

火山噴火に伴い発生する空気振動現象に関する研究 —特に噴火映像中に残される空気振動について—

横尾 亮彦*

Study on Air Pressure Waves Induced by Volcanic Eruptions —Signals Recorded in Eruption Movies—

Akihiko Yokoo*

1. はじめに

火山噴火によって励起される空気振動現象は、噴火過程を理解するための有益な情報源であるとして注目を集めており、現在、世界中の多くの研究者によって、さまざまな観点から研究が行われている。著者も同現象に着目して、特に、これが伝播することによって発現する噴火表面現象の映像解析や数値計算に基づいて、火口内で発生する噴火の素過程やその諸物理量を明らかにしようという考えの下、研究を行ってきた。このたび、著者のこれまでの研究が、火山噴火過程の理解を進めることに一定の貢献を果たしているという評価をいただき、2008年度の日本火山学会研究奨励賞を受賞することとなった。

著者が空気振動現象の研究を始めた直接のきっかけは、東北大学在籍時の指導教官の谷口宏充氏らによって行われていた、ダイナマイトを用いて火山爆発現象を模擬した「野外爆発実験」(たとえば Goto *et al.*, 2001; Ohba *et al.*, 2002) に、空気振動測定担当の一員として参加したことにある。当時、火山噴火における空気振動現象関係の論文が多数発表され、同現象の観測研究が世界的にも大きな注目を集めていた時期であったことも、研究を進める動機のひとつとなった。さらに、同氏から紹介された、NHK が撮影した伊豆大島 1986 年噴火の「光環現象」(横尾・他, 2004) の映像によって、その壮大な様子に驚き、空気振動現象への興味をますます強くした。光環現象のような、噴火映像に記録される空気振動現象が、これまでほとんど注目されていなかったことは、観測についての知識・経験が乏しかった著者にとっては幸

運であった。なぜなら、映像資料を利用した空気振動現象の研究は、観測用の高価で特別な機器を用いることなく、また、研究室内で自由に行うことができたからである。

本稿ではまず、噴火映像を利用した空気振動現象の研究意義について簡単に記し、その後、同種現象の研究例について著者以外の成果も含めて概観してみたい。

2. 空気振動現象と噴火映像

火山噴火に伴って発生する振動現象は大きくわけて二つあり、ひとつは地下ないしは地表面を伝わる地震、もうひとつが大気中を伝播する空気振動である。一般的に、地震波の伝播媒質は地中であるため、火山体内部やその周囲の複雑な地下構造に起因して、波の減衰、散乱といった伝播過程での副次的な効果を被ったものが観測点で記録される。他方、空気振動は大気中を伝播することから、その伝播媒質の特性について、地震波ほどの複雑な影響を考える必要がなく、表面現象を伴う噴火過程を解明する上で有効な情報源になると考えられている (Johnson *et al.*, 2003)。また、空気振動観測では、地震観測と同様に、複数のセンサーを効果的に配置して観測することによって、その発生源を精度よく決定できる利点もある。これは、活動火口が同時に複数存在する場合でも、それぞれの活動を分離して把握できることを意味している (例えば、ストロンボリ火山では Johnson, 2005; Ripepe and Marchetti, 2002; 有珠山では青山・他, 2002; 山里・他, 2002)。

日本における火山近傍での空気振動観測は、1930 年代

* 〒891-1419 鹿児島市桜島横山町 1722-19
京都大学防災研究所附属火山活動研究センター
Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Sakurajima-Yokoyamacho 1722-19, Kagoshima 891-1419,

Japan
TEL: 099-293-2058

Corresponding author: Akihiko Yokoo
e-mail: yokoo@svo.dpri.kyoto-u.ac.jp

に阿蘇山で開始された。桜島では、1956年から鹿児島地方気象台、1963年から京都大学が微気圧計による観測をそれぞれ開始し、1982年（京都大学）、1983年（鹿児島地方気象台）からは低周波マイクロホンによる観測が並行して行われるようになった（石原・他、1986；坂井・他、2000）。そして、これらの結果と地震・映像等の他の地球物理観測結果とを併せることで、火口上空における空気振動の伝播特性（Ishihara, 1985；石原・他、1983）や、爆発地震の発生から噴火表面現象に至る火山爆発の一連の力学過程（Tameguri *et al.*, 2002）などが明らかとなり、桜島の火山爆発機構の研究が大きく前進した。

