京都大学防災研究所年報 第 54 号 B 平成 23 年 6 月
Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 54 B, 2011

桜島火山における反復地震探査（2010 年観測）

筒井智樹[*]・井口正人・為栗　健・及川　純[**]・大島弘光[***]・前川徳光[***]・青山裕[***]・植木貞人[****]・平原　聡[****]・野上健治[*****]・大湊隆雄[**]・市原美恵[**]・辻　浩[**]・堀川信一郎[******]・奥田　隆[******]・清水　洋[*******]・松島　健[*******]・大倉敬宏[********]・吉川　慎[********]・園田忠臣・宮町宏樹[*********]・八木原　寛[*********]・平野舟一郎[*********]・斎藤公一滝[**********]・末峯宏一[**********]・後藤　進[**********]・池亀孝光[**********]・加藤幸司[**********]・松末伸一[**********]・河野太亮[**********]・宇都宮真吾[**********]・五藤大仁[**********]・渡辺竜一[*]・前原祐樹[**]・佐藤　泉[*****]・大薮竜童[******]・清水英彦[******]・山下裕亮[*******]

[*] 秋田大学大学院工学資源学研究科
[**] 東京大学地震研究所
[***] 北海道大学大学院理学研究科
[****] 東北大学大学院理学研究科
[*****] 東京工業大学
[******] 名古屋大学大学院環境学研究科
[*******] 京都大学大学院理学研究科
[********] 九州大学大学院理学研究院
[*********] 鹿児島大学理学部
[**********] 気象庁

要　旨

桜島火山において 2010 年 12 月に第二回反復地震探査を実施した。観測点は 9 割以上が前年の位置に再現され，観測網全体で南北方向に平均 0.1m，東西方向に平均 0.2m の精度で観測点位置の再現がなされた。観測では展開 248 点中 245 点で波形の収録が成功した。観測波形の振幅は前年比 0.8 ～ 1.5 倍の範囲内に，走時差は 8ms 以内であり，波形の再現性も良好であった。前年観測記録を基準にした残差記録に現れた残差相は走時 1.5 ～ 3 秒台が多く，桜島北東部を通過してくる波線に対応する記録によく認められる傾向がある。

キーワード：桜島火山 , 人工地震探査 , 構造変化

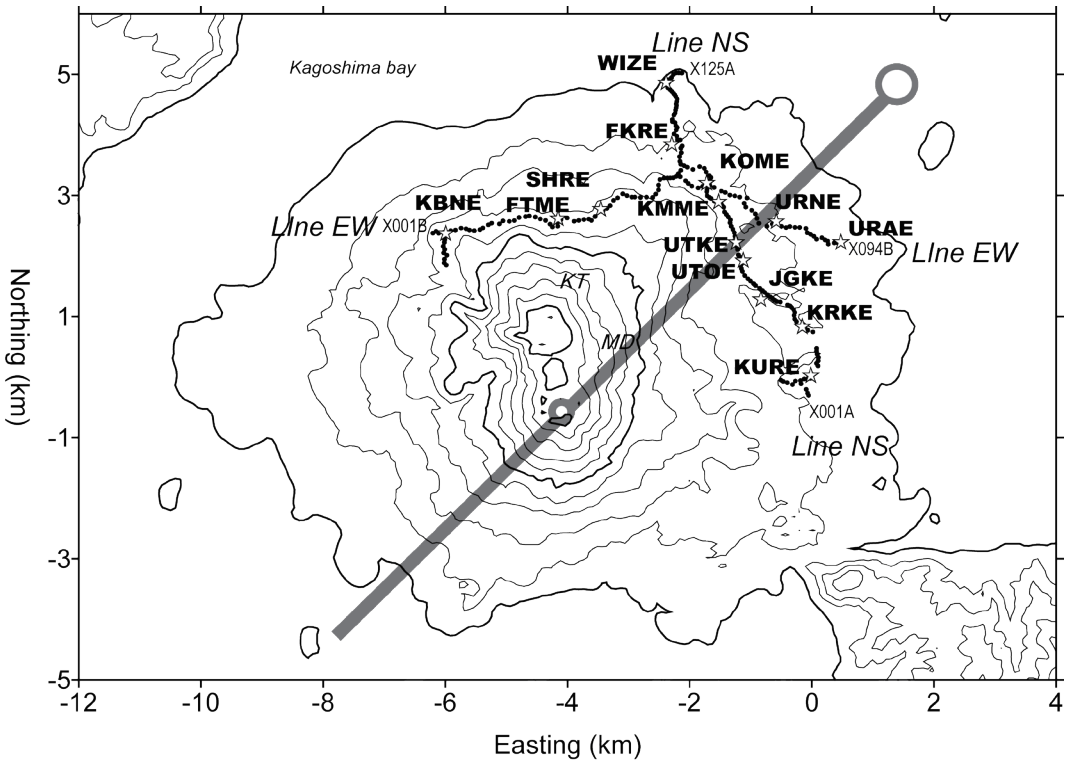


Fig. 1 The geometry of the 2010 experiment. Each of the temporary station is marked with a dot. Shot points are open stars. Contours are every 100m of altitude. KT marks Kita-dake and MD marks Minami-dake summit. The gray thick line and open circles are the magma feeder model after Hidayati et al. (2007)

1．はじめに

火山活動の本質は地球内部にある物質が移動して地表に表れることである。地下における物質移動はその物質の粘性やその周囲における浸透率，そして周囲との密度差によってそのふるまいがコントロールされる。地下における物質の動きと物性は火山活動の推移の予測に重要な要素である。

火山活動に伴う地震学的構造の変化の検出を目的に，これまで 2008 年 11 月，2009 年 12 月と 1 年を隔てて桜島火山北東部に 2 本の測線を展開し，同一測線上で人工地震波形を繰り返し観測してきた（井口ら , 2009; 筒井ら , 2010）。本稿で述べる観測はこれらの 2 回の観測に引き続いて行われたものである。以降では 2008 年 11 月の探査を 2008 年探査，2009 年 12 月の探査を 2009 年探査，2010 年 12 月の探査を 2010 年探査と呼ぶことにする。

今回を含めた 3 回の地震探査が行われた時期には昭和火口からの噴出活動が卓越しており（井口ら , 2009；井口 , 2010），1990 年代後半から始まった桜島を含む姶良カルデラ一帯の膨張は継続中であった（山本ら , 2010）。桜島火山では 1955 年以降継続していた南岳火口からの爆発活動が，2000 年代に入って低調になった。その一方で 2006 年 6 月に南岳東山腹の昭和火口が活動を再開し，それ以降昭和火口からの噴出活動が年を追うごとに高まりを見せている。 2008 年探査は昭和火口からの噴火活動が活発化する直前の時期に行われた。また，2009 年探査は昭和火口からの爆発回数がピークを迎えるとともに桜島北東部の急激な伸張が始まった時期に実施された（井口 , 2010）。2010 年探査は桜島北東部の伸張変動が小康状態を迎えた時期に，2009 年探査時点との地震反射応答の差を検出することを目的として行われた。

2．観測

2010 年探査は 2010 年 12 月 6 – 11 日の 6 日間に 11 機関のべ 39 名の参加を得て実施された。2010 年探査では 2 本の測線（測線 NS, 測線 EW) およびその支線に 14 ヶ所の発破点と 248 点の観測点を展開し，2009 年探査測線の大部

Table 1 Location and shot time of the shot points. G. L. altitude presents altitude of the top of the hole.

Site	2010 Shot	Latitude (WGS84)			Longitude (WGS84)			G.L. altitude (m)	Shot time (JST)		2009 Shot	2010 - 2009		Note
		Deg	Min	Sec	Deg	Min	Sec		Day	Time		Northing (m)	Easting (m)	
KURE	10S01	31	35	01.69213	130	42	05.20698	66.4	2010/12/9	02:17:00.721	09S02	-1.8	-3.0	
KRKE	10S02	31	35	27.82611	130	41	59.79834	89.4	2010/12/9	00:11:59.848	09S03	-1.0	0.1	Earlier
JGKE	10S03	31	35	42.37185	130	41	33.68605	102.9	2010/12/9	01:11:59.902	09S04	2.5	9.7	Earlier
UTOE	10S04	31	36	03.32792	130	41	23.22114	123.8	2010/12/9	02:07:00.733	09S05	0.8	-4.3	
UTKE	10S05	31	36	13.03437	130	41	18.65144	137.1	2010/12/9	00:17:00.080	09S06	0.6	-0.4	
KMME	10S06	31	36	34.76403	130	41	07.51605	149.9	2010/12/9	01:17:00.240	09S07	-1.2	4.4	
KOME	10S07	31	36	44.69807	130	41	00.37719	144.7	2010/12/9	02:12:00.070	09S12	6.0	-0.1	
FKRE	10S08	31	37	05.45997	130	40	38.83857	91.9	2010/12/9	00:07:00.595	09S08	4.0	-3.8	Post T-Cal. failed
WIZE	10S09	31	37	38.34662	130	40	34.78158	32.9	2010/12/9	01:07:00.322	09S09	9.7	10.3	
URAE	10S10	31	36	13.25656	130	42	23.81975	37.3	2010/12/9	01:22:00.557	09S10	-5.0	-1.2	
URNE	10S11	31	36	24.23206	130	41	43.35604	91.5	2010/12/9	00:22:00.580	09S11	0.8	6.0	
SHRE	10S12	31	36	31.12039	130	39	54.27568	314.0	2010/12/9	00:27:00.132	09S13	-9.1	7.5	
FTME	10S13	31	36	25.81617	130	39	28.10512	327.8	2010/12/9	01:27:01.150	09S14	0.2	-0.7	
KBNE	10S14	31	36	17.87035	130	38	18.13973	369.1	2010/12/9	02:22:00.816	09S15	-2.0	0.5	

