

# バウンドの有無がキャッチボールの視線・動作に与える影響

## Effects of bouncing on gaze and motion during catching a ball

学生氏名：菊池駿也<sup>1)</sup>，楠天晴<sup>1)</sup>

指導教員 齊藤亜由子<sup>1)</sup>，研究協力者 木澤悟<sup>2)</sup>

1) 所属先：工学院大学 先進工学部 機械理工学科

2) 秋田工業高等専門学校 創造システム工学科 機械系

キーワード：Bounce, Catching a ball, Gaze, Principal component analysis, Singular value analysis

### 1. 緒言

視覚は外的環境情報を入手するために重要であり、視覚から得られる外的環境情報が身体運動の制御に影響を与えている。先行研究においては、歩行やスポーツにおける視線行動と動作の特徴が示されているが、視線と身体運動の協調について定量的に明らかにされた例はほとんどない。視覚から得られる外的環境情報によって人がどのように動作を変化させるのか解明することができれば、日常動作における転倒防止や、スポーツにおけるスキルアップに有用である。

そこで本研究では、視線と動作の協調関係解明の第一歩として、キャッチボールにおけるバウンドの有無、投球方向事前通知の有無に着目した視線—動作の関連性解明を試みる。具体的には、視線計測システムによる視線計測、9軸モーションセンサを用いた身体の加速度計測を行い、これらの計測結果に特異値分解、主成分分析を行うことで視線—動作の協調を評価する。

### 2. 実験

ボールのパス動作における受球者の視線位置および上肢姿勢を得るため、視線計測システム (EMR-9; nac Image Technology Co., Ltd.) と 9 軸モーションセンサ (SS-WS1792; スポーツセンシング社) による計測を行った。被験者の視線位置は、視野平面上のピクセル座標として得る。視野平面ピクセル座標は、被験者から見た水平方向を X 軸、

垂直方向を Z 軸としている。被験者は健常成人男性 (被験者 A 身長 1.78 m, 体重 75.0 kg) 1 名である。

ボールを投げる方向は受球者の右側のみとした。投球方向を事前通知した場合と通知しない場合の試行を左右それぞれ実施し、さらにバウンドがある試行、ない試行もランダムに実施した。本研究においては複雑な動作や個人差が表れやすいと考えられる動作を排除するため、立位を維持し、立ち位置を変化させずにボールを受け取るように受球者へ指示した。視線計測システムのサンプリング周波数は 60Hz、9 軸モーションセンサのサンプリング周波数は 100Hz である。

### 3. 解析

投球者がボールを投げる動作を開始した時点から、受球者の手にボールが触れた後 0.2 秒後までを解析対象のフェーズとし、特異値分解に基づく関節間協調の評価手法と、主成分分析を用いることにより、ボールのパス動作における受球者の視線と身体の協調関係を定量的に明らかにする。

#### 3.1 特異値分解による評価

計測実験により得られた前腕の加速度と視野平面ピクセル座標を標準化し、それぞれ-1 から 1 までの大きさで表される無次元量に変換する。標準化した加速度と視線データにより構成される観測行列を式(1)に示す。

$$R(A, G, t) = \begin{pmatrix} A_{LAX}(t_1) & A_{LAY}(t_1) & A_{LAZ}(t_1) & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{LAX}(t_m) & A_{LAY}(t_m) & A_{LAZ}(t_m) & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_{RAX}(t_1) & A_{RAY}(t_1) & A_{RAZ}(t_1) & G_X(t_1) & G_Y(t_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{RAX}(t_m) & A_{RAY}(t_m) & A_{RAZ}(t_m) & G_X(t_m) & G_Y(t_m) \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $A_{LAX}(t)$ ,  $A_{LAY}(t)$ ,  $A_{LAZ}(t)$ ,  $A_{RAX}(t)$ ,  $A_{RAY}(t)$ ,  $A_{RAZ}(t)$ はそれぞれ左右前腕における橈骨-尺骨方向加速度, 前腕長さ方向加速度, 二方向に垂直な加速度を標準化した値である。また、 $G_X(t)$ ,  $G_Y(t)$ はそれぞれ頭部姿勢の変化を考慮し、視野平面ピクセル座標に変換後標準化した値であり、 $G_X(t)$ が左右方向、 $G_Y(t)$ が上下方向の視点ピクセル座標である。

