

スポーツにおける内部認知モデル構築のための 視覚情報とそのキネマトグラフィック解析

塩 野 谷 明*・橋 本 哲 雄*

The Visual Information for Constructing An “Inner Model” to Cognition an External in Sports and Its Kinemato-Graphic Analysis

Akira SHIONOYA, Tetuo HASIMOTO

How do human beings cognize an external? This psychological process has an effect on human behavior. In the behavior of the living system with a high “Information processing” as human beings have, actions are not taken directly by an objective stimulus (Information) from external. An objective stimulus is used to construct an “Inner model” to cognize an external. By this model they cognize an external and take action.

In this paper we take an example from sports, especially serve-receive in tennis-games as an external, and report the visual information (an objective stimulus) for constructing an “Inner model” to cognize an external and take action (represented anticipation).

Key word: Visual Information/Inner model/Anticipation

1. 緒 言

人間はいかにものを認知するか、この心理的機構は近代科学の大きな課題である。この課題に対する理論付けの先駆となったのは、ゲシュタルト心理学とされる。そこでは与えられた刺激はそのすべてを知覚されるのではなく、その対象となる“図”と対象外となる“地”が存在し、“図”はさらに数個の部分に群化され、これらが組合わさった構造を持つ集合体として知覚されるとしている。

「場」の理論として掲唱されたこの理論は、当時の電磁気学の影響を受けたと言われる。また、部分が全体によって決まるといった物理現象は並列同時場の電磁場以外でも、例えばコンピューターにおいてひとつのデータの入れ違いが全体のデータ構造を全く別なものとしてしまうといった今日的な現象でもよく見られることである¹⁾。

この「場」の理論に始まったと言える近代科学としての“認知”の理論付けは、Newell らによる継時的な情報処理理論からのアプローチ²⁾を通して、今日的な生体の情報処理としてモデル化されている³⁾(図 1)。し

かしこうした情報処理システムのモデル構築は、かなりの難題を有している。モデル構築が難題を有するのは、生体における情報処理にレベル（個体差）が生じるためと考えられる。

Miller⁴⁾は、短期記憶 (Short-term Memory) においては 7 ± 2 のチャンク (Chunk 記憶の単位、項目) が入力可能とし、いくつかの部分刺激をひとつのチャンクにまとめることは生体の内的操作で、刺激パターンをうまくチャンク化すると相当複雑なパターンでも記憶が可能になるとしている。

さらに Chase と Simon⁵⁾ はこのチャンクの存在をチェスの競技中の局面を記憶させる実験で示した。競技中の局面を 5 秒間提示する課題で、マスター(名人)はチェスの駒の配置を 91% 再生できたのに対し、初心者は 41% に留まった。しかしランダムに配置された駒の位置の再生では、両者間に差は見られなかった。これらは記憶されている (長期記憶 Long-term Memory) 局面パターンの数の差が影響していると考えられ、その差によって情報処理に段階が生じエキスパート (マスター)、ノンエキスパートといった違いが生まれると考えられる。

戸田⁶⁾⁷⁾⁸⁾ はこの段階を Input, Output の関係から I-O 型情報処理および認知型情報処理としてモデル化し

原稿受付：昭和 63 年 3 月 31 日

*長岡技術科学大学体育・保健センター

ている。そこでは生体はある入力 (Input) に対して、固定した出力 (Output) を対応させるシステムを基礎とし、次に固定した出力から、入力と出力の連絡の適応的視点からの妥当性の検討が絶えずなされている可変可能な出力を対応させるシステムへと進化する。さらに認知型への進化では、刺激としての外界からの入力を直接行為選択機構に結び付けず、その入力 (情報) を内部における外界認知モデル構成のために使うことになる。そして、行為の選択はその時点における認知モデルの状態に依存して行われる。このような外界認知モデルの原型は、外界を「もの」とその関係の形で情報処理を行うことから始まるとしている。

本研究ではこの戸田の情報処理の考察を基に、スポーツに見られる局面を取り上げ競技者というエキスパートが、ある局面の情報処理を行うための内部モデルの構築をどのような入力情報に基いて行っているかを、その取り上げた局面を「もの」とその関係からモデル化し抽出することで理論付けするとともに、多方向に渡って検討を加えることを目的とした。尚、本研究で課題としたスポーツはテニス、局面はサーブレシーブとした。

2. テニスにおけるサーブレシーブの局面

テニスのゲームでは、そのほとんどの局面において状況の「認知」が重要となる。サーブ、レシーブ、ボレー、パス等多くの技術がこの認知を基に行われている。サーブレシーブの局面も同様で、レシーバーはサーブのコースや球質に関しての「予測行動」としてレシーブを行うと言われる。そしてこの予測行動は、前述のようなある内部モデルに基く認知によってなされると言われる。

Pollton⁹⁾によれば、サーブレシーブは相対する相手の動作によって種々の制約を受けるオープンスキルとされる。この場合相対する相手の動作はサーブであり、レシーバーはこのサーブ動作をある内部モデルに基いて認知、情報処理し、コースや球質に関しての予測を起こすことになる。

これまで球質という側面では、サーブ動作との相互関係が数多く取り上げられ、球質認知の内部モデル構築のための視覚情報の存在性は示唆されてきた。しかしコースという側面では競技者、特に高い水準にある競技者において、サーブ動作という過程とコースという結果に相互関係 (あるいはリダンダンシー) の存在を報告したものは見られない。すなわち高い水準の競技者では、サーブのコースにその時の動作形態

