

2017 年度修士学位論文

ゴルフパッティングパフォーマンスを向上さ

せるための制御方略の検討

—ボールの運動ならびにパターヘッドの運動を対象として—

立命館大学大学院

スポーツ健康科学研究科

スポーツ健康科学専攻 博士課程前期課程 2 回生

6232160017-0

三宅悠斗

# ゴルフパッティングパフォーマンスを向上させるための制御方略の検討

ーボールの運動ならびにパターヘッドの運動を対象としてー

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程 2 回生 三宅悠斗

## 要旨

キーワード：ゴルフパッティング、初速度、スキッド、順回転、deterministic model、パターヘッドの運動

### 【背景】

ゴルフ競技において、パッティングはスコアの約 43%を占めるため、平均スコアを小さくするために重要である。ホール到達時の長軸方向のボール速度（以下、 $V_{\text{ホール到達時}}$ ）と、ホール中心とボール中心間の短軸方向の距離（以下、 $L_{\perp}$ ）を本研究ではゴルフパッティングパフォーマンスの指標と定義する。これらは、初速度と地面から受ける外力によって決定される。また、ボールの運動はスキッド区間と順回転区間に分けられ、それぞれの区間でボールが受ける外力の大きさ、外力を受ける時間が異なる。しかしながら、これらの要因の中で、 $V_{\text{ホール到達時}}$ 、 $L_{\perp}$ に強く関係する要因は明らかになっていない。

また、これらの要因の中でもボール初速度の大きさと方向は、インパクトでパターヘッドからボールに与えられた力によって決定されるが、ボール初速度とパターヘッドの運動の関係は明らかになっていない。

これらの関係を明らかにすることによって、ゴルフ選手がゴルフパッティングパフォーマンスを高めるためのボール、パターヘッドの運動を制御する方略を明らかにすることができ、指導現場にとって有用な知見を得られると考えられる。

### 【目的】

本研究では、ゴルフパッティングパフォーマンスを高めるための制御方略を明らかにすることを目的とした。これを達成するために、以下の 3 つの目的を設定した。

①V\_ホール到達時//を制御するための方略を明らかにすること、②L⊥の正確性を高めるための方略を明らかにすること、③ボール初速度の大きさ、方向を制御するためのパターヘッドの運動方略を明らかにすること。

#### 【方法】

16名の大学ゴルフ選手が本研究に参加した。被験者は、人工芝の上で1m、2m、3mの距離から各20球ずつパッティングを行った。ボールおよびパターヘッドの運動はモーションキャプチャーシステムを用いて測定した。

ボールの運動に関して、V\_ホール到達時//およびL⊥に関係する要因を明らかにするために、各距離条件でdeterministic modelを作成し、分析を行った。また、各距離条件で初速度の大きさ、方向とパターヘッドの運動の関係を検討した。

モデル内の変数間の関係性、また初速度とパターヘッドの運動の関係性を検討するために、ピアソンの積立相関係数を算出した。有意水準は $p < 0.01$ とした。

#### 【結果】

V\_ホール到達時//は初速度の長軸成分、順回転区間の長軸方向の速度変化と正の相関関係が認められた。また、L⊥はスキッド区間の短軸方向の変位、順回転区間の短軸方向の変位の両方と正の相関関係が認められた。そして、スキッド区間における短軸方向の変位は初速度の短軸成分、順回転区間における短軸方向の変位は順回転区間開始時の速度の短軸成分と正の相関関係が認められた。

初速度の大きさは、ヘッドスピードと正の相関関係が認められた。初速度の方向は、水平面上のフェース角度、水平面上のヘッド運動方向、水平方向の打点と正の相関関係が認められた。

#### 【結論】

V\_ホール到達時//は初速度の大きさと順回転区間における速度変化によって決定され、L⊥は、初速度の方向によって主に決定される。また、初速度の大きさは、ヘッドスピードによって決定され、初速度の方向は水平面上のフェース角度、水平面上のヘッド運動方向、水平面上の打点によって決定される。

これらのことから、ゴルフ選手は初速度の大きさ、方向を制御する能力と、グリーン面を観察しボールの運動の変化を予測する能力を高めることで、ボールの運動を制御する能力を高められると考えられる。また、ゴルフ選手はパターヘッドの運動に関する上記の変数を制御することで、初速度の大きさ、方向を制御する能力を高められると考えられる。

# Exploring strategy to improve the control of golf putting performance

-Motion analyses of ball and putter head -

6232160017-0 Yuto Miyake

## Abstract

**Keywords:** Golf putting, Initial velocity, Skidding, Rolling, Deterministic model, Putter head motion

### Introduction

Putting is important because it accounts for 43% of the score in golf competition. In this dissertation, the longitudinal ball velocity (hereinafter called  $V_{hole//}$ ) and the distance between the center of hole and the center of ball in the lateral direction (hereinafter called  $L_{\perp}$ ), at which the ball reaches the hole, are defined as putting performance. These variables are determined by the initial ball velocity and the external force on the ball. Moreover, the ball motion is composed of two phases, i.e., skidding and rolling phases. The magnitude and the duration of force differ between skidding and rolling phases. However, it has not been identified which factors determine  $V_{hole//}$  and  $L_{\perp}$ . Furthermore, the initial velocity is determined by the force transferred from the putter head at the impact, whereas the relationship between putter head motion and the initial velocity has not been tested. If the relationship is identified, the control strategy to improve golf putting performance will be clarified, as well as it contributes to teaching for the golf putting technique.

### Purpose

The purpose of this study is to reveal the control strategy to improve golf putting performance. To accomplish this, three purposes were constructed as follows:

1. To reveal the strategy to control  $V_{hole//}$ .
2. To clarify the strategy to improve the accuracy of  $L_{\perp}$ .
3. To make clear the strategy of putter head motion to control the

magnitude and the direction of initial ball velocity.

## **Methods**

Sixteen collegiate golf players participated in the experiment. Subjects conducted putting 20 times from 1m, 2m and 3m to the hole on the artificial turf. Ball and putter head motions were measured by the motion capture system. The factors associated with  $V_{hole//}$  and  $L_{\perp}$  were identified by constructing the deterministic model. Moreover, the relationship between the putter head motion and the initial ball velocity in each condition was examined.

To test the relationship between these variables in the deterministic model as well as the relationship between the putter head motion and the initial velocity, the Pearson's product moment correlation coefficients were computed. The significance level was set at  $p < 0.01$ .

## **Results**

The longitudinal initial velocity and the velocity change in the rolling phase positively correlated with  $V_{hole//}$ . Furthermore, the lateral initial velocity positively correlated with the lateral displacement of the skidding phase, which was equivalent in the rolling phase.

The head speed positively correlated with the magnitude of initial velocity. The horizontal face angle, the horizontal head movement direction and the horizontal impact point positively correlated with the direction of the initial velocity.

## **Conclusion**

The magnitude of initial velocity and the velocity change in rolling phase determined  $V_{hole//}$ , and the direction of initial velocity determined  $L_{\perp}$ . Moreover, the head speed determined the magnitude of initial velocity, and then, the horizontal face angle, the horizontal head movement direction, and horizontal impact point determined the direction of initial velocity.

Therefore, golf players could improve the ball control by manipulating the magnitude and the direction of the initial velocity, and by predicting the ball velocity change by observing the green. Furthermore, golf players could improve to control the initial velocity by manipulating these variable related to putter head motion.

# 目次

第1章 緒論	1
1-1 ゴルフの競技特性	1
1-2 平均スコアを決定する要因	2
1-3 パッティングパフォーマンスに関して	4
1-3-1 パッティングパフォーマンスの定義	4
1-3-2 パッティングにおけるボールの運動について	6
1-3-3 パッティングにおけるパターヘッドの運動について	7
1-4 本研究の目的	11
1-5 本論文の構成	11
第2章 ホール到達時の長軸方向のボール速度を制御するための方略	12
2-1 研究背景	12
2-2 本章の目的	12
2-3 方法	12
2-3-1 被験者	12
2-3-2 パフォーマンス試技	12
2-3-3 データ収集	13
2-3-4 データ解析	14
2-3-5 統計解析	16
2-4 結果	18
2-5 考察	20
2-5-1 ホール到達時の長軸方向のボール速度に関係するボール運動の要因	20
2-5-2 研究限界	21
第3章 ホール到達時のホール中心とボール中心間の短軸方向の距離における正確性を制御する方略	22
3-1 研究背景	22
3-2 本章の目的	22
3-3 方法	22
3-3-1 被験者	22
3-3-2 パフォーマンス試技	22

3-3-3	データ収集	22
3-3-4	データ解析	23
3-3-5	統計解析	25
3-4	結果	26
3-5	考察	30
3-5-1	ホール到達時のホール中心とボール中心間の短軸方向の距離における正確性 に 関係するボール運動の要因	30
3-5-2	研究限界	31
第4章	ボール初速度の大きさ、方向を制御するためのパターヘッドの運動方略	32
4-1	研究背景	32
4-2	本章の目的	32
4-3	方法	33
4-3-1	被験者	33
4-3-2	パフォーマンス試技	33
4-3-3	データ収集	33
4-3-4	データ解析	34
4-3-5	統計解析	37
4-4	結果	38
4-4-1	パターヘッドの運動と初速度の大きさの関係	39
4-4-2	パターヘッドの運動と初速度の方向の関係	39
4-5	考察	41
4-5-1	初速度の大きさとパターヘッドの運動の関係	41
4-5-2	初速度の方向とパターヘッドの運動の関係	41
4-5-3	研究限界	43
第5章	総合討論	44
5-1	スキッド区間におけるボールの運動とパターヘッドの運動に関して	44
5-2	現場への示唆	51
第6章	結論	53
	引用文献	54
	研究報告一覧	56

付録 1. パターヘッドの運動の計算方法に関して .....	58
付録 2. パフォーマンス分析の詳細に関して .....	60



# 第1章 緒論

## 1-1 ゴルフの競技特性

ゴルフは、レクリエーションや生涯スポーツとして楽しむ人から競技ゴルフに取り組む人まで、世界中で多くの人々に楽しまれているスポーツである。その中でも、競技ゴルフは、いかに少ないスコアでホールアウトすることができるかによって順位が決定される。したがって、シーズンを通した平均的なスコアが少ないとそのプレーヤーの総合的な能力が高いということになる。また、ゴルフ競技では平均スコアを表す指標としてハンディキャップ（※1）という数値が一般的に用いられている。ゆえに、本研究ではこの平均スコア及びハンディキャップをまとめてゴルフの競技パフォーマンスと定義する。

ゴルフのコースは、アウトコース 9 ホール、インコース 9 ホールの 18 ホールで構成されており、各ホールには「パー」と呼ばれる規定打数が決められている。この規定打数にはパー3、パー4、パー5 と 3 つの種類が存在し、基本的にはアウトコースとインコースにパー4 は 5 ホール、パー3 とパー5 はそれぞれ 2 ホールずつ存在する。

最もホール数の多いパー4 でのホールアウトまでの一連の流れを以下に記述する。まず、1 打目のティショットでは、ドライバーショットで大きな距離を稼ぐ。次に 2 打目のセカンドショットでは、アイアンショットでグリーンを狙う。この時、グリーンにボールを乗せられなかった場合には、アプローチショットを行ってボールをピンに寄せる。最後に、グリーン上ではパッティングを行なってホールアウトをする。パー3 ではティショットで直接グリーンを狙い、パー5 ではグリーンに到達するまでにセカンドショット、サードショットと 2 打を要する点がパー4 とは異なっている。

これらのことから、ドライバーショット、アイアンショット、アプローチショット、パッティングは、全てが平均スコアに関係し得ると考えられる。実際に、先行研究においてもこれらの平均スコアに関係し得る要因とゴルフの競技パフォーマンスとの関係性が検討されてきた。例えば、ドライバーショットではボールを遠くに飛ばすこととボールを狙った位置に打つことが重要であり、ヘッドスピードが速いほどゴルフ競技パフォーマンスが高いことや (Fradkin et al., 2004)、ゴルフ競技パフォーマンスが高い群は、ゴルフ競技パフォーマンスが低い群と比較してインパクト時の入射角、ヘッド軌道、フェース角、インパクト位置のばらつきが小さいことが明らかにされている (Betzler et al., 2012)。アイアンショットでは、グリーン上の狙った位置にボールを止めることが重要であり、ゴルフ競

技パフォーマンスが高い選手ほど、ピンの近くにボールを止められた割合が高いことや (James and Rees, 2008)、パーオン率 (※2) が高いほどゴルフ競技パフォーマンスが高いことが明らかにされている (Belkin, 1994)。アプローチショットに関しては、ボールをピンの近くに寄せて、なおかつ次のパットをホールインさせることが重要であり、リカバリー率 (※3) が高いほどゴルフ競技パフォーマンスが高いことが明らかにされている (Finley and Halsey, 2004)。パッティングでは、狙った方向に対して適切な強さでボールを打ち出すことが重要であり、ボールが転がった距離のばらつきが小さいほど、ゴルフ競技パフォーマンスが高いことや、(Karlsen and Nilsson, 2008)、ボールの打ち出し方向のばらつきが小さいほど、ゴルフ競技パフォーマンスが高いことが明らかにされている (Karlsen et al., 2008)。

※1, ハンディキャップ：ゴルフ競技で一般的に用いられている平均スコアを表す指標。

ハンディキャップ=(ストロークコントロール<sup>1)</sup>後のスコア-コースレーティング<sup>2)</sup>)

×スロープレーティング<sup>3)</sup>×0.98 という算出式で算出される。

- 1) ストロークコントロール：各ホールのスコアに上限を設け、それによってスコアを下方修正すること。
- 2) コースレーティング：ハンディキャップ 0 のプレーヤーがラウンドをした時のコース難易度を表す尺度。
- 3) スロープレーティング：ゴルファーの技量とコース難易度によるスコアの変動を標準化したもの。

(日本ゴルフ協会、<http://www.jga.or.jp/jga/html/handicap/about.html> より引用)

※2, パーオン率：パーより 2 打少ない打数でグリーンにボールを乗せることができた割合。

※3, リカバリー率：パーオンを逃してしまった時に、パー以下でホールアウトすることができた割合。

## 1-2 平均スコアを決定する要因

スコアに関係し得る要因とゴルフパフォーマンスを表す指標の的一对一関係は先行研究で検討されているが、平均スコアに関係し得る要因の中でどの要因が特に平均スコアとの関係が強いかについては明らかになっていない。そこで、先行研究で用いられているプロゴルフツアーのデータから平均スコアに関係し得る要因の中で平均スコアに対する相対的な重要性を読み取った。

平均スコアを決定し得る要因と平均スコアの関係を検討するために、日本男子プロゴルフツアー、アメリカ男子プロゴルフツアーのデータを分析に用いた。2015年シーズンにおける賞金ランキング上位 100 名のデータを、日本男子プロゴルフツアーに関しては日本ゴルフツアー機構 (<http://www.jgto.org/pc/TourStats.do>)、アメリカ男子ゴルフツアーに関

しては PGA TOUR (<https://jp.pgatour.com/pgatour/stats/>)の公式ホームページより取得した。

平均スコアに関係し得る要因として、以下のデータを引用した。ドライバーショットではボールを出来る限り遠くに飛ばす能力と狙った位置にボールを打つ能力が求められるため、ドライビングディスタンス（18ホール中、任意に選ばれた4ホールにおける平均の飛距離）、とフェアウェイキープ率（ドライバーショットがフェアウェイに停止した割合）を用いた。アイアンショットでは狙った位置にボールを止める能力が求められるため、パーオン率（パーよりも2打少ない打数でグリーンに乗せられた割合）を用いた。アプローチショットでは、ピンにボールを寄せてなおかつ次のパットでホールに沈める能力が求められるため、リカバリー率（パーオンを逃したホールにおいて、パー以下のスコアでホールアウトすることができた割合）を用いた。パッティングでは、より少ない打数でボールをホールに沈める能力が求められるため、平均パット数（パーオンしたホールにおける、平均のパット数）を用いた。これらの平均スコアに関係し得る要因と平均スコアの関係の強さを分析するために、変数減少法による重回帰分析を行った。変数のカットオフ基準は $p \geq 0.01$ とした。分析による結果は以下の表の通りである。

表 1-1. 平均スコアに関係し得る要因と平均スコアの関係

独立変数	日本男子プロゴルフツアー	アメリカ男子プロゴルフツアー
	標準化偏回帰係数 $\beta$	
ドライビングディスタンス	-0.147	-0.319
パーオン率	-0.509	-0.655
リカバリー率	-0.424	-0.361
平均パット数	0.427	0.549
重決定係数 $R^2$ (調整済み)	0.941	0.673

日本男子プロゴルフツアーに関しては、ドライビングディスタンス、パーオン率、リカバリー率、平均パット数が平均スコアに有意に関係した。また、標準化偏回帰係数に着目すると、パーオン率、平均パット数、リカバリー率、ドライビングディスタンスの順に平均スコアとの関係性が強かった。同様に、アメリカ男子プロゴルフツアーに関しても、ドライビングディスタンス、パーオン率、リカバリー率、平均パット数が平均スコアに有意に関係した。さらに、パーオン率、平均パット数、リカバリー率、ドライビングディスタンスの順に平均スコアとの関係性が強かった。これらの結果から、日本男子プロゴルフツアー、アメリカ男子プロゴルフツアーの両方に共通してパーオン率、平均パット数が平均

スコアとの関係性が強く、平均スコアに関係し得る要因の中でも、アイアンショット、パッティングの能力が、平均スコアを小さくするために特に重要であると考えられる。

この二つの要因の中でも、アイアンショットの打数は各ホールにおいて基本的に1打であることに対して、パッティングの打数は各ホールにおいて基本的に1打ないし2打であり、相対的に打数が多い。先行研究においても、パッティングはスコアの約43%を占めることが明らかになっており (Pelz, 2000)、ゴルフパフォーマンスを向上させるために特に重要であると考えられる。これらのことから、本研究ではパッティングに着目し、パッティングのパフォーマンス向上を題材として扱う。

### 1-3 パッティングパフォーマンスに関して

#### 1-3-1 パッティングパフォーマンスの定義

前項のパフォーマンス分析で明らかにしたように、平均スコアを小さくするためには、平均パット数を少なくすることが重要である。この平均パット数を少なくするためには、ゴルフ選手が意図した位置 (=ホール) に対して正確にボールを到達させることが重要であると考えられる。一般的に、正確性は測定した値が正しい値にどれほど一致しているかを表す尺度であり、ゴルフパッティングに関する先行研究においてはホール中心からボールが停止した位置までの半径誤差をパッティングの正確性の指標として用いており (Sim and Kim, 2010; Dias et al., 2014)、初級者群と比較して上級者群においてこの半径誤差が小さいことが明らかにされている (Sim and Kim, 2010)。このように、先行研究ではパッティングの正確性を表す指標としてホール中心からボール停止位置までの半径誤差を用いているが、この半径誤差は長軸方向の誤差と短軸方向の誤差の両方を含んでしまっている。本研究ではこの2つの誤差はそれぞれ独立した要因によって決定されたと考え、ボールの初期位置とホール中心を結んだ長軸方向と、長軸方向に垂直な短軸方向の両方に着目することとする (図 1-1)。

