論　文

見解間の距離に着目した集団意思決定法の提案

大木　真*　　室伏　俊明**

Proposal of the group decision making method that paid attention to the distance between opinions

Makoto Ohki*, Toshiaki Murofushi**

Abstract: This paper proposes a new method "Distance equality method between opinions" in group decision making. We paid our attention to the distance between opinions of evaluators in the group. When the distance between opinions is too bigger than others or too small, it is biased that contribution degree for a group. Therefore the proposal method grades the evaluators to become equal at distance between opinions, and it makes equal the influence on group. Then the method defined "VDI" that is index for the equality degree on influence on group. If VDI is so small, it means influence on group is equal. As a results of simulation, VDI was corrected to about 0.001 or less. In addition, this method is applicable to the absolute measurement method. And it become a tool that analyze the situation of an individual and the group, because the VDI and grades show the stable value.

キーワード：集団意思決定、AHP、多属性効用理論、意思決定理論

Keywords：Group decision making, AHP, Multiattribute utility theory, Decision making theory

1．はじめに

企業における事業計画、自治体による都市計画など、非常に大きな問題から、引越や自動車の購入など、家族会議で決められるような身近な問題まで、人間生活において他者との意見交換は必ず行われる。その意見交換、話し合いの上で、様々なことを決定し行動していく。このとき、複数の代替案の価値が拮抗している場合、本当に良い選択がどれであるのかを予測することは大変難しい問題である。このような難しい問題の解決のために AHP(Analytic Hierarchy Process)が提唱された。AHP の開発者である Saaty[(1)] は、集団内の個人の一対比較行列値を幾何平均することで集団の一対比較行列を求める方法を提示した。しかし、この方法では、全ての見解を平等に扱ってしまうため、自分の考えを通そうとするために、極端に偏った見解が入力される恐れがある。

* 熊本高等専門学校　情報通信エレクトロニクス工学科
〒861-1102　熊本県合志市須屋 2659-2
Dept. of Information, Communication & Electronic Engineering,
Kumamoto National College of Technology
2659-2, Suya, Koshi, Kumamoto 861-1102
** 東京工業大学　知能システム科学専攻
〒226-8502 横浜市 緑区 長津田町 4259-G3-47
Dept. Computational Intelligence & Systems Science,
Tokyo Institute of Technology
4259-G3-47, Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8502

そういった問題を解決するために、これまで様々な AHP の集団意思決定法が提案されてきた。それらは大きく 4 種類に別けられ、それぞれ代表的な手法として、幾何平均法[(1)]、集団区間 AHP 法[(2)]、集団意思決定ストレス法[(3)]、集団意思決定ストレス区間値法[(4)]が挙げられる。これらは、それぞれが持つ指標に基づいて最終的な解や代替案の順位を決定し、多様な見解を一つに収斂するための手法である。

本研究では、この中でも集団内の個人を格付けする集団意思決定ストレス法に注目する。この手法では、集団内の不満（ストレス）の総和を最小にするように各個人の格付けを行い、最終的な解を得る。この手法の良い点は、必ず一つの解が求まることと、全体としてのストレスを最小化するため、最終結果に納得してもらいやすい点である。しかし、AHP の根本的な問題として、代替案の追加で順位が変動してしまうという欠陥がある[(5)]。この解決法として明快なものは、絶対評価と AHP を組み合わせることが一つ挙げられる。AHP に絶対評価として多属性効用理論を応用した手法が大木・室伏[(6)]によって提案されている。この場合、集団意思決定法も絶対評価に適応できなければならないが、集団意思決定ストレス法を含めた既存の手法では絶対評価法への適用は不可能である。

本研究では、見解間の距離（意見の差）に着目し、集団内の他者との距離を平均化する手法を提案する。これによ

って、最終的な集団案への貢献度が皆平等になる。集団案への貢献度が平等であれば、最終結果への納得を得やすいはずである。また、見解間の距離を、最小化ではなく平均化するという特性から絶対評価法への適用も可能であると予想する。

なお、本論文での提案内容は上述の通りだが、本研究の最終的な目的としては、集団意思決定手法を機械に取り込むことで、「機械と機械」または「機械と人」が相談による合意形成を行い、行動を決定していくシステムの実現を考えている。これによって、事故現場や災害現場での人やモノの探査を行うマルチエージェントシステムなどへの応用が期待できる。それぞれが持つ探査地区の危険度や通行可能性などの情報をもとに、安全、迅速、効率を考え、どこから探査すべきか、何体で探査すべきか、などを機械達が「独自に」「現場で」「迅速に」判断しながら探査を行うことが可能になる。

２．集団意思決定の４シナリオ

集団意思決定では、「どのような集団、どのような場面においても最適な解を導くことが出来る」という手法は存在しない。その集団の指針や方針、問題の種類などによって、適する方法を選ぶことが必要である。中西・木下は問題解決のシナリオ[7]を次の 2 つの軸によって、4 つに区分している（図 1)。