が協応することなく、全く同一の動作でコースを打ち分ける。そしてコースは、インパクト直前のラケット面の角度によって決定されることになる。しかしそうなると、この段階で認知のための内部モデル構築は困難になってしまう。なぜならサーブ動作において、ラケットを含んだ上肢の運動は肩峰部を中心とした外旋回転運動であり、末端のラケットの速度はインパクト時で 40 m/sec を超える¹⁰⁾ことから、それが唯一の視覚情報となるとは考えにくい。

そこで本研究ではサーブのコースという側面からの、内部モデル構築のための視覚情報の存在性について検討した。

3. 方法

実験は本研究のねらいに適當と判断された男子競技者 5 名を被験者に、高速度映画撮影法を用いて行われた。尚、実験場面は図 2 の通り設定した。

使用カメラは 16 mm 高速度カメラ (LOCAM MODEL 51) で、サーバー (被験者) と仮想のレシーバーの位置を結んだ直線上、サーバーから 21 mm の地点にレンズ高 1.4 m で設置された。撮影コマ数は 200 FPS、シャッター開角度 1/3、絞り値 $F=2.3$ 、レンズはズームレンズ (ANGENIEUX 200 MTYPE 10 * 12B F1.2 -120 mm) を用いた。フィルムは EASTMAN 4 * NEG-ATIVE FILM 7224 を用い、自然光で撮影した。

各被験者には黒色のワンピースを着用させ、各計測点 (図 2) にランドマークを装着した。被験者にはシングルスゲームを想定させ、ベースラインのセンターマーク付近より設置されたカメラをレシーバーと仮想して、そのフォアサイド (右サイド) およびバックサイド (左サイド) にサーブを行わせ、その際の動作を高速度撮影した。

尚、次の 2 点が指示された。

- 1) サーブの種類は問わない。ただしゲームに用いるファーストサーブであること。
- 2) サーブを行う前に明確にコース (フォアかバック) の選択を行う。

以上の 2 点を指示した後、実施した。

分析はフィルムモーションアナライザー (NAC) を用い、パーソナルコンピューター (NEC-PC8801) と接続、動作におけるトスアップを時間軸の原点として 5 コマ毎、サーブ動作の起こし始めからインパクトまで大転子点を座標軸の原点として、各計測点の座標値を求めた。撮影コマ数は 200 FPS で、1 コマは 5 msec に相当する。

4. 結果および考察

4.1 上肢の運動形態からの一例

図 3.1 から図 3.5 までは各被験者の、サービス動作におけるトスアップを行った腕（右ききの場合左腕，左ききの場合右腕，被験者 A, B, C, D は右きき，E は左きき）の茎突点，橈骨点の軌跡図である。実線はフォアサイドへサービスされた場合，点線はバックサイドへサービスされた場合の軌跡である。○，●はインパクト 150 msec 前の各計測点の位置を示している。

すべての被験者にトスアップ後最高点に達した腕がインパクトに至るまでの振り降ろし（図中，茎突点 a，橈骨点 b）に際して，フォアサイドへサービスされた場合に右より（レシーバーからの視覚として）の軌跡となる傾向が見られた。この様なフォアサイドへのサービスとバックサイドへのサービスの左右差はインパクト時で，被験者 A が茎突点で 121 mm，骨点で 121 mm，B ではそれぞれ 195 mm，151 mm，以下 C では 50 mm，72 mm，D では 54 mm，53 mm，E では 162 mm，119 mm，平均 116.4 mm，103.2 mm となっている（表 1）。

図 4.1 から図 4.5 までは，各被験者のインパクトに至るまでの前述の茎突点の速度変化を示している。○はフォアサイド，●はバックサイドへサービスされた場合である。

被験者 A においてはフォアの場合，インパクト 200 msec 前で最高 5.8 m/sec，バックへの場合 175 msec 前に最高 6.2 m/sec となっている。同様に B の場合フォアでは 175 msec 前に 8.0 m/sec，バックでは 150 msec 前に 8.7 m/sec，C ではフォアの場合 125 msec 前に 9.4 m/sec，バックは 100 msec 前に 9.2 m/sec，D ではフォアの場合 200 msec 前に 8.0 m/sec，バックは 175 msec 前に 6.7 m/sec，E ではフォアの場合 175 msec 前に 7.5 m/sec，バックは 200 msec 前に 6.3 m/sec となっている。

このように被験者 E を除いて，フォアサイドへサービスがバックサイドへのサービスよりも 25 msec 早く最高速度を記録していることがわかる。

また図 5.1 から図 5.5 までは，各被験者の前述の茎突点の左右差を時系列的に並べたものである。○（茎突点）◇（橈骨点）はフォア，●（茎突点）◆（橈骨点）はバックへサービスされた場合である。

被験者 B を一例とするなら，インパクト 200 msec 前以前ではフォアへのサービスが，バックへのサービスよりも左よりに軌跡を描く傾向が見られるが，200

msec 前あたりで逆転，以後インパクトに至るまでフォアへのサービスが，バックへのサービスよりも右より軌跡を描いている。こういった傾向は，被験者すべてにおいて見られる。またインパクトでの左右差は前述のとおり（表 1）である。

