

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00713

研究課題名(和文) 流体の破壊力学 破壊の時間発展モデル構築と流動履歴依存性の検討

研究課題名(英文) Fracture mechanics of fluids; Modeling the fracture process and its dependence on deformation history

研究代表者

市原 美恵 (Ichihara, Mie)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：00376625

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,400,000円

研究成果の概要(和文)：爆発的火山噴火における流体の破壊について、以下の新しい知見が得られた。まず、歪み速度の時間変化を伴う流体から破壊へのプロセスは、与えられた歪み速度に対する挙動に基づいて作成された従来の描像では表現できないことが示された。そして、流体の脆性破壊は、臨界応力または臨界歪みで決まるという意味で、固体の破壊と同様であり、歪み速度が脆性破壊の発生を決めるという考え方は棄却された。応力の荷重レートや歪み速度加速度がより本質的なパラメータである。また、普遍的に、流動と脆性破壊の条件の間に遅延破壊があり、流動中に不均質を形成したり既存の不均質と相互作用をすることによって脆性的な破壊が開始することが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

火山噴火の爆発性や規模を理解することは、火山学的な興味だけでなく、火山噴火災害を予測する上でも重要である。近年、ハザード予測において、数値計算は有用なツールであるが、信頼できる数値モデルがあつてこそである。爆発的な火山噴火を数値的にシミュレートする際、物理プロセスとして十分に理解できていないが本質的に重要なものが、複雑流体であるマグマの破壊条件である。本研究は、実験に基づいて、流体の破壊について新たな仮説を実証的に示すものである。また、複雑流体の破壊を表現する数値モデルを構築した。流体の破壊現象は、物理や工学分野でも興味が高まっており、本研究は学際的な意義を持っているはずである。

研究成果の概要(英文)：We investigated the fracture of fluids as an elemental process of explosive volcanic eruptions. We showed evidence against the conventional critical strain-rate criterion for brittle fracture. Brittle fractures of fluids are determined by critical stress or critical strain, similar to solid fractures. Stress rate and strain-rate acceleration are more important than strain rate. We also show that the delayed fracture regime generally exists between flow and fracture, in which brittle-like fracture is triggered by pre-existing inhomogeneity or inhomogeneity that forms during the flow.

研究分野：火山物理学

キーワード：粘弾性流体 マグマ 破壊 レオロジー 火山 降伏応力

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ある物質が固体であるか流体であるか、それは、時間スケールによって変わる。広い範囲にわたる時間スケールの変動現象を扱う固体地球科学において、固体(弾性体)のようにも流体のようにも振る舞う物質の変形挙動の遷移は、根幹となる素過程である。マントル対流や地殻の褶曲など、長い時間スケールの岩石変形については、「固体の流動」という視点で古くから研究が進められてきた。一方、火山噴火や地震のような時間スケールの短い現象では、「流体の破壊」も重要になる。例えば、火道中を上昇するマグマの中で脆性(弾性)的な破壊によるマグマの微細化が発生すれば、爆発的な噴火につながる。また、一般に地震は非常に弾性的な現象といえるが、その前駆過程として注目されているスロー地震などのゆっくりとした変形では、柔らかい岩石鉱物が流動していると考えられている。しかし、「流体の破壊」への関心はごく最近まで限定的であり、その定義自体も確立していなかった。

変形の時間スケールに依存する固体と流体の機械的特性は、(a)微小振動下での周波数依存性、(b)定常流動化での歪み速度依存性、(c)変形開始過程の応力の歪みおよび歪み速度依存性、という3つのタイプの実験で調べられてきた。火山学分野では、1990年代にマグマの変形特性の定量的理解が進み、温度・組成と歪速度に依存した流動から破壊への遷移の描像が出された(Dingwell, 1996, *Science*, 273, 1054-1055)。これは、基本的には(a)から得られたものであるが、(b)と(c)をつなぎ合わせ、時間スケールを歪速度の逆数に読み替えて「ガラス転移歪速度」という概念が提示されている。ガラス転移歪速度以上でマグマに変形を加えると、試料が壊れる場合が多いと報告され、(c)の挙動としては整合的なようである。一方、(a)で計測される動的粘性率が高周波域で低下することから、定常流動(b)で Shear-thinning の発生する歪速度がガラス転移歪速度に対応するという解釈が広く用いられているが、疑問を感じる。粘性が低下しつつ固体になるというのはどういうことだろうか。この矛盾を抱えたまま、ガラス転移歪速度の概念は、マグマの脆性破壊や爆発的噴火の発生モデルに広く用いられてきた。

