

# Bradley-Terry モデルを用いたバレーボールの試合の ラインアップ分析論に関する研究

島津大宣

A Study of Volleyball Match's Line-up Analysis Theory Using by Bradley-Terry Model

Daisen Shimazu

## Abstract

In league games, Takeuchi and Fujino reported a method for estimating each team's strength by the Bradley-Terry (BT) model from the results of games. The similar manner was also applied to estimate parameters denoting attack and defense capabilities with respect to each volleyball team's rotations. In the analysis using the BT model, a computer program on the basis of a repetition algorithm was indispensable to estimate parameters.

Instead of such the algorithm, Shimazu proposed another simple estimation method called "Shimazu model", which is derived from the ratio of the number of success plays against the number of all attack plays or all defense plays. Afterwards it found that the parameters estimated by the BT model and Shimazu model are not always compatible.

This paper examined the difference between the two models. As the results, it is reported that the BT model is a general model which includes Shimazu model. If the rotations constitute a single stream, parameters estimated by both models are same.

Further, the estimation of the probability that a team acquires a set is reported by computer simulation with applying parameters obtained by BT model.

Key words : Volleyball, Bradley-Terry model, Game analysis, Set gain ratio

キーワード：バレーボール，Bradley-Terry モデル，ゲーム分析，セット取得率

## 1. はじめに

バレーボールのゲーム分析において、対戦前における分析とセット進行中(オンサイトリアルタイム)における分析に区分できる。対戦前における分析においては、ビデオテープによる分析や収集したデータによる分等があり、各チームにおいて、該当のチーム特有の分析において成果をあげている。しかし、セット進行中における分析においては、データバレー等による分析で、分析の手法として、多くないのが現状である。

本研究では、セットの進行中において、6選手がサービスをするが、どの選手がサービスをする際に連続得点の可能性が高いか、あるいは低いかをいかに推定したらよいか。

一方、レセプションの場合には、どの選手がライトバックでレセプションとなる場合に、連続失点の可能性が高いか、あるいは低いかを、同様に、いかに推定したらよいか。

竹内・藤野<sup>6)</sup>は、リーグ戦方式で勝敗を争うスポーツにおいて、対戦成績のデータからBradley-Terryモデル(以下、BTモデル)<sup>1)</sup>を用いて各チームの強さを推定する方法(最尤

推定法(Maximum Likelihood))を示しており、本研究では、このBTモデルによる手法を適用し、その分析論と手法において検討してみた。

島津ら<sup>4,5)</sup>は、最尤法で攻撃力と守備力を推定する代わりに、回のサービスに対して得点した回数之比で攻撃力を、回のサーブレシーブに対してレシーブに成功した回数之比で守備力を表すモデル(以下、島津モデル)を提案している。島津モデルでは、単純に比を計算することにより、推定値が求められるところに特徴があるが、島津モデルにおいても、分析論と手法において検討してみた。

また、次のセットにおけるスターティングラインアップの選択において、いかなる手法を用いたら、チームにとって最善のスターティングラインアップが選択できるかについては、推定した攻撃力と守備力の値を用いて、シミュレーションによりセットを取得する割合(セット取得率)を推定する方法についても検討した。

(なお、本論では、分析論とその手法の特徴についての記述にとどめた。連続得点と連続失点の推定の実際については、別の機会とした)

## II. 分析論(分析の手法論)

### 各ローテーションの攻撃力と守備力の推定

#### 1. Bradley-Terryモデルによる推定

バレーボールにおいて2つのチームAとBが対戦するものとする。Aチームの第*i*ローテーションがBチームの第*j*ローテーションに対してサービスを行い、成功(得点)する確率を  $p_{ij}$ 、失敗(失点)する確率を  $q_{ij}=1-p_{ij}$  とする。ここで、Aチームの第*i*ローテーションの攻撃力を  $\pi_i$ 、Bチームの第*j*ローテーションの守備力を  $\theta_j$  とするとき、Bradley-Terryのモデル化にならって、

$$(1) \quad p_{ij} = \frac{\pi_i}{\pi_i + \theta_j}, \quad q_{ij} = 1 - p_{ij} = \frac{\theta_j}{\pi_i + \theta_j}$$

