テニスのゲームの分析方法に関する研究

——ビデオ録画を用いた打球速度測定の試み——

平田　久雄*　戸苅　晴彦*　小山　秀哉*　岡野　崇彦*

An Application of V. T. R. to Game Analysis in Tennis

by

HISAO HIRATA*, HARUHIKO TOGARI*

SHUYA OYAMA*, TAKAHIKO OKANO*

Abstract

As a method of measuring and analyzing ball speed, placement and other variables in tennis games, video-tape-recording (V. T, R.) technique was applied to following uses:

1. To obtain the whole processes of singles game by setting a camera on the extended line of a net and by putting marks (two meters apart) along the side line to the oposit side of the camera to measure the distance in which ball passed.

2. To measure the time in which a ball passed between two marks by synchronizingly recorded time spots on the tape.

3. The fright distance of a ball was computed by HITAC 8700／8800.
through inputting the trigonometrically related values of the place of ball hitting marker, camera, and the bouncing spot of a a ball. The ball speed was obtained by dividing this distance (meter) by the time (second) obtained from 2. above.

In order to examine the validity of the ball speed thus obtained, 16 mm high speed motion pictures were taken at the same time. The correlation coefficient between both measures was .974.

This method was found to be applied to the measurements of not only the ball speed but also such factors as the depth and dispersion of a ball to the forside and backside of the court. The present investigators will be intended to analyze the possible relationship between these variables and win or loss of a match.

緒　　言

いわゆる稽古場の横綱やブルペンのエースの例を引くまでもなく，多くのスポーツにおいて，練習場面でみせるプレーと，試合場面で発揮できるプレーとは別であるとよくいわれる。テニスにおいても，試合前の乱打の猛スピードによって，経験の浅いプレーヤーがのまれてしまうこともままあるが，試合が始まれば通常その何割かのスピードしか出せないものであり，もし常時100％のスピードを出そうとするプレーヤーがいたら，ミスショットの多発で自滅するのを，相手のプレーヤーはだまって待っていればよい。このように，一般に試合時のパフォーマンスが練習時のそれを下廻る傾向があるのは，緊張のために調整力が失われるといった心理的，情緒的要因による面も，もちろん否定できないが，原因は単にそれだけではない。試合中のストロークを例にとれば，それは

* 東京大学教養学部体育研究室 (Department of Physical Education,College of General Education, University of Tokyo)

ただ強打すればよいわけではなく，常に相手の動きを注目しながら，チャンスとみたら，相手を打ち破るのにもっとも効果的な速さ，角度ないしプレースメント，回転等を計算した上でのストロークでなければ，決定打とはならないのである。試合時のストロークは，このような条件を抜きにした練習時のそれとは，外に表われた**動作**（motion）としては同じであっても，**課題**（task）としては全く別であり，従って**技能**（skill）としても大きな違いがある。

それにもかかわらず，プレーヤーの技能水準や競技能力を調べるためのスキルテスト[1]や，従来の諸測定[2]の多くが，相手プレーヤーとの相互作用の働いていない状況で，測定のための試技を行わせるといった方法でしか調べられていないのでは，片手落ちと言わねばならないであろう。

以上の問題意識に立ち，多少の冒険は覚悟の上で，ビデオ録画による，テニスのゲーム中の打球やプレーについて分析する方法の開発に挑戦したのが，本研究の第1の立場である。

勝敗を争ってプレーしつつある状況から得られたデーターは，試技について測定されたデーターよりも，プレーヤーの真の競技能力を反映し，勝敗の行方に対してより大きな意味をもつであろう。それらのデーターが実力や勝敗といかに係っているかを分析しようというのが，本研究の次のねらいであるが本稿では取り扱わない。この種の研究は，これまでほとんど手がつけられていないこともあって，現在のところ気づかれていないが将来分析可能となり，有力な変数となりうるものが埋もれているかも知れない。われわれは，本研究の方法によって得られる資料を情報のプールと考え，それらを粘り強く発掘していきたいと考える。

