「選手の個人成績や試合における打順等の状況を考慮したRE24の計算方法とそれに基づく選手評価」

慶應義塾大学

経済学部4年

長倉大輔研究会

杉浦 亘

要旨

近年野球において、選手やチームを客観的に評価するために、セイバーメトリクスなどの統計的手法が用いられるようになってきている。セイバーメトリクスとは、野球におけるデータ(選手成績、チーム成績、試合結果等)を統計的に分析し、選手の評価や戦略を考えていく分析手法である。

本論文では、そのセイバーメトリクスの指標のうち RE24 と呼ばれる、打者の打撃成績を評価する指標に着目する。RE24 は打席の前後で生じた得点期待値の変化を測定し、集計した指標である。現行の RE24 で用いられる得点期待値は、一定期間での野球の試合のデータを集計し、平均したものである。つまり選手の個人成績や試合での状況(回、打順、得点)に依存せず、打撃前後の打撃状況(アウトカウント、進塁状況)が同じであれば RE24 の値も同じとなる。そのため、RE24 でもたらされる結果が、現実に即しておらず、直感と異なる結果を生じることがある。

そこで本論文では、選手の個人成績や試合における打順等の状況を考慮した RE24 を提案する。既に提案されている試合前の選手の個人成績や試合での状況を考慮した期待勝率を算出する方法を拡張して、試合における状況別の得点期待値を算出する。そこで求められた選手の個人成績や試合での状況を考慮した得点期待値を用いて、提案指標である RE24 を計算する。

そして実際のデータを用いて、提案指標と現行の指標を比較した結果、現行の野球に即したより直感的な評価ができることを確認した。

1. はじめに

野球は古くからデータの活用が盛んに行われており、近年よりデータの活用が活発に行われるようになってきているスポーツである。近年の動きとして、日本プロ野球（以降 NPB と表記する）のチームである DeNA ベイスターズが、チーム内にデータを分析する部署を作り、また各球団がトラックマンと呼ばれる投手の投球や打者の打球をトラッキングし、データ化する機械を導入する動きがある。これにより従来は数値化されず、比較しにくかった投球や打球のデータ化を可能にしている。こういった流れを背景に、セイバーメトリクスと呼ばれる野球における客観的、統計的な研究が盛んに行われるようなってきている。

セイバーメトリクスは、主に選手のプレーから得られる様々なデータを分析し、選手を評価し、チームの戦略立案やチームの経営に生かしていく手法である。セイバーメトリクスの選手を評価する代表的な指標の一つとして、OPS があげられる。OPS とは、打者の出塁率と長打率の和で計算される。OPS では従来打者の評価に用いられていた打率と比べて、出塁する能力や長打を打つ能力も考慮されているため、打者の能力を総合的に評価す

ることができる。

　また指標に加えて、数理モデルという観点で野球を見ることもできる。野球では場面が非連続的に推移していくことから、試合の流れを数理モデル化することが可能である。実際に Bukiet(1998)は、野球の試合における状態の推移をマルコフ連鎖と捉え、ある固定の 9 人の打順から得られる得点の期待値を算出し、勝率を計算するモデルを提案している。そしてその後、様々な論文で Bukiet らの論文を拡張した数理モデルが発表されている。

　そこで本論文では、既に発表されている数理モデルを用いた、従来のセイバーメトリクス指標への応用を提案する。この論文では、RE24 と呼ばれるセイバーメトリクス指標に着目していく。RE24 は打者の得点への貢献度を評価する指標で、打者の打撃前後での得点期待値の増減を合計して算出される。この得点期待値の算出方法として、一般的に一定期間の十分な数の試合データから、試合における各状況で何点取ることができたかを平均して算出する。

　しかしこの得点期待値を用いて算出される RE24 では、選手の個人の能力や成績を考慮しておらず、打撃前後の進塁状況が同じであれば、どの選手も同じ評価がもたらされることになる。つまり従来の RE24 では、打順や個々の能力が考慮されていないため、非直感的な評価がもたらされることがある。

　そこで本論文では、打者の個人成績や打順を考慮した RE24 を提案する。まず RE24 を求める際に用いる得点期待値を、打者の個人成績や打順を考慮した形で算出する必要がある。そこで Bukiet(1998)の「D'Esopo and Lefkowitz 進塁モデル」、大澤(2008)の「打撃成績に基づく得点の確率分布と勝率算出手法」を拡張して、打者の個人成績や打順を考慮した得点期待値を計算していく。

　RE24 で用いる得点期待値は試合中のある状況から、そのイニングが終わるまでの得点期待値を計算する必要がある。そこで本論文ではイニング途中のある状況からの打者成績、状況を考慮したイニング得点期待値算出方法を提案し、それを応用して新しい RE24 指標を算出する。

