

野球の最適打順の 数学的考察

広島大学附属高等学校 数学研究班
池本 陸 田中 大貴 和崎 海里

I 概要

今日の日本プロ野球界では打率が高く本塁打をよく打つ最強打者を 4 番に置くことが多いが、他国では 3 番に置くことがあるなど、打順に関する意見は様々である。どのような打順が効率よく点が取れるのかというのは勝敗に大きくかわり、重要な問題である。我々の研究の目的は、チームが最も効率よく点を取るには最強打者を何番に置けばよいか、を調べることに、さらに、その理由を数学的に考察することである。

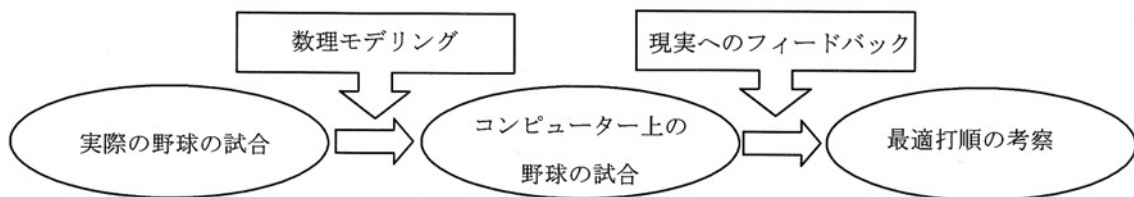
実際の野球の打順は何万通りもの組み合わせがあるため、まずは、1 人の最強打者と 8 人の平均的な能力の打者の計 9 人で打順を組むとした場合、チームの 1 シーズンの総得点を最大にするには、最強打者は何番に置くとよいのか実験した。その結果、1 番に最強打者を置くべきであることがわかった。次に、実際の野球の打順構成に近付けるために、9 番に投手を置いた場合について同様に実験した。すると、4 番に最強打者を置くべきであるという結果になった。さらに、上位打線・下位打線、盗塁・犠打等の作戦を考慮したところ、同様に最強打者は 4 番に置くべきであるという結果になった。そして、そのようになった理由も数学的に考察をした。モデルの構築方法は[2][3][4]を参考にした。

II 研究方法

最適打順を求めていく指標として、私たちは“*The Bill James Baseball Abstract 1983*” [1]にあるピタゴラス公式を用いた。

$$\text{勝率} = \frac{\text{総得点}^2}{\text{総得点}^2 + \text{総失点}^2}$$

この式は、1 シーズンの総得点と勝率との正の相関を表す。この式から、総得点を増やせば勝率が上がるということがわかる。よって、我々は 1 シーズンあたりの総得点が最大となる打順を最適打順とした。総得点を計算するために実際の野球を数理モデル化し、最強打者の打順を変えながら、モンテカルロ法を用いて、期待される得点を算出した。具体的には、表計算ソフトで発生させた乱数をもとに、打席結果などを 1 試合分繰返し判定して仮想的に試合を行い、それによって得られた 150,000 試合の得点を 1 シーズンあたりの総得点に換算し比較した。また、先行研究でも同様に最適打順を調べているものは存在するが、その結果の理由は説明されていないため、我々は求めた打順の総得点が最大となった理由も数学的に考察する。



III 数理モデル

試合の流れを以下の 5 つの行程に分類し、仮想的に試合を進め、得点を計算した。

- (1)アウト数・塁状況確認
- (2)打席結果
- (3)打席結果による進塁
- (4)走者の能力による進塁
- (5)得点計算

野球の試合をモデル化するにあたって、以下の 1~5 を仮定する。

1. 試合、インニングの終了

1 試合は9イニング、1イニングは3アウトで終了とする。

2. 打者の打撃能力

打者の打撃能力はいかなる状況においても不変であるとする。能力は打席結果に影響し、打者の打撃能力を基に確率的に打席結果を決定する。

3. 打席結果

打席結果は四球、一塁打、二塁打、三塁打、本塁打、三振、内野フライ(以後内飛)、外野フライ(以後外飛)、ゴロとする。

2010年シーズン、セントラル・リーグ、パシフィック・リーグの記録を基に、犠飛は外飛のうち0.712の確率で、併殺はゴロのうち0.374の確率で起こるものとする。

