

座標解析システム応用による動作軌跡の研究

— 卓球における動作パターン —

工藤 市兵衛 鈴木 達夫

A Study on the Moving Locus, Applied the Co-Ordinates
Analysis System

— The Moving Pattern in Ping-Pong —

Ichibei KUDO Tatsuo SUZUKI

座標解析システムはある空間の動作をカメラが読み取りマイクロ・コンピューターに記憶させ、X、Y、Z軸の数値をテレタイプライターに打ち出させることにより、正確な実際の動きをX-Yレコーダ上に動作軌跡を描かせる装置で動作の距離、速度、軌跡が表わせる。

今回は卓球選手の各基本形の動作の軌跡をパターン化しようとする研究である。

1. 緒 言

各基本動作の軌跡を求める場合、その基礎理論及びその座標の方法は種々提案され、又実用化が試みられている。

本研究は各基本動作の軌跡を座標解析システムを応用することにより、図形化しようとするものである。

研究の対象として、卓球の選手の協力のもとに、試合の一連した動作を数種類抽出したのち、それらの各基本動作をテレビカメラで撮影し、あらかじめ定めた体の各点をマイクロ・コンピューターに連続的に記憶させ、X、Y、Z軸上の各点の数値をテレタイプライターに打ち出させることにより、正確な、より実際の動きに近い記録データから各選手、各動作の軌跡のパターン化を行ない、そのパターンにより各側定点の相互関係及び運動の連続性を解析しようとするものである。

2. 研究手順

卓球の選手の一連したオールラウンドな動きを各基本練習の型に分類することによって、各基本練習動作のパターン化による解析研究を進める。

特に今回研究すべきことは

1. 返球の来る方向、又打ち返す方向による足、腰の動きを解析する。
2. 各コース別に両足のフットワークを解析し、その

動きをパターン化する。

3. 身体の合成重心位置である腰の動きを解析し、その動きをパターン化する。
4. 両足と腰（腕）の相関関係を求める。
5. 経験年数の長い選手と短い選手とのパターンの比較を行ない、類似している点、異なっている点を求める。
6. 両足、腰の動きを三次元表現し、空間における広がりを見る。

以上の6つの項目を解析することにした。

研究手順として

- ① 第1回目の予備調査として、VTRによる測定とデータ処理を行う。
- ② 上記のデータ結果から、座標解析システムを応用して解析する。

(選手の分類)

○経験年数の長い選手

NAME	型(タイプ)	学 年	経験年数
有 川	ドライブ型	大学4年	10年
今 福	ドライブ型	大学3年	9年
鎌 倉	前陣速攻型	大学4年	10年
高 橋	カット主戦型	大学4年	10年

○経験年数の短い選手

NAME	型(タイプ)	学年	経験年数
鈴木	前陣速攻型	中学3年	3年
小崎	ドライブ型	高校1年	4年
松原	カット主戦型	高校2年	5年
工藤	オールランド型	高校1年	4年

3. VTRによる解析 (予備調査)

録画のためのカメラ配置は図1のように、床には50cmの間隔(図6参照)でまず目状にテープを引き、両足の距離関係が解るようにした。

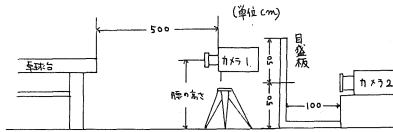
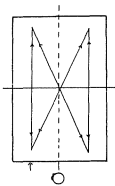


図1 カメラ配置図

(コースの分類)

予備調査の段階でのコースの分類は図2に示すように卓球台を4つに分類し、



この分類の考え方からタマのコースを8の字型を基本とした。

以下、分類された基本コースの8種類を示す。

図2 被験者

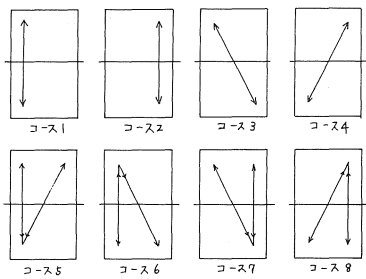
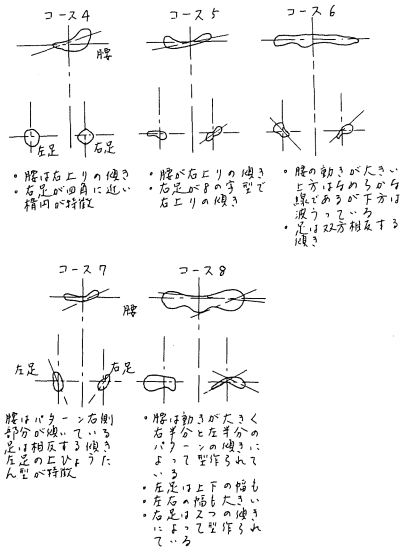
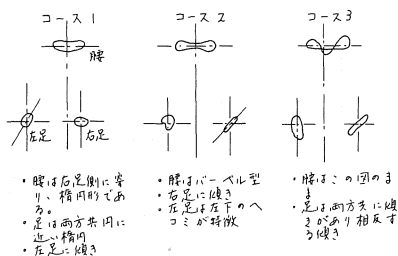


