《論　文》

# 立地点選定のためのファジイ線形計画モデル

百　合　本　　　茂

## 1. はじめに

企業が工場の立地点を選定する際に考慮すべき要因は数多い。近年では，費用や利益に直接関係する要因ばかりでなく，工場をとりまく環境や立地地域に及ぼす様々な影響を考慮に入れなければならなくなっている。工場が地域社会の一員であることを考えれば，それらの要因に対する重要性が増してくるのは当然のことである。特に，海外に生産拠点を設けるような場合には，この傾向が一層強くなる[1]。

そこで問題になるのは，立地点選定に当たって，当該企業はどのような要因にどの程度のウェイトを置いて考えるかである。考慮すべき要因が費用で捉えられる要因のみならば，費用計算を行って最適立地点を探索することは比較的容易であるが，社会環境のように費用では捉えがたい要因も同時に考慮するとなると，それらの各要因に対するウェイトを決めることは容易ではない。当該企業の経営方針や政策によっても異なってくるし，ある程度主観的にならざるをえない[2]。

工場の立地点は，基本的には，立地選定のための各要因に対する当該企業の選好の度合いと，対象としている各候補地点のそれらの要因に関する立地環境によって決められるものと考えられる。後者は通常，立地主体により制御不可能な客観データにより与えられるので，前者の各要因に対する選好の度合いをどのように考えるかが問題として残る。

ここでは，立地主体の選好の度合いを各要因に対するウェイトの大きさとして捉え，これを求めるために，選好の度合いを比較的付けるのが容易な“順位”という形で与える。そして，この順位と各候補地点の立地環境を表す各要因の評価値に基づいて，各要因に対するウェイトを求め，これにより最適立地点を選定するモデルを提唱する。

この方法は，選好順位という立地主体にとって明解かつ簡便な情報により立地点の選定が可能になるもので，意思決定手法の一つであるAHP (Analytic Hierarchy Process) などにみられる適用に際しての煩雑な手続きを必要とせず，容易に解が求められるという特徴をもっている。

まず2節で，線形計画モデルによる定式化を行い，3節で，これを現実の立地意思決定に即して改良するために，ファジイ理論を取り入れたモデルを提唱する。4節では，これらのモデルをアメリカ進出日系企業に適用し，その妥当性を検証する。

## 2. 線形計画モデルによる立地選好度の評価と立地点の選定

今，立地を選定する際に考慮すべき労働力や社会環境などの要因の評価値が，立地の対象となる各地点ごとに与えられているとする。これらの要因のそれぞれにどのくらいのウェイトを置いて立地を選定するかは立地主体個々の事情によるものと考えられる。たとえば，労働集約型の工場の場合には労働力を重視するであろうし，原材料や製品の市場を最も重要と考える企業もあろう。ここでは，この立地選定にあたって考慮される各要因に対する重要性の度合い

（選好の度合い）を，“各要因に対するウェイト”，あるいは，“立地選好度”と定義する。

工場の立地点選定に際し，各要因の評価値とそれに対するウェイトをもとに，それらの加重和を各地点ごとに求め，総合評価値の最も高い地点を選ぶという方法は，その簡便性からよく用いられてきた。この方法は，海外生産拠点の立地選定のように，考慮すべき要因の尺度が様々で，費用のような単一尺度で捉えられない場合に有効である。このとき問題になるのは，各要因のウェイトをどのようにして求めるかである。これはかなりの程度主観的にならざるを得ない。意思決定手法の一つであるAHPは，要因のペアごと，評価対象（この場合，候補地点）のペアごとに重要性に関して一対比較を行い，ウェイトを求めるもので，数多くの適用がみられるが（[3]，[4]など），要因数や評価対象が多い場合，一対比較に関わる煩雑性は否めない。

ここではまず，実際にいくつかの立地候補地点の中から一つの立地点を選定した立地主体が，結果的に各要因にどのようにウェイトを置いたかを調べるモデルを提示する。当該企業は，選定した立地点を，検討した他の複数の候補地点より何らかの意味で相対的優位性をもつものとみなしたわけであるが，この立地選択はどのような要因を重要視した結果であったかをこのモデルにより数量的に捉えることができる。

今，たとえば立地点を$p$，他に立地を検討した候補地点を$k$（$=a,\ b,\ c$），要因を$j$（$=1\sim4$）とし，各地点の総合評価値$H_k$を，各要因に対するウェイト$w_j$と要因別地点別評価値$h_{jk}$の線形結合で表すものと仮定する。すなわち各地点の総合評価値は，

$$H_k=\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jk} \tag{1}$$

で表される。

立地主体は，基本的には，他の候補地点と比較して，相対的な優位性を最大にするように立地点を選ぶものと考えられる。この優位性として，立地点と他のすべての候補地点の総合評価値の差の合計を最大にするような指標をとるとすると，次のようなモデルが構築できる。

［モデル1－LP 1］

$$\max \quad \mu_a+\mu_b+\mu_c \tag{2}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{4} w_j=1 \tag{3}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{ja} \geqq \mu_a \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jb} \geqq \mu_b \tag{5}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jc} \geqq \mu_c \tag{6}$$

$$\mu_a,\ \mu_b,\ \mu_c,\ w_j \geqq 0 \quad (j=1,\ 2,\ 3,\ 4) \tag{7}$$

制約式(3)は，ウェイトの合計を1に正規化するものである。(4)〜(6)は，立地点の総合評価値が他の各候補地点の総合評価値を下回らないことを示している。

ただ，このモデルでは，解を求める際に制約式(4)〜(6)のいずれかの$\mu$の値が0になる可能性が考えられ，立地点と候補地点の総合評価値が同じ値になる場合も許される。