4. 打席結果による走者の進塁

① 犠飛について

無死または一死のとき、打席結果が犠飛となった場合、打者はアウトとなり、走者は以下のように進塁するとする。

- ・走者が一塁にいるとき、一塁走者はそのままである。
- ・走者が二塁にいるとき、二塁走者は三塁へ進む。
- ・走者が三塁にいるとき、三塁走者は本塁へ進む。
- ・走者が一塁と二塁にいるとき、一塁走者はそのまま、二塁走者は三塁へ進む。
- ・走者が一塁と三塁にいるとき、一塁走者はそのまま、三塁走者は本塁へ進む。
- ・走者が二塁と三塁にいるとき、二塁走者は三塁へ、三塁走者は本塁へ進む。
- ・満塁のとき、一塁走者はそのまま、二塁走者は三塁へ、三塁走者は本塁へ進む。

② 併殺について

無死または一死のとき、打席結果が併殺打となった場合、打者はアウトとなり、走者は以下のように進塁するとする。

- ・走者が一塁にいるとき、一塁走者はアウト。
- ・走者が二塁にいるとき、二塁走者はそのままである。
- ・走者が三塁にいるとき、三塁走者はそのままである。
- ・走者が一塁と二塁にいるとき、一塁走者はアウト、二塁走者は三塁へ進む。
- ・走者が一塁と三塁にいるとき、一塁走者はアウト、三塁走者は本塁へ進む。
- ただし、一死の場合は得点とならない。
- ・走者が二塁と三塁にいるとき、二塁走者と三塁走者はそのままである。
- ・満塁のとき、一塁走者は二塁へ、二塁走者は三塁へ、三塁走者はアウト。

5. 進塁率

走者が一塁打、二塁打による進塁に加えて、さらに一つ進塁する確率(進塁率)を考慮する。

IV 実験

1. 実験1

最強打者の総得点への影響を調べるため、最強打者以外の選手の能力を一律にして、単純化して行った。

① 設定

打者の種類を最強打者と普通打者の2タイプのみで打順を組むとした。最強打者は2種類の打撃能力を設定した。それぞれの打者の打撃能力は表1の通りに設定した。盗塁、

犠打等の作戦は一切行わないとした。進塁率は0, 0.5の2通りで実験した。

表1 打者の打撃能力

	本塁打率	三塁打率	二塁打率	単打率	四球率	三振率	内飛率	外飛率	ゴロ率
最強1	0.09499	0	0.041	0.124	0.176	0.14	0.042	0.169	0.212
最強2	0.04874	0.002	0.04	0.197	0.144	0.085	0.048	0.194	0.242
投手	0.00061	0.001	0.011	0.085	0.035	0.434	0.043	0.173	0.217
普通	0.01371	0.004	0.037	0.174	0.079	0.171	0.056	0.207	0.258
上位	0.01508	0.005	0.041	0.192	0.087	0.171	0.056	0.207	0.228
下位	0.01234	0.004	0.033	0.157	0.071	0.171	0.056	0.207	0.289

最強打者1は王貞治1964年シーズン成績、最強打者2は阿部慎之助2012年シーズン成績、普通打者は2012年シーズンパ・リーグ打者の平均、上位打線型選手と下位打線型選手は普通打者の本塁打率、三塁打率、二塁打率、単打率、四球率をそれぞれ1.1倍、0.9倍にした値、投手は2012年シーズン全投手成績の平均とした。2010年シーズン、セ・リーグ、パ・リーグの記録を基に内飛率、外飛率、ゴロ率はアウトの打球を1:4:5の割合とした。

② 結果

最強打者を各打順に配置したときの1シーズン当たりの総得点の結果は、進塁率が0の設定で表2、0.5の設定で表3のようになった。

表2 実験1の結果(進塁率0)

最強打者打順	1	2	3	4	5	6	7	8	9
最強打者1	449.2	449.6	448.2	450.6	444.7	444.0	440.6	438.1	435.3
最強打者2	413.5	410.5	408.9	412.7	410.1	408.5	405.2	405.3	402.4

表3 実験1の結果(進塁率0.5)