図3 コース分類

(型別に見たパターンの特徴)

○ドライブ型



◎前陣速攻型

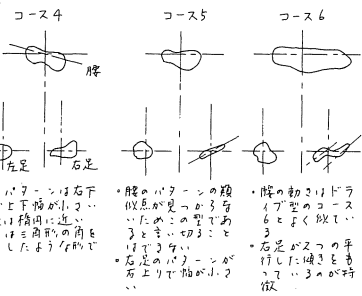
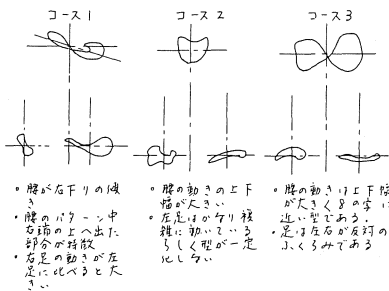
この型である鎌倉選手のパターンはドライブ型に似ている点を多く発見する。

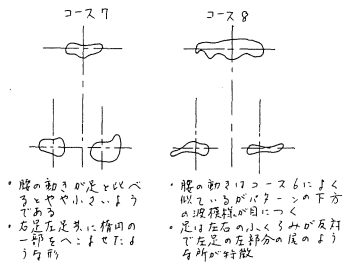
パターンの特徴もほぼ似ており、ドライブ型と重複するので特徴のみ述べる。

○いずれのコースの場合も、パターンの上下の幅が少ないことが腰についても、足についても言えることである。

○コース⑥とコース⑧については腰の左右の動きの幅が少ない。

◎カット主戦型





(結果と考察)

- ① このコース別のパターンを比較してみると、コース④、コース⑤はコース①に、コース③とコース⑦はコース②に、コース⑧はコース⑥に、どの型においてもほぼパターンの型が似ていることがわかる。特に腰の動きについてはその類似性がはっきりしている。

類似したコースは

- コース①＝コース④＝コース⑤
- コース②＝コース③＝コース⑦
- コース⑧＝コース⑥

このことから、足特に腰の動きは、球を打ち返した後のコースがどのようであろうと、球をラケットによって打ち返すという位置が卓球台前部のどの部分によるかということ、つまり、球がラケットに当たった時の身体の位置によってパターンが定まってくると考えられる。

- ② 右足と左足のパターンの中間点を通る中心線を縦に引くと、ドライブ型とカット主戦型で見ると、コース②、コース③、コース⑥、コース⑦、コース⑧において、腰のパターンが比較的左へ伸びている。

又、反対にコース①、コース④、コース⑤においては右に伸びている。

これは、左側のボールをバックハンドで返球する場合、今回の側定選手が全て右ききのため、ラケットを持った右手を体の左側に出すために体の重心が左にかたより、それを補うために腰で重心を調整するためと思われる。

又、球足が速いために、腰の動きが足の動きに追い付かないために、腰の動きが足の動きに追い付かないということも言える。

- ③ コース⑥、コース⑧のように卓球台のほぼ全域を使う場合には、腰の上下の動きが大きいことがわかる。これは左右へ動く途中の動きもパターン内に含まれるのであるが、打ち返すときに腕と体を前へ出すことによって、ラケットで押し出すようにするから、の前後の動きを平面的に見ると、上下の動きとなるとも考え

られる。

コース④の腰が比較的他に比べて大きいのは、このコースの型ではバックハンドを使うことが多く、腰の前後の動きが多くなるからである。

以上の予備調査の結果から、かなり問題となる点、もしくはもっと詳しく解析する点が表われたので座標解析システムを応用した測定を次に行ったわけである。

4. 座標解析システム応用による解析

VTRによる測定によって求められた結果と考察から

- ①については今一度コースの設定を考え直す
 ②については、両足と腰の移動した範囲を正確に把握して、この推論を証明して見る必要がある。
 ③については、このパターンの2次元における上下の動きは前後の動きか、それとも実際に上下の動きかをはっきり区別してみる必要がある。

以上の3つの問題点が示された。

そこで座標解析システムを応用して見ることにより、

- ②と③の問題について解析して見る。この装置は

1. プロットした観測点が数字によって表示される。
2. XYZという三次元の解析ができる。
3. 観測点から観測点までの距離を知ることができる。
4. 各、点から点までの速度を知ることができる。