分を再現した。14 ヶ所の発破点はすべて 2009 年探査同様に薬量 20 kg のダイナマイトを用いた単孔発破であった。これらの発破の座標と発破時刻を Table 1 に示す。

今回から混乱を避けるために繰り返し発破を行うサイトに Table 1 のような 4 文字の名称コードを割り当てることにした。これまで探査の実施の都度発破点に通し番号を付与して名称としていたが，データの蓄積が進み混乱を惹起する傾向が顕著になってきた。新しく付与したコード名と既存の発破点名との対応も Table 1 に示す。名称コードは近隣の地名をベースとした。以降はこの名称コードを用いて発破点を記述することにする。

各発破点と測線の位置関係を Fig. 1 に示す。観測網は 2009 年探査と同様に主要な 2 本の測線（測線 NS と測線 EW) と枝測線 (C, D) から構成される。2010 年探査では諸般の事情により 2009 年の展開に次のような変更を加えた。発破点 09S01(NBYE) とその周辺の 11 観測点 C007-C017，当日の天候を考慮して測線 NS 上の 4 観測点 X017A-X019A, X192A の再現を見送った。また治山工事による現地の状況変化を考慮して測線 EW 上の 7 観測点 B201-B207 は旧点を放棄して新たに選点を行った。これらを除く各観測点の再現状況は良好で，2009 年探査に対してそれぞれ南北方向に平均 0.1m，東西方向に平均 0.2m の差であった。これらの観測点座標を再現ランクとともに付録に示す。観測点の再現状況を示す再現選点ランク (Rank) は筒井ら (2010) の定義を用いた。

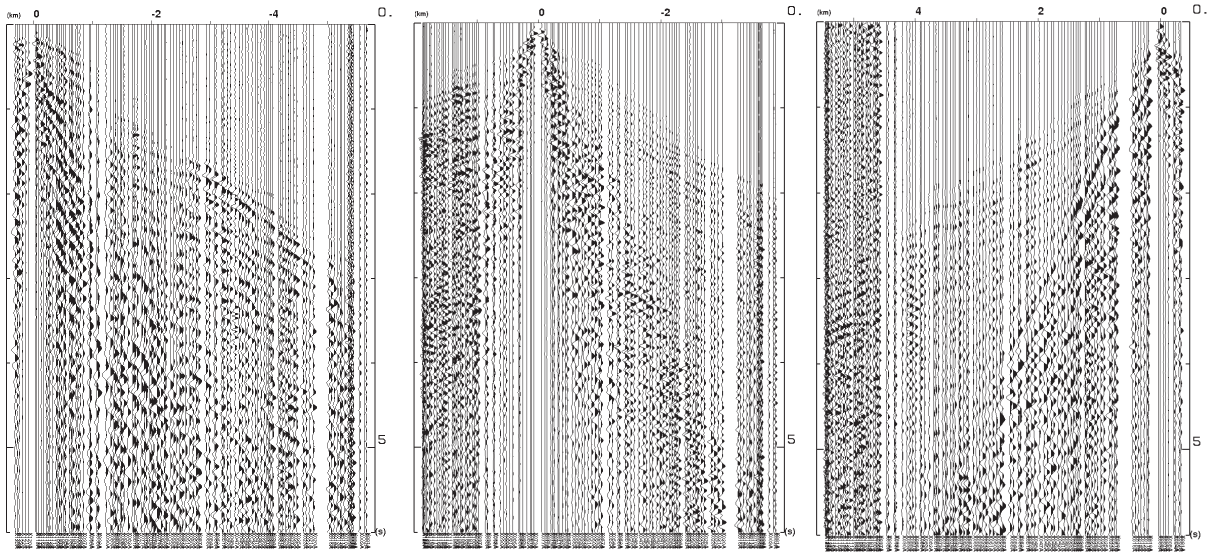
発破作業は 2010 年 12 月 9 日　00:07 より 3 つの 15 分間の作業時間帯を 25 分の間隔でもうけて順次行われた。各作業時間帯には 5 分間隔の発破予定時刻が設定された。なお発破作業当日の気象条件は寒気の張り出しにより北寄りの風が強く，時雨混じりの天候であった。

2009 年探査に引き続き，各観測点ではデータロガー LS-8200SD（白山工業製）と 4.5Hz 上下動成分のセンサーを組み合わせた 1 成分観測を行い，サンプリング周波数 500Hz で 2010 年 12 月 8 日 21 時から翌朝 6 時までの連続記録を取得した。展開した観測点のうち 245 点で正常にデータ取得がなされた。データ取得が正常に行われなかった 3 観測点は，それぞれ内部システムの異常による動作不良と電池電圧不足によると思われる起動失敗であった。

観測点の測位は 2009 年探査と同様に，島内常設観測点を基準点としたラピッド・スタティック法を用いて測量を行った。

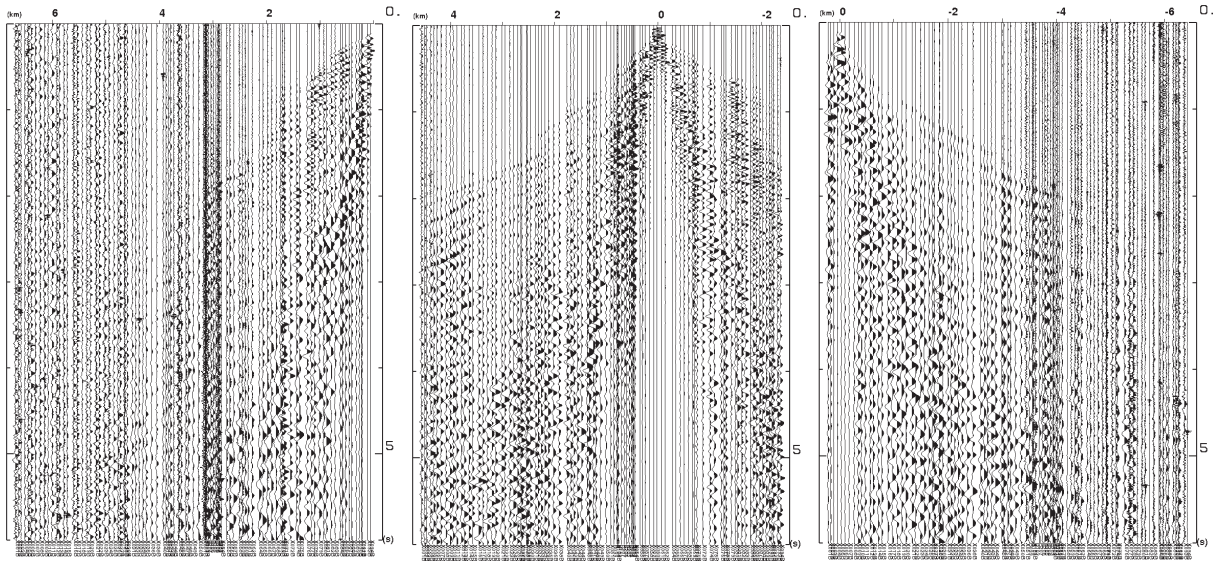
3．データ

測線 NS における代表的な観測波形を 3 例 (発破点 WIZE, KOME, KURE) を Fig. 2a-c に示す。また，測線 EW における代表的な観測波形（発破点 URAE, SHRE, KBNE）を Fig. 3a-c に示す。到来時刻はいずれも振幅のピーク到来時



(a) (b) (c)

Fig. 2 The shot records along the line NS. (a)The shot WIZE, (b) the shot KOME, and (c)the shot KURE. The seismograms are ordered up to north from the right side.



(a) (b) (c)

Fig. 3 The shot records along the line EW, (a) the shot URAE, (b) the shot SHRE, and (c) the shot KBNE. The seismograms are ordered down to west from the right side.

Table 2 Prominent later phases along the lines.

