

総説

空中物理探査法を利用した雲仙溶岩ドームの崩壊危険度予測評価

奥野孝晴² 斎藤基生¹ 池田和隆² 佐藤 徹¹

Takaharu OKUNO, Motoiki SAITO, Kazutaka IKEDA, Toru SATO (2001) Study on collapse of the lava dome, Unzen volcano using the airborne geophysical survey method. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 52 (2/3), p. 113-124, 11 figs, 3 tables.

Abstract: The airborne electromagnetic, magnetic and gamma-ray geophysical surveys and topographic analysis were performed for the forecast of the collapse of the newly formed lava dome called Heisei-shin-zan on Mt. Fugen, Unzen, Nagasaki prefecture. A close relationship was recognized between the characteristics of rock types related with the genetic process of the dome and airborne geophysical data. The resistivity of massive lava, fractured lava, pyroclastic flow, and debris deposit generally is in descending order, while for radioactivity it is in ascending order. This analytical study shows that the airborne geophysical data reflect the degree of fracturization of the rocks.

The collapse hazard map was prepared on the basis of the slope gradient measured by the aerial photographs and fracturization degree of the lava dome on the slope estimated by the airborne geophysical study.

要旨

長崎県雲仙普賢岳の溶岩ドーム(平成新山)の崩壊危険度を予測評価するために、空中物理探査(電磁・磁気・ガンマ線)と航空写真による地形解析などを実施した。

空中物理探査の結果は、ドームの成長過程などから推定した岩盤性状との間に一定の相関が認められた。すなわち、堅固な岩盤状の溶岩・亀裂の発達した溶岩・火砕流や土石流堆積物の順に比抵抗は低くなり、逆に放射線強度は高くなる。このことは、これら物性値が斜面崩壊の素因の一つである岩盤強度に関する溶岩の破碎度を反映したものと考えられる。

そこで溶岩ドームを破碎度の上から3区分し、航空写真解析によって求めた10mピクセル毎の最大傾斜角との関係から、崩壊危険度を評価し、溶岩ドーム危険度マップを作成した。

1. はじめに

1990年11月、およそ200年ぶりに雲仙普賢岳(第1

図参照)が噴火した。その後1994年まで次々と溶岩ドームを形成しながら、大規模な火砕流が発生し、広い範囲に甚大な被害をもたらした。一連の火山活動によって形成された溶岩ドームは1億 m^3 、火砕流堆積物は1億7千万 m^3 に達し、普賢岳の東側に新たな山体(平成新山)が形成された。



第1図 調査位置図。

Fig. 1 Location map of the survey area.

¹ (株)エースヘリコプター (Ace Helicopter Co., Ltd., Yanagihara 1610, Furuya-Hongou, Kawagoe, Saitama, 350-0002)

² 現在: 応用地質(株)つくば技術開発センター空中探査技術研究所 (Airborne Survey Division, Tsukuba Technical R&D Center, Oyo Corp., 2-19 Daitakubo 2-chome, Urawa, Saitama, 336-0015)

Keywords: airborne geophysical survey, electromagnetic survey, magnetic survey, gamma-ray survey, lava dome, Mt. Hugen, Unzen, Nagasaki prefecture, hazard map

火山活動の終息とともに周辺部の復旧事業は精力的に進められたが、山頂を取り巻く広い区域は、いま尚立ち入りが禁止されている。その要因の一つは、生成間もない不安定な溶岩ドームの崩壊の危険や、崩壊に伴って発生する土石流災害などの懸念である。

この調査は、今後安全に治山事業を進める上で必要な基礎的資料として、平成新山の山頂部に残存する面積約0.7 km² (東西約1.2 km, 南北約0.6 km) の溶岩ドームの崩壊危険度を予測評価することを主目的に、1999年に実施した。

2. 探査法システムと解析法

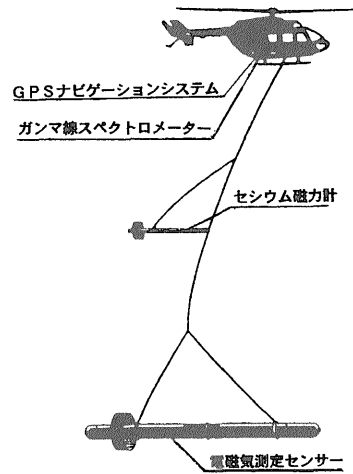
調査域は立ち入り禁止区域を含む急峻な山地であることから、地上での従来手法を採用することは不可能であった。そこでヘリコプターを利用した空中からの探査を計画実施した。空中探査システムの状況を第2図に、主要な探査装置の仕様を第1表に示す。

今回用いた探査手法とシステムの概要を以下に述べる。

2.1 空中電磁探査

電磁探査は、電磁誘導作用を利用して大地の比抵抗分

布を調べる地下探査法である。計測装置を搭載したヘリコプターに、電磁センサーとレーザー高度計が収納された、長さ約10 mのバードを30 mのケーブルで曳航しながら測線に沿って計測する(第2図)。バードの前半部で発信された能動的信号を後半部に設置されている受信



第2図 空中探査システム。

Fig. 2 Schematic system of the airborne geophysical survey.

第1表 空中探査装置の主要な仕様。

Table 1 Specification of the airborne geophysical survey.

機 器	型 名	制 作 者 ・ 仕 様
空中電磁装置	DIGHEM V HEM	Dighem Surveys & Processing (Canada) 社製 バード曳航型, バード長: 約 10 m 多重コイル配置 (5周波数-2式) 送・受信コイルをバード内に設置 送・受信コイル間隔: 8 m (56,000 Hz: 6.3 m) 鉛直コイル配置: 900, 7,200 Hz 水平コイル配置: 385, 5,000, 56,000 Hz 測定成分: 各周波数同相・離相 2成分 ノイズ・レベル: 2 ppm, サンプルング: 0.1 秒 電力線モニター: 50/60 Hz, 空電モニター
空中磁力計	MAC-3	Scintrex (Canada) 社製 光ポンプ・セシウム磁力計 バード曳航型, 分解能: 0.001 nT, 精度: 0.05 nT 測定範囲: 20,000 ~ 100,000 nT サンプルング: 0.1 秒
ガンマ線スペクトロメーター	PGAM-1000	Picodas (Canada) 社製 256 チャンネル NaI 検出器: GSA-45 1024 cu インチ 下方 256 cu インチ 上方 GSA-44 1024 cu インチ 下方 (ENMOS トランスペクターモジュール付き)
GPS 航法システム	PNAV-2001	Picodas (Canada) 社製 16 bit CPU, 448 KB RAM, O.S.: MS-DOS v. 3.2 実時間航跡表示/座標変換, EL 表示装置 ディファレンシャル GPS 位置精度: 5 ~ 10 m

