慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	東京六大学野球リーグ及び東都大学野球リーグを含めた各大学野球連盟における過去30シーズンの平均競技力の比較研究
Sub Title	Comparison of the strengths of Japanese collegiate baseball leagues in past 30 seasons
Author	鳥海, 崇(Toriumi, Takashi) 綿田, 博人(Watada, Hirohito)
Publisher	慶應義塾大学体育研究所
Publication year	2018
Jtitle	体育研究所紀要 (Bulletin of the institute of physical education, Keio university). Vol.57, No.1 (2018. 1) ,p.43- 56
JaLC DOI	
Abstract	The Tokyo Big 6 Baseball League (BIG6) and the Tohto University Baseball League (TOHTO) are the top two collegiate baseball leagues in Japan. Both leagues consists of six teams and are highly competitive ; however, there is no opportunity for the teams in the two leagues to compete directly against each other except for the national championships. In this report, we calculate the strengths of six teams across both leagues and compare the superiority of them. Using the Bradley-Terry model and Markov model, we estimate the strengths of each team in both leagues. The Kendall tau rank correlation coefficient of both methods was as high as 0.945. The results indicate that the first team in TOHTO had the highest strength calculated by Bradly-Terry model on the other hand the first team in BIG6 had the highest by Markov model. On comparing the strengths of the same rankings in both leagues, the strengths of every team in TOHTO are higher than those of the corresponding teams in BIG6 in both methods. This is because BIG6 consists of only the same six teams, while TOHTO consists of 21 teams, with the sixth-ranked team playing a replacement game against the first team of the second division every season.
Notes	研究資料
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00570001-0043

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

研究資料

東京六大学野球リーグ及び東都大学野球リーグを含めた各大学野球連盟における過去30シーズンの平均競技力の比較研究

鳥海　崇 *　　綿田　博人 **

Comparison of the strengths of Japanese Collegiate Baseball Leagues in past 30 seasons

Takashi Toriumi[1], Hirohito Watada[2],

The Tokyo Big 6 Baseball League（BIG6）and the Tohto University Baseball League（TOHTO）are the top two collegiate baseball leagues in Japan. Both leagues consists of six teams and are highly competitive; however, there is no opportunity for the teams in the two leagues to compete directly against each other except for the national championships. In this report, we calculate the strengths of six teams across both leagues and compare the superiority of them. Using the Bradley-Terry model and Markov model, we estimate the strengths of each team in both leagues. The Kendall tau rank correlation coefficient of both methods was as high as 0.945. The results indicate that the first team in TOHTO had the highest strength calculated by Bradly-Terry model on the other hand the first team in BIG6 had the highest by Markov model. On comparing the strengths of the same rankings in both leagues, the strengths of every team in TOHTO are higher than those of the corresponding teams in BIG6 in both methods. This is because BIG6 consists of only the same six teams, while TOHTO consists of 21 teams, with the sixth-ranked team playing a replacement game against the first team of the second division every season.

キーワード：大学野球，マルコフモデル，Bradley-Terry モデルの手法
Key words：Collegiate Baseball League，Markov model，Bradley-Terry model

Ⅰ．背　　景

１．大学野球について

我が国には現在26の大学野球連盟が存在する。この26の連盟が春と秋にそれぞれリーグ戦を実施して各リーグの優勝チームを決める。それぞれのリーグ戦後，春は「全日本大学野球選手権大会」，秋は「明治神宮野球大会」という全国大会を実施して，春と秋にそれぞれ日本一の大学野球チームを決定する。なお，「全日本大学野球選手権大会」に出場できるのは春のリーグ戦で優勝した計26チームであり，また「明治神宮野球大会」に出場できるのは秋のリーグ戦で優勝したチーム同士でさらに地区予選を実施して選抜された11チームである。表１は各連盟の情報及び全国大会の優勝回数と準優勝回数をまとめたものである（ベースボール・マガジン社，2017）。なお，これら全国大会の出場チーム数は常に一定ではなく過去には記念大会などで出場チーム数が変動することがあった。

全国で26ある大学野球連盟の中でも特に有名なのが「東京六大学野球連盟」と「東都大学野球連盟」である。東京六大学リーグは1925年に開始され，毎年春と秋の２大会が６大学（慶應義塾・早稲田・明治・立教・法政・東京）のみでリーグ戦が実施される。そのためリーグ構成は不変でありチームの入れ替えはない。リーグ戦の運用方法などの詳細については鳥海と綿田（2017）にまとめられている。東都大学野球リーグは1931年に開始され，

＊ 慶應義塾大学体育研究所専任講師
＊＊ 慶應義塾大学名誉教授
1）Assistant Professor, Institute of Physical Education, Keio University
2）Emeritus Professor, Keio University

表１　各大学野球連盟の設立年，加盟校数，全国大会優勝数と準優勝数

					全国大会		過去30シーズン	
			創立年	加盟校	優　勝	準優勝	優　勝	準優勝
1	北海道	北海道学生野球連盟	1990	12	0	0	0	0
2		札幌学生野球連盟	1990	18	0	0	0	0
3	東北	北東北大学野球連盟	1991	16	0	1	0	1
4		仙台六大学野球連盟	1969	6	2	10	1	3
5		南東北大学野球連盟	1991	11	0	0	0	0
6	関東・甲信越	千葉県大学野球連盟	1952	20	0	2	0	2
7		関甲新学生野球連盟	1993	20	1	1	1	1
8		東京新大学野球連盟	1952	24	0	3	0	1
9		東京六大学野球連盟	1925	6	38	23	8	8
10		東都大学野球連盟	1931	21	39	32	12	5
11		首都大学野球連盟	1964	15	9	12	1	5
12		神奈川大学野球連盟	1949	12	1	3	1	2
13	北陸・東海	愛知大学野球連盟	1949	27	1	1	0	1
14		東海地区大学野球連盟	1975	19	1	0	1	0
15		北陸大学野球連盟	1968	13	0	0	0	0
16	関西	関西学生野球連盟	1982	6	11	15	0	1
17		関西六大学野球連盟	1982	6	0	3	0	0
18		阪神大学野球連盟	1955	17	1	0	1	0
19		近畿学生野球連盟	1948	19	0	0	0	0
20		京滋大学野球連盟	1950	13	0	0	0	0
21	中国・四国	広島六大学野球連盟	1967	6	0	1	0	0
22		中国地区大学野球連盟	1974	20	3	0	2	0
23		四国地区大学野球連盟	1949	11	0	0	0	0
24	九州・沖縄	九州六大学野球連盟	1957	6	0	0	0	0
25		福岡六大学野球連盟	1971	6	0	1	1	0
26		九州地区大学野球連盟	1952	31	1	0	1	0
	合　　計			381	108	108	30	30

