



NPB における投手が活躍でき、評価される環境とは ： 活躍投手の分布と年俸から

高垣, 知伸

(Citation)

課題研究優秀論文集, 2024:95-161

(Issue Date)

2025-01

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/0100492581>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100492581>



2024 年度 卒業研究最終論文

NPB における
投手が活躍でき、評価される環境とは
—活躍投手の分布と年俸から—

神戸大学附属中等教育学校 11 回生

6 年 2 組 18 番

高垣 知伸

(指導教員 林 兵馬)

2024 年度 卒業研究最終論文

NPB における投手が活躍でき、評価される環境とは

—活躍投手の分布と年俸から—

神戸大学附属中等教育学校 11 回生 6 年 2 組 18 番 高垣 知伸

(指導教員 林 兵馬)

要旨

本研究は、日本プロ野球（NPB）に所属する投手を対象とし、投手が残したシーズン成績とその累計である通算成績、およびプロ入り後の年数や年齢、利き手といった特徴を用いて各投手にとっての最適な環境を明らかにすることを目的として行った。これは、NPB 選手会が要求する選手移籍活性化^[6]の必要性を示すことに繋がる。その際、「最適な環境」を「活躍しやすいこと」と「年俸で満足に評価されやすいこと」の 2 観点で定義した上で、それぞれ調査を行った。

「活躍しやすいか」の観点の調査では、投手が残した成績を特徴とみなし、その成績に基づきクラスター分析で投手を分類した。そして、リーグおよび球場の広さの違いによって活躍している投手の各分類に対する割合に違いがあるといえるかをカイ二乗検定によって明らかにした。その結果、右投げで先発の本格派投手はパ・リーグ、右投げで先発の軟投派投手、左投げで先発の技巧派投手、左投げで中継ぎの軟投派投手はセ・リーグがそれぞれの適したリーグであると分かった。

「年俸で満足に評価されやすいか」の観点の調査では、投手が残した直近の成績と通算成績、および年齢を特徴とみなし、年俸を特徴から得られた主成分で予測する式を各球団で作成し、クラスター分析によって球団による回帰式の特徴の違いを明らかにした。その結果、1 軍登板の実績が多いことを特徴とする投手は、先発投手ならば巨人・中日・広島・DeNA・ロッテ・楽天、中継ぎ投手ならば広島・DeNA・ソフトバンク・ロッテ・西武が適しており、今後も好成績を残していけると考えられる投手は、先発投手ならばオリックス・日本ハム、中継ぎ投手ならば巨人・阪神・中日・ヤクルト・オリックス・日本ハム・楽天が適しており、投球内容の良さが特徴である先発投手は阪神・ヤクルト・ソフトバンク・西武が適していると分かった。

これら 2 つの結果から、「活躍のしやすさ」と「満足な評価のされやすさ」という 2 つの観点において投手には特徴に応じたそれぞれの最適な環境が存在し、移籍活性化の必要性が示せたといえる。

NPB における投手が活躍でき、評価される環境とは

－活躍投手の分布と年俸から－

In Which Nippon Professional Baseball Team Where Can Pitchers
Succeed and Be Highly Evaluated?: Distribution of Successful Pitchers
and Annual Salary

高垣 知伸

Tomonobu Takagaki

Abstract

Currently, the Nippon Professional Baseball League (NPB) Players' Association is advocating for expanded player transfer options within the NPB. This study investigates the optimal teams for pitchers to underscore the necessity for more active transfers. The author defined the optimal team as one where each player can thrive and achieve a higher annual salary. Research 1 involved categorizing pitchers based on their styles and comparing success rates for each style between the Central League and Pacific League. Furthermore, Research 2 entailed creating equations predicting annual salaries based on performance for each team and comparing their characteristics. Research 1 identified four pitching styles, some of which showed differing success rates between the leagues. Similarly, Research 2 identified three payment system feature groups. The findings unequivocally support the existence of optimal teams based on pitcher features. Thus, the study conclusively argues for the necessity of revitalizing player transfers in terms of success prospects and annual salary satisfaction.

Keywords: Nippon Professional Baseball, Active transfers, Annual salaries, Statistics

凡例

1. 出典・参考文献は本論文中の該当箇所の右上へ□を付け、出典・参考文献の番号と対応させている。

(例)

本文中：阪神タイガースの2010年シーズンにおけるチーム打率は.290だった^[4]。

出典・参考文献：[4]一般社団法人日本野球機構. “阪神タイガース 年度別成績（1936～2023）”. NPB.jp 日本野球機構. https://npb.jp/bis/teams/yearly_t.html, (参照 2024-1-6)

2. 出典・参考文献は、本論文における該当箇所の順番に並べる。また、該当箇所が無いものは該当箇所のあるものの下に50音順で並べる。
3. 本論文に出てくる指標や選手、統計的手法の説明は、本文中で初めてその名前が出てきた際に右上へ※を付け、付録の説明番号と対応させている。

(例) 本文中：各選手のOPS^{※6}を算出した。

付録：※6 OPS＝出塁率＋長打率

4. 本論文で選手名を扱う場合、野手には登録名の後に「選手」を、投手には登録名の後に「投手」を付けて表記をする。

(例) ポジション：野手（外野手）登録名：近本 → 近本選手

ポジション：投手 登録名：大野雄大 → 大野雄大投手

5. 本論文で球団名を扱う場合、各球団をそれぞれ以下のように表記する。

阪神タイガース	→ 阪神
広島東洋カープ	→ 広島
横浜 DeNA ベイスターズ	→ DeNA
読売ジャイアンツ	→ 巨人
東京ヤクルトスワローズ	→ ヤクルト
中日ドラゴンズ	→ 中日
オリックスバファローズ	→ オリックス
千葉ロッテマリーンズ	→ ロッテ
福岡ソフトバンクホークス	→ ソフトバンク
東北楽天ゴールデンイーグルス	→ 楽天
埼玉西武ライオンズ	→ 西武
北海道日本ハムファイターズ	→ 日本ハム

目次

第 1 章	序論	1
第 1 節	研究動機	1
第 2 節	近年の NPB の動向と研究意義	1
第 3 節	本研究の目的と定義	4
第 4 節	本論文の構成	5
第 2 章	調査Ⅰ－「活躍しやすいか」の観点－	6
第 1 節	調査目的	6
第 2 節	調査方法	6
第 1 項	分析の手順	6
第 2 項	独自指標に関して	9
第 3 節	調査結果	10
第 4 節	考察	17
第 3 章	調査Ⅱ－「年俸で満足な評価をされやすいか」の観点－	18
第 1 節	調査目的	18
第 2 節	調査方法	18
第 1 項	分析の手順	18
第 2 項	年俸に関して	21
第 3 項	主成分回帰を用いる理由	23
第 3 節	調査結果	24
第 4 節	考察	27
第 4 章	結論	28
第 1 節	まとめ	28
第 2 節	今後の展望	28
	謝辞	30
	出典・参考文献	31
	データ提供	32
付録 A	用語説明	33
第 1 節	論文に出てくる選手の説明	33
第 2 節	分析で用いた野球指標の算出方法等	33
第 3 節	統計的手法について	34
付録 B	主成分分析の結果	39

第 1 章 序論

第 1 節 研究動機

阪神は 2023 年シーズンにリーグ優勝と日本一を成し遂げた。シーズンのチーム防御率が両リーグトップの 2.66 であった^[1]ように、投手力が 1 つの大きな優勝の要因であったと推測される。その投手陣の一員で、シーズンを通して先発の一角を担った大竹^{*1-1} 投手は 2022 年シーズンオフに実施された初めての現役ドラフトでソフトバンクから阪神に移籍していた。移籍前までの通算勝利数は実働 5 年でわずか 10 勝であったが、移籍後 1 年目である 2023 年シーズンには、それを超えるチーム最多の 12 勝を挙げた^[2]。それ以外の防御率や投球回でもキャリアハイの成績を残しており^[3]、移籍を機に成績が大幅に向上したといえる。大竹投手に限らず、トレードや戦力外通告を通して他球団に移籍した選手が大きく成績を向上させるということは多々ある。そこで、球団やリーグごとに異なる、活躍しやすいまたは評価されやすい選手の特徴が判明することで、各選手にマッチする環境が分かり、移籍がもたらす効果を明らかにできると考え、本研究に至った。

第 2 節 近年の NPB の動向と研究意義

現状、NPB には選手の意思に基づいた移籍手段として FA 制度やポスティングシステムが存在する。しかし、FA 権の行使には最低でも入団から 7 シーズンの経過が必要であり^[4]、ポスティングも所属球団の許可が必要である^[5]。このように、プロ野球選手は個人事業主であるものの、自らが望む移籍を実現するための手段は限られているという問題点があり、選手会はより一層の選手移籍活性化を主張している^[6]。

移籍活性化について、まず第一に活躍のポテンシャルを引き出せるというメリットがある。前述の通り、NPB では 2022 年シーズンオフに現役ドラフトが新たに導入された。この制度は、1 軍での出番が少ない選手を必要とする球団に移籍させ、出番を増やし、いわゆる「飼い殺し」を防ぐことによって NPB のさらなる活性化を目指すべく考案された制度である^[7]。実際に第 1 回の現役ドラフトで移籍した阪神の大竹投手や中日の細川^{*1-2} 選手は出番を大きく増やし^[3]、移籍前から成績を大幅に向上させた。現役ドラフトに限らず、移籍を機に成績を向上させる例は存在する。例えば、2018 年シーズン前にトレードで阪神から西武へ移籍した榎田^{*1-3} 投手は移籍前年の 2017 年シーズンはわずか 3 試合の登板に終わったが、移籍 1 年目の 2018 年シーズンには 23 試合に登板し、11 勝を挙げて西武の優勝に貢献した^[8]。このように移籍が成績の向上を引き起こすことが移籍方法や球団に関わらず存在することから、移籍活性化はくすぶっている選手により多くの活躍の機会を与えることにつながるといえる。

一方で、活躍の度合いをシーズン後に年俸という形で評価するのが契約更改だが、球団側が提示した金額と選手側が想定していた金額のずれによる契約更改の保留が毎年数件存

在する。例えば、2023 年シーズン後のソフトバンクの契約更改においては三森^{※14}選手をはじめとした 4 名が 1 回目の契約更改を保留した^[9]。また、過去 2 年のシーズンオフの契約更改アンケートによる選手の年俸満足度を表 1 に示す。

表 1：2021 年/2022 年オフ契約更改アンケート結果^[10]およびその次年の平均年俸^[10]
(満足度…5 段階評価のうち、上位 2 つ「満足」、「大きく満足」の合計)

年度	球団	満足度(%)	平均値(万円)	年度	球団	満足度(%)	平均値(万円)
2021	ソフトバンク	55.07	7200	2022	阪神	60.00	4345
2021	西武	54.72	4330	2022	ソフトバンク	56.79	6763
2021	DeNA	48.21	3732	2022	ロッテ	56.60	3485
2021	広島	45.76	3693	2022	ヤクルト	48.15	4797
2021	ロッテ	41.07	3077	2022	広島	44.07	3819
2021	ヤクルト	38.98	4050	2022	西武	43.10	4579
2021	阪神	37.93	3456	2022	巨人	42.67	6807
2021	日本ハム	37.29	2817	2022	中日	42.31	3383
2021	オリックス	32.81	3922	2022	オリックス	41.51	3525
2021	楽天	26.56	6035	2022	DeNA	40.00	4399
2021	巨人	23.68	6632	2022	日本ハム	39.66	2569
2021	中日	19.35	3118	2022	楽天	24.19	5353

表 1 のように、満足度が 50%を切る球団が半数以上で、最も低い球団では満足する選手が 5 人に 1 人という非常に低い数値となっている。年俸へ不満を持つ選手が多い場合、様々な問題が考えられる。選手と球団の対立が深まれば、最悪の場合にはストライキによる試合の中止も起こりかねない。実際、MLB ではストライキによるシーズン開幕の延期が発生したことがある^[11]。さらに職業としてのプロ野球選手の人気低下や有望な選手の海外他リーグへの流出を促し、結果的に日本野球界のレベルを下げてしまう可能性がある。

対して、移籍を活性化させた場合、選手移籍市場の活発化により球団間の競争が激化し、球界全体の平均的な年俸金額が向上すると考えられる。球界全体の平均年俸が上昇すれば、特に MLB などの海外リーグとの平均年俸の差が縮まり、海外リーグへの選手流出リスクの減少を期待できる。実際に MLB では、1976 年に FA 制度^[12]（システム上、日本のものとは大きく異なる）を導入して以降、球界の平均年俸が年々上昇していることが図 1 から分かる。

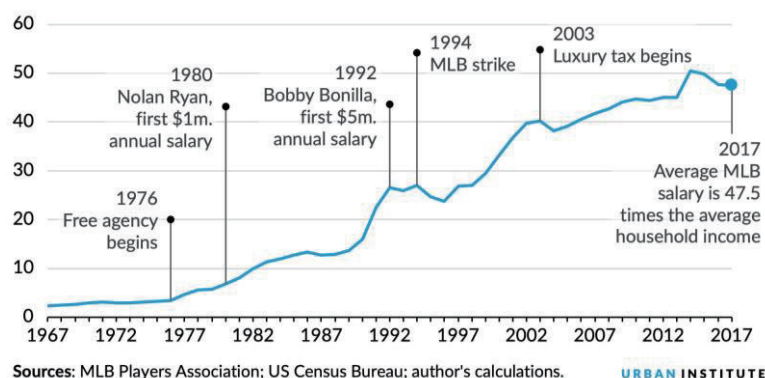


図 1 : MLB の平均年俸推移 (1967～2017) ^[13]

一方で、表 1 の 24 個のデータを用いて、年俸満足度と平均年俸の相関を調べたところ、相関係数は 0.06 であった。散布図を図 2 に示す。

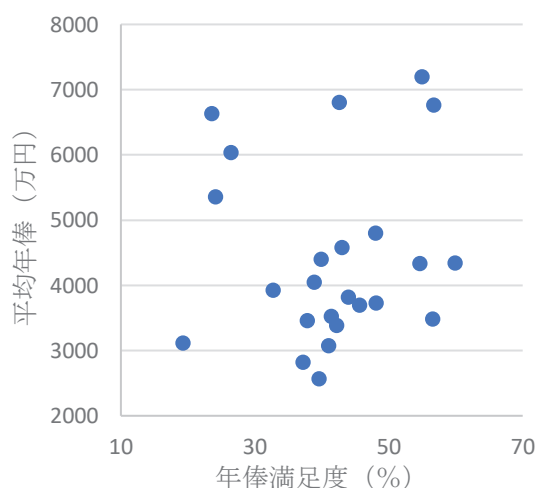


図 2 : 2021 年/2022 年オフ年俸満足度と平均年俸の関係

これらより、選手の年俸満足度とその球団の年俸に対する支出額には相関がないと考えられる。つまり満足度の向上は必ずしも財力の豊富な球団への移籍によってもたらされるわけではなく、球団が何に重点を置いて年俸を査定しているのかが影響すると考えられる。同じ成績であっても球団が異なれば年俸が異なる可能性があり、もし選手が納得できる査定システムの球団に移籍することができれば、球団の提示額と想定する金額のずれが小さくなり、年俸への満足度が向上すると考えられる。選手移籍が活性化すれば、選手が複数球団と交渉する機会が増え、年俸満足度を向上させると考えられる。

これらより、移籍活性化は球界の平均的な年俸金額を上昇させ、選手が納得できる査定システムの球団に移籍しやすくなると見込まれるため、年俸満足度の改善やそれに伴って起こりうる問題を防ぐというメリットを持つ。

移籍活性化には、経済効果というメリットも存在する。NPB は日本の一大産業と位置付けることができ、例えば、「関西ダービー」と呼ばれた阪神とオリックスによる 2023 年の

日本シリーズによる経済効果は全国で約 1449 億円、関西地域で約 1304 億円という莫大なものであった^[14]。また、阪神の優勝単体でも約 872 億円の経済効果があった^[14]。NPB の中でも人気の高い阪神が優勝したことが莫大な効果を生み出した要因ではあるが、リーグ優勝はチームに関わらず毎度数百億円規模の経済効果をもたらしている^[14]。

一方、選手会の調査（図 3）によると、ファンの半数以上が移籍活性化を選手補強の手段として望んでいる。

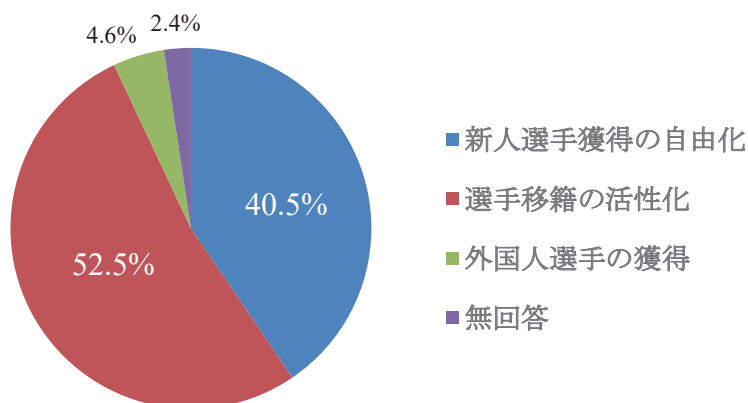


図 3：NPB ファンが望ましいと考える戦力補強手段^[6]

すなわち、移籍活性化はファンのニーズに応えることにつながる。また、移籍する選手数が増えると、シーズン開幕前に移籍選手という新しい話題が増加するため、ファンの野球への期待値が上昇する^[6]。このようなことから、移籍活性化は NPB の人気向上に貢献し、社会へより大きな経済効果をもたらすことにつながる。

