

ソフトテニスにおけるゲーム中の動きの分析方法

Development of analysis method of activity of player in a soft tennis match

山本 裕 二* 池上 康 男*
工藤 敏 巳** 川口 純 子***

Yuji YAMAMOTO*, Yasuo IKEGAMI*
Toshimi KUDO**, Junko KAWAGUCHI***

Game analysis is the method which is important to know movement of player in a match. The analysis as before did the tactics and technical analysis with a major purpose however. In this study, an analysis method of the activity of player in a soft tennis match was developed by 2 dimensions DLT in order to examine the physical fitness factor in a match.

The match that was analyzed was a men's doubles game of final of the third Asian Soft Tennis Championship held in the Kingdom of Thailand in 1996. X-Y coordinate of four players in one rally for approximately 23 seconds was digitized by 60 Hz.

As a result of having done DLT, the systematic error and the random error produced by digitizing and DLT about coordinates of near 2 players were small enough to grasp movement tracing of player. It becomes clear that the sampling frequency is enough by 15 Hz to analyze movement of player from analysis of step interval. We proposed a method of quantitative analysis, and it was suggested that it was effective method to understand movement of player in a match. By such analysis method, it was thought that framing of physical fitness training program suited for specificity of soft tennis became possible.

These results suggest that the proposed analysis method using 2-D DLT is useful for analyzing soft tennis match and it could examine the physical fitness factor with this method.

目 的

従来ボールゲームのゲーム分析は、作戦や戦術理解といった観点から行われることが多く、各技術の内容やその出現頻度等が問題にされてきた^{4) 5) 9) 14) 15) 16) 17) 19) 20) 21)}。ソフトテニスの場合にも、ビデオテープを利用した方法^{7) 8) 10) 11)}やパーソナルコンピュータを試合場に持ち込んで行う方法^{12) 13)}で、ゲーム内容を分析することは行われてきた。これらのゲーム分析の目的は、戦術を含めた技術面での試合情報の

抽出にある。

一方、体方面に関する試合情報は、各種スポーツにおける運動量の測定として、身体活動量という観点から、ゲーム中の移動距離、心拍数やエネルギー消費量については検討が加えられてきており^{2) 3) 18) 20)}、どういったスポーツがどの程度の運動強度を持っているかといった種目特性については、明らかになってきた。

競技スポーツにおいて、競技成績を向上しようとする場合には、より専門的な体力トレーニングも技術トレーニングと同様に必要となって

* 名古屋大学総合保健体育科学センター

** 宮城学院女子大学

*** 財団法人岐阜県スポーツ振興事業団・スポーツ科学トレーニングセンター

* Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

** Miyagi Gakuin Women's College

*** Sports Science Training Center, Gifu Sports Promotion Association

くる。そこで試合中に使われている体力要素が明らかになれば、それをもとに必要なトレーニングの種類や内容を決めることができる。ボールゲームにおいては必要とされる場所への最短時間での身体の移動が重要で、この身体の移動に関わる体力が高く要求されるのである。しかしこれまで多くのボールゲームにおいては、こういった体力要素を必要とした動きが実際のゲームの中で行われているかという観点からゲームを分析したものは見当たらない。そして試合中にどの程度の距離をどの程度の速度で移動するような動きが多いのかについて明らかにされないまま、一般的な体力測定によって体力トレーニングを実施しているのが現実である。そこで、本研究では、ゲームの中で必要とされる体力要素をゲーム分析を用いることによって明らかにしていく方法を検討しようとするものである。これは従来経験的に行われてきた体力トレーニングをゲーム分析によって実証的に検討することとなり、効果的なトレーニングプログラム作成に結びつけることができるものと考えられる。

スポーツにおける動作の記録にはDLT法が多く用いられるようになってきており、試合中の動作の記録や解析にしばしば用いられている。ソフトテニスにおいて、コート上の選手の動きをコートに平行な平面内の運動としてとらえるためにはコートに垂直な方向、すなわち上方から撮影した画像を分析する必要がある。しかし、テニスコートのような広範囲を撮影するためにはカメラの位置が非常に高くなり事実上不可能である。そこで本研究では斜め上方から撮影した画像に2次元のDLT法を適用することにより、選手のコート上での動きを平面上の座標変化としてとらえ、ゲーム中の選手の動きを検討する方法について報告するものである。さらに、試合中の体力要素を検討する手段として、動きの定量化の方法についても提案する。

