Nagoya J. Health, Physical Fitness, Sports Vol.40, No.1 (June 2017)
DOI: 10.18999/njhpfs.40.1.37

テニスサービス打球音にみられる特徴
―世界のトップ選手を対象として―

Characteristics of impact sounds in tennis service among top-level players

張　点　雨*　　横　山　慶　子**　　山　本　裕　二**

Dianyu ZHANG*　　Keiko YOKOYAMA**　　Yuji YAMAMOTO**

The purpose of this study was to identify the characteristics of impact sounds in tennis service and to clarify the common and unique characteristics among 8 top-level tennis players. The sound data was obtained from the matches in The Championships, Wimbledon 2016, and the waveforms of impact sounds in service for 8 male top-level players were collected. The results showed that impact sounds in service had common characteristics of waveforms, which were eight peaks, three clusters in the eight peaks, and the same inter-peaks intervals between both court sides among 8 players, regardless of speed of service, ball direction or other factors which may affect the audio components. Also each player showed his own unique characteristics on the amplitude and duration of the impact sounds.

1　序

近年、テニスの試合における聴覚情報に関する研究が報告されている。例えば、Takeuchi（1993）は、耳栓をすることにより試合全体の音を遮蔽すると、プレーヤーの試合成績が低下したという結果を報告している。また、Farhead and Punt（2015）は、Sharapova 選手の同じサーブシーンに対して、打球音のみ呈示される場合より、打球音に唸り声を加えて呈示される場合の方が、相手の球速判断成績が低下したという結果を導き出した。このような研究から、テニスの試合における聴覚情報は重要な役割を果たしていることが示唆される。しかしながら、これらの研究は、いずれも打球音がパフォーマンスに及ぼす影響を調べたもので、打球音それ自体の波形特徴についての研究は見当らないのが現状である。

さらに、ラケット振動についての先行研究では、ラケットのガットのテンションの強度、ボールの落下点、球速などあらゆる要素によって、振動波形の振幅および持続時間は変わるが、一定する特徴も存在することがわかっている（Odate, Iwahara, Suzuki, &Nagamatsu, 2006; Valentine, 2012）。したがって、ラケットの振動は打球音と緊密な関係をもつと考えられ、打球音の波形特徴にも振動に相似する部分があると推測した。

そこで、本研究では、サーブのインパクト時における打球音（以後、打球音と呼ぶ）の代表的なパターンを検証し、異なる選手の発した打球音に潜在する各自のサーブ特徴を確認することを目的とした。

2　打球音の特徴検出方法

2.1　目的

打球音の個人差を明らかにするために、試合映像から音声データのみを抽出し、その音声データから各プレーヤーの特徴を検出するための方法を検討することを目的とした。

2.2　方法

2.2.1　材料

2016年ウィンブルドン大会に出場した男性8名のシングルスプレーヤーのサーブにおける打球音を分析対象にした。テレビ放送映像を録画し、その中からサーブにおける打球音のみを抽出した。データを同じ条件で比

＊　名古屋大学大学院教育発達科学研究科
＊＊　名古屋大学総合保健体育科学センター
＊　Graduate School of Education and Human Development, Nagoya University
＊＊　Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

較するために、抽出した音声データから、センターコートで行われた試合において、カメラの遠い側のコートサイドからカメラ側に向けて打たれるサーブを分析対象とした。

この条件に従い、一人につき Deuce サイド15本と Advantage サイド15本の合計30本の音声データが収集された。図１は上に述べたように、試合映像から EDIUS NEO 2.5（Thomson Canopus Co., Ltd）によって切り出された一本のサーブの音声データを示している。

図１a,b はそれぞれ音声データの左右チャネルを表すものである。なお、本研究における音声データの分析には２チャネルに分ける必要がないため、以後の分析の際に、全ての音声データに対して、２チャネルの平均をとり、一本の波形を出力した。（図１c）。

グレーの網掛けの部分が、ボールがラケットに当たったときの打球音（およそ20ミリ秒）であるとして扱った。その前にある波が選手の唸り声と、後半の波が打球音の残響音と推測された。図１が示すとおり、打球音は前後の波より振幅が大きいことがわかる。この特徴に基づき、抽出された音声データからさらに打球音だけを抽出した。