コイルで、地中から発生した二次磁場を測定する。飛行はバードの対地高度を30～60 mに、時速50 kmを原則維持される。

一次磁場が地中に浸透する深度は周波数によって異なるため、バード内に複数の周波数（56 kHz, 7,200 Hz, 5,000 Hz, 900 Hz, 385 Hz）コイルを内蔵し、地下浅所から深所までの比抵抗情報が同時に取得できるよう装備されている。

データは0.2秒間隔で収録されるため、時速50 kmで取得された電磁データは、2.8 m毎の測定値として解析される。なお見掛比抵抗の計算にはフェーザー図に基づくディジェム社製ソフトを、等深度見掛比抵抗分布図や見掛比抵抗断面図の作成には自社開発ソフトを用いて行なった。以上の解析の結果は、周波数毎の見掛比抵抗分布図、地表からの等深度面見掛比抵抗分布図や任意断面線に沿う見掛比抵抗断面図などを多色刷画面として表示する。

2.2 空中磁気探査

空中磁気探査は、磁力センサーを収納した小型バードを電磁センサーと同じケーブルに固定し、空中電磁探査と同時に行なう。

測定は0.1秒間隔で取得されるため、時速50 kmの飛行の場合、1.4 m毎の測定値として解析される。データは地上磁力計を用いた日変化補正、国際標準地磁気分布(IGRF)補正や磁極における磁気異常分布に変換する極磁気変換を行い、垂直下方の磁性体の形態や分布に一致させた極磁気異常図として表示する。

これらのデータ処理は、ディジェム社製ソフトを用いた。なお、極磁気異常図の作成面高度は、対地50 mで一定として処理した。

2.3 空中ガンマ線探査

航空機を利用した放射能探査を空中ガンマ線探査法と呼び、短期間に広範囲の均質なデータが取得できる。地質解析などを目的とした精度の高いデータを得るために、容量の大きな検出器を用いて、放射性核種毎のガンマ線を検出できる分解能の高いスペクトロメータを搭載している。

測定飛行は、対地高度100 m、時速50～90 kmを原則とする。データは1秒間隔で入力されるので、時速50 kmの場合には、14 m毎の測定値として解析され、全ガンマ、カリウム、ウラン、トリウムそれぞれのガンマ線強度分布図等の多色刷画面が表示される。

なおデータ処理は、国際原子力機関(IAEA)のテクニカルレポートに準拠したストリッピング法に基づいて(株)エースヘリコプターで開発したソフトを用いて行なった。

3. 探査結果

それぞれの探査結果の解析は、溶岩ドームを中心とした比較的広い範囲を対象としたものと、溶岩ドームに限定した範囲の2段階で実施した。このうち広域の解析では、主として物性値と地質や地質構造との相関性を明らかにすることを目標とした。その際、地質情報は既存の調査研究資料を用いた。その結果を参考にして、溶岩ドームの詳細な物性値を検討することによって、斜面崩壊にかかわる岩盤性状区分を行なった。

3.1 物性値と地質

3.1.1 比抵抗分布

5周波数で得られた見掛比抵抗値を基に、三次元比抵抗構造が得られる。その一例として、地表下30 mの見掛比抵抗平面図を第3図に示す。

比抵抗と地質(渡辺・星住, 1995)との間には次のような相関が認められる。

- ①平成新山をはじめ新旧溶岩からなる山体部は、3,000 $\Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗域が支配的である。
- ②一方、おしが谷や中尾川(調査地北東部)や赤松谷(同南西部)、旧水無川沿い(同南東部)などの旧河川や谷部では、数百 $\Omega \cdot m$ の相対的に低比抵抗域となっており、この低比抵抗域は、探査深部ほど拡大する傾向が認められる。

以上のことから、デイサイト質溶岩からなる新旧山体は、堅硬緻密な岩盤が地表から地下深部にかけて分布しているのに対して、旧谷部には火砕流や土石流堆積物が比較的厚く堆積しており、その相違が比抵抗の差に現われたものと考えられる。

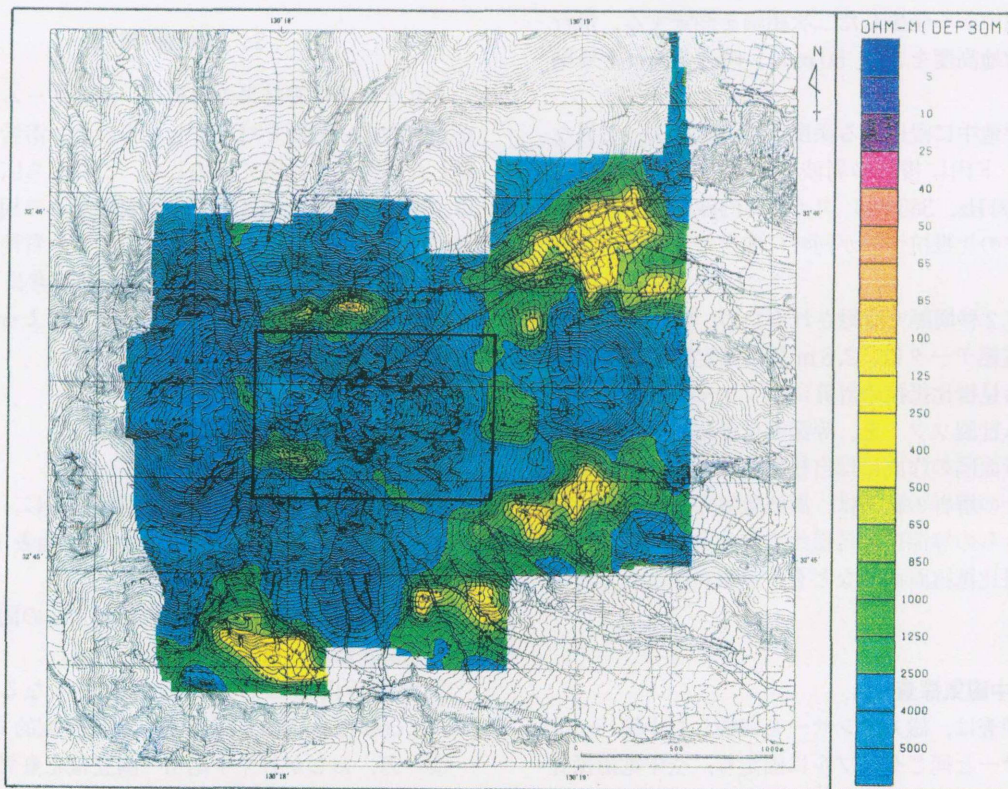
このほか、数百 $\Omega \cdot m$ の低比抵抗域が、平成新山の北から西さらに南にかけて半円状に断続する。探査時、この付近に噴気が見られたことや、この付近が溶岩ドームの末端部に当たることなどから、一連の火山活動の高温部または熱水流動による変質帯に相当する可能性がある。

