

バドミントン・ラケットに作用するモーメント
・パターンからみたパワー・ストローク
・プロダクションの類型

阿部 一佳, 渡辺 雅弘*, 太田 憲**, 中谷 敏昭

Types of Power Stroke Production classified by Patterns of
Moment acting on Badminton Racket

Kazuyoshi ABE, Masahiro WATANABE,
Ken OHTA and Toshiaki NAKATANI

Abstract

The purposes of this study were:

1. To analyze moment acting on a badminton-racket during stroking, and to classify those phase diagrams, and
2. To find the developmental process of skill in overhead-stroke production by using such classification of phase diagrams.

The moment, acting on a badminton racket during stroking, were measured with a strain gauge, and displayed on a oscilloscope. Phase diagrams were classified by cluster analysis using five variables listed below: 1) Maximum moment in forward-swing. 2) Angle of the direction of forward swing in the front-back direction. 3) Ratio of the moment range in front-back direction to the moment range in right-left direction. 4) Area covered with the curve of moment. 5) Ratio of the front-area covered with the curve to that of the back-area.

Subjects were forty-four students, twenty-eight of them performed imitation stroke only, sixteen of them smashed a shuttle. Both samples were analyzed together to make schemata of skill development.

The results were:

1. Patterns of phase diagrams were classified into 4 clusters.
2. In the 1st cluster the front-back moment was dominant, and the magnitude of moment was small. This cluster showed j-shaped pattern.
3. For the 2nd, 3rd, and 4th clusters, the right-left moment was dominant. Right-left moment was produced by medial rotation of the fore arm and upper arm of the right arm.

These clusters showed T-shaped pattern. Among these clusters, there were some differences in magnitude of moment and the area.

The development of skill of overhead-stroke production would progress from j-shaped pattern to T-shaped pattern.

* 埼玉県立越谷南高等学校

** 筑波大学体育研究科

1. 緒言

バドミントン競技においては、プレーヤーは自らが生産した力を腕-ラケット系に伝導し、これを用いて、ラケットを介してシャトルを打つ。したがって、この運動は、ラケットがシャトルを打つ運動と、プレーヤーがラケットに運動を与える運動の、二つの系から構成されている。前者の運動系はストローク (stroke), 後者の運動系はストローク・プロダクション (stroke-production) と呼ばれており²⁾, この二つの運動系の関係をフィード・バックすることで、プレーヤーの運動質を高め、ゲームの諸状況の中で適切な運動を遂行出来るようになることが期待される。

バドミントンのパワー・ストロークにおいては、上腕・前腕の軸回転運動が重要な運動要素をなすことは既に幾つかの文献において明らかにされている^{1), 2), 3), 4), 5)}。特に、ゴビツク B.A.Gowitzkeらはフィルム分析によってこのことを定量的にも明らかにしている^{3), 4)}。阿部は、筒状の形状を持つ上腕・前腕・胴体の軸回転運動に注目し、手首、肘、腹部などの伸展・屈曲系運動との間に生まれる力動的な構造からストロークの基本モデルを解釈している⁶⁾。また、宮地らはこのモデルに従ってバドミントン・ラケットに働くモーメントを“力の位相図”として描き出し、熟練者と未熟練者の形状に明瞭な違いのあることを明らかにしている⁷⁾。さらに牛山は、この位相図と併せてプレーヤーのストローク・プロダクション運動をビデオ撮影し、この運動経過と“力の位相図”上のデータの比較を行ない、ラギング・バック^{註1)5)}に至る局面、最大加速度に達する局面、フォロースルーに至る局面などで熟練者と未熟練者の間

の運動形態に有為な違いのあることを報告している⁸⁾。

いずれの研究においても、ラケットに働くモーメントの“力の位相図”が、オーバーヘッド・ストローク・プロダクションに習熟していく過程を発達段階的に捉えるための重要な情報を与えることが示唆されている。

こうしたことを踏まえて阿部は、“力の位相図”の特性からオーバーヘッド・ストロークの技能の発達過程とその水準を描き出し、ストロークの技能を習得し、発達させるための評価モデルとして積極的に利用している⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。