2.2.2　打球音の特徴検出

打球音の特徴を検出するために、以下の二つの手法を実施した。

a.　最大振幅法

抽出された音声データから、最大振幅を検出し、その最大振幅時点を基準に、一人につき15本ずつ（Advantage・Deuce）の波形を重ねた。

b. 第１ピーク法

次に重ねる基準にしたのは打球音の最初のピーク（第１ピーク）であった。本来ならば、音声波形の立ち上がり時点を基準にするのが理想であるが、音声データにはノイズがあるため、音声波形の立ち上がり時点を検出することは難しいと考えられた。そこで、かわりに最初のピークを検出し、この第１ピークを基準に音声波形を重ねた。ここでは、MATLAB（The MathWorks）の findpeaks という関数を用い、検出する音声波形の振幅の閾値を変更しながら第１ピークを検出した。

2.2.3　検出方法の比較

それぞれの方法で重ね合わせた音声波形の振幅最大値を検出し、最大値に対応する時点を中心にし、前後10ミリ秒の範囲を決定した。そして、その範囲内の音声を打球音とした。重ね合わせた15本の音声波形に対して、遅れ時間なしの相互相関行列を求め、その平均値によって、２つの検出方法を比較した。

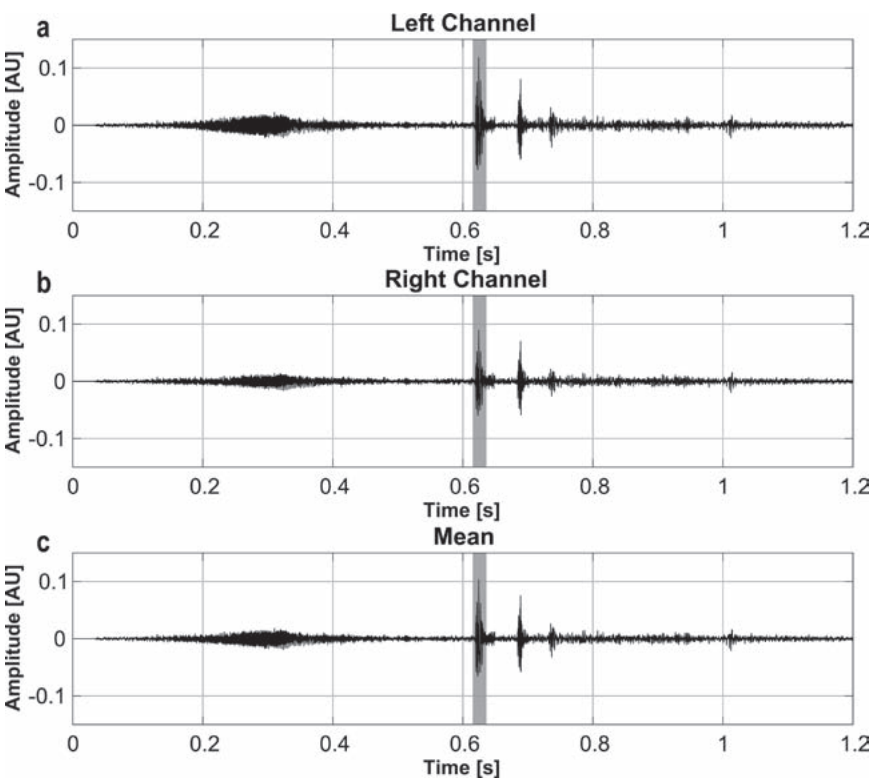

図１：抽出されたおよそ1.2秒にわたるサーブ音声波形の例.

