

卓球においてサービスがラリーに与える影響の定量化

玉城 将*, 吉田 和人**

Quantification of the effect of table tennis services on rallies

Sho TAMAKI*, Kazuto YOSHIDA**

要 旨

卓球熟練者の試合では、サービス直後はサーバー有利の状況が生じやすい。ただし打球を重ねる毎にそのようなサービスの影響は小さくなり、どちらが有利とも言えない局面に移行すると考えられている。ラリー中に変容するサービスの影響は卓球の競技特性を考える上で、あるいは卓球選手のサービス技術および戦術を評価する上で重要な情報であるが、これまで定量的に示した研究はみられない。本研究では、サービスの影響が無い場合は全ての打球で一定の割合で返球失敗が生じ、ラリー中の打数の分布は幾何分布に従うという統計的性質を利用し、サービスの影響を定量化する。分析対象はワールドクラスの男子選手25名が行うシングルス31試合(2,442ラリー)とした。サービスの影響は、打球を重ねることによる得点率と失点率の変化、および返球失敗までの打数の分布と幾何分布との類似度を用いて分析した。その結果、サービスとサービスレシーブは他の打球と比較して得点率と失点率が顕著に低く、返球失敗までの打数の分布と幾何分布との類似度は打球を重ねる毎に高くなりサービスから4球目にはほぼ一致した。この結果より、サービスはサービスレシーブの得点率を低下させる影響があり、その影響は打球を重ねる毎に減少し、サービスから4球目には非常に小さくなると考えられた。

キーワード：卓球, サービス, データ分析

Abstract

In matches by skilled table tennis players, servers take advantage of a service to score a point. Rallies are thought to enter a phase that no one has obvious advantages after several shots performed, because the effect of services would decrease at every time players shot. Although services' such behaviour is important to understand the characteristics of table tennis and players, no study showed it in quantitative way. The current study quantified the effect of service on the basis of the statistical behaviour that the number of shots in a rally would follow geometrical distribution if the effect of service does not exist. Thirty one singles matches, which played by world's top twenty five male athletes, were analysed. Effect of service was analysed with changes of scoring rate and losing rate by increasing shots, and the similarity between the observed frequency distribution and simulated geometrical distribution of the number of shots in a rally. As a result, the scoring rate and losing rate of service and service receive are notably lower than other shots. In addition, the similarity between the observed frequency distribution and simulated geometrical distribution of the number of shots in a rally becomes higher every time players shot. It was concluded that the effect of service is to lower the scoring rate of service receive and the effect becomes smaller every time players shot and almost vanished at the fourth shot.

* 名桜大学人間健康学部 〒905-8585 沖縄県名護市字為又1220-1 Faculty of Human Health Science, Meio University, 1220-1, Biimata, Nago, Okinawa 905-8585, Japan

** 静岡大学大学院教育学領域 〒422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷836 College of Education, Academic Institute, Shizuoka University, Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, Shizuoka 422-8529, Japan

Keywords: table tennis, service, data analysis

I. 緒言

卓球熟練者の試合では、サービス後にサーバー有利の状況が生じやすい。吉田ら (2014) は、シングルス149試合 (12,428ラリー) の分析結果から、サーバーの得点率は約55%であり、統計的に有意にサーバー側が多く得点していることを報告している。しかし、卓球ではサーバーが著しく優位な展開になることを避けるルールが存在する。例えばサービスは自領コートと相手コートで2回バウンドさせ、且つインパクトの瞬間が対戦相手に見えるように打ち出す必要がある (ITTF, 2017)。このルールよりサービスの速度は制限され、テニスのように速いサービスを打ち出すことによって得点することは難しい。吉田ら (2014) の報告は、そのようなルールが存在するにも関わらず、サービスは卓球における得点に重要な影響を与えていることを示すものである。

