

カーリングストーンのカール機構

左右摩擦異方性説と前後摩擦異方性説の融合によるカールの説明

○対馬勝年、森克徳

1. はじめに

カーリングストーンのカール距離が(1)1m内外になること、(2)自転速度が大きすぎるとカール距離がわずかに短くなるとの二大問題 LR 説と FB 説の融合によって説明できると考えた。

2. 左右摩擦差によるカール(LR 説)

自転しながら滑るストーンは左右に加速側と減速側を生ずる。一方、氷上のストーンの摩擦特性として高速域では摩擦一定、低速域では低速になるほど摩擦が大きくなる速度特性がある。この特性のため加速側の摩擦が小さく、前進距離がわずかに長い。減速側は摩擦が大きく、前進距離がわずかに短い。このためストーンは減速側つまり自転の方向にカールすることを昨年の大会で発表した。この左右進行距離の差がカール距離のほとんどを説明する。

カーブして進む例を挙げよう。偉径輪軸ユニットをころがすと輪径の短い方にカーブして進む。輪径が等しい自動車の場合は、左右の車輪の回転数を違えて回転数の少ない方へカーブする。これらに共通するカーブの仕組みは左右端の進行距離に差があり、進行距離の短い側にカーブする点である。これらは左右間の距離が一定という拘束条件下での運動である。カーリングストーンの場合も左右間の距離一定という拘束条件下で左右端の進行距離に差が存在するためカールを生ずると説明(左右摩擦異方性起因説、LR 説)されてきたもので、カールの主原因となる。Harrington(1924)はストーンの運動を総合的に解析し、左右の速度差がカールの原因であると主張した。これはストーンの運動解析と基礎実験に基づいたものだったが、FB 説側からは真価が理解されなかったという歴史的な経緯がある。

3. 前後摩擦差によるカール (FB 説)

ストーンは制動を受けながら滑っているため、重心はわずかに前方へ d だけ移動する。ストーンの重心の高さを h 、摩擦係数を μ とすると、 $d = \mu h$ の関係がある。前方の荷重がわずかに大きくなり、後方の荷重はその分だけ小さくなる。自転に対する影響でみると、前方のブレーキが大きく後方の減速が小さいため、前方を支点に後方が回転の方向にわずかにずれる。上部後方から見ると中心は

自転と反対方向にずれる。歴史的にはカーリング・ストーンのカールが問題とされる以前からテーブル上を自転しながら滑走するコップ(伏せたコップ)のカールの説明として知られていた。プラスチックのコップをテーブル上に滑らせると自転と反対方向へカールすることが容易に確認される。コップの場合、 $\mu = 0.3$ 内外と大きいから、「前のめり効果」が強く表れる。しかし、これをカーリングストーンに当てはめようとすると、自転の方向にカールするストーンの運動を説明できない不都合を生ずる。そこで Gilbert はカーリングストーンの場合は前方ではなく後方の摩擦が大きくなっているはずだと主張した。この論法は多くの支持を受けたのであるが、その理由は「他に有力なカール説明法がないとの思い込み」が強かったからである。筆者らは前方の摩擦が大きいとしてカーリングストーンに適用し、カール距離を与える式を導いた。氷上のストーンの摩擦係数は 0.01 内外と小さいから重心の前方移動も僅かでカールも大変小さい。Penner(2001)の理論でも示されたことであるが、Gilbert(1930)以来多くの研究者による「左右摩擦差は横向の力(摩擦成分)を生じないからカールを説明できない」という呪縛のため、前後摩擦差で主カールを説明しようと悩んだ。左右摩擦差が主カールを与え、前後摩擦差は副カールを生ずることを受け入れれば、(1),(2)の問題が同時に解決される。これを表題のように学説の融合と名付けてみた。前後摩擦差によるカールは自転の角速度 ω を含み、自転と逆方向のカールを与える。通常の競技に使われる停止までに 2 ~ 4 回転程度の小さな自転角速度ではカール距離に与える影響は小さいが、自転角速度が大きくなれば認められる程度のカール距離となる。これが前進距離の差から生ずる大きなカールに対する修正作用となって働き、自転速度が増すとわずかにカール距離を小さくするものと解釈される。

4. LR 説と FB 説の融合

LR 説が自転方向への主カールを与え、FB 説は自転と反対方向への小さなカールを与える。LR 説と FB 説の融合により、(1)カール距離の大きさと(2)自転角速度が大きくなればカール距離が逆に短くなるという難問への解答が与えられる。