Phase	Near side (km)	Arrival (s)	Far side (km)	Arrival (s)	Ave. app. velocity (km/s)
KURE- N-A	0.010	0.661	2.317	1.278	3.7
KURE- N-B	1.978	1.323	2.852	1.579	3.4
KURE- N-C	3.133	1.744	4.209	2.015	4.0
KURE- N-D	3.267	2.045	4.138	2.286	3.6
KURE- N-E	2.580	1.985	3.484	2.195	4.3
KURE- N-F	3.661	2.451	4.468	2.707	3.2
KURE- N-G	3.661	2.797	5.298	2.977	9.1
KURE- N-H	4.581	3.128	5.426	3.278	5.6
KURE- N-I	4.581	3.429	5.426	3.699	3.1
KURE- N-a	0.010	0.195	2.580	3.594	0.8
KRKE- N-A	0.720	0.075	2.671	0.147	27.1
KRKE- N-B	1.390	0.123	3.456	0.177	38.3
KRKE- N-C	1.390	0.177	4.632	0.270	34.9
KRKE- N-D	1.656	0.246	3.002	0.261	89.7
KRKE- N-E	1.969	0.309	2.186	0.321	18.1
KRKE- N-F	4.031	0.408	4.632	0.420	50.1
KRKE- N-a	0.131	0.035	1.553	0.240	6.9
JGKE- N-A	0.348	0.065	1.466	0.096	36.1
JGKE- N-B	1.647	0.132	2.822	0.159	43.5
JGKE- N-C	3.488	0.191	3.812	0.215	13.5
JGKE- N-D	3.488	0.237	3.958	0.249	39.2
JGKE- N-E	3.812	0.369	3.958	0.381	12.2
JGKE- N-F	3.583	0.417	3.931	0.441	14.5
JGKE- N-a	0.146	0.035	1.564	0.218	7.7
JGKE- S-a	0.201	0.038	1.382	0.218	6.6
JGKE- S-A	0.454	0.063	0.646	0.068	38.4
JGKE- S-B	0.572	0.083	1.545	0.114	31.4
JGKE- S-C	0.201	0.275	0.601	0.264	-36.4
JGKE- S-D	0.201	0.335	0.601	0.324	-36.4
UTOE- N-A	0.204	0.300	1.188	0.755	2.2
UTOE- N-B	0.945	0.795	2.245	1.230	3.0
UTOE- N-C	1.358	1.305	2.725	1.530	6.1
UTOE- N-D	2.423	1.755	3.258	1.905	5.6
UTOE- N-E	2.384	2.430	2.660	2.505	3.7
UTOE- N-F	2.384	2.865	2.813	2.895	14.3
UTOE- N-G	2.384	4.275	3.258	4.530	3.4
UTOE- N-a	0.027	0.225	1.508	2.130	0.8
UTOE- S-a	0.027	0.150	2.247	3.090	0.8
UTOE- S-A	0.356	0.480	1.105	0.780	2.5
UTOE- S-B	0.687	0.765	2.124	1.320	2.6
UTOE- S-C	0.788	1.080	1.447	1.335	2.6
UTOE- S-D	1.027	1.995	1.327	2.100	2.9
UTOE- S-E	1.027	2.370	1.637	2.535	3.7
UTKE- N-A	0.770	0.705	1.925	0.795	12.8
UTKE- N-B	1.925	1.575	2.936	1.800	4.5
UTKE- N-C	2.283	2.220	2.936	2.400	3.6
UTKE- N-D	0.967	2.400	2.491	3.090	2.2
UTKE- N-a	0.283	0.465	2.403	2.550	1.0
UTKE- S-a	0.120	0.210	1.003	1.500	0.7
UTKE- S-b	0.487	1.200	1.218	2.340	0.6
UTKE- S-A	0.212	0.270	1.218	0.855	1.7
UTKE- S-B	0.903	0.915	2.485	1.485	2.8
UTKE- S-C	1.367	1.350	2.469	1.635	3.9
UTKE- S-D	1.330	2.355	2.569	2.700	3.6
UTKE- S-E	2.189	3.960	2.511	4.170	1.5
KMME- N-A	0.131	0.390	1.489	0.870	2.8
KMME- N-B	1.198	0.870	1.978	1.095	3.5
KMME- N-C	1.609	1.350	2.211	1.560	2.9
KMME- N-D	1.609	1.620	2.211	1.830	2.9
KMME- N-E	1.609	1.950	2.211	2.310	1.7
KMME- N-F	1.374	2.580	2.211	3.030	1.9
KMME- N-G	1.978	3.780	2.176	3.970	1.0
KMME- N-a	0.211	0.540	1.282	1.380	1.3
KMME- S-a	0.089	0.390	1.677	2.550	0.7
KMME- S-A	0.294	0.450	1.408	0.930	2.3
KMME- S-B	0.798	0.780	2.577	1.545	2.3
KMME- S-C	1.677	1.440	3.299	1.920	3.4
KMME- S-D	1.064	1.650	2.905	2.295	2.9
KMME- S-E	2.168	2.340	2.648	2.520	2.7
KMME- S-F	2.168	3.150	2.577	3.270	3.4
KOME- N-A	0.980	0.870	1.702	1.050	4.0
KOME- N-B	0.980	1.140	1.476	1.365	2.2
KOME- N-C	0.980	1.380	1.476	1.525	3.4
KOME- N-D	0.980	1.590	1.869	1.860	3.3
KOME- N-E	0.337	1.950	0.257	1.980	-2.7
KOME- N-F	0.867	2.445	1.869	2.580	7.4
KOME- N-G	1.476	3.600	1.582	3.630	3.5
KOME- N-a	0.135	0.375	0.857	1.365	0.7
KOME- S-a	0.136	0.390	0.653	1.185	0.7

Phase	Near side (km)	Arrival (s)	Far side (km)	Arrival (s)	Ave. app. velocity (km/s)
KOME- S-A	0.395	0.600	1.293	0.855	3.5
KOME- S-B	0.553	0.825	2.089	1.395	2.7
KOME- S-C	1.293	1.350	2.089	1.710	2.2
FKRE- N-A	0.826	1.020	1.196	1.080	6.2
FKRE- N-a	0.122	0.555	0.826	1.095	1.3
FKRE- S-a	0.168	0.420	1.864	2.490	0.8
FKRE- S-A	1.161	1.020	2.250	1.350	3.3
FKRE- S-B	2.769	1.665	3.142	1.770	3.6
FKRE- S-C	2.039	1.815	3.856	2.700	2.1
FKRE- S-D	1.989	2.550	3.856	2.970	4.4
FKRE- S-E	2.122	2.565	2.697	2.790	2.6
FKRE- S-F	2.250	2.940	3.856	3.600	2.4
WIZE- S-A	0.038	0.375	1.230	0.705	3.6
WIZE- S-B	1.308	1.185	2.487	1.515	3.6
WIZE- S-C	2.249	1.596	4.695	2.670	2.3
WIZE- S-D	2.332	2.070	4.636	3.003	2.5
WIZE- S-E	3.499	2.415	5.439	3.600	1.6
WIZE- S-F	3.499	3.330	4.636	3.900	2.0
WIZE- S-G	3.920	3.810	4.427	4.140	1.5
WIZE- S-H	3.920	4.350	4.760	4.755	2.1
WIZE- S-L	3.770	2.490	4.200	2.415	-5.7
WIZE- S-a	0.380	1.050	2.430	2.730	1.2
WIZE- S-b	1.301	2.070	2.118	2.820	1.1
WIZE- S-c	1.230	2.430	2.118	3.300	1.0
WIZE- S-d	1.720	3.240	3.427	5.430	0.8
URAE- W-A	0.210	0.361	1.239	0.632	3.8
URAE- W-B	1.375	0.692	2.738	0.962	5.0
URAE- W-C	3.131	1.368	4.376	1.621	4.9
URAE- W-D	1.815	1.293	3.131	1.549	5.1
URAE- W-E	4.047	2.060	6.141	2.421	5.8
URAE- W-F	4.507	2.391	6.449	2.797	4.8
URAE- W-G	3.727	2.722	4.772	3.023	3.5
URAE- W-H	4.938	3.368	5.529	3.398	19.7
URAE- W-a	0.210	0.346	2.504	3.293	0.8
URNE- W-A	0.547	0.421	1.625	0.812	2.8
URNE- W-B	0.870	0.812	2.832	1.323	3.8
URNE- W-C	0.798	1.097	2.832	1.414	6.4
URNE- W-D	2.013	1.594	3.296	1.774	7.1
URNE- W-E	2.013	2.135	4.097	2.241	19.7
URNE- W-a	0.016	0.180	1.625	2.015	0.9
KOME- W-A	0.788	0.571	2.523	1.158	3.0
KOME- W-B	1.004	0.797	2.859	1.368	3.2
KOME- W-C	1.906	1.233	3.572	1.669	3.8
KOME- W-D	1.755	1.308	3.790	1.895	3.5
KOME- W-E	1.755	1.744	3.790	2.376	3.2
KOME- W-F	2.628	3.368	4.326	3.820	3.8
KOME- E-A	0.271	0.331	1.000	0.617	2.5
KOME- E-B	1.215	0.767	1.961	0.893	5.9
KOME- E-C	1.215	1.098	2.019	1.293	4.1
KOME- E-D	1.412	1.654	2.228	1.820	4.9
KOME- E-E	0.138	2.677	0.751	2.707	20.4
KOME- E-F	0.706	3.835	1.537	3.909	11.2
SHRE- W-A	0.755	0.947	1.342	1.068	4.9
SHRE- W-B	1.342	2.391	1.787	2.226	-2.7
SHRE- W-C	1.342	2.632	2.094	2.436	-3.8
SHRE- W-D	0.153	3.835	0.523	3.774	-6.1
SHRE- W-E	1.342	5.263	2.165	5.203	-13.7
SHRE- W-a	0.153	0.361	1.787	2.000	1.0
SHRE- E-A	0.337	0.662	2.367	1.398	2.8
SHRE- E-B	2.291	1.759	3.574	2.135	3.4
SHRE- E-C	2.743	2.286	3.777	2.556	3.8
SHRE- E-D	3.409	2.992	3.926	3.008	32.3
SHRE- E-E	2.743	2.992	3.527	3.278	2.7
SHRE- E-F	1.499	4.436	2.367	4.391	-19.3
FTME- E-A	0.746	0.767	2.176	1.353	2.4
FTME- E-B	2.176	1.308	3.068	1.699	2.3
FTME- E-C	2.176	1.654	4.592	2.451	3.0
FTME- E-D	2.253	1.910	4.592	2.617	3.3
FTME- E-E	0.046	1.639	0.502	1.774	3.4
FTME- E-G	2.913	2.917	4.197	3.248	3.9
FTME- E-H	3.419	3.699	4.136	3.955	2.8
FTME- E-a	0.046	0.105	1.734	1.955	0.9
KBNE- E-A	0.472	0.662	2.801	1.564	2.6
KBNE- E-B	1.567	1.504	3.441	2.256	2.5
KBNE- E-C	1.567	1.684	2.801	2.195	2.4
KBNE- E-D	1.901	2.256	2.995	2.707	2.4
KBNE- E-D1	2.605	2.466	3.243	2.586	5.3
KBNE- E-E	2.462	3.158	3.441	3.459	3.3
KBNE- E-F	1.567	3.368	3.156	3.323	-35.3

Table 3 Amplitude variations and travel time shifts against the 2009 experiment.