卓球ではサービスの影響に着目した競技力の統計的な分析が多く行われている。Wu and Li (1992) は卓球のラリーを①サービス直後 (attack after service), ②レシーブ直後 (attack after receive), ③ラリー (rally) の3つの局面に分け、各局面の出現傾向や得点傾向に基づいて選手の競技力を分析している。もしサービスのラリーに与える影響が他の打球と同程度である場合、サービスを基準とした局面分けは意味をなさない。つまり、この局面分けはサービスの影響度に着目したものであり、各局面は①サーバーに対するサービスの影響が強い局面、②レシーバーに対するサービスの影響が強い局面、③サービスの影響が弱い局面、を意味すると考えられる。Wu and Li (1992) の提案した局面分けは卓球を対象とした分析で広く用いられている (Hao et al., 2010; Hsu, 2010; Hsu et al., 2014)。Zhang et al. (2013) は Wu and Li (1992) の方法をベースとした分析方法を用いてシングルス244試合を分析し、中国代表選手の卓越した得点力を定量化している。また、各打球番号 (サービスを1, サービスレシーブを2と数えるラリー中の打球の番号) における得点傾向、失点傾向を分析する方法も提案されている (Tamaki et al., 2017)。この方法も打球番号に着目している点で、本質的にはサービスの影響に着目している。

サービスの影響を暗黙的に仮定する研究が多くみられる一方、サービスの影響とは何かを定量的に解析した研究はみられない。例えば Wu and Li (1992) の定義したラリーの局面は、サービスの影響が打球を重ねる毎に小さくなることを仮定している。しかし、その影響の変化、例えばサービスから何度打球を重ねるとサービスの影響

が十分に小さくなるかについては未解明である。すなわち、卓球で広く用いられている Wu and Li (1992) の示した局面分けの妥当性は統計的に不明瞭である。また、もしサービスの影響やラリー中におけるその変容の仕方を定量化することができた場合、他競技と比較した卓球の競技特性を理解する上で、さらには卓球選手のサービスに関連した技術および戦術を評価する上で有用な情報となり得る。

本研究では、サービスの影響が無い場合は全ての打球で一定の割合で返球失敗が生じ、ラリー中の打数の分布は幾何分布に従うという統計的性質を利用し、サービスの影響を定量化する。ただし分析対象はカット型 (日本卓球協会編, 2012) を除く世界ランキング50位以内の男子選手によるシングルの試合とする。卓球試合中のラリーにおける得点傾向はプレースタイルおよび男女間で明らかに異なり、カット型はサービス直後の得点率が低く、男子選手はサービス直後に得点することが多い (吉田ら, 2014)。また、サービスがラリーに与える影響は競技水準によって異なる可能性がある。本研究では特にサービスがその後のラリーに強く影響を与えられらるカット型を除き、さらに国際大会で活躍する男子選手の試合に限定して分析し、その定量化の1事例を示すことを目指す。

II. 方法

1. 対象

2012年のロンドンオリンピックで行われた試合から世界ランキング50位以内の男子選手同士が行う31試合を分析対象として選択した。分析対象試合を行う選手は計25名であり、同一選手が行う試合数は最大7であった。分析選手にカット型 (日本卓球協会編, 2012) は含めないこととした。なお、世界ランキング50位以内の男子選手の中でカット型選手は3名 (6%) であった。31試合におけるラリー数 (レットを除く) は2,442本であった。

2. 情報収集

分析対象試合の映像を観察しながら、各ラリーについてサーバー、レシーバー、得点者、失点者、得点打の打球番号を記録する。得点打の打球番号に1を加えた数字が失点打の打球番号となる。

3. 分析項目

1) 打球番号毎の得点率と失点率

情報収集を通して得られた情報を集計し、各選手が各

打球番号で何回得点したか、何回失点したかを算出する。ここで、得点打の打球番号 i の打数 S_i 、サーバーを p_{sv} 、分析対象者を p_{tr} 、対戦相手を p_{op} 、得点打の打球番号を n_{sc} 、条件を満たすラリー数を数える関数を f_{cnt} (条件) と表記すると、打球番号 i の打数 S_i は以下の式で求められる (Tamaki et al., 2017)。

