

## 後方への素早い方向転換動作: 光刺激による状況判断を伴った方向転換を対象にして

川原 布紗子<sup>1)</sup> 吉田 拓矢<sup>2)</sup> 野中 愛里<sup>1)</sup> 九鬼 靖太<sup>3)</sup> 谷川 聡<sup>2)</sup>

Fusako Kawahara<sup>1</sup>, Takuya Yoshida<sup>2</sup>, Eri Nonaka<sup>1</sup>, Seita Kuki<sup>3</sup> and Satoru Tanigawa<sup>2</sup>: Movement involved in a quick backward change of direction: A change of direction in response to a light stimulus. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.

**Abstract:** The present study aimed to identify the features of movement involved in a quick change of backward direction (COD) in response to a light stimulus. Thirteen male soccer players performed the Reactive Agility Test (RAT) involving a light stimulus and sprint running. For this analysis, the players were classified into 2 groups according to RAT time: fast and slow. Sprint time, step parameters, and various kinematic variables were compared between the 2 groups. In terms of sprint time, no significant inter-group difference was observed, but in terms of RAT time, the fast group showed significantly greater speed from 0 to 3 m, from 5 to 13 m including the COD, and from 0 to 13 m, than the slow group. Among step parameters before and after the COD, the fast group showed a significant increase in step frequency before the COD, and the time until the COD foot contact and the time until the lowest point of the velocity of the center of gravity were significantly shorter. In the movements before and after the COD, the fast group tilted the body backwards while maintaining a low center of gravity and performed a recovery action of the swing leg by bending the hip joint of the COD foot in the pre COD phase. In the COD phase, the knee joint of the COD foot was considered the flexion position, and the angular displacement of the knee was small, the body tilting inwards and forwards. Furthermore, the body and the shank tilted forwards in after COD phase. Therefore, it was clarified that deceleration occurred and ended early, and that the movement for deceleration was initiated before COD in order to perform it quickly. The findings of this research can be considered basic knowledge for training in order to improve COD performance and to create new indicators for evaluating it.

**Key words :** agility, turn, reactive, soccer

**キーワード :** アジリティ, 切り返し, リアクティブ, サッカー

### I 緒 言

バスケットボールやサッカーなどの球技種目では、状況判断が要求される中でスプリントや方向転換などの様々な走動作が求められる。この中でも方向転換は、ハンドボールやラグビーにおい

て、方向転換走がパフォーマンスの評価指標として用いられていることや (Hermassi et al., 2011), 熟練者が状況判断を伴う方向転換能力に優れていること (Gabbett and Benton, 2009, p.214), またサッカーの試合においては1試合当たり約700回行われていることが報告されている (Bloomfield et al., 2007, p.66). さらに、サッカーの方向転換に

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1  
2) 筑波大学体育系  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1  
3) 大阪経済大学人間科学部  
〒533-8533 大阪府大阪市東淀川区大隅2-2-8  
連絡先 川原布紗子

1. Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574  
2. Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574  
3. Faculty of Human Sciences, Osaka University of Economics  
2-2-8 Osumi, Higashiyodogawa-ku, Osaka, Osaka, 533-8533  
Corresponding author fsk\_1105@yahoo.co.jp

において相手選手よりも速く動くことが求められているように(中山, 2010, p.765), 球技種目では攻守に渡って方向転換を素早く行うことが必要とされる。このような背景から, 多くの球技種目では, 方向転換走が選手の体力評価だけではなくタレント評価のためのテスト運動として用いられている(関東大学バスケットボール連盟強化部トレーナー部会, 2008, p.12; 日本サッカー協会技術委員会テクニカルハウス編, 2006, p.27; 岡本, 2015; 津越・浅井, 2010)。したがって, 状況判断を伴う中で素早く方向転換を行うことは, 球技選手における攻守のパフォーマンスを構成するための重要な能力であるといえる。

これまでの方向転換に関する研究において, 方向転換走タイムとスプリント走タイムとの間に関係性が認められていることが多数報告されている(Little and Williams, 2005, p.77; 笹木ほか, 2011, p.149; 塩川ほか, 1998, p.177; Vescovi and McGuigan, 2008, pp.105-106)。一方, Young et al. (2015) は, 侵入型スポーツにおける方向転換モデルから, 方向転換は体力的要因に加えて, 技術的要因および認知的要因の3つの要因で構成されることを提唱している。このことは, 状況判断を伴うような方向転換走において, 必ずしも方向転換走タイムとスプリント走タイムの間には関係性が認められない可能性が考えられる。また, 素早い方向転換動作を行うためには方向転換時に身体重心速度や身体重心高を維持することが重要であると示されている(Hewit et al., 2011, p.48; Shimokochi et al., 2013, p.1858)。しかしながら, 状況判断を伴う場合, 方向転換前における身体重心速度の違いが報告されていることや(Wheeler and Sayers, 2010, pp.447-448), 方向転換前の減速がより重要である可能性が指摘されていることから(Nedergaard et al., 2014, p.1904), 方向転換前における身体重心速度や身体重心高を検討する必要があると考えられる。さらに, 方向転換時に身体重心速度を維持するためには, ピッチとストライドの調整(Hewit et al., 2013, p.73), 身体の内傾(鈴木・榎本, 2008, p.10) および下肢の伸展(Inaba et al., 2013, p.342; 木村・桜井, 2010, p.749; 鈴

木ほか, 2010, p.93) が重要であると報告されている。加えて, 後方への方向転換を対象とした研究では, 方向転換角度が大きくなるために前方への方向転換と比較して接地時間が長くなることや(笹木ほか, 2008, p.49), 方向転換後の各足における接地および離地までの累積時間が短いことも報告されている(福原ほか, 2014, p.210)。しかし, これらの研究では, 方向転換に状況判断を伴っていない試技が対象となっているため, 状況判断を伴う中での素早い方向転換動作の特徴については明らかになっていないのが現状である。これらのことから, 状況判断を伴う中での素早い方向転換動作を明らかにするためには, 状況判断を伴った条件下において, ピッチやストライドなどのステップパラメータと合わせて方向転換前後の身体重心パラメータや身体および下肢の動きを3次元的に明らかにする必要があると考えられる。上記の通り, 素早い方向転換は球技種目のパフォーマンスを構成するための重要な能力として位置づけられている。そのため, 本研究のような状況判断を伴った後方への方向転換動作の特徴を3次元的に検討することによって, 攻守における方向転換パフォーマンス向上のためのトレーニングの選択や方向転換動作を向上させるトレーニングの確立だけではなく, 新たな方向転換パフォーマンスの評価指標作成に寄与することが考えられる。

以上のことから, 本研究では, 後方への方向転換に着目し, 状況判断を伴った方向転換におけるピッチやストライドおよび動作を3次元的に検討することで, 素早い方向転換の特徴を明らかにすることを目的とした。