本稿は大別すると，A，Bの2部よりなり，最初にわれわれが開発した方法の概要を紹介し，次にこの方法のスピード測定に関する妥当性の検討結果を報告した。その後で両者を併せた考察と要約とに続いている。

A 方法の概要

1　実験コート・装置

本研究で使用したテニスコートは，テニスコートがほぼ2面とれる広さの屋内体育館に，東洋曹達工業製サプリームコートを臨時に敷設したものである。屋内コートを使用した理由は，何よりも打球に対する風の影響をなくすためであるが，テレビ写りのための光度を一定に保つことが容易であり，ボールの消耗度が少ないために実験ボールの質を均等に保ち易い等，実験上種々の利点があった。

テレビカメラは，ネットの延長線上で，シングルスコートのサイドラインから15.3m離れたコートサイドの地上3.7mにセットした。コートからの距離と高さとは，テレビカメラとレンズの性能の範囲内でなるべくカメラ写りをよくするためと，ストロークの打点とバウンド地点の確認を容易にするためという，2つの目的を同時に達成するための妥協の位置である。その結果ゲーム中はカメラを打球に合わせて左右に振ることになる。なお，カメラとVTR記録機本体との途中回路に100分の1秒計のデジタルタイマーを接続し，ゲームと同時に録画して打球速度の計時に使用した。

カメラと反対側のコートサイドにはサイドラインと平行に暗幕のバックスクリーンを張り，シングルスコートのサイドラインから3.5mの線上に，ネットの延長線上を中心に左右2m間隔で打球の移動の指標となるマーカー（白線）を垂直に立てた。マーカーは左右それぞれ11本であるが，そのうち両端の3本はバックコートの壁に沿って立てられた。これらは，他の8本と同じ線上に2m間隔で並んだものとしてカメラからみえる位置に立てられた。