Site	Amplitude ratio	lag (s)
KURE	0.9	0.002
KRKE	1.0	-0.002
JGKE	1.1	-0.004
UTOE	1.1	-0.008
UTKE	1.1	-0.008
KMME	1.0	-0.004
KOME	1.5	0.002
FKRE	0.9	0.004
WIZE	0.8	0.002
URAE	1.2	0.006
URNE	1.1	-0.004
SHRE	1.1	-0.006
FTME	0.8	-0.004
KBNE	1.3	-0.024

をしめしている。発破作業当日の気象条件を反映して，測線末端部でノイズが大きくなる傾向が認められた。

今後の整理を目的として後続相にコード名を付与する。これらの記録に BPF(1.0-4.5Hz) および予測デコンボリューション (予測距離 0.12s, 演算子長 0.45s) を施した記録に表れていた特徴的な到来位相を命名し Table 2 に整理して示す。到来位相の命名規則は [発破点コード名]-[測線方向（サイド）]-[個別位相名] とする。

4．2009 年探査データとの比較

今回の観測記録と 2009 年観測記録の振幅比および走時差を Table 3 に整理する。振幅比は対応する観測点で得られた記録のうち走時 10 ～ 13 秒の区間の RMS 振幅の比である。RMS 振幅を計算した区間は測線上の S 波走時の 2 倍以上の場所に当たる。このような場所は，Sato and Fehler(1998) では震源から放射されるエネルギーの安定な推定を与えるとされている。2009 年記録に対する 2010 年記録は 0.8 倍から 1.5 倍の間の振幅比を示し，大部分は ± 2 割以内の振幅比に収まった。

Table 3 における走時差は両年の記録の相関が最大になるラグタイムを示している。相関計算では両年の記録のうち初動および反射波に相当する部分をそれぞれ切り出したものを用いた。走時差は最大で 8ms 以内であり，多くは 4ms 程度であった。このことから，2010 年探査は再現性の良い観測であると考えられる。

2010 年探査と 2009 年探査との波形の差異を明確にするために，残差記録を作成した。残差記録は，それぞれの観測点ごとに 2010 年波形記録から 2009 年波形記録を引き算したものである。残差記録では両者に共通してある時刻に出現している位相は除去され，どちらかのみに存在する位相は大きな振幅で残存する。引き算にあたり震源から放射されるエネルギーを等化するために，2010 年観測記録の振幅を Table 3 に示す振幅比で割り算した後に，生の 2009 年記録との間の引き算を実行している。すなわち残差記録は 2009 年探査と同等な規模の震源どうしで観測された差振幅を表している。2010 年観測の 2009 年探査に対する測線 NS 上の残差記録を Fig. 4a - i に，測線 EW 上の残差記録を Fig. 5a-f に示す。

また，これらの残差記録に表れている顕著な後続相を残差相 (Residual Phase) と呼ぶことにする。これらの残差記録に対して BPF(1-4.5Hz)，予測デコンボリューション (予測距離 0.12s, 演算子長 0.45s) の処理を施した結果から読み取った残差相を Table 4 に整理する。残差相の多くは走時 1.5 ～ 3 秒の間に現れ，見かけ速度 2.8km/s 以上を示す。また，残差相の出現域は偏在しており，測線 NS では測線北部に，測線 EW では測線東部に集中している。残差相が反射波であると仮定した場合に，残差相が得られた記録に対応する反射点の分布を Fig. 6 に示す。Fig. 6 から残差相をもたらす反射点は桜島北東部の測線交差部を中心に分布することが伺われる。

観測実施時期の前後における桜島火山の活動状況を考慮すると，これらの残差相は桜島の火山活動との関連性が高いと考えられる。また，残差相に対応する反射点は Hidayati et al.(2007) で提唱されたマグマ供給ルートの位置とよく一致することから，2010 年探査で得られたデータは桜島火山の活動にともなう構造変化を反映していると考えられ，ひきつづいて詳細な解析を行うことによって今後の研究の進展に寄与することが期待される。

5．おわりに

桜島火山において 2010 年 12 月に第二回反復地震探査を実施した。前回実施の地震探査以降の火山活動が活発化した期間を経過した

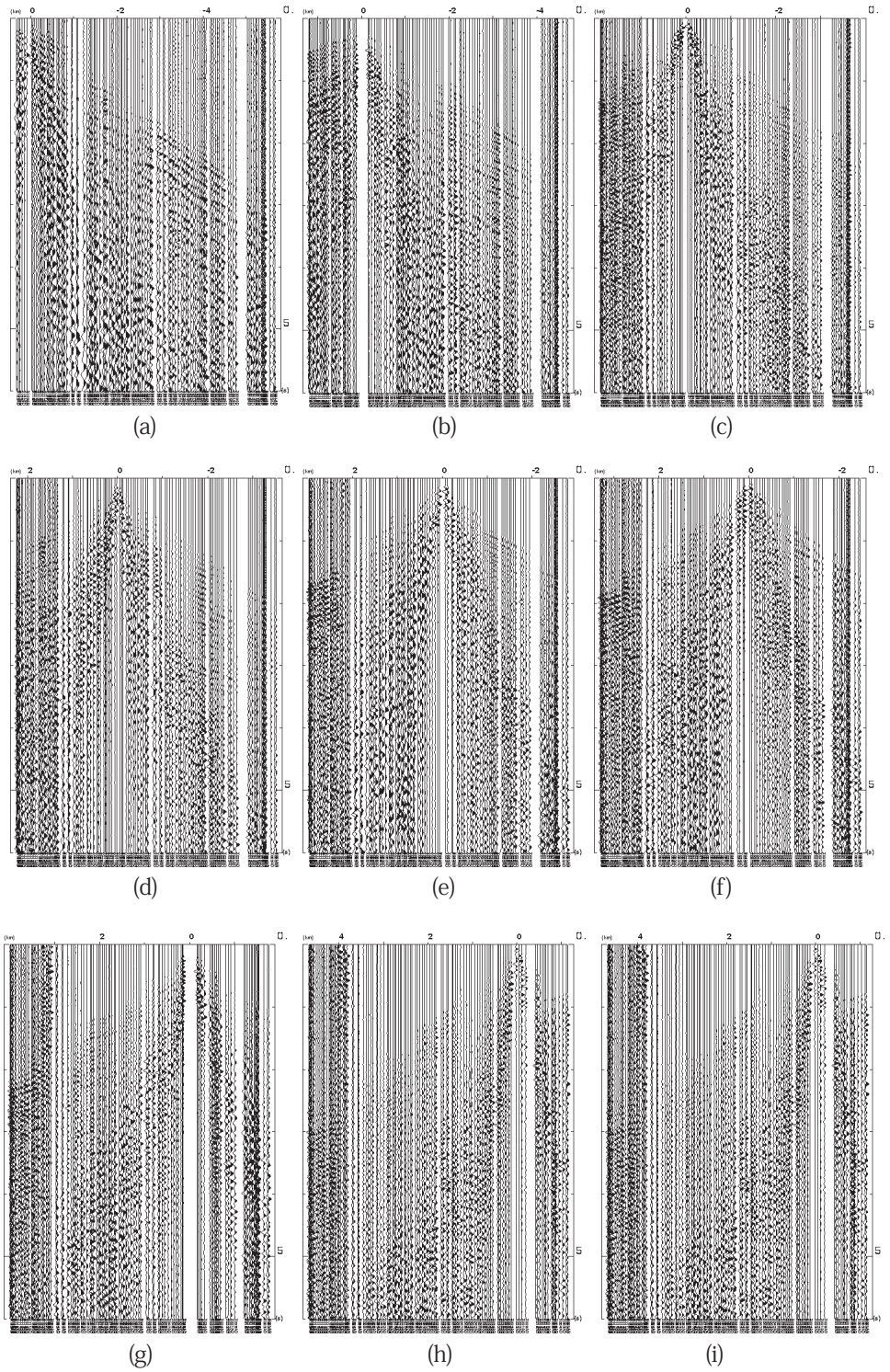


Fig. 4 The residual traces along the line NS. (a) The shot WIZE, (b) the shot FKRE, (c) the shot KOME, (d) the shot KMME, (e) the shot UTKE, (f) the shot UTOE, (g) the shot JGKE, (h) the shot KRKE, and (i) the shot KURE

