ショートノート

多属性スコアを持つ評価データ群の統合・集計方法とその解釈に関する一思案†

藤本　勝成＊

本研究は，ある対象に対して複数の評価者が多属性評価を行った場合，それをどのように統合すればよいのか，また，どのような解釈をすればよいのかという問題に対する 1 つの試みである．ここでは，集団的意思決定的な視点に立って，1) 高萩によって提案された集合関数を通した評価データの次元拡張手法， 2) 証拠理論における証拠の結合手法， 3) 協力ゲームにおける種々の解概念を通した集合関数の次元削減手法等を融合した，多属性スコアを持つ評価データ群の統合・集計方法およびその解釈方法の提案とその可能性について考察する．

キーワード：集団意思決定，証拠理論，多属性データ群，高萩の集合関数表現

1. はじめに

図 1 のような，いわゆる，口コミ評価は，ある 1 つの評価対象（e.g., ホテル）を，様々な価値観を持つ複数の評価者が，属性（e.g., 接客，設備等）毎に「フェイススケールや 5-star-rating によって行った評価」を「投票により集計したもの」となっている．これらは，「協調フィルタリング」等を通して，推薦システムとしても利活用されている．本研究では，投票を通した多属性評価の総合的評価法とその評価統合メカニズムに注目する．実際，人事評価や採点競技をはじめ，投票形式による採点・評価システムを採用している事例は少なくない．また，RPG ゲームに見られるような様々なステイタスを持ったメンバーから構成されるパーティーのチームパラメータの推定という問題も同様の形式である．たとえば，属性 C_1，C_2，C_3 を持つ，評価対象 A，B，C が，評価者 P_1，P_2，P_3 によって，それぞれ，図 2 のように評価された場合，評価対象 A，B，C の平均評価値はすべて同一の $\bar{\boldsymbol{x}} = (2, 2, 2)$ となる．ここで，評価対象 A に注目すると，評価者 P_2，P_3 は同一の評価をしており，合議によって総合評価が与えられる場合には，多数派である P_2，P_3 寄りの総合評価となる可能性は高い．また，評価対象 B と C を比べた場合，C には大きな特長も欠点もないが，B への評価は大きく評価が分かれており，何らかの大きな個性を有していると考えられる．これらに対して，

- 評価者の多くが納得できる総合評価とは？
- 評価対象の個性は統合においても保存できるか？

の 2 つの視点から，多属性評価データ群の集計・統合法について，1 つの考察を試みる．

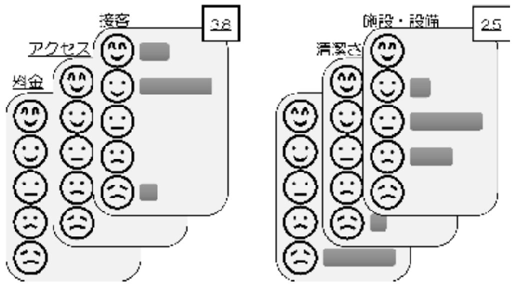

図 1　口コミ評価

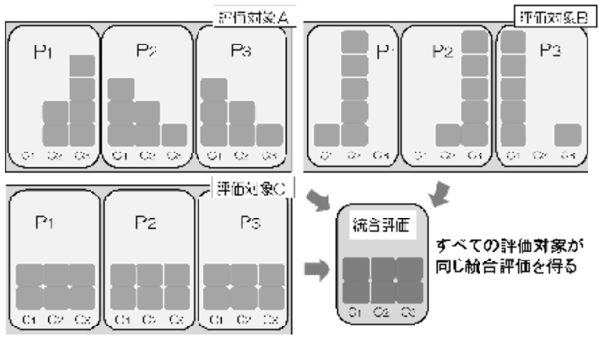

図 2　評価の例

2. 既往の研究

本研究は，以下の小節で紹介する研究 [1–6] に強く影響を受けたものである．2.1 節では，大木ら [1–3] による，集団意思決定の観点からの，多属性スコアを持つデータ群の統合法とその利活用法について，2.2 節では，高萩 [4, 5] によって提案された，多属性スコアを持つデータを，集合関数表現を通して多次元空間に拡張する方法についての概略を述べる．

2.1 集団意思決定 [1–3]

複数の評価者（意思決定者）が，ある対象に対して，それぞれに，多属性スコアにより，評価を与える状況を考える．各評価者のおこなった多属性スコアを，それぞれの評価者からの

† A Study on Aggregation Methods of Multiattribute Data and its Interpretations
Katsushige FUJIMOTO
＊ 福島大学 共生システム理工学類
School of Symbiotic Systems Science, Fukushima University

