姶良カルデラにおける長期連続反射法第2回目基礎実験

The Second Fundamental Experiment for the Time-lapse Seismic Volcano Monitoring of Aira Caldera

筒井智樹・味喜大介・為栗 健・井口正人

Tomoki TSUTSUI, Daisuke MIKI, Takeshi TAMEGURI, and Masato IGUCHI

Synopsis

The second experiment for the Time-lapse Seismic Volcano Monitoring is reported. The experiment was performed on December 2022 after two years gap from the previous experiment in 2020 in order to inspect reproducibility of seismic source. The source device has identical specifications with that of the previous experiment. Two shooting parameter sets, same tow depth and same clearance were done with same operating pressure and same chamber size with those of the previous experiment because there was different water level in the experiment 2022 by 0.5 m higher than that of the experiment 2020. The observed seismogram showed some difference which smaller air wave, rich high frequency component, and some earlier arrivals in the later part. Temperature difference around the shot point can affect air wave amplitude and high frequency rich source waveform can cause earlier arrival. Such source effect can be reduced with using deconvolution processing which uses NFH seismogram.

キーワード: 姶良カルデラ,火山活動監視,人工地震,地下構造 Keywords: Aira Caldera, volcano monitoring, seismic surveys, subsurface structure.

1. はじめに

姶良カルデラの地下深部における地下構造変化の 検出手法を検討することを目的として,令和4年度 は長期連続反射法探査の基礎実験を実施した.長期 連続反射法探査は人工地震波を地下に放射すること によって姶良カルデラの地下深部で生ずる地震反射 波をとらえ,その地震反射波の振幅・走時等の変化 を継続的に長期間追跡することによって姶良カルデ ラの火山活動に伴うマグマの変化を知ることを狙っ ている.火山活動に伴う地震反射波の変化に関する 先行研究例としては,Tsutsui et al. (2016)が桜島の火 山活動に伴う地震反射強度の変化を検出するととも にその変化が地下のマグマの状態変化で説明できる ことをすでに報告している.

火山活動監視のために人工地震によって地下構造 の変化を検出するためには、地震波の発生から記録 の取得に至るまでの条件を極力制御下におくことが 必要である.特に地震記録の質を左右する振源波形 は観測の時期に依らず常に一定のものであることが 強く要請される.本稿では筒井ら(2021b)の実験から 1年以上の間隔をおいて実施されたエアガン発振の 観測波形の再現性の確認について述べる.

2. 第2回目実験

本稿で述べる発振実験の基本的な観測点配置は 2020年に実施された筒井ら(2021b)と同一である.以 降では筒井ら(2021b)の実験を2020年実験,今回の実 験を2022年実験と称する.Fig.1に姶良カルデラの中 での発振点と受振点の位置を示す.姶良カルデラの 北西側に位置する姶良市住吉池に発振点を設けて人 工的に地震波を発生し,姶良カルデラ西部の地下を 通過してきた地震波を桜島に設けた地震観測点で捉 えることにする.発振点と受振点に挟まれる地域の 地下には筒井ら(2021a)が指摘したS波反射面と為栗 ら(2022)が指摘した深さ15 kmを中心とするS波低速 度領域が存在しており、この地域を通過してきた地 震波の観測記録に含まれる特徴的な構造の応答の火 山活動に伴う変化を検出することが期待される.

発振実験で振源装置として用いるエアガンが発生 する振源波形は供給する空気圧,エアガン深度,チ ャンバーサイズなどの発振条件に依存することが知 られている(たとえばWei et al. 2018; Watson et al. 2019; Liu et al. 2021).したがってエアガンを振源と して用いて定常的な振源波形の発生を期待するので あれば,発振条件を可能な限り同一にする必要があ る.

Table 1に, 2022年実験の実験条件を2020年実験(筒 井ら,2021b)の発振条件BAA2020と対比して示す.制 御可能な実験条件のうち,2020年実験との対比を意 識して制御したものはChamber size,Operation Pressure, Tow depth, Positionであった.今後の実験の 継続を考慮して振源装置個体の入れ替えは容認せざ るを得なかった.また同様な理由によりHose length は最適なものを選ぶことにした.さらに住吉池は本 来の灌漑のために水位が管理されているので,2022 年実験は2020年実験より水位が0.5m高い状態で発振 作業を実施せざるを得なかった.Liu et al. (2021)によ ればエアガンの発振作業を行う貯水池の水位の差は 人工地震波形の卓越周波数に反映されるという報告 があることから,2022年実験では水面からエアガン 中心までの深さ(Tow depth)が2020年実験(BAA2020) と等しくなる場合を実験名BAA2022として,水底か らエアガン中心までの距離(クリアランス距離)が BAA2020と等しくなる場合を実験名BAC2022として 実施した(Fig. 2b).

