

## DEA を用いたプロサッカー選手の投資効率評価

関 智(09X4059) 指導教員 五島 洋行

## 1. はじめに

現代のスポーツ現場では、データ収集やデータの統計分析などといったことがとても重要な役割を果たしている。そのため、近年ではスポーツを様々な手法で分析されることが増えてきている。その手法の一つとして DEA(Data Envelopment Analysis)があり、主にスポーツ選手の評価に用いられている。廣津ら[1]の研究では DEA を用いてサッカー選手の評価を行っている。この研究では、DEA 分析するにあたり、全選手の入力値を 1 と設定し、それぞれの選手の効率値を算出している。この値とオプタポイントと比較し、DEA を用いてサッカー選手の評価ができることを確認している。

本研究では、2012 年度の J リーグ・ディビジョン 1 のデータ[2]を対象に、DEA 分析を行う。このとき入力を年俸と設定する。このようにすることで、年俸を考慮した評価ができる。これは経営者側から見た評価であり、選手の投資効率評価とした。さらに、それにより算出された効率値とサッカーダイジェストの採点評価との比較を行う。

## 2. 前提条件

DEA とは、仮想的出力／仮想的入力比率の尺度によって、効率性を相対的に評価する方法である。この比率尺度の値が 1 の評価対象を効率的であるといい、そうでない評価対象を非効率的であると言う[3]。

本研究では、出力をパス、ドリブル、クロス、タックル、インターセプト、クリア、得点、アシストの 8 項目とし、入力を次の 3 通りに分ける。

- ・入力を 1 とする場合
- ・入力を年俸とする場合
- ・入力を年俸の平方根とする場合

入力を年俸とする場合、年俸 400 万と 1 億の選手だと後者の選手の出力がどんなに良くても、高い効率値が出ない可能性があると思える。そのため年俸の平方根を入力に設定する場合も考えることにする。

この 3 通りそれぞれを、次の線形計画問題を解くことにより、効率値を求める。

目的関数

$$\max \theta = u_1 y_{10} + \dots + u_s y_{s0} \quad (1)$$

制約式

$$v_1 x_{10} + \dots + v_m x_{m0} = 1 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} u_1 y_{1j} + \dots + u_s y_{sj} \\ \leq v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj} \end{aligned} \quad (3)$$

( $j = 1, 2, \dots, n$ )

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (4)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (5)$$

ただし、 $m$  は入力項目数、 $s$  は出力項目数、 $n$  はモデル数である。

## 3. 分析結果

表 1 は、前述した 3 通りでそれぞれ DEA 分析した結果と年俸を示したものである。

入力を年俸とした場合、年俸が 1000 万を下回る選手のほとんどが高い効率値になり、年俸が高い選手の効率値は極端に低くなった。表 2 はそのときの上位の選手の年俸と効率値である。この結果から、これは年俸を考慮した選手の評価としては、あまり現実的ではないと判断した。

表 1 3 通りそれぞれの DEA 分析の結果。

チーム	選手とポジション	入力=1 効率値	入力=年俸 効率値	入力=年俸の平方根 効率値
広島	青山 敏弘 MF	0.745	0.210	0.540
広島	森崎 和幸 MF	1.000	0.226	0.620
広島	ミキチ MF	1.000	0.269	0.694
広島	高萩 洋次郎 MF	1.000	0.355	0.738
広島	清水 航平 MF	0.686	1.000	1.000
広島	石原 直樹 FW	0.559	0.163	0.380
広島	佐藤 寿人 FW	1.000	0.251	0.755
仙台	梁 勇基 MF	0.890	0.182	0.481
仙台	太田 吉彰 MF	1.000	0.444	0.765
仙台	富田 晋伍 MF	0.902	0.449	0.703

表2 入力=年俸の効率値上位12名.

選手	年俸(十万円)	効率値
清水 航平	40	1
小野 裕二	60	1
齋藤 学	50	1
岡本 知剛	55	1
水沼 宏太	60	1
金 民友	55	1
藤田 直之	60	1
田口 泰士	40	1
河井 陽介	48	1
山田 大記	80	1
小川 慶治朗	48	1
小林 裕紀	72	0.991

表3 効率値と評価の平均.

	平均
効率値	0.569
サッカーダイジェスト評価	5.861

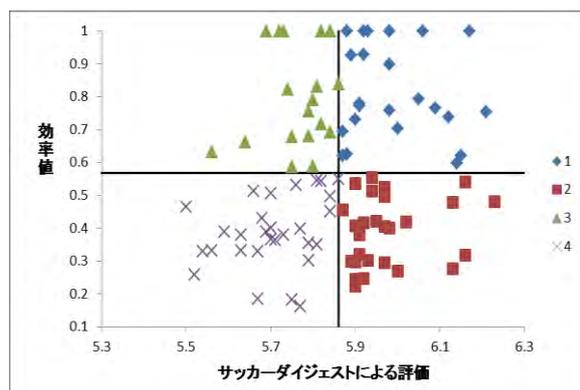


図1. DEAによる効率値と評価との比較.

最後に、入力を年俸の平方根とした場合の効率値を算出した。この数値を見ると、年俸が低い選手だけが効率値が良いとは限らなかった。よって、入力を年俸とするよりも、現実的に考えると、こちらのほうが選手の投資効率評価をするには適していると言える。

図1は、DEA分析において、入力を年俸の平方根として算出した効率値と、サッカーダイジェストの記者による評価との散布図である。その散布図を、表3に示した効率値の平均値とサッカーダイジェストによる評価の平均値を境界とし、4つに分類した。例えば、図1の3の選手に着目すると、サッカーダイジェストの評価は低いものの、本研究で出した効率値は高く出ている。つまり、これらの選手は、それほど注目されていないが、データでみ

ると優秀な選手である。経営者からの視点で見ると、いわゆるお得な選手であるということが言える。また、4の選手については、サッカーダイジェストの評価も効率値も低い選手であり、年俸を低くするように考え直す必要があることがわかる。つまり、入力を年俸の平方根にした場合、選手の年俸を考慮した評価を知ることができる。この評価はクラブの経営における指標の一つとして考えられる。また、選手の年俸や移籍金の決定などに使うことができる。

#### 4. おわりに

本研究では、DEAを用いて経営者側から見た選手の評価を数値化することを試みた。まず、入力を1とした場合と入力を年俸やその平方根とした場合の効率値は全く異なることがわかった。さらに、入力を年俸とした場合と年俸の平方根にした場合では、年俸の平方根にした場合のほうが、より現実的に選手の投資効率評価を行うことができた。

今後の課題として、入力を年俸の平方根ではない形でも効率値を算出して、それぞれを比較し、より良い評価方法がないか検証することが挙げられる。さらに、数年分のデータをDEA分析で選手の投資効率評価を行い、実際に年俸がどのように変化していくのかを検証していくことも挙げられる。また、海外のクラブチームとの比較も行ってみた。

#### 参考文献

- [1] 廣津信義・秋山大輔・上田徹：サッカー選手のDEAの視点からの評価、2006年10月号, pp.655-661, 2006.
- [2] 週刊サッカーダイジェスト Jリーグ2012シーズン総集編：(株)日本スポーツ企画出版社, 2012.
- [3] 刀根薫, 経営効率性の測定と改善-包絡分析法DEAによる-, 日科技連出版社, 1993.