if i is odd,

$$S_i = f_{cnt}(p_{sv} = p_{tr} \cap n_{sc} \geq i - 1) \quad (1)$$

if i is even,

$$S_i = f_{cnt}(p_{sv} = p_{op} \cap n_{sc} \geq i - 1) \quad (2)$$

卓球では選手が交互に打つため、分析対象者がサーバーの場合 ($p_{sv} = p_{tr}$)、この選手が打つのは必ず奇数番目である。さらに、打球番号 i がラリーが終了した打球番号 ($n_{sc} + 1$) 以下の場合 ($n_{sc} \geq i - 1$)、そのラリーにおいて打球番号 i は存在している。数式(1)はこの条件を示している。例えば得点打の打球番号が9の場合、打球番号11は存在しない ($9 \geq 11 - 1$ は成り立たない) が、9以下の奇数の打球番号は存在する ($9 \geq i - 1$ ($i \leq 10$) は成り立つ)。他方、サーバーが対戦相手の場合 ($p_{sv} = p_{op}$)、分析対象選手が打つのは必ず偶数番目である。そして、打球番号 i がラリーが終了した打球番号 ($n_{sc} + 1$) 以下の場合 ($n_{sc} \geq i - 1$)、そのラリーにおいて打球番号 i は存在している。例えば得点打の打球番号が4の場合、打球番号6は存在しない ($4 \geq 6 - 1$ は成り立たない) が、4以下の偶数の打球番号は存在する ($4 \geq i - 1$ ($i \leq 5$) は成り立つ)。数式(2)はこの条件を示している。以上によって求めた打球番号毎の打数、得点数、失点数より、打球番号毎に得点率 (打数に占める得点数の割合)、失点率 (打数に占める失点数の割合) を計算できる。打球番号によっては打数が非常に少なくなり、得点率および失点率が極端な値を取る場合がある。打球番号6以降は打数が10以下になる試合が45%と多かったため、レシーバーの打球については打球番号6以降を、サーバーの打球については打球番号7以降をそれぞれまとめて集計することとした。以降、レシーバーによる打球番号6以降の打球を「 ≥ 6 」、サーバーによる打球番号7以降の打球を「 ≥ 7 」と表記する。試合単位で計算された各打球番号の得点率と失点率は選手毎に平均化する。その際、平均打数が少ない場合、得点率や失点率は極端な値を取ることが多いため、平均打数が10未満の選手は分析対象から除外した。除外されたのは打球番号5が1名、 ≥ 6 が3名、 ≥ 7 が4名であった。

以上によって算出された各選手の打球番号毎の得点率と失点率に基づき、サービスがラリーに与える影響について分析する。もし、サービスがその後のラリーに与える影響が無ければ、異なる打球番号の間で得点率や失点率に大きい差異は無いはずである。すなわち、打球番号

間で得点率や失点率に差異が認められる場合、サービスが何らかの影響を与えたと考えられる。また、各打球番号の間で平均値を比較することで、サービスが各打球番号にどのような影響を与えているかを分析できる。

2) 幾何分布との適合度

サービスによる影響の変化を定量化する。サービスによる影響が無い場合、ラリー中の打球は返球失敗および返球成功が一定の割合で生じるベルヌーイ試行となり、返球失敗までに要した打数、つまり失点打の打球番号の分布は幾何分布に従う。つまり失点打の打球番号の度数分布 (以下、「失点打の分布」という) が幾何分布と類似するほど、サービスの影響は小さいと考えられる。サービスによる影響が有る場合、失点打の分布は幾何分布とは類似しないが、サービスの影響が小さくなる時点からは類似度が高くなると考えられる。そこで、「打球番号 s 以降の失点打の分布」と幾何分布の適合度について、 s を1から5まで変化させた場合のそれぞれで算出し、打球を重ねるにつれてサービスの影響がどのように変化するかを分析する。分布間の適合度についてはHellinger距離を用いて計測する。失点打の分布を x_1 、幾何分布を x_2 としたとき、Hellinger距離 $d(x_1, x_2)$ は以下の数式で計算できる。

$$d(x_1, x_2) = \sqrt{\sum_i^n (\sqrt{x_{1i}} - \sqrt{x_{2i}})^2} \quad (3)$$

ただし x_1 と x_2 はそれぞれ $\sum x_1 = 1$ 、 $\sum x_2 = 1$ に正規化する。Hellinger距離は度数分布間の差異を1次元の数値で表す指標の1つであり、値が小さいほど適合度が高いことを示す。

