

マイクロサッカードを指標とした潜在的注意に関する研究 - テニスのサービスに対する予測反応課題を用いて -

著者	高橋 正則
その他のタイトル	A study on covert attention using microsaccade as an index: Introducing anticipatory response tasks toward tennis serve
学位授与年度	平成29年度
学位授与番号	17104甲生工第320号
URL	http://hdl.handle.net/10228/00006824

博士論文

マイクロサッカーを指標とした潜在的注意に関する研究
—テニスのサービスに対する予測反応課題を用いて—

平成 29 年度

九州工業大学大学院 生命体工学研究科 生命体工学専攻

高橋 正則

指導教員 磯貝 浩久

目次

第1章 序論

1. 問題の所在	2
2. 先行研究からの展望	5
1) スポーツと予測	
(1) 予測とは	
(2) テニス競技における予測手掛かり	
(3) 予測における視覚的注意（顕在的注意と潜在的注意）	
2) スポーツと眼球運動	
(1) 眼球運動の種類と基本的性質	
(2) 固視微動	
(3) マイクロサッカードと視覚的注意	
(4) マイクロサッカードの生成に関わる神経機構とそのメカニズム	
(5) ドリフトとトレマー	
3) 先行研究のまとめ	
3. 本研究の目的	25
1) 目的	
2) 研究方法	
3) 論文構成	

第2章 テニスの予測反応事態における文脈的手掛かりと視覚的手掛かりの関係

1. 目的	31
2. 方法	31
1) 被験者	

2) サービ動作の撮影	
3) 映像刺激の作成	
4) 実験装置	
5) 実験課題	
6) 教示条件と内容	
7) 手続き	
8) 分析項目と統計処理	
3. 結果	38
1) 選択反応時間の比較	
2) 反応時間と予測正確率	
3) 推定予測時期	
4) 推定予測時期と予測正確率, 自信度との関係	
5) 内省報告	
4. 考察	44
1) 熟練者の予測反応に対する文脈的手掛かりの影響と視覚的手掛かりとの関係	
2) 非熟練者の予測反応に対する文脈的手掛かりの影響と視覚的手掛かりとの関係	
3) 熟練者と非熟練者における各パラメータの関係性	
4) 内省報告からみた熟練者と非熟練者の予測反応	
5. まとめ	50
第3章 予測反応事態の眼球運動からマイクロサッカードを検出する試みとその評価	
1. 目的	54
2. 方法	55
1) 被験者	
2) ビデオ映像の作成	

3) 実験装置	
4) 実験課題と条件設定	
5) 眼球運動と反応時間の測定	
6) 手続き	
7) マイクロサッカードの検出方法	
8) 統計処理	
3. 結果	62
1) 条件別にみた反応時間と予測正確率	
2) フリー条件にける眼球運動とマイクロサッカードの検出結果	
3) 注視条件におけるマイクロサッカードの検出結果	
4) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの出現頻度の比較	
5) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの方向ごとの頻度	
6) 内省報告	
4. 考察	72
1) フリー条件におけるマイクロサッカード	
2) 注視条件におけるマイクロサッカード	
3) マイクロサッカードの出現頻度からみた視覚的注意	
4) マイクロサッカードの方向からみた潜在的注意による視覚的手掛かり	
5. まとめ	79
第4章 マイクロサッカードを指標とした潜在的注意による視覚的手掛かりの検討	
1. 目的	83
2. 方法	83
1) 被験者	
2) ビデオ映像の作成	

3) 実験装置	
4) 実験課題と条件設定	
5) 眼球運動と反応時間の測定	
6) 手続き	
7) マイクロサッカードの検出方法	
8) 統計処理	
3. 結果	90
1) 予測反応課題における反応時間と予測正確率	
2) フリー条件と2つの注視条件におけるマイクロサッカードの検出	
3) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの出現頻度の比較	
4) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの振幅の比較	
5) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの方向の比較	
6) 内省報告	
4. 考察	100
1) ダブルスのサービスに対する各条件の予測反応	
2) フリー条件と2つの注視条件におけるマイクロサッカード検出の可能性	
3) マイクロサッカードの出現頻度と振幅からみた視覚的注意	
4) マイクロサッカードの方向からみた潜在的注意による視覚的手掛かり	
5) シングルスとダブルスにおける視覚探索方略の違い	
5. まとめ	108
第5章 総括	
1. 総合考察および結論	111
2. 本研究からの示唆と展望	115

文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 119

研究業績リスト・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 131

謝辞・・ 133

第1章 序論

1. 問題の所在
2. 先行研究からの展望
 - 1) スポーツと予測
 - (1) 予測とは
 - (2) テニス競技における予測手掛かり
 - (3) 予測における視覚的注意（顕在的注意と潜在的注意）
 - 2) スポーツと眼球運動
 - (1) 眼球運動の種類と基本的性質
 - (2) 固視微動
 - (3) マイクロサッカードと視覚的注意
 - (4) マイクロサッカードの生成に関わる神経機構とそのメカニズム
 - (5) ドリフトとトレマー
 - 3) 先行研究のまとめ
3. 本研究の目的
 - 1) 目的
 - 2) 研究方法
 - 3) 論文構成

1. 問題の所在

スポーツ選手は、実際の競技場において効率的な情報処理を行う (Ripoll et al., 1995) ことで、優れたパフォーマンスを発揮することができる。中川 (1984) は、ボールゲームにおける状況判断について、「外的ゲーム状況を選択的に注意してから、ゲーム状況を認知、予測し、遂行するプレーに関して決定を下すこと」と概念的モデルを用いて定義した上で、状況判断における一連の情報処理過程を経た予測がスポーツ選手に時間的利益をもたらすことを説明している。

テニス競技では、近年、ラケット開発や技能向上に伴ってサービス速度が一段と高速化し、男子選手ではサミュエル・グロス選手が世界最速の時速 263km を記録している。特に、世界一流男子選手はサービスの動作時間を短縮し、ボールを高くトスせず、かつ大きく落下させずに高い位置でボールを捉えるサービス技術 (クイックサービス) を利用し、外的環境から受ける影響や動作のばらつきの少ない正確性の高いサービス動作を遂行しながら高速のサービスを打球している (道上, 2014) ことから、レシーバーの予測を妨げるサービス技術が発展している。一方、女子選手でも 2017 年の全豪オープンで大坂なおみ選手が世界ランキング 1 位 (2017 年 3 月 10 日時点) のセリーナ・ウィリアムズ選手と並んで当該大会最速となる時速 198km を記録したことは記憶に新しい。また同大会で時速 185km 以上を記録した女子選手は他に 13 名にも及んでいる (Australian Open, 2017)。例えば、ハードコートにおける時速 190km のサービスは約 0.4 秒でコートにバウンドし、その後 0.27 秒でレシーバーに到達することから、打球方向を確認してから動き始めても効果的にレシーブすることは困難である。そのため、女子選手においても高速サービスに対するレシーブのスキルをより向上させる必要性が高まっている。したがって、このような時間的制約下ではレシーブ動作のための時間的ゆとりを獲得する迅速かつ正確な予測スキルの習得が重要な課題であることから、予測のための知覚および認知情報処理過程の解明が望まれる。

これまでのスポーツに関連した予測研究では、人間と外部環境の相互作用による情報処理を考慮した生態学的アプローチ（生態心理学の基礎となるアフォーダンスの理論に基づいた「環境は有機体のために行為をアフォードする（リード, 2001）」という考え）を前提としていることから、実際の競技場面にできるだけ近似した環境を再現するといった生態学的妥当性が高い実験状況（Williams et al., 1999）の設定が求められる。実際には特定の競技場面におけるフィールド実験が理想と考えられるが、再現性や測定精度を担保することが困難であるといった問題から、ある競技場面における予測反応事態を想定した視覚刺激や実験課題を用いることによって多くの有用な知見を得ている。

また、予測研究における主な手法は、複数の実験パラダイムが併用または応用されている。特に、予測時期や予測手掛かりを推定するために時間的遮蔽法（Abernethy and Russell, 1987; Goulet et al., 1989; Farrow and Abernethy, 2002）や空間的遮蔽法（Williams and Davids, 1998; Shim et al., 2005）による視覚刺激の呈示が施され、反応時間計測法（武田・古田, 2004）等を併用することで反応時間や正確性を指標として予測の早さや精度が検討されている。また VAS (visual analog scale) 法による予測反応結果を指標とした研究（緒方ほか, 2015）や、同時に被験者の言語報告から他のパラメータを補完している研究（Williams and Davids, 1998 ; 宮本ほか, 2011）もある。さらに、最近ではバイオロジカルモーションによる刺激呈示法(相手の身体動作を光点表示して呈示すること)により、予測判断に必要な本質的運動情報の内容を検討した研究（Abernethy, 1993; Ward et al., 2002）や、コンピュータ・グラフィックスを用いたアニメーションを視覚刺激とし、研究目的に応じた視覚情報を操作できる可能性を示した研究（Fukuhara et al., 2009; 福原ほか, 2009; 井田ほか, 2010）も発展している。しかし、これらの手法は生態学的妥当性の観点からみると、周囲の環境に基づく情報が失われていることから本来重要な視覚的手掛かりを欠落させてしまう問題が指摘されている（加藤, 2013）。

近年の技術開発により、高性能な眼球運動測定装置が誕生したことから、眼球運動測定法（Goulet et al., 1989; Abernethy, 1990a; Ripoll et al., 1995; Williams and Davids,

1998; Savelsbergh et al., 2002; 2005; Reina et al., 2007) が認知科学の分野で頻繁に利用されるようになった。特に注視点分析による研究では、実際に注意を向けている対象に注視点に向けられていると仮定し、視覚探索軌跡や探索率、注視回数、注視時間等を指標として顕在的に注意の対象を特定することで、熟練者が予測時の情報処理に利用した視覚的手掛かりを推定している。

一方、これまでに述べた予測研究は、対戦相手のキネマティックな身体動作情報や、例えば打球後の飛球情報等のようにその後のパフォーマンス結果を予測手掛かりとして検討されているが、予測スキルには状況に基づいた文脈的手掛かりの影響も示唆されている (Abernethy et al., 2001; Farrow and Reid, 2012; Murphy et al., 2016)。したがって、熟練したテニス選手のサービスに対する予測反応に文脈的手掛かりがどのように影響するのか、身体動作に関する視覚的手掛かりに加えて検討しておくことは、予測スキルを理解する上で重要となる。

2. 先行研究からの展望

1) スポーツと予測

(1) 予測とは

予測 (prediction) とは, 将来の出来事や有様をあらかじめ推測すること (新村, 2008) であり, 「prediction」という精神作業 (知覚・認知情報処理) に基づいて先回りする, 待ち伏せするという行動は「見越し (anticipation)」と解されている (大築, 2006). したがって, 本研究で用いる「予測」は, 「prediction」の結果から生起する反応行動を併せて検討する必要性から, 「prediction」を含有する「anticipation」の意味で使用する.

スポーツにおける予測には, 空間的予測, 時間的予測, 強度的予測の3種類があり, 相手やボールがどこへ, いつ, どのくらいの速さとエネルギーで到達するのか, 迅速にかつ正確に予測することができれば, 反応時間分の遅延を取り戻すことが可能となり, 効果的な対応動作をとることができる (大築, 2006). つまり, スポーツ選手は刺激が現れる前に反応選択や反応プログラミング活動を完了することによって事前に動きを組織化すること (有機的な働きをするように統一化すること) ができる (調枝, 1977; Rosenbaum, 1980). 特に, 時々刻々と変化する周囲の環境に迅速にかつ正確に判断することが求められるオープンスキル系のスポーツでは, この予測スキルが重要な要因となることから, 様々なスポーツにおいて特定の予測反応事態を想定した予測研究が行われている. 例えば, ボクシング (Ripoll et al., 1995), テニス (Goulet et al., 1989; 武田・古田, 2004; 高橋ほか, 2005; 福原ほか, 2009; Fukuhara, et al., 2009; 井田ほか, 2010; 宮本ほか, 2011; Smeeton and Huys, 2011), サッカー (Williams and Davids, 1998; Sevelsbergh et al., 2002; 2005; Ward and Williams, 2003; 續木ほか, 2008), バドミントン (Abernethy and Russell, 1987; Abernethy, 1989; 邵ほか, 2014), クリケット (Abernethy and Russell, 1984), スカッシュ (Abernethy, 1990a; 1990b; Abernethy et al., 1999), 空手 (Williams and Elliott, 1999; Mori et al., 2002; 竹澤・筒井, 2015), 柔道 (Piras et al., 2014), 野球 (田

中ほか, 2013 ; 三好ほか, 2012 ; 竹内・猪俣, 2012) 等が挙げられる.

これらの先行研究によると, スポーツ選手は注意や予測, 視覚探索等の認知機能が一般人より優れている (Abernethy and Russell, 1987; Goulet et al., 1989; Abernethy, 1989; Abernethy, 1990a; 1990b) ことが実証され, また熟練者の中でもエリート選手はより高度な知覚および認知的技能を有している (Ward and Williams, 2003) ことが報告されている. これらのことから, スポーツ選手は専門的知覚 (expertise perception) と呼ばれている, 専門とするスポーツに特化した視覚認知機能 (Williams et al., 1999) を駆使して予測という高次の情報処理を遂行していると考えられる.

また, 実際の競技場面のように高不安条件を設定した場合, 熟練者はより早く正確な予測を遂行することができ, 相手動作の特定場所を長く注視することで視覚をより安定させた方略をとるといった報告 (Williams and Elliott, 1999) や, 心理的スキルであるセルフトークが予測の正確性を高め, ポジティブセルフトークは快適度が高く, 指示的セルフトークはパフォーマンス結果の認知をより促進するといった報告 (高橋・Van Raalte, 2010) がある. さらに, 予測手掛かりの知見を用いて, 予測スキルの知覚トレーニングの効果を検証する研究も盛んに進められている (Abernethy et al., 1999; Farrow and Abernethy, 2002; Williams et al., 2002; 2004).

(2) テニス競技における予測手掛かり

テニス競技は, 運動と休息を交互に繰り返し, あるゆるショット (技術) を使いながらポイントを取得していく競技 (日本テニス協会編, 2015) であり, まさに時々刻々と変化する周囲の状況に迅速にかつ正確に対応する能力が求められるといった競技特性を有している. 他のスポーツ競技と同様に, テニスにおいても一般的に熟練者の予測は早く正確である (Singer et al., 1996; Goulet et al., 1989). もし熟練者が予測に利用している手掛かりを特定することができれば, それらの知見は実際の指導現場で予測スキルの向上を図るための知覚および認知的トレーニングに応用することが可能となり, 競技力の向上に貢献

できるものと考えられる。

a. 視覚的手掛かり

武田・古田（2004）は反応時間計測法と空間的遮蔽法を用いてサービスのコースと球種の予測手掛かりを検討した。その結果、コース予測において予測正確性と予測時期のトレードオフ（正確さと早さの交互作用）が成立したことから、コース予測の手掛かりは相手のサービス動作が進行するにつれて徐々に出現してくるが、球種予測の手掛かりは相手のサービス動作中の早い段階で出現していることを報告している。また、コース予測に有効な手掛かりは、まず「ボール」、その後「ラケット・腕」から、また球種予測については「ボール」から検出することが必要であるとしている。これらの知見は、コース予測と球種予測の手掛かりを併せて検討している点に価値が見い出せる。つまり、フラットの球種予測であればセンター（レシーバー側から見て左側）への速いサービス、スライスであれば若干速度が遅いワイド（レシーバー側から見て右側）へのサービスというように、球種によってサービスの空間的および時間的予測が経験則より規定できることから、その後のコース予測がより効率的となる。またコース予測のために有用な視覚的手掛かりが、最終的にはラケットと腕から得られる情報であることは、他の先行研究（緒方ほか，2015）とも一致している。緒方ほか（2015）は、ビデオ映像を用いた時間的遮蔽法により予測実験を行ったところ、サーバーのラケット動作のパラメータとレシーバーの予測パフォーマンスとの定量的関係性を明らかにし、これまでのシミュレーション動作を用いた実験で主張されたラケット情報の予測手掛かりとしての有効性を支持する知見を得ている。また、グランドストロークの場合でもコンピュータ・グラフィックスによるシミュレーションを用いた研究（Shim et al., 2005; Williams et al., 2009）により同様に予測手掛かりはラケットと腕から得られる情報であることを報告している。

ただし、武田・古田（2004）の空間的遮蔽法の場合、サービス動作の身体部位を動画編集ソフトにより背景色と同色で塗りつぶした映像を被験者に呈示している。この方法は被

験者の注意が遮蔽した部分に集中しないように配慮されたが、身体の一部が欠落しているサービス動作映像の呈示は、被験者にとって不合理な視覚刺激であったことは容易に推測できる。そのため、選択的注意によって遮蔽した部分に注意が喚起される可能性を有していることが実験方法上の問題と言える。また、シミュレーションを用いた研究では、先に述べた生態学的妥当性の問題が危惧される。

次に、テニス競技における眼球運動計測を用いた予測研究を概観する。前述したように予測時の有効な視覚的手掛かりは、ラケットと腕からの情報であることが有力である。この知見は、注視点分析を主とした Goulet et al. (1989) や河原ほか (1989), Reina et al. (2007) によっても報告されている。しかしながら、河原ほか (1989) の結果をみると、注視点は変位するラケットまたは腕を終始一貫して追従しているわけではなく、また、ある特定箇所を注視し続けているのでもない。武田・古田 (2004) が報告しているように、コース予測の手掛かりは相手のサービス動作が進行するにつれて徐々に出現してくることから、サービス動作の運動連鎖の開始からインパクト時点に至るまで、何らかの視覚探索パターンを方略として用いることによって予測手掛かりを獲得していると考えられる。

また、フォワード・スイング局面における注視点の位置はボールと身体との間にあり、実際的に空間的な対象を捉えていない結果も熟練者から見出されている (河原ほか, 1989; 高橋ほか, 2005)。これはビジュアル・ピボット (視支点: visual pivot) という認知方略として捉えられ、ある特定の位置に注視しながら周辺視システムにより多くの情報を収集していると考えられる (Ripoll et al, 1995; Williams and Elliot, 1999; Prias et al., 2014)。つまり、トスされたボールと、ラケットや腕を含む身体動作との空間的および時間的關係性を相対的に包括した情報を用いて予測していると考えられるが、実際のところ注意されている対象がラケットや腕の動作かは不明である。我々はある対象を見ながら、他に注意を向けることができるが、これまでの注視点分析では潜在的な注意の対象を正確に捉えることはできないことから、注視点分析による方法論上の限界と言える。また、Viviani (1990) は、脳内の情報処理が並列的であると考えられるのに対し、眼球運動軌

跡は継時的であり、両者がどのように対応しているのか不明であること、ある位置を固視していることと、その時にどのような情報を獲得しているのかということは別問題であり、実際に得られた情報を確実に測定する方法がないことを指摘し、眼球運動データを用いる場合には明確な仮説を立てることの必要性を示唆している。

さらに、知覚の差異は視覚探索方略の違いというより、むしろ利用される情報の使い方に関係しているとの報告 (Williams et al., 1993) もあることから、情報の使い方を議論する前に、実質的に注意が向けられた情報が何か、視覚的注意による視覚的手掛かりについて顕在的にも潜在的にも両面から検討しておくことが必要と考えられる。

b. 文脈的手掛かり

前述した先行研究は、いずれも情報源をサービス動作に限定しているが、予測に影響すると考えられる先行情報は視覚的手掛かりだけではなく、文脈的手掛かりの影響も指摘されている (Abernethy et al., 2001; Farrow and Reid, 2012; Murphy et al., 2016)。中川 (1984) はゲーム状況を刺激の総体として客観的要素と主観的要素に分類している。前者は眼前に存在する外的環境を形作っている要素 (ボール・選手・競技場の形状, ボール・選手の位置, ボール・選手の運動, ゲームの経過時間, 得点, 気象要素, ルール等) であり、また後者は眼前には客観的実体として存在しないが、ゲームの展開の結果、主観的実体として存在する要素 (相手の長短所, 本人との力関係, 相手のプレーの傾向, 相手の疲労状態, 試合のペース・リズム等) である。Buckolz et al. (1988) は、時間的圧迫下の予測すべき状況において先行情報を視覚的手掛かりである身体言語的手掛かり (body language cues) と文脈的手掛かり (contextual cues) に区別し、それらの重要性を時系列的に説明している。前者は対戦相手のサービス動作に関するキネマティックな情報であり、後者は過去の場面で生じた事象に関わる情報 (相手の事前評価, 身体的特徴, 得意コース・配球のプレーの特徴等) で、まさにその時の試合状況を示す流れといった試合の展開等に基づいた情報を示しており、いずれも中川 (1984) の分類に含まれている。特に、

時間的圧迫に晒された環境では、まず文脈の手掛かりが先行して行動の準備状態となる期待（心づもりをすること）を形成し、続いて身体言語的手掛かりを併用して期待をより発達させ予測に至る（Buckolz et al., 1988）。このように、身体言語的手掛かりは文脈の手掛かりとの相互作用によって解釈され、認知心理学的観点からみると、文脈は概念駆動型（トップダウン）の処理を導き、文脈を規定するであろう高次の一般的知識がより低次のパターン認知の出力を解釈し意味づけている（増井, 1997）と考えられる。例えば、実際の競技場面ではそれまでの試合の流れやカウントの推移を勘案し、次のサービスが自分の苦手なバックハンド側に打たれるかもしれないと予め期待を高め、レシーブしようとすることは経験的にも理解されよう。

しかし、前述したように、従来、サービス動作に関する身体言語的な視覚的手掛かりに基づく予測の研究が多く、テニスの様々な状況に基づいた文脈的手掛かりを検討した研究はまだ少ない。野球では、ピッチャーが投球する球種の予測について、呈示される投球映像の球種（ストレート、カーブ）とその確かさ（先行情報なし, 60%, 80%）を先行情報として被験者に与え反応課題を行わせた結果、先行情報は予測の早さと正確性に影響を及ぼし、球種に対する信頼度が80%条件の時でも最も反応時間が早く、また先行情報と反応結果の一致率から先行情報の持つ正確性が反応の正確性に強く影響することを明らかにしている（田中ほか, 2013）。またスカッシュでは、遮蔽ゴーグルを装着した被験者にコート上で実際に試合をさせ、一時的に遮蔽した時の予測の誤差は非熟練者よりも熟練者で少なく、熟練者は相手の動作パターンからキネマティックな情報を抽出する能力が優れているだけでなく、相手の攻撃パターンにおける状況的な確率と連続的な依存に内包された情報に適応できることを示している（Abernethy et al., 2001）。さらに武田（2003）は、状況、動作、飛来線に基づくコース予測の比率を質問紙法により調査したところ、特に状況に基づく予測は約30%を占めていたことを報告している。

したがって、これらの知見はテニスのレシーブ時における予測反応事態でも当てはまり、文脈的手掛かりとなる確率情報という先行情報がサービスのコース予測の早さと正確性に

影響することが考えられることから、視覚的手掛かりである身体言語的手掛かりに加え、文脈の手掛かりの影響を十分検討しておくことが必要である。

(3) 予測における視覚的注意（潜在的注意と顕在的注意）

眼球運動の主な目的は、視覚的な方向付け（視覚定位：visual orienting）を行うために視対象を中心窩で捉えることであり、その結果、視対象に対して注意を向けることになる（熊田，2013）。したがって、注意の移動が行動として顕在化したものが眼球運動であると言える。注意とは、広い視野の情報を全て同時に処理できないことから、それを逐次的に処理するための情報選択機能を指しており、情報選択の代償としていくつかの情報を無視するという側面を兼ね備えている。また注意は、特定の標的を検出したり、認識したりするためのシステムの内部設定とも言え、聴覚や触覚など様々な感覚に対しても存在する（横澤，2012）。

本研究では、視覚情報を対象にした選択機能である視覚的注意（visual attention）に着目するが、一般に眼を向けて注意することを顕在的注意（overt attention）と呼び、眼球運動計測により視線の移動を捉えることで観察可能である。また、眼を向けることなく注意することを潜在的注意（covert attention）と呼び、外からは観察できないと考えられている。視覚探索では、中心視野で捉えた対象の処理をした結果、それが探索しているものでなければ、周辺視野から次の候補を選択・処理し、視線移動の準備をする。この周辺視の処理は視線が固定された状態であるため、潜在的注意の働きと考えられる（塩入，2009）。近年では、このような潜在的注意を示す指標として固視微動に注目が集まっており、新たな知見が得られている。

2) スポーツと眼球運動

視覚はスポーツにおいて最も重要な知覚であり、その能力の優劣が競技力に大きな影響を与えている（スポーツビジョン研究会編，1997）。そこで、次に人間の視覚機能を担う

眼球運動の種類と基本的性質について概観し、本研究で着目した固視時の眼球運動である固視微動について論じる。

(1) 眼球運動の種類と基本的性質

人間の眼球は、外眼筋とよばれる3対6本の筋（内、外、上、下直筋および上、下斜筋）によって3軸（眼球を左右に回転させる軸、上下に回転させる軸、視線方向に沿った軸）の回転運動を行うことができ、どのような順番で眼球を回転させても視線方向と眼球の姿勢の関係が一定になるように調整されている（ドンデルスの法則：Donders' Law）。また、眼球運動の回転軸は視線方向に応じて変化するが、様々な視線方向に対応する回転軸はいずれも第一眼位（顔の正面遠方に視線を向けた状態）のときの視線方向にほぼ垂直な面上に存在している（リスティングの法則：Listing's Law, 十河, 2010a）。これらの外眼筋は、動眼神経、滑車神経、外転神経によって極めて密に支配されていることから、眼球運動は人間の体の動きの中でも最も繊細な動きが可能である（スポーツビジョン研究会編, 1997）。

眼球運動には、両眼間の運動と各眼個々に定義される運動がある。両眼の眼球運動は、左右の眼が同方向に動く共役運動（conjugate movement）と互いに逆方向に動く離反運動（disjunctive movement）に分類され、前者は2次元平面上や等距離の視対象を移動するときを生じ、後者は輻輳開散運動（vergence movement）とも呼ばれ、3次的に距離の異なる視対象を見るときや立体画像を観察するときを生じる（映像メディア学会編, 2009）。

各眼の眼球運動は、固視（fixation）、滑動性追従眼球運動（smooth pursuit movement）、サッカード（saccade）に大別される。固視は、静止した対象を中心視野に捉え続ける運動で、固視中でも眼球は絶えず小さく動く不随意性の眼球運動が生じることから、固視微動（miniature eye movement）と呼ばれている。滑動性追従眼球運動は、運動する視対象を眼で追う場合における低速度の滑らかな眼球運動である。視対象の速度が30 deg/sを超えると追従できなくなり（福田ほか, 1996）サッカードにより追従誤差を補正するが、

約 60 deg/s まで追従が可能で、イメージ上での対象の運動や 2 次元の音源の移動など視対象がない場合にも生じる。また、サッカードは中心視野の外にある対象を中心視野で捉えるための非常に高速度の眼球運動（最高速度 300~600 deg/s）で、振幅は 15 deg 以内、途中で随意的に運動を止めることはできない。サッカードには不応期（潜時：latency）があり、原則として 160~170ms 以下の時間間隔で発生することはない。視対象が動き出してからサッカードが発生するまでには常に 160~170ms の遅れが生じる（映像情報メディア学会編，2009）。日常では、1 秒間に 3~4 回のサッカードが生じている。また、周辺視野にある視対象に対しては、1 回のサッカードでは正確にその位置に到達できない場合があり、その場合には連続的に小さな修正サッカード (correction saccade) が生じる（熊田，2013）。サッカード中およびその前後数十ミリ秒の間には、視覚情報が完全に遮蔽されるわけではないが、一時的に視覚機能は低下することから、サッカード抑制 (saccadic suppression) と呼ばれている（本田，1994）。例えば、文章の最初から終わり部分へ眼球を移動させた際、その間の文字は知覚されない（Ishida and Ikeda, 1989）ことから、実際に文字を読むことができない。

実際の視線の動きは、眼球運動と体の動きを含めた頭部運動との合成により実現されている。前庭動眼反射 (vestibulo-ocular reflex) は、ある対象を注視している状態で頭部を動かしても、頭部と反対方向に眼球を回転させることによって、視対象を網膜の中心窩に捉え、視線を安定させる機能を持っている。視運動性眼球運動は、視野の広範囲が持続的に一定方向に流れる時に、視野の流れと同じ方向に眼球が回転する反射的な眼球運動で、前庭動眼反射と同様に頭部運動と反対方向に眼球が回転することで視線を安定させている。視運動性眼球運動をしばらく継続すると、眼球は一方向に回り続けることができないため、素早く逆方向に回転して再び元の方向へ回転するといった往復運動（視運動性眼振：optokinetic nystagmus）を繰り返す。特に、素早い逆方向の回転を眼振の急速相、通常の視運動性眼球運動を眼振の緩徐相と呼んでいる（映像情報メディア学会編，2009）。また前庭性の眼球運動をしばらく続けた場合にも同様な眼振（前庭性眼振：vestibular

nystagmus)が生じる(スポーツビジョン研究会編, 1997).

(2) 固視微動

ここでは、本研究で着目する固視微動について詳しく説明する。前述したように、固視微動(図 1-1)は、意識的にある一点を固視した場合でも眼球は無意識に絶えず小さく動く眼球運動で、マイクロサッカド、ドリフト、トレマーの3成分に分類される(金子, 2009)。マイクロサッカド(microsaccadeまたはflick)は、振幅1度以内、30ms~5sec間隔で不規則に生じるステップ状あるいはパルス状の運動である。ドリフト(drift)は、偏位角度5分以下で、持続時間1秒程度まで速度約1分/sの遅い滑らかな運動である。トレマー(tremor)は、生理学的眼振(physiological nystagmus)とも呼ばれており、振幅角度は一般に5~15秒程度で、30~100 Hzの周波数成分からなる不規則運動である。

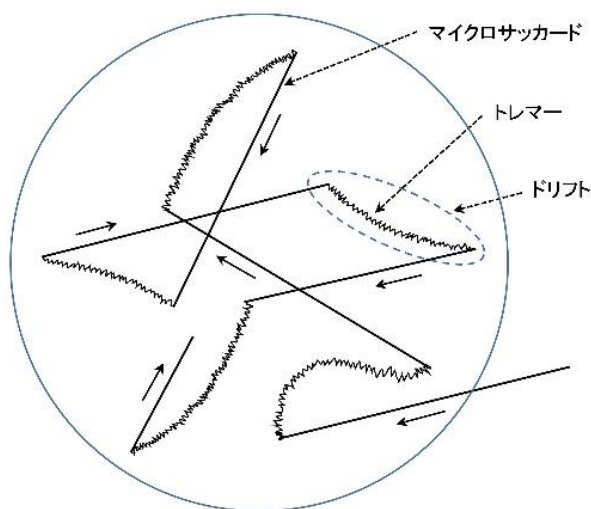


図 1-1 注視中の固視微動 (Pitchard (1961)の図を改変)

これらの固視微動は、視対象が網膜中心窩から逸脱した場合、反射的に中心窩に呼び戻し、眼球位置を修正する機序を有していると考えられている(熊田, 2013)。また、視対象が網膜上の一定の位置に固定された静止網膜像条件で視対象を観察していると、色も無

彩色になり (Yarbus, 1967), 間もなく視覚は消失する (Dichburn and Fender, 1955; Riggs et al., 1953) ことから, 固視微動は固視による視覚の消失を防止する役割を担っている (Martinez-Conde et al., 2004). さらに, 固視微動は人間の高次な脳機能 (認知情報処理) をも反映する (Valsecchi et al., 2007) ことが実験的に検証されていることから, 知覚形成のみならず様々な視覚機能に関与する重要な眼球運動の 1 つに位置づけられている.

特にマイクロサッカードについては, 視覚情報を高精細化する機能を有しており (Rucci et al., 2007), 不随意的な眼球運動であるにもかかわらず, その出現頻度や方向は注意の影響を受け, 潜在的注意を表す指標として利用できる可能性が報告されている (Engbert and Kliegl, 2003). これらの知見は, 被験者が 1 点を注視しようと努めている際にマイクロサッカードを検出しているが, 自由に視覚探索を遂行している時でも注視期間があればマイクロサッカードは生成されることが報告されている (Otero-Millan et al., 2008; 十河, 2010b). また, 視覚探索のための簡単なアニメーションを視覚刺激としてマイクロサッカードの抽出を試みた結果, 1 試行 3 秒間という短い課題でも精度よく抽出できたとする報告もある (大根田ほか, 2009).

