

2010年度 修士論文

時間的遮蔽を用いたテニスサーブ動作映像からの予測
とキネマティックパラメータとの関係
-ビデオ映像を利用して-

Relationship between anticipation and Kinematic
Parameter in tennis serve
with video: assessment using temporal occlusion
paradigm

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 スポーツ医科学研究領域

5009A018-5

緒方 貴浩

Ogata, Takahiro

研究指導教員： 福林 徹 教授

-目次-

第1章	1
1-1 序	2
1-2 研究小史	3
1-3 本研究の目的	8
第2章	10
実験1. 時間的遮蔽法を用いたテニスサービス動作のコース予測 -選択式と Visual Analog Scale を用いて-	
2-1 緒言及び目的	11
2-2 方法	13
2-3 結果	20
2-4 考察	24
第3章	27
実験2-1. 時間的遮蔽法を用いたテニスサービス動作のコース予測, スピード予測, 回転量予測とキネマティックパラメータの関係	
3-1-1 緒言及び目的	28
3-2-1 方法	29
3-3-1 結果	36
3-4-1 考察	47
実験2-2. テニス熟練者とソフトテニス熟練者の検討	51
3-2-1 緒言及び目的	51
3-2-2 方法	51
3-2-3 結果	53
3-2-4 考察	65
第5章 総合考察	69
第6章 結論	73
引用文献	75
謝辞	79

第 1 章

序論

1-1 序

スポーツは、身体活動を通じてそのスポーツ競技における特定の目的を表現する行為であると言える。しかし、身体活動そのものはスポーツという行為の一部でしか過ぎないのである。身体活動は、外見的に特徴的な活動であるため、スポーツ最大の要素と捉えられがちであるが、その身体活動を支えている認知活動が存在することを忘れてはならない。実際に、スポーツ分野の先行研究では、試合における作戦の立案から試合場面での判断や行為選択における、スポーツ場面の全領域にわたり知的活動が行われている。テニスのラリーにおいて、グランドストロークの打球速度は 57~86m/h、対峙するプレイヤー同士が打球する時間の間隔はおよそ 1.4s とされている。プレイヤーはこの短時間の中で、どのようなボールが飛んで来るのかを判断しつつ、幅約 8m のテニスコート上を移動し、適切なストロークを行わなければならない。そして、ボールの行方は、わずか 4/1000s 程度のインパクトの間に与えられた運動エネルギーによって決定される。この知覚から運動まで一連の活動を迅速かつ正確に遂行できなければ、そのプレイは失点で終わるだろう。そのため、スポーツが単なる身体活動ではなく、知的活動に基づいて制御される身体活動であることを指摘している (Abernethy & Russell, 1987)。このように、運動制御という観点からスポーツを捉えたとき、スポーツにおける知的活動、つまり認知活動がその後の巧みな身体活動をするうえで重要であることは明らかである。

特に、サッカーやテニス、バレーボール、野球といった球技系スポーツ種目では、周囲の状況がめまぐるしく変化するため、選手はその変化に適切に対応することが求められる。これらの種目の選手は、高速で動くボールや敵及び味方選手等に関する情報を獲得しなければ、優れたスポーツパフォーマンスを発揮することは難しい。ボールや敵及び味方の情報は主に視覚を通して獲得し、それに基づいて意思決定を行い、最終的な行動を起こす。

そもそも、人間は外界における様々な情報や刺激を、感覚器を介して受容し、知覚・認知している。特に、眼球という外的受容器を通して知覚される視覚情報は、日常生活を送る上で必要とされている情報量の約 80% を占めている (高橋, 2005)。スポーツ場面にお

いては、例えば、野球の場合、時速 140km 以上の球速や多彩な変化球を正確に打ち返す必要があり、野球選手の視覚認知活動が競技力と深い関係にあることは分かっている (Bahill & LaRitz, 1984). また、サッカーの場合、プレイヤーはボールの位置やスピード、仲間の所在する位置や自分との距離、相手選手の所在する位置や自分・仲間との距離など、時間的・空間的な情報を収集し、瞬時に判断し、行動を起こさなければならない (Williams, Davids, Burwitz, & Williams, 1994). そのため、スポーツ競技においては、高い視覚認知能力が必要条件と考えられている.

以上のように、視覚機能とそれに続く予測判断能力のメカニズムの解明、またそれを鍛える予測判断能力トレーニングの発展がスポーツの現場において期待されている.

1-2 研究小史

1-2-1 予測の重要性

今日の知覚-運動に関する領域においては、熟練者と非熟練者のパフォーマンスの違いが主要な研究課題の一つである. その要因の一つとして、プレイヤーの認知面が挙げられている. 中川 (1984) は先行研究において、厳しい時間的制限下で行為しなければならないことが多いボールゲームにおいて、プレイヤーが行う状況判断過程を概念的モデルで示した (図 1-1). そして、このモデルから「予測」の重要性を説いた.



図 1-1 : ボールゲームにおける状況判断の過程に関する概念的モデル

このモデルによると、まずゲーム状況の分析・評価として、選択的注意により外的環境からの情報が抽出され、その状況が認知されることから起こるであろうことが予測される。そして、その予測に基づき自己のプレイが決定される。すなわち、環境の中から予測に役立つ手がかりを検出し、相手の次の動作を早い時期に正確に「予測する」ことができれば、自分のプレイの決定や遂行により多くの時間を充てることができ、効果的なプレイを選択できる可能性が高まると言える。

このモデルを、厳しい時間的制限下で行われるテニスサービスのレシーブ場面に当てはめてみる。まず、相手サービスの構えと動作、さらには外的環境を総合的に知覚し（選択的注意）、そこから抽出された情報を処理（認知）。そして、適切なサービスのボールコースを予測し（予測）、予測されたボールの対処に基づいて行動を決定する（プレイに関する決定）。最後に、サービスされたボールを返球するための適切な動作を出力する（プレイの遂行）。

1-2-2 スポーツを題材とした予測に関する先行研究

スポーツ場面での「予測」についての先行研究を概観すると、Singer, Williams, Frehlich, Janelle, Radlo, Barba, and Bouchard (1998) や Williams, Ward, Knowles, and Smeeton, (2002) によっては行われているもののフィールドでの実験は数少なく、実験室においてプレイヤーがプレイ中に直面する視覚的な情報をシミュレートした映像を用いる実験が一般的である。

(i) 予測の時期についての先行研究

予測の時期に関しては、時間的遮蔽法 (temporal occlusion paradigm) と反応時間計測手法 (reaction time paradigm) がよく用いられている。時間的遮蔽法とは、Haskins (1965) が考案したとされ、Abernethy (1990) や Farrow and Abernethy (2003) など多くの研究者によって用いられている。これは、相手がプレイしている映像を特定の時点で消失さ

せ、これを観察している実験参加者に、その系列の最終的な結果を予測させるというものである。この映像を遮蔽する、すなわち消す時点を数段階設け、各時点での予測正確性が時間経過とともに推移していく様子をもとに、予測していると推測される時期を検討しようとしているものである。次に、反応時間計測手法は、武田と古田（2004）や奥田（1995）によって用いられているが、時間的遮蔽法より少ない。この手法は、実験参加者が相手動作を観察し、その系列の最終的な結果を予測し、それに対応した行動をとるまでの時間（反応時間）を測定するものである。

以上の二つの手法を用いて、予測に重要な時期を特定しようとする研究が行われてきた。予測に重要な時期とは、つまり、予測に必要な情報（予測手がかり）が出現した時期であるといえる。Farrow et al.（2003）は、テニス熟練者とテニス非熟練者を対象に、時間的遮蔽法を利用し、ビデオ映像を用いたテニスサーブのコース予測実験から予測正確性を求めた。その結果、テニス熟練者は、ラケットとボールが当たる以前、つまり、インパクト以前に予測しており、一方、テニス非熟練者は、インパクト以前には予測できていないということを報告している。また、武田ら（2004）は、テニス熟練者及びテニス中級者を対象に、反応時間計測手法を利用し、ビデオ映像を用いたテニスサーブのコース予測及び球種予測実験から予測正確性を求め、両実験参加者ともコース予測をインパクト以前に行っており、時間とコース予測正確性の間に、時間の経過とともに予測の正確性が増すトレードオフ関係が認められたと報告している。

以上、時間的遮蔽法及び反応時間計測手法から、熟練者はインパクト以前に予測手がかりを獲得していることが示唆された。

（ii）予測手がかりについての先行研究

予測手がかりに関しては、アイマークレコーダー（アイカメラ）を利用する手法や空間的遮蔽法（spatial occlusion paradigm）が用いられている。アイマークレコーダーは、Abernethy（1990）、Singer et al.（1998）や Fukuhara, Ida, Kusubori and Ishii（2009）

の研究で用いられており、相手がプレイしている映像を観察し、どこに注視点があるのか、また、視線をどのように動かしているのかといった視線探査パターンを計測するものである。次に、空間的遮蔽法は、Abernethy et al. (1987) や武田ら (2004) によって用いられている。この手法とは、相手の身体部位の一部を塗りつぶして見えないように遮蔽（編集）した映像を被験者に呈示し、その系列の最終的な結果を予測させるものである。被験者が遮蔽された場所から情報を得ることはできないため、ある場所を遮蔽し、その予測正確性が他の遮蔽条件よりも低ければ、その遮蔽した場所が重要な情報を提供しているということになる。つまり、その遮蔽した場所が、予測手がかりであるということができる。

以上の二つの手法を用いて、予測に重要な場所を特定しようとする実験が行われてきた。Fukuhara et al. (2009) は、テニスサーブの視線探査パターンを、アイマークカメラを用いて実験し、テニス熟練者は、ラケットと身体の間（ラケット-ボールコンタクトエリア）に長い間視線を配置していたことを報告している。また、Goulet, Bard and Fleury (1989) は、テニスサーブ動作のフォワードスイング期において、テニス熟練者はラケットまたは、トスされたボールと身体の間注視点を集中させていることを報告した。また、武田ら (2004) は、テニスサーブの空間遮蔽法を用いて、予測手がかりを見つける実験において、コース予測に有効な手がかりは、ボールとラケット腕であることを報告している。

以上、アイマークレコーダーと空間的遮蔽法から、ラケット及びラケット腕、ラケット-ボールコンタクトエリアが予測手がかりになることが示唆された。

(iii) 予測とキネマティクスの関係

従来この分野の研究では、ビデオ映像を使つての実験が主流であった。しかし近年、ポイントライトディスプレイ（以下：PLD）を用いた「予測」の研究が行われている。PLDとは、人体の関節中心のみを光点表示させた映像のことである。PLDでは、映像の観察者は、関節中心の光点表示のみの情報しか得ることができず、キネマティクス情報以外のものを獲得することができない。では、なぜ光点表示からキネマティクス情報が得られるの

かという、「バイオロジカルモーション」と呼ばれる現象があるからである。バイオロジカルモーションとは、ある 2 つの点が同じ距離を保ったまま画面上を動いているとする。すると人間の脳は、2 点があたかも線で繋がっているかのように、点と点の間を補完して捉えるという現象である。この現象を利用し、人体のランドマークとなる点を光点表示する。すると、映像の観察者は、点と点を線で補完し、その光点から人間が動作していると認知できるのである。

PLD を呈示映像として行われた先行研究では、キネマティクス情報から人間が走っているのか、または歩いているのかを見分けることができると報告がある (Johansson, 1973)。さらに、Atkinson, Dittrich, Gemmell and Young (2004) は、キネマティクス情報から、観察している相手の喜びの感情、悲しみの感情を見分けることができると報告している (Dittrich, Troscianko, Lea, & Morgan, 1996)。また、Cutting and Kozlowski (1977) は、PLD を用いて認知の研究を行い、観察者自身の動作か観察者以外の動作かを見分けることができ、さらには、観察者にとって身近な人物かそうでないかを見分けることができると報告している。つまり、人間は、キネマティクス情報だけで、観察している現象を認知ができるということである。

この認知機能を応用し、スポーツ場面の予測の研究において PLD は利用されている。Williams, Huys, Canal-Bruland and Hagemann (2009) は、テニスのグランドストロークの打球コース予測実験から、観察者はチャンスレベルを超えて打球方向を予測できると報告している (Shim, Carlton, Chow, & Chae, 2005)。つまり、観察者は予測に必要な手がかりをキネマティクス情報から得たということである。次に、Abernethy and Zawi (2007) は、バドミントン熟練者及び非熟練者を対象に、時間的遮蔽法と空間的遮蔽法を用いて、PLD からの打球のコース予測実験を行なった。時間的遮蔽法から、熟練者の予測の時期は、インパクト以前であり、非熟練者はインパクト後であると報告している。また、空間的遮蔽法から、熟練者は下半身及びラケットのキネマティクス情報が予測手がかりであると報告した。つまり、バドミントンやテニス、スカッシュなどのラケットスポーツに

において、体幹やラケットなどのキネマティクス情報が、予測を成功させる上で重要な場所であると示唆された。これは、ビデオ映像による実験で検証された報告と同様である。

これまでの予測の議論において、バドミントンやテニス、スカッシュなどのラケットスポーツの予測手がかりに関しては、ひとまとめにして議論されてきた。しかし、そこには競技特性というものが存在するはずである。Williams et al. (2009) は、テニス熟練者及び非熟練者を対象に、PLD を用いて、テニスストロークの打球コース予測実験から、熟練者は予測に用いている部位はより体の中心であり、一方、非熟練者はラケットなど末端部分であったと報告している。Savelsbergh, Williams, Van der Kamp, Ward (2002) は、熟練ゴールキーパーの視線が、キッカーの蹴り足やボールなど末端部分に配置されているのに対して、初級者では体幹付近に分布することを報告している。また、井田と福原、石井、井上 (2007) は、同じラケットスポーツであるテニス熟練者とソフトテニス非熟練者とを比較し、予測のメカニズムが違うことを報告している。つまり、競技それぞれに予測パターンがあり、競技特性の存在が考えられる。

1-3 本研究の目的

先行研究から、ビデオ映像を用いた予測実験において、予測の時期や予測手がかりの場所が明らかになっており、また、PLD を用いた予測実験において、予測するにはキネマティクス情報を利用していることも明らかになった。しかし、実験参加者が、相手動作のどのキネマティクスを予測に利用しているのかということは明らかになっていない。よって、本研究の目的は、厳しい時間制限を受けるボールゲームの代表である、テニスのサービスレシーブ場面において、サービスの打球コース予測とキネマティックパラメータとの関係を明らかにすることである。

実験 1 において、時間的遮蔽法を用いて、テニス熟練者とテニス非熟練者のテニスサービスの予測実験を行う。Farrow et al. (2002) の遮蔽条件を参考に、テニスサービス動作

の呈示映像を作成する。先行研究では、サーバーが打球するコースは2コースがほとんどである。しかし、今回予測の実験をするにあたり、サーバーが打球するコースを3コースに設定する。そして、実験参加者が3コースでもコース予測ができるかどうかを検証する。また、先行研究の多くは択一による反応課題である。今回、予測するコースを3コースに増やしたため、より直感的な反応が可能必要だと考えられる。よって、その反応が可能である Visual Analog Scale (以下:VAS) を用いる。予測実験において、VAS はほとんど用いられていない。そこで、今回択一による反応と VAS による反応を比較、検討し、予測実験において VAS が使用できるかどうかを検証する。

実験2において、予測に影響を与える相手キネマティックパラメータを解明するために、テニス熟練者とテニス非熟練者を用いて、テニスサービスの予測と相手サービス動作のキネマティックパラメータとの関係を比較、検討する。

実験3において、先行研究では、テニスやバドミントン、スカッシュといったラケットスポーツ全般において、同系競技とし、予測の方略を一つにまとめて議論されている。しかし、道具が違えば動作が変化することは容易に考えられる。また、動作が異なれば、予測のメカニズムも変わってくるものが考えられる。よって、同系競技であるテニス熟練者とソフトテニス熟練者において、テニスサービスの打球コース予測の予測正確性及びその予測と相手サービス動作のキネマティックパラメータとの関係を比較、検討し、競技特有の知覚パターンの有無を確認する。

第 2 章

実験 1. 時間的遮蔽法を用いた
テニスサーブ動作のコース予測
—選択式と Visual Analog Scale を用いて—

2-1 緒言及び目的

中川 (1997) がモデリングした、厳しい時間制限下で行為しなければならないボールゲームのプレイヤーが行う状況判断過程においては、「予測」の重要性が説かれた。つまり、適切な予測が早い段階で完了出来れば、その後続く自分のプレイの決定や遂行により多くの時間を充てることができ、効果的なプレイをする可能性を高めることができるということである。今回、厳しい時間的制限を受ける代表として、テニスのサービスレシーブを対象にした。現在のテニスサービスの速度は、ラケットの進歩などにより、男子のトッププロでは 240km、一般プレイヤーでも 170km を超えると言われている。そのため、サービスが打たれてからレシーバーにボールが到達するまでの時間は、せいぜい 0.6~0.7 秒程度である。すなわち、レシーバーはこの限られた時間の中で、レシーブが可能な位置まで移動し、レシーブ動作を行わなければならない。したがって、レシーブエースなどの有効打を行うためには、サービスのコースを正確かつ早く予測することが必要となる。サーバーがコースや球種を打ち分けることができるのは、トスの位置や、回転のかけ方、体の使い方などを変化させているからであり、逆にその変化を見分けることが出来れば、適切な予測ができると考えることができ、先行研究によって、テニス熟練者は、インパクトより前に、相手の動作パターンから次に起きる事象を予測できることが明らかになっている。

テニスサーブの予測実験の先行研究では、よく時間的遮蔽法が用いられ、今回の実験においても時間的遮蔽法を使用する。今回、Farrow et al. (2003) の遮蔽条件を参考に、テニスサービス動作の映像を作成した。Farrow et al. (2003) の報告によると、レディポジションからトスが手から離れるまでとレディポジションからトスが最高点に達するまで、そして、レディポジションからバックスクラッチポジションまでの 3 つの時間遮蔽条件において、それぞれは予測の正確性に差が認められず、また、チャンスレベル (50.0%) も超えなかった。そのため、今回の提示映像作成時には、レディポジションからバックスクラッチポジションまでをインパクト以前の事象の代表とし、他の 2 つの時間遮蔽条件を採用しない。また、Farrow et al. (2003) の実験では、レディポジションからインパクトま

でを時間遮蔽条件としていたが、今回は、レディポジションからインパクトの1フレーム前までとした。Fukuhara et al. (2009) の報告によると、インパクト時で遮蔽することは民生用デジタルビデオカメラでは不完全であり、実験参加者はインパクト時のボールの変形を知覚し、予測に役立っていると報告している。したがって、ボール飛行情報を完全に取り去るために、今回の作成する呈示映像ではラケットとボールが当たらないように遮蔽する（インパクトの1フレーム前で遮蔽）。

また、ビデオ映像を用いての予測実験では、センターまたはワイドの二者択一課題が大半である。しかしながら、テニスの実践場面におけるサービスでは、センターとワイドの二者択一だけでなく、ボディサーブと言われる、体の正面へのサービスもある（全米テニス協会編, 2006）。ボディサービスを打たれることによって、レシーバーの選択肢は、2つから3つに増え、レシーバーは予測が困難になる。そのため、サーバーは、試合を有利にすすめることができる。しかし、ボディへのサービスは諸刃の剣でもある。ボディへのサービスが予測されてしまうと、レシーバーがレシーブポジションに動く手間が省け、有効打を打たれる危険性が高まる。実践場面において、ボディへのサービスを予測し、有効打を返球している場面をしばしば目にする事から、3コースに増えたとしても予測することは可能であると考えられるため、今回はセンター、ボディ、ワイドの3コースの予測実験を行う。また、今日までの先行研究では、選択方式による予測実験が行われてきたが、この方法では、例えば、センターとワイドの間にボールが飛行してきたら、実験参加者の判断が分かると考えられる。その危険性を取り除くために、Visual Analog Scale（以下：VAS）を用いる。VASとは、左端を0、右端を100とする、ある長さを持った線に、記入者がチェックをする。記入者がチェックしたところまでの長さを計測し、記入者の状態を把握するというものである。この方法を用いれば、中間の予測であっても、被験者のより直感に近い予測の結果が得られると考える。