# DEA を用いたプロサッカー選手の投資効率評価

指導教官

五島洋行

法政大学 理工学部 経営システム工学科

経営数理工学研究室

2013 年 2 月

09x4059 関 智

## 論文要旨

本研究では、DEAを用いたプロサッカー選手の評価方法を検討する。近年では、IT技術の発展のおかげもあり、多くのスポーツ現場でデータ収集やデータ分析がなされるようになり、さらにそれは必要不可欠になりつつある。また、スポーツ選手やチームを統計データから評価する研究も増えてきている。しかしその多くは、選手の能力評価であって、経営という観点を入れていない。

そこで本研究では、クラブ経営者の視点に立ち、年俵を考慮した評価を行う。DEA分析による入力を年俵とした場合、算出された効率値は年俵の差による影響が大きくなった。そこで、入力を年俵の場合だけでなく、年俵<sup>a</sup>( $a=0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$ ),  $\log$ 年俵を含めた8通りでDEA分析を行い、効率値を算出した。さらに、それらの効率値と、2011年度から2012年度の年俵の上昇率との比較を行い、どの入力の時が最も当てはまりが良いかを検証した。その結果、 $a=0.8$ の入力の場合が最も当てはまりが良いことが分かった。この評価方法はクラブ側が選手の評価を行うための一つの指標となりうる。また、選手の年俵の決定などに応用することができると考えられる。

## 目次

第1章 序論 .....	1
1.1 背景と目的.....	1
1.2 論文構成.....	4
第2章 予備知識 .....	5
2.1 包絡分析法(DEA).....	5
2.2 Charnes-Cooper-Rhodes モデル.....	8
第3章 関連研究 .....	10
3.1 野球選手の評価.....	10
3.2 サッカー選手の評価.....	10
第4章 提案手法 .....	12
4.1 前提条件.....	12
4.2 研究結果.....	14
4.3 考察.....	20
第5章 まとめ .....	21

# 第1章 序論

## 1.1 背景と目的

現代のスポーツ現場では、データ収集やデータの統計分析などといったことが重要な役割を果たしている。そのため、近年ではスポーツを様々な手法で分析されることが増えてきている。その手法の一つとして DEA(Data Envelopment Analysis)がある。

DEA によるスポーツ選手の評価としては野球に関する事例が主である。野球選手の事例が多い理由の一つに、豊富なデータがあるということが挙げられる。しかし、近年では、様々なスポーツで多くのデータが扱われている。

2010 年に南アフリカで開催されたサッカーの世界カップでは、チームの得点や失点などだけでなく、選手の走行距離やトップスピード、チームがどのエリアどのくらいポゼッションしていたかなど、今までには見られなかったデータが観測されるようになった。また、スポーツのデータを分析する会社も設立された。データスタジアム株式会社はそのうちの一つであるが、野球やサッカー以外のスポーツも分析されている。バスケットボールにおいては、コート上の選手とボールの動きを取得し、フォーメーション傾向やシュート角度などが分析されている。

これらのように、データを整理・分析し、スコアシートレベルでは分からなかった情報を得ることで、スポーツの戦略的な面白さは格段に増した。

本研究の対象であるサッカーのデータは、一昔前まではあまり細かくは分析されていなかった。そのため、データといえば得点や失点、アシスト、フリーキック、コーナーキック、ファウル数などせいぜいスコアブックに書ける程度であった。また、選手の評価と言えは得点やアシストから評価するのが主であった。

しかし、前述したように、サッカーにおいても、近年では実に様々なデータが集計されており、分析されている。データスタジアム株式会社は、今年の 5 月に Football LAB(フットボールラボ)というサイトを開設した。これは、サッカーの試合におけるパスやドリブルの総数のみでなくその方向や距離、エリア別などのデータを集計している。さらに、それら 100 万を超える膨大なデータを元に統計分析し、「チャンスビルディングポイント」というデータスタジアム社が独自の方法で算出したポイントなどを紹介している。表 1 は、データスタジアム社が集計した 2012 年の J リーグ・ディビジョン 1 におけるデータから算出した各チームにおけるパス本数の比較である。これは 2012 年の優勝チームであるサンフレッチェ広島が、意外にも守備エリアへのパス数で 1 位ということを表している。なお、この攻撃エリアと守備エリアというのは、ピッチを 3 分割して敵陣から攻撃エリア、中盤、守備エリアとしている[1]。

また、週刊サッカーマガジンや週刊サッカーダイジェストなどのサッカー専門雑誌

では、Jリーグなどの試合におけるデータを紹介するのみでなく、毎試合ごと、選手に採点をつけている[2]。表2は週刊サッカーダイジェストにおける2012年度Jリーグ・ディビジョン1のベストイレブンとその選手のチーム、ポジション、採点評価である。

表1 パス本数の比較.

攻撃エリアへ		守備エリアへ	
ガ大阪	5,744	広島	4,380
F東京	5,472	浦和	4,040
横浜マ	5,410	川崎	2,997
川崎	5,127	清水	2,896
磐田	5,060	ガ大阪	2,785
浦和	4,967	F東京	2,722
鹿島	4,935	セ大阪	2,690
柏	4,867	大宮	2,526
仙台	4,862	鹿島	2,491
名古屋	4,825	磐田	2,485
神戸	4,694	札幌	2,409
セ大阪	4,442	名古屋	2,347
清水	4,435	柏	2,095
大宮	4,236	鳥栖	2,037
広島	4,107	新潟	2,020
新潟	4,073	横浜マ	1,896
鳥栖	3,736	仙台	1,840
札幌	3,476	神戸	1,636

表 2 2012 年度のベストイレブンと採点評価.

選手名	チーム	ポジション	採点
西川周作	広島	GK	5.96
槇野智章	広島	DF	5.82
田中マルクス闘莉王	名古屋	DF	6.17
水本裕貴	広島	DF	5.96
レアンドロ・ドミンゲス	柏	MF	6.16
青山敏弘	広島	MF	6.16
梁 勇基	仙台	MF	6.23
高萩洋次郎	広島	MF	6.12
佐藤寿人	広島	FW	6.21
赤嶺真吾	仙台	FW	6.14
豊田陽平	鳥栖	FW	6.05

これらのように、近年サッカーの試合においても、細かい分析がなされるようになったことで、得点や失点以外のデータから試合を分析することや、選手やチームごとに、点数やポイントをつけるといったことが増え始めた。ところが、サッカーの統計データは、一般的に扱いが難しいと言われている。その理由として、サッカーは一人一人が動き回るスポーツであり、野球の打率・防御率などと違い、数値のみではチーム・個人のパフォーマンスを測りきるのは難しいからであると考えられる。実際に、週刊サッカーマガジンと週刊サッカーダイジェストにおける選手の採点は異なっている。そのため、サッカーにおける選手やチームについての研究はあまり多くは見られない。

そこで本研究では、統計データからプロサッカー選手を評価する。さらに年俵を考慮することで経営者からの評価を行う。その評価方法として今回は DEA 分析を使用する。DEA 分析については 3.1IDEA で詳しく説明する。それによって算出された効率値から選手の評価を行う。また、データから算出された効率値と 2011 年度から 2012 年度の年俵の上昇率とを比較し、どの程度当てはまるのかを検証する。

## 1.2 論文構成

本論文は全5章で構成されている。

第2章では、本研究で使用する手法である包絡分析法（DEA）についての基本的な考え方を説明する。また、包絡分析法の基本的モデルであるCCRについての説明も示す。

第3章では、DEAを用いてスポーツ選手の評価をしている研究を、本研究の関連研究として紹介する。

第4章では、2011年のJリーグ・ディビジョン1のデータを用いDEA分析をし、考察を行う。

第5章では、まとめとして全体の考察、問題点、今後の展望などについて述べる。

## 第2章 予備知識

本章では、本研究で使用する包絡分析法（DEA）について詳しく説明する。2.1ではDEAについての基本的な考え方や簡単な使用例を示す。2.2ではその基本的なモデルであり、本研究でも使用したCCRモデルについて述べる。

