

# 卓球競技におけるボールの飛行特性分析システムの開発

上 島 慶

## Abstract

When a coach advises a player in the game of Table Tennis, it is rarely ment to provide specific data in order for the player to improve. The purpose of this study is to develop a system for analytical evaluation of the Table Tennis game promptly after s match. The system can display the digitized angle of incidence, the speed and the height in real time of the ball ,that a player hit, passing above the net.

The results of the system development system are summarized as follows:

- 1 . The coach could analyze flight characteristics of the ball that the player hit in real time the through the use of this system.
- 2 . The coach could advise the player, showing the characteristic data of the ball, which was collected by this system during the game.

To evaluate the usefulness of this system is the subject for a future study.

キーワード……卓球競技 ボールの飛行特性 リアルタイム 分析 評価

## 1 はじめに

これまで、競技スポーツにおける戦術に関する対策の多くは、コーチ(指導者)が自分自身の経験を選手に伝えるということによってなされてきた (ケルン 1998)。

(財)日本オリンピック委員会は、国際競技力向上を目的として作成した「JOC GOLD PLAN」の中で、世界でトップレベルの成績を残すには、高度な情報収集や分析を中核とする情報・戦略活動が必要不可欠であると提言している。さらに、高度なテクニカル活動によって得られたデータを活用することで、よりの確なコーチングが行えると述べている (日本オリンピック協会 2001)。また、勝田は、向上のプロセスを機能的かつ生産的に動かすためには、コーチの個人的な資質に加えて、確かな情報やデータに基づいた様々な分析が必要であると述べている(勝田 2002)。これらのことから、選手あるいはチームの競技力向上には、コーチ(指導者)の経験だけでなく、選手自身(自チーム)や対戦相手(対戦チーム)の情報収集に基づく分析が重要な鍵を握る時代になってきているといえる。

## 1.1 システム開発の経緯

現在のスポーツ分野では、用具の開発から戦術分析まであらゆる面において科学研究が盛んに行われている。戦術分析については、パーソナルコンピュータの普及・発展に伴って、情報機器を駆使したゲーム分析が競技現場で即時的に行われることが可能になってきている。特に、相手と味方に別れて直接戦いが行われる球技スポーツでは、相手とどう対峙するかという観点から戦術意義が大きいと、そのような分析活動が勝敗を分けるといっても過言ではない（ケルン 1998）。しかし、卓球競技においては、競技現場での分析や練習の組み立ては、コーチ（指導者）や選手の主観的情報による分析が一般的である。そのため、実際の試合においても客観的な論拠となる資料提示をしながらコーチ（指導者）が選手にアドバイスを与えることはほとんどされていない。これは、卓球の競技特性として、ボールが小さくて軽いため、ラリーが非常にスピーディーであることから、試合内容を資料として記録・集計することが困難であることが一因であると考えられる。卓球競技においても、情報機器を利用した分析システムを利用することができれば、高度なゲーム分析が可能になり、競技力向上に繋がるものと考えられる。

そこで本研究は、卓球競技におけるこれまでのゲーム分析に関する先行研究を踏まえた上で、卓球競技における競技特性を活かしたゲーム分析及び試合内容をリアルタイムで評価することのできるシステム開発を試みた。

## 2 先行研究

スポーツのゲーム分析は、扱う情報の質により、主観的分析と客観的分析の2つに大別される（勝田 2002）。前者は、観察者が自由に情報収集をすることができる主観的情報によってなされる分析で、たとえば「判断力が良く、終盤に強い」といったものである。後者は、数字に表すことのできる客観的情報による分析で、誰にでも正確に理解される資料として永続的な利用が可能である。

これまでの卓球競技のゲーム分析に関する研究は、主に戦術・戦法に関するもの、あるいはゲーム中の動きに関するものの2つに大別できる（吉田・飯本 1990）。

戦術・戦法に関する報告は、これまでのところ一流選手を対象としたものや、戦型や技術別に分類し、得失点別に打球コースや打球数などを調査した主観的分析によるものがほとんどである（葛西 1989、大野・勝 1972、増田・村上 2010、ZhenSheng et al.2010）。これは、指導者と選手が、日頃から分析視点を共有している場合において、即座にゲームを振り返るには有用である。しかし、指導者と選手が日頃から分析視点を共有していない場合においては、コーチ（指導者）と選手がお互いの解釈を異なる危険性がある。これは、卓球用語には定義が不明確なものがあるからであり、例えば、「ロング」という用語について卓球に関するいくつかの書物から拾