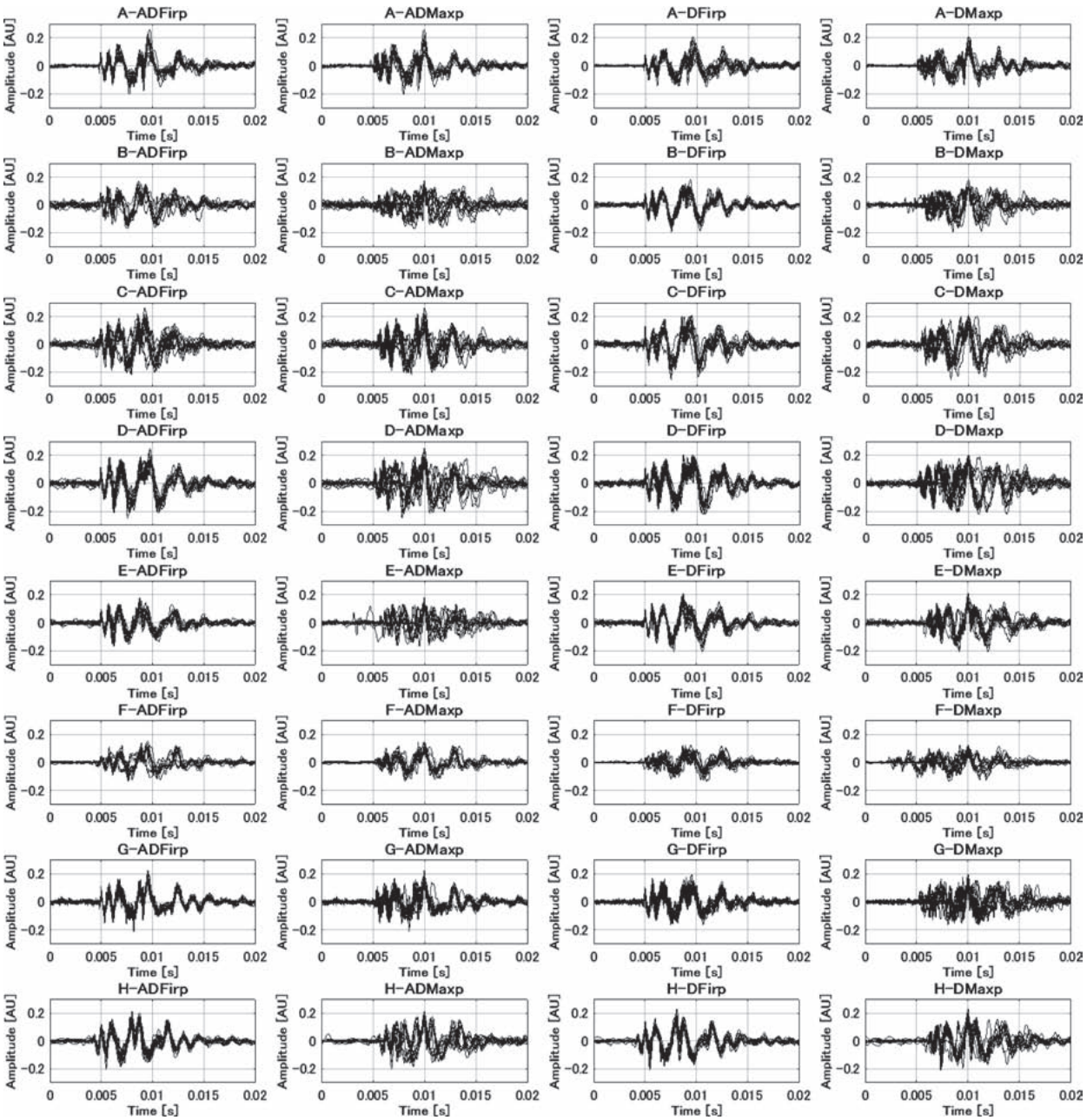

図２：両手法の比較（AD:Advantage Side, D:Deuce Side, 2,4列目：最大振幅法、1,3列目：第１ピーク法）.

2.3　結果および考察

図２は二つの手法によって検出された結果を示すものである。図２の１、３列が第１ピーク法によるもので、２、４列が最大振幅法によって重ね書きされたものである。また図２の１、２列目がAdvantageサイド、３、４列目がDeuceサイドの打球音の重ね書きである。各行が８名の選手のデータである。図からも分かるように、最大振幅法に比べ、第１ピーク法による特徴抽出方法の方が、重ね書きをした場合に波形間のばらつきが小さいと考えられる。

そこで、それぞれの条件に従って15本の打球音の音声波形に関して、遅れ時間なしの相互相関行列を求め、さらにその平均を求めた結果が表１である。８名の選手の両サイドで16ケースのうち、14ケースにおいて第１ピーク法の相互相関の方が高かった。したがって、この第１ピーク法を用いることによって、打球音に共通する特徴とともに、個人間の特徴の違いを検討することができると考えられた。

表１：両手法により得られた相互相関の平均値の比較.

