

卓球における有効なコースの提示による 瞬間的判断訓練システムの提案

高橋 祐貴¹ 山本 景子¹ 倉本 到¹ 辻野 嘉宏¹

概要：中級以上の卓球練習者にとって、自分が打球を行う際に、相手が返球しづらくなる有効なコースがどこであるかを瞬間的に判断できるようになること（瞬間的判断）は重要である。しかし、卓球の試合展開は速く、判断にかかる時間が長く取れないなどの理由により、その習得は難しい。そこで本稿では、卓球練習者が有効なコースにボールを返球できなかったとき、その直後に台上に有効なコースを提示することにより瞬間的判断を訓練させるシステムを提案する。その最初のステップとして、本研究ではまず有効なコースのモデルを提案する。このモデルは、自分と相手の位置、および相手の移動速度からコースの有効度を定めるものである。そして、このモデルの評価実験を行ったところ、相手から遠いところに打つこと、相手の逆をつくことが有効であるという提案モデルが実験結果と合致した。

1. はじめに

1.1 背景

卓球の上達において、初級者は素振りやフットワークなど基礎的な練習を行うが、中級者になるにつれ、それらに加えて戦術の練習も行う。卓球の戦術の要素はボールの回転、スピード、コースなど様々なものが挙げられ、これらの要素を試合の中で変化させて戦っていくのが卓球の基本である。卓球で使用されるボールは、従来セルロイド製のもので用いられていたが、2014年からはプラスチック製のボールが使用されるようになった。この理由として、セルロイドの可燃性や耐久性などの問題があげられるが、この変更によりボールの回転量やスピードを落とすことで、試合でラリーを続けさせて卓球というスポーツを盛り上げたいというITTF（国際卓球連盟）の狙いもある[1]。このことから、卓球ではコースの重要性が高まっているといえる。つまり、試合で得点をするためにはより相手が返球しづらいコースや相手から攻撃されにくいコースに打球することが望まれるようになってきている。以降、相手が返球しづらいコースや相手から攻撃されにくいコースのことを「有効なコース」、そのようなコースにボールを打球することを「コースを突く」と呼ぶ。

一般的に、どこが有効なコースであるかという知識は卓球の上達と共に身につくものであり、中級者の多くも有効なコースを理解している。それにも関わらず、実際の試合中にコースを突くことができないことがある。これは、卓

球は試合展開が速いことが原因である。コースを突くためには、その時の相手の位置や動き、ボールの軌道などその場の状況をその都度瞬時に判断して打球コースと打ち方を決定しなければならない。しかし彼らは、その試合展開の速さゆえに、一球一球を相手のコートに返すことだけで精一杯であり、有効なコースを判断する時間を持つことができないと考えられる。よってこれらの中級者は、短時間で有効なコースを判断する（以降、瞬間的判断と呼ぶ）訓練が必要である。

1.2 問題点

瞬間的判断を訓練する手法として、ビデオ学習が考えられる。ビデオ学習は試合等の動画を見ながら、片方のプレイヤーの打球時に、もう片方のプレイヤー側のコートのどの部分に返せばコースを突けるのか判断するというものである。しかし、実際のラリー中は、コースを判断すると同時に、返球を行わなければならない。この返球を行うまでには、相手の返球コースの予測、予測した場所までの移動、そして返球方法の思考など複数のプロセスを実行する必要がある。つまり、実際のラリー中には有効なコースを判断すると同時に複数の思考や行動を行わなければならない。しかし、ビデオ学習では実際に打球しないため、複数のプロセスの再現は容易ではない。したがって、もしビデオ学習で瞬間的判断ができるようになったとしても、実際のラリー中に瞬間的判断ができるようになるかどうかはわからない。ゆえに、瞬間的判断の訓練は、実際の練習の中で行うべきである。

