モーションセンサを用いたボール投げ評価システム

木村直己[1]　佐藤証[1]

概要：子供の体力テストにセンサと IoT 技術を導入し，運動能力の向上を楽しみながらできるシステムの構築を目指している．本稿ではボール投げにフォーカスして，体に装着した加速度・ジャイロセンサの動きから飛距離と投球フォームの分類を行う評価実験を行った．その結果，使用したセンサの限界・課題と，それを補うための方策についての知見が得られた．

1. はじめに

近年の健康ブームや 2020 年の東京オリンピック開催などを契機として，スポーツへ高い関心が集まっている．これまではトップアスリートの能力向上を目的として，ビデオカメラや加速度センサなどを用いた運動情報の解析が進められてきた [1]．一方 30 年近く子供の体力の低下が続いており，体を思うとおりに動かす能力の低下も指摘されている [2]．児童や幼児の体力測定については文部科学省が，徒競走やボール投げ等の実施要項を示している[3][4]．また，幼児の運動の基本動作の習得と発達を評価した研究もおこなわれている[6]．しかしながら，その評価にはビデオカメラを用いたり，人手で計測記録を行っているのが現状である．

IoT 技術を活用して実装することで，時間や距離を自動計測・記録するということが容易となる．しかし，それは単に体力テストの効率化であり，単純な数値では測れない運動能力の記録が重要である．例えば，徒競走ではスタートはどうだったのか，途中ばてたりあるいは転んだりしたか，複数人で走ったときは相手によってどう変わるのか，といった結果が出るまでの過程も重要である．ボール投げではフォームがどうだったのか，ボールにどのような力（回転や加速度）が加わり，どのような軌跡をたどったのか等の情報を解析することもできる．そしてタブレット PC 等で良い記録と悪い記録で何が違ったのかを比較し，リアルタイムにフィードバックできれば運動能力の向上に高い効果が期待できる．

また計測・記録の自動化により，一人で体力テストをしたり，ゲーム感覚で友達と競い合うなど楽しながら記録を伸ばしていくことができる．このように子供が楽しみながら，体力・運動能力を向上させていくための，センサ・IoT 技術を活用したシステムの構築を目指している．

子供の体力テストはトップアスリートの運動能力測定と異なり，100 分の 1 秒や数 mm といった高い精度が必要とされるわけではない．そこで，安価な汎用のセンサデバイスを利用するが，体力テスト用ではないデバイスがどこまで利用できるかを検討する必要である．そこで，本論文では，加速度・ジャイロセンサデバイスを用いた，ボール投げの評価システムを構築し，実験によりその有効性を検証する．

本論文は以下のように構成されている．

第 2 章では，幼児の体力測定におけるボール投げについて解説する．

第 3 章では，本研究に用いる原理を説明する．

第 4 章では，本研究のシステムを提案する．

第 5 章では，実験の結果を示す．

第 6 章では，本研究の考察を行う．

第 7 章では，本研究をまとめる．

2. 幼児体力テストにおけるボール投げ

東京オリンピック(1964)の開催を契機に，当時の文部省は競技スポーツの発展と国民の体力増進策のひとつとして，体力に関する情報収集を実施することになった．このとき発案，実施されたものが「体力・運動能力調査」，通称旧テストである．1999 年の体力・運動能力調査から導入された「新体力テスト」は，国民の体位の変化，スポーツ医・科学の進歩，高齢化の進展等を踏まえ，旧テストを全面的に見直し，現状に合ったものとなった．

小中高等学校で行われるものと同様に幼児の体力測定を行うため，2002 年に杉原らによって幼児の運動能力テストが行われた[5]．この研究をもとに現在の幼児体力測定の種目が設定されている．その中のボール投げの実施要項を以下に示す．

＜準備＞

ソフトボール教育 1 号，または公式テニスボール，メジャー．1m 間隔，幅 6m の線を 15~20m 引き，間 50cm のところに印をつけておく．

＜方法＞

① 両足を投げる手と逆になるように前後に開いて，前足が制限ラインを踏まないように立ち，上手で投げる様子を示範する（右手投げは左足が前になるようにして立つ）．

[1] 電気通信大学大学院 情報理工学研究科

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

② 制限ラインを踏んだり踏み越したりすることなく，助走なしで利き手の上手投げで遠くへ投げさせる．

③ 脚の開き方がどうしても平行になったり，逆になったりしても無理になおす必要はない．

④ あらかじめ引いてある投球線を越えた場合には，メジャーを使って測る．

＜記録＞

ボールの落下地点を確かめ，制限ラインからの最短距離を 50cm 単位で測定する（50cm 未満は切り捨て）．2 回投げさせ，良い方を記録する．ボールが 6m の幅から外れた場合はやり直しさせる．