Table 1. Shooting parameter

Code	BAA 2022	BAC 2022	BAA 2020
Unit	Kyoto Univ.	Kyoto Univ.	Rental
Chamber size (cui)	1050	1050	1050
Hose length (m)	40	40	180
Operation pressure (psi)	2000	2000	2000
Tow depth (m)	10.0	10.5	10.0
Reservoir level (m)	7.7	7.7	7.2
Position (m)	0.89 N	0.89 N	0.0
Shots	307+268	317	49
Weather	Cloudy to sleety	Snow	Fine/cloudy
Daily average temperature (°C)	6.5, 4.6	0.7	9.7
Average correlation with BAA2020	0.794	0.812	1.0

Table 2. Position of the shot points

	緯度(度)	経度(度)	x (m)	y (m)	z (m)
2022	31.771956885	130.590209518	-136095.424	-38814.190	73.758
2020	31.771948903	130.590209180	-136096.308	-38814.225	73.324
[2022]-[2020]	0.000007982	0.00000338	0.885	0.035	0.433



Fig. 1. (a) Aira Caldera, and seismic source and stations. A low S-wave velocity region (Tameguri et al., 2022) and S-wave reflector (Tsutsui et al., 2021) are indicated. (b) A close-up around Lake Sumiyoshi-ike. Seismic source and proximal seismic stations are indicated. Map data are GSI(2000) and Marine Information Research Center, Japan Hydrographic Association. (2002).

エアガンを懸架するポンツーンの位置をFig. 2aに 示し,発振作業時の様子をFig. 3に示す.今回の実験 (2022)のポンツーン中央位置座標をTable 2に示す.こ こでは平面上に投影したエアガン配置の中心位置を ポンツーン中心位置と称することにする.ポンツー ン中央の測位値はKAMOを基準とするPPK解析で求 めたものの観測期間中の平均を示している.今回の 実験では令和2年度実験のポンツーン中央位置を目 標に,それから2 m以内の精度での設置を目指した. 2022年実験におけるポンツーン中心位置は2020年実 験のそれにくらべて南方約0.9mの位置であった.エ アガン装置全体のサイズ(長さ1m,幅1.2m,高さ2m 程度)を考慮すると2022年実験でも同一地点での発 振が実現されていると見なせる. また振源近傍観測点は筒井ら(2021b)が実施した観 測網のうち,重要な観測点(SUM1, SUMK1, SUM6)を 再設置してデータ取得を行った(Fig. 1c). 観測点 SUM1はポンツーンから102 mの陸上における3成分 速度計観測とし,観測点SUMK1はポンツーンから 170mの陸上における3成分加速度計観測,観測点 SUM6はポンツーンから1150mの陸上における3成 分速度計観測とした.

2022年実験は2020年実験と異なる気象条件下で実施された.気象庁(2023a)によれば2022年実験は寒冷前線通過後の発達した冬型の気圧配置のもとで観測が実施されており、冬型気圧配置に遷移する直前の比較的穏やかな気象条件のもとで実施された2020年実験より背景雑音レベルが高い条件下のデータ取得



Fig. 2 The shot points. (a) Close-up around the shot points with detailed water depth. (b) shooting parameters in the experiment 2022.



Fig. 3. The shot point in 2022 in far side and the high-pressure air compressor in near side

であった.また日平均気温も両実験で異なっていた. 住吉池に最も近い気象庁AMeDAS溝辺観測点で比較 すると2020年実験時が日平均気温9.7℃,2022実験 BAA2020実施時で日平均気温6.5~4.6℃であった(気 象庁,2023b).発振期間中には桜島の中腹までの冠 雪が見られたうえ,発振作業最終日には住吉池現地 で降雪が確認された. Fig. 4に背景雑音の推移を示す. Fig.4aはBAA2022 の実験時の背景ノイズレベルを示す. BAA2022は寒 冷前線通過からその翌日にかけて行われた実験であ るが, 2020年実験時の背景ノイズレベル (Fig.4c; 平



Fig. 4. Background noise. (a) The shooting BAA2022, (b) the shooting BAC2022, and (c) the shooting BAA2020.