ソフトマター物理学分野では、流体の微視的構造を粒子の分散したサスペンションとしてモデル化し、粒子同士や粒子と媒質流体の相互作用の結果の巨視的な挙動として流動化や固体化が考えられてきた(宮崎, 2007, *物性研究*, 88, 622-720)。そこでは、粒子濃度・変形場パラメータ(応力、歪速度など)・温度の空間で、図 1.2 に対応する変形特性の相図が様々に提案されている。一般に、粒子が渋滞(Jamming)して動けない状態が「ガラス」と考えられているが、変形場依存性については、対象とする物質の挙動によって「ガラス転移」の考え方が異なっている。多くの研究では、応力または歪速度を小さくしていったときに発生する Jamming が「ガラス転移」とされる(Trappe et al., 2001, *Nature*, 411, 772-775)。これは、減速しながらの固化であり、火山学で考えられているものとは異なる。一方、応力または歪速度を大きくしたときに動かなくなる Shear jamming も最近注目されている(Peters et al., 2016, *Nature*, 532, 214-217; Cao et al., 2018, *Smart Mater. Struct.*, 27, 085013)。こちらが、火山分野で考えられているガラス転移に近い現象に思われるが、これは、Shear-thickening の延長で発生すると考えられており、Shear-thinning をガラス転移の兆候とする火山学の考え方とは異なっている。最近、流体の固体的な破壊過程が直接観察されるようになり(例えば Tabuteau et al., 2011, *Soft Matter*, 7, 9474-9483)、定常状態では Shear-thinning 挙動を示す流体が、急激に加えられた変形に対して破壊前に Shear-thickening を示すことや、微小振動で得られる線形粘弾性特性では破壊挙動を説明できないことが示された(Arora et al., 2017, *J. Rheology*, 61, 1267)。「流体の破壊」に対するソフトマター物理学分野の関心は急速に高まり、固体の破壊力学に対しても新しい知見を与えると期待されている。

### 2. 研究の目的

本研究は、固体地球科学の研究者と、工学およびソフトマター物理学の研究者が連携し、各分野で細分化・多様化されている流体と固体の変形機構の描像を統合しつつ、流体の破壊という現象の理解を進める。固体地球変動現象の解明に应用するために、連続体力学をベースに流動から破壊の全過程を連続変化として取り扱う手法を確立する。その検証として、粘弾性効果の観察しやすいソフトマター材料を用いて実験を行い、数値計算によって、構成方程式の推定や破壊の脆性度(弾性度)の評価を行う。そして、流動から破壊に遷移する過程に対して、流動の履歴が及ぼす影響を明らかにする。

### 3. 研究の方法

火山噴火に關与する複雑流体の性質として、(1)粘弾性、(2)降伏応力と Shear-thinning、(3)懸濁流の3つの特徴に着目し、それぞれの性質を持つソフトマター流体を実験材料として選定する。(1)として CTAB とサリチル酸ナトリウムの水溶液(以下 CTAB)、(2)として整髪ジェル水溶液(以下 GEL)、(3)として各種の固体粒子懸濁液を用いる。それぞれの流体について、回転式レオメーター(AR2000ex, TA Instruments)と特別仕様のジグを用いてレオロジー計測を行う。また、水蒸気爆発を発生した霧島火山硫黄山から採取した火山泥と水の混合物についても、含水量を変えてレオロジー計測を実施し、模擬物質と比較する。上記の流体を用いて、せん断試験、

引張試験，空気注入，固体棒による引き裂きなどの実験を行い，与える変形速度，応力速度，変形加速度などを変えて，流動と破壊を分ける条件や，流動から破壊への遷移を調べる．