そこで，立地点と候補地点の総合評価値の差の最小値の最大化，すなわち，次善の候補地点の総合評価値との差の最大化，

$$\max_{w\geqq 0}\ \{\min_k(\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jk})\}$$

を考えると，次のような定式化が可能である。

［モデル2－LP 2］

$$\max \quad \varepsilon \tag{8}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{4} w_j=1 \tag{9}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{ja} \geqq \varepsilon \tag{10}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jb} \geqq \varepsilon \tag{11}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jc} \geqq \varepsilon \tag{12}$$

$$\varepsilon,\ w_j \geqq 0 \quad (j=1,\ 2,\ 3,\ 4) \tag{13}$$

今，立地主体の各要因に対する選好性を反映させるために，各要因に対しての重要性の度合いを順位で与え，これを制約条件として付加することを考える。たとえば，4つの要因の重要性の順位を1，2，3，4の順とすると，次のようになる。

$$w_1 \geqq w_2 \geqq w_3 \geqq w_4 \tag{14}$$

結局，(14)式を追加してモデル1またはモデル2を解くことにより，立地点の相対的優位性を最大化するウェイト$w_j$（$j=1 \sim 4$）が求められる。

これらの問題は，通常の線形計画法によって容易に解くことができる。

このようにして求められたウェイト$w_j$は，当該企業が立地点を選定した際の，各要因に対する選好の度合いを数値化したものとみなすことができる。

さて，このモデルは立地点の選定問題に容易に応用することができる。

上の例での立地点である$p$を候補地点$a$，$b$，$c$で置き換え，それぞれ地点の数だけ線形計画問題を解き，目的関数値のもっとも大きな地点を立地点として選べばよい。この場合，制約条件の関係から実行不可能なケースも出てくる可能性がある。立地主体の考える選好順位では，どのようなウェイトの置き方をしても，その地点の総合評価値が他の地点の値より大きくならず，制約条件を満たすことができない場合である。その地点は立地点としては不適切ということになる。

立地選好度の評価と立地点選定に関する線形計画モデルを示したが，これらのモデルで各要因のウェイトを求める場合，求められるウェイト$w_j$（$j=1 \sim 4$）は，LPの性質上，立地点の各要因の評価値の大きさにより，

| $w_1, w_2, w_3, w_4$ | | |
|---|---|---|
| （1，0，0，0） | 要因1の評価値が大きい場合 | |
| (1/2, 1/2，0，0） | 要因2 | 〃 |
| (1/3, 1/3, 1/3，0） | 要因3 | 〃 |
| (1/4, 1/4, 1/4, 1/4) | 要因4 | 〃 |

のいずれかの値をとる場合が多く，立地主体の現実のウェイトの置き方と異なったものになることが容易に推察できる。これは(14)式に等号が含まれているためで，この点に問題が残る。そこで，立地主体の選好の度合いをより現実的かつ正確に反映し得るモデルを次節で提示する。

## 3．ファジイ線形計画モデルによる立地点の選定

ここでは，立地主体が各要因それぞれをどのように重要視しているかを，あいまい性を導入した選好の順位という形で与え，この情報と各地点における各要因の評価値をもとに立地点を選定する方法を提示する。

立地主体が各要因に対する選好の順位を付ける場合，たとえば，要因1が1位，要因2が2位としても，要因1を要因2よりかなり重要と考える場合もあるし，少しの差しかない場合も考えられる。また，それらがほとんど同じという場合もある。立地主体にとっては，要因1と2の関係を数量的に表現することは困難に近い。当然のことながら，立地主体の判断には，“かなり重要である”とか，“ほとんど差がない”というようなあいまい性が存在する。そこで，このあいまい性をそのままの形で立地主体の意思決定に取り入れることを考え，ファジイ理論を導入する。

ファジイ環境における意思決定は，R. E. Bellman と L. A. Zadeh によりファジイ目標とファジイ制約を統合した決定集合を定義する形で理論づけが行われた[5]。その後，H. J. Zimmermann はファジイ目標とファジイ制約のある線形計画問題を定式化した[6]，[7]。これは，意思決定者が主観的に定めるメンバシップ関数を線形関数と仮定し，ファジイ決定に対する最大化決定を採用すれば，ファジイ線形計画問題は通常の線形計画問題として解けるというものである[8]。

さて，ここでは，立地主体が各要因に対してどのように重視しているかを順位の形で与えるが，このときその選好の度合いにあいまい性を導入し，要因1と要因2の関係を，

1の方をかなり重視している　$w_1 >> w_2$ (15)

1の方を少し重視している　$w_1 > w_2$ (16)

ほぼ同じくらいである　$w_1 \approx w_2$ (17)

の3通りで判断することにする。記号>>は，“かなり重視”，>は，“少し重視”，≈は，”ほぼ

同様”を表すファジイ記号とする。⒁式のように単に不等号による順序関係で示すより，この方がより現実的であるし，立地主体の選好の度合いを，より忠実にモデルに反映させることができる。

