

# 大気圏突入を想定した衝突天体の挙動に関する 極超音速空気力学的研究

学生証番号 96055 氏名 和泉 有祐  
(指導教員 鈴木 宏二郎 教授)

Key Words : Atmospheric Entry, Hypersonic Flow, Aerodynamic Characteristics, Wind Tunnel, Meteorite

隕石等の地球衝突天体は、原始の太陽系の情報を有するなど、科学的に貴重な研究対象とされている。隕石は宇宙から小天体が地球へ落下したものであるが、小天体が隕石となる過程、つまり地球外部から大気圏に突入し、地表に到達するまでに小惑星の経験する環境について詳しく調べた例は少ない。特に、天体として球などではなく天然の複雑形状を取り扱った例はほとんどない。しかし、より詳細な隕石の解析を行うためには、大気圏飛行の際の天体が経験する環境について考えるにあたり、天体の受ける空力的影響さらには飛行挙動を明らかとすることは非常に重要である。そこで本研究では、地球大気圏突入を想定して、複雑形状を持つ衝突天体の挙動特性を得るため、複雑形状に実在の小天体である小惑星25143イトカワを用いて、これの極超音速空気力学的特性を実験・数値的に調べた。

本研究では小惑星の大気圏飛行を想定しているが、人工物と異なり小惑星の飛行では全ての飛行姿勢で空力係数の解析を行わなければならない。そこで、任意の姿勢についてはCFDを用いて詳細な空力解析を行い、大域的な姿勢に関しては空力推算法であるニュートン流推算を用いて空力解析を行った。

支配方程式にオイラー方程式を用いてCFDによる流れ場の詳細解析を行った。イトカワの姿勢は凹面を流れに正対させた状態で、マッハ数7、境界条件として流入部で一樣流条件、流出部で0次外挿、物体表面では滑り境界を設定した。このとき、流れの衝突する凹面ではほぼ一様によどみ点圧力となり、高い圧力が加わっていた。このためイトカワは内部応力を発生し、これは極超音速飛行時に空中で分離破壊を起こすメカニズムの一つとなり得る。

ニュートン流推算の使用においては、まず、風洞実験で得られた空力係数と比較することでこの方法の複雑形状への有効性を確かめた。その結果として、ニュートン流推算は定性的な議論をするのに十分な精度を有することが確認できた。ニュートン流理論による空力推算値から、流れに垂直な方向の2軸周りのモーメントに着目すると、その2軸に関して静安定性を有することが示唆された。しかし、これは推算結果により得られた特性であるため、実験的に静安定性の有無の検証を行った。風洞模型の支持に球面軸受けを用いて制限はあるものの回転について3自由度を持つ状態を実現し、マッハ7での極超音速風洞実験を行った。その結果、模型は流れ方向周りに回転しながら先に示された静安定性を示した。このとき、最終的に回転数は300Hz程度となった。このように高い回転数となったのは、2軸に関して空力的に安定しているため、回転のエネルギーが蓄積されたためであると考えられる。

以上のようにして得られた空力特性を用いて、抗力係数が先にニュートン流推算で詳しく調査した姿勢付近の最大値・最小値である1.65、0.41の場合、またそれぞれの抵抗係数でサイズが1/10の場合の軌道解析を行った。ここでは突入条件として、大きさと質量はイトカワと同じとし、突入角15deg、突入速度10km/s、初期高度100kmとした。ただし、サイズが1/10のモデルの質量はイトカワの質量の $(1/10)^3$ 倍である。その結果として、実際のイトカワのサイズでは抵抗係数の違いによる飛行特性への影響は非常に小さいが、1/10モデルでは速度、飛行時間共に明らかな差を生じた。このことから、抵抗係数の違いによる飛行挙動への影響は数十メートルオーダー以下で、顕著となることが分かる。

ここまで得られた結果はイトカワの形状を持つ衝突天体に関する特性であるが、その挙動に関して非常に興味深い空力特性を得て、それを元に挙動の解析を行うことができた。よって、ここで用いた工学手法による空力解析によって衝突天体の詳細な空力特性を得ることで、大気圏飛行時の挙動特性の解析が可能であることが分かった。