

草津白根山での LP の発生メカニズム

中野 優¹⁾、熊谷 博之²⁾、Bernard Chouet³⁾

¹⁾ 名古屋大学大学院環境学研究科

²⁾ 防災科学技術研究所

³⁾ U. S. Geological Survey

Source mechanism of long-period events at Kusatsu-Shirane volcano, Japan

Masaru Nakano,¹⁾ Hiroyuki Kumagai,²⁾ Bernard Chouet³⁾

¹⁾ Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

²⁾ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

³⁾ U. S. Geological Survey

Abstract.

We investigate the source mechanism of long-period (LP) events observed at Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, based on waveform inversions of their effective excitation functions. The effective excitation function, which represents the apparent excitation observed at individual receivers, is estimated by applying an autoregressive (AR) filter to the LP waveform. Assuming a point source, we apply this method to seven LP events whose waveforms are characterized by simple decaying and nearly monochromatic oscillations. The inferred source mechanisms are consistent with the repeated activation of a sub-horizontal crack located 300 m beneath the summit crater lakes of Kusatsu-Shirane. Based on these results, we propose a model of the source process of LP seismicity in which a gradual buildup of steam pressure in a hydrothermal crack in response to magmatic heat causes repeated discharges of steam from the crack. The rapid discharges cause collapses of the fluid-filled crack and excite acoustic oscillations of the crack, which produce the characteristic waveforms observed in the LP events. Together with the volumetric components of the source, our inversion also reveals the presence of a single force whose occurrence is synchronous with the collapse of the crack. This force is interpreted as the release of gravitational energy that occurs as the slug of steam ejected from the crack ascends toward the surface and is replaced by cooler water flowing downward in a fluid-filled conduit linking the crack and the base of the crater lake.

1 はじめに

火山性低周波地震 (Long Period, LP) の波形は、初動に続くわずかな時間を除いては、いくつかの数 Hz の減衰振動の重ねあわせから成り立っている。減衰振動の固有周波数と減衰定数はどの観測点でも共通である。このことは、LP が流体に満たされた共鳴体の固有振動が時間局在した力により励起された振動であることを示唆している (Chouet, 1996a)。これに基づき、LP の減衰波形の周波数と減衰定数からは共鳴体の形状や内部の性質を知ることができ、初動部からは震源に

働いた励起力について調べることができると考えられる。これらの性質を詳しく調べることで、火山内部のマグマや熱水系の状態やダイナミクスを知ることができる。

LP の震源としての共鳴体のモデルとして様々なものが提案されている。流体の満たされたクラック (Aki et al., 1977; Chouet, 1981, 1986, 1988, 1992, 1996a; Ferrick et al., 1982)、マグマのパイプ (Chouet, 1985)、マグマの物性や幅が変化する火道 (Garces, 1997)、球状のマグマ溜り (Crosson and Bame, 1985; Fujita et al., 1995)。マグマ溜りが様々な流体に満たされた場合の振動特性の研究についても、近年行われている (Kumagai and Chouet, 1999, 2000; Morrissey and Chouet, 2001)。

共鳴体の励起についての研究は以下のようなものがある。クラックの端が急に破壊 (Aki et al., 1977; Chouet, 1981, 1985, 1986)、流体中の泡がつぶれるときに発生する音波 (Chouet, 1992)、流体が共鳴体から急に流出 (Ferrick et al., 1982)、火道中のバリアの断続的な開閉 (Ukawa and Ohtake, 1987)、火道の流れの非線形性による自励振動 (Julian, 1994)、チョーク流による急な減圧 (Chouet et al., 1994; Chouet, 1996b; Morrissey and Chouet, 1997)。

これらの研究は主にフォワードモデリングに基づいて LP の波形や周波数を説明するものである。一方で、観測波形をインバージョンすることにより、震源メカニズムに制約を与える必要がある。Nakano et al. (1998) では、effective excitation function を LP の観測波形から求める方法を示した。effective excitation function とは、非斉次自己回帰 (AR) モデルに基づいて求められる、観測点での見掛け上の励起である。ただし、励起がイベント開始時に時間局在していることを仮定している。

本論では、Nakano et al. (1998) の方法で求められる effective excitation function を波形インバージョンすることにより、草津白根山で発生した LP の震源メカニズムについて詳しく調べる。

2 解析手法

ここでは、Nakano et al. (1998) による effective excitation function の定義と、波形インバージョンの方法 (Ohminato et al., 1998) について簡単に述べる。

2.1 The effective excitation function

ここでは、LP を、母岩の中におかれた、流体に満たされた共鳴体の固有振動が一時的に励起されたもの、としてモデル化する。このような振動は、エネルギーが周りの媒質に逃げるために減衰振動となる。このような振動の固有関数は直交せず、かつ完全でなくなるために、双直交固有関数展開を用いる必要がある (Morse and Feshbach, 1953; Yamamura and Kawakatsu, 1998)。草津白根山で観測される LP は、後に述べるように 2 Hz 付近の一つのモードが卓越する場合が多い

ので、簡単のためにここではモードが一つの場合についての、effective excitation function (以下 EEF) の定義を述べる。双直交固有関数展開を用いた EEF の定義について、詳しくは Nakano et al. (2001) を参照されたい。

