

## 《論 文》

## ファジイ理論による立地評価システム

— 外資系企業の立地問題 —

百合本 茂

## 1. はじめに

企業の意思決定のなかでも工場や事業所などの活動場所の選定問題では、ひとたび、場所の選定がなされ、立地が行われると、あとでその場所に何らかの問題が見つかったとしても立地を変更することは容易ではないことから、選定作業は、大局的立場にたって各候補地を様々な観点から評価し、慎重に行われなければならない。すなわち、立地の意思決定の際には、各候補地について立地環境を形成する様々な属性や評価項目を調査し、それらの総合的な評価がなされ、立地場所が決定される。これは、立地選定問題に限らず、複数の代替案の中から最も優れた案を選び出すという一般的な意思決定問題に共通することでもある。

代替案を評価するための方法として、従来からよく用いられてきたものの一つに、線形結合法がある。これは、評価対象となる各案の各評価項目に評点を付与し、それらに対する重要度、あるいは選好度の積和をとり、その値の最も大きな案を採用するというものであり、その明解さ、簡便さから、多くの局面で適用されてきた。しかし、評価項目には、費用や金額など数値化の容易なものやそれが困難なものも混在し、そのような異質な評価項目を、単純な形で加重平均することの妥当性の問題や、評価項目の選択の際に要求される項目間の独立性の問題、また重要度をどのようにして求めるかといった問題が存在する。

重要度に関しては、Saaty による AHP を用いた方法[1][2] などにより求めることができる

が、評価項目や代替案の数が多くなると、一対比較に関わる煩雑性、信頼性の点で問題が残る。

本稿では、これらの問題点に対処するために、AHP とファジイ理論に基づいた立地選定のための候補地評価の方法を二つ提案する。

一つは、立地要因を構成する各評価項目のデータをメンバシップ関数として捉え、ファジイ環境における最大化決定に AHP によるウェイトを付加したもの、また、二つ目はファジイ積分を用いるもので、線形結合法における加法性の条件を緩め、単調性に基づいた定式化がなされるため、人間の主観的な判断、評価にふさわしい総合評価が行われる。

以下では、まず従来からよく用いられてきた方法について述べ、それらの問題点を改善する方法としてファジイ理論による立地評価システムを提示する。次にこれを、日本国内の工業団地を対象とした外資系企業による立地選定問題に適用し、妥当性を検証する。

## 2. 評価問題におけるファジイ理論

## 2-1 評価の構造

通常、意思決定の局面では、対象となる代替案が複数存在し、代替案のもつ様々な属性を何らかの形で個別に評価する。そして、これらを総合的に評価・判定し最適な代替案を選択するというステップを踏む。立地選定問題では、代替案は各候補地点である。また、候補地点を特徴づける立地環境の中で、他の地点と差別化できる属性が立地要因となる。立地主体である企業の意思決定者は、各候補地点について、立地要因を個別に評価し、これら個別の評価項目に

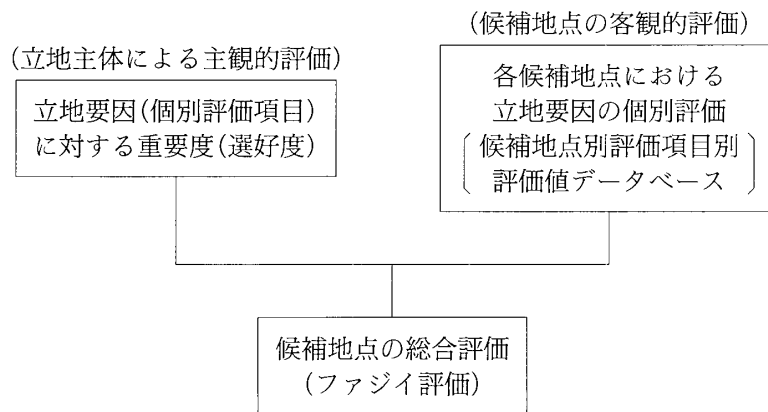


図1 評価の構造

何らかの形で重要度を付与し、総合評価を行うことが多い(図1)。

この重要度あるいは選好度は意思決定者が恣意的に与えることもあるし、また、意思決定者の主観的評価に基づき、それをもとに選好度を数量的に捉える方法もいくつか開発されており、SaatyのAHPもその一つに位置づけられる。ただ、AHPでは、評価項目や代替案の対比較がその基礎にあるので、それらの数が増えると、対比較に関わる煩雑性や信頼性の点で問題が残る。そこで、評価項目の数が比較的少なく、代替案の数が多いような場合には、各評価項目に対する選好の度合いをAHPにより求め、それらと、代替案の属性としての各評価項目の評価値との線形結合により総合評価値を求める方法が考えられている[3]。意思決定者がこのウェイトを恣意的に与えた場合でも、同様に線形結合法によって総合評価値が求められる。