### 2.1 包絡分析法(DEA)

DEA (Data Envelopment Analysis) は包絡分析法と呼ばれ、テキサス大学の A. チャーンズ, W. W. クーパーの両教授によって開発されてきた。また、これは経営効率分析法とも呼ばれており、その名称からもわかるように、経営効率や計画したことが効果的に行われたかどうかを評価するときに用いられる手法である。

経営活動などでは、原材料・設備・労働力・資金・サービス・宣伝など多くの種類を投入し、生産物・利益・信用・顧客などの多くの種類を産出する。また、国や地方自治体などの公的機関では、資金・労働力・施設などの施策を行い、サービスや補助などの形で住民へ還元される。このように複数の投入と、複数の産出を比較し、投入に対する産出の比で効率性を評価する。このとき、少ない投入物で、大きい産出物を得ることを一般的に効率的ととらえる。

DEA では、このような効率性を、同じような投入と産出を行って活動している複数の対象を比較し評価する。この比較対照する対象を意思決定主体 (DMU-Decision Making Unit) と呼び DMU と表す。この DMU は、事業体と訳されることもある。

次に、各事業体に共通した投入（入力）項目と産出（出力）項目の一般的な選び方の方針を説明する。

1. 投入項目、産出項目ともに数値データが準備できること。原則として、全事業体についてその値は正であること。
2. 投入項目、産出項目を選ぶにあたっては、自分が見たいと思う（投入対産出の）効率性の特徴をよく表している項目を選ぶ。
3. 原則として、ある出力を得るための入力に関して言えば、値が小さいほど好ましく、ある入力による出力に関しては、大きいほど好ましい状態にあるとする。
4. 投入項目、産出項目の数値の単位は任意にとってよい、例えば、人数、金額、面積、台数などがある。

ここで、具体的な例として表3に示す12の病院の場合を考察する。

入力として医師と看護師の人数、出力として外来患者延数と入院患者延数(単位：100人/月)をとる。(出力/入力)という比率尺度で効率性を計測するために、これらの多入力、多出力をそれぞれ1つの仮想的入力、仮想的出力に換算してみる。このとき、各項目にウェイト(重み)を掛けて加える。

表 3 12 の病院における医師と看護師の数

病院	A	B	C	D	E	F
医師	20	19	25	27	22	55
看護師	151	131	160	168	158	255
外来	100	150	160	180	94	230
入院	90	50	55	72	66	90
病院	G	H	I	J	K	L
医師	33	31	30	50	53	38
看護師	235	206	244	268	306	284
外来	220	152	190	250	260	250
入院	88	80	100	100	147	120

$$\text{仮想的入力} = v_1 \times \text{医師数} + v_2 \times \text{看護師数} \quad (1)$$

$$\text{仮想的出力} = u_1 \times \text{外来患者延数} + u_2 \times \text{入院患者延数} \quad (2)$$

その上で、

仮想的出力／仮想的入力

によって効率性を比較する。ここで、 $v_1$ 、 $v_2$ 、 $u_1$ 、 $u_2$  といったウェイトの決め方が問題になってくる。一般的に言うと、ウェイトには下記の 2 種類がある。

#### 1. 固定ウェイト

各ウェイトの比率を固定する。例えば、

$$v_1 : v_2 = 5 : 1$$

$$u_1 : u_2 = 1 : 3$$

とする。

#### 2. 可変ウェイト

病院ごとにウェイトを可変する。

固定ウェイトは、個々の事業体の特色を無視した一律のウェイトであり、ある意味では公平かもしれないが、現実の事業体の持つ多様性を評価するにはあまり適していない。仮に、固定ウェイトを単純に平均コストの比で決定する場合や、統計的な回帰分析で決定するような場合には、平均的な事業体像が前面に出てくる。そのため、特に優れた事業体は外れ者としての扱いを受けかねない。実際に役に立つ分析は、優れた事業体を基準とした評価である。これから取り上げる可変ウェイトを決定する基本的な考え方は次のような考え方である。入力ウェイト、出力ウェイトは評価の対象ごとに異なってよいものとする。それを決定する原則は、その対象にとって最も好都合となるようにということである。自分のもっとも得意とする項目に大きいウェイトを付け、苦手とする項目に小さいウェイトを付けてもよい。ただし、その同じウェイトで他の事業体も評価し、仮想的入力と仮想的出力を計算し、比率尺度によって、効率

表 4 固定ウェイトと可変ウェイトとの比較

病院	A	B	C	D	E	F
固定	1	0.9	0.77	0.89	0.74	0.64
CCR	1	1	0.88	1	0.76	0.84
病院	G	H	I	J	K	L
固定	0.82	0.74	0.84	0.72	0.83	0.87
CCR	0.9	0.8	0.96	0.87	0.96	0.96

性を相対評価する。このような方針でウェイトを決定した場合、入出力項目の選定が適正である限り、どの事業体からもクレームはつかない。もし、ある事業体为非効率的であると判定された場合、それが他のどの事業体と比較してどの程度劣るのか、どの点を改善すれば効率的になるのかといった重要な事項が具体的に検討できる。

この評価方式は、これまでにない新しい方式である。平均像的な大勢順応型の評価から、個性的かつ多様性を活かした評価方式への転回である。

ここで、前述の病院の例を固定ウェイトと包絡分析法の両方で解いて比較を行ってみる。固定ウェイトとしては前に例で示した値を使用して、各病院の仮想的入力と仮想的出力を計算し、その比で効率を求め、さらに、その最大値で全体を割って、最大効率値が1になるように正規化する。可変ウェイトとしては、包絡分析法のCCRモデルを使用する。なおCCRモデルについては2.2で述べる。表4は各病院をその2つで比較した表である。この表を見ると、CCRのほうが固定ウェイトよりも大きい効率値を出していることがわかる。固定ウェイトでは一般に、効率値1の事業体が1つあり、他はそれより小さい効率値をもつ。可変ウェイトでは効率値1が複数あることがわかる。これは、先に述べたように、病院ごとに、その病院にとって最も有利なウェイト付けをした結果である。固定ウェイト法による結果はウェイトの取り方に左右されるので、ウェイトの決め方が大きな問題となる。そして、多基準型の問題の場合、適正と認められるウェイトを定めることは非常に困難である。それに対して、包絡分析法は先験的なウェイトの決定を必要としていない。ウェイトは各事業体にとって最適になるように決定される[3]。具体的には2.2で述べる、線形計画法という最適化手法を用いて決定される。

## 2.2 Charnes-Cooper-Rhodes モデル

次に、包絡分析法の基本的モデルである CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) モデルを考える。まず、DEA で扱う問題は基本的に次の要素で構成されている。

比較の対象とする DMU の数を  $n$  とし、それらを  $DMU_1, DMU_2, \dots, DMU_n$  と表す。これらの DMU は互いに独立に活動しており、互いに影響はされないとする。また、これらの DMU は同種類の項目を投入して、同種類の項目を産出している。このとき、投入する項目を入力 (input) と呼び、投入の種類を、全ての DMU に共通で  $m$  種類とする。一方、DMU によって産出される項目を出力 (output) と呼び、出力の種類は、全ての DMU に共通で  $s$  種類とする。したがって、 $j$  番目の DMU である  $DMU_j$  の、 $m$  種類の投入は定量化された数値データで、正の値をとり、それぞれ  $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$  とする。また、 $s$  種類の出力も、入力と同じように定量化された数値データで、正の値をとり、それぞれ  $y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}$  とする。各活動のデータを縦に並べて、横に事業体のデータを並べて、入力データ行列  $X$  と出力データ行列  $Y$  を作る。 $X$  は  $(m \times n)$  型、 $Y$  は  $(s \times n)$  型の行列である。