1980年代以降、火山観測・活動監視における空気振動観測の重要性が全国的に注目され始め、低周波マイクロホンを利用した観測研究が、静穏時も含めて、多くの火山で実施されるようになった（山里, 2005）。1990年代からは、同様の観測研究が世界各地の火山でも行われるようになり、現在では、地震計や赤外放射温度計などに空気振動観測用センサーを加えた多項目同時観測が数多く行われている。そして、これらの観測結果を基にして、火道内における爆発現象の発生深度の推定や噴火のメカニズム、噴火過程におけるエネルギー分配についての多くの研究成果が報告されている（Johnson and Aster, 2005；Ripepe *et al.*, 2001；2002；Sahetapy-Engel *et al.*, 2008）。

火山噴火に伴う空気振動は、伝播過程における波形への影響が少ないとはいえ、実際は、空気や山体地表面、植生などによる吸収、幾何拡散による減衰があり、その波形は伝播するにつれて変化する。そのため、観測点が火口から遠くなるにつれて、観測データから火口内部で発生する噴火過程について読み取ることが困難になる。したがって、空気振動現象から噴火過程を理解するためには、できる限り発生源直近においてこれを捉えることが望ましいが、火口の極近傍に空気振動の観測機器を設置することは、危険性やアクセス、電源確保、通信事情等の困難性があり容易でない。

このような問題を解決するための鍵になるのが、空気振動現象が可視化された光環現象の観測である。火山噴火時に時折発生する光環現象とは、火口で発生した空気振動によってその直上の大気中の水の相変化（雲の形成や消滅）や水蒸気粒子の凝集・分散が誘引され、その伝播する様子が可視化されたものである（Fig. 1）。したがって、同現象を記録し解析することで、火口直近での空気振動特性についての情報を得ることができるようである。言い換えれば、空気振動についての情報は、データ蓄積が容易な噴火映像記録として、火口遠方からでも安全に取得することが可能ということになる。

しかし、これまでのところ、光環現象に着目した研究

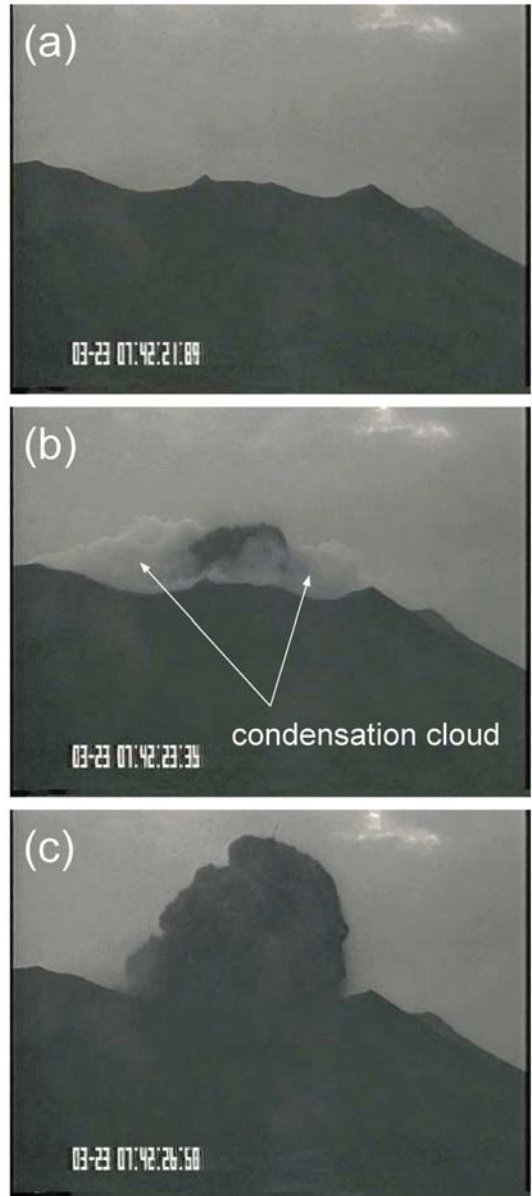


Fig. 1. Selected snapshots of the Vulcanian eruption on March 23, 1988, occurred at the Minamidake summit crater of Sakurajima volcano. (a): No significant clouds are seen above the crater before the eruption. (b) and (c): 1.5 s and 4.7 s after (a), respectively. Instantaneous formation and deformation of condensation clouds caused by a rarefaction phase of strong air pressure waves are recognized. These pictures are captured from the archived movies of Sakurajima Volcanological Observatory.

