

野球の最適打順を考えてみよう

武井 貴裕, 瀬古 進, 穴太 克則

1. はじめに

巨人の4番は誰がよいのであろうか？ 打順の組み方によってどのくらい得点力は変わるのだろうか？ 果してマリナーズのイチローは1番がふさわしいのであろうか？ 最も高い得点が期待できる最適打順を求めるにはどのようにすればよいのであろうか？ これらの一連の興味深い問いにひとつの答えを与えるモデルが Bukiet, Harold and Palacios (1997) によって提案されている。これは野球の状態推移をマルコフ連鎖としてとらえ、固定した9人の打者が9回攻撃するときの期待得点を算出するモデルである。ここでは、盗塁と併殺さらに得点圏と非得点圏の違いを加えた改良型最適打順を解説し、1999年度の巨人、中日、阪神、ダイエー、西武、オリックスの打順についての結果をみてみよう。

2. 改良型最適打順決定モデル

2.1 状態, 進塁の規則, 打撃と盗塁に関する確率

状態を表1のように定義する。

進塁の規則を次のように定める。

1. 犠打はすべて計算されない。
2. エラーはアウトとして計算される。
3. アウトによってランナーは進塁しない。
4. 単打は一塁ランナーを三塁に進塁させ、二塁ランナーと三塁ランナーをホームへ生還させる。
5. 二塁打と三塁打は一塁ランナー、二塁ランナー、三塁ランナーすべてをホームへ生還させる。
6. 盗塁は単打、四死球の後のみに試みることができるとし、その試みは1回とする。すなわち二盗、三盗と二回続けては盗塁しない。

たけい たかひろ, せこ すすむ
 南山大学 大学院経営学研究科
 〒466-8673 名古屋市昭和区山里町18
 あのう かつのり
 南山大学 経営学部情報管理学科
 〒466-8673 名古屋市昭和区山里町18

表1 ランナーとアウトカウントの状態

ランナー	なし	一塁	二塁	三塁
ノーアウト	1	2	3	4
ワンアウト	9	10	11	12
ツーアウト	17	18	19	20
スリーアウト	25			

ランナー	一二塁	一三塁	二三塁	満塁
ノーアウト	5	6	7	8
ワンアウト	13	14	15	16
ツーアウト	21	22	23	24
スリーアウト	25			

7. 併殺は状態 2, 5, 6, 8, 10, 13, 14, 16 のときに内野ゴロを打ったときにのみ起こる。

- ・ノーアウトランナー一塁→ツーアウトランナーなし (状態 2 → 状態 17)
- ・ノーアウトランナー一二塁→ツーアウトランナー一塁 (状態 5 → 状態 18)
- ・ノーアウトランナー一三塁→ツーアウトランナー三塁 (状態 6 → 状態 20)
- ・ノーアウトランナー満塁→ツーアウトランナー二三塁 (状態 8 → 状態 23)
- ・ワンアウトランナー一塁→スリーアウト (状態 10 → 状態 25)
- ・ワンアウトランナー一二塁→スリーアウト (状態 13 → 状態 25)
- ・ワンアウトランナー一三塁→スリーアウト (状態 14 → 状態 25)
- ・ワンアウトランナー満塁→スリーアウト (状態 16 → 状態 25)

あるひとりの打者の打撃と盗塁に関する確率を得点圏(α)の場合、非得点圏(β)の場合にわけて次の様に定める。ただし、 $\{P_r(A):$ 事象 A が生じる確率 $\}$ とする。

得点圏の場合: $p\beta = P_r(\text{得点圏で内野ゴロ}) = \text{得点圏での内野ゴロ数} / \text{得点圏での打席数}$, $p\beta_H = P_r(\text{得点圏で内野ゴロ以外の凡打}) = \text{得点圏での内ゴ以外の凡打数} / \text{得点圏での打席数}$, $p\beta_{H1} = P_r(\text{得点圏で四死球で二盗失敗}) = (\text{得点圏での四死球数} / \text{得点圏での打席数})$