最強打者打順	1	2	3	4	5	6	7	8	9
最強打者1	549.3	547.1	546.5	547.1	545.3	541.5	540.0	536.6	532.7
最強打者2	516.5	514.8	513.7	514.9	513.2	509.6	510.2	509.1	506.4

③ 考察

これらの試行結果で特徴的なことは二つある。まず一つは最強打者を1番に置いた時に総得点が最大となったということ。もう一つは、最強打者を4番に置いた時のほうが3番に置いた時に比べて、総得点が多くなったということだ。

最強打者を1番に置いた時に総得点が最大となった理由としては、1番は打席数が最も多くなる打順であることが考えられる。しかし、この理論だけでは最強打者を3番よりも4番に置いた時に総得点が増えていることが説明できない。ここで、4番に最強打者を置くべきである理由として考えられるのは、4番という打順がチャンスで回りやすいということである。そこで、本当に4番はチャンスで回りやすいのか、を調べた。

図1は9人の打者が全て表1の普通打者としたとき、それぞれの打順の1打席あたりの走者数を表している。つまり、打順ごとのチャンスで回ってきやすさが分かるグラフである。このグラフからわかるとおり、4番という打順は走者が塁にいる状況で回ってきやすい打順であることがわかる。

こうして、打席数では1番が、チャンスなら4番が最も有利であることが分かった。では、この二つの要素をともに考慮した指標を使えば最強打者を置くべき打順が見えて

きそうである。

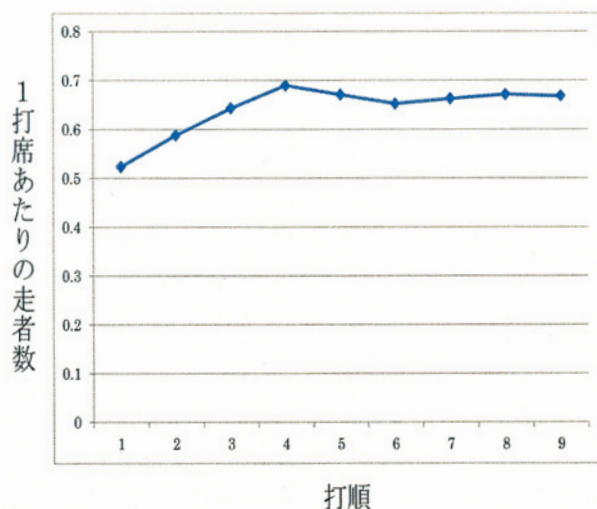


図1 1打席あたりの走者数

我々がこの二つの要素を組み合わせるために使ったのは打点、生還点、関与得点の三つの指標である。打点というのは打者の時、打席結果が四球、一塁打、二塁打、三塁打、本塁打、犠飛のいずれかになり挙げた点。チャンスは打点を上げる機会なので、打点はチャンスの多さと正の相関をもつと考えられる。生還点というのは打者の時、打席結果が四球、一塁打、二塁打、三塁打のいずれかになり出塁し、後続の打者の打席結果により本塁に生還してあげた点。打席数が多いほど出塁する数が増えるため、生還点は打席数の多さと正の相関をもつと考えられる。この二つの指標は打席数とチャンスを同じ点数という単位で評価できるという利点を持つ。そして、この二つの指標を足したものを関与得点とした。関与得点は選手が直接得点に関わった貢献度を示す。

