

# 野球競技において各塁打の得点に及ぼす効果

平野 忠男・金井 兼  
山岡 清寛・松浦 晃次

## Effect on Scores of Run by each Type of Base Hit in Baseball Game.

Tadao HIRANO, Ken KANAI

Kiyohiro YAMAOKA, Koji MATSUURA

The purpose of this study is to consider the behaviour of each type of base hit in contributing to scores of run in the baseball game. We have made a theoretical reasoning on calculating the run due to base runner, and then examined it through the computer simulation.

One of our conclusions drawn from the research suggests that factors of contribution, by calculation and simulation, are coinciding in either case. Values of contribution factor to scores of run owing to four balls, single hit, two-base hit, three-base hit and home run correspond to 0.7, 1, 1.31, 1.55, 2.23 respectively.

### 1. まえがき

野球は我が国に於いて最も人気のある競技であり愛好者も多い。野球を理論的に考えれば、状態推移確率及び各状態に応じて最適の戦略をとり相手チームに勝つという内容であり、十分にORの見地からも検討できるように思われる。先の報告<sup>(1)</sup>において野球の計算機シミュレーションの方法及びその応用例を報告した。更に競技における心理面、戦略面等人為的影響を見るため、各塁状態、アウト状態においてインニング終了までに得点のはいる確率、或いは期待できる得点数について、理論計算値、計算機シミュレーションにより得られた値、実際のスコアブックより得られた値を比較し、データ数は少ないが一応の傾向が得られた<sup>(2)</sup>。今回は各塁打の得点に与える効果について理論面及び計算機シミュレーションにより検討した結果を報告する。

### 2. 理論

野球をマルコフ過程と考えれば攻撃面における状態は厳密には $2592 (= 8 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 4)$ であり、次の状態への推移確率を求めることは不可能に近いので、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ことにする。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。即ち盗塁、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。それぞれの解釈を表2-1に記す。

#### 2-2. 計算に必要な変数、関数の説明

以上の仮定の下でチームの打撃能力は、

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

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、 $\alpha_i (i=0 \sim 4)$ 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

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

上式が成り立つ。また攻撃の局面の状態は $(i, x_1 \times x_2 \times x_3)$ 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。

$\mu(i, x_1 \times_2 \times_3)$  :  $(i, x_1 \times_2 \times_3)$  を初期状態とし、インニング終了までの期待得点数。  
 $r(i, x_1 \times_2 \times_3)$  :  $(i, x_1 \times_2 \times_3)$  を初期状態とし、インニング終了までに得点のはいる確率  
 $\phi_n(i, x_1 \times_2 \times_3)$  :  $(i, x_1 \times_2 \times_3)$  を初期状態とし、インニング終了までに  $n$  点獲得する確率  
 $P(m, i, x_1 \times_2 \times_3)$  :  $(i, x_1 \times_2 \times_3)$  を初期状態とし、インニング終了までに  $m$  本の  $p$  ヒットが生ずる時  $n$  点獲得する確率

上記の関数  $\phi_n$  を用いれば下式が求まる。

$$\mu(i, x_1 \times_2 \times_3) = \sum n \phi_n(i, x_1 \times_2 \times_3) \quad \dots (2.3)$$

$$r(i, x_1 \times_2 \times_3) = 1 - \phi_0(i, x_1 \times_2 \times_3) \quad \dots (2.4)$$

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

$$\Pi_m^i = \binom{m+2-i}{2-i} P^m (1-P)^{3-i} \quad \dots (2.5)$$

となり、この際下記性質1～性質3が成り立つ<sup>(4)</sup>。

$$\text{性質1 : } \phi_n(i, x_1 \times_2 \times_3) = \sum_{l=0}^3 P_h(n-k+1, i, x_1 \times_2 \times_3) \Pi_{n-k+1}^i \quad \dots (2.6)$$

$$\text{ただし } k = \sum_{j=1}^3 x_j, \quad P_h(m, i, x_1 \times_2 \times_3) = 0 \quad (m \leq 0)$$

$$\text{性質2 : } P_h(m, i, x_1 \times_2 \times_3) = P_h(m, 0, x_1 \times_2 \times_3) \quad \dots (2.7)$$

$$\text{ただし } i = 0, 1, 2$$

$$\text{性質3 : } \phi_n(i, x_1 \times_2 \times_3) = \phi_{n-k}(i, x_1 \times_2 \times_3) \quad \dots (2.8)$$

