

## 平成 22年度共同利用実施報告書(研究実績報告書)

## 1. 共同利用種目 (該当種目にチェック)

- 特定共同研究(A)     特定共同研究(B)     特定共同研究(C)     一般共同研究  
 地震・火山噴火予知研究     施設・実験装置・観測機器等の利用  
 データ・資料等の利用     研究集会

2. 課題番号または共同利用コード    2010 - G - 19

## 3. プロジェクト名、研究課題、集会名、または利用施設・装置・機器・データ等の名称

和文：マグマの気泡破裂に伴う弾性波生成の数値計算英文：Numerical study on acoustic wave generated by bubble bursting in magma.4. 研究代表者所属・氏名 愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・市川浩樹(地震研究所担当教員名) (市原美恵)

## 5. 利用者・参加者の詳細 (研究代表者を含む。必要に応じ行を追加すること)

氏名	所属・職名	利用・参加内容または 施設,装置,機器,データ	利用・参加期間	日 数	旅費 支給
市川浩樹	愛媛大学・GCOE 研究員	所属機関にて数値計算			無し
Vidal Valerie	リヨン高等師範学校・研究員	室内実験	H23.2.17~3.12	24	無し
市原美恵	地震研究所・助教	室内実験・数値計算			無し

## 6. 研究内容 (コンマ区切りで3つ以上のキーワードおよび400字程度の成果概要を記入)

キーワード：気泡破裂,音波,数値計算

気泡の破裂に伴って発生する音波を計算する数値計算コードを開発し、ソープフィルムの破裂に伴う音波を調べた実験結果(Vidal et al., 2006)と比較した。数値計算では、ソープフィルムを、厚さゼロの境界面で表現し、それを一定速度で開くことで、破裂を表現した。Vidal et al., 2006 では、発生する音波の違いを、ソープフィルムの開口時間の違いと解釈しているが、開口時間自体は計測されていない。今回の数値計算では、実験結果の一部は再現することができたが、開口時間を変化させても、実験に見られるような波形の変化は再現されなかった。その原因として、計算で仮定した軸対象の開口や厚みゼロの気泡膜が、実際の実験と異なっているためではないかと考えている。一方、共同研究者の市原と Vidal は、気泡による振動と管の共鳴による振動を分離、あるいは、それらの相互作用を理解するための室内実験と、数値解析を行った。計算には、市販のソフトウェア(COMSOL Multiphysics)を使用し、現象の理解が進んだ。今後、この市販のソフトウェアと研究代表者の数値計算コードを比較し、計算の高度化を進める予定である。

## 7. 研究実績報告 (公表された成果のリスト\*1または2000~3000字の報告書)

(\*1論文タイトル、雑誌・学会・セミナー等の名称、謝辞への記載の有無、ポイント数、電子ファイル添付のこと)

# Acoustic signal: Numerical simulation result

## 1 Equations[1]

All the governing equations are linearized by using the following expression;

$$p = p_0 + p' \quad (1)$$

$$\rho = \rho_0 + \rho' \quad (2)$$

$$T = T_0 + T'. \quad (3)$$

where, square of primed values are small enough to be negligible.  $p_0$ ,  $\rho_0$ , and  $T_0$  denote atmospheric pressure, density at the room condition, and room temperature, respectively.

Linearized momentum equation without bulk viscosity is written as,

$$\rho_0 \frac{\partial v_r}{\partial t} = -\frac{\partial p'}{\partial r} + \eta \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right) - \eta \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{3} \eta \frac{\partial}{\partial r} \nabla \cdot \mathbf{v}, \quad (4)$$

$$\rho_0 \frac{\partial v_z}{\partial t} = -\frac{\partial p'}{\partial z} + \eta \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{3} \eta \frac{\partial}{\partial z} \nabla \cdot \mathbf{v}. \quad (5)$$

Linearized mass conservation equation is written as,

$$\frac{\partial \rho'}{\partial t} = -\rho_0 \nabla \cdot \mathbf{v}. \quad (6)$$

$(s, p, \rho)$  equation of state of ideal gas is written as,

$$s = c_v \log \left( \frac{p}{\rho^\gamma} \right) + const. \quad (7)$$

, where  $s$  is entropy per unit mass [J/(K·kg)] and  $c_v$  is heat capacity at constant volume per unit mass [J/(K·kg)]. The following linearized relation is independently derived from energy conservation after neglecting viscous dissipation.