以上より、本研究の目的は、テニス熟練者とテニス非熟練者を対象に、厳しい時間制限を受けるボールゲームの代表である、テニスのサービスレシーブ場面においてサービスの

打球コースを予測する実験から、テニス熟練者及びテニス非熟練者の予測スキルを比較、検討する。そして、3 コースの反応課題においても、予測できるのか、また、今回新たに VAS による反応を導入し、従来からの選択式と比較し、予測実験で利用出来るかを検証する。

2-2 方法

対象

テニス熟練者は、某 W 大学庭球部に所属する男子現役選手 12 名（年齢：19.58 ± 0.95 歳，テニス歴：11.08 ± 2.60 年；平均 ± SD），テニス非熟練者は、健常男子大学生及び大学院生 12 名（年齢：23.2 ± 1.57 歳；平均 ± SD）を対象とした。テニス熟練者は、過去に全国大会等で活躍した経験を持つ者とした。テニス非熟練者は、過去にテニススクールに通うなど専門的なテニスのコーチングを受けた経験を有さない者とする。

研究に際して、早稲田大学スポーツ科学学術院倫理委員会の承認を受けた。対象者には、研究概要の説明を文章及び口頭にて行い、参加の同意を得た。

呈示映像作成

呈示する映像のモデルは、男子プロテニス選手 1 名（年齢：25 歳，テニス歴：14 年，JTA ランキング：23 位；2010 年 12 月）とする。動作撮影の前に実験参加に対する同意を得た。

図 2-1 に撮影状況の模式図を示す。

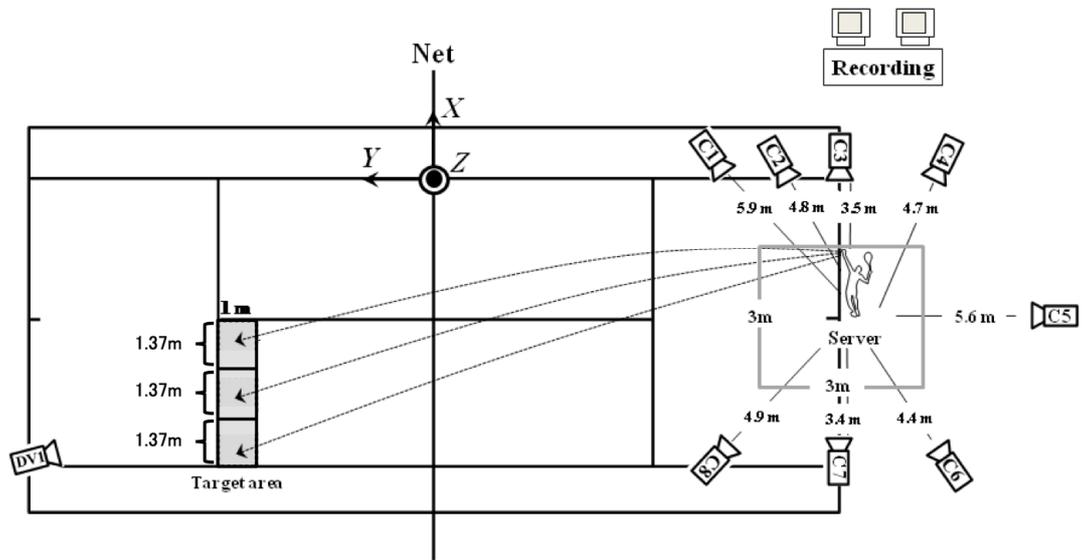


図 2-1 : Camera Set Up

試技の撮影は、デュースサイドから打つサービスに対してレシーブする場面を想定し、民

生用デジタルビデオカメラ（30Hz：Everio GZ-HD3；ビクター社製）を用いて撮影した。デジタルビデオカメラを設置する位置は、サーバーの位置からネットを挟んだ相手デュースサイドコートシングルスサイドラインとベースラインが交わる点とした。また、カメラの高さは、レシーバーの目線の高さと同じになるよう 1.6m とした。また、同時に 8 台の光学式モーションキャプチャ装置（200Hz：Hawk；Motion Analysis 社製）を用いて撮影し、サービスモーションのキネマティクスを獲得した。この時、サーバーに 41 個、ラケットに 5 個（ラケットヘッド①、ラケットサイド②、ラケットフレームエンド①、グリップエンド①、ダミーマーカー①）、ボールに 1 個、計 48 個のマーカーを貼付した（図 2-2、図 2-3、図 2-4）。光学式モーションキャプチャ装置による撮影エリアは、3m（X：ベースライン方向）×3m（Y：サイドライン方向）×3m（Z：高さ）とした。

撮影試技は、サーバーの最大努力のサービスであり、デュースサイドから 3 コース（センター、ボディー、ワイド）に打ち分けられるサービスとし、成功試技が各コース 5 試技になるまで撮影し、記録した。

記録された映像を、動画編集用ソフト（Adobe Premiere Elements 7.0；Adobe 社製）に取り込み、記録した 1 映像につき 3 段階の遮蔽を行なった（図 2-5）。遮蔽のタイミングは、以下の通りである

t1：サービスレディポジションからバックスクラッチポジションまで

t2：サービスレディポジションからインパクトの 1 フレーム前まで

t3：サービスレディポジションからインパクト後 2 フレームまで

以上から各コース 15 試技、計 45 試技を呈示映像として、AVI フォーマットとして保存した。

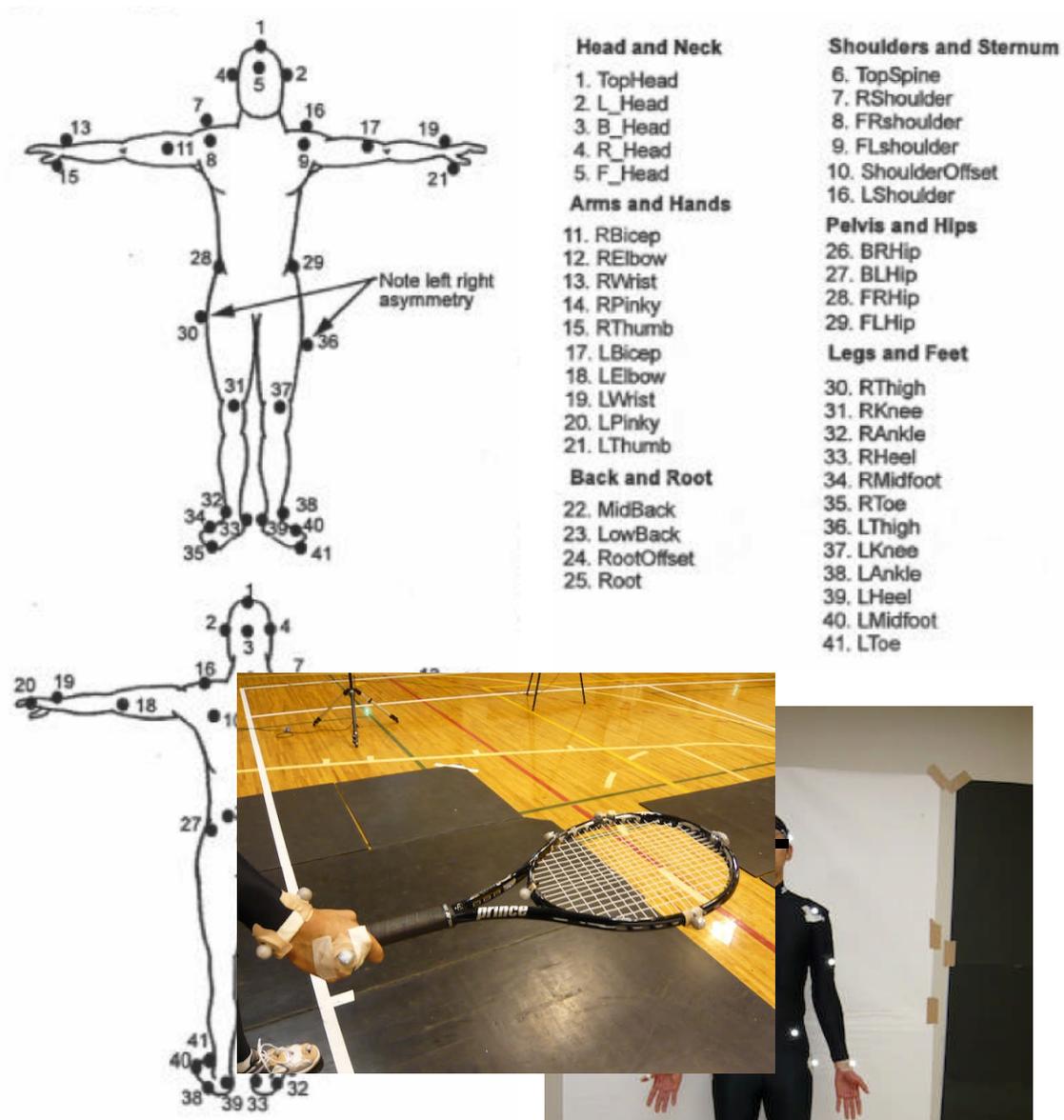


図 2-3 : ラケットマーカ―貼付位置



図 2-4 : ボールマーカ―貼付位置

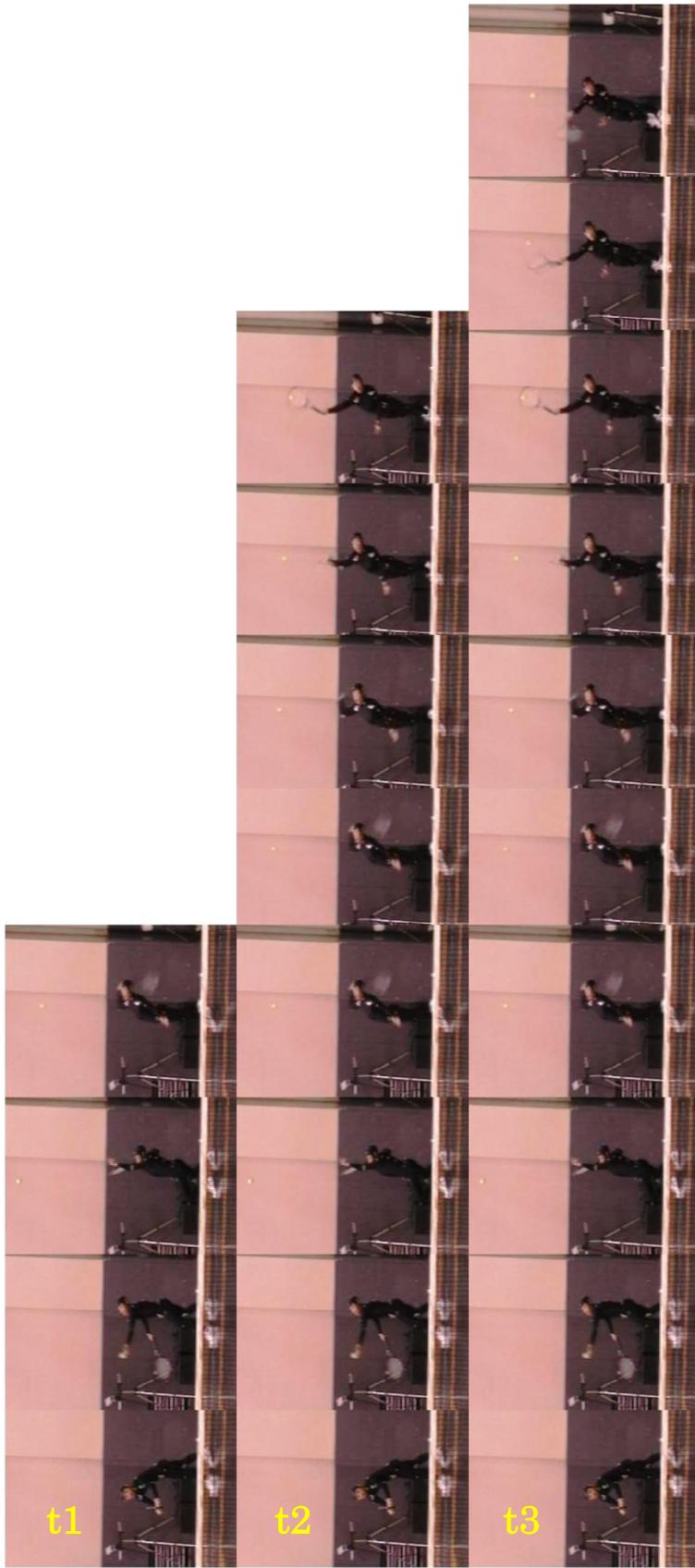


図 2-5: 時間的遮蔽法

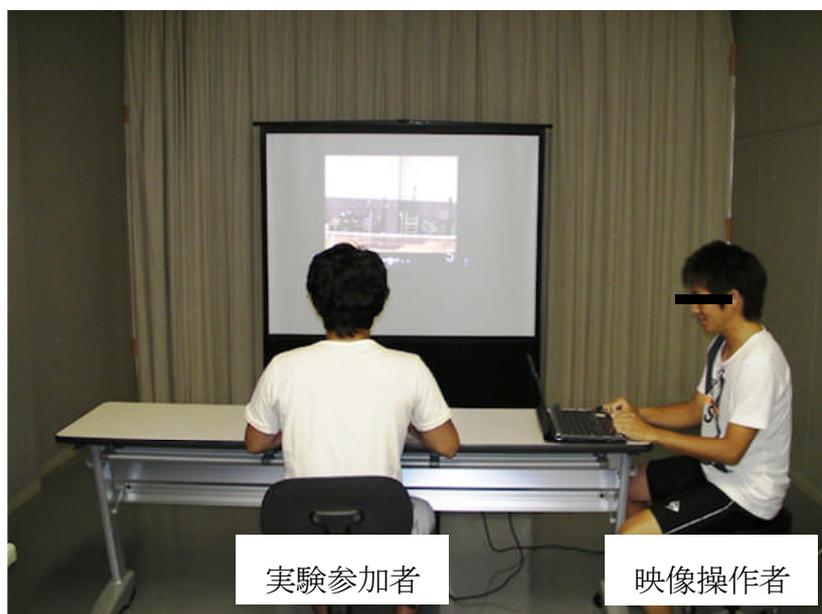
t1 : サービスレディポジションからバックスクラッチポジションまで

t2 : サービスレシポジションからインパクト 1 フレーム前まで

t3 : サービスレディポジションからインパクト後 2 フレームまで

実験手順

実験参加者は、スクリーン (RS-80 ; IZUMI 社製) から 3m 離れたところに椅子に座り、プロジェクタ (vp6110 ; 日本ヒューレット・パッカー社製) により映し出されるサービス映像をレシーバーの立場となり観察した (図 2-6)。スクリーンに映し出される映像は、視野角を実場面と同じになるように、サービスのインパクト時の足先からラケットの先端までが 30cm の大きさになるように設定した。実験参加者は、映像終了後すぐにセンター、ボディ、ワイドの三者択一によるコース予測及びサービスラインの長さが VAS の長さに対応しているとする VAS によるコース予測をレスポンスシートに記入した。呈示映像は、ランダムに呈示されるビデオ映像 45 試技とした。全ての映像終了後にアンケートに記入した。



データ解析

記録された三者択一のコース予測は、テニス熟練者及びテニス非熟練者それぞれに、t1, t2, t3 時の遮蔽条件ごとに三者択一判断を行なった正確性とし、百分率で算出した。また、VAS のコース予測では、VAS の長さがサービスラインの長さに対応しているため、VAS を三等分し、センター、ボディ、ワイドとした。テニス熟練者及びテニス非熟練者それぞれに、t1, t2, t3 時の遮蔽条件ごとに VAS 判断を行った正確性とし、百分率で算出した。

統計学的処理

三者択一によるコース予測及び VAS によるコース予測において、それぞれの予測記録方式ごとに二元配置分散分析（スキルレベル②×遮蔽タイミング③）を、予測正確性について主効果及び交互作用の検討を行った。さらに、有意な主効果及び交互作用が確認された要因においては、一元配置分散分析を用いて、事後検定を行った。また、それぞれの予測方式について、テニス熟練者及びテニス非熟練者の遮蔽条件ごとに、1 サンプルの T 検定（検定値：33.33%）によるチャンスレベル検定を行った。

2-3 結果

三者択一によるコース予測判断及び VAS によるコース予測判断における予測のタイミ

ングを検討するために、スキルレベル②×時間遮蔽条件③による二元配置分散分析を、予測正確性について行った。分析の結果を表 2-1、表 2-2 に示す。

三者択一によるコース予測判断については、時間遮蔽条件に有意な主効果 ($F(2,21)=20.45, p < .01$) が認められた。そこで、その主効果に対して、一元配置分散分析の Bonferroni による事後検定を行い、以下のような結果を得た (表 2-3)。t1 遮蔽条件と t3 遮蔽条件の間 ($p < .01$)、t2 遮蔽条件と t3 遮蔽条件の間 ($p < .01$) に有意差が認められた。

次に、VAS によるコース予測判断については、時間遮蔽条件に有意な主効果 ($F(2,21)=23.72, p < .01$) が認められた。そこで、その主効果に対して、一元配置分散分析の Bonferroni による事後検定を行い、以下のような結果を得た (表 2-4)。t1 遮蔽条件と t3 遮蔽条件の間 ($p < .01$)、t2 遮蔽条件と t3 遮蔽条件の間 ($p < .01$) に有意差が認められた。

三者択一によるコース予測判断と VAS によるコース予測判断において、テニス熟練者及びテニス非熟練者の遮蔽条件ごとの予測正確性について結果を得た (図 2-7, 図 2-8)。それぞれの予測正確性について、1 サンプルの T 検定 (検定値: 33.33%) によるチャンスレベル検定を行い、以下のような結果を得た (表 2-5)。三者択一によるコース予測判断のテニス熟練者においては、t3 ($p < .01$) 遮蔽条件において、有意にチャンスレベルを超えた。テニス非熟練者においては、t1 遮蔽条件 ($p < .05$) 及び t3 ($p < .01$) 遮蔽条件において、有意にチャンスレベルを超えた。VAS にコース予測判断のテニス熟練者においては、t2 遮蔽条件 ($p < .05$) 及び t3 ($p < .01$) 遮蔽条件において、有意にチャンスレベルを超えた。テニス非熟練者においては、t3 ($p < .01$) 遮蔽条件において、有意にチャンスレベルを超えた。

表 2-1 : 二元配置分散分析 (三者択一によるコース予測)

	df	F-value	p-value	
time	2	20.453	0.000	**
time × skill	2	0.143	0.867	n.s.

** : $p < 0.01$, n.s. : $p > 0.05$ 20

表 2-2 : 二元配置分散分析 (VAS によるコース予測)

	df	F-value	p-value	
time	2	23.718	0.000	**
time × skill	2	0.027	0.973	n.s.

