

〈報告〉

ゲーム理論を応用したバレーボールの戦術分析プログラムの開発

廣津 信義*・伊藤 雅充**・宮地 力***
濱野 光之****・田口 東*****

Development of a program for analyzing tactical decisions in volleyball
using game theory

Nobuyoshi HIROTSU*, Masamitsu ITO**, Chikara MIYAJI***,
Koji HAMANO**** and Azuma TAGUCHI*****

1. 緒 言

バレーボールの試合では、データの収集・蓄積・分析のため、各種ゲーム分析ソフトが積極的に活用されている。例えば、ゲーム分析ソフト“Data Volley”はナショナルチームやクラブチームなどで広く用いられており¹⁾⁷⁾、中高校レベルでの汎用的なゲーム分析ソフトとしては入力の作業をタッチセンサ付きのコンピュータ画面を利用して容易にした分析ソフト“タッチバレー”も開発されている⁵⁾。またサーブレシーブやコンビ攻撃、アタックレシーブに関する偵察を目的としたプログラムの開発事例についても報告されている²⁾。

しかしながら、現状では収集したデータを統計処理し、その結果を表示することで戦術決定を支援す

るという手法が主であり、収集したデータを基に最適戦術をコンピュータにて算出するまでには至っていない。また、バレーボールにおけるアタックとブロックの駆け引きについては、被験者を用いて駆け引きの利得を実験的に求めて零和ゲームとして考察した研究があるものの⁶⁾、実データを利用して戦術策定する機能を持つプログラムの開発はなされていない。

そこで本研究では、ゲーム理論の知見を用いて、バレーボールにおける戦術の駆け引きを数学モデル化し、戦術策定に応用するプログラムの開発を行った。今回は戦術策定のために、零和ゲームのアルゴリズムを利用して、特にレセプションアタックの局面におけるアタックとブロックの攻守の駆け引きについて、ブロック側の立場から見て扱いやすいように入力画面の設計を試みた。さらに過去のデータも重みを付けた形で利用できるような工夫もしている。リアルタイムでの分析のみならず、試合後にビデオ映像を閲覧しながらデータ入力することも可能であり、国立スポーツ科学センター(JISS)で開発された映像データベース(SMART System)⁴⁾とインターネットを介してリンクすることでデータベース上の映像の閲覧ならびにデータ書き込みも可能なシステムとなっている。

試用事例として関東大学バレーボールリーグ戦の

* 統計学研究室

Seminar of Statistics

** 日本体育大学体育研究所

Research Institute of Physical Education, Nippon Sport Science University

*** 国立スポーツ科学センタースポーツ情報研究部
Department of Sports Information, Japan Institute of Sports Sciences

**** バレーボール研究室
Seminar of Volleyball

***** 中央大学理工学部
Department of Information and System Engineering, Faculty of Science and Engineering, Chuo University

試合から収集したデータについて、アタックのパターンとブロックフォーメーションについてのブロック成功率の観点から分析した例についても紹介する。

2. 計算方法

2.1 ブロックの成功率の計算

本節ではバレーボールにおける戦術の駆け引きを零和ゲームとしてモデル化し最適な戦術を策定する手法について説明する。ここではアタックとブロックの駆け引きを考えるが、他の駆け引きについても、同様の枠組みで最適戦術の策定を定式化できる。

まず、アタック側の戦術*i*に対するブロック側の戦術*j*とし、このときのブロック側の利得を a_{ij} とする。これを $m \times n$ 行列

$$A = [a_{ij}] = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & * & * & * & a_{1n} \\ * & * & & & & * \\ * & * & & & & * \\ * & * & & & & * \\ a_{m1} & a_{m2} & * & * & * & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

として表す。このとき戦術の駆け引きを零和ゲームとして考えると、アタック側はブロック側の利得 a_{ij} が最も小さくなるような戦術*i*を選択し、ブロック側は利得 a_{ij} が最も大きくなるような戦術*j*を選択する。アタック側が戦術*i*を選ぶ時には、ブロック側がどの戦術を選ぼうが、アタック側はブロック側の利得を最悪 $\max_j a_{ij}$ に抑えられる。アタック側はどの戦術*i*も自由に選べるので、これらで最小のもの $\min_i \max_j a_{ij}$ を選ぶこととなる。一方、ブロック側が戦術*j*を選ぶ時には、アタック側がどの戦術を選ぼうが、ブロック側は最悪でも $\min_i a_{ij}$ 利得が確保できる。このときブロック側もどの戦術*j*も自由に選べるので、これらで最大のもの $\max_j \min_i a_{ij}$ を選ぶことができる。結局、ブロック側が確保できる利得 $\max_j \min_i a_{ij}$ をアタック側は $\min_i \max_j a_{ij}$ 以下になるように妨げていることとなり、

$$\max_j \min_i a_{ij} \leq \min_i \max_j a_{ij} \quad (2)$$

という関係が成り立つ。(2)式で等式が成り立つときこの値をゲーム値という。等式が成り立つときは、もし一方のチームがその戦術から別の戦術に変えたら利得が減少する(増加しない)という意味で戦術が均衡している状況となっている。