（１）　個人を、平等に扱う／格付けする

（２）　原始データ（見解）を、操作しない／操作する

2.1　　個人を平等に扱うシナリオ

（１）幾何平均法[1]　＜シナリオ A＞

AHP の開発者である Saaty が提案した。個人ごとの一対比較行列を集団内の全員で幾何平均を取ることで、集団の一対比較行列を作成する方法。集団内の全ての個人を平等に扱い見解の操作も行わない。単純で分かりやすい手法。

（２）集団区間 AHP 法[2]　＜シナリオ B＞

集団区間 AHP 法も集団内の各個人を平等に扱うが、見解の操作を行う手法である。この手法は、各個人が入力する見解が区間値であり、最初から操作を許す区間を申告する。例えば、「だいたい３くらいであれば良い」と考えれば、[2,4] のような区間値を申告する。申告された区間内で、集団の全員が納得できるように見解を操作しながら、集団の一対比較行列を作成する。この手法では、一対比較行列の整合度指数の最小化を行うが、これは NP 困難な問題であり、解を求めることが困難であるという問題もある。

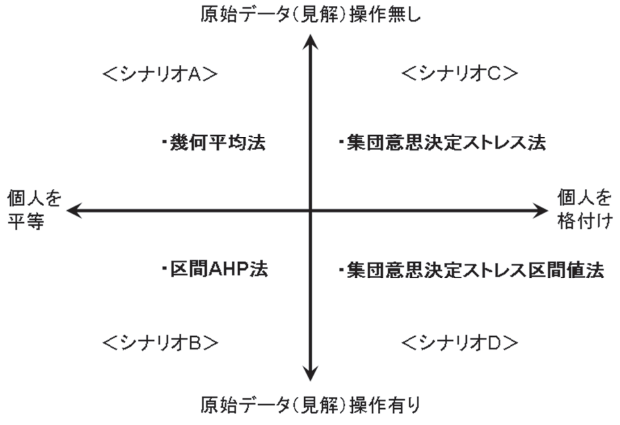


図１　4 つのシナリオの区分

2.2　　個人を格付けするシナリオ

（１）集団意思決定ストレス法[3]　＜シナリオ C＞

個人を格付けする場合、格付けの小さい者は不満を持ってしまう。この手法は、そういった格付けの小さい者の納得を得やすい手法である。集団内の個人の不満は、集団の決定と自分の見解との差から発生すると考えて個人のストレス値を定義、その総和（集団内全員のストレス値の和）が最小になるように、各人の格付け値を決定する手法である。集団全体としてのストレスが最小になるのならば、自分の格付けが小さくても良いと考えて貰えるため、納得を得やすい。

本論文の提案手法と比較するため、以下に集団意思決定ストレス法の定義と具体例を紹介する。

[定義 1] 集団意思決定ストレス法

集団のストレスの総和 S は以下のように定義される。

$$\sum_{p=1}^{n} r^{(p)} = 1 \qquad (1)$$

$$e_k = \frac{1}{n}\sum_{p=1}^{n}\left(r^{(p)} x_k^{(p)}\right) \qquad (2)$$

$$S = \sum_{k=1}^{m}\sum_{p=1}^{n}\left(r^{(p)} x_k^{(p)} - e_k\right)^2 \qquad (3)$$

p: 意思決定者個人 $p = 1,2,\cdots,n$
k: 評価項目 $k = 1,2,\cdots,m$
$r^{(p)}$: 個人pの格付け値
$x_k^{(p)}$: 個人pによる項目kの評価結果
e_k : 項目kに関する集団評価値を集団の人数で割った平均値

この S が最小になるような $r^{(p)}$を求めることで、格付け値 $r^{(p)*}$が決まる。具体的には、式(1)を制約式として、式(3)を最小化する最小化問題になるので、ラグランジュの未定乗数法を用いれば解が求まる。各個人の評価結果を $\boldsymbol{X}^{(p)}$とし、ラグランジュ未定乗数を λ とする。

$$\boldsymbol{X}^{(p)} = \begin{bmatrix} x_1^{(p)} \\ \vdots \\ x_2^{(p)} \\ \vdots \\ x_m^{(p)} \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{r}^* = \begin{bmatrix} r^{(1)*} \\ \vdots \\ r^{(p)*} \\ \vdots \\ r^{(n)*} \end{bmatrix} \qquad (4)$$

とおくと、最終的な格付け値 $r^{(p)*}$は次の式(5)で求めることが出来る。

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{r}^* \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r^{(1)*} \\ r^{(2)*} \\ \vdots \\ r^{(n)*} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (n-1)\left|\boldsymbol{X}^{(1)}\right|^2 & -\left(\boldsymbol{X}^{(1)},\boldsymbol{X}^{(2)}\right) & \cdots & -\left(\boldsymbol{X}^{(1)},\boldsymbol{X}^{(n)}\right) & 1 \\ -\left(\boldsymbol{X}^{(2)},\boldsymbol{X}^{(1)}\right) & (n-1)\left|\boldsymbol{X}^{(2)}\right|^2 & \cdots & -\left(\boldsymbol{X}^{(2)},\boldsymbol{X}^{(n)}\right) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ -\left(\boldsymbol{X}^{(n)},\boldsymbol{X}^{(1)}\right) & -\left(\boldsymbol{X}^{(n)},\boldsymbol{X}^{(2)}\right) & \cdots & (n-1)\left|\boldsymbol{X}^{(n)}\right|^2 & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad (5)$$

