

高速流による液滴の分裂と破片液滴のサイズ分布

Breakup of droplets due to high velocity flow and size distribution of fragments

門野 敏彦[1], 荒川 政彦[2]

Toshihiko Kadono[1], Masahiko Arakawa[2]

[1] IFREE, [2] 北大・低温研

[1] IFREE, [2] Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.

はじめに

コンドリュールは前駆物質が加熱されいったん溶融したあと、冷却されて出来たとされているが、加熱機構など具体的な過程についてはまだよくわかっていない。コンドリュールの特徴の一つはそのサイズである。サイズにはその起源や生成のメカニズムに関する情報が含まれるはずであり、これまで最大サイズや平均サイズについての議論が行われてきた。われわれはコンドリュールのサイズ「分布」に注目し、これが溶融状態での分裂などの過程により再現できるのか、について考察している。今回は太陽系星雲中の衝撃波によりコンドリュールが生成されたというモデル(たとえば Iida et al., ICARUS 153, 430, 2001)に基づいて、高速流による液体の分裂を実験的に調べた結果について報告する。

実験

液体が高速流によって変形・分裂する様子を調べるため、北海道大学低温科学研究所の衝撃波管(長さ: 高圧部 0.5 m, 低圧部 2 m, 断面サイズ: 6 cm x 6 cm (矩形))を使って実験を行った。水, グリセリン, 及びそれらの混合物を衝撃波管内に設置し, 衝撃波速度を変えて実験を行った。この時発生する気流の速度は, 10 ~ 60 m/s であった(マッハ数 1.01 ~ 1.12)。衝撃波通過後の液体の様子を高速度デジタルビデオカメラによって撮影し, 変形・分裂のモードや分裂後のサイズ分布を調べた。カメラの撮影速度は 4000 コマ/秒, 露出時間は 20 マイクロ秒, 1 画面の画素数は 640 x 256 ピクセルである。

結果

まず全溶融している状態からの分裂をみるために、液滴と高速流の作用を観測した。液滴の直径は 0.3 ~ 5 mm である。Weber 数としては 4 ~ 400, Ohnesorge 数としては 0.001 ~ 3.0 程度の条件で行われた。これらの値は、太陽系星雲中の衝撃波によるコンドリュール生成のモデルで考えられている条件を含んでいる。主な結果としては、Ohnesorge 数が ~ 1 以下では分裂のモードは Weber 数のみに依存し、およそ 10 以下では振動型, 10 ~ 20 では Bag 型, 20 ~ 100 では Strip 型, 100 以上ではカタストロフィック型を示した。また Ohnesorge 数が 1 以上では(今回の実験では ~ 3), 各分裂モードの境界を示す Weber 数は、1 以下の場合に比べてファクター 3 ~ 4 倍大きくなる、という結果が得られた。このような実験条件ではこれまでに変形・分裂のモードなどが調べられており、今回得られた結果は過去の結果(たとえば高山編「衝撃波ハンドブック」1995)と矛盾がなかった。

液滴が分裂したあとの「破片」の積算個数分布(あるサイズ以上の液滴破片の個数)は指数関数で表されることがわかった。また、破片サイズを初期サイズで規格化し、片対数でプロットした際の分布の傾き(平均サイズ)は、弱いながら分裂のモード(Weber 数)に依存する可能性が示唆された。

実際のコンドリュールのサイズ分布も積算個数分布は指数関数で表すことができる。そこで、コンドリュールが全溶融状態から分裂したと仮定し、初期サイズと分裂したときの Weber 数を実験結果から求めてみた。まず実際のコンドリュールの初期サイズを仮定すると分布から平均サイズが得られる。実験結果の平均サイズと Weber 数の関係を使うと、実際のコンドリュールに関する初期サイズと Weber 数の関係が求められる。また、コンドリュール生成のための衝撃波の条件(たとえば Susa and Nakamoto, APJ 564, L57, 2002)を仮定すると、Weber 数の定義より初期サイズと Weber 数の関係が求められる。両者の交わったところが、初期サイズと Weber 数となる。Bjurböle というコンドライトから得られたコンドリュールのサイズ分布を使うと、初期サイズ ~ 5 mm, Weber 数 ~ 20, という結果が得られた。

また、部分溶融している状態からの分裂を調べるため、固体のまわりに液体を付着させ、高速流によって液体が固体部分からはがされ分裂する様子を観測した。この場合の Weber 数を全球液体の場合の結果と比較しながら定義した。さらに Weber 数による分裂モードの変化、分裂後のサイズ分布について調べた。