

## テニスのパフォーマンスに与えるストリングスの物理的影響と心理的影響 —アガシ選手のストリングスとパフォーマンスの関係をどう理解すべきか—

川副 嘉彦 (埼玉工業大学)

### 【1. アガシ選手とストリングス】

1999年のフレンチ・オープンとUSオープン、2000年と2001年の全豪オープンに優勝したアガシ選手が2002年ウィンブルドンの2回戦でパラドン・スリシャパという選手に敗れた。この試合に関するインタビュー(ホームシ、2002)においてアガシ選手は次のように語っている。「ラケットのストリングに技術的な問題がいくつか生じた。ストリングを変えてクレ(土の)コートではうまくいっていたが、芝(のコート)では悪夢を見る結末になってしまった。」「ボールをうまく捕らえることができなかった。そしてどんどん悪い方向へと進んだ。」「ストリングを変えてローマ(5月初旬に優勝したマスターズシリーズ、クレコート)ではうまくいっていた。そして、芝での練習のときは大丈夫だと思った。しかし、試合でボールを打ったら、自分でもどうしてなのかよく分からないが、ボールを捕らえるポイントがつかめず、うまくコントロールができなかった。そしてコントロールができるようになったら、今度はあまりにもスピんがかかりすぎて、ネットを越えなかった。」

### 【2. プレイヤーとラケットのマッチング】

超デカラケに超ハイ・テンションでストリングスを張ったモニカ・セレス選手のラケットSRQ1000が数年前に話題になったことがある。フェース面積 $130\text{ in}^2$ 、全長 $28.5\text{ in}$ というレギュレーションの限界値に近い大きなラケットにテンション $90\text{ lbs}$ という限界の強さで張ったラケットである。若手のパワーテニス台頭に対抗するために彼女が経験から選んだラケットであった。新しい材料の開発がこのような大きなラケットの実現を可能にしたのである。なぜ彼女がこのラケットを選んだかという理由は、スポーツ工学の成果から定量的に説明できる(川副、2003)。

サンプル選手使用のラケットのメーカー・カタログ・スペックは、 $85\text{ in}^2$ 、フレーム厚 $17\text{ mm}$ 均一厚、全長 $27.0\text{ in}$ 、適正テンション $50\sim 60\text{ lbs}$ 、ウェイト(フレームのみ) $320\sim 335\text{ g}$ 、バランス(重心位置) $290\sim 310\text{ mm}$ である。彼のストリンガーによると、実際にサンプル選手が使用したラケットの測定値は、テンション約 $70$ ポンド、重量 $386\text{ g}$ 、バランス $322\text{ mm}$ だったと云う。フェース面積が非常に小さいラケットに $70$ ポンドというストリングス・テンションは一般プレイヤーの場合と比べると異常に高い。なぜ彼がこのラケットを選んだかという理由も、スポーツ工学の成果から定量的に説明できる。

しかし、上述のアガシ選手とストリングスの関係は複雑である。アガシ選手のインタビューは、ストリングスとパフォーマンスとの関係について、大きな誤解を与えやすい。ストリングスの物理的影響とメンタル的な影響の両方が含まれているからである。ストリングスがテニスの勝敗を左右するほど影響するであろうか。

### 【3. 直径が 0.2 mm 細いバット・グリップと衣笠選手のパフォーマンス】

ラケットの進歩がテニスのプレイ・スタイルを変えたと言われている。しかし、テニスは体験により修得するものだから主観的なものであり、ラケットが実際のプレーにどのように影響するかを客観的に評価することはきわめて難しい。スポーツとしてのパフォーマンスは用具とプレイヤーの相互作用により発現する。プレイの状況・環境によっても異なってくる（川副、1991；1993；1994；2001；2003）。

結論から言うと、アガシ選手の場合も、ストリングスの物理特性の違いがボールに直接与える影響は小さいのである。しかし、結果としては、アガシ選手の例のように、用具の微妙な変化がトップ・プロのパフォーマンスに大きな影響を与えることになる。

現代の名工に選ばれたバット造り職人・久保田五十一氏は、かつてプロ野球の衣笠選手に「握りが細い」と指摘されたそうである。そんなはずはないと思ったが、計測すると 0.2 mm 細かったという（朝日新聞）。グリップの直径が 0.2 mm 細いだけでバットそのものの性能が変わるはずがない。しかし、衣笠選手には気になる。用具の微妙な変化がパフォーマンスに大きく影響するのである。

### 【4. ボールとストリングスについての誤解】

「ストリングスを緩く張ると、ボールがよく飛ぶ」と言われる。しかし、実験結果（図1、図2）によると、衝突速度 20m/s の場合、テンションを 44 % 増減しても、反発係数は 1.4 % しか増減しない。衝突速度 30m/s の場合はテンションを変えても反発係数はほとんど変わらない。反発係数におよぼすテンションの影響は非常に小さいのである。理論的にも説明できる（Kawazoe et al. 2003d）。