サービス動作においてトスをあげた側の腕の役割は，ただトスをあげるだけに留まらない。この腕の動作について川島¹¹⁾は，サービスのフィニッシュの動作で，熟練者はトスをあげた腕の反作用を反対の腕が利用していると述べている。また実際の多くの指導の場面，例えばスマッシュの場合等にラケットを持っていない側の腕で，落ちてくるボールを捕まえるようなイメージを持つことを助言されることなどがある。すなわちこの側の腕によって，外部の方向を指示することが考えられる。

サービスにおいてレシーバーのフォアサイドを狙う場合，バックサイドよりも体軸の回転角が大きくなる。またレシーバーにとってはフォアサイドは右側，バックサイドは左側に相当する（図 2 参照）。すなわちこれらの物理的条件が，各被験者においてバックサイドに比べ，フォアサイドへのサービスが右よりの腕の軌跡を描き，そして 25 msec とわずかであるが，腕の振り降ろしに時間的ずれが生じたと考えられる。

また被験者 E については左ききであるために，右ききの場合の体軸の回転角とは逆転の関係が生じ，前述のように他の被験者とは全く逆の結果が生じたと考えられる。

さらにこれらは上肢においてサービスの動作とコース間の相互関係として，認知のための内部モデル構築のための視覚情報源と成り得ると考えられる。

戸田⁶⁾はこれを構造上のリダンダンシーと呼び，外界をこの様な相互関係で結び付けることは，予測の必要条件としている。

また中山ら¹²⁾が神経生理学的見地から，レシーブにおいてはサービスのインパクトの 150 msec 前に予測行動を起こす必要があると述べているが，今回の実験で 150 msec 前には動作とコースの相互関係が顕著となっていることから，これらが予測行動を起こす認知のための内部モデル構築の視覚情報と成り得ることが考えられる。

4.2 下肢の運動形態からの一例

図 6.1 から図 7.5 までは下肢脛骨点，果点における左右差を時系列的に並べたものである。

サービス動作は，多関節において行われる図転運動が組合わさって構成される。その回転運動の中で最大

となるのは、体軸を中心としたものである。回転運動は、軸となる脚（右ききの場合左の脚）を中心に行われる。この回転運動に付随して、軸となる脚を中心に回転する側の脚は軸となる脚に一端隠れる時期がある。ここではそれを MASKING POINT とし、回転運動の視覚上の時系列的早遅の指標とした（図 8 参照）。

図 6.7 中○は回転運動に付随する側の脚、◇は軸となる脚、白ヌキはフォアにサービスされた場合、黒はバックにサービスされた場合を示す。尚この時系列の時間軸は、インパクト前 500 msec からインパクトまでとなっている。

被験者 A の場合インパクト 500 msec 前で、フォアへのサービスにすでに MASKING POINT が見られる。しかしバックへのサービスでは、475 msec 前で MASKING POINT が始まっている。終了はフォアの場合が 437.5 msec 前、バックが 350 msec 前と約 87.5 msec の時間のずれが生じている（図 6.1）。

被験者 B の場合インパクト 500 msec 前で、すでに MASKING POINT はフォアへの場合に終了しているが、バックへの場合 500 msec 前に始まり、400 msec 前に終了と、ここでも約 100 msec の時間のずれが生じている（図 6.2）。

被験者 C の場合フォア・バックいずれもインパクト 500 msec 前の時点で、MASKING POINT は終了している（図 6.3）。

被験者 D の、場合フォアではインパクト 200 msec 前、バックの場合 187.5 msec で MASKING POINT が始まり、フォアでは 162.5 msec、バックでは 125 msec 前に終了している（図 6.4）。

被験者 E の場合（左きき）、インパクト 250 msec 前でフォアへのサービスの MASKING POINT が開始され、125 msec 前で終了している。これに対してバックの場合 275 msec 前に始まり、150 msec 前に終了している（図 6.5 回転運動に付随した脚の果点の検出できず（図 7.5）胫骨点による）。

以上 MASKING POINT の開始、終了については被験者 C も含めて表 3 に掲載した。

前述の様に、レシーバーのフォアへのサービスはバックへのそれに比べ、体軸の回転角が大きくなる。そのため上肢の運動形態では、トスをあげた腕の振り降ろしに時間のずれが生じた。同様に体軸を中心とした回転運動でも、被験者 A, B, D に見られるように回転角が大きな方向（フォアへのサービス）の場合に時系列的に早い段階での回転運動が見られている（MASKING POINT の時系列的早遅）。

また被験者 E の場合は左ききのため、体軸の回転角の大きさにフォア・バックで右ききの者との逆転が生じる。そのために MASKING POINT の時系列においても逆転が生じたものと考えられる。しかしこの逆転は、サービス動作とコースの相互関係から当然起こりうる結果と言える。

被験者 C の場合、500 msec の段階ですでに MASKING POINT はフォア、バックとも終了している。表 2 から、被験者 C の MASKING POINT はフォアへのサービスでインパクト 675-575 msec 前、バックで 750-650 msec 前であるが、これは明かにサービス動作とコースの相互関係からは逸脱した結果である。

Elliott¹³⁾ によればサービス動作は、力の支点となる脚によって 2 種類に分けられる。すなわち左の脚（回転運動の軸となる脚、ただし右ききの場合）を支点とする場合と、右の脚を支点とする場合である。

後者の場合脚の交差は回転運動に付随せず、サービス動作の比較的早い段階で、回転運動の軸となる脚に支点となる脚が引き寄せられるといった動作に付随して MASKING POINT が見られる。