** : $p < 0.01$, n.s. : $p > 0.05$

表 2-3 : 主効果の事後検定 (三者択一によるコース予測)

	t1-t2		n.s.	t1-t3		**	t2-t3		**
	平均値の差	P値		平均値の差	P値		平均値の差	P値	
三者択一	0.056	0.555		-0.181	0.000		-0.236	0.000	

** : $p < 0.01$, n.s. : $p > 0.05$

表 2-4 : 主効果の事後検定 (VAS によるコース予測)

	t1-t2		n.s.	t1-t3		**	t2-t3		**
	平均値の差	P値		平均値の差	P値		平均値の差	P値	
VAS	0.008	1.000		-0.175	0.000		-0.183	0.000	

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$, n.s. : $p > 0.05$

表 2-5 : 予測正確性

三者択一課題	t1	t2	t3
Expert	42.8 ± 15.7	38.9 ± 10.8	62.8 ± 13.7**
Novice	40.6 ± 8.8*	33.3 ± 13.1	56.7 ± 12.9**
VAS課題	t1	t2	t3
Expert	42.2 ± 15.5	40.6 ± 9.2*	59.4 ± 13.5**
Novice	35.6 ± 9.6	35.6 ± 11.0	53.3 ± 9.8**

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$, n.s. : $p > 0.05$

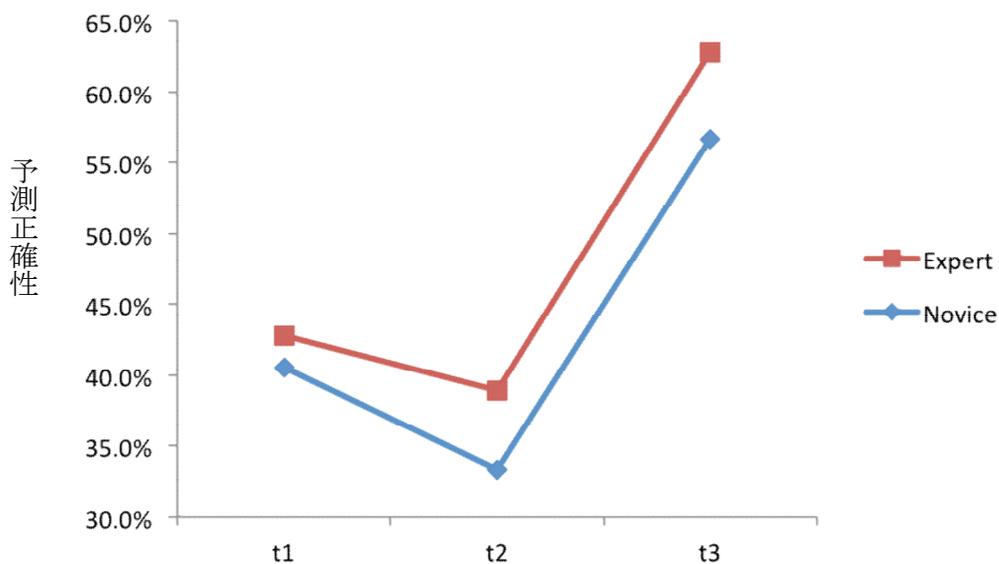
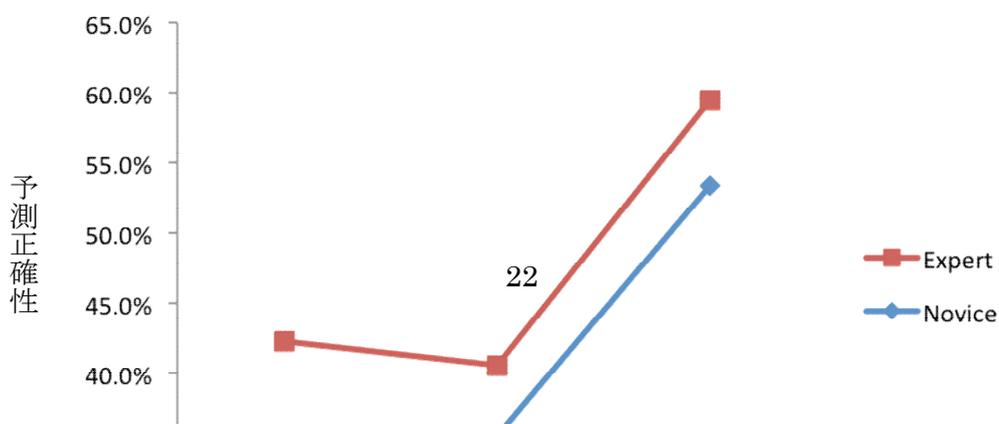


図 2-7 : 予測正確性 (三者択一によるコース予測)



2-4 考察

三者択一によるコース予測判断及びVASによるコース予測判断において、それぞれに予測の正確性と時間遮蔽条件の間に有意な主効果が認められた。事後検定によって、t2 遮蔽条件から t3 遮蔽条件にかけて予測手がかりが出現したと考えられる。また、それぞれについて、チャンスレベル検定を行った結果、三者択一によるコース予測判断及びVASによるコース予測判断の t3 遮蔽条件で、予測正確性が有意にチャンスレベルを超えた。先行研究において、サーブ動作のインパクト後のボール飛行情報を予測手がかりとして利用したとする報告がある (e.g., Abernethy et al., 1987, Farrow et al., 2002, 武田ら, 2004)。今回の実験の t3 遮蔽条件における遮蔽条件は、先行研究と比較して、早めに遮蔽されているため、ボール飛行から得られる情報は少ない。しかし、実験参加者はボール飛行情報を予測手がかりとすることができ、予測できたと考える。また、多くの先行研究では、サーブ後のボールがネットを超えるまでボール飛行情報があったとしても、予測の正確性は、75～90%である。これは、映像実験による予測正確性の限界ではないかと言われている。今回は、テニス熟練者であっても、t3 遮蔽条件における予測正確性は、60%前後であった。先行研究と比較し、予測正確性に関係があるが、これは、今回採用した遮蔽のタイミングがインパクト後 2 フレーム後と早かったためであると考えられる。

次に、VASによるコース予測判断における、テニス熟練者の t2 遮蔽条件において、予

測正確性が有意にチャンスレベルを超えた。先行研究では、熟練者はインパクトという決定的な事象が起こる前に、今までの相手動作パターンから、次に起こる事象を予測できると報告している (e.g., Abernethy et al., 1987, Farrow et al., 2003, Williams et al., 2002)。今回の実験でも、テニス熟練者は、インパクト以前の動作から予測手がかりを知覚し、それを予測に役立てたと考えられる。しかし、三者択一によるコース予測判断におけるテニス熟練者の t2 遮蔽条件ではチャンスレベルを超えなかった。これは、今回の映像が従来の二者択一によるコース予測判断ではなく、三者択一によるコース予測判断であったことが考えられる。右か左というように大きくコースを分けた場合、呈示映像を獲得する撮影において、サーブを行うモデルはターゲットエリアを狙うので、右か左の間にボールを飛ばすということは考えにくい。しかし、今回のような 3 コースにサーブを打つ場合は、それぞれのコースの間にボールが打球される可能性が考えられる。そのため、テニス熟練者であっても、中間の判断で迷ったと考えられる。しかしながら、VAS によるコース予測判断では、中間の判断であっても、実験参加者が直感的に判断できた。そのため、t2 条件における VAS によるコース予測ではチャンスレベルを超え、三者択一によるコース予測判断ではチャンスレベルを超えなかったと考えられる。

三者択一によるコース予測判断においてテニス非熟練者の t1 遮蔽条件時に予測正確性が有意にチャンスレベルを超えた。先行研究では、非熟練者は、インパクト以前に予測正確性がチャンスレベルを超えるという報告は見当たらない。今回、テニス非熟練者が、t1 条件において、チャンスレベルを超えたことに対して考えられることとして以下の点が考えられる。今回実験に参加したテニス非熟練者は、t1 条件時にセンターと回答する者が多数存在した。今回呈示映像のモデルとなった選手は、プロで活躍しており、レシーバーに打球コースを見分けられないような動きを獲得していた。つまりその動きとは、トスアップ時に体をねじり、トロフィーポジションを作り、あたかもセンターにボールを打球するような構えからのサービス動作である。この動作は、肩の開きを抑え、レシーバーにサーブのコースを読みにくくすることとサーブのスピードを増加させるための動作である

(Bollettieri, 2005). その結果, テニス非熟練者は, センター方向にボールが打球されると予測したと考える. また, 今回の呈示映像は, 45 試技であり, 先行研究と比較し呈示映像が少なかったこと. この 2 つの点から, 結果的にチャンスレベルを超えたと考えられる. しかし t1 条件時に, より直感的な判断ができる VAS によるコース予測判断においては, テニス非熟練者は, チャンスレベルを超えていない. つまり, センターとボディの中間の判断で迷ったと考えられる.

今回の実験では, t1 遮蔽条件から t2 遮蔽条件において, テニス熟練者及びテニス非熟練者ともに予測正確性が低下傾向にある. これは, しばしば先行研究でも報告されており, この研究分野でのミステリーとなっており, 明らかになっていない. このミステリーについて考えられることとして, Rowe, Horswill, Kronvall-Parkinson, Poulter and McKenna (2009) は, 打球する直前の「だまし」の動作が, 予測正確性の低下に影響を与えることを報告にあるようにフェイント動作の影響や t1 遮蔽条件から t2 遮蔽条件にかけて一気に動作の速度が上がった結果, 予測手がかりにマスクがかかった可能性, また, 相手動作の予測手がかりが無数に存在し, レシーバーが情報のオーバーフローを起こした可能性など様々なことが考えられる. しかし, このミステリーを解明する手段は, 今のところ分かっていない.

以上をまとめると, 三者択一による反応では, テニス非熟練者において, t1 遮蔽条件で有意にチャンスレベルを超え, テニス熟練者において, t2 遮蔽条件でチャンスレベルを超えなかった. しかし, VAS による反応ではテニス非熟練者は t1 遮蔽条件でチャンスレベルを超えることはなく, テニス熟練者において, t2 遮蔽条件で有意にチャンスレベルを超え, 先行研究と同様の結果を得た. つまり, より直感的な判断ができる VAS による反応の方が 3 コースと予測するコースが増えたときに有用であることが明らかになった. また, 3 コースでもテニス熟練者は予測できることが明らかとなった.

第 3 章

実験 2. 時間的遮蔽法を用いた テニスサーブ動作の コース予測, スピード予測, 回転量予測と キネマティックパラメータの関係

3-1 実験 2-1. テニス熟練者とテニス非熟練者の検討

3-1-1 緒言及び目的

先行研究及び実験 1 の VAS による判断の結果から、テニス熟練者は、ラケットとボールが当たるより前に相手動作パターンから、予測手がかりを知覚し、予測に利用していることが明らかになった。また、視線探査パターンや空間的遮蔽法から、予測手がかりの場所が分かり、PLD を用いた予測判断の研究結果から、キネマティック情報を知覚していることが明らかになっている。しかし、どのキネマティックパターンが予測にどの程度影響を与えているのかという研究は、未だ行われていない。

先行研究により、熟練者は、体の中心である体幹やラケット腕、ラケットから予測手がかりを得ている。また、非熟練者は、ラケットなど末端情報から情報を得ている（武田ら，2004, Abernethy and Zawi, 2007）。つまり、ラケットは、両実験参加者ともに知覚できる場所であった。なぜなら、サービスはラケットでボールを打球するので、ラケットは最終的な事象を起こす直接的な原因だからである。また、テニスサービスにおいて、サーバーによるフォワードスイング期の上肢の運動は、ラケットヘッド速度に大きく貢献していること（Gordon & Dapena, 2006）や手首の背屈から橈屈，回外，尺屈，掌屈，回内と運動が連鎖し，そして，ラケットへと動作が現れること（湯海，2000）が報告されている。またその視覚情報はレシーバーにとって重要な予測手がかりとなっていることが報告され

ている (Shim, Carlton, & Kwon, 2006, Singer, Cauraugh, Chen, Steinberg, & Frehlich, 1996). よって, 予測手がかりの切り口から, サービス動作を考えたとき, ラケット情報が重要であり, バイオメカニクスの切り口で考えたとき, ラケット動作が打球後のボールに影響を与えていることからラケットの貢献度は高いと言える. つまり, ラケットキネマティクスがレシーバーの知覚に影響を与えているだろうということが考えられる.

そこで本研究は, 最終的に力や動きはラケットに伝達されるという一連のテニスサーブ動作の背景とテニス熟練者及びテニス非熟練者ともに, ラケットキネマティクス情報を予測手がかりとしていることから, ラケットキネマティクスパターンと VAS によるコース予測とスピード予測, 回転量予測との関係を明らかにすることを目的とする.

3-1-2 方法

対象

実験 1 に同じ.

呈示映像作成

実験 1 で作成した映像を使用した.

実験手順

実験参加者は, スクリーン (RS-80; IZUMI 社製) から 3m 離れたところに椅子に座り, プロジェクタ (vp6110; 日本ヒューレット・パカード社製) により映し出されるサービス映像をレシーバーの立場となり観察した (図 2-6). スクリーンに映し出される映像は, 視野角を実場面と同じになるように, サービスのインパクト時の足先からラケットの先端までが 30cm の大きさになるように設定した. 実験参加者は, 映像終了後すぐにサービスラインの長さが VAS の長さに対応しているとする VAS によるコース予測, スピード予測, 回転量予測をレスポンスシートに記入した. 呈示映像は, ランダムに呈示されるビデオ映

像 45 試技とした。

データ解析

今回用いる VAS スコアは、t2 条件のスコアを用いる。得られる VAS スコアは、レスポンスシートを 100 等分しているため、0 から 100 までの間の数値とした。また、光学式モーションキャプチャ装置により撮影されたサーバーのサービ動作のラケットキネマティクスパラメータを得た。

ラケットキネマティクスパラメータは、以下の手順で算出し、獲得した。

(i) ラケット位置

ラケットフェイスの中心をラケット位置として採用するので、光学式モーションキャプチャ装置で得られたラケット両サイドの座標値の中点を求めた。また、ラケット位置はローカル座標系であり、それぞれの試技で座標値が異なる可能性を否定出来ない。そのため、グローバル座標系に置き換えなければならない。よって、左足つま先のマーカーから得られた座標値とグローバル座標系の原点の位置へ平行移動し、左足つま先を原点とするグローバル座標系を構築した。計算プログラムは次のとおりである。

$$X \text{ racket position} = (X \text{ racket right} - X \text{ racket left}) / 2 - X \text{ left toe}$$

$$Y \text{ racket position} = (Y \text{ racket right} - Y \text{ racket left}) / 2 - Y \text{ left toe}$$

$$Z \text{ racket position} = (Z \text{ racket right} - Z \text{ racket left}) / 2 - Z \text{ left toe}$$

(ii) ラケット角度

ラケット角度を算出するに当たり、回転行列の一種であるロール角 (X)、ピッチ角 (Y)、ヨー角 (Z) を採用した。計算プログラムを以下は次のとおりである。

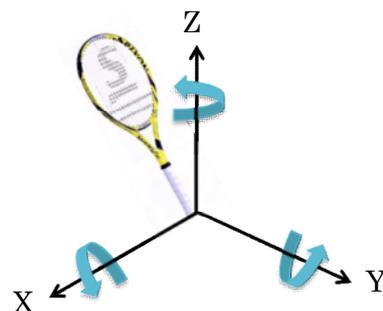


図 3-1-1 : ロール角 (X), ピッチ角 (Y), ヨー角 (Z)

X u vector dummy, Y u vector dummy, Z u vector dummy

X u vector, Y u vector, Z u vector, //u vector (lateral)

Xv vector, Y v vector, Z v vector //v vector (normal)

X w vector, Y w vector, Z w vector //w vector (longitudinal)

X u vector dummy

$$= (X \text{ racket right} - X \text{ racket left}) / \sqrt{(X \text{ racket right} - X \text{ racket left})^2 + (Y \text{ racket right} - Y \text{ racket left})^2 + (Z \text{ racket right} - Z \text{ racket left})^2}$$

Y u vector dummy

$$= (Y \text{ racket right} - Y \text{ racket left}) / \sqrt{(X \text{ racket right} - X \text{ racket left})^2 + (Y \text{ racket right} - Y \text{ racket left})^2 + (Z \text{ racket right} - Z \text{ racket left})^2}$$

Z u vector dummy

$$= (Z \text{ racket right} - Z \text{ racket left}) / \sqrt{(X \text{ racket right} - X \text{ racket left})^2 + (Y \text{ racket right} - Y \text{ racket left})^2 + (Z \text{ racket right} - Z \text{ racket left})^2}$$

X w vector

$$= (X \text{ raight head} - X \text{ racket grip}) / \sqrt{(X \text{ racket head} - X \text{ racket grip})^2 + (Y \text{ racket head} - Y \text{ racket grip})^2 + (Z \text{ racket head} - Z \text{ racket grip})^2}$$

Y w vector

$$= (Y \text{ racket head} - Y \text{ racket grip}) / \sqrt{(X \text{ racket head} - X \text{ racket grip})^2 + (Y \text{ racket head} - Y \text{ racket grip})^2 + (Z \text{ racket head} - Z \text{ racket grip})^2}$$

Z w vector

$$= (Z \text{ racket head} - Z \text{ racket grip}) / \sqrt{(X \text{ racket head} - X \text{ racket grip})^2 + (Y \text{ racket head} - Y \text{ racket grip})^2 + (Z \text{ racket head} - Z \text{ racket grip})^2}$$

X v vector

$$= (Y \text{ w vector} * Z \text{ u vector dummy} - Z \text{ w vector} * Y \text{ u vector dummy})$$

$$\begin{aligned}
& / \text{sqrt}((Y \text{ w vector} * Z \text{ u vector dummy} - Z \text{ w vector} * Y \text{ u vector dummy})^2 \\
& + (Z \text{ w vector} * X \text{ u vector dummy} - X \text{ w vector} * Z \text{ u vector dummy})^2 \\
& + (X \text{ w vector} * Y \text{ u vector dummy} - Y \text{ w vector} * X \text{ u vector dummy})^2)
\end{aligned}$$

Y v vector

$$\begin{aligned}
& = (Z \text{ w vector} * X \text{ u vector dummy} - X \text{ w vector} * Z \text{ u vector dummy}) \\
& / \text{sqrt}((Y \text{ w vector} * Z \text{ u vector dummy} - Z \text{ w vector} * Y \text{ u vector dummy})^2 \\
& + (Z \text{ w vector} * X \text{ u vector dummy} - X \text{ w vector} * Z \text{ u vector dummy})^2 \\
& + (X \text{ w vector} * Y \text{ u vector dummy} - Y \text{ w vector} * X \text{ u vector dummy})^2)
\end{aligned}$$

Z v vector

$$\begin{aligned}
& = (X \text{ w vector} * Y \text{ u vector dummy} - Y \text{ w vector} * X \text{ u vector dummy}) \\
& / \text{sqrt}((Y \text{ w vector} * Z \text{ u vector dummy} - Z \text{ w vector} * Y \text{ u vector dummy})^2 \\
& + (Z \text{ w vector} * X \text{ u vector dummy} - X \text{ w vector} * Z \text{ u vector dummy})^2 \\
& + (X \text{ w vector} * Y \text{ u vector dummy} - Y \text{ w vector} * X \text{ u vector dummy})^2)
\end{aligned}$$

$$X \text{ u vector} = Y \text{ v vector} * Z \text{ w vector} - Z \text{ v vector} * Y \text{ w vector}$$

$$Y \text{ u vector} = Z \text{ v vector} * X \text{ w vector} - X \text{ v vector} * Z \text{ w vector}$$

$$Z \text{ u vector} = X \text{ v vector} * Y \text{ w vector} - Y \text{ v vector} * X \text{ w vector}$$

$$Y \text{ angle} = \text{asin}(-Z \text{ u vector})$$

$$X \text{ angle} = \text{asin}(Z \text{ v vector} / \cos(Y \text{ angle}))$$

$$Z \text{ angle} = \text{asin}(Y \text{ u vector})$$

(iii) ラケット速度

ラケット速度は、ラケット位置の1フレームごとの移動距離から算出した。計算プログラムは以下のとおりである。

tf = 100 //total frame number

fs = 200 //frame sampling rate (Hz)

X velocity [0] = (x position [1]-x position [0])*fs

Y velocity [0] = (y position [1]-y position [0])*fs

Z velocity [0] = (z position [1]-z position [0])*fs

X velocity [tf-1] = (x position [tf-1]-x position [tf-2])*fs (1 <= tf <= 100)

Y velocity [tf-1] = (y position [tf-1]-y position [tf-2])*fs (1 <= tf <= 100)

Z velocity [tf-1] = (z position [tf-1]-z position [tf-2])*fs (1 <= tf <= 100)

(i) ~ (iii) で得られたラケットキネマティクスの各コース（センター、ボディ、ワイド）5 試技の平均値を示す（図 3-1-2~図 3-1-10）. バックスクラッチポジションからインパクト直前までは、70 フレームから 89 フレームである.

