野球競技における盗塁に関する考察

平 野 忠 男・小 野 美 貴
真 鍋 豊 宏・金 井 　 兼

Study on Base Stealing in Baseball Game

Todao HIRANO, Miki ONO
Toyohiro MANABE, Ken KANAI

The purpose of this study is to consider the effect of base stealing in the baseball game. We have made a theoretical reasoning on calculating what the rate of success of base stealing is favorable to runs, and then examined it through the computer simulation.
One of our conclusions drawn from the research suggests that probability of success of base stealing, by calculating and simulation, are coinciding when the ability of pitchers of both teams are similar. When the ability of pitchers are different values of probability of base stealing by calculating and simulation are some different.

1．まえがき

野球を理論的に考えれば、状態推移確率及び、各塁状態において最適の戦略をとり相手チームに勝つという事になるが、人為的或いは心理的影響も無視できない。これらを調べる事を目的として、従来理論面或いは計算機シミュレーションによる結果と実データを比較する事により種々調べてきた[1~3]。今回は盗塁の効果についての検討結果を報告する。

2．理論

野球は厳密にはマルコフ過程と考えるべきであるが、次の状態への推移確率を求める事が不可能に近いので、以下理論面では手計算で論じられる程度まで野球モデルを簡素化して計算する[4]事にする。以下にその仮定を記す。

2-1．仮定

(1)チーム内の打者の打撃能力は均一である。

(2)打者の打撃の結果によってのみ塁上の走者は変化する。即ち暴投、牽制死、補逸、ボーク等は考えない。

(3)打者の打撃の結果は、アウト、四死球、単打、二、三、本塁打のいずれかである。

2-2．計算に必要な変数、関数及び計算結果

上記の仮定のもとでチームの打撃能力は

$$S = (P, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) \quad \ldots (2.1)$$

で表される。ここで、Pは打者がアウト以外の５つの打撃の結果(以下ｐヒットと呼ぶ)を生ずる確率、α_i(i=0～4)は打撃の結果がｐヒットのいずれかであったときに、それぞれが四死球、単打、二、三、本塁打である条件付確率であり、従って

$$\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1 \quad \ldots (2.2)$$

上式が成り立つ。また攻撃の局面の状態は$(i, x_1 x_2 x_3)$で表される。ここでｉ(i=0,1,2)はアウト数、x_j(j=1,2,3)

はｊ塁上に走者がいるとき１、いないとき０をとる。この際、次の関数を定義する。一般にこれらの関数は前記Ｓの関数であるが、今はＳを固定して考える。

$\mu(i,x_1x_2x_3)$：$(i,x_1x_2x_3)$を初期状態とし、イニング終了までの期待得点数

$r(i,x_1x_2x_3)$：$(i,x_1x_2x_3)$を初期状態とし、イニング終了までに得点のはいる確率

$\phi_n(i,x_1x_2x_3)$：$(i,x_1x_2x_3)$を初期状態とし、イニング終了までにｎ点獲得する確率

$P_n(m,i,x_1x_2x_3)$：$(i,x_1x_2x_3)$を初期状態としイニング終了までにｍ本のｐヒットが生ずる時ｎ点獲得する確率

上記の関数ϕnを用いれば下式が求まる。

$$\mu(i,x_1x_2x_3)=\sum_{n=1}^{\infty} n\phi_n(i,x_1x_2x_3) \qquad \cdots \quad (2.3)$$

$$r(i,x_1x_2x_3)=1-\phi_0(i,x_1x_2x_3) \qquad \cdots \quad (2.4)$$

ｉアウトを初期状態とし、イニング終了までにｍ本のヒットを生む確率を$\prod_m^i$とすれば

$$\prod\nolimits_m^i=\binom{m+2-i}{2-i}P^m(1-p)^{3-i} \qquad \cdots \quad (2.5)$$

となり、この際下記性質１～性質３が成り立つ。

性質１：$\phi_n(i,x_1x_2x_3)=\sum_{l=0}^{3}P_n(n-k+l,i,x_1x_2x_3)\prod_{n-k+l}^{i}$　　$\cdots$ (2.6)

　　但し　$k=\sum_{j=1}^{3}x_j$　，　$P_n(m,i,x_1x_2x_3)=0\ (m\leqq 0)$

性質２：$P_n(m,i,x_1x_2x_3)=P_n(m,0,x_1x_2x_3)$　　$\cdots$ (2.7)

