

昭和63年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VIII ボールゲームの分析法に関する研究
—第2報—

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

昭和63年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No.VIII ボールゲームの分析法に関する研究 —第2報—

報 告 者 (財)日本体育協会研究プロジェクトチーム
ボールゲームの分析法に関する研究

班 長 石 井 喜 八¹⁾

班 員 安 藤 幸 司²⁾ 大 橋 二 郎³⁾ 清 水 宣 雄⁴⁾
戸 荘 晴 彦³⁾ 成 田 明 彦⁵⁾ 星 野 秀 樹¹⁾
磯 川 正 教⁶⁾

担当研究員 伊 藤 静 夫 (日本体育協会スポーツ科学研究所)

この研究のねらいと提言 —ボールゲーム指導者との意見交換のために—

この前年度の研究報告の始めに“本研究班のねらい”を書きました。そこには筆者が考えているボールゲームと、皆さんが指導者として携わるボールゲームの違いを指摘してみました。簡単にいってはいい直せば、われわれはボールゲーム全体を考えていますが皆さんはそれぞれが専門としているボールゲームの一種目を指しているという違いがあります。われわれがここでボールゲームという場合には、単に、球形のボールを扱う競技種目だけをいってはいません。楕円形のボールを使うラグビーはもちろんのこと、小型の球形であるテニス・卓球そして野球・ソフトボール、さらには鳥の羽をとばすようのようなバドミントンあるいは平らな円盤を打つアイスホッケーをも考えています。

それらの共通点は相手と味方に分かれてボールまたはシャトルコックを操作して得点を競う競技とまとめることができます。ここでは打具を手の

延長物として考えています。また、ボールやシャトルコックを操作するとき、味方競技者の位置はもちろんのこと、相手競技者や競技場の区画線そしてゴールの位置を確かめて動作運動を行うのですから、競技者の体の中では目で確かめ手を動かすという調整力が働いていることも共通要素といえます。

われわれ、この研究班の課題はボールゲームを記録し、それをどのように分析するかという処理方法とその時間を考え、監督・コーチが何を知りたいのかを調べていく仕事です(図1)。

ボール競技の一種目とはいっても専門ともなれば、監督・コーチの皆さんには常日頃から、対戦相手になる可能性のあるチームの特徴や欠点を探していると思います。対戦の相手と日時・場所が決まれば、勝つための対策はその試合終了の勝負がつく時点まで続けられていくことになるのでしょうか。

この対策をわれわれが想像すれば、対戦相手となるチームの試合記録、それにもとづく自分のチームの対応と練習の内容、あるいは、親しい友人

1)日本体育大学 2)ナック株式会社 3)東京大学 4)国際武道大学
5)東海大学 6)東京都立大学

の中で信頼できる監督やコーチに意見を求めるなど、可能な限りの情報の収集をしているのだろうと思っています。

図1をみていただこう。先づ、ポールゲームは味方と相手の2つに分かれます。そして、分析はゲーム中の個々のプレーの観察をします。“だれが”“なにを”“いつ”“どこで”という項目を手掛かりにします。目のつけどころを確かめているということになります。われわれは記録することを大事にします。それは繰り返して見ることができることと、それにしたがって計測することができるからです。一般にはゲームの記録はVTRを使っているでしょう。VTRはゲーム全体の記録はできますが、計測を介しての数量化にはいくつかの問題があります。

あるプレーヤーがモーションを起こしてから、相手プレーヤーとの攻防の動きの対応、そしてボールが手（あるいは足）を離れるなどの瞬間を見るには、動作をスローモーションにしてみるとわかり易いわけですが、このとき、VTRや長時間記録のできるカメラでは高速度で記録することになります。しかし、高速度というのは1秒間に数十場面、フィルムでは数百場面を収録するわけですから、数量化する分析には数時間あるいは數十時間が必要になります。これでは監督やコーチの手元に分析後の資料を届けるまでに相当な時間がかかりてしまいます。ところで、ポールゲーム中の各プレーヤーの動きの速さを停止状態、歩、軽走の状態、中程度の走運動、そして、全力走の状態が試合時間のそれぞれどれくらいの割合を占めているか、また、各プレーヤー間のパスの回数などのプレーヤーが中心となってパスを回しているか、あるいは、有効なパスとなるプレーヤー間のパスの回数と組合せなどをコンピューター（例えばLaptop computer）を用いて記憶・集計させる方法があります。

一方、三脚とVTRカメラの間にポテンシオメーター（角度形）を置き、VTRの覗き窓で一人のプレーヤーの動きを追い、このVTRが、一定の距離（既知）を離して2台構えて、一人のプレーヤーの動きを追えば、三角測量の原理によって、一点を決めることができ、実際の移動距離を換算でき

ることになります。

また、近年、VTR画面の中で動く焦点を追跡できる装置（ビデオトラッカー）が開発され、同一画面上、同時に8点が追跡できる装置となって改良されるまでになりました。これをポールゲームの記録に応用すれば、7名のプレーヤーと一個のボールの合計8点の位置移動をコンピューターが記録し、図表に印字打ち出すこともできます。このようにして求めた8点の軌跡をコンピューターの自動記録装置によって図に打ち出せば、フォーメーション軌跡が即時に描けます。このとき、コンピューターはそれぞれの軌跡の各位置と時間を読み取っていますから、各プレーヤーの速さの変化も調べることができます。もちろん、これら速さの変化も図に表すことができます。

われわれの研究班では、長い分析時間を必要とする高速度フィルム分析法を除いて、いくつかの方法が実験を通して試されてきました。この目的はできるだけ早く（即時的）に記録と数量化（客観的に）ができる分析の方法を探しています。この意味はたった今、行われているゲームを分析し、特徴をとらえ、監督やコーチの座っているベンチに届ける手段を探しているわけです。

ここで、最も大切なことは、われわれの立場で興味を持ち、特徴をとらえるということではないに、監督やコーチの皆さんのが“何を知りたいのか？”“どの様な表し方で良いのか？”“それらをどう役立てるか？”という方向へ向けて分析法の処理をする事なのです。

また、このような分析の方法にしたがった資料が積み重ねられてくれれば、ゲームプランが立てられると考えています。ゲームプランとは、今度の対戦相手には“このような対策で（幾通りかのプレーになるかも知れませんが）臨む”という計画を試合の流れという時間帯に沿って、組み立てられ、練習してきたプレーを折り込み、使い別けていく計画のことです。

ゲームプランは現在、アメリカンフットボールで使われています。この競技をする人々と二十数年間の交流がありますが、最初の頃、私は試合には相手があること、ゲームの展開は計画どうりにはいかないかと考えていました。ところが、彼ら

はゲームの展開は計画がうまく進んで勝ったときには、"思いどおりいった"というでしょう、といふのです。

自分を振り返ってみると、勝ちたいという願望が根本にあり、相手チームの得意プレーの想像あるいは、相手チームのこれまでの試合のVTRなどの記録を参考にしたり、そして、味方チームの練習を通して観察から得た得意プレーを組合せはするが、試合の流れを想像するまでに至っていないかったのではないかと思うが、試合が終わって勝がころがり込んだときの結果論として"思いどおり

にいった"と口にしたのではないか、などと考えました。

文字や図に表してみると、その文字や図は自分がみても、あるいは他の人にみせても変わらないものですから、これらをもとに作戦をさらに納得できるものへ発展できるものと考えています。われわれはこの文字や図をなるべく機器にまかせ、自動的に、そして、できるだけ短時間に監督・コーチの席へ届けることを研究しています。

監督・コーチのご意見をお待ちしています。

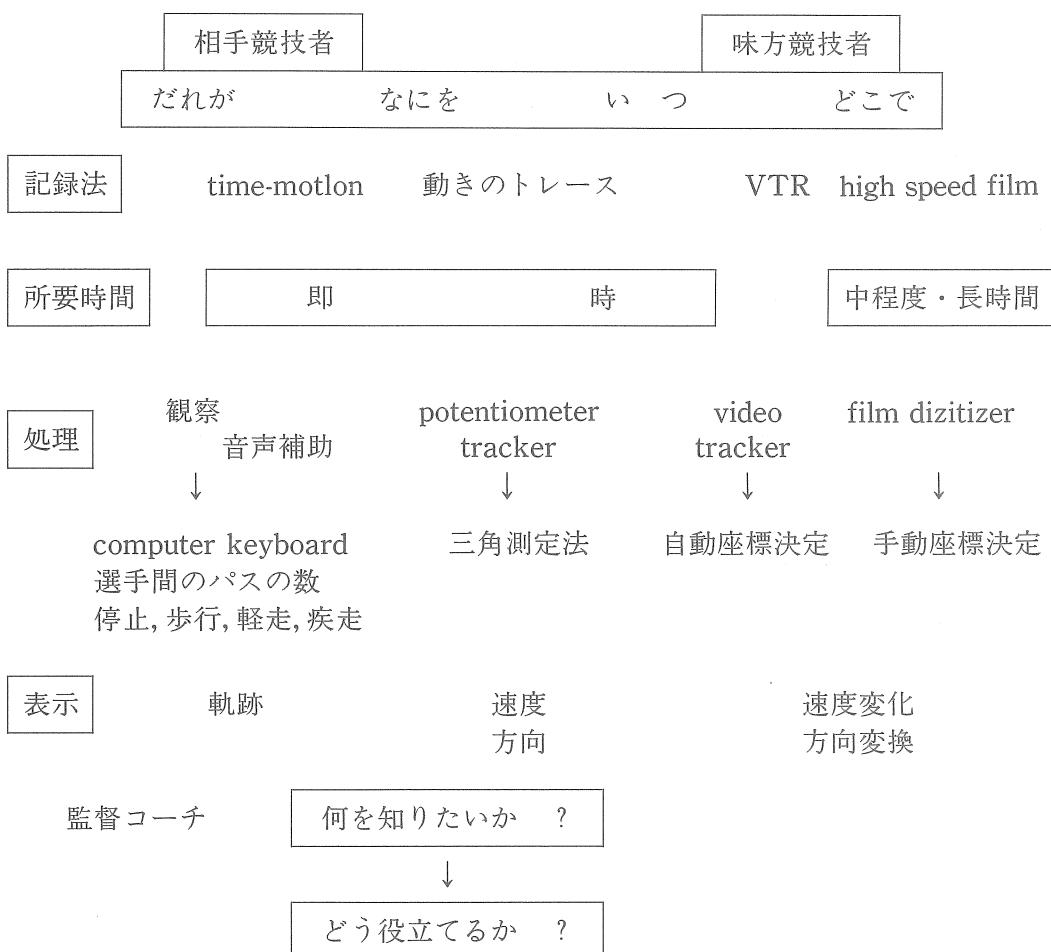


図1 ポールゲーム分析法のねらい

I サッカーのリアルタイムパス分析システムの実用化

報告者 大橋二郎¹⁾

研究協力者 磯川正教²⁾ 戸苅晴彦¹⁾

はじめに

ボールゲームを分析する目的の一つは、チームを率いる現場の指導者や選手たちに実際のゲーム場面から得られた有効な情報を提供することである。サッカーのようなネットを挟まないチームでのボールゲームでは、選手やボールの動きは複雑であり、分析法を検討する際に、どのような情報をいかにしてとらえ処理するか、そして分析結果が現場の要求に答え得るものなのか、ということが最も重要な課題であろう。

実際の試合から得られる情報を整理してみると、「いつ」、「どこで」、「だれが」、「なにを」という4項目に分類することができる。また「だれが」を複数、「どこで」を三次元空間としてとらえることによって理論的には、完全にゲームの情報を数値化したデータに置き換えることができるわけである。すなわちサッカーを例にとれば、22名の選手とボールの位置を、競技場を平面とし、高さを加えた三次元空間座標の点として求めることを意味している。しかし実際のゲームからこれらすべての情報を得ることは技術的に極めて困難であるばかりか、仮にこれらの情報すべてを現場の指導者に提供したとしても、直ちに役に立てるることは困難であろう。

すなわちゲームを分析する方法を検討する際に、現場の指導者は「なに」を知りたいのか、また「どのように」その情報を利用するかという接点を充分に考慮に入れる必要がある。

図1はこれらの考え方を示したものであるが、現場で必要と思われるゲーム分析的な情報はデー

タの収集、処理、結果の表示などに要する時間やその役立てかたから次の三つに分類することができる。先ず長期にわたる練習やトレーニングあるいは選手選考など強化に役立てようとする長期的なもの、また数日の間に処理し次の試合などの作戦に利用する中期的なもの、そして試合中にデータの処理や分析結果の表示まで終了し、その試合の作戦変更や選手交代などに役立てる即時的なものである。

筆者たちがこれまでにってきたゲーム分析的研究では、時間経過にともなう移動距離の変化を各年齢層別にみたもの⁶⁾、移動スピードの測定法の開発⁴⁾やスピードの比率⁵⁾⁷⁾、栄養素比率の異なる食事摂取と移動距離の関係³⁾などは、選手の体力やトレーニングに役に立つものと思われる。また選手の試合中における動きに関するパフォーマンスを

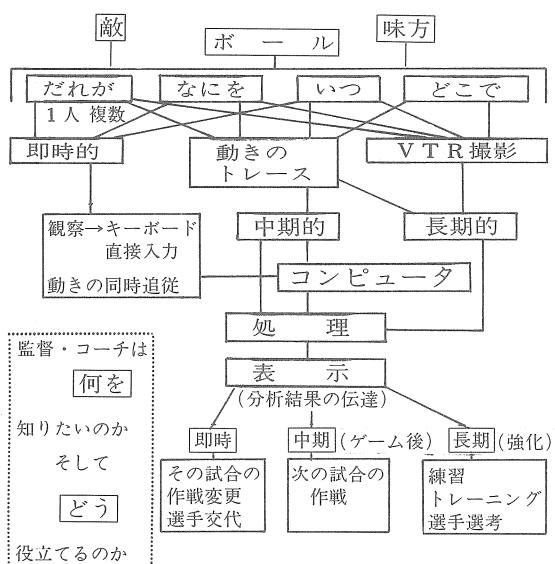


図1 ボールゲームの分析法とその目的

1)東京大学 2)東京都立大学

客観的にとらえ得ることから、選手の選考などにも有効な情報を提供でき、これらは長期的なものに含まれるものと考えられる。

また試合中のパスに関する情報分析は、チームの戦術的な意図や特徴をよく表すことから、スカウティングなどにしばしば用いられている。パスはボール中心にゲームを追うことによって比較的容易にその傾向を探ることができますため、経験豊富な監督やコーチの観察も信頼性が高く、メモや記憶を頼りにチームの特徴を図示することも比較的容易に行われている。このようにパスについてより詳しく調査したものがいくつかみられる¹⁾²⁾。これらの分析方法は、ゲームの進行とともにボールに関わる選手とそのプレーを口述し、記録者が筆記記録したものをゲーム終了後に分類集計するものである。従ってデータの処理に要する時間から、早くても次の試合の作戦に役立てることができることから、この種の分析は中期的なものに含めることができる。

以上は従来行われてきた長期的、中期的なゲーム分析的研究の一部であるが、近年これらのデータ処理の段階でコンピュータの導入が見られるようになった。現在のコンピュータの処理能力はゲーム分析的な研究に見られるデータ量であれば、パーソナルコンピュータレベルで十分に素早く処理できるだけでなく、データの入出力から結果の表示といった一連の情報処理過程まで制御する能力を有している。また小型化が進んでいることから、本研究では従来のゲーム分析的研究の方法と、現場の指導者の求める情報の提供といったことを考慮すると、中期的な分析方法を即時的なものに、という開発の方針が最も実現性が高く、現場の指導者の要求に答えるものであると判断した。