例は少ない(例えば Ishihara, 1985; Nairn, 1976). それは、誰が見てもはっきりと認識できるような明瞭な光環現象が、それほど頻繁には発生しておらず、映像資料も少なかったためだと考えられる。しかし、Yokoo and Taniguchi (2004) が示したように、肉眼では認識することが難しい微弱な光環現象が、噴火映像中に記録されることもある。そのため、噴火に際して撮影される数多くの映像データから、微弱な光環現象を抽出し、その伝播する様子を解析できるようになれば、火山噴火による空気振動現象の研究を前進させる第一歩になると考えられる。

3. 映像資料を利用した空気振動現象の研究例

3.1 映像処理による光環現象の抽出

われわれは、水蒸気雲の形成や消滅といった、噴火映像中における輝度変化(明るさの変化)を介して光環現象を視覚的に認識している。Yokoo and Taniguchi (2004) は、このことに着目し、輝度の時空間的な変動を追跡することで、映像中に記録されたわずかな空気振動の信号を捉えることを提案した。そして、阿蘇火山博物館が記録・保管していた1989年の阿蘇山の噴火映像を適用例として上記アイデアの検討を行った。

具体的には、VHSテープに記録された1989年10月28日、29日の噴火映像のうち、撮画角に変化のない28イベント(各4~34秒)をそれぞれデジタルファイルに変換し、1フレーム(1/30秒)ごとに各画素の輝度を抽出した。そして、フレーム間で変化の乏しい映像背景の火口地形や上昇する噴煙等の影響をできるだけ小さくするため、各フレーム間における輝度変化に注目した。

その結果、20イベントの噴火映像において、肉眼では認識することが困難であった微弱な光環現象が明瞭になり、これが火孔内から上空へ向かって伝播する様子が明らかとなった(Fig. 2a)。映像中で現象が観察された領域は、水蒸気が存在していると考えられるやや白色を呈する部分に限られていた。また、暗→明→暗の順番で輝度変化が観察されていることから、正圧・負圧の組で表現される空気振動によって、噴煙中に含まれていた水蒸気の変質が発生し、これが観察されたと考えられた(Fig. 2b)。同現象は、1秒間に5~6回の一定頻度で、また、数10秒以上にわたって断続的(連続的)に発生していることも明らかになった。

光環現象発生時の噴火表面現象は、火孔内から水蒸気と火山灰が弱々しく噴出しているだけであり、空気振動現象の発生原因として広く認識されている、ブルカノ式噴火やストロンボリ式噴火のような、いわゆる、爆発的、単発的な噴火現象とは大きく異なる。現在までのところ、この断続的な光環現象の発生メカニズムは明らかに

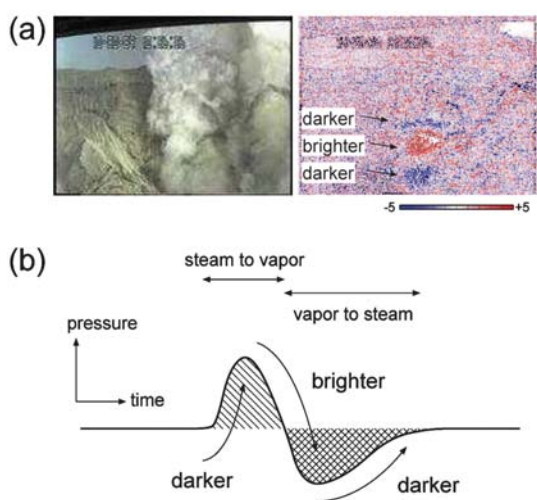


Fig. 2. (a) Original and resultant images of the image processing applied to the movies of Aso 1989 eruption (modified from Yokoo and Taniguchi, 2004). The set of darker-brighter-darker changes in luminance (set of blue-red-blue colored clusters) at lower center of the right image corresponds a phase change of H₂O occurred within the plume, which propagated upward with a velocity of 270 m/s. (b) Schematic relationship between pressure change propagating through the plume, phase change of H₂O (shaded and hatched areas), and the resulting luminance change (curved arrows) that we can recognize.

なっていないが、桜島昭和火口の2007年、2008年噴火で発生した単調微動型共振(横尾・他, 2008)と類似した現象であると想定すれば、噴煙が火道内を上昇する過程で、火道自身がある種の共振体としてふるまうことによって、火口外へ振動が定常的に放射され続けたのかもしれない。

3.2 光環現象の伝播速度の見積もり

映像資料を利用した空気振動現象に関するわが国の先駆的研究に石原・他(1983)、Ishihara(1985)らがある。彼らはテレビカメラを用いて桜島のブルカノ式噴火の様子を撮影し、その噴火映像資料を解析することで、光環現象の伝播速度が、火口直上300~600mにおいて440~500m/sであったことを明らかにした。光環現象の伝播速度として、大気音速を有意に超える値が見積もられた事実は、噴石飛散や噴煙上昇・拡大の様子と併せて、ブルカノ式噴火の直前には火口底下下に高圧ガスが蓄積していたことを強く示唆するものであった。