たとえば今，要因が4つあり，それぞれの重要度を，

$$w_1 >> w_2 \approx w_3 > w_4 \tag{18}$$

のように判断したとする。制約式では，これらの関係は

$$w_1 - w_2 >> 0 \tag{19}$$

$$w_2 - w_3 \approx 0 \tag{20}$$

$$w_3 - w_4 > 0 \tag{21}$$

として表されるが，これをファジイ制約と考えると，これを特性づけるメンバシップ関数が必要になる。ここでは，次のような線形メンバシップ関数を用いることにする（図1）。

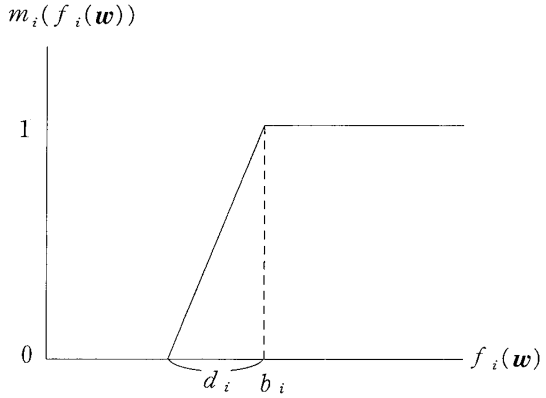


**図1　メンバシップ関数（“かなり重視”の場合）**

$$m_i(f_i(\boldsymbol{w})) = \begin{cases} 0 & ;\ f_i(\boldsymbol{w}) \leqq b_i - d_i \\ 1 - \dfrac{b_i - f_i(\boldsymbol{w})}{d_i} & ;\ b_i - d_i \leqq f_i(\boldsymbol{w}) \leqq b_i \\ 1 & ;\ f_i(\boldsymbol{w}) \geqq b_i \end{cases} \tag{22}$$

ここで，$f_i(\boldsymbol{w})$は，⒆〜㉑式に示されるファジイ制約式，$m_i(f_i(\boldsymbol{w}))$は，それらに関するメンバシップ関数を表している。

すなわち，$i$番目の制約が完全に満たされる場合（たとえば⒆式では，$w_1 - w_2$が$b_i$以上）には1，制約が満たされない場合には0，その中間の場合には0と1の間の数をとるような線形関数である。$b_i$と$d_i$の値は意思決定者が主観的に設定するものである。

制約式⒆のように，要因1の方を“かなり重視”している場合には$b_i$の値は大きく，制約式㉑のように，“少し重視”している場合には小さい値に設定される。

ここで問題になるのは，要因1が要因2よりかなり重要であるとしても，これがウェイトの差としてどれくらいになるかということである。これは意思決定者の主観によって様々な値をとるものと考えられる。たとえば，“かなり重視”する場合の$b_i$を0.2，$d_i$を0.1とみなせば，2つの要因のウェイトに0.2以上の差があると，“かなり重視”という集合の帰属度が1となり，メンバシップ関数の値は1となる。また，その差が0.1以下の場合には，“かなり重視”とはいえないことになる。

“少し重視”するという場合には，少なくとも差があればいいことになるので，$b_i$と$d_i$を同じ値にすればよい。すなわち，図2のような関数形になる。

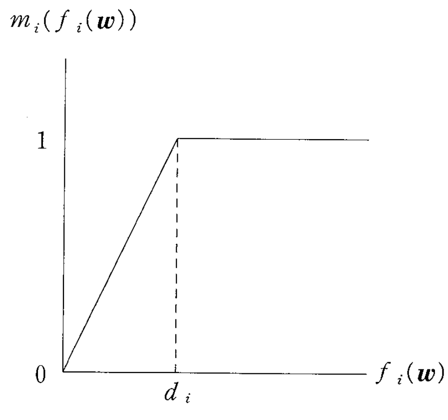


**図2　メンバシップ関数（“少し重視”の場合）**

制約式⒇のような，“ほぼ同程度”という場合のメンバシップ関数としては次のような関数が考えられる（図3）。

$$m_i(f_i(\boldsymbol{w})) = \max\left(0,\ 1 - \frac{|f_i(\boldsymbol{w})|}{d_i}\right) \tag{23}$$

すなわち，

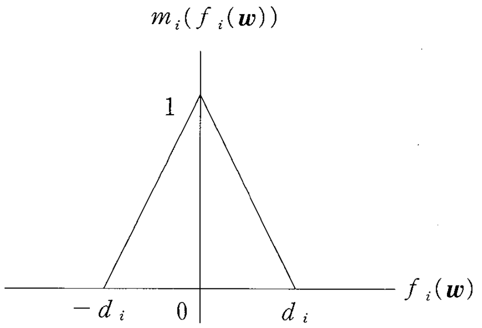


**図 3　メンバシップ関数（“ほぼ同程度”の場合）**

$$m_i(f_i(\boldsymbol{w}))=\begin{cases} 0 & ;\ f_i(\boldsymbol{w})\leqq -d_i \\ 1+\dfrac{f_i(\boldsymbol{w})}{d_i} & ;\ -d_i\leqq f_i(\boldsymbol{w})\leqq 0 \\ 1 & ;\ f_i(\boldsymbol{w})=0 \\ 1-\dfrac{f_i(\boldsymbol{w})}{d_i} & ;\ d_i\geqq f_i(\boldsymbol{w})\geqq 0 \\ 0 & ;\ f_i(\boldsymbol{w})\geqq d_i \end{cases} \tag{24}$$

