# ANPを用いたサッカーチームの項目別強さ推定

松井　知己，平賀　智紀

本稿では，サッカーチームの強さに対し，Analytic Network Process (ANP) を用いた分析を行う．ANP を用いた分析では，分析に用いる項目間の関係を考慮に入れることにより，項目別の強さの推定が可能となる．提案モデルを実際のスポーツデータに用いた際の結果についても報告を行う．

キーワード：Analytic Hierarchy Process，Analytic Network Process，超行列

## 1. はじめに

さまざまな要因が複雑に絡み合っている問題に対し，構造を視覚化することによってその問題の構造を明確にできることがある．Saaty [1] によって提案された Analytic Hierarchy Process (AHP) では，対象とする問題全体を階層構造モデルとして図示することで，この視覚化の効果を巧みに取り組んでいる．AHP の特徴である階層構造をネットワーク構造に拡張したものが Analytic Network Process (ANP) である [2]．ANP は，対象とする問題の構造をネットワークを用いて与え，問題の構成要素の重要度を分析する手法と見ることができる．

Saaty は ANP において，ネットワーク構造の解析のために，超行列 (Super Matrix) と呼ばれる行列を導入し，その既約性や原始性を利用した解析法を提案した．この超行列はマルコフ過程の推移行列に似ており，ANP の解析はマルコフ過程の解析に似た特徴を持っている．

ANP については，Saaty の本 [2] 以外にも，日本語で読める解説として本誌の連載講座 [8] や [5], 関谷氏のわかりやすい記事「例解 ANP」[7] などがある．本稿では，文献 [7] を参考にしたモデルを用いて，ANP を用いてサッカーチームの項目別強さ推定を行う．

## 2. ANP を用いたスポーツチームの評価

本節では，ANP を用いたスポーツチームの項目別強さの推定法の概略を記す．以下では，関谷 [7] の例を参考に説明を行う．

いま，野球チームの攻守別強さ，すなわち「攻撃力」

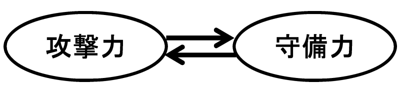


**図 1**　攻撃力と守備力の評価

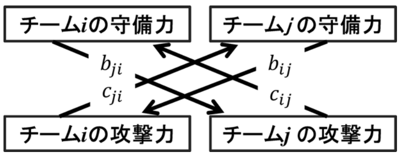


**図 2**　チーム $i$ と $j$ 間の評価

と「守備力」という 2 つの項目の強さを評価するとしよう[1]．各チームの攻撃力は，それと対戦したチームの守備力を観点から評価することができる．同様に，各チームの守備力は，これと対戦したチームの攻撃力を用いて評価することができる．これを図 1 で表す．図中の矢印は，矢印の根本の項目を用いて，矢印の指す先の項目を評価していることを意味する．

野球チーム $i$ と $j$ の対戦において，チーム $i$ が打ち取った打席数を $c_{ij}$ と記すことにする．このとき $c_{ij}$ を，「チーム $i$ の守備力を強さを，チーム $j$ の攻撃力の強さを用いて評価した値」としよう．また，チーム $i$ と $j$ の対戦において，チーム $i$ が打ち勝った打席数を $b_{ij}$ と記すことにする．このとき $b_{ij}$ を，「チーム $i$ の攻撃力を強さを，チーム $j$ の守備力の強さを用いて評価した値」とする．チーム $i,j$ の攻撃力と守備力の相互の評価は，図 2 のような関係となっている．

値 $b_{ij}$ を $i$ 行 $j$ 列要素に持つ行列を $B$ と書こう．ただし，行列 $B$ の対角要素はすべて 0 であるとする．同

[1] 関谷 [7] では，「攻撃陣の強さ」「守備陣の強さ」として峻別されているが，本稿ではこれをせず，「攻撃力」「守備力」という曖昧なものとしてとらえている．

まつい　ともみ，ひらが　とものり
中央大学理工学部情報工学科
〒 112–8551 東京都文京区春日 1–13–27

  

