である。

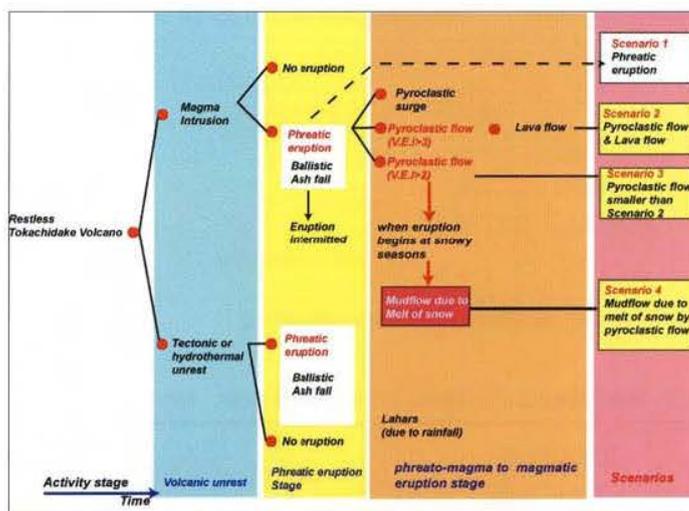


図5 十勝岳におけるイベントツリー図

## 4 噴火時の危機管理

### 4-1 危機管理の研究史と概念

わが国において、最初の危機管理に関する本格的な研究を行ったのは近藤（1980）<sup>8)</sup>である。近藤（1980）は、危機管理の研究体系が1962年に勃発した「キューバ危機」を契機として確立され、管理の対象が安全保障、紛争勃発からテロリストによる破壊行為、環境破壊、資源枯渇など幅広い危機への対応へと拡大していったことを述べている。

表1に近藤(1980)による軍事的領域における狭義・広義の危機管理を示す。これによると危機管理はそのときにおかれた局面より、「狭義の危機管理」と「広義の危機管理」に区分され、「軍事力の物理的な使用によって始まる戦争を誘発する危険のあるような紛争状態の急変」を狭義の「危機」とし、その危機に対し「紛争当事国がそれをコントロールしながら事態の発展回避に努め、事態の収拾を図るためにとる組織的な諸措置全体」を狭義の「危機管理」と定義した。また、広義の危機管理については、狭義の危機管理を拡大し、「平時において危機の抑止

ないし未然防止を図るための組織的な措置と、万が一戦争への発展回避ができなかった場合における戦争拡大防止を図り、事態収拾を図るための組織的な措置」としている。

日野（1997）<sup>9)</sup>は、近藤（1980）の議論を自然災害科学への適用を試み、表2に示すように定義した。

表2より、従来の地域防災計画に記載されている対処方法は、軍事的領域における戦時（戦争対処および戦争収拾）に対応している。

日野（1997）は、従来型の防災対応では突発的に発生する地震災害はおろか、予兆現象が他の自然災害に比較して明確に観測することが可能である場合が多い火山噴火に対しても、大きな事態が発生してからの応急対応のみの実施となってしまう、事態の悪化・拡大に対処することが困難になってしまうことを指摘した。また、日野（1997）は兵庫県西部地震における被災地の行政職員の活動手記を引用し、「状況の先読みと先手の対策」の必要性を強く述べている。

### 4-2 危機管理の構成要素

前述の近藤（1980）によると、軍事的領域における危機管理の内容を以下のように整理している。

- ① 危機的状況の把握
- ② 危機的状況の評価

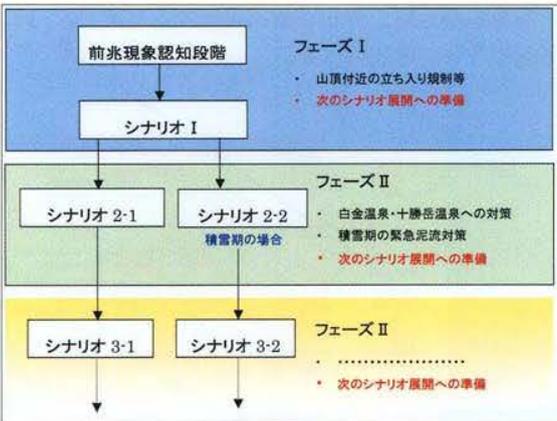


図6 シナリオの時系列変化に対する減災対策の概念図

表1 軍事的領域における狭義および広義の危機管理 (近藤, 1980)

