

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)

川副 嘉彦 (埼玉工大)

1. テニスラケット2話

1.1 セレス選手の大きなラケット

超デカラケに超ハイ・テンション (張りの強さ 90 ポンド) で張ったモニカ・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。フレーム・フェース面積 130 平方インチ, 全長 28.5 インチ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である。若手のパワーテニスの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次のように説明できる。

フェース面の大きさはラケットの反発性 (ボールの跳ね返りの良さ) を重視したためであり、超ハイ・テンションは超デカラケでハードヒッティングした場合の打球感の悪さとコントロール性の弱点をカバーするためである。セレスの強打を考えると、強度的に厚ラケ (約 30 mm) にならざるを得ない。また、デカラケの操作性の悪さは 250 グラムという軽量化によってカバーされている。さらに、フェース面中心が手前にくることによりヘッドスピードが落ちるというデカラケの弱点は、軽量化 (250 グラム) と長ラケ (28.5 インチ) にすることでカバーしている。

しかし、セレス選手はこの大きなラケットの使用をまもなくやめた。その理由は説明されていないが、反発性能には重量と重量バランス (重量配分) が最も重要なファクターであり、さらに、軽量の超デカラケは振動が大きく、手にかかる衝撃振動が問題になるのである。

1.2 サンプラス選手が使ったラケット

ウィンブルドン7回優勝の経験をもつピート・サンプラス選手使用のラケット (プロスタッフ・ミッド) のメーカー・カタログ・スペックは、フェース面積 85 平方インチ, フレーム厚 17mm 均一厚, フレーム長 27.0 インチ, 適正ストリングス・テンション 50~60 ポンド, ウェート (重量) 320~335 g, バランス (重心位置) 290~310mm である。実際にサンプラス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 g (張り上がり状態, 約 60 g のおもりをつけていることになる), バランス 322 mm だったという。フェース面積の小さいラケットに 70 ポンドという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。

フェース面積の小さいラケットは、スイングしたときのラケット・ヘッド速度が大きいという長所と反発性に劣るといふ短所がある。サンプラスは、ヘッド速度を多少犠牲にして、やや重めのラケットにさらにおもりをつけて、十分な反発性を獲得したと見ることができる。

ラケットやストリングス・テンションを正しく選ぶためには、ラケットについての理解を深めることが大切である。ラケットの科学に関する一般的な理解には誤解や誤りが多

い。

本講演では、最新のスポーツ工学の成果に基づいて、特に誤解が多い点や従来不明であった点を明確にし、プレイ・スタイルや技術レベル、身体的条件などを考慮したラケットの選び方について述べる。図1はテニスラケットの打撃実験風景を示す。



図1 テニスラケットの打撃実験風景

2. ラケットの変遷 (デカラケ, 厚ラケ, 長ラケと軽量化)

テニスラケットは 1960 年代前半までは木製でフェース面積はほぼ 68 in² (レギュラーサイズ) であったが、1967 年にスチール製, 1968 年にアルミ製の金属ラケットが現れ、1974 年には複合材のラケットが登場した。これまでの 30 数年間にラケットは大きく変わってきたが、1976 年に現れた 110 in² のデカラケ, 1987 年の厚ラケ, そして 1995 年の長ラケは最も革新的なラケットだと言われている。

最近のラケットの主要な素材はすべて複合材である。

デカラケは、打球面が広いラケットである。最近のラケットの打球面サイズは 95 in² ~ 110 in² (平方インチ) が主流である。厚ラケは、フレーム剛性を高めたラケットである。木製ラケットの時代はラケット全長は 27 インチ (約 685 mm) で変わることはなかった。長ラケは、従来のラケット全長 27 インチ (約 685 mm) を 29 インチ (約 735 mm) まで長くしたラケットである。国際テニス連盟は、プロの試合では 1997 年の 1 月から、一般の試合では 2000 年の 1 月から全長が 29 インチ以上のラケットの使用を禁止した。

ラケットは、素材の複合化により設計・製造の自由度が大きくなり、身体的条件や技術的条件の異なる使用者とのマッチングを考慮したきめの細かい設計をめざす段階に至っている。最近の特徴は軽量化である。ストリングスも太さや素材の異なるものが数多く市販されている。ストリングスの適性テンション (どのくらいの強さで張れば良いか) を表示しているラケットもあるが、記載されている適性テンション値の根拠は不明である。

