ものづくりを活かした アーチェリー競技力向上への取り組み

Approach to Improve Archery Competence through Creative Engineering Practice

宮内 肇^{※1}
Hajime MIYAUCHI

This paper describes the use of engineering technique to improve archery competence. There is a movement of the shooting form to have a big influence on a score for archery. For archery, in order to obtain a high score, the reproducibility of shooting form is required. Stabilization of the shooting form is usually accomplished by repeated practices of the instruction of the coach. However, it is unusual to see a special coach in high school extracurricular activities. In the present study, the electronic devices that used a physical computing were made for the guidance of the form, and the effectiveness was confirmed. With these devices, the ability of archery can be improved even under the circumstances where a coach doesn't exist.

Keywords : Extracurricular Activities, Manufacturing, Archery, Engineering Education

キーワード：課外活動，物作り，アーチェリー，工学教育

1. まえがき

高専・高校の部活動において，アーチェリー競技に専門性がある顧問（コーチ）が就くことは非常に稀である．高体連に加盟して県総体に参戦しても，経験者が顧問に就いている高校が成績の上位を占めるのが現状である．また，アーチェリーは危険性をとめない，設備面等からも多くの制約を受け，競技力向上の指導に悩んでいる．そこで，高専の特色であるものづくりを活かした工学的手法でアーチェリー競技力の向上が図れないか，様々なシステムの開発を目指している．

アーチェリーには，得点に大きく影響を与える射形（フォーム）という動作がある．高得点を出すためには，毎回安定した同じ射形を再現し，矢の的中のばらつき（グルーピング）を小さくする必要がある．従来，射形の安定化は，コーチの言葉による指導で繰り返しの練習でなされる．ここでは，コーチのいない境遇下

で，工学的な手法でアーチェリー競技力向上のブレークスルーを図るいくつかの取り組み事例を紹介する．

2. 工学的手法適用の基本構成

工学教育をアーチェリー競技力向上に結びつけるという趣旨から，フィジカルコンピューティングという技法を用いた¹⁾．入出力のセンサデバイスとマイコンをつなぐ電子工作とマイコンプログラミングで，いろいろな形で人間との情報をやりとりして面白いシステムを作るものである．この基本的な構成を図1に示す．

3. センサによる角度検出と定義

押し手（弓を持つ左手）または弓の状態を測るために，図2に示すように角度を定義する．的面の法線方向をx軸，地面に対して鉛直方向をz軸とする．鉛直軸に対する押し手の傾き角度を θ [°]，的方向に対する左右の方位角度を ϕ [°]，ねじれ角度を τ [°]とする．傾き角 θ は，矢の的中の上下を，方位角 ϕ は，的中の左右に影響を与える．ねじれ角は，弦サイト（上下に張

図1 フィジカルコンピューティングの基本構成

図2 センサによる角度検出の定義

2012年4月3日受付

※1 松江工業高等専門学校

ずれた状態

一致した状態状態

(a) 光による認識装置

(b) 音による認識装置

図3 練習用エイミング装置

られている弦を照準線として利用して、的に狙いをつける際に、常に同じ位置へ置いて矢を射るテクニック)に影響を与えて的中がばらつく要因となると考えた。傾き角 θ とねじれ角 τ を3軸加速度センサ(KXM52-1050, 秋月電子製)で、方位角 ϕ をデジタルコンパスモジュール(HMC6352, スイッチサイエンス製)で検出してマイコン基板(Arduino pro mini328)に取り込んでプログラミング処理を行う。

図4 矢のグルーピングと幾何平均距離

4. システム開発事例

4.1 練習用エイミング装置の開発

センサを弓に取り付ける。数回試射を行う。的の中心(10点)に当たった時の弓の傾き角度をその射手の最適な教師角度(θ_T , ϕ_T)とする。この角度を基準値として記憶させておき、次のエイミング時に、これら傾き角度を検出して、基準値との差($\Delta\theta$, $\Delta\phi$)を計算する。弓の傾き状態が設定した許容値以内(例えば ± 1 度)に入った状態を 8×8 マトリクスLEDに視覚的に光で表示する装置と音で認識させる装置を開発した。射手は弓の最適な角度を確認しながらこのタイミングで矢をリリースすれば良い。光による認識装置は、サイト(照準器)位置に取り付けた。弓の傾きが教師角度に近づくほどLEDの中心付近が点灯する。音による認識装置では、教師角度に近づくとき音が段階的に変化していく。図3にこれらの装置を示す。