Fig. 5. Development of waveform during the shootings. (a) Band-pass filtered (3-10 Hz) velocity seismograms in the station BKOM6 vertical component at 19.6 km away, (b) correlation in the shooting BAA2022, and (c) correlation in the shooting BAC2022

均1.09×10-7 cm/s)の約5倍のレベル(平均5.22×10-7 cm/s)であった. BAA2022は12月16,17日の2日間にかけて発振を行い,全帯域のノイズレベルに対する3-10Hzの帯域のノイズレベルとの比は初日(Shot 1-307)と2日目(Shot 308-268)では異なる傾向を示していた. BAC2022では寒冷前線通過の翌々日(18日)に実施されており,先述のBAA2022より背景ノイズレベルが小さく平均1.45×10-7 cm/sで,長期連続反射法で注目する3-10 Hzの帯域のノイズレベルはBAA2020の場合と同等のレベルになっていた.

3. 結果

Fig. 5aに19.4 km離れた桜島側の観測点BKOM6上 下動成分で観測期間中に得られた波形の推移を示す. 左から右に発振作業の進行を示し,BAA2020による 波形とBAC2022による波形とを同一パネル上に並べ て示す.BAA2022の発振作業開始初期はS/N比が良く ないが,発振の進行とともに明瞭な波形になってい ることが示される.一方BAC2022による発振は比較 的安定したS/N比を示している.本実験は新たに調達 したエアガン本体の初の処女使用であったために, 最初に実施されたBAA2022の初期の発振ではエアガ ン装置が本来の性能を発揮していなかった可能性も ある.

BAA2022の重合結果に対する個々の発振の相関係数の推移をFig.5bに示す,Fig.5bでは相関係数とFig. 4aの3-10Hz BPF処理結果のノイズレベルとが不明瞭 に逆相関する傾向がうかがわれるが,発振の進行と ともに相関係数が定常的に大きな値をとるようにな ることが示されている.

BAC2022についても同様に計算した結果の推移を Fig. 5cに示す. Fig. 5cでは相関係数が安定して大きな 値を示しており, Fig. 5aで観察された良好なS/N比を 反映している.

Fig. 6aには振源近傍のNFH(エアガン中心の上方 2.1m)で観測された水中発振波形, Fig. 6bには最近接 陸上観測点SUM1(振源距離102m)で観測された上下 動波形(Fig. 7a, 7d)のスペクトルを2020年実験のそれ と重ねて示す. Fig. 6aではBAA2022とBAA2020とを ピーク振幅で正規化したものを重ねて示す.水中に おける気体の圧力解放による振動は,最初に圧力解 放と同時に衝撃相Scが現れ,それに引き続く気体の 流出によってバブル相bが現れることが知られてい る(Urick, 1967). BAA2022は衝撃相Scの到来時刻は BAA2020と一致するが, BAA2022では衝撃相Scのバ ックシュート部分以降の振幅がBAA2020より相対的 に大きいことが示される.さらに衝撃相Scに続くバ ブル相b1-b3ではBAA2022のほうがBAA2020のそれ



Fig. 6. Source seismograms in 2022 with that in 2020. (a) Seismograms in the tri-gun NFH (Near-Field Hydrophone), and (b) power spectrum in the land station SUM-1 vertical component.

より0.1秒早く到来している.

Fig. 6bにはBAA2022とBAC2022で得られた最近接陸上観測点SUM1の上下動成分のパワースペクトルをBAA2020のそれと重ねて示す.両者は相対的な周波数成分の構成を比較するために、7Hz付近のピーク値で正規化してある.BAA2022とBAC2022とでは周波数成分の構成は一致しているが、12Hz以上の帯域でBAA2022およびBAC2022がともにBAA2020より大きな値を示していることが注目される.