一つのモードが卓越する場合、ある観測点での変位 \mathbf{u} は以下のように表される。

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}_0, n) = A_1^{-1}(z)F_1(n)\mathbf{s}_1(\mathbf{x}_0). \quad (1)$$

ただし、 $A_1(z)$ は AR 演算子であり、運動方程式を差分化したときの微分演算子に対応するもの、 $F_1(n)$ はモードに対する励起力、 $\mathbf{s}_1(x)$ は固有関数ある。ここで AR 演算子 $A_1(z)$ はモードの複素固有周波数 ω_1 と以下の関係がある。

$$A_1(z) = A_{01}z^{-1}(z - z_1)(z - z_1^*) \quad (2)$$

ただし、

$$z_1 = \exp(i\omega_1\Delta t), \quad \omega_1 = 2\pi(f_1 - ig_1), \quad (3)$$

であり、 f_1 、 g_1 はそれぞれこのモードの固有周波数と減衰定数である。また、AR 演算子の大きさ (A_{01}) には任意性があるので、EEF の振幅の絶対値は求まらない (Nakano et al., 1998)。

観測された LP の波形の後半の減衰振動から固有周波数を決め、式(1)の両辺に $A_1(z)$ を作用させることにより、以下の式のように EEF を得る。

$$\mathbf{F}_N(\mathbf{x}_0, n) = A_1(z)\mathbf{u}(\mathbf{x}_0, n) = F_1(n)\mathbf{s}_1(\mathbf{x}_0), \quad (4)$$

2.2 波形インバージョン

波形インバージョンは Ohminato et al. (1998) の方法にしたがった。この方法は点震源を仮定し、震源時間関数をモーメントテンソルやシングルフォースの各成分ごとに独立に求めることができる利点がある。以下ではこの方法について簡単に紹介する。

EEF と合成波形の i 番目の成分をそれぞれ $F_N^i(\nu\Delta t)$ と $w_i(\nu\Delta t)$ で表すと、震源時間関数は以下で定義される残差を最小とするように求める。

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} \sum_{\nu=1}^N \{F_N^i(\nu\Delta t) - w_i(\nu\Delta t)\}^2}{\sum_{i=1}^{N_c} \sum_{\nu=1}^N \{F_N^i(\nu\Delta t)\}^2}, \quad (5)$$

ここで N_c と N は観測波形の総数と波形データのサンプル数を表す。

震源時間関数は、 $S(\nu\Delta t)$ なる関数で表される N_τ 個のサブイベントを間隔 $\Delta\tau$ で配置することにより表現する。それぞれのサブイベントの振幅を表す係数を $m'_k(l\Delta\tau)$ とすると、震源時間関

数 $m_k(\nu\Delta t)$ は以下のように表される。

$$m_k(j\Delta t) = \sum_{l=1}^{N_\tau} m'_k(l\Delta\tau)S(j\Delta t - l\Delta\tau). \quad (6)$$

これを用いて、合成波形 $w_i(\nu\Delta t)$ は以下のように表される。

$$w_i(\nu\Delta t) = \sum_{k=1}^{N_e} \sum_{j=1}^N m_k(j\Delta t)G_{ik}(\nu\Delta t - j\Delta t)\Delta t, \quad (7)$$

$$(i = 1, \dots, N_c, \nu = 1, \dots, N),$$

ここで N_e は震源メカニズムの要素の数であり、 $G_{ik}(\nu\Delta t)$ はグリーン関数またはその空間微分を表す。

3 草津白根山で観測された LP の解析

3.1 観測波形と effective excitation function

草津白根山では東大地震研によって7個の地震計が LP の震源域を囲むように設置されている (Figure 1)。そのうちの4点 (JIE、YNE、YGW、AIM) は三成分、残りの三点 (JIW、MZW、YNW) は上下動の観測である。どのセンサも固有周期1秒であり、サンプル周波数は120 Hz である (Ida et al., 1989)。

今回の解析では、1992年の9月から11月に発生した LP を用いた。これらの波形を Figure 2 に、フーリエスペクトルを Figure 3 に示す。ここで、複素周波数を $(f - ig)$ とすると、 Q 値は $Q^{-1} = -2g/f$ で与えられる。存否法 (Kumazawa et al., 1990) によって決定した複素周波数を Table 1 に示す。 f と Q^{-1} はイベントによって異なり、二ヶ月の間に f は1.2 から 2.5 Hz まで、 Q^{-1} はおよそ一桁変化する。

このように決定した複素周波数から AR フィルターを構成し、LP の観測波形全体に作用させて EEF を得た。Figure 2 に示した波形から得られた EEF を Figure 4 に示す。EEF はその波形の特徴から二つのグループに分けることができる。一つはイベント 0922 と 0923 (グループ1)、もう一つはイベント 1020、1030、1101、1105、1118 (グループ2) である。グループ1の EEF は何度か振動する波形であり、一方グループ2ではパルス状の波形である。このように波形が似ていることは、LP が非破壊的なプロセスにより、同じメカニズムを繰り返して発生したことを強く示唆している。また、イベント 0923 と 1020 の間でメカニズムや震源の状態大きくが変化したと考えられる。