(2)式において等式が成り立たない場合でも、両チームが各々の戦術を確率的に選択する混合戦略を考えると、アタック側とブロック側で均衡する戦術の組み合わせがあることが知られている。すなわちアタック側が m 個の戦術の中から戦術*i*を確率 p_i で用いるとし、ブロック側は n 個の戦術の中から戦術*j*を確率 q_j で用いるとする。このとき確率ベクトルを $p = (p_1, p_2, \dots, p_m)$, $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ とすると、ブロック側が得られる期待利得 $E(p, q)$ は、

$$E(p, q) = \sum_i^m \sum_j^n a_{ij} p_i q_j \quad (3)$$

と計算でき、このときアタック側とブロック側の駆け引きは期待利得という意味で

$$\max_q \min_p E(p, q) = \min_p \max_q E(p, q) \quad (4)$$

と均衡することが知られており、この値がゲーム値となる。

実戦への適用という点で、利得として何を選ぶかにより戦術分析の視点が変わるが、ここではレセプションアタックの際のブロックについて検討する。すなわち本プログラムでは、自チームをブロック側と想定して、その成功率を利得と考えてブロック戦術について検討するという立場で分析できるようにした。なお、ブロック成功率はアタック側とブロック側がそれぞれ戦術*i, j*を用いた頻度 n_{ij} を母数として、そのときのブロック成功数 s_{ij} にて

$$a_{ij} = s_{ij} / n_{ij} \quad (5)$$

と定義した。

2.2 アルゴリズムのイメージ

上記のゲーム値を計算するための具体的なアルゴリズム ($m=9, n=3$ の場合) のイメージは以下の通りである。実際に開発したプログラムでは、データ入力・集計・表示・配信について操作性を考慮し

てプログラム開発しているので、プログラム自体は膨大であるが、ゲーム値の計算については、概念的には以下のようなプログラムコード（ここでは Visual Basic にて表記している）で表されるアルゴリズムを利用することで簡潔に記述することができる。

Dim M(9, 3) As Single 'M(i, j) の要素にて利得 a_{ij} を定義

'——自チーム (Team A) のマキシミン戦略の探索 (ブロックの戦略) ——

```
For j=1 To 3
  MinA(j)=M(1, j)
  For i=2 To 9
    If MinA(i)>M(i, j) Then MinA(j)=M
      (i, j)
    Next i
  Next j
```

```
MaxMinA=MinA(1)
```

```
If MaxMinA<MinA(2)
```

```
Then MaxMinA=MinA(2)
```

```
If MaxMinA<MinA(3)
```

```
Then MaxMinA=MinA(3)
```

'——ゲーム値の導出——

```
If Abs(MinMaxB-MaxMinA)<0.000001 Then
```

```
GameValue=MaxMinA
```

'MaxMinA==MinMaxB のときゲーム値となる。

```
Else
```

```
GameValue=0:
```

```
For i=0 To 100
```

```
For j=0 To 100-i
```

```
p1=i/100#: p2=j/100#:
```

```
For k=1 To 9
```

```
MinP(k)=p1 * M(k,1)+p2 * M(k,2)+
```

```
(1#-p1-p2) * M(k,3)
```

```
Next k
```

```
MinPR=MinP(1)
```

```
For k=2 To 9
```

```
If MinP(k)<MinPR Then MinPR=
```

```
MinP(k)
```

```
Next k
```

```
If GameValue < MinPR Then
```

```
GameValue=MinPR
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
End If
```

2.3 過去のデータの活用

上述したアルゴリズムにて、試合中にリアルタイムで入力した最新のデータを基に(5)式にて計算したブロック成功率からゲーム値を算出することができるが、現実的には1試合だけでは戦術 i, j が試行される頻度 n_{ij} は限られているためブロック成功率を推定するためのデータが十分ではないことが多い。そこで以下のように過去のデータを読み込み、重み付けなどをして成功率を推定できるような機能も付加している³⁾。例えば、最近の試合ほど重みを重くするには、以下の式に従って成功率を算出することができる。

$$a_{ij} = \frac{\sum_{k=0}^K w^k s_{ij}^{(k)}}{\sum_{k=0}^K w^k n_{ij}^{(k)}} \quad (6)$$