	Advantage		Deuce	
Player	Firp	Maxp	Firp	Maxp
A	0.802	0.745	0.717	0.664
B	0.601	0.224	0.841	0.332
C	0.466	0.527	0.527	0.479
D	0.802	0.366	0.786	0.371
E	0.735	0.208	0.798	0.529
F	0.487	0.674	0.613	0.328
G	0.846	0.626	0.733	0.289
H	0.825	0.317	0.807	0.520

Firp: 第1ピーク法 , Maxp: 最大振幅法

3　打球音の特徴

3.1　目的

ここでは、大会映像から抽出した音声データに基づき、打球音を第１ピーク法によって重ね書きした音声波形をもとに、８名の男子テニスプレーヤーの打球音の特徴を検討することを目的とした。

3.2　方法

3.2.1　対象

対象者は、2016年ウィンブルドン大会に出場した表１に示す男性８名のシングルスプレーヤーである。抽出した打球音は、前節で用いた材料と同じである。打球音の特徴に関係すると思われる対象者のラケットに関する情報は表２に示すとおりである。

3.2.2　データ分析

８名の Advantage サイドおよび Deuce サイドから発された打球音（インパクト前後10ms）の平均値と標準偏差を求めた。そして、ピーク点を検出し、特徴を明らかにするとともに、ピーク間の時間間隔を求めた。また、個人ごとにピーク点の平均振幅を打球音の大きさとし、第１ピークから最終ピークまでの持続時間を打球音の長さとして求めた。さらに、打球音の長さと大きさ、球速間の関係を検討した。なお、本研究は名古屋大学総合保健体育科学センターの研究倫理委員会の承認のもと実施された。

3.3　結果および考察

3.3.1　打球音に共通する特徴

図３は各選手の各サイドでの15本ずつの打球音の平均と標準偏差を示したものである。この平均波形を見ると、各選手に共通して、８個のピークがみられる。

図４は８人のプレーヤーの Advantage 及び Deuce サイドから発された打球音の平均波形における８個のピーク点（・）を示したものである。また、図５は、８個のピーク間の時間間隔を選手間で比較した結果を示した。図５をみると、８個のピークはすべてのプレーヤーに共通して、３つのグループに分けることができる。すなわち、最初の３つのピークと、真ん中の２つのピークと、最後の３つのピークが時間的にすこし離れているのがわかる。したがって、打球音には８つのピークがあり、それらのピークが３つのグループに分かれることがプレーヤー間に共通する特徴といえる。

3.3.2　打球音における個人差

個人間及び個人内における打球音の大きさ（８個のピーク点の平均振幅）について、Advantage サイドと Deuce サイドの各15本の平均を個人の代表値として比較した結果が図６である。Advantage サイドの方が Deuce サイドよりも大きかった選手が５名で、残りの３名は Deuce サイドの方が Advantage サイドよりも大きかった。また、もっとも打球音が大きかったのは、D 選手で、最も小さかったのは F 選手であった。したがって、打球音の大きさに関しては、個人内と、個人間ともに違いがみられた。

また、図７a は打球音の長さ（第１ピークから最終ピークまでの時間）について、Advantage サイドと Deuce サイドの各15本の平均を個人の代表値として、選手間で比較した結果を示したものである。振幅と同じように、個人内、個人間に違いがみられた。Advantage サイドの方が Deuce サイドよりも長かった選手が３名、残りの５名

表２：各選手のラケット情報（出典：http://www.tennis-warehouse.com/playersATP.html）

No.	Name	String Tension (pounds)	Stiffness (Babolat RDC scale)	Swingweight (g)	String Pattern (Mains/Crosses)	Ballspeed (mph)
1	A	48-57	63	322	18/20	116
2	B	48-57	67	332	16/19	122
3	C	50-65	66	334	16/20	121
4	D	48-58	68	335	16/20	113
5	E	47-57	64	327	18/20	120
6	F	50-60	68	335	16/19	108
7	G	48-57	59	325	16/19	106
8	H	50-60	71	331	16/19	109