である。

さて，目的関数として，立地点と他の候補地点との総合評価値の差の合計をもっとも大きくするように立地を選定するモデル 1（前節）を考える場合，ここにもこの差がだいたいある値以上というファジイ目標を取り入れると，そのメンバシップ関数は，図 1 と同様に以下のようになる。

$$m_g(f_g(\boldsymbol{w}))=\begin{cases} 0 & ;\ f_g(\boldsymbol{w})\leqq b_g-d_g \\ 1-\dfrac{b_g-f_g(\boldsymbol{w})}{d_g} & ;\ b_g-d_g\leqq f_g(\boldsymbol{w})\leqq b_g \\ 1 & ;\ f_g(\boldsymbol{w})\geqq b_g \end{cases} \tag{25}$$

ここで，$f_g(\boldsymbol{w})$は(2)式のような目的関数，$m_g(f_g(\boldsymbol{w}))$はそれに関するメンバシップ関数である。

立地主体はこれらをもとに，ファジイ制約とファジイ目標との共通集合であるファジイ決定に対して，その集合に帰属する度合いを最大にするような$\boldsymbol{w}$を選ぶという最大化決定を行うものと仮定すると，ファジイ線形計画問題は，

$$\max\ \{\min(f_g(\boldsymbol{w}),\ f_i(\boldsymbol{w})\}$$

を満足する$\boldsymbol{w}$を求める問題になる。すなわち，モデル 1 を改良した次のモデルは，

［モデル 3 －FLP 1］

$$\max\quad \mu_a+\mu_b+\mu_c \tag{26}$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{j=1}^{4} w_j=1 \tag{27}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{ja}\geqq \mu_a \tag{28}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jb}\geqq \mu_b \tag{29}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jc}\geqq \mu_c \tag{30}$$

$$w_1-w_2>>0 \tag{31}$$

$$w_2-w_3\approx 0 \tag{32}$$

$$w_3-w_4>0 \tag{33}$$

$$\mu_a,\ \mu_b,\ \mu_c,\ w_j\geqq 0\ \ (j=1,\ 2,\ 3,\ 4) \tag{34}$$

として定式化され，これは順位に関するファジイ制約のもとに目的関数を最大にするもので，以下のような線形計画問題に変換できる。

$$\max\quad \lambda \tag{35}$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{j=1}^{4} w_j=1 \tag{36}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{ja}\geqq \mu_a \tag{37}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jb}\geqq \mu_b \tag{38}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp}-\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jc}\geqq \mu_c \tag{39}$$

$$1-\frac{b_g-(\mu_a+\mu_b+\mu_c)}{d_g}\geqq \lambda \tag{40}$$

$$1-\frac{b_1-(w_1-w_2)}{d_1}\geqq \lambda \tag{41}$$

$$1-\frac{(w_2-w_3)}{d_2}\geqq \lambda \tag{42}$$

$$1-\frac{(w_3-w_2)}{d_2}\geqq \lambda \tag{43}$$

$$\frac{(w_3-w_4)}{d_3}\geqq \lambda \tag{44}$$

$$\mu_a,\ \mu_b,\ \mu_c,\ w_j\geqq 0\ \ (j=1,\ 2,\ 3,\ 4) \tag{45}$$

ここで，$b_g$，$d_g$は(25)式，$b_1$は(22)式，$d_i$（$i=1\sim3$）は，(22)または(24)式のそれぞれ対応する$b$と$d$の値を示す。また，(40)式は，目的関数(26)式に，(41)式はファジイ制約(31)式に，(42)，(43)式は(32)式に，(44)式は(33)式にそれぞれ対応している。

また，立地点と次善候補地点との総合評価値の差を最大化するモデル2のファジイ化は，

［モデル4－FLP 2］

$$\max \quad \varepsilon \tag{46}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{4} w_j = 1 \tag{47}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp} - \sum_{j=1}^{4} w_j h_{ja} \geqq \varepsilon \tag{48}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp} - \sum_{j=1}^{4} w_j h_{jb} \geqq \varepsilon \tag{49}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp} - \sum_{j=1}^{4} w_j h_{jc} \geqq \varepsilon \tag{50}$$

$$w_1 - w_2 >> 0 \tag{51}$$

$$w_2 - w_3 \approx 0 \tag{52}$$

$$w_3 - w_4 > 0 \tag{53}$$

$$\varepsilon,\ w_j \geqq 0 \ (j=1,\ 2,\ 3,\ 4) \tag{54}$$

により与えられ，これは次の問題を解けばよいことになる。

$$\max \quad \lambda \tag{55}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{4} w_j = 1 \tag{56}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp} - \sum_{j=1}^{4} w_j h_{ja} \geqq \varepsilon \tag{57}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp} - \sum_{j=1}^{4} w_j h_{jb} \geqq \varepsilon \tag{58}$$

$$\sum_{j=1}^{4} w_j h_{jp} - \sum_{j=1}^{4} w_j h_{jc} \geqq \varepsilon \tag{59}$$

$$\frac{\varepsilon}{d_g} \geqq \lambda \tag{60}$$

$$1 - \frac{b_1 - (w_1 - w_2)}{d_1} \geqq \lambda \tag{61}$$

$$1 - \frac{(w_2 - w_3)}{d_2} \geqq \lambda \tag{62}$$

$$1 - \frac{(w_3 - w_2)}{d_2} \geqq \lambda \tag{63}$$

$$\frac{(w_3 - w_4)}{d_3} \geqq \lambda \tag{64}$$

$$\varepsilon,\ w_j \geqq 0 \ (j=1,\ 2,\ 3,\ 4) \tag{65}$$

制約式(60)は，ファジイ目標に関するメンバシップ関数で，$\varepsilon$は少なくとも0以上であればよいので，(25)式の$b_g$と$d_g$が同値になる。また，(61)～(64)式はモデル3と同様である。