基本的な動作の調査とは，「走る」「跳ぶ」「投げる」「捕る」「つく」「転がる」「平均台を移動する」の 7 種類の基本的な動きを，それぞれ標準化された 5 つの動作の発達段階を基準として観察的に評価し，1~5 点の 5 段階の動作得点で評価する．さらに 7 種類の動作得点の合計点を「動作発達得点」として幼児期の基本的な動きの発達を全体的にとらえる指標とする[6]．図 1 に投げる動作の評価パターンを示す．

「投げる動作」の動作発達段階の特徴		動作パターン	得点（点）
パターン1：	上体は投射方向へ正体したままで、支持面の変化や体重の移動は見られない		1
パターン2：	両足は動かず、支持面の変化はないが、反対側へひねる動作によって投げる		2
パターン3：	投射する腕と同じ側の足の前方へのステップの導入によって、支持面が変化する		3
パターン4：	投射する腕と逆側の足のステップがともなう		4
パターン5：	パターン4の動作様式に加え、ワインドアップ動作が見られる		5

図 1　投げる動作の評価パターン [6]

3. ボール投げの飛距離計算

ボールを投げる際，加速度・角速度の人力での変化は投げる直前までで，手から離れた後の変化はボール自体の回転と重力によるものである．この変化をセンサで取得し，手からボールに力を加えているとき，ボールが手から離れた瞬間，の二つがわかれば以下の式(1)で簡単な飛距離の計算ができると考えた．r は飛距離，v はボールが手から離れる瞬間の速度，θ はボールの水平に対する投射角，g は重力加速度である．なお，空気抵抗は簡単のため考慮していない．

$$\mathrm{r} = v_x t$$

$$= \frac{v^2 \sin 2\theta}{g} \tag{1}$$

投球時の投射角度を求める式を以下に示す．身体運動計測における姿勢情報とは，任意の剛体の座標系と基準となる座標系の間の角度情報である．基準座標系 Σ_0 とセンサ座標系 Σ_s の関係を表現する方法として，本研究ではオイラー角の一つであるロール・ピッチ・ヨー角を用いる．

オイラー角は任意の剛体の座標系を座標軸周りに回転させることにより姿勢を表現する．Z 軸→Y 軸→X 軸の順番で回転させた場合をロール・ピッチ・ヨー角という．ロール角 ϕ は X 軸周りの回転角度，ピッチ角 θ は Y 軸周りの回転角度，ヨー角 ψ は Z 軸周りの回転角度である．

まず座標系 Σ_0 を Z 軸周りに角度 ψ 回転させたものを座標系 $\Sigma_{0'}$ とする．このとき Σ_0 と $\Sigma_{0'}$ の間の回転行列は以下の式(2)となる．

$$^{0}R_{0'} = \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

次に座標系 $\Sigma_{0'}$ を Y 軸周りに角度 θ 回転させたものを座標系 $\Sigma_{0''}$ とする．このとき $\Sigma_{0'}$ と $\Sigma_{0''}$ の間の回転行列は以下の式(3)となる．

$$^{0'}R_{0''} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \tag{3}$$

最後に座標系 $\Sigma_{0''}$ を X 軸周りに角度 ϕ 回転させたものを座標系 Σ_s とする．このとき $\Sigma_{0''}$ と Σ_s の間の回転行列は式(4)となる．

$$^{0''}R_s = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \tag{4}$$

以上の式(2)~(4)を計算することにより，センサ座標系から基準座標系への回転行列は式(5)によって表される．

$$^{0}R_s = {}^{0}R_{0'} \cdot {}^{0'}R_{0''} \cdot {}^{0''}R_s$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$\cdot \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix}$$