方 法

1. 2次元DLTの概要

一般に実空間上の3次元座標(X、Y、Z)とその像の2次元座標(U、V)との間には、

$$U = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}$$

$$V = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}$$

なる関係が成り立つ^{1) 6)}。ここで $L_1 \sim L_{11}$ はカメラ定数によって決まる定数である。運動が水平平面内で行われる($Z = Z_0$)とすると上の2式の定数をまとめ直せば、

$$U = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3}{L_7 X + L_8 Y + 1}$$

$$V = \frac{L_4 X + L_5 Y + L_6}{L_7 X + L_8 Y + 1}$$

となる。これらを $L_1 \sim L_8$ に対する連立方程式として変形すれば、

$$L_1 X + L_2 Y + L_3 - L_7 X U - L_8 Y U = U$$

$$L_4 X + L_5 Y + L_6 - L_7 X V - L_8 Y V = V$$

となる。カメラの視野の中に実空間上での平面座標(X、Y)が既知の点が4点写っていればそれらの像の2次元座標(U、V)を用いて上の2式から $L_1 \sim L_8$ に関する式が8個得られる。これらを連立方程式として解けば $L_1 \sim L_8$ の値が得られる。上の2式をXおよびYについて解けば、

$$(L_1 - L_7 U) X + (L_2 - L_8 U) Y = U - L_3$$

$$(L_4 - L_7 V) X + (L_5 - L_8 V) Y = V - L_6$$

これに実空間座標が未知の点の像の座標(U、V)を代入すれば(X、Y)に関する連立方程式が得られ、これを解くことによって実空間座標が求められる。

2. 対象

1996年11月2日から8日に、タイのバンコクで開催された第3回アジアソフトテニス選手権大会の男子団体戦決勝の第1試合のダブルスを分析対象とした。この試合は、ソフトテニスのゲームとしてはトップレベルの試合であると考えられるものであった。撮影は家庭用8mmVTRを、コートの手前ベースラインから約15m離れた観客席の中で、コート面から約

4mの高さに設置し、手前側ベースラインが十分入るようにして、ゲーム中はズームは固定して撮影した。さらに分析が容易なように撮られたビデオテープにフレームカウンターを映し込みながらダビングして、分析用テープを作成した。今回は、分析方法の検討が主たる目的であるため、約23秒間のラリー（サービスから14打で決まる）における4人のプレーヤーの動きを分析対象とした。

3. 分析方法

両ベースラインの両端の4点をコントロールポイントとして、ベースライン方向をX軸、サイドライン方向をY軸として、ネット下の中心点を（ネットとセンターラインが交わる場所）を原点とした。そして、4人のプレーヤーの両足を結ぶ線上の中心点を、各選手の位置としてデジタル化した。サンプリング周波数は60Hzであった。

結果および考察

1. 2次元DLTによる測定誤差

測定誤差を求めるために以下の2条件で検討した。一つは手前側ベースラインの左端、右端、奥側のベースラインの左端、右端の4点をコン

トロールポイントとして、図1に示すようなコート上の16点をそれぞれ6回ずつのデジタル化を行い、実空間座標とDLTで求めた座標との差を求め誤差とした。また、逆にコート上の16点をコントロールポイントとして、4点をそれぞれ6回ずつのデジタル化を行い、実空間座標とDLTで求めた座標との差を求め誤差とし、共通する4点についてその恒常誤差(CE)、絶対誤差(AE)などについて示したものが表1である。

ここで、CEは実座標からの誤差を符号を伴い示すもので実座標に対する前後・左右の方向性を持ったばらつきの指標となり、AEは誤差の絶対値について示すものであるため、方向を問題としない場合の誤差の指標となる。また、平均値は系統誤差としてDLT法による避けられない誤差と考えられ、標準偏差は偶然誤差としてデジタル化時に生じる誤差と考えられる。さらに最大値は、予想される最大誤差を示すものである。

CE、AEともコントロールポイントの数に関係なく、X軸方向（ベースライン方向）の平均値は10cm以下と十分小さく、デジタル化時に生じると考えられる標準偏差も小さい。さらに、予想される最大誤差も10cm以下であり、コー