\times (二盗失敗数/(得点圏での四死球数+得点圏での単打数)), $p_{B2}^a = P_r$ (得点圏で四死球で二盗しない)=(得点圏での四死球数/得点圏での打席数) \times (二盗不試行数/(得点圏での四死球数+得点圏での単打数)), $p_{B3}^a = P_r$ (得点圏で四死球で二盗成功)=(得点圏での単打数/得点圏での打席数) \times (二盗成功数/(得点圏での四死球数+得点圏での単打数)), $p_1^a = P_r$ (得点圏で単打して二盗失敗)=(得点圏での単打数/得点圏での打席数) \times (二盗失敗数/(得点圏での四死球数+得点圏での単打数)), $p_2^a = P_r$ (得点圏で単打して二盗しない)=(得点圏での単打数/得点圏での打席数) \times (二盗不試行数/(得点圏での四死球数+得点圏での単打数)), $p_3^a = P_r$ (得点圏で単打して二盗成功)=(得点圏での二塁打数/得点圏での打席数) \times (二盗成功数/(得点圏での四死球数+得点圏での単打数)), $p_4^a = P_r$ (得点圏で二塁打して三盗失敗)=(以下省略), $p_5^a = P_r$ (得点圏で二塁打して三盗しない), $p_6^a = P_r$ (得点圏で二塁打して三盗成功), $p_7^a = P_r$ (得点圏で三塁打して本盗失敗),

$$P = \begin{bmatrix} A & B & H_1 & 0 \\ 0 & A & B & H_2 \\ 0 & 0 & A & F \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ここで,

$$A = \begin{bmatrix} p_6^a + p_{i0}^a & p_{B2}^a + p_2^a & p_{B3}^a + p_3^a + p_5^a & p_6^a + p_8^a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_6^a + p_{i0}^a & 0 & p_5^a & p_6^a + p_8^a & p_B^a & p_2^a & p_3^a & 0 \\ p_6^a + p_{i0}^a & p_2^a & p_3^a + p_5^a & p_6^a + p_8^a & p_B^a & 0 & 0 & 0 \\ p_6^a + p_{i0}^a & p_2^a & p_3^a + p_5^a & p_6^a + p_8^a & 0 & p_{B2}^a & p_{B3}^a & 0 \\ p_6^a + p_{i0}^a & 0 & p_5^a & p_6^a + p_8^a & 0 & p_2^a & p_3^a & p_B^a \\ p_6^a + p_{i0}^a & 0 & p_5^a & p_6^a + p_8^a & 0 & p_2^a & p_3^a & p_B^a \\ p_6^a + p_{i0}^a & p_2^a & p_3^a + p_5^a & p_6^a + p_8^a & 0 & 0 & 0 & p_B^a \\ p_6^a + p_{i0}^a & 0 & p_5^a & p_6^a + p_8^a & 0 & p_2^a & p_3^a & p_B^a \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} (p_6^a + p_H^a + p_{B1}^a + p_1^a + p_4^a + p_7^a) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_4^a + p_7^a & p_6^a & 0 & p_1^a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ (p_1^a + p_4^a + p_7^a) & 0 & p_6^a + p_H^a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ (p_1^a + p_4^a + p_7^a) & 0 & 0 & p_H^a + p_6^a + p_{B1}^a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_4^a + p_7^a & 0 & 0 & p_1^a & p_6^a & 0 & 0 & 0 \\ p_4^a + p_7^a & 0 & 0 & p_1^a & 0 & p_6^a & 0 & 0 \\ (p_1^a + p_4^a + p_7^a) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_H^a + p_6^a & 0 \\ p_4^a + p_7^a & 0 & 0 & p_1^a & 0 & 0 & 0 & p_6^a \end{bmatrix},$$

$p_8^a = P_r$ (得点圏で三塁打して本盗しない), $p_9^a = P_r$ (得点圏で三塁打して本盗成功), $p_{i0}^a = P_r$ (得点圏で本塁打), ちなみに, $p_B^a = p_{B1}^a + p_{B2}^a + p_{B3}^a$ である.