これらの問題を解くことにより，立地主体の各要因に対する立地選好度，すなわち，ファジイ制約式(18)を満たす各要因のウェイト$w_j$を求めることができる。

最適立地点は，たとえば，立地候補地点が4ヵ所あるとすると，それぞれを立地点とみなしてモデル3またはモデル4を4回解き，目的関数値$\lambda$のもっとも大きな地点を立地点として選べばよい。この場合にも，制約式(37)～(39)（(57)～(59)）の関係からこれらの制約を満たすことができず，実行不能になるケースも考えられるが，その地点は立地点として不適切ということができる。

## 4．ファジイ線形計画モデルの適用

前節で提示したファジイ線形計画モデルを，アメリカに生産拠点を設けた日系企業の立地選定問題に適用してみる。［9］では，生産拠点の選定を州選定とその州内部の地点選定に分けて考え，それぞれについて立地要因の階層化を行ったが，ここでは立地要因として，モデルの適用の関係から，州選定の際に考慮される以下の7つの要因を取り上げた。$w_1$～$w_7$は，それぞれの要因に対する選好ウェイトを示す。

| | | |
|---|---|---|
| ① | 原料・市場条件 | $w_1$ |
| ② | 労働力 | $w_2$ |
| ③ | 操業環境 | $w_3$ |
| ④ | 交通・輸送 | $w_4$ |
| ⑤ | 税金 | $w_5$ |
| ⑥ | 優遇措置 | $w_6$ |
| ⑦ | 社会環境 | $w_7$ |

立地主体は，立地に際して候補として考えている複数の州の名前と，これらの要因の選好順位を(18)式のような表現で与えてやれば，50州別の各要因に関する10段階の評価値をもとにファジイ線形計画モデルの適用が可能になる。

事例として，オレゴン州に工場を立地させている電機メーカーA社の場合を例にとる。A社

に対するインタビューによると，上記7要因に対する選好順位は，

1位　⑤税金
2位　⑦社会環境
3位　⑥優遇措置
4位　②労働力
5位　③操業環境，④交通・輸送
7位　①原料・市場条件

で，これら順位の選好の程度をファジイ記号により表すと，

$$w_5 >> w_7 >> w_6 > w_2 > w_3 \approx w_4 > w_1 \quad (66)$$

のとおりであった。

また，候補地点として検討した州は，立地点であるオレゴン州のほか，カリフォルニア，フロリダ，テキサス，ワシントンの4州であった。

この条件のもとで，モデルを適用した結果が表1である。なお，表には参考のために，線形計画モデル（モデル1，2）の結果も示している。線形計画モデルでは，上記の順位関係は，

$$w_5 \geqq w_7 \geqq w_6 \geqq w_2 \geqq w_3 = w_4 \geqq w_1 \quad (67)$$

として表わされる。

目的関数値の大きさからみると，モデル1〜3ではオレゴン州，モデル4ではフロリダ州が最適立地点となる。

線形計画モデルであるモデル1，2とも，たとえば，オレゴン州を立地点として適用した場合，税金，優遇措置，社会環境のウェイトが0.3333，カリフォルニア州の場合には，7要因とも同じ値0.1429になっている。表2に，本モデルで使用した各州の要因別評価値を示したが，これをみるとオレゴン州では，選好度3位の優遇措置，カリフォルニア州では，選好度7位の原料・市場条件の評価値が，それぞれ他の要因の評価値と比べもっとも大きい値を示している。これは2節でも述べたように，(67)式の記号≧が等号を含んでおり，LPの性質から，選好度3位の要因の評価値がもっとも大きい場合には，それ以上の要因の選好度はすべて1/3(0.3333)に，また，7位の要因の評価値が大きい場合には，1/7(0.1429) になってしまうケースである。このように線形計画モデルでは，立地主体の各要因に対する選好を反映させることは困難であることがわかる。

また，目的関数として立地点と他の候補地点の総合評価値の差の合計をとるモデル1，3では，テキサス州を立地点とした場合にみられるように，立地点と次善の州の総合評価値が同じ値になっている。これは，総合評価値の差に関する制約式の右辺の $\mu$ の値が0となってしまうことによる。

これらの点を考慮に入れると，結局，目的関数として，立地点と次善の候補地点の総合評価値の差の最大化を用いるファジイ線形計画モデル（モデル4）が，立地主体の各要因に対する選好度合いを反映でき，かつ最適立地点を唯一に求められるという点で優れているということができる。