Fig. 7にBAA2022およびBAC2022による陸上観測 点における観測波形をBAA2020と比較して示す.Fig. 7(a)と(d)では2022年実験のほうが空振相Aのピーク 間振幅が小さいことと、後続相arの到来が20 ms早い という差が示されている.空振相Aのピーク間振幅が 小さいことは振源距離がより大きいSUM6観測点(b, e) でも明瞭に認められる.(b),および(e)では空振相 Aの周囲の走時が異なることと,2022年観測のほうが 空振相Aの振幅が小さいことが示されている.振源か ら19.4 km離れたBKOM6観測点では空振相の到来は 波形表示の枠外であるが、(c)および(f)では矢印に示 されるところが共通して2020年より20 msほど早く 到来している位相が認められる. さらに(g)では BKOM6観測点におけるBAA2022とBAC2022の観測 波形を重ねて示す,両者はよく一致しており相関係 数は0.961を示す.

このことから2022年実験ではTow depthの0.5 mの

差あるいはクリアランスの0.5mの差は目立って大き な波形の差異を生まないことが示された.しかしな がら2020年実験との比較では2022年実験の発振波形 の方が若干高周波数成分に富むことと,空振相の振 幅が明らかに小さいこと,2020年実験より20msほど 早着する後続相が存在するなどの差があることが示 された.

Fig. 8には陸上観測点において注目される到来相の振動軌跡を示す. Fig. 8aは陸上観測点SUM1のA相とar相, Fig. 8bおよび8cは陸上観測点BKOM6における粒子軌跡を示す.

Fig. 8aは振源距離102mの観測点SUM1における粒 子軌跡であるが到来時刻0.3秒から0.4秒間のA相と 到来時刻1秒から0.3秒間のar相を示す. A相は2020年 実験と振幅が一致するA1相と2022年実験の方が振幅 が小さいA2相とにさらに分けられる. A1相の到来は エアガン発振点で発生した空振の到来時刻と一致し ている. A1相は南落ちに傾いた東西面内でレトログ レード回転運動をするレイリー波的振動様式を示し, この振動様式はIchihara et al. (2012)が指摘する空振 結合相の特徴を示している. A1相はその到来時刻か らエアガン発振点で発生する空振であることは間違 いなく, 2022年と2020年とでその軌跡はよく一致し ている. 一方A2相はA1相より0.2秒遅れて表れるよう に見える.またA2相は南北面内で回転する振動様式 を示す.A2相が南からやってくるとするとその振動 様式はレトログレードと見なせるので,Ichihara et al. (2012)が指摘する空振結合相の特徴と合致する.A2 相では2022年のほうが相対的な上下動振幅が小さい 傾向がある.ar相は東西面内の振動が卓越する傾向 があり,その面内で前半と後半の振動方向が90度切 り替わる特徴がある.振動様式の切り替わりは2022 年と2020年でともに観察される傾向があり,両者の 差異は明瞭でない.

Fig. 8bおよび8cは振源距離約19kmの陸上観測点 BKOM3における粒子軌跡を示す.Fig. 8bは2022年と 2020年とで走時の差が認められない到来相群の粒子 軌跡を示す.Fig. 8bでは両者の粒子軌跡は良い一致 を示している.Fig. 8cは2022年のほうが早着する位 相群の粒子軌跡を示す.Fig. 8cでも両者の粒子軌跡 は良い一致を示しており,新たな入射波が早着して いるのではないことを示している.このことは2022 年の観測の早着相は振源から発生しており,伝播経 路上の反射応答の変化によるものではないことを示 している.



Fig. 7. Vertical velocity seismograms. (a) The shootings BAA2022 and BAA2020 at SUM1, (b)the shootings BAA2022 and BAA2020 at SUM6, (c) the shootings BAA2022 and BAA2020 at BKOM6. (d) The shootings BAC2022 and BAA2020 at SUM1, (e) the shootings BAC2022 and BAA2020 SUM6, and (f) the shootings BAC2022 and BAA2020 BKOM6. (g) The shootings BAC2022 and BAA2022 at BKOM6 are shown.



Fig. 8. Hodograms. (a) The arrivals A1, A2 and ar at the station SUM1, about 102 m from the shot point. (b) The punctual arrivals at the station BKOM6, about 19 km away from the shot point. (c) The early arrivals in the experiment 2020 at the station BKOM6

観測波形の周波数成分の差はエアガンの個体差に 由来する可能性が高いと考えられる.空振振幅の差 はエアガンの個体差と局地的な気象条件の差が原因 である可能性が考えられる.また,約20ms早着する 位相についてはLiu et al.(2020)が指摘するように振源 波形の周波数成分の差と関係があると考えられる.