という利点がある。

(コースの分類)

予備調査の場合のコース位置によるパターンの類似性を考えに入れ、返球位置とその打ち型による型を考えることにした。

基本練習の中から測定に使えるコース型をピックアップしこの中から、フォア打ち(クロス)、バック・ハンド、切り換え、前後式、V式、全面的コース分類した。

(図4)

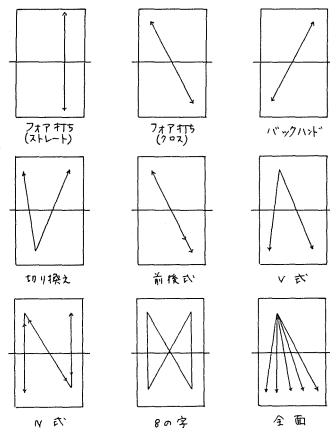


図4 コースの分類

その理由として、

1. フォア打ちではクロスとストレートがあるが測定という観点から見ると、できる限り大きな動きをするクロスの方がよい。
2. N式と8の字は全面とV式に含むことができる。

(測定方法と手順)

足、腰の地に腕も測定箇所に加えた。

両足と腰の関係を見る上で腕とくに手首の動きは重要な因子となる。

図5のように座標解析システム装置からの命令で発光するストロボ球を、手首、腕、右足、左足につける。なお、高橋選手はカットマンであるため手首の発光球が肘にて見えなくなるため、もう1つの観測点を増してE点に発光球をつける。

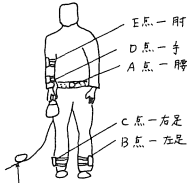


図5 測定箇所

(使用機器及び配置)

図6は座標解析システムとVTR測定分析装置の配置である。座標解析システムから得たデータをマイクロコンピュータに記憶させ、一度記憶されたデータから必要な命令をタイプライターに打ち出させる。マイクロコンピュータの前にあるカメラはコンピュータの記憶数表示を写すものである。

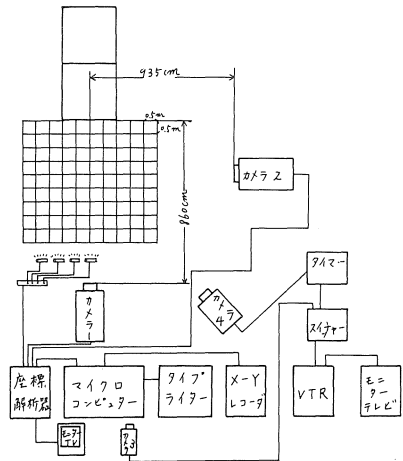


図6 座標解析システム配置図

(データの信頼性と誤差)

座標解析システムが発光体によって、座標を認知するという性質上から、残光、他の物体からの光、金属部分へ反射した光などにより、他の点の読み取りをする場合がある。

この点はデータの中からは見つけ出すことは困難であるがグラフ化の場合において、プロットする点が一方方向性を帯びていなかったり、足の部分の測定値なのに床の上方にあたりすることで見つけ出し、排除することができる。又、VTRによる録画も併用すれば、この点の発見は容易である。

今回の場合、データ数は9800点であり、その内誤点と認められる点は156点であった。

又、長さにおける誤差を調べるためにXYZ軸を備え

表1 X・Y・Z 座標値

POINT -D														
ADDRESS 1-100														
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
163	211	333	163	211	337	163	211	337	163	211	337	163	210	339
163	210	342	162	207	348	156	202	359	159	205	342	158	205	346
149	201	403	195	112	381	194	105	364	159	204	354	159	205	345
155	207	342	160	210	317	161	209	321	162	210	321	161	210	323
191	135	356	197	121	330	187	119	316	168	210	320	167	214	327
167	213	332	171	216	299	171	209	312	168	208	332	162	205	366
195	146	358	198	131	335	187	126	319	163	210	321	162	206	327
166	209	299	163	207	301	162	209	304	159	206	311	155	203	338
192	131	308	187	118	306	178	119	293	163	210	324	162	210	312
167	214	278	164	213	279	155	210	299	144	210	322	138	207	350
#0050														
176	135	328	175	113	320	174	117	293	164	207	300	163	218	311
170	221	277	169	218	283	175	213	301	177	211	317	173	207	355
176	209	336	205	124	309	176	214	301	167	217	304	166	218	309
171	221	274	168	216	280	174	213	299	179	211	316	177	207	349
221	126	335	214	119	322	183	211	319	181	211	315	166	213	312
164	219	277	162	209	289	160	210	314	156	210	325	133	145	333
189	113	321	180	118	297	155	215	305	153	217	312	153	216	316
156	219	283	149	211	289	137	210	310	127	208	331	118	205	367
164	139	342	163	121	328	159	126	303	158	211	308	162	216	314
168	221	279	167	216	283	170	211	303	168	211	319	167	208	343
#0100														

