

【原著】



サッカーのキック動作におけるボール 飛距離の調節に関する基礎的研究

内山秀一 (体育学部体育学科) 清澤栄樹 (神奈川県立秦野総合高等学校)

遠藤慎也 (体育学部体育学科非常勤講師) 山田 洋 (体育学部体育学科)

小河原慶太 (体育学部体育学科)

Analysis of Kicking Motion for Ball Distance Control in Soccer Players

Shuichi UCHIYAMA, Haruki KIYOSAWA, Shinya ENDO, Hiroshi YAMADA and Keita OGAWARA



Abstract

The purpose of this study was to examine the kicking leg motion of the ball distance control in soccer players. The subjects were five skilled soccer players. We measured the maximum distance of the kicked ball at first, then marked the 40%, 60% and 80% distances of maximums on the field for each subject. The kicking movements were captured by four high-speed video cameras at 300fps and analyzed by the three-dimensional DLT method. It was measured that the swing speed, the angular velocities of the knee extension, the thigh swing and the line that links trochanters' onto the horizontal plane.

Swing speed at ball impact increased with the distance extending ($r=0.86$, $p<0.01$). Swing speed correlated with the knee extension velocity at the ball impact ($r=0.60$, $p<0.01$). The maximum values of the thigh swing and the pelvis rotation speed also correlated with the swing speed at the ball impact ($r=0.77$ and $r=0.72$, $p<0.01$).

These results suggested that the maximum angular velocity of the thigh swing influenced the ball distance control by kicking in soccer players.

Key words: kicking motion, swing speed, angular velocity of the thigh swing, soccer

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 29, 13-24, 2017)

I. 緒言

現代サッカーでは、時間的空間的スペースが少ない中¹⁾での的確な判断と正確なキックが求められる。サッカーの試合において使用頻度の高いキックは、インサイドキックやインステップキック、インフロントキックなどである。これらのキックの正確性が高いことは、選手にとって重要な能力

のひとつであり、試合の勝敗を左右する重要な要因である。特に、中・長距離のパスを行なう際のインステップキックやインフロントキックの精度、すなわちボールの飛距離を調節する技術は、試合の展開を変える場面（例えば、サイドチェンジ）や得点に至る場面（シュート）などで重要である。

キック動作に関する研究では、インステップキックの蹴り足に注目した研究や力学的なメカニズムに関する報告が数多くなされている^{2,3,4)}。戸

莉⁵⁾は、一流選手と二流選手とでインステップキック時のボール速度と蹴り足の足関節角度、膝関節角度、股関節角度の各関節の軌跡について比較した結果、一流選手では二流選手と比較してボール速度が有意に高く、バックスイングからフォロースイングまでの動作が大きいことを報告した。また、フォームの映像解析から、ボール速度と蹴り足のスイング速度との間には有意な正の相関関係が認められる^{6,7,8)}ことや、力学的側面からは蹴り足の膝関節伸展力（等尺性筋力及び等速性筋出力）とボール速度との間には有意な正の相関関係が認められる^{9,10)}ことなどが報告されている。さらに、深倉¹¹⁾や磯川⁸⁾は、ボールに対する助走の角度や速度とボール速度との関係を検証した結果、ボール速度と助走速度との間で有意な正の相関関係が認められることや、ボールに対して斜めに助走したときに蹴り足のスイング速度が高くなり、その結果ボール速度が高くなることなどを報告している。

加えて、Khorasani M. A. et al.¹²⁾は、キックフォームを3次元映像解析し、膝関節伸展角速度及び上体と大腿とのなす角速度とボール速度とは正の相関関係を示すことを明らかにし、体幹部から末端部へと順次速度が増加するパターンが見られたことも報告している。また、キック動作を高速度で撮影した映像分析の解析から、キック動作では、まず腰の回旋が起り、蹴り足の膝関節はバックスイング時にかけて屈曲し、次いで大腿の前方への運動が減少し、膝関節の伸展運動が始まりボールインパクトに至ることが示されている²⁾。このように、連結された各関節が連鎖的に動き、体幹部から末端部へと段階的に速度を漸増させることで、最終的に末端部の高い速度を獲得することによって、高いボール速度が得られるのである^{4,13)}。このように、キック動作を分析する際には、スイング速度と共に、各下肢関節の角度変化を明らかにすることによって検討されている。

これらの報告は、被験者による全力でのインステップキックの動作を対象としている。さらに、インステップキックについてはキックの指導教

本¹⁴⁾でも、強くあるいは遠くへボールを蹴る場合には「膝下の振りを速くする」という指導の観点が示されている。一方、実際の試合で用いるようなボール飛距離を調節するためのキックの動作の特徴や指導の観点は明らかにされていない。そこで、本研究では、ボール飛距離を段階的に調節した時のキック動作を分析することから、飛距離を調節するための蹴り足の動きを明らかにすることを目的とした。

Ⅱ. 方法

1. 被験者

被験者は、男子大学サッカー選手5名（年齢：21.4±1.5歳、身長：172.8±8.5cm、体重：67.6±4.2kg、経験年数：15.0±1.0年）であった（表1）。全被験者は、右利きであった。実験前に、被験者に実験の主旨と内容を説明し、承諾を得た。なお、本研究は、東海大学における「人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認を得た上で行った（承認番号12054）。

