

と x_n ($n=1..9$) の交代に伴い、 P_{in} 内の P_{in} ($n=1..9$) ブロックを P_{hrp} ブロックで置き換えた $1,434,672 \times 1,434,672$ 行列。ここで x_{rp} が x_9 (先発投手) と交代した場合は、それに伴い、相手チームの打撃確率を、 x_9 の w 値でなく x_{rp} の w 値で較正するように変更するため、相手チームの打撃を表現する P_{vm} ($m=1..9$) ブロックも x_{rp} の w 値で較正した $P_{vm}^{(m \rightarrow rp)}$ ブロックに置き換える必要がある ((4) 式)。 $P_{out}^{(n \rightarrow rp)}$ は x_{rp} と x_n ($n=1..9$) の交代に伴い、 P_{out} 内の該当する要素を変更した $1,434,672 \times 1$ ベクトルである。

(3) 式は、動的計画法 (例えば、値反復法など) を用いて解くことができ、勝つ確率を最大化する選手交代策を求めることができる。

5. 計算例

本手法の応用例として、米大リーグのロッキーズが、表 1 に示した控選手 3 名 (野手 1 名、投手 2 名) を含むラインナップでジャイアンツと対戦した際、勝つ確率を最大化する投手交代策を算出した。なお、各選手の打撃確率や防御率は、2000 年度の成績から求めた。

表 1. ロッキーズのラインナップと打撃による確率

選手	1 塁打	2 塁打	3 塁打	本塁打	四球	守備位置
1 Goodwin	0.177	0.021	0.021	0.013	0.136	CF
2 Lansing	0.159	0.035	0.015	0.027	0.078	2B
3 Walker	0.166	0.058	0.019	0.025	0.127	LF (RF)
4 Cirillo	0.194	0.079	0.003	0.016	0.100	3B
5 Helton	0.165	0.086	0.002	0.061	0.150	1B
6 Hammond	0.212	0.048	0.004	0.040	0.088	RF (LF)
7 Mayne	0.193	0.055	0.000	0.015	0.123	C
8 Perez	0.186	0.057	0.016	0.014	0.044	SS
9 Astacio	0.112	0.016	0.000	0.011	0.025	P
控 Shumpert	0.140	0.037	0.024	0.030	0.096	LF
控 Jimenez	0.112	0.016	0.000	0.011	0.025	P
控 Myers	0.112	0.016	0.000	0.011	0.025	P

また、表 2 の第 3 列に、本計算例で用いたロッキーズとジャイアンツの投手の防御率を示す。

表 2. 各投手の防御率と w 値 (防御率のリーグ平均: 4.63)

チーム	選手	防御率	w	型
ロッキーズ	Astacio	5.27	1.051(対ジャイアンツ)	先発
	Jimenez	3.18	0.859(対ジャイアンツ)	救援
	Myers	1.99	0.699(対ジャイアンツ)	救援
ジャイアンツ	Hernandez	3.75	0.922(対ロッキーズ)	先発

ここで、各投手の w 値を求めるため、打撃確率を較正する w 値を変化させ、その際の期待得点値を計算した (図 1)。

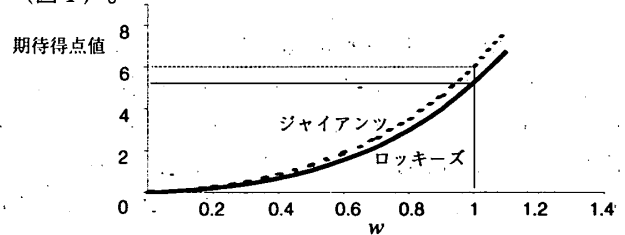


図 1. 期待得点値と w との関係

図 1 と (1) 式の仮定に従い、平均投手の w 値を 1 に設定して ($w_{平均投手}=1$)、各投手の w 値を求めると、表 3 の第 4 列に示した値となる。

これらの w 値を用い、救援投手は 8 回以降から登板可能という条件下で、ロッキーズが勝つ確率とその最適な交代策を計算により求めた。結果の一例として、投手交代により勝つ確率を 0.01 以上増加できる場面を表 3 にまとめた。同表では、例えば 8 回表開始時にロッキーズが同点ないしは 1 点リードしているなら、“9 (Astacio)” を下げて、救援投手 “M (Myers)” を投入すべきであることを示し、これにより、勝つ確率が矢印で示すように増加することを意味する。その後、8 回裏に “M” に打順が回ってきたならば、条件によっては M に代わり “L (Lansing)” を代打として起用すべきである。その後、9 回表からは “L” に代わり “J (Jimenez)” が登板する。このような一連の投手の交代策とそれによる確率の増加を定量的に示すことができた。

表 3. 投手の交代により勝つ確率を 0.01 以上増加できる場面の一例 (9: Astacio, L: Lansing, J: Jimenez, M: Myers).

回	アウト数	走者状態	ロッキーズの得点リード				
			-2	-1	0	1	2
8 回表	0	000			9→M (0.632→0.645)	9→M (0.846→0.860)	
8 回裏	1	011	M→L (0.262→0.277)				
8 回裏	1	101	M→L (0.262→0.277)				
8 回裏	1	110		M→L (0.477→0.494)			
8 回裏	1	111	M→L (0.370→0.390)	M→L (0.519→0.540)			
8 回裏	2	010		M→L (0.277→0.289)			
8 回裏	2	100		M→L (0.277→0.289)			
8 回裏	2	011	M→L (0.161→0.182)	M→L (0.284→0.308)			
8 回裏	2	101	M→L (0.161→0.182)	M→L (0.284→0.308)			
8 回裏	2	110	M→L (0.197→0.226)	M→L (0.308→0.350)			
8 回裏	2	111	M→L (0.206→0.250)	M→L (0.316→0.373)			
9 回表	0	000	L→J (0.092→0.103)	L→J (0.167→0.186)	L→J (0.464→0.526)	L→J (0.755→0.839)	L→J (0.866→0.920)

6. おわりに

以上、投手交代策への OR の応用について述べた。今後は投手・打者の左右の違いや相手チームの選手交代も考慮したモデルの構築へと展開していきたい。

参考文献

[1] G.R. Lindsey: An investigation of strategies in baseball. *Operations Research*, 11(1963) 477-501.

[2] B. Bukiet, E.R. Harold and J.L. Palacios: A Markov chain approach to baseball. *Operations Research*, 45(1997) 14-23.
 [3] N. Hirotsu and M. Wright: A Markov chain approach to optimal pinch hitting strategies in a designated hitter rule baseball game. Accepted for publication in the *Journal of Operations Research Society of Japan*, 46(2003).
 [4] 廣津, ライト: 指名打者制の野球の試合における最適な代打策へのマルコフ連鎖の応用. 2002 年日本 OR 学会秋季研究発表会アブストラクト集, (2002) 70-71.