現在は21大学が参加する４部制のリーグを構成している。各リーグは１部から３部までが６チームで４部のみ３チームで構成される。リーグ戦の運用方法は東京六大学リーグと同様であり，競技レベルも東京六大学野球リーグと同様に非常に高い。「全日本大学野球選手権大会」の優勝回数は東京六大学野球連盟，東都大学野球連盟ともにそれぞれ24回の優勝回数を誇り，３位の関西学生野球連盟の６回を大きく引き離している。同様に「明治神宮野球大会」の優勝回数も東京六大学野球連盟が14回，東都大学野球連盟が15回の優勝回数を誇り，３位の首都大学野球連盟及び関西学生野球連盟の５回を大きく引き離している。また両リーグ所属の選手が毎年大学卒業後にプロ野球選手として日本球界を牽引している。両リーグの優勝チームは地区予選を経ることなく自動的に「明治神宮野球大会」に出場することができ，さらには最近まで両全国大会で東京六大学野球連盟の代表と東都大学野球連盟の代表が対戦する機会は原則として決勝戦のみとなるような抽選方法が採用されていた。世間では「人気の六大学，実力の東都」などと評され「東京六大学野球リーグと東都大学野球リーグはどちらが強いのか」という話題が常に世間を騒がせているように，我が国における大学野球連盟の二大勢力である。

このように我が国には26もの大学野球連盟がありながら，他の連盟のチームと対戦する機会は，基本的に各連盟のリーグ戦で優勝したチームのみに，全国大会である「全日本大学野球選手権大会」及び「明治神宮野球大会」において与えられる。国立大学では「全国七大学総合体育大会」や「東京都国公立大学戦」など他の国立大学との定期戦を実施しているように，オープン戦なども含めてリーグ戦後の全国大会以外にも他リーグのチームと対戦する機会が実際にはあるが，全国規模の優勝大会での対戦機会は非常に限られている。このような状況において，大学での野球継続を志望して進学先を考える高校生にとって各大学野球連盟の比較，特に東京六大学リーグと東都大学リーグを含めた比較というのは重要な問題である。例えば我が国における大学野球の最高峰リーグでの競技を希望した場合，選択すべきは東京六大学リーグなのか，それとも東都大学リーグなのか，または別の大学野球リーグなのかという点については調べられていない。またリーグ間の優劣に加え，優勝チーム以外も含めた東京六大学リーグと東都大学リーグの各順位間の関係を検討することが重要となるが，この点についても研究はなされていない。また，東京六大学リーグまたは東都大学リーグの大学関係者が大学の魅力のひとつとして野球部の競技成績を挙げる場合，それぞれのリーグでの順位が各大学野球連盟の優勝チームとの比較，つまり全国大会に出場したと仮定した場合の結果が想定できるとより訴求力の強い魅力とすることができる。この場合は東京六大学リーグと東都大学リーグの各順位と26連盟の優勝チームとの比較が重要だが，この点についても調べられていない。

2．スポーツ分野におけるオペレーションズ・リサーチついて

近年，数学的・統計的モデルを利用して課題を解決する手法（オペレーションズ・リサーチ）がスポーツ科学の分野に対して急速に拡大している。スポーツ分野におけるオペレーションズ・リサーチとしては，大きく分けてランキング，スケジューリング，シミュレーションの分野に分けることができる。ランキングの分野は本研究のように各種競技会の競技結果を基に各チームの勝敗結果を直接比較できるように数値化して序列化するもので，勝敗を一対比較問題として計算する Bradley-Terry のモデル（Bradley & Terry, 1952）や FIFA 女子サッカーで用いられている Elo の手法（Elo, 1978）などが挙げられる。スケジューリングの分野は限られた時間的空間的な制約の中で様々な課題を解決するための方法で，大リーグの審判の試合割当について（Trick et al., 2011）やワールドベースボールクラシック（WBC）の対戦方式の確率計算（廣津ら，2012）などが挙げられる。最後にシミュレーションの分野はモデルを立てて初期条件を変えることで結果に与える影響を調べる手法で，マルコフ連鎖を用いて得られた初期条件を用いたダーツの戦略研究（Bortolon et al., 2017）や同じくプロ野球の FA 打者獲得のための戦略研究（高野と穴太，2016）などが挙げられる。

ここでランキングの分野では近年，様々な数値化のための計算手法が考案されており，それぞれの手法が有する特徴について数多くの議論がなされている。この中で野間口と岩井（1994）では大学野球の首都大学野球リーグと千葉県大学野球リーグを対象として Bradley-Terry モデルの手法とマルコフモデルを用いて各チームの勝率以外の評価基準で順序を評価できることを示している。また，両モデルを用いることで得られる数値化により，直接対戦することがないチーム同士も比較することができるようになる。これは大学野球の課題であった，直接対戦することのない東京六大学リーグ及び東都大学リーグと全26連盟の優勝チームとの比較することに適しており，そのため本研究ではこれらの手法を用いて比較を実施する。

Ⅱ．目　　的

本研究では，野間口と岩井（1994）でも用いられた Bradley-Terry モデルの手法とマルコフモデルを用いて，26の大学野球連盟代表及び東京六大学野球連盟，東都大学野球連盟所属の計12，合計36チーム（２チームの重複を除く）の対戦結果を計算し，得られた結果を直接比較できるよう規格化することで，算出した競技力をチームごとに比較することを目的とする。

Ⅲ．方　　法

1．競技力について

本研究では Bradley-Terry モデルの手法及びマルコフモデルを用いて各リーグ及び全26連盟代表チームの競技力を算出する。本研究では異なる３つの大会（東京六大学リーグ，東都大学リーグ，全国大会）から得た結果を

直接比較できるように規格化したものを競技力としている。ここで競技力という用語はそれぞれの手法によって意味合いが異なる。まず，Bradley-Terry モデルの手法における競技力とは，後述の定義にあるように，勝敗確率を算出するための要素であり，先行研究では「強さ」とも表現されている。本研究では先行研究である鳥海と綿田（2017）で用いた「競技力」という語を同様に用いる。また，マルコフモデルにおける競技力とは各要素が構成する確率行列 S を無限に遷移させた場合の，各順位が出現する割合に相当する。

