

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560318

研究課題名(和文)復刻木製ヤリにみる競技用ヤリの高剛性化に関する研究

研究課題名(英文) Examination of the increased stiffness of javelins used in competition from the perspective of a reproduction wooden javelin

研究代表者

前田 正登 (MAEDA, Masato)

神戸大学・人間発達環境学研究所・教授

研究者番号：90209388

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：競技用ヤリに関して現行の規格に適合する木製ヤリを復刻・製作した。木製及び他素材のヤリについて特性を測定し、やり投げ選手に木製ヤリと通常のヤリを用いた投てき実験を行った。木製ヤリは他素材のヤリと比較して、形状や重量、重心位置、各部の寸法等では他のヤリと違いは無く現行規格に適合していた。しかし、木製ヤリのたわみ量は極めて大きく、他のヤリの約3倍を超えていた。投てき実験の結果、木製ヤリによる投てき距離は通常のヤリよりもやや小さかったものが有意な差ではなかった。同様に、各リリースパラメータに有意な差は無かった。各リリースパラメータの標準偏差が比較的大きく、被験者間での個体差が原因の1つと考えられた。

研究成果の概要(英文)：A reproduction wooden javelin that conforms to the current length and weight regulations for javelin throw competitions was fabricated. The javelin's characteristics were compared with those of javelins made of other materials, and throwing experiments were conducted in which javelin throwers threw the wooden and normal javelins. The reproduction wooden javelin did not differ from the others in relative size of each part, and thus met current regulations for javelin throw competitions. The wooden javelin had a much lower static bending stiffness and bent around 3-fold more than the other javelins. In the throwing experiments, the distance that the wooden javelin was thrown was slightly shorter than that of the normal javelins, although the difference was not significant. Similarly, no significant difference was observed in each release parameter. The standard deviation of each release parameter was large, which was probably partly caused by individual differences between the throwers.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：スポーツ科学 ヤリ 剛性 木製 やり投げ

1. 研究開始当初の背景

1986年,I.A.A.F(国際陸上競技連盟)は、それまでのヤリが飛びすぎることや印跡判定が困難であったことを考慮し、男子のヤリに関する規格を改訂した。その結果、やり投げ競技の様相は大きく変容した(Borgstrom, 1989; Arbeit, 1990)。

ヤリに関する規格の改訂は、ヤリの構造を大きく変容させることになり、ヤリの静特性の変化にとどまらず、競技成績に直接影響を及ぼす振動特性においても大きな変化となっていたことが報告されている(Hubbard & Always, 1987; Hubbard & Bergman, 1989; 前田ら, 1992; 前田ら, 1993)。

その後、これら一連の形状や重心位置に関する規格改訂とは別に、それまで「金属製穂先、柄、握り紐の3つの部分からなる」構造のうち「柄は金属製でなければならない」となっていた規定が、1998年4月から「金属または類似の物質」に変更され、Steel または Duralumin の単一素材に限られていたヤリ本体の素材に関して、FRPを含めた複合素材を用いることを、事実上、認める規定に変更された。この規格改訂後10年余りが経過し、競技会においては、Steel や Duralumin による単一素材のヤリに加え、複合素材で製作された多種多様なヤリが使用されるようになってきており、それら複合素材で製作されたヤリの諸特性(前田, 2014)が明らかになりつつある。

しかし、Steel や Duralumin の単一素材に加えて複合素材のヤリが広く使用され、剛性の高いヤリに注目が集まる一方で、高剛性のヤリを選択使用することが好成績に繋がるとは限らないことが報告(前田ら, 1991)されている。この報告で対象となっているヤリの本体は Steel または Duralumin の単一素材であり、これらの剛性の範囲を超え極めて低い剛性のヤリを対象にすることで、結果は変わり得ることが予想される。素材を木材にできれば、極めて剛性が低いヤリを提供することが可能であると想定されるが、木製のヤリは現在の競技会で使用されることは無い。

2. 研究の目的

本研究は、ヤリの材質の違いがやり投げの競技成績に及ぼす影響を検討するものであり、競技用としてのヤリの必要特性を明らかにして、やり投げ選手本位のヤリを解明するものである。

3. 研究の方法

(1) 木製ヤリの製作及び試料ヤリの特性測定

本研究で復刻した木製ヤリは、本体にはホオノキ材を使用し、ヤリ先及び Grip 部に巻く紐は、通常のヤリ(男子用)に使用されているものを転用して製作した。なお、復刻した木製ヤリは、ヤリ本体にホオノキ材を用いたほかは、通常の競技用ヤリで使用されているものを用いており、後に示すように、全長