2. 測定

1) 試技

測定の概略図を図1に示した。各被験者には、十分なウォーミングアップを行なわせた後、最も蹴りやすい助走から、全力でのロングキック（100%）を3回行なわせた。その後、全力キックの平均飛距離に対して40%、60%、80%の位置に直径2mの円を記し、その円を目標に、最も蹴りやすい助走から、飛距離を調節したキックをランダムに行なわせた。なお、ボールから目標とする円までの中間地点に高さ1.8mのゴールを設置した。被験者によりキックされたボールが、中間地点のゴールを越えて、円内に直接落ちた試技を成功試技とし、それぞれ3回成功するまで行なわせた。試技の際に用いたサッカーボールは、検定球である5号球（MIKASA社製）を使用し、空気圧をサッカー競技規則に準拠した900hpaにし

表1 被験者の身体的特徴及びサッカーの経験年数

Table 1 Characteristic of subjects and the experience year as soccer player.

| 被験者 | 年齢(歳) | 身長(cm) | 体重(kg) | 経験年数(年) |
|------|-------|--------|--------|---------|
| S.S. | 20 | 179.0 | 65.0 | 14 |
| R.O. | 20 | 158.0 | 66.0 | 14 |
| Y.K. | 21 | 174.0 | 66.0 | 16 |
| Y.O. | 23 | 176.0 | 66.0 | 16 |
| K.I. | 23 | 177.0 | 75.0 | 15 |
| 平均 | 21.4 | 172.8 | 67.6 | 15.0 |
| 標準偏差 | ±1.5 | ±8.5 | ±4.2 | ±1.0 |

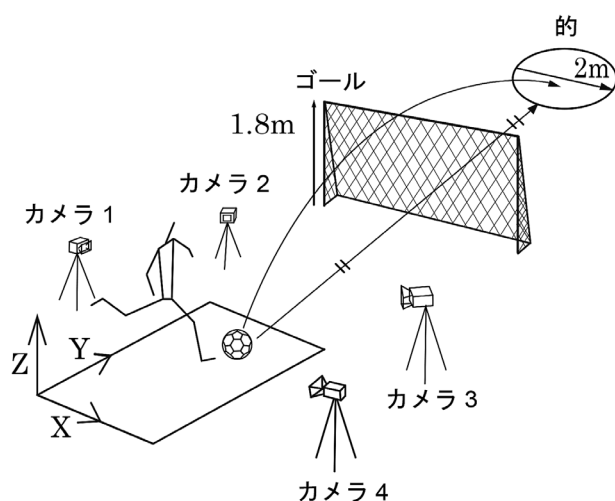


図1 測定概略図：全力キックの平均飛距離の40%、60%、80%の位置に直径2mの円を記し、中間点に高さ1.8mのゴールを設置した。また、液晶デジタルハイスピードカメラ（EX-F1、CASIO社製）を被験者の前方2台、後方2台の計4台を設定し、撮影範囲は、奥行き2.5m（X軸）×キック方向3.0m（Y軸）×鉛直方向2.0m（Z軸）に設定した。

Fig. 1 Schema of measurement setting.

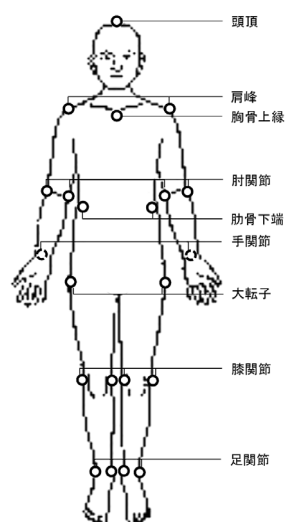


図2 マーカー貼付位置：被験者の頭頂、両肩峰、両肘関節、両手関節、胸骨上縁、両肋骨下端、両大転子、両膝関節、両足関節に直径50mmのマーカーを貼付した。

Fig. 2 Pasting places of reflection markers on body.

た。

2) 映像データの記録

各試技による映像は、被験者の前方2台、後方2台の計4台の液晶デジタルハイスピードカメラ（EX-F1、CASIO社製）を設置し、撮影速度300fps、露出時間1/2,000secで記録した（図1）。

撮影範囲は、被験者がキックするためにボールに向かって踏み込んだ後の一連の動作全体が写るよう、奥行き2.5m（X軸）×キック方向3.0m（Y

軸）×高さ2.0m（Z軸）とし、36点のキャリブレーションポイントを設定した。各試技の記録に際しては、阿江¹⁵⁾の方法に準拠し、被験者の身体各部位（頭頂、両肩峰、両肘関節、両手関節、胸骨上縁、両肋骨下端、両大転子、両膝関節、両足関節）に直径50mmのマーカーを付した（図2）。

3. 分析方法

1) 映像解析

記録した映像データから、映像解析ソフト

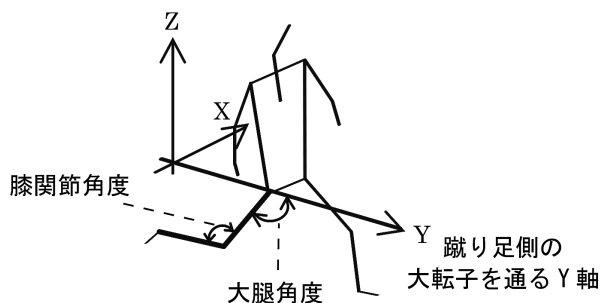


図4 膝関節角度：蹴り足側の 大転子と蹴り足の膝関節外顆を結んだ線分と蹴り足の膝関節と蹴り足の足関節外踝を結んだ線分のなす角。蹴り足の大腿と水平面とがなす角：蹴り足側の 大転子を通る水平面（Y 軸）と蹴り足側の 大転子と蹴り足の膝関節を結んだ線分のなす角。

Fig. 4 Schema of measuring on knee and thigh angle.

