

## 太陽系初期における原始惑星の巨大衝突 — 隕石の超高精度年代測定が解き明かす小惑星ベスタの謎 —

太陽系初期に存在した、地球などの惑星の卵である原始惑星が、いつ・どのよう  
に誕生し成長したのかは、私たちの太陽系の形成シナリオを考える上でとて  
重要な問題です。ほとんどの原始惑星は衝突などによって失われてしまいま  
したが、火星と木星の間の小惑星帯で 2 番目に大きい小惑星ベスタは、原始惑  
星の数少ない生き残りとして知られています。ベスタに起源を持つ HED 隕石グ  
ループの研究から、この天体は他の多くの小惑星とは異なり、現在も形成当時  
の地殻・マントル・金属コアの層構造を保っていて、地殻の厚さは 40km 程  
度と見積もられていました (図 1)。

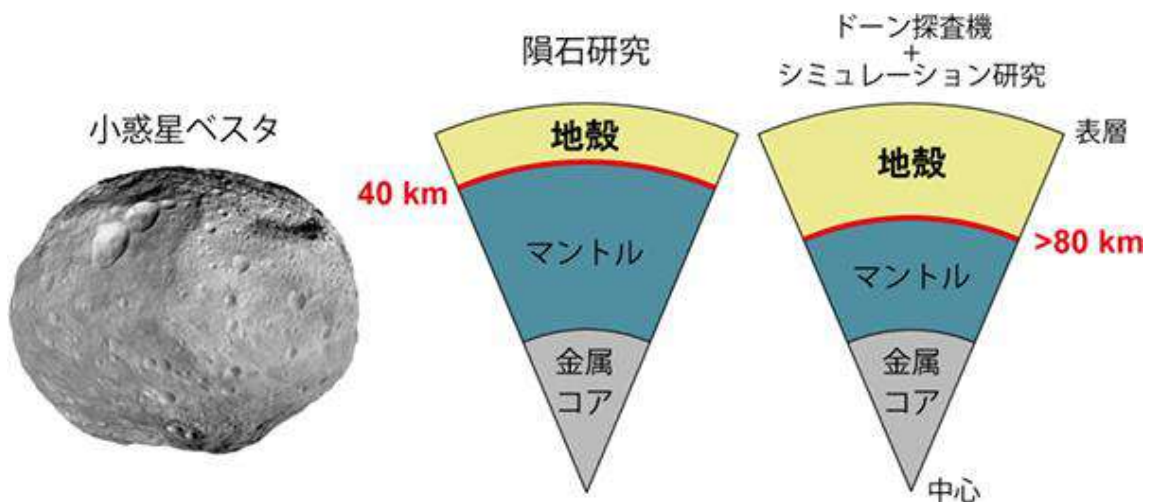


図 1： (左) ドーン探査機が撮影した小惑星ベスタ (NASA)。(右) ベスタの内部構造の推定。隕石研究とドーン探査後のシミュレーション研究では、地殻の厚さの見積もりが異なる。

一方で、ベスタの南半球には、ベスタの直径 (約 525km) とほぼ同じサイズの巨大クレーターが存在します。2011~2012 年にかけて行われたドーン探査機 (NASA) による観測では、ベスタの内部構造を観察するため、このクレーター内部が詳細に調べられました。しかし、存在するはずのマントル物質が検出されず、この観測結果に基づいたシミュレーション研究により、ベスタの地殻の厚さは 80km 以上であると推定されました。ベスタがなぜこのような異常に分厚い地殻を持つのかは未だに理解されていません。

ベスタに起源を持つもう一つの隕石グループにメソシデライトがあります。メソシデライトは HED 隕石とは異なり、地殻物質と金属コアから構成される石鉄隕石であり、その性質上、層構造を持つ天体が大規模に破壊された時に形成したと考えられています。しかし、この隕石がベスタで形成されたとすれば、ベスタは一度大きく崩壊していたことになり、形成当時の層構造が残っているという説と矛盾してしまいます。そのため、メソシデライトがベスタでどのように形成されたのかは良くわかっていませんでした。