## II 方法

### 1. 対象者

対象者は, 大学サッカー部に所属し, ポジションをディフェンダーとする男子選手13名(年齢  $19.75 \pm 0.8$  歳; 身長  $174.5 \pm 5.6$  cm; 体重  $69.3 \pm 4.1$  kg)を用いた。対象者は全日本大学サッカー選手権大会優勝経験を有する大学トップレベルのサッカー部に所属する選手であり, Jリーグクラ

ブへの内定者も含まれている。実験を行うにあたり、すべての対象者に本研究の目的、方法および実験に伴う危険性などを十分に説明し、実験に参加するための同意を得た。また対象者には、事前に試技に関する説明を行い、練習を十分に行わせた。なお、本研究は筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て行った。

## 2. 実験試技

実験試技は、13 m スプリント走および全長 13 m のリアクティブアジリティテスト (Reactive Agility Test: 以下、「RAT」と略す) とした。実験を開始するにあたり、すべての対象者にはストレッチ、ランニング、スプリントを含むウォーミングアップを十分に行わせた。試技は 13 m スプリント走、RAT の順に実施させた。なお、すべての試技は人工芝のサッカーグラウンドで実施され、対象者にはサッカー用のスパイクを着用させた。

### 2.1 13 m スプリント走

対象者にはスタンディングスタートの姿勢からスプリント走を開始させ、最大努力で行わせた。スタートは、測定者が合図を出した後、対象者の任意のタイミングで開始させた。試技は最大努力で 1 本実施した。なお、対象者が 1 本の試技で良いパフォーマンスを発揮できるように、本番と同

様の最大努力でのスプリント走を行った後に試技の測定を行った。除外基準については、転倒、滑り等で明らかに失敗試技と判断できた場合、光電管がタイムを計測できなかった場合とした。

### 2.2 RAT

本実験の RAT は、光刺激による移動方向の決定を伴った方向転換テストである (Fig.1a)。RAT は、対象者が 5 m 地点に設置しているタイミングゲート (Smartspeed, Fusion Sport 社製) を通過した際、光が発せられた光刺激装置の方向に 135 度の方向転換を行い、ゴール地点に移動する試技である。対象者には、測定者が合図を出した後、対象者の任意のタイミングでスタンディングスタートの姿勢からテストを開始させた。また、対象者には、ゴールまで出来るだけ速く到達すること、方向転換時に 8 m 地点に設けたラインを踏むもしくは超えることを事前に口頭で指示をして実施させた。試技は、予測によるタイムへの影響を取り除くために、移動方向が右の試技が 3 本および移動方向が左の試技が 2 本の組み合わせと、移動方向が右の試技が 2 本および移動方向が左の試技が 3 本の組み合わせのいずれかのパターンで 5 本実施した。各パターンにおける試技の順番はランダムとした。試技の除外基準として、ラインに到達しなかった場合、移動方向を間違えた場合、転倒、滑り等で明らかに失敗試技と判断できた場

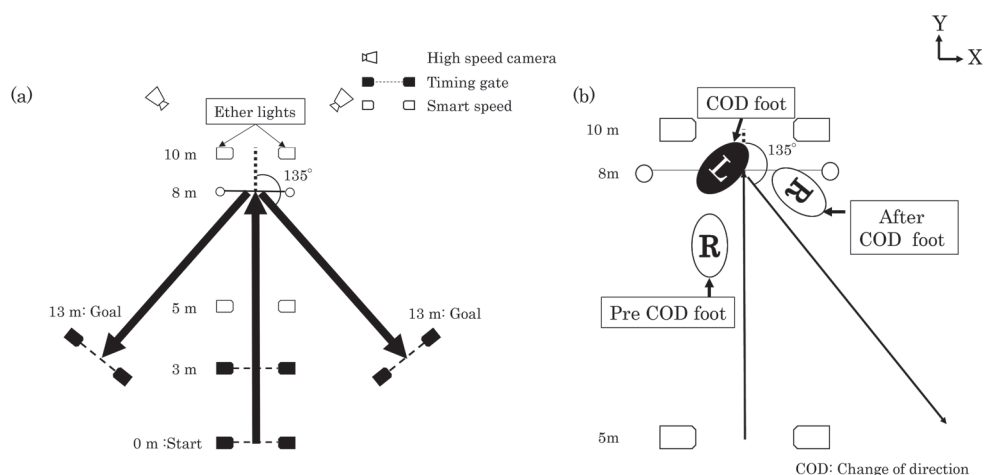


Fig.1 RAT set-up.

(a): Experimental set-up.

(b): Analysis target range.

合、光電管がタイムを計測できなかった場合とした。上記のような試技がみられた場合は再度測定を実施した。なお本研究では、移動方向が右である RAT において、0—13 m タイムの優れている 2 試技の平均値を算出し、この値を各対象者の代表値とした。また、13 名の平均 RAT タイムの中央値 (3.01 秒) から、3.01 秒以下の 7 名を上位群、3.02 秒以上の 6 名を下位群とした。分析対象試技はそれぞれ最高値の試技とした。

### 3. 測定方法および算出項目

#### 3.1 13 m スプリント走タイム

13 m スプリント走では、0 m, 3 m, 5 m, 13 m の各地点に光電管 (TC Timing System, Brower Timing System 社製) を設置し、各区間タイムを算出した。

#### 3.2 RAT タイム

RAT では、0 m, 3 m, 5 m, 13 m の各地点に光電管を設置し、各区間タイムを算出した。

#### 3.3 ステップパラメータ

ステップパラメータは、経過時間、各足の接地時間、ピッチ、ストライドおよび累積時間の 5 つの変数の総称とした。RAT における方向転換前後 1 歩ずつの範囲 (Fig.1b) を 2 台のハイスピードカメラ (GC-LJ20B, スポーツセンシング社製) を用いて、300 Hz で撮影した。撮影されたビデオ画像をパーソナルコンピュータに取り込み、ビデオ動作解析システム (FrameDiasV, ディケイエイチ社製) を用いて、以下に示す変数を算出した。

##### 3.3.1 経過時間

方向転換 1 歩前足、方向転換足、方向転換 1 歩後足の 3 歩における接地から離地までの区間の時間を経過時間とした。経過時間は、方向転換 1 歩後足離地時点のフレーム番号から方向転換 1 歩前足接地時点のフレーム番号を差し引き、時間に換算することで算出した。

##### 3.3.2 接地時間

方向転換 1 歩前足、方向転換足、方向転換 1 歩

後足の各足の接地から離地までの時間を接地時間とした。接地時間は、各足の離地時点のフレーム番号から接地時点のフレーム番号を差し引き、時間に換算することで算出した。

##### 3.3.3 ピッチ

1 秒間あたりの歩数をピッチとした。ピッチは、方向転換足接地時点のフレーム数から方向転換 1 歩前足接地時点のフレーム番号を差し引いて算出した時間の逆数を方向転換 1 歩前のピッチ、方向転換 1 歩後足接地時点のフレーム番号から方向転換足接地時点のフレーム番号を差し引いて算出した時間の逆数を方向転換 1 歩後のピッチとして算出した。

