

# マルコフ連鎖を用いたフットボールのモデル化と戦略分析

2012SE099 加藤右馬

指導教員：大石泰章

## 1 はじめに

近年スポーツ界において、「スポーツ×IT」というワードに注目が集まっている。なぜならIT技術を用いた科学的な分析・研究により、今まで直感的な経験則であったものがデータとして定量的に見えることになり、新たな事実・戦略・特性の発見が期待できるからである。こうしたスポーツ界の変革は戦略分析、フィジカルコンディションコントロールなどスポーツ界内部における技術革新に留まらず、周辺ビジネスへも変化をもたらしている。

本研究では世界的にも競技人口が多く、ビジネス規模が大きいとされるフットボールに着目し戦略分析を行う。最初にマルコフ連鎖によるフットボールのモデル化を試みる。そして作成したモデルを基に現状把握と戦略改善へのアプローチを行う。

## 2 フットボールのマルコフモデル

初めにフットボールの試合を表現するマルコフモデルを作成する。2.2節で述べるように、対象とする試合はブラジル対ドイツのものである。

### 2.1 状態の定義

ブラジル、ドイツのどちらがボールを保持しているかと、ボールを保持しているチームが中央、左右サイド、自チームのペナルティエリア、敵チームのペナルティエリアのいずれにいたかの組み合わせで10個の状態を考える。ここで、ブラジルの自陣とドイツの敵陣、ドイツの自陣とブラジルの敵陣は同じエリアである。各状態を図1に示す。

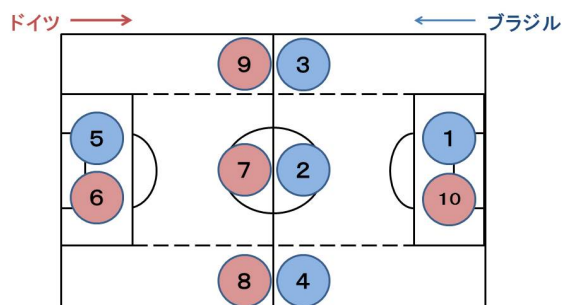
ゴールという状態はフットボールという競技において頻度が小さい特別な状態なので、ゴールに対応する状態は留意せず、単にゴールを決められた側が自陣でボールを持つ状態に遷移すると考える。ファウルはボールがそのまま保持されたと考える。サイドラインを割ったときは敵にボールが推移したと考える。ゴールラインを割ったときも同様にゴールキックする側、コーナーキックする側に状態が推移したこととする。オフサイドは敵にボールが渡ったとして考える。こうすることで、試合を10状態間の遷移によって表現することができる。

### 2.2 推移確率行列

実際の試合を5分ごとに分割し、各分割ごとに状態間を推移する回数を集計して推移確率を求める。

ここで、本研究で用いるデータについて記す。使用データは、第31回オリンピック競技大会(2016/リオデジャネイロ大会)の男子フットボール競技(U-23)決勝ブラジルvsドイツ(マラカナンスタジアム)である。0分から90分にAdditional Timeを加えたものを5分ごとに分割して集計を行った。

推移確率行列  $P$  を式(1)に示す：



1:ブラジル自陣ペナルティエリア 2:ブラジル中央 3:ブラジル右サイド  
4:ブラジル左サイド 5:ブラジル敵陣ペナルティエリア  
6:ドイツ自陣ペナルティエリア 7:ドイツ中央 8:ドイツ右サイド  
9:ドイツ左サイド 10:ドイツ敵陣ペナルティエリア

図1 マルコフ連鎖の状態

$$P = \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{1,10} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{2,10} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{10,1} & p_{10,2} & \cdots & p_{10,10} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

本研究では状態を10状態としたので  $P$  は  $10 \times 10$  の正方行列である。 $P$  の  $(i, j)$  成分  $p_{i,j}$  は状態  $i$  から  $j$  への推移確率を表す。各  $i$  について  $p_{i,1}$  から  $p_{i,10}$  までを足すと1になる。

## 3 シミュレーション

まず初期時刻における各状態の確率分布を適切に定め、これを10次元の行ベクトルとして表す。次にこれに推移確率行列  $P$  を右から繰り返しかけ、確率分布が収束するまで続ける。

### 3.1 シミュレーション結果とその妥当性

図2は20分から25分のデータから作った推移確率行列に基づくシミュレーション結果である。

現実の試合において20分から25分におけるBall Possessionの比率はブラジルが約65.0%、ドイツが約35.0%であった。シミュレーション結果では、ブラジルがボールを保持する確率(状態1から状態5の確率の和)が62.2%、ドイツがボールを保持する確率(状態6から状態10の確率の和)が37.8%であった。実際の試合ではボールの保持時間に基づく比率であるのに対して、シミュレーションでは遷移した状態の総数に対する比率であるので単純な比較はできないが、この結果はシミュレーション結果の妥当性のある程度示していると考えられる。

### 3.2 シミュレーションからの試合分析

図2のグラフから読み取れることは、中央とブラジルの左サイド(ドイツの右サイド)で主にゲームが展開されているということである。また、状態5の確率が数%であるのに対し状態10は0%である。つまりブラジルが攻めており、ドイツはほとんど攻撃ができていない。ブラジルの合計のボール保持率(状態1から状態5の合計)が62%程

まで昇っており、ブラジルにとって得点に近い時間帯であったことが分かる。

現実の試合では25分にブラジルの得点があった。前述のように得点に至る前にすでにそれに繋がる兆候があることが判明した。試合中にシミュレーションを行ってこの兆候を察知できれば、戦略を変えることによってその後の結果を変えることが可能と思われる。