簡単な計算例を示す。3 つの項目(D1,D2,D3)を 3 人(P1,P2,P3)で評価する。3 人の一対比較行列が次のようになったとする。

$$P1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix},\quad \boldsymbol{X}^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.571 \\ 0.286 \\ 0.143 \end{bmatrix}$$

$$P2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/4 \\ 2 & 1 & 1/3 \\ 4 & 3 & 1 \end{bmatrix},\quad \boldsymbol{X}^{(2)} = \begin{bmatrix} 0.137 \\ 0.239 \\ 0.624 \end{bmatrix}$$

$$P3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 \\ 3 & 1 & 2 \\ 2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix},\quad \boldsymbol{X}^{(3)} = \begin{bmatrix} 0.163 \\ 0.540 \\ 0.297 \end{bmatrix}$$

この一対比較行列からラグランジュの未定乗数法によって解を導くと、格付け値 $\boldsymbol{r}^*$および最終評価は次のようになる。

$$\boldsymbol{r}^* = \begin{bmatrix} 0.321 \\ 0.316 \\ 0.363 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} &\left[\boldsymbol{X}^{(1)},\boldsymbol{X}^{(2)},\boldsymbol{X}^{(3)}\right]\cdot \boldsymbol{r}^* \\ &= \begin{bmatrix} 0.571 & 0.137 & 0.163 \\ 0.286 & 0.239 & 0.540 \\ 0.143 & 0.624 & 0.297 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.321 \\ 0.316 \\ 0.363 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.286 \\ 0.363 \\ 0.351 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

よって、最終評価は D1 が 0.286、D2 が 0.363、D3 が 0.351 であるので、D2 がこの集団の求める解ということになる。

（2）集団意思決定ストレス区間値法[(4)]　＜シナリオ D＞

この集団意思決定法は集団区間 AHP 法と同じく、個人からの一対比較行列への入力を区間値で行ってもらう。そして、それらを操作しつつ、集団のストレス総和値を最小化するように、格付け値を決める手法である。集団区間 AHP 法との大きな違いは、集団の一対比較行列を作らない点と、個人を格付けする点である。この手法も整合度指数の最小化を行うため、NP 困難な問題を解かなければならない。この手法の詳細については、参考文献(4)を参照されたい。

３．集団意思決定ストレス法の問題点

3.1　「多数派有利」の条件

集団意思決定ストレス法では、「類似見解が多い見解の持ち主の重みは大きくなり、孤立した見解の持ち主の重みは小さくなる」（参考文献(3)より引用）という主張がある。つまり、集団内の多数派が必ず高い格付け値になり、少数派は低い格付け値になるということである。この性質を利用して、格付け値を個人に開示することで、集団内での自分の位置づけを示す地図を渡せるとしており、それによって合意形成のための良いフィードバックになることを期待している。

しかしこの手法では、必ずしも多数派の格付けが高くなる訳ではない。そうなるためには、ある条件が存在するが、その条件については全く触れられていない。以下でこの条件について説明する。

（1）多数派有利とならない例

まず、多数派の格付けが高くならない例を表 1 に示す。この例では、P1,P2,P3 の 3 人が 3 つの項目 D1,D2,D3 の評価を行っている。P1 と P2 は同じ価値観を持っていて、D1,D2,D3 について、それぞれ 0.1,0.1,0.8 という評価を与えている。P3 は 3 項目とも同等と考えて、全てに 1/3 の評価を与えている。この場合、P1,P2 は多数派で P3 は少数派である。しかし、集団意思決定ストレス法によって与えられた格付け値は P1,P2 は 0.301 で P3 は 0.399 となる。少数派である P3 の格付けが圧倒的に高い結果となってしまう。

この P1,P2 の評価のみを 0.1 刻みで変化させていった場合の結果を表 2 に示す。なお P3 は 1/3 で固定とする。表 2 をみると、P1,P2 の価値観が P3 に近づくにつれて P1,P2 の格付け値が上昇している。しかし、P1,P2 の値をどのように変化させても P3 以上の格付け値を得ることは出来ない。つまり、評価項目を全て同価値に評価する人が一番高い格付け値を必ず得るようになってしまう。

表 1　多数派の格付けが高くならない例

個人＼項目	D1	D2	D3	格付け値
P1	0.1	0.1	0.8	0.301
P2	0.1	0.1	0.8	0.301
P3	1/3	1/3	1/3	0.399

表 2　多数派の見解変化による格付け値の変動

P1,P2 の評価			格付け値	
D1	D2	D3	P1,P2	P3
0.1	0.1	0.8	0.301	0.399
0.1	0.2	0.7	0.312	0.376
0.1	0.3	0.6	0.320	0.360
0.1	0.4	0.5	0.324	0.352
0.2	0.2	0.6	0.322	0.356
0.2	0.3	0.5	0.328	0.344
0.2	0.4	0.4	0.330	0.339
0.3	0.3	0.4	0.333	0.335

