

# AHPとANPを用いた東南アジア諸国の海外投資分析\*

## Foreign Investment Analysis of the countries in Southeast Asia Using AHP and ANP \*

法雲 俊栄\*\*・杉浦 伸\*\*\*・木下 栄蔵\*\*\*\*

By Shunei NORIKUMO\*\*・Shin SUGIURA\*\*\*・Eizo KINOSHITA\*\*\*\*

### 1. はじめに

近年、日本や先進国は収益向上の為に加工コストの安いアジア諸国へ生産拠点を移転し海外投資を行ってきた。しかし、それまで自社で培ってきた経営知識とは別に、生産拠点のアジア諸国が持つ独自性や予想外の損害により生産拠点の撤退・閉鎖、生産拠点の移転見直しなどの問題に直面する企業も存在する。こうした海外投資の際の問題点として、各国の関税制度の複雑さ、海外投資の規制問題、雇用ビザ、知的財産の保護の困難さ、各種申請・登録手続きの期間の長さなどがあり、日本とは違ったアジア諸国の独特の条件が複雑に絡み合っている。本稿では、AHPを適用した東南アジア各国の投資分析を先行事例として取り扱い、ANPにおいても結果がどのように変化するか、海外投資のリスクを少なくできるような分析をおこなった。2章においてAHPの概要について述べ、3章でANPの概要、4章においてANPの先行事例、5章でANPによる分析、6章において重み一斉法による分析と比較をして、7章において本稿を総括する。

### 2. AHPの概要

T.L.Saaty によって提唱された階層分析法・AHP(Analytic Hierarchy Process)の大きな特徴は幾つ

---

\*キーワード：計画基礎論，計画手法論

\*\*非会員，経済修，名城大学大学院都市情報学研究所

(岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3,  
TEL0574-69-0100, FAX0574-69-0155)

[p0581502@urban.meijo-u.ac.jp](mailto:p0581502@urban.meijo-u.ac.jp)

\*\*\*学生員，都市情報修，名城大学大学院都市情報学研究所

(岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3,  
TEL0574-69-0100, FAX0574-69-0155)

[p0681501@urban.meijo-u.ac.jp](mailto:p0681501@urban.meijo-u.ac.jp)

\*\*\*\*正員，工博，名城大学大学院都市情報学研究所

(岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3,  
TEL0574-69-0100, FAX0574-69-0155)

[kinoshit@urban.meijo-u.ac.jp](mailto:kinoshit@urban.meijo-u.ac.jp)

かの候補の中から最良の代替案を選ぶ際に、人間の直観やフィーリングといった主観を取り入れて選定する事を可能とした点である。実際に本研究の検証の中では、税制度、法制度、雇用制度など数値化の難しいものを著者と経済学者の主観により定量的な数値に置き換えて問題を取り扱っている。本研究では計算終了後に代替案の追加が可能のように、AHP手法の絶対評価法を用いて評価した。

### 3. ANPの概要

今回用いる手法は、AHPとは状況が異なる「各レベル間において従属している場合」、つまり、評価基準と代替案が現実の意思決定状況と同じように互いに従属関係をもつ場合を考慮して外部従属法(Outer-Dependence法)を用いる。この外部従属法と他の内部従属法は、T.L.Saatyにより、ANP(Analytic Network Process)としてAHPにおける外部従属法をネットワークに拡張したモデルとして提唱された分析法である。

### 4. AHPの先行事例

投資国の選定という総合評価に関する問題に対して、従来型AHPの相対的評価法について、参考文献[1]

「代替案の数が増えると、一対比較の数が極めて多くなり、1度に一対比較するのが困難になる。しかも、整合性が悪くなることが認められている」問題点を考慮して、本論文の例では、多数の国を評価対象とするためSaatyより提案された絶対評価法を用いて、のちに木下によって改良された各代替案のデータが定量的な場合と定性的な場合の具体的な計算方法を用いて分析した。

