

博士論文

サッカーにおけるゴールキーパーの動作に関する研究

-シュートストップ動作に着目して-

A study on the movement of the goalkeeper in soccer  
-focused on the shot stopping motion-

令和元年度

沼津 直樹

筑波大学

# 目次

表一覧 vii

図一覧 ix

博士論文に関する業績一覧 ..... xii

第 1 章 緒論 ..... 1

1.1 研究背景 ..... 1

1.1.1 サッカーのゴールキーパーについて ..... 1

1.1.2 GK 特有の動作について ..... 2

1.1.3 日本の GK 指導の現状について ..... 3

1.1.4 ダイビング動作をバイオメカニクスの研究する必要性 ..... 4

1.2 目的 ..... 8

1.3 研究課題 ..... 8

1.4 研究の限界 ..... 9

1.4.1 映像分析における限界 ..... 9

1.4.2 バイオメカニクスの研究における限界 ..... 10

1.5 用語の定義 ..... 10

第 2 章 文献研究 ..... 12

2.1 試合中の GK のプレーに関する研究 ..... 12

2.2 GK の視野に関する研究 ..... 14

2.3 GK 特有の動作に関するバイオメカニクスの研究 ..... 17

2.4 文献研究の総括 ..... 22

第 3 章 サッカーの試合におけるシュート状況と GK のシュートストップ動作の分類 ..... 25

3.1 目的 ..... 25

3.2	標本.....	26
3.3	測定方法.....	26
3.4	測定項目.....	26
3.4.1	シュートストップ動作の分類.....	26
3.4.2	シュートストップ動作以外のプレーの分類.....	28
3.4.3	統計解析.....	29
3.5	結果.....	30
3.5.1	観察されたデータの客観性.....	30
3.5.2	標本の基本的特徴.....	30
3.5.3	全シュートストップ動作の比較.....	33
3.5.4	シュートストップの成否別のシュートストップ動作の比較.....	33
3.5.5	シュートストップ動作とその他の動作との比較.....	34
3.6	考察.....	41
3.6.1	計測データの客観性について.....	41
3.6.2	シュートストップ動作について.....	41
3.6.3	シュート場面について.....	43
3.6.4	シュートストップ動作と他のプレーとの比較.....	43
3.7	要約.....	44
第4章	シュートに対するダイビング動作に関するバイオメカニクスの分析.....	46
4.1	目的.....	46
4.2	方法.....	47
4.2.1	実験試技.....	47
4.2.2	被験者.....	48
4.2.3	データ収集.....	48

4.2.4	データ処理.....	49
4.2.5	試技の分類.....	50
4.2.6	局面定義.....	54
4.2.7	動作時間およびキッカーと GK の動作の出現時刻の関係.....	55
4.2.8	ボール中心の 3 次元座標.....	55
4.2.9	身体各セグメントの重心位置と慣性パラメータおよび全身の重心位置.....	55
4.2.10	準備動作跳躍高.....	55
4.2.11	ステップ幅.....	55
4.2.12	身体重心速度および各局面における身体重心速度の変化量.....	56
4.2.13	身体各セグメントの座標系の定義.....	56
4.2.14	体幹左右傾角度および前後傾角度.....	60
4.2.15	下肢関節角度.....	60
4.2.16	運動軸の定義.....	61
4.2.17	身体セグメント角速度.....	61
4.2.18	関節力および関節トルク.....	62
4.2.19	統計処理.....	62
4.3	.....	66
4.3.1	.....	66
4.3.2	.....	67
4.3.3	.....	67
4.3.4	.....	68
4.3.5	.....	74
4.3.6	.....	74
4.3.7	.....	81

4.3.8	81
4.3.9	92
4.3.10	100
4.3.11	105
4.4	110
4.4.1	110
4.4.2	110
4.4.3	114
4.4.4	115
4.4.5	116
4.4.6	122
4.5	128
第5章	130
5.1	130
5.2	131
5.2.1	131
5.2.2	131
5.2.3	131
5.2.4	131
5.2.5	132
5.3	136
5.3.1	136
5.3.2	136
5.3.3	136

5.3.4	137
5.3.5	142
5.3.6	157
5.3.7	159
5.3.8	159
5.4	165
5.4.1	165
5.4.2	166
5.5	174
第6章	176
6.1	176
6.2	177
6.2.1	177
6.2.2	180
6.3	181
6.3.1	181
6.3.2	187
第7章	193
7.1	193
7.2	193
7.3	194
7.4	195
7.5	196



表一覽

Table 3-1 Objectivity of observed data .....	31
Table 3-2 Basic data of samples.....	32
Table 3-3 Comparison of the shot stop motions with divingmotion between the shot stop conditions .....	35
Table 3-4 Comparison of the preparation jump.....	36
Table 3-5 Comparison of the preparation jump between the shot stop conditions.	36
Table 3-6 Comparison of the shot stop motions with divingmotion with preparation jump.....	37
Table 3-7 Comparison of the shot area between the shot stop conditions.....	38
Table 3-8 Comparison of the shot height between the shot stop conditions (top) and result of the adjusted standardized residual analysis (bottom).....	39
Table 3-9 Comparison of the shot stop motion with other performances .....	40
Table 4-1 Characteristics of subjects.....	52
Table 4-2 .....	69
Table 4-3 .....	70
Table 4-4 .....	71
Table 4-5 .....	72
Table 4-6 .....	73
Table 4-7 .....	77
Table 4-8 .....	78
Table 4-9 .....	79
Table 4-10 .....	80
Table 5-1 .....	138

Table 5-2 .....	138
Table 5-3 .....	139
Table 5-4 .....	140
Table 5-5 .....	141
Table 5-6 .....	163
Table 5-7 .....	164

## 圖一覽

Figure 4-1 The experimental set up .....	51
Figure 4-2 Landmarks of the body and ball.....	53
Figure 4-3 Definition of the analysis phase.....	58
Figure 4-4 Definition of local coordinate systems fixed to the lower torso and right leg segments.....	59
Figure 4-5 .....	63
Figure 4-6 .....	64
Figure 4-7 .....	65
Figure 4-8 .....	85
Figure 4-9 .....	86
Figure 4-10 .....	87
Figure 4-11 .....	88
Figure 4-12 .....	89
Figure 4-13 .....	90
Figure 4-14 .....	91
Figure 4-15 .....	95
Figure 4-16 .....	96
Figure 4-17 .....	97
Figure 4-18 .....	98
Figure 4-19 .....	99
Figure 4-20 .....	102
Figure 4-21 .....	103
Figure 4-22 .....	104

Figure 4-23 .....	107
Figure 4-24 .....	108
Figure 4-25 .....	109
Figure 4-26 .....	120
Figure 4-27 .....	121
Figure 4-28 .....	127
Figure 5-1 .....	134
Figure 5-2 .....	135
Figure 5-3 .....	144
Figure 5-4 .....	145
Figure 5-5 .....	146
Figure 5-6 .....	147
Figure 5-7 .....	148
Figure 5-8 .....	152
Figure 5-9 .....	153
Figure 5-10 .....	154
Figure 5-11 .....	155
Figure 5-12 .....	156
Figure 5-13 .....	161
Figure 5-14 .....	162
Figure 5-15 .....	173
Figure 6-1 .....	179
Figure 6-2 .....	184
Figure 6-3 .....	185

Figure 6-4 .....	186
Figure 6-5 .....	190
Figure 6-6 .....	191
Figure 6-7 .....	192

## 博士論文に関する業績一覧

本論文は以下の論文や学会発表およびその後の研究をまとめたものである。

### 1. 論文

- 1) 沼津直樹・藤井範久・中山雅雄・小井土正亮. 大学生男子サッカーにおけるゴールキーパーのゲーム分析. コーチング学研究, 31 (1) : 43-52, 2017.
- 2) 沼津直樹・藤井範久・小井土正亮: サッカーのゴールキーパーにおけるシュートされたボールに対するダイビング動作のキネマティクスの研究 -ゴールキーパーから遠い地点に飛来するシュートに着目して-. 体育学研究 (印刷中).

### 2. 国際学会 proceedings

- 1) Numazu N and Fujii N. Biomechanical relationship between the goalkeeper and kicker motions in soccer. Proceedings of 36th Congress of International Society of Biomechanics in Sports.  
[https://sprinz.aut.ac.nz/\\_data/assets/pdf\\_file/0008/202985/109\\_1496\\_Numazu.pdf](https://sprinz.aut.ac.nz/_data/assets/pdf_file/0008/202985/109_1496_Numazu.pdf)  
2019年10月22日確認
- 2) Numazu N and Fujii N. Relationship of motions between the arm and the legs in the diving motion of soccer goalkeepers. Proceedings of 35th Congress of International Society of Biomechanics in Sports, 180-183, 2017.
- 3) Numazu N, Fujii N, Nakayama M, and Koido M. Game performance analysis of soccer goalkeepers comparison between saving motion and other motions. Proceedings of 34th Congress of International Society of Biomechanics in Sports, 867-870, 2016.

### 3. 学会発表

- 1) 沼津直樹・藤井範久：サッカーのゴールキーパーにおけるより良いダイビング動作のための準備動作. 日本体育学会第 70 回大会 (慶應義塾大学, 神奈川), 2019 年 9 月
- 2) 沼津直樹・藤井範久：サッカーにおけるゴールキーパーのダイビング動作に関するバイオメカニクス的研究. 第 39 回バイオメカニズム学術講演会. (筑波大学, 茨城), 2018 年 11 月
- 3) Numazu N, Fujii N. Biomechanical relationship between the goalkeeper's motions and the kicker's motions in soccer. 36th Congress of International Society of Biomechanics in Sports, (Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand) , September 2018
- 4) 沼津直樹・藤井範久：サッカーのシュート場面におけるシュートコース予測に関するバイオメカニクス的研究. 第 25 回日本バイオメカニクス学会大会, (日本体育大学, 東京), 2018 年 9 月
- 5) 沼津直樹・藤井範久：ゴールキーパーのダイビング動作における体幹を側方へ倒すための下肢のキネティクスの役割. 日本体育学会第 69 回大会, (徳島大学, 徳島), 2018 年 8 月
- 6) 沼津直樹・藤井範久：競技レベルの異なるゴールキーパーのダイビング動作に関するバイオメカニクス的研究. 日本フットボール学会 15th Congress, (東京学芸大学, 東京), 2017 年 12 月
- 7) 沼津直樹・藤井範久：動作方向と同側の脚の接地方略の違いからみたゴールキーパーのダイビング動作. 日本体育学会第 68 回大会, (静岡大学, 静岡), 2017 年 8 月
- 8) Numazu N, Fujii N. Relationship of motions between the arm and the legs in the diving motion of soccer goalkeepers. 35th Congress of International Society of Biomechanics in Sports, (German Sport University Cologne, Cologne, German) ,

June 2017

- 9) 沼津直樹・藤井範久・來海郁：ゴールキーパーのダイビング動作におけるシュート高さの判断に関するバイオメカニクス的研究. 日本フットボール学会 14th Congress and the 1st Japan-Korea Joint Congress on Science and Football, (福岡大学, 福岡), 2016年10月
- 10) 沼津直樹・藤井範久：サッカーゴールキーパーにおける異なる高さへのダイビング動作に関するバイオメカニクス的研究. 第24回日本バイオメカニクス学会大会, (立命館大学, 滋賀), 2016
- 11) 沼津直樹・藤井範久：ゴールキーパーのダイビング動作中における体幹に対する下肢の役割. 日本体育学会第67回大会, (大阪体育大学, 大阪), 2016年8月
- 12) Numazu N, Fujii N, Nakayama M, and Koido M: Game performance analysis of soccer goalkeepers comparison between saving motion and other motions. 34th Congress of International Society of Biomechanics in Sports. (University of Tsukuba, Tsukuba, Japan) , July 2016
- 13) 沼津直樹・藤井範久・中山雅雄・小井土正亮：大学生男子サッカーにおけるゴールキーパーのゲーム分析 -試合中におけるゴールキーパーのプレーの分類-. 日本フットボール学会 13th Congress, (東洋大学, 東京), 2016年3月

## 第1章 緒論

### 1.1 研究背景

#### 1.1.1 サッカーのゴールキーパーについて

サッカーの試合は、通常 1 チーム 11 人のプレーヤーで構成された 2 つのチームによって行われる。各チームの出場選手のうち 1 人はゴールキーパー（以下、「GK」と略す）でなければならないことが『サッカー競技規則（公益財団法人日本サッカー協会審判委員会，2014）』に明記されている。時代とともに規則の様々な点が改訂されているが、上述した内容は改訂されていないことから、サッカーにおいて GK は、重要な役割を担っていることが窺える。そのため、サッカーのゲーム分析を行った研究の中でも、GK だけに着目して分析した研究も散見される（末永ほか，2002；胡，2004；Di salvo et al., 2008；Sainz De Baranda et al., 2008；Szwarc et al., 2010；Liu et al., 2015；Park et al., 2016 など）。Szwarc et al. (2010) は、2008 年に行われたヨーロッパ選手権大会出場国の GK のプレーを分析し、GK の動作のほとんどがパスを含めたボールコントロールに関する動作であったことを報告している。指導書においても「ゴールキーパーにもフィールドプレーヤーと遜色のない足下の技術が要求される」（小島，2013）と記述されており、『サッカー指導教本 2012 JFA 公認 C 級コーチ（公益財団法人日本サッカー協会技術委員会，2012）』においても、「ボールを止める，蹴る，運ぶといったサッカー選手としての基礎的なテクニックを身につけたうえで，GK として専門的な役割を攻守で果たすことが求められる」と述べられている。このことから，現代サッカーでは競技レベルによらず GK はフィールドプレーヤーの 1 人のようにプレーできることも求められており，試合中の GK の役割が多様化するとともに，GK の重要性が増していると考えられる。また，Lees and Nolan (1998) は GK について「相手の得点を防ぐための技術は重要である。GK は相手の攻撃を予測し，相手の攻撃に合わせたポジションをとる必要があり，GK は様々な技術を身につけなければならない」と述

べている。そのため、現代の GK にはシュートを防ぐだけ能力でなく、サッカー選手としての基本的なボールコントロール技術や戦術的理解、相手の攻撃を予測する能力といった様々な能力が求められていると考えられる。サッカーの試合は僅かな得点差で勝敗が決まることが多く、一方のチームが大量に得点して勝利することは稀であるため、試合に勝利するためには得点するだけでなく、失点しないことも重要な要素となる。したがって、シュートを防ぐ役割を担う GK のパフォーマンスは他のポジションの選手と比べて、試合の結果をより大きく左右するものであると考えられる。

