

セイバーメトリクスによる最適打順決定モデルとそのシミュレーション

鳥越規央 (東海大学・理学部)

薄井一樹 (東海大学・理学部)

時光順平 (東海大学・理学部)

1. はじめに

野球において、打順は勝敗を左右する重要な要素の 1 つである。効率的に得点することが求められる野球では、選手の打撃能力やプレイスタイルを考慮した上で、最も効率的と思われる打順を組む。しかし打者 9 人による打順の組み合わせは全部で $9! = 362880$ 通りも存在し、控え選手も考慮すると莫大な打順の組み合わせが存在することになる。これまでに国内でも最適打順に関する研究が Takei *et al.* (2001), 伊藤, 氏家 (2003), 大澤, 合田 (2007) などによって行われている。この論文ではまず、各シチュエーションにおける得点期待値を求めるアルゴリズムについて説明する。さらに福岡ソフトバンクホークスの 2010 年シーズンの打撃データを基に、シミュレーションを用いて、効率良く得点することができる最適な打順を求める方法について説明する。打順を入力すると 1 試合当たりの得点を出力するソフトウェアを作成し、考えられる全ての打順を数千回ずつシミュレーションした。シミュレート結果より、ある打順が 1 試合当たりに得る平均得点を算出し、それらの順位付けを行った。そして、より多くの得点を得た打順にどのような傾向が見られるかを考察した。

なお、この研究はデータスタジアム株式会社の支援を受けて行っている。

2. 最適打順決定モデル導出の基礎理論

アウトとランナーの状況によって、選手が打席に立ったときのシチュエーションを表 2.1 のように 24 の場面に分類する。シミュレーションでは、各シチュエーションにおける選手の打撃成績を用いて行うことにする。

表 2.1. アウトカウントとランナーの塁状況

	0 アウト	1 アウト	2 アウト
ランナーなし	OUT=0, R=0	OUT=1, R=0	OUT=2, R=0
ランナー 1 塁	OUT=0, R=1	OUT=1, R=1	OUT=2, R=1
ランナー 2 塁	OUT=0, R=2	OUT=1, R=2	OUT=2, R=2
ランナー 3 塁	OUT=0, R=3	OUT=1, R=3	OUT=2, R=3
ランナー 1, 2 塁	OUT=0, R=12	OUT=1, R=12	OUT=2, R=12
ランナー 1, 3 塁	OUT=0, R=13	OUT=1, R=13	OUT=2, R=13
ランナー 2, 3 塁	OUT=0, R=23	OUT=1, R=23	OUT=2, R=23
満塁	OUT=0, R=123	OUT=1, R=123	OUT=2, R=123

p_k を第 k イニングにおける打者がアウトになる確率とする。第 k イニング時に y 点獲得する確率を示す関数は

$$f_k(y) = 0.35\phi_1(y) + 0.65\phi_2(y),$$

ただし,

$$\phi_1(0) = \phi(0; p_k) + \phi(1; p_k)$$

$$\phi_1(y) = \phi(y+1; p_k) \quad (y=1,2,3,\dots)$$

$$\phi_2(0) = \phi(0; p_k) + \phi(1; p_k) + \phi(2; p_k)$$

$$\phi_2(y) = \phi(y+2; p_k) \quad (y=1,2,3,\dots)$$

$$\phi(y; p_k) = \binom{y+3-1}{y} p_k^3 (1-p_k)^y$$

であるということが知られている。(鳥越 (2010)). なお p_k の算出方法は,

$$p_k = 1 - \frac{(\text{安打}) + (\text{四球}) + (\text{死球}) + (\text{失策}) - (\text{併殺打})}{\text{打席}}$$

である.

福岡ソフトバンクホークスの 2010 年シーズンのデータから推定される各イニングの打者がアウトになる確率は, 表 2.2 のようになる.

表 2.2. 各イニングの打者がアウトになる確率

K	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p_k	.659	.713	.696	.688	.664	.693	.687	.719	.735

以上のことから, 試合終了時における得点確率を求めると, 表 2.3 のようになる.

表 2.3. モデルによる試合終了時における得点確率

得点	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9~
確率	0.09	0.13	0.15	0.15	0.15	0.11	0.08	0.06	0.04	0.10

上記に示した関数などを用いて, 各シチュエーションにおける得点期待値を求めるアルゴリズムについて考察する. ここでは主立った 3 つのシチュエーションについて説明する.

X をその時点からのイニング終了までに得られる得点を表す確率変数とする. まず, 0 アウトランナーなしというシチュエーションにおける得点期待値は

$$E(X|OUT=0, R=0) = \sum_{x=0}^{\infty} x f_k(x)$$

で表される. また 2 アウトランナーなしというシチュエーションにおける得点期待値は

$$E(X|OUT=2, R=0) = \sum_{x=0}^{\infty} x h_k(x),$$

ただし

$$\begin{aligned}
h_k(x) &= 0.35\varphi_{1k}(x) + 0.65\varphi_{2k}(x) \\
\varphi_{1k}(0) &= p_k + p_k(1-p_k) = p_k(2-p_k) \\
\varphi_{1k}(x) &= p_k(1-p_k) \\
\varphi_{2k}(0) &= p_k + p_k(1-p_k) + p_k(1-p_k)^2 = p_k(3-3p_k+p_k^2) \\
\varphi_{2k}(x) &= p_k(1-p_k)
\end{aligned}$$