非得点圏の場合: 得点圏の場合と同様に $p_0^a, p_1^a, \dots, p_{i0}^a$ を定める.

例えば, $p_{B3}^a =$ (非得点圏での四死球数)/(非得点圏での打席数) \times (二盗成功数)/(非得点圏での四死球数+非得点圏での単打数)というように, それぞれのデータがそろえば計算できる. ここでは盗塁についての得点圏, 非得点圏のデータを探ることができなかったため, 得点圏の盗塁成功数= $($ 得点圏での打席 $) / ($ 得点圏での打席数+非得点圏での打席数 $) \times ($ 全体の盗塁成功数 $)$ としている.

2.2 推移確率行列

1人の打者の攻撃により推移する状態に対しての推移確率行列 P は規則に従うと打者ごとに次のようになる.

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_H^0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_H^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_H^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_H^3 & 0 \end{bmatrix}$$

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

とする。1 イニングで 20 得点以上はないものとした。 U_0 は状態 1 において得点がゼロである確率が 1 であることを示す。同様に n 人目の打者が攻撃終了したときの得点数と状態を表す行列を U_n とする。 U_{n+1} の各行と U_n の各行には次の関係が成り立つ

$$(*) U_{n+1}(j \text{ 行}) = U_n(j \text{ 行})P_0 + U_n(j-1 \text{ 行})P_1 + U_n(j-2 \text{ 行})P_2 + U_n(j-3 \text{ 行})P_3 + U_n(j-4 \text{ 行})P_4$$

ここで P_0, P_1, P_2, P_4 はある打者の攻撃で得点がそれぞれ 0, 1, 2, 3, 4 となる推移確率行列であり、 $P = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ となる P の分解である。

(*) 式は重要なので、この等式が成立することを少し解説しておこう。(n+1) 人目の打者の攻撃終了後に得点が j になる ($U_{n+1}(j \text{ 行})$ に対応) のは次の 5 通りである。

- (a) n 人目の打者の終了後の得点が j 点で (n+1) 人目の打者による攻撃が 0 点 ($U_n(j)P_0$ に対応)
- (b) n 人目の打者の終了後の得点が (j-1) 点で (n+1) 人目の打者による攻撃が 1 点 ($U_n(j-1)P_1$ に対応)
- (c) n 人目の打者の終了後の得点が (j-2) 点で (n+1) 人目の打者による攻撃が 2 点 ($U_n(j-1)P_2$ に対応)
- (d) n 人目の打者の終了後の得点が (j-3) 点で (n+1) 人目の打者による攻撃が 3 点 ($U_n(j-1)P_3$ に対応)
- (e) n 人目の打者の終了後の得点が (j-4) 点で (n+1) 人目の打者による攻撃が 4 点 ($U_n(j-1)P_4$ に対応)

(a)~(e) は同時に起こり得ないので (*) 式が成立する。

期待得点算出アルゴリズム

Step 1: 9 人の打者の攻撃と盗塁に関するデータより、各打者の推移確率行列 $P_i = P_{0i} + P_{1i} + P_{2i} + P_{3i} + P_{4i}$ ($i=1, \dots, 9$) を定める。

Step 2: U_0 をセットする。

Step 3: (*) 式を用いて U_1 を計算する。以上同様に U_2, U_3, \dots の計算する。

Step 4: U_1, U_2, \dots の計算の段階で、スリーアウトの状態を表す U_j の 25 列目の総和がある一定の確

また、

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ p_H^0 \\ 0 \\ 0 \\ p_H^1 \\ p_H^2 \\ p_H^3 \\ 0 \\ p_H^4 \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} p_0^0 + p_H^0 + p_{B1}^0 + p_1^0 + p_2^0 + p_3^0 \\ p_0^0 + p_H^0 + p_1^0 + p_2^0 + p_3^0 \\ p_0^0 + p_H^0 + p_1^0 + p_2^0 + p_3^0 \\ p_0^0 + p_H^0 + p_{B1}^0 + p_1^0 + p_2^0 + p_3^0 \\ p_0^0 + p_H^0 + p_1^0 + p_2^0 + p_3^0 \\ p_0^0 + p_H^0 + p_1^0 + p_2^0 + p_3^0 \\ p_0^0 + p_H^0 + p_1^0 + p_2^0 + p_3^0 \\ p_0^0 + p_H^0 + p_1^0 + p_2^0 + p_3^0 \\ p_0^0 + p_H^0 + p_1^0 + p_2^0 + p_3^0 \end{bmatrix}$$