以上のことから、サッカー競技におけるゲームの分析法に関する研究は、サッカーのリアルタイムパス分析システムの実用化とした。このシステムの設計は、いずれかのチームを対象として、「だれが」「いつ」「なにを」という情報をボールの動きとともに即時にコンピュータのキーボードから入力し、即時に処理、表示することによってその試合の作戦変更や選手交代、また次の試合の作戦に役に立てるようとする図1の左側に示された

内容である。

昭和62年度はパス分析プログラムの基本的な設計と、パスの情報をゲームの進行とほぼ同時にキーボードからコンピュータに入力する方法について検討した。プログラムは扱うデータ、現有機器などを考慮しNEC 9801シリーズのキーボードから入力するよう作成した。基本ハードウェアとしては、1. FDD 2台付のコンピュータ本体(メモリ384KB以上), 2. CRT, 3. プリンタである。プログラムの概要は、[1]データの読み込み、[2]すでに入力済みのファイルの呼び出し、[3]データの解析とした。

データの入力はキーボードから背番号によって特定された選手と、コード化された6種類のプレーおよび5種類のリストアートプレーとした。

その他補助的な情報用として、入力初期時のメンバー表の入力、データ入力中における任意のコメント入力などの機能を加えた³⁾。

63年度は前年度試作したデータの入力プログラムの操作、表示などの細部にわたり早く正確に入力できるよう改良を加え、実際の試合で試行し、データの解析までを行うことを目的とした。

また一般的なパーソナルコンピュータ(デスクトップコンピュータ)の場合、大きさや電源などの点で実際の試合会場に運搬することは困難であることから、徐々に普及し始めている小型のコンピュータ(ラップトップコンピュータ)を用いるようにプログラムを改良することも課題とした。

データ入力用キー配列の改良

プレーのコード入力には当初そのプレー名の頭文字を使うようにした。この入力方法の利点はゲームの進行とともに口述されるプレーの名称をキー入力する場合に、フラインド入力を容易にさせることにあった。しかしこの入力方法を試行したところ、左右の手の指を使う点、12種に限定され離れたキーを打つ点などで入力時に混乱し易いことから改良することにした。

改良した方法は、左手の指の自然な基本ポジションの中で、トラップ[F]、ドリブル[D]、ヘディング[A]、シュート[S]、クリア[C]のように指の基本ポジションから移動しないように

した。

またリストアートプレーのコードも、当初プレーの頭文字を基本としてコード化したが、プレーの入力と同様の理由で、基本的な左指の一段上のキーを利用するよう変更した。その配列はフリーキック [Q] , コーナーキック [W] , スローイン [R] , ゴールキック [E] , ペナルティキック [T] である。背番号の入力は、デスクトップコンピュータの場合はキーボード上段のナンバーキーよりテンキーが使いやすいため、キーボード右側のテンキーを使用するようにした。

またラップトップ用としての変更

には基本ハードウェアとしてNEC9801LV21とした。ラップトップコンピューの場合、テンキーは基本的なキーボードの配列ではなく、オプションのテンキーを取付けるか、(NUM)ロックによって右側の一部のキーが一時的にテンキーの役割を果すよう設計されている。このことからラップトップコンピュータの場合右手の指を、選手の背番号専用として使えるよう変更した(図2)。

これら入力用のキー配列の変更にともない、入力画面のレイアウトを、プレーとコードの照合が容易に行えるようするとともに、液晶白黒のディスプレイ用に変更した（図3）。



図2 ラップトップコンピュータを用いた入力用キー

記事 - [INS]	削除 - [DEL]	格納 - [RTN]	確認 - [HELP]	ディスクセーブ [F10]
番号	プレイ名	番号	[SPACE]	
バス	(Z) [リストアートプレー]			
トラップ	([Q] が先、番号がある)			
ドリブル	[D] [W] コーナーキック			
ヘディング	[A] [R] スローイン			
クリア	[C] [E] ゴールキック			
シュート	[S] [T] ペナルティキック			
格納データ数	= 0			
保存データ数	= 0			
終了 - [HOME CLR]				

図3 デンタ入力画面

実際の試合におけるプログラムの試行

国内で行われる試合のうち、国立競技場で行われる国際試合を対象とした。

基本的な機器は、ラップトップコンピュータ、プリンタ、3.5インチバス分析システムフロッピディスク、データ用フロッピディスクである。入力には2名、補助としてさらに2名を配置することにした。入力方法はゲームの進行とともにボールに関わる選手の背番号とプレーを口述する役割、その情報をキーボードから入力する役割に分担し、観察者が選手やプレーを見落したり誤認した場合にその補足や訂正をするため、データ入力者側に1名、競技場の反対側に1名補助者を配置し、隨時トランシーバーによって補助的な情報を送るようにした。

入力したデータは隨時データ用フロッピに出力し、解析、表示、プリンタ出力は前半終了直後、

試合終了直後に実施した。

結果と考察

本研究では国立競技場における国際試合を対象として毎回試行錯誤的にデータ入力を実施してきたことからデータの欠落、誤入力は徐々に減少した。したがって見落としが極めて少なかった最後の対象試合であるトヨタ・カップの解析結果を一例としてここに示す。

入力されたデータは、一連のボールに関わるプレーを1レコードとして記録した。各レコードの第1にそのプレーが開始し、入力者がキーボードを押した時間、次に一連のプレーが終了し、リターンキーによってデータとして格納した時間、次に選手の番号、プレーの文字コードを繰返して記録するようにした。

表1は対象チームの50から70レコードのデータを示したものである。これらのデータに基づいて

表1 ボール保持時間

50	12:07:54,12:08:22,06,Z,01,A,02,F,07,F,02,F,03,F,04,F,11,A,09,A,
51	12:08:27,12:08:45,06,Q,08,F,
52	12:08:57,12:09:02,03,C,
53	12:10:25,12:10:40,09,Z,10,A,06,A,07,A,04,F,03,F,08,F,
54	12:10:42,12:10:47,03,Z,06,A,
55	12:11:08,12:11:22,03,Z,01,A,04,A,
56	12:11:34,12:12:03,06,A,11,F,11,D,06,F,05,A,04,F,04,D,03,A,01,A,04,A,05,F,05,D,10,A,
57	12:12:05,12:12:08,05,Z,06,A,
58	12:12:31,12:12:36,03,A,03,C,
59	12:12:38,12:13:04,06,Z,04,A,
60	12:13:15,12:13:40,01,E,04,F,04,D,10,A,08,A,08,Z,
61	12:13:41,12:14:01,05,R,04,F,04,D,09,Z,
62	12:14:02,12:14:04,04,A,
63	12:14:06,12:14:13,08,Z,06,A,08,F,08,Z,
64	12:14:20,12:14:22,02,C,
65	12:14:40,12:14:42,04,F,04,C,
66	12:14:46,12:14:54,11,F,07,F,04,A,07,F,07,Z,
67	12:14:56,12:15:26,01,Z,04,F,03,F,06,A,04,F,01,A,01,Z,
68	12:15:28,12:15:42,05,R,11,A,05,F,11,A,05,F,
69	12:15:45,12:16:10,06,Q,03,F,03,D,04,Z,
70	12:16:11,12:16:15,04,F,04,Z,

表2 ボール保持時間

START TIME = 12:01:02	テヌースウ	シーコク	シーカン	トータルシーカン	インターハーバル	トータルインターハーバル
30	12:13:41	20	476	1	298	
31	12:14:02	2	478	2	300	
32	12:14:06	7	485	7	307	
33	12:14:20	2	487	18	325	
34	12:14:40	2	489	4	329	
35	12:14:46	8	497	2	331	
36	12:14:56	30	527	2	333	
37	12:15:28	14	541	3	336	
38	12:15:45	25	566	1	337	
39	12:16:11	4	570	5	342	
40	12:16:20	11	581	6	348	

解析される項目は現在のところ、1. ボール保持時間、2. パス連続頻度、3. 選手間パス頻度である。

1. ボール保持時間

ボール保持時間はデータ入力の際自動的に記録される時間から算出したものである。表2はその集計結果の例である。左から一連のプレーのレコードナンバー、プレーの開始時間、そのプレーに要した時間、累計時間、入力に要していない時間、入力に要していない時間の累計である。プレーに要した時間すなわちチームがボールを保持している時間ということになり、ゲームの支配率を時間から評価するのに利用できるものである。

表3 パス連続頻度数表

回数	度数
1	29
2	21
3	10
4	7
5	7
6	4
7	1
8	3
9	1
10	1

しかしここで記録される時間は、実際にはプレーの観察から口述、キーボード入力といった入力作業の時間的遅れを含むものである。これらの遅れが実際のプレー時間にどの程度影響を及ぼしているかについては、今後VTR同時撮影などの手法を用いて検討する余地を残している。

表4 選手間バス頻度表

→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	3	1	11	2	2	-	1	-	1	1
2	3	-	7	3	-	1	8	3	2	2	-
3	4	2	-	6	2	4	1	4	1	-	-
4	4	4	10	-	6	1	4	3	2	4	5
5	2	-	1	7	-	2	2	-	-	4	6
6	4	1	2	5	1	-	4	5	3	-	2
7	-	9	-	3	1	2	-	1	1	2	-
8	1	-	-	-	-	-	2	2	-	-	3
9	-	-	-	-	-	-	3	2	1	2	-
10	-	-	-	3	4	2	2	1	3	1	-

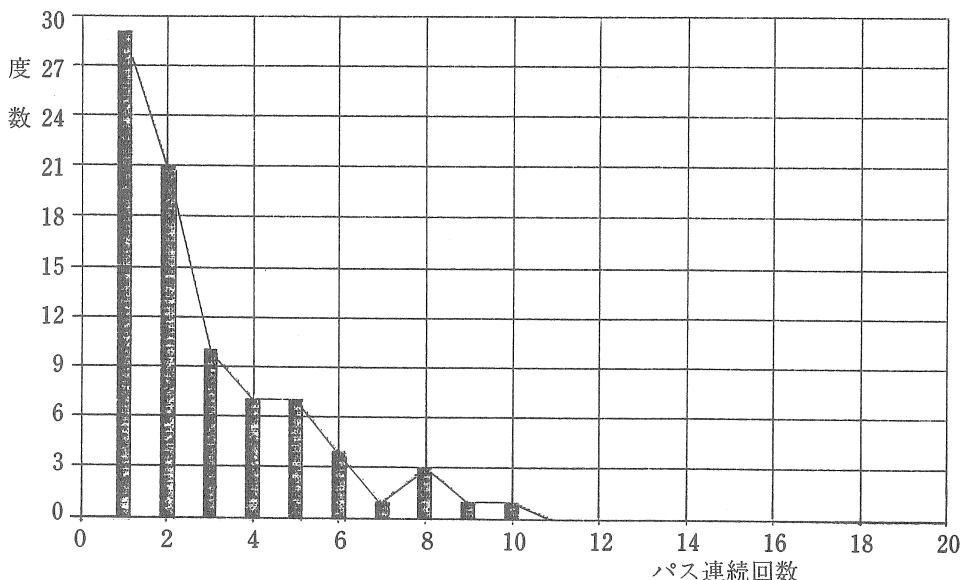


図5 パス連続頻度グラフ

2. パス連続頻度

パスが何本連續しているかは、ボールの保持時間とともにゲームの内容を知る上で貴重な情報といつてよい。表3は対象チーム前半のパスの回数と度数、図5はこれを図示したものである。本研究では即時的な入力、処理を再優先していることから、これらのパスがどの場所で行われたかを入力することは省いている。しかし実際のゲームで即時的にこの図を提供することによって、監督やコーチの観察による印象の裏付け、あるいは評価の材料として役立つものと考えられる。

3. 選手間パス頻度

試合中、選手間で何回パスが繰返し行われているかといった情報は、自チームの場合意図する作戦のできばえを知ることになるし、相手チームであれば攻撃の基点となる選手の確認などの客観的な情報として役に立つものと思われる。表4は選手間のパスの頻度を示したものである。この表の見方は例えば4番からは1番へ4本、2番へ4本、3番へ10本というように、各選手間のパスがつながり方を示したものである。この結果を見ると、4, 5, 6番の選手から満遍なく各選手にパスが渡っていることなど客観的な情報を得ることができる訳である。

サッカーの場合、ある程度チームにおける役割が分担されていることから、選手のポジションを把握している場合、この情報によってチームの戦術的意図を察知することが可能と考えられる。

ま と め

サッカー競技を中心としたチームボールゲームの分析法について検討した。分析法の作成にあたっては日本代表監督、コーチら現場側の要求、またコンピュータを用いた処理の実現性などを考慮した結果、パスに関する即時的な分析システムを開発することとした。

その結果、ラップトップコンピュータおよびプリンタといった比較的小型軽量のコンピュータ機器を用いて、試合中のパスに関する情報を同時入力し、即時的に処理、表示するシステムを作成した。

解析内容は現在のところ、1. ボール保持時間、2. パス連続頻度、3. 選手間パス頻度である。

これらの項目のうち特に選手間パス頻度に関しては、日本代表監督、コーチから試合中の現場でコーチングに有効な情報であるという評価を得た。

ゲームから得られる情報を即時的に入力、処理し現場に有効な情報を提供することが本研究の主な目的である。入力、解析の時間に関しては十分に初期の目的を達成した。しかし入力のオペレーション、正確性、情報の提供媒体である解析結果の表示法などに今後検討する余地がある。

文 献

- 1) 磯川正教、大橋二郎、大串哲朗、米田浩：国際試合のゲーム分析－パスについて。昭和56年度日本サッカー協会科学部報告書、62-75, 1982.
- 2) 磯川正教、大橋二郎：ソウル・オリンピック予選における日本代表チームのゲーム分析－パスについて－。第8回サッカー医・科学研究会報告書、6-16, 1988.
- 3) 大串哲朗、大橋二郎：サッカーゲーム中の移動距離に及ぼす食事の影響。上智大学体育117-127, 1987.
- 4) 大橋二郎：サッカーにおける選手の移動解析の試み。桜門体育学研究、13, 34-38, 1979.
- 5) 大橋二郎：サッカー選手の試合中における移動スピードの測定。東京大学教養学部体育学紀要、21, 54-61, 1987.
- 6) 大橋二郎、戸苅晴彦：サッカーの試合中における移動距離の変動。東京大学教養学部体育学紀要、15, 27-34, 1981.
- 7) Ohashi, J., H. Togari and M. Isokawa. "Measuring movement speeds and distances covered during soccer match-play" Science and Football 329-333, 1988.
- 8) 大橋二郎、磯川正教、戸苅晴彦：サッカーのゲーム分析用リアルタイムデータ入力プログラムの試作。昭和62年度日本体育協会スポーツ科学部研究報告 No.X ボールゲームの分析法に関する研究－第1報－、17-23, 1988.