　　但し　$i=0,1,2$

性質３：$\phi_n(i,x_1x_2x_3)=\phi_{n-k}(i,000)$　　$\cdots$ (2.8)

　　但し　$n\geqq k+1$　で　$k=\sum_{j=1}^{3}x_j$

上記の性質を利用すると計算に必要な$P_n(m,i,x_1x_2x_3)$の値は以下の８個の式ですむ。

$$\left.\begin{aligned}
&P_0(1,0,000)=\alpha_0+\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3\\
&P_0(2,0,000)=\alpha_0(\alpha_0+\alpha_1+\alpha_2)+\alpha_1(\alpha_0+\alpha_1+\alpha_2)+\alpha_2\alpha_0+\alpha_3\alpha_0\\
&P_0(3,0,000)=\alpha_0P_0(2,0,000)\\
&P_0(1,0,100)=\alpha_0+\alpha_1+\alpha_2\\
&P_0(2,0,100)=\alpha_0(\alpha_0+\alpha_1+\alpha_2)\\
&P_0(1,0,010)=\alpha_0\\
&P_0(2,0,010)=\alpha_0^2\\
&P_0(1,0,110)=\alpha_0
\end{aligned}\right\}\quad (2.9)$$

以下(2.1)～(2.9)式を利用して詳細な計算をすれば、下記の式が求められる。

<無走者>

$$r(i,000)=1-\left\{\prod\nolimits_0^i+P_0(1,0,000)\prod\nolimits_1^i+P_0(2,0,000)\prod\nolimits_2^i+P_0(3,0,000)\prod\nolimits_3^i\right\}$$

$$\mu(i,000)=\sum_{n=1}^{\infty}n\prod\nolimits_n^i-P_0(1,0,000)\sum_{n=1}^{\infty}\prod\nolimits_n^i-P_0(2,0,000)\sum_{n=2}^{\infty}\prod\nolimits_n^i-P_0(3,0,000)\sum_{n=3}^{\infty}\prod\nolimits_n^i$$

<一走者>

$$r(i,100)=1-\left\{\prod\nolimits_0^i+P_0(1,0,100)\prod\nolimits_1^i+P_0(2,0,100)\prod\nolimits_2^i\right\}$$

$$
\left.
\begin{aligned}
& r(i.010) = 1 - \prod_0^i + P_1(1.0.010)\prod_1^i + P_1(2.0.010)\prod_2^i \\
& r(i.001) = r(i.010)\text{、}\mu(i.x_1\,x_2\,x_3) = \mu(i.000) + r(i.x_1\,x_2\,x_3) \quad \text{但し} \sum_{j=1}^{3} x_j = 1 \\
& \text{<二走者>} \\
& r(i.x_1\,x_2\,x_3) = 1 - \prod_0^i + P_1(1.0.110)\prod_1^i \quad \text{但し} \sum_{j=1}^{3} x_j = 2 \\
& \mu(i.110) = \mu(i.000) + r(i.100) + r(i.110) \\
& \mu(i.101) = \mu(i.110) \\
& \mu(i.011) = \mu(i.000) + r(i.010) + r(i.110) \\
& \text{<満塁>} \\
& r(i.111) = 1 - \prod_0^i \\
& \mu(i.111) = \mu(i.000) + r(i.100) + r(i.110) + r(i.111)
\end{aligned}
\right\} \quad (2.10)
$$

アウトでの走者の進塁はないという仮定と、単打で二塁走者は必ず生還できるという仮定の下で、走者二塁と、走者三塁は同等となる。また走者一、二塁と、走者一、三塁の場合も同等とみなされる。実際には、二塁ゴロなどでアウトの場合でも三塁走者は生還というケースや、ヒットの場合でも二塁走者が本塁上で刺されるなどのケースもしばしば見られる。この様に、モデルと実際との差は若干見られる。

2-3. 盗塁についての検討

攻撃の局面を $(i, x_1 x_2 x_3)$ とする。

盗塁は走者全員が試みる事とし、その失敗は最も進んでいる走者のみの盗塁失敗と考える。盗塁が成功すれば、局面は $(i, 0 x_2 x_3)$ へと変化し、$x_3=1$ならば1点が得点される。失敗の時局面は $(i+1, x_1' \, x_2' \, x_3')$ へと変化する。但し、$x_1'=0$, $x_2'=x_1 \cap (x_2 \cup x_3)$、$x_3'=x_2 \cap x_3$をもたらす。即ちアウト数が1つ増し、塁上には盗塁前に一塁走者と二塁走者ないし三塁走者がいた場合には、二塁走者が残り二塁及び三塁に走者がいた場合には三塁走者が残る。

