2003年草津白根火山人工地震探查概要

筒井智樹 1・鬼澤真也 2・森 健彦 3・野上健治 2・

平林順一²·小川康雄²·水橋正英²·及川光弘²·齋藤政城²·

若林 亨2・高木憲朗2・鈴木敦生4・草薙智浩1・

梶井達矢1・田中麻貴・及川 純5・中道治久6・

山下祐一郎 7·吉川 慎 3·松島 健 8·河野裕希 8·

堀 美緒8

1:秋田大学

2:東京工業大学

3:京都大学

4:北海道大学

5: 東京大学

6: 防災科学技術研究所

7:愛知教育大学

8: 九州大学

Seismic exploration 2003 in Kusatsu-Shirane Volcano

T. Tsutsui¹, S. Onizawa², T. Mori³, K. Nogami²,

J. Hirabayashi², Y. Ogawa², S. Mizuhashi², M.Oikawa²,

M. Saito², N. Takagi², T. Wakabayashi², A. Suzuki⁴,

T. Kusanagi¹, T. Kajii¹, M. Tanaka T., H. Nakamichi⁶, J. Oikawa⁵,

Y. Yamashita⁷, S. Yoshikawa³, T. Matsushima⁸, Y. Kohno⁸,

and M. Hori⁸.

1: Akita University

2: Tokyo Institute of Technology

3: Kyoto University

4: Hokkaido University

5: University of Tokyo

6: National Institute of Earth Science and Disaster prevention

7: Aichi University of Education

8: Kyushu University

1. はじめに

群馬県北西端に位置する草津白根火山は 1805 年の噴火活動が記録に残されて以来、たびたび噴火活動が報告されてきた活動レベルの高い活火山である (たとえば気象庁, 1984)。最近では 1982-83 年に水蒸気爆発を発生したほか、1989 年にも微噴火を発生している (井田・他, 1989, 平

林,1996)。このようにいまなお活発な活動が続いている草津白根火山は首都圏から数時間のところにありその立地を生かして観光開発が進められた結果、山頂部へのアクセスがもっとも容易な活火山のひとつでもある。アクセスが容易であるが故にもっとも噴火被害の危険性が高い湯釜火口の際にまで無防備な旅行者の入り込みが可能となり、草津白根火山は他の活火山に比べて火山活動を対象とした防災対策を充実させることが強く要請されている。火山活動を対象とした防災対策の充実のためには火山活動状況の把握と湯釜火口の地下活動のメカニズムを知ることが重要な課題である。

草津白根火山では火山活動状況の把握と湯釜火口の地下活動の解明を目的として、これまでに3回の集中総合観測が行われてきた。これらの集中総合観測などの結果から、湯釜を中心とする山頂火口群の一つである水釜付近の地下で熱水活動が行われていることが示唆された(井田・他,1989, 桂・他,1996, 手塚・他,1996)。

熱水活動を含む活火山の地下活動の状況を監視する際のバロメーターのひとつとして、火山性 地震あるいは火山性微動の発生頻度が用いられる。草津白根火山ではこれらの火山地震学的現象 を監視することを目的として東京大学地震研究所による常設地震観測網が稼働していたが、2000 年以降東京工業大学の手によって高密度地震観測ネットワークが整備され火山性地震の検知能力 が向上した(森・他,2001)。さらに詳細な地下活動の把握を行うためには、火山性地震の震源決 定精度を改良する必要があり、震源決定の際の基礎的な物理量である地震波速度構造の精度向上 の要請が高まっていた。

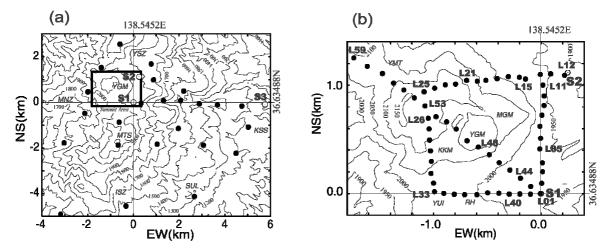
このような背景をふまえ、2003 年に行われた草津白根火山集中総合観測では地下活動に対する 地震学的アプローチを推進させるべく、人工地震探査が一つの項目として加えられた。今回の人 工地震探査のねらいを以下に述べる。

- 1) 草津白根火山山体の地震波速度構造を実証的にとらえる
- 2) 湯釜火口とその周辺の詳細な地下構造イメージを得る

本稿ではこの人工地震探査観測の詳細について述べる。なお、目的 1)については鬼澤・他(本報告書)に、目的 2)については筒井・他(本報告書)に述べられている。

2. 人工地震観測の概要

本項目は 2003 年 9 月 25 日~10 月 1 日の期間に実施された。人工地震の震源には合計 40kg の ダイナマイト発破を用い、山頂部に 2 ヶ所および山麓に 1 ヶ所の発破点を配置した。山頂部の 2 発破点ではそれぞれ 5kg の薬量を用い、山麓では 30kg の薬量を用いた。これら 3 つの発破点に加えて合計 96 点の臨時観測点からなる観測網を展開した。観測網は発破点 S1 および S2 を結び高密度に配置された 71 点から構成される山頂部(Summit)観測網と、発破点 S3 から草津白根火山山体全域に展開された 25 点からなる広域(Regional)観測網から構成された。山頂部観測網では擬似反射記録法(Tsutsui, 1992)による湯釜周辺の浅部構造の地下構造イメージングを狙い、また広域観測網では P 波初動走時解析ならびに振幅解析による草津白根火山山体の地震波速度構造を狙っている。観測点測位にはラピッドスタティック法 GPS 測位とトータルステーションをもちいた。観測網を地形図上にプロットしたものを第 1 図に示す。



第1図:草津白根火山構造探査測線。(a)広域(Regional)観測網、(b)山頂域(Summit)観測網を示す。ともに黒丸は臨時観測点を、白丸は発破点を示す。YGM:湯釜、MTS:本白根山、MNZ:万座温泉、KSS:草津温泉、SUL:草津硫黄鉱山、ISZ:石津硫黄鉱山、YMT:山田峠、MGM:水釜、KKM:涸釜、YUI:弓ヶ池、RH:草津白根レストハウス。

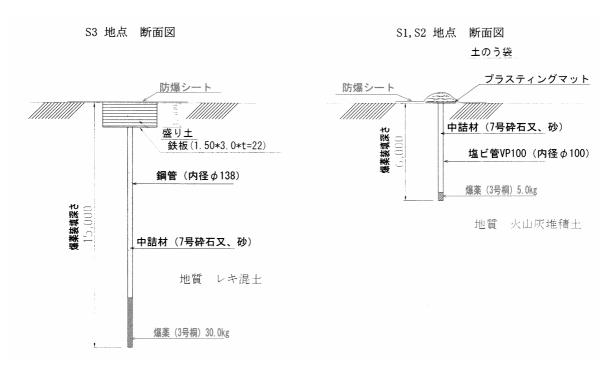
発破作業は9月28日21時30分から22時にかけて15分間隔で行われ、83観測点で良好な波形データを取得した。また、人工地震探査のために展開された臨時観測網では草津白根火山山頂部に発生する火山性地震の諸元の把握を目的として、9月29日早朝まで自然地震の待ち受け観測が行われ、複数の自然地震波形記録を得ることができた。自然地震観測の報告は堀・他(本報告書)に述べられている。