これまでに, 固視微動からマイクロサッカードを適切に検出するための様々な方法が検討されているが, まず測定系ノイズを抑制するために時系列眼球運動データの移動平均を用いて平滑化した後, 眼球運動の速度に閾値を設定し, 閾値を超えた速い動きをマイクロサッカードと判定する Engbert and Kliegl (2003) の方法が多くの研究で参照されている. 吉松 (1996) は, 注視時眼球運動のウェーブレット解析を用いた波形の平滑化を提案し, 最も微小な振幅で周波数が高くノイズのようなトレマーをマイクロサッカードやドリフトから分離すること検討し, 良好な結果を得た. また, 小濱ほか (1998) は, ウェーブレット変換を応用した平滑化手法により測定系ノイズを除去した後, マイクロサッカードの発生頻度や振幅について解析を試みた結果, マイクロサッカードの特性を指標とした視覚的注意の定量的測定の可能性を示した. さらに, 野口ほか (2011) は, マイクロサッカード検出の際, 被験者ごと, あるいはセッションごとに最適な閾値が異なることが多く, 閾値

をどのようにして定めるかが問題となることから、これに代わる手法を検討するため、順序統計に基づいた非線形な前処理と低域微分フィルタを組み合わせた新たな非線形フィルタを提案し、同時に動的閾値を施してマイクロサッカードを検出する方法を検討した。その結果、被験者ごと、あるいはデータごとのパラメータ調整を行わずとも、十分な精度でマイクロサッカードの検出が可能となったとしている。さらに、野口ほか (2014) は、ドリフトを指標とした視覚的注意の定量化の可能性を検討しようとしたが、マイクロサッカードによって頻繁に分断されてしまうドリフトは正確な抽出が困難であり、汎用的な解析方法が確立していないことから、野口 (2011) の順序統計低域微分フィルタを用い、マイクロサッカードの影響を低減させる新たなドリフトのための手法を提案した。いずれにしても、まず固視微動の眼球運動データから確実に測定系ノイズをいかに除去するかが重要な手続きとなる。また、固視微動の出現の様相は複雑で個人差が大きく、状況によっても変化することが指摘されている (Ratliff and Riggs, 1950) ことから、分析の際にはこれらの考慮も重要と言える。

また、眼球運動測定は、使用する眼球運動測定装置の精度とも深く関係している。眼球運動の記録法には、ビデオカメラに記録する方法や EOG 法、角膜反射法、コンタクトレンズ法、サーチコイル法、ダブルプルキンエ像法、鞏膜反射法などがあるが、それぞれの測定法には一長一短があり、研究目的に応じた記録法の使用が求められる。特に、近年では高性能な画像処理法による急速眼球運動解析装置 EyeLink (SR Research 社製) を用いた研究が多く行われている。この装置は、眼球追跡範囲が水平方向 32 deg, 垂直方向 25 deg, またサンプリング周波数を 1,000 Hz に設定可能であると共に解像度は 0.01 deg と高い検出精度を備えている。また、実験課題中、頭部の動きが眼球運動に混入しないようにするため、被験者は顎台に顎を載せ頭部を簡易固定する必要があるが、非接触タイプのアイカメラから眼球運動を記録可能であることから、従来のように頭部にアイカメラを装着する必要がなく、頭部とアイカメラとのズレも生じることがない。そのため、キャリブレーションを何度もやり直す必要がなく、キャリブレーション自体も容易であることから、被験

者の負担を大幅に軽減することが可能と考えられる。これまでに、固視微動に関する多くの研究でこの EyeLink が利用され、数々の知見を得ている（例えば、Di Stasi et al, 2013; MacCamy et al., 2015）ことから、固視微動の検出に際して EyeLink を採用することは高い妥当性を有しているものと考えられる。

(3) マイクロサッカードと視覚的注意

マイクロサッカードと視覚的注意との関連について、Engbert and Kliegl (2003) は、マイクロサッカードを検出するための新たなアルゴリズムを提案し、振幅 1 deg 以内のマイクロサッカード (M=32 分, SD=18 分) を検出したところ、視覚的注意のシフトによってマイクロサッカードの方向が変化したことから、マイクロサッカードが潜在的な視覚的注意の方向を示す可能性を報告し、マイクロサッカードの頻度や方向が複雑な課題における動的な注意配分の研究に有用であることを示している。また、Hafed and Clark (2002) は、マイクロサッカードの検出に用いた閾値を 1 deg 以内とした理由について、固視をコントロールまたは確実とするには十分な範囲であったためとしている。またその結果から、周辺視野に視覚刺激が呈示されると、その方向へのマイクロサッカードの頻度は呈示直後に高まり、その後直ちに低下することを報告している。さらに、小濱ほか (1998) は、マイクロサッカードの発生頻度や振幅を基準として、視覚的注意が注視点近傍に集中しているか否かの判断が可能であることを示唆している。具体的には、マイクロサッカードは視覚的注意が固定されない場合に最も発生頻度が高くなり、逆に注視点近傍に集中された場合にその発生が抑制されることから、発生頻度の比較により、視覚的注意の集中度合いをある程度評価できるものと報告している (Kohama and Usui, 2002)。また、注視点周辺への視覚的注意の分散により、マイクロサッカードの振幅が大きくなる傾向にあることから、この振幅を比較することで、視覚的注意が周辺視野に分散されているか、あるいは周辺視野の一部分に集中されていたかの違いを判断することは困難であるものの、視覚的注意が注視点近傍に集中されているか否かを評価することが可能としている。

マイクロサッカードの発生頻度が注意の移動により増加するのか、あるいは、注意の集中に伴って減少するのか、いずれの見解が妥当であるのか結論が得られていない。遠藤・小濱（2012）は、マイクロサッカードの発生頻度が注意の移動により増加するといった Hafed and Clark（2002）の知見に対して、注意の移動にはまず初めに集中されていた注意を一旦開放する必要があるとされること（Posner and Petersen, 1990）から、注意の集中により抑制されていたマイクロサッカードが、注意の開放と同時に抑制から脱し、その発生頻度が増加に転じていたものと考えられると説明している。また遠藤ほか（2013）は、局所的な注意の集中によりマイクロサッカードの発生が抑制され、注意の集中度合いが高くなるほど、抑制が持続的となることを報告している。さらに加納ほか（2014）は、注意の集中によるマイクロサッカードの発生頻度の変化を確認するため、注意の集中度合いを統制した実験を行ったところ、目標刺激呈示後に表れるマイクロサッカードは、注意の集中度合いによって潜時分布に変化が生じることを示した。つまり、注意の集中時にはマイクロサッカードが持続的に抑制され、注意の開放に伴って抑制から脱するため、マイクロサッカードの頻度が増加する可能性を示唆している。

一方、マイクロサッカードの頻度と瞳孔径変動を併せた指標により、覚醒水準変動の客観的評価が可能であるとする研究（田中ほか，2012；本田ほか，2015）や、快・不快感を喚起する情動刺激が交感神経活動の指標となる瞳孔面積を変化させる（縮瞳の度合いを有意に抑制）だけでなく、マイクロサッカードの出現率を抑制する効果を示した研究（柏原ほか，2010）も報告されている。

（4）マイクロサッカードの生成に関わる神経機構とそのメカニズム

固視微動と視覚機能との関連性に関する様々な研究は、固視微動が視覚機能に重要な役割を果たしていることを示しているが、その生成メカニズムは未だ不明瞭である。しかし、本研究で着目する固視微動の3成分の一つであるマイクロサッカードは、その特性や視覚機能に対する影響も広く研究され、それらの生成メカニズムも次第に明らかにされてきた。

このマイクロサッカードの生成に関わる神経機構やそのメカニズムについては、関連する神経回路網の構造が同定されており、稲垣・臼井（2012）および稲垣（2014）が詳しく述べている。ここでは、まずマイクロサッカードとサッカードの双方に関与する脳幹の神経回路網について解説されているが、いずれも多く共通点（最大速度と継続時間または振幅が **Main Sequence** と呼ばれる主系列特性を共有すること（Zuber et al., 1965; Martinez-Conde et al., 2000; Otero-Millan et al., 2008; Martinez-Conde et al., 2009）、視空間的注意に関連すること（Deubel and Schneider, 1996; Hafed and Clark, 2002; Engbert and Kliegl, 2003; Laubrock et al., 2005; Cui et al., 2009）、両眼協調性の眼球運動であること（Ditchburn and Ginsborg, 1953）、発生間隔が類似すること（Cunitz and Steinman, 1969; Otero-Millan et al., 2008））が見出されていることから、それらの生成は共通した神経回路網上で行われているものと考えられている。

図 1-2 は、サッカード生成に関与する神経回路網（稲垣, 2014）を示している。サッカード生成に関わるコマンドは中脳にある上丘（superior colliculus）を源とし、振幅の小さなサッカードは、吻側（rostral）の上丘の細胞活動に表され、振幅が大きくなるにつれて、対応する活動が尾側（caudal）へ推移する。また上丘の吻側に存在する神経細胞は固視時に活発な活動を示すことから、上丘の吻側は **Fixation Zone**、尾側は **Saccade Zone** と呼ばれている。特に上丘よりも下流の神経回路では、図中の OPN（omni pause neuron）はサッカード時にその活動を停止し、それ以外では持続した活動を示すことから、サッカード眼球運動生成においてゲート作用の役割を果たすと考えられている。こうした一連の神経回路網を経て、最終的に細胞出力が眼球筋肉系を介して眼球に伝わることで、水平性または垂直性のサッカード眼球運動が実現されるとしている（稲垣・臼井, 2012; 稲垣, 2014）。

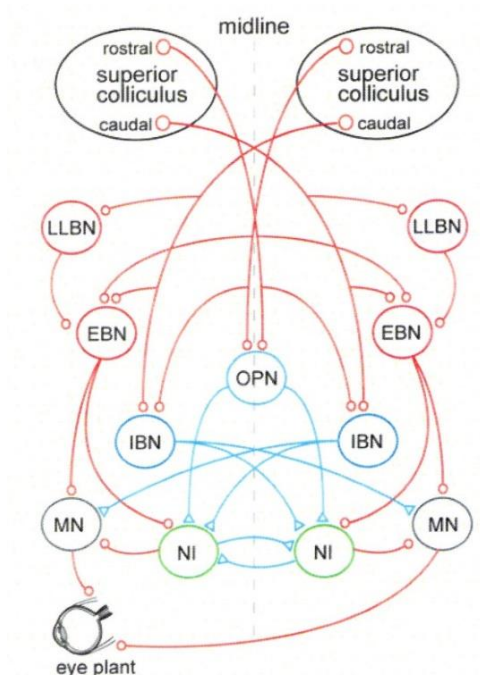


図 1-2 サッカーを抑制する神経回路網（稲垣・白井（2012）より抜粋）

青線は抑制性，赤線は興奮性に対応する（LLBN: Long Lead Burst Neuron, EBN: Excitatory Burst Neuron, IBN: Inhibitory Burst Neuron, OPN: Omni Pause Neuron, NI: Neurona Integrator network, MN: Moto Neuron）。

一方、マイクロサッカードの生成メカニズム（稲垣，2014）については、神経生理学的アプローチによって、Hafed and Krauzlis（2012）が報告しているように、吻側の上丘で示されるマイクロサッカードに関連した細胞活動がサッカーと同様に上丘より下流の神経回路網で処理されることで非常に振幅の小さなマイクロサッカード眼球運動になるとしている。また、マイクロサッカードとサッカーは神経回路網を共有しているものの、それらの生成プロセスは異なることも指摘されている（Mergenthaler and Engbert, 2010）。さらに、マイクロサッカードの生成メカニズムは、計算論的アプローチによっても提案されている（Hafed, 2011; Inagaki et al., 2011; Engbert, 2012）。例えば、Inagaki et al. (2011) は、マイクロサッカードに関わる神経回路網や神経活動に関する知見を統合して詳細な数理モデルを構築し、その計算機シミュレーションによりマイクロサッカード生成メカニズムの解明を進めた結果、マイクロサッカード時における一部の問題（OPN の活動がサッカー

ードと同様に静止するか否か)を除いて、他の神経回路における処理はサッカードと同じであることを示した。つまり、吻側の上丘におけるマイクロサッカードに対応した細胞活動が固視時に発生する OPN から BN (burst neuron) への持続的な抑制により BN で抑圧されること (OPN-BN の抑制機構) が、マイクロサッカード生成に重要な役割を果たしていることを報告している。

(5) ドリフトとトレマー

マイクロサッカードと同様に、固視微動のドリフトの成分 (固視微動データからマイクロサッカードを除去してドリフトを抽出すること) に着目し、周波数特性を解析した研究では、視覚的注意が注視点近傍に集中している状態と、周辺視野に分散している状態とを分類できる可能性を示したことから、不随意に生じるドリフトにも視覚的注意の影響が及んでいる可能性が指摘されている (小濱ほか, 2010 ; 竹中ほか, 2010)。また、マイクロサッカードやドリフトが視覚情報を高精細化する機能を有するとの知見 (Rucci et al., 2007) に基づけば、これらの発生メカニズムが高次視覚による能動的制御下にあり、周辺視野の視覚情報をより詳細に分析するために意図的に発せられている可能性が示唆されている。

なお、トレマーは眼球運動の中で最も小さく、その動きは左右独立している。また、その振幅や頻度は通常記録システムのノイズと区別できないことから、正確な検出や記録が困難であると考えられている (Martinez-Conde et al., 2004)。したがって、視覚維持に関するトレマーの役割は明確ではなく、また視覚的注意に関する先行研究はほとんど見当たらない。

3) 先行研究のまとめ

以上の通り、スポーツにおける予測研究および眼球運動研究を概観してきた。特にオープンスキル系の多くのスポーツ競技を対象に予測研究がなされている事実を鑑みると、実

際の競技場面における時間的制約下で高いパフォーマンスを発揮するためには、高次な知覚・認知情報処理機能である予測スキルが果たす役割は非常に大きく、競技力向上を図るための重要な要素として改めて注目されていることが理解できる。

この予測スキルは、熟練者と非熟練者との比較から、一般に熟練者は早く正確な予測を遂行することができることから、いかに専門的知覚 (Williams et al., 1999 ; 枝川, 2015) を獲得するかが課題と言える。そのため、予測研究の知見を用いて予測スキルの知覚トレーニング効果を検討する実証研究 (例えば, Abernethy et al., 1999; Farrow and Abernethy, 2002; Williams et al., 2002; 2004) は、今後その成果に大きな期待が寄せられる。その際、熟練者が使用する効率的な予測スキルのための手掛かりやその利用の方法は、知覚トレーニングのプログラム開発のために有益な知見となることが考えられることから、生態学的妥当性の高い予測反応事態の実験状況における研究成果がより一層求められると言える。また、予測スキルに与える高不安条件による影響 (Williams et al., 1999) や、セルフトーク等の心理スキルの影響 (高橋・Van Raalte, 2010) など、予測に関わる心理的な媒介変数の示唆は加えて有用と考えられる。

テニス競技における予測研究によると、熟練者はコース予測時に、「ボール」と「ラケット・腕」から有益な情報を得ていることが報告され (武田・古田, 2004), 他の研究においても同様な結果を得ている (Shim et al., 2005; Williams et al., 2009; 緒方ほか, 2015)。しかし、空間的遮蔽法による遮蔽部位への注意の影響に関する問題や、シミュレーション研究に対する生態学的妥当性の問題が指摘される。また、眼球運動計測による注視点分析の研究でも、同様な知見 (Goulet et al., 1989; 河原ほか, 1989; Reina et al., 2007) が示されているものの、実際の注視点はボールと身体との間などに置かれている場合があり、ラケットや腕といった空間的対象を捉えていない事象が報告されている。この結果は、ビジュアル・ピボットという認知方略 (ある特定の位置に注視しながら周辺視システムを利用して情報収集する方法) を用いて説明可能であるが、実際に注意されている手掛かりは特定できない問題がある。したがって、サービスに対するコース予測時の視覚的手掛かりを

明らかにするためには、潜在的注意の対象を推定する新たな指標が求められ、顕在的注意の対象として示される注視点分析の知見を補完することが重要と考えられる。

一方、予測には、状況に基づいた文脈的な情報が潜在的に影響することも示唆されている (Abernethy et al., 2001; Farrow and Reid, 2012; Murphy et al., 2016) ことから、まず予測反応事態における文脈の手掛かりと視覚的手掛かりの関係性を検討することが求められる。その上で、前述した相手のサービス動作から得られる視覚的手掛かりについて、特に潜在的注意の対象を具体的に捉えることは予測スキルを理解する上でも重要と言える。

次に、本研究では潜在的注意を示す指標を探るために、近年注目されている固視微動に関する先行研究を概観した。固視微動は、視覚の消失を防ぎ、視覚安定性に貢献していることが明らかにされており、特にマイクロサッカードは高次な脳機能を反映している可能性が指摘されている (Martinez-Conde et al., 2004)。また、Engbert and Kliegl (2003) や Hafed and Clark (2002) が示したように、マイクロサッカードの検出方法も具体的に提案され、その頻度や振幅、方向を指標とし視覚的注意との関連性が示唆されている。さらに、マイクロサッカードの生成に関わる神経機構とそのメカニズムの解明も進められている。このことから、スポーツにおける予測反応事態においても視対象を注視する条件を整えることができれば、マイクロサッカードを検出することが可能となり、それらの各パラメータを潜在的注意の推定に応用できると考えられる。

したがって、テニス選手の競技力向上を図る上で予測スキルの獲得を目指した知覚・認知トレーニングを構築するためにも、専門的知覚を有する熟練者の予測手掛かりを実証する必要があるものと考えられる。そのためには、予測反応事態における文脈的手掛かりの影響を検討し視覚的手掛かりとの関係を的確に捉えるとともに、ある特定の位置を注視しながら周辺視システムにより多くの情報を収集していると考えられているビジュアル・ピボットという認知方略について、ある特定の位置に注視しながら実際にはどこに注意を向けているのか、予測時の潜在的注意による視覚的手掛かりを把握し、熟練者の視覚探索方略を解明することが重要と言える。これまでに、スポーツに関する先行研究では潜在的注

意を示すとされるマイクロサッカードを指標とした応用研究は未だ報告されていない。もしスポーツの予測反応事態においてマイクロサッカードを検出する方法が構築されるならば、それらを指標として潜在的注意による視覚的手掛かりを実質的に捉えることが可能となり、ビジュアル・ピボットという認知方略に基づく視覚探索方略を用いた熟練者の高度な予測スキルをより深く理解することができる。

3. 本研究の目的

1) 目的

本研究は、これまでの注視点分析の知見より、ある特定の位置を注視しながら周辺視システムにより多くの情報を収集していると考えられているビジュアル・ピボットという認知方略に着目し、テニスのサービスに対する予測反応課題を用いて、マイクロサッカードを指標とした潜在的注意による視覚的手掛かりの重要性を明らかにすることを目的とした。特に、予測反応に影響すると考えられる文脈的手掛かりと視覚的手掛かりとの関係を捉え、ビジュアル・ピボットという認知方略に基づいたテニス熟練者の視覚探索方略を検討した。

具体的には、まず実験環境として設定するテニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応事態で、文脈的手掛かりが予測反応にどのような影響を与えるのか検討し、先行情報としての文脈的手掛かりと視覚的手掛かり（相手のサービス動作である身体言語的手掛かり）との関係を熟練者と非熟練者の比較により明確にした。次に、同様の予測反応事態における視覚的手掛かりを詳細に検討するため、テニス熟練者の眼球運動からマイクロサッカードの検出を試み、マイクロサッカードが潜在的注意による視覚的手掛かりを示す指標として有効かどうか評価・検討した。また、相手の前衛情報が視覚刺激として加えられるダブルスのサービスに対する予測反応事態を設定し、マイクロサッカードを指標として潜在的注意による視覚的手掛かりの内容を探り、シングルスとダブルスにおける熟練者の視覚探索方略の違いを検討した。

これまでに、潜在的注意は観察不能であると捉えられてきたが、本研究は近年におけるマイクロサッカード研究の知見をスポーツ現場の予測反応事態に初めて応用し、マイクロサッカードを指標とした潜在的注意による視覚的手掛かりを明らかにする。そして、予測時の文脈的手掛かりの影響を踏まえた上で、ビジュアル・ピボットという認知方略に基づくテニス熟練者の視覚探索方略において、潜在的注意による視覚的手掛かりの重要性を示す。以下に、具体的な目的と本研究の位置づけ（図 1-3）を示す。

研究1の目的（第2章）

テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応課題を用いて、確率情報という文脈の手掛かりが予測反応に与える影響を実験的に検討し、予測時の文脈の手掛かりと視覚的手掛かり（相手のサービス動作である身体言語的手掛かり）の関係を捉えることを目的とした。課題前には、過去の競技場面で生じた事象やプレー直前までの状況に基づいた情報をコース配分比率という確率情報に置換し、文脈の手掛かりとしてレシーバーを想定した被験者に教示した。また、競技レベルの異なる熟練者と非熟練者の予測反応結果を比較することで、熟練者における視覚的手掛かりの重要性を検討した。

研究2の目的（第3章）

テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応課題を用いて、熟練者の眼球運動からマイクロサッカードの検出を試み、それらの各パラメータから潜在的注意による視覚的手掛かりの内容を評価・検討することを目的とした。そして、潜在的注意による視覚的手掛かりを示す指標としてのマイクロサッカードの有効性とビジュアル・ピボットという認知方略に基づいた熟練者の視覚探索方略を詳しく検討した。実験課題は、サービスの動画を自由に視覚探索して予測反応する条件（フリー条件）と2種類のターゲットをビジュアル・ピボットとしてそれぞれ注視させながら予測反応する条件（注視条件）の3条件を設定した。

研究3の目的（第4章）

テニスのダブルスにおける前衛情報を伴うサービスに対する予測反応課題を用いて、研究2と同様の3条件における熟練者の眼球運動からマイクロサッカードを検出し、それらの出現頻度と振幅および方向を指標として潜在的注意による視覚的手掛かりの具体的内容を検討することを目的とした。そして、潜在的注意による視覚的手掛かりを示す指標としてのマイクロサッカードの有効性を確認するとともに、シングルスとダブルスにおけるビ

ジュアル・ピボットという認知方略に基づいた熟練者の視覚探索方略を検討した。

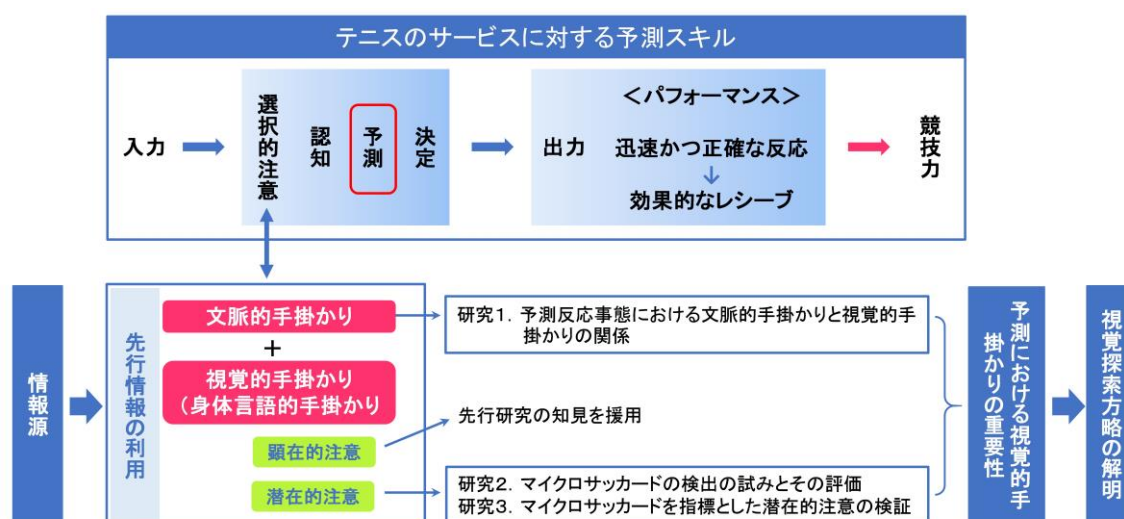


図 1-3 本論文の位置づけ

2) 研究方法

本研究では、全ての実験においてテニスのシングルスまたはダブルスにおけるサービスに対する予測反応課題を設定した。被験者に呈示する視覚刺激はサービスのビデオ映像による動画とし、シングルのサーバーはプロ選手の指導経験を有した男子ツアーコーチ、またダブルスのサーバーは全日本選手権で優勝経験を有する現役プロ選手、前衛は大学テニス部男子コーチとした。また視覚刺激とするビデオ映像による動画の編集や実験環境の設定においては、生態学的妥当性が高くなるように努めた。

予測反応課題の想定場面は、シングルスまたはダブルスの試合において、サーバーがコートデュースサイドからセンター（レシーバー側からみて左側）とワイド（レシーバー側からみて右側）のいずれかのコースに打ち分けたファースト・サービスを被験者がレシーバーとしてレシーブする状況とした。被験者は、テニスの熟練者と非熟練者で全て女子を対象とした。

3) 論文構成

本研究の目的を達成するために、本論文は、以下に示す5章から構成される。

第1章では、スポーツにおける予測研究を概観し、テニスの競技特性を踏まえた競技場面における予測の重要性を指摘した。また、特にテニスの予測反応事態における視覚情報処理に着目し、テニス選手の眼球運動から予測のための視覚探索方略を検討することの意義を示し、本研究で援用したスポーツ関連の予測研究や眼球運動研究についての先行研究を概観した。とりわけ、眼球運動研究の中でも近年注目されている固視微動に着眼点を当て、これまでの研究成果をまとめた。

第2章では、過去の競技場面で生じた事象やプレー直前までの状況に基づいた文脈的手掛かりの情報をコース配分比率という確率情報に置換し、レシーバーを想定した被験者(熟練者および非熟練者)に教示することで、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応への影響を実験的に検討し、予測時の文脈的手掛かりと視覚的手掛かりとの関係を捉え、それぞれの重要性について議論した。

第3章では、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応課題を自由に視覚探索して予測反応する条件(フリー条件)と2種類のターゲットをビジュアル・ピボットとしてそれぞれ注視させながら予測反応する条件(注視条件)を設定し、熟練者の眼球運動からマイクロサッカードの検出を試みた。マイクロサッカードが検出された場合、それらの各パラメータを指標として潜在的注意による視覚的手掛かりの内容について評価・検討し、潜在的注意による視覚的手掛かりを示す指標としてのマイクロサッカードの有効性と、ある特定の位置を注視しながら他に注意を向けるビジュアル・ピボットという認知方略による熟練者の視覚探索方略を検証した。

第4章では、テニスのダブルスにおいて前衛情報を伴うサービス動作のビデオ映像にビジュアル・ピボットとする注視すべきターゲットを設け、それを注視しながら予測反応させた場合、サービス動作に対する視覚的注意は前衛の動きに影響を受けるのか、検出されたマイクロサッカードの出現頻度や振幅、方向を指標としてダブルスの予測反応事態にお

ける熟練者の注意様式や潜在的注意による視覚的手掛かりを検証し、シングルスとダブルスにおける熟練者の視覚探索方略について議論した。

第5章では、第2章、第3章、第4章に示した実験結果に基づき、テニスの予測反応事象におけるマイクロサッカードを指標とした潜在的注意による視覚的手掛かりの重要性について総括し、ビジュアル・ピボットという認知方略である視覚探索方略を用いる熟練者の高度な予測スキルを解明するための一助とする知見をまとめた。

第2章 テニスの予測反応事態における文脈的手掛かりと視覚的手掛かりの関係

1. 目的
2. 方法
 - 1) 被験者
 - 2) サービ動作の撮影
 - 3) 映像刺激の作成
 - 4) 実験装置
 - 5) 実験課題
 - 6) 教示条件と内容
 - 7) 手続き
 - 8) 分析項目と統計処理
3. 結果
 - 1) 選択反応時間の比較
 - 2) 反応時間と予測正確率
 - 3) 推定予測時期
 - 4) 推定予測時期と予測正確率, 自信度との関係
 - 5) 内省報告
4. 考察
 - 1) 熟練者の予測反応に対する文脈的手掛かりの影響と視覚的手掛かりとの関係
 - 2) 非熟練者の予測反応に対する文脈的手掛かりの影響と視覚的手掛かりとの関係
 - 3) 熟練者と非熟練者における各パラメータの関係性
 - 4) 内省報告からみた熟練者と非熟練者の予測反応
5. まとめ

1. 目的

本章では、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応課題を用いて、確率情報という文脈の手掛かりが予測反応に与える影響を実験的に検討し、予測時の文脈の手掛かりと視覚的手掛かり（相手のサービス動作である身体言語的手掛かり）の関係を捉えることを目的とした。課題前には、過去の競技場面で生じた事象やプレー直前までの状況に基づいた情報をコース配分比率という確率情報に置換し、文脈の手掛かりとしてレシーバーを想定した被験者に教示した。また、競技レベルの異なる熟練者と非熟練者の予測反応結果を比較することで、熟練者における視覚的手掛かりの重要性を検討した。

2. 方法

1) 被験者

大学テニス部に所属する女子選手 12 名（熟練者群）と一般女子学生 12 名（非熟練者群）が実験に参加した。被験者は全て右利きで正常視力または正常矯正視力を有しており、実験参加時には心身ともに健康な状態であった。分析では欠損値を有した被験者を除いたため、分析対象は熟練者群 11 名（平均年齢 18.9 ± 1.0 歳、競技経験年数 11.9 ± 2.2 年）と非熟練者群 9 名（平均年齢 21.3 ± 3.1 歳、経験年数 2.1 ± 3.9 年）であった。5 名の全日本学生テニス選手権大会出場選手を含んでいた熟練者群は、全員が小学校期からテニスを継続し、ほぼ毎日テニスの練習を実施していた（1 日の平均練習時間は 2.8 ± 0.6 時間）ことから、テニス競技に関する高い競技力と専門性（専門的知識）を有していた。

一方、非熟練者群は授業としてテニスの実技を 1 週間に 1 回（1.5 時間）受講する程度であったが、水泳、テニス、ソフトテニス、バドミントン、バスケットボール、バレーボール、空手、野球、ラクロス、陸上競技、サッカー、チアリーディング等の経験を有しており、特に小学校期にテニスを経験した者 1 名、中学校期にソフトテニスとバドミントン

を経験した者 1 名，小学校期から高校期までにバレエを経験し，高校期に同時にテニスを経験した者 1 名を含んでいた。

なお，本章の研究は日本大学文理学部研究倫理委員会の承認（研究課題 28-11）を受け実施した。

2) サービス動作の撮影

サービス動作の映像刺激を作成するため，トッププロ選手の指導経験を有した男子ツアーコーチをモデルとした。モデルがシングルス・デュースサイドからセンター（レシーバー側からみて左側）とワイド（レシーバー側からみて右側）に打ち分けたサービス動作を，実験の想定場面(図 2-1)に示したレシーバー側よりデジタルビデオカメラ（HDR-XR550，Sony 社製）を用いて 30 Hz で撮影した。その際，デジタルビデオカメラは，レシーバー側ベースラインとシングルスサイドラインの交点から内側に 40cm，ベースライン上に 1.5m の高さで固定し，画角内にサービス動作中の身体とボールを全て収めた。

またモデルに対し，シングルの試合においてサーバーはゲームポイントを握っているカウントでファースト・サービスを打つ状況であること，また実際の試合を想定してレシーバーにコースを予測させないように意識をしてセンターとワイドに打ち分け，かつ同位置で試技することを指示した。撮影前には本章の研究趣旨をモデルに説明し，撮影映像の利用について同意を得た。

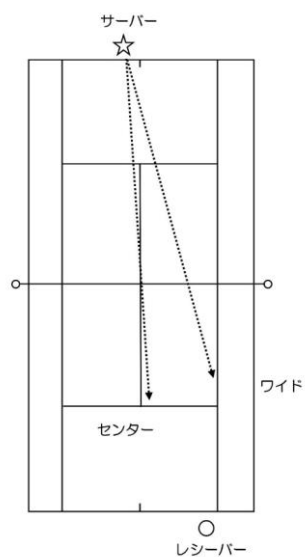


図 2-1 実験の想定場面

3) 映像刺激の作成

動画編集ソフト（Windows Movie Maker ver.2012, Microsoft 社製）を用い、撮影した映像から成功した各打球コース（センターとワイド）5 試技を抽出した。各試技の映像は、セットポジション時点からボール・インパクト時点までにカット編集し（図 2-2）、音声情報を含めないで動画ファイルに保存した。映像をボール・インパクト時点までとすることで、ボール・インパクト後の飛球線方向（結果の知識）を判別できないようにし被験者の予測反応を導くことを意図した。

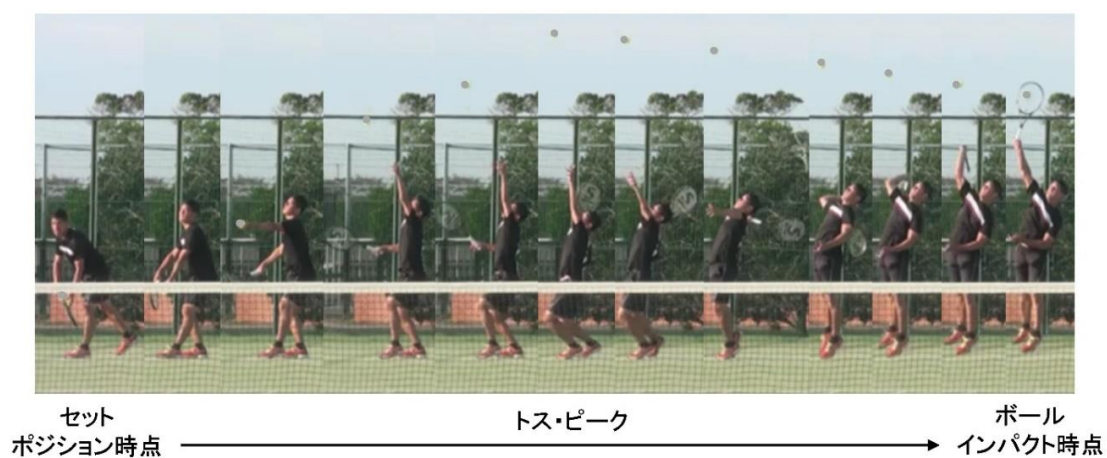


図 2-2 サービス動作の映像

4) 実験装置

実験装置はPCとモニター(24インチ), 視覚刺激作成支援ソフト(Experimental Builder ver.1.10.1674, SR Research 社製), 左右ボタン (USB-SWBOX1, 小杉技研社製), 験者用ボタン, 机, 椅子で構成し, 暗室内に設置した(図 2-3). 視覚刺激作成支援ソフトは 1ms のオーダーで刺激(静止画または動画)をランダムに呈示でき, 試行が開始して被験者の手指ボタンが押されるとプログラムは一時停止し, 験者が験者用ボタンを押すと次の試行が開始するようプログラムした. 同時に反応時間の算出および反応結果(正誤)の記録をデータファイルに自動的に保存するようプログラムした. また被験者とモニター中央との距離は 70cm とし, 椅子座位時に被験者の眼球の高さとモニター中央の高さが一致するよう椅子の高さを調整した. なお, 呈示される映像刺激(ボール・インパクト時におけるコートから打点の高さ)に対する被験者の視野角は約 8° であった.