一方，複雑流体の流動と破壊を，連続体力学シミュレーションによって表現する手法を開発する．ポリマー分子の伸張・回転・緩和の微視的なプロセスを巨視的な連続体方程式につなげる各種構成方程式を整理し，その挙動を調べるとともに，適切なモデルを有限要素法による数値計算コードに組み入れる．また，流体の破壊を扱うため，フェーズフィールド法を取り入れる．数値計算結果と実験結果を比較し，モデルパラメータを決定する．そして，計算結果から，流動から破壊に至る条件を明らかにする．

#### 4. 研究成果

(1) 微小振幅でせん断変形振動を与えたレオロジー計測を実験流体に対して行った結果，CTAB はシリケートメルトのマクスウェル型の粘弾性の性質を，GEL と懸濁液は火山泥の性質をよく模擬していることが確かめられた（図1）．

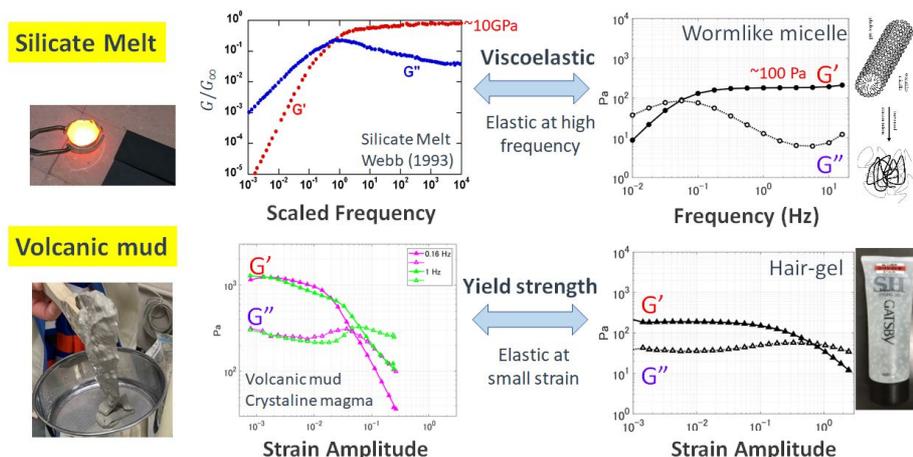


図1．実験流体の剛性率  $G'$  および損失  $G''$  の計測結果（右）と，火山物質の（左）の対応．

(2) Sánchez et al. (2023, GRL) は，これらの流体をガラス容器に入れ，下から空気を注入する実験を行った．CTAB においては，気泡内圧力の上昇速度が大きい場合は脆性的な破壊が発生し，小さいときには流動により気泡が成長すること，その間で時間遅れをもって破壊が発生することが分かった（図2）．この遷移領域において，圧力及び高速度カメラの映像から，気泡壁における応力と歪速度を調べたところ，流動から破壊に向けて応力が増加することは予想通りであるが，見かけ粘性が加速的に増加し，歪速度は減少することが分かった．これは，歪速度が増加し，粘性の低下を伴って破壊が起こるといふ，火山学で広く考えられている破壊のシナリオとは反対である．一方，弾性エネルギーの蓄積と散逸という観点から定義された脆性度指標 (Ichiara and Rubin, 2010, JGR) の観点から見ると，破壊に向けて脆性度は増加している．一方，GEL においては，注入速度を上げても破壊は発生しなかった．この流体の場合，気泡の膨張と共に気泡内圧力が低下し，気泡壁の応力も低下する．その状況では脆性度は負となっている．これらの結果は，流体の破壊の発生は，歪速度で決まるのではなく，脆性度で決まるという我々の仮説を支持するものである．