2. 発破作業

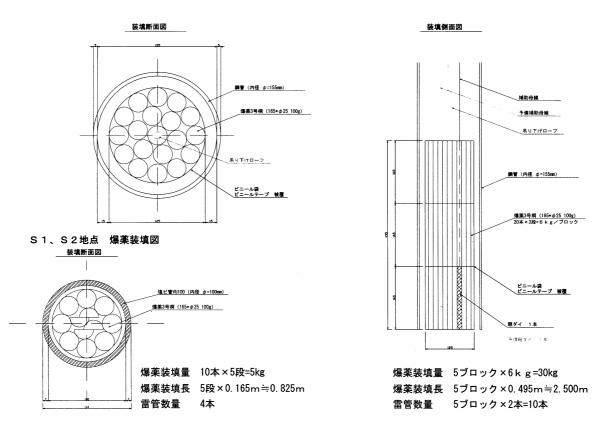
人工地震探査計画の具体的な検討は 2004 年 6 月 4~6 日にかけて東工大火山流体センターで行われた。これまで行われてきた火山体構造探査の実績をもとに当初計画の測線長を勘案して、物理探鉱技術協会(1979)を参考に山頂部 5kg, 山麓部 30kg の発破を用いることとした。また、発破点の発破深度はハウザーの公式と物理探鉱技術協会(1979)を参考に、薬量 5kg の発破 S1 および S2 に対して発破深度約 6m, 薬量 30kg の S3 に対して 15m とした。発破点 S1, S2 はユンボを用いて 5m×5m×深さ 6m の縦穴を掘削の上、ケーシングパイプを埋設した。発破点 S3 はエアー吹き工法で爆破孔掘削を行った。

発破点工作の詳細を第2図に示す。発破に伴う吹き上がりを避けるためにS1およびS2地点では孔口に置いたブラスティングマットの上に土嚢を積み、さらに土嚢の飛散防止として防爆シートで覆った。S3地点での吹き上がり防止対策としては孔口を1.5m×3mの鉄板でふさぎ、その上に1.5m厚の盛り土を施した上にユンボを載せた。当日の発破点の状況を写真1に示す。

さらに発破孔内の火薬の工作の詳細を第3図に示す。火薬には桐3号ダイナマイト(1本100g)を用い、地震探査用雷管で点火を行った。不発対策として発破点S1およびS2ではダイナマイト50本に4本の地震探査用雷管を用いた。同様に発破点S3ではダイナマイト300本に10本の地震探査用雷管を用いた。発破孔に火薬を装填後、タンピング材として砂を込めた。



第2図:発破点工作図。左はS3地点、右はS1,S2地点を示す。



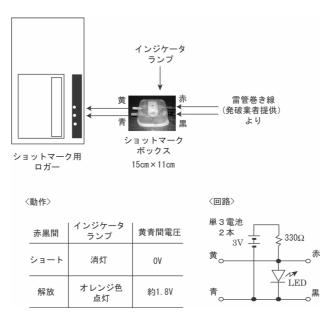
第3図:火薬工作図。下左はS1,S2地点爆薬装填計画。残りはS3地点装填計画を示す。



写真1:発破点S3(森 健彦 撮影)。中央のユンボの下に発破孔がある。

発破の正確な時刻を知るために第4図に示すショットマーク発生装置を製作し、孔外雷管とともに現地で用いた。電源として単3乾電池2本をもちいる簡単な回路であるが、ショットマーク発生完了がインジケータランプ(LED)の点灯で確認できる。発破前の結線完了状態で0Vが、発破完了状態でLEDの順方向電圧降下に相当する電圧1.7Vがショットマーク出力にあらわれる。この出力をデータロガーLS8000SHに入力し、1kHzでサンプリングしたものをショットマーク観測データとした。

9月28日の発破スケジュールは事前に大学関係者と発破業者との間で綿密に打ち合わせが重ねられた。県境に位置する草津白根火山では山頂部自動車道路への交通量が日没後に著しく減少することと、草津町での人工ノイズ発生状況とを勘案して21:30から15分間隔で発破作業を行うこととした。



第4図:ショットマークボックス

なお、発破点 S1 については業者のミスによる絶縁不良のためにショットマークが得られなかった. 発破 S1 の発破時刻の推定と 2 回の発破時刻の詳細については筒井・他(本報告書)の付録に記述されている。

3. 臨時観測点の展開

人工地震の観測を目的とした臨時観測点の展開は9月26日~27日にかけて行われた。本観測参加者が6班に分かれ、観測点設置を4班が受け持ち、残りの2班で測量を行った。合計96観測点のうち84点を上下動成分で構成し、残りの12点で三成分観測を行った。観測網を構成する観測点および発破点の座標を、その詳細とともに第1表に示す。

合計 96 点の臨時観測点を構成する装置の組み合わせは次の3種類である。76 点の上下動観測点および8点の3成分観測点(L01-L59, R01-R19, R91-R97)では固有周波数 2Hz の L-22D と LS8000SH (森田・浜口, 1996; 白山工業製)を使用した。8 観測点(H81-H88)ではLS8000SH との比較を目的として4.5Hz の地震計 GS-11D(GeoSpace 社製)とLS8200SD (白山工業製)を用いて観測を行った。Q71~Q74は LE-3Dlite (レナルツ社製)とLZ8000 (松島他,1998;白山工業製)を使用した。

臨時観測点はつぎのように 2 つの観測網に割り当てられた。71 点が山頂部観測網を構成し、L01 ~L59 観測点はほぼ 100m~150m 間隔で設置された。H81~H88 観測点および Q71~Q74 観測点は L01~L59 観測点のカバーする範囲内に設置された。残りの 25 点(R01~R97 観測点)は 1~4km 間隔で広域観測網を構成した。なお、Q71~Q74 観測点における観測の詳細は堀・他(本報告書)に記述されている。

すべての発破が完了した翌日、臨時観測点の撤去作業とともに観測データの回収が行われた。 全 96 観測点のうち、89 点で波形データを得ることができた。データを得られなかった点ではスケジュール設定ミスおよび地震計系統の断線・転倒の他にバッテリー消耗が主な原因であった。