2. 研究目的

本研究では、フォアハンドによるオーバーヘッド・ストローク・プロダクションについて、特にパワー・ストローク時のラケットに働くモーメントについての“力の位相図”に注目し、この位相図の成分の内では有効と考えられる変数を抽出して、“力の位相図”そのものを分類し、ストローク毎の技能達成度の関係を推測できるかどうかを検討する。

3. 研究方法

3-1. ラケットに働く力の測定

測定はラケットのシャフト部分にストレングージを貼付し、シャフトの歪みからラケットに働くモーメントを求めた (図1)。歪みは図2のように前後方向、左右方向の2方向について測定した。この場合、歪みの大きさとラケットに働くモーメントの大きさは比例関係にあり、歪みの方向とラケットに働くモーメントの方向は逆になる。これらの信号

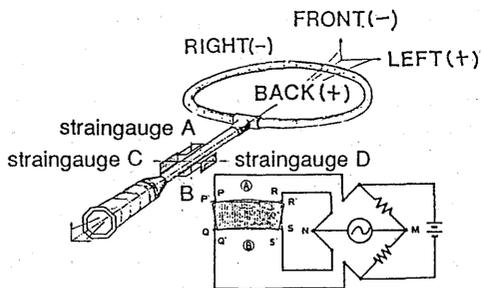


Fig.1 Apparatus for recording racket's movements with strain gauge

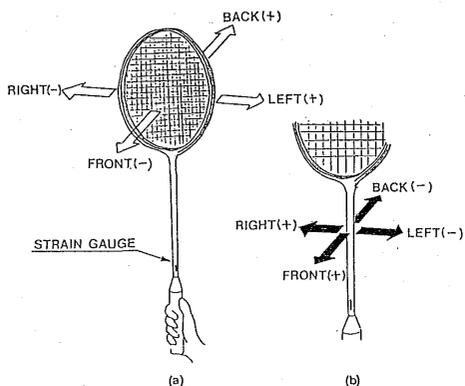


Fig.2 (a) Direction of force worked on a racket
(b) Direction of strain on a racket

を2限象ストレージ・オシロスコープ上に表示し、ディスプレイ上の“力の位相図”をCRT CAMERA M-085Dを用いて直接写真撮影した。

被験者は大学正課体育の授業に参加している学生28名である。試技は2回行なわれ、第1回目は素振り(28名)を、第2回目は実際にシャトルをスマッシュした(16名)。素振り時と実際にシャトルをヒットした時の“力の位相図”の形状には、実際にシャトルをヒットしたときのラケット・シャフトに現われる高次モードの振動(容易に識別できる)を除けば、特にカウントすべき違いはなかった。そこで類似性の分析に当たっては、これを合わせて分析することで、定性的には有効性の

高い技能発達の系統性がモデル化出来ると仮定し、これら44個を全て同じ条件を有するサンプルとして扱った^{註2)}。

3-2. “力の位相図”の分析法

写真撮影された“力の位相図”を平面図形として処理した。まず、デジタイザー(0.1mm単位)で、“力の位相図”のデータを時間経過と共にマイクロコンピュータに取り込む。フォロースルーがほぼ終了したと推定されるポイント以後の図形は無視した。また、牛山が定義した範囲内でのラギングバック局面⁸⁾は除いてある。

取り込まれたデータから、“力の位相図”を類型別に分類するため、運動経過を特徴付けるための以下の指標を求めた。

- ① F_{max} (図3) ストローク・プロダクションを始めてから最大加速度に達したときの前後・左右に働く力の合力
- ② Angle (図3) ①の位置で、前後方向を示す軸との間になす角度
- ③ Area-B (図3) と Area-F (図3) の比