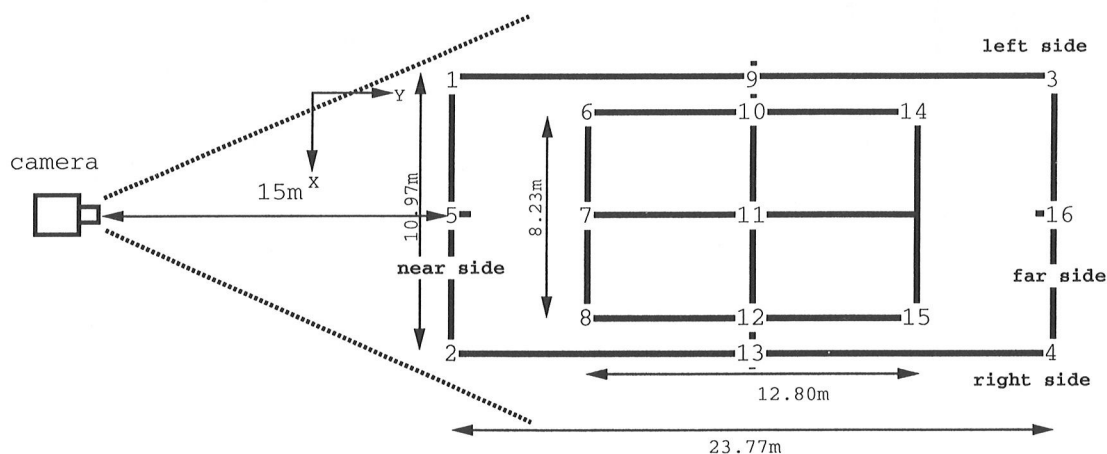


Fig. 1 Camera position, arrangement of 16 control points and court size

Table 1 The systematic error and the random error produced by digitizing and DLT

test conditions		Point1		Point2		Point3		Point4	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
16 points by 4 control points	mean	0.03	0.01	0.01	0.02	0.06	-0.75	-0.05	-0.42
	SD	0.02	0.05	0.03	0.07	0.07	0.41	0.06	0.38
	max	0.05	0.05	0.04	0.13	0.15	-0.08	0.04	0.17
4 points by 16 control points	mean	-0.06	0.01	-0.02	-0.07	-0.05	0.56	0.04	0.50
	SD	0.02	0.07	0.02	0.05	0.06	0.46	0.04	0.25
	max	-0.03	0.06	0.02	-0.03	0.04	1.42	0.07	0.66
16 points by 4 control points	mean	0.03	0.04	0.02	0.06	0.08	0.75	0.07	0.47
	SD	0.02	0.01	0.02	0.03	0.06	0.41	0.04	0.29
	max	0.05	0.05	0.04	0.13	0.15	1.08	0.12	0.84
4 points by 16 control points	mean	0.06	0.05	0.03	0.07	0.06	0.56	0.04	0.50
	SD	0.02	0.03	0.02	0.05	0.05	0.46	0.04	0.25
	max	0.08	0.10	0.04	0.11	0.15	1.42	0.07	0.66

(m)

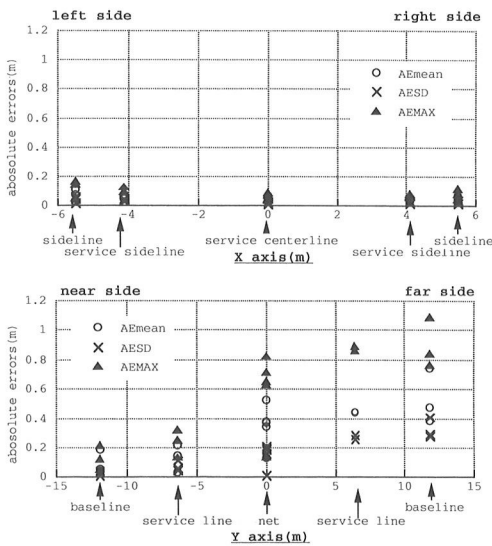


Fig. 2 Absolute error produced by digitizing and DLT on X and Y axis

ト上の選手の動きを分析する上では空間的分解能として十分であると考えられる。次にサイドライン方向であるY軸上の座標を見ると、手前の2点に関してはX軸方向とほとんど違いが認められず、予想される最大誤差についても10cm以下となっており、十分分析に耐え得る値であると考えられる。しかしながら、コート奥側の2点に関しては、コントロールポイントの多少に関わらず、50cmから70cmの誤差が観測され、予想される最大誤差については1m

を超える値がみられる。今回分析対象としたゲームは手前側ベースラインから約15m離れた観客席の高さ約4mの位置にカメラを設置し、撮影したものである。したがって、分析しようとするコート平面に対するカメラ位置が低いほど遠くにある点の測定精度は低下することは理論的に予想されることである。

