

クレーターから見た金星の科学

Venus: A perspective from impact craters

杉田 精司[1]

Seiji Sugita[1]

[1] 東大・理・地球惑星

[1] Earth and Planet. Phys., Univ. of Tokyo

金星のクレーターには、クレーター流出物と呼ばれる金星に特異な地形が付随している。この地形は一見熔岩流に似ているが、その詳細な形態は、気相と凝縮相の入り混じった占有体積の大きな懸濁流が起源であることを示している。一方、高速衝突実験と流体力学計算の結果は、このような懸濁流が衝突天体由来の衝突蒸気雲が凝縮した結果であることを強く示唆している。この結論に従えば、クレーター流出物には大量の衝突天体物質が含まれているはずである。したがって、クレーター流出物の化学組成を将来の金星探査で調べることができれば、過去約十億年間にわたり内側太陽系にどんな衝突天体が飛来していたか知ることができるはずである。

金星のクレーター

本講演では、金星の衝突クレーターから何を学ぶことができるのかを議論する。金星のクレーターには、ローブ状のイジェクタや、レーダー波の吸収率の高い物質が放物形に堆積した地形など、厚い大気の影響でできたと考えられる地形が幾つも見つっている。しかしここでは、いわゆるクレーター流出物に特に注目する。それは、クレーター流出物が、他の星に見られない金星に特異な地形であることと、この地形が持つ情報が天体の高速衝突現象全般の理解に非常に役立つと考えられるからである。

クレーター流出物の特徴

ここで議論する金星のクレーター流出物とは、クレーターの中あるいは脇から流出する熔岩流に似た地形で、斜め衝突クレーターの付近によく見られる。流源から離れた場所では熔岩流と同様、明瞭な境界を持ち、地形の傾きに一致した流動方向を示す。しかし、流源に近い場所では、周囲との境界は非常にぼんやりとしており、流れの方向も地形には一致しない。クレーター近傍での流動方向は、むしろイジェクタの形状から推測される衝突天体の運動方向と一致している。また、流源の位置もクレーターの形状中心に比べ、ダウンレンジ側にずれている。これらの観測事実は、クレーター流出物が衝突天体の運動量を譲り受けてダウンレンジ方向に運動したことを示している。次に、クレーター流出物の流源付近のイジェクタを観察すると、典型的なローブ状イジェクタが見られず、イジェクタが欠けているか、激しく攪拌されたような形状を示していることが分かる。また、一部のクレーター流出物はレーダー波に対して半透明で、下の地形が透けて見えることがある。さらに、クレーター流出物は、障害物に出会うと上下二層に分離することがよくある。下層は障害物を乗り越えられないで水平方向に回り込んで流れ続け、熔岩流に似た見かけの堆積物を残す。上層は、進行方向を変えずに障害物を乗り越えて流れ続け、半透明の堆積物を残す。これらの特徴は、液相のみからなるインパクトメルト流では説明ができない。気相と凝縮相の入り混じった火砕流のような占有体積の非常に大きな懸濁流である必要がある。

衝突実験

このような大体積を持つ懸濁流の成因に関して、室内実験が重要な手懸かりを与えてくれる。蒸発しやすい弾丸を超高速で標的に斜め衝突させると、衝突点からダウンレンジ側に向かって蒸発した弾丸物質が火球（衝突蒸気雲）となって高速で飛び出していくのが観察される。真空中では、蒸発した弾丸物質は急激に膨張し胡散霧散してしまうが、高い大気圧下ではこの膨張は抑制され、衝突蒸気の散逸は防がれる。もし、金星の厚い大気に押さえ込まれた衝突蒸気雲が凝縮して地表面に堆積すれば、上に述べたような懸濁流の形成は可能である。

衝突蒸気雲の力学計算

この衝突蒸気雲起源説は、定性的にはクレーター流出物の特徴をうまく説明できる。しかし、それだけではこの仮説が物理的に存立可能であるのかどうか判断はできない。この判断には3つの鍵となる基準を満たす必要がある。・ダウンレンジ方向へ高速で飛び出した衝突天体由来の蒸気雲は、大気動圧で止められる前にクレーター流出物の流源域に到達し、そこで停止するのか。・衝突蒸気雲の温度は、断熱膨張によって凝縮温度以下にまで下がるのか。・この2つの過程は、イジェクタの堆積以前に終了するのか。

この3点を検証するために、2次元の圧縮性流体計算コードを用いて衝突蒸気雲の金星大気中での力学進化を調べた。計算の方法と結果の詳細は省くが、基本的には上の仮説は3点とも満たすことが分かった。

惑星科学的意義

もし上の仮説が正しいとしたら、クレーター流出物から我々はどんなことを学ぶことができるのであろうか。まず、クレーター流出物は衝突天体の物質を大量に含むはずである。衝突天体が小惑星か彗星かで、クレーター流出物の化学組成はかなり異なるであろうし、同じ小惑星でも始原的な炭素質の天体と分化した石質・金属質の天体では大きな違いがあってもおかしくない。金星の表面年代は、約10億年と推定されている。したがって、過去約10億年わたる内側太陽系における衝突天体の種類別頻度が金星表面に刻まれていることになる。

金星探査

以上の議論から、将来の金星探査の新しい探査対象を考えることができる。それは、クレーター流出物の化学組成の調査である。特に惑星外物質の指標となる親鉄性元素の濃度測定ができれば、上の仮説の真偽に最終判断を与えることができる。イリジウムなど微量元素の測定は非常に難しいだろうが、鉄やニッケルなどの含有率の推定はリモートセンシングの手法を複数使えば全く不可能ではないだろう。また、親鉄性元素の親石性元素に対する比が各クレーター流出物に対して測定できれば、衝突天体の分類が可能になると考えられる。