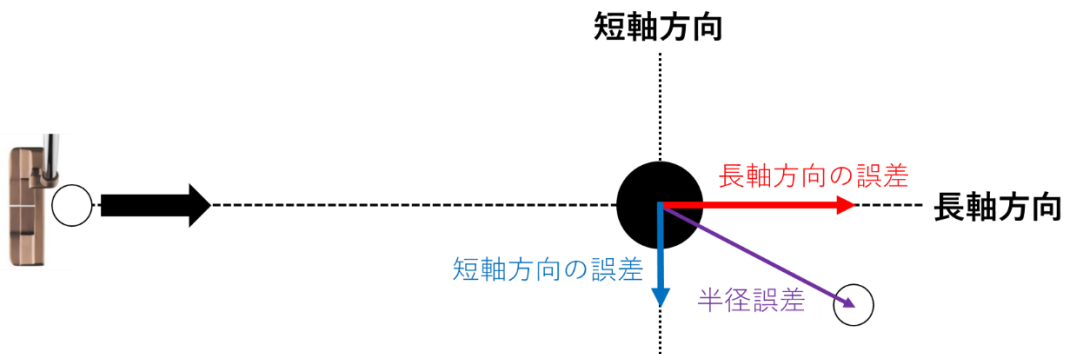


図 1-1. 長軸方向の誤差と短軸方向の誤差（真上から見た平面図）

長軸方向に関して、本研究ではボールがホール中心に到達した時の長軸方向の速度を扱う（図 1-2、以下  $V_{\text{ホール到達時}}$  と表記する）。

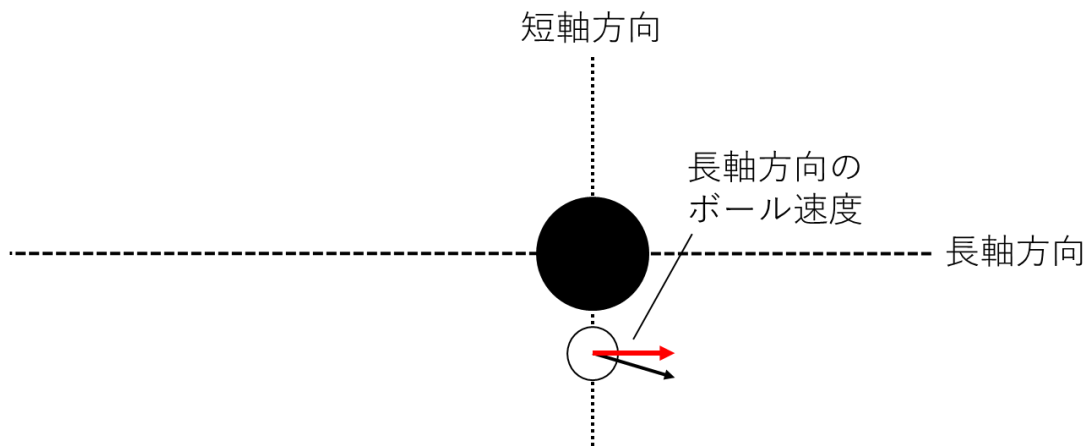


図 1-2. ボールがホール中心に到達した時の長軸方向の速度

先行研究では、ボールが停止した位置における半径誤差をパフォーマンスの指標とし、ホールから出来る限り近い位置にボールを停止させることが出来ればパフォーマンスが高いと判断していた。しかしながら、実際のゴルフ競技ではホール中心よりやや遠くの距離でボールが停止するように打つことが多い。先行研究においても、ホールを 43cm オーバーする強さでボールを打った時に最もホールインの確率が高いことが明らかにされている (Pelz, 1989)。したがって、本研究ではホール中心に到達した時にボールが長軸方向にどれほどの速度を持っていたかを扱う。

また、短軸方向に関して、本研究ではボールがホール中心に到達した時の短軸方向のホール中心とボール中心間の距離をパフォーマンスの指標とする（図 1-3、以下  $L_{\perp}$  と表記する）。

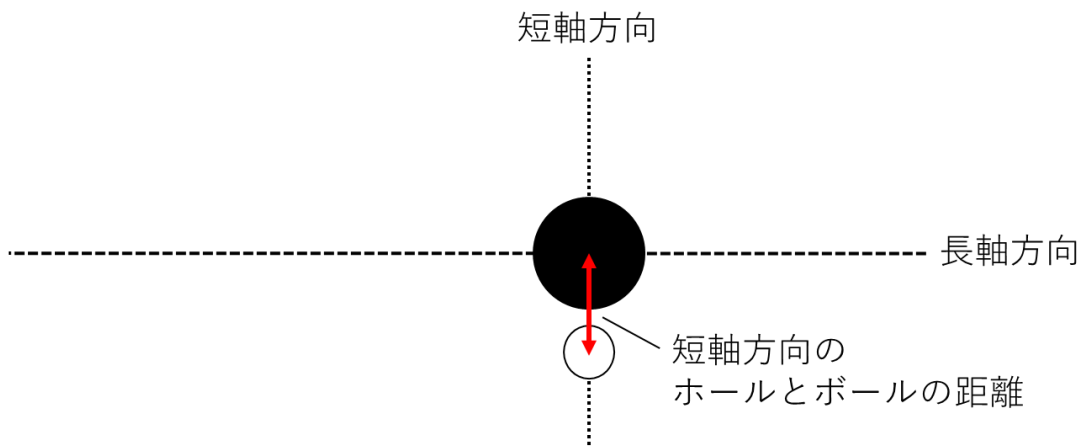


図 1-3. ボールがホール中心に到達した時の短軸方向のホール中心とボール中心間の距離

先行研究ではボールが停止した位置におけるホール中心からの半径誤差をパフォーマンスの指標としていたが、実際のパッティングではボールがホールの中心に到達した時点でホールの中心に出来る限り近い地点に位置することが重要であると考えられる。したがって、本研究ではボールがホールの中心に到達した時のボールとホール中心間の短軸方向の距離を扱う。

### 1-3-2 パッティングにおけるボールの運動について

パッティングにおけるボールの運動は、インパクトにおいてパターヘッドからボールに与えられた力によって決定される初速度と、ボールがグリーン面から受けた外力によって決定されると考えられる。

ボール初速度に関して、初速度の大きさ、方向はインパクトでパターヘッドからボールに与えられた力の大きさ、方向によって決定される。したがって、ボールの運動に関する要因の中で、初速度はパターヘッドの運動によって直接的に決定される要因である。

また、ボールが受ける外力に関して、インパクト後にボールはゆっくりと後方回転もしくは前方回転しながら地面の上を滑った後に順回転へと変化することが明らかにされており、この運動状態の違いから先行研究ではボールの運動をスキッド区間と順回転区間の 2 つの区間に分けられると定義されている (Daish, 1972)。Daish (1972) は、スキッド区間をボールの回転速度と並進速度が一致しない区間であると定義し、順回転区間をボールが地面と接している点の回転速度とボール中心の並進速度が一致している区間であると定義した。この運動状態の違いから、スキッド区間においてボールは滑り摩擦を受け、順回転区間においてボールは転がり摩擦力を受ける (Pope et al., 2014)。グリーン上でボールが転がる運動においては、転がり摩擦力と比較して滑り摩擦力は摩擦力が大きく、これら

の摩擦力はボールの運動方向と反対の方向に働くと考えられるため、スキッド区間ではボールの速度や進行方向が大きく変化し、最終的な到達位置に大きく影響するのではないかと考えられる。先行研究においても、スキッド区間を最小限にすることでパッティングパフォーマンスが向上することが示唆されており（Chou, 2004）、実際にスキッド区間が長いほどボールが転がる距離のばらつきが大きくなることが明らかにされている（Pope et al., 2014）。また、パターヘッドの形状とスキッドの関係も検討されており、鉛直方向の重心位置が低いパターはギア効果（※4）によりスキッドを減少させられること（Lindsay, 2003）、フェース面にきめ細かい模様や溝のあるパターはスキッドを減少させることが明らかにされている（Aldrich, 2004）。このように、距離と方向を高い次元で制御するために、スキッド区間を短くすることが重要であると考えられる。

以上より、パッティングにおけるボールの運動には初速度や地面から受ける外力などいくつかの要因が関係しているが、それらの要因の中でボールが転がる距離、方向との関係性が強い要因について総合的に検討した先行研究は筆者の知る限りでは存在しない。これを明らかにすることが出来れば、ゴルフパッティングに関するバイオメカニクス的研究で着目すべき点を明白にすることができると共に、ゴルフ選手への技術指導の指標を明らかにすることができると考えられる。

※4, ギア効果：隣り合った2つのギアが回転するように、パターヘッドの中心から離れた位置にボールが当たった時に生じたモーメントとは反対の方向にボールの回転が生じる現象。

### 1-3-3 パッティングにおけるパターヘッドの運動について

前述したボールの運動に関する要因の中で、初速度の大きさと方向は、主にインパクトにおいてパターヘッドからボールに与えられた力の大きさと方向によって決定される。そして、このボールに与えられる力はパターヘッドの運動によって決定される。先行研究において Karlsen and Nilsson（2008）は、パッティングにおける距離の制御に関わるパターヘッドの運動としてヘッドスピードと水平方向の打点を挙げている。また、Karlsen et al.（2008）はパッティングにおける方向の制御に関わるパターヘッドの運動として水平面上のフェース角度、水平面上のヘッド運動方向、水平方向の打点を挙げている（図 1-4）。

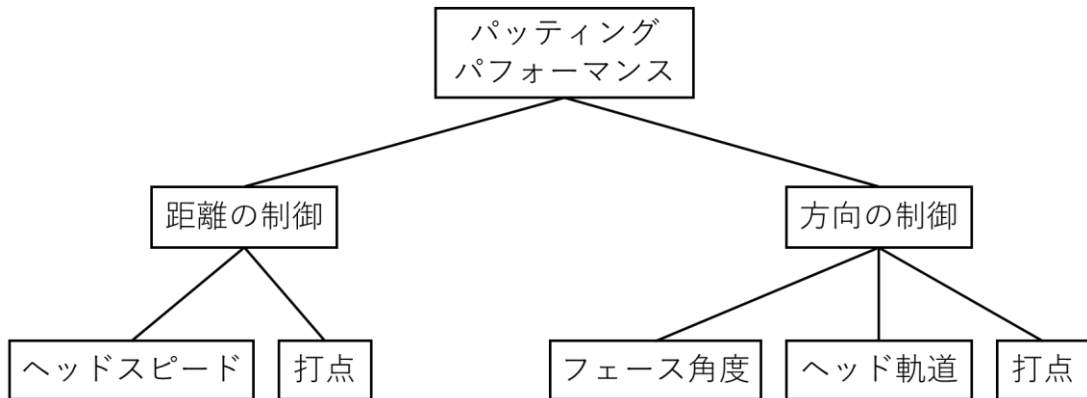


図 1-4. ボールが転がる距離・方向に関するパターヘッドの運動

(Karlsen and Nilsson, 2008; Karlsen et al., 2008 を改変)

パッティングにおける距離の制御に関して、Werner et al. (2000) は、ヘッドスピードが距離の誤差を 99.7%説明するのに対して、水平方向の打点は距離の誤差をわずか 0.3%しか説明しないことを明らかにしている。一方で、Nilsson (2006) は、水平方向に 2cm パターヘッドの芯から打点がずれるとボールが転がる距離が 2%から 5.5%減少することを明らかにしている。

また、パッティングにおける方向の制御に関して、Pelz (1989) は水平面上のフェース角度の誤差が短軸方向のボール到達位置に 90%伝達される一方で、水平面上のヘッド運動方向の誤差は短軸方向のボール到達位置に 20%しか伝達されないことを明らかにしている。さらに、Karlsen et al. (2008) はフェース角度のばらつきが 80%、ヘッド運動方向のばらつきが 17%、打点のばらつきが 3%打ち出し方向のばらつきを決定することを明らかにしている。





図 1-5. 水平面上のフェース角度

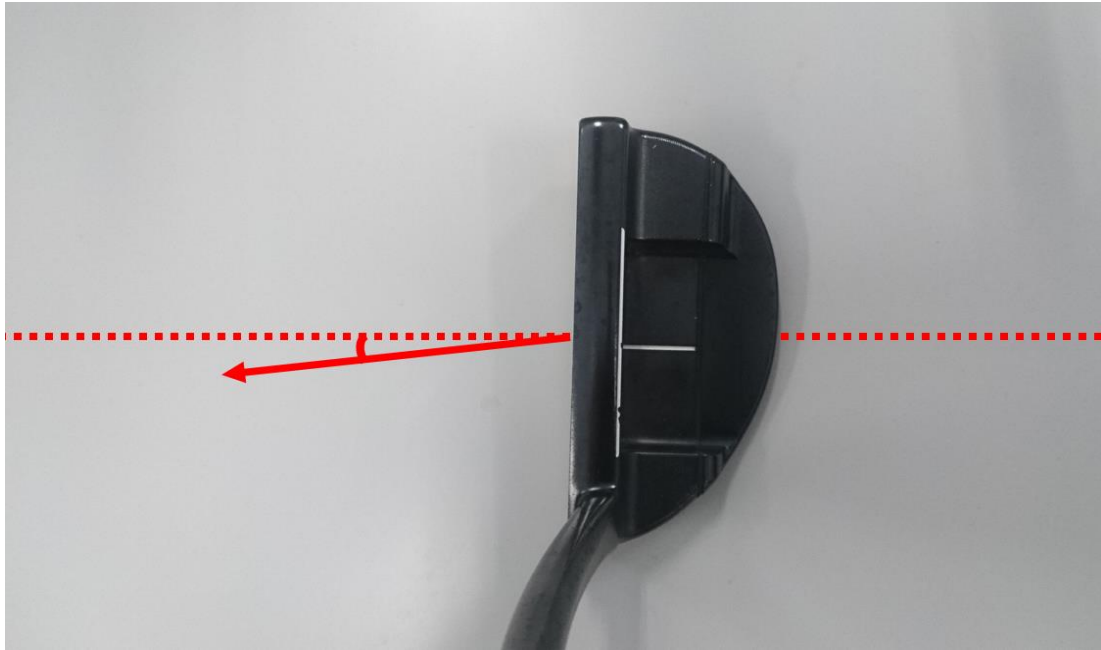


図 1-6. 水平面上のヘッド運動方向

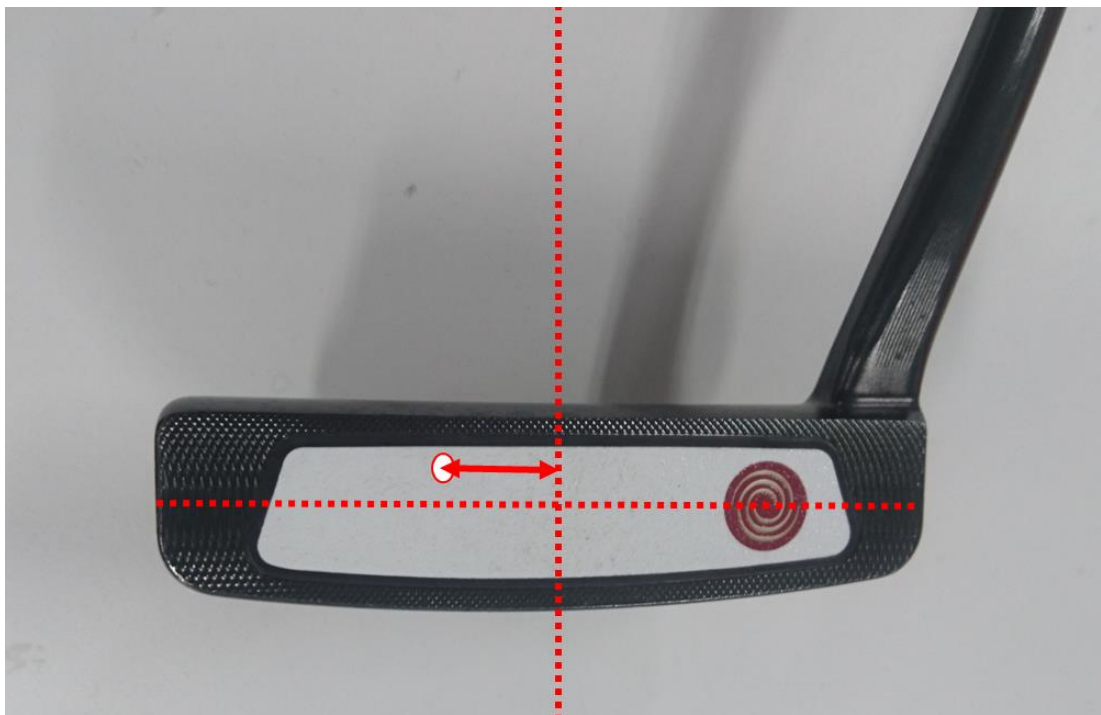


図 1-7. 水平方向の打点

以上のことから、先行研究では最終的にボールが停止した位置とインパクトにおけるパターヘッドの運動の関係や、ボールの打ち出し方向のばらつきに対するパターヘッドの運動のばらつきの寄与率を検討しているが、直接的に初速度の大きさ、方向とインパクトにおけるパターヘッドの運動の関係性を検討しているものは見受けられない。これらの関係性を明らかにすることで、初速度の大きさや方向を制御するためにゴルフ選手が重点的に

着目すべきパターヘッドの運動に関する技術指導の指標を明らかにすることができると考えられる。

#### 1-4 本研究の目的

以上を踏まえて、本研究ではゴルフパッティングパフォーマンスを高めるための制御方略を明らかにすることを目的とした。この目的を達成するために、本研究では3つの個別研究に対して以下の目的を設定した。

1. ホール到達時の長軸方向のボール速度を制御するための方略を明らかにすること。
2. ホール到達時の短軸方向のホール中心とボール中心間の距離における正確性を高めるための方略を明らかにすること。
3. 初速度の大きさ、方向を制御するためのパターヘッドの運動方略を明らかにすること。

#### 1-5 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

第1章で、研究全体の緒論を記した。第2章では、 $V_{\text{ホール到達時}}$ を制御する方略について検討した。第3章では、 $L_{\perp}$ の正確性を制御する方略について検討した。第4章では、ボール初速度の大きさ、方向を制御するためのパターヘッドの運動方略について検討した。第5章では、第2章から第4章までの内容を踏まえて総合討論を行った。第6章では、本論文の結論を記述した。

## 第2章 ホール到達時の長軸方向のボール速度を制御するため

### の方略

#### 2-1 研究背景

V\_ホール到達時//は、ボール初速度の長軸成分とスキッド区間におけるボールの速度変化の長軸成分、順回転区間におけるボールの速度変化の長軸成分によって決定される。そして、パッティングにおけるボールの運動においてボールの質量は変化しないため、ボールの速度変化はボールが受けた力積をボールの質量で除した値と等しい。力積は物体が受けた力の平均値と物体が力を受けた時間の積で表されるため、スキッド区間における長軸方向の速度変化はスキッド区間においてボールが受けた長軸方向の力の平均値とスキッド区間の時間、同様に順回転区間における長軸方向の速度変化は順回転区間においてボールが受けた長軸方向の力の平均値と順回転区間の時間によって決定される。これらの要因の中で、V\_ホール到達時//との関係性が強い要因を明らかにすることができれば、V\_ホール到達時//を制御するための方略を明らかにすることができると考えられる。

#### 2-2 本章の目的

本章では、ボールの運動に着目してホール到達時の長軸方向のボール速度を制御する方略を明らかにすることを目的とした。

#### 2-3 方法

##### 2-3-1 被験者

16名の大学ゴルフ選手（年齢：19.6±1.0歳、身長：170.5±4.4cm、身体質量：59.1±1.7kg）が本研究に参加した。被験者は、大学の体育会ゴルフ部に所属し、週3～4日程度部活動でゴルフの練習に取り組んでいる男子学生を対象とした。また、被験者は15名が右打ち、1名が左打ちであった。左打ちの被験者のパターヘッドの運動データに関しては、左右を反転し、右打ちの選手と同様の方向に修正して分析を行った。被験者には、実験の方法を説明して参加の同意を受けた上で実験を行った。また、本研究は立命館大学の人を対象とする医学系倫理審査委員会の承認を得て行った（BKC-人医-2017-22）。

##### 2-3-2 パフォーマンス試技

被験者は、ゴルフパッティング用の人工芝（RG-350、株式会社ニュートンズ、高知県）の上で、パッティングを行った。人工芝の上には、ゴルフ競技において実際に用いられる

ホールと同じ大きさ（直径 10.8cm）の円を黒く塗って仮想ホールとして示した。被験者には「普段のパッティングでホールを狙う時と同様に、仮想ホールの中心を狙う」ように指示を行った。実際の試技においては、仮想ホールまで 1m、2m、3m の距離から各 20 球ずつ連続でパッティングを行った。1m、2m、3m それぞれの距離からパッティングを行う順番は被験者によってランダムに変更し、試技を行う順番による影響が出ないように配慮した。

