

〈原 著〉

日本プロ野球の投手に関する数理科学的な観点からの評価： マルコフモデル・DEA・セイバーメトリクスの活用

岸 純平*・廣津 信義*

Evaluation of pitchers in Nippon Professional Baseball from the standpoint of
mathematical science: Use of Markov model, DEA and Sabermetrics

Junpei KISHI* and Nobuyoshi HIROTSU*

Abstract

The purpose of this study is to evaluate pitchers in Nippon Professional Baseball from the standpoint of mathematical science, using such methods as Markov model, Data Envelopment Analysis (DEA) and Sabermetrics. In the evaluation, we consider not only the roles of pitchers classified as starter, reliever and closer, but also the types of pitchers classified by Power Fitness Ratio (PFR) of Sabermetrics. The subjects are pitchers who played during 2009–2014. As a result, there are significant differences between the roles in such indices as expected number of runs allowed (ENRA), DEA efficiency and PRF. There are also significant differences between the types classified by PFR in such indices as ENRA. We also analyze pitchers using other Sabermetric indices such as Fielding Independent pitching and Walks plus hits divided by Innings Pitched, together with Earned Run Average. We demonstrate that the methods of mathematical science help us to understand characteristics of pitchers.

Key words: Baseball, Data Envelopment Analysis, Markov model, Sabermetrics

1. 緒 言

野球では、選手を役割やタイプに分類して区別することがある。投手においては、一般に役割として先発・中継ぎ・抑えに、タイプとしては本格派と技巧派に分類される^{注1)}。本格派と技巧派の分類については、後述するセイバーメトリクスの指標のひとつに Power/Fitness Ratio (以下, PFR) があり、この数値が高いと力でねじ伏せるタイプで本格派の傾向が強く、低いと打たせて取るタイプで技巧派の傾向が強いと言われている¹⁾。

投手評価に関するセイバーメトリクスの指標は多く、例えば Fielding Independent Pitching (以下, FIP), Walks plus hits divided by Innings Pitched (以下, WHIP) などがある³⁰⁾。FIP は守備に影響されずに投手個人の能力を見る指標で被本塁打数や与四球数などから、WHIP は1イニングに安打や四球で何人の出塁を許すかを見る指標で被安打数や投球回数などから算出される。両指標とも数値が小さいほど良い投手といえる。

数理科学的な評価法として、他にマルコフモデルを用いた評価法や包絡分析法 (Data Envelopment Analysis, 以下, DEA) がある。

マルコフモデルを用いた評価法は、確率モデルを利用する方法であり、野球の試合の流れをモデル化

* 順天堂大学 大学院スポーツ健康科学研究科

* Graduate School of Health and Sports Science,
Juntendo University

する¹⁾¹⁴⁾¹⁸⁾ことで野球選手の評価に適用できる。マルコフモデルを用いた野球選手の評価としては、スコアリングインデックス(以下、SI)といわれる打撃力を表す指標を用いた選手評価の事例がある¹⁴⁾¹⁵⁾。

DEAは、一般には銀行の支店、病院、学校といった事業体のパフォーマンスの効率性を測る評価手法であり⁹⁾²⁷⁾、野球選手の評価にも応用されている¹²⁾¹³⁾¹⁵⁾。

これらの評価方法を用いた研究は個別には見られるが、マルコフモデル、DEA、セイバーメトリクスの3つの手法を用い、投手を対象として、その役割やタイプも含め多角的に評価した研究はなく、特に本格派と技巧派に分類して、選手評価を行った研究は見られない。本研究は、これら3つの数理科学的な評価法を用いて、役割やタイプの違いから投手を総合的に評価し、投手評価に関する考察を深めていくことを目的とする。

2. 方 法

2.1 マルコフモデルによる失点の期待値の算出

マルコフモデルによる投手評価として、本研究では投手の失点の期待値を用いる。失点の期待値の算出にあたってはSIの考え方を利用する。本節でははじめにSIについて述べることにする¹⁴⁾。

SIは、同一打者が繰り返し打席に立ったとした時の1イニングの得点の期待値に相当する。SIの算出にあたっては、打撃による走者の進塁がD'Esopo and Lefkowitzモデルに基づくとしている。このモデルは6つの打撃結果と進塁規則により定義されている(表1)。本研究では、D'Esopo and Lefkowitzモデルを用いて、投手の被安打の内訳を

打者の打撃成績に見立てSIを算出し、結果を9倍することで投手の1試合の失点の期待値を求める。

SIの具体的な計算方法は以下ようになる。表2のようにイニング内の状態を、アウト数と走者の状態により区別し、24状態として定義する。各状態から別への状態へは、6つの打撃結果に応じて推移するが、この状態推移は各打撃結果が生起する確率に従う。D'Esopo and Lefkowitzモデルでの状態推移は、表2に示す24状態の番号を行・列の各々の順に対応させると、下に示す8×8の部分行列A、Bを用い、次の行列Qで示すことができる。

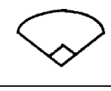


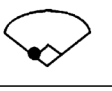
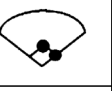
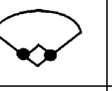
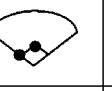
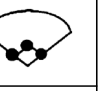
$$Q = \begin{bmatrix} A & B & 0 \\ 0 & A & B \\ 0 & 0 & A \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、AとBは、