4. 統計解析

打球番号間の得点率および失点率の平均の差についてはKruskal-Wallis検定を用いて検定する。もし打球番号による有意な差異が認められた場合、マンホイットニーのU検定を用いて多重比較を行う。第 s 打以降の失点打の分布における s と幾何分布の間のHellinger距離の関係についてはスピアマンの順位相関係数を用いて検定する。全ての検定において危険率5%未満をもって有意とする。多重比較ではHolm法により有意水準を調整した。統計処理はScipy ver.0.19.1を用いて行った。

III. 結果

1. 打球番号毎の得点率と失点率

得点打の打球番号の分布を図1、打球番号毎の得点率と失点率を図2、多重比較の結果を表1に示した。

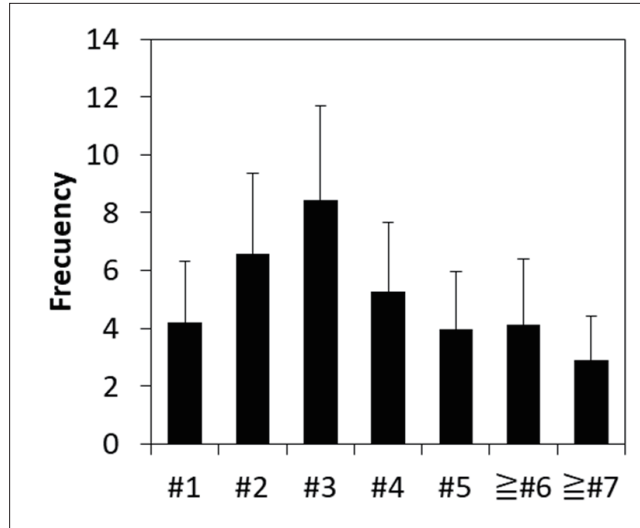


図1 得点打の打球番号の分布
「#」付きの数字は打球番号を示す

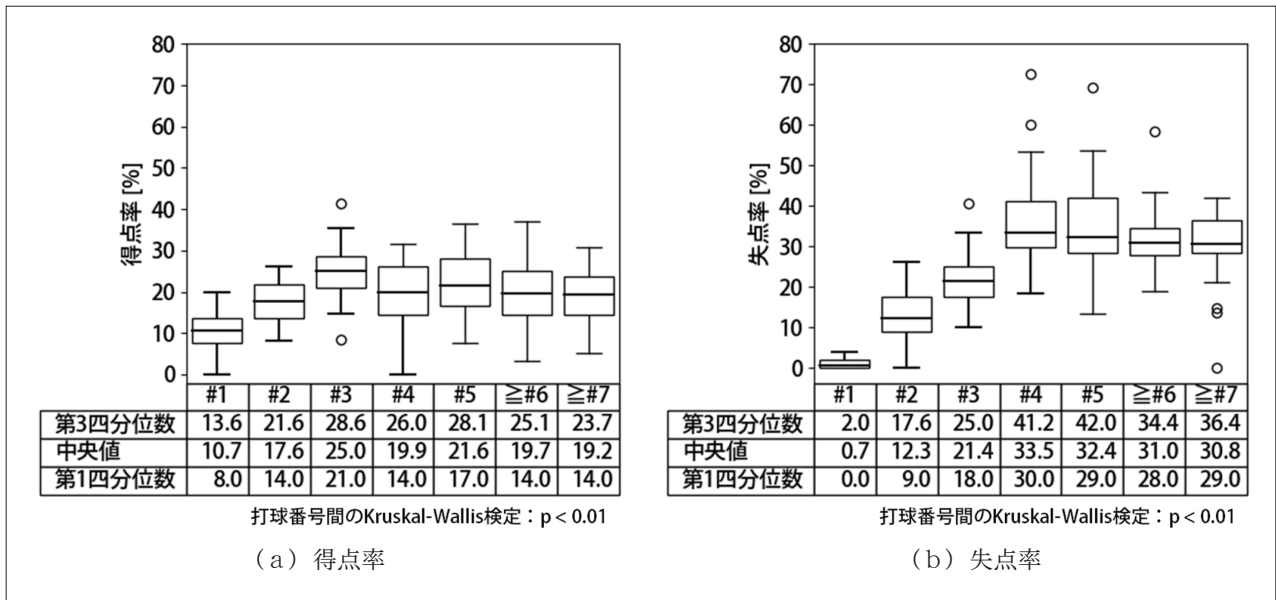


図2 打球番号による得失点傾向の変化

「#」付きの数字は打球番号を示す。箱中の線は中央値、箱の下端は第1四分位数、箱の上端は第3四分位数、ひげの端は範囲 [第1四分位数 - 1.5 × 四分位数, 第3四分位数 + 1.5 × 四分位数] を示し、この範囲を外れた値は外れ値として丸で示している。

