野球における最適戦略
—動的計画法—

吉良　知文，大堀　耕太郎

マルコフゲームと呼ばれる数理モデルを用いて野球を分析すると，攻撃側にとって勝つ確率を最大にするのは打撃か盗塁かあるいは犠打か，守備側にとって打者を敬遠すべきか否かといった，監督の最適な意思決定を状況別に計算することができる．本稿では野球をモデル化し，監督の采配を最適化するための OR 手法を紹介する．

キーワード：展開形ゲーム，ゲームの木，後ろ向きの帰納法，マルコフゲーム

1．はじめに

私たちは人生のさまざまな場面で意思決定が求められる．どこの大学を受験するべきか，どんな職業に就くべきかを考えることは，重要な意思決定問題である．しかし，「あのときにああしておけば，今はこうできたのに」と年を重ねてから後悔する人も少なくない．そう，“長期的な目線”が大切である．もう一つ忘れてはいけないことがある．“ライバルの存在”だ．物事を自分の都合のよいようにばかり考えると，他人に足をすくわれてしまう．本稿では，時間の経過とともに繰り返し何度も意思決定を行う必要がある多段階の意思決定問題とそれを解決するための OR 手法を紹介する．

2．展開形ゲームの基礎

まず，先手・後手という手番がある次のような単純なゲームを考えよう．

- 図 1 の初期配置で，先手の駒は▲，後手の駒は●
- 自分の手番で上段／下段のどちらかの駒を動かす
  - ・先手は▲の駒を右に何マス動かしてもよい
  - ・後手は●の駒を左に何マス動かしてもよい
  - ・相手の駒と同じマスに入ることはできない
  - ・相手の駒を飛び越えることはできない
- 自分の手番で駒を動かせないと負け

図 2 はゲームの流れの一例である．上段の駒を 1 マス動かすことを「上 1」と表す．この例では，先手の手番で駒を動かせなくなるので後手の勝利となる．

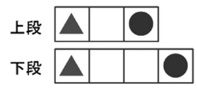

図 1　初期配置

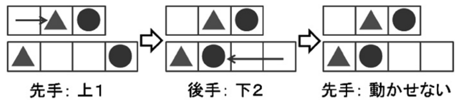

図 2　後手勝利となる例

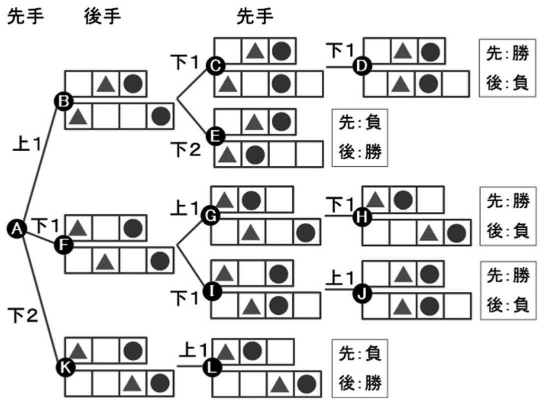

図 3　ゲームの木

さて，このゲームは先手・後手のどちらかに有利だろうか．先手もしくは後手のどちらかが必ず勝つことはできるだろうか．読者の皆さんはぜひ，読み進める前に時間をとって考えていただきたい．

ゲーム進行の場合分けをすべてまとめると図 3 のようになる． A～L はそれぞれの手番を区別するために便宜上つけた記号である．図を反時計回りに 90 度回

きら　あきふみ
九州大学マス・フォア・インダストリ研究所
〒 819–0395 福岡県福岡市西区元岡 744
おおほり　こうたろう
株式会社富士通研究所　知識情報処理研究所
〒 211–8588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4–1–1