ここで $n_{ij}^{(k)}$ は k 番目の試合におけるアタック側の戦術 i とブロック側の戦術 j を用いた頻度、 $s_{ij}^{(k)}$ は k 番目の試合における成功数を表す。この場合 $n_{ij}^{(0)} = n_{ij}$, $n_{ij}^{(1)}$ = 直前の試合での観測頻度、 $s_{ij}^{(2)} = 2$ つ前の試合での頻度などとなる。 w は過去の試合の重みを表し、例えば $w = 0.5$ とすると直前の試合は重みが0.5となり、2つ前の試合では $w^2 = 0.25$ というよう重みを計算する。 w^K は K 番目の試合の重みとなる。

3. プログラムの概要

3.1 戦術の割り当て

前節では、両チームの戦術をそれぞれ i, j とおいただけであるが、具体的にプログラムとして実際に利用するためには戦術を割り当てる必要がある。ここではレセプションアタックの局面におけるアタックとブロックの戦術の駆け引きについて考え、アタ

ックの攻撃パターンとして前衛の動きを“Ⅲ”，“Ⅺ”，“Ⅸ”の3つに分類し，さらに実際の選手の打位置を“R（コート右からのアタック）”，“C（コート中央からのアタック）”，“L（コート左からのアタック）”の3つを区別することで全部で $3 \times 3 = 9$ パターンからアタック側の戦術を分類できるようにした．なお，Ⅲ，Ⅺ，Ⅸは，図1に示すようにアタック側の前衛選手の動きを象徴的に表記したものである．

他方のブロック側の戦術としては，“S（スプレッド）”“B（バンチ）”“D（デディケート）”の3つのブロックフォーメーションを戦術として選択できることとした．なお，図2に示すように，スプレッドは前衛の選手の間隔を広く配置し，バンチは守備側の前衛の選手を中央付近に集めて配置し，デディケートは片寄らせて配置するフォーメーションである．

2.1節での表記で例示すると，アタック戦術*i*はⅢR，ⅢC，ⅢL，ⅪR，ⅪC，ⅪL，ⅨR，ⅨC，ⅨLの9パターンから選択でき，ブロック側の戦術*j*はS，B，Dの3パターンから選択し，ブロック成功率 a_{ij} を要素とする行列 $A = (a_{ij})$ についてゲーム値を求めることになる．例えば $a_{ⅢRS}$ はアタック側の戦術が前衛の動きⅢでRから打ち，プロ

ックはSであるときのブロック成功率を表すこととなる．

3.2 プログラムの具体的な使用方法

本プログラムはプログラミング言語 Visual Basic を用いてコード化している．本節ではプログラムの具体的な使用方法について述べる．3.2.1節で試合データを入力する前に必要な作業手順を，3.2.2節で試合データ入力手順を，3.2.3節で SMART System とのリンクについて説明する．

3.2.1 データ入力画面について

Visual Basic 上で本プログラムを実行するとプログラム画面(図3)が起動する．左側に用意したバレーボールコート上のボタンが試合データ入力用のボタン，中央上部に得点入力ボタン，画面中央に用意した表がデータ表示部分，右側上部が得点表示部分，右側下部が試合映像閲覧部になる．詳細については，以下の各節で説明する．

(1) 初期データ入力

まず最初に試合日時と対戦チームの入力について説明する．この二つの項目は，以下，初期データと呼ぶ．データ入力画面のメニューエディタから [ファイル] → [新規試合] を選択すると(図4)，初期データ入力画面(図5)が起動する．ここで，試合日時と対戦チームについて入力する．入力後，[OK] を押しプログラム画面(図3)に戻る．ここで入力したデータから，保存ファイル名が生成される．

(2) 保存先セット

本プログラムでは，CSV形式とXML形式の二つの形式によりデータが保存される構造となっている．データ入力画面のメニューエディタから [ファイル] → [保存先セット] を選択すると(図4参考)，