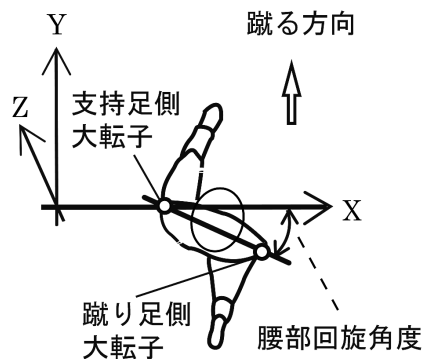


図5 骨盤の回旋角度：支持足側の 大転子を通る X 軸と両大転子を結んだ線分のなす角。

Fig. 5 Schema of measuring on pelvis rotation.

Ⅲ. 結果

距離を調節したキック（40%、60%、80%、100%）時の、各距離における被験者5名の各指標平均値の時系列データを図6に示した。各指標で距離の増大に伴い順次速度が増加する傾向が示された。また、距離を調節したキック時の各距離における時系列データを図7に示した。各条件で蹴り足の腰部最大回旋角速度、大腿最大角速度、そしてインパクト時の膝関節伸展角速度へと順次速度を漸増する傾向が示された。

1. インパクト時の蹴り足のスイング速度について

インパクト時の蹴り足のスイング速度について各距離での比較を図8に示した。蹴り足のスイング速度は、飛距離40%で $10.73 \pm 0.73 \text{m/sec}$ 、60%で $11.94 \pm 0.69 \text{m/sec}$ 、80%で $13.00 \pm 0.66 \text{m/sec}$ 、100%で $14.22 \pm 0.88 \text{m/sec}$ であった。また、このスイング速度は40%と比較し80%及び100%で有意に高値を示し（ $p < 0.01$ ）、60%と比較し100%で有意に高値を示した（ $p < 0.01$ ）。

2. インパクト時の蹴り足の膝関節伸展角速度について

各距離でのインパクト時の蹴り足の膝関節伸展

角速度についての比較を図9に示した。蹴り足の膝関節伸展角速度は、飛距離40%で $975.89 \pm 158.16 \text{deg/sec}$ 、60%で $1091.96 \pm 95.19 \text{deg/sec}$ 、80%で $1189.28 \pm 109.72 \text{deg/sec}$ 、100%で $1310.73 \pm 125.4 \text{deg/sec}$ であった。また、この膝関節伸展角速度は、40%と比較し、100%で有意に高値を示した（ $p < 0.01$ ）。

3. 蹴り足の大腿と水平面がなす最大角速度について

各距離での蹴り足の大腿と水平面がなす最大角速度の比較を図10に示した。この最大角速度は、飛距離40%で $602.53 \pm 44.71 \text{deg/sec}$ 、60%で $646.74 \pm 41.36 \text{deg/sec}$ 、80%で $729.31 \pm 41.23 \text{deg/sec}$ 、100%で $819.62 \pm 62.63 \text{deg/sec}$ であった。また、この最大角速度では、40%と比較し、80%及び100%で有意に高値を示し（ $p < 0.01$ ）、60%と比較して100%で有意に高値を示した（ $p < 0.01$ ）。

4. 蹴り足側骨盤の最大回旋角速度について

各距離での蹴り足側骨盤の最大回旋角速度についての比較を図11に示した。骨盤の最大回旋角速度は、飛距離40%で $169.16 \pm 14.90 \text{deg/sec}$ 、60%で $219.46 \pm 27.63 \text{deg/sec}$ 、80%で $277.31 \pm 37.29 \text{deg/sec}$ 、100%で $378.78 \pm 53.70 \text{deg/sec}$ であった。この最大回旋角速度では、40%と比較し、80%及び100%で有意に高値を示し（ $p < 0.01$ ）、