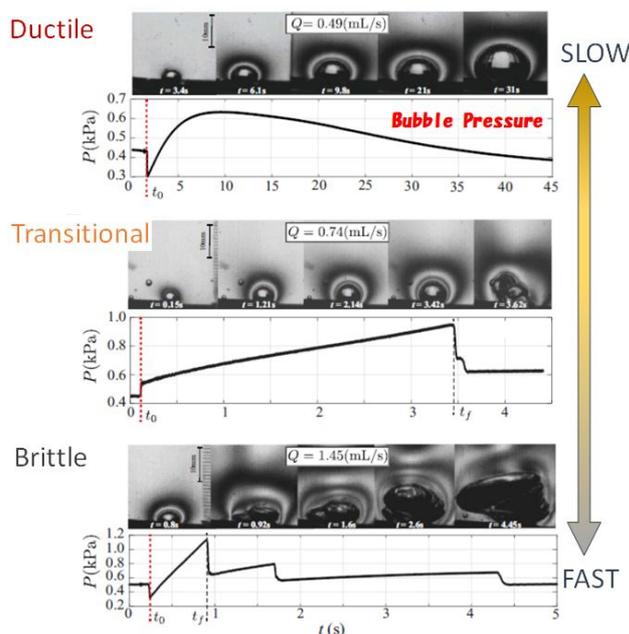


図2．CTAB の中に空気を注入した場合の気泡の膨張と破壊の様子．

(3) 龍見他 (2022, 日本流体力学会) は，CTAB を用いた上述の実験結果を数値計算で再現することを試みた．遷移領域における気泡の膨張や見かけ粘性の増加については実験とよく似た結果が得られたが，計算では破壊は発生しなかった．そこで，気泡表面に小さな突起を設定してみた

ところ 破壊の発生が見られた(図3). この結果は, 中間状態の流動から破壊への遷移を決めるのは, 微小気泡の存在であるという我々の仮説(Kameda et al., 2017)と整合的である.

(4) 首藤他(2022, 日本流体力学会)および Kawai et al. (2023, AGU)は, CTAB を平たい容器に入れ, 一定速度で動く棒で流体を切り裂いていくという, Gladden and Belmonte (2007, PRL)の実験を再現し, 流動から破壊への遷移を詳細に調べた. その結果, 棒の周りを流体が流動する状態から, 棒によって流体が切られて行く状態の間に, やはり遷移領域があること, 流動から破壊への変化は棒の速度によって決まるが, 一つ

の速度の中で見た時には, 破壊は, 歪速度が最大となるのではなく棒の背後で発生することが分かった. 遷移領域において流体内部を詳細に観察したところ, まず, 棒の背後で自由界面が凹みキャビティ が形成され, それを核として破壊が始まることが分かった.

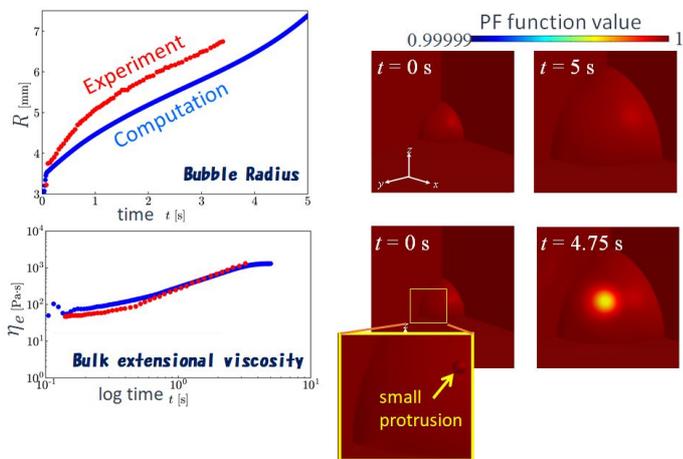


図3. 粘弾性流体中の気泡膨張・き裂の数値計算.