（２）理論的証明

例で示されたように、集団意思決定ストレス法では、全ての評価項目を同価値に評価する人が 1 人でもいると、違う評価を行う多数派が大人数でも、同価値とする人が最も高い格付けとなってしまう。以下では、集団の人数、評価項目の数に関係なく、この反例が成り立つことを示す。

[証明]

集団の人数を n、評価項目の数を m とする。反例のような少数派（全て同価値）の見解 $X^{(t)}$と多数派の見解 $X^{(i)}$は次のように表すことが出来る。

$$\exists t \in \{1,2,\cdots,n\}, \qquad X^{(t)} = \begin{bmatrix} 1/m \\ \vdots \\ 1/m \end{bmatrix}$$

$$\forall i,j \in \{1,2,\cdots,n\} - \{t\}, \qquad X^{(i)} = X^{(j)} = \begin{bmatrix} x_1^{(i)} \\ x_2^{(i)} \\ \vdots \\ x_m^{(i)} \end{bmatrix}$$

これらを式(5)に代入すると、次の 3 式を得られる。

$$\left|X^{(i)}\right|^2 r^{(i)} - \left(X^{(i)}, X^{(t)}\right) r^{(t)} + \lambda = 0 \tag{6}$$

$$(n-1)\left|X^{(t)}\right|^2 r^{(t)} - (n-1)\left(X^{(t)}, X^{(i)}\right) r^{(i)} + \lambda = 0 \tag{7}$$

$$(n-1) r^{(i)} + r^{(t)} = 1 \tag{8}$$

また、

$$\sum_{k=1}^{m} x_k^{(i)} = 1$$

$$\left(X^{(i)}, X^{(t)}\right) = \left(X^{(t)}, X^{(i)}\right) = \frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m} x_k^{(i)} = \frac{1}{m}$$

$$\left|X^{(t)}\right|^2 = \sum_{k=1}^{m}\left(\frac{1}{m}\right)^2 = \frac{1}{m}$$

$$\left|X^{(i)}\right|^2 = \sum_{k=1}^{m}\left(x_k^{(i)}\right)^2$$

であるので、式(6),(7)は次のように変換できる。

$$\left[\sum_{k=1}^{m}\left(x_k^{(i)}\right)^2\right] r^{(i)} - \frac{1}{m} r^{(t)} + \lambda = 0 \tag{9}$$

$$\frac{(n-1)}{m} r^{(t)} - \frac{(n-1)}{m} r^{(i)} + \lambda = 0 \tag{10}$$

式(8),(9),(10)から、$r^{(i)}$と $r^{(t)}$は次のように導かれる。

$$r^{(i)} = \frac{n}{n^2 - 1 + m^-} \tag{11}$$

$$r^{(t)} = \frac{n - 1 + m^-}{n^2 - 1 + m^-} \tag{12}$$

ただし、

$$m^- = m\sum_{k=1}^{m}\left(x_k^{(i)}\right)^2 \in [1, m]$$

ここで、 $r^{(t)} \geq r^{(i)}$となるためには

$$\frac{n - 1 + m^-}{n^2 - 1 + m^-} \geq \frac{n}{n^2 - 1 + m^-}$$

となることを示せば良い。分母は正なので

$$n - 1 + m^- \geq n$$
$$m^- \geq 1$$

となる。

ここで、$m^- \in [1, m]$であるから、$r^{(t)} \geq r^{(i)}$が常に成り立つ。

[証明終わり]

（３）多数派有利となる条件

多数派の格付けが高くなるために必要な条件は次の２つである。

・全てを同価値とするものがいない

・極端な評価で対立が起きた時

表 3 に例を示す。このように極端に見解が違う対立が起きた場合、多数派の格付けが高くなり多数派有利となる。

3.2　　絶対評価法への適用

AHP では評価基準も代替案も、一対比較による相対評価を用いることが多い。しかし、ベルトン(Belton)とゲアー(gear)の反例[5]で示されたように、AHP は順位逆転現象が発生する問題を内在している。この問題に対応するために、多数の研究、提案がなされてきたが、著者は代替案の評価に絶対評価法を取り入れることが、根本的な解決法であると考えている。個人の意思決定においては、絶対評価法を取り入れた AHP 手法は多く研究されているが、集団の意思決定においては研究が進んでいない。

この集団意思決定ストレス法は「代替案間の一対比較による評価（相対評価型 AHP）、代替案間の一対比較によらな

表 3　多数派の格付けが高くなる例

個人＼項目	D1	D2	D3	格付け値
P1	0.8	0.1	0.1	0.172316
P2	0.8	0.1	0.1	0.172316
P3	0.1	0.1	0.8	0.218456
P4	0.1	0.1	0.8	0.218456
P5	0.1	0.1	0.8	0.218456

表 4　絶対評価法を用いた場合の格付け値

個人＼項目	D1	D2	D3	格付け値
P1	0.01	0.02	0.05	0.896
P2	0.1	0.2	0.9	0.051
P3	0.3	0.2	0.8	0.054