##### 3.3.4 ストライド

1 歩あたりの移動距離をストライドとした。ストライドは、コントロールポイントと各足接地時点の足先の座標値を読み取り実長に換算し、方向転換足接地時点の足先の水平座標値から方向転換 1 歩前足接地時点の足先の水平座標値を差し引いたものを方向転換 1 歩前のストライド、方向転換 1 歩後足接地時点の足先の水平座標値から方向転換足接地時点の足先の水平座標値を差し引いたものを方向転換 1 歩後のストライドとして算出した。

##### 3.3.5 累積時間

方向転換 1 歩前足接地時点から、方向転換 1 歩前足離地時点、方向転換足接地時点、方向転換足離地時点、方向転換 1 歩後足接地時点および方向転換 1 歩後足離地時点それぞれまでに要した時間を累積時間とした。累積時間は、方向転換 1 歩前足離地時点、方向転換足接地時点、方向転換足離地時点、方向転換 1 歩後足接地時点、方向転換 1 歩後足離地時点のそれぞれの時点までのフレーム番号から方向転換 1 歩前足接地時点のフレーム番号を差し引いたものを時間に換算し、経過時間で除し 100 を乗ずることで算出した。

### 3.4 キネマティクス変数

2 台のハイスピードカメラによって撮影されたビデオ画像をパーソナルコンピュータに取り込み、毎秒 150 フレームで全身 23 点 (両下肢の足



先・拇指球・かかと・外果・腓骨頭・大転子、両上肢の肩峰突起・肘・手首・中手骨および胸骨上縁・耳珠点・頭頂部）を、ビデオ動作解析システムを用いてデジタイズを行った。分析区間は方向転換1歩前足接地時点の10コマ前から方向転換1歩後足離地時点の10コマ後までとした。2台のカメラの身体分析点とコントロールポイントの座標からDLT法を用いて身体分析点の3次元座標を算出した。静止座標系は、スタートから8m地点に向かう軸をY軸、Y軸に直行する軸をX軸、鉛直方向の軸をZ軸とした。身体分析点の3次元座標は、Wells and Winter (1980)の方法を用いて分析点ごとに最適遮断周波数(7.5—15 Hz)を決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filterを用いて平滑化した。身体分析点から算出したキネマティクス変数は以下の通りとする。

#### 3.4.1 身体重心速度

阿江(1996)の身体部分慣性係数を用いて算出した身体重心を微分して算出した。方向転換における身体重心速度の方向は時々刻々と変化するため、各時点において、身体重心の水平速度成分方向(接線方向)をY'軸、鉛直方向をZ'軸、Y'軸とZ'軸に直交する軸をX'軸(法線方向)とする移動座標系を身体重心座標系とした。また、方向転換足接地時点から身体重心速度最下点までの経過時間も算出した。

#### 3.4.2 身体重心高

阿江(1996)の身体部分慣性係数を用いて算出した身体重心において、静止座標系におけるZ軸座標の値を身体重心高とした。

#### 3.4.3 身体傾斜角度

方向転換における身体重心速度の方向は時々刻々と変化するため、各時点において、身体重心と左足先を結んだ線分と水平線とのなす角を身体傾斜角度とした。各時点における身体重心と左足先を結んだ線分をX'-Z'平面に投影しZ軸とのなす角度については、正を内傾、負を外傾とした。また、この線分をY'-Z'平面に投影しZ軸とのなす角度については、正を前傾、負を後傾とした。

#### 3.4.4 下肢3関節角度

下肢3関節角度は、方向転換足である左足のみ

を分析対象とした。

左足関節角度は左腓骨頭と左外果を結んだ線分と左外果と左拇指球を結んだ線分がなす角、左膝関節角度は左大転子と左腓骨頭を結んだ線分と左腓骨頭と左外果を結んだ線分がなす角とした。

左股関節角度は、左股関節座標系と左大腿座標系を用いてカルダン角で算出した。股関節座標系は、戸邊ほか(2018, p.241)の方法に準じた。大腿座標系は、左足関節から左膝関節に向かうベクトルZlower leg軸と左膝関節から股関節に向かうベクトルZthigh軸の外積によってXthigh軸を、Zthigh軸とXthigh軸の外積によってYthigh軸を決定した。

#### 3.4.5 左足下腿前傾角度

方向転換における身体重心速度の方向は時々刻々と変化するため、各時点において、左腓骨頭と左外果を結んだ線分を静止座標系のY-Z平面に投影し、水平線となす角を下腿前傾角度とした。

### 4. 局面定義

本研究では、方向転換1歩前足接地時点から方向転換足接地時点までを方向転換足接地前局面、方向転換足接地時点から方向転換足離地時点までを方向転換足支持局面、方向転換足離地時点から方向転換1歩後足離地時点までを方向転換足離地後局面と定義した。さらに、方向転換足支持局面における方向転換足接地時点から身体重心速度最下点までを減速期、身体重心速度最下点から方向転換足離地時点までを加速期と定義した。

### 5. データの規格化

本研究では、上記で示した3局面を分析局面とし、柴山ほか(2013)を参考に、各局面における所要時間の平均値をもとに、分析局面を0—100%に規格化し(方向転換足接地前局面：0—19%、方向転換足支持局面：20—67%、方向転換足離地後局面：68—100%)、1%ごとに平均化した。

### 6. 統計処理

各算出項目は平均値±標準偏差で示した。本研究における統計処理は、SPSS Ver.24.0 (IBM 社

製)を使用した。RATにおいては、テストの試行間信頼性を評価するために、級内相関係数を算出した。RATタイムと13mスプリント走タイムの相関係数は、Pearsonの方法を用いて算出した。各項目においては、上位群と下位群の平均値の差を比較するために、対応のないt検定とマンホイットニーのU検定を行った。また、効果量の算出にはCohen's dを用い、dが0.2以上0.5未満をsmall, 0.5以上0.8未満をmedium, 0.8以上をlargeとして評価した(水本・竹内, 2008, p.62)。有意水準は5%とし、10%未満は有意傾向として扱った。

### III 結果

#### 1. タイム、ステップパラメータおよび身体重心速度

Fig.2には、すべての対象者におけるRATタイムと13mスプリント走タイムとの関係を示し

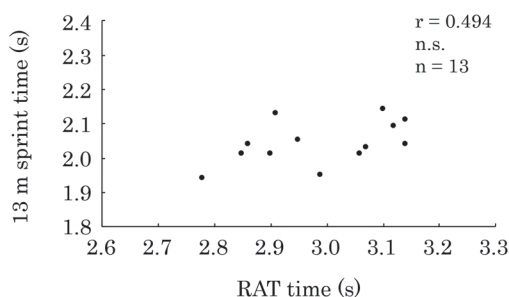


Fig.2 Relationship between RAT time and sprint time.