線形結合法では、選好度の加法性を仮定し、各評価項目間の独立性が要求される。しかし、人間の行う意思決定や評価では、加法性が仮定できない場合が多い。また、評価項目間の独立性は、かなりきつい前提である。厳密な意味での独立性は、人間の主観が伴う代替案の評価では事実上無理といえる。

そこで、本稿では、これらの問題点に対処するために、ファジイ理論による評価システムを提示する。ファジイ理論は、人間社会に存在す

るあいまいさを定量化するのに用いられてきたが、ここでは、ファジイ集合の演算を用いた評価法を次節で、人間の持つ主観のあいまいさを計量するファジイ測度を用いた評価法を2-3で示す。

## 2-2 ファジイ決定による評価

ファジイ目標とファジイ制約を考慮したファジイ環境における意思決定では、代替案の集合  $X$  上に、ファジイ目標  $G$  とファジイ制約  $C$  が与えられたとき、これらを同時に満たす共通集合である次のようなファジイ決定  $D$  が定義される[4]。

$$D = G \cap C; \mu_D(x) = \mu_G(x) \wedge \mu_C(x) \quad (1)$$

ただし、演算子  $\wedge$  は  $\min$  を表す。また、 $\mu_G(x)$ 、 $\mu_C(x)$ 、 $\mu_D(x)$  はそれぞれファジイ目標、ファジイ制約、共通集合のメンバシップ関数である。

より一般的な  $k$  個のファジイ目標と  $n$  個のファジイ制約が存在する場合のファジイ決定  $D$  は、それらの共通集合として、

$$D = G_1 \cap \dots \cap G_k \cap C_1 \cap \dots \cap C_n \quad (2)$$

として定義され、 $D$  に帰属する度合いを最大にするような  $x$  を選ぶ最大化決定は、

$$\begin{aligned} \mu_D(x^*) &= \max \mu_D(x) \\ &= \max \{ \min(\mu_G(x), \mu_C(x)) \} \end{aligned} \quad (3)$$

のようになる。ここでは、ファジイ環境におけ

る目標と制約に本質的な差はなくなっていることに注意したい。

いま、代替案の各評価項目に関するメンバシップ関数が与えられているものとする。立地選定問題では候補地を評価する項目は立地要因であるから、たとえば、その一つである労働力を例にとると、「労働力が豊富である」というファジイ制約に対して、各候補地について労働力に関して評価値を与え、これを  $[0, 1]$  に変換し、メンバシップ関数と考えればよい。これを各評価項目について求めれば、最大化決定を行うことができる。

このようにして求めた候補地は、メンバシップ関数を確率として考えた場合の決定理論における maxmin 原理による解に他ならない。

(2)式で与えられる最大化決定は、複数の目標と制約がいずれも同じ重要性をもっていることを仮定している。そこで、各評価項目の重要性の程度(選好度)を導入し、(2)式にウェイトを付加することを考える。すなわち、

$$D = C_1^{a_1} \cap C_2^{a_2} \cap \dots \cap C_n^{a_n} \quad (4)$$

のようにすることにより、選好度を考慮した代替案の選択を行うことができる。ファジイ目標とファジイ制約を区別する必要がなくなったことから、ここでは制約だけからなる式としている。

係数  $a_i$  は、メンバシップ関数が 0 と 1 の間の値をとるので、 $a_i > 1$  のとき、メンバシップの帰属度合いは減少し、反対に、 $a_i < 1$  のとき、 $a_i$  の値が小さくなるほどメンバシップ関数の値は増加する。

$a_i$  は AHP などにより求めればよいが、AHP により得られるウェイトは、ウェイトの合計が 1 となるので、これに評価項目行列の次数  $n$  を乗じることにより、次のように基準化する。

$$a_i \geq 0 \quad \text{for all } i \quad (5)$$

$$(1/n) \cdot \sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (6)$$

このように基準化しても、ウェイト間の相対的關係は維持され、また、(6)式は、すべての制約が同じ重要性をもつとき、 $a_i$  の値が 1 となることを表す。

評価項目  $i$  の重要性が高く、AHP におけるウェイトが平均以上なら、 $a_i$  は 1 以上となり、メンバシップ関数の値を減少させる。平均以下なら、 $a_i$  は 1 以下となるのでメンバシップ関数の値は増加する。(4)式が、maxmin 原理によっているので、重要性の高い評価項目のメンバシップ関数の値が意思決定に効いてくることになる。

