

サッカーにおけるキックの正確性に関する コーディネーション能力について

細野 裕希ⁱ, 漆原 良ⁱⁱ

サッカーのキックの正確性に関して筋力や動作パターンとの関係について検討が行われているが、制御能力との関係についての検討は十分に行われていない。そこで本研究では制御能力の指標としてコーディネーション能力を測定し、キックの正確性との関係を検討した。被験者は大学サッカー部に所属する男性89名とした。キックの正確性テストとして、キック地点から15, 30, 45m離れた3m×3mのグリッド内にノーバウンドでボールを落とすようコントロールさせる課題を実施した。また関係する能力としてキック力とコーディネーション能力テスト(バランス能力, 分化能力, 定位能力, リズム化能力, 運動結合能力)を行い、キックの距離毎にキックの正確性との関係を検討した。その結果、15m課題ではキックの正確性に対して定位能力とキック力が有意な相関関係を示し、45m課題では分化能力とキック力が有意な相関関係を示した。このことからコーディネーション能力のうち、定位能力と分化能力が、キックの正確性に関与する可能性が示唆された。また、ボールを制御する距離の違いによって重要となる能力が異なることが示された。

キーワード：運動制御, コーディネーション能力, キック, サッカー

I. 緒言

サッカーにおいてキックの正確性は、競技の基盤をなす技術であり、試合を決定づける重要な因子ともなり得る。このため、サッカーに関する研究の中でも、キックについてはこれまで多くの研究が行われている(Kellis and Katis, 2007; Lees and Nolan, 1998)。初心者と経験者のキックのフォームは異なり、膝関節の最大伸展角速度と股関節の最大屈曲角速度の関係が、トレーニング経験に伴って変化することで、ボールインパクト時の蹴り脚の速度を増す

ことが可能となり、ボールの初速も増加することが報告されている(Anderson and Sidaway, 1994)。また、正確性に関する研究としてFitts(1954)は、運動の速度と運動の正確性は相反関係にあり、運動速度の上昇に伴い正確性が損なわれる、トレードオフの関係があることを報告している。これは、サッカーのキックにおいても言えることであり、正確性を要求された課題時には、ボール速度が80%まで低下する(Asami et al., 1976)ことが報告されている。さらに、ある目標物に対して速度を優先したキックと正確性を優先したキックとを行わせた場合、どの程度の出力を行うのか筋の出力パラメーターを制御する必要があるため、キックのパターンが変化すること(Lees and Nolan, 2002)が報告されている。これらのことから、キックの蹴り足のスイング速度

i 京都先端科学大学健康医療学部准教授

ii 立命館大学産業社会学部准教授

は、キックの正確性を決定づける要因の一つとして考えられ、キックの正確性を獲得するには一定のパターンへの集約が必要であると考えられる。

ボールを正確に蹴るためには、ターゲットまでの距離を把握した上での正確な制御が求められる。制御を正確に行うには、視覚情報が重要であると指摘されている (Peper et al., 1994; Latash, 1993)。また、キックの正確性とバランス能力の関係も報告されていることから、(Chew-bullock et al., 2012) 正確なキックには、多様な能力が階層を成して関わっていると考えられ、キック動作以外の要素との関係によって正確性が影響を受けていることも考えられる。また、キックの正確性が同程度の場合でも、動作は一樣ではなく異なる制御パターンを示す場合があることも報告されており (小西・前田, 2015)、単にフォームやキック力だけではなく、制御能力が正確性に影響を与えとも考えられる。しかし、動作の分析や筋活動の記録によるキック技術を中心とした検討は行われているものの、その技術を構成する他の要素についての検討はほとんど行われていないため、制御能力を評価し、キックの正確性に関するその他の能力について理解が進むことにより、効率的なトレーニングが可能になると考えられる。そこで本研究では、動作の制御に関して総括的に制御能力を評価する指標として、運動の基礎的能力であるコーディネーション能力の概念 (Bernstein, 1967) を用いた。コーディネーション能力には下位構造の存在が挙げられ、一般的には、「定位能力」、「分化能力」、「運動結合能力」、「変換能力」、「反応能力」、「リズム化能力」、「バランス能力」の7つに分類されている (綿引, 1990)。個々の技術により重要となるコーディネーション能力は異なると考えられており、例えば、ハンドボール選手の学習能力は定位能力、反応能力、そして変換能力と相関しているが、器械体操の女子選手では運動結合能力、リズム化能力、バランス能力が優位である (マイネル, 1991)。そこで本研究では、正確性を求めるキック技術に、どのようなコーディネーション能力