表1 D'Esopo and Lefkowitzモデル

打撃結果	進 塁 規 則
1塁打	打者は1塁へ。1塁走者は2塁へ進塁する。2,3塁の走者は本塁へ生還,得点する。
2塁打	打者は2塁へ。1塁走者は3塁へ進塁する。2,3塁の走者は本塁へ生還,得点する。
3塁打	打者は3塁へ。すべての走者は生還,得点する。
本塁打	打者及びすべての走者が生還,得点する。
四球	打者は1塁へ。走者はそれに伴い進塁する。
アウト	どの走者も進塁しない。

表2 イニング内の状態の定義

走者の状態 アウト数								
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	9	10	11	12	13	14	15	16
2	17	18	19	20	21	22	23	24

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} P_H & P_S + P_W & P_D & P_T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_H & 0 & 0 & P_T & P_S + P_W & 0 & P_D & 0 \\ P_H & P_S & P_D & P_T & P_W & 0 & 0 & 0 \\ P_H & P_S & P_D & P_T & 0 & P_W & 0 & 0 \\ P_H & 0 & 0 & P_T & P_S & 0 & P_D & P_W \\ P_H & 0 & 0 & P_T & P_S & 0 & P_D & P_W \\ P_H & P_S & P_D & P_T & 0 & 0 & 0 & P_W \\ P_H & 0 & 0 & P_T & P_S & 0 & P_D & P_W \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{B} = P_{out} \mathbf{I} \quad (3)$$

となる。\$P_S, P_D, P_T, P_H, P_W, P_{out}\$ はそれぞれ、1 塁打、2 塁打、3 塁打、本塁打、四球、アウトとなる確率であり、\$\mathbf{I}\$ は \$8 \times 8\$ の単位行列である。

ここで、状態 \$i\$ からインニング終了までの得点の期待値を \$v_i\$、状態 \$i\$ での打席で直接得ることができる得点の期待値を \$r_i\$、状態 \$j\$ に推移する確率を \$q_{ij}\$ とする。状態 \$i\$ での打席に注目すると、この打席は直接 \$r_i\$ 点が期待できる。その結果、確率 \$q_{ij}\$ で次は状態 \$j\$ での打席となる。これを状態 \$i\$ から見ると、状態 \$j\$ を経由して \$q_{ij} \cdot v_j\$ 点がインニング終了まで期待できることとなる。次打席として可能な状態 \$j\$ をすべて考慮することにより、状態 \$i\$ からインニング終了までの得点の期待値は、その打席で直接期待できる得点 \$r_i\$ と、次打席以降にできる得点 \$\sum_j q_{ij} \cdot v_j\$ との和となる。すなわち、\$v_i\$ は、次の関係式を満たす。

$$v_i = \sum_{j=1}^{24} q_{ij} \cdot v_j + r_i$$

\$v_i (i=1, \dots, 24)\$ を24成分の列ベクトル \$\mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots, v_{24})^T\$ の要素としてまとめると、

$$\mathbf{v} = \mathbf{Q}\mathbf{v} + \mathbf{r} \quad (4)$$

と表現できる。ただし、\$\mathbf{r}\$ は、\$r_i\$ を要素とする24成分の列ベクトルで、

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} r' \\ r' \\ r' \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{r}' = \begin{bmatrix} P_H \\ 2P_H + P_T \\ 2P_H + P_T + P_D + P_S \\ 2P_H + P_T + P_D + P_S \\ 3P_H + 2P_T + P_D + P_S \\ 3P_H + 2P_T + P_D + P_S \\ 3P_H + 2P_T + 2P_D + 2P_S \\ 4P_H + 3P_T + 2P_D + 2P_S + P_W \end{bmatrix} \quad (5)$$

となり、各要素が8つの走者状態に対応する8成分の列ベクトル \$\mathbf{r}'\$ を3つ並べることによって表現される。なお、SI はインニング最初の状態での得点の期待値 \$v_1\$ に相当する。

以上が SI の算出方法である。SI を利用して投手の失点の期待値を算出するためには、先の \$P_S, P_D, P_T, P_H, P_W, P_{out}\$ をそれぞれ投手の被1 塁打、被2 塁打、被3 塁打、被本塁打、与四球、アウトとなる確率とする仮想的な打者を設定することになる。その打者の得点は投手にとっては失点となるので、投手の失点の期待値が求まることとなる。1 インニングでの投手の失点の期待値を9倍することで投手の1試合での失点の期待値が計算できる。計算に当たっては EXCEL VBA でプログラミングコードを作成した。

2.2 DEA による効率値の算出

DEA は、比率尺度 (出力/入力) によって評価対象の効率性を相対的に評価する方法である⁹⁾¹²⁾²⁷⁾。回帰分析法が平均を基準として対象を評価する方法であるのに対し、DEA は最も優れた対象を基準として評価するところに特徴がある。最も優れた対象の比率尺度を1に基準化し、他の対象の効率値を0~1の数値を用いて相対評価する。今回は投手が評価対象となる。