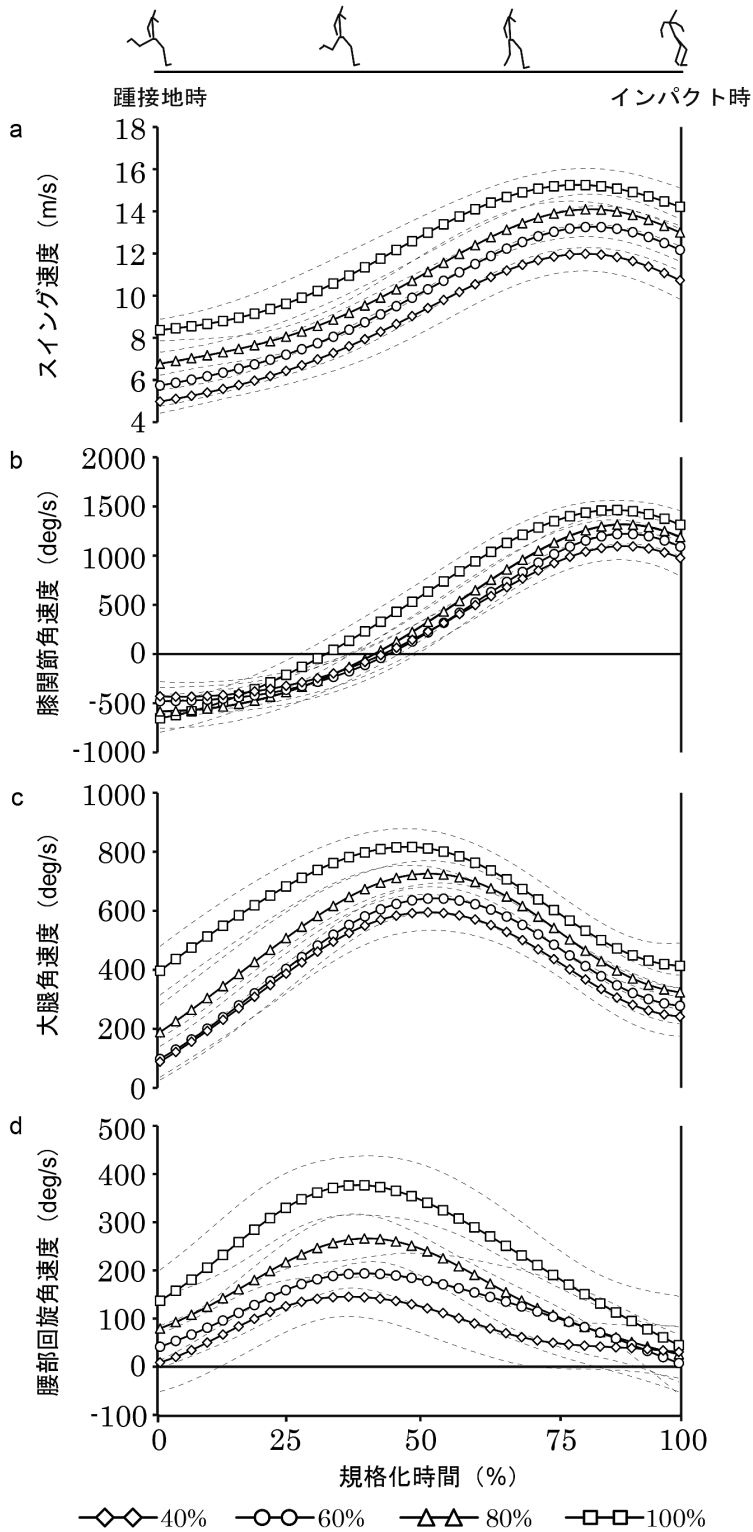


図6 各指標の時系列データ (n=5)。a: スイング速度、b: 膝関節角速度、c: 大腿と水平面とがなす角の角速度、d: 骨盤の回旋角速度

Fig. 6 Data in chronological order of swing speed, knee angular velocity, thigh angular velocity and pelvis rotation.

