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

平嶋 裕輔¹⁾ 中山 雅雄²⁾ 内藤 清志¹⁾ 浅井 武²⁾

Yusuke Hirashima¹, Masao Nakayama², Kiyoshi Naito¹ and Takeshi Asai²: Quantification of the degree of difficulty in making a save for a soccer goalkeeper. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 59: 805-816, December, 2014

Abstract : The purpose of this study was to clarify the principal factors related to shot situations that affect the outcome of goalkeeping saves in soccer and to build a regression formula that would predict the difficulty of saving a shot. The samples were 551 shots at goal in the 2010 FIFA World Cup in South Africa. The shots data were collected using game performance analysis. For statistical processing, the principal factors affecting the outcome of a save in soccer were revealed using logistic regression analysis. The principal factors that influenced the results of a save attempt were: the duration between initiation of the shot and when the ball reached the goal, the presence or absence of a defender in front of the shooter, the presence or absence of a defender located lateral or posterior to the shooter, the part of the body used to perform the shot, i.e. the head or the leg, the type of shot, i.e., a liner, a lob, or a grounder, the shot course in a mediolateral direction, the shot course in a vertical direction, the presence or absence of a change in the direction of the shot by other players, the shooter's position angle in relation to the goal line and the line from the goal post to the shooter, and the distance from the center of the goal to the ball when the ball reached the goal line. In addition, a regression formula was constructed to predict the difficulty of the save by combining the odds ratios of the main factors. It was verified that the difficulty in making a save could be accurately predicted using the regression formula (84.8%). As a future task, using our regression formula, it would be practically important to develop predictors for evaluating the ability of a goalkeeper.

Key words : game performance analysis, objective rating, logistic regression

キーワード : ゲームパフォーマンス分析, 客観的評価, ロジスティック回帰

I 緒 言

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。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。大江ほか(2013)は、主観的評価について、「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」と問題点を指摘している。この問題点を解決するため、大橋(1999)はスポーツのゲー

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1

2) 筑波大学体育系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
連絡先 平嶋裕輔

1. Graduate School of Comprehensive Human Sciences,
University of Tsukuba

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

2. Faculty of Health and Sports Sciences, University of
Tsukuba

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

Corresponding author s1230482@u.tsukuba.ac.jp

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、実際にサッカーにおいてはゲームパフォーマンスを数値化し、客観的に評価しようとする試みが国内外で数多く行われている（大江ほか，2013）。

これまで、サッカーにおけるゴールキーパーの守備力評価の指標としては、主に防御率とセーブ率が用いられている。防御率は、ゴールキーパーの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、日本プロサッカーリーグの公式記録にも採用されている（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、キーパー個人の能力を測る指標として必ずしも適当でない。セーブ率は、被枠内シュート数に対するセーブ数の割合で表され、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、防御率と比較しゴールキーパー個人の能力を評価する指標として優れているものの、シュートストップの難易度が考慮されておらず、実践に有効な評価指標ではないと考えられる。

野球における打率は、打数に対する安打数の割合で表され、古くから広く知られている単純な打撃能力の評価指標である。しかし、近年セイバーメトリクスと呼ばれる統計学的手法を用いた野球研究が進み、打率と比較し、長打率（ $(\text{単打数} \times 1 + \text{二塁打数} \times 2 + \text{三塁打数} \times 3 + \text{本塁打数} \times 4) / \text{打数}$ ）や出塁率（ $(\text{安打} + \text{四球} + \text{死球}) / (\text{打数} + \text{四球} + \text{死球} + \text{犠飛})$ ）がより適切な打撃能力評価指標とされている（アルバート・ベネット，2004）。また、Lindsey（1963）は試合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。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量的に評価する

ことができる（アルバート・ベネット，2004）。鳥越（2011）は、同様の方法を日本のプロ野球を対象に行い、犠牲バントは勝率を上げる良い戦術ではないことを明らかにしている。野球は、相手チーム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。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もつと考えられる。特にゴールキーパーは、1つのプレーの成功・失敗が失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、他のポジションと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）。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。

近年、その問題の解決策の1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、トップレベルのゴールキーパーを対象に、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し、シュートストップ失敗確率を予測する回帰式を構築した。これより、シュートストップの難易度を失敗確率

として定量化する方法を開発することを目的とした。

Ⅱ 方 法

1. 標本

標本は、2010FIFA ワールドカップ南アフリカ大会全64試合における、ゴールキーパー以外の選手がブロックした等の理由で、ゴールキーパー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. 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。

3. 測定項目

測定項目の設定にはまず、先行研究（大橋ほか、1997；ウェルッシュ、2005；加藤、1992；ヒューズ、1996；プレイ、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：守備側のプレイヤー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たり跳ね返ってきた場合等、味方選

図1 シュートに至るまでの攻撃，クロス

図2 シュートに至るまでの攻撃，スルーパス

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、またゴールキーパーが止めた場合。

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3)。

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

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状況を測定した(図4)。

図3 シュートコース守備 有無

図4 シュート者守備 有無

シュート者守備 前方のDF 有無：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以内の守備側の選手の有無。なお、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。シュート者守備 側方・後方のDF 有無：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以内の守備側の選手の有無。シュート者守備 DFの接触 有無：シュート時点においてシュート者に密着した守備側の選手の有無。

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、次の通りであった。(a)足、(b)頭。

⑨シュート位置距離・⑩シュート位置角度

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, 1992) で使用されている競技縮図を適用し、シュート位置距離と角度を次に示すように得た。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地点の距離を計測した。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計測した。なお、シュート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5)。