Yokoo and Ishihara (2007) は、映像中の輝度変化に着

目する Yokoo and Taniguchi (2004) の方法を用いて、1980~1990 年代の桜島の噴火映像中に残された空気振動特性の再検討を行った。すなわち、石原・他 (1983)、Ishihara (1985) では解析することの難しかった桜島ブルカノ式噴火に伴うあまり明瞭でない光環現象 4 例について、火口上空での伝播速度を、デジタル画像処理を用いて見積もった。その推定値は 340~570 m/s を示し、やはり大気音速以上の速度となった。また、空気振動現象の空間スケールは、圧縮相で 150~175 m、後続の膨張相はその数倍であった。これは、実際に観測された空振波形がもつ、先頭に現れる圧縮相の継続時間に比べてそれに引き続く膨張相の継続時間は長い (井口・石原, 1990)、という特徴と矛盾しない。なお、2006 年 4 月、9 月の噴火事例については Yokoo *et al.* (2008) によって解析されているが、見積もられた光環現象の伝播速度は 390~410 m/s と、1980~1990 年代のものに比べてやや遅い。

光環現象の伝播速度が大気音速を超えることは、他火山の噴火事例でも報告されている (Nairn, 1976)。例えば、伊豆大島 1986 年噴火の光環現象の伝播速度は 300~440 m/s であったことが、NHK が撮影した噴火映像から見積もられた (横尾・他, 2004)。彼らは、付随する噴石の飛散形態などに現れる野外爆発実験結果 (例えば Ohba *et al.*, 2002) との相似性に着目し、光環現象を発生させた噴火現象として、固結した溶岩湖表層での高圧気泡の破裂を想定した。さらに、爆発実験で得られたいくつかの相似則を適用することで、気泡が有していたエネルギー量を 8×10^9 J と見積もった。この推定値については、半径 8~13 m の高圧気泡が周囲溶岩の引張応力 ($8 \times 10^5 \sim 25 \times 10^5$ Pa) を超えたときに破裂したと考えることで説明された。

3.3 発生源の物理量推定

Ishihara (1985) は、桜島で発生した光環現象の伝播速度から、一次元衝撃波管モデルの理論関係式によって、火口上空での大気過剰圧を推定した。彼は、火口底から 450 m 及び 900 m において、それぞれ 1×10^5 Pa, 2×10^4 Pa と過剰圧を見積もったが、この結果は、噴石飛散速度により求められた爆発源の初期過剰圧 (140~280 気圧) から推定される値 (150 m で $13 \times 10^5 \sim 26 \times 10^5$ Pa) に比べて 1 桁程度小さいため、衝撃波の距離減衰効果を考慮する必要があると言及した。

一方、火口が上空に開いた形状をしていることに着目した Yokoo and Ishihara (2007) は、空気振動現象が球状圧力波として開放空間へ拡大伝播することが、伝播速度やその空間スケールなどの光環現象の諸特性を生む本質であると考えた。そこで、光環現象の観測から爆発源の情報を得るためには、垂直衝撃波の関係式を用いるより

も、球状爆発を想定するほうが適切であるとして、球状爆発の計算コード (Saito and Glass, 1979) を利用した数値計算を行い、噴火映像から抽出した光環現象の伝播速度から爆発源の物理量についての推定を試みた。しかし、いくつかのパラメータ組み合わせで計算を行ったところ、発生源の初期圧力を推定するためには、光環現象の伝播速度だけでなく、爆発発生源のサイズについての情報も必要であることが明らかとなった (Fig. 3)。

伊豆大島の光環現象については、噴火当時の地形や大気構造を考慮した 3 次元空間中で、その発生・伝播する様子が数値的に再現された (山下, 2004)。山下 (2004) の重要な結論のひとつは、光環現象の解析から発生源の状態量を正確に見積もるためには、その伝播媒質である大気の大気圧、密度、温度、蒸気圧等の状態量の空間分布についても、十分な情報を有していなければならない、ということであった。

このように、噴火映像中の光環現象の伝播速度から、その発生源の物理情報を正確に推定する試みはまだ成功しておらず、途上の段階にある。しかし、数値解析結果と映像解析結果とを比較する際に、現在は特に考慮されていない、生成・消滅する水蒸気雲領域の時空間分布についても、正しく評価できるようになれば、爆発発生源のサイズ情報についての制約条件を得ることができると期待される。そうすれば、噴火時の大気条件について適切な値を採用することができるという条件下、発生源の圧力・サイズ等の物理量を推定することも可能になると考えられる。

