

DEA を用いたプロ野球の投手の評価

廣津 信義, 上田 徹

本稿ではプロ野球の投手の評価を例として DEA について概説する。最も簡単な 1 入力 1 出力について CCR モデルと BCC モデルの違いを説明した後、4 入力 2 出力の BCC モデルを用いて投手の多角的な評価を行う。DEA を用いた分析の仕方を身近な野球の事例を通して紹介することで、DEA の有用性を直観していただければ幸いである。

キーワード：BCC, DEA, スポーツ, 投手, プロ野球

1. はじめに

本稿ではプロ野球の投手の評価を例として DEA (Data Envelopment Analysis) について概説する。DEA とは比率尺度 (出力/入力) によって評価対象を相対的に評価する方法であり、包絡分析法または経営効率分析法と訳されている。DEA では評価対象を DMU (Decision-Making Unit) と呼び、通常 DMU は企業などの事業体となるが、本稿では投手が DMU となる。

一般に、投手の評価には勝数やセーブ数などの幾つかの指標があるが、防御率 (= 自責点/投球回 \times 9) は、出力=自責点、入力=投球回とした場合の比率尺度による評価といえる。他の投手能力として、三振を多く取るとか、本塁打を打たれにくいなどの特徴を評価することも意味があるが、DEA では入出力に複数の評価項目を扱うことで、防御率だけでなく他の評価も取り入れ、多次元で評価できるという特長を有する。すなわち、DEA は複数の入力を複数の出力にいかにか効率よく変換しているかを評価する手法ともいえる。

DEA に関する教科書としては、刀根[1]、末吉[2]があり、上田[3]でも紙幅を割いて説明されている。英語のテキストでは Cooper ら[4]があり幅広い範囲を網羅している。OR 誌でも DEA に関する特集が 46 巻 6 号でなされている。

DEA の野球への適用事例としては、橋本[5]があり、

CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) モデルを用いたプロ野球の打者の評価についてわかりやすい説明がなされている。それ以外にも経営効率評価ハンドブック [6]での野球選手の評価をはじめ、幾つもの事例が報告されている [7]~[9]。

本稿では、橋本[5]による打者の評価の事例を拡張する意図も込めて、投手の評価について述べる。投手については文献[6]でも取り上げられているが、本稿では入出力項目が異なるモデルを用いた評価を試みる。

本稿の構成としては、第 2 節で最も簡単な 1 入力 1 出力を例に CCR モデルと BCC (Banker-Charnes-Cooper) モデルの違いを説明する。第 3 節では、多入力多出力の例として 4 入力 2 出力の BCC モデルを用いて投手の多角的な評価を行うことで、DEA を用いた分析の仕方を概説していく。身近な野球の例で DEA の手法の有用性を直観していただければ幸いである。

2. CCR モデルと BCC モデル

本節では CCR モデルと BCC モデルの違いについて、最も簡単な 1 入力 1 出力について例示する。

2008 年度の投球回が 60 イニング以上であるセ・リーグの投手 43 名についての自責点と投球回の間関係を図 1 に示す。

防御率は自責点/投球回に比例し、その値が小さいほどよい投手といえる。これを図 1 で考えると、原点と各投手 (図中の点) を結ぶ半直線の傾きが大きいほど防御率が優れていることになり、セ・リーグでは藤川 (神) が最も優れていることがわかる。

このデータについて 1 入力 1 出力の DEA による分析を試みる。ただし、ここでは防御率による評価と対比しやすいように、入力=自責点、出力=投球回、と

ひろつ のぶよし
順天堂大学 スポーツ健康科学部
〒 270-0695 千葉県印旛郡印旛村平賀学園台 1-1
うえだ とおる
成蹊大学 理工学部
〒 180-8633 武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1

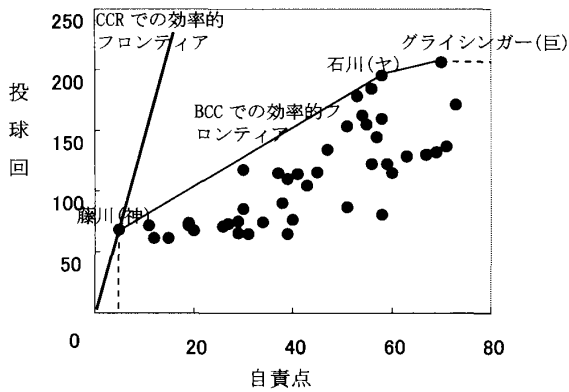


図1 自責点と投球回の関係

して考える。この比率尺度(=投球回/自責点)は防御率の逆数に相当する。防御率のように入力=投球回、出力=自責点として分析してもよいが、DEAでは値が小さいほどよい評価項目を入力とし、値が大きいほどよい評価項目を出力として分析するのが一般的である(評価項目の入出力の選択については例えばMorita and Avkiran[10]などの研究がある)。

