

氷 相の粒成長に関する実験的研究

Experiment on Grain Growth of Ice VI

平尾 直久 [1], 大谷 栄治 [2], 近藤 忠 [3], 鈴木 昭夫 [4]

Naohisa Hirao [1], Eiji Ohtani [2], Tadashi Kondo [3], Akio Suzuki [4]

[1] 東北大・理・地球物質, [2] 東北大、理、地球物質科学, [3] 東北大・理, [4] 東北大・理・地球物質科学

[1] Inst. Min. Petro. Econ. Geol., Tohoku Univ., [2] Institute of Mineralogy, Petrology, and Economic Geology, Tohoku University, [3] Sci., Tohoku Univ., [4] Faculty of Science, Tohoku Univ.

外惑星の巨大氷衛星での内因的な地殻変動や内部構造を理解するためには氷I相だけでなく高圧氷の物性、例えば固体の流動を知る必要がある。そこで本研究では、氷衛星内部で存在している氷 相について、ダイヤモンドアンビルセルを用い、粒成長に関する基礎データを得た。その結果、粒成長速度が圧力の上昇に伴い減少すること、また地質学的時間スケールからみて非常に速いことがわかった。このことより氷VI相へ相転移した後に結晶が細粒化すると、粒成長時では拡散クリープが卓越し、十分時間が経過し、結晶粒径が大きくなると変形機構は転位クリープが支配的となり、粘性率もその変化に伴って桁単位で変化することが予想される。

ボイジャー1, 2号の外惑星探査により、ガニメデ、カリストといった外惑星系の巨大氷衛星は氷 相、珪酸塩などの岩石だけでなく、氷の多形である高圧氷によっても構成されていることが示され、また氷衛星にはテクトニクスや内因的な地殻変動の痕跡が存在することが明らかになった。これらの活動や内部構造を理解するためには氷 相、岩石だけでなく高圧氷の物理的性質、例えば変形機構や固体の流動を知る必要がある。しかし、高圧氷の結晶構造は古くから研究され、多くのことがわかっているにもかかわらず、物理的性質の研究はあまり進んでいないのが現状である。そこで本研究では、巨大氷衛星内部で存在していると考えられている高圧氷のうち氷 相の粒成長に関する基礎データを得ることを目的とする。結晶の粒成長や粒径は流動を考える上で重要なパラメーターの1つである。それは塑性流動が結晶中の転位運動、原子の拡散、結晶粒界のすべりが原因で起こり、結晶粒子の大きさに影響を及ぼすためである。

本研究ではダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用いて、圧力0.97-1.28 GPa、室温における氷 相の粒成長を相転移直後から粒径50 μm までその場観察を行なった。H₂Oの相関係から明らかなように、室温状態にある液相(水)は圧力0.9 GPaで氷 相に相転移する。ダイヤモンドアンビルはキュレット面が直径450 μm のものをを用い、その間に挟み込むガスケット(金属板)にはSUS301ステンレスで厚さ300 μm 、その中央部にはサンプルホールとして直径300 μm の穴が開けてある。粒成長の観察はDACを偏光顕微鏡下において行なった。結晶粒子の大きさの変化はサンプルホールの面積とその中に存在する粒子の個数から粒子の大きさを計算し、その時間変化をみるという方法を用いた。粒成長の過程において粒子は一様に分布し、またその大きさはほぼ均等である。但し、計算ではすべての結晶断面が円形であると近似した。粒径の時間変化は粒成長速度則 $GS^2 - GS(0)^2 = Kt$ という2次式で表わされる。ここでGSは時間tにおける粒径、GS(0)は時間0における粒径、Kは粒成長速度定数、tは時間である。

実験結果より、粒成長速度が圧力の上昇に伴い $15 (\mu\text{m}^2/\text{s})/\text{GPa}$ の割合で減少していくことがわかった。粒成長速度は拡散係数に依存しており、それが圧力の増加に伴って減少し、粒成長の遅れを律速しているためと考えられる。また、粒成長速度が地質学的時間スケールからみて非常に速いこと、例えば焼きなまし時間が十分長く、相転移直後の結晶粒径が無視できる(上式において $t > GS(0)^2/K$) と考えて計算すると、圧力0.97 GPa、室温のとき粒径100 μm まで成長するのに1.4時間程しかかからない。地質学的時間スケールからみて非常に速く粒成長することがわかっているかんらん石でさえ、その大きさに達するのに100-1000時間かかるので、圧力、温度条件が異なるとはいえ氷 相が非常に速く粒成長することがわかる。粒成長速度は純粋な氷に不純物が混ざったり、微粒子が加わると遅れが生じることが氷 相で明らかにされており(例えば、Alley et al., 1986)、この事実を氷 相にも当てはめて考えると、実験で得られたこの値は上限を与えていることがわかる。この結果より、氷衛星内部でマンテル対流が起きており、それによって氷 相、相または 相が氷 相へ相転移した直後に結晶が細粒化するならば、粒成長時では粒径に依存する拡散クリープが卓越し、十分時間が経過し、結晶粒径が大きくなると変形機構は粒径に無関係な転位クリープが支配的となること、粘性率も変形機構の変化に従って桁単位で変化していくことが予想される。