「ストリングスを緩く張るとテニス肘防止になる」と言われる。ストリングスの「面圧」（たわみ剛性）は、図3に示すように、たわみ量（あるいは衝突速度）に比例して高くなり、衝突速度により 10 倍近く変化する。面圧がテンションに左右されるのは、衝突速度がきわめて小さい場合である。通常テンションと称しているのは、ストリングスを張ったときのテンション（初期張力という）であり、ボールを打撃したときのテンション（張力）は張り上がりテンション（初期張力）の 10 倍近くになるのである。したがって、初期張力の違いは大きくは影響しようがないのである（Kawazoe et al. 2003d、2003e）。

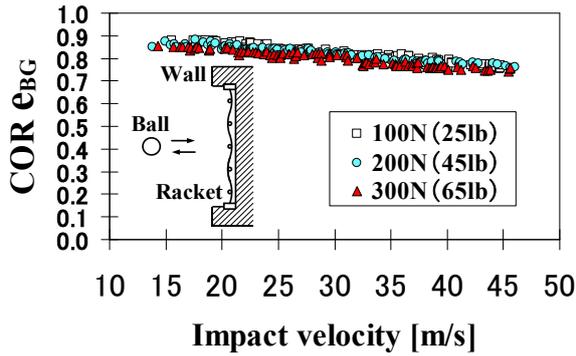


図1 スtringsとボールとの反発係数  $e_{BG}$  におよぼすテンションの影響 (横軸: 衝突速度)

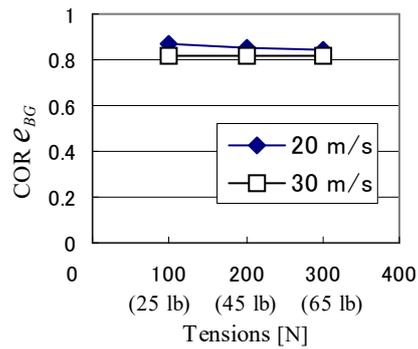


図2 Stringsとボールとの反発係数  $e_{BG}$  (平均値) におよぼすテンションの影響 (横軸: テンション), 衝突速度: 20 m/s と 30 m/s の場合

また、「テンションが低いほどインパクト・タイム (ボールとStringsの接触時間) が長い」と言われる。米国の著名なテニス専門書に載っている 12 m/s 以下の衝突速度でのデータはそうになっている。しかし、20 m/s を超える現実的な衝突速度では、図4に示すように、テンションの差の影響はほとんどなくなる。理論的に説明できることである。テンション 45 lbs と 65 lbs の場合のサーブにおけるラケット・ハンドルの衝撃振動の実測波形は、ゆるいテンションの衝撃振動の方がやや大きい場合もあるということを示した (Kawazoe et al. 1992; 2002c; 2002d; 2003e)。スポーツでは速度によって現象が逆の場合もある。