で表される．そして 2 アウトランナー 3 塁というシチュエーションにおける得点期待値は

$$\begin{aligned}
&E(X|OUT=2, R=3) \\
&= P(\text{本塁打} | OUT=2, R=3)(2 + E(X | OUT=2, R=0)) \\
&\quad + P(\text{三塁打} | OUT=2, R=3)(1 + E(X | OUT=2, R=3)) \\
&\quad + P(\text{二塁打} | OUT=2, R=3)(1 + E(X | OUT=2, R=2)) \\
&\quad + P(\text{単打, 失策出塁} | OUT=2, R=1)(1 + E(X | OUT=2, R=1)) \\
&\quad + P(\text{四死球} | OUT=2, R=1)E(X | OUT=2, R=1,3)
\end{aligned}$$

で表される．他のシチュエーションも同様に，さらにはランナー進塁状況を加味して得点期待値を求めるアルゴリズムを構築する．表 2.4 では，2004 年から 2010 年までの日本プロ野球のデータを基に算出したシチュエーション別得点期待値を示す．

表 2.4. 2004 年から 2010 年までの NPB データによる
シチュエーション別得点期待値

ランナー	なし	1 塁	2 塁	3 塁	1, 2 塁	1, 3 塁	2, 3 塁	満塁
0 アウト	0.480	0.851	1.075	1.392	1.450	1.757	2.009	2.253
1 アウト	0.258	0.523	0.711	0.953	0.940	1.185	1.375	1.594
2 アウト	0.099	0.226	0.333	0.383	0.454	0.492	0.591	0.749

3. コンピュータシミュレーションのためのアルゴリズム

野球の打者は 9 人であり，それらをすべて組み換えて出来る 362880 通りのオーダーの得点期待値を比較するには大掛かりな数値計算が必要となってくる．そこでこれらをコンピュータによるシミュレーションによって比較を行ってみる．以下はそれを行うソフトウェアを作成するためのアルゴリズムについて説明する．

3.1 試合の流れに関するアルゴリズム

前章のアルゴリズムを基に打順を組み合わせることによって変化する得点期待値を，コンピュータによるシミュレーションで求めるための，プログラムアルゴリズムを紹介する．次のアルゴリズムは，試合の流れを示している．

入力：打者 9 人の順番, 打撃データ

出力：得点

手順 1 SCORE, RUNNER, OUT, BATTER という変数を用意する．

初期設定として,

SCORE =0

RUNNER = 0

(RUNNER のとり得る値は 0,1,2,3,12,13,23,123 とする)

OUT =0

BATTER =0

とする.

- 手順 2 打席に立つ打者を決定する.
打席に立つ打者は, { BATTER mod 9 +1 } 番打者である.
- 手順 3 OUT=27 ならば,得点を出力して終了.
OUT<27 かつ OUT mod 3 = 0 ならば,
RUNNER=0 として手順 4 へ進む.
その他であれば, 手順 4 へ進む.
- 手順 4 ボークかどうかを判定する.
ボークならば,状況に応じて SCORE と RUNNER を変化させ,
手順 2 へ戻る.
ボークでないならば,手順 5 へ進む.
- 手順 5 捕逸かどうかを判定する.
捕逸ならば,状況に応じて SCORE と RUNNER を変化させ,
手順 2 へ戻る.
捕逸でないならば,手順 6 へ進む.
- 手順 6 OUT<2, RUNNER≠0 ならば犠打を行うかどうかを判定する.
犠打ならば, OUT と BATTER をそれぞれ+1する.
さらに,状況に応じて SCORE とし RUNNER を変化させ,
手順 2 へ戻る.
犠打でないならば,手順 7 へ進む.
- 手順 7 OUT<2, RUNNER=3,13,23,123 ならば犠飛を行うかどうかを判定する.
犠飛ならば, SCORE, OUT, BATTER をそれぞれ+1する.
さらに,状況に応じて RUNNER を変化させ,手順 2 へ戻る.
犠飛でないならば,手順 8 へ進む.
- 手順 8 RUNNER=1, 2, 12, 13 ならば盗塁するかどうかを判定する.
盗塁かつ成功ならば,
状況に応じて SCORE と RUNNER を変化させ, 手順 2 に戻る.
盗塁かつ失敗ならば, OUT+1 ,
さらに,状況に応じて RUNNER を変化させ, 手順 2 に戻る.
盗塁でないならば,手順 9 へ進む.
- 手順 9 打撃結果を判定する.
打撃結果に応じて SCORE, OUT, RUNNER を変化させる.
BATTER+1 として,手順 2 へ戻る.

3.2 進塁に関するアルゴリズム

一塁に走者がいるときの打撃結果に対する走者の動きの処理を,以下のように設定する.

入力: 打撃結果

出力: 新たなシチュエーション

- 場合 1 打撃結果が四死球の場合,
 一塁走者は二塁へ進み,打者は一塁へ進む.
- 場合 2 打撃結果が単打の場合,
 一塁走者は二塁か三塁へ進み,打者は一塁へ進む.
- 場合 3 打撃結果が二塁打の場合,
 一塁走者は三塁か本塁へ進み,打者は二塁へ進む.
- 場合 4 打撃結果が三塁打の場合,
 一塁走者は本塁へ進み,打者は三塁へ進む.
- 場合 5 打撃結果が本塁打の場合,
 一塁走者と打者は本塁へ進む.
- 場合 6 打撃結果がゴロの場合,進塁打かどうかを判定する.
 進塁打ならば,一塁走者は二塁へ進み,打者はアウトとなる.
 進塁打でないならば,一塁走者はアウトとなり,打者は一塁へ進む.
- 場合 7 打撃結果がフライの場合,タッチアップかどうかを判定する.
 タッチアップならば,一塁走者は二塁へ進む.
 タッチアップでないならば,一塁走者は一塁に留まる.
- 場合 8 打撃結果がライナーの場合,
 一塁走者は一塁に留まる.
- 場合 9 打撃結果が併殺打の場合,
 一塁走者も打者もアウトとなる.
- 場合 10 打撃結果が失策の場合,
 一塁走者は二塁か三塁へ進み,打者は一塁へ進む.

