

サッカーにおけるボールスキルについての基礎的研究

森岡 理右, 浅井 武*, 松本 光弘

A Basic Study of Ball Skill in Soccer

Riu Morioka, Takeshi Asai and Mitsuhiro Matsumoto

Abstract

The purpose of this study is to classify the errors of the ball stop motion some groups from comparing between skilled and unskilled players, and represent the information processing model of the motion by some schemata.

The results may be summarised as follows.

- (1) It is shown that the displacement of the stopping foot of unskilled player before impact is smaller than that of skilled player, and the speed of that of unskilled player is smaller than that of skilled player.
- (2) It is shown that the value of reduced mass of foot of unskilled player at impact is bigger than that of skilled player.
- (3) It is considered that the errors of the ball stop motion can be classified into four groups, as transposition-error, posture-error, speed-error, and strength-error, and when we interpret this in a general sense, these errors can be classified into the spacing-error and the grading-error.
- (4) It is suggested that the existence of the timing-error by representation of the ball stop schema, which has hierarchy-module-structure.

I 緒言

ボールゲームにおいて、熟練者と未熟練者を特徴づける観点の一つはミスプレー、つまり誤動作⁷⁾であると考えられる。そして、ボールスキルにおける誤動作を考える場合、単に、外的な運動の状態や動作の形成を把握するだけでなく、その動作や手続きを発現させる内的制御プロセスを考える必要があると思われる。

そこで、本研究では、サッカーにおけるボー

ルストップ動作³⁾を対象に、熟練者と未熟練者とを比較検討し、動作時に発生する誤動作を分類するとともに、その動作を発現させる内的制御機構を表象する^{2) 5) 10)}枠組みとしての情報処理モデルを作成しようとした。

II 方法

実験の被験者は、熟練者として、サッカー歴10年以上の大学サッカー部員1名、未熟練者として、サッカー歴2ヶ月以下の大学サッ

カー部員初心者1名を対象とした。被験者の前方7mより、止め足側約0.3mの高さに投射されるボールを、利き足のインサイド部で足元に止めるよう指示して、各試技を行なわせた。試技回数は、試技の成功、失敗に係わらず、各被験者とも連続10回とした。被験者の側方6m、高さ0.8mの地点にロータリーシャッター式ビデオカメラを、撮影視野内の中央に被験者が位置するようセットし、毎秒30コマで撮影を行なった。撮影したビデオフィルムから、ビデオポジションアナライザーによって計測した各被験者の足関節、膝関節、大転子、及びボールの座標をマイクロコンピュータに収録し、各処理を行なった。

本実験で用いたボールは、質量0.45kg、外周66.5cmの日本サッカー協会公認5号球である。また、分析で用いる座標系は、被験者の前後方向がX軸（前方が正）、上下方向がY軸（上方が正）、左右方向がZ軸（右方が正）の直角座標とする。

III 熟練者と未熟練者との比較

ボールストップ動作におけるボールとインサイド部との関係に限って考えれば、衝突現象の一種として考える事が可能である。そこで、下腿と実質的に等価な働きをする仮想球体の換算質量を考え、X方向（水平方向）におけるボールの運動と仮想球体の運動に、運動量保存の法則を導入すると(1)式が得られる。

$$v_1 = v_0 \frac{M_{red}}{m + M_{red}} (1 + e) (v_0 - V_0) \quad (1)$$

v_0 : ミート前のボール速度

v_1 : ミート後のボール速度

V_0 : ミート前の足関節速度

m : ボールの質量

M_{red} : 下腿の換算質量

e : ボールとインサイド部の反撥係数

ここで、 m はボールの質量であり定数と考えられる。また、 e はボールとインサイド部の両方の接触面の特性に影響されると考えられ、インサイド部のどの部分に接触するかによって可変であり、必ずしも一定ではない。したがって、 e 、 v_0 、 v_1 、 V_0 、 M_{red} は変数となる。しかし、熟練者になれば、インサイド部のほぼ同一の部分にミートさせる事も可能であり、また、本実験条件では、 e の変数が v_1 に及ぼす影響よりも、 v_0 、 V_0 、 M_{red} の変数が v_1 に及ぼす影響の方が大きいと推定される。