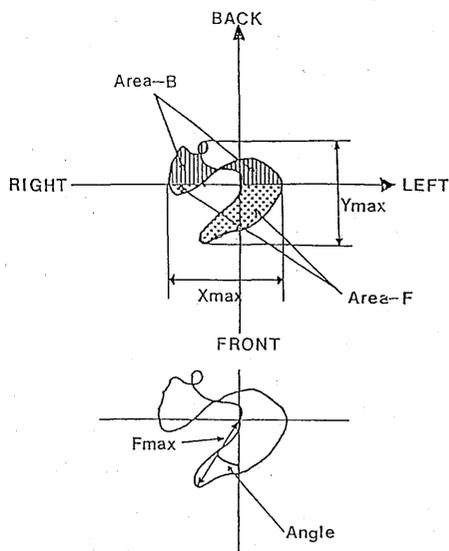


Fig.3 Direction of force and Variables for Cluster analysis

“力の位相図”上でモーメントが描く曲線によって囲まれる面積のうち、左右方向の軸より上にある面積をArea-B、左右方向の軸より下にある面積をArea-Fとし、その比を求めた。面積はデジタルライナーを用いて求めたが、その相対誤差は約3%であった。

④Area-T “力の位相図”上でモーメントが描く曲線によって囲まれた全面積、即ちArea-BとArea-Fの和

⑤Xmax (図3)とYmax (図3)の比、左右方向の最大範囲(Xmax)と前後方向の最大範囲(Ymax)の比

被験者の“力の位相図”から以上の5変数を求め、クラスター分析によって“力の位相図”を分類した。

クラスター分析においては、非類似度として5変数の標準化ユークリッド平方距離(standardized squared euclidian distance)を求めた^{註3)}。クラスターの更新方法としては、クラスター内で対象となる変数の平方和が最小になるクラスターとの融合を行なう、ウォード法(Ward method)を用いた^{註4)12)}。

4. 結果と考察

4-1. 分析に用いた変数の力学的解釈

①Fmax Fmaxを求めた部分は、所謂フォアワード・スイング局面に入っており、スイングされたラケットが得る速度に直接関係する。したがって、この値が大きいほど、ラケット速度は大きくなると考えられる。

②Angle Fmaxとの関連で、ラケットがインパクトに向けて加速される際に、左右方向のモーメントが寄与する程度を反映していると考えられる。先行研究からも知られるように、熟練者のストローク・プロダクションは、スイングの初期からラケット面を飛来するシャトルの方向に合わせるのではなく、主と

して腕・胴体一系の軸回転運動を用いる結果、インパクト直前でラケット面が準備される。したがって、熟練者のパワーストローク・プロダクション(オーバーヘッドによる)においては、初めからシャトルの飛来に合わせてフラットにラケットを運動させることは少ない。ところが、未熟練者になると、たとえばバドミントン・グリップ^{註5)}を用いてラケットをホールドしていても、スイングの開始と共に手の中でフライパン・グリップ^{註5)}に換えたり、手首関節を過伸展させてラケット面を変えたりすることで、ラケット面を当初からシャトルの飛来方向に用意してしまうことが多い。そのために、左右方向のモーメントがラケットに加わりにくくなり、前後軸となす角度も小さくなる。

③Area-F, Area-B, Area-T “力の位相図”の描く図形は、ラケットの運動が単純な周期運動でなく、身体運動の複雑な構造が反映されていることを予想させる。その身体運動の複雑さが“力の位相図”上に、或る面積を占める図形を与える。特に左右軸下方の面積部分は、フォアワード・スイング局面における腕・胴体一系の軸回転運動の影響が大きく表出したものである。

④Xmax/Ymax サンプリングされたストローク・プロダクションにおいて、左右・前後いずれの方向に働くモーメントが優位であるかを示している。

4-2. クラスター分析における各変数間の関係

“力の位相図”の曲線によって囲まれた面積と被験者がラケットに与えたモーメントの大きさの相関は表1のようであった。このことから、“力の位相図”によって囲まれる面積は、被験者がラケットに与えることのできるモーメントの大きさを示す総合的な指標と考えられる。

クラスター分析に用いた5個の変数の間の

Table 1 Correlation of Area used variables indicate the magnitude of moment

	Maximum moment in right	Maximum moment in left	Maximum moment in front	Maximum moment in back	Fmax	Ymax	Xmax
Area	0.766	0.687	0.283	0.567	0.554	0.846	0.636

Table 2 Correlation table of variables for Cluster analysis (refer to Fig. 4)

