

マクスウェル粘弾性モデルを用いた小・中氷衛星の地形緩和条件の推定

Topographic relaxation time of small-middle icy satellites estimated from Maxwell visco-elastic model

保井 みなみ^{1*}, 荒川 政彦¹

Minami Yasui^{1*}, Masahiko Arakawa¹

¹名古屋大学大学院環境学研究科

¹Nagoya University

氷衛星はその形状から、いびつな形状をもった不規則形状天体と球形天体とに分けられる。近年の探査機観測によって、不規則形状天体から球形天体へと変化する氷衛星の臨界半径は約50~100 kmであることがわかっている。また、天体形状の変化と天体表面の地形起伏の高さには関係があり、氷衛星表面で観測されるクレーターリムなどの起伏の高さが氷衛星の半径が200kmを超えると急激に小さくなることがわかっている。Farinella et al. [1983]やCroft [1992]は氷衛星の形状変化は、重力による応力と氷衛星を構成する物質の粘性率との比で決まると提案している。特にCroft [1992]は、氷衛星の形状が不規則から球形へと変化する条件は、氷衛星の内部温度分布とその進化が重要だと示唆している。比較的温度が高い中心部の氷の変形は、全球的形状といった長波長の地形緩和に寄与する。一方、温度が低い表面付近の氷の変形は表面地形の起伏のような短波長の地形緩和に寄与する。その結果、氷衛星の形状が不規則から球形へと変化する臨界半径（約50~100km）は、表面地形の起伏が急激に小さくなる臨界半径（約200km）よりも小さくなると結論づけている。よって、氷衛星の表面地形が緩和可能である半径を見積もることができれば、結果的に氷天体の形状変化可能サイズの上限值を見積もることになる。一方、地形起伏の高さを変化させる粘性緩和は温度や応力に依存するため、Croft [1992]はマクスウェル粘弾性モデルを用いて地形緩和が起こる物理条件を計算し、緩和に必要な温度を見積もった。しかし、氷衛星はその熱進化過程において内部温度分布が時間とともに変化するため、実際に地形緩和が起こる条件を推定するには地形緩和に必要な温度を氷衛星が保つことができるかどうかを吟味する必要がある。そのため、温度の持続時間と地形が平坦になるのに必要な時間（マクスウェル緩和時間）を比較することにした。本研究では、熱伝導方程式を用いた熱史計算とCroft [1992]により提案された粘弾性モデルを用いて両者の時間を見積もり、氷衛星の地形緩和に必要な条件を推定した。

熱史計算はCarslaw and Jaeger [1986]の熱伝導方程式の解析解を用いて行った。氷衛星の内部温度を形成初期から現在までその半径依存性も含めて計算した。Croft [1992]によると、観測される氷衛星表面の起伏の最大値は、天体半径Rの5分の1である。そこで、本研究では氷衛星の表面からR/5の深さにおける内部温度の時間進化とその場所における緩和時間の時間変化を計算した。その結果、最初は時間とともに温度は上昇し、ある時間になると最大値を示し、その後低下することがわかった。また、最大温度になるまでの時間は氷衛星の半径が増加するに従って長くなった。この計算結果から、最大温度を境にそれ以前のある時間 t_1 における温度 T_1 が最大温度を超えて再びその温度 T_1 まで冷却するまでに必要な時間を求めることができる。そこで、温度 T_1 以上を維持する時間の方が温度 T_1 の時のマクスウェル緩和時間よりも長くなることを地形緩和が可能条件と考えた。そして、氷衛星の半径および氷衛星を構成する物質の岩石含有率や空隙率を変化させてこの条件を見積もった。マクスウェル緩和時間は粘性率とヤング率の比で表される。

粘性率は保井ほか[日本惑星科学会2009年秋季講演会で発表]の氷・シリカ混合物の変形実験で得られた流動則を用いて計算し、ヤング率は氷・シリカ混合物の音速実験で得られた空隙率とヤング率の関係式を用いて計算した。以上の計算結果の比較から、岩石含有率や空隙率が高くなると地形緩和が可能な氷衛星の臨界半径は小さくなることがわかった。特に岩石質量含有率が30wt.%では約450km以上、50wt.%では約250km以上となり、さらに空隙率が20%大きくなると約50km小さくなることがわかった。

参考文献：Farinella et al., *The moon and the Planets*, 28, 251-258, 1983; Croft, *Icarus*, 99, 402-419, 1992; Carslaw and Jaeger, *Conduction of heat in solids*, 2nd ed., 1986

キーワード:氷衛星形状,マクスウェル緩和時間,熱伝導方程式,氷・シリカ混合物,流動則,音速実験

Keywords: shape of icy satellite, Maxwell relaxation time, heat conduction, ice-silica mixture, flow law, sound velocity