が関係するのかが検討を行う。

II. 方法

1. 被験者

被験者は関西大学サッカーリーグ一部に所属する右利き男子サッカー部員89名 (18-22歳, 平均19.86 ± 2.41歳) であった。実験参加に先立ち、実験の主旨と内容について説明し、実験参加を確認した。

2. 測定項目

被験者に十分なウォーミングアップを行かせた後、キックの正確性テスト、及びキックによるボール初速度測定、各種コーディネーション能力テストを被験者毎に順不同で行った。一人当たりの測定に要した時間は2時間程度であった。

(1) キックの正確性テスト

測定は利き足である右足のみで行った。キックする地点から15, 30, 45m 離れた3m × 3mのグリッド内にノーバウンドでボールを落とすようコントロールさせる課題を実施し、これをもって「ボールをキックする正確性」(以下、「キックの正確性」とする) のテストとした。測定開始前にキックの練習を十分に行かせた。キックは、キック位置にボールを静止させた状態から、連続で10回行い、グリッド内に落とすことのできた回数で評価した。ボールは5号球 (MC5-WBL, Mikasa 社製) を使用し、空気圧は0.9atmとした。本実験では、目標を最大45m先に設置しているが、全被験者が十分目標に到達させることができるだけのキック力を有していることを確認した上でを行っている。

(2) キック力テスト

キック力を計測するためキック直後のボール初速度を計測した。11m離れた地点からの的に向かい最大速度を出すよう意識して、利き足でキックを行かせた。ボールは静止した状態で設置し、助走は各自で任意

の距離を取らせた。この時、的の後方にスピードガン (GDS-07, asics 社製) を設置し、キックされたボールの初速度を測定した。キックは2回ずつ行い、速い方の結果を解析対象として採用した。

(3) コーディネーション能力テスト

コーディネーションテストは、被験者が体験したことのある課題であるかどうかことが重要 (Kamandulis et al., 2013) であり、被験者が行ったことのない新奇性のある課題である必要がある。今回は、コーディネーション能力の評価に関する先行研究 (綿引, 1990; Hirtz et al., 1985) 及び、子ども向けに作成された巧緻性テストである KTK (Körperkoordinationstest für Kinder) test (Kiphard and Schilling, 1974) を参考に、本実験の対象である大学生向けに難易度を調整したテストを作成し、評価に用いた。測定項目は、キックの正確性テストの特徴を考慮し、下位のコーディネーション能力のうち、「バランス能力」、「分化能力」、「定位能力」、「リズム化能力」、「運動結合能力」とした。本実験におけるキックの正確性テストにおいて、ボールは静止状態であり、反応能力の関与は低いと考えられる。同様に、動作の変更を必要としない課題であり、「変換能力」の関与は低いと考えられ、検討から除外した。

閉眼片足立ち (バランス能力) : 全身のバランスの維持や、動作の後や最中に崩れたバランスを回復する能力 (綿引, 1990) テストとして閉眼片足立ちを実施した。バランスディスク (シンテックス社製) の上に左足で立ち、目を閉じてから記録を行った。被験者はディスクから出来るだけ落ちないようにバランスを取り、ディスクから落ちるまでの時間を測定した。測定は2回行い、長いほうのタイムを採用した。

後ろ向きの当て (分化能力, 図1) : 位相や部分動作を精密に同調させる能力で、動作を正確に行い無駄なエネルギーを使わないようにする能力 (綿引, 1990) である分化能力のテストとして実施した。バ

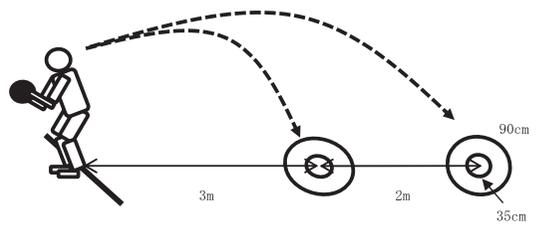


図1 後ろ向きの当て

スケットボール7号球 (直径24.5cm) を両手で持った状態で、後ろに向かって投げ、3mもしくは5m先にある的に当てる課題である。先行研究 (綿引, 1990) では的の一つであったが、難易度を増すため5mの的を追加した。どちらの的を狙うかは、対象者が後ろ向き状態で、験者が試行毎にランダムに指示し、それぞれ10回ずつ行った。的は直径90cmと35cmの同心円で構成され、35cmの円内に落ちた場合を3点、35cmと90cmの円の間に落ちた場合を2点、90cmの円の外周上に落ちた場合を1点、的外に落ちた場合を0点とし、計20回の合計点で評価した。