3.2 波形インバージョン

グリーン関数は半無限均質媒体を仮定して計算した。P 波速度を $v_p = 2500 \text{ m s}^{-1}$ (Ida et al., 1989) とし、S 波速度は $v_s = v_p/\sqrt{3}$ 、密度は $\rho = 2100 \text{ kg m}^{-3}$ とした。震源時間関数の基底は次

の式で与えた。

$$S(\nu\Delta t) = \left\{ \cosh \left(\frac{\nu\Delta t - 4t_p}{t_p} \right) \right\}^{-2}, \quad (8)$$

ここで、 $t_p = 0.1$ s とした。さらに、基底の間隔は $\Delta\tau = 0.05$ s とした。計算した波形に地震計の応答をコンボリューションしてインバージョンに使用した。

LP の波形の初動の立ち上がりは明瞭でないため、初動の読み取りによる震源決定は困難である。したがって、震源はグリッドサーチにより、インバージョンの最小残差を与える点として求めた。グリッドの間隔は水平方向に 40 m、深さ方向に 100 m とした。また、波形インバージョンの際の震源モデルとして、次の三つを仮定した：すなわち、(1) シングルフォース三成分 (SF model)、(2) モーメントテンソル六成分 (MT model)、(3) シングルフォース三成分とモーメントテンソル六成分 (MT+SF model)。それぞれのモデルについて、AIC により優劣を判断した。

Table 2 に、三つのモデルそれぞれについてのインバージョンの残差と AIC を載せる。どのイベントでも、MT+SF model における AIC が最小となっており、最良のモデルであることを示している。Figure 1 には三つのモデルそれぞれの震源を示す。震源の深さは 200 ~ 400 m の範囲であり、湯釜と水釜の間のだいたい同じ座標に決まっている。この結果は、解析に用いたイベントが同じ共鳴体による振動であることを示している。

Figure 5 には group 2 のイベントに対して得られた、MT+SF model の震源時間関数を示す。ここで、座標系 x, y, z は、それぞれ北、東、下向きを正とした。また、Figure 6 にはイベント 1030 での観測と合成の波形の比較を示す。Figure 5 からわかるように、モーメントテンソル解は体積変化の成分が卓越している。これと同時に、上向きのシングルフォースが働いていることがわかる (F_z は下向きの力が正)。

Figure 7 に、モーメントテンソル解の $t = 4$ s での固有ベクトルを示す。固有ベクトルの長さは対応する固有値に比例するようにプロットした。固有値は負であり、震源が収縮していることを示している。その中でも、鉛直から少しずれたベクトルの方向での収縮がもっとも大きい。固有値の比は大体 0.1:1:2 である。ポアソン比を $1/3$ としたときのクラックの場合の比は 1:1:2 であり (Ohminato et al., 1998)、これに近い値となっている。したがってインバージョンの結果はほぼ水平のクラックの収縮を示していると考えられる。固有値の比がクラックの場合とわずかに異なるのは、波形インバージョンに使用した観測点の数が十分でなかったこと (see Table 1)、また、速度構造が十分にわかっていなかったためにインバージョンに十分な分解能がなかったためと考えられる。また、ここでは示さないが、そのほかのイベントについても同様の特徴を持つ震源時間関数が得られた。

4 議論

本研究では LP のメカニズムを EEF の波形インバージョンによって調べた。その結果、水平クラックの収縮に伴うシングルフォースによって表されることがわかった。どのイベントでも震源の位置がほぼ同じであることから、同じ共鳴体の振動が繰り返し励起されたと考えられる。したがって LP の減衰振動の固有周波数と減衰定数が大きく変化したにも関わらず、励起のプロセスはほぼ一定であった。この結果は、複素固有周波数の変化から共鳴体内部の流体の特性を知ることができることを示している (Kumagai and Chouet, 1999, 2000)。複素周波数から流体の物性を推定することに関しては、Kumagai et al. (2001) で詳しく議論している。

我々の解析の結果では、上向きのシングルフォースが働いていることがわかった。シングルフォースが励起されるのは震源域の内外で運動量のやり取りがある場合である (Takei and Kumazawa, 1994)。波形インバージョンの結果、上向きのシングルフォースが共鳴体の収縮と同時に顕れ (Figure 5)、これは共鳴体から流体が吹き出したことを示している。

以上の結果から、我々は草津白根山での LP の発生メカニズムを次のように推定した。Figure 8 にその模式図を示す。湯釜の下約 300 m にほぼ水平に横たわったクラック状の共鳴体を考える。これはおそらく熱水系の一部をなし、共鳴体の中は熱水系の流体で満たされている。このクラックからは湯釜や地表の噴気口に向かって熱水や噴気の通り道が繋がっており、この通り道にも熱水や流体が満たされていると考えられる。マグマからの熱が熱水を加熱することによって、共鳴体内部の流体は気化し、だんだんと圧力が高まっていく。あるとき圧力が限界に達すると共鳴体と熱水の通り道との間の障壁が開き、気化した流体が共鳴体から押し出される。この急激な減圧により、共鳴体は急激に収縮しクラックの振動が励起され LP として観測される。熱水で満たされている通り道を軽いガスが上昇すると、代わりにそれより重い熱水が下降する。この、熱水の南向きの加速によって、上向きのシングルフォースが励起されたと考えられる。