次に加速度センサを用いたロール角・ピッチ角の算出方法を示す．加速度センサの出力と絶対座標系の重力加速度（基準座標系）の関係は，座標変換を行うための回転行列を用いて表せる．

$$^{s}A = {}^{0}R_s{}^{T}\ {}^{0}A$$

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

$$
{}^{s}A = \begin{bmatrix} {}^{s}A_x \\ {}^{s}A_y \\ {}^{s}A_z \end{bmatrix}
$$

$$
{}^{0}A = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} \tag{6}
$$

基準座標系において，重力加速度は鉛直方向(Z 軸)に $1g$ であるため，$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix}$ と表される．式(6)を展開すると式(7)が得られ，ロール角とピッチ角はそれぞれ式(8)，式(9)より得られる．

$$
{}^{s}A = \begin{bmatrix} {}^{s}A_x \\ {}^{s}A_y \\ {}^{s}A_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\theta \cdot g \\ \cos\theta \sin\phi \cdot g \\ \cos\theta \cos\phi \cdot g \end{bmatrix} \tag{7}
$$

$$
\phi_A = \tan^{-1} \frac{{}^{s}A_y}{{}^{s}A_z} \tag{8}
$$

$$
\theta_A = \tan^{-1} \frac{-{}^{s}A_x}{\sqrt{{}^{s}A_y^2 + {}^{s}A_z^2}} \tag{9}
$$

この方法は加速度センサが静止していて，重力加速度だけを検出する場合に使用できる．しかし，運動中は並進加速度，遠心加速度，接線加速度，衝撃力も含まれることが多いため，身体運動計測にこの方法を用いる場合はこれらの加速度成分が誤差の要因となりうる．また，重力加速度が一定の大きさで鉛直方向に発生することに基づいている．そのため，重力加速度と同じ方向軸周りの回転であるヨー角を知ることができない．次にヨー角を算出するために角速度センサを用いる方法を示す．

角速度センサを用いて姿勢情報を算出するために，積分演算を行う．角速度を積分すると角度情報が得られるが，3 軸角速度を単純に積分した値は物理的に意味を持たない．そのため，角速度をロール・ピッチ・ヨー角の微分値（回転速度)へ一度変換した後，ロール・ピッチ・ヨー角の微分値を積分することにより 3 つの角度を得る．角速度からロール・ピッチ・ヨー角の微分値への変換を式(10)に，積分演算を式(11)に示す．

$$
\begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \sin\phi\cos\theta & \cos\phi\sec\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 1 & \sin\phi\tan\theta & \cos\phi\tan\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \tag{10}
$$

$$
\begin{bmatrix} \psi \\ \theta \\ \phi \end{bmatrix} = \int \begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} \mathrm{dt} + \begin{bmatrix} \psi_0 \\ \theta_0 \\ \phi_0 \end{bmatrix} \tag{11}
$$

ここで，積分を行うために初期姿勢（ϕ_0, θ_0, ψ_0）が必要となる．計測開始時の姿勢が既知であればその値を用いればよいが，身体運動計測においては特定の姿勢を再現することは難しいため，初期姿勢を知るための方法が必要である．そこで，加速度センサが計測する重力加速度を用いてロール角とピッチ角の初期値を，地磁気センサが計測する磁場を用いてヨー角の初期値を算出する方法が提案されている．

加速度センサから得られる重力加速度を用いる方法は式(8)と(9)を用いる．地磁気センサを用いたヨー角の初期姿勢を算出する方法については以下に示す．

地磁気センサが北を向いているときにヨー角は 0°となる．Z 軸周りに右ねじの方向に回転するとヨー角がプラス方向に増加していく．センサが東を向けば 90°，南を向くと 180°，西を向くと 270°となる．地磁気センサが傾いておらず，センサの Z 軸方向と基準座標系の Z 軸方向が完全に一致している場合は，回転行列を計算して得られる式(12)を用いてヨー角を算出できる．m_{f_x} ，m_{f_y} は地磁気センサの出力(gauss)である．

$$
\psi_M = \tan^{-1} \frac{-m_{f_y}}{m_{f_x}} \tag{12}
$$

地磁気センサ本体が傾いている場合には，Z 軸周りの正確な磁場が得られないため，式(12)を用いてヨー角を算出することができない．センサ本体が傾いているときに発生する誤差を傾斜誤差と言う．身体運動において，センサ座標軸は時々刻々変化するため，傾斜誤差を補正する必要がある．地磁気センサ出力 m_{f_x}，m_{f_y}，m_{f_z} と傾斜誤差補正後の磁場 m_x，m_y，m_z は回転行列を用いて式(13)より表される．式(13)を計算すると式(14)が得られる．

$$
\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{f_x} \\ m_{f_y} \\ m_{f_z} \end{bmatrix} \tag{13}
$$

