

サッカーのゴールキーパーにおける ダイビング動作の力発揮特性

松倉 啓太 浅井 武

Keita Matsukura and Takeshi Asai: Characteristics of force exerted by soccer goalkeepers during diving motion. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 58: 277-296, June, 2013

Abstract : It is believed that the success of the goalkeeper (GK) in saving difficult shots by diving is a key factor in soccer because it can influence the outcome of the game to a large extent. However, the most appropriate way to exert force during the diving motion according to the course of the shot from either leg is still unclear. Therefore, the purpose of this study was to clarify the fundamental mechanism of a GK's diving motion according to the height and distance of the shot. We performed an experiment in which 11 university GKs participated. They were asked to dive toward balls set at 3 different heights located a short or a long distance from the GK. By examining the GKs' diving motions, we calculated the ground reaction force (GRF), joint angular velocity, and joint torque. The results indicated that the magnitude of the GRF under both legs and the direction of the GRF under the ball-side (BS) leg differed with the ball height. We also found that a higher dive by the GKs corresponded to a larger counter-movement of the contralateral-side (CS) leg and a higher stopping power of the BS leg in order to increase the vertical velocity, and more exertion of extension torques at the hip and foot for takeoff compared to those in lower dives. Furthermore, a lower dive of the GKs corresponded to a larger angular impulse of the BS hip adduction after the BS leg touched the ground. These findings suggest that during the takeoff part of the diving motion of a GK, depending on the ball height, the CS leg controls the magnitude of power and the BS leg controls both the magnitude and the direction of power in order for the GK to dive directly towards the ball.

Key words : soccer, goalkeeper, diving motion, joint torque, ground reaction force
キーワード : サッカー, ゴールキーパー, ダイビング動作, 関節トルク, 床反力

I. 緒 言

サッカーの試合において、ゴールキーパーは唯一手を使い、相手のシュートを防ぐことが許されているポジションである。時に時速100 kmを超えることもある(Nunome et al., 2002)。相手のシュートから縦2.44 m, 横7.32 mのゴールを守るために、ゴールキーパーは、常に立位の移動で対処できるわけではなく、ダイビングによってシュートを防ぐ必要がある。ゴールキーパーのシュートに対するダイビング動作は相手選手によっ

て放たれたシュートに対して反応し、ボール側の脚をボール方向へ踏み出す、もしくはシュートが遠くに放たれた場合などは、脚をボール方向に踏み出す前にステップを入れてから脚を踏み出して横方向に体を倒しながらボールに跳びつく動作と捉えることができる。このダイビングをウエルッシュ(2005)は、「緊急時のプレーである」と表し、Mulqueen and Weitalla (2010)は、空中を跳んでボールを止めるプレーは、スポーツの中でも最も目を見張るプレーの1つであり、ダイビングセーブには体の強さとパワーが必要であると指摘している。また、浅井・布目(2002)は、そ

の重要性や華麗さにおいてダイビングによるセーブ技術はゴールキーパーの真価を問うものにならないと述べている。これらからゴールキーパーが相手チームの決定的なシュートをダイビングで防ぐことができるか否かは得点を決められるかどうかに関係し、極めて重要なプレーであると同時に、その動作自体が見るものにとって、大きな魅力となり得る動作の1つであると考えられる。

これまでサッカーの技術分析的研究では、その多くがフィールドプレイヤーのキック動作に関するものであり、ゴールキーパーに関する技術分析的研究は十分に行われていない。これにはフィールドプレイヤーと異なり、絶対的に人数の少ないゴールキーパーを対象とした実験において、技術レベルの差が小さいプレイヤーを多く集めるということが難しいという背景も、少なからず影響していると考えられる。これまでのダイビング動作に関する研究では、パフォーマンスの分析として、ダイビング動作での守備範囲を明らかにしようとした研究も行われている。Kerwin and Bray (2006) は、ビデオ撮影したゴールキーパーのダイビング動作とカウンタームーブメントジャンプのデータから、ペナルティキック時のダイビング動作の移動範囲を検討し、ゴール中央の地面を中心とする同心円状をした移動範囲図を示した。また、松倉・浅井 (2009) は、高さや距離の異なるボールにダイビングを行わせた実験から、ダイビング動作における一定時間ごとの移動範囲図を作成し、ゴールキーパーのダイビング動作における移動可能範囲を明らかにした。加えてボールまでの到達時間の結果から、高さや距離の異なるシュートのコースによって、防御することが容易なコースと難しいコースがあることを示している。さらにダイビング動作とゴールキーパーの能力の関係に関して、永都 (1980) 及び Suzuki et al. (1988) は、熟練者の方が未熟練者よりもダイビングのスピードが速く、より直線的にボールに向かっていくことなど、ダイビング動作とゴールキーパーの能力との関係が深いことを報告している。

ダイビング動作のバイオメカニクスの研究では、浅井ほか (1982)、磯川・佐久間 (1985) および Graham-Smith and Lees (1999) が研究を行っており、ダイビング動作は、飛翔してくるボールのコースや距離に応じて異なる動きとなり、それぞれの動きに必要な要素として、体幹の回転運動と各関節の伸展動作によって発揮される力が重要であることを指摘している。また、キネマティクスとキネティクスの両面からみた研究として Spratford et al. (2009) は、選手ごとに異なる、得意なサイドと不得意なサイドのダイビング動作を分析し、不得意なサイドでは、骨盤と胸部のボール方向へのより大きな回旋がみられたと報告している。さらに、不得意なサイドでは膝関節トルクのピーク値が大きかったこと、足関節と股関節のピーク値が小さかったこと、ならびに重心の移動が遅く、ボールに対して直線的ではなかったことを示し、ダイビング動作の非対称性を指摘した。

しかし、これまでダイビング動作の研究において、ダイビングするボールの位置によって、いかにそれぞれの脚における力発揮が変化するか、またどのような部位において大きな力が発揮されているのかというダイビング時の力発揮の特性については明らかにされていない。したがって、高さや距離の異なるボールに対するダイビング動作において、床反力や各関節のトルク、角速度を測定し、ダイビング動作の踏切過程における、それぞれの脚の下肢関節で発揮された力を明らかにすることは、ダイビング動作の指導への有益な示唆はもちろん、まだ、十分に進んでいるとはいえないゴールキーパーのダイビング動作に関する、有益な知見を示すことができると考えられる。

そこで本研究では、ゴールキーパーのダイビング動作を対象に、ボールの高さ・距離の違いに伴う、床反力と下肢の関節トルク、関節角速度を比較検討し、ダイビング技術の基礎的メカニズムを明らかにしようとした。

II. 方 法

2.1 実験

2.1.1 被験者

被験者は、大学サッカー部員のゴールキーパー11名であり、身長の平均値は178.4 cm (SD=6.2)、体重の平均値は71.2 kg (SD=2.5)であった。また、著しくダイビング技術が未熟な選手は見られなかった。室内での実験であったため被験者は、市販の屋内用サッカーシューズを着用した。なお、すべての被験者には本実験の主旨、内容ならびに安全性についてあらかじめ説明し、参加の同意を得た。

2.1.2 計測

動作の計測には、三次元自動動作分析装置 VICON (Oxford Metrix 社製) を用いて、被験者の身体セグメント分析点47点に反射マーカを貼付し、毎秒250コマで計測した。また、2台のフォースプラットフォーム (9281A, Kistler 社; 9287B, Kistler 社) を設置し、ダイビング動作中の両脚に作用する地面反力をサンプリング周波数1000 Hz で計測した。

静止座標系は右手系とし、ゴールキーパーの前後方向に向かうベクトルを X 軸、横方向のベクトルを Y 軸、および X, Y 軸に垂直で鉛直方向へ向かうベクトルを Z 軸に設定した。すなわちゴールキーパーから見て、後ろ方向は X 軸が正の値、右方向は Y 軸が正の値、上方向は Z 軸が正の値となる。

2.1.3 実験試技

本研究ではボールまでの距離を近距離と遠距離の2パターン、高さを上、中、下の3パタンの合計6パタンのボールの位置におけるダイビング動作を分析した。ゴールキーパーは、近距離では構えた姿勢からダイビングを行うが、遠距離では構えた姿勢からボール方向に1歩サイドステップをし、ダイビングを実施した。実際のゲームにおいても、ゴールキーパーは、離れた位置のシュートに対しては、構えた姿勢からのダイビングではボールまで到達することができず、ステップ

を行った後にダイビング動作を行うことが多くみられる。したがって設定を6パターンにすることにより、シュートの高さのちがい、ならびに距離の違いによってステップが入る場合と入らない場合のダイビング動作のちがいによるキネマティクスの特性の比較、検討を行った。

それぞれの試技は予めボールが設置されていたため、被験者はダイビングするボールの位置は分かっていた。また、動き出しは被験者のタイミングで行った。この2点については、実際のシュート場面とは異なる状況であるので、本研究における動作分析の対象とする区間は、次項で述べる動き出し後の期間に設定した。被験者には、動き出し前の姿勢はできる限り変わらないようにすること、できる限り早くボールに向かうこと、両手でボールに触れることの3点を指示した。本文中では近距離のダイビングを Near diving とし、遠距離のダイビングを Far diving とした。また、ボールの高さは、上の高さの試技を Upper 試技、中の高さの試技を Middle 試技、下の高さの試技を Lower 試技とした。よって、試技は全部で以下の6パターンとなる。Near Upper, Near Middle, Near Lower, Far Upper, Far Middle, Far Lower. (以下 NU, NM, NL, FU, FM, FL と略す。)