### 1.1.2 GK 特有の動作について

GK の役割が多様化する現代サッカーにおいても、サッカーにおける GK の主な役割は相手のシュートを防ぐことであることに変わりはない。GK はペナルティエリアの中だけではあるが、試合中のインプレー時に唯一手の使用が認められているという特殊なポジションである。そのため、クロスボールに対応するために拳でボールを弾くパンチング、スルーパスや相手のドリブル突破に対応するために前方へ飛び込んでボールを奪うフロントダイビングといった、手を使用した GK 特有の動作が存在する。GK がシュートを防ぐために用いる動作について磯川ほか (1985) は、「シュートされたボールに対して、ボールをキャッチまたはパンチする動作」をセービング動作と定義している。しかし、サッカー指導教本 2012 (公益財団法人日本サッカー協会技術委員会, 2012) においては、GK の様々なプレーの中でもシュートを止めるプレー全てをシュートストップと定義し、シュートストップの中でも「GK が自身から離れた位置に飛来するシュートに対して、跳んでゴールを守る技術」をダイビングと定義している。一般的にはセービングとダイビングは同義の言葉として用いられていることが多い。そこで本研究では、日本サッカー協会に倣い、シュートを止めるために GK が行った全ての動作を「シュートストップ動作」、シュートストップ動作の中でも GK が跳んでシュートを防ぐ動作を「ダイビング動作」と表記する。

試合においてより確実に得点するためには、GKが構えている位置からできる限り離れた位置へシュートを放つ必要がある。シュートを打つために頻繁に用いられるインステップキックは、時速 100 km を超えることがあり (Nunome et al., 2002), ペナルティエリアの中 (ゴールラインから前方 16.5 m 以内) からシュートが放たれた場合、約 0.6 秒後にはゴールラインを通過していることを意味している。GKはそのような速いシュートから左右方向 7.32 m, 高さ 2.44 m の大きさのゴールを守らなければならない。そのため、シュートが放たれてからの非常に短い時間の中でシュートを防ぐために、GKは立位だけでなくダイビング動作によってシュートを防ぐことも多い。したがってダイビング動作は、GK特有の動作の中でも特に習得しなければならない重要な動作であるといえよう。

### 1.1.3 日本の GK 指導の現状について

日本においては、2004年に日本サッカー協会によって公認 GK コーチ養成制度が発足したことから、GK 指導に対する意識が高まっていることが窺える。しかし、「GK コーチがいない環境でプレーする選手もたくさんいる」と小島 (2013) が指摘するように、全てのサッカーチームに指導者ライセンスを保有しているコーチおよび GK コーチが存在しているわけではない。また、公益財団法人日本サッカー協会技術委員会 (2013) も「指導者が GK 指導に踏み込まず、練習も選手に任せきりになり、十分に指導を受けられていない GK がいるチームが少なくない」ことを GK 指導の現在の課題として挙げている。1 チーム内において GK はフィールドプレーヤーと比較して絶対的な人数が少ない。そのため、サッカー選手全体においてフィールドプレーヤーから指導者になる割合と GK から指導者になる割合が仮に同じであっても、指導者全体における GK 経験のある指導者の絶対的な割合は低くなる。つまり GK の指導者不足は、GK というポジションの特殊性が原因の一つとして存在していると考えられる。ボールコントロールの中でも代表的な技術であるキック動作に関して指導書 (公益財団法人日本サッカー協会技術委員会, 2012) では、助走角度

や軸脚の踏み込み方、蹴り脚の足首や爪先の向き、足のどこでボールと蹴るかといった内容が詳細に記載されている。しかし、GK特有の動作、とりわけダイビング動作についてはキック動作ほど詳細な記載はない。他のGKに関する指導書（藤川，2004；ウエルツシュ，2005；澤村監，2012；斉藤監，2012；小島，2013；公益財団法人日本サッカー協会技術委員会，2013）においても、見本となる動作の連続写真を用いつつ要点が視覚的にまとめられているが、前述した指導書におけるキック動作ほどダイビング動作について詳細に述べられておらず、指導現場で行われる練習方法やGKの指導上の観点について述べられたものがほとんどである。ボールコントロールについてはフィールドプレーヤーと同様に多くの指導者がGKに対しても指導可能であると考えられるが、ダイビング動作については指導書においても詳細な記述がないため、指導者や選手がダイビング動作について学ぶ機会は少ないと考えられる。そのため現在の日本では、ダイビング動作について十分な指導が行われているとは言い難いのが現状であり、現状を改善するにはダイビング動作について詳細に検討する必要があると考えられる。

#### 1.1.4 ダイビング動作をバイオメカニクスの的に研究する必要性

GKは、左右幅が7.32 mと他のゴールスポーツに比べて広範囲のゴールを守らなければならない（例えば、ハンドボールゴールの左右幅は3m）、サッカーは僅かな得点差で勝敗が決まることが多いため、GKが1本のシュートを防ぐことができたかは試合の結果を大きく左右する。また、GKがシュートを防ぐために用いるダイビング動作は、陸上競技の跳躍種目とは異なり自身の側方へ跳躍する動作であること、跳躍距離や高さといった記録ではなく、飛来するシュートを手で触り防ぐことができたかによってパフォーマンスの優劣が決定される動作であることが特徴として挙げられる。前項でも述べたように、現在の日本では、ダイビング動作について十分な指導が行われているとは言い難い状況にある。スポーツにおけるパフォーマンス向上のための動作改善について阿江と藤井（2011）は、スポー

ツにおける運動には力学的法則が関与しているため、スポーツバイオメカニクスは動作の改善に大きく貢献する潜在能力を持っていると述べている。したがって、ダイビング動作をバイオメカニクスの的に分析することは、GKを取り巻く現状を改善するのに役立つと考えられる。

GKの動作に関するバイオメカニクスの研究としては、GKの構え姿勢について報告したもの(中屋敷, 1980)、ペナルティキック時のGK経験者と未経験者のダイビングの違いについて報告したもの(永都, 1980)、ダイビング動作の動作時間と到達範囲について報告したもの(松倉・浅井, 2009)、紐で吊るしたボールに対するダイビング動作について報告したもの(浅井ほか, 1982; 鈴木ほか, 1985; 磯川ほか, 1985; 磯川ほか, 1986; Spratford et al., 2009; 松倉・浅井, 2013, 2014)、ダイビング動作時の地面との接触による腰部の負荷について報告したもの(Schmitt et al., 2010)、キックマシンにより射出されるボールに対するダイビング動作について報告したもの(Graham-Smith et al., 1999)などがある。

中屋敷(1980)は、GK経験者はキッカーのシュート動作に合わせてジャンプを行う「事前ジャンプ動作」を行っていたことを報告している。また、磯川ほか(1985)は、事前ジャンプを行っている間か、事前ジャンプの着地の瞬間にはダイビングする方向を決定していること、事前ジャンプからダイビング動作まではほとんど連続的に移行していることを報告している。Graham-Smith et al. (1999)は、GKは飛来するシュートの場所に応じてボールと自身との距離が遠い場合には一度サイドステップやクロスステップなどで移動してからダイビング動作を行うなど、GK自身とボールとの距離に応じて異なる動作を行っていたことを報告し、セービング動作を8つに分類している。松倉・浅井(2013, 2014)は、異なる高さ(Lower:安全マット上, Middle:地上から1.22m, Upper:地上から2.20m)と距離(Near:GKからみて1.83m右側, Far:GKからみて3.50m右側)を組み合わせた6つのシュートコースを設定し、各シュートコースに設置したボールに対してダイビング動作を行わせ、GKはダイビングするシュートコースにより下肢の関節角度やトルク発揮

に違いがみられたことを報告している。

多くの先行研究（浅井ほか，1982；鈴木ほか，1985；磯川ほか，1985；磯川ほか，1986；Spratford et al., 2009；松倉・浅井，2013，2014）で対象とされたダイビング動作は，様々な高さや距離に設置されたボールに対して被験者自身が任意のタイミングで動作を開始することが可能であり，時間的制約がない中で行われたダイビング動作である。しかし，本来ダイビング動作はシュートに対応するという時間的制約がある中で行われる動作であり，各シュートコースに合わせてダイビング動作を行うだけでなく，飛来するシュートにタイミングを合わせてダイビング動作を行わなければならない。そのため，様々なシュートコースへ飛来するシュートへのダイビング動作を行わせた場合でも，松倉・浅井（2013，2014）で報告されているように，ダイビングするシュートコースによって動作方向を調整するために，下肢の関節角度やトルク発揮に変化がみられることが予想される。しかし，シュートに対応するという時間的制約がある中で GK が身体をどのように変化させて対応しているかは検討されていない。また，バイオメカニクス以外の研究分野では，注視行動に関する研究（金本ほか，1979；河合ほか，1985；Savelsbergh et al., 2005；高橋ほか，2005；續木ほか，2008 など）が数多くなされており，GK はキッカーの動きを見ることで，自身が動き始めるタイミングの調整やシュートが飛来する地点を予測していることが報告されている。これらのことから，ダイビング動作の特徴を考慮しつつ GK のダイビング動作のパフォーマンス向上に寄与するためには，紐で吊るされたボールやマシンにより射出されたボールへのダイビングではなく，実際のシュート場面を模擬し，キッカーによってシュートされたボールへのダイビング動作を分析する必要がある。しかし，試合におけるシュート状況は無数に存在するため，ゲーム分析によって，分析すべき GK のシュートストップ動作やシュート状況に対して優先順位をつける必要があるだろう。

試合中の GK のプレーについて，Sainz De Baranda et al. (2008) は，2002 年に行われたワールドカップでの GK のプレーを分析し，GK はシュートストップ動作，パスなどのボ

ールコントロール，パンチングやキックによるクリアリングの順により多く動作を行っていたことを報告している．また，シュートが打たれた場所として，ゴールエリアを除くペナルティエリア（ゴールラインから 5.5m～16.5m）の内側とペナルティエリアよりも攻撃陣営側（ゴールラインから 16.5m 以上）がそれぞれ約 40%であり，GK の近くから打たれたシュートが少ないことを報告している．Szwarc et al. (2010) は，2008 年に行われたヨーロッパ選手権大会出場国の GK のプレーを分析し，GK の動作のほとんどがパスを含めたボールコントロールに関する動作であったことを報告している．しかし，これらの研究において，GK がシュートに対応した動作は，全てシュートストップ動作として扱われており，Graham-Smith et al. (1999) のように詳細に分類されていないため，試合中に GK がどのような動作によってシュートに多く対応しているのか，また中屋敷(1980)や磯川ほか(1985)が報告したような事前ジャンプを試合中にも行っているのかは明らかとなっていない．

これらのことから，先行研究で対象とされてきた紐で吊るされたボールやマシンによって射出されたボールに対するダイビング動作では，キッカーによって蹴られたボールに対応するというダイビング動作の特徴を考慮できていない可能性がある．そのため，GK を取り巻く現状を改善するためには，飛来するシュートに対するダイビング動作についてバイオメカニクス的に分析する必要があると考えられる．しかし，バイオメカニクス的分析を行う上で，模擬すべきシュートの状況や，GK がどのような動作によってシュートに対応しているのかといった基礎的な情報が不足している．したがって，ダイビング動作の特徴を考慮しつつ GK のダイビング動作のパフォーマンス向上に寄与するためには，まず，ゲーム分析によって模擬すべきシュートの状況や，分析すべき GK のダイビング動作を明らかにし，次にそれに基づいて飛来するシュートに対するダイビング動作の特徴をバイオメカニクス的に明らかにする必要がある．なお，試合中に GK が多く行っているダイビング動作や，シュートが多く放たれる場面について動作分析を行うため，得られた知見は動作の指導だけでなく，練習方法を考える際にも役立つと考えられる．

## 1.2 目的

本研究の目的は、サッカーの試合中の映像分析により、シュートが放たれる場所や飛来するシュートの高さ、GKが行う頻度の高いシュートストップ動作を明らかにすること、そしてそのシュートストップ動作の特徴をバイオメカニクスの的に明らかにすることで、GKが試合中に高頻度で使用するシュートストップ動作に対する技術指導の示唆を得ることとした。

## 1.3 研究課題

本研究の目的を達成するために、以下の課題を設定した。

**【研究課題 1】** サッカーの試合におけるシュート状況と GK のシュートストップ動作の分類

試合映像から、GK のプレーを分類し、試合中に多くみられるシュート場面や、GK がシュートに対して行う頻度の高い動作を明らかにする。

**【研究課題 2】** 異なるコースに飛来するシュートに対するシュートストップ動作のバイオメカニクスの分析

研究課題 1 で明らかになった試合中に多くみられるシュート場面を模擬し、GK のシュートストップ動作についてバイオメカニクスの的に明らかにする。

**研究課題 2-1** 異なるコースにダイビングするための下肢および体幹のバイオメカニクスの特徴

異なるコースに飛来するシュートに対して、GK が下肢および体幹の姿勢をどのように変化させて対応しているのかを、バイオメカニクスの的に検討する。

**研究課題 2-2** シュートストップにおける上肢および体幹の動作特性とシュートストップの成否との関係

研究課題 2-1 で得られた結果を踏まえつつ、ダイビング動作において、シュートを

主に防ぐ役割のある手部に対する上肢および体幹の動作の役割と、GK とボールとの幾何学的関係から、GK の守備可能範囲を作成し、GK がシュートストップに失敗する要因について検討する。

### 【研究課題 3】 指導への示唆

研究課題 1 および 2 で得られた知見をもとに、様々なシュートコースに飛来するシュートに対するシュートストップ動作の指導に対する示唆を得る。

### 研究上の仮定

本研究は以下の仮定に基づいて行った。

- ① 本研究で対象とした全ての被験者は、同等の競技レベルをもつ集団を代表する。
- ② 身体は 15 のセグメントからなる剛体リンクセグメントモデルとみなすことができる。
- ③ 被験者の身体各セグメントの慣性特性は阿江（1996）の推定式によって算出できる。
- ④ ボールに貼付したマーカーがキッカーのフォームやボールの軌道など実験に与える影響は小さい。
- ⑤ 全ての試技において、キッカーの利き足の違いがシュートや GK に与える影響は小さい。
- ⑥ 全ての試技において疲労による影響はない。

## 1.4 研究の限界

本研究には、以下に述べる限界があると考えられる。

### 1.4.1 映像分析における限界

- ① シュートが放たれた場所については計測しているが、シュートした身体の部位や、シュートが飛来する際の角度については計測していない。そのため、どのような角度から身体のどの部分を使って放たれたシュートに対して GK が最も対応しているかとい

った内容については言及できない。

- ② シュートが放たれた場所や、インプレー時、フリーキック、ペナルティキックといったシュートが行われた状況については分けて計測しているが、シュートが放たれる直前の選手の状況については計測していない。そのため、平嶋ほか（2014）のように、シュートが放たれる直前のシューターを取り巻く状況からシュートストップの難易度を判断して、シュートストップの成否について言及することや、GKが最もシュートに対応している状況について、詳細に言及することはできない。