二塁に走者がいるときの打撃結果に対する走者の動きの処理を,以下のように設定する.

入力: 打撃結果

出力: 新たなシチュエーション

- 場合 1 打撃結果が四死球の場合,
 二塁走者は二塁に留まり,打者は一塁へ進む.
- 場合 2 打撃結果が単打の場合,
 二塁走者は三塁か本塁へ進み,打者は一塁へ進む.
- 場合 3 打撃結果が二塁打の場合,
 二塁走者は本塁へ進み,打者は二塁へ進む.
- 場合 4 打撃結果が三塁打の場合,
 二塁走者は本塁へ進み,打者は三塁へ進む.
- 場合 5 打撃結果が本塁打の場合,

- 二塁走者と打者は本塁へ進む。
- 場合 6 打撃結果がゴロの場合、進塁打かどうかを判定する。
進塁打ならば、二塁走者は三塁へ進み、打者はアウトとなる。
進塁打でないかつ二塁走者がアウトならば、打者は一塁へ進む。
進塁打でないかつ打者がアウトならば、二塁走者は二塁に留まる。
- 場合 7 打撃結果がフライの場合、タッチアップかどうかを判定する。
タッチアップならば、二塁走者は三塁へ進む。
タッチアップでないならば、二塁走者は二塁に留まる。
- 場合 8 打撃結果がライナーの場合、
二塁走者は二塁に留まる。
- 場合 9 打撃結果が併殺打の場合、
二塁走者も打者もアウトとなる。
- 場合 10 打撃結果が失策の場合、
二塁走者は三塁か本塁へ進み、打者は一塁へ進む。

三塁に走者がいるときの打撃結果に対する走者の動きの処理を、以下のように設定する。

入力：打撃結果

出力：新たなシチュエーション

- 場合 1 打撃結果が四死球の場合、
三塁走者は三塁に留まり、打者は一塁へ進む。
- 場合 2 打撃結果が単打の場合、
三塁走者は本塁へ進み、打者は一塁へ進む。
- 場合 3 打撃結果が二塁打の場合、
三塁走者は本塁へ進み、打者は二塁へ進む。
- 場合 4 打撃結果が三塁打の場合、
三塁走者は本塁へ進み、打者は三塁へ進む。
- 場合 5 打撃結果が本塁打の場合、
三塁走者と打者は本塁へ進む。
- 場合 6 打撃結果がゴロの場合、進塁打かどうかを判定する。
進塁打ならば、三塁走者は本塁へ進み、打者はアウトとなる。
進塁打でないかつ三塁走者がアウトならば、打者は一塁へ進む。
進塁打でないかつ打者がアウトならば、三塁走者は三塁に留まる。
- 場合 7 打撃結果がフライの場合、タッチアップかどうかを判定する。
タッチアップならば、三塁走者は本塁へ進む。
タッチアップでないならば、三塁走者は三塁に留まる。
- 場合 8 打撃結果がライナーの場合、
三塁走者は三塁に留まる。
- 場合 9 打撃結果が併殺打の場合、
三塁走者も打者もアウトとなる。
- 場合 10 打撃結果が失策の場合、

三塁走者は本塁へ進み,打者は一塁へ進む.

一塁と二塁に走者がいるときの打撃結果に対する走者の動きの処理を,以下のように設定する.

入力: 打撃結果

出力: 新たなシチュエーション

- 場合 1 打撃結果が四死球の場合,
走者は一様に 1 つ先の塁へ進み,打者は一塁へ進む.
- 場合 2 打撃結果が単打の場合,
走者は一様に 1 つ先の塁か 2 つ先の塁へ進み,打者は一塁へ進む.
- 場合 3 打撃結果が二塁打の場合,
走者は一様に 2 つ先の塁か 3 つ先の塁へ進み,打者は二塁へ進む.
- 場合 4 打撃結果が三塁打の場合,
走者は本塁へ進み,打者は三塁へ進む.
- 場合 5 打撃結果が本塁打の場合,
走者と打者は本塁へ進む.
- 場合 6 打撃結果がゴロの場合,進塁打かどうかを判定する.
進塁打かつ一塁走者がアウトならば,二塁走者は三塁へ,打者は一塁へ進む.
進塁打かつ打者がアウトならば,走者は一様に 1 つ先の塁へ進む.
進塁打でないならば,一塁走者は二塁へ進み,打者は一塁へ進む.
- 場合 7 打撃結果がフライの場合,タッチアップかどうかを判定する.
タッチアップならば,走者は一様に 1 つ先の塁へ進む.
タッチアップでないならば,走者は塁に留まる.
- 場合 8 打撃結果がライナーの場合,
走者は塁に留まる.
- 場合 9 打撃結果が併殺打の場合,
進塁打ならば,二塁走者は三塁へ進み,一塁走者と打者はアウトとなる.
二塁走者かつ一塁走者がアウトならば,打者は一塁へ進む.
二塁走者かつ打者がアウトならば,一塁走者は二塁へ進む.
- 場合 10 打撃結果が失策の場合,
走者は一様に 1 つ先の塁か 2 つ先の塁へ進み,打者は一塁へ進む.