2.1.4 被験者の構える位置とボールまでの距離

被験者が構える位置は、近距離では矢状面がボールから1.83 m 離れたフォースプレート中央になるようにした。遠距離の試技での構える位置は、矢状面がボールから3.50 m 離れた位置とし、その内わけは、構えた位置からフォースプレート中央までは1.2 m、さらにそこからボールまでが、2.3 m であった (Fig. 1)。

2.1.5 ボールの高さ

ボールの高さは、上のボールについては、ペンデルボール (ペレーダテッサー, PFTR, モルテン社) の中心が地上から2.2 m になるようにセットし、中のボールについては、同じくペンデルボールの中心が地上から1.22 m になるようにセットした。下のボールの高さは、地面に敷いた安

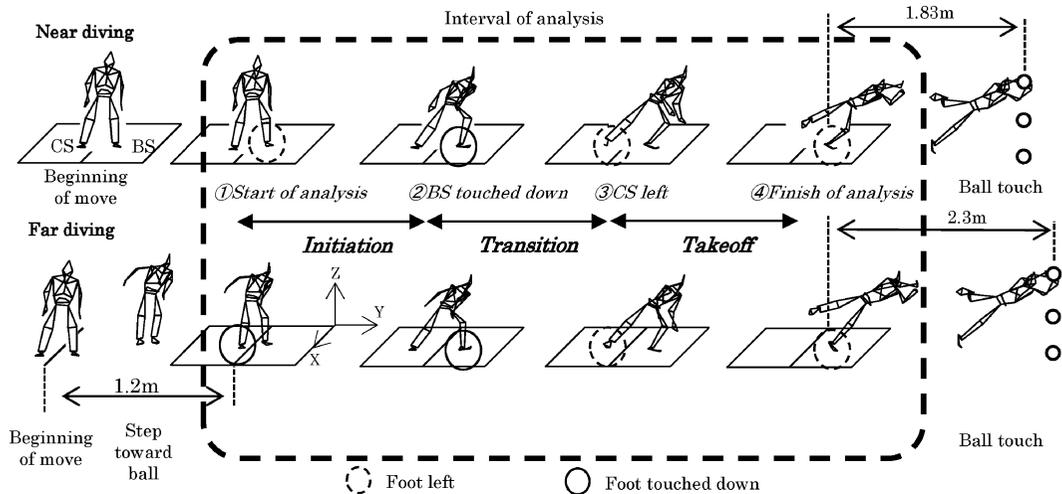


Fig. 1 Example of division of each timing during diving actions. Upper figure shows example of near diving. Lower figure shows one of far diving. *Start of analysis* (①) at near diving means Ball side (BS) foot left the ground, and *Start of analysis* (①) at far diving means Contralateral side (CS) foot touched down. Finish of *Initiation* and start of *Transition* (②) means BS foot touched down. Finish of *Transition* and start of *Takeoff* (③) means CS foot left the ground. *Finish of analysis* (④) means BS foot took off. Each figure is seen from behind.

全マット上とし、マット上にサッカーボール（ペレーダ、PF405、モルテン社）を設置した。ボールはすべて被験者が右側にダイビングするようにセットした。

2.1.6 ステップの設定

Graham-Smith and Lees (1999) は「ゴールキーパーはボールの位置に応じて8つの動き方から適当なものを選んでいる」と述べており、同じ位置に配置したボールであっても、被験者間でボールへ向かうまでのステップに違いが生じることが予想された。そこで本研究では、被験者間で構えの姿勢からボールに向かうまでの両脚の運び方に差が出ないように、Graham-Smith and Lees (1999) が示した8つの動き方から、ボールまでの距離、高さに適すると考えられる動き方を選択した (Fig. 1)。

被験者は近距離では構えた姿勢からボールサイドの脚のみをボール側に1歩動かし、ダイビングを実施した。遠距離では被験者は、構えた姿勢から両足同時にボール方向に1歩サイドステップをし、ダイビングを実施した。

2.2 データ処理

2.2.1 ダイビング動作の局面分類の定義

Near diving, Far diving とともに、ダイビング動作におけるフォースプレート上での動作より以下の4つのタイミングを抽出し、3つの局面に分類し、この3つの局面を分析対象とした。それぞれのタイミング、ならびに局面は以下のように定義した (Fig. 1)。

① Start of analysis

Near diving ではフォースプレート上に両足がついた状態から、ボールサイドの脚 (Ball side leg, 以下 BS 脚と略す) が離地した時点とした。Far diving では、フォースプレートの外側からステップを行い、フォースプレート上にボールサイドと反対側の脚 (Contralateral side leg, 以下 CS 脚と略す) が接地した時点とした。

② BS touched down

Near diving では離地した BS 脚が再び接地する時点とした。Far diving ではフォースプレート上に BS 脚が接地した時点とした。

③ CS left

Near diving, Far diving とともに CS 脚が離地し

た時点とした。

④ Finish of analysis

Near diving, Far diving とともに最終的に BS 脚が離地した時点とした。また Near diving において、BS 脚の離地前にボールに触れた際は、その時点を Finish of analysis とした。

さらに① Start of analysis から② BS touched down までの期間を Initiation, ② BS touched down から③ CS left までの期間を Transition, ③ CS left から④ Finish of analysis までの期間を Takeoff とした。

2.3 平滑化

得られた座標値は、パタワース型デジタルフィルタを用いて平滑化した。用いた遮断周波数は、Wells and Winter (1980) の方法により決定し、本研究では 5-15 Hz であった。

2.4 測定項目および算出法

2.4.1 ボールまでの到達時間

ボールまでの到達時間は、Start of analysis からゴールキーパーがボールにタッチするまでの時間とした。なお、ボールにタッチした時点は、設置したボールに貼付したマーカーに 1/250 秒で 2 mm、つまり 1 秒あたりに換算して 50 cm の変位がみられた時点とした。本研究は、上記のようにボールまでの到達時間を定義したため、Near diving では動き始めてから BS 脚が離地するまでの時間が、Far diving では動き始めからサイドステップを行っている時間を含め、フォースプレートに CS 脚が接地するまでの時間は考慮されていない。

2.4.2 身体重心位置

身体重心位置は、阿江ほか (1996) の身体部分慣性係数を用いて算出した。それぞれのデータは Start of analysis から Finish of analysis までの時間を 100% として正規化した。

2.4.3 体重あたりの床反力

体重あたりの床反力は、ダイビング動作中のそれぞれの脚に作用する地面反力をサンプリング周波数 1000 Hz で計測し、体重で除して算出した。

Initiation では BS 脚が、Takeoff では CS 脚がフォースプレート上に接地していないので、床反力は発揮されていないとみなし、その期間の BS 脚、CS 脚の床反力は検討しないものとした。

得られた床反力データから、各期間の力積を算出した。また、横・鉛直平面上に投影したベクトル（以下、横・鉛直ベクトルと略す。）を求め、大きさと角度を算出した。それぞれのデータは Start of analysis から Finish of analysis までの時間を 100% として正規化した。ベクトルの大きさが 1 N/kg 未満のものは、脚が地面に接地していない、もしくは発揮されている力が非常に小さいと考えられるため、本研究では分析対象から除いている。

2.4.4 関節角度、関節角速度

本研究では移動座標系を用いる方が選手の動作や運動感覚に近いと考え、関節角度、角速度は、移動座標系を用いて算出することとした。以下に下脛、股関節、膝関節、足関節について移動座標系と関節角度を定義した (Fig. 2)。関節角速度は、股関節屈曲伸展、内外転、膝関節屈曲伸展、足関節底背屈の軸について関節角度を時間微分し算出した。ここでは右側のみを示し、左側は省略する。

(1) 下脛

まず、左右の股関節の中心から、左右の肋骨下端の中点へ向かう単位ベクトルを Z_{LT} とし、左股関節から右股関節へ向かう単位ベクトルを S_{LT} とした。次に Z_{LT} と S_{LT} との外積によって得られる単位ベクトルを Y_{LT} とし、さらに Y_{LT} と Z_{LT} との外積によって得られる単位ベクトルを X_{LT} とした。そして、 X_{LT} 、 Y_{LT} 、および Z_{LT} を軸とする座標系を、下脛座標系 Σ_{LT} と定義した。

(2) 股関節

① 股関節屈曲伸展

まず、下脛座標系 Σ_{LT} の X_{LT} と同一のベクトルを X_{hipFE} とし、膝関節から股関節へ向かう単位ベクトルを S_{hipFE} とした。つぎに S_{hipFE} と X_{hipFE} との外積によって得られる単位ベクトルを Y_{hipFE} とし、 X_{hipFE} と Y_{hipFE} との外積によって得られる単位ベクトルを Z_{hipFE} とした。そして、

