

保存系での剛体の回転直立現象

2006年2月17日
02380096 加藤 友直

ゆで卵や碁石などの剛体を、勢いよく回転させると立ち上がる。この現象は100年以上前から知られていたが、長い間理論的には解明されていなかったが、2002年にMoffattと下村によって卵のような軸対称物体の回転に伴う立ち上がりの現象の近似解が示された。[1]

この理論によると、回転する剛体の I_3 を対称軸まわりの慣性モーメント、 I_1 をそれ以外の軸まわりの慣性モーメント、 Ω を鉛直軸のまわりに対称軸が回転する角速度、 n を鉛直軸のまわりに角速度 Ω で回転する座標系でみた剛体の角速度の対称軸方向の成分、 θ を鉛直軸と対称軸のなす角度とし、 $I_3 n = I_1 \Omega \cos \theta$ という近似式を用いると、運動方程式を積分することができる。この近似には、個々の時間だと大きな誤差が生じ、短い時間間隔で平均しなければ高い精度では成り立たないという問題点がある。

そこで我々の研究室ではMoffatt-下村理論が仮定したような滑らかな直立過程に対象を限ることなく、より広い状況下での回転直立現象の普遍性を調べることを目標とした。特に本研究では摩擦力によるエネルギーの散逸が必要かどうかを調べることにした。

図1を見ると、摩擦係数 $\mu < 0.53$ では直立所要時間は摩擦係数 μ の増加とともに減少するが、 $\mu = 0.53$ を境にして挙動が一変し、 $\mu > 0.53$ では、 μ とともに急速に増加するようになる。このことから、摩擦係数がある有限の値(計算で用いた剛体の形状や回転の初期条件に対しては $\mu = 0.53$)をとる場合に最も速やかに直立することがわかった。また、摩擦係数がゼロだと長時間経過しても直立しないこともわかった。

次に摩擦力の方向と「床との接点の速度ベクトルの反対方向」との角度を η としたとき、図2を見ると、 $|\eta|$ が大きいと直立するのが遅く、 $|\eta|$ が小さくなるにつれ直立するのが早くなり、 $\eta = -17^\circ$ で一番早く直立することが分かる。また $\eta > 90^\circ$ では直立しない。また $\eta > 0$ と $\eta < 0$ を比べると $\eta < 0$ の方が t が小さいことが分かる。従って剛体の進む方向と逆の方向に摩擦力が働かないと剛体は直立しないが、それと垂直な方向の力は直立を助けたり妨げたりするということが分かった。

タイトルに掲げた「保存系での回転直立」という言葉は $\eta = 90^\circ$ の場合にあたるが、この場合は直立する例を見つけることができなかった。

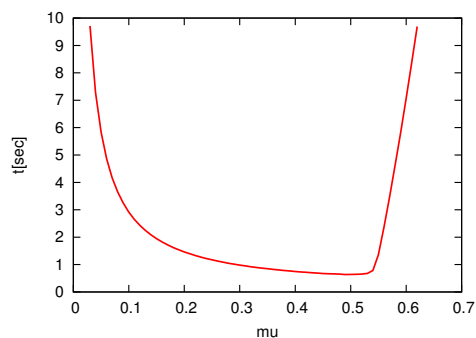


図1. 直立に要する時間と動摩擦係数の関係

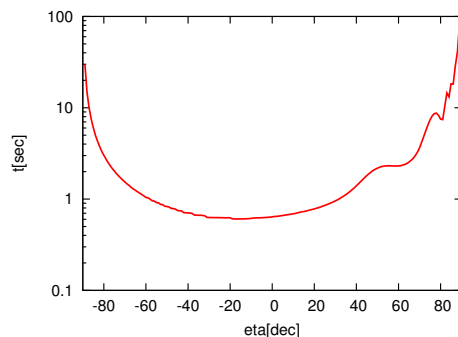


図2. 直立に要する時間と η の関係

[1] H.K.Moffatt and Y.Shimomura: *Spinning eggs - a paradox resolved*,
Nature 416,385-386(2002).

保存系での剛体の回転直立現象

2006年2月

福井大学 工学部 物理工学科

02380096 加藤 友直

剛体の回転直立と形の関係

2006年2月

福井大学 工学部 物理工学科

01380144 木澤 隆之