(i) ラケット位置

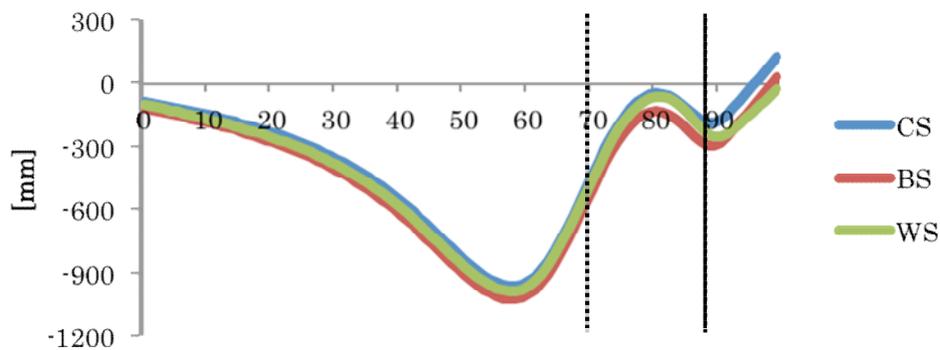


図 3-1-2 : ラケット位置の X 座標パラメータ

CS : センター, BS : ボディ, WS : ワイド

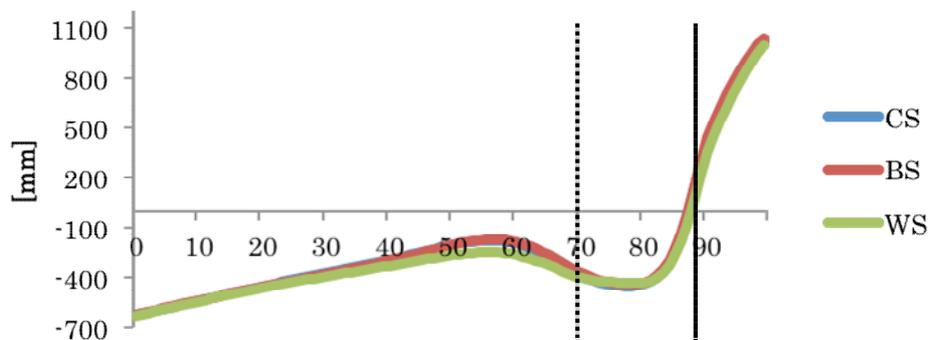


図 3-1-3 : ラケット位置の Y 座標パラメータ

CS : センター, BS : ボディ, WS : ワイド

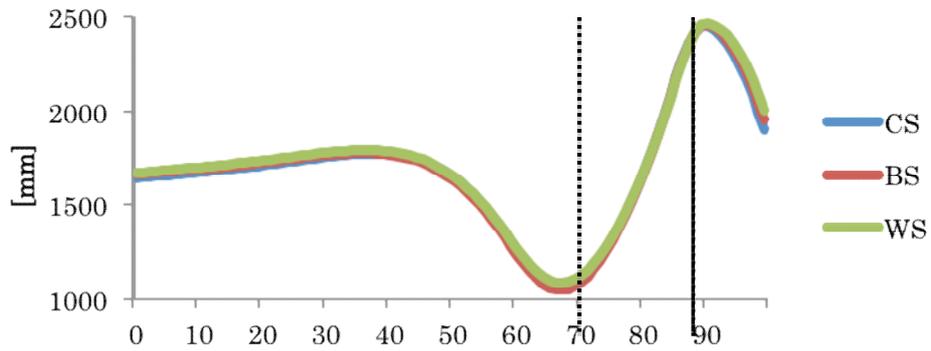


図 3-1-4 : ラケット位置の Z 座標パラメータ

CS : センター, BS : ボディ, WS : ワイド

(ii) ラケット角度

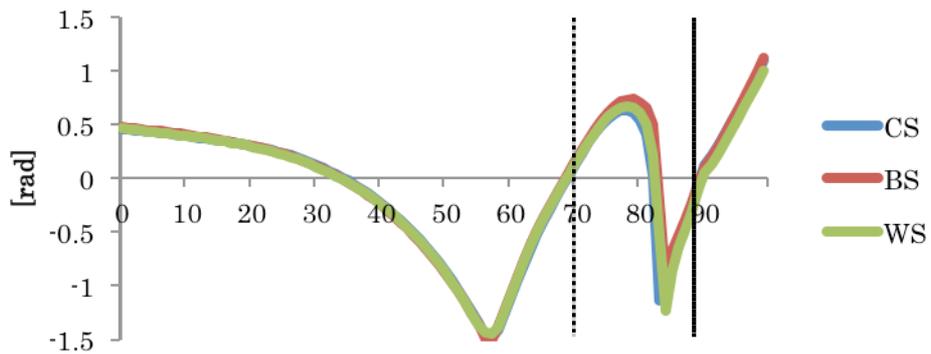


図 3-1-5 : ラケット角度の X 座標パラメータ

CS : センター, BS : ボディ, WS : ワイド

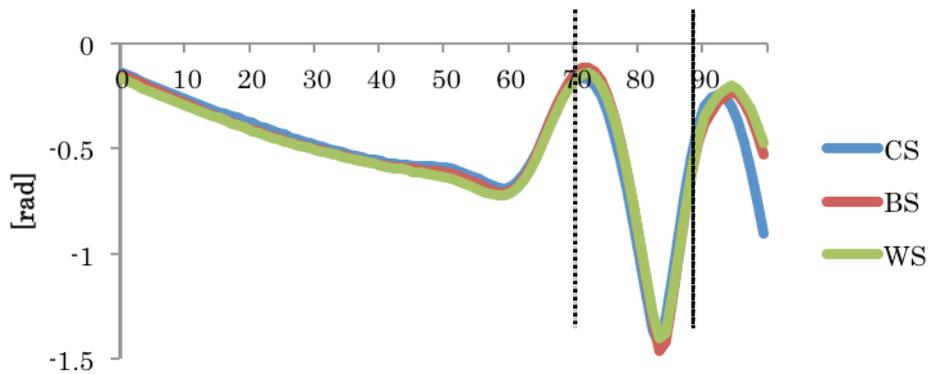


図 3-1-6 : ラケット角度の Y 座標パラメータ

CS : センター, BS : ボディ, WS : ワイド

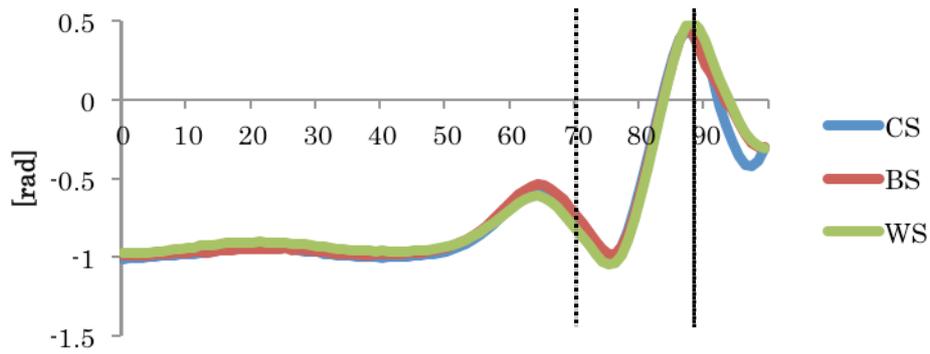


図 3-1-7：ラケット角度の Z 座標パラメータ

CS：センター，BS：ボディ，WS：ワイド

(iii) ラケット速度

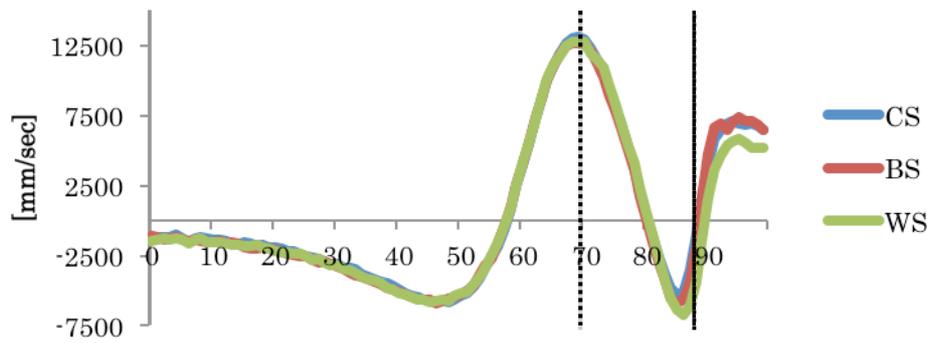


図 3-1-8：ラケット速度の X 座標パラメータ

CS：センター，BS：ボディ，WS：ワイド

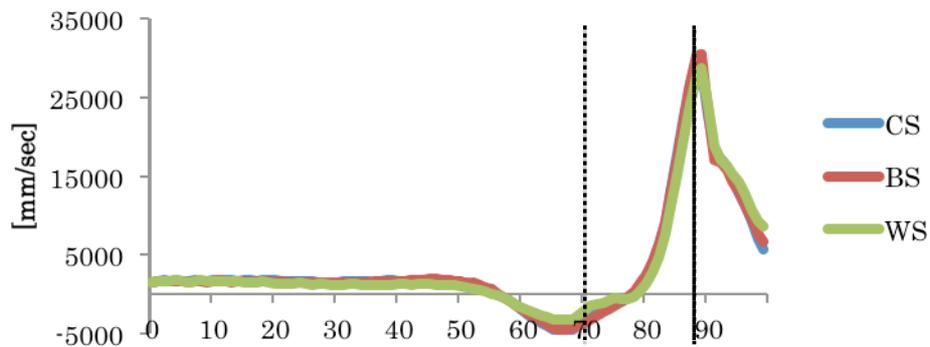


図 3-1-9：ラケット速度の Y 座標パラメータ

CS：センター，BS：ボディ，WS：ワイド

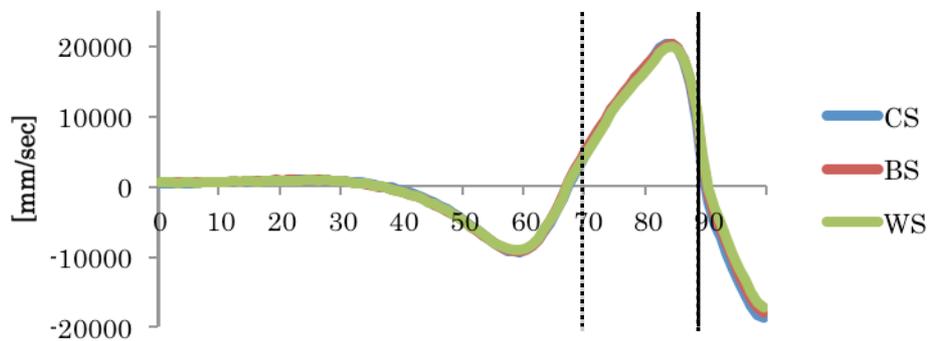


図 3-1-10：ラケット速度の Z 座標パラメータ

CS：センター，BS：ボディ，WS：ワイド

統計学的処理

t2 時の遮蔽条件で得られた VAS スコアを独立変数とし，ラケットキネマティクスパラメータを説明変数とする重回帰分析により検討する。

3-1-3 結果

テニス熟練者及びテニス非熟練者の t2 遮蔽条件時の VAS スコアを独立変数とし，サーバーから得たバックスクラッチポジションからインパクト直前までのラケットキネマティクスパラメータを説明変数とし重回帰分析により， R^2 値を得た（図 3-1-11～図 3-1-28）。光学式モーションキャプチャ装置（200Hz）で撮影したバックスクラッチポジションを 1 フレーム目とし，インパクト直前を 20 フレーム目とした。

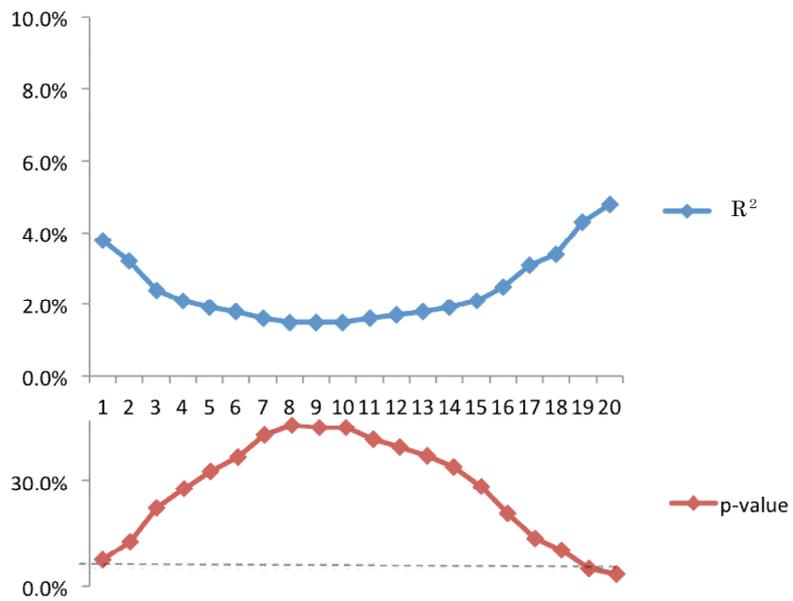
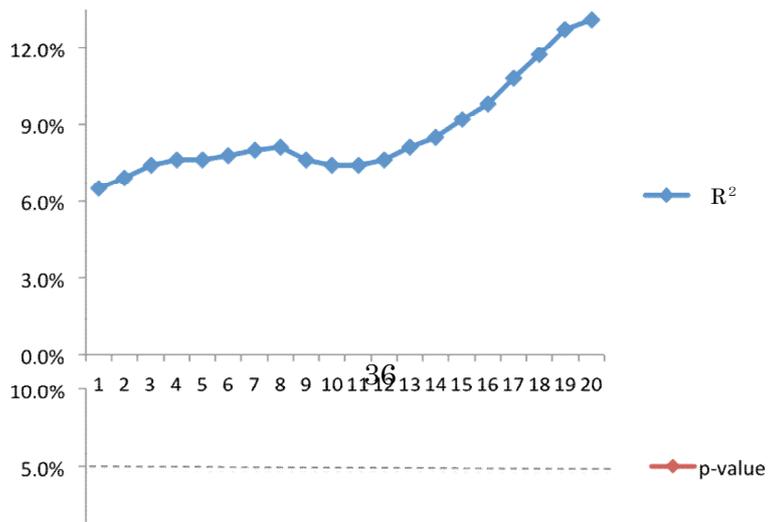


図 3-1-11 : テニス熟練者のコース予測とラケット位置の関係



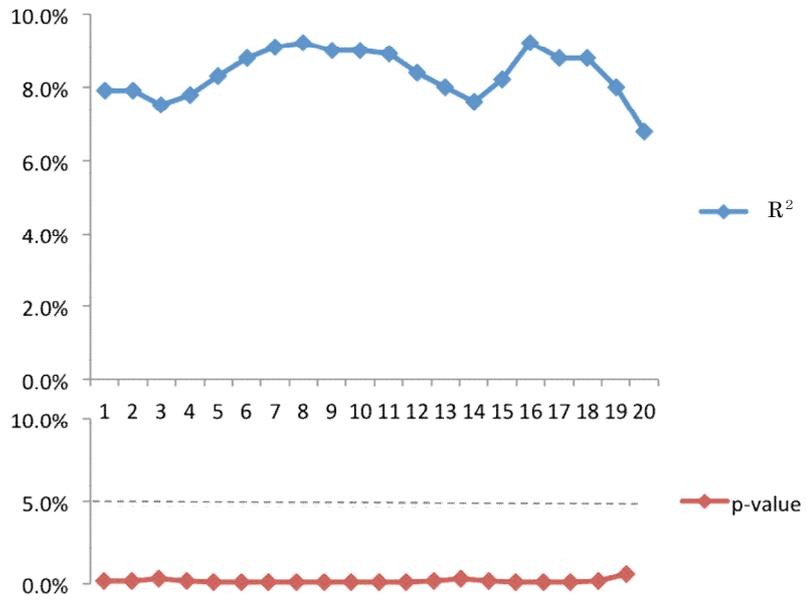
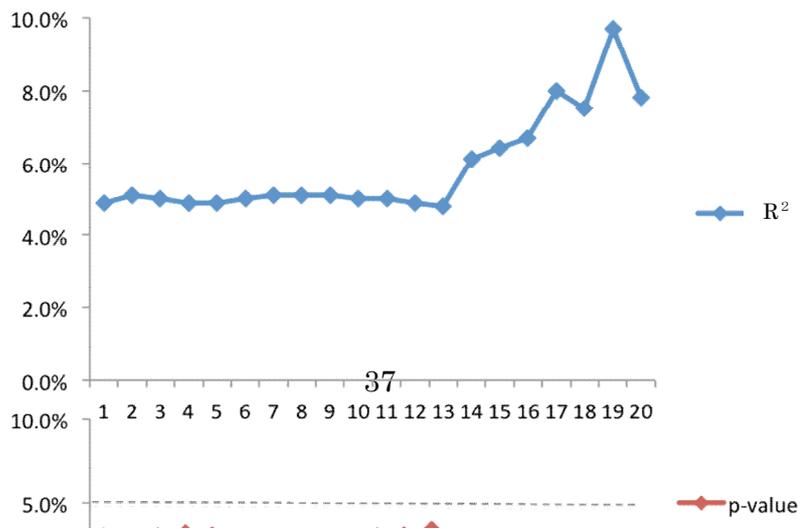


図 3-1-13 : テニス熟練者のコース予測とラケット角度の関係



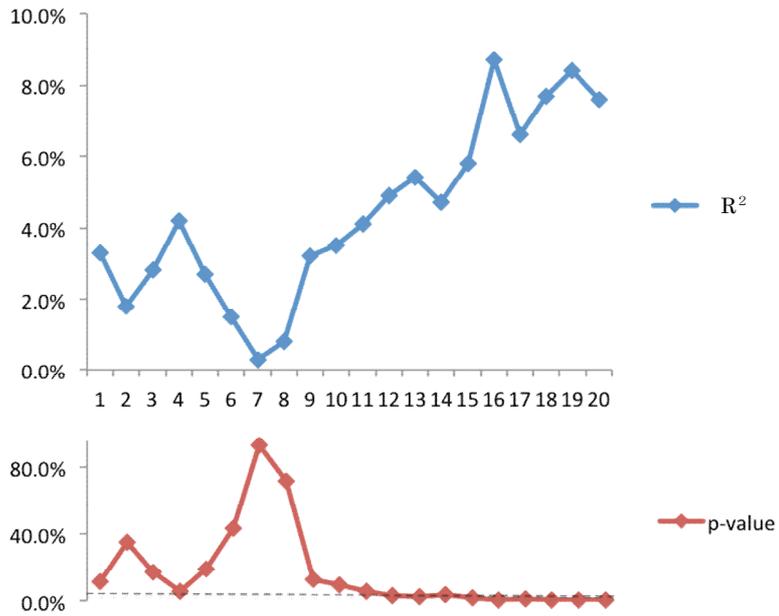
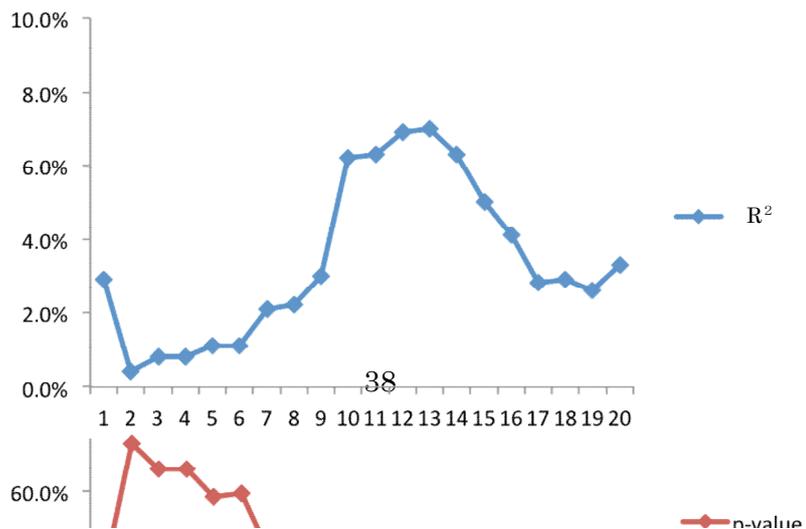