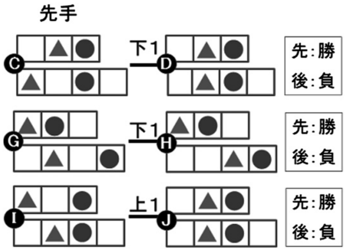

図 4　先手の 2 回目の手番における意思決定

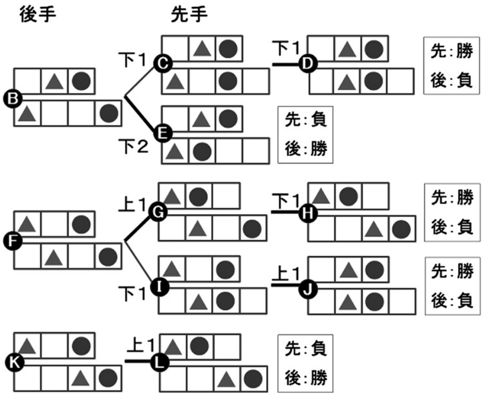

図 5　後手の手番 B，F，K における最適な意思決定

転させると，初期配置である手番 A を木の根として，木が枝分かれしているように見えることから，このようなゲームの分岐を表した図をゲームの木という．また，選択肢を表す線分を枝とも呼ぶ．一般に，ゲームの木を用いて記述されるゲームを展開形ゲームという．展開形ゲームを含むゲーム理論について，詳しく知りたい高校生の皆さんには岡田 [1] をお薦めしたい．

先手・後手それぞれの最適な意思決定，すなわち，ゲームに勝つために最も適した選択肢について，ゲームの進行とは逆の“後ろ向き”に考えていこう．まず，先手の 2 回目の手番における意思決定から考えよう（図 4）．

手番 C では先手は「下 1」という選択肢しかない．したがってここでの先手の行動は「下 1」に確定する．同様に，先手の手番 G，I もそれぞれ選択肢が一つしかないから先手の行動が確定する．

次のステップとして，後手の手番について考えよう（図 5）．手番 B で後手は二つの選択肢があるが，どちらを選ぶのがよいだろうか．　答えは「下 2」である．なぜなら後手は直ちに勝つことができる．一方，「下 1」を選べば，先手は手番 C で「下 1」を選択し，後手は負けてしまう．同様に，手番 F について考えよう．手番 F では後手はどちらを選んでも負けとなるが，それ

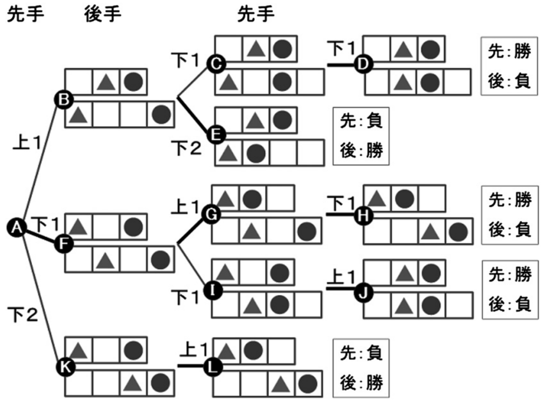

図 6　先手の手番 A における最適な意思決定

表 1　手番ごとの最適な意思決定

先手				後手		
A	C	G	I	B	F	K
下 1	下 1	下 1	上 1	下 2	上 1	上 1

以上によい選択肢はないので「上 1」を選ぶとしておこう（「下 1」を選ぶとしても問題ない）．また，手番 K では，一つの選択肢しかないから，行動は「上 1」に確定する．

最後に，先手の 1 回目の手番 A について考えよう（図 6）．先手が「上 1」を選ぶと，後手は手番 B で「下 2」を選び，先手の負けとなる．先手が「下 1」を選ぶと，後手は手番 F で「上 1」を選び，さらに先手が手番 G で「下 1」を選び先手の勝ちとなる．先手が「下 2」を選ぶと，後手は手番 K で「上 1」を選び，先手は負ける．したがって，手番 A における先手にとっての最適な行動は「下 1」である．両者の手番ごとの最適な意思決定をまとめると表 1 になる．

以上のように，ゲームの終点に近い手番から順々に先手・後手の最適な行動を求める方法を後ろ向きの帰納法と言い，多段階の意思決定問題を効率よく解決する最適化手法である動的計画法の一種である．さて，先手・後手がそれぞれ最適な行動を選択した結果，先手の勝ちとなる．したがって，このゲームは先手必勝であると結論づけることができる．