2. プレー中の運動軌跡

4選手のインプレー中の動きの軌跡をデジタル化したそのままの値でコート上方から見た図として示したものが図3である。この軌跡からわかるように、奥側のバックプレイヤーのY軸方向の軌跡の誤差が大きいがわかる。しかしながら手前の2人のプレイヤーに関しては、誤差が小さく、その動きはかなり忠実に再現されていると考えられる。ただ手前側ネットマンの前後方向の動き(Y軸方向)の誤差はバックプレイヤーと比べやや大きいようである。

3. サンプリング周波数

今回の分析では、60Hzのサンプリング周波数(1秒間に60フィールド)で選手の座標値を計測した。しかしながら、今回分析対象としたラリーでは決まり手までに14本のラリーがあり、サービスを打ってからアウトになるまでは、23秒以上要している。したがって、今後ゲーム中のインプレーでの動きをすべて分析していくためには、ある程度サンプリング周波数を低くしていくことが現実的であると考えられる。

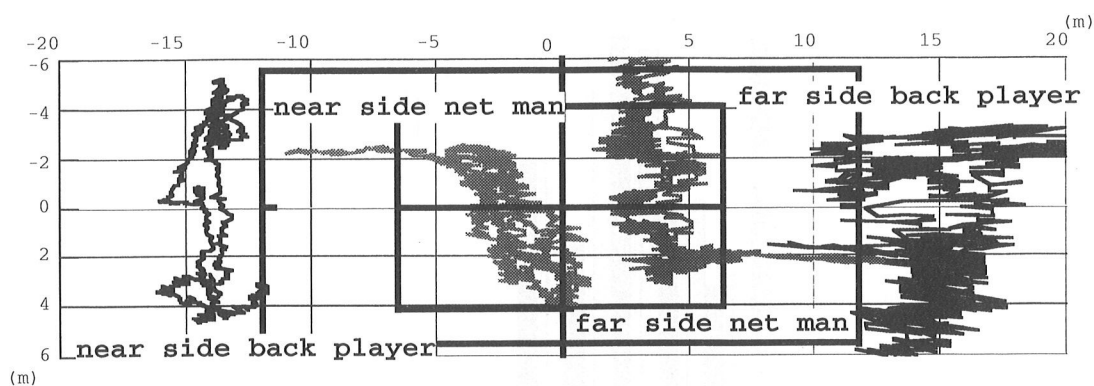


Fig. 3 Movement tracing of each player in a rally

そこで、このゲーム分析の目的が、試合中の選手の動きの種類を分類して集計することから、1歩の移動にかかる時間を算出して、その時間を基準としてサンプリング周波数を決定しようと試みた。すなわち、1歩の中で移動の速度変化は無視して、1歩に要する時間の分布から最低サンプリング周波数を推定しようとしたものである。

バックプレーヤーはこのラリー中に68歩の移動をしており、またネットマンは75歩の移動を行っていた。その時間間隔（1歩時間）の基礎統計とヒストグラムを示したのが表2と図4である。この分析結果から最小1歩時間は67msであり、4フィールド分に相当する。つまり、1歩ごとの移動を検討していくのなら、15Hz程度のサンプリング周波数で十分であると考えられる。

4. 選手の動きの記述

ラリー中の各選手の動きを分析するため、ここでは、各選手の移動方向を左右と前後を基準として45度ずつ8方向に分割した。例えば右方向への動きはベースライン方向で右向きを0度として、その前後22.5度で挟まれた45度の範囲の方向とした。また、ここでは同一方向への動きは一連の動きであると定義して、同一方向への動きが継続されている間の移動距離や移動速度を求めた。この際、デジタイズによる測定誤差（ノイズ）を除去するため、遮断周波数

Table 2 Statistics for step interval (s.)

	Back player	Net man
mean	0.347	0.308
standard error	0.019	0.020
median	0.350	0.317
mode	0.150	0.367
S.D.	0.154	0.170
variance	0.024	0.029
range	0.767	1.217
min	0.067	0.067
max	0.833	1.283
n	67	74

3HzのButterworthタイプのフィルターを用いて座標データを平滑化した後計算した。手前側の2選手について各動きが現れた頻度、移動距離、移動時間、移動速度を表したものが表3で、その平均値を図示したものが図5である。この図から、バックプレーヤーとネットマンの動きの種類が異なること、すなわち出現頻度や移動距離、移動速度が異なることがわかる。この分析では1本のラリーのみを分析対象としたが、こうした分析方法は試合中の選手の動きの質を定量化するために有効な方法であると考えられる。