一塁と三塁に走者がいるときの打撃結果に対する走者の動きの処理を,以下のように設定する.

入力: 打撃結果

出力: 新たなシチュエーション

- 場合 1 打撃結果が四死球の場合,
三塁走者は三塁に留まり,一塁走者は二塁へ,打者は一塁へ進む.
- 場合 2 打撃結果が単打の場合,
走者は一様に 1 つ先の塁か 2 つ先の塁へ進み,打者は一塁へ進む.

- 場合 3 打撃結果が二塁打の場合,
走者は一様に 2 つ先の塁か 3 つ先の塁へ進み,打者は二塁へ進む.
- 場合 4 打撃結果が三塁打の場合,
走者は本塁へ進み,打者は三塁へ進む.
- 場合 5 打撃結果が本塁打の場合,
走者と打者は本塁へ進む.
- 場合 6 打撃結果がゴロの場合,進塁打かどうかを判定する.
進塁打かつ一塁走者がアウトならば,三塁走者は本塁へ,
打者は一塁へ進む.
進塁打かつ打者がアウトならば,走者は一様に 1 つ先の塁へ進む.
三塁走者がアウトならば,一塁走者は二塁へ,打者は一塁へ進む.
一塁走者がアウトならば,三塁走者は三塁に留まり,
打者は一塁へ進む.
打者がアウトならば,三塁走者は三塁に留まり,
一塁走者は二塁へ進む.
- 場合 7 打撃結果がフライの場合,タッチアップかどうかを判定する.
タッチアップならば,走者は一様に 1 つ先の塁へ進む.
タッチアップでないならば,走者は塁に留まる.
- 場合 8 打撃結果がライナーの場合,
走者は塁に留まる.
- 場合 9 打撃結果が併殺打の場合,
進塁打ならば,三塁走者は本塁へ進み,
一塁走者と打者はアウトとなる.
三塁走者かつ一塁走者がアウトならば,打者は一塁へ進む.
三塁走者かつ打者がアウトならば,一塁走者は二塁へ進む.
一塁走者かつ打者がアウトならば,三塁走者は三塁に留まる.
- 場合 10 打撃結果が失策の場合,
走者は一様に 1 つ先の塁か 2 つ先の塁へ進み,打者は一塁へ進む.

二塁と三塁に走者がいるときの打撃結果に対する走者の動きの処理を,以下のように設定する.

入力: 打撃結果

出力: 新たなシチュエーション

- 場合 1 打撃結果が四死球の場合,
走者は塁に留まり,打者は一塁へ進む.
- 場合 2 打撃結果が単打の場合,
走者は一様に 1 つ先の塁か 2 つ先の塁へ進み,打者は一塁へ進む.
- 場合 3 打撃結果が二塁打の場合,
走者は本塁へ進み,打者は二塁へ進む.
- 場合 4 打撃結果が三塁打の場合,

- 走者は本塁へ進み,打者は三塁へ進む.
- 場合 5 打撃結果が本塁打の場合,
走者と打者は本塁へ進む.
- 場合 6 打撃結果がゴロの場合,進塁打かどうかを判定する.
進塁打かつ二塁走者がアウトならば,三塁走者は本塁へ,
打者は一塁へ進む.
進塁打かつ打者がアウトならば,走者は一様に 1 つ先の塁へ進む.
三塁走者がアウトならば,二塁走者は二塁に留まり,
打者は一塁へ進む.
二塁走者がアウトならば,三塁走者は三塁に留まり,
打者は一塁へ進む.
打者がアウトならば,走者は塁に留まる.
- 場合 7 打撃結果がフライの場合,タッチアップかどうかを判定する.
タッチアップならば,走者は一様に 1 つ先の塁へ進む.
タッチアップでないならば,走者は塁に留まる.
- 場合 8 打撃結果がライナーの場合,
走者は塁に留まる.
- 場合 9 打撃結果が併殺打の場合,
進塁打ならば,三塁走者は本塁へ進み,
二塁走者と打者はアウトとなる.
三塁走者かつ二塁走者がアウトならば,打者は一塁へ進む.
三塁走者かつ打者がアウトならば,二塁走者は二塁に留まる.
二塁走者かつ打者がアウトならば,三塁走者は三塁に留まる.
- 場合 10 打撃結果が失策の場合,
走者は一様に 1 つ先の塁へ進み,打者は一塁へ進む.

満塁のときの打撃結果に対する走者の動きの処理を,以下のように設定する.

入力: 打撃結果

出力: 新たなシチュエーション

- 場合 1 打撃結果が四死球の場合,
走者は一様に 1 つ先の塁へ進み,打者は一塁へ進む.
- 場合 2 打撃結果が単打の場合,
走者は一様に 1 つ先の塁か 2 つ先の塁へ進み,打者は一塁へ進む.
- 場合 3 打撃結果が二塁打の場合,
走者は一様に 2 つ先の塁か 3 つ先の塁へ進み,打者は二塁へ進む.
- 場合 4 打撃結果が三塁打の場合,
走者は本塁へ進み,打者は三塁へ進む.
- 場合 5 打撃結果が本塁打の場合,
走者と打者は本塁へ進む.
- 場合 6 打撃結果がゴロの場合,進塁打かどうかを判定する.

