

発泡マグマ模擬材料における脆性的遅れ破碎のメカニズム Mechanism of delayed brittle-like fragmentation of vesicular magma analogue

亀田 正治^{1*}; 志田 司¹; 市原 美恵²; 津郷 光明¹; 奥村 聡³; 上杉 健太郎⁴

KAMEDA, Masaharu^{1*}; SHIDA, Tsukasa¹; ICHIHARA, Mie²; TSUGO, Mitsuaki¹; OKUMURA, Satoshi³; UESUGI, Kentaro⁴

¹ 農工大・工・機シス, ² 東大・地震研, ³ 東北大・理・地学, ⁴ 高輝度光科学研究センター

¹Mech. Sys. Eng., TUAT, ²ERI, Univ. of Tokyo, ³Earth Sci., Tohoku Univ., ⁴JASRI

マグマの破碎は火山爆発をつかさどるカギとなる現象である。破碎は、固体的（脆性）破碎と流体的（延性）破碎に分けることができる。脆性破碎は延性破碎に比べて危険である。なぜなら、マグマに含まれる気泡内に閉じ込められているガスが破碎によって急激に放出することで、爆発的噴火を引き起こすと考えられるからである。

マグマは Maxwell 型粘弾性体であり、現象の特性時間に応じて、固体的にも流体的にも振る舞い得る。我々は、10 年余りにわたって、ユニークなマグマ模擬材料である酸素気泡入り水あめを用いて、急減圧にともなう破碎に対する粘弾性の影響を明らかにする実験を進めてきた (Kameda et al. GRL 2008; Kameda et al. JVGR 2013)。

一連の実験を通して、我々は、「脆性的破碎」という、脆性破碎と延性膨張との中間に位置する現象があることを見出した。この現象は、マグマの粘弾性特性が流体的な性質を帯びるタイムスケールにおける固体的破碎と定義される。マグマの粘弾性緩和時間と天然の火山噴火から見積もられる減圧特性時間との比較から、実際の火山では脆性的破碎が生じていると考えられる。

可視光を用いた高速度ビデオ撮影から、脆性的破碎は、試料に生じたき裂から試料内のガスが急激に放出することをきっかけに生じていることがわかった。試料サイズを変えたさらなる観察 (Shida et al. IAVCEI 2013) から、試料サイズを小さくすると、脆性度 (Ichihara and Rubin JGR 2010) が 1 に近い (すなわち固体的にふるまう状況) であっても、破碎が起きにくくなることがわかった。我々の試料は、サイズを小さくすると、内部の気泡分布がより均一になる。この観察は、脆性的破碎を引き起こす試料内部で進展するき裂は、試料内の気泡分布が不均一な部分をきっかけに生じていることを示唆している。

次に、我々は、試料内部を X 線マイクロ CT 撮影によって観察した。高輝度光科学研究センターの放射光施設 (SPring-8, BL20B2) に実験装置を持ち込んで撮影を行った。減圧開始前の試料の初期状態を 3 次元 CT 撮影によって調べた。高速度ラジオグラフィによって急減圧にともなう試料の動的挙動をとらえた。撮影は、視野 16 mm × 5 mm、空間分解能 8 μm/pixel の条件で CCD カメラを用いて実施し、試料台を 0° から 180° まで回転させながら 1800 枚の透過像を撮影して CT 再構成を行った。ラジオグラフィ撮影は 200 frames/s で行った。以上の実験から、我々は、脆性的破碎の発生をとらえることに成功した。試料の三次元再構成像から、脆性的破壊は、大きな気泡の周りに存在する小さい気泡の連結部や切欠き部をきっかけに生じていることがわかった。

以上を踏まえると、脆性的破碎は、次のような過程を経て生じていると推察される：(1) 気泡の連結によって初期き裂が延性的に成長する。(2) き裂先端の応力集中と脆性度がある瞬間に臨界値を上回ると、脆性破壊に移行する。(3) クラックの開口によって試料内のガスが放出されそのあたりの圧力が急激に減少することで局所的に脆性度が高まり、試料の一部が破碎に至る。このような延性的なき裂の成長と部分破碎が繰り返し起こることで脆性的破碎が進行する。

キーワード: マグマ, 破碎, 粘弾性, 急減圧, X 線 CT

Keywords: Magma, Fragmentation, Viscoelasticity, Decompression, X-ray CT