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$Y = \begin{pmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{s1} & \cdots & y_{sn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

次に、 $n$  個の活動それぞれについて比率尺度で効率性を測定していく。ここで、対象になっている活動を記号  $o$  とし  $DMU_o$  と書くことにする。以下、記号  $o$  は  $1, 2, \dots, n$  のどれかを指すとする。入力につけるウェイトを  $v_i (i = 1, \dots, m)$ 、出力につけるウェイトを  $u_r (r = 1, \dots, s)$  とし、その値を、次の分数計画問題を解くことによって定める。

$$\langle FP_o \rangle \text{ 目的関数} \quad \theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \cdots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \cdots + v_m x_{mo}} \quad (5)$$

$$\text{制約式} \quad \frac{u_1 y_{1j} + \cdots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + \cdots + v_m x_{mj}} \leq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (7)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (8)$$

上の分数計画問題に対して、次の線形計画問題(Linear Programming)を考える.

$$\langle LP_0 \rangle \quad \text{目的関数} \quad \theta = u_1 y_{1o} + \dots + u_s y_{so} \quad (9)$$

$$\text{制約式} \quad v_1 x_{1o} + \dots + v_m x_{mo} = 1 \quad (10)$$

$$u_1 y_{1j} + \dots + u_s y_{sj} \leq v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (12)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (13)$$

上記の分数計画問題と線形計画問題は同値である[3], [4].

本研究では、この線形計画問題を解き、最適解を求めることで、選手の投資効率評価を行う。ここで、目的関数 $\theta = 1$ ならば $DMU_o$ はD効率的であるといい、 $\theta < 1$ ならば $DMU_o$ はD非効率であるという。つまり、1に近ければ近いほど、その選手は年俸に対して結果を残しているということである。

## 第3章 関連研究

スポーツを統計学の観点から研究している論文はスポーツ工学やオペレーションズ・リサーチの分野で数多く見られるが、この章では関連研究として、DEA を用いてスポーツ選手を評価した研究を紹介する。

### 3.1 野球選手の評価

DEA によるプロ野球選手の評価は文献[5], [6], [7], [8]に見られる。[6]では、打席、併殺打の二つの項目を入力、安打、四死球、盗塁、犠打、打点の五つの項目を出力とし、DEA 分析を行い、野球打者 66 人を対象にしての評価をする。さらに入出力のウェイトに制限を加えることで、より現実的な評価を行っている。[7]では、2007 年のアジア予選の第一候補選手 60 名を対象に DEA 分析を行っている。そのとき、入力を 1 とし、出力を本塁打率、打点率、盗塁率、打率、長打率、出塁率、得点圏打率の 7 項目としている。それによって算出された DEA 効率値と SI 値[9]とを比較し選手を評価している。[8]では、プロ野球の投手 43 人を対象として DEA による評価とセイバーメトリクスによる評価との比較を行っている。また、DEA のモデルは BCC モデルを用いている。これらのように同じ野球を分析するにあたって、入出力項目は異なっていることがわかる。

### 3.2 サッカー選手の評価

DEA によるサッカー選手の評価について書かれた論文は、野球選手の評価について書かれた論文に比べあまり見られないが 1 つに上田・住舎[10]がある。

この研究では、2004 年の J リーグ・ディビジョン 1 で 900 分以上出場した選手 203 名を対象にして、DEA 分析を行い、選手を評価する。また入出力項目は次のように設定されている。

[入力項目] 全選手等入力を 1 とした。

[出力項目] 各選手について以下の 10 項目の年間総数をその出場時間で割って 90 分当たり(1 試合相当)に換算した。

得点、アシスト、クロス、パス、ドリブル、タックル、インターセプト、クリア、ブロック、ファウル

まずは CCR モデルでの評価をした後、領域限定を行いポジションごとで選手の評価をする。これによって算出された数値と、オプタポイントなど他の指標とを比較している。

この研究では DEA の応用として、選手の能力評価の指標を示している。しかし、おそらく選手は、チームの収入の生成に貢献する能力をもとにして、給料が支払われて

いる。そこで本研究では、DEA 分析に収入の尺度を含ませて、選手を評価することを試みる。また、これらの類似研究では DEA によって効率値を算出し、その値からの考察で終わっている。そこで、本研究では算出された効率値と、2011 年度から 2012 年度の年俸の上昇率とを比較し、どのパターンの入力の場合が最も当てはまるかを検証する。

## 第4章 提案手法

この章では、実際のデータを元に DEA を用いたプロサッカー選手の投資効率評価についての結果をまとめる。

### 4. 1 前提条件

初めに、DEA によるサッカー選手の投資効率評価をするにあたって使用したデータについて説明する。本研究では、2011 年度の J リーグ・ディビジョン 1 で 1,530 分(17 試合相当)以上出場かつ 2011 年度と 2012 年度の年俵を調べることができた選手を対象とした[11], [12]. 17 試合というのは、2011 年の各チームの試合数の半分に当たる。この条件を満たす選手は 83 名であった。

まず、出力項目を次のように設定した。

[出力項目] 各選手について下記の 8 項目の年間総数とした場合。

得点, アシスト, パス, ドリブル, クロス, タックル, クリア, インターセプト  
これらの出力項目は, [2]に記されている項目であり, サッカー選手の評価する際の基本的な項目でもある。

参考までに、今回対象になった選手の各出力項目における上位・下位それぞれ 5 名を表 5 に示す。

次に、入力項目に年俵について述べる。なお、年俵については文献[11], [12]を参考にした。表 6 は 2011 年度の年俵が高い順に並べた時の 1~9 位, 38~46 位, 75~83 位の選手と年俵である。この表から、年俵の高い選手と低い選手で大きな差があることがわかる。そこで、サッカー選手の年俵は成績に比例していないと考えられ、入力項目を次の 8 通りで DEA 分析を行う。

[入力項目] 年俵<sup>a</sup> (a = 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0) と log 年俵

上記の出力と入力でそれぞれ DEA 分析をし、プロサッカー選手の投資効率評価を行う。また、8 通りの入力によってそれぞれ算出された効率値と上昇率を比較し、どの入力の場合が最も当てはまりが良いかを検証する。ここで、上昇率とは次のことを言う。

$$\text{上昇率} = \frac{\text{年俵}(2012) - \text{年俵}(2011)}{\text{年俵}(2011)} \quad (14)$$

表5 8項目の上位・下位5名.

