

## ジュニアサッカー選手のインステップキックにおける バイオメカニクスの動作特性

In instep kick of junior football players Biomechanical operating characteristics

鈴木裕也<sup>1)</sup>・春日晃章<sup>2)</sup>・内藤 譲<sup>3)</sup>・松田繁樹<sup>4)</sup>

Yuya SUZUKI<sup>1)</sup>, Kosho KASUGA<sup>2)</sup>, Yuzuru NAITO<sup>3)</sup> and Shigeki MATSUDA<sup>4)</sup>

- 1) 岐阜大学大学院教育学研究科  
Graduate School of Education, Gifu University
- 2) 岐阜大学教育学部保健体育講座  
Department of Physical Education, Faculty of Education, Gifu University
- 3) 岐阜聖徳学園大学短期大学部  
Gifu Shotoku Gakuen University Junior College
- 4) 滋賀大学教育学部保健体育講座  
Department of Physical Education, Faculty of Education, Shiga University

**キーワード**：3次元動作分析, 床反力, インステップキック, ジュニア

**Key words**：3-dimensional motion analysis, ground reaction force, instep kick, junior

### I. 緒言

サッカーをプレイする際、その技術の中において、キックはシュートや味方へのパスなどに使われる重要な技術である。難波<sup>1)</sup>は試合中の基礎技術使用率を調査し、ワールドクラスから少年までのいずれのカテゴリーでも、使用される基礎技術の約50%をキックが占めていると報告している。いくつかのキックの種類がある中で、インステップキックはサッカーのキックの中でボールを最も速く、遠くへ飛ばすことができることから、シュート、クリア、ロングパス、フリーキックなどに使われる。

キック力の構成要素<sup>2)</sup>であるボールスピードの観点でみると、速いボールを蹴ることにより、相手がボールに短時間で反応しなければならないため、パスやシュートにおける速いボールスピードは試合を有利に進めるために重要である。ボールスピードと蹴り脚のスイングスピードと

の間に高い相関関係があるという研究<sup>2)</sup>やボールスピードと踏み込み脚のスピードの間にも高い相関関係があるといった研究<sup>3)</sup>が存在し、ボールスピードに着目した研究はこれまでに多く行われている<sup>4)5)6)</sup>。しかし、これらの多くは青年期および成人を対象としたものが多く、キックフォームが成人のものに近づいていく<sup>7)8)</sup>とされるジュニア期を調査したものは少ない。ジュニア期はゴールデンエイジとも呼ばれ、動作習得のための要素がすべて高い水準を示し、技術習得に最も有利な時期である。

そこで本研究は、ジュニアサッカー選手のインステップキックの動作特性をバイオメカニクスの観点から明らかにすることを目的とした。

## II. 研究方法

### 1. 対象

本研究の対象は、サッカークラブに所属する小学4年生の男子13名であった。(年齢 $9.84 \pm 0.38$ 歳, 身長 $134.7 \pm 2.87$ cm, 体重 $29.0 \pm 1.95$ kg, 競技歴 $4.1 \pm 1.94$ 年)

### 2. 測定方法

#### 1) 動作撮影および分析

キック動作は、3台のデジタルビデオカメラ(CASIO EX-F1)を用いて、毎秒300コマのハイスピードモードで、シャッタースピード $1/1000$ 秒で撮影した。カメラはキック方向に対して右側方、左後方、左前方に設置し、撮影範囲はキック方向に対して左右方向に2.00m、キック方向に3.70m、鉛直方向に1.50mと設定した。測定前に0.50m間隔でコントロールポイントをつけた2.00mのキャリブレーションポールを9か所に地面と垂直に立てキャリブレーションを行った(図1)。全周囲光呈示器を用い、検者が発光させたフラッシュをカメラに撮影することによって分析時におけるカメラの同期を行った。対象者には身体各セグメント端点23点(頭頂, 耳珠, 胸骨上縁, 右肩峰, 左肩峰, 右肘, 左肘, 右手首, 左手首, 右中手骨, 左中手骨, 右肋骨下端, 左肋骨下端, 右大転子, 左大転子, 右膝, 左膝, 右足首, 左足首, 右踵, 左踵, 右つま先, 左つま先)に目印とするために球体発反射マーカーを貼付した。得られた映像をもとに、Frame-DIASIV(DKH社製)を用いて毎秒150コマでデジタイズし、進行方向をY座標、左右方向をX