このように条件を可能な限り制御した状態におい た発振作業でも、エアガン個体の入れ替えや気象条 件に起因すると思われる振源波形の変異が認められ る.したがって、実際に地下構造に与えられる振源 波形を管理しその変化の影響を取り除くことが、地 下構造変化を検出する上で重要であることがあらた めて確認された.

振源効果の除去

発振作業時に可能な限り発振条件を制御しても, それ以外の制御不可能な要因によって振源波形に差 異が生ずることがある.そのために地震記録の比較 の前に振源波形の影響を取り除くデコンボリューシ ョン処理を施す必要がある.

デコンボリューション処理は観測波形に対して, 振源波形から導いた逆フィルターを作用させる処理 である.逆フィルターを導くための振源波形(以下, 等価振源波形と称する)の選択はデコンボリューシ ョン結果に大きな影響を与える.振源近傍エアガン 直上のハイドロフォン(Near-Field Hydrophone; NFH) と発振点に近接した陸上観測点(SUM1,振源距離 102 m)の速度波形とのそれぞれを振源波形と等価な



Fig. 9. Deconvolved waveform of the shooting BAC2022 in BKOM5. Decovolved wave form of the shooting AAA2020 is underlain. (a) Using NFH as a source seismogram. (b) Using SUM1-V as a source seismogram.

ものとして扱った観測点BKOM5(振源距離19.6 km) におけるデコンボリューション結果をFig. 9に示す. デコンボリューション結果を2020年実験の異なるチ ャンバーサイズの振源か観測波形が得られた発振条 件AAA2020(筒井ら,2021b)のデコンボリューショ ン結果と比較した. Fig. 9aはNFH波形記録のバブル 相b3の終了までを等価振源波形として用いてデコン ボリューション処理を行ったものを示し, Fig. 9bは 観測点SUM1の上下動成分の総積算振幅の99%まで を用いた結果を示す. Fig. 9aでバブル相b3を用いた Table 3. Results of the deconvolutions with different seismograms. (a) NFH, b) SUM1.

() 1				
	AAA2020	BAA2020	BAA2022	
	2550 cui, 10 m	1050 cui, 10 m	1050 cui, 10m	
BAC2022	0.661	0.585	0.998	
1050 cui, 10.5 m				
BAA2022	0.644	0.570	1.000	
1050 cui, 10 m				
(b) SUM1				
	AAA2020	BAA2020	BAA2022	
	2550 cui, 10 m	1050 cui, 10 m	1050 cui, 10 m	
BAC2022	0.632	0.613	0.712	
1050 cui, 10.5 m				
BAA2022	0.642	0.556	1.000	
1050 cui, 10 m				

結果が最適である理由を付録に示す.本稿ではスペ クトル領域での除算でデコンボリューションを実現 したが,いずれも安定化のために等価振源波形には 1%のランダムノイズ添加を行っている.Fig.9aはbよ りも安定した結果を示していることが示されている. さらにTable 3にはFig.9に示した以外のデコンボリ ューション結果の相関係数も整理して示す.Table 3a はFig.9aと同様に等価振源波形としてNFHを用いた 例を,Table3bはFig.9bと同様に等価振源波形として 観測点SUM1の上下動を用いた場合を示す.Table 3a の相関値の平均は0.692であるのに,Table 3bの相関 値の平均は0.631であった.以上のことから,等価振 源波形としてNFH波形を用いたほうが良いデコンボ リューション結果が得られることが示された.

5. まとめ

(a) NFH

人工地震の反復観測を用いた火山監視手法の検討 を目的に、同一地点における発振作業を行い、同一 地点による観測を実施した.今回報告する実験は筒 井ら(2021b)の実験の発振条件のうち最適であると判 断されたチャンバーサイズのエアガンを用いて、制 御可能な条件であるエアガン動作圧、エアガン深度 を再現して実施された.今回の実験で得られた観測 波形からは、筒井ら(2021b)の前回の観測波形との差 が以下のように認められた.2022年実験の発振波形 の方が若干高周波数成分に富むことと、空振相の振 幅が明らかに小さいこと、2020年実験より20msほど 早着する後続相が存在する.周波数成分の差異はエ アガン個体差によって発生した可能性がある.空振 振幅の差は発振点周辺の気象条件の影響と考えられ, 早着する後続相は発振点とその極近傍で発生してい ると考えられる.なお0.5 mのTow depth差およびクリ アランス距離差による観測記録の差異はわずかであ った.