¹ 京都工芸繊維大学

しかし瞬間的判断は、実際の練習の中では効率よく訓練できない場合がある。その理由として、次の二つの問題点が挙げられる。

(A) 自分の判断の間違いに気付かない

試合もしくは試合形式の練習中、自分が有効ではないコースにボールを打球し、それを相手がたまたま返球できなかった場合、そのコースが有効であると誤認してしまう可能性がある。そしてまた同じような状況で同じコースに打球したとき、今度は相手に攻撃をされしまい、そのコースが有効なのかどうかわからなくなってしまう。このように、有効なコースを判断できたかどうかの確認は相手の返球結果に依存してしまうことが多く、正しく学習が行えない。

(B) 判断を誤った原因を覚えてもらえない

瞬間的判断を習得するためには、自分が打球したコースが有効なコースではなかった場合、何故そのコースが有効なコースでないのかを理解し、自分が瞬間的判断をする過程でどのような判断ミスをしてしまったのか反省する必要がある。しかし、瞬間的判断は打球するごとに行うものであり、ラリーが続けば続くほどその回数は増える。そのため、後になって反省をしようとしたとき、自分が打球したコースは覚えていたとしても、そのとき下した判断（どのコースに打球したか）や判断に使った情報（相手との位置関係など）を忘れてしまう可能性がある。

そこで、本稿では、これらの問題を解決し、卓球の中級者がコースを突けるようになるために瞬間的判断を訓練するシステムを提案する。また、このシステムの実現にあたり、有効なコースのモデルとその評価について述べる。

1.3 関連研究

卓球の戦術の提示に関する研究について、吉田ら [2] は、卓球の競技場面でコーチが選手にアドバイスをするとき、その論拠を示す資料として用いるために、選手の返球方法とそのラリーの勝敗を即時記録するシステムの開発を行っている。このように、これまでの結果をもとに今後の戦術を組立てる支援をする研究は存在するが、ラリー中のその場その場における戦術の学習を手助けする研究はない。

2. 提案システム

2.1 概要

1.2 で述べたように、実際の練習で瞬間的判断を訓練するためには、以下の二つの問題がある。

(A) 自分の判断の間違いに気付かない

(B) 判断を誤った原因を覚えてもらえない

そこで本章では、プレーヤーが卓球の練習中に以下の方法を用いて瞬間的判断力を訓練するシステムを提案する。

(a) 有効なコースに打てなかった直後にその事を通知する

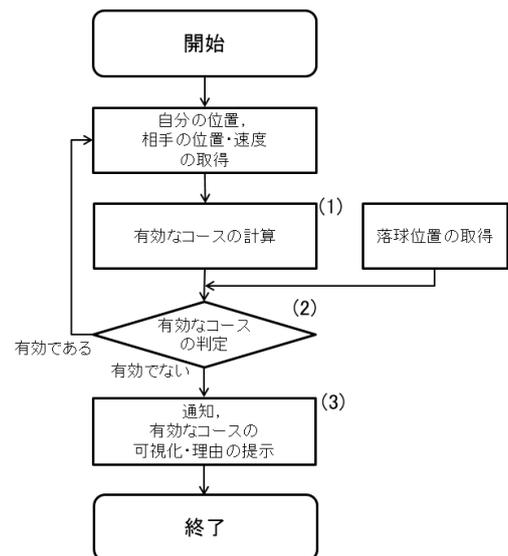


図 1 提案システムの流れ

通知を行うことで、自分が有効なコースに打てなかったことを自覚させることができる。これにより問題 (A) を解決する。また、直後に通知を行うことで自分が判断の内容を覚えているうちに学習を行うことができる。これにより、問題 (B) を解決する。

(b) 有効なコースの情報を提示する

有効なコースを提示することで、その時のラリーの状況と有効なコースの関係性を学習することができる。これにより問題 (A) を解決する。ただし、卓球においてそこに打てば必ず得点できるというコースは存在しない。よって有効なコースの情報として、各コースにおいてそこに打てばどのくらいの確率で得点できるかの「有効度」を計算し、それを卓球台上で可視化するものとする。この各コースの有効度を求めるためのモデルは 3. で述べる。

(c) 打球したコースが有効でない理由を提示する

そのときのラリーの状況からそのコースが有効でない理由を提示することで、自分がどういう判断ミスをしたのか反省し学習することができる。これにより問題 (B) を解決する。

