

討 論

「左右摩擦異方性がカールをもたらす仕組みおよび 摩擦と摩擦力についての補足」へのコメント

成瀬 廉二¹

雪氷 73 巻 6 号に対馬勝年会員による表記のタイトルの「討論」(対馬, 2011b: 以下‘補足’と呼ぶ)が掲載された。これは、同著者の「研究ノート」(対馬, 2011a) への補足説明ということである。

対馬会員は、1969 年以来、一貫して氷の摩擦の研究に取り組み、摩擦の凝着説を新たに提唱するなど数多くの業績をあげてきた。また、これらの成果をウィンタースポーツに応用する努力も行い、1998 年の長野オリンピックでは、氷筈を張り詰めた高速スケートリンクの試作にも力を注いだ。

しかしながら、カーリング競技のストーンの曲がり(カール)に関する研究ノート、および‘補足’には、論理的とはいえない説明がいくつか見られるとともに、物理学の常識から離れた主張があるので、それらについて指摘したい。なお、‘補足’が「討論」として掲載されたので、本コメントも「討論」としているが、雪氷学上の真の討論ではない。むしろ、それ以前の、本来なら印刷公表前に査読者が論評すべき内容と思われる。

なお、本コメントは、カーリングストーンと氷との摩擦のメカニズムには立ち入らず、ストーンの運動における古典力学の観点のみから論ずる。

カールする説明の試み

‘補足’の図 1 に、左右摩擦異方性によりストーンがカールする説明を試みている。点 P、Q はストーン底面のリングの両端にとっているので、 $PQ = 2r$ で長さは当然不変である。しかし、仮に P、Q 間は伸びることができるとして、P は P'_v に、Q は Q'_v に移動し、後に、 $PQ = 2r$ に戻らなければならないので、 P'_v は S_a 、 Q'_v は S_b だけ滑る。そのとき、

P の方が Q より摩擦が大きいのので、 $S_a < S_b$ であり、したがってストーンの中心は P 側に移動する、という論法である。これは、ストーンという剛体を、都合の良いように、楕円に変形させたり戻したりし、さらに架空の長さ (S_a , S_b) を比較するなど、とても受け入れられる説明ではない。

カールを生ずる力

ニュートンの運動の第一法則は、「物体は、力の作用を受けない限り、静止の状態、あるいは一直線上の様な運動をそのまま続ける」と述べている。したがって、カールするためには進行方向に直角な成分をもつ力が働かなくてはならない。放球後のカーリングストーンの運動を支配する力は、氷との摩擦と空気抵抗しか考えられない。非常に低速なので、後者は前者に比べ無視し得る。したがって、摩擦力がカールさせ得るか否かという問題になる。

前野 (2010a) の図 3、前野 (2010b) の図 2、および根本ら (2011) の図 1 では、ストーンがゆっくり回転しているとき、左右摩擦異方性により生ずる摩擦力の進行方向直角成分は互いに相殺され、剛体の中心には左右の向きの力がかからないことを示している。すなわち、摩擦力の左右の違いは、ストーンをスピン(軸中心の回転)させるが、重心の運動をカールさせることはできない(前野, 2010b)。さらに前野 (2010a) は、ストーンとペブルの摩擦、水膜生成、蒸発、温度低下、および摩擦による氷屑生成のプロセスにより、ストーンの後部の方が前部より摩擦が大きくなり、結果として進行方向に垂直な正味の摩擦力が発生する、と論じている。

対馬 (2011a) では、前後摩擦異方性によるカールの説明を図 1 に示している。しかしながら、左右摩擦異方性による力の成分の分布図は示してい

¹ (NPO 法人) 氷河・雪氷環境研究舎

〒680-0011 鳥取市東町 2 丁目 339

ない。それに代わって対馬 (2011a) の図 2 では、ボートを例として図示し、文中でもボート、リヤカー、橇などを例にとり、「左右に摩擦の違いがあれば摩擦の大きい方が急減速し、あたかも摩擦の大きい側を軸に回転するように曲がる」と述べている。しかし、この説明は正しくない。なぜなら、これらの乗り物はすべて横方向には動き(滑り)難い構造をしており、左右摩擦差でスピンすると、新たな進行方向の速度成分にて滑走を続けるので、カールしたことになる。一方、円盤状のストーンはスピンしても進行方向は変わらない。