このように、選手が個々の特徴に合う球団に移籍することができれば選手が自分の能力を十分に発揮し、なおかつ、年俸満足度の向上によって海外他リーグへの選手流出の加速を回避することができる。そして、人気の高まりとそれによる経済効果も見込まれ、社会経済的にも大きな意義を持つ。

しかし、球界に球団やリーグなどの環境による特徴の違いが存在しなければ、移籍しても変化があまりなく、これまでに述べたような移籍活性化のメリットがあるとはいえない。

そこで本研究は、活躍しやすい、または評価されやすい選手の特徴が球団やリーグごとに異なることを明らかにすることで、選手移籍を活性化させることが前述のようなメリットをもつことを示し、活性化の必要性の根拠の 1 つになることができると考えた。これが本研究の意義である。

第 3 節 本研究の目的と定義

本研究では NPB に所属する投手を対象を絞り、投手が残したシーズン成績とその累計である通算成績、およびプロ入り後の年数や年齢、利き手といった特徴に基づいて各投手

にとっての最適な環境を明らかにすることを目的としている。

なお、「最適な環境」は、「活躍しやすいこと」と「年俸で満足な評価をなされやすいこと」の2つが条件である。どれだけ活躍しても年俸でそれを評価されなければ意味がない。また、年俸の査定システムに満足していたとしても活躍できなければ年俸を得られない。このような理由から、この2つの観点それぞれを最適な環境の条件とした。

第4節 本論文の構成

本論文は4つの章に分かれている。第1章では移籍活性化が持つ効果と球団・リーグなどの環境によって特徴に違いがあることを示す必要性について論じ、第2，3章では投手の特徴を表すデータを用い、各環境における活躍しやすい投手の特徴と年俸で満足な評価をなされやすい投手の特徴を調査した方法や結果、考察を論じる。最後に、第4章では調査を基にした研究のまとめと今後の展望を論じる。また、論文の最初には要旨を、論文の最後には謝辞と出典・参考文献、付録として本論文中の野球関連語句および統計的手法の説明、分析結果を掲載している。

第2章 調査Ⅰ —「活躍しやすいか」の観点—

第1節 調査目的

本章では、適した環境の条件の内の「活躍しやすいか」という観点に着目し、どのような特徴を持つ投手がどのような環境で活躍しやすいかを明らかにすることを目的として統計的手法を用いた分析を行った。

第2節 調査方法

第1項 分析の手順

本項では調査Ⅰにおける分析の順序と各手順の説明を行う。大まかには投手を成績に基づいてクラスター分析で分類し、どのような環境ではどのクラスターの投手の活躍が多いかを調べた。

(1) データの収集

まず、NPBの2019年シーズン～2023年シーズンにおいて20投球回以上に達した投手のべ1127人の名前とその投手のそのシーズンのデータを収集した。ただし、通常1シーズンは143試合であるのに対して、2020年シーズンのみ新型コロナウイルスの影響で120試合だった。このことを考慮し、2020年シーズンにおける投球回の条件のみ16投球回以上とした。条件を「1軍登板のある投手」とせず一定投球回以上という制約を付けたのは、少ない投球回ではゴロ率など割合を表す指標が異常に低いか高い極端な数値になりやすく、投手の持つ本来の特徴が指標に表れにくいからである。また、各投手の1シーズンのデータとして16種類（年度、所属球団、右投げか左利きか、試合数、先発登板数、投球回数、奪三振数、与四球数、被本塁打数、ゴロ率^{※2-1}、フライ率^{※2-2}、インフィールドフライ率^{※2-3}、直球割合^{※2-4}、最高球速、平均球速）を収集した。

(2) 投手のグループ分け

次に、収集した試合数と先発登板数のデータを用いて各投手の先発登板率を算出した。この先発登板率と右投げか左投げかという情報をもとにして投手を4つのグループに分類した。各グループの名称と条件は以下の通りである。なお、どれにも当てはまらない投手のデータは、本調査においては除外した。

グループⅰ：先発右腕グループ	…	先発登板率 0.75 以上かつ右投げ
グループⅱ：先発左腕グループ	…	先発登板率 0.75 以上かつ左投げ
グループⅲ：中継ぎ右腕グループ	…	先発登板率 0.25 以下かつ右投げ
グループⅳ：中継ぎ左腕グループ	…	先発登板率 0.25 以下かつ左投げ

上記の分類をしたのは指標の価値を揃えるためである。まず、先発投手と中継ぎ投手では1試合で投げるイニングが異なり、先発投手は投げるイニングが長い分、体力を温存し

ながら投球を行う。そのため、例えば先発投手の平均球速は中継ぎ投手に比べて低くなりやすい。同様に、右投げの投手と左投げの投手では平均的な球速が異なる。本調査で収集した投手のデータを用いて算出した右投げ投手と左投げ投手それぞれの平均球速と最高球速の平均値を表2に示す。

表2：右腕と左腕それぞれの平均球速・最高球速(km/h)
(2019～2023 シーズンの1軍登板20試合相当以上の投手)

	平均球速	最高球速
右投げ	146.25	151.86
左投げ	143.20	149.32

右投げ投手は平均球速、最高球速ともに上回っており、右投げ投手の方が左投げ投手よりも球速が速い傾向があるといえる。もしこのような傾向を考慮せず、グループに分類しないまま分析した場合、データが投手の特徴を十分に表現できない可能性がある。例えば、左投げで平均球速が146km/hの投手がいたとする。左投げで平均球速146km/hというのは比較的速く、球速の速さがその投手の特徴だといえるが、右投げ投手も含めると平均球速146km/hの投手は珍しくなく、その特徴が隠れてしまう。グループ別に分けて分析することでそのような問題を回避し、投手の特徴をデータに表現させやすくした。

なお、各グループの該当者数はグループiが291人、iiが147人、iiiが426人、ivが143人であった。

(3) 指標の算出

収集したデータを用い、グループi、iiの投手については5種類の指標（奪三振率^{*2-5}、与四球率^{*2-6}、被本塁打率^{*2-7}、先発時平均イニング、simpleWAR）を、グループiii、ivの投手については先発時平均イニングを除いた4種類の指標（奪三振率、与四球率、被本塁打率、simpleWAR）を算出した。

独自指標の先発時平均イニングと simpleWAR はそれぞれ先発登板したときに平均何投球回投げるかの目安と投手のチームへの貢献度を表している。（詳細は次項「独自指標について」を参照。）

(4) クラスタ分析

各グループで標準化を行った後、グループ別にクラスタ分析を実行した。クラスタ分析にはサンプル数がいずれのグループも100を超えることから非階層型クラスタ分析のk-means法^{*3-1}を用いた。使用変数はグループi、iiにおいては10種類の指標（直球割合、最高球速、平均球速、奪三振率（K/9）、与四球率（BB/9）、被本塁打率（HR/9）、ゴロ率（GB%）、フライ率（FB%）、インフィールドフライ率（IFFB%）、先発時平均イニング）、グループiii、ivにおいては先発時平均イニングを除いた9種類の指標（直球割合、最高球速、平均球速、奪三振率、与四球率、被本塁打率、ゴロ率、フライ率、インフィールドフライ率）である。

全ての指標が投球における投手の特徴を表している。すなわち各クラスターの特徴はクラスター内の投手の投球の特徴を表しているから、クラスターは投球タイプであるといえる。(以降クラスターを投球タイプと表現することがある。)

(5) 活躍投手のカウント

各グループで、投球タイプ別・球団別に該当選手の内、simple WAR が基準値以上の投手の人数をカウントした。基準値はグループ i, ii では 0.75 以上、グループ iii、iv では 0.25 以上とした。基準値以上の投手は活躍投手と定義した。すなわちどの球団にはどの投球タイプに何人活躍投手がいるのかを割り出すことを意味する。

(6) カイ二乗検定

グループ別で、活躍した投手の人数を環境の違いのカテゴリーと投球タイプのカテゴリーで同時に分類したクロス集計表を作り、有意水準 0.05 のカイ二乗検定^{*3-2}を行った。投球タイプはいずれのグループでも 3 つ以上であったため、有意性が確認された場合は残差分析^{*3-3}を行い、どの投球タイプの活躍投手数に有意性があつたのか明らかにした。これにより、環境の違いによって活躍投手の割合が多い、すなわち活躍しやすい投球タイプに違いがあるといえるか調べた。

環境の違いは 2 種類用いた。1 つ目はリーグの違いである。これはセ・リーグとパ・リーグの 2 つに分類することができ、各リーグに所属する球団の活躍投手数の和が各リーグの活躍投手数の和となる。

2 つ目はホーム球場の広さである。ここではホームランの出にくい球場を広い球場、出やすい球場を狭い球場と定義した。ホームランの出やすさは 2019～2023 年シーズンの HRPF (ホームランパークファクター) ^{*2-8} の平均値で判断した。2019～2023 年シーズンの 12 球団のホーム球場の HRPF の平均値を表 3 に示す。

表 3 : 12 球団ホーム球場の HRPF (2019～2023 年シーズン)
※日本ハムのみ HRPF の平均値を 2019～2022 までの 4 年間で算出

球団名 \ 年度	2019	2020	2021	2022	2023	平均
巨人	1.38	1.10	1.28	1.16	1.13	1.21
阪神	0.80	0.91	1.03	0.66	0.85	0.85
中日	0.53	0.78	0.58	0.76	0.62	0.65
広島	0.78	0.79	0.77	0.94	0.92	0.84
ヤクルト	1.31	1.36	1.40	1.40	1.70	1.43
DeNA	1.15	1.05	0.94	0.89	0.73	0.95
オリックス	0.78	0.95	0.84	0.88	0.81	0.85
ソフトバンク	1.35	1.19	1.26	1.31	1.22	1.27
日本ハム※	0.76	0.72	0.84	0.81	0.96	0.78
ロッテ	1.07	1.15	1.35	0.98	1.40	1.19
西武	1.05	0.89	1.00	0.98	0.98	0.98
楽天	0.90	1.14	0.67	1.04	0.72	0.89

表 3 の情報から、以下のような定義と球団の振り分けを行った。

ホーム球場が広い… $HRPF \leq 0.9$

球団：阪神、中日、広島、オリックス、楽天、日本ハム（2023 は除く）

ホーム球場が狭い… $HRPF \geq 1.1$

球団：巨人、ヤクルト、ソフトバンク、ロッテ

2023 年の日本ハムを除外したのは、このシーズンから本拠地球場が札幌ドームからエスコン F に変更となり、PF は複数年の平均値で算出することが望ましいとされている^[15]中でエスコン F は 1 年分しかデータが無く、評価ができないためである。

第 2 項 独自指標に関して

A. 先発時平均イニング

グループ i、ii の投手について算出した先発時平均イニングは以下の方法で算出した。

$$\text{先発時平均イニング} = \{ \text{投球回数} - 1 \times (\text{試合数} - \text{先発試合数}) \} \div \text{先発試合数}$$

先発登板のみの総投球回数のデータを得ることができなかったため、中継ぎ登板 1 回あたり 1 投球回投げたとみなし、全投球回数から引くことでおよその先発登板のみの総投球回数を算出した。

B. simpleWAR

全グループの投手に対して算出した simpleWAR は以下の方法で算出した。

simpleWAR

$$= [\{ \text{リーグ失点率}^{*2-9} - (\text{FIP}^{*2-10} + (\text{リーグ失点率} - \text{リーグ防御率}^{*2-11}) \div \text{得点 PF 補正}^{*2-12}) \} \div \text{RPW}^{*2-13} + 0.12 \times \text{先発率}^{*2-14} + 0.03 \times \text{救援率}^{*2-15}] \times (\text{投球回} \div 9)$$

選手のチームへの貢献度を表す総合指標の WAR^{*2-16} には様々な算出方法があり、この simpleWAR は FanGraphs 社の算出する FanGraphs 版^[16]をベースに算出した。simple という言葉が付いているように、ある程度 FanGraphs 版からは簡略化している。FanGraphs 版では上記の式の後にレバレッジインデックス補正（Li 補正）とシーズン毎の補正值を与えたものを最終的な WAR としているが、補正值の入手・算出が非常に困難であったので工程を省いた。なお、これら省略した工程はあくまでより正確な数値を出すための補正であり、simpleWAR も最終的な WAR と変わらずに投手の貢献度を表していると判断した。

WAR は代替可能選手が出場するのと比べてどれだけ勝利数を増やしたかによって計算される。そして、単に出場する、投手に限って言えば登板するだけでは値が上がらず、値を上げるには良い投球内容を残す必要がある。活躍の条件を仮に「投球回数が基準値以上」とした場合、その投手の投球内容が良いかは判断できず、単に登板の機会が多かった投手

を活躍投手とみなすこととなる。本調査では最終的に各投球タイプの活躍投手の割合の高さに着目する。投球回を基準にした場合、ある投球タイプの割合が比較的高いとしても、それはドラフト等を通して獲得した投手の人数がその投球タイプに偏っていただけかもしれない。WAR を用いれば投球内容を考慮することができ、単にその投球タイプの投手を多く獲得するだけでは活躍投手が多いことにはならない。WAR を基準とした場合、あるタイプの活躍投手数が少ないのはその投球タイプの獲得した投手が少ないだけの可能性もあるが、少なくとも活躍投手数が多いことはその環境ではその投球タイプの投手が活躍できることを意味するので適した環境だという判断ができる。これらが活躍の基準に WAR を用いた理由である。

第3節 調査結果

(3) 指標の算出

simpleWAR の平均値は先発投手で（グループ i、ii 全体）1.25、中継ぎ投手（グループ iii、iv 全体）で 0.27 だった。

(4) クラスタ分析

各グループのクラスタ分析の結果を表4～7、図4～7に示す（投球タイプ名については後述）。なお、表中、図中において先発時平均イニングを「先発時平均 I」と表記している。

<グループ i>

表4：グループ i クラスタの特徴（クラスタ内における各指標の平均標準化得点）

クラスター	投球タイプ名	直球割合	平均球速	最高球速	K/9	BB/9	HR/9	GB%	FB%	IFFB%	先発時平均 I	選手数
1	速球派	0.718	-0.373	-0.334	-0.104	0.330	0.527	-1.114	1.062	0.565	-0.502	83
2	本格派	0.288	1.432	1.438	1.637	0.071	-0.783	0.825	-0.760	0.150	0.951	34
3	軟投派	-0.779	-0.478	-0.547	-0.860	0.454	0.193	0.716	-0.783	-1.000	-0.802	61
4	技巧派	-0.193	0.101	0.108	0.048	-0.509	-0.256	0.184	-0.128	0.079	0.516	113

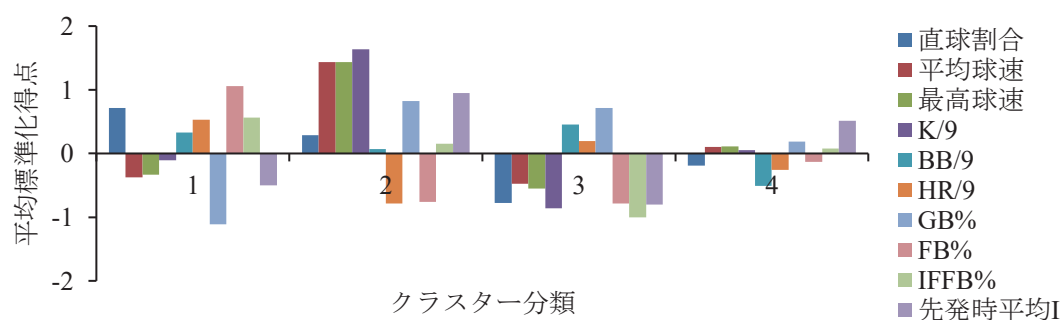


図4：グループ i クラスタの特徴（クラスタ内における各指標の平均標準化得点）

<グループ ii>

表5：グループ ii クラスターの特徴（クラスター内における各指標の平均標準化得点）

クラスター	投球タイプ名	直球割合	平均球速	最高球速	K/9	BB/9	HR/9	GB%	FB%	IFFB%	先発時平均I	選手数
1	速球派	0.408	-0.021	-0.046	0.047	0.736	0.843	-0.762	0.779	-0.015	-0.809	36
2	技巧派	-0.017	0.019	0.083	-0.112	0.252	-0.227	1.101	-1.092	-0.325	-0.084	38
3	本格派	0.383	0.847	0.826	0.603	-0.331	-0.523	-0.223	0.192	0.388	0.723	46
4	軟投派	-1.173	-1.442	-1.462	-0.933	-0.772	0.087	-0.154	0.171	-0.182	-0.035	27

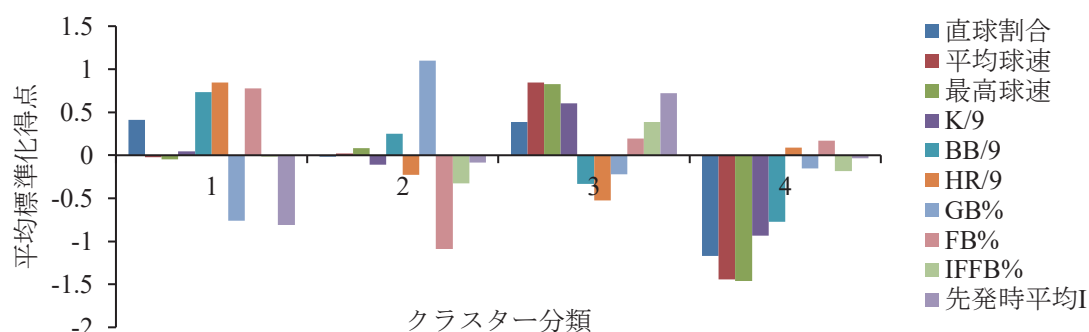


図5：グループ ii クラスターの特徴（クラスター内における各指標の平均標準化得点）

<グループ iii>

表6：グループ iii クラスターの特徴（クラスター内における各指標の平均標準化得点）

クラスター	投球タイプ名	直球割合	平均球速	最高球速	K/9	BB/9	HR/9	GB%	FB%	IFFB%	選手数
1	軟投派	-0.648	-0.420	-0.311	-0.551	0.262	-0.245	0.838	-0.866	-0.425	117
2	技巧派	-0.411	-0.920	-0.922	-0.533	-0.452	0.722	-0.593	0.665	0.188	103
3	速球派	0.646	0.367	0.271	0.518	0.183	-0.018	-0.738	0.704	0.149	129
4	本格派	0.452	1.254	1.252	0.682	-0.100	-0.564	0.756	-0.753	0.145	77