3.4 噴火現象の素過程の理解へ

噴火によっては、空気振動が伝播する様子が光環現象として直接見えなくても、これによって火口縁の噴気が消滅・再出現することが観察されることがある。噴火映像の各フレームに正確な時刻情報が付与されている場合には、この現象を利用して、観測機器の設置が困難である火口縁への空気振動の到着時刻を知ることができる。さらに、3.2 節で説明した伝播速度と併せて考えることで、火口底における空気振動現象の発生時刻を推定することが可能となる。空気振動現象の発生時刻を正確に知るとは、噴火の素過程のうち、特に、噴火発生時の火口底破壊過程を理解する上で重要である。

Yokoo *et al.* (2008) は、2007 年 1 月の桜島噴火映像に記録された山頂火口縁の噴気の消滅現象を利用して、当該地点における空気振動現象の到着時刻を見積もり、空気振動波形に見られる先行相と主要相 (Fig. 4; 坂井・他, 2001) の発生時刻の違いについて考察した。空気振動各観測点における両者の到着時間差は 0.2~0.3 秒程度であったのに対し、火口底での先行相の発生時刻は、

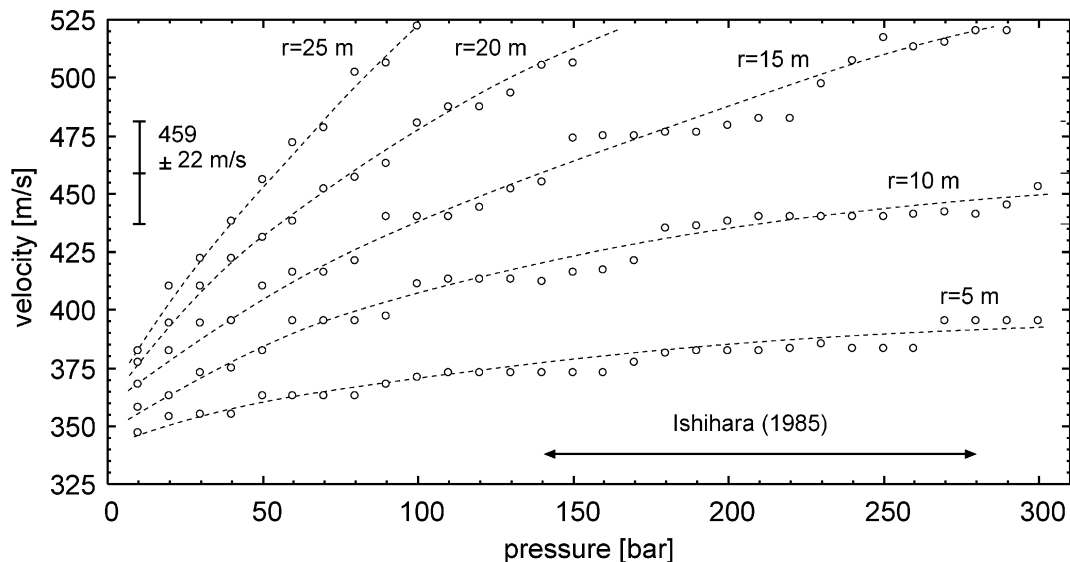


Fig. 3. Relationship among internal pressure of an explosion source (horizontal axis), mean velocity of pressure wave at a range of 250–600 m distance (vertical axis), and the radius of the gas pocket (r), calculated from an 1D spherical explosion model (after Yokoo and Ishihara, 2007). The gas of the explosion source is assumed to be composed of 500°C H₂O vapor degassed from magma.