図 3-1-15 : テニス熟練者のコース予測とラケット速度の関係



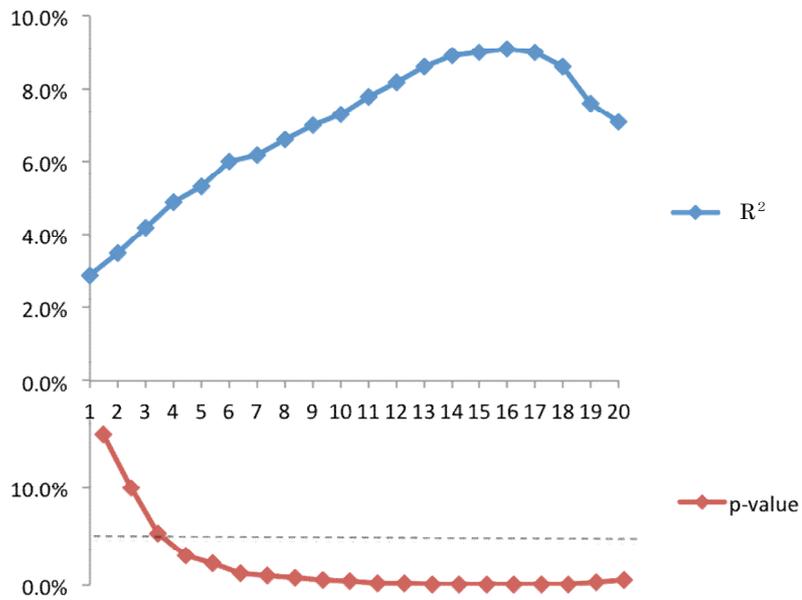
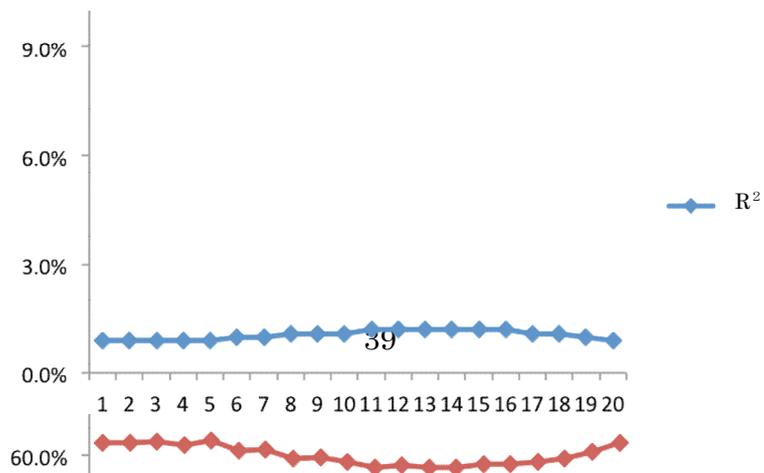


図 3-1-17 : テニス熟練者のスピード予測とラケット位置の関係



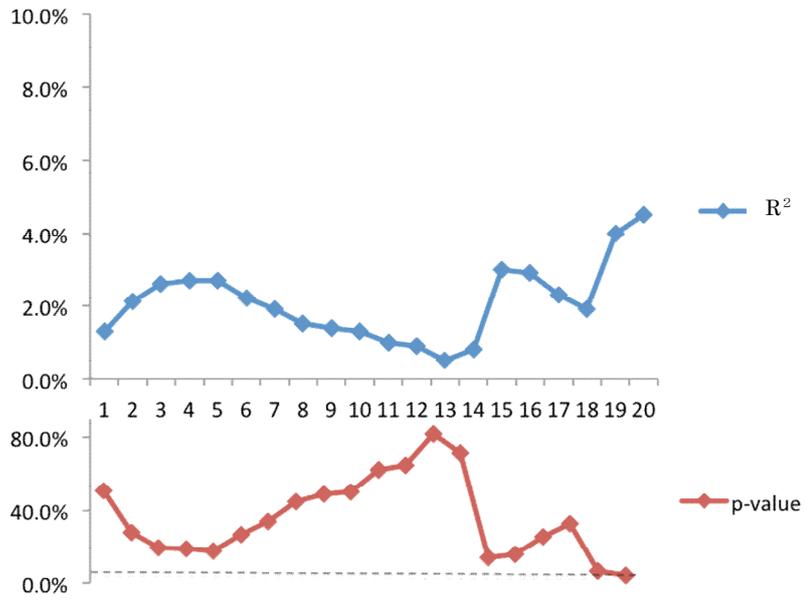
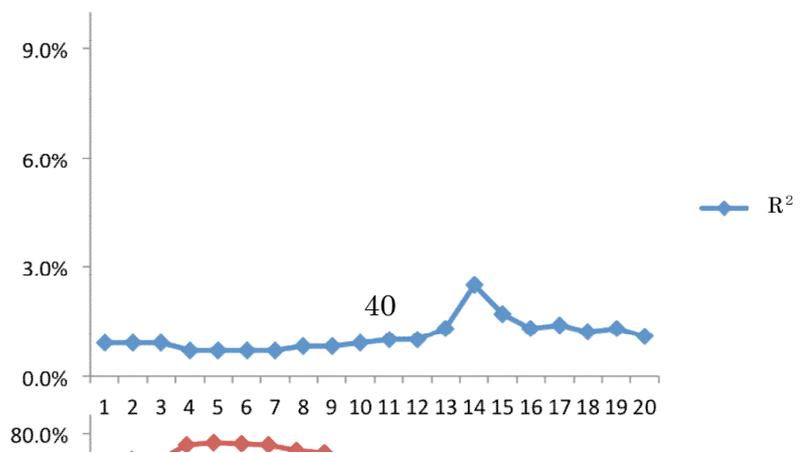


図 3-1-19 : テニス熟練者のスピード予測とラケット角度の関係



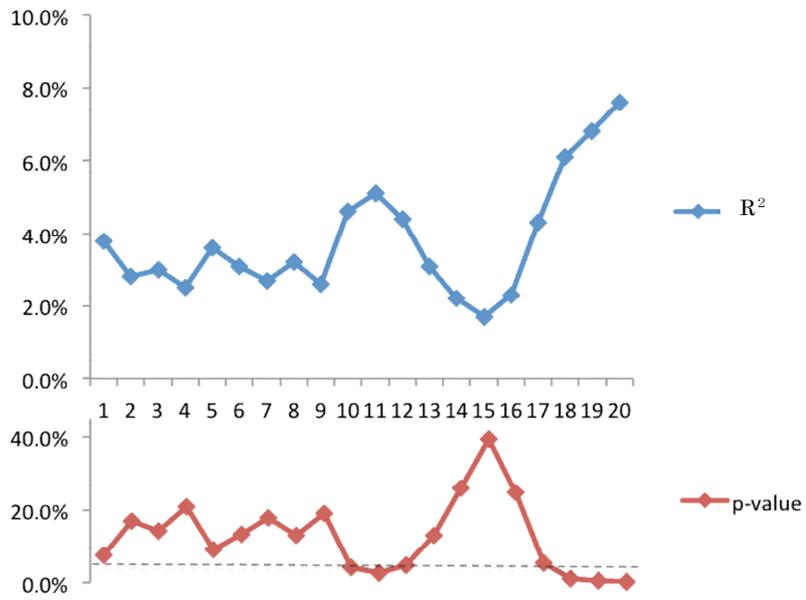
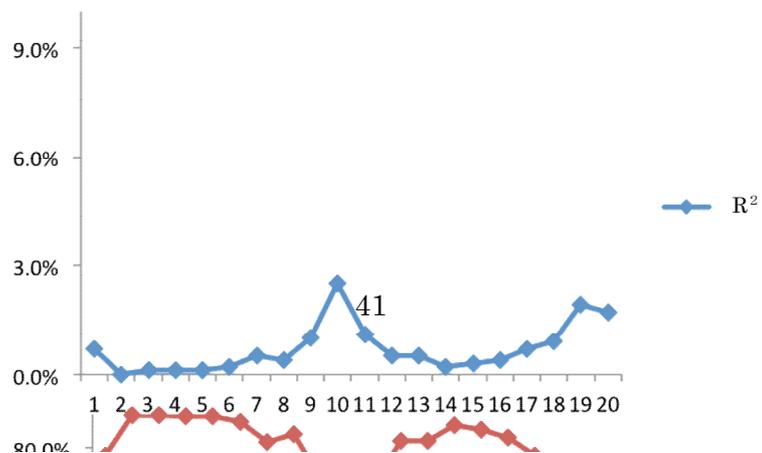


図 3-1-21 : テニス熟練者のスピード予測とラケット速度の関係



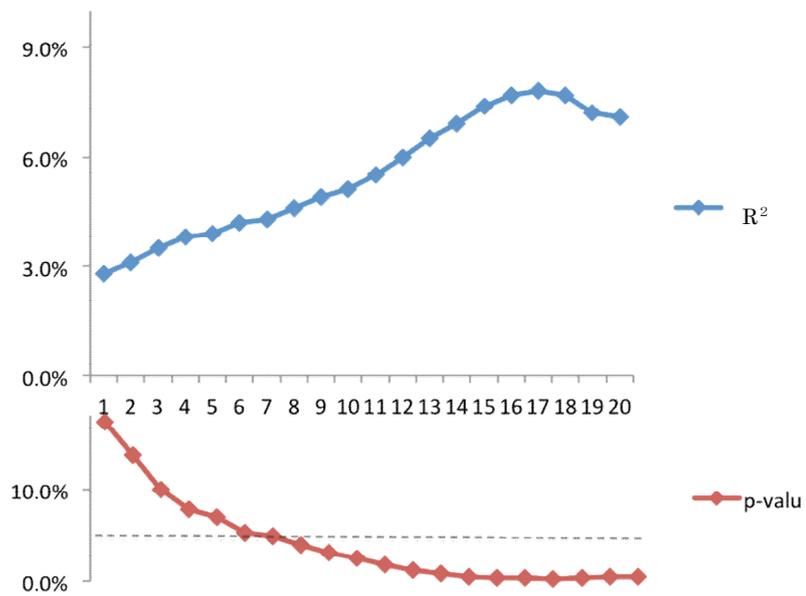
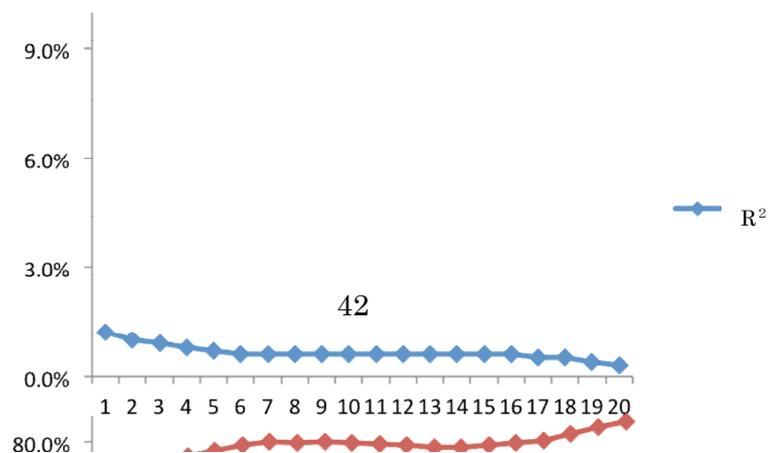


図 3-1-23 : テニス熟練者のスピン予測とラケット位置の関係



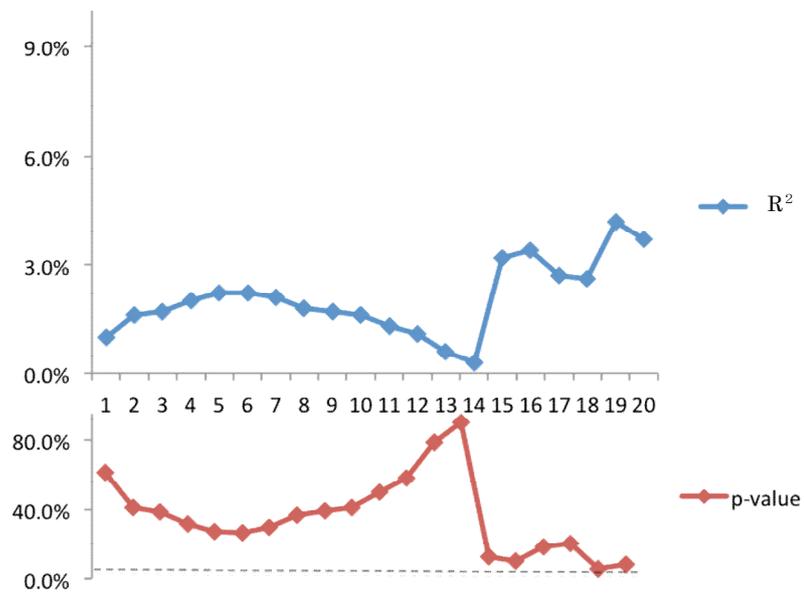
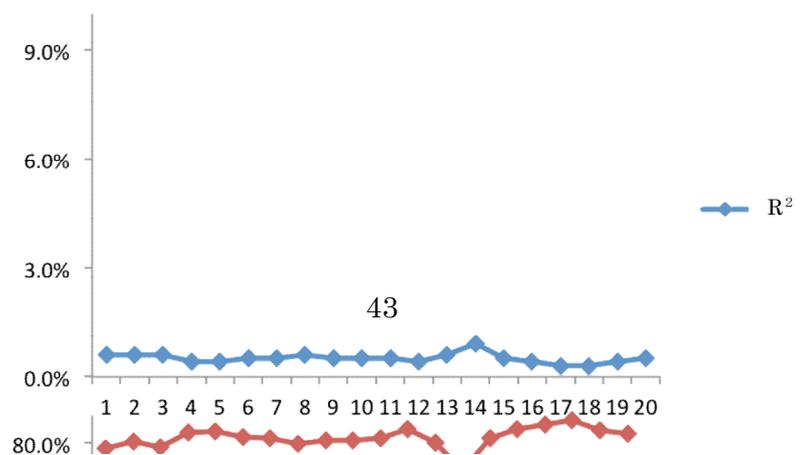


図 3-1-25 : テニス熟練者のスピン予測とラケット角度の関係



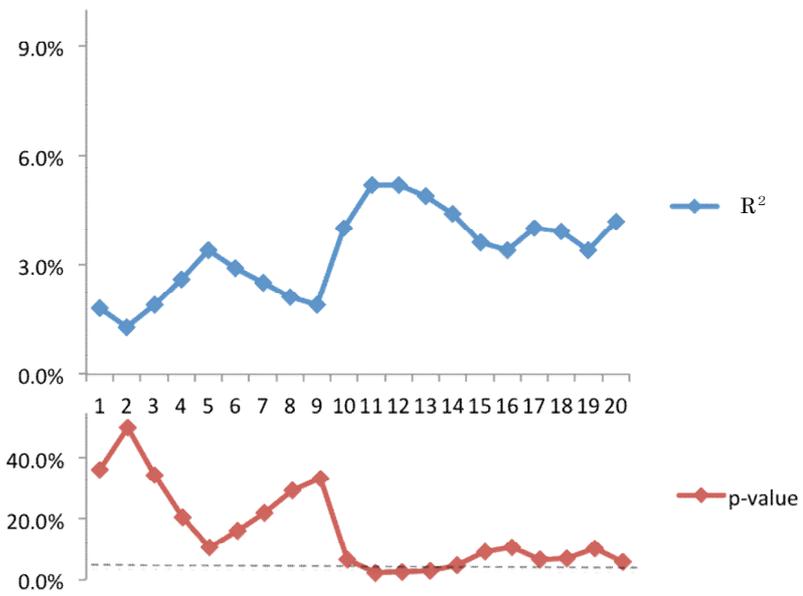
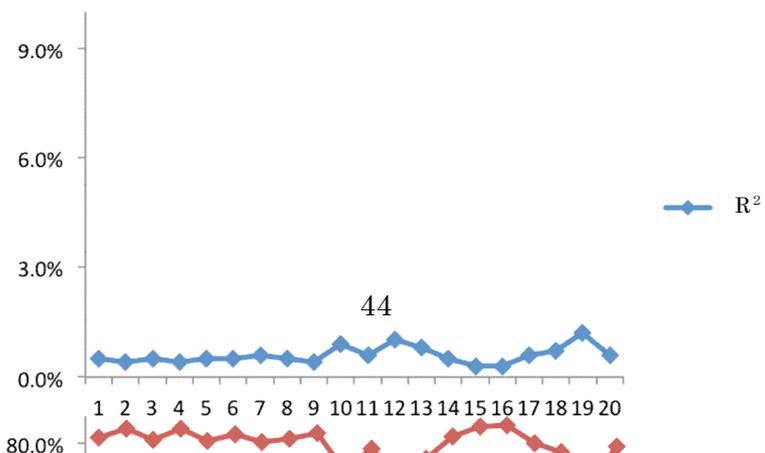


図 3-1-27 : テニス熟練者のスピン予測とラケット速度の関係



(i) コース予測 VAS スコアとラケットキネマティクスパラメータとの関係

テニス熟練者は、ラケット位置については、19 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ラケット角度については、1 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ラケット速度については、12 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。

次に、テニス非熟練者は、ラケット位置については、1 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ラケット角度については、1 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ラケット速度については、10 フレームから 15 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。

(ii) スピード予測 VAS スコアとラケットキネマティクスパラメータとの関係

テニス熟練者は、ラケット位置については、4 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ラケット角度については、20 フレームから、有意な回帰モデルを得た。ラケット速度については、10 フレームから 12 フレーム、18 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。

テニス非熟練者は、ラケット位置及びラケット角度、ラケット速度については、いずれのフレームからも有意な回帰モデルは得られなかった。

(iii) 回転量予測 VAS スコアとラケットキネマティクスパラメータとの関係

テニス熟練者は、ラケット位置については、7 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ラケット角度については、いずれのフレームからも有意な回帰モデルは得られなかった。ラケット速度については、11 フレームから 14 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。

テニス非熟練者は、ラケット位置及びラケット角度、ラケット速度については、いずれのフレームからも有意な回帰モデルは得られなかった。

3-1-4 考察

重回帰分析の結果、 R^2 値と有意差の関係から以下のことが言える。VAS のスコアを独立変数、ラケットキネマティクスパラメータを説明変数としているので、あるラケットキネマティックパラメータから、何%予測の説明ができるということである。例えば、テニス熟練者のコース予測とラケット位置の 20 フレーム時を見ると、知覚したラケット位置パラメータから、5%ほど予測の結果の説明ができるということである。また、有意差を得られなかったというときは、その知覚したラケットキネマティックパラメータでは、予測の説明ができないということである。

(i) コース予測 VAS スコアとラケットキネマティクスパラメータとの関係

コース予測において、テニス熟練者は 19 フレームから 20 フレームにかけて、ラケット位置と予測判断から有意な回帰モデルを得た。また、テニス非熟練者は、1~20 フレームにおいて、ラケット位置と予測判断において有意な回帰モデルを得た。つまり、両実験参加者ともインパクト以前のラケット位置を知覚できており、予測手がかりとしていることが明らかとなった。しかしながら、実験 1 において、テニス熟練者は、t2 遮蔽条件時にチャンスレベルを超えたが、テニス非熟練者は超えなかったという結果から、両実験参加者ともラケット位置を予測手がかりとして利用していたが、テニス非熟練者は、ラケットキ