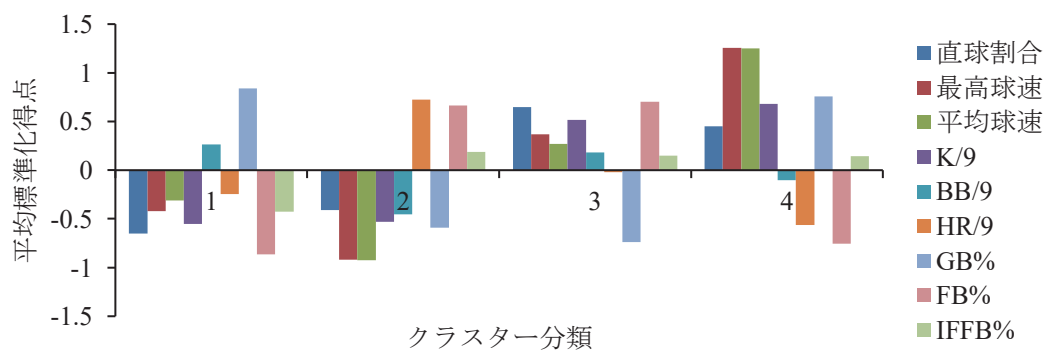


図6：グループ iii クラスターの特徴（クラスター内における各指標の平均標準化得点）

<グループiv>

表7：グループiv クラスターの特徴（クラスター内における各指標の平均標準化得点）

クラスター	投球タイプ名	直球割合	平均球速	最高球速	K/9	BB/9	HR/9	GB%	FB%	IFFB%	選手数
1	速球・本格派	0.729	1.507	1.495	1.084	-0.073	0.152	-0.493	0.539	0.632	26
2	軟投派	-0.419	-0.122	-0.142	-0.434	0.166	-0.409	0.882	-0.916	-0.454	59
3	技巧派	0.098	-0.542	-0.517	-0.043	-0.134	0.343	-0.665	0.679	0.175	59

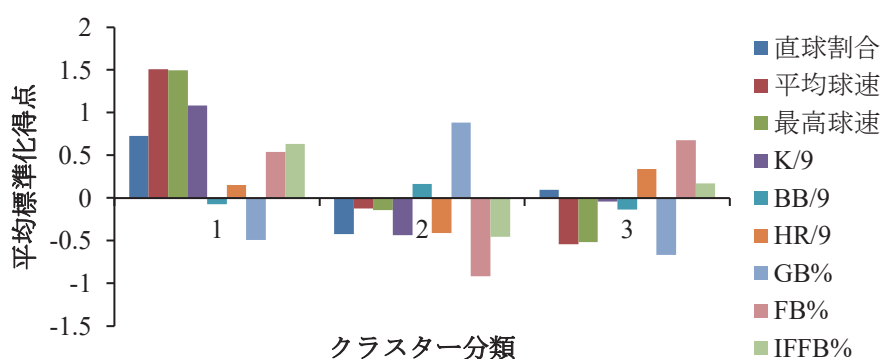


図7：グループiv クラスターの特徴（クラスター内における各指標の平均標準化得点）

グループi～ivの結果から、どのグループにおいても、クラスター分析によって表8のような特徴をもつ投球タイプに基づいてクラスターが構成されたと考えた。

表8：4つの投球タイプと特徴

投球タイプ	球速	直球	奪三振	投球回	被HR	他
本格派	速	多	多	多	少	ゴロ多 内野フライ多
速球派	普通	多	普通	普通	多	フライ多
技巧派	普通	普通	少	やや多	普通	
軟投派	遅	少	少	普通	少	

グループ名は、投手の投球スタイルを表す際によく用いられる4種類の通俗的な表現を使用した。あくまで本研究における特徴の定義であり、実際に世間一般で用いられる各単語の意味と完全に一致しているわけではない。また、グループによって各タイプの特徴は多少異なる。またグループivについては、クラスター数4で分析を実行した際に4つの投球タイプのどれにも当てはまらないクラスターが生じたため、クラスター数を3にして実行したところ速球派と本格派の混ざったような特徴を持つクラスターが生じた。そこでこ

のクラスターの投球タイプを速球派と本格派の混ざった「速球・本格派」であるとした。

(5) 活躍投手のカウント

各グループにおける、各球団、各投球タイプの活躍投手数を表9～12に示す。

<グループ i>

表9：グループ i 各球団・各投球タイプ人数（人）

	本格派	速球派	技巧派	軟投派	計
巨人	2	2	11	0	15
阪神	0	4	10	4	18
中日	3	2	7	1	13
広島	1	2	10	1	14
ヤクルト	0	5	9	1	15
DeNA	1	0	5	7	13
オリックス	6	0	6	0	12
ソフトバンク	5	1	9	1	16
日本ハム	4	2	7	0	13
ロッテ	4	4	9	1	18
西武	3	3	3	2	11
楽天	1	8	9	0	18
計	30	33	95	18	176

<グループ ii>

表10：グループ ii 各球団・各投球タイプ人数（人）

	本格派	速球派	技巧派	軟投派	計
巨人	2	0	5	0	7
阪神	1	0	5	2	8
中日	7	0	0	1	8
広島	2	0	4	0	6
ヤクルト	4	0	0	3	7
DeNA	6	2	3	0	11
オリックス	8	0	1	1	10
ソフトバンク	2	3	0	1	6
日本ハム	0	1	0	2	3
ロッテ	3	1	3	0	7
西武	2	0	0	0	2
楽天	1	0	0	2	3
計	38	7	21	12	78

<グループ iii>

表 1 1 : グループ iii 各球団・各投球タイプ人数 (人)

	本格派	速球派	技巧派	軟投派	計
巨人	6	4	2	1	13
阪神	5	5	0	3	13
中日	9	0	4	4	17
広島	6	6	1	3	16
ヤクルト	2	11	4	5	22
DeNA	9	5	0	5	19
オリックス	2	8	5	4	19
ソフトバンク	5	7	2	0	14
日本ハム	0	3	1	2	6
ロッテ	6	7	2	3	18
西武	4	5	5	3	17
楽天	6	3	1	3	13
計	60	64	27	36	187

<グループ iv>

表 1 2 : グループ iv 各球団・各投球タイプ人数 (人)

	速球・本格派	技巧派	軟投派	計
巨人	0	2	5	7
阪神	0	5	7	12
中日	0	0	3	3
広島	3	0	1	4
ヤクルト	0	1	3	4
DeNA	3	3	1	7
オリックス	0	3	2	5
ソフトバンク	5	2	1	8
日本ハム	1	6	1	8
ロッテ	0	1	2	3
西武	1	0	0	1
楽天	4	0	1	5
計	17	23	27	62

(6) カイ二乗検定

各環境、グループにおける結果を表 1 3～2 0 に示す。なお、クロス表の () 内は期待度数を表している。また、V を各結果の効果量 (連関係数) とする。

①環境の違い：リーグ

<グループ i>

表 1 3：グループ i クロス表①（投手数、期待度数入り）

	本格派	速球派	技巧派	軟投派	計
セ・リーグ	7 (14.67)	15 (16.13)	52 (48.40)	14 (8.80)	88
パ・リーグ	23 (15.33)	18 (16.87)	47 (50.60)	4 (9.20)	92
計	30	33	99	18	180

カイ二乗検定を行った結果、有意な差が得られた ($\chi^2(3)=14.53, p=0.00226, V=0.284$)。残差分析の結果、セ・リーグはパ・リーグに比べて活躍投手の内の軟投派の割合が有意に高く、パ・リーグはセ・リーグに比べて活躍投手の内の本格派の割合が有意に高いことが示された。

<グループ ii>

表 1 4：グループ ii クロス表①（投手数、期待度数入り）

	本格派	速球派	技巧派	軟投派	計
セ・リーグ	22 (22.91)	2 (4.11)	17 (12.34)	6 (7.64)	47
パ・リーグ	17 (16.09)	5 (2.89)	4 (8.66)	7 (5.36)	33
計	39	7	21	13	80

カイ二乗検定を行った結果、有意な差が得られた ($\chi^2(3)=7.84, p=0.0494, V=0.313$)。残差分析の結果、セ・リーグはパ・リーグに比べて活躍投手の内の技巧派の割合が有意に高いことが示された。

<グループ iii>

表 1 5：グループ iii クロス表①（投手数、期待度数入り）

	本格派	速球派	技巧派	軟投派	計
セ・リーグ	37 (32.09)	31 (34.22)	11 (14.44)	21 (19.25)	100
パ・リーグ	23 (27.91)	33 (29.78)	16 (12.56)	15 (16.75)	87
計	60	64	27	36	187

カイ二乗検定を行った結果、有意な差は得られなかった ($\chi^2(3)=4.37, p=0.223, V=0.153$)。

<グループ iv>

表 1 6：グループ iv クロス表①（投手数、期待度数入り）

	速球・本格派	技巧派	軟投派	計
セ・リーグ	6 (9.51)	11 (13.21)	20 (14.27)	37
パ・リーグ	12 (8.49)	14 (11.79)	7 (12.73)	33
計	18	25	27	70

カイ二乗検定を行った結果、有意な差が得られた ($\chi^2(2)=8.42, p=0.0149, V=0.346$)。残差分析の結果、セ・リーグはパ・リーグに比べて活躍投手の内の軟投派の割合が有意に高い

ことが示された。

②環境の違い：ホーム球場の広さ

<グループ i>

表 1 7：グループ i クロス表②（投手数、期待度数入り）

	本格派	速球派	技巧派	軟投派	計
広い	15 (15.05)	18 (17.37)	49 (50.37)	6 (5.21)	88
狭い	11 (10.95)	12 (12.63)	38 (36.63)	3 (3.79)	64
計	26	30	87	9	152

カイ二乗検定を行った結果、有意な差は得られなかった ($\chi^2(3)=0.427$, $p=0.934$, $V=0.0530$)。

<グループ ii>

表 1 8：グループ ii クロス表②（投手数、期待度数入り）

	本格派	速球派	技巧派	軟投派	計
広い	19 (17.54)	1 (2.92)	10 (10.52)	8 (7.02)	38
狭い	11 (12.46)	4 (2.08)	8 (7.48)	4 (4.98)	27
計	30	5	18	12	65

カイ二乗検定を行った結果、有意な差は得られなかった ($\chi^2(3)=3.73$, $p=0.292$, $V=0.240$)。

<グループ iii>

表 1 9：グループ iii クロス表②（投手数、期待度数入り）

	本格派	速球派	技巧派	軟投派	計
広い	28 (26.15)	25 (30.04)	12 (12.24)	19 (15.58)	84
狭い	19 (20.85)	29 (23.96)	10 (9.76)	9 (12.42)	67
計	47	54	22	28	151

カイ二乗検定を行った結果、有意な差は得られなかった ($\chi^2(3)=0.742$, $p=0.690$, $V=0.112$)。

<グループ iv>

表 2 0：グループ iv クロス表②（投手数、期待度数入り）

	速球・本格派	技巧派	軟投派	計
広い	8 (8.15)	14 (12.54)	15 (16.31)	37
狭い	5 (4.85)	6 (7.46)	11 (9.69)	22
計	13	20	26	59

カイ二乗検定を行った結果、有意な差は得られなかった ($\chi^2(2)=3.91$, $p=0.272$, $V=0.161$)。

第4節 考察

①環境の違い：リーグのグループ i, ii, iv のカイ二乗検定および残差分析の結果より、活躍する上では、右投げで先発の本格派投手はパ・リーグ、右投げで先発の軟投派投手はセ・リーグ、左投げで先発の技巧派投手はセ・リーグ、左投げで中継ぎの軟投派投手はセ・リーグがそれぞれ適したリーグであるといえる。

また、カイ二乗検定においては有意な差が得られなかった場合においても、①環境の違い：リーグのグループ iii や②環境の違い：ホーム球場の広さのグループ ii, iii, iv では効果量（連関係数） V の値より弱い関連が見られた。このことから、実際には環境の違いによって活躍しやすい投球タイプが異なる可能性があり、サンプルサイズを増やすなどデータを収集する過程に改善を加えることでより明確な結果が得られると期待される。

第3章 調査Ⅱ —「年俸で満足な評価をされやすいか」の観点—

第1節 調査目的

本章では、適した環境の条件の内の「年俸で満足な評価をされやすいか」という観点に着目し、どのような特徴を持った投手がどのような環境で年俸によって評価されやすいかを明らかにすることを目的として統計的手法を用いた分析を行った。

第2節 調査方法

第1項 分析の手順

本項では分析の手順を示す。大まかには、重回帰分析^{※3-4}を用いて球団別に年俸を成績で予測する式を作り、式の係数などから球団による査定システムの違いを明らかにしようとした。一方で、説明変数に当たる各成績・指標間に多重共線性が現れたため、主成分分析^{※3-5}を使用することによって多重共線性の問題を解消する主成分回帰分析を行った。

(1) データの収集

2019～2023年の5シーズンにおける各球団の投手の年俸（万円）および前年度成績（試合、勝利、敗北、セーブ、ホールド、HP^{※2-17}、完投、投球回、被安打、本塁打、与四球、与死球、奪三振、自責点、先発）と前年のシーズン開幕前時点での通算成績（通算登板、通算勝利、通算敗北、通算セーブ、通算HP、通算完投、通算投球回、通算被安打、通算被本塁打、通算与四球、通算与死球、通算三振、通算自責点）のデータを収集した。例えば、2020年シーズンの年俸を調べた投手については、その投手の2019年シーズンの成績と2018年シーズンまでの通算成績を収集した。

ただし、前年度もしくは通算の投球回が0の投手については、今回の分析の対象からは除外した。そのため、通算成績が存在しないプロ入り2年目以下の投手については全投手を対象外とした。

各球団の対象投手数（のべ人数）を表21に示す。

表 2 1 : 球団別調査Ⅱ分析対象投手数

球団	分類	人数	球団	分類	人数
巨人	先発	21	巨人	中継ぎ	30
阪神	先発	33	阪神	中継ぎ	45
中日	先発	36	中日	中継ぎ	48
広島	先発	28	広島	中継ぎ	38
ヤクルト	先発	34	ヤクルト	中継ぎ	42
DeNA	先発	30	DeNA	中継ぎ	49
オリックス	先発	24	オリックス	中継ぎ	49
ソフトバンク	先発	24	ソフトバンク	中継ぎ	52
日本ハム	先発	24	日本ハム	中継ぎ	40
ロッテ	先発	28	ロッテ	中継ぎ	47
西武	先発	23	西武	中継ぎ	54
楽天	先発	39	楽天	中継ぎ	30

(2) 指標の算出

(1) で収集したデータから 15 種類の指標 (年俸^{*}(年俸(万円)を自然対数に変換したもの)、勝率^{※2-18}、平均投球回(1 登板の平均投球回)^{※2-19}、被打率^{※2-20}、被本塁打率、与四死球率^{※2-21}、奪三振率、防御率^{※2-22}、先発率、通算平均投球回、通算被打率、通算被本塁打率、通算与四死球率、通算奪三振率、通算防御率) を算出した。

(3) 先発と中継ぎの分類

(2) で算出した先発率と通算平均投球回数を用いて、投手を先発と中継ぎの 2 種に区別した。区別したのは成績・指標が表す内容や目安の数値が先発と中継ぎで異なる場合に対応するためである。

例えば、ホールド数は中継ぎ投手にとっては活躍の度合いを測る 1 つの成績になり得るが、先発投手にとってはホールド数は関係のない成績である。この点を無視して先発と中継ぎの区別をせずに回帰分析を実行した場合、目的変数との相関が消えて、影響のある成績・指標を見落とすことにつながる。

区別には以下の条件を用いた。

先発：先発率 ≥ 0.75 かつ 通算平均投球回 ≥ 3

中継ぎ：先発率 ≤ 0.25 かつ 通算平均投球回 ≤ 2

「先発」は前年度および通算を通じて先発登板が主だった投手、「中継ぎ」は前年度および通算を通じて中継ぎ登板が主だった投手がそれぞれ該当するように条件を設定した。主にどちらの登板が多かったかを判断するならば先発率で測るのが最も妥当であるが、通算の先発数のデータが得られず、通算先発率の算出ができなかったために、通算での判断は通算平均投球回で代用した。

なお、どちらの条件も満たさない投手については今回の分析の対象からは除外した。

(4) 主成分分析

まず、各球団別、先発・中継ぎ別々に用いる指標の標準化を行った。用いる変数は先発の場合と中継ぎの場合で異なり、以下の通りである。

共通：被打率、被本塁打率、与四死球率、奪三振率、防御率、年齢、通算登板、
通算被打率、通算被本塁打率、通算与四死球率、通算奪三振率、通算防御率
先発のみ：先発、勝利、完投、勝率、平均投球回、通算勝利、通算完投、通算勝率、
通算平均投球回
中継ぎのみ：救援登板、セーブ、HP、通算セーブ、通算 HP

