

## Ryugu クレーター東西非対称性の理論的考察

平田直之 (神戸大学)

2019年11月27-29日

衝突研究会 於・東京ソラマチ千葉工大キャンパス

はやぶさ2探査機によって小惑星リュウグウの興味深い姿が明らかになっている。画像データを解析することによって作成される形状モデルや、LIDAR 測距データによってリュウグウの地表面形状について詳しく解析できるようになった。リュウグウには70個程度のクレーターがこれまで見つかっている。その内、赤道付近にある大きなクレーター形状のプロファイルが共通して、東西方向に非対称性があることがわかった。クレーターのリムに着目すると、西側のリムは高く狭い傾向があり、東側のリムは低く幅広い傾向がある(Namiki et al. 2019)。

ここで注目したいのが、火星衛星フォボスの最大のクレーター、スティックニーである。このクレーターもまた西高東低のクレーターリムを持っていることが知られている。また、東側にはスティックニーのエジェクタだとされる Blue Unit があるが、西側にはない。このように、リュウグウのクレーターに見られるものと類似した東西非対称性がスティックニーにもある。このスティックニーは、自転の効果によって説明できる可能性が提唱されている(Thomas et al. 1998)。飛び出たエジェクタは、フォボス自身の自転の影響(コリオリ力)によって、西側に曲げられてしまうため、エジェクタリムの西高東低が生じたと考えられている。さらに、その研究では、エジェクタパターンの解析によって、スティックニーができた時期は、フォボスの自転周期が現在よりもかなり遅かった時代のものであることも示されている。

リュウグウでも同様に、自転の影響でクレーターの東西非対称性が説明できる可能性があると考えられる。というのも、リュウグウの赤道上のリッジの存在は、それが形成されたときリュウグウは3.5hほどで自転していたことを示唆しているからである。そこで、エジェクタの軌道をリュウグウの自転をパラメーターとして解析してみることで、まず東西非対称性がおきうるかどうか検討した。

仮にエジェクタの軌道を、打ち出し角度を水平から32度として、さまざまな初速度で計算してみる。リュウグウは半径448.2mの密度一様球体と仮定し、エジェクタの軌道を計算する。すると、自転が速い時ほどコリオリ力の強い影響をうけて、西に飛んでいくことがわかった。T=10000hの時、エジェクタの軌道はほとんど東西どちらも対照的である。T=7.267h, T=5hと自転が早くなってくると、東側に飛び出たエジェクタはかなり遠い所に飛んでいく(換言すれば、エジェクタが拡散する)一方で、西側に飛び出たエジェクタは東側と比べると影響を受けにくい。この傾向は、西高東低で西側は狭く東側は幅広いリムの特徴と整合的な結果になることが期待できる。T=3.5hとかなり早くなると、東側に飛び出たエジェクタはほとんどリュウグウから脱出してしまおう一方で、西側のエジェクタはや

は影響を受けにくい。なぜこのような差異ができるかというと、一つには第一宇宙速度が影響している。地球ではロケットは東に打ち上げるほうが簡単に脱出できるのと同様に、リュウグウでも東側に飛び出たエジェクタは、自転の速度が加算されるために脱出しやすい。とてもシンプルにエジェクタが西向きもしくは東向きに速度( $v_{ej}$ )で飛び出すと仮定する。このエジェクタがリュウグウに落下するためには、速度と自転速度の和が衛星の第一宇宙速度を超えないことが必要条件である。つまり、クレーターの近傍に落下するエジェクタの速度は、東向きのエジェクタの場合なら、

$$v_{ej} < \sqrt{\frac{GM}{R}} - \frac{2\pi R}{T},$$

西向きのエジェクタの場合なら

$$v_{ej} < \sqrt{\frac{GM}{R}} + \frac{2\pi R}{T},$$

でなければならないことがわかる。ここで  $M$  は小惑星質量、 $R$  は小惑星半径、 $T$  は自転周期である。西側の方が東側より脱出速度が大きい。また、東向きのエジェクタは自転速度が加算されるため、 $T=3.5h$  の時だと、ゼロに近い  $v_{ej}$  でも小惑星表面に落下しなくなってしまう。

以上の事から、大まかにリュウグウの東西非対称性について自転によって説明できる可能性が高いことがわかった。今後はさらにこれを発展させ、リムの分布や厚みなどの計算をすることによって、実際に観測されるクレーターのリムと比較することを目指す。それによって、リュウグウの過去の自転状態を復元できる可能性がある。東西非対称性の強いクレーターは自転が速い時にできたもので、対称性がないものはクレーターが出来た段階では自転が遅くなってからできたことがわかるからである。また、この解析は、他の小惑星 (Eros/Bennu) にも適用可能であり、発展性も見込める

#### 引用文献

P. Thomas, (1998), *Icarus* 131, 78-106

N. Namiki et al. (2019), *LPSC abstract*.