ネマティクスを知覚しているが、予測正確性は低い。予測正確性が高いテニス熟練者と比較すると、知覚するパターンの傾向がことなる。つまり、知覚して予測手がかりとするだけでは、不十分であり、キネマティクスパラメータを知覚するタイミングやパターンが重要であることが考えられる。さらに、テニス非熟練者は、コース予測においてラケット位置を 12%以上利用している。これはテニス熟練者と比較して高い傾向にある。予測手がかりは無数にあってもテニス熟練者はラケット位置以外の場所からも予測手がかりとしているが、テニス非熟練者は、ラケット位置からの情報だけを予測手がかりとして利用したのではないか。その結果、もっと重要な予測手がかりを見逃した可能性が高い。先行研究においても、テニス非熟練者は、ラケットなど末端の情報からコースを予測するということであり (e.g., Abernethy et al., 2007, Williams et al., 2009), ラケット位置パラメータに依存しすぎたのではないだろうか。次に、コース予測とラケット角度についてである。両実験参加者ともラケット角度を知覚できており、ラケット角度のキネマティクス情報を知覚し、予測に利用していた。しかし、実験 1 から、テニス熟練者は、予測正確性が有意にチャンスレベルを超えていたのに対し、テニス非熟練者は、予測正確性がチャンスレベルを超えていなかった。つまり、ラケット角度を知覚できてもその後の事象までは予測できないことが明らかになった。先行研究によると、平田と松田、西篠 (1998) は、予測という認知課題を行うには、そのスポーツ領域固有の知識が必要であると報告している。つまり、テニス領域固有の知識がなければ、ラケット角度の変化は知覚できても、そこから次に起こる事象を予測することができず、予測手がかりとするとはできないことが明らかになった。次に、コース予測とラケット速度についてである。テニス熟練者は、インパクト直前のラケット速度を知覚しているが、テニス非熟練者は、バックスクラッチからインパクトにかけての中盤あたりのラケット速度を知覚していた。インパクト直前の動作が、次に起こる事象に直接的に関わると考えられるにも関わらず、テニス非熟練者は、その情報を知覚できていない結果、予測正確性に影響を与えたと考える。

以上から、両実験参加者ともラケット位置のキネマティクスを知覚し、予測に役立てて

いる。これは、先行研究にあるように、スキルレベルに関係なくラケットのキネマティクスパターンを知覚し、予測に利用したということである (e.g., Fukuhara et al., 2009, 武田ら, 2004) しかし、サービスのコースを予測するには、キネマティックパラメータを利用するタイミングや依存度が重要であり、また、テニス領域固有の知識が重要であることが明らかとなった。

(ii) スピード予測 VAS スコアとラケットキネマティクスパラメータとの関係

テニス熟練者は、ボールのスピードをラケットキネマティクス情報から知覚できるが、テニス非熟練者は、知覚できなかった。つまり、ボールのスピードをラケットキネマティクスから予測するには、テニス経験から得られる知識量に関係していることが考えられる (平田ら, 1998)。テニス熟練者は、ラケット位置において、バックスクラッチ後 3 フレーム辺りから知覚できている。これは、バックスクラッチ直後からインパクトに向けてのラケットの軌道差を知覚している可能性がある。次に、ラケット角度であるが、インパクト直前でラケット角度とスピード予測において有意な回帰モデルを得た。つまり、これは、インパクト直前のラケット面の角度を知覚し、予測手がかりとしているということである。フラット面はスポードが出やすく、スライス面は速度が出にくいことを経験的に理解しているためだと考えられる。最後に、スピード予測とラケット速度の関係である。ボールの打球スピードは、ラケットのヘッドスピードに関係している (金子, 2005)。つまり、インパクト直前のラケットのスピードがそのままボールスピードとなる。そのため、テニス熟練者は、インパクト直前のラケットスピードを知覚し、ボールスピードの予測手がかりとしたと考えられる。

(iii) 回転量予測 VAS スコアとラケットキネマティクスパラメータとの関係

テニス熟練者は、回転量予測とラケット位置から有意な回帰モデルを得た。つまり、ラケット位置から回転量を予測することが明らかになった。また、ラケット速度を知覚し、

回転量予測の予測手がかりとしていた。他のキネマティクス情報からは、テニス熟練者及びテニス非熟練者ともに、知覚できなかった。

テニス熟練者が、ラケット位置から回転量を予測しようとしているのは、やはりスピード予測同様、ラケットの軌道が関係していると考えられる。トスされたボールに対し、鋭角的なラケット軌道であればより回転がかかるであろうし、鈍角的な軌道であれば、回転がかかりにくいと考えられる。また、井田ら（2007）によると、テニス熟練者は、ラケット位置が体の中心線から離れるとワイドヘサービス来ると予測し、反対に体の中心線近くで打球されると、センターに来ると予測すると報告している。さらに、実際のテニス場面では、ワイドヘサービスを行うときスライス回転をかけ、レシーバーの外に逃げていくようにサーブする。センターヘサーブするときはスライス回転はかけず、フラット系のサーブをするのが定石である。つまり、このことを経験的に知っていたテニス熟練者が、ラケットの位置により回転を予測したと考えられる。

(i) ~ (iii) から、テニス非熟練者は、コース予測においてラケット位置とラケット速度のラケットキネマティクスを知覚し、それらを予測手がかりとすることができるが、テニス熟練者とは異なるタイミングやパターンで知覚したことにより、予測正確性が有意にチャンスレベルを超えなかったことが明らかになった。また、ラケット角度のラケットキネマティクスをテニス非熟練者は知覚でき、予測手がかりとできるが、テニス固有の知識が不足していることから、その後の事象までは予測できなかったと考えられる。また、テニス熟練者は、スピード予測や回転量予測をラケットキネマティクスから知覚できたが、テニス非熟練者は知覚できないことが明らかとなった。よって、ラケットキネマティクスパラメータを知覚するためには、テニス経験から得られるテニス領域固有の知識がなければ予測手がかりとすることはできないと言える。

3-2 実験 2-2. テニス熟練者とソフトテニス熟練者の検討

3-2-1 緒言及び目的

例えば、野球とソフトボールもしくはサッカーとフットサルなどの同系競技においては類似した予測スキルも少なくないと考えられ、ひとまとまりとして議論が進められる。テニスとソフトテニスも同系競技であるが、堅いゴムがフェルトで覆われてできたテニスボールは弾みが大きいのに対し、柔らかいゴムが空気圧で球状に膨らまされたソフトテニスボールは弾みが小さく、打球速度も遅い。このような球技道具の違いは、少なからず打球動作に影響を与え、ひいてはその動作に対する予測パフォーマンスの違いをもたらすと考えられる。先行研究において、井田ら（2007）は、テニス選手とソフトテニス選手では、相手サーバーの動作の知覚パターンが異なることを報告している。では、どこに予測の違いが現れるのかをテニスのサービス動作を用いて、ソフトテニス熟練者の予測パフォーマンスを検討する。

本研究の目的は、テニスサービス動作に慣れていないソフトテニス熟練者とテニス熟練者を比較し、似ている運動様式からコース、スピード、回転量を知覚できるのかを検討する。そして、同系競技からでも、テニス領域固有の知識を得ることができるのかを検証する。

3-2-1 方法

対象

ソフトテニス熟練者は, 某 W 大学軟式庭球部に所属する男子現役選手 12 名(年齢:19.92 ± 1.26 歳, ソフトテニス歴:11.58 ± 1.80 年) を対象とした. ソフトテニス熟練者は, 過去に全国大会等で活躍した経験を持つ.

研究に際して, 早稲田大学スポーツ科学学術倫理委員会の承認を受けた. 対象者には, 研究の説明を文書及び口頭にて行い, 参加の同意を得た.

呈示映像作成

実験 1 に使用した呈示映像を使用した.

実験手順

実験 2 に同じ. 全ての映像終了後にアンケートに記入した.

データ解析

VAS のコース予測では, VAS の長さがサービスラインの長さに対応しているので, VAS を三等分し, センター, ボディ, ワイドとした. 三者択一のコース予測同様, テニス熟練者及びテニス非熟練者それぞれに, t1, t2, t3 時の遮蔽条件における VAS 判断を行った正確性とし, 百分率で算出した. また, t2 の遮蔽条件から得られる VAS スコアと光学式モーションキャプチャ装置により撮影されたサーバーのサービスモーションのラケットキネマティクスパラメータを得た. 今回用いる VAS スコアは, レスポンスシートを 100 等分しているため, 0 から 100 までの間の数値とした.

ラケットキネマティクスパラメータは, 実験 2-1 で算出したものを利用した.

テニス熟練者のデータは, 実験 1, 実験 2-1 で得られたものを利用した.

統計学的処理

VASによるコース予測において、二元配置分散分析（スキルレベル②×遮蔽タイミング③）を行い、予測正確性について主効果及び交互作用の検討を行った。さらに、有意な主効果及び交互作用が確認された要因においては、一元配置分散分析を用いて、事後検定を行った。また、それぞれの予測方式について、テニス熟練者及びテニス非熟練者の遮蔽条件ごとに、1 サンプルの T 検定（検定値：33.33%）によるチャンスレベル検定を行った。また、t2 時の遮蔽条件で得られた VAS スコアを独立変数とし、ラケットキネマティクスパラメータを説明変数とする重回帰分析により検討する。

3-2-3 結果

VASによるコース予測判断については、時間遮蔽条件に有意な主効果 ($F(2,21)=23.72, p < .01$) が認められた (表 3-2-1)。そこで、その主効果に対して、一元配置分散分析の Bonferroni による事後検定を行った。t1 遮蔽条件と t3 遮蔽条件の間 ($p < .01$)、t2 遮蔽条件と t3 遮蔽条件の間 ($p < .01$) に有意差が認められた。(図 3-2-2)。

VASによるコース予測判断において、テニス熟練者及びソフトテニス熟練者の遮蔽条件ごとの予測正確性を以下に示す (図 3-2-1)。それぞれの予測正確性について、1 サンプルの T 検定（検定値：33.33%）によるチャンスレベル検定を行い、以下のような結果を得た (図 3-2-3)

表 3-2-1：二元配置分散分析

	df	F-value	p-value	
time	2	13.871	0.000	**
time × skill	2	0.325	0.724	n.s.

** : $p < 0.01$, n.s. : $p < 0.05$

表 3-2-2 : 主効果の事後検定

	t1-t2		n.s	t1-t3		**	t2-t3		**
	平均値の差	P値		平均値の差	P値		平均値の差	P値	
VAS	0.022	1.000		-0.144	0.000		-0.167	0.001	

** : $p < 0.05$, n.s. : $p < 0.05$

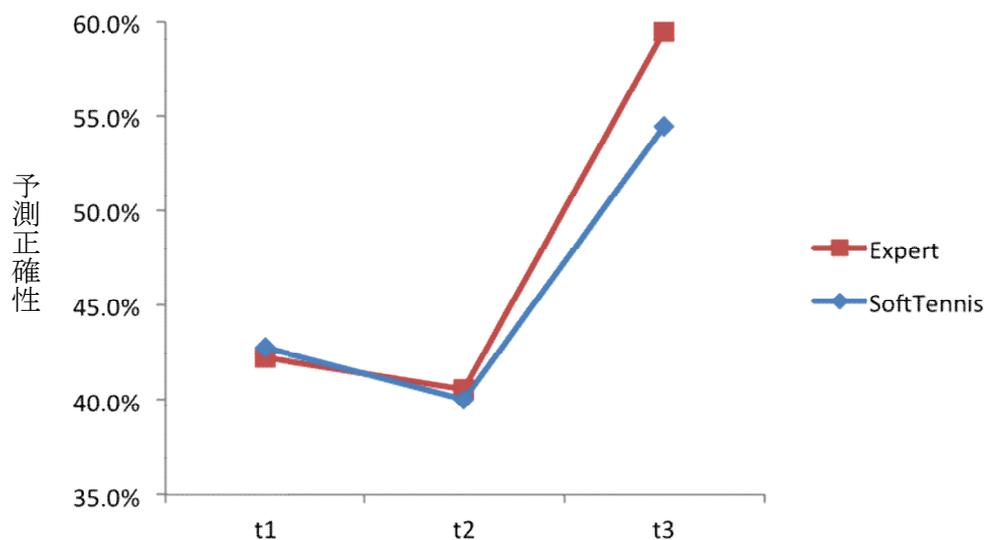


図 3-2-1 : 予測正確

表 3-2-3 : テニス熟練者とソフトテニス熟練者の予測正確性

	t1	t2	t3
Expert	42.2 ± 15.5	40.6 ± 9.2*	59.4 ± 13.5**
Soft Tennis	42.8 ± 11.4*	40.0 ± 9.4*	54.4 ± 7.6**

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

テニス熟練者及びソフトテニス熟練者の t2 遮蔽条件時の VAS スコアを独立変数とし、サーバーから得たバックスクラッチポジションからインパクト直前までのラケットキネマティクスパラメータを説明変数として重回帰分析により、R² 値を得た(図 3-2-2～図 3-2-19)。光学式モーションキャプチャ装置 (200Hz) で撮影したバックスクラッチポジションを 1 フレーム目とし、インパクト直前を 20 フレーム目とした。

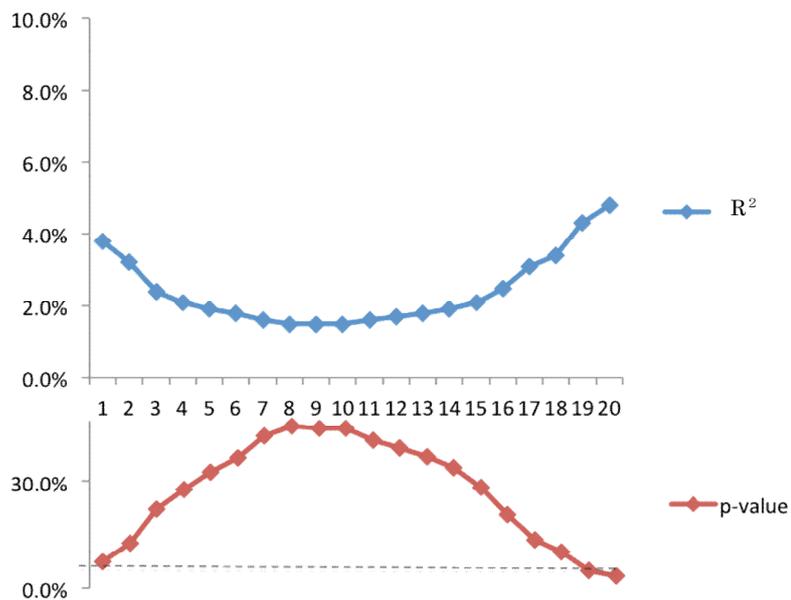
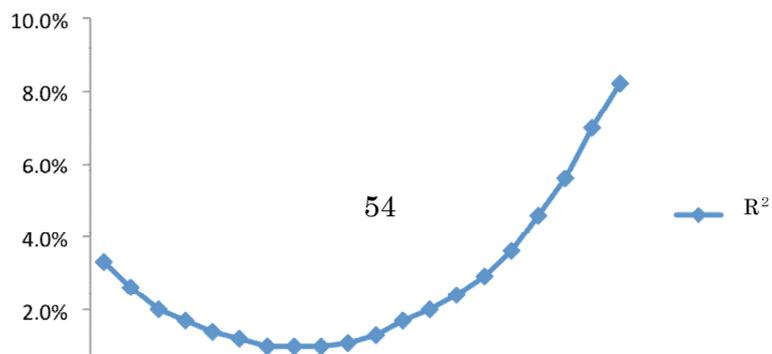


図 3-2-2 : テニス熟練者のコース予測とラケット位置の関係



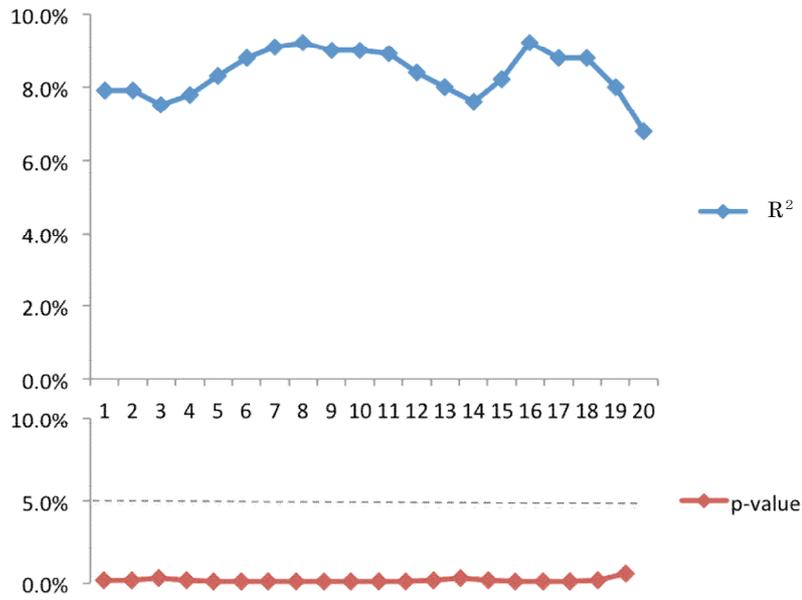
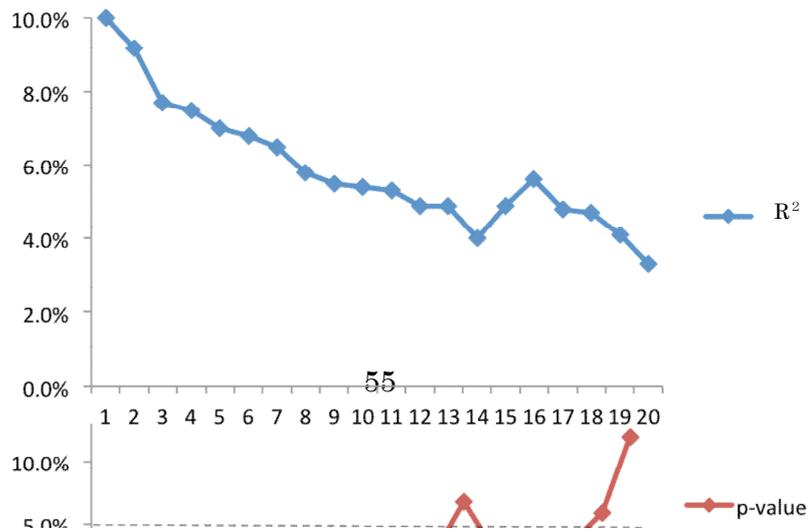


図 3-2-4 : テニス熟練者のコース予測とラケット角度の関係



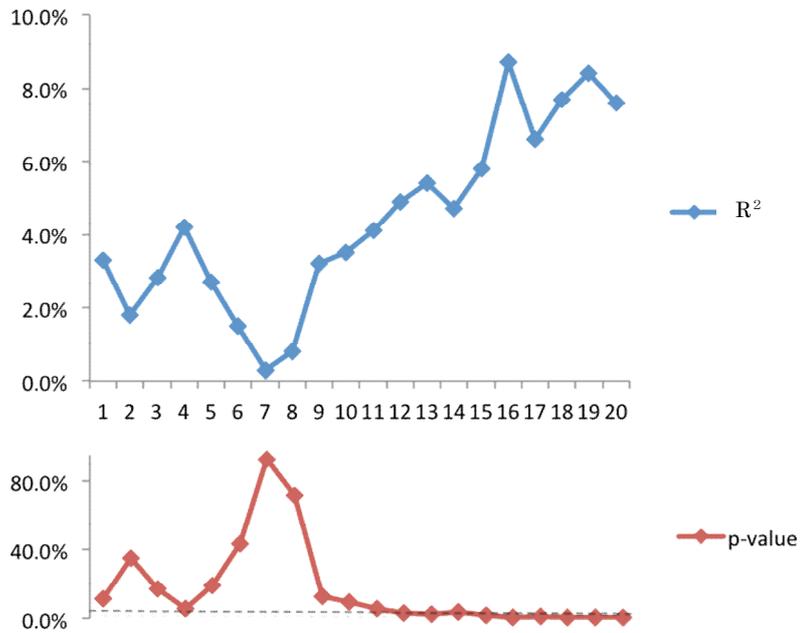
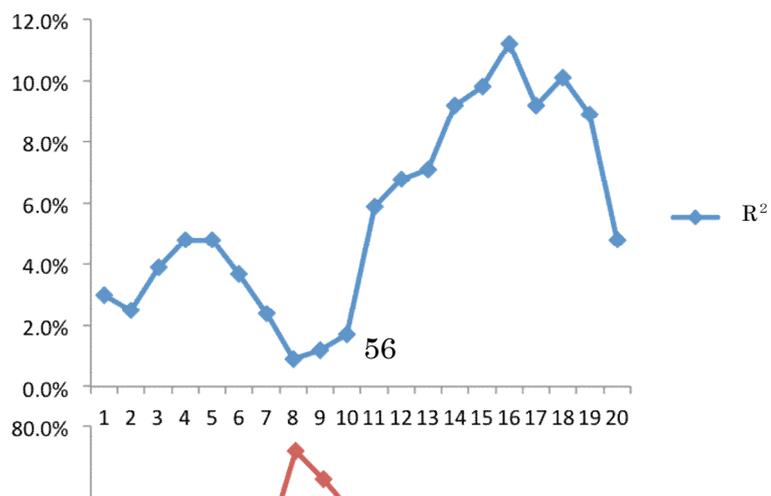