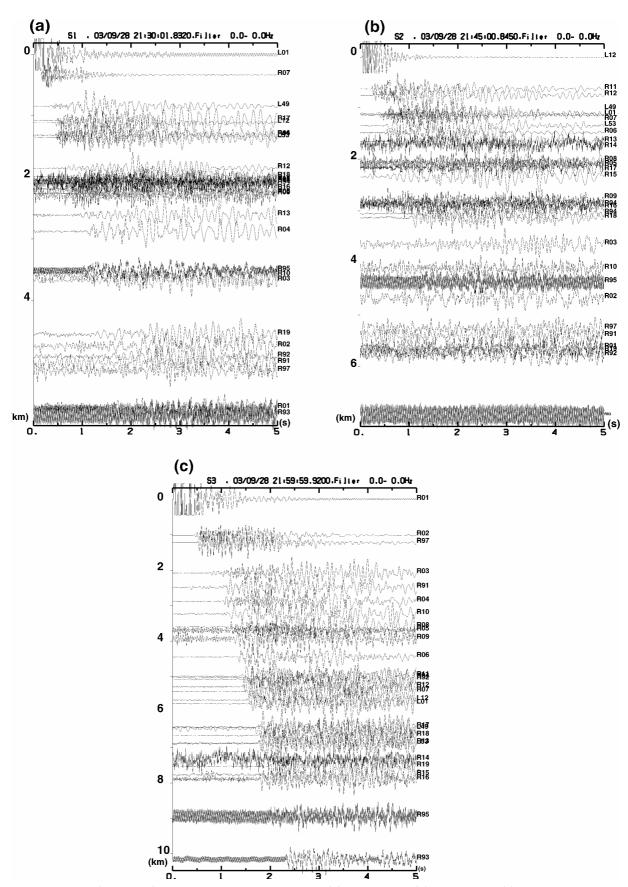
4. 観測波形とその特徴

本発破によって広域観測網で得られた人工地震波形を第5図a~cに示す。第5図は縦軸に震源距離(km)、横軸に走時(s)をとって表示している。第5図a,bにみられるように発破S1,S2は震源距離約3kmの距離まで初動が明瞭に確認できる。一方発破S3では震源距離10kmを超えて明瞭に初動が確認される(第5図c)。なお第5図は山頂部観測網を含む領域を示しているが、図の見やすさを考慮して山頂部観測網の波形は一部のみをプロットした。山麓部の発破S3に対する初動では約2.5km/sの見かけ速度が震源距離2km以下の場所で観測されるとともに、約6km/sの見かけ速度が震源距離5.5km以上の場所で観測される。