たスタンドにこの発光帯をつけてこの座標解析システムで100回プロットして見た結果、実際にはXYZ軸共に50cmの間隔であったのに対し、X軸では全て50cm、Y軸では12回51cm又は49cmを表示し、Z軸では52cmの表示が42回であった。

これより、実際の距離との誤差との誤差はX軸方向±0cm、Y軸方向は±1cm、Z軸方向は±2cmと考えなてよい。

(X-Yレコーダーによる運動動作軌跡)

テレタイプライターにて打ち出されるデータを全て連続してプロットし、図形化して見る必要がある。(表1)

X-Yレコーダーを座標解析システムのマイクロコンピュータと運動して、その数値をグラフに描かせて見たのが図7である。

この図は高橋選手の一部の例である。このプロットされた図を見ることによって、

1. 測定点以外の読み取りを行なった部分がわかる。
2. どのような動作をしているのか一目でわかる。
3. どの空間を最もよく使っているかわかる。
4. 一連した繰り返し動作の中で一番基となる適切な動作を抜き出すことができる。

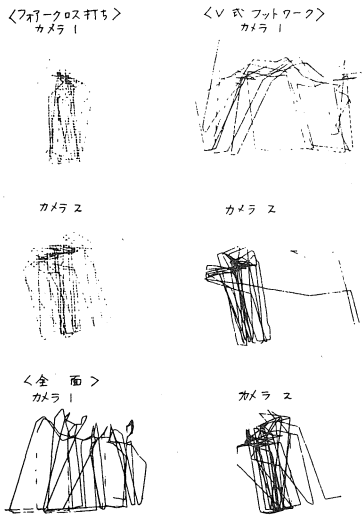


図7 X-Yレコーダーより描いた動作軌跡

(パターン化)