い評価（絶対評価型 AHP）いずれの評価法によって求めても構わない」（参考文献(3)より引用）としているが、これは間違いであると考える。

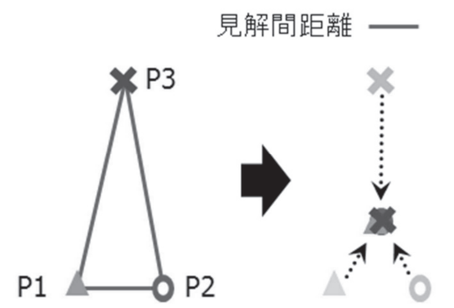
反例を表 4 に示す。分かりやすくするために、とても極端な例にしている。この例では、3 人とも価値観は似通っているが、P1 は評価が厳しい。そのため P1 は全体的に低い評価値を付けている。格付け値に注目すると、P1 が 0.896 と極端に高い値になっている。これは集団意思決定ストレス法が、「全員を集団案に近づける」ように格付け値を調整するためである。全体的に小さい値で評価した P1 の値を、他の 2 人の値に近づけるため、格付け値を大きくしている。一方、他の 2 人については、P1 の値に近づけるために小さい格付け値になる。そのため、P1 と P2,P3 で格付け値に大きな差が出来てしまう。つまり絶対評価法には、**小さい評価値をつける者に大きい格付け値を、大きい評価値をつける者に小さい格付け値をつける**手法になってしまう。

相対評価法ならば、このようなことは起きない。なぜならば、各個人が持つ評価値は、合計が必ず 1 になるよう正規化されているからである。そのため相対評価法では集団意思決定ストレス法は上手く動作し、有用な手法となる。しかし、絶対評価法では、必ずしも評価値合計が 1 に正規化されないため、このような問題が発生してしまう。

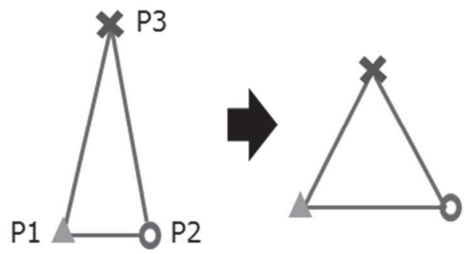
4． 提案手法

4.1　　提案手法の考え方

集団意思決定ストレス法は、「集団内の個人見解のばらつきを無くし（小さくし）、全員が同じ見解になる（近づく）ように格付け値を決める手法」である（図 2(a) ）。全員の見解を同じにしようとするため、前述の 2 つの問題が発生している。これに対し、本論文で提案する手法は「集団内の個人見解間の距離のばらつきを無くし（小さくし）、全員の見解間距離が同じになる（近づく）ように格付け値を決める手法」である（図 2(b) ）。提案では、集団が持っている見解の多様性は保持すべきであると考える。見解に多様性があるからこそ、集団案は精査されたものになる。この“見解の多様性”とは、集団内の他者の見解との距離である。この距離が大きい程、多様性のある集団ということになる。しかしながら、あまりにも他者との距離が離れ過ぎている見解を平等に扱うと、集団案がその見解に偏ったものになってしまう。そこで、他者との距離の総和を保ったまま（多様性は保ったまま）、全員が同じ距離になるように格付け値を決定する。そうすることで、集団のメンバーが集団の最終案に与える影響の度合いが皆同じになり、平等な合意形成が可能となる。この考えに基づいた手法を「見解間距離均等法」と呼ぶことにする。



(a)　集団意思決定ストレス法のイメージ（格付け前→格付け後）



(b)　提案手法のイメージ（格付け前→格付け後）

図 2　見解の位置の格付け前後のイメージ

4.2　　提案手法の定義

以下に見解間距離均等法の定義を示す。

[定義 2] 見解間距離均等法

集団内における多様性のばらつきの総和 VDI(Variety Dispersion Index)を次のように定義する。

$$\sum_{p=1}^{n} r^{(p)} = 1 \tag{13}$$

$$D_k^{(p)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_k^{(p)} - x_k^{(i)})^2} + \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |x_k^{(i)}| \tag{14}$$

$$e_k = \frac{1}{n}\sum_{p=1}^{n} (r^{(p)} D_k^{(p)}) \tag{15}$$

$$\mathrm{VDI} = \sum_{k=1}^{m}\sum_{p=1}^{n} (r^{(p)} D_k^{(p)} - e_k)^2 \tag{16}$$

p, i: 意思決定者個人 $p = i = 1,2,\cdots,n$
k: 評価項目 $k = 1,2,\cdots,m$
$r^{(p)}$: 個人pの格付け値
$x_k^{(p)}$: 個人pによる項目kの見解
$D_k^{(p)}$: 項目kにおける個人pと他者との見解の距離
e_k : 格付けされた$D_k^{(p)}$の平均

このVDIが最小になるように格付け値$r^{(p)}$を決定する。集団意思決定ストレス法と同様にラグランジュの未定乗数法で解を得ることが可能である。その場合、式(4)のxとDを入れ替えて考えればよい。なお、式(14)の第2項は集団が持つ見解全体の大きさに左右されないようにするためのスケーリング項である。