ま と め

ソフトテニスのダブルスゲームを対象として、試合中に必要とされる体力要素を明らかに

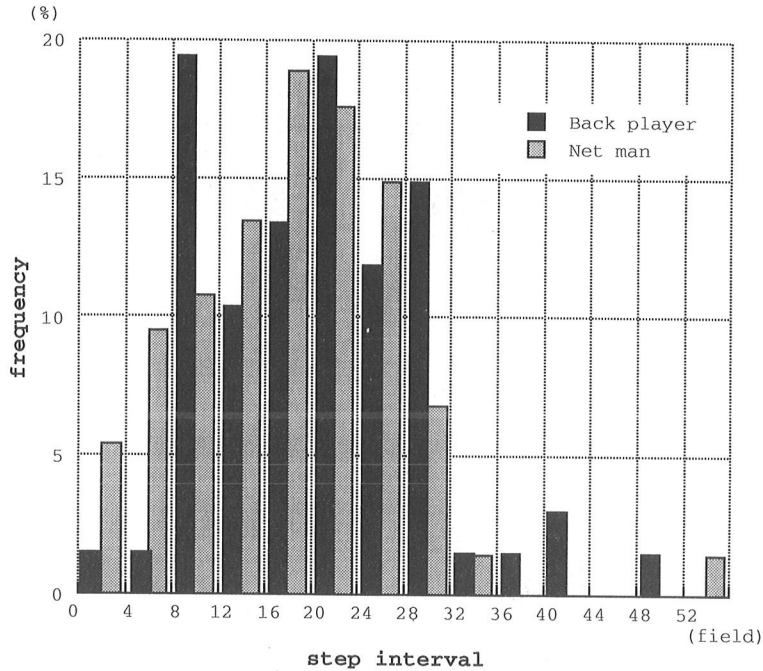


Fig. 4 Histogram of step interval on each player

するために、1台のカメラによる2次元DLT法による動きの分析を試みた。

カメラを設置する高さによって、コート奥に位置する選手に対し、特に前後方向（サイドライン方向）の動きを正確に測定することは困難な場合もあるが、カメラの近くに位置する選手に関しては、動きの分析をしていくために十分な精度（系統誤差）でその動きを測定することができた。カメラ位置を高く設定できる場合には、全ての選手の動きが分析可能になるものと思われる。しかしながら、実際には、カメラ位置が高くなった場合カメラ位置とコート面との距離も大きくなるため、選手の動きをデジタル化する際の誤差の増加も予想され、現実的には同期した2台のカメラで両ベースライン後方から撮影する方法が望ましいのではないかと考えられる。

また分析の際のサンプリング周波数については、1歩に要する時間の分析から15Hz程度のサンプリング周波数で分析すれば、1歩を移動する中での速度変化などは検討することができ

ないが、移動方向の切り替えまでを一つの動きとしての単位とするのであれば、十分であると考えられた。これは、多くの試合を分析する際に手作業でデジタル化していく上では重要な問題である。

最後に移動方向による動きの定量化への方法の一例を示した。従来ゲームを観察することによって感覚的に理解されてきた体力要素や、一般的な体力測定によって行われてきたトレーニングのプログラム作成やトレーニング指導が、今回行った動きの定量化によって、よりソフトテニスの特異性に合わせた体力の理解、適切なトレーニングプログラムの作成に結びつき、選手に対するフィードバックとしても有効に利用できると考えられた。

しかしながら、選手の動きは時間経過とともに、特に相手のプレーとの対応の中で生じるものであるため、ボールの動きや相手のプレーも考慮した分析方法を用いることによって、より実際の試合場面に即したトレーニングプログラムの作成のための資料が得られることが期待される。