#### 1.4.2 バイオメカニクスの研究における限界

- ① 本研究では、主に関東大学サッカー1部リーグに所属する大学の男子サッカー選手を対象にしたことから、競技レベルが大きく異なる選手や、年齢や性別、形態的特徴が大きく異なる選手に、本研究で得られた知見をそのまま適応できるとは限らない。
- ② 関節トルクは関節まわりの筋群および靭帯などの組織が発揮した合成トルクであり、個々の筋の作用については言及できない。
- ③ 本研究で対象としていないシュート場面やダイビング動作に対して、本研究で得られた知見をそのまま適応できるとは限らない。

#### 1.5 用語の定義

本研究で使用する主要な用語について、以下のように定義した。

- 1) シュートストップ動作：シュートに対してボールを捕球する動作やダイビング動作をまとめて、シュートストップ動作と定義した。なお、本研究ではゴールの枠内および枠外に関係なくシュートを防ぐために GKが行ったプレーを全てシュートストップ動作と定義した。
- 2) ダイビング動作：シュートストップ動作の中でも、GKが側方へ跳んでシュートを防ぐ

動作をダイビング動作と定義した。

- 3) 準備動作：先行研究および指導書（中屋敷，1980；磯川ほか，1985；長谷川，2012；小島，2013）を参考に、「GKがシュートストップ動作を行う前にみられる，鉛直上方への小さなジャンプ動作」を準備動作と定義した。
- 4) 移動動作：GKがダイビング動作を行う前に，「サイドステップやクロスステップなどで明確に側方へ移動した動作」を移動動作と定義した。
- 5) キャッチング：GKが「ダイビング動作を行わずに，手でボールを捕球した動作」をキャッチングと定義した。
- 6) 見送り：失点時に「GKがシュートに対して対応できず，ダイビング動作もしくはキャッチングができなかった」場合のGKの動作を見送りと定義した。

## 第2章 文献研究

### 2.1 試合中の GK のプレーに関する研究

サッカーのような球技種目では、一般的には、得点数やアシスト数など得点にかかわるプレーの数や、ファウル数や被ファウル数といった反則にかかわるプレーの数などが、試合における選手の能力評価基準の 1 つとなる。また、様々なプレー数を数えることで、対象とした年代やチーム、リーグの選手のプレー傾向を明らかにすることができる。そのため、GK においても同様の理由で試合中のプレー数を計測した研究が行われている。

末永ほか (2002) は、GK はペナルティエリア内に限り、6 秒以内であればボールを手で保持し、自由に移動できるという 2000 年に改正されたルールが GK のプレーに与える影響について、2000 年開催のヨーロッパ選手権大会全 31 試合を対象に分析した。その結果、GK は、シュートなどに対応し、ボールを保持してから平均して 4 秒後にはパスを行っていたこと、またボールを保持してからパスを行うまでの時間は、キックによるパスを行う場合よりもスローイングによるパスを行う場合の方がボールの保持時間が短かったことを報告し、ルール改正に伴い、GK にはボールを保持した瞬間から、次のパスための状況判断能力が、ルール改正前よりも高いレベルで要求されるようになってきていると述べている。

胡 (2004) は、前述した 2000 年のルール改正が与える影響について、改正前後の 1998 年のワールドカップフランス大会と 2002 年のワールドカップ日韓大会の決勝トーナメント各 16 試合、計 32 試合における GK のプレーを対象に比較、検討した。その結果、ルール改正前に比べ、改正後にはボール保持後のボールの保持時間とパスを行うまでの移動歩数が有意に増加し、GK は状況を素早く判断し、相手選手に邪魔されずに確実性の高いパスを出せる位置へ移動してから次のプレーへと移行するようになったと述べている。

Di Salvo et al. (2008) は、2003 年から 2006 年までのイングランドプレミアリーグ 109 試合を対象として、GK の 1 試合における移動距離や速度について検討した。その結果、平

均移動距離は1試合当たり  $5,611 \pm 613\text{m}$  であったが、試合の前半と後半に移動距離の差はなかったこと、移動距離を移動速度毎に分けてみると、ウォーキング（時速  $0.3 \sim 7\text{ km}$ ）が73%、高強度の動作（時速  $19.9\text{ km}$  以上）が2%であったが、試合の最終的な結果は、この高強度の動作に左右されると述べている。

Sainz De Baranda et al. (2008) は、2002年のワールドカップ日韓大会の54試合、34名のGKを対象に、GKのプレーやシュートが打たれる位置について検討した。その結果、GKはシュートストップ動作、パスなどのボールコントロール、パンチングやキックによるクリアリングの順に、より多く動作を行っていたことを報告している。また、シュートが打たれた場所として、ゴールエリアを除くペナルティエリア（ゴールラインから  $5.5 \sim 16.5\text{m}$ ）の内側とペナルティエリアよりも攻撃陣営側（ゴールエリアから  $16.5\text{m}$  以上）がそれぞれ約40%ずつであり、GKの近くからシュートが少ないことを報告している。

Szwarc et al. (2010) は、2008年のヨーロッパ選手権大会の準々決勝から決勝までの7試合を対象にGKのプレーについて検討した。その結果、シュートストップ動作などの守備に係わるプレーの数は217回であったが、パスなどの攻撃に係わるプレーの数は290回であり、GKは試合中にパスなどのボールコントロールに関するプレーを多く行っていたことを報告している。

Park et al. (2016) は、2012年のヨーロッパ選手権大会を31試合、196本のシュートを対象に、シュートが蹴られる場所や飛来するシュートの高さについて検討した。その結果、対象とした196本のうち、GKが防いだシュートは123本であり、そのうち80本のシュートがペナルティエリアの外からのシュートであり、88本のシュートがゴールの低い位置に飛来していたことを報告している。また、防ぐことができなかった73本のシュートのうち、65本のシュートがペナルティエリア内でのシュートであったことを報告している。

平嶋ほか (2014) は、2010年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の枠内に飛来した551本のシュートを対象に、シュートが打たれるまでの攻撃内容やシュ

ートが打たれた時のシューター周辺の守備状況，シュートが打たれた場所やシュートが飛来した高さなどの被シュート状況を 17 項目に分類，計測し，それらの項目を用いてシュートストップの失敗確率を予測する回帰式の構築およびシュートストップの難易度の定量化を行った．その結果，シュートがゴールに到達するまでの時間や，シューター周辺の守備状況など 10 項目がシュートストップの難易度に大きく影響していることを報告している．

平嶋ほか（2018）は，2014 年ワールドカップブラジル大会全 64 試合におけるゴールの枠内に飛来した 587 本のシュートを対象に，平嶋ほか（2014）で構築した回帰式の妥当性を検証した．その結果，回帰式を用いて算出される値の信頼性は高く，世界トップレベルの GK を評価するうえでは有用な式であり，各国代表選手の評価や世界トップレベルを基準として選手を評価する際にも有効な回帰式であると述べている．

以上のように，GK のプレーは試合の結果を大きく左右するため，選手のプレーを分類し，計測した研究がなされている．これらの研究から，世界トップレベルの試合におけるシュートが多く飛来する場所や高さ，GK が試合中にどのようなプレーを多く行っているのかは明らかとなっている．しかし，これらの結果は世界のトップレベルの選手だけを対象としているため，競技力の異なる選手の試合に対しても同様の結果が得られるかは不明である．また，GK のプレーを分析する際には，ボールコントロールとシュートストップ動作とは分けて計測されているが，クロスボールへの対応，フロントダイビングなど，GK 特有の動作の中でも計測対象となっていない動作も多くみられる．そのため，GK 特有の動作の中で，どの動作が使用頻度の高い動作であるか，といった内容までは言及されていないようである．

## 2.2 GK の視野に関する研究

GK 特有の動作の中でも，シュートストップ動作はシュートに対応するための動作であることから，GK はキッカーのシュートに合わせて動作を開始しなければならない．そのため，

GKの注視行動に関する研究が行われている。

金本ほか(1979)は、大学サッカー部所属 GK2名(熟練者)および GKでない大学サッカー部員2名(未熟練者)を対象に、2名の選手がパス交換を行っている映像を提示して、映像閲覧中の被験者の注視点を、アイマークレコーダーにより記録した。その結果、未熟練者はボールの動きに注視点が誘導されるのに対して、熟練者はプレーヤーの動きを注視する傾向があること、また熟練者の特徴としてプレーヤーとボールの間にも注視点を置くことを報告し、GKは中心視だけでなく周辺視を用いることで、短時間でより多くの情報を得ようとしていると述べている。

河合ほか(1985)は、大学サッカー部所属 GK3名(GK)、GKでない大学サッカー部員3名(フィールドプレーヤー)および体育を専攻している学生3名(非鍛錬者)を対象とし、11m前方にいるキッカーから打たれるシュートの方向を判断させ、その時の注視点をアイマークレコーダーにより記録した。その結果、シュートの方向に対する反応は、フィールドプレーヤー、GK、非鍛錬者の順に早かったと報告し、GKは自身の経験からダイビングが可能である時間的限界を習得しており、より多くの情報を得るために、自身が動き出せる時間的限界まで待つて判断および反応をしているのではないかと述べている。また、注視点については、GKはキッカーの軸脚および蹴り脚を注視する傾向にあるが、フィールドプレーヤーはキッカーの脚部やボールといったキッカーの身体全体を注視し、非鍛錬者はキッカーの助走開始時からボールだけを注視していたと報告している。

Savelsbergh et al. (2002)はオランダ2部リーグ所属のプロ GK7名(expert群)とサッカーを定期的に行う習慣のある GK7名(novice群)を対象に、ペナルティキックをしているキッカーの映像を提示して、シュートが来る方向(右・左)および高さ(上・中・下)を組み合わせた6つのシュートコース判断させ、その時の注視点をアイマークレコーダーにより記録した。その結果、expert群はnovice群よりも精確にシュートコースを判断していたこと、河合ほか(1985)と同様の理由で、expert群はnovice群よりもシュートコース

を回答するまでの時間が長くなっていたことを述べている。また、注視行動においては、両群ともにキッカーやボール以外の場所に注視することで中心視と周辺視を用いて情報を得る時間が長かったこと、novice 群は体幹、腕、腰に注視する時間が長かったが、expert 群はボールインパクトが近づくにつれ、蹴り脚とボール周辺を注視している時間が長かったことを報告している。Savelsbergh et al. (2005) では、オランダ 1 部リーグなどに所属している GK16 名を対象に、Savelsbergh et al. (2002) と同様の方法で実験を行い、実験時の正答率の高さで expert 群および novice 群に分類し、分析を行った。その結果、expert 群は novice 群よりもシュートが来る高さや方向をより正確に予測し、軸脚を注視している時間が長かったことを報告している。

高橋ほか (2005) は、大学サッカー部所属の GK6 名 (熟練者) とサッカーの競技歴のない一般学生 6 名 (初心者) を対象に、11m 前方にいるキッカーから打たれるシュートが左、中央、右のどの方向に飛来するかを予測させ、その時の注視点をアイマークレコーダーにより記録した。その結果、熟練者はキッカーが助走の段階ではボールが飛来する方向を予測するために支持脚を注視し、ボールインパクトの段階では自分が動き出すタイミングを判断するために蹴り脚とボールに注視していることを報告している。また、熟練者は全ての試行において、軸脚が接地してからボールインパクトまでにシュートが飛来する方向を予測していたことから、支持脚がボール方向を予測するうえで重要な要素になる可能性が高いと述べている。

續木ほか (2008) は、ペナルティキックをしているキッカーの映像を編集し、①キッカーの助走開始時点までの映像 (助走条件)、②インパクトから 2 歩前の脚が接地した時点までの映像 (2 歩前条件)、③軸足接地時点までの映像 (軸足条件)、④インパクト時点までの映像 (インパクト条件) の 4 つの時間による遮蔽を行った映像と、時間的な遮蔽に加え、①キッカーの顔を消した映像 (顔条件)、②キッカーの上肢を消した映像 (上肢条件)、③キッカーの下肢を消した映像 (下肢条件) の 3 つの部位を遮蔽した映像を作成した。そし

て、GK が左, 中央, 右のシュート方向を予測するための手掛かりについて検討するために、関東サッカーリーグ 1 部および 2 部に所属する GK31 名を対象に編集した映像を提示してシュートの方向を答えさせ、その正答率を検討した。その結果、サッカーの競技歴と正答率に有意な差はなかったこと、時間的な遮蔽を行った場合、助走条件および 2 歩前条件よりも、軸足条件およびインパクト条件の映像を提示した方が、有意に正答率はより高くなることから、軸足接地からインパクトまでにシュート方向を決める手がかりを得ていることを報告している。また、時間と部位を遮蔽した映像の場合、実験時の正答率の高さで上位群、中位群、下位群に分けたところ、下位群では部位の遮蔽による正答率の差はみられなかったが、上位群では時間的な遮蔽だけを行った映像と同様の結果が得られたことから、ペナルティキック時には特に下肢に注目することがシュート方向の予測には重要であると述べている。

以上のように、GK はシュートに対応する際に、キッカーの下肢を中心にキック動作全体を見ていることが窺える。また、GK としての競技レベルが高くなるほど、より精確にシュートに対応するためにシュートが来る方向や高さを判断し、動き出すまでの時間が長くなることや、方向だけでなく高さといった、より詳細にシュートが飛来する地点を予測できるようになっている。したがって、GK は自身が動き出すタイミングや飛来するシュートの方向などをキッカーの動きから探っていると考えられる。しかし、先行研究は注視行動に着目した分析であるため、対象となる被験者は立位または椅子に座って実験に参加していた。そのため、実際のシュート場面における GK とキッカーの両者のバイオメカニクスの関係については明らかとなっていないようである。

### 2.3 GK 特有の動作に関するバイオメカニクスの研究

GK 特有の動作において、バイオメカニクスの研究の対象となっているのは、主にダイビング動作である。また、GK はフィールドプレーヤーとは大きく異なる特殊なポジションで

あることや、試合においては速いシュートに対応しなければならない。そのため、競技力の違いに着目した研究や、身体重心速度の獲得メカニズムに着目した研究が多く行われている。

中屋敷（1980）は、大学生サッカー部所属 GK（鍛錬者）2名と、サッカー部員で GK 経験のない者（非鍛錬者）2名を対象に、ゴールラインから 1m 前に立たせ、ペナルティスポットとペナルティエリアの端から放たれるシュートに対して、どのような構え姿勢を行っているかを分析した。その結果、鍛錬者は、完全な前傾姿勢をとっており、構えの深さを膝関節の屈曲と体幹の前傾により調節しているが、非鍛錬者は、不完全な前傾姿勢もしくは後傾姿勢であり、構えの深さを股関節によって調節していた。そして、鍛錬者には構えの中に事前ジャンプがみられたが、非鍛錬者にはみられなかったことを報告している。