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

図5 シュート位置距離，角度

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超える前、あるいはゴールポスト、ゴールキーパーに当たる前に2バウンド以上したシュート、もしくは1度も膝の高さを超えなかったシュート、(b)ループ：ゴールキーパー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。

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、もしくはゴールキーパーに到達するまでの、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。ゴールキーパー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してからボールがゴールに到達するまでの時間を、映像のフレーム数から計測した。ゴールキーパー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、シュート者がシュートをしてからボールにゴールキーパーが触るまでの時間と、シュート者がシュートを打った位置からゴールキーパーまでの水平距離を計測し、ボールの平均速度を算出した。そして、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、ゴールキーパー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。

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ゴールキーパー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。シュートコース横に関する分類は、次の通りであった。(a)ニア：ゴールキーパーの位置から見て、シュート者に近い方向に打たれたシュート、(b)ファー：ゴールキーパーの位置から見て、シュート者に遠い方向に打たれたシュート。

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。

⑬シュートコース距離

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とゴールの中心からの距離を計測した。ゴールキーパーがボールに触れずゴールしたシュートについては、ボールがラインを越える際にボールのあった位置を記録し、ゴールの中心からの距離を計測した。ゴールキーパー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、ゴールキーパー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計測した。

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、ゴールキーパー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。

4. 統計解析方法

(1) 客觀性

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。

(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な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な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。

表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シュートコース距離 (m)	0.89

Ⅲ 結 果

1. 観察されたデータの客観性

表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。

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。ボール保持時間、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に至る

表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

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. 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 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, 足の場合に比べて 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, グラウ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, 1 m 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.

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.

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

ここで x_1 : シュート到達時間 (秒), x_2 : シュート者守備 前方の DF 有 (1) 無 (0), x_3 : シュート者守備 側方・後方の DF 有 (1) 無 (0), x_4 : シュート部位 頭 (1) 足 (0), x_5 : シュート種類 グラウンダー (1) それ以外 (0), x_6 : シュート種類 ループ (1) それ以外 (0), x_7 : シュートコース横 ファー (1) ニア (0), x_8 :

表 3 ロジスティック回帰分析最終結果

	B	Standard Deviation	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

表4 回帰式の妥当性

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

シュートコース高さ 中 (1) それ以外 (0), x_9 : シュートコース高さ 高 (1) それ以外 (0), x_{10} : 他の選手による軌道の変化 有 (1) 無 (0), x_{11} : シュート位置角度 (°), x_{12} : シュートコース距離 (m) である。

この回帰モデルの適合度の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 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、回帰モデルは失敗予測において感度 91.8%、特異度 65.5%、陽性的中率 87.9%、陰性的中率 74.6%、正診率 84.8% であった (表 4)。

IV 考 察

データの収集には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、また級内相関係数は全ての項目において 0.89 以上の高い値を示し (表 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 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、ゴールキーパー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、ゴールキーパー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、ゴールキーパー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。一般的にゴールキーパーは、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、ゴールキーパー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、一般的にゴールキーパーは、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、ゴールキーパー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、ゴールキーパー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、一般的にゴールキーパー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ゴールキーパーを通過した際の高さではない。ゴールの高さは2.44 m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2.44 mより高くなることはない。しかし、シュートがゴールキーパーを通過する際の高さは、2.44 m以上の可能性がある。そのためゴールキーパーは、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）、ウェルッシュ（2005）はゴールキーパー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、ゴールキーパーはコーチングで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、ゴールキーパー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、ゴールキーパー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、ゴールキーパー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。ゴールキーパーはシュートに反応、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、ゴールキーパー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。そのためゴールキーパーがシュートコースに入ることが難しくなるため、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，近年の動画画像情報処理技術では，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2010FIFA 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，ゴールキーパー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，ゴールキーパー個人の責任は0.01点，失点期待値0.00点の被シュートで失点した場合，ゴールキーパー個人の責任は1.00点と推測することも1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，ゴールキーパー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シーズンのゴールキーパー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，ゴールキーパー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，新たなゴールキーパー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なおす必要性も出てくると考えられる．

V 結 語

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共に，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，ゴールキーパー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キーパー評価指標を開発していくことが，今後の課題としてあげられる．

謝辞

本研究の実施に際し，データスタジアム株式会社には予備実験に用いたデータの提供など，多大なご支援を頂きました．心より感謝申し上げます．

文 献

アルバート・ベネット：加藤貴昭訳・後藤寿彦監

- (2004) シュプリング数学リーディングス (第2巻), メジャーリーグの数理科学 上. シュプリング・フェアーク東京株式会社: 東京.
- 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: 東京.
- Donders, F.C. (1969) On the speed of mental processes. *Acta Psychologica*, 30: 412-431.
- 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: 東京.
- Hughes, M. (1992) Notational analysis. Reilly, T. Science and soccer. E & FN SPON: London, pp. 343-361.
- 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.
- 加藤好男 (1992) サッカー・ゴールキーパーの技術. 講談社: 東京.
- 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.
- 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)
- 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.
- 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. ソフトバンククリエイティブ: 東京.
- 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: 東京.
- 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・大蔵倫博・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.
- Richard, P. and Charles, R. (1997) Measuring the effectiveness of playing strategies at soccer. *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The statistician)*, 46(4): 541-550.
- 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.
- 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-II8: 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: 東京.
- 内田 治 (2011) SPSS によるロジスティック回帰分析. オーム社: 東京.
- ウェルッシュ: 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: 東京.

(平成25年12月20日受付)
(平成26年8月1日受理)