座標、鉛直方向をZ座標とした、3次元座標をDLT(Direct Linear Transformation)法により算出した。なお、コントロールポイントの実測値と推定値の標準誤差は、 $X=0.007 \sim 0.009$ m,  $Y=0.008 \sim 0.009$ m,  $Z=0.004 \sim 0.007$ mであった。得られた3次元座標は、測定点ごとに最適遮断周波数を決定し、バターワース型デジタルフィルターを用いて平滑化した(9.60~16.65Hz)。身体重心は横井ほか<sup>9)</sup>の身体部分慣性係数を用いて算出した。

#### 2) キック試技

キック試技は床反力計上にて行った。本研究では対象者に利き脚でのインステップキックを3本ずつ行わせ、試技においては2.50m先の2.00m $\times$ 2.00mの的をめがけて最大努力で蹴るように指示をした。成功試技は的にあたったものとし、キック試技の成否の判定は検者とサッカー経験がある者の2名が行った。助走距離を一定にするため助走はすべて床反力計上から始めるように指示した。

#### 3) 床反力の測定および分析

床反力の測定には3台の床反力計(KISTLER社製)を用いた。また、床反力計とカメラの同期は、全周囲光呈示器のフラッシュがシグナルとして床反力データに取り込まれた時とフラッシュをカメラに撮影することによって行った。踏み込み時における床反力を垂直方向(vertical component, 以下, Z成分)、前後方向(fore and aft component, 以下, Y成分)左右方向(lateral component, 以下, X成分)において波形で測定した。得られた力の成分からY方向とZ方向の合力、3方向の合力および力積を算出した。またそれぞれの値は体重による影響を除外するために体重で除したものを使用した。

#### 4) 動作における測定項目

本研究では、キック動作を助走からボールをインパクトしてフォロースルーが終わるまでとした。また、蹴り脚離地から踏み込む直前までを助走局面、踏み込み脚が着地する瞬間からボールインパクトまでを踏み込み局面、蹴り脚がボー

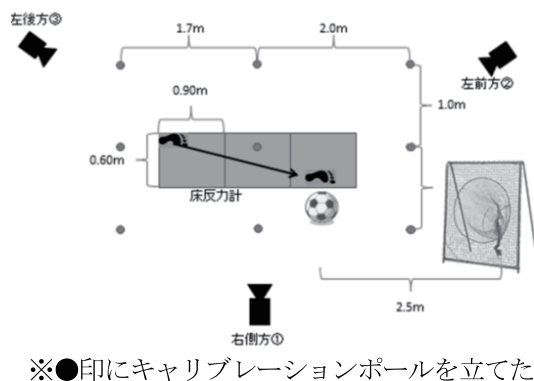


図1 撮影範囲

ルを接している局面をインパクト局面、インパクト局面終了後から振り上げ脚が最高点に達するまでをフォロースルー局面の4局面に分類し(図2)それぞれに分析項目を設けた(表1, 図3).

助走局面における分析項目は身体重心の水平速度, 蹴り脚の股関節最大伸展角度, 蹴り脚の膝関節最大屈曲角度を算出した. 踏み込み局面は床反力, 支持脚の膝関節角度, 支持脚の膝関節水平速度を算出した. インパクト局面ではスイングスピード, 蹴り脚の膝関節最大角速度, 蹴り脚の股関節角度, 蹴り脚の膝関節角度を算出した. フォロースルー局面では蹴り脚のつま先移動距離, フォロースルースピードを算出した.

なお, 本研究におけるボール初速度は, ボールから蹴り脚が離れた瞬間から5コマ間の合成方向の平均速度とした. 助走局面の身体重心の水平速度とは支持脚接地直前における値を採用した. また, 床反力は踏み込みからインパクトにおけるYZ方向の平均の力積を採用し, 支持脚膝関節水平速度は得られた膝関節部の水平方向への速度の時系列データから踏み込み時の値を採用した. さらに, インパクト局面のスイングスピードにおいては, インパクト直前の5コマ間の蹴り脚のつま先移動スピードをFrame-DIASIVから出力された0.027秒間の合成方向への速度データを平均した値を用いた.