$$\text{ただし } n \geq k+1 \quad \text{で} \quad k = \sum_{j=1}^3 x_j$$

上記の性質を利用すると計算に必要な  $P_h(m, i, x_1 \times_2 \times_3)$  の値は以下の8個の式ですむ。

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

本報告の目的は各塁打の得点への貢献度を求めることにあり、即ち  $\mu(0, 000)$  を求める必要がある。上記性質1～3及び(2.5)(2.9)式を用いて(2.3)式の  $\mu$  を変形する。以下の計算は走者無しとして、 $x_1 \times_2 \times_3 = 000=0$  と略記する。(2.3)式より

$$\mu(0, 000) = \mu(0, 0) = \phi_1(0, 0) + 2\phi_2(0, 0) + 3\phi_3(0, 0) + \dots \quad \dots (2.10)$$

性質1より、 $k=0$ 、また、 $P_h(m, i, x_1 \times_2 \times_3) = P_h(m, 0, 000) = P_h(m, 0, 0) = P_h(m)$  と略記すれば、

$$\left. \begin{aligned} \phi_1(0, 0) &= P_1(1)\Pi_1^0 + P_1(2)\Pi_2^0 + P_1(3)\Pi_3^0 + P_1(4)\Pi_4^0 \\ 2\phi_2(0, 0) &= 2 \{P_2(2)\Pi_2^0 + P_2(3)\Pi_3^0 + P_2(4)\Pi_4^0 + P_2(5)\Pi_5^0\} \\ 3\phi_3(0, 0) &= 3 \{P_3(3)\Pi_3^0 + P_3(4)\Pi_4^0 + P_3(5)\Pi_5^0 + P_3(6)\Pi_6^0\} \\ &\dots\dots \\ n\phi_n(0, 0) &= n \{P_n(n)\Pi_n^0 + \dots + P_n(m)\Pi_m^0\} \end{aligned} \right\} (2.11)$$

(2.11)式を各辺加えれば(2.10)式の関係より、

$$\begin{aligned} \mu(0, 000) &= P_1(1)\Pi_1^0 + \{P_1(2) + 2P_2(2)\} \Pi_2^0 + \{P_1(3) + 2P_2(3) + 3P_3(3)\} \Pi_3^0 + \dots \\ &= P_1(1)\Pi_1^0 + A\Pi_2^0 + B\Pi_3^0 + \dots = \alpha_0\Pi_1^0 + A\Pi_2^0 + B\Pi_3^0 + \dots \\ &= \{1 - P_0(1)\} \Pi_1^0 + A\Pi_2^0 + B\Pi_3^0 + \dots \quad \dots (2.12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= P_1(2) + 2P_2(2) = \{P_0(2) + P_1(2) + P_2(2)\} + P_2(2) - P_0(2) \\ &= 1 + \alpha_0(\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) - P_0(2) = 1 + \alpha_4 - P_0(2) \\ &= 2 - (1 - \alpha_4) - P_0(2) = 2 - P_0(1) - P_0(2) \quad \dots (2.13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= P_1(3) + 2P_2(3) + 3P_3(3) \\
 &= \{P_0(3) + P_1(3) + P_2(3) + P_3(3)\} + P_2(3) + 2P_3(3) - P_0(3) \\
 &= 1 + \{P_2(3) + P_3(3)\} + P_3(3) - P_0(3) \quad \dots (2.14)
 \end{aligned}$$

$P_3(3) = \alpha_3 \{P_0(2) + P_1(2) + P_2(2)\} = \alpha_3$  であるから

$$\begin{aligned}
 (2.14) \text{式} &= 1 + \{P_2(3) + P_3(3) + P_0(3) + P_1(3)\} - \{P_0(2) + P_1(2)\} - P_0(3) \\
 &= 2 + \alpha_3 - \{P_0(3) + P_1(3)\} - P_0(3) \\
 &= 3 - (1 - \alpha_3) - \{P_0(3) + P_1(3)\} - P_0(3) \\
 &= 3 - P_0(1) - \{\alpha_0 P_0(2) + P_1(3)\} - P_0(3) \quad \dots (2.15)
 \end{aligned}$$

