

平成 22 年 6 月 7 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20740251

研究課題名 (和文) 気泡破裂型火山噴火に伴う圧力波の波形解読

研究課題名 (英文) Understanding mechanisms generating pressure waves by bubble bursting at magma surface

研究代表者

市原 美恵 (ICHIHARA MIE)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：00376627

研究成果の概要 (和文): 非ニュートン性流体中の連続的な気泡の上昇・破裂に伴う音波を調べる室内実験を行い、音波発生時間間隔、波形、前兆信号、それらを支配する記憶効果やフィードバック機構を明らかにした。また、浅間火山に空振観測システムを設置し、研究機関中である 2009 年 2 月に発生した噴火、及び、その後の火口活動をとらえた。独自の計測方法や解析方法を試み、微弱な空気振動から火口活動の発生を検知できるようになった。

研究成果の概要 (英文): Laboratory experiments investigating sound generation by bubble bursting in a non-Newtonian fluid have revealed memory effects of the fluid and feedback mechanisms controlling the waveform. Systems developed by this project were tried at Asama volcano and detected intermittent and continuous surface activities starting at the eruption of 2nd, February, 2009.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：火山現象・圧力波形

## 1. 研究開始当初の背景

粘弾性流体中の気泡のダイナミクスは、火山噴火の発生と形態（規模・爆発性など）を支配する要素であり、空振は、噴火という地表の現象に直結する重要な観測量である。近年、世界各地の火山において、噴火に伴う信号が観測され、映像と同期させた解析から、空振の発生と噴火現象の関係性とその多様

性が明らかになって来た (Ripepe et al., 2006, Johnson et al., 2003)。次のステップとして、空振の波形と発生過程の関係を明らかにすることが求められている。しかし、可視情報や経験則無しには発生メカニズムを特定できないのが現状で、波形の持つ情報を読みとる手段が必要とされている。

## 2. 研究の目的

- (1) 実験室で観察される気泡破裂に伴う音について、その波形形成メカニズムを理解し、火山現象との相似・相違性を明らかにする。実験・観測において波形を支配する要因として、気泡の形状と破裂の仕方に注目する。
- (2) 火山活動に伴う空振の観測データ・計測システムが、波形形成過程を読みとるのに十分な物であるか再検討する。
- (3) 周波数特性に信頼性のあるマイクロフォンを用い、活動的な火山の火口近傍において、広帯域空振観測を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) 室内実験

透明容器に入れた非ニュートン流体に、一定流量で空気を送り込み、気泡の上昇と破裂の様子、及び、それに伴う音波を、ビデオカメラやマイクロフォンで計測する。流体のレオロジーや気泡の発生頻度を変えて、その影響を調べる

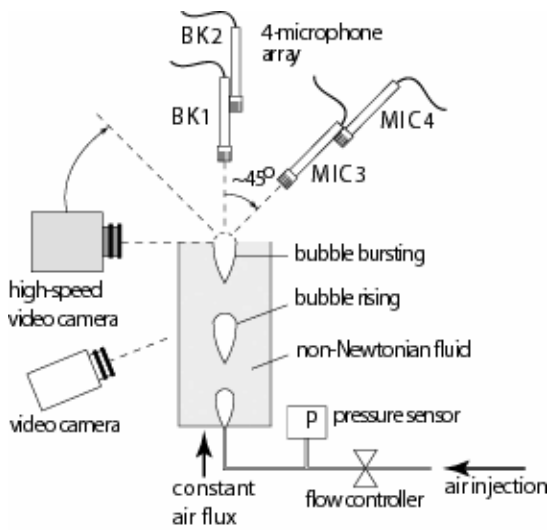


図1. 室内実験

### (2) 空振センサー試験

日本の火山空振観測では、ACO社製低周波空振計(3348+7144)が標準的に用いられている。しかし、その安定性や波形の信頼性について、かねてより疑問の声が上がっていた。そこで、ACOセンサー、国外の火山観測で用いられているBrüel&Kjaer社(以降BK)製空振計測システム、及び、フィレンツェ大学Ripepe博士の開発した差圧計式センサー(以降RP)について、比較試験を行った。

試験方法は以下のとおり。それぞれのマイクロフォンを専用の増幅器やシグナルコンディショナーにつなげる。部屋の床にマイクロフォンを近接して並べ、入り口のドアを開閉する圧力変動を記録する。差圧計式センサーについては、高さを変化させ、大気圧の圧力勾配を用いて感度を確認する。