たとえば、「労働力が豊富である」という集合に対して与えられるメンバシップ関数の値を例にとってみてみよう。もし、この評価項目が他の評価項目と比較して重要視されているならば、この集合を「非常に労働力が豊富である」という部分集合に変えてやればよいし、反対に、この評価項目が、たいして重要視されないならば、「やや労働力が豊富である」という、「労働力が豊富である」の集合を包摂する集合に変えればよい。そのために、前者では、1 以上の  $a_i$  の値をべきの値として用いることにより、メンバシップの帰属度合いを減少させ、後者では、1 以下の値を用いることにより、その度合いを増加させるのである。

Zadeh は「非常に」という修飾語に対して二乗をとることを例としてあげているが[5]、上述の方法では、「非常に」とか「やや」というファジイ集合を修飾する言語ヘッジを  $a_i$  の値によって数量化することにより、修飾の程度をより柔軟に表現することができる。

### 2-3 ファジイ積分による評価

いま、 $n$  個の評価項目を  $x_1, x_2, \dots, x_n$  とし、これらの評価項目に意思決定者が考える重要性の程度によってウェイト  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  を与える。このとき、意思決定者にとってもっとも選好される代替案  $y^*$  は、線形結合を仮定すれば、

$$y^{\dagger} = \arg \max_j \left\{ \sum_{i=1}^n w_i \cdot f_j(x_i) \right\} \quad (7)$$

と表される。ここで、 $f_j(x_i)$  は、代替案  $j$  の評価項目  $i$  の評価値である。

ここで、 $w_i$  を 1 点集合の  $\{x_i\}$  の測度  $m(\{x_i\})$  とみなせば、(7) 式の  $\Sigma$  部分は、次のルベーク積分

$$u(f) = \int_x f dm \quad (8)$$

として表現できる。

このような加法モデルが適切なのは、各評価項目を同時に考えたときの重要性が、それぞれ独立に考えたときの重要性の和になっている場合である。意思決定者の主観的尺度はそのような加法性が成立しないのが普通である。

そこでここでは、評価項目間の独立性、評価における加法性の条件を緩めるために、(8) 式の測度  $m$  をファジイ測度に、ルベーク積分をファジイ積分に置き換えることを考える。

ファジイ測度は、集合  $X$  の部分集合を閉区間  $[0, 1]$  の数値に対応づける集合関数  $g$  が、有界性と単調性を満たす場合をいう。すなわち、

$$g(\phi) = 0, \quad g(X) = 1 \quad (9)$$

$$A \subset B \text{ ならば, } g(A) \leq g(B) \quad \forall A, B \subset X \quad (10)$$

の場合である。たとえば、意思決定のために代替案の属性を表す評価項目を考えると、完全な意味で独立な評価項目を抽出することは困難であるし、項目間に相乗作用があったり、似たような属性の項目間では相殺作用があったりすることも多いが、そのような場合、ファジイ測度を用いることにより、評価項目間の相互依存関係を表すことができ、意思決定者の主観的評価が表現できる。

いま、ファジイ測度として、Zadeh の可能性測度と必然性測度 [6] を取り入れることを考える。

AHP などの加法的モデルでは、評価における代替性や補完性が考慮されることはなかった

が、ここではそれが可能となる。代替性とは、複数の評価項目の中で特に優れた項目のある代替案を選好する性質、補完性とは、できるだけ欠点のないものを選好する性質をいうが、これらの極端な場合が、maxmax 決定、maxmin 決定となる。

AHP において通常よく用いられる固有ベクトルによって得られるウェイトは、その和が 1 となるように基準化されているが、ここでは、ウェイト  $W$  を  $X$  上の可能性測度であるとする。このとき、 $W$  の満たすべき条件は、

$$0 \leq w_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

で、かつ、 $w_i = 1$  となる  $i$  が少なくとも一つ存在することである。したがって、複数個の評価項目全体のウェイトは、それぞれのウェイトの和ではなく、最大値であると考えられる。

さて、非加法的測度の一つに、Dempster と Shafer による  $Bel$  測度 (Belief Measure)、 $Pl$  測度 (Plausibility Measure) がある [7], [8]。

$Bel$  測度は、要素  $x \in X$  が集合  $A$  に属する確信の度合いを表す。このような  $Bel$  測度は、基本確率割当と呼ばれる

$$m(\phi) = 0, \quad \sum_{A \subset X} m(A) = 1 \quad (12)$$

を満たす集合関数  $m: 2^X \rightarrow [0, 1]$  を用いて、

$$Bel(A) = \sum_{B \subset A} m(B) \quad \forall A \subset X \quad (13)$$

として与えられる。 $m(A) > 0$  である集合  $A$  は、焦点要素と呼ばれる。

また、 $Bel$  測度と双対の関係にある  $Pl$  測度は、基本確率割当を用いて、

$$Pl(A) = \sum_{B \cap A \neq \phi} m(B) \quad \forall A \subset X \quad (14)$$

と表現できる [9]。

いま、焦点要素  $A_1, A_2, \dots, A_k$  が  $A_1 \subset A_2 \subset \dots \subset A_k$  のように入れ子になっているとき  $Pl$  測度は可能性測度に、 $Bel$  測度は必然性測度に