　そして算出された「打者の個人成績や打順を考慮した RE24」を用いて、実際のプロ野球の試合で、選手を再評価し、従来の RE24 との比較を行う。

　本論文の構成を示すと次のようになる。第 2 章では、セイバーメトリクスおよび RE24 について概要を述べ、3 章では Bukiet(1998)、大澤(2008)らの打者の個人成績や打順を考慮した得点期待値の算出方法、第 4 章では打者の個人成績や打順を考慮したイニング途中からの得点期待値の算出方法について述べる。第 5 章では提案手法を用いて実際のデータを分析し、提案指標による選手評価について述べる。第 6 章では全体の結論を述べる。

2. セイバーメトリクス指標の概要

この章では「セイバーメトリクス指標」および、その中の一つの指標である「RE24」の

概要について述べる。セイバーメトリクスでは多くの指標があり、投手や打者を評価する指標、そして守備力を評価する指標など多岐にわたる。UZR という指標では、今までは印象で評価せざるを得なかった守備範囲を考慮しており、客観的に各選手の守備を評価することを可能にした。このようにセイバーメトリクスの発展によって、選手をより客観的に評価することができるようになった。

そのうちの一つである RE24(Run Expectancy based on the 24 base-out states)は、打撃の前後でどれだけ得点期待値を増減させたかで、打者の得点への貢献度を評価する指標である。一般的なセイバーメトリクスの指標では、出場する場面によらず中立的な評価がもたらされるが、RE24 では同じヒットでも、重要な場面(得点に繋がりやすい場面)でのヒットの方が評価をされるなど、出場する場面に依存する指標となっている。そのためこの指標では、打者の能力を環境中立的に評価するのではなく、その試合における得点への貢献度を環境依存的に評価する。RE24 の値は次のように定められる。

RE24＝「打席後の得点期待値－打席前の得点期待値＋打席での得点」の合計値

例えば打者が打席に入る前の状況(アウトカウント、進塁状況)の得点期待値が 0.5 で、打者の打撃後の得点期待値が 0.8 に上昇したとすると、その打者の RE24 は 0.3 と計算される。

上記のように、RE24 を算出する際には試合における各状況での得点期待値を用いる。試合における各状況とは、アウトカウント 3 種類(0~2 アウト)と、そのアウトカウントにおける進塁状況(無走者,一塁，二塁，三塁，一二塁，一三塁，二三塁，満塁)で表せる計 24 状態のことである。3 アウト時には攻守が交代し、攻撃はそれ以上行えないため、得点期待値を考えるこの場合では考慮せず、24 状態で表す。(以下で、アウトカウントは、0 アウトのとき無死、1 アウトとき一死、2 アウトとき二死、3 アウトとき三死とも表記する。)

この得点期待値は、一般的に一定期間の十分な数の試合データから、試合における各状況で何点取ることができたかを平均して算出する。無死一塁の得点期待値を求める際には、一定期間のデータから無死一塁の場面を全て洗い出し、それぞれの場面でそのイニングに何点入ったかを集計し、平均を求めることで算出できる。

2014～2018 年の NPB のレギュラーシーズン全イニングのデータを対象にした、各状況における得点期待値は下記の表のようになる。表の数値は、蛭川(2019,p29)より引用した。

状況	走者無し	一塁	二塁	三塁	一二塁	一三塁	二三塁	満塁
無死	0.450	0.804	1.071	1.285	1.386	1.693	1.860	2.103
1死	0.246	0.500	0.674	0.917	0.904	1.143	1.337	1.504
2死	0.093	0.210	0.317	0.345	0.430	0.482	0.524	0.712

表 1. NPB のレギュラーシーズンにおける状況別得点期待値

表 1 より無死満塁では得点期待値が 2.103 点であり、対象期間では無死満塁の状況から平均すると 2.103 点入っていたことがわかる。

1 章で述べたように、このようにして求める得点期待値は、選手の個人成績や打順などの試合の状況を考慮しておらず、アウトカウントと走者の進塁状況のみに依存する。そして従来の得点期待値を用いて算出される RE24 も同様に、選手の個人成績や打順などの試合の状況によらず、打撃前後の進塁状況のみに依存する。対戦する投手がエース級だろうと、格下投手であろうと、一塁打を打った後の塁の占有状況が同じであれば、それは同じ一塁打の評価がもたらされる。また送りバントをして、無死一塁から一死二塁に状況が推移したとき、1 割打者が 3 割打者の前の打順で送りバントをしたとしても、3 割打者が 1 割打者の前の打順で送りバントをしたとしても打者は同じ評価をされることになる。1 割打者が 3 割打者の前で送りバントをする方が、得点に結びつきやすいと直感的に感じるが、同様の評価になる。そのため選手個人への評価や打順を考慮した作戦への評価が現行の野球よりも評価されにくい場面が存在し、改善の余地がある。