(2.15)式で  $\alpha_0 P_0(2) + P_1(3) = (1 - \alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4)P_0(2) + P_1(3) \approx (1 - \alpha_1 - \alpha_2)P_0(2) + \alpha_1 P_0(2) + \alpha_0 P_1(2) + \alpha_2 P_0(2) = P_0(2) + \alpha_0 P_1(2)$  であるから

$$\begin{aligned}
 (2.14) \text{式} &= 3 - P_0(1) - P_0(2) - P_0(3) + \alpha_0 P_1(2) \\
 &\approx 3 - P_0(1) - P_0(2) - P_0(3) \quad \dots (2.16)
 \end{aligned}$$

(2.11)式における  $\Pi_0^i$ ,  $\Pi_3^i$  の係数についても同様に計算できる。(2.10)式に(2.11)~(2.16)を代入し整理すれば、

$$\begin{aligned}
 \mu(0,000) &= (\Pi_1^0 + 2\Pi_2^0 + 3\Pi_3^0 + \dots) - P_0(1)\Pi_1^0 - \{P_0(1) + P_0(2)\} \Pi_2^0 \\
 &\quad - \{P_0(1) + P_0(2) + P_0(3)\} \Pi_3^0 - \dots \\
 &= \sum_{n=1}^{\infty} n \Pi_n^0 - P_0(1) \sum_{n=1}^{\infty} \Pi_n^0 - P_0(2) \sum_{n=2}^{\infty} \Pi_n^0 - P_0(3) \sum_{n=3}^{\infty} \Pi_n^0 \quad \dots (2.17)
 \end{aligned}$$

(2.3)(2.4)で  $i, x_i$  が0でない場合も同様に計算できる。

### 2-3. 各塁打の得点への貢献度

チームの1イニングの平均得点  $\mu(0,000)$  は打撃能力  $S$  の関数でありこれを  $f(S)$  で表す。まず四死球率 ( $P_0 = \alpha_0 P$ ) の変化により平均得点  $f(S)$  がいかに変化するかを調べる。いま  $P_0$  が  $\epsilon$  増したとすると、四球は  $p$  ヒットの一種であるから、 $p$  ヒットの全打席数にたいする割合は  $P + \epsilon$  へ移行する。ヒットの中での四球の割合は  $\alpha_0$  から、

$$\alpha_0' = \frac{\alpha_0 P + \epsilon}{P + \epsilon} = \frac{\alpha_0(P + \epsilon) + \epsilon - \alpha_0 \epsilon}{P + \epsilon} \approx \alpha_0 + \frac{1 - \alpha_0}{P} \epsilon \quad \dots (2.18)$$

へ変化する。他のヒットの割合は  $\alpha_j$  ( $j=1, 2, 3, 4$ ) から、

$$\alpha_j' = \frac{\alpha_j P}{P + \epsilon} = \frac{\alpha_j(P + \epsilon) - \alpha_j \epsilon}{P + \epsilon} \approx \alpha_j - \frac{\alpha_j}{P} \epsilon \quad \dots (2.19)$$

に減少する。四球率  $P_0$  の増加による平均得点の増加を  $\Delta f$  とすれば、

$$\begin{aligned}
 \Delta f &= f\{P + \epsilon, \alpha_0', \alpha_i (j=1 \sim 4)\} - f\{P, \alpha_0, \alpha_i\} \\
 &= f\{P + \epsilon, \alpha_0', \alpha_i\} - f\{P, \alpha_0', \alpha_i\} + f\{P, (\alpha_0 + \frac{1 - \alpha_0}{P} \epsilon), \alpha_i\} - f\{P, \alpha_0, \alpha_i\} \\
 &\quad + f\{P, \alpha_0, (\alpha_i - \frac{\alpha_i}{P} \epsilon)\} - f\{P, \alpha_0, \alpha_i\} \\
 &= \frac{\partial f}{\partial P} \epsilon + \frac{1 - \alpha_0}{P} \epsilon \frac{\partial f}{\partial \alpha_0} - \sum_{j=1}^4 \frac{\alpha_j}{P} \epsilon \frac{\partial f}{\partial \alpha_j} \\
 \therefore \frac{d f}{d P_0} &= \frac{d f}{d \epsilon} = \frac{\partial f}{\partial P} + \frac{1 - \alpha_0}{P} \frac{\partial f}{\partial \alpha_0} - \sum_{j=1}^3 \frac{\alpha_j}{P} \frac{\partial f}{\partial \alpha_j} - \alpha_4 \quad \dots (2.20)
 \end{aligned}$$