永都ほか（1980）は、GK 経験のある大学生 1名と経験のない大学生 1名に対し、ペナルティキックを想定して GK の 11m 前方からキックマシンにより放たれるボール（ボールスピード：20–23.9m/s, 24–27.9m/s, 28–30m/s の 3種類）に対してダイビングを行わせた。その結果、経験者は、どのボールスピードの場合でも、ダイビングの原則とされる「体を横にして跳ぶ」ことができていた。しかし、未経験者は、20–23.9m/s 以外の 2条件では、経験者と同じような動きができておらず、速いシュートへ対応する際に競技レベルの差が顕著に表れたことを報告している。

浅井ほか（1982）は、フォースプレート上に立たせた被験者の右側に、フォースプレート面から、0m, 0.95m, 1.9m の高さに直列につないだペンデルボール（ヘディング練習用のボール）を吊るし、高さに対応したランプの点灯を合図にダイビングを行わせた。その結果、高い位置にあるボールよりも、低い位置にあるボールをダイビングする方が、ボールへの到達時間が長い傾向にあること、またダイビングする方向への体幹の回転運動は、ボールへの到達時間を短くするために重要であることを報告している。

増永ほか（1984）は、大学生の GK2名を対象に、GK の 9m 前方からキックされるボー

ルに対してダイビング動作を行わせ、シュートストップ動作の前にみられる事前ジャンプの役割について検討した。その結果、事前ジャンプには、筋が主動作のために短縮する前に伸長させておく役割だけでなく、事前ジャンプの時期には、キッカーの動作から左右どちらに反応するのかを決定し、動作を行うタイミングを調整する役割があると報告している。そのため、事前ジャンプを積極的にダイビング動作の前に取り入れるべきだと述べている。

磯川ほか(1985)は、日本リーグ所属の GK4 名 (JSL) および学生サッカーリーグ所属 (USL) の GK4 名を対象に、フォースプレートから左右方向にそれぞれ 2.5m ずつ離れたところにペンデルボールを吊るし (高さは、床から 0.3m, 0.9m, 1.5m の 3 種類)、ランプが点灯した方向へダイビングを行わせた。その結果、0.9m および 1.5m の高さへのダイビングでは、JSL の方が USL よりも短い時間でボールに到達していた。また JSL の方が横方向の速度をより大きく獲得しているため、ボール方向に対してより直線的に踏み切っていることを報告している。そして、横方向の速度が小さい選手が遠いところへダイビングする場合、より鉛直上方へ踏み切ることになり、ボールに到達するまでの時間が長くなることを報告している。さらに、事前ジャンプについては、事前ジャンプを行っている間か、着地した瞬間にダイビングする方向を決定し、着地後できるだけ早くダイビングを行うために、着地後の構え姿勢はごくわずかな時間であり、ほとんど連続的に着地からダイビング動作へと移行していることを報告している。さらに、浅井ほか(1982)と同様に、体幹をボールの方向へ倒す軸足を支点とした回転運動もダイビングの重要な要素であり、JSL の方がこの回転運動をより効果的に行っていたことを報告している。また、磯川ほか(1986)は、磯川ほか(1985)と同様の方法により実験を行い、JSL は USL よりも水平および鉛直方向の身体重心の合成速度が大きかったこと、そして合成速度の大きさは鉛直方向の速度よりも横方向の速度との間に高い正の相関関係があったことを報告している。

鈴木ほか(1985)は、日本リーグ所属の GK2 名および関東学生サッカーリーグ所属の

GK2 名を対象に、磯川ほか（1985）と同様の方法で実験を行い分析した。その結果、JSL は動作開始から両脚離地までの時間が長く、両脚離地までに USL よりも身体重心をボールに近づけてダイビングを行っていたことを報告している。また、予め重心をボールに近づけてからダイビングすることは、ダイビングに要する時間が同じである場合、より遠いところへ到達することができるため、JSL のダイビングは遠い位置へのダイビングに対しては合理的な動作であると述べている。

Graham-Smith et al. (1999) は、セミプロ、大学生、15 歳以下のユース選手の 3 名を対象に、GK からみた際のゴールの右側を、横方向 0.91m ずつに 4 分割、鉛直方向 0.81m ずつに 3 分割、合計 12 地点に分類し、ゴールラインから 11m 離れた位置に設置されたキックマシンから各地点へ放たれるボールへ向けてダイビングを行わせ、動作時間を検討した。その結果、GK から離れたシュート（ポストに近い地点）には到達する時間がかかり、ゴール中ほどの高さのシュートは到達時間が早く、ボールまでの手の移動距離が短かったことを報告している。また、GK はダイビングする距離が近い場合には、両脚を崩しながら地面に落ちるような動作を、距離が遠い場合にはダイビング動作の前に一度、サイドステップやクロスステップを行ってからダイビング動作を行うなど、自身とボールとの距離に応じて異なる動作を行っていたことを報告し、ダイビング動作を 8 つに分類している。

松倉・浅井（2009）は、大学サッカー部所属 GK13 名を対象に、GK をゴールの中央に立たせ、異なる距離（近距離：GK から左右に 1.83m、遠距離：GK から左右に 3.50m）と異なる高さ（低：地上、中：1.22m、高：2.2m）および左右の合計 12 か所にボールを吊るし、ランプが示す方向へダイビングを行わせ、ボールへの到達時間、移動速度、および手の移動軌跡について検討した。その結果、到達時間については、近距離では中、高、低の順に、遠距離では中、低、高の順に有意に大きくなること、移動速度については、遠距離へのダイビングでは、側方へ踏み出す動作があるため、二峰性の速度変化がみられたことを報告している。また、0.1 秒ごとの手部の移動軌跡から、各時刻における GK の到達可能

範囲図を作成している。

Spratford et al. (2009) は、20 歳以下のオーストラリア代表チーム GK6 名を対象に、異なる高さ（高さ 0.3m の場合、左右方向距離は 2.36m：高さ 0.9m の場合、左右方向距離は 2.5m：高さ 1.5m の場合、左右方向距離は 2.78m）へのダイビングを行わせ、分析対象者がダイビングする際、得意な方向と不得意な方向のダイビング動作を比較した。その結果、不得意な方向は、得意な方向と比べて骨盤と胸部がダイビング方向へより回旋し、膝関節の伸展角度が大きく、足関節の底屈角度が小さく、ダイビング方向への重心移動が大きかったことを報告している。また、両脚離地時の身体重心位置からボールへ向けたベクトルと、両脚離地の 1 コマ前の重心位置から両脚離地時の重心位置へ向けたベクトルとがなす角度を net projection angle と定義し、身体重心速度で評価する場合よりも、GK がより直線的にボールへ近づくことができているかを評価することで、ダイビング動作をより正確に評価できるのではないかと述べている。

松倉・浅井 (2013) は、大学サッカー部所属 GK11 名を対象に、異なるボールの高さ（低：マット上、中：1.22m、高：2.20m）および距離（遠：1.8m、近：3.5m）へダイビング動作を行わせ、地面反力と関節角速度、下肢関節トルクを比較し、ダイビング動作の基本的なメカニズムについて検討した。その結果、移動方向とは反対側の脚（Contralateral Side 脚、以下「CS 脚」と略す）はボールの高さに応じて力の大きさを変え、移動方向と同側の脚（Ball Side 脚、以下「BS 脚」と略す）は、ボールの高さによって力の大きさと方向を変えることで身体重心をボール方向に対して直線的に向かわせようとしていることを報告している。そして、CS 脚による加速には、股関節および膝関節の屈曲と、その後の膝関節および足関節の伸展（底屈）を増加させることが重要であることを報告している。さらに、近いシュートに対してより速いダイビング動作を行うためには、CS 脚接地時における股関節の外転トルク発揮および外転動作が重要であると報告している。また、松倉・浅井 (2014) は、松倉・浅井 (2013) と同様の方法で分析を行い、低い地点へのダイビングでは、他の高さ

へダイビングする場合よりも、CS 脚の接地時間と両脚で接地している時間が長くなるが、BS 脚の接地時間は高さや距離の違いにかかわらず変わらないこと、ダイビングする高さが低くなるにつれて、BS 脚では各関節を伸展させるタイミングを遅らせつつ、股関節内転トルクを発揮することで、BS 脚のボール方向への傾きを調整することで地面反力の発揮方向を制御していることを報告している。

Smith and Shay (2013) は、イングランド国内セミプロレベル GK8 名を対象に、シュートに対してダイビング動作を行わせ、ダイビングによってシュートに対応する際、top hand (右側へダイビングする場合の左手) か bottom hand (右側へダイビングする場合の右手) のどちら手を優先的に使うべきかを検討した。その結果、top hand は bottom hand に比べて鉛直方向は高いところへ到達することができるが、水平方向では bottom hand の方がより遠くへ到達することができるため、GK から距離が近くて高い地点へ飛来するシュートに対応する場合は top hand での対応が有効となるが、それ以外の場所にはより早く、遠くに手を運ぶ必要があるため、bottom hand での対応が有効であると述べている。

以上のように、ダイビング動作においては、ダイビングする高さや距離に合わせて、鉛直方向だけでなく、より大きな水平方向の身体重心速度を獲得する必要があると考えられる。ダイビング動作において、身体重心速度を主に獲得しているのは下肢の動作であると考えられるが、どのような動作およびメカニズムによって獲得しているのかについて検討しているのは松倉・浅井 (2013, 2014) だけであるため、ダイビング動作における身体重心速度の獲得メカニズムが十分に明らかになっているとは言い難い。

## 2.4 文献研究の総括

これまで行われてきた GK に関する研究では、ゲーム分析によって試合における GK のプレー内容について検討したもの、注視行動の分析によってシュートに対応する際に GK がキッカーのどこを見ているかについて検討したもの、および動作分析によって GK のダ

ダイビング動作について検討したものに分けることができる。そして、ゲーム分析においてもシュートストップ動作を行った数を数えていることから、試合中の GK の動作におけるシュートストップ動作の重要性が窺える。しかし、前述したように、GK はキッカーの動きを見て、動き出しのタイミングを調整しつつ、シュートストップ動作を行っている。そのため、シュートストップ動作、とりわけダイビング動作をバイオメカニクスの分析する際には、シュートに対応するというダイビング動作の特性を考慮して分析する必要があると考えられる。しかし、シュート場面を想定した場合、シュートが多く蹴られる場所や、GK がシュートに対応するために多く用いる動作など、模擬すべきシュート場面が明らかになっていない。

GK 特有の動作はシュートストップ動作以外にも存在しているものの、試合中の動作頻度については見当たらない。また、ダイビング動作については、Graham-Smith et al. (1999) や磯川ほか (1985) によって、事前ジャンプ動作を行っていることや、距離や高さに応じて異なる動作で対応していることが報告されている。しかし、試合中のシュートストップ動作を対象として、詳細に分類し、計測を行った研究は見当たらない。そのため、GK が試合中にも事前ジャンプなどバイオメカニクスの分析で報告されているような動作を行っているかは不明である。シュートストップ動作以外にも、クロスボールの対応やフロントダイビングなど、試合中の GK 特有動作の中で、どの動作の使用頻度が高く、重要であるかは未解明である。したがって、試合中における GK の動作について、バイオメカニクスの研究などの報告と併せて詳細に分類し計測することは、GK 特有の動作におけるシュートストップ動作の重要度について明らかにできるだけでなく、選手がどの動作を優先的に習得すべきかを明らかにすることができる。

したがって、試合中の GK のプレーを詳細に分類し、計測すること、そして得られた知見をもとに、シュート場面を模擬した状況での GK のダイビング動作を分析することは、GK が優先して習得すべき動作の特徴を明らかにするだけでなく、GK の指導に関する上で

も有用な知見となりえる。

## 第3章 サッカーの試合におけるシュート状況と GK のシュートストップ動作の分類

### 3.1 目的

第2章で述べたように、試合中の GK のシュートストップ動作について詳細に分類し、計測した報告はなく、シュートストップ動作として総括し、GK のプレーの1項目として報告されている (Sainz De Baranda et al., 2008 ; Szwarc et al., 2010). 一方で、指導書 (小島, 2013) やバイオメカニクス的研究 (中屋敷, 1980 ; 磯川ほか, 1985 ; Graham-Smith et al., 1999) では、シュートストップを行う前には準備動作や移動動作を行う場合もあるとの報告がある。しかし、試合中に GK がシュートストップを行う際、ダイビング動作によってシュートを防ぐ頻度や、バイオメカニクス的研究で報告されているような準備動作や移動動作などを用いている頻度は明らかでない。シュートが飛来する場面 (以下、「シュート場面」と略す) については、Sainz De Baranda et al. (2008) や Park et al. (2016) がシュートの打たれた場所やシュートの高さについて報告している。しかし、GK の指導書 (藤川, 2004 ; 澤村, 2012 ; 公益財団法人日本サッカー協会技術委員会, 2013 など) では、インプレー時やセットプレー時などの被シュート状況も考慮した指導が述べられている。これらのことから、シュートストップ動作だけでなく、シュート場面についても詳細に分類し、同時に計測し、試合において発生頻度の高いシュート場面と GK が高い頻度で用いるシュートストップ動作を明らかにすることは、動作の指導や練習方法を考える際の基礎的資料となり得る。先行研究 (Park et al., 2016) では、GK が失点したシュートの多くはペナルティエリア内で蹴られていることが報告されている。試合中に確実に得点するには、GK が触ることのできない地点にシュートを蹴る必要がある。したがって本章では、GK は試合中に GK 特有の動作の中でも、シュートストップ動作を多く行っており、とりわけダ

イビング動作は高頻度で用いられること、また、シュートは、インプレー時にペナルティエリア内から蹴られる頻度が高いことを仮説として設けた。そして、サッカーの試合映像から GK がシュートに多く対応している状況や、GK がシュートに対して行う頻度の高いシュートストップ動作を明らかにすることを目的とした。

### 3.2 標本

標本は 2014 年に開催された第 88 回関東大学サッカーリーグ戦 1 部リーグ、総理大臣杯全日本大学サッカートーナメント関東予選、天皇杯茨城県予選および天皇杯本選における筑波大学の試合、計 27 試合とした。そして、筑波大学および対戦相手チームの GK のべ 54 名のプレー、計 1398 本を標本とし、その内シュートストップ動作として分類されたのは 303 本であった。標本としたプレーはそれぞれ独立であると仮定し統計処理を行った。