た。その結果、これらの間には有意な相関関係は認められなかった( $r = 0.494$ )。

Table 1には、13mスプリント走タイム、RATタイムを示した。その結果、13mスプリント走タイムは、いずれの区間においても上位群と下位群の間に有意差は認められなかった(0—3m:  $p = 0.54$ ,  $ES = 0.28$ , 0—5m:  $p = 0.30$ ,  $ES = 0.62$ , 5—13m:  $p = 0.25$ ,  $ES = 0.57$ , 0—13m:  $p = 0.14$ ,  $ES = 0.90$ )。一方で、RATタイムは、0—3m区間、5—13m区間および0—13m区間において、上位群が下位群と比較して有意に短いことが認められた(0—3m:  $p = 0.04$ ,  $ES = 1.74$ , 0—5m:  $p = 0.09$ ,  $ES = 1.24$ , 5—13m:  $p < 0.001$ ,  $ES = 2.67$ , 0—13m:  $p < 0.001$ ,  $ES = 3.26$ )。また、本研究に用いたRATテストの試行間信頼性を評価するために級内相関係数(ICC)を算出した。結果は、 $ICC = 0.738$ であり、テストの試行間信頼性は良好であるといえる。

Fig.3は、RATにおける方向転換1歩前から方向転換1歩後までのステップパラメータを示した。その結果、経過時間、接地時間、ストライドには、いずれの区間においても有意差は認められなかった。一方で、ピッチにおいては、上位群は下位群と比較して方向転換1歩前足接地から方向転換足接地までのピッチが有意に高いことが認められた。さらに、Table 2には、方向転換1歩前足、方向転換足、方向転換1歩後足における各接地時点および離地時点までに要した累積時間を示した。上位群は下位群と比較して方向転換足接地

Table1 Mean sprint time and RAT time for each group.

	Fast group	Slow group	p value	Effect size
13 m sprint time (s)				
0—3 m	$0.59 \pm 0.04$	$0.60 \pm 0.03$	0.54	0.28
0—5 m	$0.90 \pm 0.06$	$0.93 \pm 0.03$	0.30	0.62
5—13 m	$1.12 \pm 0.03$	$1.14 \pm 0.04$	0.25	0.57
0—13 m	$2.02 \pm 0.06$	$2.07 \pm 0.05$	0.14	0.90
RAT time (s)				
0—3 m	$0.59 \pm 0.03$	$0.66 \pm 0.05$	0.04	1.74
0—5 m	$0.95 \pm 0.03$	$1.00 \pm 0.05$	0.09	1.24
5—13 m	$1.99 \pm 0.06$	$2.12 \pm 0.03$	$< 0.001$	2.67
0—13 m	$2.94 \pm 0.07$	$3.13 \pm 0.04$	$< 0.001$	3.26
				$< : p < 0.001$
				$< : p < 0.05$

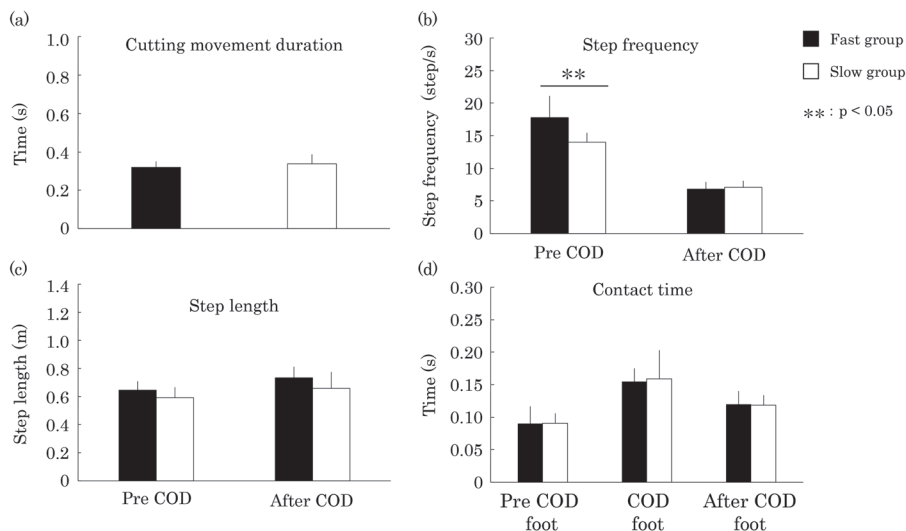


Fig.3 Step parameter for each group.

Table2 Cumulative time from ground contact of pre COD foot to each event.

	Cumulative time (%)					
	Pre COD foot at contact	Pre COD foot at take-off	COD foot at contact	COD foot at take-off	After COD foot at contact	After COD foot at take-off
Fast group	0	27.83 ± 7.91	17.39 ± 3.24**	65.34 ± 3.33	62.55 ± 7.36	100
Slow group	0	27.27 ± 4.56	21.60 ± 2.22**	68.29 ± 4.14	64.46 ± 4.27	100

\*\* : p < 0.05

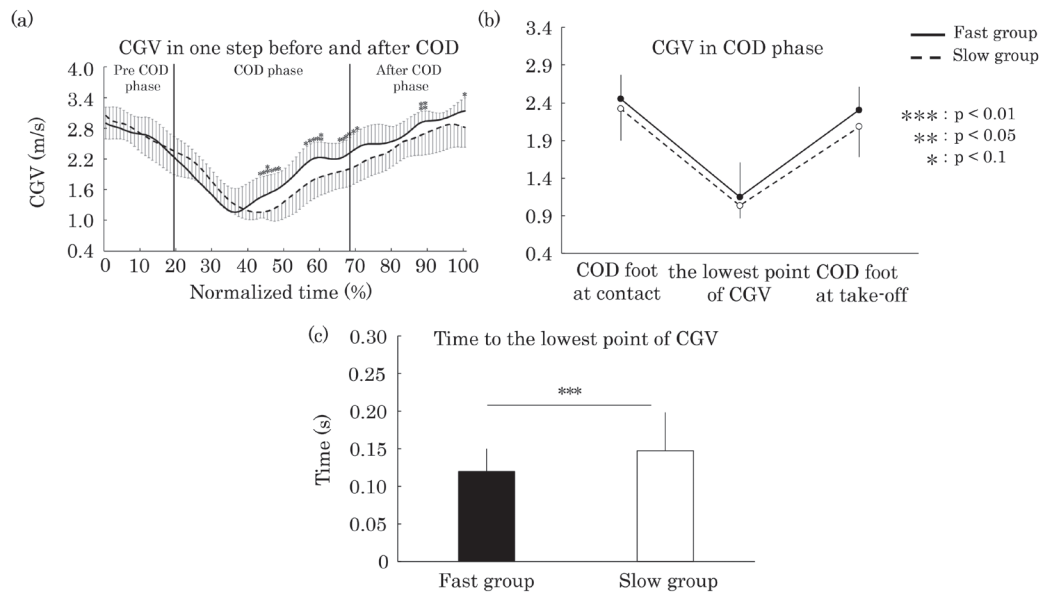


Fig.4 Parameter of the velocity of the center of gravity (CGV).