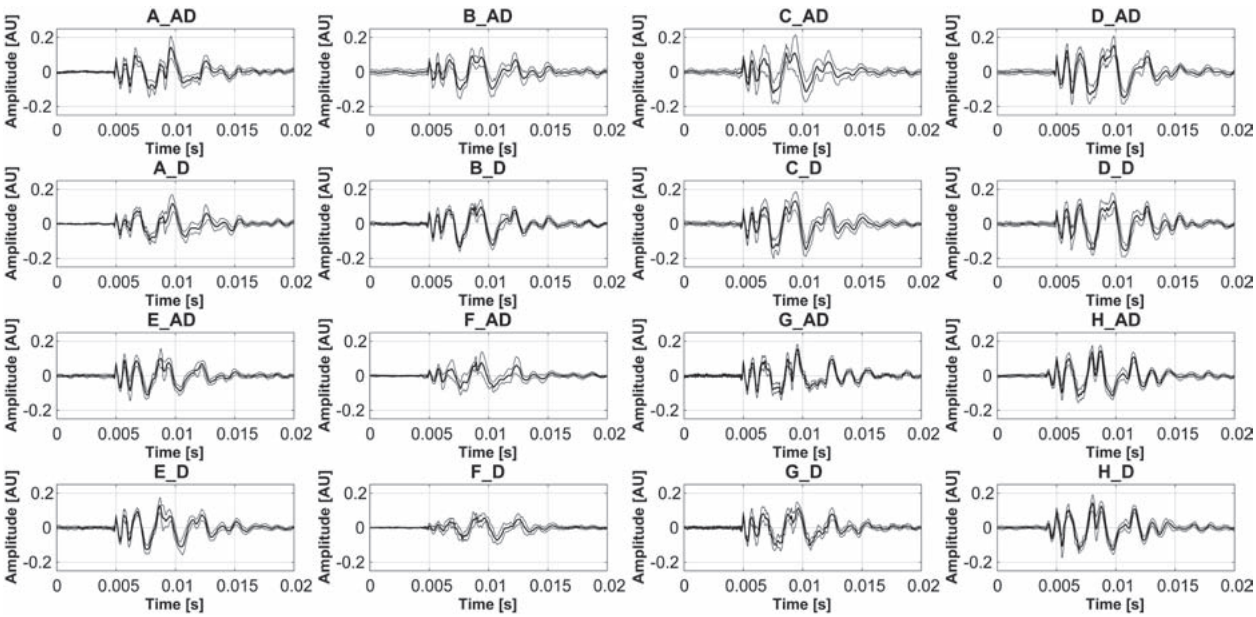

図 3 ：個人間の打球音波形の比較（太線：平均、細線：標準偏差、AD:Advantage Side, D:Deuce Side）.