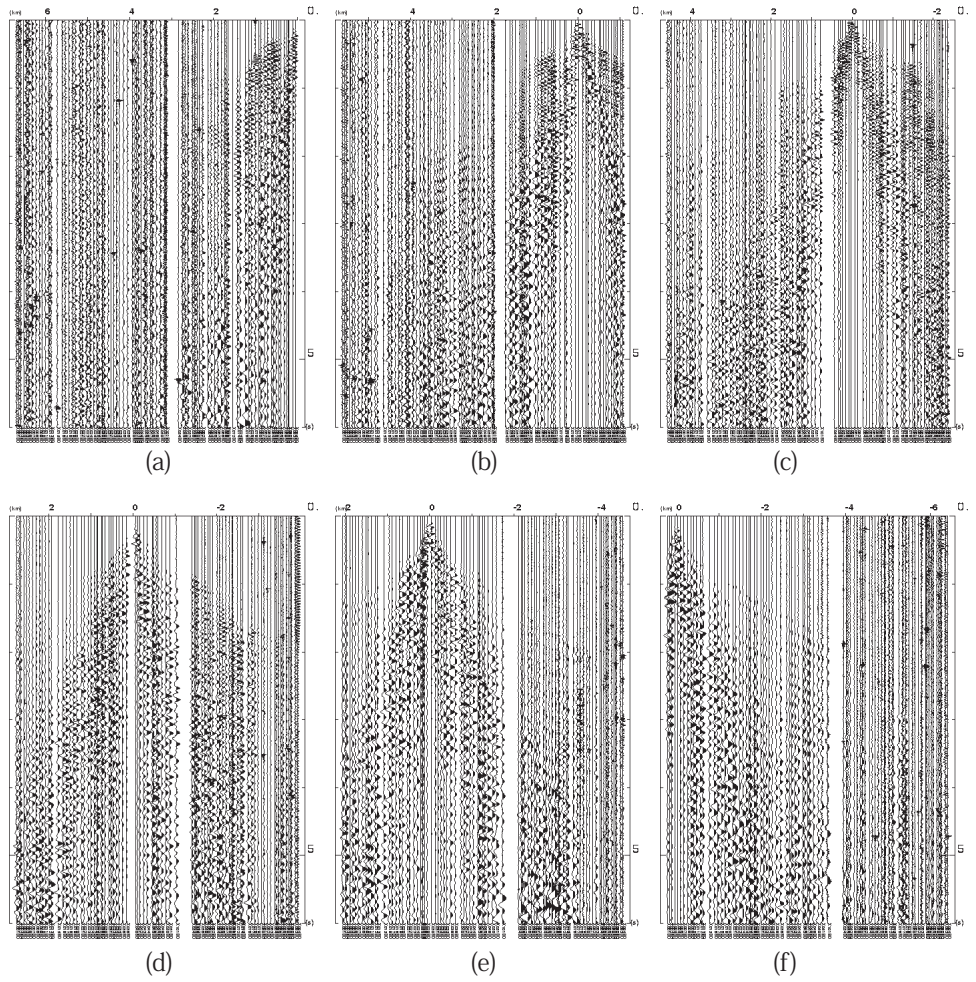


Fig. 5 The residual traces along the line EW. (a) the shot URAE, (b) the shot URNE, (c) the shot KOME, (d) the shot SHRE, (e) the shot FTME, (f) the shot KBNE.

Table 4 Residual phases for the 2010's. The rule of naming is the same as that in Table 2.

Phase		Near side (km)	Travel time(s)	Far side (km)	Travel time(s)	Description	Ave. app. vel. (km/s)
KRKE0910	N-C	4.08	2.99	4.63	3.11	Enhance	4.59
UTOE0910	N-D	2.25	1.76	3.25	1.94	Enhance	5.56
UTOE0910	N-R	0.60	1.73	0.86	1.89	Enhance	1.61
UTKE0910	N-B	1.80	1.56	2.94	1.81	Enhance	4.53
UTKE0910	N-A	0.97	0.75	1.40	1.17	Enhance	1.03
KMME0910	N-B under	1.61	1.14	2.06	1.23	Enhance	4.97
KMME0910	N-D	1.61	1.63	2.21	1.80	Enhance	3.54
KOME0910	W-E under	2.11	2.15	3.01	2.27	Enhance	7.52
FKRE0910	S-A'	0.80	1.11	1.33	1.35	Enhance	2.20
FKRE0910	S-C	2.93	2.21	3.86	2.57	Enhance	2.58
FKRE0910	S-D	1.96	2.54	3.14	2.90	Enhance	3.29
FKRE0910	S-E	1.99	2.17	2.70	2.56	Enhance	1.82
WIZE0910	S-A	1.48	1.38	2.53	1.59	Inverted	5.00
WIZE0910	S-B	2.49	1.62	3.87	2.18	Inverted	2.47
WIZE0910	S-C/D	2.59	1.95	4.43	2.75	Enhance	2.30
WIZE0910	S-D/E	2.33	2.24	4.07	2.87	New	2.76
URAE0910	W-A under	0.72	0.63	1.24	0.78	Enhance	3.49
URAE0910	W-F under	4.05	2.57	4.85	2.54	Enhance	-26.70
SHRE0910	E-C/D	3.28	2.72	3.93	2.75	Enhance	21.53
SHRE0910		3.38	4.00	3.66	4.20	Enhance	1.39
SHRE0910		3.38	4.90	3.66	5.40	Enhance	0.55
SHRE0910	E-F above	1.47	3.71	2.38	4.07	Enhance	2.53
FTME0910	E-C under	2.18	1.74	4.14	2.39	Enhance	3.02
FTME0910	E-C/F	4.06	2.60	4.59	2.69	Enhance	5.96
FTME0910	E-G above	3.42	2.90	4.14	3.14	Enhance	2.99
FTME0910	E-G below	3.42	3.23	4.14	3.53	Enhance	2.39

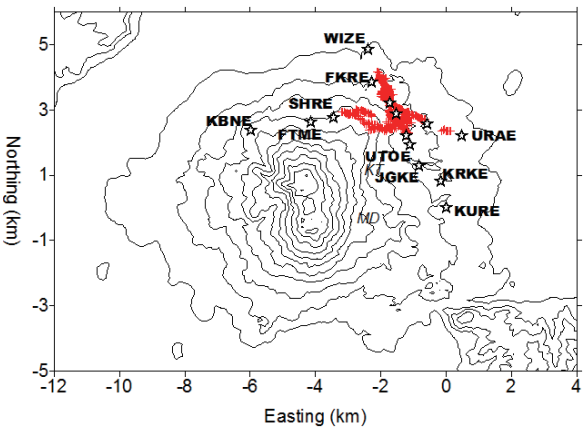


Fig. 6 Distributions of the depth points for the residual phases. Crosses are the corresponding depth points. Shots are the open stars.

後の時点の実施であった。観測点は 9 割以上が前年の位置に再現され，観測網全体で南北方向に平均 0.1m，東西方向に平均 0.2m の精度で観測点位置の再現がなされた。観測では展開 248 点中 245 点で波形の収録が成功した。観測波形の振幅は前年比 0.8 ～ 1.5 倍の範囲内に，走時差は 8ms 以内であり，波形の再現性も良好であった。

波形の再現性が良好であったので，前年観測記録を基準にした「残差記録」を作成して後続相の変化を明確化した。残差記録に現れた残差相は走時 1.5 ～ 3 秒台が多く，桜島北東部を通過してくる波線に対応する記録によく認められる傾向がある。

したがって，今回の観測で得られた波形記録は桜島火山の活動に関連した構造変化を示していると考えられ，今後の解析の成果が期待される。

謝　辞

本観測の経費は防災研究所共同研究（課題番号 22G-19），東京海上各務記念財団研究補助金（研究課題「桜島火山のマグマ移動過程に関する研究」 代表者：井口正人），地震・火山噴火予知経費および気象庁経費によってまかなわれた。発破作業の準備にあたり，気象庁火山課上田義浩氏にはお世話になった。発破点の繰り返し使用では，地権者諸兄および地元住民の方々のご協力は欠かせないものであった。国土交通省大隅河川国道事務所には本観測にあたり格別のご配慮とご協力をいただいた。現地での活動では京都大学防災研究所火山活動研究センターのスタッフ諸氏の支援をいただいた。さらに鹿児島大学理学部附属南西島弧地震観測所には発破実施にあたり発破指揮所として供用させていただいた。観測に使用したデータロガーシステムのほとんどは東京大学地震研究所から借用させていただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

井口正人・他 82 名 (2009)：2008 年桜島人工地震探査の目的と意義，京都大学防災研究所年報 52B, 293-307.

井口正人 (2010)：桜島火山の噴火活動 -2009/2 ～ 2009/5，桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究　課題番号 1809　2009 年　平成 22 年 8 月, 1-8.

井口正人・植木貞人・太田雄策・中尾　茂・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫　(2010)：桜島昭和火口噴火以降の GPS 観測，桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究　課題番号 1809　2009 年　平成 22 年 8 月 , 47-53.

筒井智樹・他 35 名 (2010)：桜島火山における反復地震探査（一回目），京都大学防災研究所年報 53B, 241-259.

山本圭吾・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫・大倉敬宏・吉川　慎・井上寛之・松島　健・内田和也　(2010)：桜島火山周辺における水準測量（2009 年 11 月および 2010 年 4 月），京都大学防災研究所年報 53B, 227-232.

Hidayati, Sri, Ishihara, K., and Iguchi, M. (2007)：Volcano-tectonic Earthquakes during the Stage of Magma Accumulation at the Aira Caldera, Soutern Kyushu, Japan, Bulletin of the Volcanological society of Japan, 52, 289-309.

Sato, H. and Fehler, M. C. (1998)：SEISMIC WAVE PROPERGATION AND SCATTERING IN THE HETEROGENEOUS EARTH, Springer Press, 69-70.

Table A1 The lines NS and C.