開発したエイミング装置の有効性を確認するために、初心者(弓歴1年)に、30mの距離において光認識装置で、18mの距離では音認識装置で、装置の使用有無で3射を1セットとして12セット(合計36射)行

図5 矢の幾何平均距離の変動(光認識, 30m)

図6 矢の幾何平均距離の変動(音認識, 18m)

表1 矢の幾何平均距離と標準偏差の変動

		幾何平均距離(標準偏差) [cm]	
装置	距離 [m]	装置なし	装置あり
光	30	17.3 (5.2)	10.7 (1.7)
音	18	11.9 (3.6)	5.3 (1.3)

射してもらった。ここでは、矢のグルーピングで比較した。図4に示すように、グルーピングの程度は、1セット3射の3本(a, b, c)の弓の間隔, D_{ab} , D_{bc} , D_{ca} , [cm]を測定して、幾何平均距離Dを算出して比較した。

$$(1) D = (D_{ab}D_{bc}D_{ca})^{1/3} [\text{cm}]$$

グルーピングが良い状態は、幾何平均距離ができるだけ0cmに近く安定していることである。図5および図6に結果を示すように、装置を使用しない場合、毎回の行射で幾何平均距離は大きく変動して安定しない。一方、装置を使用すると全体に幾何平均距離は低下して、毎回の行射の変動も小さくなった。表1に、幾何平均距離と標準偏差の向上の変化を示す。

この装置を用いて繰り返し練習することで、的中の良い弓の傾きを認識することができる。

4.2 的中・得点自動表示装置の開発

アーチェリー競技は、18m, 30m, 50m, 70m, 90m離れた的に矢を放ち得点を競うものである。得点の集計は、1エンドごとに的に行き、的中箇所を目視で確

認して行っている。射手はできるだけ高得点を出すために、的の中心に向かって矢を放とうとする。このため1射するたびに、スコップで的中位置を確認し次射の調整を行い、エンド終了ごとに的前に移動して得点集計を行う。練習時には、的中位置や得点の自動表示を行う装置があれば効率的である。的中位置を視覚的に表示できれば、的の中心に対しての左右または上下のずれがわかり、得点を自動表示することで集計の手間が省ける。実際の的の環帯に区分された的中位置や得点を正確に検出するのは難しいが、おおよその的中位置と得点がわかれば、ゲーム感覚で楽しく練習できると考えられる。

実際の的紙の対角線上4隅に、サーボモータ(S03N/2BBMG/F, フタバ社製)と赤外線測距センサ(GP2Y0A02YK, シャープ社製)を配置する。このセンサからの距離・サーボモータの角度信号をマイコン基板(Arduino Duemilanove328)に取り込み、プログラミング処理を行い、 8×8 マトリクスLEDに的中位置を表示し、得点および累積得点をキャラクタLCDに表示する電子装置を開発した。的中を検出する対象は、30m競技用の直径80cm的の上の、直径6mm、長さ65cmのアルミ製の矢とした。このマトリクスLEDにおおよその的中位置を表示させるために、矢の的中は、図7に示すように、 8×8 の64マトリクスに分割化して、センサをサーボモータで回転スキャン検出させる。的中位置までの距離とサーボモータの回転角度からな

図7 的・得点検出のためのマトリクス構成とセンサ配置

(a) 実際の的とセンサ配置 (b) 表示結果

図8 的中・得点自動表示装置

る極座標値を直交座標値に変換して的中位置がどのマトリクスに属するかを判定した。該当マトリクスにはあらかじめ得点を与えておきこれを表示する。

現段階では、実際の的・得点と表示装置上のずれ(的中位置表示確度が60~100%)があるが、今後検出判定プログラム等の改良で正確性を高めることはできると考える。また、ワイヤレス化を図り、長距離にも対応したい。図8に実際の的とこれを検出した様子を示す。矢の3本の的中の得点・的中位置表示の場合、約3秒で確定することができた。