例えば、1 入力 1 出力で、入力=被安打数、出力=投球回とした場合、中日の小林投手は2011年度で

の被安打数10本, 投球回31回であり比率が $31/10 = 3.1$ で, 両リーグ合わせて2009年から2014年までで最大である. この比率尺度を1とし, 他の選手を小林との比に応じて0~1の効率値で評価することとなる. DEAは多入力多出力すなわち複数の入出力項目があっても分析できる点にも特徴がある. この例で, ウェイト u_1 と u_2 を導入して, 入力=被安打数, 出力= $u_1 \times$ 投球回+ $u_2 \times$ 奪三振数, とすると出力項目に奪三振数を加えることができる. ただし, ここでもし投球回が奪三振数の10倍重要であると考え, $u_1 = 10$, $u_2 = 1$, と一律に設定してしまうと, 評価者の恣意的な評価基準が入ってしまい, 投手にとって公平な評価となっているのかが問題となる. そこでDEAでは評価対象ごとに, その対象の評価が最も高くなるウェイトが設定できるとしている. すなわち, その対象の最も得手とする項目のウェイトを大きく, 苦手とする項目のウェイトを小さくするというように, 各項目のウェイトを決める. ウェイトを利用すると効率値のみならず, 投手個々の特徴も把握することができる. 例えば, ウェイトが求まったとすると, ウェイトと項目値の積である項(ここでは, $u_1 \times$ 投球回と $u_2 \times$ 奪三振数の2つの項がある)が全項の和に占める割合により, その選手にとって該当する評価項目の重要性を定量化でき, その選手の特徴を把握す手掛かりになる.

本研究では, 廣津・上田¹⁶⁾にならい, 4入力2出力で, 以下の入出力項目とした^{注2)}.

入力項目: 自責点, 被安打, 被本塁打, 与四死球

出力項目: 投球回, 奪三振

これらの入出力項目は, 投手評価の基本的な項目といえ, 本研究で取り上げるPFR, FIP, WHIP, 防御率の計算のための項目ともほぼ対応している.

計算式としては, 対象投手 j_0 の入力項目 k ($= 1, 2, \dots, m$) に関するデータ x_{kj_0} に重み v_k をかけて加えることにより得られた入力 $\sum_{k=1}^m v_k x_{kj_0}$ と, 出力項目 i ($= 1, 2, \dots, s$) に関するデータ y_{ij_0} に重み u_i をかけて加えることにより得られた出力 $\sum_{i=1}^s u_i y_{ij_0}$ からなる

$$\text{比率尺度} = \sum_{i=1}^s u_i y_{ij_0} / \sum_{k=1}^m v_k x_{kj_0}$$

を非負条件などの制約範囲内で最大化するように評価対象の最適な重み v_k, u_i を決定することとなる. 今回の計算にあたってはDEA-SOLVER-LV8を利用した.

計算の結果, 比率尺度が1になる投手が効率的な投手となる. (厳密には, 効率値1であり, スラックと呼ばれる変数がすべて0となる解をもつ選手が“効率的”であるがここでは詳述しない.) 比率尺度が1未満となる非効率的な投手には, その投手より優れた効率的な投手が存在することになる. この効率的な投手の集合は“参照集合”と呼ばれ, 効率的な投手は優れていると判断された回数(参照集合に入った回数(以下, 参照集合出現回数))が多いと, 非効率的な選手の目標になるような代表的な選手といえる. 逆に少ないと非効率的な選手の目標にならない特異な投手といえる.

参照集合について, ダルビッシュ(2011), 前田(2011), 田中(2013)のデータ(表3)を用いて例示すると, 前田はダルビッシュより入力項目がどれも多く, 出力項目は少ないので, ダルビッシュの存在により非効率となる. このとき, 前田の参照集合にダルビッシュが入ることになる. しかしながら, 田中と比較すると, 入力項目はどれも前田の方が田中よりも多いものの, 出力項目も多くなっており, この場合は前田の効率性に田中は関係せず, 前田の参照集合に田中は入らない. この例ではダルビッシュ1人のために前田は非効率となったが, 複数の効率的な投手の存在により非効率となる場合もある. その際は参照集合に複数の投手が入ることになるが, ここでは詳述しない.

表3 前田(2011), ダルビッシュ(2011), 田中(2013)のデータ

選手	年度	入力項目				出力項目	
		自責点	被安打	被本塁打	与四死球	奪三振	投球回
前田	2011	59	178	14	49	192	216
ダルビッシュ	2011	37	156	5	42	276	232
田中	2013	30	168	6	35	183	212

2.3 セイバーメトリクスの指標の算出

セイバーメトリクスは、野球のための統計学とも言われており、1970年代に Bill James により提唱された¹¹⁾³⁰⁾。1990年代に成績が低迷していた大リーグのオークランド・アスレチックスが積極的に活用し、チームの強化に成功したことで知られている²⁰⁾。近年では、日本でも球団運営に活用されており、成績一覧にも掲載されるようになった²²⁾。セイバーメトリクスに関する研究には、廣津¹³⁾や鳥越²⁹⁾などがあり、書籍も数多く出版されている¹⁷⁾¹⁹⁾²⁰⁾²³⁾²⁴⁾²⁸⁾³⁰⁾³¹⁾。

本研究では、セイバーメトリクスの指標として PFR, FIP, WHIP を用いる。具体的な計算式は以下の通りである。

$$\text{PFR} = (\text{奪三振} + \text{与四球}) / \text{投球回} \quad (6)$$

$$\text{FIP} = \{13 \times \text{被本塁打} + 3 \times (\text{与四球} + \text{与死球} - \text{敬遠}) - 2 \times \text{奪三振}\} / \text{投球回} + \text{リーグごとの補正值} \quad (7)$$

