



バーチャル環境を用いた テニスのサービスへの反応と熟練度の関係解析

斉藤慶¹⁾, 正井克俊¹⁾, 杉浦裕太¹⁾, 木村聡貴¹⁾²⁾, 杉本麻樹¹⁾

1) 慶應義塾大学 理工学研究科 (〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, {k.saito, masai, sugiura, sugimoto}@imlab.ics.keio.ac.jp)

2) NTT コミュニケーション科学基礎研究所 (〒 243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1, kimura.toshitaka@lab.ntt.co.jp)

概要:

テニスのリターンは熟練者と初心者の間で大きな差異が出る。この差異を認識することは技術向上に役立つ。バーチャル環境下では実環境に近い設定で視覚条件が統制できるため、本研究ではバーチャル環境下でサービスに対する両者のリターンを運動解析した。サービスの提示には、2 球種のサービスのサービスモーションと球の挙動を組み合わせた 4 通りを用いた。同一モーションかつ球の挙動が異なるサービス間で比較した際、熟練者の方がテイクバック速度のピーク時間差が大きいことを観測した。このことから、熟練者はサービスのモーションから、球の挙動を予測していることが示唆された。

キーワード：バーチャル環境，運動解析，予測，テニス



図 1: 構築したバーチャル環境の映像



図 2: 実験の様子

1. はじめに

テニスのようなスポーツにおいて、初心者の技術向上の方法として熟練者の動作を模倣する方法がある。模倣のためには自身と熟練者の動作の差異を認識することが重要で、差異を検出する研究が多々行われている。多くの研究に用いられる実験環境として、実験室環境と実環境がある。しかし前者はリアリティ、後者は条件統制にそれぞれ難点がある。一方バーチャル環境は両者を両立でき、また実験室環境と実環境での提示が難しい事象を提示できる。

本研究では、バーチャル環境を用いて打球前のサービスモーションと打球後の球の挙動が一致するサービスと一致しないサービスを提示した際の熟練者と初心者のリターンを運動解析し、両者の差異を評価した。

Kei SAITO, Katsutoshi MASAI, Yuta SUGIURA,
Maki SUGIMOTO, and Toshitaka KIMURA

2. 関連研究

2.1 実験環境

スポーツの実験環境として、実験室環境がある [1, 2, 3, 4]. この環境下では提示する事象を容易に統制することができ、また本来のスポーツ環境と比較して狭いスペースで計測できる。しかし提示できる状況や運動が実環境と大きく乖離してしまい、スポーツの限定的な側面のみでの解析となる問題がある。

他の実験環境として、実環境がある [5, 6, 7]. 実環境では様々な無線センサを用いることで、実際のスポーツフィールドでのリアルな計測ができる。しかし外的要因の制限が難しく、条件統制が困難である。実験室環境と実環境では、条件統制とリアリティに関してトレードオフの関係がある。

このトレードオフを解消する環境として、バーチャル環境がある。バーチャル環境では頭部装着型デバイス (HMD) を用いることで 3 次元映像を装着者に提示できる。また、コ

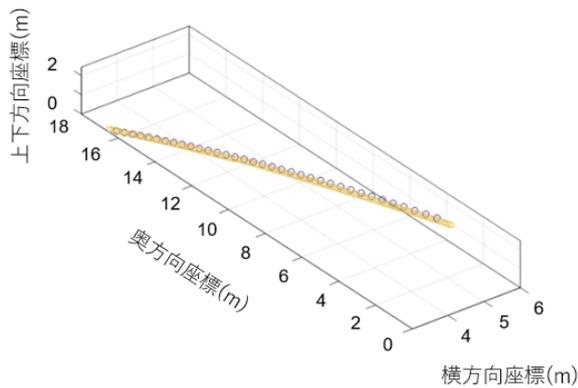


図 3: 画像からサンプリングした軌道（青）と 2 次関数によってフィッティングした軌道（橙）

コンピュータ内に構築したバーチャル環境では、意図的に視覚条件を統制でき、実環境では実現できない設定も可能である。本研究では、これらのメリットを有するバーチャル環境を用いたシステムを構築した。

2.2 解析方法

スポーツの解析方法として、主に視覚情報解析が挙げられる視覚情報解析では、専用のデバイスやビデオ映像を用いて判断のタイミングや視線位置を計測する。視覚情報解析は比較的狭いスペースで計測でき、また熟練者がどの情報をもとに予測を立てているか解析できる。反面、この解析方法では身体全体の動きを解析できず、情報から得た予測をもとにどのような行動をとるかを解析できない。