	Fmax	Angle	Xrmax Yrmax	Area	Area-B Area-F
Fmax					
Angle	0.030				
Xrmax Yrmax	0.049	0.481			
Area	0.554	0.360	0.374		
Area-B Area-F	-0.020	0.278	-0.032	0.144	

相関係数は表 2 のようになる。Area-T と Fmax, Angle と Xmax/Ymax の相関係数は約 0.5 程度であったが、他の変数との強い相関は認められなかった。

4-3. “力の位相図” の分類

各被験者の“力の位相図”は図 4 に、“力の位相図”のクラスター分析の結果は図 5 の樹形図 (Dendrogram) に示した。図 5 の樹形図は、大きく 4 つのクラスターに分れている。

第 1 のクラスターは、ラケットに働くモーメントが小さく、しかも前後方向の力を主とするストローク・プロダクションを行なった被験者群のものである。詳細に見れば、この群の被験者はさらに左右方向のモーメントが多少でも加わっている者といない者の二つに分けることが出来る。

第 2 のクラスターは、左右方向のモーメントはかなり働いてはいるが、ラケットに与え

られているモーメントそのものが小さなグループである。

第 3 のクラスターは、ラケットに与えられるモーメントが比較的大きく、左右方向に働くモーメントも大きなグループである。さらに細部を見ると、最大加速度に至るまでにラケットに与えられるモーメントにおいて前後方向のモーメントが主になっている者と、左右方向のモーメントが主になっている者との二つのグループに分けることが出来る。

第 4 のクラスターは、ラケットに与えられるモーメントが大きいだけでなく、特にフォアワード・スイング局面でより大きな面積を描いたグループである。第 3 クラスターとの違いで見れば、第 4 クラスターで左右軸の上と下でほぼバランスの取れたモーメントの発現が見られるのに対して、第 3 クラスターでは左右軸の上の方でより大きなモーメントの発現が見られ、インパクト後もラケットを振る力の働いていることが解かる。

そこで、こうした分析結果を踏まえて、“力の位相図”の形状の印象から、第 1 のクラスターを J 型、第 2, 第 3, 第 4 のクラスターを T 型とする。これら四つのクラスターの関連は、樹形図から、第 3 と第 4 のクラスターが融合し、それに第 2 のクラスターが、さらに第 1 のクラスターが融合している。阿部が提起している技能の発達過程^{註6)10)}は、本研究での J 型から T 型への移行と考えられる。