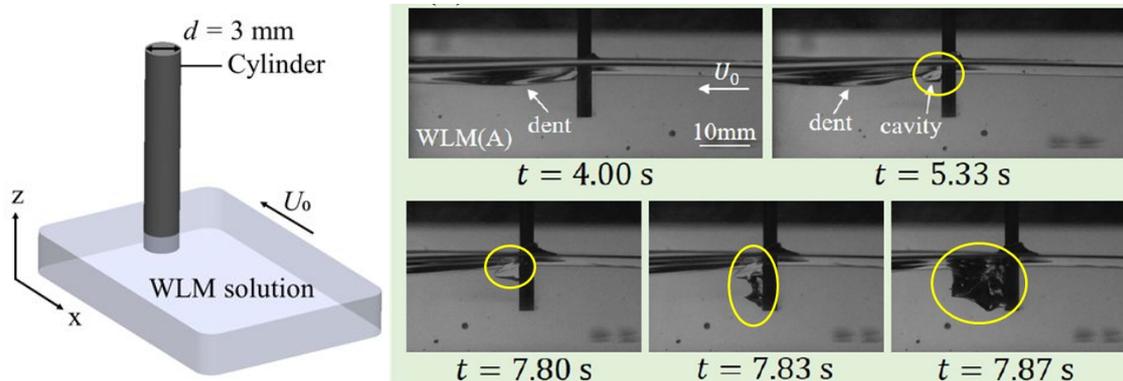


図4. 一定速度で動く棒による CTAB 流体切り裂き実験. 流動と破壊の遷移条件下での破壊発生の様子.

(5) Kuwano et al. (2023, AGU)は, 回転式レオメータ を用いたせん断変形試験において, 流体の変形や破壊を可視化する装置を開発し, CTAB, GEL, および懸濁液の変形実験を行った. この実験では, 特に, 歪加速度依存性に注目した. 異なる歪加速度下での破壊発生条件を調べたところ, 破壊歪速度は歪加速度によって異なるが, 破壊応力はほぼ一定であること, 歪加速度が十分に小さければ破壊は発生せず Shear-Thinning 挙動を示すことが分かった.