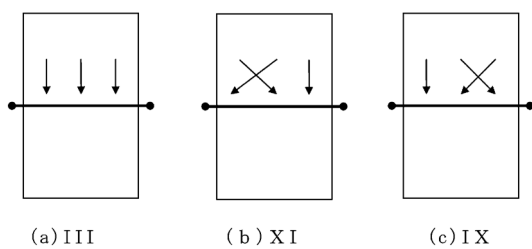


図1 アタック側の前衛の動き

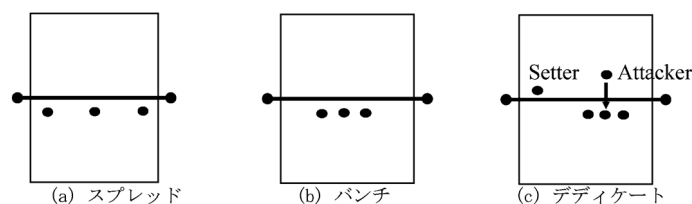


図2 ブロックの戦術



図3 プログラム画面



図4 初期データ入力画面の起動方法



図5 初期データ入力画面

ファイルダイアログボックスが起動する。そこから入力した日時と対戦チーム名と一致する XML ファイルを選択する。例えば、初期データとして“2007年10月10日 順大 vs 筑波大”と入力したら、保存先セットでは、“20071010順大 vs 筑波大.xml”を選択する。

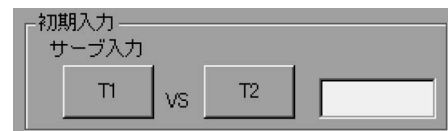


図6 サーブ入力ボタン

(3) サーブ入力

サーブ入力は、そのセットの最初のサーブを打つチームを入力する。データ入力画面の左上部にあるサーブ入力ボタン(図6)にてチーム名を選択する。これは、ローテーションを正確に回すために必要な作業となる。

3.2.2 試合データ入力

本プログラムでのデータ入力の流れは図7のようになる。レセプションアタックについて入力し、得点が入るまでを1ローテーションで行う。

(1) ローテーションの説明

バレーボールの分析ではローテーション位置が重要となるが、本プログラムではローテーションはセッターのポジションを基準として考えている。s1, s5, s6 がセッターが後衛の時, s2~s4 がセッターが前衛の時である。よって、必ずしもローテーション

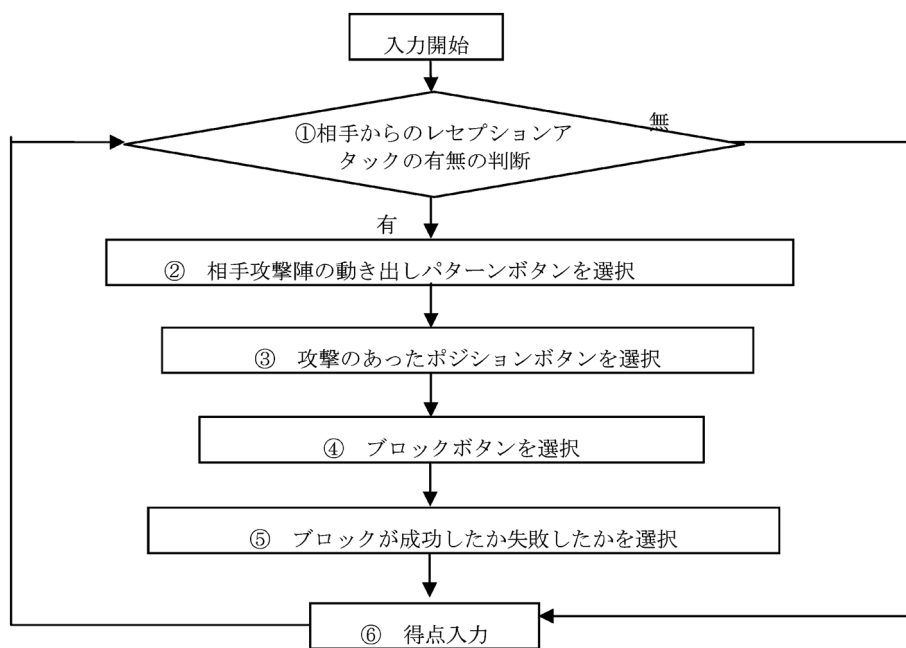


図7 データ入力の流れ

1 (s1) から試合データ入力をするわけではない。その試合時のポジションを観察しどこのローテーションから入力を始めるのか確認してから入力する必要がある。

データ集計表のローテーションの切り替えは、基本的に得点入力を行うことで自動的に切り替わる。しかし、他のローテーションの攻撃パターンを確認したいなど、他のローテーションのデータ集計表に切り替えたい時のために、専用の Function キーを表1のように割り当てている。