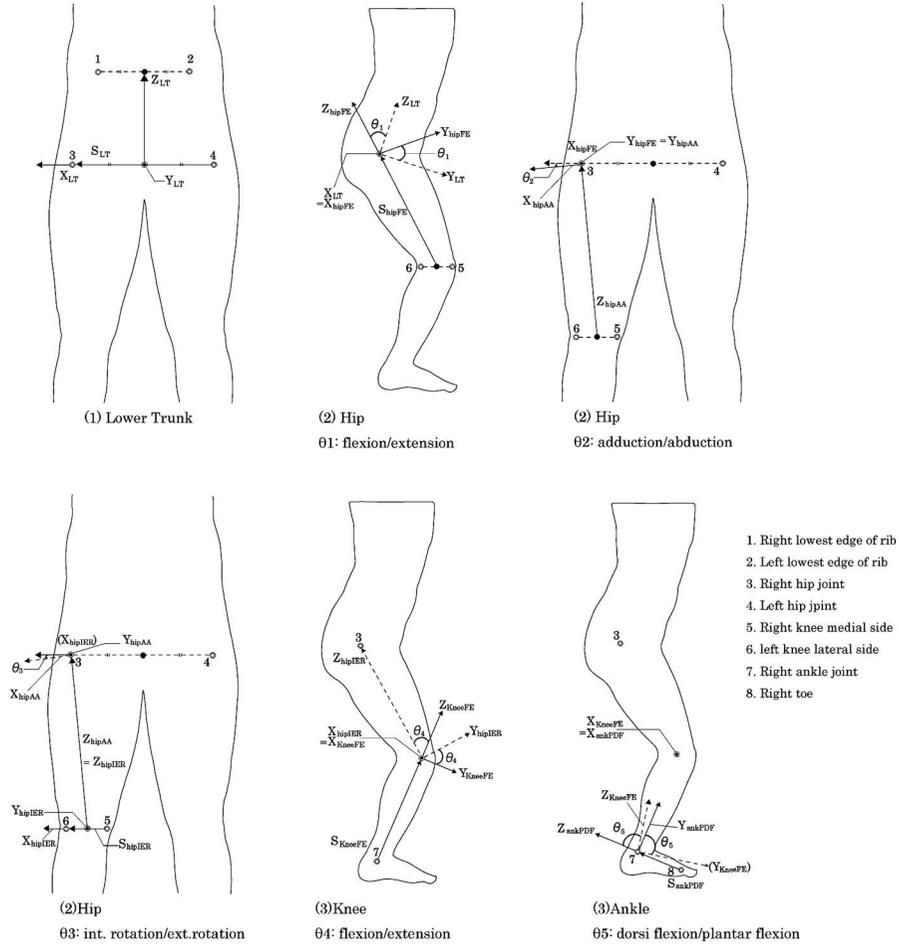


Fig. 2 Definitions of moving coordinates on the lower limb joints and of the hip knee, and ankle joint angle.

X_{hipFE} と Y_{hipFE} , および Z_{hipFE} を軸とする座標系を, 股関節屈曲伸展座標系 Σ_{hipFE} と定義した. ここで, Y_{LT} (Z_{LT}) と Y_{hipFE} (Z_{hipFE}) との成す角を股関節屈曲伸展角度と定義した.

② 股関節内外転

まず, 股関節屈曲伸展座標系 Σ_{hipFE} の Y_{hipFE} と同一のベクトルを Y_{hipAA} とし, 膝関節から股関節へ向かう単位ベクトルを Z_{hipAA} とした. つぎに Y_{hipAA} と Z_{hipAA} との外積によって得られる単位ベクトルを X_{hipAA} とした. そして X_{hipAA} , Y_{hipAA} , および Z_{hipAA} を軸とする座標系を, 股関節内外転座標系 Σ_{hipAA} と定義した. ここで, X_{hipFE} (Z_{hipFE}) と X_{hipAA} (Z_{hipAA}) との成す角を

股関節内外転角度と定義した.

③ 股関節内外旋

まず, 股関節内外転座標系 Σ_{hipAA} の Z_{hipAA} と同一のベクトルを Z_{hipIER} とし, 膝関節内側から膝関節外側に向かう単位ベクトルを S_{hipIER} とした. つぎに, Z_{hipIER} と S_{hipIER} との外積によって得られる単位ベクトルを Y_{hipIER} とし, さらに Y_{hipIER} と Z_{hipIER} との外積によって得られる単位ベクトルを X_{hipIER} とした. そして, X_{hipIER} , Y_{hipIER} , および Z_{hipIER} を軸とする座標系を, 股関節内外旋座標系 Σ_{hipIER} と定義した. ここで, X_{hipAA} (Y_{hipAA}) と X_{hipIER} (Y_{hipIER}) との成す角を股関節内外旋角度と定義した.

(3) 膝関節

① 膝関節屈曲伸展

まず、股関節内外旋座標系 Σ_{hipIER} の X_{hipIER} と同一のベクトルを X_{kneeFE} とし、足関節から膝関節へ向かう単位ベクトルを S_{kneeIER} とした。つぎに、 S_{kneeIER} と X_{kneeFE} との外積によって得られる単位ベクトルを Y_{kneeIER} とし、さらに、 X_{kneeFE} と Y_{kneeFE} との外積によって得られる単位ベクトルを Z_{kneeFE} とした。そして X_{kneeFE} と Y_{kneeFE} 、および Z_{kneeFE} を軸とする座標系を、膝関節屈曲伸展座標系 Σ_{kneeFE} と定義した。ここで、 Y_{hipIER} (Z_{hipIER}) と Y_{kneeFE} (Z_{kneeFE}) との成す角を膝関節屈曲伸展角度と定義した。

(4) 足関節

① 足関節底背屈

まず、膝関節屈曲伸展座標系 Σ_{kneeFE} の X_{kneeFE} と同一のベクトルを X_{ankPDF} とし、爪先から足関節へ向かう単位ベクトルを S_{ankPDF} とした。つぎに S_{ankPDF} と X_{ankPDF} との外積によって得られる単位ベクトルを Y_{ankPDF} とした。さらに、 X_{ankPDF} と Y_{ankPDF} との外積によって得られる単位ベクトルを Z_{ankPDF} とした。そして、 X_{ankPDF} 、 Y_{ankPDF} および Z_{ankPDF} を軸とする座標系を、足関節底背屈座標系 Σ_{ankPDF} と定義した。ここで、 Y_{kneeFE} (Z_{kneeFE}) と Y_{ankPDF} (Z_{ankPDF}) との成す角を足関節底背屈角度と定義した。

2.4.5 関節トルク、角力積

ニュートン・オイラー法による逆動力学計算を用いて、下記の関節の関節作用モーメントを算出した後、各関節軸の軸方向単位ベクトルとの内積を求め、各関節軸回りの関節トルクを算出し、体重で除することによって体重あたりの関節トルクとした。なお、キネティクスデータは、阿江ほか(1996)の身体部分慣性係数を用いて算出した。また、身体各セグメントの角速度ベクトルは、身体セグメントにその姿勢を示す移動座標系を定義し、その移動座標系の各ベクトル成分の時間微分から算出した。各セグメントの移動座標系は、下胴のセグメントは下胴座標系、大腿は股関節内外旋座標系、下腿は膝関節内外旋座標系、足部は足関節内外反座標系と一致するものとした。下胴座

標系、股関節内外旋座標系は「2.4.4 関節角度、関節角速度」の項に示した。膝関節内外旋座標系、ならびに足関節内外反座標系はすべて記述すると煩雑になるため省略する。

さらに、股関節、膝関節、足関節の伸展トルクならびに、股関節の内外転トルクは、Initiation, Transition, Takeoff のそれぞれの期間で数値積分し、各期間におけるトルクの角力積とした。以下に各トルクの定義を示す。ここでは右側のみを示し、左側は省略する。

(1) 股関節

① 股関節屈曲伸展トルク

股関節作用モーメントベクトルと股関節屈曲伸展座標系 Σ_{hipFE} の X_{hipFE} との内積を股関節屈曲伸展トルクと定義した。

② 股関節内外転トルク

股関節作用モーメントベクトルと股関節内外転座標系 Σ_{hipAA} の Y_{hipAA} との内積を股関節内外転トルクと定義した。

③ 股関節内外旋トルク

股関節作用モーメントベクトルと股関節内外旋座標系 Σ_{hipIER} の Z_{hipIER} との内積を股関節内外旋トルクと定義した。

(2) 膝関節

① 膝関節屈曲伸展トルク

膝関節作用モーメントベクトルと膝関節屈曲伸展座標系 Σ_{kneeFE} の X_{kneeFE} との内積を膝関節屈曲伸展トルクと定義した。

(3) 足関節

① 足関節底背屈トルク

足関節作用モーメントベクトルと足関節底背屈座標系 Σ_{ankPDF} の X_{ankPDF} との内積を足関節底背屈トルクと定義した。

2.5 統計処理

前項の測定項目について、距離と高さを要因とした二元配置分散分析の統計処理を行った。下位検定には Bonferroni の方法を用いた。いずれも統計分析に使用したソフトウェアは SPSS Statistics 19であった。統計的検定における有意水準は 5%とした。

Ⅲ. 結 果

3.1 ポールまでの到達時間

Table 1 は、全被験者のポールまでの到達時間の平均を示したものである。Near diving, Far diving とも、Upper 試技が、Middle, Lower 試技よりも有意に到達時間が長かった。

Table 1 Means of reaching time. Reaching time indicates the duration starting from start of Initiation until finish of Takeoff

Average of reaching time(s)	Near Upper	0.69(.07)	}*
	Near Middle	0.54(.07)	
	Near Lower	0.55(.08)	
	Far Upper	0.61(.05)	}*
	Far Middle	0.47(.05)	
	Far Lower	0.48(.07)	

* Indicates a significant difference between each heights ($P < .05$) within each period. $n = 11$ (S.D.)

