

## マルコフ連鎖に基づく最適打順モデルによる FA 打者獲得戦略

高野 健大<sup>\*1</sup>, 穴太 克則<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>: 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 システム理工学専攻 数理科学部門

<sup>\*2</sup>: 芝浦工業大学 システム理工学部 数理科学科

Takehiro Takano<sup>\*1</sup>, Katsunori Ano<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>: Graduate School of Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology

<sup>\*2</sup>: Department of Mathematical Sciences, Shibaura Institute of Technology

**概要:** ある球団がフリーエージェント (FA) の打者を獲得したい。FA 打者を獲得し打線の入れ替えをすることで期待得点はどのように変わるのだろうか。ある球団にはホームランバッターより出塁率が優れている選手がフィットしているかもしれない。ある球団にはホームランバッターが 1 人だけでも加入すると期待得点の大幅上昇になることもあり得るかもしれない。つまり打線にフィットするかどうか? の分析が必要になる。

本研究は最適打順決定モデルをベースに、「ある打者を獲得することによりチームとしての 1 試合あたりの期待得点がどれほど変化するのか? また、誰を獲得すべきか?」という打者トレード戦略を考察する。さらに、ある FA 打者を獲得したときのリスクを考慮し、リターンとリスクによるポートフォリオを作成し、FA 打者獲得戦略を分析する。

### 1 改良型最適打順決定モデル

(1) 盗塁, (2) 得点圏・非得点圏, (3) 併殺も組み込み, その意味でより現実的な改良型最適打順決定モデルを基にする。簡潔に解説する。

#### 1.1 状態

野球における各状態を以下のように定義すると、野球の状態は 25 を吸収状態とする吸収マルコフ連鎖になる。

no out	1	2	3	4	5	6	7	8
one out	9	10	11	12	13	14	15	16
two out	17	18	19	20	21	22	23	24
three out	25							

図 1: 野球の状態

## 1.2 推移確率行列

状態の推移確率行列  $P = (P_{ij}) = p(j|i)$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, 25$  は規則 ([3] 参照) に従い次のようになる。

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} A_0 & B_0 & H_0 & O_0 \\ O_1 & A_1 & B_1 & H_1 \\ O_2 & O_2 & A_2 & F_2 \\ O_3 & O_3 & O_3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

例えば,  $A_1$  は, ある打者の攻撃で1アウトから1アウトとなる推移確率行列を表す。

## 1.3 最適打順算出アルゴリズム

(STEP1)  $i$  番バッター ( $i = 1, \dots, 9$ ) の攻撃に関する推移確率行列を  $P^i$  とし, 以下とする。

$$P^i = P0^i + P1^i + P2^i + P3^i + P4^i.$$

(STEP2) イニングの始まりの状態と得点を表す行列  $U_0$  をセットする。

$$U_0 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \dots & 25 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 20 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & & & \\ \vdots & & O & \\ 0 & & & \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

このとき  $U_0$  は, "状態1(ノーアウトランナーなし)で得点0"である確率が1であることを表す。  
(STEP3)  $n$  人目の打者終了後の状態(列)と得点(行)を表す行列を  $U_n$  とすると, 以下の漸化式を満たす。

$$U_{n+1}(j \text{ 行}) = U_n(j \text{ 行})P0^i + U_n(j-1 \text{ 行})P1^i + U_n(j-2 \text{ 行})P2^i + U_n(j-3 \text{ 行})P3^i + U_n(j-4 \text{ 行})P4^i \quad (1.1)$$

(STEP4)  $U_1$  を計算する。  $U_0$  と (1.1) 式より,

$$U_1(j \text{ 行}) = U_0(j \text{ 行})P0^1 + U_0(j-1 \text{ 行})P1^1 + U_0(j-2 \text{ 行})P2^1 + U_0(j-3 \text{ 行})P3^1 + U_0(j-4 \text{ 行})P4^1$$