や重量、重心位置等は現行の競技用ヤリの規格にもすべて適合しており、競技会でも使用可能な状態に仕上げた。

すべての試料ヤリについて、形状、質量、重心位置及び慣性モーメントの測定、インパルス加振実験、曲げ剛性の測定を行った。特に、試料ヤリの曲げ剛性については、木製ヤリの剛性が既製のヤリと比較して極めて低いことが予想されていたため、測定方法を再検討し従来までの方法よりも妥当な測定方法を用いている(前田, 2015)。

(2) 試料ヤリを用いての投擲実験

被験者は男子やり投げ選手6名で、いずれも高校以降継続してやり投げ選手として各種競技会に出場してきているやり投げの経験豊富な大学生であった。

被験者6名に対して、木製ヤリ及び通常ヤリを用いた試技を交互に各2回計4回行わせた。なお分析にあたっては、これら全試技のうち、被験者自身の判断による失敗試技を除く試技を分析対象とした。

対象の被験者に木製ヤリ及び通常ヤリを用いた試技を行わせ、リリース時のヤリの初期状態を含むやり投げの投げ動作中のヤリの挙動を同期された3台の高速度ビデオカメラ(Phantom Miro eX2, Vision Research; 500fps, シャッタースピード: 1/1000秒)を用いて、被験者の右側方約10m離れた位置から撮影した。なお、実験終了後に全試技について投てき距離を実測した。

リリース時のヤリの初期状態を、3次元動作解析システム(Frame-DIAS, DKH)を用いて分析した。パソコンに取り込んだ映像をもとに、通常ヤリについては、先端、重心位置及び後端の計3カ所を、木製ヤリについてはこれら3点に加え、L1/2点及びL2/2点の計5カ所をデジタイズし、これらの点の3次元位置座標を得た。

本研究では、完全に手からヤリが離れたと判断された直前のコマの時点をリリース時と設定した。そして、リリース時におけるヤリの投射初期パラメータ(初速度、投射高、投射角、姿勢角及び迎え角)を算出した。なお、本研究では矢状面(y-z平面)における各角度を、投射角 θ_s 、姿勢角 ϕ_s 及び迎え角 α_s とし、水平面(x-y平面)における各角度を、それぞれ、水平面投射角 θ_h 、水平面姿勢角 ϕ_h 及び水平面迎え角 α_h と区別した。

4. 研究成果

(1) 試料ヤリの諸特性

試料ヤリの長さや質量、重心位置、グリップ位置は、すべて現行規格の範囲内であった。木製ヤリの質量はわずかに大きく、重心位置はわずかに小さいヤリ先寄りの設定となっていた。また、重心まわりの慣性モーメントは、木製ヤリで0.336~0.399 kg・m²と小さく、先行研究の報告と比較しても極めて小さい値であった。

本研究で復刻した木製ヤリは、本体にホオノキ材（乾燥時の比重は0.48程度とされる）を使用しており、本体はやや軽めに仕上がっている。そのために、規格に適合するように全体重量及び重心位置を調整するにあたり、Grip部に重り片を挿入・接着したうえで紐を巻きヤリ先を取り付けている。このような重り片の挿入による調整は、結果的に、重心を含むGrip部に質量を配分することになり、重心まわりの慣性モーメントを小さくすることに繋がったものと考えられる。

通常の競技用ヤリは、300Hz以内で4つの固有振動モードを有しているとされ、最も周波数が低い2節曲げの振動モード（1次モード）ではほぼ代表できるとされている。

最も周波数が低い2節曲げの振動モード（1次モード）に着目すると、木製ヤリの共振周波数は、それぞれ19.4 Hz (Wood1), 19.5 Hz (Wood2), 18.4 Hz (Wood3), 及び18.1 Hz (Wood4)であり、これらは先行研究を含めた他のヤリよりも極めて小さな値であった。

金属製のヤリでは、共振周波数が高いヤリほど重心まわりの慣性モーメントは小さいことが報告されており、4本の木製ヤリ、あるいはCompositeタイプのヤリ、Steel製ヤリ及びDuralumin製ヤリのそれぞれではこの関係が認められるものの、試料ヤリ全体としては顕著な傾向は認められなかった。

Wood3(木製ヤリ)及びNCC(Composite), CHA(Steel), MED(Duralumin)の計4本について、1次の共振周波数におけるモード形を図1に示す。