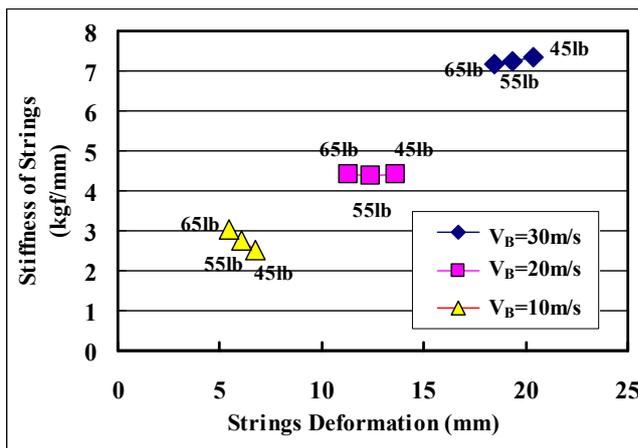


図3 Strings面圧 (たわみ剛性: 縦軸) におよぼすテンションの影響 : (横軸: Strings変形量)  $V_B$ はボールとの衝突速度

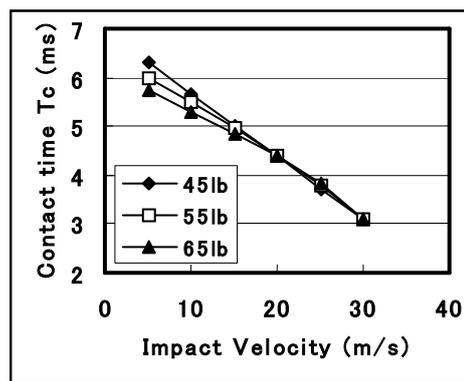


図4 接触時間におよぼすテンションの影響 横軸はボールとの衝突速度

## 【5. ラケットのハイテク化を批判するマッケンロー(ラケットとパフォーマンス)】

マッケンロー、ベッカー、そしてナブラチロワといった元トッププレイヤー数人が国際テニス連盟 (ITF) に対して、最近のラケットの影響力を抑える対策を取るよう要求した書簡を 2003 年 7 月に送付したという (McClusky, 2003)。「プレイヤーは最近のラケットを使って、以前では考えられなかった時速 240 キロメートルというスピードでボールが打てる」「グリップ内部にチップを埋め込んでボールに当たった瞬間にラケットが堅くなるようなものまである」「ラケットの長さは 27 インチ以下、幅は 9 インチ以下にすべきだ。そうすればボールを打つ面がかなり狭くなり、もっと面白い試合をせざるをえなくなる (現在の ITF の規則によると、ラケットの長さは 29 インチ (73.66 センチ) 以内、ボールを打つ面の幅は 11.5 インチ (29.21 センチ) 以内となっている)」「プロ野球では木製バットが使われる」「ほとんどのトッププレイヤーは、どんな道具を使ってもいいプレイヤーであり続けると思う」と言うのである。

マッケンローらは ITF からの回答は受け取っていないらしいが、昨年夏に著者が ITF の研究所を見学したときに、すでに開発された立派な実験装置でラケットの性能測定実験が精力的に進められていた。ただし、この場合も用具とプレイヤーの関係はそう単純ではない。圧電素子と制御回路を組み込んだマッケンローの言う最新のラケット性能を木製ラケットと比較すると、女子トッププロのラリーにおけるフォアハンド・ストローク (木製ラケット時代のスイング・モデルで肘の角度一定、肩トルク一定) の打球速度で比較した場合、ラケット面センターで打撃したとき 5%、ラケット面の極端な先端寄りで打撃したとき 14% 速いだけである (川副、2003c)。これは肩トルク一定としてラケットの違いだけの単純な比較であるが、実際はラケットが変わればスイングが変わる。用具のわずかな変化がプレイヤーを大きく変えるのである。用具とパフォーマンスの関係は永遠の課題である。

おわりに、学会のテニス大会で毎年対戦するのを楽しみにしておりました元会長・小山先生が亡くなられたのが大変残念です。ご冥福を心よりお祈りいたします。

### 【参考文献】

- 1) 川副嘉彦 (1991): ラケットの科学, 月刊テニスジャーナル, 第 10 巻 7 号~第 10 巻 11 号, pp. 130-135.
- 2) 川副嘉彦 (1993, 1994): ラケットの科学Ⅱ, 月刊テニスジャーナル, 第 12 巻 8 号~第 13 巻 3 号, pp. 101-106.
- 3) 川副嘉彦 (2001): 新テニスの科学, 月刊テニスジャーナル, 第 20 巻 3 号~第 20 巻 6 号, pp. 54-58.
- 4) 川副嘉彦 (2002): (市民フォーラム) テニスのプレイとラケットのマッチング (カタログには載っていないラケット選びの秘訣), 日本機械学会・材料力学部門

- 講演会講演論文集, No.02-05, pp.31-34.
- 5) 川副嘉彦 (2003a): (特集: スポーツ工学) 材料が変えてきたスポーツ用具とパフォーマンス—テニスを例にして—, 日本機械学会誌, 第106巻1010号, pp.13-15.
  - 6) 川副嘉彦 (2003b): (小特集: スポーツ工学) テニスにおけるシミュレーションとラケット性能の予測, シミュレーション (日本シミュレーション学会誌), 第22巻1号, pp.3-9.
  - 7) 川副嘉彦 (2003c), (特集: 素材とスポーツ) ”テニスラケットの素材・構造と性能”, バイオメカニクス研究 (日本バイオメカニクス学会誌), 第7巻2号, pp.136-151.
  - 8) Kawazoe, Y., Tanahashi, R. and Casolo, F. (2003d), Experimental and theoretical criticism of the effectiveness of looser strings for the reduction of tennis elbow. *Tennis Science & Technology 2* (edited by S. Miller), pp.61-69. . London: International Tennis Federation.
  - 9) Kawazoe, Y., Tomosue, R., Yoshinari, K. and Casolo, F. (2003e), Prediction of the shock vibrations at the wrist joint with the new large ball compared to the conventional ball impacted to the tennis racket during forehand stroke. *Tennis Science & Technology 2* (edited by S. Miller), pp.105-112. London: International Tennis Federation.
  - 10) ジョルジュ・ホームシ (井上球美子翻訳) (2002): アンドレ・アガシ ロングインタビュー, *T. Tennis*, 21巻10号, pp.52-57.
  - 11) McClusky, M., *Hotwired Japan Mail Service*, August 26, 2003. テニスラケットのハイテク化を批判する歴代チャンピオンたち, [日本語版: 遠山美智子/湯田賢司]