振り子的当て (定位能力, 図2) : コートやリングなどの場と物の動きの関係により、姿勢や動作を時空間的に変化させる能力 (綿引, 1990) である定位能力のテストとして実施した。3m先で、振り子状に揺れる直径40cmのリングに向かって、ドッジボール1号球 (直径18cm) を投げ、リングの中にボール

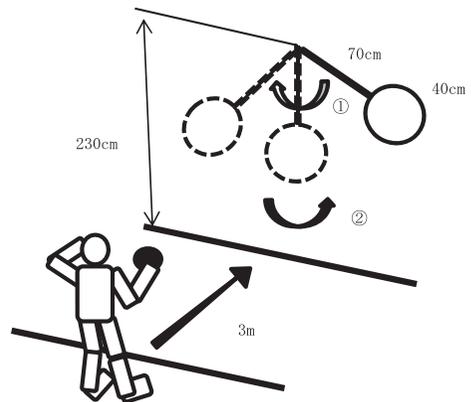


図2 振り子的当て

を通す課題である。リングは70cmの棒の先に固定され、振り子の支点は高さ230cm、リングは、振り子の最下部にある状態で、その中心が地上から140cmに位置するように設置した。投げ方は片手でのオーバーハンドスローとし、リングを棒が地面と水平になるまで上げた状態から落下させ、最下点を一度通過して戻ってきた時点を狙って投げるように指示した。ボールがリングを通過した場合を2点、リングに当たった場合を1点、それ以外を0点として、10回の合計点で評価した。

ステップング (リズム化能力) : 与えられたリズムを正確に再生する能力であり、自分のリズムを表現する能力 (綿引, 1990) であるリズム化能力のテストとして実施した。8mの間に50cm間隔でラインテープを引き、ラインを踏まずにステップをできるだけ速く行う課題とした。ラインの幅は5cm、ラインの長さは60cmとした。ラインの間は左右どちらかの足を着地させる動作を交互に行わせ、ラインを踏んだり飛ばしたりした場合には再度測定を行った。記録は光電管式計測器 (フィットネスアポロ社製、スピードトラップ) を用いた。測定は2回行い、速い方のタイムを採用した。

チェンジウッド (運動結合能力) : 部分動作をコーディネートし、全体の動作に組み上げていく能力 (綿引, 1990) である運動結合能力のテストとして実施した。KTK test (Kiphard and Schilling, 1974) の方法に倣い、1辺200mm、厚さ15mmの板

の四隅に、直径、高さ共に35mmの円柱を付けたもの (以下 woods) を準備し、板面を上にして woods を二つ並べて置き、一方の woods の上に立ち、もう一方の woods を両手で自分が乗っている woods の真横に動かし、動かした woods の上に自分が移動することを繰り返し、一定方向に移動していく課題とした。20秒間に移動した回数を得点とした。途中で woods からの落下や、所定の動作を継続できなかった場合には途中で中止し、再度測定を行った。成功した2回の測定のうち回数が多い方を採用した。

3. 分析と統計

キックの正確性と関係する能力を検討するため、各キック課題において、他の測定項目とピアソンの相関係数から検討した。統計処理には、SPSS Ver.19 (IBM) を用い、有意水準はすべて5%未満とした。

IV. 結果

キックの正確性テスト同士の相関関係を求めた結果 (図3)、すべての組み合わせで正の相関関係 (15m課題 vs. 30m課題: $r=0.377$, $p<0.01$, 15m課題 vs. 45m課題: $r=0.250$, $p<0.05$, 30m課題 vs. 45m課題: $r=0.214$, $p<0.05$) を示した。