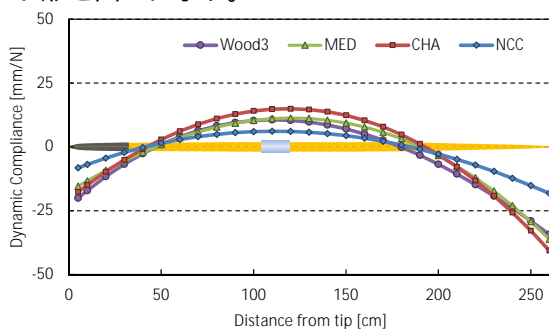


図1 Wood3(木製)及びNCC(Composite), CHA(Steel製), MED(Duralumin製)における1次モードの振動形

図1に示されるように、ヤリによってモード形は異なっており、2つある振動のnode位置やloop位置は異なっていた。Wood3(木製ヤリ)における節の位置はNCC(Composite)と同程度であり、CHA(Steel)及びMED(Duralumin)よりもヤリ先側にあった。後方のnode位置がよりヤリ先側に位置していることやtail部のコンプライアンスが大きいことは、tail部の形状が細いこともあって、投射後のヤリが大きく振動しているように見えることに繋がる。同じ条件で投射された場合、本研究の木製ヤリは、他のヤリよりも大きく振動しながら飛行するように見えるものと予想される。

木製ヤリ(Wood3)及びNCC(Composite), CHA(Steel製), MED(Duralumin製)についての結果を図2に示す。また、全試料ヤリについて、たわみ量が最大となる位置、振動1次モードのloop位置及び重心位置をGrip位置とともに図3に示す。

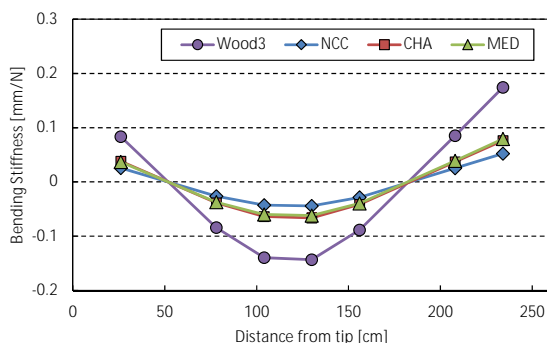


図2 Wood3(木製)及びNCC(Composite), CHA(Steel製), MED(Duralumin製)におけるたわみ量

図2のように、Wood3(木製)の最大たわみ量は0.132~0.147mm/Nで極めて大きく、他のヤリの0.044mm/N(NCC: Composite), 0.062mm/N(MED: Duralumin)及び0.066mm/N(CHA: Steel)の約3倍を超えるたわみ量で、従来までの報告には無かった極めて大きな値であった。このように、現在、競技会で使用されているヤリの剛性をはるかに下回る木製のヤリの剛性の低さは、当然のことながら、仮に競技会で使用された場合に、重大な影響を及ぼすことになるであろう。また、木製ヤリにおいてたわみ量が最大となる位置は、先端からの距離が115.5~119.2cmで、Compositeタイプのヤリを除く他の試料ヤリがいずれも約118.5cm近傍であったのと比較してややばらついてはいたものの、いずれもGripの紐が巻かれている範囲の後方に偏っていた(図3)。たわみ量が最大となる位置に関する結果は従来の報告と同様であり、木製のヤリはたわみ量が極めて大きく、かつ、剛性が低いことが特徴的なヤリであることが示された。

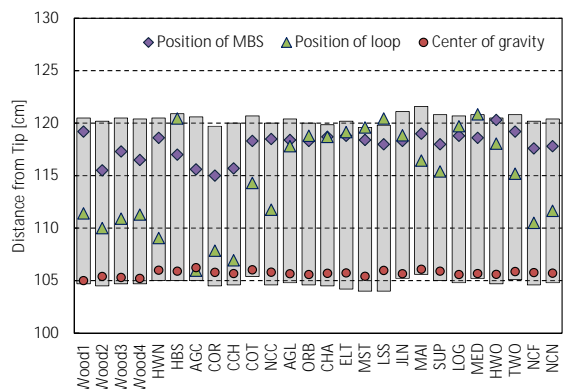


図3 試料ヤリにおける最大たわみ量となる位置、振動1次モードのloop位置及び重心位置(網掛け部はGrip位置を示す)

(2) 投てき実験

通常ヤリ(Duralumin)と木製ヤリ(Wood)を使用したときの各投てき距離の結果を図4に示す。

木製ヤリと通常ヤリを使用した場合の投てき距離では、木製ヤリの方がやや小さかったが、有意な差は認められなかった。木製ヤリを使用した場合の投てき距離は、被験者間での差がやや大きいものの、2回の試技間の差はさほど大きくはなかった。つまり、通常ヤリの場合の投てき距離を基準にすると、木製ヤリを使用すると投てき距離がやや小さくなった者もいれば、逆に、小さくなった者もいて、平均的にはやや小さい結果になっていたものの、木製ヤリであることの影響は被験者によって異なる結果であったと考えられる。

