

マッケンローのラケット・ハイテク化批判をどう理解すべきか —テニスラケットのハイテク化とテニスのパフォーマンス—

川副嘉彦 (埼玉工業大学)

【1. ラケットのハイテク化を批判するマッケンロー】

マッケンローら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要求したという。「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」、「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。

国際テニス連盟 (ITF) は新開発の装置を用いてラケット性能測定実験を精力的に進めているが、用具とプレイヤーの関係はそう単純ではない。

実際はラケットが変わればスイングが変わる。したがって、用具とパフォーマンスの関係は複雑であるが、本研究では、「玉離れが良い」、「ホールド感がある」、「反発性能が良い」、「反発力がある」、「弾きが良い」、「面安定性」などの感覚的な性能評価と工学的性能評価の対応づけを試みる。一方、ラケット性能とプレイヤーの技術の向上によって打球が速くなると、インパクトで腕に伝わる衝撃も大きくなるという面があり、一般プレイヤーにとっても、容易にテニスを楽しめるようになった反面、テニスエルボーや手首・肩などの傷害を持つ人も多くなる。筋力の弱い中高年プレイヤーは、衝撃振動吸収性の良いラケットを選ぶのではなく、ボールの良く飛ぶラケットを求める傾向があるという矛盾した状況もある。木製ラケットから先端的なインテリジェント・ラケットまでのボールの飛びに関連する性能と腕に伝わる衝撃振動の関連について述べる。

【2. ボールの飛びに関連するラケット性能と手に伝わる衝撃振動】

テニスラケットは 1960 年代前半までは木製でフェイス (打球面) 面積が 68 in² (平方インチ) のレギュラーサイズと決まっていたが、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。過去 30 数年の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。最近のラケットの特長は軽量化である。ラケットの質量は (ストリングスを張った状態で)、木製の時代は 370 g ~ 400 g、複合材ラケットの初期の頃は 360 g から 375 g、さらに軽量化が進み超軽量ラケットと呼ばれる 300 g を切るラケットが現れた。最近の最も軽いラケットは 220 g に達している。

図 1 は、ボールの飛びに関するラケット性能を予測するためのフォアハンド・グラウンド・ストローク (バウンドしたボールを打つ) のスイング・モデルである。肘と手首の関節角度を一定にして、肩関節トルク M_s を与え、90 度回転したときのラケット・ヘッド速度 V_R で V_{B0} で飛んでくるボールを打撃する。

図2は、ボールがストリング面の中心および中心を外れた位置で衝突したときのラケットの初期振動振幅を予測した例である。ストリング面の中心で衝突するとラケット・フレームの振動は小さい。

図3は、グランド・ストローク（フラット）打撃における手首関節，肘関節の衝撃振動（加速度）の測定位置を示す。図4は、実測波形と計算波形である。最初のピークがインパクトの瞬間で，残留振動が残る。予測波形は実測波形に比べてよりやや大きめであるが，実測波形の特徴をよく表している。

図5は，木製と軽量・高剛性ラケット（EOS100，290g）の(a) ラケットヘッド速度 V_{R0} ，(b) ボールの飛び V_B の比較である。図の横軸はラケット面中心から打点位置までの距離である。女子トップ・プロのラリーにおけるフォアハンド・グランド・ストローク（バウンドしたボールを打つ）のインパクト速度を想定して，肩関節トルク $M_s=56.9 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，インパクト前のボール速度 $V_{B0}=10 \text{ m/s}$ である。

図6は，打球面サイズ（フェイス面積）が100，110，120 in² の3本の軽量ラケット（どれもストリングスを含む重量が約290g）でボールを打撃したときの(a) ボールの飛び V_B ，(b) 手首関節の衝撃振動のピーク値（加速度）の予測結果である。打球面が広いほど，オフセンター打撃でフレーム振動が大きいため反発係数 e_r は低下するが，反発力係数（跳ね返りの良さ）が高いから，ボールの飛びは良くなる。特に先端側のオフセンターでのボールの飛びが向上する。ボールを打撃したときの手首関節の