4.3 押し手変動可視化装置の開発

射形の構成部分の一つである押し手(左肩~左ひじ~左手)を一本の棒と捉えて、その傾きに注目した。

押し手の傾きを射手自身が認識することは難しいので、他人(コーチ)に観察、指摘してもらうことになる。しかし、これを射手自ら認識できれば、自分のくせを確認して射形の改善につなげられる。そこで、図2で定義した傾き角 θ 、ねじれ角 τ 、方位角 ϕ をセンサで検出する。検出したデータはマイコン基板でプログラミング処理を行い、データロガー(CK40, サンハヤト製)に取り込んでマイクロSD(ソニー製)に記録する。これらを一体化した装置を開発した。この装置を用いて、アンカー(矢を射る寸前の弓を固定した状態)からリリース(弦を放して矢を射ること)、フォロースルー(矢を放った直後の状態)までの押し手の状態を記録できる。記録したデータはパソコンに取り込み、デザイン言語であるprocessing²⁾で時系列にグラフ化およびアニメーションで可視化される。このイメージを図9に示す。データは、スタートボタンを押してから約10秒間記録できる。装置は左手首に装着した。

図10には、押し手の各角度の時系列変動のグラフ例を示す。上から順に、傾き角 θ [°]、ねじれ角 τ [°]、方位角 ϕ [°]である。方位角は、的方向を北(N)として東西南北で方向を示した。ここでは、リリース時に起こる押し手の現象①~⑦をわざと時系列に表現した。

また、アニメーションの表示例を図11に示す。球体は、左手のこぶしを、直方体は左腕上の検出装置をイメージしている。実際は連続したアニメーションで図10の変動の様子が再生されるが、ここでは例として⑤

図9 押し手変動可視化装置のイメージ図

図10 押し手変動の時系列検出例

図11 押し手変動アニメーション例
⑤右回りのねじれ

図12 射形変動可視化装置のセンサ検出関節ポイント

の右回りのねじれを表示した1コマのみを示した。

リリースの瞬間に次のような現象が生じて³⁾フルドロロー(弦をめいっぱい引いて、的に狙いをつけて静止している状態)時に狙っている方向と、押し手が動いて実際に矢が飛んで行く方向がずれて的中がばらつく。

- ①ふりあげ：押し手が上に動く。
- ②切りさげ：押し手が下に動く。
- ③もどり：押し手が弓の反発力に負けて右方に動く。
- ④ふりこみ：押し手の押す力が強すぎて、左方に動く。
- ⑤右回りのねじれ：弦サイトが右に傾く。
- ⑥左回りのねじれ：弦サイトが左に傾く。
- ⑦変動なし。

図10から押し手の変動が詳細に、図11からそれを立体的な動きで再生確認できる。この結果を射手自らが認識することで、矢を射るまでの一連の変動(くせ)を視覚的に捉えることができる。

4.4 射形変動可視化装置の開発

次に、押し手だけではなく、射形全体の再現性を見るために、射形を構成する押し手、引き手(弦を引く右肩～右ひじ～右手)にセンサ検出関節ポイントとして、図12に示す6ポイントを設定し拡張した。このポイントの変動を検出してパソコン上でプログラミング処理を行って、変動(自分のくせ)を見ることができ射形変動の可視化装置を開発した。

センサは、マジックテープ付きの裾止めバンドに装着して固定した。装置の基本構成は3節の押し手変動可視化装置と同じである。なお、図10の押し手変動可視化装置の検出結果から、方位角の検出については、センサの傾きによる変動(誤差)が生じた。そこでセンサは、傾き補償付きのデジタルコンパス・加速度センサモジュール(LSM303DLH, スイッチサイエンス)にグレードアップしたものを用いた。

アーチェリーが上手になることは、毎回安定した同じ射形を再現して、矢のグルーピングを小さくまとめることである。この装置を用いて、フルドロローの静止

図13 射形変動可視化装置の出力例

図14 射形再現性向上の例

時における、矢の発射台となっている射手の安定性を可視化する。例えば、何回か試射を行い高得点(10点)が出た時の自分のフォーム(図2で定義した、各関節ポイントの傾き角 θ 、ねじれ角 τ 、方位角 ϕ)を教師角度として記憶させておく。次に規定回数(アーチェリーの基本射数である6射×6回の36射)だけフルド