2.2 設計

システムを実現させるために必要な機能を以下に述べる。図 1 はシステムが動作したときの流れである。(1)~(3) についてそれぞれ以下で説明する。

(1) 有効なコースの計算部

自分が打球した時に、どこが有効なコースであるかが計算される。

(2) 有効なコースの判定部

自分の打球が相手コートに落下した場所が取得され、(1) で計算した有効なコースに打球できているか

どうか判定する．有効なコースに打てていなかった場合のみ (3) に進む．志田ら [3] は, 卓球のボール落下位置測定の研究を行っており, この技術が本判定部の実装に応用できる可能性がある．

(3) 有効なコースの情報の提示部

可視化した有効なコースの情報と, 自分が打球したコースが有効でない理由が提示される．自分はその情報を見て学習を行う．自分が学習を終え練習が再開すると, システムは開始状態に戻る．

3. 有効なコースのモデル

3.1 有効なコースを決定する要因

有効なコースを決定する重要な要因は以下の三つであると考えられる．

- 相手の位置
- 相手の移動速度
- 自分の位置

コースを突くことにおいてまず重要なことは, 相手のいない方へ打球することである．相手から遠いところに打球すれば, その分相手は移動を余儀なくされ, 返球がしづらくなるからである．しかし相手に近いところに打てば必ずしも不利になるというわけではない．特に, 相手のフォアハンドとバックハンドが切り替わる点 (以降, ミドルと呼ぶ) への打球は, フォアハンドとバックハンドどちらで返球するか迷ってしまいかえって返し辛くなることが知られている [4][5]. よって一番返されやすい場所は, 相手が通常フォアハンドとバックハンドでそれぞれラケットを構えている位置である．

また卓球では, 相手からの返球コースを予測し相手が打球時にその方向へ移動することもあるため, 自分の返球時の相手の移動速度も考慮する必要がある．

その他のコースの有効度を決める要因として, 球の回転やスピード, 相手の得意・不得意なコースや, 身長や腕の長さといった相手の身体的情報などが挙げられる．しかし, これらの要因は相手の位置や速度に比べ, コースの有効度を大きく変えるものではない．例えば, 相手が卓球台に対して右側に立っていた場合, 自分の打球する球の回転やスピードを変化させても, また相手によって身長や腕の長さが違っていても, 空いている左側が有効であることに変わりはない．

よって, コースの有効度に大きく関わると考えられる, 自分の位置, 相手の位置, そして相手の移動速度を要素として有効なコースをモデル化する．以降では簡単のため, 先に述べたように球のスピードや回転量は一定であると仮定する．また, 卓球のラリーは一般的に, 上回転のボールを打ち合うものなので, 返球方法は上回転のボールに対してよく使われる, スマッシュ, ドライブ, ブロックの三つに限定する．

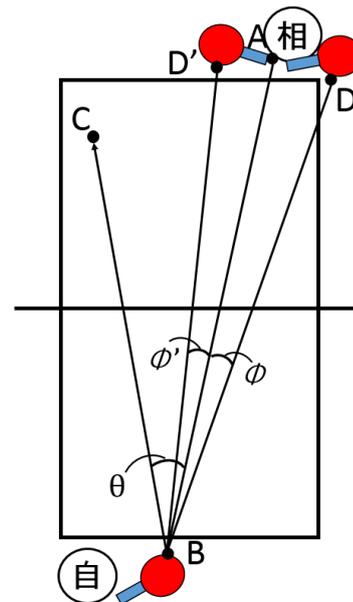


図 2 相手が静止している場合

3.2 有効なコースのモデル式

まず相手が静止している場合を考える．図 2 に示すように相手のミドルの位置を A , 自分の打球位置を B , 自分の打球の落下点を C とし, $\angle ABC$ の大きさを θ とする．以降, θ は, C が直線 AB より右側にある場合は正の値を, 左側にある場合は負の値をとるものとする．また相手が通常バックハンドで構えているときのラケットの位置を D , フォアハンドで構えている時のラケットの位置を D' とし, $\angle ABD = \phi (> 0)$, $\angle ABD' = \phi' (< 0)$ とする．簡単のため, $|\phi| = |\phi'|$ とする．