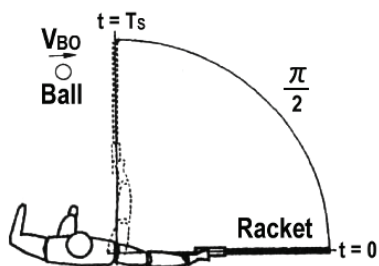


図1 ボールとラケットの接触時間の実測値と計算値の例

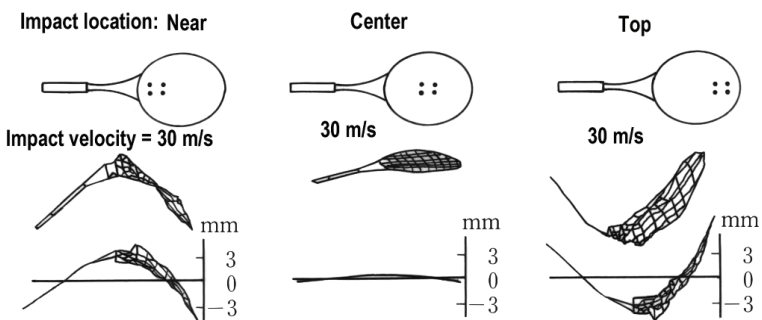


図2 インパクトの瞬間のラケットの初期振動振幅計算値，衝突速度：30 m/s，衝突位置：左からストリング面の根元側，中心，先端側

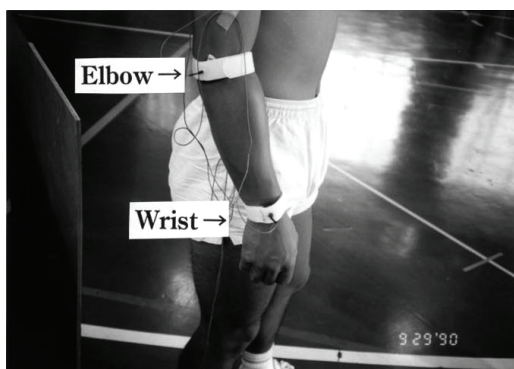


図3 グランド・ストロークにおける手首関節と肘関節の衝撃振動加速度の測定

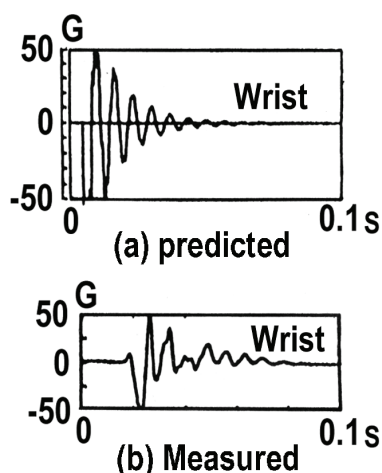
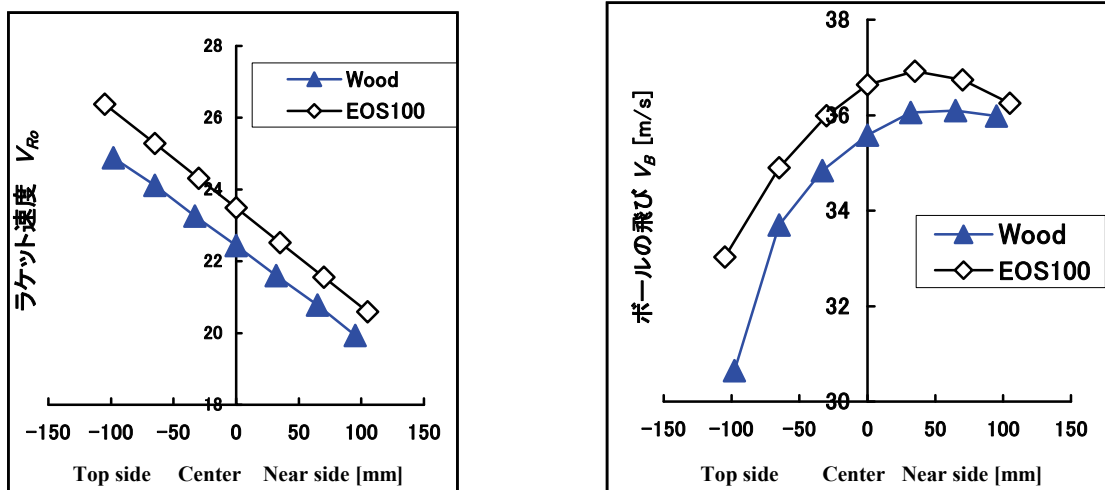