次に、指標には大きく分けて投球した量を表すものと投球の質を表すものの2種類があることに着目し、変数を以下の通り4種類に分類した（以降、「指標分類」とする）。

ー先発の場合ー

前年度量的指標 (PA)：先発、勝利、完投

前年度質的指標 (PQ)：防御率、勝率、与四死球率、被打率、被本塁打率、奪三振、
平均投球回

通算量的指標 (TA)：年齢、通算登板、通算勝利、通算完投

通算質的指標 (TQ)：通算防御率、通算勝率、通算与四死球率、通算被打率、
通算本塁打率、通算奪三振率、通算平均投球回

ー中継ぎの場合ー

前年度量的指標 (PA)：救援登板、セーブ、HP

前年度質的指標 (PQ)：防御率、与四死球率、被打率、被本塁打率、奪三振

通算量的指標 (TA)：年齢、通算登板、通算セーブ、通算 HP

通算質的指標 (TQ)：通算防御率、通算与四死球率、通算被打率、通算本塁打率、
通算奪三振率

すると、指標間の強い相関はほとんどがこれらの指標分類内に存在することが分かった（本節第3項の表5を参照）。

最後に各球団で先発・中継ぎ別々に指標を主成分分析した。主成分分析は重回帰分析を行う際に障害となる説明変数間の多重共線性を取り除くために用いたが（詳細は本節第3項）、それを引き起こす強い相関は4つの指標分類内にほとんどが存在した。そのため、指標全体で主成分分析をするのではなく、4つの指標分類内それぞれにおいて該当する指標をもとの変数として主成分分析を行った。また、PAの第1主成分は「PA1」というようにどの指標分類の何個目の主成分かが分かるように名前を付けた。

（５）重回帰分析

各球団、先発・中継ぎそれぞれにおいて、（４）で得られた主成分を標準化した変数を説明変数、年俸を標準化した変数を目的変数とした有意水準 0.05 の重回帰分析を行った。この際、累積寄与率が 80%を超えるところまでの主成分、あるいは累積寄与率 80%未満であってもこれ以上主成分が得られないところまでの主成分を説明変数として採用した。

その後、P 値が 0.05 を上回る説明変数の中で P 値が最大のものを取り除いて再度重回帰分析を実行するという作業を P 値が 0.05 以下の説明変数のみの回帰式が得られるまで繰り返した。

最後に、最終的に得られた回帰式を評価した。具体的に、F 値から有意差を、補正 R2 から適合度を判断した。なお、有意水準は 0.05 とし、補正 R2 に明確な基準は存在しないため、0.5 程度あれば一定の精度があると判断した。また、説明変数間の独立性を VIF^{※3-6}、残差の正規性を残差 Q-Q プロット^{※3-7}、残差の等分散性を残差グラフ^{※3-8}、残差の独立性を残差のダービンワトソン検定^{※3-9}、線形性を説明変数と目的変数の相関係数および散布図によってそれぞれ確かめた。加えて、回帰式の相対的な精度を調べることを目的に、MAE と RMSE^{※3-10} およびそれらの比を算出した。

（６）クラスター分析

ここでは、重回帰分析で得られた最終的な回帰式に注目し、各球団の回帰式をクラスターに分けることで、球団による査定システムの違いを明らかにした。

具体的に、まず各球団、先発・中継ぎの最終的な回帰式に含まれる説明変数とその係数を記録し、さらに指標分類それぞれで係数の絶対値の和を算出した。そして、全体の係数の絶対値の和における各指標分類の係数の絶対値の和の割合（％）を算出した。例えば、PA1 と PA3 の 2 つが最終的な回帰式に含まれ、係数がそれぞれ 0.500 と -1.500 の場合は PA の係数の絶対値の和は 2.000 となり、同様に PQ の和が 0.500、TA の和が 1.000、TQ の和が 0.500 となる場合は、全体の和は 4.000 であるから PA の係数の絶対値の和の割合は 50% となる。また最終的な回帰式に、ある指標分類の変数が採用されなかった場合はその指標分類の係数の絶対値の和は 0 となる。重回帰分析実行時に各説明変数を標準化しているため、係数の絶対値の大きさはその説明変数の目的変数に対する影響度の大きさを表しており、指標分類の係数の絶対値の和の割合の高さでその球団が査定において何に重点を置いているかが分かる。例えば、PA と PQ の割合に比べて TA と TQ の割合が高い場合は、査定において実績を重視していると判断できる。

最後に、PA、PQ、TA、TQ それぞれの割合を用いて 12 球団、先発・中継ぎの計 24 個の回帰式をクラスター分析で分類した。クラスター分析の手法は階層型クラスター分析・ウォード法^{※3-11}を用いた。どの球団の回帰式がどのような特徴のクラスターに所属するかによって、その球団の査定システムの特徴が判断可能だと考えられる。

第 2 項 年俸に関して

年俸が正規分布しているかの調査例として、中日の投手の年俸データとその期待値を用

いた正規 Q-Q プロットを図 8 に示す。

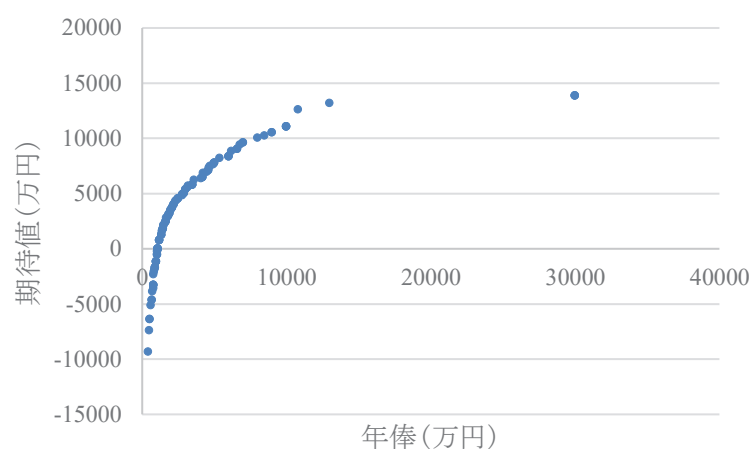


図 8：中日の投手の年俸（万円）と期待値（万円）（2019～2023）

曲線を描くようにプロットされたことから、年俸は正規分布していないと考えられる。本分析では重回帰分析を用いたが、重回帰分析の際に必要な条件の 1 つに残差の正規性がある。説明変数が非正規分布のとき、残差も正規性を持たないことが多く、年俸をそのまま説明変数として用いると残差の正規性という条件を満たさない可能性が高い。

これを改善するため、Q-Q プロットの描いた曲線が底が 1 より大きいときの対数関数のような形をしていることに着目し、年俸（万円）の値を自然対数に変換したものを「年俸'」として、同様に正規性を調べた Q-Q プロットを図 9 に示す。

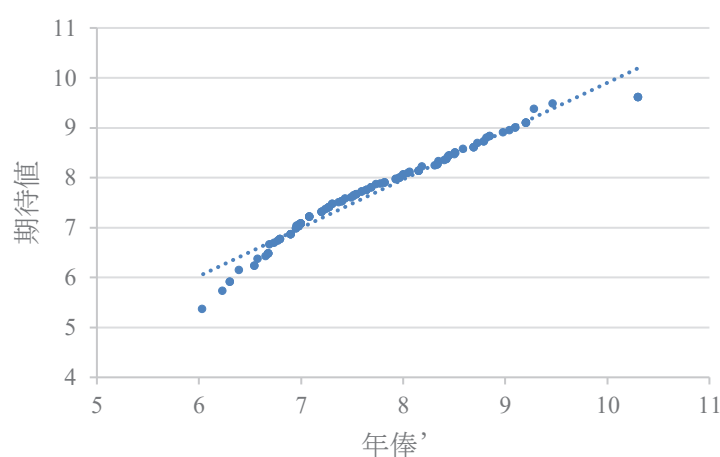


図 9：中日の投手の年俸'と期待値（2019～2023）

ほぼ直線状にプロットされたことから、年俸'は正規分布していると考えられる。

これらを踏まえ、正規分布していることが望ましい重回帰分析における目的変数には、選手の年俸を表す指標としてこの年俸'を用いた。

第3項 主成分回帰を用いる理由

重回帰分析では説明変数間の独立、すなわち多重共線性がないことが条件の1つである。表22、23に解析の代表例としてDeNAにおける投手の指標の相関行列とそこから求めたVIFを示す。

表22：DeNAの先発投手における指標間の相関

※赤文字は強い相関（相関係数 ≥ 0.700 ）

	先発	勝利	完投	防御率	勝率	与四死球率	被打率	被本塁打率	奪三振率	平均投球回	年齢	通算登板	通算勝利	通算完投	通算防御率	通算勝率	通算与四死球率	通算被打率	通算被本塁打率	通算奪三振率	通算平均投球回
先発	1.00	0.85	0.50	-0.21	0.51	-0.16	-0.05	-0.06	0.38	0.41	0.33	0.34	0.40	0.23	-0.08	0.20	-0.07	-0.11	-0.06	0.26	0.09
勝利	0.85	1.00	0.60	-0.43	0.74	-0.33	-0.33	-0.12	0.38	0.61	0.41	0.41	0.47	0.32	-0.13	0.16	-0.18	-0.13	-0.12	0.34	0.14
完投	0.50	0.60	1.00	-0.38	0.40	-0.23	-0.48	-0.03	0.36	0.60	0.22	0.37	0.38	0.33	-0.17	0.06	-0.18	-0.24	-0.13	0.36	0.20
防御率	-0.21	-0.43	-0.38	1.00	-0.30	0.58	0.78	0.58	-0.24	-0.65	-0.28	-0.24	-0.34	-0.13	0.26	-0.05	0.32	0.14	0.17	-0.32	-0.20
勝率	0.51	0.74	0.40	-0.30	1.00	-0.32	-0.32	0.04	0.38	0.53	0.26	0.31	0.36	0.31	-0.02	0.07	-0.01	-0.02	-0.09	0.34	0.10
与四死球率	-0.16	-0.33	-0.23	0.58	-0.32	1.00	0.39	0.34	-0.15	-0.66	-0.43	-0.20	-0.30	-0.21	0.39	-0.32	0.68	0.29	0.09	-0.12	-0.44
被打率	-0.05	-0.33	-0.48	0.78	-0.32	0.39	1.00	0.41	-0.31	-0.64	-0.29	-0.34	-0.37	-0.23	0.31	-0.07	0.24	0.23	0.30	-0.44	-0.27
被本塁打率	-0.06	-0.12	-0.03	0.58	0.04	0.34	0.41	1.00	-0.34	-0.35	-0.25	-0.27	-0.36	-0.17	0.32	-0.22	0.42	0.17	0.30	-0.28	-0.35
奪三振率	0.38	0.38	0.36	-0.24	0.38	-0.15	-0.31	-0.34	1.00	0.59	0.06	0.27	0.40	0.24	-0.41	0.33	-0.16	-0.46	-0.18	0.59	0.54
平均投球回	0.41	0.61	0.60	-0.65	0.53	-0.66	-0.64	-0.35	0.59	1.00	0.40	0.46	0.56	0.41	-0.42	0.22	-0.45	-0.40	-0.24	0.50	0.49
年齢	0.33	0.41	0.22	-0.28	0.26	-0.43	-0.29	-0.25	0.06	0.40	1.00	0.84	0.81	0.80	-0.50	0.30	-0.60	-0.42	-0.41	0.23	0.47
通算登板	0.34	0.41	0.37	-0.24	0.31	-0.20	-0.34	-0.27	0.27	0.46	0.84	1.00	0.97	0.93	-0.45	0.17	-0.35	-0.49	-0.40	0.44	0.46
通算勝利	0.40	0.47	0.38	-0.34	0.36	-0.30	-0.37	-0.36	0.40	0.56	0.81	0.97	1.00	0.90	-0.53	0.27	-0.43	-0.55	-0.42	0.55	0.57
通算完投	0.23	0.32	0.33	-0.13	0.31	-0.21	-0.23	-0.17	0.24	0.41	0.80	0.93	0.90	1.00	-0.35	0.09	-0.38	-0.39	-0.26	0.29	0.43
通算防御率	-0.08	-0.13	-0.17	0.26	-0.02	0.39	0.31	0.32	-0.41	-0.42	-0.50	-0.45	-0.53	-0.35	1.00	-0.65	0.71	0.89	0.68	-0.69	-0.92
通算勝率	0.20	0.16	0.06	-0.05	0.07	-0.32	-0.07	-0.22	0.33	0.22	0.30	0.17	0.27	0.09	-0.65	1.00	-0.57	-0.72	-0.35	0.47	0.72
通算与四死球率	-0.07	-0.18	-0.18	0.32	-0.01	0.68	0.24	0.42	-0.16	-0.45	-0.60	-0.35	-0.43	-0.38	0.71	-0.57	1.00	0.53	0.43	-0.25	-0.73
通算被打率	-0.11	-0.13	-0.24	0.14	-0.02	0.29	0.23	0.17	-0.46	-0.40	-0.42	-0.49	-0.55	-0.39	0.89	-0.72	0.53	1.00	0.43	-0.67	-0.85
通算被本塁打率	-0.06	-0.12	-0.13	0.17	-0.09	0.09	0.30	0.30	-0.18	-0.24	-0.41	-0.40	-0.42	-0.26	0.68	-0.35	0.43	0.43	1.00	-0.69	-0.57
通算奪三振率	0.26	0.34	0.36	-0.32	0.34	-0.12	-0.44	-0.28	0.59	0.50	0.23	0.44	0.55	0.29	-0.69	0.47	-0.25	-0.67	-0.69	1.00	0.68
通算平均投球回	0.09	0.14	0.20	-0.20	0.10	-0.44	-0.27	-0.35	0.54	0.49	0.47	0.46	0.57	0.43	-0.92	0.72	-0.73	-0.85	-0.57	0.68	1.00

表23：表21のデータによるVIF

先発	勝利	完投	防御率	勝率	与四死球率	被打率	被本塁打率
10.8	15.9	3.9	10.0	7.8	7.2	9.7	6.8

奪三振率	平均投球回	年齢	通算登板	通算勝利	通算完投	通算防御率
7.6	10.5	25.7	323.8	154.5	27.8	142.4

通算勝率	通算与四死球率	通算被打率	通算被本塁打率	通算奪三振率	通算平均投球回
27.4	16.2	137.5	29.5	28.3	44.5

このように、いくつかの指標同士に強い相関があることや $VIF > 10$ の指標があることから指標間に多重共線性があると考えられ、これらをそのまま説明変数として用いることは説明変数の独立の条件を満たさないことになり、適切な結果を得ることができない。

多重共線性の解消のために相関の高い変数同士の内、片方を分析から取り除くということも考えられるが、これは投手成績を表す情報を削ることであり、真に重要な要素を見落とすリスクをもつ。そこで、主成分分析によってこれらの変数を独立ないくつかの変数に要約することで、各要素を比較的削ることなく多重共線性を解消できると考え、主成分回帰分析を分析手法に採用した。

第3節 調査結果

(4) 主成分分析

全ての結果において、第2主成分までの累積寄与率が目安の50%を下回ることにはなかった。なお、固有ベクトルの値などは後述する重回帰分析およびクラスター分析においてあまり重要ではないことから、ここでは記述を省略し、付録Bにおいて詳細を記載する。

(5) 重回帰分析

各球団の最終的な重回帰分析の結果を表2-4に示す。

表2-4 : 重回帰分析の結果

球団	分類	補正R2	有意F	係						数				
				PA1	PA2	PQ1	PQ2	PQ3	PQ4	TA1	TA2	TQ1	TQ2	TQ3
巨人	先発	0.853	1.27×10^{-8}	0.553						0.617				
巨人	中継ぎ	0.877	1.36×10^{-12}	0.567	0.376					0.568				
阪神	先発	0.721	9.76×10^{-8}	0.372	-0.273				0.288			-0.209	0.589	
阪神	中継ぎ	0.861	3.16×10^{-8}	0.697	0.185					0.346				
中日	先発	0.878	1.6×10^{-14}	0.492						0.472		-0.211		0.172
中日	中継ぎ	0.818	3.6×10^{-16}	0.579	0.288					0.425		-0.171		
広島	先発	0.921	3.74×10^{-13}	0.534						0.589	-0.138	-0.198		
広島	中継ぎ	0.598	4.43×10^{-8}	0.517						0.667				
ヤクルト	先発	0.827	3.66×10^{-12}	0.572								-0.370		0.350
ヤクルト	中継ぎ	0.826	4.18×10^{-15}	0.724						0.281		-0.199		
DeNA	先発	0.894	1.31×10^{-12}	0.286				0.116		0.115		-0.147		
DeNA	中継ぎ	0.858	7.18×10^{-19}	0.475						0.344	0.187		0.279	
オリックス	先発	0.683	3.96×10^{-6}	0.580						-0.397				
オリックス	中継ぎ	0.862	4.92×10^{-20}	0.601	0.225					0.393				
ソフトバンク	先発	0.824	1.01×10^{-7}			-0.305	0.330					-0.597		0.303
ソフトバンク	中継ぎ	0.840	1.03×10^{-19}	0.417	0.166					0.621				
日本ハム	先発	0.801	1.64×10^{-8}	0.844						0.334				
日本ハム	中継ぎ	0.846	3.35×10^{-16}	0.607						0.509				
ロッテ	先発	0.866	1.66×10^{-10}	0.224		-0.277				0.521		-0.315		
ロッテ	中継ぎ	0.901	2.95×10^{-22}	0.277	-0.174					0.807				
西武	先発	0.829	1.79×10^{-7}	0.488	-0.316							-0.507		0.277
西武	中継ぎ	0.492	4.42×10^{-4}							0.532		-0.231		
楽天	先発	0.865	3.97×10^{-15}	0.400	-0.124					0.503		0.259		
楽天	中継ぎ	0.739	2.34×10^{-8}	0.856	0.597	0.343								