モデル4における最適立地点はフロリダ州であったが，A社の立地するオレゴン州は前述のように優遇措置に優れ，それに対するウェイトが相対的に大きいモデル1〜3では，オレゴン州の評価が高くなり最適立地点となった。(66)式にみられるように，A社の優遇措置に対する選好順位は3位とはいえ，それより2位の社会環境を“かなり重視”しているし，1位の税金はそれよりさらに“かなり重視”されている。

表1(3)(4)の(注)にあるように，表1に示したファジイ線形計画モデルの適用では，$d_1$と$b_1$の値（前節図1参照）は，それぞれ0.2，0.3であった。このことは，ウェイトの差が0.3以上の場合は，“かなり重視”という集合の帰属度が1，その差が0.1($=b_1-d_1$) 以下になると帰属度は0になることを示している。

今，A社の意思決定者が“かなり重視”をそれほど大きなウェイトの差としてとらえていないものと仮定し，$d_1$と$b_1$の値をそれぞれ0.05，0.1としてモデル4を適用してみよう。その結果は表3のように，オレゴン州が最適立地点となることがわかる。表3では，優遇措置と税金および社会環境とのウェイトの差は表1(4)と比較して小さくなっている。これは，A社の意思決定者が“かなり重視”の程度を，ウェイトの差

**表1** A社の適用結果

(1) モデル1 (LP1)

| 要因＼立地点 | オレゴン | カリフォルニア | フロリダ | テキサス | ワシントン |
|---|---|---|---|---|---|
| 原料市場条件 | 0.0000 | 0.1429 | 0.0000 | 0.0559 | 実行不能 |
| 労働力 | 0.0000 | 0.1429 | 0.0000 | 0.0559 | |
| 操業環境 | 0.0000 | 0.1429 | 0.0000 | 0.0559 | |
| 交通・輸送 | 0.0000 | 0.1429 | 0.0000 | 0.0559 | |
| 税金 | 0.3333 | 0.1429 | 0.5000 | 0.6645 | |
| 優遇措置 | 0.3333 | 0.1429 | 0.0000 | 0.0559 | |
| 社会環境 | 0.3333 | 0.1429 | 0.5000 | 0.0559 | |
| 目的関数値 | ＊6.4284 | 3.0426 | 2.7680 | 2.8746 | |
| 総合評価値 順位 1位 | OR 7.2619 | CA 6.8415 | FL 6.5179 | TX 6.8487 | |
| 2位 | FL 6.1786 | FL 6.7584 | CA 6.4286 | OR 6.8487 | |
| 3位 | CA 6.1191 | TX 6.6134 | TX 6.3571 | FL 6.7533 | |
| 4位 | TX 5.4048 | OR 5.8361 | OR 5.8929 | CA 6.3294 | |
| 5位 | WA 4.9167 | WA 5.1155 | WA 4.6250 | WA 4.5888 | |

(注) OR；オレゴン FL；フロリダ CA；カリフォルニア TX；テキサス WA；ワシントン
＊印は、目的関数値が最大であることを示す（以下の表でも同様）。

(2) モデル2 (LP2)

| 要因＼立地点 | オレゴン | カリフォルニア | フロリダ | テキサス | ワシントン |
|---|---|---|---|---|---|
| 原料市場条件 | 0.0000 | 0.1429 | 0.0000 | 0.0641 | 実行不能 |
| 労働力 | 0.0000 | 0.1429 | 0.0843 | 0.0641 | |
| 操業環境 | 0.0000 | 0.1429 | 0.0000 | 0.0641 | |
| 交通・輸送 | 0.0000 | 0.1429 | 0.0000 | 0.0641 | |
| 税金 | 0.3333 | 0.1429 | 0.4871 | 0.6156 | |
| 優遇措置 | 0.3333 | 0.1429 | 0.0843 | 0.0641 | |
| 社会環境 | 0.3333 | 0.1429 | 0.3443 | 0.0641 | |
| 目的関数値 | ＊1.0833 | 0.0831 | 0.2061 | 0.0728 | |
| 総合評価値 順位 1位 | OR 7.2619 | CA 6.8415 | FL 6.5152 | TX 6.8266 | |
| 2位 | FL 6.1786 | FL 6.7584 | CA 6.3091 | OR 6.7538 | |
| 3位 | CA 6.1191 | TX 6.6134 | TX 6.3091 | FL 6.7538 | |
| 4位 | TX 5.4048 | OR 5.8361 | OR 6.3091 | CA 6.3738 | |
| 5位 | WA 4.9167 | WA 5.1155 | WA 4.6581 | WA 4.6382 | |

(注) OR；オレゴン FL；フロリダ CA；カリフォルニア TX；テキサス WA；ワシントン

(3)　モデル3 (FLP1)

| 要因＼立地点 | オレゴン | カリフォルニア | フロリダ | テキサス | ワシントン |
|---|---|---|---|---|---|
| 原料市場条件 | 0.0000 | | 0.0000 | 0.0297 | |
| 労　働　力 | 0.0141 | | 0.0089 | 0.0384 | |
| 操　業　環　境 | 0.0070 | | 0.0044 | 0.0341 | |
| 交　通・輸　送 | 0.0070 | 実行不能 | 0.0044 | 0.0341 | 実行不能 |
| 税　　金 | 0.4521 | | 0.5434 | 0.6606 | |
| 優　遇　措　置 | 0.1959 | | 0.0133 | 0.0428 | |
| 社　会　環　境 | 0.3240 | | 0.4257 | 0.1602 | |
| 目的関数値 | ＊0.1405 | | 0.0885 | 0.0870 | |
| 総　　1位 | OR　6.8687 | | FL　6.5423 | TX　6.7176 | |
| 合　順　2位 | FL　6.3652 | | TX　6.4179 | OR　6.7176 | |
| 評　　3位 | CA　6.2079 | | CA　6.3759 | FL　6.6813 | |
| 価　位　4位 | TX　5.9165 | | OR　6.1148 | CA　6.2979 | |
| 値　　5位 | WA　4.7690 | | WA　4.6055 | WA　4.5637 | |