経験年数の少ない選手との比較をするため、両足と腰を含めて、1つの動きとしたパターン化を示す。

なお、このパターン化は細かい数値には表われていない動作もあるので、VTRによる解析と併合して細かい動きも求めた。

このパターン化によって、右足、左足、腰の相関関係もわかる。

◎経験年数の長い選手のパターン

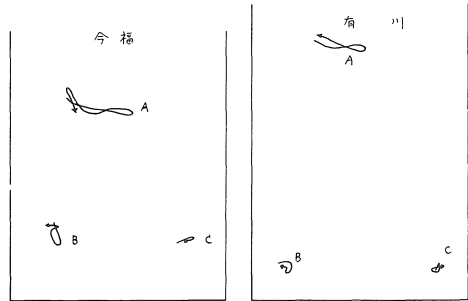


図8 フォアクロス打ちのパターン

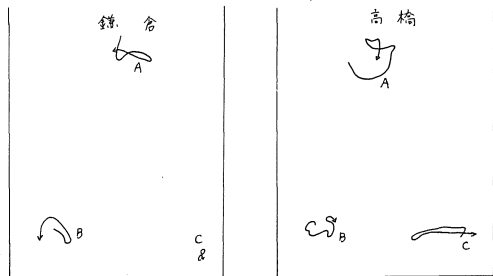


図9 フォアークロス打ちのパターン

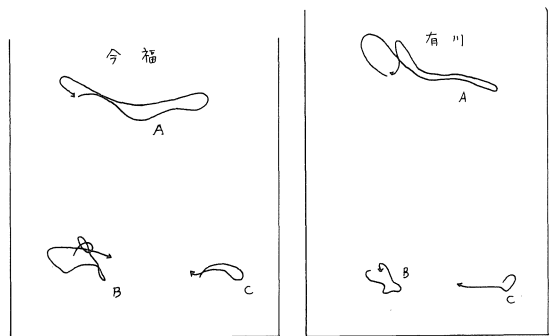


図10 切り換えのパターン

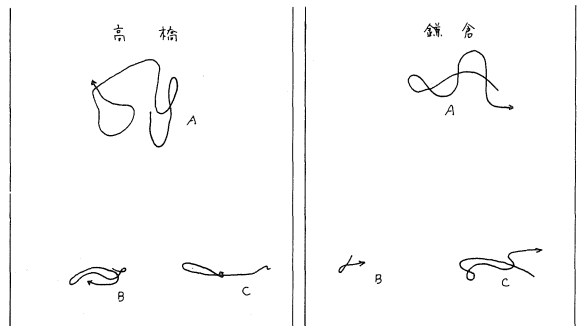


図11 切り換えのパターン

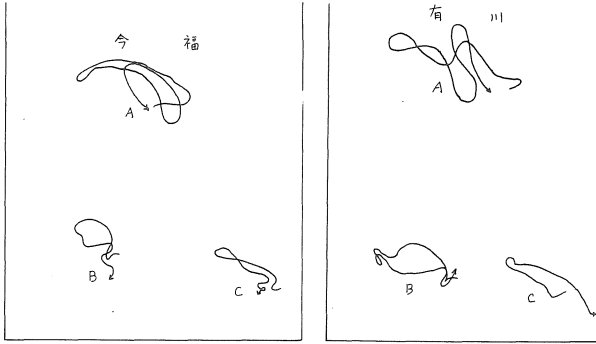


図12 前後式のパターン

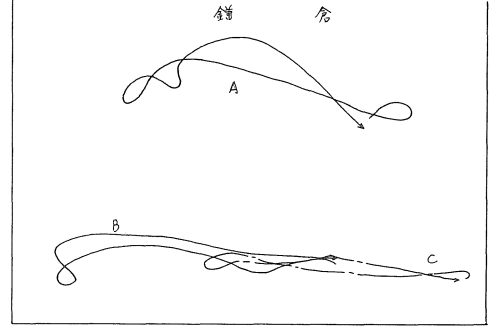


図16 V式フットワークのパターン

◎経験年数の短い選手のパターン

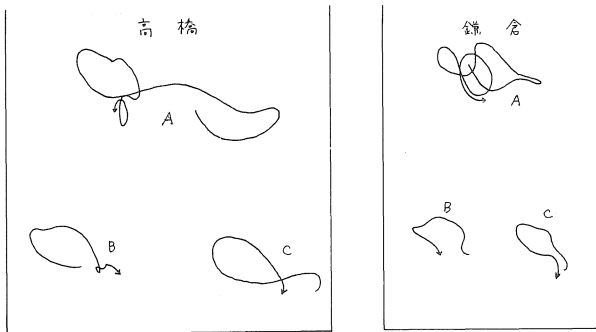


図13 前後式のパターン

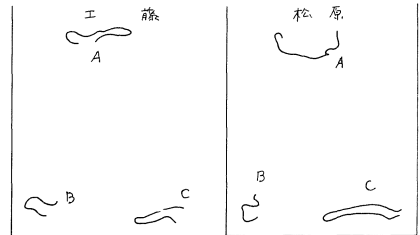
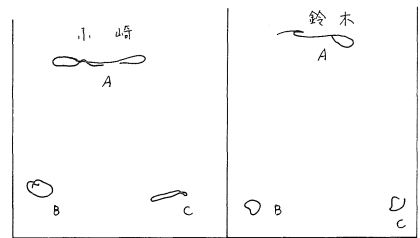


図17 フォアークロス打ちのパターン

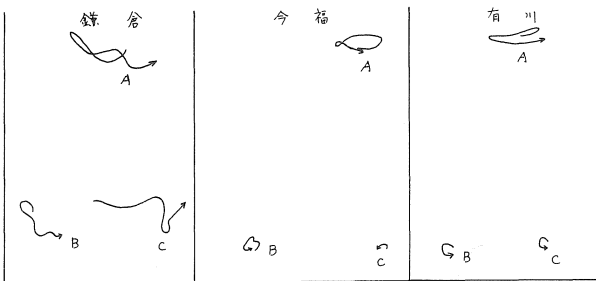


図14 バックハンドのパターン

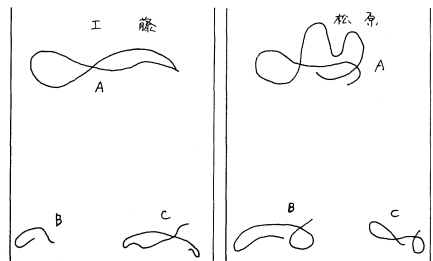
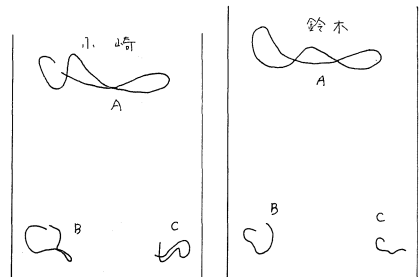