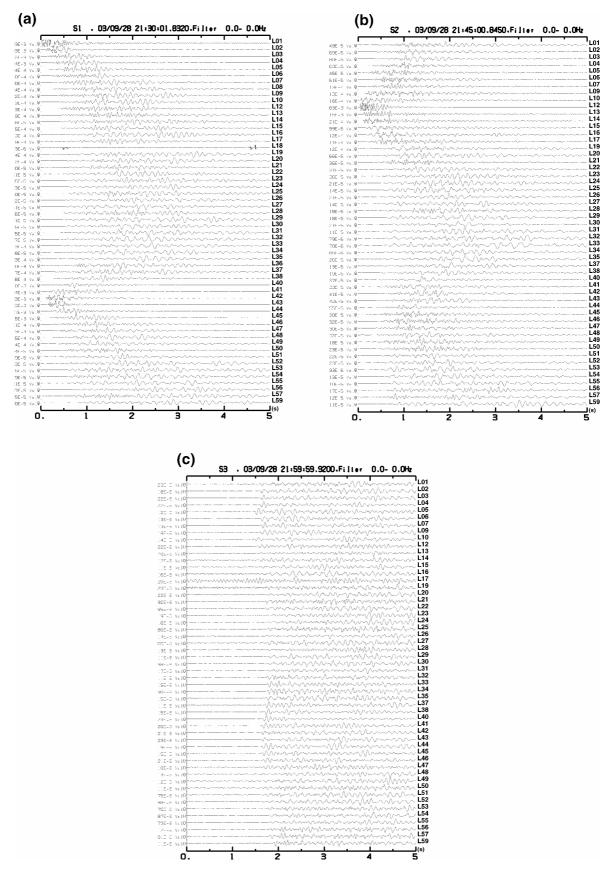
19 19 19 19 19 19 19 19	[min] 38 38 38 38 38 38 38 38 38 38 38 38 38		[sec] sec] 42.74 52.63 34.36	Altitude [m] 1974 1934		duo		em. Samp. Freq		_	Freq. Damp. C	Sensitivity		NGIBELA
18 17 18 18 18 18 18 18	38 38 38 38 38 38 38 38 38 38 38 38 38 3			1974 1934		+	_			_				
No. 17.5 1.0	28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 2			1934				1			ızı		装庫・57%	
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,				1934	Static	t	中華 112	+		+			米屋: OKB 米庫: Fl-r	A Annual Annual Community
15 15 15 15 15 15 15 15	38 38 38 38 38 38 38 38 38 38 38 38 38 3		_	0000	Static Total Station		早年07.2	1000			-		※ 第: JNG ※ 章: 30½。	A COMPANY TO THE PARTY TO THE P
1, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10,	2 28 28 28 28 28			10/2	DDCSC	2	+	1	食価の	-	07	57.4	Supplied States	
No. 1, 178 178	3 8 8 8 8			1960	Taril South	,	+	1	400年7		700	57.4		
No. 1, 179 17 17 17 17 17 17 17	38 88 8		1) N	Total Station	-	+	1	10700年	-	0.7	57.4		
1, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15,	8 88	+	\perp	1968	Total Station	1-	+	ļ	有珠203		2 0.7	57.4		
8/8 20/1 18/8	8 88		1	1970	Total Station	-	-	Ļ	有珠204	-	2 0.7	57.4	撒以時measure end	スケジュールおかしい
8/8 2017 18/8	3 8	+	1	1982	Total Station	-	H	-	01世	6	2 0.7	57.4		
No. 1986 1987 1988		+	+	1082	Total Station	-	t	L	有殊205	-	2 0.7	57.4		
38 31.01 31.85 41.02 41	8 8	-	+	7001	Total Station	+	t	-	#155-20K	-	0 0	57.4		SI主でOK その後抽職計Mロガー死亡
No. 5, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18	8	-1	+	12/0	Total Station	1-	t	1	TOC#14	 -	0.7	\$7.4		
March Marc		7	4	Ę.	TOTAL STATION	-	+	+	HW201		3 6		Affair mit	マー アネタサーエー・ハルチャ
88 88<	88		-	1953	Total Station	-	+	+	4 1×208	-	7.0 7	4.10	1	ハンガールながつか
88 40.66 18.8 20.5 40.5 18.9 20.5	88		_	1956	Total Station	_	+		有來209	-	2 0.7	4.70	MO WELL	
88 41,19 78	88			1942	Total Station	-		` '	有珠210	-	2 0.7	57.4		
	38	138	1	1950	Total Station	-	_	_	有珠211	_	2 0.7	57.4		極性反転?
84 10.85 13. 13. 14.55	%	138	↓_	7962	Total Station	3	L	Ĺ	島原3	3	2 0.7	57.4		
2	85	25	+	1978	Total Station	-	-	ļ.	有珠212	_	2 0.7	57.4		
8. 60 (2) 13. 60 (2 2	2	+	1001	Total Station	-	t	L	有珠213	-	2 0.7	57.4	表図のIDAYCPC位置が通らなかい	
8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	8	8	+	130	Total Station		t	1	110111	-	. 0	8 L S	第1日 Manager and	
8 9 974 18 8 72 20.0 9	æ :	138	-	1661	Total Station	- -	$^{+}$	1	1130000	- -	0.0	57.4	IKAX WTI KASUI C CIN	芸術学会により扱い
8 9 944 188 72 259 20 20 7 Cleak Marker 3 1 保養216 20 250 保養119 2 0.7 7574 8 9 944 188 72 8 72 90 20 Cleak Marker 3 1 保養10 2 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20	8	138	-	1997	Kapid Static	4	+	1	4 珠7I2	1	7.0	3/.4	2400	JE/東市 Of ログー プレー
8 9 9 16 1 18 1 2 1 4 10	88	138	_	2026	Total Station	-	-	``	有珠216	-	2 0.7	57.4		
18 18 18 19 19 19 19 19	38	138	-	2060	Rapid Static	3	-		島原13	E	2 0.7	57.4		
	35	138	├	2071	Rapid Static	-			函数106	-	2 0.7	57.4		
19 19 19 19 19 19 19 19	2 2	130	+	1102	Dapid Static	-	t	L	四季107	-	2 07	57.4		
No. 11 No. 12 No. 11 No. 11 No. 12	8	9	+	7017	Naple Static	٠,	+	1	THE TOO			7.00		するがないイグ
88 5717 18 75 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	\$	3	+	6117	Kapid Static	-	+	1	ON SECTION	-	7 0			CH. 21-X-4
88 8460 1 85 19 8567	88	138	-	2120	Kapid Static	-	-	4	SOI #	-	7.n	4.70		
 28 2471 188 27 0.553 2097 Regid Static 1 同様計10 20 250 阿様計10 1 2 077 574 28 2461 188 27 0.553 2097 Regid Static 1 阿様計10 20 250 阿様計11 1 2 0 07 574 28 2461 188 27 144 20 2000 Regid Static 1 阿様計13 20 250 阿様計11 1 2 0 07 574 28 1521 188 32 1.51 2007 Regid Static 1 阿様計13 20 250 阿様計11 1 2 0 07 574 28 1521 188 32 1.71 2033 Regid Static 1 阿様11 2 0 250 阿様11 1 2 0 07 574 28 6 16 18 32 1.71 2033 Regid Static 1 阿様11 2 0 250 阿様11 1 2 0 07 574 28 5 4 18 32 1.27 2035 Regid Static 1 阿様11 2 0 250 阿様11 1 2 0 07 574 29 6 16 18 32 1.27 2035 Regid Static 1 阿様11 2 0 250 M様10 1 2 0 07 574 20 6 18 5 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	38	138		2120	Rapid Static	ري م	米大こまち1 月	_	秋大3comp-1	3	2 0.7	57.4		
38 2.4.9 18.8 2.4.9 18.8 2.4.9 18.8 2.4.9 18.8 2.4.9 18.8 2.4.9 18.8 2.4.0 18.8 2.4.0 18.8 2.4.0 18.8 2.4.0 18.8 2.4.0 2.4.0 8.8 1.2.0 2.7.4 4.7.4 2.4.0 2.5.4 4.7.4 2.4.0 2.5.4 4.7.4 2.4.0 2.5.4 4.7.4 2.4.0 2.5.4 4.7.4 2.5.4	×	138	⊢	2097	Rapid Static	-	011 議区		50数110	1	2 0.7	57.4		
26 21.6 1 18 2 2 1.6 2 2000 Robel State 1 5 可能 1 2 2 0 7 57.4 1	2	130	+-	2007	Panid Static	-	1112	-	四十111	-	2 0.7	57.4		
8	8	9 5	+	100	Tapin Diane		11144	1	For 18 2 1 1 2	-		87.8		
8 15.21 138 32 1.177 2061 Rapid Static 1 (1992) 13.0 250 (1992) 13.0 2.17	38	138	-+	7090	Kapid Static	-	Ž.	+	7114年	- ,	7.0	* 10		
88 15.21 188 22 1.57 2.061 Regid Static 1 阿藤113 20 259 阿藤113 1 2 07 574	88	138		2079	Rapid Static	L)	K		€XX3comp-2	رم	7	5/.4		
88 11.60 138 32 2.52 2.03 2.03 Repid Static 1 月解記14 2.0 2.90 阿藤114 2 0.7 574 3 74	38	138	-	2061	Rapid Static	-	可蘇113		可禁113	-	2 0.7	57.4		
88 8. 8. 70 138 2. 2 2.00 2.00 8. 80 (1.0.) 3. 74 3. 40 (1.0.) 3. 40	38	138	\vdash	2033	Rapid Static	-	回禁114		阿蘇114	-	2 0.7	57.4		
18 18 18 18 18 18 18 18	38	138	-	2016	Rapid Static	-	島原057		島原057	-	2 0.7	57.4		
15.5 15.6 12.7	2	130	+-	2010	Panid Static	~	B IB OKS	-	単層に		2 0.7	57.4	写真化儿	
18 2.54 18 3.2 10.30 2.00 Rapid Static 1	9	007	+	0000	The Course	,	1 15 000	1	the life or o			7 63		
88 5.5.4 138 72 14.12 2008 Raid Static 1 最前の60 20 250 最終060 1 2 0.7 57.4	8	138	-+	2020	Kapid Static	-	10000000000000000000000000000000000000	+	APJIN USB	-	7.0.	* 1		
38 5.26 138 22 14.2 2008 Rapid Static 1 最際ののの 250 75.4 American 38 5.50 138 22 18.60 20 250 最際のの 1 2 67.7 57.4 38 5.50 138 22 22.7 1991 Rapid Static 1 最際のる 20 67 57.4 Total Static 1 最際のる 20 67 57.4 Total Static 1 最際のる 20 67 57.4 Total Static 1 最際のる 1 2 0.7 57.4 Total Static 1 最際のる 1 2 0.7 57.4 Total Static 1 最際のる 1 2 0.7 57.4 Total Static 1 4 2 0.7 </td <td>38</td> <td>138</td> <td>_</td> <td>2012</td> <td>Rapid Static</td> <td>-</td> <td>島原059</td> <td>_</td> <td>馬原059</td> <td>-</td> <td>2 0.7</td> <td>57.4</td> <td></td> <td></td>	38	138	_	2012	Rapid Static	-	島原059	_	馬原059	-	2 0.7	57.4		