同様に単打率  $P_1$ 、2, 3, 本塁打率 ( $P_2, P_3, P_4$ ) の増加による平均得点の増加率はそれぞれ、

$$\frac{d f}{d P_i} = \frac{\partial f}{\partial P} + \frac{1 - \alpha_i}{P} \frac{\partial f}{\partial \alpha_i} - \sum_{j=0}^3 \frac{\alpha_j}{P} \frac{\partial f}{\partial \alpha_j} \quad (i=1, 2, 3) \quad \dots (2.21)$$

$$\frac{d f}{d P_4} = \frac{\partial f}{\partial P} - \sum_{j=0}^3 \frac{\alpha_j}{P} \frac{\partial f}{\partial \alpha_j} + (1 - \alpha_4) \quad \dots (2.22)$$

となる。

$f(S) = \mu(0,000)$ であり、また(2.17)式において、 $P_0(m) = P_0(m,0,000)$ であり、これは(2.9)式より $\alpha_i (i=0 \sim 4)$ のみの関数であるから、(2.17)式における他の $\sum n \Pi_n^0$ 、 $\sum \Pi_n^0$ の項を $P$ の関数として表すことを考える。

(2.5)式より

$$\Pi_n^0 = \binom{n+2}{2} P^n (1-P)^3 = \frac{(n+2)(n+1)}{2} P^n (1-P)^3 \quad \dots (2.23)$$

であるから、

$$A(P) = \sum_{n=1}^{\infty} P^{n+2} = P^2 \sum_{n=1}^{\infty} P^n = P^2 \frac{P}{1-P} = \frac{P^3}{1-P} \quad \dots (2.24)$$

とおくと、

$$\left. \begin{aligned} A'(P) &= \sum_{n=1}^{\infty} (n+2) P^{n+1} = \frac{P^2(3-2P)}{(1-P)^2} \\ A''(P) &= \sum_{n=1}^{\infty} (n+2)(n+1) P^n = \frac{2P(3-3P+P^2)}{(1-P)^3} \\ A'''(P) &= \sum_{n=1}^{\infty} n(n+2)(n+1) P^{n-1} = \frac{6}{(1-P)^4} \end{aligned} \right\} (2.25)$$

となる。(2.23)式に上記 $A''(P)$ の関係を用いて、

$$\sum_{n=1}^{\infty} \Pi_n^0 = \frac{A''(P)}{2} (1-P)^3 = P(3-3P+P^2) \quad \dots (2.26)$$

同様に

$$\sum_{n=1}^{\infty} n \Pi_n^0 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n(n+1)(n+2)}{2} P^n (1-P)^3 = \frac{A'''(P)}{2} P (1-P)^3 = \frac{3P}{1-P} \quad \dots (2.27)$$

$\sum_{n=2}^{\infty} \Pi_n^0$ 、 $\sum_{n=3}^{\infty} \Pi_n^0$  は  $\sum_{n=1}^{\infty} \Pi_n^0$  により容易に求めることができる。

(2.26)(2.27)式を(2.17)式へ代入すれば、

$$\begin{aligned} f(S) = \mu(0,000) &= \frac{3P}{1-P} - P_0(1,0,000)(3P-3P^2+P^3) - P_0(2,0,000) \sum_{n=2}^{\infty} \Pi_n^0 \\ &\quad - P_0(3,0,000) \sum_{n=3}^{\infty} \Pi_n^0 \quad \dots (2.28) \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned} \sum_{n=2}^{\infty} \Pi_n^0 &= \sum_{n=1}^{\infty} \Pi_n^0 - \Pi_1^0 = P(3-3P-P^2) - 3P(1-P)^3 = 3P^4 - 8P^3 + 6P^2 \\ \sum_{n=3}^{\infty} \Pi_n^0 &= \sum_{n=2}^{\infty} \Pi_n^0 - \Pi_2^0 = 3P^4 - 8P^3 + 6P^2 - 6P^2(1-P)^3 \\ &= P^3(6P^2 - 15P + 10) \end{aligned}$$