摩擦力和外力

対馬 (2011a) は、「運動を妨げる原因は凝着や付着であり、摩擦力と言う外力が実在するわけではない」、「摩擦力は外力ではないが」などと、また‘補足’でも「だから滑り運動を続けるのに力 F が必要なのであり、外力としての摩擦力の作用はない」、「摩擦力は実在する力と言う誤解を招く懸念がある」と述べている。

摩擦力は、万有引力のような普遍的な力ではなく、速度や荷重や温度によって大きく変わる、ということなら理解できる。しかし、物理学では、外力とは、注目している物体に外から働く力のことを指す。したがって、運動しているストーンにとっては、氷との摩擦、および小さいが空気抵抗は立派な外力である。物理用語とは別な意味に使いたいのなら、外力ではなく、別な言葉を選ばなくてはならない。

また、‘補足’の第 2 節冒頭に、「荷重 W を受けて固体面上を滑っている物体の運動を持続させるには引く力 F を常に加え続ける必要がある。力 F が必要なのは接触面に摩擦があるためである。」との記述がある。カーリングには、こんな力 F があろうはずがない。滑走中のストーンは、運動方

向の逆向きに摩擦力を受けているので、負の加速度となり、やがて目標地点付近で停止するか、他のストーンに衝突してはじき出す。もし著者が、この節ではダウンヒルスキーあるいはボブスレー競技を想定したのなら、重力の斜面方向成分が物体の駆動力 F となるので、理解できないことはない。この場合は、空気抵抗と摩擦力の和と、この力 F との大小により、運動は減速または加速する。しかしながら‘補足’では、斜面上の運動論に転ずるわけではなく、表面の凹凸や真の接触面の説明に移る。なぜ突然、 F なる引く力を仮想したのか、大きな疑問を感じる。

さらに続いて、月と地球との力関係に言及しているが、遠心力は観察者が回転する座標系に乗っているときに現れる見掛けの力であり、ストーンの摩擦力はこれと類似ではない。

たぶん、著者が最も言いたいことは、‘補足’の「おわりに」の最終パラグラフの「摩擦力の理解には摩擦の起源つまり摩擦機構の理解が必須である」だろう。もしそうであれば、その問題にしばって論ずるべきであった。

文 献

- 対馬勝年, 2011a: カーリング・ストーンの曲がりの説明について. 雪氷, **73**, 165-172.
 対馬勝年, 2011b: 左右摩擦異方性がカールをもたらす仕組みおよび摩擦と摩擦力についての補足. 雪氷, **73**, 405-407.
 根本征樹・平島寛行・山口 悟・菅野祐司・岡本祥子・小杉健二・竹井 巖・金田安弘・松下拓樹・中山雅茂・前野紀一, 2011: 雪氷学会カーリング実験の教育的意義—滑走円筒の運動力学の正しい理解のために—. 雪氷研究大会 (2011・長岡) 講演要旨集, p. 254.
 前野紀一, 2010a: カーリングと氷物性. 雪氷, **72**, 181-189.
 前野紀一, 2010b: カーリングのサイエンス. 寒地技術論文・報告集, **26**, 418-421.

Comments on “Supplementary note on curl mechanism resulting from left-right frictional asymmetry and frictional force” by K. Tusima

Renji NARUSE¹

*1 Glacier and Cryospheric Environment Research Laboratory,
 2-339, Higashi-machi, Tottori, 680-0011 Japan*

(2012 年 1 月 25 日受付)