

氏 名 安武 正展

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1999 号

学位授与の日付 平成 30 年 3 月 23 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 微惑星から原始惑星への進化における溶融および変形過程

論文審査委員 主 査 准教授 山口 亮
教授 本吉 洋一
助教 今榮 直也
准教授 三河内 岳 東京大学 大学院
理学系研究科
主任技術研究員 伊藤 元雄 海洋研究開発
機構 高知コア研究所

論文の要旨

Summary (Abstract) of doctoral thesis contents

アカプルコアイト・ロドラナイト族は、始原的特徴と分化した特徴を併せ持つ特異な隕石種である。この隕石種は、ほとんど溶融を経験していないアカプルコアイトから、部分溶融の後に形成した溶け残り岩であるロドラナイトまで様々な溶融分化過程を経験した隕石から成り、微惑星から原始惑星へと至る進化過程でどのような変化が起こるか明らかにするためには非常に適した隕石種である。本研究では、微惑星から原始惑星へと至る変遷過程でどのようなプロセスが発生するかより良い理解を得るために、アカプルコアイト・ロドラナイト族隕石 15 試料を対象とし、これらの岩石組織、鉱物モード組成、鉱物化学組成、岩石ファブリックを明らかにした。岩石鉱物学的特徴から、アカプルコアイト・ロドラナイト族は、これまでのアカプルコアイト (Acapulco、Y-74063、Y 982003、Y 982004)、中間的試料 (Y981505、Y 981619、Y 981725、Y 981670、Y 981988)、典型的ロドラナイト (Y-791491、Y-791493、Y-74357)に加えて、集積岩の可能性のあるロドラナイト (NWA 2235、NWA 7312、Y 983119)の四つのサブタイプに分けることができた。

Acapulco、Y-74063、Y 982003、Y 982004 は、細粒組織、トロライト、斜長石に富むモード組成を持つ。これらは、 ~ 980 °C の加熱を経験し、数 vol%以下の FeNi-FeS 部分溶融を経験したが、ケイ酸塩部分溶融は経験していないと考えられる。

Y 981505、Y 981619、Y 981725、Y 981670、Y 981988 は、アカプルコアイトとロドラナイトの中間的な特徴を持つ。これらはアカプルコアイトと比べて、トロライトに乏しいが、ロドラナイトと比べると斜長石やオージャイトに富むモード組成を持つ。また、アカプルコアイトが比較的均質な斜長石の化学組成を持つことに対し、これらは幅広い組成幅を持つ。これらは、アカプルコアイトよりも強い加熱 (~ 1050 °C) を経験し、FeNi-FeS 部分溶融メルトの流出を経験し、ケイ酸塩メルトの形成を経験したが、ケイ酸塩部分溶融メルトは流出しなかったと考えられる。

ロドラナイトは、Y 983119 を除き、全て粗粒組織、斜長石、オージャイトをほとんど含まないモード組成を持つ。Y-791491、Y-791493 は、典型的なロドラナイトである。これらは、 >1050 °C の加熱を経験し、斜長石とオージャイト成分に富むメルトがほとんど流出する ~ 15 - 20 vol% のケイ酸塩部分溶融を経験していると推定される。Y-74357 は、異常にかんらん石に富み、少量の斜長石、オージャイトを含む。このモード組成は、単純な部分溶融とそれに引き続くメルト流出では説明が難しい。Y-74357 は、複雑な形成過程を持つと考えられる。ロドラナイト NWA 2235、NWA 7312 は、溶融過程でかんらん石ファブリックの発達を経験している。これらのかんらん石ファブリックは、かんらん石 [010] に集中を持ち、かつ粒子の長軸方向に配向を持つという特徴を持つ。これらの特徴は、NWA 2235、NWA 7312 が流動の弱いマグマだまりにて集積作用を経験したことを示している。

Y 983119 は、異常に低 Ca 輝石に富んでおり、比較的多量な斜長石を含む。加えて多数のメルト包有物が存在することが確認された。これらの特徴は小規模な部分溶融によって溶け残り岩として形成過程を説明することが難しい。非常に大規模な部分溶融によって発生したメルトから結晶化したとすると Y 983119 の特徴を説明することができる。Y 983119 中のメルト包有物は、主に斜長石、アルカリ長石、ホルンブレンド、オージャイト、ガラ

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

スから成る。一部の包有物は黒雲母、ルチル、バデレアイトを含んでいる。ホルンブレンド、黒雲母の化学組成から、これらは少量の H₂O を含むことが推測された。加えて、ルチル、バデレアイトなどの鉱物が存在することから、母メルトは不適合元素 (K, Na, Ti, Zr, OH) に富む含水珪長質メルトであることが推定された。

本研究の結果は、アカプルコアイト・ロドラナイト母天体は、これまでに想定されていたよりも複雑な溶融分化過程を経験したことを示す。本研究では、母天体で従来の部分溶融、それに引き続くメルトの流出に加えて、部分溶融メルトのその場固化、マグマ溜まりの形成、さらにマグマだまりでの結晶分化作用や集積作用が発生したことを提唱する。