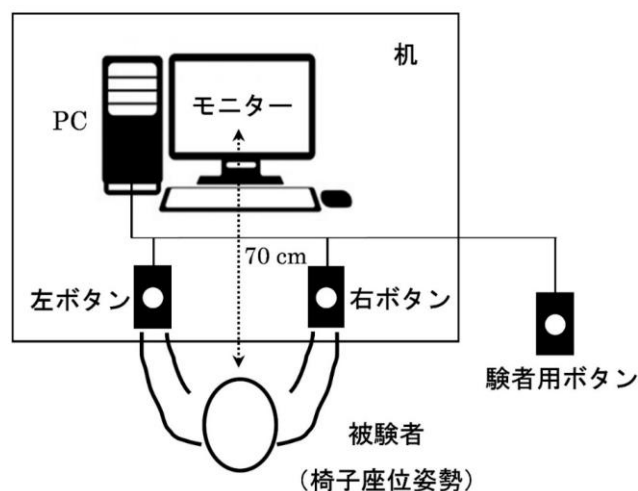


図 2-3 実験装置

5) 実験課題

実験課題は, 左右の矢印刺激に対する選択反応課題とサーブ動作の映像に対する予測反応課題とした. まず前者について, 通常の実験反応時間を求めるため, 椅子座位姿勢の被験者に対しモニター上に予備刺激を呈示した後, 左右いずれかの矢印刺激をランダムに

呈示し、できるだけ早く正確に矢印の方向と一致するボタンを押すことを求めた(10 試行)。また後者では、左右(センターとワイド)いずれかのサービス動作の映像をランダムに呈示し、次の6)に示す6つの教示条件における確率情報を用いて、打球コースがセンターの場合には左ボタンを、ワイドの場合には右ボタンをできるだけ早く正確に押すことを求めた。各教示条件では、センター5試行とワイド5試行をランダムに10試行実施した(計60試行)。各試行後には、反応結果に対する被験者の主観的な自信度を評価するため、VAS (visual analogue scale)法により紙面上に示した100mmの水平な直線(自信度0~100%)の上に印をつけさせた。VASは痛みの主観的評価のために開発された方法(Price et al., 1983)であり、最近ではストレスや感情状態の評価(例えば、原ほか, 2017)など多くの研究で応用されている。本章では、被験者が記した印までの長さを反応結果に対する自信度として評価した。

6) 教示条件と内容

教示条件は、対戦相手のサービス動作以外のその他の様々な状況(例えば、サーバーの特徴や風・日差しなどの物理的自然環境、および試合の流れなど)に基づく文脈の手掛かりをまとめた結果として、センター対ワイドのコース配分比率を8対2, 6対4, 5対5, 4対6, 2対8という確率情報に置換した5条件に教示なしの条件を加え、6つの教示条件を設定した。特に5対5の教示条件は教示なし条件と同じチャンスレベルであるが、教示の有無による差異を検出することを意図し加えた。具体的な教示内容は、例えば8対2の教示条件では「サーバーの特徴や自然環境、試合の流れなどの状況に基づく様々な情報をまとめた結果、サーバーはセンターに8割、ワイドに2割という確率でサービスを打ってきます。このコース配分の確率情報を利用して、サービスのコースをできるだけ早く正確に判断して、左右いずれかのボタンを押して下さい」とした。ただし、前述した通り実際に呈示される映像刺激のコース配分比率は5対5(センター5試行, ワイド5試行)であり、教示なしと5対5の教示条件以外では教示された確率情報と異なっていた。

7) 手続き

図 2-4 は実験の流れを示している。まず、実験室内にて被験者に対し実験内容を十分に説明し、書面にて協力の同意を得るとともにプロフィールシートの記入を求めた。選択反応時間測定の後、3 試行の練習に続いて本試行を実施した。本試行では、最初に教示なし条件で行った後、順序効果を考慮し他の 5 つの教示条件は被験者ごとにランダムに配置し、被験者間でカウンターバランスをとった。各教示条件間には十分な休息を設け、その後直ちに確率情報の教示を与えた。全試行後には、サービス動作のどのような情報に注意を向けたのか、またレシーブ時に最も気を付けた内容は何か、感想を含めた内省報告として質問紙法により得た。

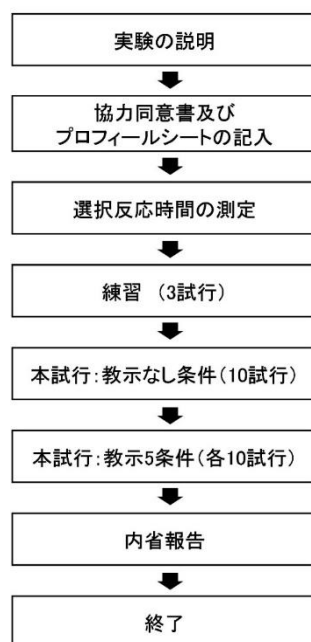


図 2-4 実験の流れ

8) 分析項目と統計処理

分析項目は、選択反応時間、映像刺激に対する反応時間（response time, 以下、反応時間とする）、予測正確率および逆正弦変換した値、推定予測時期、VAS 法による自信度で

あった。選択反応時間は矢印刺激呈示開始からボタン押し開始までの時間、反応時間は映像刺激の終点であるボール・インパクト時点からボタン押し開始までの時間、推定予測時期は各試行の反応時間と被験者個々の平均選択反応時間との差と定義し、予測正確率は各教示条件の正答率（正答数/10）を逆正弦変換法（岩原，1995）により算出（ $\sin^{-1}\sqrt{P}$ ）し、その値を度数に変換した。

各データは十分精査し、外れ値（山次，2009）を削除した後、統計処理ソフト SPSS Statistics ver.23.0（IBM 社製）を用いて統計処理を行った。選択反応時間については対応のない t 検定、予測正確率についてはチャンスレベル 50%を検定値とした 1 サンプルの t 検定、その他の分析項目については教示条件要因（教示なし，8 対 2，6 対 4，5 対 5，4 対 6，2 対 8）および被験者要因（熟練者群，非熟練者群）による 2 要因分散分析（入戸野，2004）を行った。その際、多重比較検定には Bonferroni 法を用いた。また 2 変量間の関係を調べるためピアソンの積率相関分析を行った。なお、有意水準は 5%未満とした。

3. 結果

1) 選択反応時間の比較

図 2-5 は、矢印刺激に対する選択反応時間の平均値と標準偏差を示しており、熟練者群は $303.8 \pm 30.3\text{ms}$ 、非熟練者群は $314.6 \pm 25.6\text{ms}$ であった。対応のない t 検定を行ったところ、有意差は認められなかった ($t(18)=-0.848$, $p=.408$, $ES=0.381$)。つまり、手指ボタン押しを利用した一般的な選択反応の能力は被験者の競技レベルとは関係ないことが確認された。

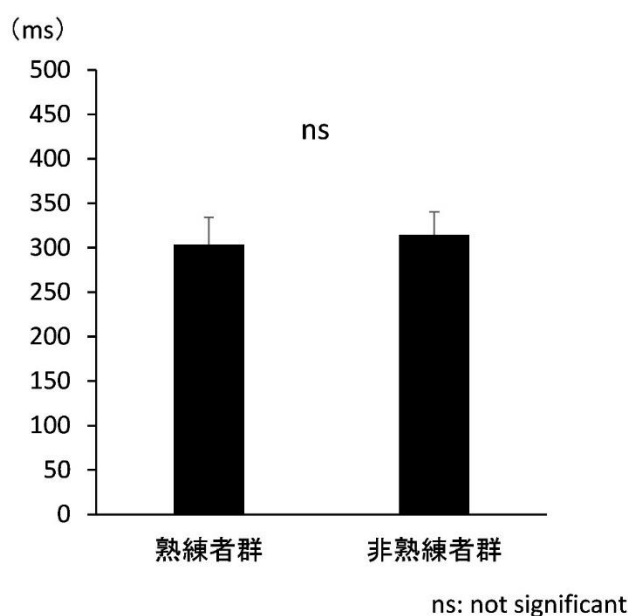


図 2-5 選択反応時間

2) 反応時間と予測正確率

図 2-6 は、各教示条件における反応時間と予測正確率を逆正弦変換した値の平均値および標準偏差を示しており、いずれも正反応と誤反応の試行を含んでいる結果である。破線は、熟練者群と非熟練者群の各平均選択反応時間を示し、また熟練者群における反応時間の棒グラフ右上のアスタリスク(*)は、非熟練者群との比較結果の有意水準を示している。

まず逆正弦変換前の予測正確率についてチャンスレベル 50%を検定値とする 1 サンプル

ルの t 検定を行ったところ、熟練者群と非熟練者群における全ての教示条件で有意にチャンスレベルを超えていた（全て $p < .05$ ）。また、各教示条件の予測正確率は、熟練者群 65～74%、非熟練者群 62～71%の値を示し、これらを逆正弦変換すると前者は 53.73～59.34、後者は 51.94～57.42 であった。なお、単位は度であるが、比率を変換した後の値は実質的に意味をもたないことから図から単位を削除した。

予測正確率（逆正弦変換した値）について、教示条件要因（教示なし、8対2、6対4、5対5、4対6、2対8）と被験者要因（熟練者群、非熟練者群）による2要因分散分析を行ったところ、交互作用および両要因の主効果は有意でなかった。したがって、確率情報の教示や競技レベルの影響は検出されなかった。

反応時間について、同様に教示条件要因と被験者要因による2要因分散分析を行ったところ、有意な交互作用が認められた ($F(5,90)=2.560, p=.033, \eta_p^2=.125$)。また教示条件要因において有意な主効果が認められた ($F(5,90)=2.35, p=.047, \eta_p^2=.115$) が、被験者要因の主効果は有意ではなかった。交互作用が有意であったことから、単純主効果検定を以下の通り実施した。熟練者群と非熟練者群別に教示条件間における反応時間を比較した結果、熟練者群では有意差は認められなかったが、非熟練者群で有意差が認められた ($Pillai's\ trace=.638, F(5,14)=4.939, p=.008, \eta_p^2=.638$)。多重比較検定の結果、5対5と4対6の2教示条件は教示なし条件よりも有意に短く（それぞれ $p=.041, p=.012$ ）、また8対2の教示条件は教示なし条件よりも短い有意傾向を示した ($p=.087$)。さらに、教示条件別に熟練者群と非熟練者群を比較した結果、教示なし条件のみで有意差が認められ ($F(1,18)=9.947, p=.005, \eta_p^2=.356$)、熟練者群は非熟練者群よりも短かった ($p=.005$)。これらの反応時間を図中に破線で示した選択反応時間と比較すると、両群とも選択反応時間より反応時間が短くなるといった現象が確認されなかったことから、反応時間から効果的な予測反応を明らかにできなかった。

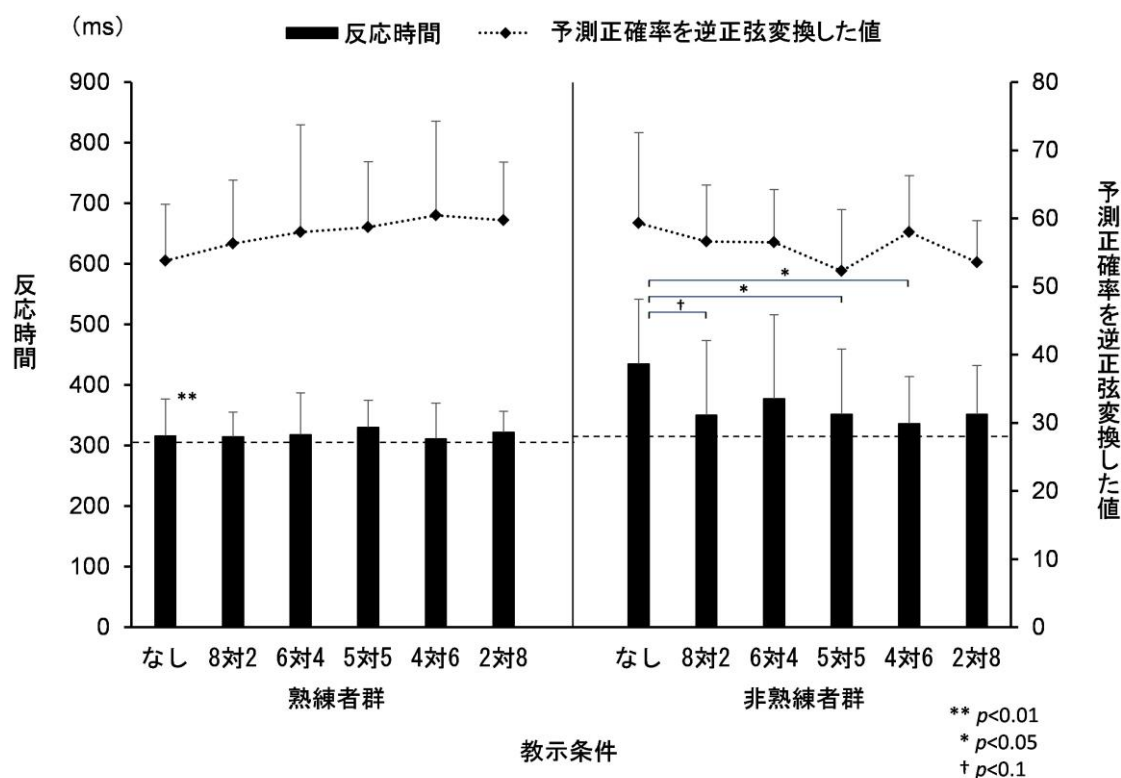


図 2-6 被験者別にみた反応時間と予測正確率

3) 推定予測時期

誤反応試行の反応時間をみると、勘に頼るなどの賭け的な反応である尚早反応や、あるいは明らかな予測の失敗による反応の大幅な遅延が見受けられたことから、反応のバラツキが大きい誤反応試行を全試行から除き、正反応試行のみの反応時間を抽出した。また、反応時間はボール・インパクト時点からボタン押し開始までの時間と定義されていたことから、同様なボタン押し反応課題である単純な2つの刺激に対する選択反応時間を減じることで予測時期を推定した。これにより、値がマイナスの場合にはボール・インパクト前に予測が完了したものとして判断した。

図 2-7 は、被験者要因別にみた推定予測時期を示している。熟練者群における反応時間の棒グラフ右上のアスタリスク (*) およびダガー (†) は、非熟練者群との比較結果の有意水準を示している。熟練者群の推定予測時期は、ボール・インパクト時点よりも概ね早

い傾向を示し、明らかな予測反応を示した。一方、非熟練者群は正反応試行を分析対象としても選択反応時間よりも遅く予測反応を示していないことから、予測反応課題に対する困難さを示した。

教示条件要因と被験者要因による2要因分散分析を行ったところ、有意な交互作用が認められた ($F(5,90)=2.570, p=.032, \eta_p^2=.125$)。また教示条件要因と被験者要因において有意な主効果が認められた (教示条件要因: $F(5, 90)=5.167, p<.001, \eta_p^2=.223$, 被験者要因: $F(1,18)=5.068, p=.037, \eta_p^2=.22$)。交互作用が有意であったことから、単純主効果検定を以下の通り実施した。

熟練者群と非熟練者群別に教示条件間における推定予測時期を比較した結果、熟練者群では有意な差は認められなかったが、非熟練者群で有意な差が認められた (*Pillai's trace*=.772, $F(5,14)=9.498, p<.001, \eta_p^2=.772$)。多重比較検定の結果、8対2と5対5、4対6の教示条件は教示なし条件よりも、また4対6は2対8よりも有意に早い結果を示した (それぞれ $p=.037, p=.001, p=.006, p=.046$)。さらに、各教示条件で熟練者群と非熟練者群を比較した結果、教示なし ($F(1,18)=9.471, p=.006, \eta_p^2=.345$) と6対4 ($F(1,18)=5.195, p=.035, \eta_p^2=.224$)、2対8 (有意傾向: $F(1,18)=4.215, p=.055, \eta_p^2=.19$) の3条件で熟練者群は非熟練者群よりも有意に早かった。

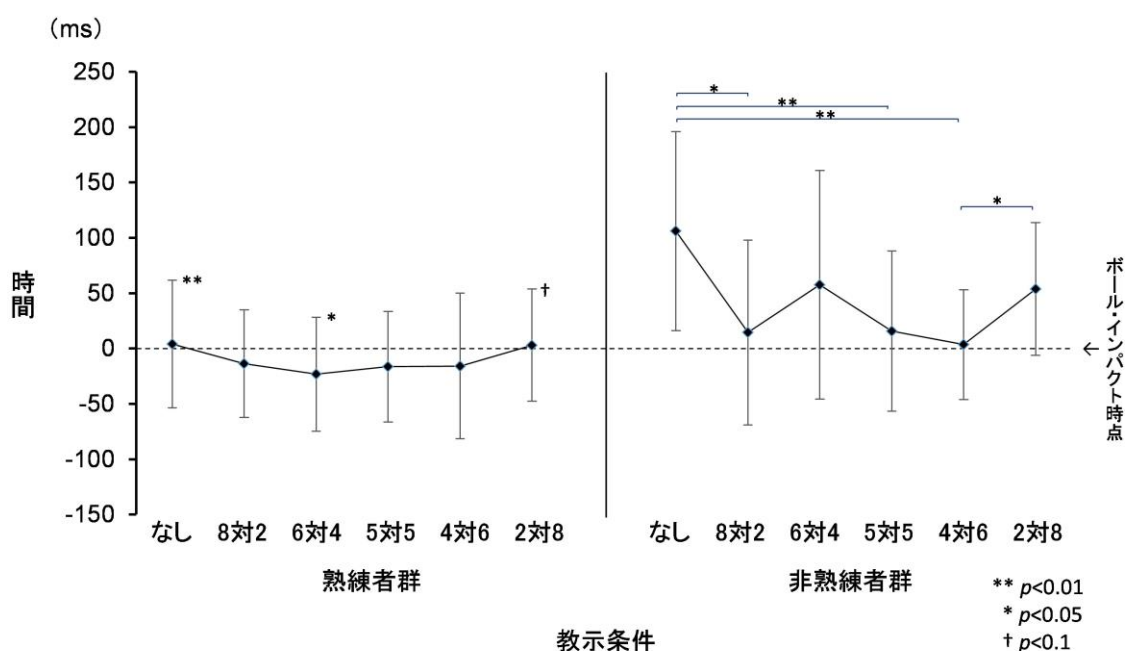


図 2-7 被験者要因別にみた推定予測時期

4) 推定予測時期と予測正確率、自信度との関係

正反応試行と誤反応試行を分類し、それぞれにおける推定予測時期と自信度、および全試行から算出した予測正確率（逆正弦変換した値）の関係性をみるため、熟練者群と非熟練者群別にピアソンの積率相関分析を行った。その結果、正反応試行を対象とすると、熟練者群の教示なし条件で推定予測時期と自信度との間に有意な正の相関 ($r=.811, p=.002$) が認められ、予測時期を遅らせるほど予測結果に対する自信が高くなることを示した。一方、誤反応試行を対象とすると、両群における 5 対 5 の教示条件で予測正確率と自信度との間に負の相関（熟練者群： $r=-.631, p=.037$, 非熟練者群： $r=-.755, p=.019$ ）が認められ、自信が高すぎると予測正確率が低下することを示した。

5) 内省報告

内省報告によると、サーブ動作のどのような情報に注意を向けたのかといった質問に対し、熟練者群は「サーバーの視線」、「トスの位置」、「ラケット面の向き」、「体の向きや

開き方」,「上半身の反り方」,「体の動かし方」,「ラケットの軌跡」を挙げ、一方の非熟練者群は「サーバーの視線」,「トスの位置」,「ラケット面の向き」,「顔の向き」,「腕の動き」,「力の入れ具合」,「打点」を挙げた。また、レシーブ時に最も気を付けた内容について感想を含めた質問では、熟練者群では「できるだけ反応を速くすること」,「自分がリターンしやすいように動き出すこと」,「1番良いタイミングで入ること」,「相手の得意なコースや球種を考えて返球しようとする事」,「相手をしっかり見ること」,「最初は全く分からなかった」であった。一方、非熟練者群では「情報があると反応しやすい」,「一歩目を早く出す」,「素早く反応すること」,「できる限りの情報を瞬時に取り入れる」,「相手の位置」であった。

4. 考察

本章の目的は、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応課題を用いて、確率情報という文脈の手掛かりが予測反応に与える影響を実験的に検討し、予測時の文脈的手掛かりと視覚的手掛かり（相手のサービス動作である身体言語的手掛かり）の関係を捉えることであった。まず、熟練者と非熟練者の選択反応時間を比較すると、統計的な有意差はなかったことから、手指ボタン押しによる一般的な選択反応の能力は同等で競技レベルの影響を受けていないことが確認され、三好ほか（2012）の結果と一致した。そのため、本章において先行情報に基づく反応との差異を見出す上で、手指ボタン押しを採用した反応課題を設定したこと、および両群に対する被験者の配置手続きは妥当であったと考えられる。

1) 熟練者の予測反応に対する文脈の手掛かりの影響と視覚的手掛かりとの関係

本章の結果から、熟練者について考察する。今回、想定された対戦相手のモデルが競技レベルの高い男子サーバーであり、映像刺激もインパクト時点で遮蔽されていたことから、高度な予測反応課題であったと考えられる。しかし、熟練者における予測の完了を示す推定予測時期は、概ねボール・インパクト以前に出現した（図 2-7）。また予測正確率（図 2-6）は、全ての教示条件でチャンスレベル 50%を有意に超え、安定して 65~74%を示した。実際、被験者に呈示された映像刺激は 5 対 5 の比率で構成されており、教示なしと 5 対 5 の教示条件以外では教示された確率情報と異なっていたにも関わらず、予測正確率は 2 次元の映像刺激を用いたシミュレーション実験における限界の目安を報告した武田・古田（2004）の 72%とほぼ同じ結果であった。さらに、推定予測時期と予測正確率（逆正弦変換した値）について教示なし条件と他の教示条件とを比較しても有意差は認められず、確率情報という文脈の手掛かりの影響は直接的に示されなかった。つまり、熟練者は文脈的手掛かりの有無に関係なく、サービス動作の視覚的手掛かりに基づく視覚探索方略によ

って高度な予測スキルを反映した結果を一貫して示したと考えられる。

Buckolz et al. (1988) が示した予測に利用される先行情報の時系列図 (図 2-8) によると, 対戦相手の特徴や試合の展開等のある状況により生じた変数を含んだ文脈の手掛かりは最初に利用され, 期待の基を形成する. そして対戦相手のスタンスやラケットの位置, 視線等のサービス動作に関する身体言語的手掛かりを加え期待をより発展させ, 予期 (予め期待すること) と選択的準備を導くことを示している. 認知心理学的観点によると, 前者は, 常に存在する期待や文脈の手掛かりに基づいて予測する概念駆動型 (トップダウン) 処理を示し, 後者は, 時間的に次々と出現する情報に基づいて予測するデータ駆動型 (ボトムアップ) 処理を示している (リンゼイ・ノーマン, 1995). 文脈の手掛かりが身体言語的手掛かりの情報処理に効果的に作用している報告 (西野ほか, 1991) があるように, 文脈の手掛かりによる期待と身体言語的手掛かりによる期待が一致した時には予測の精度が高まり, 時間的利益を得ることが可能になると予想される.

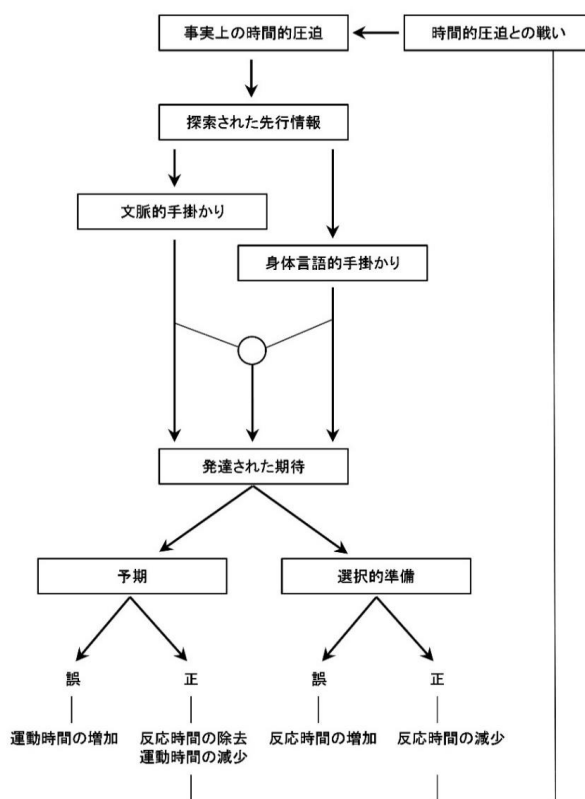


図 2-8 時間的圧迫下で予測に利用される先行情報の時系列図 (Buckolz et al., 1988)

しかしながら、本章の結果、熟練者において確率情報の文脈の手掛かりが直接的に影響しなかった。その原因を考えると、第一に、もし教示した確率情報が実際の文脈の手掛かりと同様に機能したと仮定するならば、熟練者はすでに予測のための優れた認知的技能を確立し習熟していたことが考えられる。つまり、例え文脈の手掛かりに基づくトップダウン処理により形成された期待が一方のコースに偏っていたとしても、熟練者は、最終的には視覚的手掛かりであるサービス動作の身体言語的手掛かりに基づくボトムアップ処理によってその期待を高次のレベルで修正し、予測を成功させることが可能であったと推測される。また、この予測スキルは熟練者特有の専門的知覚による効果でもあり、習熟した情報処理に関わる戦略から生じているものと考えられる (Abernethy et al., 1994)。

第二に、もし教示した確率情報が実際の文脈の手掛かりと同様に機能しなかったと仮定するならば、確率情報を用いた知覚トレーニングによって予測スキルがより向上するという知見 (田中ほか, 2013) が示すように、単に確率情報を教示するのではなく、確率情報と文脈の手掛かりを関連付ける学習過程を踏まえた検討が求められる。しかし、実際の競技場面では、試合経過に応じて相手のサービスの確率や得点率などの確率情報が得られることが多く、確率情報を瞬時に活用することは実際に不可欠であると考えられる。

さらに別の観点によると、本章では、より早く正確に予測することが課題であったが、実際の競技場面では、効果的なレシーブを遂行するためには飛来するボールをジャストタイミングで返球することが重要である。つまり、例え早く正確に予測できたとしても実際に動き出すタイミングを遅延させ、あるいはその動きの速さを減速し調整するかもしれない。このように、早く正確に予測することの利点は早い反応を可能にする側面だけでなく、その後のパフォーマンスの調整に必要な時間的ゆとりをもたらす側面があると言え、例えば、相手の動きを最後までよく見ようとする (宮本, 2011) 熟練者の注視行動は、より正確な予測判断のためだけでなく、適時性を考慮した合目的的な反応を意図していることが指摘できる。したがって、実験計画上、その反応課題が単に早さを求める場合には、実際の競技場面で用いられているタイミング・コントロールの要素を排除する教示等の手続き

を検討する必要があると考えられる。

2) 非熟練者の予測反応に対する文脈の手掛かりの影響と視覚的手掛かりとの関係

次に、非熟練者について考察する。非熟練者の反応時間は教示なし条件で熟練者よりも有意に長く（図 2-6）、なおかつ正反応試行の推定予測時期は、教示なし条件に加えその他の教示条件でも有意に熟練者よりも遅延していた（図 2-7）。また、その推定予測時期はボール・インパクト時点以降に出現していることから、確率情報の教示の有無に関係なくボール・インパクト前のサービス動作から早期に予測反応することは不可能であったことが理解でき、熟練者との差は明らかであった。

しかし、非熟練者の反応時間および推定予測時期を教示条件間で比較すると、いずれも教示なし条件よりもその他（8対2, 5対5, 4対6）の教示条件の方が有意に早く、この結果は「情報があると反応しやすい」という内省報告にも表れていた。また、4対6よりも8対2の教示条件では有意に遅延しており、実際に確率情報が教示された条件間でも差異が認められた。つまり、非熟練者は、熟練者と比較すると推定予測時期が不安定で遅延傾向にあり、効果的な予測反応を示さなかったが、同じチャンスレベルである教示なしと5対5の教示条件では5対5の教示条件の方が有意に早いことから、確率情報の教示によって早期な反応が促進されたことは、文脈の手掛かりの影響として解釈される。

また熟練者と同様に、予測正確率には確率情報の教示による影響は示されなかったが、予測正確率（図 2-6）は全ての教示条件でチャンスレベル 50%を有意に超えていた。この結果は、実際の競技場面で示されるように早さよりも正確性を優先した結果と捉えられるが、一般的に一過的な確率情報の教示が高度な情報処理を要する認知的技能を変容させ、即座に予測スキルが向上するとは考えられないことから、二者択一による予測反応課題は、「勘」や「賭け」的な尚早反応でも正答率が高まってしまうことが危惧される。そのため、課題に対する正確性を検討する場合には、刺激の選択肢数を考慮した課題の作成が必要と考えられる。

さて、非熟練者では、一過的な文脈の手掛かりの影響によって早い反応を引き起こしたことは大変興味深い。Buckolz et al. (1988) は、文脈の手掛かりと身体言語の手掛かりにより発達した期待は、認知的構えとしての選択的準備や予期に影響を与えることを示している。それによると、期待に基づき、最も見込まれる行動を選択的に準備しておくことが可能となるため、もしその準備が正しければ反応時間 (reaction time, 以下 RT とし、本章で用いた反応時間 response time と区別する：刺激呈示開始時点から運動開始時点までの時間) が短縮される。また、期待に即して事前に反応のための予期行動をとるため、それが期待通りであれば運動時間 (movement time：運動開始時点からその運動の完了までの時間) が減少する (図 2-8)。

非熟練者の反応時間は、教示なし条件で大きく遅延傾向にあったことから、その反応時間を構成している RT と運動時間も短縮可能な幅が大きい。今回、非熟練者は、視覚的手掛かりであるサービス動作に文脈の手掛かりが付加されたことで認知的構えを自ら講じることが可能となったため、RT に影響する予測・判断の過程や運動時間に影響する予期行動に関連する反応系の情報処理が促進され、結果として教示なし条件よりも早い反応が生じたものと考えられる。したがって、文脈の手掛かりは認知的構えに影響を及ぼすものと考えられ (Farrow and Reid, 2012)、視覚的手掛かりとともに文脈の手掛かりの重要な役割を果たすものと推察される。

3) 熟練者と非熟練者における各パラメータの関係性

正反応試行と誤反応試行を分け、それぞれにおける推定予測時期と自信度、および全試行から算出した予測正確率 (逆正弦変換した値) の相関関係をみると、正反応試行では、熟練者の教示なし条件で推定予測時期と自信度との間に有意な正の相関 ($p=.002$) が、また誤反応試行では、両群における 5 対 5 の教示条件で予測正確率と自信度との間に負の相関 (熟練者： $p=.037$, 非熟練者： $p=.019$) が認められた。特に熟練者については、いずれの結果もチャンスレベルの教示条件下であることから、これらの結果をまとめると、熟練

者のチャンスレベルでは、推定予測時期を遅らせれば自信度は高まるが、自信度が高すぎると正確性を損なう危険性を有していることが指摘でき、チャンスレベルにおける予測には自信という心理的要因が影響することが考えられる。

本章では、反応速度と正確性のトレードオフの関係が直接的に示されなかったことから、トレードオフの関係を適切に制御する必要性 (Wickelgren, 1977) が指摘される。例えば、頻繁にサービス・エースを獲られないようにレシーブ時には反応速度よりまず正確性を優先するよう強調して教示するなど反応速度と正確性のどちらかに目標を添える方法をとることが考えられ、今後の実験手続き上の検討課題と言える。

4) 内省報告からみた熟練者と非熟練者の予測反応

最後に、内省報告によるとサービス動作のどのような情報に注意を向けたのかといった質問に対し、非熟練者はサービス動作の部分的な情報を挙げたが、熟練者は身体の開き方や上半身の反り方、ラケットの軌跡といった経時的なサービス動作の変化に着目した情報を身体言語的手掛かりとして挙げていることが特徴的であった。また、レシーブ時に最も気を付けた内容について感想を含めた質問では、熟練者は「できるだけ反応を速くすること」、「自分がリターンしやすいように動き出すこと」、「1番良いタイミングで入ること」と報告しているように、単に早いだけでなく、その後のレシーブ動作に求められるタイミング・コントロールを潜在的に意図していることが伺えた。一方、非熟練者は、「情報があると反応しやすい」、「一歩目を早く出す」、「素早く反応すること」という報告が多く、いかに早く反応するかといった観点で予測反応しており、このような非熟練者の意図が文脈的手掛かりの影響として反応を早める結果に繋がったものと推察される。したがって、熟練者と非熟練者に提示した予測反応課題は同様であっても、熟練者はテニスの競技力に直接的に影響する予測スキルを反映しようとしていたことが推測され、非熟練者とは異なる熟練者の特徴として指摘される。

5. まとめ

本章では、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応課題を用いて、確率情報という文脈の手掛かりが予測反応に与える影響を実験的に検討し、予測時の文脈の手掛かりと視覚的手掛かり（相手のサービス動作である身体言語的手掛かり）の関係を捉えることを目的とした。課題前には、過去の競技場面で生じた事象やプレー直前までの状況に基づいた情報をコース配分比率という確率情報に置換し、文脈の手掛かりとしてレシーバーを想定した被験者に教示した。また、競技レベルの異なる熟練者と非熟練者の予測反応結果を比較することで、熟練者における視覚的手掛かりの重要性を検討した。