### (3) 観測と解析

2008年8月に、浅間火山火口東観測点と火口から約4km離れた観測所にBK空振計システムを設置し、観測を開始した。サンプリングレート100Hzで連続観測を開始した。風のノイズを低減するため、長さ約2mのパイプを放射状に4方向に張り、3方向から空気を取り入れ、1本を観測シェルターに引き込んでその先にマイクロフォンを取り付けた。結果として、この方法は、パイプの共振の影響が観測対象の低周波域まで及ぶ上、2009年1月31日には、おそらく積雪のためにパイプが詰まり、周波数特性や感度が急に低下するなど、弊害が大きいことが分かった。そのため、2009年4月30日から観測を一度中断した。6月10日からは、フィレンツェ大学式のセンサーを観測シェルター内に設置する方法で観測を再開した。

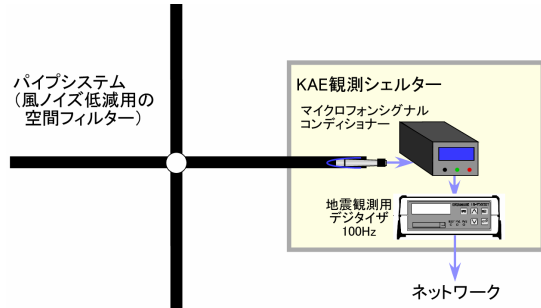


図2. 浅間火山火口東観測点での試験観測

## 4. 研究成果

### (1) 粘弾性流体中の気泡の上昇と破裂

ある現象の時間間隔、様式、前兆信号、そしてそれらを支配する記憶効果や前のイベントから次のイベントへのフィードバック現象を解明することは、地球科学の最重要課題の1つである。系は大きく異なるが、この問題と物理的相似性の強い現象が、この室内実験で見つかった。それは、連続的な気泡の上昇・破裂現象において、気泡の破裂に伴う圧力波の波形と破裂前に発生する前駆的音波に明瞭な相関関係があり、両者の特徴が準周期的に変動する、というものである。物性試験や、データ解析の結果、その原因が、繰り返し破裂する気泡が流体内部に残っていく履歴の蓄積にあり、その蓄積過程に、流体自体の持つ記憶効果と、液面近くに溜まっていく残留気泡の影響であると結論付けた。この結果を国際誌Physical Review E.において発表した(Vidal et al., 2009)。また、この研究成果を、研究代表者(市原)、及び、協力者(ビダル)が国内外の学会(日本地球惑星連合2008,2009年大会・日本火山学会2009年秋季大会・国際地球化学火山学会IAVCEI)において発表し、好評を得た。このような現象を追究することにより、火山の変

動現象を理解するための何らかの示唆が得られることが期待されている。

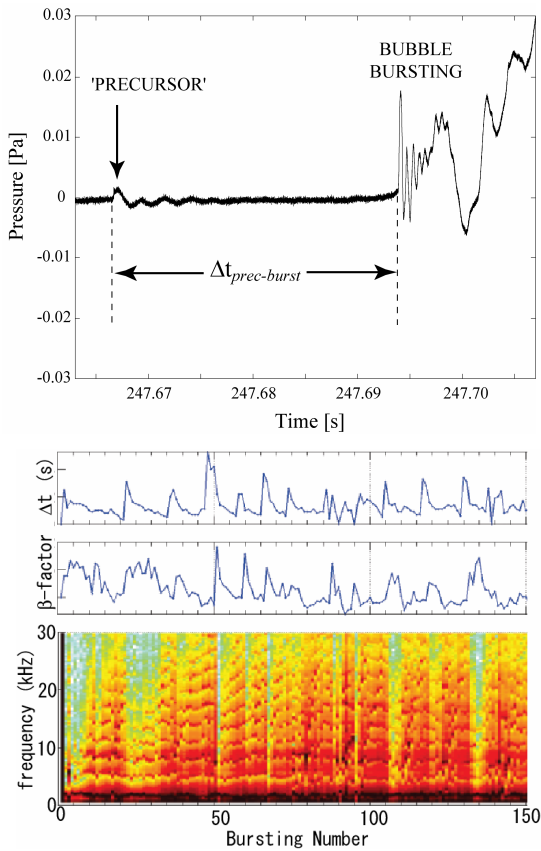


図3. 気泡破裂に伴う圧力波とその変動

(2)空振センサー試験

ACO と BK の比較試験

3台のACOと3台のBKを比較した。試験は、2008年度に3回の実験を行った。BK3台はよく一致していたが、BKとACOや、ACO同士の間では波形や振幅に明瞭な違いが見られた(図4)。第1回目の試験の後、ACO空振計の振幅や波形についての問題点をまとめ、メーカーへ調整に出した。修理後、第2回目の試験を行ったが十分な改善は見られず、メーカーに返送し、再度検討を依頼した。その後、第3回目の試験を行った。ACO間の固体差は小さくなったが、BKと比較すると振幅が7割程度しか出ていない。このことから、メーカー側の校正方法に本質的な問題のあることが分かった。2009年度には、メーカーと協力して試験を行い、問題点を明らかにした。