一部のロドラナイト (Y-791491、NWA 7312) は、溶融過程の後に固相変形を経験し、岩石ファブリックが発達したことが明らかとなった。Y-791491 のかんらん石ファブリックは、特殊な条件での変形により発達する AG タイプファブリック、NWA 7312 のものは比較的高温、高歪速度で発達する D タイプファブリックにそれぞれ相当する。NWA 7312 は、固相変形により発達した低 Ca 輝石ファブリックも持つ。これらの結果は、アカプルコアイト・ロドラナイト母天体は、高温であった時期に固相変形を経験したことを示している。母天体の固相変形を引き起こした出来事として、天体衝突もしくはマンテル対流が想定される。もし、天体衝突によってかんらん石ファブリックが発達したとすると、低速度で大規模な衝突が必要である。一方、マンテル対流によってかんらん石ファブリックが発達した場合、天体内部は大規模 (約 50 %以上) に溶融していた必要がある。いずれの変形過程の場合も、これまでに母天体の進化過程に想定されておらず、母天体の熱史に大きな影響を与えていることが推測される。

これまでに母天体では岩石固化後の硫黄に富む流体によるメタソマティズムが発生したことが提唱されていた。本研究では、トロイライトと輝石の集合体が全てのロドラナイト、中間的試料に確認されこの説を支持している。加えて、Y 983119 のかんらん石ゾーニングから、Fe メタソマティズムが局所的に発生していたことが示唆された。

地質温度圧力計により、Y 983119 は <400 MPa の圧力で形成されたことが示された。この圧力をもとにすると、母天体半径は最大 500 km 程度であった可能性が示唆された。この結果は、従来の半径 100 km の天体とする説より大きな天体であった可能性を提示している。

本研究の結果は、アカプルコアイト・ロドラナイト母天体は、これまでに想定されていたより、大規模に溶融を経験していること、複雑な形成史を持つことを示している。本研究は、高温時期に巨大衝突、マンテル対流が発生した場合、さらに小さな母天体の場合に加えて、大きな母天体である場合を想定した新たなアカプルコアイト・ロドラナイト母天体進化史を構築する必要があることを提唱する。

Summary of the results of the doctoral thesis screening

審査論文は、始原的エコンドライトと呼ばれる隕石の鉱物組成や岩石組織から、母天体（その隕石種の起源とする天体）である微惑星や原始惑星の物質進化過程を明らかにしたものである。始原的エコンドライトは、未分化隕石と分化隕石の中間的特徴をもつため、太陽系初期において未分化天体から分化天体の進化過程を知る上で、最適な試料である。宇宙惑星科学分野において微惑星から原始惑星へ至る物質進化過程を知ることは、最も重要なテーマの一つである。

審査論文では、主に南極隕石から 15 個のアカプルコアイトおよびロドラナイト（アカプルコアイト・ロドラナイト族）を選定し研究を行った。現在知られている同種の隕石の個数（150 個）の約 10% であり、先行研究よりも多くの試料を研究することで、母天体進化過程の全貌をつかむことが可能になった。光学顕微鏡、フィールドエミッション型走査電子顕微鏡 (FE-SEM)、電子線プローブマイクロアナライザを用いて、それぞれのアカプルコアイト・ロドラナイト族の岩石組織、鉱物モード組成、鉱物化学組成の定量を行い、その温度熱履歴や衝撃履歴を読み取った。岩石鉱物学的特徴から、アカプルコアイト・ロドラナイト族を四つのグループに分けた。アカプルコアイト、中間的試料、ロドラナイトは、すでに先行研究で見つかったものと同様の性質を持つことを示した。しかし、四つ目のグループである Y 983119 は、審査論文で新しく発見されたものである。この隕石は、異常に低 Ca 輝石に富み、主要鉱物中に多数のメルト包有物を含むことが確認された。メルト包有物に含まれる鉱物種やその組成から、母メルトは不適合元素に富む含珪長質メルトであることが推定された。また、この隕石は単純な部分熔融で形成したのではなく、大規模な熔融、集積作用など複雑な過程を経て形成したことを示した。含まれる鉱物の共生関係や組成から、母天体はこれまで考えられていたより、さらに大きかったこと（最大 500km）を明らかにした。

また、審査論文では、FE-SEM に付属した電子後方散乱回折装置を用いてファブリック分析を系統的に行った。二つのグループ、アカプルコアイトと中間的試料には、かんらん石の結晶定向配列がみられなかった。これは、これらのグループが強いマグマ層流、集積作用、固相変形を経験しておらず、比較的的部分熔融の度合いの低い溶け残り岩であるという結果と調和的である。しかし、Y-791491 および NWA 2235 では、かんらん石の [010] 軸集中がみられた。これは、弱い流れのマグマだまり底部における集積作用、もしくは、特殊な環境下での固相変形を経験したことを示す。また、NWA 7312 のかんらん石には、[100] 集中がみられ、これは比較的早い変形速度、また、中程度の温度での固相変形をしたことを示す。その結果から母天体は活発な変形過程を経験したことを明らかにした。変形過程の要因としては、マンテル対流や大規模な天体衝突などの動的過程が考えられるが結論は出していない。今後の研究が待たれる。

以上をまとめると、審査論文では、母天体はこれまで提唱されていたサイズよりさらに大きかった事、また、より複雑な熔融過程や動的過程を経験している事を明らかにした。特に、組織解析による動的過程についての研究は、当該分野においては、新しく独創性の高いものであり、新たな一面を拓いたといえる。本研究の一部は、国際英文学術誌 (Yasutake

(別紙様式 3)

(Separate Form 3)

and Yamaguchi, Polar Science 2017) に既に発表されている。したがって、審査委員会では、提出された論文が学位論文に値するものと、全員一致で判定した。