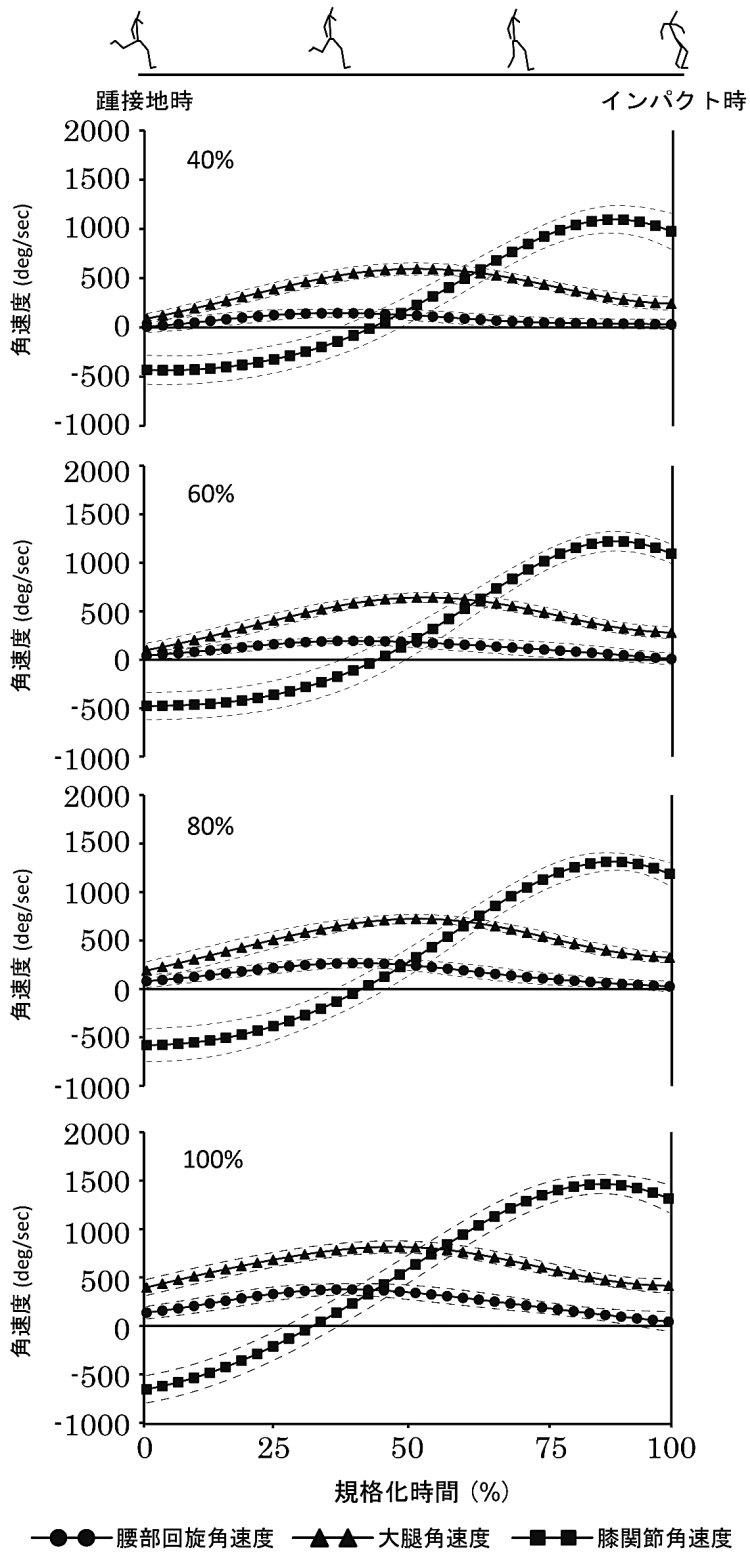


図7 各距離 (40%、60%、80%、100%) における各指標の時系列データ (n=5)。
 Fig. 7 Data in chronological order of angular velocity in pelvis, thigh and knee by each kicking distance.

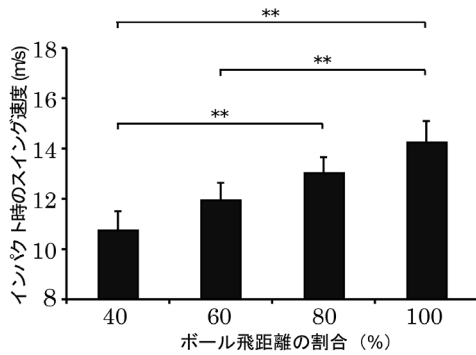


図8 インパクト時の蹴り足スイング速度の比較 (n=5, **: p < 0.01) : 40%と比較し、80%、100%で有意に高値を示し (p < 0.01)。60%と比較し100%で有意に高値を示した (p < 0.01)。
Fig. 8 Comparison of swing speed at ball impact by each kicking distance.

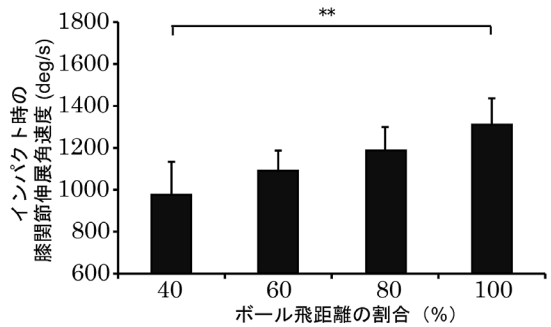


図9 インパクト時の蹴り足の膝関節伸展角速度の比較 (n=5, **: p < 0.01) : 40%と比較し、100%で有意に高値を示した (p < 0.01)。
Fig. 9 Comparison of knee extension angular velocity at ball impact by each kicking distance.

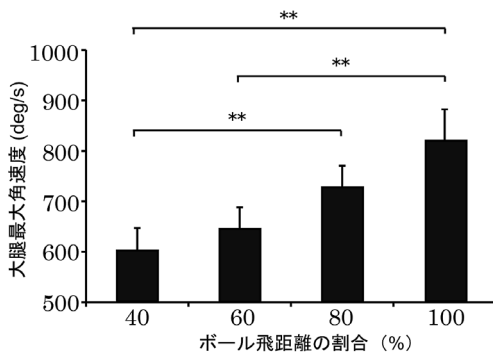


図10 蹴り足の大腿と水平面とがなす角の最大角速度の比較 (n=5, **: p < 0.01) : 40%と比較し、80%、100%で有意に高値を示し (p < 0.01)。60%と比較し100%で有意に高値を示した (p < 0.01)。
Fig. 10 Comparison of maximum angular velocity formed by thigh and horizontal plane by each kicking distance.

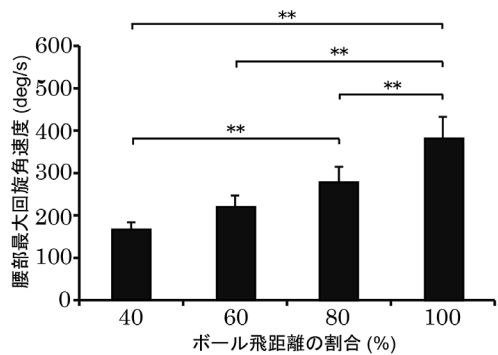


図11 骨盤の最大回旋角速度の比較 (n=5, **: p < 0.01) : 40%と比較し、80%、100%で有意に高値を示し (p < 0.01)。60%と比較し100%で有意に高値を示した (p < 0.01)。また、80%と比較し、100%で有意に高値を示した (p < 0.01)。
Fig. 11 Comparison of maximum rotation velocity on pelvis by each kicking distance.