(注)　OR；オレゴン　FL；フロリダ　CA；カリフォルニア　TX；テキサス　WA；ワシントン
$d_1$；0.20　$b_1$；0.30　$d_2$；0.05　$d_3$；0.05

(4)　モデル4 (FLP2)

| 要因＼立地点 | オレゴン | カリフォルニア | フロリダ | テキサス | ワシントン |
|---|---|---|---|---|---|
| 原料市場条件 | 0.0000 | | 0.0006 | 0.0311 | |
| 労　働　力 | 0.0427 | | 0.0563 | 0.0418 | |
| 操　業　環　境 | 0.0214 | | 0.0284 | 0.0364 | |
| 交　通・輸　送 | 0.0214 | 実行不能 | 0.0284 | 0.0364 | 実行不能 |
| 税　　金 | 0.4903 | | 0.5068 | 0.6388 | |
| 優　遇　措　置 | 0.1194 | | 0.0841 | 0.0471 | |
| 社　会　環　境 | 0.3048 | | 0.2954 | 0.1684 | |
| 目的関数値 | 0.4273 | | ＊0.5567 | 0.1067 | |
| 総　　1位 | OR　6.5764 | | FL　6.5501 | TX　6.6973 | |
| 合　順　2位 | FL　6.4910 | | OR　6.4387 | OR　6.6760 | |
| 評　　3位 | CA　6.2871 | | TX　6.4004 | FL　6.6760 | |
| 価　位　4位 | TX　6.2465 | | CA　6.3258 | CA　6.3142 | |
| 値　　5位 | WA　4.7227 | | WA　4.7026 | WA　4.5851 | |

(注)　OR；オレゴン　FL；フロリダ　CA；カリフォルニア　TX；テキサス　WA；ワシントン
$d_1$；0.20　$b_1$；0.30　$d_2$；0.05　$d_3$；0.05

**表 2**　各州の要因別評価値

| 要　因 | A 社 の 選好順位 | カリフォルニア | フロリダ | オレゴン | テキサス | ワシントン |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 原料市場条件 | 7 | 8.20 | 7.40 | 4.40 | 7.00 | 4.40 |
| 労　働　力 | 4 | 6.67 | 7.11 | 4.00 | 7.56 | 4.78 |
| 操　業　環　境 | 5 | 6.67 | 7.83 | 5.67 | 7.67 | 6.17 |
| 交　通・輸　送 | 5 | 8.00 | 6.43 | 5.00 | 7.86 | 5.71 |
| 税　金 | 1 | 6.00 | 6.75 | 7.50 | 7.00 | 4.25 |
| 優　遇　措　置 | 3 | 5.50 | 5.50 | 10.00 | 3.50 | 5.50 |
| 社　会　環　境 | 2 | 6.86 | 6.29 | 4.29 | 5.71 | 5.00 |

(注)　各数値は、文献[ 9 ]のデータベースに基づく

**表 3**　A社の適用結果その 2 （モデル 4 ）

| 要因＼立地点 | オレゴン | カリフォルニア | フロリダ | テキサス | ワシントン |
|---|---|---|---|---|---|
| 原料市場条件 | 0.0000 | 0.0755 | 0.0000 | 0.0454 | 実行不能 |
| 労　働　力 | 0.0818 | 0.1320 | 0.0900 | 0.0583 | |
| 操　業　環　境 | 0.0409 | 0.0820 | 0.0500 | 0.0518 | |
| 交　通・輸　送 | 0.0409 | 0.1255 | 0.0400 | 0.0518 | |
| 税　金 | 0.3697 | 0.2515 | 0.3927 | 0.6065 | |
| 優　遇　措　置 | 0.1879 | 0.1385 | 0.1301 | 0.0648 | |
| 社　会　環　境 | 0.2788 | 0.1950 | 0.2972 | 0.1213 | |
| 目的関数値 | ＊0.8181 | 0.1302 | 0.8007 | 0.1296 | |
| 総合評価値順位 1 位 | OR　6.6100 | CA　6.6576 | FL　6.5233 | TX　6.7287 | |
| 2 位 | FL　6.4464 | FL　6.6316 | OR　6.3631 | OR　6.7027 | |
| 3 位 | CA　6.3086 | TX　6.5001 | CA　6.3631 | FL　6.7027 | |
| 4 位 | TX　6.0917 | OR　6.0594 | TX　6.2804 | CA　6.3485 | |
| 5 位 | WA　4.8754 | WA　4.9913 | WA　4.8374 | WA　4.6348 | |

(注)　OR；オレゴン　FL；フロリダ　CA；カリフォルニア　TX；テキサス　WA；ワシントン
$d_1$；0.05　$b_1$；0.10　$d_2$；0.05　$d_3$；0.05