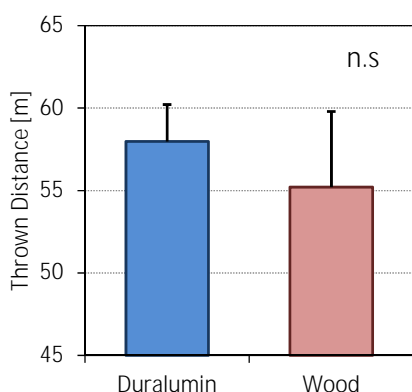


図4 ヤリの投てき距離

投てき実験におけるリリース時の初速度を図5、投射高を図6にそれぞれ示す。図5及び図6に示すとおり、木製ヤリを使用した時のリリース時の初速度は、通常ヤリを使用した時のそれらよりもやや小さかったものの、有意な差は認められなかった。また、投射高については、木製ヤリと通常ヤリでほとんど差が無く有意差は認められなかった。

リリース時のヤリの初速度は飛距離に大きく影響すると言われており、木製ヤリの初速度がわずかに小さかったことが、ヤリの飛距離が小さかったことに反映される結果となっていた。一方、リリース時の投射高は、元来、変動し得る範囲がヤリの飛距離の変動し得る範囲に対して極めて小さいことから、ヤリの飛距離に大きく影響するパラメータではないとされており、本実験の投射高に関する結果が直接的に飛距離に反映されていたとは考え難い。

投てき実験におけるリリース時の投射角を図7に、姿勢角を図8に、及び迎え角(いずれも矢状面)を図9にそれぞれ示す。

これらの図に示されるように、矢状面においては、木製ヤリと通常ヤリの投射角が同程度であり、姿勢角は木製ヤリを使用した時の方がやや大きく、その分、迎え角もやや大きかったが、有意差は認められなかった。一方、水平面においては、木製ヤリを使用した時の

方が投射角はやや小さく、姿勢角と迎え角がやや大きい結果となっていたが、いずれも有意な差ではなかった。

木製ヤリと通常ヤリを使用した時のリリース時の投射角に差が無く(図7)、リリース時の投射高にも差が認められなかった(図6)ことは、これら特性が異なるヤリを使用しても被験者の投げ動作には影響しなかった可能性が考えられる。しかし他方で、リリース時のヤリの姿勢角や水平面での投射角には有意差が認められるほどではないものの、各平均値には差があるようであり、特性が異なる2種類のヤリを使用した場合の投げ動作が同様であったとは言い難いであろう。