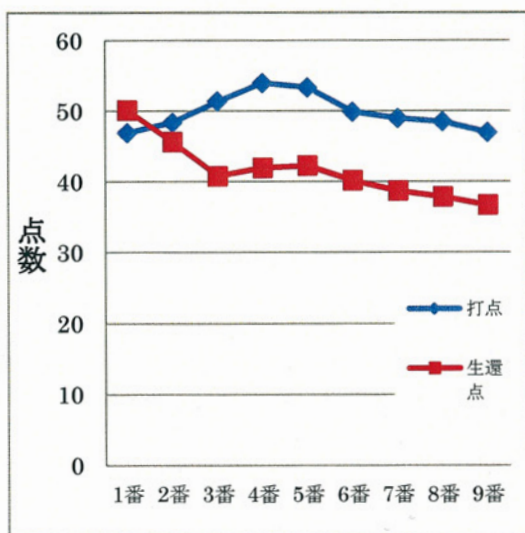


図2 打順別打点と生還点

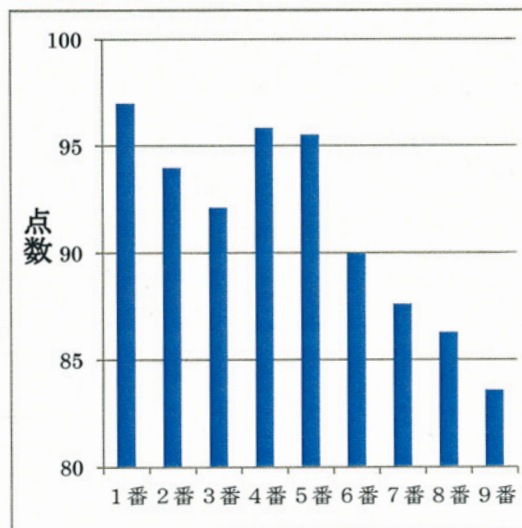


図3 関与得点

図2は9人の打者が全て表1の普通打者としたとき、1シーズンあたりの打点数と生還点数を表している。このグラフから、1番が最も生還点数が多い、つまり、本塁に還ること得点に関与しやすい打順であるということ、また、4番は打点を挙げやすい、つまり、

ヒットを打ち走者を選することで得点に関与しやすい打順であるということが分かる。

図3は、図2の打点と生還点を足したものである関与得点を示している。1番が最も関与得点が多く、続いて4番が多くなっている。この点で、実験1の結果と同様である。よって、最強打者を何番に置くべきかという目安として、得点に直接関わりやすい打順に置くべきであると言えそうだ。

しかし、関与得点で説明しきれないこともあるのも事実である。たとえば、表3のとおり最強打者を2番に置いた時と4番に置いた時とは総得点がほぼ同じという結果になったが、関与得点では2番がそれに比べて低く評価されている。この理由を考えていくと、2番打者の役割が見えてくる。関与得点というのは自分が直接関わった点を評価する指標であるが、2番打者は、打点を挙げず、本塁にも生還しないが、四球や安打を打ち、アウトにならないことで後続の打者につなぐことで、チームの得点力向上に貢献していると評価できる。つまり、2番打者というのはいわゆるつなぐ役割を求められる打順といえる。

この実験をまとめると最強打者は1番に置くべきであるということ。そして、その理由は、1番という打順が最も得点に直接関与しやすい打順だからだということだ。

しかし、これは3番や4番に最強打者を置くというプロ野球のセオリーとは異なっている。この理由は仮定が現実と離れたものであった可能性が考えられる。実際には、6～9番は打撃能力の低い打者が並ぶ下位打線がある。2巡目以降、1番打者は下位打線の直後に打席に立つため、下位打線の影響を最も受けてしまう。このことを考慮していないことが最強打者を1番に置くべきであるとなった原因だろう。

以後、下位打線を考慮した実験を行っていく。

2. 実験2

実験1から得られた下位打線を考慮すべきという考察を踏まえ、実際の打順構成に近づけるために、選手の種類を増やすことにした。セントラル・リーグでは9番に打率が極端に低い投手を置くことがほとんどである。今回はそのような打者がいる場合を実験することにした。

① 設定

打者の種類を最強打者1と普通打者と投手の3タイプで打順を組むとした。それぞれの打者の打撃能力は表1のとおりである。ただし、投手は9番に必ず置くとした。盗塁、犠打等の作戦は一切行わないとした。進塁率は0.5とした。

② 結果

1シーズン当たりの総得点の結果は、表4のようになった。

表4 実験2の結果

最強打者打順	なし	1	2	3	4	5	6	7	8
総得点	379.55	469.15	472.64	473.67	476.87	472.88	469.73	467.32	463.94

③ 考察

最強打者を4番に置いた場合が最も1シーズンあたりの総得点数が高くなるという結果になった。これは9番に打撃能力の低い打者がいることで、実験1の場合よりも走者がいない状況で1番打者に打席が回るが多くなったからだと考えられる。