盗塁成功率をP_Sとすれば、盗塁後の平均得点は、

$$T_S = P_S\,(x_3 + \mu(i, 0\,x_1\,x_2)) + (1-P_S)\,\mu(i+1, x_1'\,x_2'\,x_3') \qquad \ldots \quad (2.11)$$

で表される。また、盗塁をしない場合の平均得点は　$\mu\ (i, x_1 x_2 x_3)$　で表される。これと先に述べたT_Sと比較して　$T_S \geqq \mu\ (i, x_1 x_2 x_3)$　の関係より各局面ごとに盗塁という作戦が良策であるために要求される最低の盗塁成功率　$P_S^*\ (i, x_1 x_2 x_3)$　が求められる。上記不等式より

$$P_S^*(i, x_1\,x_2\,x_3) \geqq \frac{\mu(i, x_1\,x_2\,x_3) - \mu(i+1, x_1'\,x_2'\,x_3')}{x_3 + \mu(i, 0\,x_1\,x_2) - \mu(i+1, x_1'\,x_2'\,x_3')} \qquad \ldots \quad (2.12)$$

が求められる。

また、どうしても1点が欲しいときの盗塁の決定に関しては、μの代わりに得点のはいる確率 r を用いればよい。

この時の最低盗塁成功率は、P_S^*の時と同様に

$$P_S^*(i, x_1\,x_2\,x_3) \geqq \frac{r(i, x_1\,x_2\,x_3) - \mu(i+1, x_1'\,x_2'\,x_3')}{max(x_3, r(0\,x_1\,x_2)) - r(i+1, x_1'\,x_2'\,x_3')} \qquad \ldots \quad (2.13)$$

で与えられる。

3. 計算機シミュレーション

以上理論計算式を記したが、これにより得られる値と計算機シミュレーションにより得られる値を比較し問題点を検討することにする。

3-1．シミュレーションの方法

シミュレーションの方法については従来発表しているので[5]詳細は省くが要点として

(1)塁状態表、得点表、アウト表を考える。

(2)入力する値として、各選手の平均打率（四死球、単打、二、三、本塁打、ゴロ、フライ等計十項目）を考え乱数利用により打撃種類を決定する。

(3)状態変化（塁状態、得点、アウト数）は色々の場合が考えられるので三次元の配列表を使用する。（表１）

(4)乱数は混合型合同法を用い、除数は　$M=2^{31}$を使用して各打者ごとに乱数を発生させて試合を進める。

(5)データは本学野球部のスコアーブック及びセ・リーグのデータを使用した。

以上の点を考慮して行う。また、プログラムはFORTRANで作成し、流れ図は図１に示す。

表１　塁状態推移表

打撃状態	単打	2塁打	3塁打	本塁打	四死球	三振	ゴロ	フライ	エラー	失策
1 000	2	3	5	1	2	1	1	1	2	1
2 001	4 6	3 7	5	1	4	2	1 2 3	2	3	1
3 010	2 6	3	5	1	4	3	2 3 5	3 5	5	1
4 011	6 8	3 7	5	1	8	4	5 6 7	4 6	6 7	2 3
5 100	2	3	5	1	6	5	1 2 5	1 5	1	1
6 101	4 6	3 7	5	1	8	6	1 3 4	2 3 6	2 3 7	2 5
7 110	2 6	3	5	1	8	7	5 6 7	3 5 7	3 5	3 5
8 111	6 8	3 7	5	1	8	8	5 7	4 6 8	4 6 7	4 6 7