等しくなる。すなわち、 $Pl$  測度、 $Bel$  測度は可能性測度、必然性測度をそれぞれその特別な場合として含んでいる。

$Bel$  と  $Pl$  を用いた期待値は、次のルベーグスチルチェス積分によって与えられる。

$X$  上の実数値関数  $f$  に対して、上限分布関数  $F^*$  と下限分布関数  $F_*$  を、

$$F^*(v) = Pl(f \leq v) \quad (15)$$

$$F_*(v) = Bel(f \leq v) \quad (16)$$

と定義し、焦点要素  $A$  で表すと、

$$E^*(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v dF_*(v) = \sum_{A \subset X} m(A) \cdot \max_{x \in A} f(x) \quad (17)$$

$$E_*(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v dF^*(v) = \sum_{A \subset X} m(A) \cdot \min_{x \in A} f(x) \quad (18)$$

となる。ここで、 $E^*$  は  $Bel$  による上限期待値、 $E_*$  は  $Pl$  による下限期待値である。

いま、 $w_i$  を評価項目  $i$  の可能性測度で表された重要性の度合いで、 $p$  個の値

$$r_1 < r_2 < \dots < r_p = 1 \quad (19)$$

をとっているとして、 $p$  個の集合  $A_l$  を、

$$A_l = \{x_i | w_i \geq r_l\}, \quad l=1, \dots, p \quad (20)$$

と定め、 $A$  を焦点要素として基本確率割当  $m$  を、

$$m(A_l) = r_l - r_{l-1}, \quad l=1, \dots, p \quad (21)$$

とする。ただし、 $r_0 = 0$  である。

基本確率割当が定まると、ファジイ積分による上限期待値  $E^*$  と下限期待値  $E_*$  は、

$$E^*(f) = \sum_{l=1}^p (r_l - r_{l-1}) \cdot \max_{x \in A_l} f(x) \quad (22)$$

$$E_*(f) = \sum_{l=1}^p (r_l - r_{l-1}) \cdot \min_{x \in A_l} f(x) \quad (23)$$

のように求められる[7],[10]。意思決定者によ

ってもっとも選好される代替案は、代替案  $j$  の評価値を  $f_j$  とすると、 $Bel$  による場合、

$$y^* = \{y_j | \max_j E^*(f_j)\} \quad (24)$$

であり、 $Pl$  による場合には、

$$y_* = \{y_j | \max_j E_*(f_j)\} \quad (25)$$

となる。すべての  $i$  について  $w_i = 1$  のとき、それぞれ  $\max\max$  決定、 $\max\min$  決定に相当する[11]。

意思決定者は、複数の評価項目の中で特に優れたものを含む代替案を選好すれば(24)式により、できるだけ欠点の少ない案を選ぼうとするなら(25)式により、最大の評価値をとる代替案を選ぶことになる。

### 3. 外資系企業の立地問題への適用

ここでは、上で述べたファジイ理論を用いた立地評価の方法を日本への進出を考慮している外資系企業の立地問題に適用してみることにする。

#### 3-1 外資系企業の立地の現状[12]

外資系企業による対日投資は、急激な伸びを示している日本企業の対外直接投資と比較すると、フロー、ストックベースともに微々たるものといえるが、80年代以降大きく伸長し、92年、93年に伸び悩んだものの、94年度は再び拡大している。この1、2年の伸びは、日本経済の景気回復の兆し、地価の下落、超低金利などによるところが多い。製造業の割合はその約半分で、電気機械など機械系の業種のウェイトが高くなっている。国・地域別にみると、外資比率50%以上の外資系企業による工場立地件数の72年度から95年度上期までの累計ではアメリカ、ドイツ、フランス、スイスが上位を占め、欧米諸国の比率が高く、そのウェイトは95%を超えている。

外資系企業が日本に進出する動機としては、「日本市場の成長性」、「アジア進出の拠点」、「日

本の高い技術水準」などがあげられ、また、工場立地の選択理由としては、「パートナーとの関係」、「用地借入、建設費、設備投資などのコスト」、「工業団地等のインフラ」、「販売先との関係」、「自治体等の熱心な誘致活動」、「人材の確保」、「税制、補助金等の自治体のインセンティブ」等の要因をあげている。これに対して、受け入れ側としては、通産省が日本進出をめざす外国企業を支援するため「対日投資サポートサービス」を民間に働きかけて設立したり、各自治体も工業団地の整備、研究開発地区の設置などを行い、企業誘致を図っている。