3.　野球への動的計画アプローチ

本節では，Kira and Inakawa [2]，Kira et al. [3] で提案した野球の 1 試合における最適な意思決定を効率よく求める方法を簡単に紹介する．詳細に興味がある読者は，本誌 2014 年 7 月号に寄稿した解説記事 [4] をご覧いただきたい．名著 Howard [5] に始まる先行

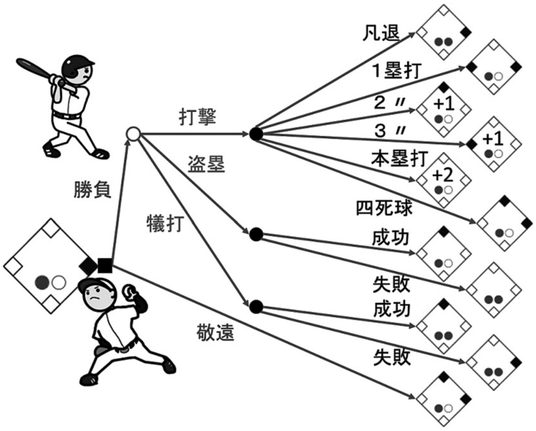

図 7　野球ゲームの木（1 死 1 塁の場面を抜粋）

研究の歴史についてもまとめている．

まず，野球の 1 試合は展開形ゲームの構造を有している．図 7 は野球ゲームの木の一部のみを描いたものである．ただし，“併殺打はないとする” あるいは “一塁打は一塁走者を三塁へ進塁させ，二塁走者と三塁走者をホームへ生還させる” といったいくつかの簡約ルールを用いて単純化している[1]．■は守備側の手番であり，打者と「勝負」するか「敬遠」するかを決定する．○は攻撃側の手番であり，「打撃」，「盗塁」，「犠打」の中から行動を決定する．また，●は偶然手番と呼ばれるものであり，そこから出る枝の重みに従って，次の展開が確率的に決まる．この枝の重みを推移確率という．偶然手番の推移確率は選手ごとに異なる．日本プロ野球 2015 年シーズンの福岡ソフトバンクホークスの開幕オーダーと，2014 年シーズンの実績値をもとに作成したそれぞれの選手の偶然手番における推移確率を表 2 に示す[2, 3]．

野球も展開形ゲームの一つであるので，後ろ向きの帰納法を用いて最適な意思決定を求めればよい．しかし，ゲームの進行の場合分けが膨大な数であり，ゲームの木が巨大である．実はこのままでは，すべての手番に対して最適な意思決定を計算することはスーパーコンピュータを使ってもできない．そこで何とかして計算を可能にするために，マルコフゲームという特別

[1] 中村 [6] は単純化されたモデルをより現実に近づける拡張を行うとともに，第 4 回スポーツデータ解析コンペティションにおいて，データスタジアム（株）が提供する日本プロ野球の実データを詳細に分析し，野球部門優秀賞を授与されている．

[2] 犠打を試みた回数が極端に少ない選手の犠打成功率は一部調整を行っており，数値の右上に $*$ 印をつけている．

[3] 数値はすべて少数第四位で四捨五入されており，一の位を省略し，0.291 を .291 と書いている．

表 2　福岡ソフトバンクホークス選手の確率パラメータ

選手	打率	打撃						盗塁	犠打
		凡打	塁打				四球・死球	成功	成功
			一	二	三	本			
1 本田雄一	.291	.648	.217	.032	.016	.000	.087	.793	.941
2 中村晃	.308	.627	.231	.035	.006	.006	.095	.833	.800 *
3 柳田悠岐	.317	.593	.211	.029	.007	.025	.136	.846	.000
4 内川聖一	.307	.653	.199	.049	.002	.034	.063	.000	.000
5 李大浩	.300	.637	.195	.048	.000	.031	.090	.000	.000
6 長谷川勇也	.300	.624	.193	.056	.006	.011	.110	.500	.000
7 松田宣浩	.301	.655	.185	.048	.007	.043	.062	.667	.500
8 鶴岡慎也	.216	.750	.167	.024	.018	.000	.042	.000	.944
9 今宮健太	.240	.698	.174	.044	.002	.005	.077	.667	.873