表1 キック動作における分析項目

局面	項目	単位
助走	身体重心の水平速度	m/s
	蹴り脚の股関節最大伸展角度	deg
	蹴り脚の膝関節最大屈曲角度	deg
踏み込み	床反力	N・s
	支持脚の膝関節角度	deg
	支持脚の膝関節水平速度	m/s
インパクト	スイングスピード	m/s
	蹴り脚の膝関節最大角速度	deg/s
	蹴り脚の股関節角度	deg
フォロースルー	蹴り脚のつま先移動距離	m
	フォロースルースピード	m/s

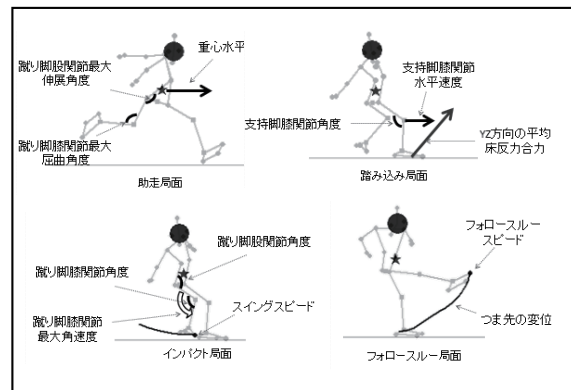


図3 測定項目

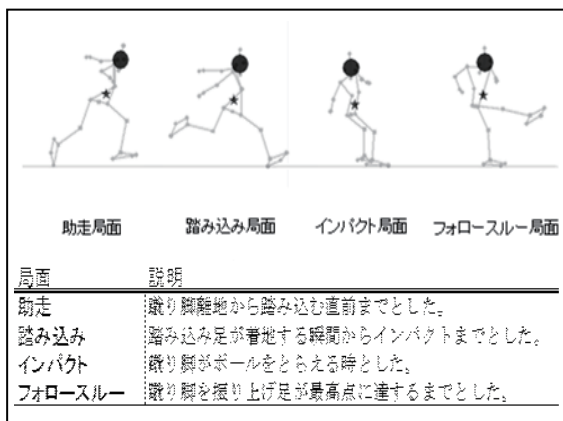


図2 キック動作の局面分け

### 5) 統計処理

ボール初速度と各測定項目との関連の程度を検討するために, ピアソンの積率相関係数を用いた. また, 2群の差の検定には, マン・ホイットニーのU検定を用いた. その際, 統計的有意水準はすべて5%未満とした.

### III. 結果

表2は各測定項目の測定結果とボール初速度との関連を示している. 助走局面においてボール初速度と測定項目の間には関連が認められなかった. 踏み込み局面において, ボール初速度との間に, 床反力は中程度の正の関連, 支持脚膝関節角度とは関連なし, 支持脚膝関節水平

速度とは低い負の関連がそれぞれ認められた。インパクト局面ではボール初速度とスイングスピードとの間に有意な高い正の関連が認められた(図4)。蹴り脚膝関節最大角速度は中程度の正の関連、蹴り脚股関節角度は低い正の関連、

蹴り脚膝関節角度は中程度の正の関連が認められた。フォロースルー局面では、ボール初速度とつま先の変位との間には低い正の関連、フォロースルースピードとの間には中程度の正の関連が認められた。