ただし、

$$\text{リーグごとの補正值} = \text{リーグ全体の} [\text{防御率} - \{13 \times \text{被本塁打} + 3 \times (\text{与四球} + \text{与死球} - \text{敬遠}) - 2 \times \text{奪三振}\} / \text{投球回}]$$

$$\text{WHIP} = (\text{被安打} + \text{与四球}) / \text{投球回} \quad (8)$$

となる。ちなみに、FIP は 2.90 以下、WHIP は 1.00 以下だと良い投手であるといわれる¹¹⁾³⁰⁾。

2.4 対象選手

本研究にて対象とした選手は、2009年から2014年に日本プロ野球で一軍の試合に出場したセ・パ両リーグの投手である。同じ投手でも年度が違えば異なる投手とし延べ373名となった。これらを先発・中継ぎ・抑えに分類した。先発は先発登板回数が20回以上で規定投球回数以上、中継ぎはホールドポイントが20以上、抑えはセーブ数が10以上とし、それぞれ185名、110名、78名であった。中継ぎ・抑えについては、両方に該当する選手が19名おり、より上位にランクされている方に分類した。

本研究では、各年度で1球団あたり概ね5~6名程度が選ばれており、これらの投手が役割やタイプを代表している主要な投手であるという前提で分析

している。

ちなみに、今回は「中継ぎ」「抑え」で規定投球回に達している選手はいなかったが、牧田(2011)(セーブ数22:抑え)は投球回の約6割が先発のときであり、先発の方の投球回の方が上回っていた。牧田(2011)を除いて同様に分析してみたところ、平均値で百分の1の位に違いがでる程度であり(例えば、抑えのPFR平均値が1.286が1.293となる)、全体的な傾向には影響しないことを確認している。

タイプについては、373名をPFR値で3分割し、真ん中の群に入る125名を除いて、高い群・低い群に入る124名ずつをそれぞれ本格派・技巧派とした。

2.5 データ

本研究では、日本プロ野球機構の公式HP²²⁾に掲載されているシーズンデータに基づきDEA入出力の値を設定し、PFR, FIP, WHIPの値を計算した。FIPとWHIPは、プロ野球スルデータ置き場²⁵⁾にも掲載されており、計算結果が一致することを確認した。マルコフモデルでの失点の期待値の計算にあたっては $P_S, P_D, P_T, P_H, P_W, P_{out}$ を設定しなければならない。ここでは、ベースボール・レコードブック³⁻⁸⁾に掲載されているスコアテーブルから筆者が被安打の内訳を読み取ることで設定した。

2.6 統計処理

各項目の値については平均値±標準偏差で示した。先発・中継ぎ・抑えの比較には、F検定とチューキーの多重比較を用いた。タイプ別での群間の比較にはt検定を用い、有意水準は0.05とした。

3. 結 果

計算結果としては、各項目における投手個別の結果を3.1節で示した後、3.2節で先発、中継ぎ、抑えの3つの役割に分類した時の結果を示す。本格派と技巧派でタイプを分類した時の結果を3.3節にて示し、3.4節でDEAによる投手個別の分析結果を示す。

3.1 各項目における投手個別の計算結果

各投手についての計算結果を表4に示す。表4では、PFRで降順に列挙している。参考までに防御率も併記している。

表4 各項目における投手個別の計算結果(PFRにより降順で列挙)

No.	選手	チーム	年度	役割	PFR	失点の期待値	DEA 効率値	FIP	WHIP	防御率
1	クルーン	巨人	2010	抑え	2.01	2.96	0.78	3.15	1.26	4.26
2	ファルケンボーク	ソフトバンク	2011	抑え	1.88	1.45	0.96	1.26	0.85	1.42
3	牛田	横浜	2010	中継ぎ	1.87	2.20	0.92	3.00	1.08	1.21
4	藤川	阪神	2011	抑え	1.82	1.09	1.00	0.89	0.75	1.24
5	ウィリアムス	西武	2013	中継ぎ	1.79	1.94	0.85	2.72	1.13	1.89
6	藤川	阪神	2009	抑え	1.75	1.78	0.97	1.46	0.82	1.25
7	サファテ	ソフトバンク	2014	抑え	1.73	1.91	1.00	1.06	1.05	1.05
8	撰津	ソフトバンク	2009	中継ぎ	1.72	1.99	0.90	2.35	1.08	1.47
9	高橋	西武	2014	抑え	1.66	2.26	0.77	1.91	1.13	2.01
10	佐藤	オリックス	2013	中継ぎ	1.65	2.53	0.93	3.09	1.12	1.73
...										
22	佐藤	オリックス	2014	中継ぎ	1.55	1.11	1.00	2.65	0.93	1.09
...										
33	五十嵐	ソフトバンク	2014	中継ぎ	1.50	1.11	1.00	1.51	0.86	1.52
...										
35	ファルケンボーク	ソフトバンク	2012	抑え	1.48	1.90	1.00	2.03	0.96	1.57
...										
38	ファルケンボーク	ソフトバンク	2010	中継ぎ	1.47	0.98	1.00	0.93	0.76	1.02
...										
58	平野	オリックス	2011	中継ぎ	1.39	1.46	1.00	1.67	0.78	1.94
...										
67	ダルビッシュ	日本ハム	2011	先発	1.34	1.37	1.00	1.25	0.83	1.44
...										
77	浅尾	中日	2011	中継ぎ	1.32	1.00	1.00	1.05	0.82	0.41
...										
145	田中	楽天	2011	先発	1.18	1.69	1.00	1.56	0.87	1.27
...										
155	吉川	日本ハム	2012	先発	1.17	1.56	1.00	2.14	0.88	1.71
...										
203	田中	楽天	2012	先発	1.09	2.33	1.00	1.39	1.03	1.87
...										
215	平野	オリックス	2012	中継ぎ	1.07	2.03	1.00	1.55	0.88	2.15
216	小林	中日	2011	中継ぎ	1.06	0.47	1.00	1.85	0.55	0.87
...										
245	田中	楽天	2013	先発	1.01	1.93	1.00	2.07	0.94	1.27
...										
260	山口鉄	巨人	2012	中継ぎ	1.00	0.98	1.00	1.22	0.72	0.84
...										
319	成瀬	ロッテ	2011	先発	0.89	3.28	1.00	2.54	1.09	3.27
...										
322	岡島	ソフトバンク	2012	中継ぎ	0.88	1.23	1.00	1.82	0.84	0.94
...										
342	ウルフ	日本ハム	2012	先発	0.83	3.17	1.00	2.60	1.31	2.66
...										
364	ミンチェ	西武	2011	中継ぎ	0.73	1.67	0.85	2.58	0.85	1.98
365	渡辺	ロッテ	2010	先発	0.73	4.63	0.64	4.30	1.46	4.49
366	グライシンガー	巨人	2009	先発	0.73	3.66	0.72	3.14	1.24	3.47
367	武田久	日本ハム	2011	抑え	0.71	1.10	0.94	2.08	0.78	1.03
368	山内	中日	2012	先発	0.68	2.87	0.76	3.03	1.08	2.43
369	石川	ヤクルト	2010	先発	0.67	4.31	0.82	3.91	1.27	3.53
370	武田勝	日本ハム	2012	先発	0.66	2.64	0.83	2.95	1.03	2.36
371	福山	楽天	2014	中継ぎ	0.65	2.93	0.71	2.91	1.11	1.87
372	武田勝	日本ハム	2011	先発	0.64	2.36	0.97	2.68	0.98	2.46
373	石川	ヤクルト	2009	先発	0.56	3.99	0.87	4.07	1.16	3.54
				平均	1.13	3.08	0.76	2.96	1.16	2.74
				標準偏差	0.24	0.97	0.12	0.75	0.18	0.92
				最大値	2.01	7.24	1.00	5.26	1.70	6.12
				最小値	0.56	0.47	0.46	0.89	0.55	0.41