3.1.2 磁気分布

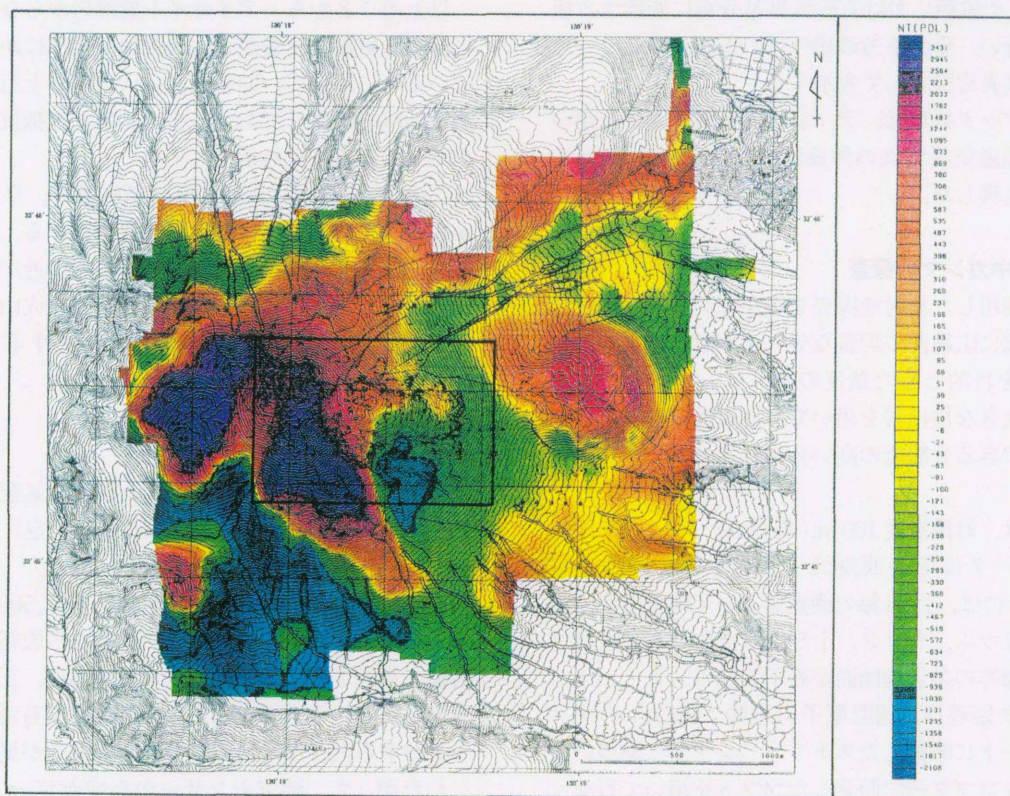
全磁力値に日変化、IGRFおよび極磁気変換の各補正を行なった極磁気異常図(対地50 m一定)を第4図に示す。

それによれば、調査地の磁力値は、-2,500～4,000 nTと変化に富んでいるが、大局的には、平成新山や旧火山活動で形成された溶岩からなる山体部は、正の磁気異常域となっているのに対して、火砕流や土石流堆積物が厚く分布する旧谷部は負の磁気異常の傾向が見られる。

したがって、磁気センサーの高度が50 m程度と低いことや、対象地がほぼ均質なデイサイト質溶岩から構成されていることなどから、磁気異常は比較的浅い岩盤の



第3図 広域の見掛比抵抗平面図(地表下30 m).
 Fig. 3 Distribution map of the apparent resistivity (30 m below the ground surface).



第4図 広域の極磁気異常図.
 Fig. 4 Anomaly map of the reduction-to-the-pole.

磁力差を反映しているものと考えられる。

溶岩ドームの南東端に負の磁気異常が検出された。この付近は旧水無川の上流部に当たり、谷地形を被覆して火砕流が厚く堆積し、その上に溶岩流が分布している。しかし比抵抗分布とは必ずしも対応せず、一連の火山活動に伴う磁気異常の可能性もある。

3.1.3 ガンマ線強度分布

全ガンマ線の強度分布を第5図に示す。これは表層地質との対応が容易になるよう、ガンマ線強度の移動平均をとって表現している。それによれば全ガンマ線強度は、約500～1800 cpsの広い範囲で変化するが、大局的には普賢岳を構成する旧溶岩類の分布域では低く、新期の溶岩類は中間的な値を示し、山体を覆う火山砕屑岩や火砕流堆積物は最も高い値を呈する。すなわち活動の末期ほどガンマ線強度は高く、破碎化・岩屑化が進行するほど高くなる傾向が認められる。溶岩ドームはほぼ中間的なガンマ線強度域に相当する。

以上、空中探査から得られた各物性値は、広域の地質分布とそれぞれよく対応する。とくに比抵抗とガンマ線強度は、比較的表層の地質性状を反映していることが明らかとなった。このことは溶岩ドームの崩壊を検討する上で、これらの物性値が有効な指標となり得ると考えられる。

3.2 溶岩ドームの物性

溶岩ドームに限定して解析を行なった。これは解析範囲を狭めるということだけではなく、目的に応じてそれぞれの解析精度を上げて、溶岩ドームの物性や地下地質構造などをより詳細に検討するためである。

なお、溶岩ドームの物性値の検討に際しては、溶岩ドームの形成過程が重要であり、既存資料を参考にし

た。第6図は、長崎県島原振興局によってまとめられたドームの最大成長範囲を表わしたものである。それによれば、溶岩ドームの形成時期は3期に大別され、1991年から1994年の間に、13のドームが形成された。そしてその間に大規模な火砕流が7回発生した。