### 3-2 対象団地と立地要因

外資系企業が日本で事業展開するプロセスは、輸出などを通じて営業、販売活動を始める進出段階、営業、販売実績を積み上げ生産基盤を確立する基盤形成—本格展開段階、さらに、現地化がかなり進み、更なる展開を図ろうとするグローバル展開段階に分けることができると考えられる。ここで対象とする企業は、すでに日本での営業、販売活動が進み、生産拠点を考慮している基盤形成—本格展開段階の外資系企業である。

ここでは、対象業種をソフトウェア開発に絞り、外資系企業がソフトウェア開発拠点をテクノポリス指定地区の28工業団地(表1)のいずれかに立地させる場合の意思決定問題を考える<sup>(注1)</sup>。

外資系企業へのヒヤリング調査などをもとに抽出し、階層化した立地要因は表2のとおりである。これらが工業団地を評価する際の個別評価項目となる。これらの評価項目に対して、28団地について評価値を求めた。個々の評価値は、工業団地別に10段階評価され、データベース化している<sup>(注2)</sup>。

### 3-3 ファジイ決定による立地評価

まず、表2にあげた16の立地要因について、ソフトウェア開発拠点の選定を意図している外資系企業A社へのヒヤリングによって各評価

表1 対象工業団地

	団地名	所在地
1	苫小牧東部工業団地	北海道
2	函館臨空工業団地	北海道
3	藤代工業団地	青森
4	北上南部工業団地	岩手
5	仙台北部中核工業団地	宮城
6	秋田新都心	秋田
7	米沢八幡原中核工業団地	山形
8	郡山西部第二工業団地	福島
9	情報の森とちぎソフトリサーチパーク	栃木
10	見附県営工業団地	新潟
11	富山イノベーションパーク	富山
12	八田地区拠点工業団地	山梨
13	上田リサーチパーク	長野
14	飯田工業団地	長野
15	浜北工業団地	静岡
16	豊橋工業団地	愛知
17	播磨科学公園都市	兵庫
18	御津工業団地	岡山
19	竹原地区工業団地	広島
20	新山野井工業団地	山口
21	番の州臨海工業団地	香川
22	東予インダストリアルパーク	愛媛
23	広川中核工業団地	福岡
24	佐世保テクノパーク	長崎
25	熊本中核工業団地	熊本
26	大分北部中核工業団地	大分
27	宮崎テクノリサーチパーク	宮崎
28	鹿児島臨海1号団地	鹿児島

項目の重要性の一対比較を行い、得られた値をもとに固有値法により評価項目のウェイトを求めた。その結果、A社の立地要因に対する選好の度合いは、顧客近接性(顧客サービス)、用地分譲価格、技術労働力、住環境、優遇措置の順であった。表3の最下行にその値を示している。この値に評価項目の一対比較行列の次数16を乗じ、(4)式の $a_i$ とする。

次に、工業団地立地評価項目データベースが10段階評価による値なので、これを $[0, 1]$ に変換し、(4)式の $C_i$ とする。(4)式による演算結果が表3の最小値の列に与えられ、その順位を最右列に示す。

表2 立地評価項目

レベル1	レベル2	レベル3	評価指標	備考
労働力	単純労働力		労働力人口/企業数	半径20 <sup>km</sup> 以内
	技術労働力		大学生数/企業数	半径50 <sup>km</sup> 以内
	住環境		住みやすさ指数	最寄りの中核都市の指数
気候	気温	最高気温	年最高気温	最寄り気象観測地データ
		最低気温	年最低気温	最寄り気象観測地データ
	降水量		年間降水量	最寄り気象観測地データ
	日照時間		年間日照時間	最寄り気象観測地データ
輸送条件	空港	空港設備	空港設備能力・便数	最寄りの空港
		空港近接性	空港までの距離	最寄りの空港
	港湾	港湾設備	港湾設備能力	最寄り港湾
		港湾近接性	港湾までの距離	最寄り港湾
経済性	外注保守業者		同業者事業所数	半径30 <sup>km</sup> 以内
	用地分譲価格		用地分譲価格	
	顧客サービス		顧客近接性	人口重心までの距離
インセンティブ	地域協力・熱意		外資系企業向け案内の有無	英文パンフレットの有無
	優遇措置		融資条件	

表3をみると、A社が重要視している項目ほどメンバシップ関数の値が小さくなり、立地評価に影響を与えることがわかるが、この例では、各団地とも顧客近接性、用地価格、技術労働力のいずれかに最小値があり、その大きさにより順位が決定されることになる（表中の網掛けの部分）。したがって、ファジイ決定による評価では、16の評価項目を総合的に考慮するというより、結果的には、立地主体が重要視している少数の立地要因が評価に影響を与えているといえる。また、選好度によってウェイトづけされているとはいえ、ここでの評価は基本的にはmaxmin原理によっているので、評価値が極端