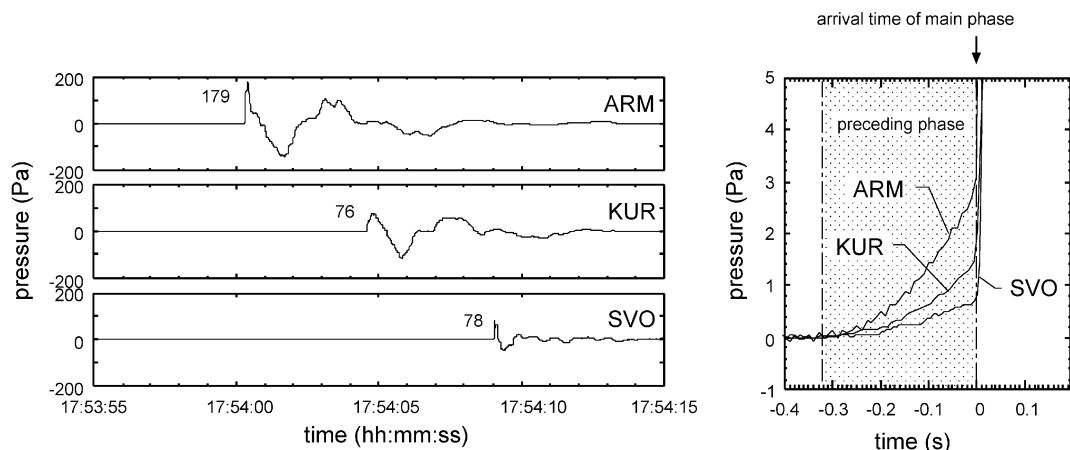


Fig. 4. Infrasonic waveforms observed by low frequency microphones deployed around Sakurajima volcano (January 2, 2007; left). In zoom-up image at the beginning of the sharp onset at the stations (right), a preceding phase (Sakai *et al.*, 2001; Yokoo *et al.*, 2008) associated with swelling of a lava plug at the crater bottom at the eruption is recognized. SVO, KUR and ARM are the stations' names. This figure is modified from Fig. 2 of Yokoo *et al.* (2008) with permission from Springer-Verlag.

主要相のそれに比べて約 0.5 秒早い (Fig. 5)。この差異は、主要相の火口近傍での伝播速度が大気音速を超えていた一方、先行相の伝播速度が大気音速とほぼ同程度であったことに起因する。一方、爆発地震のモーメントテンソル解析結果から推定した火口浅部ガス溜り (Tame-

guri *et al.*, 2002) の膨張開始時刻は、先行相の発生時刻と同時であり、さらに、膨張率が最大となる瞬間に主要相が発生していたことが明らかとなった。以上の結果は、これまで、ほとんど瞬間的な現象として暗黙的に受け入れられてきた、爆発的噴火の瞬間の火口底の破壊過