### 3.3 測定方法

ビデオカメラによって撮影された映像を再生し、田崎ほか (1993)、鈴木・西嶋 (2002) の測定方法に準拠し、シュートストップ動作およびシュートストップ動作以外のプレー (詳細は後述) の数を測定した。

### 3.4 測定項目

#### 3.4.1 シュートストップ動作の分類

シュートストップ動作の測定項目の設定には、先行研究 (磯川ほか, 1985; Graham-Smith and Lees, 1999; 松倉・浅井, 2013) を参考に分類した。また、対象としたシュートストップ動作において、どのようなシュートに対してシュートストップ動作を行っているのかを測定するために、平嶋ほか (2014) を参考にシュートを分類した。

#### ①準備動作の有無

準備動作を行っている場合に準備動作あり，準備動作を行っていない場合には準備動作なしとして記録した。

#### ②シュートストップ動作

GK がどのようなシュートストップ動作を行っていたのかを以下の基準を設け，(a) 準備動作からダイビング動作までを連続的に行った（以下，準備・ダイビング），(b) 準備動作から，移動動作，ダイビング動作までを連続的に行った（以下，準備・移動・ダイビング），(c) 準備動作は行わず，移動動作からダイビング動作までを連続的に行った（以下，移動・ダイビング），(d) 準備動作や移動動作は行わず，ダイビング動作のみを行った（以下，ダイビングのみ），(e) 明確なダイビング動作は行っていないが，手や身体などでボールを弾いた（以下，弾いた），(f) キャッチング，(g) 見送り（失点した場合のみ記録），の7つに分類し，記録した。

#### ③被シュート状況

GK がシュートストップ動作を行った時の被シュート状況において，(a) インプレー時におけるシュート（以下，通常シュート），(b) フリーキック，(c) ペナルティキックとして記録した。なお，本研究では，ヘディング等の足以外でのシュートもすべて対象とした。

#### ④シュート場所

シューターがシュートを打った時点のボールの場所が，ペナルティエリアの中であった場合にペナルティエリア内，ペナルティエリアの外であった場合にペナルティエリア外として記録した。

#### ⑤シュート高さ

平嶋ほか(2014)を参考に，ゴールの高さを基準としてシュートごとに目視で3等分し，最も低い範囲から (a) Lower, (b) Middle, (c) Upper として記録した。

#### ⑥ シュートストップの成否

GK は，ゴールの枠内だけでなく，枠外へ飛来するシュートに対しても，シュートストッ

ブ動作を行うことがある。そのため本研究では、GKがゴールの枠内へ飛来したシュートをキャッチあるいはダイビング動作などにより弾いてゴールに入るのを防いだ場合だけでなく、ゴールの枠外へ飛来したシュートに対してシュートストップ動作を行った場合も含めてシュートストップ成功とし、失点した場合には失敗として記録した。

### 3.4.2 シュートストップ動作以外のプレーの分類

試合においてゴールキーパーは、シュートストップ動作以外のプレーも行う。そのため、『サッカー指導教本 2013, ゴールキーパー編 (2013, 公益財団法人日本サッカー協会技術委員会, p.17, p.38)』を参考にして以下の7項目に分類した。

#### ① ゴールキック

GKがゴールキックを行った場合に記録した。

#### ② ロングキック

GKがボールを手で保持した後、パントキックもしくは地面に転がしロングパスを行った場合に記録した。

#### ④ スローイング

GKがボールを手で保持した後、投げて味方にパスを行った場合に記録した。なお、スローイングについては、『サッカー指導教本 2013, ゴールキーパー編 (2013, 公益財団法人日本サッカー協会技術委員会, p.38)』を参考に、オーバーアームスロー、アンダーアームスローに分類して記録した。

#### ④ クロスボール対応

コーナーキックを含むサイドライン付近からゴール前へ出された放物線状の軌道のパスに対して、頭上や頭上近くのボールをキャッチもしくはパンチングした場合に記録した。

#### ⑤ バックパス対応

GKが味方からパスを受け、そのパスに対してトラップやパスを行った場合に記録した。

#### ⑥クリアリング

GKがバックパスなどに対して、2タッチ以内に遠くへクリアリングした場合に記録した。そのため、GKがバックパスを受け、クリアリングした場合には、バックパス対応とクリアリングのそれぞれを記録した。

#### ⑦ ブレイクアウェイ

相手がドリブルやパスによってディフェンスラインを突破した際に、GKが自身の前方向にあるボールに対してフロントダイビングを行った場合に記録した。

### 3.4.3 統計解析

シュートストップ動作、準備動作の有無、シュート場所、シュート高さ、シュートストップの成否については、客観性を確認するために、 $\kappa$ 係数を算出した。その際、5試合に出現したシュートおよびシュートストップ動作、計52本を標本とした。測定者は選手としてサッカー経験のある大学院生2名であった。測定は映像の一時停止および再生を繰り返す作業であるため、それぞれ個別に測定を行った。測定した項目間の比較にはカイ二乗検定を用いた。シュート高さについては、調整済み残差により、シュートストップの成否別による高さの有意差があるのかを算出した。なお、統計処理における有意水準は5%とし、全てのデータ処理にはMATLAB R2013a (MathWorks社製)を用いた。

## 3.5 結果

### 3.5.1 観察されたデータの客観性

Table 3-1 は、測定した項目の  $\kappa$  係数について示している。  $\kappa$  係数は全ての項目において 0.82 から 1 の間であり、高い値を示していた。

### 3.5.2 標本の基本的特徴

Table 3-2 は、標本とした GK のシュートストップ動作の基本的特徴を示している (Table 3-2 左 : 全シュートストップ動作, Table 3-2 中 : シュートストップ成功, Table 3-2 右 : シュートストップ失敗)。全シュートストップ動作において、GK がシュートストップに失敗した割合は、全体の 23.1% (70/303 本) であった。シュートストップ動作において最も多かった動作は、準備・ダイビングであり、全体の 38.6% (117/303 本) であった。準備動作を行っていたかについては、準備動作を行った回数の方が多く、全体の 68.9% (209/303 本) であった。GK がシュートストップ動作を行ったシュートのうち、最も多く飛来した高さは Lower であり、全体の 64.0% (194/303 本) であった。シュートが打たれた場所については、ペナルティエリア内で打たれたシュートに対応している回数の方が多く、全体の 75.5% (229/303 本) であった。GK がシュートストップ動作を行ったシュートのうち、最も多かった被シュート状況は通常シュートであり、全体の 94.7% (287/303 本) であった。また、通常シュートの次に多かった被シュート状況はフリーキックで全体の 3.6% (11/303 本) であり、ペナルティキックは全体の 1.7% (5/303) であった。これらの値は通常シュートと比較して、非常に少ない値であった。そのため、シュート状況別にシュートストップ動作を分析し、その結果を一般化することは危険であると考えられる。したがって本項以降は、通常シュートのみを分析対象とし、被シュート状況について詳細な分析は行わないこととする。

Table 3-1 Objectivity of observed data

Measurement items	$\kappa$ variables
Shot stopping motions	0.94
Presence or Absence of preparation jump	0.86
Shot area	0.95
Shot height	0.82
Success or failure of shot stop	1.00

Table 3-2 Basic data of samples

Measurement items	All shot stopping motions (n=303)	Success of the shot stopping (n=233)	Failure of the shot stopping (n=70)
Shot stopping motions			
Divingmotion with preparation jump	117	91	26
Divingmotion after side step with preparation jump	20	20	0
Divingmotion after side step without preparation jump	18	10	8
Only diving motion	22	16	6
Fisting without diving motion	15	15	0
Catching a shot	81	81	0
Looking a shot	30	0	30
Presence or Absence of preparation jump			
Presence	209	184	25
Absence	94	49	45
Shot height			
Upper	61	38	23
Middle	48	35	13
Lower	194	160	34
Shot area			
Inside of the penalty area	229	166	63
Outside of the penalty area	74	67	7
Shooting situation			
In playing	287	221	66
Free kick	11	9	2
Penalty kick	5	3	2

### 3.5.3 全シュートストップ動作の比較

Table 3-3 は、シュートストップ動作において最も計測された、準備・ダイビングと、その他のシュートストップ動作とを比較した値を示している。準備・ダイビングを行った回数は 113 回であり、その他の全てのシュートストップ動作よりも有意に多かった。

Table 3-4 は、準備動作を行った回数と、行わなかった回数とを比較した値を示している。準備動作を行ったのは 202 回、行わなかったのは 85 回であり、準備動作を行った方が有意に多かった ( $\chi^2=47.69$ ,  $df=1$ ,  $p<.05$ )。

### 3.5.4 シュートストップの成否別のシュートストップ動作の比較

Table 3-5 は、GK が準備動作を行った回数と、行わなかった回数とをシュートストップの成否別に比較した値を示している。シュートストップ成功時では、準備動作を行った回数は 181 回、準備動作を行わなかった回数は 40 回であり、シュートストップ失敗時では、準備動作を行った回数は 21 回、準備動作を行わなかった回数は 45 回であった。カイ二乗検定の結果、有意差が認められ ( $\chi^2=61.15$ ,  $df=1$ ,  $p<.05$ )、シュートストップ成功時では、準備動作を行った回数の方が有意に多く、シュートストップ失敗時では、準備動作を行っていない回数の方が有意に多かった。

Table 3-6 は、シュートストップ動作において最も多く計測された準備・ダイビングと、その他のシュートストップ動作とをシュートストップの成否別に比較した値を示している。シュートストップ成功時では、準備・ダイビングは 91 回であり、キャッチとの間には有意差は認められなかったが、その他の項目との間にはそれぞれ有意差が認められ、準備・ダイビングの方が有意に多かった。また、シュートストップ失敗時では、準備・ダイビングは 22 回であり、見送りとの間には有意差は認められなかった。しかし、移動・ダイビングと、ダイビングのみとの間にはそれぞれ有意差が認められ、準備・ダイビングの方が有意に多かった。ただし、シュートストップ失敗時のシュートストップ動作数全体に対する準

備・ダイビング以外の動作の割合は、66.7% (44/66 本) であり、GK はシュートに対して、準備・ダイビング以外の動作を行っている割合の方が多かった。

Table 3-7 は、シュート場所をシュートストップの成否で比較した値を示している。シュートストップ成功時では、ペナルティエリア内からのシュートは 163 回、ペナルティエリア外からのシュートは 58 回であり、シュートストップ失敗時では、ペナルティエリア内からのシュートは 61 回、ペナルティエリア外からのシュートは 5 回であり、シュートストップの成否によらず、ペナルティエリア内からのシュートの方が有意に多かった ( $\chi^2=10.33$ ,  $df=1$ ,  $p<.05$ )。

エラー! 参照元が見つかりません。は、シュート高さをシュートストップの成否別に比較した値を示している。なお、エラー! 参照元が見つかりません。の括弧内には、シュートが同じ割合で全ての高さに飛来すると仮定し、観測値から算出した期待値をそれぞれ示した。シュートストップ成功時では、Upper は 34 回、Middle は 31 回、Lower は 156 回であり、シュートストップ失敗時では、Upper は 22 回、Middle は 13 回、Lower は 31 回であった。調整済み残差を算出した結果 (エラー! 参照元が見つかりません。下段)、シュートストップ成功時では、Lower が期待値よりも有意に多く、Upper は期待値よりも有意に少なかった。また、シュートストップ失敗時では、Upper が期待値よりも有意に多く、Lower は期待値よりも有意に少なかった ( $\chi^2=13.13$ ,  $df=2$ ,  $p<.01$ )。

### 3.5.5 シュートストップ動作とその他の動作との比較

Table 3-9 は、シュートストップ動作とシュートストップ動作以外のプレーの統計値をまとめた値を示している。ゴールキックはシュートストップ動作よりもプレー回数が有意に多かった。一方で、ロングキック、オーバーアームスロー、アンダーアームスロー、クロスボール対応、バックパス対応、クリアリング、ブレイクアウェイは、シュートストップ動作よりもプレー回数が有意に少なかった ( $p<.05$ )。

Table 3-3 Comparison of the shot stop motions with diving motion between the shot stop conditions

Measurement items	All shot stopping motions (n=287)	Chi-squared value	difference (*: p<.05)
Diving motion with the preparation jump	113		
Diving motion after the side step with the preparation jump	17	74.62	*
Diving motion after the side step without the preparation jump	17	70.89	*
Only diving motion	19	66.93	*
Deflecting without diving motion	13	79.36	*
Catching a shot	78	6.41	*
Looking a shot	30	48.17	*

(v.s. Diving motion with preparation jump)

Table 3-4 Comparison of the preparation jump

Presence of the preparation jump	Absence of the preparation jump	$\chi^2$ test	
202	85	$\chi^2 = 47.69$ df = 1	difference p < .05

Table 3-5 Comparison of the preparation jump between the shot stop conditions

	Presence of the preparation jump	Absence of the preparation jump	$\chi^2$ test	
Success of the shot stopping	181	40	$\chi^2 = 61.15$	difference p < .05
Failure of the shot stopping	21	45	df = 1	

Table 3-6 Comparison of the shot stop motions with divingmotion with preparation jump

difference (* :p <.05)	Failure of the shot stopping (n=66)	Measurement items	Success of the shot stopping (n=221)	difference (* :p <.05)
		Shot stopping motions		
	22	Divingmotion with the preparation jump	91	
	0	Divingmotion after side step with the preparation jump	17	*
*	8	Divingmotion after side step without the preparation jump	9	*
*	6	Only diving motion	13	*
	0	Deflecting without diving motion	13	*
	0	Catching a shot	78	n.s.
n.s.	30	Looking a shot	0	

(v.s. Diving motion with preparation jump)

(v.s. Diving motion with preparation jump)

Table 3-7 Comparison of the shot area between the shot stop conditions

	Inside of the penalty area	Outside of the penalty area	$\chi^2$ test
Success of the shot stopping	163	58	$\chi^2 = 10.33$
Failure of the shot stopping	61	5	df = 1

difference  
p < .05

Table 3-8 Comparison of the shot height between the shot stop conditions (top) and result of the adjusted standardized residual analysis (bottom)

	Upper	Middle	Lower	$\chi^2$ test
Success of the shot stopping	34 (43.1)	31 (33.8)	156 (143.9)	$\chi^2 = 13.13$ difference
Failure of the shot stopping	22 (12.8)	13 (10.1)	31 (43.0)	df = 2    p < .05

	Upper	Middle	Lower
Success of the shot stopping	-3.22    **	-1.12    n.s.	3.53    **
Failure of the shot stopping	3.22    **	1.12    n.s.	-3.53    **