様に，値 $c_{ij}$ を $i$ 行 $j$ 列要素に持ち，対角成分がすべて 0 の行列を $C$ と書くこととする．対角成分を 0 とするのは，同一チームの打撃陣と投手陣は直接対決しないことに対応している．あるいは同一チーム内で，攻撃力を用いて守備力を評価する（守備力を用いて攻撃力を評価する）ことができないことを意味している．

行列 $B$ と $C$ を部分行列に持つ行列 $S$ を

$$S = \begin{pmatrix} 0 & C \\ B & 0 \end{pmatrix}$$

と定義し，これを**超行列**と呼ぶ[2]．ANP を用いた項目別強さ評価においては，この超行列 $S$ の主固有ベクトル（絶対値最大固有値に対応する固有ベクトル）を用いて，各チームの攻撃力と守備力の評価値とする[3]．すなわち，超行列 $S$ の主固有ベクトルを $(\boldsymbol{c}^\top, \boldsymbol{b}^\top)$, とするならば，ベクトル $\boldsymbol{c}$ の各要素を各チームの守備力の評価値とし，ベクトル $\boldsymbol{b}$ の各要素を各チームの攻撃力の評価値とする．主固有ベクトルに対応する固有値を $\lambda$ とするならば，

$$\lambda \begin{pmatrix} \boldsymbol{c} \\ \boldsymbol{b} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & C \\ B & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \boldsymbol{c} \\ \boldsymbol{b} \end{pmatrix}$$

が成り立っている．この式から，ANP（における固有ベクトル法）の評価方法は，各チームの項目別強さの評価値を，超行列 $S$ の列ベクトルの線形結合で表していることがわかる．また，例えばベクトル $\boldsymbol{c}$ 中に突出して大きな値を持つ要素があるならば（守備力の強いチームがあるならば），そのチームの守備力を用いた評価（行列 $B$ の対応する列ベクトル）を積極的に用いて，各チームの攻撃力を評価していると解釈することができる．

## 3. サッカーチームの項目別評価

本節ではサッカーチームの項目別評価のモデルを記述する．以下ではイングランドプレミアリーグに所属する全 20 チームを対象とし，2011〜2012 年のデータを使用する．評価するために用いたデータはシュート数，アシスト数，クロス数，セーブ数，ブロック数，クリア数，ボール保持率，ファウル数，タックル数である．まずシュート数とは，シュートを打った回数である．アシスト数とは，ゴールに直接結びついたパスの回数である．クロス数とは，フィールドの左右の中盤からゴール前やペナルティエリア内を狙ってロングキックをした回数である．セーブ数とは，ゴールキーパー（以下 GK）が相手チームのシュートに対して弾いたもしくはキャッチした回数である．ブロック数とは，ディフェンダーが，相手チームのシュートもしくはクロスを防いだ回数である．クリア数とは，自チームのゴール前にあるボールを大きく前に蹴り出す，もしくは相手のクロスボールなどに対してヘディングで危機から脱した回数である．ボール保持率とは自チームがボールを保持していた時間を試合時間である 90 分で割ったものである．つまり試合時間全体に対する自チームがボールを保持していた時間の割合である．本稿では，ボール保持率をポゼッションとも呼ぶ．ファウル数とは，相手チームの選手に対して反則である行為をした回数である．タックル数とは，主にドリブルする相手のボールに対して足を伸ばして滑り込むスライディングタックルの回数である．後ろからのタックルや，ボールを持たない（もしくは離した）選手へのタックルは反則にあたる．自分の肩を相手の肩にぶつけるチャージ（チェック）は反則ではないが，ジャンプをしている選手へのチャージは危険であり，反則である．

評価項目としては，シュート，アシスト，クロス，セーブ，ブロック，クリア，ポゼッション（保持率），ファウル，タックルを選択した．これらの評価項目間の関係を，前節で述べた関係グラフと同様に図 3 に示す．ただし両向き矢印 ($\leftrightarrow$) は，平行で向きが逆の矢印のペアを表している．例えば図 3 中のシュートに向かう矢印は，あるチームのシュートする力の評価は，他チームのセーブする力，ブロックする力，クリアする力の 3 つの観点から行われることを意味している．ほかの矢印についても同様である．