「評価対象に対する見解」と捉え，それらを，多くの評価者が納得できるように，集団見解へと集約することが，集団意思決定の 1 つの目標である．中西・木下 [6] は，集団見解への集約法として，「集団意思決定ストレス法」と呼ばれる，ある種の重み付き平均 2 乗誤差最小化法を提案している．また，大木ら [1] は，集団意思決定ストレス法の欠点を補う新たな集団見解の導出法として，「見解間距離均等法」を提案している．さらに，彼ら [3] は，RPG ゲームにおけるステイタスパラメータを多属性スコアと捉えることによって，チームパラメータ導出への応用の可能性についても議論している．

2.2 多属性スコアの集合関数表現 [4,5]

ある評価対象を複数の評価者が複数基準の下で評価（多属性評価）するとき，各評価者の評価値を基準ごとに単純平均することが，その対象への評価であると考えることは妥当か？ この疑問に対して高萩 [4, 5] は，集合関数を通した新たな複数評価者の評価の統合法を提案している．これは，評価基準の集合上の属性値ベクトルで表された評価スコアを，評価基準の集合の冪集合上の集合関数として表すことにより，これをより高い次元で議論するものである．これによって，評価対象の個性を統合においても保存することを試みている．

3. 本研究の目的とアプローチ

本研究では，多属性評価の投票に基づく総合的評価に対して，以下のようなアプローチを構想しており，本稿においては，その可能性を探ることを目的としている: Step 1) 図 2 のような属性評価値ベクトルとして表される各評価者の多属性評価データを高萩 [4, 5] の集合関数表現（詳細は後述）を通して，データの高次元拡張を行う．Step 2) 予め合意された，（集団意思決定理論の視点からの）「合理的な統合ポリシー（公準）」に基づいて，高次元拡張された各評価者の評価を統合する．Step 3) 統合された結果の可視化や次元削減を通して，統合された評価に対する解釈を与える．

3.1 高萩の集合関数表現 [4,5]

属性全体の集合を $C := \{c_1, \ldots, c_n\}$，評価者の集合を P，評価対象の集合を A とする．また，評価者 $p \in P$ による評価対象 $a \in A$ への多属性評価値ベクトルを $\boldsymbol{x}_a^p = (x_a^p(c_1), \ldots, x_a^p(c_n))$ のように表す．このとき，

$$m_a^p(S) := \max\left\{0\,,\ \min_{c \in S} x_a^p(c) - \max_{c \in C \setminus S} x_a^p(c)\right\}$$

で表される集合関数 $m_a^p : 2^C \to \mathbb{R}$ を，$\boldsymbol{x}_a^p$ の**高萩の集合関数表現**と呼ぶ．その計算例を図 3 に示す．これは，［属性の集合の基数］-次元の多属性評価値ベクトルを，［属性の冪集合の基数］-次元へと，データの高次元拡張を行っている．

3.2 証拠理論 [9] を用いた統合演算

証拠理論と集団意思決定理論は，その概念構造に多くの類似点がみられる．それらの概念の対応例を表 1 に示す．このとき，3.1 節における高萩の集合関数表現 $m_a^p(S)$，$S \subseteq C$ は，例えば，証拠理論の文脈における，事件 $a \in A$ における，容疑者

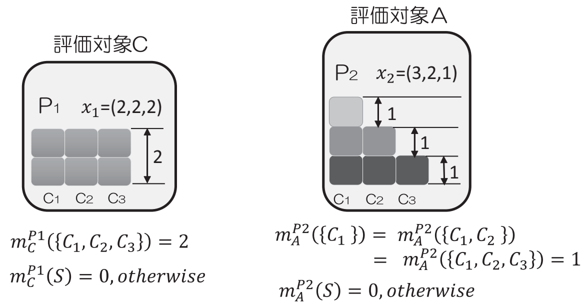

図３ 高萩の集合関数表現の導出例

表１ 証拠理論と集団意思決定の対応関係

証拠理論	集団意思決定
· 基本命題 ∈ 識別空間	· 評価属性・基準 ∈ 評価属性・基準の集合
· $m(S)$: 真実が S に存在する確信度合い	· $m(S)$: 属性の集合 S への固有の重視度
· 証拠片	· 評価者
· 証拠の積み重ねによって真実に迫る	· 複数人評価を統合し総合評価を導く
· 異なる証拠片が，同じ帰結を支持する場合，その帰結への確信は強化される	· 評価における多数見解は尊重されるべき
· 矛盾する証拠	· 対立する見解
· 証拠の結合則	· 評価の統合演算