60%と比較し100%で有意に高値を示した (p < 0.01)。また、80%と比較し100%で有意に高値を示した (p < 0.01)。

大腿と水平面とがなす角の最大角速度とで $r=0.766$ (p < 0.01, n=60)、骨盤の最大回旋角速度とで $r=0.720$ (p < 0.01, n=60) の、いずれも中程度以上の有意な正の相関関係が認められた。

5. 各指標間の相関関係について

各条件での全試技におけるインパクト時の蹴り足スイング速度とインパクト時の蹴り足の膝関節伸展角速度、大腿と水平面とがなす角の最大角速度、骨盤の最大回旋角速度との関係を表2に示した。各指標間の相関関係では、インパクト時の蹴り足スイング速度とインパクト時の蹴り足の膝関節伸展角速度とでは $r=0.602$ (p < 0.01, n=60)、

さらに、インパクト時の蹴り足の膝関節伸展角速度と蹴り足の大腿と水平面とがなす角の最大角速度とでは $r=0.716$ (p < 0.01)、蹴り足の大腿と水平面とがなす角の最大角速度と骨盤の最大回旋角速度とでは $r=0.773$ (p < 0.01) の有意な正の相関関係がそれぞれ認められた。

IV. 考察

本研究では、段階的にボール飛距離を調節した時のキック動作を分析することから、飛距離を調節するための蹴り足の動きを明らかにすることを目的とした。

ボールインパクト時の蹴り足のスイング速度は、ボール飛距離が長くなるのに伴い順次高くなることが示された(図8)。戸茱ら⁶⁾は、全力でのインステップキックのボール速度と蹴り足のスイング速度との間に高い相関関係があることを報告している。また、本研究におけるスイング速度は、全力(100%)でのキック時に約14m/s(50km/h)であったが、井上ら¹⁸⁾の報告ではスイング時の足部重心速度は、約19m/s(68km/h)とされている。このことは、被験者の個人差に加えて、井上ら¹⁸⁾が、スイング速度がインパクト前で減少する傾向(図6-a)をできるだけ少なくするために、本研究とは異なる平滑化の方法を用いていることによるものと推察された。このような平滑化の方法の違いによる測定値への影響は、他の分析指標(各下肢関節の角速度)においても懸念されるが、本研究における各条件間の比較や傾向に影響するものではないと判断した。

細田ら¹⁹⁾や谷口ら²⁰⁾は、年代別でのサッカー選手を対象にした全力キックにおける蹴り足のスイング速度とボール飛距離の関係から、ボールの飛距離が長いほど、蹴り足のスイング速度が高いことを示している。本研究において、同一被験者に飛距離を調節させた場合においても、目標とする飛距離の増加に伴って、蹴り足のスイング速度も順次増加することが示され、ボールの飛距離は、蹴り足のスイング速度によって調節されていると考えられた。

スイング速度が飛距離の増加に伴って順次増加したのに対し、各飛距離におけるインパクト時の膝関節伸展角速度の比較では、有意な差が認められたのは飛距離40%と100%との間のみであったが(図9)、飛距離が長くなると膝関節伸展角速

度も増加するという順序性は示されていた。また、スイング速度とインパクト時の膝関節伸展角速度との間に中程度の有意な正の相関関係($r=0.602$, $p<0.01$)が認められた(表2)。Zhang, Y. et al.²¹⁾は、ラグビーの全力キック動作で、蹴り足のスイング速度には蹴り足の膝関節伸展角速度が大きく関与していることを報告している。また、井上ら¹⁸⁾は、全力でのキックにおいては、助走角度が大きくなるほどボールインパクト時の膝関節伸展角速度は高くなる傾向にあることを指摘している。さらに、Sinkai et al.²²⁾は、ボールインパクト時の蹴り足が接触する部位が、ボール速度に影響を与えることを指摘している。これらの先行研究^{18,21,22)}は、被験者に全力キックを行った際の動作を分析の対象としているが、本研究では、被験者による全力キックの飛距離をもとに段階的に飛距離を設定したこと、また、助走の距離や角度、ボールを蹴る足の部位は規定しておらず被験者は条件ごとに助走角度や速度、ボールに当たる足の部位を変えていた可能性は否定できないことなどから、全力でのキック動作で示されてきたようなスイング速度と膝関節伸展角速度との強い関係などが認められなかったと考えられた。加えて、戸茱ら⁹⁾は、全力でのキック動作中による蹴り足の大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋の筋電図を記録したところ、ボールインパクトまでに大腿直筋の急激な筋放電が見られたことから強いキックを行うには、膝関節の伸展を速くするような筋力が必要であることを示している。その要因として、筋の運動単位の動員や発火頻度などによる筋収縮の強さが距離を調節した蹴る動作に影響する²³⁾可能性を示唆している。このように、キックに関する飛距離の調節についても、助走、ボールを蹴る足の部位、大腿四頭筋の筋出力などが複合的に関与しているものと考えられた。