謝辞 草津白根山の観測データは東大地震研によるものを使わせていただきました。また、グリーン関数の計算には大湊隆雄氏に提供していただきました。記して感謝致します。

参考文献

- Aki, K., M. Fehler, and S. Das, Source mechanism of volcanic tremor: Fluid-driven crack models and their application to the 1963 Kilauea eruption, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **2**, 259-287, 1977.
- Chouet, B., Ground motion in the near field of a fluid-driven crack and its interpretation in the

- study of shallow volcanic tremor, *J. Geophys. Res.*, **86**, 5985-6016, 1981.
- Chouet, B., Excitation of a buried magmatic pipe: A seismic source model for volcanic tremor, *J. Geophys. Res.*, **90**, 1881-1893, 1985.
- Chouet, B., Dynamics of a fluid-driven crack in three dimensions by the finite difference method, *J. Geophys. Res.*, **91**, 13,967-13,992, 1986.
- Chouet, B., Resonance of a fluid-driven crack: Radiation properties and implications for the source of long-period events and harmonic tremor, *J. Geophys. Res.*, **93**, 4375-4400, 1988.
- Chouet, B., A seismic model for the source of long-period events and harmonic tremor, in *Volcanic Seismology, IAVCEI Proceedings in Volcanology*, vol. 3, edited by P. Gasparini et al., pp. 133-156, Springer-Verlag, New York, 1992.
- Chouet, B., Long-period volcano seismicity: Its source and use in eruption forecasting, *Nature*, **380**, 309-316, 1996a.
- Chouet, B., New methods and future trends in seismological volcano monitoring, in *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*, edited by R. Scarpa and R. Tilling, pp. 23-97, Springer-Verlag, New York, 1996b.
- Chouet, B. A., R. A. Page, C. D. Stephens, J. C. Lahr, and J. A. Power, Precursory swarms of long-period events at Redoubt Volcano (1989–1990), Alaska: Their origin and use as a forecasting tool, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **62**, 95-135, 1994.
- Crosson, R. S., and D. A. Bame, A spherical source model for low-frequency volcanic earthquakes, *J. Geophys. Res.*, **90**, 10,237-10,247, 1985.
- Ferrick, M. G., A. Qamar, and W. F. St. Lawrence, Source mechanism of volcanic tremor, *J. Geophys. Res.*, **87**, 8675-8683, 1982.
- Fujita, E., Y. Ida, and J. Oikawa, Eigen oscillation of a fluid sphere and source mechanism of harmonic volcanic tremor, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **69**, 365-378, 1995.
- Garces, M., On the volcanic waveguide, *J. Geophys. Res.*, **102**, 22,547-22,564, 1997.
- Ida, Y., N. Osada, M. Sawada, E. Koyama and T. Kagiya, Seismological study based on recently installed permanent stations and a small eruptive event on January 6, 1989 at Kusatsu-Shirane volcano, *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **64**, 325-345, 1989.
- Julian, B. R., Volcanic tremor: Nonlinear excitation by fluid flow, *J. Geophys. Res.*, **99**, 11,859-11,877, 1994.
- Kumagai, H., and B. A. Chouet, The complex frequencies of long-period seismic events as probes of fluid composition beneath volcanoes, *Geophys. J. Int.*, **138**, F7-F12, 1999.

- Kumagai, H., and B. A. Chouet, Acoustic properties of a crack containing magmatic or hydrothermal fluids, *J. Geophys. Res.*, **105**, 25,493-25,512, 2000.
- Kumagai, H., B. A. Chouet, and M. Nakano, Temporal evolution of a hydrothermal system in Kusatsu-Shirane Volcano, central Japan, inferred from the complex frequencies of long-period seismic events, submitted to *J. Geophys. Res.*, 2001
- Kumazawa, M., Y. Imanishi, Y. Fukao, M. Furumoto, and A. Yamamoto, A theory of spectral analysis based on the characteristic property of a linear dynamic system, *Geophys. J. Int.*, **101**, 613-630, 1990.
- Morrissey, M. M., and B. A. Chouet, A numerical investigation of choked flow dynamics and its application to the triggering mechanism of long-period events at Redoubt Volcano, Alaska, *J. Geophys. Res.*, **102**, 7965-7983, 1997.
- Morrissey, M. M., and B. A. Chouet, Trends in long-period seismicity related to magmatic fluid compositions, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 2001, in press.
- Morse, P. M., and H. Feshbach, *Methods of Theoretical Physics*, McGraw-Hill, New York, 1953
- Nakano, M., H. Kumagai, M. Kumazawa, K. Yamaoka, and B. A. Chouet, The excitation and characteristic frequency of the long-period volcanic event: An approach based on an inhomogeneous autoregressive model of a linear dynamic system, *J. Geophys. Res.*, **103**, 10,031-10,046, 1998.
- Nakano, M., H. Kumagai, and B. A. Chouet, Source mechanism of long-period events at Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, inferred from waveform inversion of the effective excitation functions, submitted to *J. Geophys. Res.*, 2001
- Ohminato, T., B. A. Chouet, P. Dawson, and S. Kedar, Waveform inversion of very long period impulsive signals associated with magmatic injection beneath Kilauea Volcano, Hawaii, *J. Geophys. Res.*, **103**, 23,839-23,862, 1998.
- Takei, Y., and M. Kumazawa, Why have the single force and torque been excluded from seismic source models?, *Geophys. J. Int.*, **118**, 20-30, 1994.
- Ukawa, M., and M. Ohtake, A monochromatic earthquake suggesting deep-seated magmatic activity beneath the Izu-Ooshima volcano, Japan, *J. Geophys. Res.*, **92**, 12,649-12,663, 1987.
- Yamamura, K., and H. Kawakatsu, Normal-mode solutions for radiation boundary conditions with an impedance contrast, *Geophys. J. Int.*, **134**, 849-8, 1998.