が成り立つものと仮定する。

いま、Aチームの第*i*ローテーションがBチームの第*j*ローテーションに対しサービスを行う回数  $n_{ij}$  のうち、成功(得点)する回数を表す確率変数を  $X_{ij}$ 、その実現値を  $x_{ij}$  とする。ここで、確率変数  $X_{ij}$  が二項分布、

$$(2) \quad P_r[X_{ij} = x_{ij}] = \frac{n_{ij}!}{x_{ij}!(n_{ij} - x_{ij})!} \cdot p_{ij}^{x_{ij}} q_{ij}^{n_{ij} - x_{ij}}, (x_{ij} = 0, 1, 2, \dots, n_{ij}; i, j = 1, \dots, 6)$$

に従うものとするれば、確率変数  $X_{ij}$  の同時確率は次式で与えられる。

$$(3) \quad P_r[X_{ij} = x_{ij}; i, j = 1, 2, \dots, 6] = \prod_{i=1}^6 \prod_{j=1}^6 \frac{n_{ij}!}{x_{ij}!(n_{ij} - x_{ij})!} \cdot p_{ij}^{x_{ij}} q_{ij}^{n_{ij} - x_{ij}}$$

式(1)の仮定が成り立つとすれば、式(3)は次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} & P_r[X_{ij} = x_{ij}; i, j = 1, 2, \dots, 6] \\ &= \prod_{i=1}^6 \prod_{j=1}^6 \frac{n_{ij}!}{x_{ij}!(n_{ij} - x_{ij})!} \cdot \left(\frac{\pi_i}{\pi_i + \theta_j}\right)^{x_{ij}} \cdot \left(\frac{\theta_j}{\pi_i + \theta_j}\right)^{n_{ij} - x_{ij}} \\ (4) \quad &= \prod_{i=1}^6 \prod_{j=1}^6 \frac{n_{ij}!}{x_{ij}!(n_{ij} - x_{ij})!} \cdot \frac{\pi_i^{x_{ij}} \theta_j^{n_{ij} - x_{ij}}}{(\pi_i + \theta_j)^{n_{ij}}} \\ &= \left( \prod_{i=1}^6 \prod_{j=1}^6 \frac{n_{ij}!}{x_{ij}!(n_{ij} - x_{ij})!} \cdot \frac{1}{(\pi_i + \theta_j)^{n_{ij}}} \right) \cdot \left( \prod_{i=1}^6 \pi_i^{s_i} \right) \cdot \left( \prod_{j=1}^6 \theta_j^{t_j} \right) \end{aligned}$$

ここで、

$$(5) \quad s_i = \sum_{j=1}^6 x_{ij}$$

は、Aチームの第*i*ローテーションのBチームの各ローテーションに対するサービスが得点に結びついた回数の合計である。また、

$$(6) \quad t_j = \sum_{i=1}^6 (n_{ij} - x_{ij})$$

は、Bチームの第*j*ローテーションがAチームの各ローテーションからのサービスに対してサーブレシーブに成功してBチームが得点した回数の合計である。

さて、式(4)は、未知母数  $\pi_i$ 、 $\theta_j$  ( $i, j = 1, 2, \dots, 6$ ) の関数とみなすとき尤度(関数)と呼ばれる。いま、未知母数と関係ない部分を const. とおき、式(5)および式(6)に対応する確率変数をそれぞれ、

$$(7) \quad S_i = \sum_{j=1}^6 X_{ij}$$

および、

$$(8) \quad T_j = \sum_{i=1}^6 (n_{ij} - X_{ij})$$

とすれば、尤度  $L$  を次式で表すことができる。

$$(9) \quad L = \text{const.} \times \prod_{i=1}^6 \prod_{j=1}^6 (\pi_i + \theta_j)^{-n_{ij}} \prod_{i=1}^6 \pi_i^{S_i} \prod_{j=1}^6 \theta_j^{T_j}$$