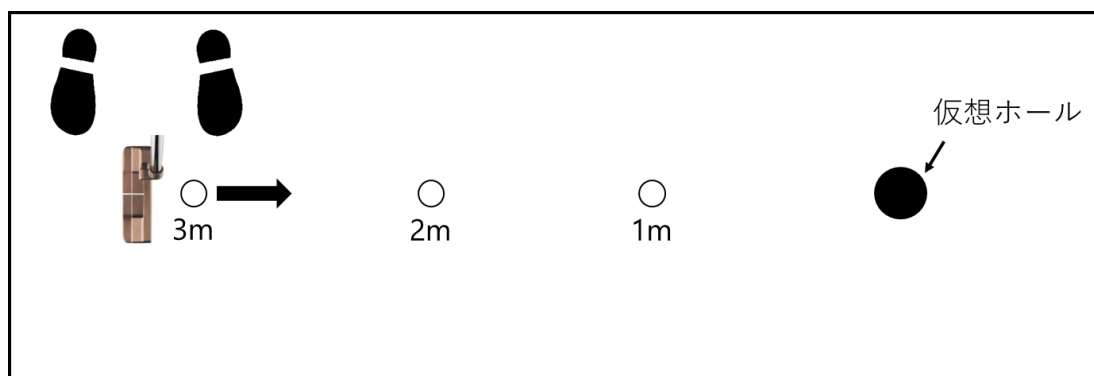


図 2-1. パフォーマンス試技の実験設定

### 2-3-3 データ収集

ボールの運動の 3 次元座標データは、24 台の赤外線モーションキャプチャーカメラ (Raptor E, Motion Analysis, USA) を用いて取得した。モーションキャプチャーシステムの制御ソフトウェアは Cortex version 5.5 を用いた。実験に用いるゴルフボールは、SRIXON Z-STAR (ダンロップスポーツ株式会社、兵庫県) を選択した。ゴルフボールには株式会社小松プロセス (石川県) に依頼して再帰性反射材を塗布し、モーションキャプチャーシステムでの測定を可能にした (図 2-2)。



図 2-2. 再帰性反射材を塗布したゴルフボール

#### 2-3-4 データ解析

$V_{\text{ホール到達時}}$ に関係し得る要因として以下の変数を算出した。計算は MATLAB R2016a (Mathworks, USA) を用いて行った。

- ・初速度 (※5) の長軸成分 (以下、 $V_{\text{初速度}}$ と表記する)
- ・初速度の大きさ (以下、 $V_{\text{初速度}}$ と表記する)
- ・スキッド区間における長軸方向の速度変化 (以下、 $\Delta V_{\text{スキッド}}$ と表記する)
- ・スキッド区間においてボールが受けた長軸方向の力の平均値 (以下、 $\bar{F}_{\text{スキッド}}$ と表記する)
- ・スキッド区間の時間 (以下、 $T_{\text{スキッド}}$ と表記する)
- ・順回転区間における長軸方向の速度変化 (以下、 $\Delta V_{\text{順回転}}$ と表記する)
- ・順回転区間においてボールが受けた長軸方向の力の平均値 (以下、 $\bar{F}_{\text{順回転}}$ と表記する)
- ・順回転区間の時間 (以下、 $T_{\text{順回転}}$ と表記する)

目的変数として、以下の変数を算出した。

- ・ボールがホール中心に到達した時の長軸方向の速度 (以下、 $V_{\text{ホール到達時}}$ と表記する)

※5, 初速度ベクトルは、インパクト直後最も大きなボール速度が観測された瞬間の速度ベクトルとした

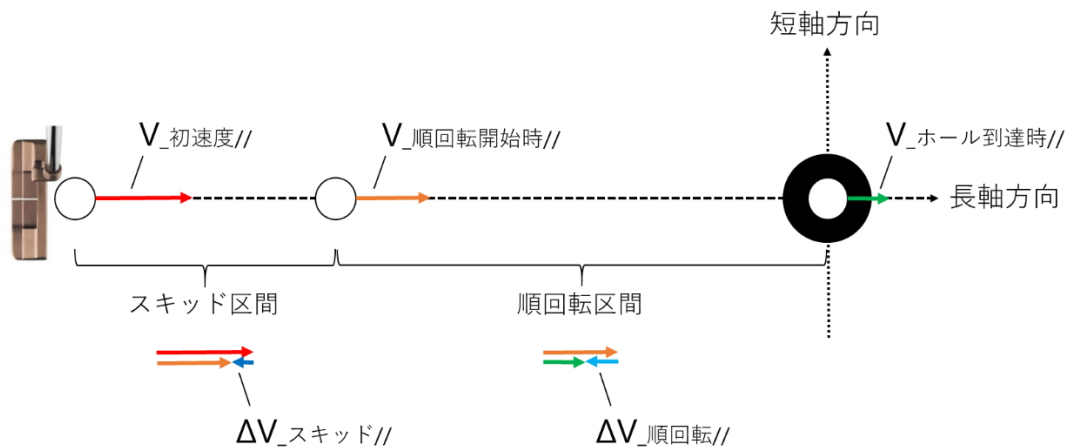


図 2-3. ホール到達時の長軸方向のボール速度に関係し得る要因

ホール到達時の長軸方向のボール速度に関係する要因を明らかにするため、以下の deterministic model を作成した。

①  $V_{\text{ホール到達時}}$  は、 $V_{\text{初速度}}$ 、 $\Delta V_{\text{スキッド}}$ 、 $\Delta V_{\text{順回転}}$  の和で表されるため、図 2-4 のように作成した。

②  $V_{\text{初速度}}$  は、 $V_{\text{初速度}}$  と  $\theta_{\text{初速度}}$  によって決定されるため、図 2-4 のように作成した。

③  $\Delta V_{\text{スキッド}}$  は  $\bar{F}_{\text{スキッド}}$  と  $T_{\text{スキッド}}$  で決定されるため、図 2-4 のように作成した。

同様に、 $\Delta V_{\text{順回転}}$  は  $\bar{F}_{\text{順回転}}$  と  $T_{\text{順回転}}$  で決定されるため、図 2-4 のように作成した。それぞれの区間においてボールが受けた力の平均値は、運動量と力積の関係を用いて算出した (式 2-1)。

$$m (v_2 - v_1) = \bar{F} * t$$

式 2-1. 運動量と力積の関係

※式内の文字は以下の意味を表す。

$m$  : ゴルフボールの質量

$v_1$  : その区間における初期の速度

$v_2$  : その区間における終端の速度

$\bar{F}$  : その区間においてボールが受けた力の平均値

$t$  : その区間の時間

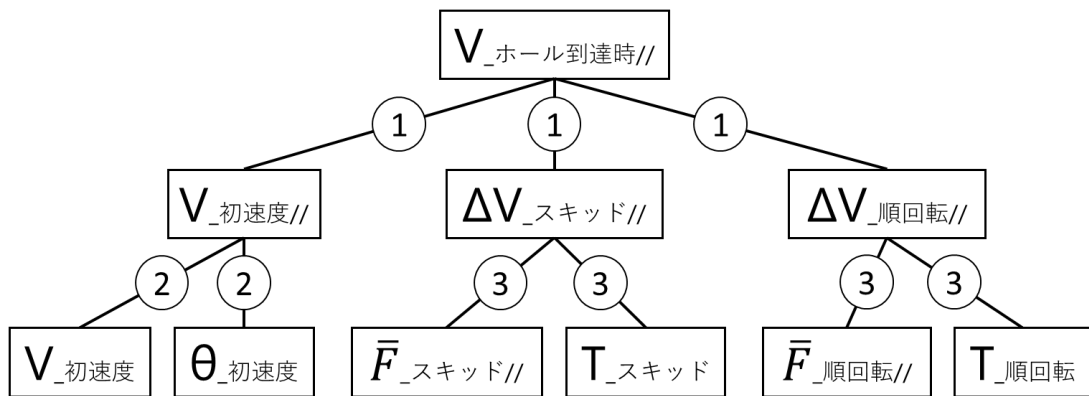


図 2-4. ホール到達時の長軸方向のボール速度に関係し得る要因を示したモデル

前述したように、スキッド区間ではボールは滑り摩擦を受け、順回転区間においてボールは転がり摩擦を受ける。滑り摩擦と転がり摩擦は力の大きさが異なるため、ボール速度の低下度合いがそれぞれの区間で異なる。したがって、このボール速度の低下度合いに基づいてスキッド区間と順回転区間を区間分けした。以下の図 2-5 のように、ボール速度の最大値が観測された地点からボールがホールに到達した地点までの区間において 2 本の回帰直線を引き、その 2 本の回帰直線の境目を k 点とした。そして、それぞれの回帰直線の残差平方和の和が最も小さい、つまりそれぞれの回帰直線が同時に最も当てはまりの良い k 点を算出し、その k 点をスキッド区間と順回転区間の境界であると定義した。

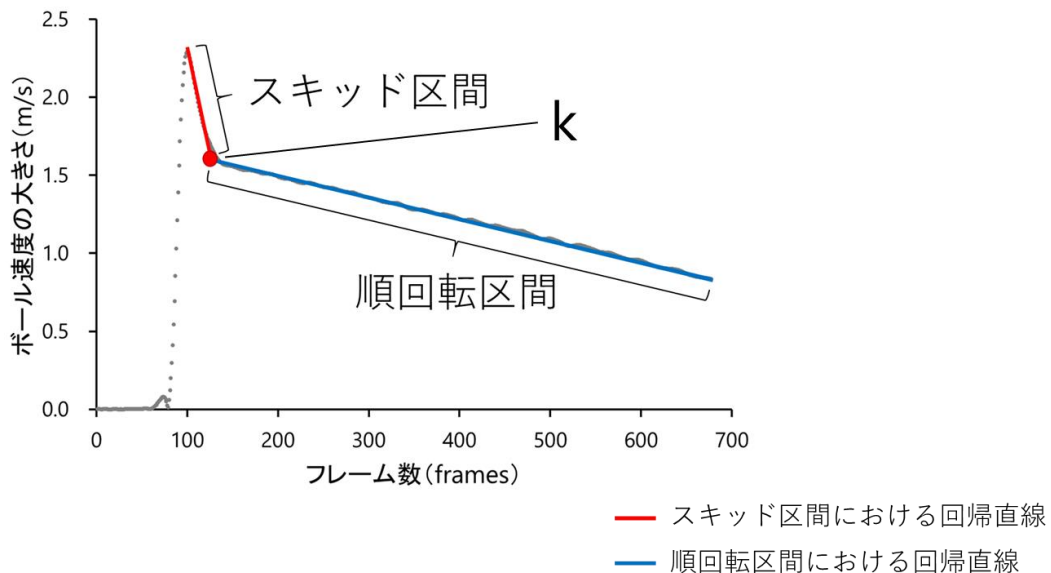


図 2-5. スキッド区間と順回転区間の区間分けの方法

### 2-3-5 統計解析

モデル化した変数間の関係性の強さを検討するために、ピアソンの相関係数を算出した。



有意水準は、 $p < 0.01$  とした。全ての統計解析は、統計解析ソフトウェア (SPSS Statistics, IBM, USA) を用いて行った。

## 2-4 結果

以下に示すモデルでは、有意に選択された変数間を実線でかつボックスを含めて黒色で表記し、有意に選択されなかった変数間は点線でかつボックスを含めて灰色で示した。また、上位の変数との関係が無かったが、下位の変数との関係が見られた変数に関しては変数間の直線を実線かつボックスを含めて灰色で示した。モデル内の係数は2変数間の相関係数を示している。

全ての距離条件において  $V_{初速度}$  と  $\Delta V_{順回転}$  は  $V_{ホール到達時}$  と非常に強い正の相関関係が認められた。一方で、全ての条件において  $\Delta V_{スキッド}$  は  $V_{ホール到達時}$  と負の相関関係が認められた。

$\Delta V_{スキッド}$  は全ての距離条件で  $\bar{F}_{スキッド}$  と強い正の相関関係が認められた。一方で、 $\Delta V_{順回転}$  は全ての条件において  $T_{順回転}$  と強い負の相関関係が認められた。

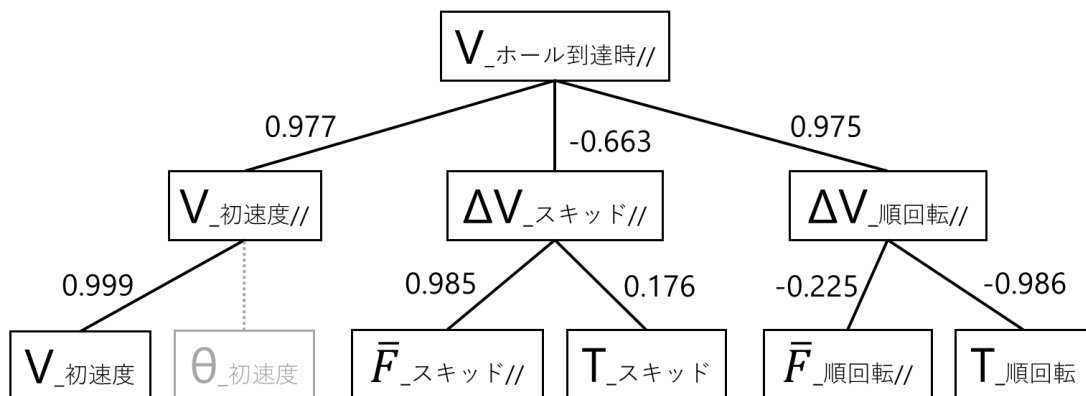


図 2-6.  $V_{ホール到達時}$  に有意に関係する要因 (1m 条件)

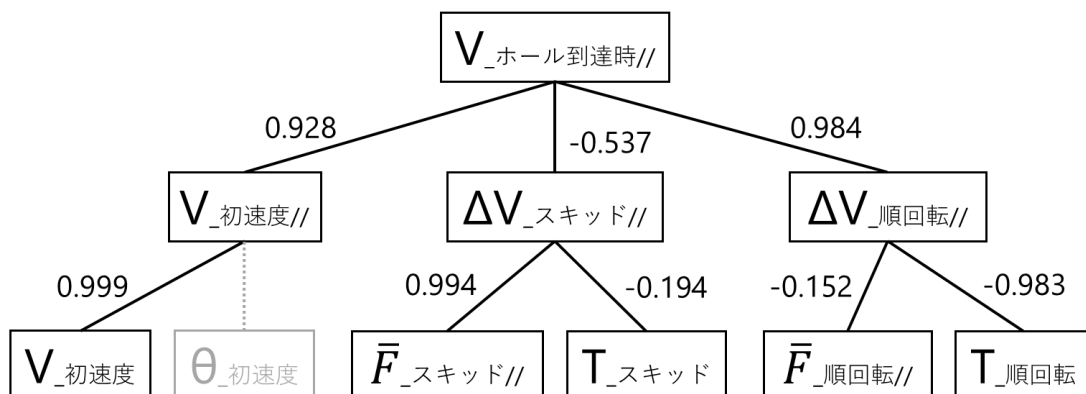


図 2-7.  $V_{ホール到達時}$  に有意に関係する要因 (2m 条件)

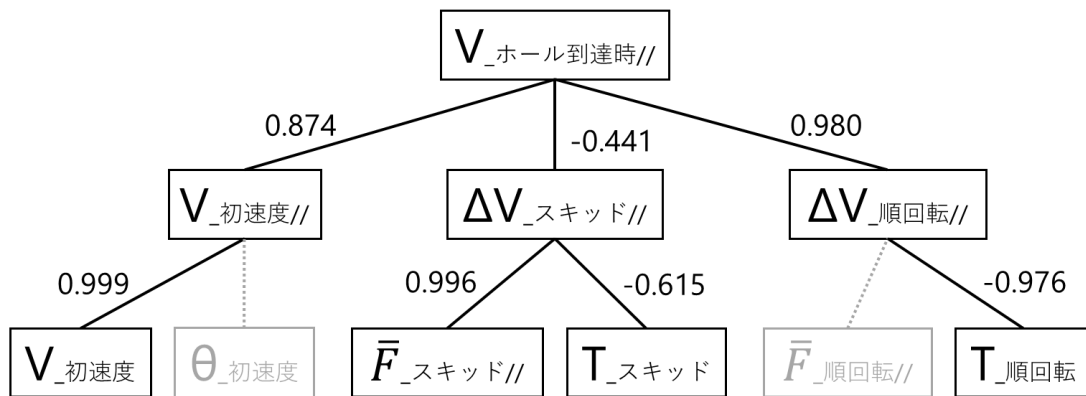


図 2-8.  $V_{\text{ホール到達時//}}$ に有意に関係する要因 (3m 条件)

## 2-5 考察

### 2-5-1 ホール到達時の長軸方向のボール速度に関係するボール運動の要因

V\_ホール到達時//に関係するボールの運動について得られた結果は以下の通りであった。

- 1) 全ての距離条件において、V\_初速度//、 $\Delta V_{\text{順回転}}//$ と V\_ホール到達時//に強い正の相関関係が認められ、 $\Delta V_{\text{スキッド}}//$ と V\_ホール到達時//に負の相関関係が認められた。
- 2) 全ての距離条件において、 $\Delta V_{\text{スキッド}}//$ は $\bar{F}_{\text{スキッド}}//$ と強い正の相関関係が認められ、 $\Delta V_{\text{順回転}}//$ はT\_スキッドと強い負の相関関係が認められた。
- 3) V\_初速度//は、V\_初速度と非常に強い正の相関関係が認められた。

スキッド区間においてボールは滑り摩擦を受け、順回転区間においてボールは転がり摩擦を受ける。滑り摩擦は転がり摩擦よりも摩擦力が大きいと、ボールの運動への影響が大きいと考えられる。実際に、先行研究においてもスキッド区間が長いほどボールが転がる距離のばらつきが大きくなってしまふことが明らかになっている (Pope et al., 2014)。したがって、 $\Delta V_{\text{スキッド}}//$ が V\_ホール到達時//に大きく影響すると考えられるが、それとは対照的に本研究では  $\Delta V_{\text{順回転}}//$ が大きいほど V\_ホール到達時//が小さくなるという結果が得られた。これに関して、先行研究でスキッドの距離はボールが転がった全体の距離の20%程度であると言われているように (Cochran and Stobbs, 1986)、スキッド区間と比較して相対的に順回転区間の時間は非常に長い。そのため、順回転区間では大きくボール速度が変化し、これが V\_ホール到達時//に関係したのではないかと考えられる。一方で、スキッド区間に関しては、仮説とは反して  $\Delta V_{\text{スキッド}}//$ が大きいほど、 $\Delta V_{\text{ホール到達時}}//$ が大きくなるという結果が得られた。これに関して、V\_初速度//が大きくなるほど、 $\Delta V_{\text{スキッド}}//$ が大きくなるという関係性が見られた (1m 条件 :  $r = -0.780$ ,  $p < 0.01$ 、2m 条件 :  $r = -0.773$ ,  $p < 0.01$ 、3m 条件 :  $r = -0.775$ ,  $p < 0.01$ )。また、V\_初速度//が大きいほど V\_ホール到達時//が大きいという関係性も見られるため、この2つの関係によって  $\Delta V_{\text{スキッド}}//$ と V\_ホール到達時//の間に負の相関関係が見られたのではないかと考えられる。このように、 $\Delta V_{\text{スキッド}}//$ が大きいほど V\_ホール到達時//が小さいという関係性が見られなかった以上、 $\Delta V_{\text{スキッド}}//$ は V\_ホール到達時//に関係がないと考えられる。

$\Delta V_{\text{スキッド}}//$ に関して、 $\bar{F}_{\text{スキッド}}//$ が大きいほど、 $\Delta V_{\text{スキッド}}//$ が大きいという結果が得られた。先行研究において、鉛直方向におけるパターヘッドの重心位置に対する打点によってボールの回転が変化し、スキッドの長さが変化することが明らかにされている (Lindsay, 2003)。したがって、打ち方でボールの回転が変化することによってボールが

