

小天体の地震学

名古屋大学・環境学研究科 古本宗充・荒川政彦

はじめに

直径 1-10km オーダーの小天体の内部構造・構成や成因などは、太陽系や地球を理解する上で重要な情報である。いずれ人類はこうした小天体の探査、特に内部構造解明を目指した探査を進めるであろう。天体の内部構造探査には弾性波を利用することが考えられる。ところが、こうした小天体上に地震計が設置できたとしても、これまで地球や月に対して有効であった地震波動の解析法をそのまま適用できない。Solid 天体など内部構造が比較的単純であっても天体形状が非対称すぎて、自由振動モードの縮退が解けてしまうので、計算が難しくなる。一方波線理論を使おうとしても、rubble pile や gravel conglomeration 天体などでは通常の解析をするためには内部構造が不均質すぎる可能性が高い。それに加えて、震源や地震計を十分な個数配置できないという深刻な問題がある。こうした点を考えると、これまでとは違う小天体用の地震動解析法を開発する必要がある。一方、地球では起こりそうもない新奇な地震現象も期待できる。本報告では、こうした点について考えてみる。ここでは特に (1) 跳び石現象を利用する方法、そして (2) 散乱波を解析する方法についてのべる。

1. 跳び石観測

地球上の地震において震源近傍で跳び石が観察されることがある。これは地表での加速度が重力加速度 $g=9.8 \text{ m/s}^2$ を越える激しい揺れが起きたことを意味する。小天体では重力加速度 g が小さい。直径が 1 km の岩石質天体とすると $g \sim 10^{-4} \text{ m/s}^2$ である。そのため、比較的小さな震動により表面の岩石を跳ばすことができそうである。この現象を利用することができそうである。

あらかじめ小天体表面の石の分布を撮影しておき、その後で何らかの物体を衝突させ地震動を起こす。地震動が充分大きければ石が跳躍して移動する。再度石の分布を調べ、以前の状態と比較することで表面での石の移動そして加速度分布を調べることができる (図 1)。

また微小重力下での運動を考えると、地球では見られない現象も想定される。例えば個々の石が跳ぶだけでなく、レゴリス層全体が浮き上がり、あたかも流体が波打つような型の波動も発生しうるかも知れない。

2. 散乱波観測

天体内部に不均質があると、地震波は散乱される。地球での地震波の場合、主要動 (S 波) の後に続くコーダ波と呼ばれる波群がこれに当たっている。震源から出た地震波が地殻内などで散乱され、S 波の後に連続的に現れる。地球の場合、不均質の程度が相対的に弱いことに加え、減

衰が大きいので、コーダ波はさほど長くは続かない。一方、月での月震観測ではエネルギーが大きくて長い継続時間を持ったコーダ波が観測されている。これは月のレゴリス層による散乱により引き起こされていると考えられる。レゴリス内では不均質性が強かつ減衰が弱いため、振幅が大きく継続時間が長くなっていると考えられる。

小天体が rubble pile 型などであれば、月と同様に散乱波からなるコーダ波を観測することになろう。地震波の減衰を表す Q 値が、月のレゴリスと同程度の $Q=3000$ 程度であるとすれば、周波数 10Hz の波動が初期の振幅から 1/100 の振幅まで減衰するのに約 400 秒かかる。もし小天体の最も低周波の自由振動と同程度の周波数 1Hz 成分であれば、さらにこの 10 倍長く 1 時間程度揺れる。信号処理系の電氣的ノイズ及び地震計の熱雑音以外、天体表面を揺らすノイズ源が無いとすれば、もっと小振幅に減衰するまで観測可能なはずである。もし、石が跳ぶ加速度 ($g=10^{-4}\text{m/s}^2$) から、Lunar-A で計画された地震計の最小検出加速度 ($g=10^{-10}\text{m/s}^2$) までを設置する地震計で観測できるとすれば、上記の時間間隔のさらに 3 倍程度になる。つまり、10Hz の成分で 1000 秒間以上継続するコーダ波を捉えることができる。例え地震計自体が「跳ばされた」としても、跳び石現象が落ち着いた時点から観測できる地震計を置ければ、観測自体は問題ないであろう。むしろ地震計本体が「跳ぶ」ことを想定し、その放出・着地や他の小岩体との衝突現象を検知できる機構を組み込むことも考えられる。

ただ残念ながら、コーダ波を利用して小天体内部の 3 次元的な内部構造探査を行う手法はまだ開発されていない。現時点では、コーダ波の減衰の程度、コーダ波の包絡線の形状、コーダ波の振幅変動の統計などを解析することで、散乱体のサイズ分布や弾性的性質および内部摩擦などを推定することになる。特に不均質天体での散乱波シミュレーションを併用して、これら天体内部の統計的性質とコーダ波の統計的性質を結びつける必要がある。

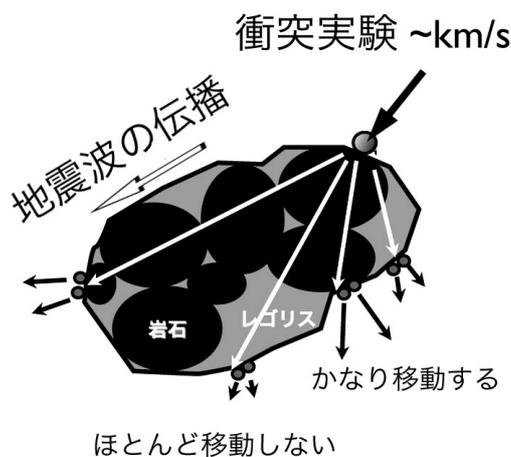


図 1 内部構造と跳び石の様子概念図