8 5.55 138 72 18.60 2000 Rapid Static 1 島原の1 22 0 島原の6 1 2 0 7 574 1 Teal大陸	8	138	Н	2008	Rapid Static	-	原 060	L	强度060	1	2 0.7	57.4		
18 18 18 18 18 18 18 18	3 6	000	+	200	Danid Statio	1	# MOC1	ŀ	B. 150.61	-	2 0.7	57.4		
58 5.86 1.18 32 22.72 1.991 Magned Natice 3 最所の名 20 250 最限の名 20 27.74 Trail未放	ž	2	+	7000	Kapid Static	-	I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	1	TON WELL		7 6			
86 5.45 138 32 2.66 i 1990 Total Station 1 高原の2 250 高原の2 1 2 0.7 57.4 Total 下位	38	138	-	7667	Rapid Static	~	房原066	4	国原14	<u>س</u>	7 0.7	5/.4		
38 5.45 1.88 3.2 7.04 7.74 7.74 38 5.45 1.88 3.2 3.0.79 1.988 Total Station 1 最際225 2.50 有限222 1 2 0.7 57.4 38 5.45 1.88 2.3 34.79 1.978 Total Station 1 有限212 2.0 4.0 57.4 2 0.7 57.4 38 7.11 1.88 2.3 3.80 1971 Total Station 1 有限21 2.0 2.0 6.7 57.4 2 0.7 57.4 38 1.26 1.98 7 total Station 1 有限21 2.0 2.0 有限21 1 2 0.7 57.4 2 38 1.42 1.98 7 total Station 1 有限21 2 2.0 4.0 57.4 4 38 1.26 1.04 Station Station 1 有限221 2 0.7 57.4 4 <td>88</td> <td>138</td> <td></td> <td>1990</td> <td>Total Station</td> <td>1</td> <td>島原062</td> <td></td> <td>島原062</td> <td>-</td> <td>2 0.7</td> <td>57.4</td> <td>Tcal失敗</td> <td>一部Tcal失敗</td>	88	138		1990	Total Station	1	島原062		島原062	-	2 0.7	57.4	Tcal失敗	一部 Tca l失敗
38 5.45 138 3.2 34.79 1982 Total Station 1 有限222 2.50 有限222 1 2 0.7 57.4 38 5.37 1.38 2.2 38.0 1.97 1.78 Total Station 1 有限220 2.50 有限220 1 2 0.7 57.4 38 1.01.4 1.98 2.2 3.8.70 1.975 Total Station 1 有限220 1 2 0.7 57.4 38 1.22 1.88 2.2 2.34 2.05 1 2 0.7 57.4 38 1.22 1.88 2.2 2.34 2.05 1 2 0.7 57.4 38 1.22 1.88 2.2 2.34 2.05 1 2 0.7 57.4 38 1.72 1.88 2.4 2.9 2.50 4 2 0.7 57.4 38 1.72 2.34 2.8 <t< td=""><td>38</td><td>138</td><td></td><td>1988</td><td>Total Station</td><td>1</td><td>島原063</td><td></td><td>馬原063</td><td>-</td><td>2 0.7</td><td>57.4</td><td></td><td></td></t<>	38	138		1988	Total Station	1	島原063		馬原063	-	2 0.7	57.4		
38 5.37 138 32 38.70 1978 Total Station 1 有格218 2 250 有格218 1 2 0.7 57.4 38 7.11 188 32 38.80 1971 Total Station 1 有探220 250 有探220 1 2 0.7 57.4 38 1.14 188 32 3.102 1987 Total Station 1 4/8.20 1 2 0.7 57.4 38 1.15 2.34 2.016 Total Station 1 4/8.20 1 2 0.7 57.4 38 1.95 1.9 2.04 Aff8.20 2 2.50 4/8.20 3 7.4 38 1.9 1.9 2.0 2.0 2.50 4/8.20 3 7.4 A 38 1.9 1.8 3.2 1.0 7.9 4/8 3 7.4 A 7.4 A 38 1.0	8	╁╴	t	1982	Total Station	-	有珠222		有珠222	-	2 0.7	57.4		
38 10.14 138 32 38.80 1971 Total Station 1 有限219 2 250 有限219 1 2 0.7 57.4	9	+	t	1070	Total Ctation	1-	4年210	ľ	右径218	 -	2 07	57.4		
38 12,42 138 32 38,59 137 170al Sation 1 有様220 250 有様220 1 2 0.7 574	8	+	†	1970	Total Station	-	T-14-10	+	424010		100	2.0		
38 12.02 138 32 34.97 Total Station 1 有殊221 2 52 54 6 78.22 1 1 2 0.7 57.4	8	+	+	19/1	Total Station	-	日本219	_	H.W.219	-	7.0			
38 1.262 1.18 3.2 27/05 2016 Total Station 1 有殊22.7 20 250 有殊22.7 1 2 0.7 57/4 2018	38	-	+	1975	I otal Station	-	# 1×220	4	077×¥€	1	7 0.7	37.6	- American and a second a second and a second a second and a second and a second and a second and a second an	
38 17.22 138 32 23.43 20.51 Total Station 1 有形2.73 20 250 有形2.73 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	38	_	_	1987	Total Station	-	有珠221	-	有珠221	-	2 0.7	57.4		
38 17.22 138 32 23.34 20.51 Total Station 1 有称2.23 20 754 4 78.22 1 1 2 0.7 574 4 78.22 1 1 2 0.7 574 4 78.22 1 1 2 0.7 574 6 78.22 1 1 2 0.7 574 6 78.22 1 1 2 0.7 574 6 78.22 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 1 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 1 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 1 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 1 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 1 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 1 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 1 1 1 2 0.7 574 6 78.24 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	38	_	-	2016	Total Station	-	有珠217		有珠217		2 0.7	57.4		
18 19,50 138 12 19,29 2047 Rapid Static 3 展現 65 25 25 展現 65 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2	38	╀	†	2051	Total Station	_	有珠223	L	有珠223	-	2 0.7	57.4		
38 21.39 138 12 15.01 2037 Rapid Static 1 局域OSG 20 250 局域OSG 1 2 0.7 57.4 ひようとすると結繰が反対・初戦Downに見える 22.93 Rapid Static 1 阿藤11.5 20 250 阿藤11.6 1 2 0.7 57.4 ひようとすると結繰が反対・初戦Downに見える 22.83 13.8 21.03 2093 Rapid Static 1 阿藤11.7 20 250 阿藤11.6 1 2 0.7 57.4 57.4 57.4 57.4 57.4 57.4 57.4 57	82	+	t	2047	Ranid Static	~	原原067		400	3	2 0.7	57.4		
38 2436 138 32 11.03 2093 Rapid Static 1 阿藤115 20 250 阿藤115 1 2 0.7 574 38 2436 138 32 7.59 2084 Rapid Static 1 阿藤116 20 250 阿藤116 1 2 0.7 574 38 2436 138 31 5537 2112 Rapid Static 1 阿藤118 20 250 阿藤119 1 2 0.7 574 38 3422 138 31 5537 2110 Rapid Static 1 阿藤119 20 250 阿藤119 1 2 0.7 574 38 3422 138 31 51.46 2106 Rapid Static 1 阿藤119 20 250 阿藤119 1 2 0.7 574 38 44.72 138 31 44.76 2106 Rapid Static 1 阿藤120 250 阿藤120 1 2 0.7 574 38 44.72 138 31 44.76 2084 Rapid Static 1 阿藤120 250 阿藤120 1 2 0.7 574 38 44.72 138 31 44.76 2084 Rapid Static 1 「新藤128 4 250 薩藤168 1 2 0.7 574 Tealit->vで注意。 「中華100	95	+-	t	2037	Panid Static	-	19.160.5K	L	単 原 0.5.6	-	2 0.7	57.4	利動Down:	414
38 24.55 138 3.2 7.39 2084 Rapid Static 1 阿蘇11.6 2.0 250 阿蘇11.6 1 2 0.7 57.4 38 2.8.58 138 3.2 3.44 2096 Repid Static 1 阿蘇11.6 20 250 阿蘇11.6 1 2 0.7 57.4 38 3.42.5 138 3.1 55.37 2.130 Repid Static 1 阿蘇11.8 20 250 阿蘇11.8 1 2 0.7 57.4 38 3.45.2 138 31 55.4 20.94 Repid Static 1 阿蘇12.0 20 250 阿蘇12.0 1 2 0.7 57.4 38 3.45.2 138 31 4.16.2 20.4 7 57.4 20 57.4 3 4 2 0 7 57.4 3 4 2 0 7 57.4 3 4 3 4 2 0 <td>3 5</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>5000</td> <td>Dear of Creation</td> <td>1-</td> <td>En &1.1.C</td> <td>L</td> <td>Kat 42.15</td> <td>-</td> <td>2 07</td> <td>57.4</td> <td></td> <td></td>	3 5	+	+	5000	Dear of Creation	1-	En &1.1.C	L	Kat 42.15	-	2 07	57.4		