3. 打撃成績に基づく得点の確率分布と勝率算出手法

3.1 「D’Esopo and Lefkowit」進塁モデル

この章では、Bukiet(1998)によって提案された「D’Esopo and Lefkowit」進塁モデル(以下 DL モデル)について説明する。このモデルでは、選手の個人成績から 1 試合の期待勝率を求めることができる。この期待勝率を求める過程で 1 試合の期待得点を計算しており、その方法を拡張して、次章で選手の個人成績から得点期待値を算出する方法を提案する。

そのため、まず DL モデルについて紹介する。DL モデルでは、野球の攻撃のにおける全ての状況を、アウト数 3 種類(0~2 アウト)×進塁状況 8 種類(無走者,一塁，二塁，三塁，一二塁，一三塁，二三塁，満塁)の計 24 状態に、攻撃終了時の 3 アウト目を加えた計 25 状態と定義する。この 25 状態を以下では攻撃状態と呼ぶことにする。本論文では、以下の表のように各攻撃状態に 1~25 の番号をふる。

状況	走者無し	一塁	二塁	三塁	一二塁	一三塁	二三塁	満塁
無死	1	2	3	4	5	6	7	8
1 死	9	10	11	12	13	14	15	16
2 死	17	18	19	20	21	22	23	24
3 死	25							

表 2.イニング内の攻撃状態の定義

そして次に状態遷移行列 P を定義する。状態遷移行列では、各行が打撃前の攻撃状態、各列が打撃後の攻撃状態を表すことで、打者の打撃前後の攻撃状態を表す 25×25 の行列を定義する。また打撃による走者の進塁状況、アウトカウントの増加、そしてそれぞれの確率(括弧内が確率)は以下のような規則に従うと定義する。

- 一塁打：打者は一塁に、一塁走者は二塁、二、三塁走者は生還する。(p_S)
- 二塁打：打者は二塁に、一塁走者は三塁、二、三塁走者は生還する。(p_D)
- 三塁打：打者は三塁に、全ての走者は生還する。(p_T)
- 本塁打：打者、全ての走者ともに生還する。(p_H)
- 凡打：どの走者も進塁せず、アウト数を一つ増やす(p_O)
- 四死球：打者は一塁に、押し出される走者のみ一つ進塁する(p_W)

それぞれの確率は、打者毎に一定期間の過去の成績から確率を算出する。

以上のように設定することで、状態遷移行列 P は部分行列 A,B,F を用いて以下のような行列として定義できる。

$$P = \begin{pmatrix} A & B & 0 & 0 \\ 0 & A & B & 0 \\ 0 & 0 & A & F \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

状態遷移行列 P では、各行が打撃前の攻撃状態、各列が打撃後の攻撃状態を表し、各行、各列それぞれ 1~8 行目が無死のときの攻撃状態つまり攻撃状態 1~8 を表し、9~16 行目が一死のときの攻撃状態 9~16、17~24 行目が二死のときの攻撃状態 17~24、25 行目が攻撃終了状態である三死を表す。このときベクトル A,B,F はそれぞれ以下のように表せる。

$$A=\begin{pmatrix} p_H & p_S+p_W & p_D & p_T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_H & 0 & 0 & p_T & p_S+p_W & 0 & p_D & 0 \\ p_H & p_S & p_D & p_T & p_W & 0 & 0 & 0 \\ p_H & p_S & p_D & p_T & 0 & p_W & 0 & 0 \\ p_H & 0 & 0 & p_T & p_S & 0 & p_D & p_W \\ p_H & 0 & 0 & p_T & p_S & 0 & p_D & p_W \\ p_H & p_S & p_D & p_T & 0 & 0 & 0 & p_W \\ p_H & 0 & 0 & p_T & p_S & 0 & p_D & p_W \end{pmatrix}$$

$B=p_O I$

$F=(p_O,p_O,\cdots p_O)^T$

ここで、I は単位行列、 ^{T}は転置行列を表す。部分行列 A,B は、8×8 の行列である。例えば行列 P における 3 行 4 列目は、打席に入る前が状態 3、打撃終了後が状態 4 である確率を表す。そして上記の行列 A より、打撃によって状態 3 から状態 4 に推移する確率が p_T であることがわかる。これは DL モデルの進塁規則に即しており、無死二塁(状態 3)から無死三塁(状態 4)に状態が推移するためには、打者が三塁打を打った場合のみであるということである。そして行列 B は、無死、一死における凡打を表す行列である。また行列 F は 8×1 ベクトルで、二死において凡退し攻撃終了となる確率である。このように打者毎の打撃成績の確率から、状態遷移行列 P を定義し、それを打順に従って掛け合わせることで、 1 イニングにおける攻撃をシュミレーションすることができる。