さらに振源効果の除去ではハイドロフォン直近の NFH波形を用いたデコンボリューションのほうが良 い結果を与えることが示された.

謝 辞

本実験の経費は京都大学が受託した原子力規制庁 令和4年度原子力施設等防災対策等委託費によるも のである.本実験を実施するにあたり,下記の関係 機関・地元住民の皆様のご高配を賜りました.住吉 池の属する県立藺牟田池自然公園特別地区における 発振行為に関して鹿児島県環境林務部自然保護課自 然公園係から許可をいただいた.住吉池キャンプ村 の利用に関して姶良市企画部観光商工課観光係には 許可をいただきました.姶良市農林水産部耕地課耕 地管理係には住吉池とその近隣に関するお世話をい ただきました.住吉池の水面利用に関しては姶良市 三叉土地改良区にはご厚情とご承諾をいただきまし た.住吉地区自治会には予備観測および本観測の実 施に関してご理解とご協力を賜りました.また観測 機器の設置に関して高免町自治会および同住民の皆

94

様には多大なるご協力を賜った.また,国交省大隅 河川工事事務所には古河良川砂防指定地内の通行, 観測行為,一部の観測点の占有に関してご理解とご 承諾をいただいた.また(株)ジオシスには準備を含 む発振作業の全てと一部観測データの取得整理にあ たっていただいた.ここに記して感謝します.

参考文献

- 気象庁 (2023a): 日々の天気図, https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html (2023/8/29アクセス).
- 気象庁 (2023b): 過去の気象データ検索, https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php (2023/8/29アクセス).
- 国土地理院(2000) 50m メッシュ 数値地図 NIPPON-III.
- 財団法人日本水路協会 (2002) 海の基本図,財団法 人日本水路協会 海洋情報研究センター.
- 為栗 健・八木原 寛・筒井智樹・井口正人(2022):姶 良カルデラ下の3次元地震波速度構造の高分解能 化の試み」,火山,第67巻 1号,69 - 76, https://doi.org/10.18940/kazan.67.1.69.
- 筒井智樹・為栗 健・井口正人 (2021a):人工地震記録 による姶良カルデラ西部の地殻内S波地震反射面の 推定,火山,66巻,2号,71-81, https://doi.org.10.18940/kazan66.271.
- 筒井智樹・為栗 健・味喜大介・井口正人・篠原雅尚 (2021b): 姶良カルデラにおける長期連続反射法基 礎実験,京都大学防災研年報64号B,86-100.
- Ichihara, M., Takeo, M., Yokoo, A., Oikawa, J., and Ohminato, T. (2012): Monitoring volcanic activity using correlation patterns between infrasound and ground motion. Geophysical Research Letters, Vol. 39, L04304, doi:10.1029/2011GL050542.
- Liu, C., Yang, H., Wang, B., Yang, J. (2021): Impacts of Reservoir Water Level Fluctuation on Measuring Seasonal Seismic Travel Time Changes in the Binchuan Basin, Yunnan, China, Remote Sensing, 13, 2421.
- Tsutsui, T., Iguchi, M., Tameguri, T., Nakamichi, H. (2016): Structural evolution beneath Sakurajima Volcano, Japan, revealed through rounds of controlled seismic experiments.", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 315, 1-14, DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2016.02.008, 2016.
- Urick, R. J. (1967): Principles of underwater sound, McGraw-Hill Inc., 414pp.
- Watson, L. M., Werpers, J., and Dunham, E. M. (2019):

What controls the initial peak of an air-gun source signature?, GEOPHYSICS, Vol. 84, 2, P27-P45, doi:10.1190/GEO2018-0298-1.

Wei C., Qin, M., Zhang, Y., Zou, R., Wang, L., Guo, X., Liu, X., Wang, Y., and Sun, D. (2018): Airgun excitation Experiments at Different placement depths in the Qilian Mountain of Gansu Province, China, Seismological Research Letters, 89, 3, 974-982, doi: 10.1785/0220170253.

付 録

等価振源波形の切り出し長さとデコンボリューション結果

本文中5章でふれているデコンボリューションの 際の最適な等価振源波形の選択はFig. A1に示す複数 のデコンボリューション試行を通してその処理結果 が2020年実験とのよく一致するもの(Fig. A1c)を選ん だ.



Fig. A1. Result of the deconvolution trials for varying length of equivalent source seismogram from NFH.