グリーン面から受ける外力が変化し、これによって  $\Delta V_{\text{スキッド}}$  が決定されたのではないかと考えられる。

一方で、 $\Delta V_{\text{順回転}}$  に関して、 $T_{\text{順回転}}$  が長いほど、 $\Delta V_{\text{順回転}}$  が大きいという結果が得られた。順回転区間において、ボールは純粋な順回転をしていると考えられるため、 $\bar{F}_{\text{順回転}}$  は試技によって変化しないと考えられる。それに対して、 $T_{\text{順回転}}$  は試技によって変動するため、ボールが外力を受ける時間の差によってボールが受ける力積の大きさが決定され、それによって  $\Delta V_{\text{順回転}}$  が決定されたのではないかと考えられる。

これらのことから、ホールに入る範囲の中で、出来る限り強くボールを打ち出すことで、 $T_{\text{順回転}}$  を短くして  $\Delta V_{\text{順回転}}$  を小さくすることができると考えられる。このような方略を取ることで、ゴルフ選手はホール到達時の長軸方向のボール速度を制御する能力を高めることができると考えられる。

#### 2-5-2 研究限界

本章では、 $V_{\text{ホール到達時}}$  を制御するための方略を明らかにした。しかしながら、あくまで本研究の実験結果は人工芝の上で、実験用に塗料を塗布したゴルフボールを用いて得られたものである。実際の現場においては、様々な種類の芝を用いたグリーンでプレーし、選手によって使用するボールの種類も異なるため、その影響により結果が変化する可能性は否定できない。また、本研究ではボールの位置座標のみを測定し、ボールの回転を測定することができなかった。スキッド区間におけるボールの運動は、ボールの回転に起因するものとボールと芝との相互作用に起因するものの2つが考えられるため、将来的な研究ではボールの回転を測定することで、芝生によるイレギュラーなボールの運動を定量化することができれば、さらに有用な知見が得られると考えられる。

## 第3章 ホール到達時のホール中心とボール中心間の短軸方向

### の距離における正確性を制御する方略

#### 3-1 研究背景

$L_{\perp}$ は、スキッド区間における短軸方向の変位、順回転区間における短軸方向の変位によって決定される。変位は、平均速度と時間によって決定されるため、スキッド区間における短軸方向の変位はスキッド区間の短軸方向の平均速度とスキッド区間の時間で決定される。同様に、順回転区間における短軸方向の変位は、順回転区間における短軸方向の平均速度と順回転区間の時間によって決定される。平均速度は、初速度と速度変化によって決定されるため、スキッド区間における短軸方向の平均速度は初速度の短軸成分、スキッド区間における短軸方向の速度変化によって決定される。同様に、順回転区間における短軸方向の平均速度は順回転区間開始時の速度の短軸成分、順回転区間における短軸方向の速度変化によって決定される。また、前述したようにボールの速度変化はボールが受けた力積をボール質量で除した値と等しいため、スキッド区間における短軸方向の速度変化はスキッド区間においてボールが受けた短軸方向の力の平均値とスキッド区間の時間によって決定される。同様に、順回転区間における短軸方向の速度変化は順回転区間においてボールが受けた短軸方向の力の平均値と順回転区間の時間によって決定される。

これらの要因の中で、 $L_{\perp}$ との関係性が強い要因を明らかにすることができれば、 $L_{\perp}$ における正確性を高めるための制御方略を明らかにすることができると考えられる。

#### 3-2 本章の目的

本章では、ボールの運動に着目してホールに到達した時のホール中心とボール中心間の短軸方向の距離における正確性を高めるための方略を明らかにすることを目的とした。

#### 3-3 方法

##### 3-3-1 被験者

被験者は、第2章と同様である。

##### 3-3-2 パフォーマンス試技

パフォーマンス試技は、第2章と同様である。

##### 3-3-3 データ収集

データ収集の方法は、第2章と同様である。

### 3-3-4 データ解析

$L_{\perp}$ に関係し得る要因として以下の変数を算出した。以下の計算は全て MATLAB R2016a (Mathworks, USA)を用いて行った。

- ・スキッド区間における短軸方向の変位（以下、 $L_{\text{スキッド}\perp}$ と表記する）
  - ・スキッド区間における短軸方向の平均速度（以下、 $\bar{V}_{\text{スキッド}\perp}$ と表記する）
  - ・スキッド区間の時間（以下、 $T_{\text{スキッド}}$ と表記する）
  - ・初速度の短軸成分（以下、 $V_{\text{初速度}\perp}$ と表記する）
  - ・初速度の大きさ（以下、 $V_{\text{初速度}}$ と表記する）
  - ・初速度の方向（以下、 $\theta_{\text{初速度}}$ と表記する）
  - ・スキッド区間における速度変化の短軸成分（以下、 $\Delta V_{\text{スキッド}\perp}$ と表記する）
  - ・スキッド区間においてボールが受けた短軸方向の力の平均値（以下、 $\bar{F}_{\text{スキッド}\perp}$ と表記する）
  - ・順回転区間における短軸方向の変位（以下、 $L_{\text{順回転}\perp}$ と表記する）
  - ・順回転区間における短軸方向の平均速度（以下、 $\bar{V}_{\text{順回転}\perp}$ と表記する）
  - ・順回転区間の時間（以下、 $T_{\text{順回転}}$ と表記する）
  - ・順回転区間開始時の速度の短軸方向の成分（以下、 $V_{\text{順回転}\perp}$ と表記する）
  - ・順回転区間における速度変化の短軸成分（以下、 $\Delta V_{\text{順回転}\perp}$ と表記する）
  - ・順回転区間においてボールが受けた短軸方向の力の平均値（以下、 $\bar{F}_{\text{順回転}\perp}$ と表記する）
- 目的変数として、以下の変数を算出した。
- ・ボールがホール中心に到達した時の短軸方向におけるボール中心とホール中心間の距離（以下、 $L_{\perp}$ と表記する）

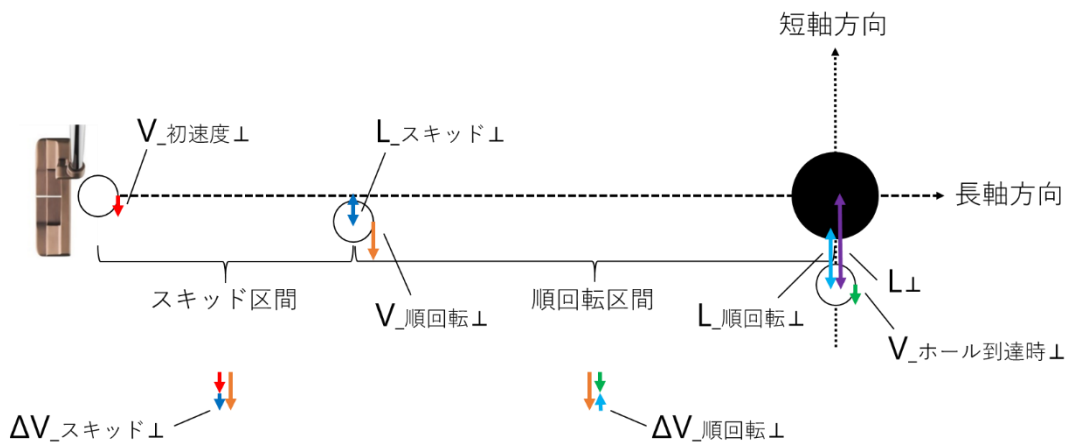


図 3-1. ホール到達時のホール中心とボール中心間の短軸方向の距離に関係し得る要因  $L_{\perp}$  を決定する要因を明らかにするため、以下の deterministic model を作成した。

- ①  $L_{\perp}$  は  $L_{\text{スキッド}\perp}$  と  $L_{\text{順回転}\perp}$  の和として表されるため、図 3-2 のように作成した。
- ②  $L_{\text{スキッド}\perp}$  は、 $\bar{V}_{\text{スキッド}\perp}$  と  $T_{\text{スキッド}}$  によって決定されるため、図 3-2 のように作成した。同様に、 $L_{\text{順回転}\perp}$  は、 $\bar{V}_{\text{順回転}\perp}$ 、 $T_{\text{順回転}}$  によって決定されるため、図 3-2 のように作成した。
- ③  $\bar{V}_{\text{スキッド}\perp}$  は、 $V_{\text{初速度}\perp}$  と、 $\Delta V_{\text{スキッド}\perp}$  によって決定されるため、図 3-2 のように作成した。同様に、 $\bar{V}_{\text{順回転}\perp}$  は、 $V_{\text{順回転}\perp}$  と、 $\Delta V_{\text{順回転}\perp}$  によって決定されるため、図 3-2 のように作成した。
- ④  $V_{\text{順回転}\perp}$  は、 $V_{\text{初速度}\perp}$  と  $\Delta V_{\text{スキッド}\perp}$  によって決定されるため、これらの変数を図 3-2 のように線でつないだ。
- ⑤  $V_{\text{初速度}\perp}$  は  $V_{\text{初速度}}$  と  $\theta_{\text{初速度}}$  によって決定されるため、図 3-2 のように作成した。
- ⑥  $\Delta V_{\text{スキッド}\perp}$  は  $\bar{F}_{\text{スキッド}\perp}$  と  $T_{\text{スキッド}}$  によって決定されるため、図 3-2 のように作成した。同様に、 $\Delta V_{\text{順回転}\perp}$  は、 $\bar{F}_{\text{順回転}\perp}$  と  $T_{\text{順回転}}$  によって決定されるため、図 3-2 のように作成した。長軸方向における分析と同様に、それぞれの区間においてボールが受けた力の平均値は、運動量と力積の関係を用いて算出した (式 2-1)。



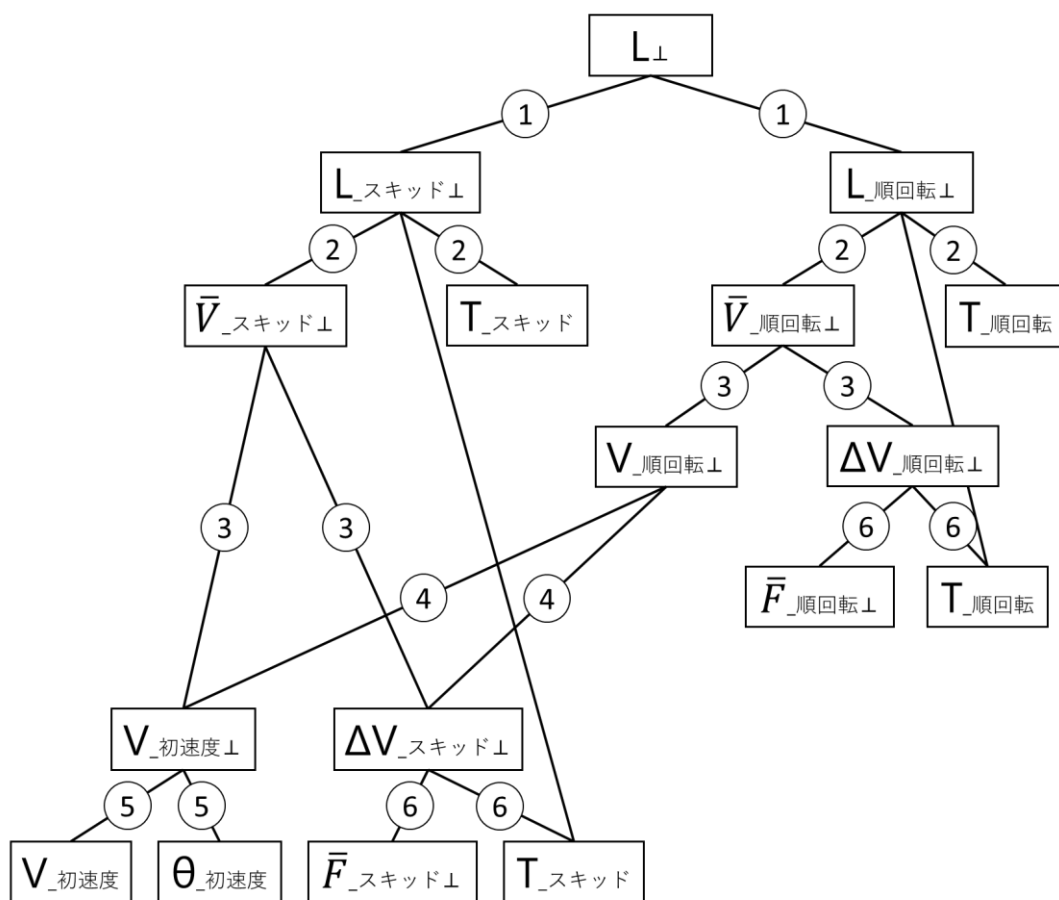


図 3-2. ホール到達時のホール中心とボール中心間の短軸方向の距離に  
関係し得る要因を示したモデル

スキッド区間と順回転区間の区間分けの方法は、第 2 章と同様である。

### 3-3-5 統計解析

モデル化した変数間の関係性の強さを検討するために、ピアソンの相関係数を算出した。有意水準は  $p < 0.01$  とした。全ての解析は、統計解析ソフトウェア (SPSS Statistics, IBM, USA) を用いて行った。

### 3-4 結果

1m 条件と 2m 条件では、 $L_{\text{スキッド}} \perp$  と  $L_{\text{順回転}} \perp$  の両方が  $L \perp$  と正の相関関係が認められた。その中でも、 $L_{\text{順回転}} \perp$  の方が  $L \perp$  との関係性が強かった。一方で、3m 条件においては  $L_{\text{順回転}} \perp$  のみが  $L \perp$  と正の相関関係が認められた。

$L_{\text{スキッド}} \perp$  は、全距離条件において  $\bar{V}_{\text{スキッド}} \perp$  と強い正の相関関係が認められた。同様に、 $L_{\text{順回転}} \perp$  は、全距離条件において  $\bar{V}_{\text{順回転}} \perp$  と強い正の相関関係が認められた。

$\bar{V}_{\text{スキッド}} \perp$  は、全距離条件において  $V_{\text{初速度}} \perp$  と正の相関関係が認められたが、 $\Delta V_{\text{スキッド}} \perp$  とは 1m 条件では関係性が無く、2m 条件では正の相関関係が見られ、3m 条件では負の相関関係が見られたというように、一貫した関係性が認められなかった。同様に、 $\bar{V}_{\text{順回転}} \perp$  は、全ての距離条件において  $V_{\text{順回転}} \perp$  と正の相関関係が認められたが、 $\Delta V_{\text{順回転}} \perp$  とは 1m 条件では正の相関が見られ、2m 条件と 3m 条件では関係性が認められなかったというように、一貫した関係性が認められなかった。

$V_{\text{順回転}} \perp$  は、全ての距離条件において  $V_{\text{初速度}} \perp$  と強い正の相関関係が認められたが、 $\Delta V_{\text{スキッド}} \perp$  とは 2m 条件では正の相関関係が認められ、1m 条件、3m 条件とは関係性が認められなかったというように、一貫した関係性が認められなかった。

$V_{\text{初速度}} \perp$  は、 $\theta_{\text{初速度}}$  と強い正の相関関係が認められ、 $V_{\text{初速度}}$  とは 1m 条件、2m 条件では正の相関関係が認められたが、3m 条件では関係性が認められなかった。

$\Delta V_{\text{スキッド}} \perp$  は  $\bar{F}_{\text{スキッド}} \perp$  と強い正の相関関係が認められ、同様に  $\Delta V_{\text{順回転}} \perp$  は、 $\bar{F}_{\text{順回転}} \perp$  と強い正の相関関係が認められた。

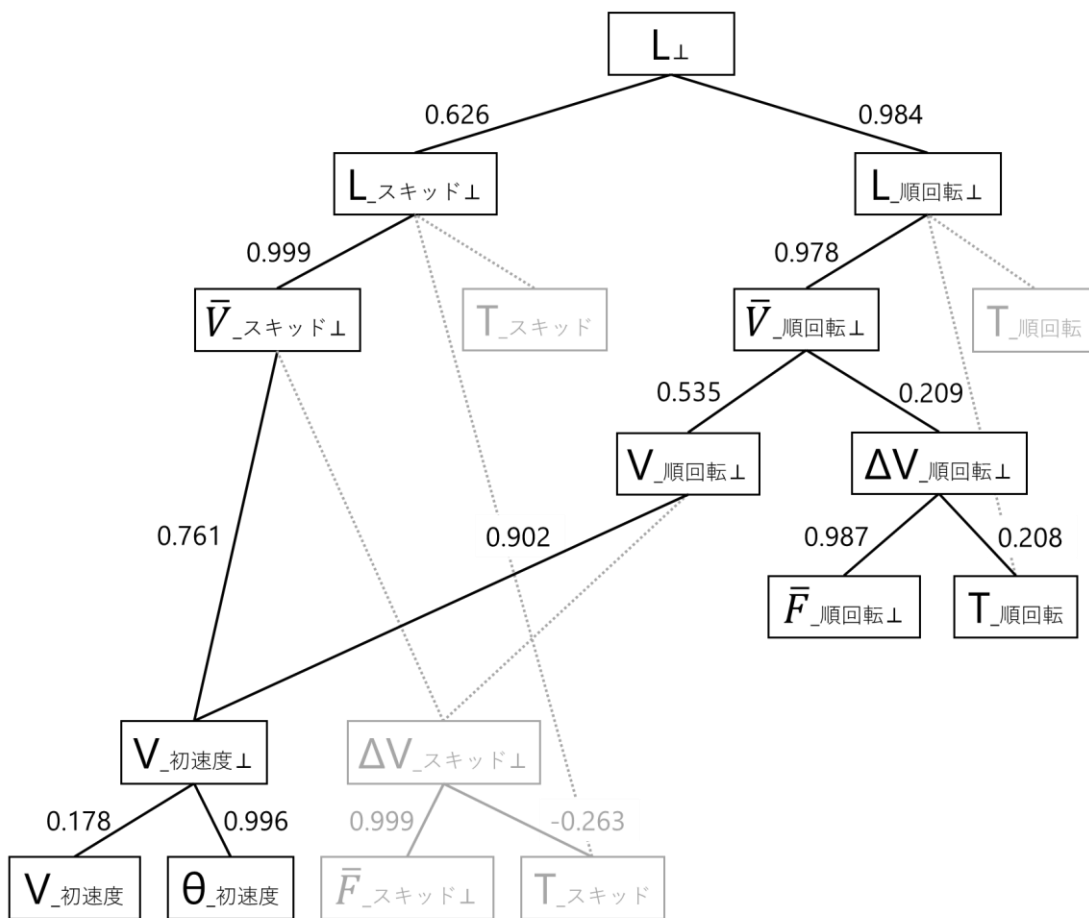


図 3-3.  $L_{\perp}$  に有意に関係する要因 (1m 条件)