全ての結果において F 値 ≤ 0.05 であり、補正 R2 も 0.5 付近かそれ以上であったことから、全ての回帰式が有意で一定の精度の高さを持つものであると判断できた。

なお、VIFによって説明変数間の独立性、残差 Q-Q プロットによって残差の正規性、残差グラフによって残差の等分散性、残差のダービンワトソン検定によって残差の独立性、説明変数と目的変数の相関係数と散布図によって線形性を確かめたところ、全ての結果において条件を満たしていることが確認された。

加えて、各回帰式について MAE と RMSE を調べ、2つの比を見ると $\sqrt{\frac{\pi}{2}}$ (≈ 1.253)に近い

値を取っていた。このことから、モデルがデータの特徴を十分に表現していることが再確認された。

(6) クラスタ分析

各球団における各指標分類の係数の絶対値の和の割合を表 2 5 に示す。

表 2 5：各指標分類の係数の絶対値の和の割合（％）

球団	分類	PA率	PQ率	TA率	TQ率
巨人	先発	47.26	0.00	52.74	0.00
巨人	中継ぎ	62.39	0.00	37.61	0.00
阪神	先発	37.24	16.67	0.00	46.09
阪神	中継ぎ	71.84	0.00	28.16	0.00
中日	先発	36.55	0.00	35.01	28.44
中日	中継ぎ	59.24	0.00	29.07	11.69
広島	先発	36.60	0.00	49.81	13.59
広島	中継ぎ	43.66	0.00	56.34	0.00
ヤクルト	先発	44.29	0.00	0.00	55.71
ヤクルト	中継ぎ	60.15	0.00	23.32	16.52
DeNA	先発	43.08	17.41	17.33	22.18
DeNA	中継ぎ	36.95	0.00	41.33	21.72
オリックス	先発	59.35	0.00	40.65	0.00
オリックス	中継ぎ	67.75	0.00	32.25	0.00
ソフトバンク	先発	0.00	41.36	0.00	58.64
ソフトバンク	中継ぎ	48.45	0.00	51.55	0.00
日本ハム	先発	71.65	0.00	28.35	0.00
日本ハム	中継ぎ	54.40	0.00	45.60	0.00
ロッテ	先発	16.73	20.72	38.97	23.58
ロッテ	中継ぎ	35.84	0.00	64.16	0.00
西武	先発	50.64	0.00	0.00	49.36
西武	中継ぎ	0.00	0.00	69.78	30.22
楽天	先発	40.74	0.00	39.13	20.13
楽天	中継ぎ	80.89	19.11	0.00	0.00

次に、表 2 5 の数値を用いてクラスタ分析を実行した。三つのクラスターに分類され、結果の詳細を表 2 6 および図 1 0 に示す。

表 2 6 : クラスターの特徴および所属グループ (得点は標準化得点)

クラスター	PA 率	PQ 率	TA 率	TQ 率	所属数	所属グループ
1	-0.541	-0.127	0.686	-0.105	11	巨人先発, 中日先発, 広島先発, 広島中継ぎ, DeNA 先発, DeNA 中継ぎ, ソフトバンク中継ぎ, ロッテ先発, ロッテ中継ぎ, 西武中継ぎ, 楽天先発
2	0.945	-0.255	-0.148	-0.689	9	巨人中継ぎ, 阪神中継ぎ, 中日中継ぎ, ヤクルト中継ぎ, オリックス先発, オリックス中継ぎ, 日本ハム先発, 日本ハム中継ぎ, 楽天中継ぎ
3	-0.641	0.925	-1.552	1.839	4	阪神先発, ヤクルト先発, ソフトバンク先発, 西武先発

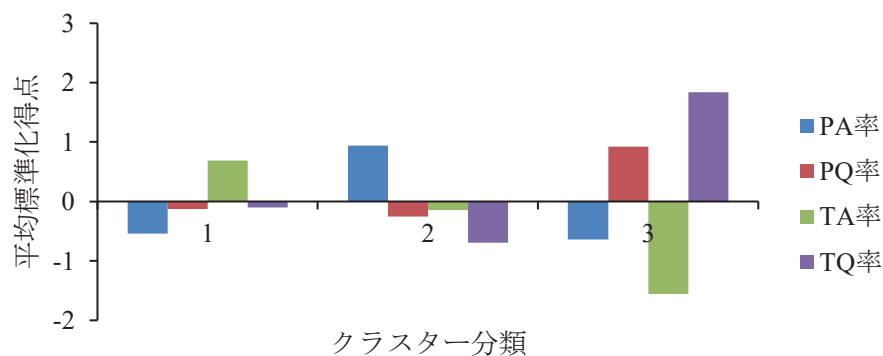


図 1 0 : クラスターの特徴 (得点は標準化得点)

クラスター 1 は TA 率が高く、一方で前年度成績を表す PA 率と PQ 率はどちらも低かった。このことから、クラスター 1 はその投手の実績を重視する査定システムであるといえるため、「経験重視型」とした。

クラスター 2 はクラスター 1 とは対照的に PA 率が高く、通算成績を表す TA 率と TQ 率が低かった。このことから、クラスター 2 は実績よりも直近の成績を重視する査定システムといえるため、「成果重視型」とした。

クラスター 3 は投球の質を表す PQ 率と TQ 率が高く、一方で投球の量を表す PA 率と TA 率が低かった。このことから、クラスター 3 は投球内容を重視する査定システムといえるため、「内容重視型」とした。

第4節 考察

クラスター分析の結果から、1 軍登板の実績が多いことを特徴とする投手はクラスター 1 の経験重視型の環境において評価されやすいといえる。具体的には、先発投手ならば巨人・中日・広島・DeNA・ロッテ・楽天、中継ぎ投手ならば広島・DeNA・ソフトバンク・ロッテ・西武が該当する。

また、今後も好成績を残していけると考えられる投手はクラスター 2 の成果重視型の環境において評価されやすいといえる。具体的には、先発投手ならばオリックス・日本ハム、中継ぎ投手ならば巨人・阪神・中日・ヤクルト・オリックス・日本ハム・楽天が該当する。

さらに、投球内容の良さが特徴である投手はクラスター 3 の内容重視型の環境において評価されやすいといえる。具体的には、先発投手ならば阪神・ヤクルト・ソフトバンク・西武が該当するが、中継ぎ投手では該当する球団が無かった。

全ての投手にあてはまるわけではないが、一般的にベテランの投手は経験が豊富な一方で全盛期を過ぎているために成績自体は向上しないことが多い。対照的に若手の投手は実績こそないが成績は全盛期に近づくにかけて向上することが多い。そのため、ベテラン投手は経験重視型の球団、若手投手は成果重視型の球団で評価されやすい場合が多いと推測される。一方、ケガをしやすいなどの理由であまり多くの登板ができないというような投手は投げた量ではなく投球内容を重視する内容重視型の球団で評価されやすい場合が多いと推測される。

第4章 結論

第1節 まとめ

まず、「活躍しやすいか」に着目して行った調査Ⅰの結果によって、リーグという環境の違いによって活躍しやすい投手の特徴が異なり、投手の特徴によってそれぞれに活躍しやすいリーグがあるといえることが分かった。具体的に、右投げで先発の本格派投手はパ・リーグ、右投げで先発の軟投派投手はセ・リーグ、左投げで先発の技巧派投手はセ・リーグ、左投げで中継ぎの軟投派投手はセ・リーグがそれぞれの適したリーグである。

また、「年俸で満足な評価をされやすいか」に着目して行った調査Ⅱの結果によって、球団という環境の違いによって年俸評価の際に重視される点が異なり、投手の特徴によってそれぞれに年俸評価されやすいリーグがあるといえることが分かった。具体的に、1軍登板の実績が多いことを特徴とする投手は、先発投手ならば巨人・中日・広島・DeNA・ロッテ・楽天、中継ぎ投手ならば広島・DeNA・ソフトバンク・ロッテ・西武が適しており、今後も好成績を残していけると考えられる投手は、先発投手ならばオリックス・日本ハム、中継ぎ投手ならば巨人・阪神・中日・ヤクルト・オリックス・日本ハム・楽天が適しており、投球内容の良さが特徴である先発投手は阪神・ヤクルト・ソフトバンク・西武が適している。

これら2側面からの結果より、本研究には2つの成果が存在すると結論付けた。1つ目は、最適な環境が各投手の特徴に応じて存在することが明らかになったため、活躍機会の提供や年俸満足度の向上、およびそれらによるNPBの人気向上という点において選手移籍活性化が必要であることを示したということである。2つ目は、投手が実際に移籍機会を得た際は、2つの調査の具体的な結果を用いることで、自身が活躍しやすいリーグと評価されやすい球団を把握しておけるということである。

第2節 今後の展望

まず、調査Ⅰでは特にホーム球場の広さに注目した場合のカイ二乗検定においては、有意な結果を得ることができなかった。一方でほとんどのグループで関連が見られた。このことから、データ収集の過程に改善を加えることでより明確な結果が得られることが期待される。具体的には、サンプルサイズを増やして再度分析することなどを検討する。

また、今回はサンプルサイズが小さくなるなどの理由で調査Ⅰにおいては球団という環境の違いでは検定をしなかった。しかし、監督やコーチといった球団内の要因によって活躍しやすい投手の特徴が発生している可能性は十分に考えられる。そのため、この点についてもサンプルサイズを増やすことで明確な結果が得られることが期待される。

次に、分析Ⅱにおいては、本研究では多重共線性の問題を取り除くために各種成績を主成分に変換したが、実際の査定の際には「勝利数1ごとにプラス100万円」というようにある指標とそれに対応する具体的な金額が設定されている可能性がある。これを明らかにすることができればより正確に年俸を予測できるほか球団間の差も明らかになる。そこで、成績間のずれが少ないと考えられる同一投手の年俸の増減に着目することで、年度間のず

れの大きい指標から順に対応する金額を明らかにできると考えられる。

一方で、そもそも年俸が本研究で収集した年齢や前年度および通算の成績で決められているのかという問題もある。例えば、その投手のチーム内におけるムードメーカー的役割やファンからの人気、クライマックスシリーズ・日本シリーズでの活躍が大きく査定に影響している可能性がある。また、FA を取得する直前の投手や FA で獲得した投手の年俸が高くなりやすいという現象も考えられる。そのため、球団関係者にインタビューを行い、査定がどのように行われているかを可能な範囲で把握した上で調査を始めることが理想的である。

最後に、本研究では最適な環境を2つの観点に分け、結果も全く独立したものとして出したが、実際には活躍した度合をもとに年俸を算出するため、2つの観点には関連性がある。今後は上記のような改善点を改善した上で、活躍度を予測し、その予測値から年俸を予測するというシステムを作り上げることがより明確に最適な環境を明らかにするための目標となる。

謝辞

本研究を行うにあたり、データを提供していただいた情報・システム研究機構 統計 数理研究所 医療健康データ科学研究センター様、データスタジアム 株式会社様にお礼申し上げます。また、ゼミの担当教員として熱心にご指導いただいた林先生をはじめ FESTAT で発表の場を設けてくださった香川県立観音寺第一高等学校様、JDSSP 高等学校データサイエンス教育研究会様、並びに非常に的確なコメントを下された諸先生方、その他相談に乗って頂いた先生方や先輩、後輩の方々、友人の方々全員に心から感謝申し上げます。ありがとうございました。

出典・参考文献

- [1] 一般社団法人日本野球機構. “2023 年度 セントラル・リーグ チーム投手成績”. NPB.jp 日本野球機構. https://npb.jp/bis/2023/stats/tmp_c.html (参照 2024-1-6)
- [2] 一般社団法人日本野球機構. “2023 年度 阪神タイガース 阪神タイガース 個人投手成績 (セントラル・リーグ)”. NPB.jp 日本野球機構. https://npb.jp/bis/2023/stats/tmp_c.html (参照 2024-1-6)
- [3] 一般社団法人日本野球機構. “個人年度別成績”. NPB.jp 日本野球機構. <https://npb.jp/bis/players/> (参照 2024-1-6)
- [4] 一般社団法人日本野球機構. “フリーエージェントについて”. NPB. 日本野球機構. https://npb.jp/announcement/2019/fa_about.html (参照 2024-6-9)
- [5] 中島大輔. “NPB→MLB の移籍制度はどう生まれた? 背景に 2 投手の騒動、MLB の成長も”. スポーツナビ. <https://sports.yahoo.co.jp/column/detail/2023112300002-spnavi> (参照 2024-6-9)
- [6] 日本プロ野球選手会 OFFICIAL SITE. “移籍の活性化 (概要)”. 一般社団法人日本プロ野球選手会. <https://jpbpa.net/transfer/> (参照 2024-1-22)
- [7] 日刊スポーツ. “「現役ドラフト」12 月 9 日開催決定 非公開で行われ各球団で必ず移籍が起きる仕組み”. 日刊スポーツ NEWS. https://www.nikkansports.com/baseball/news/202210070000403.html#goog_rewarded (参照 2024-1-22)
- [8] 一般社団法人日本野球機構. “2018 年度 西武ライオンズ 阪神タイガース 個人投手成績 (セントラル・リーグ)”. NPB.jp 日本野球機構. https://npb.jp/bis/2018/stats/idp1_1.html (参照 2024-1-6)
- [9] 日刊スポーツ. “【ソフトバンク】三森大貴が今オフ 4 人目の保留「自分の中で考えた」 今季年俸は 4500 万円”. 日刊スポーツ NEWS. <https://www.nikkansports.com/baseball/news/202312200000469.html> (参照 2024-1-22)
- [10] サンスポ. “プロ野球選手会が 1 2 球団年俸ランキング発表 契約更改の満足度調査で 1 位の球団は?”. 産経新聞社. <https://www.sanspo.com/article/20230424-X4HFBCN7S5KWJFK6A72UWVGQVE/> (参照 2024-1-6)
- [11] 日刊スポーツ. “MLB 5 度目の開幕延期 1972 年はストで 2 週間、2020 年はコロナで 4 カ月”. 日刊スポーツ NEWS. <https://www.nikkansports.com/baseball/mlb/news/202203010001189.html> (参照 2024-1-22)
- [12] 菊田康彦. “メジャーの FA もかつては “自由” に移籍できなかった? MLB に存在した「リエントリー・ドラフト」とは”. Yahoo! Japan ニュース. <https://news.yahoo.co.jp/expert/articles/64782772f4e0d04ba67d7ca74cd5b4862b6c18eb> (参照 2024-7-11)
- [13] Jonathan Schwabish. “MLB Salaries Are Yet Another Way to Visualize Growing Economic Inequality”. Urban institute. <https://www.urban.org/urban-wire/mlb-salaries-are-yet-another-way-visualize-growing-economic-inequality> (参照 2024-7-11)

- [14] NHK. “宮本勝浩「阪神日本一 経済効果と地域の活性化」”.NHK.
<https://www.nhk.jp/p/ts/Y5P47Z7YVW/episode/te/12J72XGKR7/>（参照 2024-1-22）
- [15] 1.02 Essence of Baseball. “パークファクター”.株式会社 DELTA.
https://1point02.jp/op/gnav/glossary/gls_explanation.aspx?eid=20016（参照 2024-1-22）
- [16] FANGRAPHS. “What is WAR?”.FanGraphs 社. <https://library.fangraphs.com/misc/war/>
（参照 2024-1-22）
- [17] SPAIA. “プロ野球 個人成績・セイバーメトリクスデータ：投手”. Glad Cube.
https://spaia.jp/baseball/npb/stats_player/detail_pitcher/#c1p0（参照 2024-1-30）

データ提供

- ・ 情報・システム研究機構 統計 数理研究所 医療健康データ科学研究センター
- ・ データスタジアム株式会社

付録 A 用語説明

第 1 節 論文に出てくる選手の説明

以下に記述される成績・選手情報は全て出典・参考文献[3]による。

- ※1-1 大竹耕太郎（阪神） … 投手。ソフトバンク時代の 2017 年シーズンには 17 試合に登板して 5 勝を挙げたが、その後は登板機会が減少し、2022 年シーズンオフの第 1 回現役ドラフトで阪神に移籍。移籍初年度の 2023 年シーズンは自身最多の 21 試合に登板してチーム最多の 12 勝を記録。2023 年シーズンの成績は防御率 2.26 12 勝 2 敗 131.2 回。
- ※1-2 細川成也（中日） … 外野手。2022 年シーズンオフの第 1 回現役ドラフトで DeNA から中日に移籍。移籍初年度の 2023 年シーズンは自身初の規定打席に到達した他、前年までの通算 6 本塁打を大きく上回る 24 本塁打を記録した。2023 年シーズンの成績は打率.253 24 本塁打 78 打点。
- ※1-3 榎田大樹（元西武） … 投手。2010 年のドラフト 1 位で阪神に入団し、1、2 年目の 2011、2012 年シーズンには主に中継ぎとしてそれぞれ 62 登板、48 登板を達成。その後は先発に転向するなどしたものの、入団時ほどの成績を残すことはできず、2018 年シーズン開幕前に西武へトレード移籍。移籍初年度の 2018 年シーズンは先発として自身初の 2 桁勝利を達成。「山賊打線」と称される強力な打線を誇った西武の優勝に貢献した。2018 年シーズンの成績は防御率 3.32 11 勝 4 敗 132.2 回。
- ※1-4 三森大貴（ソフトバンク） … 内野手。2021 年シーズンから俊足のセカンドとして出場機会を大きく増やすと、2022 年シーズンにはキャリアハイとなる 101 本の安打と 20 個の盗塁を記録。2023 年シーズンは同じく 102 試合に出場するも打席数自体は 100 以上減少し、安打・盗塁ともに前年を下回る結果となった。当シーズンオフの契約更改では球団から減俸を提示されたとみられている^[9]。2023 年シーズンの成績は打率.260 5 本塁打 21 打点 14 盗塁。