3. ラケット性能と性能評価の現状

一般にラケットに求められる基本的な性能は、パワー、

コントロール、打球感といわれている。「玉離れが良い」、「ホールド感がある」、「面の安定性が良い」など、微妙な性能の違いを評価する表現もある。

一方、テニス肘をはじめとする障害と用具の問題がある。肘の痛みの原因は複雑であり、ほとんど未解明であるが、テニス肘になりやすいラケットが存在するという事は、多くのプレイヤーが経験的に認めているようである。

ラケットは、その急速な進歩により「非常に使いやすくなった」と言われているが、マイナス面も存在する。たとえば、トップ・プレイヤーの場合は、ラケットの性能とプレイヤーの技術の向上によって打球が速くなり、インパクトで腕に伝わる衝撃が大きくなっていると言われている。一般プレイヤーの場合は、基本ができていなくても比較的容易にテニスが楽しめるようになったため、プレイ頻度の高いプレイヤーや中高年のプレイヤーに、テニスエルボーや手首・肩などの傷害を持つ人が多くなったと言われている。最近流行の「ローラーズ」(ウイルソン)や「マッスルパワー」(ヨネックス)がグロメットの部分を重要視したり、「インテリジェント・ラケット」(ヘッド)がアクティブ制振(制御装置を組み込むことにより振動を積極的に低減させる)を試みたりしているのも、手に伝わる振動を低減しようという発想である。軽量ラケットのグリップエンドに錘(おもり)を装着したラケットも手に伝わる衝撃を小さくする。

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イにどのように影響するかを客観的に評価することは難しい。現状では、ラケットの性能評価は、経験の深いテスターやプレイヤーを介して行われており、人間の評価が優先する。

一般プレイヤーにとっては、コート上でボールを実際に打ってみてはじめて性能がわかるというのが現実であろう。

4. 誤解だらけのラケットの常識

4.1 ボールの特性とストリングスの重要性

図2は、硬い壁にボールをぶつけたときのボールの反発性を実験により調べた結果である。横軸は衝突前の速度(入射速度)、縦軸は跳ね返り速度と入射速度との比、いわゆる反発係数である。入射速度が高くなるほど、ボールのつぶれによるエネルギー・ロス割合が大きくなり、反発係数が下がっていく。

図3は、ラケットのフレームを壁に固定して、ストリング面にボールをぶつけたときの反発性を実験により調べた結果である。ラケットの重さが無限大に近いという条件での結果ということになる。ボールの入射速度、ストリングスの種類やテンションに関わらず、反発性には変化が見られず、入射速度の増大による反発性の低下もほとんどない。

図2と図3を比較すると、ストリングスの反発性に関する重要性がよくわかる。

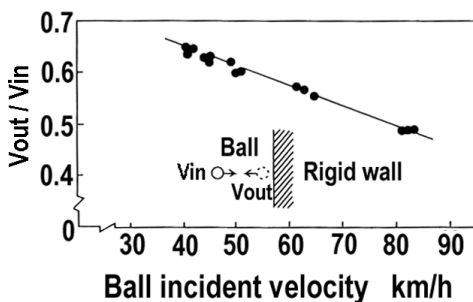


図2 ボールと剛体壁の衝突におけるボールの反発特性

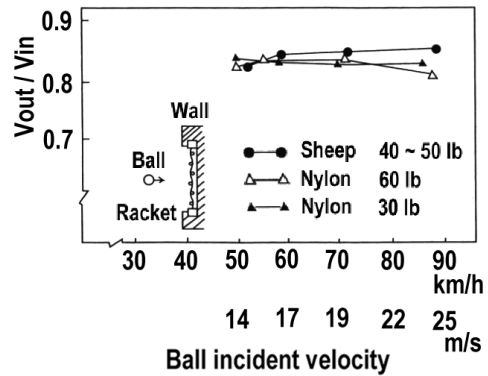


図3 ボールの反発に関するストリングスの役割

4.2 ストリングス・テンションはボールとストリングスの反発係数にどう影響するか

「ストリングスを強く張ると、ボールの変形が大きくなり、反発が悪くなる」とよく言われる。

図4は、ストリングス・テンションを25,45,65ポンドと大きく変えたときの反発性への影響を詳細に調べた実験結果である。横軸はボールの入射速度である。ストリングス・テンションの実用範囲は、通常45 lbs ~ 65 lbsである。また、プレイにおける平均的衝突速度領域は25~35 m/sである。図5は、入射速度が20 m/sと30 m/sの場合の反発性におよぼすテンションの影響を示す。衝突速度20 m/s