の特徴の識別空間 C（e.g., = { 左利き, 長身, . . .}）の中の，ある特徴を示す（支持する）証拠片 $p \in P$ を得た場合の，「犯人が $S \subseteq C$ なる特徴（属性）を持っている確信度合い」を表す**基本確率割当** $m(S)$ に対応付けられる．つまり，複数の評価者による評価の統合は，複数の証拠片の結合（積み重ね）に対応付けられる．また，証拠理論においては，様々な証拠の結合規則が提案されている．これは，集団意思決定における意見集約の方法に対する事前合意事項が様々であることにも対応している．以下では，これまでに提案されてきた証拠の結合規則の中で，（結合法則を満たす）代表的なものをいくつか紹介する：

定義 3.1 識別空間を C，証拠片の集合を P， 証拠 $p, q \in P$ が，特徴群 $S \subseteq C$ を支持する基本確率割当を，それぞれ，$m_p(S)$，$m_q(S)$ とする．このとき，証拠 p と q を結合した際の基本確率割当 m_{pq} を導出する証拠の結合則を以下に定義する（便宜上，$0/0 = 0$ とする）：

［Dempster の結合則 [10]］

$$m_{pq}(S) = \frac{\displaystyle\sum_{A \cap B = S} m_p(A) m_q(B)}{1 - \displaystyle\sum_{A \cap B = \emptyset} m_p(A) m_q(B)}, \quad S \subseteq C.$$

［選言結合則 [10]］

$$m_{pq}(S) = \sum_{A \cup B = S} m_p(A) m_q(B), \quad S \subseteq C.$$

［平均結合則 [10]］

$$m_{pq}(S) = mean\{m_p(S), m_q(S)\}, \quad S \subseteq C.$$

3.3 協力ゲーム [8] を通した総合評価の解釈

協力ゲームにおける解概念は，3.1 節の集合関数表現とは反対に，［属性の冪集合の基数］-次元のデータを，［属性の集合の基数］-次元へと次元削減する手法の 1 つとみることができる．また，集合解（e.g., core）は，これを可視化することに

表２　属性評価値ベクトルとその高萩の集合関数表現

評価者

評価対象	P_1	P_2	P_3
A	(0, 2, 4)	(3, 2, 1)	(3, 2, 1)
B	(1, 5, 0)	(0, 1, 5)	(5, 0, 1)
C	(2, 2, 2)	(2, 2, 2)	(2, 2, 2)

$\boldsymbol{x}_a^P = (x_a^P(c_1), x_a^P(c_2), x_a^P(c_3))$

評価属性の集合

	Φ	C_1	C_2	C_3	C_1,C_2	C_1,C_3	C_2,C_3	C
m_A^P1	0	0	0	2	0	0	2	0
m_A^P2	0	1	0	0	1	0	0	1
m_A^P3	0	1	0	0	1	0	0	1
m_B^P1	0	0	4	0	1	0	0	0
m_B^P2	0	0	0	4	0	0	1	0
m_B^P3	0	4	0	0	0	1	0	0
m_C^P1	0	0	0	0	0	0	0	2
m_C^P2	0	0	0	0	0	0	0	2
m_C^P3	0	0	0	0	0	0	0	2

よって，対象となるゲームの個性を簡便に把握することが可能となる．また，3.1 節における高萩の集合関数表現 $m_a^p(S)$, $S \subseteq C$ は，プレイヤーの集合を C, Harsanyi dividends を $m_a^p(S)$, $S \subseteq C$ とする協力ゲーム (C, v_a^p) とみなすことができる（i.e., $v_a^p(S) := \sum_{T \subseteq S} m_a^p(T)$）．以下では，協力ゲームにおける代表的な解概念をいくつか紹介する：

定義 3.2　プレイヤーの集合を C，ある状況下 $(p, a) \in P \times A$ におけるプレイヤーの集合（提携）$S \subseteq C$ が協力行動を通して獲得可能な最大の利得を表す特性関数を $v_a^p(S) := \sum_{T \subseteq S} m_a^p(T)$, $S \subseteq C$ とする．このとき，協力ゲーム (C, v_a^p) における，Shapley 値 $\phi(C, v_a^p) = ((\phi_a^p)_c)_{c \in C}$，ゲームポテンシャル $\psi(C, v_a^p)$，コア $\mathrm{Core}(C, v_a^p)$ を以下に定義する：