失点の期待値については、低いほうから小林(2011)が0.47, フェルケンボーク(2010)が0.975, 山口鉄(2012)が0.976という順となった, 逆に高いほうからは川岸(2010)が7.24, 清水(2010)が6.34, 近藤(2009)が5.60という順であった. DEA効率値については, 効率値1の選手は19名(先発7名, 中継ぎ9名, 抑え3名)であり, 効率値が最も低かったのは川岸(2010)の0.460であった. FIPについては2.90以下となる(良い)投手は179名(先発64名, 中継ぎ61名, 抑え54名)であった. 最も数値が低かったのは藤川(2011)の0.89で, 最も数値が高かったのは近藤(2009)の5.26であった. WHIPについては1.00以下となる(良い)投手は74名(先発24名, 中継ぎ30名, 抑え20名)であった. 最も数値が低かったのは, 小林(2011)の0.55で, 最も数値が高かったのは, 川岸(2010)の1.70であった.

項目間の相関係数を表5に示す. 失点の期待値とDEA効率値, FIP, WHIP, 防御率の相関係数は, それぞれ-0.72, 0.76, 0.89, 0.83であり強い相関関係が見られた. DEA効率値とWHIP, FIPと防御率, WHIPと防御率の相関係数についても, それぞれ-0.80, 0.72, 0.74と強い相関関係が見られた. PFRと他の項目とは, 目立った相関関係は見られなかった.(表5).

3.2 先発・中継ぎ・抑え別での計算結果

表6は, 先発・中継ぎ・抑えに分類した時の平均値と標準偏差を示している. 表6より, PFR, 失点の期待値, DEA効率値, FIP, 防御率について, 先発と中継ぎ, 先発と抑えの間で平均値に1%水準で有意な差がみられ, 全体的に中継ぎ・抑えの方が良い成績であった. WHIPについては, 先発と中継ぎの間で平均値に5%水準で有意な差がみられる程度であり, 他の項目ほどは大きな違いが見られなかった.

3.3 本格派と技巧派別での計算結果

表7は, 本格派と技巧派にPFRの高い群と低い群で大別した時の平均値と標準偏差を示している. 表7より, 失点の期待値, FIP, 防御率について

表5 項目間の相関係数

	PFR	失点の期待値	DEA効率値	FIP	WHIP	防御率
PFR	1					
失点の期待値	-0.25	1				
DEA効率値	0.08	-0.72	1			
FIP	-0.36	0.76	-0.47	1		
WHIP	-0.09	0.89	-0.80	0.62	1	
防御率	-0.21	0.83	-0.58	0.72	0.74	1

表6 先発・中継ぎ・抑え別での比較

		先発	中継ぎ	抑え	F値	多重比較
PFR	平均	1.021	1.217	1.286	53.44**	先発<中継ぎ 先発<抑え
	標準偏差	0.179	0.236	0.256		
失点の期待値	平均	3.340	2.860	2.800	13.78**	先発>中継ぎ 先発>抑え
	標準偏差	0.812	1.038	1.063		
DEA効率値	平均	0.781	0.732	0.726	9.49**	先発>中継ぎ 先発>抑え
	標準偏差	0.092	0.137	0.135		
FIP	平均	3.200	2.828	2.586	23.12**	先発>中継ぎ 先発>抑え
	標準偏差	0.659	0.782	0.729		
WHIP	平均	1.186	1.135	1.134	3.94*	先発>中継ぎ
	標準偏差	0.147	0.203	0.201		
防御率	平均	3.036	2.492	2.380	21.41**	先発>中継ぎ 先発>抑え
	標準偏差	0.758	0.980	0.989		