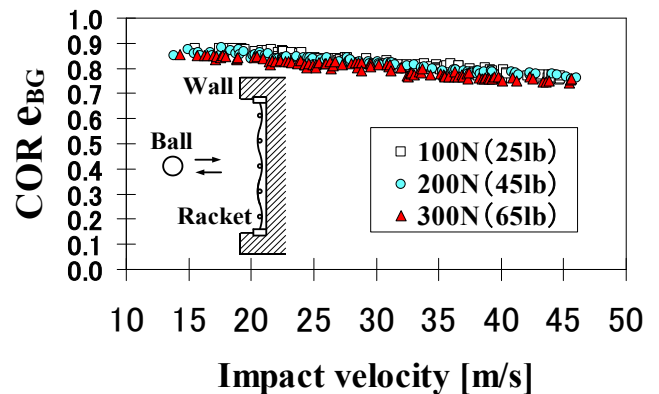


図4 ストリングスとボールとの反発係数 e_{BG} におよぼすテンションの影響 (from Prof. Casolo)

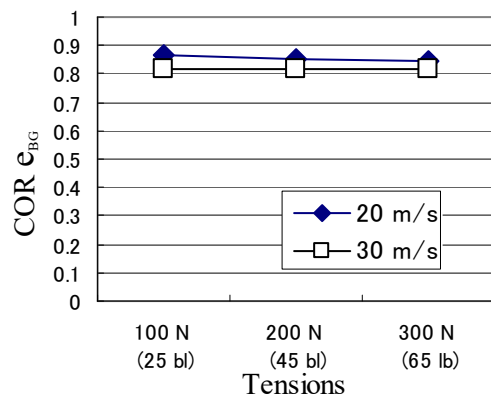


図5 ストリングスとボールとの反発係数 e_{BG} におよぼすテンションの影響 (20 m/s, 30 m/s)

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。反発性におよぼすテンションの影響は非常に小さい。通常の見解とは違う事実であるが、ボールとストリングスの衝突解析により説明することができる。

4.3 ストリングス・テンションと面圧の関係

ストリングスの張替えのとき面圧を指定するユーザーは、ストリンガーには手に負えない。面圧と称しているのは、たわみ剛性、すなわち変形量に対する力の比である。面圧を%で表示する市販の面圧計測器がある。この%表示の数値の根拠は不明である。このストリングス・テンションと面圧（ストリングス面のたわみ剛性のこと）の関係についても誤解が多い。図 6 は、ストリングス面の面圧（たわみ剛性）がインパクト速度に比例して大きくなることを示す解析結果である。縦軸はボールがラケットと衝突したときの平均の面圧、横軸はボールとの衝突速度である。張り上がったラケットのストリングス面を手で押してみる場合は、衝突速度は零に近いことになる。一般プレイヤーのストローク（ラリー）では 25m/s 程度である。面圧は、インパクト速度が非常に小さいときを除くと、張り上がりテンションには影響されず、インパクトの速度にほぼ比例して高くなる。理由は、ストリングスは変形が増すほど次第に変形しにくくなり、面圧（変形量に対する力の比）が高くなるのである。図 7 の横軸はストリングスの変形量（たわみ）、縦軸は面圧を示す。

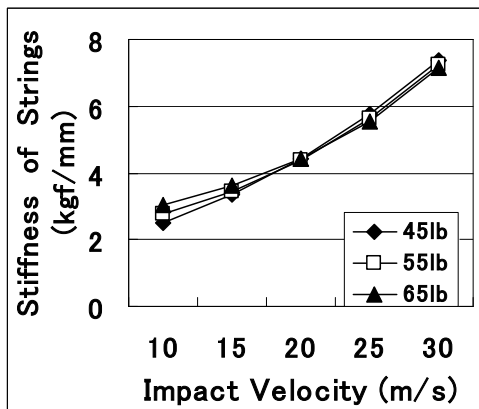


図 6 ストリングスの面圧（たわみ剛性）とテンション：縦軸：面圧、横軸：インパクト速度。テンションの影響はほとんどない。

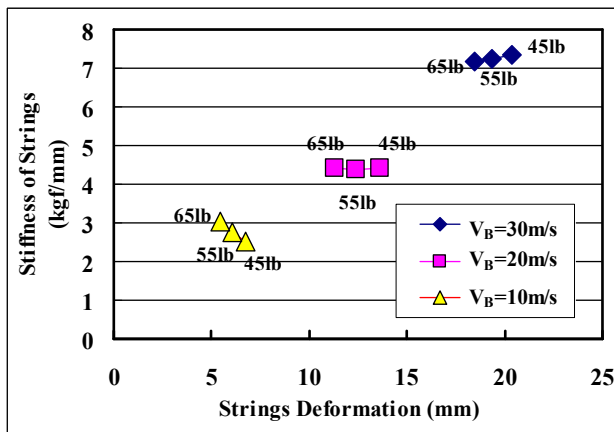


図 7 ストリングスの面圧（たわみ剛性）とテンション：縦軸：面圧、横軸：変形量。テンションの影響はほとんどない。

図 8 は、ストリングスを緩く張るほどインパクトにおけるストリングスの変形量（たわみ）が大きいことを示す解析結果である。図 9 は、ストリングスを緩く張っても、インパクトにおけるボールの変形量（つぶれ）はほとんど変わらないことを示す。