3.8 27.05 7.39 7.39 7.34 <t< td=""><td>ę.</td><td>+</td><td>+</td><td>2003</td><td>Napid Static</td><td>-</td><td>T MAIL O</td><td>1</td><td>CITALITY</td><td></td><td>4 6</td><td></td><td></td><td>ALEXANDER OF THE PROPERTY OF T</td></t<>	ę.	+	+	2003	Napid Static	-	T MAIL O	1	CITALITY		4 6			ALEXANDER OF THE PROPERTY OF T
38 28.58 138 3.4 2096 Repid Static 1 阿藤117 2 0.7 57.4 38 3.18 13.8 3.1 59.35 2110 Repid Static 1 阿藤118 2 0.7 57.4 38 3.45.2 138 31 55.7 2130 Rapid Static 1 阿藤119 20 250 阿藤119 1 2 0.7 57.4 38 3.65.2 138 31 51.46 2116 Rapid Static 1 阿藤12 20 250 阿藤12 1 2 0.7 57.4 38 4.6.2 138 31 43.41 2004 Rapid Static 1 英橋20.2 520 有際23 1 2 0.7 57.4 38 4.6.2 138 31 32.6 12092 Rapid Static 1 董俸083 1 2 0.7 57.4 38 4.6.2 138 3.5 1.90 <	88	138 32	7.39	2084	Rapid Static	-	20条116	_	Sol#110		2 0.7	27.4		
38 31.80 138 31.89 138 31.89 138 31.89 138 31.89 138 31.89 13.83 21.02 Rapid Suite 1 回播18 20 250 回攤18 1 2 0.7 57.4 38 34.62 138 31 51.46 2116 Rapid Suite 1 月橋120 20 57.4 37.4 38 34.62 138 31 41.42 2064 Rapid Suite 1 月橋120 20 47.22 1 2 0.7 57.4 38 44.77 138 31 36.61 2082 Rapid Suite 1 月橋120 2.0 47.25 1 2 0.7 57.4 38 4.6.2 138 31 36.6 13.0 Rapid Suite 1 萬澤120 2.0 4 \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ 0.7 57.4 38 2.3 34.8 4.8 1.3 1.3 1.3 4 \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$	38	138 32	3.44	2036	Rapid Static	_	回蘇117	_	图集117	-	2 0.7	57.4		
38 34,23 138 31 55.37 2130 Rapid Static 1 阿藤10 20 250 阿藤119 1 2 0.7 57.4 38 3.6.62 138 31 51.46 2.116 Rapid Static 1 阿藤120 20 250 阿藤119 1 2 0.7 57.4 38 3.6.5 138 31 4.47.2 2084 Rapid Static 1 有採22 2 0 7 57.4 38 4.47.1 138 31 3.4.1 2000 Rapid Static 1 章常063 4 250 章線63 1 2 0.7 57.4 38 4.2.7 138 31 2.2.7 2093 Rapid Static 1 章常063 4 250 章線63 1 2 0.7 57.4 38 4.2.2 138 3.5 1.997 ettex 1 有採025 2 2 0 7 57.4 </td <td>38</td> <td>138 31</td> <td>59.35</td> <td>2112</td> <td>Rapid Static</td> <td>_ _</td> <td>阿蘇118</td> <td></td> <td>阿蒙118</td> <td>1</td> <td>2 0.7</td> <td>57.4</td> <td></td> <td></td>	38	138 31	59.35	2112	Rapid Static	_ _	阿蘇118		阿蒙118	1	2 0.7	57.4		
38 36.62 138 31 51.46 2116 Rapid Static 1 阿藤120 20 阿藤120 1 2 0.7 57.4 38 3.66.2 138 31 47.62 2084 Rapid Static 1 有採22.4 20 有採22.4 1 2 0.7 57.4 38 44.77 138 31 43.41 2062 Rapid Static 1 草津063 4 25.0 有採22.4 1 2 0.7 57.4 38 4.6.2 13.8 31 32.77 2093 Rapid Static 1 草津064 4 25.0 草津063 1 2 0.7 57.4 38 4.6.2 13.8 31 32.77 2093 Rapid Static 1 草津064 4 25.0 草津064 1 57.4 38 0.3 13.8 35 5.6 1.251 e-tex 1 村採027 2 2 0 村採027 1	98	138 31	55.37	2130	Rapid Static	_	四秦119	Ĺ	回秦119	-	2 0.7	57.4		
38 38.63 138 31 47.62 2084 Repid Static 1 有限224 20 有限224 1 2 0,7 57.4 38 41.72 138 31 43.41 2000 Repid Static 1 有限252 50 有限225 1 2 0,7 57.4 38 44.71 138 31 38.61 2082 Repid Static 1 董術884 4 250 華灣895 1 2 0,7 57.4 38 4.62 138 36 34.0 1097 e-terx 1 有限027 2 2 0 7 57.4 38 1.8 1.8 5.5 1.25 1.25 e-terx 1 有限027 2 2 0 7 57.4 38 1.8 1.8 1.5 5.4 1.25 e-terx 1 有限027 2 0 有限025 1 2 0 7 57.4	3,6	138 31	51.46	2116	Rapid Static	-	阿藤120		阿蘇120	1	2 0.7	57.4		
41.52 138 31 43.41 2060 Rapid Static 1 有採225 20 250 有採225 1 2 0.7 57.4 44.71 138 31 38.41 2002 Rapid Static 1 董澤608 4 250 華澤688 1 2 0.7 57.4 46.21 138 31 32.77 2093 Rapid Static 1 董灣804 4 250 華澤808 1 2 0.7 57.4 0.3 138 3.4.0 1997 e-tex 1 有採027 250 華澤802 1 2 0.7 57.4 1.8 13.6 1.251 e-tex 1 有採027 2 250 有採027 1 2 0.7 57.4 1.8 13.6 1.251 e-tex 1 有採028 20 有採028 1 2 0.7 57.4 1.8 1.8 1.6 1.356 e-tex 1 <	╀	138	47.62	2084	Rapid Static	-	右珠224	L	有珠224	-	2 0.7	57.4		
41.32 13 31 38.41 2000 Replied Static 1 ##6.21 20 用機能 1 2 7.7 4 7.7 138 31 38.61 2003 Replied Static 1 ##8.68 4 250 排機 4 7.7 4 7.7 4 7.7 7.4 7.7 7.4 7.7 7.4 7.7 7.4 7.7 7.4 7.7	+	000	20.17	2007	Dania Statio		# 24.00 E	1	中性のな	-		27.4		
44.77 158 51 32.77 2082 Rapid Sairc 1 3 FROS 4 2.07 平海063 1 2 0.7 57.4 46.21 138 34 16 1697 e-trex 1 有採026 250 有採026 1 2 0.7 57.4 0.3 138 35 53.6 155 e-trex 1 有採027 20 250 有採027 1 2 0.7 57.4 1.8 138 55 16 135 e-trex 1 有採027 20 6 有採027 1 2 0.7 57.4 1.8 138 55 16 135 e-trex 1 有採029 20 有採028 1 2 0.7 57.4 1.8 1.8 1.8 1.46 1.46 e-trex 1 4 4 5.0 6 4 7 57.4 1.8 1.8 1.46 e-trex	+	138	43,41	7000	Kapid Static		# # 7500	1	C77X4#		7 00.		お上輩 物な十二(・三・日	
4.2.1 138 13 2.7.7 2093 Rapid Static 1 4 appeds 2 2.5.0 4 appeds 1 2 0.7 0.3 138 36 13.10 e-trex 1 4 fkg0.7 20 25.0 4 fkg0.2 1 2 0.7 1.8 138 35 10.6 135 e-trex 1 4 fkg0.2 20 25.0 4 fkg0.2 1 2 0.7 1.8 138 15 10.6 13.6 e-trex 1 4 fkg0.2 20 25.0 4 fkg0.2 1 2 0.7 1.8 138 1.4 1.4 1.4 4 fkg0.2 2 2 4 fkg0.2 1 2 0.7 1.8 1.8 1.4 1.4 2.5 4 fkg0.9 1 2 0.7	4	138	38.61	2087	Kapid Static	-	E 74083	4	FE (#1085)		7 00.7	\$7.4	I CALL TO Y CALLEY, TRAX PATINCASSIC COLO	
2.2 138 36 34.0 1097 c-frex 1 有株0.5 250 有株0.5 1 2 0.7 0.3 138 35 53.6 1231 c-frex 1 有株0.27 250 有株0.27 1 2 0.7 1.8 138 14 146 146 13.0 c-frex 1 有株0.9 2 250 有株0.2 1 2 0.7 3.4 1.8 1.46 -frex 1 有株0.9 2 50 有株0.9 1 2 0.7	4	138 31	32.77	2093	Rapid Static	-	草津084	4	卓/年084	-	2 0.7	57.4		
0.3 138 35 53.6 1251 c-trex 1 有株027 20 250 有株027 1 2 0.7 1.8 138 54 10.6 136 -c-trex 1 有株028 0 250 有株028 1 2 0.7 3.4 1.8 2.4 1.8 2.4 1.8 2.5 4.4 2 0.7			Н	1097	e-trex	-	有珠026		有珠026	-	2 0.7	57.4		
1.8 138 35 10.6 1336 c-trex 1 有來028 20 250 有來028 1 2 0.7 3.5 138 34 38.6 1409 c-trex 1 有來070 20 250 有來029 1 2 0.7	╀	┞	┝	1251	c-trex	Ξ	有珠027		有珠027		2 0.7	57.4		
35 138 34 386 1409 6-1178 1 有路の9 250 有路の9 1 2 0.7	+	╀	H	1326	e-trex	_	有珠028		有珠028	-	2 0.7	57.4		
	3 2	+	╁	1400	4		本はかの	-	本件020	-	, 0.7	57.4		