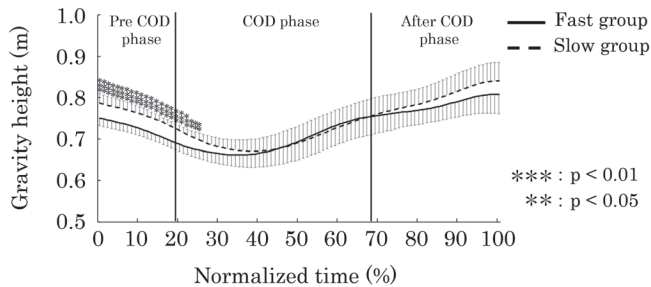


Fig.5 Center of gravity height.

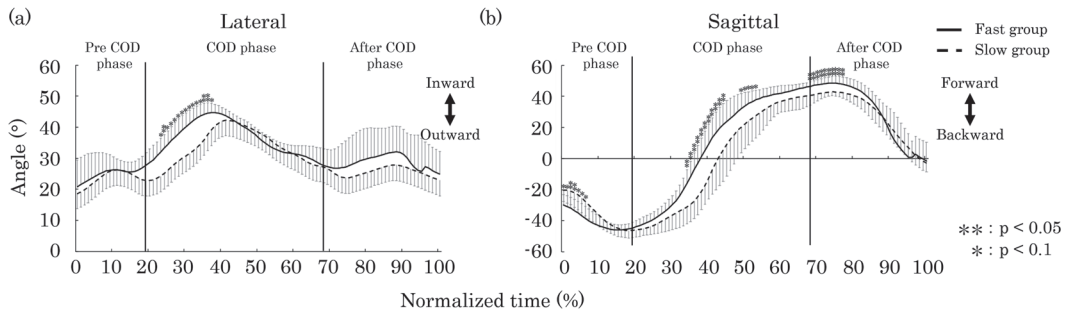


Fig.6 Body lean angle.

までの累積時間が有意に短いことが認められた。

Fig.4には、RATにおける身体重心速度パラメータを示した。方向転換1歩前から方向転換1歩後までの身体重心速度においては、方向転換1歩前足接地後45%時点、60%時点および88%時点から89%時点の間において、上位群は下位群と比較して有意に値が大きく、43%時点から44%時点、46%時点から48%時点、56%時点から59%時点、65%時点から70%時点の間および100%時点において、上位群は下位群と比較して値が大きい傾向が認められた。しかしながら、方向転換足接地、身体重心速度最下点、方向転換足離地の各時点における身体重心速度においては有意な差は認められなかった。一方で、方向転換1歩前足接地時点から身体重心速度最下点までの経過時間においては、上位群が下位群と比較して有意に短いことが認められた。

## 2. 方向転換動作におけるキネマティクスパラメータ

Fig.5には、身体重心高を示した。方向転換1歩前足接地時点から25%時点までの間において、

上位群は下位群と比較して有意に重心高が低いことが認められた。

Fig.6には、身体傾斜角度を示した。前額面では、方向転換1歩前足接地後24%時点、35%時点および36%時点において上位群は下位群と比較して有意に内傾、23%時点、25%時点から34%時点までの間、37%時点において、上位群が下位群より内傾している傾向が認められた (Fig.6a)。矢状面において、方向転換1歩前足接地から2%時点および3%時点で上位群は下位群と比較して有意に後傾、方向転換1歩前足接地時点および1%時点、4%時点から6%時点までの間においては後傾している傾向が認められた。また、方向転換1歩前足接地後34%時点から44%時点、68%時点から77%時点までの間において上位群は下位群と比較して身体傾斜角度が前方方向へ有意に大きく、49%時点から53%時点の間においては上位群は下位群と比較して身体傾斜角度が前方方向へ大きい傾向が認められた (Fig.6b)。

Fig.7には、方向転換足の股関節角度を示した。方向転換1歩前足接地時点から7%時点までの間において、上位群は下位群と比較して股関節が有



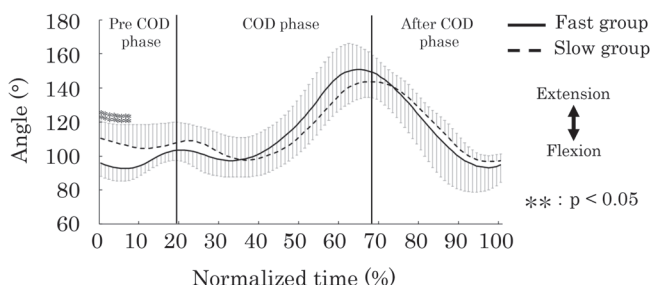


Fig.7 Hip joint angle of COD foot.

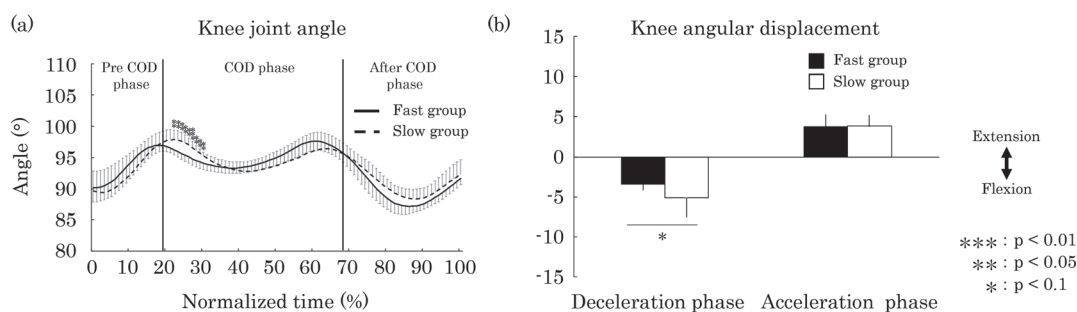


Fig.8 Parameter of knee joint of COD foot.

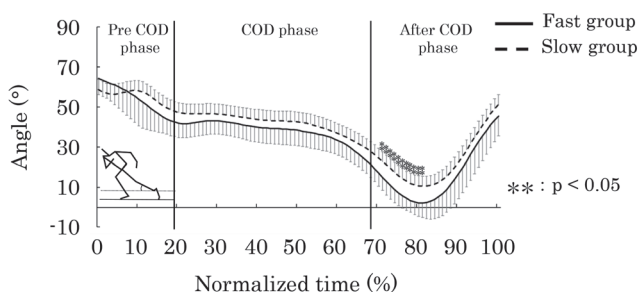


Fig.9 Shank segment angle of COD foot.

