

令和2年11月26日  
国立大学法人北見工業大学

## 世界で初めて、カーリングのストーンが氷上で曲がる現象に最も影響を与えているのは ストーンの下部で氷と接触している部分の表面粗さとその面積であることを解明

### <概要>

カーリング競技では選手はストーン（注1）を氷上で投げる時に少し回転させます。時計周りに回転させるとストーンは氷上で徐々に右に曲がり、反時計回りに回転させると左に曲がります。回転させないでストーンを投げると、ストーンは氷上で不規則に動きます。カーリングではこの曲がりの程度がゲームの戦略上たいへん重要です。しかしながら、このストーンが氷上で曲がる原理については、いわゆる定説がない状況でした。また、カーリング場ごとにその曲がる距離（以下、曲がり幅）が異なるという問題もあり、カーリング競技の普及の妨げとなっていました。

国立大学法人北見工業大学（学長：鈴木聡一郎）の亀田貴雄教授、原田康浩准教授、佐渡公明名誉教授らの研究チームは、土木測量で用いられる自動追尾型トータルステーション（注2）を用いて、氷上を滑るストーンの精密な軌跡を測定しました。また、ストーン下部の「ランニングバンド」と呼ばれる氷との円環状の接触部の表面粗さを触針式の表面粗さ計で測定しました。さらに、カーリング場の氷面で紫外線硬化性樹脂を使い、カーリング場の氷面レプリカ試料を作成し、その表面形状をレーザー顕微鏡で測定しました。

これらの測定の結果、氷上を滑るストーンが曲がる現象に最も影響を与えているのは通常考えられているようなカーリング場の氷面の状況（氷面に付着しているペブルの大きさや数密度、氷面の温度）ではなく、氷と接触するランニングバンドの表面粗さとその面積であることを世界で初めて明らかにしました。現在、世界中のカーリング場ではストーンの曲がり幅が一定でないことが競技普及の課題になっていますが、本研究の成果を応用することで、これが解決できる可能性があることがわかりました。

この成果はイギリスのネイチャー・リサーチ社によって刊行されている学術雑誌 *Scientific Reports* のオンライン版に日本時間で2020年11月26日午後7時（イギリス時間では11月26日午前10時）に掲載されました。

### <発表論文>

掲載誌：Scientific Reports

タイトル：The importance of the surface roughness and running band area on the bottom of a stone for the curling phenomenon

著者：Takao Kameda, Daiki Shikano, Yasuhiro Harada, Satoshi Yanagi and Kimiteru Sado

（亀田貴雄、鹿野大貴、原田康浩、柳敏、佐渡公明）

DOI: 10.1038/s41598-020-76660-8

論文出版日および出版時刻：2020年11月26日午後7時（日本時間）

## <研究の背景>

カーリング競技では選手はストーンを氷上で投げる時に少し回転させます。時計周りに回転させると、ストーンは氷上で徐々に右に曲がり、反時計回りに回転させると左に曲がります。回転させないでストーンを投げると、ストーンは氷上で不規則に動きます。カーリングではこの曲がりの程度がゲームの戦略上大変重要です。しかしながら、このストーンが氷上で曲がる原理については、これまで20を越える論文で種々のメカニズムが提案されてきましたが、いわゆる定説がない状況でした。また、カーリング場ごとにその曲がる距離が異なるという問題もあり、カーリング競技の普及の妨げとなっていました。この状況を野球に例えると、投手の投げるカーブの曲がり方が野球場ごとに異なり、カーブが曲がる理由もわからず、そのため投手の育成が妨げられていることに相当します。

このため、ストーンが氷上を進むにつれて曲がるという現象に最も影響を与えるものは何か、を明らかにすることを目的として実験を実施しました。

## <実験方法>

実験は2019年に北海道北見市のアドヴィックス常呂カーリングホールで実施しました。氷上を滑るストーン的位置データは土木測量で用いられる自動追尾型トータルステーション(図1a)のターゲットをストーンのハンドル上部に固定して(図1b)、0.4秒間隔でその位置座標を正確に測定しました。実験では通常のカーリング競技で使われる氷面(図1c、ペブルと呼ばれる直径2~7mm、高さ0.1mm程度の小突起がある氷面)とペブルを削った平らな氷面(図1d)を使用しました。ストーンは4つ準備し、そのランニングバンドの表面粗さは、布やすりで調整しました。