したがって溶岩ドームは、溶岩流と火砕流とがそれぞれ重なりあって形成された、複雑な地質構造の山体であると推定される。

3.2.1 ドームの比抵抗構造

ドームの見掛比抵抗平面図（地表下30m）を第7図に、比抵抗断面を第8図にそれぞれ示す。なお断面図は、第6図に明示した。

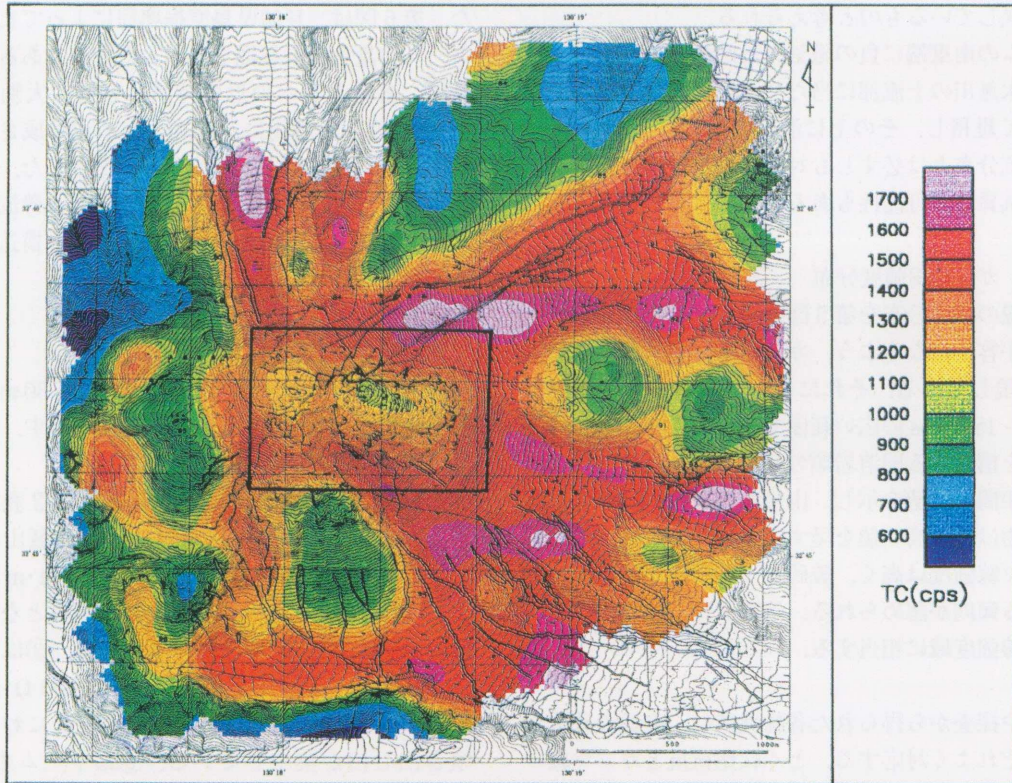
比抵抗分布の上から溶岩ドームは第2表のように区分される。すなわち、区分域①は平成新山の山頂付近で、比抵抗は浅層部で4,500～5,000 Ω・m程度であるが、深部は5,500 Ω・m以上の高比抵抗となり、その範囲は拡大して区分域②と一体化する。②はドームのほぼ中央部で、浅層部から深部まで5,000 Ω・m以上の高比抵抗が連続する。この付近は、数次にわたる溶岩の噴き出し口が集中している。③はドームの北東部で、比抵抗値は浅層部も深部も4,500～5,000 Ω・mの範囲であるが、高比抵抗の分布範囲は、深部ほど狭くなっている。④は③の南側の区域であり、浅層部から深部にかけて3,000～4,000 Ω・m前後の比抵抗が続いている。また区分域③と④との境界は、ほぼ東西方向であり、比抵抗分布の上に比較的鮮明に表れている。⑤はドーム周辺および末端部であり、浅層部から深部にかけて400～3,000 Ω・mと変化に富む。ドームの南端、第6、7と8ドームが形成された付近では、浅層から深部にかけて比較的比抵抗が連続する。また北側の区分域②との境界では、比抵抗値が急変している。

以上の比抵抗構造は、ドームの形成過程とよく整合す

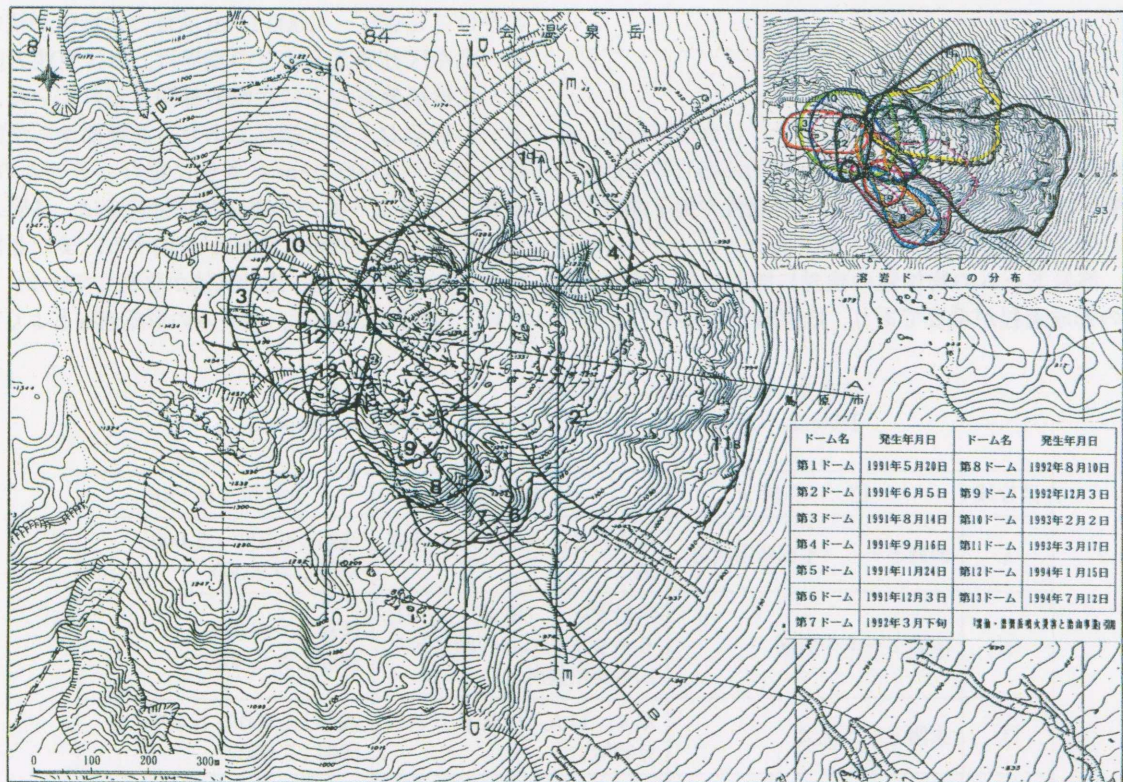
第2表 溶岩ドームの比抵抗区分。

Table 2 Classification on the resistivity of the lava dome.