このように回転運動に付随しない場合は、サービス動作とコースの相互関係からは逸脱した結果となることも考えられる。

しかし下肢の運動形態においても、両者の相互関係（リダンダンシー）という点で合致した関係が見られていることは、競技者が認知のための内部モデル構築に用いる視覚情報の存在を示唆するものと考えられる。

また前述の神経生理学の見地から、予測行動の限界点がインパクト 150 msec 前という点でも、回転運動がすでにその時点である種の相互関係を、情報源として提供している点からも、内部モデル構築のための視覚情報と成り得ることが考えられる。

4.3 認知モデル構築のための視覚情報

前述の様にテニスのゲームでは、その局面における状況の認知が重要となってくる。またそれはテニスを取り巻く外的条件（ハードウェア）の変化、例えばコートサーフェイスの主流がケミカルな素材となったり、ラージサイズラケットの普及、あるいは新しい素材を用いたラケットの開発等、そしてそれに並行して競技者個々の運動能力、技術等（ソフトウェア）の進歩に伴い、ますます重要となってくると考えられる。今日、コートサーフェイスの素材の違いによっても変わってくるが、サービスアンドネットといったゲーム展開やストロークにおいてライジングで打つ場合等が多く見

られることは、まさに状況の“認知”の重要性を示唆するものと考えられる。そしてこういったゲーム展開では神経生理学的に 150 msec とした、あるひとつのプレーに対する予測の時間的猶予の限界も、それ以下での時間的猶予で予測が強いられるといった局面を作り出すことになると考えられる。そういった意味で、テニスにおける一プレーとしてのサーブレシーブにおいても、同様のことが言えるであろう。

今回の結果において、サービス動作の四肢運動の例として取り上げた、トスアップを行った腕に見られた、サービスのコースとの相互関係は状況の“認知”のための内部モデル構築の視覚情報として存在する可能性は、先に述べたとおりである。またこれはゲシュタルト心理学で述べるところの、知覚対象の“図”のひとつと考えられる。さらに、下肢運動の例として上げた回転運動に伴う MASKING POINT とコースとの相互関係も同様に、知覚対象の“図”のひとつと考えられる。また、被験者 C に見られた MASKING POINT とコースの相互関係の不適合は、これによって内部認知モデル構築を行えば、サービスをレシーブすることはできないという局面が生じてくると考えられる。これがすべてのスポーツに見られる、“かけひき”と唱えられるものに関係してくると考えられる。

このように多くの“図”が存在し、それらが群化され、そして組合わさった構造の集合体としてレシーブを行う側にとっての、サービス動作＝内部認知モデルとなっていると考えられる。そしてこのモデルが実際の局面に、フィードバックされることになる。

また今回の結果で、人間がほぼ同一の形態を持つふたつの動きに対して、時間的に早遅が見られた場合、その認知はマクロ的数値ではあるが 25 msec 以下に限界があることを示唆するものであった点は、今後の大きな課題のひとつであろう。

5. 結 語

今回の結果は以下のように総括できる。

1) テニスにおけるサーブレシーブを一例として、状況を認知していくための内部認知モデル構築を行う情報（視覚情報）は、レシーブをオープンスキルとするサービス動作の中に存在する。

2) 情報の一例としては、トスアップを行った側の腕とサービスのコース、回転運動に伴った下肢の MASKING POINT とサービスのコース等に、それぞれ相互関係が見られた。

3) こういった多くの相互関係が知覚対象の“図”

として存在し、それらが群化され、組合わさってひとつの集合体としてモデル化される（ゲシュタルト心理学）と考えられる。

4) 人間がほぼ同一の形態を持つふたつの動きに対して、そこに時間的早遅が存在する場合、その早遅の認知の限界は 25 msec 以下にあることが考えられる。

以上である。尚、本稿に用いた図・表は資料として巻末に掲載した。

参 考 文 献

- 1) 森 英雄：パターン認識のプロセス、サイコロジー、No. 9, pp. 26-34, 1980
- 2) Newell, A., Shaw, J.C. & Simon H.A.: Elements of a theory of human problem solving. Psychological Review, 65, pp. 151-165, 1958
- 3) Norman, D.A.: Twelve issues for cognitive science. Cognitive science, 4, pp. 1-32, 1980
- 4) Miller, G.A.: The magical number seven, plus or minus two, Some limits on our capacity for processing information. Psychological Review, 63, pp. 81-97, 1956
- 5) Chase, G.W. & Simon, H.A.: The mind eye in chess. In W. G. Chase (Ed), Visual information processing. Academic Press.
- 6) 戸田正直：人間と情報処理、サイコロジー、No. 9 pp. 20-25, 1980
- 7) Toda, M.: Future time perspective and human cognition; An evolutionary view. International Journal of Psychology, 18, pp. 351-365, 1983
- 8) 戸田正直：認知科学とは何か、認知心理学講座 1, pp. 7-31, 1984
- 9) Pollton, E.: On prediction skilled movement. Psychological Bulletin Vol. 54, No. 4, pp. 467-478
- 10) 塩野谷明ほか：サービス動作のキネマトグラフィック的解析、新潟体育学研究、1988、印刷中
- 11) 川島一明ほか：硬式テニスに関する研究—サーブにおける左腕の動作分析、第31回日本体育学会号、1980
- 12) 中山厚生ほか：テニスのレシーブにおける反応動作、天理大学学報、pp. 5-14, 1981
- 13) Elliot, B. et al: A three-dimensional cinematographic analysis of the tennis serve. International Journal of Sport Biomechanics 2, pp. 260-271, 1986