3.2 DL モデルにおける 1 イニングの期待得点算出方法

この章では前章で定義した状態遷移行列を用いて、1 イニングの期待得点算出方法を説明する。まずここでイニングの n 人目の打者が打撃を終えたときに、そのイニングで r点($r=0,1,2,3\cdots$)入っていて、そのときの状態が状態 $s(s=1,2,3\cdots25)$である確率を示す行列U_nを定義する。行列U_nの列は 25 列あり、各行が n 人目の打者が打撃を終えたときの 25 通りの攻撃状態、各行が n 人目の打者が打撃を終えたときの得点を表す。

$$U_n=\begin{array}{c c} & \begin{array}{cccc} 1 & 2 & \cdots & 25 \end{array} \\ \begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ R_{max} \end{array} & \begin{pmatrix} a & d & \cdots & g \\ b & e & \cdots & h \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c & f & \cdots & i \end{pmatrix} \end{array}$$

R_{max}は 1イニングで挙げる最大得点、0≤ $a,b\cdots i\leq 1$ とする。
この行列U_nを漸化式的にU_1からU_nまで求めることで、得点期待値を算出することができる。

そこでまず、打者kの状態遷移行列P_kを${P_k}^0,{P_k}^1,{P_k}^2,{P_k}^3,{P_k}^4$ に分解する。${P_k}^r(r=$

0,1,2,3,4)は、打者kの打席によってr点の得点を獲得する確率を表す。また打者が 1 打席の打撃によって獲得できる得点は最大でも 4 点(走者の進塁状況が満塁であるときの本塁打)であるため、$P_k = {P_k}^0 + {P_k}^1 + {P_k}^2 + {P_k}^3 + {P_k}^4$　(1)
が成り立つ。U_n の第r行を$U_n|_r$とし、イニングn人目の打者となったj番打者の遷移確率行列P_jと(1)式を用いると以下の式が成り立つ。

$$U_n|_r = U_{n-1}|_{r-0} \cdot {P_j}^0 + U_{n-1}|_{r-1} \cdot {P_j}^1 + U_{n-1}|_{r-2} \cdot {P_j}^2 + U_{n-1}|_{r-3} \cdot {P_j}^3 + U_{n-1}|_{r-4} \cdot {P_j}^4 \quad (2)$$

そして 1 イニングの 0 人目の打者が打撃を終えたときを表す U_0 は、イニングの最初を表すため、必ず初期状態である状態 1 となる。そのためU_0は以下のような行列になる。

$$U_0 = \begin{array}{c c} & \begin{array}{cccc} 1 & 2 & \cdots & 25 \end{array} \\ \begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ R_{max} \end{array} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

U_0が上記のようになり、(2)式の漸化式を用いることで、U_nを求めることができる。
U_nの 25 列目はイニングn人目の打者で 3 アウトとなり攻撃が終了し、そのイニングでr点の得点が入る確率を示す。 1 イニングが 3 アウトにならず、永久的に続くことは考えられないため、$n \to \infty$ とすると、U_nの 1~24 列目の要素は 0 となり、イニング終了を表す 25 列目の要素の和が 1 となる。また今回の論文では、スリーアウトを表す 25 行列目の和が 0.9999 を 越えた時、イニングの計算を終了する。
そして、U_nの 25 列目を

$$R(25) = \left[x_0, x_1, x_2, x_3, \cdots, x_{R_{max}}\right]^T$$

とすると、そのイニングでの得点期待値r'は

$$r' = 0 \cdot x_0 + 1 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + 3 \cdot x_3 + \cdots + R_{max} \cdot x_{R_{max}}$$

で表せる。
以上の方法で、DL モデルに基づいて打者の個人成績や打順を考慮した得点期待値を算出することができる。

4. イニング途中からの得点期待値の算出方法

前章では DL モデルに基づく、打者の個人成績や打順を考慮した回の初めから終了までの 1 イニングの得点期待値算出方法を紹介した。セイバーメトリクス指標である RE24 を算出する際には、イニング途中のある打撃状況(アウトカウント、進塁状況)からイニングが終わるまでの得点期待値を求める必要がある。そのためこの章では、前章の得点期待値算出方法を拡張して、イニング途中のある状況からの打者の個人成績や打順を考慮した得点期待値を求める方法を説明する。

まずj番打者の RE24 を求めるため、j番打者の打撃前の状況からのイニングの得点期待値、そしてj番打者の打撃による変化後のイニングの得点期待値を求めるとする。ここで、イニング$n-1$人目の打者となった$j-1$番打者が打撃を終了し、イニングn人目の打者となったj番打者が打席に向かう場面を考える。$j-1$番打者が打撃を終了した状況では、イニングで既に r点$(r=0,1,2,3\cdots)$入っていて、走者の状況は状態 $s(s=1,2,3\cdots25)$であるとする。上記の状況において、U_0 を以下のような行列で表す。

$$U_0 = \begin{array}{c} \\ 0 \\ \vdots \\ r \\ \vdots \\ R_{max} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & \cdots & s & \cdots & 25 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