直線 AB より右側にボールを打球する場合, 3.1 で述べたとおり, 相手のミドルに打球するか相手から遠いところに打てば有効であることから, $|\theta - \phi|$ が大きければ大きいほど有効である．同様に, 直線 AB より左側に打球する場合, $|\theta - \phi'|$ が大きければ大きいほど有効である．したがって, 自分と相手の位置によるコースの有効度 E を, 係数 a を用いて, 式 (1) のように定める． ϕ が $10[\text{deg}]$ の時の E の概形を図 3 に示す．

$$E = \begin{cases} a|\theta - \phi| & (\theta \geq 0) \\ a|\theta + \phi| & (\theta < 0) \end{cases} \quad (1)$$

以降は, 対称性より直線 AB より右に打球した場合のみを考える．

次に相手の移動速度を考える．自分が打球する時, 相手が速度 v_0 (右向き正) で動いていたとする．自分が打球してから, 相手が返球を行うまでの時間を t とすると, 自分が打球してから t 秒後, 相手は $v_0 t$ 移動することになる．図 4 に示すように, t 秒後の相手の位置を A' , 打球時の自分と相手の距離を L_0 , t 秒後の自分と相手の距離を L_t とすると, $\angle A'BA$ の大きさ α は式 (2) で求められる．

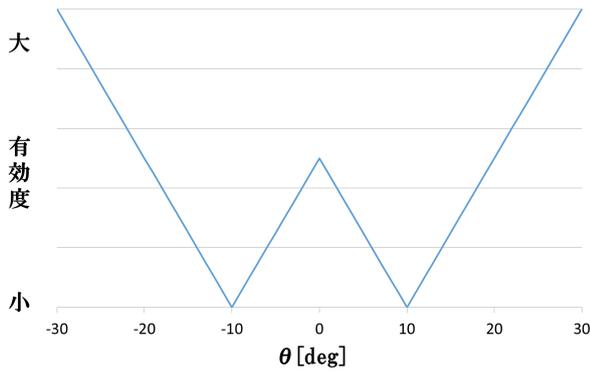


図 3 相手が静止している場合のモデルの概略図 ($\phi = 10[\text{deg}]$)

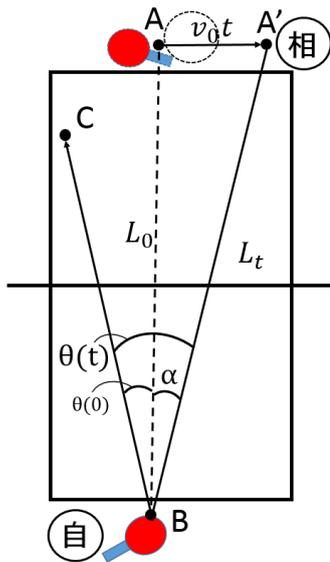


図 4 相手が移動している場合

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{L_0^2 + L_t^2 - (v_0 t)^2}{2L_0 L_t} \right) \quad (2)$$

よって、 t 秒後 $\angle ABC$ の大きさ $\theta(t)$ は式 (3) で求められる。なお $\theta(0) = \theta$ である。

$$\theta(t) = \theta(0) + \alpha \quad (3)$$

以上より、コースの有効度 E_t は t 秒後の自分と相手の位置により、式 (4) のように定めることができる。

$$E_t = E(\theta(t)) = a|\theta(0) + \alpha - \phi| \quad (4)$$

4. 有効なコースのモデル式の評価

本章では、3. で提案した有効なコースのモデルと一般的な卓球プレイヤーの有効度に対する考えとの一致度合いを調査する。

4.1 方法

被験者は大学の卓球部員 13 名である。実験時の様子を



図 5 実験時の様子

図 5 に示す。

まず、被験者を卓球台の一方側の指定した場所に立たせ、反対側にスクリーンを設置し、そこに以下の映像を流す。

映像には 1 人のプレイヤー（以降、X）が登場し、被験者は画面の向こう側の X と対峙している形となる。X があるコースから来たボールに対してフォアドライブで返球を行う。X が返球した直後、映像は終わる。