II ハンドボールにおけるゲーム・シミュレーション・プログラムの試作

報告者 清水宣雄¹⁾

研究協力者 西山哲成²⁾ 土居陽治郎³⁾

はじめに

近年、ビデオ・トラッカー・システムや DLT 法等の発達により、ボールゲームにおける選手やボールの動きを、経時的に正確にとらえることができるようになった。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

しかし、これらの客観的データから、チームのシステムやパターンを解析することは、専門の指導者や選手にとっても難しいものである。

そこで本研究においては、選手やボールの動きを経時的に X・Y 座標によってとらえた客観的データを基に、コンピューター画面上で、解析したい動きのみを繰り返し再現することによって、チームのシステムやパターンを解析するための手助けとなるコンピューター・シミュレーション・プログラムを試作した。

今回の研究においては、ボールゲームとして、ハンドボールを選択した。これは、ハンドボールの攻防の多くがコート半面の範囲内で行われるため、データが比較的得やすいと考えたからである。

方 法

1. ゲーム撮影の問題点

本研究においては、実験用のデータを得る目的で、実際の試合を上方より撮影しようと試みたために、会場の許可を得るために種々の問題を解決しなければならなかった。

DLT 法等においては、簡単な方法で正確なデータを得るためにには、できるだけ真上から撮影を行うことが必要である。そのためには、コート上の空間にカメラを設置しなければならない。

しかし、20m×20m のハンドボールコートの半面全体を画面に収めるためには、かなり高い場所にカメラを設置しなければならない。

さらに、安全性の問題から、ゲーム中は無人で撮影しなければならない必要がある。そのためには、電源の問題、ビデオテープ交換の問題、必要な場面だけを撮影するための操作の問題を解決しなければならない。

2. 使用機器について

本研究においてゲームのビデオ撮影のための機器構成を図 1 に示す。

高さの問題を解決するために、8 mm ビデオカメラ (SANYO 製 D 1) に 0.45 倍の広角レンズ (Kenko 製 KUW-045) を装着し、20m 以下の高でも、ハンドボール・コート半面全体が画面に収まるようにした。

電源の問題を解決するためには、カーバッテリー仕様のポータブル電源 (日本電池製 VOX) を使用することによって、5 時間以上の連続撮影を可能にした。

ビデオテープの交換を不用にし、撮影のタイミングを下方から操作するために、ビデオカメラ本体にはテープを入れず、ビデオ信号を TV トラン

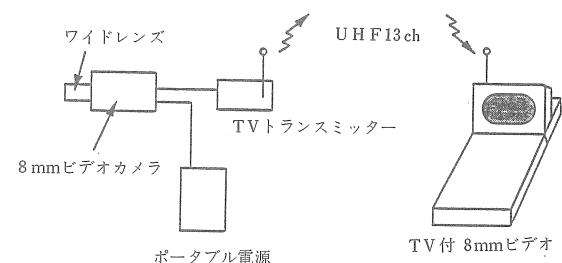


図 1 実験の機器構成

1)国際武道大学 2)日本体育大学大学院 3)筑波大学

スマッター (SANKO 製 SX-200) によって、UHF13ch のテレビ電波に変換して、送信した。この電波をフロアーにおいて、TV 付ポータブルビデオ (SONY 製 GV-8) で受信し、ビデオのポーズ機能を用いて必要な場面だけをテープに収めた。

3. 実験方法

本研究においては、第40回全日本総合ハンドボール選手権大会の、昭和63年12月22日・23日に駒沢体育館において行われた試合を分析の対象とした。

ビデオカメラの設置環境を図 2 に示す。駒沢体育館では、照明施設の保守のために、天井に通路が設けられており、フロアー上の空間の照明設備の上に立ち入ることができる。

ビデオカメラは、ゴールの中心同士を結んだライン上に約15m 上の照明施設の上に、コート半面のほぼ中心に向けて設置した。ビデオカメラからセンターライン・ゴールラインまでの直線距離は、それぞれ16.3m・29.8m であった。

ポータブルビデオの操作は、観客席において行い、ゲームがビデオカメラを設定した側のコート半面で行われる場合だけテープを回した。

4. 分析方法

ゲームを撮影したテープは、パーソナルコンピューター (シャープ製 X 1 turbo) のスーパーインポーズ機能を用いて、0.3秒毎に、攻撃側プレイ

ヤー 6名・防御側プレイヤー 6名・ゴールキーパー・ボールの X・Y 座標をそれぞれ読み取り、セット攻撃毎にフロッピーディスク上にファイルを作成した。

これらのデータは投影座標変換の手法を用いて、コート上の実際の位置に m 単位で変換した。

さらに、この m 単位のデータをコンピューター・プログラムの画面上でのドット単位に変換し、新たにファイルを作成した。

シミュレーション・プログラムの試作

本研究においては、ゲーム・シミュレーションの第一段階として、コンピューター画面上でのゲームの再現を試みた。画面上での選手やボールの動きができるだけ速く、スムースにするために、コンパイラ言語である TURBO・Pascal (BORLAND 製) を使用して、コンピューター・プログラムを作成した。

コンピューターのシミュレーション画面を図 3

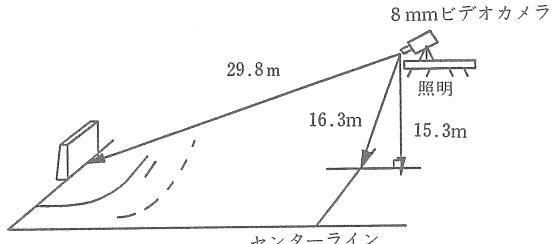


図 2 ビデオカメラの設置環境

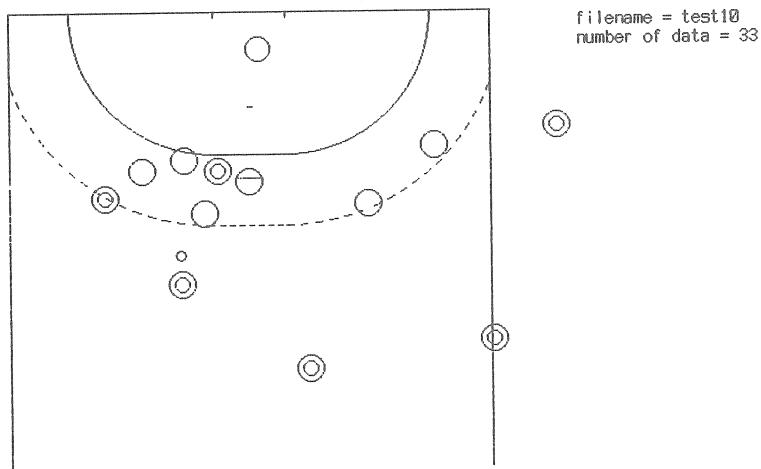


図 3 コンピューター・シミュレーション画面

に示す。最初に分析したい場面のファイル名を入力すると、コンピューターがフロッピーディスクからデータを読み取り、データ数を表示する。次にハンドボールコートの半面を表示し、両チームの選手（◎=攻撃側プレイヤー・○=防御側プレイヤー）およびボールを全て同時に画面上で動かすようにした。

1回の攻撃が終了すると、プレイヤーのマーク上にそれぞれ番号が表示されるので、解析したいプレイヤーの番号を入力すると、そのプレイヤー以外は、画面上に点として表示され、同じ場面を繰り返し表示する（図4参照）。途中で画面を静止させたい場合は、キーボードのキーを1回押せば画面は静止する。もう1回押すと、再び動き出すようにした。

参考のために、このプログラムのリストを図5に示す。

今回の研究では、ゲームの再現をするシミュレーション・プログラムを試作するに留まったが、現在、人工知能の研究が進んでおり、コンピューター上で、プレイヤーの動きを予測し、実際の試合の前に、チームのシステムやパターンを試すことができるプログラムが開発されることによって、ポールゲームにおけるシステムやパターンは大きく進歩するであろう。

ま と め

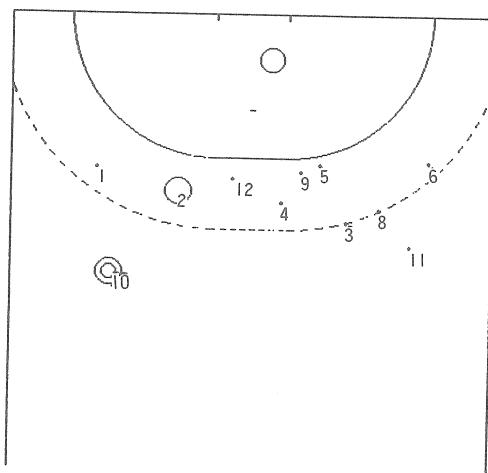
近年、ビデオ・トラッカー・システムや DLT 法等の発達により、ポールゲームにおける選手やボールの動きを、経時的に数値データとして正確にとらえることができるようになったので、チームのシステムやパターンを解析するための手助けとなるコンピューター・シミュレーション・プログラムを試作した。

実験用のデータを得るために、実際の試合を真上から撮影した。そのためには、コート上の空間にカメラを設置する必要があった。

ハンドボールコートの半面全体を画面に収めるためには、かなり高い場所にカメラを設置しなければならないので、広角レンズ・ポータブル電源・TV トランスミッター・TV 付ポータブルビデオを用いて、駒沢体育館の天井照明施設を利用して、高所には無人の状態で撮影を行った。

ゲームを撮影したテープは、スーパーインボーズ機能付パーソナルコンピューターで、0.3秒毎に、全てのプレイヤー・ボールの X・Y 座標を読み取り、投影座標変換の手法を用いて、コート上の実際の位置に変換した。

ゲーム・シミュレーションの第一段階として、コンピューター画面上でのゲームの再現を試みた。コンパイラ言語である TURBO・Pascal を使用した。



```

filename = test10
number of data = 33
repeat? (y/n)y
visual player = 1
hidden player = 0
1 ? = 0
2 ? = 1
3 ? = 0
4 ? = 0
5 ? = 0
6 ? = 0
7 ? = 0
8 ? = 0
9 ? = 0
10 ? = 1
11 ? = 0
12 ? =