** : p<0.01 * : p<0.05

表7 本格派と技巧派別の比較

		本格派	技巧派	t値
失点の期待値	平均	2.798	3.337	-4.35**
	標準偏差	1.031	0.909	
DEA効率値	平均	0.761	0.751	0.70
	標準偏差	0.133	0.104	
FIP	平均	2.633	3.274	7.09**
	標準偏差	0.775	0.637	
WHIP	平均	1.142	1.180	-1.62
	標準偏差	0.197	0.165	
防御率	平均	2.518	2.927	-3.47**
	標準偏差	1.011	0.825	

** : p<0.01

は、本格派と技巧派の間で平均値に1%水準で有意な差がみられた。また、DEA 効率値については、本格派で効率値1となった選手は藤川(2011)、サファテ(2014)、佐藤(2014)、五十嵐(2014)、ファルケンボーク(2012)、ファルケンボーク(2010)、平野(2011)、ダルビッシュ(2011)、浅尾(2011)の9名で、技巧派で効率値1となった選手はウルフ(2012)、岡島(2012)、成瀬(2011)、山口鉄(2012)であった。田中(2013)は技巧派に分類の境界値にあたる1.01であった。DEA 効率値とWHIPについては、本格派と技巧派の間で平均値に有意な差は見られなかった。

3.4 DEAによる投手個別の分析

全373名の中で効率値1となった19名について、PFRと参照集合出現回数との関係を図1に示す。図中の縦線はPFRで3分割した際の境界を示している。最も参照集合出現回数が多かったのは本格派のダルビッシュ(2011)で306回であった。技巧派で最も参照集合出現回数が多かったのは山口鉄(2012)で73回であった。

4. 考 察

4.1 先発・中継ぎ・抑えの違い

3.2節に示した計算結果より、先発、中継ぎ、抑えに分類して分析を行ったときに、WHIPを除くどの項目でも平均値の違いがみられ、先発よりも中継ぎ・抑えの方が全体的には良いことが示された。中継ぎ・抑えの方がPFRの平均値が高いことから、先発よりも三振と四球によって対戦を完了する傾向があることも伺える。

先発の役割としては、一般的に長いイニングを概ね3点以内に抑える投球が望まれていると言える。中継ぎ・抑えは、試合後半に登板し、特に僅差の場合、失点は許されない。このような役割の違いが、先発と中継ぎ・抑えで各項目での平均値の差に反映されていると思われる。

4.2 本格派・技巧派の違い

3.3節で示した計算結果より本格派と技巧派にPFRの高い群と低い群で大別したとき、失点の期待値、FIP、防御率について平均値に有意な差が見られた。

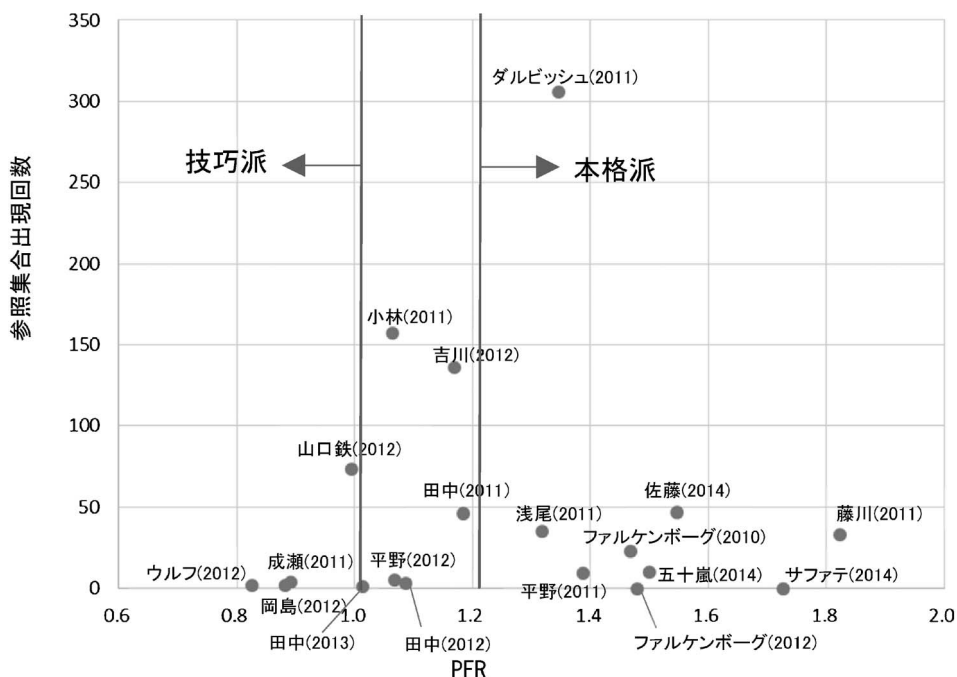


図1 PFRと参照集合出現回数の関係

本格派の方が失点の期待値が小さいということは、打者に打たれずに対戦を完了するタイプの方が失点が少ないという傾向を示していることになる。本格派は中継ぎ・抑えに多いことから、役割と合わせて相互に関連しているといえる結果といえる。