表1 異なる打球番号間における平均値の差

| | 得点率 [%] | | | | | | | 失点率 [%] | | | | | | | |
|-----|---------|--------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | ≥#6 | ≥#7 | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | ≥#6 | ≥#7 | |
| #1 | - | -6.93* | -14.29** | -9.19** | -10.91** | -8.90** | -8.52** | #1 | - | -11.62** | -20.76** | -32.86** | -31.72** | -30.29** | -30.1** |
| #2 | 6.93* | - | -7.35** | -2.25 | -3.98 | -2.05 | -1.58 | #2 | 11.62** | - | -9.15** | -21.24** | -20.1** | -18.67** | -18.49** |
| #3 | 14.29** | 7.35** | - | 5.1 | 3.38 | 5.3 | 5.77* | #3 | 20.76** | 9.15** | - | -12.09** | -10.95** | -9.52** | -9.34** |
| #4 | 9.19** | 2.25 | -5.1 | - | -1.72 | 0.2 | 0.67 | #4 | 32.86** | 21.24** | 12.09** | - | 1.14 | 2.57 | 2.75 |
| #5 | 10.91** | 3.98 | -3.38 | 1.72 | - | 1.92 | 2.39 | #5 | 31.72** | 20.1** | 10.95** | -1.14 | - | 1.43 | 1.61 |
| ≥#6 | 8.99** | 2.05 | -5.3 | -0.2 | -1.92 | - | 0.47 | ≥#6 | 30.29** | 18.67** | 9.52** | -2.57 | -1.43 | - | 0.18 |
| ≥#7 | 8.52** | 1.58 | -5.77* | -0.67 | -2.39 | -0.47 | - | ≥#7 | 30.1** | 18.49** | 9.34** | -2.75 | -1.61 | -0.18 | - |

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

Kruskal-Wallis検定の結果、得点率、失点率ともに打球番号間に有意な差異がみられた。得点率に関する多重比較の結果、打球番号1（サービス）は打球番号2, 3, 4, 5, ≥ 6 , ≥ 7 と比較して有意に低かった。打球番号2は打球番号3と比較して有意に低く、その他の打球番号との間に有意な差異はみられなかった。打球番号3は打球番号 ≥ 7 と比較して有意に高かった。打球番号4, 5, ≥ 6 , ≥ 7 は、それぞれの間で有意な差異はみられなかった。失点率に関する多重比較の結果、打球番号1は打球番号2, 3, 4, 5, ≥ 6 , ≥ 7 と比較して有意に低かった。打球番号2は打球番号3, 4, 5, ≥ 6 , ≥ 7 と比較して有意に低かった。打球番号3は打球番号4, 5, ≥ 6 , ≥ 7 と比較して有意に低かった。打球番号4,

5, ≥ 6 , ≥ 7 は、それぞれの間で有意な差異はみられなかった。

2. 幾何分布との比較

打球番号2以降、3以降、4以降の失点打の分布と幾何分布の比較を図3に示した。分布間のHellinger距離はそれぞれ0.128, 0.069, 0.025であった。「打球番号s以降の失点打の分布」と幾何分布のHellinger距離について、sを1から5まで変化させた場合の値を図4に示した。分布開始の打球番号sとHellinger距離の間には統計的に有意で極めて強い負の相関がみられた ($r = -0.99$, $p < 0.01$)。