ってみると、フォアハンドかバックハンドで前進回転をかけてボールを打球する方法としてとらえていることが多い。しかし、前進回転をかけることを強調して「ドライブ」という用語を用いたり、フォアハンドで前進回転をかけて打球する方法を「フォア打ち」といったりする(倉木 1989)。そのため、主観的分析によるアドバイスは、用いる用語の使用に十分注意が必要になる。

ゲーム中の動きに関する報告は、打球を待つ時間やラリー時間、選手の移動距離や速度といった時間的・空間的特性を客観的に分析したものが見受けられる(油座他 1983) これは、指導者と選手が共通の理解を得られやすい点で、結果をフィードバックした際に説得力が高い。また、分析内容としては、トレーニングを立案する際に有用な基礎資料になりやすい。しかし、実際の試合において即座に行動指針を決定する情報にはなりにくいといった特徴がある。

これまでに報告されているゲーム分析結果は、いずれも選手の競技力向上には、有用な資料になるものばかりである。しかし、分析方法としては、情報収集や処理に時間や労力を要するものばかりで、実際の競技現場での活用を想定されているものは少ない。

## 2.1 本システムの分析視点

本システムは、誰もが理解しやすく説得力の高い客観的情報により、指導者と選手が短時間にゲーム内容を評価できることを目的としているため、戦術・戦法に関わる客観的分析法を採択して開発を行った。

卓球競技は、一方の選手が打球してから他方の選手が打球するまでの時間は、0.7 秒未満であることが明らかにされており、他の球技に比べてラリーが非常に速いといった特性がある(油座他 1983)。牛山らは、打球の変化に基本的に関わるものの一つがボールの特性であるとしており、卓球ボールの空気抵抗係数や揚力係数から飛行軌跡のシミュレーションを行い、飛来してくるボールの特性を明らかにしている。これにより、相手の打球を予測することが可能になり、選手のイメージトレーニングや、攻撃手順の考案に繋がることを示唆している(牛山他 1990)。また、宮木らは、試合中のスコアをミス別に記録し、オーバーミスとネットミスの比率とゲームの勝敗との相関関係を明らかにしている。オーバーミスが多くネットミスが少ない方が負けるゲームが全体の 7 割であったこと報告しており、オーバーミスよりもネットミスの少ない選手が勝つ確率が高いことを裏付けている(宮木他 1989、高島 2001)。

これらの研究報告から、選手の打球したボールの飛行特性を把握することができれば、選手の技能評価や試合の内容を評価することに繋がるものと考え、これまで筆者は、ボールの飛行特性(ボールがネット上を通過する際の「速度」・「入射角度」・「高度」)を定量化し、検討を重ねてきた。その結果、ボールの入射角度が対戦相手よりも大きい選手の方が勝つ確率が高く、また、速度や高度については、戦型や競技レベルあるいは試合内容によって異なることが明らかになった。つまり、ボールの飛行特性を把握することは、選手の打球や試合の内容を評価で

きるものであることが裏付けられた（上島他 2010、上島他 2011）。

以上のことから、選手が打球したボールの飛行特性をリアルタイムでフィードバックすることができれば、選手の打球や内容試合がどうであったかを即時的に評価することができるものと考え、本システムは、ボールの飛行特性を即時的に算出・提示できるように作成を行った。