上記のように初期状態を得点r、状態sとして、その確率を 1 として設定する。次にこのU_0 と、前章で説明した(2)式を用いることで、U_nを求めることができる。そしてこの U_n を前章と同様に計算をすることで、イニング途中からの得点期待値を求めることができる。そしてj番打者の打撃による変化後のイニングの得点期待値も同様に、j番打者の打撃後の攻撃状況をU_0として確率 1 と設定することで算出することができる。このようにして求めたj番打者の打撃前と打撃後の得点期待値の差分を、RE24 指標の算出に用いていく。

以下では、得点期待値の算出方法の具体的な計算方法を説明する。そこで、イニングの n 人目であるj番打者が打撃を終えたときに、そのイニングで r点$(r=0,1,2,3\cdots)$入っていて、そのときの状態が状態 $s(s=1,2,3\cdots25)$となる確率を示す行列U_nの第r行、第s列を $U_n|_{r,s}$ とする。またj番打者の本塁打の確率をp_{H_j}とし、他の打撃結果の表記も同じ規則に従うとする。そのとき、以下のような式が成り立つ。

$$\begin{aligned} U_{n+1}|_{r,1} = {} & p_{H_{j+1}} \cdot U_n|_{r-1,1} + p_{H_{j+1}} \cdot U_n|_{r-2,2} + p_{H_{j+1}} \cdot U_n|_{r-2,3} + p_{H_{j+1}} \cdot U_n|_{r-2,3} \\ & + p_{H_{j+1}} \cdot U_n|_{r-2,4} + p_{H_{j+1}} \cdot U_n|_{r-3,5} + p_{H_{j+1}} \cdot U_n|_{r-3,6} + p_{H_{j+1}} \cdot U_n|_{r-3,7} \\ & + p_{H_{j+1}} \cdot U_n|_{r-4,8} \end{aligned}$$

上記の式の右辺第 1 項では、得点$r-1$、状態 1 のときに$j+1$番打者が本塁打を打ち、得点が 1 点加点され得点r、状態 1 となる確率を表している。右辺の残りの項では、状態が 2~5 のときに$j+1$番打者が本塁打を放ち、得点r、状態 1 となる確率を表している。このように状態 1 となる確率を上記の式で表すことができる。

以下同様に各状態 2~7 となる確率は、

$$U_{n+1}|_{r,2} = \left(p_{S_{j+1}} + p_{W_{j+1}}\right) \cdot U_n|_{r,1} + p_{S_{j+1}} \cdot U_n|_{r-1,3} + p_{S_{j+1}} \cdot U_n|_{r-1,4} + p_{S_{j+1}} \cdot U_n|_{r-2,7}$$

$$U_{n+1}|_{r,3} = p_{D_{j+1}} \cdot U_n|_{r,1} + p_{D_{j+1}} \cdot U_n|_{r-1,3} + p_{D_{j+1}} \cdot U_n|_{r-1,4} + p_{D_{j+1}} \cdot U_n|_{r-2,7}$$

$$\begin{aligned} U_{n+1}|_{r,4} = {} & p_{T_{j+1}} \cdot U_n|_{r,1} + p_{T_{j+1}} \cdot U_n|_{r-1,2} + p_{T_{j+1}} \cdot U_n|_{r-1,3} + p_{T_{j+1}} \cdot U_n|_{r-1,4} \\ & + p_{T_{j+1}} \cdot U_n|_{r-2,5} + p_{T_{j+1}} \cdot U_n|_{r-2,6} + p_{T_{j+1}} \cdot U_n|_{r-2,7} + p_{T_{j+1}} \cdot U_n|_{r-2,8} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{n+1}|_{r,5} = {} & \left(p_{S_{j+1}} + p_{W_{j+1}}\right) \cdot U_n|_{r,2} + p_{W_{j+1}} \cdot U_n|_{r,3} + p_{S_{j+1}} \cdot U_n|_{r-1,5} + p_{S_{j+1}} \cdot U_n|_{r-1,6} \\ & + p_{S_{j+1}} \cdot U_n|_{r-2,8} \end{aligned}$$

$$U_{n+1}|_{r,6} = p_{W_{j+1}} \cdot U_n|_{r,4}$$

$$U_{n+1}|_{r,7} = p_{D_{j+1}} \cdot U_n|_{r,2} + p_{D_{j+1}} \cdot U_n|_{r-1,5} + p_{D_{j+1}} \cdot U_n|_{r-1,6} + p_{D_{j+1}} \cdot U_n|_{r-2,8}$$