DEAでは、この比率尺度(=投球回/自責点)が最大となる最も優れた投手を基準(=1)として、個々の投手を0~1の値を用いて相対評価することになる。このような手法は、平均を基準に対象を評価する回帰分析法と対照的であるともいえる。

さて、この場合、投手 j の自責点を x_j 、投球回を y_j とすると、比率尺度 $=y_j/x_j$ は藤川(神)の値が最大となるが、この藤川(神)の比率尺度を1としたとき、他の投手を藤川(神)との比に応じて0~1の効率値で評価することとなる。

これを定式化すると、以下の分数計画問題[CCR 1]を解くことに帰着される。

[CCR 1]

$$\text{Max } \frac{uy_{j_0}}{vx_{j_0}}$$

s.t.

$$\frac{uy_j}{vx_j} \leq 1 \quad (j=1, \dots, n)$$

$$u, v \geq 0$$

ここで、 n は投手数を表し $n=43$ である。 u 、 v は出力と入力のウェイトであり、ここでは便宜的な係数となっているが、次節で扱う多入力多出力の場合では重要になる。投手 j_0 の効率値は、[CCR 1]の解として得られる。例えば、藤川(神)は $y_{j_0}=67 \cdot 2/3$ 、 $x_{j_0}=5$ であり、藤川(神)の効率値を1に設定すると、 $u/v=5/(67 \cdot 2/3)=0.07389$ に制約され、目的関数の

値(効率値)は1となる。他の投手を j_0 とおいて解くと制約式より効率値は1未満となり、例えば石川(ヤ)は、 $y_{j_0}=195$ 、 $x_{j_0}=58$ であり、制約式の下では $u/v=0.07389$ となっているので、効率値は $0.07389 \times 195/58=0.248$ となる。

以上が1入力1出力のCCRモデルを用いたDEA分析の基本的な考え方である。

さて、ここで再度図1をみると、石川(ヤ)は藤川(神)の3倍近くの投球回があり、そのような投手群の中では自責点も少なく優れているといえる。CCRモデルで石川(ヤ)の効率値が0.248と低く算出される理由は、藤川(神)と同じ防御率であるが投球回が藤川(神)の2.88倍であるという仮想投手を想定するためである。というのも、この仮想投手は石川(ヤ)と同じ投球回195回では自責点14.4点となり、石川(ヤ)の自責点58点の $14.4/58=0.248$ 倍となるからである。このため石川(ヤ)はCCRモデルで効率値が1とはならない。ちなみに、この場合のCCRモデルは、入力(=自責点)を減らす方向で効率値を計算しており入力指向型となっている。

ここで別の見方として、そもそも藤川(神)と同じ防御率で投球回を約3倍した仮想投手が存在すること自体不自然であるとも考えることもできる。すなわち、入力と出力の関係を単純に等倍した仮想投手の存在(規模の収穫が一定という仮定)を許さないならば石川(ヤ)の評価は異なってくるであろう。

石川(ヤ)の投球回が多い(規模が大きい)ことに着目して、石川(ヤ)と藤川(神)の能力を併せ持った仮想投手を考えたとき、その能力は図1で石川(ヤ)と藤川(神)を結ぶ線分上に位置するであろう。図1ではその線分より左側に位置する投手はいない。すなわち、規模も考慮したとき、石川(ヤ)は最も優れた投手のひとりと考えることができる。このように、規模を考慮した場合、以下の分数計画問題[BCC 1]を解くことで効率値を求めることができる。

[BCC 1]

$$\text{Max } \frac{uy_{j_0} + u_0}{vx_{j_0}}$$

s.t.