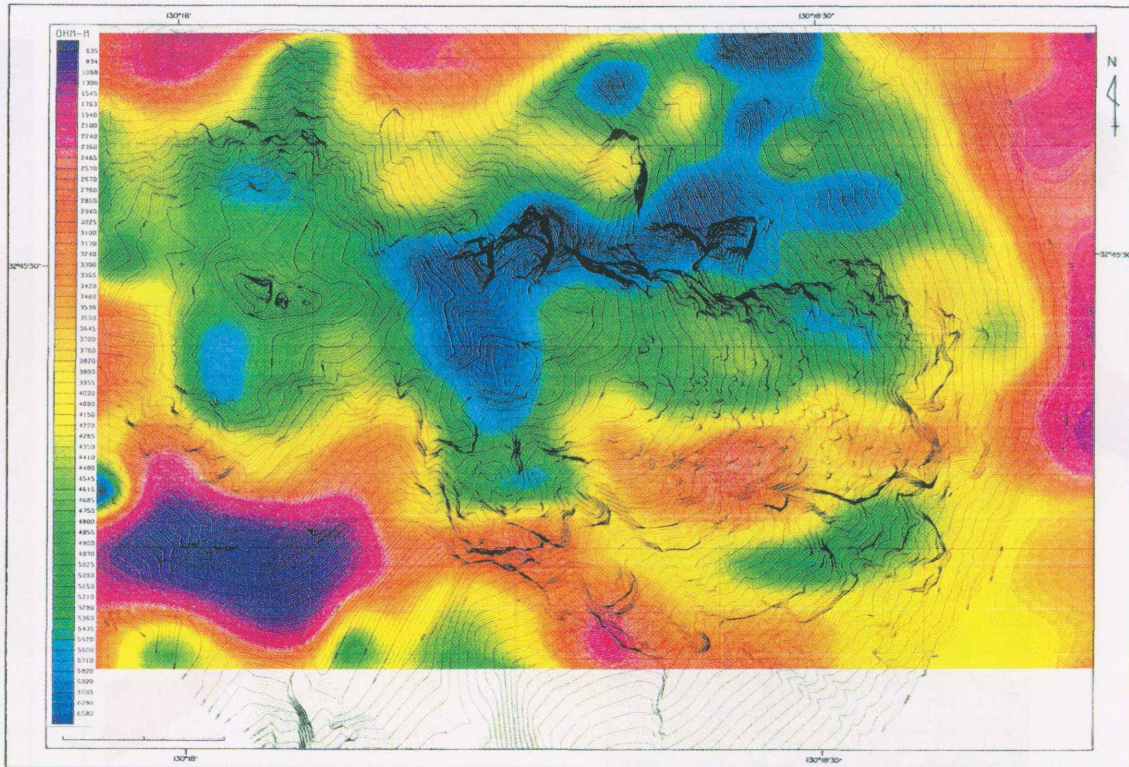
区分域	位置	分布範囲	比抵抗 (Ω・m)
①	西側ドーム (平成新山周辺)	第1, 2, 3ドームの分布域	浅部: 4,500～5,000 深部: > 5,500
②	溶岩ドーム中央部	溶岩ドーム (第4, 5, 11, 6～9ドーム) の噴き出し口の集中箇所	浅部: > 5,000 深部: > 5,500
③	東側ドーム北部	第4, 11A, 11Bドームの分布域	浅部: 4,500～5,000 深部: 5,000
④	東側ドーム南部	第11Bドームの南分布域	浅部: 3,000～4,000 深部: < 4,000
⑤	溶岩ドームおよび火砕物分布域縁辺部	平成新山山頂部やその周辺斜面	浅部～深部: 400～3,000



第5図 広域の全ガンマ線強度分布図.
Fig. 5 Distribution map of the total γ -ray.



第6図 溶岩ドームの分布範囲。
(A-A' ~ E-E'は断面線)(長崎県島原振興局山地災害復興課編(1998)を引用)。
Fig. 6 Distribution of each lava flow
(showing the profile lines, A-A' to E-E') (after Nagasaki Prefecture (1998)).



第7図 溶岩ドームの見掛比抵抗平面図 (地表下30 m)。

Fig. 7 Distribution map of the apparent resistivity around the lava dome (30 m below the ground surface).

る。すなわち、溶岩の噴き出し口が集中している付近では、浅層部から深部にかけて相対的に高比抵抗となっており、溶岩が生成された場所からあまり移動せず原地性であることから、破碎程度や亀裂頻度の低い堅硬な岩盤状態にあるものと推定される。

区分域③と④はともに第11ドームからなる区域であるが、③ではその下位に第4ドームが伏在しているのに対して、④は厚い火砕堆積物の上位に第11ドームが分布している区域であり、溶岩ドームの複雑な構造の違いが、比抵抗分布によく捕捉されている。

また、区分域⑤に属するドーム南端部は、平成7年以降に幅約80m高さ約70mにわたって崩壊した箇所が含まれている。この付近は第6から第9ドームが次々と重なりあって形成されたドーム先端部であることから、自破碎や溶岩流動に伴って発生した多数の亀裂を含んだ岩相を呈するものと考えれば、低比抵抗分布とよく整合する。

3.2.2 ドームのガンマ線強度分布

第9図にドームの全ガンマ線強度分布を示す。ガンマ線強度は、ドーム山体で低くその周辺斜面で高い傾向にあることはすでに述べたとおりである。強度分布を詳細にみれば、比抵抗構造とよく一致している。