映像を見せた後で被験者に、実験者が指定した相手側コート上の A ~ F の 6 箇所（図 6 参照）にフォアドライブで返球を行うとどれだけ X が返し辛くなると思うか、という質問に 100 点満点で答えさせる。ただし事前に被験者には点数の基準として、

- 100 点は、そこに打てば絶対に点が取れるコース
- 0 点は、そこに打てば相手に攻撃をされて絶対に点を取られてしまうコース

と伝える。また、被験者には、X は被験者と卓球の腕前が同じ位のレベルであると伝える。同時に、返球方法によって返し辛さに変化があるか調査するため、「返球がドライブではなくブロックやスマッシュだった場合、どのように点数が変わるか」という質問に選択式で回答させる。（選択肢は 4.2.2 参照）これを映像（4.1.1 で詳述）を変えて 15 回行う。

またプレイヤーが有効なコースを判断する方法を調査するため、全ての映像に対して回答後、被験者が点数を付けた際に何を基準にしたのかをインタビュー形式で質問する。

4.1.1 映像について

被験者に見せる映像は次の組み合わせ 15 種類である。まず、X の動き方が次の 5 種類ある。

- 被験者から見て卓球台の左側でドライブを行う
- 被験者から見て卓球台の左側でドライブを行ったのち、右側に移動する
- 被験者から見て卓球台の中央でドライブを行う
- 被験者から見て卓球台の右側でドライブを行う
- 被験者から見て卓球台の右側でドライブを行ったのち、左側に移動する

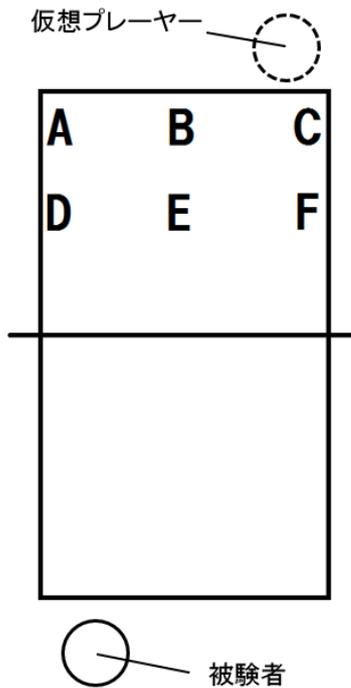


図 6 返し辛さを評価させた 6 箇所

ち、左側に移動する

以上のそれぞれに対して、X の打球するドライブのコースが 3 種類ある。

- 被験者から見て左側
- 被験者から見て中央
- 被験者から見て右側

なお、カウンタバランスを考慮して、見せる映像の順番は被験者ごとに替える。

4.2 結果と考察

4.2.1 コースによる返し辛さの評価

各映像における、A~F に対して打球したときの $\theta(0)$ (3.2 参照) と、そのとき被験者が付けた点数の関係を表わすグラフを、X の動き方の違いによって図 7~11 に分けて示す。ここでの X は、4.1 で述べた映像に登場するプレーヤーのことであり、また図の各点のマークはそれぞれの被験者を表す。また、グラフの横軸は X が打球を行なった時 ($t=0$) の θ の値、すなわち $\theta(0)$ の値であり、この値は 3.2 と同様で、被験者側から見て X のミドルより左側のコースに打球したときは負、右側のコースに打球したときは正で表わしている。そして縦軸は被験者が返し辛さを評価した点数 (評価値) を表しており、評価の個人差を考慮して返し辛さの点数が被験者ごとに最小値が 0、最大値が 1 となるように比例的に縮小して正規化を行ったものである。

X が打球後移動していない 9 種類の動画について、図 7 では X が左側で打球した場合、図 8 では X が中央で打球した場合、図 9 では X が右側で打球した場合をそれぞれ