2．分析の手続き

1）Bradley-Terry モデルの手法

本研究では Bradley & Terry（1952）で提案された手法を用いる。これはチーム i がチーム j に勝利する確率を P_{ij}，競技力 π_i をとすると，全ての組み合わせに対して $p_{ij}=\frac{\pi_i}{\pi_i+\pi_j}$ となる各チームの競技力 π_i を算出する手法である。このことから Bradley-Terry の手法を用いると，実際に対戦することがないチーム i とチーム j の対戦でも，得られた π_i と π_j を用いることで，その勝敗確率 p_{ij} を算出できることが大きな特徴である。具体的な導出は鳥海と綿田（2017）に詳しいが，ここでは例として2017年秋の東京六大学野球リーグの結果（表２）を用いて解説する。表２で示された2017年秋の東京六大学野球リーグの星取表から，勝利を１，敗北を０，引分を0.5と数値化して示すと表３のようになる。この表３から，以下の関係式を繰り返し計算で求めていく。

$$\begin{cases} \pi_i = \dfrac{T_i}{\sum_{j\neq i} n_{ij}\dfrac{1}{\pi_i+\pi_j}} & \cdots \quad (1) \\ \displaystyle\sum_{i=1}^{m}\pi_i = 1 & \cdots \quad (2) \end{cases}$$

ここで，n_{ij} は i と j との対戦数，m はチーム数，T_i はチーム i の総勝利数を示す。

具体的な繰り返し計算は以下の通りである。

Step１．東京六大学リーグ戦は出場校が６チームなので m＝６であり，初期値を $\pi_i=\frac{1}{6}$ とする。

Step２．式（1）から得られた π_i について，式（2）の通り，総和が１となるように規格化する。

Step３．上記２で規格化された π_i について，再度第１式に代入する。

Step４．上記２と上記３の過程を十分繰り返す。

なお，今回の結果で得られた π_i は以下の通りであり，それぞれ順に慶大，明大，法大，立大，東大，早大となる。

π_i ＝（0.321，0.305，0.145，0.114，0.057，0.057）

計算によって得られた値の順位と実際の順位は一致している。

2）マルコフモデル

マルコフモデルはマルコフ連鎖を用いて対象群に対して数値による重み付けを行う計算方法である。有名な例としては検索サイトの Google がウェブページをランキングする際に使われた PageRank アルゴリズムが挙げられる。具体的な導出は野間口と岩井（1994）に詳しいが，ここでは先ほどの Bradley-Terry モデルの手法と同じ例を用いて解説する。表２において勝利を０，敗北を１，引分を0.5と数値化したものを表４に示す。ここから各行を正規化すると下のような確率行列 S となる。行の上から下，左から右にかけて１位から６位が対応する。

$$S=\begin{pmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.71 & 0.00 & 0.29 & 0.00 \\ 0.67 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.33 \\ 0.21 & 0.29 & 0.00 & 0.21 & 0.29 & 0.00 \\ 0.31 & 0.31 & 0.38 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.25 & 0.25 & 0.00 & 0.25 & 0.00 & 0.25 \\ 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.00 & 0.00 \end{pmatrix}$$

この確率行列の固有ベクトル r を求める。固有ベクトル r は確率行列 S との内積である rS を含む定常方程式 rS＝r における固有値問題を解くことで得られるが，その計算方法としてマルコフ連鎖が用いられる。マルコフ連鎖では一連の確率変数で現在の状態が決まっていれば，過去及び未来の状態は独立であるものとする。つまり，時刻 n のときの状態 X_n が y であり時刻 n+1 のときの状態 X_{n+1} が x となる（遷移する）確率を $Pr(X_{n+1}=x|X_n=y)$ とすると以下の等式が成り立っているものとする。

$$Pr(X_{n+1}=x|X_n=y)=Pr(X_n=x|X_{n-1}=y)$$

ここで $p_{ij}^{(n)}$ は初期状態（時刻０）で状態 i から時刻 n で状態 j に遷移する確率を示す。

$$p_{ij}^{(n)}=Pr(X_n=j|X_0=i)$$

n- 段階遷移は，任意の 0＜k＜n に対して次の等式を満たす（チャップマン・コルモゴロフ方程式）。

$$p_{ij}^{(n)}=\sum_{r\in S}p_{ir}^{(k)}p_{rj}^{(n-k)}$$

したがって，時刻 n での状態に関する確率は次のように書ける

表 2　2017年秋の東京六大学野球リーグ戦の星取表

	慶大	明大	法大	立大	東大	早大	試合数	勝数	負数	引分	勝点	勝率	順位
慶大		○○	×△○×	○○	×○○	○○	13	9	3	1	4	75.0%	1 位
明大	××		○○	○○	○○	○×○	11	8	3	0	4	72.7%	2 位
法大	○△×○	××		○△×○	××	○○	14	6	6	2	3	50.0%	3 位
立大	××	××	×△○×		○○	○○	12	5	6	1	2	45.5%	4 位
東大	○××	××	○○	××		××	11	3	8	0	1	27.3%	5 位
早大	××	×○×	××	××	○○		11	3	8	0	1	27.3%	5 位

表 3　radley-Terry モデルの手法で計算に用いる数値化した星取表。なお，実際に対戦のない部分も 0 としている。

	慶大	明大	法大	立大	東大	早大	勝利数
慶大	0	2	1.5	2	2	2	9.5
明大	0	0	2	2	2	2	8
法大	2.5	0	0	2.5	0	2	7
立大	0	0	1.5	0	2	2	5.5
東大	1	0	2	0	0	0	3
早大	0	1	0	0	2	0	3

表 4　表 2 の星取表から勝利を 0，敗北を 1，引分を0.5と数値化したもの。実際に対戦のない部分も 0 としている。

	慶大	明大	法大	立大	東大	早大
慶大	0	0	2.5	0	1	0
明大	2	0	0	0	0	1
法大	1.5	2	0	1.5	2	0
立大	2	2	2.5	0	0	0
東大	2	2	0	2	0	2
早大	2	2	2	2	0	0

$$Pr(X_n = j) = \sum_{r \in S} p_{rj} Pr(X_{n-1} = r) = \sum_{r \in S} p_{rj}^{(n)} Pr(X_0 = r)$$