資 料

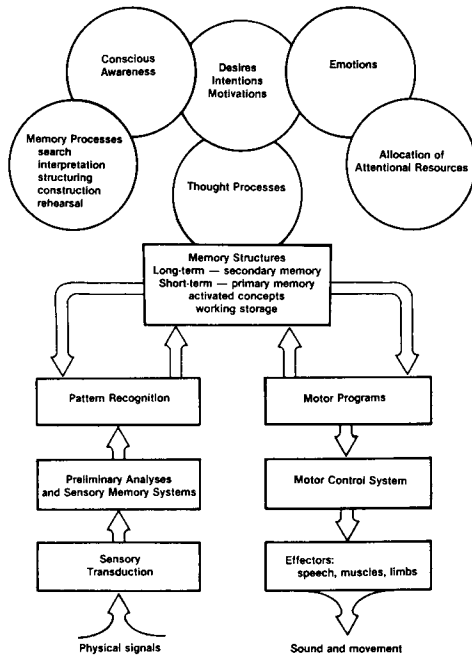


Fig. 1 A modern version of the conventional flow chart of the human information processing system. The source from "Twelve issues for cognitive science." By Norman, D.A.

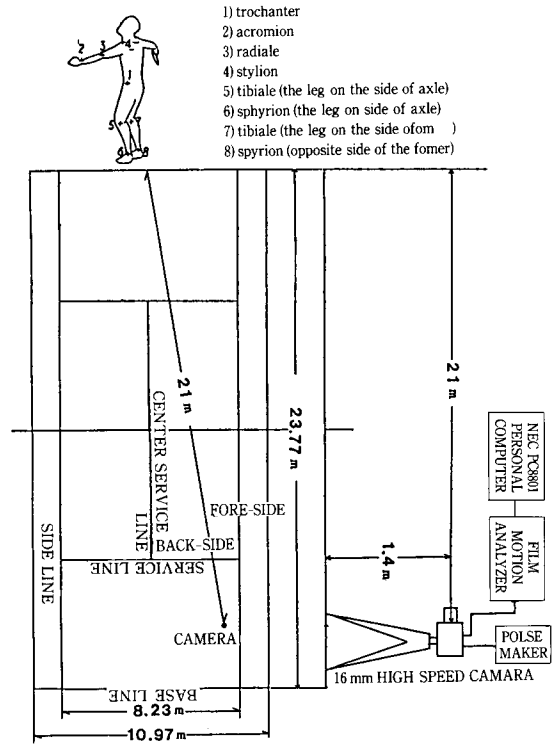
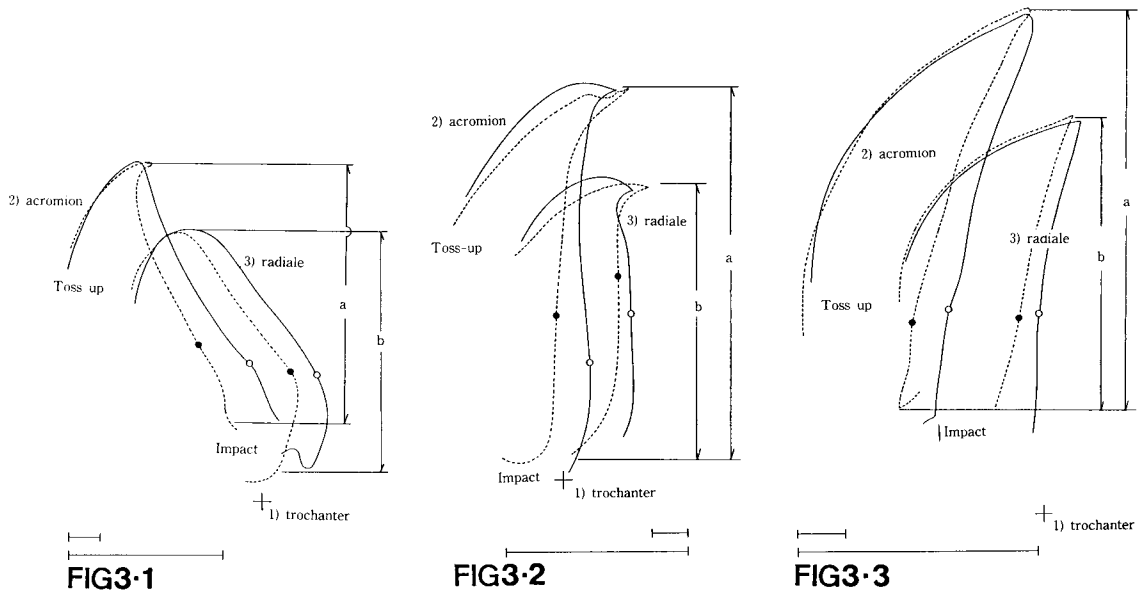


Fig. 2 The setting of the experimental ground.