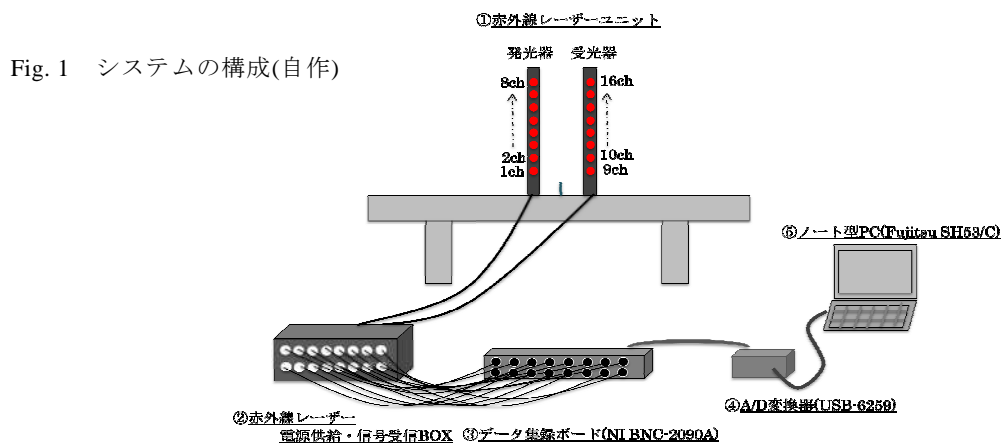
### 3 システムの装置及び概要

#### 3.1 システムの構成

本システムは、「①赤外線レーザーユニット」、「②赤外線レーザー電源供給器・信号受信 BOX」、「③データ集録ボード」、「④A/D 変換器」、「⑤計測制御・解析用ノート型パーソナルコンピュータ（以下ノート型 PC）」で構成されている。構成図を Fig.1 に示す。

赤外線レーザーユニットは、柱状で卓球台へ取り付けできるよう独自に設計されており、一方は発光器、逆サイドは受光器になっている。赤外線レーザーは、1 セットあたり 8 組が取り付けられている。レーザーの間隔は、ボールの直径と同じ 0.04m である。ボールがレーザー光を遮ることで受光器が出力する電圧変化が A/D 変換器(USB-6259 National Instruments)によってデジタルデータに変換され、USB を介してパーソナルコンピュータへ取り込まれる仕組みになっている。

主な使用機器の仕様は次の通りである。A/D 変換器は、サンプリングレート 1.25MS/秒で、32 チャンネルのアナログ入力が可能である。また、プラグアンドプレイ接続であるため、構成や設定時間が短縮でき、持ち運びや省スペースに便利である。データ集録ボード(BNC-2090A National Instruments)は、19 インチの 1U 型ラックマウント取り付けタイプの端子台で、22 個の信号ラベル付 BNC 端子で構成されている。ノート型 PC(SH53/C Fujitsu)は、CPU2.53GHz(512KB)で、実装メモリは最大 4GB である。



### 3.2 プログラムの開発環境

本システムは、ノート型 PC へインストールした National Instruments 社製の LabVIEW で作成した計測及び解析プログラムによって制御されている。LabVIEW とは、「Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench」の略をネーミングの由来としているもので、通常の文字で書く言語とは異なり、あらかじめ用意された関数アイコンなどをワイヤリングすることによって、実行プログラムを作成することのできるプログラミングソフトである。LabVIEW で作成するプログラムは、実際の計測器の動作を模して作成することが多いため、「Virtual Instruments(仮想計測器)」と呼ばれ、略して VI とも呼ばれる (Bishop2011)。コンピュータ上のディスプレイに表示される VI をあたかも実際の装置であるかのように操作できるため、計測チャンネル、サンプリング周波数、計測時間等をコンピュータの画面上で設定することができる。また、ユーザインターフェースとなるフロントパネルにおいては、「start」「stop」をクリックすることによって計測を開始、終了することができる。Fig.2 に実際に作成したフロントパネルを示す。

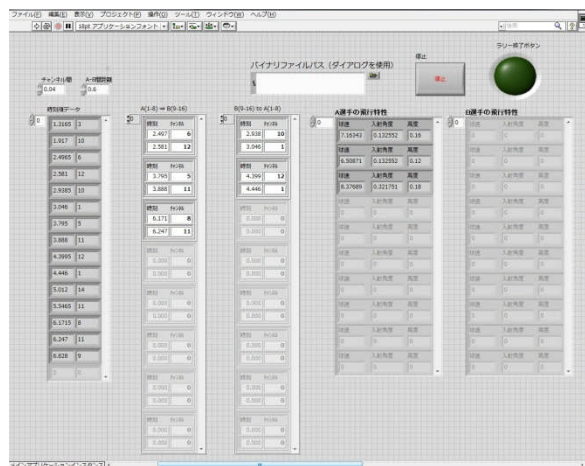


Fig. 1 フロントパネル (自作)