キックの正確性テストと他の測定項目との相関関係を求めた結果 (図4, 5, 6), 15m課題において

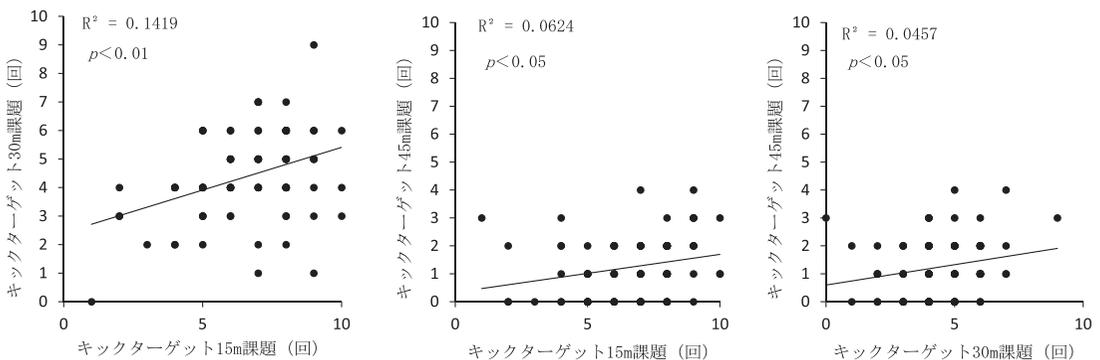


図3 キックの正確性テスト同士の相関関係

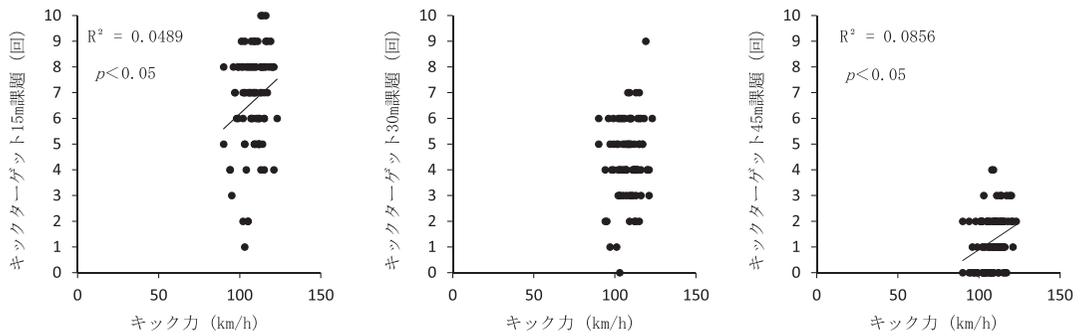


図4 キックの正確性テストとキック力の相関関係関係

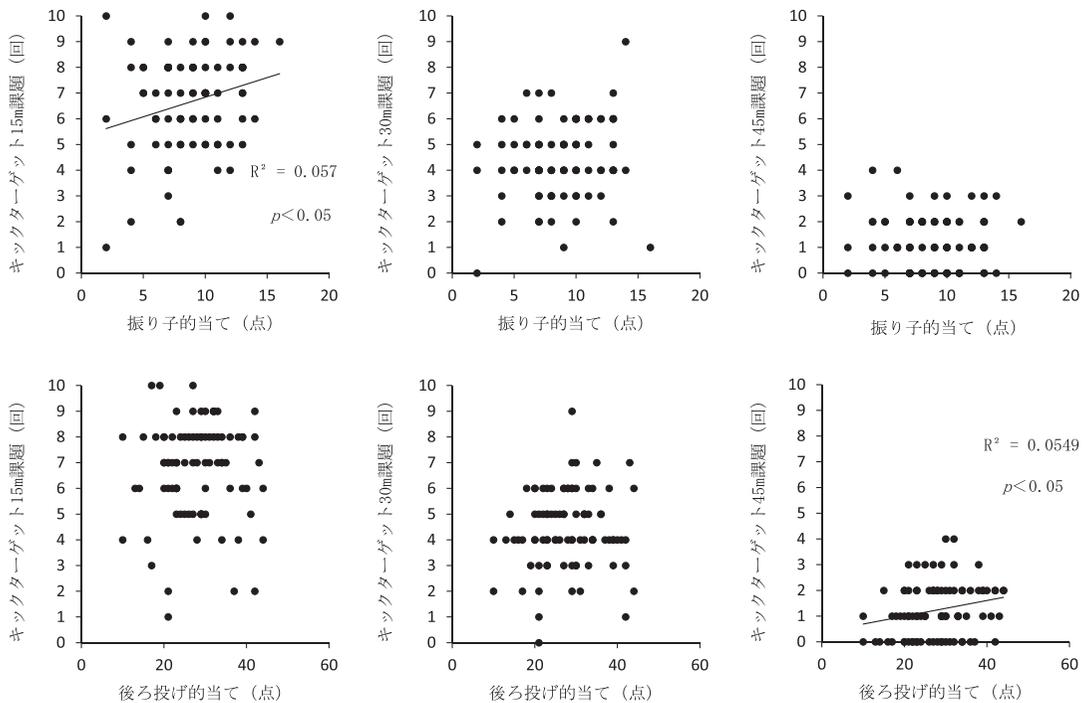


図5 キックの正確性テストとコーディネーションテストの相関関係 (1)

は、キックの正確性テストとキック力 ($r=0.221$, $p<0.05$) と振り子の当て ($r=0.239$, $p<0.05$) が有意な正の相関関係を示したが、他の測定項目との間に相関関係は示されなかった。また、30m 課題においては、すべての項目で相関関係は示されなかった。45m 課題においては、キックの正確性テストとキック力 ($r=0.221$, $p<0.05$) と後ろ投げの当て ($r=0.234$, $p<0.05$) が有意な正の相関関係を示したが、

他の測定項目との間に相関関係は示されなかった。

V. 考察

本研究では、Bernstein (1967) が提唱したコーディネーション能力の概念を用いて、サッカーにおける正確性を求めるキック技術に、どのような能力が関係するのか、大学生サッカー選手を対象に検討