平時	危機抑止	狭義の危機管理	広義の危機管理
危機時	危機対処 危機収拾 危機再発防止		
戦時	戦争対処 戦争収拾		

表2 軍事的領域および災害領域における危機管理 (日野, 1997)

軍事的領域		災害領域			
		風水害・火山災害		地震災害	
時期区分	対策	時期区分	対策	時期区分	対策
平時	危機抑止	平常時	災害予防対策	平常時	災害予防対策
危機時	危機対処 危機収拾 危機再発防止	警戒避難期	警戒避難対策	応急対応期（初動期）	災害応急対策
戦時	戦争対処 戦争収拾	応急対応期	災害応急対策	応急対応期（救援期）	
		復旧・復興期	災害復旧・復興対策	復旧・復興期	災害復旧・復興対策

- ③ 緊急対策立案
- ④ 政策（意思）決定
- ⑤ 対処策実施計画の作成
- ⑥ 対処策の実行
- ⑦ 収拾策の立案
- ⑧ 意思決定
- ⑨ 収拾策実施計画作成

日野（1997）は、近藤（1980）が述べた上記項目のうちから、大規模自然災害発生時における防災活動を考慮し、特に以下の2点を考慮することが重要だとしている。

(a) 前述の項目には明記されていないが、危機を管理するためには、ある目的（この場合には、大規模災害時のそれぞれの局面で必要とされる防災上の目的）に沿って、対処策の実行結果の「評価」とその評価をもとにした防災活動・体制の「統制」

(b) 前述の項目のうち、軍事的衝突の危機等、人為的に生じた危機的事態（の収拾）を意識した項目である「収拾策の立案」以降の活動項目は、大規模自然災害時の組織対応については通常存在しない。

以上の点に留意して、日野（1997）は、大規模自然災害時における危機管理の内容を次のように整理している。

- ① 危機の把握
- ② 危機の評価・進展予測
- ③ 対策（対処計画）の立案
- ④ 対策の実施
- ⑤ 対策実施結果の評価
- ⑥ 上記活動の統制

すなわち危機管理では、まず危機の認識と近未来における危機的状況の評価、進展予測が極めて重要であることがわかる。

### 4-3 噴火時の危機管理

#### — 具体的施策に向けて —

十勝岳においては図5に示したとおり、長期的には火山噴火のシナリオ群が特定され、また、20世紀に発生した4回の噴火では、噴火活動の数年前から表面異常や地震

活動の顕著な増加が認められている（図6）。さらに噴火活動によって影響が及ぶと予想される範囲については、数値シミュレーション解析により把握することが可能である。

すなわち、十勝岳においては、近未来における噴火危機に対する進展予測とその災害影響範囲の予測がある程度可能であり、それぞれのシナリオに対する事前対策（オペレーション）を準備しておくことにより、火山災害の軽減を図ることができる可能性を強く示唆しているものと考えられる。また、前頁の表2では、危機管理においてその局面（時期区分）に応じた対策を予め設定しておいて実行することが重要であることを示唆している。