- 進塁打かつ二塁走者がアウトならば、
三塁走者は本塁へ、一塁走者は二塁へ、打者は一塁へ進む。
- 進塁打かつ一塁走者がアウトならば、
三塁走者は本塁へ、二塁走者は三塁へ、打者は一塁へ進む。
- 進塁打かつ打者がアウトならば、
走者は一様に1つ先の塁へ進む。
- 三塁走者がアウトならば、
二塁走者と一塁走者は一様に1つ先の塁へ進み、打者は一塁へ進む。
- 場合7 打撃結果がフライの場合、タッチアップかどうかを判定する。
タッチアップならば、走者は一様に1つ先の塁へ進む。
タッチアップでないならば、走者は塁に留まる。
- 場合8 打撃結果がライナーの場合、
走者は塁に留まる。
- 場合9 打撃結果が併殺打の場合、
進塁打かつ二塁走者と一塁走者がアウトならば、
三塁走者は本塁へ進み、打者は一塁へ進む。
進塁打かつ二塁走者と打者がアウトならば、
三塁走者は本塁へ進み、一塁走者は二塁へ進む。
進塁打かつ一塁走者と打者がアウトならば、
三塁走者は本塁へ進み、二塁走者は三塁へ進む。
三塁走者と二塁走者がアウトならば、
一塁走者は二塁へ進み、打者は一塁へ進む。
三塁走者と一塁走者がアウトならば、
二塁走者は三塁へ進み、打者は一塁へ進む。
三塁走者と打者がアウトならば、
二塁走者と一塁走者は一様に1つ先の塁へ進む。
- 場合10 打撃結果が失策の場合、
走者は一様に1つ先の塁か2つ先の塁へ進み、打者は一塁へ進む。

4. シミュレーション実行結果

ここでは、2010年度パ・リーグで優勝した福岡ソフトバンクホークスの主力として活躍した選手の打撃成績データをもとにシミュレーションを行う。

対象となる選手は、田上秀則、小久保裕紀、本多雄一、松田宣浩、川崎宗則、オーティズ、長谷川勇也、多村仁志、ペタジーニ、山崎勝己、柴原洋、松中信彦、李ボム浩の13人である。これらの選手の打撃成績は表4.1に示す。野球でスターティングメンバー9人を選ぶ際、打撃能力の他に守備位置なども考慮しなければならない。今回のシミュレーションでは、守備に就く8人の選手を固定し、守備に就く必要がないDHで、ペタジーニ、山崎勝己、柴原洋、松中信彦、李ボム浩の5人を起用する。これから紹介するシミュレート結果は、1試合当たりの平均得点が高かった打順上位30位までを順に並べたものである。なお、1つの打順につき7500回シミュレートしている。

表 4.1. 2010年シーズンにおける
福岡ソフトバンクホークスの主力選手の打撃成績

選 手	試合	打席	打率	長打率	出塁率	安打	本塁打	打点	盗塁	犠打	犠飛	四死球
田上秀則	84	255	.203	.341	.238	47	7	25	0	11	1	11
小久保裕紀	112	469	.279	.436	.335	119	15	68	1	1	3	38
本多雄一	144	651	.296	.385	.334	167	3	39	59	50	3	35
松田宣浩	113	458	.255	.450	.284	108	19	71	17	8	6	22
川崎宗則	144	662	.316	.397	.368	190	4	53	30	10	0	51
オーティズ	117	457	.27	.489	.329	112	24	81	1	1	3	39
長谷川勇也	134	519	.255	.314	.346	113	3	32	14	10	3	68
多村仁志	140	559	.324	.550	.374	166	27	89	2	0	3	45
ベタジーニ	81	307	.261	.420	.352	69	10	41	0	0	4	41
山崎勝己	77	236	.210	.283	.256	43	2	18	0	16	1	15
柴原洋	69	146	.216	.366	.261	29	4	20	1	4	0	8
松中信彦	79	267	.235	.403	.311	56	11	35	3	0	2	28
李ボム浩	48	139	.226	.355	.294	28	4	8	1	3	0	12