```

図4 コンピューター・シミュレーション画面

```

program Handball(input,output);
uses
  crt,GRAPHI;
type
  position = record
    DF1x,DF1y,DF2x,DF2y,DF3x,DF3y,DF4x,DF4y,DF5x,DF5y,DF6x,DF6y,
    DF7x,DF7y,DF8x,DF8y,DF9x,DF9y,DF10x,DF10y,DF11x,DF11y,DF12x,DF12y,BallX,BallY,GKY : integer;
  end;
  radius = array [1..12] of 0..1;
var
  GraphDriver : integer;
  GraphMode   : integer;
  ErrorCode   : integer;
  pos : position;
  d : array [1..100] of position;
  data : file of position;
  flna : string[10];
  c,numdata : integer;
  r : radius;
  a,z : string[1];
procedure data_read;
begin
  writeln('filename = ''');
  readln(flna);
  assign(data,flna+'.dta');
  reset(data);
  c := 1;
  repeat
    read(data,pos);
    d[c] := pos;
    c := c+1;
  until eof(data);
  numdata := c-1;
end;
procedure court;
begin
  rectangle(0,0,400,399);
  arc(170,0,180,270,120);
  line(170,120,230,120);
  arc(230,0,270,360,120);
  line(170,0,(170,5));
  line(230,0,230,5);
  line(198,80,202,80);
  line(190,140,210,140);
  arc(170,0,200,202,180);
  arc(170,0,204,206,180);
  arc(170,0,208,210,180);
  arc(170,0,212,214,180);
  arc(170,0,216,218,180);
  arc(170,0,220,222,180);
  arc(170,0,224,226,180);
  arc(170,0,228,230,180);
  arc(170,0,232,234,180);
  arc(170,0,236,238,180);
  arc(170,0,240,242,180);
  arc(170,0,244,246,180);
  arc(170,0,248,250,180);
  arc(170,0,252,254,180);
  arc(170,0,256,258,180);
  arc(170,0,260,262,180);
  arc(170,0,264,266,180);
  arc(170,0,268,270,180);
  line(175,180,179,180);
  line(183,180,187,180);
  line(191,180,195,180);
  line(199,180,203,180);
  line(207,180,211,180);
  line(215,180,219,180);
  line(223,180,227,180);
  arc(230,0,270,272,180);
  arc(230,0,274,276,180);
  arc(230,0,278,280,180);
  arc(230,0,282,284,180);
  arc(230,0,286,288,180);
  arc(230,0,290,292,180);
  arc(230,0,294,296,180);
  arc(230,0,298,300,180);
  arc(230,0,302,304,180);
  arc(230,0,306,308,180);
  arc(230,0,310,312,180);
  arc(230,0,314,316,180);
  arc(230,0,318,320,180);
  arc(230,0,322,324,180);
  arc(230,0,326,328,180);
  arc(230,0,330,332,180);
  arc(230,0,334,336,180);
  arc(230,0,338,340,180);
end;
procedure player(z:position);
begin
  with z do
  begin
    circle(DF1x,DF1y,1+10*r[1]);
    circle(DF2x,DF2y,1+10*r[2]);
    circle(DF3x,DF3y,1+10*r[3]);
    circle(DF4x,DF4y,1+10*r[4]);
    circle(DF5x,DF5y,1+10*r[5]);
    circle(DF6x,DF6y,1+10*r[6]);
    circle(DF7x,DF7y,1+10*r[7]);
    circle(DF8x,DF8y,1+10*r[8]);
    circle(DF9x,DF9y,1+10*r[9]);
    circle(DF10x,DF10y,1+10*r[10]);
    circle(DF11x,DF11y,1+10*r[11]);
    circle(DF12x,DF12y,1+10*r[12]);
    circle(BALLX,BALLY,4);
    circle(GKY,10);
  end;
end;
procedure number(z:position);
begin
  with z do
  begin
    outtextxy(DF1x,DF1y,'1');
    outtextxy(DF2x,DF2y,'2');
    outtextxy(DF3x,DF3y,'3');
    outtextxy(DF4x,DF4y,'4');
    outtextxy(DF5x,DF5y,'5');
    outtextxy(DF6x,DF6y,'6');
    outtextxy(DF7x,DF7y,'7');
    outtextxy(DF8x,DF8y,'8');
    outtextxy(DF9x,DF9y,'9');
    outtextxy(DF10x,DF10y,'10');
    outtextxy(DF11x,DF11y,'11');
    outtextxy(DF12x,DF12y,'12');
  end;
end;
procedure selectivar z : radius);
begin
  var c : integer;
  begin
    c := 1;
    writeln('visual player = 1');
    writeln('hidden player = 0');
    repeat
      write(c,' ? = ');
      readin(z[c]);
      c := c+1;
    until c = 13;
  end;
begin
  GraphDriver := InstallUserDriver('PC98',@Detect98);
  GraphDriver := Detect;
  InitGraph(GraphDriver,GraphMode,'');
  ErrorCode := GraphResult;
  if ErrorCode <> GrOk then
    begin
      GraphError := '.GraphErrorMsg(ErrorCode)';
      writeln('Graphics error: ',GraphErrorMsg(ErrorCode));
      writeln('There''s no valid .BGI file nor a graphics card!');
      writeln('Program aborted..');
      Halt();
    end;
  end;
  window(60,1,80,25);
  repeat
    data_read;
    r[1]:=r[2]:=r[3]:=r[4]:=r[5]:=r[6]:=r[7]:=r[8]:=r[9]:=r[10]:=r[11]:=r[12]:=r[13]:=r[14]:=r[15]:=r[16]:=r[17]:=r[18]:=r[19]:=r[20]:=r[21]:=r[22]:=r[23]:=r[24]:=r[25]:=r[26]:=r[27]:=r[28]:=r[29]:=r[30]:=r[31]:=r[32]:=r[33]:=r[34]:=r[35]:=r[36]:=r[37]:=r[38]:=r[39]:=r[40]:=r[41]:=r[42]:=r[43]:=r[44]:=r[45]:=r[46]:=r[47]:=r[48]:=r[49]:=r[50]:=r[51]:=r[52]:=r[53]:=r[54]:=r[55]:=r[56]:=r[57]:=r[58]:=r[59]:=r[60]:=r[61]:=r[62]:=r[63]:=r[64]:=r[65]:=r[66]:=r[67]:=r[68]:=r[69]:=r[70]:=r[71]:=r[72]:=r[73]:=r[74]:=r[75]:=r[76]:=r[77]:=r[78]:=r[79]:=r[80]:=r[81]:=r[82]:=r[83]:=r[84]:=r[85]:=r[86]:=r[87]:=r[88]:=r[89]:=r[90]:=r[91]:=r[92]:=r[93]:=r[94]:=r[95]:=r[96]:=r[97]:=r[98]:=r[99]:=r[100]:=r[101]:=r[102]:=r[103]:=r[104]:=r[105]:=r[106]:=r[107]:=r[108]:=r[109]:=r[110]:=r[111]:=r[112]:=r[113]:=r[114]:=r[115]:=r[116]:=r[117]:=r[118]:=r[119]:=r[120]:=r[121]:=r[122]:=r[123]:=r[124]:=r[125]:=r[126]:=r[127]:=r[128]:=r[129]:=r[130]:=r[131]:=r[132]:=r[133]:=r[134]:=r[135]:=r[136]:=r[137]:=r[138]:=r[139]:=r[140]:=r[141]:=r[142]:=r[143]:=r[144]:=r[145]:=r[146]:=r[147]:=r[148]:=r[149]:=r[150]:=r[151]:=r[152]:=r[153]:=r[154]:=r[155]:=r[156]:=r[157]:=r[158]:=r[159]:=r[160]:=r[161]:=r[162]:=r[163]:=r[164]:=r[165]:=r[166]:=r[167]:=r[168]:=r[169]:=r[170]:=r[171]:=r[172]:=r[173]:=r[174]:=r[175]:=r[176]:=r[177]:=r[178]:=r[179]:=r[180]:=r[181]:=r[182]:=r[183]:=r[184]:=r[185]:=r[186]:=r[187]:=r[188]:=r[189]:=r[190]:=r[191]:=r[192]:=r[193]:=r[194]:=r[195]:=r[196]:=r[197]:=r[198]:=r[199]:=r[200]:=r[201]:=r[202]:=r[203]:=r[204]:=r[205]:=r[206]:=r[207]:=r[208]:=r[209]:=r[210]:=r[211]:=r[212]:=r[213]:=r[214]:=r[215]:=r[216]:=r[217]:=r[218]:=r[219]:=r[220]:=r[221]:=r[222]:=r[223]:=r[224]:=r[225]:=r[226]:=r[227]:=r[228]:=r[229]:=r[230]:=r[231]:=r[232]:=r[233]:=r[234]:=r[235]:=r[236]:=r[237]:=r[238]:=r[239]:=r[240]:=r[241]:=r[242]:=r[243]:=r[244]:=r[245]:=r[246]:=r[247]:=r[248]:=r[249]:=r[250]:=r[251]:=r[252]:=r[253]:=r[254]:=r[255]:=r[256]:=r[257]:=r[258]:=r[259]:=r[260]:=r[261]:=r[262]:=r[263]:=r[264]:=r[265]:=r[266]:=r[267]:=r[268]:=r[269]:=r[270]:=r[271]:=r[272]:=r[273]:=r[274]:=r[275]:=r[276]:=r[277]:=r[278]:=r[279]:=r[280]:=r[281]:=r[282]:=r[283]:=r[284]:=r[285]:=r[286]:=r[287]:=r[288]:=r[289]:=r[290]:=r[291]:=r[292]:=r[293]:=r[294]:=r[295]:=r[296]:=r[297]:=r[298]:=r[299]:=r[300]:=r[301]:=r[302]:=r[303]:=r[304]:=r[305]:=r[306]:=r[307]:=r[308]:=r[309]:=r[310]:=r[311]:=r[312]:=r[313]:=r[314]:=r[315]:=r[316]:=r[317]:=r[318]:=r[319]:=r[320]:=r[321]:=r[322]:=r[323]:=r[324]:=r[325]:=r[326]:=r[327]:=r[328]:=r[329]:=r[330]:=r[331]:=r[332]:=r[333]:=r[334]:=r[335]:=r[336]:=r[337]:=r[338]:=r[339]:=r[340]:=r[341]:=r[342]:=r[343]:=r[344]:=r[345]:=r[346]:=r[347]:=r[348]:=r[349]:=r[350]:=r[351]:=r[352]:=r[353]:=r[354]:=r[355]:=r[356]:=r[357]:=r[358]:=r[359]:=r[360]:=r[361]:=r[362]:=r[363]:=r[364]:=r[365]:=r[366]:=r[367]:=r[368]:=r[369]:=r[370]:=r[371]:=r[372]:=r[373]:=r[374]:=r[375]:=r[376]:=r[377]:=r[378]:=r[379]:=r[380]:=r[381]:=r[382]:=r[383]:=r[384]:=r[385]:=r[386]:=r[387]:=r[388]:=r[389]:=r[390]:=r[391]:=r[392]:=r[393]:=r[394]:=r[395]:=r[396]:=r[397]:=r[398]:=r[399]:=r[400]:=r[401]:=r[402]:=r[403]:=r[404]:=r[405]:=r[406]:=r[407]:=r[408]:=r[409]:=r[410]:=r[411]:=r[412]:=r[413]:=r[414]:=r[415]:=r[416]:=r[417]:=r[418]:=r[419]:=r[420]:=r[421]:=r[422]:=r[423]:=r[424]:=r[425]:=r[426]:=r[427]:=r[428]:=r[429]:=r[430]:=r[431]:=r[432]:=r[433]:=r[434]:=r[435]:=r[436]:=r[437]:=r[438]:=r[439]:=r[440]:=r[441]:=r[442]:=r[443]:=r[444]:=r[445]:=r[446]:=r[447]:=r[448]:=r[449]:=r[450]:=r[451]:=r[452]:=r[453]:=r[454]:=r[455]:=r[456]:=r[457]:=r[458]:=r[459]:=r[460]:=r[461]:=r[462]:=r[463]:=r[464]:=r[465]:=r[466]:=r[467]:=r[468]:=r[469]:=r[470]:=r[471]:=r[472]:=r[473]:=r[474]:=r[475]:=r[476]:=r[477]:=r[478]:=r[479]:=r[480]:=r[481]:=r[482]:=r[483]:=r[484]:=r[485]:=r[486]:=r[487]:=r[488]:=r[489]:=r[490]:=r[491]:=r[492]:=r[493]:=r[494]:=r[495]:=r[496]:=r[497]:=r[498]:=r[499]:=r[500]:=r[510]:=r[520]:=r[530]:=r[540]:=r[550]:=r[560]:=r[570]:=r[580]:=r[590]:=r[600]:=r[610]:=r[620]:=r[630]:=r[640]:=r[650]:=r[660]:=r[670]:=r[680]:=r[690]:=r[700]:=r[710]:=r[720]:=r[730]:=r[740]:=r[750]:=r[760]:=r[770]:=r[780]:=r[790]:=r[800]:=r[810]:=r[820]:=r[830]:=r[840]:=r[850]:=r[860]:=r[870]:=r[880]:=r[890]:=r[900]:=r[910]:=r[920]:=r[930]:=r[940]:=r[950]:=r[960]:=r[970]:=r[980]:=r[990]:=r[1000]:=r[1010]:=r[1020]:=r[1030]:=r[1040]:=r[1050]:=r[1060]:=r[1070]:=r[1080]:=r[1090]:=r[1100]:=r[1110]:=r[1120]:=r[1130]:=r[1140]:=r[1150]:=r[1160]:=r[1170]:=r[1180]:=r[1190]:=r[1200]:=r[1210]:=r[1220]:=r[1230]:=r[1240]:=r[1250]:=r[1260]:=r[1270]:=r[1280]:=r[1290]:=r[1300]:=r[1310]:=r[1320]:=r[1330]:=r[1340]:=r[1350]:=r[1360]:=r[1370]:=r[1380]:=r[1390]:=r[1400]:=r[1410]:=r[1420]:=r[1430]:=r[1440]:=r[1450]:=r[1460]:=r[1470]:=r[1480]:=r[1490]:=r[1500]:=r[1510]:=r[1520]:=r[1530]:=r[1540]:=r[1550]:=r[1560]:=r[1570]:=r[1580]:=r[1590]:=r[1600]:=r[1610]:=r[1620]:=r[1630]:=r[1640]:=r[1650]:=r[1660]:=r[1670]:=r[1680]:=r[1690]:=r[1700]:=r[1710]:=r[1720]:=r[1730]:=r[1740]:=r[1750]:=r[1760]:=r[1770]:=r[1780]:=r[1790]:=r[1800]:=r[1810]:=r[1820]:=r[1830]:=r[1840]:=r[1850]:=r[1860]:=r[1870]:=r[1880]:=r[1890]:=r[1900]:=r[1910]:=r[1920]:=r[1930]:=r[1940]:=r[1950]:=r[1960]:=r[1970]:=r[1980]:=r[1990]:=r[2000]:=r[2010]:=r[2020]:=r[2030]:=r[2040]:=r[2050]:=r[2060]:=r[2070]:=r[2080]:=r[2090]:=r[2100]:=r[2110]:=r[2120]:=r[2130]:=r[2140]:=r[2150]:=r[2160]:=r[2170]:=r[2180]:=r[2190]:=r[2200]:=r[2210]:=r[2220]:=r[2230]:=r[2240]:=r[2250]:=r[2260]:=r[2270]:=r[2280]:=r[2290]:=r[2300]:=r[2310]:=r[2320]:=r[2330]:=r[2340]:=r[2350]:=r[2360]:=r[2370]:=r[2380]:=r[2390]:=r[2400]:=r[2410]:=r[2420]:=r[2430]:=r[2440]:=r[2450]:=r[2460]:=r[2470]:=r[2480]:=r[2490]:=r[2500]:=r[2510]:=r[2520]:=r[2530]:=r[2540]:=r[2550]:=r[2560]:=r[2570]:=r[2580]:=r[2590]:=r[2600]:=r[2610]:=r[2620]:=r[2630]:=r[2640]:=r[2650]:=r[2660]:=r[2670]:=r[2680]:=r[2690]:=r[2700]:=r[2710]:=r[2720]:=r[2730]:=r[2740]:=r[2750]:=r[2760]:=r[2770]:=r[2780]:=r[2790]:=r[2800]:=r[2810]:=r[2820]:=r[2830]:=r[2840]:=r[2850]:=r[2860]:=r[2870]:=r[2880]:=r[2890]:=r[2900]:=r[2910]:=r[2920]:=r[2930]:=r[2940]:=r[2950]:=r[2960]:=r[2970]:=r[2980]:=r[2990]:=r[3000]:=r[3010]:=r[3020]:=r[3030]:=r[3040]:=r[3050]:=r[3060]:=r[3070]:=r[3080]:=r[3090]:=r[3100]:=r[3110]:=r[3120]:=r[3130]:=r[3140]:=r[3150]:=r[3160]:=r[3170]:=r[3180]:=r[3190]:=r[3200]:=r[3210]:=r[3220]:=r[3230]:=r[3240]:=r[3250]:=r[3260]:=r[3270]:=r[3280]:=r[3290]:=r[3300]:=r[3310]:=r[3320]:=r[3330]:=r[3340]:=r[3350]:=r[3360]:=r[3370]:=r[3380]:=r[3390]:=r[3400]:=r[3410]:=r[3420]:=r[3430]:=r[3440]:=r[3450]:=r[3460]:=r[3470]:=r[3480]:=r[3490]:=r[3500]:=r[3510]:=r[3520]:=r[3530]:=r[3540]:=r[3550]:=r[3560]:=r[3570]:=r[3580]:=r[3590]:=r[3600]:=r[3610]:=r[3620]:=r[3630]:=r[3640]:=r[3650]:=r[3660]:=r[3670]:=r[3680]:=r[3690]:=r[3700]:=r[3710]:=r[3720]:=r[3730]:=r[3740]:=r[3750]:=r[3760]:=r[3770]:=r[3780]:=r[3790]:=r[3800]:=r[3810]:=r[3820]:=r[3830]:=r[3840]:=r[3850]:=r[3860]:=r[3870]:=r[3880]:=r[3890]:=r[3900]:=r[3910]:=r[3920]:=r[3930]:=r[3940]:=r[3950]:=r[3960]:=r[3970]:=r[3980]:=r[3990]:=r[4000]:=r[4010]:=r[4020]:=r[4030]:=r[4040]:=r[4050]:=r[4060]:=r[4070]:=r[4080]:=r[4090]:=r[4100]:=r[4110]:=r[4120]:=r[4130]:=r[4140]:=r[4150]:=r[4160]:=r[4170]:=r[4180]:=r[4190]:=r[4200]:=r[4210]:=r[4220]:=r[4230]:=r[4240]:=r[4250]:=r[4260]:=r[4270]:=r[4280]:=r[4290]:=r[4300]:=r[4310]:=r[4320]:=r[4330]:=r[4340]:=r[4350]:=r[4360]:=r[4370]:=r[4380]:=r[4390]:=r[4400]:=r[4410]:=r[4420]:=r[4430]:=r[4440]:=r[4450]:=r[4460]:=r[4470]:=r[4480]:=r[4490]:=r[4500]:=r[4510]:=r[4520]:=r[4530]:=r[4540]:=r[4550]:=r[4560]:=r[4570]:=r[4580]:=r[4590]:=r[4600]:=r[4610]:=r[4620]:=r[4630]:=r[4640]:=r[4650]:=r[4660]:=r[4670]:=r[4680]:=r[4690]:=r[4700]:=r[4710]:=r[4720]:=r[4730]:=r[4740]:=r[4750]:=r[4760]:=r[4770]:=r[4780]:=r[4790]:=r[4800]:=r[4810]:=r[4820]:=r[4830]:=r[4840]:=r[4850]:=r[4860]:=r[4870]:=r[4880]:=r[4890]:=r[4900]:=r[4910]:=r[4920]:=r[4930]:=r[4940]:=r[4950]:=r[4960]:=r[4970]:=r[4980]:=r[4990]:=r[5000]:=r[5010]:=r[5020]:=r[5030]:=r[5040]:=r[5050]:=r[5060]:=r[5070]:=r[5080]:=r[5090]:=r[5100]:=r[5110]:=r[5120]:=r[5130]:=r[5140]:=r[5150]:=r[5160]:=r[5170]:=r[5180]:=r[5190]:=r[5200]:=r[5210]:=r[5220]:=r[5230]:=r[5240]:=r[5250]:=r[5260]:=r[5270]:=r[5280]:=r[5290]:=r[5300]:=r[5310]:=r[5320]:=r[5330]:=r[5340]:=r[5350]:=r[5360]:=r[5370]:=r[5380]:=r[5390]:=r[5400]:=r[5410]:=r[5420]:=r[5430]:=r[5440]:=r[5450]:=r[5460]:=r[5470]:=r[5480]:=r[5490]:=r[5500]:=r[5510]:=r[5520]:=r[5530]:=r[5540]:=r[5550]:=r[5560]:=r[5570]:=r[5580]:=r[5590]:=r[5600]:=r[5610]:=r[5620]:=r[5630]:=r[5640]:=r[5650]:=r[5660]:=r[5670]:=r[5680]:=r[5690]:=r[5700]:=r[5710]:=r[5720]:=r[5730]:=r[5740]:=r[5750]:=r[5760]:=r[5770]:=r[5780]:=r[5790]:=r[5800]:=r[5810]:=r[5820]:=r[5830]:=r[5840]:=r[5850]:=r[5860]:=r[5870]:=r[5880]:=r[5890]:=r[5900]:=r[5910]:=r[5920]:=r[5930]:=r[5940]:=r[5950]:=r[5960]:=r[5970]:=r[5980]:=r[5990]:=r[6000]:=r[6010]:=r[6020]:=r[6030]:=r[6040]:=r[6050]:=r[6060]:=r[6070]:=r[6080]:=r[6090]:=r[6100]:=r[6110]:=r[6120]:=r[6130]:=r[6140]:=r[6150]:=r[6160]:=r[6170]:=r[6180]:=r[6190]:=r[6200]:=r[6210]:=r[6220]:=r[6230]:=r[6240]:=r[6250]:=r[6260]:=r[6270]:=r[6280]:=r[6290]:=r[6300]:=r[6310]:=r[6320]:=r[6330]:=r[6340]:=r[6350]:=r[6360]:=r[6370]:=r[6380]:=r[6390]:=r[6400]:=r[6410]:=r[6420]:=r[6430]:=r[6440]:=r[6450]:=r[6460]:=r[6470]:=r[6480]:=r[6490]:=r[6500]:=r[6510]:=r[6520]:=r[6530]:=r[6540]:=r[6550]:=r[6560]:=r[6570]:=r[6580]:=r[6590]:=r[6600]:=r[6610]:=r[6620]:=r[6630]:=r[6640]:=r[6650]:=r[6660]:=r[6670]:=r[6680]:=r[6690]:=r[6700]:=r[6710]:=r[6720]:=r[6730]:=r[6740]:=r[6750]:=r[6760]:=r[6770]:=r[6780]:=r[6790]:=r[6800]:=r[6810]:=r[6820]:=r[6830]:=r[6840]:=r[6850]:=r[6860]:=r[6870]:=r[6880]:=r[6890]:=r[6900]:=r[6910]:=r[6920]:=r[6930]:=r[6940]:=r[6950]:=r[6960]:=r[6970]:=r[6980]:=r[6990]:=r[7000]:=r[7010]:=r[7020]:=r[7030]:=r[7040]:=r[7050]:=r[7060]:=r[7070]:=r[7080]:=r[7090]:=r[7100]:=r[7110]:=r[7120]:=r[7130]:=r[7140]:=r[7150]:=r[7160]:=r[7170]:=r[7180]:=r[7190]:=r[7200]:=r[7210]:=r[7220]:=r[7230]:=r[7240]:=r[7250]:=r[7260]:=r[7270]:=r[7280]:=r[7290]:=r[7300]:=r[7310]:=r[7320]:=r[7330]:=r[7340]:=r[7350]:=r[7360]:=r[7370]:=r[7380]:=r[7390]:=r[7400]:=r[7410]:=r[7420]:=r[7430]:=r[7440]:=r[7450]:=r[7460]:=r[7470]:=r[7480]:=r[7490]:=r[7500]:=r[7510]:=r[7520]:=r[7530]:=r[7540]:=r[7550]:=r[7560]:=r[7570]:=r[7580]:=r[7590]:=r[7600]:=r[7610]:=r[7620]:=r[7630]:=r[7640]:=r[7650]:=r[7660]:=r[7670]:=r[7680]:=r[7690]:=r[7700]:=r[7710]:=r[7720]:=r[7730]:=r[7740]:=r[7750]:=r[7760]:=r[7770]:=r[7780]:=r[7790]:=r[7800]:=r[7810]:=r[7820]:=r[7830]:=r[7840]:=r[7850]:=r[7860]:=r[7870]:=r[7880]:=r[7890]:=r[7900]:=r[7910]:=r[7920]:=r[7930]:=r[7940]:=r[7950]:=r[7960]:=r[7970]:=r[7980]:=r[7990]:=r[8000]:=r[8010]:=r[8020]:=r[8030]:=r[8040]:=r[8050]:=r[8060]:=r[8070]:=r[8080]:=r[8090]:=r[8100]:=r[8110]:=r[8120]:=r[8130]:=r[8140]:=r[8150]:=r[8160]:=r[8170]:=r[8180]:=r[8190]:=r[8200]:=r[8210]:=r[8220]:=r[8230]:=r[8240]:=r[8250]:=r[8260]:=r[8270]:=r[8280]:=r[8290]:=r[8300]:=r[8310]:=r[8320]:=r[8330]:=r[8340]:=r[8350]:=r[8360]:=r[8370]:=r[8380]:=r[8390]:=r[8400]:=r[8410]:=r[8420]:=r[8430]:=r[8440]:=r[8450]:=r[8460]:=r[8470]:=r[8480]:=r[8490]:=r[8500]:=r[8510]:=r[8520]:=r[8530]:=r[8540]:=r[8550]:=r[8560]:=r[8570]:=r[8580]:=r[8590]:=r[8600]:=r[8610]:=r[8620]:=r[8630]:=r[8640]:=r[8650]:=r[8660]:=r[8670]:=r[8680]:=r[8690]:=r[8700]:=r[8710]:=r[8720]:=r[8730]:=r[8740]:=r[8750]:=r[8760]:=r[8770]:=r[8780]:=r[8790]:=r[8800]:=r[8810]:=r[8820]:=r[8830]:=r[8840]:=r[8850]:=r[8860]:=r[8870]:=r[8880]:=r[8890]:=r[8900]:=r[8910]:=r[8920]:=r[8930]:=r[8940]:=r[8950]:=r[8960]:=r[8970]:=r[8980]:=r[8990]:=r[9000]:=r[9010]:=r[9020]:=r[9030]:=r[9040]:=r[9050]:=r[9060]:=r[9070]:=r[9080]:=r[9090]:=r[9100]:=r[9110]:=r[9120]:=r[9130]:=r[9140]:=r[9150]:=r[9160]:=r[9170]:=r[9180]:=r[9190]:=r[9200]:=r[9210]:=r[9220]:=r[9230]:=r[9240]:=r[9250]:=r[9260]:=r[9270]:=r[9280]:=r[9290]:=r[9300]:=r[9310]:=r[9320]:=r[9330]:=r[9340]:=r[9350]:=r[9360]:=r[9370]:=r[9380]:=r[9390]:=r[9400]:=r[9410]:=r[9420]:=r[9430]:=r[9440]:=r[9450]:=r[9460]:=r[9470]:=r[9480]:=r[9490]:=r[9500]:=r[9510]:=r[9520]:=r[9530]:=r[9540]:=r[9550]:=r[9560]:=r[9570]:=r[9580]:=r[9590]:=r[9600]:=r[9610]:=r[9620]:=r[9630]:=r[9640]:=r[9650]:=r[9660]:=r[9670]:=r[9680]:=r[9690]:=r[9700]:=r[9710]:=r[9720]:=r[9730]:=r[9740]:=r[9750]:=r[9760]:=r[9770]:=r[9780]:=r[9790]:=r[9800]:=r[9810]:=r[9820]:=r[9830]:=r[9840]:=r[9850]:=r[9860]:=r[9870]:=r[9880]:=r[9890]:=r[9900]:=r[9910]:=r[9920]:=r[9930]:=r[9940]:=r[9950]:=r[9960]:=r[9970]:=r[9980]:=r[9990]:=r[10000]:=r[10010]:=r[10020]:=r[10030]:=r[10040]:=r[10050]:=r[10060]:=r[10070]:=r[10080]:=r[10090]:=r[100100]:=r[100200]:=r[100300]:=r[100400]:=r[100500]:=r[100600]:=r[100700]:=r[100800]:=r[100900]:=r[1001000]:=r[1002000]:=r[1003000]:=r[1004000]:=r[1005000]:=r[1006000]:=r[1007000]:=r[1008000]:=r[1009000]:=r[10010000]:=r[10020000]:=r[10030000]:=r[10040000]:=r[10050000]:=r[10060000]:=r[10070000]:=r[10080000]:=r[10090000]:=r[100100000]:=r[100200000]:=r[100300000]:=r[100400000]:=r[100500000]:=r[100600000]:=r[100700000]:=r[100800000]:=r[100900000]:=r[1001000000]:=r[1002000000]:=r[1003000000]:=r[1004000000]:=r[1005000000]:=r[1006000000]:=r[1007000000]:=r[1008000000]:=r[1009000000]:=r[10010000000]:=r[10020000000]:=r[10030000000]:=r[10040000000]:=r[10050000000]:=r[10060000000]:=r[10070000000]:=r[10080000000]:=r[10090000000]:=r[100100000000]:=r[100200000000]:=r[100300000000]:=r[10040000000
```