(2) 各入力ボタンについて

データ入力に使う入力用のボタンは、データ入力画面(図3)の左にあるコート上に設置されている9つの入力用ボタン(以下、「入力ボタン」とその下に配置してある Result ボタン(成功と失敗の2つ)ならびに得点入力ボタンである。図8に示すように、入力ボタンの種類は大きく分けて3つある。図7に示したデータ入力の流れに従うと“①”相手からのレセプションアタックの有無の判断で“有”のとき、図8の“②”で相手の前衛の動きを入力する。相手の攻撃陣がどのような動きだしをしたかを入力する。“③”で実際にアタックした打位置を入

表1 ローテーション切り替えキー

[F1] キー	ローテーション 1
[F2] キー	ローテーション 2
⋮	⋮
[F6] キー	ローテーション 6

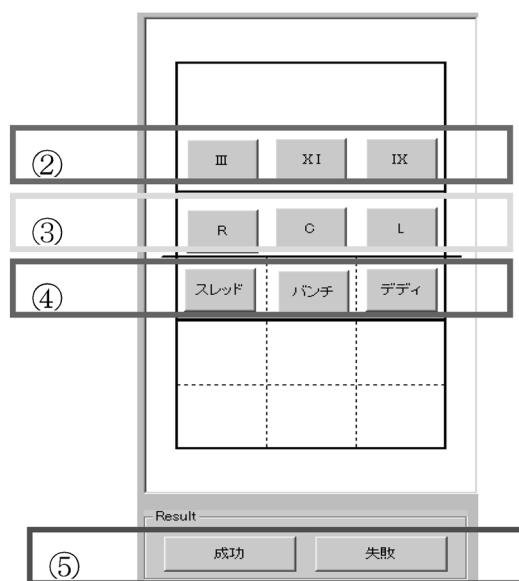


図8 入力テキストボックス

表2 入力ボタンについて

②相手前衛動き	Ⅲ：レフト，センター，ライトが ストレート Ⅹ：ライト，センターがクロス Ⅸ：レフト，センターがクロス
③打位置	R：ライトから攻撃 C：センターから攻撃 L：レフトから攻撃
④ブロックの戦術	スプレッド：選手の間隔を広く配 置する バンチ：選手をコート中央付近に 集めて配置する デディケート：選手を片寄らせて 配置する

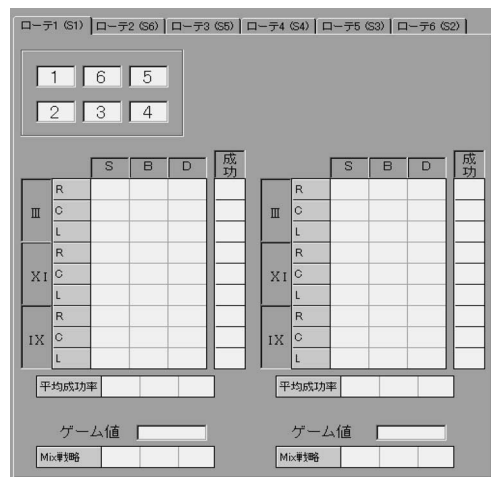


図9 データ集計表

力する。“④”で実際に行使されたブロックパターンを入力する。“⑤”でそのブロックが成功か失敗か判定し入力する。

図8に示した入力ボタンの意味を表2にまとめている。本プログラムでは、使用例として表2のようにプレーを判定しているが、基本的なアルゴリズムとしては集計表を基に数値計算しているので、入力ボタンの意味づけを変えて使用することも可能である。

(3) データ集計表

入力ボタンを，上記の②，③，④の順で選択した後，⑤のブロック評価(成功か失敗)を入力すると，データ入力画面(図3参照)の真ん中のデータ収集表にデータが格納される。収集表は左右2つあるが，左がローテ別のデータ収集表，右が前衛・後衛別のデータ収集表である(図9)。左のローテ別は，成功回数/試行回数で表示され，右の前後衛別の表は，成功率で表示している。

(4) 計算機能

最適戦術を算出するためには，図10に示す Calculation で [計算] ボタンを押すことで，試行回数が5本以上で，かつ施行回数が一番多いセル(値)が赤色になり，本アルゴリズムにて計算された均衡点が黄色で示される。また，ゲーム値や混合戦略での確率が表示される。例えば図11のような数値が集