$$T_0 \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{k}{\rho_0} \nabla^2 T', \quad (8)$$

where,  $k$  is thermal conductivity. Combination of time derivative of equation (7) and equation (8) leads,

$$k \nabla^2 T' = \frac{T_0}{p_0} \left( \rho_0 c_v \frac{\partial p'}{\partial t} - c_v \gamma p_0 \frac{\partial \rho'}{\partial t} \right). \quad (9)$$

Finally,  $(T, p, \rho)$  equation of state ( $p = \rho RT$ ) is linearized as,

$$\frac{\partial p'}{\partial t} = \frac{p_0}{\rho_0 T_0} \left( \rho \frac{\partial T'}{\partial t} + T \frac{\partial \rho'}{\partial t} \right). \quad (10)$$

The above five equations ( (4), (5), (6), (9), and (10)) are numerically calculated.

## 2 Setting

The numerical simulation is conducted by FDTD method. The soap film is faded away from the center and its velocity of the enlarging hole is uniform in time. The time until totally disappearing is set to 0.001 s. The pressure inside the soap file is  $p' = 13.1$  Pa at the initial condition.

$\Phi = 10$ mm.  $L = 8$ cm.  $\rho_0 = 1.186$  kg/m<sup>3</sup>.  $p_0 = 101325$  Pa.  $T_0 = 298.0$  K.  $k = 0.02614$  W/(m K).  $\gamma = 1.4$ .  $c_v = 716.76$  m<sup>2</sup> kg s<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>.  $T' = 0$  at the initial condition.

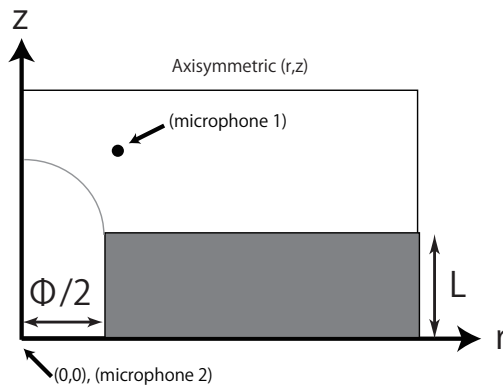


Figure 1: Setting of the numerical simulation. The microphone 1 is located at  $(5\sqrt{2}/2$  cm ,  $L + 5\sqrt{2}/2$  cm ).

## 3 Result

Figure 2 shows the comparison between this simulation and Fig. 2 of [2].

Figure 3 shows the pressure at the microphone 1.

Figure 4 shows the pressure field at  $t = 0.001$ .

## References

- [1] Micheal R. Stinson. The propagation of plane sound waves in narrow and wide circular tubes, and generalization to uniform tubes of arbitrary cross-sectional shape. *J. Acoust. Soc. Am.*, 89 (2):550–558, 1991.
- [2] V. Vidal, J.-C. G' minard, T. Divoux, and F. Melo. Acoustic signal associated with the bursting of a soap film which initially closes an overpressurized cavity. *Eur. Phys. J. B*, pages DOI: 10.1140/epjb/e2006-00450-0, 2006.

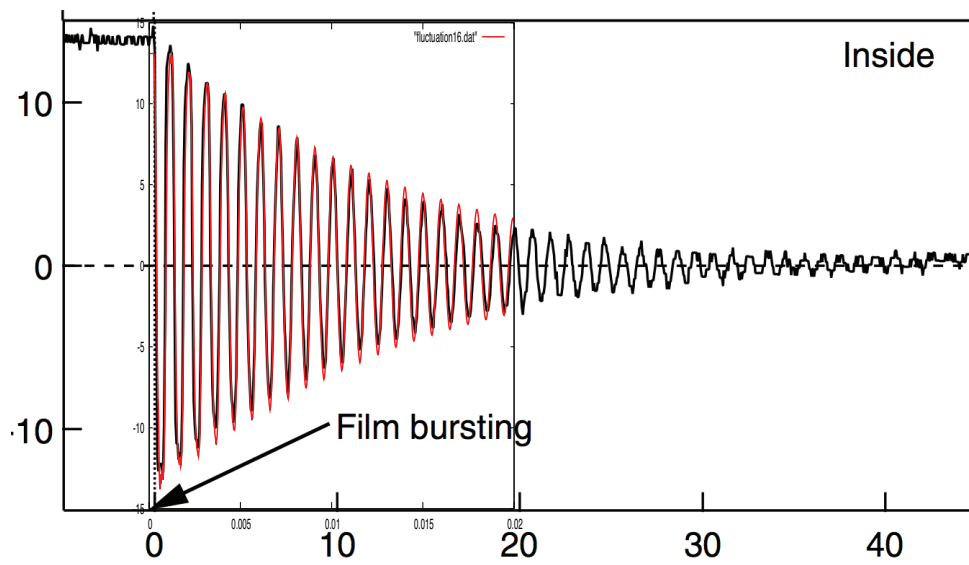


Figure 2: The black line is from [2] and the red line is the simulation result.