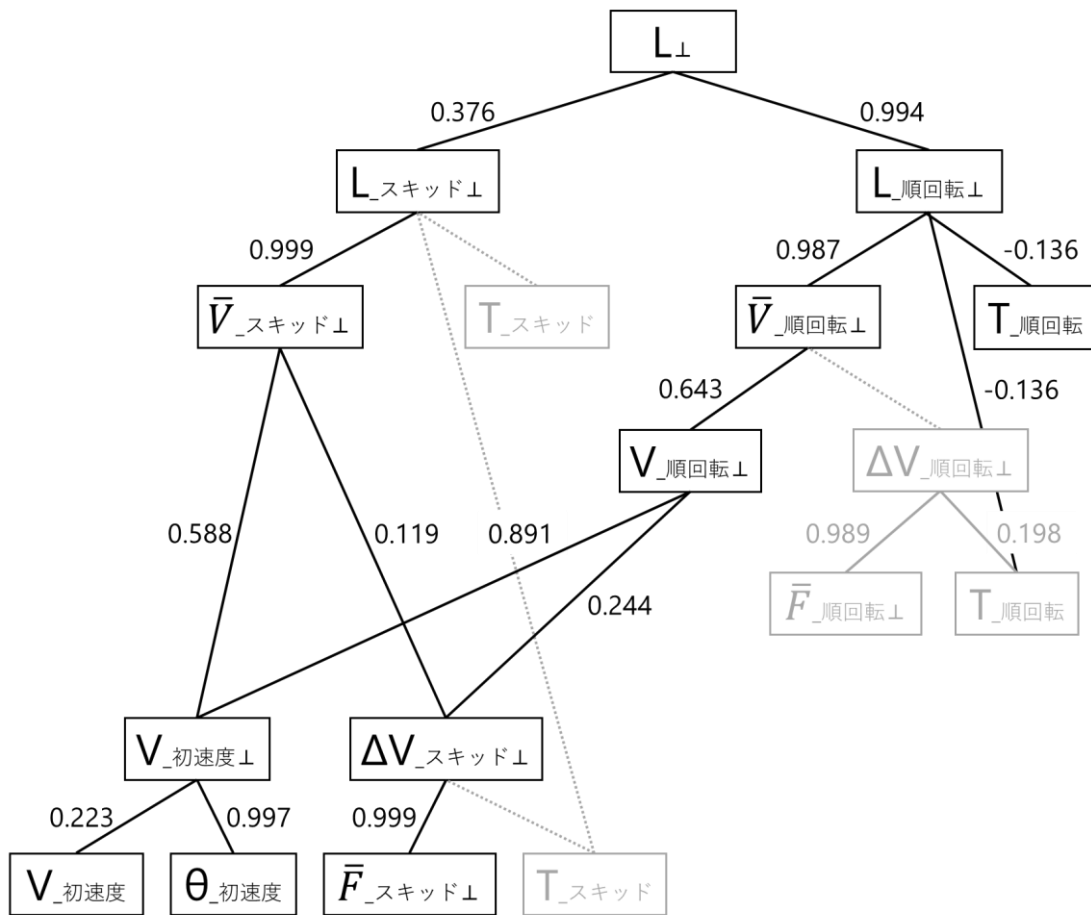


図 3-4.  $L_{\perp}$  に有意に関係する要因 (2m 条件)

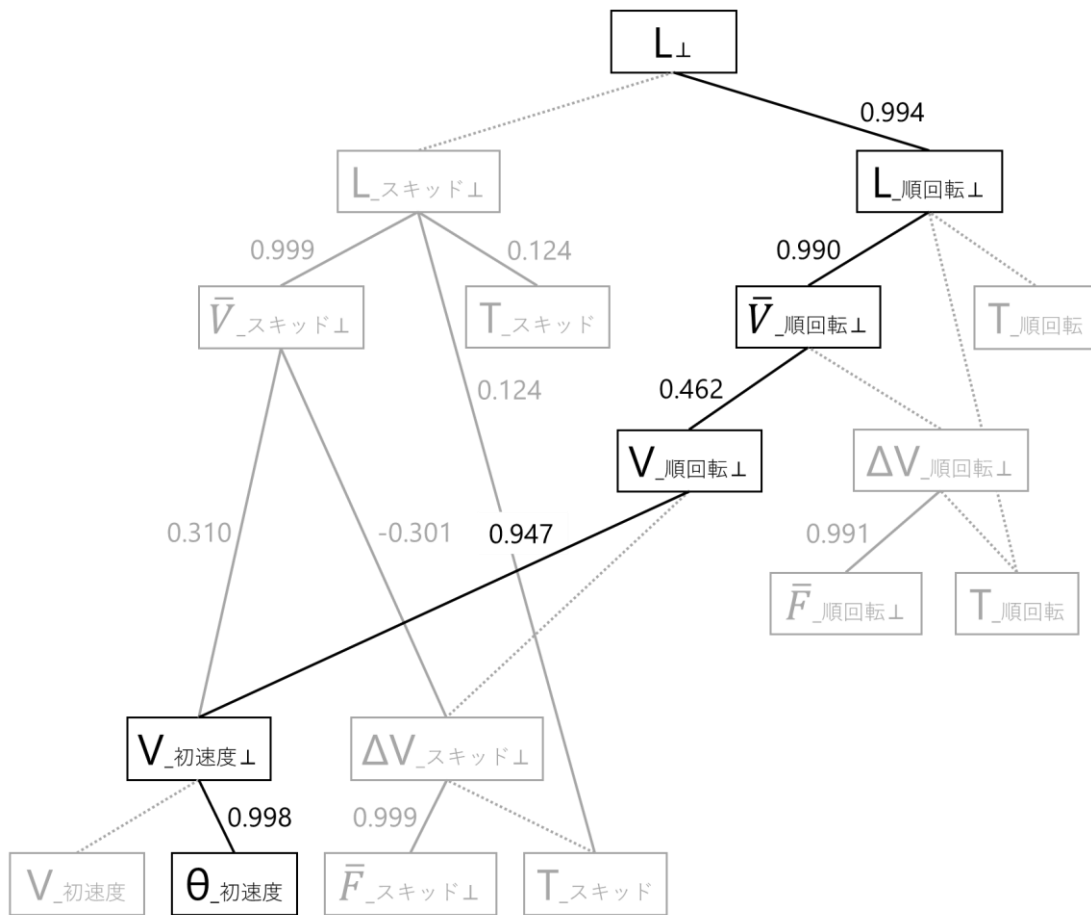


図 3-5.  $L_{\perp}$  に有意に関係する要因 (3m 条件)

### 3-5 考察

#### 3-5-1 ホール到達時のホール中心とボール中心間の短軸方向の距離における正確性に関するボール運動の要因

$L_{\perp}$ に関するボール運動について、得られた結果は以下の通りである。

- 1) 1m 条件と 2m 条件においては  $L_{\perp}$  には  $L_{\text{スキッド}\perp}$  と  $L_{\text{順回転}\perp}$  の両方に正の相関関係が見られ、 $L_{\text{順回転}\perp}$  の方が  $L_{\perp}$  との関係性が強かった。一方で、3m 条件では  $L_{\text{順回転}\perp}$  のみが  $L_{\perp}$  と正の相関関係が見られた。
- 2) 全距離条件において、 $L_{\text{スキッド}\perp}$  と  $\bar{V}_{\text{スキッド}\perp}$  に強い正の相関関係が認められ、 $L_{\text{順回転}\perp}$  と  $\bar{V}_{\text{順回転}\perp}$  に強い正の相関関係が認められた。
- 3) 全距離条件において、 $\bar{V}_{\text{スキッド}\perp}$  は  $V_{\text{初速度}\perp}$  と正の相関関係が認められたが、 $\Delta V_{\text{スキッド}\perp}$  とは一貫した関係性が見られなかった。同様に、全距離条件において、 $\bar{V}_{\text{順回転}\perp}$  は  $V_{\text{順回転}\perp}$  と正の相関関係が認められたが、 $\Delta V_{\text{順回転}\perp}$  とは一貫した関係性が認められなかった。
- 4) 全距離条件において、 $V_{\text{順回転}\perp}$  は  $V_{\text{初速度}\perp}$  と正の相関関係が認められたが、 $\Delta V_{\text{スキッド}\perp}$  とは一貫した関係性が見られなかった。
- 5)  $V_{\text{初速度}\perp}$  は、 $\theta_{\text{初速度}}$  と強い正の相関関係が認められた。

$L_{\text{スキッド}\perp}$  は、 $\bar{V}_{\text{スキッド}\perp}$  と  $T_{\text{スキッド}}$  によって決定される。本研究の結果では、全距離条件において  $\bar{V}_{\text{スキッド}\perp}$  が  $L_{\text{スキッド}\perp}$  には関係した一方で、 $T_{\text{スキッド}}$  は  $L_{\text{スキッド}\perp}$  との関係性が見られなかった。これは、順回転区間においても同様であった。したがって、 $L_{\text{スキッド}\perp}$  及び  $L_{\text{順回転}\perp}$  は、 $V_{\text{初速度}\perp}$  及び  $V_{\text{順回転}\perp}$  によってほとんどが決定されると考えられる。

$\bar{V}_{\text{スキッド}\perp}$  は、 $V_{\text{初速度}\perp}$  と  $\Delta V_{\text{スキッド}\perp}$  によって決定される。この中で、本研究の結果では  $V_{\text{初速度}\perp}$  が  $\bar{V}_{\text{スキッド}\perp}$  に有意に関係した。一方で、 $\Delta V_{\text{スキッド}\perp}$  は  $\bar{V}_{\text{スキッド}\perp}$  と一貫した関係性が認められなかった。これは、ボールが短軸方向に受ける外力は非常に不安定で、外力を受ける方向や受ける外力の大きさが経時的に変化しているからではないかと考えられる。先行研究においても、Pelz (1989) は毎回同じ初速度でボールを射出することができる装置を用いてホールまで 3.6m の距離を 1800 回繰り返し転がしたところ、芝目のイレギュラーにより 48%ほどしかホールインしなかったことを明らかにしている。これらのことから、 $\bar{V}_{\text{スキッド}\perp}$  はもともとボールが持っていた  $V_{\text{初速度}\perp}$  によってある程度が決定されるが、芝の影響により試技によってイレギュラーな短軸方

向の速度変化が生じると考えられる。

$\bar{V}$ \_順回転 $\perp$ は、 $V$ \_順回転 $\perp$ 、 $\Delta V$ \_順回転 $\perp$ によって決定される。この中で、 $V$ \_順回転 $\perp$ が $\bar{V}$ \_順回転 $\perp$ と有意な関係性を示した。一方で、スキッド区間と同様に $\Delta V$ \_順回転 $\perp$ は $\bar{V}$ \_順回転 $\perp$ に関係しなかった。これは、スキッド区間と同様に、芝目によりイレギュラーな短軸方向の速度変化が生じていたためであると考えられる。したがって、スキッド区間と同様に、順回転区間においても $\bar{V}$ \_順回転 $\perp$ は $V$ \_順回転 $\perp$ によって決定されるが、芝の影響により試技によってイレギュラーな短軸方向の速度変化も生じると考えられる。また、この $V$ \_順回転 $\perp$ は、 $V$ \_初速度 $\perp$ と $\Delta V$ \_スキッド $\perp$ によって決定されるが、本研究の結果では全距離条件において $V$ \_初速度 $\perp$ が $V$ \_順回転 $\perp$ と強い関係性が認められた。ゆえに、ボールを打ち出す段階で $V$ \_初速度 $\perp$ をできる限り小さくすることで、 $V$ \_順回転 $\perp$ を小さくすることができると考えられる。

$V$ \_初速度 $\perp$ は、 $V$ \_初速度と $\theta$ \_初速度によって決定されるが、本研究の結果では $\theta$ \_初速度が $V$ \_初速度 $\perp$ と強い関係性が認められ、1m条件と2m条件では $V$ \_初速度と $V$ \_初速度 $\perp$ にわずかながら関係性が認められた。これらのことから、 $V$ \_初速度 $\perp$ には $V$ \_初速度と $\theta$ \_初速度の両方が関係するが、主に $\theta$ \_初速度によって決定されることが考えられる。

これらのことから、狙った方向に対する初速度の方向の誤差を小さくする方略を取ること、ゴルフ選手は正確に $L$  $\perp$ を制御する能力を高められると考えられる。

### 3-5-2 研究限界

本章では、 $L$  $\perp$ における正確性を高めるためのボールの運動方略を明らかにした。しかしながら、第2章と同様にあくまで本研究の実験結果は人工芝の上で、実験用のゴルフボールを用いて得られたものであるため、実際のコースとは結果が異なる可能性が考えられる。また、本章の結果では特に芝生によるイレギュラーな影響によりボールの運動に影響を与えることが示唆された。したがって、芝生によるイレギュラーなボールへの作用を定量化することができれば、さらに有用な知見が得られると考えられる。

## 第4章 ボール初速度の大きさ、方向を制御するためのパター

### ヘッドの運動方略

#### 4-1 研究背景

ボール初速度の大きさに関係するパターヘッドの運動として、本研究ではヘッドスピードと打点を扱う。パターヘッドとボールの衝突を考えた時に、パターヘッドのヘッドスピードが大きいほどボールに伝えられる運動量が大きくなるため、ボール初速度の大きさが大きくなると考えられる。また、ヘッドの芯から離れた位置にボールが当たるほど、材料特性上ボールへの力の伝達効率が低下すると考えられる。

ボール初速度の方向に關係するパターヘッドの運動として、本研究では水平面上のフェース角度、水平面上のヘッド運動方向、水平方向の打点を扱う。パターヘッドのフェース面とゴルフボールの衝突を面と球の衝突と考えた時、実際のパッティングではボールに対してパターヘッドが動くが、相対的に考えるとパターヘッドに対してボールが動くことと同義である。後者の方がメカニズムを理解しやすいため、パターヘッドに対するボールの運動を考える。パターヘッドという面に対して角度を持ってボールという球が衝突した時に、滑りが生じない弾性衝突だと仮定すると入射角に比例して反射角も大きくなる。水平面上のフェース角度が異なるということは、フェース面に対するボールの入射角が異なることと同義なので、これはボール初速度の方向に關係することが推察される。同様に、水平面上のヘッド運動方向が異なるということも、フェース面に対するボールの入射角が異なることと同義なので、これもボール初速度の方向に關係することが推察される。また、水平方向の打点に関して、パターヘッドの重心から水平方向に距離を持った位置にボールが当たると、重心を通る鉛直軸周りのモーメントが生じ、ヘッドが回転することでフェース面の方向が変化し、ボール初速度の方向に關係することが推察される。

これらのボール初速度の大きさ、方向に關係するパターヘッドの運動要因と、ボール初速度の大きさ、方向の關係を明らかにすることで、初速度の大きさ、方向を制御する方略を明らかにすることができると考えられる。

#### 4-2 本章の目的

本章では、初速度の大きさ、方向を制御するためのパターヘッドの運動方略を明らかにすることを目的とした。



## 4-3 方法

### 4-3-1 被験者

被験者は、第2章と同様である。

### 4-3-2 パフォーマンス試技

パフォーマンス試技は、第2章と同様である。

### 4-3-3 データ収集

パターヘッドの運動の3次元座標データは、24台の赤外線モーションキャプチャーカメラ (Raptor E, Motion Analysis, USA) を用いて取得した。モーションキャプチャーシステムの制御ソフトウェアは Cortex version 5.5 を用いた。パターに関してはスタティック時にシャフト前側 (図内では Shaft\_F と表記する)、シャフト後側 (図内では Shaft\_B と表記する)、シャフトのフェース側 (図内では Shaft\_Face と表記する)、フェース面のトゥ (先端) 側 (図内では Face\_T と表記する)、フェース面のヒール (根元) 側 (図内では Shaft\_H と表記する)、ヘッドの先端 (図内では Headtoe と表記する) に計6点の反射マーカを貼り付けた (図 3-1)。そして、パッティングにおいてはシャフトのしなりがほとんどないため、パターを剛体であるとみなし、シャフト前側、シャフト後側、ヘッドの先端の3点を用いて作成したパター座標系から、フェース面のトゥ側、フェース面のヒール側、シャフトのヘッド側の3点を用いて作成したフェース座標系への回転と平行移動の変換行列を作成した。実際の試技においては、フェース面上のマーカは試技の妨げになるため、この変換行列を利用してフェース座標系のマーカを取り外しても、それらのマーカ位置座標を正確に算出することができるようにした。詳しい計算手順は付録に記した。

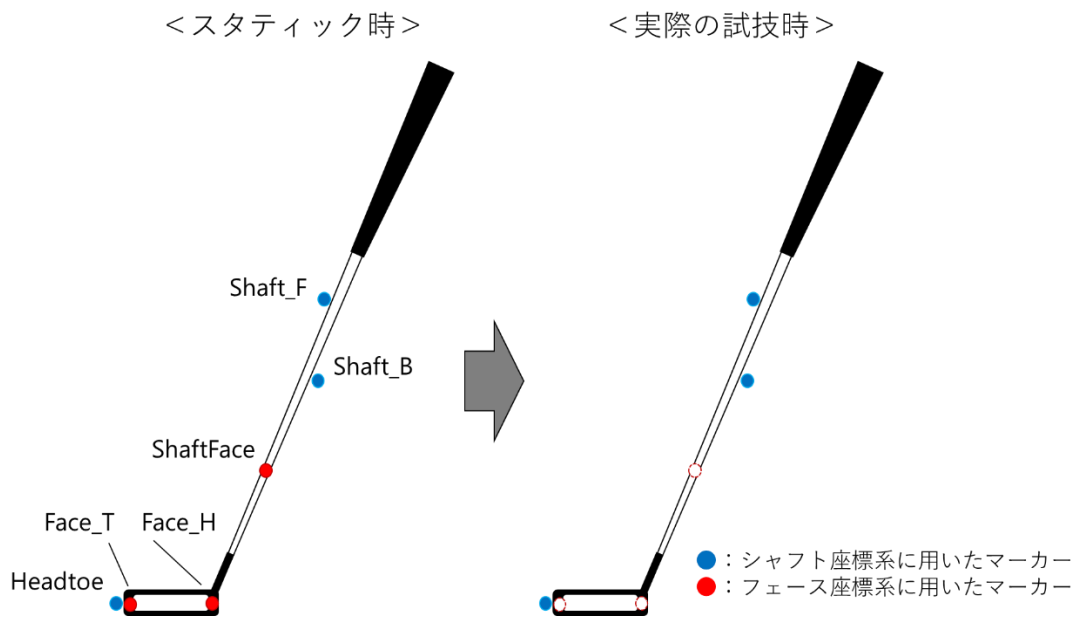


図 4-1. パターに貼付したマーカーの位置

#### 4-3-4 データ解析

ボールの初速度の大きさに関係し得るパターヘッドの運動として、以下の変数を算出した。

- ・インパクト直前のヘッドスピード
- ・インパクトにおける打点 (図 4-2)

⇒ヘッド中心から打点までの距離

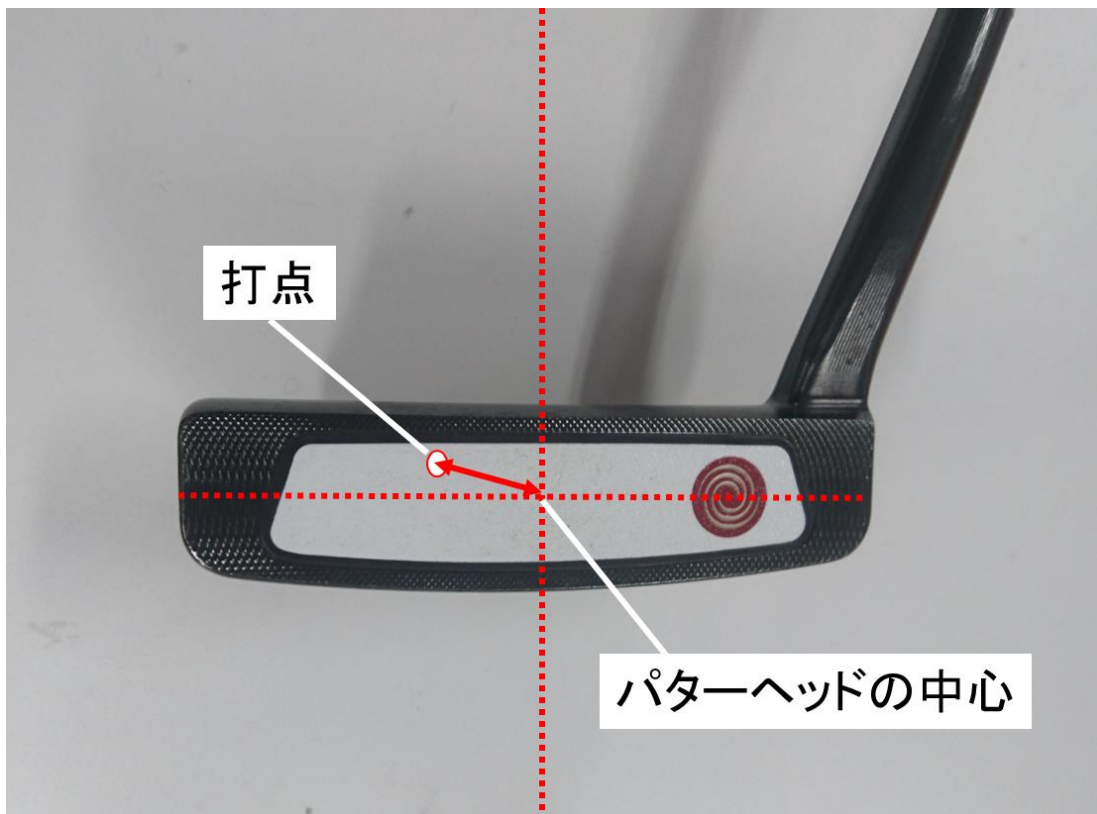


図 4-2. 打点

また、ボール初速度の方向に関係し得るパターヘッドの運動として、以下の変数を算出した。

- ・インパクト直前の水平面上におけるフェース角度 (図 4-3)
- ⇒水平面上における短軸とフェース面との間の角度 (右向きが正、左向きが負)