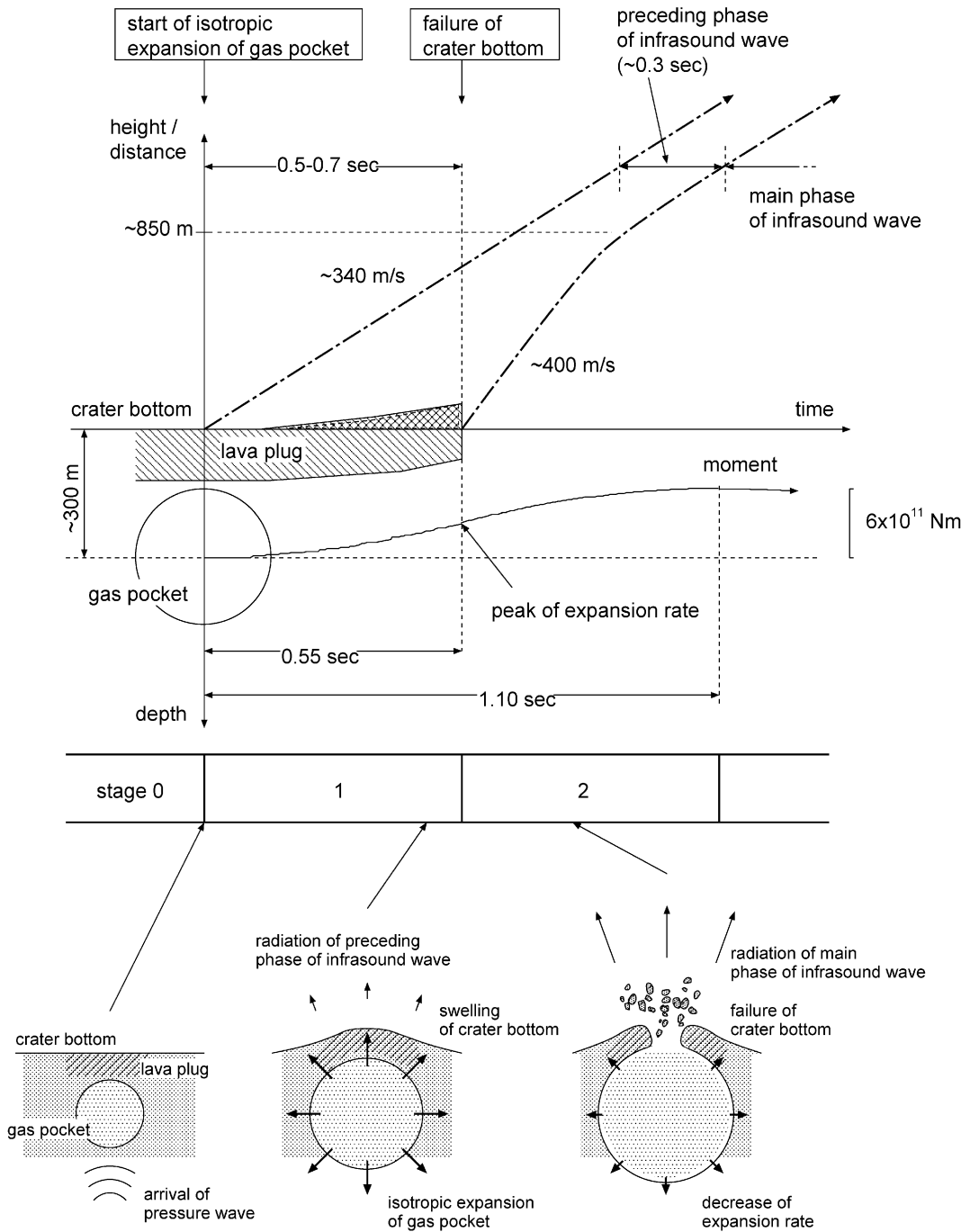


Fig. 5. Schematic sequential image for the surface phenomena at the explosive eruption of Sakurajima volcano on January 2, 2007 (after Fig. 12 of Yokoo *et al.*, 2008; Springer-Verlag holds the copyright of this figure).

程(ガス溜りの蓋を取り除くことに相当; 例えば Kanamori *et al.*, 1984) について, 実際は約 0.5 秒の時間がかかる現象であること, また, 破壊に至るまでに火口底が 1 m 程度隆起していたことを示唆している (Fig. 5).

4. おわりに

本稿では, 著者のこれまでの研究を中心に, 噴火映像を利用した空気振動現象(光環現象)の解析例をいくつか紹介した. 空気振動が火口直上において可視化された光環現象は, 地表面での機器観測結果とは異なり, 発生源近傍での大気圧力変動を直接的に反映したものである. そのため, 同種現象の観測結果は, 噴火発生源の物理量の推定, 噴火素過程の理解に寄与する可能性がある. 例えば, 光環現象の伝播速度は, 爆発発生源の圧力・サイズについての関係性をわれわれに教えてくれる. また, 空気振動通過による火口縁の水蒸気消滅現象は, 火口底における空振発生時刻を正確に見積もることに利用でき, 噴火時の火口底破壊過程を考える上で重要な制約条件となる. 高画質, 高時間分解能の映像撮影とその解析作業が比較的安価に, また, 手軽に行えるようになった近年の現状を考えれば, 今後, 噴火映像資料を利用した空気振動現象の解析事例はさらに多くなるだろう. それに併せて, 観測結果を利用した噴火発生源の物理諸量についてのより精緻な推定方法が発展し, また, 噴火現象の素過程についての理解が進むことを期待したい.

謝 辞

本稿は, 著者の平成 19 年度日本火山学会奨励賞の受賞に当たって, 日本火山学会から執筆の機会をいただいたものである. 受賞対象となった著者のこれまでの研究は, 谷口宏充氏, 石原和弘氏をはじめとした, 数多くの方々からのご指導, ご協力の下で実施してきた. その際, 大島弘光氏, 井口正人氏, 後藤章夫氏, 宮本 毅氏, 市原美恵氏, 為栗 健氏らからは折にふれて有益なご助言を多数いただき, また, 議論をしていただいた. 桜島における観測では桜島火山観測所スタッフ諸氏にご協力いただいた. これまでお世話になったすべての方々に深謝します. 西村太志氏と匿名査読者の両名から頂いたコメントは本稿を改善する上で非常に有益であった. 記してお礼申し上げます.

引用文献

青山 裕・大島弘光・前川徳光 (2002) 有珠山 2000 年噴火に伴う空振活動. 火山, **47**, 521-532.
Goto, A., Taniguchi, H., Yoshida, M., Ohba, T. and Oshima, H. (2001) Effects of explosion energy and depth