意に屈曲していることが認められた。

Fig.8には、方向転換足の膝関節角度パラメータを示した。方向転換1歩前足接地後22%時点から30%時点の間において、上位群は下位群と比較して膝関節が有意に屈曲していることが認められた。さらに、方向転換足支持局面の膝関節角度変化量をみてみると、減速期において、上位群は下位群と比較して膝関節の屈曲量は少ない傾向が認められた。

Fig.9には、方向転換足の下腿前傾角度を示した。方向転換1歩前足接地後71%時点から81%時点の間において、上位群は下位群と比較して下

腿前傾角度が有意に小さいことが認められた。

## IV 考 察

本研究では、後方への方向転換に着目し、光刺激による状況判断を伴った素早い方向転換の特徴を明らかにすることを目的とした。なお、本研究では、RATにおける0—13 m区間のタイムから上位群と下位群に分類し比較検討を行った。

### 1. タイムにおける特徴

すべての対象者におけるRATタイムと13 m ス

プリント走タイムとの間には、有意な相関関係は認められなかった (Fig.2). また、各群における 13 m スプリント走タイムを比較した結果、いずれの区間においても有意差が認められなかった (Table1). 一方で、RAT タイムでは、上位群は 0—3 m 区間、5—13 m 区間および 0—13 m 区間において有意にタイムが短かった (Table 1). これらの結果は、本研究の RAT において、スプリント走の影響は小さく、上位群は下位群と同等のスプリント走能力でありながらも RAT が優れていることを意味している. これまでに Young et al. (2015) は、侵入型スポーツにおける方向転換モデルを提唱しており、方向転換は体力的要因、技術的要因、認知的要因の 3 つの要因で主に構成されていることを報告している. この中で、体力的要因においては、方向転換走タイムとスプリント走タイムとの間に関係性が認められている報告がいくつか存在しているが (Little and Williams, 2005, p.77; 笹木ほか, 2011, p.149; 塩川ほか, 1998, p.177; Vescovi and Mcguigan, 2008, pp.105-106), これらの研究での方向転換走は、状況判断を伴わない試技であった. 一方、認知的要因については、反応時間が方向転換走タイムの予測因子となることが報告されているが (Scanlan et al., 2014, p.370), 本研究の結果では、光刺激が提示される前の区間においても RAT タイムに有意差が認められた (Table 1). したがって、本研究の RAT のような光刺激による状況判断を伴った試技では、スプリント走能力以外の要因がタイムに影響し、特に、方向転換における技術的要因が大きく影響していることが考えられる.

## 2. RAT におけるステップパラメータおよび身体重心速度の特徴

RAT タイムにおいて、方向転換を含む 5—13 m 区間に有意差が認められたことは、方向転換前後の走り方が RAT タイムに影響を与えていることが考えられる. そこで本研究では、RAT タイムに差が生じた要因を、方向転換前後 1 歩ずつのステップパラメータおよび身体重心速度から検討した. その結果、経過時間 (Fig.3a), ストライド

(Fig.3c) には有意差が認められなかったが、上位群は方向転換 1 歩前のピッチが有意に高かった (Fig.3b). これらの結果は、方向転換 1 歩前にいて、上位群は同じ経過時間の中でストライドを保ちながらもピッチを高めていたことを示している. これまでに、Hewit et al. (2013, p.73) は、ストライドやピッチを適切に調節することによって方向転換における時間的損失を最小限にできることを報告している. また、Hewit et al. (2011, p.48) は、素早い減速を行うためには接地回数を多くする、すなわちピッチを高くする必要があることも示している. 本研究の結果とこれまでの研究を踏まえると、上位群は方向転換 1 歩前にピッチを高くすることによって素早く減速していたことが考えられる. また、方向転換前後における接地時間には有意差が認められなかったが (Fig.3d), 上位群は方向転換足接地までの累積時間が有意に短かったことも示された (Table 2). これまでの研究においては、接地時間を長くすることによって方向転換角度の大きな方向転換に対応していることが報告されている (鈴木ほか, 2010, p.93). しかし、本研究の結果から、上位群はストライドおよび接地時間を保ちながら、方向転換足の滞空時間を短くすることによってピッチを高め方向転換を行っていたことが考えられる. したがって、上位群は、接地時間ではなく滞空時間を短くしピッチを高めることによって方向転換足接地までの累積時間を短くすることを可能にし、素早い方向転換を行っていたことが推察される.

さらに、方向転換足支持局面における方向転換足接地時点、身体重心速度最下点、方向転換足離地時点の身体重心速度には有意差が認められなかったが (Fig.4b), 上位群は方向転換足支持局面の中盤以降における身体重心速度が大きい傾向が認められた (Fig.4a). 加えて、上位群は身体重心速度最下点までの経過時間が有意に短いことが認められた (Fig.4c). これらの結果は、上位群は方向転換 1 歩前足接地から方向転換 1 歩後足離地までの範囲で減速を早期に終了させていることを意味している. 上記の通り、上位群は方向転換足接地

までの累積時間を短くすることで身体重心速度最下点までの経過時間を短くし、減速を早期に終了させていたと考えられる。また、亀田ほか (2017) は、180 度の方向転換走において、方向転換走タイムが速い上位群は方向転換足接地時点の身体重心速度が同程度であったにもかかわらず、下位群よりも減速時の地面反力が大きかったことを報告しており、このことは身体重心位置を移動方向に保つことができた要因の 1 つであることを示唆している。本研究では地面反力を測定していないが、本研究の結果とこれまでの研究を踏まえると、素早い方向転換を行うためには、方向転換前において減速を早期に出現させる動作が重要であることが推察できる。

以上のことから、本研究における上位群は、同じ経過時間、ストライドおよび接地時間を保ちながらも方向転換 1 歩前のピッチを高めて方向転換足接地までの累積時間を短くすること、減速を早期に終了させることによって素早い方向転換を行っていたと考えられる。

### 3. RAT における各局面の方向転換動作の特徴

上記の通り、方向転換前後の動きが素早い方向転換に重要であることが考えられる。そこで本研究では、方向転換前後 1 歩ずつの分析対象範囲を、方向転換足接地前局面、方向転換足支持局面、方向転換足離地後局面の 3 つに局面分けを行い、局面ごとに動作の特徴を検討する。なお、下肢 3 関節のパラメータはすべて左足を対象とする。

#### 3.1 方向転換足接地前局面

方向転換足接地前局面において、上位群は身体重心高が有意に低かった (Fig.5)。この結果は、上位群が方向転換足接地前から低い重心高を保持していることを意味している。これまでに、方向転換時において低い重心高を保持することの重要性が示されているが (Shimokochi et al., 2013, p.1858)、後方への素早い方向転換を行うためには、方向転換時だけではなく、さらに前の方向転換足接地前から低い身体重心高を保持することが重要であると考えられる。加えて、上位群は方向

転換前の減速時において身体が後傾している傾向が示された (Fig.6b)。上位群は方向転換足の接地を早くし、減速を早期に出現させていたことを考慮すると (Table2)、この局面における身体の後傾は減速の早期出現に影響すると推察できる。したがって、素早い方向転換を行うためには、方向転換足接地前局面で減速を早期に出現させるために、方向転換前から低い重心高を保持しつつ身体を後傾させる必要があると考えられる。