ここで時間的に一様なマルコフ連鎖の場合，遷移が時刻に依存せず行列 p_{ij} で記述できる。ここで r の要素 r_j の和が 1 で，以下の式を満たす場合，r は定常的であるという。

$$r_j = \sum_{i \in S} r_i p_{ij}$$

r が時間に対して定常的ならば，添え字 n は n 乗という意味になる。

このことから rS＝r の固有値問題を解く際の具体的な計算方法は以下の通りである。

Step 1．東京六大学リーグ戦は出場校が 6 チームなので m＝6 であり，初期値を $r_i = \frac{1}{6}$ とする。

Step 2．$r_1S = r_2$ を計算し，r_2 の各要素の総和が 1 となるように規格化し，r_2' とする。

Step 3．上記で得られた r_2' を用いて再度 $r_2'S = r_3$ を計算し，r_3 を規格化した r_3' を得る。

Step 4．上記の計算を十分繰り返すことで，rS＝r の固有値 r を求めることができる。

なお，今回の結果で得られた固有値 r は以下の通りであり，それぞれ順に慶大，明大，法大，立大，東大，早大となる。

r ＝（0.252, 0.162, 0.245, 0.110, 0.142, 0.089）

今回の結果では計算によって得られた値の順位と実際の順位は一致しておらず，２位明大の競179技力は３位法大よりも小さく，４位立大の競技力は５位東大の競技力よりも低い。これは野間180口と岩井（1994）にある通り，強い相手との勝利（弱い相手との敗北）による影響が大きいことによる。この点がマルコフモデルの特徴である。具体的には３位法大は１位慶大に対して２勝１敗１分であり，また５位東大も１位慶大に１勝，３位法大に２勝していることがそれぞれの大学の競技力が勝点順とは異なっている要因である。

３．対象

2002年秋シーズンから2017年春シーズンにおける東京六大学野球連盟による春秋のリーグ戦（全30シーズン，春539試合，秋549試合），東都大学野球連盟１部による春秋のリーグ戦（全29シーズン，春443試合，秋539試合），さらに「全日本大学野球選手権大会」及び「明治神宮野球大会」（それぞれ全15回，計521試合）の全勝敗を用いる。これら全国大会の星取表を表５に示す。ただし，2005年春の東都大学野球リーグ戦は５チームのみでの実施となったので除外した。対象となった15年間（30シーズン）という期間はトーナメント（ノックアウト）方式である全国大会の結果を基に計算しても十分な精度を得るためである。これらのデータを用いて Bradley-Terry モデルの手法及びマルコフモデルを用いて以下の手順で競技力を推定し，比較する。

手順１．「全日本大学野球選手権大会」及び「明治神宮野球大会」における勝敗の結果から各連盟代表の競技力を算出する。

手順２．東京六大学リーグ戦及び東都大学リーグ戦において勝敗結果を基に各順位の対戦結果を数値化する。

以上の手順１．では全26連盟代表の競技力を，手順２．では東京六大学リーグ，東都大学リーグ内の対戦結果を数値化した。しかしこのままでは互いの結果を直接比較することはできない。そこで全26連盟代表から得られた結果にある，東京六大学連盟代表，東都大学野球連盟代表の競技力をそれぞれ基準とし，東京六大学リーグと東都大学リーグの１位の結果を一致させ，それぞれ同じ比率で２位から６位に関しても定数倍させる。ここで得られた結果を競技力とすることで，それぞれを直接比較することができる。具体的には以下の手順3. 及び手順4. となる。

手順３．手順１．で求めた東京六大学リーグの優勝チームの競技力と手順２．で算出した結果を比較し，手順２．を基準とした手順１．の比率を求め，その比率と手順２．で求めた２位から６位の結果との積をそれぞれ算出し，得られた結果を競技力とする。

手順４．東都大学リーグに関しても手順３．と同様の手順で，手順２．で算出した結果と，手順１．との比率を掛け合わせ，得られた結果を競技力とする。

なお，本研究では繰り返し計算は8000回以上の十分な回数を行った。

Ⅳ．結　　果

手順１．である Bradley-Terry モデルの手法及びマルコフモデルを用いて算出した，2002年秋シーズンから2017年春シーズンにおける「全日本大学野球選手権大会」及び「明治神宮野球大会」での各連盟代表の競技力を図１及び図２に示す。なお，ここでは読みやすさのために全26連盟代表の競技力の合計を1000とした。Bradley-Terry モデルの手法では東都大学野球連盟代表の競技力が最も高く139.3であった。続いて東京六大学野球連盟代表の競技力が126.4であり，次点が首都大学野球連盟代表で77.9であった。マルコフモデルでは東京六大学野球連盟代表が最も高く124.5であった。続いて東都大学野球連盟代表の競技力が123.5であり，次点が首都大学野球連盟代表で81.6であった。両手法では計算手法が異なり，それぞれの数値の有する意味が異なるため，結果を数値の大小関係で直接比較することはできないが，上位３チームは Bradley-Terry モデルの手法及びマルコフモデルの結果で同じであった。なお，両手法で得られた順位について，その相関を調べる目的でケンドールの順位相関係数 τ を計算したところ0.945であった。両手法で得られた結果は相関が非常に高いことがわかった。

続いて手順３．及び手順４．の算出過程を表６に，また算出結果を図３及び図４に示す。表６から Bradley-Terry モデルの手法では手順２．から手順３．及び手順４．への計算で用いた比率は東京六大学野球リーグで299.5，東都大学野球リーグで370.5であった。同様にマルコフモデルでは東京六大学野球リーグで468.0，東都大学野球リーグで571.8であった。これらの比率を用い

表５　2002年秋から2017年春の全国大会（計30回，521試合）の星取表

	北海	札幌	北東北	仙六	南東北	千葉県	関甲新	東京新	東京六	東都	首都	神奈川	愛知	東海	北陸	関学	関六	阪神	近畿	京滋	広六	中国	四国	九六	福六	九州	合計
北海道		1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	8
札幌	0		0	0	2	1	1	1	0	1	0	1	0	2	0	2	0	1	0	1	1	2	1	0	0	2	19
北東北	0	1		0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4	1	2	1	3	1	1	20
仙台六大学	2	0	0		0	0	1	2	4	1	1	3	2	0	0	1	1	2	1	1	0	0	2	1	2	1	28
南東北	1	0	0	0		0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	9
千葉県	0	1	0	0	0		3	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	1	15
関甲新	1	2	1	1	0	1		1	2	1	0	0	3	0	5	0	1	2	2	1	2	0	0	1	4	0	31
東京新大学	0	1	2	2	0	2	0		1	2	1	3	0	0	0	1	1	0	2	1	2	1	1	0	2	0	25
東京六大学	3	3	5	1	0	2	6	5		2	5	3	5	1	1	2	1	6	1	1	2	2	0	2	2	2	63
東都	3	2	4	4	1	0	2	3	5		6	2	2	1	1	4	3	0	1	2	2	3	0	5	4	0	60
首都	1	1	2	1	3	0	1	2	3	2		2	1	1	1	1	2	3	1	0	0	6	0	0	1	0	35
神奈川	0	0	0	1	1	0	0	0	2	2	2		4	3	1	0	2	1	1	0	0	2	1	1	1	2	27
愛知	1	1	0	2	1	0	1	1	0	2	0	0		1	2	0	2	1	1	2	2	0	0	0	0	0	20
東海地区	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0		1	1	0	0	1	1	0	0	1	2	1	1	14
北陸	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	1	1	0	1	1	0	2	0	0	1	9
関西学生	0	1	0	2	3	2	1	0	0	0	0	1	1	0	0		0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	14
関西六大学	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2	0	0	1		1	0	2	1	0	0	0	0	1	11
阪神	1	3	2	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	2	0	2	1		0	1	0	2	2	0	0	1	22
近畿	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2		0	0	2	0	2	0	1	12
京滋	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0		0	0	1	0	1	0	5
広島六大学	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0		0	1	0	0	1	7
中国地区	0	0	2	1	0	0	1	0	2	1	2	1	2	2	0	2	0	2	2	0	0		0	0	0	0	20
四国地区	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	2
九州六大学	3	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0		0	0	10
福岡六大学	2	1	1	2	1	1	1	2	0	1	2	0	1	0	2	3	1	0	0	0	2	0	1	1		1	26
九州地区	0	0	1	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0		9
合計	19	19	22	22	15	16	24	21	22	18	23	19	27	19	15	22	21	23	15	20	18	24	16	22	22	17	521