ここで用いた非類似度がオーバーヘッド・ストローク・プロダクションの習熟過程を反映していると考えれば、以下のような結論を

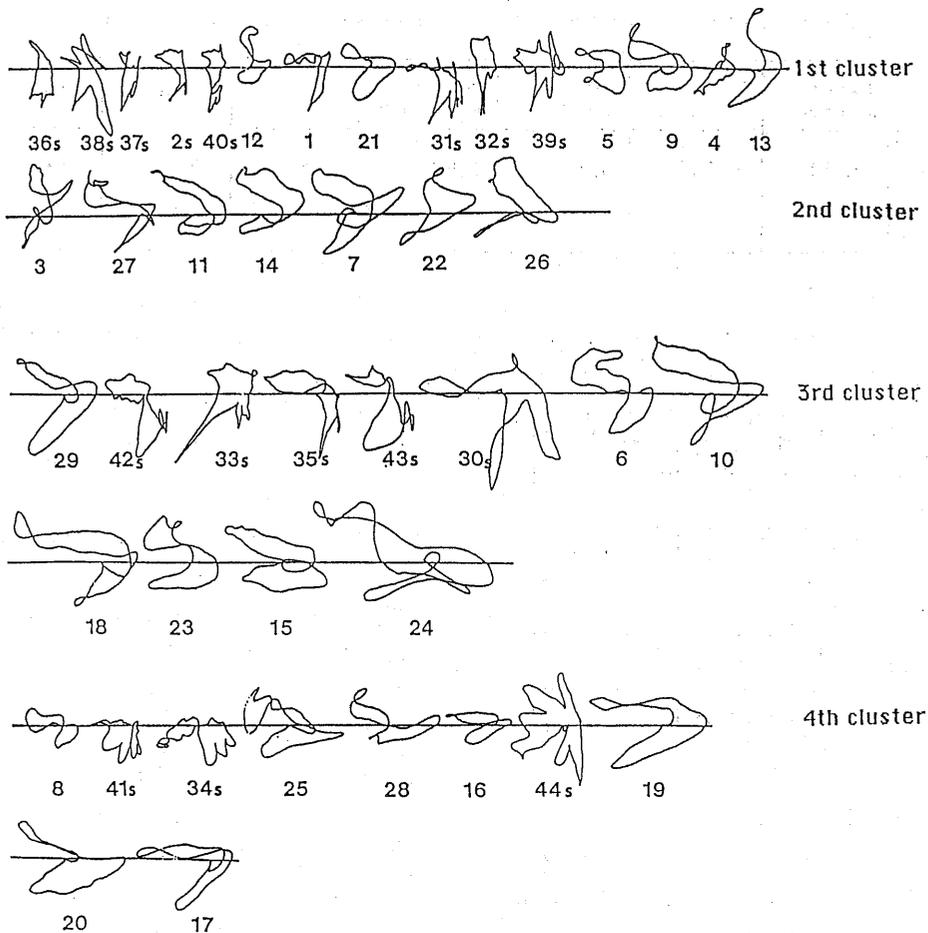


Fig.4 Division of diagrams with Cluster analysis
 Subjects, have a suffix "S", stroked shuttles really

導くことが出来るだろう。

未熟者のストローク・プロダクションにおいては、第1クラスターに見られるように、前後方向に働くモーメントが優位で、ラケットに与えられるモーメントも小さい。これを第1段階の技能習得の達成としよう。これに前腕の回内運動、上腕の内旋運動などの軸回転運動がプラスされることによって、左右方向のモーメントが加わるようになり、第2段階の技能習得が達成される。つまり、第1クラスターから第2クラスターへの技術課題は、前後方向のラケットの運動に、左右方向のモーメントを加えるため、前腕の回内運動

や上腕の内旋運動など幾つかの軸回転運動をプラスすることであり、さらにはそれらの個々の運動の発揮する力を大きくすることで、ラケットに大きな速度を与えることである、と言えるだろう。こうして達成された力の生産が合目的な伝達と使用を達成して行く過程が、第3クラスターから第4クラスターへの移行であり、この二つのクラスターが融合してくる所以である。