投資国選定の総合評価をAHPで行うにあたっては、評価基準とその階層構造、評価基準の重みは、いずれも著者の意見と、経済学者の意見を参考にしてまとめた。

AHPの評価基準の選定については、レベル1に総合目的である「投資国の優先順位の決定」を、レベル2に

「経済」、「政治」、「社会」、「金融」の4つを、レベル3に、「市場規模」、「労働市場」、「安定性」、「現地調達」、「安定性」、「制度」、「貿易政策」、「インフラ」、「技術能力」、「通貨価値」、「資産管理」、「課税制度」、「外貨準備高」の13個を置いた。代替案にあたる投資国の候補地選定を、「韓国」、「台湾」、「タイ」、「インドネシア」、「ベトナム」、「中国」の6カ国として分析した。

各レベルの評価基準の重み付けの計算結果では、レベル2の評価基準の中で経済(0.463)と、次に金融(0.275)が重要な評価基準として値が算出された。レベル3も同様にペア比較を行い、選定基準の重み付けの計算を行った。その結果、市場規模(0.213)、課税制度(0.156)、労働市場(0.150)、政治の安定性(0.120)の順に重要な評価基準であり、最も影響力があるという計算結果が示された。今回は、海外の経済基盤に最も大きなウエイトをおいた研究であり、中でも市場開拓の分野に重点を置いていることが読み取れる。

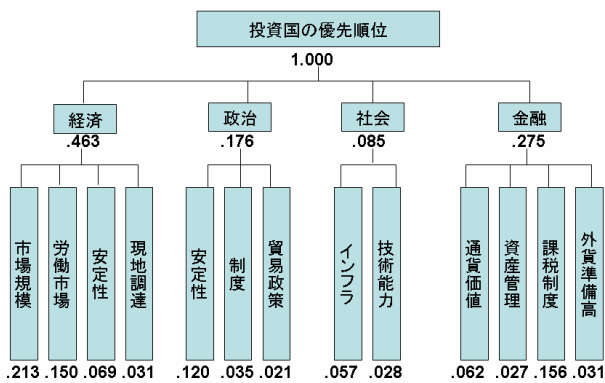


図1 評価基準の重み

次に、各代替案の評価を13個の設定した評価水準ごとに従っておこなって計算をおこなった。そして評価マトリックスを

$$S_{ij} = \frac{a_{ij} (\text{評価基準 } i \text{ における代替案 } j \text{ の評価値})}{a_{i\max} (\text{評価基準 } i \text{ における最大評価値})}$$

により計算し、その結果に各ウエイトを掛け合わせ、図2に各代替案の総合評価値を示す。結果として各代替案の総合評価値は、台湾(0.717) > 韓国(0.553) > インドネシア(0.538) > タイ(0.526) > ベトナム(0.460) > 中国(0.356)となった。絶対評価法において評価の満点は1.00となるため総合評価の値は代替案に対しての海外投資率とみなすことができるのである。

韓国	台湾	タイ	インドネシア	ベトナム	中国
0.553	0.717	0.526	0.538	0.460	0.356

図2 投資率

## 5. ANPによる分析

次に、先行事例で計算したAHPの結果を元にして、ANPの計算をおこなった。取り出した対象国と評価基準は、代替案として最も数値が高い結果となった韓国、台湾、インドネシアの3カ国を取り出した。評価基準では、最も数値が高い結果となった、経済、金融の2つを取り出し分析した。ANPの階層図を図3に示す。

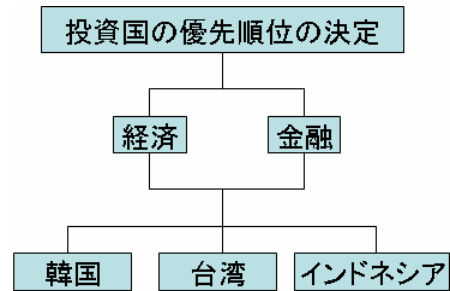


図3 ANPの階層図

AHPの計算を次のスーパーマトリックスつまり、各評価基準と代替案の関係を1つのマトリックスで表現したものをを用いる、

$$W = \begin{bmatrix} 0 & w_C \\ w_A & 0 \end{bmatrix}$$

そして、この推移確立行列は行列のたての要素を合計すると1.0となり、極限確率行列 $W^*$ に収束する。

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^{2k+1} = W^*$$

この結果 $W^{2k+1}$ が $W$ と同じ形のマトリックスである。

$$W^* = \begin{bmatrix} 0 & w_C^* \\ w_A^* & 0 \end{bmatrix}$$

$w_A$ は $w_A^*$ に $w_C$ は $w_C^*$ に収束し、ここで $w_A^*$ は総合評価値マトリックスであり、 $w_C^*$ は各評価基準の重みマトリックスとなる。