図10 計算ボタン

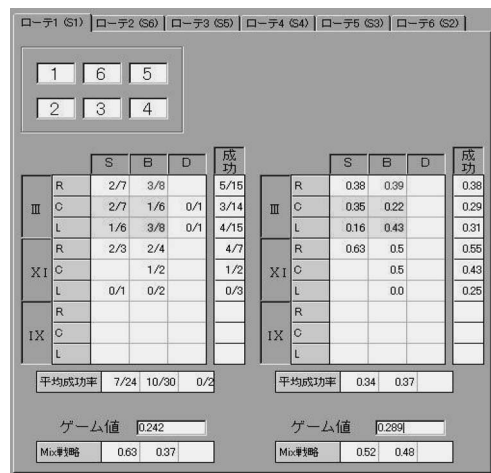


図11 データ集計表(計算後)

計表に表示されているときに [計算] ボタンを押すと，[ゲーム値] と [Mix 戦略] の欄に計算値が図11のように表示される。試行回数やセルの色付けについては適宜プログラムコードを修正することで変更できる。

(5) 得点について

得点を入力する際は，[F11] キー，[F12] キーを使用する(表3)。入力すると，データ入力画面

(図3)の右側上部にある得点表に結果が表示される(図12)。「F11」「F12」両キーの割り付けは表4に示した通りである。

(6) 過去のデータの利用

「計算」ボタンの横にある「過去のデータ」ボタ

表3 得点入力キー

R1	相手チーム(分析対象)のローテーション
P1	相手チーム(分析対象)の得点
R2	自チームのローテーション
P2	相手チームの得点

表4 得点表の各項目

「F11」キー	相手チーム(左)に加点
「F12」キー	自チーム(右)に加点

図12 得点表

ンを押すと、図13の画面が起動する。本システムでは、過去のデータを読み込み、データ入力に反映できるというものである。また読み込むパターンとして、

- 過去1試合分のデータを読み込み
- 試合数を選択して読み込み
- 過去のデータに重みづけして読み込み

の3パターン用意しており有効的にデータを反映できると考えている。操作手順は以下のようになる。

〈操作手順〉

- [1] 太枠の中の「1 試合分のデータ」か「試合分の平均データ」か「試合分の重みづけデータ」の選択をする。
- [2] 「試合分の平均データ」の場合は、試合数を入力する。「試合分の重みづけデータ」の場合は、試合数と重みを入力する。
- [3] 選択が終了したら、右赤枠の「開く」ボタンを押す。
- [4] ファイルダイアログが起動するので、読み込むデータを選択する。

(7) データ保存方法

1セット終了すると、図14の画面が起動するので保存する場合は、「はい」を選択する。ここで保存されるのは、CSV形式のファイルである。XML形式のファイルは、3.2.1節(2)で説明した保存先セットをするだけで、随時更新される。

