

氏 名 玉置 美奈子

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 995 号

学位授与の日付 平成 18 年 9 月 29 日

学位授与の要件 複合科学研究科 極域科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 メソシデライト母天体の形成・分化過程に関する物質科学的
的研究

論文審査委員	主 査	助教授	三澤 啓司
		教授	小島 秀康
		教授	白石 和行
		教授	海老原 充（首都大学東京）
		教授	木村 眞（茨城大学）

博士論文の要旨

メソシデライト母天体の起源を明らかにするために、玄武岩質クラストの岩石、鉱物学的研究、全岩化学組成、特に微量元素存在度の決定、鉱物ごとの微量元素存在度の決定を行い、メソシデライト母天体の形成過程の推定、特に金属相とケイ酸塩相の混合イベントに制約を与えた。

メソシデライト玄武岩質クラストは、その岩石組織から、表層あるいは表層付近で急冷(0.1–100°C/hr)されたと考えられる。メソシデライト玄武岩質クラストが、長期間、高温(800–1000°C)で熱変成作用を経験している。メソシデライト玄武岩質クラストの鉱物ごとの微量元素存在度から、変成温度がソリダス温度(1050°C)を超えたため、クラスト内部で部分熔融を起こし、その結果鉱物内部あるいは鉱物相互で希土類元素の再分配が起こり、特徴的な組織や希土類元素存在度パターンをつくったと考えられる。メソシデライト玄武岩質クラストはニッケルで270ppmから3200ppmまで10倍以上の組成範囲をもつ。また、これらの親鉄元素存在度はすべてが強親鉄性元素に乏しい、分化したパターンを持つ。強親鉄性元素の欠乏の程度は、ニッケル含有量が少ないほど強くなる。これは、ケイ酸塩相が金属相と混合をした際に、金属相が液として混ざったのではなく、混合時に部分熔融液を生じ、それがケイ酸塩クラスト内に混入することによって形成したと考えられる。

本論で提唱するメソシデライト母天体の形成モデルは以下のようになる。

太陽系初期に固体物質の集積により、母天体が成長する。その後内部熱源による母天体の大規模分化を経験し、母天体表層における地殻を形成する。天体サイズが充分大きく成長し、また、内部熱源の存在により、母天体は大規模熔融により核マンツルの分離を起こす。母天体表層では活発な火山活動が起こり、玄武岩質地殻の形成が起こる。玄武岩質地殻形成の年代は、メソシデライト玄武岩質クラスト中に含まれるジルコンから求められている年代と同時期、おそらく約45.6億年前であると考えられる。

地殻の形成後、母天体上における大規模な熱変成過程を経験する。母天体上において繰り返し起こる火山活動により、地下に埋められた玄武岩は母天体上で熱変成を受けたと考えられる。

その後、母天体表層へ金属相(固体)の衝突が起こった。母天体表層へ、固体の金属相が衝突し、ケイ酸塩相と金属相のレゴリスを形成したと考えられる。金属相(および一部のケイ酸塩相)は衝突による熱により、部分熔融を起こす。このとき生じる液は硫黄に富み、強親鉄性元素に乏しい分化した液となる。部分熔融の程度によりこの分化の程度は異なる。生じた金属の液の一部はケイ酸塩クラスト中に注入される。それによりケイ酸塩クラストの親鉄元素存在度は高くなった。

金属相との混合以降も、母天体表層では衝突による角礫化が進行する。それにより Vaca Muerta 4677 のような角礫岩組織が形成する。また、度重なる衝突により母天体深部に埋められることにより、メソシデライトのもつ低温でのゆっくりとした冷却速度を獲得したと考えられる。

論文の審査結果の要旨

惑星の初期分化過程の記録は、大規模な溶融を経験した分化した隕石に残されている。金属鉄と珪酸塩からなる石鉄隕石メソシデライトについて、これまでに岩石鉱物学、同位体年代学研究がおこなわれ、分化した天体の表層に金属からなる小天体が衝突して両者が混合して形成されたものと考えられていた。しかし、ほとんどのメソシデライトは、複雑な熱変成、衝撃変成を経ており、その形成過程の詳細について、とくに天体同士の衝突前後の熱履歴については不明な点が多かった。

出願者（玉置氏）は、熱変成の影響の最も少ないメソシデライト中の玄武岩質岩片に着目し、岩石組織、構成鉱物の化学組成、親石微量元素および白金族元素を含めた親鉄元素存在度をもとに、メソシデライト玄武岩質岩片が経た熱履歴の解明を試み、特に金属と珪酸塩の混合時の白金族元素分別にもとづいて、メソシデライト母天体の形成過程を論じた。

まず、Mount Padbury および Vaca Muerta メソシデライト中の玄武岩質岩片を選び出し、岩石組織から玄武岩質岩片が形成されたときの冷却速度を毎時 0.1-100°C と見積もった。さらに、個々の岩片に輝石温度計を適用し、また輝石および斜長石の主成分元素組成から熱変成の到達温度を推定した。その結果、分析した Mount Padbury および Vaca Muerta 中の玄武岩質岩片は、母天体表層においてマグマが急冷され、その後およそ 900°C の高温で長期間熱変成を受けたことがあきらかになった。メソシデライト玄武岩質岩片の輝石と斜長石に認められた熱変成作用は、玄武岩質ユークライトにおいてみられる熱変成作用と同等のものであったと結論した。