最尤推定法は、式(9)の尤度を最大にするような  $\pi_i$ 、 $\theta_j$  ( $i, j = 1, 2, \dots, 6$ ) を求めて、それぞれを未知母数の推定量  $\hat{\pi}_i$ 、 $\hat{\theta}_j$  ( $i, j = 1, 2, \dots, 6$ ) とする方法である。具体的には、たとえば、式(10)のように未知母数の初期値を決める。

$$(10) \quad \hat{\pi}_i^0 = 1/12, (i = 1, 2, \dots, 6), \quad \hat{\theta}_j^0 = 1/12, (j = 1, 2, \dots, 6)$$

つぎに、

$$(11) \quad r_i^{(0)} = \sum_{j=1}^6 \frac{n_{ij}}{\hat{\pi}_i^{(0)} + \hat{\theta}_j^{(0)}}$$

を計算して次の値を求める。

$$(12) \quad \hat{\pi}_i^{(1)} = S_i / r_i^{(0)}$$

同様に、

$$(13) \quad u_j^{(0)} = \sum_{i=1}^6 \frac{n_{ij}}{\hat{\pi}_i^{(0)} + \hat{\theta}_j^{(0)}}$$

を計算して、次の値を求める。

$$(14) \quad \hat{\theta}_j^{(1)} = T_j / u_j^{(0)}$$

これらの値が収束するまで繰り返し、式(15)に従って基準化して最尤推定値とする。

$$(15) \quad \sum_{i=1}^6 \hat{\pi}_i + \sum_{j=1}^6 \hat{\theta}_j = 1$$

このようにして全ローテーションの攻撃力と守備力( $\pi_i$ ,  $\theta_j$ , ( $i, j=1, 2, \dots, 6$ ))とを推定するのがBTモデルによる手法である。

## 2. 島津モデルによる推定

島津ら<sup>4,5)</sup>は、BTモデルにより各ローテーションの攻撃力と守備力を推定するためには反復法のプログラムを必要とするため、これに代わる方法として「得点法」と呼ばれる推定法を提案した。得点法は、式(16)に示すように、サービスとサーブレシーブの回数に対して、それぞれのラリーにおいて成功して得点した回数の割合をそれぞれ単純に攻撃力および守備力とする点に特徴がある。

$$(16) \quad \begin{cases} \pi_i = s_i / \sum_{j=1}^6 n_{ij}, (i=1,2,\dots,6) \\ \theta_j = t_j / \sum_{i=1}^6 n_{ij}, (j=1,2,\dots,6) \end{cases}$$

こうして求めた値を式(15)により基準化して、攻撃力と守備力の推定値とする。

## III. 各ローテーションの攻撃力と守備力の推定の実際

### 1. BTモデルと島津モデルの相違について

両モデルにより、各ローテーションの攻撃力と守備力を推定するプログラムを開発したので、これを実際の試合で得られたデータに適用した結果に基づいて両モデルの相違について検討した。用いたデータは、2004年のオリンピック予選日本対イタリア戦(2004OQT)である。表1(a)に日本のローテーションAR1からAR6がイタリアのローテーションBR1からBR6に対するそれぞれのサービスの回数、表1(b)にサービスのうち得点に結びついた回数を示す。これらのデータに基づいて、BTモデルと島津モデルにより推定した攻撃力と守備力の値を表2および表3に示した。

表1 日本(A)対イタリア(B)戦の第1セットから第3セットにおける日本のサービス状況

(a) サービス本数

Total	BR1	BR2	BR3	BR4	BR5	BR6	合計
AR1	2	8	0	0	0	0	10
AR2	0	9	8	0	0	0	17
AR3	0	0	4	10	0	0	14
AR4	0	0	0	2	8	0	10
AR5	0	0	0	0	5	8	13
AR6	6	0	0	0	0	2	8
合計	8	17	12	12	13	10	72

(b) 成功(得点)本数

Total	BR1	BR2	BR3	BR4	BR5	BR6	合計
AR1	0	3	0	0	0	0	3
AR2	0	6	2	0	0	0	8
AR3	0	0	2	4	0	0	6
AR4	0	0	0	0	3	0	3
AR5	0	0	0	0	3	3	6
AR6	1	0	0	0	0	0	1
合計	1	9	4	4	6	3	27