図4 衝撃振動加速度 (a) 計算波形 (b) 実測波形

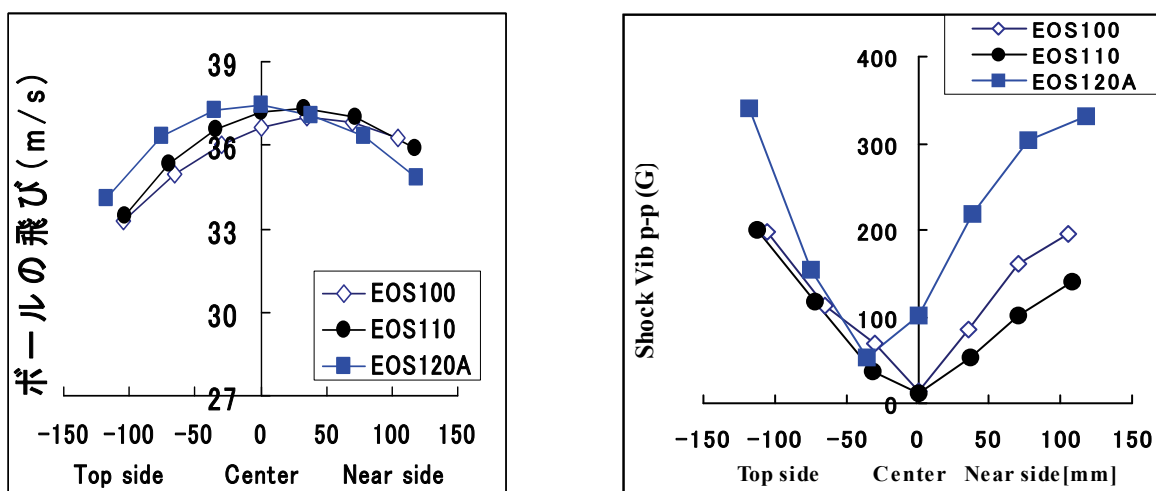


(a) ラケットヘッド速度 V_R 。

(b) ボールの飛び V_B 。

図5 木製(Wood, 375 g)と軽量・高剛性 EOS100(290 g)ラケットのヘッド速度とボールの飛び V_B (フォアハンド・グランドストローク)

衝撃振動のピーク値(加速度)は、打球面サイズが 120 in² になると急激に特にオフセンター打撃で大きくなっている。



(a) ボールの飛び

(b) 手首関節の衝撃振動加速度ピーク値

図6 ラケット性能とラケット・フェイス面積, 横軸は中心から長手方向の打点位置

最軽量の市販ラケット TSL は、ラケット・ヘッド速度は速いが、反発係数および反発力係数が低下するために、ラケット面中心から先端側で打撃したときのボールの飛びが悪くなる。さらに、手首関節の衝撃振動ピーク値は著しく大きく、軽量化の行きすぎを示した(川副, 2003)。滑車でストリングスを支える「ローラーズ」(ウイルソン)やグロメット(ストリングスを通す小穴に取りつけた鳩目のようなもの)の部分でストリングスが滑らない構造にした「マッスルパワー」(ヨネックス)などの最近のラケットがグロメットの部分を重要視したり、圧電素子をフレームに組み込んだ「インテリジェント・ラケット」(ヘッド)が制御装置を組み込むことにより積極的な振動低減を試みたりしているのも、軽量化にともなって増大する手に伝わる衝撃振動を低減しようという発想である。