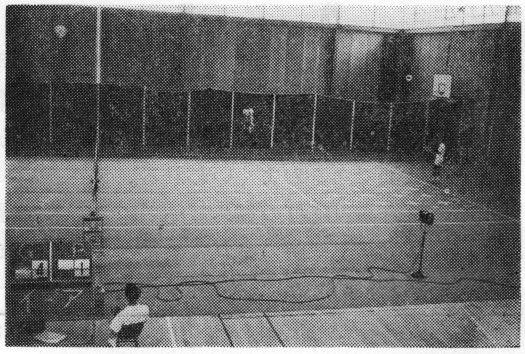

図1　カメラの位置からみた実験コート

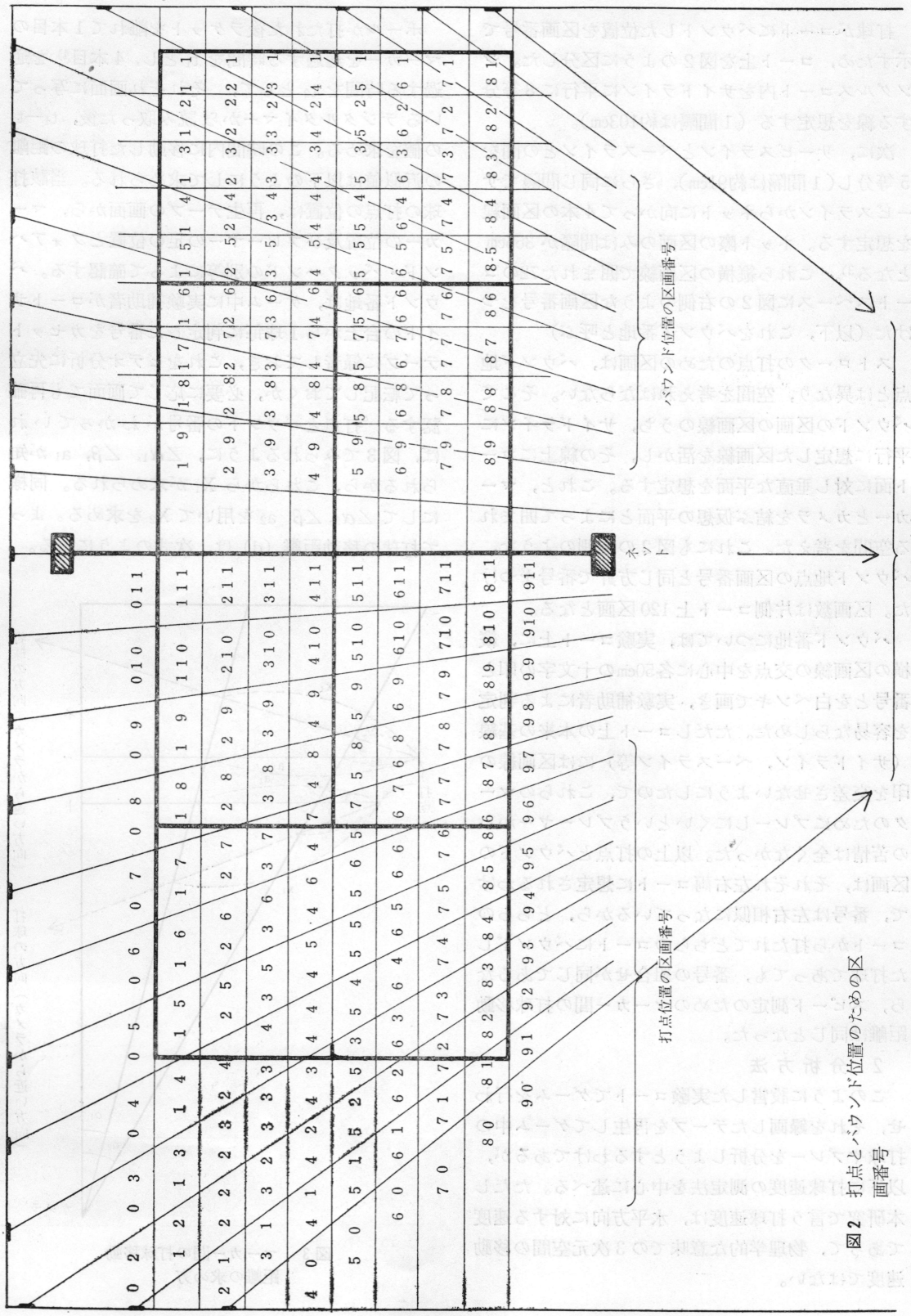

図2　打点とバウンド位置のための区画番号

打球がコートにバウンドした位置を区画番号で示すため，コート上を図２のように区分した。シングルスコート内をサイドラインに平行に８等分する線を想定する（１間隔は約103cm）。

次に，サービスラインとベースラインとの間を５等分し（１間隔は約91cm），さらに同じ間隔でサービスラインからネットに向かって４本の区画線を想定する。ネット際の区画のみは間隔が366cmとなる[3]。これら縦横の区画線で囲まれた72のコートスペースに図２の右側のような区画番号をつけた。(以下，これをバウンド番地と呼ぶ)

ストロークの打点のための区画は，バウンド地点とは異なり，空間を考えねばならない。そこでバウンドの区画の区画線のうち，サイドラインに平行に想定した区画線を活かし，その線上にコート面に対し垂直な平面を想定する。これと，マーカーとカメラを結ぶ仮想の平面とによって囲まれる空間を考えた。これにも図２の左側のような，バウンド地点の区画番号と同じ方針で番号をつけた。区画数は片側コート上120区画となる。

バウンド番地については，実験コート上に，縦横の区画線の交点を中心に各50cmの十文字の印と番号とを白ペンキで画き，実験補助者による判定を容易ならしめた。ただしコート上の本来の基線（サイドライン，ベースライン等）には区画線の印を交差させないようにしたので，これらのマークのためにプレーしにくいというプレーヤーからの苦情は全くなかった。以上の打点とバウンドの区画は，それぞれ左右両コートに想定されるわけで，番号は左右相似になっているから，どちらのコートから打たれてどちらのコートにバウンドした打球であっても，番号の組合せが同じであるなら，スピード測定のためのマーカー間の打球移動距離は同じとなった。