続いて Mount Padbury 玄武岩質岩片について、親鉄元素存在度をもとにメソシデライト岩片の成因について検討した。希土類元素存在度がコンドライト隕石のおよそ 10 倍でユーロピウムに顕著な異常性が認められないこと、不適合元素存在度の傾向が玄武岩質ユークライトにみられるものと類似していることから、Mount Padbury 玄武岩質岩片は、玄武岩質ユークライトと同様に、マグマの分別結晶作用により形成されたと結論した。

メソシデライト玄武岩質岩片中の親鉄元素については、定量できる元素がニッケル、コバルト、イリジウムに限られていたことから、親鉄元素間の分別を議論することはこれまで困難であった。今回、誘導結合プラズマ質量分析計をもちいて、Mount Padbury および Vaca Muerta メソシデライト中の玄武岩質岩片の白金族元素を含んだ親鉄元素存在度を同位体希釈分析によりはじめて精密に定量した。分析したすべての玄武岩質岩片において、強親鉄元素であるオスミウム、イリジウムが著しく欠乏し、ニッケル、パラジウム、コバルトに富む特徴的な存在度パターンを示すことがあきらかになった。もしこれまでにいわれていたように、金属相の大部分が衝突時に溶融してその液が玄武岩質岩片に混入したとすると、親鉄元素間の大きな分別は期待できない。硫黄を含んだ鉄-硫化鉄の固相-液相間の親鉄元素分配にもとづき、金属相の部分溶融により硫化鉄メルトが生成し、その液が玄武岩質岩片に注入されたならば、これらの親鉄元素分別が説明できることを示した。

二次イオン質量分析計をもちいて、輝石、斜長石、リン酸塩鉱物について希土類元素分析をおこなったところ、リン酸塩鉱物の希土類元素存在度が同様な分別結晶作用により形成したと考えられる玄武岩質ユークライト中のリン酸塩鉱物と比較しておよそ 1/5 と低くなっていること、これと相補的に、メソシデライト玄武岩質岩片中の輝石および斜長石は、

玄武岩質ユークライト中の輝石および斜長石と比較して希土類元素存在度が高くなっていることがあきらかになった。このことから、金属相と玄武岩質地殻物質が混合したときには、衝撃による加熱により玄武岩質岩片が部分的に熔融し鉱物間での希土類元素の再分配がおこったと結論した。

これらのメソシデライト玄武岩質岩片の輝石温度計、親石微量元素存在度、白金族元素をふくめた親鉄元素存在度をもとに、玉置氏はメソシデライト母天体について以下のような初期進化モデルを提唱した。

太陽系初期にコンドライト的な固体惑星物質の集積により、母天体が成長し、核、マントルに分化した母天体表層において玄武岩質マグマの火山活動がおこる。玄武岩質溶岩の噴出により、地殻が形成される。この後、玄武岩質地殻は、長期間の高温での変成作用を受ける。母天体表層に固体金属相が衝突し、玄武岩質岩片と金属相の混合した礫岩が形成する。衝突時の加熱により、金属相は部分熔融し親鉄元素分熱をおこした硫化鉄液が玄武岩質岩片に注入される。ケイ酸塩相も部分熔融し、希土類元素の再分配がおきる。その後、母天体表層ではさらなる衝突により角礫岩化が進み、一部は母天体深部に埋没し低温でゆっくりと冷却する。

本論文は、岩石鉱物学記載をおこなった試料について、全岩親石、親鉄元素存在度および構成鉱物の希土類元素存在度を求め、メソシデライト母天体の初期進化過程に新たな知見を与えたことは評価に値する。リン酸塩鉱物と輝石および斜長石間での元素の再分配については、マスバランスを考慮した議論が充分になされていない。そこで、より厳密な岩石鉱物学的な記載と構成鉱物の希土類元素存在度から、衝撃による加熱、部分熔融とそれに伴う不適合元素の再分配について定量的に議論することによって、メソシデライト母天体形成についてさらに議論が深まると思われる。また、より強い衝撃を受け、珪酸塩相が再熔融したと思われるメソシデライトについても同様な研究手法を適用することによって、メソシデライト母天体形成の全体像に迫ることができると期待される。

メソシデライト岩片について偏光顕微鏡、走査型電子顕微鏡、X線マイクロアナライザーをもちいて詳細な岩石、鉱物学記載をおこなってきたことから、出願者は惑星物質の岩石、鉱物学に関して十分な知識を有し、その記載のために必要な能力を十分に備えていると判断された。メソシデライト岩片について主要、微量元素存在度を、即発ガンマ線分析、機器中性子放射化分析、誘導結合プラズマ質量分析によって決定したこと、二次イオン質量分析計による希土類元素定量分析をおこなったことから、機器分析に関する知識と経験を十分に有していると判断された。惑星物質科学に関連する熱力学、物理学、宇宙化学について広範な知識を有しており、理解力も優れていた。

これまでに隕石学会 (68th Annual Meteoritical Society Meeting, Student Travel Grant) および南極隕石シンポジウムにおいて口頭発表をおこなってきていること、論文を学術誌(Meteoritics & Planetary Science)に投稿し受理されたことから、出願者には外国語による論文発表能力、論文執筆能力は十分に備わっていた。

論文審査、論文公開発表、口頭試問結果にもとづいて、博士論文審査委員会は、出願者から提出された論文が学位論文に値すると全会一致で判断し、合格とした。学位論文の研究分野から、付与する学位は、博士(理学)が適当である。