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} \tag{14}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\phi\sin\theta & \cos\phi\sin\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ -\sin\theta & \sin\phi\cos\theta & \cos\phi\cos\theta \end{bmatrix}$$

$$\cdot \begin{bmatrix} m_{f_x} \\ m_{f_y} \\ m_{f_z} \end{bmatrix}$$

式(14)を用いることにより，ロール角とピッチ角が既知であれば，傾斜誤差を補正した磁場を得ることができる．ヨー角の算出式(12)~(15)に置き換えられる．

$$\psi_M = \tan^{-1}\frac{-m_y}{m_x} \tag{15}$$

4. 提案システム

ボール投げの距離測定では図 2 のセンサメダル SensorMedal-EVK-001 [7]をボールに見立て，センサそのものを投げることで，ボールが飛んでいく際の各種数値を計測する方法を提案する．このセンサメダルは，加速度，角速度，地磁気，気圧の四種のセンサを搭載した小型マイコンで，低電力で稼働する Bluetooth®Smart モジュールを搭載している．専用のアプリケーションによってスマートフォン，タブレットと連携して，センサデータを取得する．

図 2 SensorMedal-EVK-001

センサメダルによって測定できるデータは加速度，角速度，地磁気の変化であるから，投げる際の加速度変化から初速度を，角速度変化，地磁気変化から投射角を求め，その飛距離を計算によって求める．あらかじめ投げる距離は決めておき，計算結果が投げた距離とどの程度差があるのかを検証する．投てき前から投てきする瞬間までの 5 フレーム分のデータを計算に用いることで，センサの初期姿勢から投射角を求める．このとき，センサの 0.15 秒ごとの出力データセットをフレームと呼ぶこととする．

測定はセンサの向きを把握するために以下の手順で行う．

① 測定開始後，センサを Z 軸中心に一回転する．
② 数秒静止させ，センサを投げる．

投球動作の評価ではセンサメダルを四肢に装着して五つの投球パターンを再現する．センサにより四肢の 3 軸加速度，3 軸角速度の変化を取得し，パターンごとの特徴から評価基準を決める．評価基準をもとに別データを用いて，評価基準による評価が投球パターンを判別できるかを検証する．

測定は以下の手順で行う．

① 測定開始は直立状態．
投球動作を行い，動作が終わった後もう一度直立姿勢をとる．

5. 評価実験

5.1 飛距離の評価

距離計算をする際，まず 3 軸の合成加速度をグラフにプロットし，投げた瞬間を特定した．投げた瞬間をフレームの最後のデータセットとして 5 フレーム分を用いて投球時の投射角度と速度を求め，式(1)より飛距離を求めた．

表 1 センサメダルを投げた際の計算結果例

5m (m)	5m (m)	7m (m)	10m (m)
3.4804	5.3890	1.7905	24.230
15.354	12.094	5.0129	21.804
13.473	11.802	8.5868	15.621
2.0534	0.6060	5.8868	9.7879
3.6384	3.4116	18.512	12.677

ここでは幼児向けの体力測定におけるボール投げを基準に考えている．幼児向けのボール投げの測定有効単位は 50cm であるので，この距離計算としての理想値は「投げた距離」～「投げた距離＋50cm」までである．

表 1 で測定値と計算値にずれが生じた原因は，単純な式(1)のみで計算を行っており，1)細かい補正ができていないこと，2)データの取得間隔が 0.15s と短いために本来の投球時の最大加速度が取得できていないこと，3)センサ本体が軽すぎるため，遠くに投げる際の力が強すぎて投射時の最大加速度では計算ができない，つまり加速度・角速度の検出可能範囲を超えてセンサメダルを動かしてしまっていること，などが考えられる．

この実験で用いたセンサメダルは本来であれば身体動作を解析するモーションセンサであり，それを投げるといった使用方法は想定されていない．センサメダルの検出上限は加速度が約±39.2m/s^2，角速度が約± 250.137deg/s である．従って，これ以上の加速