## 4 データ解析

作成されたプログラムは、大きく分けて計測プログラムと解析プログラムに構成されている。Fig.3 に主な作業工程を示す。計測プログラムと解析プログラムを別々に作業させることで、処理速度を上げている。データ集録は、あらかじめ計測前に設定した読み取るサンプル数とレート(Hz)により、一定時間間隔で行われる仕組みになっている。例えば、読み取るサンプル数を 40(k)、レートを 10(kHz)に設定して計測を行った場合、4(sec)ごとに読み取ったデータが入力される仕組みになっている。

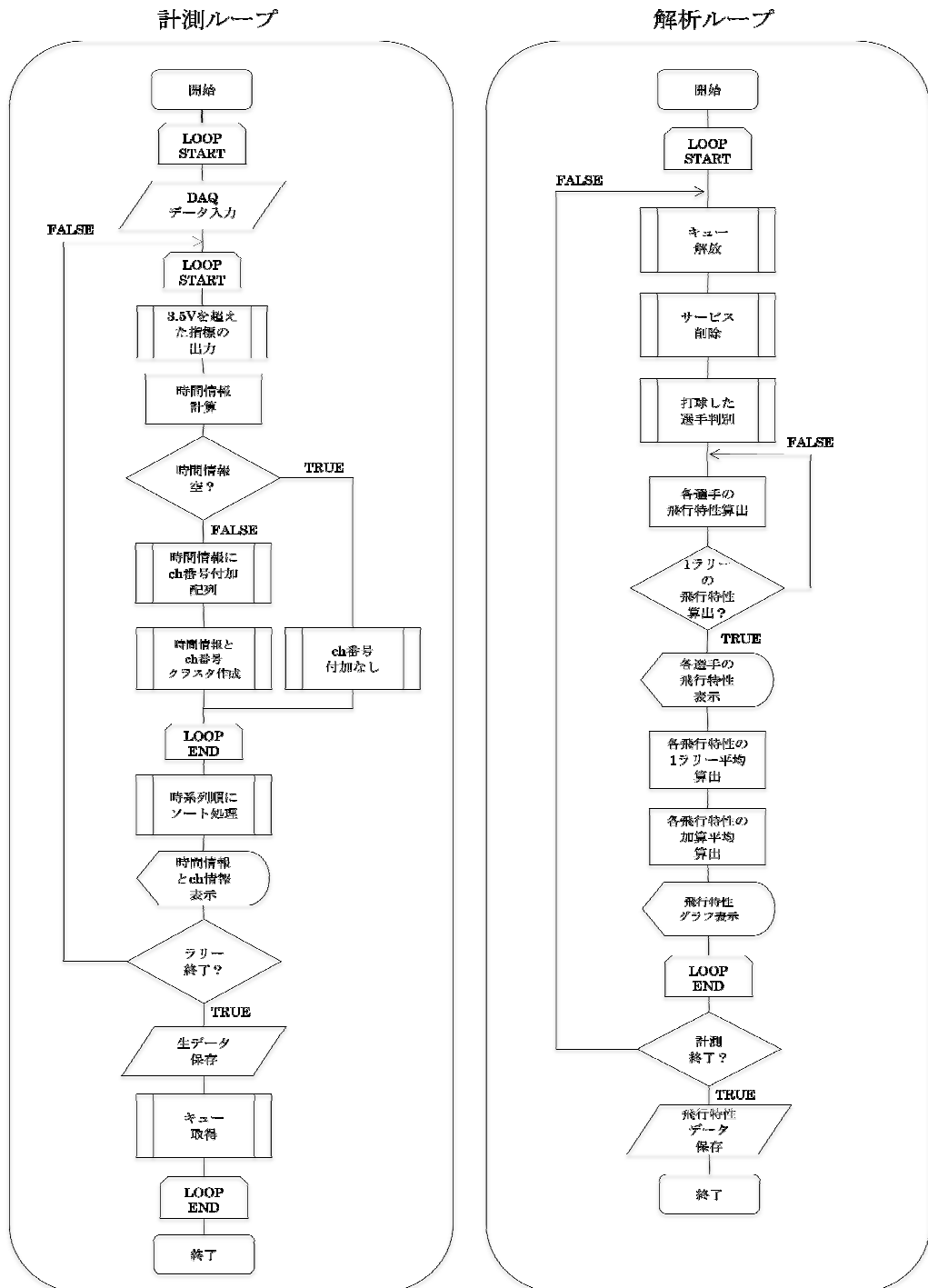


Fig. 2 計測及び解析作業工程(自作)

## 4.1 計測プログラム

### 4.1.1 レーザー遮光時の情報抽出

計測プログラムでは、まず集録されたデータからボールがレーザーを遮光したポイントのみを抽出する。これは、算出に必要なデータのみを採取することによって、処理負担を軽減させるためである。このシステムは、ボールがレーザー光を完全に遮光した場合、電圧が 5V の出力変化で出力される仕組みになっている。しかし、ボールのどの部分でレーザー光を遮光するかで出力される電圧が異なる。そこで、これまでの実験データから電圧の出力変化が 3.5V 以上の場合にボールがレーザー光を遮光したものとし、ボールがレーザー光を遮光した時間とチャンネル情報を算出した。時間情報は、レーザー光を遮光したポイントを検出する際に解析される入力シーケンスの X 値とサンプリング周波数の積から計算され、これにチャンネル番号が付加されるようにプログラムを作成した。配列された時間情報が空の場合、ボールが遮光しなかったチャンネルと判断され、チャンネル番号は付加されない仕組みになっている。算出された時間情報とチャンネル番号は、異なった型のデータをまとめて扱うことのできるクラスタを用いて一つのデータ束となり、時系列順に並び替えられ、インターフェースに表示される仕組みである。Fig.4 は、実際にインターフェース上に表示されたボールがレーザー光を遮光した際の時間情報とチャンネル情報(以下、時刻順データとした)である。

時刻順データ		
1.316	3	
1.917	10	
2.496	6	
2.581	12	