さらに、下肢に着目すると、上位群は股関節が有意に屈曲位であった (Fig.7)。方向転換足接地前局面において左足は遊脚であることから、上位群はこの局面で遊脚の回復動作を行っていたと考えられる。また、上位群は方向転換 1 歩前のピッチが高く、方向転換足の接地が早かったことから (Fig.3b, Table 2)、方向転換前に股関節が屈曲位であることは、遊脚の回復を素早く行っていたことが考えられる。

以上のことから、方向転換足接地前局面において、上位群は、低い重心高を保持しつつ身体を後傾させることおよび股関節を屈曲位にすることで遊脚の回復を素早く行っていたことによって減速の早期出現を可能にしていたと考えられる。

#### 3.2 方向転換足支持局面

方向転換足支持局面において、上位群は膝関節が有意に屈曲位であり (Fig.8a)、減速期における膝関節屈曲量は小さい傾向にあった (Fig.8b)。これらの結果は、上位群は膝関節を屈曲位にすることで減速期における屈曲量を小さくしていた可能性が考えられる。先行研究では、鈴木ほか (2010, pp.92-93) は、方向転換足支持局面の身体重心速度を増大させていた者の下肢関節の動きの特徴として、膝関節屈曲量を大きくし支持局面後半の膝関節および股関節の伸展量を大きくすることを報告している。しかし、本研究は先行研究とは異なる結果を示しており、その理由としては方向転換角度の違いによる影響が考えられる。鈴木ほか (2010) の研究では方向転換角度が 90 度であることに對し、本研究の方向転換角度は 135 度であったことから、本研究の結果は、方向転換角度が大

きくなったために、膝関節の屈曲伸張運動は方向転換後の加速よりも方向転換時の減速に優位に働いたと推察される。したがって、上位群は方向転換足支持局面において、膝関節を屈曲位にし、屈曲量を小さくすることによって、減速を早期終了することを可能にしたと考えられる (Fig.4c)。なお、鈴木ほか (2010) の試技が状況判断を伴わないものであったことに対して、本研究における試技は状況判断を伴うものであった。そのため、今後の課題としては、状況判断の有無や方向転換角度の違いによる方向転換動作への影響について検討することが必要とされる。

また、上位群は、身体が有意に内傾していた (Fig.6a)。これらの結果は、上位群が方向転換足接地後、外側に膨らむことなく身体を内側に傾けて減速し、その後身体を前傾させることで推進力を移動方向に向けていたことが考えられる。これまでに、方向転換時における身体の内傾が大きい場合、水平方向の地面反力や鉛直方向の地面反力を得ることによって減速や効率の良い方向転換ができると示唆されている (鈴木・榎本, 2008, p.10)。加えて、上位群は、方向転換足支持局面の中盤において、身体傾斜角度が前方方向へ有意に大きい結果となっていた (Fig.6b)。方向転換時や離地時に身体が前傾していることについては、通常のランニングサイクルと同様に、移動方向に加速するために必要であり (Andrew et al., 1977, p.117)、大きな推進力を生み出すことができると報告されている (Kreighbaum et al., 1996)。これらのことから、上位群は方向転換足支持局面に身体の内傾および前傾を大きくすることにより、効果的な減速および加速を可能にしていたことが考えられる。

以上のことから、方向転換足支持局面において、上位群は、膝関節を屈曲位にし、膝関節屈曲量を小さくすることで、減速を早期に終了させていると考えられる。また、上位群は身体の内傾および前傾を大きくすることにより、効果的な減速および加速をしていたことが考えられる。

### 3.3 方向転換足離地後局面

方向転換足離地後局面において、上位群は身体が有意に前傾しており (Fig.6b)、下腿も有意に前傾していた (Fig.9)。これらの結果は、身体および下腿が前傾することで、方向転換後の加速に影響を与えた可能性が考えられる。これまでに、鈴木・榎本 (2008, p.10) は、身体を移動方向へ傾けることは、倒立振り子モデルにおける水平方向の伸長量を増加させることができるため、効率良く身体重心速度を増大させることができることを述べている。また、阿江 (2001, p.19) は、陸上競技の一流短距離選手のスプリント走動作の分析において、離地時に下腿の前傾が大きいことは、推進力が移動方向に向けられたことを示すものであることを示唆している。したがって、方向転換足離地後局面に下腿の前傾が大きいことは、方向転換後の加速において推進力が移動方向に向けられていることを示している可能性がある。

以上のことから、方向転換足離地後局面において、上位群が身体および下腿を前傾できたことは、方向転換後の加速に影響したと推察される。

以上の結果から、光刺激による状況判断を伴った素早い方向転換動作において、上位群は、方向転換足接地前局面では身体重心を低く保ちながら身体を後傾させ、方向転換足の股関節を屈曲させていること、方向転換足支持局面では膝関節は屈曲位にし膝関節屈曲量を小さくしながら、身体を内傾および前傾させていること、方向転換足離地後局面では身体および下腿を前傾させていることが特徴として示された。なお、本研究では、光刺激による状況判断を伴った素早い方向転換動作の特徴を明らかにすることを目的としているため、光刺激の有無による方向転換走タイムや動作の違いについては検討していない。先行研究では、光刺激の有無による動作の違いも報告されており (Houck et al., 2006; Wheeler and Sayers, 2010)、方向転換を高めるためのトレーニングにおいても状況判断を伴っていない状態で行うものが多い。このため、今後は光刺激の有無による方向転換走のタイムや動作を明らかにする必要がある。



## V まとめ

本研究では、後方への方向転換動作に着目し、光刺激による状況判断を伴った方向転換におけるピッチやストライドおよび動作を3次元的に検討することで、素早い方向転換の特徴を明らかにすることを目的とした。大学男子サッカー選手を対象とし、光刺激を伴った方向転換走(Reactive Agility Test: RAT)の0—13 m 区間タイムから上位群と下位群に分類し、上位群と下位群を比較した。主な結果は以下の通りである。

- 1) 13 m スプリント走におけるタイムにはいずれの区間においても有意差は認められなかったが、RAT タイムにおいて上位群は0—13 m 区間、0—3 m 区間および方向転換を含む5—13 m 区間で有意にタイムが短いことが示された。
- 2) RAT の方向転換前後1歩ずつの範囲において、経過時間、ストライド、接地時間に有意差は認められなかったが、上位群は方向転換1歩前において有意にピッチを高めており、方向転換足接地までの累積時間が有意に短いことが示された。
- 3) RAT の方向転換前後1歩ずつの範囲における身体重心速度において、上位群は身体重心速度最下点までの時間が有意に短いことが示された。
- 4) RAT における方向転換動作において、上位群は方向転換足接地前局面では身体重心を低く保ちながら身体を後傾させ、方向転換足の股関節を屈曲させていること、方向転換足支持局面では膝関節は屈曲位にして膝関節屈曲量を小さくしていることおよび身体を内傾かつ前傾させていること、方向転換足離地後局面では身体および下腿を前傾させていることが特徴として示された。

