

宇宙塵中の空隙の起源

Origin of Cavities in Cosmic Spherules

土居 政雄 [1]; 中本 泰史 [2]

Masao Doi[1]; Taishi Nakamoto[2]

[1] 東工大・地惑; [2] 東工大

[1] titech; [2] Tokyo Tech

宇宙塵とは、惑星間塵など地球外にあるダスト粒子が地球大気に突入し、大気との摩擦により加熱を受け溶融し、表面張力により丸くなったあと冷えて固まったものである。大きさは直径1mm以下で、組成は鉄質、石質、石鉄質などで、主に、地球大気上層や南極の氷の中、あるいは深海底などで採取されている。

宇宙塵の中には、内部に球形の空洞が生じていることがあり、内部で発泡したことが考えられる。しかし、どのようにして発泡し、冷えて固まるまでに気泡が維持されるかなど、空洞が形成されるメカニズムは明らかではない。

一つの可能性として、ダスト粒子内部に生じた気泡が凝縮するより先に冷えて固まる可能性が挙げられる。ダスト粒子内部の蒸気圧と気泡内の圧力の大小関係により気泡サイズは変化する。蒸気圧が気泡内の圧力より大きい場合は、気泡は成長し、蒸気圧が気泡内の圧力より小さい場合は気泡は収縮すると考えられる。このとき、ダスト粒子内部の流体運動により空洞の収縮の仕方が変化する。ダスト粒子内部の流れが速く、気体分子が凝縮するよりも速く変形する場合なら、気体分子の収縮とともに、空洞のサイズは小さくなる。一方で、ダスト粒子内部の流れが遅く、気体が収縮する時間に比べ変形する時間が長い場合は、気体分子が凝縮しても空洞は維持される。その後流体運動により空洞は埋められる。これらの作用により空洞が完全に埋まる前に、ダスト粒子が冷えて固まった場合、宇宙塵中に空洞が形成されると考えられる。

そこで本研究では、地球大気に突入したダスト粒子の運動を追い、その内部で気泡が生じた場合、その気泡のサイズ変化とダスト粒子内部の流れを解析した。突入粒子として、フォルステライトの単成分粒子を考えた。ダスト粒子内部に気泡が生じたとし、その気泡内部の圧力およびダスト粒子内部の蒸気圧を計算した。このとき、気泡内部の圧力は、気泡の表面張力、ダスト粒子の表面張力、およびガス動圧で表わされる。また、ダスト粒子内部の蒸気圧は、蒸発面が負の曲率を持つことによる蒸気圧の減少を考慮した。

粒子内部の物理量(温度、圧力、密度)は空間的に一様だとし、突入粒子の運動方程式、エネルギー方程式を蒸発を考慮して解き、突入粒子の温度およびサイズ、粒子に働くガス動圧の時間変化を計算して、気泡サイズの変化をみた。

ダスト粒子の突入パラメータ、突入速度、突入角、初期サイズをそれぞれ、12 km/s - 20 km/s、0°-90°(0°が地球の中心方向)、0.1 mm から 2 mm の範囲で計算し、気泡のサイズを 50 μm から 250 μm まで変えて調べた。この結果、気泡が生じた場合には気泡は成長するが、宇宙塵の冷却段階では、ダスト粒子内部の変形のタイムスケールは、気体分子の凝縮のタイムスケールより遅く、真空の空洞が形成されるが、冷えて固まる前に、空洞が埋められてしまうことがわかった。本研究では、ダスト粒子の成分として、フォルステライトのみを考えたが、フォルステライトの融点や沸点が高く、ダスト粒子内の気体分子が凝縮する温度での粘性は低いいため、変形のタイムスケールが短く空隙が埋められたと考えられる。

以上のことから、フォルステライト単成分の宇宙塵では、内部に空隙が形成されないことがわかった。宇宙塵内部に空隙が存在するためには、別の原因が必要である。一つの可能性としては、揮発性物質の蒸発によって生じた気泡による可能性が考えられる。

フォルステライトより沸点や融点の低い揮発性物質が存在した場合、ダスト粒子溶融後には、揮発性物質により内部に気泡が形成される。その後ダスト粒子が冷却され冷えて固まる時でも、気泡は凝縮しないだろう。このようにして宇宙塵の空隙が形成される場合は、ダスト粒子内部の気泡の運動を解析し、気泡が冷えて固まるまでに、ダスト粒子内部に維持されるメカニズムを明らかにする必要がある。