表2 攻撃力の推定値

Offence	BTモデル	島津モデル	得点	本数
AR1	0.011	0.050	3	10
AR2	0.042	0.078	8	17
AR3	0.149	0.071	6	14
AR4	0.023	0.050	3	10
AR5	0.073	0.077	6	13
AR6	0.017	0.021	1	8
合計	0.317	0.347	27 (0.375)	72

表3 守備力の推定値

Offence	BTモデル	島津モデル	得点	本数
BR1	0.110	0.146	7	8
BR2	0.020	0.078	8	17
BR3	0.134	0.111	8	12
BR4	0.237	0.111	8	12
BR5	0.042	0.090	7	13
BR6	0.140	0.117	7	10
合計	0.683	0.653	45 (0.625)	72

表1のAR1とAR4に注目すると、それぞれのローテーションで2+8=10回のサービスを行い、両方とも3回得点している。このとき、表2から島津モデルの場合は両方の攻撃力(AR1とAR4は共に0.050)が等しいことがわかる。一方、BTモデルの場合、AR4の攻撃力の方が高く(0.023)、AR1の方が低く(0.011)になっている。その理由は、BTモデルの場合は、相手チームのどのローテーションに対するサービスが得点に結びついたかを考慮しているからである。つまり、BR2(0.020)とBR5(0.042)の守備力を比較すると、BR2より守備力の高いBR5から3回得点(AR1も3回得点)しているため、AR1よりAR4の方が攻撃力において高くなっていると考えることができた。

同様に、表1のBR3とBR4に注目すると、両方とも12本のサービスを受け8本の守備に成功している。表3より、島津モデルの場合、両方の守備力(双方が0.111)が等しいことがわかる。一方、BTモデルの場合、BR3(0.134)とBR4(0.237)とでは、BR4の守備力の方が高くなっている。これは、攻撃力の高いAR3(0.149)からのサービスに対して10本中6本の守備に成功していることが影響していると考えられる。また、AR2(0.078)のように島津モデルでは高い攻撃力を示しているが、BTモデル(0.042)ではそれほ

ど高くない場合がある。これは、BTモデルでは、データ全体から攻撃力や守備力を同時推定しているからだと考えられた。

ここで、表4(a)および(b)に日本対イタリア戦の第1セットについて、表1と同様にデータを整理して示す。この場合、BTモデルと島津モデルのそれぞれによる各ローテーションの攻撃力と守備力はそれぞれ表5および表6のように求められ、両者の値は一致していることがわかる。以上により、BTモデルと島津モデルによる攻撃力と守備力の推定値が一致しないのは、表1の場合のように、AチームのあるローテーションがBチームの複数のローテーションにサービスを行うようなデータが含まれている場合であるといえた。

表4 日本(A)対イタリア(B)戦の第1セットにおける日本のサービス状況

(a) サービス本数

Total	BR1	BR2	BR3	BR4	BR5	BR6	合計
AR1	2	0	0	0	0	0	2
AR2	0	9	0	0	0	0	9
AR3	0	0	4	0	0	0	4
AR4	0	0	0	2	0	0	2
AR5	0	0	0	0	5	0	5
AR6	0	0	0	0	0	2	2
合計	2	9	4	2	5	2	24

(b) 成功(得点)本数

Total	BR1	BR2	BR3	BR4	BR5	BR6	合計
AR1	0	0	0	0	0	0	0
AR2	0	6	0	0	0	0	6
AR3	0	0	2	0	0	0	2
AR4	0	0	0	0	0	0	0
AR5	0	0	0	0	3	0	3
AR6	0	0	0	0	0	0	0
合計	0	6	2	0	3	0	11

表5 攻撃力の推定値

Offence	BTモデル	島津モデル	得点	本数
AR1	0.000	0.000	0	2
AR2	0.111	0.111	6	9
AR3	0.083	0.083	0	4
AR4	0.000	0.000	0	2
AR5	0.100	0.100	3	5
AR6	0.000	0.000	0	2
合計	0.294	0.294	11 (0.458)	24

表6 守備力の推定値

Offence	BTモデル	島津モデル	得点	本数
BR1	0.167	0.167	2	2
BR2	0.056	0.056	3	9
BR3	0.083	0.083	2	4
BR4	0.167	0.167	2	2
BR5	0.067	0.067	2	5
BR6	0.167	0.167	2	2
合計	0.707	0.707	13 (0.542)	24