ソフトテニスの動きの分析方法

Table 3 Distance, velocity, and interval for each direction on each player

distance(m)	Back player direction								Net man direction							
	F	FR	R	BR	B	BL	L	FL	F	FR	R	BR	B	BL	L	FL
	1.006	1.239	0.220	0.876	0.015	1.448	1.044	0.846	4.776	2.897	1.025	1.031	0.053	1.364	0.149	0.119
	0.151		0.090	1.003	0.869	1.111	2.546	0.437	0.275	1.490	0.124	0.302	0.619	2.728	0.392	0.061
	0.132		0.060	0.533	1.305		0.101	2.209	0.132	1.354	0.580	0.377	0.051	1.082	2.217	0.727
	1.257		0.379	1.940	0.514		0.704	0.096	0.752	0.840	1.029	0.103	1.417	1.007	0.208	0.652
	0.085		0.044	0.883	0.456		0.220	0.773	0.208	0.391	0.501	0.276		0.952	0.276	0.610
	0.274		1.761	0.566	0.372		0.355	0.323		1.006		0.044		0.253	0.732	0.604
			0.554		0.117		0.205	0.448		3.795					1.975	
			6.141				2.354			0.261						
							1.360			0.509						
										0.546						
										0.033						
										3.071						
min.	0.085	1.239	0.044	0.533	0.015	1.111	0.101	0.096	0.132	0.033	0.124	0.044	0.051	0.253	0.149	0.061
max	1.257	1.239	6.141	1.940	1.305	1.448	2.546	2.209	4.776	3.795	1.029	1.031	1.417	2.728	2.217	0.727
range	1.172	0.000	6.097	1.406	1.290	0.338	2.445	2.113	4.644	3.762	0.905	0.986	1.366	2.475	2.067	0.667
mean	0.484	1.239	1.156	0.967	0.521	1.280	0.988	0.733	1.228	1.349	0.652	0.356	0.535	1.231	0.850	0.462
SD	0.512		2.092	0.512	0.444	0.239	0.929	0.699	1.998	1.241	0.383	0.354	0.646	0.820	0.875	0.292
velocity(m/s)	F	FR	R	BR	B	BL	L	FL	F	FR	R	BR	B	BL	L	FL
	2.012	3.097	0.659	1.813	0.038	1.931	1.649	2.208	4.092	3.049	4.398	2.691	0.787	2.099	0.746	0.298
	1.004		0.258	1.399	2.368	1.513	3.551	2.389	1.035	2.078	0.496	0.671	1.860	2.443	0.811	0.139
	0.566		0.324	1.524	1.103		0.676	2.821	0.360	4.067	1.741	1.258	0.510	3.250	3.694	1.406
	1.753		2.059	2.155	1.028		1.507	0.639	1.671	4.566	2.940	1.538	2.124	2.321	1.386	1.958
	0.268		0.655	1.711	1.610		0.778	2.018	2.077	0.837	2.997	0.553		2.116	1.841	1.743
	1.370		2.399	1.792	1.393		0.546	0.692		2.516		0.107		1.516	1.256	1.726
			1.144		0.703		1.119	0.538		2.254					1.912	
			2.924				1.471			1.570						
							2.721			1.131						
										1.491						
										0.079						
										2.394						
min.	0.268	3.097	0.258	1.399	0.038	1.513	0.546	0.538	0.360	0.079	0.496	0.107	0.510	1.516	0.746	0.139
max	2.012	3.097	2.924	2.155	2.368	1.931	3.551	2.821	4.092	4.566	4.398	2.691	2.124	3.250	3.694	1.958
range	1.745	0.000	2.666	0.756	2.330	0.418	3.005	2.283	3.732	4.486	3.902	2.584	1.614	1.733	2.948	1.819
mean	1.162	3.097	1.303	1.732	1.178	1.722	1.558	1.615	1.847	2.169	2.514	1.136	1.320	2.291	1.664	1.212
SD	0.678		1.022	0.262	0.731	0.296	0.997	0.960	1.414	1.291	1.469	0.918	0.791	0.567	1.002	0.791
interval(s)	F	FR	R	BR	B	BL	L	FL	F	FR	R	BR	B	BL	L	FL
	0.500	0.400	0.334	0.483	0.383	0.750	0.633	0.383	1.167	0.950	0.233	0.383	0.067	0.650	0.200	0.400
	0.150		0.350	0.717	0.367	0.734	0.717	0.183	0.266	0.717	0.250	0.450	0.333	1.117	0.483	0.434
	0.233		0.184	0.350	1.183		0.150	0.783	0.366	0.333	0.333	0.300	0.100	0.333	0.600	0.517
	0.717		0.184	0.900	0.500		0.467	0.150	0.450	0.184	0.350	0.067	0.667	0.434	0.150	0.333
	0.316		0.067	0.516	0.283		0.283	0.383	0.100	0.467	0.167	0.500		0.450	0.150	0.350
	0.200		0.734	0.316	0.267		0.650	0.466		0.400		0.417		0.167	0.583	0.350
			0.484		0.167		0.183	0.833		1.684					1.033	
			2.100				1.600			0.166						
							0.500			0.450						
										0.366						
										0.417						
										1.283						
min.	0.150	0.400	0.067	0.316	0.167	0.734	0.150	0.150	0.100	0.166	0.167	0.067	0.067	0.167	0.150	0.333
max	0.717	0.400	2.100	0.900	1.183	0.750	1.600	0.833	1.167	1.684	0.350	0.500	0.667	1.117	1.033	0.517
range	0.567	0.000	2.033	0.584	1.016	0.016	1.450	0.683	1.067	1.518	0.183	0.433	0.600	0.950	0.883	0.184
mean	0.353	0.400	0.555	0.547	0.450	0.742	0.576	0.454	0.470	0.618	0.267	0.353	0.292	0.525	0.457	0.397
SD	0.217		0.658	0.224	0.340	0.011	0.435	0.267	0.411	0.465	0.075	0.155	0.277	0.330	0.322	0.070
frequency	6	1	8	6	7	2	9	7	5	12	5	6	4	6	7	6