$$\frac{uy_j + u_0}{vx_j} \leq 1 \quad (j=1, \dots, n)$$

$$u, v \geq 0$$

ここで、分子の u_0 には符号制約はなく、比率尺度が最大となるように投手は規模を選択できることとなる。

これが BCC モデルと呼ばれるモデルであり、図 1 に示した BCC での効率的フロンティアの境界上に位置する藤川 (神), 石川 (ヤ), グライシンガー (巨) の 3 投手の効率値が 1 となる。すなわち CCR モデルでは、藤川 (神) のみが効率値 1 であったが、BCC モデルでは効率的フロンティアが変わり、石川 (ヤ), グライシンガー (巨) も効率値 1 となっている。

3. 投手評価のための BCC モデル

前節では、1 入力 1 出力の場合を例示したが、本節では複数の入出力項目を扱う多次元的な評価について例示する。

一般に、入出力項目が複数となった場合は各項目にウェイトを掛けて加えることがよく行われる。すなわち、入力の各データにウェイトをかけて加えた仮想的入力と、出力の各データにウェイトをかけて加えた仮想的出力の比 (= 仮想的出力 / 仮想的入力) を考えて対象を評価するというやり方である。

ここでは投手の評価として、小さいほど望ましい項目である自責点、被安打、被本塁打、与四死球の 4 項目を入力に、多いほど望ましい項目である投球回、奪三振の 2 項目を出力とした 4 入力 2 出力の BCC モデルを考えてみる。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{仮想的入力} &= v_1 \times \text{自責点} + v_2 \times \text{被安打} \\ &\quad + v_3 \times \text{被本塁打} + v_4 \times \text{与四死球} \end{aligned}$$

$$\text{仮想的出力} = u_1 \times \text{投球回} + u_2 \times \text{奪三振} + u_0$$

を考える。ここで、 v_1, v_2 などとはそれぞれ自責点や被安打などに対するウェイトを表しており、もし自責点や被安打の 5 倍重要であると考えれば、仮想的入力の右辺第 1 項 ($v_1 \times$ 自責点) が第 2 項 ($v_2 \times$ 被安打) の 5 倍となるようにウェイトづけした値を入力として評価する。このように考えれば、複数の評価指標を入れ込んだ比率尺度を作ることができる。

さて、ここで DEA ではこのウェイトの決め方に特徴がある。一般的には、前述したように自責点を被安打の 5 倍重要であるなどと、項目ごとのウェイトの比をある値に固定して評価することがなされるが、DEA ではウェイトの値を可変とし、各々の DMU が自分の比率尺度を最大化するようにウェイトを決定できる。つまり、 v_1, v_2 などをもどのような値にするかという問題について、DEA ではどの投手も非負条件などの制約範囲内で自由にウェイトの値をとることができ、先験的なウェイトの値を必要としない。これは、どの投手も自分の長所を最大限活かした上での評価がなされることになるという点で公平な評価となっているといえる。

以上を定式化すると BCC モデルでは以下の分数計画問題 [BCC 2] を解くことに帰着される。

[BCC 2]

$$\text{Max} \quad \frac{\sum_r u_r y_{rj_0} + u_0}{\sum_i v_i x_{i j_0}}$$

s.t.

$$\frac{\sum_r u_r y_{rj} + u_0}{\sum_i v_i x_{ij}} \leq 1 \quad (j=1, \dots, n)$$

$$u_r \geq 0 \quad (r=1, \dots, s)$$

$$v_i \geq 0 \quad (i=1, \dots, m)$$

この例は 4 入力 2 出力なので、[BCC 2] で $m=4, s=2$ となる。

さて、この入出力に関するセ・リーグの投手 43 名のデータを表 1 に示す。紙幅の都合で上位下位投手についてのみ示したが、自責点では藤川 (神) が極めて少ないこと、グラインジャー (巨) は自責点も多く被安打は最多であるものの投球回も最多であり奪三振も多いこと、永川 (広) やクルーン (巨) は被安打や被本塁打が少ないものの投球回も少ないことなどがわか