を使い,  $U_1(1 \text{ 行})$  から  $U_1(21 \text{ 行})$  までを計算し,

$$U_1 = [U_1(1 \text{ 行}), \dots, U_1(21 \text{ 行})]^T \text{ とする。}$$

(STEP5) 以下同様に  $U_2, U_3, \dots$  計算し, 各段階で, スリーアウトの状態を表す  $U_j$  の 25 列目の総和が 0.99999 を超えたとき, そのイニングの計算を終了し, 期待得点数  $r$  を求め, 次の打者を先頭打者としてステップ2から再度始める。  $U_n$  の 25 列目を

$$R(25) = [x_0, x_1, \dots, x_{20}]^T$$

とすると、そのイニングでの期待得点数  $r$  は、以下で求まる。

$$r = 0 \cdot x_0 + 1 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + \cdots + 20 \cdot x_{20}.$$

(STEP6)  $r_1$  を 1 イニング目の期待得点数とすると、1 試合の期待得点数  $R$  は、以下となる。

$$R = r_1 + r_2 + \cdots + r_9.$$

## 2 FA 打者獲得戦略

$\mathbb{E}[OBO_{FA_1}]$  = FA 打者 1 が加入したときの最適打順による期待得点,  $\mathbb{E}[OBO_{FA_2}]$  = FA 打者 2 が加入したときの最適打順による期待得点とする。改良型最適打順決定モデルを用い、FA 打者 1 か FA 打者 2 のどちらを獲得すれば良いかを期待得点の大小から判断する。

### 2.1 よりチームに貢献する FA 打者は誰かを判定するアルゴリズム

1. 球団に残る 8 人の打者の選出。各打者の推移確率行列を作るためのデータをセット。必要に応じて、(a) 過去 3 ヶ年のデータを使う。(b) 若手選手などには成長度合いを加味してデータを主観的にセットする、などを行う。
2. FA 打者 1, FA 打者 2 の推移確率行列を作るためのデータをセット。必要に応じて、(a) 過去 3 ヶ年のデータを使う。(b) 若手選手などには成長度合いを加味してデータを主観的にセットする、などを行う。
3. FA 打者 1, FA 打者 2 をそれぞれ入れた 9 人の最適打順と期待得点を算出する。
4.  $\mathbb{E}[OBO_{FA_1}]$ ,  $\mathbb{E}[OBO_{FA_2}]$  の大小で FA 打者選択をする。

## 3 成長率を加味した FA 打者獲得戦略

獲得したい打者の年齢に応じて、若手なら伸びしろが期待できると予想し、データの数値を上げてあげるなどの成長率を加味する。成長率を付けることでどれだけ期待得点が変わるのか、また、獲得したい打者は変わるのかを分析した。成長率の付け方は主観的に以下とした。

- 26 歳～30 歳は、20 % アップさせる。(単打数を 20 % アップさせる等してあげる。)
- 31 歳～35 歳は変化なし
- 36 歳以上は、20 % ダウンさせる。(単打数を 20 % ダウンさせる等してあげる。)

## 4 リターン・リスクを加味した FA 打者獲得戦略

打者のリスクとして考えられるのは、打撃不振(スランプ)に陥ること、故障(ケガ)してしまうこと等ある。これらを次のように指標化する。

- FA 打者  $FA_i$  の次期シーズンの打撃成績変動リスク：  
FA 打者  $FA_i$  の次期シーズンの COERA ([9], [10] 参照) を正規分布に従う確率変数  $X_i$  とする。過去  $n$  シーズンの COERA データ  $\{COERA_1, COERA_2, \dots, \}$  を  $X_i$  が従う正規分布からのランダムサンプリング (標本) と考え、打撃成績変動リスクを以下とする。

$$\sigma_{FA_i} = \text{過去 } n \text{ シーズンの COERA の不偏標準偏差.}$$

- 打者  $FA_i$  の次期シーズンの故障リスク：  
打者  $FA_i$  を獲得したときの期待得点の減少分を故障リスクとし以下とする。

$$\sigma_{FA_i}^{disabled} = (\text{過去 } n \text{ シーズンの平均故障期間率}) \times \mathbb{E}[OBO_{FA_i}].$$