つまり、速度 v_0 で飛来して来るボールのミート後の速度 v_1 は、ミート前の足関節速度 V_0 と下腿の換算質量 M_{red} 、及びボールとインサイド部の反撥係数 e によって制御されると考えられ、中でも足関節速度と下腿の換算質量が、インパクト後のボール速度に大きな影響を与えると考えられよう。

図1は、熟練者である被験者Aの試技E、及び、未熟練者である被験者Bの試技Aにおけるボールストップ動作のスティック・ピクチャを示したものである。被験者Bは、被験者Aと比較して、全体的にボールの運動方向の変位が小さく、ミート前にインサイド部を後方へ引くという動作の変位も小さい。また、ミート後の足関節、膝関節、及び大転子の変位も、被験者Bは被験者Aと比較

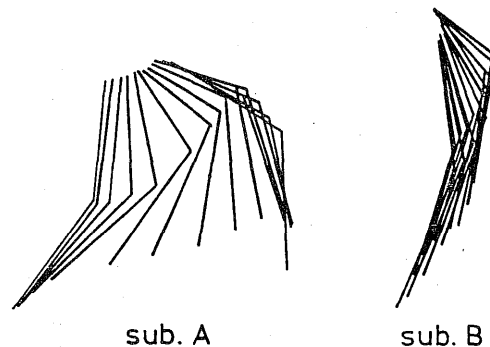


Fig. 1 The stick-pictures of sub. A (skilled player) and sub. B (unskilled player).

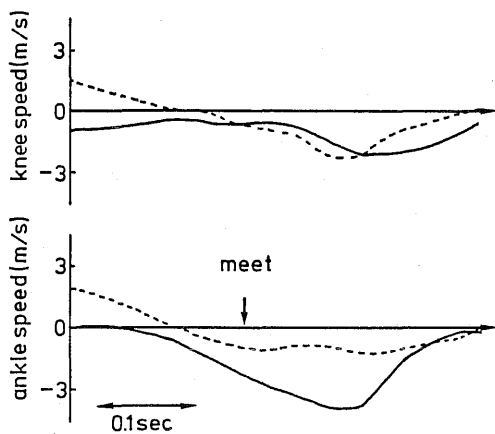


Fig. 2 Horizontal (—) and vertical (·····) speed of knee and ankle joint of sub. A (skilled player) .

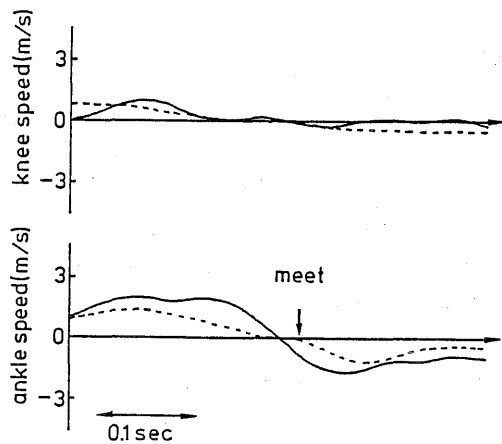


Fig. 3 Horizontal (—) and vertical (·····) speed of knee and ankle joint of sub. B (unskilled player) .

Table 1 Ball speed before (v_0) and after (v_1) impact, foot speed before (V_0) and after (V_1) impact, reduced mass (M_{red}), distance between foot and locus of ball before impact (Distance), and angle between leg and locus of ball before impact (Angle) .