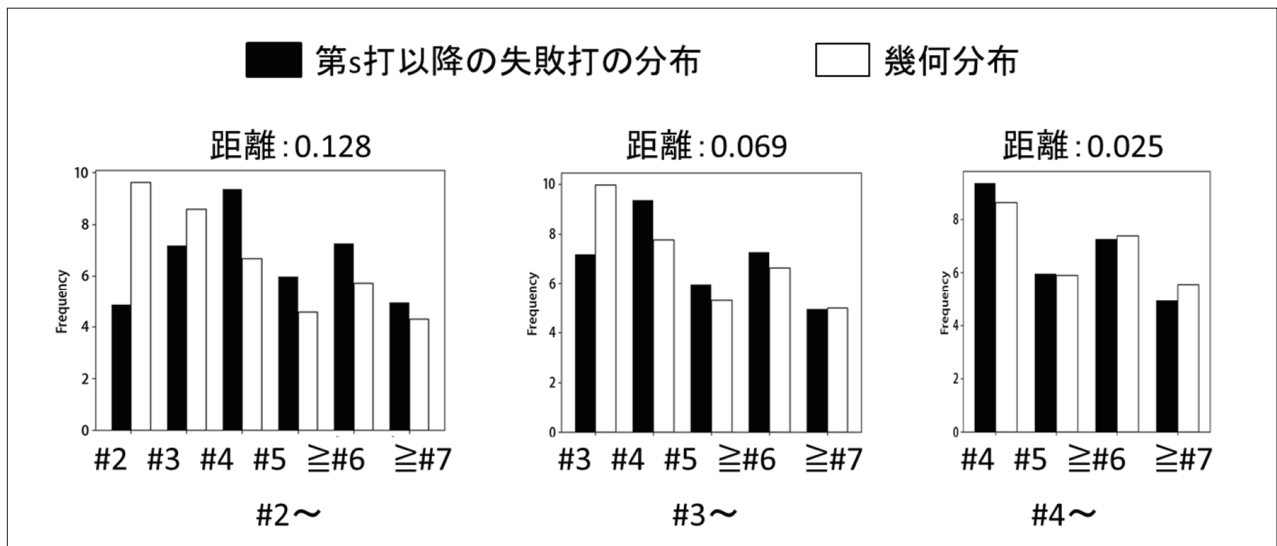


図3 失敗打の分布と幾何分布の比較
「#」付きの数字は打球番号を示す

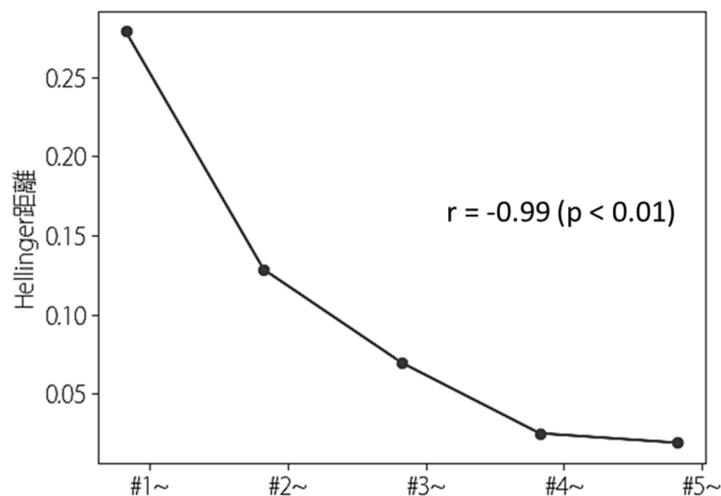


図4 Hellinger距離の変化
「#」付きの数字は打球番号を示す

IV. 考察

1. サービスにおける得失点傾向

サービス自体の得点率、失点率は他の打球と比較して顕著に低かった(図2, 表1)。特に失点率は中央値が0.7%と非常に低い。失点のリスクを負って攻めることは、スポーツでは一般的にみられる戦術であるが、卓球のサービスではほとんどみられない。このことは、卓球のサービスでは失点のリスクを高めた分だけ得点率を高くすることが難しいことを示唆している。得点期待値が十分に高くなければ、失点のリスクを負うべきではないことは明らかである。卓球ではルール上サービスで直接得点することが難しいため、サービスで積極的に得点を取ることを狙うトップ選手がほとんどおらず、多くのトップ選手はサービスにおいて失点のリスクを負うことを避けているものと推察される。この結果は、サービスエースを取ることが難しいため卓球選手は主にサービスが返球された後の戦術を考える必要があることも示唆している。