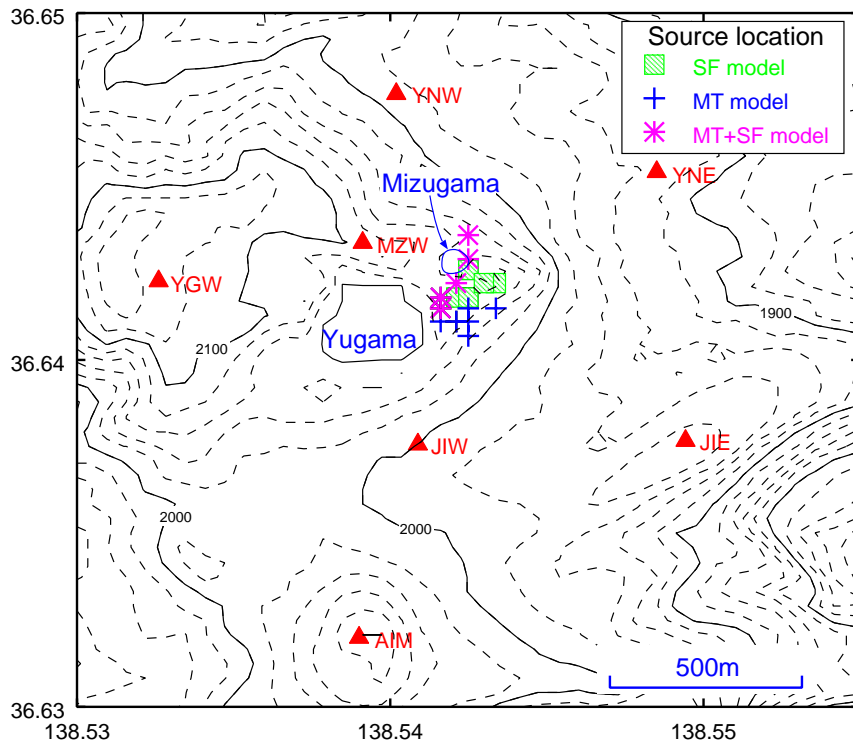


Figure 1: Location of seismic stations (triangles) operated at Kusatsu-Shirane Volcano by the Earthquake Research Institute of the University of Tokyo. Yugama and Mizugama are crater lakes near the volcano summit. Epicenters for the best-fit source locations derived by waveform inversions of the EEFs are shown with different symbols for three assumed models (see text for details).

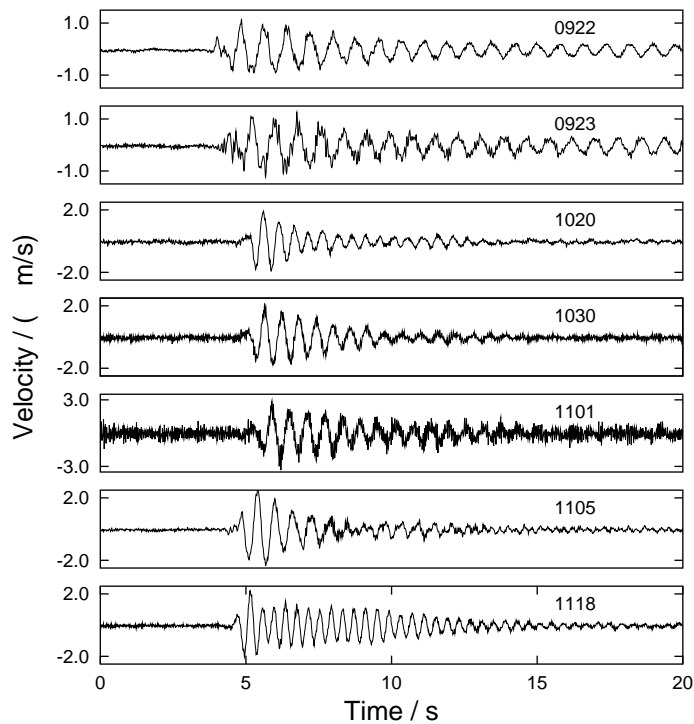


Figure 2: Records of the vertical ground velocity for LP events at station YNE.