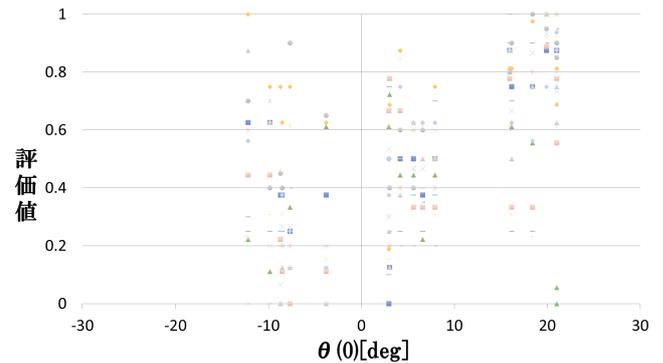


図 7 相手 X が左側で打球後移動していない場合

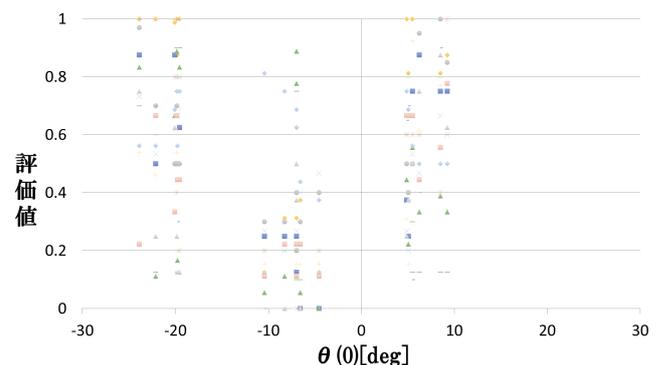


図 8 相手 X が中央で打球後移動していない場合

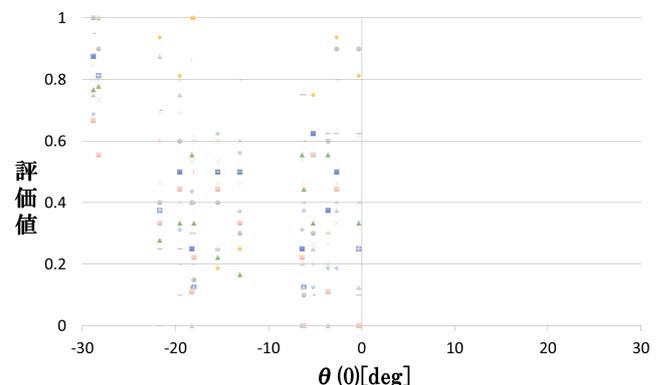


図 9 相手 X が右側で打球後移動していない場合

示す。また相手が打球後移動している 6 種類の動画について、図 10 では X が打球後右側に移動している場合、図 11 では相手が打球後左側に移動している場合をそれぞれ示す。これらの図より、 $|\theta(0)|$ の値が大きいほど、有効度が高い評価がなされているのがわかる。