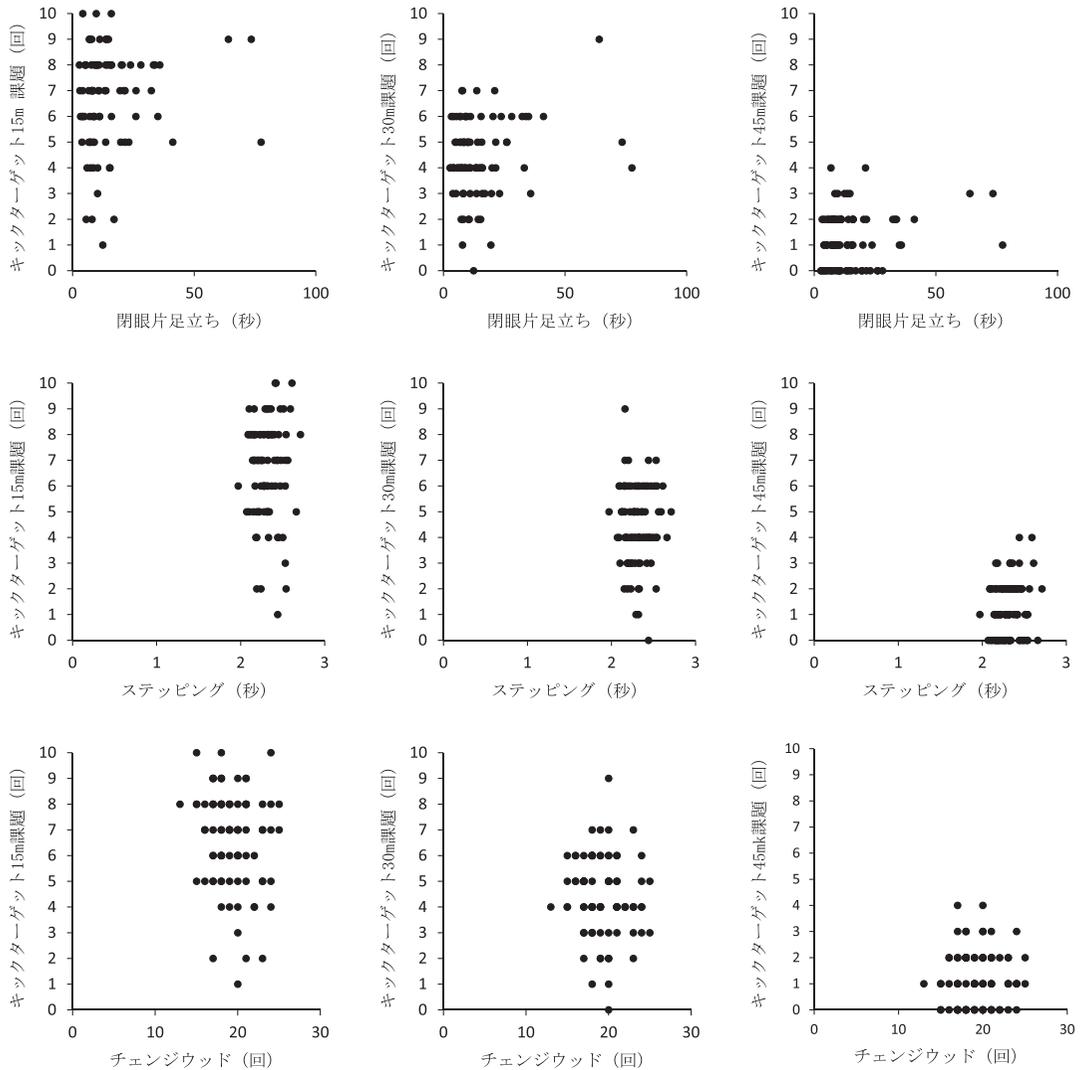


図6 キックの正確性テストとコーディネーションテストの相関関係 (2)

を行った。

1. キックの正確性とキック力の関係

本研究におけるキックの正確性に関する3つのテストはすべて相関関係を示し、課題の距離に関わらずキックに関する一定の能力の存在を示唆する結果であった。キック動作は熟練者と未熟練者で各関節角度の調節パターンが異なり (Chow et al., 2007), 各関節の加速度のタイミングを最適化することを学

習することによって正確なキックが可能となる。本研究においても同様の結果となり、高度なキックのスキルを学習した被験者は、課題の距離に関わらず一定のパフォーマンスを示すことができたと考えられる。

キックの正確性課題のうち、キック力と有意な相関を示したのは、15m課題と45m課題であった。本研究におけるキック力テストは、ボールスピードを最大とすることを求めた課題であり、正確性に関す

る要素は含まれていない。しかし、キック動作の上達に伴い、ストライキングマス（有効質量）を増やすことが可能となり（Southard, 2014）、その結果、足関節の速度が低くとも効率的にエネルギーをボールに伝達することが可能となる。Fitts's law (Fitts, 1954) から運動の速度と運動の正確性は相反関係によりトレードオフが行われることが示され、スイング速度が低い状態でキック動作を行えることは正確性を向上させるには必要な技術であると考えられる。今回の実験では、課題中のスイング速度については測定していないが、同様の現象が起きていると考えられる。一方、30m 課題ではキック力との相関は示されず、キック力以外のパラメーターに正確性が影響を受ける可能性を示唆する結果であった。