例えば状態 1 (ノーアウトランナーなし) から状態 3 (ノーアウトランナー 2 塁) となるのは、四死球で盗塁成功か単打して二盗成功、二塁打して三盗しないときである。よって状態 1 から状態 3 への推移確率は $p(1|3) = p_{B3}^0 + p_3^0 + p_3^1$ となる。同様にして推移確率行列の各要素を計算できる。

2.3 期待得点算出アルゴリズム

各イニングの始まりの状態をベクトル u_0

$$u_0 = [1 \ 0 \ \dots \ 0]$$

で表す。 u_0 は状態 1 にある確率が 1 であることを示す。同様にベクトル u_n を n 人目の打者が攻撃終了したときの状態を表すとする。例えば

$$u_0 = [0 \ 0.3 \ 0.3 \ 0.4 \ \dots \ 0]$$

は、状態 2, 3 にある確率がそれぞれ 0.3, 状態 4 にある確率が 0.4 であることを示す。(n+1) 人目の打者の攻撃と盗塁に関する推移確率行列を P^{n+1} とすると、 u_n と u_{n+1} の間には、

$$u_{n+1} = u_n P^{n+1}$$

となる関係が成立する。

各イニングの始まりにおける得点数(行)と状態(列)を行列 U_0 ,

表2 高橋由伸選手の改良型最適打順モデルによる期待得点

スリーアウトになる確率	期待得点
0.99	6.27598
0.999	6.63241
0.9999	6.684
0.99999	6.6903
改良型 OERA 値	6.6910

率（ここでは0.99999とした）を越えたときに、そのイニングを終了し、次のイニングを(j+1)人目から始める。

Step 5: U_j の 25 列目を

$$R(25) = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_{20} \end{bmatrix}$$

とすると、j 人目で終了したイニングの期待得点 r を $r = x_1 + 2x_2 + \dots + 20x_{20}$ により算出する。

Step 6: 1 から 9 イニングの期待得点を加算し、1 試合の期待得点を算出する。

期待得点が最大になる打順が最適打順である。

イニングが終了する条件は、スリーアウトになる確率が0.99999以上になったときにした。改良型最適打順モデルの性質として、1人の打者が9人分攻撃したと仮定すると、改良型最適打順モデルによる期待得点数=改良型のOERA値が成立する。改良型のOERA値とは、「盗塁、併殺、得点圏・非得点圏の効果を加味した一人の打者が全イニング打席に立ったときの期待得点」を算出するものであり、Cover and Keilers (1977) の OERA (Offensive Eraned-Run Average) を改良したものである。ここでは紙面の都合上詳しく述べるできないが、これを利用して、1999年度の高橋由伸選手（巨人）を対象としてスリーアウトになる確率、すなわちイニングを終了する条件の精度を調べた。結果は表2のとおりである。

3. 1999年度シーズン日本プロ野球の例

Mathematica でプログラミングし実行したところ膨大な時間を要した。この理由より8番、9番を固定して7!通りに絞り込んで実行した。各球団の9人は出場試合数が多い選手を主に選んだ。各選手の盗塁成功数、失敗数はデータとしてあったが、それが二盗か

表3 '99巨人非得点圏データ

選手名	AB	BB	H	2B	3B	HR	SB	CS	IG
仁志	435	27	128	18	2	9	18	8	165
清水	348	25	105	20	1	7	15	5	115
松井	369	65	104	21	2	35	0	4	94
マルティネス	191	19	58	10	0	10	1	0	49
高橋	346	33	105	11	0	25	3	3	116
元木	253	22	54	10	0	5	0	1	88
二岡	330	29	96	11	0	15	8	2	101
村田真	189	16	40	5	0	8	0	0	49
ガルベス	58	1	7	2	0	2	0	0	14