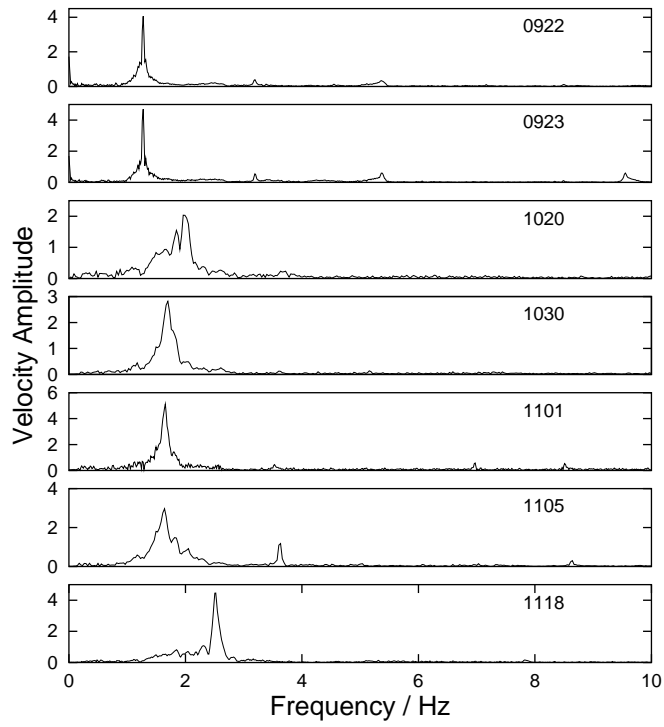


Figure 3: Amplitude spectra of the velocity seismograms shown in Figure 2.

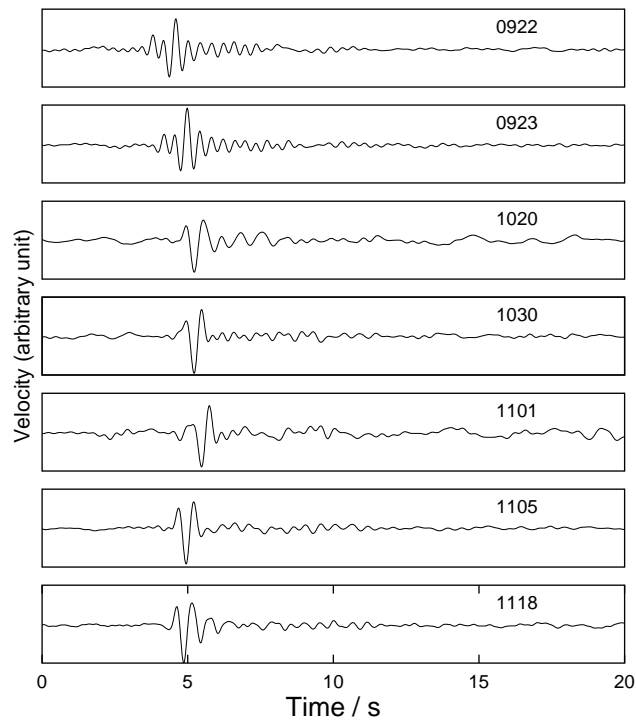


Figure 4: Effective excitation functions (EEFs) estimated from the velocity seismograms shown in Figure 2. The vertical scales are arbitrary.