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

度変化や回転は計測できず，速度と角度の計算が正しく行えない．

投げる距離が長いほど最大合成加速度での計算結果が投げた距離に近づいた．

投球時の速度は，センサを離す瞬間までの 5 フレーム分の加速度を時間で積分して加算している．時間レンジは 0.15 秒であるので，重力加速度が 5 フレーム分検出されただけでも約 7m/s の速度になってしまう．5m の計測では投げてから 4 フレームから 6 フレーム後にセンサが捕られている．このことから，重力加速度と投げる直前の加速度の変化から速度計算をすると，その分遠くまで投げたことになってしまうと考えられる．

センサメダルの加速度の上限は±39.2m/s^2，角速度は±250.137deg/s であり，共に投げる際の変化を計測するにはセンサの能力が不足していると言える．今回の実験ではボールを投げる実験者として成人に投げてもらっている．成人と幼児では投げる力が異なるため，必ずしも不可能とは言えないが，センサによる飛距離計算は難しいと考えられる．

5.2 投げる動作の評価

まず評価基準データを作成するため，センサメダルを四肢に装着して 5 つの投球パターンを模し，3 軸加速度・角速度の変化を取得した．

取得した値変化から四肢ごとに 5 パターンの評価基準を設定し，投球を行ってそのデータから正しく分類できているかを評価した．基準作成時とは異なる被験者に再現してもらい，評価を実行した結果を表 2 に示す．パターン 1 と 2，パターン 4 と 5 で，その違いを評価に落とし込むことは難しいことがわかる．パターン 1 と 2 は身体の支持面が変化せず，ほぼ右腕の変化だけで評価の判断をせざるを得ない．また右手だけの評価を見ると，パターン 3 以下でも評価 5 が出てしまうなど，人によっては腕の振りが強すぎてしまった．他方，パターン 1 と 2 ではともに体重移動を含め足の移動がないこと，左腕がほとんど動かないことが特徴であり，パターン 2 でも 1 点を記録した．

パターン 3 と 4 は左右の足を出すタイミングが違うため，同時計測をしていればピークのタイミング差を評価基準にできるが，センサメダルを一つしか使用していないために，これができなかった．加速度と角速度の変化と最大最小値だけで評価しようとすると，どちらの足が先に動いたか，などの判別ができず評価点が大きくなってしまった．また，左手はパターン 3 までは意識されないが，パターン 3 で 3 点を記録でき，パターン 4 以降では期待通りの評価ができた．

表 2　評価実験の結果（パターン分類）

	右手	左手	右足	左足
パターン 1	5	1	1	1
パターン 2	1	1	1	2
パターン 3	3	3	3	4
パターン 4	5	4	5	4
パターン 5	5	5	5	5

幼児向けの評価システムを作ることが目的であり，複雑なシステム構成は装着者である幼児に扱えるかが課題となるため，四肢のどこに装着することが適しているか検討する．ここまでの検証では，センサメダル一つだけを用いて投げる動作の評価を行うことは困難であることがわかったため，どの部位に装着することが有効であるかは決められない．評価基準のしきい値は再現動作による測定と計算上での値で決めたものであり，実験データをより多く取っていくことで，イレギュラーなどを含めた動作にも対応できるしきい値を設定できると考えられる．

6. 考察

ボール投げの距離測定実験では，センサメダルを投げてどの程度距離計算ができるかを検証した．結果として，実用に資する精度が得られなかったが，これはセンサメダルがモーションセンサとしての利用を想定しており，投てきの際に生じる大きな加速度や角速度が測定限界を超えてしまったことと，距離の計算式が初速度と投射角度だけをパラメータとした簡単なもので，距離に影響する他のパラメータを無視していたこと，の 2 点が大きな要因であった．

測定可能範囲の問題は，より測定範囲の広い加速度・角速度センサを用いることで解決できる．しかし，一般に測定範囲を広くすると，細かい変化の検出が難しくなるので，投てき前後の短い時間での細かな動きを調べるための測定範囲の狭いセンサの併用が有効と考えられる．

計算式の問題については，投げる直前までの 5 フレーム(0.75 秒)のデータを初速度計算に用いていたため，静止状態での重力加速度の影響を考慮し，被験者の身長などのパラメータを追加するなど，その他のパラメータを加味することで改善が図れる．今回の実験では，投げる直前にセンサの X 軸を正面に向けることで正確性を増そうとしたが，これを意識せずとも投射角が求められるような計算式も必要となる．方向を確認するために用いた地磁気センサは現状のセンサで十分な測定ができていたため，その有効活用も重要である．