Station	Logger	Latitude (WGS84)			Longitude (WGS84)			Alt. (m)	2010-2009		Rank	Note
		Deg,	Min.	Sec.	Deg.	Min.	Sec.		N (m)	E (m)		
C 001	1094	31	34	59.055	130	41	58.7	74.3	-0.0	0.2	◎	
C 002	1064	31	34	58.818	130	41	55.461	75.0	-0.5	-0.3	◎	
C 003	1071	31	34	56.906	130	41	53.621	77.6	-0.4	-2.6	◎	
C 004	1070	31	34	57.895	130	41	50.454	86.9	-0.2	-0.1	◎	
C 005	1069	31	34	58.569	130	41	47.952	92.6	0.7	-0.3	◎	
C 006	1065	31	34	59.349	130	41	46.474	99.2	-0.3	0.1	◎	
K AR1	1072	31	34	59.829	130	42	3.965	68.8	-1.0	-0.3	◎	
K AR3	1067	31	35	0.215	130	42	6.104	65.7	0.3	-0.1	◎	
K AR4	1002	31	35	0.449	130	42	7.407	64.0	0.7	0.5	◎	
K AR5	1066	31	35	0.636	130	42	8.885	59.9	-0.4	-0.5	◎	
K AR6	1025	31	34	58.544	130	42	6.715	66.1	0.1	-0.7	◎	
K AR7	1023	31	34	59.284	130	42	6.353	65.3	0.1	-0.8	◎	
K AR8	5001	31	35	1.241	130	42	5.632	66.5	0.3	0.2	◎	
X 001 A	1030	31	34	51.080	130	42	3.823	80.2	-1.6	3.4	◎	
X 002 A	1031	31	34	52.069	130	42	3.435	80.5	-5.4	9.4	◎	
X 003 A	1095	31	34	54.314	130	42	2.140	80.0	0.2	-0.2	◎	
X 004 A	1026	31	34	57.149	130	41	59.061	78.0	-4.5	0.8	◎	
X 005 A	1063	31	34	59.850	130	42	0.982	72.1	-0.5	0.4	◎	
X 006 A	1022	31	34	59.994	130	42	3.061	70.2	0.6	0.6	◎	
X 007 A	1093	31	35	0.277	130	42	4.903	67.9	-0.4	0.7	◎	
X 008 A	1028	31	35	1.952	130	42	5.408	65.7	-0.5	1.9	◎	
X 009 A	1051	31	35	2.834	130	42	5.210	64.8	-0.0	-0.0	◎	
X 010 A	7006	31	35	6.915	130	42	9.572	65.8	-0.3	0.5	◎	
X 011 A	7009	31	35	8.296	130	42	8.641	73.5	-0.2	0.3	◎	
X 012 A	7008	31	35	9.642	130	42	9.594	72.8	0.4	-0.4	◎	
X 013 A	3011	31	35	11.386	130	42	9.820	89.1	0.0	-0.1	◎	
X 014 A	7010	31	35	13.174	130	42	9.013	99.3	0.1	-0.0	◎	
X 015 A	6013	31	35	14.761	130	42	8.626	99.2	-0.0	-0.2	◎	
X 016 A	6011	31	35	16.280	130	42	8.696	90.9	-0.1	0.9	◎	
X 020 A	4027	31	35	25.113	130	42	6.454	88.7	-0.0	-0.1	◎	
X 021 A	4029	31	35	26.012	130	42	3.259	91.1	0.0	0.2	◎	
X 022 A	4030	31	35	27.346	130	42	1.499	92.6	-1.2	0.5	◎	
X 023 A	4031	31	35	28.494	130	42	0.105	93.7	0.1	-0.4	◎	
X 024 A	4025	31	35	30.052	130	41	58.782	94.5	0.2	0.6	◎	
X 025 A	4024	31	35	30.681	130	41	56.153	95.2	0.0	-0.2	◎	
X 026 A	4026	31	35	32.014	130	41	55.027	95.9	-0.1	0.4	◎	
X 027 A	1027	31	35	33.957	130	41	54.661	96.6	-0.3	0.2	◎	
X 028 A	1029	31	35	35.519	130	41	55.062	97.0	-0.4	0.2	◎	
X 029 A	4023	31	35	36.965	130	41	54.455	97.8	0.1	0.5	◎	
X 030 A	1001	31	35	38.168	130	41	53.171	99.1	-0.0	0.1	◎	
X 031 A	1003	31	35	39.118	130	41	52.147	100.1	0.3	0.1	◎	
X 032 A	1004	31	35	39.587	130	41	50.624	98.9	-1.1	-0.7	◎	
X 033 A	1005	31	35	40.502	130	41	48.512	104.5	0.4	0.1	◎	
X 034 A	1006	31	35	41.193	130	41	46.175	105.3	0.2	-0.2	◎	
X 035 A	1007	31	35	41.483	130	41	43.887	106.1	0.5	0.1	◎	
X 036 A	1008	31	35	42.145	130	41	42.525	106.5	0.5	0.4	◎	
X 037 A	1009	31	35	42.952	130	41	41.331	107.0	0.2	0.2	◎	
X 038 A	1015	31	35	43.898	130	41	39.971	107.7	0.4	0.3	◎	
X 039 A	1021	31	35	45.107	130	41	38.203	109.0	0.1	0.3	◎	
X 040 A	1135	31	35	46.285	130	41	36.490	110.2	0.4	0.0	◎	
X 041 A	1138	31	35	47.299	130	41	35.011	111.3	0.3	0.2	◎	
X 042 A	1139	31	35	48.514	130	41	33.258	112.6	0.4	0.5	◎	
X 043 A	1140	31	35	49.984	130	41	30.799	114.2	0.3	0.9	◎	
X 044 A	1081	31	35	51.074	130	41	29.679	115.2	2.4	1.7	◎	
X 045 A	1077	31	35	52.386	130	41	27.601	117.3	-0.1	0.2	◎	
X 046 A	1078	31	35	53.521	130	41	26.060	120.0	-1.8	1.7	◎	
X 047 A	1079	31	35	55.367	130	41	23.997	123.4	-0.2	-0.3	◎	
X 048 A	1080	31	35	57.579	130	41	22.515	125.1	-0.3	0.0	◎	
X 049 A	1073	31	35	59.195	130	41	21.872	125.4	2.3	-0.9	◎	
X 050 A	1074	31	36	1.362	130	41	21.912	124.7	0.4	0.1	◎	
X 051 A	1075	31	36	2.695	130	41	22.517	124.1	-0.0	-0.2	◎	
X 052 A	1076	31	36	5.533	130	41	20.675	124.5	2.2	-2.8	◎	
X 053 A	1082	31	36	6.300	130	41	20.149	124.5	-3.5	0.0	◎	
X 054 A	3020	31	36	9.260	130	41	19.738	130.8	-2.0	0.1	◎	
X 055 A	3019	31	36	10.884	130	41	19.203	134.1	-0.0	-0.5	◎	
X 056 A	3018	31	36	12.920	130	41	19.031	135.0	-1.5	-0.1	◎	
X 057 A	1134	31	36	15.237	130	41	18.320	140.7	4.0	-4.4	◎	

Table A1 (Continued)