(6) 本研究期間を通して, 有限要素法とフェーズフィールド法を組み合わせた連続体シミュレーション手法を開発し, CTAB の引張破壊実験の結果(Arora et al., 2017, J. Rheol.)を再現することを試みて来た. 引張と共に見かけ粘性が増加する挙動と, 破壊の進行速度を合わせることに苦労をしたが, CTAB の非線形物性をよく表現する, 応力の増加と共に緩和時間が大きくなるような構成方程式 (FENE-PM モデルおよび Giesekus モデル) を実装することにより, 解決をすることができた (龍見 2024. 東京農工大学修士論文). この計算手法の完成は本研究の中の大きな成果である.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Ichihara, M., P. Mininni, S. Ravichandran, C. Cimarelli, and C. Vagasky	4. 巻 4
2. 論文標題 Multiphase turbulent flow explains lightning rings in volcanic plumes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Earth and Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s43247-023-01074-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Tapia, F., M. Ichihara, O. Pouliquen, and E. Guazzelli	4. 巻 131
2. 論文標題 Erratum: Viscous to Inertial Transition in Dense Granular Suspension [Phys. Rev. Lett. 129, 078001 (2022)]	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 109901
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.131.109901	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Sanchez Claudia, Ichihara Mie, Kuwano Osamu	4. 巻 50
2. 論文標題 Flow To Fracture Transition of Linear Maxwell Type Versus Yield Strength Fluids by Air Injection - Implications for Magma Fracturing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2022GL100918
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2022GL100918	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Tapia F, M. Ichihara, O. Pouliquen, and Elisabeth Guazzelli	4. 巻 129
2. 論文標題 Viscous to inertial transition in dense granular suspension	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 78001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.129.078001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Muramatsu, D., M. Ichihara, T. Matsushima, O. Kuwano, and Y. Tajima	4. 巻 421
2. 論文標題 Surface eruptive dynamics of 2018 small phreatic eruption of Iwo-Yama volcano, Japan: Constraints from seismo-acoustic observation and mud suspension rheology	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Volcanology and Geothermal Research	6. 最初と最後の頁 107452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jvolgeores.202.107452	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ohashi, M., M. Ichihara, B. Kennedy, and D. Gravley	4. 巻 126
2. 論文標題 Comparison of bubble shape model results with textural analysis: Implications for the velocity profile across a volcanic conduit	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Geophys. Res.	6. 最初と最後の頁 e2021JB021841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JB021841	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takeda Shiori, Ohashi Masatoshi, Kuwano Osamu, Kameda Masaharu, Ichihara Mie	4. 巻 393
2. 論文標題 Rheological tests of polyurethane foam undergoing vesiculation-deformation-solidification as a magma analogue	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Volcanology and Geothermal Research	6. 最初と最後の頁 106771 ~ 106771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jvolgeores.2020.106771	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ohashi Masatoshi, Ichihara Mie, Takeda Shiori, Hirota Kazuya, Sato Shu, Kuwano Osamu, Kameda Masaharu	4. 巻 392
2. 論文標題 Formation of tube-pumice structure under pure shear: Insights from extension tests of solidifying foam	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Volcanology and Geothermal Research	6. 最初と最後の頁 106772 ~ 106772
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jvolgeores.2020.106772	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計27件(うち招待講演 4件/うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Tapia, F., M. Ichihara, O. Pouliquen, and E. Guazzelli
2. 発表標題 Viscous to inertial transition in dense granular suspensions
3. 学会等名 Multiphase Flows in Geophysics and the Environment (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ichihara, M., O. Kuwano, and C. Sanchez
2. 発表標題 Flow-to-fracture of complex fluids - a question to the conventional view of magma fragmentation
3. 学会等名 IUTAM Symposium on Dynamics and Interface Phenomena of Bubbles and Droplets at Multiple Scales (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kuwano, O., Kawai, H., Kameda, M. and Ichihara, M.
2. 発表標題 Analogy experiments to understand the flow-to-fracture transition of complex fluid in solid earth science
3. 学会等名 American Geophysical Union 2023 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kawai, H., Shuto, W., Kuwano, O., Ichihara, M. and Kameda, M.
2. 発表標題 Fracture mechanism of a viscoelastic liquid flowing around a cylinder: Effect of free surface
3. 学会等名 American Geophysical Union 2023 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安部 潤一郎, 河合 隼, 寺井 雄祐, 桑野 修, 市原 美恵, 亀田 正治
2. 発表標題 自由表面を含む高粘度流体の円柱周り流れにおける表面形状変化と破壊
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 桑野修, 市原美恵
2. 発表標題 非定常なひずみ速度に対する複雑流体の応答と破壊
3. 学会等名 日本火山学会2023秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ichihara, M
2. 発表標題 Understanding the flow-to-fracture transition of volcanic fluids through analogy experiments
3. 学会等名 IAVCEI 2023 Scientific Assembly (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sanchez, C. and M. Ichihara