すなわち、溶岩の噴き出し口の集中部や溶岩流が厚く分布しているとみなされる、深部まで高比抵抗が連続す

る区域では、ガンマ線強度は相対的に低い。それに対して浅層部から低比抵抗を呈する区域では、ガンマ線強度は高い。

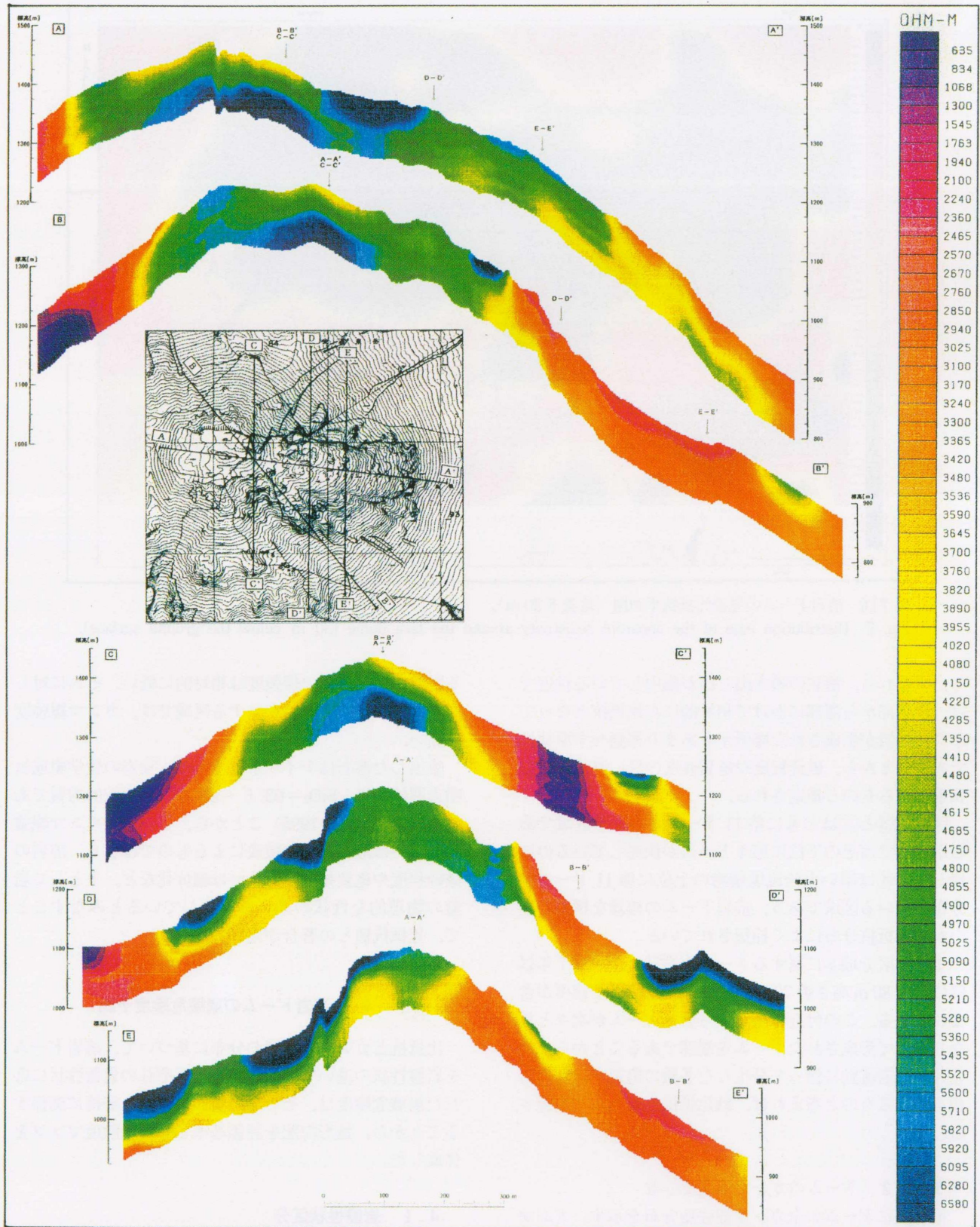
噴出した溶岩はデイサイトであり、全岩の化学組成は噴火開始以来、 $\text{SiO}_2=63.5\sim65.5\%$ と比較的均質である(渡辺・星住, 1995)ことから、ドームのガンマ線強度の違いは溶岩の化学組成によるものではなく、溶岩の破碎程度や亀裂頻度、あるいは細片化など、主として岩盤の物理的な性状の違いを反映しているとみなすことで、比抵抗値との整合が理解できる。

4. 溶岩ドームの崩壊危険度予測

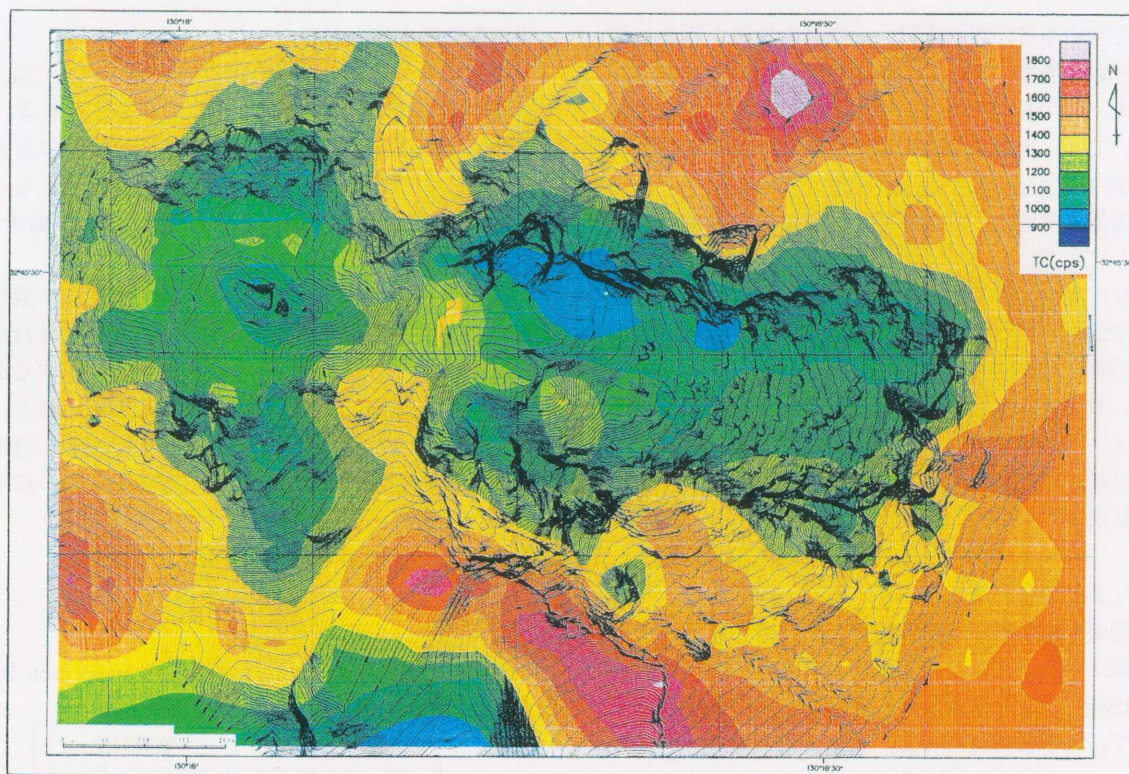
比抵抗とガンマ線強度の分布に基づいて、溶岩ドームを岩盤性状の違いで区分した。それぞれの岩盤性状に応じた崩壊危険度は、その場の斜面の傾きと密接に関係することから、地形勾配を評価基準とした危険度マップを作成した。

4.1 岩盤性状区分

空中探査で得られたそれぞれの物性値の違いを検証するために、空中写真の判読(平成7年撮影も含む)と、ヘリコプターによる目視観察を行なった。それらを総合的に検討した結果、溶岩ドームを岩盤性状の違いから、次のように3区分した。



第8図 見掛比抵抗断面図。
Fig. 8 Apparent resistivity profiles.



第9図 溶岩ドームの全ガンマ線強度分布図。

Fig. 9 Distribution map of the total γ -ray around the lava dome.