Station	Logger	Latitude (WGS84)			Longitude (WGS84)			Alt. (m)	2010-2009		Rank	Note
		Deg,	Min.	Sec.	Deg.	Min.	Sec.		N (m)	E (m)		
X 058 A	3016	31	36	16.357	130	41	17.914	144.6	-0.5	0.1	◎	
X 059 A	3015	31	36	18.242	130	41	17.326	150.4	-1.1	-5.6	◎	
X 060 A	3014	31	36	19.944	130	41	16.523	154.1	-2.3	-5.7	◎	
X 061 A	3013	31	36	21.867	130	41	15.600	159.1	2.0	0.3	◎	
X 062 A	3012	31	36	23.648	130	41	14.911	153.7	0.3	0.1	◎	
X 063 A	3010	31	36	25.201	130	41	14.752	151.0	-1.0	-8.0	◎	
X 064 A	4013	31	36	26.715	130	41	13.496	149.4	-3.5	-7.0	◎	Tcal error
X 065 A	4012	31	36	28.117	130	41	12.620	148.0	-0.3	0.2	◎	
X 066 A	4011	31	36	29.462	130	41	11.456	149.7	-0.4	-2.0	◎	
X 067 A	4010	31	36	32.109	130	41	10.768	147.5	3.0	-4.9	◎	Tcal error
X 068 A	4009	31	36	32.876	130	41	10.063	148.4	-0.1	0.2	◎	
X 069 A	4008	31	36	34.386	130	41	9.246	148.1	-0.1	-0.1	◎	
X 070 A	4004	31	36	35.297	130	41	6.864	148.3	-0.0	0.1	◎	Tcal error
X 071 A	4005	31	36	35.185	130	41	5.116	149.2	0.5	0.3	◎	
X 072 A	4006	31	36	36.688	130	41	3.068	147.3	0.0	-0.2	◎	
X 073 A	4007	31	36	37.344	130	41	1.889	146.5	3.3	-5.5	◎	
X 074 A	6007	31	36	38.189	130	41	0.581	145.2	-0.0	-0.1	◎	
X 075 A	6006	31	36	40.298	130	41	0.425	143.2	0.1	0.1	◎	
X 076 A	5004	31	36	41.368	130	41	0.588	143.5	0.3	0.5	◎	
X 077 A	6008	31	36	43.237	130	41	1.304	140.7	0.0	-0.1	◎	
X 078 A	5002	31	36	45.117	130	41	2.095	139.1	-0.1	-0.2	◎	Tcal error
X 079 A	5005	31	36	46.297	130	41	2.425	138.9	-0.5	-0.4	◎	
X 080 A	6005	31	36	47.913	130	41	2.830	140.6	1.4	-4.1	◎	
X 081 A	1151	31	36	48.823	130	41	2.065	140.5	-0.3	0.3	◎	
X 082 A	1149	31	36	50.821	130	41	0.054	142.8	0.0	0.0	◎	
X 083 A	1185	31	36	52.946	130	40	58.883	145.3	2.2	-1.9	◎	
X 084 A	1153	31	36	53.792	130	40	55.949	153.7	-0.1	0.2	◎	
X 085 A	1150	31	36	52.235	130	40	51.827	163.9	-1.5	0.7	◎	
X 086 A	1170	31	36	53.500	130	40	48.234	162.6	-0.0	-0.0	◎	
X 087 A	1155	31	36	54.314	130	40	46.317	162.1	-0.4	0.9	◎	
X 088 A	1184	31	36	55.016	130	40	44.376	160.4	-0.1	-0.0	◎	
X 089 A	1169	31	36	56.608	130	40	43.821	158.5	0.8	0.5	◎	
X 090 A	1154	31	36	59.122	130	40	43.509	157.2	0.1	-0.4	◎	
X 091 A	1172	31	37	1.242	130	40	44.625	156.0	-0.0	0.7	◎	
X 092 A	1166	31	37	3.667	130	40	44.402	152.7	-0.4	-0.4	◎	
X 093 A	1096	31	37	4.815	130	40	45.181	145.3	-0.1	0.5	◎	
X 094 A	1059	31	37	8.035	130	40	43.957	93.7	-1.1	1.4	◎	
X 095 A	1060	31	37	8.201	130	40	42.171	92.2	0.8	-2.7	◎	
X 096 A	1090	31	37	10.100	130	40	41.729	93.3	0.1	-2.0	◎	
X 097 A	1061	31	37	11.382	130	40	40.125	84.2	1.5	-0.1	◎	
X 098 A	1036	31	37	13.450	130	40	41.470	86.4	0.9	0.4	◎	
X 099 A	1091	31	37	14.708	130	40	42.029	87.9	-1.0	-0.7	◎	
X 100 A	1038	31	37	15.658	130	40	41.305	85.2	2.5	0.7	◎	
X 101 A	1040	31	37	17.343	130	40	40.735	81.5	1.0	0.1	◎	
X 102 A	1086	31	37	17.875	130	40	39.123	80.0	1.0	0.1	◎	
X 103 A	1034	31	37	18.900	130	40	38.914	79.0	-2.1	-2.6	◎	
X 104 A	1033	31	37	21.428	130	40	40.051	73.4	-0.4	0.8	◎	
X 105 A	1041	31	37	22.487	130	40	40.73	68.5	0.2	0.3	◎	
X 106 A	1035	31	37	24.138	130	40	41.112	64.6	-0.5	0.6	◎	
X 107 A	5003	31	37	25.378	130	40	41.387	57.9	0.2	-0.2	◎	
X 108 A	1092	31	37	26.474	130	40	41.634	53.3	-3.1	-0.8	◎	
X 109 A	1171	31	37	27.357	130	40	41.367	53.0	-1.3	-1.3	◎	
X 110 A	1037	31	37	28.592	130	40	41.737	47.4	0.4	-0.9	◎	Fatal error, no data
X 111 A	1054	31	37	29.971	130	40	41.974	43.0	0.6	-0.1	◎	
X 112 A	1084	31	37	31.328	130	40	41.156	42.6	-0.3	-1.2	◎	
X 113 A	1032	31	37	32.239	130	40	40.579	39.6	-0.9	0.3	◎	
X 114 A	1087	31	37	32.980	130	40	39.861	41.7	0.0	-0.4	◎	
X 115 A	1083	31	37	34.071	130	40	38.698	42.9	0.6	-0.1	◎	
X 116 A	1088	31	37	35.004	130	40	37.590	45.0	-0.6	-0.0	◎	
X 117 A	1057	31	37	35.981	130	40	36.286	43.9	0.5	0.1	◎	
X 118 A	1085	31	37	37.809	130	40	36.093	37.6	-0.3	0.1	◎	
X 119 A	1058	31	37	38.882	130	40	36.681	31.7	-0.3	-0.6	◎	
X 120 A	1175	31	37	40.395	130	40	36.985	24.9	0.2	0.3	◎	
X 121 A	1062	31	37	41.549	130	40	38.430	22.3	0.1	-0.4	◎	
X 122 A	1098	31	37	43.142	130	40	39.581	19.4	-2.8	-3.2	◎	
X 123 A	1056	31	37	44.045	130	40	41.414	23.3	-0.0	0.3	◎	
X 124 A	1089	31	37	44.045	130	40	43.089	23.1	-0.3	-0.2	◎	
X 125 A	1099	31	37	43.950	130	40	44.924	22.9	0.2	0.4	◎	

Table A2 The lines EW, B, and D

Station		Logger	Latitude (WGS84)			Longitude (WGS84)			Alt. (m)	2010-2009		Rank	Note
			Deg.	Min.	Sec.	Deg.	Min.	Sec.		N (m)	E (m)		
D 001		1132	31	36	16.565	130	38	18.264	367	-0.4	-4.5	◎	
D 002		1133	31	36	14.626	130	38	17.527	367	-0.7	-4.1	◎	
D 003		3017	31	36	13.160	130	38	17.330	367	-0.4	1.0	◎	
D 004		1125	31	36	11.007	130	38	16.664	364	0.2	4.3	◎	
D 005		1120	31	36	9.366	130	38	17.503	367	-0.9	0.7	◎	
D 006		1130	31	36	7.504	130	38	16.972	362	-0.1	0.1	◎	
D 007		1116	31	36	6.216	130	38	18.842	358	0.4	-0.5	◎	
D 008		1124	31	36	4.092	130	38	17.367	356	-0.4	-0.1	◎	
D 009		1046	31	36	2.094	130	38	17.255	353	-0.4	0.5	◎	
D 010		1050	31	36	0.930	130	38	18.482	350	1.6	1.2	◎	
X 001	B	5014	31	36	18.121	130	38	10.121	354	0.2	-0.5	◎	
X 002	B	5010	31	36	19.142	130	38	12.178	364	2.0	0.4	◎	
X 003	B	5012	31	36	18.001	130	38	13.905	373	-0.9	1.4	◎	
X 004	B	5013	31	36	18.345	130	38	16.736	381	-1.3	-0.0	◎	
X 005	B	5011	31	36	18.406	130	38	19.054	368	0.1	0.1	◎	
X 006	B	1118	31	36	19.462	130	38	21.279	366	1.4	-0.8	◎	
X 007	B	1044	31	36	19.672	130	38	24.324	369	-1.8	1.0	◎	
X 008	B	1052	31	36	20.824	130	38	27.660	362	0.2	-0.3	◎	
X 009	B	1045	31	36	20.394	130	38	30.824	362	-0.7	-0.9	◎	
X 010	B	1131	31	36	19.715	130	38	33.179	356	-0.5	4.5	◎	
X 011	B	1127	31	36	19.384	130	38	35.973	355	-0.3	1.2	◎	
X 012	B	1047	31	36	19.918	130	38	39.436	352	-0.4	0.1	◎	
X 013	B	1114	31	36	20.780	130	38	41.354	346	-1.5	0.8	◎	
X 014	B	1122	31	36	22.545	130	38	44.634	348	-0.0	-0.0	◎	
X 015	B	1121	31	36	23.495	130	38	47.040	343	0.7	8.3	◎	
X 016	B	1117	31	36	23.046	130	38	51.573	346	-0.0	-0.0	◎	
X 017	B	1042	31	36	24.745	130	38	54.311	341	1.8	14.2	◎	
X 018	B	1128	31	36	24.427	130	38	57.693	341	-0.5	-0.3	◎	
X 019	B	1043	31	36	24.884	130	39	1.000	344	0.0	3.6	◎	
X 020	B	1049	31	36	26.359	130	39	3.628	335	-4.6	-3.6	◎	
X 021	B	1048	31	36	26.970	130	39	7.832	330	-0.0	-0.0	◎	
X 022	B	1113	31	36	27.272	130	39	10.125	327	0.0	0.0	◎	
X 023	B	1115	31	36	26.723	130	39	13.884	328	-0.3	1.3	◎	
X 024	B	1112	31	36	25.719	130	39	16.912	324	0.3	0.0	◎	
X 025	B	1111	31	36	24.900	130	39	20.265	328	-0.3	-1.0	◎	
X 026	B	1110	31	36	22.907	130	39	23.021	344	0.3	-0.9	◎	
X 027	B	2027	31	36	21.404	130	39	24.425	353	0.1	-0.4	◎	
X 028	B	1108	31	36	21.780	130	39	27.770	354	-1.3	-2.3	◎	
X 029	B	1107	31	36	23.796	130	39	27.752	342	-0.7	0.2	◎	
X 030	B	1106	31	36	25.378	130	39	29.760	325	0.6	-1.3	◎	
X 031	B	1105	31	36	25.926	130	39	33.382	331	-8.6	-5.1	◎	
X 032	B	1104	31	36	25.047	130	39	35.731	345	17.7	-61.1	N	
X 033	B	1103	31	36	24.456	130	39	38.240	342	-2.1	4.2	◎	
X 034	B	3005	31	36	24.895	130	39	40.845	340	-0.9	-0.1	◎	
X 035	B	3006	31	36	25.507	130	39	43.422	330	3.7	-15.6	N	
X 036	B	3007	31	36	25.821	130	39	47.148	324	5.7	0.8	○	
X 037	B	1195	31	36	24.890	130	39	48.829	325	-0.2	1.1	◎	Failed, no data
X 038	B	1194	31	36	27.032	130	39	50.998	331	-0.5	-0.3	◎	
X 039	B	1193	31	36	29.346	130	39	53.060	328	-0.2	0.5	◎	
X 040	B	1192	31	36	29.953	130	39	56.001	320	1.5	2.3	◎	
X 041	B	1191	31	36	31.406	130	39	58.289	326	1.6	-0.8	◎	
X 042	B	1190	31	36	32.808	130	40	0.241	320	-0.0	-1.9	◎	
X 043	B	1189	31	36	35.614	130	40	2.435	313	-1.1	0.6	◎	
X 044	B	1187	31	36	37.005	130	40	5.040	315	-0.2	0.1	◎	
X 045	B	1186	31	36	39.053	130	40	9.126	318	-3.6	23.9	N	
X 046	B	3008	31	36	38.194	130	40	10.727	318	-0.1	-1.5	◎	
X 047	B	1148	31	36	37.455	130	40	13.890	318	-0.0	0.0	◎	
X 048	B	1174	31	36	37.421	130	40	15.766	316	-0.2	-0.4	◎	
X 049	B	1167	31	36	37.192	130	40	19.181	311	0.0	0.1	◎	
X 050	B	1168	31	36	37.433	130	40	23.194	301	1.4	4.4	◎	
X 051	B	2028	31	36	37.245	130	40	26.813	296	0.3	-0.0	◎	
B 102		1173	31	36	46.846	130	40	31.287	232	-0.8	-0.3	◎	
X 101	B	1152	31	36	43.877	130	40	30.464	257	0.3	0.3	◎	
B 100		1097	31	36	41.294	130	40	30.462	263	0.1	0.2	◎	
B 099		1146	31	36	39.058	130	40	28.688	272	-1.1	-0.3	◎	
B 207		6019	31	36	47.633	130	40	33.874	217	-13.2	18.6	N	