表2 各測定結果とボール初速度との関連

局面	項目名	各項目の値				ボール初速度との関連	
		単位	n	平均	標準偏差	相関係数	無相関の検定
助走	身体重心水平速度	m/s	13	2.80	±0.267	0.085	
	蹴り脚股関節最大伸張角度	deg	13	150.61	±15.821	0.189	
	蹴り脚膝関節最大屈曲角度	deg	13	96.13	±6.835	0.086	
踏み込み	床反力	N・s	13	0.02	±0.003	0.480	
	支持脚膝関節角度	deg	13	131.24	±9.81	0.171	
	支持脚膝関節水平速度	m/s	13	0.34	±0.437	-0.220	
インパクト	スイングスピード	m/s	13	15.15	±1.134	0.790	**
	蹴り脚膝関節最大角速度	deg/s	13	1282.53	±191.687	0.476	
	蹴り脚股関節角度	deg	13	109.79	±15.843	0.322	
	蹴り脚膝関節角度	deg	13	115.76	±10.924	0.531	
フォロースルー	つま先の変位	m	13	0.54	±0.103	0.352	
	フォロースルースピード	m/s	13	7.83	±0.659	0.477	

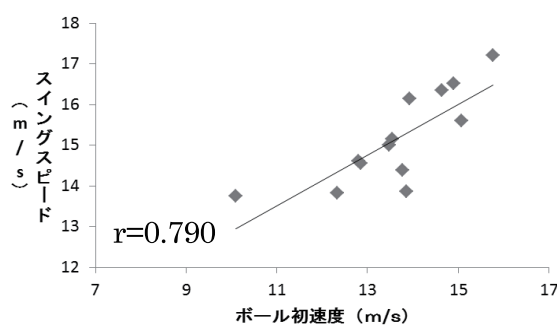
\* :  $p < 0.05$  \*\* :  $p < 0.01$ 

図4 スイングスピードとボール初速度との相関

#### IV. 考察

本研究の目的は、ジュニアサッカー選手のインステップキックの動作特性をバイオメカニクスの観点から明らかにすることであった。

分析の結果、踏み込み局面において、支持脚にかかるYZ方向の床反力の力積はボール初速度と中程度の正の関連が認められた。先行研究に

おいて、支持脚膝関節の伸展による床反力依存トルクが蹴り脚の膝伸展運動に大きく貢献している<sup>10</sup>とされ、その膝伸展運動の要因の一つである膝関節角速度もボール初速度と関係がある<sup>11</sup>ことから床反力とボール初速度には高い関連があると考えられたが、ジュニアサッカー選手では中程度の関連にとどまった。ジュニアサッカー選手は成人に比べ膝関節の速度および角速度が小さい<sup>12</sup>ことから、踏み込みの力も小さく、今回の結果になったのではないかと考えられる。今後、習熟とともに角速度および膝関節速度が高くなっていくこと<sup>11</sup>から、床反力とボール初速度の関連が高くなることが推察される。スイングスピードとボール初速度との関連は戸荻ら<sup>2)</sup>などの従来の報告と同じように高い値を示した。ジュニアサッカー選手でもボール初速度を高めるにはスイングスピードをいかに高めるかが重要になる。

また、蹴り脚のスイングスピードを増大させるためには、下肢のムチ動作の重要性が言われている<sup>13)</sup>。図5は蹴り脚の大転子、膝関節部および足関節部の位置データの合成方向速度を、ボール初速度の高かった上位3名(以下、一上位群)と下位3名(以下、一下位群)の各速度の平均値を示した。また、これは時間軸を規格化したもので、支持脚着地を0%、インパクトを50%、フォロースルー最高点を100%とした。本研究でも膝関節部の速度が高まり、遅れて足関節部の速度が高まっている<sup>12)</sup>ことから、ジュニアのサッカー選手のキックにもムチ動作が表れている可能性が示唆された。

また、規格化したデータに関して、規格化時間5%ごとに上位群および下位群間の平均値の差を検定した。その結果、膝関節部合成方向速度の15%、20%において有意な差が認められた(表3、図6)。また、足関節部合成方向速度の20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%において有意な差が認められた(表4、図7)。

上位群のほうがインパクト前において足関節部だけでなく、膝関節部の合成方向速度が高いことから、下肢のムチ動作に伴う運動連鎖が

ボール初速度を高めるための有効な手段である可能性が高い。また下位群がボール初速度を高めるためには、足部のスピードを高めるだけではなく、その近位にある膝から速く振り出す必要があるのではないかと考えられる。