(1) 盤状溶岩

表層部の比抵抗は相対的に高く、ガンマ線強度は低い地区であり、東側ドームの北半部と西側ドームの中央に尖塔状に分布する溶岩域である。この区域には巨大な溶岩塊の岩盤が直接露出しており、その末端部は急崖となっている。

盤状溶岩は余り破碎されることなく、初生の構造が比較的よく保存された溶岩からなるものと考えられる。したがって亀裂頻度は低く堅硬な岩盤性状にあるものと推定される。

(2) 破碎溶岩

盤状溶岩の分布域と比較して比抵抗は低く、ガンマ線強度は高い区域であり、東側ドームの南部域に相当する。この区域は第11ドームと第6～9ドームからなり、空中からの目視観察では盤状溶岩との区別は難しいが、物性値のうえからは破碎がかなり進んだ溶岩から構成されていると推定される。また、溶岩流の厚さも比較的薄く、その下部には火砕流堆積物が厚く伏在しているとみなされる。

(3) 岩礫状溶岩

溶岩の自破碎や火砕流などによって岩礫状になった区域である。代表的な分布域はドームの西斜面であるが、ドーム斜面の広い範囲にわたって地表を被覆している。

この区域の比抵抗はいずれも低く、ガンマ線強度は高い。空中からの目視観察では、巨礫を含む瓦礫状を呈

し、ドーム崩壊の一つのパターンであるガリー浸食が多数発達している。

高比抵抗、低ガンマ線強度の西側ドームの広い範囲も岩礫状溶岩域に分類した。この区域には比較的浅層部に堅硬緻密な溶岩が伏在するが、崩壊の直接対象となるのは、地表を被覆する岩礫状溶岩であると判断したためである。

4.2 崩壊危険度の評価基準

斜面の崩壊は、地形、地質、植生や地下水など多くの要因が複雑に関連して発生する。

平成新山は生成間もないデイサイト質溶岩から構成されており、植生は見られないし、全体的に多孔質な溶岩や同質の火砕流からなる山体であることから、斜面崩壊の一次評価としては、岩盤の強度と地形勾配に支配されるとみなしても大過はないものと考えられる。

そこで、今回の調査では、前章で3区分した岩盤性状を岩盤強度がそれぞれ異なるものとして、地形勾配を評価基準とした。

なお、今回の検討は、地震や火山活動にともなう崩壊ではなく、通常の山地災害の主因である降雨や凍結、あるいは風化変質が主因の崩壊に限定している。

4.2.1 崩壊事例

火山活動が終息した平成7年と同10年にそれぞれ撮

影された空中写真の判読を行い、両者を比較することで溶岩ドームの崩壊パターン、崩壊箇所や規模などを明らかにした。その結果を第10図に示す。溶岩ドームの崩壊については、次のようにまとめることができる。

- ①崩壊は急崖部で多く、崖が後退している。
- ②急崖部の崩壊は、盤状溶岩と破碎溶岩の分布域で多発している。
- ③ガリー浸食による表層崩壊は、主として岩礫状溶岩域で多発しており、ドーム頂部へ延び、西側ドームの遷急線が浸食後退している。

なお、西側ドームと東側ドームの境界付近に、3条のリニアメントが抽出された。このリニアメントは巨大な溶岩塊に挟まれた溝状を呈し、盤状溶岩中に北東-南西方向に断続する。

4.2.2 評価基準

山腹崩壊や岩盤崩壊に対して提案されている各種の危険度評価法(たとえば、地盤調査ハンドブック編集委員会編(1986)など)を参考に、溶岩ドームの崩壊事例を考慮して、基準値(地形勾配)を第3表のように設定した。

このうち堅硬緻密で亀裂頻度も少ないと見られる盤状溶岩では、主として急崖部の転倒や落石崩壊の発生が予測される。そこで、地形勾配が70度を超える場所では、

崩壊危険度が高いとみなした。

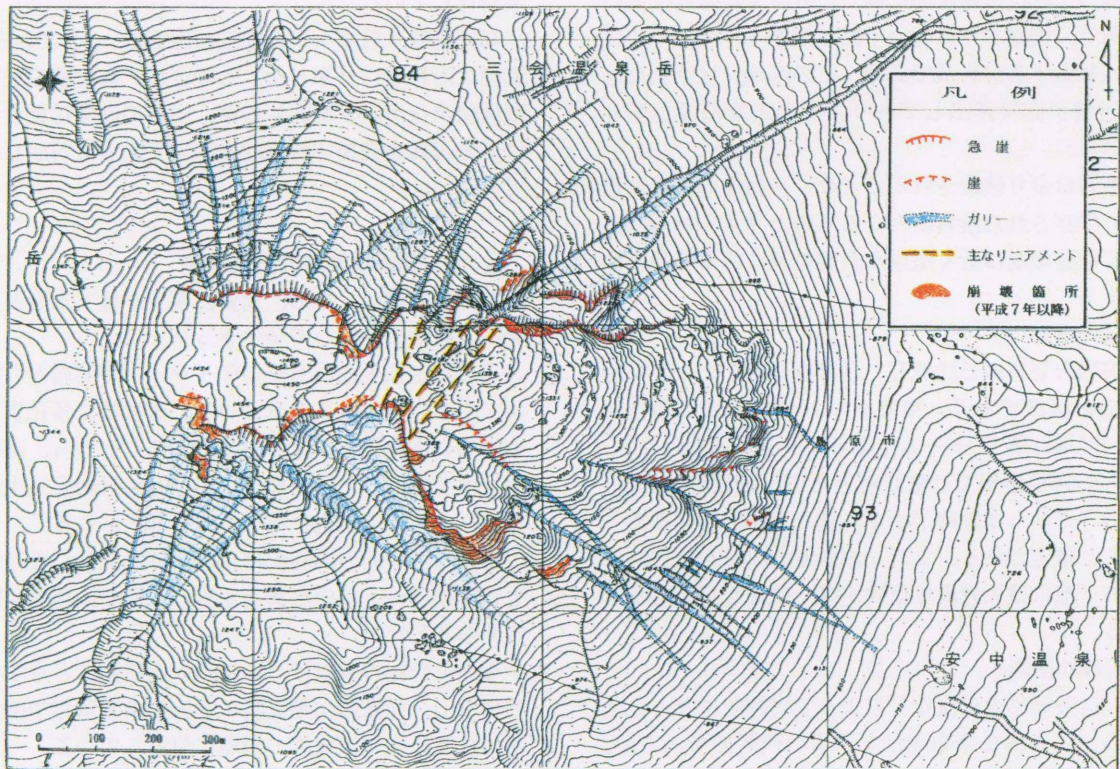
未固結な岩礫からなる岩礫状溶岩域に対しては、砂礫や礫の安息角とされる30~35度が適用される。溶岩ドームの表層を覆う溶岩礫は、通常の礫径をはるかに超える大きさのものが大半であり、また角礫状となったものが多いことから、35度以上の勾配をもつ場所では、崩壊の危険が高いとみなした。

破碎溶岩は、溶岩が流動する過程で急冷化や激しい破碎作用をうけて、最終的には岩礫状に細片化される途中段階の状態であるとみなすと、斜面崩壊に対する抵抗度は、盤状溶岩と岩礫状溶岩の中間的な領域にある。そこで、破碎溶岩の場合は盤状溶岩と岩礫状溶岩に適用した地形勾配の中間値である53度を崩壊危険度の基準値とした。

第3表 岩盤性状ごとの評価基準。

Table 3 Critical standards for collapse to each lava.