**表 4**　50 州を候補としたときの総合評価値の順位
(ニューヨークを立地州とした場合)

| 順　位 | | 評価値 |
|---|---|---|
| 1 | ニューヨーク | 7.0317 |
| 2 | オレゴン | 6.4958 |
| 3 | フロリダ | 6.4687 |
| 4 | ハワイ | 6.4613 |
| 5 | インディアナ | 6.3978 |
| 6 | ミズーリ | 6.3940 |
| 7 | カリフォルニア | 6.3501 |
| 8 | イリノイ | 6.3221 |
| 9 | テキサス | 6.2932 |
| 10 | ミシシッピ | 6.2017 |

(注)　11 位以下は省略

としてはそれほど大きな値と考えていなかったことを表していよう。また，各要因間のウェイトの差が相対的に小さくなっていることにより，表1では実行不能だったカリフォルニア州がここでは実行可能になっていることがわかる。

次に，対象とする地点が多く，それらの地点の中からいくつかの立地候補地点を探索したいような場合の本モデルの使用について触れておこう。

本モデルでは，立地点と他の候補地点の総合評価値の差が負にならないという制約条件を用いているが，この条件により，解を求める際に，どのようなウェイトの置き方をしても，多くの地点で，他のすべての候補地点より総合評価値を大きくすることはできず，解が実行不能になることが予想できる。このことは，候補地点を絞っていく過程では，非常に都合の良い性質で，これにより，立地主体の視点で立地環境の劣る地点（実行不能となる地点）をはずすことができる。たとえば，表1のワシントン州，および表1(3)，(4)におけるカリフォルニア州のような場合である。

そこでA社を例に，モデル4を用いて，候補とする州を特定せず，50州の中から立地主体の選好を満足する州を探索し候補地点とすることを考えよう。この場合には，すべての州を対象にモデルを適用すればよく，50州それぞれを仮の立地点とみなしてモデルを解いていけばよい。

その結果，実行可能な解が得られたのは，50州のうちフロリダ，ハワイ，インディアナ，ニューヨーク，オレゴン，テキサスの6州をそれぞれ立地点とした場合だけであった。他の44州は，立地主体の考える選好関係では総合評価値に関する制約条件を満たすことができなかったといえる。

A社が候補としてあげていた州のうち，実際に立地したオレゴンのほか，フロリダ，テキサスの各州がここに含まれており，A社の選好からみた候補地の選択は妥当なものだったということができよう。

目的関数値および総合評価値の大きさは，ニューヨーク州がもっとも大きく，これを立地点としたときの50州の総合評価値の順位は表4のようになった。実際に立地しているオレゴン州は2位となり，高位にランクされていることがわかる。

## 5．おわりに

本稿では，企業が工場などの立地を行う際の，立地選好度の評価と立地点選定のための2つのファジイ線形計画モデルを提示し，それをアメリカ進出日系メーカーの立地州選定問題に適用したものである。これらは立地点の相対的優位性を最大にするという目的関数をもつもので，立地主体の各立地要因に対する選好の度合いをもっともよく反映し，唯一の立地点が選定できるという点で，立地点と次善候補地点の総合評価値の差を最大にするモデル（モデル4）がもっともすぐれていた。

このモデルは，線形計画モデルから出発し，これを現実の立地主体の意思決定に即して改良を加えたものである。

これを用いることにより，立地主体は，立地に際して考慮すべき各要因の選好順位とそのファジイ関係を与えれば，各地点の要因別評価値を用いて最適立地点を得ることができ，また同時に，立地主体が，結果的にどの要因にどれくらいのウェイトを置いて立地選定を行ったかを数量的に把握することができる。

また，立地点の選定問題に限らず，より一般的な意思決定問題に本モデルを適用することも可能である。その場合には，代替案に対する選定要因の選好順位とそのファジイ関係，および各要因の評価値を与えればよい。

今後の課題としては，ファジイ関係を表すメンバシップ関数，特に$b_i$と$d_i$の数値の与え方の問題やAHPにおけるスケーリングとの関連性の考察などがあげられる。

## 参考文献


[1]**Czamanski, D. Z.**, "Some Considerations Concerning Industrial Location Decision", *European Journal of Operational Research*, Vol. 6-2, pp. 227-231, (1981)

[2]**Hood, N.**, "European Locational Decisions of Japanese Manufacturers: Survey Evidence on the Case of the UK", *Global Kaisha Conference discussion paper*, pp. 1-27, (1992)

[3]**Saaty, T. L.**, The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, pp. 89-163, (1980)

[4]**刀根薫，真鍋竜太郎編**，「AHP事例集」，日科技連出版社，(1990)

[5]**Bellman, R. E. & Zadeh, L. A.**, "Decision Making in a Fuzzy Environment", *Management Science*, Vol. 17, pp. 141-164, (1970)

[6]**Zimmermann, H. J.**, "Description and Optimization of Fuzzy Systems", *International Journal of General Systems*, Vol. 2, pp. 209-215, (1976)

[7]**Zimmermann, H. J.**, "Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 1, pp. 45-55, (1978)

[8]**坂和正敏**，「線形システムの最適化」，森北出版，pp. 181-204, (1984)

[9]**百合本茂，増井忠幸**，"海外生産拠点選定のためのDSSの設計"，流通問題研究，No. 16, pp. 55-86. (1990)