第1表 発破点・臨時観測点座標。Region 欄の Summit は山頂部観測網を、Regional は広域 観測網を構成する観測点であることを示す。

_				ر	oordina	Coordinate (Tokyo Datum)	Datum)		7		TANKS CI	ا								
Region	Station		Latitude	-	ว	Longitude	Altitude	ude Measurement	Comp		Number	3	p. Freq	Number	2	Nat. Freq.	Nat. Freq. Darm Cust	٠,	Field Note	Remark
	-	[deg]	min	sec	[deg] [m	[min] [sec	m l					MB	[Hz]	- 1		Hz		۶		
Regional	ROS	36	38	7.9	138 3	34 5.7	7 1465	5 c-trex	1	有弱	有珠030 2	_	250	有珠030	-	7	0.7	57.4	川のノイズ大	NAME OF TAXABLE PARTY.
Regional	R06	╁	H	7.9	138 3	33 35.5	.5 1649		_	有別	有珠031 2		250	有珠031	1	2	0.7	57.4		
Regional	R07	╁	-	4.3	138 3	32 56.2	.2 1903		_	有別	有珠032 2		250	有珠032	-	2	0.7	57.4		
Regional	R08	36	38 2	21.7 13	138 3	34 11.4	.4 1562	2 c-trex	-	有路	有珠033 2	20 2	250	有珠033	1	2	0.7	57.4		
Regional	808	⊢		28.4	138 3	34 1.8	8 1548	8 c-trex	_	有限	有珠034 2	L	250	有珠034	-	7	0.7	57.4		
Regional	R10	+	37	4.6	138 3	34 45.9	9 1350	0 c-trex	-	有为	有珠035 2	70	250	有珠035		2	0.7	57.4		
Regional	RII	38	38	37.5	138 3	33 18.3	3 1856	6 c-trex	_	有身	有珠036 2	20	250	有珠036	-	7	0.7	57.4		
Regional	R12	36	39	0.1	138 3	33 13.9	1831	1 c-trex	-	有5	有珠037 2		250	有珠037	-	2	0.7	57.4	撒収時measure end	エリア途中まで
Regional	R13	36	H	28.2	138 3	32 18.8	.8 2177	7 c-trex	-	有多	有珠038 2	20	250	有珠038	_	7	0.7	57.4	有珠038pickを修理	
Regional	R14	36	38		138 3	31 46.0	.0 2074	4 c-trex	_	有身	有珠039 2	_	250	有珠039	-	7	0.7	57.4	地震計転倒	まともな波形をかいていない
Regional	R15	36	38 2	20.5	138	31 22.4	.4 2029	9 c-trex	-	有万	有珠040 2		250	有珠040	-	2	0.7	57.4		AND AND A STREET OF THE STREET, ST. S.
Regional	R16	%	37 5	50.0	138	31 16	16.8 1762	2 e-trex	1	有身	有珠226 2	20	250	有珠226	-	2	0.7	57.4		
Regional	R17	8	37 3	37.3	138	32 17	17.6 2035	5 e-trex	_	有身	有珠227 2		250	有珠227	-	7	0.7	57.4	/パッテリーダウン・但しarea23まで測定, No base module・データ回収出来す	o base module・データ回収出来ず
Regional	R18	36		4.8	138 3		15.9 2148	8 c-trex	-	有多	有珠228 2	70	250	有珠228	1	2	0.7	57.4		and description of the second
Regional	R19	38	35	38.3	138 3	32 29	29.6 1487	77 c-trex	-	有事	有珠229 2		250	有珠229	-	2	0.7	57.4		
Regional	R91	38	38	53.1	138	35 43.3	.3 1207	77 e-trex	-	草	草津077	4	250	草津077	-	2	0.7	57.4		
Regional	R92	36	35 5	51.8	138	34 30.1	1266	o-trex	_	草	草津078	4	250	草津078	1	2	0.7	57.4		
Regional	R93	38	35 2	26.6	138	-	34.3 1472	72 c-trex	-	草	草律079	4	250	草津079	1	2	0.7	57.4		
Regional	R94	36		6.2	138	33 24	24.3 1759	39 c-trex	1	草条	章/李080	4	250	草津080	-	7	0.7	57.4		ch, 2Fリフト
Regional	R95	36	37	8.1	138	30 40	40.6 1778	78 c-trex	1	草	_	4	250	草律081	1	2	0.7	57.4		
Regional	R97	36	H	30.5	138	36 5.1	1176	76 c-trex	1	草	草津082	,	250	草津082	1	2	0.7	57.4		
Hakusan	H81	36	38	5.41	138	32 42.	42.17 1977	77 DGPS	1	0.0	01010		200		-	4.5	0.7	82.7		旧1.01. 単一エリア、
Hakusan	H82	36		7.49	138	32 38.	38.60 1970	70 DGPS	1	10	61010		200		-	4.5	0.7	82.7		IB1.43
Hakusan	H83	36	38	9.90	138	32 34.	34.80 1972	72 DGPS	-	10	01020		200		-	4.5	0.7	82.7		旧144. データなし.
Hakusan	H84	36	38	12.46	138	32 30.	30.72 1985	SS DGPS	-	-01	01011	-	200		-	4.5	0.7	82.7	And the second s	(FL45
Hakusan	785 F	36	38	14.64	138	32 26.	26.72 2013	13 DGPS	1	0.1	01018		200			4.5	0.7	82.7		旧L46. データなし.
Hakusan	98H	Ж	┝	9.99	138	32 31.	31.44 19	1978 DGPS	_	0	01013	L	200		7	4.5	0.7	82.7		IEH03
Hakusan	H87	%	-	11.02	138	32 32.	32.51 1979	79 DGPS	-	0	01014		200		-	4.5	0.7	82.7		IEH01
Hakusan	H88	%	38	12.13	138	32 34.	34.52 1979	PGPS DGPS	-	10	01016		200		1	4.5	0.7	82.7		IBH02
Continuous	071	36	38	16.99	138	32 23.	23.07 2048	t8 DGPS?	3	L			200		3	-	0.7	400		19001
Continuous	072	38	38	31.68	138	32 23.	23.70 2080	30 DGPS?	3			_	200		3	-	0.7	400		IIQ02
Continuous	073	%	38	44.16	138	32 35.	35.58 1961	51 DGPS?	3				200		9	-	0.7	400		IBQ03
Continuous	170	72	9						•		-									