基底ベクトル $R(A, G, t)R(A, G, t)^T$ ,  $R(A, G, t)^T R(A, G, t)$ の固有ベクトルをそれぞれ $V_j(t)$ ,  $Z_j(A, G)$ , 特異値を $\lambda_j$ とすると、 $R(A, G, t)$ は式(2)で表すことができる。

$$R(A, G, t) = \sum_j^n \lambda_j V_j(t) Z_j^T(A, G) \quad (2)$$

ここで、 $\lambda_j$ は各正規直交基底ベクトルの寄与率であり、値の大きい順に第 1 モード, 第 2 モードとした運動モードを表す。

投球方向を事前通知し、バウンドがない場合, ある場合の特異値分解の結果 (第 1 モード) をそれぞれ図 1, 2 に示す。バウンドなしの場合, 第一モードにおいて右前腕の動きと右方向の視線移動が協調していることが示されている。バウンドがないボールの動きは視線で追いやすく, 右前腕を動かして捕球体制に入っていたことが考えられる。

一方, バウンドありの場合は第一モードにおいて視線移動の変位が左右・上下ともに小さく, ボールの動きを注視できていない可能性が示された。左右前腕ともに三軸座標に変位が見られ, ボールの動きを周辺視野でとらえつつ, 予期しないイレギュラーな動きに適応するため三次元的に腕の動きを調整していたことが考えられる。

### 3. 2. 主成分分析による評価

計測実験により得られた前腕の加速度と視野平面ピクセル座標を標準化し, 主成分分析を行った。

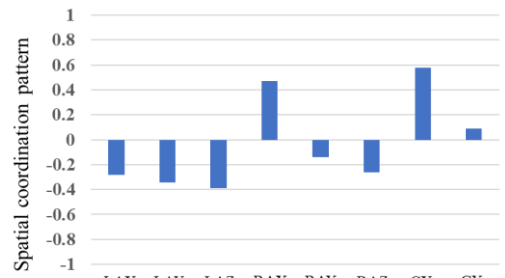


Fig.1 Spatial coordination pattern without bounce

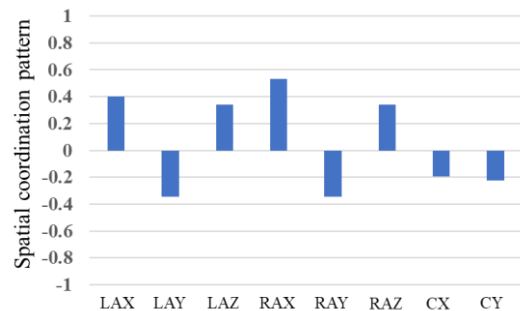


Fig.2 Spatial coordination pattern with bounce

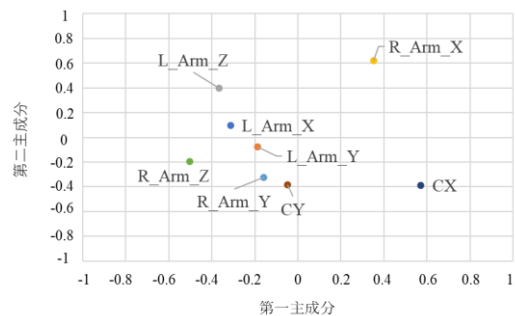


Fig.3 Principal component analysis without bounce

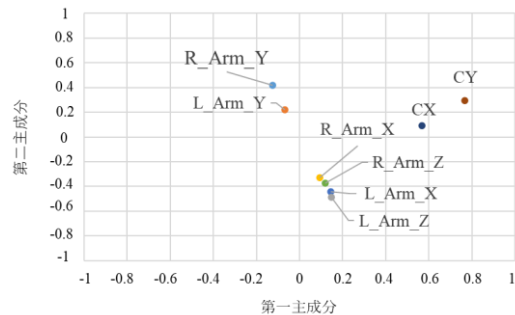


Fig.4 Principal component analysis with bounce

バウンドなしの場合では特異値分解で得られた  $R_{Arm\_X}$  と  $CX$  の協調が確認できた。

バウンドありの場合では  $CX$ ,  $CY$  を視線グループとして考えることができ, 腕の動きにおいては  $R_{Arm\_X}$ ,  $R_{Arm\_Z}$ ,  $L_{Arm\_X}$ ,  $L_{Arm\_Z}$  と  $R_{Arm\_Y}$ ,  $L_{Arm\_Y}$  の 2 つのグループに分けることができる。前者では左右前腕ともに予期しないイレギュラーな動きに適応するための視野平面内の二次元的な腕の動きと考えられ, 後者のグループではバウンドの奥行方向の調整に対応する腕の動きの協調が考えられる。