表4 '99巨人得点圏データ

選手名	AB	BB	H	2B	3B	HR	IG
仁志	99	12	24	10	2	0	22
清水	76	3	20	3	0	1	24
松井	102	30	39	3	0	7	28
マルティネス	68	8	25	4	0	6	22
高橋	108	14	38	7	2	9	31
元木	65	14	21	2	0	1	14
二岡	88	6	25	3	0	3	29
村田真	48	12	9	0	0	1	17
ガルベス	14	0	3	0	0	2	3

表5 '99巨人最適・最悪打順

打順	最適 (盗塁と併殺)	最悪 (盗塁と併殺)	改良型の最適	改良型の最悪
1	高橋	元木	二岡	仁志
2	二岡	清水	清水	元木
3	松井	仁志	松井	二岡
4	マル	マル	高橋	マル
5	清水	松井	マル	高橋
6	仁志	高橋	仁志	松井
7	元木	二岡	元木	清水
8	村田真	村田真	村田真	村田真
9	ガルベス	ガルベス	ガルベス	ガルベス
期待得点	4.68835	4.33054	6.27148	4.293

表6 '99中日非得点圏データ

選手名	AB	BB	H	2B	3B	HR	SB	CS	IG
関川	382	35	127	18	4	2	20	11	114
李	347	35	85	16	4	9	24	7	113
福留	378	43	103	18	1	14	4	7	95
ゴメス	353	46	102	12	1	25	4	1	76
立浪	308	36	81	25	1	3	3	2	113
山崎	269	38	60	10	0	20	1	0	47
井上	358	26	103	14	2	8	2	0	107
中村	286	13	57	10	0	4	3	1	90
山本昌	36	3	2	0	0	0	0	0	16

表7 '99中日得点圏データ

	AB	BB	H	2B	3B	HR	IG
関川	140	15	45	10	2	2	26
李	77	10	14	4	1	0	26
福留	83	12	28	7	1	2	18
ゴメス	121	31	39	7	0	11	24
立浪	109	16	30	7	0	1	33
山崎	85	16	27	6	0	8	15
井上	92	19	30	4	3	2	23
中村	109	15	22	2	0	2	20
山本昌	11	5	2	0	0	0	6

表8 '99中日最適・最悪打順

打順	最適 (盗塁と併殺)	最悪 (盗塁と併殺)	改良型の最適	改良型の最悪
1	ゴメス	立浪	李	井上
2	福留	福留	関川	立浪
3	山崎	関川	ゴメス	福留
4	李	李	山崎	山崎
5	関川	山崎	福留	ゴメス
6	井上	ゴメス	井上	李
7	立浪	井上	立浪	関川
8	中村	中村	中村	中村
9	山本昌	山本昌	山本昌	山本昌
期待得点	4.12473	3.72699	5.84873	3.17344

表9 '99 阪神非得点圏データ

選手名	AB	BB	H	2B	3B	HR	SB	CS	IG
坪井	422	35	124	25	1	3	6	10	169
今岡	335	21	89	10	0	6	4	9	112
松山	218	24	51	6	1	7	6	2	59
新庄	348	22	89	15	5	14	8	2	107
大豊	119	12	42	10	0	13	0	2	10
ジョンソン	286	41	71	18	1	13	1	1	57
矢野	285	29	86	12	1	2	5	2	67
和田	280	27	88	12	3	3	4	4	102
数	34	4	5	0	0	0	0	1	8

表15 '99 西武非得点圏データ

選手名	AB	BB	H	2B	3B	HR	SB	CS	IG
松井	411	35	137	22	2	14	32	7	118
大友	332	48	95	11	2	3	13	6	106
高木大	271	31	72	11	2	5	13	5	91
鈴木健	325	40	79	21	0	8	3	1	93
堀内	274	14	66	11	0	8	7	0	48
ボール	139	10	39	4	0	8	3	1	32
高木浩	209	7	56	12	1	1	1	1	84
伊東	203	18	59	10	1	3	1	2	53
小関	378	44	76	8	1	0	16	8	74