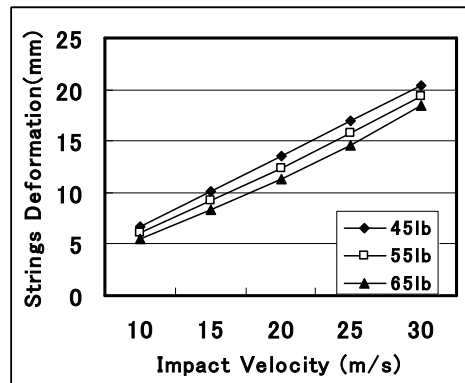


図 8 ストリングスのたわみ量とテンション、縦軸：ストリングスのたわみ量、横軸：ボールとラケットの衝突速度（打点：ストリングス面中央）

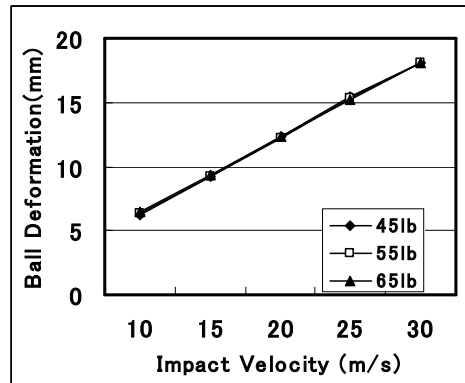


図 9 ボールのつぶれとテンション、縦軸：ボールの変形量（つぶれ）、横軸：ボールとラケットの衝突速度（打点：ストリングス面中央）

4.4 実際のインパクトではテンションの違いはインパクト・タイムにはほとんど影響しない

図 10 は、テンションとインパクト・タイム（接触時間）の解析結果である。「テンションが低いほどインパクト・タイムが長い」というのは、衝突速度が 15m/s 以下の遅い速度のとき（テニスの専門書にも見られる）しか成り立たない。実験結果も同じ傾向を示す。

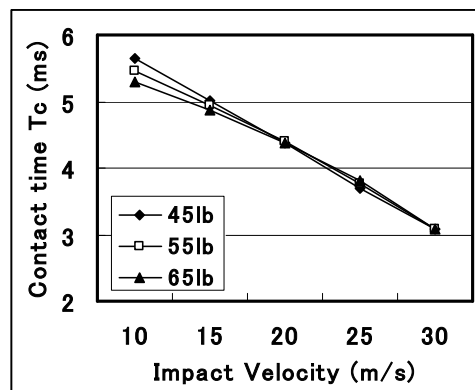


図 10 ストリングス・テンションと接触時間

実際のインパクトでは、テンションの違いは衝突力にもほとんど影響しない。図 11 は、テンション 45 ポンドと 65 ポンドの場合のサーブにおけるラケット・ハンドルの衝撃振動（加速度）の実測結果である。ゆるいテンションは衝撃が小さいという常識とは異なる事実である。ストリングスのテンションというのは、あくまでストリングスがたわんでいない状態での初張力なのである。実際の張力にはインパクト速度の影響の方がはるかに大きい。

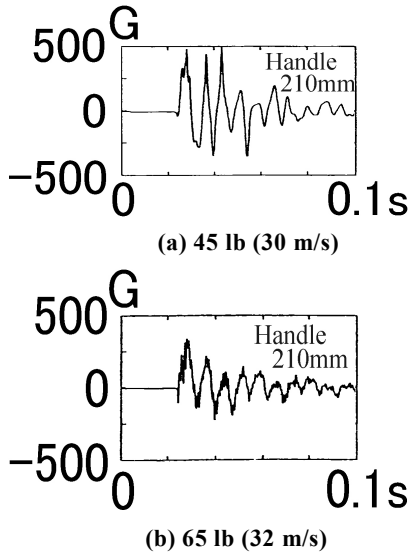


図 11 ラケット・ハンドルの衝撃振動とテンション

4.5 実際のインパクトでは、ストリングスをゆるく張ってもラケットの反発性はほとんど高くない

静止ラケット ($V_{R0}=0$) にボールを衝突させたときのボールの跳ね返り速度 V_B と入射速度 V_{B0} の比

$$e = -V_B / V_{B0} \quad (1)$$

を実測し、反発性を評価することが多い。この係数 e を反発力係数と定義する。ラケットでボールを打撃する場合は、インパクト直前のラケット・ヘッド速度を V_{R0} 、衝突直前および直後のボール速度を V_{B0} 、 V_B とすると、打球速度 V_B は以下のように書ける。