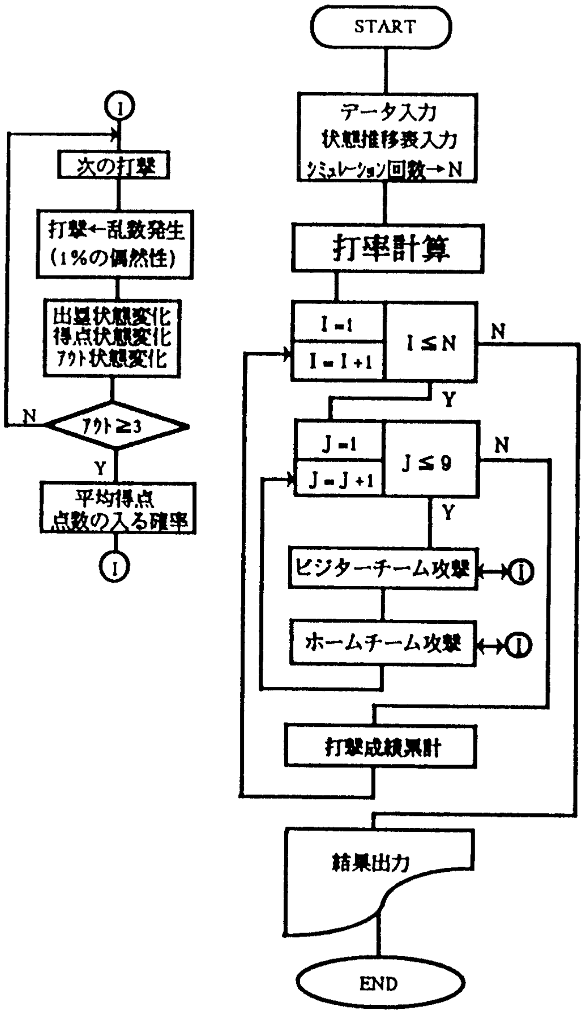

図１　計算機シミュレーションの方法

４．結果及び考察

4-1．最低盗塁成功率の計算

まず、89年度セ・リーグ各チーム及び当大学野球部の打撃データの要約を表２に記す。これを用いて（2.9）（2.10）式より r 、μ を計算し、（2.12）式、（2.13）式より$P_S^{r'}$、P_S^{r}を求める。この結果を表３に記す。

4-2．シミュレーションの条件

盗塁成功率の勝率への影響を見るために表２の任意のチームのデータを用いてシミュレーションを行った。そ

の際先攻、後攻とも同一条件とし、後攻チームのみ以下の条件で盗塁を考える。即ち、アウト数＝０または１、走者一塁で打者が三、四、五番の何れかであったときに盗塁を試みさせた。その時、盗塁成功率を順次変化させていき、先攻と後攻の勝率が等しくなる時の盗塁成功率を最低盗塁成功率のシミュレーション値とした。後攻の最低盗塁成功率と、勝率の関係の一例を図２に示す。これより勝率が0.5になるときの値を求め表３に記す。表３中の（　）の値は計算値でアウト数0,1の平均を表す。内容を見るとＧ、Ｔの２チームは計算値とシミュレーション値との差が大きい。このような現象は、計算値の場合はリーグ平均防御率2.63を、またシミュレーション値の場合は各チーム平均防御率を使用したために起こったと思われる。よって、この2.63よりも値が良いチームは相対的に出塁率も低下し、また悪いときは出塁率は大きくなり、μの値も増加する。

この際には、一般的に最低盗塁成功率P_sの値も大きくなっている。以上のような理由から、防御率の値が2.63より離れた値を持つＧ、Ｔの２チームには計算値とシミュレーション値での格差が生まれ、近かったその他のチームはほぼ近い値を得る事ができた。なお、格差の大きくでたＧ、Ｔのチームに関しては防御率を考慮して出塁率を修正、新たに最低盗塁成功率P_s（0,100）を求めた結果、Ｇ：0.583Ｔ：0.83となり比較的シミュレーション値に近い値を得る事ができた。

表２ 打撃データ

チーム＼内容	P	α_0	α_1	α_2	α_3	α_4
G	0.304	0.253	0.256	0.139	0.015	0.067
C	0.304	0.278	0.550	0.102	0.01	0.06
D	0.300	0.315	0.452	0.122	0.004	0.107
Y	0.272	0.256	0.523	0.109	0.011	0.101
W	0.284	0.240	0.526	0.162	0.017	0.055
T	0.293	0.286	0.488	0.106	0.018	0.103
F	0.361	0.244	0.581	0.119	0.031	0.025

表３　最低盗塁成功率

チーム＼アウト数	計算値			シミュレーション値	
	0	1	2	0，1	0
G	0.687	0.613	0.529	0.63(0.65)	0.575
C	0.672	0.619	0.524	0.686(0,645)	0.65
D	0.706	0.645	0.608	0.663(0.675)	0.655
Y	0.658	0.597	0.541	0.714(0.623)	0.716
W	0.652	0.572	0.495	0.710(0.612)	0.708
T	0.699	0.631	0.581	0.794(0.670)	0.785
F	0.786	0.680	0.576	0.763(0.733)	0.751