図 4-3. 水平面上におけるフェース角度

- ・インパクト直前の水平面上におけるヘッドの運動方向 (図 4-4)
- ⇒水平面上における長軸とインパクト直前のパターヘッドの速度ベクトルの間の角度 (左方向への運動が正、右方向への運動が負)

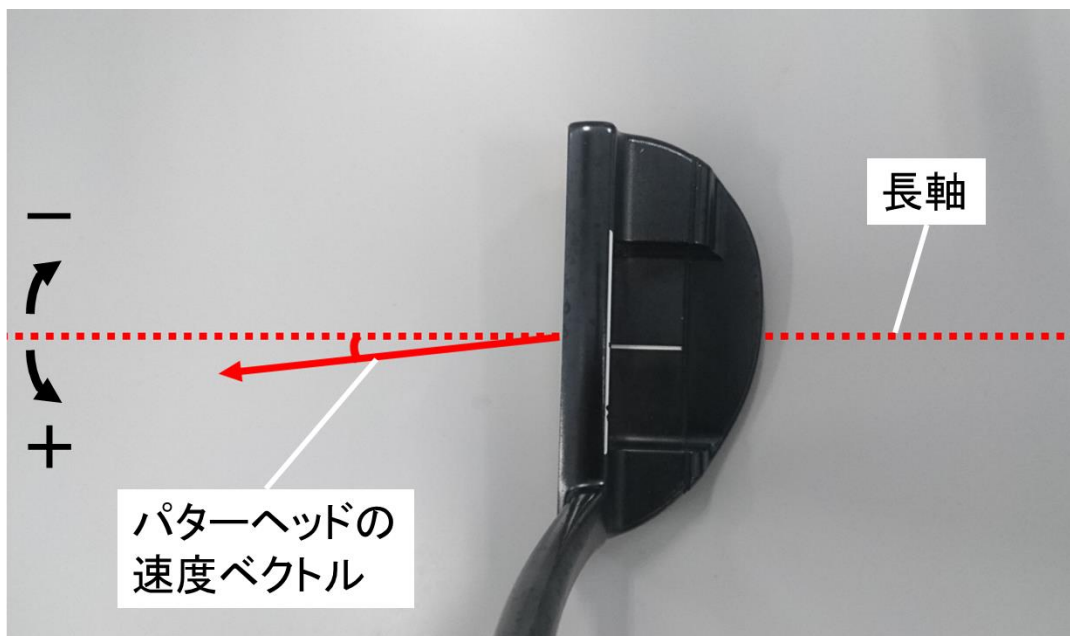


図 4-4. 水平面上におけるヘッド運動方向

- ・インパクトにおける水平方向の打点 (図 4-5)
- ⇒ヘッド中心に対する水平方向の打点 (トゥ側が正、ヒール側が負)

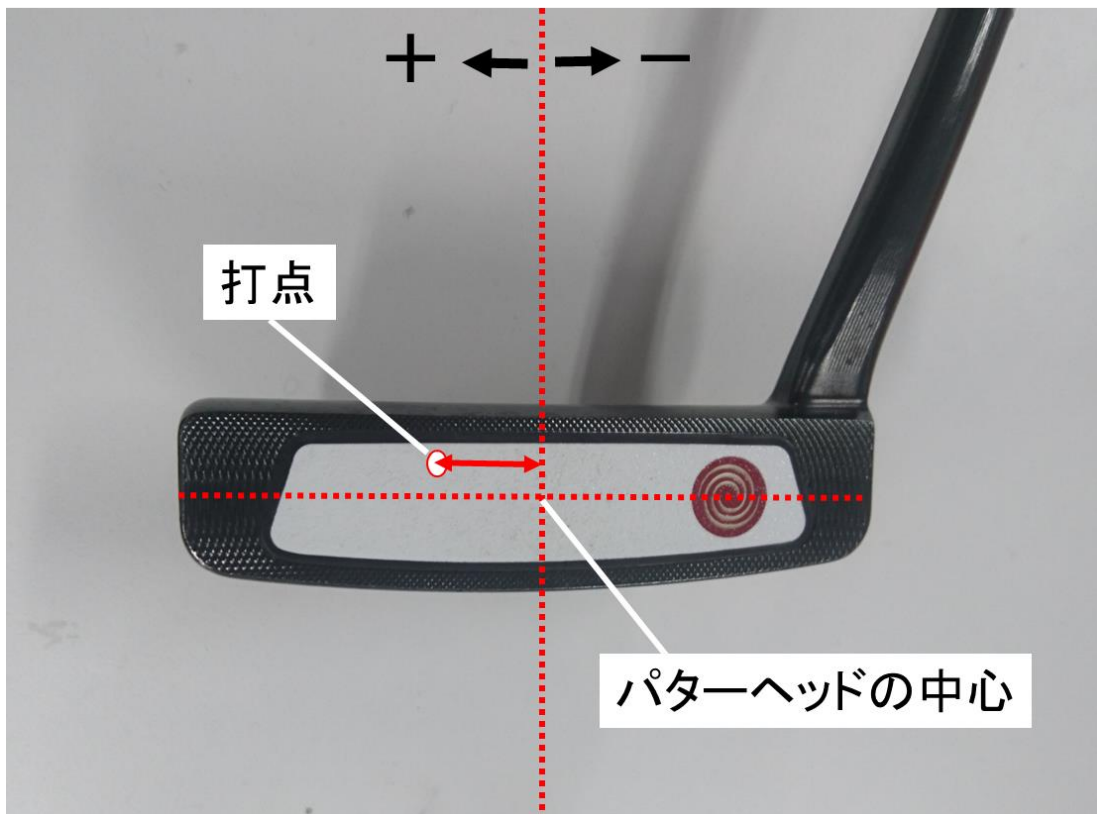


図 4-5. 水平方向の打点

#### 4-3-5 統計解析

ボール初速度の大きさ・方向と、パターヘッドの運動の関係性を分析するために、ピアソンの相関係数を算出した。有意水準は  $p < 0.01$  とした。

#### 4-4 結果

各被験者のパターヘッドの運動の平均値と標準偏差は以下の表の通りであった。水平面上におけるフェース角度は、全体的に目標線よりもやや右を向いてインパクトしている被験者が多かった。水平面上におけるヘッド運動方向に関しては、長軸の左側から右側に対してヘッドが運動している被験者が多かったが、長軸の右側から左側に運動している被験者もいた。水平方向の打点に関しては、ほとんどの被験者がヘッド中心よりもヒール側でインパクトしていた。

表 4-1. パターヘッドの運動のまとめ

被験者	水平面上の フェース角度 (deg)	水平面上の ヘッド運動方向 (deg)	水平方向の打点 (mm)
A	-2.31 ± 0.76	1.02 ± 0.96	-4.28 ± 2.56
B	-2.33 ± 1.19	-1.20 ± 1.16	-2.95 ± 4.57
C	-0.17 ± 0.72	-1.02 ± 0.77	-6.77 ± 2.41
D	-1.61 ± 0.61	0.89 ± 0.69	-1.12 ± 1.70
E	-1.65 ± 0.90	3.54 ± 1.16	-2.36 ± 2.93
F	-0.51 ± 0.67	1.85 ± 0.69	-4.90 ± 2.57
G	-3.16 ± 0.78	4.11 ± 1.36	1.49 ± 3.41
H	-0.97 ± 0.96	1.04 ± 1.03	-2.38 ± 2.63
I	-2.32 ± 0.96	1.64 ± 1.53	-2.78 ± 3.30
J	-3.88 ± 1.18	-1.06 ± 1.28	-4.73 ± 3.00
K	0.95 ± 0.80	2.26 ± 1.07	-0.82 ± 2.70
L	0.06 ± 1.51	-1.57 ± 1.41	-0.03 ± 3.54
M	0.49 ± 0.45	1.57 ± 0.80	-2.32 ± 1.90
N	-0.10 ± 0.65	0.37 ± 1.02	-3.64 ± 3.10
O	-2.47 ± 1.06	0.35 ± 1.24	-1.69 ± 2.67
P	-0.86 ± 0.84	3.68 ± 0.92	-5.70 ± 2.77

#### 4-4-1 パターヘッドの運動と初速度の大きさの関係

ヘッドスピードに関して、全ての条件においてヘッドスピードの大きさと初速度の大きさに強い正の相関関係が見られた（1m 条件： $r = 0.889$ ,  $p < 0.01$ ；2m 条件： $r = 0.873$ ,  $p < 0.01$ ；3m 条件： $r = 0.806$ ,  $p < 0.01$ ）。

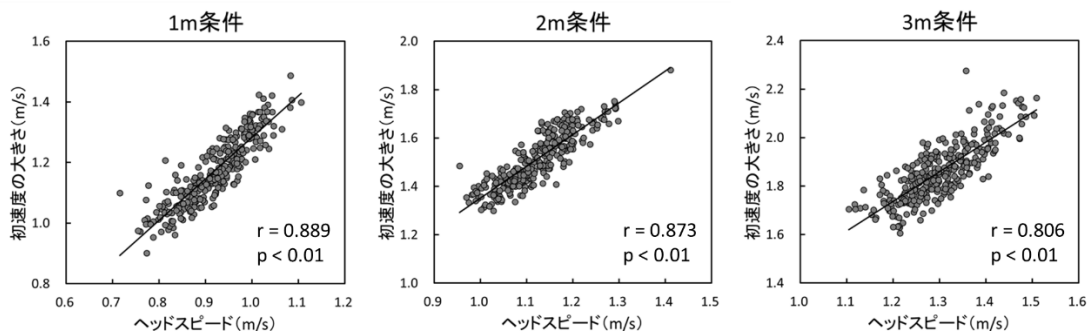


図 4-6. ヘッドスピードと初速度の大きさの関係

打点に関して、全ての距離条件において打点位置と初速度の大きさには関係性が認められなかった（1m 条件： $r = 0.099$ ,  $p = 0.078$ ；2m 条件： $r = 0.132$ ,  $p = 0.018$ ；3m 条件： $r = 0.040$ ,  $p = 0.472$ ）。

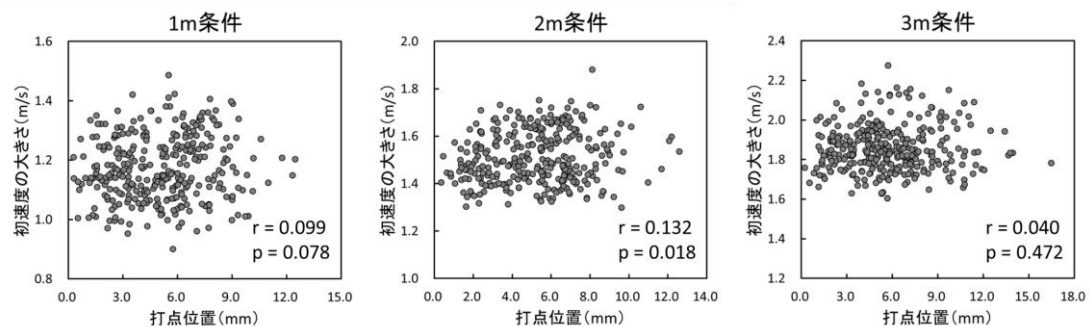


図 4-7. 打点位置と初速度の大きさの関係

#### 4-4-2 パターヘッドの運動と初速度の方向の関係

フェース角度に関して、全ての距離条件において水平面上のフェース角度と初速度の方向に有意な正の相関関係が見られた（1m 条件： $r = 0.229$ ,  $p < 0.01$ 、2m 条件： $r = 0.408$ ,  $p < 0.01$ 、3m 条件： $r = 0.367$ ,  $p < 0.01$ ）。

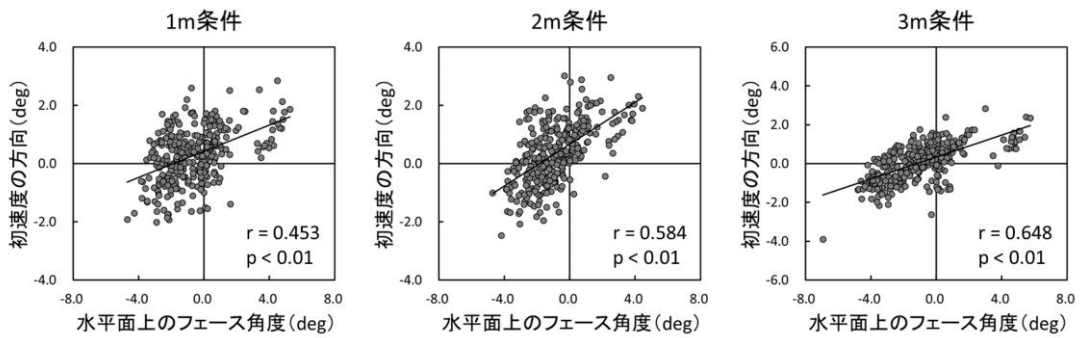


図 4-8. 水平面上のフェース角度と初速度の方向の関係

ヘッド運動方向に関して、2m 条件と 3m 条件において水平面上のヘッド運動方向と初速度の方向に有意な正の相関関係が見られた（2m 条件： $r = 0.229$ ,  $p < 0.01$ 、3m 条件： $r = 0.404$ ,  $p < 0.01$ ）。一方で、1m 条件においてはそのような関係性は見られなかった（ $r = 0.091$ ,  $p = 0.106$ ）。

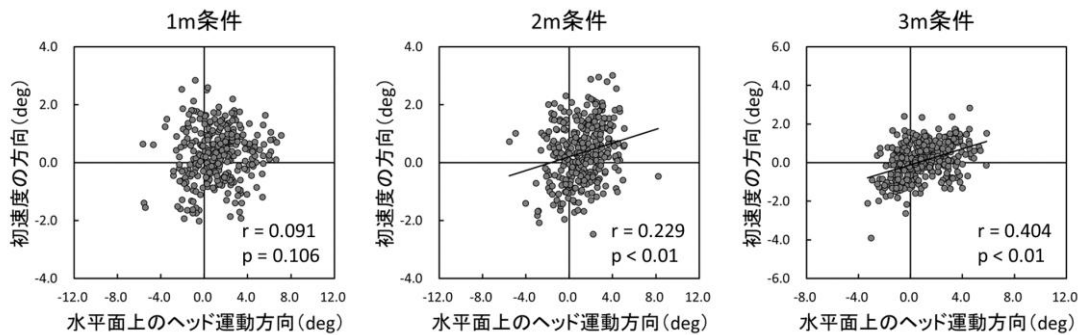


図 4-9. 水平面上のヘッド運動方向と初速度の方向の関係

打点に関して、2m 条件と 3m 条件において水平方向の打点と初速度の方向に有意な正の相関関係が見られた（ $r = 0.147$ ,  $p < 0.01$ ;  $r = 0.229$ ,  $p < 0.01$ ）。一方で、1m 条件においてはそのような関係性は認められなかった（ $r = 0.012$ ,  $p = 0.835$ ）。

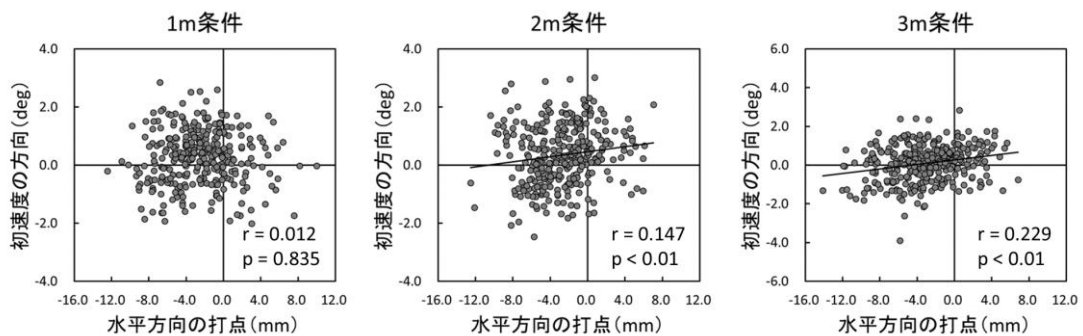


図 4-10. 水平方向の打点と初速度の方向の関係



## 4-5 考察

### 4-5-1 初速度の大きさとパターヘッドの運動の関係

ボール初速度の大きさとパターヘッドの運動の関係について、得られた結果は以下の通りであった。

- 1) 全ての距離条件において、ヘッドスピードとボール初速度の大きさに非常に強い正の相関が認められた。
- 2) 全ての距離条件において、打点位置とボール初速度に関係性は認められなかった。

本研究の結果では、ヘッドスピードとボール初速度の大きさに強い正の相関関係が認められ、2変数間の相関係数は1m条件で0.889、2m条件で0.873、3m条件で0.806であった。先行研究において、Werner et al. (2000) はボールが転がる距離の99.7%がヘッドスピードで決定されることを明らかにしている。この先行研究と説明率の計算方法が異なっているが、本研究ではWerner et al. (2000) の研究よりもボール初速度に対するヘッドスピードの説明率が低いという結果であった。これは、ボール初速度の大きさはヘッドスピードだけでなく、パターヘッドからボールへの運動量の伝達効率という観点で、打点位置が関係しているからではないかと考えられる。

しかしながら、打点に関して全ての距離条件において打点位置とボール初速度の大きさに関係性は認められなかった。先行研究において、水平方向に2cmパターヘッドの芯から打点がずれるとパターヘッドの形状によりボールが転がる距離が2%から5.5%減少することが明らかにされている(Nilsson, 2006)。しかしながら、本研究の結果においては打点のずれが大きくても上下左右に10mm程度であり、力の伝達効率が著しく低下するほどのものではなかったため、打点位置とボール初速度の大きさに関係性が見られなかったのではないかと考えられる。

### 4-5-2 初速度の方向とパターヘッドの運動の関係

ボール初速度の方向とパターヘッドの運動の関係について、得られた結果は以下の通りであった。

- 1) 全ての距離条件において、水平面上のフェース角度とボール初速度の方向に有意な正の相関関係が認められた。
- 2) 2m条件と3m条件において、水平面上のヘッド運動方向とボール初速度の方向に有意な正の相関関係が認められた。
- 3) 2m条件と3m条件において水平面上の打点とボール初速度の方向に有意な正の相関関係が認められた。

係が認められた。

フェース角度に関して、全ての距離条件において水平面上のフェース角度とボール初速度の方向の間に正の相関関係が認められた。つまり、仮説の通りに水平面上でフェース面が向いている方向にボールが打ち出されると解釈できる。

ヘッド運動方向に関して、2m 条件と 3m 条件において水平面上のヘッド運動方向と初速度の方向に正の相関関係が認められた。つまり、仮説の通りに水平面上のヘッド運動方向と同じ方向にボールが打ち出されると解釈できる。一方で、1m 条件においては上記の関係性が認められなかった。これは、ヘッド運動方向の変動が小さく、ボール初速度の方向との関係性が見られるほどではなかったのではないかと考えられる。

