

雲仙火山：科学掘削による噴火機構と マグマ活動解明のための国際共同研究

(平成11年度～平成13年度、第1期)

H13年度予算額：2.1(億円)

研究体制：宇都浩三(産業技術総合研究所)他14機関

研究の概要・目標

1 何を目指しているのか

火山噴火・火山体成長のメカニズム詳細、地殻内マグマ活動との関係等を解明(精度の高いモデルを完成)。

(第I期の目標)雲仙火山の履歴(噴火史)や詳細構造を解明。マグマ供給や噴火のモデルを構築。高温下での掘削技術確立。火道掘削の実施計画を策定。

(第II期の目標)火道内のマグマの上昇・脱ガス等のメカニズム、地下水脈との相互作用等を解明。第I期で構築したモデルを検証。

2 何を研究するのか

(第I期)山体掘削・地震波解析・地磁気観測等により山体構造等を解析。マグマ供給や噴火のモデルを構築。高温下での掘削技術を開発。火道掘削実施計画を設計。

(第II期～3年を想定)火道掘削を実現。孔内検層・コア分析等により火道内マグマの挙動・地下水脈との相互作用等を調査研究。第I期で構築したモデルを検証(噴火機構等の解明)。

3 何が新しいのか

聴診器(地震計)から解剖(掘削)へ。噴火の経緯が明らかでない新しい火山での火道掘削は世界初。

諸外国の現状等

1 現状

火山体の科学掘削は米国が多数の実績を有しており、高温地熱地帯での掘削は米・日・NZ・伊に実績が多い。しかし噴火後10年足らずの火道掘削(超高温掘削)は前例がない。

また、火山噴火の研究は米・日・仏・英・伊が、火山体構造の研究は米・日が進んでいるが、噴火のメカニズムや地殻構造との関連等は未解明な点が多い。

2 我が国の水準

火山体構造・噴火過程の詳細解析技術は世界最高のレベルにある。

しかし、新たなモデルの構築・検証が欧米にやや遅れている。

研究進展・成果がもたらす利点

1 世界水準との関係

モデルの構築・検証や総合解析研究が強化され、既に世界最高レベルにある地質学・地球物理学等の個別分野における詳細解析技術との融合を図ることにより、火山研究分野全体で世界最高レベルの研究基盤を有することが期待される。

また、科学掘削技術が強化され、既に世界最高レベルにある高温掘削技術との融合を図ることにより、世界最高レベル、特に火山における科学掘削技術を有することが期待される。

2 波及効果

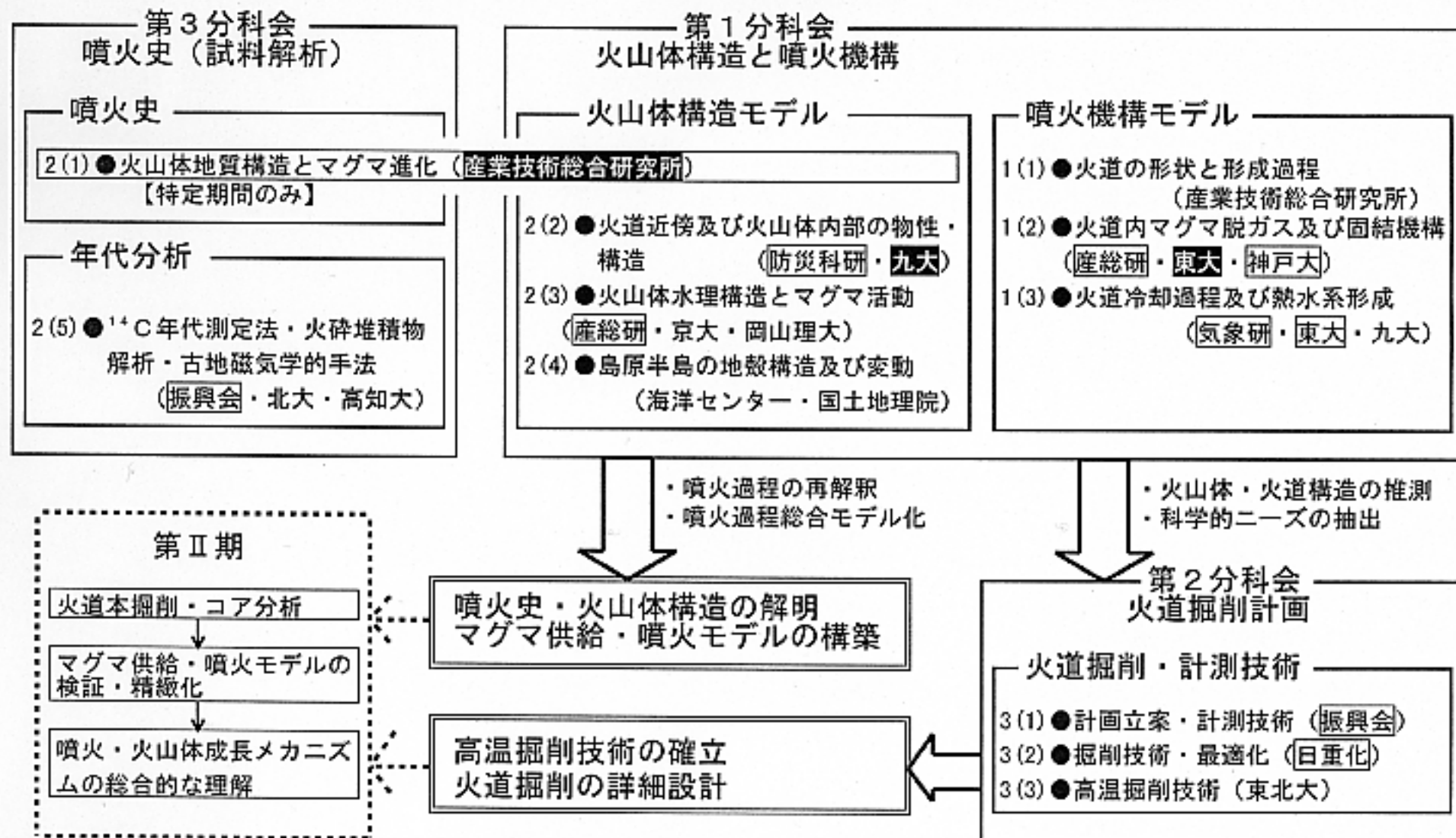
固体地球科学分野研究に、科学掘削という重要な研究手法が提供され、今後の同分野研究に大きな進展を与えることが期待される。