て２位から６位についても手順１．の結果と関連付けた競技力を得た。これらの結果を図示したのが図３であり，Bradley-Terry モデルの手法では優勝チームの競技力は全国大会の結果を基にして東京六大学野球リーグが126.4であり，東都大学野球リーグが139.3であった。また，Bradley-Terry モデルの手法では両チームが直接対決した場合の東京六大学連盟代表の勝利確率は47.6％であった。両リーグの２位以下のチームも含めて，同じ順位のチーム同士で対戦したときの東京六大学リーグ所属のチームが勝利する確率は表７のようになった。全ての順位で東都大学野球リーグの競技力が東京六大学野球リーグの競技力を上回っているため，東京六大学野球リーグの勝利確率はいずれも50％未満であった。図４のマルコフモデルでは１位は東京六大学野球リーグが124.5で東都大学野球リーグの123.5を上回った一方，２位以下の各順位を比較すると，Bradley-Terry モデルの手法で得られた結果と同様に全ての順位で東都大学野球リーグの競技力が東京六大学野球リーグの競技力を上回っていた。

最後に26連盟代表及び東京六大学及び東都大学両リーグの全順位の競技力を一覧にまとめた。Bradly-Terry モデルの手法で得られた結果を表８に，マルコフモデルで得られた結果を表９に示した。表８の Bradly-Terry モ