以上の計算方法から、次にANP初期値を示します。

$$W = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.000 & 0.600 & 0.700 & 0.500 \\ 0.000 & 0.000 & 0.400 & 0.300 & 0.500 \\ 0.540 & 0.122 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.297 & 0.558 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.163 & 0.320 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

ANP 初期値が収束して求められた結果が以下の通りです。

$$W^* = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.000 & 0.617 & 0.617 & 0.617 \\ 0.000 & 0.000 & 0.383 & 0.383 & 0.383 \\ 0.380 & 0.380 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.397 & 0.397 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.223 & 0.223 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

よってANPでの計算結果は、台湾(0.397) > 韓国(0.380) > インドネシア(0.223)となった。

り、いずれの結果もAHPと順序が同じ結果となった。

## 6. 重み一斉法による分析

支配代替案間の互換性が保たれない状況下において「ずれ」を調整する方法が木下・中西により提案されている。以下、重み一斉法について説明する。

評価基準 2 つ (I, II), 代替案 3 つ (X, Y, Z) の場合について説明する。評価基準の重みを

$$W^1 = (W_X^1, W_Y^1, W_Z^1)$$

とする。上記の式における添付文字の 1 は初期値を示すものとし、アルファベットは代替案を示している。

さらに評価基準の下での代替案の評価値を  $M$  とし、評価単価比行列  $M_i$  をそれぞれ次のように定義する。

$$M = \begin{bmatrix} a_{XI} & a_{XII} \\ a_{YI} & a_{YII} \\ a_{ZI} & a_{ZII} \end{bmatrix}$$

$$M_i = M \cdot \begin{bmatrix} 1/a_{iI} & 0 \\ 0 & 1/a_{iII} \end{bmatrix} = M \cdot A_i^{-1}$$

ただし、 $A_i = \begin{bmatrix} a_{iI} & 0 \\ 0 & a_{iII} \end{bmatrix}$  とする。

重み一斉法は ANP 同様に代替案の視点によって、複数の評価基準が存在する意思決定状況である。

重み一斉法では重みの導出値は、最初に与えられる複数存在する代替案からの導出値の平均値によって求められる。評価基準は合計が 1 であるため、 $e$  をすべてが 1 の列ベクトルとすると、代替案 X における評価基準の重みの導出値  $W_X^2$  は

$$W_X^2 = \frac{1}{3} \left\{ \frac{A_X A_X^{-1} W_X^1}{e^T A_X A_X^{-1} W_X^1} + \frac{A_X A_Y^{-1} W_Y^1}{e^T A_X A_Y^{-1} W_Y^1} + \frac{A_X A_Z^{-1} W_Z^1}{e^T A_X A_Z^{-1} W_Z^1} \right\}$$

となる。同様に、代替案 Y, Z からみた重みの導出値  $W_Y^2, W_Z^2$  はそれぞれ次のようになる。

$$W_Y^2 = \frac{1}{3} \left\{ \frac{A_Y A_X^{-1} W_X^1}{e^T A_Y A_X^{-1} W_X^1} + \frac{A_Y A_Y^{-1} W_Y^1}{e^T A_Y A_Y^{-1} W_Y^1} + \frac{A_Y A_Z^{-1} W_Z^1}{e^T A_Y A_Z^{-1} W_Z^1} \right\}$$

$$W_Z^2 = \frac{1}{3} \left\{ \frac{A_Z A_X^{-1} W_X^1}{e^T A_Z A_X^{-1} W_X^1} + \frac{A_Z A_Y^{-1} W_Y^1}{e^T A_Z A_Y^{-1} W_Y^1} + \frac{A_Z A_Z^{-1} W_Z^1}{e^T A_Z A_Z^{-1} W_Z^1} \right\}$$