ACO空振計は、国内の火山観測で標準的に用いられており、気象庁の定常観測点でも採用されているが、他のセンサーとの比較がされていなかったため、波形や振幅の問題点は明らかにされていなかった。本研究の成果は、気象庁や噴火予知連絡会にも報告し、空振観測システムの再検討が行われつつある。

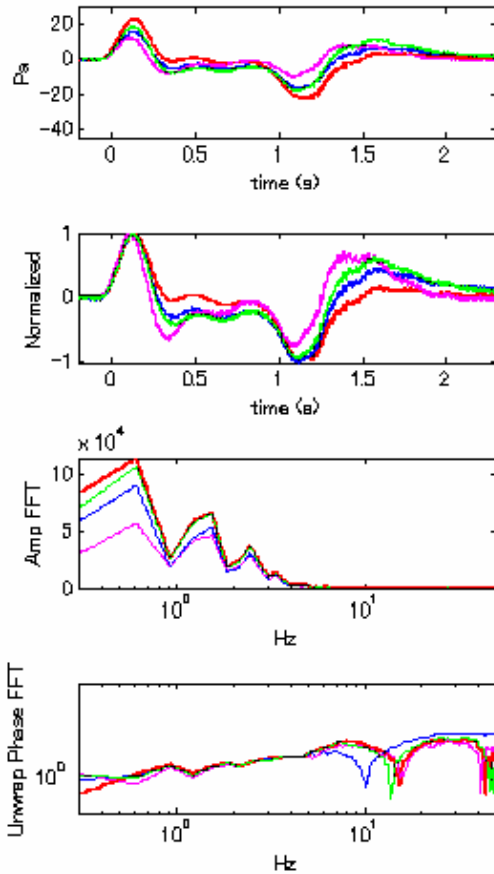


図4. BK(赤)と3つのACOの比較

RP と BK の比較

フィレンツェ大学の開発した差圧計型センサーは、精度やダイナミックレンジの点でBKに遙かに及ばないが、安価で低周波の波形を正確に捉えることができるという利点がある。2009年6月からは、浅間火口の東西観測点に設置し、現在でも正常に動作している。

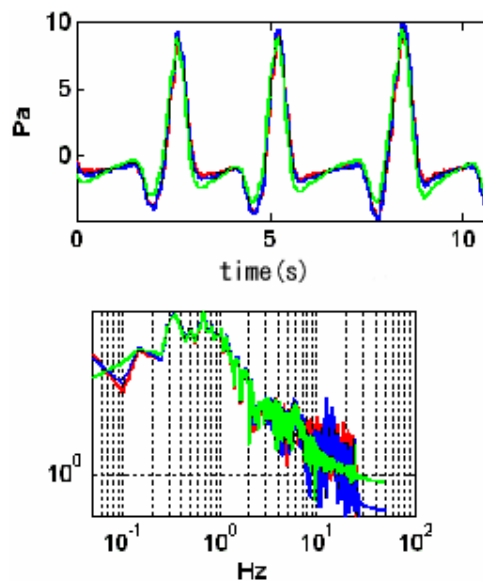


図5. BK(緑)と2つのRPの比較

(3)浅間 2009 年火口活動に伴う空気振動  
 2009 年 2 月 2 日に始まった火口活動では、「噴火」とみなされる活動があるたびに、火口東観測点で計測される空振と地震（広帯域地震計による上下動）の間に、特徴的な相関関係が見られた（図 6）。2009 年 2 月から 4 月にかけて行った解析の結果から、この相関関係を調べることが、地震波形だけ、あるいは、空振波形だけでは、判別しにくい噴火活動の発生を捉える有効な手段であることが分かっている。この解析方法により検出された火口活動の発生時刻や継続時間は、火口付近で見られる超長周期地震の発生機構の研究やガス噴出の検出にも役立てられつつある。