第 5 図: 広域(regional)観測網における観測記録。(a)発破点S1, (b)発破点S2, (c)発破点S3。



第6図: 山頂部(Summit)観測網における波形記録例。(a)発破点 S1, (b)発破点 S2, (c)発破点 S3。

さらに山頂部観測網で得られた波形記録を第 6 図 a~c に示す。第 6 図の横軸は走時(s)であるが、観測点ごとに波形記録を等間隔に並べて示した。山頂観測網内では発破 S1, S2 のいずれも明瞭に初動が観測される(第 6 図 a, b)。また、震源距離が 6-8km の範囲である山麓における発破 S3 に対しても明瞭な初動が観測されている(第 6 図 c)。

山頂部の発破 S1 および S2 の初動は震源距離 2km 付近まで約 3km/s 以上の見かけ速度を示すが、 震源近傍では 4km/s を超える見かけ速度を示す。さらに第 6 図 c の各波形では北西ほど後続相の 出現走時が系統的に早くなる傾向が認められ、東に向かって深くなる基盤深度分布の傾向(牧野・ 他, 2002) と調和的であることから、湯釜近傍の浅部構造の影響を反映していることが期待される。 解析結果については鬼澤・他(本報告書)、筒井・他(本報告書)に記述されている。

5. まとめ

今回の集中観測では草津白根火山の地下構造調査を目的に、3 地点における発破を山体上に展開された 96 臨時観測点で観測した。草津白根火山山頂部では観測点間隔 100~150m の高密度観測網の中で薬量 5kg の発破を 2 ヶ所で行い、山麓では薬量 30kg の発破を 1 ヶ所で行った。山頂部の発破ではいずれも震源距離 3km まで初動が明瞭に観測された。初動走時は震源近傍で 4km/s を超える見かけ速度を示した後、震源距離 2km 付近まで 3km/s の見かけ速度を示す。山麓の発破は震源距離 10km を超えて明瞭な初動が観測された。山麓の発破に対する初動走時は震源距離 2km 以内では 2.5km/s の見かけ速度を示し、震源距離 5.5km 以上の地点では約 6km/s の見かけ速度を示す。さらに山麓の発破に対する山頂部観測網の各点では系統的に出現時刻が変化する後続相が認められる。以上のことから今回の観測で得られた観測データは草津白根山の地下構造の解明に貢献するであろうことが期待される。

謝辞

本観測の実施にあたり、草津町、六合村の皆様に理解をいただき、絶大なる協力を賜った。また、草津町役場、株式会社コクド、群馬県中之条土木事務所、群馬県中之条行政事務所、環境省万座自然保護官事務所、林野庁吾妻森林管理署にはご助力をいただいた。発破孔の作孔には山田工業株式会社の協力を得た上、円滑かつ安全な発破作業は久住土建株式会社の献身的な協力に負うところが大きかった。利根コンサルタンツ東北支店伊藤憲哉氏には本計画の立ち上げの際にお世話になった。また、ショットタイムの取得のための雷管周りの工作は日本油脂(株)民田利明氏にご指導をいただいた。本観測は東京大学地震研究所客員教官研究費、及び東京大学地震研究所共同利用研究費(課題番号:2003-G-17、研究課題:重複反射波を用いた火山体内部構造の推定の試み)を用いて行われた。

引用文献

物理探鉱技術協会 (1979) 土木地質調査における屈折法地震探査の調査計画に関する要項、物理探鍍. **32**, 252-269.

平林順一 (1996) 草津白根山の最近の活動状況、第3回草津白根山の集中総合観測報告書、1. 堀 美緒・河野裕希・松島 健・鬼澤真也・平林順一・野上健治・草津白根集中観測 人工地

震探査グループ (2004) 草津白根火山における火山性地震の震源分布、本報告書.

井田喜明・長田 昇・沢田宗久・小山悦郎・鍵山恒臣 (1989) 草津白根山における常設地震観測と 1989 年 1 月の小噴火、地震研究所彙報、64,325-345.

桂 郁雄・川東慶子・Djedi S. Widarto・西村 進・茂木 透・下泉政志・西田潤一・楠 建一郎・鈴木浩一・藤光康宏・城森 明・山本哲也・山崎 明・田口陽介 (1996) 草津白根山での CSMT および TDEM 探査、第3回草津白根山の集中総合観測報告書、61-72.

気象庁 (1984) 草津白根山, 日本活火山総覧, 183-193.

牧野雅彦・渡辺史郎・住田達哉・小川康雄(2002) 草津白根山の重力探査、月刊地球、号外 No. **39**、52-56.

松島 健・清水 洋・植平賢司・安達繁樹・安藤 浩 (1998) 地震観測用小型テレメタリングシステムの開発,日本地震学会秋季大会,P04.

森 健彦・平林順一・野上健治・金嶋 聰・須藤靖明・吉川 慎 (2001) 草津白根火山における地震観測、地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会予稿集, Jp-P012.

森田裕一・浜口博之 (1996) 火山体構造探査のための高精度小型データロガーの開発、火山、**41**, 127-139.

手塚雅美・山崎 明・中谷 清・中島新三郎・小島美都子 (1996) 草津白根山における全磁力 観測、第3回草津白根山の集中総合観測報告書、53-60.

Tsutsui, T. (1992) Pseudo Reflection Profiling Method: an efficient complement to the CDP method, *Geophysical Prospecting*, **40**, 15-30.

筒井智樹・草薙智浩・梶井達矢・鬼澤真也・森 健彦・野上健治・平林順一・小川康雄・水橋 正英・及川光弘・齋藤政城・若林 亨・高木憲朗・鈴木敦生・田中麻貴・及川 純・中道治久・ 山下祐一郎・吉川 慎・松島 健・河野裕希・堀 美緒 (2004) 草津白根火山湯釜火口周辺の地 震反射断面 一擬似反射記録法による反射断面の推定一 、本報告書

鬼澤真也・森 健彦・筒井智樹・平林順一・野上健治・松島 健・草津白根集中観測 人工地 震探査グループ (2004) 草津白根火山における人工地震探査 - P波速度構造-、本報告書