さらに、Khorasani, M. A. et al.¹²⁾は、蹴り足の膝関節伸展動作に伴う前段階の動きとして大腿の最大角速度を高くすることによって蹴り足の膝関節伸展角速度が高くなることを示している。本研究における蹴り足の大腿最大角速度は、ボール飛

表2 各指標間の相関関係
Table 2 Correlation table of each indicator.

| | ボール飛距離 (%) | インパクト時のスイング速度 (m/s) | 膝関節伸展角速度 (deg/s) | 大腿最大角速度 (deg/s) | 腰部最大回旋角速度 (deg/s) |
|---------------------|-------------|---------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| ボール飛距離 (%) | 1 | | | | |
| インパクト時のスイング速度 (m/s) | ** 0.859 | 1 | | | |
| 膝関節伸展角速度 (deg/s) | ** 0.675 | ** 0.602 | 1 | | |
| 大腿最大角速度 (deg/s) | ** 0.829 | ** 0.766 | ** 0.716 | 1 | |
| 腰部最大回旋角速度 (deg/s) | ** 0.857 | ** 0.720 | ** 0.703 | ** 0.773 | 1 |

(** : p<0.01)

距離の増加に伴い順次高くなることが示された (図10)。また、インパクト時の蹴り足スイング速度と大腿最大角速度との間には、前述のスイング速度と膝関節の伸展角速度との関係よりも強い、中程度以上の有意な正の相関関係 ($r=0.766$, $p<0.01$) が認められた。Dörge, H. C. et al.³⁾ や Nunome et al.⁴⁾ は、全力キック動作における蹴り足の各下肢関節の角速度や最大トルクを算出し、大腿の動作が膝関節伸展に重要な役割を果たしていることを報告している。一般に、キック動作は、まずキック方向へ振り出される大腿最大角速度が出現し、その後、膝関節伸展角速度が増加していく動きが見られ、大腿最大角速度によるキック方向と反対方向にはたらくトルクの相互作用によって高い膝関節伸展角速度を得ることができるとされている^{3,4)}。このことから、ボール飛距離の調節には、スイング速度に大腿と水平面とがなす角の最大角速度が影響していると示され、その割合は膝関節の伸展角速度よりも大きい可能性が示唆された。さらに、インパクト時の蹴り足膝関節伸展角速度と大腿と水平面とがなす角の最大角速度との間に中程度以上の有意な正の相関関係 ($r=0.716$, $p<0.01$) が認められたことから、飛距離を調節したキックの場合、蹴り足の大腿と水平面とがなす角の最大角速度が、膝関節伸展角速度に影響していることも示された。

また、骨盤の最大回旋角速度は、ボール飛距離が長くなるのに伴い、順次高くなることが示された (図11)。磯川⁸⁾ は、ボールをキックする方向と助走する方向と助走とのなす角が15°の時、スイング速度が最大となり、このことには、最大のスイング速度を生むために適度な腰部の回旋が影響していることを示唆している。また、深倉ら¹¹⁾ は、助走の速度とスイング速度及びボール速度との関係を検証した結果、ボール速度と助走速度との間で有意な正の相関関係が認められ、助走速度が高くなることで腰のキック方向への水平速度が高くなり、蹴り足のスイング速度が高くなることを示唆している。本研究における蹴り足側の骨盤の最大回旋角速度は、ボール飛距離の増大に伴い順次高くなることが示され、スイング速度と蹴り足側の骨盤の最大回旋角速度との間に中程度以上の有意な正の相関関係 ($r=0.720$, $p<0.01$) が認められたこと (表2) から、被験者は距離によって骨盤 (腰部) の捻り具合を変えているか、あるいは、それに影響する助走角度を変化させることによって、飛距離の調節を行なっている可能性があると考えられた。さらに、蹴り足の大腿と水平面とがなす角の最大角速度と骨盤の最大回旋角速度との間にも、有意な強い正の相関関係 ($r=0.773$, $p<0.01$) が示された (表2) ことから、骨盤の最大回旋角速度も、ボール飛距離の

調節に関与していることが示された。Lees A. et al.²⁾ は、全力キック動作の映像解析から、まず腰部の回旋が起り、蹴り足の膝関節がバックスイング時にかけて屈曲し、次いで、大腿の前方への運動が減少し、膝関節の伸展運動が始まり、ボールインパクトに至るという一連のキック動作の流れを示している。このように、キック動作には体幹部から末端部へと速度を漸増させ、最終的に末端部の高いスイング速度を獲得する運動連鎖¹³⁾ による動きが見られる。本研究においても、各条件で骨盤の最大回旋角速度、大腿と水平面とがなす角の最大角速度、そして膝関節伸展角速度と順次速度を漸増する動きの傾向が見られたことから、飛距離を調節したキック動作においても、腰部(骨盤)の回旋や蹴り足の大腿の振りの速さが飛距離に関係している可能性が高く、関節が連鎖的に速度を末端部に伝達する運動連鎖が生じていると考えられた。

V. まとめ

本研究では、全力キックの飛距離の40%、60%、80%に距離を設定し、飛距離を調節したキック動作における蹴り足の動きを明らかにすることを目的とした。測定項目は、インパクト時の蹴り足スイング速度、インパクト時の蹴り足の膝関節伸展角速度、蹴り足の大腿と水平面とがなす角の最大角速度、骨盤の最大回旋角速度であった。