Table A2 (Continued)

Station	Logger	Latitude (WGS84)			Longitude (WGS84)			Alt. (m)	2010-2009		Rank	Note
		Deg.	Min.	Sec.	Deg.	Min.	Sec.		N (m)	E (m)		
B 206	7001	31	36	47.676	130	40	35.962	200	-10.9	3.2	N	
B 205	6017	31	36	47.713	130	40	37.717	189	15.8	-22.0	N	
B 204	7004	31	36	47.747	130	40	39.560	178	32.2	-31.7	N	
B 203	6016	31	36	48.510	130	40	41.405	177	-16.0	-0.8	N	
B 202	7005	31	36	50.016	130	40	42.805	173	-10.0	12.0	N	
B 201	6014	31	36	51.764	130	40	44.351	165	-11.8	-14.2	N	
X 054 B	2029	31	36	48.096	130	40	43.937	160	-7.7	-0.3	◎	
X 055 B	1182	31	36	46.162	130	40	47.242	177	-0.1	-0.1	◎	
X 056 B	1177	31	36	44.705	130	40	48.927	175	0.2	0.2	◎	
X 057 B	1179	31	36	43.269	130	40	51.173	171	0.5	-0.2	◎	
X 058 B	1147	31	36	42.354	130	40	55.023	157	0.6	-0.7	◎	
X 059 B	1176	31	36	43.133	130	40	57.752	156	-0.3	-0.9	◎	
X 060 B	1181	31	36	43.912	130	41	0.346	144	-0.2	0.1	◎	
X 061 B	6002	31	36	43.621	130	41	2.412	138	0.1	-0.1	◎	
X 062 B	5020	31	36	42.588	130	41	4.978	119	-0.2	-0.7	◎	
X 063 B	1100	31	36	40.601	130	41	6.563	115	0.1	0.2	◎	
X 064 B	5017	31	36	40.636	130	41	9.486	110	0.3	0.3	◎	
X 065 B	6003	31	36	39.898	130	41	11.923	106	-0.7	0.4	◎	
X 066 B	1101	31	36	38.491	130	41	14.823	105	0.1	1.6	◎	
X 067 B	5016	31	36	38.123	130	41	17.756	102	0.7	-3.3	◎	
X 068 B	5018	31	36	37.390	130	41	20.922	101	-0.4	-0.6	◎	
X 069 B	5019	31	36	36.639	130	41	23.889	101	-9.1	-40.4	N	
X 070 B	5015	31	36	34.010	130	41	24.120	103	-3.9	12.5	◎	
X 071 B	1102	31	36	31.880	130	41	24.630	105	-5.0	-0.5	◎	
X 072 B	6001	31	36	30.323	130	41	28.489	105	-1.2	2.5	◎	
X 073 B	6020	31	36	28.371	130	41	30.824	105	-2.6	4.7	◎	Failed, no data
X 074 B	7002	31	36	26.255	130	41	31.638	106	7.1	2.1	◎	
X 075 B	6015	31	36	23.041	130	41	32.857	108	-9.5	2.5	◎	
X 076 B	1144	31	36	21.718	130	41	37.869	92	-2.1	1.9	○	
X 077 B	1143	31	36	22.927	130	41	41.226	91	-1.3	-0.3	○	
X 078 B	1141	31	36	24.146	130	41	43.946	91	3.4	-2.0	◎	
X 079 B	1145	31	36	21.660	130	41	46.730	84	-3.4	-3.3	○	
X 080 B	1157	31	36	21.285	130	41	49.944	84	7.4	5.1	◎	
X 081 B	1162	31	36	21.625	130	41	52.100	76	-0.6	2.6	◎	
X 082 B	1159	31	36	21.177	130	41	55.256	76	-0.9	0.0	◎	
X 083 B	1156	31	36	21.047	130	41	58.246	75	-2.1	0.8	◎	
X 084 B	1160	31	36	20.575	130	42	1.969	67	-0.0	0.0	◎	
X 085 B	6012	31	36	18.304	130	42	2.791	53	-0.0	-0.0	◎	Tcal error
X 086 B	1161	31	36	17.478	130	42	4.816	42	-0.8	-2.5	◎	
X 087 B	1165	31	36	16.400	130	42	7.102	42	-0.5	0.5	◎	
X 088 B	1164	31	36	14.862	130	42	8.630	40	-0.2	-0.5	◎	
X 089 B	1163	31	36	15.628	130	42	11.946	34	-0.0	-0.4	◎	
X 090 B	3001	31	36	14.465	130	42	13.832	34	0.2	-0.4	◎	
X 091 B	3002	31	36	14.006	130	42	15.382	41	4.5	-4.3	◎	Tcal error
X 092 B	3003	31	36	12.190	130	42	15.945	43	-0.5	-0.2	◎	
X 093 B	1136	31	36	12.872	130	42	19.704	42	0.5	1.5	◎	
X 094 B	7003	31	36	12.777	130	42	21.770	40	-0.8	-0.8	◎	

The Repeated Seismic Survey 2010 in Sakurajima Volcano, South Kyushu , Japan. The Second Round.

Tomoki TSUTSUI[*], Takeshi TAMEGURI, Masato IGUCHI, Jun OIKAWA[**], Hiromitsu OSHIMA[***], Tokumitsu MAEKAWA[***], Hiroshi AOYAMA[***], Sadato UEKI[****], Satoshi HIRAHARA[****], Kenji NOGAMI[*****], Takao OHMINATO[**], Mie ICHIHARA[**], Hiroshi TSUJI[**], Shinichiro HORIKAWA[******], Takashi OKUDA[******], Hiroshi SHIMIZU [*******], Takeshi MATSUSHIMA[*******], Takahiro OHKURA[********], Shin YOSHIKAWA[********], Tadaomi SONODA, Hiroki MIYAMACHI[*********], Hiroshi YAKIWARA[*********], Shuichiro HIRANO[*********], Koichiro SAITO[**********], Koichi SUEMINE [**********], Susumu GOTO[**********], Takamitsu IKEGAME[**********], Koji KATO[**********], Shinichi MATSUSUE[**********], Taisuke KOHNO[**********], Shingo UTSUNOMIYA[**********], Hirohito GOTO[**********], Ryuichi WATANABE[*], Yuki MAEHARA[**], Izumi SATOH[*****], Ryudo OYABU[******], Hidehiko SHIMIZU[******], Yusuke YAMASHITA[*******].

[*]Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University,

[**] Earthquake Research Institute, University of Tokyo,

[***] Graduate School of Science, Hokkaido University,

[****] Graduate School of Science, Tohoku University,

[*****] Volcanic Fluid Research Center,Tokyo Institute of Technology,

[******] Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University,

[*******] Faculty of Science, Kyushu University,

[********] Graduate School of Science, Kyoto University,

[*********] Faculty of Science, Kagoshima University,

[**********] Japan Meteorological Agency

Synopsis

The second round of the repetitive seismic experiment was carried out on December 2010 in Sakurajima Volcano after an inflation period in June. The temporary seismic network was reconstructed well within 0.1m northward and 0.2m eastward in the average for the 2009's network. The data acquisition was successful in 245 of the 248 deployed stations. The reproduction of the waveform was also successful. The amplitude variation ranged within 0.8 to 1.5 times of the 2009's data and the travel time differences were less than 8ms. The residual seismograms were made and include variation of the phase appearance with referring to the 2009's seismogram at the corresponding station. Most of the variations are found around 1.5 to 3 seconds of the residual seismograms and their depth points are located in the northeast part of Sakurajima Volcano.

Keywords: Sakurajima Volcano, Artificial explosion experiment, Structure transition monitoring.