2　分析方法

このように設営した実験コートでゲームを行わせ，それを録画したテープを再生してゲーム中の打球やプレーを分析しようとするわけであるが，以下に打球速度の測定法を中心に述べる。ただし本研究で言う打球速度は，水平方向に対する速度であって，物理学的な意味での３次元空間の移動速度ではない。

ボールが打たれた後ラケットを離れて１本目のマーカーを通過する時間を t_1 とし，４本目[4]を通過する時間を t_2 として，それぞれ画面に写っているデジタルタイマーから読み取った後，t_1—t_2 の値を求める。この時間内に移動した打球の距離の近似値は以下のようにして求められる。当該打球の打点の位置は，再生テープの画面から，マーカーの位置及びプレーヤーの足の位置とフォアハンド・バックハンドの別等によって確認する。バウンド番地は，ゲーム中に実験補助者がコートサイドの台上から１球毎に判定した番号をカセットテープに録音しておき，これをビデオ分析に先立って転記しておくが，必要に応じて画面でも再確認する。打点とバウンドの番号がわかっていれば，図３でみられるように，$\angle\alpha_1$，$\angle\beta$，a_1 が知られるから，これらから X_1 が求められる。同様にして $\angle\alpha_2$，$\angle\beta$，a_2 を用いて X_2 を求める。よって打球の移動距離（d）は，次式のようになる。

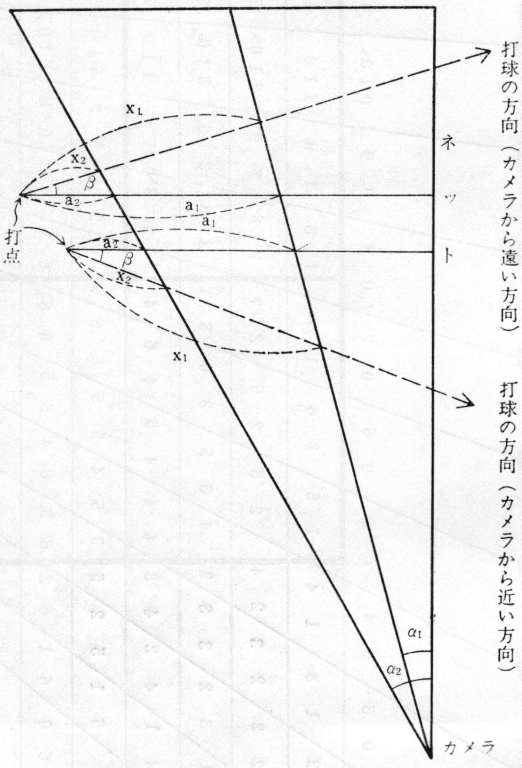

図３　マーカー間の打球移動距離の求め方

$$d=\frac{a_1\cos\alpha_1}{\mathrm{cns}(\alpha_1+\beta)}-\frac{a_2\cos\alpha_2}{\cos(\alpha_2+\beta)}$$

但し　$\cos(-\theta)=\cos\theta$ を用いる。

B　妥当性の検討

このような手続きによってボールスピードの測定を行うのであるが，この方法がはたしてどの程度真の打球速度をとらえているかをみるために，現在精度に関してもっとも定評のある高速度映画撮影によるフィルム分析の結果と比較検討した。

1　手　続

撮影機はフォトソニック 16−1 PL の 16 ミリを用い，シャッター速度は 1/1000 秒，毎秒200コマで撮影した。スピード分析の際の距離の指標のために，長さ一定の白黒のマークの木片を，打球方向の線上に 1 m間隔で置いた。カメラはベースラインの内側 3 mの地点から，打球方向の線に対して 90° の角度で，かつ30m離れたコートサイドに置かれ，地上約 1 mにセットした。打球方向は，ネットに向かって右コーナー（フォアサイド）と左コーナー（バックサイド）とから，それぞれ対角方向のクロスボールと，センターライン沿いのストレートボールの 3 方向について検討した。