（出典）2014 年シーズン公開データ [7, 8] より著者作成

な展開形ゲームを考える．野球におけるゲームの進行を場合分けしていくと，その先々で同じ戦況に行きつくことが頻繁にある．たとえば，ある回に先頭打者が二塁打を打った場合には無死二塁となるが，先頭打者が四球で出塁し，その後すぐに盗塁が成功した場合も無死二塁となる．当然ながら，どちらの無死二塁も得点や打席に立つ打者に違いはない．マルコフゲームでは，どうやって無死二塁になったかの違いには目をつぶり，これら 2 通りの無死二塁を場合分けせずに同じものと考える．二つは同じものであるから，そこでの最適な意思決定も同じであり，その計算も 1 度限りで済む．Kira et al. [3] では，野球の 1 試合における試合途中の戦況（状態と呼ぶことにする）を，イニング，アウトカウント，得点差，打席に立つ打者，走者の有無などをもとに約 645 万通りに場合分けし，後ろ向きの帰納法を用いて両チームの最適な意思決定と均衡勝率を状態ごとに算出している．均衡勝率とは，両チームがそれぞれすべての状態に対して，最適な意思決定のとおりに行動したときの両チームの勝率である．どちらのチームも相手チームが誤った（最適でない）行動を選択しない限り，勝率を均衡勝率以上にすることはできない．このマルコフゲームは，人間の手では依然として計算不可能であるが，すべての状態に対する最適な意思決定を普通のパソコンでも計算することができる．著者の手持ちのパソコン[4]を用いると，計算は 1 試合当たり 2 秒未満で完了する．

表 2 の福岡ソフトバンクホークス同士が対戦する仮想的な試合を考えよう．ここで異なるチームを対戦させない理由は無駄に敵をつくらない著者なりの渡世術，つまり大人の事情である．図 8 は “7 回裏一死一塁，

[4] Intel® Core™ i7-3770K 16 GB メモリ搭載のデスクトップ型パソコン．2013 年の購入当時，10 万円未満で買えるパソコンのなかでは最も計算能力が高いものであった．