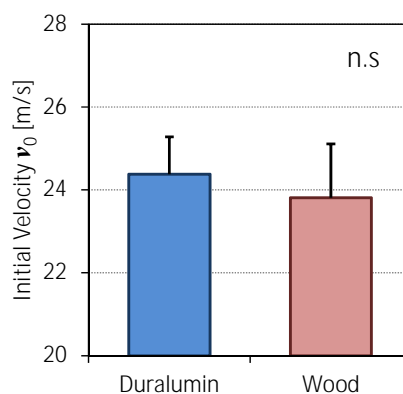


図5 リリース時のヤリの初速度

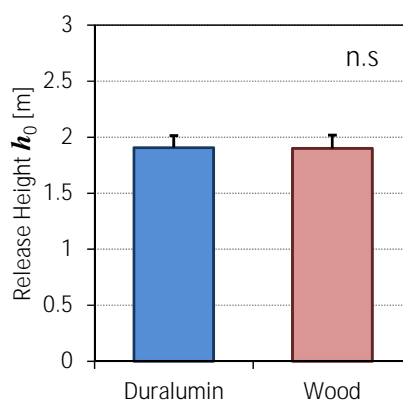


図6 リリース時のヤリの投射高

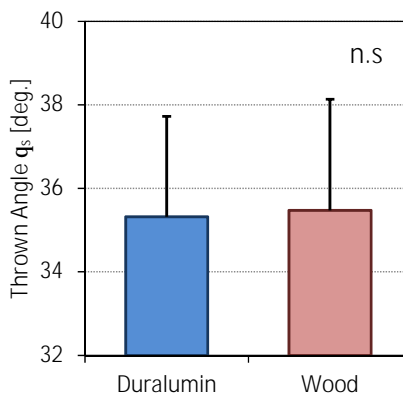


図7 リリース時のヤリの投射角

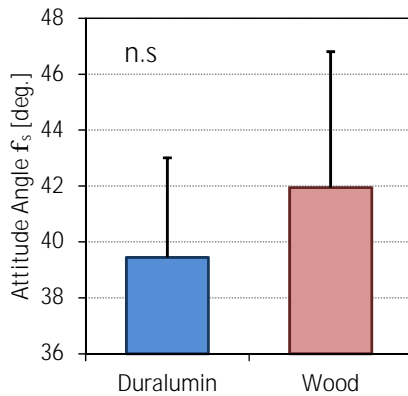


図8 リリース時のヤリの姿勢角

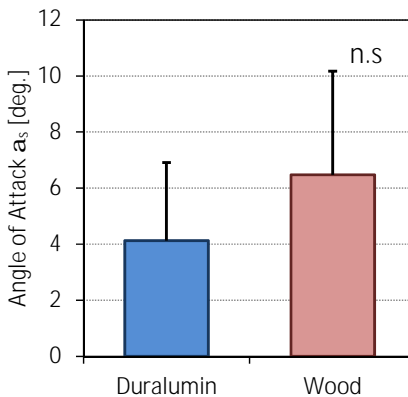


図9 リリース時のヤリの迎え角

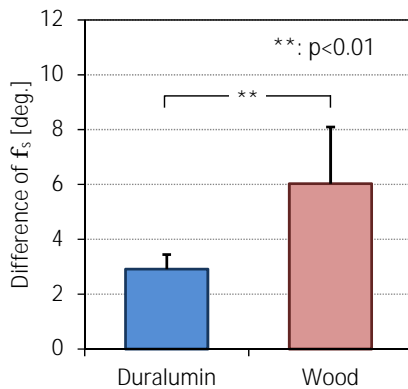


図10 分析点の違いによる ϕ_s の差(矢状面)

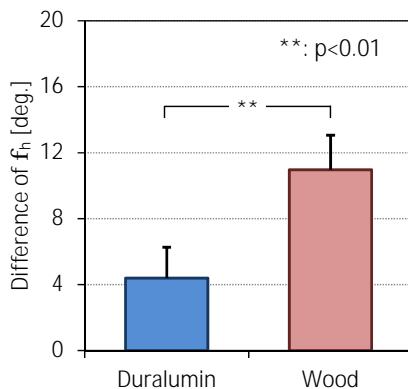


図11 分析点の違いによる ϕ_h の差(水平面)

分析点の違いによる姿勢角の差を図10(ϕ_s :矢状面),図11(ϕ_h :水平面)に示す。これらの値は、通常、ヤリの姿勢を規定するには先端と重心位置あるいはGrip後端の中心を結ぶ線分とするところを、重心位置の中心と末端を結ぶ線分として姿勢角を算出し、通常の方法で算出した姿勢角との差を示したものである。したがって、ヤリの重心位置より前部分と後ろ部分でヤリの姿勢に著しい差がある場合、つまり、ヤリのたわみが著しい場合にこれらの値は大きくなる。

図10及び図11に示されるように、分析点の違いによる姿勢角の差は、通常ヤリよりも木製ヤリの方が有意に大きかった。図2で示されたように、本実験で使用した木製ヤリの剛性は極めて低く、これらは妥当な結果であると言える。木製ヤリの剛性が低いことは実際に使用した被験者も実感しているものの、そのことが投てき距離を減じることにつながるとは言い切れない。さらに、木製ヤリの剛性が低いことのリリース時の投射初期パラメータに及ぼす影響については、影響はあると考えられるものの、その内容は被験者で異なるものと推察される。

現在の競技会で木製のヤリが使用されることは無く、これまでの競技用ヤリに関する素材の変遷を考えると、競技用ヤリの志向は高い剛性を有するものであり、今後も剛性が格段に低い木製ヤリが競技会に登場することはあり得ないであろう。しかし、競技用ヤリに求められる特性の1つとして剛性が挙げられているからには、ヤリの剛性が競技記録に及ぼす影響を、剛性が異なる複数のヤリを投げて比較する投てき実験により、直接的に検討することが必要であろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

前田正登、木製ヤリ投射時のリリースパラメータに関する実験研究、身体行動研究、査読無、第5巻、2016、1-7

前田正登、復刻版木製ヤリにおける振動特性とたわみ剛性に関する研究、査読無、身体行動研究、査読無、第4巻、2015、11-18

〔学会発表〕(計1件)

前田正登、復刻木製ヤリの特性に関する研究、シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス2014、2014.10.30、アオーレ長岡(新潟)

6. 研究組織

(1)研究代表者

前田 正登(MAEDA, Masato)

神戸大学・大学院人間発達環境学研究所・教授
研究者番号：90209388