図18 切り換えのパターン

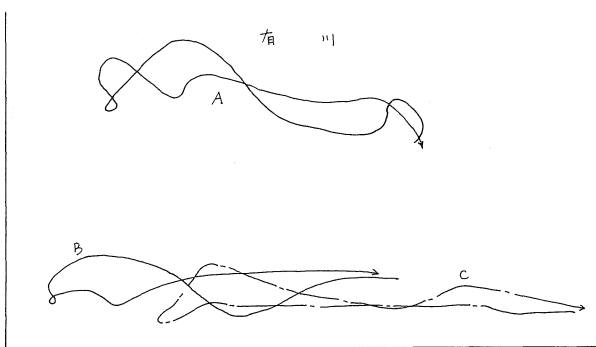


図15 V式フットワークのパターン

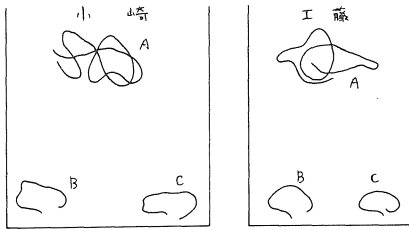


図19 前後式のパターン

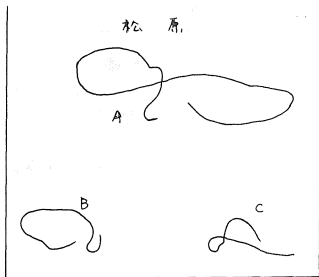
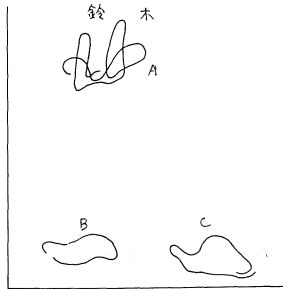


図20 前後式のパターン

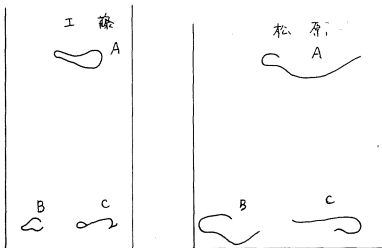
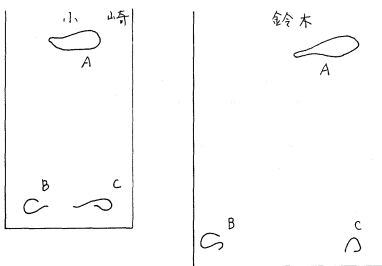


図21 バックハンドのパターン

(経験年数の違いによる比較)

この両者のパターンを形(タイプ)別に比較してみると、ほぼ似かよっていることがわかる。特に予備調査の測定と同じように、腰の動きはよく似ている。

そこで、両者のグラフを細かく比較してゆくと、その動きの大きさが、経験年数の短い選手の方が左右に大きく動いていることがわかる。この動きの大きさは経験年数の差として表われると思われる。

以下、この違いについて考察してみる。

まず、反応時間的に見てみると、経験年数の長い者にはコースの一定性が測定を始まると同時にわかるため、次のタマのコースが予測でき、そんなに動かなくてもよいことがわかる。

これに対し、経験年数の少ないものは、タマのコースの一定性がわかるまでの時間が長くかかり、そのために一般の練習のようにたえず動いていなければならない。

以上動きの範囲の大きさは経験の長い者と短い者として表われてくることが言える。

また、各形(タイプ)別に比較してみると、鈴木選手は前陣攻守型であるのに鎌倉選手の前陣速攻型とは似ておらず、どちらかと言えば、有川、今福選手のドライブ型に似ていることがわかる。

これは鈴木選手が経験年数が浅く、どちらかと言うとオールラウンド型で定まった型になっていないと言える。

又、前陣速攻型も前陣攻守型も相手を自分のペースに乗せるため、いくつかの型を駆使して攻撃に移る型であるため、この結果は当然とも言える。

(身体の重心の求め方)

「身体運動学入門」(松井秀治著, 体育の科学社)によると身体の部分重心および作図法による合成重心位置は図22のように

- G: 全身の合成重心位置
= 腰部の重心
- 1: 大腿の重心
- 2: 下腿の重心
- 3: 足の重心

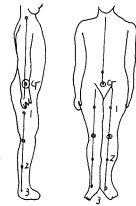


図 22

となっている。そこで、卓球選手の運動時における全身の合成重心である腰のG点の移動および両足との関係を考察する。

◎解析手順として、

1. グラフ化されたパターンから、左足、右足、腰のX軸方向における幅とその中心を求める
2. 1によって求めた左足のパターンの最も左の部分と

右足のパターンの幅も右の部分の数値を読み取り、その距離の差を6等分する。

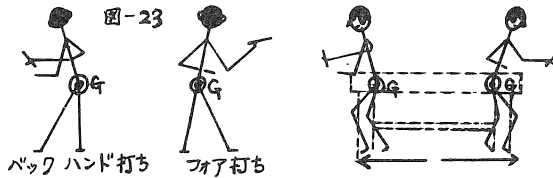
3. 6等分した数値線を真中にして、その線のどの部分の動きであるかを腰の線の上方に、足は線の下方に書き入れる。