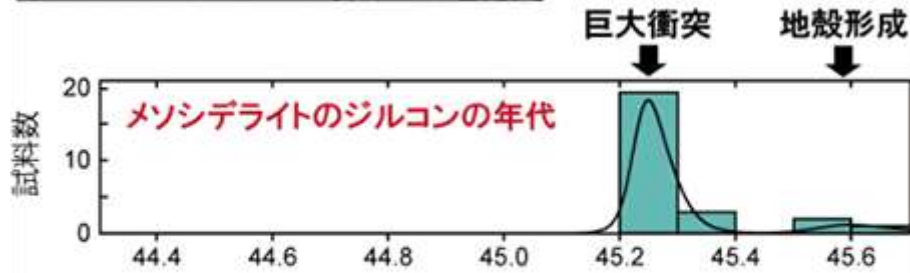
本研究では、小惑星ベスタにおけるメソシデライトの形成過程を明らかにし、従来の研究では考慮されていなかったベスタにおける巨大衝突の可能性について検討しました。メソシデライトの母天体がベスタであるなら、ベスタではメソシデライトの形成に必要な大規模な破壊が起こっていて、その原因は巨大衝突であったと考えられます。そして、その巨大衝突が起こった年代は、メソシデライトと HED 隕石の両方に記録されているはずで、そこで本研究チームはメソシデライトの形成年代を高精度に決定することを試みました。

メソシデライトには非常にわずかですが微小鉱物ジルコンが存在しています。ジルコンは非常に安定な鉱物であり、ウラン-鉛年代測定法に適した鉱物です。近年発展したジルコンの表面電離型質量分析計によるウラン-鉛年代測定法（ID-TIMS 法）は、ジルコンの形成年代を超高精度で求めることが可能です。本研究では 5 つのメソシデライトに含まれていたジルコンに対して、初めて ID-TIMS 法による超高精度年代測定を実施しました。

## 研究成果

決定されたメソシデライトの形成年代から、その母天体は、今から  $45.59 \pm 0.02$  億年前に地殻が形成した後、 $45.254 \pm 0.009$  億年前に大規模な破壊（巨大衝突）を経験したことが判明しました（図 2 上）。また、過去に実施された HED 隕石の年代測定では、ベスタの地殻は 45.5 億年前に形成し、今から 45.2~45.3 億年前に何らかの原因で外部から再加熱されたことが知られています（図 2 下）。メソシデライトの母天体における地殻形成と巨大衝突の年代は、HED 隕石からわかっているベスタの進化史と良く一致しています（図 2）。年代含めてこれまでに得られた全ての科学データが HED 隕石と一致しており、メソシデライトの母天体は HED 隕石と同様にベスタであることが確認されました。

