

カーリング・ストーンの運動解析

対馬勝年(富山大・理)

1. はじめに

氷のペブル(背の低い突起)の上を緩く自転しながら滑っていくストーンのカーリング運動を如何に説明するかについて最近の雪氷誌上で前野、対馬、成瀬による議論が続いている。対馬は従来の説明にはリングが自由に伸び縮みできないことから発生する拘束力が十分考慮されていないとし、自由な運動とリングの大きさが一定に固定されていることによる付加的運動とに分けて説明した。本発表の運動解析は本質的にはそれと同じであるが仮想的運動と実際の運動とのズレが運動過程で加わった力の方向を与え、単位時間のズレの2倍がその加速度に等しいという性質を応用した。この解析から摩擦抵抗と拘束力を導いた。これらの力からストーンをカーリングさせる横方向の力の存在が示される。

2. 解析方法

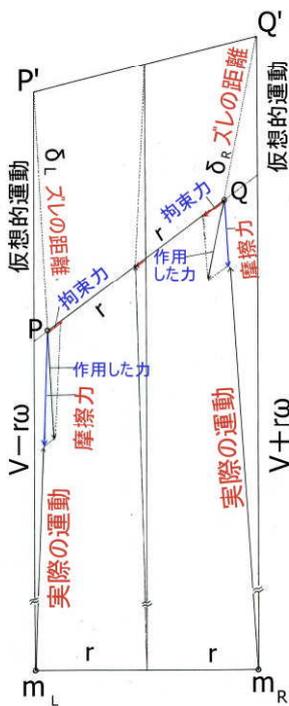


図1 運動解析

ω は自転の角速度、 V は初速度、 $m_L = m_R$ である。

3. 結果

単位時間で比較すると右 m_R は $\mu_R g$ だけ仮想的運動から引き戻され、左は $m_L g$ だけ引き戻される。実際の位置は m_L, m_R の間隔が $2r$ に固定されているためそれぞれ内側にずれて P, Q となる。 $P'P, Q'Q$

雪氷 74 卷 3 号「運動している物体の単位時間のズレの距離(仮想的運動と実際の運動とのズレの距離)の2倍は加速度に等しい」を適用する。リングの左右両端滑走面が長さ $2r$ の重さのない剛体棒でつながれているとする。図のように右側の質量を m_R 、速度を $V + r\omega$ 、摩擦係数を μ_R 、左側を m_L 、 $V - r\omega$ 、 μ_L 、 $\mu_L > \mu_R$ する。仮想的運動 $m_L P', m_R Q'$ と実際の運動 $m_L P, m_R Q$ は図1のように表される。

が滑走中に作用した力の方向と加速度の半分の大きさということになる。さて、摩擦抵抗は実際の運動を妨げる方向に働く力であるから、作用した力を実際の運動の方向と棒の方向の二つの力の成分に分割すると、棒の方向の力の成分は棒が一定の長さ固定されているために現れた拘束力ということになる。図1から解るように摩擦の大きい m_L に働く拘束力は小さく、摩擦の小さい m_R に働く拘束力は大きいから、正味摩擦の大きい方向への拘束力が働いて、棒が動いたことがわかる。

ストーンの底には幅 5mm 程度、外径 130mm 程度の平らなリング状の部分があり、このリングが氷でできたペブルの上を滑るから、図1の棒の位置は常に置き換わり、重心位置の横方向への移動が継続することになる。

ストーンの自転もまた P, Q の位置を僅かに変える。摩擦の大きい P の方は回転移動しにくく、摩擦の小さい Q の方は回転移動しやすい。その結果棒の中心は摩擦の大きい方に移動する。ただし、摩擦の違いはたいへん小さいから、中心のズレも僅かなものであろう。

4. おわりに

ストーンがアイスシートの上を滑るという誠に単純な現象であるが、自転を加えられたストーンは滑りながら自転の方向に曲がる。なぜ曲がるのだろうか。様々な学説が提案されているが、異なる学説間の議論も十分とはいえない。この問題はストーンの滑り面がリング状であることと、リングとアイスシート間に作用する摩擦が速度や温度によって異なり、リングの各部分で摩擦や作用する力が異なるために、ストーンの運動の扱いは意外に複雑なものとなる。また、摩擦機構を凝着説の立場で扱うのか、あるいは摩擦融解・水潤滑の立場で扱うのか、立場の違いがカーリングの機構に影響する。初期の Harrington (1924) の総合的研究を今日の発達した科学技術を駆使して精密化することも切望されるところである。

参考文献

- Harrington, 1924: Proc. & Trans. Roy. Soc. Canada, 18, 3, 247-259.
- 前野, 2010: カーリングと氷物性. 雪氷, 72, 181-189.
- 対馬, 2011: ストーンの曲がり説明. 雪氷 73, 165.
- 成瀬, 2012: 討論. 雪氷, 74, 191-172.