具体的には、第1セットにおいて、AR1がBR1にサービスをしてセットが開始され、第2セットにおいて、AR6がBR1のサービスに対してレセプションをしてセットが開始された場合は、BTモデルと島津モデルによる攻撃力と守備力の推定値は一致するが、第2セットにおいて、AR1がBR1のサービスに対してレセプションをしてセットが開始された場合は、BTモデルと島津モデルによる攻撃力と守備力の推定値は一致しない。AR1は、第1セットにおいてBR1へのサービスであるが、第2セットにおいてBR6へのサービスとなるからである。

2012年7月から8月にかけて開催された、ロンドンオリンピック大会における、日本対イタリア戦、日本対ロシア戦および日本対ブラジル戦において、日本のR1は、相手チームの複数のRフェイズにサービスをしていたが、韓国戦においては、同じRフェイズにサービスをしていた。

攻撃力と守備力の予測において、島津モデルでは、高いRフェイズと低いRフェイズとの差が少ないが、BTモデルでは、高いRフェイズは高く、低いRフェイズは低く、最尤法を用いている特徴がよく表れており、攻撃力と守備力の予測の精度からみると、島津モデルによる分析よりも、BTモデルによる分析の方が、予測の精度は高いと言えた。(BTモデルでは、強さおよび弱さを推定するもので、攻撃力が0.700以上の場合もあり、0.800以上の場合もみられる)

表2の攻撃力の推定値と表3の守備力の推定値において、BTモデル(Aの攻撃力:0.317, Bの守備力:0.683)でも、島津モデル(Aの攻撃力:0.347, Bの守備力:0.653)でも、攻撃力の推定値と守備力の推定値を加算すると「1」となる。(表示はないが、Bの攻撃力とAの守備力を加算すると「1」となる)

深瀬<sup>4)</sup>は、マルコフモデルを用いて、自チームのサービス時におけるスパイク、ブロック、サービスおよびミス、相手チームのレセプション時におけるスパイク、ブロックおよびミスの各々の項目において数値化して、総合計を「1」する手法を用いていた。相手チームにおいても同様である。

遠藤<sup>2)</sup>も、深瀬<sup>3)</sup>と同様に、マルコフモデルを用い、オペレーションズ・リサーチ法により「1」とし、数値の変換をして、「1」以上にし、相手チームに勝つ手法であった。

島津<sup>4,5)</sup>の、BTモデルおよび島津モデルによる分析では、スパイクおよびブロック等の項目ではなく、各ローテーションフェイズに区分したところが特徴である。

双方を加算して「1」にする手法においては、3者共に同じであった。

## 2. 各ローテーションの攻撃力と守備力を基にしたセット取得率の予測

### (1)各ローテーションの組合せにおける得点率

各ローテーションの攻撃力と守備力の推定値から、式(1)によりローテーションの組合せ36通りの得点率を求めることができる。AチームがBチームにサービスを行う場合、表7(a)と表7(b)にそれぞれBTモデルおよび島津モデルによって求めた得点率を示した。(第3セットが終了した際の、表2の攻撃力の推定値と表3の守備力の推定値を用いたものであり、BTモデルでは、強さおよび弱さを推定するもので、70.0以上もある一方で、10.0未満もある。島津モデルでは最高値が50.0、最低値が12.6である。BTモデルでは、強さおよび弱さを推定する範囲が島津モデルに比べて高い)

表7 ローテーションの組合せごとの得点率(Aチームがサービス)

(a) BTモデル							
Pi j	BR1	BR2	BR3	BR4	BR5	BR6	平均
AR1	9.1	35.5	7.6	4.4	20.8	7.3	14.1
AR2	27.6	67.7	23.9	15.1	50.0	23.1	34.6
AR3	57.5	88.2	52.7	38.6	78.0	51.6	61.1
AR4	17.3	53.5	14.6	8.8	35.4	14.1	24.0
AR5	40.5	78.9	35.9	24.0	64.1	34.9	46.4
AR6	13.4	45.9	11.3	6.7	28.8	10.8	19.5
平均	27.6	61.6	24.3	16.3	46.2	23.6	33.3