ローを繰り返して、その度の各関節ポイントの角度の教師角度からのずれ ($\Delta \theta$, $\Delta \tau$, $\Delta \phi$) を記録していく。最後にProcessing言語でパソコン上に、角度のずれを検出ポイントごとに図形的に重ねて可視化させる。最初にフルドロ時の各関節ポイントの基準フォーム（教師角度）をグラフ上の各原点に●でプロットしておく。次射において、各関節の角度の、この教師角度からの偏差を重ねてプロットしていく。もしも全ての行射において、教師角度からのずれがなければ（フォームが一定）、各原点に●が一直線上に並んだままとなるが、射形が崩れるとプロットがずれて棒状の歪な形となっていく。角度1度のずれを、グラフ上の縦方向に2単位でプロットした。縦方向の範囲は、 ± 20 である。この方法で累積して視覚化させた射形変動可視化装置の検出例を図13に示す。上画面(a)は、ずれの累積結果を、下画面(b)は、右の数字で選択して、その該当回のずれを表示できる。

この装置を用いて、射形の再現性が向上していく例を図14に示す。練習の(a)初期では、変動の大きな関節ポイントがあるが、これを意識して練習を重ねる度に、(b)過渡期から(c)収束期へ、変動が少なく射形が安定することが分かる。この装置を用いて、変動部位を意識しながらフルドロを繰り返し練習することで、再現性のある目標とする射形を構築することができると考えられる。

5. ゲーム機センサを用いた射形安定性の検出

次に、安価で高性能なゲーム機のセンサである ki-

nect（マイクロソフト社製）の利用を考えた。

Kinectは、取得した距離画像をもとに、姿勢推定ソフトウェアによって、ゲームプレイヤーの姿勢を認識する。センサから情報をもとに関節部位を推定して骨格情報を構築して、その骨格をリアルタイムに追跡する処理を行っている。これにより、人間の15箇所の骨格を形成する関節座標を取得できる。マイクロソフト社は、kinectを不正使用しないことを条件に、研究に利用することを認めている。

そこで、kinectをパソコン上で利用するために⁴⁾ 必要なオープンソースライブラリであるopenNI, OpenCVと、visual Studio C++2010Express（これらは全て無償でダウンロードできる。）を用いて画面上に各関節の座標を表示してこれをエクセルに書き出して、座標値の変動を捉えるシステムを構築した。

図15に、kinectを用いて関節座標値を読み取るための座標軸の設定を示す。Kinectのセンサの中心を原点として、y軸は高さ、z軸は距離、x軸は横方向の値を示す。取得できる座標値の単位はmmである。

このシステムを用いて、初心者（弓歴1年）と経験者（弓歴3年）に36回フルドロを繰り返してもらって、各関節の座標値を計測した。なお、弓は持たない（シャドウシューティング）で行った。計測された数値をもとに、15ヶ所の関節ごとにその変動をグラフ化して、標準偏差を算出して比較した。x座標値（体の横方向の値）の標準偏差の比較を図16に、y座標値（高さ）を図17に、z座標値（距離）を図18に示す。

全般的には、初心者に対して経験者の標準偏差は小

図15 関節座標系の設定

図17 y座標の標準偏差の比較

図16 x座標の標準偏差の比較

図18 z座標の標準偏差の比較

さく、安定した射形を保っていたことがわかる。

特に顕著な差が認められたのは、x座標値の押し手の構成部分であるL_H（左手）、L_E（左ひじ）、引き手の構成部分であるR_H（右手）、R_E（右ひじ）、とR_F（右足）の変動であった。これは、初心者は十分に腕を伸ばしておらず、縮こまった状態で（伸びあいが足りない）射形・スタンスが安定しない状態と考えられる。また、y座標値の押し手のL_S（左肩）、NECK（首）、L_HIP（左腰）、引き手のR_H（右手）の変動も初心者が大きいことから、高さ方向（図2の傾き角 θ ）にも不安定で上下方向に射形のぶれがあると推察される。z座標値にはあまり大きな差は認められないものの、NECK（首）、TORSO（胴）、L_HIP（左腰）、L_K（左ひざ）、R_HIP（右腰）に差が出ていることから、体全体が左右方向に不安定なぶれがあると推定される。