## V. 結論

本研究は、ジュニアサッカー選手のインステップキックの動作特性をバイオメカニクスの観点から明らかにすることを目的とした。分析の結果、以下のような結論を得た。

- 1) ボール初速度とスイングスピードとの間には有意な高い正の関連が認められた。
- 2) ボール初速度と床反力との間には中程度の正の関連が認められた。

これらのことから、ジュニア期のサッカー選手においても、ボール初速度を高めるにはまずスイングスピードを高める必要があることが示唆された。また、そのスイングスピードを高めるためには、末端の足部だけを速くするのではなく、その近位にある膝から速く振り、下肢のムチ動作に伴う運動連鎖を上手く身につけていく必要があると考えられる。

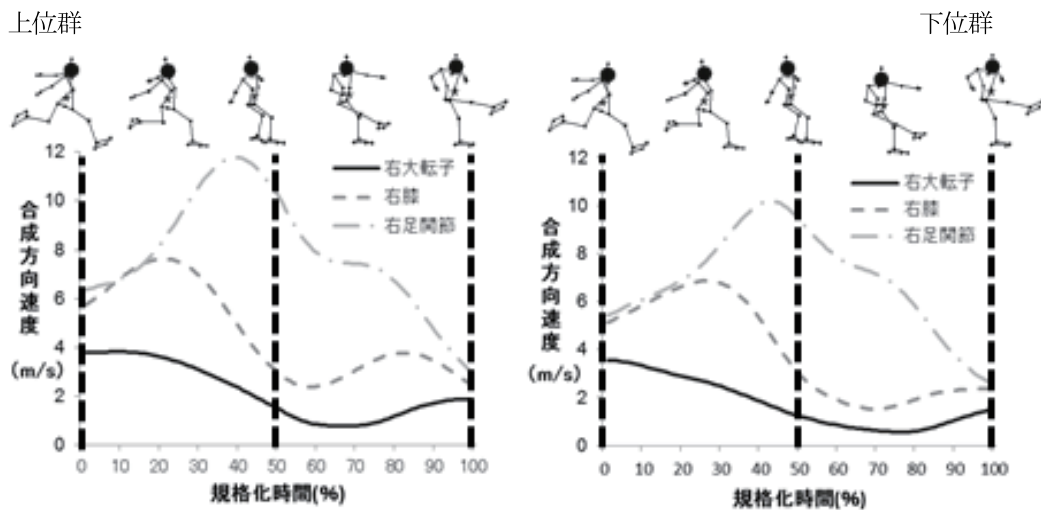


図5 ムチ動作の表れ



表3 膝関節部合成方向速度の上位群下位群における比較

時点	統計量:Z	P値	検定結果
1%	1.0911	0.2752	
5%	1.0911	0.2752	
10%	1.0911	0.2752	
15%	1.9640	0.0495	* 上位群>下位群
20%	1.9640	0.0495	* 上位群>下位群
25%	1.5275	0.1266	
30%	0.6547	0.5127	
35%	0.6547	0.5127	
40%	0.6547	0.5127	
45%	0.6547	0.5127	
50%	0.2182	0.8273	
55%	0.6547	0.5127	
60%	1.0911	0.2752	
65%	1.5275	0.1266	
70%	1.5275	0.1266	
75%	1.5275	0.1266	
80%	1.5275	0.1266	
85%	1.5275	0.1266	
90%	1.0911	0.2752	
95%	0.6547	0.5127	
100%	0.2182	0.8273	

表4 足関節部合成方向速度の上位群下位群における比較

時点	統計量:Z	P値	検定結果
1%	1.091089	0.275234	
5%	0.6547	0.5127	
10%	0.6547	0.5127	
15%	1.5275	0.1266	
20%	1.9640	0.0495	* 上位群>下位群
25%	1.9640	0.0495	* 上位群>下位群
30%	1.9640	0.0495	* 上位群>下位群
35%	1.9640	0.0495	* 上位群>下位群
40%	1.9640	0.0495	* 上位群>下位群
45%	1.9640	0.0495	* 上位群>下位群
50%	1.9640	0.0495	* 上位群>下位群
55%	0.6547	0.5127	
60%	0.2182	0.8273	
65%	0.6547	0.5127	
70%	0.2182	0.8273	
75%	1.0911	0.2752	
80%	1.5275	0.1266	
85%	1.5275	0.1266	
90%	0.6547	0.5127	
95%	0.6547	0.5127	
100%	0.6547	0.5127	