このように、ストロークプロダクション技能の発達過程を捉えると、この技能発達のための指導課題は、1) 伸展・屈曲型運動と軸回転型運動としてイメージされる運動形態的

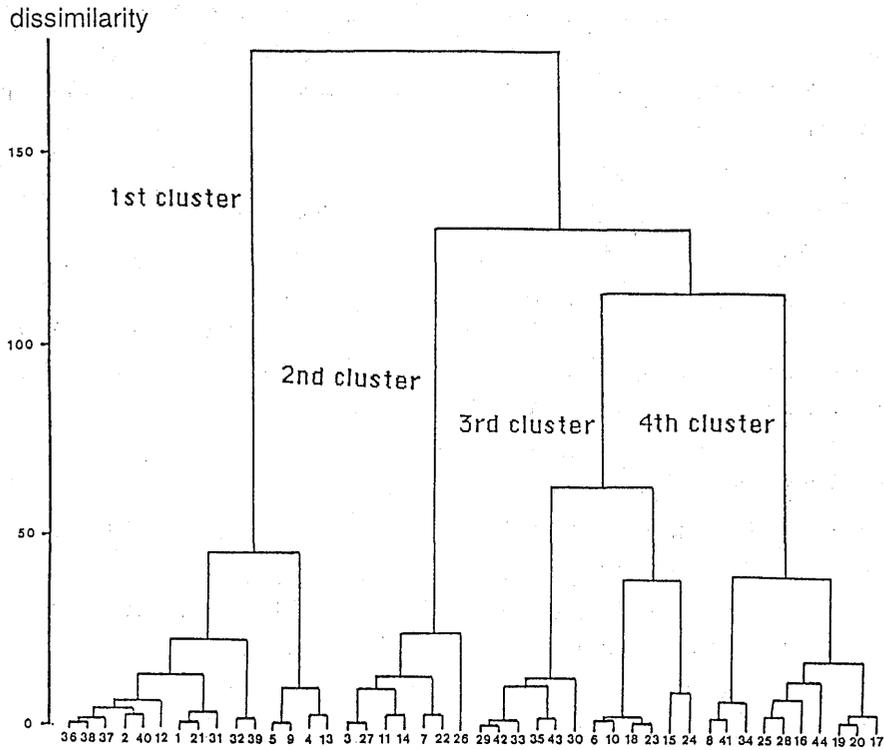


Fig.5 Dendrogram of diagrams with Cluster analysis

な技術課題をどのように与えるか、2) その構成要素となる運動の力として発揮される強度をいかに高めさせるかの二つであり、さらには、3) これらの要素の融合をどのようにバランスよく合目的に計るかが重要であると言えるだろう。

5. 要 約

本研究では、バドミントンのストロークの技能の発達過程を調べることを目的として、オーバーヘッドによるパワーストローク時のラケットに働くモーメントを、ストレインゲージを用いて測定し、ラケット・シャフトの前後・左右方向に働くモーメントを“力の位相図”として表し、これを分類した。分類に当たっては次の五つの要素によるクラスター分析を行なった。

- 1) フォアワード・スイングにおけるモーメントの最大値
- 2) 前後方向とフォアワード・スイングの方向のなす角度
- 3) 前後方向に働くモーメントの大きさと左右方向に働くモーメントの大きさの比
- 4) “力の位相図”によって囲まれる全面積
- 5) 前方向で“力の位相図”によって囲まれる面積と、後方向で“力の位相図”によって囲まれる面積との比

“力の位相図”をクラスター分析にかけた結果、次のような結論が得られた。“力の位相図”は四つのクラスターに分類できる。第1のクラスター (J型) は、前後方向のモーメントを主にしたストローク・プロダクションによって行なわれたストローク群で、ラケットに与えられるモーメントは小さい。第2, 3, 4のクラスター (T型) は、前後

方向のモーメントに、さらに前腕・上腕等の軸回転運動による左右方向のモーメントが加わり、しかもそのモーメントの寄与する割合がクラスター毎に大きくなるストローク・プロダクションによって行なわれるストローク群であり、同じようにクラスター毎にラケットに与えられるモーメントは大きく、したがって“力の位相図”によって作られる面積も大きくなる。

以上の事から、オーバーヘッド・ストローク・プロダクション技能の発達過程はJ型からT型への遷移として現われ、運動形態的には前腕・上腕等の伸展・屈曲系の運動を主とする初歩的な運動に、軸回転型の運動が加って行く過程であるとモデル化出来るだろう。したがって、オーバーヘッドによるストローク・プロダクション上達の課題は、前腕・上腕等の軸回転運動の習熟と、そこで発揮される力を如何に大きくして行くかであると考えられる。

註1) 身体は幾つかの部位が鎖のように連続しているものとしてモデル化される。こうした運動する鎖をクライフバウムらは運動鎖 (kinetic chain) と命名し、運動鎖は運動を与えられると近位の目的方向への運動の開始に伴って、その遠位末端では目的の運動方向に逆行する運動 (lug back) が発生するとして、これをラギングバック (lugging back) と呼んだ⁵⁾。ここでのラギングバックの語の用法はこれに因んでいる。

註2) 実際の測定データから見ると、素振り時とシャトルのヒッティング時の間には多少の差異が観察される。しかし、それは運動要素の系列が全く違う系によって生まれてくる差異ではなく、むしろ一つの系列の中における前後の関係を示す差異であると同定される。そこで本研究においては、運動技能の系列化を図る目的から、差異を系列上の差異と見做して、収

集されたサンプルを全て同一の系列上に置き、その類似度を求めることにした。尚、実際にシャトルをヒットした際の力の位相図をデータ化する際にはシャトルをヒットすることによって生じたラケットの高次振動は明瞭に識別できるので、これを外してデータとした。

