

衝突蒸気雲中の化学組成のエントロピー依存性に関する研究 —惑星質量と衝突起源大気組成の関係—

○桑原秀治, 杉田精司 (東大・新領域)

はじめに

高速度衝突による衝撃圧縮時に分配される運動エネルギーの一部は熱として物質に残り、溶融や蒸発を引き起こす。地球型惑星形成末期における秒速 10 km を超えるような高速度衝突ではケイ酸塩などの岩石を構成する物質までもが蒸発し始め、このときに生じる蒸気雲は初期地球型惑星大気の主要な供給源のひとつであったと考えられている[1]。初期地球型惑星大気組成の推定は紫外線や雷放電による表層への有機物の供給効率[2]や温室効果気体による惑星放射バランスへの影響など[3]、地球生命の起源と進化を考えるうえで重要な要素に制約を与える。従来の衝突蒸気雲モデルでは集積時において形成される惑星の衝突脱ガス水蒸気大気を仮定しており、これが一定圧下で冷却していくにつれて組成がどのように変化するかを調べている[1]。一方で、よりミクロな観点から見た衝突蒸気雲の描像は衝撃圧縮—圧力解放過程で膨張・冷却していくものであり、その組成変化に関してはよくわかっていない。本研究では断熱的に膨張する蒸気雲の組成を調べることを目的とした。

モデル

化学組成の熱力学的安定性は系の元素組成と温度、圧力に依存するため、本研究では地球型惑星の衝突蒸気雲組成をモデルするために次のことを仮定する。衝撃圧縮後の圧力解放過程は断熱的であると、地球型惑星で見積もられている小惑星の衝突速度範囲[4]とシリカの Hugoniot 曲線[5]から地球型惑星上の衝突で発生しうるエントロピーを 4.0~8.0 kJ/K/kg と見積もった。この値をもとに断熱膨張する衝突蒸気雲の温度—圧力パスを決定した。また、地球の揮発性元素の相対存在量が炭素質隕石のそれと似ていることや水素と窒素の同位体比の関係から、初期地球型惑星へ揮発性元素を供給した衝突体の組成が CI コンドライト様のものであると仮定した[5]。蒸気雲の組成に関しては各温度—圧力条件下で化学平衡が成り立つと仮定し、計算はギブズ自由エネルギー最小化法コード[6]を用いて行った。

結果

一酸化炭素、二酸化炭素、水素、水はエントロピーに依らず、蒸気雲中で最も豊富に存在する気体成分であった。他にはメタン、硫化カルボニル、アンモニア、硫化水素、二酸化硫黄が生成されることがわかった。同一温度でより高圧を経験する低エントロピー線に沿って膨張する蒸気雲ほどメタンやアンモニア、硫化水素、硫化カルボニルといった温室効果気体が熱力学的に生成し易い傾向であることがわかり、地球へ衝突する速度で発生す

るエントロピー範囲では、少なくとも 1500-2500K の間でメタンやアンモニアは熱力学的に生成し難いことが示唆された。一方で、火星で生じ得る衝突蒸気雲の場合はメタンやアンモニアが主成分として安定に存在できることが示唆された。

まとめ

隕石重爆撃期における地球と火星の衝突蒸気雲大気組成は共に二酸化炭素・水蒸気に富んではいるが、メタンなどのより温室効果の強い気体の存在量が大きく異なった可能性があることが示唆された。

参考文献

[1] Hashimoto et al., 112, *JGR*, 2007. [2] Stribling & Miller, 17, *OLEB*, 1987. [3] Ueno et al., 106, *PNAS*, 2009. [4] Sleep & Zahnle, 103, *JGR*, 1998. [5] Kurosawa et al., 117, *JGR*, 2012. [6] Marty, 313-314, *EPSL*, 2012. [7] Gordon, S., McBride, B., 1994 NASA SP273