### 3.1 モデル 1

図 3 のグラフを用いたモデルから作成した超行列が，図 4 である．超行列の中の各小行列は，次のようなものである．以下の（小）行列はすべて，行と列の両方がチームでインデックスされており，各行列の $(i, j)$ 要素は，チーム $i$ とチーム $j$ が戦った試合におけるチーム $i$ のデータである．各行列の対角要素はすべて 0 となっている．

[2] Saaty [2] では，各列ベクトルを正規化して，その総和が 1 となるように変形することが勧められているが，本稿ではそのような正規化は行っていない．その理由は，正規化を行った場合の結果が，各チームの現状にそぐわないケースが散見されたからである．

[3] 実際には，適当な正の数 $\alpha$ と単位行列 $I$ を用いて定義される行列 $S + \alpha I$ の最大固有値に対応する固有ベクトルを用いることが多い．超行列の最大固有値および最大固有ベクトルの性質については，論文 [3, 4, 6] 等を参照されたい．

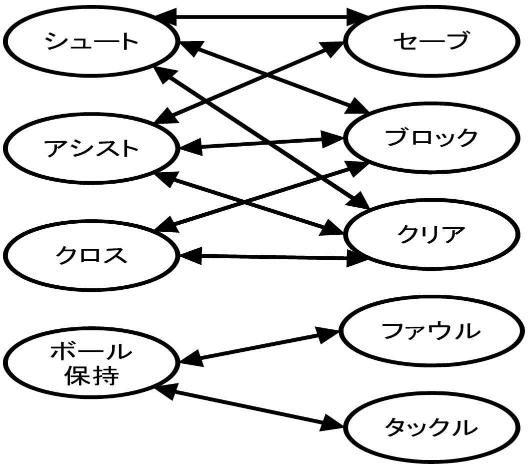


**図 3**　ネットワークグラフ

| | シュ | ア | クロ | セ | ブ | クリ | 保 | ファ | タ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| シュート | 0 | 0 | 0 | $SH$ | $SH$ | $SH$ | 0 | 0 | 0 |
| アシスト | 0 | 0 | 0 | $A$ | $A$ | $A$ | 0 | 0 | 0 |
| クロス | 0 | 0 | 0 | 0 | $CR$ | $CR$ | 0 | 0 | 0 |
| セーブ | $S$ | $S$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ブロック | $B$ | $B$ | $B$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| クリア | $CL$ | $CL$ | $CL$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 保持率 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $P$ | $P$ |
| ファウル | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $F$ | 0 | 0 |
| タックル | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $T$ | 0 | 0 |

**図 4**　モデル 1 の超行列

$SH$：シュート数,
$A$：アシスト数,
$CR$：クロス数,
$S$：セーブ数,
$B$：ブロック数,
$CL$：クリア数,
$P$：ボール保持率,
$F$：ファウル数,
$T$：タックル数.

モデル 1 では，各チームのシュートする力はシュート“数”からなる行列 $SH$ の列ベクトルの線形結合で表現される．しかしながら，シュート数が多くてもそれが得点に結びついていないならば，そのチームのシュートする力の評価としては低くすべき，という考え方もあるだろう．これを取り入れたのが，次のモデルである．

### 3.2　モデル 2

本節で提案するモデルは，シュート数などをそのまま超行列の要素にするのではなく，例えばシュートを打った総数に対する，相手にセーブされなかったシュート数の割合を超行列の要素とする．つまりこのモデルでは，シュートなどの行為の成功した割合を用いて評価することを目的としている．

| | シュ | ア | クロ | セ | ブ | クリ | 保 | ファ | タ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| シュート | 0 | 0 | 0 | $SH1$ | $SH2$ | $SH3$ | 0 | 0 | 0 |
| アシスト | 0 | 0 | 0 | $A$ | $A$ | $A$ | 0 | 0 | 0 |
| クロス | 0 | 0 | 0 | 0 | $CR1$ | $CR2$ | 0 | 0 | 0 |
| セーブ | $S1$ | $S$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ブロック | $B1$ | $B$ | $B2$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| クリア | $CL1$ | $CL$ | $CL2$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 保持率 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $P$ | $P$ |
| ファウル | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $F$ | 0 | 0 |
| タックル | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $T$ | 0 | 0 |