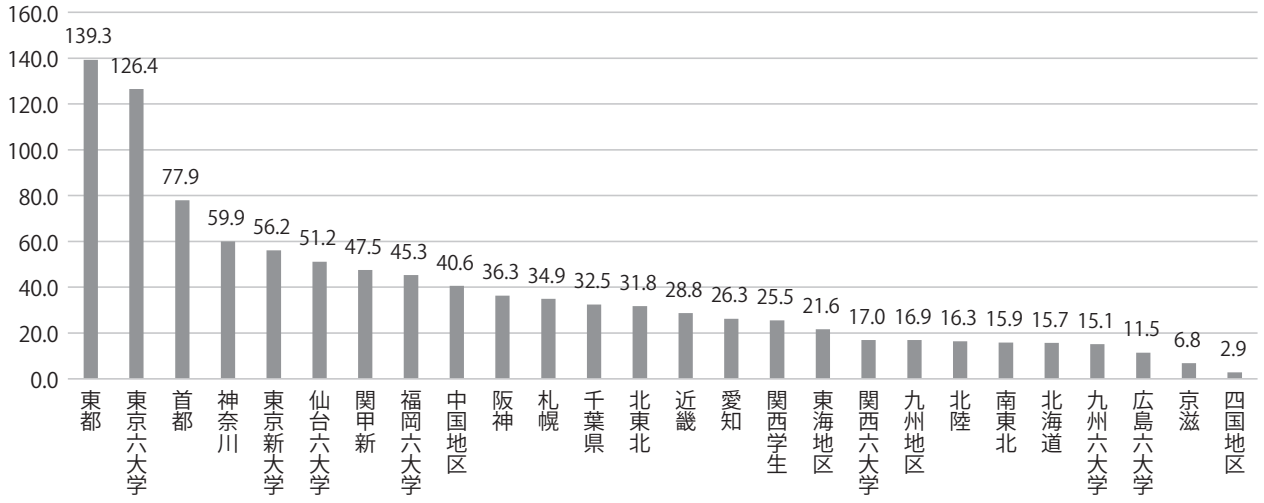

図１　Bradley-Terry モデルの手法を用いた過去30シーズン分の全国大会の勝敗から算出した各連盟代表の競技力

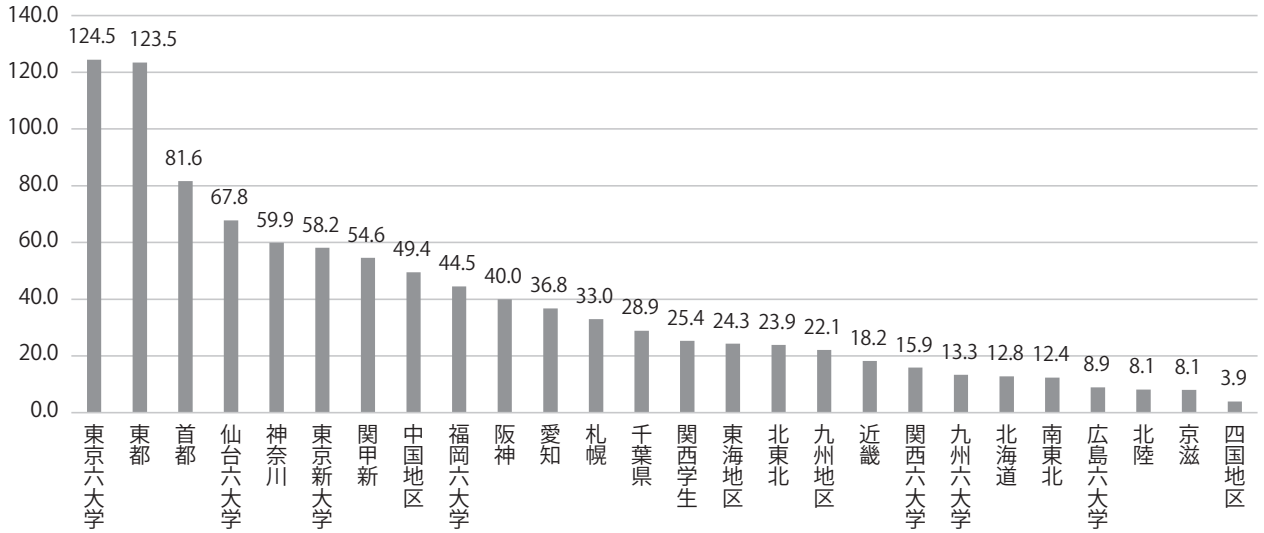

図２　マルコフモデルを用いた過去30シーズン分の全国大会の勝敗から算出した各連盟代表の競技力

デルの手法を用いた結果から，全国大会ベスト４と同等の競技力を有しているのは東京六大学リーグの２位以上，東都大学リーグの３位以上であることがわかった。また，全国大会出場と同程度の競技力で考えると両リーグの全12チーム全てが同等以上の競技力を有していることがわかった。表９のマルコフモデルを用いた結果から，全国大会ベスト４と同等の競技力を有しているのは東京六大学リーグの４位以上，東都大学リーグの５位以上であることがわかった。また，東京六大学リーグの６位以外は明治神宮野球大会に出場するチームと同程度以上の競技力を有していることがわかった。両手法で得られた結果の相関を調べる目的でケンドールの順位相関係数 τ を計算したところ0.895であり，両手法で得られた結果も相関が高いことが確認できた。

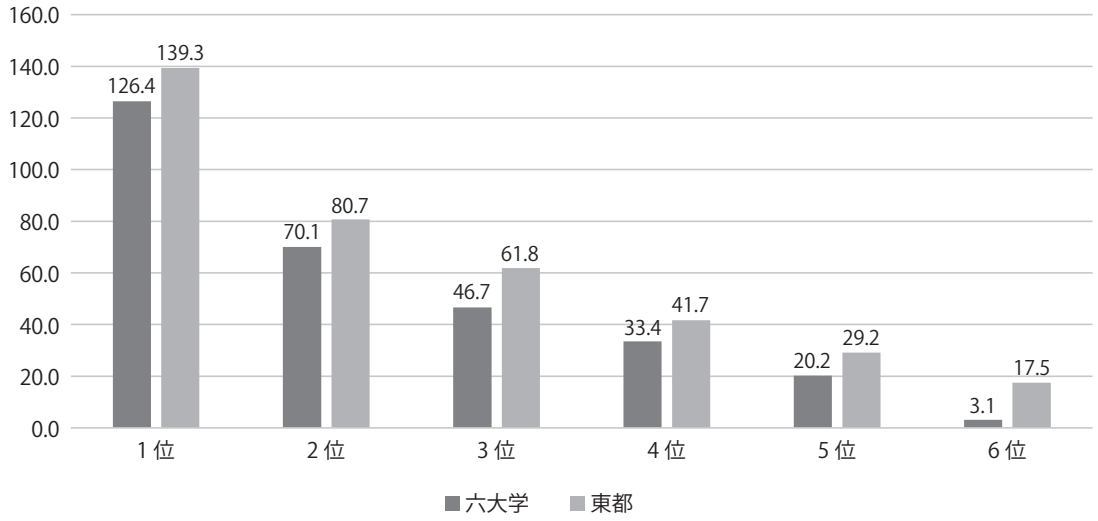

図３　過去30シーズン分の東京六大学リーグ及び東都大学リーグ所属チームにおける，全国大会の結果で規格化した各順位の競技力（Bradley-Terry モデルの手法）

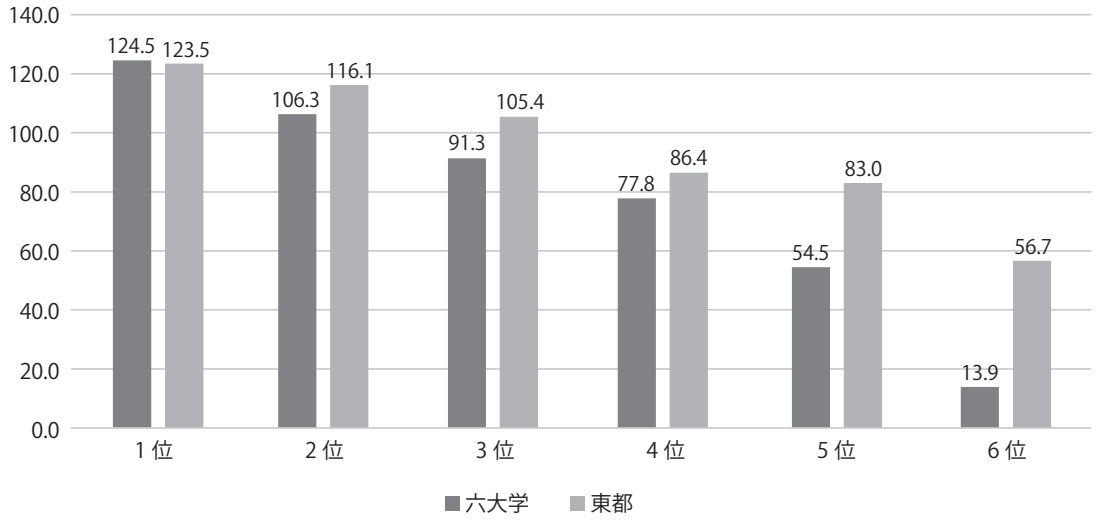

図４　過去30シーズン分の東京六大学リーグ及び東都大学リーグ所属チームにおける，全国大会の結果で規格化した各順位の競技力（マルコフモデル）

表６．全国大会の結果（手順１）と各リーグの結果（手順２）を関連付けた結果（手順３及び４）

Bradly-Terry モデルの手法

六大学	手順１	手順２	手順３	東都	手順１	手順２	手順４
１位	126.4	0.422	126.4	１位	139.3	0.376	139.3
２位		0.234	70.1	２位		0.218	80.7
３位		0.156	46.7	３位		0.167	61.8
４位		0.111	33.4	４位		0.113	41.7
５位		0.067	20.2	５位		0.079	29.2
６位		0.010	3.07	６位		0.047	17.5

手順３で用いた比率は299.5倍，手順４で用いた比率は370.5倍

マルコフモデルの手法

六大学	手順１	手順２	手順３	東都	手順１	手順２	手順４
１位	124.5	0.266	124.5	１位	123.5	0.216	123.5
２位		0.227	106.3	２位		0.203	116.2
３位		0.195	91.3	３位		0.185	105.4
４位		0.166	77.8	４位		0.151	86.4
５位		0.116	54.5	５位		0.145	83.0
６位		0.030	13.9	６位		0.099	56.7