このような式で表すことができる。また状態 8~25 となる確率も同じように考えることで、同様の式で表すことができる。以上の式を前章で説明した U_0~U_n を計算する際に用いることで、イニング途中からイニング終了時までの打者の個人成績や打順を考慮した得点期待値を算出することができる

5. 実際のデータを用いた RE24 による選手評価

5 章では実際の NPB の試合データを用いて、RE24 による選手評価を行う。その際に従来の RE24 と提案指標の比較を行い、指標の比較も行っていく。そこで 2018 年度日本シリーズの広島東洋カープ対福岡ソフトバンクホークスの試合データを用いて、各場面における RE24 を計算していく。状態遷移行列 P を計算する際に使用する個人成績は、NPB が発表している各選手の 2018 年度レギュラーシーズン成績を用いた。従来の RE24 は、表 1 の 2014 年から 2018 年の NPB の得点期待値を用いて算出した。

この章では、送りバントや敬遠という二つの打順を考慮した作戦に着目して、評価を行う。公認野球規則で、送りバントは「無死または 1 死で、バッターのバントで 1 人または数人のランナーが進塁し、バッターは 1 塁でアウトになるか、または失策がなければ 1 塁でアウトになったと思われる場合は、犠牲バントを記録する」と定義されている。送りバントは一般的に、バントをすることで打者がアウトになる代わりに走者を進塁させる作戦

である。打者は自らアウトになるため、バントする打者は他の打者に比べて個人成績が悪く、次の打者に好成績の打者が控えている場面で使われることが多い。

また敬遠は、故意四球として「投球する前から立ち上がっているキャッチャーに四球目にあたるボールを、ピッチャーが意識して投げた場合に、記録される。」と定義される。このように今打席にいる打者に故意に四球を与えて、次の打者との対戦をするという作戦である。一般的にはわざと進塁させ、一塁を埋めることで守りやすくしたいときや、打席の打者よりも次の打者の方がアウトになる確率が高いときに敬遠が用いられる。この二つの作戦では次の打者と打席に立つ打者を比較するなど、打順が作戦選択の基準となることが多い。

送りバントと敬遠の二つの作戦を評価するために、2018 年度日本シリーズにおける二つの作戦が実行された全ての場面を下記の表 3,4 に抽出した。そして作戦の評価として、本論文で提案した RE24 と従来の RE24 も併記し、比較を行っていく。

5.1　敬遠への評価

まず敬遠について評価を行っていく。日本シリーズにおける全ての敬遠の場面とその評価を表 3 に示した。提案指標と従来指標を比較して、値が大きい方を赤字にしている。

回戦	種別	チーム	回	状況	打順	打者	次打者	打席前期待値	打席後期待値	提案 RE24	従来 RE24
1	敬遠	Sh	11	一死二塁	4	柳田	中村	0.83757	0.92099	0.08341	0.23
3	敬遠	Sh	5	二死三塁	6	中村	内川	0.38214	0.41978	0.03764	0.137
3	敬遠	Sh	8	二死二塁	5	デスパイネ	中村	0.37435	0.49369	0.11935	0.113
5	敬遠	Sh	9	一死二塁	1	上林	明石	0.62152	1.19018	0.56866	0.23
6	敬遠	Sh	4	二死三塁	8	甲斐	バンデンハーク	0.21765	0	-0.2176	0.137

表 3.　2018 年度日本シリーズにおける全ての敬遠の場面とその評価

表 3 より、提案指標の値が従来の指標よりも小さかった場面が 5 場面中 3 場面あり、大きかった場合が 2 場面あった。提案指標よりも値が小さい場合は提案指標よりも敬遠を推奨し、値が大きい場合は提案指標よりも敬遠を推奨しないことを表す。提案指標の値の方が小さかった場面は全て、打者よりも次の打者の成績の方が悪い場面であった。(ここでの成績の良し悪しは、打者がアウトになる確率p_oの値がより低いことを成績が良いとしている。以下でも同様に、成績の良し悪しはp_oを基準とする。)
つまり提案指標は従来の指標よりも、次の打者の成績の方が悪い場面では対峙している打者との勝負を避け、次の打者と勝負をする選択が正しいことを示唆している。これは打者よりも次の打者の成績の方が悪い場面では、次の打者と勝負をする方が正しいという直感

的な選択と一致している。

また同様に提案指標の値の方が大きかった場面は全て、打者の方が次の打者よりも成績が悪い場面であった。つまり提案指標は従来の指標よりも、対峙する打者の成績の方が悪い場面では打者との勝負を避けず、勝負をする選択をした方が正しいことを示唆している。そのため提案指標は、対峙する打者の成績が次の打者よりも良い場面では対峙する打者との勝負を避け、次の打者よりも悪い場面では対峙する打者と勝負を選択するという直感的評価と一致することがわかる。