また、 $P_0(1,0,000)$ 、 $P_0(2,0,000)$ 、 $P_0(3,0,000)$ は(2.9)式のとうりである。以上の関係を(2.28)式へ代入すれば、

$$\begin{aligned} f(S) &= \frac{3P}{1-P} - (\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)(3P-3P^2+P^3) - (\alpha_0^2 + 2\alpha_0\alpha_1 + \alpha_1^2 + 2\alpha_0\alpha_2 + \alpha_1\alpha_2 + \alpha_0\alpha_3) \\ &\quad (3P^4 - 8P^3 + 6P^2) - (\alpha_0^3 + 2\alpha_0^2\alpha_1 + \alpha_0\alpha_1^2 + 2\alpha_0^2\alpha_2 + \alpha_0\alpha_1\alpha_2 + \alpha_0^2\alpha_3) \\ &\quad (6P^5 - 15P^4 + 10P^3) \quad \dots (2.29) \end{aligned}$$

(2.20)式における右辺各微分項は(2.29)式より求めることができる。即ち、

$$\begin{aligned} -\frac{\partial f}{\partial P} &= \frac{3}{(1-P)^2} - 3(1-P)^2 P_0(1,0,000) - 12P(1-P)^2 P_0(2,0,000) \\ &\quad - 30P^2(1-P)^2 P_0(3,0,000) \quad \dots (2.30) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha_0} = -P(P^2 - 3P + 3) - (2\alpha_0 + 2\alpha_1 + 2\alpha_2 + \alpha_3)P^2(3P^2 - 8P + 6) - (3\alpha_0^2 + 4\alpha_0\alpha_1 + \alpha_1^2 + 4\alpha_0\alpha_2 + \alpha_1\alpha_2 + 2\alpha_0\alpha_3)P^3(6P^2 - 15P + 10) \dots (2.31)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha_1} = -P(P^2 - 3P + 3) - (2\alpha_0 + 2\alpha_1 + \alpha_2)P^2(3P^2 - 8P + 6) - (2\alpha_0^2 + 2\alpha_0\alpha_1 + \alpha_0\alpha_2)P^3(6P^2 - 15P + 10) \dots (2.32)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha_2} = -P(P^2 - 3P + 3) - (2\alpha_0 + \alpha_1)P^2(3P^2 - 8P + 6) - (2\alpha_0^2 + \alpha_0\alpha_1)P^3(6P^2 - 15P + 10) \dots (2.33)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha_3} = -P(P^2 - 3P + 3) - \alpha_0 P^2(3P^2 - 8P + 6) - \alpha_0^2 P^3(6P^2 - 15P + 10) \dots (2.34)$$

(2.20)~(2.22)式に(2.30)~(2.34)式を代入して各塁打率の増加による平均得点の増加率を求めることができる。

### 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

状態推移表は最初にも記したように2592の次元を持つがこれを求めることは不可能であり、当面塁状態表、得点表、アウト表を考えた。各選手の平均打率(四死球、単打、2、3、本塁打、ゴロ、フライ等計10項目)を考え、乱数利用によりどの打撃になるか、即ち入力を決める。塁状態表、得点表、アウト表に上記入力を適用して次の新しい塁状態表、得点、アウト数が得られる。以下各打者毎に乱数を発生させて試合を進めていく。塁状態表を表3-1に、計算機シミュレーションの方法の流れ図を図3-1に記す。塁状態、得点、アウト数の変化はいろいろの場合が考えられるので3次元配列とし、それぞれの発生確率は0.5、0.3、0.2とした。

表3-1 塁状態推移表

打撃 状態	1 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
000	2	3	5	1	2	1	1	1	2	1
001	4 6	3 7	5	1	4	2	1 2 3	2	3	1
010	2 6	3	5	1	4	3	2 3 5	3 5	5	1
011	6 8	3 7	5	1	8	4	5 6 7	4 6 7	6 7	2 3
100	2	3	5	1	6	5	1 2 5	1 5	1	1
101	4 6	3 7	5	1	8	6	1 3 4	2 3 6	2 3 7	2 5
110	2 6	3	5	1	8	7	5 6 7	3 5 7	3 5	3 5
111	6 8	3 7	5	1	8	8	5 7	4 6 8	4 6 7	4 6 7