手順３で用いた比率は468.0倍，手順４で用いた比率は571.8倍

表７　Bradley-Terry モデルの手法による東京六大学リーグと東都大学リーグの同順位同士の対戦で東京六大学リーグ所属のチームが勝利する確率

順位	勝利確率［％］
１位	47.6
２位	46.5
３位	43.0
４位	44.5
５位	40.9
６位	14.9

表 8．Bradley-Terry モデルの手法による各連盟代表と両リーグの 2 位から 6 位の競技力の比較

順位	競技力	連盟名	順位	競技力	連盟名
1	139.3	東都大学	13	31.8	北東北
2	126.4	東京六大学		*29.2*	*東都大学 5 位*
	80.7	*東都大学 2 位*	14	28.8	近畿
3	77.9	首都	15	26.3	愛知
	70.1	*東京六大学 2 位*	16	25.5	関西学生
	61.8	*東都大学 3 位*	17	21.6	東海地区
4	59.9	神奈川		*20.2*	*東京六大学 5 位*
5	56.2	東京新大学		*17.5*	*東都大学 6 位*
6	51.2	仙台六大学	18	17.0	関西六大学
7	47.5	関甲新	19	16.9	九州地区
	46.7	*東京六大学 3 位*	20	16.3	北陸
8	45.3	福岡六大学	21	15.9	南東北
	41.7	*東都大学 4 位*	22	15.7	北海道
9	40.6	中国地区	23	15.1	九州六大学
10	36.3	阪神	24	11.5	広島六大学
11	34.9	札幌	25	6.8	京滋
	33.4	*東京六大学 4 位*		*3.1*	*東京六大学 6 位*
12	32.5	千葉県	26	2.9	四国地区

表 9．マルコフモデルによる各連盟優勝チームと両リーグの 2 位から 6 位の競技力の比較

順位	競技力	連盟名	順位	競技力	連盟名
1	124.5	東京六大学	10	40.0	阪神
2	123.5	東都大学	11	36.8	愛知
	116.1	*東都大学 2 位*	12	33.0	札幌
	106.3	*東京六大学 2 位*	13	28.9	千葉県
	105.4	*東都大学 3 位*	14	25.4	関西学生
	91.3	*東京六大学 3 位*	15	24.3	東海地区
	86.4	*東都大学 4 位*	16	23.9	北東北
	83.0	*東都大学 5 位*	17	22.1	九州地区
3	81.6	首都	18	18.2	近畿
	77.8	*東京六大学 4 位*	19	15.9	関西六大学
4	67.8	仙台六大学		*13.9*	*東京六大学 6 位*
5	59.9	神奈川	20	13.3	九州六大学
6	58.2	東京新大学	21	12.8	北海道
	56.7	*東都大学 6 位*	22	12.4	南東北
7	54.6	関甲新	23	8.9	広島六大学
	54.5	*東京六大学 5 位*	24	8.1	北陸
8	49.4	中国地区	25	8.1	京滋
9	44.5	福岡六大学	26	3.9	四国地区

Ⅴ．考　　察

１．全国26連盟代表の競技力比較について

両手法で得られた結果を比較すると，上位３連盟代表の順位は一致していた。これはそれぞれの優勝及び準優勝の回数を合計と比較すると，東都大学野球連盟（17回），東京六大学野球連盟（16回），首都大学野球連盟（６回）とそれぞれの優勝及び準優勝回数の合計順と一致していた。このことから今回の計算で得られた競技力順は優勝及び準優勝回数の合計順とよい一致を示すと考えられる。しかしながら次点となる仙台六大学野球連盟（４回）の順位が両手法で異なっている。図１では神奈川大学野球連盟（３回），東京新大学野球連盟（１回）よりも低い順位となっている。このことから，今回の結果に関して考えると優勝回数及び準優勝回数の合計数が４回未満となると，実際に対戦した相手の競技力及びその勝敗が，その算出結果である競技力に対して大きな影響を与えたと考えられる。具体的には表５から仙台六大学野球連盟は東京六大学野球連盟もしくは東都大学野球連盟に対して５勝している一方，神奈川大学野球連盟は４勝，東京新大学野球連盟は３勝にとどまっている。このことは仙台六大学野球連盟にとって Bradley-Terry モデルの手法ではそれほど大きな競技力の向上に結びつかなかった一方，マルコフモデルでは競技力が大きく向上したと考えられる。また，愛知大学野球連盟代表は図１では15位だが，図２では11位と順位が上がっている。この点についても，Bradley-Terry モデルの手法で11位，マルコフモデルで12位だった札幌学生野球連盟及び，同じく BradleyTerry モデルの手法で12位，マルコフモデルで13位だった千葉県大学野球連盟と比較すると，表５から愛知大学野球連盟は東京六大学野球連盟もしくは東都大学野球連盟に対して２勝している一方，札幌学生野球連盟及び千葉県大学野球連盟は１勝にとどまっていることが要因と考えられる。このことは野間口と岩井（1994）の結果である，マルコフモデルは Bradley-Terry モデルの手法に比べて順位が大きく離れた対戦相手との勝敗がより大きく競技力の変動に影響を与えるという結果と調和的である。また，図１及び図２の順位が異なる場合でも，特定の連盟同士を比較すると両図で上下関係が一致している場合がある。具体的には両図とも関甲信学生野球連盟が上位であり千葉県大学野球連盟が下位である。また，福岡六大学野球連盟が上位であり，九州地区大学野球連盟，九州六大学野球連盟と続いている。進学先でも競技継続を考える高校生にとって，このように同じ地区にある大学野球連盟の競技力を知ることは進学先選定に際して非常に重要であろう。

２．東京六大学及び東都大学リーグの同順位同士の比較について

過去30シーズンにおける「全日本大学野球選手権大会」及び「明治神宮野球大会」において決勝戦に進出した回数は東京六大学連盟代表が16回と東都大学連盟代表17回であり，そのうち優勝回数は東京六大学連盟代表が８回と東都大学連盟代表が12回であった。このように，決勝進出の回数はほぼ同数ながら，優勝回数は東都大学連盟代表の方が東京六大学連盟代表よりも1.5倍多い。また，両連盟代表の実際の直接対決の成績は東京六大学連盟代表の２勝６敗で勝率は33.3％である。実際の直接対決の結果でも東都大学連盟代表の勝利確率の方が高いが，両リーグ代表の対戦数が十分でないことに注意を要する。これらの事実を本結果で比較してみる。Bradley-Terry モデルの手法で得られた両連盟代表の競技力を比較すると，東京六大学連盟代表が126.4であり，東都大学連盟代表が139.3であり，競技力は東都大学連盟代表の方が10.2％高く，両代表が対決した場合の東京六大学リーグ代表の勝利確率は47.6％であった。マルコフモデルで得られた結果では東京六大学連盟代表が124.5であり，東都大学連盟代表が123.5であり，ほぼ同値であった。これらのことから，本研究の結果を用いて両連盟代表の競技力を比較するとやはり東都大学連盟代表の方がわずかに高いということが確認できた。