第 2 節 分析で用いた野球指標の算出方法等

- ※2-1 $\text{ゴロ率} = \text{全打球数} \div \text{ゴロの打球数}$
- ※2-2 $\text{フライ率} = \text{全打球数} \div \text{フライの打球数}$
- ※2-3 $\text{インフィールドフライ率} = \text{フライの打球数} \div \text{内野フライの打球数}$
- ※2-4 $\text{直球割合} = \text{投球数} \div \text{ストレートを投げた数}$
- ※2-5 $\text{奪三振率} = \text{奪三振} \div \text{投球回} \times 9$
- ※2-6 $\text{与四球率} = \text{与四球} \div \text{投球回} \times 9$
- ※2-7 $\text{被本塁打率} = \text{被本塁打} \div \text{投球回} \times 9$

※2-8 HRPF : Home Run Park Factor…ある球場において、他の球場よりどのくらいホームランが出やすいのか

$$\text{HRPF} = (\text{本拠地球場での試合あたり本塁打} + \text{被本塁打}) \div (\text{他球場での試合あたり本塁打} + \text{被本塁打})$$

※2-9 リーグ失点率 = リーグ総失点 $\div$ リーグ総投球回 $\times 9$

※2-10 FIP : Fielding Independent Pitching…守備から独立した投球内容の評価

$$\text{FIP} = \{13 \times \text{被本塁打} + 3 \times (\text{与四球} + \text{与死球} - \text{故意四球}) - 2 \times \text{奪三振}\} \div \text{投球回} + \text{リーグ補正值}$$

$$\text{リーグ補正值} = \text{リーグ防御率} - \text{リーグ FIP}$$

$$\text{リーグ FIP} = \{13 \times \text{リーグ総被本塁打} + 3 \times (\text{リーグ総与四球} + \text{リーグ総与死球} - \text{リーグ総故意四球}) - 2 \times \text{リーグ総奪三振}\} \div \text{リーグ総投球回}$$

※2-11 リーグ防御率 = リーグ総自責点 $\div$ リーグ総投球回 $\times 9$

※2-12 得点 PF…ある球場において、他の球場よりどのくらい得点が入りやすいのか

$$\text{得点 PF 補正} = \{(\text{本拠地球場での試合あたり得点} + \text{失点}) \div (\text{他球場での試合あたり得点} + \text{失点}) + 1\} \div 2$$

※2-13 RPW : Runs Per Win…1 勝に必要な得点数

$$\text{RPW} = 10 \times \sqrt{\{(\text{総得点} + \text{総失点}) \div \text{総投球回}\}}$$

※2-14 先発率 = 先発 $\div$ 試合

※2-15 救援率 = 1 - 先発率

※2-16 WAR : Wins Above Replacement…代替可能選手（平均以下の実力・簡単に獲得できる選手）に比べてどれだけ勝利数を上積みしたか

※2-17 HP = ホールド + 救援勝利

※2-18 勝率 = 勝利 $\div$ (勝利 + 敗戦)

※2-19 平均投球回 = 投球回 $\div$ 試合数

※2-20 被打率 = 被安打 $\div$ 投球回 $\times 9$

※2-21 与四死球率 = (与四球 + 与死球) $\div$ 投球回 $\times 9$

※2-22 防御率 = 自責点 $\div$ 投球回 $\times 9$

第3節 統計的手法について

※3-1 k-means 法 : 非階層型クラスター分析の手法の1つ。近いデータ同士は同じクラスターであるという考えに基づいて、データ群を k 個に分類する。あらかじめクラスター数 k を指定しておく必要がある。サンプルサイズが大きい場合の分析に向いているとされる。手順は以下の通りである。

- ① 各データにクラスターをランダムに割り当てる
- ② 各クラスターの重心を計算する
- ③ 各データを最も近くにある重心のクラスターに再度割り当てる
- ④ ③を重心が動かなくなるまで繰り返す

※3-2 カイ二乗検定：帰無仮説が正しければ検定統計量がカイ二乗分布に従うことを利用する検定方法である。様々な使用例があり、本研究ではクロス表の独立性の検定に利用した。

$r \times c$ クロス表において

帰無仮説：2変数は独立である

対立仮説：2変数は独立ではなく、何らかの関連がある

i 行 j 列の期待度数 E_{ij} は i 行目カテゴリーの総数 n_i 、 j 行目カテゴリーの総数 n_j 、サンプルサイズ N とすると $E_{ij} = \frac{n_i n_j}{N}$ で得られる。

また、 i 行 j 列の観測度数 n_{ij} とすると $\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(n_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$ で求められる。

このとき、これは近似的に自由度 $(r-1)(c-1)$ のカイ二乗分布に従うから、カイ二乗分布から自由度 $(r-1)(c-1)$ における χ^2 値の確率 p を調べる。

- ・ p 値 ≤ 0.05 のとき 帰無仮説を棄却し、対立仮説を採択する。
- ・ p 値 > 0.05 のとき 帰無仮説を棄却しない。

※3-3 残差分析：ここではクロス集計表における残差分析のこと。3つ以上のカテゴリーがある変数をカイ二乗検定で扱う場合、有意差が得られたとしてもどのカテゴリーに差があるといえるのか分からない。そこで、検定後、残差分析を行うことによって、どのカテゴリーの比率に有意差があったのか明らかにする。

残差 = 観測度数 - 期待度数

$$\text{残差分散} = \left(1 - \frac{\text{横列の合計}}{\text{総数}}\right) \times \left(1 - \frac{\text{縦列の合計}}{\text{総数}}\right)$$

$$\text{調整済み標準化残差} = \frac{\text{残差}}{\sqrt{\text{期待値} \times \text{残差分散}}}$$

調整済み標準化残差が標準正規分布に従うことから、標準正規分布表から調整済み標準化残差の値の確率 p を調べる。

p 値 ≤ 0.05 のとき、そのカテゴリーの比率に有意差があったと判断できる。

※3-4 重回帰分析：複数の要因（説明変数）によって、ある結果（目的変数）を説明する式を立てる手法。変数はいずれも量的変数である必要がある。
有意水準 α のとき、 p 値 $\leq \alpha$ で有意な結果が得られたと判断する。
また、一般的に 0.5 程度が回帰式の当てはまりの良さを表す補正 R^2 の目安とされる。
回帰係数の正負によって目的変数への影響の方向を判断できる。また、変数を標準化しておくことで変数間のスケールを統一できるため、回

帰係数の絶対値の大きさによって目的変数への影響度の大きさを判断できる。

※3-5 主成分分析：相関のある多変数データの情報を、相関の無い主成分とよばれる変数に要約することで、より少ない次元に圧縮する手法。各主成分が全体の中で変動の何割を占めるかを示す数値が寄与率で、寄与率が高い主成分から順に「第1主成分」、「第2主成分」というように名前を付ける。また、その主成分までの寄与率の合計を累積寄与率といい、70%～80%に達するところまでの主成分を採用することが多い。また、第2主成分までの累積寄与率が50%以上あることを最低条件の目安とすることもある。

※3-6 VIF（分散拡大係数）：最小二乗回帰分析における多重共線性の深刻さを表す。一般に、VIF>10 のとき、多重共線性が認められるとされる。

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2}$$

(R_i は VIF を求めたい説明変数 X_i を目的変数、それ以外の説明変数を説明変数として回帰分析した際の決定係数) で求められる。

本研究では、各説明変数同士の相関係数を計算した後、その逆行列を計算することで算出した。例として、調査Ⅱの DeNA・先発投手における VIF 導出の過程を付録 A 表 1・2 に示す。(赤字が各説明変数の VIF)

付録 A 表 1：調査Ⅱ DeNA・先発投手における相関係数

	先発	勝利	完投	防御率	勝率	与四死球率	被打球率	被本塁打率	三振率	平均投球回	年齢	通算登板	通算勝利	通算完投	通算防御率	通算勝率	通算与四死球率	通算被打球率	通算被本塁打率	通算三振率	通算平均投球回
先発	1.000	0.854	0.502	-0.212	0.511	-0.165	-0.050	-0.061	0.382	0.412	0.326	0.344	0.403	0.233	-0.077	0.198	-0.068	-0.106	-0.062	0.265	0.094
勝利	0.854	1.000	0.604	-0.434	0.745	-0.328	-0.328	-0.118	0.381	0.609	0.405	0.412	0.467	0.318	-0.135	0.160	-0.176	-0.128	-0.116	0.344	0.136
完投	0.502	0.604	1.000	-0.385	0.397	-0.232	-0.482	-0.033	0.357	0.603	0.223	0.368	0.379	0.326	-0.171	0.064	-0.177	-0.242	-0.125	0.357	0.197
防御率	-0.212	-0.434	-0.385	1.000	-0.305	0.584	0.783	0.584	-0.237	-0.651	-0.275	-0.243	-0.337	-0.131	0.260	-0.045	0.324	0.137	0.171	-0.315	-0.195
勝率	0.511	0.745	0.397	-0.305	1.000	-0.319	-0.319	0.039	0.377	0.535	0.259	0.314	0.357	0.313	-0.023	0.071	-0.011	-0.022	-0.094	0.336	0.097
与四死球率	-0.165	-0.328	-0.232	0.584	-0.319	1.000	0.394	0.337	-0.152	-0.664	-0.428	-0.296	-0.210	0.389	-0.321	0.676	0.292	0.093	-0.124	0.438	
被打球率	-0.050	-0.328	-0.482	0.783	-0.319	0.394	1.000	0.414	-0.313	-0.639	-0.291	-0.338	-0.369	-0.233	0.308	-0.071	0.238	0.225	0.301	-0.436	-0.265
被本塁打率	-0.061	-0.118	-0.033	0.584	0.039	0.337	0.414	1.000	-0.344	-0.350	-0.251	-0.273	-0.364	-0.171	0.316	-0.221	0.415	0.167	0.300	-0.277	-0.355
三振率	0.382	0.381	0.357	-0.237	0.377	-0.152	-0.313	-0.344	1.000	0.595	0.061	0.265	0.403	0.235	-0.406	0.328	-0.163	-0.455	-0.180	0.594	0.540
平均投球回	0.412	0.609	0.603	-0.651	0.535	-0.664	-0.639	-0.350	0.595	1.000	0.399	0.455	0.563	0.408	-0.419	0.221	-0.449	-0.399	-0.237	0.500	0.493
年齢	0.326	0.405	0.223	-0.275	0.259	-0.428	-0.291	-0.251	0.061	0.399	1.000	0.844	0.807	0.798	-0.496	0.301	-0.597	-0.421	-0.412	0.232	0.467
通算登板	0.344	0.412	0.368	-0.243	0.314	-0.202	-0.338	-0.273	0.265	0.455	0.844	1.000	0.967	0.930	-0.454	0.167	-0.346	-0.492	-0.405	0.439	0.462
通算勝利	0.403	0.467	0.379	-0.337	0.357	-0.296	-0.369	-0.364	0.403	0.563	0.807	0.967	1.000	0.896	-0.529	0.273	-0.425	-0.555	-0.420	0.547	0.566
通算完投	0.233	0.318	0.326	-0.131	0.313	-0.210	-0.233	-0.171	0.235	0.408	0.798	0.930	0.896	1.000	-0.347	0.086	-0.378	-0.389	-0.257	0.289	0.429
通算防御率	-0.077	-0.135	-0.171	1.000	-0.023	0.389	0.308	0.316	-0.406	-0.419	-0.496	-0.454	-0.529	-0.347	1.000	-0.654	0.707	0.891	0.677	-0.688	-0.918
通算勝率	0.198	0.160	0.064	-0.045	0.071	-0.321	-0.071	0.328	0.221	0.301	0.301	0.167	0.273	0.086	-0.654	1.000	-0.566	-0.718	-0.350	0.473	0.717
通算与四死球率	-0.068	-0.176	-0.177	0.324	-0.011	0.676	0.238	0.415	-0.163	-0.449	-0.597	-0.346	-0.425	-0.378	0.707	0.566	1.000	0.532	0.434	-0.246	-0.731
通算被打球率	-0.106	-0.128	-0.242	0.137	-0.022	0.292	0.225	0.167	-0.455	-0.399	-0.421	-0.492	-0.555	-0.389	0.891	-0.718	0.532	1.000	0.428	-0.668	-0.849
通算被本塁打率	-0.062	-0.116	-0.125	0.171	-0.094	0.093	0.301	0.300	-0.180	-0.237	-0.412	-0.405	-0.420	-0.257	0.677	-0.350	0.434	0.428	1.000	-0.694	-0.571
通算三振率	0.265	0.344	0.357	-0.315	0.336	-0.124	-0.436	-0.277	0.594	0.500	0.232	0.439	0.547	0.289	-0.688	0.473	-0.246	-0.668	-0.694	1.000	0.680
通算平均投球回	0.094	0.136	0.197	-0.195	0.097	-0.438	-0.265	-0.355	0.540	0.493	0.467	0.462	0.566	0.429	-0.918	0.717	-0.731	-0.849	-0.571	0.680	1.000

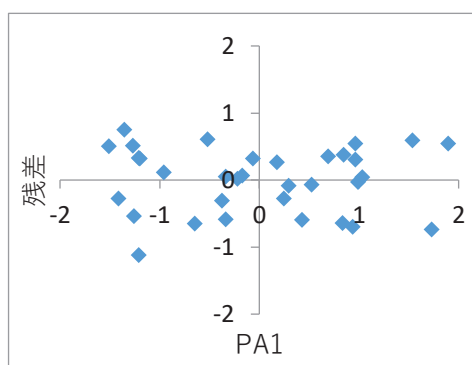
付録 A 表 2：調査Ⅱ DeNA・先発投手における逆行列

逆行列	先発	勝利	完投	防御率	勝率	与四死球率	被打球率	被本塁打率	三振率	平均投球回	年齢	通算登板	通算勝利	通算完投	通算防御率	通算勝率	通算与四死球率	通算被打球率	通算被本塁打率	通算三振率	通算平均投球回
	10.769	-7.946	-1.995	1.368	4.690	2.515	-5.079	-2.512	-4.064	-0.456	1.432	-13.542	4.791	2.448	12.112	-6.924	-2.884	-14.638	-3.789	-2.970	4.775
	-7.946	15.899	-0.730	0.915	-5.989	-3.351	-0.932	-0.093	0.948	-3.992	0.596	-15.764	10.564	4.075	9.449	-2.123	6.536	-8.078	-7.370	-6.339	6.681
	-1.995	-0.730	3.933	0.926	0.520	-0.368	1.403	-1.133	-0.070	-0.473	2.984	-6.099	5.550	-0.698	-4.115	0.752	2.730	2.594	0.847	-0.216	-1.186
	1.368	0.915	0.926	10.000	1.422	-1.049	-5.941	-4.890	-3.585	-0.188	4.343	-24.114	17.329	1.330	2.071	-4.957	2.467	-7.984	-1.541	-2.060	-0.643
	4.690	-5.989	0.520	1.422	7.793	4.026	-2.666	-3.350	-3.612	-1.036	4.873	-17.634	12.415	-3.162	12.695	-7.626	-1.731	-15.602	-3.754	-4.799	5.612
	2.515	-3.351	-0.368	-1.049	4.026	7.189	-0.639	-1.409	-3.031	2.725	4.242	-9.362	5.519	-2.567	8.037	-4.013	-2.936	-8.193	-0.887	-2.362	5.040
	-5.079	-0.932	1.403	-5.941	-2.666	-0.639	9.660	3.544	4.082	4.155	-4.452	34.609	-23.171	-2.573	-19.572	10.049	-1.212	22.629	8.764	8.619	-8.657
	-2.512	-0.093	-1.133	-4.890	-3.350	-1.409	3.544	6.798	4.640	0.683	-7.281	30.852	-16.129	-4.156	-11.704	7.603	-3.931	17.435	5.549	5.147	-4.789
	-4.064	0.948	-0.070	-3.585	-3.612	-3.031	4.082	4.640	7.554	-0.936	-4.455	27.770	-16.801	-2.783	-11.826	7.099	-2.743	15.569	4.669	5.249	-7.964
	-0.456	-3.992	-0.473	-0.188	-1.036	2.725	4.155	0.683	-10.500	-3.587	10.500	-21.635	-16.739	0.766	-20.171	8.522	-0.615	18.397	8.565	6.531	-9.557
	1.432	0.596	2.984	4.343	4.873	4.242	-4.452	-7.281	-4.455	-3.587	25.734	-64.406	36.142	-0.057	34.347	-17.445	6.633	-36.431	-11.872	-8.202	15.865
	-13.542	-15.764	-6.099	-24.114	-17.634	-9.362	34.609	30.852	27.770	21.635	-64.406	323.801	-204.609	-34.119	-141.054	70.542	-36.284	171.136	74.981	68.279	-61.817
	4.791	10.564	5.550	17.329	12.415	5.519	-23.171	-16.129	-16.801	-16.739	36.142	-204.609	154.524	5.024	88.699	-44.937	20.137	-104.276	-47.412	-48.824	40.945
	2.448	4.075	-0.698	1.330	-3.162	-2.567	-2.573	-4.156	-2.783	0.766	-0.057	-34.119	5.024	27.826	-4.039	1.760	10.566	-7.197	-6.910	-4.191	-5.687
	12.112	9.449	-4.115	2.071	12.695	8.037	-19.572	-11.704	-11.826	-20.171	34.347	-141.054	88.699	-4.039	142.372	-54.365	1.647	-130.279	-54.041	-40.845	65.816
	-6.924	-2.123	0.752	-4.957	-7.626	-4.013	10.049	7.603	7.099	8.522	-17.445	70.542	-44.937	1.760	-54.365	27.436	-1.275	56.178	20.575	16.778	-26.058
	-2.884	6.536	2.730	2.467	-2.318	-2.936	-1.212	-3.931	-2.743	-0.615	6.633	-36.284	20.137	10.566	1.647	-1.275	16.218	-7.974	-7.941	-9.446	5.451
	-14.638	-8.078	2.594	-7.984	-15.602	-8.193	22.629	17.435	15.569	18.397	-36.431	171.136	-104.276	-7.197	-130.279	56.178	-7.974	137.502	55.915	46.132	-55.204
	-3.789	-7.370	0.847	-1.541	-3.754	-0.887	8.764	5.549	4.669	8.565	-11.872	74.981	-47.412	-6.910	-54.041	20.575	-7.941	55.915	29.531	25.069	-23.716
	-2.970	-6.339	-0.216	-2.060	-4.799	-2.362	8.619	5.147	5.249	6.531	-8.202	68.279	-48.824	-4.191	-40.845	16.778	-9.446	46.132	25.069	28.253	-22.131
	4.775	6.681	-1.186	-0.643	5.612	5.040	-8.657	-4.789	-7.964	-9.557	15.865	-61.817	40.945	-5.687	65.816	-26.058	5.451	-55.204	-23.716	-22.131	44.522