  

(b) 島津モデル							
Pi j	BR1	BR2	BR3	BR4	BR5	BR6	平均
AR1	25.5	39.1	31.1	31.1	35.7	29.9	32.1
AR2	34.8	50.0	41.3	41.3	46.4	40.0	42.3
AR3	32.7	47.7	39.0	39.0	44.1	37.8	40.0
AR4	25.5	39.1	31.1	31.1	35.7	29.9	32.1
AR5	34.5	49.7	41.0	41.0	46.1	39.7	42.0
AR6	12.6	21.2	15.9	15.9	18.9	15.2	16.6
平均	27.6	41.1	33.2	33.2	37.8	32.1	34.2

### (2)得点率に基づくセット取得率の予測

ローテーションの組合せにおける得点率を用いて実際の試合をシミュレーションすることによってセット取得率を予測することができる。例えば、AR1がBR1に対するサーブからセットが開始されるとする。そうすると、表7のAR1対BR1の得点率と発生させた乱数と比較して得失点を決める。得点となった場合は再び乱数を発生して比較し得失点を決定する。失点となった場合は、Bチームのローテーションとサーブ権が変わるため、一方のBR2対AR1の得点率と乱数を比較する。このように、得点と失点を決定しどちらかがセットを取得するまで繰り返す。

### (3)事例(日本対イタリア戦)

2004年のオリンピック予選日本(A)対イタリア(B)戦(2004OQT)のデータを用いてセット取得率の予測を行った。この試合は、第1セットから第4セットまでの内容が、25-18, 23-25, 25-18, 20-25となっており、第5セットまでもつれ込んだ接戦であった。そこで、第1セットから第4セットまでのデータをもとに第5セットの取得率の

予測を行った。5000回のシミュレーションのうち、日本(Aチーム)が15点先取した回数を求めた結果を表8に示した。第5セットは日本からサービスが行われたので、イタリアがサービスを行ったときのセット取得率は省く。ここで、「\*」は実際にセットが開始されたローテーションの組合せを表す。

表8(a)より、日本としては、平均取得率において、AR3が58.1%、AR2が57.6%となっており、AR3かAR2を選択するのがよいと考えられる。これに対して、イタリアは、日本のセット取得率が最も低いBR4(46.9%)から開始するのが最良であった。日本としては、AR6対BR4で始まるローテーションの組合せは、セット取得率が29.4%と36Rフェイズのなかで、最も低いセット取得率に該当しており、避ける必要がみられた。

表8 第4セットまでのデータから推定したセット取得率

(a) BTモデル							
Si j	BR1	BR2	BR3	BR4	BR5	BR6	平均
AR1	72.6	59.7	*50.2	53.7	38.7	53.3	54.7
AR2	54.4	76.0	53.4	48.7	61.4	51.6	57.6
AR3	49.7	55.2	70.5	50.5	51.6	70.8	58.1
AR4	69.7	47.9	36.9	63.7	52.1	53.0	53.9
AR5	52.0	69.8	40.4	35.2	65.5	52.9	52.6
AR6	51.6	52.2	51.4	29.4	33.2	66.9	47.4
平均	58.3	60.1	50.5	46.9	50.4	58.1	54.1

  

(b) 島津モデル							
Si j	BR1	BR2	BR3	BR4	BR5	BR6	平均
AR1	62.1	61.8	*58.6	58.9	57.5	58.1	59.5
AR2	56.0	63.9	58.1	56.1	59.8	57.8	58.6
AR3	55.6	58.2	59.6	54.7	54.6	58.3	56.8
AR4	57.8	57.0	54.4	56.8	55.0	56.5	56.3
AR5	57.4	62.1	58.5	54.1	59.0	58.2	58.2
AR6	56.2	57.5	56.6	52.5	53.2	60.3	56.1
平均	57.5	60.1	57.6	55.5	56.5	58.2	57.6

日本のAR1からAR6が、イタリアのBR1からBR6へのサービスに対して、平均のセット取得率では、BTモデルでは、AR3が平均のセット取得率で58.1%と最も高く、次いで、AR2の57.6%であった。島津モデルでは、AR1が59.5%と最も高く、次いで、AR2の58.6%であった。このように、スターティングラインアップの選択において、平均のセット取得率で選択する手法もある。一方、相手チームのレセプションのRフェイズを予測して、日本の6Rフェイズのセット取得から選択する手法もある。