両チームの選手およびボールを全て同時に画面上で動かすようにし、解析したいプレイヤーを指定すると、そのプレイヤー以外は、画面上に点として表示され、同じ場面を繰り返し表示するようにした。

今回の研究では、ゲームの再現をするシミュレーション・プログラムを試作するに留まったが、人工知能等の研究により、プレイヤーの動きを予測するプログラムが開発されることによって、ボールゲームにおけるシステムやパターンは大きく進歩するであろう。

文 献

1) 石井喜八ほか；水球のゲーム中の客観的記録

の研究、昭和62年度日本体育協会スポーツ科学研究報告集, pp. 4—9, 1987.

- 2) 成田明彦ほか；ビデオトラッカーによるチームプレーの動きの即時処理—バレー・ボールからの接近、昭和62年度日本体育協会スポーツ科学研究報告集, pp.10—16, 1987.
- 3) 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(9) ; 712—716, 1986.
- 4) 池上康男；写真撮影による運動の 3 次元的解析法, J.J. Sports Sci., 2—3, pp. 163—170, 1983.

III ゲーム中の選手の動きの客観的記録

—実際場面に役立つ即時資料を求めて—

報告者 成田 明彦¹⁾

研究協力者 伊坂忠夫²⁾ 泉川喬一³⁾

宗内徳行²⁾

緒 言

ポールゲーム中の選手の動き、ならびにボールの軌跡の客観的記録は、ゲームの流れを読む監督やコーチの作戦立案の判断材料となるばかりでなく、攻防の組立・修正を具体的に選手に伝達することができる。従来はテープレコーダーを利用した音声録音法¹⁴⁾²⁰⁾²⁵⁾²⁶⁾、スコアシートを用いた方法¹²⁾がある。また、大橋ら¹⁸⁾は三角測量法を用いて、2台のファインダー付ポテンシオメーターで選手の位置、移動距離、速度を求めていている。これらの方では、分析に時間がかかること、装置の操作に熟練していること、攻防の激しい競技では混乱を生じ易いこと、同時に複数の選手やボールを追跡することができないこと等の問題点が指摘される。近年、スコアシートに記入する代わりにキーボードを操作することにより、コンピューターに入力し、ゲーム分析を行う方法がある⁷⁾⁸⁾⁹⁾²²⁾。この方法を用いれば、即時処理が可能であるが、そこには人間の技術的能力が存在する。

前報告¹⁶⁾で、われわれは工業界で開発された視覚センサーを用いた自動追跡装置(Video-Tracker)で、バレー・ボールのゲーム分析を行った。この装置の特徴は、8点を同時に追跡記録することが可能であり、追跡終了後、即時に位置、速度、加速度のデータが演算処理されることである。人間の技術的関与をできる限り排除し、即時に複数のデータ処理が行えるため、ポールゲーム分析のより

客観的なデータが得られる装置と考え、これまで使用してきている。ただし、前報告で指摘したように、本来、工業用に開発されたこの装置をポールゲームの分析に利用するには、いくつかの問題点がある。それは、1) カメラの設置位置により、撮影面と床面あるいはグラウンド面とが一致しない、2) 撮影範囲の問題、3) 記録した軌跡の方向がわからない、4) 複数の軌跡の識別の問題、等があげられる。

そこで、今回はこれらの問題点を解消し、より利用度が高まるようにするため、いくつかの実験を行った。撮影範囲の拡大と撮影面と運動面の同期のためには、2台のカメラを利用した3次元分析が要求される。バレー・ボールの勝敗に決定的な場面を2台の16mm高速度カメラで撮影し、3次元分析の可能性を検討した。問題の3、4)については、ビデオトラッカーのプログラムを改良して、修正を試みた。

方 法

1. バレー・ボールのゲーム分析

ゲーム中の選手の動きを客観的記録にするため、ビデオトラッカー(応用計測研究所製 G2120 II)を用いた。この装置は、電子シャッター付き CCD カメラ(NEC 社製)がとらえた反射光を、二値化した画面上で輝点に置き換え、その輝点をグラフペンで指定することにより、目標物体として自動追跡する。目標物体の同時追跡は最大8点まで行える。目標物体の位置情報は、ビデオトラッカーに接続されたホストコンピューターに取り込まれ、

1) 東海大学 2) 日本体育大学 3) 神奈川工科大学

ている。

図3は時間差のオープン攻撃を示しており、図2と同様に左側の図は、0.5秒ごとの時間間隔が示してあり、右側の図は選手が特定できるように軌跡と平行して番号が記入されている。ここで番号0の選手はセッターを表し、2はダミーとしてフェイントのスパイク動作をした選手、3はスパイクを打った選手である。図中、下側の太い横線はネットを示しており、0、2、3の選手はネットを越えてプレーを行っているように見えるが、これはカメラを斜め上方より構えたためである。

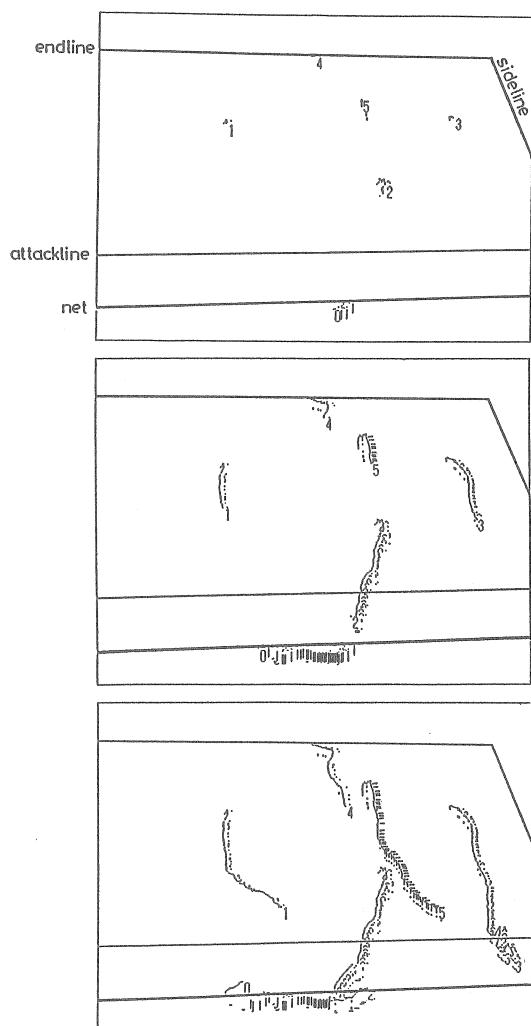


図5 オープン攻撃時の軌跡を局面ごとに示す。
上段：レシーブまで、中段：トスまで、
下段：スパイクまでの軌跡である。

図4はCクイックの攻撃時の軌跡を示している。番号0のセッターがコート中央より走り込んでトスをあげ、1番がセッター後方よりスパイクしているのがわかる。

図2で示したオープン攻撃を3つの局面で分割して表してみた(図5)。これは録画しておいたテープを再生しながら計測したものである。図の上段より、サーブボールが攻撃側のコートに入ってからレシーブされるまで、サーブボールが入ってからトスが上げられるまで、サーブボールが入ってスパイクされるまでの局面を示している。局面で分割して軌跡を記録することにより、選手の動きをより繊細に表現することができる。この図からは、トスが上がってからの後衛選手の素早いフォローがみられた。