4.3　　提案手法の特徴

（1）多数派の格付け値が高くなる

本手法は、集団の人数や評価項目の数に関係なく、多数派の格付けが高くなる、という特徴を持っている。表2と同じように多数派の見解が変化した場合の格付け値の変化を、表5および図3に示す。図3より、常に多数派の格付け値が高くなっていることが分かる。また多数派の見解がP3の見解に近づくにつれて、互いの値が近くなっていく。これは全員の見解間距離が縮まっているためである。

（2）絶対評価法への適用

表4と同じ例に提案手法を適用した結果を表6に示す。表4では、極端にP1に偏った値になっていたが、表6では極端な偏りはみられず、3人の中で最も見解間距離が短かったP3の格付け値が最も高い値となっている。このように、絶対評価法で示された見解についても、提案手法は適用可能である。この場合、P1が極端な見解を示しているため、P1の見解間距離が長くなっている。しかし見解間距離は相互に影響があるため、P1の見解によってP2,P3の見解間距離も長く（P1の半分程の長さに）なる。そのため、P1だけが極端にかけ離れた格付け値になることはない。

表5　提案手法の格付け値の変動

P1,P2の評価			格付け値	
D1	D2	D3	P1,P2	P3
0.1	0.1	0.8	0.352	0.296
0.1	0.2	0.7	0.350	0.299
0.1	0.3	0.6	0.348	0.303
0.1	0.4	0.5	0.347	0.307
0.2	0.2	0.6	0.348	0.304
0.2	0.3	0.5	0.344	0.311
0.2	0.4	0.4	0.342	0.315
0.3	0.3	0.4	0.339	0.323

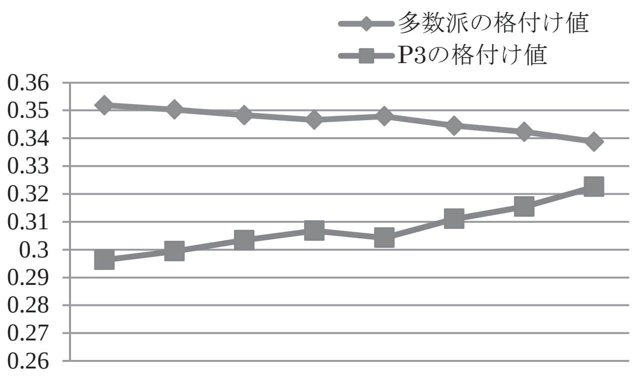


図3　提案手法の格付け値の変動

表6　提案手法の絶対評価法への適用

個人＼項目	D1	D2	D3	格付け値
P1	0.01	0.02	0.05	0.291
P2	0.1	0.2	0.9	0.348
P3	0.3	0.2	0.8	0.361

表7　VDIの比較

	VDI		
	平均法	ストレス法	提案手法
表1	0.004152	0.031415	0.000058
表4	0.009901	1.598873	0.001901

（3）見解間距離のばらつきの改善

提案手法は見解間距離を集団内で平均化する手法であり、ばらつきの指標VDIを最小化する格付け値を探索する。VDIが0になる場合、集団内の各個人が持つ見解間距離が完全に一致するということになる（図2(b)のイメージが正三角形になる）。

提案手法によって、VDIがどの程度改善されたかを表7に示す。比較対象として平均法（格付け値が全て$1/n$）、集団意思決定ストレス法を挙げ、表1と表4に示す見解を入力としている。この2つのパターンは集団意思決定ストレス法が上手く適用出来ない場合であるので、VDIも大きな値を示している。提案手法は平均法と比べても、VDIが大きく改善されており、0にとても近い値になっている。VDIが0に近いほど、各個人の集団案への貢献度が均等になるため、提案手法では平等な集団案を示せていると言える。

5．適用実験

今まで、集団意思決定において、絶対評価法への適用が可能な合理的な格付け手法は研究されてこなかった。見解間距離均等法では、その特性から相対評価法にも絶対評価法にも適用が可能である。そのため、AHP以外の数理的意思決定手法にも適用可能である。

本章では、絶対評価法として著名な多属性効用理論と、相対評価法のAHPを複合的に応用した意思決定手法ESOS[6]に、見解間距離均等法の適用を試みる。

5.1　　実験内容

ESOSは、評価基準の重要度計算にFuzzyAHP[8]を用い、各評価基準ごとの代替案の評価を効用理論で行う。今回FuzzyAHPに必要なξについては全て0.5（加法的）に固定する。そのため、各個人の入力として扱える値（見解）は、AHPの重要度および効用理論の効用点である。以下で実験内容を説明する。