また、本格派の方がFIPの数値が低くなるということは、打者に打たれずに対戦を完了するタイプの投手の方が、守備に影響を除いて投手能力を見た際に能力が高いと判断できることになる。PFRとFIPの関係については、導出式からある程度その関連性は洞察できる。すなわち、PFRは(6)式より、打者に打たれず三振や四球により対戦を完了するタイプは数値が高く、打たせるタイプは数値が低くなるように計算されることになっている。一方、FIPは(7)式より、被本塁打・与四球・与死球・敬遠・奪三振・投球回を使って算出されるが、奪三振の係数が負となっている。FIP、PFR共に算出式には奪三振・与四球が含まれており、奪三振は与四球の約3倍多いことから(投球回あたりの奪三振数、与四球数の平均はそれぞれ0.81、0.27である)、両指標とも奪三振数の影響を強く受けPFRが高い選手はFIPが低くなる傾向があると思われる。(FIPの式で投球回あたりの奪三振数と与四球数の係数の比は2:3であり、これを考慮してもPRFとFIPは共に奪三振数の影響を強く受けている指標であることが推察できる。)

WHIPについては、本格派と技巧派で平均値に有意な差がみられないことは興味深い結果といえる。すなわち、打者に打たれずに対戦を完了するタイプと打たせて取るタイプに大別した際に、打たせて取るタイプが必ずしも走者を多く出している訳ではないことを示唆している。

4.3 DEAによる分析

PFRと参照集合出現回数との関係を図1に示したが、特徴的なのが2013年に24勝0敗の成績を残した田中(2013)である。この田中(2013)の参照集合出現回数はわずか1回であり、特異な投手であったといえる。田中は沢村賞を受賞しており、いわゆる本格派と見なされているが、PFRの観点ではどち

らかというと技巧派に近い方に分類される。表8にダルビッシュ(2011)と田中(2013)のDEAの分析結果を比較している。ダルビッシュは被安打数で、田中は自責点での重要性(最適ウエイトと項目値の積)が高くなっており、両者の特徴が表れている。実際の成績は表3に示しているように、ダルビッシュ(2011)は被安打数156本(被打率は0.190)という点で、田中(2013)は自責点30点、防御率1.27(=30/212×9)と言う点で他の投手より優れた成績であることから裏付けられる。また、本研究での分析結果として、タルビッシュは本格派で他の多くの投手の目標とされるという意味で代表的な投手であることが示されたのは当然であるといえるが、田中がどちらかという技巧派であり、かつ他の投手とは異なったタイプの特異な投手に分類されることは興味深い結果であると思われる。(表3より、田中が技巧派に近いことは、田中(2013)の奪三振数は183個であり、ダルビッシュ(2011)の276個と比較して大幅に少ないことから見て取れるかもしれない。)

ここでは、ダルビッシュと田中に着目し、PFRと参照集合出現回数との関係について述べたが、失点の期待値と防御率が両者で逆転していることについても面白い結果と言えるかもしれない。また、参照集合出現回数などのDEAの指標とセイバーメトリクスなど他の指標とを組み合わせて選手を評価して

表8 ダルビッシュ(2011)と田中(2013)の比較

	ダルビッシュ(2011)	田中(2013)
DEA 効率値	1	1
参照集合出現回数	306	1
最適ウエイト×項目値		
自責点 ($v_1 \cdot x_1$)	0	0.380
被安打 ($v_2 \cdot x_2$)	0.774	0
被本塁打 ($v_3 \cdot x_3$)	0	0.171
与四死球 ($v_4 \cdot x_4$)	0.185	0.171
定数項 (v_0)	0.041	0.278
投球回 ($u_1 \cdot y_1$)	0.920	1
奪三振 ($u_2 \cdot y_2$)	0.080	0

いくことで、他の投手に対する考察も深めることができると思われる。

5. 結 言

本研究では、マルコフモデル、DEA、セイバーメトリクスを用いて、2009年から2014年のデータにより主要な投手をその役割やタイプの違いなど数理科学的な観点から総合的に評価してみた。その結果、先発よりも中継ぎ・抑えの方がPFRの数値が高く、失点の期待値、DEA効率値、FIPで良い結果がみられた。また、PFRの観点でタイプ別に見たところ、本格派の方が失点の期待値やFIPで良い結果がみられた。これらのことから、先発よりも中継ぎ・抑えの方が、また打者に打たれずに対戦を完了するタイプの方が、大別すると優れているという結果が得られた。また、本格派と技巧派タイプの違いでWHIPの平均値には有意な差が見られず、タイプの違いによって、走者を出す程度には違いがないことが示唆された。

DEAによる分析では、ダルビッシュ(2011)や田中(2013)が効率的な優れた投手であることを示したが、両投手は違った特徴を有しており、ダルビッシュが他の投手の目標となる代表的な本格派の投手であるのに対して、田中はPFRの観点からは技巧派に近く、特異な投手であることが見出された。

本研究で得た結果は、今後更に違った視点から捉えていくことができると考えられる。例えば、中継ぎ・抑えの投手に関して失点の期待値と防御率の差に着目することで、自責点の観点から後続投手に関する考察を深めることができる可能性がある。投手個人ではなく、チーム別に見ていくことで投手の継投について、各チームの違いを見出せるかもしれない。また、併殺や得点圏での被打率を考慮したり、判別分析などの統計分析も併用することで、さらに研究を発展させることができる余地があると思われる。今後、数理科学的な観点から多角的に選手評価をすることの必要性は高まっていくと考えられ、多くの研究が公表されていくことで、その評価の有用性や妥当性などについても知見が深まっていくと思