選手	パス	選手	ドリブル
遠藤 保仁	2,360	原口 元気	157
森崎 和幸	2,255	ブルーノ ロペス	121
中村 憲剛	1,931	小野 裕二	106
永田 充	1,783	ミシェウ	92
田中 マルクス闘莉王	1,756	橋本 和	87
...	...	...	...
小野 裕二	572	永田 充	1
大迫 勇也	541	増川 隆洋	0
大黒 将志	518	中澤 聡太	0
太田 吉彰	491	岩政 大樹	0
矢島 卓郎	440	河本 裕之	0
選手	クロス	選手	タックル
駒野 友一	247	田中 隼磨	109
丸橋 祐介	142	青木 拓矢	108
田中 隼磨	117	阿部 翔平	106
太田 吉彰	107	栗澤 僚一	104
梁 勇基	105	青山 敏弘	101
...	...	...	...
深谷 友基	1	興梠 慎三	21
河本 裕之	0	佐藤 寿人	21
井川 祐輔	0	吉田 孝行	19
茂庭 照幸	0	太田 吉彰	17
鈴木 大輔	0	大黒 将志	13
選手	クリア	選手	インターセプト
河本 裕之	221	森崎 和幸	18
北本 久仁衛	193	田中 隼磨	16
増川 隆洋	186	田中 裕介	16
中澤 佑二	177	遠藤 保仁	15
田中 マルクス闘莉王	176	田中 マルクス闘莉王	14
...	...	...	...
マルシオ リシャルデス	10	深谷 友基	2
玉田 圭司	7	赤嶺 真吾	1
太田 吉彰	7	辻尾 真二	1
小野 裕二	7	小野 裕二	0
清武 弘嗣	7	大迫 勇也	0
選手	得点	選手	アシスト
ケネディ	19	駒野 友一	11
玉田 圭司	14	ケネディ	10
赤嶺 真吾	14	中村 俊輔	10
前田 遼一	14	遠藤 保仁	9
田中 順也	13	小川 佳純	8
...	...	...	...
森崎 和幸	0	本間 勲	0
小林 裕紀	0	田中 亜土夢	0
河本 裕之	0	永田 充	0
茂庭 照幸	0	鈴木 啓太	0
金 英権	0	原口 元気	0
他 5名	0	他 15名	0

表 6 2012 年度の選手の年俸.

チーム	選手	年俸(千円)
名古屋	田中 マルクス闘莉王	15,000
横浜	中村 俊輔	14,000
ガ大阪	遠藤 保仁	13,000
横浜	中澤 佑二	12,000
浦和	マルシオ リシャルデス	12,000
名古屋	ケネディ	10,000
名古屋	玉田 圭司	8,500
浦和	鈴木 啓太	8,500
神戸	大久保 嘉人	8,000
	...	
広島	森崎 浩司	3,000
川崎	矢島 卓郎	3,000
新潟	ミシェウ	3,000
仙台	赤嶺 真吾	2,800
神戸	吉田 孝行	2,800
神戸	朴 康造	2,500
清水	岩下 敬輔	2,500
川崎	田中 裕介	2,500
川崎	井川 祐輔	2,500
	...	
清水	大前 元紀	900
清水	高木 俊幸	800
柏	茨田 陽生	750
新潟	鈴木 大輔	700
新潟	石川 直樹	700
浦和	原口 元気	700
横浜	小野 裕二	500
磐田	山田 大記	360
磐田	小林 裕紀	330

## 4. 2 研究結果

表 7 は入力 = 年俸<sup>a</sup> (左から  $a=1.0, 0.5$ ) の効率値を年俸の高い選手順に並べた表である。これを見ると、 $a=1.0$  にした場合と  $a=0.5$  にした場合とでは、選手の効率値が大きく異なることがわかる。さらに、 $a=1.0$  を見てみると、年俸の高い選手は効率値が極めて低くなっていることもわかる。

表 7 DEA 分析の結果(年俸順, ).

チーム	選手	効率値	効率値	年俸(千円)
名古屋	田中 マルクス闘莉王	0.075	0.416	150,000
横浜	中村 俊輔	0.043	0.267	140,000
ガ大阪	遠藤 保仁	0.056	0.336	130,000
横浜	中澤 佑二	0.071	0.373	120,000
浦和	マルシオ リシャルデス	0.037	0.197	120,000
名古屋	ケネディ	0.137	0.570	100,000
名古屋	玉田 圭司	0.118	0.415	85,000
浦和	鈴木 啓太	0.034	0.134	85,000
神戸	大久保 嘉人	0.087	0.329	80,000
鹿島	小笠原 満男	0.050	0.239	76,000
川崎	中村 憲剛	0.086	0.382	70,000
横浜	栗原 勇蔵	0.103	0.388	65,000
ガ大阪	明神 智和	0.069	0.298	64,000
横浜	大黒 将志	0.120	0.314	60,000
磐田	前田 遼一	0.168	0.466	60,000
浦和	柏木 陽介	0.084	0.339	60,000
磐田	駒野 友一	0.186	0.721	58,000
広島	佐藤 寿人	0.144	0.418	55,000
鹿島	岩政 大樹	0.171	0.533	50,000

図 1 から図 8 は入力を変えた 8 通りの効率値と年俸の上昇率とを比較した図である。図 1 は  $a=1.0$ , 図 2 は  $a=0.5$ , 図 3 は  $\log$  年俸, 図 4 は  $a=0.4$ , 図 5 は  $a=0.6$ , 図 6 は  $a=0.7$ , 図 7 は  $a=0.8$ , 図 8 は  $a=0.9$  である。

それぞれに対して相関係数を求めると図 1 から順に次のようになった。ただし、これらの相関係数は一つの外れ値を抜いた数値である。

0.660, 0.595, 0.290, 0.562, 0.611, 0.634, 0.662, 0.658

これより、年俸の上昇率との当てはまりが最も良いのは  $a=0.8$  ということになる。

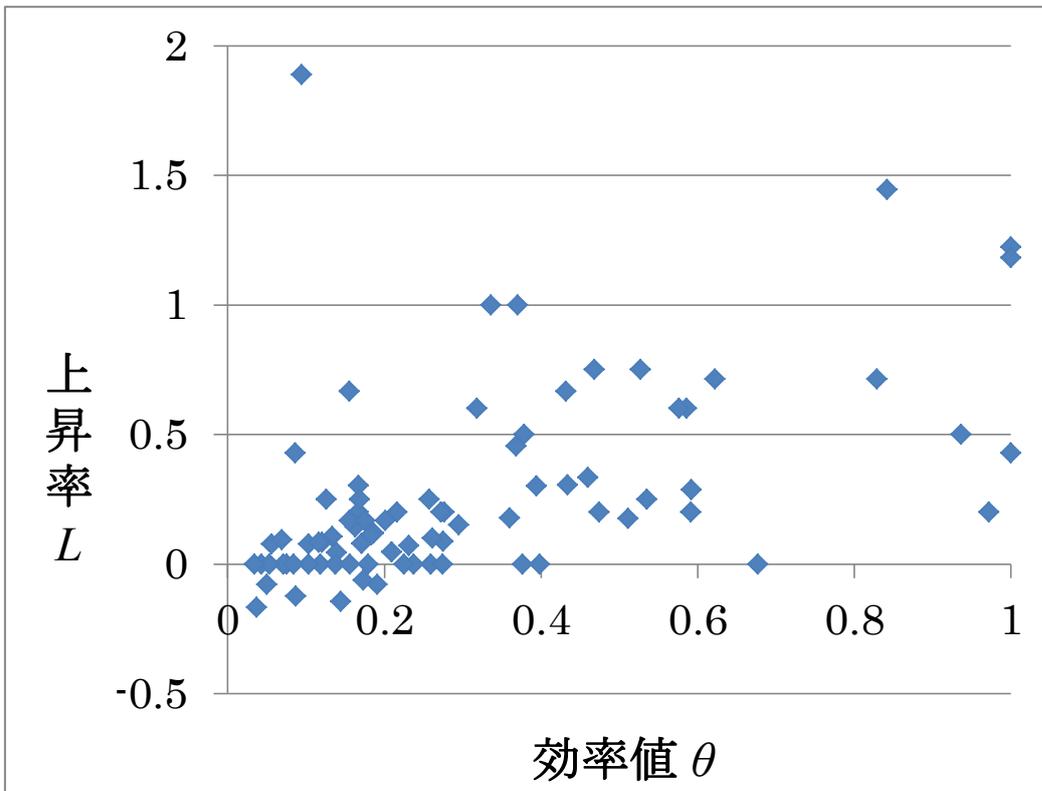


図 1. 入力=年俸<sup>1.0</sup>の場合の効率値と上昇率の比較.