打点に関して、2m 条件と 3m 条件において水平方向の打点と初速度の方向に正の相関関係が認められた。つまり、ヘッドのトゥ側にボールが当たるほど右方向に、ヘッドのヒール側にボールが当たるほど左方向へボールが打ち出されるということである。先行研究においても、Nilsson (2006) はパターヘッドの芯から打点が 2cm ずれることで、パターヘッドの形状によりボールが転がった距離の 0.5% から 3% ほど短軸方向にボールが変位することを明らかにしている。これは、パターヘッドの芯から距離を持った位置にボールが当たることで、その方向へのモーメントが生じてヘッドが回転し、水平面上のフェース方向が変わってしまったためではないかと考えられる。一方で、1m 条件に関しては上記の関係性が認められなかった。これは、ヘッドスピードが小さく、打点にかかる力の大きさが小さいため、ヘッドが回転するほどの十分なモーメントが生じなかったためではないかと考えられる。

本研究において、水平面上のフェース角、水平面上のヘッド運動方向、水平方向の打点が初速度の方向に関係した。これらの要因の相対的な重要性に関して、先行研究において Pelz (2000) は水平面上のフェース角度が打ち出し角度の 83% を決定し、水平面上のヘッド運動方向は打ち出し角度の 17% を決定することを明らかにしている。また、Karlsen et al. (2008) は水平面上のフェース角度のばらつきが 80%、水平面上のヘッド運動方向のばらつきが 17%、水平方向の打点のばらつきが 3% 打ち出し方向のばらつきを決定することを明らかにしている。本研究の結果においては、相関係数に着目すると 1m 条件においてフェース角は 0.453、ヘッド運動方向は 0.091、打点は 0.012 で、2m 条件においてフェース角は 0.584、ヘッド運動方向は 0.229、打点は 0.147 で、3m 条件においてフェース角は 0.648、ヘッド運動方向は 0.404、打点は 0.229 であった。したがって、初速度

の方向に対しては、フェース角、ヘッド運動方向、打点の順に重要であると考えられ、これらの変数の相対的な重要性は先行研究と一致していると考えられる。

これらのことから、初速度の大きさの制御においてゴルフ選手はヘッドスピードを重点的に制御する方略が有効で、初速度の方向の制御においてゴルフ選手は水平面上のフェース角度、水平面上のヘッド運動方向、水平方向の打点の順に重点的に制御する方略が有効であると考えられる。

#### **4-5-3 研究限界**

本章では、初速度の大きさ、方向に関するパターヘッドの運動を明らかにした。しかしながら、実際には初速度の大きさ、方向だけでなく、ボールの回転もスキッド区間におけるボールの運動を変化させ、ボール到達位置に影響を与えると考えられるが、本研究ではボールの回転を測定することができなかった。したがって、本研究ではボールの回転とヘッドの運動の関係を検討することができなかった。将来的には、ボールの回転を測定し、ヘッドの運動との関係を検討することでさらに有益な知見を得ることが期待される。

## 第5章 総合討論

### 5-1 スキッド区間におけるボールの運動とパターヘッドの運動に関して

本研究では、スキッド区間におけるボールの運動はV\_ホール到達時//やL⊥に関係するという仮説を立てたが、仮説に反してスキッド区間におけるボールの運動はV\_ホール到達時//とL⊥に関係しなかった。そこで、本章ではパフォーマンスの高かった被験者とパフォーマンスの低かった被験者を抽出して、スキッド区間におけるボールの運動の制御について討論する。

まず、各被験者のV\_ホール到達時//とL⊥における正確性の結果は以下の表の通りであった（表 5-1）。以下の表には（誤差の絶対値の平均値）±（誤差の標準偏差）を示している。

表 5-1. 各被験者における V\_ホール到達時及び L<sub>⊥</sub>の結果

被験者	V_ホール到達時 (m/s)	L <sub>⊥</sub> (cm)
A	0.62 ± 0.14	3.21 ± 4.83
B	0.61 ± 0.12	3.12 ± 5.20
C	0.50 ± 0.14	4.18 ± 5.94
D	0.77 ± 0.09	3.77 ± 4.35
E	0.43 ± 0.18	1.78 ± 2.05
F	0.64 ± 0.12	1.87 ± 2.01
G	0.56 ± 0.18	2.55 ± 2.93
H	0.50 ± 0.17	2.01 ± 2.43
I	0.88 ± 0.12	2.22 ± 2.61
J	0.71 ± 0.13	2.40 ± 2.73
K	0.57 ± 0.20	2.90 ± 3.74
L	0.65 ± 0.18	3.37 ± 3.94
M	0.79 ± 0.13	2.64 ± 3.05
N	0.49 ± 0.18	3.09 ± 4.03
O	0.58 ± 0.14	3.51 ± 3.95
P	0.69 ± 0.17	3.32 ± 3.78

また、ホール到達時のホール中心とボール中心の短軸方向の距離を用いて、各被験者における仮想のホールイン割合を算出した。算出方法としては、短軸方向に関してホール到達時にボールがホールの半径以内に収まっていた場合をホールイン、ホールの半径からはみ出していた場合を非ホールインと判断した（図 5-1）。

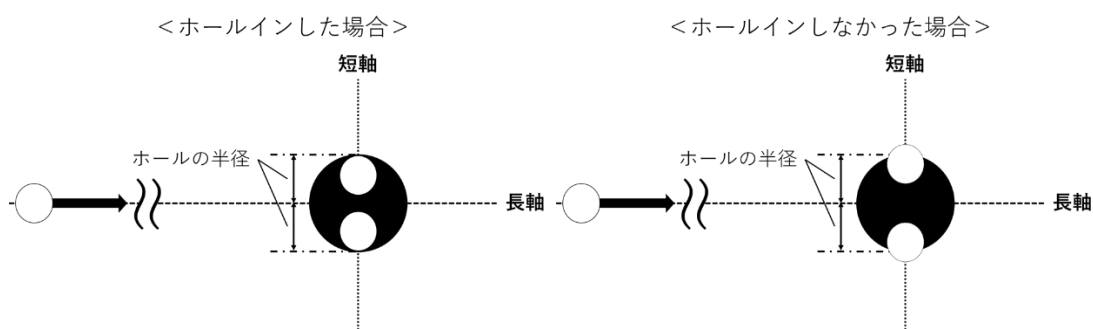


図 5-1. ホールインを判断する方法

各被験者における仮想のホールインした割合は以下の表の通りであった（表 5-2）。

表 5-2. 各被験者における仮想のホールインした割合

被験者	1m条件		2m条件		3m条件	
	ホールインした回数	ホールインした割合	ホールインした回数	ホールインした割合	ホールインした回数	ホールインした割合
A	20/20	100%	8/20	40%	10/20	50%
B	20/20	100%	6/20	30%	15/20	75%
C	19/20	95%	6/20	30%	5/20	25%
D	20/20	100%	4/20	20%	10/20	50%
E	16/20	80%	18/20	90%	20/20	100%
F	18/20	90%	15/20	75%	20/20	100%
G	18/20	90%	13/20	65%	9/20	45%
H	15/20	75%	16/20	80%	17/20	85%
I	20/20	100%	13/20	65%	14/20	70%
J	18/20	90%	14/20	70%	17/20	85%
K	20/20	100%	6/20	30%	18/20	90%
L	18/20	90%	3/20	15%	16/20	80%
M	20/20	100%	8/20	40%	18/20	90%
N	20/20	100%	7/20	35%	18/20	90%
O	19/20	95%	10/20	50%	7/20	35%
P	20/20	100%	8/20	40%	12/20	60%

表 5-1 で示した変数の中で、V\_ホール到達時については真値（パフォーマンスが最も高いとみなせる値）を明確に定義することができていない。それに対して、L<sub>⊥</sub>は真値が 0 と明確に定義ができています。したがって、L<sub>⊥</sub>における正確性に着目し、このパフォーマンスが高かった被験者と低かった被験者を抽出して討論を行う。

順回転区間において、ボールは回転軸の傾いていない純粋な順回転をしていると考えられるため、傾斜や芝による影響を無視すると、ボールは進行方向にのみ外力を受けると考えられる。それに対して、インパクトで水平面上のフェース角度とヘッド運動方向が一致

していなかったり、打点位置がヘッドの芯からずれていたりすると、ボールにサイドスピ  
ンがかかるため、スキッド区間においてボールは回転軸の傾いた回転をしている可能性が  
ある。回転軸の傾いた回転をしたボールは、回転軸が傾いている方向とは反対の方向に力  
を受け、力を受けた方向に変位すると考えられる。つまり、回転軸が右に傾いたスライス  
回転のボールは左に変位し、回転軸が左に傾いたフック回転のボールは右に変位すると考  
えられる。したがって、スキッド区間においてはゴルフ選手によって短軸方向におけるボ  
ールの変位を制御することができる可能性がある。

スキッド区間はボールの運動の約 20%と順回転区間と比較して区間が短いため  
(Cochran and Stobbs, 1986)、短軸方向への変位が小さい(図 5-2)。それに対して、順  
回転区間はボールの運動の約 80%を占めるため、順回転区間に突入した時に短軸方向に大  
きな速度を持っていると  $L_{\perp}$  が大きくなってしまふと考えられる。実際に、全ての距離条  
件において  $V_{\text{順回転}\perp}$  と  $L_{\perp}$  に有意な正の相関関係が認められた(1m 条件 :  $r=0.644$ ,  $p$   
 $< 0.01$  ; 2m 条件 :  $r=0.684$ ,  $p < 0.01$  ; 3m 条件 :  $r=0.489$ ,  $p < 0.01$ )。  $V_{\text{順回転}\perp}$  は  $V_{\text{初速度}\perp}$   
と  $\Delta V_{\text{スキッド}\perp}$  で決定されるため、  $V_{\text{初速度}\perp}$  を小さくする、もしくはスキッド  
区間において  $V_{\text{初速度}\perp}$  とは反対の方向に速度変化をさせることで  $V_{\text{順回転}\perp}$  を小さく  
するという 2 つの方略が考えられる。

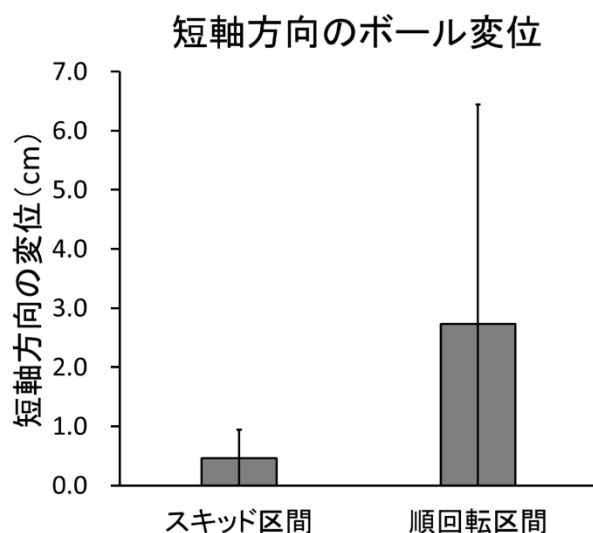


図 5-2. スキッド区間及び順回転区間の短軸方向の変位

そこで、最もボールの運動時間が長く、ボールが受ける外力の影響が大きい 3m 条件に  
関して、  $V_{\text{初速度}\perp}$ 、  $\Delta V_{\text{スキッド}\perp}$ 、  $V_{\text{順回転}\perp}$  の被験者全体の一覧を作成した(表  
5-3)。

その結果、 $V_{\text{順回転}} \perp$ が小さい被験者においては、 $V_{\text{初速度}} \perp$ と反対の方向に速度変化が生じていて、 $\Delta V_{\text{順回転}} \perp$ が小さいパターン（被験者 E、F、I、L、M 等）と、そもそも  $V_{\text{初速度}} \perp$ が小さいため、 $V_{\text{順回転}} \perp$ が小さいパターン（被験者 H 等）の 2 パターンが見られた。一方で、 $V_{\text{順回転}} \perp$ が大きい被験者においては、 $V_{\text{初速度}} \perp$ に対してその反対方向へ生じている速度変化が小さいため、 $V_{\text{順回転}} \perp$ が大きいパターン（被験者 B、N、O 等）と、そもそも  $V_{\text{初速度}} \perp$ が大きすぎて、その反対方向に速度変化が生じていても  $V_{\text{順回転}} \perp$ が大きいパターン（被験者 J、K 等）の 2 パターンが見られた。



表 5-3. 3m 条件における各被験者の  $V_{\perp}$  初速度  $\perp$ 、 $\Delta V_{\perp}$  スキッド  $\perp$ 、 $V_{\perp}$  順回転  $\perp$

被験者	$V_{\perp}$ 初速度 $\perp$	$\Delta V_{\perp}$ スキッド $\perp$	$V_{\perp}$ 順回転 $\perp$
A	$-2.25 \times 10^{-2}$	$0.45 \times 10^{-2}$	$-1.80 \times 10^{-2}$
B	$-3.89 \times 10^{-2}$	$0.28 \times 10^{-2}$	$-3.61 \times 10^{-2}$
C	$-2.87 \times 10^{-2}$	$0.61 \times 10^{-2}$	$-2.27 \times 10^{-2}$
D	$1.46 \times 10^{-2}$	$-0.14 \times 10^{-2}$	$1.33 \times 10^{-2}$
E	$1.29 \times 10^{-2}$	$-0.68 \times 10^{-2}$	$0.62 \times 10^{-2}$
F	$0.96 \times 10^{-2}$	$-0.37 \times 10^{-2}$	$0.60 \times 10^{-2}$
G	$-1.53 \times 10^{-2}$	$-0.17 \times 10^{-2}$	$-1.70 \times 10^{-2}$
H	$-0.90 \times 10^{-2}$	$-0.22 \times 10^{-2}$	$-1.12 \times 10^{-2}$
I	$1.57 \times 10^{-2}$	$-1.04 \times 10^{-2}$	$0.54 \times 10^{-2}$
J	$4.33 \times 10^{-2}$	$-1.82 \times 10^{-2}$	$2.51 \times 10^{-2}$
K	$3.97 \times 10^{-2}$	$-1.99 \times 10^{-2}$	$1.99 \times 10^{-2}$
L	$0.27 \times 10^{-2}$	$-0.28 \times 10^{-2}$	$-0.006 \times 10^{-2}$
M	$0.90 \times 10^{-2}$	$-0.54 \times 10^{-2}$	$0.36 \times 10^{-2}$
N	$1.85 \times 10^{-2}$	$-0.19 \times 10^{-2}$	$1.66 \times 10^{-2}$
O	$-1.74 \times 10^{-2}$	$0.02 \times 10^{-2}$	$-1.72 \times 10^{-2}$
P	$1.52 \times 10^{-2}$	$-0.42 \times 10^{-2}$	$1.10 \times 10^{-2}$

これらの結果から、 $V_{\perp}$  初速度  $\perp$  を小さくするという方略だけでなく、 $V_{\perp}$  初速度  $\perp$  がある程度大きくても、 $V_{\perp}$  初速度  $\perp$  の方向と反対方向に速度変化を生じさせるという方略を取ることで、 $L_{\perp}$  を小さくすることができる可能性が推察される。

前述したように、 $\Delta V_{\perp}$  スキッド  $\perp$  は、インパクトのパターヘッドの運動に起因するボール回転軸の傾きと関係がある可能性が考えられる。そこで、インパクトにおけるパターヘッドの運動と、 $\Delta V_{\perp}$  スキッド  $\perp$  の関係性を検討した。その結果、全ての距離条件において水平面上のフェース角度、水平面上の差分とスキッド区間における短軸方向の速度変化に関係性は見られなかった（1m 条件： $r = -0.114$ ,  $p = 0.042$ 、2m 条件： $r = -0.084$ ,  $p = 0.132$ 、3m 条件： $r = -0.075$ ,  $p = 0.183$ ）。一方で、1m 条件と 3m 条件において、水平方向の打点とスキッド区間における短軸方向の速度変化に有意な負の相関関係が認められた

(1m 条件 :  $r = -0.146$ ,  $p < 0.01$ 、2m 条件 :  $r = -0.091$ ,  $p = 0.104$ 、3m 条件 :  $r = -0.180$ ,  $p < 0.01$ )。

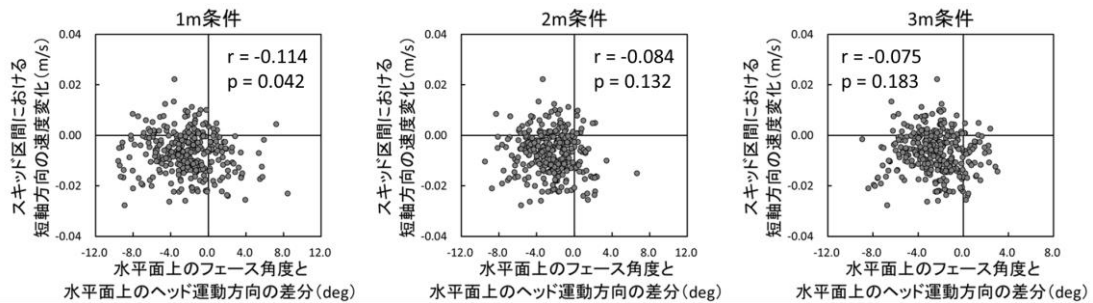


図 5-3. 水平面上のフェース角度、水平面上のヘッド運動方向の差分とスキッド区間における短軸方向の速度変化の関係

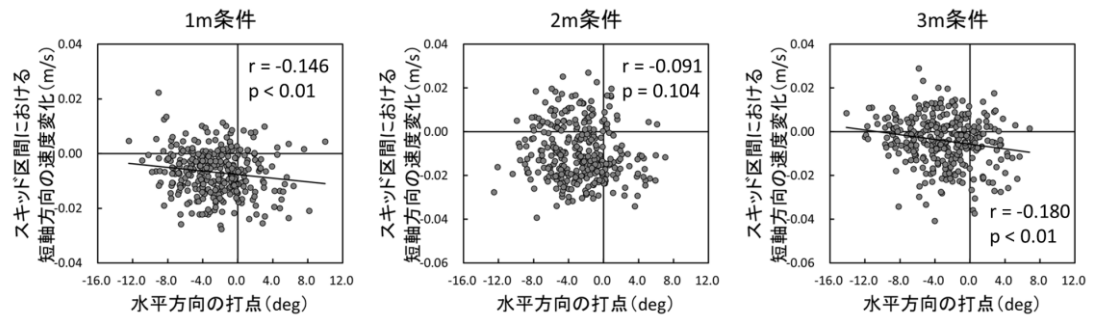


図 5-4. 水平方向の打点とスキッド区間における短軸方向の速度変化の関係

インパクトにおいて、水平面上のヘッド運動方向に対する水平面上のフェース角度の方向に滑り、その方向へサイドスピンのかかると考えられる。そして、ボールはそのサイドスピンとは逆の方向に力を受けて短軸方向に速度変化すると考えられる。しかしながら、本研究の結果においては、スキッド区間において水平面上のフェース角度、水平面上のヘッド運動方向の差分と短軸方向の速度変化に関係性が見られなかった。したがって、水平面上のフェース角度と水平面上のヘッド運動方向の差分によってはサイドスピンのほとんどかからず、短軸方向のボールの変位には影響しない可能性が推察される。水平方向の打点に関して、インパクトにおいて芯よりも正の方向にボールが当たるとギア効果によってフック回転がかかり、芯よりも負の方向にボールが当たるとスライス回転がかかる。そして、ボールはそのサイドスピンとは逆の方向に力を受けて短軸方向に変位すると考えられる。本研究の結果においても、このようなメカニズムで水平方向の打点とは逆の方向にスキッド区間において短軸方向の変位が生じていたのではないかと考えられる。

これらのことから、ゴルフ選手はインパクトにおける水平方向の打点を制御すること

で、 $\Delta V_{\text{スキッド}} \perp$ を制御し、 $L \perp$ における正確性を高めている可能性が考えられる。また、これにはボールのサイドスピンが関係している可能性が推察される。

## 5-2 現場への示唆

本研究では、ゴルフパッティングパフォーマンスを高めるための方略を明らかにすることを目的とした。この目的を達成するために、ホール到達時の長軸方向のボール速度を制御する方略、ホール到達時のホール中心とボール中心間の短軸方向の距離における正確性を制御する方略、初速度の大きさ、方向を制御するパターヘッドの運動方略を検討した。その結果を踏まえて、現場指導への示唆について検討する。