このシステムを用いて、射形を構成する各関節の変動を意識しながらシャドウシューティングを繰り返し練習することで、射形の安定化と再現性の向上（射形が固まるという）を確認できる。

現段階での問題点としては、弓を持った状態で計測を行うと、L_E（左ひじ）の座標値が不安定になることである。また、L_Eの位置が弓のハンドルの上先端（上リムの付け根）に移る現象も確認された。これは、kinectが腕に似た形状であるハンドルを体の一部として認識してしまうために起こると考えられる。しかし、左手の位置がハンドルの先端に移ったことを、射形の関節の一部として、その変動を追跡すれば良いとも考えられる。

6. 今後の展開

アーチェリー競技は、競技人口が少ないことも相まって他のスポーツに比べて多くの特異性を持つ。(1)指導者不足、(2)設備面、(3)危険性、(4)メンタル性である。

(1)については、本論文で対策のひとつになるであろう、工学的なコーチング方法を考案した。今後は、ワイヤレスセンサネットワーク⁵⁾を利用して、多数のセンサ情報をまとめるシステムを構築する。(2)の設備面については、広大な競技敷地を必要とする競技の練習の効率化を図るための的中・得点自動表示装置を考案した。今後は、ワイヤレス化を図り長距離に対応する。

初心者がアーチェリーに取り組み難く、競技人口が増えない要因として、(2)の問題点の一つの弓具が高価であることと(3)の危険性がある。アーチェリーの弓具は殺傷能力のある非常に危険な道具である。平成20年には、東京都の高校でアーチェリー練習中の死亡事故が発生している。これを受け、高専・高校の部活動では、安全な活動が望まれているが、その後も事故報が後を絶たない。また、初心者には、弓具の基本的な取り扱いを指導する必要がある。安全指導上、競技力

向上の指導上からも、指導者は不足している。これらを解決する一つの方法として、ビームアーチェリーを開発したい。初心者や部活動で、実際の弓と矢を用いずに安全に基礎的なトレーニングができると考えられる。次に、高専・高校の部活動においては、学校施設の安全な利用上、90m、70mの長距離の練習はほとんどできない。そこで、工学的な手法で、センサやシミュレーションを活用して、室内または短距離において、長距離の練習ができるシステムも開発したい。さらに(4)については、脳波センサを用いたメンタル状況の可視化によるトレーニング装置の開発が考えられる。

7. まとめ

このように、ものづくりをアーチェリー競技力向上へ役立てる様々な取り組み事例を紹介した。コーチがいない境遇からの逆転からの発想で、自分自身をコーチとして(10点に的中した自分の射形を教師フォームとして)工学的手法を適用して、面白いシステムを作って練習していこうとする試みである。

特に5章で述べたシステムを改良して、シャドウシューティングだけではなく、弓を持った状態で射形の安定性・再現性を検出できれば、kinectとパソコンを用いるだけの、経済的、設備負担のかからないシステムで、射形の構築ができて、ものづくりを得意とはしない県内のアーチェリー部を持つ一般の高校にも広く普及させ、県全体のレベルアップを図ることができる可能性がある。

参考文献

- 1) 小林 茂：Prototyping Lab, オライリージャパン, 2010
- 2) 前川峻志, 田中孝太郎：Built with Processing [改定版] デザイン/アートのためのプログラミング入門, ビー・エヌ・エヌ新社, 2008
- 3) 高柳憲昭：図解コーチアーチェリー, 成美堂出版, pp.72-86, 2001
- 4) 谷尻豊寿：KINECTセンサー画像処理プログラミング-身体動きがコントローラc++でKinectプログラミング, カットシステム, 2011
- 5) Robert Faludi：XBeeで作るワイヤレスセンサネットワーク, オライリージャパン, 2011

.....

著者紹介

宮内 肇

1986年 豊橋技術科学大学大学院修了
現在 松江高専 電気工学科 准教授
所属学会 電気学会
連絡先 miyauchi@matsue-ct.jp