3. 実験3

実験2と同様に実際の打順構成に近づけるために、普通打者の代わりに、上位打線型選手と下位打線型選手と最強打者の3タイプの選手で打線を組むときを考えた。

① 設定

上位打線型選手と下位打線型選手を設定し、それぞれ4人ずつと最強打者1人の計9人で打順を組むとした。それぞれの打者の打撃能力は表1のとおりである。上位打線型選手は1～5番に、下位打線型選手は6～9番に置くものとした。最強打者は1～5番のいずれかに置いた。盗塁、犠打等の作戦は一切行わないとした。進塁率は0.5とした。

② 結果

シーズン当たりの総得点の結果は、表5のようになった。

表5 実験3の結果

最強打者の打順	1	2	3	4	5
総得点	553.39	555.76	554.76	556.38	554.70

③ 考察

実験2と同様に、最強打者を4番に置いた場合が最も1シーズンあたりの総得点数が高くなるという結果になった。このような結果になった理由について打点、生還点、関与得点の視点から考察してみる。

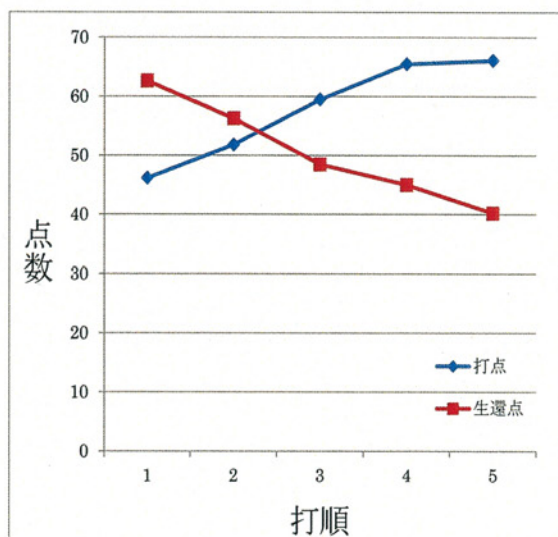


図5 打順別打点と生還点

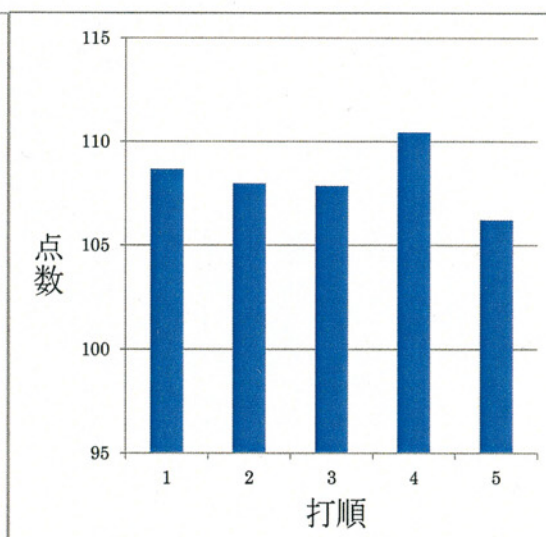


図6 関与得点

生還点は1番打者が最も高く打点は4番打者が最も高いというのは実験1と同じ傾向であるが、関与得点では4番打者が高くなるという結果になった。この理由は、下位打線を考慮したことで1番打者が稼げる打点が減ってしまった、つまり、1番打者が打席に立った際の塁上の走者数が減ってしまったからだと考え、各打順の打席に入った時の走者数を調べた。これを表したのが図7である。

図7からわかるように、下位打線が存在する場合1番打者に走者が少ない状況で回りやすくなる。このことで、打点を挙げにくくなり、関与得点の減少を招いたと言える。一方で、4番打者に走者が多い状況で回りやすくなったので、相対的に4番打者が最も得点に関与しやすい打順となり、最強打者は4番に置くべきであるという結果になった。