ボールは反対コートのサービスライン中央附近から，テニスマシンを用いて打ち出し，ベースラインの内側約 3 mでバウンドし，外側約 0.5m で打つようにした。モデルは熟練者で遅い，中位，速いの 3 段階のスピードで，各 5 本づつを，打球方向を示す線上から著しくはずれないようにストロークすることを要求された。

ビデオによる分析では，前述のバウンド番地の判定結果にもとづいて，1 球毎に距離が計算されたが，映画フィルムの場合には，カメラの位置が打球方向に対してほぼ一定の 90° に保たれているから，打球方向のずれによる距離の変動は 1 %以内にとどまったので，特に距離修正は行わなかった。しかし打球中大きくアウトしたりネットしたりして，ビデオ分析のための距離計算のできなかった打球を除く，残り39例について集計した。また，ビデオによるスピード測定が，カメラからみたマーカーの位置の関係で，打球がベースラインの内側約 1 mに達した時点から行われたので，映画フィルムの分析でもスタートはこれに揃え，スピード計算の基礎となる距離は 3 方向とも共通に約 3 mとした。なおフィルム分析は，ナック製フィルムモーションアナライザーを用いた。

2　結　果

ビデオによって測定される速度は，初速に近い速度ではあるが，あくまでもある距離の平均速度であり，ある距離は一定でなく，テレビカメラからの遠近と打球方向とによって異なるというハンデをもっている。長い距離の平均速度を測れば，打球は時間，距離とともに減速するものであるから，求められた速度は初速よりも理論上は遅くなるはずである。この点を考慮して，まず各測定値を打球方向別に集計してみた。打球方向別の相関図は図 4 に示した通りである。また各打球毎に二

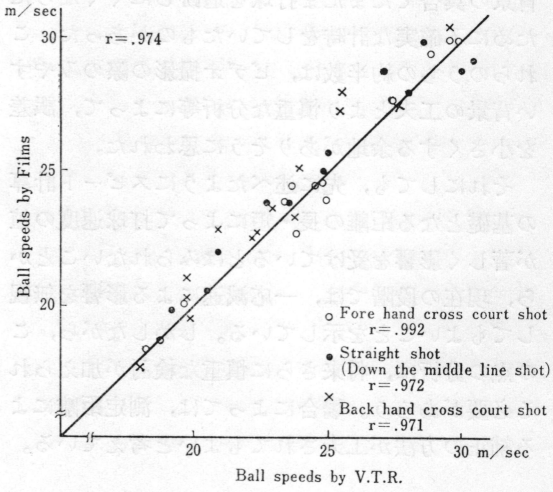

図 4　2 方法による測定値間の相関
Fig. 4　Correlation between ball speeds by 2 measures.

つの方法による測定値間の差を，映画フィルムによる測定値に対する比（%）によって分類すると

表 1　二つの方法による測定値間の差の分布

	1%以下	~2%	~3%	~4%	~5%	5%以上	計
フォアハンドクロス	8	2	0	1	2	0	13
ストレート	4	0	2	0	5	1	12
バックハンドクロス	1	5	3	0	1	4	14
計	13	7	5	1	8	5	39

表1の通りである。

得られた相関係数は，全体で.974であり，打球方向別にみても，フォアハンド.992，ストレート.972，バックハンド.971と一応満足すべき値といってよいであろう。しかし測定値間のずれについては，特に打球方向別にみると，問題がないわけではない。5％以上のずれを示した打球が，全体で5例あること，特にそのうちの4例がバックハンドクロスに集中していることである。恐らくその理由の最大のものは，スピード測定に用いられた打球の移動距離が，バックハンドクロスの場合もっとも短く，従って測定開始と終了の両マーカーで生ずる計時の際の測定誤差が，全体の測定値に対して影響する割合が大きくなるためと考えられる[5]この誤差の大きい打球について，集計後再度ビデオテープを再生し，分析し直してみると，背景の具合でたまたま打球を追跡しにくくなったために不確実な計時をしていたものがあった。これらのうちの約半数は，ビデオ撮影の際のみやすい背景の工夫とより慎重な分析等によって，誤差を小さくする余地がありそうに思われた。