区 分	地形勾配
盤 状 溶 岩	70度以上
破 碎 溶 岩	53度以上
岩 礫 状 溶 岩	35度以上



第10図 空中写真判読によるドームの崩壊箇所と崩壊地形特性(平成7年と10年の比較)。

Fig. 10 The collapsed locations and geographical features of the lava dome derived from aerial photos.

4.3 崩壊危険度の評価

岩盤性状ごとに設定した基準値をもとに、崩壊の危険度が高い区域を抽出した。その際、地形勾配は航空写真解析から、全域を10mのピクセル（地形変化の激しい場所はさらに細かく）に分けて、それぞれの最大傾斜角とした。

その結果を「溶岩ドームの崩壊危険度マップ」として第11図に示す。調査全域（約0.88 km²）の約62%の面積で危険度が高い状況にあることが明らかとなった。そのなかでも岩礫状溶岩の分布域（約0.59 km²）では、約76%の広い範囲が高い崩壊素因をもっている。

破碎溶岩が分布する区域（約0.12 km²）では、約58%が危険度が高いと評価されたが、ドーム末端部や斜面勾配の急変部が広い範囲にわたって危険区域として抽出される。

盤状溶岩域（約0.17 km²）では、危険区域は約17%であるが、溶岩ドーム北東部の急崖がほぼ全面にわたって危険とみなされる。

岩盤性状を異にするドームの崩壊は、それぞれ特有のパターンを呈することは崩壊事例からも明らかである。したがって現状では、崩壊はドームの頂部からではなく、むしろその周辺部で、局所的・選択的に発生すると結論した。

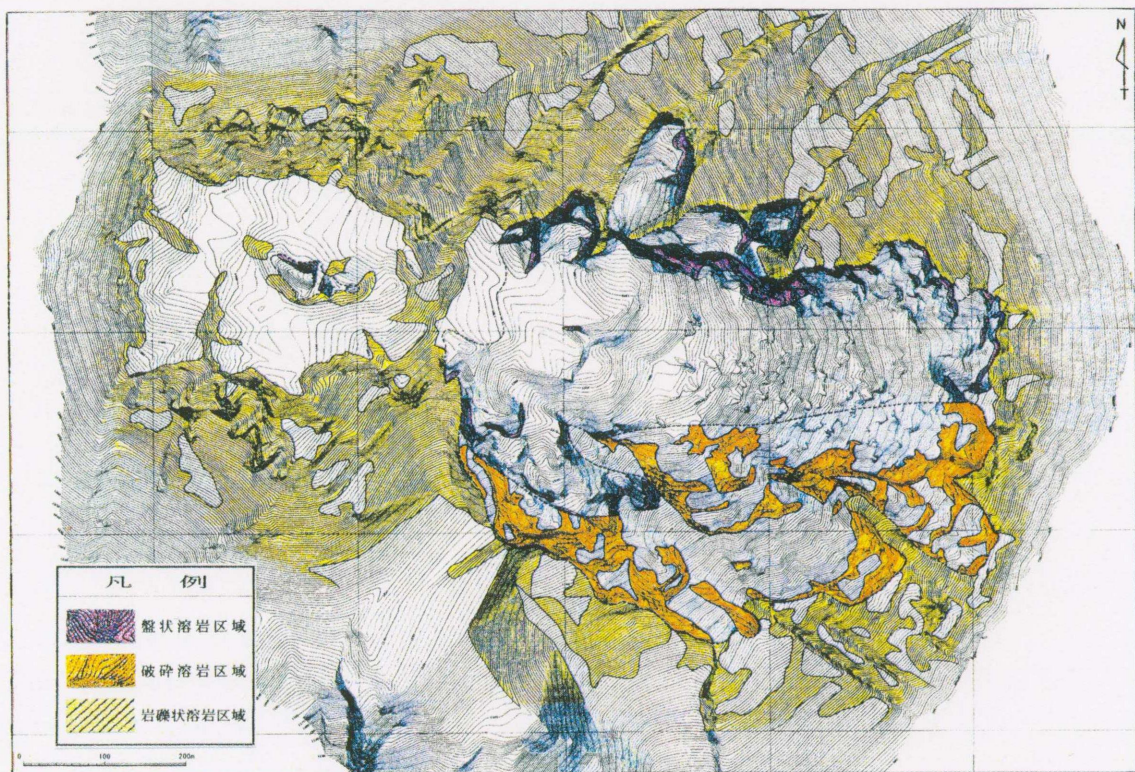
5. おわりに

溶岩ドーム（平成新山）の崩壊危険度を空中探査法で得られた各種物性値の解析をもとに検討・評価した。調査時からおよそ1年半が経過した。長崎県島原振興局の関係者によれば、その間も山体の姿態は徐々に変わりつつあるが、概ね「危険度マップ」で抽出された位置の変化が著しい、とのことである。このことは、今回の手法の有効性が客観的に裏付けされたものと考えられる。

しかし、斜面の崩壊には反復性もあり、また崩壊した後新たな崖が形成されることによって、新たな不安定要素が発生する。今回の評価は、現状地形をもとにしたものであり、今後山体の地形が変化した時点で、再調査することでより正確で詳細な評価が得られるものと考えられる。

また今回の調査は、冬期の空中探査結果をもとにしたが、乾季と雨季の探査結果（比抵抗の変化）を比較検討することで、岩盤性状のより詳細が明らかになり、山地災害の予知と予測に寄与できるものと考えている。

謝辞 本報文は、長崎県島原振興局山地災害復興課から委託をうけた「雲仙（4）地区火山地域総合治山工事（雲仙溶岩ドーム調査）」（1999）の結果をまとめたものである。調査の実施に際しては、長崎県、島原市はじめ



第11図 溶岩ドームの崩壊危険度マップ。
Fig. 11 Collapse hazard map of the lava dome.

近隣市町村の関係部署の各位、地元住民の方々など、多くの関係者から有益なご助言や協力を得ました。記して深く感謝いたします。

文 献

地盤調査ハンドブック編集委員会編(1986)最新地盤調査ハンドブック。建設産業調査会，東京，

1016 p.

長崎県高原振興局山地災害復興課編(1998)雲仙・普賢岳噴火災害と治山事業。長崎，48 p.
渡辺一徳・星住英夫(1995)雲仙火山地質図。火山地質図，8，地質調査所。

(受付：2000年6月26日；受理：2001年1月10日)