主な結果は、以下の通りである。

- 1) 矢印刺激に対する一般的な選択反応時間は、熟練者と非熟練者との間に有意差はなく、競技レベルとは関係がないことが確認された。
- 2) 予測正確率について、確率情報の教示や競技レベルの影響は示されなかったが、両群とも有意にチャンスレベルを超えていた。
- 3) 正反応および誤反応の試行による反応時間について、熟練者では教示条件間の差はなかったが、非熟練者では8対2, 5対5, 4対6条件は教示なし条件よりも有意に短かった。また、教示なし条件では熟練者は非熟練者よりも有意に短かった。
- 4) 正反応試行による推定予測時期について、熟練者は概ねボール・インパクト以前に示され、早い予測を示した。また、反応時間と同様に熟練者では教示条件間の差はなかったが、非熟練者では8対2, 5対5, 4対6条件は教示なし条件よりも、4対6条件は2対8条件よりも有意に早かった。また、教示なし, 6対4, 2対8の3条件において熟練者は非熟練者よりも有意に早い傾向を示した。
- 5) 正反応試行では、熟練者の教示なし条件で推定予測時期と自信度との間に有意な正の相関 ($r=.811, p=.002$) が認められ、予測時期を遅らせるほど予測結果に対する自信が高くなることを示した。一方、誤反応試行では、両群における5対5の教示条件で予測

正確率と自信度との間に負の相関（熟練者群： $r=-.631$, $p=.037$, 非熟練者群： $r=-.755$, $p=.019$ ）が認められ、自信が高すぎると予測正確率が低下することを示した。

- 6) 内省報告では、予測時における注意の対象について、非熟練者はサービス動作の部分的な情報を挙げたが、熟練者は身体の開き方や上半身の反り方、ラケットの軌跡といった経時的な身体言語的手掛かりを挙げた。またレシーブ時に最も気を付けた内容について、熟練者は「できるだけ反応を速くすること」、「自分がリターンしやすいように動き出すこと」、「1番良いタイミングで入ること」を、また非熟練者は「情報があると反応しやすい」、「一歩目を早く出す」、「素早く反応すること」を報告した。

以上のことから、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応課題において、熟練者は、非熟練者よりも早く正確な予測反応が可能であり、高度な予測スキルを有していることが確認され、熟練者の反応時間や予測正確率、推定予測時期に確率情報という文脈的手掛かりは直接的に影響しないことが明らかとなった。また、非熟練者における反応時間の短縮に示されたように、文脈的手掛かりは認知的構えを高め、予期行動に関連する反応系の情報処理を促進し、結果として運動時間を短縮する可能性が示唆された。

したがって、テニス熟練者が時間的制約下で対戦相手のサービスを早く正確にコース予測するためには、文脈的手掛かりにより認知的構えを高めるとともに、文脈的手掛かりにより高められた期待をも修正可能な、サービス動作の視覚的手掛かりが重要であることが明らかとなり、専門的知覚を有する熟練者の高度な予測スキルとして捉えられた。

第3章 予測反応事態の眼球運動からマイクロサッカードを検出する試みとその評価

1. 目的
2. 方法
 - 1) 被験者
 - 2) ビデオ映像の作成
 - 3) 実験装置
 - 4) 実験課題と条件設定
 - 5) 眼球運動と反応時間の測定
 - 6) 手続き
 - 7) マイクロサッカードの検出方法
 - 8) 統計処理
3. 結果
 - 1) 条件別にみた反応時間と予測正確率
 - 2) フリー条件にける眼球運動とマイクロサッカードの検出結果
 - 3) 注視条件におけるマイクロサッカードの検出結果
 - 4) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの出現頻度の比較
 - 5) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの方向ごとの頻度
 - 6) 内省報告
4. 考察
 - 1) フリー条件におけるマイクロサッカード
 - 2) 注視条件におけるマイクロサッカード
 - 3) マイクロサッカードの出現頻度からみた視覚的注意
 - 4) マイクロサッカードの方向からみた潜在的注意による視覚的手掛かり

5. まとめ

1. 目的

第2章では、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応課題を用いて、文脈的手掛かりによる予測反応への影響について実験的に熟練者と非熟練者を比較検討した。その結果、特に文脈的手掛かりにより高められた期待をも修正可能な視覚的手掛かりに基づく効率的な視覚探索方略の重要性が指摘された。そのため、最終的には相手のサービス動作から予測に有効な視覚的手掛かりを得ることが重要であることから、熟練者の視覚的注意の内容を具体的に把握し、視覚探索方略を詳しく検討することが必要と考えられる。

また、眼球運動測定による注視点分析の報告によると、サーバーのフォワード・スイング時におけるレシーバーの注視点はビジュアル・ピボットとしてボールと身体の間配置され、実際に空間的な対象を捉えていない場合があることが示されている（河原ほか，1989；高橋ほか，2005）。したがって、視覚探索方略としてビジュアル・ピボットという認知方略を用いる場合には、注視点位置とは異なる別の空間にある情報に注意が向けられている可能性が推測される。しかし、従来の注視点分析による手法では顕在的な視覚的注意を推定する上では有効であるが、潜在的注意の内容を詳細に検討することは実質的に不可能であり、方法論上の限界と言える。

そこで本章では、テニスのシングルスにおけるサービスのビデオ映像に対する予測反応課題を自由に視覚探索して予測反応する条件（フリー条件）と2種類のターゲットをビジュアル・ピボットとしてそれぞれ注視させながら予測反応する条件（注視条件）の3条件を設定し、熟練者の眼球運動からマイクロサッカードの検出を試み、それらの各パラメータから潜在的注意による視覚的手掛かりの内容を評価・検討することを目的とした。そして、潜在的注意による視覚的手掛かりを示す指標としてのマイクロサッカードの有効性とビジュアル・ピボットという認知方略に基づいた熟練者の視覚探索方略を詳しく検討した。

2. 方法

1) 被験者

被験者は、元プロテニス女子選手2名と大学テニス部に所属する女子選手6名の計8名であった。実験参加時には心身ともに健康な状態で正常視力または正常矯正視力を有しており、利き目は全員右目で、利き手は右であった。被験者の年齢は 23.2 ± 6.5 歳、テニス経験年数は 16.1 ± 7.8 年、1週間の練習頻度は 5.1 ± 1.5 日、1日の練習時間は 2.9 ± 0.7 時間で、テニス競技に関する高い専門性（専門的知識）と競技力を有していた。なお、本章の研究は日本大学文理学部研究倫理委員会の承認（研究課題 28-12）を受け実施した。

2) ビデオ映像の作成

トッププロ選手の指導経験を有した男子コーチをモデルとし、モデルがシングルスコースのデュースサイドからセンター（レシーバー側からみて左側）とワイド（レシーバー側からみて右側）に打ち分けたサービス動作を、レシーバー側より DV カメラ（Sony 社製、HDR-XR550）を用いて 30 Hz で撮影した。

撮影した映像は、動画編集ソフト（Adobe 社製、Premiere Pro CC 2015）を用い、成功試技から各コース5試技の動画を抽出した。それぞれボール・インパクト時点から 2,000ms 前を開始時点とし、インパクト時点までのビデオ映像（2,000ms）を作成後、被験者の予測反応を導くためインパクト後の飛球線方向を判別できないように黒画面で 333ms 間遮蔽した（図 3-1）。図中には、サービス動作を4局面（第1局面から第4局面）に分割した時間軸を示し、眼球運動データの解析で用いた。また●印と○印は、後述するインパクト注視条件とリリース注視条件の課題中に被験者が注視すべきターゲットである。なお、動画の解像度は 768×432 pixel とした。

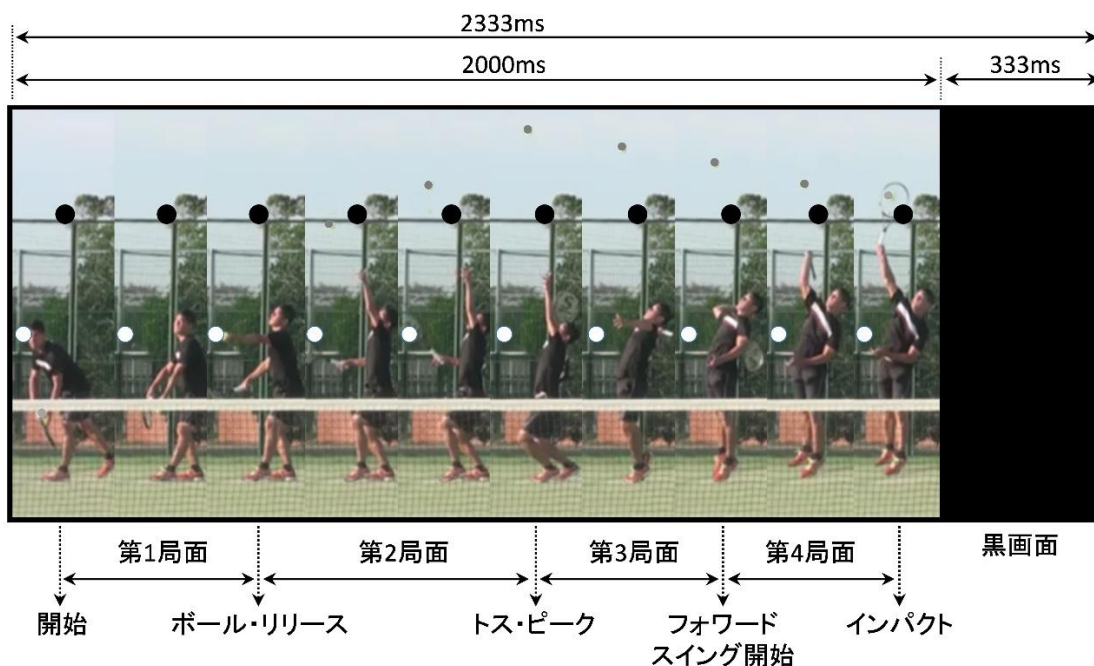


図 3-1 サービス動作のビデオ映像

3) 実験装置

実験装置 (図 3-2) は、急速眼球運動解析装置 EyeLink 1000 Plus (SR Research 社製, 以下 EyeLink), 19 インチモニター, 視覚刺激作成支援ソフト Experimental Builder ver.2.0.0.159 (SR Research 社製, 以下 Experimental Builder), 左右ボタン (小杉技研社製, USB-SWBOX1) などで構成し, 暗室内に設置した. 被験者の椅子座位時に眼球とモニター上部の高さが一致するよう椅子の高さを調整し, またビデオ映像のサービス動作に対する視野角が実際の競技場面における視野角に近似した 8.3 deg となるよう被験者の眼球とモニターの距離を 69cm とした. Eyelink の仕様ではモニター前に配置したデスクトップマウントと顎台の距離が 50~55cm の範囲に規定されていることから, その範囲内にデスクトップマウントを配置した. なお, 被験者の視野角はマイクロサッカードを検出している先行研究で用いられた指標に対する視野角 (例えば, Hafed and Clark (2002) は 4~8 deg, Engbert and Kliegl (2003) は 12.4 deg, 鈴木ほか (2015) は 4.5 deg) の範囲内であった.

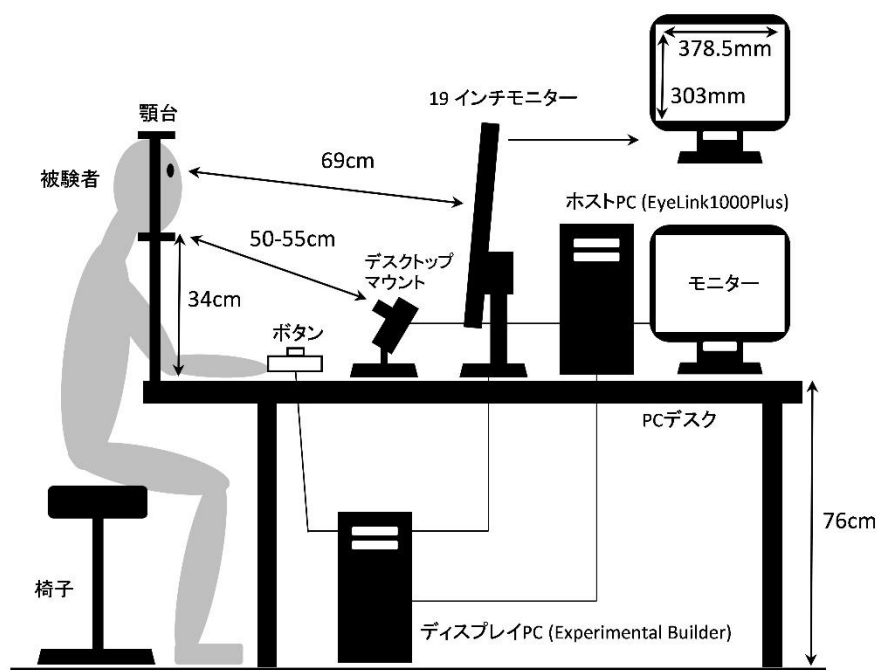


図 3-2 実験装置

4) 実験課題と条件設定

実験課題は、ビデオ映像のサービスに対し、打球コースがセンターの場合には左ボタンを、ワイドの場合には右ボタンをできるだけ正確性を優先し、なおかつ早く押すことであった。実際の競技場面では、反応の早さを優先するとサービス・エースを被る危険性を高めてしまうため、実際に即して正確性を優先した。本章では、被験者が1点を注視しようと努めた際にマイクロサッカードを検出している先行研究 (Engbert and Kliegl, 2003) を参考とし、通常のビデオ映像とその上にビジュアル・ピボットとして注視すべきターゲットを重ねた映像を視覚刺激として、課題中における以下3つの条件を設定した。

- (1) フリー条件：ターゲットのない通常のビデオ映像におけるサービス動作を自由に視覚探索しながら課題を行う。
- (2) インパクト注視条件：インパクト地点を見越して、トスのピーク地点とサーバーの頭部との間にターゲット (図 3-1 の●印を参照) を配置し、そのターゲットを終始

注視しながら課題を行う。

- (3) リリース注視条件：サーバーの身体やインパクト地点から遠距離にあるトスのためのボール・リリース付近にターゲット（図 3-1 の○印を参照）を配置し、そのターゲットを終始注視しながら課題を行う。

なお、ターゲットの直径は 16 pixel でいずれも青色丸印とし、ターゲットが画面中央（X座標 0, Y座標 0）に配置されるようビデオ映像全体の位置を Experimental Builder により調整した。2つの注視条件の課題前には単にターゲットを注視する試行を各 10 回行い、被験者を実験環境に慣れさせた。各条件の試行数は、各コース 5 試行をランダムに計 10 試行実施した。

5) 眼球運動と反応時間の測定

課題中、被験者の利き目（右目）の眼球運動を EyeLink で測定した。EyeLink は、デスクトップマウントにある非接触タイプのアイカメラによって画像処理法で眼球運動を検出することが可能であることから、従来のゴーグル型に比べ被験者に対する負荷が圧倒的に軽減できることが特徴である。被験者は、椅子座位姿勢で顎台に顎を載せ頭部を固定し、モニターの中心点を基準にした水平・垂直方向 9 点によるキャリブレーションを行った後、直ちに妥当性を確認した。試行中、被験者にはまばたきをしないように、また注視条件では反応が完了するまでターゲットを注視するよう教示した。測定データは、サンプリング周波数 1,000 Hz, 空間解像度 0.01 deg で PC に全て記録した。

また、各試行の反応時間はビデオ映像の呈示開始からボタン押しまでの時間と定義し、PC に自動的に記録した。

6) 手続き

まず、被験者に対し事前に研究目的・方法および個人情報の管理等に関する説明を行ない、書面にて研究参加への同意を得た。被験者は 5 分以上暗室に順応した後、初めに単純

な左右の矢印刺激に対する選択反応時間(矢印刺激の呈示開始からボタン押しまでの時間)を計 10 回測定した。次に、EyeLink のキャリブレーションを行った後、実験課題のフリー条件を、続いてインパクト注視条件とリリース注視条件は被験者間でカウンターバランスをとり実施した。各条件間では十分な休息を設け、それぞれの終了後には 1 対 1 のインタビュー形式によりサービス動作のどのような情報に注意を向けたのか、また課題に対する感想等について被験者からの内省報告を験者が記述により記録した。

7) マイクロサッカードの検出方法

マイクロサッカードの検出方法は、Engbert and Kliegl (2003) と Engbert (2006)、および鈴木ほか (2015) を参考とし、まずマイクロサッカードの候補を鈴木ほか (2015) が示した下記手順により決定した。

①：時刻 t における眼球運動の速度の X 成分 V_{xt} と Y 成分 V_{yt} を求める。

$$\text{式(1)} \quad V_{xt} = \frac{x_{t+2} + x_{t+1} - x_{t-1} - x_{t-2}}{6\Delta t}, \quad V_{yt} = \frac{y_{t+2} + y_{t+1} - y_{t-1} - y_{t-2}}{6\Delta t}$$

②：式(1)を次の式(2)に代入し、速度の大きさを求める。

$$\text{式(2)} \quad V_{xyt} = \sqrt{V_{xt}^2 + V_{yt}^2}$$

③： V_{xyt} をその標準偏差で除することで標準化する。

④：標準化した V_{xyt} の標準偏差の 5 倍をマイクロサッカード抽出閾値 V_{th} とし、標準化した V_{xyt} が V_{th} を超えた区間を求める。

⑤：手順④の区間が 6ms 連続しており、かつ

⑥：手順⑤の区間の最大速度の半値全幅が 20ms 以内の区間をマイクロサッカードの候補とする。

⑦：手順⑥の半値全幅の 2 倍の区間が重なる場合、該当マイクロサッカードは分析対象外とする。

鈴木ほか (2015) は、顎台に顎を載せる以外の拘束は一切行わなかったことから微小跳躍運動とは異なる体動や心拍と思われる低速な動きも検出されてしまったため、

Martinez-Conde et al. (2004) の報告を参考に手順⑥を加えた。また手順⑦で除外対象とした眼球運動は、一端、眼球運動速度が閾値未満に低下した後、数 ms 以内にやや遅いマイクロサッカードを行った場合に該当し、これらは一連の眼球運動と考えられるが単一の眼球運動と異なっている。そのため、本章でもこれらの眼球運動を全て除外した。したがって、これらの候補のうち振幅が 1 deg 以下で、なおかつ Zuber et al. (1965) が報告した結果を参考に最大速度が 100 deg/s 以内を最終的なマイクロサッカードと判定した。

これらのマイクロサッカードは、検出された開始時刻を T1、終了時刻を T2 とすると期間は式(3) $T2-T1$ 、最大速度は期間中の最大速度、振幅は T1 の座標 (x_1, y_1) および T2 の座標 (x_2, y_2) から式(4) $\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}$ 、マイクロサッカードの移動方向は最大速度前後の座標位置が成す角度とした。本章では、これらによる検出方法を分析 1 とした。また、表 3-1 にマイクロサッカードとサッカードの特性を示したが、振幅の大きい高速のサッカードが分析対象に含まれている場合、閾値が高くなりマイクロサッカードが検出されにくくなるため、試行開始に伴いサッカードが生じやすい第 1 局面の眼球運動データを除外した検出方法を加え、これを分析 2 とした。

表 3-1 マイクロサッカードとサッカードの特性

	マイクロサッカード	サッカード
速度 (deg/s)	10-120	100-500
振幅 (deg)	≤ 1	0.5-50
持続期間 (ms)	10-30	20-80
頻度 (Hz)	0.2-3	2-3
性質	不随意性	随意性
両眼協調性	あり	あり

Martinez-Conde et al. (2004)参照

8) 統計処理

有意差検定は、統計処理ソフト SPSS Statistics ver.23.0 (IBM 社製) を用いた。正反

応試行の反応時間および予測正確率について、対応のある 1 要因分散分析を行い、有意差が認められた場合には Bonferroni による多重比較検定を行った。また予測正確率について、チャンスレベル 50%を検定値とした 1 サンプルの t 検定を行った。なお、予測正確率は全て逆正弦変換法（岩原，1995）により算出した値を用いた。マイクロサッカードとサッカードにおける最大速度と振幅の関係を調べるためピアソンの積率相関分析を行った。またマイクロサッカードの出現頻度については、条件要因（3 条件）と局面要因（4 局面および 3 局面）による 2 要因分散分析（入戸野，2004）を行った。有意水準は、全て 5%未満とした。

3. 結果

1) 条件別にみた反応時間と予測正確率

図 3-3 は、条件別にみた反応時間と予測正確率（逆正弦変換後の値）を示している。対応のある 1 要因分散分析を行ったところ、いずれも有意な差が認められた（反応時間： $F(2,14)=7.241, p=.007, \eta_p^2=.508$, 予測正確率： $F(2,14)=4.977, p=.023, \eta_p^2=.416$ ）。多重比較検定の結果、フリー条件では、リリース注視条件よりも反応時間が有意に早く、かつ予測正確率も高かった（いずれも $p<.05$ ）。

また各条件の予測正確率（フリー条件 82.5%、インパクト注視条件 78.8%、リリース注視条件 63.8%）について、1 サンプルの t 検定を行ったところ、全てでチャンスレベル 50% よりも有意に高かった（全て $p<.05$ ）。しかしながら、反応時間から選択反応時間の平均値（288.5ms）を減じることで予測が完了した時期を推定したところ（以下、推定予測時期）、いずれの条件においてもインパクト時点の 2,000ms を上回り、インパクト前とはならなかったことから、実際の競技場面に求められる早い予測反応は示されなかった。

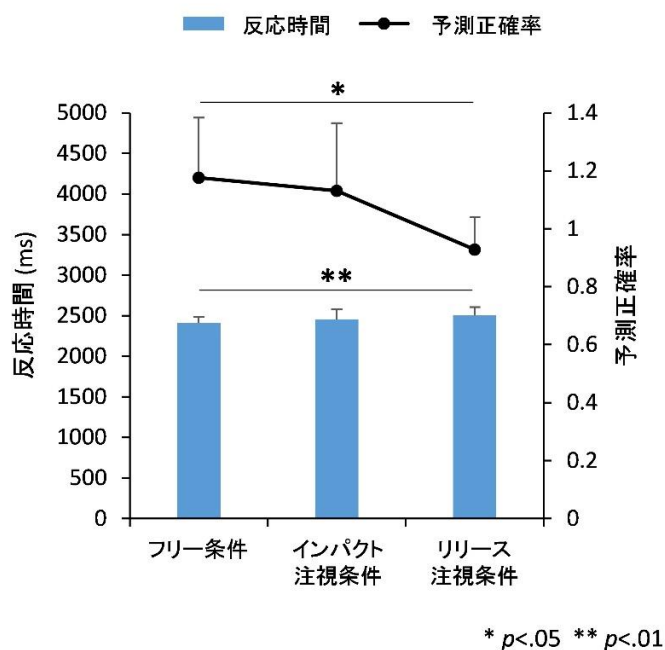


図 3-3 条件別にみた反応時間と予測正確率

2) フリー条件における眼球運動とマイクロサッカードの検出結果

図 3-4 および図 3-5 は、被験者 A と B のフリー条件における典型的な眼球運動の結果を示している。X 座標と Y 座標を併せてみると、両者の第 1 局面では、サーバーの身体左側（レシーバーからみて左側）に生じるトスのための腕の振り上げに伴って、ボールのピーク地点を予測しサッカードによって左上方向に注視点を移動させている。被験者 A の第 2 局面では、ボール・リリース後、再度サッカードによって上方向に注視点を移動させるが、第 3 局面では逆に下方向に修正することで、予測されるインパクト付近に注視点を配置している。一方、被験者 B の第 2 局面では、ボール・リリース後、被験者 A と同様に再度上方向に注視点を移動させるが、その後インパクトに至るまでサッカードによる修正は行われていない。そのため、すでに予測されるインパクト付近に注視点を配置できていたことが伺える。また他の被験者では、第 1 局面でビデオ映像の呈示直後から複数回のサッカードが認められる場合も多く存在していた。

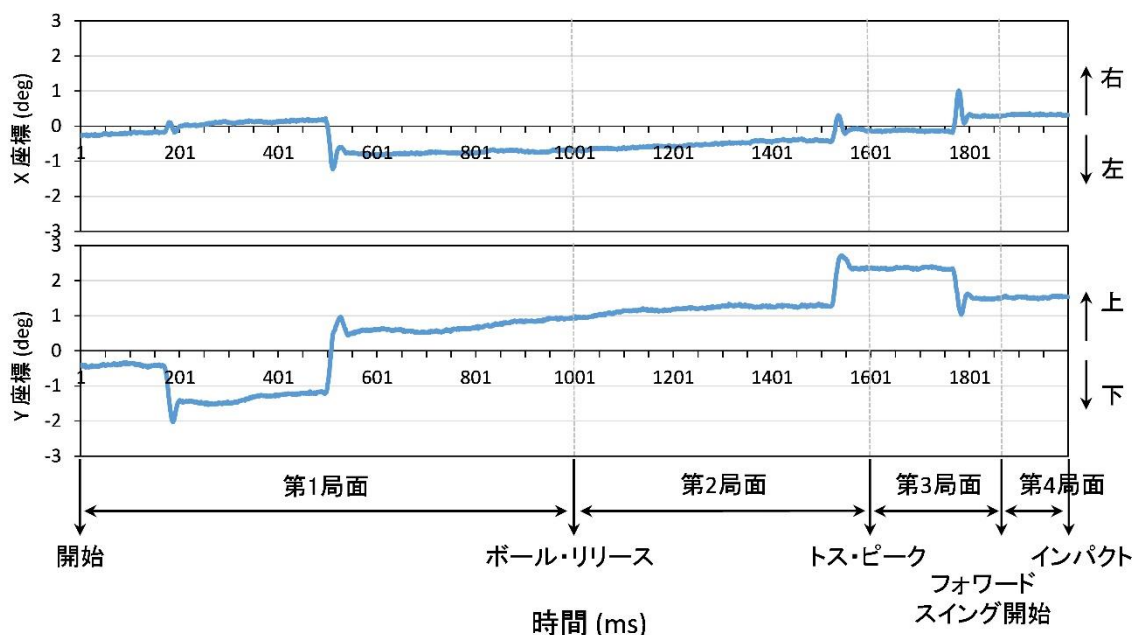


図 3-4 フリー条件における被験者 A の典型的な眼球運動

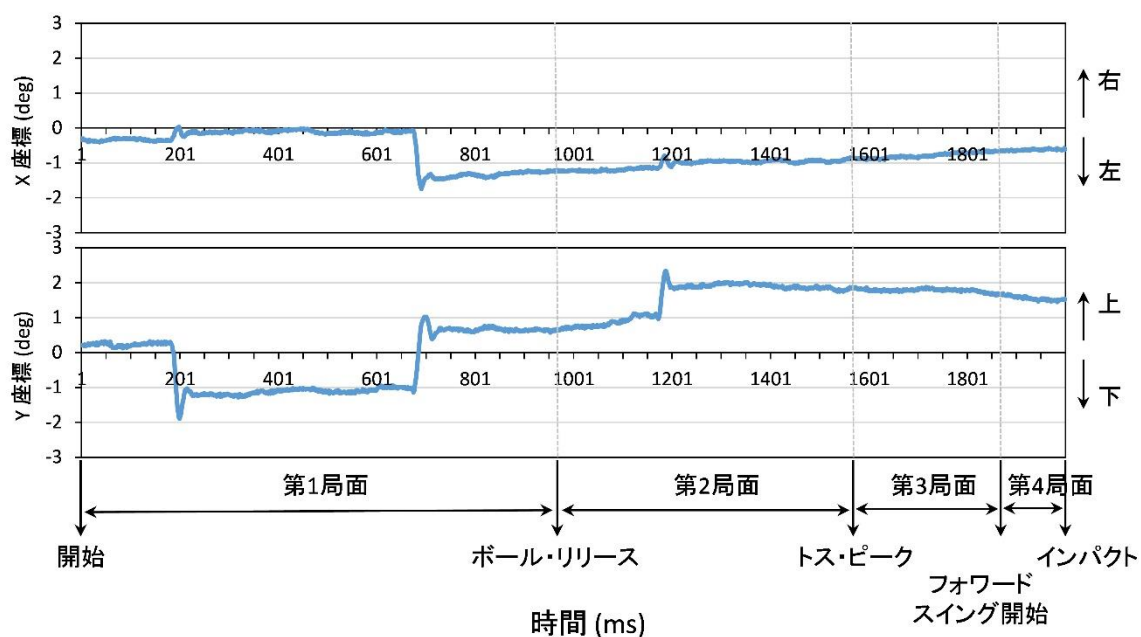


図 3-5 フリー条件における被験者 B の典型的な眼球運動

次に、フリー条件における眼球運動から分析 1 および分析 2 に従ってマイクロサッカードの検出を試みた結果について、図 3-6 の最大速度と振幅の関係により示す。被験者 8 名の全 80 試行のうち、まばたきが認められた試行を除外したところ、分析対象数は分析 1 で 63 試行、第 2 局面以降の眼球運動データを対象とした分析 2 では 75 試行であった。その結果、分析 2 で 1 名の被験者より 3 個のみのマイクロサッカードが検出されたが、他では一切検出されなかった。

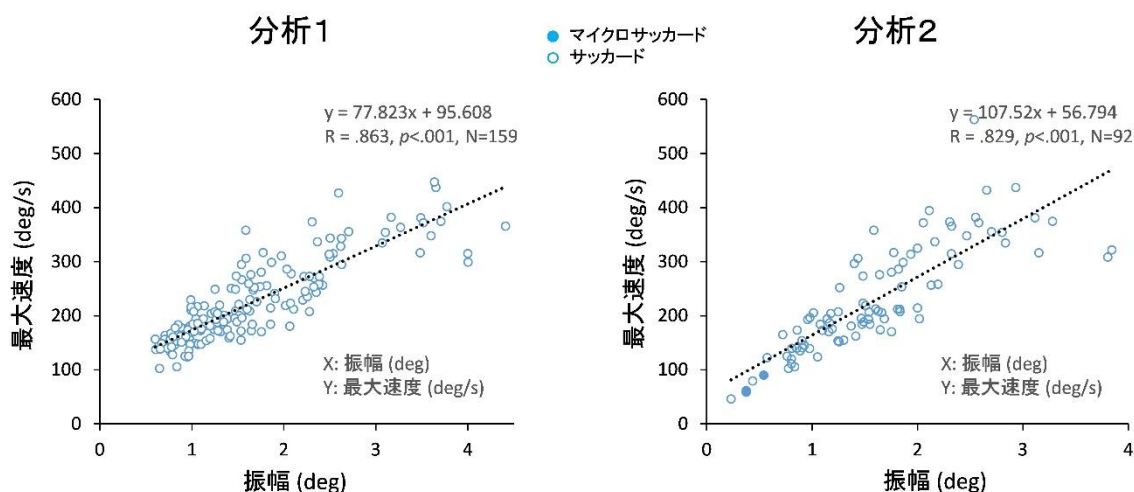


図 3-6 マイクロサッカードとサッカードにおける最大速度と振幅の関係

3) 注視条件におけるマイクロサッカードの検出結果

2つの注視条件の眼球運動データから分析1および分析2に従ってマイクロサッカードの検出を試みた。まず、分析1（分析対象は150試行）の結果、図3-7(a)に示した最大速度と振幅との関係から、75個のマイクロサッカードが検出された。それらの平均最大速度は69.1 deg/s、平均振幅は0.42 deg、相関分析の結果は有意であった ($r = .745$, $p < .001$)。また、図3-7(b,c,d)は検出されたマイクロサッカードの各パラメータの頻度を示し、それぞれ1試行(2,000ms)当たりの出現回数を示している。図3-7(b)に示した最大速度の頻度について、図示していないがサッカードを併せてみると100 deg/s以上の頻度が急激に増加しており、速度の速いサッカードの混入が認められたため、本章で速度閾値を100 deg/sに設定したことは妥当と判断される。また、図3-7(c)における1 deg以内の振幅をみると、0.3~0.6 degの振幅が多いことがわかる。図3-7(d)の持続期間では全て20ms以内であり、特に6msが最も多く出現していた。

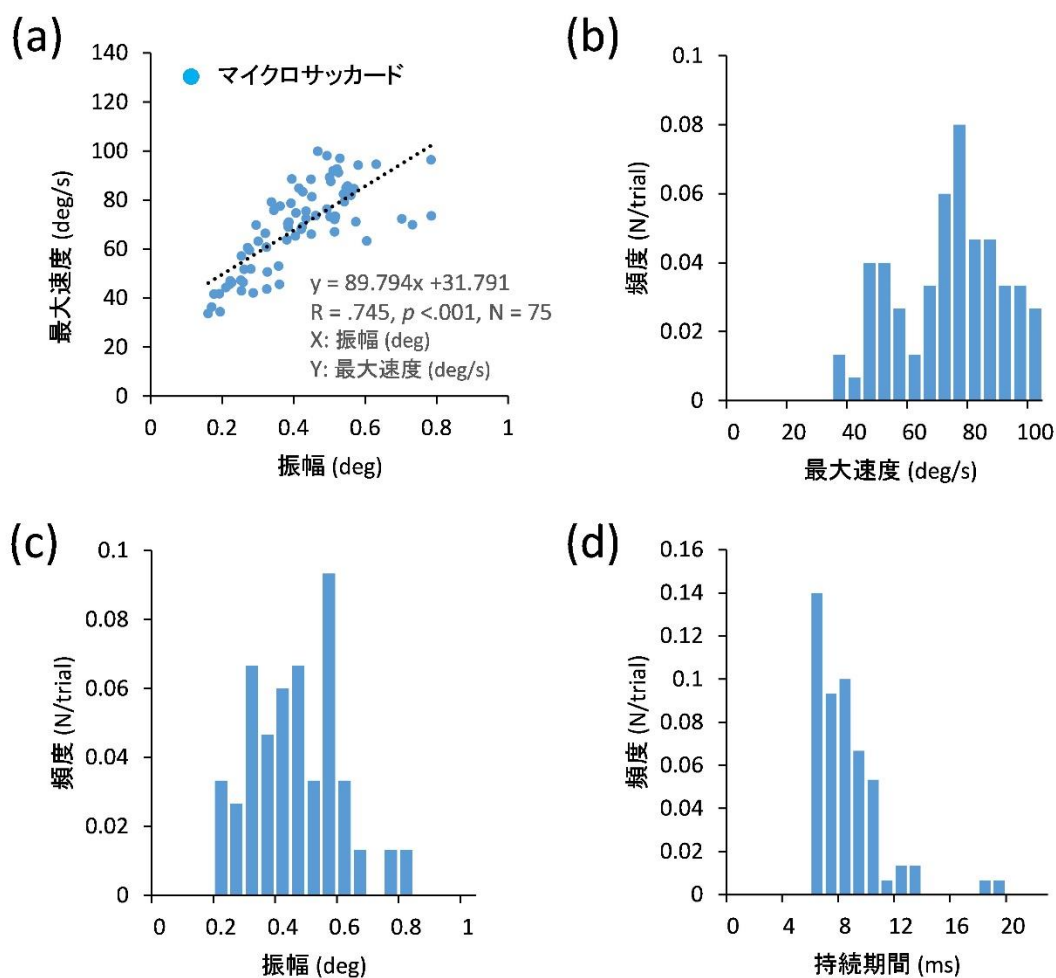


図 3-7 分析 1 による 2 つの注視条件におけるマイクロサッカードの検出結果
 (a)最大速度と振幅の関係, (b)最大速度の頻度, (c)振幅の頻度, (d)持続期間の頻度

