

野球における最適な打者トレード戦略

穴太 克則

キーワード：野球，マルコフ連鎖，最適打順，トレード戦略

本稿は、高野 健大さんによる 2014 年度芝浦工業大学システム理工学部数理科学科に提出した卒業論文をもとに加筆修正したものです。

	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
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. 問題の簡単な説明と得られた結果

野球は 1 試合の得点が多いほうが勝ちます。それゆえに「1 試合の“期待得点”が最も高くなる打順が最適である」と考えることができます。FA（フリーエージェント）やトレードによる打者の獲得を考えます。ある球団においては打点を稼いでくれるホームランバッターを獲得すれば期待得点を上昇させることができそうですが、別の球団においては打率の高いアベレージヒッターが入ってくるほうが、ホームランバッターが入るよりも期待得点を上昇させるかもしれません。問題は、どの FA 打者を獲得すればよいのか？です。

この問題に対して、野球を“マルコフ連鎖”（確率過程の一種です）として捉え、1 試合の期待得点を最大にするために、どの FA 打者を獲得すればよいかを導出するアルゴリズムを求めます。

2. 問題の設定と解き方

獲得した打者が故障したりスランプに陥ったりして期待どおりに活躍できないリスクも考えられます。獲得する打者の年棒が高すぎると獲得できないこともあります。このように様々な問題が設定できます。

ここでは解きやすいように単純化して次の問題を考えます。「9 名の打者が 9 回まで交代することなく打席に立つとする。1 名の打者をトレードや FA で獲得したい。1 試合の期待得点を最大にするために、誰を獲得すればよいのか？ その打者の打順は何番か？」

野球における各状態 $1, 2, \dots, 25$ を図 1 のように定義します。例えば、状態 2 は“ノーアウト・ランナー

1 塁”を表します。1 打席ごとに、ある状態から次の状態に移ります。この確率を推移確率と呼び、 p_{ij} = 状態 i から状態 j へ移る確率とします。例えば、 p_{13} = ノーアウト・ランナーなしからノーアウト・ランナー 2 塁へ 1 打席で推移する確率 = 2 塁打を打つ確率 = 2 塁打数/打席数、ですから、この打者の 2 塁打数と打席数のデータがあれば計算できます。スリーアウトになったら状態は変わらなくなるので、 $p_{25,25} = 1$ とします。推移確率 p_{ij} , $i, j = 1, 2, \dots, 25$ をすべて定めるには「進塁の規則¹」を決めてあげる必要があります。例えば、「単打は一塁ランナーを三塁へ進塁させ、二塁ランナーと三塁ランナーをホームへ生還させる」などです。

このように未来の次の状態が現在の状態のみに依存して確率的に変動する確率過程を“マルコフ連鎖”と言います。野球は 1 打席ごとに状態が推移するマルコフ連鎖となります。推移確率を行列にしたものを推移確率行列と呼びます。これを P とします。打者ごとに各打者の打撃の統計データから P が定まります。

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1,25} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2,25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{25,1} & p_{25,1} & \cdots & 1 \end{pmatrix}.$$

2.1 最適な FA 打者の導出アルゴリズム

トレードもありますが、ここではそれも含めて獲得する候補を FA 打者と呼ぶことにします。

- その球団で最も先発機会が多い打者 8 名を選び、加入する FA 打者 1 名を選びます。この 9 名による 9! 通りの打順を考えます。

¹ 詳しくは、参考文献 [1] 参照

- 固定した 1 通りの打順に対して、 k 番バッター ($k = 1, 2, \dots, 9$) の攻撃に関する推移確率行列を P^k とし、 $P^k = P0^k + P1^k + P2^k + P3^k + P4^k$ と分解します。 $P0^k, P1^k, \dots, P4^k$ はそれぞれその打順の k 番打者の 1 回の打席で 0 得点、1 得点、 \dots , 4 得点となる P^k のサブ行列。各打者の打撃データをもとに各打者の P^k を定めます。
- 各イニングの始まりの状態 (列) と得点 (行) を表す行列を U_0 (21 行 25 列) とします。1 イニングの得点は 20 点以上にはならないだろうという想定のもとで 21 行としています。

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

U_0 は、“状態 1 で得点 0” である確率が 1 であることを表します。

- n 人目の打者終了後の状態 (列) とその時点での得点 (行) に対する確率を表す行列を U_n とします。 $U_n(j)$ を行列 U_n の j 行目とします。このときマルコフ連鎖の性質から次の漸化式が導かれます。

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

- (1) 式と各打者の推移確率行列を使って、打順の順に U_1, U_2, \dots を計算し、各段階で、 U_n の 25 列目の総和 (スリーアウトになる確率) が 0.99999 を超えたとき、そのイニングの計算を n 人目で終了します。そのイニングの期待得点数 r を求めます。 U_n の 25 列目を $R(25) = [x_0, x_1, \dots, x_{20}]^T$ とすると、 $r = 0 \cdot x_0 + 1 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + \dots + 20 \cdot x_{20}$ により求められます。
- 次の打者を次のイニングの先頭打者としてステップ 3 から再度始めます。
- r_m を m イニング目の期待得点数とすると、固定した一つの打順による 1 試合の期待得点数 R は、 $R = r_1 + r_2 + \dots + r_9$ となります。
- ステップ 2 に戻り、次の打順による「1 試合の期待得点」を出します。これを繰り返し、9! 通りの打順に対して 9! 通りの「1 試合の期待得点」を出します。最も期待得点が高い打順が最適打順となります。

- 候補となる FA 打者が m 名であるとしましょう。それぞれの打者に対して、ステップ 2 から 8 を繰り返せば、それぞれの最適打順とそのときの期待得点が得られます。つまり、最も期待得点が高い FA 打者、すなわち、獲得すべき FA 打者が判明します。またその打順も判明します。

3. 考察

様々な拡張や深化が考えられています。興味深いと思われるので、考察としてそれらの一部を箇条書きに述べてみます。

- 推移確率には盗塁、併殺、得点圏打率と非得点圏打率の違いなども組み込むことができます。
- 若手打者が成長する度合いや、ベテラン打者の力の衰え度合いをその打者の推移確率を出す統計データ (例えば、本塁打数を増やしたり減らしたり) を主観的に変えることにより、将来の予測を組み込むことができます。
- 最適打順を算出するモデルを使えば、短期決戦の日本シリーズなどで、相手投手に対する打者の対戦データから、最も点が取れる打順を出せます。また、期待得点が最大になる日本代表選手とその打順も出せます。実際の打線を組むときの参考にできそうです。
- ある特定の 1 名の打者が 9 イニングの全打席に立つとして計算すれば、1 試合の期待得点が出ます。どの打者が優れているのか? を検討することができます。例えば、歴代の日本プロ野球の打者の中で誰が最も優れているのか? の指標に使うことができます。
- マルコフ決定過程として定式化し野球の様々な戦略 (代打、盗塁、ヒットエンドランなど) の最適戦略を考えることができます [2]。

参考文献

- 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,” 南山経営研究, **14**, pp. 425–461, 2000.
- R. Bellman, “Dynamic programming and Markovian decision processes with application to baseball,” *Optimal Strategies in Sports*, S. P. Ladany and R. E. Machol (eds.), North-Holland, pp. 77–85, 1977.
- 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,” 研究集会「統計的推測とその応用」シンポジウム予稿集, pp. 11–20, 2012.
- 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,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **47**, pp. 142–147, 2002.