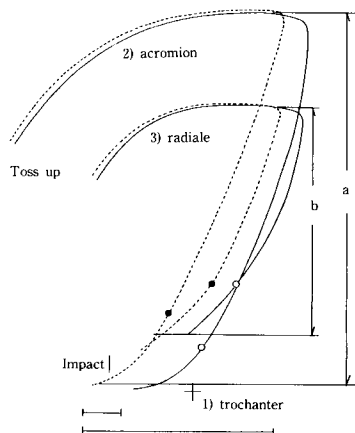


FIG3-4

Fig. 3-1-5 The orbits of 2) acromion and 3) radiale in taking action of Toss-up. A line is in case of the fore-side service, a dotted line is in case of the back-side service.

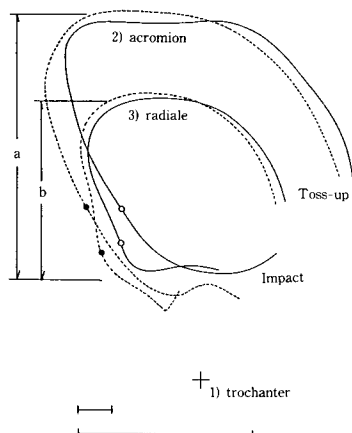


FIG3-5

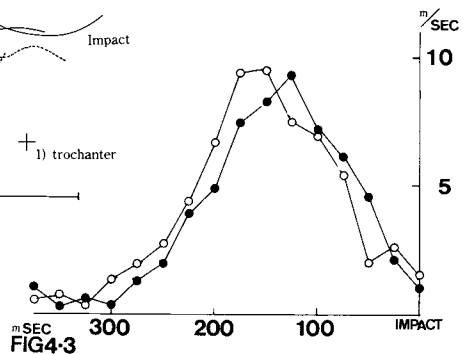


FIG4-3

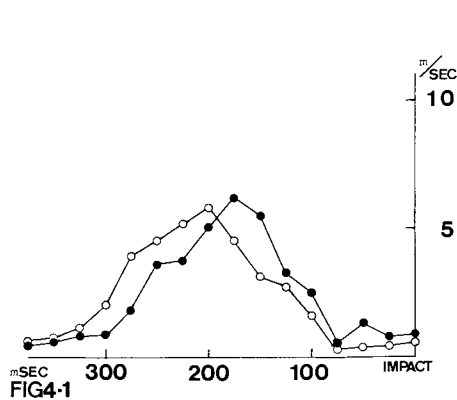


FIG4-1

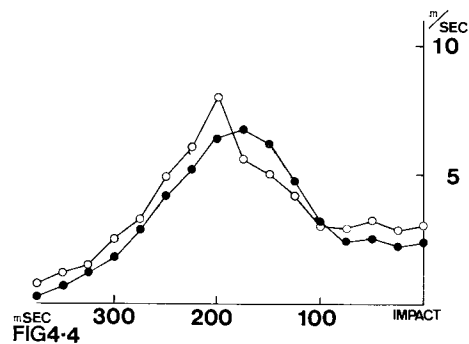


FIG4-4

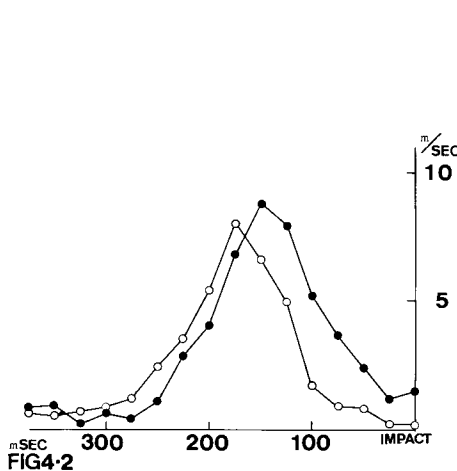


FIG4-2

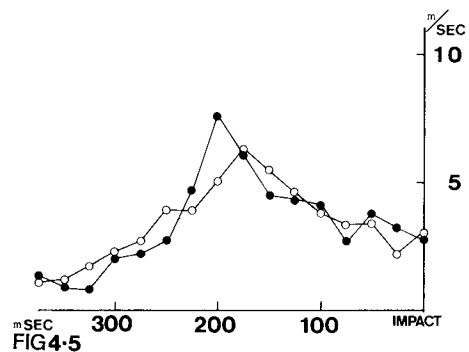


FIG4-5

Fig. 4-1-5 The variation of the velocity of hand (2) acromion) in taking action of Toss-up. ○ is in case of the fore-side service, ● is in case of the back-side service.