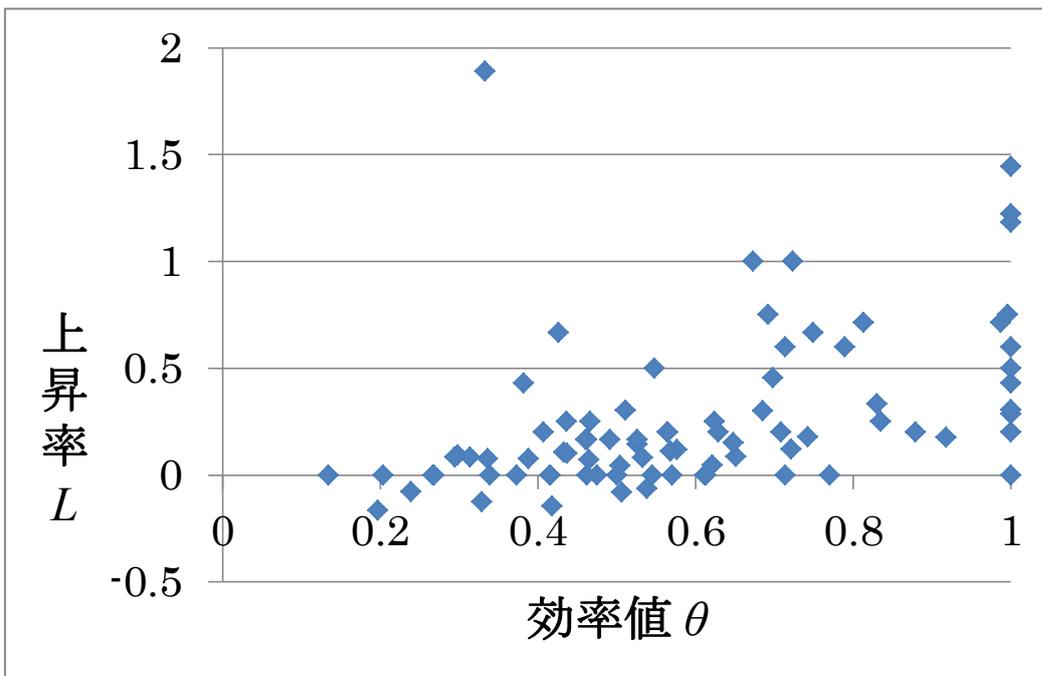


図 2. 入力=年俸<sup>0.5</sup>の場合の効率値と上昇率の比較.

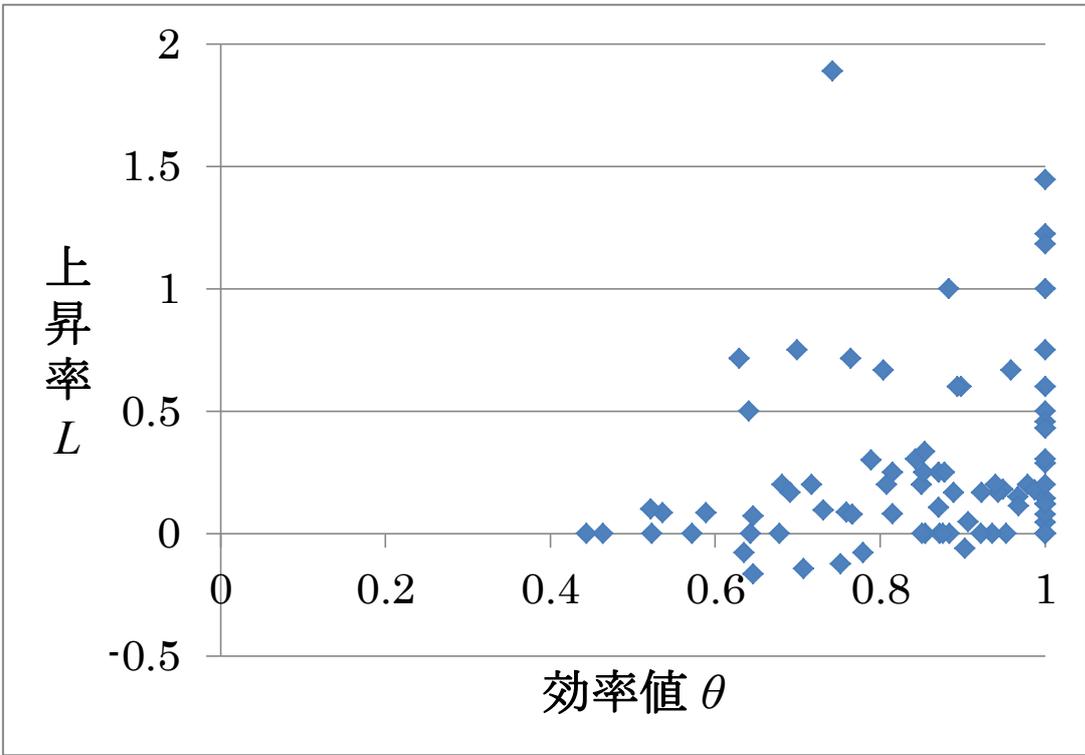


図 3. 入力=log 年俸の場合の効率値と上昇率の比較.

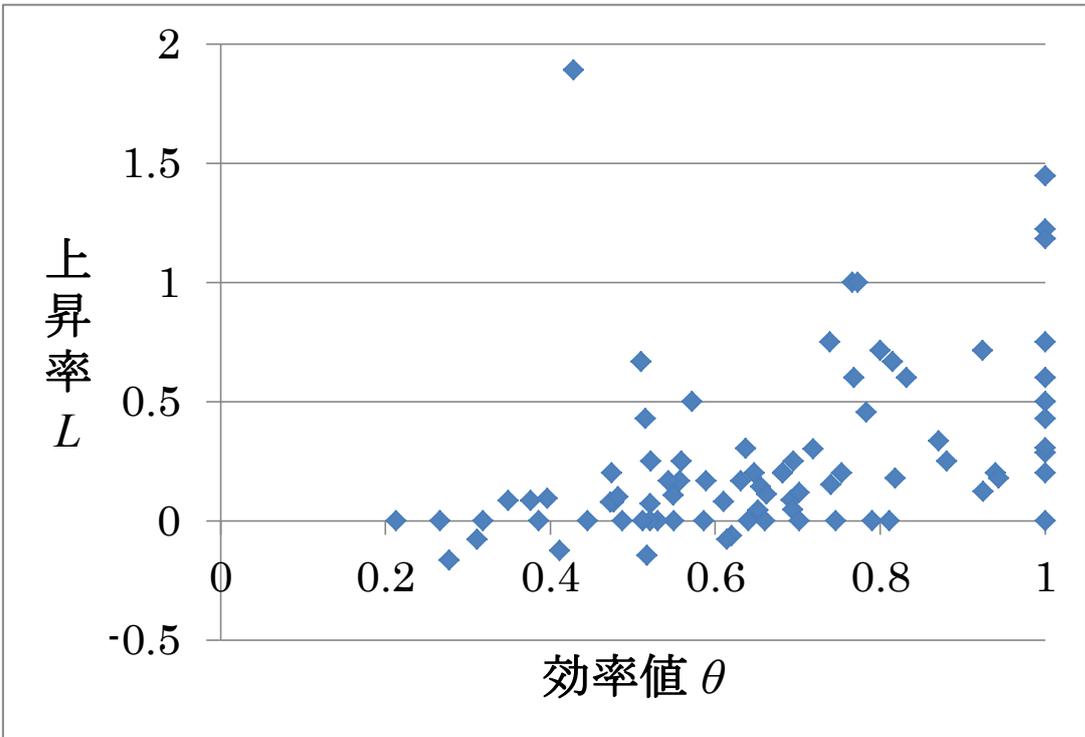


図 4. 入力=年俸<sup>0.4</sup>の場合の効率値と上昇率の比較.