※3-7 Q-Q プロット：2つの分布の類似度を調べる Q-Q プロットのうち、データが正規分布しているかを確認するためのもの。縦軸に実際の値、横軸に理想の値を取る。理想値は、各データに順位をつけ累積確率を計算した上で、データの平均と標準偏差から各確率における期待値として算出される。正規分布している場合の値が理想値であるため、直線状にプロットしていればデータは正規分布していると判断できる。

※3-8 残差グラフ：横軸に説明変数・予測値をとり、縦軸に残差（観測値－予測値）をとることでプロットされた散布図。規則性や分散の偏りがいないかを確認することができる。

例として、調査Ⅱの阪神・先発グループにおける最終的な回帰式の残差と説明変数 PA1 との残差グラフを付録 A 図 1 に示す。



付録 A 図 1：調査Ⅱ 阪神・先発グループでの重回帰分析における残差グラフ

このように残差が縦軸 0 を中心に均一に分散しているとき、残差に等分散性があると判断することができる。

※3-9 ダービンワトソン検定：系列相関において 1 期前のデータとの相関の有無を調べる。

残差 e_i についてサンプル数を t とすると

$$DW = \frac{\sum_{i=1}^t (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^t e_i^2}$$

で求められる。

$\sum_{i=1}^t e_i^2$ で割ることにより、データによる大きさの違いが生まれないうスケールン
されている。また、 $e_i - e_{i-1}$ は残差と 1 期前の残差の差である。そのため、

(Ⅰ) 完全に正の相関があるとき $\rightarrow e_i = e_{i-1} \rightarrow e_i - e_{i-1} = 0 \rightarrow DW = 0$

(Ⅱ) 相関なしの時 $\rightarrow e_i \cdot e_{i-1} = 0 \rightarrow DW = \frac{\sum_{i=1}^t e_i^2 - 2 \sum_{i=1}^t e_i \cdot e_{i-1} + \sum_{i=1}^t e_{i-1}^2}{\sum_{i=1}^t e_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^t e_i^2 + \sum_{i=1}^t e_{i-1}^2}{\sum_{i=1}^t e_i^2}$

$$\rightarrow t \text{ が十分に大きいとき、} \frac{\sum_{i=1}^t e_{i-1}^2}{\sum_{i=1}^t e_i^2} \doteq 1 \rightarrow DW = \frac{\sum_{i=1}^t e_i^2 + \sum_{i=1}^t e_{i-1}^2}{\sum_{i=1}^t e_i^2} \doteq 2$$

$$(III) \text{ 完全に負の相関があるとき} \rightarrow e_i = -e_{i-1} \rightarrow DW = \frac{\sum_{i=1}^t e_i^2 + 2 \sum_{i=1}^t e_i \cdot e_{i-1} + \sum_{i=1}^t e_i^2}{\sum_{i=1}^t e_i^2} = 4$$

(I) ～ (III) より、DW は 0～4 の数値を取り、0 に近い程正の相関、4 に近い程負の相関を持ち、2 に近い程相関が無いと判断できる。

※3-10 MAE と RMSE: MAE は誤差の絶対値の平均。RMSE は誤差の二乗の平均の正の平方根。どちらも回帰式の相対的な精度の高さを表す。

また、誤差の絶対値 e_i についてサンプル数を t とおくと、

$$RMSE^2 - MAE^2 = \frac{\sum_{i=1}^t e_i^2}{n} - \frac{(\sum_{i=1}^t e_i)^2}{n^2} = \text{VAR}(e_i)$$

e_i は常に 0 以上であるので、 $\text{MEAN}(e_i) = \text{MAE}$ となり、

$$\frac{RMSE}{MAE} = \sqrt{1 + \frac{\text{VAR}(e_i)}{\text{MEAN}(e_i)^2}}$$

誤差が $N(0, \sigma)$ の正規分布に従うとき、 e_i の分布は正規分布の絶対値の分布となる。確率密度変数を pdf とするとき、

$$\text{pdf}(e) = \begin{cases} 2 \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{e^2}{2\sigma^2}\right) & (e \geq 0) \\ 0 & (e < 0) \end{cases}$$

$$\text{MEAN}(e) = \int_0^\infty e \times \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{e^2}{2\sigma^2}\right) de = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma$$

$$\text{VAR}(e) = \int_0^\infty (e - \text{MEAN}(e))^2 \times \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{e^2}{2\sigma^2}\right) de = \left(1 - \frac{2}{\pi}\right) \sigma^2$$

以上より、MAE に対する RMSE の比は、

$$\frac{RMSE}{MAE} = \sqrt{1 + \frac{(1 - \frac{2}{\pi})\sigma^2}{(\sqrt{\frac{2}{\pi}}\sigma)^2}} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \doteq 1.253$$

これらより、誤差が正規分布に従うとき、得られたモデルがデータの大まかな特徴を表現できている場合には RMSE と MAE の比は 1.253 に近くなる。

※3-11 ウォード法：階層型クラスター分析の手法の 1 つ。分散が最小になるようにデータをクラスターに分類する。あらかじめクラスター数を指定しておく必要がある。手順は以下の通りである。

- ① 全データに異なるクラスターを割り当てる
- ② 分散が最小になるように近くにあるクラスター同士を結合する
- ③ ②を指定したクラスター数になるまで繰り返す

付録 B 主成分分析の結果

ここでは、第3章第3節（4）主成分分析において省略した主成分分析の結果の詳細を掲載する。

－先発－

<巨人>

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	先発	0.629	-0.210
	勝利	0.503	0.845
	完投	0.593	-0.492
寄与率		0.771	0.192
累積寄与率		0.771	0.964

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.487
	通算登板	0.507
	通算勝利	0.519
	通算完投	0.485
寄与率		0.904
累積寄与率		0.904

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	-0.453	0.182	0.561
	勝率	0.459	-0.007	0.226
	与四死球率	0.088	0.569	0.551
	被打率	0.366	0.317	0.468
	被本塁打率	-0.461	0.185	0.190
	奪三振率	-0.150	0.674	-0.269
	平均投球回	0.456	0.233	-0.050
寄与率		0.587	0.127	0.108
累積寄与率		0.587	0.714	0.822

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	-0.461	0.074	0.265
	通算勝率	0.327	0.428	0.134
	通算与四死球率	0.391	0.241	0.452
	通算被打率	0.452	0.210	-0.400
	通算被本塁打率	-0.117	0.538	-0.374
	通算奪三振率	-0.307	0.643	0.491
	通算平均投球回	0.464	-0.075	0.409
寄与率		0.496	0.215	0.205
累積寄与率		0.496	0.712	0.917

<阪神>

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	先発	0.637	-0.229
	勝利	0.474	0.870
	完投	0.608	-0.438
寄与率		0.748	0.218
累積寄与率		0.748	0.966

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.440
	通算登板	0.526
	通算勝利	0.521
	通算完投	0.508
寄与率		0.886
累積寄与率		0.886

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3	PQ4
固有ベクトル	防御率	0.490	0.372	-0.244	0.104
	勝率	0.034	0.563	0.499	-0.637
	与四死球率	-0.226	0.407	-0.703	-0.365
	被打率	-0.282	0.604	0.177	0.659
	被本塁打率	0.512	0.071	-0.203	0.125
	奪三振率	0.289	-0.055	0.352	-0.014
	平均投球回	-0.532	-0.075	0.008	-0.027
寄与率		0.424	0.132	0.178	0.130
累積寄与率		0.424	0.556	0.734	0.864

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	-0.128	0.552	0.478
	通算勝率	-0.267	-0.561	0.227
	通算与四死球率	0.515	0.254	-0.012
	通算被打率	0.495	0.115	-0.357
	通算被本塁打率	0.363	0.042	0.623
	通算奪三振率	-0.294	0.378	-0.437
	通算平均投球回	0.428	-0.400	-0.116
寄与率		0.421	0.302	0.132
累積寄与率		0.421	0.723	0.855

< 中日 >

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	先発	0.637	-0.235
	勝利	0.472	0.872
	完投	0.610	-0.429
寄与率		0.762	0.215
累積寄与率		0.762	0.976

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.404	0.455	0.259
	勝率	-0.388	0.464	-0.143
	与四死球率	-0.009	0.607	-0.348
	被打率	-0.387	0.400	0.456
	被本塁打率	0.423	0.104	0.515
	奪三振率	0.376	0.159	-0.564
	平均投球回	-0.465	-0.114	-0.016
寄与率		0.553	0.167	0.127
累積寄与率		0.553	0.719	0.847

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.510
	通算登板	0.519
	通算勝利	0.536
	通算完投	0.428
寄与率		0.841
累積寄与率		0.841

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3	TQ4
固有ベクトル	通算防御率	-0.354	0.092	0.527	-0.131
	通算勝率	0.234	0.360	-0.584	-0.484
	通算与四死球率	0.474	0.202	0.167	0.509
	通算被打率	0.455	0.350	0.180	0.174
	通算被本塁打率	-0.071	0.588	0.457	-0.320
	通算奪三振率	-0.335	0.577	-0.263	0.576
	通算平均投球回	0.521	-0.137	0.204	-0.159
寄与率		0.450	0.165	0.155	0.113
累積寄与率		0.450	0.614	0.769	0.882

<広島>

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	先発	0.624	-0.292
	勝利	0.487	0.870
	完投	0.611	-0.396
寄与率		0.768	0.199
累積寄与率		0.768	0.967

	固有ベクトル	TA1	TA2
固有ベクトル	年齢	0.482	-0.529
	通算登板	0.549	0.018
	通算勝利	0.539	-0.188
	通算完投	0.419	0.827
寄与率		0.770	0.158
累積寄与率		0.770	0.927

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.503	-0.027	-0.054
	勝率	-0.265	0.675	0.110
	与四死球率	0.372	0.281	-0.193
	被打率	-0.199	-0.537	0.568
	被本塁打率	0.484	-0.158	-0.093
	奪三振率	0.237	0.383	0.748
	平均投球回	-0.456	0.072	-0.239
	寄与率	0.509	0.187	0.140
累積寄与率		0.509	0.696	0.835

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	-0.319	-0.170	0.907
	通算勝率	0.380	-0.076	0.220
	通算与四死球率	0.437	-0.032	-0.047
	通算被打率	0.441	0.149	0.205
	通算被本塁打率	-0.061	0.941	0.161
	通算奪三振率	-0.404	0.195	-0.175
	通算平均投球回	0.449	0.132	0.167
寄与率		0.623	0.155	0.089
累積寄与率		0.623	0.778	0.867

＜ヤクルト＞

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	先発	0.653	-0.392
	勝利	-0.744	0.865
	完投	0.141	-0.312
寄与率		0.770	0.189
累積寄与率		0.770	0.959

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.483
	通算登板	0.510
	通算勝利	0.509
	通算完投	0.498
寄与率		0.940
累積寄与率		0.940

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.461	0.089	0.245
	勝率	0.027	0.835	-0.384
	与四死球率	0.410	0.067	0.098
	被打率	-0.312	0.347	0.834
	被本塁打率	0.418	-0.214	0.217
	奪三振率	0.418	0.341	0.175
	平均投球回	-0.416	0.091	0.095
寄与率		0.616	0.173	0.088
累積寄与率		0.616	0.789	0.877

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	-0.305	0.085	0.552
	通算勝率	0.442	0.209	-0.194
	通算与四死球率	0.411	-0.350	0.404
	通算被打率	0.369	0.376	0.514
	通算被本塁打率	0.217	0.721	-0.240
	通算奪三振率	-0.369	0.384	0.351
	通算平均投球回	0.473	-0.136	0.222
寄与率		0.563	0.190	0.142
累積寄与率		0.563	0.753	0.895

<DeNA>

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	先発	0.596	-0.467
	勝利	0.620	-0.250
	完投	0.511	0.848
寄与率		0.773	0.182
累積寄与率		0.773	0.955

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.474
	通算登板	0.517
	通算勝利	0.507
	通算完投	0.500
寄与率		0.906
累積寄与率		0.906

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.450	0.299	0.179
	勝率	-0.281	0.651	-0.191
	与四死球率	0.371	0.067	0.467
	被打率	0.420	0.155	0.079
	被本塁打率	0.309	0.534	-0.427
	奪三振率	-0.298	0.357	0.725
	平均投球回	-0.471	0.214	-0.016
	寄与率	0.520	0.167	0.128
累積寄与率		0.520	0.687	0.815

	固有ベクトル	TQ1	TQ2
固有ベクトル	通算防御率	0.438	0.004
	通算勝率	-0.352	-0.345
	通算与四死球率	0.330	0.482
	通算被打率	0.406	0.102
	通算被本塁打率	0.320	-0.550
	通算奪三振率	-0.348	0.568
	通算平均投球回	-0.433	-0.115
寄与率		0.691	0.130
累積寄与率		0.691	0.821

<オリックス>

	固有ベクトル	PA1
固有ベクトル	先発	0.572
	勝利	0.612
	完投	0.546
寄与率		0.834
累積寄与率		0.834

	固有ベクトル	TA1	TA2
固有ベクトル	年齢	0.320	0.910
	通算登板	0.550	-0.052
	通算勝利	0.577	-0.102
	通算完投	0.512	-0.399
寄与率		0.745	0.201
累積寄与率		0.745	0.946

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.482	0.104	0.186
	勝率	-0.332	0.390	-0.341
	与四死球率	0.425	0.370	0.119
	被打率	0.475	-0.079	0.035
	被本塁打率	0.067	-0.783	0.144
	奪三振率	-0.188	0.253	0.865
	平均投球回	-0.459	-0.131	0.256
寄与率		0.559	0.204	0.140
累積寄与率		0.559	0.763	0.903

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	0.507	0.299	0.224
	通算勝率	-0.421	0.103	0.485
	通算与四死球率	0.518	-0.127	-0.100
	通算被打率	0.500	0.290	0.200
	通算被本塁打率	-0.131	0.524	0.487
	通算奪三振率	-0.160	0.494	-0.653
	通算平均投球回	-0.075	0.531	-0.025
寄与率		0.465	0.233	0.145
累積寄与率		0.465	0.698	0.843

<ソフトバンク>

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	先発	0.615	-0.337
	勝利	0.499	0.866
	完投	0.611	-0.369
寄与率		0.724	0.204
累積寄与率		0.724	0.928

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.470
	通算登板	0.497
	通算勝利	0.525
	通算完投	0.507
寄与率		0.897
累積寄与率		0.897

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3	PQ4
固有ベクトル	防御率	0.524	0.202	0.179	-0.059
	勝率	-0.301	0.468	-0.191	0.160
	与四死球率	0.352	0.095	0.467	0.399
	被打率	-0.234	-0.417	0.079	-0.360
	被本塁打率	0.501	-0.140	-0.427	0.326
	奪三振率	0.211	0.620	0.725	-0.613
	平均投球回	-0.401	0.391	-0.016	0.447
寄与率		0.402	0.222	0.140	0.084
累積寄与率		0.402	0.624	0.764	0.848

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	-0.004	0.652	0.437
	通算勝率	0.086	-0.633	0.411
	通算与四死球率	0.507	0.199	-0.168
	通算被打率	0.211	0.199	0.481
	通算被本塁打率	-0.459	-0.160	0.414
	通算奪三振率	-0.476	0.251	0.158
	通算平均投球回	0.504	-0.078	0.428
寄与率		0.480	0.262	0.114
累積寄与率		0.480	0.855	0.593

＜日本ハム＞

	固有ベクトル	PA1
固有ベクトル	先発	0.596
	勝利	0.531
	完投	0.602
寄与率		0.812
累積寄与率		0.812

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.460
	通算登板	0.517
	通算勝利	0.520
	通算完投	0.502
寄与率		0.890
累積寄与率		0.890