それにしても，先に述べたようにスピード計算の基礎となる距離の長・短によって打球速度の値が著しく影響を受けているとはみられないことから，現在の段階では，一応減速による影響を無視してもよいことを示している。しかしながら，この点の分析は，将来さらに慎重な検討が加えられる必要があろう。場合によっては，測定距離による補正の方法が工夫されてもよいと考えている。

考　　察

打球が所定のマーカー間を通過するのに要する時間と距離とからスピードを計算するというわれわれの方法は，いくつかの点で優れていると考える。まず第1に，コート上のどの位置で打たれた打球であっても等しく初速に近い速度が測定されるという点で，求められた速度の定義が一義的である。われわれがゲーム中の打球速度を測定しようとしてまず最初に思いついた方法は，打点とバウンド地点を結ぶ距離を見積って，これをボールの滞空時間で割るという方法であった。この方法では，ボールがラケットに当たる瞬間とバウンドした時点とで計時することになるが，これらを小さなテレビ画面から正確に判断することは意外にむつかしい。しかしもっと大きな問題は距離の見積りにある。それは，打点とバウンド地点との間を直接測ることができない以上，それぞれの区画を判定し，その区画の代表地点(スペースの中心)間の距離をもってこれに当てざるを得ない。とすれば，区画内で起こる誤差（計算されるときの代表地点と実際にボールが打たれたりバウンドしたりしたポイントとのずれ）が，計算の基礎となる距離全体に占める比は，ざっと計算して15％以上にも達する可能性があるのである。これと比較して，われわれの方法では計時が比較的容易であり，距離の見積りについても区画内のどこで打たれ，どこでバウンドしようとも，区画内でのずれは直接的には測定値に響かない。距離の見積りは区画の中心点の間を結んだ距離で計算され，それはあくまで近似的な値であるが，たとえば仮に中心点からもっとも遠くはずれた区画の端で実際にバウンドしたと仮定しても，測定値の誤差は最大2.5％(浅いコート間のクロスボールの場合)平均すると1％に満たないことが，計算された。しかしながら，打点の区画に関してはやや誤差が大きい。特にネットに向かって左右のずれがもっとも大きく影響し，カメラから1番近いサイドコートでストレートに近い角度で打球が飛んだ場合，最大4.5％の誤差が生ずる可能性のあることが計算されている。ただし全区画の平均をとれば3％以下である。

既に述べたように，われわれの研究のねらいは，何よりもまず，動きつつあるゲーム場面の全過程をありのままとらえるということであり，次にそこからゲームの勝敗やプレーヤーの優劣にかかわりをもつであろう種々の変数を拾いあげることである。個々の測定技術についていえば，他にもっと進歩した器具・方法がありながら，あえて精度からいえば不充分なビデオを用いたのは，経費的に無理のない経済性と[6]，労力的にもいわば省力化を考慮したためである。しかしながらそのためにこそ，多くのゲームからたくさん資料を集めることができるわけで現実に致命的な欠陥とはなっていない以上，多少の欠点は補って余りあると

考える。そうして何よりも願うことは，これらの情報を活かして，実り多き知見を見出していくことにある。

われわれのねらいは，ボールのスピードの測定だけにあるのではない。スピード以外の変数としてすでにいくつかの可能性に気づいている。その一つは，ボールの打たれた位置やプレーヤーの動きについての情報の数量化である。たとえば，両プレーヤーの打点の位置のネットからの距離は，かんたんに集計できるであろう。それは，どちらのプレーヤーがネットから遠い位置でストロークしているかの指標となる。いうまでもなく，テニスのゲームではできるだけ相手プレーヤーをバックコートに釘づけしておくことは，容易に攻撃を仕かけられないという点から，有利に戦うための作戦の一つである。また，ラリーが続く間の各バウンド番地の上桁の数字をプレーヤー別に継げた時，隣り合う2つの数値の差の大小はフォアとバックの両サイドコートへ打球を打ち分けているかどうかの程度をおさえることができる。これはボールを積極的に両サイドに散らして，いかに相手プレーヤーをふりまわしているかの指標となる。また，本研究で区画したバウンド番地を，バックコートにも拡張して設定し，プレーヤーの番地から番地への動きを追跡していけば，ゲーム中での動きの量や速さも測定できるであろう。