**図 5**　モデル 2 の超行列

モデル 2 で用いる超行列は図 5 のとおりであり，図中の小行列は先に定義したものに加えて，以下のものを用いる．

$$SH1: \frac{\text{シュート数} - \text{被セーブ数}}{\text{シュート数}},$$

$$SH2: 1 - \frac{\text{被ブロック数}}{\text{シュート数} + \text{クロス数}},$$

$$SH3: 1 - \frac{\text{被クリア数}}{\text{シュート数} + \text{クロス数}},$$

$$S1: \frac{\text{セーブ数}}{\text{被シュート数}},$$

$$B1: \frac{\text{ブロック数}}{\text{被シュート数}},$$

$$B2: \frac{\text{ブロック数}}{\text{被クロス数}},$$

$$CL1: \frac{\text{クリア数}}{\text{被シュート数}},$$

$$CL2: \frac{\text{クリア数}}{\text{被クロス数}},$$

$$CR1: 1 - \frac{\text{被ブロック数}}{\text{シュート数} + \text{クロス数}},$$

$$CR2: 1 - \frac{\text{被クリア数}}{\text{シュート数} + \text{クロス数}}.$$

例えば行列 $SH1$ の $(i, j)$ 要素は，チーム $i$ と $j$ の試合におけるチーム $i$ のシュートの内で，チーム $j$ にセーブされなかったものの比率となっている．同様の考え方を用いるならば，行列 $SH2$ の要素は，シュートの内でブロックされなかったものの比率を用いるべきであるが，今回用いたデータでは被ブロック数の内訳（シュートに対するものとクロスに対するもの）が不明のため，被ブロック数をシュート数とクロス数の比で分配して用いている．すなわち，