次のようにラインアップ・ポートフォリオを策定しリターン・リスクフロンティアを求める。リターンは FA 打者を獲得したときの最適打順による最大期待得点とする。

- ラインアップ・ポートフォリオ：  
既存の打者  $\{1, 2, \dots, 8\}$  に打者  $FA_i$  が入ったラインアップの集合  $FA_i = \{1, 2, \dots, 8, FA_i\}$  と書く。

ラインアップ	リターン	リスク
FA <sub>1</sub>	$r_1$	$\sigma_{FA_1}$
FA <sub>2</sub>	$r_2$	$\sigma_{FA_2}$
⋮	⋮	⋮

- リターン・リスクフロンティア：  
横軸：リスク，縦軸：リターン  
FA 打者が 2, 3, ... 人のときも同様にポートフォリオを作成できる。

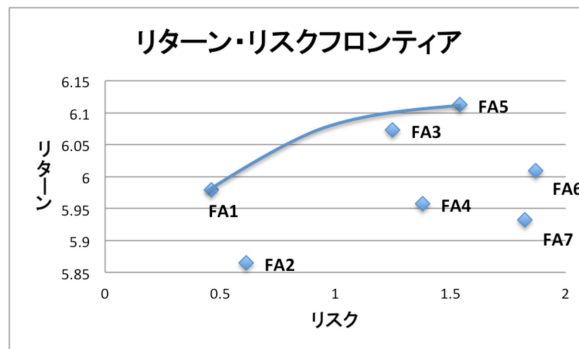


図 2: FA<sub>1</sub>, FA<sub>5</sub> から選択し獲得

## 5 2014 年度日本プロ野球における例

### 5.1 FA 打者獲得

2014 年度シーズン終了時における主な FA 選手，自由契約選手，MLB 選手のデータを用いる。MLB 選手については得点圏でのデータが見つけれなかったためダミーデータを用いる。ここでは，中日ドラゴンズと獲得したい選手を組み替えて計算を行った。また，FA 打者のポジションを考慮しているため，入れ替える中日ドラゴンズの選手は獲得したい選手によって変えている。

FA 打者	期待得点	9人の総年俸	コスト/1点	打順
中日	6.470387	97415	15055	...
ブランコ	<b>6.537107</b>	114325	17488	4
中島	6.373644	118075	18525	5
グリエル	6.368944	104325	16380	2
松田	6.335974	116325	18359	5
嶋	6.245257	96415	18331	2
栗山	6.104026	92415	15140	1
川崎	6.031487	100575	16674	7
イチロー	5.695293	137415	24127	5

表 1: FA 打者獲得 (中日)

## 5.1.1 成長率を加味した FA 打者獲得

打者名の隣の ( ) は年齢を表す。

(成長率加味無し)

FA 打者	期待得点	9人の総年俸	コスト/1点	打順
FA 打者無	6.470387	97415	15055	...
大引 (30)	6.278839	99925	15914	6
小谷野 (34)	6.278811	104825	16695	2
松井 (稼) (39)	<b>6.322789</b>	107325	16974	5

表 2: 成長率加味無し (中日)

(成長率加味有り)

FA 打者	期待得点	9人の総年俸	コスト/1点	打順
FA 打者無	6.470387	97415	15055	...
大引 (30)	<b>6.303942</b>	99925	15851	6
小谷野 (34)	6.278811	104825	16695	2
松井 (稼) (39)	6.294192	107325	17051	6

表 3: 成長率加味有り (中日)

## 5.1.2 リターン・リスクを加味した FA 打者獲得戦略

リターン・リスクを加味した FA 打者獲得戦略を阪神が行ったときの分析を行った。

- 打撃成績変動リスクの場合:

7人の FA 打者の過去データから COERA を算出し、それぞれのリスク (不偏標準偏差) を出した。

大引	全打席									得点圏						COERA
	年度	打数	単打	二塁打	三塁打	本塁打	四死球	併殺打	盗塁	盗塁失敗	打数	単打	二塁打	三塁打	本塁打	
2007	394	86	18	2	2	33	9	3	4	...	...	...	...	...	...	3.86282
2008	275	49	16	3	3	13	4	1	2	...	...	...	...	...	...	3.48840
2009	349	60	23	1	5	41	6	3	3	...	...	...	...	...	...	4.42558
2010	216	37	9	3	2	26	4	0	0	...	...	...	...	...	...	3.62197
2011	405	81	15	2	1	54	3	3	3	113	28	5	0	0	11	4.05258
2012	352	60	12	1	6	52	8	6	1	65	10	2	0	1	9	3.41312
2013	402	87	16	1	3	58	9	13	3	101	21	3	1	1	18	4.52966
2014	432	82	16	3	5	52	11	21	6	109	29	3	1	1	16	4.49929
...															リスク	<b>0.45984</b>

表 4: 大引, 打撃変動リスク 1

- ラインアップ・ポートフォリオ:

阪神の最適打順による期待得点は約 5.73(FA 打者獲得なし)

ラインアップ	リターン	リスク	9人の総年俵	コスト/1点	打順
阪神	5.732456	...	101840	17765	...
ブランコ	<b>6.112232</b>	1.54053	119840	19606	6
松田	6.072773	1.24909	121840	20063	6
松井(稼)	6.009234	1.87124	115840	19276	6
大引	5.979395	<b>0.45984</b>	106840	17868	7
梵	5.956942	1.37854	109840	18438	6
小谷野	5.932415	1.82111	106840	18009	6
本多	5.864335	0.61291	117840	20094	6

表 5: ラインアップ・ポートフォリオ

- リターン・リスクフロンティア:

横軸：リスク, 縦軸：リターン

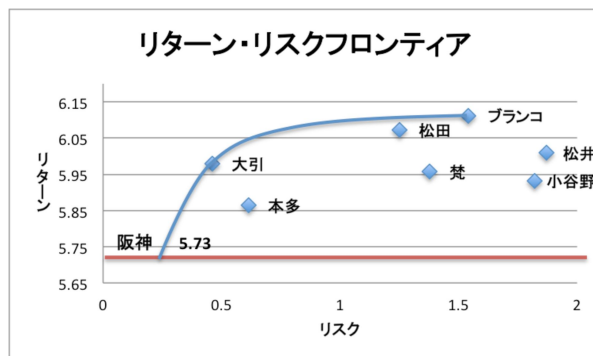


図 3: リターン・リスクフロンティア

- 故障リスクの場合:

先ほどと同様の7人のFA打者について年度別に故障期間率を求め、故障リスクを算出した。獲得する球団は阪神としている。

年度	故障期間	シーズン日数	故障期間率
2007	...	...	0
2008	6/10～8/26(78日間)	3/20～10/1(196日)	0.3975918367
2009	9/1～10/9(39日間)	4/3～10/9(190日)	0.20526315789
2010	7/2～8/14(44日間)	3/20～10/1(196日)	0.22448979591
2011	...	...	0
2012	8/29～9/28(31日間)	3/30～10/8(193日)	0.16062176165
2013	9/15～10/1(17日間)	3/29～10/6(192日)	0.08854166666
2014	...	...	0
...	...	平均故障期間率	<b>0.1346094457</b>
...	...	リスク	<b>0.8048830467</b>

表 6: 大引, 故障リスク

● ラインアップ・ポートフォリオ:

ラインアップ	リターン	リスク	9人の総年俵	コスト/1点	打順
阪神	5.732456	...	101840	17765	...
ブランコ	<b>6.112232</b>	0.934692429	119840	19606	6
松田	6.072773	1.000709777	121840	20063	6
松井(稼)	6.009234	<b>0.08626641209</b>	115840	19276	6
大引	5.979395	0.8048830467	106840	17868	7
梵	5.956942	0.2443589349	109840	18438	6
小谷野	5.932415	0.2874536811	106840	18009	6
本多	5.864335	0.9109926826	117840	20094	6

表 7: ラインアップ・ポートフォリオ

● リターン・リスクフロンティア:

横軸：リスク, 縦軸：リターン

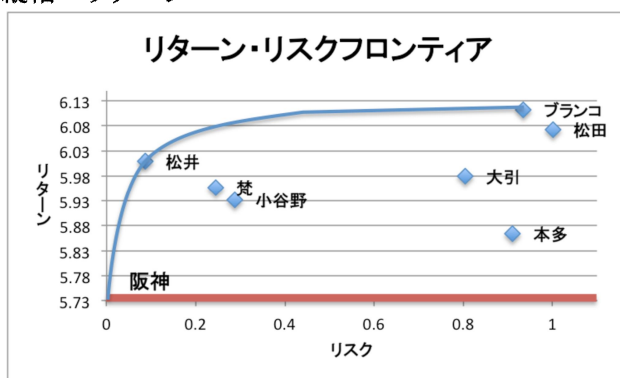


図 4: リターン・リスクフロンティア

## References

- [1] 穴太克則, 高野健大, 得点圏打率・盗塁・併殺を考慮した最適打順決定モデルについて -FA 打者トレード戦略の検討-, (2015), 京都大学数理解析研究所講究録, Vol.1939, pp.133-142.
- [2] 穴太克則, マルコフ連鎖に基づく野球選手トレードに対するポートフォリオ戦略解析, (2012), 18-19日 東海大学, 科研費シンポジウム「統計的推測とその応用: 正則と非正則」予稿集, 11-20.
- [3] 穴太克則, How to choose Free Agent batters? - Introduction to Baseball financial engineering -, 2012年1月21日 芝浦工業大学 SIT 総合研究所 佃イノベーションスクエア, 日本OR学会「確率最適化モデルとその応用」研究部会
- [4] 瀬古進, 武井貴裕, 穴太克則, 野球の最適打順を考えてみよう, (2002), オペレーションズ・リサーチ, 第47巻, 第3号, 142-147.
- [5] 武井貴裕, 穴太克則, 得点圏打率を考慮した最適打順決定モデル: 計算結果の検討, (2001), 日本OR学会 春季研究発表会, 法政大学.
- [6] 瀬古進, 武井貴裕, 穴太克則, マルコフ連鎖に基づく併殺と盗塁の効果を加味した最適打順決定のモデリング, (2000), 南山経営研究, 第14巻, 第3号, 425-461.
- [7] K. Ano, Modified Optimal Batting Order based on Markov Chain, (2000), The 8th Bellman Continuum on Computation, Optimization and Control, 2000, Taiwan.
- [8] K. Ano, Modified Offensive Earned-Run Average with steal effect for baseball, (2001), Applied Mathematics and Computations. Vol.120, pp.279-288.
- [9] 穴太克則, 併殺を考慮したマルコフ連鎖に基づく投手評価指標とその1997年度日本プロ野球シーズンでの考察, 1999年10月, Nanzan Management Review, Vol.14, No.1 & 2 合併号, pp.215-226.
- [10] 穴太克則, 併殺を考慮したマルコフ連鎖に基づく投手評価指標とその1997年度日本プロ野球シーズンでの考察, 1999年, 京都大学数理解析研究所講究録, Vol. 1114, pp.114-125.
- [11] 穴太克則, マルコフ連鎖に基づく打者評価モデル, 1998年, 京都大学数理解析研究所講究録, Vol.1068, pp.45-53.
- [12] B. Bukiet, E. Harold and J. L. Palacios, "A Markov Chain Approach to Baseball", (1997), Operations Reserch, 45, 14-23.