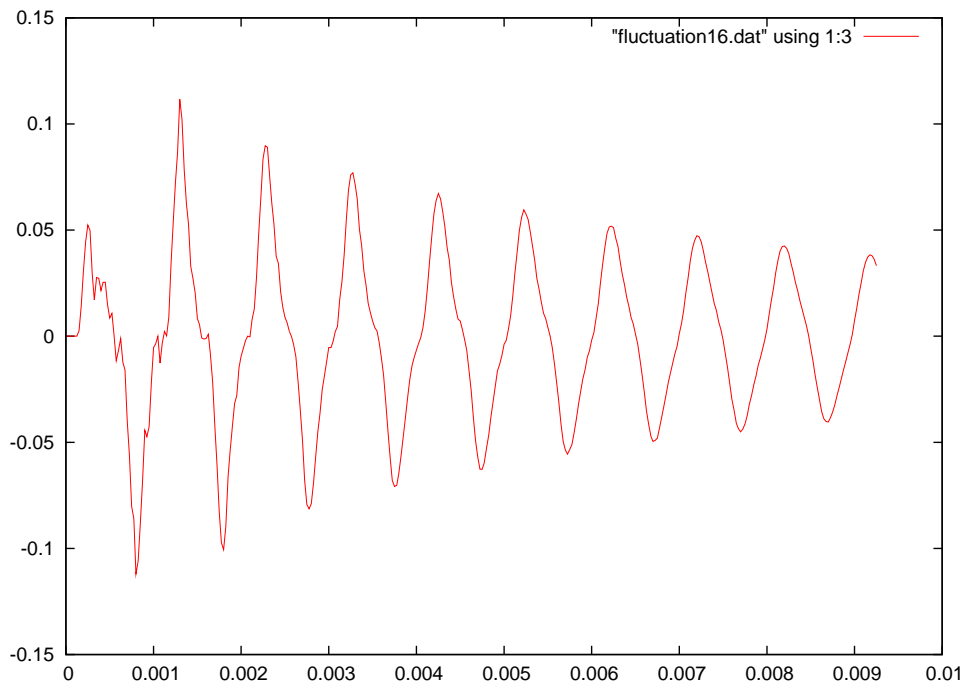


Figure 3:

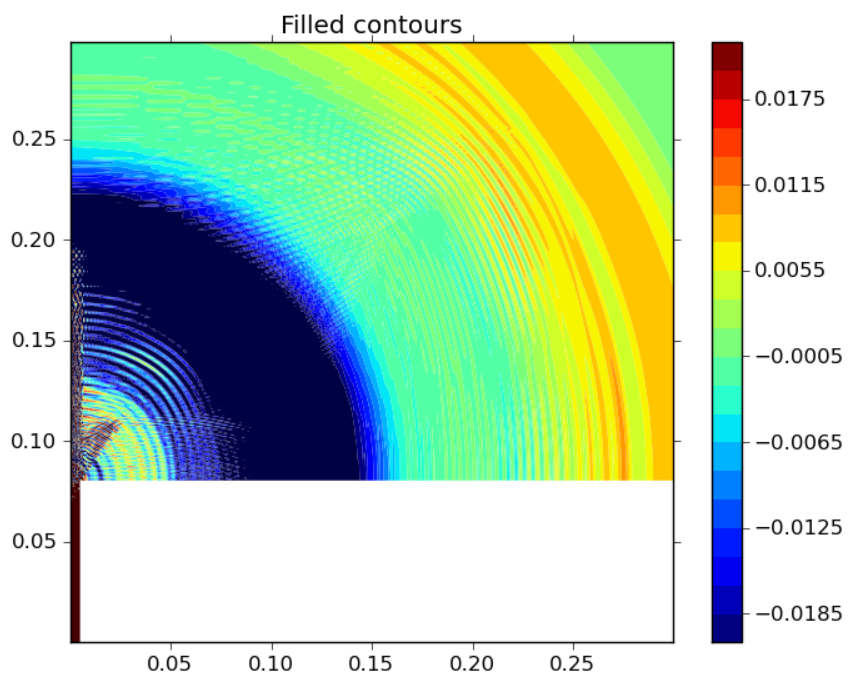


Figure 4:  $p'$  at  $t = 0.001$ .