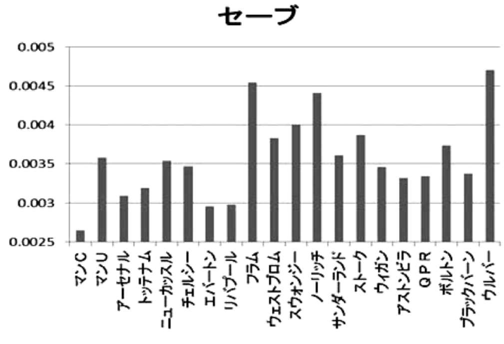


**図 6**　モデル 1 におけるセーブの評価値

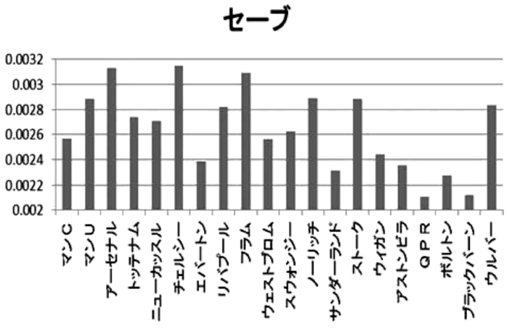


**図 7**　モデル 2 におけるセーブの評価値

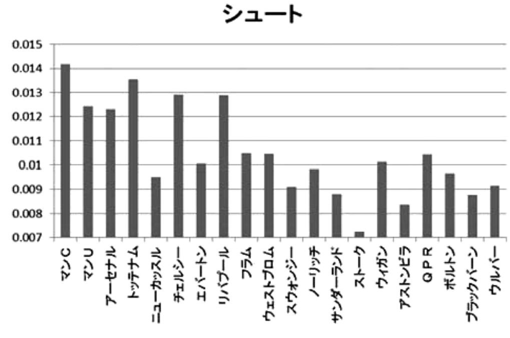


**図 8**　モデル 1 におけるシュートの評価値

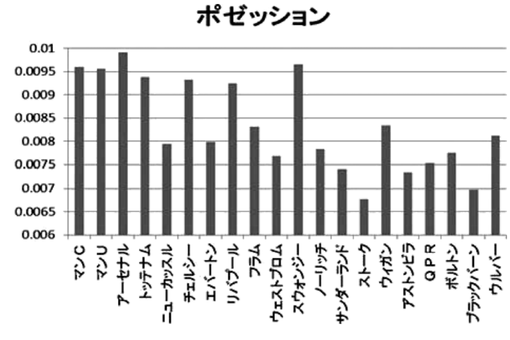


**図 9**　モデル 1 におけるポゼッションの評価値

$$\frac{\text{シュート数} - \text{被ブロック数}\left(\frac{\text{シュート数}}{\text{シュート数}+\text{クロス数}}\right)}{\text{シュート数}}$$
$$= 1 - \frac{\text{被ブロック数}}{\text{シュート数} + \text{クロス数}}$$

を用いている．行列 $SH3$ も同様の方法で，シュートの内でクリアされなかったものの比率の簡便な推定値を用いている．行列 $CR1, CR2$ も同様である．

## 4.　数値実験

本節ではモデル 1, 2 に対する計算結果を示す．

モデル 1 と 2 に固有ベクトル法を用いて得られた各チームの評価値（固有ベクトルの要素の値）を以下では棒グラフを用いて示す．各棒グラフにおいて，横軸はチーム名であり，2011〜2012 シーズンの最終順位の順番に並べてある．棒の長さは，項目に対する固有ベクトル中の各チームに対応する要素の値となっている．

### 4.1　セーブ

まずセーブする力を取りあげて，モデル 1 と 2 の違いを確認しよう．

まず，図 6 に着目すると，順位が良いチームはそれほど高い評価値は得られず下位のチームほうがより高い評価値が得られている．これは，モデル 1 が単にセーブ数を用いて評価しているためと思われる．すなわち，シュートを打たれた本数やクロスを上げられた本数が多い下位チームのほうがセーブの機会が多くなり評価値は高くなっており，その機会があまり多くない上位チームほど評価値は低くなっていると思われる．

モデル 2 では，シュートをセーブで防いだ比率を用いることで，モデル 1 とは違いセーブの巧みさを評価することを試みている．図 7 を見てみると上位チームの評価値も高い値が得られている．強いチームには良い GK がおり，セーブの上手さに関しては GK の能力によるところが大きいので，このような結果が得られたとも解釈できる．

### 4.2　シュートとポゼッション

次にシュートとポゼッションに注目してみよう．

モデル 1 におけるシュートの評価値（図 8），ポゼッションの評価値（図 9）に着目すると，マンチェスター C （以下マン C），マンチェスター U （以下マン U），アーセナル，トッテナム，チェルシー，リバプールの 6 チームは，両方の図において評価値がかなり高くなっている．この 6 チームはイングランドプレミアリーグの中でも特に強く，シーズン優勝争いはこの 6 チームに限られることがほとんどである．図 8，図 9 では特にその 6 チームの評価値が高く，チームの強さがシュー

  