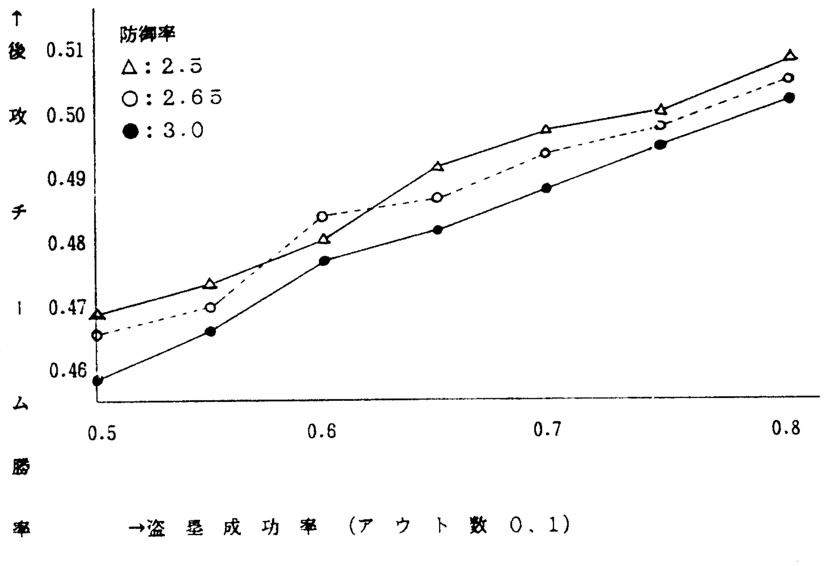

図１　盗塁成功率と勝率

4-3. 防御率を同一にした場合の検討

防御率の影響を除き、最低盗塁成功率P_sのみの影響を見るために、セ・リーグG、T２チームのデータを用いて対戦させた。その条件を、

ⅰ)両チームのP_sの計算値を用いたとき（G：0.688、T：0.699）。

ⅱ)シミュレーション値を用いたとき（G：0.575、T：0.729）。

とした。また防御率の値は、リーグ平均防御率（平均値）と各チームの平均防御率（レギュラー）を使用した。上記の場合での対戦結果の勝率を表4に記す。それぞれを検討すると、ⅰ)では使用した打撃データの値がほぼ等しい事から、勝率も相対的に類似した結果を表している。またⅱ)では、ⅰ)の場合と同様打撃データはほぼ等しいので、値の差は防御率の持つ差が勝率に影響したものと思われる。よって、P_sの効果を明確に表すものであるといえる。

4-4. P_sの得点への影響

P_sをΔP変化させたときの得点の変化をΔTとして、各チームについて$\Delta T / \Delta P$を求めた結果を表5に記す。各々約防御率の二乗に比例している。

表4　P_s各値の検証

使用データ	平均値		レギュラー	
条件＼チーム	G	T	G	T
ⅰ	0.502	0.498	0.499	0.501
ⅱ	0.493	0.507	0.481	0.519

表5　P_sの得点への影響

チーム	G	C	D	Y	W	T
$\Delta T / \Delta P$	0.27	0.45	0.57	0.7	0.74	1.1
防御率	2.56	3.01	3.68	3.97	4.07	4.15

注：防御率はチーム平均値を使用

5．結び

盗塁を理論面及びシミュレーションにより検討し、投手防御率の影響を除けば両者の値は概略一致する事が判った。但し、盗塁成功率は本来塁走者に付与されるべきものであり、現在そのプログラムを作成中である。この結果を利用して更に各打順打者の打率と塁に出た際の盗塁成功率とを総合的に検討し、最適打順編成を試みる予定である。

終わりに本研究実施に当たり計算機操作その他に御協力を頂いた電子計算機センター、石井先生、清水先生、並びに卒研生山口、林、富田君に御礼申し上げる。

参考文献

1)高田、金井、平野：野球競技のシミュレーションと人為的影響、電気関係学会北陸支部連合大会Ｂ－９６(1989)

2)平野、山岡、金井：野球競技における各塁打の貢献度について、電気関係学会北陸支部連合大会Ｂ－８５(1990)

3)平野、小野、金井：野球競技における盗塁の効果、電気関係学会北陸支部連合大会Ｂ－１４２(1991)

4)鳩山：野球のＯＲ、オペレーションズ・リサーチ(Vol24,No4,1979)

5)平野、高田、松浦：状態推移表を用いた野球の攻撃面における打順の効果、福井工大研究紀要（第19号，1989)

6)G.R.Lindsey：An investigation of Strategies in baseball,Operations Research(1963,8)

（平成３年12月20日受理）