3.2 身体重心位置の推移

Fig. 3 は全被験者の鉛直方向の重心位置について Start of analysis から Finish of analysis までの時間を100%として正規化し、推移を示したものである。Near diving では40%付近まではいずれの高さの試技も同様の方向へ推移しているが、

50%から60%の間から、Upper, Middle, Lower のポール方向へと推移している様子がみられる。Far diving でも同じく30%付近までは同様の方向へ推移し、40%から60%の間から、Upper, Middle, Lower のポール方向へと推移している様子がみられる。

3.3 床反力

3.3.1 床反力の推移

Fig. 4 は被験者 A の体重あたりの床反力の推移を示したものである。ここでは 0 s が Start of analysis となる。被験者 A は各グラフの波形が典型的であり、かつ身長、体重が平均値に近いので、typical な被験者とした。Near diving はフォースプレート上に立った状況から動作を開始しているので、0 s の時点で既に床反力が発揮されていた。

ボールの高さによる違いをみると、Near diving, Far diving とも CS 脚における横方向（静止座標系の Y 方向）の波形は、値の大きさに違いは多少みられるものの類似していた。鉛直方向（静止座標系の Z 方向）も波形は類似していたが、Upper 試技の方が他の高さよりもピーク値が大きかった。

BS 脚においては Near diving, Far diving とも Upper 試技の横方向の床反力が接地後に負の値を示しており、その期間は鉛直方向の床反力の上昇がみられた期間と、ほぼ一致していた。また鉛

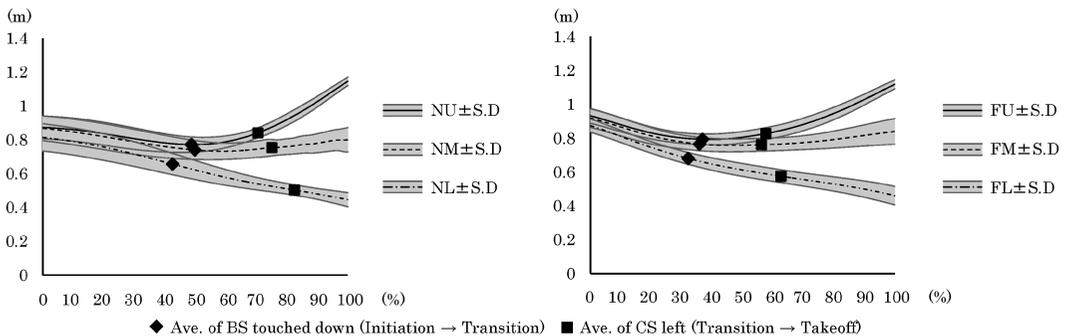
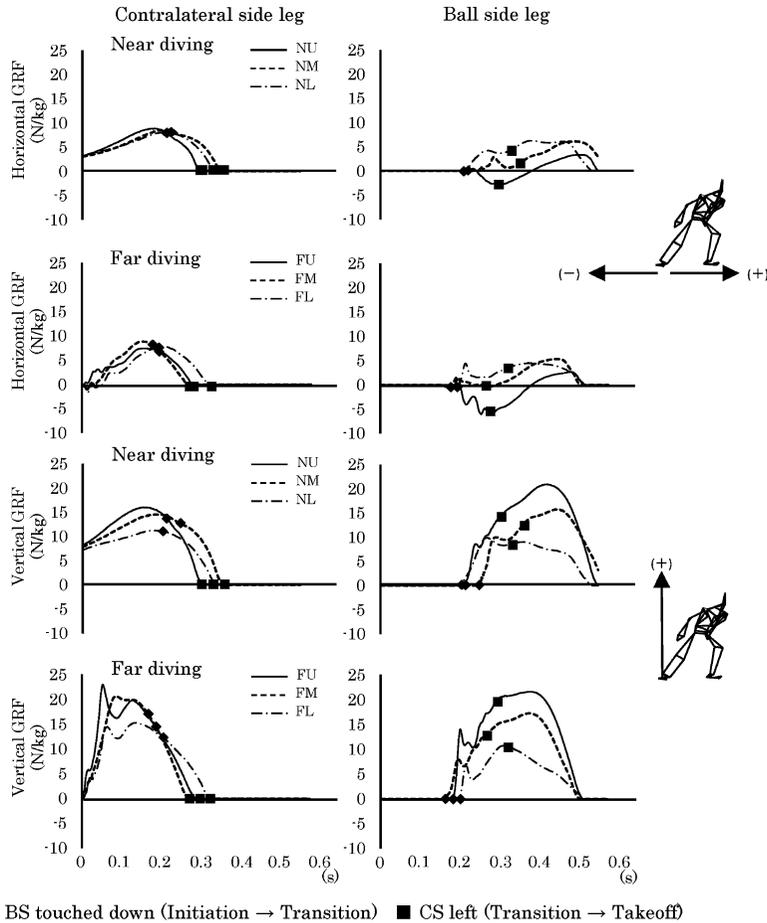


Fig. 3 Average of trajectory in center of gravity during diving (vertical direction). NU (Near Upper), NM (Near Middle), NL (Near Lower). FU (Far Upper), FM (Far Middle), FL (Far Lower).



◆ BS touched down (Initiation → Transition) ■ CS left (Transition → Takeoff)
Fig. 4 Typical patterns of changes in ground reaction force (GRF) during diving. NU (Near Upper), NM (Near Middle), NL (Near Lower). FU (Far Upper), FM (Far Middle), FL (Far Lower).

直方向ではCS脚同様にUpper試技の方が他の高さよりもピーク値が大きかった。

Near divingとFar divingによる違いをみると、同じ高さの試技の波形は類似していた。また、Far divingでは鉛直方向の床反力で、両脚とも接地時の衝撃力とみられる大きな値の変動がみられた。

3.3.2 ダイビング動作中の床反力ベクトル

Fig. 5は典型的な被験者Aの各試技のStart of analysisからFinish of analysisまでの時間を100%として正規化し、10%ごとに、それぞれの時点における各高さのスティックピクチャー(ゴールキーパー後方から捉えた図、ボールは右側にある)、ならびにその時点における横・鉛直

ベクトルを示したものである。

またTable 2は、全被験者の体重あたりの床反力についてStart of analysisからFinish of analysisまでの時間を100%として正規化し、横・鉛直ベクトルの大きさと水平面からの角度について平均を10%ごとに示したものである。前章の2.4.2の定義より、横・鉛直ベクトルの考察対象区間は、CS脚においては試技の10%~50%の間を、BS脚においては50%~90%の間とした。

その結果、CS脚におけるベクトルの大きさについて、ボールの高さによる違いをみると、20%、30%、50%の時点の大きさは、Upper試技、Middle試技がLower試技より大きく、40%の時点は、Upper試技、Middle試技、Lower試技の

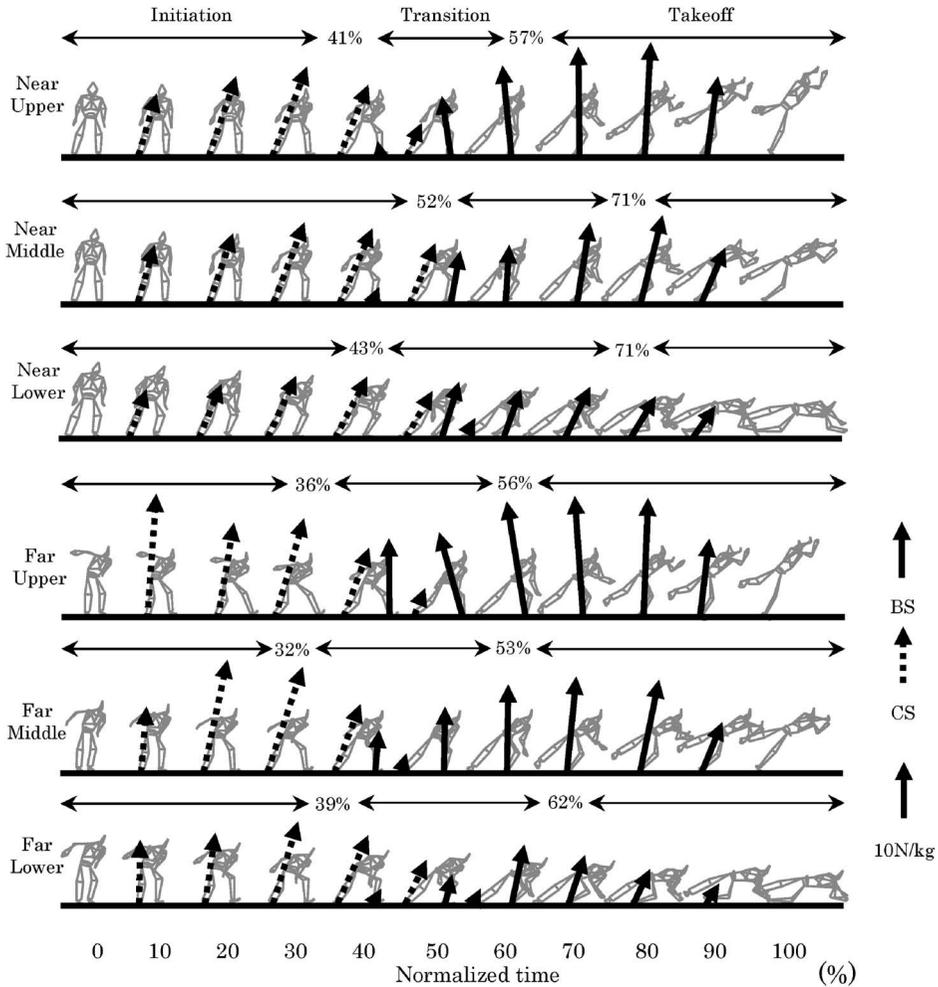


Fig. 5 Typical patterns of changes in diving motion. This stick picture shows the transition of diving motion. It starts from 0% and finishes at 100%. And this arrow shows the vector of ground reaction force (GRF). Dotted vectors indicates GRF of Contralateral side leg. Solid vectors indicates GRF of Ball side leg. The difference in slope and magnitude of the GRF vector can be seen.