図7に火山噴火時におけるシナリオの時系列変化に対する減災対策の概念図を示す。伊藤（2003）は、火山活動の状況（フェーズ）に対応した防災行動を

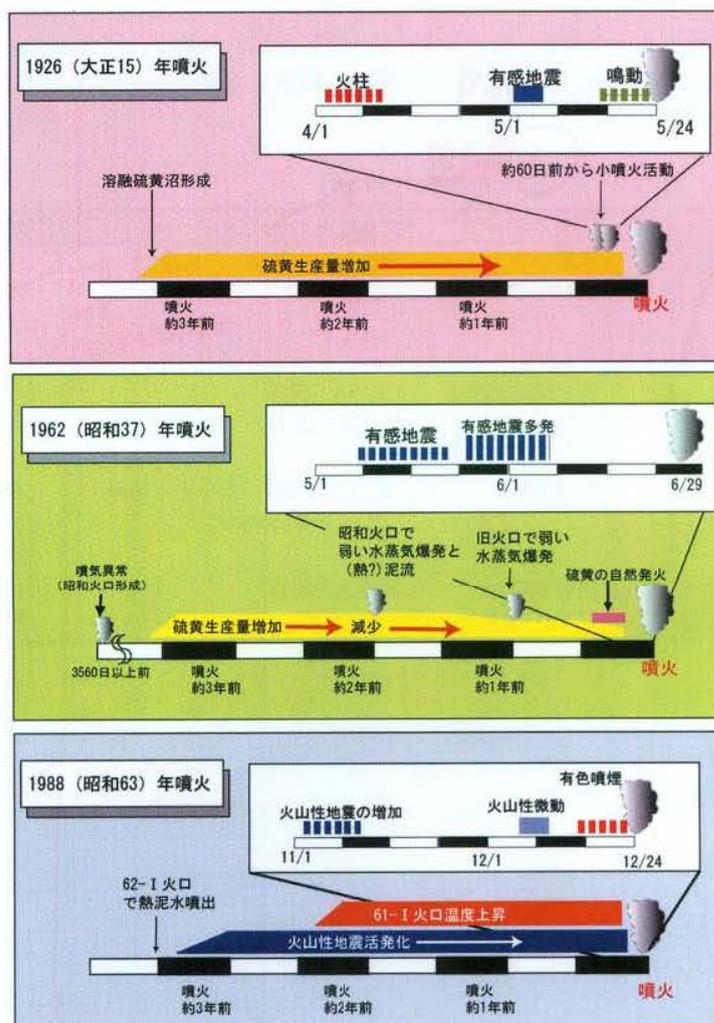


図7 20世紀における噴火に至るまでの火山性異常の時系列変化

予め決めておき、火山活動フェーズに応じた減災対策を、火山活動より先に講じることが重要であるとされている。また、減災対策を行う際のトリガーとして、火山活動の状況に応じて気象台から発表される「火山情報」が有効であるとしている。

しかしながら、自然現象は人間が設定したタイムスケジュールに従って事態が進行するわけではないため、予測されている進展と現在おかれている局面の状況推移とのズレが生じる場合が多い。そのため、常に最新の情報を解析し、新たな進展の予測をリアルタイムで行う必要が生じる。そのためには各種の計器観測によるリアルタイム火山観測が欠かせない。

また、火山活動フェーズに対する事前対策の準備を行う際には、関係各機関との事前調整が重要であり、火山活動フェーズに応じた防災活動の役割分担を明確にしておくことが重要である。そのためには宇井（私信）が述べているように「常にお互いの顔がみえる関係」を日頃の防災活動から構築しておく必要がある。

【引用文献】

- 1) 気象庁（1996）日本活火山総覧。
- 2) 伊藤英之（2003）十勝岳グラウンド火口形成以降の火山活動史の解明と危機管理対応に関する研究。北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻。学位論文。249。
- 3) 中川光弘・長谷川撰生（1995）。新时期十勝岳最近3000年間の活動史。北海道火山勉強会資料27-31。
- 4) 伊藤英之・尾関伸幸（1999）十勝岳—すり鉢火口の形成過程。日本火山学会1999年度講演会予稿集2.3。
- 5) 石川敏夫，横山泉，勝井義雄，笠原稔（1972）北海道における火山に関する研究報告書第2編，十勝岳。火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策。北海道防災会議，1-136。
- 6) C.G.Newhall, R.P.Hoblitt（2002）Constructing event tree for Volcanic Crises.Bull.Volcanol.64 3-20
- 7) 宇井忠英（編）（1997）。火山噴火と災害。東京大学出版会，219。
- 8) 近藤三千男（1980）。危機管理の意義と課題。国際問題
- 9) 日野宗門（1997）。地域防災実践ノウハウ（15）大規模災害の危機管理（その1）。季刊消防科学と情報。No.51 40-45。

表3 危機管理フェーズごとの情報収集作戦（案）

危機切迫度	危機体制	十勝岳における想定シナリオ	対応等（ドリル）
危機度小	準備事態 （フェーズⅠ）	・ 静穏な火山活動	・ <b>日頃からの準備</b> ・ 防災教育・普及啓発活動 ・ 防災訓練 ・ 火山監視システム整備
↑ ↓	部分的緊迫事態 （フェーズⅡ）	・ 臨時火山情報 （表面異常増大・火山性微動，小噴火）	・ <b>シナリオ1を想定した準備</b> ・ 監視観測の強化要請（開発局・北海道） ・ 火口付近の偵察要請（陸上自衛隊，北海道警察）
	緊迫事態 （フェーズⅢ）	・ 緊急火山情報or臨時火山情報 （シナリオ1の噴火）	・ <b>シナリオ2～4を想定した準備</b> ・ 被災状況確認要請（自衛隊，警察，開発局，北海道） ・ 避難状況確認要請（警察，自衛隊）
	危機度大	防衛事態 （フェーズⅣ）	・ 緊急火山情報