		v_0	v_1	V_0	V_1	M_{red}	Distance	Angle
Sub. A	Trial A	-7.22	-1.34	-2.41	-4.01	1.83	0.06	75.29
	B	-6.42	0.80	-1.07	-3.74	1.35	0.06	74.80
	C	-6.67	0.27	-1.07	-3.48	1.44	0.08	72.45
	D	-6.95	-0.53	-1.60	-2.94	2.40	0.00	65.78
	E	-6.15	-0.53	-2.14	-3.21	2.63	0.05	62.76
	F	-6.15	1.07	-1.60	-3.48	1.93	0.08	73.82
	G	-6.69	-2.14	-2.10	-4.01	1.21	0.09	60.47
	H	-6.42	-0.53	-1.60	-2.94	2.20	0.02	73.78
	I	-6.69	-0.53	-1.07	-3.74	1.15	0.02	81.48
	J	-5.88	-0.27	-1.60	-4.30	1.05	0.02	71.57
	mean	-6.52	-0.37	-1.63	-.59	1.72	0.048	71.32
s.d.	0.38	0.90	0.46	0.44	0.53	0.030	6.10	
Sub. B	Trial A	-5.08	1.34	-0.53	-1.60	3.00	0.09	38.00
	B	-6.42	0.80	-0.27	-1.87	2.25	0.15	56.31
	C	-6.42	-0.27	-1.34	-1.87	5.75	0.05	54.91
	D	-6.95	0.80	-0.53	-1.34	4.83	0.00	58.75
	E	-6.95	1.07	-0.27	-2.41	1.88	0.02	58.80
	F	-6.69	1.07	-0.27	-2.14	2.07	0.04	62.35
	G	-6.15	0.80	-0.80	-1.60	4.33	0.05	57.80
	H	-6.15	3.21	0.00	-2.14	2.19	0.04	54.80
	I	-6.15	1.60	0.27	-1.60	2.07	0.14	63.75
	J	-6.95	5.08	-0.80	-4.28	1.73	0.07	67.51
	mean	-6.39	1.55	-0.45	-2.09	3.01	0.065	57.30
s.d.	0.54	1.44	0.43	0.79	1.36	0.046	7.49	
unit	m/s	m/s	m/s	m/s	kg	m	deg.	

較して小さくなっている。

図2, 図3は, 各被験者の膝関節と足関節の速度を示したものである。まず, 膝関節速度をみると, 被験者Bは, 被験者Aと比較して速度変化が小さく, ミート前における負の速度, つまり, 後方への速度も小さい。また, 足関節速度も同様に, 被験者Bの方が負の速度も小さく, 正から負に切り変わってからミートまでの時間も短くなっている。

表1に, 各試技におけるX方向(水平方向)のミート前後のボール速度と足関節速度, 及びミート時の換算質量を示す。ボール, 及び各関節速度は画像データより求めたものであり, その値より, 換算質量を求めた。ミート後のボール速度を平均値で比較してみると, 被験者Aは, -0.37m/s ($\text{SD}=0.90\text{m/s}$) であるのに対して, 被験者B, 1.55m/s ($\text{SD}=1.44\text{m/s}$) と, 明らかに被験者Aの方が小さな値となっている。

まず, ミート前の足関節速度をみると, 全体的に被験者Aの方が被験者Bより負(方向が後方)の速度が大きく, 平均値で比較しても, 被験者Aが -1.63m/s ($\text{SD}=0.46\text{m/s}$), 被験者Bが -0.45m/s ($\text{SD}=0.43\text{m/s}$) となっている。また, ミート時の換算質量を平均値で比較してみると, 被験者Aは, 1.72kg ($\text{SD}=0.53\text{kg}$) であるのに対して, 被験者Bは, 3.01kg ($\text{SD}=1.36\text{kg}$) と被験者Bの方が, より大きな値となっている。これらの事から, 未熟練者である被験者Bは, 熟練者である被験者Aと比較して, インサイド部を後方へ引く距離も短く, タイミングも遅れがちなため, ミート時におけるインサイド部の速度が小さくなっており, また, 同時に, ミート時における止め足のリラクゼーションが不十分なため, 下腿の換算質量も大きくなっていると推定される。そして, 以上の事から, 被験者Aより, 被験者Bのミート後のボール速度の方が平均的に大きく, ばらつきも大きい, つまり, 失敗の試技が出現し易くなっ

ていると考えられる。

IV 誤動作の分類

本節では, 前節の分析をもとに, ボールストップ動作時に観察される誤動作の分類を試みる。

まず, ボールストップ動作において, 最も基本的な誤動作の一つは, ボールがインサイド部にミートしない。つまり, ボールのコースにインサイド部が移動していないという誤動作であろう。もちろん, 熟練者になれば, ボールとインサイド部がミートしないというような現象はほとんど無いが, 常に, ボールの中心をインサイド部にミートさせるという事は, 容易ではないと思われる。また, 未熟練者の場合, インサイド部でミートしようとしても, 脛部にミートしたり, 極端な場合, ボールにタッチせず動作が終了してしまう事もある。表1に, X-Y平面のミート前におけるボールの速度ベクトルと下腿部との交点と, インサイド部との距離を示す。誤動作のレンジを正確に確定する事は出来ないが, 被験者Bの場合, 0.1m 以上の値の試技が2試技あり, 平均値でも, 被験者Aが 0.048m ($\text{SD}=0.029\text{m}$), 被験者Bが 0.065m ($\text{SD}=0.046\text{m}$) となっており, 被験者Aの方が, 被験者Bより小さな値となっている。この他にも, Y-Z平面, X-Z平面における同様の誤動作があると思われ, それらを合せて移動誤動作(transposition-error)と分類出来よう。