F: forward, FR: forward-right, R: right, BR: backward-right
 B: backward, BL: backward-left, L: left, FL: forward-left

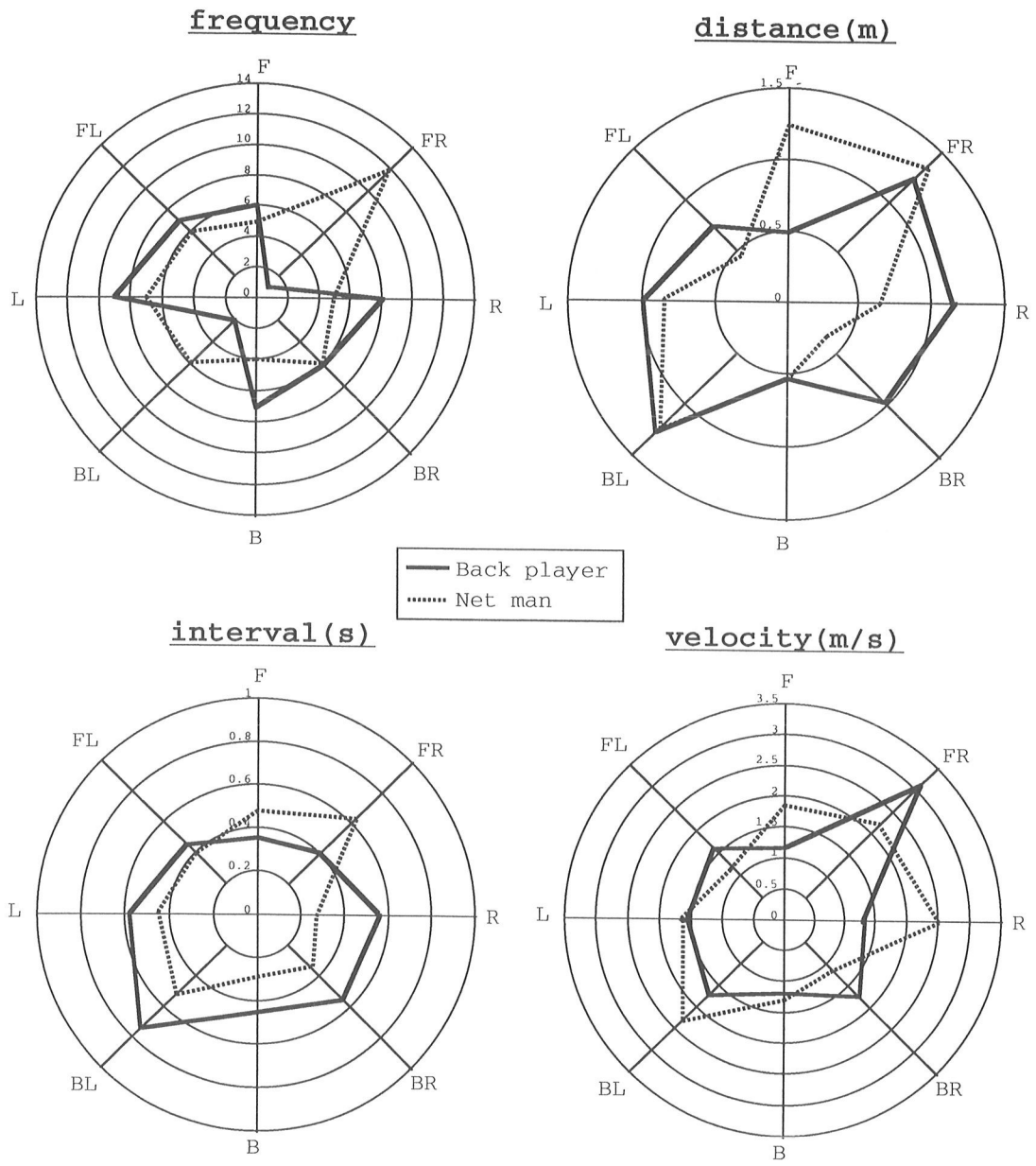


Fig. 5 Differences between a back player and a net man on the frequency, distance, interval, and velocity of each direction movement.

参 考 文 献

- 1) Abdel-Aziz, Y. I. and Karara, H. M. "Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry", In ASP Symposium on Close Range Photogrammetry. American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA., 1971.
- 2) 阿部一佳・芳賀脩光・加藤満里子・中谷敏昭・鶴木秀夫・牛山幸彦・富樫健二「女子バドミントン競技の運動強度」筑波大学体育科学系紀要、12、107-114、1989.
- 3) Delamarche, P., Gratas, A., Beillot, J., Dassonville, J., Rochongar, P., & Lessard, Y. "Extent of lactic anaerobic metabolism in handballers", International Journal of Sports Medicine, 8, 55-59, 1987.
- 4) Franks, I., Wilson, G., & Goodman D. "Analyzing a team sport with the aid of computers", Canadian Journal of Sport Sciences, 12: 120-125, 1987.
- 5) 星野秀樹・石井喜八・伊坂忠夫・成田明彦・泉川喬一「新しい装置 (Video Tracker) を用いたボール分析—バレーボールの場合—」第9回日本バイオメカニクス学会大会論集、287-292, 1988.
- 6) 池上康男「写真による運動の3次元解析法」Japanese Journal of Sports Science, 2: 163-170, 1983.
- 7) 井篁敬・山本裕二「軟式テニスのゲーム分析—3球目攻撃について—」筑波大学体育科学系紀要、7: 29-36, 1984.
