

論文審査の結果の要旨

氏名 平田 直之

土星は 60 個以上もの小さな氷衛星を持つことが知られているが、その惑星科学的な重要性は未解明であった。本論文は、高解像度画像データが取得されている全ての小型衛星に対して、初めての綿密な地質調査を実施することで、こうした小型衛星が環との相互作用を通じて進化していたことを明らかにした。E 環と呼ばれる巨大な環は、土星系で最も注目度の高いエンセラダスを起源とするため注目されているが、本研究は活動的であるがゆえに過去の痕跡が残らないエンセラダス本体では無く、この E 環と相互作用を受けた小型衛星を調べることで、逆にエンセラダスの火山活動を制約できることを示し、その活動期間がたったの数千万年～数億年と短期間であったことを明らかにした。

本論文は全体のイントロダクションに加えて、Part 1～3 と結論の計 5 章で構成される。

第 1 章（イントロダクション）では、土星系の衛星について概要が示されている。直径 5000km を超えるタイタンから 500m しかないアイガイオンまで多種多様な衛星が存在することなどから、さながら小さな太陽系である点が強調されている。その中で土星系の小型衛星を、太陽系における彗星・小惑星などと同様に、土星系の起源や進化の全容解明に対し寄与しうることが期待できる存在と位置づけた。これまでの研究で小型衛星（半径 100km 以下）は異様な表層を持ち、中型衛星とも小惑星とも異なる表層進化が生じていることが示唆されていたが、その原因は解明されていなかったことなども述べられている。

第 2 章（Part1）では、E 環領域の小型衛星、特にヘレネ・メトネ・パレネ・テレスト・カリプソについて議論している。これら小型衛星表層は（環境のよく似ると考えられる小惑星と比較しても）奇妙な姿を持っており、その一例としてヘレネの筋状構造が挙げられる。本研究はヘレネの表面重力解析やクレーター分布調査を行い、この筋状構造が E 環粒子の堆積とマスマーブメントで形成されたことを示している。また、他の小型衛星の奇妙な性質も E 環粒子の堆積によって整合的に説明できることを報告している。たとえばテレストやカリプソは滑らかな角の取れた形状をしているが、これらは（軌道上の E 環粒子濃度がヘレネ軌道よりも高いことが知られているため）より多くの E 環堆積物によって起伏が埋め立てられたとした。パレネやメトネは（数

km 程度の小天体であるにも関わらず) ほぼ球に近い形状を持っているが, これらは軌道上の E 環粒子が大量に堆積したことに起因すると考えれば, 整合的であるとの仮説を提案している.

さらに本章ではエンセラダスの活動期間に関しても考察しており, 本論文の主要な結論となっている. エンセラダスは, 活発な火山活動と内部海を持つことから, 生命存在の可能性が指摘されている. この火山活動がどれほどの期間継続しているのか不明であった. 本論文は火山放出物と衛星間の相互作用に着目し, エンセラダス由来の堆積物が小型衛星上に存在していることを発見している. その堆積物のクレター年代から E 環の活動期間が, わずか数億年~数百万年程度であることを報告している. この結果はエンセラダスの火山活動の寿命に関する初の地質学的証拠であり, 極めて重要な発見である.

第 3 章 (Part2) では小型衛星アトラスの調査結果が述べられている. アトラスは主要環近傍にある衛星で, 環粒子の集積で形成した天体である. この衛星は異様に滑らかな表面を有するが, その原因は解明されていなかった. 本研究では, 静電氣的な力で説明できるとする説を提唱している. 理論計算から, アトラスが強く帯電しうること, ミクロンサイズの微粒子で表面が覆われていることなどを示し, 静電気力による粒子移動で表層更新する可能性を示している.

第 4 章 (Part3) では, 小型衛星ヤヌスとエピメテウ上に存在する堆積物の起源について考察している. カラー比・スペクトルの全球分布を調査し, その堆積物はヤヌス・エピメテウス環の粒子の堆積によって生じた可能性を報告している. 環の粒子自体も衛星起源であると考えられていることから, 衛星と環との間で物質の交換が起きている可能性を報告している.

第 5 章 (結論) では, 本論文全体の結論として, 環が小型衛星の表層進化に著しい影響を及ぼしていることを明らかにしている. 環は比較的速やかに拡散し消滅してしまうが, 小型衛星の表面に定着した環の痕跡は遥かに長期間安定して存在している. 換言すれば小型衛星は過去に存在した環を記録している可能性がある. そこから土星系の進化を解明する上で必要な情報を得ることができる.

なお本論文は宮本英昭氏, Adam P. Showman 氏との共同研究であるが, 論文提出者が主体となって解析・考察を行っており, 論文提出者の寄与が十分であると判断する.

以上のことから, 本論文に博士の学位を授与できるものと判断する.