

液体層と多孔質媒体層との対流結合：液体の粘性が温度に依存する場合

Convection in porous layer coupled with liquid layer: Effects of temperature dependent viscosity of fluid

山岸 保子[1], 柳澤 孝寿[2]

Yasuko Yamagishi[1], Takatoshi Yanagisawa[1]

[1] 固体フロンティア、海洋科学技術センター, [2] IFREE, JAMSTEC

[1] IFREE, JAMSTEC

マグマオーシャンやマグマ溜り、外核、そして氷衛星に存在する全球的な内部海など、天体の内部には様々な融解層が存在する。一般に天体の内部に融解層が存在する場合、この層の構造進化は周囲を取り巻く固体層や部分熔融層などの状態の異なる層との熱や物質のやり取りによって規定される。よって相の異なる物質間での熱・物質移動を支配する物理を明らかにすることは、天体内部の局所的、もしくは全体的な構造進化を理解する上で非常に重要である。また通常、固体と液体が接している場合、その境界は滑らかな面を成してはならず、境界付近の固体には空隙が存在し、この中を液体が満たすという境界層が形成されている。また固層・液層間に部分熔融層が存在する場合もこの層が境界層となり同様な状況となっている。従って異相層間での熱や物質の輸送は、液体層と液体で満たされた多孔質媒体層を結合することによってモデル化することが出来る。故に本研究では、このような液層と多孔質媒体層との結合系において、熱の輸送、とくに対流が生じ得る状態でのそのパターンがどのような物理によって支配されているのかを明らかにした。粘性率が温度に強く依存する液体を使用し、液層と多孔質媒体層のどちらが上に位置するかによって、大きな非対称性が現れるようにした。

実験は粘性率の温度依存性の大きい液体として水飴を用い、多孔質媒体を形成するものとして直径数ミリで大きさのそろった透明なビーズを用いた。ビーズの比重は水飴の比重より大きいものと小さいものの両方を比較した。粒子層は液体層の一部になるように設定した。つまり重いビーズの場合は沈んで、系全体の下部にビーズと水飴の共存層ができ、上部は水飴のみの層ができる。軽いビーズの場合は上部に浮いて共存層ができることになる。水飴とビーズとの密度差はどちらの場合も大きいので、流れによってビーズが動くことはない。系全体の上端を低温に、下端を高温に保つと、その温度差に応じた対流運動が生じる。感温液晶を用いて温度場を可視化する。この系で重要となるパラメータは液体層と粒子層との厚さの比と粘性率の変化の程度である。熱的な定常状態では液体層と粒子層との熱輸送量は同じになるので、境界での平均温度を用いて各層でのレイリー数を導入し、流れの特徴を整理することを試みた。

下部に粒子層が存在する場合、この層が上部に存在する液層より極めて厚い場合、液層まで及ばない対流、即ち粒子層内で閉じた対流が見られた。臨界レイリー数の極く近くでは、粒子層の下部のみが対流を起こすが、その部分が高温により低粘性となるためである。そしてこの層厚の減少に伴い、液層・粒子層間での連続した対流が見られ、最終的には液層の運動が支配的な対流へと変化した。一方上部に粒子層が存在する場合、液層と粒子層の実験を行ったどのような層厚比においても液層内での対流が発生しない系は無く、逆に粒子層内のみで閉じた対流が発生することは無かった。これは液層におけるレイリー数が常に先に臨界値を越えるためと解釈できる。以上により粘性率の温度依存性が大きい液体の場合、液層と多孔質媒体層とが連結した系においては、両層の上下関係と、液層と多孔質媒体層との層厚比により熱輸送効率は大きく変化することがわかった。即ち、実際の系において、固体層や部分熔融層の成長に伴いこれら層と液層間での熱輸送は刻々と変化し、成長が熱輸送を規定し、さらに熱輸送が成長を規定するというフィードバックが極めて強く生じることが明らかになった。