2. サービスの影響

打球番号毎に得点率および失点率は顕著に異なり、サービスはその後のラリーに対して影響を与えていることが明らかとなった。異なる打球番号の間で得点率と失点率を比較した結果、サービスを除くと打球番号2(以下、「サービスレシーブ」という)の得点率と失点率、打球番号3の失点率が低かった。サービスレシーブはレシーバー、打球番号3はサーバーの打球である。打球番号3はサービスレシーブに続く打球であるため、打球番号3の失点率が低いことはサービスレシーブの得点率が低いこととほぼ同義である^{注1)}。このことを踏まえてサービスの影響を整理すると「サービスレシーブの失点率を低くすること」、「サービスレシーブの得点率を低くすること」の2つと推察される。サービスレシーブの失点率が低いことは、サービスの得点率を高くすることが難しいルールに由来するものである。サービスレシーブの得点率が低いことは、このことから直接導かれる特徴ではない。サービスの得点率が低いこととサービスレシーブの得点率が高いことは異なる現象であり、両立し得る。すなわち、これは打ち出されたサービスの性質がサービスレシーブの得点率を低くしていることを示しており、ラリーに与えている影響であると考えられる。打球番号3の得点率を低くする影響が全くみられないことを踏まえると、サービスはレシーバーの得点率を抑えつつ、次のサーバーの打球では少なくとも打球番号4以降の打球と同程度に得点し易い状況を作り出していると言える。以上が卓球のサービスがその後のラリーに与える影響である。

この結果と前述したサービスに関する考察を併せて考えると、なぜサービスがそのような影響を与えるか、あるいはそのような影響を与えるサービスが打ち出されているかが理解できる。サービスエースを取ることがルール上の制約から難しい場合、その後のラリーで得点し易くすることを目的とした戦術が自然と多く選択される。また、自身が得点し易いだけでなく、対戦相手が得点し難いことも同様に重要である。そのため、レシーバーの得点率を低くし、且つ自身の次の打球の得点率は低くない工夫がされていると考えられる。すなわち、サーバーはサービスによって意図的にサーバー側のみが得点し易い局面を作り出していると考えられる。

本研究で対象とした男子選手25名が平均的に、サービスによってこのような局面を作り出すことに成功している点にも着目すべきである。卓球ラリー中の得点に関わる要素は時間、空間、回転の3つと言われている(吉田, 2007)。サービスはルール上、2回バウンドさせなければいけないが、このことにより強く制限される要素は速度、すなわち時間と空間である。このことが直接的に得点を取ることを非常に難しくしていることは、サービスの得点率が低いことから明らかである。一方、回転に関する制限は時間と空間と比較して大きくない。摩擦係数の高い素材を貼付したラケットで極めて軽いボールを打ち合う卓球では、回転が得点に与える影響が強いと考えられている。また、卓球では回転の判別を難しくするようにサービスを打ち出す技術も存在する(吉田ら, 1995)。これらのことを踏まえると、卓球ではサービスの回転を巧みに操作することにより、サービスレシーブの得点率を抑え、打球番号3の得点率を高めることが可能であり、多くのトップ選手はこの戦術を取っていると推察される。

3. サービスの影響はどのように変化するか

サービスが得点率や失点率に与える影響は、打球を重ねる毎に顕著に小さくなり、打球番号4以降の失点打の分布は幾何分布とほぼ一致することが明らかになった。この結果は、得点率および失点率の分析結果とも一致する。サービスによって作られたサーバー有利の局面は打球番号3までにほぼ消失し、打球番号4からはサービスの影響の小さい、どちらが有利とも言えないラリーが始まることが多いことが明らかとなった。Wu and Li (1992)は打球番号5以降を全てラリー局面と一括りにしている。今回の結果からは打球番号5以降は確かにサービスの影響が十分小さく、選手全体の特徴を分析する上では一括りにしても問題はないと考えられる。