一方運動解析はモーションキャプチャスーツや骨格推定をすることで、身体全体の動きや姿勢、位置などを計測する。運動解析は身体全体の動きを解析するので、予測をもとに熟練者がどのような行動をとるかを解析できる。本研究では、運動解析を用いて熟練者と初心者の身体運動の差異を解析した。

3. サービスとリターン

テニスには様々なショットが存在するが、各ポイントの開始時に打つショットをサービス、サービスを打ち返すショットをリターンと呼ぶ。サービスは他のショットと比較すると打球可能範囲が約 1/4 と狭い反面、全ショットの中で最も速度の幅が広い。プロであると最高速度約 250km/h、アマチュアでも 200km/h を超えるサービスを打つことができる者も数多くいる。多くのテニスプレイヤーは、サービスにおいて速いもの（フラット）と遅いもの（スピン）の 2 種類を打ち分けて試合を行っている。このため、サービスの球種や速度に合わせてスイングの高さやテイクバックのタイミングを調節することが重要である。テニスで勝利をするためにはリターンが上手いことはほぼ必須条件であり、初心者と熟練者の間で差異が出やすいショットの 1 つといえることができる。

本研究ではフラットサービスとスピンスサービスを提示することで、熟練者と初心者の運動解析を行った。

表 1: 提示したサービス

名称	サーバーの挙動と打球前の球の挙動	打球後の球の挙動
F	フラット	フラット
S	スピン	スピン
F'	スピン	フラット
S'	フラット	スピン

4. 環境構築

4.1 視覚提示

本研究での視覚提示に用いるデバイスとして、HTC 社の VIVE を用いた。VIVE は赤外線ステーションと赤外線センサを用いることで HMD や Tracker、コントローラの 3 次元位置を計測できる。これにより、装着者の頭の動きに応じて 3 次元映像を変化させることができる。また VIVE は有線接続であるので、HMD を無線化するデバイスである TPCAST 社の TPcast を用いて無線化を行った。これにより、コードによる装着者の妨害を排除した状態で計測を行った。

4.2 運動解析

本研究では、運動解析の方法としてモーションキャプチャスーツを用いた。モーションキャプチャスーツは Xsens 社の Xsens を用いた。Xsens は 9 軸センサ（加速度センサ、ジャイロセンサ、地磁気センサ）と気圧計により構成されたセンサを用いている。このセンサを身体各部に装着しセンサデータを PC に送信することで、装着者の姿勢や位置の推定が可能となる。またフレームレートも 120fps であり、運動データとして十分な間隔で計測することができる。本研究では Xsens を用いてテニスのリターンの運動解析を行った。

4.3 バーチャル環境

4.3.1 周囲の環境

提示する 3 次元空間として、テニスコートと周囲の環境を実装した（図 1）。テニスコートは国際テニス連盟発行の国際テニスルールの規定に従って作成した。テニスコートのサーフェスは人工芝にした。テニスコートの周囲には高さ 5m の壁を作成した。またバーチャル環境内で動かすことのできるテニスラケットを作成した。このラケットは実際のテニスラケットのグリップエンドに VIVE の Tracker を固定することで実装した。

4.3.2 サーバーのモーション

サーバーのモーションは Xsens を用いて記録をした。モーションは元スリランカ代表選手（35 歳、172cm、左利き）のサービスを記録した。初めに身体データの計測と身体のキャリブレーションを行い、その後ウォームアップをさせた。ウォームアップが終了したのち再びキャリブレーションを行い、計測を開始した。サービスはフラットサービスとスピンスサービスを 7 球ずつ打たせ、その内コースがほぼ同一なサービ