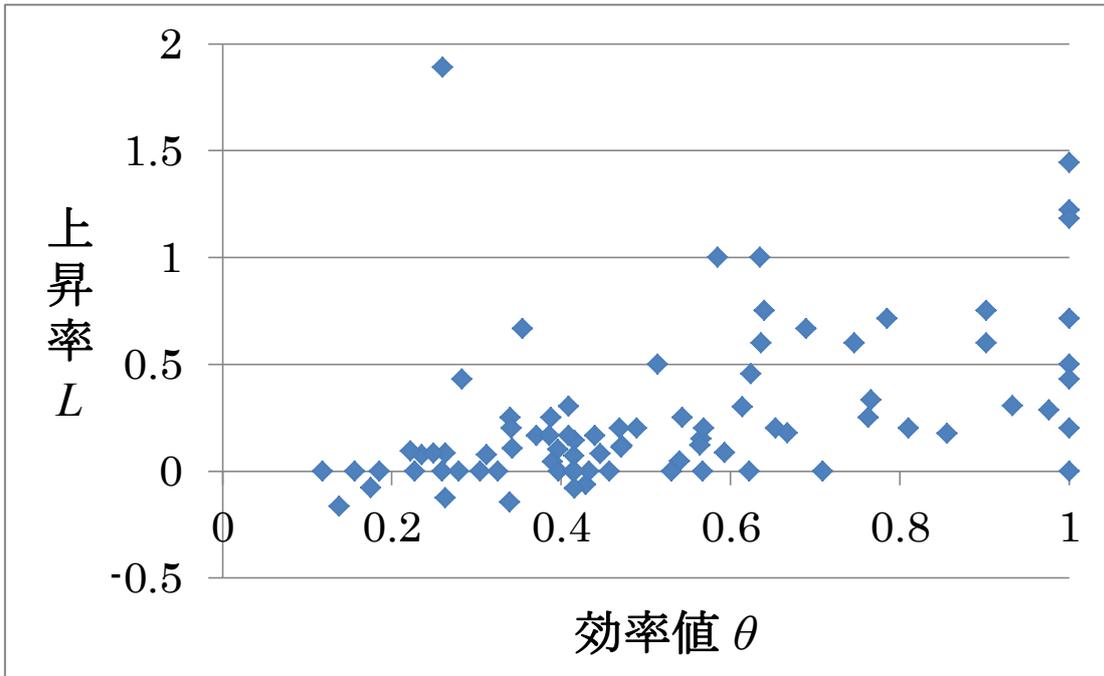


図 5. 入力=年俸<sup>0.6</sup> の場合の効率値と上昇率の比較.

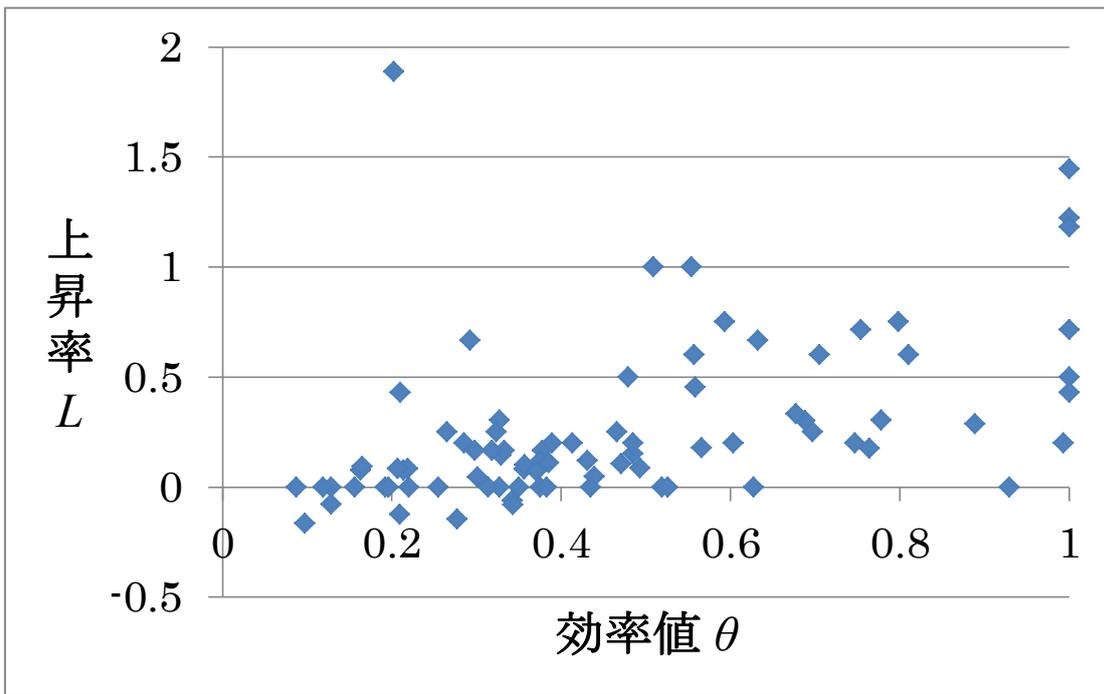


図 6. 入力=年俸<sup>0.7</sup> の場合の効率値と上昇率の比較.

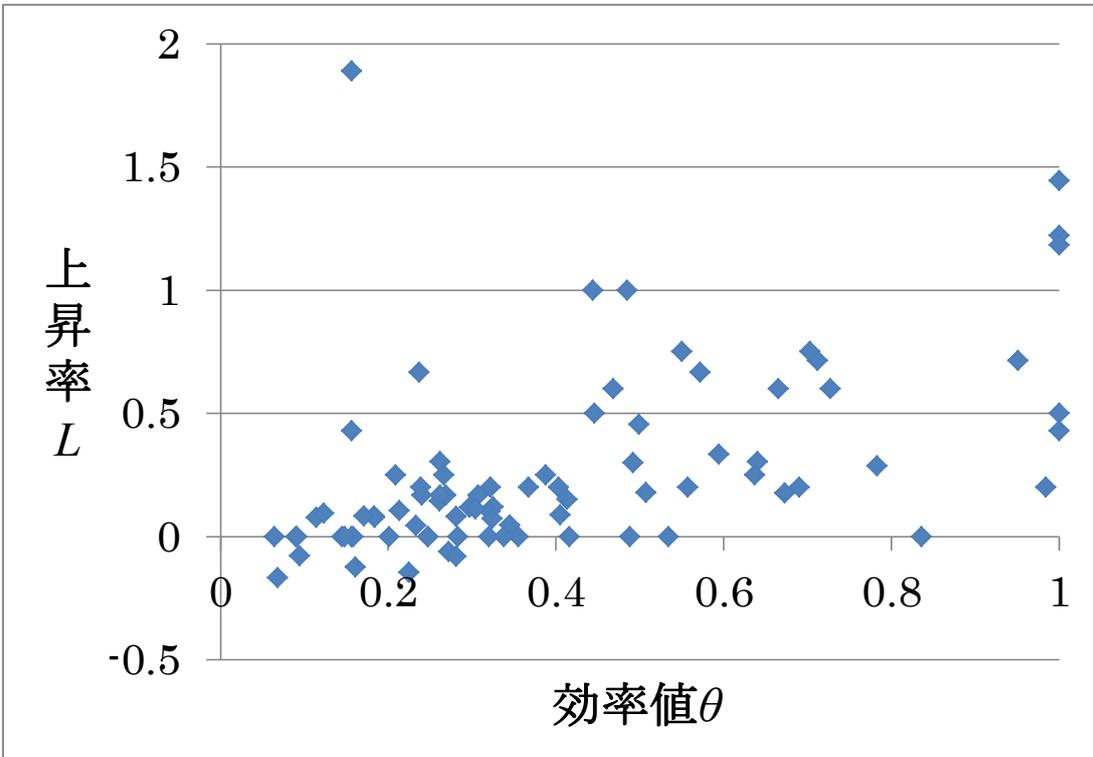


図 7. 入力=年俸<sup>0.8</sup> の場合の効率値と上昇率の比較.