表 4.2. DH でベタジーニを起用したとき,平均得点が高い打順

順位	平均得点	1番打者	2番打者	3番打者	4番打者	5番打者	6番打者	7番打者	8番打者	9番打者
1	4.63	川崎	ベタジーニ	多村	小久保	オーティズ	松田	長谷川	田上	本多
2	4.62	本多	ベタジーニ	川崎	多村	松田	長谷川	オーティズ	小久保	田上
3	4.62	本多	ベタジーニ	小久保	多村	川崎	オーティズ	長谷川	松田	田上
4	4.61	本多	ベタジーニ	川崎	多村	長谷川	オーティズ	松田	田上	小久保
5	4.61	川崎	ベタジーニ	小久保	多村	オーティズ	松田	田上	本多	長谷川
6	4.60	ベタジーニ	小久保	川崎	オーティズ	長谷川	多村	松田	田上	本多
7	4.60	ベタジーニ	多村	川崎	オーティズ	松田	小久保	田上	本多	長谷川
8	4.60	川崎	多村	ベタジーニ	小久保	松田	オーティズ	田上	本多	長谷川
9	4.60	川崎	小久保	ベタジーニ	多村	田上	本多	長谷川	オーティズ	松田
10	4.60	川崎	小久保	ベタジーニ	オーティズ	多村	長谷川	松田	田上	本多
11	4.60	本多	小久保	長谷川	川崎	多村	ベタジーニ	オーティズ	松田	田上
12	4.60	ベタジーニ	多村	オーティズ	小久保	松田	本多	川崎	長谷川	田上
13	4.59	川崎	多村	オーティズ	小久保	ベタジーニ	松田	田上	長谷川	本多
14	4.59	ベタジーニ	多村	川崎	小久保	オーティズ	田上	本多	松田	長谷川
15	4.59	本多	多村	長谷川	小久保	川崎	オーティズ	ベタジーニ	松田	田上
16	4.59	川崎	ベタジーニ	多村	オーティズ	小久保	松田	田上	本多	長谷川
17	4.59	川崎	多村	オーティズ	小久保	ベタジーニ	松田	本多	田上	長谷川
18	4.59	川崎	ベタジーニ	多村	オーティズ	小久保	長谷川	本多	松田	田上
19	4.59	多村	川崎	小久保	松田	ベタジーニ	オーティズ	長谷川	田上	本多
20	4.59	川崎	ベタジーニ	多村	小久保	オーティズ	松田	田上	本多	長谷川
21	4.58	ベタジーニ	オーティズ	小久保	多村	松田	本多	長谷川	田上	川崎
22	4.58	本多	ベタジーニ	小久保	多村	川崎	長谷川	松田	オーティズ	田上
23	4.58	川崎	ベタジーニ	小久保	多村	長谷川	オーティズ	田上	本多	松田
24	4.58	本多	ベタジーニ	川崎	多村	長谷川	オーティズ	小久保	松田	田上
25	4.58	川崎	ベタジーニ	小久保	松田	オーティズ	田上	長谷川	本多	多村
26	4.58	ベタジーニ	オーティズ	長谷川	多村	松田	本多	田上	川崎	小久保
27	4.58	川崎	小久保	ベタジーニ	多村	松田	オーティズ	田上	長谷川	本多
28	4.58	ベタジーニ	多村	オーティズ	小久保	松田	本多	田上	長谷川	川崎
29	4.58	川崎	ベタジーニ	オーティズ	小久保	松田	田上	本多	長谷川	多村
30	4.58	川崎	小久保	多村	長谷川	オーティズ	ベタジーニ	松田	田上	本多

表 4.3. DH で山崎勝己を起用したとき、平均得点が高い打順

順位	平均得点	1番打者	2番打者	3番打者	4番打者	5番打者	6番打者	7番打者	8番打者	9番打者
1	4.18	川崎	オーティズ	小久保	多村	本多	長谷川	松田	田上	山崎
2	4.18	川崎	長谷川	多村	オーティズ	松田	本多	小久保	田上	山崎
3	4.18	川崎	長谷川	小久保	多村	本多	オーティズ	松田	田上	山崎
4	4.17	本多	多村	川崎	小久保	オーティズ	松田	田上	山崎	長谷川
5	4.17	川崎	小久保	多村	オーティズ	本多	松田	山崎	田上	長谷川
6	4.16	川崎	多村	オーティズ	松田	田上	山崎	本多	小久保	長谷川
7	4.16	本多	小久保	川崎	多村	オーティズ	松田	長谷川	田上	山崎
8	4.16	本多	長谷川	川崎	多村	オーティズ	松田	小久保	田上	山崎
9	4.16	本多	小久保	川崎	多村	オーティズ	長谷川	松田	田上	山崎
10	4.16	川崎	多村	小久保	オーティズ	松田	長谷川	田上	本多	山崎
11	4.16	川崎	オーティズ	小久保	多村	松田	本多	長谷川	田上	山崎
12	4.16	川崎	小久保	本多	多村	松田	オーティズ	田上	山崎	長谷川
13	4.15	川崎	小久保	多村	オーティズ	松田	長谷川	本多	田上	山崎
14	4.15	小久保	長谷川	本多	川崎	多村	オーティズ	田上	松田	山崎
15	4.15	小久保	多村	オーティズ	松田	長谷川	田上	山崎	本多	川崎
16	4.15	川崎	小久保	多村	オーティズ	松田	山崎	田上	本多	長谷川
17	4.15	川崎	小久保	多村	本多	松田	長谷川	オーティズ	田上	山崎
18	4.15	川崎	多村	小久保	オーティズ	松田	田上	長谷川	本多	山崎
19	4.15	多村	小久保	本多	松田	長谷川	川崎	オーティズ	田上	山崎
20	4.15	多村	長谷川	小久保	川崎	オーティズ	本多	松田	田上	山崎
21	4.15	川崎	オーティズ	小久保	多村	松田	長谷川	本多	田上	山崎
22	4.15	本多	川崎	小久保	多村	オーティズ	松田	長谷川	田上	山崎
23	4.15	小久保	多村	松田	本多	オーティズ	長谷川	田上	山崎	川崎
24	4.14	本多	小久保	オーティズ	川崎	松田	多村	長谷川	田上	山崎
25	4.14	川崎	小久保	オーティズ	多村	松田	田上	山崎	長谷川	本多
26	4.14	小久保	多村	川崎	松田	オーティズ	田上	山崎	本多	長谷川
27	4.14	川崎	オーティズ	小久保	多村	長谷川	本多	松田	山崎	田上
28	4.14	多村	小久保	川崎	松田	長谷川	オーティズ	田上	山崎	本多
29	4.14	本多	小久保	川崎	多村	オーティズ	長谷川	田上	山崎	松田
30	4.14	川崎	オーティズ	多村	小久保	松田	本多	田上	山崎	長谷川