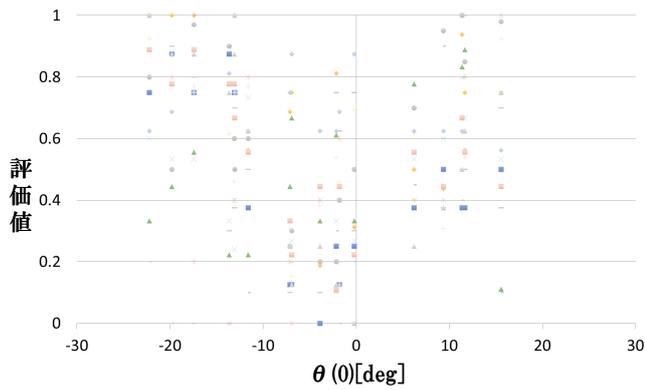


図 10 相手 X が打球後右側に移動している場合

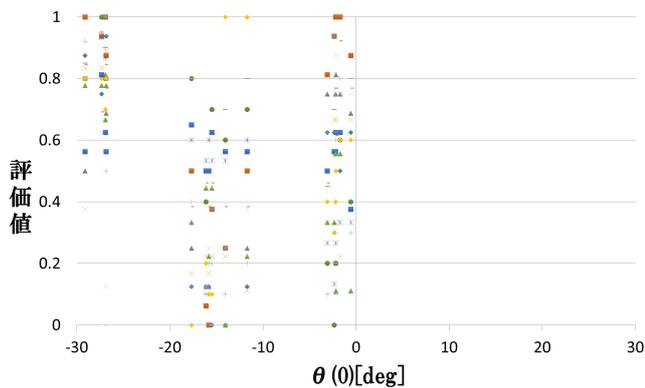


図 11 相手 X が打球後左側に移動している場合

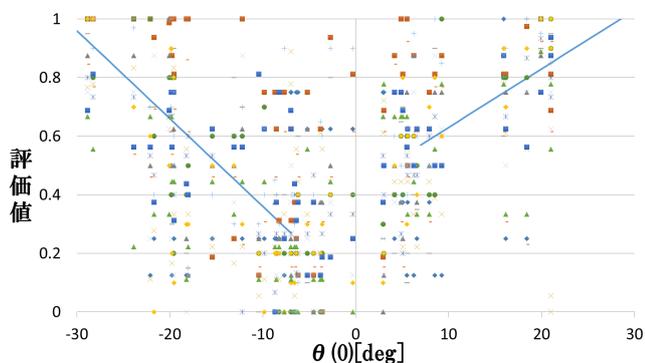


図 12 実験データと回帰分析によって得られたグラフ

相手が打球時に移動をしていない場合

相手が打球時に移動をしていない場合のモデルは式 (1) で示される。これが実験データとどれほど一致しているか調べるため、相手に向かって左側に打球した場合 ($|\theta(0)| \geq \phi, \theta(0) \geq 0$)、相手に向かって右側に打球した場合 ($|\theta(0)| \geq \phi, \theta(0) < 0$)、相手のミドル付近に打球した場合 ($|\theta(0)| < \phi$) のそれぞれに対して相関分析と回帰分析を行った。

- 相手に向かって左側に打球した場合
相関分析を行ったところ、相関係数 $R = 0.70$ となり、 $|\theta(0)|$ と評価値の間には高い正の相関が認められた。また、回帰分析により、式 (5) が得られた。

表 1 打球方法による返し辛さの違い

選択肢	スマッシュ	ブロック
1. 点数は全く変わらない	24.1%	6.2%
2. 場所による点数の順序は変わらないが点数は大きくなる	51.3%	4.6%
3. 場所による点数の順序は変わらないが点数は小さくなる	13.8%	71.3%
4. 点数も順序も変わってしまう	10.8%	17.9%

$$E_1(\theta) = -0.03\theta + 0.06 \quad (5)$$

- 相手に向かって右側に打球した場合
相関分析を行ったところ、相関係数 $R = 0.38$ となり、左側に打球した場合ほどではないが、こちらも正の相関が認められた。また、回帰分析により、式 (6) が得られた。

$$E_1(\theta) = 0.02|\theta| + 0.43 \quad (6)$$

- 相手のミドル付近に打球した場合
相関分析を行ったところ、相関係数 $R = 0.16$ となり、両者の間にはほぼ相関がないことがわかった。

実験データと式 (5)(6) を重ねたグラフを図 12 に示す。この図から、相手に向かって右側に打球したときの回帰直線が左側に打球したときより高い位置にあることがわかる。つまり相手のフォア側よりバック側に打球した方が返し辛いと考えるプレイヤーが多いことが窺える。よって有効なコースのモデルには相手のフォア側に打つかバック側に打つかが影響する可能性がある。

また、 $|\theta(0)| < \phi$ 、つまりミドル付近で相関が見られなかった理由として、本実験の被験者には実力に差があり、ミドルを有効とらえていなかった、もしくは実験時にミドルに返球することを意識できていなかった被験者が少なからず存在した可能性がある。そこで、ミドルの有効性を説明した上で、もう一度再実験を行なう必要があると考える。

相手が打球時に移動していた場合

図 7 と 10 を見比べると、相手が打球後右側に移動している図 10 の方が、左側のコースの評価値が高いことがわかる。また、図 9 と 11 を見比べると、相手が打球後左側に移動している場合の方が、右側のコースの評価値が高いことがわかる。これらより、有効なコースは相手の移動方向と逆のコースを突くことであるという提案モデルの正しさが示唆される。