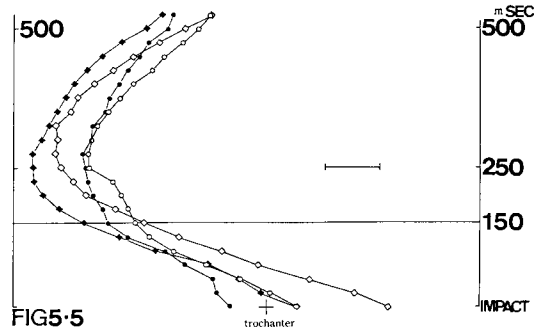
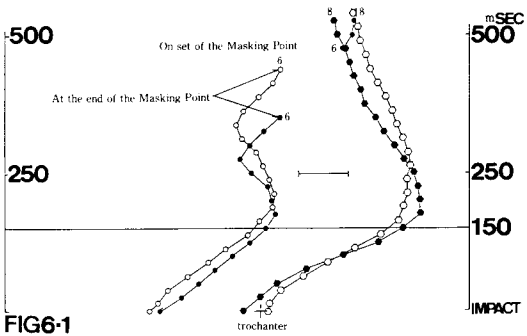
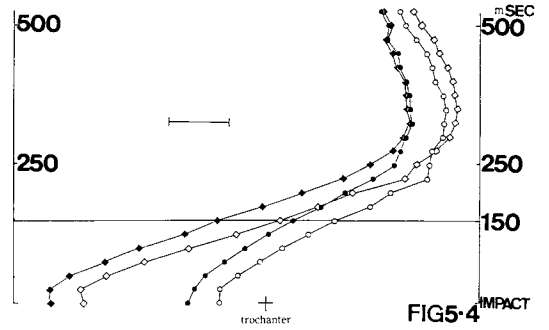
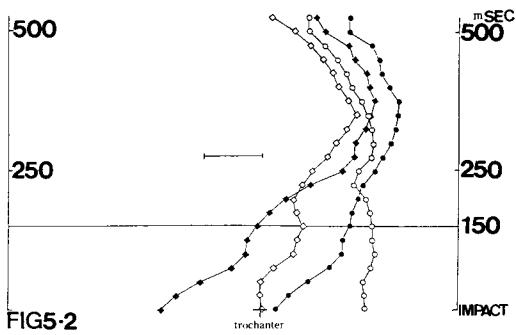
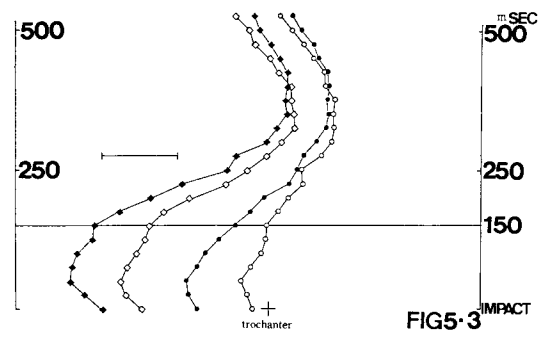
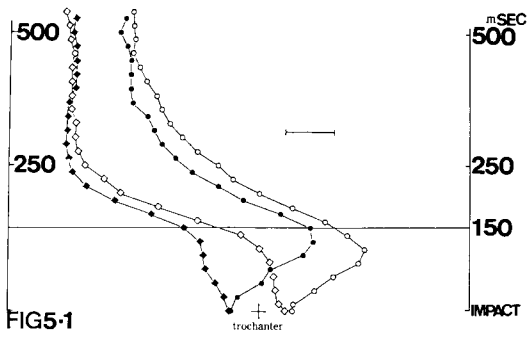
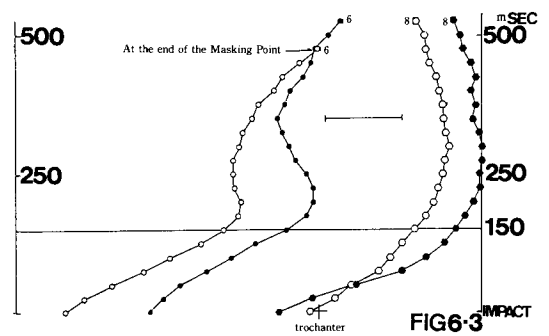
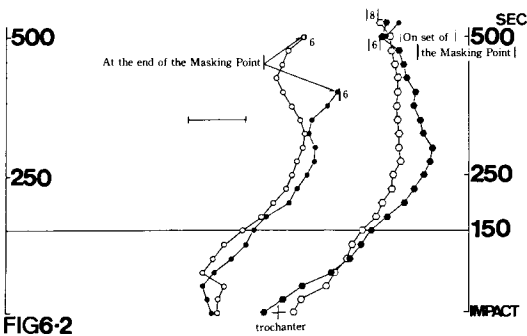


Fig. 5.1-5 The time series flow of X-axis value in the coordinates be involved in hand (2) ○ ● acromion and 3) ◇ ◆ radiale) taken action of Toss-up. White mark is in case of the fore-side service, Black mark is in case of the back-side service. A reduced scale is 100 mm.