に低いような団地を避け、欠点の少ない候補地を選定するという場合の意思決定に適していよう。

表3の評価順位をみると、富山イノベーションパークと八田地区拠点工業団地がともに1位となり、その他、順位5位、8位など同順位で並んでいるケースが多く見られる。これは、もとのデータベースが10段階評価であるため、そこで同じ評点をもつ場合、最小値も同一になることによる。ただこの問題は、データベース化にあたって、たとえば、100段階評価のように  $C_i$  の与えかたを工夫すれば解決しよう。

表3 ファジィ決定による立地評価

順位	最小値	優遇措置	誘致熱意	顧客近接性	同業種企業	用地価格	顧客近接性	誘致熱意	優遇措置	順位
1	0.00002	0.42117	0.92472	0.00002	0.35953	0.26738	0.99403	0.92472	0.42117	28
2	0.00034	0.42117	0.60315	0.00034	0.35953	0.53007	0.99403	0.60315	0.42117	25
3	0.00236	0.01313	0.60315	0.00236	0.35953	0.53007	0.98764	0.60315	0.01313	17
4	0.01004	0.42117	0.60315	0.01004	0.55848	0.38656	0.97158	0.60315	0.42117	14
5	0.01004	0.42117	0.92472	0.01004	0.45929	0.53007	0.98764	0.92472	0.42117	14
6	0.01004	0.42117	0.60315	0.01004	0.35953	0.17173	0.99108	0.60315	0.42117	14
7	0.03192	0.42117	0.92472	0.03192	0.65721	0.38656	0.93959	0.92472	0.42117	8
8	0.03192	0.42117	0.60315	0.03192	0.65721	0.38656	0.97158	0.60315	0.42117	8
9	0.00135	0.42117	0.60315	0.00135	0.65721	0.00135	0.97158	0.60315	0.42117	23
10	0.08358	0.42117	0.60315	0.08358	0.55848	0.26738	0.97840	0.60315	0.42117	5
11	0.17173	0.42117	0.60315	0.17173	0.55848	0.17173	0.99108	0.60315	0.42117	1
12	0.17173	0.42117	0.60315	0.17173	0.45929	0.17173	0.97158	0.60315	0.42117	1
13	0.10136	0.42117	0.60315	0.10136	0.95125	0.17173	0.96131	0.60315	0.42117	3
14	0.04361	0.42117	0.60315	0.04361	0.55848	0.17173	0.98764	0.60315	0.42117	7
15	0.01521	0.42117	0.60315	0.01521	0.95125	0.01521	0.97840	0.60315	0.42117	13
16	0.09864	0.42117	0.60315	0.09864	0.65721	0.09864	0.99108	0.60315	0.42117	4
17	0.00135	0.42117	0.92472	0.00135	0.55848	0.00135	0.98764	0.92472	0.42117	23
18	0.08358	0.42117	0.60315	0.08358	0.45929	0.26738	0.98764	0.60315	0.42117	5
19	0.03192	0.42117	0.92472	0.03192	0.35953	0.17173	0.97840	0.92472	0.42117	8
20	0.00236	0.42117	0.60315	0.00236	0.35953	0.38656	0.99108	0.60315	0.42117	17
21	0.03192	0.42117	0.60315	0.03192	0.35953	0.09864	0.99403	0.60315	0.42117	8
22	0.03192	0.42117	0.92472	0.03192	0.45929	0.17173	0.99403	0.92472	0.42117	8
23	0.00236	0.42117	0.60315	0.00236	0.45929	0.17173	0.97840	0.60315	0.42117	17
24	0.00034	0.42117	0.60315	0.00034	0.35953	0.53007	0.99403	0.60315	0.42117	25
25	0.00236	0.42117	0.60315	0.00236	0.35953	0.53007	0.97840	0.60315	0.42117	17
26	0.00236	0.42117	0.60315	0.00236	0.35953	0.38656	0.98353	0.60315	0.42117	17
27	0.00236	0.42117	0.60315	0.00236	0.35953	0.38656	0.99108	0.60315	0.42117	17
28	0.00034	0.42117	0.60315	0.00034	0.35953	0.04695	0.99403	0.60315	0.42117	25
AHPによる選好度										
	0.0281	0.1032	0.0093	0.0029	0.0094	0.0433	0.0031	0.0155	0.0013	0.0609
						0.1379	0.3601			0.0904