表 1 入出力項目における上位下位投手の一覧

入力				出力							
選手	自責点	選手	被安打	選手	被本塁打	選手	与四死球	選手	投球回	選手	奪三振
藤川(神)	5	永川(広)	33	クルーン(巨)	1	寺原(横)	14	グラインジャー(巨)	206.00	ルイス(広)	183
松岡(ヤ)	11	クルーン(巨)	34	藤川(神)	2	山口(巨)	15	石川(ヤ)	195.00	グラインジャー(巨)	167
永川(広)	12	藤川(神)	34	渡辺(神)	2	押本(ヤ)	15	内海(巨)	184.33	内海(巨)	154
クルーン(巨)	15	松岡(ヤ)	51	山口(巨)	3	上原(巨)	16	ルイス(広)	178.00	中田(中)	126
越智(巨)	19	渡辺(神)	52	ホーグルン(神)	3	藤川(神)	16	大竹(広)	171.00	川上(中)	112
山口(巨)	19			永川(広)	3					石川(ヤ)	112
...
中田(中)	67	内海(巨)	166			中田(中)	57	ホーグルン(神)	65.33	ホーグルン(神)	50
小笠原(中)	69	岩田(神)	168	グラインジャー(巨)	20	岩田(神)	61	篠田(広)	64.67	バーンサイド(巨)	47
グラインジャー(巨)	70	石川(ヤ)	180	小笠原(中)	20	村中(ヤ)	66	リオス(ヤ)	64.33	押本(ヤ)	46
ウツド(横)	71	大竹(広)	189	石川(ヤ)	21	大竹(広)	72	クルーン(巨)	61.00	篠田(広)	41
大竹(広)	73	グラインジャー(巨)	201	三浦(横)	22	内海(巨)	75	永川(広)	61.00	リオス(ヤ)	37

る。このように、入出力のデータだけでも投手の特徴はある程度把握できるが、次節ではこれを DEA 分析した結果について述べる。

4. BCC モデルでの分析結果

[BCC 2]で示した BCC モデルにて 43 投手を評価した結果を表 2 に示す。前節の 1 入力 1 出力の例では藤川 (神), 石川 (ヤ), グライシンガー (巨) の 3 名が効率値 1 であったが, 表 2 に示したように投手 11 名の効率値が 1 となった。入出力項目を増やしたことに伴い, 効率値 1 の投手が増えていることがわかる。ちなみに CCR モデルでの効率値を表 2 の最右欄に記載しており, BCC モデルの方が効率値が高く評価される傾向があることもわかる。なお, 今回の計算には文献[4]に基づく DEA 分析用ソフトウェアである SEITECH 社[11]の DEA-Solver-PRO を利用した。

効率値 1 の投手を表 1 で個別にみってみると自責点, 被安打, 被本塁打, 与四死球のそれぞれが最も少ない

藤川 (神), 永川 (広), クルーン (巨), 寺原 (横), また投球回や奪三振の最も多いグライシンガー (巨), ルイス (広) など, 各々特徴のある選手が効率値 1 となっている。また, 他の投手も概ね入出力項目のいずれかの上位に位置していることがわかる。

なお, 分数計画問題を解いて効率値が 1 であり, かつ付録で示すようにスラックが 0 となれば「効率的」であるといわれる。ちなみにこの例では効率値 1 の投手はすべてスラックの値も 0 となり効率的である。

次に, 表 2 で効率値 1 未満の非効率的な投手に着目してみる。例えば, 押本 (ヤ) が非効率的となるのは, 寺原 (横), 山口 (巨), 上原 (巨) という効率的な投手の存在により, 押本 (ヤ) が相対的に劣っていると判断されることによる。このように, ある DMU を非効率的ならしめる効率的な DMU の集合を参照集合と呼ぶ。押本 (ヤ) は寺原 (横), 山口 (巨), 上原 (巨) を 0.78, 0.16, 0.07 の係数で結合してできた仮想投手と相対比較したときに非効率的となり, 効率値

