

拡散律速する系での核生成

Nucleation process in a system controlled by diffusion

山田 耕[1], 田中 秀和[2], 中澤 清[2], 榎森 啓元[1]

kou Yamada[1], Hidekazu Tanaka[2], Kiyoshi Nakazawa[3], Hiroyuki Emori[4]

[1] 東工大・理・地惑, [2] 東工大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., titech, [2] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech., [3] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech., [4] Earth and Planetary Sci., Tokyo Tech.

<http://www.geo.titech.ac.jp/lab/nakazawa/nakazawalab.html>

本研究では、過飽和状態にある凝縮系での核生成過程について調べた。我々は、過去の核生成モデル(Toramaru 1995, J.Geophys.Res., 100, B2, 1913-1931)の下で核生成過程を記述する方程式を改良し、数値計算を行った。さらに、希薄な気体中の核生成に対する山本長谷川理論(Yamamoto & Hasegawa 1977, Prog. Theor. Phys., 58, 816-828)をこの凝縮系の核生成に適用し、生成される核の個数などに対する近似的な解析解を導出した。

揮発性物質が溶け込んでいる液体などの凝縮物物が、過飽和状態になると溶けていた揮発性物質が析出して新しい相を形成する。この時、液体のように密度の高い系ではその平均自由行程が短いため核生成のメカニズムが、気体のような希薄な系でのそれとは違ったものとなる。希薄な系では平均自由行程が十分長く、揮発性物質が音速で飛び回って析出した新しい相に吸収される。それゆえに、溶液中の揮発性物質濃度は新しい相が析出し始めると短時間で減少し、過飽和状態を緩和する。一方、凝縮系では揮発性物質の新しい相への輸送は、短い平均自由行程のため拡散が支配的になる。このため、系全体の揮発性物質濃度を即座に減らすことができなくなり、結果として過飽和状態を緩和できず大量の小さな核が生成されることになる。

火道中を上昇するマグマ内での発泡現象などはこの凝縮系での核生成の例にあたる。揮発性物質の発泡現象の解明は、噴火の機構を理解していく上でも不可欠なことである。Toramaru(1995)では、火山の発泡現象を解明するために核生成モデルを提案し数値計算を行い、その数値計算から気泡数密度に対する経験式を与えた。この時、Toramaru では、核生成などによって減少する揮発性物質濃度は、空間的に一様のまま減少すると仮定していた。しかし、拡散が効く系では揮発性物質の濃度減少は、濃度勾配を伴う拡散輸送のため空間的に非一様になると考えられる。

そこで本研究では、最初に核生成過程を記述する式を改良し、これらの式から山本長谷川理論に従い凝縮系で生成される核の個数などの近似的な解析解を導出した。この解析解は数値解と非常によく一致する。従って、この解析解を使うことによって広範囲のパラメータ領域において気泡数密度を見積もることができる。また、この結果から Toramaru で与えられている経験式と比較すると、飽和時間が長い時、例えば火道中でのマグマの上昇速度が非常に遅い場合には1桁程気泡が多く生成されることを示した。さらに我々は、濃度減少一様仮定の妥当性を見るために濃度分布が非一様である場合の核生成モデルを構築し、気泡数を求めた。その結果、非一様減少モデルは一様減少モデルに比べて数倍多く気泡が生成されることがわかった。よって、我々の結果をまとめると過飽和時間が長い系では Toramaru に比べて生成される気泡数は1桁ほど多くなると予想される。また、核生成率に対する不定性を考慮しても生成される気泡数密度はほとんど変わらないことがわかった。