ユーチューブ映像上のカーリングストーンの運動解析法

○対馬勝年，森克徳

１．はじめに

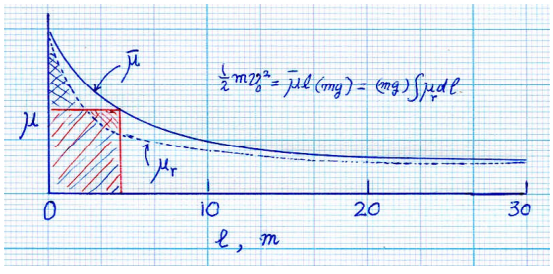
カーリングストーンの運動解析にビデオ映像が多く使われる。ビデオ映像には一コマ(通常 0.03 秒)毎の時間情報があるから、ストーンの運動解析に都合がよい。しかし、従来、この機能が十分に活用されているとは限らないようなので、筆者らの行っている手法を紹介したい。

２．カーリングストーン運動映像

インターネットのユーチューブ上にはカーリング世界選手権大会の録画映像が多数登録されている。世界最高選手による実験映像が容易に入手できる。録画をムービーメーカーという再生プログラムで開くと、1 駒目からの経過時間が 0.03~0.04 秒間隔で表示され、映像の前進・後退が可能となる。ストーンが滑走するアイスシートには、中心線、ホッグライン、ティーライン、大小の円、その他の画像が埋め込まれており、ストーンの直径(0.3m)、ストーン上面に棒状のハンドル、その他の目印もある。これらがストーンの縦位置、横位置(カール距離)、回転を見積もる手掛かりとなる。

３．摩擦係数 μ，μ_r の決定法

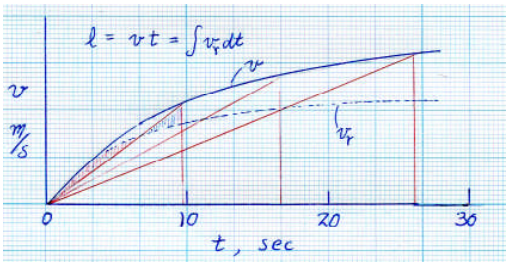
初めに摩擦係数 μ を一定 $\bar{\mu}$ と仮定すれば、速度 V は $V=V_0-\bar{\mu}gt$，滑走距離 ℓ は $\ell=V_0t-(1/2)\bar{\mu}gt^2$。停止までの時間を t とすれば、$V_0=\bar{\mu}gt$（g は重力加速度）だから、滑走停止距離 ℓ、滑走停止時間 t から摩擦係数が $\bar{\mu}=2\ell/(gt^2)$ と決定される。ここで終端を時間と距離の原点に置き換えると、終端からの距離 ℓ を代入すれば摩擦係数が決定される。この摩擦係



数は ℓ から停止までの平均の摩擦係数 $\bar{\mu}$ であり、$\bar{\mu}mg\ell$ は運動エネルギー $(1/2)mv_0^2$ に等しい。$\bar{\mu}$ －ℓ 図上の面積 $\bar{\mu}\ell$ mg は摩擦エネルギーである。滑走中の摩擦係数を μ_r とすると、$\bar{\mu}\ell=\int \mu_r d\ell$。つまり長方形の面積に等しい曲面の面積を作る点 μ_r を原点付近から順次決定していけば ℓ 点における摩擦係数 μ_r が決定される。停止点に近づくほど $\bar{\mu}$ は増大するから真の μ_r は $\bar{\mu}$ より小さい。

４．速度 V, V_r の決定法

停止までの時間 t から停止までの平均速度の 2 倍が t 点での速度 V だから、$V=2\ell/t$ として V － t 曲線が得られる。ここで停止の瞬間を時間の原点として時間 t を書き換える。V 曲線から真の速度 V_r を得るには $\ell=Vt/2=\int Vdt$ の関係を使う。V － t 図



上で原点 V、t を結ぶ三角形の面積と面積が等しくなるように描いた V_r － t 曲線から真の速度 V_r が得られる。氷上のストーンの運動の場合、時間に対する速度 V の変化は高速では小さく低速になるほど大きいから、V_r は V より小さくなる。

４．ホッグライン間での位置決定法

距離の見積もりはホッグラインからハウスまでの間は大小の円(半径 0.15, 0.61, 1,22, 1,83m)や中心線、各種模様など距離の手掛かりが多くストーンの位置決定が容易である。しかし、ホッグライン間(21.95m)では、映像に中心線以外に距離の目安となる模様のないことが多く、特に縦位置決定上のネックだった。我々は実測の平均速度と平均摩擦係数を使って hog line 間の縦位置を決定している。hog line 間の通過時間は正確に読み取れること、その間の摩擦係数の変化は 0.001 程度と小さいから読み取り時間 t に対するストーンの縦位置 y をかなり正確に見積もることができる。

停止時間は速度ー時間曲線で速度が 0 となる時間から決定するのがよさそうである。

５．おわりに

ユーチューブ上のカーリング映像から摩擦係数、速度、hog line 間の縦位置を導く方法を述べた。実際に解析してみるとビデオ映像には撮影角度から生ずる縦横にゆがみのあることに気付く、この補正法については専門家のアドバスを受けたい。