表 2 セ・リーグ投手の DEA 分析例

選手名	BCC 効率値	参照集合と結合係数											RTS	CCR 効率値	
		藤川(神)	ルイス(広)	寺原(横)	山口(巨)	上原(巨)	内海(巨)	クルーン(巨)	岩田(神)	石川(ヤ)	グライシンガー(巨)	永川(広)			
藤川(神)	1	1												CRS	1
ルイス(広)	1		1											CRS	1
寺原(横)	1			1										IRS	0.996
山口(巨)	1				1									CRS	1
上原(巨)	1					1								CRS	1
内海(巨)	1						1							DRS	0.708
クルーン(巨)	1							1						CRS	1
岩田(神)	1								1					DRS	0.817
石川(ヤ)	1									1				DRS	0.848
グライシンガー(巨)	1										1			DRS	0.948
永川(広)	1											1		IRS	0.929
押本(ヤ)	0.953			0.78	0.16	0.07								IRS	0.889
下柳(神)	0.923	0.13	0.45				0.27		0.15					DRS	0.705
館山(ヤ)	0.911	0.22	0.78											CRS	0.818
安藤(神)	0.911	0.13	0.38				0.01		0.48					DRS	0.690
山本(中)	0.894	0.894	0.57	0.29	0.05	0.09								IRS	0.888
川上(中)	0.882	0.56	0.38							0.06				DRS	0.817
越智(巨)	0.871	0.27	0.11						0.82					DRS	0.704
村中(ヤ)	0.860	0.50	0.50											CRS	0.574
三浦(横)	0.840	0.30	0.69	0.01										IRS	0.840
チェン(中)	0.836	0.58	0.35				0.07							DRS	0.673
渡辺(神)	0.817	0.52						0.45	0.03					DRS	0.804
松岡(ヤ)	0.811	0.81	0.03	0.05	0.12									IRS	0.805
吉見(中)	0.770	0.22	0.41	0.25	0.12									IRS	0.765
前田(広)	0.763	0.62	0.38											CRS	0.640
大竹(広)	0.760	0.06	0.94											CRS	0.532
アッチソン(神)	0.752	0.42	0.33	0.26										IRS	0.750
川島(ヤ)	0.732	0.57	0.43											CRS	0.567
木佐貫(巨)	0.729			0.53	0.36	0.11								IRS	0.700
小林(横)	0.726	0.45	0.55											CRS	0.540
高橋(巨)	0.721	0.51	0.49											CRS	0.705
篠田(広)	0.698	0.32		0.88										IRS	0.641
小笠原(中)	0.695	0.42	0.58											CRS	0.597
高橋(広)	0.685	0.56	0.44											CRS	0.550
中田(中)	0.674	0.44	0.56											CRS	0.511
ウッド(横)	0.672	0.38	0.62											CRS	0.533
ホーグルン(神)	0.657	0.97						0.03						IRS	0.636
バーンサイド(巨)	0.632	0.91	0.07	0.03										IRS	0.632
久保田(神)	0.606	0.84	0.16											CRS	0.543
吉見(横)	0.564	0.83	0.17											CRS	0.559
桑原(横)	0.504	0.92	0.08											CRS	0.449
リオス(ヤ)	0.499	0.74		0.26										IRS	0.467
那須野(横)	0.488	0.88	0.12											CRS	0.487

は0.953である。逆に、押本（ヤ）の現在の最適ウェイトで効率的となるためには、その仮想投手を目標とすればよいともいえる。また、押本（ヤ）は係数の値が大きい寺原（横）に近いタイプの投手であることもわかる。さらに、押本（ヤ）の参照集合は下柳（神）のものとはまったく異なることから、下柳（神）とは違ったタイプの投手であることもわかる。

なお、効率的な投手は自分自身を参照集合とすることになる。また、効率的な投手は非効率的な投手の参照集合にはいる回数が多いほど、多くの非効率的な投手の目標となるような代表的な投手であるといえる。このような参照集合への出現回数を一覧にしたものが表3である。

表3より藤川（神）、ルイス（広）は過半数の投手から参照されており、セ・リーグを代表する投手であるといえる。他方、グライシンガー（巨）と永川（広）は出現回数が0である。これは彼らに関与する効率的フロンティアを目標とする投手がいなかったことを意味し、特異な投手であるといえる。このように参照集合への出現回数は、効率的な投手をさらに識別する指標となる。

また、効率的な投手について、表4に示すような仮想的入出力値を見ることで、どの入出力項目で効率値1を取りえたのか確認することができる。仮想的入出力

値ではなく最適ウェイトの値をみても、どの入出力項目を重要視しているかは判断できるが、ウェイトの値は入出力項目の尺度（単位）に依存するため、ウェイトと入出力項目の積となる仮想的入出力値の大きさを各項目を比較した方がわかりやすい。効率値1の投手はその仮想的入力、仮想的出力の総和がそれぞれ1となるので、仮想的入出力値は効率値1となりえたことに対する各入出力項目の貢献比率を表しており、投手の特徴を識別することができる。