表4 ファジイ積分による立地評価

業種 ソフトウェア開発	代替的評価		補完的評価		加法的評価	
	総合評価値	順位	総合評価値	順位	総合評価値	順位
1 苫小牧東部工業団地	0.40114	27	0.17134	28	0.40559	27
2 函館臨空工業団地	0.49664	25	0.24268	27	0.41923	26
3 藤代工業団地	0.55318	20	0.32469	24	0.44151	25
4 北上南部工業団地	0.57659	17	0.44793	18	0.51634	19
5 仙台北部中核工業団地	0.62324	16	0.50000	14	0.60426	9
6 秋田新都心	0.56162	18	0.45904	17	0.50496	21
7 米沢八幡原中核工業団地	0.65501	12	0.53491	11	0.59938	12
8 郡山西部第二工業団地	0.63829	14	0.55846	9	0.58840	13
9 情報の森とちぎソフトリサーチパーク	0.70000	10	0.47023	15	0.51559	20
10 見附県営工業団地	0.72866	7	0.59236	7	0.60878	8
11 富山イノベーションパーク	0.82866	4	0.64904	3	0.65904	2
12 八田地区拠点工業団地	0.80000	6	0.67245	1	0.65630	3
13 上田リサーチパーク	0.83382	2	0.62744	6	0.65129	4
14 飯田工業団地	0.90000	1	0.65654	2	0.64500	6
15 浜北工業団地	0.83382	2	0.57023	8	0.60418	10
16 豊橋工業団地	0.81202	5	0.64682	4	0.67420	1
17 播磨科学公園都市	0.71672	8	0.47023	15	0.55767	14
18 御津工業団地	0.71202	9	0.63385	5	0.64850	5
19 竹原地区工業団地	0.64538	13	0.54479	10	0.61367	7
20 新山野井工業団地	0.54354	22	0.34268	22	0.50319	22
21 番の州臨海工業団地	0.62405	15	0.51561	13	0.53468	18
22 東予インダストリアルパーク	0.68598	11	0.53196	12	0.60404	11
23 広川中核工業団地	0.55293	21	0.39742	20	0.54064	17
24 佐世保テクノパーク	0.49320	26	0.30000	25	0.46239	24
25 熊本中核工業団地	0.55490	19	0.39742	20	0.55267	16
26 大分北部中核工業団地	0.51488	24	0.34268	22	0.46995	23
27 宮崎テクノリサーチパーク	0.52691	23	0.39892	19	0.55327	15
28 鹿児島臨海1号団地	0.38945	28	0.30000	25	0.39048	28

3-4 ファジイ積分による立地評価

立地評価項目データベースを [0, 1] のメンバーシップ関数値に変換するところまでは前節と同様である。次に、表3最下行のAHPによる選好度をその値の大きい順に並べ替え、最大の値を持つ(もっとも選好されている)顧客近接性のウェイトを1とし、それを基準として、その他の評価項目のウェイトを計算する。

ウェイト  $w_i$  は16個の値 ( $r_1 < r_2 < \dots < r_{16} = 1$ ) をとっているのので、16個の集合  $A_i$  があり、それに与えられる基本確率割当は、次のようになる。

$$\begin{aligned}
 A_1 &= X = \{x_1, x_2, \dots, x_{16}\}, \\
 m(X) &= r_1 - r_0 = 0.00361 \\
 A_2 &= \{x_2, x_3, \dots, x_{16}\}, \\
 m(A_2) &= r_2 - r_1 = 0.00361 - 0.00361 = 0 \\
 A_3 &= \{x_3, x_4, \dots, x_{16}\}, \\
 m(A_3) &= r_3 - r_2 \\
 &= 0.008053 - 0.00361 = 0.004443 \\
 &\dots\dots\dots \\
 A_{16} &= \{x_{16}\}, \\
 m(A_{16}) &= r_{16} - r_{15} \\
 &= 1 - 0.392949 = 0.607051
 \end{aligned}$$

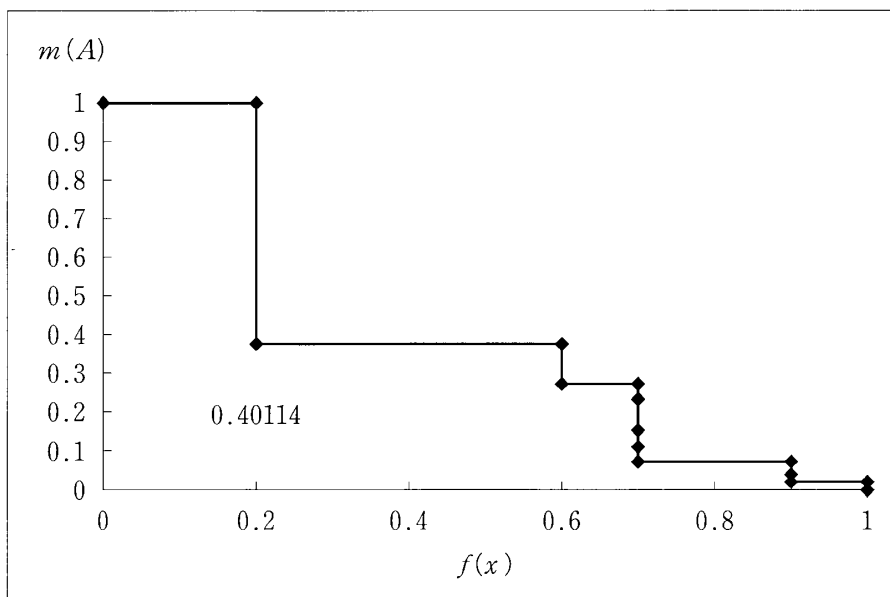


図2 ファジィ積分による立地評価  
代替的評価(苫小牧東部工業団地の場合)