イタリアがBR3のレセプションと予測すると、日本は、BTモデルでAR3(70.5%)からのサービスとなり、島津モデルでもAR3(59.6%)からのサービスとなった。

BTモデルでは、前者の選択手法と後者の選択手法において一致したが、島津モデルでは、前者の選択手法と後者の選択手法において不一致であった。

現在では、相手チームのレセプションを予測して、それに該当したサービス得点率の高いRフェイズからのサービスとしており、AR3のサービスの選択となる。

実際の試合は、AR1とBR3のローテーションの組合

せで開始されており、セット取得率を見ると50.2%となっており、第5セットの試合は日本が僅かに有利となるものの、ほとんど互角の勝負が展開されると予想された。実際でも、日本が15対13で、辛くも勝利したセットであった。

#### IV. 今後の研究への展望

本論では、島津モデルとBTモデルの分析論とその手法に終始したが、多くの試合の各セットにおいて、セットの開始から1回目テクニカルタイムアウト (Te-1) まで、Te-1から2回目テクニカルタイムアウト (Te-2) まで、Te-2からセット終了までの各々において、連続得点と連続失点が予測されると推定した各Rフェイズにおいて、実際にどの程度、双方のRフェイズにおいて推定できたかを実証する研究へ発展させる。

島津モデルの分析論とその手法を用いて、3種類のカップリング方式により、対戦前の両チームのLS-1からLS-6におけるサービス得点率とレセプション得点率の算出を図る研究へ発展させる。

両モデルにおいて、セット取得率を算出したが、対戦前とセットの進行中において、チームにおける最善のスターティングラインアップの選択はいかにすべきかの研究へ発展させる。

相手チームのマークした選手がレフトフォワード (LF) のポジションとなった際に、自チームのセッターおよび第一ブロックの選手とが、フロントロウで何回対応するのが、チームにとって最善であるかの研究へ発展させる。

2012 ロンドンオリンピック大会における日本チームの4試合の分析の研究へ発展させる。

各々の研究において、機会をみて報告するものである。

#### V. ま と め

BTモデルと島津モデルについて比較検討し両者の相違を明らかにした。また、開発したプログラムを用いて、

実際の試合結果からローテーションごとの攻撃力と守備力を推定し、それらの推定値から得点率を推定すると共に、セット取得率を予測した。さらに、どのローテーションの組合せから試合を開始すれば有利となるか検討した結果についても報告した。第2セット以降は、予測の精度の高いBTモデルを用いて分析をする。BTモデルは島津モデルを包含した一般的なモデルと考えられることを明らかにした。また、今後の分析研究に両モデルは、適用できるものとした。

#### 謝 辞

山梨大学工学部コンピュータ・メディア工学科の諸先生、またその関係者には、ご支援を頂き謝意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) Bradley Ralph Allan and Terry Milton E. : Rank analysis of incomplete bloc designs I : The method of paired comparisons. *Biometrika*, 39, p324 - 345, 1952
- 2) 遠藤俊郎, 「バレーボールのゲーム分析—オペレーションズ・リサーチの手法を利用して—」, *体育の科学*, 36, 9, p693 - 698, 1986
- 3) 深瀬吉邦, 「バレーボールに関する一考察(その一) —マルコフ課程を利用したゲーム分析—」, *都留文化大学研究紀要*, 第3号, p139 - 155, 1966
- 4) 島津大宣, 泉川喬一, 他: 国際女子バレーボール試合のラインアップ分析に関する研究, *スポーツ方法学研究*, 第14巻, 第1号, p155 - 166, 2001
- 5) Shimazu D., Izumikawa K. : "A Study of Line-up Analysis in International Women's Volleyball Matches. Comparison of Maximum Likelihood and Point Method Analysis", *Journal of Physical Exercise and Sports Science*, Vol.8.No.1. p7 - 17, 2002
- 6) 竹内啓・藤野和健: *スポーツの数理科学*, 共立出版, 1989