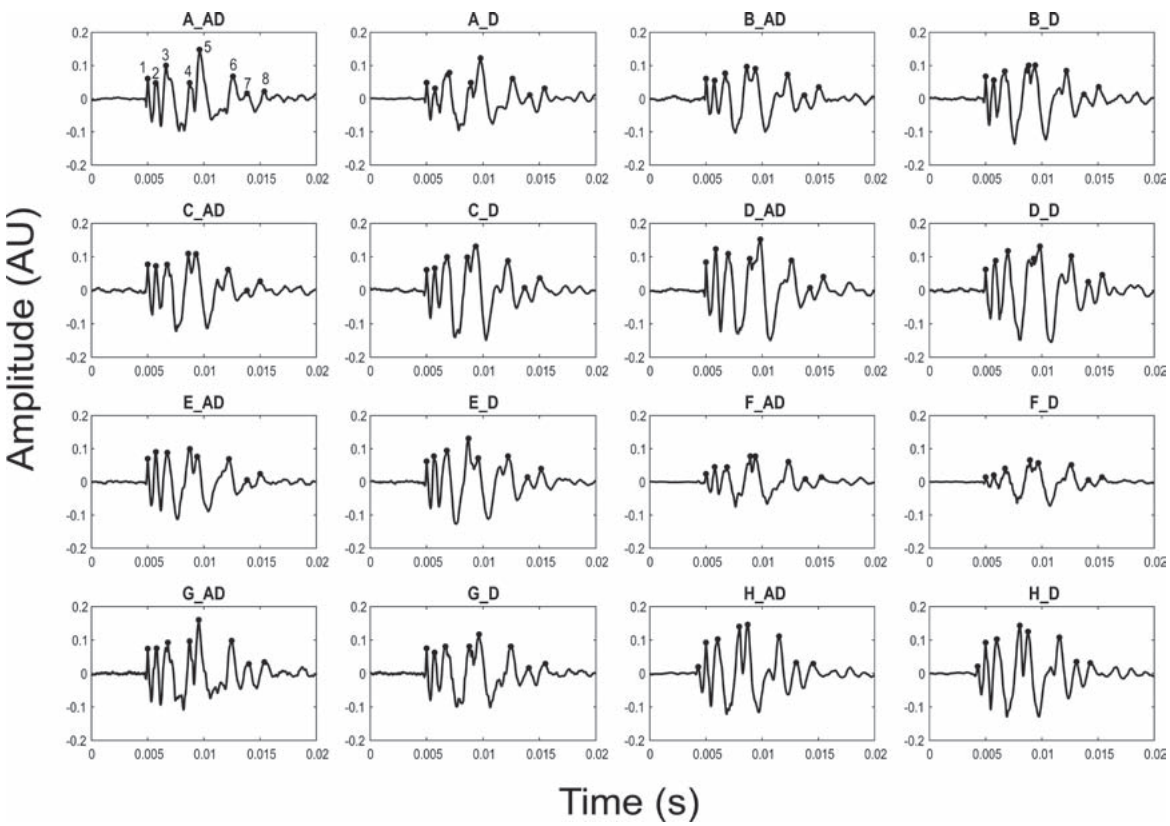

図 4 ：打球音に含まれる８個のピーク点（AD:Advantage Side, D:Deuce Side）.

表 3 ：音の大きさ、長さおよび球速とラケットの特徴との相関係数.

	String Tension (Max)	String Tension (Median)	Stiffness (Babolat RDC scale)	Swingweight (g)	String Pattern (mains)	String Pattern (crosses)
Amplitude	−0.005	−0.056	0.096	0.021	−0.212	−0.181
Ballspeed	−0.158	−0.199	−0.192	−0.305	0.084	−0.209
Interval(1−8)	0.101	0.028	0.185	0.113	−0.192	0.243

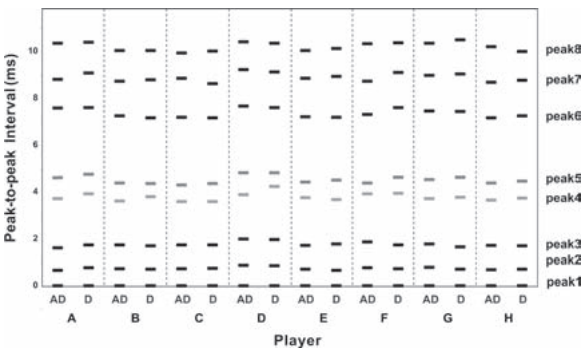

図 5 ：ピーク間の時間間隔.

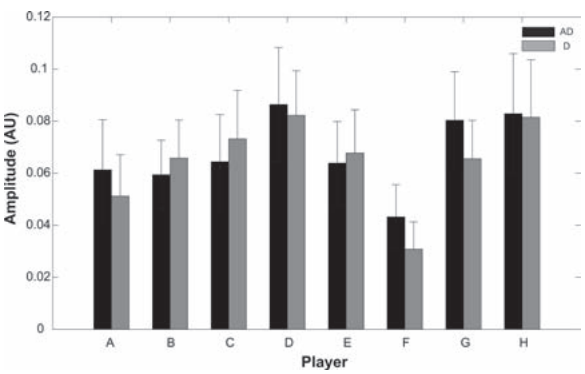

図 6 ：打球音の平均振幅の比較.