2. キックの正確性とコーディネーション能力の関係

コーディネーション能力の中でキックの正確性と相関関係を示したのが、定位能力と分化能力であった。コーディネーション能力テストは、課題の新奇性に対する適応をみるテストであり、新奇性に対する適応が高い被験者が、キックの正確性テストが高い可能性が考えられたが、バランス能力、リズム化能力や運動結合能力テストとは相関関係は示されなかった。つまり、キックの正確性と相関するコーディネーション能力は、新奇性だけでなく、テストの構造に影響されると考えられる。さらに、相関を示した定位能力と分化能力についても、15m 課題と定位能力、45m 課題と分化能力がそれぞれ相関関係を示し、課題の距離によっても限定的な関与が示される結果であった。

本実験における定位能力テストは、振り子運動をするリングにボールを投げて通す課題であり、脚の運動制御とは独立した能力を評価している。この結果は、コーディネーションテストによって下肢の制御とは独立した定位能力について検討できる可能性を示すと共に、先行研究 (Peper et al., 1994; Latash, 1993) と同様、動作の時間的空間的制御を

正確に行うには、視覚情報が重要である定位能力の重要性を示唆する結果であった。定位能力は、ボールの置かれた位置と目標となる的の相対的な距離を把握し、その目標にボールを到達させるための筋制御を計画し動作を行うといった一連の過程に参与しているため、キックの正確性テストと相関関係を示したと考えられる。