次に、サッカードの生じる可能性が高い第 1 局面の眼球運動データを除いた分析 2 (分析対象は 160 試行) の結果、図 3-8 (a) に示した通り、検出されたマイクロサッカードは 29 個と分析 1 の 75 個に比べて 38.6%に減少した。また、平均最大速度は 60.0 deg/s, 平均振幅が 0.32 deg を示し、相関分析の結果は有意であった ($r=.872$, $p<.001$)。最大速度や振幅、持続期間における頻度は分析 1 と同様な傾向を示した (図 3-8 (b, c, d))。

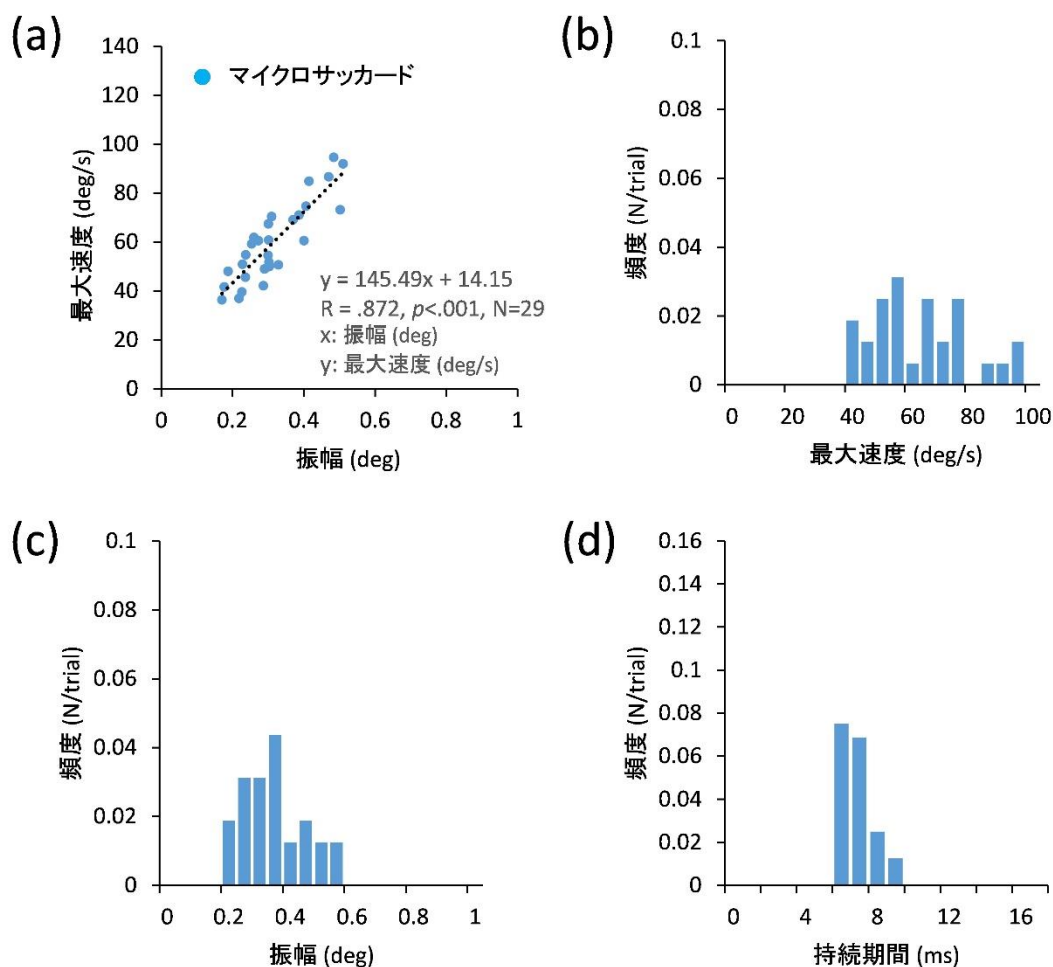


図 3-8 分析 2 による 2 つの注視条件におけるマイクロサッカードの検出結果
 (a)最大速度と振幅の関係, (b)最大速度の頻度, (c)振幅の頻度, (d)持続期間の頻度

4) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの出現頻度の比較

図 3-9 は、注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの出現頻度(回数/試行)を分析ごとに示している。両分析の第 2, 第 3 局面の結果をみると、分析 1 よりも分析 2 の方がマイクロサッカードの出現頻度が高いことから、分析 2 で第 1 局面の眼球運動データを除いたことにより多くのマイクロサッカードが検出されたことを示す。しかし、第 4 局面ではいずれの分析でも検出されなかった。

注視条件要因 (インパクト, リリース) と局面要因 (4 局面および 3 局面) による 2 要

因分散分析を行ったところ、分析1では交互作用と局面要因の主効果が有意であった（交互作用： $F(3,21)=5.672$, $p=.005$, $\eta_p^2=.448$, 局面要因の主効果： $F(1.564,10.948)=20.885$, $p<.001$, $\eta_p^2=.749$). 多重比較検定を行ったところ、第1局面は他の局面よりも有意に高い出現頻度を示した（いずれも $p<.05$). また各要因の水準ごとに単純主効果検定を行ったところ、リリース注視条件の第1局面は第2, 第3, 第4局面よりも、またインパクト注視条件の第1局面よりも有意に高い出現頻度を示した（いずれも $p<.05$). 一方、分析2では局面要因に有意な主効果が認められた（ $F(2,14)=4.2$, $p=.037$, $\eta_p^2=.375$) が、多重比較検定の結果、有意差は認められなかった.

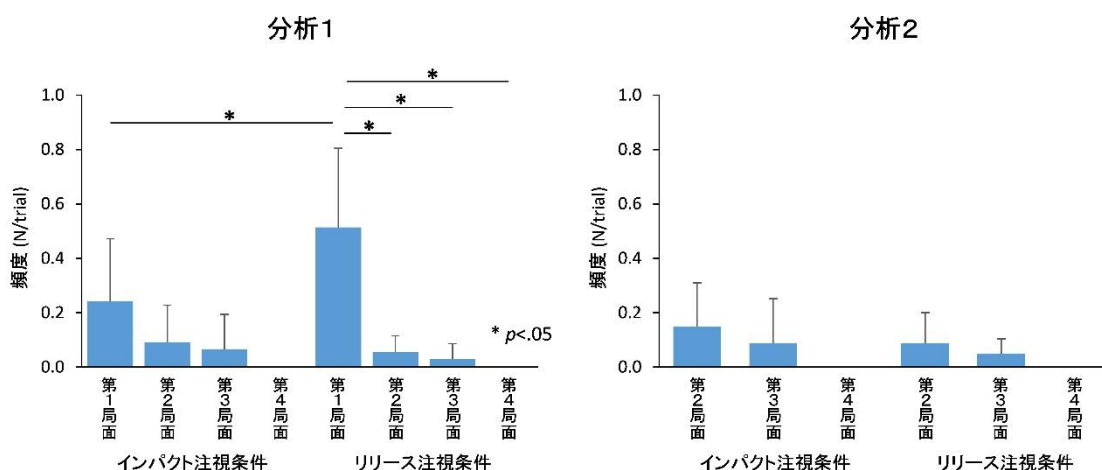


図 3-9 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの出現頻度

5) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの方向ごとの頻度

図 3-10 は、2つの注視条件におけるマイクロサッカードの方向を分析ごとに頻度で示している。分析2では第1局面の眼球運動データを削除しているため、また第4局面ではいずれの分析でもマイクロサッカードは検出されなかったため、結果は示されていない。図は360 degを30 degごとに分け、±15 degの範囲内にあるマイクロサッカードの方向の頻度を円の中心から外周に向かって表している（回数/試行）。レーザーからみてサーバ

一の右方向が 0 deg, 左方向が 180 deg である.

両注視条件の全データの傾向をみると, いずれも垂直方向よりも水平方向に多くマイクロサッカードが出現している. また局面別にみると, 第 1 局面 (分析 1) におけるリリース注視条件では左右方向に広く, インパクト注視条件では狭くやや右肩下がりの傾向を示した. 第 2 局面 (分析 2) では, 両注視条件ともリリース後にサーバーの右上方向へ, またトス・ピーク後の第 3 局面 (分析 2) では右下方向の頻度が高くなる傾向を示した.

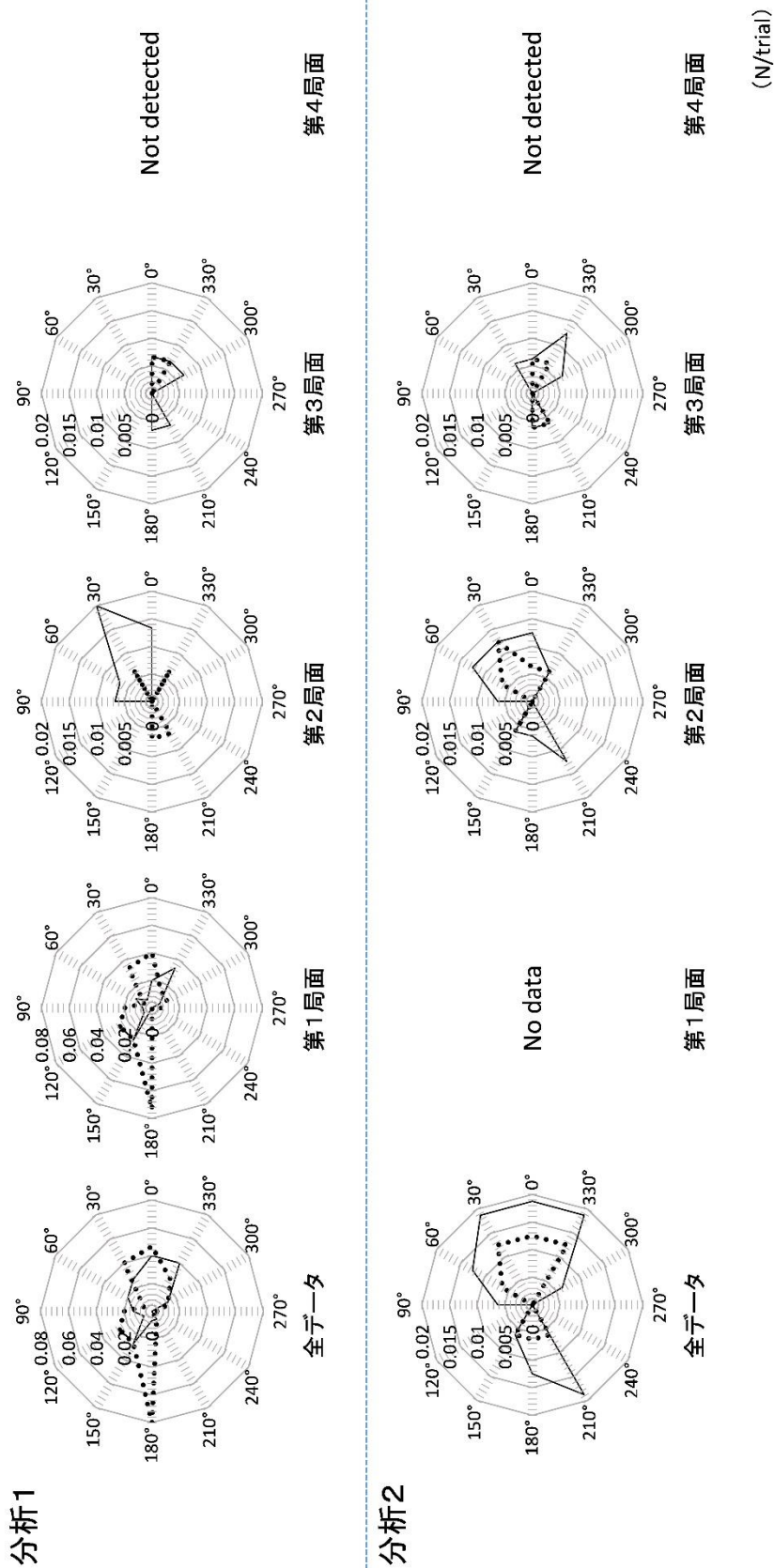


図 3-10 注視条件別および局面別にしたマイクロサカードの方向

（実線：インパクト注視条件，点線：リリース注視条件）

6) 内省報告

各条件後の主な内省報告について、フリー条件では「分かりにくい」、「結構難しい」、「自信がない」、インパクト注視条件では「ターゲットを見続けることが難しかった」、「フリー条件よりも難しい」、「全然分からない」、「反応しにくい」、「見づらい」、「ターゲットを見ながら反応できた」、「ターゲットがあると分かりやすい」、リリース注視条件では「1番難しかった」、「全然見えない」、「ターゲットが無い方が分かりやすい」などが回答された。また、サーブ動作を見る観点として、「トスの左右のズレ」、「身体の開き」、「インパクト地点」、「ラケット面」が挙げられた。さらに、「インパクト後の映像が見られないため、答え合わせができず、ストレスであった」、「実際の競技では、全体を見ているのだと改めて感じた」などの感想が得られた。

4. 考察

まず、3条件の予測反応課題における反応時間と予測正確率の結果について考察する。

フリー条件では、リリース注視条件よりも有意に反応時間が早く、かつ予測正確率も高かった（いずれも $p < .05$ ）。これらの結果は、実際の競技場面では存在しないターゲット、特にインパクト地点よりも遠い空間的位置にあるボール・リリース付近のターゲットを注視した場合には、予測反応に有益な情報収集が妨げられ、結果として通常の予測反応が効率的にできなかったことが推察される。しかし、フリー条件とインパクト注視条件との間にはいずれも有意差が認められなかったことから、インパクト注視条件は有益な情報収集可能なフリー条件における視覚探索方略に類似していると考えられる。被験者の内省報告でも「フリー条件よりも難しい」という回答がある一方で、「ターゲットを見ながら反応できた」、「ターゲットがあると分かりやすい」という回答が一部あったことから、インパクト付近への注視行動は予測スキル獲得のための重要な知見となることが推測される。

また、各条件における予測正確率はチャンスレベル50%よりも有意に高く（全て $p < .05$ ）、特にフリー条件では82.5%と武田・古田（2004）が報告した熟練者の72%よりも高い値であった。さらに、反応時間から選択反応時間の平均値（288.5ms）を減じた推定予測時期が、いずれの条件でもインパクト前には現れなかったことから、被験者に教示した通り、反応の早さよりも正確性を重視した結果と判断される。本章ではインパクト後の映像は遮蔽されており、正確性を高めるために利用される飛球線に関する情報は得られなかったはずであるが、このように早い反応を犠牲としても高い正確性を得ることができたことは、インパクト前の相手のサービス動作のみから有益な情報を得ることが可能であったことを示しており、テニス熟練者における予測スキルの特徴として大変興味深い。近年では時速200kmの高速サービスを打つ女子選手が台頭してきていることから、女子選手においても正確性を重視しつつもより早い予測反応が求められ、競技力を高めるための重要な要因として指摘される（Goulet et al., 1989）。

1) フリー条件におけるマイクロサッカード

フリー条件における被験者の眼球運動結果の例（図 3-4 および図 3-5）が示す通り、サービス動作が始まると、約 1,000ms 後のボール・リリースに向けて視覚探索による複数のサッカードの出現が認められた。またボール・リリース後にもインパクトの空間的位置を見越して注視点を調整しようとするサッカードが行われる場合もあった。したがって、熟練者は予想されるインパクトの空間的位置に注視点を向かわせるために視覚探索を繰り返し、最終的にはインパクト付近に注視点を停留させて有効な視覚手掛かりを得ようとする視覚探索方略を遂行していることが推測される。

そこで、全局面の眼球運動データを対象とした分析 1 と、複数のサッカードが生じる可能性が高い第 1 局面を除く眼球運動データを対象とした分析 2 によりマイクロサッカードの検出を試みた。その結果、分析 2 で検出閾値が低下したことにより被験者 1 名から 3 個のマイクロサッカードが検出されたのみで、他からは検出されなかった（図 3-6）。従来、マイクロサッカードは静止画像の一点を注視している際に検出される（Engbert and Kliegl, 2003）が、被験者が自由に視覚探索した場合でも注視期間があれば検出されることも報告されている（Otero-Millan et al., 2008）。そのため、フリー条件の課題中に注視期間があればマイクロサッカードが発生している可能性がある。しかし、図 3-4 および図 3-5 をみると、サッカード間における注視の様態が目視できるものの、注視期間は非常に短い。注意集中度合いが強い時には比較的長時間（～900ms）の潜時を持ったマイクロサッカードの頻度が増加するという報告（加納ほか, 2014）を考えると、注視期間が短いことはマイクロサッカードが生じるための潜時を十分確保できないことが推測される。したがって、高い注意集中度合いが求められる予測反応事態で自由に視覚探索した場合、十分な注視期間が得られないことからマイクロサッカードは出現しにくく、結果として検出できないものと推察される。今回、分析 2 によりマイクロサッカードが僅かに検出された結果は、1 名の被験者から検出されたに過ぎないことから、連続した課題遂行の過程で偶発的に生じたものと考えられる。そこで、マイクロサッカードを検出する可能性を高めるた

め、ビジュアル・ピボットとして注視すべきターゲットを設けた注視条件におけるマイクロサッカードの検出結果を次に考察し、その有用性について検討する。

2) 注視条件におけるマイクロサッカード

ビジュアル・ピボットとしてターゲットを注視させた2つの注視条件における眼球運動データを対象とし、分析1と分析2によりマイクロサッカードの検出を試みた。その結果、分析1によりマイクロサッカードは75個検出され、2試行に1回の割合でマイクロサッカードが出現したことを示した(図3-7)。

図3-7(a)は最大速度と振幅との関係を示しており、有意な正の相関が認められた($r=.745$, $p<.001$)。この関係性は、マイクロサッカードの検出結果における正当性を評価するために、多くの先行研究で報告されている(Engbert and Kliegl, 2003; Otero-Millan et al., 2008; 十河, 2010b; Yokoyama et al., 2012)。鈴木ほか(2015)が指摘しているように、マイクロサッカードの判断基準はグラフの相関性、直線性としながらも定量的な判断基準は示されていない。Zuber et al. (1965)によれば、マイクロサッカードとサッカードはそれらの弾道的性質により同じ最大速度と振幅の関係を共有していることから、多くの先行研究(Hafed and Clark, 2002; Otero-Millan et al., 2008; Mergenthaler et al., 2010; Martinez-Conde et al., 2013)が示すように、マイクロサッカードとサッカードを同一の図中に載せることで同様な傾きを示す主系列特性(main sequence と呼ばれている)の共有を確認している。また、この主系列特性は、マイクロサッカードとサッカードの共通した神経生理学的基礎の特徴として理解されている(Rolf et al., 2008; Martinez-Conde et al., 2009; Hafed et al., 2009)。したがって、マイクロサッカードとサッカードを区別する際には、最大速度と振幅との関係を利用できることになる。

本章では、マイクロサッカードとサッカードを併せてみると最大速度100 deg/sを超える頻度が急激に増加していたことから、最大速度100~500 deg/s(芋坂, 2004)と言われる速度の速いサッカードの混入が推測された。そのため、サッカードを排除したマイクロ

サッカードの特徴を把握するためには、本章におけるマイクロサッカードの最大速度と振幅の関係から、振幅 1 deg 以内で頻度が高まる最大速度 100 deg/s を検出の閾値とすることが妥当と考えられた。また、検出されたマイクロサッカードの平均最大速度は 69.1 deg/s、振幅は 0.42 deg を示し、Martinez-Conde, et al. (2004) が報告したマイクロサッカードの特徴量の範囲内にあることから、検出されたマイクロサッカードは正当性を有していると考えられる。

一方、分析 2 ではマイクロサッカードは 29 個検出された (図 3-8 a)。分析 1 の 75 個に比べて大きく減少したことは、削除された第 1 局面の眼球運動データ中にマイクロサッカードが多く存在したことを示している。また、第 2 局面以降の眼球運動データから低い頻度ながら分析 1 より多くのマイクロサッカードが検出されたことは、第 2 局面以降における潜在的注意の内容をより詳細に検討する上で重要と考えられる。最大速度と振幅との関係は有意な正の相関 ($r=.872$, $p<.001$) を示し、平均最大速度は 60.0 deg/s、平均振幅は 0.32 deg で、これらの値は分析 1 と同様、Martinez-Conde et al. (2004) が報告したマイクロサッカードの特徴量の範囲内にあることから正当性を有していると考えられる。

3) マイクロサッカードの出現頻度からみた視覚的注意

分析 1 の結果 (図 3-9)、第 1 局面は他の局面よりも有意に高い出現頻度を示した (いずれも $p<.05$)。第 1 局面では複数のサッカードが認められたように視覚的注意が分散した状況であったことから、注意の移動に伴って注意の開放と同時に抑制から脱するためにマイクロサッカードの頻度が増加した (遠藤・小濱, 2012) ものと推測される。特に、リリース注視条件における第 1 局面のマイクロサッカード出現頻度は、第 2、第 3、第 4 局面よりも、またインパクト注視条件の第 1 局面よりも有意に高かった (いずれも $p<.05$)。リリース注視条件では、注視すべきターゲットはトスのリリース付近に配置されており、インパクト地点からかなり遠位であった。そのため、インパクト時点に向けて少しでも有益な情報を得るために、第 1 局面から注意を分散させて集中する必要があったことから、マイ

クロサッカードの出現頻度がインパクト注視条件より高まったものと考えられる。小濱ほか(1998)は、マイクロサッカードの出現頻度は、視覚的注意が注視点近傍に集中された場合に最も小さく、次いで視覚的注意が周辺視野のある一点に集中された場合、視覚的注意が周辺視野に分散された場合の順で大きくなることを明らかにした。特に、第1局面ではまだトスが上げられる前で、インパクト付近から遠位にあるリリース付近にも注視しなければならなかったため、「視覚的注意が周辺視野に分散された場合」に該当し、マイクロサッカードの出現頻度が最も高まった原因と推察される。

また、局所的に注意が集中されるとマイクロサッカードの出現が抑制され(遠藤・小濱, 2012), より注意の集中度が高まるとその抑制が持続的となるという知見(遠藤ほか, 2013)から、第1局面で多く出現したマイクロサッカードは、第2局面以降では「視覚的注意が周辺視野に分散された場合」から「視覚的注意が周辺視野のある一点に集中された場合」に該当し、注意の集中度が高まるにつれて抑制されたと考えられる。そして第4局面では注意の集中度が最も高い状態で予測を遂行したことでマイクロサッカードは全く出現しなくなったものと推測される。したがって、このマイクロサッカードの抑制は、予測のための有効な視覚的手掛かりを得るために注視中の視覚安定性に貢献する(Martinez-Conde et al., 2013)という知見を支持するものと考えられる。

一方、分析2の第2局面以降のマイクロサッカードは分析1よりも多く検出されたことから、第1局面のサッカードの影響を排除することにより検出精度を高めることが可能であった。局面要因の主効果が有意であったように、分析1と同様、局面が進むにつれてマイクロサッカードの出現が減少傾向を示したことから、第2局面以降では、注意の集中を徐々に高め、高い注意の集中度を維持していたことが推察される。

これまでに、テニスのサービス動作に基づいた予測研究(緒方ほか, 2015)において、インパクト直前のラケット動作情報が重要な予測手掛かりであることが報告されているが、第2局面のボール・リリース以降における高い注意の集中は、インパクトに向けて有益な情報を得ようとする被験者の意図を反映しており、その評価はマイクロサッカード抑制の

結果から判断できるものと考えられる。

4) マイクロサッカードの方向からみた潜在的注意による視覚的手掛かり

最後に、マイクロサッカードの方向からみた視覚的手掛かりについて、第1局面では分析1の結果を、また第2、第3局面では分析1よりも分析2の方が多くのマイクロサッカードを検出したため、主に分析2の結果を考察する。

まず、サービス動作の上方に注視すべきターゲットがあったインパクト注視条件の第1局面では、下から振り出されるトスのための腕の振り上げに伴って左上方向へマイクロサッカードが出現した。第2局面では、注視位置よりも左下でトスがリリースされ、その後ボールや腕の振り上げに伴って右上のトス・ピークの方へ注意を向けている。特に、右上方向の範囲が広いことは、トス・ピーク的位置を正確に捉えトス・ピーク後に向かえるインパクト地点を見越すため周辺の空間を探索範囲に含めたことから注意が分散したものと推測される。さらに第3局面では、右下方向のサーバー背後から出現するラケット動作の方向に注意がシフトしたことが推測され、視覚的注意のシフトによってマイクロサッカードの方向が変化したことが示唆される (Engbert and Kliegl, 2003)。

次に、リリース注視条件の第1局面では、垂直方向よりも水平方向に多くマイクロサッカードが出現し、サーバーの身体とトスのための腕の振り上げに伴うボール・リリース地点との位置関係を左右に広く注意を分散して捉えていると考えられる。第2局面では、ボール・リリース以降、ボールの上昇や腕の振り上げに伴ってトス・ピークの特定の右上方向へ注意を向け、第3局面でも頻度は低いが右下方向のサーバー背後から出現するラケット動作の方向に注意がシフトしたことが伺え、インパクト注視条件と同様にマイクロサッカードの方向に反映したものと推測される。

前述した通り、反応時間と予測正確率の結果 (図 3-3) では統計的な教示条件間の差は示されなかったが、インパクト注視条件はリリース注視条件よりも早く正確な反応を示す傾向が見られ、この結果は注視すべきターゲットの位置による違いに起因しているものと

推察される。このことについて、マイクロサッカードの頻度（図 3-9）と方向（図 3-10）を注視条件間で比較すると、第 1 局面でリリース注視条件はインパクト注視条件よりも高頻度のマイクロサッカードが出現し左右方向に広く分散していたことから、インパクト地点から遠距離にあるボール・リリース付近のターゲットを注視しながらでは、選択的注意に高い負荷が掛かり、有用な視覚的手掛かりを得ることができなかったことが推測される。また第 2 局面では、インパクト注視条件はインパクト付近のターゲットを既に注視しているにも関わらず、トス・ピークの方に注意を分散させることでより高い精度でボールのインパクト地点を捉えようとする意図が伺えるのに対し、リリース注視条件では特定の方向のみに注意が向けられる傾向を示したことから、インパクト地点を正確に見越すことが困難であったことが推測される。さらに第 3 局面では、インパクト注視条件はリリース注視条件よりも高い頻度で右下方向のサーバー背後から出現するラケット動作の方向に注意をシフトできたことから、結果として早く正確な反応をもたらした原因と考えられ、ビジュアル・ピボットをボール・リリース付近よりもインパクト付近に置くことは、有効な視覚的手掛かりを得るための重要な視覚探索方略であることが推察される。

被験者の内省報告では、サービス動作を見る観点として、「トスの左右のズレ」、「身体の開き」、「インパクト地点」、「ラケット面」が挙げられたように、トスされたボールとサーバーのフォワード・スイングにおける空間的な位置関係を経時的に捉え、最終的にはインパクト地点に注意を集中することで予測に至ることが伺え、マイクロサッカードの分析結果を補完するものと考えられる。

したがって、このようなマイクロサッカードの出現頻度や方向の結果は、マイクロサッカードが潜在的注意を示すとした多くの先行研究を支持し、ある特定の位置を注視しながら周辺視システムにより多くの情報を収集していると考えられているビジュアル・ピボットという認知方略の存在を実証したと判断される。つまり、マイクロサッカードは、予測反応事態における潜在的注意による視覚的手掛かりを解明するための指標として有効であることが明らかとなった。

5. まとめ

本章は、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応課題を用いて、熟練者の眼球運動からマイクロサッカードの検出を試み、それらの各パラメータから潜在的注意による視覚的手掛かりの内容を評価・検討することを目的とした。そして、潜在的注意による視覚的手掛かりを示す指標としてのマイクロサッカードの有効性とビジュアル・ピボットという認知方略に基づいた熟練者の視覚探索方略を詳しく検討した。実験課題は、サービスの動画を自由に視覚探索して予測反応する条件（フリー条件）と2種類のターゲットをビジュアル・ピボットとしてそれぞれ注視させながら予測反応する条件（注視条件）の3条件を設定した。

主な結果は、以下の通りである。

- 1) フリー条件では、リリース注視条件よりも有意に反応時間が早く、かつ予測正確率も高かった。
- 2) 反応時間と予測正確率について、フリー条件とインパクト注視条件との間に有意差がなかったことから、インパクト地点に注視する視覚探索方略の有効性を示唆した。
- 3) 予測正確率は、全ての条件においてチャンスレベル 50%よりも有意に高かった。また推定予測時期はインパクト以降となり早い予測反応は示されなかったが、正確性を重視する教示に基づいた予測反応を示した。
- 4) フリー条件における被験者 2 名の眼球運動は、第 1 局面で振幅の大きなサッカードが出現し、ボールのリリース後にもインパクトの空間的位置を見越して注視点を調整しようとするサッカードが認められた。
- 5) フリー条件では、被験者の眼球運動からマイクロサッカードは検出されなかった。
- 6) 2 つの注視条件において、被験者の眼球運動から分析 1 で 75 個、分析 2 で 29 個のマイクロサッカードが検出され、それらの特徴量は、Martinez-Conde et al. (2004) が報告した特徴量の範囲内であったことから、マイクロサッカードの正当性を確認した。

- 7) マイクロサッカードの出現頻度をみると、分析1および分析2ともに、局面要因の主効果が有意であり、第1局面で最も頻度が高く、第4局面では全く検出されなかった。
- 8) 分析1により、リリース注視条件の第1局面は第2、第3、第4局面よりも、またインパクト注視条件の第1局面よりも有意に高い出現頻度を示した。
- 9) マイクロサッカードの方向について、第1局面では左右方向に広く出現しているが、ボール・リリース後の第2局面では右上方向のトス・ピークからインパクトの空間的位置を捉え、次のトス・ピーク後の第3局面では、右下方向のサーバー背後から出現するラケット動作の方向に高い頻度が示されたことから、視覚的注意のシフトによってマイクロサッカードの方向が変化した。

以上のことから、サービスのビデオ映像を自由に視覚探索したフリー条件の予測反応課題ではマイクロサッカードは検出されないが、ビデオ映像にビジュアル・ピボットとして注視すべきターゲットを配置した場合にはマイクロサッカードを検出することが可能であった。また、それらの出現頻度や方向の評価・検討により、マイクロサッカードが潜在的注意を示しているとする先行研究を支持し、潜在的注意による視覚的手掛かりを示す指標として有効であることが示唆された。さらに、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応事態では、熟練者はビジュアル・ピボットという認知方略による視覚探索方略を有効に機能させることで予測に関わる重要な視覚的手掛かりを獲得し、高度な予測スキルを発揮していることが明らかとなった。

第4章 マイクロサッカードを指標とした潜在的注意による視覚的手掛かりの検討

1. 目的
2. 方法
 - 1) 被験者
 - 2) ビデオ映像の作成
 - 3) 実験装置
 - 4) 実験課題と条件設定
 - 5) 眼球運動と反応時間の測定
 - 6) 手続き
 - 7) マイクロサッカードの検出方法
 - 8) 統計処理
3. 結果
 - 1) 予測反応課題における反応時間と予測正確率
 - 2) フリー条件と2つの注視条件におけるマイクロサッカードの検出
 - 3) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの出現頻度の比較
 - 4) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの振幅の比較
 - 5) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの方向の比較
 - 6) 内省報告
4. 考察
 - 1) ダブルスのサービスに対する各条件の予測反応
 - 2) フリー条件と2つの注視条件におけるマイクロサッカード検出の可能性
 - 3) マイクロサッカードの出現頻度と振幅からみた視覚的注意
 - 4) マイクロサッカードの方向からみた潜在的注意による視覚的手掛かり

5) シングルスとダブルスにおける視覚探索方略の違い

5. まとめ

1. 目的

第3章では、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応事態を想定したVTR映像の動画による視覚刺激に対して、ビジュアル・ピボットとする注視すべきターゲットを設定することでマイクロサッカードを検出することが可能であることを示し、それらの出現頻度や方向から、ビジュアル・ピボットという認知方略において潜在的注意が示す視覚的手掛かりの内容を検討できる可能性が示唆された。そこで、テニスのダブルスにおいて前衛情報を伴うサービス動作のビデオ映像に注視すべきターゲットを設け、それを注視しながら予測反応させた場合、サービス動作に対する視覚的注意は前衛の動きに影響を受けるのか、検出されたマイクロサッカードを指標として検討することによって、ダブルスの予測反応事態におけるレシーバーの注意様式やより詳細な視覚探索方略を理解することができると考えた。

したがって、本章はテニスのダブルスにおける前衛情報を伴うサービスに対する予測反応課題を用いて、研究2と同様の3条件における熟練者の眼球運動からマイクロサッカードを検出し、それらの出現頻度と振幅および方向を指標として潜在的注意による視覚的手掛かりの具体的内容を検討することを目的とした。そして、潜在的注意による視覚的手掛かりを示す指標としてのマイクロサッカードの有効性を確認するとともに、シングルスとダブルスにおけるビジュアル・ピボットという認知方略に基づいた熟練者の視覚探索方略を検討した。