今回の研究方法では，フォールトしたサービスや，ネットあるいはアウトしたストロークについての分析は，一応保留したのであるが，これらの打球スピードについての測定もそう大きな障害があるわけではないし，しかも，ゲーム中の資料として，このようなミスショットやミスプレーにも，極めて重要な意味づけが可能であると考えるのは，決して思い過ごしとはいえぬであろう。そうてし将来ダブルのゲームに関する分析も当然着手されてしかるべきであろう。

要　　約

テニスのゲーム中における打球速度やその他の変数を測定し分析する方法として，ビデオ録画を用いて行う以下の方法を考案した。

(1) シングルスコートの一方のコートサイドに，打球の移動距離の指標となるマーカーを2m間隔で立て，他方のコートサイドのネットの延長上にカメラをセットして，シングルスゲームの全過程を録画する。

(2) 録画したビデオテープを再生して，各打球が所定のマーカー間を通過する所要時間を，ゲームの録画時に同時録画したデジタルタイマーから計時する。

(3) この間の打球の移動距離の近似値は，打点，マーカー，カメラ及びバウンドの位置関係からコンピューターを用いて計算し，この距離を先の時間で割って打球速度を求める。

この方法によって測定される打球速度の妥当性を検討するために，高速度映画フィルムによる分析を同時に行い，両者の測定値間の相関係数を求めたところ .974 をえた。

この方法は，打球速度の測定のみならず，打球の深さ，打球をフォアとバックの両サイドコートへ打ち分ける度合等，いくつかの変数を測定することが可能である。将来はこれらの諸測度を併せて，プレーヤーの優劣やゲームの勝敗との係り方を分析していきたい。

本研究中，打球速度測定の妥当性検討のために行った高速度映画撮影には，東京大学教養学部体育学研究室キネシオロジー研究グループの浅見俊雄，足立長彦，山本恵三，佐野裕司，高橋幸太郎の5氏のご協力をいただいた。衷心よりの謝意を表したい。

注

1）DiGennaro, J.: Construction of forehand drive, back hand drive, and service tennis test, Research Quarterly, Vol. 40. No. 3. 496〜501. 1969.

2）小山秀哉，平田久雄，水野忠和，古谷嘉邦
硬式テニスの指導に関する研究
——打球の速度と成績との関係——
日本体育学会第22回大会号，479，1971.

Johnson, J.: Tennis Serve of Advanced Women Players. Researeh Quarterly Vol. 28, No. 2, 123〜131, 1957.

Sebolt, D. R.: A stroboscopic study of the relationship of ball velocity and tennis perform-

ance. Research Quarterly Vol 41, No. 2, 182～188, 1970.

3）ネット際の区画は，他と比較すると幅広のようであるが，実際問題としてこの区画内でバウンドする例は，それ程多くはない。距離計算のための代表位置(他の区画はすべてスペース内の中心点)としては，ネットから3.2mで各スペース幅の中央とした。

4）4本目としたのは，確乎とした根拠があってのことではない。後述のように，本研究の速度の測定は平均速度であるために，測定すべき距離が極端に短いと，計時の測定誤差による全体の測定値に対する影響が大きい。逆に長過ぎるのも再生時にテープを送って分析する際に操作上の不都合がある。両条件と妥協した結果である。

5）本実験のＶＴＲによるスピード測定の計算の基礎となった打球の移動距離は，３方向別に平均すると，フォハンドクロス6.67m，ストレート4.82m，バックハンドクロス3.56mであった。

6）たとえば毎秒200コマの16ミリ高速度映画撮影を行うとすれば，フィルム一本で約50秒のゲーム内容しか撮影できず，しかもフィルム代，現像代を合わせると最低約4,000円にもなる。これでは経済的にも技術的にも多くのゲームの記録，分析をする方法として，とうてい実用化できない。