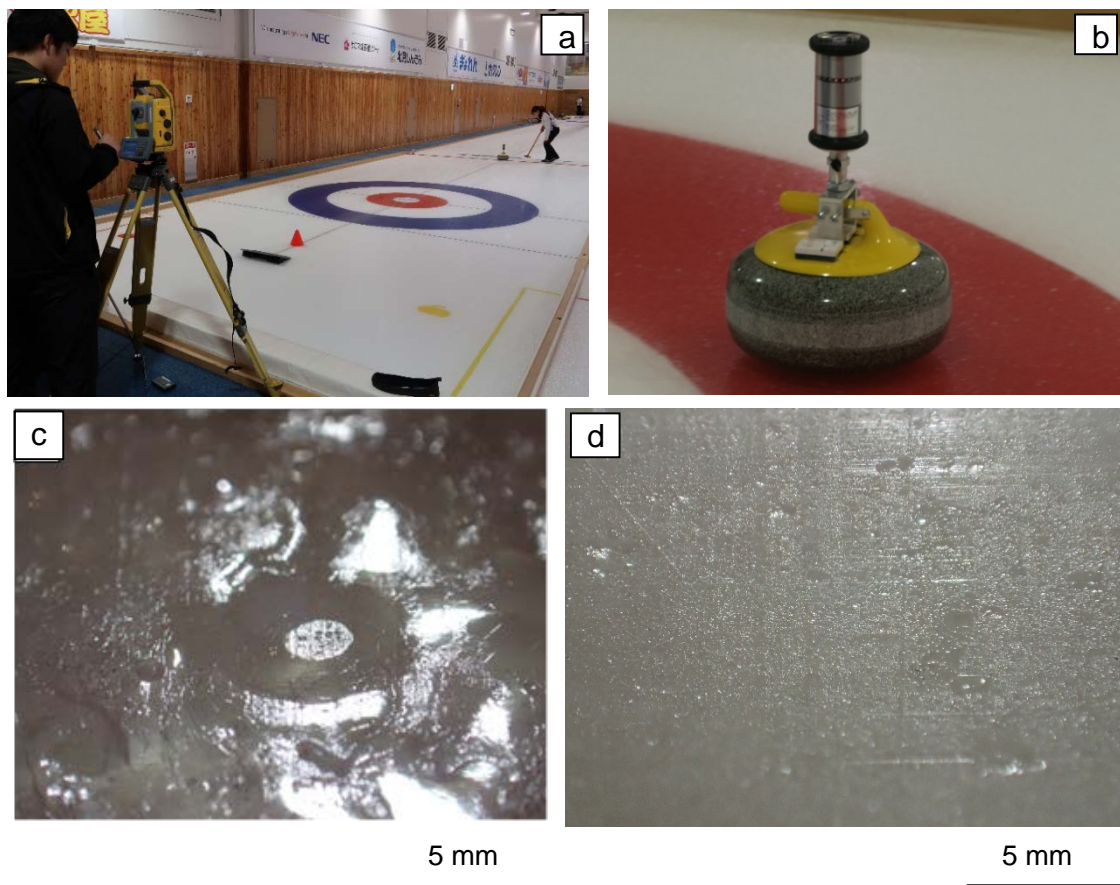


図1 常呂カーリングホールでの測定の状況。a: 自動追尾型トータルステーションを用いた測定の様子、b: ストーンのハンドルに固定した自動追尾型トータルステーションのターゲット、c: カーリング場の氷面のペブル(接写撮影)、d: ペブルを削った平らな氷面(接写撮影)。

ストーン下部のランニングバンドの表面粗さは接触型の小型表面粗さ計、その幅はノギスで測定しました。カーリング場の氷面はデジタルカメラで撮影しました。さらに紫外線硬化性樹脂を用いてその形状のレプリカ試料を作成し、レーザー顕微鏡を用いてペブルの直径、高さを測定しました。

### <研究の内容>

図 2 に自動追尾型トータルステーションを使って測定したストーンの軌跡を示します。a はランニングバンドがある程度の表面粗さを持つストーンで、b はランニングバンドの表面粗さが滑らかなストーンです。ここで a のストーンの算術平均表面粗さ  $R_a$  (注 3) は  $2.772 \pm 0.195 \mu\text{m}$ 、b の算術平均表面粗さ  $R_a$  は  $0.526 \pm 0.070 \mu\text{m}$  でした。a の軌跡はストーンが氷上を進むにつれて曲がりますが、b は不規則な動きをします。すなわち、ストーンの軌跡は氷面と接触するランニングバンドの表面粗さで大きく変化することがわかりました。以下、ストーンを投げる方向はカーリング場の氷面の長手方向であり、その直交方向へのストーンの移動距離をストーンの「曲がり幅」とします。