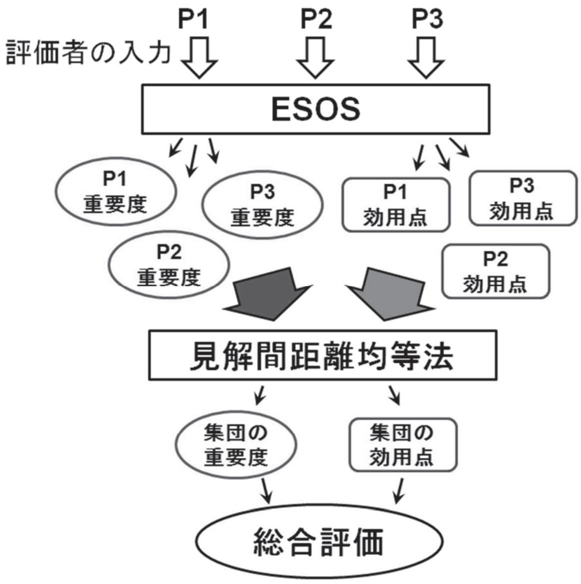


図 4　適用実験の流れ

（1）　実験問題

実験問題は「中古車選び」で、評価基準は「価格（万円）」、「年式（製造年）」、「総走行距離（万 km）」、「車検残（ヶ月）」の 4 つとする。代替案は全部で 120 台あり、車種やメーカーなどの好みによる影響を無くすため、1 車種のみのデータを利用している。評価者は 3 名。この 3 名は知り合いではなく、出身地、生活圏なども全く別である。

（2）　実験手順

実験の流れを図 4 に示す。

【手順 1】評価者 3 名それぞれが個人的に ESOS による代替案の評価を行う。

【手順 2】評価基準の重要度と、各評価基準の効用点について、それぞれ見解間距離均等法で格付けを行う。

効用理論は、1 つの評価基準に対して、5 つの効用点を持つ。その 5 つの値について、他者との距離を計算することで格付けを行う。評価基準は 4 つあるので、この作業は 4 回行われる。

【手順 3】それぞれの格付け値に基づいて、集団としての、評価基準の重要度および効用点を導きだす。

【手順 4】得られた重要度と効用点から、全ての代替案の総合評価値を求める。計算方法は ESOS と同じである。

5.2　結果と考察

結果を表 8、9、10 に示す。表 8 では、20 位までに入った代替案を示し、集団案で 5 位以内になった代替案を太字で示している。これを見ると、P2 は太字の代替案が 4 つある。他 2 人は 3 つしかなく、3 人の中で P2 の見解が最も反映されているように見える。なお、P2 の 21 位には No.113 がある。これは、表 9 から分かるように評価基準の重要度について、P2 が最も高い格付けを得たことが影響していると考えられる。しかしながら、その格付けは大差ではないため、他の 2 名も 3 つの太字を持っている。

表 8　実験結果　個人と集団案の順位

	代替案 No.			
順位	P1	P2	P3	集団案
1	No.59	No.58	**No.117**	**No.92**
2	**No.60**	No.107	No.119	**No.117**
3	No.40	No.114	**No.118**	**No.118**
4	No.36	No.85	No.107	**No.113**
5	No.26	No.87	No.115	**No.60**
6	No.15	**No.117**	No.114	No.114
7	No.51	**No.60**	No.85	No.115
8	No.37	No.115	No.87	No.88
9	No.74	**No.118**	No.103	No.58
10	No.58	No.77	No.99	No.107
11	No.42	No.54	No.69	No.36
12	No.62	No.56	No.78	No.74
13	No.83	No.31	No.110	No.93
14	No.11	**No.92**	No.58	No.75
15	No.88	No.59	No.116	No.59
16	**No.92**	No.12	No.106	No.85
17	No.93	No.36	**No.92**	No.87
18	No.96	No.69	No.77	No.62
19	No.75	No.62	No.90	No.77
20	**No.113**	No.88	No.56	No.104

表 9　実験結果　評価基準の重要度

	評価基準の重要度				格付け値
	価格	年式	走行距離	車検残	
P1	0.341	0.101	0.162	0.396	0.322
P2	0.287	0.288	0.228	0.197	0.363
P3	0.124	0.206	0.504	0.166	0.315
集団案	0.253	0.202	0.294	0.251	

表 10　実験結果　各評価基準の効用点

効用値	0.000	0.25	0.50	0.75	1.00	格付け値
価格の効用点[万円]						
P1	120.00	92.66	76.25	59.84	50.00	0.375
P2	60.00	55.78	48.75	41.72	30.00	0.311
P3	185.00	127.97	93.75	59.53	39.00	0.314
集団案	121.72	92.26	73.18	54.11	40.33	
年式の効用点[19○○年]						
P1	95.00	96.95	98.13	99.30	100.00	0.331
P2	100.00	102.34	103.75	104.59	106.00	0.332
P3	97.00	99.11	100.38	103.89	106.00	0.337
集団案	97.34	99.47	100.75	102.61	104.02	
走行距離の効用点[万 km]						
P1	8.00	6.83	6.13	5.42	5.00	0.300
P2	3.00	2.22	1.75	1.47	1.00	0.327
P3	5.90	3.91	2.71	1.52	0.80	0.373
集団案	5.58	4.23	3.42	2.67	2.12	
車検残の効用点[ヶ月]						
P1	12.00	15.13	17.00	18.88	20.00	0.355
P2	8.00	11.91	14.25	16.59	18.00	0.340
P3	0.00	14.06	22.50	30.94	36.00	0.305
集団案	6.98	13.71	17.74	21.78	24.20	