はDeuceサイドの方が長くなっていた。また両サイドを平均して最も長い選手はG選手で、最も短いのはC選手であった。

同様に打球音の前半部分（第１ピークから第３ピークまで）の長さを求めたのが、図７bである。図７bから分かるように、打球音の前半部分の長さには0.4msに満たない僅かな個人差しか見られなかった。この前半部分の長さが、２ms程度であることからボールインパクトの部分であると考えられる（Baker & Putnam, 1979；平野裕一・左海伸夫、1992）。Bakerらの研究は、木製やグラファイト製のラケットにボールを当て、そのインパクト時間を計測し、４ms程度であるとしている。しかしながら、この際のボールの速度は26～28m/s、すなわち、58.2～62.6mphに相当する。他方トッププレーヤーのサービスは、106～122mphであり、インパクト時間も短縮することが予想され、この２ms程度はインパクトの時間（ボールがラケットに当たってから離れるまで）と考えられる。したがって、このボールインパクトの時間はすべての選手でほぼ同じであると考えられる。逆にいうと、その後の打球音の長さに個人差があり、これはラケットの硬さ、ストリングスの強さも影響しているのかもしれない。

3.3.3　打球音の大きさ，長さと球速の関係

打球音の長さと大きさ、打球音の長さと球速、打球音の大きさと球速の関係についてみたのが図８である。図８aとbから、打球音の長さには短い群と長い群の２群があるように見える。そして図８cに示すように、打球音の大きさと球速には正の相関関係がある（Advantageサイド：r = 0.306, Deuceサイド：r = 0.693, 平均：r = 0.494）。つまり、打球音の音声波形の振幅が大きいほど、サーブの球速が速いと言える。

4　総合考察

本研究は、サーブのインパクト時における打球音の特徴を検出し、異なるトッププレーヤーの打球音の特徴を明らかにすることを目的とした。

テレビ映像からAdvantageサイド、Deuceサイドごとに15本ずつの音声データを抽出し、最大振幅法と第１ピーク法による特徴検出のための方法を比較した結果、第１ピーク法による検出が妥当であることが相互相関係数によって明らかにされた。したがって、打球音に共通する特徴を検出するために、第１ピーク法を採用し、分析を行った。

男子トッププレーヤー８人の打球音波形を比較した結果、８個のピークは全員に共通した打球音波形の特徴であることが明らかになった。また、８個のピークがさらに３つのグループに分けられることも８人の打球音波形に共通しているパターンであることが示唆された。

そして、音の大きさ（波形の平均振幅）においては、個人内（AdvantageとDeuce）および個人間ともに違いがみられた。また、第１ピークから最終ピークまでの打球音の長さにおいても、個人内および個人間に違いがあることが判明した。ここで、さらに打球音の前半部分の長さ（第１ピークから第３ピークまで）を個人間で比較