$V_{\text{ホール到達時}} //$ に関して、本研究では  $V_{\text{初速度}}$ と  $\Delta V_{\text{順回転}} //$ との関係性が強いという結果が得られた。したがって、ゴルフ選手はホールインする程度でできるかぎり強くボールを打ち出すことで順回転区間における減速の影響を最小限にする方略が有効であると共に、グリーン面の状態をよく観察し、ボールがグリーン面から受ける外力によってどれほど減速するかを予測してボールを打ち出すことが重要であると考えられる。また、長軸方向のボールの運動と関係性の深い  $V_{\text{初速度}}$ に関して、ヘッドスピードのみが初速度の大きさに関係するという結果が得られた。したがって、ゴルフ選手は意図した初速度の大きさに応じてヘッドスピードを制御する能力を高めることが重要であると考えられる。

$L \perp$ における正確性に関して、本研究では  $\theta_{\text{初速度}}$ との関係性が強いという結果が得られた。また、芝によるボールのイレギュラーな速度変化が短軸方向の変位に影響する可能性が示唆された。さらに、スキッド区間において  $V_{\text{初速度}} \perp$ と逆の方向に速度変化をさせることで、 $V_{\text{順回転}} \perp$ を小さくし、 $L \perp$ における正確性を高められる可能性が示唆された。また、この  $\Delta V_{\text{スキッド}} \perp$ には水平方向の打点に関係するという結果が得られた。したがって、ゴルフ選手は意図した方向に対する  $\theta_{\text{初速度}}$ の誤差を小さくする方略、もしくは水平方向の打点を制御して  $V_{\text{初速度}} \perp$ と逆の方向に速度変化をさせるようなスピンコントロールをする方略を取ることが有効であると共に、グリーン面をよく観察して短軸方向におけるボールの変位を予測する能力を養うことが重要であると考えられる。また、短軸方向のボールの運動と関係の深い初速度の方向に関して、水平面上のフェース角度、水平面上のヘッド運動方向、水平面上の打点と同一の方向に初速度が生じるという結果が得られた。また、これらの要因の中でも水平面上のフェース角度、水平面上のヘッド運動方向、水平面上の打点の順に初速度の方向との関係性が強かった。したがって、ゴルフ選手はインパクトにおいて水平面上で意図した方向に対するフェース角度、ヘッド運動方向の誤差

を小さくし、パターヘッドの芯でボールを捉えることが重要であると考えられる。

## 第6章 結論

本研究ではゴルフパッティングパフォーマンスを高めるための制御方略を明らかにすることを目的とした。この目的を達成するために、本研究では3つの個別研究に対して以下の目的を設定した。

1. ホール到達時の長軸方向のボール速度を制御するための方略を明らかにすること。
2. ホール到達時の短軸方向のホール中心とボール中心間の距離における正確性を高めるための方略を明らかにすること。
3. 初速度の大きさ、方向を制御するためのパターヘッドの運動方略を明らかにすること。

本研究の結果、以下のことが明らかになった。

- ・ホール到達時の長軸方向のボール速度は、初速度の大きさと順回転区間におけるボール速度の変化によって決定される。
- ・ホール到達時のホール中心とボール中心間の短軸方向の距離における正確性は、初速度の方向によって決定され、初速度の短軸成分と反対方向に速度変化をさせることでホール到達時のホール中心とボール中心間の短軸方向の距離における正確性を高められる可能性がある。
- ・初速度の大きさはヘッドスピードのみによって決定される。
- ・初速度の方向は、水平面上のフェース角度、水平面上のヘッド運動方向、水平方向の打点によって決定される。

これらのことから、ゴルフ選手はホールインする範囲内でできる限りボールを強く打ち出し、意図した方向とボールを打ち出す方向の誤差を小さくする、もしくはスピコントロールによって初速度の短軸成分と反対方向に速度変化をさせることでパッティングパフォーマンスを向上させられることが示唆された。また、初速度の大きさを制御するためにはヘッドスピードを重点的に制御し、初速度の方向を制御するためには、水平面上のフェース角度、水平面上のヘッド運動方向、水平方向の打点の順に重点的に制御する方略が有効であることが示唆された。

## 引用文献

- Aldrich, D. (2004). Surface engineering and golf. *Surface Engineering*, 20(1), 1-3.
- Belkin, D. S., Gansneder, B., Pickens, M., Rotella, R. J., & Striegel, D. (1994). Predictability and stability of Professional Golf Association tour statistics. *Perceptual and Motor Skills*, 78(3\_suppl), 1275-1280.
- Betzler, N. F., Monk, S. A., Wallace, E. S., & Otto, S. R. (2012). Variability in clubhead presentation characteristics and ball impact location for golfers' drives. *Journal of Sports Sciences*, 30(5), 439-448.
- Chou, A. C. (2004). Engineering Methodology in Golf Studies. In *Biomedical Engineering Principles in Sports* (pp. 29-46). Springer US.
- Cochran, A. J., Stobbs, J., & Noble, D. (2005). Search for the perfect swing: The proven scientific approach to fundamentally improving your game. Chicago, IL, USA: Triumph books.
- Daish, C. B. (1972). The physics of ball games:[the sportmens' guide to impact, swing, stroke, rolling and bounce].
- Dias, G., Couceiro, M. S., Clemente, F. M., Martins, F. M., & Mendes, R. M. (2014). A new approach to the study of golf putting. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 36(2), 61-77.
- Finley, P. S., & Halsey, J. J. (2004). Determinants of PGA tour success: An examination of relationships among performance, scoring, and earnings. *Perceptual and Motor Skills*, 98(3), 1100-1106.
- Fradkin, A. J., Sherman, C. A., & Finch, C. F. (2004). How well does club head speed correlate with golf handicaps?. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(4), 465-472.
- James, N., & Rees, G. D. (2008). Approach shot accuracy as a performance indicator for US PGA Tour golf professionals. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 3(1\_suppl), 145-160.
- Karlsen, J., & Nilsson, J. (2008). Distance variability in golf putting among highly skilled players: The role of green reading. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 3(1\_suppl), 71-80.

- Karlsen, J., Smith, G., & Nilsson, J. (2008). The stroke has only a minor influence on direction consistency in golf putting among elite players. *Journal of Sports Sciences*, 26(3), 243-250.
- Lindsay, N. M. (2003). Topspin in putters—a study of vertical gear-effect and its dependence on shaft coupling. *Sports Engineering*, 6(2), 81-93.
- 日本ゴルフ協会, ハンディキャップとは, <http://www.jga.or.jp/jga/html/handicap/about.html>, 2018年1月19日入手
- 日本ゴルフツアー機構, ツアー2015 部門別データ, <http://www.jgto.org/pc/TourStats.do>, 2018年1月19日入手
- Nilsson, J. (2006). A new device for evaluating distance and directional performance of golf putters. *Journal of Sports Sciences*, 24(2), 143-147.
- Pelz, D. (1989). *Putt like the pros*. Harperperennial.
- Pelz, D. (2000). *Dave Pelz's putting bible: the complete guide to mastering the green (Vol. 2)*. Doubleday Books.
- PGA TOUR.com - Official Home of Golf and the FedExCup, Statistics, Retrieved January 19, 2018, from <https://jp.pgatour.com/pgatour/stats/>.
- Pope, J., James, D., Wood, P., & Henrikson, E. (2014). The effect of skid distance on distance control in golf putting. *Procedia Engineering*, 72, 642-647.
- Sim, M., & Kim, J. U. (2010). Differences between experts and novices in kinematics and accuracy of golf putting. *Human Movement Science*, 29(6), 932-946.
- Werner, F. D., Greig, R. C., & Ganem, R. P. (2000). *How golf clubs really work and how to optimize their designs*. Origin Incorporated.

## 研究報告一覽

### 雜誌論文

- Miyake, Y., Suga, T., Otsuka, M., Tanaka, T., Misaki, J., Kudo, S., Nagano, A. & Isaka, T. (2017). The knee extensor moment arm is associated with performance in male sprinters. *European Journal of Applied Physiology*, 117(3), 533-539.
- Wachi, M., Suga, T., Higuchi, T., Misaki, J., Tsuchikane, R., Tanaka, D., Miyake, Y. & Isaka, T. (2017). Applicability of ultrasonography for evaluating trunk muscle size: a pilot study. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(2), 245-249.
- Tanaka, T., Suga, T., Otsuka, M., Misaki, J., Miyake, Y., Kudo, S., Nagano, A. & Isaka, T. (2017). Relationship between the length of the forefoot bones and performance in male sprinters. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(12), 1673-1680.
- Ueno, H., Suga, T., Takao, K., Tanaka, T., Misaki, J., Miyake, Y., Nagano, A. & Isaka, T. (2017). Relationship between Achilles tendon length and running performance in well - trained male endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*.
- Wachi, M., Suga, T., Higuchi, T., Misaki, J., Tsuchikane, R., Tanaka, D., Miyake, Y., Nobuhiko, Kanazawa. & Isaka, T. (2017). Applicability of ultrasonography for evaluating trunk muscles size in athletes: a study focused on baseball batters. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(9), 1534-1538.
- Ueno, H., Suga, T., Takao, K., Tanaka, T., Misaki, J., Miyake, Y., Nagano, A. & Isaka, T. (2017). Potential Relationship between Passive Plantar Flexor Stiffness and Running Performance. *International Journal of Sports Medicine*.
- Tottori, N., Suga, T., Miyake, Y., Tsuchikane, R., Otsuka, M., Nagano, A., Fujita, S. & Isaka, T. (2017). Hip Flexor and Knee Extensor Muscularity Are Associated With Sprint Performance in Sprint-Trained Preadolescent Boys. *Pediatric Exercise Science*, 20(XX), 1-9.
- Tsuchikane, R., Higuchi, T., Suga, T., Wachi, M., Misaki, J., Tanaka, D., Miyake, Y. & Isaka, T. (2017). Relationships between bat swing speed and muscle thickness and asymmetry in collegiate baseball players. *Sports*, 5(2), 33.



## 学会発表

三宅悠斗, 菅唯志, 大塚光雄, 田中貴大, 御前純, 長野明紀 & 伊坂忠夫. (2015). 短距離走選手の膝関節モーメントアーム長とパフォーマンスの関係. 第 70 回日本体力医学会大会. 和歌山. 口頭発表

三宅悠斗, 菅唯志, 大塚光雄, 田中貴大, 御前純, 工藤将馬, 長野明紀 & 伊坂忠夫. (2015). 短距離走選手における下腿三頭筋の筋形態とパフォーマンスの関係. スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015. 滋賀. 口頭発表

三宅悠斗, 菅唯志, 泉本洋香, 土金諒 & 伊坂忠夫. (2016). 膝関節伸展筋群の疲労とゴルフスウィングパフォーマンスの関係. 第 24 回日本バイオメカニクス学会大会. 滋賀. 口頭発表

三宅悠斗, 菅唯志 & 伊坂忠夫. (2016). 膝関節伸展筋群の疲労がゴルフスウィングパフォーマンスに与える影響. 第 29 回日本トレーニング科学学会大会. 神奈川. ポスター発表

Miyake, Y., Fujimoto, M. & Isaka, T. (2017). The relationship between golf putting precision and variability in initial ball direction and velocity. 22<sup>nd</sup> annual Congress of the EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE, Germany, Poster presentation

三宅悠斗, 藤本雅大, 佐藤隆彦 & 伊坂忠夫. (2017). ゴルフパッティングにおけるボール初速度の大きさ・向き、スキッド時間とボール到達位置の関係. 第 30 回日本トレーニング科学学会大会. 東京. ポスター発表

## 付録 1. パターヘッドの運動の計算方法に関して

本研究では、パフォーマンス試技を妨げないようにしてフェース面の運動を測定するために、回転行列を用いて仮想マーカーを作成する計算を行った。以下に MATLAB のコードを基本としたその詳細な計算方法を記載する。

1. スタティック時のシャフト座標系を作成する。

1-1. Shaft\_B から Headtoe へのベクトル (X 軸) を作成する。

$$Xs\_p = [Head\_Txs; Head\_Tys; Head\_Tzs] - [Shaft\_Bxs; Shaft\_Bys; Shaft\_Bzs];$$

$$Xs = Xs\_p / \text{norm}(Xs\_p);$$

1-2. Shaft\_B から Shaft\_F へのベクトル (仮の Z 軸、T 軸とする) を作成する。

$$Ts\_p = [Shaft\_Fxs; Shaft\_Fys; Shaft\_Fzs] - [Shaft\_Bxs; Shaft\_Bys; Shaft\_Bzs];$$

$$Ts = Ts\_p / \text{norm}(Ts\_p);$$

1-3. X 軸と T 軸の外積により、Y 軸を作成する。

$$Ys = \text{cross}(Xs, Ts);$$

1-4. X 軸と Y 軸の外積により、真の Z 軸を作成する。

$$Zs = \text{cross}(Ys, Xs);$$

1-5. スタティック時のシャフト座標系は以下の通りである。

$$SCSs = [Xs, Ys, Zs];$$

2. スタティック時のフェース座標系を作成する。

2-1-1. シャフト座標系の原点から FaceT へのベクトルを作成する。

$$Tgs = [Face\_Txs; Face\_Tys; Face\_Tzs] - [Shaft\_Bxs; Shaft\_Bys; Shaft\_Bzs];$$

2-1-2. フェース座標系における FaceT へのベクトルを作成する。

$$Tfs = SCSs \setminus (Tgs - Os);$$

2-2-1. シャフト座標系の原点から FaceH へのベクトルを作成する。

$$Hgs = [Face\_Hxs; Face\_Hys; Face\_Hzs] - [Shaft\_Bxs; Shaft\_Bys; Shaft\_Bzs];$$

2-2-2. フェース座標系における FaceH へのベクトルを作成する。

$$Hfs = SCSs \setminus (Hgs - Os);$$

2-3-1. シャフト座標系の原点から ShaftFace へのベクトルを作成する。

$$SFgs = [Shaft\_Facexs; Shaft\_Faceys; Shaft\_Facezs] - [Shaft\_Bxs; Shaft\_Bys;$$

Shaft\_Bzs];

2-3-2. フェース座標系における ShaftFace へのベクトルを作成する。

SFfs = SCSs¥(SFgs·Os);

3. ダイナミック時のシャフト座標系を作成する。

3-1. ShaftB から Headtoe へのベクトル (X 軸) を作成する。

Xd\_u = [Head\_Txd; Head\_Tyd; Head\_Tzd]-[Shaft\_Bxd; Shaft\_Byd; Shaft\_Bzd];

Xd = Xd\_u/norm(Xd\_u);

3-2. ShaftB から ShaftF へのベクトル (仮の Z 軸、T 軸とする) を作成する。

Td\_u = [Shaft\_Fxd; Shaft\_Fyd; Shaft\_Fzd]-[Shaft\_Bxd; Shaft\_Byd; Shaft\_Bzd];

Td = Td\_u/norm(Td\_u);

3-3. X 軸と T 軸の外積により、Y 軸を作成する。

Yd = cross(Xd, Td);

3-4. X 軸と Y 軸の外積により、真の Z 軸を作成する。

Zd = cross(Yd, Xd);

3-5. ダイナミック時のシャフト座標系は以下の通りである。

SCSd = [Xd, Yd, Zd];

4. ダイナミック時のフェース上のマーカー座標を算出する。

4-1. グローバル座標系の原点からシャフト座標系の原点へのベクトルを作成する。

Od = [Shaft\_Bxd; Shaft\_Byd; Shaft\_Bzd];

4-2. ダイナミック時の FaceT の座標を算出する。

Tdn = (SCSd\*Tfs)+Od;

4-3. ダイナミック時の FaceH の座標を算出する。

Hdn = (An\*Hfs)+Od;

4-4. ダイナミック時の ShaftFace の座標を算出する。

SFdn = (An\*SFfs)+Od;

## 付録 2. パフォーマンス分析の詳細に関して

緒論においてパフォーマンス分析を行ったが、ここではその詳細について記述する。初めに、再度パフォーマンス分析の結果を以下に示す。

独立変数	日本男子プロゴルフツアー	アメリカ男子プロゴルフツアー
	標準化偏回帰係数 $\beta$	
ドライビングディスタンス	-0.147	-0.319
パーオン率	-0.509	-0.655
リカバリー率	-0.424	-0.361
平均パット数	0.427	0.549
重決定係数 $R^2$ (調整済み)	0.941	0.673

上記のデータから、ドライビングディスタンスに関しては、飛距離が大きいほど平均スコアが小さいと解釈できる。パーオン率に関しては、パーオン率が高いほど平均スコアが小さいと解釈できる。リカバリー率に関しては、リカバリー率が高いほど平均スコアが小さいと解釈できる。平均パット数に関しては、平均パットが少ないほど平均スコアが小さいと解釈できる。また、標準化偏回帰係数に着目すると、日本男子プロゴルフツアーとアメリカ男子プロゴルフツアーに共通してパーオン率、平均パット数、リカバリー率、ドライビングディスタンスの順に平均スコアとの関係性が強いと解釈できる。

これらの独立変数の中で、ドライビングディスタンスはドライバーショットのみ、パーオン率はアイアンショットのみ、平均パット数はパッティングのみと1つの要因だけで決定するのに対して、リカバリー率はアプローチショットとパッティングの2つの要因で決定されるという点が他の独立変数とは異なっている。これに関して、アメリカ男子プロゴルフツアーのデータからはリカバリー率に関係する、パーオンを逃したホールにおける平均パット数のデータを得られた。そこで、このデータを用いてリカバリー率と平均パット数の単相関分析の結果と、パーオンを逃したホールにおける平均パット数でリカバリー率を統制した偏相関分析の結果を比較した。その結果、単相関の結果ではリカバリー率と平均パット数に有意な相関関係が見られたが ( $r = -0.229, p = 0.022$ )、偏相関の結果ではこれらの変数に関係性は見られなかった ( $r = -0.024, p = 0.812$ )。したがって、リカバリー率はアプローチショットの技術ではなく、主にパッティングの技術によって決定されると考えられる。

調整済み重決定係数に着目すると、日本男子プロゴルフツアーは上記の4つの独立変数で平均スコアを約94%説明できるのに対して、アメリカ男子プロゴルフツアーは上記の4つの独立変数では平均スコアを約67%しか説明できないと解釈できる。これに関し

では、選手がプレーする環境の違いによるものではないかと推察される。日本男子プロゴルフツアーは、主戦場が日本国内のため環境の変化が小さい。それに対して、アメリカ男子ゴルフツアーはフロリダ州などの暑熱地域からテキサス州などの乾燥地域、カナダなどの寒冷地域まで非常に多様な環境で試合が行われる。環境の違いによって芝生の種類も変化し、このような環境の変化に対応する能力なども平均スコアに関係するため、アメリカ男子プロゴルフツアーでは日本男子プロゴルフツアーと比較して4つの独立変数を投入しただけでは説明率が低かったのではないかと考えられる。

## 謝辞

本修士論文の執筆にあたり、日頃から熱心な指導をいただき、いつも良い研究環境を提供していただいた指導教員の伊坂忠夫教授に大変感謝しております。

副査を引き受けていただき、貴重なご意見をくださった篠原靖司教授、長積仁教授に感謝致します。

本修士論文の執筆にあたって、研究の論理について助言をいただいた藤本雅大助教、力学的なデータ解析について指導していただいた佐藤隆彦特任助教、統計分析について指導していただいた正田悠研究員には大変お世話になり、ありがとうございました。実験機器の購入に関する事務処理においてお世話になった奥村悦子さんに御礼申し上げます。実験の検者として、スポーツ健康科学研究科博士後期課程 1 回生の泉本洋香さん、博士前期課程 2 回生の赤熊亮祐くん、下實賢人くん、土金諒くんにご協力いただきありがとうございました。

実験の被験者を引き受けて下さった立命館大学体育会ゴルフ部の皆様、測定に関してご快諾いただいた吉川拓哉監督に感謝致します。

最後に、互いにディスカッションを繰り返して高め合えた同期の仲間と、学部、修士と 6 年間大学に通わせていただき、自由に勉強する環境を提供してくださった家族に感謝致します。ありがとうございました。