

氷・シリカ微粒子混合物の圧密実験とその氷衛星の密度進化への応用

Compaction experiments of ice-silica particles mixtures: Implications for compaction of icy satellites

保井 みなみ [1]; 荒川 政彦 [1]

Minami Yasui[1]; Masahiko Arakawa[1]

[1] 名大・環境

[1] Grad. School Env. Studies, Nagoya Univ.

はじめに: 近年の探査によって、氷衛星の密度は多様であることが分かってきている。例えば Dione (1470kg/m^3) と Tethys (960kg/m^3) は同程度の半径 (約 550km) を持つにも関わらず、密度は Dione の方が 50% 近く大きい。また氷小衛星の中には密度が H_2O 氷の密度より低いものも存在し、これらが氷・岩石混合物であることを考慮するとそれらは高空隙率天体であることが予想される。この様な氷衛星に残存している空隙率を見積もるには岩石含有率が非常に重要となる。すなわち同サイズの氷衛星で密度が異なる原因は、空隙率と組成 (岩石含有率) の両者が考えられるからである。様々な氷衛星に関して密度に対するこの 2 つの寄与を調べるためには、圧密実験における残存空隙率の岩石含有率依存性を明らかにする必要がある。これまで氷衛星の密度進化と関連して、 H_2O 氷の圧密実験は行われているが、氷・岩石混合物の圧密実験は少ない。そこで本研究では、氷衛星の密度に対する空隙率と岩石含有率の寄与を決める新しい方法を開発するために、氷・岩石混合物の圧密実験を行った。

実験方法: 圧密実験の出発試料は直径 710 ミクロン以下の氷粒子と直径 1 ミクロンのシリカビーズを均等に混ぜて準備した。シリカ体積含有率は 0, 0.004, 0.15, 0.22, 0.29 の 5 種類とした。実験にはピストン・シリンダー型の圧密装置を用いた。北大・低温研に設置された変形試験機を用いて、出発試料を入れたシリンダーを 10kPa 以下まで減圧して空気を取り除きながら等速度 (2mm/min.) で圧縮した。温度は -10 と -71、最大圧縮圧力は -10 の場合は約 30MPa、-71 の場合は約 80MPa であった。この圧力の差は試料を入れたシリンダーの直径が温度によって異なるからである。-71 の実験は、まず出発試料を 1 晩ドライアイスが入ったコンテナに入れて冷やし、さらにその試料を入れたシリンダーの周りをドライアイスで被い、熱電対を用いて温度を測定しながら行った。実験後に取り出した試料は完全な円筒形試料となるため、空隙率測定は取り出した試料の質量、直径、長さから計算した。また作成後の試料を顕微鏡で観察し、各シリカ含有率における内部構造の違いを調べた。

結果: -10 での実験の結果、各シリカ含有率試料の圧縮曲線から得ることができた。そして、30MPa における空隙率がシリカ含有率の増加と共に大きくなることが分かった。また、圧縮曲線の形もシリカ含有率によって異なる。さらに温度を変化させた場合、-71 の方が残存空隙率が大きくなる。一方で、空隙率が小さくなると同じシリカ含有率ならば温度が異なっても圧密曲線の傾きが変化しないことが分かった。

氷や砂の圧密に関する先行研究より、高空隙率域と低空隙率域では圧密メカニズムが異なることが分かっている。先行研究を考慮すると、本研究で得られた圧縮曲線が圧密メカニズムの違いで 3 つの領域に分けられる。

1. 高空隙率 (0.3 以上): 氷とシリカ粒子の再配列によるもので、シリカ含有率による違いはない。
2. 低空隙率 (0.2 以下): 氷粒子の破壊・塑性変形・再結晶とシリカ粒子の再配列によるもので、シリカ含有率依存性がある。

遷移領域は 1 と 2 のメカニズムの両方が働く領域と思われる。また、1 の領域を指数関数、2 の領域をベキ乗則でフィッティングしたところ、1 の領域の指数は温度が -10 の場合は約 -0.3 から -0.4 の間でほぼ一定になり、-71 の場合は約 -0.1 と -10 に比べて大きくなった。一方 2 の領域のベキは温度依存性が見られず、シリカ体積含有率 f とベキ b が $b = -1.0 + 2.7f$ という式で表されることが分かった。

両領域で求めた指数関数とベキ乗則を用いると天体内部の空隙率分布を求めることができる。半径 550km サイズの天体で空隙率分布を求め、これから天体の平均密度を調べる。岩石の体積含有率 f が 0 から 0.29 になると -10 の場合は密度が約 800kg/m^3 から 1200kg/m^3 に増加する一方、-71 の場合は約 700kg/m^3 から 1100kg/m^3 に増加する。この含有率と平均密度の関係から、Dione、Tethys の岩石体積含有率がそれぞれ -10 の場合は 0.48、0.10、-71 の場合は 0.57、0.18 と見積もられた。