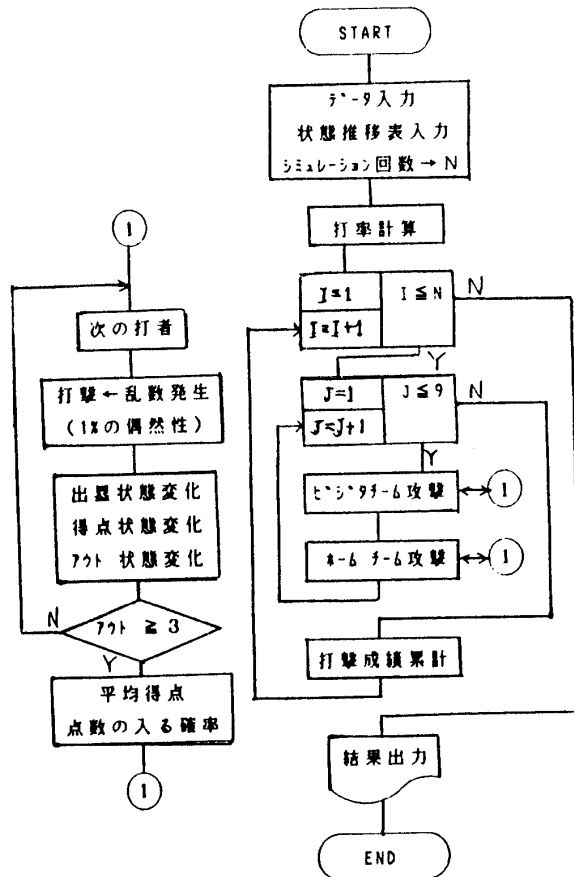


図3-1 計算機シミュレーションの方法

3-2. 各塁打の得点への影響

例えば四死球の場合  $df/dP_0$  を求めるには、入力データとなる四死球数(先攻、後攻計)を  $\pm 10\%$  変化し、この際シミュレーションより得られる総得点数の増加或いは減少を  $\Delta f$  とすれば、1 イニング当たり  $df/dP_0 = \Delta f / \text{シミュレーション回数} / (\alpha_0 P * 0.1) / (9 * 2)$  となる。他の塁打も同様に求めて求めることができる。また、毎試合毎の得点についても、塁打を  $10\%$  変化する前後の得点の変化を調べ、各塁打の影響を求めることができる。

4. 結果及び考察

4-1. 使用データ

当大学野球部の過去2年間のデータより得られた値は出塁率  $P=0.364$ ,  $\alpha_i (i=0,1,2,3,4)=0.331, 0.499, 0.113, 0.026, 0.031$  である。また、セ・リーグの平均値(昭63年)は  $P=0.325$ ,  $\alpha_i (i=0,1,2,3,4)=0.239, 0.528, 0.121, 0.014, 0.098$  である。

4-2. 結果

上記データを使用して、 $df/dP_i (i=0\sim 4)$  を理論計算及びシミュレーションにより求めた。シミュレーション回数は10万回とした。表4-1は当大学野球部のデータを使用して求めたもので、a欄は計算値、b欄はシミュレーションで総得点数の増加から求めた値、c欄は同じく1試合当たり平均得点の増加から計算した値である。表4-2はセ・リーグのデータを使用して求めた値で、a, b, c欄は表4-1と同じである。なおヒットで塁にでた走者が、その後如何に進塁していくかを当大学野球部のデータで調査した結果を表4-3に記す。

4-3. 結果要約及び考察

以上の結果を要約すれば下記のとおりである。

(1) 各塁打の貢献度計算値(a欄)は  $k_i = df/dP_i$  を基準にすれば当大学野球部及びセ・リーグの値は大体類似の傾向を示す。

(2) シミュレーションの結果はデータの整理方法により各  $df/dP_i$  の傾向が異なる。即ち全得点数の増加という見地からみると、各塁打の貢献度は従来いわれている値  $k_1:k_2:k_3:k_4=1:2:3:4$  に近い値を示すが、1試合当たり平均得点の増加という見地から整理すれば計算値に近い値を示す。

(3) 塁に出た走者の生還率(表4-3)を考慮して上記b欄の値を修正すれば、四球以外の各塁打の貢献度は近い値になる。表4-1について求めれば、 $k_1/0.316=1.97/0.316=6.23$ ,  $k_2/0.442=3.24/0.442=7.33$ ,  $k_3/1=7.86$ , 表4-2について計算すれば、 $k_1/0.316=5.19$ ,  $k_2=2.7/0.442=6.11$ ,  $k_4/1=6.11$  となる。