4. 左足と右足のパターンの中心から見た腰のパターンの中心の位置によって、右-1, 左-3のように表わし、それによって評価する。

以上の結果を表1, 表2に示す。

表1 卓球選手の重心Gの求め方<経験年数の長い者>

名前	今 福	有 川	鎌 倉	高 橋
型	フォア-クロス打ち	フォア-クロス打ち	フォア-クロス打ち	フォア-クロス打ち
腰				
足				
評価	左-0.5	左-/	右-0.5	左-0.5
型	切り換え	切り換え	切り換え	切り換え
腰				
足				
評価	左-0.25	左-0.5	右-0.5	左-/
型	バック-ハンド	バック-ハンド		バック-ハンド
腰				
足				
評価	右-2	右-1.5		右-0~0.5



注) 高橋のバック-ハンドについては右足の動きが腰の動きと同じ幅にあるため左足と右足の中心を求めそれによって評価を加えた

表2 卓球選手の重心Gの求め方<経験年数の短い者>

名前	鈴 木	小 崎	工 藤	松 原
型	フォア-クロス打ち	フォア-クロス打ち	フォア-クロス打ち	フォア-クロス打ち
腰				
足				
評価	左-0.5	左-0.5	左-0.25	左-0.25~0.5
型	切り換え	切り換え	切り換え	切り換え
腰				
足				
評価	左-0.25	左-0.1	0	左-0.8~1
型	バック-ハンド	バック-ハンド	バック-ハンド	バック-ハンド
腰				
足				
評価	右-1.25	右-0.75	右-0.9	右-1.2

(結果と考察)

フォア-クロス打ち, 切り換えについては, 型(タイプ)の違いを問わず, 左側へ片寄っており, バック-ハンドについては右側へ片寄っていることがわかる。これは予備調査の測定のとときの考察結果と同じであり, 今回の座標解析システムによる数値化の測定法によって実証できたわけである。

つまり, フォア-打ちとバック-ハンド打ちの打ち方の違いを見てもわかるように, 卓球台の左端へ来たタマについてはバック-ハンドを使用することが多く, 又, 右端から左側の中央部までにおいてはフォア-打ちを使用することが多いため, 右または左側でのフットワークによる腰は図23のようになる。

(空間の広がり)

立体的な点を表現する方法はいろいろあるが今回のデータのように空間上にある点が移動した軌跡を描くとするとその表現方法は難かしいものとなってくる。

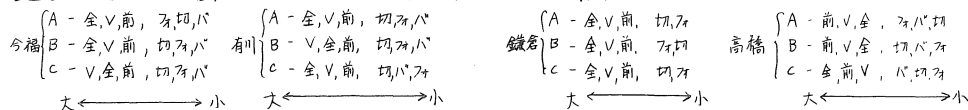
そこで本研究では、各選手が各測定点をどれだけの大きさの空間で動かしているか比較して見た。