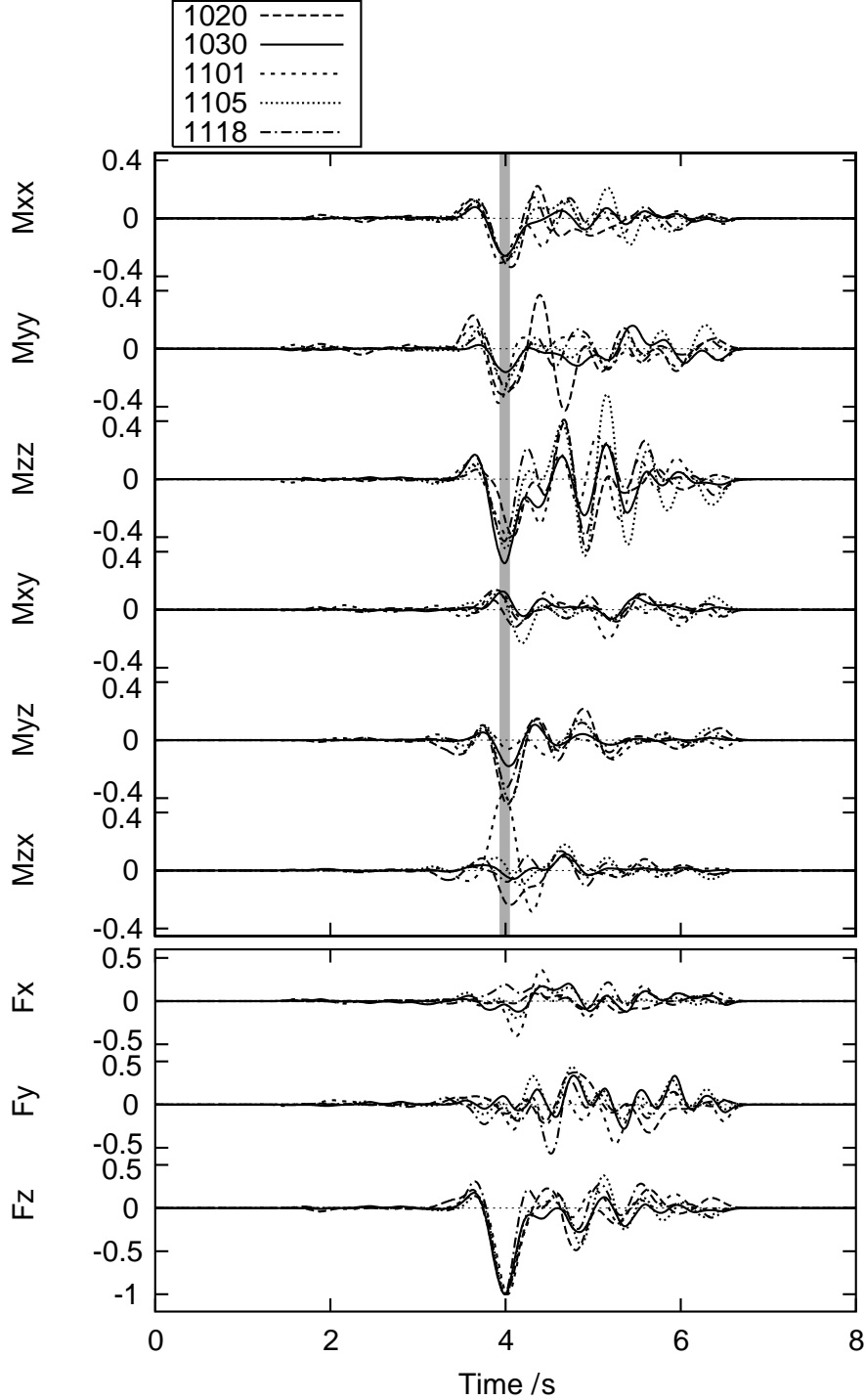


Figure 5: Source time functions of the six moment tensor and three single force components obtained by waveform inversion of the EEFs for all events in group 2. The Cartesian coordinates (x, y, z) correspond to (north, east, down). Since the absolute magnitudes of the EEFs remain indeterminate (see text), we only show the relative amplitudes of the estimated source time functions, in which the moment tensor components are normalized by the maximum value of the trace component (M_{t0}), whereas the single force components are normalized by the maximum value of the vertical single force (F_{z0}). The ratios $M_{t0}/F_{z0} \times 10^{-2}$ are 1.7, 2.7, 1.7, 2.0, and 2.8 (meters) for events 1020, 1030, 1101, 1105, and 1118, respectively. The vertical band of shading marks the time interval during which the eigenvectors of the moment tensor are estimated.

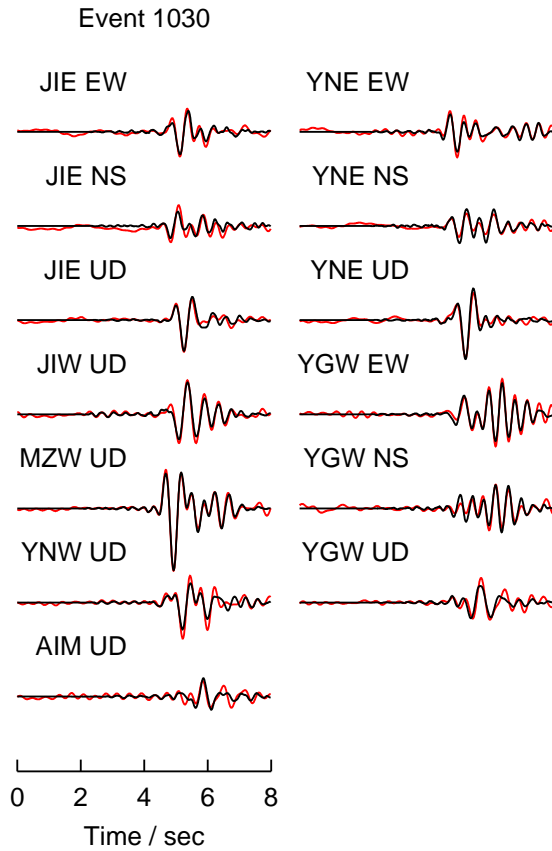


Figure 6: Waveform match obtained from the waveform inversion of event 1030, in which six moment tensor and three single force components are assumed for the source mechanism. Red and black lines indicate the EEFs and synthetic EEFs, respectively. The two horizontal components at AIM were inoperative at the time.