\*\* : p < .01

Table 3-9 Comparison of the shot stop motion with other performances

Measurement items	All performances (n=1382)	difference (* : p <.05)
Shot stopping motions	287	
Goal kick	383	*
Long pass	203	*
Throwing		
Over arm throwing	46	*
Under arm throwing	78	*
Motions for the cross ball	97	*
Motions for the back pass	209	*
Clearance	36	*
Breakaway	43	*

(v.s. Shot stopping motions)

## 3.6 考察

### 3.6.1 計測データの客観性について

データの収集にゲームパフォーマンス分析を用いる場合、測定者間の信頼性を示す客観性の検討が先行研究（鈴木と西嶋，2002；平嶋ほか，2014；Nakayama et al., 2015）において行われている。本研究で測定対象とした変数はカテゴリ変数であったため、2名の測定者間における  $\kappa$  係数を算出した（Table 3-1）。その結果、全ての項目において 0.8 以上の高い値であったため、用いた分析項目には高い客観性があることが確認された。

### 3.6.2 シュートストップ動作について

標本としたシュートストップ動作において、準備動作を行った回数の方が有意に多く、また、シュートストップ動作の中では、シュートの成否によらず、準備・ダイビングを行った回数が、準備・移動・ダイビングと移動・ダイビングを合わせた回数よりも有意に多かった（Table 3-3, Table 3-4）。準備動作を行うことについて、Uzu et al. (2009) は、テニスにおける準備動作であるスプリットステップの効果は、「いつ動き出せば良いかは分かっているが、どこに動けば良いかはわからない」状況において、横方向の移動速度を大きくできることであると報告している。GK のシュートストップ動作も、シュートが打たれるタイミングは、シューターの動作が見えていれば、キックやドリブル、トラップといったシュート直前の動作からある程度予測することが可能である。また、GK は左右に 7.32m と、他のゴールスポーツに比べて広い範囲のゴールを守る（例えば、フットサルおよびハンドボールゴールの左右幅は 3m である）ため、側方へ移動することも多い。本章で計測対象としたような準備動作については、反動動作や予備動作として、全身選択反応時間や異なる姿勢からの動き出し、counter movement jump などを対象として数多く研究がなされている（例えば、Komi and Bosco, 1978；衣笠ほか，1985；Bobbert et al., 1996；若山，2001；Uzu et al., 2009 など）。そして主動作を開始する際には、反動動作を用いて動作を

開始することや下肢関節の屈曲などにより、筋の予備緊張状態を作りだした姿勢から動作を開始する方が、反応時間の短縮やその後の主動作の動作時間が短縮すること、および跳躍高が増大することなどが報告されている。そのため、GKがシュートストップ動作の前に準備動作を行うことは、スプリットステップと同様に、直立した姿勢から動き出すよりも、その後の動作時間を短くできると考えられるため、GKはシュートに合わせて準備動作を行っていたと考えられる。先行研究（増永ほか，1984；磯川ほか，1985）において、準備動作の着地時にはダイビングする方向を決定していること、準備動作からダイビング動作までは、ほとんど連続的に行われることが報告されている。本研究で対象としたシュートストップ動作においても、磯川ほか（1985）が報告しているような、準備動作からダイビング動作までを連続的に行う動作が最も多くみられた（Table 3-3）。Nunome et al. (2002)が報告しているように、シュートを打つために頻繁に用いられるインステップキックによるシュートは時速 100km を超えることがあり、これはペナルティエリアの端（ゴールから 16.5m）から打ったシュートは約 0.6 秒でゴールに到達することを示している。そのような速いシュートに対応する際には、本研究で対象とした「ダイビングのみ」で対応する可能性も考えられるが、Graham-Smith et al. (1999) が報告しているような移動動作を行ってからダイビング動作を行った場合、動作時間が長くなり、シュートを防ぐことができない可能性がある。GKは、試合中にシューターの位置に合わせて時々刻々と自身のポジショニングを修正するように動くことが可能である。したがって、GKは移動動作をダイビング動作の前に行うことは少なく、予めシューターの位置に合わせてポジショニングを調整し、連続的に準備動作からダイビング動作までを行う動作を多く行っていると考えられる。そのため、GKのシュートストップ動作では、連続的に準備動作からダイビング動作までを行う動作を優先的に習得する必要がある。バイオメカニクス的研究においては、この動作を分析し、準備動作を開始するタイミングや、ダイビング動作に適した準備動作といった内容を明らかにし、その知見を指導に利用することで GK のシュートストップ能力向上に寄

与できると考えられる。今後、シュートストップを評価する上で、GKがシューターに対して適切なポジショニングでシュートに対応していたのかを評価することは重要な要素であると考えられる。

### 3.6.3 シュート場面について

シュート場所、シュート高さ、被シュート状況の結果から、低い地点へのシュートが最も多く、シュートのほとんどがペナルティエリア内から打たれており、被シュート状況では通常シュートが最も多かった (Table 3-2, Table 3-7, エラー! 参照元が見つかりません。)。シュート場所については、ペナルティエリアの外からシュートを蹴った場合は、ペナルティエリア内からシュートを蹴る場合に比べてゴールに到達するまでの時間が長くなるため、GKがシュートを防ぐ可能性が高くなる。したがって、少しでも得点する確率を高めるために、シューターは、ペナルティエリア内で多くシュートを蹴っていたと考えられる。また、シュート高さについて、松倉・浅井 (2009) は、ゴールの高い地点および低い地点は、GKの動作時間が長くなり、シュートストップが難しい地点であると報告している。これらを本章で得られた結果と併せて考えると、シュートストップが難しい地点ではあるが、より多くのシュートを止めるためには、特に低い地点に飛来するシュートに対して、短い時間で対応できる動作の習得が求められていると考えられる。被シュート状況とシュート場所の結果から、シュート状況を模擬して GK のシュートストップ動作に関するバイオメカニクス的研究を行う際は、ペナルティキックやフリーキックに対するシュートストップ動作を行わせるのではなく、ペナルティエリア内からのシュートを想定し模擬した状況でシュートストップ動作を優先的に分析すべきであることが本章の結果から示唆された。

### 3.6.4 シュートストップ動作と他のプレーとの比較

シュートストップ動作とそのほかのプレーとを比較すると (Table 3-9)、シュートストッ

ブ動作はゴールキックに次いで 2 番目に多く行われるプレーであった。ゴールキックや、バックパス対応、クリアリングといったプレーは、本研究においては細かく定義し、区別して計測を行ったが、これらの動作は基本的なボールコントロールの技術であり、全てのプレーヤーに求められる技術である。一方、スローイングやクロスボール対応、ブレイクアウェイは、インプレー時に手の使用が認められ、シュートを防ぐ役割を担う GK にのみ求められる技術である。小島（2013）は、「ゴールキーパーが相手のボールをホールドした瞬間、自分たちの攻撃が始まる」と述べており、現代サッカーにおける、GK を起点としたカウンター攻撃の有効性について述べている。本章で対象としたロングキックの中でも、パントキックは GK 特有の動作の一つであり、GK から遠く離れた位置でプレーし、攻撃を担う選手へ素早くパスを送るために用いられる動作である。そのため、パントキックは GK を起点としたカウンター攻撃を行う際には有効な動作の一つであると考えられる。これらことから、クロスボール対応やスローイング、そしてロングキックの中でもパントキックといった動作は、シュートストップ動作に次いで試合中に使用される頻度が高い動作であるため、GK が習得する重要度が高い GK 特有の動作であると考えられる。

### 3.7 要約

本章では、関東大学サッカー1 部リーグなどに所属する GK を対象とし、試合映像から GK のプレーを分類し、計測することで、試合中に多くみられるシュート場面や、GK がシュートに対して行う頻度の高い動作について明らかにすることを目的とした。

本章の結果から、以下のことが明らかとなった。

- ① 試合において GK は、シュートストップの成否によらず、ペナルティエリア内から打たれるシュートに対して最も対応していた。
- ② 試合において、GK は Upper または Lower へ打たれるシュートに多く対応していた。
- ③ シュートストップ動作を分類し、計測した結果、GK はシュートストップの成否によら

ず、準備動作を行ってからシュートストップ動作を行うことが多かった。

- ④ 試合において GK は、シュートストップの成否によらず、シュートに対して準備動作からダイビング動作までを連続的に行う動作によって最もシュートに対応していた。
- ⑤ シュートストップ動作以外の GK 特有のプレーでは、クロスボール対応やスローイング、パントキックといった動作は GK が習得する優先度の高い動作であった。

本章では、GK は試合中に GK 特有の動作の中でも、シュートストップ動作を多く行っており、とりわけダイビング動作は高頻度で用いられること、またシュートは、インプレー時にペナルティエリア内から蹴られる頻度が高いことを仮説として設けた。その結果、シュートストップ動作およびシュート場面の両方で、仮説を支持するような結果が得られた。そして、GK はシュートストップを行う際には、準備動作を高頻度で用いていることも明らかとなった。

以上より、バイオメカニクス的に分析すべき重要度の高いシュート場面は、ペナルティエリアからゴールの様々な地点へ放たれるシュートであり、バイオメカニクス的に分析すべき重要度の高い GK のシュートストップ動作は準備動作からダイビング動作までを連続的に行う動作であることが明らかとなった。

## 第4章 シュートに対するダイビング動作に関するバイオメカニクスの分析

### 4.1 目的

第3章では、試合映像を用いてシュート場面と GK のシュートストップ動作との関係について検討した。その結果、試合において GK は、GK 特有の動作の中でもシュートストップ動作を最も多く行っており、シュートストップ動作の中でも、準備動作からダイビング動作までを連続的に行う動作によってシュートに対応している回数が多いこと、またシュート場面として多いのはペナルティエリア内から打たれるシュートであることが明らかとなった。したがって、本章では、第3章で明らかとなった結果に基づいて、試合において発生する頻度の高いプレーである、ペナルティエリア内から蹴られたシュートに対する GK のダイビング動作についてバイオメカニクスの分析することとする。

サッカーの GK は、高さ 2.44m、横 7.32m のゴールを守らなければならない。先行研究（松倉・浅井，2013；2014）では、紐で吊るされたボールへのダイビング動作を行わせた結果、GK は、シュートの高さだけでなく距離にも応じて動作を調整しているという報告がなされている。試合でのシュート場面において、GK は、シュートが飛来するという時間的制約がある中で、シュートが飛来する地点に対してより精確な地点に自身の身体を運ぶことが要求される。この時、限られた時間の中で自身の身体を精確な地点に運ばなければならない。そのため本章では、GK はシュートが飛来するという状況においても、先行研究（松倉・浅井，2013；2014）と同様に、Near, Far の各シュートコースに合わせて体幹の姿勢や関節運動を変更しダイビング動作を行うことで、素早くかつ精確に自身の身体をボールに近づけていると仮説を設けた。そして、シュートが飛来するという時間的制約がある中で、下肢のどのような関節運動や関節トルク発揮によってシュートコースに対応しているかをバイオメカニクスの分析を目的とした。

## 4.2 方法

### 4.2.1 実験試技

第3章で得られた結果をもとに、ペナルティエリア内からのシュート場面を想定して、キッカーにGKの16.5m前方からシュート動作を行わせた (Figure 4-1)。ゴールの左右幅の中央地点にGKを立たせた。なお、ゴールはGKの1.0m後方に設置した。キッカーには、フリーキックやペナルティキックのように、静止球をシュートする試技にならないようにするため、ボールを一度前方へ突き出してから、試技毎に予め指定されたコースへシュートするよう指示を行った。なお、具体的にはボールを前方へ突き出す際の角度を設けるために、キッカーはGKの左右方向に2m離れた地点からボールを突き出させるようにし、利き脚が右脚の場合はキッカーからみてゴールの左側から動作を開始させ、ゴールの左右幅の中央地点付近で、キッカーの4m前方に設けたシュートラインにボールが到達するまでにシュートするよう指示を行った。シュートコースは、松倉・浅井 (2013) を参考に12ヶ所 (シュート方向: 左, 右, シュート距離: GKから近い地点 (Near), 遠い地点 (Far), シュート高さ: 低 (Lower), 中 (Middle), 高 (Upper)) を設けた。シュート方向はGKからみた左右とした。シュート距離は、ゴールの中央から左右方向に1.2m-2.4mの範囲をNear, ゴールの中央から左右方向に2.4m-ゴールポストまでの範囲をFarとした。シュート高さは、地面に敷いた安全マット上面 (地上から0.2m) - 地上から0.8mの高さをLower, 地上から0.8m-1.6mの高さをMiddle, そして地上から1.6m-クロスバー (地上から2.44m) までの高さをUpperとした。各試技の開始前にキッカーにのみシュートコースを指示した。キッカーが指示されたシュートコースを判別しやすくするため、色のついたテープによってゴールを分割した。なお、事前に指示したシュートコースとシュートされたボールが着弾したコースが異なっていた場合は、着弾したコースへダイビングを行った試技としてデータを取り扱った。また、キッカーには、試合中にみられる、GKを騙すようなフェイント動作は行わないこと、そしてカーブなどの軌道が大きく変化するシュート

は行わないように指示した。

GKには、飛来するシュートに対して準備動作からダイビング動作までを連続的に行うよう指示した。この時、GKには準備動作を行った後、シュートが飛来する側の脚のみを側方へ動かして踏み切るように指示することで、試合中に用いる頻度の高いシュートストップ動作になるようにした。本研究で対象とした全ての試技においては、準備動作としてスプリットステップに近い、鉛直上方への小さなジャンプ動作を行っていた。

#### 4.2.2 被験者

被験者は、関東大学サッカー1部リーグに所属する大学のサッカー部所属のGK15名（身長：179.4±4.9cm，体重：75.2±7.8kg）およびキッカーとしてフィールドプレイヤー13名（身長：173.4±5.7cm，体重：69.4±5.1kg，利き脚：右脚11名，左脚2名）とした。

Table 4-1は、被験者の身体特性について示している。被験者の競技レベルは、キッカーおよびGKともに大学サッカー選手一般レベルからユニバーシアードおよび年代別日本代表経験者レベルまでであった。本研究は筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て行われており、実験に際して、各被験者にはあらかじめ実験の目的および試技内容について事前に説明を行い、協力の同意を口頭および書面にて得た（課題番号：体29-57）。

#### 4.2.3 データ収集

動作の計測には、GKとキッカーの身体分析点にそれぞれ47点、ボール10点の計104点に反射マーカ―を貼付した。なお、GKとキッカーの身体分析点は同一の位置に貼付した。光学式自動動作分析装置（VICON-MX, Vicon Motion Systems社製，GK側：カメラ16台，キッカー側：カメラ8台，ともに250Hz）を2システム用いて、反射マーカ―の3次元座標を計測した。準備動作およびダイビング動作の接地と離地のタイミングを計測するために、GKの左右の足部に作用する地面反力をフォースプレート2台（Kistler社製9287B