2. 方法

1) 被験者

被験者は、女子テニス選手8名（元プロ選手2名と大学テニス部員6名）で、全員右利きであった。実験参加時には心身ともに健康な状態で正常視力または正常矯正視力を有し、

ローゼンバッハ法による利き目の判定は全員が右目であった。被験者の平均年齢は 23.2 ± 6.5 歳，テニスの平均経験年数は 16.1 ± 7.8 年，1 週間の平均練習頻度は 5.1 ± 1.5 日，1 日の平均練習時間は 2.9 ± 0.7 時間で，テニス競技に関する高い専門性（専門的知識）と競技力を有していた。

被験者に対し，事前に研究の目的および方法，個人情報管理などに関する説明を行ない，書面にて実験参加への同意を得た。なお，本章の研究は，日本大学文理学部研究倫理委員会の承認（研究課題 28-12）を受け実施した。

2) ビデオ映像の作成

モデルとなるサーバー（全日本選手権の優勝経験を有する現役プロ男子選手）がダブルスコートのデュースサイドからセンター（レシーバー側からみて左側）とワイド（レシーバー側からみて右側）に打ち分けたサービス動作と前衛（大学テニス部の男子コーチ）の動作を，レシーバー側より DV カメラ（ソニー社製，HDR-XR550，30 Hz）を用いて撮影した。その際，サーバーには実際のダブルスの試合で優勢なカウントでファースト・サービスを打つ状況であること，レシーバーにコースを予測させないように意識してサービスを打つことを，また前衛には実戦的なプレ動作をとるように指示した。

成功試技から各コース 5 試技を抽出し，動画編集ソフト（Adobe 社製，Premiere Pro CC 2015）を用いてボール・インパクト時点より 2,000ms 前からインパクト時点までの動画の後に 333ms 間の黒画面を組み込み，被験者がインパクト後の飛球線方向を判別できないようにした。なお，動画の解像度は 768×432 pixel とした。図 4-1 には，サービス動作を 4 局面に分割した時間軸を示し，眼球運動データの解析で用いた。また図中の×印および□印は，後述するインパクト注視条件とリリース注視条件の予測反応課題中に被験者が注視すべきターゲットを示している。

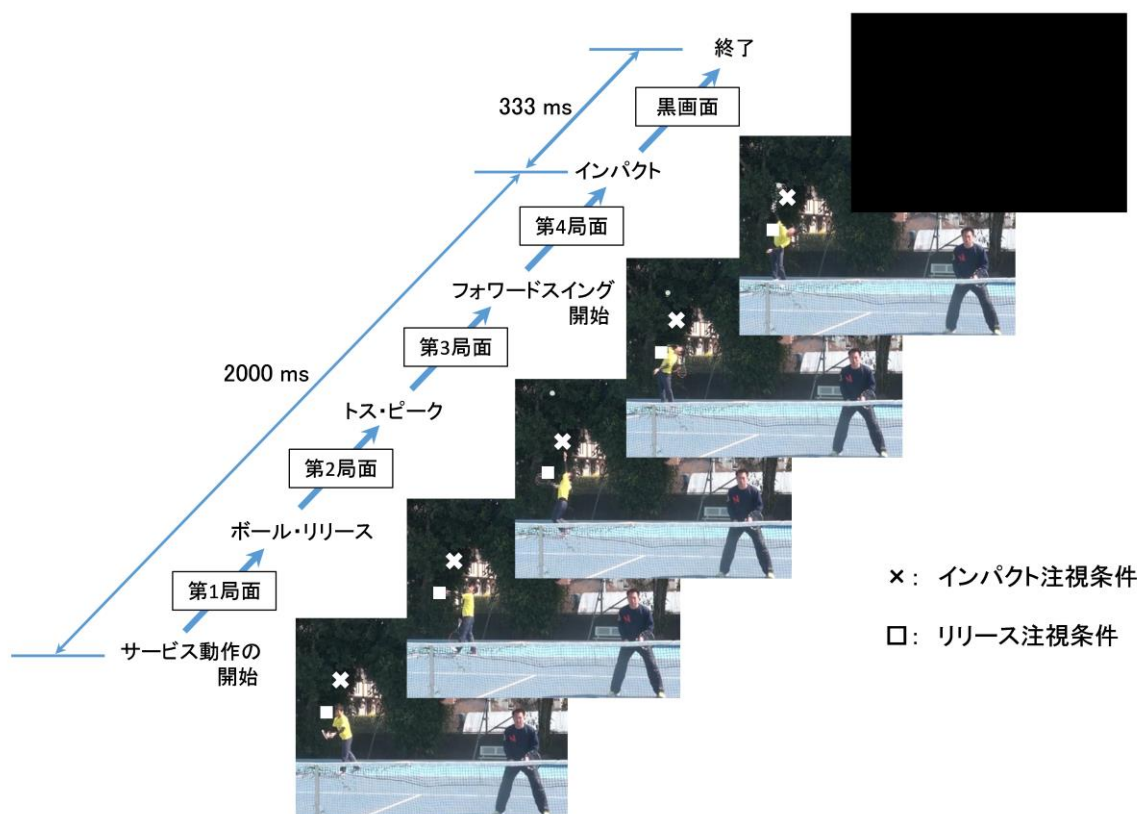


図 4-1 サービス動作のビデオ映像

3) 実験装置

実験装置 (図 4-2) は、急速眼球運動解析装置 EyeLink 1000 Plus (SR Research 社製, 以下 EyeLink), 視覚刺激提示用ディスプレイ PC (マウスコンピューター社製, LM-iH410X-SH2-KK), 19 インチモニター (Iiyama 社製, Pro Lite E1980SD: 解像度 1280 × 1024 pixel), 視覚刺激作成支援ソフト (SR Research 社製, Experimental Builder ver.2.0.0.159), 左右ボタン (小杉技研社製, USB-SWBOX1) 等で構成し暗室に設置した。

椅子座位時に被験者の眼球の高さとモニター上部の高さが一致するよう椅子の高さを調整し, モニター中心までの距離を 69 cmとした。また, ビデオ映像のサービス動作に対する被験者の視野角は, 実際の競技場面における視野角に近似した 7.1 degであった。この視野角は, マイクロサッカードを検出している先行研究で用いられた指標に対する視野角 (例えば, Hafed and Clark (2002) は 4~8 deg, Engbert and Kliegl (2003) は 12.4 deg,

鈴木ほか（2015）は 4.5 deg）の範囲内であった。

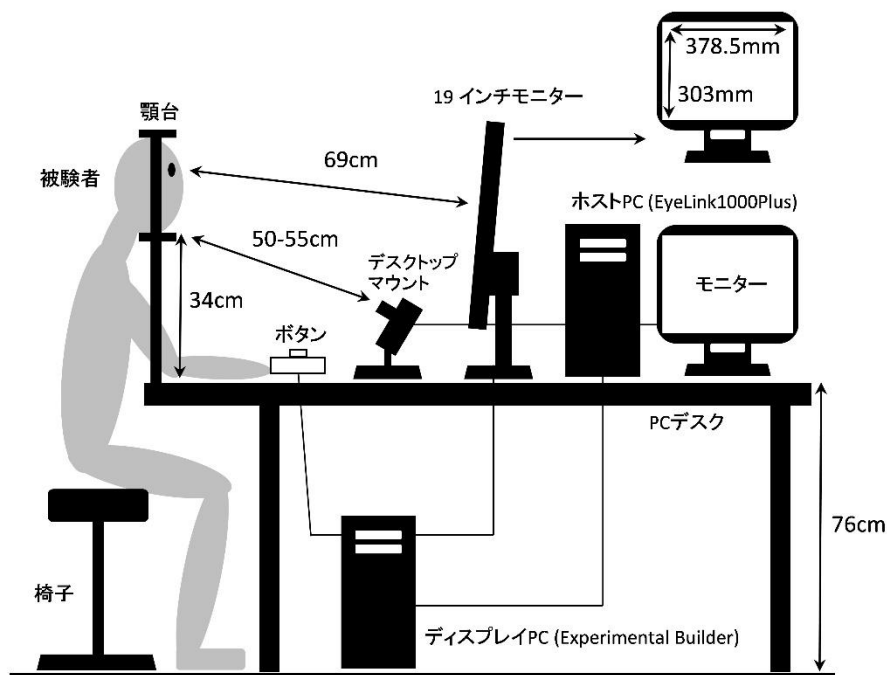


図 4-2 実験装置

4) 実験課題と条件設定

被験者の実験課題は、ビデオ映像のサービスに対し、打球コースがセンターの場合には左ボタンを、ワイドの場合には右ボタンをできるだけ正確性を優先し、なおかつ早く押すことであった。実際の競技場面では、反応の早さを優先するとサービス・エースを被る危険性を高めてしまうため、本章では実際に即して正確性を優先した。また視覚刺激は、通常のビデオ映像とその上にビジュアル・ピボットとして注視すべきターゲットを重ねた 2 種類の映像とする以下 3 条件を設定した。ターゲットの直径は 16 pixel でいずれも青色丸印とし、ターゲットが画面中央 (X 座標 0, Y 座標 0) に配置されるようビデオ映像全体の位置を Experimental Builder により調整した。

- (1) フリー条件：通常のビデオ映像におけるサービス動作を自由に視覚探索しながら実験課題を行う。

- (2) インパクト注視条件：インパクト地点を見越して、トスのピーク地点とサーバーの頭部との間にターゲット（図 4-1 の×印）を配置し、そのターゲットを終始注視しながら実験課題を行う。
- (3) リリース注視条件：サーバーの身体やインパクト地点からやや遠距離にあるトスのためのボール・リリース付近にターゲット（図 4-1 の□印）を配置し、そのターゲットを終始注視しながら実験課題を行う。

5) 眼球運動と反応時間の測定

課題中、被験者の利き目（右目）の眼球運動を EyeLink で測定した。EyeLink は、デスクトップマウントにある非接触タイプのアイカメラによって画像処理法で眼球運動を検出することが可能であることから、従来のゴーグル型に比べ被験者に対する負荷が圧倒的に軽減できることが特徴である。被験者は、椅子座位姿勢で顎台に顎を載せ頭部を固定し、モニターの中心点を基準にした水平・垂直方向 9 点によるキャリブレーションを行った後、直ちに妥当性を確認した。被験者に対し、課題中、まばたきをしないように、また注視条件では反応が終了するまでターゲットを注視するよう教示した。測定データは、サンプリング周波数 1,000 Hz、空間解像度 0.01 deg で PC に全て記録した。なお、EyeLink の加算平均に基づく File sample filter はオフに設定した。また、各試行の反応時間はビデオ映像の呈示開始からボタン押しまでの時間と定義し、正誤を判定した反応結果と併せて PC に自動的に記録した。

6) 手続き

はじめに被験者に対し実験内容を十分に説明し、書面にて協力の同意を得るとともにプロフィールシートの記入を求めた。被験者は 5 分以上暗室に順応した後、単純な左右の矢印刺激に対する選択反応時間（矢印刺激の呈示開始からボタン押しまでの時間）を計 10 回測定した。本試行では、EyeLink のキャリブレーションを行った後、実験課題のフリー

条件を、続いてインパクト注視条件とリリース注視条件は被験者間でカウンターバランスをとり実施した。2つの注視条件の課題前には単にターゲットを注視する試行をそれぞれ10回行い、被験者を実験環境に慣れさせた。各条件の試行数は、各コース5試行をランダムに計10試行実施した。なお、各条件間では十分な休息を設け、それぞれの終了後には1対1のインタビュー形式によりサービス動作のどのような情報に注意を向けたのか、また課題に対する感想等について被験者からの内省報告を験者が記述により記録した。

7) マイクロサッカードの検出方法

被験者の眼球運動からマイクロサッカードを検出する方法は、Engbert and Kliegl (2003) と Engbert (2006)、および鈴木ほか (2015) を参考とし、まずマイクロサッカードの候補を鈴木ほか (2015) が示した下記手順により決定した。

①：時刻 t における眼球運動の速度の X 成分 V_{xt} と Y 成分 V_{yt} を求める。

$$\text{式(1)} \quad V_{xt} = \frac{x_{t+2} + x_{t+1} - x_{t-1} - x_{t-2}}{6\Delta t}, \quad V_{yt} = \frac{y_{t+2} + y_{t+1} - y_{t-1} - y_{t-2}}{6\Delta t}$$

②：式(1)を次の式(2)に代入し、速度の大きさを求める。

$$\text{式(2)} \quad V_{xyt} = \sqrt{V_{xt}^2 + V_{yt}^2}$$

③： V_{xyt} をその標準偏差で除することで標準化する。

④：標準化した V_{xyt} の標準偏差の5倍をマイクロサッカード抽出閾値 V_{th} とし、標準化した V_{xyt} が V_{th} を超えた区間を求める。

⑤：手順④の区間が6ms連続しており、かつ

⑥：手順⑤の区間の最大速度の半値全幅が20ms以内の区間をマイクロサッカードの候補とする。

手順①から⑤は Engbert and Kliegl (2003) による方法で、鈴木ほか (2015) は、顎台に顎を載せる以外の拘束は一切行わなかったことから微小跳躍運動とは異なる体動や心拍と思われる低速な動きも検出されてしまったため、Martinez-Conde et al. (2004) の報告を参考に手順⑥を加えた。また、一端、眼球運動速度が閾値未満に低下した後、数 ms

以内にやや遅いマイクロサッカードを行った場合、これらは一連の眼球運動と考えられるが単一の眼球運動と異なっていることから、鈴木ほか（2015）に従い本章でもこれらの眼球運動を全て除外した。したがって、これらの候補のうち振幅が 1 deg 以下で、なおかつ Zuber et al.（1965）の報告を参考に最大速度が 100 deg/s 以内を最終的なマイクロサッカードと判定した。

これらのマイクロサッカードは、検出された開始時刻を $T1$ 、終了時刻を $T2$ とすると、その持続期間は $T2-T1$ 、最大速度は持続期間中の最大速度、振幅は $T1$ の座標 (x_1, y_1) および $T2$ の座標 (x_2, y_2) から $\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}$ 、移動方向は最大速度前後の座標位置が成す角度とした。本章では、これらによる検出方法を分析 1 とした。また、振幅の大きい高速のサッカードが分析対象に含まれている場合、閾値が高くなりマイクロサッカードが検出されにくくなるため、試行開始に伴いサッカードが生じやすい第 1 局面の眼球運動データを除外した検出方法を加え、これを分析 2 とした。

8) 統計処理

各データは十分精査し、外れ値を削除した後、統計処理ソフト SPSS Statistics ver.23.0（IBM 社製）を用いて統計処理を行った。反応時間および予測正確率について、対応のある 1 要因分散分析を行い、有意差が認められた場合には Bonferroni による多重比較検定を行った。なお、予測正確率は逆正弦変換法（岩原，1995）により算出した値 $(\sin^{-1}\sqrt{P})$ を用いた。また、逆正弦変換した予測正確率について、チャンスレベル 50%（逆正弦変換後の値は 0.785）を検定値とした 1 サンプルの t 検定を行った。

マイクロサッカードとサッカードにおける最大速度と振幅の関係について、ピアソンの積率相関分析を行った。また、マイクロサッカードの頻度について、注視条件要因（インパクト注視条件、リリース注視条件）と局面要因による 2 要因分散分析（入野野，2004）を行った。さらにマイクロサッカードの方向に関しては 360 deg を 90 deg ごとに 4 分割し、それぞれの出現数に対して適合度検定を行った。なお、有意水準は 5%未満とした。

3. 結果

1) 予測反応課題における反応時間と予測正確率

図 4-3 は、予測反応課題の各条件（フリー課題、インパクト注視条件、リリース注視条件）における正反応試行の反応時間と逆正弦変換した予測正確率を示している。対応のある 1 要因分散分析を行ったところ、反応時間では有意差はなかったが、予測正確率に有意差が認められた ($F(2,14)=5.923, p=.014, \eta_p^2=.458$)。多重比較検定の結果、フリー条件はリリース注視条件よりも有意に高い予測正確率を示した ($p<.05$)。

また、各条件の予測正確率について、1 サンプルの t 検定を行ったところ、フリー条件 (82.5%) とインパクト注視条件 (72.5%) はチャンスレベル 50% (逆正弦変換後の値は 0.785) よりも有意に高い値を示した (フリー条件: $t(7)=4.378, p=.003, ES=1.547$, インパクト注視条件: $t(7)=2.618, p=.034, ES=.926$) が、リリース注視条件 (58.8%) では有意差は認められなかった。

さらに、各条件の反応時間から左右の矢印刺激に対する選択反応時間 (平均 288.5ms) を減じることで予測が完了した時期を推定した結果 (以下、推定予測時期)、いずれの条件もインパクト時点の 2,000ms を上回ったことから、早い予測反応は示されなかった。

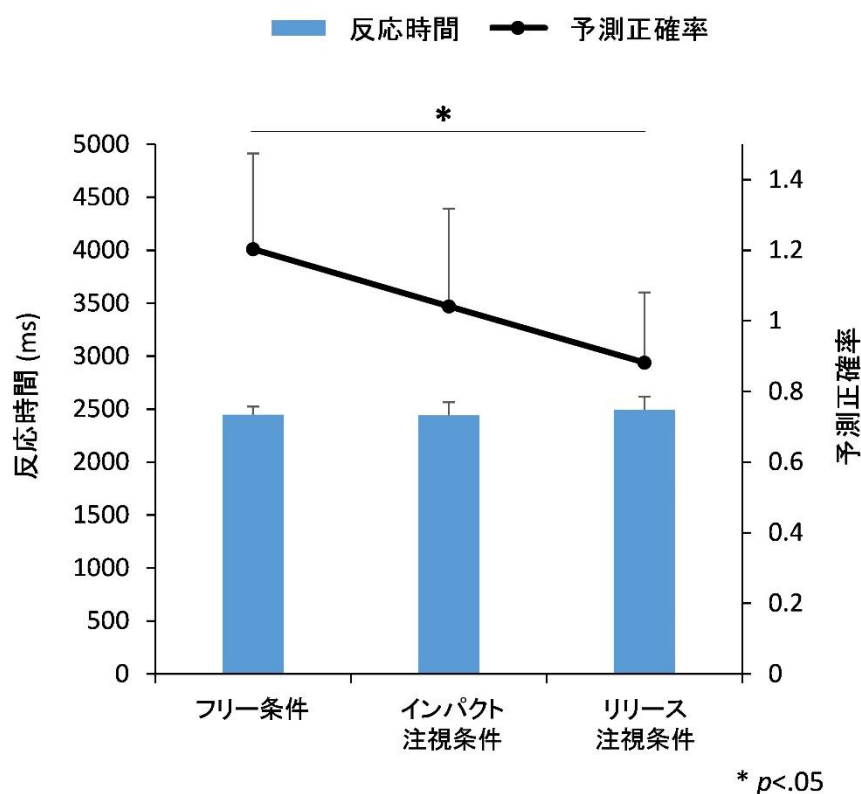


図 4-3 条件別にみた反応時間と予測正確率

2) フリー条件と 2 つの注視条件におけるマイクロサッカードの検出

図 4-4 と図 4-5 は、被験者 8 名の眼球運動からそれぞれ分析 1 と分析 2 によりマイクロサッカードの検出を試みた結果を示している。

まず、フリー条件（全 80 試行）において、まばたき等の欠損データを含んだ試行を除く 67 試行を分析対象とした分析 1（図 4-4a）では、マイクロサッカードは 1 つも検出されなかった。また同様に 79 試行を分析対象とした分析 2（図 4-5a）では僅かに 5 個のみが検出された。

一方、インパクト注視条件とリリース注視条件を合わせた 147 試行を分析対象とした分析 1 の結果、最大速度と振幅との関係（図 4-4b）から、74 個のマイクロサッカードが検出された。それらの平均最大速度は 64.2 deg/s、平均振幅は 0.38 deg で、相関分析の結果（図 4-4c）、有意な正の相関が認められた ($r = .833$, $p < .001$)。また、図 4-4d, e, f は検

出されたマイクロサッカードの各パラメータの頻度を示し、1 試行 (2,000ms) 当たりの出現回数で表している。最大速度 (図 4-4d) は 50~55 deg/s が最も多く、1 deg 以内の振幅 (図 4-4e) では 0.2~0.45 deg が多かった。持続期間 (図 4-4f) では全て 20ms 以内であり、特に 5~8ms で多く出現していた。

次に、分析 2 では第 2 局面以降でまばたき等の影響が眼球運動データに示されなかったことから、被験者 8 名の全 160 試行を分析対象とした。図 4-5b に示した通り、検出されたマイクロサッカードは 46 個であった。平均最大速度は 57.1 deg/s、平均振幅が 0.32 deg を示し、相関分析の結果 (図 4-5c) は有意であった ($r=.815$, $p<.001$)。さらに、各パラメータの頻度は分析 1 とほぼ同様な傾向を示したが、最大速度 (図 4-5d) では分析 1 よりもやや低速域の 25~35 deg/s の頻度が加わり、振幅 (図 4-5e) では 0.25~0.4 deg の頻度が高く、持続期間 (図 4-5f) は 5~13ms の範囲を示した。

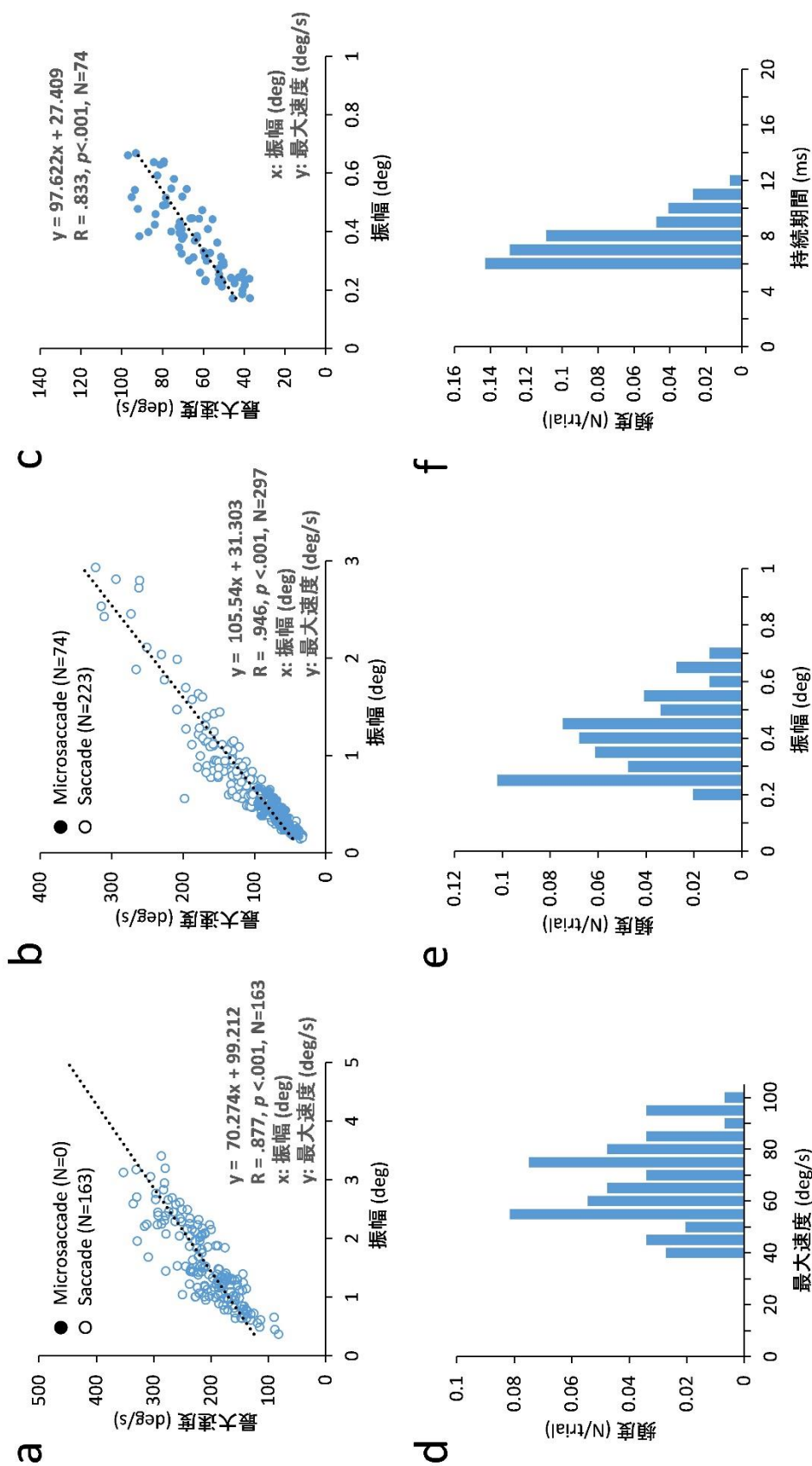


図 4-4 分析 1 によるマイクロサッカードとサッカードの検出結果

(a)フリー条件におけるサッカード, (b)注視条件におけるマイクロサッカードとサッカード, (c)注視条件におけるマイクロサッカードの最大速度と振幅の関係, (d)最大速度の頻度, (e)振幅の頻度, (f)持続期間の頻度

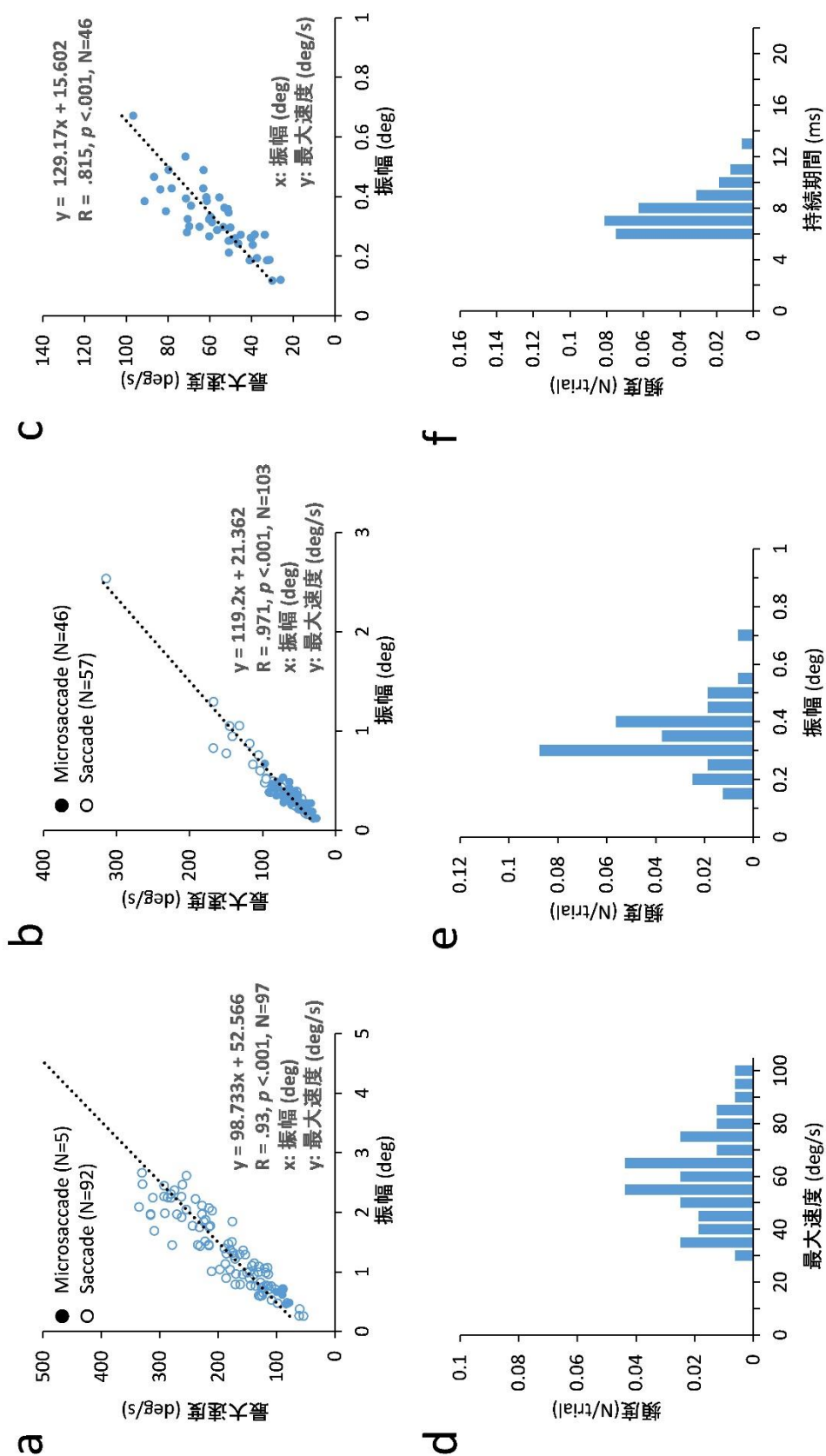


図 4-5 分析 2 によるマイクロサッカードとサッカードの検出結果

(a)フリー条件におけるサッカード, (b)注視条件におけるマイクロサッカードとサッカード, (c)注視条件におけるマイクロサッカードの最大速度と振幅の関係, (d)最大速度の頻度, (e)振幅の頻度, (f)持続期間の頻度

3) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの出現頻度の比較

図 4-6 は、注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの出現頻度（1 試行当たりの出現回数）を分析ごとに示している。両分析の第 2 局面以降の結果をみると、分析 1 よりも分析 2 の方がマイクロサッカードの出現頻度が高く、分析 2 で第 1 局面の眼球運動データを除いたことにより多くのマイクロサッカードが検出された。しかし、第 4 局面ではいずれの分析でも検出されなかった。

これらのマイクロサッカードの出現頻度について、注視条件要因と局面要因による 2 要因分散分析を行ったところ、分析 1 では、有意な交互作用は認められなかったが、局面要因の主効果が有意であった ($F(2.031, 14.218)=20.361, p<.001, \eta_p^2=.744$)。多重比較検定の結果、第 1 局面は他の全ての局面よりも有意に高い出現頻度を示した (全て $p<.05$)。

一方、分析 2 でも有意な交互作用は認められなかったが、同様に局面要因の主効果が有意で ($F(1.065, 7.458)=15.183, p=.005, \eta_p^2=.684$)、第 2 局面は第 3 および第 4 局面よりも有意に高い出現頻度を示した (全て $p<.05$)。

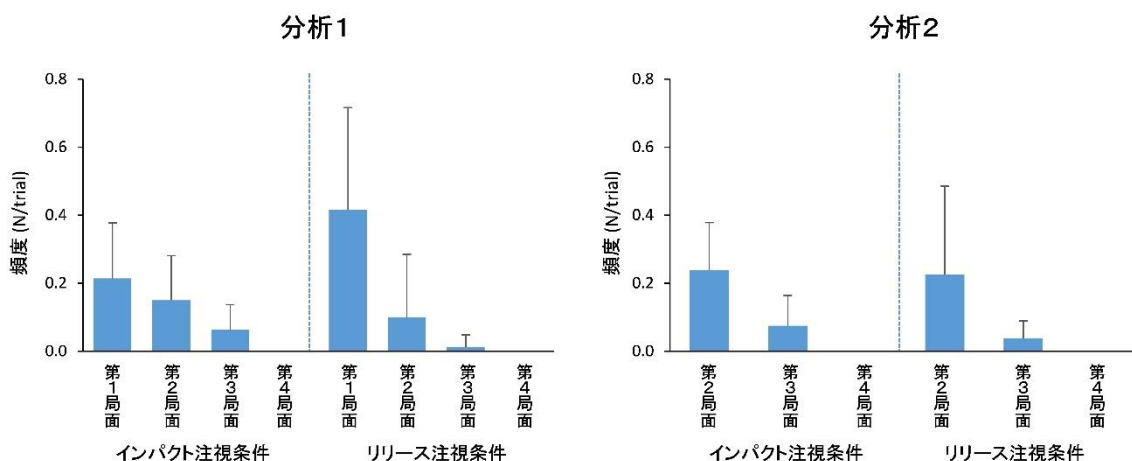


図 4-6 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの出現頻度

4) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの振幅の比較

図 4-7 は、注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの振幅 (deg) を分析ご

とに示している. 分析 2 では, 第 1 局面の眼球運動データを除いたことにより第 1 局面を, また両分析では, マイクロサッカードが検出されなかった第 4 局面を除外した.

マイクロサッカードは注視条件によって検出されない被験者も認められたため, 欠損した振幅にダミーデータ 0 を代入し, 注視条件要因と局面要因による 2 要因分散分析を行った. その結果, 分析 1 では有意な交互作用が認められ ($F(2, 14)=4.11, p=.039, \eta_p^2=.37$), 局面要因の主効果も有意であった ($F(2, 14)=9.905, p=.02, \eta_p^2=.586$). 多重比較検定の結果, 第 1 局面は第 3 局面より有意に大きかった. また各要因の水準ごとに単純主効果検定および多重比較検定を行ったところ, リリース注視条件の第 1 局面は第 2 および第 3 局面よりも, またインパクト注視条件の第 2 局面はリリース注視条件の第 2 局面よりも有意に大きい振幅を示した (全て $p<.05$). 一方, 分析 2 では, 有意な交互作用および主効果は認められなかった.