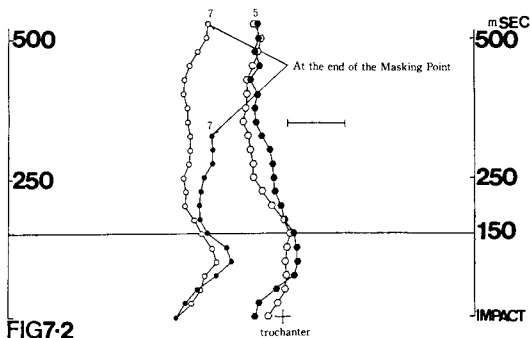
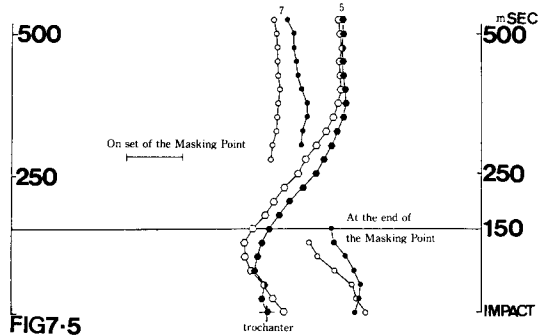
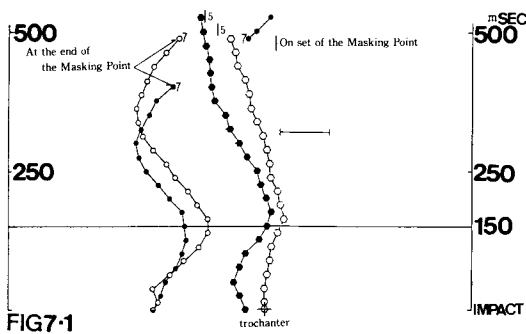
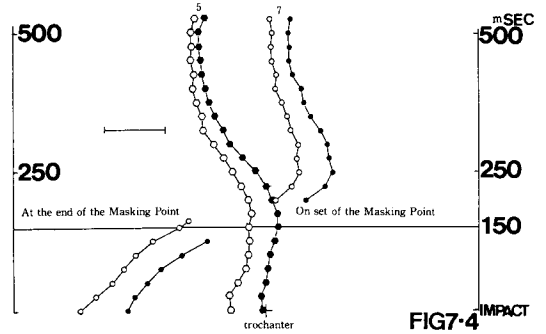
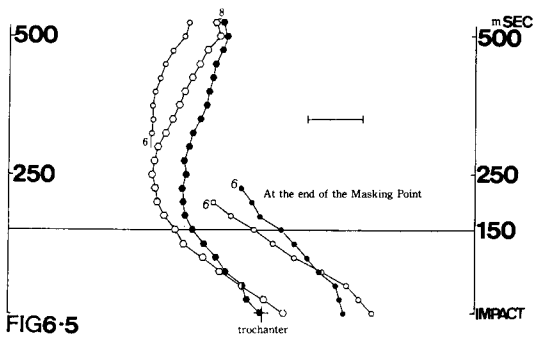
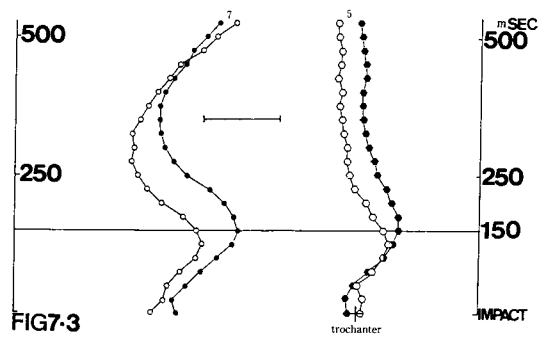
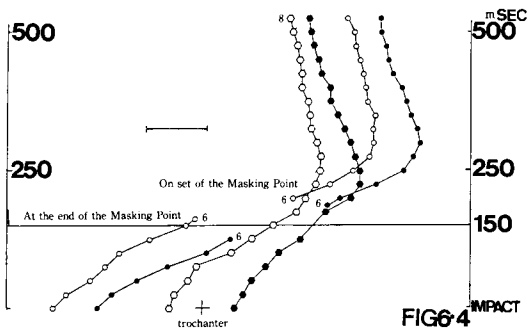


Fig. 6・1-5 On set and at the end of the Masking Point about 6), 8) sphyrion. ○ ● sphyrion is on the side of axle in service, ○ ● sphyrion is not axle in service or axle in elementally in service. White mark is in case of fore-side service, black mark is back-side service. A reduced scale is 100 mm. Flow of sphyrion.

Fig. 7・1-5 On set and at the end of the Masking Point about 5), 7) tibiale. ○ ● tibiale is on the side of axle in service, ○ ● tibiale is not axle in service or axle in elementally in service. White mark is in case of fore-side service, black mark is back-side service. A reduced scale is 100 mm. Flow of tibiale.

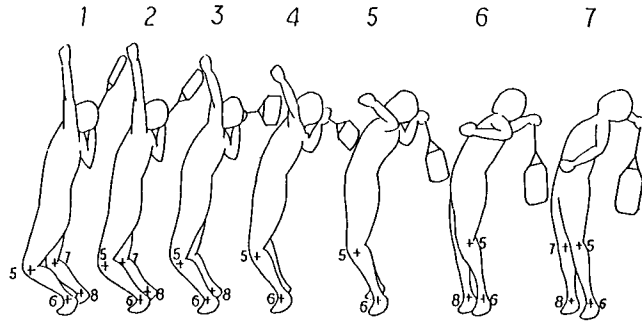


Fig. 8 A definition of The Masking Point in this report. 1. 5) tibiale, 6) sphyrion (on the side of axle), 7) tibiale, 8) sphyrion (opposite side of 5), 6) 3. On set of the Masking Point in 7) tibiale 4. On set of the Masking Point in 8) sphyrion 6. At the end of the Masking Point in 8) sphyrion 7. At the end of the Masking Point in 7) tibiale.

Table 1. The horiuontal difference fore-side service and back-side service in Inpact.

SUBJECT	STYLION	RADIALE	
A	122	121	
B	195	151	
C	50	72	
D	54	53	
E	162	119	mm
MEANS	116.4	103.2	mm

Table 2. The periods of the Masking Point

SUBJECT	RORE · MS	BACK · MS	
A	500—437.5	475—350	*
	600—525	500—425	
B	600—500	500—400	*
	650—550	600—350	
C	675—575	750—650	*
	675—500	700—575	
D	200—162.5	187.5—125	*
	200—162.5	200—125	
E			
	250—125	275—150	*

* deta is used in this repoet. The upper deta in each subject is sphyrion, the below deta in each subject is tibiale.