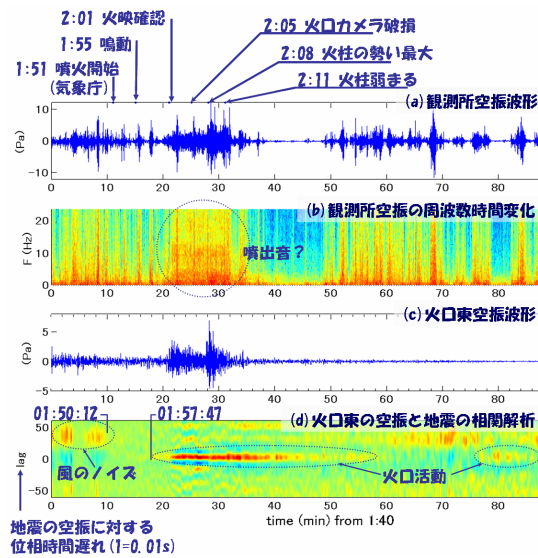


図 6 2009 年 2 月 2 日の噴火に伴う圧力波

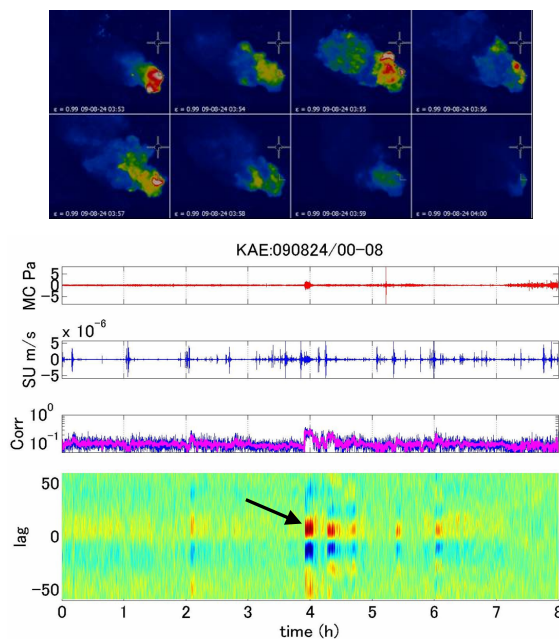


図 7. 圧力波と地震動の相関解析により検出された 2010 年 4 月 24 日 3:54 のイベント

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- (1) Vidal, V., Ichihara, M., Ripepe, M., and Kurita, K., Acoustic waveform of continuous bubbling in a non-Newtonian fluid. *Physical Review E*, 80, doi:10.1103/PhysRevE.80.066314, 2009. 査読有
- (2) Ichihara, M., Ripepe, M., Goto, A., Oshima, H., Aoyama, H., Iguchi, M., Tanaka, K., and Taniguchi, H., Airwaves generated by an underwater explosion; Implications to volcanic infrasound, *J. Geophys. Res.*, 114, B03210, doi:10.1029/2008JB005792, 2009. 査読有

〔学会発表〕(計 8 件)

- (1) 市原美恵, 2009 年 2 月噴火以降の浅間火口空振活動, 日本地球惑星科学連合 (2010-5-25, 幕張メッセ), SVC063-P23.
- (2) Ichihara, M., Bubble acoustics, The 2nd Workshop on the Fluid Oscillations in Volcanic Systems (2010-2.23, Waikoloa, Hawaii, Invited).
- (3) 市原美恵, 泡のぶくぶく現象の変動と周囲微小気泡の影響, 日本火山学会秋季大会 (2008-10.11, 岩手大学工学部).
- (4) Ichihara, M., Airwaves generated by an underwater explosion; Implications to volcanic infrasound, IAVCEI, (2008-8-19, Reykjavik, Iceland).
- (5) Vidal, V., From laboratory bubbles to quasi-periodic volcanic phenomena: What can we learn from non-newtonian fluid acoustics?, IAVCEI, (2008-8-22, Reykjavik, Iceland).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ichihara/asama>

[http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/AGORA/research/MIchihara\\_bubblevolcano/mieichihara\\_agora.html](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/AGORA/research/MIchihara_bubblevolcano/mieichihara_agora.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

市原 美恵 (ICHIHARA MIE)  
 東京大学・地震研究所・助教  
 研究者番号: 00376627

### (2) 研究協力者

ビダル バレリー (VIDAL VALERIE)  
 リヨン高等師範学校・常任研究員