しかし、キックの正確性テストと相関関係が示されたのは15m 課題のみであり、30・45m 課題では相関関係は示されず、制御距離が遠い場合には定位能力の関与が少ないことを示す結果であった。これは、定位能力が高く、時空間を正確に把握したとしても、ターゲットまでの距離が遠い場合には、制御の誤差から正確性が低くなることが原因であると考えられる。実際、本研究では遠距離である45m 課題の正確性と相関関係を示したのは、後ろ向きの当てによる分化能力テストであった。今回の分化能力テストも上肢の制御課題であり、定位能力テストと同様に下肢の制御とは独立した能力を評価している。分化能力テストは、ターゲットまでの距離を視認した状態で制御を調整できる課題ではなく、正確に投げるためには、二つの距離課題を記憶に基づいて出力の調節を企図する必要がある、より制御の正確性が求められる課題である。同様に、キックの正確性テストにおける45m 課題も同様の距離が遠いため、的の位置はおおよそでしか把握できず、ボールと的の誤差を被験者が正確に視覚でフィードバックできる課題ではない。定位能力テストも正確な制御が必要ではあるが、制御の難易度を考慮すると、分化能力テストの方がより難易度が高い課題であると考えられる。

正確な動作の制御には、各関節パラメーターの補正が必要 (Kudo et al., 2000) であり、被験者のスキルレベルによって補正のレベルが異なる (Button et al., 2003) ことが報告されている。Button らは (2003) バスケットボールのリリースパラメータの微妙な変化に適応するために、スローの終わりに向かって肘関節および手首関節の制御が互いに補償し

あうことによって正確なスローが実行されているとされている。このように動作中に行う微細な調整能力が正確な動作に重要であると考えられる。本実験においても、動作に関連する筋の動員のずれによって関節の角度変化が異なり、ボールへの足関節の進入角度や回転に影響が生じることから、遠距離課題では定位能力よりも分化能力が必要な能力であった可能性が考えられる。

一方、30m 課題は各コーディネーション能力とも相関を示さないが、キック力とも相関を示さず、単に制御やエネルギー特性との関係とは異なる要因が考えられる。スピードアキュレシートレードオフでは、キック力が低い場合、スイング速度を速くすることによってキック課題を行う必要があり、その結果、正確性が損なわれると考えられる。しかし、キック力とキックの正確性テストの30m 課題を(図2) 検討すると、キック力がある被験者の正確性が低いのではなく、キック力が低い選手の正確性が高い分布傾向が示された。Nasuら(2014)は、動作パターンはキックの戦略によって異なり、正確性は同じでも異なる戦略を採用することを報告している。正確性には動作の正確な実行とともに適切なキック戦略を用いることも重要であり、制御能力としての側面と戦略に関する検討が必要な可能性がある。

以上のことから、キックを正確に行うためには、キック力をベースとして、キックする距離によって重要なコーディネーション能力が異なることが明らかとなった。前提となる能力との関係によって正確性は決定され、近距離では時空間を測る定位能力が重要となり、遠距離ではターゲットが見えない状態での制御を行う必要があり、出力を調整する分化能力をより反映した結果となる。キックの正確性に対して定位能力と分化能力は重要であることが明らかとなり、その関与の仕方がキックの距離によって異なることが示された

VI. コーチング現場への示唆

本研究において、コーディネーション能力のうち、定位能力と分化能力がサッカーのキックの正確性の違いに繋がる可能性を示唆した。このことから、定位能力と分化能力のトレーニングによってキックの正確性が向上する可能性が考えられる。特に45mとターゲットが遠距離の場合には動作を精密に行う能力である分化能力が重要となることから分化能力のトレーニングとしてボールを蹴りこむことによって学習が進み、正確なキックが蹴れるようにはなるが、それだけでは解決出来ない場合がある。サッカーの専門的なトレーニングだけで解決できない場合には、関係するコーディネーション能力のトレーニングを行うことによって解決できる可能性が考えられる。ボールを正確にコントロール出来ない原因は制御距離によって異なると考えられ、適切な能力の向上を目的としたトレーニングによって効率的にキックの正確性を向上させることが可能になると考えられる。

文献

- Anderson, D.I., and Sidaway, B. (1994) Coordination change s associated with practice of a soccer kick. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 65(2): 93-99.
- Asami, T., Togari, H. and Kikuchi, T. (1976) *Energy efficiency of ball kicking. In Biomechanics V-B*, (edited by P. V. Komi), Baltimore, Md.: University Park Press: 135-140.
- Bernstein, N. A. (1967) *The coordination and regulation of movements*. Oxford; Pergamon Press.
- Button, C., Macleod, M., Sanders, R., and Coleman, S. (2003). Examining movement variability in the basketball free-throw action at different skill levels. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74, 257-269.
- Chew-Bullock, TS., Anderson, DI., Hamel, KA.,