$$V_B = -V_{B0} \cdot e + V_{R0}(1+e) \quad (2)$$

図 12 の縦軸は反発力係数、横軸はテンションである。衝突速度 20m/s の場合、テンション 44%の増減に対して反発力係数は 2.2%の増減である。たとえば、5 ポンド変えてもわずか 0.55 %の変化である。衝突速度 30m/s の場合はテンションの影響はほとんどない。サーブの場合で考える

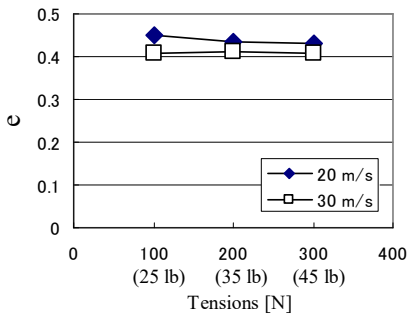


図 12 ストリングス・テンションと反発性。
縦軸：反発力係数，横軸：テンション，衝突速度：20 m/s, 30 m/s (打点：ストリングス面中央)

と、20m/s のインパクト速度の場合、テンション 44%の増減に対して打球速度は 0.7%の増減である。10 ポンドもゆるく張ってもわずか 0.33 %増すだけである。打球速度になおすと 65 lbs の場合 28.6 m/s(103.0 km/h)、45 lbs の場合 28.7m/s(103.3 km/h)である。30m/s のインパクト速度の場合、テンションにかかわらず、打球速度は約 42.3 m/s(152 km/h)である。

- 4.6 グリップを強く握っても反発性は良くなるわけではない (腕の影響は無視できる)
- 4.7 反発性にはスイングウエイトとバランス (重心位置) が効く
- 4.8 硬いラケット・軟らかいラケット
- 4.9 ただの長ラケはメリットなし

5. スイート・スポット

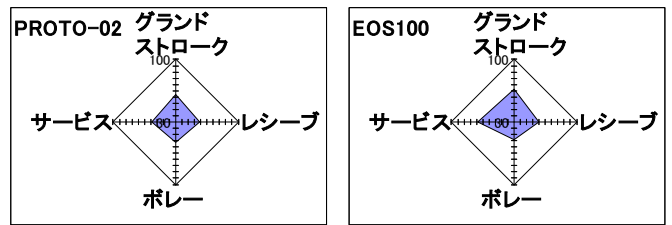
- 5.1 手にインパクトの衝撃がこない
- 5.2 手に伝わるラケット・フレームの振動が小さい
- 5.3 ボールの跳ね返りが良い
- 5.4 打球速度が速い

6. ラケットのスペックの見方

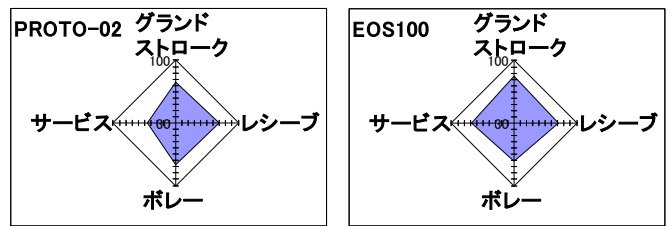
7. コントロールと面安定性

8. プレイ・スタイルとラケットのマッチング (重量, 重量バランス, スイング・ウエイト, フレーム剛性, フェース面積)

図 13 は、各ストロークでのボールの飛び(ラケットのパワー)に関する従来重量バランス型 PROTO-02 と超軽量型 EOS100 の比較例である。



従来重量バランス型 超軽量型
(a) オフセンター (ラケット面先端側：B 打点) での打撃



従来重量バランス型 超軽量型
(b) センター (ラケット面中心：D 打点) での打撃

図 13 各ストロークでのボールの飛び(パワー)の比較例

- 9. 理想の長ラケ
- 10. 軽量化の限界
- 11. 先端材料による打球感の改善 (サーモプラスチック, ローラーズ, インテリ・ファイバーは手にやさしいか)
- 12. まとめ

(文献省略)