および 9287C, 1000Hz) を用いて同時に計測した。被験者の身体各部には光学式自動動作分析装置専用の反射マーカを、ボールには自作した発泡スチロール製の半球の反射マーカを貼付した (Figure 4-2)。2 システムの分析装置の時間的な同期を行うために、分析用の各コンピュータ内にある A/D 変換器 (1000Hz) を介して同一の電気パルス信号を取り込んだ。GK の撮影空間については、ゴールと平行であり、キッカーと正対した時の GK 右方向を X 軸正方向、鉛直上方を Z 軸正方向、Z 軸と X 軸との外積によって得られる方向を Y 軸正方向とし、X 軸、Y 軸、Z 軸からなる座標系を静止座標系と定義した。座標系の原点は、試技開始前の GK とキッカーが立っている地点の前後方向距離が 16.5m となる地点に設けた。

#### 4.2.4 データ処理

収集した被験者の身体各部の 3 次元座標に対して、Winter (2009) の方法によって遮断周波数 (2.5Hz–25Hz) を決定し、Butterworth digital filter を用いて平滑化処理を行った。平滑化した身体分析点の座標値から各関節中心を算出した。手関節、肘関節、肩関節、拇趾球、足関節、膝関節は関節の中心を挟むように貼付した 2 個のマーカの中点を関節中心とした。股関節については、臨床歩行分析研究会が提唱する推定法 (倉林ほか, 2003) を用いて関節中心を算出した。また、松倉・浅井 (2013) と同様に、ダイビング方向と同側の脚を BS 脚 (Ball Side 脚)、ダイビング方向と反対側の脚を CS 脚 (Contralateral Side 脚) とそれぞれ定義した。全ての試技を GK の右側へのダイビング動作に統一して分析するために、右脚が BS 脚、左脚が CS 脚になるように全てのデータを算出した。なお、本研究に参加した各被験者には左右のダイビング方向で得意・不得意な方向があると考えられる。また、詳細な試技数については後述するが、キネマティクスの分析とキネティクスの分析に用いた試技数が異なる。しかし、本研究では試技数が十分に確保できているため、分析項目間での試技数の差がデータに与える影響は無視できると考えられる。そして、デ

ータを右方向へのダイビング動作に統一して平均することで、ダイビング方向に関する個人差は消えると考えられる。

#### 4.2.5 試技の分類

GK がシュートに対して準備動作からダイビング動作までを連続的に行って対応した計 390 試技を分析対象とした。分析対象の試技のうち、ボールがゴールネットに接触した位置まで、ボール中心座標を推定するのに十分な数のマーカーを追跡できていない試技が含まれていた。そのため本研究では、詳細なシュートコースの分類についてはキッカーの後方から撮影したビデオカメラの映像を用いて行った。分析対象試技を各シュートコースに分類すると、Near Upper (以下、「NU」と略す) は 58 試技、Near Middle (以下、「NM」と略す) は 72 試技、Near Lower (以下、「NL」と略す) は 47 試技、Far Upper (以下、「FU」と略す) は 54 試技、Far Middle (以下、「FM」と略す) は 84 試技、Far Lower (以下、「FL」と略す) は 75 試技であった。また、下肢のキネティクスのパラメータを算出する際、足部遠位端に作用する力およびトルクは、フォースプレートで計測した地面反力とフリーモーメントとし、その作用点は圧力中心として算出した。そのため、キネマティクスの分析を行う際に対象とした 390 試技のうち、各脚の支持期にフォースプレートを踏み外すことなくダイビングを行っていた計 276 試技を分析対象とした。分析対象試技を各シュートコースに分類すると、NU は 40 試技、NM は 55 試技、NL は 30 試技、FU は 41 試技、FM は 64 試技、FL は 46 試技であった。

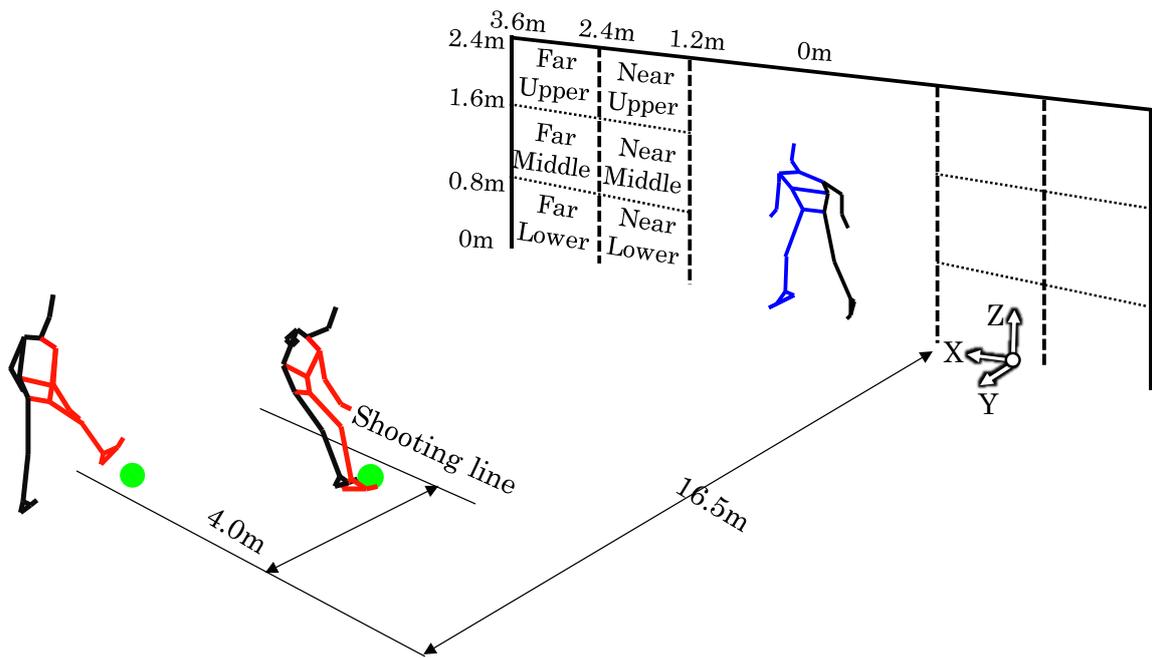


Figure 4-1 The experimental set up

Table 4-1 Characteristics of subjects

Kicker					
N=13	Age [years]	Height [cm]	Body mass [kg]	Experience [years]	
Mean $\pm$ S.D.	19.9 $\pm$ 0.8	173.4 $\pm$ 5.7	69.4 $\pm$ 5.1	14.5 $\pm$ 1.5	
Max	21	181	77	17	
Min	18	165	60	12	
Goalkeeper					
N=15	Age [years]	Height [cm]	Body mass [kg]	Experience [years]	Experience of GK [years]
Mean $\pm$ S.D.	20.4 $\pm$ 1.7	179.4 $\pm$ 4.9	75.2 $\pm$ 7.8	14.3 $\pm$ 1.9	9.7 $\pm$ 3.1
Max	25	192	88	17	16
Min	18	173	61	9	5

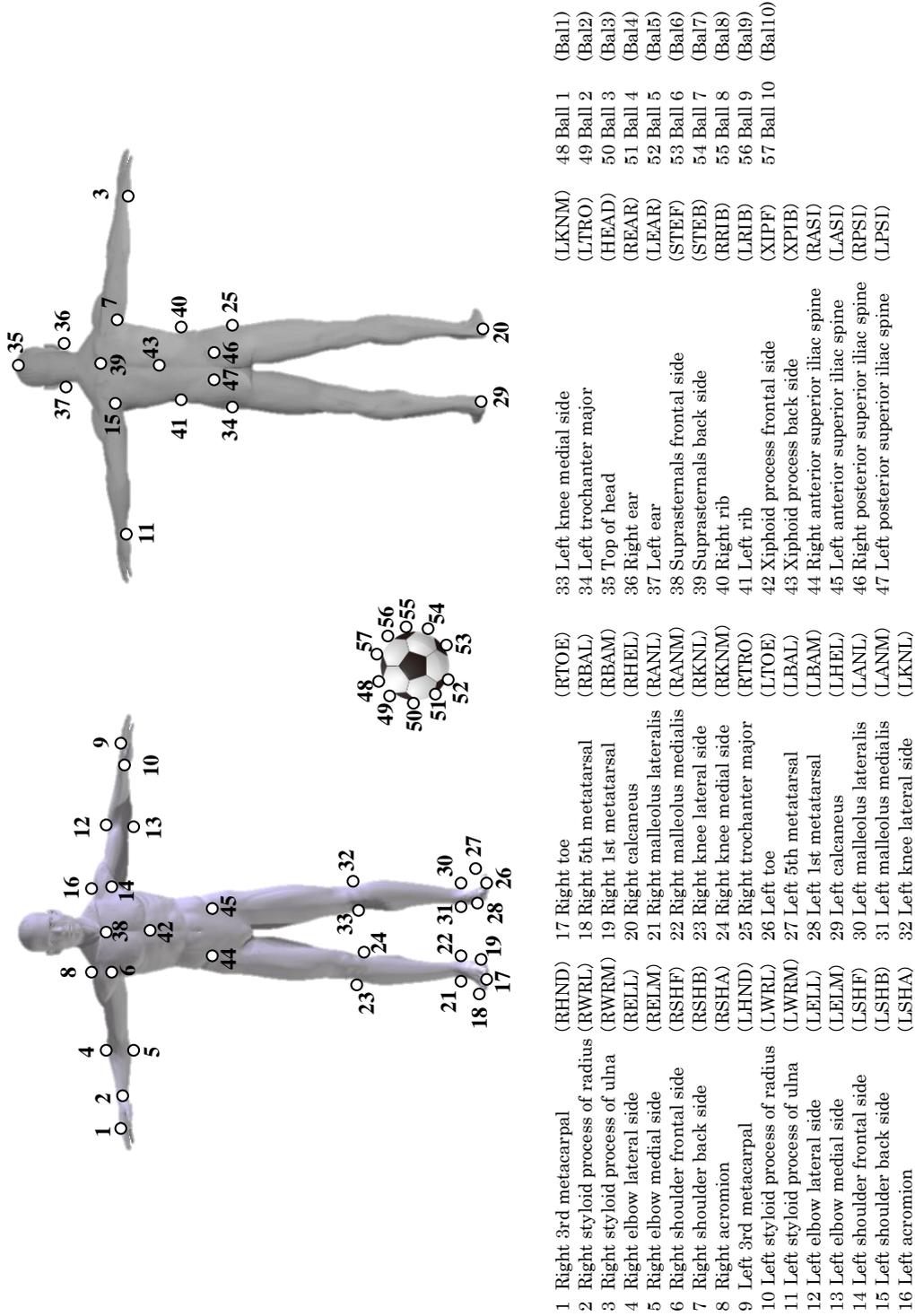


Figure 4-2 Ladmarks of the body and ball

#### 4.2.6 局面定義

Figure 4-3 は、本研究における GK の動作の分析範囲について示している。キッカーの蹴り足とボールの衝突時点を Impact (以下、「Imp」と略す) とし、Imp 直前の軸脚 (Support Leg) 接地時点を Support Leg on the ground (以下、「SLon」と略す)、SLon の前に蹴り脚 (Kicking Leg) が離地した時点を Toe off of the Kicking Leg (以下、「KLOff」と略す) とそれぞれ定義した。ボールのインパクト時点は、ボールの加速度変化が急峻になる 0.004 秒前 (250Hz 計測での 1 フレーム前) とした。GK の動作においては、GK が準備動作を行い、左右どちらかの脚が離地した時点を Toe off of the Preparation Jump (以下、「PJoff」と略す)、PJoff 後の CS 脚および BS 脚の接地時点をそれぞれ Contralateral Side leg on the ground (以下、「CSon」と略す)、Ball Side leg on the ground (以下、「BSon」と略す)、CS 脚および BS 脚の離地時点をそれぞれ Toe off of the Contralateral Side leg (以下、「CSoff」と略す)、Toe off of the Ball Side leg (以下、「BSoff」と略す) と定義した。なお、BSoff までに GK がボールに触れるか、ボールが GK の側方を通過した場合には、その時点を BSoff として扱った。本研究では KLOff から CSon までの GK の動作を準備動作、CSon から BSoff までの GK の動作をダイビング動作とそれぞれ定義した。また、シュートストップの成否に関わらず、GK がボールに触れた場合には、ボールに触れた側の腕を、ボールに触れることができなかった場合には、手部とボールとの距離がより近い側の腕をシュートストップ腕と定義し、ボールと GK のシュートストップ腕側の手部との距離が最小になった時点を Save と定義した。

KLOff から CSon までを準備局面、CSon から Save までをダイビング局面と定義した。BSoff から Save までの局面は空中にいるため、KLOff から BSoff までの動作を規格化時間の対象とし、KLOff から PJoff までを 0-50%、PJoff から CSon までを 50-100%、CSon から BSon までを 100-200%、BSon から BSoff までを 200-300% となるよう時間を規格化し、BSoff よりも先に Save がみられた場合には、その時点を BSoff として時間を規格化した。

なお、本研究における CSoff の出現時刻の平均値および標準偏差は、NU では  $242 \pm 11\%$ 、NM では  $250 \pm 13\%$ 、NL では  $266 \pm 17\%$ 、FU では  $246 \pm 11\%$ 、FM では  $246 \pm 11\%$ 、FL では  $254 \pm 19\%$ であった。

#### 4.2.7 動作時間およびキッカーと GK の動作の出現時刻の関係

前節で定義した GK およびキッカーの各動作時点を用いて動作時間および GK とキッカーの動作の出現時刻の関係を算出した。具体的には、対象とした GK の動作時点からみたキッカーの各動作時点として算出し、GK の動作時点がキッカーの動作時点よりも先にみられた場合に値が正值となるよう算出した。

#### 4.2.8 ボール中心の 3 次元座標

ボール中心の座標値はボールに貼付した各反射マーカの 3 次元座標から村田・藤井 (2014) の方法を用いて算出した。

#### 4.2.9 身体各セグメントの重心位置と慣性パラメータおよび全身の重心位置

算出した関節中心と被験者の身体質量から、阿江 (1996) の身体部分慣性係数を用いて身体各セグメント重心、慣性パラメータおよび身体重心位置を算出した。

#### 4.2.10 準備動作跳躍高

PJoff から CSon までの区間における、GK の身体重心高の最大値を KLoft における GK の身体重心高から減じることで、準備動作跳躍高を算出した。