図7は、圧電素子と制御回路を組み込んだマッケンローの言う軽量「インテリ・ファイバー」ラケット IS-10 (241g) のパワー（打球速度）と手に伝わる衝撃振動の予測結果である。「インテリ・ファイバー」のパワーは特に先端で最軽量ラケット TSL に比べると優れているが、120 平方インチ (292g) と大して変わらない。手首関節の衝撃振動は、最軽量ラケット TSL (224g) に比べるとラケット面先端でやや低減されているが、全体的には低減されていない。木製ラケットと比較すると（図は省略），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。ただし、スイング・フォームが同じとしての比較である。これが 30 数年間のラケットの変化である。この間のプレーの変化ははるかに大きいように見える。

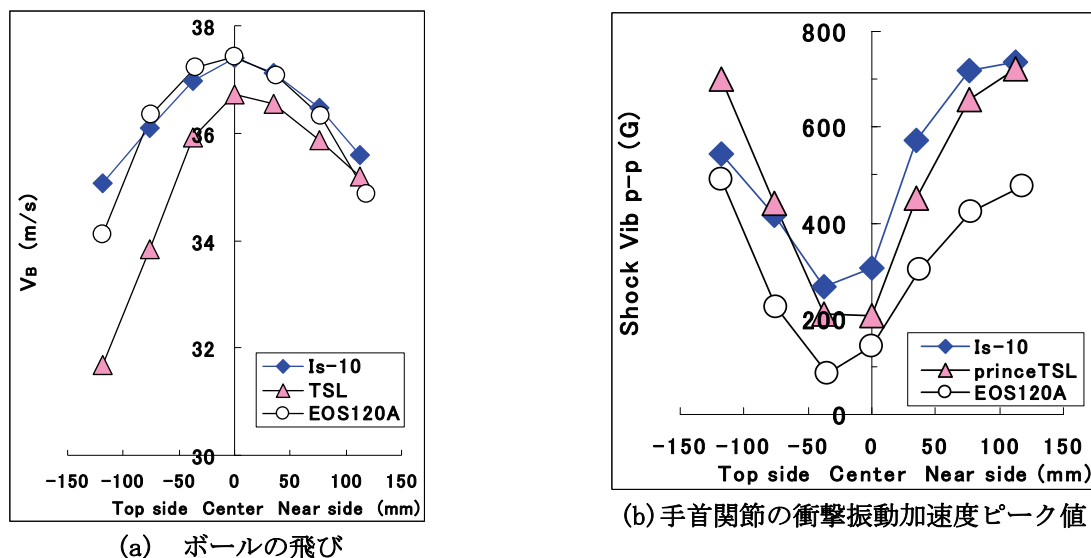


図7 インテリジェント・ラケット (IS-10) のボールの飛びと手首関節の衝撃振動の大きさ

【3. まとめ】

最近の超軽量型のラケットは、全体重量の軽さによって扱いやすさを実現しつつ、バランスをトップ寄りにすることで、パワー不足を補おうとするコンセプトで作られており、アマチュア・プレイヤーの間では広く受け入れられている。しかし、最軽量のラケットは、ヘッド速度は速いが、ラケット面中心から先端側で打撃したときのボールの飛びが低下し、手首関節の衝撃振動の大きさも増大し、軽量化の行きすぎを示した。世界のトップが使っているラケット重量は全体的にかなり重い。軽量化の弱点を克服するために登場したハイテク・ラケットも特別に革新的な性能をもつわけではない。パワーを木製ラケットと比較すると、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。プレーの変化の方がはるかに大きいように見える。

【参考文献】

- 1) 川副嘉彦, (2003): (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.
- 2) 川副嘉彦, (2003): テニスラケットの基本性能と軽量化の限界について, テニスの科学, 第11巻, pp. 9-11.
- 3) 川副嘉彦, (2001), 月刊テニスジャーナル, 第20巻3号～第20巻6号, pp. 54-58.