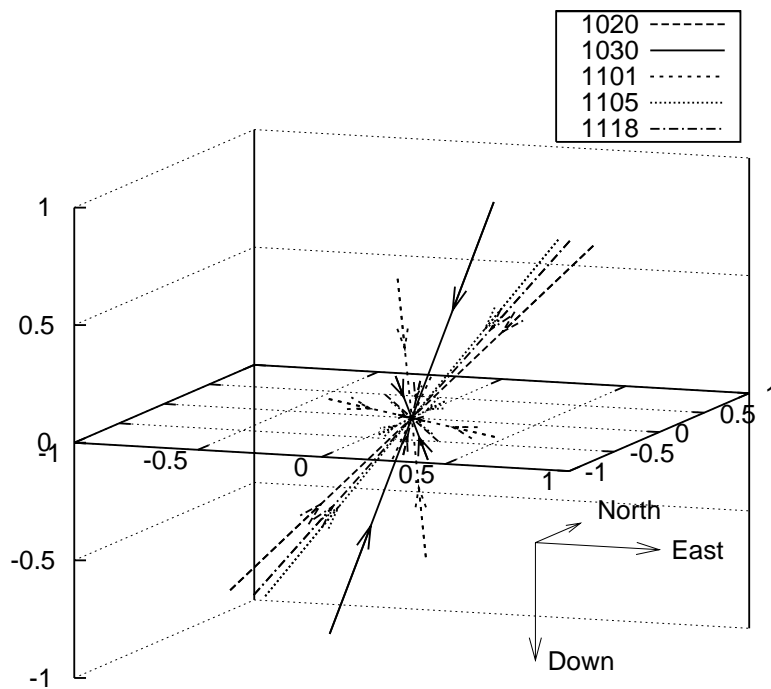


Figure 7: Eigenvectors for the moment tensor solutions of events in group 2 at $t = 4$ s (see shaded interval in Figure 5). The length of each eigenvector is proportional to its eigenvalue.

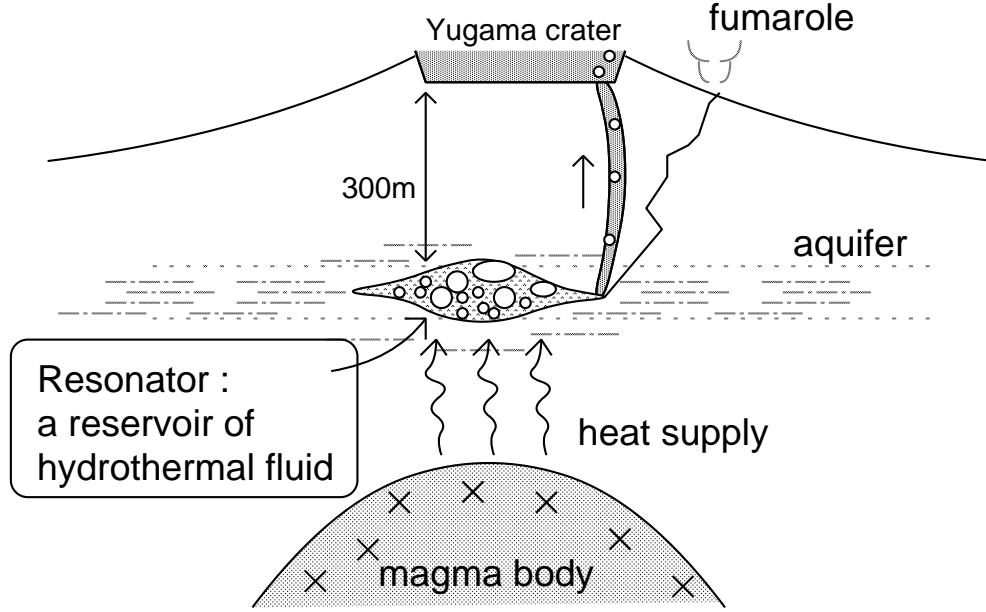


Figure 8: Schematic view of the source process of LP events at Kusatsu-Shirane Volcano inferred from the results of waveform inversion of the EEFs. See text for details.

Table 1: Estimated characteristic frequencies f , growth rates g , and quality factor Q^{-1} , and number of waveforms N_c used in the waveform inversion.

Event	Event Origin Time	f , Hz	g , s^{-1}	Q^{-1}	N_c
0922	September 22, 1992	1.2732 ± 0.0005	-0.0131 ± 0.0005	0.0206 ± 0.0008	13
0923	September 23, 1992	1.2711 ± 0.0005	-0.0097 ± 0.0004	0.0153 ± 0.0007	15
1020	October 20, 1992	1.997 ± 0.004	-0.044 ± 0.002	0.044 ± 0.003	14
1030	October 30, 1992	1.700 ± 0.003	-0.055 ± 0.002	0.065 ± 0.003	13
1101	November 1, 1992	1.652 ± 0.003	-0.044 ± 0.002	0.053 ± 0.002	12
1105	November 5, 1992	1.630 ± 0.005	-0.086 ± 0.004	0.105 ± 0.005	15
1118	November 18, 1992	2.515 ± 0.005	-0.043 ± 0.003	0.035 ± 0.003	15

Table 2: Values of residual and AIC for various source models.

Event	SF model		MT model		MT+SF model	
	Residual	AIC	Residual	AIC	Residual	AIC
0922	0.507	-8175	0.375	-11630	0.189	-19901
0923	0.496	-9788	0.400	-12590	0.195	-22629
1020	0.471	-9823	0.395	-11870	0.297	-15396
1030	0.501	-8332	0.317	-13749	0.159	-22023
1101	0.486	-8002	0.365	-11022	0.223	-16371
1105	0.472	-10497	0.310	-16287	0.180	-23801
1118	0.444	-11405	0.294	-17046	0.203	-22055