図 3a にランニングバンドの算術平均表面粗さ  $R_a$  とストーンの曲がり幅との関係を示します。ここでは、通常のペブルがある氷面 (黒丸) に加えて、ペブルを削った平らな氷面の結果 (白丸) も示します。ストーンの  $R_a$  が大きくなるとストーンの曲がり幅が大きくなること、平らな氷面のほうが曲がり幅が大きいことがわかります。相関係数はそれぞれ 0.88、0.97 でした。t 分布検定では 5% で有意でした (注 4)。ただし、ペブルがある時の両者の相関係数は 0.88 であり、この値は相対的には小さな値でした。

図 3b は、ストーンの表面粗さ面積 (SRA、Surface Roughness Area) とその曲がり幅との関係を示します。SRA とはストーンの  $R_a$  にその面積  $S$  を掛けた値であり、本研究で初めて導入したパラメータです。この場合の相関係数は 0.97 と 0.98 であり、図 3a での結果よりも相関係数が大きくなりました。t 分布検定ではどちらも 5% で有意でした。

このことは、ストーンの曲がり幅に対してはストーンの表面粗さ面積 (SRA) が大きく影響を与えていることを示します。

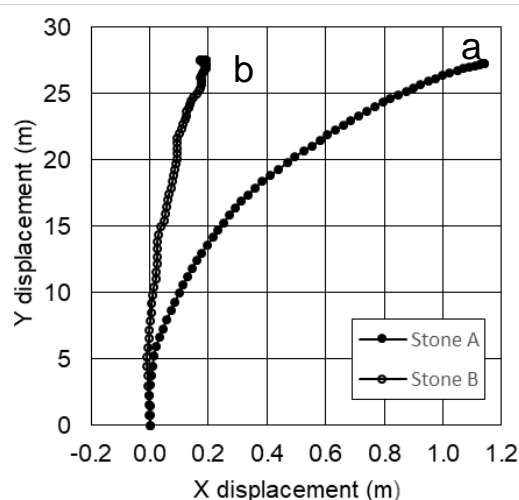


図 2 ランニングバンドの表面粗さが異なるストーンの氷上での軌跡 (a のストーンの算術平均表面粗さ  $R_a$  は  $2.772 \pm 0.195 \mu\text{m}$  であり、b の算術平均表面粗さ  $R_a$  は  $0.526 \pm 0.070 \mu\text{m}$ )。

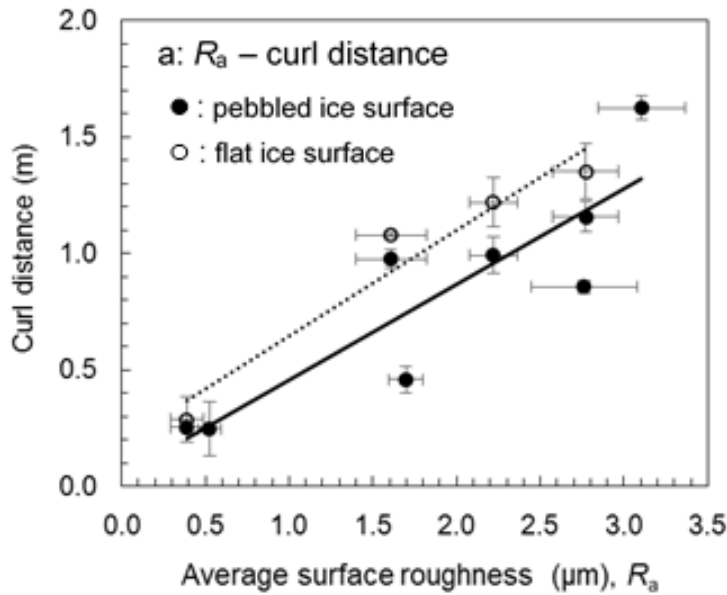


図 3a ストーンの算術平均表面粗さ  $R_a$  とストーンの曲がり幅との関係.

