

内部に海を持つ氷天体における発熱機構

Heat Sources and Hydrothermal Systems at the Internal Ocean Floors in Small Ocean Planets

木村 淳 [1]; Vance Steve[2]; Harnmeijer Jelte[2]; Hussmann Hauke[3]; Brown J. Michael[2]

Jun Kimura[1]; Steve Vance[2]; Jelte Harnmeijer[2]; Hauke Hussmann[3]; J. Michael Brown[2]

[1] 東大・地震研; [2] ワシントン大; [3] ミュンスター大

[1] ERI, Univ. of Tokyo; [2] Department of Earth and Space Sciences

, Univ. of Washington; [3] Institut fuer Planetologie, Westf. Wilhelms-Universitaet Muenster

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/junkim/>

氷衛星や TNOs (海王星以遠天体) が内部に液体水の海を持つ可能性を内部熱構造の理論的推定から評価し、海の存在が予想される天体については海底熱水系の深さと岩石・水相互作用によって生じる発熱量などを見積もった。

1970年代のアメリカのパイオニア計画やボイジャー計画に端を発した外惑星系探査は、その後の木星系のガリレオ探査計画、土星系のカッシーニ・ホイヘンス探査計画へと受け継がれ、現在もなお多くの知見を我々にもたらしている。氷衛星に対しては、多彩な地質学的特徴が残る表面の様相や内部構造に対して示唆に富む観測結果が次々と得られ、太陽系におけるひとつの大きな研究カテゴリを成すようになった。最も興味深い点は、一部の氷衛星において内部に液体の海を持つ可能性が示唆されていることである。ボイジャー計画の時代、木星の氷衛星に対する内部熱構造の理論的推測から内部海の存在可能性が提示された。これは後のガリレオ計画において、衛星エウロパやガニメデ、カリストの近傍で木星磁場の擾乱が観測されたことで再び注目を集めた。この観測事実は、木星磁場の変動にตอบสนองした誘導電流が内部の海に流れ、二次的な磁場が生じたと解釈することで最も調和的に説明されるため、内部海の存在を強く支持するものであった。他にも、土星の衛星エンセラダスでは南極域から水蒸気や氷の粒子が、海王星の衛星トリトンではメタンや窒素が噴出していることが分かっており、やはり表面下に大規模な液体領域があると考えられている。このように、惑星探査の進展とともに、内部に液体圏を持つ天体の存在は珍しいものではないという考えが出てきている。

氷衛星の最外部が H₂O 主体の氷で覆われていることは言うまでもない。半径 1500 km 程度までの中サイズの氷衛星の場合、氷層の圧力範囲においては H₂O 氷の融点が増える傾向があるため、岩石コアからの熱供給と相まって基本的に氷層下部ほど液体相になりやすい。衛星の平均密度などから氷・岩石比が分かり、岩石中の放射性核種壊変エネルギーを熱源とする内部熱平衡構造を理論的に推定することで、内部海の存在可能性を評価することができる。本研究では氷殻下に内部海が存在できる衛星に注目し、その海底部に浸透した液体水の岩石との相互作用、いわゆる熱水システムに焦点を当てた。この相互作用は摩擦による発熱や岩石の変成をもたらす、地球海洋底と同様に衛星内部での熱的・物質的進化にも大きく寄与する可能性がある。氷衛星の場合、液体流動の大きな駆動力となるのは潮汐力である。氷衛星の一部は母惑星から大きな潮汐力を受けており、表面が変形すると共に海底部にかかる荷重が変化する。本研究では母惑星との潮汐相互作用に伴う衛星のラプ数を計算して氷殻の変位量を見積もるとともに、荷重変化に伴う液体水の海底層での流動と摩擦による発熱(熱水摩擦熱)を見積もった。

海の存在が理論的に予想される幾つかの氷衛星に対してこれらの評価を行った結果、木星の衛星エウロパの潮汐変位量は約 25 m、土星の衛星エンセラダスでは約 1 m、土星衛星レア、天王星衛星チタニア、そして海王星衛星のトリトンでは数十 cm 以下であった。潮汐力に伴う熱水摩擦熱の大きさは衛星内で仮定する岩石の物性や浸透率等に依存するが、地球と同等のパラメータ値を与えた場合、木星の衛星エウロパでのみ、岩石中の放射性発熱と同等の熱的寄与があることが分かった。加えて近年、外惑星系よりも遠方のカイパーベルト領域において、氷衛星の匹敵するサイズの TNOs が数多く見つかっている。これらもやはり多くの氷に覆われており、氷衛星と同じく内部に液体層を持つ可能性は否定できないため、これらの天体に関しても同様の評価を行った。