図 3-2-6 : テニス熟練者のコース予測とラケット速度の関係



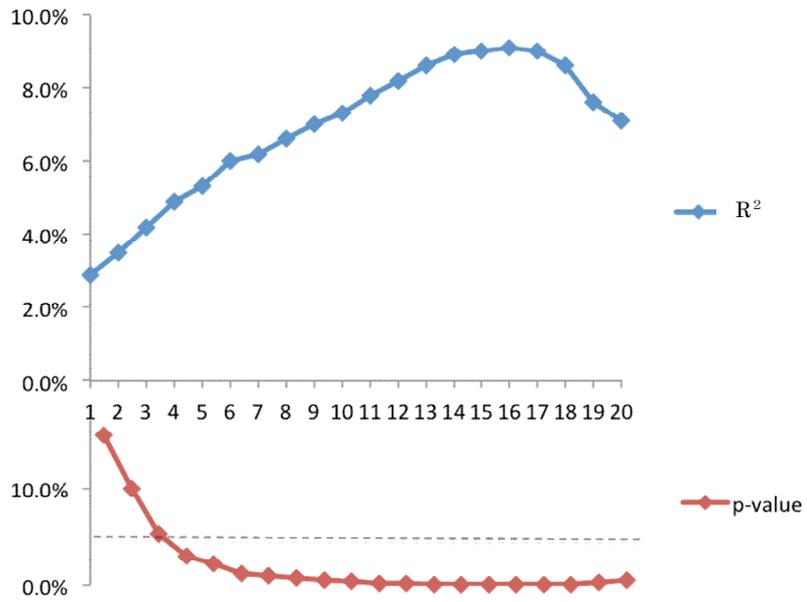
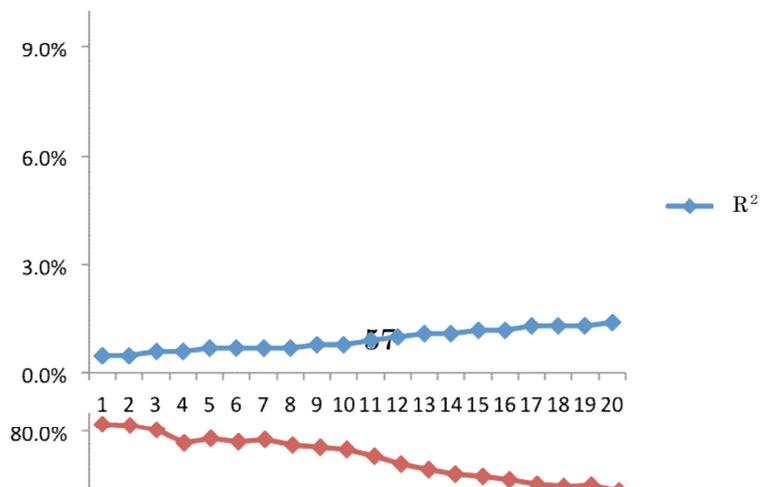


図 3-2-8 : テニス熟練者のスピード予測とラケット位置の関係



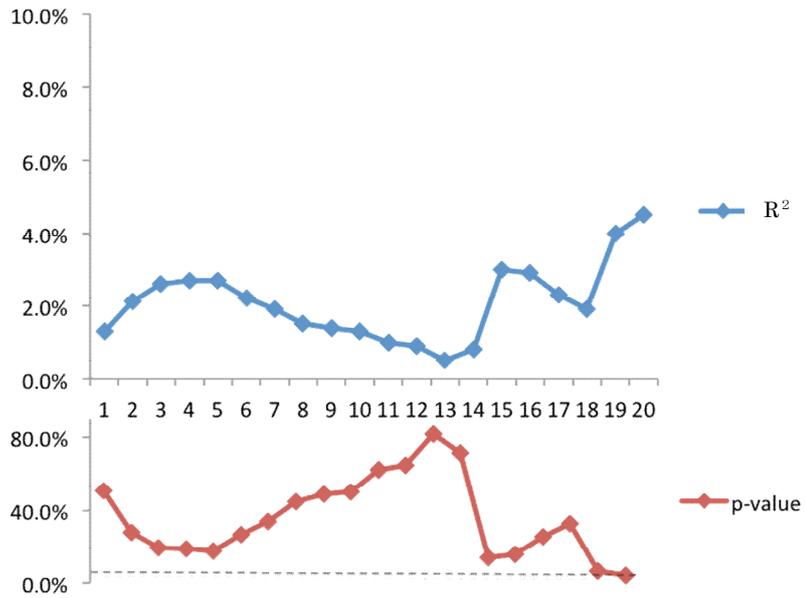
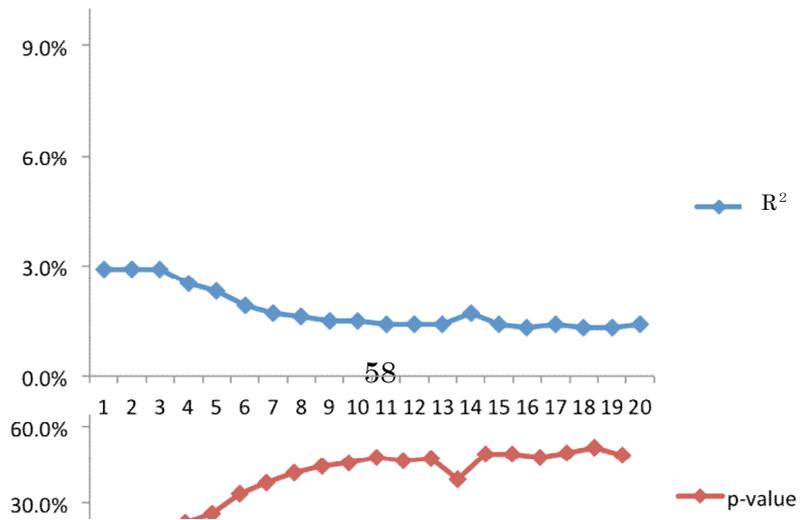


図 3-2-10 : テニス熟練者のスピード予測とラケット角度の関係



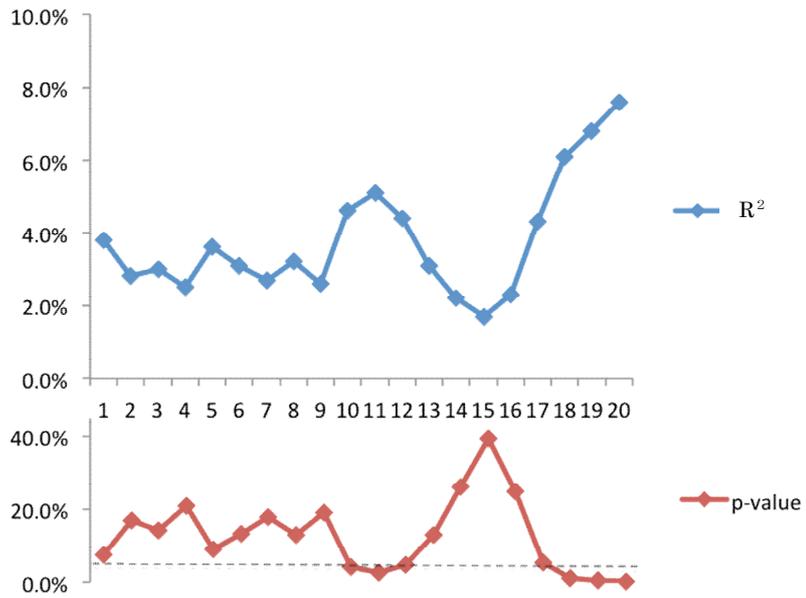
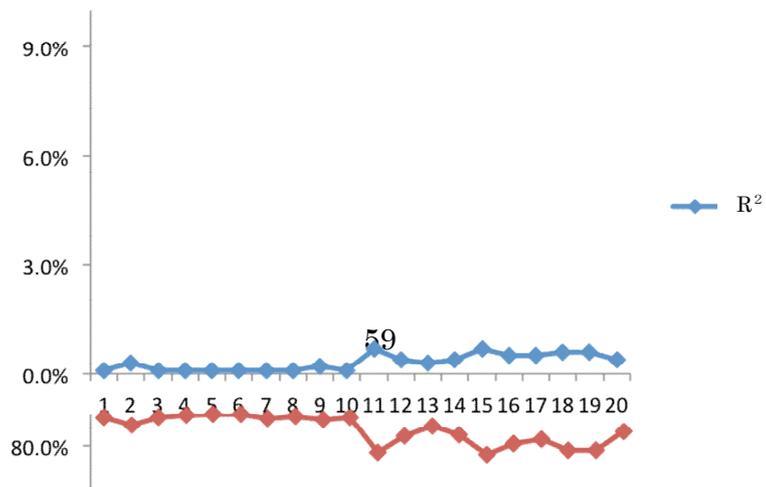


図 3-2-12 : テニス熟練者のスピード予測とラケット速度の関係



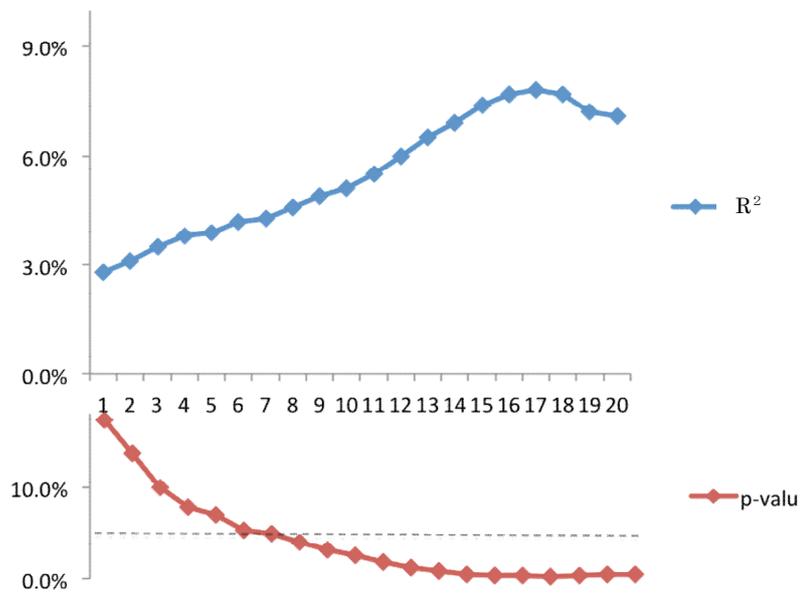
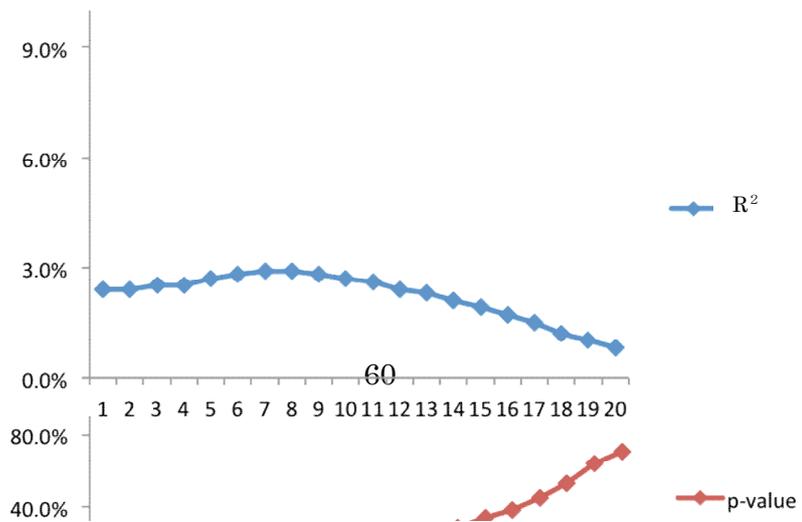


図 3-2-14 : テニス熟練者のスピン予測とラケット位置の関係



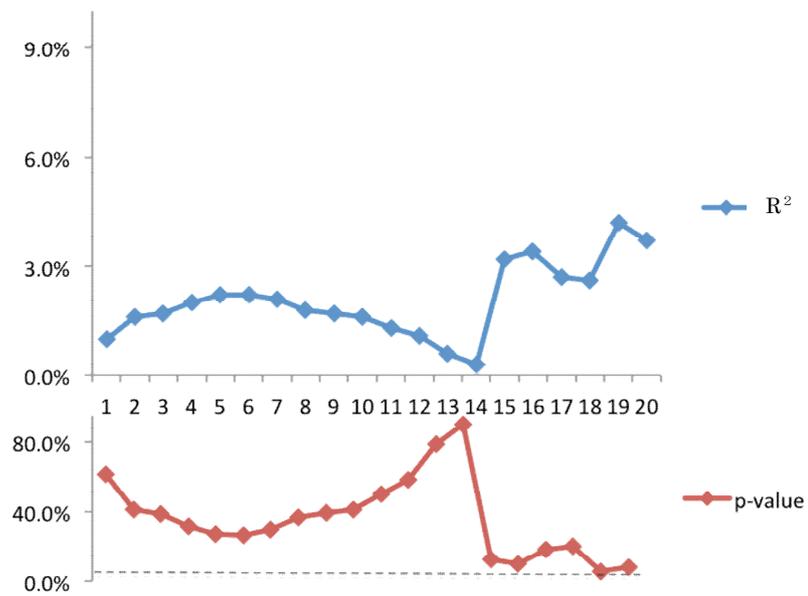
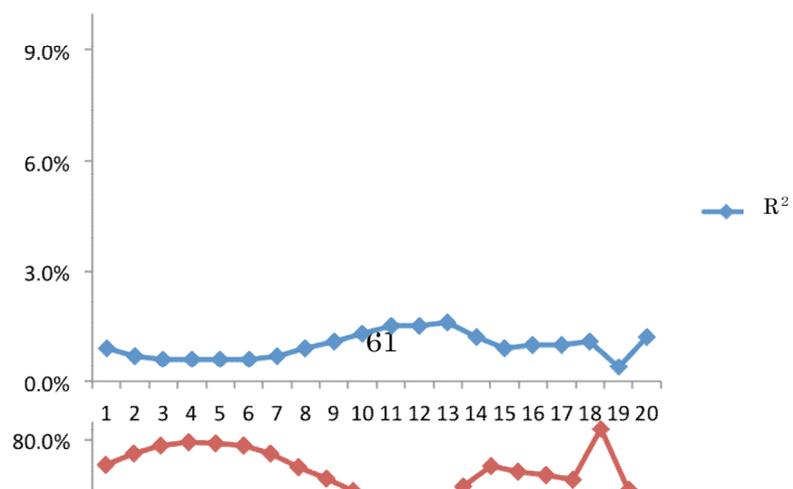


図 3-2-16 : テニス熟練者のスピン予測とラケット角度の関係



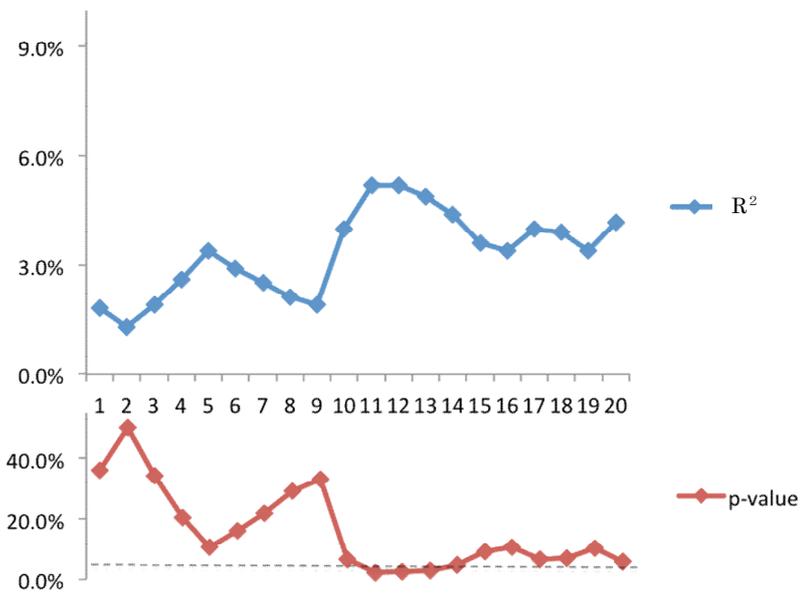
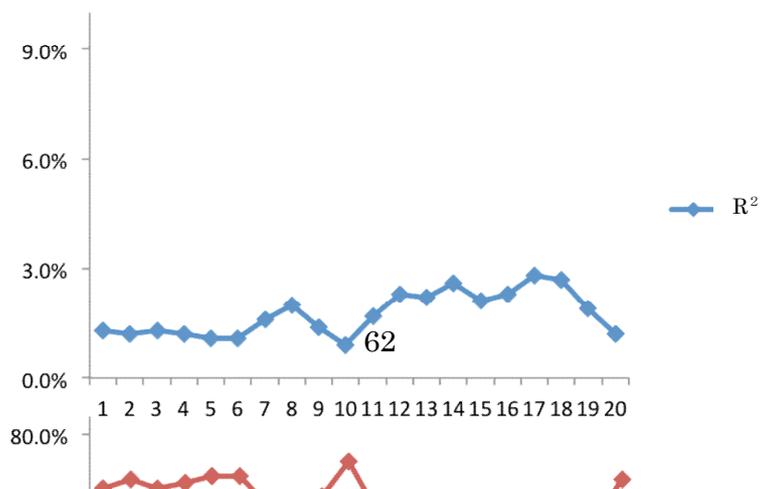


図 3-2-18 : テニス熟練者のスピン予測とラケット速度の関係



(i) コース予測 VAS スコアとラケットキネマティクスパラメータとの関係

テニス熟練者は、ラケット位置については、19 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ラケット角度については、1 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ラケット速度については、12 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ソフトテニス熟練者は、ラケット位置については、17 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ラケット角度については、1 フレームから 13 フレームにかけて、15 フレームから 18 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ラケット速度については、4 フレームから 5 フレームにかけて、11 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。

(ii) スピード予測 VAS スコアとラケットキネマティクスパラメータとの関係

テニス熟練者は、ラケット位置については、4 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ラケット角度については、20 フレームから、有意な回帰モデルを得た。ラケット速度については、10 フレームから 12 フレームにかけて、18 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ソフトテニス熟練者は、ラケット位置及びラケット角度、ラケット速度については、いずれのフレームからも有意な回帰モデルは得られなかった。

(iii) 回転量予測 VAS スコアとラケットキネマティクスパラメータとの関係

テニス熟練者は、ラケット位置については、7 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ラケット角度については、いずれのフレームからも有意な回帰モデルは得られなかった。ラケット速度については、11 フレームから 14 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。ソフトテニス熟練者は、ラケット位置及びラケット角度、ラケット速度については、いずれのフレームからも有意な回帰モデルは得られなかった。

3-2-4 考察

VAS によるコース予測判断において、予測の正確性と時間遮蔽条件の間に有意な主効果が認められた。事後検定によって、t2 から t3 遮蔽条件にかけて予測手がかりが出現したと考えられる。また、それぞれについてチャンスレベル検定を行った結果、t3 条件において、ソフトテニス熟練者は、予測正確性が有意にチャンスレベルを超えた。これは、先行研究にもあるように、サービスされた後のボールの飛行情報を予測に利用したと考えられる (e.g., Abernethy et al., 1987, Farrow et al., 2002, 武田ら, 2004)。t2 条件において、ソフトテニス熟練者は、予測正確性が有意にチャンスレベルを超えた。つまり、同系競技においても、インパクト以前の相手動作から、予測手がかりを得ることができると明らかとなった。しかし、井田ら (2007) は、テニス熟練者とソフトテニス熟練者においては予測のメカニズムが違うことを報告している。今回得られた結果は、先行研究にある報告とは異なった。その理由として、今回実験に参加したソフトテニス熟練者は、日本国内でもトップクラスにある選手たちであり、先行研究に参加した実験参加者よりも競技レベルが高いため、正確な予測ができた。また、近年のソフトテニス競技においては、サービス動作がテニス競技と類似してきている。以上のことから、今回 t2 条件においてソフトテニス熟練者の予測正確性が有意にチャンスレベルを超えたと考えられる。また、ソフトテニス熟練者は、t1 条件において、予測正確性が有意にチャンスレベルを超えた。しかし、