これを用いて、(22)、(23)式により、ファジィ積分による上限期待値と下限期待値を求めたものが、表4である。また、図2は、代替的評価における苫小牧東部工業団地（団地番号1）のファジィ積分の例である。図中の0.40114という数字は、 $x, y$ 軸と折れ線で囲まれた部分の面積、すなわち積分値で、総合評価値を示している。

表4の加法的評価はAHPによるウェイトとメンバシップ関数値との積和を表している。代替的評価では、評価項目の中で特に優れた項目をもつ候補地が上位にランクされ、補完的評価では、各評価項目ともそれほど低い項目のない欠点の少ない候補地が上位にきている。したがって補完的評価の順位は、前節のファジィ決定による評価結果に似ていることがわかる。

このようにファジィ積分による方法では、積分という形で各評価項目を考慮した総合評価がなされ、しかも、代替的、補完的という複数のケースでの評価結果を意思決定者に示すことができるので、候補地選定にあたっての意思決定支援情報として有用なものとなる。

#### 4. おわりに

本稿では、AHPとファジィ理論に基づいた立地選定のための候補地評価システムを二つ提示し、外資系企業による工業団地への立地選定問題に適用した。一つは、各評価項目のデータをメンバシップ関数として捉え、AHPによるウェイトを付加したファジィ環境における最大化決定に基づくもので、基本的にはmaxmin原理によっているので補完的評価に近い結果が得られた。また、二つ目はファジィ積分を用いるもので、線形結合における加法性の条件を緩め、単調性に基づいた定式化がなされるため、人間の主観的な判断、評価にふさわしい総合評価を行うことができ、意思決定に有用な情報を提供できるものと思われる。ただここでは、AHPにより求めた評価項目に対するウェイトをもとにしたファジィ測度を前提にしたが、これ自体を総合評価値から推定することも考えられる。これは、意思決定者の選好度合いを推定することでもあり、立地主体の意思決定行動を分析するのに役立つ。また、ファジィ推論を用いた代替案の総合評価の方法も考えられるの

で、あわせて今後の課題としたい。

### 注

- 1) 外資系企業へのヒヤリング調査, 評価項目に対するデータ収集は, さくら総合研究所経営コンサルティング部第二部の諸氏によって行われた。調査やデータ収集は8業種にわたっていたが, 本論文では, 外資系企業の立地問題そのものより, 提示したファジィ評価の方法に主眼を置いているので, ここではその中の一業種を選び対象とした。
- 2) 評価項目ごとに評価指標の平均と標準偏差を求め,  $\pm 2\sigma$  以内を8等分し評価値2から8を与え, そこに入らないデータは評価値1と10とした。

### 参考文献

- [1] Saaty, T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York (1980)
- [2] Zahedi, F., "The Analytic Hierarchy—A Survey of the Method and Its Applications", *Interfaces*, Vol.16, No.4, pp.96-108 (1986)
- [3] 百合本茂, 増井忠幸, "工場立地選定のための意思決定支援システム", 日本経営工学会誌, Vol.42, No.1, pp.37-44 (1991)
- [4] Bellmann, R.E. & Zadeh, L.A., "Decision Making in a Fuzzy Environment", *Management Science*, Vol.17, pp.141-164(1970)
- [5] Zadeh, L.A., "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. SMC-3, No.1, pp.28-44 (1973)
- [6] Zadeh, L.A., "Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.1, pp. 3- 28(1978)
- [7] Dempster, A.P., "Upper and Lower Probabilities Induced by a Multivalued Mapping", *Annals of Mathematical Statistics*, Vol.38, No.2, pp.325-339 (1967)
- [8] Shafer, G.A., *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press (1976)
- [9] 菅野道夫, 室伏俊明, 「ファジィ測度」, 日刊工業新聞社, pp.20-71(1993)
- [10] Murofushi, T. & Sugeno, M., "An Interpretation of Fuzzy Measures and the Choquet Integrals as an Integral with respect to a Fuzzy Measure", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.29, No.2, pp.201-227 (1989)
- [11] 寺野寿郎, 浅居喜代治, 菅野道夫共編, 「応用ファジィシステム入門」, オーム社, pp.232-238(1989)
- [12] 日本貿易振興会, 「1996ジェットロ白書投資編 世界と日本の海外直接投資」, 日本貿易振興会, pp.60-82 (1996)