#### 4.2.11 ステップ幅

BSon における、CS 脚足部重心から BS 脚足部重心までの距離をステップ幅として算出

した。本研究では前後方向および左右方向における CS 脚からみた BS 脚の位置を、前後ステップ幅および左右ステップ幅としてそれぞれ算出した。

#### 4.2.12 身体重心速度および各局面における身体重心速度の変化量

算出した身体重心位置を時間微分することで、身体重心速度を算出した。算出した身体重心速度を用いて、CSon から BSon まで、および BSon から BSoft までのそれぞれの局面において、各局面の終了時点 (BSon または BSoft) の身体重心速度から開始時点 (CSon または BSoft) の身体重心速度を減じることで、それぞれの局面における被験者の水平および鉛直方向の身体重心速度の変化量を算出した。

#### 4.2.13 身体各セグメントの座標系の定義

人体を 15 のセグメント (手部, 前腕, 上腕, 足部, 下腿, 大腿, 頭部, 上胴, 下胴), 各セグメントが 14 の関節で連結されている剛体リンクモデルとした。なお, 本研究では, 上胴と下胴との間には仮想的な関節 (以下, 体幹関節) を設けた。そして, 足部, 下腿, 大腿および下胴の各セグメントに対して, 右手系の直交移動座標系を設定した (Figure 4-4)。このとき, 静止座標系と移動座標系との相対的な姿勢関係 (各セグメントの姿勢) を表すために, 移動座標系の姿勢を方向余弦行列によって表現した。以下では, 分析に用いた下胴および右脚各部の移動座標系の設定法について述べるが, 左脚各部の移動座標系は右脚各部と同様の手順で右手系の座標系となるようにそれぞれ定義した。

##### (1) 下胴部

左右の肋骨下端 (RRIB および LRIB) に貼付したマーカーの midpoint を肋骨下端 midpoint (RIBC) とし, 左股関節中心 (LHIP) と右股関節中心 (RHIP) の midpoint から RIBC に向かう方向の単位ベクトルを  $\mathbf{z}_{LT}$  とし, LHIP から RHIP に向かう方向の単位ベクトルを  $\mathbf{s}_{LT}$  とした。  $\mathbf{z}_{LT}$  と  $\mathbf{s}_{LT}$  との外積によって得られる方向の単位ベクトルを  $\mathbf{y}_{LT}$  とし,  $\mathbf{y}_{LT}$  と  $\mathbf{z}_{LT}$  との外積によって得

られる方向の単位ベクトルを $\mathbf{x}_{LT}$ とした。そして、 $\mathbf{x}_{LT}$ ,  $\mathbf{y}_{LT}$ ,  $\mathbf{z}_{LT}$ を軸とする座標系を下胴座標系とした。

#### (2) 右大腿部

右脛骨の内顆 (RKNM) と外顆 (RKNL) に貼付したマーカーの midpoint を右膝関節中心 (RKNC) とし、RKNC から RHIP に向かう方向の単位ベクトルを $\mathbf{z}_{Rthi}$ とし、RKNM から RKNL に向かう方向の単位ベクトルを $\mathbf{s}_{Rthi}$ とした。 $\mathbf{z}_{Rthi}$ と $\mathbf{s}_{Rthi}$ との外積によって得られる方向の単位ベクトルを $\mathbf{y}_{Rthi}$ とし、 $\mathbf{y}_{Rthi}$ と $\mathbf{z}_{Rthi}$ との外積によって得られる方向の単位ベクトルを $\mathbf{x}_{Rthi}$ とした。そして、 $\mathbf{x}_{Rthi}$ ,  $\mathbf{y}_{Rthi}$ ,  $\mathbf{z}_{Rthi}$ を軸とする座標系を右大腿座標系とした。

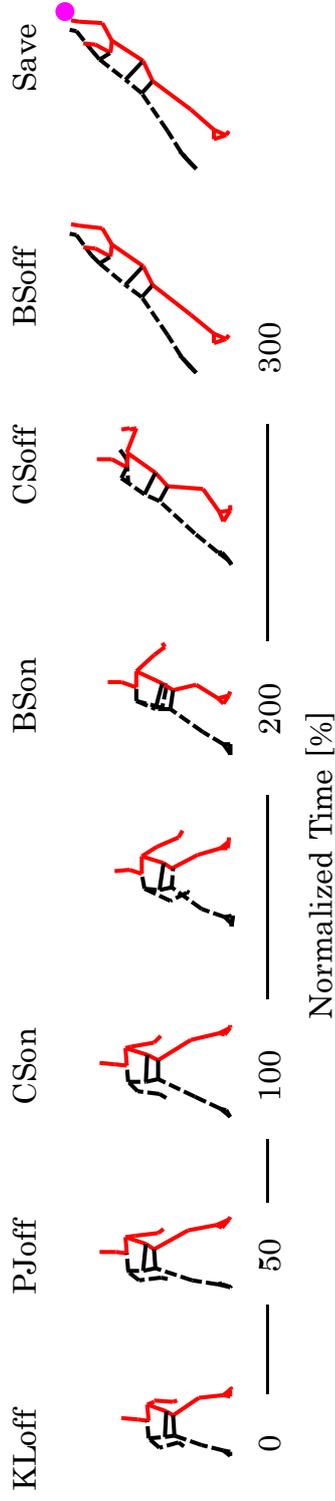
#### (3) 下腿部

右足内果 (RANM) と右脚外果 (RANL) に貼付したマーカーの midpoint を右足関節中心 (RANC) とし、RANC から RKNC に向かう方向の単位ベクトルを $\mathbf{z}_{Rshk}$ とし、RANM から RANL に向かう方向の単位ベクトルを $\mathbf{s}_{Rshk}$ とした。 $\mathbf{z}_{Rshk}$ と $\mathbf{s}_{Rshk}$ との外積によって得られる方向の単位ベクトルを $\mathbf{y}_{Rshk}$ とし、 $\mathbf{y}_{Rshk}$ と $\mathbf{z}_{Rshk}$ との外積によって得られる方向の単位ベクトルを $\mathbf{x}_{Rshk}$ とした。そして、 $\mathbf{x}_{Rshk}$ ,  $\mathbf{y}_{Rshk}$ ,  $\mathbf{z}_{Rshk}$ を軸とする座標系を右下腿座標系とした。

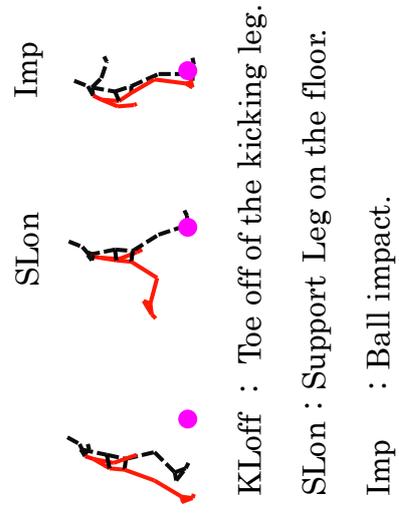
#### (4) 足部

右足母趾球 (RBAM) と右足小趾球 (RBAL) に貼付したマーカーの midpoint を右足 MP 関節中心 (RBAC) とし、右踵 (RHEL) から RBAC に向かう方向の単位ベクトルを $\mathbf{y}_{Rft}$ とし、RBAM から RBAL に向かう方向の単位ベクトルを $\mathbf{s}_{Rft}$ とした。 $\mathbf{s}_{Rft}$ と $\mathbf{y}_{Rft}$ との外積によって得られる方向の単位ベクトルを $\mathbf{z}_{Rft}$ とし、 $\mathbf{y}_{Rft}$ と $\mathbf{z}_{Rft}$ との外積によって得られる方向の単位ベクトルを $\mathbf{x}_{Rft}$ とした。そして、 $\mathbf{x}_{Rft}$ ,  $\mathbf{y}_{Rft}$ ,  $\mathbf{z}_{Rft}$ を軸とする座標系を右足部座標系とした。

## GK



## Kicker



- CS : Contralateral side. BS : Ball side.
- PJoff : Toe off of the first foot (CS-leg or BS-leg).
- CSon, BSon : CS or BS leg on the floor.
- CSoFF, BSoff : Toe off of the CS or BS leg.
- Save : Point of the minimum distance between the ball touching side hand and the ball .
- Preparatory phase: from Kloff to CSon.
- Diving phase: from CSon to Save.

Figure 4-3 Definition of the analysis phase

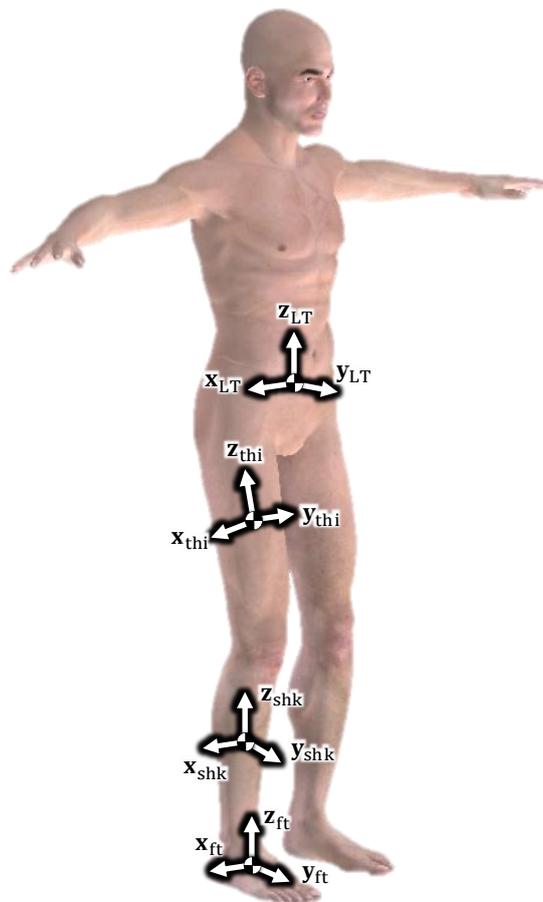


Figure 4-4 Definition of local coordinate systems fixed to the lower torso and right leg segments

#### 4.2.14 体幹左右傾角度および前後傾角度

は、体幹左右傾角度および前後傾角度の定義について示している。LHIP と RHIP の中点 (HIPC) から、胸骨上縁 (STEF) および第 7 頸椎 (STEB) の中点 (STEC) に向かうベクトルを体幹の長軸とし、静止座標系 ZX 平面において、体幹の長軸が Z 軸となす角度を体幹左右傾角度とした ( (a) )。静止座標系 YZ 平面において、体幹の長軸が Z 軸となす角度を体幹前後傾角度とした ( (b) )。なお、左右傾角度については正值が左傾、負値が右傾となるように、前後傾角度については正值が後傾、負値が前傾となるように算出した。

#### 4.2.15 下肢関節角度

Figure 4-6は、下肢関節の角度定義について示している。各セグメントに設定した移動座標系を用いて下肢関節角度を算出した。なお、本項では右下肢の各関節角度の定義について述べるが、左下肢の関節角度も同様の方法を用いて算出した。

##### (1) 右股関節

###### (a) 屈曲・伸展

下胴座標系の $y_{LT}z_{LT}$ 平面に右大腿座標系の $y_{thi}$ 軸を射影したベクトルを $y'_{thi}$ とし、 $y_{LT}$ 軸と $y'_{thi}$ がなす角度を右股関節屈曲伸展角度と定義した。なお、立位時の姿勢が伸展180度となるように算出した。

###### (b) 内転・外転

下胴座標系の $z_{LT}x_{LT}$ 平面に右大腿座標系の $z_{thi}$ 軸を射影したベクトルを $z'_{thi}$ とし、 $z_{LT}$ 軸と $z'_{thi}$ がなす角度を右股関節内外転角度と定義した。なお、立位時の股関節内転・外転角度をゼロとし、外転位を正、内転位を負とした。

###### (c) 内旋・外旋

下胴座標系の $x_{LT}y_{LT}$ 平面に右大腿座標系の $x_{thi}$ 軸を射影したベクトルを $x'_{thi}$ とし、 $x_{LT}$ 軸と

$x'_{thi}$ がなす角度を右股関節内外旋角度と定義した。なお、立位時の股関節内旋・外旋角度をゼロとし、外旋位を正、内旋位を負とした。

#### (2) 右膝関節

屈曲・伸展

右大腿座標系の $y_{Rthi}z_{Rthi}$ 平面に右下腿座標系の $y_{Rshk}$ 軸を射影したベクトルを $y'_{Rshk}$ とし、 $y_{Rthi}$ 軸と $y'_{Rshk}$ がなす角度を右膝関節屈曲伸展角度と定義した。なお、立位時の膝関節完全伸展位を180度になるように算出した。

#### (3) 右足関節

底屈・背屈

右下腿座標系の $y_{Rshk}z_{Rshk}$ 平面に右足部座標系の $y_{Rft}$ 軸を射影したベクトルを $y'_{Rft}$ とし、 $y_{Rshk}$ 軸と $y'_{Rft}$ がなす角度を右足関節底背屈角度と定義した。なお、立位時の足関節底屈・背屈角度をゼロとし、底屈位を正、背屈位を負とした。

### 4.2.16 運動軸の定義

本研究では、4.2.13 で述べた下胴、大腿部、下腿部、足部にそれぞれ設定した移動座標系の各軸を用いて、体幹関節（x 軸：前屈・後屈，y 軸：左傾，右傾，z 軸：左回旋，右回旋），股関節（x 軸：屈曲・伸展，y 軸：内転，外転，z 軸：内旋，外旋），膝関節（x 軸：屈曲・伸展），足関節（x 軸：底屈・背屈）の運動軸をそれぞれ設けた。

### 4.2.17 身体セグメント角速度

和達（1983）を参考にして、身体セグメントの角速度を算出した。なお、詳細な計算方法については Appendix に記載する。

#### 4.2.18 関節力および関節トルク

平山ほか (2008) を参考にして、関節力および関節トルクを各関節に隣接する近位セグメントから遠位セグメントに作用する関節力および関節トルクとして算出した ( )。なお、詳細な計算方法については Appendix に記載する。

#### 4.2.19 統計処理

シュート高さ (Upper, Middle, Lower) およびシュート距離 (Near, Far) を要因として、2 元配置分散分析を用いて処理を行った。なお、分散分析の下位検定については、Bonferroni 法による多重比較検定を行った。また、同じシュート高さにおいて、CSon から B Son までの局面と、B Son から B Soff までの局面との間で比較を行う場合には、対応のある t 検定を用いた。本研究における統計処理の有意水準は全て 5% とし、後述する時系列データについては、各時刻において、シュート高さおよびシュート距離で主効果が認められた時刻、および有意差が認められた項目にマークを示している。なお、本論文では、図中および表中には全ての統計結果について記載するが、文章中には考察に用いる主な結果のみを記載する。

本節以降の内容は、論文として未公表部分が存在するため、現在非公開としています。

































































































































































































































































