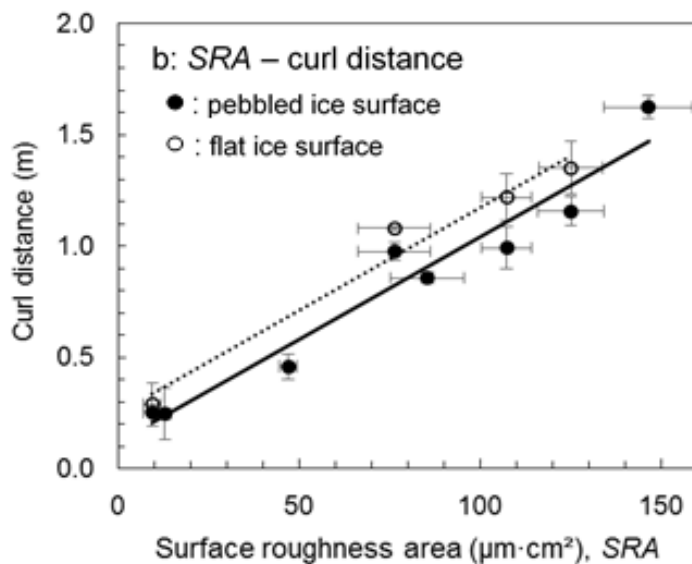


図 3b ストーンの表面粗さ面積 ( $SRA$ ) とストーンの曲がり幅との関係.

### <研究成果の応用>

現在、世界中のカーリング場ではストーンの曲がり幅が一定でないことが競技普及の課題になっています。ストーンが曲がらないカーリング場では、本研究と同様にストーン下部で氷面と接触するランニングバンドの表面粗さを適切な値に変えることで、氷上を滑るストーンが適切に曲がるようになることが期待されます。

本研究では、布やすり（粗めの番手は 80 を中心に使用）を使ってストーン下部のランニングバンドでの表面粗さを調整しました。1) 布やすりを水平な机に固定し、ストーンはその上を約 10cm 程度ゆっくり往復させます。2) 1 往復が終わったら、ストーンを持ち上げて 45 度回転させてから、布やすりの上にストーンを置き、再び布やすりの上を 10cm 往復させます。この動作を合計で 4 回（4 往復）行いました。このようにして、ストーン下部のランニングバンドの表面粗さを適切な値（算術平均表面粗さ  $R_a$  では 2.5 程度）に変えることで、氷上を滑るストーンは 28.3m 先のハウスの中心で、1m 程度曲がるようになることが期待されます。

<注1> ストーン

スコットランドのクライド湾に位置するアルサクレイグ島で産出される花崗岩で作られる。直径は約 28 cm、質量は 18~19 kg 程度。カーリング競技で使われるストーンはボーリングのボールのように個人所用ではなく、カーリング場が所有している。

<注2> 自動追尾型トータルステーション

自動で目標物（ターゲット）を追尾して、目標物までの距離と角度を測定する装置。土木分野の測量で使用される。

<注3>  $R_a$

物体表面の粗さを表す際に最も一般的に使用される指標。以下の(1)式で定義される。ここで、 $\Delta z_i$ は平均的な高さからの偏差を意味するため、算術平均表面粗さ  $R_a$ は物体表面の平均的な粗さを示す。 $n$ は測定回数。

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta z_i| \quad (1)$$

<注4>  $t$ 分布検定では 5% で有意でした

$t$ 分布検定とは 10~30 程度の測定データを用いて、データ間の有意性を検定する方法。ここで、有意水準が 5% 以下である時に「その関係が有意である」と表現される。ここで、一般的な用語を用いると、「有意水準が 5% 以下」とは「信頼限界が 95% 以上」であることを意味する。つまり、100 回の中で 95 回以上は 2 つのデータ間に想定されている関係式が成り立つことを意味する。統計学においては、2 つの測定結果の間の有意水準が 5% 以下、つまり信頼限界が 95% 以上である時に、両者の間の関係式が成り立つと考える。

<発表論文>

掲載誌：Scientific Reports

タイトル：The importance of the surface roughness and running band area on the bottom of a stone for the curling phenomenon

著者：Takao Kameda, Daiki Shikano, Yasuhiro Harada, Satoshi Yanagi and Kimiteru Sado  
(亀田貴雄、鹿野大貴、原田康浩、柳敏、佐渡公明)

DOI: 10.1038/s41598-020-76660-8

論文出版日および出版時刻：2020 年 11 月 26 日午後 7 時（日本時間）

お問い合わせ先

(研究内容について)

北見工業大学 工学部 亀田 貴雄 (かめだ たかお)

TEL:0157-26-9506 E-mail: kameda@mail.kitami-it.ac.jp

(報道について)

北見工業大学 総務課広報担当

TEL:0157-26-9116 E-mail: soumu05@desk.kitami-it.ac.jp