(4) 一般に計算値がシミュレーション値より高い値を示すが、これはシミュレーションでは、ダブルプレー、その他アウトになるケースも考慮していること、即ち計算ではこれらを考慮していないことも影響していると思われる。

表4-1 計算値とシミュレーション値の比較(工大)

	$k_0$ $df/dP_0$	$k_1$ $df/dP_1$	$k_2$ $df/dP_2$	$k_3$ $df/dP_3$	$k_4$ $df/dP_4$
a	3.52 0.8	4.35 1	5.22 1.2	6.46 1.49	8.99 2.07
b	1.66 0.84	1.97 1	3.24 1.64	5.3 2.69	7.86 3.99
c	1.9 0.63	2.7 1	3.8 1.4	4.3 1.6	6.3 2.3

表4-2 計算値とシミュレーション値の比較(セ・リーグ)

	$k_0$ $df/dP_0$	$k_1$ $df/dP_1$	$k_2$ $df/dP_2$	$k_3$ $df/dP_3$	$k_4$ $df/dP_4$
a	2.81 0.82	3.43 1	4.31 1.2	5.35 1.56	7.80 2.27
b	1.15 0.70	1.64 1	2.70 1.65	4.36 2.66	5.98 3.64
c	1.4 0.63	2.2 1	3.1 1.41	2.5	5.0 2.27

注) c欄の空白はデータ数が少なく、値の精度が低いため省略した。

表4-3 塁上走者の進塁状況

塁	一	二	三	本	生還率
打撃	塁	塁	塁	塁	
四死球	106	96	62	50	0.472(1.49)
単打	190	124	86	60	0.316(1.00)
二塁打	43	43	28	19	0.442(1.39)
三塁打	10	10	10	2	0.200(0.63)
本塁打	12	12	12	12	1.000(3.16)

注) ( )は単打を基準とした値

(5) 具体例として、例えばチームの単打率が1%異なるチーム間の1試合における得点能力の差は、他の条件は同一として、

$$\frac{df}{dP_1} \times \frac{1}{100} \times 9 = 4.35 \times 0.09 = 0.39 \quad (\text{当大学データ})$$

或いは

$$\frac{df}{dP_1} \times \frac{1}{100} \times 9 = 3.43 \times 0.09 = 0.31 \quad (\text{セ・リーグ})$$

となる。

(6) 各塁打の貢献度は出塁率P及び $P_i = \alpha_i P$  ( $i=0\sim 4$ )の値により若干変動するが、表4-1、4-2の値のうちa cの場合を平均すれば、 $k_1:k_2:k_3:k_4=0.7:1:1.31:1.55:2.23$ となり、本塁打の貢献度は必ずしも単打の4倍とはならない。ただしbの整理方法では4に近い値であり、この原因を更に詳しく調べる必要がある。

表2-1 打撃の結果の種類とその解釈

種 類	
アウト	アウト数が1つ増し、走者は進塁せず
四死球	打者は1塁へ、他の走者は押し出される走者のみ1つ進塁
単 打	打者は1塁へ、1塁走者は2塁へ、他の走者は生還
二塁打	打者は2塁へ、1塁走者は3塁へ、他の走者は生還
三塁打	打者は3塁へ、走者はすべて生還
本塁打	打者、走者すべて生還

## 5. 結び

今回は野球競技における各塁打の得点への貢献度について主に理論面から検討し、併せて計算機シミュレーションより得られた値と対比、検討した。データの整理方法により若干の差異が生じたが、計算値及びシミュレーション値とも大体の傾向は類似している。今後は実試合におけるデータから各塁打の得点への貢献度を求めるべく、因子分析等の手法を用いて更に検討する予定である。

終わりに本研究を進めるに当たりデータ貸与の便宜を頂いた当学園真鍋野球部監督に感謝する。またデータ整理その他にご協力頂いた電気工学専攻大学院生高田君、卒研生中谷、末吉両君に厚くお礼申し上げる。

## 参考文献

- 1) 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)
- 2) 高田、金井、平野：野球のシミュレーションと期待得点数等の解析、福井工大研究紀要(第20号,1990)
- 3) 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-9 6 (1989)
- 4) 鳩山：野球のOR、オペレーションズ・リサーチ(Vol24, No4, 1979)
- 5) G.R.Lindsey: An investigation of Strategies in Baseball, Operations Research(1963, 8)

(平成2年12月13日 受理)