註3) 5変数を非類似度の指標とし、これらの標準化ユークリッド平方距離は次の式で求めた。

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^m (X_{ki} - X_{kj})^2 / S_k^2$$

d_{ij} i 番目の被験者と j 番目の被験者の非類似度

X_{ki} i 番目の被験者の第 k 変数の値

m 変数の数

X_{kj} j 番目の被験者の第 k 変数の値

S_k^2 k 変数の分散

註4) ウォード法で、クラスター p とクラスター q を融合して作ったクラスター t とさらに別のクラスター r を融合する時は、クラスター t とクラスター r の非類似度は次のようになる。

$$d_{tr} = \frac{n_p + n_t}{n_t + n_r} d_{pr} - \frac{n_q + n_r}{n_t + n_r} d_{qr} - \frac{n_r}{n_t + n_r} d_{pq}$$

d_{tr} クラスター t とクラスター r の非類似度

d_{qr} クラスター q とクラスター r の非類似度

n_p クラスター p に属するメンバーの数

n_r クラスター r に属するメンバーの数

d_{pr} クラスター p とクラスター r の非類似度

d_{pq} クラスター p とクラスター q の非類似度

n_t クラスター t に属するメンバーの数

n_q クラスター q に属するメンバーの数

註5) バドミントン・グリップとは、テニスのグリップ法でいうイースタン・グリップに相当し、フライパン・グリップは、同じくウエスタン・グリップに相当する。一部の例外を除けば、

一般にバドミントンに習熟した者はバドミントン・グリップを、未熟な者はフライパン・グリップを使用する傾向がある。

註6) ストロークプロダクションは、運動形態学的には、身体部位の挺子編成型運動と車輪車軸編成型運動の力動的な関係としてモデル化できる。その技能発達の過程は、一般に挺子編成型運動がドミナントである状態から、次第に車輪車軸編成型運動を取り込み、これがあるシチュエーション下の目的に応じて運動局面毎にバランスを獲得していくものとして仮定されると言うもの。

参考文献

- 1) 傳河詢, 林瑞漠, 王華左編著: 初級技術讀物: 怎祥打羽毛球, pp.20-22, 人民体育出版社, 1978.
- 2) David B. Wadell : Coaching the Power Stroke in Badminton, pp.1-6, Science in Racquet Sports (ed. Juris Terauds), Academic Publishers, 1979.
- 3) Barbara A.Gowitzke : Biomechanical Principles Applied to Badminton Stroke Production, pp.7-16, Science in Racquet Sports (ed. Juris Terauds), Academic Publishers, 1979.
- 4) Barbara A.Gowitzke , David B.Waddell: Technique of Badminton Stroke Production, pp.17-42, Science in Racquet Sports (ed. Juris Terauds).
- 5) Kreighbaum,E., Barthels, K.M. :Biomechanics, pp.398-402, Burgess P.C.,1981.
- 6) 阿部一佳:バドミントンの技術とトレーニングの歴史, 新体育Vol.42, No.8, pp.91-95,1973.
- 7) 宮地 力, 阿部一佳:バドミントン授業における技術の指導法について—ラケットにかかる力の位相表示を利用して—, 第32回日本体育学会, 1981.
- 8) 牛山幸彦:バドミントン競技におけるスマッシュの動作に関する力学的考察, 昭和59年度筑波大学体育学群卒業論文, 1982.
- 9) 阿部一佳:体育の基本となる発達観を探る—個体発生は系統発生を繰り返す—から発達観を捉え直してみると, 新体育第50巻3号, pp.176-179, 新体育社, 1979.
- 10) 阿部一佳:バドミントン—体育の授業体験に内在する「経験の分裂機構」に関する試行的観察(1)—, 大学体育研究, 第4号, pp.25-42,筑波大学体育センター, 1982.
- 11) 阿部一佳:ストローク・プロダクションを構成する二運動様式, 現代スポーツコーチ実践講座12・バドミントン, pp.12-35, 初心者と情報処理能力, 同, pp.78-114, 発達過程と運動鎖の原理, 同, pp.130-160, ぎょうせい, 1985.
- 12) 田中豊, 垂水共之, 脇本和唱:パソコン統計解析ハンドブック II , 多変量解析編, 共立出版社, 1984.