同様に２位以下の比較について検討してみると，表７から，６位に関しては勝率が14.9％と低い値になっているが，それ以外の順位では勝利確率は40.9％から47.6％であった。特に１位が47.6％と最も競技力が均衡しており，５位が40.9％と６位を除いた中では最も競技力が離れていた。東都大学連盟では最下位のチームは２部の優勝チームと入替戦を実施し，その勝敗によって次期のリーグを構成するチームが決定することから，リーグ内での競技力が均衡している反面，東京六大学連盟ではチームの入れ替えがないため，リーグ内での競技力の差が大きくなったためと考えられる。このように本研究で得た数値化した競技力を用いることで，直接対決することのない両リーグ２位以下のチーム同士においても比較することができた。

3．東京六大学及び東都大学の両リーグ各順位と全国26連盟代表との比較について

各連盟が主催するリーグ戦の優勝チームしか全国大会に進出することができない。しかし，表８・表９から，仮に両リーグの全てのチームがそれぞれの競技力で全国大会に出場した場合，どの連盟の代表と同等の競技力で，全国大会のどの段階まで進出することができるかという点について予測ができる。そこで表８の Bradley-Terry モデルの手法によれば，東京六大学リーグの２位以上と東都大学リーグの３位以上は全国大会のベスト４と同程度の極めて高い競技力を有していることがわかる。また，両リーグの５位以下の競技力では全国大会の初戦突破が難しいことが推察される。表９のマルコフモデルの結果では，東京六大学リーグの４位以上と東都大学リーグの５位以上までが全国大会のベスト４と同程度の極めて高い競技力を有していることになる。さらに東京六大学リーグ６位以外のチームは全て明治神宮記念大会に出場できる競技力を有していることがわかる。

両手法間の相関はケンドールの順位相関係数が0.895と高いことから，両手法で得られた結果に大きな齟齬はなく，それぞれの手法で得られた東京六大学リーグの２位ないし４位以上及び東都大学リーグの３位ないし５位以上が全国大会ベスト４と同等の競技力を有するということからも，それぞれのリーグにおいて１位のみならず他の順位においても全国大会の上位と同等の競技力を有していることが確認できる。これらのことをまとめれば過去30シーズンの結果を平均すると，少なくとも東京六大学リーグの２位以上及び東都大学リーグの３位以上は全国大会のベスト４と同程度の極めて高い競技力を有しているといえる。

以上の結果を踏まえて進学先を検討する高校生にとっては２つの方策が考えられる。大学生となって全国大会に出場してプレーすることを目標にする高校生にとっては東京六大学リーグや東都大学リーグに所属する大学への進学を目指すのではなく，それ以外の競技力が劣る他のリーグに所属する大学に所属し，競技を継続した方がレギュラーとして活躍する機会が増えるだろう。東京六大学リーグや東都大学リーグに所属する大学へ進学すると，周囲のレベルも高いため，自身の試合出場機会を失う可能性がある。また，全国大会へ出場してプレーすることよりも，もっと高い競技レベルでの試合経験を積みたいと考える高校生は東京六大学リーグや東都大学リーグで競技することを選ぶとよいだろう。中でも東都大学リーグは最も競技レベルの高いリーグであり，常に全国大会上位と同等の競技力を有する大学との対戦となる。また，大学側にとってもたとえば東都大学リーグ１部に所属すること自体，全国大会上位と同等の競技力を有しているとも言える。このことは競技力の高い野球部を有しているという大学として，進学先を検討する高校生や野球に興味のある世間に伝えることのできる良い要素となりうるものである。

Ⅵ．結　　論

全国26の大学野球連盟及び東京六大学野球リーグ，東都大学野球リーグの全36チームの競技力を算出し比較する目的で，Bradley-Terry モデルの手法及びマルコフモデルを用いて過去30シーズン分のリーグ戦および全国大会の結果を計算した。全国大会の結果から算出した全国26の大学野球連盟の競技力比較では，両手法で上位３連盟の順位が一致し，また，全国大会の優勝及び準優勝の合計回数の順序とも一致した。東京六大学野球リーグ及び東都大学野球リーグにおいて同じ順位同士の競技力を比較すると Bradley-Terry モデルの手法では全ての順位で東都大学野球リーグの方が高く，マルコフモデルでは１位のみ東京六大学リーグの方が高かった。最後に両リーグと全国26の大学野球連盟との比較では東京六大学野球連盟の２位以上と東都大学野球連盟の３位以上は全国大会ベスト４と同程度の高い競技力を有していることがわかった。

参考文献

1．ベースボール・マガジン社（2017）大学野球2017春季リーグ戦展望号，72(17)：55-82.
2．Bortolon F., Castlgllone C., Parollni L. and Schiavon L.（2017）A Markovian approach to darts, MathSport International 2017 Conference Proceedings, 46-60.
3．Bradley R. A. and Terry M. E.（1952）Rank analysis of incomplete block designs. I. The method of paired comparisons, Biometarika, 39：324-345.
4．Elo A. E.（1978）The rating of chess players, past and present" Arco, New York.
5．廣津信義，須崎政文，尾崎俊治（2012）ワールドベースボールクラシック（WBC）の対戦方式の確率計算による検討，オペレーションズ・リサーチ：経営の科学57(11)：629-638.
6．野間口英敏，岩井美樹（1994）スポーツにおける強弱の要因について―野球の場合―，東海大学紀要体育学部24(1)，35-41.
7．高野健太，穴太克則（2016）マルコフ連鎖に基づく最適打順モデルによる FA 打者獲得戦略，数理解析研究所講究録，1990，89-96.
8．鳥海崇，綿田博人，(2017）東京六大学野球リーグ戦において勝敗結果から計算する優勝チームと勝ち点・勝率との比較研究 慶應義塾大学体育研究所紀要，56(1)，45-53.
9．Toriumi T.（2017）Compare the superiority of Japanese Collegiate Baseball Leagues, MathSport International 2017 Conference Proceedings, 357-362.
10．Trick M. A., Yildiz H. and Yunes T.（2011）Scheduling major league baseball umpires and the traveling umpire problem, Interfaces, 42(3), 232-244.

（受付：2017年 9 月15日，受理：2017年12月31日）