ボールとインサイド部とのミート時には, インサイド部の向き, つまり, 足部の姿勢がミート後のボールの運動に影響を及ぼすと考えられる。言い換えれば, ミート時におけるインサイド部の向きで, ストップ後のボールの方向を制御しているとも言えよう。表1に, X-Y平面におけるミート直前のボールの速度ベクトルと下腿とのなす角度を示す。この値は, 足部の長軸方向を回転軸とし

た回転角度とほぼ等しいと考えられ、平均値で比較してみると、被験者 A が71.32deg (SD = 6.10deg)、被験者 B が57.30deg (SD = 7.50deg) と、被験者 A の方が、やや大きな値を示している。つまり、被験者 A の方が、より上方向へボールをストップしようとしていると考えられる。しかし、個人における誤動作という観点からみれば、この傾向は個人の個性という事も考えられ、本実験条件では、この誤動作を細かく定量化する事は出来ない。そして、実際場面における足部の運動の場合、前述の回転軸回りの自由度の他に、二つの直交する軸回りの回転に関する自由度が考えられ、それらの総合で足部の姿勢が定まり、それについての誤動作を姿勢誤動作 (posture-error) として分類出来る。

表1におけるミート前の足関節速度を比較してみると、被験者 A は、全試技、負の値をとっている、つまり、後方へ引いているが、被験者 B は、負の値でない試技もみられる。前述したように、平均値で比較してみても、被験者 A が-1.63m/s であるのに対して、被験者 B が-0.45m/s となっている。これは、被験者 A の方が、ミート前に、より大きな速度で足を引き、飛来してくるボールとの相対速度を小さくしていると考えられる。しかし、ミート時にボールに与える力積という面から考えると、ミート時の足関節速度だけでは一義的に定まらない。つまり、ミート時の足関節速度と下腿の換算質量によって、力積が定まるという冗長性⁶⁾があると考えられるので、足関節速度だけで誤動作を同定する事は、困難であると思われる。しかしながら、被験者 B の試技 H などは、足関節速度が負の値でなく、かつ、ミート後のボール速度が大きな値となっているので、速度についての誤動作が発生していると推定される。そして、このような速度に関する誤動作を速度誤動作 (speed-error) として分類出来ると考えられる。

表1に、ミート時の下腿の換算質量を示す。被験者 A は、比較的ばらつきが小さな値 (レンジ=1.58kg) を示しているのに対して、被験者 B は、大きな値 (レンジ=4.02kg) を示している。また、平均値で比較してみると、被験者 A は、1.72kg (SD=0.53kg) であるのに対して、被験者 B は、3.01kg (SD = 1.36kg) となっており、被験者 B の標準偏差値は、被験者 A の標準偏差値の2倍以上の値となっている。

前述したように、ミート後のボール速度の制御という面からみた場合の冗長性のため、明確に誤動作を同定出来ないが、レンジの値や標準偏差値から、被験者 A より被験者 B の方が、より多くの、かつ、大きな誤動作を起こしていると推定される。そして、換算質量の値は、足関節や膝関節、あるいは、股関節回りの筋緊張度によって変化可能であると考えられるので、これに関する誤動作を強度誤動作 (strength-error) として分類出来る。

以上の分析から、ボールストップ動作時に発生する代表的誤動作として、「移動誤動作」、「姿勢誤動作」、「速度誤動作」、「強度誤動作」の4種をあげる事が出来る。そして、本実験における未熟練者のボールストップ動作の場合、一つ以上の誤動作が重複して発生している場合が少なくなく、そのため、指示どおりにボールがストップしていないと考えられる。また、「移動誤動作」と「姿勢誤動作」は、幾何学的要素、つまり、spacing⁴⁾に、「速度誤動作」と「強度誤動作」は、導関数的要素、つまり、gradingに関係していると思われ、これら4種の誤動作は、「spacing-error」と「grading-error」とに大別出来る。

本節における分類は、あくまで現象記述レベルでの分類であり、直接、ボールストップ動作の制御構造と対応するものではない。しかし、プレーヤーの一つの知覚—認知—運動系システムとして考えた場合、「ほとんど分解可能¹¹⁾」なサブシステムを構成要素とし

て持つと考えられ、その制御機構のあり方を示唆する基礎的資料となると考える。

V 情報処理モデル

前節では、ボールストップ動作におけるミート時の誤動作についての考察を、現象記述レベルでおこなった。しかし、ボールストップ動作を、一つの運動技能としてとらえ、一つの、まとまりある運動の手続きとして考えるならば、その誤動作の原因を分析するためには、その動作の内的制御プロセス¹⁾までも含めた、内的制御機構の考察が必要になる。

図4は、認知技能の情報処理モデルである Activation-Triggered-Schema system⁸⁾をもとに、ボールストップ動作の情報処理モデルを示したものである。実際のゲーム場面では、いろいろな情報をもとにプレイが選択決定され、その状況判断の要素が重要となるが、本節では、「ボールストップ」という意志が決定されたとして考察する。したがって、図4における情報処理プロセスは、知覚系から中枢系に入った情報から「ボールストップ・スキーマ」が活性化され、レスポンス・システムの運動プログラム⁹⁾へ命令が伝達される事によって、運動が発現するという事になる。ここでいう運動プログラムは、決まりきったルーチンコードではなく、引数(argument)によってプロセスがコントロールされるような柔軟性を持っている必要があると思われる。もし、そのような柔軟性が無ければ、ボー

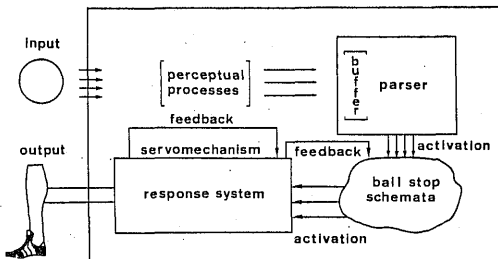


Fig. 4 The information processing system involved in ball stopping.

ルの重さ等が少し変化しただけでも、まったく新しい運動プログラムが必要となるが、実際、熟練者はボールが変わっても、数回のタッチで、すばやくその重さ等を把握し、高いパフォーマンスを発揮しているように見うけられる。そして、運動技能は、本質的に筋活動をとまなうものなので、そのパフォーマンスは、筋肉組織等の末梢系、つまり、ここでいうレスポンス・システムにも依存する。したがって、それらが原因となって、誤動作が発生する事もありうると考えられるが、本論では、レスポンス・システム自身が原因となって発生する誤動作は、無いものと仮定する。

前述したように、ボールストップ動作は、一つのまとまりある運動の手続きとしてとらえる事が出来るが、図1の被験者Aを見てわかるように、一連の運動を「足を上げる運動」、「足を引く運動」、「足を下げる運動」のように各局面に分離する事も不可能ではない。もちろん、それぞれの運動は連続的であり、独立してはいないが、順序付けが可能という意味で、分離する事も出来ると考えられる。そこで、ボールストップスキーマは、図5で示すように、各局面の運動スキーマを下位構造に持つ階層的モジュール構造として表現出来る。そして、それぞれの運動スキーマは、spacingに関する知識とgradingに関する知識を持っていると考えれば、それらの誤りによって誤動作は発生するが、たとえ、それらが正しくとも、いつ、各運動スキーマが

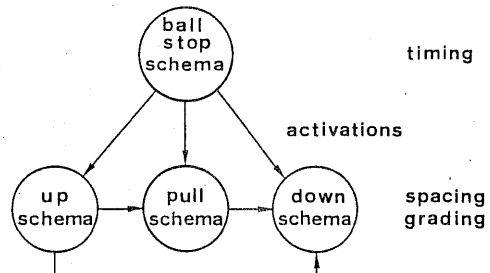


Fig. 5 The structure of ball stop schema

活性化されるかというタイミング的要素によっても、誤動作が発生しうると考えられる。逆に言えば、各スキーマの知識が正しく、かつ、適切なタイミングで各運動スキーマが活性化された時、はじめて、誤動作のない動作が実現される。そして、この同期化処理に関するプラン、つまり、タイミング (timing) に関する知識は、上位スキーマが持ち、下位スキーマ活性化に関する同期化を管理していると考えられる。したがって、たとえば、表 1 における被験者 B の試技 H や、試技 I は、他の試技と比較してミート前の足関節速度が大きく、前節の現象記述レベルでの誤動作の分類では grading 誤動作としてとらえられるが、内的制御機構まで考えた場合、プルスキーマが活性化される前にボールとミートしたという timing 誤動作が、まず第一の原因として考えられよう。また、運動学習法の観点から、本スキーマモデルをみる事により、下位スキーマにおける grading schema と spacing schema、つまり、下位技能の運動手続きを学習した後に全体を連合させるという分習法的学習法と同様に、timing schema を学習した後、つまり、全体的動作リズムを学習した後に、それぞれの運動手続きを学習するという学習法もありうる事が示唆される。

VI 結語

本論では、サッカーのボールストップ動作を対象に、熟練者と未熟練者とを比較検討し、動作時に発生する誤動作を整理分類した。

その結果、現象記述レベルでは、「移動誤動作」、「姿勢誤動作」、「速度誤動作」、「強度誤動作」の四つに分類出来、それらは、さらに、spacing-error、及び grading-error の二つに大別出来ると考えられる。

そして、運動技能の情報処理モデルを作成し、ボールストップ動作のスキーマ構造の一部を表象する事によって、上記の誤動作の他に timing-error の存在が考察され、タイミン

グスキーマの重要性が示唆された。

VII 要約

本研究では、サッカーにおけるボールストップ動作を対象に、熟練者と未熟練者とを比較検討し、動作時に発生する誤動作を分類するとともに、その動作を発現させる内的制御機構を表象する枠組みとしての情報処理モデルを作成しようとした。

結果を、以下に要約する。

- 1) 未熟練者は、熟練者よりミート前に止め足を後方へ引く動作の変位が小さく、その速度も同さい傾向を示した。
- 2) ミート時における下腿の換算質量を比較すると、熟練者より未熟練者の方が大きな値を示す傾向が見られた。
- 3) ボールストップ動作時に発生する代表的誤動作は、移動誤動作、姿勢誤動作、速度誤動作、強度誤動作の四つに分類出来、それらは、spacing-error 及び grading-error の二つに大別出来ると考えられる。
- 4) ボールストップスキーマを、階層的モジュール構造として表象する事により、timing-error の存在が考察され、タイミングスキーマの重要性が示唆された。

引用文献

- 1) Abend, W., Bizzi, E., Morasso, P., "Human arm trajectory formation", *Brain*, 150, 331-348, 1982.
- 2) Adams, J. A., "A closed-loop theory of motor learning", *Journal of Motor Behavior*, 3, 111-150, 1971.
- 3) 浅井武・小林一敏・松本光弘「サッカーにおけるボールストップの力学的考察」*体育学研究*, 26-3 : 245-251, 1981.
- 4) 猪飼道夫「調整力～その生理学的考察～」*体育の科学*, 22-1 : 5-10, 1972.
- 5) Keele, S. W., Summers, J. J., "The structure of motor programs", in "motor control" ed. by Stelmach, G. C., Academic Press, 1976.

- 6) 中野栄二, ロボット工学入門, 初版, オーム社, 46-65, 1983.
- 7) Norman, D. A., "Categorization of Action Slips", *Psychological Review*, 88-1, 1-15, 1981.
- 8) Rumelhart, D. E., Norman, D. A., "Simulating a Skilled Typist: A Study of Skilled Cognitive-Motor Performance", *Cognitive Science*, 6-1, 1-36, 1982.
- 9) Schmidt, R. A., "A schema theory of discrete motor skill learning", *Psychological Review*, 82-4, 225-260, 1975.
- 10) Shaffer, L. H., "Performances of Chopin, Bach, and Bartok: Studies in motor programming", *Cognitive Psychology*, 13, 326-376, 1981.
- 11) Simon, H. A., "The sciences of the artificial", Cambridge, MA: M. I. T. Press, Chap. 4, 1969.