5.2　送りバントへの評価

そして次に送りバントについて評価を行なっていく。日本シリーズにおける全ての犠牲バントとその評価は表 4 のようになった。

回戦	種別	チーム	回	状況	打順	打者	次打者	次々打者	打席前期待値	打席後期待値	提案RE24	従来RE24
1	送りバント	C	5	無死一塁	9	曽根	田中	菊地	1.11239	0.84301	-0.2694	-0.13
1	送りバント	Sh	11	無死一塁	3	グラシアル	柳田	中村	0.92772	0.83757	-0.0901	-0.13
1	送りバント	Sh	12	無死一塁	9	栗原	上林	明石	0.67675	0.77948	0.10273	-0.13
2	送りバント	C	1	無死二塁	2	菊地	丸	鈴木	1.30886	0.96351	-0.3453	-0.154
3	送りバント	C	3	無死一二塁	9	安倍	田中	菊地	1.55881	1.32019	-0.2386	-0.049
3	送りバント	Sh	5	無死一塁	2	明石	グラシアル	柳田	1.03631	0.92696	-0.1093	-0.13
4	送りバント	Sh	5	無死二塁	9	甲斐	上林	明石	1.09385	0.77097	-0.3229	-0.154
5	送りバント	Sh	4	無死一二塁	6	内川	松田	高田	1.29102	1.16546	-0.1256	-0.049
5	送りバント	Sh	5	無死一二塁	2	明石	グラシアル	柳田	1.65291	1.44773	-0.2052	-0.049
5	送りバント	C	9	一死一塁	2	菊地	丸	鈴木	0.7527	0.53296	-0.2197	-0.183
5	送りバント	Sh	9	無死一塁	9	高谷	上林	明石	0.81632	0.81862	0.0023	-0.13
5	送りバント	C	10	無死一塁	5	曽根	バティスタ	安倍	0.9855	0.75604	-0.2295	-0.13
6	送りバント	Sh	4	無死一二塁	6	内川	西田	甲斐	1.18495	1.01802	-0.1669	-0.049

表 4.　2018 年度日本シリーズにおける全ての犠牲バントとその評価

まず走者が二塁にいる場面に着目し、表 5 に示した。提案指標と従来指標を比較して、値が大きい方を赤字にしている。下記の表の通り、走者が二塁にいる場面は 6 場面存在し、全ての場面で従来指標の RE24 の値の方が大きくなった。

回戦	回	状況	打順	打者	次打者	次々打者	打席前期待値	打席後期待値	提案RE24	従来RE24
2	1	無死二塁	2	菊地	丸	鈴木	1.30886	0.96351	-0.3453	-0.154
3	3	無死一二塁	9	安倍	田中	菊地	1.55881	1.32019	-0.2386	-0.049
4	5	無死二塁	9	甲斐	上林	明石	1.09385	0.77097	-0.3229	-0.154
5	4	無死一二塁	6	内川	松田	高田	1.29102	1.16546	-0.1256	-0.049
5	5	無死一二塁	2	明石	グラシアル	柳田	1.65291	1.44773	-0.2052	-0.049
6	4	無死一二塁	6	内川	西田	甲斐	1.18495	1.01802	-0.1669	-0.049

表 5. 走者が二塁にいる場面における全ての犠牲バントとその評価

つまり二塁に走者がいる状況の送りバントは、提案指標では従来指標よりも評価がされにくいことがわかる。DL モデルの進塁規則では、二三塁のどちらの塁にいたとしても一塁打以上を打てば必ず本塁に帰還すると定義しており、また犠牲フライは提案モデルでは考えていない。そのため送りバントをして、二塁から三塁に走者を進める動機が実際の野球の状況に比べて少なく、評価されにくいということが言える。よってこのモデルでは、二塁に走者がいる状況の送りバントは従来の指標よりも評価されにくいということが、この分析結果からもわかる。

次に走者が一塁にいる状況の送りバントについて着目していく。送りバントは、打席の打者の成績が悪く、次の打者の成績の方が良い場面で用いられることが多い。そのため走者が一塁にいる状況の送りバントを、打席の打者の成績が次打者、次々打者の 3 人の打者の中で最も良い場面と、次打者、次々打者のどちらかの成績が 3 人の打者の中で最も良い場面に分けて考える。次々打者の成績まで考慮する理由としては、表 4 から送りバントが用いられる場面は無死の場面が多く、ダブルプレーを考えない提案モデルでは無死の状況で送りバントをした後、次々打者まで打順が必ず回るためである。

以下の表 6 では、走者が一塁にいる状況で、打席の打者の成績が打者、次打者、次々打者の 3 人の中で最も良い場面を抽出し、その評価を示している。表 6 では、各打者のアウトになる確率p_Oも加えて、RE24 の値と各打者の成績の関係についても考えていく。

