

惑星検疫と衝突物理学: 火星圏における事例

黒澤耕介¹, 玄田英典², 兵頭龍樹², 山岸明彦³, 藤田和央⁴

¹千葉工業大学, ²東京工業大学, ²東京薬科大学, ⁴宇宙航空研究開発機構.

はじめに: 衝突放出に伴う物質輸送過程は「(Litho-)Panspermia」と呼ばれ, 地球生命の起源として有力な仮説のひとつである. 近年では TRAPPIST-1 など Habitable zone に複数個の惑星をもつ惑星系が発見されており, (Litho-)Panspermia が再度注目を集めている. 火星隕石は惑星間物質輸送が実際に起こった物的証拠である.

火星衛星探査 MMX と惑星検疫: JAXA は火星衛星探査計画(MMX)を次期惑星探査計画として掲げている. 火星隕石のように, 火星衛星にも火星物質が輸送されていると期待される. このとき問題になるのは火星には培養可能な微生物が存在している可能性が否定できないことである. 微生物は火星衛星に輸送されているかもしれない. (Litho-)Panspermia は宇宙生物学の研究推進だけでなく, 惑星検疫の観点で要検討課題になりつつある. 我々は衝突物理学の知見を活用し, 火星から輸送された物質の火星衛星上の分布と火星由来微生物の生存率を調べた. 衝突加熱滅菌, 宇宙線照射滅菌は先行研究のモデルを採用した.

主要汚染源: 火星衛星は宇宙線に晒

されている. このため輸送された微生物が現在まで生存しているとすれば火星上の若いクレータ由来に限られる. 本研究では 10-100 万年前に形成された Zunil クレータに着目した. Zunil は直径 10 km 以上の大きさで最も若い光条クレータである. 周辺の光条分布や 2 次クレータの空間分布から, Zunil を形成した衝突天体は東北東から飛来したと推定されている.

火星から火星衛星への物質輸送: 3-D SPH 計算コードを用い, 様々な衝突速度, 衝突角度で高速放出物の速度-角度-質量分布を計算した. π スケーリング則を用いて Zunil サイズのクレータを作る衝突条件(サイズ, 速度, 角度)の組み合わせを探し出し, 3-D SPH 計算の結果と合わせることで, Zunil 形成衝突時の高速放出物の総質量と放出速度, 角度を求めた. これらを初期条件にして, 放出物の火星重力場中での運動を解くことで, 火星衛星に衝突する粒子がどの程度存在するか? を計算した. 火星への衝突天体のサイズ分布, 速度分布, 角度分布からモンテカルロ法を用いて計算機の中で 10000 回の Zunil 形成衝突を起こすことで火星衛星への物質輸送確率,

速度分布, 角度分布を統計的に求めた. この際, 衝突時の火星衛星の位相はランダムに変化させた.

火星衛星上での衝突過程: ここでは火星衛星上での火星物質・火星由来微生物の分布について述べる. 火星衛星への衝突の大半は >2 km/s の斜め衝突である. このとき火星岩石が衛星表層のレゴリス層から受ける動圧は 1-10 GPa に達し, 火星岩石は破壊される. 破碎された火星岩石の一部はクレータの内壁に張り付き (~20%), 残りはクレータの外へ飛散する (~80%). 衝突体残存率は先行研究の斜め衝突実験結果を参考にした. 形成されたクレータの内壁角度は一般に安息角より大きいため, 重力によって崩壊しクレータ中央に向かう粉体流を形成する. このとき破碎された火星岩石は崩壊粉体層に混合すると期待される. クレータ外に飛散した火星岩石破片群は火星周りにダストトーラスを形成し, その後再集積する. 再集積には数公転周期の時間がかかると予想されるため, ダストトーラスに分配された火星岩石は火星衛星の最表層に薄層 (厚さ ~0.1 mm) を形成すると期待される. 薄層に付着していた火星由来微生物は宇宙線に晒され速やかに滅菌される (~ 2×10^3 年). 一方火星岩石の衝突で作られたクレータ内部の崩壊粉体層の厚みは ~1 m に達するため,

崩壊粉体層の深部にいる火星由来微生物は宇宙線から守られる. このような検討から火星に微生物がいると仮定した場合, 火星衛星上の微生物分布は水平方向にパッチ上 (クレータ内部), 深さ方向には不均質 (表面に近いほど生存生物密度が下がる) となることがわかった.

生存細胞採集確率: 火星上の細胞密度, 火星衛星への輸送効率, 衝突滅菌モデルに内在する確率分布関数を考慮した統計解析を実施した. 具体的にはドリル掘削法による無作為試料採取を実施した場合の培養可能微生物採取確率分布を計算し, COSPAR が定める惑星検疫基準と比較した. 採取質量を 30 g とした場合, 深さ 2 cm 以深での培養可能微生物採取確率の最頻値は 10^8 程度であり, COSPAR の基準値と比べて 2 桁小さいことがわかった. また培養可能微生物採取確率自体の確率密度分布関数から期待値を算出した結果, 10^7 程度の値になり, 火星衛星からの試料採集では COSPAR 基準には抵触しないことがわかった.

※図や参考文献についてはスライドの PDF ファイルをご参照下さい.