表 4.4. DH で柴原洋を起用したとき、平均得点が高い打順

順位	平均得点	1番打者	2番打者	3番打者	4番打者	5番打者	6番打者	7番打者	8番打者	9番打者
1	4.37	本多	多村	川崎	オーティズ	小久保	松田	柴原	田上	長谷川
2	4.36	川崎	小久保	オーティズ	多村	柴原	松田	田上	本多	長谷川
3	4.36	本多	小久保	長谷川	多村	川崎	オーティズ	柴原	松田	田上
4	4.35	オーティズ	小久保	本多	多村	松田	田上	柴原	長谷川	川崎
5	4.34	川崎	小久保	本多	多村	オーティズ	松田	田上	柴原	長谷川
6	4.34	本多	小久保	長谷川	多村	川崎	オーティズ	田上	松田	柴原
7	4.34	本多	小久保	川崎	多村	長谷川	オーティズ	松田	田上	柴原
8	4.33	川崎	小久保	本多	多村	長谷川	オーティズ	松田	田上	柴原
9	4.33	川崎	多村	オーティズ	小久保	柴原	本多	松田	長谷川	田上
10	4.33	小久保	多村	川崎	オーティズ	松田	本多	田上	長谷川	柴原
11	4.33	川崎	小久保	本多	多村	松田	オーティズ	田上	柴原	長谷川
12	4.33	川崎	オーティズ	小久保	本多	多村	長谷川	柴原	松田	田上
13	4.33	川崎	多村	松田	小久保	長谷川	本多	オーティズ	田上	柴原
14	4.33	本多	松田	小久保	多村	川崎	オーティズ	柴原	長谷川	田上
15	4.33	本多	小久保	川崎	多村	オーティズ	柴原	松田	長谷川	田上
16	4.32	川崎	小久保	多村	オーティズ	柴原	松田	田上	本多	長谷川
17	4.32	川崎	多村	小久保	松田	オーティズ	長谷川	田上	柴原	本多
18	4.32	川崎	多村	オーティズ	小久保	松田	長谷川	田上	本多	柴原
19	4.32	川崎	小久保	多村	オーティズ	柴原	本多	松田	田上	長谷川
20	4.32	川崎	小久保	多村	オーティズ	松田	柴原	田上	長谷川	本多
21	4.32	川崎	小久保	長谷川	オーティズ	松田	多村	田上	柴原	本多
22	4.32	本多	オーティズ	小久保	川崎	長谷川	多村	松田	田上	柴原
23	4.32	川崎	小久保	長谷川	多村	本多	田上	オーティズ	柴原	松田
24	4.32	川崎	多村	小久保	本多	オーティズ	長谷川	松田	柴原	田上
25	4.31	オーティズ	川崎	小久保	多村	松田	田上	柴原	本多	長谷川
26	4.31	本多	小久保	川崎	多村	オーティズ	柴原	田上	松田	長谷川
27	4.31	川崎	オーティズ	小久保	多村	松田	長谷川	本多	田上	柴原
28	4.31	小久保	長谷川	本多	多村	川崎	オーティズ	松田	田上	柴原
29	4.31	川崎	オーティズ	小久保	本多	長谷川	多村	柴原	松田	田上
30	4.31	川崎	多村	オーティズ	小久保	本多	松田	田上	長谷川	柴原

表 4.5. DH で松中信彦を起用したとき,平均得点が高い打順

順位	平均得点	1番打者	2番打者	3番打者	4番打者	5番打者	6番打者	7番打者	8番打者	9番打者
1	4.52	オーティズ	松中	川崎	多村	小久保	松田	本多	長谷川	田上
2	4.52	本多	小久保	川崎	多村	オーティズ	松田	松中	長谷川	田上
3	4.51	多村	オーティズ	松中	小久保	松田	田上	本多	長谷川	川崎
4	4.51	多村	松中	オーティズ	田上	松田	本多	小久保	川崎	長谷川
5	4.50	多村	松中	松田	小久保	川崎	オーティズ	田上	長谷川	本多
6	4.50	本多	多村	松中	小久保	川崎	オーティズ	田上	松田	長谷川
7	4.50	本多	多村	川崎	小久保	オーティズ	松中	松田	田上	長谷川
8	4.50	多村	川崎	松中	松田	小久保	オーティズ	田上	長谷川	本多
9	4.50	松中	小久保	本多	多村	長谷川	オーティズ	松田	田上	川崎
10	4.50	松中	川崎	小久保	多村	松田	長谷川	本多	オーティズ	田上
11	4.50	川崎	多村	小久保	松田	オーティズ	本多	長谷川	田上	松中
12	4.50	川崎	小久保	松中	多村	オーティズ	長谷川	田上	松田	本多
13	4.50	川崎	オーティズ	松中	多村	本多	小久保	長谷川	松田	田上
14	4.49	川崎	松中	小久保	多村	オーティズ	長谷川	田上	松田	本多
15	4.49	小久保	多村	オーティズ	松田	川崎	松中	長谷川	田上	本多
16	4.49	松中	オーティズ	川崎	多村	松田	田上	長谷川	本多	小久保
17	4.49	オーティズ	小久保	本多	多村	長谷川	松中	松田	田上	川崎
18	4.49	川崎	多村	松中	小久保	オーティズ	田上	長谷川	松田	本多
19	4.49	本多	オーティズ	川崎	多村	松田	小久保	松中	田上	長谷川
20	4.49	川崎	小久保	松中	多村	オーティズ	松田	田上	長谷川	本多
21	4.49	川崎	多村	オーティズ	小久保	松田	田上	本多	松中	長谷川
22	4.49	川崎	多村	松中	小久保	松田	長谷川	オーティズ	田上	本多
23	4.49	松中	多村	川崎	小久保	オーティズ	田上	松田	長谷川	本多
24	4.49	川崎	多村	松中	オーティズ	小久保	松田	田上	本多	長谷川
25	4.49	川崎	松中	小久保	多村	本多	オーティズ	松田	田上	長谷川
26	4.49	本多	川崎	小久保	多村	オーティズ	松田	松中	田上	長谷川
27	4.49	本多	オーティズ	川崎	多村	松中	松田	田上	小久保	長谷川
28	4.49	川崎	多村	松中	小久保	松田	オーティズ	長谷川	田上	本多
29	4.48	本多	小久保	川崎	多村	オーティズ	松田	田上	長谷川	松中
30	4.48	多村	松中	川崎	松田	小久保	長谷川	オーティズ	田上	本多