例えば、藤川（神）は自責点と投球回に関して評価されて効率値1となっていることが表4からわかる。また、石川（ヤ）は投球回について規模を考慮した上で、自責点が少ないという点で評価されているようである。ただし、解が複数存在した場合は、最適ウェイトが一意に定まらないので、他の仮想的入出力値もあり得る点に注意する必要がある。例えば、クルーン（巨）は被安打を評価されているが、これは被安打の少なさだけ評価されているのではなく、効率値1となる最適ウェイトのあくまで一例を示していると考えべきである。

また、 u_0 については、石川（ヤ）、グライシンガー（巨）が、それぞれ-0.33、-0.29となっているが、これは投球回を少なくする方がより比率尺度は大きくなり効率性が増加することを示している。その意味で規模の効率性が減少型（DRS=Decreasing Returns to Scale）であると呼ばれる。藤川（神）については規模の効率性は一定（CRS=Constant Returns to Scale）、永川（広）については増加型（IRS=Increasing Returns to Scale）となっており、各投手について表2に併記している（非効率的な投手についても、改善目標の位置での規模の効率性が示されている）。

なお、DEAによる分析では、非効率的な投手については改善目標が明示される点が有用であるといえる。押本（ヤ）で例示すると、押本（ヤ）は先に述べたように寺原（横）、山口（巨）、上原（巨）により構成された仮想投手の存在により非効率的となっている。押本（ヤ）が仮想投手に追いつくためには、現投球回のみならず、自責点を1.3点、被安打を14.2本少なくするなど表5に示したような改善を行えばよいことになる。これは無数にある改善目標の中で、投手の性質をほぼ維持したままでの具体的な改善目標値の一例となっている。

表3 参照集合への出現回数

選手名	回数	選手名	回数
藤川(神)	29	クルーン(巨)	3
ルイス(広)	26	岩田(神)	3
寺原(横)	10	石川(ヤ)	1
山口(巨)	5	グライシンガー(巨)	0
上原(巨)	3	永川(広)	0
内海(巨)	3		

表4 効率的な投手の仮想的入出力値

選手名	入力				出力		
	自責点	被安打	被本塁打	与四死球	投球回	奪三振	u_0
藤川(神)	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
ルイス(広)	0.00	0.40	0.00	0.60	1.00	0.00	0.00
寺原(横)	0.00	0.22	0.11	0.67	0.99	0.00	0.01
山口(巨)	0.00	0.00	0.37	0.63	1.00	0.00	0.00
上原(巨)	0.00	0.20	0.00	0.80	1.00	0.00	0.00
内海(巨)	0.00	0.37	0.49	0.14	1.19	0.00	-0.19
クルーン(巨)	0.02	0.98	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
岩田(神)	0.00	0.00	0.64	0.36	1.13	0.00	-0.13
石川(ヤ)	0.83	0.00	0.00	0.17	1.33	0.00	-0.33
グライシンガー(巨)	0.00	0.00	0.00	1.00	1.29	0.00	-0.29
永川(広)	0.00	1.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.72

表5 押本（ヤ）の実績と改善目標値の一例

	実績	目標	差
自責点	27	25.72	-1.28
被安打	74	59.84	-14.2
被本塁打	8	4.315	-3.68
与四死球	15	14.29	-0.71
投球回	72.67	72.67	0
奪三振	46	66.87	20.87

表6 パ・リーグ投手の BCC 効率値

投手	BCC 効率値	投手	BCC 効率値	投手	BCC 効率値
ダルビッシュ(日)	1	清水(口)	0.852	青山(楽)	0.753
岩隈(楽)	1	多田野(日)	0.851	田中(楽)	0.749
杉内(ソ)	1	ホルトン(ソ)	0.845	金子(オ)	0.741
加藤(オ)	1	川越(オ)	0.830	カートマン(ソ)	0.731
岸田(オ)	1	武田久(日)	0.825	藤井(日)	0.720
建山(日)	1	帆足(西)	0.824	涌井(西)	0.720
小山(楽)	1	ドミンゴ(楽)	0.820	永井(楽)	0.713
川崎(口)	1	スウィニー(日)	0.817	グリーン(日)	0.711
片山(楽)	0.994	キニー(西)	0.805	オルティス(オ)	0.694
武田勝(日)	0.943	和田(ソ)	0.797	久保(口)	0.689
新垣(ソ)	0.939	岸(西)	0.796	西口(西)	0.685
小松(オ)	0.939	唐川(口)	0.792	小林(口)	0.677
大隣(ソ)	0.911	近藤(オ)	0.782	石井(西)	0.668
成瀬(口)	0.907	渡辺(口)	0.776	朝井(楽)	0.634
本柳(オ)	0.897	大場(ソ)	0.774	パウエル(ソ)	0.630
大沼(西)	0.877	山本(オ)	0.772	小野(口)	0.627