テニス熟練者は、有意にチャンスレベルを超えなかった。テニス熟練者は、アンケートにおいて、呈示映像撮影のカメラ位置が外すぎるのではないかと指摘した。しかし、ソフトテニス熟練者でカメラの位置が違うことを指摘する者はいなかった。今回の呈示映像の撮影位置は、テニスのサービスリターンを想定した予測実験において、多くの先行研究によって用いられている撮影位置である。しかしながら、テニス競技はシングルスがメインであるため、シングルスサイドラインとベースラインが交わる位置には、レシーブポジションをほとんど取らない。シングルスではサーバーがセンターマーク付近からサービスをするため、この位置ではセンター方向へ打たれたサービスに対し、届かない可能性が高いからである。一方、ソフトテニス競技はダブルスがメインである。ダブルスでは、サーバーはシングルス時よりサイド側からサービスを打つ。そのため、ワイド方向へ角度が付きやすく、放たれたサービスがより外側へ逃げていくので、シングルスサイドラインとベースラインの交わる位置にレシーブポジションをとると考えられる。テニス熟練者が普段から利用しているポジションではなく、ソフトテニス熟練者が普段から利用しているポジションであったために、t1 条件時の予測正確性に違いが出たと考えられる。井田と福原、高橋 (2010) は先行研究において、映像を観察するポジションの違いにより、スピードや回転量の知覚に影響が出るという報告がある。また、別の可能性として、ソフトテニス熟練者特有の予測手がかりの方略が存在する可能性が考えられる。

(i) コース予測とラケットキネマティクスの関係

ラケット位置によるコース予測において、テニス熟練者はインパクト 19 フレームから 20 フレームにかけて、ラケット位置と予測判断から有意な回帰モデルを得た。また、ソフトテニス熟練者は、17 フレームから 20 フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。つまり、ラケット位置を予測手がかりとしたとき、テニス熟練者及びソフトテニス熟練者は、高くするタイミングこそ違うもののインパクト直前のキネマティックパラメータを知覚するという同じ傾向の知覚パターンを有していることが明らかになった。次にラケット角度

とコース予測の関係である。テニス熟練者は、バックスクラッチポジションからインパクト直前まで、長期間有意な回帰モデルを得た。しかし、ソフトテニス熟練者は、1フレームから13フレームにかけて、15フレームから18フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。両実験参加者ともラケット角度をバックスクラッチポジションから知覚し、予測に役立てている。しかし、ソフトテニス熟練者は、インパクト直前のラケット角度を知覚できていないが、テニス熟練者及びソフトテニス熟練者ともに、有意にチャンスレベルを超えて予測出ている。つまり、ラケット角度においては、ソフトテニス熟練者はインパクト直前の情報までは必要とせずとも、予測できることが明らかになった。最後に、ラケット速度とコース予測についてである。テニス熟練者は、12フレームから20フレームにかけて有意な回帰モデルを得た。ソフトテニス熟練者は、4フレームから5フレームにかけて、11フレームから20フレームにかけて、有意な回帰モデルを得た。両実験参加者ともに、インパクト直前のラケット速度を知覚し、コース予測に役立てていた。その結果、両実験参加者とも t2 遮蔽条件で、予測正確性が有意にチャンスレベルを超えたことが考えられる。しかし、ソフトテニス熟練者はそれ以前にもラケット速度を知覚し、予測に利用していた。これは、ソフトテニス熟練者特有の予測の方略である可能性がある。

以上より、コース予測において、両実験参加者ともラケット位置、ラケット角度、ラケット速度を知覚でき、それらを予測手がかりとしていることが分かった。コース予測においては、ラケット位置とラケット速度は、直前のキネマティクスが重要であり、ラケット角度においては、バックスクラッチポジションからインパクト直前数フレーム前まで、長期にわたってラケット角度を知覚し、予測手がかりとしなければならないことが分かった。また、コース予測においては、ソフトテニス熟練者は、ラケットキネマティクスを知覚でき、予測に利用できることが明らかになった。つまり、コース予測においては、同系競技であれば、テニス領域固有の知識を得られる可能性があることが分かった。しかし、テニス熟練者とソフトテニス熟練者では、異なる予測方略パターンであるので、同系競技からテニス固有領域の知識を得ることができると断定はできず、ソフトテニス特有の予測方略

パターンがあることを否定出来ない。

(ii) スピード予測とラケットキネマティクスの関係

テニス熟練者は、ボールのスピードをラケットキネマティクス情報から知覚できるが、ソフトテニス熟練者は、知覚できなかった。つまり、ボールのスピードをラケットキネマティクスから予測するには、テニス経験から得られる知識量が関係していることが考えられる。この経験値は、いくら同系競技であったとしても補うことはできないと考えられる。

(iii)

テニス熟練者は、回転量予測とラケット位置から有意な回帰モデルを得た。しかし、ソフトテニス熟練者は、いずれのキネマティクスからも回転量を予測できないことが明らかとなった。つまり、スピード予測と同様、回転量を予測するにあたり、テニス競技特有の経験から得られる知識が必要であり、同系競技といえども、テニス特有の知識は獲得できないことが明らかとなった。その背景には、競技特性があるように考えられる。ソフトテニスにおけるサービスでは、トップスピンやスライスといった回転量の多いサービスはあまり多用せず、フラット系のサービスがほとんどである。そのため、回転に対しての経験が乏しく、知識を獲得出来ていなかったと考えられる。

(i)～(iii) から、テニス熟練者とソフトテニス熟練者間には、コース予測においては、ラケットキネマティクスを知覚でき、それを予測手がかりとしていた。ラケットキネマティクスを知覚する上で、両実験参加者とも同じ傾向が見られものの、それぞれ特有の知覚パターンが存在していたことが明らかになった。スピード予測と回転量予測からは、テニス熟練者のみが、ラケットキネマティクスを知覚し、予測手がかりにしていたが、ソフトテニス熟練者は、知覚できていなかった。スピードや回転量といった球種の予測においては、テニス経験からしか得られない特有の知識の存在が明らかとなった。つまり、同系競

技では, 固有の知識を得ることができないと考えられる. つまり, 固有の知識と知覚パターンが予測において重要であることが明らかとなった.

第 4 章

総合考察

本論文では、テニスサービス・リターン場面における予測と相手サーバーのキネマティックパラメータの関係を明らかにすることを目的とし、研究を進めてきた。

第2章においては、従来からこの研究分野で利用されてきた択一による予測判断と新たにVASによる予測判断を導入した。また、予測するコースをセンター、ワイドの2コースからセンター、ボディ、ワイドの3コースに増やした呈示映像を作成した。実験の結果、予測するコースが3コースに増えても、テニス熟練者は予測でき、より正確な予測判断ができることが明らかとなった。また、VASによる予測判断では、従来の択一による予測判断と同じ結果が得られるだけの能力を有していることが分かった。VASによる予測判断が、より効果を発揮する場面は、予測するコースが多いときである。それは、VASの方がより直感的に判断ができるからであった。

第3章の実験2-1においては、テニス熟練者とテニス非熟練者を対象に、予測と相手サーバーのキネマティックパラメータとの関係を明らかにするための実験を行なった。先行研究によって、予測に重要な時期、重要な場所が明らかとなり、また、PLDを用いた先行研究により、映像の観察者は、キネマティクス情報を知覚していることが明らかとなっている。しかし、予測とキネマティックパラメータとの関係を検討する実験は、まだ行われておらず、この章において検討した。その結果、テニス熟練者は、コース予測、スピード予測、回転量予測において、相手サーバーのラケットキネマティクスパラメータを知覚し、

予測に利用していることが明らかとなった。テニス非熟練者においても、コース予測においては、相手キネマティックパラメータを知覚出来ているものの、テニス熟練者と比較し、知覚するタイミングやパターン、依存度が異なっていた。その結果、予測の正確性に差が出たと考える。また、スピード予測や回転量予測において、テニス非熟練者は知覚出来ていなかった。先行研究により、予測という認知課題を行うには、そのスポーツ領域固有の知識が必要である。つまり、テニス熟練者は、経験からテニス領域固有の知識を獲得しており、その知識をもとに予測できた。一方、テニス非熟練者は、その知識を獲得していなかったため、予測できなかつたと考えられる。

テニスやバドミントなどのラケットスポーツは、同じような運動において予測メカニズムが類似しているように思われる。しかし、そのスポーツの間には、道具などの違意が存在している。道具が違えば、動作はそれにともなって変化することが考えられる。つまり、予測のメカニズムが異なることが考えられる。

そこで、3章の実験 2-2 において、同系競技であるテニス熟練者とソフトテニス熟練者を対象に、予測と相手サーバーのキネマティックパラメータとの関係を検討した。そして、予測のメカニズムを比較、検証した。その結果、コース予測においては、知覚パターンが類似しており、予測正確性が高かった。ソフトテニス熟練者は、テニス領域固有の知識が無いものの、ソフトテニス領域の知識を活かし、ソフトテニスの知覚パターンでもって予測できるということだ。つまり、同系競技であれば、知識を補える可能性があることが分かった。しかし、スピード予測や回転量予測においては、ソフトテニス熟練者は知覚できなかった。つまり、テニス熟練者とソフトテニス熟練者は、スピード予測や回転量予測において、予測のメカニズムが異なることが分かった。よって、スピードと回転量においては、テニス領域固有の知識を有していないことが明らかとなった。

以上より、本論文では、予測と相手動作のキネマティックパラメータの関係を明らかにするべく研究を行った。その過程で、どのキネマティックパラメータがどの程度予測に影響を与えているかという知見を得ることができた。

具体的には、テニス熟練者はサービスのコース予測、スピード予測、回転量予測に全てにおいて、ラケットキネマティクスを知覚し、それを予測手がかりに出来ていた。ソフトテニス熟練者は、コース予測においてのみ、ラケットキネマティクスを知覚し、予測手がかりとできる。テニス非熟練者は、コース予測においてのみ、ラケットキネマティクスを知覚できるが、それを予測手がかりとすることはできなかった。その理由として、予測課題には、その領域固有の知識が必要であるためと考えられる。また、コース予測においてのみ、同系競技から固有の知識を獲得することができる可能性がある。

本研究では、知覚のみに焦点をしばり研究を行ったが、実際のプレイ場面では、コースなどを予測し、ボールの場所に移動し打ち返すという行為がある。運動スキルは元来、知覚と運動の協応を前提としており、知覚と行為は密接に関連する。この知覚-行為カップリングを無視しての研究では、パフォーマンスに直結しない可能性が残された。今後の研究課題として、知覚-行為カップリングによる予測とキネマティクスの関係を検証する必要がある。また、今回の実験ではラケットキネマティクスを予測に利用してということが明らかになったが、スポーツ現場において期待されるものは、どうすれば予測スキルが向上するのかということだ。今後の課題として、他の部位のキネマティクスパラメータと予測の関係を明らかにしていき、予測のメカニズムを解明し、予測トレーニングシステム構築することである。

第 6 章

結論

本論文は、テニスのサービスリターン場面における予測と相手キネマティクスパラメータとの関係を解明するために、テニス熟練者とテニス非熟練者、またソフトテニス熟練者を対象に、3コース予測及びVASによる予測判断の有用性についての検討、予測と予測手がかりと言われているラケットキネマティクスパラメータの関係の検討を行なった。

その結果、以下の結論を得た。

- テニス熟練者及びソフトテニス熟練者は、センター・ボディ・ワイドの3コースの予測判断であっても、予測できることが示唆された。
- VASによる予測判断は、択一による予測判断と同等の有用性を持ち、予測のコースが多いほどVASによる予測判断が、より直感的に判断ができるため、有用であることが示唆された。
- テニス熟練者は、コース予測、スピード予測、回転量予測全てにおいて、ラケットキネマティクスを知覚し、予測手がかりとしていることが示唆された。
- テニス非熟練者は、コース予測においてのみ、ラケットキネマティクスを知覚できる

が、知覚のタイミングやパターンが異なることやテニス領域固有の知識が乏しいこと
によって、それらを予測手がかりにすることができないことが示唆された。

- ・ ソフトテニス熟練者は、コース予測においてのみ、ラケットキネマティクスを知覚で
き、予測手がかりとすることができる。つまり、そのスポーツ固有の知識がなくても、
同系競技からの経験を予測に利用出来ることが示唆された。しかし、スピードや回転
量といった球種に関しては、そのスポーツ固有の知識が必要とされることが示唆され
た。

参考文献

- Abernethy, B. (1990). Expertise, Visual-Search, and Information Pick-up in Squash.
Perception, 19 (1), 63-77.
- Abernethy, B. & Russell, D. G. (1987). Expert Novice Differences in an Applied
Selective Attention Task. Journal of Sport Psychology, 9, 326-345.
- Abernethy, B. & Zawi, K. (2007). Pickup of essential kinematics underpins expert
perception of movement patterns. Journal of Motor Behavior, 39 (5), 353-367.
- Atkinson, A. P. Dittrich, W. H. Gemmell, A. J. Young, A. W. (2004), Emotion perception
from dynamic and static body expressions in point-light and full-light displays.
Perception, 33 (6), 717-746.
- Bahill, A.T., & LaRitz, T. (1984). Why Can't t batter keep their eyes on the ball?
American Scientist, 72, 249-253.
- Bouchard, L. J. (1998), New frontiers in visual search: An exploratory study in live
tennis situations. Research Quarterly for Exercise and Sport, 69 (3), 290-296.
- Cutting, J. E. Kozlowski, L. T. (1977). Recognizing Friends by Their Walk - Gait
Perception without Familiarity Cues. Bulletin of the Psychonomic Society, 9 (5),

353-356.

Dittrich, W. H. Troscianko, T. Lea, S. E. G. Morgan, D. (1996). Perception of emotion from dynamic point-light displays represented in dance. *Perception*, 25 (6), 727-738.

Farrow, D. & Abernethy, B. (2003). Do expertise and the degree of perception - action coupling affect natural anticipatory performance? *Perception*, 32 (9), 1127-1139.

Fukuhara, K. Ida, H. Kusubori, S. & Ishii, M.. (2009). Anticipatory Judgment of Tennis Serve: A Comparison between Video Images and Computer Graphics Animation. *International Journal of Sport and Health Science*, 7. 12-22.

Gordon, B. J. & Dapena, J. (2006). Contributions of joint rotations to racquet speed in the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 24 (1), 31-49.

Goulet, C. Bard, C. Fleury, M. (1989). Expertise Differences in Preparing to Return a Tennis Serve - a Visual Information-Processing Approach. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 11 (4), 382-398.

Haskins, M. J. (1965). Development of a Response-Recognition Training-Film in Tennis. *Perceptual and Motor Skills*, 21 (1), 207-211.

平田大輔, 松田治廣, 西篠修光 (1998). テニスにおける技の熟達に伴う認知能力の変容に関する研究. *東京体育学研究*, 49-54.

井田 博文, 福原 和伸, 石井 源信, 井上 哲理 (2007) テニスとソフトテニスとで逆転するサーブへの予測的判断. *日本スポーツ心理学会*, 第 34 回.

井田 博文, 福原 和伸, 高橋 まどか (2010) 没入型 3 次元映像呈示におけるテニス打球に対する知覚. *スポーツ心理学研究*, 37 (1), 1-11.

Johansson, G. (1973). Visual-Perception of Biological Motion and a Model for Its Analysis. *Perception & Psychophysics*, 14 (2), 201-211.

- 中川 昭 (1984). ボールゲームにおける状況判断研究のための基本概念の検討. 体育学研究, 28-4, 287-297.
- 入戸野 宏 (2004). 心理生理学データの分散分析. 生理心理, 22 (3), 275-290.
- 奥田 援史 (1995). 運動場面の手掛かり利用が予測の速さと正確さに及ぼす影響. 岡山大学教育学部研究集録, 93, 137-146.
- Rowe, R. Horswill, M. S. Kronvall-Parkinson, M. Poulter, D. R. & McKenna, F. P. (2009). The Effect of Disguise on Novice and Expert Tennis Players' Anticipation Ability. *Journal of Applied Sport Psychology*, 21 (2), 178-185.
- Savelsbergh, G. J. P. Williams, A. M. Van der Kamp, J. Ward, P. (2002). Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers. *Journal of Sports Sciences*, 20 (3), 279-287.
- Shim, J. Carlton, L. G. Chow, J. W. Chae, W. S. (2005). The use of anticipatory visual cues by highly skilled tennis players. *Journal of Motor Behavior*, 37 (2), 164-175.
- Shim, J. Carlton, L. G. & Kwon, Y. H. (2006). Perception of kinematic characteristics of tennis strokes for anticipating stroke type and direction. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 77 (3), 326-339
- Singer, R. N. Cauraugh, J. H. Chen, D. P. Steinberg, G. M. & Frehlich, S. G. (1996). Visual search, anticipation, and reactive comparisons between highly-skilled and beginning tennis players. *Journal of Applied Sport Psychology*, 8 (1), 9-26
- Singer, R. N. Williams, A. M. Frehlich, S. G. Janelle, C. M. Radlo, S. J. Barba, D. A. & Bouchard, L. J. (1998). New frontiers in visual search: An exploratory study in live tennis situations. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69 (3), 290-296.

高橋 広 (2005). コミュニケーション障害とリハビリテーション. 視覚障害者と非言語
コミュニケーション, 総合リハビリテーション, 33 (9), 809-814.

武田 守弘, 古田 久 (2004). テニスのサービスコース・球種予測における有効な手が
かり : 反応時間計測手法と空間的遮蔽手法を用いて. 広島大学大学院教育学研究
科紀要, 53, 327-334.

湯 海鵬 (2000). バドミントンにおけるスナップ動作. 日本バイオメカニクス研究, 4(2),
152-158.

Williams, A. M. Ward, P. Knowles, J. M. & Smeeton, N. J. (2002). Anticipation skill in a
real-world task: Measurement, training, and transfer in tennis. *Journal of
Experimental Psychology-Applied*, 8 (4), 259-270.

Williams, A. M. Davids, K. Burwitz, L. & Williams, J. G. (1994), Visual-Search
Strategies in Experienced and Inexperienced Soccer Players. *Research
Quarterly for Exercise and Sport*, 65(2), 127-135.

Williams, A. M. Huys, R. Canal-Bruland, R. Hagemann, N. (2009). The dynamical
information underpinning anticipation skill. *Human Movement Science*, 28 (3),
362-370.

参考図書

伊藤 宏司 2005 身体知システム論 共立出版

金子 公有 2005 改訂スポーツ・バイオメカニクス入門 杏林書店

Nick Bollettieri, 梅林 薫 (監修) 2005 ボロテリーのテニスコーチング 大修館書店

全米テニス協会, 神和住 純 (監修) 2006 テニス勝利への戦術 [シングルス編]

大修館書店

謝辞

本論文は早稲田大学スポーツ科学学術院福林徹教授のもとに行われたものであり、稿を終えるに当たり、適時助言、指導して下さった先生に深く感謝の意を表す。さらに、早稲田大学スポーツ科学学術院内田直教授、正木宏明准教授にはご多忙の中、審査員として親身なご指導、ご指摘を賜り心より感謝する。

東京医科歯科大学井田博文先生にはキネマティックパラメータ算出のプログラミングから研究内容、論文執筆に渡りご指導賜り、深く感謝する。

Motor Control Science 勉強会（もっこす）メンバーの福原和伸様、高橋まどか様、道場栄介様には、貴重なご意見やご指導を賜り、深く感謝する。

研究活動を進めるに当たり、公私ともに支えて頂いた早稲田大学大学院スポーツ科学研究科スポーツ外科学研究室に所属する皆さま、また、実験協力を快諾して頂いた早稲田大学庭球部、早稲田大学軟式庭球部の選手の皆さまに深く感謝する。