- 8) 井篁敬・出村慎一・山本裕二・工藤敏巳「軟式テニスの前衛の動きの分析—モーションの類型化と出現傾向—」金沢大学教養部論集・人文科学篇、24: 141-156, 1986.
- 9) 石井喜八・西山哲成「ボールゲームの分析法」Japanese Journal of Sports Science, 9: 266-267, 1990.
- 10) 石井源信他「軟式庭球のゲーム分析に関する研究」日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究、6: 217-234, 1983.
- 11) 石井源信他、軟式庭球のゲーム分析に関する研究、日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究、7: 111-127, 1984.
- 12) 工藤敏巳・水野哲也・井篁敬・杉山貴義「ソフトテニスのゲーム分析—国際ルールと日本ルールとのプレー傾向の比較—」東北体育学研究、14: 7-18, 1996.
- 13) Kudo, T. "Development of score system for singles match: Teans. exe (tennis analyzer for singles)", Proceedings of the First Asian Congress of Tennis Science, 7, 1995.
- 14) 松岡孝博・山本裕二「補助記録器を用いたバスケットボールのゲーム分析方法について」中京女子大学紀要、21: 34-46, 1987.
- 15) 西島尚彦「バレーボール技能の構造」Japanese Journal of Sports Science, 9-5, 280-286, 1990.
- 16) 西山哲成・当麻成人・石井喜八「ボールゲームのフォーメーションプレーの3次元・即時記録」バイオメカニクス研究、281-286, 1990.
- 17) 西山哲成・石井喜八「試合中のボールゲーム選手の客観的位置記録」日本バイオメカニクス学会第11回大会論集、86-90, 1992.
- 18) Skorodoumova, A., "Loads in competition", Proceedings of the First Asian Congress of Tennis Science, 24-28, 1995.
- 19) 戸荻晴彦「サッカーのチーム力構造の分析」Japanese Journal of Sports Science, 9-5, 287-294, 1990.
- 20) 椿本昇三・坂田勇夫・阿江通良「水球のゲーム分析—DLT法による—」体育の科学、36, 712-716, 1986.
- 21) 山中邦夫・五所伸之・西島尚彦・中山雅雄・小野剛・宮崎純一「一流プロ・サッカー選手の試合における移動距離」筑波大学体育科学系紀要、12, 85-94, 1989.

(1996年12月9日受付)

