

火山噴出物の組織解析についての展望 Perspective on textural study of volcanic products

寅丸 敦志^{1*}

Atsushi Toramaru^{1*}

¹九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

噴出物の組織や化学組成のミクロな特徴は、目に見えない火道中でのマグマの運動の歴史を記録している。その記録を、化学組成・組織のデータから定量的に読み解く手法の開発が、この10年で格段に進んできた。その中には、マイクロライト組成、気泡やマイクロライトのサイズ分布に基づくマグマの飽和深度や上昇の際の減圧速度、マグマ滞在時間の推定などが含まれる。そして、その応用の成果として、リアルタイムで取得されている地表での地球物理的・化学的観測データと併せて、マグマが移動を開始してから噴出に至るまでのマグマの運動のイメージがより現実的に描けるようになってきた。こうした手法の発達、噴出物の組織や化学組成を再現する実験的研究、観察・測定技術、実験結果や観察結果を物理化学的に解釈する理論的研究が、相補的に進歩してきた結果である。しかし、そうした進歩にもかかわらず、物質科学的手法を利用して、マグマの運動を的確に予想し、また、地質学的情報と併せて、過去の噴火の推移を定量的に復元できるまでには至っていない。ましてや、噴出量や噴火様式の推移の指標となる観測量の発見さらにはそれらの間の関係性など、火山噴火研究の一つの目標である噴火現象に関する物質科学的基本法則の発見には程遠い状況である。こうした困難を意識したうえで、物質科学研究の現状を省みると、天然で見られる噴出物の組織や化学組成の特徴が定性的にも定量的にもおおかた理解できた訳では決してなく、その背後にある根本的な問題が数多く残されていることに気づく。例えば、気泡やマイクロライトのサイズ分布関数のさまざまな形の成因や、非平衡下で結晶化する際の結晶組成決定性の問題である。本講演では、それらの問題の一つであるマイクロライトの結晶サイズ分布(CSD)に関して現状と展望を語る。

CSDは、指数分布すなわち、横軸を結晶サイズ、縦軸を population density (決まった結晶サイズの範囲にある結晶数)として片対数でプロットすると、直線的になる場合がしばしばある。指数分布になるには、時間の指数関数として結晶核形成速度が増加する必要があるが、その増加速度を決める時間の係数は、均質核形成理論と減圧結晶化実験から予想される値よりはるかに小さくなる。また、多くのCSDは、大きいサイズでは指数分布より population density が大きくなり、小さいサイズでは小さくなり、指数分布からずれてくる。すなわち、指数分布のCSDは近似でしかなく、それと数学的に一致することの物理的理由を探ることに定量的意味はない。とはいえ、CSDが、結晶の核形成と成長の歴史を表していることに間違いはない。物理的にはCSDは、実効的冷却速度が大きくなれば傾きの絶対値と切片の値が大きくなる(細かい結晶が沢山形成することに相当する)から、傾きや切片の値は、時間スケールすなわち実効的冷却速度(減圧速度)や滞在時間の指標である。それ故、よく用いられるCSD法では、指数分布を仮定して、状況証拠的時間スケールを与えて、その傾きから結晶成長速度を推定するが、これは本末転倒と言える。講演者らは、結晶化のモデルを順問題として解き、その結果から、実効的冷却速度と結晶数密度(CSDの0次のモーメント)の関係を導き、それを用いて、結晶数密度から、実効的冷却速度を推定する方法を提案した。この方法では、核形成速度最大時の瞬間的な線形の冷却速度や減圧速度が推定できるが、CSDの最大値付近の接線の傾きと切片の情報しか利用していないことになる。しかし、CSDの形自体に、マグマの温度・圧力の時間変化に関してもっと多くの情報があるはずである。その情報を定量的に推定するために、Lagrange的なCSDの記述方法から出発し、温度圧力の非線形な時間変化を特徴づけるパラメータを未知数とした、逆問題を定式化する。講演では、その定式化と応用を示し、CSDインバージョンの方法を提案しその可能性について議論したい。

キーワード: 組織解析, 火山噴出物, 結晶サイズ分布

Keywords: textural study, volcanic products, CSD