	回戦	回	状況	打順	打者	次打者	次々打者	打席前期待値	打席後期待値	提案RE24	従来RE24
	1	5	無死一塁	9	曽根	田中	菊地	1.11239	0.84301	-0.2694	-0.13
p_O					0.619	0.6355	0.6989				
	5	10	無死一塁	5	曽根	バティスタ	安倍	0.9855	0.75604	-0.2295	-0.13
p_O					0.619	0.69	0.6914				

表 6.打席の打者の成績が 3 人の中で最も良い場面の送りバントとその評価

表 6 では、3 人の打者の中で最もp_Oが低い選手の成績を赤字にしている。また提案指標と従来指標を比較して、値が大きい方も同様に赤字にしている。

表 6 の通り、打席の打者の成績が 3 人の中で最も良く、次打者、次々打者の成績の方が悪い場面は 2 場面あり、どちらも従来の RE24 の値の方が大きくなっている。つまり打席の打者の成績が 3 人の中で最も良い場面での送りバントは、提案指標では評価されにくく、予想通りの直感に近い評価をすることができる。

表 7 では、次打者、次々打者のどちらかの成績が 3 人の打者の中で最も良い場面を抽出し、その評価を示している。

	回戦	回	状況	打順	打者	次打者	次々打者	打席前期待値	打席後期待値	提案RE24	従来RE24
	1	11	無死一塁	3	グラシアル	柳田	中村	0.92772	0.83757	-0.0901	-0.13
p_O					0.65	0.57	0.63				
	1	12	無死一塁	9	栗原	上林	明石	0.67675	0.77948	0.10273	-0.13
p_O					0.89	0.68	0.64				
	1	5	無死一塁	2	明石	グラシアル	柳田	1.03631	0.92696	-0.1093	-0.13
p_O					0.64	0.65	0.57				
	3	9	一死一塁	2	菊地	丸	鈴木	0.7527	0.53296	-0.2197	-0.183
p_O					0.6989	0.531	0.5573				
	5	9	無死一塁	9	高谷	上林	明石	0.81632	0.81862	0.0023	-0.13
p_O					0.8	0.68	0.64				

表 7. 次打者、次々打者のどちらかの成績が
3 人の打者の中で最も良い場面の送りバントとその評価

表 7 では、3 人の打者の中で最もp_Oが低い選手の成績を赤字にしている。また提案指標と従来指標を比較して、値が大きい方も同様に赤字にしている。

この場面は全部で 5 場面あり、そのうちの 4 場面では提案指標の値の方が大きくなっている。つまり打席の打者の成績が悪く、次打者、次々打者のどちらかの成績が 3 人の中で最も良い場面では、提案指標の方が従来の指標よりも送りバントを高く評価し、直感的な評価を可能にすることがわかる。従来指標の値が大きくなった 1 場面は、日本シリーズにおける送りバントの中で唯一、一死からの送りバントであり、そのことが従来指標よりも評価されにくい一因となったことが考えられる。

以上の結果より、バントをする打者の成績が次、次々打者よりも成績が良いときには、従来指標よりも評価されず、次、次々打者の成績の方が良い場面では従来指標よりも高い評価を下すことがわかる。つまり打者の個人成績や打順を考慮した得点期待値を用いた RE24 では、より直感に近い評価をもたらせることを示している。

6.　結論

本論文では、従来の「D'Esopo and Lefkowit」進塁モデルを拡張し、打者の個人成績や打順を考慮した RE24 を算出する方法を提案した。そして実際のデータを用いて、提案手法と従来の RE24 の比較を行なった。打者の個人成績や打順を考慮したことで、従来の指標よりも直感的な評価を可能にすることができた。しかし提案手法では、走塁規則を設定し、犠牲フライも考慮していないことから、二塁に走者がいる状況の送りバントは従来の指標よりも評価されにくいという問題点も確認した。今後の課題としては、提案手法よりも走塁規則を複雑にしたモデルでは、より実際の野球に近い評価をもたらすことができるのか検討していきたい。

参考文献

1）大井一輝(2013)、「マルコフ連鎖を用いた野球における状況別勝率計算とその応用」、日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集、2013 巻、6-7

2）大澤清、合田憲人(2008)「野球における走者の進塁状況を考慮した勝率計算方法」、日本応用数理学会論文誌 Vol.18、No.3、321-346

3）廣津 信義、大澤 清(2015)「野球の試合に関する確率の Excel シートを用いた表計算の方法」、順天堂スポーツ健康科学研究第 6 巻第 2 号(通巻 67 号)、70~85

4）蛭川皓平(2019)、「セイバーメトリクス入門-脱常識で野球を科学する」、水曜社

5) Bukiet, B.and Harold, E. (1997), " A Markov Chain Approach to Baseball", Operations Research 45, 1, 14-23