表 4.6. DH で李ボム浩を起用したとき,平均得点が高い打順

順位	平均得点	1番打者	2番打者	3番打者	4番打者	5番打者	6番打者	7番打者	8番打者	9番打者
1	4.33	川崎	多村	オーティズ	小久保	長谷川	本多	松田	田上	李ボム浩
2	4.33	多村	川崎	小久保	松田	オーティズ	李ボム浩	長谷川	田上	本多
3	4.32	本多	小久保	長谷川	多村	オーティズ	松田	田上	李ボム浩	川崎
4	4.32	オーティズ	小久保	川崎	多村	本多	松田	李ボム浩	田上	長谷川
5	4.32	川崎	小久保	長谷川	多村	松田	オーティズ	李ボム浩	田上	本多
6	4.32	川崎	オーティズ	多村	松田	李ボム浩	田上	本多	小久保	長谷川
7	4.32	本多	小久保	長谷川	多村	川崎	オーティズ	李ボム浩	松田	田上
8	4.31	本多	多村	川崎	小久保	オーティズ	松田	田上	李ボム浩	長谷川
9	4.31	本多	小久保	川崎	多村	オーティズ	長谷川	松田	田上	李ボム浩
10	4.31	川崎	小久保	本多	多村	長谷川	オーティズ	田上	李ボム浩	松田
11	4.31	本多	小久保	川崎	多村	松田	李ボム浩	オーティズ	田上	長谷川
12	4.31	川崎	小久保	本多	多村	オーティズ	李ボム浩	田上	松田	長谷川
13	4.31	多村	小久保	長谷川	川崎	オーティズ	松田	李ボム浩	田上	本多
14	4.30	川崎	多村	本多	松田	長谷川	オーティズ	小久保	田上	李ボム浩
15	4.30	本多	長谷川	川崎	小久保	多村	オーティズ	松田	李ボム浩	田上
16	4.30	川崎	小久保	多村	本多	オーティズ	長谷川	松田	田上	李ボム浩
17	4.30	本多	長谷川	川崎	多村	オーティズ	松田	小久保	李ボム浩	田上
18	4.30	川崎	オーティズ	小久保	多村	李ボム浩	松田	長谷川	田上	本多
19	4.30	川崎	多村	小久保	本多	松田	オーティズ	田上	李ボム浩	長谷川
20	4.30	川崎	多村	小久保	本多	オーティズ	松田	田上	長谷川	李ボム浩
21	4.30	川崎	多村	松田	小久保	オーティズ	田上	李ボム浩	長谷川	本多
22	4.30	多村	長谷川	小久保	川崎	松田	オーティズ	田上	李ボム浩	本多
23	4.30	本多	小久保	李ボム浩	多村	オーティズ	松田	田上	川崎	長谷川
24	4.30	川崎	小久保	多村	本多	オーティズ	松田	田上	長谷川	李ボム浩
25	4.30	川崎	多村	小久保	本多	オーティズ	李ボム浩	松田	田上	長谷川
26	4.30	川崎	オーティズ	小久保	多村	松田	田上	長谷川	李ボム浩	本多
27	4.30	川崎	多村	小久保	本多	オーティズ	長谷川	田上	松田	李ボム浩
28	4.30	川崎	小久保	オーティズ	多村	松田	李ボム浩	本多	田上	長谷川
29	4.30	川崎	オーティズ	小久保	多村	長谷川	本多	松田	田上	李ボム浩
30	4.30	小久保	川崎	多村	松田	本多	オーティズ	田上	李ボム浩	長谷川

シミュレーションにより判明したことは、2番打者に犠打が多い選手よりも、セイバーメトリクスでよく用いられる OPS という長打率と出塁率を足し合わせた指標が大きい選手を置く方が、得点期待値が高くなる傾向が見られた。またオーダーの中で出塁率が高い選手を1番、長打率が高い選手を2番と4番に据えることによって得点期待値が高くなる傾向も見られることも判明した。

今後は、特定のチームのみならず、一般的なチームの打撃成績による最適打順についての考察、ならびに投手が打席に立つ場合の最適打順などについても研究を行う。

参考文献

伊藤栄治，氏家勝己（2003）野球の最適打順について-OERA 値による打者の能力の評価-，東海大学体育学部紀要，32，1-6.

Lindsey, G. R. (1961) The progress of the score during a baseball game, Journal of the American Statistical Association, 56, 703-728

大澤清，合田憲人（2007）打順最適化問題の高速化手法，情報処理学会論文誌，48，1443-1454.

Takei, T. , Seko, S. and Ano, k. (2001) Improved optimal batting order with several effects for baseball (Mathematical Modeling and Optimization under Uncertainty), 数理解析研究所講究録, 1194, 87-96.

鳥越規央（2010）Win probability added in sabermetrics, 数理解析研究所講究録, 1703, 1-9.