3.2.3 SMART System とのリンク

本プログラムでは、HDDやDVDなどのメディアに保存された映像(ローカルデータ)を閲覧しな

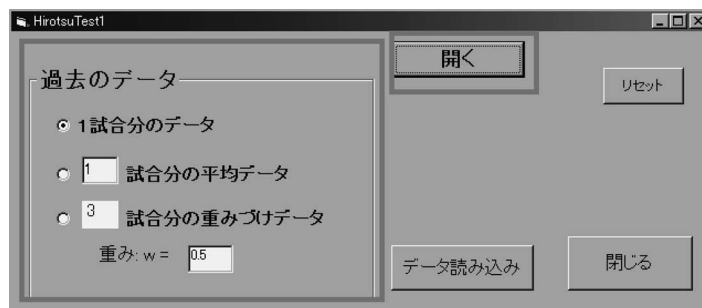


図13 過去のデータ読み込み



図14 データ保存画面

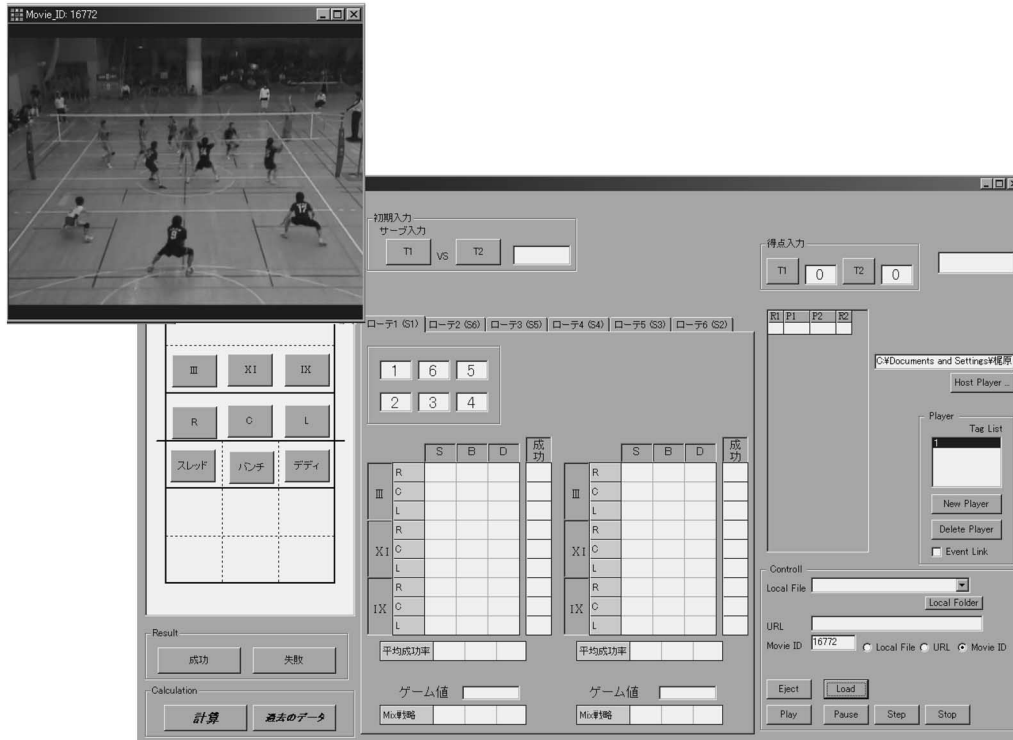


図15 SMART System コントローラを組み込んだ画面

がら、データ入力が可能で設計となっている。しかし、HDDやDVDなどの記録媒体では容量の問題や見たい時に見ることが出来ないなどの使用上の制約がある。そこで以下に述べる SMART System とリンクすることで分析の利便性を高めることとした。すなわち、SMART System を利用することで、インターネットが接続できれば、どこからでもサーバーに蓄積してある映像が閲覧できる。これによりシステムの汎用性の向上と機能面の拡張が期待できる。

(1) SMART System

SMART System とは、国立スポーツ科学センターが開発した映像データベースシステムのことであり⁴⁾、インターネットを介して世界中どこからで

も映像が閲覧できるという特徴を有する。映像はメタ情報(映像を説明する情報)をもとに検索し、ストリーミングによる再生を行う。利用するにはパスワードなどが必要で他のチームなどに見られたくない映像なども管理できる。また映像画面上に文字や矢印などのアノテーション情報を指定したタイミングで表示する機能も有している。これにより遠隔コーチングなどでの選手サポートへの応用も期待されている。

(2) 本プログラムからの SMART System のコントロール

図15は本プログラムに SMART System のコントローラを組み込んだ画面である。図15右側下部に配置されたボタンを押すことで Smart System が利用

できる。コントローラを組み込んだ本プログラム画面を利用して試合データの分析することが可能となっている。

(3) SMART System への書き込み

SMART System では、試合映像上に文字や矢印などを時間指定することで表示するアノテーション機能を有するが、これを利用し、本プログラムでの解析結果(得点やゲーム値など)をアノテーション情報として試合映像上に表示させることが出来る。具体的には本プログラムで収集したデータを、SMART System で読み込めるように、XML形式で保存されているプログラムのデータから、解析データと時間データを抽出し、SMART System が読み込み可能な XSF 形式に変換して出力する。このような変換ツールにより、本プログラムを利用して SMART System への映像タグ付け作業への応用も可能となった。

4. 試用例

本プログラムの試用例として、ビデオ映像により平成16年度秋季関東大学バレーボールリーグ戦女子1部の8試合について行った結果を紹介する。表5にアタック側のチームのセッターが後衛に位置するときのデータ集計結果を示す。