また、火山体地下構造の実体的研究という新たな学際研究分野が開拓される。

さらに、火山噴火のメカニズム等を解明することで、火山活動予測の飛躍的な進展が期待される。

雲仙火山：科学掘削による噴火機構とマグマ活動解明のための国際共同研究

(平成11年度 ~ 平成13年度 第I期)



(注) 反転表示 は研究代表格 (3機関)、枠囲表示 は常時活動 (代表格以外5機関)、普通表示 は特定期間のみ活動

「雲仙火山: 科学掘削による噴火機構とマグマ活動解明のための国際共同研究」 所用経費一覧

所用経費(千円)

番号	研究項目	研究担当機関	研究担当者	H11	H12	H13
1.1	火道の形状と形成過程の解明	通商産業省工業技術院地質調査所	高田亮	5,201	878	646
1.2.1	ガス成分分布の解析	通商産業省工業技術院地質調査所	篠原宏志	5,829	5,408	4,451
1.2.2	元素分布の解析	東京大学地震研究所	中田節也	3,934	4,295	4,182
1.2.3	マグマ組織の解析	神戸大学理学部	佐藤博明	2,210	1,490	1,238
1.3.1	マグマ冷却過程の解明	運輸省気象庁気象研究所	山本哲也	13,344	11,129	9,525
1.3.2	電磁気探査に基づく火山体構造解析	東京大学地震研究所	鍵山恒臣	7,905	10,235	9,835
1.3.3	放熱量観測に基づく熱水系生成過程のモデル化	九州大学工学部	江原幸雄	1,755	1,882	1,806
2.1.1	火山体地質構造発達史の解明	通商産業省工業技術院地質調査所	星住英夫	94,179	105,482	67,026
2.1.2	マグマの起源と進化の解明	通商産業省工業技術院地質調査所	宇都浩三	5,645	6,040	4,395
2.2.1	孔内計測による物性・構造解明	文部科学省防災科学技術研究所	池田隆司	17,006	11,545	14,651
2.2.2	地震探査による物性・構造解明	九州大学島原地震火山観測所	清水洋	6,263	30,476	58,578
2.3.1	間隙水の分析による深部水理構造の解明	通商産業省工業技術院地質調査所	風早康平	4,640	4,379	3,816
2.3.2	広域水文調査による浅部水理構造の解明	京都大学理学部	大沢信二	1,849	1,932	2,388
2.3.3	トリチウム法による地下水滞留時間の解明	岡山理科大学理学部	北岡豪一	1,597	1,582	1,670
2.4.1	エアガン人工地震波再解析による島原半島の地殻構造の検討	海洋科学技術センター	高橋成美	1,123	1,275	723
2.4.2	測地学的手法による島原半島の地殻変動の解明	建設省国土地理院	多田堯	1,685	1,098	888
2.5.1	加速器法による ¹⁴ C年代の測定	(財)地震予知総合研究振興会	青木治三	5,331	4,904	4,613
2.5.2	火砕堆積物の解析	北海道大学大学院理学研究科	宇井忠英	859	809	681
2.5.3	古地磁気学的検討	高知大学教育学部	田中秀文	843	1,274	1,058
3.1	火道掘削システム設計	(財)地震予知総合研究振興会	窪田将	6,800	18,928	10,617
3.2	火道掘削技術検討・最適化	日本重化学工業(株)	佐久間澄夫	2,700	88,751	4,071
3.3	坑内温度シミュレーション	東北大学大学院工学研究科	齋藤清次	975	4,711	3,244
			合計	191,673	318,503	210,102