表10 '99 阪神得点圏データ

選手名	AB	BB	H	2B	3B	HR	IG
坪井	108	15	37	5	0	2	37
今岡	122	13	26	1	1	0	36
松山	67	9	22	5	1	1	16
新庄	123	11	31	6	2	0	32
大豊	45	5	14	3	1	5	7
ジョンソン	90	15	24	5	0	7	18
矢野	84	12	26	1	1	1	27
和田	54	7	13	1	0	0	23
数	12	2	2	0	1	0	2

表16 '99 西武得点圏データ

選手名	AB	BB	H	2B	3B	HR	IG
松井	128	21	41	7	2	1	33
大友	83	10	17	3	2	1	35
高木大	89	15	26	4	1	2	25
鈴木健	143	39	43	9	2	5	30
堀内	85	7	23	0	0	7	15
ボール	44	7	8	0	0	4	15
高木浩	70	7	18	2	1	0	17
伊東	55	7	15	0	0	0	12
小関	86	13	24	1	3	1	21

表11 '99 阪神最適・最悪打順

打順	最適 (最悪と併殺)	最悪 (最悪と併殺)	改良型の最適	改良型の最悪
1	松山	新庄	和田	矢野
2	和田	大豊	大豊	坪井
3	矢野	ジョンソン	ジョンソン	新庄
4	ジョンソン	矢野	松山	松山
5	大豊	和田	坪井	大豊
6	坪井	坪井	矢野	ジョンソン
7	新庄	松山	新庄	和田
8	今岡	今岡	今岡	今岡
9	数	数	数	数
期待得点	4.09468	3.96437	4.58123	3.76111

表17 '99 西武最適・最悪打順

打順	最適 (最悪と併殺)	最悪 (最悪と併殺)	改良型の最適	改良型の最悪
1	高木大	ボール	大友	堀内
2	大友	松井	ボール	伊東
3	鈴木健	鈴木健	伊東	高木大
4	松井	高木大	松井	大友
5	伊東	伊東	高木大	鈴木健
6	ボール	大友	鈴木健	松井
7	小関	小関	堀内	ボール
8	堀内	堀内	小関	小関
9	高木浩	高木浩	高木浩	高木浩
期待得点	3.94786	3.89059	4.22316	3.83040

表12 '99 ダイエー非得点圏データ

選手名	AB	BB	H	2B	3B	HR	SB	CS	IG
秋山	288	16	82	14	2	9	3	2	68
井口	281	32	65	13	1	11	14	7	60
小久保	348	43	85	17	0	19	4	2	75
柴原	380	53	103	13	3	3	22	11	138
城島	363	27	110	24	1	14	6	2	94
二エベス	180	28	51	13	0	13	0	0	23
松中	300	42	82	15	1	22	5	2	78
吉永	265	55	77	10	1	13	0	1	72
浜名	293	27	68	10	3	1	5	5	112

表18 '99 オリックス非得点圏データ

選手名	AB	BB	H	2B	3B	HR	SB	CS	IG
イチロー	314	28	112	23	1	17	12	1	85
大島	280	59	80	12	1	1	5	1	75
田口	398	19	107	14	1	6	11	6	114
プリアム	286	25	77	14	0	11	0	2	76
藤井	236	52	57	8	0	10	0	2	38
小川	246	32	64	15	0	4	2	2	62
谷	398	31	122	14	2	10	24	2	143
日高	176	12	28	6	0	2	0	1	50
塩崎	171	22	39	5	1	0	8	2	46

表13 '99 ダイエー得点圏データ

選手名	AB	BB	H	2B	3B	HR	IG
秋山	84	14	22	2	0	3	26
井口	89	15	18	2	0	3	19
小久保	117	21	24	7	2	5	23
柴原	92	7	19	2	1	2	32
城島	130	12	41	9	0	3	33
二エベス	65	17	12	3	1	4	14
松中	95	16	23	5	3	1	23
吉永	81	14	18	2	0	3	14
浜名	61	11	12	0	1	1	27