順で有意に大きかった。また Near diving と Far diving による違いをみると、10%の時点の大きさは、Upper 試技で Far diving が、Near diving よりも有意に大きく、20%、30%の時点はいずれの高さでも Far diving が、Near diving よりも有意に大きかった。50%の時点の大きさは、いずれの高さでも Near diving が、Far diving よりも有意に大きかった。

ベクトルの角度についてボールの高さによる違いをみると、20~40%の間の角度は、Upper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で有意に大き

かった。また Near diving と Far diving による違いをみると、20%、50%の時点の角度は、Far diving が、Near diving よりも有意に大きかった。

BS 脚におけるベクトルの大きさについて、ボールの高さによる違いをみると、60%の時点の大きさは、Far diving では Upper 試技が Middle 試技、Lower 試技よりも有意に大きかった。70%の時点の大きさは、Near Diving では Upper 試技が Middle 試技、Lower 試技よりも有意に大きく、Far diving では Upper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で有意に大きかった。80%、90%

Table 2 Magnitude and angle of ground reaction force vector (Y-Z direction)

		Contralateral side leg						Ball side leg								
		10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
Magnitude of GRF Vector (N/kg)	Near Upper	7.55(2.42)	9.94(2.92)	13.68(4.29)	16.10(3.12)	16.62(3.71)	2.90(3.90)	10.39(3.32)	16.04(2.36)	17.54(2.65)	13.59(2.93)	1.44(0.49)	1.53(0.12)	1.57(0.09)	1.48(0.09)	1.37(0.10)
	Near Middle	9.26(2.45)	11.26(2.77)	13.44(3.62)	14.74(3.28)	15.12(3.00)	3.73(3.25)	7.42(4.09)	10.90(3.40)	12.32(2.16)	9.98(2.26)	1.44(0.66)	1.24(0.25)	1.28(0.11)	1.21(0.10)	1.06(0.09)
	Near Lower	7.91(2.64)	8.58(2.55)	10.12(1.63)	11.00(1.62)	9.75(3.11)	5.48(3.90)	7.63(3.11)	8.77(2.15)	8.60(2.22)	6.33(2.75)	1.34(0.33)	1.15(0.12)	1.10(0.16)	1.05(0.16)	1.02(0.25)
	Far Upper	13.95(6.27)	20.97(2.65)	21.86(2.75)	16.71(3.40)	7.45(5.07)	12.22(5.10)	18.50(2.02)	20.21(2.12)	19.12(2.95)	12.08(2.55)	1.72(0.15)	1.71(0.08)	1.58(0.15)	1.48(0.10)	1.33(0.12)
	Far Middle	11.28(3.74)	20.07(4.41)	20.91(2.54)	14.01(1.62)	3.36(3.35)	10.36(3.24)	13.63(1.63)	14.71(1.84)	13.51(2.09)	8.08(2.01)	1.45(0.11)	1.44(0.11)	1.32(0.12)	1.18(0.11)	1.00(0.10)
	Far Lower	10.14(4.20)	14.41(5.09)	14.60(5.15)	10.94(4.37)	4.41(4.15)	8.41(3.32)	10.13(3.70)	9.27(3.41)	7.43(3.17)	5.03(2.33)	1.38(0.14)	1.28(0.18)	1.17(0.23)	0.99(0.13)	0.89(0.11)
Angle of GRF Vector (rad.)	Near Upper	1.23(0.05)	1.21(0.05)	1.17(0.06)	1.13(0.06)	1.08(0.06)	1.23(0.05)	1.21(0.07)	1.18(0.05)	1.11(0.05)	1.24(0.25)	1.42(0.11)	1.31(0.05)	1.18(0.05)	1.24(0.25)	1.30(0.57)
	Near Middle	1.21(0.06)	1.18(0.07)	1.14(0.07)	1.09(0.07)	1.05(0.06)	1.15(0.82)	1.25(0.07)	1.13(0.05)	1.06(0.04)	1.30(0.57)	1.21(0.07)	1.25(0.07)	1.13(0.05)	1.06(0.04)	1.54(0.73)
	Near Lower	1.18(0.08)	1.12(0.07)	1.08(0.07)	1.03(0.07)	1.02(0.09)	1.37(0.19)	1.21(0.07)	1.08(0.05)	0.99(0.04)	1.54(0.73)	1.18(0.08)	1.12(0.07)	1.08(0.07)	1.03(0.07)	1.02(0.09)
	Far Upper	1.42(0.11)	1.31(0.05)	1.18(0.05)	1.11(0.05)	1.24(0.25)	1.42(0.11)	1.31(0.05)	1.18(0.05)	1.11(0.05)	1.24(0.25)	1.42(0.11)	1.31(0.05)	1.18(0.05)	1.11(0.05)	1.24(0.25)
	Far Middle	1.15(0.82)	1.25(0.07)	1.13(0.05)	1.06(0.04)	1.30(0.57)	1.15(0.82)	1.25(0.07)	1.13(0.05)	1.06(0.04)	1.30(0.57)	1.15(0.82)	1.25(0.07)	1.13(0.05)	1.06(0.04)	1.30(0.57)
	Far Lower	1.37(0.19)	1.21(0.07)	1.08(0.05)	0.99(0.04)	1.54(0.73)	1.37(0.19)	1.21(0.07)	1.08(0.05)	0.99(0.04)	1.54(0.73)	1.37(0.19)	1.21(0.07)	1.08(0.05)	0.99(0.04)	1.54(0.73)

* Indicates a significant difference between each heights (P < .05).

† Indicates a significant difference between near and far diving (P < .05).

の時点の大きさは、Near, Far diving とともに Upper 試技, Middle 試技, Lower 試技の順で有意に大きかった。また Near diving と Far diving による違いをみると、50%, 60%の時点の大きさは、Far diving が、Near diving よりも有意に大きく、70%の時点は Upper 試技, Middle 試技で Far diving が、Near diving よりも有意に大きかった。90%の時点の大きさは、いずれの高さでも Near diving が、Far diving よりも有意に大きかった。

ベクトルの角度についてボールの高さによる違いをみると、60~80%の間の角度は、Upper 試技, Middle 試技, Lower 試技の順で有意に大きかった。90%の時点は Upper 試技が Middle 試技, Lower 試技よりも有意に大きかった。また Near diving と Far diving による違いをみると、60%の時点の角度は、Far diving が、Near diving よりも有意に大きかった。

3.3.3 床反力の力積

Table 3は、それぞれの脚における横方向、鉛直方向の体重あたりの床反力の力積を局面ごとに示したものである。

横方向の床反力の力積についてボールの高さによる違いをみると、CS脚においては Initiation

で Upper 試技が、Lower 試技よりも有意に大きかった。Transition では有意な差がみられなかった。また Near diving と Far diving による違いをみると、Initiation, Transition とともに Near diving が、Far diving よりも力積が有意に大きかった。

BS脚においてはボールの高さによる違いをみると、Transition で Lower 試技, Middle 試技, Upper 試技の順で力積が有意に大きかった。Takeoffでは、Near Diving は Middle 試技が Upper 試技よりも有意に大きく、Far diving は Middle 試技, Lower 試技が Upper 試技よりも力積が有意に大きかった。また Near diving と Far diving による違いをみると、Transition で Near diving が、Far diving よりも有意に大きかった。また Takeoffでは、Lower 試技は Far diving が Near diving よりも有意に大きかった。

鉛直方向への床反力の力積についてボールの高さによる違いをみると、CS脚においては Initiation で Upper 試技, Middle 試技が、Lower 試技よりも有意に大きかった。また Near diving と Far diving による違いをみると、Initiation, Transition とともに Near diving が、Far diving よりも有

Table 3 Impulse of ground reaction force with each period (N/kg)

		Initiation		Transition		Transition		Takeoff	
		Contralateral side leg				Ball side leg			
Horizontal GRF (N/kg)	Near Upper	†	1.37 (0.40)	†	0.61 (0.31)	†	0.06 (0.15)	†	0.22 (0.16)
	Near Middle		1.37 (0.43)*		0.71 (0.31)		0.28 (0.17)*		0.56 (0.12)*
	Near Lower		0.94 (0.45)		0.91 (0.36)		0.57 (0.24)		0.42 (0.23)
	Far Upper		0.75 (0.27)		0.46 (0.26)		-0.13 (0.10)		0.05 (0.24)
	Far Middle		0.75 (0.34)		0.45 (0.24)		0.06 (0.08)		0.64 (0.19)
	Far Lower		0.59 (0.23)		0.64 (0.25)		0.16 (0.13)		0.67 (0.21)
Vertical GRF (N/kg)	Near Upper	†	3.20 (0.88)	†	1.21 (0.66)	†	1.30 (0.42)	†	2.38 (1.09)
	Near Middle		3.03 (0.82)*		1.25 (0.56)		0.89 (0.29)*		1.46 (0.58)*
	Near Lower		1.98 (0.95)		1.42 (0.57)		1.31 (0.45)		0.72 (0.44)
	Far Upper		2.56 (0.58)		0.96 (0.53)		0.98 (0.34)		3.00 (0.65)
	Far Middle		2.27 (0.70)*		0.87 (0.48)		0.62 (0.28)		2.24 (0.45)
	Far Lower		1.71 (0.50)		1.07 (0.36)		0.96 (0.59)		1.34 (0.49)

