

## ガリレオ衛星とタイタンの起源と進化

### Origin and evolution of the Galilean satellites and Titan

# 倉本 圭[1]

# Kiyoshi Kuramoto[1]

[1] 北大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ.

<http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~shwlab>

ガリレオ衛星とタイタンの起源と進化について、横断的なトピックスに焦点を当てレビューする。惑星に匹敵するサイズをもつこれらの巨大衛星は、その組成や表面の性質に関してそれぞれ非常に個性的である。このような多様性の原因の解明は、巨大衛星を研究する総合的題材の一つである。巨大衛星に観察される諸現象 - きわめて活発な火山活動、海洋と地殻の熱的物質的相互作用、有機物に富む大気的光化学過程等 - の理解は、地球の初期進化を駆動したであろう諸現象に類似しており、その研究は、古い地質が残された天体、たとえば月や火星を探ることと相補的に過去の地球を探る糸口となりうる。

ガリレオ衛星とタイタンの起源と進化について、その横断的なトピックスに焦点を当てレビューする。惑星に匹敵するサイズをもつこれらの巨大衛星の質量は  $4.9 \times 10^{22}$  kg (エウロパ) から  $14.8 \times 10^{22}$  kg (ガニメデ) と、比較的狭い幅に収まっている。しかし、その組成や表面の性質は、それぞれ非常に個性的である。このような多様性の原因の解明は、巨大衛星を総合的に研究する題材の一つである。巨大衛星の重要な特徴は、これらが現在も活動的であるという点である。特に、これらの天体に生起している諸現象 - きわめて活発な火山活動 (イオ)、海洋と地殻の熱的物質的相互作用 (エウロパ)、有機物に富む大気的光化学過程 (タイタン) 等 - が、地球の初期進化を駆動したであろう諸現象に類似していることは重要である。つまり巨大衛星の研究は、古い地質が残された天体、たとえば月や火星を探ることと相補的に、過去の地球を探る糸口となりうる。

ガリレオ計画はガリレオ衛星の理解を飛躍的に高めた。ガリレオ探査機がもたらしたさまざまな知見のなかで、もっとも重要なものは重力場と磁場の観測によって衛星の内部構造が明らかになってきたことといえる。赤外から紫外にわたる撮像観測は、衛星表面の「風景」の多様性を非常に直截な形で示したが、地球表層の理解がそうであるように、地下の状態に関する独立な情報は、衛星表層の理解に大きく役立っている。ポイジャーの電磁場データは、フライバイという手法の制限もあり、主に衛星と木星磁気圏の相互作用という観点で解析されてきた。しかしガリレオ計画では、衛星の内部構造の解明を一つの主要目標に電磁場データの解析が行われ、エウロパの内部海が存在を強力に示唆するなど非常に重要な成果をもたらしている。

明らかにされたガリレオ衛星の内部構造は、いささか奇妙である。イオ、エウロパ、ガニメデは金属核を持つ証拠が得られている。地球型惑星の金属核形成の理論では、金属核の分化には、岩石 - 金属混合物の非常に高い融解度が必要とされる。さもないと珪酸塩結晶粒界に金属滴がトラップされてしまい、分化しない。しかしガリレオ衛星のサイズでは、集積熱による岩石 - 金属の高度融解は難しい。潮汐加熱など他の加熱過程も、非常に高い融解度を実現しうるか疑問である。この問題を解決する一つの可能性は、これらの天体の中心には金属の核があるのではなく、FeS-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 系の核があることである。FeS-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 系は融点が低く表面張力も小さいことから、その融液が珪酸塩結晶粒界を浸透することにより分化が可能と考えられる。FeS-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> の存在は、これらの衛星の材料物質が水に富み、CI コンドライトに似た酸化的組成を持つと考えれば自然である。また FeS-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> は電気伝導性も高く、ガリレオの電磁場計測の結果とも矛盾しない。

他の 3 衛星とは異なり、カリストの重力場はその内部では岩石と氷の分離も不完全なことを示唆する。にもかかわらず、エウロパ同様に深部に海が存在することを示唆する磁場観測データも得られており、重力場からの示唆とつじつまが合わない。理論的には、カリストは集積中に氷の大部分が融解し、岩石と氷は分離してしまう方がもっともらしい。カリストの場合、自転速度が小さく非静水圧性が高いことが重力場に影響しているのかも知れない。

土星最大の衛星タイタンは、地球よりも厚い窒素大気を持つ。大気にはメタンが含まれており、前生物的化学進化が起こっていた地球の初期大気に擬せられる。タイタン表面はオレンジ色の霞 - おそらくメタンに由来する光化学起源の有機化合物 - に覆い隠されている。タイタンには 2004 年にカッシーニが到着し、大気プローブ (ホイヘンス) を投下したり、レーダーによる地形観測などをおこなう。これまでの知見を総合し、タイタンの大気、表層地質、内部構造を予測しておくことは、今後数年間の衛星研究の重要なテーマである。

地球の月の形成については巨大衝突説という有力な仮説が提唱されている。しかし木星型惑星の衛星系の起源については、まだ満足な理論はない。最近、木星型惑星のガス捕獲過程が少しずつ明らかになってきた。その結

果によれば原始木星，原始土星は非常に大きな自転角運動量を持って誕生すると考えられる．自転角運動量を失う過程はまだ不明だが，衛星系の母胎となったと考えられる周木星（土星）円盤の形成に密接に関係するものと考えられる．その解明は，惑星形成理論の重要な課題の一つと言えよう．