4.2.2 打球方法による返し辛さの違い

打球方法による返し辛さの違いに関する質問の回答結果を表 1 に示す。

返球方法がスマッシュの場合は選択肢 2 が、ブロックの場合は選択肢 3 が一番多い結果となった。また、全体の 8 割以上の状況において、A ~ F に打ったときその点数の大小はあるものの、返し辛さの順序は打球方法の違いによ

表 2 点数を付けた際の基準とその人数（複数回答可）

点数を付けた際の基準	人数
相手の位置（相手のいないコース）	12 名
相手の（打球後の）動き	11 名
相手のミドルの位置	2 名
自分の打球が相手コートに渡る時の角度	1 名
相手スイングの大きさ	1 名

て変わらないという結果が得られた。一方で、この質問の半分以上の項目で点数も順序も変わってしまうと回答した被験者 4 名に対し追加でインタビューを行い、どのように順番や点数が変わるのかを聞いた。その結果、「球の回転量によって球の軌道が変化するため前後（ $A \leftrightarrow D$, $B \leftrightarrow E$, $C \leftrightarrow F$ ）で返し辛さの順番が変わってしまうときがある」と答えた被験者が 4 名中 3 名であった。このことより、コースによる返し辛さは返球方法が変わっても θ の大きさによって決定される値であり、提案した有効なコースのモデルは妥当性が高いと考えられる。

4.2.3 返し辛さを判断する基準

被験者に行った、点数を付けた際の基準に関するインタビュー結果を表 2 に示す。被験者のほぼ全員が、返し辛さを決める際に相手の位置や相手の動きに注目していることがわかる。一方で、相手のミドルの位置を基準にしたと答えた被験者が 2 名しかいなかったことから、ミドルを意識していた被験者が少なく、そのためミドル付近の返し辛さに対しては相関が得られなかった可能性があると考えられる。

5. おわりに

卓球の中級者が有効なコースを理解しているにも関わらず、実際のプレーでは有効なコースの判断に時間がかかってしまいコースを突けない、という問題がある。本稿ではこの問題を解決するために、瞬間的判断を訓練することを目的とし、実際の練習中に有効なコースに打球できなかったとき、その直後に有効なコースの情報を可視化し、そのコースが有効でない理由を提示するシステムを提案した。さらに、システムを実現するために必要である有効なコースのモデル化を行った。このモデルは、相手の位置、相手の移動速度、自分の位置の 3 要因からなり、自分の位置から見て相手のいる方向と自分が打球する方向がなす角 θ の大きさによってコースの有効度が決まる。

また、この有効なコースのモデルの妥当性を検証することを目的とした評価実験を行った。その結果、自分の位置から見て相手のミドル付近に打球することに関しては全く妥当性を示すことができなかったが、相手から遠いところに打球することに対しては妥当性を示すことができた。また相手の移動速度について、相手の移動方向と逆のコースを突くことが有効であるということも確認できた。

今後の課題は、提案モデルに基づき通知や提示を行なう提案システムの実装を行い、瞬間的判断の訓練が行えるか検証を行うことである。

参考文献

- [1] Doh stadium plus, Level playing field(online), 入手先 (<http://www.sohastadiumplusqatar.com/level-playing-field/>) (2014.02.19).
- [2] 吉田和人, 牛山幸彦, 蛭田秀一, 井上伸一, 前原正浩, 野平孝雄, 萩村伊知朗, “卓球の実践場面における戦術に関する情報収集伝達システムの開発—日本卓球協会国際競争力向上プロジェクトにおけるコンピュータを用いたゲーム分析—”, 静岡大学教育学部研究報告(自然科学篇), 第 48 号, pp.101-110, 1998.
- [3] 志田長, 鈴木浩之, “ピエゾ素子を用いたボール落下位置測定装置の試作”, 山形県立産業技術短期大学校紀要, 第 19 号, pp.13-16, 2013.
- [4] 高島規郎, 卓球戦術ノート, 卓球王国ブックス, 2001.
- [5] 高島規郎, 続 卓球戦術ノート, 卓球王国ブックス, 2012.