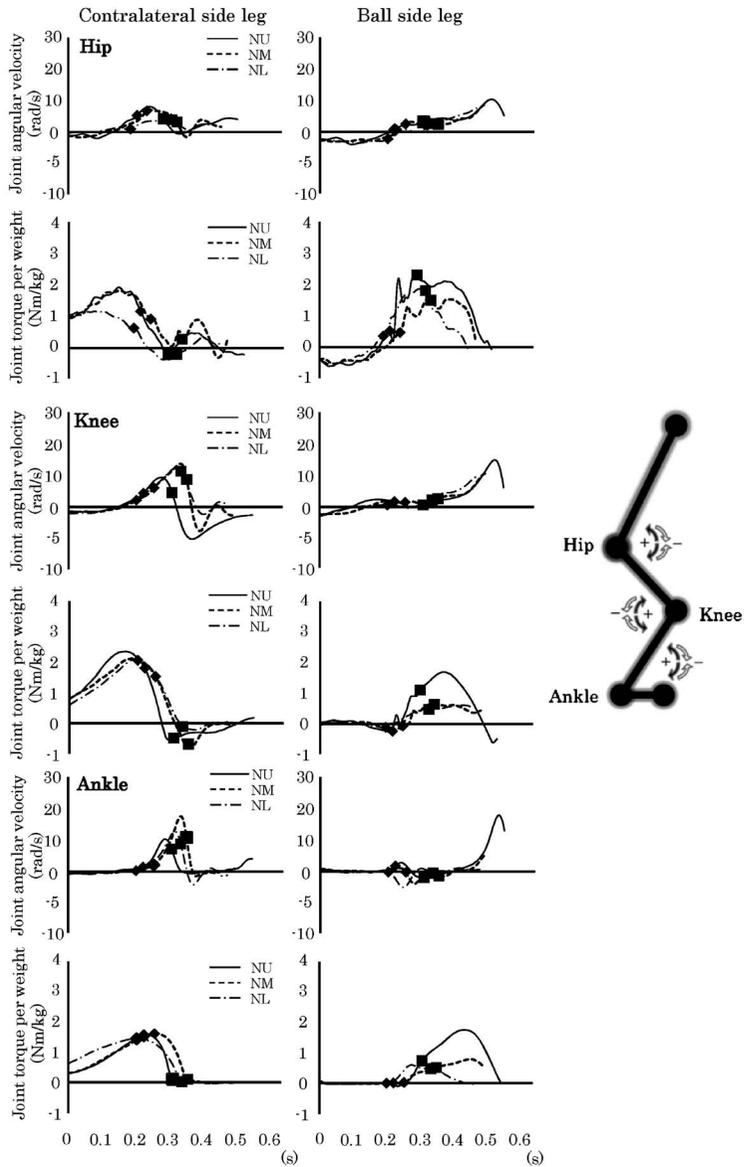
* Indicates a significant difference between each heights ($P < .05$) within each period.

† Indicates a significant difference between near and far diving ($P < .05$) within each period.

意に大きかった。

BS脚においてはボールの高さによる違いをみると、TransitionでUpper試技、Lower試技が、Middle試技より有意に大きかった。Takeoffでは、Upper試技、Middle試技、Lower試技の順で力積が有意に大きかった。またNear divingと

Far divingによる違いをみると、TransitionでNear divingがFar divingよりも有意に大きく、Takeoffでは、Far divingがNear divingよりも有意に大きかった。



◆ BS touched down (Initiation → Transition) ■ CS left (Transition → Takeoff)

Fig. 6-1 Typical patterns of changes in joint angular velocity and joint torque of hip, knee, ankle (Near diving). Positive values mean extension (plantar flexion), negative values mean flexion (dorsal flexion). NU (Near Upper), NM (Near Middle), NL (Near Lower).

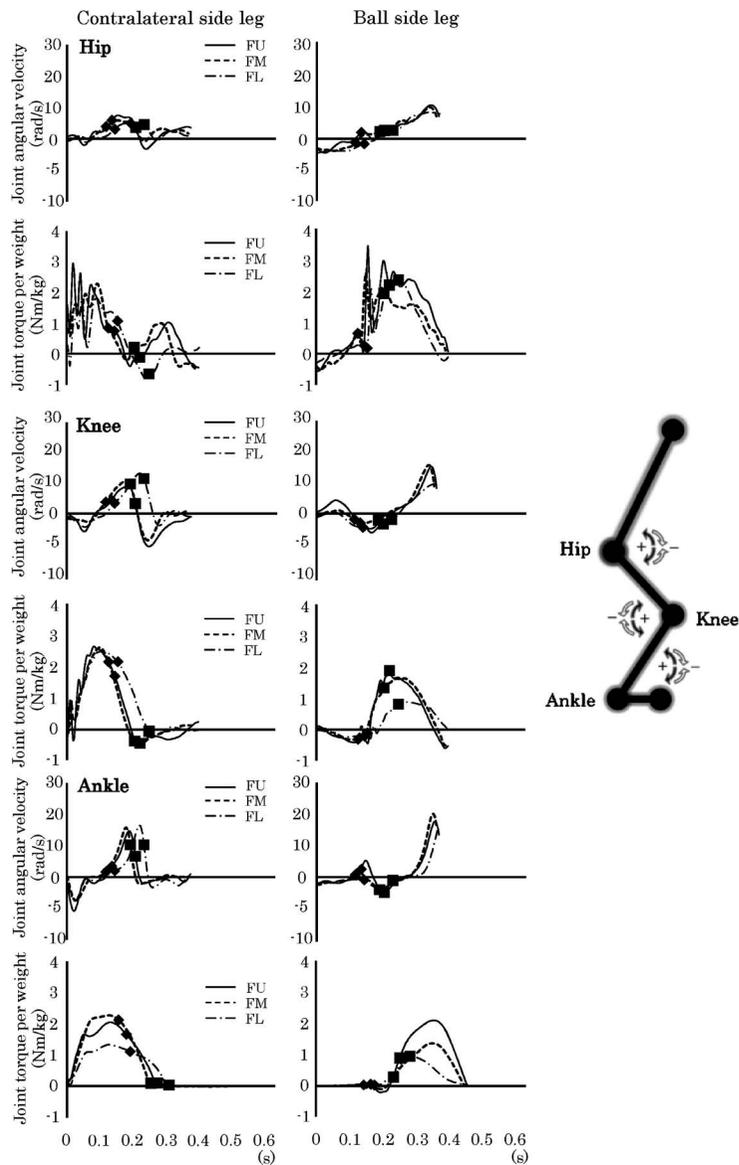
3.4 関節トルクと角速度

3.4.1 各トルク、角速度の推移

Fig. 6-1は、Near divingの、Fig. 6-2はFar divingのTypicalな被験者Aの関節角速度、ならびに体重あたりの関節トルクの推移を示したものである。いずれのグラフも正の値は伸展、なら

びに底屈トルクの値を、負の値は屈曲、ならびに背屈トルクを示している。

CS脚において、いずれの高さもNear divingでは0.2秒付近まで、股関節、膝関節は、屈曲の角速度を示していた。Far divingではNear divingよりも、屈曲の角速度を示す期間は短いが、



◆ BS touched down (Initiation → Transition) ■ CS left (Transition → Takeoff)

Fig. 6-2 Typical patterns of changes in joint angular velocity and joint torque of hip, knee, ankle (Far diving). Positive values mean extension (plantar flexion), negative values mean flexion (dorsal flexion). FU (Far Upper), FM (Far Middle), FL (Far Lower).

膝関節, 足関節は, 大きな屈曲ならびに背屈の角速度を示していた. また関節トルクは, 接地後から, いずれの関節も伸展トルクを示していた.

BS脚においては, いずれの高さも角速度, 関節トルクともにBS touched down付近で屈曲から伸展へ値が変わりはじめていた. しかし, いずれの関節も伸展トルクを示しながらも屈曲の角速度を示していた期間があった. CS脚同様にBS脚でも, Far divingではNear divingよりも, 屈曲の角速度を示す期間は短い, 膝関節, 足関節は, 大きな屈曲ならびに背屈の角速度を示していた. なお, この時のBS touched downから, CS leftのタイミングまで(Transition期間)は,

NUが0.22 s-0.31 s, NMが0.26 s-0.35 s, NLが0.20 s-0.34 s, FUが0.17 s-0.26 s, FMが0.15 s-0.24 s, FLが0.18 s-0.29 sであった.

3.4.2 関節トルクの角力積

Fig. 7は, 全被験者のそれぞれの脚における股関節, 膝関節, 足関節による体重あたりの伸展トルクの角力積の平均を局面ごとに示したものである.