2. スパイク動作の3次元分析

Aクイック、Bクイック、オープン攻撃時のスパイク動作を3次元分析した結果を、それぞれ図6、7、8に示した。分析した身体部位は、スパイク動作側の上肢の第5中手骨、茎突点、橈骨点、肩峰点であった。それぞれの部位の線速度を両足接地前からインパクト時点までみてみた。セッターとの距離が最も短いAクイックでは、両足着地前に各部位ともPEAK波形を示しており、これは他の2つのスパイク動作にはみられない。より素早く跳躍する必要があるために、両足着地前に腕を体幹後方に引いて腕の振込動作を大きくしてい

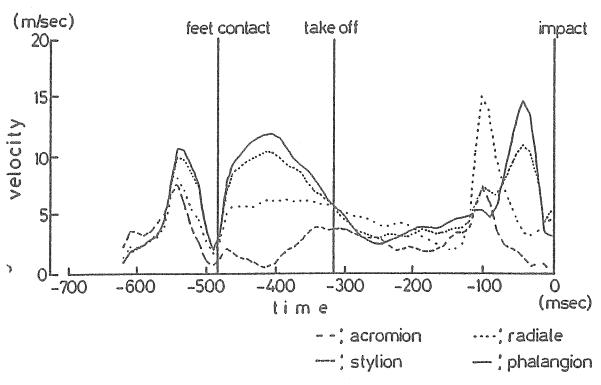


図6 Aクイックでの利き腕の速度の3次元的分析。
(—：第5中手骨、……：茎突点、
………：橈骨点、—：肩峰点)

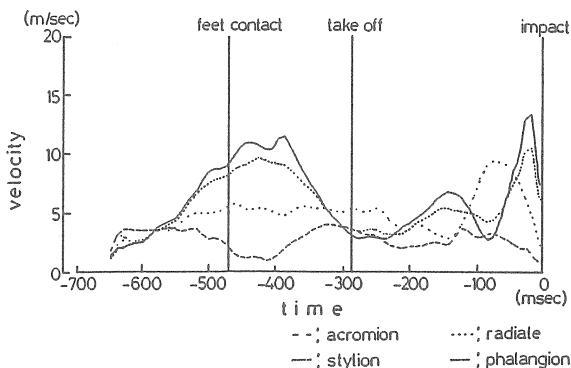


図7 B クイックでの利き腕の速度の3次元的分析。
 (——：第5中手骨,：茎突点,
：橈骨点, ---：肩峰点)

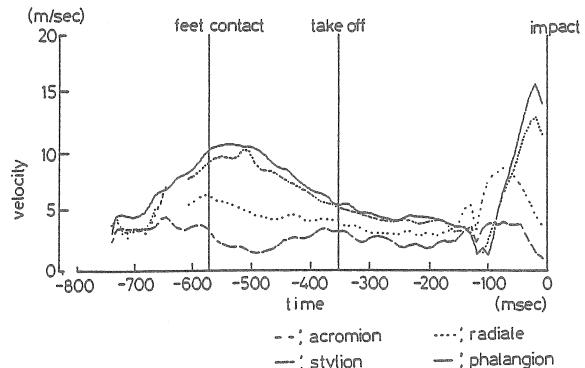


図8 オープンスパイクでの利き腕の速度の3次元的分析。(——：第5中手骨,：茎突点,
：橈骨点, ---：肩峰点)

る。A クイック, B クイック, オープン攻撃でのインパクト直後のボールの初速は、それぞれ17.9, 19.2, 19.9m/sec であった。

各スパイク動作に共通に見られることは、着地から離床までの間により高い跳躍高を得るために、速い腕の振り上げ動作を行っており、インパクト前に近位端から速度の PEAK が出現し、速度の加重がみられた。

考 察

1. ゲーム中の選手の軌跡

攻撃側6名の選手の動きを記録してみた。前報告では、単純な軌跡しか表現できなかった。今回、プログラムを改良することにより、(1)速度変化の目安となる時間間隔を記入すること、(2)選手を特定すること、(3)運動の方向を明らかにすることができた。実践場面を考えると、即時に客観的データを提示する必要があり、そのデータには必要な変数が網羅されていることが望まれる。なぜなら、ハーフタイムやタイムアウトの時間で、監督・コーチが適切な指示を選手にするためには、短時間で判断できる即時資料でなければならない。

従来のゲーム分析は、動作をフィルムあるいはビデオテープに記録し、ゲーム終了後に分析を行うものが大部分である²⁴⁾²⁹⁾。スコアシートの代わりにコンピューター入力によりゲーム分析を行う方法⁷⁾⁹⁾²³⁾は、即時にデータの分析・表示が可能であるけれども、キーボード操作の熟練と eye-hand

coordination の問題が存在する。これまで、ゲームを客観的に記録し、即時処理した研究はあまりみられない。

本実験で用いたビデオトラッカーは、即時処理ができると同時に、記録をビデオテープで保存しておくことにより、ゲーム後さらに詳細に選手の動きをみることができる。ゲーム中の判断材料としての即時処理される資料と、ゲーム後、次の試合に取り組むための分析資料の両者を供給することができる。

このビデオトラッカーを実践場面に適用するためには、いくつかの問題点を解消する必要がある。今回、天窓を開放してカメラを設置したにもかかわらず、撮影範囲とレンズの焦点距離との関係でカメラの光軸を斜めに設置した。そのため移動平面と撮影された画像との間にズレを生じた。また、広範囲にわたって撮影する際には、球面収差の影響を考慮しなければならない。移動平面に対して、垂直にカメラの光軸を合わせられる環境条件と、球面収差による誤差を最小にするために、高い性能のカメラレンズの使用が必要である。

バレーボールは、ネットを越え、相手コートにボールを落とすという競技特性を持つため、垂直方向の動きがゲームの勝敗を決定する重要な因子となる。つまり、選手の動きを立体的な空間で捉える必要がある。この立体的な運動動作を記録するためには、2台のカメラを用いた3次元分析¹³⁾を行なう必要がある。

2. スパイク動作の3次元分析

セッターとの距離が最も短いA クイックでは、より素早く跳躍する必要があるために、両足着地前に腕を体幹後方に引いて腕の振込動作を大きくしている。各スパイク動作に共通にみられることは、着地から離床までの間により高い跳躍高を得るために、ほぼ肩を中心に、4点の計測部位ともに円を描いて速い腕の振り上げ動作を行っていた。離床後からインパクト前まで、肩峰点、橈骨点、茎突点、第5中手骨の順に、速度は増大した。この速度の順次性および速度の加重は、以前に報告されたもの¹⁰⁾や、投げ動作のパターンと同じ様式¹⁷⁾を示している。

3次元座標を再構成するとき、直交する2台のカメラから得られたフィルムのY座標は共通である。Dapenaら⁹⁾は、基準尺を撮影範囲内の10ヶ所に置き、3次元座標に較正した。さらに十字型の基準尺により、X・Y方向のフィルムの歪みを補正している。このときの相対的誤差は、本実験よりも小さい値であったが、この誤差の違いは撮影された範囲の差によるものと考えられる。

これまで、3次元分析のための方法は、数多く報告されてきている²⁾⁴⁾¹¹⁾¹⁵⁾²⁷⁾。Shapiro²¹⁾、Walton²⁸⁾、Abdel-AzizとKarara¹⁾は、複雑な連立方程式から係数を求め、その係数と複数のカメラから得たフィルム座標値から3元連立方程式を解き、3次元分析を行っている。この分析方法は、DLT (Direct Linear Transformation) 法と呼ばれ、多くの研究者たちが利用している³⁾⁶⁾¹⁹⁾。しかしながら、この方法を用いるためには、煩雑な手順と準備が必要である。

本実験で試みた3次元分析の誤差をZ軸についてみてみると、約1.3%であった。この方法をゲーム分析に適用して、立体空間での動きを捉える場合、誤差の与える影響はほとんどないと考えられる。また、ビデオトラッカーシステムに応用することにより、移動平面と撮影平面とのズレを解消することができ、カメラの設置位置の制約も緩和される。さらには、水平面の動きのみならず、垂直方向の動きが勝敗の支配因子となるポールゲードで、3次元空間の客観的記録が可能となる。

要 約

ビデオトラッカーを用いてバレーボール中の選手の動きを記録した。同時に、3次元分析の可能性を探るために、2台の16mm高速度カメラによるスパイク動作の分析を試みた。

ビデオトラッカーのプログラムを改良することにより、単純な軌跡ではなく、速度変化の目安になる時間間隔が軌跡の上に記されるようになり、さらには選手と軌跡の同定および軌跡の方向が明確に、即時処理の資料として提示できるようになった。また、ビデオテープにゲームを録画しておくことにより、攻撃パターンのより詳細な分析・編集が行えた。

スパイク動作の3次元分析は、直交する2台のカメラで撮影されたフィルムから3次元座標を再構成した。そのとき両フィルムの共通軸である上下方向の誤差は、相対値で表すと約1.3%であった。この3次元分析法をビデオトラッカーに適用すれば、現在、平面的に行われているゲーム分析は、3次元空間の客観的記録へ展開すると考えられる。

文 献

- 1) Abdel-Aziz, Y.I. and H.M. Karara : Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. Proc. ASP/UI Symp. Close-range Photogrammetry. Urbana, Illinois, pp. 1-18. American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA.
- 2) Ayoub, M.A., M.M. Ayoub and J.D. Ramsey : A stereometric system for measuring human motion. Human factors, 12 (6) : 523-535, 1970.
- 3) Baumann, W., V. Gross, K. Quade, P. Galbierz and A. Schwirtz. : The snatch technique of world class weightlifters at the 1985 world championships. Int. J. Sport Biomechanics, 4 : 68-89, 1988.
- 4) Bergemann, B.W. : Three-dimensional cinematography : A flexible approach.

- Res. Quart., 45 : 303-309, 1974.
- 5) Dapena, J.E., A. Harman and J.A. Miller : Three-dimensional cinematography with control object of unknown shape. *J. Biomechanics*, 15 (1) : 11-19, 1982.
 - 6) Elliott, B., J.R. Drove, B. Gibson and B. Thurston : A three-dimensional cinematographic analysis of the fast-ball and curveball pitches in baseball. *Int. J. Sport Biomechanics*, 2 : 20-28, 1986.
 - 7) 遠藤俊郎, 志村栄一 : バレーボールのゲーム分析に関する基礎研究 : マイクロコンピューターの利用について。東京体育学研究, 9 : 59-63, 1982.
 - 8) 遠藤俊郎 : バレーボールのゲーム分析 : OR の手法を利用して。体育の科学, 36(9) : 693-698, 1986.
 - 9) Franks, I.M. and D. Goodman : The real time analysis of sport : An Overview. *Can. J. Sport Sci.*, 11 (1) : 55-58, 1986.
 - 10) 福原祐三, 朽堀伸二, 都沢凡夫, 石島繁, 阿江通良, 橋原孝博, 横井孝志, 矢島忠明, 遠藤俊郎, 池上寿伸, 岡内優明, 吉田雅行, 小山勉 : '82日米対抗女子バレーボールにおける一流選手のスパイク動作に関する事例的研究。昭和57年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, pp. 331-341, 1982.
 - 11) Hatze, H. : High-precision three-dimensional photogrammetric calibration and object space reconstruction using a modified DLT-approach. *J. Biomechanics*, 21 (7) : 533-538, 1988.
 - 12) 平野裕一 : 野球のゲーム分析 : スコアリング法による。体育の科学, 36(9) : 704-707, 1986.
 - 13) 石井喜八 : チームゲームの科学をみる。体育の科学, 35(2) : 82-83, 1985.
 - 14) Mayhew, S.R. and H.A. Wenger : Time-motion analysis of professional soccer. *J. Human Movement Studies*, 11 : 49-52, 1985.
 - 15) Miller, D.I. and K.L. Petak : Three-dimensional cinematography. *Kinesiology III*, pp. 14-19, 1973.
 - 16) 成田明彦, 泉川喬一, 宗内徳行, 星野秀樹, 伊坂忠夫 : ビデオトラッカーによるチームプレーの動きの即時処理 : バレーボールからの接近。昭和62年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, pp. 10-16, 1987.
 - 17) 西畠賢治, 石井喜八 : 投動作の3次元分析と熟練度の比較 : 女子ハンドボール選手のオーバーハンドスロー。第8回日本バイオメカニクス学会大会論集, pp. 192-195, 1986.
 - 18) 大橋二郎 : サッカーにおける選手の移動解析の試み。桜門体育学研究, 13 : 34-38, 1979.
 - 19) Pearcy, M.J., J.M. Gill, M.W. Whittle and G.R. Johnson : Dynamic back movement measured using a three-dimensional television system. *J. Biomechanics*, 20 (10) : 943-949, 1987.
 - 20) Reilly, T. and V. Thomas : A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *J. Human Movement Studies*, 2 : 87-97, 1976.
 - 21) Shapiro, R. : Direct linear transformation method for three-dimensional cinematography. *Res. Quart.*, 49 (2) : 197-205, 1978.
 - 22) 田井村明博, 竹之下秀樹 : ゲーム分析の実用化。体育の科学, 35(2) : 100-103, 1985.
 - 23) 戸苅晴彦 : サッカーのゲーム分析 : リアルタイム処理法による。体育の科学, 36(9) : 699-703, 1986.
 - 24) 椿本昇三, 坂田勇夫, 阿江通良, 高橋伍郎, 赤沢宏治 : 水球のゲーム分析 : DLT法による。体育の科学, 36(9) : 712-716, 1985.
 - 25) 鶴岡英一, 福原惣三 : サッカーのゲーム分析 (第一報)。体育学研究, 9 (2) : 39-42, 1965.
 - 26) 鶴岡英一, 福原惣三 : サッカーのゲーム分析 (第二報)。体育学研究, 13(2) : 140-148, 1968.
 - 27) Van Gheiuwe, B. : A new three-dimensional filming technique involving simplified alignment and measurement pro-

- cedures. Biomechanics IV, pp. 476–481, 1974.
- 28) Walton, J.S. : Close-range cinephotogrammetry : Another approach to motion analysis. Terauds J.(ed.), Science in biomechanics cinematography, Academic publishers : Delmar, pp. 69–97, 1979.
- 29) Withers, R.T., Z. Maricic, S. Wasilewski and L. Kelly : Match analyses of Australian Professional soccer players. J. Human Movement Studies, 8 : 159–176, 1982.

IV Video-tracker によるポールゲームの映像解析

報告者 石井 喜八¹⁾

研究協力者 西山 哲成²⁾

はじめに

高速ビデオ装置から移動する画像を明暗の際立った点に変更し、さらにここの移動点を自動的に追跡する装置の組み合わせたものを Video-tracker という。この自動的に追跡する点は XY 座標上の座標点として 60 分の 1 秒単位で読みとられ、コンピューターに入力・記憶させることができる。また、自動的に追跡できる点の数は同時に 8 点が可能である。

この装置は、工業用に開発され、流れ作業の過程で追跡して位置情報の即時処理を行うものである。このためには、平面座標内の位置分解能があり、標本抽出時間が短いものであれば、コンピューターを介して即時的に、データーが処理もできるという特性を持っている。

ところが、工業用に開発されただけに被写体と VTR カメラの距離が短いことで、上述の特性が生かされていた。われわれは、被写体と VTR カメラとの距離を大きくして、広がりの大きい場面内の移動物体の分解能を調べている。

この広がりの大きい場面が競技場ということになる⁷⁾。バレーボールコートでいえば、9 m × 18 m、水球場であれば 8–20 m × 20–30 m、ハンドボール競技場であれば 20 m × 40 m ということになる。われわれの前報の報告は、これらの広がりを持つ競技場内で、位置の移動を繰り返す複数のプレイヤーとボールが、この Video-tracker を用いて追跡できるかということが主要な課題であった。

今回の報告は、VTR および tracker 画面上にあ

らわれる位置の変位量が、コート上の実際の移動距離を示すかどうかを確かめることである。このことは、われわれが用いる高速 VTR の内部誤差を明らかにすることと、レンズを介して映像をとらえるときの外部誤差である遠近誤差をとらえることである。これらが明らかになれば用いているコンピューターのプログラムを改造して、コート内を移動する実際の距離に近似させ、この数値とともに演算される速度・加速度を確実なものにすることができる。

問題の所在

レンズの効果を利用するカメラを用いて記録し、その記録にもとづいて映像解析を行うとき、常に、機器の構造からもたらされる内部誤差と測定場面からもたらされる外部誤差の論議が付随して研究がすすめられてきた。この装置を使用するにあたっても、これらの誤差発生の原因を確かめておくことは大切なことである。内部誤差とは、被写体となる映像をレンズが、結像し、再び TV 画面としてプラウン管にあてる電子ビームは、XY の両軸方向に偏倚(bias) する電圧調整が加えられて、再び拡大映像がもたらされる内部構造によって生じる誤差である⁶⁾。外部誤差とは用いられる機器までに生ずる情報による誤差であり、実験条件としての場から生じる誤差である。我々はこれらの誤差を確かめることにしている。

方 法

使用機器である高速 Video-tracker の特徴は、前報⁵⁾で詳しく述べた。ここではこの機器の使用方法と今回の実験の方法について述べる。

1) 日本体育大学 2) 日本体育大学大学院

1. 高速 Video-tracker の用法

ここで用いている高速 Video-tracker (G2120型, okk inc 製)は、プレーヤーの身体の一部及びボールに反射布(住友 3 M 製, 商品番号8850)を貼付しておく必要がある。

ビデオカメラに隣接して1000Wの投光器を設置し、この投光器からの光に対する反射布からの反射光をシャッター速度 1×10^{-3} 秒でビデオカメラで取り組む。このカメラレンズは現在工業用として用いられている25mmのレンズである。この取り込まれた輝点のついた映像はモニター TV で確かめることができる。Video-tracker の本体に入力された輝点は映像から、輝点だけを探り出すことができる。この本体機能の特徴は輝点の2次元座標の位置を読み取ることが出来る。さらに、輝点ごとに追跡を指令できることである。追跡指令はライトペンによって簡単に与えることができる。

追跡指令を受けた各輝点は60分の1秒毎に座標の位置が自動的に読み取られる。この読み取り値は、インターフェイスボード(接続盤)を介してパーソナルコンピューター(PC9801VX)に送られる。このコンピューターは、専用ソフトプログラムにより稼動させ、必要変数処理の後、図、表を印字出力させることができる。

専用ソフトプログラムは、

- ① 輝点の移動軌跡を描かせる。
- ② この移動距離を求める。
- ③ 競技場の縦方向と横方向に区分して、移動距離をあらわす。
- ④ 60分の1秒ごとの輝点の移動距離から移動速度を算出する。
- ⑤ 各移動速度から加速度を算出する。

などである。

これらの各変数は、図・表によって印字出力することが出来る。又、これらのデーターはフロッピーディスクに保存し、再呼出して利用することができる。

実験手順

- ① Video-tracker の競技場内での設置

高速ビデオカメラ及び投光器は競技場の床面から14cmの高さで、一方の壁近くに設置した。この

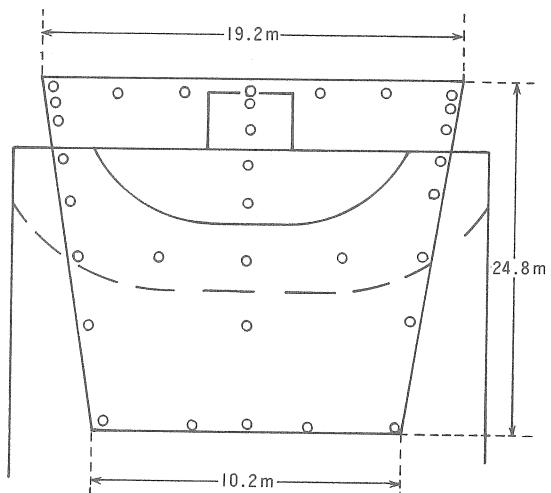


図1 影像画面較正用の既知座標点

位置から遠方にあるゴールラインまでの床面上の距離は41mであった。カメラの光軸は、ハンドボール競技場の遠方の半面が画額にとらえられるよう位姿をついた。この角度はカメラのファインダーの枠および Video-tracker の画額の上縁にゴールのバーが入るように設置した。このカメラの真下に Video-tracker の本体及びコンピューターを設置した机の上に据えた。この位置関係はカメラと Video-tracker 本体との距離を最短にしたものであり、その距離は14mとなった。そこで、この接続ケーブルとして BNC ケーブルを用い、さらに同期ボックスを中間に介した。これは、映像出力の減衰を防ぐための工夫である。

- ② 内部誤差検索のための手順

Video-tracker の画額にはいる競技場の床面上に反射布を表面に貼った軟式テニスボールに類似した球体(直径約 7 cm)を32ヶ所に置いた。この配列は、Video-tracker の画額内の XY 線上に沿って置かれた。その数は32個であり、画額近位(下縁)線近くには、4 個を 3 m の等間隔で配した。また画額のほぼ中央には 5 個を、遠位線には 7 個を同一等間隔で置いた。さらに、画額中央の縦軸上に 3 m 間隔で 7 個を配した。

内部誤差を探索するこの実験セットから、中央の Y 軸の 1 列上に置かれた 7 点の座標、および X 軸の 3 行上に置かれた近位行 4 点、中央の行上 5

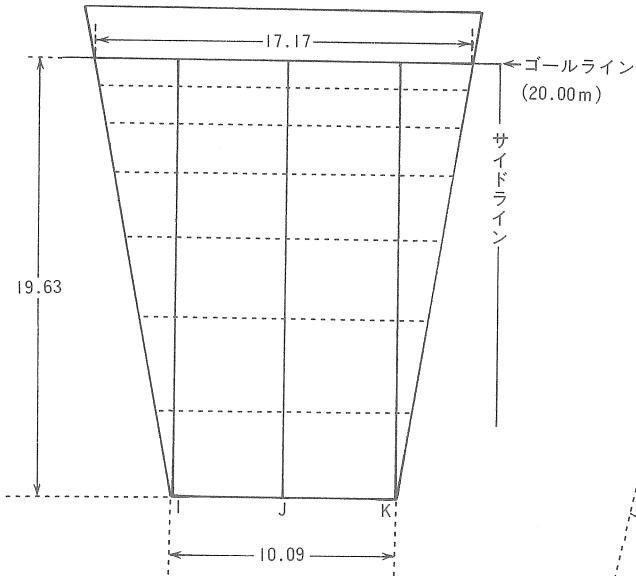


図2 外部誤差を明らかにする実験の条件

点、遠位行上の7点のそれぞれの座標点を、Video-tracker 上の dot 値に対応してグラフを描いた。これらから遠近誤差修正および、Video-tracker 機構による dot 値を競技場の実距離を cm 値に換算できる Y 軸上および X 軸上の回帰方程式を求めた。

そこで、図1のように競技場の基準となる座標点と、Video-tracker の画額上で計算される座標点とは、相対的な位置関係は示しても、基準点に対応する絶対値の座標は示さないことが観察で明らかになった。そこで、ビデオレンズ内に映像が入る競技場の範囲に3つの反射布を貼付したボールを置いて比較対応させ座標点の同定を行った。

③ 外部誤差検索のための手順

内部誤差検索の方法に近似した方法をとったが、座標点の指標となるボールの大きさは卓球のボールの大きさ(直径約3.8cm)とした。巻尺のメジャーの上で1m間隔にこれらのボールに反射布を貼布した指標の配置を、図2に示した競技場内のY軸に沿った3列、すなわち、I, J, Kのそれぞれの列に合わせて置いた。また、X軸に沿った8行上に順次置き換えていった。これらの間隔は等間隔には置いていない。この8行は結果では画面下側(カメラ位置に対して近位)の行からA, B…G, Hと

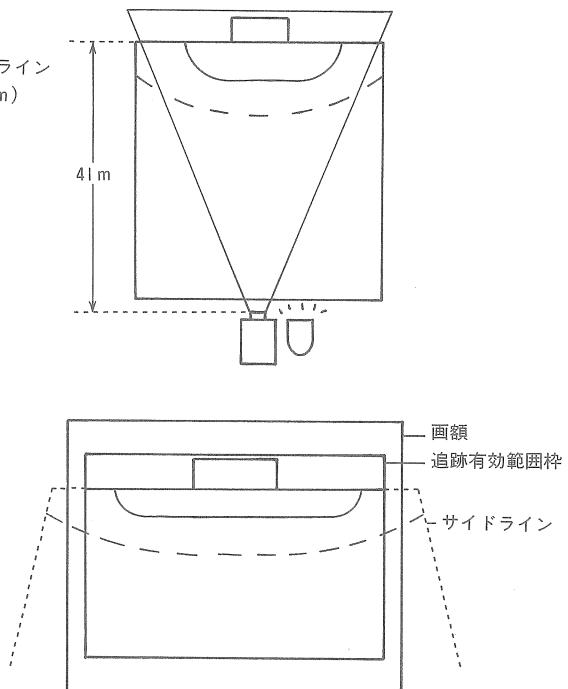


図3 上段の図はビデオレンズ内に入る映像の範囲、下段の図は Video-tracker の画額上にあらわれる映像の範囲

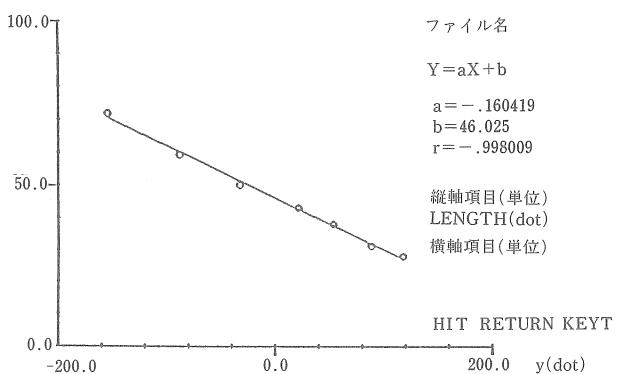


図4 Video-tracker 画額上の X Y 直角座標較正のための Y 軸方向(遠近誤差)較正のため回帰直線関係
横軸は、Video-tracker 画額上の Y 軸方向の座標点(dot)
縦軸は基準距離(3m)に対応する画面上の距離(dot)

あらわしていく。

そこで、設置した1m間隔の基準に対応して Video-tracker 上で、それぞれの間隔を読み取つ

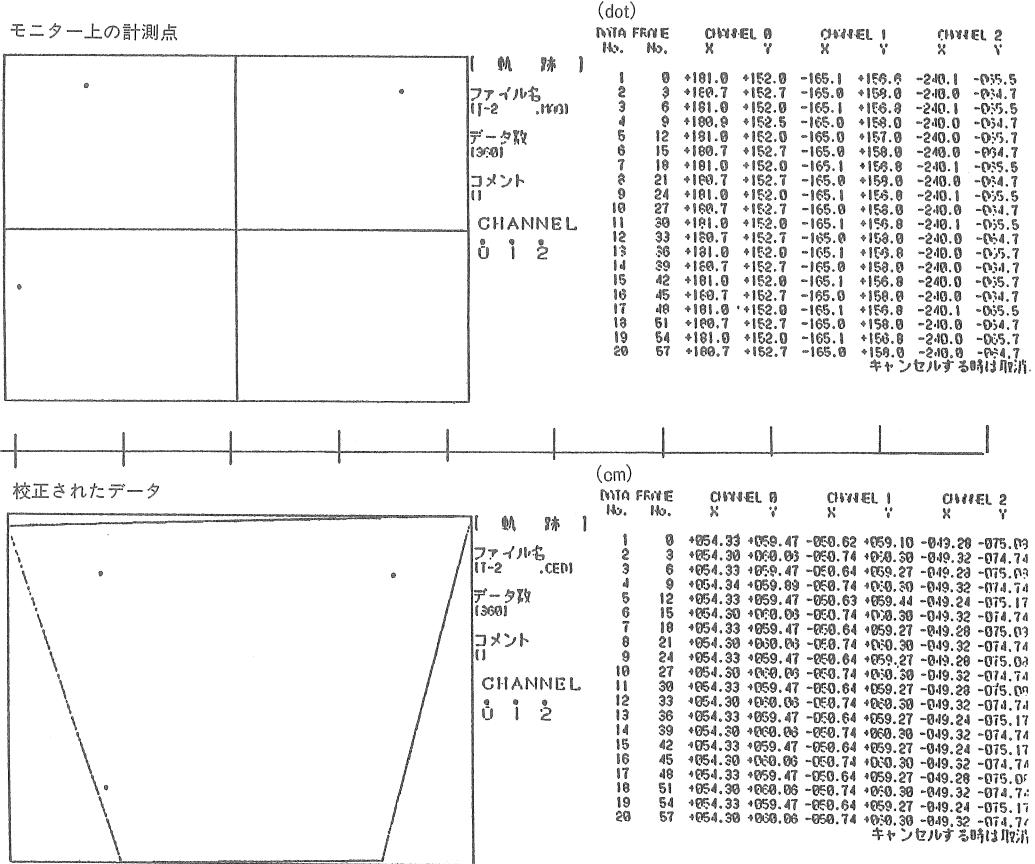


図 5 Video-tracker の画面上にあらわれた第 1 象限 (表中 channel 0). 第 2 象限 (channel 1) と第 3 象限 (channel 2) の各 3 点の較正值による座標点の比較。

ていった。ここで採用された数値は読み取り数値の中央値である。

図 3 にはビデオトラッカーレンズの枠内に入る映像の範囲と、Video-tracker の画額上にあらわれる映像の範囲の違いを示した。明らかなことはビデオトラッカーレンズの枠内に入った映像の範囲は、Video-tracker の画額上では XY の直角座標となつてあらわれる。