表5では“Ⅸ”と“デディケート”の結果は、成功率を算出するにはデータ数が少ないため省略している。この例ではブロックの平均成功率は0.36である

るが、本プログラムを用いてゲーム値を算出すると図11の右の集計表の「ゲーム値」欄で示されている0.289となる。これは、計算上「Mix 戦略」欄に示されるようにブロック側がスプレッドとバンチをそれぞれ確率0.52, 0.48で用いる混合戦略を用いることで実現できると考えられる。この値からは混合戦略を用いることはブロック側には利点はなく、むしろブロック成功率が0.36から0.289に下がる可能性があることを示唆する。表5でのスプレッドとバンチの試行回数はそれぞれ67回, 87回であり試行回数の割合は0.44:0.56と概ね混合戦略と似たような割合になっているので、ブロック側としては成功率の高いバンチをより多用する方がよいと思われる。ちなみに、表5の太枠で囲んだ部分でアタックとブロックの駆け引きが生じており、計算上はアタック側が“ⅢC”を確率0.68, “ⅢL”を確率0.32で用いる混合戦略で用いることがアタック側にとって最適な戦略となる。表5で頻度が23回と最も高かったアタックとブロックの組み合わせを塗りつぶして示しているが、ブロック成功率のゲーム値が0.289であるにも関わらず、最も頻度が多い組み合わせでのブロックの成功率は0.289より大きい0.43ないしは0.39となっている。すわなち、マクロに見たらアタック側の拙攻によりブロック成功率が高くなっているようである。このように本プログラムを使用することでゲーム理論の知見を応用して戦術分析することの可能性が示唆できたのではないかと考えている。

表5 試用結果の一例(ブロック成功率)

	前衛の動き	打位置	ブ ロ ッ ク		行平均
			スプレッド	バンチ	
アタック	Ⅲ	R	0.38(6/16)	0.39(9/23)	0.38(15/ 39)
		C	0.35(7/20)	0.22(4/18)	0.29(11/ 38)
		L	0.16(3/19)	0.43(10/23)	0.31(13/ 42)
	Ⅸ	R	0.63(5/ 8)	0.50(6/12)	0.55(11/ 20)
		C	— (0/ 1)	0.50(3/ 6)	0.43(3/ 7)
		L	— (2/ 3)	0.00(0/ 5)	0.25(2/ 8)
列 平 均			0.34(23/67)	0.37(32/87)	0.36(59/154)

5. 結 論

本稿では、両チームの戦術の駆け引きを2人零和ゲームとして定式化して戦術分析を行うために開発したプログラムについて紹介した。本プログラムは Visual Basic にてコード化され、レセプションアタック局面におけるアタックとブロックの駆け引きを利得行列にて表現しリアルタイムでマクロ分析ができるように開発した。またビデオ映像を閲覧しながら、入力することも可能であり、試合後の分析にも利用できるモードを作成した。さらに JISS で開発された SMART System とリンクしてデータベース上の映像の閲覧とデータ書き込みも可能なシステムとした。また、試用例として関東大学バレーボールリーグ戦の試合をビデオ映像を閲覧することでマクロ戦術評価を試みた。

今回はレセプションアタックに着目し前衛選手の動きなどを切り口としてモデル化を行ったが、競技のレベルなどで戦術は異なってくるためアタック・ブロックのモデル化については今後修正していき、競技レベルに応じた駆け引きの分析を行っていきたいと考えている。その際には基本的な数学の定式化や基本的な解法については今回開発した数値計算プログラムなどは汎用的に利用できるため、今後も継続して使用事例を増やし本プログラムの有効性について検討していく予定である。

謝 辞

本研究にあたり、データやビデオ映像の閲覧の便宜を図っていただくとともにデータ分析に際しての

ご助言を下された日本体育大学の根本研氏に深く感謝します。また本研究は、文科省科学研究費補助金基盤研究(C)課題番号17510144の助成を受け実施した。

文 献

- 1) 伊藤雅充, 石丸出穂, 越智英輔 (2004) アテネオリンピック全日本女子バレーボールチームの情報戦略活動, バイオメカニクス研究, 8, 242-248.
- 2) 橋原孝博, 佐賀野健, 吉田雅之 (2005) バレーボールのスカウティングプログラム開発に関する研究, バレーボール研究, 7, 20-25.
- 3) Hirotsu, N., Miyaji, C., Ezaki, N., Shigenaga, T., & Taguchi, A. (2005). A mathematical method for finding optimal tactics by utilizing statistical data updated in real time during a volleyball game. Proceedings of the 12th IASI (International Association for Sports Information) World Congress, 226-234.
- 4) 宮地 力 (2007) JISS の情報研究部とは: 国立スポーツ科学センターのスポーツ情報サービス. コーチング・クリニック, 21(5), 12-17.
- 5) 重永貴博, 江崎修央, 宮地 力 (2004) バレーボール分析システム TOUCHVOLLEY におけるデータ入力機能, バレーボール研究, 6, 22-28.
- 6) 吉田清司, 野呂 進, 佐藤雅幸, 染 文 (1994) バレーボールのゲーム理論(1). 専修大学体育研究紀要, 17, 9-19.
- 7) 吉田敏明 (2006) バレーボールにおける戦術データと駆け引き, オペレーションズ・リサーチ, 51, 441-444.

(平成20年10月7日 受付)
(平成21年2月6日 受理)