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.447	-0.205	0.330
	勝率	-0.080	0.555	-0.359
	与四死球率	0.363	0.389	-0.048
	被打率	-0.320	0.536	0.735
	被本塁打率	0.437	0.247	0.414
	奪三振率	0.429	0.333	-0.025
	平均投球回	-0.430	0.197	0.218
寄与率		0.583	0.211	0.109
累積寄与率		0.583	0.793	0.902

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	-0.315	0.321	-0.445
	通算勝率	0.294	-0.579	-0.395
	通算与四死球率	0.451	0.272	0.236
	通算被打率	0.426	0.335	0.174
	通算被本塁打率	-0.227	-0.532	0.615
	通算奪三振率	-0.412	0.303	0.377
	通算平均投球回	0.456	0.023	0.199
寄与率		0.569	0.205	0.103
累積寄与率		0.569	0.774	0.877

＜ロツテ＞

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	先発	0.651	-0.180
	勝利	0.454	0.871
	完投	0.608	-0.458
寄与率		0.681	0.251
累積寄与率		0.681	0.932

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.443	0.044	-0.198
	勝率	-0.041	0.944	0.080
	与四死球率	0.366	-0.240	0.541
	被打率	-0.356	-0.047	0.679
	被本塁打率	0.435	-0.072	-0.223
	奪三振率	0.426	0.152	0.269
	平均投球回	-0.414	-0.137	-0.281
寄与率		0.625	0.154	0.100
累積寄与率		0.625	0.779	0.879

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.442
	通算登板	0.538
	通算勝利	0.541
	通算完投	0.471
寄与率		0.841
累積寄与率		0.841

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3	TQ4
固有ベクトル	通算防御率	-0.314	0.011	0.547	-0.039
	通算勝率	0.443	0.318	0.013	-0.303
	通算与四死球率	0.186	-0.256	-0.104	0.603
	通算被打率	0.435	0.399	-0.276	0.202
	通算被本塁打率	-0.248	0.816	0.319	0.625
	通算奪三振率	-0.343	0.050	-0.655	0.202
	通算平均投球回	0.551	-0.079	0.289	0.267
寄与率		0.369	0.222	0.193	0.097
累積寄与率		0.369	0.591	0.784	0.880

<西武>

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	先発	0.625	-0.215
	勝利	0.509	0.841
	完投	0.592	-0.497
寄与率		0.791	0.180
累積寄与率		0.791	0.971

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.461
	通算登板	0.514
	通算勝利	0.514
	通算完投	0.509
寄与率		0.920
累積寄与率		0.920

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.486	0.013	0.215
	勝率	-0.359	-0.007	0.556
	与四死球率	0.421	0.086	0.054
	被打率	0.053	0.801	0.374
	被本塁打率	0.453	0.260	-0.042
	奪三振率	0.198	-0.472	0.692
	平均投球回	-0.458	0.245	0.143
寄与率		0.538	0.173	0.149
累積寄与率		0.538	0.711	0.860

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3	TQ4
固有ベクトル	通算防御率	-0.367	0.337	0.535	0.107
	通算勝率	0.328	0.541	-0.309	0.097
	通算与四死球率	0.254	-0.303	0.578	-0.526
	通算被打率	0.357	-0.024	0.384	0.691
	通算被本塁打率	-0.050	0.697	0.272	-0.266
	通算奪三振率	-0.486	-0.125	0.166	0.377
	通算平均投球回	0.572	0.011	0.188	0.111
寄与率		0.399	0.219	0.162	0.131
累積寄与率		0.399	0.618	0.780	0.910

< 楽天 >

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	先発	0.618	-0.260
	勝利	0.512	0.849
	完投	0.596	-0.460
寄与率		0.774	0.179
累積寄与率		0.774	0.953

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.455	0.001	0.282
	勝率	-0.356	0.563	0.298
	与四死球率	0.297	0.581	0.395
	被打率	-0.381	0.394	-0.176
	被本塁打率	0.385	0.140	0.384
	奪三振率	0.300	0.414	-0.566
	平均投球回	-0.440	0.000	0.419
寄与率		0.571	0.161	0.115
累積寄与率		0.571	0.733	0.847

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.463
	通算登板	0.514
	通算勝利	0.522
	通算完投	0.499
寄与率		0.898
累積寄与率		0.898

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3	TQ4
固有ベクトル	通算防御率	0.000	-0.102	0.393	0.066
	通算勝率	0.410	0.610	-0.314	0.044
	通算与四死球率	0.415	-0.547	0.104	-0.182
	通算被打率	0.434	0.134	0.526	0.603
	通算被本塁打率	0.393	0.440	0.627	-0.188
	通算奪三振率	0.377	-0.291	-0.256	0.747
	通算平均投球回	0.419	-0.147	0.028	-0.058
寄与率		0.376	0.181	0.155	0.120
累積寄与率		0.376	0.557	0.711	0.831

－中継ぎ－

<巨人>

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	救援登板	0.226	0.940
	HP	0.710	0.020
	セーブ	0.667	-0.340
寄与率		0.619	0.338
累積寄与率		0.619	0.957

	固有ベクトル	TA1	TA2
固有ベクトル	年齢	0.488	-0.265
	通算登板	0.531	-0.433
	通算 HP	0.426	0.862
	通算セーブ	0.547	-0.016
寄与率		0.752	0.151
累積寄与率		0.752	0.903

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.508	0.311	0.280
	奪三振率	-0.410	-0.387	0.635
	被本塁打率	0.423	-0.415	0.524
	被打率	0.556	0.142	0.072
	与四死球率	-0.294	0.749	0.488
寄与率		0.568	0.197	0.138
累積寄与率		0.568	0.766	0.904

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	0.378	0.439	-0.631
	通算奪三振率	0.555	-0.058	-0.207
	通算被本塁打率	0.466	-0.274	0.541
	通算被打率	0.024	0.853	0.493
	通算与四死球率	0.576	-0.045	0.155
寄与率		0.569	0.216	0.173
累積寄与率		0.569	0.785	0.958

< 阪神 >

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	救援登板	0.404	0.871
	HP	0.681	-0.083
	セーブ	0.611	-0.484
寄与率		0.663	0.292
累積寄与率		0.663	0.955

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.638	0.060	0.014
	奪三振率	-0.004	0.685	0.616
	被本塁打率	0.457	-0.401	-0.031
	被打率	0.575	0.015	0.305
	与四死球率	0.230	0.606	-0.726
寄与率		0.462	0.289	0.130
累積寄与率		0.462	0.750	0.880

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.480
	通算登板	0.541
	通算 HP	0.451
	通算セーブ	0.524
寄与率		0.825
累積寄与率		0.825

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	0.162	0.921	0.342
	通算奪三振率	0.556	-0.061	-0.294
	通算被本塁打率	0.374	-0.382	0.835
	通算被打率	-0.447	-0.044	0.282
	通算与四死球率	0.570	0.013	-0.138
寄与率		0.545	0.200	0.134
累積寄与率		0.545	0.746	0.879

< 中日 >

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	救援登板	0.303	0.898
	HP	0.710	0.011
	セーブ	0.636	-0.440
寄与率		0.609	0.337
累積寄与率		0.609	0.946

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.537
	通算登板	0.570
	通算 HP	0.292
	通算セーブ	0.549
寄与率		0.751
累積寄与率		0.751

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.599	0.156	0.157
	奪三振率	0.155	-0.670	0.704
	被本塁打率	0.511	0.127	-0.188
	被打率	0.589	0.014	-0.081
	与四死球率	-0.088	0.714	0.661
	寄与率	0.496	0.273	0.128
累積寄与率		0.496	0.769	0.897

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	0.329	0.651	-0.310
	通算奪三振率	0.600	-0.033	-0.029
	通算被本塁打率	0.382	-0.504	0.502
	通算被打率	-0.106	0.560	0.807
	通算与四死球率	0.612	0.093	0.021
寄与率		0.491	0.263	0.170
累積寄与率		0.491	0.754	0.924

<広島>

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	救援登板	0.410	0.850
	HP	0.689	-0.050
	セーブ	0.598	-0.524
寄与率		0.682	0.300
累積寄与率		0.682	0.982

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.475
	通算登板	0.549
	通算 HP	0.453
	通算セーブ	0.517
寄与率		0.802
累積寄与率		0.802

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.638	0.017	-0.044
	奪三振率	-0.162	0.817	-0.212
	被本塁打率	0.139	0.289	0.944
	被打率	0.594	-0.202	-0.053
	与四死球率	0.441	0.455	-0.242
	寄与率	0.459	0.228	0.193
累積寄与率		0.459	0.687	0.880

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	0.321	0.548	0.635
	通算奪三振率	0.555	-0.144	-0.343
	通算被本塁打率	0.448	-0.360	0.520
	通算被打率	0.182	0.733	-0.335
	通算与四死球率	0.596	-0.113	-0.311
寄与率		0.463	0.262	0.137
累積寄与率		0.463	0.724	0.861

<ヤクルト>

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	救援登板	0.390	0.863
	HP	0.692	-0.045
	セーブ	0.607	-0.504
寄与率		0.646	0.310
累積寄与率		0.646	0.955

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.561	0.338	-0.145
	奪三振率	-0.380	0.532	-0.330
	被本塁打率	0.478	0.399	-0.400
	被打率	0.559	-0.308	0.279
	与四死球率	-0.011	0.591	0.795
寄与率		0.420	0.335	0.129
累積寄与率		0.420	0.755	0.884

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.465
	通算登板	0.530
	通算 HP	0.494
	通算セーブ	0.509
寄与率		0.860
累積寄与率		0.860

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	0.385	0.519	-0.575
	通算奪三振率	0.523	-0.074	-0.119
	通算被本塁打率	0.455	-0.093	0.692
	通算被打率	-0.221	0.839	0.408
	通算与四死球率	0.569	0.117	0.104
寄与率		0.575	0.205	0.134
累積寄与率		0.575	0.780	0.914

<DeNA>

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	救援登板	0.718	0.074
	HP	0.661	-0.383
	セーブ	0.217	0.921
寄与率		0.614	0.355
累積寄与率		0.614	0.969

	固有ベクトル	TA1	TA2
固有ベクトル	年齢	0.429	-0.573
	通算登板	0.622	0.093
	通算 HP	0.557	-0.158
	通算セーブ	0.345	0.799
寄与率		0.614	0.249
累積寄与率		0.614	0.863

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.585	0.150	0.028
	奪三振率	-0.335	0.410	0.836
	被本塁打率	-0.106	0.821	-0.446
	被打率	0.484	0.362	0.110
	与四死球率	0.547	-0.071	0.299
	寄与率	0.524	0.234	0.145
累積寄与率		0.524	0.758	0.902

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	0.629	0.150	0.119
	通算奪三振率	-0.013	0.410	0.692
	通算被本塁打率	0.492	0.821	0.127
	通算被打率	0.601	0.362	-0.185
	通算与四死球率	-0.026	-0.071	0.676
寄与率		0.443	0.271	0.163
累積寄与率		0.443	0.714	0.878

＜オリックス＞

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	救援登板	0.693	-0.049
	HP	0.617	-0.476
	セーブ	0.373	0.878
寄与率		0.650	0.310
累積寄与率		0.650	0.961

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.465
	通算登板	0.538
	通算 HP	0.534
	通算セーブ	0.457
寄与率		0.847
累積寄与率		0.847

	固有ベクトル	PQ1	PQ2
固有ベクトル	防御率	0.622	-0.304
	奪三振率	0.278	0.704
	被本塁打率	0.145	0.030
	被打率	0.592	-0.375
	与四死球率	0.406	0.520
寄与率		0.425	0.246
累積寄与率		0.425	0.671

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	0.629	-0.225	0.119
	通算奪三振率	-0.013	0.634	0.692
	通算被本塁打率	0.492	0.303	0.127
	通算被打率	0.601	-0.028	-0.185
	通算与四死球率	-0.026	-0.674	0.676
寄与率		0.443	0.271	0.163
累積寄与率		0.443	0.714	0.878

＜ソフトバンク＞

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	救援登板	0.310	0.902
	HP	0.705	-0.007
	セーブ	0.637	-0.431
寄与率		0.635	0.330
累積寄与率		0.635	0.965

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.553	0.342	0.299
	奪三振率	-0.390	0.387	0.769
	被本塁打率	0.285	0.623	-0.089
	被打率	0.635	-0.133	0.063
	与四死球率	0.240	-0.573	0.554
寄与率		0.435	0.283	0.155
累積寄与率		0.435	0.718	0.873

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.497
	通算登板	0.565
	通算 HP	0.417
	通算セーブ	0.509
寄与率		0.739
累積寄与率		0.739

	固有ベクトル	TQ1	TQ2
固有ベクトル	通算防御率	0.551	-0.196
	通算奪三振率	0.526	0.230
	通算被本塁打率	0.086	0.740
	通算被打率	0.267	-0.585
	通算与四死球率	0.584	0.136
寄与率		0.535	0.287
累積寄与率		0.535	0.821

＜日本ハム＞

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	救援登板	0.291	0.934
	HP	0.697	-0.060
	セーブ	0.656	-0.351
寄与率		0.607	0.319
累積寄与率		0.607	0.926

	固有ベクトル	TA1	TA2
固有ベクトル	年齢	0.542	-0.106
	通算登板	0.578	-0.087
	通算 HP	0.226	0.971
	通算セーブ	0.566	-0.197
寄与率		0.719	0.226
累積寄与率		0.719	0.945

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.604	-0.136	0.077
	奪三振率	-0.002	0.679	0.699
	被本塁打率	0.531	0.201	0.061
	被打率	0.594	-0.027	-0.142
	与四死球率	0.010	-0.693	0.694
寄与率		0.482	0.220	0.194
累積寄与率		0.482	0.702	0.896

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	0.534	-0.243	0.092
	通算奪三振率	0.531	0.017	-0.375
	通算被本塁打率	0.166	0.847	0.474
	通算被打率	0.336	-0.417	0.724
	通算与四死球率	0.541	0.223	-0.319
寄与率		0.547	0.200	0.181
累積寄与率		0.547	0.748	0.928

＜ロツテ＞

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	救援登板	0.410	0.828
	HP	0.700	-0.016
	セーブ	0.585	-0.561
寄与率		0.631	0.322
累積寄与率		0.631	0.953

	固有ベクトル	TA1	TA2
固有ベクトル	年齢	0.406	0.763
	通算登板	0.575	-0.071
	通算 HP	0.444	-0.642
	通算セーブ	0.553	0.029
寄与率		0.721	0.189
累積寄与率		0.721	0.910

	固有ベクトル	PQ1	PQ2
固有ベクトル	防御率	0.616	0.203
	奪三振率	-0.101	0.273
	被本塁打率	0.167	0.786
	被打率	0.609	0.013
	与四死球率	0.459	-0.516
寄与率		0.433	0.248
累積寄与率		0.433	0.681

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	0.070	0.880	0.277
	通算奪三振率	0.539	-0.339	0.084
	通算被本塁打率	0.552	-0.093	0.089
	通算被打率	-0.220	-0.253	0.940
	通算与四死球率	0.592	0.198	0.157
寄与率		0.497	0.234	0.182
累積寄与率		0.497	0.730	0.912

<西武>

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	救援登板	0.392	0.884
	HP	0.681	-0.092
	セーブ	0.618	-0.459
寄与率		0.672	0.291
累積寄与率		0.672	0.963

	固有ベクトル	TA1	TA2
固有ベクトル	年齢	0.451	0.776
	通算登板	0.543	0.013
	通算 HP	0.466	-0.618
	通算セーブ	0.532	-0.129
寄与率		0.795	0.124
累積寄与率		0.795	0.919

	固有ベクトル	PQ1	PQ2
固有ベクトル	防御率	0.600	0.155
	奪三振率	-0.059	0.612
	被本塁打率	0.422	-0.477
	被打率	0.591	-0.093
	与四死球率	0.330	0.605
寄与率		0.516	0.288
累積寄与率		0.516	0.804

	固有ベクトル	TQ1	TQ2	TQ3
固有ベクトル	通算防御率	0.637	-0.315	0.141
	通算奪三振率	0.090	0.658	-0.151
	通算被本塁打率	0.015	0.593	0.637
	通算被打率	-0.365	-0.340	0.699
	通算与四死球率	0.673	0.012	0.252
寄与率		0.403	0.302	0.159
累積寄与率		0.403	0.705	0.865

＜楽天＞

	固有ベクトル	PA1	PA2
固有ベクトル	救援登板	0.210	0.940
	HP	0.712	0.040
	セーブ	0.670	-0.338
寄与率		0.623	0.343
累積寄与率		0.623	0.966

	固有ベクトル	TA1
固有ベクトル	年齢	0.483
	通算登板	0.571
	通算 HP	0.339
	通算セーブ	0.571
寄与率		0.738
累積寄与率		0.738

	固有ベクトル	PQ1	PQ2	PQ3
固有ベクトル	防御率	0.561	0.303	-0.043
	奪三振率	-0.454	0.463	-0.222
	被本塁打率	0.317	0.523	-0.593
	被打率	0.615	-0.182	0.206
	与四死球率	-0.021	0.622	0.745
寄与率		0.419	0.270	0.160
累積寄与率		0.419	0.689	0.850

	固有ベクトル	TQ1	TQ2
固有ベクトル	通算防御率	0.200	0.670
	通算奪三振率	0.526	-0.313
	通算被本塁打率	0.521	0.294
	通算被打率	-0.318	0.593
	通算与四死球率	0.558	0.118
寄与率		0.552	0.370
累積寄与率		0.552	0.922