CS脚においてボールの高さによる違いをみると, Initiationで股関節, 膝関節, 足関節はUpper試技が, Lower試技よりも有意に大きかった. Transitionでは, 膝関節はLower試技が, Upper試技よりも有意に大きかった. Near diving

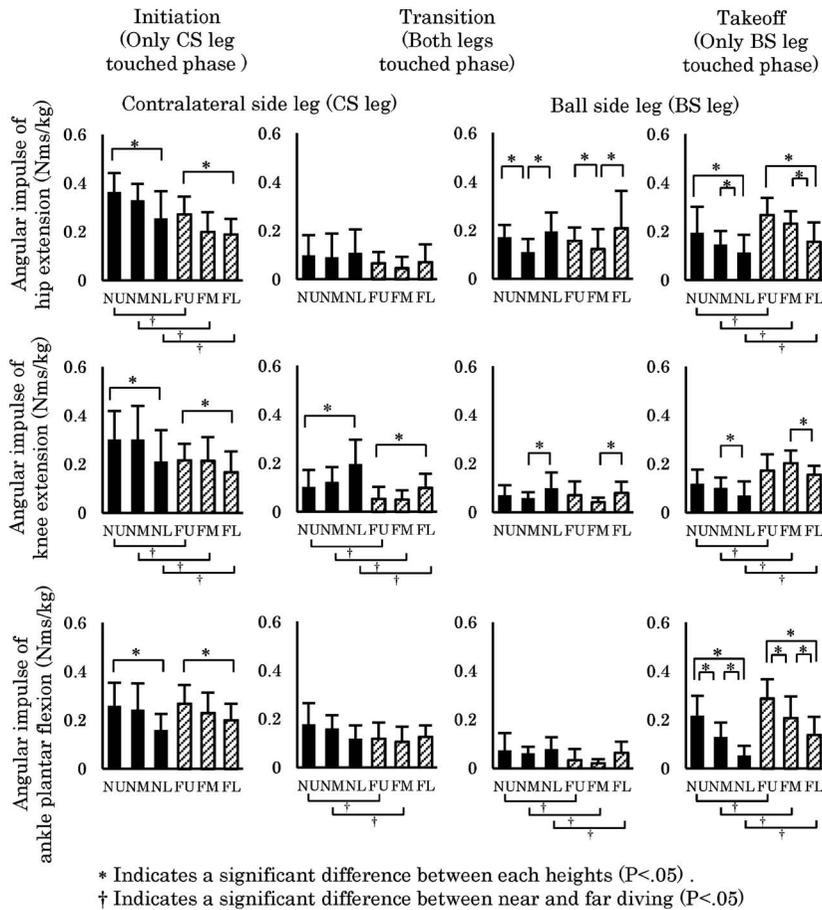


Fig. 7 Means of each angular impulse per weight (Nms/kg). Upper figures show hip extension. Middle figures show knee extension. Lower figure shows ankle plantar flexion. NU (Near Upper), NM (Near Middle), NL (Near Lower). FU (Far Upper), FM (Far Middle), FL (Far Lower).

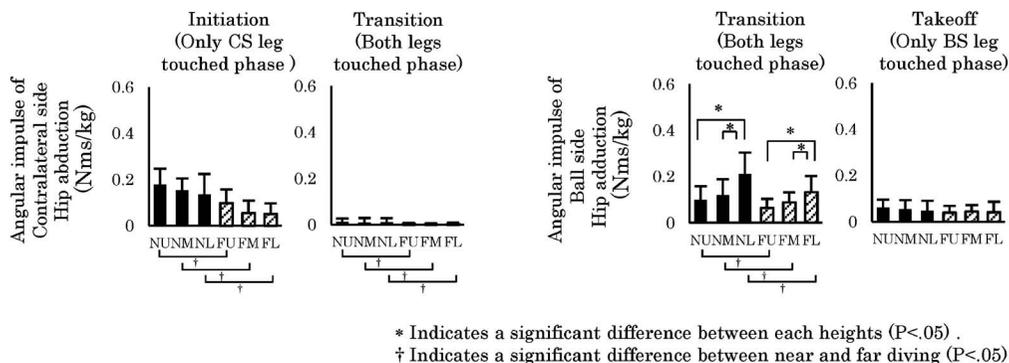


Fig. 8 Means of each angular impulse per weight (Nms/kg). Left figures show Contralateral side leg's hip abduction. Right figures show Ball side leg's hip adduction.

と Far diving による違いをみると、Initiation で股関節、膝関節は Near diving が、Far diving よりも有意に大きかった。Transition では、膝関節は Near diving が、Far diving よりも有意に大きかった。足関節は Upper 試技と Middle 試技で Near diving が、Far diving よりも有意に大きかった。

BS 脚においてはボールの高さによる違いをみると、Transition で股関節は Upper 試技、Lower 試技が、Middle 試技よりも有意に大きかった。膝関節は Lower 試技が、Middle 試技よりも有意に大きかった。Takeoff では、股関節は Upper 試技、Middle 試技が、Lower 試技よりも有意に大きかった。膝関節は Middle 試技が、Lower 試技よりも有意に大きかった。足関節の角力積は Upper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で有意に大きかった。Near diving と Far diving による違いをみると、Transition で足関節は Near diving が、Far diving よりも有意に大きかった。Takeoff では、いずれの関節とも Far diving が、Near diving よりも有意に大きかった。

Fig. 8 は、体重あたりの CS 脚股関節外転トルク、BS 脚股関節内転トルクの角力積を示したものである。

CS 脚股関節外転トルクは Initiation で Near diving が、Far diving よりも有意に大きかった。また Transition でも有意な差はみられたが、Initiation と比べると、値は非常に小さかった。

BS 脚股関節内転トルクは Transition で Lower 試技が、Middle, Upper 試技よりも有意に大きく、Near diving が Far diving よりも有意に大きかった。また、Takeoff では有意な差はみられなかった。

IV. 考 察

4.1 踏切開始からボールタッチまでの動作時間

松倉・浅井 (2009) は、方向指示器によってランダム方向に示されたボールに対し、ゴールキーパーにダイビングを行わせる実験を行い、方向指示器のシグナル開始から、ゴールキーパーがボールにタッチするまでの時間を測定した。その結果、「ゴールキーパーから近距離の試技(ボールまでの水平距離が1.83 m)では、左右ともボールの高さが中の試技が最も短く、以下、上、下の順となり、ゴールキーパーから遠距離の試技(同3.50 m)では、中の試技が最も短く、以下、下、上の順に、ボールまでの到達時間がそれぞれ有意に長くなっていた」と示している。また浅井ほか(1982)は、同じく2.1 m離れたボールへのダイビングにおいて、高さが中の試技が最も短く、以下上、下の順に、到達時間が長くなっていたと報告している。

本研究の結果と比較すると、Near diving, Far diving とともに Upper 試技が Middle 試技よりも

ボールへの到達時間が長いという点は同様であった。しかし、Near diving において Upper 試技が Lower 試技よりも到達時間が有意に長いという点と、Near diving, Far diving ともに、Lower 試技と Middle 試技の到達時間に差がみられなかったという点は異なっていた。本研究における到達時間の定義は、動き出しから Start of analysis までの時間が動作時間に含まれていない。松倉・浅井 (2009) の研究では、方向指示から動き出し後の手の移動軌跡において、下方向のボールに対する遅れが指摘されていた。しかし、本実験では、予め高さや方向が分かった状況で動き出したことや、Far diving においては CS 脚の接地以降のみを到達時間として測定していたことにより、手の移動の遅れの影響が、比較的小さくなっていたのではないかと考えられる。いずれにせよ、Near diving, Far diving ともに、高いボールは他の高さのボールより到達までの時間が長いと考えられる。したがって、ゴールキーパーから離れており、かつクロスバー付近の高さに放たれたシュートは、ゴールキーパーにとって、防御することが難しいシュートであると考えられる。

4.2 高さの違いによるキネティクスの特性

これまで、ダイビング動作において、重心をボールへ直線的に移動させることの重要性は指摘されている (Suzuki et al., 1988, 浅井・布目, 2002)。本研究においても、重心位置は、試技の 50% 付近からボールの高さに応じて変動している様子が示された (Fig. 3)。

また、横・鉛直ベクトルは、両脚とも高いボールほどベクトルの大きさが有意に大きく、角度も有意に大きかった (Table 2)。しかし、CS 脚ではそれぞれの高さにおける横・鉛直ベクトルの角度に有意な差はみられるものの、その角度の差が BS 脚における差ほど大きくなかった (Table 2)。さらに、Typical な被験者 A の例をみても CS 脚の横・鉛直ベクトルは、高いボールへ向かう試技ほど大きい、方向はほぼ同様の斜め右方向に発揮されていた (Fig. 5)。一方、BS 脚の横・鉛直ベクトルは、ボールの高さによって大き

さだけでなく、角度も大きく異なっていた (Fig. 5)。

これらのことから、CS 脚はボールの高さに応じて力の大きさを変えることにより、また、BS 脚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により、重心のボール方向への直線的な移動に貢献していると考えられる。

CS 脚の床反力の力積は、Initiation では、横方向は Upper 試技が Lower 試技よりも有意に大きく、鉛直方向は Upper 試技、Middle 試技が Lower 試技よりも有意に大きかった (Table 3)。また、Initiation の CS 脚における股関節、膝関節、足関節の角力積は、Upper 試技が Lower 試技よりも有意に大きかった (Fig. 7)。CS 脚では Initiation において各関節が屈曲の角速度を示している際にも、伸展トルクが発揮されており (Fig. 6-1, 6-2)、角力積の大きかった高いボールへの試技ほど伸筋群のエクセントリックな活動による反動動作のための沈み込みが大きく行われていると推察される。

BS 脚の床反力の力積は Transition では、横方向は Lower 試技、Middle 試技、Upper 試技の順で有意に大きかった (Table 3)。とりわけ Upper 試技は横方向の床反力が BS touched down 以降に負の値を示していた (Fig. 4)。力積も、Near diving では 0 に近く、Far diving では負の値を示していた (Table 3)。また、Transition 開始時点以降に鉛直方向の床反力の上昇がみられた (Fig. 4)。したがって Upper 試技では Transition に進行方向に対して逆側の床反力を発揮し、横方向のスピードにブレーキの働きをすることで、鉛直方向の床反力を上昇させていると思われる。また、Takeoff では鉛直方向の床反力の力積は Upper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で有意に大きかった (Table 3)。股関節の角力積は Upper 試技、Middle 試技が Lower 試技より有意に大きく、足関節の角力積は、Upper, Middle, Lower の順に有意に大きかった (Fig. 7)。