その結果、

- 1) インパクト時の蹴り足スイング速度は、ボール飛距離の増大に伴い、順次増加した。
- 2) インパクト時の蹴り足の膝関節伸展角速度は、40%と100%との間でのみ有意差が認められた。
- 3) 蹴り足の大腿と水平面とがなす角の最大角速度は、ボール飛距離の増大に伴い、順次増加した。
- 4) 骨盤の最大回旋角速度は、ボール飛距離の増大に伴い、順次増加した。
- 5) 各指標間の相関関係から、インパクト時の蹴り足のスイング速度と膝関節伸展角速度、大腿と

水平面とがなす角の最大角速度、骨盤の最大回旋角速度との間に中程度の有意な正の相関関係が認められた。

以上のことから、サッカーのロングキックにおけるボール飛距離の調節には、骨盤の回旋や股関節屈曲が相互に作用し調整していることが示された。

引用・参考文献

- 1) 公益財団法人 日本サッカー協会 (2013) The football conference japan 2013 in miyagi reports, pp. 37, pp. 40-42.
- 2) Lees, A., Nolan, L. (1998) Biomechanics of soccer: A review, *Journal of sports sciences*, pp. 211-234.
- 3) Dörge, H. C., Bull Andersen, T., Sørensen, H. and Simonsen, E. B. (2002) Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg, *journal of sports sciences*, 20, pp. 293-299.
- 4) Nunome, H., Ikegami, Y., Kozakai, R. and Apriantono, L. K. (2006) Segmental dynamics of soccer instep kick with the preferred and non-preferred leg. *Japanese journal of sports sciences*, 24, pp. 529-541.
- 5) 戸莉晴彦 (1970) キックのスピードとフォームについての研究, *東京大学教養学部体育学紀要*, 5, pp. 5-12.
- 6) 戸莉晴彦, 浅見俊雄, 菊池武道 (1972) サッカーのキネシオロジー的研究 (1), *体育学研究*, 16, 5, pp. 259-264.
- 7) 浅見俊雄, Volker Nolte (1982) パワフルなインステップキックの力学的分析, *Japanese journal of sports sciences*, 1, pp. 62-67.
- 8) 磯川正教 (1983) サッカーのインステップキックにおける運動学的な分析, *東京都立大学体育学研究*, 5, pp. 75-81.
- 9) 戸莉晴彦, 磯川正教, 大橋二郎, 大串哲朗, 米田浩 (1983) サッカーのキック力に関するバイオメカニクスの研究, *デサントスポーツ科学*, 4, pp. 241-250.
- 10) Poulmedis, P., Rondoyannis, G., Mitson, A., and Tsarouchas, E. (1988) The influence of isokinetic muscle torque exerted in various speeds on soccer

- ball velocity, *Journal of Orthopedic and Sports Physical Therapy*, 10, pp. 93-96.
- 11) 深倉和明, 有吉正博, 古谷嘉邦 (1978) 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, *福島大学教育学部論集*, 30, pp. 37-43.
- 12) Khorasani, A. M., Osman, A. A. N. and Yusof, A., (2009) Biomechanical responds of instep kick between different positions in professional soccer players *Journal of human kinetics*, 22, pp. 21-27.
- 13) 浅井 武, 布目寛幸 (2002) 見方が変わるサッカーサイエンス, 岩波書店, pp. 21-24.
- 14) 増田義和 (2005) 選手の個性を伸ばすジュニアサッカーコーチング, 実業之日本社, pp. 60-61.
- 15) 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, *Japanese journal of sports sciences*, 15, pp. 155-16.
- 16) 池上康男 (1991) DLT 法, *Japanese journal of sports sciences*, 10, 3, pp. 191-195.
- 17) R. P. Wells, Winter (1980) Assessment of signal noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits, *Human locomotion*, pp. 92-93.
- 18) 井上功一郎, 布目寛幸, 新海宏成, 池上康男 (2012) キック方向の変化がサッカーインステップキックのキネマティクスに及ぼす影響, *Japanese journal of biomechanics in sports & exercise*, 17,3 pp. 110-125.
- 19) 細田三二, 松崎泰樹, 手島貴範, 角田直也 (2008) 中学・高校・大学生男子サッカー選手の下肢スイング速度とボール飛距離の関係, *国士舘大学体育・スポーツ科学研究*, 8, pp. 41-47.
- 20) 谷口太一, 肥合康弘, 大石康晴 (2008) 青少年のサッカー選手におけるキック脚速度とボール飛距離の関連, *熊本大学教育学部紀要, 人文科学*, 57, pp. 69-74.
- 21) Zhang, Y., Liu, G. and Xie, S. (2012) Movement sequences during instep rugby kick: a 3D biomechanical analysis, 6, 2, pp. 89-95.
- 22) Shinkai, H., Nunome, H., Isokawa, M. and Ikegami, Y. (2009) Ball impact dynamics of instep soccer kicking, *medicine & science in sports & exercise*, pp. 889-897.
- 23) David A. Winter (2011) *Biomechanics and motor control of human movement 4th edition*, ラウンドフット, pp. 222-226.