表3は、XYZのデータの最大値から最小値を引いた値、つまり、各軸方向の範囲を求め、そのXYZの値の

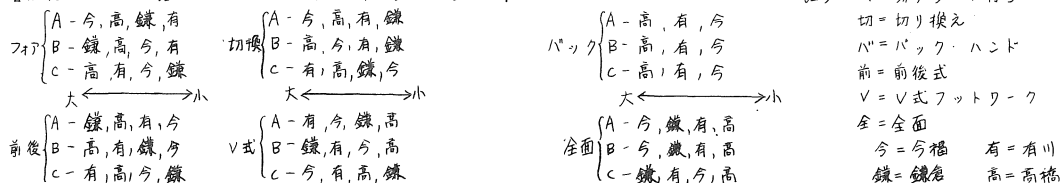
表3 <空間中の広がり>

		フォア・クロス打ち				切り換え				バック・ハンド				前後式				V式フットワーク				全面			
		X	Y	Z	容積	X	Y	Z	容積	X	Y	Z	容積	X	Y	Z	容積	X	Y	Z	容積	X	Y	Z	容積
今福	A	34	20	51	34680	49	10	30	14100	17	05	05	425	42	23	105	101430	119	45	173	390915	124	40	136	178560
	B	06	07	35	1470	15	16	26	6240	05	04	04	80	20	17	106	31040	119	20	63	149980	117	24	123	385384
	C	06	01	09	54	17	04	09	612	03	02	03	18	23	16	66	24288	148	13	66	126984	119	17	61	123003
有川	A	19	07	15	1995	43	07	14	4214	20	05	17	1700	50	26	105	136500	118	37	91	397386	175	29	105	532875
	B	04	03	14	168	06	06	19	684	04	04	10	160	31	22	97	66154	128	23	75	220800	174	15	56	146160
	C	03	03	08	72	22	06	15	1980	03	04	15	180	41	21	88	75788	157	21	31	102207	168	14	58	136416
鎌倉	A	13	09	34	3978	39	13	08	4056	/	/	/	/	38	20	63	47880	106	32	101	342592	161	34	114	424036
	B	07	10	22	5040	10	04	07	280	/	/	/	/	28	14	63	24676	103	21	106	229278	144	20	107	243662
	C	03	04	04	48	29	06	05	970	/	/	/	/	17	16	73	19856	98	10	25	24500	154	13	81	162162
高橋	A	17	15	49	12495	21	25	17	8925	32	14	24	10952	72	34	109	266832	138	25	61	210450	109	25	63	171195
	B	10	07	49	3430	20	04	13	1040	15	12	21	3780	73	26	114	216372	125	11	63	86625	111	11	69	84249
	C	24	04	09	864	23	05	10	1150	35	12	51	21420	103	32	149	491104	138	08	25	27600	146	10	75	109500

(1) 各選手の各測定点から見た 各設定コースの空間における動きの大小関係。



(2) 各設定コース別にみた、各選手の空間における動きの大小関係



積を求めることによって、空間における各部分(腰・右足首・左足首)の動きの容積を求めたものである。

(結果と考察)

表 3 から、フォア・クロス打ち、切り換えで高橋選手は、比較的動きの範囲が大きい方に分類され、またバック・ハンドでは他の選手に比べて、桁外れに大きな範囲の動きをすることがわかる。

これはドライブ型とカット主戦型を比べたとき、カット主戦型の方がドライブ型より大きな動きをするからである。

しかし、V式、全面のように、左右に大きく動くコースでは動きの範囲がドライブ型より小さい方に属する。

そこでこの2つの考え方から、比較的体的動きの少ないコース設定ではカット主戦型の選手は、動きがドライブ型の選手に比べて全体的に大きくなり、左右に大きく体の動くコース設定では、比較的体的動きが少なく済むことが考えられる。

つまり、カット主戦型の選手は、左右に大きく振られるボールに対しては、ドライブ型の選手より、空間を多く使わず、ある一定したコースのボールに対しては、ドライブ型の選手よりも多くの空間を占めるということが言える。

5. まとめ

以上、予備調査における考察から、経験年数の長い選手と短い選手を抽出し、VTR測定から、座標解析システムの測定を行い、二次元的解法から三次元的解法へと研究を進めたわけであるが今回の研究で究明されたことをまとめて見ると

1. コースの設定の仕方及びデータのまとめ方によって型(タイプ)別に区分した各選手のパターンに類似性があること。
2. この類似したパターンをまとめることによって、設定コース別の各型(タイプ)によるパターンを特徴付

け、一般化して求めることができた。

3. データをグラフ化することによって、体の各部分（今回は腰と足のみ）の連続した動作をある一定時間（ $\frac{1}{100}$ 秒又は $\frac{1}{50}$ 秒）ごとに方向付けすることができた。
4. 経験年数の違いによる動きの違いは球をミートするまでの左右の動きの幅が大きいことである。これは瞬間的なコース設定の読み取りの早さの差によって生じるものである。
5. 設定コースのうち、フォアークロス打ちと切り換えでは、全身の総合重心の位置である腰が、左足側に、バックハンドでは、右足側に位置することが二次元表現、3次元表現でも究明できた。
6. カット主戦型の選手はドライブ型の選手と比べて、ある定まった一定のコースのタマに対しては動きが比較的大きく、左右に大きく振られるタマに対しては動きが小さくなっていることが究明できた。

6. 結 言

今回求められたデータは練習及び試合における状態と同じであることが前提であるが座標解析システムが有線式であり、選手の体に負担を与えた。現在、無線式でデータが取れるように装置を改良中であるので上記の問題点も解決されるであろう。

また、動作の中には精神的な要素、対戦相手の違いによる差など、もっと性格的な因子、他からの因子によって左右されることがあると思われる。

今後の研究において、これらの因子の影響についても研究して見たいと思っている。

参 考 文 献

- (1) DALE. W. SPENCE :
Essentials of kinesiology.
LEA & FEBIGER 1975 P 1, P 8
- (2) MARION BROER :
Efficiency of Human Movement
W. B, SAUNDERS COMPANY 1973
- (3) ALLAN J. RYAN, FRED. L. ALLMAN
SPORTS MEDICINE :
ACADEMIC PRESS 1974
- (4) 松井秀治著 身体運動学入門 杏林書院
50. 3. 20 P 7~10
- (5) キネシロジー研究会編 身体運動の科学 I
杏林書院 49. 7. 1 P 147 P 156