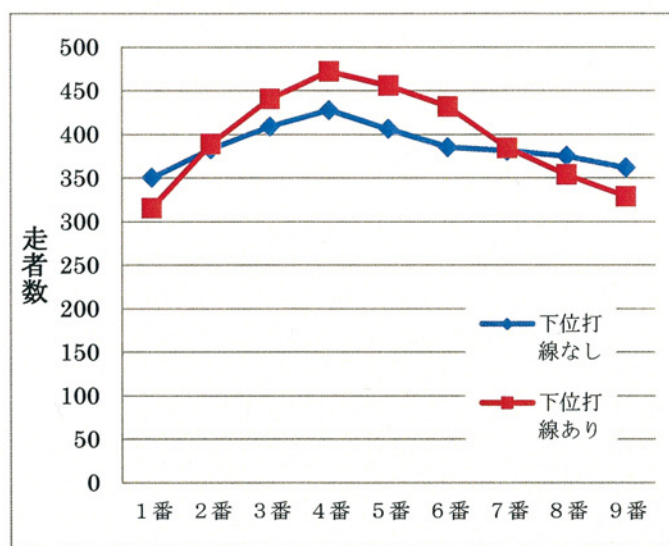


図7 1シーズンあたりの走者数

ただ、4番打者に次いで2番に最強打者を置くべきとなったことも興味深い。なぜなら、日本プロ野球では、2番に最強打者のような長打率の高い選手を置くより、バント成功率が高い選手を置くチームがほとんどであるからだ。つまり、実験3の結果と実際の打順の置き方が異なった。

したがって、この理由を明らかにするために、以後の実験においては、盗塁と犠打を考慮に入れると結果にどのように影響するかを考えていくこととする。

4. 実験4

犠打の得点に与える影響を調べる。犠打の目的は1点を取る確率を上げること、つまり、0点になる確率を下げることである。今回の実験では、1シーズンの総得点だけでなく、0点で終わった試合数も比較する。また、何番打者が犠打をすると0点となる試合が減るのか、も調べる。

① 設定

打線を普通打者のみで組むとした。そのうちの一人が犠打を企画する打者として1～9番の打順にそれぞれ置いた場合と全選手が犠打をする場合を実験した。犠打は成功すると走者がそれぞれ1つずつ進塁し、失敗すると、併殺になることはなく、アウト数が1つのみ増えるとした。また、犠打を企画した際に四球はないとした。犠打を企画する状況は無死一塁または一二塁とした。犠打の成功率は2012年度セ・パ両リーグの犠打数10以上の選手計58人の犠打結果をもとに0.899とした。

② 結果

シーズン当たりの得点分布の結果と犠打数は、表6のようになった。

表6 実験4の結果

犠打をする者の打順	全員	1番	2番	3番	4番	5番	6番	7番	8番	9番	しない
総得点	397.37	443.15	437.88	443.43	442.25	440.68	441.76	441.86	442.38	442.35	448.08
総犠打数	308.35	34.42	65.69	39.20	32.63	43.05	41.86	36.66	36.19	36.65	0.00
0点で終わった試合数	20.07	20.29	19.86	20.07	20.09	20.04	20.11	20.09	19.96	20.15	19.94

③ 考察

今回の実験では、2番打者が犠打をする場合を除き、犠打をしても0点になる確率は減らなかった。また、犠打を全くしない場合に比べて、犠打を行う打者がいる場合は、その打者の打順にかかわらず、総得点が少なくなった。つまり、犠打は総得点を上昇させるためには効果がないことがわかった。

この研究では総得点を上昇させることを目的としているから、今後の実験においては犠打を用いないとする。

5. 実験5

盗塁の得点に与える影響を調べる。盗塁の目的は1点を取る確率を上げること、つまり、0点になる確率を下げることである。今回の実験でも総得点に加え、0点で終わった試合数も比較する。また、何番打者が盗塁をすると0点となる試合が減るのか、も調べる。

① 設定

打線を普通打者のみで組むとした。そのうちの一人が盗塁を企画する打者として1～9番の打順にそれぞれ置いた場合と全選手が盗塁をする場合を実験した。盗塁は成功すると走者が1つ進塁し、失敗すると、アウト数が1つ増えるとした。盗塁を企画する状況はアウト数にかかわらず走者が一塁にいる場合とし、この状況では必ず盗塁を企画するとした。盗塁の成功率は2012年度セ・パ両リーグの盗塁数10以上の選手計36人の盗塁結果をもとに0.746とした。

