

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Thermal History of Small Bodies in the Early Solar System
著者(和文)	荒川創太
Author(English)	Sota Arakawa
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11380号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中本 泰史,井田 茂,奥住 聡,太田 健二,玄田 英典
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11380号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	荒川 創太	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	中本 泰史	教授	玄田 英典	准教授
	審査員	井田 茂	教授		
		奥住 聡	准教授		
太田 健二		准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Thermal History of Small Bodies in the Early Solar System」と題し、太陽系形成期における小天体の熱史に関する理論的研究から微惑星を中心とする太陽系天体の形成を議論するものであり、9章から構成されている。

第1章「Introduction」では、原始太陽系星雲における固体微粒子から微惑星への過程に関するこれまでの研究を概説し、固体微粒子の成長過程において数値計算と室内実験の結果の間に不一致があることを述べている。また、隕石や彗星、太陽系外縁天体などの小天体について、その特徴と熱史を概観している。最後に、太陽系小天体に対する観測的事実から微惑星形成過程を読み解くことを本論文の目的とすることを述べている。

第2章「Compound chondrule formation via collision of supercooled droplets」では、隕石中の球状組織であるコンドリュールの形成に関する新しい仮説を提唱している。コンドリュールのうち数%程度のはコンドリュール同士が付着した状態で存在する、複合コンドリュールである。また、完全熔融を経験したと考えられる粒子が選択的に複合コンドリュールになっていることが知られている。本章では、コンドリュールが過冷却状態を経て粒子間衝突により結晶化し複合コンドリュールが形成されたとすると、観測的特徴が説明可能であることを示している。

第3章「Compound chondrule formation in optically thin shock waves」では、コンドリュール形成環境として原始太陽系星雲中で生じる光学的に薄い衝撃波が適当であることを数値計算及び解析的な議論により示している。過冷却状態のコンドリュールの衝突によって複合コンドリュールが形成されたと考え、衝撃波中でのコンドリュールの運動と熱史を計算した。複合コンドリュールの形成頻度や衝突速度などを求め、得られた結果が観察事実と整合的であることを確認している。

第4章「Thermal conductivity of porous aggregates」では、固体微粒子の集合体（アグリゲイト）内部の熱伝導率を数値シミュレーションによって調べている。粒子間接触面での伝熱過程を考慮し、アグリゲイトを構成する粒子の平衡温度を求めることで熱伝導率が計算できることを示し、熱伝導率のアグリゲイト内充填率依存性を求めた。

第5章「Thermal conductivity and coordination number of compressed dust aggregates」では、第4章で提示した手法を用いて様々な充填率のアグリゲイトの熱伝導率を求め、熱伝導率の充填率依存性を示している。また、アグリゲイト内の粒子間接触点数の充填率依存性も調べ、接触点数が熱伝導率に与える影響も検討した。さらに、数値シミュレーションで得られた経験式を複数の実験結果と比較し、経験式の妥当性を確認している。

第6章「Geometrical structure and thermal conductivity of dust aggregates formed via ballistic cluster-cluster aggregation」では、第5章で得られた熱伝導率の充填率依存性をアグリゲイト内部の幾何学的構造から理論的に導出している。第6章では、アグリゲイトのフラクタル次元および構成粒子鎖がどの程度迂回しているかを定量的に調べ、熱伝導率の充填率依存性に関する理論式を導出した。また、アグリゲイトの引張強度や圧縮強度についても熱伝導率と同様に幾何学的構造から理論式を導出した。

第7章「Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko is a hierarchical aggregate」では、本論文で求めたアグリゲイトの熱伝導率や強度に関する理論を用い、彗星を構成するアグリゲイトの構造を議論している。欧州宇宙機関のロゼッタミッションによって、チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星の熱慣性や引張強度が調べられている。本論文では、先行研究で提示された「階層粉体」モデルに基づき彗星の熱慣性と引張強度から階層粉体を構成するアグリゲイトのサイズ等を制約している。引張強度については従来モデルの問題点を指摘し、新しいモデルを提案した。熱慣性についてはアグリゲイトのサイズと熱浸透深さの大小関係が熱慣性に与える影響を指摘し、彗星の熱慣性の観測結果からアグリゲイトのサイズが熱浸透深さ（1 cm 程度）より大きいことを示した。

第8章「Early formation of moons around large trans-Neptunian objects via giant impacts」では、大型の太陽系外縁天体の衛星系の形成と進化を調べ、太陽系外縁部での微惑星の集積史および熱史を議論している。巨大衝突と潮汐軌道進化の計算から、現在観測されているほぼ円軌道の衛星系は熔融状態の1000 km 程の天体同士の巨大衝突により形成された可能性があることを示した。

第9章「Summary and outlook」では、本研究で得た結果や今後の課題をまとめている。

以上の通り本論文は、太陽系小天体（コンドリュール、彗星、外縁天体）の熱史を定量的に評価する理論モデルを構築し、太陽系天体の形成に関する新しい知見を提示した。特に、物性の観点から形成過程に対する新しい仮説を提唱しており、今後の太陽系小天体研究における重要な視点を与えている。これらはいずれも、惑星科学、特に太陽系起源論の進展に寄与する重要な研究成果である。よって、博士（理学）の学位を与えるにふさわしいものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。