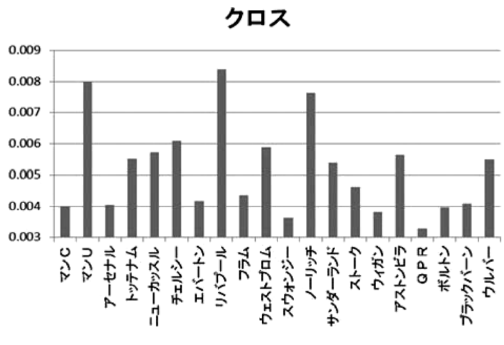


**図 10**　モデル 1 におけるクロスの評価値

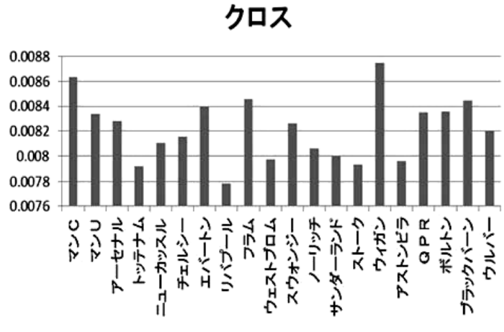


**図 11**　モデル 2 におけるクロスの評価値

ト数やポゼッションに深く関係していることがわかる．

ここで図 9 を見ると，スウォンジーというチームがポゼッションの評価値において上記の 6 チームと近い値を出しているにもかかわらず，図 8 においては評価値が低い．このスウォンジーというチームは昨シーズンプレミアリーグに昇格してきたばかりのチームであったが，昨シーズンまで優秀な監督が在籍し極端にポゼッションを重視した戦術を用いた．その結果チームは昇格してきたばかりにもかかわらず，最終的に 11 位という順位に入ることができた．その結果が図 9 にもよく表れている．しかし図 8 に着目すると，スウォンジーというチームはそれほど高い評価値を得られていない．つまりスウォンジーというチームは，ボールを保持することはできていたが，シュートまでには至らず，結果として攻撃力という点では上位の 6 チームには劣っていると言えるだろう．

### 4.3　クロス

最後にクロスの評価値について考察する．

ここでは，リバプールというチームに注目してみよう．リバプールは，先にも述べた上位 6 チームに含まれており，図 8（シュートの数に対する評価値）や図 9（ポゼッション（保持率）に対する評価値）において高い評価値を得ている．さらに図 10 を見ると，クロスの数に対する評価値は最も高い．しかしながら図 11 においては，リバプールはクロスでは一番低い値となっている．つまりシュート数，クロス数は多く，ポゼッションの評価も高いが，クロスの上手さでは評価値が極端に低くなっている．昨シーズン，リバプールというチームは積極的にシュートを打つ攻撃的なチームであった．また，サイド攻撃を重視した戦術を用い，クロス数も必然的に多くなった．しかし，新たに獲得した長身 FW は不振に陥り，クロスを上げても防がれる場面が目立った．実際リバプールは，守備面では安定した結果を残したにもかかわらず，最終的に 8 位という順位でシーズンを終えている．

## 5.　おわりに

本稿では，ANP を用いてサッカーチームの項目別評価を行った結果を報告した．ANP は（AHP に比べても）新しい手法であり，その使い方において標準が定まっていない部分がまだ多い．しかしながら今回の研究において，スポーツリーグのチーム評価に対し，ANP は非常に興味深いツールであると筆者らは実感した．手法自体が簡便であることも魅力の一つである．多くの解析事例が得られれば，標準的な手法も経験的に定まっていくように思われる．興味を持たれた読者におかれては，贔屓のスポーツリーグの解析を試みていただければ欣快の至りである．

### 参考文献

[1] T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process: Planning Setting Priorities, Resource Allocation,* Mcgraw-Hill, 1980.

[2] T. L. Saaty, *The Analytic Network Process: Decision Making With Dependence and Feedback*, RWS Publications, 2001.

[3] K. Sekitani and N. Yamaki, “A Logial Interpretation for the Eigenvalue Method in AHP,” *Journal of the Operations Research Society of Japan*, **42**, 219–232, 1999.

[4] K. Sekitani and I. Takahashi, “A Unified Model and Anaysis for AHP and ANP,” *Journal of the Operations Research Society of Japan*, **44**, 67–89, 2001.

[5] 木下栄蔵,「AHP から ANP へ」, オペレーションズ・リサーチ，**48**, 677–683, 2003.

[6] 関谷和之,「AHP，ANP の固有ベクトル法における数理構造」, オペレーションズ・リサーチ，**48**, 294–299, 2003.

[7] 関谷和之,「例解 ANP」, オペレーションズ・リサーチ，**52**, 567–571, 2007.

[8] 高橋磐郎,「AHP から ANP への諸問題 (I〜VI)」, オペレーションズ・リサーチ，**43**, 36–40, 100–104, 160–163, 219–223, 289–293, 340–345, 1998.