2.938	10	
3.046	1	
3.795	5	
3.888	11	
4.399	12	
4.446	1	
5.011	14	
5.546	11	
6.171	8	
6.247	11	
6.828	9	
0.000	0	

Fig. 3 インターフェース上に表示された時刻順データ(自作)

#### 4.1.2 ラリーの区別

ゲームの得失点に合わせて選手の打球を評価するためには、選手が打球したボールの飛行特性をラリーごとに表示させる必要がある。そこで、本システムでは、インターフェース上にラリー終了ボタンを作成した。このボタンが押されると、ラリー開始から蓄積された時刻順データがキュー関数によってパソコンのメモリ上へ一時的に格納され、古いデータから解析ループへ送られる仕組みになっている。さらに、同時にコンピュータのハードディスク上に RAW データがバックアップとしてラリーごとに記録される仕組みにもなっている。

### 4.2 解析プログラム

#### 4.2.1 打球した選手の判別

ボールの飛行特性を選手ごとに表示するためには、ボールの飛行特性を算出する前に計測プログラムで抽出された時刻順データを選手ごとに選別する必要がある。例えば、A 選手側のセンサを遮光した際の時刻順データを X、B 選手側のセンサを遮光した際の時刻順データを Y として、A 選手と B 選手がラリーしたボールが必ずセンサ間を通過した時、入力データは、サーブを開始した選手から  $X \cdot Y \cdot Y \cdot X \cdot X \cdot Y \cdots$ あるいは、 $Y \cdot X \cdot X \cdot Y \cdot Y \cdot X \cdots$ となる。この場合、データが規則的に入力されているため、A 選手の打球(X-Y)と B 選手の打球(Y-X)を必然的に判別することができる。しかし、実際は、選手の打球したボールがシステム上を通過するケース、あるいは打球がどちらか一方のレーザー光しか遮光しないケースが存在する。この場合、データが不規則に入力されるため、どちらの選手が打球したかを判別することが困難になる。そこで、本システムでは、Fig.5 に示すような作業手順で打球した選手を判別するようにプログラムを作成した。