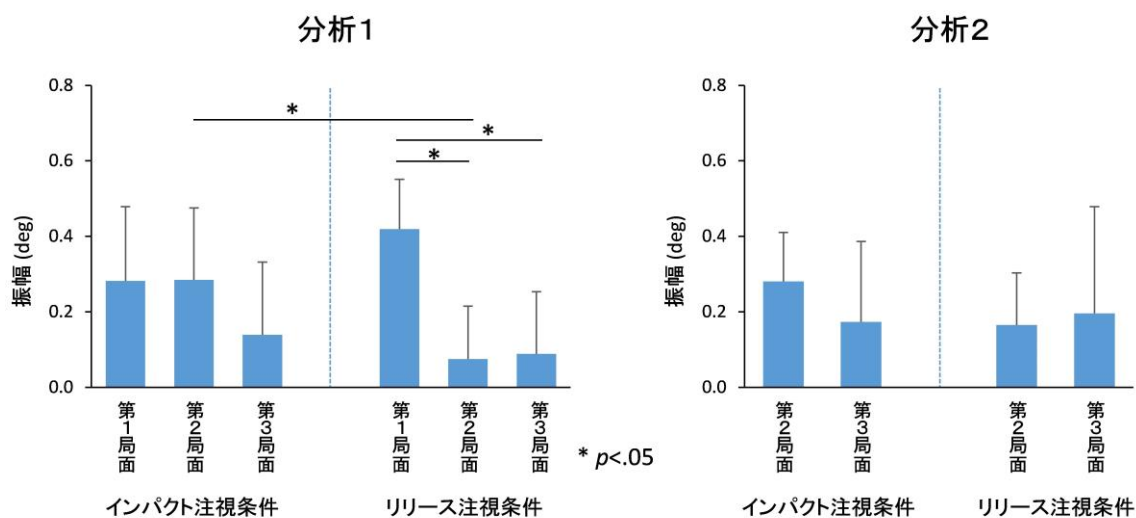


図 4-7 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの振幅

5) 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの方向の比較

図 4-8 は, 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカードの方向を分析ごとに頻度 (1 試行当たりの出現回数) で示している. 分析 2 では第 1 局面の眼球運動データを削除

しているため、また両分析の第4局面ではマイクロサッカードは検出されなかったため、結果は示されていない。図は、360 deg を30 deg ごとに分け、 ± 15 deg の範囲内にあるマイクロサッカードの方向の頻度を円の中心から外周に向かって表している。レシーバーからみてサーバーの右方向が0 deg、左方向が180 degである。

第1局面は分析1、第2局面以降は検出量が多かった分析2の結果をみると、いずれも垂直方向よりも水平方向に多くマイクロサッカードが出現していた。局面別にみると、インパクト注視条件の第1局面（分析1）では、トスの腕の振り上げに伴い左下から右斜め上方向に、また第2局面（分析2）では右上方向に分散する傾向を示したが、特に0 degの頻度が最も高かった。第3局面では左下と右方向に頻度が高かった。一方、リリース注視条件の第1局面（分析1）と第2局面（分析2）では、インパクト注視条件よりも右方向の広範囲に分散する傾向を示し、第3局面では左右方向に低い頻度を示した。

また、検出されたマイクロサッカードの方向における頻度を1) 0 deg 以上 90 deg 未満、2) 90 deg 以上 180 deg 未満、3) 180 deg 以上 270 deg 未満、4) 270 deg 以上 360 deg 未満の4方向に注視条件別および局面別で分類し、分析ごとに適合度検定を行ったところ、リリース注視条件の第2局面（分析2）において、有意差が認められ($\chi^2(3)=12.667, p<.01$)、右上方向（0 deg 以上 90 deg 未満）に全体の約61%が出現した。

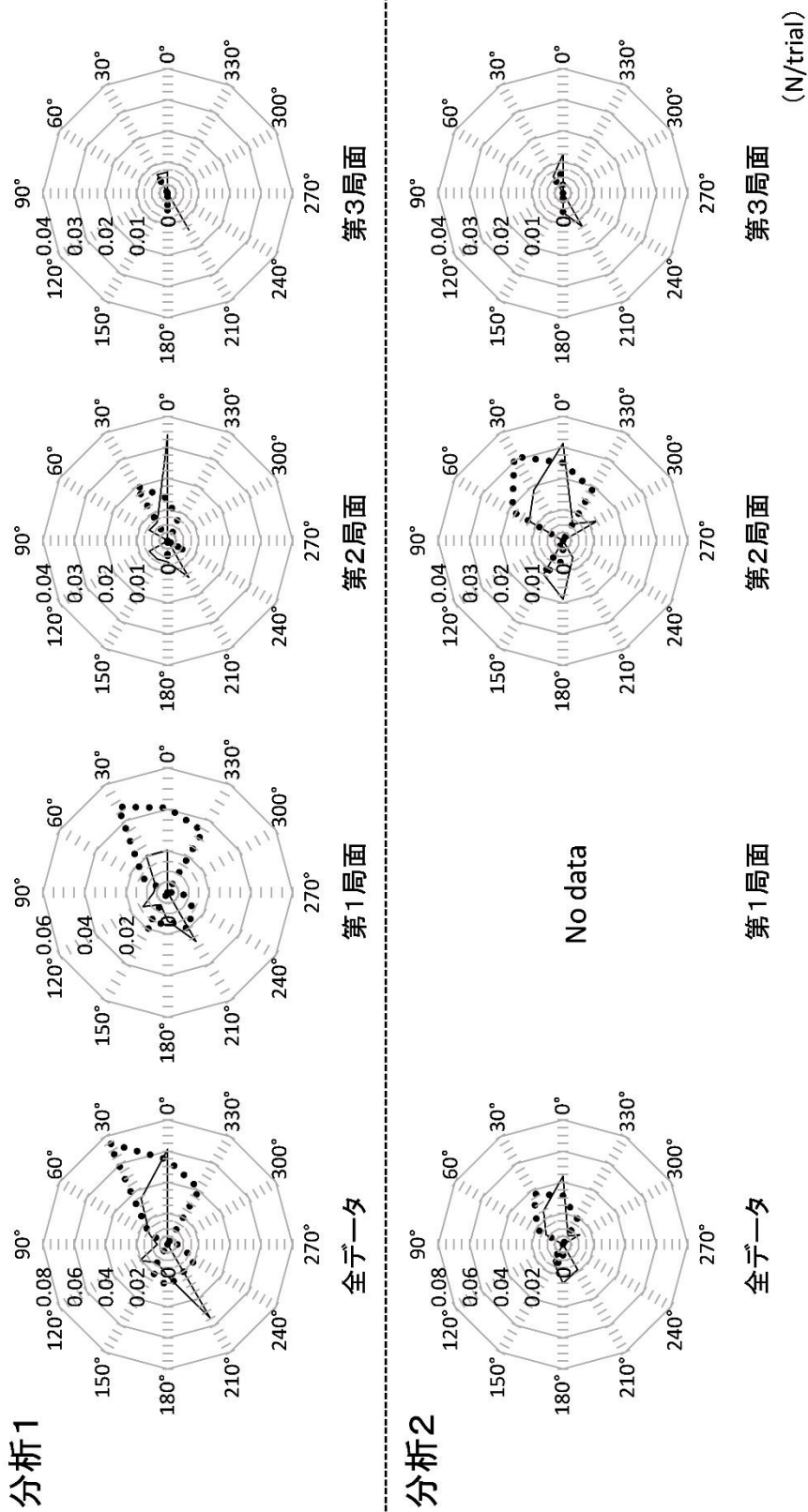


図 4-8 注視条件別および局面別にみたマイクロサッカーの方向

(実線：インパクト注視条件，点線：リリース注視条件)

6) 内省報告

被験者から得られた内省報告は、フリー条件で「意外と分からなかった」、「前衛が気になった」、「見えるかも」、「自信がある」、「分かりやすかった」、インパクト注視条件で「ターゲットを見るのが大変だった」、「ターゲットがない方が分かりやすい」、「少し分かりにくかった」、「反応し難い」、リリース注視条件で「インパクト注視条件よりも難しい」、「見えなかった」、「一番反応し難い」、「分からなかった」であった。また、サービス動作を見る観点として、「インパクト」、「面の向き」、「トスの位置（左右のズレ）」、「身体の開き」が挙げられた。

4. 考察

1) ダブルスのサービスに対する各条件の予測反応

予測反応課題の結果、フリー条件では「前衛の動きが気になった」という被験者の内省が報告されたが、リリース注視条件よりも有意に高い予測正確率を示した ($p<.05$)。また、フリー条件 (82.5%) とインパクト注視条件 (72.5%) の予測正確率はチャンスレベル (50%) よりも有意に高かった (いずれも $p<.05$) が、リリース注視条件 (58.8%) では有意差はなかった。したがって、実際の競技場面では存在しないターゲットを注視しながら予測反応することは当然ながら最適な予測反応を妨げることが理解できる。特に、インパクト付近よりも遠い空間的位置にあるリリース付近のターゲットを注視した場合には、「インパクト注視条件よりも難しい」、「見えなかった」、「分からなかった」という被験者の内省報告からも分かるように、予測反応に必要な視覚的手掛かりを十分得られなかったことが推測される。しかしながら、インパクト注視条件の予測正確率はフリー条件との間に有意差はなく、フリー条件と同様にチャンスレベルよりも有意に高かった。つまり、インパクト注視条件に対し「ターゲットを見るのが大変だった」、「少し分かりにくかった」という報告があったものの、インパクト付近のターゲットを注視しながらでもフリー条件に近似した予測反応が得られることを表しており、インパクト付近における視覚的手掛かりの重要性が指摘される。

一方、反応時間については条件間に有意差が認められず、また、いずれの条件においても推定予測時期がインパクト時点 (2,000ms) 以降となり、実際の競技場面で求められる早い予測反応は示されなかったことから、被験者は教示に従い、反応の早さよりも正確性を優先したものと考えられる。従来、高速サービスを打つ選手が多い男子では、サービスに対する予測スキルは競技力を高めるための重要な要因として指摘されてきた (Williams et al., 2004) が、近年では女子選手でも時速 200km に及ぶ高速サービスを打つ選手が台頭してきたことから、女子選手においても正確性を重視したより早い予測反応を習得する

ことが課題となろう。

2) フリー条件と2つの注視条件におけるマイクロサッカード検出の可能性

各条件における全局面の眼球運動データを対象とした分析1と、複数のサッカードが確認された第1局面を除く眼球運動データを対象とした分析2により、マイクロサッカードの検出を試みた。その結果、フリー条件では分析1(図4-4a)で1つも検出されず、また分析2(図4-5a)でマイクロサッカードを検出するための閾値が低下したことにより僅か5個のみが検出され、研究2の結果と同様であった。

マイクロサッカードは、静止している画像の一点を注視している際に検出されることが報告されている(例えば Engbert and Kliegl, 2003)が、被験者が自由に視覚探索した場合でも注視があればマイクロサッカードが検出されることも報告されている(Otero-Millan et al., 2008)。そのため、自由に視覚探索したフリー条件の課題遂行中でも注視期間が得られればマイクロサッカードが出現する可能性があると言える。しかし、注意集中度合いが強い時には比較的長時間(～900ms)の潜時を持ったマイクロサッカードの頻度が増加する(加納ほか, 2014)という報告を考慮すると、特に高い注意集中度合いが求められ、加えて十分な注視期間が得られない予測反応事態では、注視するターゲットがなく自由に視覚探索した場合、マイクロサッカードは検出できないものと考えられる。そのため、分析2によりマイクロサッカードが僅かに検出された結果は、研究2と同様に一部の被験者の僅かな試行から検出されたに過ぎないことから、連続した課題遂行の過程で偶発的に生じたものと考えられる。

一方、インパクト注視条件とリリース注視条件を併せた注視条件では、分析1(図4-4b)により74個、また分析2(図4-5b)により46個のマイクロサッカードが検出された。これらは、1試行当たり前者が約0.5回、後者が約0.3回の割合でマイクロサッカードが出現していることを示す。図4-4aと図4-5aは、最大速度と振幅との関係を示しており、いずれも有意な正の相関が認められた(前者 $r=.877$, 後者 $r=.93$, いずれも $p<.001$)。多く

の先行研究 (Engbert and Kliegl, 2003; Otero-Millan et al., 2008; Yokoyama et al., 2012) が報告しているように、この関係性はマイクロサッカードの検出結果における正当性を評価するために利用されている。Zuber et al. (1965) によれば、マイクロサッカードとサッカードはそれらの弾道的性質により同じ最大速度と振幅の関係を共有していることから、マイクロサッカードとサッカードを同一の図中に載せることで同様な傾きを示す主系列特性 (Main sequence と呼ばれている) を確認することができる (Hafed and Clark, 2002; Otero-Millan et al., 2008; Martinez-Conde et al., 2013)。一方で、鈴木ほか (2015) は、マイクロサッカードの判断基準はグラフの相関性、直線性としながらも定量的な判断基準は示されていないことを指摘していることから、マイクロサッカードの検出は個人差や各実験条件を踏まえた最大速度と振幅との関係から慎重に行う必要があると考えられる。

本章では、分析 1 における最大速度の頻度 (図 4-4d) について、今回は図示していないがマイクロサッカードとサッカードを併せたヒストグラムをみると、100 deg/s 以上の頻度がより増加する傾向を示しており、最大速度が 100~500 deg/s (芋坂, 2004) とされる速度の速いサッカードの混入が推測された。また分析 2 における最大速度の頻度 (図 4-5d) では、分析 1 とは逆に 100 deg/s 近辺で収束する傾向を示した。したがって、サッカードを排除したマイクロサッカードの特徴を抽出するためには、本章における最大速度と振幅の関係から、振幅 1 deg 以内で最大速度 100 deg/s を閾値として設定したことは妥当と考えられる。また、分析 1 で検出されたマイクロサッカードの平均最大速度は 64.2 deg/s、平均振幅は 0.38 deg、また分析 2 では平均最大速度は 57.1 deg/s、平均振幅は 0.32 deg を示し、Martinez-Conde et al. (2004) が報告したマイクロサッカードの特徴量の範囲内にあることから、検出されたマイクロサッカードは正当性を有しているものと考えられる。したがって、予測反応事態を示す動画の視覚刺激に対してフリー条件ではマイクロサッカードを検出することはできないが、動画に注視条件を設定することでマイクロサッカードを検出することが可能であると考えられる。

3) マイクロサッカードの出現頻度と振幅からみた視覚的注意

マイクロサッカードの出現頻度（図 4-6）の結果をみると、インパクト注視条件とリリース注視条件における注視条件間の差は示されなかったものの、第 1 局面は他の局面よりも（分析 1）、第 2 局面は第 3、第 4 局面よりも（分析 2）有意に高い傾向を示した。

マイクロサッカードの出現頻度は「視覚的注意が注視点近傍に集中された場合」に最も小さく、次いで「視覚的注意が周辺視野のある一点に集中された場合」、「視覚的注意が周辺視野に分散された場合」の順で大きくなるとの報告（小濱ほか，1998）を考慮すると、第 1 局面は「視覚的注意が周辺視野に分散された場合」に該当し、トスの上げ方や前衛の動きなど広範囲にわたる様々な情報を得るために注意を頻繁に移動させたことにより、マイクロサッカードの出現頻度が最も増加したものと考えられる。この注意の移動に伴う出現頻度の増加については、注意を移動する際、それまで集中されていた注意を一旦開放する必要がある（Posner and Petersen, 1990）ことから、注意の集中により抑制されたマイクロサッカードが注意の開放と同時に抑制から脱したことによって生じるものと推測される（遠藤・小濱，2012）。

また、第 2 局面以降では、特にターゲットがリリース付近に存在したリリース注視条件は「視覚的注意が周辺視野のある一点に集中された場合」に該当し、また、ターゲットがインパクト地点近辺に存在したインパクト注視条件は「視覚的注意が注視点近傍に集中された場合」に該当すると考えられる。本章の結果では注視条件間の差は認められなかったため、いずれの注視条件においても、ボール・リリース以降、サービス動作の進行に伴ってインパクト地点の予期が可能となるに従い、インパクト地点付近に局所的に注意が集中されたこと（遠藤・小濱，2012）から、マイクロサッカードの出現頻度は第 1 局面よりも抑制されたと考えられる。そして、第 3、第 4 局面では、予期したインパクト地点の確証を深めより注意の集中度を高めた結果、マイクロサッカードの抑制が持続的となり（遠藤ほか，2013）、最終的に両注視条件の第 4 局面ではマイクロサッカードは出現しなくなると推測される。また、これらの一連のマイクロサッカード抑制は有効な視覚的手掛かり

を得るために注視中の視覚安定性に貢献している (Martinez-Conde et al., 2013) と考えられる。

一方、マイクロサッカーの振幅 (図 4-7) の結果をみると、第 1 局面は第 3 局面よりも有意に大きく、特にリリース注視条件の第 1 局面は第 2、第 3 局面よりも有意に大きかったのに対し、インパクト注視条件の局面間では有意差は認められなかった (分析 1)。マイクロサッカーの振幅について、小濱ほか (1998) は「視覚的注意が周辺視野に分散された場合」と「視覚的注意が周辺視野のある一点に集中された場合」を区別することは困難であるが、いずれも「視覚的注意が注視点近傍に集中された場合」よりも増大することを報告していることから、「視覚的注意が周辺視野に分散された場合」に該当する第 1 局面で振幅が最も大きくなったものと考えられる。

しかし、インパクト注視条件の局面間の差は示されず、なおかつ第 2 局面においてインパクト注視条件はリリース注視条件よりも有意に大きい振幅を示した (分析 1)。この注視条件間の差異について考察すると、リリース注視条件では、ボール・リリース以降、注視しているターゲットから遠位にあるインパクト付近に注意を集中する必要があったことから、「視覚的注意が周辺視野のある一点に集中された」状態をより高めたことで振幅が減少したと考えられ、一方のインパクト注視条件においても、すでに注視しているターゲットがインパクト地点付近に存在していたことから、ボール・リリース以降、「視覚的注意が注視点近傍に集中された」状態になりつつあったことが予想され、リリース注視条件と同様に振幅は減少したはずである。しかし、リリース注視条件よりも有意に増大したことは、第 2 局面以降、インパクト地点のターゲットを注視しながらも、「視覚的注意が周辺視野に分散された」状態が第 1 局面から継続されたか、もしくは「視覚的注意が周辺視野のある一点に集中された」状態となったことが推測され、視覚的注意が何らかの周辺視野の情報に向けられた影響により振幅が増大した可能性が指摘される。この具体的内容については、次のマイクロサッカーの方向に関する考察を待つことになる。

4) マイクロサッカードの方向からみた潜在的注意による視覚的手掛かり

最後に、マイクロサッカードの方向からみた潜在的注意による視覚的手掛かりについて考察する。注視条件別および局面別にみると、第1局面（分析1）では、垂直方向よりも水平方向に多くのマイクロサッカードが出現したことから、「視覚的注意が周辺視野に分散された」状態を示し、サーバーの身体とトスのための腕の振り上げに伴うボール・リリース地点との位置関係に加え、前衛の動きなどを含めた多くの視覚的手掛かりを左右に広く注意を移動させて捉えているものと考えられる。つまり、視覚的注意の移動によってマイクロサッカードの方向が変化していることが示唆される（Engbert and Kliegl, 2003）。

また、第2局面（分析2）では、注意の集中度合いが高まったことによりマイクロサッカードの出現頻度は低下したものの、リリース注視条件では右方向の広範囲に注意を分散し、相手のサービス動作だけでなく前衛情報をも含めた右方向の周辺視野全体を捉えているものと考えられる。特に右上方向（0 deg 以上 90 deg 未満）に全体の約61%と有意に多く出現した結果（ $p < .01$ ）は、サービス動作を見る観点として「インパクト」、「面の向き」、「トスの位置（左右のズレ）」という内省報告が挙げられたように、ボール・リリース付近のターゲットを注視しなければならない条件下で、ターゲットの右上方向に現れる腕やラケット動作に関する有益な視覚的手掛かり（緒方ほか, 2015）を含んだインパクト地点に注意を向ける必要があったためと考えられる。

一方、インパクト注視条件では、右方向（0 deg）に最も多くのマイクロサッカードが出現した。前項で示した第2局面におけるインパクト注視条件の振幅がリリース注視条件よりも増大したことは、潜在的注意による視覚的手掛かりは周辺視野の下方方向にある腕やラケット動作ではなく、右方向に存在する前衛の情報となる可能性が示唆され、前衛の存在がマイクロサッカードの方向に反映したものと考えられる。したがって、第2局面におけるインパクト注視条件の振幅がリリース注視条件よりも増大した理由は、既にインパクト付近のターゲットを注視しているにも関わらず、「視覚的注意が周辺視野に分散された」状態、または「視覚的注意が周辺視野のある一点に集中された」状態であったと解釈され、

視覚的注意が周辺視野の右側に存在する前衛にも向けられたためと説明ができよう。

第3局面では、両注視条件ともマイクロサッカーは左右方向へ出現する傾向を示したが、出現頻度は非常に僅かであったことから、第4局面と同様に注意の集中がより高められた状態が維持されようとしていたことが推察され、潜在的注意による視覚的手掛かりを十分に考察できないものと考えられる。

以上のことから、テニスのダブルスの場合、熟練者の視覚的注意はサービス動作だけでなく、実際に相手の前衛を注視していなくても潜在的に注意を向けることが可能であることが明らかとなった。

5) シングルスとダブルスにおける視覚探索方略の違い

前述したように、反応時間と予測正確率の結果（図 4-3）では統計的な教示条件間の差は示されなかったが、インパクト注視条件はリリース注視条件よりも早く正確な反応を示す傾向であったことは、研究2のシングルスの場合と同様にダブルスの場合においても注視すべきターゲットの位置による違いに起因しているものと推察される。また、シングルスとダブルスにおいて、両注視条件とも第1局面から第4局面に至るにつれてマイクロサッカーの出現頻度（図 3-9 および図 4-6）が低下する傾向を示したことから、インパクト時点に向けて注意の集中を高めていく注意様式はシングルスとダブルスで共通していることが理解できる。

研究2のシングルスの場合、第2局面におけるインパクト注視条件は右上方向に比較的広く注意を分散してインパクト地点を精度良く見越そうとする意図が伺えたのに対し、ダブルスの場合には、シングルスと同様に右上方向に注意を分散する傾向を示したものの、注視すべきターゲットよりも右側に存在する前衛方向に最も高頻度でマイクロサッカーが向いていた。つまり、ダブルスの場合、シングルスの場合と同様にビジュアル・ピボットをインパクト付近に置くインパクト注視条件の方がリリース注視条件よりも高いパフォーマンスを発揮することが可能と考えられ、特に、相手のサービス動作だけでなく前衛に

対しても潜在的注意を配しながら予測のための視覚的手掛かりを得ようとする視覚探索方略をとっていることが示唆された。実際の試合を考えると、相手のサーバーと前衛がサインプレーにより予めサービスのコースを合意して決定している場合に前衛はポジションを故意に変化させ、レシーブをボレーしようと意図する場合があることから、レシーバーがビジュアル・ピボットとしてサーバーを注視しながら前衛の動きに注意を向けておくことは、サービスのコースを予測するだけでなく、予測反応後のレシーブを考慮した状況判断のためにも、ダブルスの戦術として重要な視覚探索方略であり、テニス熟練者の高度な予測スキルとして理解される。

5. まとめ

本章は、テニスのダブルスにおける前衛情報を伴うサービスに対する予測反応課題を用いて、研究2と同様の3条件における熟練者の眼球運動からマイクロサッカードを検出し、それらの出現頻度と振幅および方向を指標として潜在的注意による視覚的手掛かりの具体的内容を検討することを目的とした。そして、潜在的注意による視覚的手掛かりを示す指標としてのマイクロサッカードの有効性を確認するとともに、シングルスとダブルスにおけるビジュアル・ピボットという認知方略に基づいた熟練者の視覚探索方略を検討した。

主な結果は、以下の通りである。

- 1) フリー条件とインパクト注視条件の予測正確率はそれぞれ 82.5%, 72.5%で、チャンスレベル 50%よりも有意に高かった。また、フリー条件はリリース注視条件 (58.8%) よりも有意に高い予測正確率を示したが、フリー条件とインパクト注視条件との間には有意差が示されなかった。
- 2) 反応時間は、条件間に有意差は認められなかった。また、推定予測時期はインパクト以降となり、早さよりも正確性を重視する教示に基づいた予測反応を示した。
- 3) 研究2のシングルスの場合と同様、フリー条件における被験者の眼球運動からマイクロサッカードはほとんど検出されなかった。
- 4) 2つの注視条件では、分析1で74個、分析2で46個のマイクロサッカードが検出され、それらの特徴量は Martinez-Conde et al. (2004) が報告した特徴量の範囲内であったことから、マイクロサッカードの正当性を確認した。
- 5) マイクロサッカードの出現頻度について、第1局面は第2, 第3, 第4局面よりも(分析1)、第2局面は第3, 第4局面よりも(分析2)有意に高く、サービス動作の進行に伴い頻度は徐々に低下し第4局面では全く出現しなかった。
- 6) マイクロサッカードの振幅(分析1)について、第1局面は第3局面より有意に大きく、特に、リリース注視条件の第1局面は第2, 第3局面よりも有意に大きい値を示した。

また、インパクト注視条件の第2局面は、リリース注視条件の第2局面よりも有意に大きい値を示した。

- 7) マイクロサッカードの方向は、リリース注視条件の第2局面(分析2)で右上方向(0 deg 以上 90 deg 未満)に有意に多く全体の約61%が出現したことから、ターゲットに注視しながら、前衛を含むインパクト地点方向に広く潜在的注意を向けていた。
- 8) インパクト注視条件の第2局面では、右方向(0 deg)に最も多くのマイクロサッカードが出現していたことから、インパクト地点に注視しながら周辺視野の右方向に存在する前衛に潜在的注意を向けたことを示し、6)の振幅が増大した結果と一致した。
- 9) ダブルスの場合、シングルス(研究2)と同様にビジュアル・ピボットをインパクト付近に置くインパクト注視条件の方がリリース注視条件よりも高いパフォーマンスを発揮することが可能であり、相手のサービス動作に注視しながら前衛情報に対しても潜在的注意を配るといったビジュアル・ピボットという認知方略に基づいた視覚探索方略を有効に機能させて、予測のための視覚的手掛かりを得ていた。

以上の結果、テニスのダブルスにおける前衛情報を伴うサービスに対する予測反応事態でも、ビジュアル・ピボットとして注視すべきターゲットを設けた場合にマイクロサッカードが検出され、それらの出現頻度や振幅および方向から潜在的注意による視覚的手掛かりの具体的内容を推定できる可能性を示唆した。特に、ダブルスの場合、熟練者の視覚的注意の対象はサービス動作だけでなく、実際に注視していなくても相手の前衛を潜在的に注意することが可能であり、その視覚的手掛かりはダブルスにおけるサービスのコース予測や予測反応後のレシーブを考慮した状況判断に利用されているものと推測され、ビジュアル・ピボットという認知方略に基づいた視覚探索方略は熟練者の高度な予測スキルとして理解される。したがって、マイクロサッカードは予測反応事態における潜在的注意による視覚的手掛かりの内容を探る指標として有効であることが確認され、これらの知見はシングルスとダブルスにおける違いに現れたように、予測反応事態における潜在的注意による視覚的手掛かりの重要性を明らかにしたと判断される。

第5章 総括

1. 総合考察および結論
2. 本研究からの示唆と展望

1. 総合考察および結論

本研究は、これまでの注視点分析の知見より、ある特定の位置を注視しながら周辺視システムにより多くの情報を収集していると考えられているビジュアル・ピボットという認知方略に着目し、テニスのサービスに対する予測反応事態において、ある特定の位置に注視しながら実際にはどこに注意を向けているのか、マイクロサッカードを指標として潜在的注意の内容を明らかにし、予測反応に影響を与えられと考えられる文脈の手掛かりと視覚的手掛かりとの関係を踏まえた上で、シングルスとダブルスにおいて予測時の視覚探索方略を検討することを目的とした

第2章では、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応課題を設け、確率情報という文脈の手掛かりが被験者（熟練者および非熟練者）の予測反応に与える影響を実験的に検討し、予測時の文脈の手掛かりと視覚的手掛かり（相手のサービス動作である身体言語的手掛かり）との関係を捉えた。その結果、熟練者の反応時間や予測正確率、推定予測時期に文脈の手掛かりの影響は直接的に示されなかった。むしろ、文脈の手掛かりの有無に関わらず高い予測正確率を示し、かつ正反応試行の推定予測時期は概ねボール・インパクト以前に出現したことから、熟練者は有用な視覚的手掛かりを活用した高い予測スキルを有していることが明らかとなった。一方、非熟練者は反応の早さよりも正確性を重視した反応に偏っており、推定予測時期はボール・インパクト以降に出現し熟練者よりも明らかに反応は遅延した。ただし、熟練者のように推定予測時期がボール・インパクト以前となることはなかったが、文脈の手掛かりは反応時間や推定予測時期を有意に早める影響を及ぼしたことから、文脈の手掛かりは認知的構えを高め、予期行動に関連する反応系の情報処理を促進し、結果として運動時間を短縮する可能性が示唆された。したがって、テニス熟練者が時間的制約下で対戦相手のサービスを早く正確にコース予測するためには、文脈の手掛かりにより認知的構えを高めるとともに、文脈の手掛かりにより高められた期待をも修正可能な、サービス動作の視覚的手掛かりに基づく効率的な視覚探索方略が重要

であることが明らかとなり、それは専門的知覚を有する熟練者の高度な予測スキルとして捉えられた。

第3章では、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応課題を自由に視覚探索して予測反応する条件（フリー条件）と2種類のターゲットをビジュアル・ピボットとしてそれぞれ注視しながら予測反応する条件（インパクト注視条件とリリース注視条件）の3条件を設定し、熟練者の眼球運動からマイクロサッカードの検出を試みた。その結果、教示に基づいた正確性を重視した予測反応を示し、フリー条件ではリリース注視条件（ボール・インパクト地点よりも遠位にあるトス時のボール・リリース地点のターゲットを注視する条件）よりも有意に高い正確性と早い反応を示した。しかし、フリー条件とインパクト注視条件（インパクト付近にあるターゲットを注意する条件）では統計的な有意差が認められなかったことから、インパクト地点付近における視覚的手掛かりの重要性が指摘された。また、各課題中の眼球運動データから、Engbert and Kleigl (2003) の検出方法に基づいてマイクロサッカードの検出を試みたところ、フリー条件では検出できなかったが2つの注視条件においてマイクロサッカードが検出され、Martinez-Conde et al. (2004) が示したマイクロサッカードの特徴量の範囲内であったことからその正当性を確認した。このことは予測反応事態を想定した動画による視覚刺激に対しても注視すべきターゲットを設定することでマイクロサッカードを検出することが可能であることを示唆した。さらに、マイクロサッカードの出現頻度をみると、視覚的注意が周辺視野に分散された場合（第1局面）には出現頻度が高まり、その後視覚的注意が周辺視野の1点に集中した場合や注視点近傍に集中された場合に向かうと出現頻度は徐々に抑制され、最終的なボール・インパクト時点では全く出現しなくなることが示された。また、検出されたマイクロサッカードの方向をみると、第3局面ではラケット動作の方向にマイクロサッカードが向けられたことから、サービス動作の進行に伴ってその様態が変化すると捉えられ、潜在的注意による視覚的手掛かりを推定することが可能であることが示唆された。したがって、マイクロサッカードの出現頻度や方向の評価・検討により、マイクロサッカードが潜在的注意を示

しているとする先行研究を支持し、潜在的注意による視覚的手掛かりを示す指標として有効であることが示唆された。また、テニスのシングルスにおけるサービスに対する予測反応事態では、熟練者はビジュアル・ピボットという認知方略による視覚探索方略を有効に機能させ、予測に関わる重要な視覚的手掛かりを獲得し、高度な予測スキルを発揮していることが明らかとなった。

第4章では、テニスのダブルスにおける前衛情報を伴うサービスに対する予測反応課題を用いて、第3章と同様な3条件における熟練者の眼球運動からマイクロサッカードを検出し、それらの出現頻度と振幅および方向からビジュアル・ピボットという認知方略において潜在的注意が示す視覚的手掛かりの具体的内容を検討することを目的とした。その結果、第3章と同様に、熟練者は教示に基づいた正確性を重視した予測反応を示した。熟練者の眼球運動データからマイクロサッカードの検出を試みた結果、2つの注視条件においてマイクロサッカードが検出され、Martinez-Conde et al. (2004) が示した特徴量の範囲内であったことからその正当性を確認した。マイクロサッカードの出現頻度をみると、注視条件間の差異は見い出せなかったが、視覚的注意が周辺視野に分散された場合（第1局面）が最も高く、第2局面以降は徐々に抑制され、最終的なボール・インパクト時点（第4局面）では全く出現しなくなることが示され、視覚的注意が周辺視野の1点に集中されるか、または注視点近傍になるにつれて、頻度が低下することが明らかとなった。またマイクロサッカードの振幅をみると、注視条件間の差異が認められ、予測反応課題を遂行することが最も困難であると推測されるリリース注視条件では、注視すべきターゲットがインパクト地点よりも遠いという厳しい条件であるにもかかわらず、第1局面では周辺視野から何らかの情報を得ようとする意図が出現頻度と同様に振幅の大きさによっても示された。第2局面ではインパクト注視条件はリリース注視条件よりも有意に大きな振幅を示したが、マイクロサッカードの方向を併せてみると、周辺視野の右方向に存在する前衛に注意を向けていたことが明らかとなり、インパクト地点のターゲットを注視しながらも周辺視野の左方向に存在するトスの情報だけでなく周辺視野全体に注意を向けた注意様式を示したも

のと考えられる。その後の第3局面以降は、かなり低い出現頻度を示したことから、インパクト地点近傍に注意を集中した状態が継続されたことが示唆された。さらに、ダブルスとシングルの視覚探索方略を比較すると、ダブルスの場合、シングルと同様にビジュアル・ピボットをインパクト付近に置くインパクト注視条件の方がリリース注視条件よりも高いパフォーマンスを発揮することが可能であり、相手のサービス動作だけでなく前衛の情報に対しても潜在的注意を配しながら予測のための視覚的手掛かりを得ようとするビジュアル・ピボットという認知方略に基づいた効率的な視覚探索方略をとっていることが明らかとなった。