図 4 には Video-tracker 画額上に、XY 直角座標を描かせるための較正值を求める実験の結果、遠近誤差をあらわす回帰方程式を得た。ただし、この方程式は、今回の実験条件のもとで成立するものである。

図にみられるように、横軸には今回使用した

表 1 競技場の床面の遠近軸上の 1 m 基準間隔に対する Video-tracker 上の測定誤差

	I	J	K
1	0.95	1.00	1.00
2	1.00	1.00	1.00
3	1.04	1.02	1.00
4	0.96	0.99	0.96
5	1.00	1.00	1.00
6	1.03	0.98	1.04
7	1.00	1.00	0.98
8	0.99	1.05	1.01
9	1.00	1.01	1.00
10	1.00	0.97	0.98
11	1.03	1.04	1.04
12	1.02	1.03	1.01
13	0.96	0.98	1.00
14	1.00	1.00	0.99
15	1.00	1.01	1.01
16	1.04	1.05	1.04
17	0.98	0.95	0.98
18	1.03	1.12	1.05
19	1.01	0.94	0.96
平均誤差			
0.019			
0.027			
0.018			

Video-tracker の画額上にあらわれた Y 軸方向の各座標点と、縦軸には競技場の床の中央、近位か

表2 競技上の床上の近位から遠位に至る左右軸上
の1 m基準間隔に対する測定誤差

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	0.99	0.98	0.97	0.99	0.98	0.99	0.98	0.97
2	1.00	1.00	1.01	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00
3	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	1.01	0.99	1.00
4	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	0.99	1.00
5	1.00	0.99	1.00	1.01	1.00	0.99	1.02	1.01
6	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.02	0.99	1.00
7	0.99	1.01	0.99	1.00	1.01	1.02	1.02	1.01
8	1.00	1.00	1.01	1.02	1.01	0.98	1.01	1.01
9	1.01	1.01	0.99	0.99	1.00	1.02	1.00	1.00
10	0.98	0.99	1.01	1.02	1.00	1.01	1.00	1.00
11		0.99	1.00	1.00	1.02	0.99	1.02	1.02
12			0.99	0.99	0.98	1.02	1.00	1.01
13				1.00	1.01	0.99	1.00	0.99
14					0.99	0.98	1.00	0.98
15						0.99	1.00	1.01
16						0.96	1.00	
平均誤差	0.006	0.007	0.011	0.008	0.008	0.013	0.011	0.008

ら遠位に向かって設置された基準距離に対応するdot数の関係であり、両者は直線関係を示す。この回帰方程式は、 $Y = -0.160X + 46.025$ （ただし、 $r = -0.998$ ）である。このX値はVideo-trackerの機構から画額上のY座標位置（dot単位）を示し、Y値は実際の距離3mに対する画額上のdot数である。

図5には、上述の較正值を用いてVideo-trackerの画額上にあらわれる座標点を修正した。図の中には第1象限、第2象限、第3象限に各座標点を置き、これまでの機構のままの座標点の読み取りを行った。そこで、較正值を用いて修正値を得た。各座標点の読み取りは両方法において、各点の確認を20回行った。図5の右側に附帯する表のごとくである。

図2に示した実験条件によって、競技場縦軸上の3列のI線、J線、K線にそれぞれ沿って1m間隔で基準点を置き、この配置についての遠近係数をもって修正したコンピューターソフトプログラムによって、各基準点の間隔を読み取った。その結果が表1にまとめられている。各列ごとの基準間隔に対する読み取り誤差は、I列で平均1.9cm、J列で2.7cm、K列で1.8cmを示した。

またカメラレンズの枠内に収められた競技場の横幅の間隔における誤差は、A行が0.6cm、B行が0.7cm、C行が1.1cm、D行が0.8cm、E行が0.8cm、F行が1.3cm、G行が1.1cm、H行が0.8cmであった。

これからみると縦軸の遠近誤差は2.7cm以内の

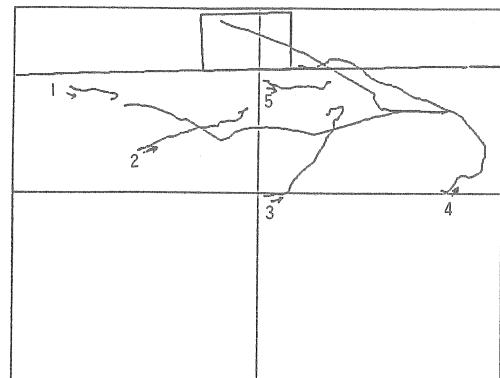


図6 Video tracker の従来の機構で画額上に描かせたハンドボールチームのフォーメーション（上段）と較正プログラムを経て描かせたフォーメーション（下段）

範囲で、また、横軸の読み取り誤差は1.3cm以内でとらえられるといえる。

これまで述べてきたように座標上の位置の確認が行われたことになると、1回微分を経て速度の変化を求めることがある。我々は3点移動平均法のプログラムを作り、これをコンピュータプログ

ラムに入れた。その結果が図7に示されている。

3点移動平均の式は次のようにある。

$$X_n = \frac{X_{n-1} + 2X_n + X_{n+1}}{4}$$

X_n は n 番目の座標 X の平滑化された値であり、 $(n-1)$ と $(n+1)$ は Video-tracker によって n 番目の値の前後の測定値を示している。

この方程式を用いることによって個々の測定誤差を平均値化できることになる。

論 議

ボールゲームは通常、次のように分類される。

- ① ゴール型……四角形または円形のゴール、または競技場の両端にあるタッチゾーンまでボールを運び込む競技類である。
- ② 中央ネット型……両チームが中央のネットに隔てられ、ボールを介して互いの技術と体力を争う競技類である。
- ③ 野球型……競技場が90度の範囲に広がり、守備側のチームは競技場内に配置し、攻撃

側は、1人ずつが交替して扇状の要（カナメ）の場所から攻撃をする競技類である。

しかし、このような競技の区分けは、競技の形態別による分類ということができる。

Whiting, H.T.A.¹²⁾はボールゲームの共通点を“スキル”の面からとらえようとしている。彼のいうスキルは、知覚から運動表現へという情報経過の観点から共通性を表す能力である。したがって、個々人の体のスキルの能力ばかりでなく、チームのスキル遂行の表出（out put）の関係からとらえようとする。彼は個人のからだにおけるスキルやチームの動きのスキルの共通の定義を Knapp, B (1964) から引用する。それは「時間の浪費やエネルギーの消費を最小に押さえ、最大の正確さを持って、目標とした結果を生じさせる能力」であるといふのである。

スキルとは目的達成の手段であるといわれる。選手個人のスキルとチームのスキルを区分して取り扱うことは、観察対象を強調する点では有効であっても、全体のスキル系列からとらえようとす

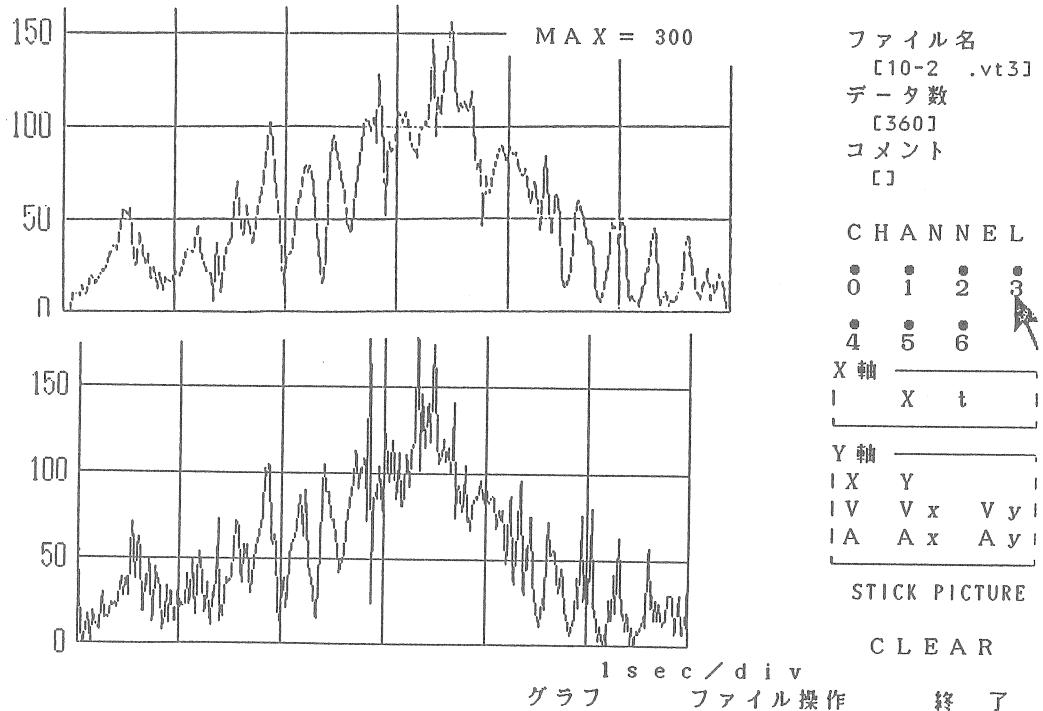


図7 3点移動平均法を用いて速度曲線を平滑化した図の比較

下段の図は使用した Video tracker のありのままの速度分析による曲線、上段の図は平滑化をした速度曲線

る場合には混乱を生じる可能性が大きい。このようなスキルを一つの系列としてとらえることが容易である。

目的達成の手段とは旧くは道具の扱い方であったが、チームゲームではチーム全体の組立と、プレーヤー一人ひとり動きの中でのスキルを系列化することである。すなわち、競技場面ないしゲームの展開の流れを含む状況の観察(INPUT)までの過程に存在する一つひとつの要素とその働きを確かめていくことが大切である。この考え方はシステム解析といわれる。

ボールゲームのスキルはチーム全体の動きの組立(チームスキル)と個々のプレーヤーの動作(個人スキル)とに区分できるが、このスキルの各システム内に存在する極めて難しい要素はヒトの頭脳の働きである。チーム全体の大まかな動きの指令(これは意志決定または決断といわれるが)は、ヘッドコーチの頭脳の作用によるが、ゲーム中の個々の場面での各プレーヤーの動きの判断は各プレーヤーの頭脳によって行われている。

しかし、観察の立場は異なるとしても、目的達成の方向は共通であり、先づ第一に、ゲームの展開の流れを含む状況をとらえるために、一つひとつの手掛り(情報)を収集することになる。²⁾³⁾⁴⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾われわれの研究の焦点は、先づ、ここにあてられている。われわれの研究の立場は、ゲームの結果に決定的な影響を与えるゲーム責任者の意志決定には関与しない。

客観的な記録より、チーム全体の動きとらえる。そのためには特殊な装置を用いる。そしてこの記録を素早く処理して、責任者たちのいるベンチまで届けようというのである。われわれの立場は近い将来、不必要になることを願っている。その理由はわれわれが研究した装置がベンチに備えられ、一人のコーチがこの装置の操作を担当し、その結果を直接、そのゲームに役立てて欲しいと考えている。

チーム全体の動きを客観的とらえ、素早い処理を行うために、Video-tracker装置と、それに連結してコンピューターを用いる。新しく作成された装置は、先づ、その精度が確かめられることになる。図1にみられるように競技場内に縦横の方

向に既知の座標点を配置した。この配置図はビデオカメラのモニター用の映像画面では図3の上側のような競技場の範囲に入るが、Video-trackerの計測画額上では視野が直角平面として拡大されるので、下段の図のような位置関係になってしまふ。したがって、結果で示した方程式の係数をコンピュータープログラムの一部として打ち込むことによって画額修正をすることができる。

したがって、各撮影実験のたびごとに既知座標を入れておき、これらにもとづいた係数をプログラムに入れることによって、この修正が可能となることが明らかにされた。また、図2の配置図にしたがって遠近誤差を求め、平面図(真上からみた図)に修正することも可能になった。このとき、1m間隔の基準尺は平均誤差の最も大きい方向でも、3cm(3/100)以内に押さええることができることがわかった。

Shapiro, R (1978)⁸⁾は、3次元映画撮影法の誤差を確かめている。撮影画面の中心から6.7mの距離に高速度撮影機を構え、正四面体を形作るような各辺に48個の既知座標をおいた。座標点の大きさは、直径が1インチ(2.54cm)の球をおいているが、各間隔の誤差は垂直方向と水平X軸方向がそれぞれ0.4cm、水平Y軸方向で、0.5cmであったと報告している。この誤差は最大4%であったという。

われわれが行っている方法は、競技場床面から40m離れてビデオカメを構え、19.2m×24.8m×10.2mの範囲をとらえている。そこでこの平均誤差が、3%以内に押さえられることは、満足してよさそうである。¹⁾

座標点読み取り、移動距離を修正することができたが、速度・加速度の差分演算を行うことになると、個々の数値が散逸してくる(図7下段)。そこで、これらの数値を平滑化することによって、速度・加速度の変化の過程が明瞭になる。

われわれは平滑化のために、3点移動平均法を採用している。この3点移動平均法は、5点移動平均法よりも瞬間速度の平滑化が緩やかであるので、絶対値を残留させやすいと考えられる。この平滑の方程式をコンピューター演算のプログラムの最終段階に組み込み、図7の上段にみられるよ

うな結果が得られるようになった。

ま　と　め

Video-tracker の装置によって、即時的にポールゲームの 1 チームのフォーメーションが線画で描けるようになった。このとき装置内で生ずる誤差を大幅に修正する方法を実験結果にもとづいて提案した。

また、競技場を斜方向から撮影するときの遠近誤差を修正し、平面図をもってあらわす自動的方式に改良した。

さらに、差分によって速度・加速度を求める際に散逸する個々の数値を 3 点移動平均法で整えることができた。

文　　獻

- 1) AYOUB, M.A, M.M. AYOUB and J.D. RAMSEY : A Stereometric System for Measuring Human Motion. HUMAN FACTORS, 12 (6) : 523-535, 1970.
- 2) 遠藤俊郎 : バレーボールのゲーム分析 : OR の手法を利用して。体育の科学 36 (9) : 693-698, 1986.
- 3) 平野裕一 : 野球ゲーム分析 : スコアリング法による。体育の科学 36 (9) : 704-707, 1986.
- 4) 石井喜八 : 作戦の基礎としてのゲーム分析。

体育の科学 36 (9) : 688-689, 1986.

- 5) 石井喜八 : ポールゲームの分析に関する研究 : 第一報。日本体育協会スポーツ科学研究報告. 1986.
- 6) 西尾元充 : 写真測定入門。共立出版, 1982.
- 7) 大関健二, その他 : スポーツ選手のフォーメーションプレー表示システム。1986. 9 NHK 技研月報。
- 8) SHAPIRO, R. : Direct-Linear Transformation for Three-Dimensional Cinematography. Res. Quart. 49 (2) : 197-205, 1978.
- 9) 横本昇三, 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 (9) : 712-716, 1986.
- 10) 戸刈晴彦 : サッカーのゲーム分析 : リアルタイム処理法による。体育の科学 36 (9) : 699-703, 1986.
- 11) Withers, R.T. et al : Match analysis of Australian Professional soccer players. J. Human Movement Studies, 8 : 159-176, 1982.
- 12) Whiting, H.T.A : ポール・スキル, 加藤橋夫, 鷹野健次, 石井喜八共訳, ベースボールマガジン社, 1973.