② 結果

シーズン当たりの得点分布の結果と盗塁数は、表7のようになった。

表7 実験5の結果

盗塁する者の打順	全員	1番	2番	3番	4番	5番	6番	7番	8番	9番	しない
総得点	466.24	450.66	449.37	450.02	449.84	450.77	448.96	450.01	449.12	450.68	448.08
総盗塁数	716.92	84.32	74.85	68.77	64.54	66.83	65.55	62.09	60.15	58.77	0.00
0点で終わった試合	13.84	18.88	19.30	19.53	19.45	19.23	19.35	19.34	19.46	19.21	19.94

③ 考察

盗塁をすると、しない場合に比べて0点になる確率が減ることがわかった。さらに、総得点も上昇することが分かった。盗塁をすべき打順ということについては、1番打者が最も有効であること以外は一定の法則を見出すことはできなかった。

6. 実験6

実験4, 5を踏まえて、1番打者が盗塁をする選手である場合に、最強打者は何番に置くべきかを調べる。この実験は我々が行った実験の中で最も現実に近い実験である。

① 設定

上位打線型選手と下位打線型選手を設定し、それぞれ4人ずつと最強打者1人の計9人で打線を組むとした。それぞれの打者の打撃能力は表1のとおりである。上位打線型選手は1～5番に、下位打線型選手は6～9番に置くものとした。最強打者は2～5番のいずれかに置いた。実験5の結果を踏まえ、盗塁は1番打者のみがすると仮定した。盗塁は成功すると走者が1つ進塁し、失敗すると、アウト数が1つ増えるとした。盗塁を企画する状況はアウト数にかかわらず、走者一塁のときとした。成功率は0.746、盗塁企画率は0.5、犠打は行わないとした。進塁率は0.5とした。

② 結果

シーズン当たりの総得点の結果は、表8のようになった。

表 8 実験 6 の結果

最強打者の打順	2	3	4	5
総得点 (盗塁あり)	551.46	550.63	553.75	551.52
総得点 (盗塁なし)	555.76	554.76	556.38	554.70

③ 考察

1番打者が盗塁を行うとき、最強打者を4番に置いた場合が最も総得点が高くなるという結果になった。なお、実験3の結果と比較したところ、盗塁をすると総得点が減少するという結果になっている。これは盗塁失敗の際に走者がアウトになってしまうことが、最強打者が挙げる打点の減少につながり、総得点が減少したと考えられる。ホームランバッターが後続にいる場合は盗塁を行わず、走者がいる状況で打席を回すことを優先すべきであるということが言える。

V 結論

実験1より、下位打線がないチームであれば最強打者は1番に置くべきであるということ、また、下位打線があるチームでは、最強打者は4番に置くべきであるということが分かった。

そして、4番は塁上に走者がいる状況で最も打席に立ちやすく、打点を挙げやすいというだけでなく、生還点も比較的によく、総合的に最も得点に関与しやすい打順である。よって、その4番に最強打者を置くことで最強打者の能力を最大限に活かせるということが理由であるとわかった。

VI 今後の課題

今回の結果は2種類の最強打者で実験して得られたものであるため、最強打者の能力を変えても今回と同じ結果が得られるかどうかをわからない。ゆえに、異なった能力の最強打者で検証する必要がある。また、実際の野球では打順に並ぶ9人の能力がそれぞれ違うので、今後の実験では、選手の能力にさらにバリエーションを持たせて実験し、いずれは、実際のプロ野球チームのデータを用いて実験することを最終目標としたい。

VII 謝辞

この研究を進めるに際し、逐次、数学的考察方法についてご指導とご助言をくださった青谷先生に感謝いたします。

また、この論文を作成するに際し、文章の構成と表現についてご指導くださるとともに添削くださった砂原先生に感謝いたします。

VIII 参考文献

- [1] James, B. (1983) *The Bill James Baseball Abstract 1983* Ballantine Books
- [2] 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)
- [3] モンテカルロシミュレーションによる打線の数理的考察, 池田 洋介 (2007 年度 広島大学理学部数学科卒業論文)
- [4] モンテカルロシミュレーションによる送りバントの効果と最適打線の数理的考察,
中尾 健太 (2008 年度 広島大学理学部数学科卒業論文)