まず、時刻順データを入力順に 2 個採取し、一方を始点(a)と他方を終点(b)とした。始点のチャンネル番号が 1ch~8ch( $a < 8$ )で、終点が 9ch~16h( $b > 8$ )、あるいは反対に始点のチャンネル番号が 9ch~16ch( $a > 8$ )で、終点が 1ch~8ch( $b < 8$ )であるかどうかを判断することで、始点と終点が必ず異なったレーザー光を遮光しているものを抽出する。次に、ボールがレーザーユニット間を通過した時間が、一定時間範囲以内であるかどうかで打球がセンサ間を通過したものであるかを判断している。時間範囲は、これまでの実験結果から、最も遅いもので 0.2 秒(球速およそ 10.8km/h)、最も速いものは 0.002 秒(球速 100km/h)と仮定して設定をした。ここまでの条件を満たすことで、センサ間を通過した打球であることを特定することができる。最後に、始点のチャンネル番号が 8ch よりも大きい小さいかで打球した選手がどちらであったかを特定できる仕組みになっている。



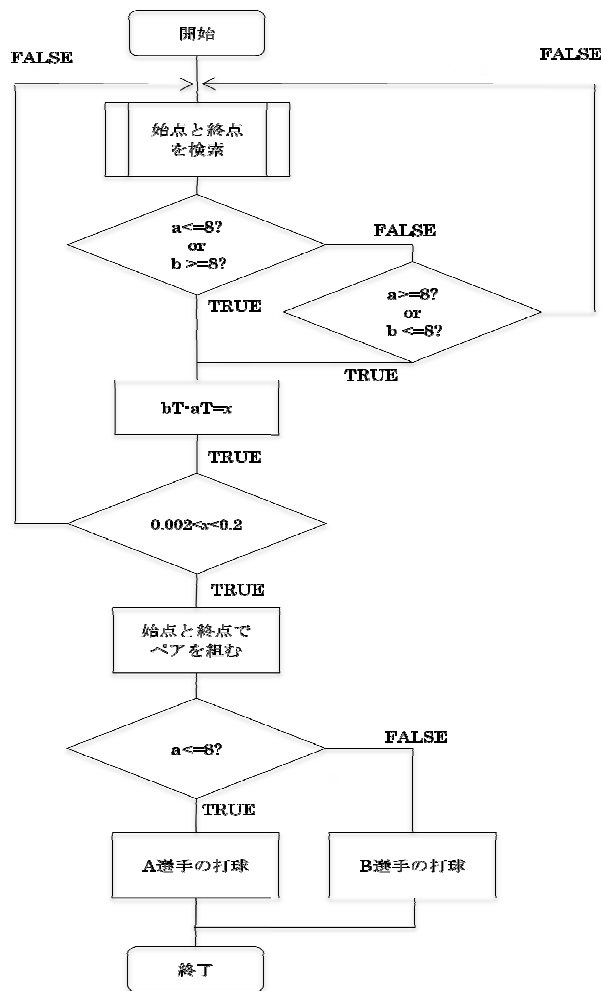


Fig. 4 打球した選手の判別作業工程(自作)