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

投げる動作の評価実験では，センサメダルを用いて四肢の動きを分類，評価した．投てきの 5 つの動作パターンの大まかな分類はできたが，誤判断もあった．これは，四肢それぞれを単体評価したことで，相対的に動きのタイミングで評価したり，予想外の動きがあった場合に対応できなかったことなどが挙げられる．

動作パターン 1 と 2 では右手以外の動きは変化がなく，右手の進行方向が真下か斜め下かの分類が困難であった．この絶対評価は手首ではなく，ひじや肩，腰など，別の部位での評価も必要である．また，複数センサを用いて右手評価の精度を上げることも重要である．パターン 3 では右足が前に出るが，パターン 4 の左足が前に出るときと比べると計測中にどちらも両足が前に出ることが多く，その加速度と角速度は近い値を出力した．このとき，複数センサで右手の動きとどちらかの足を同時に計測できれば，タイミングでパターンの分類が可能と考えられる．

二つ以上のセンサを用いれば相対評価は可能であるが，取り付けや扱いによる複雑化は，簡易な計測を行うという目的とのトレードオフが生じる．予想外の動きは，片足でしか計測できなかったことがあったため，逆側の足には正負反対の評価基準しか設けられなかった．他にも，被験者に最後に直立の姿勢に戻ることを求めると，手と足を大げさに動かし，その動きが結果に影響するということもあった．計測開始から計測終了までの範囲を評価時に切り取ることは容易であるが，そのような動作を自動的に分類評価するまでには至らなかった．測定時の予想外の動きは，かかとの上下のように基本的動作の評価に関わるものと，手足の余計な動きのように関わらないものがあった．これらの取捨選択の自動化や評価基準への反映ができれば，より精度が向上すると思われる．センサの複数使用，予想外の動きの評価基準への反映はどちらも今後の課題である．

また，根本的な問題として再現データの数が足りていない．一方，再現データを増やしていくと人力での評価基準作成は困難である．そこで，機械学習による評価基準の作成を検討している．機械学習での評価基準作成および，投球動作のパターン判定ができれば，より精度の高い判定を行えるようになり，センサの四肢への取り付け部位として最適かつ最小の数が得られると期待できる．

7. むすび

本稿では，子供が楽しみながら体力・運動能力を向上させていくためのシステムの構築を目指して，モーションセンシング評価キット”SensorMedal-EVK-001”を用いた幼児体力測定におけるボール投げの測定と，投球動作の評価を行った．ボール投げの計測では，センサメダルの計測範囲の狭さやパラメータの少なさから，飛距離の精度が不十分であった．そこで今後はより計測レンジの広いセンサの併用や，GPS[8]等を用いて飛距離測定精度を向向上させていきたい．また，投球動作については，複数のセンサでデータを同時に計測し，評価基準のアップデートを含め解析を進めていくと共に，機械学習の導入によりセンサの適した装着位置の決定と左利きの使用にも対応したシステム作りも目指していく．

参考文献

[1] 相馬りか, “スポーツにおける情報活用-オリンピックから健康づくりまで-”，科学技術動向 148 号, 2015.

[2] 文部科学省, “新体力テスト実施要領(6 歳~11 歳対象)” http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/stamina/05030101/001.pdf.

[3] 文部科学省, “子どもの体力向上のための総合的な方策について”，2002. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/gijiroku/attach/1344516.htm

[4] 文部科学省, “幼児の運動能力調査” http://www.mext.go.jp/component/a_menu/sports/detail/__icsFiles/afieldfile/2012/05/11/1319748_9_1.pdf

[5] 杉原隆, “幼児の運動能力発達の年次推移と運動能力発達に関する環境要因の構造分析”, 平成 14~15 年度文部科学省科学研究費補助金研究成果報告書, https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-14380013/

[6] 文部科学省, “幼児の運動能力調査（調査 6）基本的動作の調査 調査実施要領” http://www.mext.go.jp/component/a_menu/sports/detail/__icsFiles/afieldfile/2011/04/07/1304379_7.pdf

[7] ローム株式会社, “センサメダル SensorMedal-EvK-001”, http://www.rohm.co.jp/web/japan/sensor-medal-support

[8] 内閣府宇宙開発戦略推進事務局, “みちびき(順天頂衛星システム)センチメータ級測位補強サービス” http://qzss.go.jp/technical/system/l6.html

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan