

博 士 論 文

サッカーにおけるゴールキーパーの
シュートストップ能力評価指標の開発

平成 30 年度

筑波大学大学院 人間総合科学研究科
コーチング学専攻

平嶋裕輔

目次

第1章 序論.....	1
1. 研究の背景.....	1
1.1 サッカーにおける客観的評価.....	1
1.2 ゲームパフォーマンスの数値化.....	1
1.3 データの活用.....	3
1.4 ゴールキーパーのプレーと客観的評価指標.....	4
2. 研究の目的.....	5
3. 先行研究の検討.....	5
3.1 データを用いた選手評価に関する研究.....	5
3.2 回帰式を用いた予測に関する研究.....	8
3.3 まとめ.....	9
4. 研究課題.....	10
5. 用語の定義.....	11
6. 研究の限界.....	13
7. 関連業績一覧.....	13
第2章 研究課題 I ゴールキーパーのシュートストップ難易度の定量化.....	15
1. 目的.....	15
2. 方法.....	15
2.1 標本.....	15
2.2 測定方法.....	16
2.3 測定項目.....	16
2.4 統計解析方法.....	27
3. 結果.....	29
3.1 観察されたデータの客観性.....	29

3.2 シュートストップの成否における被シュート状況.....	29
3.3 2項ロジスティック回帰分析によるシュートストップの結果に影響を及ぼす被シュート状況における主な要因と回帰式.....	31
4. 考察.....	35
5. 要約.....	39
第3章 研究課題Ⅱシュートストップの失敗確率を予測する回帰式の検証.....	41
1. 目的.....	41
2. 方法.....	41
2.1 標本.....	41
2.2 測定方法.....	42
2.3 測定項目.....	42
2.4 シュートストップ失敗確率の算出.....	42
2.5 統計解析方法.....	43
3. 結果.....	44
3.1 シュートストップの成否における被シュート状況及びシュートストップ失敗確率.....	44
3.2 シュートストップ失敗確率の信頼性.....	44
3.3 シュートストップ失敗確率の妥当性.....	46
4. 考察.....	46
5. 要約.....	50
第4章 研究課題Ⅲシュートストップ失敗確率予測回帰式を用いた新しいゴールキーパーのシュートストップ能力評価指標～評価方法の提示及び従来の評価指標との関連～.....	51
1. 目的.....	51
2. 方法.....	51
2.1 標本.....	51

2.2 測定方法	51
2.3 測定項目	51
2.4 シュートストップ失敗確率の算出	52
2.5 選手の評価方法	52
2.6 統計解析方法	53
3. 結果	53
3.1 シュートストップの成否における被シュート状況の基本的特徴	53
3.2 3種類の評価指標における評価の相関	53
3.3 3種類の評価指標における評価と平均シュートストップ失敗確率との相関	56
3.4 3種類の評価指標における評価と被シュート数及び予測失点との相関	56
4. 考察	66
5. 要約	70
第5章 総括	71
1. 結論	71
2. 選手の評価への示唆	74
3. トレーニング計画への示唆	75
4. 今後への課題	77
謝辞	79
引用文献	80

第1章 序論

1. 研究の背景

1.1 サッカーにおける客観的評価

選手の能力が競技記録に反映され、記録が選手の実力を示す指標となる陸上競技等の個人種目とは異なり、サッカー等の集団競技ではチームが勝つために状況に応じたプレーを選手一人一人の判断に基づき実行していくため、選手の能力やチーム全体の評価は監督やコーチの主観に依存することが多い。主観的評価について、大江ほか（2013）は、「ゲームを専門的に総合評価できるものの、分析者の主観性および恣意性を排除することはできない」とし、Franks and Miller（1986）は、コーチのゲーム観察の正確性は3割程度であるという報告をしており、集団競技におけるゲームパフォーマンス評価は容易ではない。この問題点を解決するため、大橋（1999）はスポーツのゲーム中に起こる様々な事象を数値化することの重要性を述べており、実際に近年、サッカーをはじめとする集団競技において、チームや選手の能力を客観的、数量的に評価しようとする取り組みが行われている。

1.2 ゲームパフォーマンスの数値化

研究目的に応じて項目を定め、特定の表記方法を使って試合でのチームやプレイヤーのパフォーマンスを記録し、その記録結果を特定の観点から数量的に処理する研究手法を記述的ゲームパフォーマンス分析といい、日本では単にゲーム分析と呼ばれることが多い（中川，2011）。Hughes and Franks（2004）によると、記述的ゲームパフォーマンス分析を用いた球技研究の歴史は古く、公表された学術研究としてはバスケットボールの試合におけるプレイヤーの走行距離を測定した Messersmith and Corey（1931）に遡る。サッカーでは、Winterbottom（1952）のゲーム中の移動距離に関する記述があり、日本国内でも1960年代頃から、鶴岡ほか（1965，1968，1969）の一連の研究等が行われていた。しかし本格

的な発展をみせたのは、1986年に、第1回のWorld Congress of Science and Footballが開催されてからであると考えられている (Hughes and Franks, 2004).

実際に現場レベルで分析が盛んになったのは、コンピューターが導入され始めた1990年代に入ってからである。1994年に国際サッカー連盟 (Fédération Internationale de Football Association 以下 FIFA) 主催で行われた、ワールドカップアメリカ大会では、フランスサッカー連盟の技術スタッフにより、全てのゲームを対象とした分析結果が報告された (大橋, 1999)。その後の1998年フランス大会以降は、日本サッカー協会 (Japan Football Association 以下 JFA) も独自にテクニカルスタディグループを編成し、ワールドカップだけではなく、各年代の主要国際大会を継続して分析し、テクニカルレポートを作成している。テクニカルレポートでは、現代のサッカーの傾向、そしてその中で戦う日本を分析している。それを基にして、各年代の国内大会を分析・比較し、日本の育成の成果と課題、今後の方向性について示唆を得ている (公益財団法人日本サッカー協会, 2015)。

国内においては、2000年代前半から、データスタジアム株式会社が公式記録よりも細かいレベルで、サッカーのプレーデータを取得しており、特に日本プロサッカーリーグ (以下 Jリーグ) においては、2008年から「オフィシャルデータサプライヤー」として、Jリーグ公認データ「Stats Stadium」サービスを提供している (加藤, 2016)。データスタジアム株式会社が取得するデータは、ボールに絡んだ (オン・ザ・ボールの) 選手の座標やそのプレーを、人間が映像を見ながら1つ1つのプレーを判断し、コンピューターに入力、データ化したものであった。そして2015年シーズンより、J1リーグ全試合を対象にトラッキングシステムを用いたデータ収集も導入された。トラッキングシステムは、軍事技術として使われている自動追尾システムを応用したもので、ボールに触っていない選手の動き、いわゆるオフ・ザ・ボールのプレーデータを専用のカメラとコンピューターによって、半自動的に、リアルタイムでデータの取得を行うことが可能である。さらにトップレベルの一部チームでは、試合だけでなく練習においても、ウェアラブル端末を装着しプレーを行い、トラッキングシステムでは検知しきれないフィジカルデータや、心拍数等のバイタルデータをチ

ーム独自に取得している。

このように時代とともにテクノロジーが進化し、膨大な量のデータがサッカーの試合から取得されるようになった。

1.3 データの活用

従来、ゲーム中のパフォーマンスの数値化は、1) 望ましい戦い方を探ること、2) 各チームの長所・短所を確認すること、3) 対戦相手に対するスカウティングへの応用を研究の目的に挙げており、チーム作りや当面の試合（大会）に向けての作戦的示唆などの意味で、大いに利用すべきものの1つであるとされてきた（田中，1984）。サッカーの現場においても、監督や分析を担当するスタッフが、自チームの強化、相手チームへの対策として、データを活用してきた。しかしながら、時代とともにテクノロジーが進化し取得できるデータの領域が拡大し、それに伴ってデータを扱う層も活用の範囲も年々拡大の一途をたどっている（加藤，2016）。例えば日々のトレーニングにおいてトレーナーは、GPS のデータを用いて測定し、どのくらいの運動強度だったのか、狙いとしていたトレーニング負荷がかけられたのか、などをチェックしている（小井土・鍵野，2018）。また、「例えば来シーズンのチーム編成や選手の獲得といったことを考える際に、以前は実際のプレーや映像で見た印象でしか判断することができなかったが、今では・・・より多くの具体的な情報から判断を行うことが可能になっている」（加藤，2016）と言われるように、ゼネラルマネージャーやスカウトなどが、選手の評価にデータを利用するシーンも増加している。

選手評価に着目すると、最も有名なランキングサイトの1つに、「Castrol Index」（<http://www.fifa.com/castrolindex/>）が挙げられる。「Castrol Index」は、FIFA ワールドカップの公式スポンサーであったカストロール社が、通常は業務で用いている技術力やデータ分析力を、ワールドカップに出場する選手の客観的評価に応用し、FIFA の公式サイト内で公表していたものである。2009年のFIFA コンフェデレーションズカップから、2014 FIFA ワールドカップブラジル大会まで評価が行われていた。国内においても、データスタ

ジாம்株式会社が「Football LAB」(<http://www.football-lab.jp/>)において、Chance Building Point という独自の指標を用いて選手やチームの評価を行っている。しかしながら現状、データから算出された客観的評価指標は、ファンやサポーター、メディア等のコンテンツとして用いられることがほとんどであり、チーム編成や選手獲得の判断材料として用いられることは決して多く無い。

1.4 ゴールキーパーのプレーと客観的評価指標

サッカーにおけるゴールキーパー（以下 GK）は、11人の選手の中で唯一手を使うことが許されている、非常に特殊なポジションである。GK について、チャールズ・ヒューズ（1996）は「GK は、チームの中で最も重要な選手である。GK が優秀でなければ、試合に負けることもある」とし、アレックス・ウェルシュ（2005）は「GK のパフォーマンスがチームの成績を左右し、実際、成功しているチームのほとんどには優秀なキーパーがいる」と述べている。このように、相手より得点を多く取ったチームが勝利するサッカーにおいて、1つのプレーの成功・失敗が失点の有無に大きく関わる GK は、勝敗に直結する重要なポジションであるといえる。サッカー指導教本 2013・GK 編（公益財団法人日本サッカー協会，2013）によると、GK のプレーは守備プレーと攻撃プレーに分かれており、その中でさらに、守備プレーではシュートストップ、ブレイクアウェイ、クロス、攻撃プレーではパス&サポート、ディストリビューションに分かれるとしている。GK はその名称のとおり、ゴールを守ることが唯一の役割と思われがちである。しかし実際は、ゴールを守ることが最も重要な役割であるとともに、ゲームがどのような状況にあっても、チームのために果たす役割が常にある。

これまで先行研究（西内，2012；ELGOLAZO，2015）における、GK の客観的評価指標は、出場時間、失点、防御率（失点率）、セーブ数（シュートストップ数）、セーブ率、パス成功率（フィード成功率）等が挙げられる。その中で、GK にとって失点に直結する最も重要なシュートストップの評価指標としては、防御率とセーブ率がある。防御率は、GK の 1

試合当たりの平均失点数を表している。サッカーだけでなく様々な競技で守備力評価の指標として用いられており、以前は J リーグの公式記録にも採用されていた（公益社団法人日本プロサッカーリーグ，2013）。しかし、防御率について鳥越（2011）は、「個の実力以外による要素が加わった指標」としており、GK 個人の能力を測る指標としては適当ではない。セーブ率は、被枠内シュート数に対するシュートストップ数の割合で表され、被枠内シュートに対するシュートストップの成功率を示している（西内，2012）。セーブ率は、防御率と比較し GK 個人の能力を評価する指標として優れているため、現在 GK の守備力評価指標として主に用いられている。しかしながら、シュートストップの難易度が考慮されておらず、現場に有効な評価指標ではないと考えられる。

2. 研究の目的

そこで本研究では、選手の起用や選抜、スカウト等、現場で活用価値のある GK の客観的評価を行うという観点から、GK にとって最も重要なプレーであるシュートストップ能力に着目し、被シュート 1 本毎のシュートストップ難易度を考慮した、GK のシュートストップ能力評価指標を開発することを目的とする。

3. 先行研究の検討

3.1 データを用いた選手評価に関する研究

(1) セイバーメトリクス

セイバーメトリクスとは、アメリカ野球学会の略称 SABR（Society for American Baseball Research）と測定基準（metrics）を組み合わせた造語であり、野球の試合をその数値データから客観的に分析し、選手の評価や戦略を研究する手法のことである。例えば、

最も一般的な打撃の評価方法である打率と比較し、長打率や出塁率が打撃能力評価指標としてより適切であることは、セイバーメトリクスによって明らかになっている (Albert and Bennett, 2001). このような研究が本格的に始まったのは、アメリカ野球学会が設立された 1971 年以降であるが、それ以前にも野球を数学的、統計学的に分析する研究は行われており、その歴史は非常に古い.

(2) 状況への重み付け

1963 年、Lindsey はアメリカ統計学会誌である *Operations Research* に、「An Investigation of Strategies in Baseball」という論文を執筆した. この研究は、その後のセイバーメトリクスの理論構築の礎となった (鳥越, 2011) といわれている. 論文中で Lindsey (1963) は 373 試合、27027 プレーのデータ分析を行い、出塁とアウト数を組み合わせた 24 の状況から、インニングが終了するまでの得点確率分布を示し、得点期待値を算出した (表 1-1). この得点期待値によって 24 の状況に数量的な重み付けがされ、状況の変化 = 打席後の得点期待値 - 打席前の得点期待値から、この打者の打席結果が、得点に対してどのくらい貢献したのか数的に評価することができる (Albert and Bennett, 2001).

野球は、相手より多く得点することで勝敗が決まるスポーツである. そのため、打率のように打席の成功・失敗だけでなく、その打席が得点に対してどれだけ貢献したのかを評価することが、より現場に有用な打者評価指標となる.

(3) サッカーへの応用

サッカーも野球同様、得失点差で試合の勝敗が決まるため、ゲーム中の各事象に得点への貢献度によって数量的な重み付けをすることは、より有用な客観的評価を行う上で、非常に重要な意味を持つと考えられる. 特に GK は、1 つのプレーの成功・失敗が得点の有無に大きく関わるポジションであるため、失点に対する貢献度を評価することは、他のポジションに比べて特に重要である.

しかしサッカーは、野球と比較し、流動的で複雑なスポーツである (西内, 2012). 例えば、野球では攻撃と守備が完全に分離されているが、サッカーでは 90 分間攻守が入れ替わ

表 1-1 Distribution of Runs Scored in Remainder of Inning (Lindsey, 1963)

<u>SITUATION</u>			<u>PROBABILITY OF SCORING RUNS</u>				<u>EXPECTATION</u>
Bases Occupied	Outs	% of Situations	0 Runs	1 Run	2 Runs	>2 Runs	Runs
None	0	24.3%	.747	.136	.068	.049	.461
	1	17.3%	.855	.085	.039	.021	.243
	2	13.7%	.933	.042	.018	.007	.102
1	0	6.4%	.604	.166	.127	.103	.813
	1	7.6%	.734	.124	.092	.050	.498
	2	7.8%	.886	.045	.048	.021	.219
2	0	1.1%	.381	.344	.129	.146	1.194
	1	2.4%	.610	.224	.104	.062	.671
	2	2.9%	.788	.158	.038	.016	.297
3	0	0.2%	.120	.640	.110	.130	1.390
	1	0.7%	.307	.529	.104	.060	.980
	2	1.2%	.738	.208	.030	.024	.355
1,2	0	1.4%	.395	.220	.131	.254	1.471
	1	2.6%	.571	.163	.119	.147	.939
	2	3.3%	.791	.100	.061	.048	.403
1,3	0	0.4%	.130	.410	.180	.280	1.940
	1	1.1%	.367	.400	.105	.128	1.115
	2	1.6%	.717	.167	.045	.071	.532
2,3	0	0.3%	.180	.250	.260	.310	1.960
	1	0.7%	.270	.240	.280	.210	1.560
	2	0.8%	.668	.095	.170	.067	.687
Full	0	0.3%	.180	.260	.210	.350	2.220
	1	0.8%	.303	.242	.172	.283	1.642
	2	1.0%	.671	.092	.102	.135	.823

りながら試合が行われる。また、野球では1つ1つのプレーが独立しているのに対し、サッカーはボールに触っていない選手の動きや駆け引きも重要で、データが追い付かない点も多い(森川, 2014) そのため、野球のようにいくつかの状況に限定し、得点期待値を算出する方法は、サッカーでは非常に困難であり、かつ実践的に有効ではないと考えられる。

3.2 回帰式を用いた予測に関する研究

(1) データベースに基づく意思決定の台頭

“The Rise of the Super Crunchers” (Ayres, 2007) と言われるように、様々な分野において絶対計算が台頭してきている。絶対計算とは、データベースに基づき、全く関係ないと考えられる2つの要素の定量的な相関を見出し、現実世界の意思決定に用いる統計分析である。

例えば、オーリー・アッシュェンフェルターは、フランスのボルドー地方の数十年におよぶ気象データを用い、収穫期に雨が少なく、夏の平均気温が高かった年に最高のワインが出来ることを発見した。そして、このデータを用い、以下のようなワインの品質を予測する方程式を構築した。

ワインの質 = $12.145 + 0.00117 \times \text{冬の降雨量} + 0.0614 \times \text{育成時期の平均気温} - 0.00386 \times \text{収穫期の降雨量}$

この方程式に気象情報を代入することにより、まだワインができていないうちに、その品質を予測することができる (Ayres, 2007)。

回帰分析を使うと、様々な要因がどんな結果につながるか、その結果がどのくらい信頼できるかを計算できる。企業や政府も、意思決定をますますデータベースに頼るようになっており、上記したワインの品質を予測する回帰式は、世界中で構築されている回帰式のほんの1つである。

(2) ロジスティック回帰分析

回帰式を求める統計手法の1つに、連続変数とカテゴリ変数の両方を説明変数として扱

うことのできる、ロジスティック回帰分析がある。この手法は米国のフランミンガムで開始された冠状動脈性疾患に対するコーホート調査 (Framingham study ; Dawber et al., 1951) において用いられたのが始まりで、近年、医学領域では公衆衛生学の疫学調査で良く使用されている (高橋, 2008)。医学分野の研究で扱うデータにおいてロジスティック回帰分析の利用価値は高いと考えられており、積極的に利用すべきだとの支持も多い (対馬, 2008)。この分析法は従属変数を 2 値データとし、独立変数 (危険因子) が従属変数 (結果) にどの程度独立した影響力があるかをオッズ比として表わすことができる。オッズ比とは、ある要因が陽性の時における事象の発生確率と、ある要因が陰性の時における事象の発生確率の比である。したがってオッズ比がわかると、その要因の有無が事象の発生に対しどれだけ影響しているかを表すことができる。さらに各要因のオッズ比がわかると、回帰式を算出することができ、ある事象が発生する確率を予測することも可能である。独立変数の尺度、分布に対して厳密な仮定を置いていないため、現実のデータを対象とする際は汎用性が高いという利点をもつ (高橋, 2008 ; 対馬, 2008 ; 内田, 2011)。

例えば、井上ほか (2005) は、標高、傾斜、道路からの距離、樹種、林齢を調査することによって、ニホンジカによる人工林剥皮害の発生確率を予測するロジスティック回帰式を構築した。スポーツ科学分野においては、末木 (2017) が、高校野球における試合の勝敗に影響を与える要因を、メディアで公開されているデータの分析によって明らかにした。また、石井ほか (2010) は、ポジション、1 年前の投球時肩痛の既往、肩甲上腕リズムの左右差、踵殿距離を調査することによって、投球障害肩が発症する確率を高精度に予測することができるロジスティック回帰式を構築した。このように、医学分野で発展した統計手法であるロジスティック回帰分析は、現在、多分野において有用な統計手法として用いられつつある。

3.3 まとめ

GK のシュートストップ能力評価指標を開発することを目的とし、実践現場のニーズに応えるために、以下のような事項が必要である。

①サッカーにおいても、ゲーム中の各事象に得点への貢献度によって数量的な重み付けをすることは、より有用な客観的評価を行う上で、非常に重要な意味を持つと考えられる。特に GK のシュートストップは、成功・失敗が得点の有無に直結するプレーであるため、失点に対する貢献度を評価することは重要である。

②サッカーは流動的で複雑なスポーツである。そのため、いくつかの状況に限定し、得点期待値を算出する方法は、困難かつ実践現場に有効ではないと考えられる。

③ロジスティック回帰分析を用いることにより、その要因の有無が事象の発生に対しどれだけ影響しているかを表すことができる。さらに各要因のオッズ比がわかると、回帰式を算出することができ、ある事象が発生する確率を予測することも可能である。

シュートストップは、サッカーの流動的で複雑な状況における様々な要因が作用して、成功するか失敗するかという結果にたどり着く。したがって、ロジスティック回帰分析法をシュートストップに応用し、各危険因子のオッズ比を算出すると、その因子がどれほど成否に影響しているかを示すことができる。さらに、各危険因子のオッズ比がわかると回帰式を算出することができ、いくつかの状況に限定することなく、シュートストップの失敗確率を予測することが可能である。

4. 研究課題

サッカーの GK におけるシュートストップ能力の新しい評価指標を開発するという目的を達成するために、本研究では 3 つの研究課題を設定した。

研究課題 1 : GK のシュートストップ難易度の定量化 (第 2 章)

研究課題 1 では、世界トップレベルの GK を対象に、試合映像によるゲームパフォーマンス分析を用いてシュートストップの結果に影響を及ぼすと考えられる要因を抽出し、ロジスティック回帰分析を基にして、シュートストップの結果に影響を与える主要因を明ら

かにするとともに、シュートストップ難易度をシュートストップ失敗確率として定量化するための、シュートストップ失敗確率を予測する回帰式を構築する。

研究課題 2：シュートストップ失敗確率を予測する回帰式の検証（第 3 章）

研究課題 2 では、研究課題 1 で構築されたシュートストップ失敗確率を予測する回帰式について、算出される失敗確率の測定者間信頼性、および回帰式の外的妥当性を検証し、一般化の可能性を明らかにする。

研究課題 3:シュートストップ失敗確率予測回帰式を用いた新しい GK のシュートストップ能力評価指標～評価方法の提示及び従来の評価指標との関連～（第 4 章）

シュートストップ失敗確率を予測する回帰式を用いて算出される、シュートストップ失敗確率を用いた、新たな GK のシュートストップ能力評価指標を提示するとともに、従来の評価指標であるセーブ率との比較検討を行う。

5. 用語の定義

本節において、この論文を通じて使用される主要な用語の定義を行う。

1) ゲームパフォーマンス

ゲームを遂行するにあたって、個人、またはチームが成就する運動成績の総体（鈴木・西嶋, 2002）。

2) シュートストップ

サッカーの指導現場において用いられている指導用語であり、GK が相手チームの選手によって打たれたシュートを止めるプレー。本研究では「セーブ」、「シュートセーブ」と同義語とする。

3) シュートストップ成功

GKが、枠内にシュートされたボールをキャッチ、または弾いてゴールに入るのを防いだ場合。

4) シュートストップ失敗

GKが、枠内にシュートされたボールを防ぐことが出来ずに、失点した場合。

5) クロス

フィールドのサイドからゴール前の地域へ出すパスを表す。

6) スルーパス

守備側最終ラインの前方から守備側最終ラインの背後のスペースへ出すパスを表す。

7) FK・CKからのパス

フリーキック及びコーナーキックから出されるパスを表す。

8) その他パス

クロス、スルーパス、FK・CKからのパスに当てはまらないパスを表す。

9) ドリブル

個人で相手守備チームの選手を抜こうとするプレー及び、パスを用いずに個人でボールを前に運ぼうとするプレー。

10) ボールカット

味方選手からのパス以外でボールを獲得するプレー。

11) 直接セットプレー

ペナルティキックやフリーキック、コーナーキックからのシュートが直接枠内シュートになったプレー。

12) 枠内シュート

シュート者がシュートを打った後、他の選手がボールに触らなければゴールする枠内に飛んでいるシュート。

6. 研究の限界

本研究では試合の映像から記述的にゲームパフォーマンスを分析した。距離や角度の算出には、グラウンド上のラインと芝目を目安に、競技場縮図に記録した位置情報を用いた。そのため、真の値との間に誤差が生じる可能性は否定できない。また、標本がワールドカップであることから、真の値との誤差を検証することも不可能である。これらの点は、本研究で用いた分析法の限界である。

7. 関連業績一覧

本論文は、以下に示した投稿論文、学会発表をまとめたものである。

【論文】

平嶋裕輔, 中山雅雄, 内藤清志, 浅井武 (2014) サッカーにおけるゴールキーパーのシュートストップ難易度の定量化. 体育学研究, 59(2) : 805-816.

平嶋裕輔, 浅井武, 深山知生, 中山雅雄 (2018) サッカーにおけるゴールキーパーのシュートストップ失敗確率を予測する回帰式の検証. 体育学研究, 63(1) : 315-325.

【学会発表】

平嶋裕輔, 中山雅雄, 浅井武 : サッカーのゴールキーパーにおけるシュートストップの難易度を決定する要因. 日本コーチング学会第24回大会 : 2013年3月.

平嶋裕輔, 浅井武, 中山雅雄 : サッカーにおけるゴールキーパーのシュートストップ評価方法の検討. 2013年度統計学会連合大会 : 2013年9月.

Yusuke Hirashima, Takeshi Asai, Masaaki Koido, Masao Nakayama : Quantification of the Degree of Difficulty or Ease of Goalkeepers' Shot Stopping and Assessment Methods Used. World Conference on Science and Soccer Rennes 2017: 2017 年 5 月.
平嶋裕輔, 深山知生, 浅井武, 中山雅雄 : サッカーにおけるゴールキーパーのシュートストップ失敗確率を予測する回帰式の妥当性. 日本体育学会第 68 回大会 : 2017 年 9 月.

【学会賞】

日本体育学会第 68 回大会 (2017) 測定評価専門領域優秀発表. [発表演題] サッカーにおけるゴールキーパーのシュートストップ失敗確率を予測する回帰式の妥当性.

第2章 研究課題 I ゴールキーパーのシュートストップ難易度の定量化

1. 目的

GKのシュートストップに難易度を用いた重み付けをするため、野球のようにいくつかの状況に限定し、得点期待値を算出する方法は、流動的で複雑なサッカーでは非常に困難であり、かつ実践的に有効ではないと考えられる。

近年、その問題の解決策の一つとして、連続変数とカテゴリ変数の両方を説明変数として扱うことのできる、ロジスティック回帰分析が発展してきている。ロジスティック回帰分析は、複雑な状況における様々な要因から、結果に影響を及ぼす要因を導き出すことが出来る。更に、導き出された要因毎のオッズ比を組み合わせ、結果を予測する回帰式を構築出来るため、様々な分野で統計手法として用いられはじめている（石井ほか, 2010; 小島ほか, 2007; 中山・森, 2011; 大須賀ほか, 2012）。

そこで本研究では、トップレベルの GK を対象に、試合映像による記述的ゲームパフォーマンス分析手法を用いてシュートストップの結果に影響を及ぼすと考えられる要因を抽出し、ロジスティック回帰分析を基にして、シュートストップの結果に影響を与える主要因を明らかにし、シュートストップ失敗確率を予測する回帰式を構築する。これにより、シュートストップ難易度を失敗確率として定量化する方法を開発することを目的とした。

2. 方法

2.1 標本

標本は、2010 FIFA ワールドカップ南アフリカ大会全 64 試合における、GK 以外の選手がブロックした等の理由で、GK にシュートストップの機会が無かったものを除いた、被枠内シュート計 551 本（シュートストップ成功 403 本、シュートストップ失敗 148 本）とし

た。標本とした各被枠内シュートは、それぞれ独立であると仮定し統計処理を行った。

2.2 測定方法

衛星中継により放送された試合を録画し、再生して測定した。鈴木ほか（2001）、鈴木・西嶋（2002）の測定方法に準拠し映像をゲーム局面ごとに一時停止させ、パフォーマンスを測定した。映像からのゲームパフォーマンス測定の誤差を最小限にするために、広くゲーム分析に利用されてきた手法である notational analysis（Hughes, 2003）で使用されている競技場縮図を適用した。Grehaigine et al.（1997）を参考に、競技場縮図には 1m²の格子が描かれており、これにより選手の位置情報を布置する際の測定精度を確保できる（付録 1）。

2.3 測定項目

測定項目の設定には先ず、先行研究（大橋ほか, 1997；ウェルツシュ, 2005；加藤, 1992；ヒューズ, 1996；ブレイ, 2006；Richard and Charles, 1997；松倉・浅井, 2009）からシュートストップの結果に影響を及ぼすと考えられる要因を抽出し、次に、現場でのサッカー指導経験を有し、研究活動に従事している 3 名の専門家によって要因の追加と測定項目の詳細検討を行った。更に、別の 2 名の専門家による最終的な確認を行い、測定項目の妥当性を高め設定した。以下に、各要因について概説する。

① シュートに至るまでの攻撃

どのような攻撃でシュートに至ったのか、7 種類の攻撃に分類した。攻撃の分類基準は、次の通りであった。(a)クロス：図 2-1 に示した網掛けのエリアにいる出し手からのパスを、シュート者がペナルティエリア内で受け、3 タッチ以内にシュートした場合、(b)スルーパス：図 2-2 に示したように、守備側最終ラインの裏のスペースでシュート者がパスを受け、3 タッチ以内にシュートした場合、(c)FK・CKからのパス：フリーキック及びコーナーキ

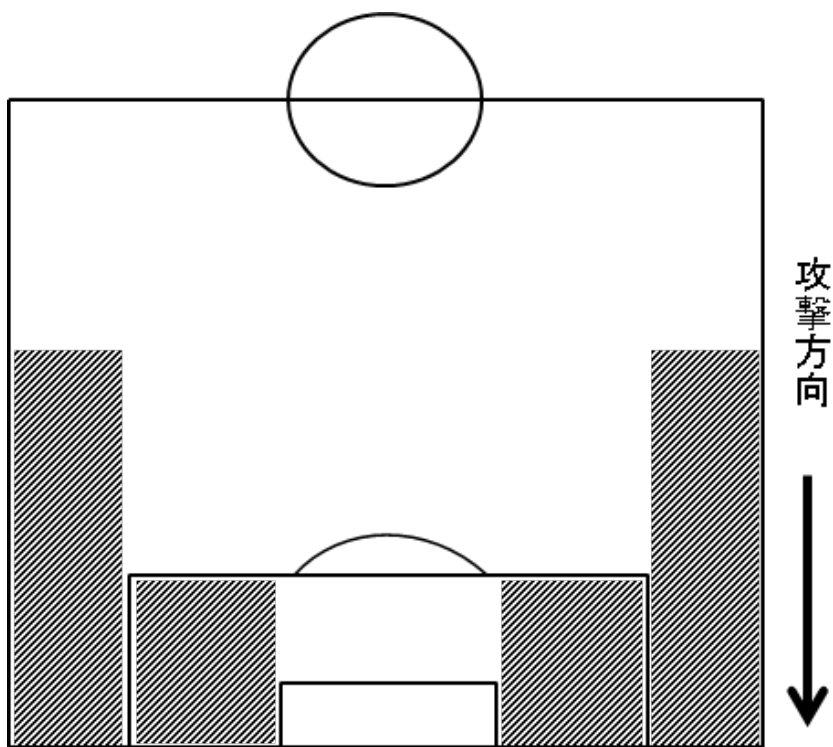


図 2-1 ①シュートに至るまでの攻撃, クロス

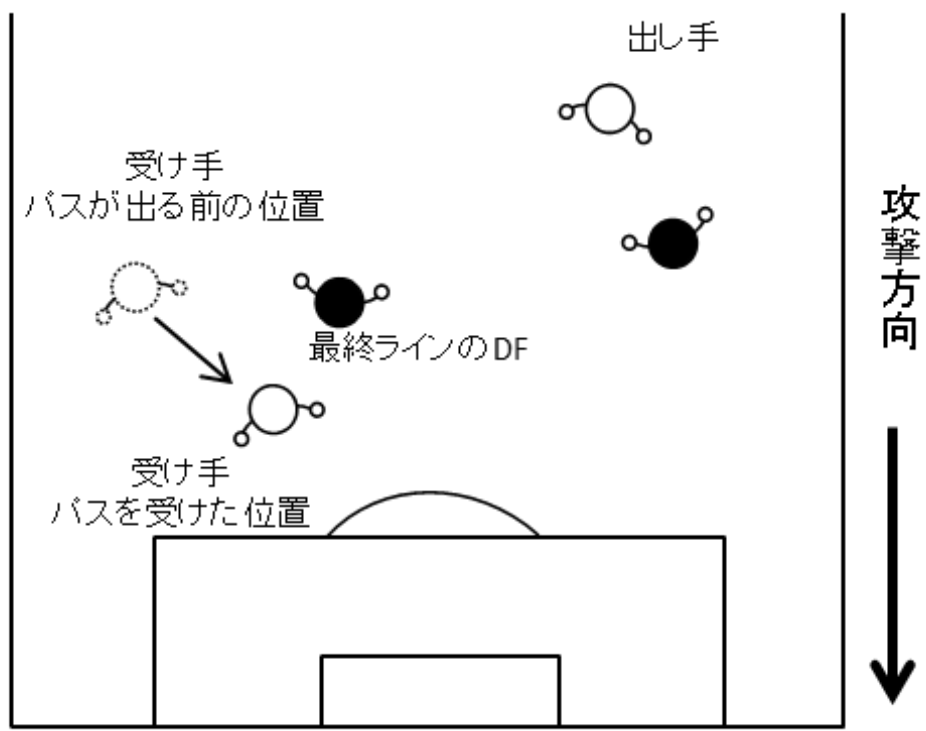


図 2-2 ①シュートに至るまでの攻撃, スルーパス

ックから送られたパスによってシュート者がボールを受け、3タッチ以内にシュートを打った場合、(d)その他パス：スルーパス、クロス、FK・CKからのパスに当てはまらない仲間からのパスによってシュート者がボールを受け、3タッチ以内にシュートを打った場合、(e)ドリブル：守備チームの選手をシュート者がドリブルで抜こうと試みてシュートを打った場合、またはシュート者が4タッチ以上してシュートを打った場合、(f)ボールカット：こぼれ球、パスカット、またはボールが他の選手やゴールポスト等に当り跳ね返ってきた場合等、味方選手の意図を感じることが出来ないパス、クリア等を獲得して3タッチ以内でシュートを打った場合、(g)直接セットプレー：ペナルティキックやフリーキック、コーナーキックのシュートが直接ゴールに入った場合、またGKが止めた場合。

②シュートコース守備

ボールと両ゴールポストを結んだ線分で形成される三角形の範囲内における、守備チーム選手の有無（図 2-3）。

③シュート者守備 前方の DF

ヒューズ（1996）の「5m から 10m 離れた位置で選手にプレッシャーをかけることは不可能である」を参考に、本研究では、シュート者の 5m 以内にいる守備チーム選手の状況によって、シュート者に対する守備を測定した（図 2-4）。②シュートコース守備と同様の範囲（ボールから両ゴールポストを結んだ線分で形成される三角形の範囲）内、かつシュート者から 5m 以内の守備チーム選手の有無。なお、③シュート者守備 前方の DF が有の場合、②シュートコース守備も有となる。

④シュート者守備 側方・後方の DF

ボールから両ゴールポストを結んだ線分で形成される三角形の範囲外、かつシュート者から 5m 以内の守備チーム選手の有無。

⑤シュート者守備 DF の接触

シュート時点においてシュート者に密着した守備チーム選手の有無。

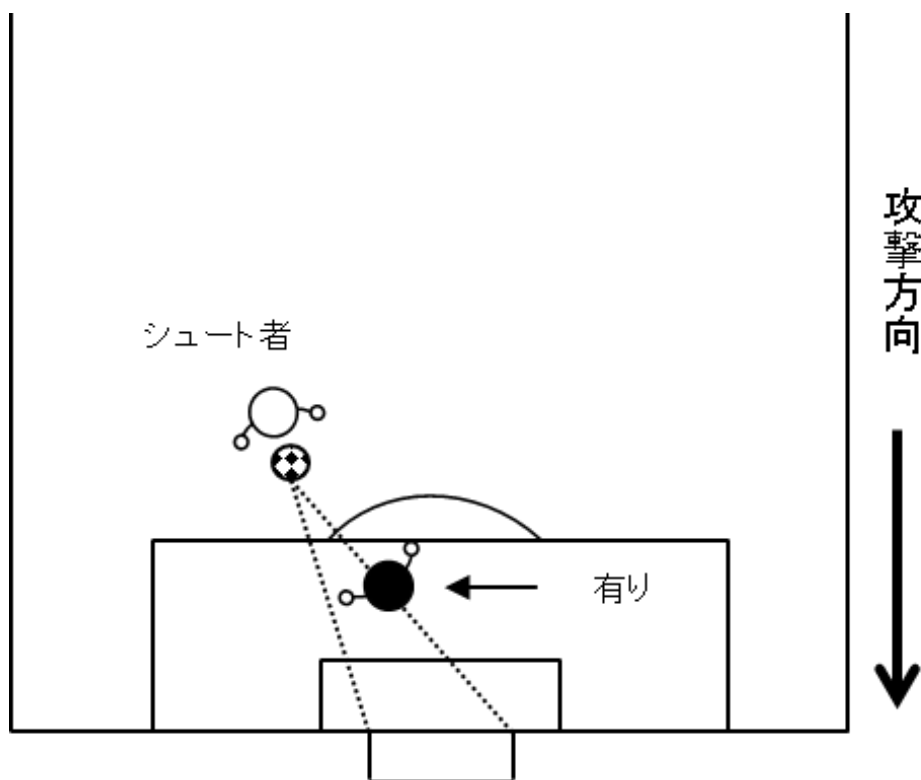


図 2-3 ②シュートコース守備 有無

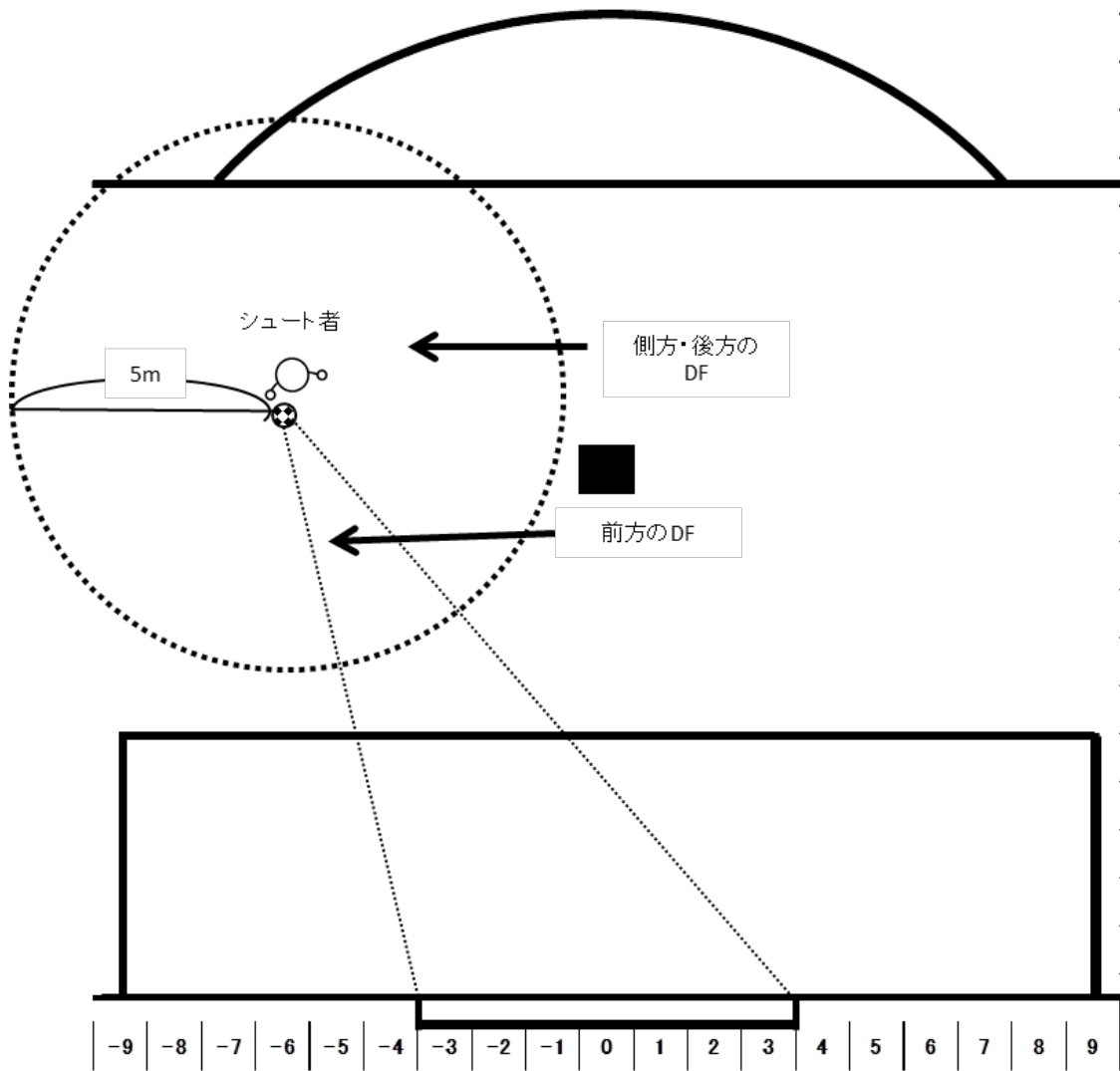


図 2-4 ③④シュート者守備 有無

⑥シュートまでのタッチ数

シュート者がボールを獲得してから、シュートまでのタッチ数を計測した。1 タッチ、2 タッチ、3 タッチ以上、直接セットプレーと分類した。

⑦ボール保持時間

シュート者がボールを獲得してから、シュートして足から離れるまでの時間を、映像のフレーム数から計測した。

⑧シュート部位

シュートを打った身体部位について判定した。シュート部位の分類は、(a)足、(b)頭とした。

⑨シュート位置距離

シュート位置距離は、ゴールの中心を原点 (0m) とし、シュート者がシュートを打った際のボールの位置を記録し、2 点間の距離を三平方の定理を用い算出した (図 2-5)。

⑩シュート位置角度

シュート位置角度は、シュートを打った地点、シュートを打った地点に近い側のゴールポスト、シュートを打った地点からゴールラインに対して垂直に直線を引き交わった点を頂点として線で結んだ際に出来る角の角度を、三平方の定理を用い算出した。シュートを打った際のボールの位置が両ポストの延長線間であった場合は、シュート位置角度を 90 度とした (図 2-6)。なお、ゴールの中心からゴールポストまでの距離は 3.7m とした。記録は 1 度単位とする。

⑪シュート種類

シュートの種類に関する分類は、次の通りであった。(a)グラウンダー：シュート者がシュートした後、ボールがゴールラインを越える前、あるいはゴールポスト、GK に当る前に 2 バウンド以上したシュート、もしくは 1 度も膝の高さを越えなかったシュート、(b)ループ：GK を放物線状の軌道で越えたシュート、(c)ライナー：グラウンダー、ループに当てはまらないシュート。

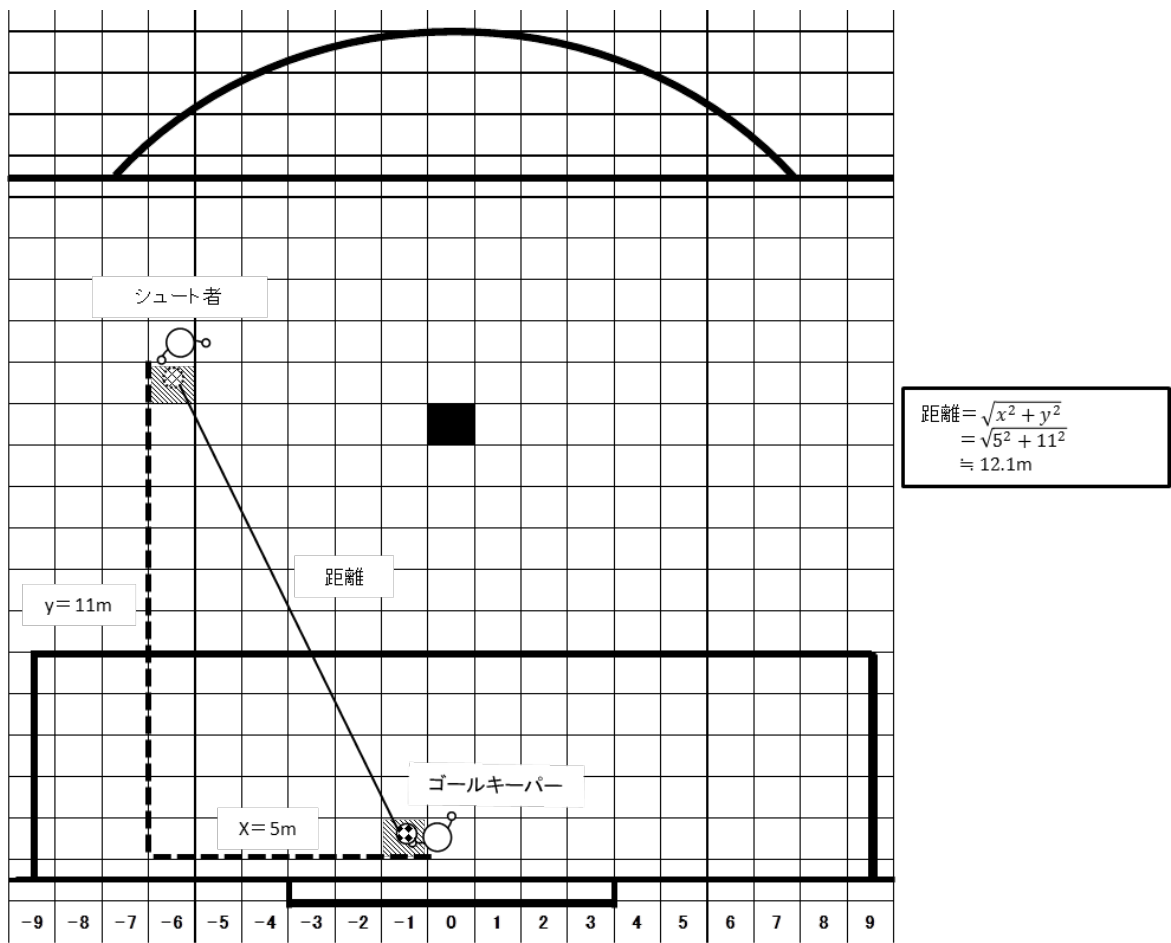


図 2-5 ⑨シュート位置距離 算出方法例 (各格子は 1m²)

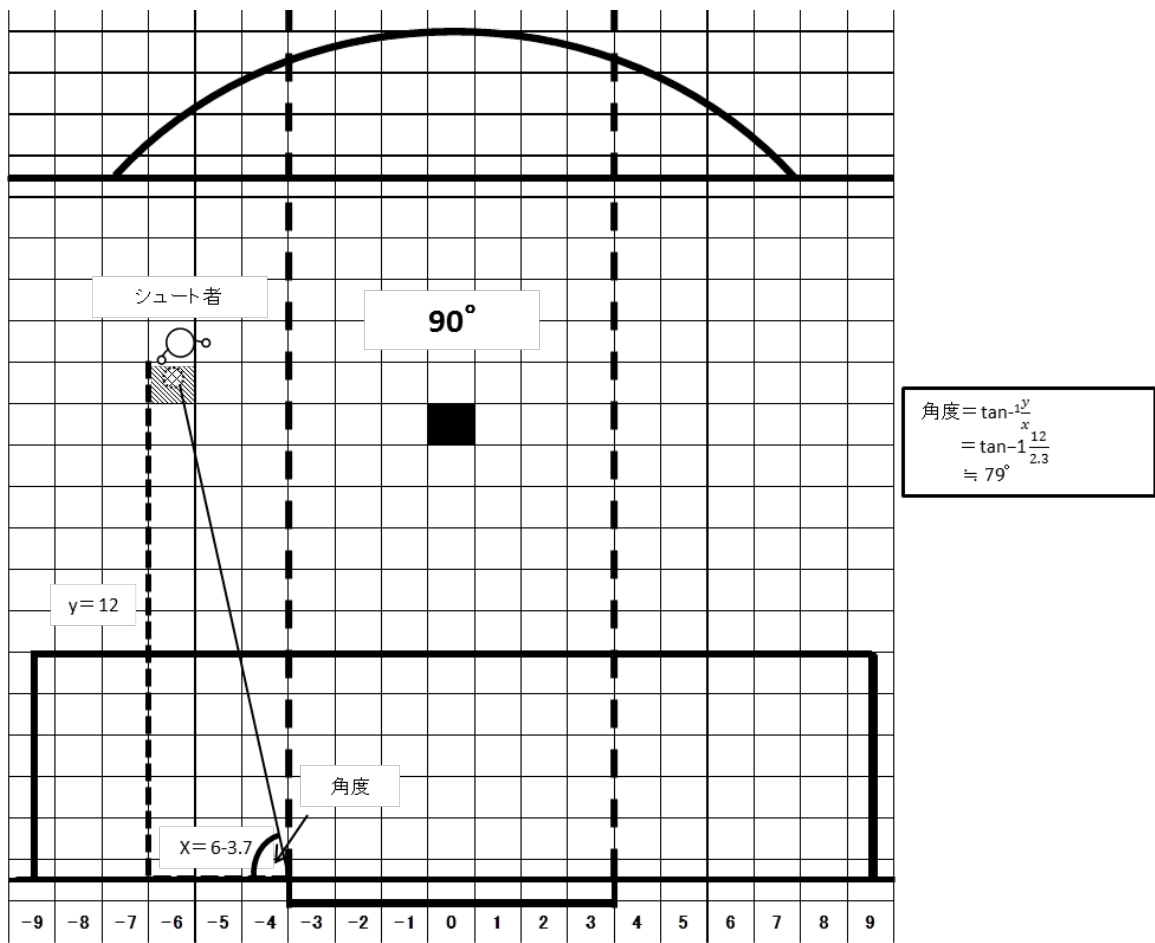


図 2-6 ⑩シュート位置角度 算出方法例 (各格子は 1m^2)

⑫他の選手による軌道の変化

シュート者がシュートを打ってから、ボールがゴール、もしくは GK に到達するまでの、他の選手によるシュート軌道の変化の有無。

⑬シュート到達時間

シュート者がシュートを打ってから、ボールがゴールに到達するまでの時間を計測した。GK がボールに触れずゴールしたシュートについては、シュート者がシュートを打ってからボールがゴールラインを完全に通過するまでの時間を、映像のフレーム数から計測した (図 2-7)。GK がシュートを止めた場合や、シュートに触った場合については、まず、シュート者がシュートをしてからボールに GK が触るまでの時間を映像のフレーム数から計測。次に、シュート者がシュートを打った際のボールの位置と GK がシュートストップした際のボールの位置を記録し、2 点間の距離を三平方の定理を用い算出 (図 2-5)。時間と距離を用いてボールの平均速度を算出した。さらに、シュート者がシュートを打った際のボールの位置からゴールまでの距離を三平方の定理を用い算出。算出されたボールの平均速度とシュート者からゴールまでの距離から、GK がボールに触らなかったと仮定した場合に、シュートされたボールがゴールに到達するまでの時間を算出した。記録は 0.01 秒単位とした。

⑭シュートコース横

シュート者がシュートした位置とその際の GK の位置とを結んだ線分に対して、横方向どちらにシュートが打たれたのかについて判定した。シュートコース横の分類は、(a)ニア：GK の位置から見て、シュート者に近い方向に打たれたシュート、(b)ファー：GK の位置から見て、シュート者に遠い方向に打たれたシュートとした。

⑮シュートコース高さ

ゴールの高さを基準に 3 等分し、最も低い範囲から (a)低、(b)中、(c)高とした。

⑯シュートコース距離

ゴールの中心からシュートされたボールがゴールラインを完全に越えた際のボールの中心までの距離を算出した。GK がボールに触れずゴールしたシュートについては、ボールが

未到達

未到達

到達

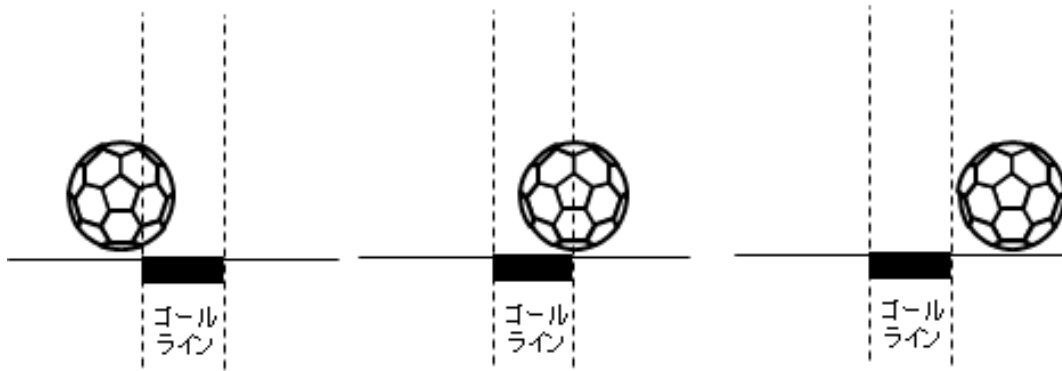


図 2-7 シュート到達

ラインを完全に越える際にボールの中心があった位置をゴール縮図を用いて記録し、ゴールの中心からの距離を三平方の定理によって算出した (図 2-8). ゴール縮図には 0.1m^2 の格子が描かれている. GK がシュートを止めた場合や, シュートに触った場合については, GK がボールに触れなかった場合, ボールがゴールラインを越える際にボールが通ると予測される位置を記録し, ゴールの中心からの距離を三平方の定理によって算出した. 記録は 0.1m 単位とする.

⑰シュートストップの成否

シュートストップの成功・失敗は, GK がシュートされたボールをキャッチ, または弾いてゴールに入るのを防いだ場合に成功, 失点した場合に失敗とした.

2.4 統計解析方法

(1) 客観性

測定項目の客観性の検討を行うために, カテゴリ変数, すなわち①シュートに至るまでの攻撃, ②シュートコース守備, ③シュート者守備 前方の DF, ④シュート者守備 側方・後方の DF, ⑤シュート者守備 DF の接触, ⑥シュートまでのタッチ数, ⑧シュート部位, ⑪シュート種類, ⑫他の選手による軌道の変化, ⑭シュートコース横, ⑮シュートコース高さ, ⑰シュートストップの成否については κ 係数を, 連続変数, すなわち⑦ボール保持時間, ⑨シュート位置距離, ⑩シュート位置角度, ⑬シュート到達時間, ⑯シュートコース距離については級内相関係数を算出した. その際, 10 試合に出現した被枠内シュート, 計 71 本を標本とした. 測定者は 2 名であった. 測定は映像の一時停止及び再生を繰り返す作業であることから, それぞれ個別に測定を行った.

(2) シュートストップ成功群と失敗群の被シュート状況の比較

シュートストップ成功群と失敗群との各項目の比較を, カテゴリ変数 11 項目については χ^2 検定, 連続変数 5 項目については対応のない t 検定を用い, 有意水準 5% として行った.

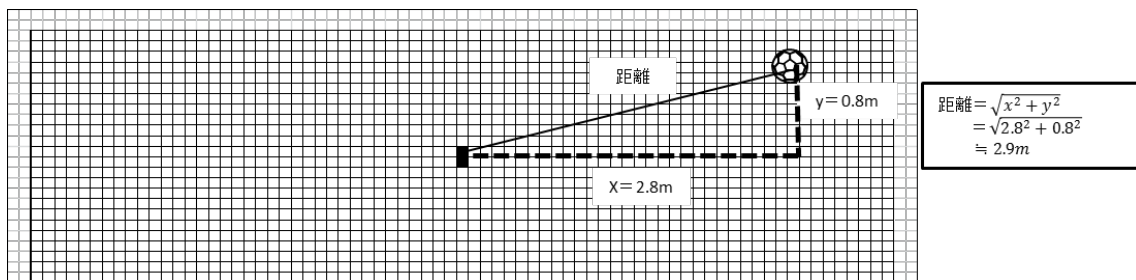


図 2-8 シュートコース距離算出方法（各格子は $0.1m^2$ ）到達

(3) シュートストップの結果に影響を及ぼす被シュート状況の主要因の検討及び回帰式の構築

シュートストップの結果に影響を及ぼす、被シュート状況における主要因を検討するため、シュートストップの成功・失敗を従属変数として、カテゴリ変数 11 項目と連続変数 5 項目を説明変数として、尤度比検定による変数増加法を用いた 2 項ロジスティック回帰分析を行った。ロジスティック回帰分析を用いて変数選択を行う場合、「変数選択の基準としての有意水準には 0.1~0.3 を使うとよい」(内田, 2011) とされていることから、有意水準は 20%とした。更に選択された要因の係数を求め、影響力の大きさをオッズ比として表現し、シュートストップの失敗確率を予測する回帰式を求めた。回帰式の適合度は Hosmer-Lemeshow の適合度検定にて評価し、予測確率の cut off line を 0.5 に設定した分割表を作成して回帰式の感度、特異度、陽性的中率、陰性的中率、正診率を算出して回帰モデルの評価を行った。

なお、全ての統計処理には IBM SPSS Statistics ver. 21 を用いた。

3. 結果

3.1 観察されたデータの客観性

表 2-1 に示されるように、 κ 係数は全ての項目において、0.8 から 1 であり、平均でも 0.91 と高い値を示した。また級内相関係数は全ての項目において 0.89 から 1 であり、平均でも 0.96 と高い値であった。

3.2 シュートストップの成否における被シュート状況

GK がシュートストップに失敗した被枠内シュートは、全体の 26.9% (148/551 本) であった。表 2-2 に、被シュート状況をシュートストップの成否で比較した統計値を示した。ポ

表 2-1 測定項目の客観性

測定項目	κ 係数
①シュートに至るまでの攻撃	0.92
②シュートコース守備	0.88
③シュート者守備 前方の DF	0.85
④シュート者守備 側方・後方の DF	0.80
⑤シュート者守備 DF の接触	0.85
⑥シュートまでのタッチ数	0.98
⑧シュート部位	1.00
⑪シュート種類	0.83
⑫他の選手による軌道の変化	1.00
⑭シュートコース横	0.83
⑮シュートコース高さ	0.95
⑰シュートストップの成否	1.00
測定項目	級内相関係数
⑦ボール保持時間 (秒)	1.00
⑨シュート位置距離 (m)	0.99
⑩シュート位置角度 (度)	0.97
⑬シュート到達時間 (秒)	0.97
⑯シュートコース (m)	0.89

表 2-2 標本の基本的特徴

分析項目	全被シュート (n=551)	シュートストップ成功 (n=403)	シュートストップ失敗 (n=148)	P
シュートに至るまでの攻撃				<0.05
クロス	76 (13.8%)	40 (9.9%)	36 (24.3%)	
スルーパス	71 (12.9%)	51 (12.7%)	20 (13.5%)	
FK&CKからのパス	24 (4.4%)	14 (3.5%)	10 (6.8%)	
その他パス	143 (26.0%)	124 (30.8%)	19 (12.8%)	
ドリブル	108 (19.6%)	94 (23.3%)	14 (9.5%)	
ボールカット	62 (11.3%)	41 (10.2%)	21 (14.2%)	
直接セットプレー	67 (12.2%)	39 (9.7%)	28 (18.9%)	
シュートコース守備				<0.05
有	346 (62.8%)	288 (71.5%)	58 (39.2%)	
無	205 (37.2%)	115 (28.5%)	90 (60.8%)	
シュート者守備 前方のDF				<0.05
有	177 (32.1%)	148 (36.7%)	29 (19.6%)	
無	374 (67.9%)	255 (63.3%)	119 (80.4%)	
シュート者守備 側方・後方のDF				n.s.
有	263 (47.7%)	201 (49.9%)	62 (41.9%)	
無	288 (52.3%)	202 (50.1%)	86 (58.1%)	
シュート者守備 DFの接触				n.s.
有	28 (5.1%)	20 (5.0%)	8 (5.4%)	
無	523 (94.9%)	383 (95.0%)	140 (94.6%)	
シュートまでのタッチ数				<0.05
セットプレー	67 (12.2%)	39 (9.7%)	28 (18.9%)	
ダイレクト	196 (35.6%)	120 (29.8%)	76 (51.4%)	
2タッチ	116 (21.1%)	93 (23.1%)	23 (15.5%)	
3タッチ以上	172 (31.2%)	151 (37.5%)	21 (14.2%)	
ボール保持時間 (秒)	1.2 ± 1.6	1.4 ± 1.7	0.6 ± 1.3	<0.05
シュート部位				<0.05
足	491 (89.1%)	368 (91.3%)	123 (83.1%)	
頭	60 (10.9%)	35 (8.7%)	25 (16.9%)	
シュート位置距離 (m)	19.1 ± 9.0	21.4 ± 8.5	12.8 ± 7.1	<0.05
シュート位置角度 (°)	73.1 ± 18.9	71.0 ± 19.0	78.8 ± 17.6	<0.05
シュート種類				n.s.
グラウンダー	164 (29.8%)	116 (28.8%)	48 (32.4%)	
ライナー	378 (68.6%)	283 (70.2%)	95 (64.2%)	
ループ	9 (1.6%)	4 (1.0%)	5 (3.4%)	
他の選手による軌道の変化				n.s.
有	22 (4.0%)	17 (4.2%)	5 (3.4%)	
無	529 (96.0%)	386 (95.8%)	143 (96.6%)	
シュート到達時間 (秒)	0.9 ± 0.4	1.0 ± 0.4	0.6 ± 0.3	<0.05
シュートコース横				<0.05
ニア	268 (48.6%)	214 (53.1%)	54 (36.5%)	
ファー	283 (51.4%)	189 (46.9%)	94 (63.5%)	
シュートコース高さ				n.s.
低	284 (51.5%)	215 (53.3%)	69 (46.6%)	
中	157 (28.5%)	111 (27.5%)	46 (31.1%)	
高	110 (20.0%)	77 (19.1%)	33 (22.3%)	
シュートコース距離 (m)	2.0 ± 0.9	1.9 ± 0.8	2.3 ± 0.9	<0.05

ール保持時間, シュート位置距離, シュート到達時間はシュートストップ失敗の場合において, 成功の場合より有意に低い値を示し ($p<0.05$), シュート位置角度, シュートコースは, シュートストップ失敗の場合において, 成功の場合より有意に高い値を示した ($p<0.05$).

また, シュートストップ成功の場合と失敗の場合の間でシュートに至るまでの攻撃, シュートコース守備, シュート者守備 前方の DF, シュートまでのタッチ数, シュート部位, シュートコース横の比率に有意差がみられたが ($p<0.05$), シュート者守備 側方・後方の DF, シュート者守備 DF の接触, シュート種類, 他の選手による軌道の変化, シュートコース高さの比率に有意差はみられなかった.

3.3 2 項ロジスティック回帰分析によるシュートストップの結果に影響を及ぼす被シュート状況における主な要因と回帰式

2 項ロジスティック回帰分析の最終結果を表 2-3 に示した. シュートストップの成否に有意に影響を与える要因は, シュート到達時間, シュート者守備 前方の DF, シュート者守備 側方・後方の DF, シュート部位, シュート種類, シュートコース横, シュートコース高さ, 他の選手による軌道の変化, シュート位置角度, シュートコース距離であった.

シュート到達時間は, オッズ比が 0.005 であり, 1 秒増加するごとに 0.005 倍シュートを止めるのが難しくなることを示している. 同様に, シュート者守備 前方の DF が有りの場合は, 無しの場合に比べて 0.297 倍, シュート者守備 側方・後方の DF が有りの場合は, 無しの場合に比べて 0.565 倍, シュート部位が頭である場合は, 足である場合に比べて 2.422 倍, シュート種類がループである場合は, ライナーに比べて 58.659 倍, グランダーである場合は, ライナーに比べて 1.736 倍, シュートコース横がファーである場合は, ニアに比べて 3.794 倍, シュートコース高さが高である場合, 低に比べて 2.634 倍, 中である場合, 低に比べて 2.035 倍, 他の選手による軌道の変化が有りの場合は, 無しの場合に比べて 17.097 倍, シュート位置角度は, 1 度増えるごとに 1.030 倍, シュートコース距離は, 1m 増加するごとに 2.757 倍シュートストップが失敗しやすくなることを示している.

表 2-3 ロジスティック回帰分析最終結果

	B	SD	Wald	P	Odds ratio
(X ₁) シュート到達時間 (秒)	-5.204	0.558	86.911	0.000	0.005
(X ₂) シュート者守備 前方の DF 有	-1.215	0.320	14.431	0.000	0.297
(X ₃) シュート者守備 側方・後方の DF 有	-0.570	0.264	4.674	0.031	0.565
(X ₄) シュート部位 頭	0.885	0.413	4.596	0.032	2.422
(X ₅) シュート種類 グラウンダー	0.551	0.409	1.817	0.178	1.736
(X ₆) シュート種類 ループ	4.072	0.968	17.690	0.000	58.659
(X ₇) シュートコース横 ファー	1.333	0.293	20.757	0.000	3.794
(X ₈) シュートコース高さ 中	0.711	0.396	3.226	0.072	2.035
(X ₉) シュートコース高さ 高	0.968	0.431	5.051	0.025	2.634
(X ₁₀) 他の選手による軌道の変化 有	2.839	0.696	16.634	0.000	17.097
(X ₁₁) シュート位置角度 (°)	0.029	0.007	15.839	0.000	1.030
(X ₁₂) シュートコース距離 (m)	1.014	0.165	37.657	0.000	2.757
定数	-2.245	0.826	7.393	0.007	0.106

上記要因を用いて、失敗確率を予測する回帰式は（regression formula 1）は以下のようになった。

$$P_1 = 1/(1 + \exp(-(-2.245 - 5.204x_1 - 1.215x_2 - 0.570x_3 + 0.885x_4 + 0.551x_5 + 4.072x_6 + 1.333x_7 + 0.711x_8 + 0.968x_9 + 2.839x_{10} + 0.029x_{11} + 1.014x_{12})))$$

ここで x_1 :①シュート到達時間 (秒), x_2 :②シュート者守備 前方の DF 有 (1) 無 (0), x_3 :③シュート者守備 側方・後方の DF 有 (1) 無 (0), x_4 :④シュート部位 頭 (1) 足 (0), x_5 :⑤シュート種類 グラウンダー (1) それ以外 (0), x_6 :⑤シュート種類 ループ (1) それ以外 (0), x_7 :⑥シュートコース横 ファー (1) ニア (0), x_8 :⑦シュートコース高さ 中 (1) それ以外 (0), x_9 :⑦シュートコース高さ 高 (1) それ以外 (0), x_{10} :⑧他の選手による軌道の変化 有 (1) 無 (0), x_{11} :⑨シュート位置角度 (°), x_{12} :⑩シュートコース距離 (m) である。

この回帰モデルの適合度評価を行ったところ、モデル係数のオムニバス検定および Hosmer-Lemeshow の適合検定では、求めたロジスティック回帰モデルは予測に役立ち、適合していることを示した。

回帰式 P1 の cut off 値を 0.5 に設定した分割表を作成したところ、回帰モデルは失敗予測において感度 65.5%, 特異度 91.8%, 陽性的中率 74.6%, 陰性的中率 87.9%, 正診率 84.8% であった (表 2-4)。

4. 考察

データの収集には記述的ゲームパフォーマンス分析を用いたが、観察によりゲームパフォーマンスを測定する場合、測定者間の信頼性である客観性の検討が必要である (鈴木・西嶋, 2002)。2名の測定者における、 κ 係数は全ての項目において 0.8 以上、また級内相関係

表 2-4 回帰式の妥当性

		予 測	
		失敗	成功
観測	失敗	97	51
	成功	33	370
Cut off=0.5			
感度			: 65.5%
特異度			: 91.8%
陽性的中率			: 74.6%
陰性的中率			: 87.9%
正診率			: 84.8%

数は全ての項目において 0.89 以上の高い値を示し（表 2-1）、用いた分析項目に高い客観性があることが確認された。

回帰式に組み込まれた主な要因における、シュート到達時間は、短ければ短いほどシュートストップの失敗確率が高くなることを示している（表 2-3）。Donders（1969）は、刺激の種類に応じてそれぞれ別の反応を行う場合、刺激から反応までに平均して 0.284 秒掛かると報告している。また松倉・浅井（2009）は、GK がダイビング動作を行う際、方向指示から約 0.3 秒後にボールへの移動が始まることを報告している。つまり、シュートからゴール到達までの時間が 0.28～0.3 秒より短い場合、GK は動作開始前である可能性が高く、0.28～0.3 秒より長い場合も時間が短ければ短いほど、GK がシュートコースに辿り着かない可能性が高くなり、シュートストップの失敗確率が高くなると考えられる。

シュートコース距離は、ゴール中心から長ければ長いほどシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。一般的に GK は、ゴールの中央とボールを結んだ線上、かつシュートが頭上を越されない程度に前に出たポジショニングが良いとされており（加藤，1992）、このポジショニングを意識してプレーしている。つまり、シュートコース距離が、ゴールの中心から長ければ長いほど、GK がシュートコースに移動するまでの時間が長くなるため、シュートストップの失敗確率が高くなると考えられる。

シュートコース横は、ニアサイドへのシュートよりファーサイドへのシュートがシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。前述したように、一般的に GK は、ゴールの中央とボールを結んだ線上、かつシュートが頭上を越されない程度に前に出たポジショニング（加藤，1992）を意識してプレーしている。つまり、ゴールを左右均等に分割する中心線を対称軸に、左右線対称の位置へシュートを打たれた場合、シュートコース距離は同じであっても、GK からボールへの距離はニアサイドへのシュートに比べ、ファーサイドへのシュートの距離が長くなる。そのため、GK がシュートコースに移動するまでの時間も長くなるため、シュートストップの失敗確率が高くなると考えられる。

シュートコース高さは、低、中、高の順でシュートストップの失敗確率が高くなることを

示している。松倉・浅井（2009）は近距離のダイビングでは中、高、低の順に、遠距離のダイビングでは中、低、高の順に到達時間が長くなるため、シュートストップが難しくなると報告しており、本研究の結果と一致しなかった。理由として、本研究ではシュートコース高さを、シュートされたボールがゴールラインを越えた際の位置によって分類したためであると考えられる。前述したように、一般的に GK はゴールライン上にポジショニングしプレーしているわけではなく、シュートが頭上を越されない程度に前に出てポジショニングしプレーしている。つまり、本研究のシュートコース高さは、シュートされたボールが GK を通過した際の高さではない。ゴールの高さは 2.44m であるため、シュートされたボールがゴールラインを超える際、高さが 2.44m より高くなることはない。しかし、シュートが GK を通過する際の高さは、2.44m 以上の可能性がある。そのため GK は、高いシュートコースのボールに対して、シュートコースに入ることが難しく、低、中、高の順で、シュートストップの失敗確率が高くなると考えられる。

シュート者守備は、シュート者の前方に DF がいなかった場合はいた場合に比べて、シュート者の側方・後方に DF がいなかった場合はいた場合に比べて、シュートストップの失敗確率が高くなることを示している。加藤（1992）、ウェルツシュ（2005）は GK のコーチングの重要性を指摘している。シュート者に対して DF がいた場合、GK はコーチングで DF を動かし、シュートコースを限定することで、シュートを打たれる前にシュートコースを予測し、シュートストップの成功率を高めることが可能になる。そのため、シュート者に対して DF がいない場合はいた場合に比べて、シュートストップの失敗確率が高くなると考えられる。

シュート部位は、足でのシュートより頭でのシュートがシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。頭でのシュートは足でのシュートに比べ、GK がシュートコースを予測することが難しく、また、頭でのシュートのほとんどが 1 タッチシュートであるため、シュートへの反応が遅くなり、シュートストップの失敗確率が高くなると考えられる。

シュート種類は、ライナー、グラウンダー、ループの順でシュートストップの失敗確率が

高くなることを示している。グラウンダーのシュートはライナーのシュートに比べ、GKが構える手の位置からシュートコースまでの距離が遠く、手で防ぎにくいため、シュートストップの失敗確率が高くなると考えられる。ループシュートは、GKの頭上を放物線状に越えていくシュートであるため、ライナーや、グラウンダーのシュートに比べ手で防ぎにくく、またシュートストッププレーの方向も、後方であることが多く、特殊なため、最もシュートストップの失敗確率が高くなると考えられる。

他の選手による軌道の変化の有無については、軌道の変化があった場合は、無い場合に比べてシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。GKはシュートに反応、もしくはシュートを予測し、シュートストップを開始する。そのため、シュートストップを開始した後、シュートコースが変化しても、シュートストッププレーの方向を変えることは非常に難しく、シュートストップの失敗確率は高くなると考えられる。

シュート位置角度は、角度が大きければ大きいほどシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。角度が大きくなると同じシュートコース距離であっても、GKがシュートコースに入るために移動しなければならない距離は長くなる。そのためGKがシュートコースに入るのが難しくなるため、シュートストップの失敗確率が高くなると考えられる。

以上のことを踏まえ、本研究では、シュートストップの結果に影響を及ぼす被シュート状況の主要因のオッズ比の組み合わせから、シュートストップの失敗確率を予測する回帰式を構築した(式1)。

本研究で示されるロジスティック回帰式(10要因構成)は、感度91.8%、特異度65.5%、正診率84.8%となっており、個々のシュートストップの失敗確率を高い精度で予測することが出来ると考えられる。今回の分析において示されたいずれの主要因も、比較的簡便に、現場レベルで取得できる情報であると思われる。また、近年の動画情報処理技術では、選手の位置情報を自動的に取得することも可能であり(瀧・長谷川, 1998)、これらの技術と結合することにより、1プレーのシュートストップの評価を、より迅速に客観的指標で表す

ことができると推測される。

構築された回帰式を用い、今回の標本である 2010 FIFA ワールドカップのシュートストップ難易度を定量化したところ、GK がシュートストップに失敗した、最もシュートストップの難易度が高い被シュートは失敗確率 99.0%、最もシュートストップの難易度が低い被シュートは失敗確率 0.00%であった。1本のシュートで1点しか入らないサッカーでは、失点確率と失点期待値は同じ数値になるため、失敗確率 99.0%の被シュートは、失点期待値 0.99 点、失敗確率 0.00%の被シュートは、失点期待値 0.00 点となる。そのため、失点期待値 0.99 点の被シュートで失点した場合、GK 個人の責任は 0.01 点、失点期待値 0.00 点の被シュートで失点した場合、GK 個人の責任は 1.00 点と推測することも一つの評価方法である。このようにチームにおいては 1 失点であっても、GK 個人の責任が何点であるのかを、数量的指標として示すことが可能になる。更に、本回帰式による期待値（確率）は 1 プレーのみの評価に留まらず、1 試合、1 シーズンの GK の失点期待値を算出し積算することで、長期的な失点期待値を示すことが可能になる。その失点期待値で実際の失点を除することにより、GK の失点への貢献度を数量的指標で示すことが可能になり、選手の選抜、スカウティング等に有用な、新たな GK 評価指標として活用できると考えられる。

本研究の分析項目は、先行研究の分析と専門家の協議によって十分に検討し設定した。しかし、複雑なサッカーの競技特性上、今回の分析項目で取り上げていない要因が、わずかであれシュートストップの結果に影響を及ぼす可能性がある。また今後、競技規則等が大きく変化した場合、再度回帰式モデルを開発し直す必要性も出てくると考えられる。

5. 要約

本研究ではシュートストップの結果に影響を及ぼす被シュート状況に関連した主要因を明らかにするとともに、シュートストップの失敗確率を予測する回帰式を構築し、シュートストップの難易度を定量化する方法を開発することを目的とし、以下のような結論を得た。

シュートストップの結果に影響を及ぼす主な要因はシュート到達時間，シュート者守備前方の DF の有無，シュート者守備 側方・後方の DF の有無，シュート部位，シュート種類，シュートコース横，シュートコース高さ，他の選手による軌道の変化の有無，シュート位置角度，シュートコース距離の 10 要因であった．また，主要因毎のオッズ比を組み合わせ，シュートストップの失敗確率を予測するロジスティック回帰式を明らかにした．回帰式は，シュートストップの失敗確率を予測し，GK のパフォーマンスを評価する上で，高精度（84.8%）かつ，有用な式であると考えられた．この回帰式を活用しシュートストップ難易度を定量化することで，現場に有用な新たな GK 評価指標を開発していくことが，今後の課題として挙げられる．

第3章 研究課題Ⅱシュートストップの失敗確率を予測する回帰式の検証

1. 目的

前章の研究Ⅰでは、2010 FIFA ワールドカップ南アフリカ大会の試合を分析し、ロジスティック回帰分析を用いて、GK のシュートストップの失敗確率を予測する回帰式(以下「シュートストップ失敗確率予測回帰式」と略す)を構築した。この回帰式は高精度でシュートストップの難易度を定量化することを可能にした。しかし、このシュートストップ失敗確率予測回帰式は、2つ検証すべき点がある。1つは回帰式によって算出されたシュートストップ失敗確率の信頼性である。分析項目に高い測定者間信頼異性(客観性)があることは確認されているが、その分析項目を回帰式に代入して算出された失敗確率そのものについては検討されていない。2つ目は外的妥当性の問題である。ロジスティック回帰式において Hosmer et al. (2013) は、予測式を構築し一般化するためには、①モデル作成、②モデル評価、③内的妥当性の検証、④外的妥当性の検証が必要であるとしている。前章では、①モデル作成、②モデル評価、③内的妥当性の検証は行われているものの、④外的妥当性の検証は行っていない。

そこで本章では、「シュートストップ失敗確率予測回帰式」について、算出される失敗確率の測定者間信頼性、および回帰式の外的妥当性を検証し、一般化の可能性を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 標本

2014 FIFA ワールドカップブラジル大会に出場した 32 チーム、全 64 試合における、GK 以外の選手がブロックした等の理由で GK にシュートストップの機会が無かったものを除

いた被枠内シュート，計 587 本であった。標本とした各攻撃は，それぞれ独立であると仮定し統計処理を行った。

2.2 測定方法

研究課題 I にて明記した。

2.3 測定項目

測定項目は，研究課題 I でシュートストップの結果に影響を及ぼす主な要因として，「シュートストップ失敗確率予測回帰式」に組み込まれた，シュート到達時間，シュート者守備前方の DF の有無，シュート者守備 側方・後方の DF の有無，シュート部位，シュート種類，シュートコース横，シュートコース高さ，他の選手による軌道の変化の有無，シュート位置角度，シュートコース距離の 10 要因および，シュートストップの成否の 11 項目である。

2.4 シュートストップ失敗確率の算出

ゲームパフォーマンス分析によって測定された被枠内シュート状況を，研究課題 I で構築された以下の回帰式に代入し，シュートストップ失敗確率を算出した。

$$P_1 = 1/(1 + \exp(-(-2.245 - 5.204x_1 - 1.215x_2 - 0.570x_3 + 0.885x_4 + 0.551x_5 + 4.072x_6 + 1.333x_7 + 0.711x_8 + 0.968x_9 + 2.839x_{10} + 0.029x_{11} + 1.014x_{12})))$$

ここで x_1 :①シュート到達時間(秒)， x_2 :②シュート者守備 前方の DF 有(1)無(0)， x_3 :③シュート者守備 側方・後方の DF 有(1)無(0)， x_4 :④シュート部位 頭(1)足(0)， x_5 :⑤シュート種類 グラウンダー(1)それ以外(0)， x_6 :⑥シュート種類 ループ(1)それ以外(0)， x_7 :⑦シュートコース横 ファー(1)ニア(0)， x_8 :⑧シュートコース高さ 中(1)それ以外(0)， x_9 :⑨シュートコース高さ 高(1)それ以外(0)， x_{10} :⑩他の選手による軌道の変化 有(1)無(0)， x_{11} :⑪シュート位置角度(°)， x_{12} :⑫シ

シュートコース距離 (m) である。なお算出された値は、小数点以下 3 桁目で四捨五入した。

2.5 統計解析方法

(1) シュートストップ成功群と失敗群の被シュート状況及びシュートストップ失敗確率の比較

シュートストップ成功群と失敗群との各項目の比較を、カテゴリ変数、すなわち②シュート者守備 前方の DF の有無, ③シュート者守備 側方・後方の DF の有無, ④シュート部位, ⑤シュート種類, ⑥シュートコース横, ⑦シュートコース高さ, ⑧他の選手による軌道の変化の有無, ⑩シュートストップの成否については χ^2 検定, 連続変数, すなわち①シュート到達時間, ⑨シュート位置角度, ⑩シュートコース距離, 算出されたシュートストップ失敗確率については対応のない t 検定を用い, 有意水準 5%として行った。

(2) 信頼性

測定項目および算出された失敗確率の評定者間信頼性 (客観性) の検討を行うために, カテゴリ変数 8 項目については κ 係数を, 連続変数 4 項目については級内相関係数を算出した。その際, 10 試合に出現した被枠内シュート, 計 76 本を標本とした。シュートストップ失敗確率予測回帰式は, 指導現場での活用を考慮しているため, 分析者はサッカー競技のプレー歴及び指導経験があり, サッカーの科学研究に従事している者 2 名であった。測定は映像の一時停止及び再生を繰り返す作業であることから, それぞれ個別に測定を行った。

(3) 妥当性

シュートストップ失敗確率を予測する回帰式の外的妥当性を評価するために, 予測確率の cut off line を 0.5 に設定した分割表を作成して回帰式の感度, 特異度, 陽性的中率, 陰性的中率, 正診率を算出した。さらに, ROC 曲線を作成し, ROC 曲線下面積 (AUC) を算出した。

なお, 全ての統計処理には IBM SPSS Statistics ver. 24 を用いた。

3. 結果

3.1 シュートストップの成否における被シュート状況及びシュートストップ失敗確率

GKがシュートストップに失敗した被枠内シュートは、全体の27.4% (161/587本)であった。表3-1に、被シュート状況及びシュートストップ失敗確率をシュートストップの成否で比較した統計値を示した。被シュート状況の比較では、シュート到達時間はシュートストップ失敗の場合において、成功の場合より有意に低い値を示し ($p<0.05$)、シュート位置角度、シュートコース距離は、シュートストップ失敗の場合において、成功の場合より有意に高い値を示した ($p<0.05$)。また、シュートストップ成功の場合と失敗の場合の間でシュート者守備 前方の DF、シュート部位、シュートコース高さの比率に有意差がみられたが ($p<0.05$)、シュート者守備 側方・後方の DF、シュート種類、シュートコース横、他の選手による軌道の変化の比率に有意差はみられなかった。被シュート状況をシュートストップ予測回帰式に代入し算出されたシュートストップ失敗確率は、全被枠内シュート平均0.32であった。またシュートストップ失敗の場合平均0.62、シュートストップ成功の場合平均0.20であり、シュートストップ失敗の場合において、成功の場合より有意に高い値を示した ($p<0.05$)。

3.2 シュートストップ失敗確率の信頼性

表3-2に示されるように、 κ 係数はシュート者守備 前方の DF0.95、シュート者守備 側方・後方の DF0.97、シュート部位 1.00、シュート種類 0.94、シュートコース横 0.92、シュートコース高さ 0.91、他の選手による軌道の変化 0.85、シュートストップの成否 1.00と、全てのカテゴリ変数測定項目において0.85から1.00であり、平均でも0.94と高い値を示した。また級内相関係数はシュート到達時間 0.97、シュート位置角度 0.98、シュートコース距離 0.89と、全ての連続変数測定項目において0.89から0.98であり、平均でも0.95と高い値を示した。そして、それらの測定項目をシュートストップ失敗確率予測回帰式に代

表 3-1 標本の基本的特徴

分析項目	全被枠内シュート (n=587)	シュートストップ成功 (n=426)	シュートストップ失敗 (n=161)	P
シュート到達時間 (秒)	0.83 ± 0.40	0.92 ± 0.40	0.56 ± 0.26	<0.05
シュート者守備 前方のDF				<0.05
有	186(31.7%)	149 (35.0%)	37(23.0%)	
無	401(68.3%)	277 (65.0%)	124 (77.0%)	
シュート者守備 側方・後方のDF				n.s.
有	392(66.8%)	284(66.7%)	108(67.1%)	
無	195(33.2%)	142(33.3%)	53(32.9%)	
シュート部位				<0.05
足	505(86.0%)	375(88.0%)	130(80.7%)	
頭	82(14.0%)	51(12.0%)	31(19.3%)	
シュート種類				n.s.
グラウンダー	168(28.6%)	115(27.0%)	53(32.9%)	
ライナー	401(68.3%)	301(70.7%)	100(62.1%)	
ループ	18(3.1%)	10(2.3%)	8(5.0%)	
シュートコース横				n.s.
ニア	291(49.6%)	211(49.5%)	80(49.7%)	
ファー	296(50.4%)	215(50.5%)	81(50.3%)	
シュートコース高さ				<0.05
低	370(63.0%)	280(65.7%)	90(55.9%)	
中	121(20.6%)	87(20.4%)	34(21.1%)	
高	96(16.4%)	59(13.8%)	37(23.0%)	
他の選手による軌道の変化				n.s.
有	24(4.1%)	18(4.2%)	6(3.7%)	
無	563(95.9%)	408(95.8%)	155(96.3%)	
シュート位置角度 (度)	71 ± 22	69 ± 23	78 ± 18	<0.05
シュートコース (m)	2.2 ± 0.9	2.1 ± 0.9	2.6 ± 0.9	<0.05
シュートストップ失敗確率	0.32 ± 0.30	0.20 ± 0.22	0.62 ± 0.27	<0.05

表 3-2 シュートストップ失敗確率の信頼性

測定項目		r係数
②シュート者守備	前方の DF	0.95
③シュート者守備	側方・後方の DF	0.97
④シュート部位		1.00
⑤シュート種類		0.94
⑥シュートコース横		0.92
⑦シュートコース高さ		0.91
⑧他の選手による軌道の変化有無		0.85
⑪シュートストップの成否		1.00

測定項目	級内相関係数
①シュート到達時間 (秒)	0.97
⑨シュート位置角度 (度)	0.98
⑩シュートコース距離 (m)	0.89
シュートストップ失敗確率	0.91

入して算出されたシュートストップ確率も、級内相関係数 0.91 と高い値であった。

3.3 シュートストップ失敗確率の妥当性

シュートストップ失敗確率予測回帰式 P_1 の cut off 値を 0.5 に設定した分割表を作成したところ、回帰モデルはシュートストップ失敗予測において感度 75.8%、特異度 89.7%、陽性的中率 73.5%、陰性的中率 90.7%、正診率 85.9%であった（表 3-3）。さらに ROC 曲線を作成し、シュートストップ失敗予測の判別度を表す AUC を算出したところ 0.874（95%CI 0.843—0.905）であった（図 3-1）。

4. 考察

標本とした全被枠内シュートは 587 本であり、そのうちの 27.4%、161 本のシュートストップに GK は失敗していた。それに対して、全被枠内シュートのシュートストップ失敗確率は、平均 0.32（32%）であり、シュートストップの失敗割合をほぼ予測していた。またシュートストップの成否でシュートストップ失敗確率を比較した場合、シュートストップ失敗の場合平均 0.62、シュートストップ成功の場合平均 0.20 であり、シュートストップ失敗の場合において、成功の場合より有意に高い値を示したことから、算出された値の妥当性を確認できる。

データの収集には記述的ゲームパフォーマンス分析手法を用いたが、観察によりゲームパフォーマンスを測定する場合、測定者間の信頼性である客観性の検討が必要である（鈴木・西嶋，2002）。そのため本研究において、異なる人物が同一の被シュート状況の測定を行った際、回帰式によって算出されるシュートストップ失敗確率が一致することは非常に重要であると考えられる。2名の測定者における、 κ 係数は全てのカテゴリ変数測定項目において 0.85 以上、平均 0.94、また級内相関係数は全ての連続変数測定項目において 0.89 以上、平均 0.95 と高い値を示し（表 3-1）、前章の研究 I の結果同様、用いた測定項目に高い

表 3-3 回帰式の妥当性

		予 測	
		失敗	成功
観測	失敗	122	39
	成功	44	382
Cut off=0.5			
感度		: 75.8%	
特異度		: 89.7%	
陽性的中率		: 73.5%	
陰性的中率		: 90.7%	
正診率		: 85.9%	

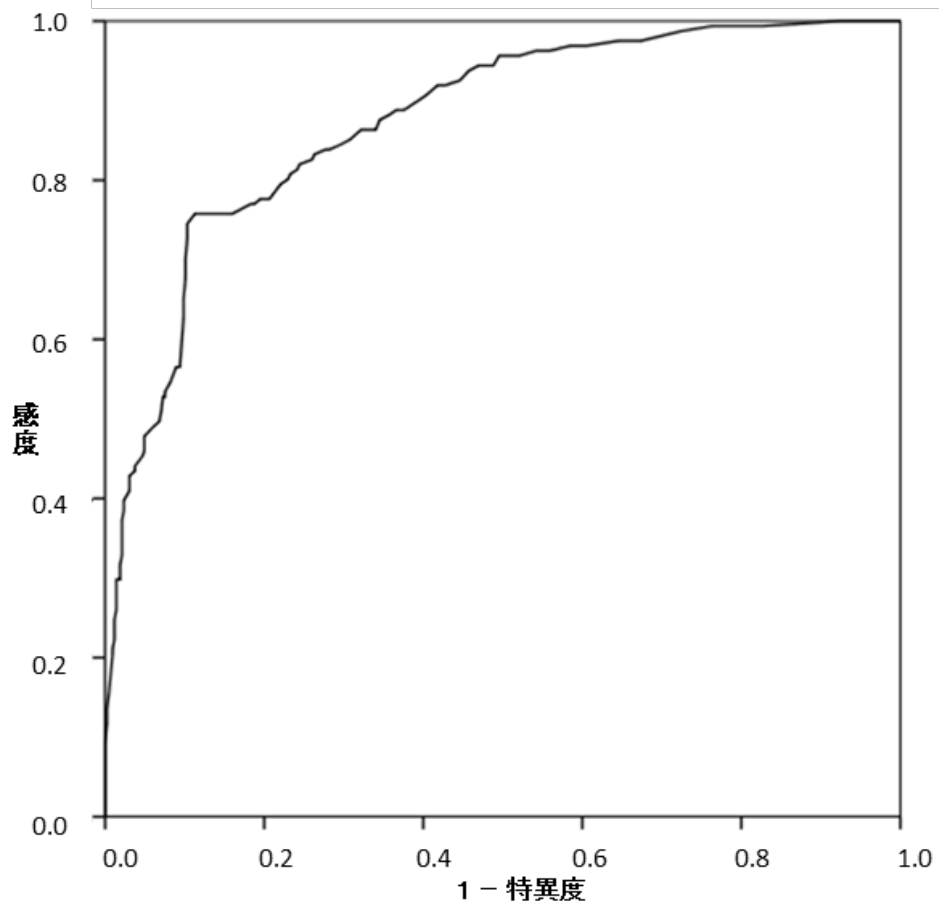


図 3-1 シュートストップ失敗確率の ROC 曲線

ROC 曲線は、回帰式の予測可能性を示す。

ROC 曲線下面積は 0.874 (CI : 0.843-0.905) であった。

測定者間信頼性があることが確認された。そして、それらの測定項目をシュートストップ失敗確率予測回帰式に代入して算出されたシュートストップ失敗確率は、級内相関係数が 0.91 と高い値を示した。このことから、ゲームパフォーマンス分析における測定項目とともに、その測定項目をシュートストップ失敗確率予測回帰式に代入して算出された失敗確率も、測定者間信頼性が高い値であると考えられる。

一般に、汎用性のある測定尺度の妥当性は、ある特定の対象集団において確認されるだけでは不十分で、他の対象集団においても同様の妥当性が認識されていることを必要とする (古谷野・長田, 1992)。ロジスティック回帰式の構築においても同様、一般化するためには外的妥当性の検討は不可欠である。しかし構築された回帰式の妥当性に関して、回帰式を構築した 2010 FIFA ワールドカップのデータ以外のデータを用いた検証は行われていない。そこで本研究では、2014 FIFA ワールドカップのデータを用いて外的妥当性の検証を行った。2010 FIFA ワールドカップと 2014 FIFA ワールドカップでは、出場国および出場している選手も異なる。また用具のひとつであり、シュートストップに大きな影響を与えると考えられるボールも、2010 FIFA ワールドカップで用いられたジャブラニから、2014 FIFA ワールドカップはブラズーカに変更されている。ブラズーカはジャブラニと比較し、軌道のブレが小さく安定して飛ぶことが明らかになっている (Hong and Asai, 2014)。そのため、シュートストップ失敗確率予測回帰式は、外的妥当性が低い可能性も考えられた。まず、予測確率の cut off line を 0.5 に設定した分割表を作成して検証を行った結果、感度 89.7%、特異度 75.8%、陽性的中率 90.7%、陰性的中率 73.5%、正診率 85.9%であった。これらは前章の研究 I における内的妥当性の報告とほぼ同等であり、また回帰式を予測に使えるとされる正診率は「目安としては、75%」(内田, 2011) とされていることから、高い外的妥当性が示された。更に、ROC 曲線を作成し、ROC 曲線下面積を算出したところ 0.874 と高い値を示した。ROC 曲線下面積の評価において、唯一の基準はないが “ $0.8 \leq \text{ROC} < 0.9$ We consider this excellent discrimination” (Hosmer et al., 2013) とされていることから、高い外的妥当性が示された。これら 2 つの検証から、シュートストップ失敗確率予測回帰

式を用いて算出された失敗確率は、世界トップレベルの GK のシュートストップ失敗確率を予測する上で外的妥当性の高い値であると考えられる。

本研究では 2014 FIFA ワールドカップのデータを用いて外的妥当性の検証を行った。今後さらに、用具や競技規則等が大きく変化した場合、最新のデータを用いて再度回帰式の外的妥当性を検証する必要性も出てくると考えられる。また、回帰式によって算出されるシュートストップ失敗確率は、世界トップレベルの GK を基準とした失敗確率である。そのため、代表選手の選抜やトップレベルのクラブにおける選手のスカウティング等、世界トップレベルの選手を基準として、評価対象者がどのレベルにいるかを評価する上では非常に有用である。しかし、異なる基準で選手を評価する際には、何らかの補正方法を用いるか、新たな回帰式モデルを開発しなおす必要性もあり、今後検証が必要である。

5. 要約

本研究では前章の研究 I によって構築された「シュートストップ失敗確率予測回帰式」について信頼性と妥当性の検証を行い、以下のような結論を得た。

回帰式を用いて算出される失敗確率の評定者間信頼性、および外的妥当性は高く、世界トップレベルの GK のシュートストップ能力を基準として、シュートストップ失敗確率を予測する上で一般化可能な、有用な式であると考えられた。この回帰式を活用し、実際に現場に有用な新たな GK 評価を行っていくことが、今後の課題として挙げられる。

第5章 総括

1. 結論

近年サッカーにおいて、客観的指標によってチームや選手を評価する取り組みが進んでいる。それらは、監督や分析を担当するスタッフが活用するのはもちろん、ゼネラルマネージャーや編成スタッフ、スカウトなどは、データから算出された客観的指標を用いてチーム編成や選手獲得の判断を行うことも増えている。しかし、現状の GK の守備力評価指標は、現場に有効な指標ではない。

セイバーメトリクスでは、それぞれの試合状況に得点期待値によって重み付けを行い、打席結果が、得点に対してどのくらい貢献したのかを数量的に評価することができる (Lindsey, 1963)。しかし、サッカーは流動的で複雑なスポーツであるため、いくつかの状況に限定し得点期待値を算出する方法は、困難かつ実践現場に有効ではないと考えられる。その解決策として、ロジスティック回帰分析を用いることにより、その要因の有無が事象の発生に対しどれだけ影響しているかを表すことができ、さらに各要因のオッズ比から回帰式が算出され、ある事象が発生する確率を予測することも可能である。

そこで本研究では、サッカーの GK におけるシュートストップ能力の新しい評価指標を開発することを目的とし、以下 3 つの研究課題を設定し、記述的ゲームパフォーマンス分析によりそれらの研究課題の解決を図った。

研究課題 1 : GK のシュートストッププレー難易度の定量化

研究課題 1 の目的は、1) シュートストップの結果に影響を与える主要因を明らかにすること、2) シュートストッププレーの難易度をシュートストップ失敗確率として定量化するための、シュートストップ失敗確率を予測する回帰式を構築することであった。

そのために、2010 FIFA ワールドカップ南アフリカ大会の全 64 試合における、被枠内シュート計 551 本を分析した。その結果として、以下の結論が得られた。

1) シュートストップの結果に影響を与える主な要因はシュート到達時間, シュート者守備 前方の DF の有無, シュート者守備 側方・後方の DF の有無, シュート部位, シュート種類, シュートコース横, シュートコース高さ, 他の選手による軌道の変化の有無, シュート位置角度, シュートコース距離の 10 要因であった.

2) 上記要因を用いて, 失敗確率を予測する回帰式は (regression formula 1) は以下のようになった.

$$P_1 = 1/(1 + \exp(-(-2.245 - 5.204x_1 - 1.215x_2 - 0.570x_3 + 0.885x_4 + 0.551x_5 + 4.072x_6 + 1.333x_7 + 0.711x_8 + 0.968x_9 + 2.839x_{10} + 0.029x_{11} + 1.014x_{12})))$$

ここで x_1 : ①シュート到達時間 (秒), x_2 : ②シュート者守備 前方の DF 有 (1) 無 (0), x_3 : ③シュート者守備 側方・後方の DF 有 (1) 無 (0), x_4 : ④シュート部位 頭 (1) 足 (0), x_5 : ⑤シュート種類 グラウンダー (1) それ以外 (0), x_6 : ⑥シュート種類 ループ (1) それ以外 (0), x_7 : ⑦シュートコース横 ファー (1) ニア (0), x_8 : ⑧シュートコース高さ 中 (1) それ以外 (0), x_9 : ⑨シュートコース高さ 高 (1) それ以外 (0), x_{10} : ⑩他の選手による軌道の変化 有 (1) 無 (0), x_{11} : ⑪シュート位置角度 ($^{\circ}$), x_{12} : ⑫シュートコース距離 (m) である.

回帰式はシュートストップの失敗確率を予測し, GK のパフォーマンスを評価する上で, 高精度 (84.8%) かつ, 有用な式であると考えられる.

研究課題 2: シュートストップ失敗確率を予測する回帰式の検証

研究課題 2 の目的は, 1) 研究課題 1 で構築されたシュートストップ失敗確率予測回帰式について, 算出される失敗確率の測定者間信頼性を検証すること, 2) 回帰式の外的妥当性を検証することであった.

そのために, 2014 FIFA ワールドカップブラジル大会の全 64 試合における, 被枠内シュ

ート 587 本を分析した。その結果として、以下の結論が得られた。

1) 回帰式を用いて算出される失敗確率の級内相関係数は 0.91 と高く、評定者間信頼性は高い値であると考えられる。

2) 予測確率の cut off line を 0.5 に設定した分割表を作成して検証を行った結果、感度 75.8%、特異度 89.7%、陽性的中率 73.5%、陰性的中率 90.7%、正診率 85.9%であった。これらは前章の研究 I における内的妥当性の報告とほぼ同等であり、高い外的妥当性が示された。更に、ROC 曲線を作成し、ROC 曲線下面積を算出したところ 0.874 と高い値を示したことから、高い外的妥当性が示された。

研究課題 3：新しい GK のシュートストップ能力評価指標の提示及び 3 つの評価指標における評価結果の比較

以上を総括すると，記述的ゲームパフォーマンス分析によって取得したデータを，ロジスティック回帰分析を用いて統計処理し，シュートストップ失敗確率を予測する回帰式が構築された．回帰式は優れた信頼性と妥当性を有することが明らかとなった．さらに，回帰式を用いた新しい GK のシュートストップ能力評価指標が作成され，現場に有用な指標であることが明らかとなった．

3. トレーニング計画への示唆

次に、本研究で得られた知見をもとに GK のトレーニングへの示唆を示す。

シュートストップ失敗確率予測回帰式を構築するにあたり、シュートストップの結果に影響を及ぼす主な要因として、シュート到達時間、シュート者守備 前方の DF の有無、シュート者守備 側方・後方の DF の有無、シュート部位、シュート種類、シュートコース横、シュートコース高さ、他の選手による軌道の変化、シュート位置角度、シュートコース距離の 10 要因が採択された。すなわち、この 10 項目がシュートストップの成否と強く関連する被シュート状況であり、コーチが GK のシュートストップトレーニングを計画する際、この 10 要因を考慮することにより、シュートストップの難易度を操作できることが明らかになった。

シュート到達時間は、短ければ短いほどシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。つまり、シュート者からゴールまでの距離を近づける、またはコーチがシュー

ト速度を上げることにより、シュートストップの失敗確率が高くなり、トレーニングの難易度が上がると考えられる。

シュート者守備は、シュート者の前方に DF がいなかった場合はいた場合に比べて、シュート者の側方・後方に DF がいなかった場合はいた場合に比べて、シュートストップの失敗確率が高くなることを示している。つまり、トレーニングに DF をつけて行う、DF のスタートポジションをコントロールして行う、DF を無くして行うことにより、トレーニングの難易度が上がると考えられる。

シュート部位は、足でのシュートより頭でのシュートがシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。つまり、コーチが頭でのシュートの割合を増やすか、シュート者へのパスを頭でのシュートをしやすいパスにすることにより、トレーニングの難易度が上がると考えられる。

シュート種類は、ライナー、グラウンダー、ループの順でシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。つまり、コーチがグラウンダーやループのシュートの割合を増やすか、GK のスタートポジションをコントロールしてグラウンダーやループのシュートをシュート者が狙いやすいオーガナイズを設定することにより、トレーニングの難易度が上がると考えられる。

シュートコース横は、ニアサイドへのシュートよりファーサイドへのシュートがシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。第 4 章でも述べたように、一般的に GK は、ゴールの中央とボールを結んだ線上、かつシュートが頭上を越されない程度に前に出たポジショニング（加藤，1992）を意識してプレーしている。そのため、ゴールを左右均等に分割する中心線を対称軸に、左右線対称の位置へシュートを打たれた場合、シュートコース距離は同じであっても、GK からボールへの距離はニアサイドへのシュートに比べ、ファーサイドへのシュートの距離が長くなる。つまり、コーチがファーサイドへのシュートの割合を増やすか、GK のポジショニングをコントロールしてトレーニングすることにより、トレーニングの難易度が上がると考えられる。

シュートコース高さは、低、中、高の順でシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。第4章でも述べたように、一般的に GK はゴールライン上にポジショニングしプレーしているわけではなく、シュートが頭上を越されない程度に前に出てポジショニングしプレーしている。つまり、コーチがシュートコース高さが高くなるシュートの割合を増やすか、GK のポジショニングを適正なポジションよりも前方にコントロールしてトレーニングすることにより、トレーニングの難易度が上がると考えられる。

他の選手による軌道の変化の有無については、軌道の変化が有った場合は、無い場合に比べてシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。つまり、コーチはシュート者から GK の間に立ち、打たれたシュートの軌道を変化させるか、シュート者から GK の間にコーンやマーカなどの障害物を置いてシュートの軌道が変化するようなオーガナイズを設定することにより、トレーニングの難易度が上がると考えられる。

シュート位置角度は、角度が大きければ大きいほどシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。つまり、シュートを打つ位置の角度が大きくなるようにオーガナイズを変更することにより、トレーニングの難易度が上がると考えられる。

シュートコース距離は、ゴール中心からの距離が長ければ長いほどシュートストップの失敗確率が高くなることを示している。つまり、トレーニングの初めは小学生用のゴールを用い、途中で大人用のゴールに変える等ゴールの大きさを変更するか、コーチが徐々にシュートコースの距離を長くすることにより、トレーニングの難易度が上がると考えられる。

このように、シュートストップの結果に影響を及ぼす主な 10 要因を考慮しトレーニングを計画することにより、トレーニングの難易度をコーチが意図的に操作し、シュートストップトレーニングを段階的に発展させていくことが可能になると期待される。

4. 今後への課題

謝辞

まず、博士論文執筆にあたり貴重な御指導ならびに温かい御支援を頂きました。コーチング学専攻長の會田宏教授をはじめ、コーチング学専攻の先生、職員、大学院生全ての皆様に感謝の意を表します。

特に、中山雅雄准教授には、博士前期課程入学から9年半、博士論文の構想、まとめに至るまで懇切丁寧な御指導頂きました。また研究面だけではなく、サッカー現場でのコーチング、将来について等、様々な面においても御指導頂きました。浅井武教授には、研究に対する姿勢をご教示頂きました。その姿勢は、今後研究を続けていく上で欠かすことの出来ないものだと考えております。佐野淳教授、故 凶子浩二教授、山田永子助教、大学体育スポーツ高度化共同専攻の木内敦詞教授には、博士論文全般にわたって様々な角度から、貴重な御指導、御助言を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

そして、宇都宮大学石崎忠利名誉教授には、学士課程入学時から競技、勉強、研究など様々な面で御指導頂きました。筑波大学大学院を目指すきっかけとなったのも、石崎先生に御指導頂いたからこそです。大学院入学後も、温かく的確なアドバイスを定期的に頂きました。深く感謝の意を表します。

さらに、小井土正亮助教をはじめ、サッカーコーチング論研究室の先輩・後輩には、研究に対する的確な御意見、測定補助、映像収集など多大な御協力を頂きました。また研究のみならず、現場でのコーチング実践、コーチングを議題とした討論は、現在のコーチングの礎となっております。心より感謝申し上げます。

最後に、私を育て長い学生生活を陰ながら支え続けてくれた両親、家にいない父親に代わり子育てを助けてくれる義理の両親、父親を常に癒してくれる2人の子ども、そして最も近くで常に支えてくれた妻に心より感謝します。

2018年9月 平嶋裕輔

引用文献

Albert, J. and Bennett, J. (2001) *Curve ball: Baseball, statistics, and the role of chance in the game*. Springer Science & Business Media.

Ayres, I. (2007) *Super crunchers: Why thinking-by-numbers is the new way to be smart*. Bantam Books.

ブレイ : 近藤隆文訳 (2006) *ビューティフル・ゲーム世界レベルのサッカーを科学する*. 日本放送出版協会.

Donders, F.C. (1969) On the speed of mental processes. *Acta Psychologica*, 30: 412-431.

ELGORAZO 編 (2015) *J2 リーグ総集編 2015*. スクワッド.

Franks, I.M. and Miller, G. (1986) Eyewitness testimony in sport. *Journal of Sports Behavior*, 9: 38-45.

Hong, S. and Asai, T. (2014) Effect of panel shape of soccer ball on its flight characteristics. *Scientific Reports*, doi: 10.1038/srep05068.

Hosmer Jr, D. W., Lemeshow, S. and Sturdivant, R.X. (2013) *Applied logistic regression*, Third Edition, John Wiley & Sons.

ヒューズ : 辻浅夫・京極昌三訳 (1996) *サッカー勝利への技術・戦術*. 大修館書店.

Hughes, M. (1992) Notational analysis. In: Reilly, T.(ed.) Science and soccer. Routledge, pp.245-264.

Hughes, M. and Franks, I.M.(Eds.). (2004) Notational analysis of Sport: Systems for better coaching and performance in sport. Psychology Press.

石井壮朗・向井直樹・宮川俊平（2010）投球障害肩の発症予測システムの開発～ロジスティック回帰分析を用いて～. 体力科学, 59(4): 389-394.

鎌原雅彦・宮下一博・大野木裕明・中澤潤（1998）心理学マニュアル質問紙法. 北大路書房.

加藤健太（2016）サッカーにおけるデータ分析とチーム強化. 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, 10(1): 29-34.

加藤好男（1992）サッカー・ゴールキーパーの技術. 講談社.

小井土正亮・鍵野洋希（2018）主観を客観的データと照らし合わせ, その上で選手を見る. コーチングクリニック, 32(13): 25-29.

今野裕之・堀洋道（1998）正当世界信念が社会状況の不公正判断に及ぼす影響について. 筑波大学心理学研究, 20: 157-162.

公益社団法人日本プロサッカーリーグ（2013）Jリーグ 公式記録 GK 防御率一覧.

<http://www.j-league.or.jp/data/2/?league=j1&genre=gkera&d=j1fdata&t=situation&y>

=2013 . (参照日 2013 年 12 月 9 日)

公益財団法人日本サッカー協会 (2015) 2014FIFA ワールドカップブラジル JFA テクニカルレポート. 公益財団法人日本サッカー協会.

公益財団法人日本サッカー協会 (2013) サッカー指導教本 2013・ゴールキーパー編. 公益財団法人日本サッカー協会.

小島真二・徳森公彦・坂野紀子・汪達紘・鈴木久雄・池田敏・平田宰久・岡隆・原浩平・荻野景規 (2007) 地域高齢者への運動指導における運動定着に寄与する要因の検討. 体育学研究, 52(2): 227-235.

古谷野亘・長田久雄 (1992) 実証研究の手引き—調査と実験の進め方・まとめ方—. ワールドプランニング.

Lindsey, G.R. (1963) An investigation of strategies in baseball. *Operations Research*, 11(4): 477-501.

松倉啓太・浅井武 (2009) サッカーのゴールキーパーにおけるダイビング動作の到達可能範囲. 体育学研究, 54(2): 317-326.

Messersmith, L.L. and Corey, S.M. (1931) The distance traversed by a basketball player. *Research Quarterly. American Physical Education Association* 2(2): 57-60.

マイケル・ルイス : 中山宥訳 (2006) マネー・ボール. 武田ランダムハウスジャパン.

大山正・池田央・武藤真介（1971）心理測定・統計法．有斐閣．

Lewis, M. (2003) Moneyball: The art of winning an unfair game. WW Norton & Company.

森川潤（2014）特集 MONEY FOOTBALL！：統計学が解き明かすサッカーの新時代．週刊ダイヤモンド，102(23)．ダイヤモンド社．

中川昭（2011）ラグビーにおける記述的ゲームパフォーマンス分析を用いた研究．筑波大学体育科学系紀要，34: 1-16.

中山佳美・森満（2011）高齢者で歯を 20 本以上保つ要因について：北海道道東地域におけるケース・コントロール研究．口腔衛生学会雑誌，61(3): 265-272.

西内啓（2012）遠藤保仁がいればチームの勝ち点は 117%になる データが見せるサッカーの新しい魅力．ソフトバンク新書．

大江淳悟・上田毅・沖原謙・磨井祥夫（2013）サッカーにおけるゲームパフォーマンスの客観的評価．体育学研究，58(2): 731-736.

大橋二郎（1999）サッカーのゲーム分析—その手法と現場への応用—．バイオメカニクス研究，3(2): 119-124.

大橋二郎・田嶋幸三・掛水隆（1997）サッカーゴールへの科学—科学的分析に基づいた確率の高いシュート—．東京電機大学出版局．

大須賀洋祐・藪下典子・金美芝・清野諭・松尾知明・大久保善郎・根本みゆき・鄭松伊・大藏倫博・田中喜代次（2012）身体的虚弱が疑われる低体力と運動量の関係：地域在住高齢女性を対象とした横断研究．体育学研究， 57(1): 9-19.

Pollard, R. and Reep, C. (1997) Measuring the effectiveness of playing strategies at soccer. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The statistician)*, 46(4): 541-550.

末木新（2017）高校野球における試合の勝敗に影響を与える要因：投手力・打撃力・守備力の比較．体育学研究， 62(1):289-295.

鈴木宏哉・西嶋尚彦（2002）サッカーゲームにおける攻撃技能の因果構造．体育学研究， 47: 547-567.

鈴木宏哉・山田庸・西嶋尚彦（2001）症例・事例研究 サッカーにおけるゲームパフォーマンスからのシュート技能の評価．トレーニング科学， 12(3): 181-192.

高橋善弥太（2008）医者のためのーロジスティック・Cox 回帰入門．日本医学館.

瀧剛志・長谷川純（1998）チームスポーツにおける集団行動解析のための特徴量とその応用．電子情報通信学会論文誌 D-II 8: 1802-1811.

鳥越規央（2011）9回無死1塁でバントはするな 野球解説はウソだらけ．祥伝社.

鶴岡英一・福原黎三（1965）サッカーのゲーム分析（第1報）ー測定方法についてー．体

育学研究, 9(2): 39-42.

鶴岡英一・小村堯・福原黎三 (1968) サッカーのゲーム分析 (2). 体育学研究, 13(2): 140-148.

鶴岡英一・小村堯・福原黎三 (1969) サッカーのゲーム分析 (3). 体育学研究, 13(5): 206.

対馬栄輝 (2008) SPSS で学ぶ医療系データ解析. 東京図書.

内田治 (2011) SPSS によるロジスティック回帰分析. オーム社.

Winterbottom, W. (1952) Soccer Coaching. London: The Naldrett Press.

ウェルツシュ : 平野淳訳・加藤好男監 (2005) サッカーゴールキーパーバイブル. カンゼン.

付録1 競技場縮図 (各格子は 1m²)