#### 4.2.2 ボールの飛行特性の算出

ボールの飛行特性は、選手ごとに判別された後、以下の計算式を用いて算出された。

<入射角度>

$$\theta(\text{deg.}) = \frac{180}{\pi} \cdot \tan^{-1} \cdot \frac{y}{x}$$

<速度>

$$v(\text{m/sec}) = \sqrt{0.6^2 + \{0.04(a-b)\}^2} / (T_b - T_a)$$

< 高度 >

$$h(m) = \{0.04(a-1) + 0.04(b-1)\}$$

$x(0.6m)$ : レーザーユニットの間隔、 $y(0.04m)$ : レーザーの間隔

$a$ : 最初に遮光されたチャンネル番号、 $b$ : 後に遮光されたチャンネル番号

$Ta$ : 計測開始から  $a$  を遮光するまでの時間、 $Tb$ : 計測開始から  $b$  を遮光するまでの時間

#### 4.2.3 表示方法

算出されたボールの飛行特性は、Fig.6 に示すようにインターフェース上に選手ごと数値として表示される。また、本システムは、コーチ(指導者)や選手が試合の流れに沿って内容を省察しやすいようにボールの飛行特性がそれぞれラリーごとグラフ化されて表示されるように作成されている。実際にインターフェース上に表示されたグラフを Fig.7 に示す。グラフは、各ラリーの平均と、ラリーの加算平均の 2 種類が表示される仕組みになっている。各ラリー平均については、そのラリーが対戦相手に比べてどうであったかという 1 ラリーを絶対評価するためのものである。反対に、ラリーの加算平均については、ゲーム全体が対戦相手と比べてどうであったかという相対評価をするためのものとして表示される。

A選手の飛行特性				B選手の飛行特性			
81	球速	入射角度	高度	80	球速	入射角度	高度
	4.25376	7.59464	0.08		4.96563	7.59464	0.16
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	8.23742	3.81407	0.06		5.12644	3.81407	0.1
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	5.32375	7.59464	0.04		5.63947	11.3099	0.1
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	13.3891	-11.3099	0.18		5.01132	11.3099	0.22
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	11.3733	-11.3099	0.18		4.9413	7.59464	0.12
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	4.8104	-11.3099	0.18		5.45673	3.81407	0.14
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	4.9411	3.81407	0.14		5.14282	7.59464	0.2
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	3.39141	14.9314	0.12		5.32375	7.59464	0.24
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	8.74725	7.59464	0.04		5.71586	7.59464	0.08
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	4.94534	7.59464	0.04		5.14399	3.81407	0.1

Fig. 5 数値化されたボールの飛行特性(自作)

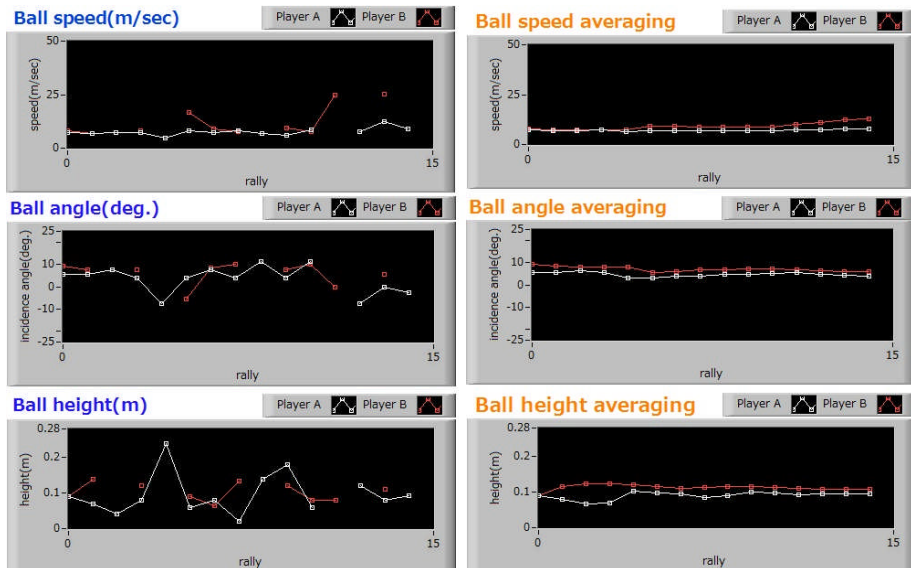


Fig. 6 グラフ化されたボールの飛行特性(自作)

## 5 まとめと今後の展望

これまで筆者は、ボールの飛行特性（ボールがネット上を通過する際の「速度」・「入射角度」・「高度」）を定量化し、戦型や競技レベル別に選手間で比較検討を重ねてきた。その結果、ボールの飛行特性は、試合内容や選手の技能を評価することができるものであることが示唆された。

