

氷衛星の内部構造と地質学, および TNOs への示唆

Internal structure and surface geology of the icy satellites, and implications for Trans-Neptunian Objects

木村 淳 [1]

Jun Kimura[1]

[1] 東大・地震研

[1] ERI, Univ. of Tokyo

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

太陽系天体を構成する重要な物質のひとつに、氷が挙げられる。特に外部太陽系領域にある天体のほとんどは氷を主な構成成分のひとつとしており、惑星に匹敵する大きさの天体から彗星・リング粒子に至る多様なサイズと形態を持つ。中でも木星などの巨大ガス惑星に従う衛星のほぼ全ては、高い氷存在度を有した氷衛星としてグループ化され、太陽系におけるひとつの大きな研究カテゴリを成している。氷衛星は名前が付くものだけでも 100 個を超え、それぞれが個性的な外見的特徴や大きさを持つ。また活発な表層現象やその過去の痕跡を示すものも多いなど実に幅広い多様性を示すことから、氷衛星は太陽系天体全体の多様性を代表するグループだと言える。本講演では、氷衛星の内部構造や表層活動との関係を中心にしたレビューを行うとともに、近年注目が集まっている Dwarf Planets やその候補天体とされる大型の海王星以遠天体 (TNOs) への示唆についても議論する。

氷衛星は、1970 年代のアメリカのボイジャー探査機が行った観測によってその知見に大きなブレイクスルーがもたらされ、酷寒な環境にもかかわらず大規模な地質活動の痕跡を持つ衛星が多数見つかったことなどから大きな注目を集めた。20 世紀末からは木星系のガリレオ計画や土星系のカッシーニ・ホイヘンス計画といった、個々の巨大惑星-衛星系を精査する計画が次々に実行され、我々が持つ外部太陽系の情報は近年飛躍的に増加している。これらの氷衛星で注目すべきは、表層の活動と内部構造との関連性や、その活動度が衛星のサイズに一意に依存していない点である。木星の衛星エウロパの内部にその存在が強く示唆されている液体水の海や、土星の衛星タイタンのメタンの湖、衛星エンセラダス南極域からの水蒸気噴出、海王星の衛星トリトンでの窒素・メタン噴出、そして他多くの氷衛星に見られる断層地形など、活動的特徴の例は枚挙に暇がない。このような現象を引き起こしているのは文字通り氷衛星を特徴づけている氷の存在であり、その物質的特性が変動の駆動力になっている可能性がある。すなわち衛星内部に多量に存在する氷の高い流動性や揮発性こそが、天体の進化や表層活動などをコントロールしていると考えられる。

氷衛星の内部構造を推測するためのデータはまだ数少ないが、大部分の衛星のバルク密度が約 1000 から 2000 kg/m³ である点だけ見ても、どのサイズの衛星も非常に高い体積比で H₂O 主体の氷を保持していることが分かる。さらに衛星のサイズや氷・岩石比の違いによって内部には様々な相の氷が出現し、熱史や表層活動を大きく変え得る。また氷は H₂O の固体相だけではない。太陽からの距離が増すにしたがって、天体の表面では H₂O 以外にもメタン、アンモニア、窒素、一酸化炭素、二酸化炭素など様々な氷の存在が確認されている。氷衛星に見られる多様な表層活動や内部進化には、これら異種の氷間における物性の違いも大きく寄与していると考えられる。

また、氷衛星と同等以上に多量の氷を保持している天体が TNOs である。外惑星系よりさらに遠方のカイパーベルト領域には Dwarf Planets の候補となり得る大型の TNOs が数多く発見されており、冥王星を含め 20 個近くの TNOs が直径 500 km 以上に達することが分かっている。それらの表面には H₂O やアンモニア、メタンの氷の存在が確認されている [e.g., Barucci et al. 2005; Brown et al. 2005; Licandro et al. 2006]。また一部の大型 TNO では、衛星エンセラダスやトリトンなどで見られる低温火山現象 (cryovolcanism) の存在が示唆されている [Cook et al. 2007, Jewitt and Luu 2004] など、TNOs はその組成やサイズのみならず、表層活動においても氷衛星との共通点の多さを窺わせる。特に海王星の衛星トリトンは、母惑星の回転方向と逆向きに公転する運動特性や、表面スペクトルに冥王星との類似点が多く見られることなどから、かつては単独の TNO として存在していたものが、ある時に海王星に捕獲されたと考えられており [Agnor and Hamilton, 2006]、氷衛星と TNOs を繋ぐ存在として注目されている。氷衛星に比べると TNOs に対する情報はさらに少ないと言わざるを得ないが、氷を有する天体という大きな共通点を通して、氷衛星に対する知見は Dwarf Planets (TNOs) への強い示唆を与えるはずである。