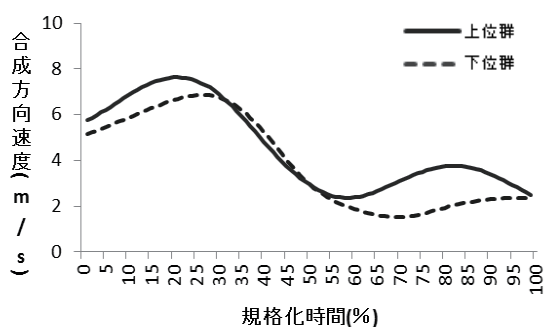


図6 膝関節部合成方向速度の上位群下位群における比較

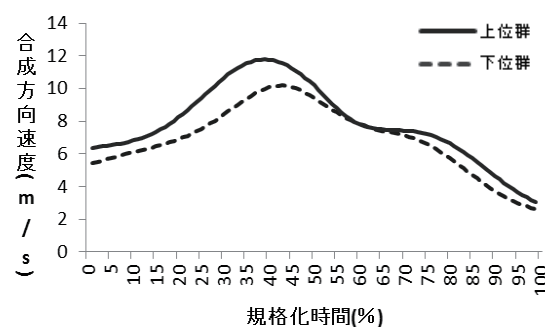


図7 足関節部合成方向速度の上位群下位群における比較

## VI. 参考文献

- 1) 難波邦雄：発育段階別にみたサッカーの基礎的技術の比較検討. 第8回サッカー医・科学研究報告書：125-148, 1988
- 2) 戸荻晴彦, 浅見俊雄, 菊池武道：サッカーのキネシオロジ的研究 (1) 体育学研究 16.5 (1972)：259-264
- 3) 荒井康夫, 垂見光雄：サッカーのインステップキックにおける熟練者と未熟練者との比較：名古屋女子大学紀要 28 (1982)：241-247
- 4) 浅見俊雄, 戸荻晴彦：サッカーのキック力に関する研究 (1968)
- 5) 深倉和明, 有吉正博, 古谷嘉邦：助走スピードがインステップ・キックのフォーム及びボール・スピードに及ぼす影響 (1978)
- 6) 浅井武, 小林一敏, 榎原潔：サッカーのインステッ

- プキックについての力学的考察 体育科学系紀要 6 (1983)：171-175
- 7) 三宅一郎, 宮丸凱史, 大石八重：066 ボール蹴り運動における動作様式の発達 日本保育学会大会研究論文集 36 (1983)：132-133
- 8) 後藤幸弘, 辻野昭, 田中讓：インステップ・キックにおけるボール速度と正確性の発達について (1975)
- 9) 横井孝志, 渋川侃二, 阿江通良：日本人幼少年の身体部分係数 体育学研究 31.1 (1986)：53-66
- 10) 福井洋介, 内藤耕三, 丸山剛生：B36 サッカーのインステップキック動作における蹴り脚の膝伸展運動に貢献する動力学的要因 (サッカー) ジョイント・シンポジウム講演論文集：スポーツ工学シンポジウム：シンポジウム：ヒューマン・ダイナミックス：symposium on sports engineering:

symposium on human dynamics. Vol. 2007. 一般社団法人日本機械学会, 2007

- 11) 内山秀一：＜原著＞サッカーのキック動作に関する基礎的研究：インステップキックにおける一步助走の位置がボールスピード・膝関節化の角度変化に及ぼす影響 東海大学紀要 体育学部 25 (1996)：1-6
- 12) 原田精一郎，岡田英孝，窪康之，阿江通良，松本光弘：大学および少年サッカー選手のインステップキックの特徴 日本体育学会大会号 46 (1995)：521.
- 13) 鈴木英一，齋藤知行，竹内 良平，加藤信岳，瀧上秀威，腰野富久：成長期サッカー選手における高速度ビデオカメラを用いたキック動作 日本臨床バイオメカニクス学会誌 (1340-9018) 16巻 Page31-35 (1995.10)