研究成果の概要

雲仙火山：科学掘削による噴火機構とマグマ活動解明のための国際共同研究（宇都浩三）

【研究目標の概要】

雲仙火山は、1990-1995年の噴火以来多くの詳細な観測データが得られ、様々な噴火・マグマ活動のモデル化が進んでいる。同火山を対象として科学掘削を中心とした総合的な研究を実施し、火道の形成および脱ガス過程・地下水との相互作用の実証的な研究による噴火機構の解明、雲仙火山の火山体内部構造、噴火成長・マグマ発達の歴史、広域的応力場と地殻変動などの解明を目的とする。本研究は、以下の3つのサブテーマにより構成される。

1. 「火道の実体的研究による噴火機構の解明に関する研究」
火道シミュレーション、雲仙火山噴出物の岩石化学的分析、岩石実験、火山ガス分析、電磁気観測、放熱量観測等を行い、雲仙平成新山の火道の大きさや形状、火道内におけるマグマ過程、火道を含めた深部のマグマ供給系を明らかにする。また、噴火後の火道周辺部の帯水層や熱水系の時間変化を推定し、マグマの冷却プロセスを明らかにする。
2. 「火山体の構造と進化に関する研究」
2本の山麓掘削、爆破地震探査および各種の地質調査・地球物理観測・地球化学分析を行い、雲仙火山の地質および地球物理学的地下構造、噴火成長史、マグマ分化過程、地下水の流動系等を明らかにする。また、島原半島全体に渡る長期間の火山活動の頻度・噴火様式、広域応力場、地殻構造、地殻変動などを解明し、同火山の成長・噴火過程を支配している広域的な地質および地球物理構造およびマグマの発生・進化過程を明らかにする。
3. 「火道掘削・計測技術の開発及び最適化」
未だ高温の火道を掘削し坑内計測するための技術要素研究を行い、高温科学掘削・計測の可否を判断するとともに、最適の科学掘削地点、掘削・計測手法を決定する

以上の研究により、火山学の飛躍的な進展に貢献することを目指す。

【研究成果の概要】

火道の実体的研究においては、岩石学、同位体地球化学、火山ガス、力学シミュレーション、電磁気学、放熱量観測などの多面的研究手段を総合し、さらに1990-95年噴火時の観測データとも対応させて、火道内での脱ガス・固結・冷却過程について定量的モデルを与えた。その概要は以下の通りである。

1. 火道や岩脈の形状はマグマの粘性と母岩の物性に強く支配され、新たな珪長質火道形成は、既存火道からの応力に影響をうけてその配置が決まる。平成新山の供給火道は、平板な岩脈状で幅広いと推定される。
2. 現在の山頂火山ガスの主成分である H_2O は地表水起源、 SO_2 、 HCl は溶岩ドーム起源であるが、深部からの CO_2 供給が現在も継続している。また、平成噴火のマグマから放出された揮発性成分は、全て山頂から火山ガスとして放出されたと推定される。
3. 火道を上昇するマグマの減圧・脱ガスおよび結晶化は、深度 500-1000m で効果的に起こり、それに伴い破砕および溶結現象が起こっていると考えられ、低周波地震の発生と関

連していると推定される。マグマ溜まりでは、短期間に異種のマグマが繰り返し混合して化学組成を変化させていることが分かった。

4. 高圧実験の結果から、石基の角閃石は、約 1km の深度まで結晶化し約 25% の脱ガスが起こったこと、その後地表までの間に 90% 以上の脱ガスが起こったことが分かった。
5. 普賢岳周辺では、帯水層が異なる深度で広く分布することが電磁気学的に明らかになった。また、ドーム周辺での熱水対流系は約 1km 以内の範囲で規模を縮小しながら、現在も進行中であることが分かった。
6. 溶岩ドームの放熱量や山頂の土壌ガス、ガンマ線分析から、ドームの単調な冷却過程が明らかになった。