われる。

注1) 本格派は、日本プロ野球機構の「沢村賞」の基準によると、「優れた先発完投型」とされている²²⁾。また、国内の主要野球情報誌スポーツナビ、Baseball Lab、データスタジアムの扱いみると、スポーツナビの記事では、「真っすぐで押す」や、「三振を取る」投手を本格派と記載している²⁶⁾。技巧派は、Baseball Labでは、「奪三振は多くないが、凡打を打たせる投球で投球回を稼ぐ先発投手。四球もやや少なめで、コントロールのまとまった投手」としている²⁾。データスタジアムでは、「力でねじ伏せるタイプ」や「三振が奪える投手」が本格派、「打たせて取るタイプ」が技巧派としている¹¹⁾。

注2) 今回は、出力指向⁹⁾²⁷⁾にて計算している。

参 考 文 献

- 1) 穴太克則(1999)併殺を考慮したマルコフ連鎖に基づく投手評価指標とその1997年度日本プロ野球シーズンでの考察. 数理解析研究所講究録, 1114, 114-125.
- 2) Baseball Lab: 投手のタイプとは. Retrieved from <http://www.baseball-lab.jp/column/entry/2/>
- 3) ベースボール・マガジン社編(2009)ベースボール・レコードブック. 東京, ベースボール・マガジン社.
- 4) ベースボール・マガジン社編(2010)ベースボール・レコードブック. 東京, ベースボール・マガジン社.
- 5) ベースボール・マガジン社編(2011)ベースボール・レコードブック. 東京, ベースボール・マガジン社.
- 6) ベースボール・マガジン社編(2012)ベースボール・レコードブック. 東京, ベースボール・マガジン社.
- 7) ベースボール・マガジン社編(2013)ベースボール・レコードブック. 東京, ベースボール・マガジン社.
- 8) ベースボール・マガジン社編(2014)ベースボール・レコードブック. 東京, ベースボール・マガジン社.
- 9) Cook, W. D. & Zhu, J. (2013) Data Envelopment Analysis: Balanced Benchmarking. ISBN 978-1492974796. データ包絡分析法DEA(2014)森田浩訳, 静岡, 静岡学術出版.
- 10) Cover T. M. & Keilers, C. W. (1977) An Offensive Earned-Run Average for Baseball. Operations Research, 25, 729-740.

- 11) データスタジアム(2008)野球の見方が180度変わるセイバーメトリクス. 東京, 宝島社, 64-65.
- 12) 橋本昭洋(2015)DEAフレックス総合評価法~社会システム分析への適用~. 茨城, 筑波大学出版会.
- 13) 廣津信義(2010)野球投手におけるDEAとセイバーメトリクスによる評価の比較. 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, 184-185.
- 14) 廣津信義, 宮地 力(2004)野球チームのラインナップ選定のための数理の一手法~日本代表チームの選定を例として~. オペレーションズ・リサーチ, 49, 380-389.
- 15) 廣津信義, 上田 徹(2009)経営効率分析法(DEA)を利用した野球チームのラインナップ選定のための一手法~北京五輪日本代表候補選手を例として~. 順天堂大学スポーツ健康科学研究, 12, 1-10.
- 16) 廣津信義, 上田 徹(2009)DEAを用いたプロ野球の投手の評価. オペレーションズ・リサーチ, 54, 761-767.
- 17) 加藤英明, 山崎尚志(2008)野球人の錯覚. 東京, 東洋経済新報社.
- 18) 吉良知文, 稲川敬介(2014)野球への動的計画アプローチ. オペレーションズ・リサーチ, 59, 378-384.
- 19) 小林信也(2006)データで読む 常識をくつがえす野球. 東京, 草思社.
- 20) Lewis, M. (2003) Moneyball: The Art of Winning an Unfair Game. New York: W. W. Norton. マネー・ボール(2006)中山宥訳, 東京, 武田ランダムハウスジャパン.
- 21) 森村英典, 高橋幸雄(1979)マルコフ解析. 東京, 日科技連出版社.
- 22) 日本プロ野球機構: 沢村賞は金子千尋(Bs)が初受賞. Retrieved from <http://www.npb.or.jp/news/20141027b.html>
- 23) 日刊スポーツ出版社編(2009)プロ野球本当の実力がわかる本~セイバーメトリクスで見るプロ野球~. 東京, 日刊スポーツ出版社.
- 24) 岡田友輔, 鳥越規央, 道作, 三宅博人, 蛭川皓平, 森嶋俊行ほか(2012)プロ野球を統計学と客観分析で考えるセイバーメトリクス・レポート1, 東京, DELTA.
- 25) プロ野球スルデータ置き場: Retrieved from <http://lcom.sakura.ne.jp/NulData/>
- 26) スポーツナビ: 川崎憲次郎が振り返る現役時代の栄光と挫折. Retrieved from <http://sportsnavi.yahoo.co.jp/sports/baseball/npb/2012/columndtl/201112140004-spnavi>
- 27) 刀根 薫(1993)経営効率性の測定と改善~包絡分析法DEAによる~. 東京, 日科技連出版社.
- 28) 鳥越規央(2011)9回無死1塁でバントはするな~野球解説は“ウソ”だらけ~. 東京, 祥伝社.
- 29) 鳥越規央(2012)プロ野球の数理科学. オペレーションズ・リサーチ, 57, 11-16.
- 30) 鳥越規央(2014)勝てる野球の統計学~セイバーメトリクス~. 東京, 岩波書店.
- 31) 鳥越規央, 仁志敏久(2012)プロ野球のセオリー~「データ」は「経験」を超えるのか~. 東京, KKベストセラーズ.

(平成28年4月25日 受付)
(平成28年9月18日 受理)