以上のことから、テニス熟練者が時間的制約下で対戦相手のサービスを早く正確にコース予測するためには、文脈的手掛かりにより認知的構えを高めるとともに、文脈的手掛かりにより高められた期待をも修正可能な、サービス動作に関する視覚的手掛かりが重要であることが明らかとなった。また、その視覚的手掛かりに基づく視覚探索方略は、実際に注視点が空間的な対象を捉えていない場合でも、例えばボールと身体との間に生じるインパクト地点に注視点を配置するようにビジュアル・ピボットという認知方略を用い、シングルでは周辺視野のラケットや腕の動き、あるいはダブルスでは前衛情報に潜在的注意を向けながら、有用な視覚的手掛かりからボールと身体との相対的な空間的位置関係を把握してコース予測に至ることができると結論づけられた。

本研究では、予測反応事態の実験環境にビジュアル・ピボットとする注視条件を設定することによって固視微動であるマイクロサッカードを検出することが可能となり、マイクロサッカードが潜在的注意による視覚的手掛かりを示す指標として有効であることが実証された。これらの知見はシングルとダブルスにおけるテニス熟練者の視覚探索方略の違いを見い出したように、マイクロサッカードを潜在的注意による視覚的手掛かりを示す指標とすることで、予測反応事態における視覚的手掛かりの重要性を明らかにしたと判断される。

2. 本研究からの示唆と展望

本研究では、テニス熟練者が時間的制約下で対戦相手のサービスを早く正確にコース予測するためには、文脈的手掛かりと視覚的手掛かりに基づく高度な予測スキルの必要性が示唆された。また、その際の熟練者の視覚探索方略は、ボールと身体との間に生じるインパクト地点に注視点を配置するといったビジュアル・ピボットという認知方略を用い、周辺視野のラケットや腕の動き、あるいは前衛情報に潜在的注意を向け、有用な視覚的手掛かりからボールとの相対的な空間的位置関係を捉えてコース予測に至ることが明らかとなり、固視微動であるマイクロサッカードが潜在的注意による視覚的手掛かりを明らかにするための指標として有効であることが実証された。つまり、マイクロサッカードの各パラメータを分析することにより、注視点分析からは得られなかった潜在的注意による注意様式や視覚的手掛かりを得ることが可能となり、被験者が意図する予測時の視覚探索方略や情報処理過程（手続き的知識）の理解がより明確となった。もし固視微動のマイクロサッカードが容易に抽出できる実験システムの開発がなされれば、様々なスポーツ場面において潜在的注意が示す視覚探索方略を知るための指標として応用することができ、その汎用性は高いと言える。

しかしながら、現時点においていくつかの研究方法上の限界も指摘される。第3章および第4章では、マイクロサッカードを検出する方法として、全ての眼球運動データを用いた分析1と併せ、サッカードが多く出現した第1局面の眼球運動データを除いた分析2を併用した。しかし、分析1では高速で振幅の大きいサッカードが含まれていることが推測されたことから、マイクロサッカードの検出に用いる閾値が高まり、本来出現しているかもしれないマイクロサッカードを検出することができなかつた可能性が指摘される。また、サッカードが多く出現したと推測される第1局面の眼球運動データを除いた分析2でも、第2局面以降にサッカードが生じていたとしても除去していない。その対応策として全てのサッカードを検出し除去する方法が考えられるが、この場合、マイクロサッカードの検

出に用いる閾値に大きな影響を与えないように、サッカード除去後の眼球運動データの繋ぎ目に生じるズレの程度を慎重に吟味する必要がある。また、同じ動的特性を有しているマイクロサッカードとサッカードの区別をより明確にする必要性が指摘されるが、本研究で確認したように、最大速度と振幅の関係性のみならず、マイクロサッカードとサッカードを併せた最大速度の頻度における分布など、他の指標を加えて検討することが有効と考える。そして、Møller et al. (2002) や Martinez-Conde et al. (2004) が示したように、マイクロサッカードの特徴量は実験環境や個体によって異なることから、マイクロサッカードを検出する際には各実験環境に応じた個々の眼球運動データを詳細に検討することが求められよう。

さらに、本研究では、注視すべき2つのターゲットの位置はビデオ映像の刺激全体からみると大きな差異はなかった可能性が考えられる。そのため、実際の競技場面とは乖離するが、大画面モニターを利用し視対象に対する視野角を拡張することで、視覚的注意の移動が明確となる実験方法上の工夫が必要と言える。被験者の内省でも「実際の競技では、全体を見ているのだと改めて感じた」という報告があるように、サービス動作全体のどこを、いつ、どのように注意を向けているのか、時系列的により詳細な視覚的注意の検討が求められる。また、第4章で示した前衛に対する視覚的注意の検討をより一層深めるためには、注視すべきターゲットの位置をサーバーと前衛の間に配置するなど、ダブルスの場合におけるゲーム特性を踏まえた視覚探索方略を十分考慮することも重要と考えられる。

以上のことから、テニスに関連した予測研究における今後の展望として具体的に2点、挙げられる。まず1つ目に、熟練者の予測スキルを解明するために、熟練者における予測のための知識構造（宣言的知識）や情報処理過程（手続き的知識）を明らかにし、知識ネットワークやフローチャートにまとめ、指導現場に還元できるモデルを提示することが必要と考える。また2つ目に、選手にとっていかに効率的な予測スキルを獲得するかが重要な課題であることから、競技レベルに応じた効果的な知覚・認知的技能の学習方法を発展させる必要があると考えられる。本研究はレシーバーの予測スキルを主体として検討して

きたが、実際の指導現場ではサーバーのサービス技能を高めることに重点が置かれる傾向がある。道上（2014）が指摘しているように、近年の世界一流男子選手はクイックサービスを利用し、外的環境から受ける影響や動作のばらつきの少ない正確性の高いサービス動作を遂行しながら高速のサービスを打球している。このように、レシーバーの予測を妨げようとするサービス技術の革新に対し、レシーバーはさらに高い予測スキルを獲得することでレシーブのスキルを高めることが求められ、今後、テニス競技において競技力向上を図るための必須条件となることが予想される。

例えば、高速サービスを打つ選手との試合経験が少ないジュニア選手や女子選手においては、まず優先してサービス動作に基づく予測反応の練習を積極的にオンコート練習に導入し、高速サービスを打つ選手を相手に練習することで日頃より高速サービスに慣れておくことが必要である。また、指導者は対戦相手のサービス動作の特徴について、観察に基づく主観的な情報のみならず動作解析による客観的データを利用しながらレシーブ時の観点を選手に指導し、または選手と十分議論しておくことが望ましい。さらに、それらの知識を実際のレシーブ時の予測反応に活かすためには、対戦相手のサービス映像を繰り返し観察し、なおかつ生態学的妥当性の観点からも予測反応を伴うオンコート上での練習を徹底することで、予測スキルの向上が期待される。その上で、指導者はゲーム分析等に基づく文脈的手掛かりを十分に収集・整理し、選手が理解しやすい形式で事前に提供しておくが良い。ただし、第2章で考察したように、まとめられた数値データは実際の文脈的手掛かりと同様に機能しない場合があるため、数値データと文脈的手掛かりを関連づける学習や確認作業が必要と言える。例えば、対戦相手の試合の映像を観察し試合の流れに応じて確率情報を確認することや、時には実際の試合に赴き、その時の試合の流れや環境要因等の文脈的手掛かりを実際に得ながら相手のサービス動作を観察しておくことも有用であろう。

テニス競技の場合、想定される対戦相手の対象者は数多く存在するため、個別データを逐一詳細に検討することは実際には困難であることから、日頃より対戦する可能性のある

相手を常に意識し、そのプレーを注意深く観察しながら予測スキルに役立てる情報を獲得しておくことが重要である。また、対戦相手が特定される場合には、試合の映像やゲーム分析結果に関する個別データをまとめたビッグデータの存在は、予測スキル獲得のためだけでなく戦術にも活用できることから、データの収集は日頃より配慮すべきと考える。また、第2章で示したように、予測スキルには心理的要因も間接的に影響する可能性があることから、指導者は練習環境の中で選手の自信過多を見極め、冷静に予測・判断するようなアドバイスを与えることが大切と思われる。特に、多感なジュニア選手に対しては、心理的要因が競技力に直接影響する場合も多いことから十分な教育的配慮が必要と考える。

付記

研究1（第2章）は、平成28年度日本大学文理学部個人研究費による助成を受けて行われた。また、研究2（第3章）および研究3（第4章）は、平成29年度日本大学文理学部個人研究費および日本学術振興会平成29年度科学研究費助成事業（基盤研究（C）課題番号17K01689）の助成を受けて行われた。

文献

- Abernethy, B. (1989) Expert--novice differences in perception: how expert does the expert have to be? *Canadian Journal of Sport Sciences*, 14(1): 27-30.
- Abernethy, B. (1990a) Anticipation in squash: differences in advance cue utilization between expert and novice players. *Journal of Sports Sciences*, 8(1): 17-34.
- Abernethy, B. (1990b) Expertise, visual search, and information pick-up in squash. *Perception*, 19(1): 63-77.
- Abernethy, B. (1993) Searching for the minimal essential information for skilled perception and action. *Psychological Research*, 55(2): 131-138.
- Abernethy, B., Gill, D. P., Parks, S. L., and Packer, S. T. (2001) Expertise and the perception of kinematic and situational probability information. *Perception*, 30: 233-252.
- Abernethy, B., Neal, R. J., and Koning, P. (1994) Visual-perceptual and cognitive differences between expert, intermediate, and novice snooker player. *Applied Cognitive Psychology*, 8: 185-211.
- Abernethy, B. and Russell, D. G. (1984) Advance cue utilization by skilled cricket batsmen. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 16: 2-10.
- Abernethy, B. and Russell, D. G. (1987) Expert-novice differences in an applied selective attention task. *Journal of Sport Psychology*, 9(4): 326-345.
- Abernethy, B., Wood, J. M., and Parks, S. (1999) Can the anticipatory skills of experts be learned by novices? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 70(3): 313-318.
- Australian Open (2017) Event stats.
http://www.ausopen.com/en_AU/scores/extrastats/index.html. (参照日 2017 年 3 月 10 日).

- Buckolz, E., Prapavesis, H., and Fairs, J. (1988) Advance cues and their use in predicting tennis passing shots. *Canadian Journal of Sport Science*, 13(1): 20-30.
- 調枝孝治 (1977) タイミングの心理. 不昧堂出版: 東京. p.209.
- Cui, J., Wilke, M., Logothetis, N. K., Leopold, D. A., and Liang, H. (2009) Visibility states modulate microsaccade rate and direction. *Vision Research*, 49(2): 228-236.
- Cunitz, R. J. and Steinman, R. M. (1969) Comparison of saccadic eye movements during fixation and reading. *Vision Research*, 9(6): 683-693.
- Deubel, H. and Schneider, W. X. (1996) Saccade target selection and object recognition: Evidence for a common attentional mechanism. *Vision Research*, 36(12): 1827-1837.
- Di Stasi, L. L., McCamy, M. B., Catena, A., Macknik, S. L., Cañas, J. J., and Martinez-Conde, S. (2013) Microsaccade and drift dynamics reflect mental fatigue. *European Journal of Neuroscience*, 38: 2389-2398.
- Ditchburn, R. W. and Fender, D. H. (1955) The stabilized retinal image. *Optica Acta*, 2: 128-133.
- Ditchburn, R. W. and Ginsborg, B. L. (1953) Involuntary eye movements during fixation. *Journal of Neurophysiology*, 119(1): 1-17.
- 枝川宏 (2015) スポーツ眼科学. 日本視能訓練士協会誌, 44 : 183-190.
- 映像情報メディア学会編 (2009) 視覚心理入門—基礎から応用視覚まで—. オーム社: 東京.
- 遠藤翔・小濱剛 (2012) 視覚的注意の集中がもたらすマイクロサッカートの抑制効果. 近畿大学生物理工学部紀要, 29 : 7-15.
- 遠藤翔・小濱剛・野口大輔 (2013) 視覚的注意の集中時に生じるマイクロサッカートの持続的抑制. 映像情報メディア学会技術報告, 37(12) : 51-54.
- Engbert, R. (2006) Microsaccades: a microcosm for research on oculomotor control,

- attention, and visual perception. *Progress in Brain Research*, 154: 177-192.
- Engbert, R. (2012) Computational modeling of collicular integration of perceptual responses and attention in microsaccades. *Journal of Neuroscience*, 32(23): 8035-8039.
- Engbert, R. and Kliegl, R. (2003) Microsaccades uncover the orientation of covert attention. *Vision Research*, 43(9): 1035-1045.
- Farrow, D. and Abernethy, B. (2002) Can anticipatory skills be learned through implicit video-based perceptual training? *Journal of Sports Sciences*, 20(6): 471-485.
- Farrow, D. and Reid, M. (2012) The contribution of situational probability information to anticipatory skill. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15 (4): 368-373.
- 福田亮子・佐久間美能留・中村悦夫・福田忠彦 (1996) 注視点の定義に関する実験的検討. *人間工学*, 32(4) : 197-204.
- 福原和伸・井田博史・石井源信 (2009) コンピュータ・グラフィックス (CG) の身体モデル表示によるテニスサーブの予測判断. *スポーツ心理学研究*, 36(2) : 115-125.
- Fukuhara, K., Ida, H., Kusubori, S., and Ishii, M. (2009) Anticipatory judgment of tennis serve: a comparison between video images and computer graphics animations. *International Journal of Sport and Health Science*, 7: 12-22.
- Goulet, C., Bard, C., and Fleury, M. (1989) Expertise differences in preparing to return a tennis serve: A visual information processing approach. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 11(4): 382-398.
- Hafed, Z. M. (2011) Mechanisms for generating and compensating for the smallest possible saccades. *European Journal of Neuroscience*, 33(11): 2101-2113.
- Hafed, Z. M. and Clark, J. J. (2002) Microsaccades as an overt measure of covert attention shifts. *Vision Research*, 42(22): 2533-2545.

- Hafed, Z. M., Goffart, L., and Krauzlis, R. J. (2009) A neural mechanism for microsaccade generation in the primate superior colliculus. *Science*, 323: 940-943.
- Hafed, Z. M. and Krauzlis, R. J. (2012) Similarity of superior colliculus involvement in microsaccade and saccade generation. *Journal of Neurophysiology*, 107(7): 1904-1916.
- 原美弥子・櫻井和代・眞鍋知子・樋貝繁薫・佐藤正樹・櫻井繁樹 (2017) 心疾患患者のストレスと不安改善への笑いエクササイズの効果. *千葉科学大学紀要*, 10 : 115-120.
- 本田仁視 (1994) 眼球運動と空間定位. 風間書房 : 東京, pp.185-191.
- 本田彰吾・小濱剛・吉田久 (2015) 固視微動と瞳孔径変動解析に基づく覚醒水準の客観的評価. *映像情報メディア学会技術報告*, 39(11) : 25-28.
- 井田博史・福原和伸・高橋まどか・石井源信・井上哲理 (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.
- 稲垣圭一郎 (2014) 微小眼球運動の生成機構と視覚情報処理への寄与. *中部大学工学部紀要*, 50 : 18-29.
- Inagaki, K., Hirata, Y., and Usui S. (2011) A model-based theory on the signal transformation for microsaccade generation. *Neural Networks*, 24(9): 990-997.
- 稲垣圭一郎・臼井支朗 (2012) マイクロサッカードを制御する神経機構について. *日本神経回路学会誌*, 19(3) : 135-144.
- 入野野宏 (2004) 心理生理学データの分散分析. *生理心理学と精神衛生*, 22(3) : 275-290.
- Ishida, T. and Ikeda, M. (1989) Temporal properties of information extraction in reading studied by a text-mask replacement technique. *Journal of Optical Society of America*, 6: 1624-1632.
- 岩原信九郎 (1995) 教育と心理のための推計学. 日本文化科学社 : 東京, p.196.
- 金子寛彦 (2009) 固視微動. *映像情報メディア学会誌*, 63(11) : 1538-1539.
- 加納悠史・小濱剛・吉川昭・吉田久 (2014) 視覚的注意の集中度合いとマイクロサッカー

- ド潜時分布の関係. 日本生体医工学会大会プログラム・論文集, 52 : O-53-O-54.
- 柏原考爾・岡ノ谷一夫・川合伸幸 (2010) 快・不快感を喚起する視覚刺激が眼球運動に及ぼす影響. 電子情報通信学会技術研究報告, 110(33): 41-46.
- 加藤貴昭 (2013) スポーツ競技における知覚-運動スキル. *Vision*, 25(1): 30-34.
- 河原正昭・藤田厚・吉本俊明・川島淳一・深見和男・近藤明彦・佐藤雅幸・水落文夫・鈴木典・石井政弘 (1989) 運動学習における時間的適応に関する研究 (その 2) - テニスのサーブレシーブにおけるコースおよび球種の認知過程について -. 日本大学松戸歯学部一般教育紀要, 15 : 94-103.
- 小濱剛・新開憲・臼井支朗 (1998) マイクロサッカードの解析に基づく視覚的注意の定量的測定の試み. 映像情報メディア学会誌, 52(4) : 571-576.
- 小濱剛・竹中悠・吉田久・戸田尚宏 (2010) 視覚的注意がドリフト眼球運動に及ぼす影響の統計解析. 映像情報メディア学会誌, 64(12) : 1892-1898.
- Kohama, T. and Usui, S. (2002) Attentional effects on microsaccadic eye movements. *Current Psychology of Cognition*, 21: 377-395.
- 熊田孝恒 (2013) 眼球運動. 最新心理学事典. 平凡社 : 東京, pp.85-86.
- Laubrock, J., Engbert, R., and Kliegle, R. (2005) Microsaccade dynamics during covert attention. *Vision Research*, 45(6): 721-730.
- リンゼイ・ノーマン : 中溝幸夫ほか訳 (1995) 情報処理心理学入門Ⅲ - 言語と思考 -. サイエンス社 : 東京, p.30. < Lindsay, P. H. and Norman, D. A. (1977) *Human information processing: An introduction to psychology (second edition)*. Academic press: New York. >
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., and Hubel, D. H. (2000) Microsaccadic eye movements and firing of single cells in the striate cortex of macaque monkeys. *Nature Neuroscience*, 3(3): 251-258.
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., and Hubel, D. H. (2004) The role of fixational eye

- movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience*, 5: 229-240.
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., Troncoso, X. G., and Hubel, D. H. (2009) Microsaccades: a neurophysiological analysis. *Trends in Neurosciences*, 32(9): 463-475.
- Martinez-Conde, S., Otero-Millan, J., and Macknik, S. L. (2013) The impact of microsaccades on vision: towards a unified theory of saccadic function. *Nature Reviews Neuroscience*, 14: 83-96.
- 増井透 (1997) 大島尚編 認知科学. 新曜社: 東京. pp.134-137.
- McCamy, M. B., Otero-Millan, J., Leigh, R. J., King, S. A., Schneider, R. M., Macknik, S. L., and Martinez-Conde, S. (2015) Simultaneous recordings of human microsaccades and drifts with a contemporary video eye tracker and the search coil technique. *Plos One*. 10(6): e0128428. doi: 10.1371/journal.pone.0128428.
- Mergenthaler, K. and Engbert, R. (2010) Microsaccades are different from saccades in scene perception. *Experimental Brain Research*, 203(4): 753-757.
- 道上静香 (2014) 世界一流男子テニス選手のファーストサービス動作のキネマティック的分析. 彦根論叢, 399 : 114-131.
- 宮本晃希・内藤宏・木村貴彦・篠原一光・三浦利章 (2011) フェイントが含まれる事態におけるテニスプレイヤーの予測技能. 人間環境学研究, 9(1) : 13-19.
- 三好智子・森周司・廣瀬信之 (2012) 事前視覚情報の利用が打球の方向予測に及ぼす影響. 心理学研究, 83(3) : 202-210.
- Møller, F., Laursen, M. L., Tygesen, J., and Sjølie, A. K. (2002) Binocular quantification and characterization of microsaccades. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 240: 765-770.
- Mori, S., Ohtani, Y., and Imanaka, K. (2002) Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. *Human Movement Science*, 21: 213-230.

- Murphy, C. P., Jackson, R. C., Cooke, K., Roca, A., Benguigui, N., and Williams, A. M. (2016) Contextual information and perceptual-cognitive expertise in a dynamic, temporally-constrained task. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 22(4): 455-470.
- 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.
- 日本テニス協会編 (2015) 第 1 章テニスとは. *テニス指導教本 I*. 大修館書店:東京, p.3.
- 西野明・奥野援史・竹之内隆志 (1991) バレーボールの攻撃予測における先行手掛かりの検討. *スポーツ教育学研究*, 11(1) : 41-49.
- 野口大輔・小濱剛・吉川昭・吉田久 (2011) 順序統計低域微分フィルタを用いたマイクロサッカードの検出. *映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集*, 12-2-1.
- 野口大輔・小濱剛・吉川昭・吉田久 (2014) ドリフト眼球運動の解析に基づく注意集中度の定量的評価. *映像情報メディア学会技術報告*, 38(10) : 45-48.
- 緒方貴浩・福原和伸・井田博史・高橋まどか・福林徹 (2015) テニスサーバー動作と熟練者の予測との定量的関係性—ビデオ映像を用いた時間的遮蔽法による評価—. *人間工学*, 51(2) : 96-102.
- 大根田知也・鎌倉稔成・加藤俊一 (2009) ヒトの視覚探索行動における注目点の抽出. *映像情報メディア学会技術報告*, 33(20) : 9-12.
- 芋坂良二 (2004) 1 章眼球運動研究史. *眼球運動の実験心理学*. 名古屋大学出版会:名古屋, p.20.
- 大築立志 (2006) 予測動作. *最新スポーツ科学辞典*. 平凡社:東京, pp.642-643.
- Otero-Millan, J., Troncoso, X. G., Macknik, S.L., Serrano-Pedraza, I., and Martinez-Conde, S. (2008) Saccades and microsaccades during visual fixation, exploration, and search: Foundations for a common saccadic generator. *Journal of Vision*, 8(14-21): 1-18.

- Piras, A., Pierantozzi, E., and Squatrito, S. (2014) Visual search strategy in Judo fighters during the execution of the first grip. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 9(1): 185-197.
- Posner, M. I. and Petersen, S. E. (1990) The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13: 25-42.
- Price, D. D., McGrath, P. A., Rafii, A., and Buckingham, B. (1983) The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain. *Pain*, 17(1): 45-56.
- Pritchard, R. M. (1961) Stabilized images on the retina. *Scientific American*, 204: 72-78.
- Ratliff, F. and Riggs, L. A. (1950) Involuntary motions of the eye during monocular fixation. *Journal of Experimental Psychology*, 40: 686-701.
- リード：細田直哉訳，佐々木正人監修（2001）アフォーダンスの心理学 生態心理学への道．新曜社：東京，p.225．<Reed, E. S. (1996) *Encountering the world: Toward an ecological psychology*. Oxford University Press, Inc.: Oxford >
- Reina, R., Moreno, F. J., and Sanz, D. (2007) Visual behavior and motor responses of novice and experienced wheelchair tennis players relative to the service return. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 24: 254-271.
- Riggs, L. A., Ratliff, F., Cornsweet, J. C., and Cornsweet, T. N. (1953) Disappearance of steadily fixated visual test objects. *Journal of the Optical Society of America*, 43: 495-501.
- Ripoll, H., Kerlirzin, Y., Stein, J. F., and Reine, B. (1995) Analysis of information processing, decision making, and visual strategies in complex problem solving sport situations. *Human Movement Science*, 14(3): 325-349.
- Rolfs, M., Kliegl, R., and Engbert, R. (2008) Toward a model of microsaccade

- generation: The case of microsaccadic inhibition. *Journal of Vision*, 8(5): 1-23.
- Rosenbaum, D. A. (1980) Human movement initiation: Specification of arm, direction, and extent. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(4): 444-474.
- Rucci, M., Iovin, R., Poletti, M., and Santini, F. (2007) Miniature eye movements enhance fine spatial detail. *Nature*, 447: 851-854.
- Savelsbergh, G. J., Van der Kamp, J., Williams, A. M., and Ward, P. (2005) Anticipation and visual search behaviour in expert soccer goalkeepers. *Ergonomics*, 48: 11, 1686-1697.
- Savelsbergh, G. J., Williams, A. M., Van der Kamp, J., and Ward, P. (2002) Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers. *Journal of Sports Sciences*, 20(3): 279-287.
- 邵建雄・金謙樹・豊島進太郎・湯海鵬 (2014) バドミントンにおけるオーバーヘッドストロークの予測能力に関する研究. *人間発達学研究*, 5 : 1-8.
- Shim, J., Miller, G., and Lutz, R. (2005) Visual cues and information used to anticipate tennis ball shot and placement. *Journal of Sport Behavior*, 28(2): 186-200.
- 新村出編 (2008) 予測. 広辞苑第6版. 岩波書店: 東京, p.2904.
- 塩入諭 (2009) 第5章図形, 顔などの知覚. 視覚心理入門—基礎から応用視覚まで—. オーム社: 東京, pp.209-223.
- Singer, R. N., Cauraugh, J. H., Chen, D., Steinberg, G. M., and Frehlich, S. G. (1996) Visual search, anticipation, and reactive comparisons between highly-skilled and beginning tennis players. *Journal of Applied sport Psychology*, 8: 9-26.
- Smeeton, N. J. and Huys, R. (2011) Anticipation of tennis-shot direction from whole-body movement: The role of movement amplitude and dynamics. *Human Movement Science*, 30(5): 957-965.
- 十河宏行 (2010a) 8章眼球運動を指標とした研究. 脳イメージング. 培風館: 東京,

pp.143-160.

十河宏行 (2010b) 視覚探索課題遂行中におけるマイクロサッカードの発生頻度の時間的変化. *Vision*, 22(2) : 131-134.

スポーツビジョン研究会編 (1997) *スポーツビジョン スポーツのための視覚学*. ナップ : 東京.

鈴木一隆・豊田晴義・花山良平・石井勝弘 (2015) インテリジェントビジョンセンサを用いた両眼同時固視微動計測装置の開発とマイクロサッカードの左右差の評価. *生体医学*, 53(5) : 247-254.

高橋正則・水落文夫・櫻井真之介 (2005) サービス動作からコース予測するための視覚探索方略. *テニスの科学*, 13 : 69-78.

高橋正則・Van Raalte, J. L. (2010) テニスにおけるサービスの予測反応に及ぼすセルフトークの影響. *テニスの科学*, 18 : 1-9.

武田守弘 (2003) テニスのサービス予測に関する調査ー状況に基づく予測に着目してー. *テニスの科学*, 11 : 12-13.

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ー反応時間計測手法と空間的遮蔽手法を用いてー. *広島大学大学院教育学研究科紀要第二部*, 53 : 327-334.

竹中悠・小濱剛・吉田久・戸田尚宏 (2009) 統計モデルによるマイクロサッカード前後のドリフト眼球運動に及ぼす視覚的注意の影響の解析. *映像情報メディア学会技術報告*, 33(17) : 61-64.

竹内高行・猪俣公宏 (2012) 野球の打撃時における視覚探索方略. *スポーツ心理学研究*, 39 (1): 47-59.

竹澤勇祐・筒井清次郎 (2015) 空手のカウンター状況における予測動作の熟練差の検討. *スポーツ心理学研究*, 42(1) : 15-22.

田中達朗・小濱剛・吉田久 (2012) マイクロサッカードと瞳孔径の解析に基づく覚醒水準

- 変動の客観的評価. 映像情報メディア学会技術報告, 36(13): 51-54.
- 田中ゆふ・関矢寛史・田中美吏 (2013) 投球動作前の確率情報を伴う球種予測に顕在的・潜在的知覚トレーニングが及ぼす影響. スポーツ心理学研究, 40(2) : 109-124.
- 續木智彦・大槻茂久・矢野晴之介・李宇諤・西條修光 (2008) サッカーペナルティキック時のコース予測と手掛かりについて. 日本体育大学紀要, 38(1) : 17-23.
- Valsecchi, M., Betta, E., and Turatto, M. (2007) Visual oddballs induce prolonged microsaccadic inhibition. *Experimental Brain Research*, 177(2): 196-208.
- Viviani, P. (1990) Eye movements in visual search: Cognitive, perceptual and motor control aspects. In E. Kowler (Ed.), *Eye movements and their role in visual and cognitive processes*. Elsevier: Amsterdam, pp.353-393.
- Ward P. and Williams, A. M. (2003) Perceptual and cognitive skill development in soccer: the multidimensional nature of expert performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 25(1): 93-111.
- Ward, P., Williams, A. M., and Bennett, S. J. (2002) Visual search and biological motion perception in tennis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73 (1): 107-112.
- Wickelgren, W. A. (1977) Speed-accuracy tradeoff and information processing dynamics. *Acta Psychologica*, 41: 67-85.
- Williams, A. M. and Davids, K. (1998) Visual search strategy, selective attention, and expertise in soccer. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69(2): 111-128.
- Williams, A. M., Davids, K., Burwitz, L., and Williams, J. G. (1993) Visual search and sports performance. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 25(2): 55-65.
- Williams, A. M., Davids, K., and Williams, J. G. (1999) *Visual perception and action in sport*. E. & F. N. Spon: London.
- Williams, A. M. and Elliott, D. (1999) Anxiety, expertise, and visual search strategy in

- karate. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 21: 362-375.
- Williams, A. M., Huys, R., Cañal-Bruland, R., and Hagemann, N. (2009) The dynamical information underpinning anticipation skill. *Human Movement Science*, 28(3): 362-370.
- Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M., and 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., Ward, P., Smeeton, N. J., and Allen, D. (2004) Developing anticipation skills in tennis using on-court instruction: Perception versus perception and action. *Journal of Applied Sport Psychology*, 16: 350-360.
- Yarbus, A. L. (1967) *Eye movement and vision*. New York: Plenum.
- 山次俊介 (2009) 第4章データの特徴をわかりやすくする～記述統計～. *健康・スポーツ科学のためのSPSSによる統計解析入門*. 杏林書院: 東京, p.55.
- Yokoyama, T., Noguchi, Y., and Kita, S. (2012) Attentional shifts by gaze direction in voluntary orienting: evidence from a microsaccade study. *Experimental Brain Research*, 223: 291-300.
- 横澤一彦 (2012) *視覚科学*. 勁草書房: 東京, pp.103-130.
- 吉松浩 (1996) ウェーブレットを用いた注視時眼球運動の平滑化. *テレビジョン学会誌*, 50(12) : 1903-1912.
- Zuber, B. L., Stark, L., and Cook, G. (1965) Microsaccades and the velocity-amplitude relationship for saccadic eye movements. *Science*, 150: 1459-1460.

研究業績リスト

1. 学術論文（採択済み論文）

1) <原著論文（審査有）>

高橋正則, 磯貝浩久 （共同・筆頭）

テニスにおけるサービスのコース配分に関する確率情報が予測反応に及ぼす影響.

日本コーチング学会, コーチング学研究, 31(1) : 53-65, 2017.

2) <原著論文（審査有）>

高橋正則, 磯貝浩久, Judy L. Van Raalte （共同・筆頭）

予測反応事態の眼球運動からマイクロサッカードを検出する試み

ーテニスのサービスに対する予測反応課題を用いてー.

日本スポーツ産業学会, スポーツ産業学研究, 28(1) : 13-29, 2018.

3) <原著論文（審査有）>

高橋正則, 磯貝浩久, Judy L. Van Raalte （共同・筆頭）

マイクロサッカードを指標とした予測反応事態における潜在的注意の検討 :

テニスのダブルスにおけるサービスに対する予測反応課題を用いて.

桜門体育学会, 桜門体育学研究, 53 : 印刷中 (2018年9月発行予定 : 早期公開中).

2. 学会発表

1) <ポスター発表>

高橋正則, 磯貝浩久, 佐久間智央, 田中伸明 （共同・筆頭）

テニスにおけるサービスのコース配分情報がコース予測に与える影響.

第28回テニス学会（岩手大学）, 2016年6月26日.

3. 研究助成

- 1) 平成 28 年度日本大学文理学部個人研究費

研究題目：「スポーツ場面における眼球運動の検討」

- 2) 平成 29 年度日本大学文理学部個人研究費

研究題目：「スポーツ場面における眼球運動の検討」

- 3) 平成 29 年度科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）

【基盤研究 C：課題番号 17K01689】

研究題目：「スポーツ選手のマイクロサッカードを指標とした予測反応事態における
潜在的注意」

謝辞

まず、本学位論文の作成にあたり、九州工業大学大学院生命体工学研究科の磯貝浩久先生には、大変多くのご指導を頂き、格別なるご高配を賜りました。特に、博士課程への入学から博士論文をまとめるまでの3年間、何事に対してもいつも丁寧に対応頂き、貴重な示唆を与えて下さいましたことに、厚く御礼申し上げます。そのおかげで、計画的に研究を進めることができ、無事、予定した3年間で学位論文をまとめることができました。ここから、改めて研究者として再スタートし、新たな気持ちで研究・教育に臨んで行きたいと思えます。

また、学位論文作成の過程では、九州工業大学大学院生命体工学研究科の夏目季代久先生や堀尾恵一先生、九州大学大学院の杉山佳生先生、日本大学理工学部 of 北村勝朗先生より、詳細なご意見やご指摘を頂き、新たな気づきを与えて下さいましたことに、深く感謝申し上げます。これらの経験は私にとって大変新鮮で、本学位論文のみならず今後の研究・教育活動にも役立てられる貴重な財産となりました。さらに、古門良亮さんをはじめとする磯貝研究室の大学院生や学生の皆さん、およびBASラボの林航輔さんには、いつも密な連絡や多くのサポートをして頂き、遠隔地にいる私にとって大変頼りになりました。重ねて御礼申し上げます。

最後に、3年間共に学位論文の作成に尽力され、粘り強くお付き合い頂きました日本大学文理学部の水落文夫先生と、いつも自分を支えてくれた家族に対し、ここに深甚なる謝意を表します。本当にありがとうございました。

平成30年3月吉日

高橋 正則