以上の結果から、状況判断を伴った後方への素早い方向転換の特徴として、減速を早期に出現、終了させていることおよび方向転換前からそのた

めの動作を行っていたことが明らかとなった。本研究の知見は、方向転換パフォーマンス向上のためのトレーニングおよび新たな方向転換能力評価指標のための基礎的知見であるといえる。

## 文 献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *J. J. Sports Sci.*, 15(3): 155-162.
- 阿江通良 (2001) スプリントに関するバイオメカニクス的研究から得られるいくつかの示唆. *スプリント研究*, 11: 15-26.
- Andrews, J.R., Mcleod, W.D., Ward, T., and Howard, K. (1977) The cutting mechanism. *Am. J. Sport Med.*, 5(3): 111-121.
- Bloomfield, J., Polman, R., and O'Donoghue, P. (2007) Turning movements performed during FA Premier League soccer matches. *J. Sports. Sci. Med.*, 6(9): 63-70.
- 福原祐介・吉田章吾・吉岡伸輔・大塚光雄・井口雅仁・伊坂忠夫 (2014) サッカーにおける後方への方向転換と加速. *トレーニング科学*, 25(3): 201-213.
- Gabbett, T. and Benton, D. (2009) Reactive agility of rugby league players. *J. Sci. Med. Sport*, 12(1): 212-214.
- Hermassi, S., Fadhloun, M., Chelly, M. S., and Bensbaa, A. (2011) Relationship between agility T-test and physical fitness measures as indicators of performance in elite adolescent handball players. *Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта*, 5: 125-131.
- Hewitt, J., Cronin, J., Button, C., and Hume, P. (2011) Understanding deceleration in sport. *Strength Cond. J.*, 33(1): 47-52.
- Hewitt, J., Cronin, J., and Hume, P. (2013) Kinematic factors affecting fast and slow straight and change-of-direction acceleration times. *J. Strength Cond. Res.*, 27(1): 69-75.
- Houck, J., Duncan, A., and Haven, K.E.D. (2006) Comparison of frontal plane trunk kinematics and hip and knee moments during anticipated and unanticipated walking and side step cutting tasks. *Gait Posture*, 24(3): 314-322.
- Inaba, Y., Yoshioka, S., Iida, Y., Hay, D.C., and Fukushima, S. (2013) A biomechanical study of side steps at different distances. *J. Appl. Biomech.*, 29(3): 336-345.
- 亀田麻依・水谷未来・杉山敬・木葉一総・前田明 (2017) バスケットボールのディフェンス選手における切り返し動作の特徴. *トレーニング科学*, 29(1): 33-42.
- 関東大学バスケットボール連盟強化部トレーナー部会 (2008) 世界で戦うためのフィジカルフィットネス. *月刊バスケットボール*, 36(6): 別冊付録 12-13.



- 木村健二・桜井伸二 (2010) 方向転換の下肢キネマティクス. 体育の科学, 60(11): 745-750.
- Kreighbaum, E. and Barthels, K.A. (1996) Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement (4th ed). Allyn and Bacon, pp. 138-143.
- Little, T. and Williams, A.G. (2005) Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. J. Strength Cond. Res., 19(1): 76-78.
- 水本篤・竹内理 (2008) 研究論文における効果量の報告のために: 基本的概念と注意点. 関西英語教育学会紀要『英語教育研究』, 31: 57-66.
- 中山雅雄 (2010) サッカーでの方向転換能力を高めるトレーニング. 体育の科学, 60(11): 762-765.
- Nedergaard, N.J., Kersting, U., and Lake, M. (2014) Using accelerometry to quantify deceleration during a high-intensity soccer turning manoeuvre. J. Sports Sci., 32(20): 1897-1905.
- 日本サッカー協会技術委員会テクニカルハウス編 (2006) JFA フィジカル測定ガイドライン 2006 年版. 財団法人日本サッカー協会.
- 岡本直輝 (2015) 敏捷性測定法 505test の評価視点の検討. 体育測定評価研究, 14: 33-41.
- 笹木正悟・金子聡・福林徹 (2008) サッカー選手における後方への方向転換能力に関する研究. スポーツ科学研究, 5(1): 45-57.
- 笹木正悟・金子聡・矢野玲・浅野翔太・永野康治・櫻井敬晋・福林徹 (2011) 方向転換走と直線走および垂直跳びの関係—重回帰分析を用いた検討—. トレーニング科学, 23(2): 143-151.
- 柴山一仁・藤井範久・阿江通良 (2013) 一流 110 m ハードル走選手のハードリング動作に関するバイオメカニクスの分析: 角運動量保存則からの検討. 体育学研究, 58(1): 135-149.
- Shimokochi, Y., Ide, D., Kokubo, M., and Nakaoji, T. (2013) Relationship among performance of lateral cutting maneuver from lateral sliding and hip extension and abduction motions, ground reaction force, and body center of mass height. J. Strength Cond. Res., 27(7): 1851-1860.
- Scanlan, A., Humphries, B., Tucker, P.S., and Dalbo, V. (2014) The influence of physical and cognitive factors on reactive agility performance in men basketball players. J. Sports Sci., 32(4): 367-374.
- 塩川勝行・井上尚武・杉本陽一 (1998) サッカー選手における方向変換能力に関する研究—マトスイッチシステムを用いて—. サッカー医・科学研究, 18: 175-179.
- 鈴木雄太・阿江通良・榎本靖士 (2010) サイドステップおよびクロスステップによる走方向変換動作のキネマティクスの研究. 体育学研究, 55(1): 81-95.
- 鈴木雄太・榎本靖士 (2008) サイドステップおよびクロスステップにおける身体重心速度と地面反力との関係. 京都体育学研究, 24(1): 1-12.
- 戸邊直人・林陵平・荻山靖・木越清信・尾縣貢 (2018) 一流走高跳選手のパフォーマンス向上過程における事例研究. コーチング学研究, 31(2): 239-251.
- 津越智雄・浅井武 (2010) J リーグサッカークラブにおける上位カテゴリーへの選手選抜に関する横断的研究—体力・運動能力を対象として—. 体育学研究, 55(2): 565-576.
- Vescovi, J.D. and McGuigan, M.R. (2008) Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. J. Sports Sci., 26(1): 97-107.
- Wells, R. P. and Winter, D.A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. Human Locomotion1 (Proceedings of the first biannual conference of the Canadian Society of Biomechanics), pp. 92-93.
- Wheeler, K.W. and Sayers, M.G.L (2010) Modification of agility running technique in reaction to a defender in rugby union. J Sport Sci. Med., 9(3): 445-451.
- Young, W.B., Dawson, B., and Henry, G.J. (2015) Agility and change-of-direction speed are independent skills: implications for training for agility in invasion sports. Int. J. Sports Sci. Coach., 10(1): 159-169.

(2018 年 8 月 24 日受付)  
(2019 年 6 月 11 日受理)

Advance Publication by J-STAGE  
Published online 2019/8/7