

なぜガニメデには磁場があり、エウロパにはないのか？

Difference in the generation of magnetic field between Ganymede and Europa

木村 淳 [1]; 栗田 敬 [2]

Jun Kimura[1]; Kei Kurita[2]

[1] JAXA/ISAS; [2] 東大・地震研

[1] JAXA/ISAS; [2] ERI, Univ. of Tokyo

木星の衛星 Ganymede は太陽系で最も大きく、また唯一衛星として固有磁場を持っている。1995年から約8年間観測を行ったガリレオ探査機によって発見された Ganymede の磁場は、赤道表面で約 750 nT の強度を持ち自転軸から約 10 度傾いた双極子磁場であり、金属コアでのダイナモ運動がその起源と考えられている。重力場解析から導かれた慣性率によれば、Ganymede は外側を厚さ約 1,100 km の H₂O 層に覆われ、その下に約 500~1,000 km の厚さの岩石マントルが、そして中心には半径 600~1,150 km の金属コアが存在すると考えられている。岩石マントルと金属コアのサイズは、コアが Fe-FeS 系でどのような共融組成（密度）を持つかに強く依存して推定値が変化する。

一方、Ganymede のひとつ内側を回る衛星 Europa は、Ganymede よりも半径が約 700 km も小さいにもかかわらず、それぞれの衛星から H₂O 層を取り除いた部分（岩石マントル+金属コア）の大きさにはほとんど違いがない。衛星が持つ岩石量はそこに含まれる放射性核種の量、すなわちコアの熱史を支配する熱源の大きさに相当するため、ここに大きな差異がない天体は同じような熱史や磁場（コアダイナモ）の発生履歴をたどるはずである。しかし観測の結果、Ganymede には大規模な固有磁場が存在している一方で、Europa ではそのような磁場の存在は確認されていない。

このような2衛星間の磁気的環境の違いは、両衛星を構成する物質の熱物性やレオロジーが同じだと仮定すれば、直感的には衛星の外側を覆う H₂O 層の厚さの違い（Europa は約 150 km、Ganymede は約 1,100 km）が原因だと考えることができる。すなわち内部の岩石マントルと金属コアを外側の H₂O の層が毛布のように覆う役割を担っており、H₂O 層がより薄い Europa の方がコアの冷却（固化）が速く進み現在までに完全に固結してしまったためと言えそうである。しかし H₂O 層は、たとえそれが全て固体氷だとしても下層の岩石マントルに比べて粘性が小さく熱輸送効率は大きいため、コア熱史に主たる影響を与えるのはむしろ下層の岩石マントルだとも考えられる。

本研究では、両衛星間の磁場発生環境・コア熱史の違いを説明するために熱史シミュレーションを行った。まず構成物質の物性や初期条件、およびコア・マントル体積比が同一と仮定し、H₂O 層がもたらす熱史への影響を調べた。両衛星ともに、岩石マントルは熱史の途中で臨界レイリー数を越えて固相対流運動を起こすが、Europa は Ganymede に比べて H₂O 層が薄く重力が小さいために岩石マントルの圧力が 50%ほど低く、粘性率が 1~2 桁小さいために熱輸送が Ganymede よりも効率的に進む。その結果、Europa のコアは現在までに完全に固化してしまう一方、現在の Ganymede は固化途上にありコアダイナモを駆動できる条件にあることが分かった。また両衛星のコア・マントル体積比の推定値にも多少の違いがあるため、こうした内部の層構造の違いや、初期温度条件の違いの影響なども議論する。