2. 発表標題 Generation of acoustics waves in the atmosphere by gas flow through Maxwell-type and Bingham-type fluids
3. 学会等名 IAVCEI 2023 Scientific Assembly (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Muramatsu, D., M. Ichihara, T. Matsushima, O. Kuwano, and Y. Tajima
2. 発表標題 Mechanism of pulse-like infrasound accompanying 2018 phreatic eruption of Iwo-Yama volcano, Kirishima Volcanic Complex, Japan
3. 学会等名 IAVCEI 2023 Scientific Assembly (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tapia, F., M. Ichihara, O. Pouliquen, E. Guazzelli
2. 発表標題 "Simplest" experimental model for magma flow : Rheology of dense suspensions
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田英臣、田中良、市原美恵、青山裕
2. 発表標題 高粘性マグマ貫入過程解明のための二次元アナログモデル実験
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 首藤 航, 河合 隼, 亀田 正治, 桑野 修, 市原 美恵
2. 発表標題 円柱周りのひも状ミセル水溶液流れにおける破壊に対する自由表面形状、速度場の影響
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 龍見 香穂, 亀田 正治, 山中 晃徳, 市原 美恵
2. 発表標題 フェーズフィールド法による粘弾性流体伸長変形におけるき裂進展の解明
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tapia, F., M. Ichihara, O. Pouliquen, and E. Guazzelli
2. 発表標題 Rheology of non-colloidal dense granular suspensions: friction and shape matters
3. 学会等名 British Society of Rheology mid-Winter Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sanchez, C. and M. Ichihara
2. 発表標題 Flow-to-fracture transition of linear Maxwell-type/yield strength fluid by air injection: Implications in magma fracture
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河合 隼, 首藤 航, 亀田 正治, 桑野 修, 市原 美恵
2. 発表標題 円柱周りのひも状ミセル水溶液流れの破壊過程における応力測定
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ichihara, M., O. Kuwano, C. Sanchez, D. Muramatsu, and M. Kameda
2. 発表標題 Elasticity and yield strength of volcanic fluids controlling brittle/ductile solid-like fragmentation and eruption behaviors
3. 学会等名 AGU 2021 Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 首藤 航, 亀田 正治, 桑野 修, 市原 美恵, Sanchez, C.
2. 発表標題 ひも状ミセル水溶液の円柱周り流れにおける破壊挙動
3. 学会等名 日本機械学会 第99期流体工学部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tapia, F., M. Ichihara, O. Pouliquen, and E. Guazzelli
2. 発表標題 Experimental evidence of viscous-inertial transition in dense granular suspensions
3. 学会等名 74th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics, Phoenix, AZ USA (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 龍見 香穂, 石本 隆, 山中 晃徳, 市原 美恵, 亀田 正治
2. 発表標題 粘弾性体伸長変形におけるき裂の発生, 進展過程のフェーズフィールドシミュレーション
3. 学会等名 日本機械学会 第99期流体工学部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tapia, F., O. Pouliquen, E. Guazzelli, and M. Ichihara
2. 発表標題 Experimental Evidence of viscous-inertial transition in non-colloidal granular suspensions
3. 学会等名 74th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ichihara, M.
2. 発表標題 On the transition from flow to fracture of magma in explosive eruptions
3. 学会等名 The 6th symposium on Theoretical and Applied Mechanics -Kick-off symposium of Japan consortium for theoretical and applied mechanics- (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sanchez, C., O. Kuwano, and M. Ichihara
2. 発表標題 Flow-to-fracture transition of linear Maxwell-type/yield strength fluid by air injection; implications in explosive eruptions
3. 学会等名 American Geophysical Union 2021 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sanchez, C., O. Kuwano, and M. Ichihara
2. 発表標題 Flow-to-fracture transition of linear Maxwell-type fluid by air injection
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ichihara, M. and Kameda, M.
2. 発表標題 Non-linear effects on stress and brittleness of viscoelastic fluids under transient deformation at large strain rate
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Crustal Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ichihara, M., Takeda, S., Ohashi, M., Kuwano, O. and Kameda, M.
2. 発表標題 Rheological tests of polyurethane foam undergoing vesiculation-deformation-solidification as a magma analogue
3. 学会等名 EGU General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 亀田 正治, 山西 深太, 山中 晃徳, 市原 美恵
2. 発表標題 フェーズフィールドモデルによるマクスウェル流体破壊挙動の数値解析
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京大学Youtube: Meet Mie Ichihara--Volcano researcher  
[https://www.youtube.com/watch?v=vyLc51d5B\\_o](https://www.youtube.com/watch?v=vyLc51d5B_o)

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	亀田 正治 (Kameda Masaharu) (70262243)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授  (12605)	
研究分担者	桑野 修 (Kuwano Osamu) (30511969)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(高知コア研究所)・研究員  (82706)	
研究分担者	大槻 道夫 (Otsuki Michio) (30456751)	大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授  (14401)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	タピア フランコ (Tapia Franco)	東京大学・地震研究所・特任研究員	現在：ドレスデン工科大学研究員
研究協力者	サンチェス クラウディア (Sanchez Claudia)	東京大学・地震研究所・特任研究員	現在：フィレンツェ大学研究員

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計2件

国際研究集会 Workshop on fracture and flow of complex fluids	開催年 2022年～2022年
国際研究集会 Fluid Fracture Workshop	開催年 2021年～2021年

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関

フランス	Aix-Marseille University, CNRS, IUSTI	University Paris City, CNRS		
------	--	-----------------------------	--	--