そこで、本研究では、ボールの飛行特性をリアルタイムで表示することのできるシステム開発した。本研究で得られた成果を以下にまとめる。

- (1) コーチ(指導者)や選手は、即時的にボールの飛行特性を客観的に把握できるようになった。
- (2) コーチ(指導者)は、論拠となる資料提示をしながら選手にアドバイスを与えることが可能になった。また、選手も自身が打球したボールが対戦相手に比べてどうであったかを評価することが可能になった。

今後は、このシステムの有用性を検証していくと共に、さらに戦術評価に必要な情報を組み込んでいくことで高度なゲーム分析が可能になるものと考えられる。また、実際の競技現場での実用化を視野に入れ、ハードウェアの小型化も検討していきたいと考えている。

<引用文献> 本文引用順

ヤーン・ケルン、(1998)、『スポーツの戦術入門』、大修館書店、p.32、p.41。

(財)日本オリンピック委員会、(2001)、「JOC GOLD PLAN 国際競技力向上戦略 2002 年新装版」、p.18、p.34。

勝田隆、(2002)、『頂点を目指す競技者育成の鍵 知的コーチングのすすめ』、大修館書店、p.71、p.110。

吉田和人、飯本雄二、(1990)、「卓球競技におけるゲーム分析法」、平成 2 年第 14 報卓球におけるバイオメカニクスのおよび心理学的研究手法と選手の体力・スポーツ障害についての検討 (<http://www.jtta.or.jp/SportsScience/ssc/1990/1990.htm#one> 参照)。

葛西順一、(1989)、「一流選手の戦術分析」、『昭和 63 年度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』、第 7 報、pp.149-152。

大野寿一、勝英雄、(1972)、「卓球のゲーム分析:(その 1)」攻撃型の戦術について:体育方法に関する研究、『日本体育学会大会号』、23 巻、p.397。

増田洋、村上博巳、(2010)、「世界卓球選手権における一流選手のゲーム分析—2009 横浜世界卓球男子シングルスの場合」、『京都嵯峨芸術大学紀要』、36 巻、pp.35-44。

Zhe, H., Zhensheng, T., Yujiao, H., Jili, S.,(2010),“*Analysis on Technique and Tactics of Lin Ma and Hao Wang in the Men's Single Table Tennis Final in the 29<sup>th</sup> Olympic Games*”, *International Journal of Table Tennis Sciences*, No.6(2010),pp.74-78.

倉木常夫、湊勉、吉田和人、榊原浩晃、(1989)、『指導者のための卓球Ⅰ 体育授業としての卓球』、不昧堂出版、pp.26-27。

油座信男、佐々木潔、高島規郎、宮下充正、(1983)、「戦型別一流卓球選手の試合分析:その時間的・空間的特性と生態負担度」、『日本体育学会大会号』、34 巻、p.592。

牛山幸彦、川又宏司、佐藤大輔、(1990)、「卓球競技における硬式球とラージボールの軌跡のシミュレーション」、『新潟体育学研究』、第 9 巻、pp.24-29。

宮木操、芦田信之、高島規郎、東昭正ほか、(1989)、「～卓球競技におけるスコア記録の新技术～」、『日本体育学会大会号』、40 巻 B、p.652。

高島規郎、(2001)、『卓球戦術ノート』、卓球王国ブックス、p.171。

上島慶、牛山幸彦、楊飛、飯塚進柱ほか、(2010)、「卓球競技における選手の技能評価に関する研究」、『新潟体育学研究』、第 28 巻、pp.39-44。

上島慶、牛山幸彦、飯塚進柱、関有李ほか、(2011)、「卓球競技のカット主戦型におけるボールの飛行特性に関する研究」、『新潟体育学研究』、第 29 巻、pp.83-90。

Robert H. Bishop、(2011)、『LabVIEWTM2010 プログラミングガイド』、National Instruments、pp.4-5。

主指導教員（牛山幸彦准教授）、副指導教員（八坂剛史教授・大庭昌昭准教授）