表 8 にアンダーバーで示した No.58 に注目してもらいたい。この代替案は、集団案で 1 位となった No.92 よりも高

い評価を 3 名全員がしている。それにも関わらず、集団案では 9 位となっている。No.58 は価格では No.92 の半額だが、走行距離が 4.3 万 km と長い。No.92 は 1.9 万 km である。ここで表 9 の集団案を見ると、走行距離の重要度が 0.294 とかなり高くなっていることが分かる。つまり、走行距離は総合評価に大きく影響するということである。さらに、表 10 を見ると、走行距離は 4.23 万 km で効用値 0.25 となるため、No.58 はこれ以下の効用値しか得られない。一方 No.92 は最大の効用値 1.0 を得る。この走行距離による差が、最終順位に大きく影響したと考えられる。

今回、結果は載せていないが、平均法を用いた場合の実験も行った。その結果、平均法での上位 10 件と見解間距離均等法での上位 10 件は、9 件が同じものであり、3 位から 7 位までは、順位までもが同じだった。しかし、1 位と 2 位は順位が入れ替わっていた。見解間距離均等法により、集団案への影響度合いを均等にすることで、上位での順位変動が起こるという貴重な結果である。単純に平均を取ることが必ずしも平等ではないという、良い例であると言える。

６．まとめと展望

6.1　　まとめ

本論文では、集団内の各個人が持つ見解間の距離に着目した。見解間距離が他者と比べて大きすぎたり、小さすぎたりすると、集団案への影響度にも偏りが出てしまう。そこで、**見解間距離が均等になるように格付けを行うことで、集団案への影響を平等なものにする**という考えのもと、見解間距離均等法を提案した。その結果、今までの集団意思決定法には無い特徴を有した手法が完成した。

（１）絶対評価法への適用

絶対評価法への適用を考えた集団意思決定法の研究は少ない。そのため、AHP が持つ順位逆転の問題に対応できる集団意思決定法が存在しないというのが現状である。見解間距離均等法は、この問題に対する一つの答となった。また絶対評価法にも相対評価法にも適用が可能であるため、両手法を複合的に利用する意思決定手法への応用も可能である。集団意思決定の手法として、より汎用性の高い手法であると言える。

（２）集団意思決定分析ツールとしての役割

意思決定を行う集団は、この見解間距離均等法が導きだした結果に必ずしも従う必要はない。むしろ、参考程度にしか見ないことの方が多いのではないかと予測する。機械に全てを決められるのは誰だって嫌であろう。それよりも大事なのは、この手法で得られた結果を開示することによって、評価者にフィードバックを与えることである。格付け値を見れば、自分の考えが集団内で中心的であるのか、それとも孤立しているのかが分かる。VDI を見れば、この集団の方向性が定まっているのか、飽和しているのかが分かる。そういった情報から、見解の修正を行ったり、集団としての方向性の説明を再度行うなどしながら、集団の合意形成を進めるツールとしての利用を期待する。

6.2　　今後の展望

集団意思決定の格付け法は、単なる平均法と違い、多数派などの「見解の強さの差」を合理的に表せる手法である。今回は、多数派が必ず強い見解を持つものとして、合理的な格付け法を提案した。しかし、集団のやり方として、少数派を優遇する場合もあるのではないかと考える。個性的な見解を取り入れることで、組織の活性化を図ったり、組織の生まれ変わりや改革を行うこともあるのではないだろうか。また、多数派を優遇する場合も、少数派を優遇する場合も、その優遇の度合いが集団によって変わってくると考える。

そこで、何らかのパラメータによって、少数派優遇から多数派優遇までを、その優遇度合いも含めて自在に変化させることが出来る集団意思決定法が存在すれば、より様々な集団の意思決定問題を解決できると考える。今後はこのような手法について考えていくことが、集団意思決定法として応用、適用範囲が広がる糸口と考えている。

（平成 23 年 11 月 9 日受付）

参考文献

(1) T. L. Saaty : “Group Decision Making and the AHP: The Analytic Hierarchy Process”, Springer-Verlag, pp. 56-67 (1989).

(2) 山田善晴，杉山学，八巻直一：「合意形成モデルを用いたグループ AHP」，日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌, Vol. 40, No. 2, pp. 236-243 (1997).

(3) 中西昌武，木下栄蔵：「集団意思決定ストレス法の集団 AHP への適用」，日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌, Vol. 41, No. 4, pp. 560-571 (1998).

(4) 中西昌武，：「集団意思決定ストレス区間値法による格付け区間値評価の提案」，土木学会論文集, Vol. 7, No. 9, pp. 27-37 (2002).

(5) V. Belton, T. Gear : “On a Shortcoming of Saaty's Method of Analytic Hierarchies”, Omega, Vol. 11, pp. 228-230 (1983).

(6) 大木真，室伏俊明：「ファジィ測度を用いた主観的最適解の抽出」，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌）, vol. 22, No. 5, pp. 630-641 (2010).

(7) 中西昌武,木下栄蔵：「集団意思決定ストレス・シナリオの AHP への適用」，土木計画学研究・講演集, Vol. 19, No. 2, pp. 101-104 (1996).

(8) 高萩栄一郎：「重要度とλによるλファジィ測度の同定について」，日本ファジィ学会誌, Vol. 12, No. 5, pp. 665-676 (2000).