to the formation of blast wave and crater: field explosion experiment for the understanding of volcanic explosion. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 4287-4290.
井口正人・石原和弘 (1990) 爆発的噴火に伴う地震動・空気振動の比較研究—桜島火山と諏訪之瀬島火山の比較—. 京大防災研年報, **33B-1**, 1-12.
Ishihara, K. (1985) Dynamic analysis of volcanic explosion. *J. Geodyn.*, **3**, 327-349.
石原和弘・井口正人・加茂幸介 (1983) 火山爆発過程における噴煙および火山ガスの放出について. 京大防災研年報, **26B-1**, 1-7.
石原和弘・井口正人・田平 誠 (1986) 火山爆発に伴う空気振動の観測. 第 5 回桜島火山の集中総合観測, 131-138.
Johnson, J.B. (2005) Source location variability and volcanic vent mapping with a small-aperture infrasound array at Stromboli Volcano, Italy. *Bull. Volcanol.*, **67**, 1-14.
Johnson, J.B. and Aster, R.C. (2005) Relative partitioning of acoustic and seismic energy during Strombolian eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **148**, 334-354.
Johnson, J.B., Aster, R.C., Ruiz, M.C., Malone, S.D., McChesney, P.J., Lees, J.M. and Kyle, R.P. (2003) Interpretation and utility of infrasonic records from erupting volcanoes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **121**, 15-63.
Kanamori, H., Given, J.W. and Lay, T. (1984) Analysis of seismic body waves excited by the Mount St. Helens eruption of May 18, 1980. *J. Geophys. Res.*, **89**, 1856-1866.
Nairn, I.A. (1976) Atmospheric shock waves and condensation clouds from Ngauruhoe explosion eruption. *Nature*, **259**, 190-192.
Ohba, T., Taniguchi, H., Oshima, H., Yoshida, M. and Goto, A. (2002) Effect of explosion energy and depth on the nature of explosion cloud: A field experimental study. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **115**, 33-42, doi: 10.1016/S0377-0273(01)00307-9.
Ripepe, M. and Marchetti, E. (2002) Array tracking of infrasonic sources at Stromboli volcano. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 2706, doi: 10.1029/2002GL015452.
Ripepe, M., Ciliberto, S. and Schiava, M.D. (2001) Time constraints for modeling source dynamics of volcanic explosions at Stromboli. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **106**, 8713-8727.
Ripepe, M., Harris, A.J.L. and Carniel, R. (2002) Thermal, seismic and infrasonic evidences of variable degassing rates at Stromboli volcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **118**, 285-297.
Saito, T. and Glass, I.I. (1979) Application of Random-Choice Method to problem in shock and detonation-wave dynamics. *UTIAS Report*, **240**, 1-28.
坂井孝行・山里 平・宇平幸一 (2000) 火山観測における空振観測の重要性. 験震時報, **63**, 1-16.
坂井孝行・中禮正明・吉田明夫 (2001) 桜島火山およびカリムスキー火山の爆発的噴火に伴う空振波形の先行相の存在. 日本火山学会講演予稿集, A16.
Sahetapy-Engel, S.T., Harris, A.J.L. and Marchetti, E. (2008) Thermal, seismic and infrasound observations of

- persistent explosive activity and conduit dynamics at Santiaguito lava dome, Guatemala. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **173**, 1–14.
- Tameguri, T., Iguchi, M. and Ishihara, K. (2002) Mechanism of explosive eruptions from moment tensor analyses of explosion earthquakes at Sakurajima volcano, Japan. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **47**, 197–215.
- 山里 平・宮村純一・森 博一・碓井勇二・佐久間喜代志・渡辺精久・佐藤十一・高橋裕二・坂井孝行 (2002) 空振データから見た 2000 年有珠山の噴火活動. *火山*, **47**, 255–262.
- 山里 平 (2005) 近代火山観測の歴史—気象庁の監視観測を中心に—. *火山*, **50**, S7-S18.
- 山下宙也 (2004) 火山噴火現象及びその機構解明のための数値解析的研究. 東北大学大学院情報科学研究科修士論文, pp. 51.
- Yokoo, A. and Taniguchi, H. (2004) Application of video image processing to detect volcanic pressure waves: A case study on archived images of Aso volcano, Japan. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L23604, doi: 10.1029/2004GL021183.
- Yokoo, A. and Ishihara, K. (2007) Analysis of pressure waves observed in Sakurajima eruption movies. *Earth, Planets and Space*, **59**, 177–181.
- 横尾亮彦・市原美恵・谷口宏充 (2004) 伊豆大島 1986 年噴火における光環現象. *火山*, **49**, 293–304.
- 横尾亮彦・為栗 健・井口正人・石原和弘 (2008) 桜島昭和火口 2007 年噴火の活動推移. *京大防災研年報*, **51 B**, 267–273.
- Yokoo, A., Tameguri, T. and Iguchi, M. (2008) Swelling of a lava plug associated with a Vulcanian eruption at Sakurajima Volcano, as revealed by infrasound record: Case study of the eruption on January 2, 2007. *Bull. Volcanol.*, doi: 10.1007/s00445-008-0247-5, online.