表19 '99 オリックス得点圏データ

選手名	AB	BB	H	2B	3B	HR	IG
イチロー	97	24	29	4	1	4	30
大島	81	21	18	3	0	0	22
田口	126	5	34	7	0	3	42
プリアム	160	25	48	7	0	9	42
藤井	87	26	22	9	0	5	7
小川	75	7	24	1	0	2	25
谷	134	19	33	3	2	1	39
日高	63	4	16	6	0	1	13
塩崎	50	12	16	3	1	0	9

表14 '99 ダイエー最適・最悪打順

打順	最適 (最悪と併殺)	最悪 (最悪と併殺)	改良型の最適	改良型の最悪
1	小久保	城島	吉永	井口
2	吉永	秋山	二エベス	松中
3	二エベス	松中	松中	小久保
4	松中	吉永	小久保	秋山
5	城島	二エベス	城島	城島
6	秋山	小久保	井口	二エベス
7	柴原	柴原	秋山	吉永
8	井口	井口	柴原	柴原
9	浜名	浜名	浜名	浜名
期待得点	4.80177	4.4395	4.4749	4.25538

表20 '99 オリックス最適・最悪打順

打順	最適 (最悪と併殺)	最悪 (最悪と併殺)	改良型の最適	改良型の最悪
1	大島	大島	谷	藤井
2	藤井	谷	大島	プリアム
3	イチロー	小川	イチロー	小川
4	プリアム	イチロー	藤井	塩崎
5	谷	藤井	塩崎	イチロー
6	小川	プリアム	プリアム	大島
7	塩崎	塩崎	小川	谷
8	田口	田口	田口	田口
9	日高	日高	日高	日高
期待得点	4.51604	4.10636	5.95344	4.19289

参考文献

三盗か本盗かについてのデータは残念ながら見つからなかった。それゆえに、盗塁は二盗のみとしてデータを扱っている。データ中の記号は以下の意味である。なお、データはゼミの学生達が卒業論文で取り組んだときに新聞をもとに算出してくれたものである（内野ゴロ数には誤差があるかもしれません）。

AB：打数 BB：四死球数 H：安打数 2B：二塁打数 3B：三塁打数 HR：本塁打数 SB：盗塁成功数 CS：盗塁失敗数 IG：内野ゴロ数

最適打順と最悪打順の表中の「最適（盗塁と併殺）」は盗塁と併殺効果のみを加味して得点圏と非得点圏の効果を加味していない最適打順を意味し、「改良型の最適」とは全ての効果を加味したときの最適打順を意味している。巨人、中日、阪神、ダイエー、西武、オリックスの最適打順について示す（表3～20）。

ちなみに1999年度シーズンにおける巨人、中日、阪神、ダイエー、西武、オリックスの1試合当たりの平均得点はそれぞれ、4.57778, 4.42963, 3.62962, 4.17037, 3.96296, 4.59259である。

- [1] Bellman R., "Dynamic Programming and Markovian Decision Processes with Application to Baseball", in *Optimal Strategies in Sports*, S. P. Ladany and R. E. Macholb eds., New York, Elsevier-North Holland, (1977).
- [2] Bukiet B, Harold E. R. and Palacios J. L., "A Markov Chain Approach to Baseball", *Operations Research*, 45, No. 1, pp. 14-23, (1997).
- [3] Cover T. M. and Keilers C. W., "An Offensive Earned-Run Average for Baseball", *Operations Research*, 25, pp. 729-740, (1977).
- [4] Seko. S. and Ano. K., "Improved Optimal Batting Order with Several Effects for Baseball", *Proceedings of the 8th Bellman Continuum*, pp. 219-223, (2000).
- [5] "2000 ベースボール・レコードブック", ベースボールマガジン社, 東京, (1999).
- [6] "中日スポーツ 1999年4月2日～10月15日", 中日新聞社, (1999).