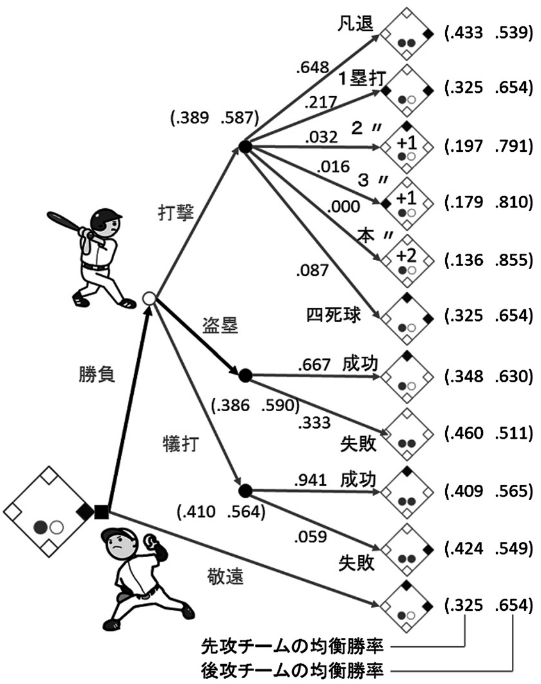

図 8 “7 回裏一死一塁，同点，走者：今宮健太，打者：本田雄一（8 回表の先攻チームの攻撃は 1 番打者から）” における最適な意思決定と均衡勝率

同点，走者：今宮選手，打者：本田選手（8 回表の先攻チームの攻撃は 1 番打者から）” という状態における両チームの最適な意思決定と均衡勝率の計算結果である．後ろ向きの帰納法では，ゲームの木の終点から後ろ向きに両チームの最適な意思決定と均衡勝率を計算する．したがって，“7 回裏一死一塁，同点，走者：今宮選手，打者：本田選手” を計算する場面では，それ以降に生じる状態における最適な意思決定と均衡勝率はすでに計算済みであることに注意されたい．さて，攻撃側（後攻）の手番○の意思決定を見てみよう．「盗塁」を選ぶと，今宮選手の盗塁成功確率は .667 であり，成功して一死二塁となって以降における両チームの均衡勝率は (.348, .630) である．また，盗塁失敗確率は .333 であり，失敗し二死走者なしとなって以降の均衡勝率は (.460, .511) である．ゆえに，勝率の期待値を求めると，

$$\text{先攻：}\quad .667 \times .348 + .333 \times .460 = .386,$$
$$\text{後攻：}\quad .667 \times .630 + .333 \times .511 = .590,$$

となり，「盗塁」を選ぶ場合の両チームの勝率は (.386, .590) であることが計算によって求まる．同様の計算によって，攻撃側（後攻）が「打撃」を選ぶ場合の両チームの勝率は (.389, .587)，「犠打」を選ぶ場合の両チームの勝率は (.410, .564) であることが求まる．したがって，攻撃側（後攻）の最適な意思決定として，自チームの勝率が最も高くなる「盗塁」が選ばれている．次に，守備側（先攻）の手番■における意思決定を見てみよう．攻撃側（後攻）が「盗塁」を選ぶことはすでにわかっているから，守備側（先攻）が「勝負」を選ぶと，両チームの勝率は (.386, .590) となる．一方，「敬遠」を選ぶと，両チームの勝率は (.325, .654) となる．ゆえに，守備側（先攻）の最適な意思決定として，自チームの勝率がより高い「勝負」が選ばれている．

4. おわりに

本稿で解説した事項の一風変わった応用事例を紹介しよう．近年，総合格闘技の世界では「グレッグ・ジャクソンのゲーム理論」と呼ばれ，OR 手法が一大旋風を巻き起こしている．グレッグ・ジャクソンは最強軍団と称される Jackson’s Submission Fighting（米国）を率いる名トレーナーであるが，実は彼自身には格闘技の経験がなく，試合展開をゲーム理論を用いて予測・分析し，所属選手に適切な助言を行っている [9]．日本を代表するブラジリアン柔術家の一人である泊憲史先生からこの事実を教わり，著書自身，大変驚くとともにゲーム理論と動的計画法の新たな可能性を感じつつある今日この頃である．

参考文献

[1] 岡田章，『ゲーム理論入門（新版）—人間社会の理解のために—』，有斐閣アルマ，2014.

[2] A. Kira and K. Inakawa, “On Markov perfect equilibria in baseball,” *Bulletin of Informatics and Cybernetics*, **46**, pp. 11–21, 2014.

[3] A. Kira, K. Inakawa, T. Fujita and K. Ohori, “A dynamic programming algorithm for optimizing baseball strategies,” submitted.

[4] 吉良知文，稲川敬介，“野球への動的計画アプローチ，” オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，**59**(7), pp. 378–384, 2014.

[5] R. A. Howard, *Dynamic Programming and Markov Processes*, M. I. T. Technology Press and Wiley, 1960.

[6] 中村太一，“マルコフゲームを用いた野球の試合シミュレーション，” 東京工業大学工学部社会工学科 2014 年度学士論文（指導教員 松井知己教授），全 27 頁.

[7] 日本プロ野球公式ウェブサイト，http://www.npb.or.jp/eng/ (2015 年 7 月 7 日閲覧)

[8] データで楽しむプロ野球，http://baseballdata.jp/ (2015 年 7 月 7 日閲覧)

[9] 堀内勇，若原瑞昌，“ゲーム理論，フラクタル，カオス理論—世界最強チームの智将が追及する応用数学，哲学としての MMA—，” ゴング格闘技 2013 年 5 月号, pp. 30–34, 2013.