5. パ・リーグでの分析結果

参考までに、2008 年度の投球回が 60 イニング以上であるパ・リーグの投手 48 名についても同じ BCC モデルにて求めた効率値を表 6 に示す。ダルビッシュ(日) や岩隈(楽) などの 8 投手が効率値 1 となった。詳細については割愛するが、投手の特徴の違いなどを同様に分析することができる。

6. おわりに

以上、プロ野球の投手を DEA を用いて評価した結果について述べた。今回は主に BCC モデルを基に評価したが、入出力項目を変えてみたら、別の面白い結果が得られるかもしれない。また他の DEA モデルを用いて分析することも可能である。例えば、橋本[5]では領域限定したモデルや平均クロス効率性を用いた評価にも言及しているので、興味のある方は参照されたい。

DEA に関する研究分野は今後も益々発展していくと思われる。ただ、実務での DEA の活用という点では、回帰分析などの統計手法ほどは普及していないのが実情である。今後、DEA を日常の実務で利用される方が増え、何らかの役に立つことになればと思っている。

付 録

分数計画問題[BCC 2]は線形計画問題

$$\text{Max } \sum_r u_r y_{rj_0} + u_0$$

s.t.

$$-\sum_i v_i x_{ij} + \sum_r u_r y_{rj} + u_0 \leq 0 \quad (j=1, \dots, n)$$

$$\sum_i v_i x_{ij} = 1 \quad (j=1, \dots, n)$$

$$u_r \geq 0 \quad (r=1, \dots, s)$$

$$v_i \geq 0 \quad (i=1, \dots, m)$$

に変換することができる。ちなみに、この問題は多入力を等比率で減らす場合の効率的フロンティアへの最大移動に焦点を当てていることになり入力指向型といわれる。

この双対問題はスラック変数 s_i^- , s_r^+ を入れて表現すると、

$$\text{Min } \theta$$

s.t.

$$\theta x_{ij_0} - \sum_j \lambda_j x_{ij} - s_i^- = 0 \quad (i=1, \dots, m)$$

$$\sum_j \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rj_0} \quad (r=1, \dots, s)$$

$$\sum_j \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, n)$$

となる。この問題の最適解に関して、

$$\theta = 1$$

$$s_i^- = 0 \quad (i=1, \dots, m)$$

$$s_r^+ = 0 \quad (r=1, \dots, s)$$

が成り立つとき、すなわち効率値が 1 でかつスラックが 0 となると、その DMU を効率的であるという。そうでないとき非効率的であるという。

参考文献

- [1] 刀根薫, 経営効率性の測定と改善—包絡分析法 DEA による—, 日科技連 (1993).
- [2] 末吉俊幸, DEA—経営効率分析法—, 朝倉書店 (2001).
- [3] 上田徹, オペレーションズ・マネジメント—経営の科学とその応用—, 牧野書店 (2006).
- [4] W. W. Cooper, L. M. Seiford and K. Tone, Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software 2nd ed. Springer, New York (2007).
- [5] 橋本昭洋, DEA による野球打者の評価, オペレーションズ・リサーチ, 38, 146-153 (1993).
- [6] 刀根薫, 上田徹監訳, 経営効率評価ハンドブック, 第 19 章 野球選手の相対的効率性の評価, 朝倉書店 (2000).

- [7] 上田徹, 住倉俊宏, どの野球選手の攻撃力が優れているだろうか, オペレーションズ・リサーチ, 47, 137-141 (2002).
- [8] T. R. Anderson and G. P. Sharp, A new measure of baseball batters using DEA, Annals of OR, 73, 141-155 (1997).
- [9] Y. Sueyoshi, K. Ohnishi and Y. Kinase, A Benchmark Approach for Baseball Evaluation, EJOR, 115, 429-448 (1999).
- [10] H. Morita and N. K. Avkiran, Selecting Inputs and Outputs in Data Envelopment Analysis by Designing Statistical Experiments, 52, 163-173 (2009).
- [11] <http://www.saitech-inc.com/Products/Prod-DSP.asp>