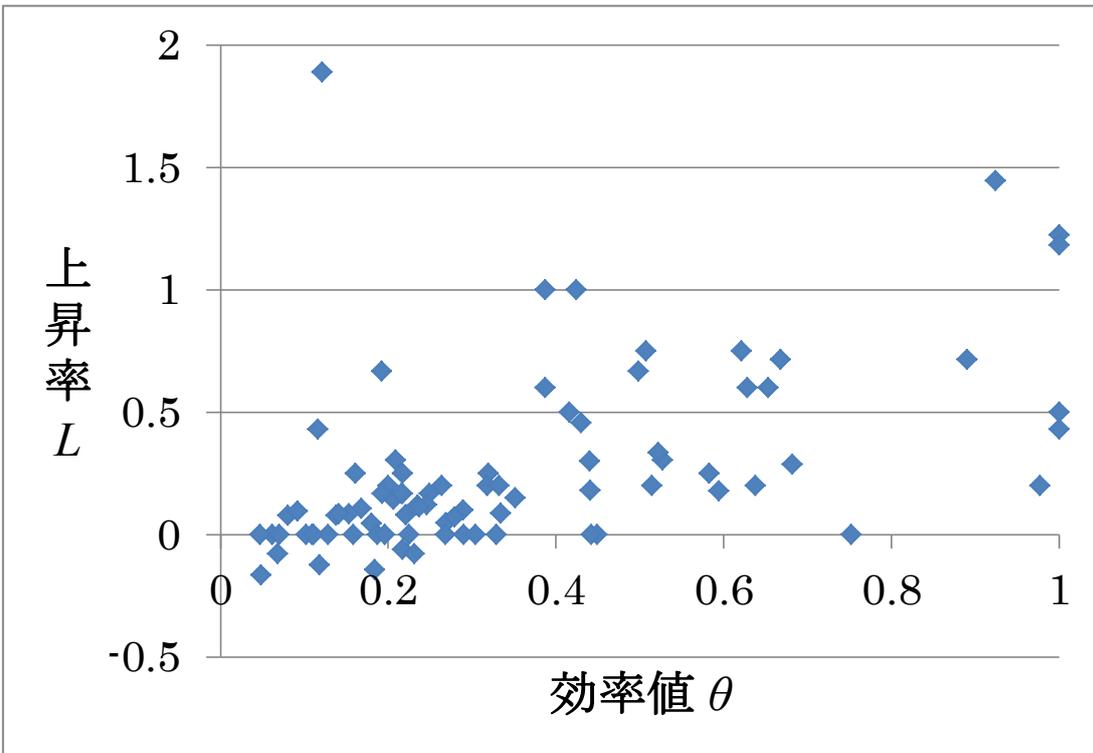


図 8. 入力=年俸<sup>0.9</sup> の場合の効率値と上昇率の比較.

### 4. 3 考察

本研究ではまず、入力=年俸<sup>a</sup>( $a = 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0$ ),  $\log$ 年俸の8通りでDEA分析を行った。その結果から、入力の $a$ を異なる値にすると効率値も異なってくるのがわかった。初めに、入力値を $a=1.0$ と $a=0.5$ で算出した効率値を比較すると、 $a=1.0$ の場合では年俸による影響が大きく、効率値が上位の選手は低い年俸、効率値が下位の選手は高い年俸という結果になった。 $a=0.5$ の場合では年俸による影響が少なくなり、年俸が高い選手でも効率値が高い選手が見られるような結果となった。このように、入力に同じ年俸をとっても $a$ の値を変えることで選手の評価が大きく変わることが分かった。

そこで、効率値と年俸の上昇率との比較を行った。その結果 $a=0.8$ の場合の効率値が年俸の上昇率と最も当てはまりが良いことが分かった。さらに、図7を元にデータを調べると次のようなことが分かった。効率値が高くて上昇率が低い選手はディフェンダーに多いということ。逆に、効率値が低くて上昇率が高い選手はミッドフィルダーに多いということ。このことから、ディフェンダーは評価されにくい、もしくは評価するのに他の指標があると考えられる。また、ミッドフィルダーは評価されやすい、もしくはディフェンダーと同じように評価するのに他の指標があると考えられる。この評価方法はクラブ側が選手の評価を行うための一つの指標となりうる。また、選手の年俸の決定などに応用することができると考えられる。

## 第5章 まとめ

本研究では, DEA を用いて経営者側から見たサッカー選手の評価を数値化することを目的として研究を行った. まず, 入力を年俸<sup>a</sup>とにおいて,  $a=1.0$  と  $a=0.5$  を比較すると, それらの評価は大きく異なることがわかった. そこで,  $a$  を  $0.4\sim 0.9$ , さらに年俸の対数をとった値を入力としたパターンも調べた. その結果,  $a=0.8$  の場合の効率値と年俸の上昇率との当てはまりが最も良いことがわかった. この評価方法はクラブの経営における指標の一つとして考えられ, 選手の年俸の決定などに応用することができると考えられる.

今後の課題として, 入力を年俸ではない形や出力に違う項目を入れた効率値を算出し, それぞれを比較し, より良い評価方法がないかを検証することが挙げられる. さらに, 数年分のデータを DEA 分析で選手の投資効率評価を行い, 実際に年俸がどのように変化していくのかを検証していくことも挙げられる. また, 海外のクラブチームとの比較も行ってみたい.

## 参考文献

- [1]朝日新聞:王者広島, 常識破りのパス, 2013年1月6日 朝刊
- [2]週刊サッカーダイジェスト Jリーグ 2011 シーズン総集編:(株)日本スポーツ企画出版社, 2011.
- [3]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.
- [4]中井達: 政策評価-費用便益分析から包絡分析法まで-, ミネルヴァ書房, 2005.
- [5]刀根薫・上田徹監修: 経営効率評価ハンドブック-包絡分析法の理論と応用-, 第19章 野球選手の相対的効率性の評価: 朝倉書店, 2000.
- [6]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 vol38, pp146-153, 1993.
- [7]廣津信義・上田徹: 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, vol12, pp1-10, 2008.
- [8]廣津信義: 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, 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, pp184-185, 2010.
- [9]廣津信義, 宮地力: 野球チームのラインナップ選定のための数理的一手法-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 vol49, pp380-389, 2004
- [10]廣津信義・秋山大輔・上田徹: サッカー選手の DEA の視点からの評価, オペレーションズ・リサーチ, vol51, pp655-661, 2006.
- [11]2011年Jリーグプレイヤーズ名鑑, 日刊スポーツ出版社, 2011.
- [12]2012年Jリーグプレイヤーズ名鑑, 日刊スポーツ出版社, 2012.