本研究で用いたサービスの影響を定量化する方法は、選手のサービスに関するパフォーマンスを評価する手法としても利用できる可能性がある。サービスがラリーに

与える影響は、当然、選手のサービス技術および戦術に強く依存する。選手によってサービスの影響が打球番号4以降も残り続ける可能性は十分にある。すなわち、サービスの影響が強いかどうか、そしてどの程度保ち続けられるかといった観点から選手のパフォーマンスを分析する指標となり得る。本研究では個々の選手を対象とした分析はできなかった。今後、さらに分析試合数を増やし、選手を分析する指標としての妥当性についても検討を進めたい。

V. まとめ

本研究では卓球のサービスがその後のラリーにおける得点に与えている影響の定量的な評価を試みた。ロンドンオリンピックにおける男子選手25名の31試合を対象とした分析を通して、以下のことが明らかとなった。

- (1) サービスの得点率と失点率は他の打球番号と比較して顕著に低い
- (2) サービスはサービスレシーブの得点率を低くする
- (3) サービスの影響は打球を重ねる毎に小さくなり、サービスから数えて4球目には非常に小さくなる

これらはサービスに関するルールや、回転が得点に強く影響することが影響したものと推察されたことから、卓球の競技特性の1つであると考えられる。分析試合数を増やし、サービスの影響に基づいた選手のパフォーマンス分析が可能かについて検討を進めることが今後の課題である。

謝辞

本研究は名桜大学総合研究所2016年度（平成28年度）新規採用者助成を受けたものです。

注

注1) 打球番号2の得点数と打球番号3の失点数は同じ値だが、打球番号3の試行数は打球番号2の試行数から失点数を引いた値となるため、打球番号2の得点率と打球番号3の失点率は一致しない。特に打球番号2の失点数が極端に大きい場合、打球番号3の失点率は打球番号2の得点率とは大きく異なる値を取り得る。しかし、打球番号2の失点数とは打球番号1、つまりサービスの得点数であり、「サービスでの得点を抑える」という卓球のルールが存在する限り、この値はほとんどの場合で極端に大きくならない。そのため、打球番号2の得点率と打球番号3の失点率を「ほぼ同義」と表現している。

参考文献

- Hao, Z., Tian, Z., Hao, Y., Song, J. (2010) Analysis on Technique and Tactics of Lin Ma and Hao Wang in the Men's Single Table Tennis Final in the 29th Olympic Games. *International Journal of Table Tennis Science*, 6: 74-78.
- Hsu, M. H. (2010) A Study on the Technical Analysis and Attack-Defense Performance of Men's Top Four Single Players in 2008 Olympic Games. *International Journal of Table Tennis Science*, 6: 248-260.
- Hsu, M. H., Chen, Y. F., Wang, S. C. (2014) Offense - Defense Mode Analysis of the World Top Male Table Tennis Player - A Case Study by Chuang Chi-Yuan Who Participated in 2012 London Olympic Male Single Games. *Journal of Science and Innovation*, 4 (2) : 41-50.
- ITTF (2017) ITTF Handbook. http://www.old.ittf.com/itf_handbook/itf_hb.html, (accessed 2017-09-20)
- 日本卓球協会編 (2012) 卓球コーチ教本. 大修館書店: 東京, p. 220.
- Tamaki, S., Yoshida, K., Yamada, K. (2017) A shot number based approach to performance analysis in table tennis. *Journal of Human Kinetics*, 55: 7-18.
- Wu, H., Li, Z. (1992) Research on Technical Diagnosis Method for Table Tennis Players. *International Journal of Table Tennis Sciences*, 1: 99-103.
- 吉田和人 (2007) 卓球におけるボールの回転操作. *バイオメカニクス研究*, 11 (3) : 220-228.
- 吉田和人, 蛭田秀一, 島岡みどり, 竹内敏子, 油座信男 (1995) 卓球サービスの3次元解析～回転の異なるサービスにおける動作について～. 第12回日本バイオメカニクス学会大会論文集 生体・運動のシステム: 294-299.
- 吉田和人, 山田耕司, 玉城将, 内藤久士, 加賀勝 (2014) 卓球のワールドクラスの試合におけるラリーの特徴—ラリー中の打球回数に着目して—. *コーチング学研究*, 28 (1) : 65-74.
- Zhang, H., Liu, W., Hu, J. J., Liu, R. Z. (2013) Evaluation of elite table tennis players' technique effectiveness. *Journal of Sports Sciences*, 31 (14) : 1526-1534.