- Gorelick, M.L., Wallace, S.A., and Sidaway, B. (2012) Kicking performance in relation to balance ability over the support leg. *Human movement science*, 31(6): 1615-1623.
- Chow JY, Davids K, Button C, Koh M. (2007) Variation in coordination of a discrete multiarticular action as a function of skill level. *Journal of Motor Behavior*, 39: 463-479.
- Fitts, P. M. (1954) The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47: 381-391.
- Hirtz, P., Arndt, H-J., Holtz, D., Jung, R., Ludwig, G., Schielke, E., Wellnitz, I., Willert, H-J., and Vilknor, H-J. (1985) *Koordinative Fähigkeiten im Schulsport [Coordinative abilities in physical education]*. Berlin: Volk und Wissen Verlag.
- Kamandulis, S., Venckūnas, T., Masiulis, N., Matulaitis, K., Balciūnas, M., Peters, D. and Skurvydas, A., (2013). Relationship between general and specific coordination in 8- to 17-year-old male basketball players. *Perceptual and Motor Skills*, 117(3): 821-836.
- Kellis, E., and Katis, A. (2007) Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6: 154-165.
- Kiphard, E. J., and Schilling, F. (1974) *Körper-Koordinationstest für Kinder (KTK)*. [Physical Coordination Test for Children]. Beltz-Verlag, Weinheim.
- 小西 徹, 前田正登 (2015) サッカーの直接フリーキックにおける標的に向かって軌道を蹴り分ける技術に関する研究 *コーチング学研究*, 29(1): 87-99.
- Kudo K, Tsutsui S, Ishikura T, Ito T, Yamamoto Y (2000) Compensatory coordination of release parameters in a throwing task. *Journal of Motor Behavior*, 32: 337-345.
- Latash, M.L. (1993) *Control of Human Movement*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Lees, A., and Nolan, L. (1998) The biomechanics of soccer: a review. *Journal of Sports Sciences*, 16: 211-234.
- Lees, A., and Nolan, L. (2002) Three dimensional kinematic analysis of the instep kick under speed and accuracy conditions. *In Science and football IV*, London: Routledge: 16-21.
- マイネル, K.・シュナーベル, G. (1991) *動作学—スポーツ運動学 (改訂3版)*. 綿引勝美訳, 新体育社, 東京.
- Nasu D, Matsuo T, Kadota K. (2014) Two types of motor strategy for accurate dart throwing. *PLoS ONE*. 9(2): e88536.
- Peper, L., Bootsma, R.J., Mestre, D.R., and Bakker, F.C. (1994) Catching balls: how to get the hand to the right place at the right time. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 20: 591-612.
- Southard DL. (2014) Changes in kicking pattern: effect of experience, speed, accuracy, and effective striking mass. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 85(1): 107-116.
- 綿引勝美 (1990) *コーディネーションのトレーニング—東ドイツスポーツの強さの秘密*. 新体育社, 東京.

The Relation between Kicking Accuracy and Coordination Ability in Soccer

HOSONO Yukiⁱ, URUSHIHARA Ryoⁱⁱ

Abstract : While current data supports that the accuracy of a kick in soccer is related to the physical strength and the action pattern, there has not yet been sufficient investigation of the control ability. In this study, we measured the coordination ability as an index of the control ability and examined the relationship with the accuracy of the kick. Eighty-nine male soccer players from the university team participated in this study. To test the accuracy of the kick they were given a task to control their kick to a 3m by 3m space, with no boundary, from points 15, 30, and 45m away. An additional goal of this study was to test the power of kicking; this is essential to determine whether the initial and maximum velocities of the ball with kicking and the coordinating abilities (Balance, Differentiation, Orientation, Rhythm, and Combinatory ability) are related to both the distance and the accuracy of the kicks. The results showed that Orientation and the power of kick correlated significantly in the task of 15m accuracy of the kick, and the differentiation and the power of the kick correlated significantly in the 45m task. These results suggested that Orientation and Differentiation, contributing to the coordination ability, may contribute to the accuracy of the kick. These findings also demonstrate that the importance of the skill differs when controlling the ball from a different distance.

Keywords : motor control, coordination ability, kick, soccer

i Associate Professor, Faculty of Health and Medical Sciences, Kyoto University of Advanced Science

ii Associate Professor, Faculty of Social Sciences, Ritsumeikan University