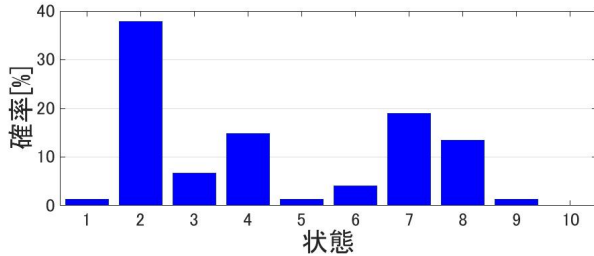


図2 20分から25分の推移確率行列が導く状態分布

### 3.3 シミュレーションからの戦略分析

作成したモデルを使って戦略分析を行うことを考える。

まず20分から25分の時間帯において、ドイツにとって戦況を改善するためには、自陣ペナルティエリアからどの方向にパスすべきかを考察する。すなわち、状態6から状態7への(ドイツ自陣ペナルティエリアからドイツ中央への)推移確率を0.01増やした場合、状態6から状態8への(ドイツ自陣ペナルティエリアからドイツ右サイドへの)推移確率を0.01増やした場合、状態6から状態9への(ドイツ自陣ペナルティエリアからドイツ左サイドへの)推移確率を0.01増やした場合の3つを考え、それぞれ戦況がどのように変わるかを調べる。戦況を表す指標として2つに着目する。指標1は状態6(ドイツ自陣ペナルティエリア)の確率の増減であり、この確率が小さくなる方がドイツにとって安全性が高まるので良いと考える。指標2は状態6から状態10までの確率の総和(ドイツのボール保持率)の増減であり、この確率が大きくなる方がドイツにとって良いと考える。結果を表1にまとめる。2つの指標のどちらかで判断しても状態6から状態7にパスをした方が良いことが分かる。

次に55分から60分の時間帯に着目して戦略分析を行う。現実の試合では59分にドイツの得点があった。この時間帯において、ドイツにとって戦況をより有利にするためには、中央、右サイド、左サイドの3エリアのどこでボールを奪取すべきかを考察する。すなわち、状態2から状態7への(ブラジル中央からドイツ中央への)推移確率を0.01増やし、さらに状態7から状態2への(ドイツ中央からブラジル中央への)推移確率を0.01減らした場合、また、状態4から状態8への(ブラジル左サイドからドイツ右サイドへの)推移確率を0.01増やし、さらに状態8から状態4への(ドイツ右サイドからブラジル左サイドへの)推移確率を0.01減らした場合、最後に、状態3から状態9への(ブラジル右サイドからドイツ左サイドへの)推移確率を0.01増やし、さらに状態9から状態3への(ドイツ左サイドからブラジル右サイドへの)推移確率を0.01減らし

た場合、の3つを考え、それぞれ戦況がどのように変わるかを調べる。戦況を表す指標として3つに着目する。指標1と指標2は20分から25分の時間帯で考えた指標と同じである。指標3は状態10(ドイツ敵陣ペナルティエリア)の確率の増減であり、この確率が大きくなる方がドイツにとって得点の可能性が高まるので良いと考える。結果を表2にまとめる。指標1に着目するとドイツの左サイドで奪取することが望ましい。指標2に着目すると中央で奪取することが望ましい。指標3に着目するとドイツの右サイドで奪取することが望ましい。この時間帯はドイツにとって得点することの重要性が一番高いと考えられ、得点する可能性に着目した指標3を重要視すると、右サイドでボールを奪取する方が良いことが分かる。

その時間帯の試合状況によって目的が違うため、戦術によってボールを奪取すべき場所がそれぞれで違うことが判明する。このように試合を分析し、さらに戦略分析を定量的にすることが可能である。

表1 20分から25分の時間帯における戦略分析

	⑥→⑦0.01上昇	⑥→⑧0.01上昇	⑥→⑨0.01上昇
⑥の確率の増減 小さい→良	-0.0093	-0.004	-0.0043
ドイツのボール保持率 大きい→良	+0.0544	+0.0426	-0.0137

表2 55分から60分の時間帯における戦略分析

	②→⑦0.01上昇 ⑦→②0.01下降	④→⑧0.01上昇 ⑧→④0.01下降	③→⑨0.01上昇 ⑨→③0.01下降
⑥の確率の増減 小さい→良	+3.9843	+0.0435	-0.0284
ドイツのボール保持率 大きい→良	+0.5194	+0.4565	+0.2807
⑩の確率の増減 大きい→良	+0.0384	+0.0429	+0.0239

## 4 おわりに

本研究ではフットボールの試合をマルコフ連鎖によってモデル化することで、試合の分析や、さらには戦略分析を定量的に行うことが可能であることを示し、これらの有用性を確認した。スポーツへの応用の可能性は高いと考えられる。

本研究のモデルでは推移確率行列  $P$  が与える影響がとても重要であると判明した。試合ごとチームごとに戦略、個人能力等も様々であろうと予測でき、推移確率行列  $P$  にはそれぞれのチーム・試合の特徴が表れると考えられる。目的に合わせたモデルを作成し、得られた結果の特徴ごとに場合分けし、各チームや試合のデータを蓄積することでより有用なデータになり真価が発揮されると考えられる。

### 参考文献

- [1] マルコフモデルを用いたフットサルの試合分析 (<特集>スポーツとモデリング) 小池 光太郎, 田口 東オベレーションズ・リサーチ: 経営の科学 51(6), 334-339, 2006-06-01