以上のことから、高いボールへのダイビングでは、BS 脚が Transition において進行方向に対し逆側の床反力を発揮し、ブレーキの働きをするこ

とにより、鉛直方向の床反力を上昇させること、さらに、TakeoffにおいてBS脚の股関節と足関節が大きな伸展トルクを発揮し、鉛直方向の床反力を大きくすることが重要であると考えられる。

4.3 距離の違いによるキネティクスの特性

ゴールキーパーは、大きく離れた位置へのシュートに対して、ステップを行わなくては、ダイビングによってボールまで到達することが困難であり、ステップの過程を経て、エネルギーを蓄えた状態から踏切を行う。一方、ゴールキーパーから近い距離のシュートに対するダイビングでは、ステップを入れることなくダイビングを行うために、動き出しから踏切の動作を一連で行うという違いがある。

Initiation, TransitionのCS脚における床反力の力積は、横方向、鉛直方向ともNear divingがFar divingより有意に大きかった (Table 3)。BS脚における床反力の力積は、Transitionでは横方向、鉛直方向ともNear divingがFar divingより有意に大きかったが、Takeoffでは、横方向の値は、Lower試技で、鉛直方向の値は、すべての高さにおいてFar divingの方が有意に大きかった (Table 3)。さらにNear divingとFar divingの床反力の波形を比較すると、両脚とも同じ高さでは波形が類似していたが、鉛直方向の床反力ではFar divingにおいて接地時の衝撃力が大きく、Near divingよりも短時間で床反力が大きく上昇していた (Fig. 4)。

関節トルクの角力積の大きさをみると、CS脚においては、Initiationで股関節と膝関節が、Transitionでは膝関節と足関節が、いずれもNear divingで有意に大きかった (Fig. 7)。BS脚においては、Transitionで足関節がNear divingで有意に大きく、Takeoffでは股関節、膝関節、足関節が、Far divingで有意に大きかった (Fig. 7)。

これらのことから、Far Divingでは、ステップにより身体にエネルギーを蓄えた状況であるのに対し、Near divingにおいては、ステップによる加速がないため、InitiationにおいてCS脚に

よる加速が必要となり、CS脚でFar divingよりも横方向、鉛直方向とも大きな床反力の力積が発揮されたと考えられる。Near divingにおけるCS脚の接地区間では、Initiationで股関節、膝関節の伸展トルクが、Transitionでは膝関節、足関節の伸展トルクがFar divingよりも大きく発揮されていた。Initiationでは、伸筋群のエクセントリックな活動による反動動作のための沈み込みが行われていることが推察され、CS脚においては、股関節、膝関節の沈み込みと、その後の膝関節、足関節の伸展を大きくすることによって加速することが重要であると考えられる。

また、Far divingでは、遠くまでダイビングする必要があり、BS脚においてはTakeoffで、Near divingよりも大きな床反力の力積と角力積が発揮されていた。さらに、Far divingの方がNear divingよりもBS脚接地時の衝撃力が大きく、短時間で大きな床反力の上昇を示していた。そして角速度、関節トルクともにこのTransition開始時点付近を境に屈曲から伸展へと値が変わりはじめていた (Fig. 6-1, 6-2)。

これらより遠距離へのダイビングにおいては、TakeoffでのBS脚の股関節、膝関節、足関節の伸展と、より短時間でのプライオメトリクスの力発揮が重要であると考えられる。

4.4 股関節の内外転トルクによる力発揮

ダイビング動作は垂直跳びや、立ち幅跳びと異なり、体を倒しながら横方向へ飛ぶという動作であることから、ボールへ到達するためには下肢の伸展トルクに加えて、下肢を横方向へ倒していくという動作が必要になる。本研究でもボールの高さに応じて力を発揮する方向を変化させていることが横・鉛直ベクトルの角度から示された (Table 2, Fig. 5)。一方、Lower試技では、必ずしも横・鉛直ベクトルがボール方向に向かっていくわけではないが (Table 2, Fig. 5)、重心は離地へ向けて、下へと向かっている様子が示された (Fig. 3)。トンブソン・フロイド (1997) は、下肢を傾ける動作、すなわち骨盤の側方回旋 (側方傾斜) には、倒していく側の股関節の内転と反対

側の股関節の外転の動きが伴うことを指摘している。したがって、下にあるボールの方向へ下肢を倒すためには、CS脚の股関節外転とBS脚の股関節内転の動きが必要であると考えられる。

その中で高さ別に、これらトルクの角力積を比較すると、CS脚股関節外転トルクは、各高さで有意な差はみられなかった。一方、BS脚股関節内転トルクの角力積は、TransitionでLower試技がMiddle, Upper試技よりも有意に大きかった (Fig. 8)。

またNear divingとFar divingで角力積の大きさを比較すると、CS脚股関節外転トルクがInitiation, TransitionともNear divingがFar divingよりも有意に大きく、BS脚股関節内転トルクはTransitionで、Near divingがFar divingよりも有意に大きかった (Fig. 8)。

Near divingのInitiationにおけるCS脚は、反動動作のため、沈み込みを行う期間がみられた (Fig. 6-1)。その期間では、伸展動作が行われず、CS脚が股関節外転トルクを発揮することにより、下肢をボール方向へ倒していくことで重力の影響を受け、受動的に重心が移動していると考えられる。

これらのことから、近いシュートに対する、より速いダイビング動作には、InitiationにおけるCS脚股関節の外転動作が重要であると考えられる。とりわけ、低いシュートでは、TransitionにおけるBS脚股関節の内転動作が、より重要であることが示唆された。

V. ま と め

本研究では、ゴールキーパーのダイビング動作を対象に、ボールの高さ・距離の違いに伴う、床反力と下肢の関節トルク、関節角速度を比較検討し、ダイビング技術の基礎的メカニズムを明らかにしようとした。結果を以下に要約する。

1. Near diving, Far divingともに、高いボールは他の高さのボールより到達までの時間が長いと考えられる。したがって、ゴールキーパーから離れており、かつクロスバー付近の高さに放たれ

たシュートは、ゴールキーパーにとって、防御することが難しいシュートであると考えられる。

2. CS脚はボールの高さに応じて力の大きさを変えることにより、また、BS脚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により、重心をボール方向へ直線的に向かわせようとしていると考えられる。

3. 高いボールに対してCS脚は伸筋群のエクセントリックな活動による反動動作のための沈み込みが大きく行われていると推察される。またBS脚は、Transitionにおいて進行方向に対し逆側の床反力を発揮し、プレーキの働きをすることで、鉛直方向の床反力を上昇させることと、Takeoffにおいて股関節と足関節の大きな伸展トルクと鉛直方向の床反力を発揮することが重要であると考えられる。

4. CS脚における加速では股関節、膝関節の沈み込みと、その後の膝関節、足関節の伸展を大きくすることが重要であると考えられる。

5. 遠距離へのダイビングにおいては、TakeoffでのBS脚の股関節、膝関節、足関節の伸展と、より短時間でのプライオメトリクスの力発揮が重要であると考えられる。

6. 近いシュートに対するより速いダイビング動作には、InitiationにおけるCS脚股関節の外転動作が重要であると考えられる。とりわけ、低いシュートでは、TransitionでのBS脚股関節の内転動作が、より重要であることが示唆された。

文 献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Jpn. J. Sports Sci.*, 15: 155-162.
- 浅井 武・小林一敏・榊原 潔 (1982) サッカーのゴールキーピングにおけるダイビングについての力学的考察. *東京体育学研究*, 9: 11-14.
- 浅井 武・布目寛幸 (2002) 見方が変わるサッカーサイエンス. 岩波書店: 東京, pp. 65-71.
- Graham-Smith, P. and Lees, A. (1999) Analysis of technique of goalkeepers during the penalty kick. *J Sports Sci.*, 19: 916.
- 磯川政教・佐久間春夫 (1985) ゴールキーパーのセービング動作におけるバイオメカニクス的研究. 体力

- 科学, 34: 450-452.
- Kerwin, D.G. and Bray, K. (2006) Measuring and modelling the goalkeeper's diving envelope in a penalty kick. In: Moritz, E.F. and Haake, S. (Eds.) *The Engineering of Sport 6*. Springer: New York, pp. 321-326.
- 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: 317-326.
- Mulqueen, T. and Weitalla, M. (2010) The Complete soccer goalkeeper. *Human Kinetics: Champaign*, p73.
- 永都久典 (1980) サッカーゴールキーパーの動作分析: PK 時におけるゴールキーパーの SAVING FORM についての基礎実験(1). *城西大学教養関係紀要*, 4: 47-52.
- Nunome, H., Asai, T., Ikegami, Y., and Sakurai, S. (2002) Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34: 2028-2036.
- Spratford, W., Mellifont, R., and Burkett, B. (2009) The influence of dive direction on the movement characteristics for elite football goalkeepers. *Sports Biomech*, 8(3): 235-244.
- Suzuki, S., Togari, H., Isokawa, M., Ohashi, J., and Ohgushi, T. (1988) Analysis of the goalkeeper's diving motion. In: Reilly, T., Leea, A., Davids, K., and Murphy, W.J. (Eds.) *Science and Football*. E&FN Spon: London, pp. 468-475.
- トンプソン・フロイド: 中村千秋・土屋真希訳 (1997) 身体運動の機能解剖. 医道の日本社: 横須賀, pp. 91-93.
- Wells, R.P. and Winter, D.A. (1980) Assessment of signal noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human locomotion*, 1: 36-41.
- 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, p. 70.
- (平成24年7月26日受付)
(平成25年3月25日受理)

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2013/5/13