● メソシデライトの母天体の進化史



● 小惑星ベスタの進化史

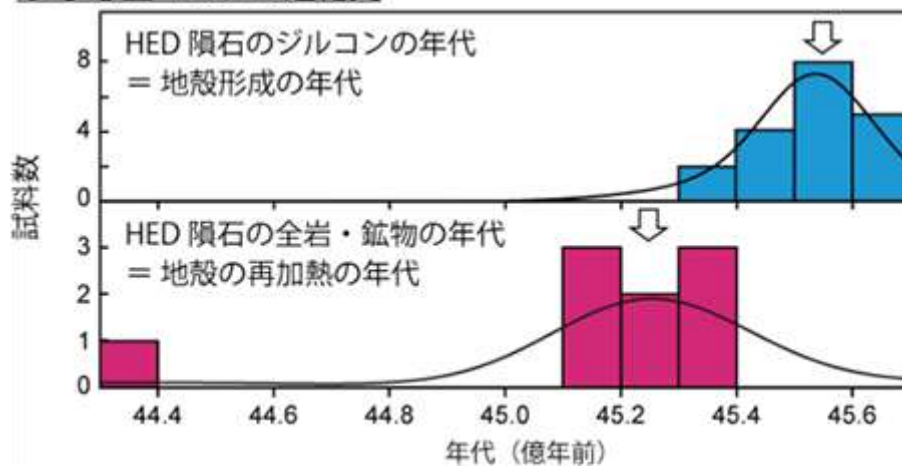


図 2： メソシデライトおよび HED 隕石の年代に関するヒストグラム。(上) メソシデライトに含まれるジルコンのウラン-鉛年代に基づく母天体の進化史。(下) HED 隕石（ユークライト）のウラン-鉛年代に基づくベスタの進化史。双方の隕石グループで、地殻形成と再加熱（巨大衝突）の年代が一致する。

この結果に基づき、ベスタでの巨大衝突モデルがいくつか検討されました。その中でも、当て逃げ型（ヒットエンドラン）の衝突モデルが、メソシデライトの形成だけではなく、ベスタ南半球の分厚い地殻の謎を説明できることがわかりました（図 3）。

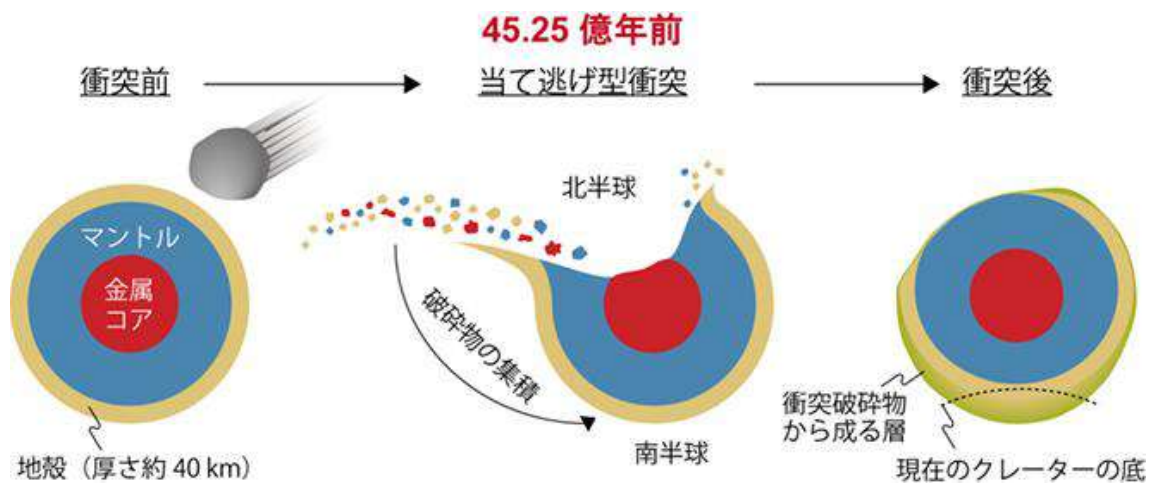


図 3： 小惑星ベスタにおける巨大衝突モデル

まず、小惑星ベスタは 40km 程度の地殻を持って誕生しました。その後、45.25 億年前に別の小惑星と衝突を起こし、北半球の大部分が崩壊しました。この時、地殻やマントル物質に加え溶融状態の金属コアもわずかに宇宙空間に飛び出しました。これらの物質の大部分はベスタの重力から脱することが出来ず、衝突の影響が比較的小さかった南半球に分厚く降り積もりました。メソシデライトは、金属コア物質を含む衝突破砕物が南半球に降り積もった際に、地殻物質と混合を起こすことによって形成されたと考えられます。

最終的に、南半球のマントルの上には、地殻と衝突破砕物から成る厚さ 80km 以上の分厚い層が存在することになりました。ドーン探査機が目撃した異常に分厚い地殻の正体は、この地殻と衝突破砕物の層であり、つまりは 45.25 億年前の巨大衝突によってベスタの層構造が大きく変化した証拠であると考えられます。

(日文全文 <https://www.nipr.ac.jp/info/notice/20190614.html>)

文 JST 客观日本编辑部