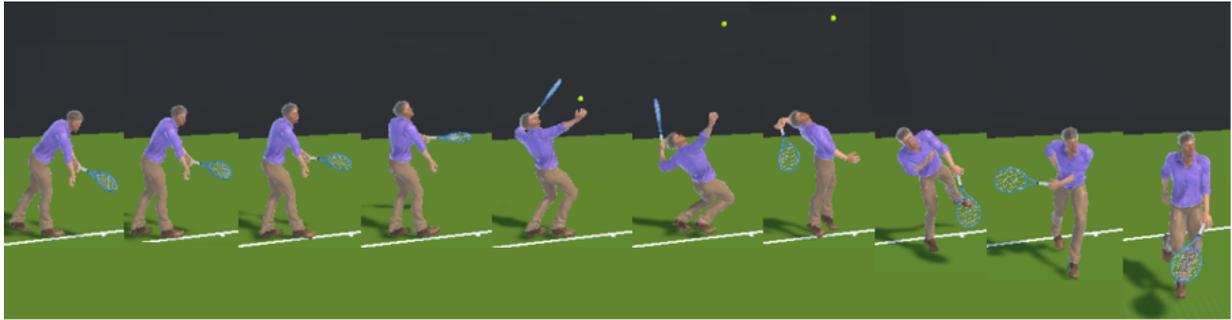


図 4: フラットサービスのシーケンシャル画像

スを実験に用いた。フラットサービスのシーケンシャルイメージを図 4 に示す。

4.3.3 サービスによる球の軌跡

サーバーのモーションを計測すると同時に、2 台の同期されたカメラを用いてサービスの様子を撮影した。撮影した動画をもとに逆透視投影変換をすることで、球の実空間上の座標を求めた。

逆透視投影変換のために、テニスコートのキャリブレーションを行った。キャリブレーションはテニスコートの外枠の 1 頂点からコートの方に横 12m、縦 24m の領域を 2m 間隔で、高さ 2m のキャリブレーションポールを立てることで行った。これにより各カメラ座標と実空間の 3 次元座標の対応組を 253 組求めた。

続いて動画上の球の座標を求めめるために、背景差分処理とトラッキングを行った。背景差分ではノイズが生じてしまうため、画像処理の細めため処理によりノイズを低減をした。トラッキングには OpenCV のトラッキング関数を用いた。画像処理による計測では、フレーム毎の誤差が生じてしまうため、X 軸と Y 軸、X 軸と Z 軸に関してそれぞれ 2 次元関数近似を行った。

4.3.4 球の物理演算

前節で求めた 3 次元座標群とサービスの落下地点から、サービスにより球に加わった撃力、回転速度、回転角度を求めた。撃力はインパクト前後 2 フレームの座標変化、回転速度と回転角度は飛行中に受ける力（重力、抗力、揚力）、撃力、球のバウンド地点座標から求めた。これらの情報を各サービスに事前に与えておくことで、ゲームエンジンでの自然な動きを実装した。トラック処理による球の軌跡と提示したサービスの球の軌跡を図 3 に示す。

4.3.5 提示サービス

打球前のサービスモーションと打球後の球の挙動を組み合わせることで、様々なサービスを提示することができる。本研究では計測したフラットサービスとスピンスerviceそれぞれの打球前のモーションと打球後の球の挙動を組み合わせることで、合計 4 種類のサービスを作成した（表 1）。

5. 実験

5.1 実験条件

本実験では熟練者と初心者 4 人ずつに対して、前節で作成した 4 種類のサービスを提示することで運動解析を行った。実験場所は体育館を使用し、体育館の床に 4m × 5m の範囲を芝生マットを敷きその上で計測を行った。実験参加者には Xsens を着用させ、頭部には HTC VIVE を装着させ、その後バーチャル環境内で使用可能なテニスラケットを持たせた。実験環境を図 2 に示す。

実験参加者には合計 50 球のサービスをリターンさせた。この内 (i) 最初の 10 球は球種を教えた状態でサービス F とサービス S、(ii)(iii) その後の 40 球は球種を教えない状態でリターンをさせた。40 球の内、(ii) 最初の 20 球はサービス F とサービス S、(iii) 残りの 20 球はサービス F' とサービス S' を提示した。実験 (i)(ii)(iii) 全てにおいて同数のサービス F とサービス S（もしくはサービス F' とサービス S'）をランダムに並びかえ、全実験参加者共通の順で提示した。実験参加者には打球前のサービスモーションと打球後の球の運動が異なるサービスがあることを伝えずに行った。

5.2 実験結果

通常のサービスであるサービス F とサービス S はそれぞれ実験 (ii) での後半 5 回のもを平均化したもの、サービス F' とサービス S' はそれぞれ実験 (iii) での最初の 1 回のもを解析対象とした。解析の結果、サービス F とサービス F'、サービス S とサービス S' のテイクバック速度のピークの時間差が、熟練者は-147, 345ms、初心者は-14, 61ms であった（図 5）。表 2 に各実験参加者のテイクバック時間差を示す。

5.3 考察

同一の打球の運動に対するテイクバック速度のピーク時間の差が熟練者の方が大きかった原因として、サーバーのモーションやトスアップから熟練者が球種を予測していたことが考えられる。サービス F' のリターンの際は球種がスピンでサービス速度が遅いと予測していたため右手の速度ピークに遅れが生じ、反対にサービス S' のリターンの際は球種がフラットでサービス速度が速いと予測していたため右手の速度ピークが速くなったと考えられる。