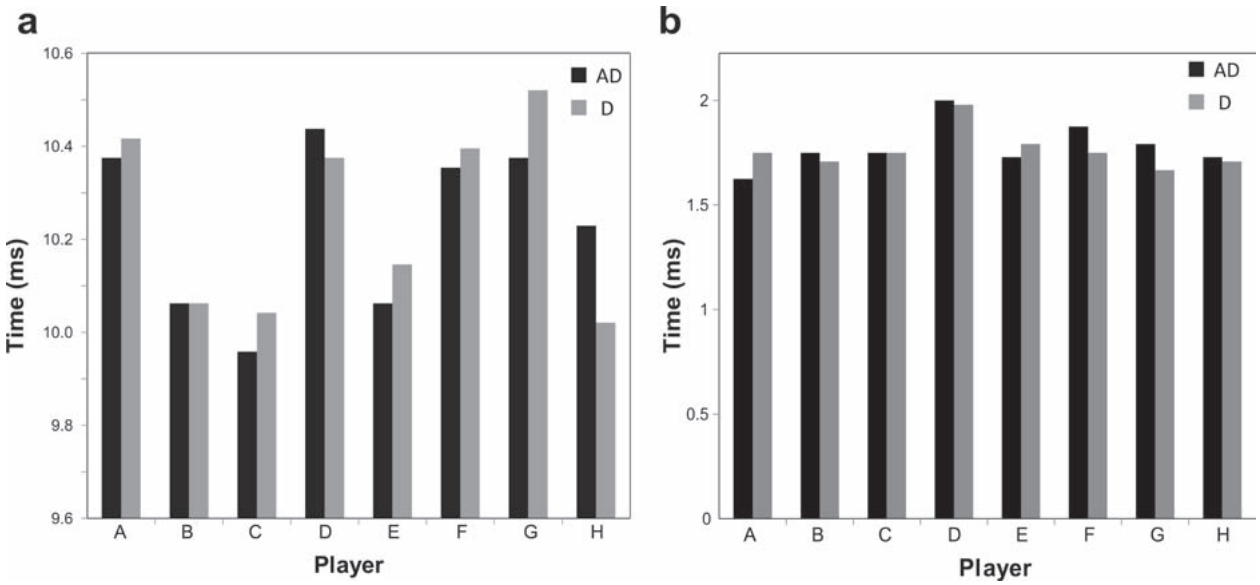

図 7：打球音の平均持続時間の比較．a. 第1ピークから最終ピークまでの持続時間．b. 第1ピークから第3ピークまでの持続時間．

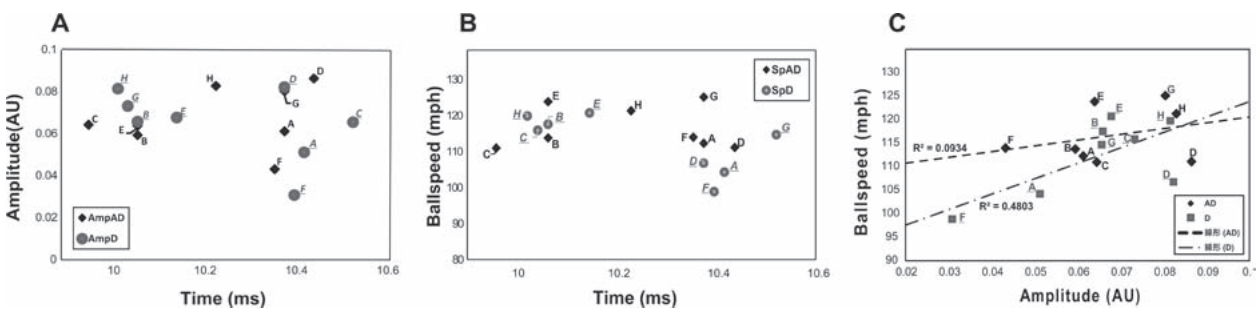

図 8：打球音の長さ、大きさと球速の関係．

した結果、個人差が見られなかった。この前半部分の振幅内間隔がインパクトに伴う振幅であると考えられた。しかし、この３つのピークが何に起因するかを確定することはできなかった。

さらに、選手の使っているラケットの特徴と打球音の大きさと長さ、および球速との関係を検討した結果、有意な関係は認められなかった。したがって、打球音および球速と関係しているラケットの特徴を解明することができなかった。しかしながら、球速と打球音の大きさに正の相関関係が認められた。すなわち、打球音の大きさが大きければ大きいほど、球速がより速かった。このことは、打球音が遮蔽されると球速の予測が困難になると考えられ、耳栓をするとパフォーマンスが低下する（Takeuchi, 1993）、あるいは打球音に唸り音を加えて呈示すると、球速判断成績が低下する（Farhead & Punt, 2015）という先行研究を支持するものである。

また、今後は、球速の知覚と打球音の大きさとの関係について、理解を深めていきたいと考えている。

参考文献

Baker, J. A. W. & Putnam, C. A. (1979). Tennis racket and ball responses during impact under clamped and freestanding conditions. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance,* **50**, 164-170.

Farhead, N. & Punt, T. D. (2015). Silencing Sharapova's grunt improves the perception of her serve speed. *Perceptual and Motor Skills: Exercise & Sport*, **120** (3), 722-730.

Odate, J., Iwahara, M., Suzuki, K., & Nagamatsu, A. (2006). モード解析によるテニスラケットの振動特性と構造最適化研究．日本機械学会論文集 C，**72** (718), 1751-1758.

Takeuchi, T. (1993). Auditory information in playing tennis. *Perceptual and Motor Skills*, **76**, 1323-1328.

Valentine, R. M. (2012). Application of sensors to investigate tennis racquet dynamics. *Procedia Engineering*, **34**, 449-454.

平野裕一・左海伸夫（1992）．打つ科学．東京：大修館書店．