火山体の構造と進化解明に関する研究においては、山麓部における 2 本の山体掘削を中心として、地質調査、コア解析、年代測定、古地磁気測定、岩石化学分析、水文化学、火山体構造解析、測地学観測および坑内物理計測・応力測定などを行った。結果の概要は以下の通りである。

7. 雲仙火山体の形成過程は、およそ以下のとおりであることが明らかになった。すなわち、雲仙火山の活動初期には、爆発的軽石噴火やマグマ水蒸気爆発など多様な噴火活動が起こり、先雲仙火山岩と中間的な岩相および化学組成のマグマが噴出した。また、雲仙地溝外側に広がる南北の扇状地を形成するほどの山体が急速に成長した。その後の急速な地溝帯形成により、30 万年以降、西側では地溝の内側のみに厚い溶岩流が流れたが、東側には繰り返し火砕堆積物が供給され急速に沈降する地溝帯を埋め立てた。
8. 1-2 万年前の普賢岳形成期に繰り返しドーム崩壊型火砕流が繰り返し発生していたことが、高精度年代測定により明らかとなった。また、残留磁化方位から火砕流の発生様式および定置温度の推定が可能となった。
9. 50 万年を境に島原半島での火山活動の場および様式、マグマ組成及び進化様式が急速に変化し、地溝帯形成開始と成因的因果関係がある可能性が指摘された。また、同位体組成から 2 種類の起源マンタルの混合が起こったことが明らかとなった。
10. 雲仙地溝は、現在は 2mm/年という一定の割合で沈降を行っているが、その形成発達には複雑でエピソード的なものであり、火山活動が活発な時期に急激に沈降しており、広域テクトニクスと火山体成長が密接に関連していると推定される。
11. 新しいトモグラフィ手法により、火道に対応する低速度域を精度良く決定でき、火道掘削のターゲットに大きな指針を与えることができた。反射地震波の構造解析により、測地学的に推定されたマグマ溜まりの上面付近に反射面が存在することが確認された。また、島原半島下では、モホ面が上昇していることも確認された。
12. 山体の地下水流動系の化学分析により、地溝帯内にマグマ起源 CO_2 の寄与が大きいこと、浅層と深層の地下水で起源や流動系が異なること、滞留時間の長い水があることなど、地下水の挙動、マグマとの相互作用に関して重要な知見が得られた。
13. 掘削坑の坑内検層データにより火山体の物理構造モデルに制約をあたえることができ、応力配置に関する知見が得られた。

火道掘削・計測技術の研究では、火山体の急斜面という悪条件のもとで未固結・多孔質の火山体を掘削し高温状態の火道を貫くための掘削技術、計測技術の検討を行い、最適な掘削技術を提示することができた。

14. 自然環境保護、国立公園利用に配慮した掘削計画を検討し、計画当初想定した南側からの掘削に替わる北側からの掘削を決定し、パイロット掘削を行い、第二期に実施する高

温度・高傾斜掘削および検層に向けて必要な基礎的データを取得した。

15. 高温掘削における坑内温度シミュレーションを行い、安全作業確保および坑内冷却に必要な掘削パラメータを明らかにした。
16. 高温・高傾斜掘削坑内の検層手法を検討し、新しい検層システムのテストに成功した。
17. 火山研究者の要求を実現可能な火道掘削の掘削工法、ケーシングプログラム、工期・費用の算出を行い、具体的な掘削案をまとめた。

研究成果公表等の状況

雲仙火山：科学掘削による噴火機構とマグマ活動解明のための国際共同研究（宇都浩三）

【研究成果発表等】

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合計
国内	7 (7) 件	32 (3) 件	94 (2) 件	133 (12) 件
国外	29 (8) 件	5 件	44 (1) 件	78 (9) 件
合計	36 (15) 件	37 (3) 件	138 (3) 件	211 (21) 件

（注：既発表論文について記載し、投稿中の論文については括弧書きで記載のこと）

【特許出願等】 件 （国内 件、国外 件）

【受賞等】 1 件 （国内 件、国外 1 件）

1. GRC(Geothermal Resources Council)Best Paper Award, S.Saito and S.Sakuma, 2000.

【主要雑誌への研究成果発表】

Journal	Impact	サブ・テーマ	サブ・テーマ	サブ・テーマ	合計
	Factor	1	2	3	
Bulletin of Volcanology		1			1
Earth Planets Space		3	4		7
Geophysical Research Letters			2		2
Geothermal Resources Council				2	2
Journal Volcanol. Geotherm. Res.		11	5		16
火山		2	4		6
地学雑誌			2		2
主要雑誌小計		17	17	2	36
発表論文合計		23	25	3	51