一方、初心者は同一の打球の運動（サービス F とサービ

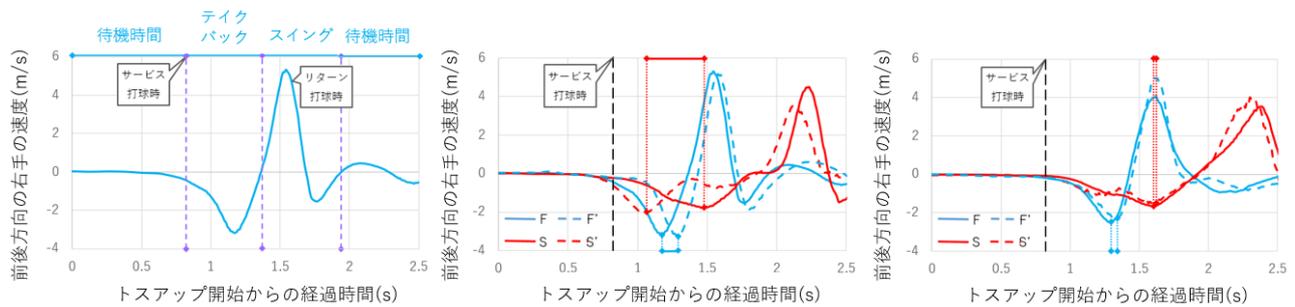


図 5: 前後方向の右手の速度変化とリターンの動き (グラフの見方 (左), 熟練者 (真ん中) と初心者 (右))

表 2: 各実験参加者の同一打球運動に対するテイクバック速度のピーク時間差 (ms)

	熟 1	熟 2	熟 3	熟 4	平均
F-F'	-222	-100	-100	-167	-147
S-S'	278	500	222	378	345
	初 1	初 2	初 3	初 4	平均
F-F'	56	-67	-11	-33	-14
S-S'	100	44	0	100	61

ス F', サービス S と サービス S') のテイクバックのピークに熟練者ほどのずれは生じなかった。原因として, 初心者は熟練者とは違い, 打球前のサービスモーションから予測はせずに打たれた球を見てから球種を判断していたため生じたと考えられる。また初心者 1 はサービス F と サービス F' のテイクバック速度のピーク時間差が他の実験参加者と違い正負逆転していた。これはサービス F' を提示した際にサービス F を提示した際よりも早くテイクバックをしていることを意味している。

6. 結論

本研究では打球前のサービスモーションと打球後の球の挙動が一致するものとそうでないサービスを提示することで, テニス熟練者と初心者のリターンの運動解析を行った。解析のためにテニスのサービスを Xsens とカメラにより記録し, これらの情報をバーチャル環境内に適用させた。バーチャル環境内にはテニスコートを作成した。

バーチャル環境内において, 打球前のサービスモーションと, 打球後の球の挙動を実際の打球と同じ組み合わせで提示した試行と実際の打球と異なる組み合わせで提示した試行を行なったところ, 提示したサービスに応じて熟練者のテイクバック完了のタイミングには, 初心者のタイミン

グより大きな時間差が観測された。

謝辞

本研究においては, サービスデータの取得に Dr. Roshan Lalintha Peiris 氏の協力を受けた。

参考文献

- [1] Stephanie Cacioppo, Frederic Fontang: Intention understanding over t: a neuroimaging study on shared representations and tennis return predictions.; *Frontiers in human neuroscience*, Vol. 8, pp. 781 (2014.October)
- [2] Robert N Singer, James H Cauraugh: Visual search, anticipation, and reactive comparisons between highly-skilled and beginning tennis players.; *Journal of Applied Sport Psychology*, Vol. 8, pp. 9-26 (1996).
- [3] Farrow Damian, Abernethy Bruce: Probing expert anticipation with the temporal occlusion paradigm.: *Experimental investigations of some methodological issues; Motor control*, Vol. 9, pp. 330-349 (2005).
- [4] Williams A Mark, Ward Paul: Anticipation skill in a real-world task: measurement, training, and transfer in tennis.; *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 8, pp. 259 (2002).
- [5] Singer Robert N, Williams A Mark: New frontiers in visual search: An exploratory study in live tennis situations.; *Motor control*, Vol. 69, pp. 290-296 (1998).
- [6] Iwatsuki Takehiro, Takahashi Masanori: Effects of the intention to hit a disguised backhand drop shot on skilled tennis performance.; *International Journal of Sports Science & Coaching*, Vol. 1, pp. 365-373 (2016).
- [7] Hurley Emily: Analysis of Service Placement within Elite Tennis; Cardiff Metropolitan University (2015).