重み一斉法を繰り返し、 $n$  回目の手順における評価基準の重み  $W_i^n$  ( $i=X, Y, Z$ ) と  $n-1$  回目の手順の重み  $W_i^{n-1}$  との値が一致し収束するまでこの手順を繰り返す。そして、評価単価比行列  $M_i$  と収束した評価基準の重み  $W_i^*$  との積  $M_i \cdot W_i^*$  によって各代替案の評価値が得られる。

$$E_i = M_i \cdot W_i^*$$

そして、代替案 X, Y, Z の数だけ導出されるが列和を 1 に正規化したものは唯一となり総合評価値として得られるのである。以上が重み一斉法の手順である。

次に、重み一斉法による計算結果を示す。

	①		②		③	
	I	II	I	II	I	II
①	0.600	0.400	0.700	0.300	0.500	0.500
	0.951	0.049			0.691	0.309
	0.897	0.103	0.511	0.489		
②	0.816	0.184	0.455	0.545	0.446	0.554
	0.874	0.126	0.348	0.652	0.338	0.662
	0.875	0.125	0.457	0.543	0.444	0.556
③	0.855	0.145	0.420	0.580	0.409	0.591
	0.857	0.143	0.415	0.585	0.404	0.596
	0.858	0.142	0.420	0.580	0.409	0.591
④	0.857	0.143	0.418	0.582	0.407	0.593
	0.857	0.143	0.418	0.582	0.407	0.593
	0.857	0.143	0.418	0.582	0.407	0.593
⑤	0.857	0.143	0.418	0.582	0.407	0.593

$$E_{\text{韓国}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0.550 & 4.574 \\ 0.302 & 2.623 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.857 \\ 0.143 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 \\ 1.127 \\ 0.635 \end{bmatrix}$$

$$E_{\text{台湾}} = \begin{bmatrix} 1.818 & 0.219 \\ 1 & 1 \\ 0.549 & 0.573 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.418 \\ 0.582 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.887 \\ 1.000 \\ 0.563 \end{bmatrix}$$

$$E_{\text{インドネシア}} = \begin{bmatrix} 3.313 & 0.381 \\ 1.822 & 1.744 \\ 1.000 & 1.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.407 \\ 0.593 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.576 \\ 1.776 \\ 1.000 \end{bmatrix}$$

以上の重み一斉法の結果を正規化すると、台湾(0.408) > 韓国(0.362) > インドネシア(0.230)となり順位の逆転はなくANPと同じような結果となった。

	一斉法	ANP	AHP
韓国	0.362	0.380	0.553
台湾	0.408	0.397	0.717
インドネシア	0.230	0.223	0.538

今回のANPと重み一斉法による計算結果から解ったことをまとめる。ANPの結果からAHPとの結果を比べると韓国とインドネシアについて数値の比率が少し変化した。台湾、韓国、インドネシアに順序の逆転はなかった。また重み一斉法の解では、ANPの結果と同じような数値になり、各国の比率もANPと一斉法は、ほぼ同じような結果が求められた。この結果から、投資国への有意性が明らかになった。

## 7. まとめ

今回、評価基準を2つと代替案を3つとして主に数値の高かったものから選出したが、評価基準と代替案の追加により、どのように結果が変化するか。また、経済の産業状況をANPの計算に取り込んで、より正確な数値を導き出せるよう今後の研究にしていきたい。

### 参考文献

- 1) 木下栄蔵：孫子の兵法の数学モデル，講談社，1998.
- 2) 木下栄蔵：入門 AHP--決断と合意形成のテクニック--，日科技連，2000.
- 3) 木下栄蔵：よくわかる AHP 孫子の兵法の戦略モデル，Ohmsha，2006.
- 4) 東洋経済新報社：日本企業のアジア進出マップ，東洋経済新報社，1995.
- 5) 経済社会データランキングホームページ：<http://dataranking.com>
- 6) JETRO：アジアの投資環境比較，海外調査シリーズ No.357，JETRO(日本貿易振興会)，2002.
- 7) 法雲俊栄，杉浦伸，木下栄蔵：AHP による東南アジア諸国の投資効果の計量化分析，日本オペレーションズ・リサーチ学会 2006 年度春季研究発表会アブストラクト集，pp138-139，2006.