［**Shapley 値 [8]**］

$$(\phi_a^p)_c = \sum_{S \ni c} \frac{m_a^p(S)}{|S|}, \quad c \in C.$$

［**ゲームポテンシャル [8]**］

$$\psi(C, v_a^p) = \sum_{S \subseteq C} \frac{m_a^p(S)}{|S|}.$$

［**コア [8]**］

$$\mathrm{Core}(C, v_a^p) = \left\{ (x_c)_{c \in C} \mid \sum_{c \in S} x_c \geq v_a^p(S),\ \forall S \subseteq C,\ \sum_{c \in C} x_c = v_a^p(C) \right\}.$$

4. 適用例と考察

ここでは，属性評価値ベクトル群に対して，3.1〜3.3 節で紹介した種々の概念を通した統合法とその結果を列挙し，それぞれの特徴に関して考察を行い，その可能性について議論する．ここで，改めて，$C := \{C_1, C_2, C_3\}$ を評価属性の集合，$P := \{P_1, P_2, P_3\}$ を評価者（DM）の集合，$\{A, B, C\}$ を評価対象の集合とする．また，評価者 $p \in P$ による評価対象 $a \in \{A, B, C\}$ に対する属性評価値ベクトルを $\boldsymbol{x}_a^p = (x_a^p(C_1), x_a^p(C_2), x_a^p(C_3))$ のように表し，その高萩の集合関数表現を $m_a^p(S)$, $S \subseteq C$ のように表す．このとき，図 2 に示されたそれぞれの属性評価値ベクトルおよびその高萩の集合関数表現は表 2 のように表される．

表３　集合関数表現における Shapley 値とゲームポテンシャル

評価者

評価対象	P_1	P_2	P_3
A	(0, 1, 3), [3]	(11/6, 5/6, 2/6), [11/6]	(11/6, 5/6, 2/6), [11/6]
B	(0.5, 4.5, 0), [4.5]	(0, 0.5, 4.5), [4.5]	(4.5, 0, 0.5), [4.5]
C	(2/3, 2/3, 2/3), [2/3]	(2/3, 2/3, 2/3), [2/3]	(2/3, 2/3, 2/3), [2/3]

Shapley値 $(\Phi_a^p(C_1), \Phi_a^p(C_2), \Phi_a^p(C_3))$, ゲームポテンシャル$[\psi(C, v_a^p)]$

表４　証拠の結合則を利用した複数評価者の評価値の統合

Dempsterの結合則

	Φ	C_1	C_2	C_3	C_1,C_2	C_1,C_3	C_2,C_3	C
m_A	0	0	0.6	0.2	0	0	0.2	0
m_B	0	0	0	0	0	0	0	0
m_C	0	0	0	0	0	0	0	1

選言結合則

	Φ	C_1	C_2	C_3	C_1,C_2	C_1,C_3	C_2,C_3	C
m_A	0	0	0	0	0	0.06	0	0.94
m_B	0	0	0	0	0	0	0	1
m_C	0	0	0	0	0	0	0	1

平均結合則

	Φ	C_1	C_2	C_3	C_1,C_2	C_1,C_3	C_2,C_3	C
m_A	0	4/18	0	3/18	4/18	0	3/18	4/18
m_B	0	4/15	4/15	4/15	1/15	1/15	1/15	0
m_C	0	0	0	0	0	0	0	1

4.1　ゲーム理論的考察

図 2 によって与えられた，複数評価者によるそれぞれの属性評価値ベクトル（表 2 上）を次元拡張した集合関数（表 2 下）の Shapley 値およびゲームポテンシャルを表 3 に示す．これらの結果からは，集合関数表現を通して，高次元へ拡張したのち，シャープレイ値によって，次元を削減した場合，属性評価値ベクトルは，その特徴がより先鋭化されることが見てとれる．また，ゲームポテンシャルは，属性間のばらつきを反映している（分散のような働きをしている）ように見える．

4.2　証拠理論的考察

ここでは，証拠理論の援用のため，すべての属性評価値ベクトルを正規化した（i.e., $\boldsymbol{x}_a^p \to \boldsymbol{x}_a^p / \max_{c \in C} x_a^p(c), a \in A, p \in P$）．また，表 1 の対応関係から，3 人の評価者 P_1，P_2，P_3 を 3 つの証拠片とみなし，それぞれの評価対象に対する属性評価値ベクトルの集合関数表現に対して，証拠の結合則を適用することによって，3 人の評価者の評価値の統合を試みる．証拠の結合には，3.3 節で紹介した 3 種類の結合則（Dempster，選言，平均結合則）を用いた．その結果を表 4 に示す．

Dempster の結合則では，評価者の 1 人でも，特定の属性に対して著しく低い評価を付けた場合（評価対象 A において，評価者 P_1 は属性 C_1 に対して 0 評価，また，評価対象 B においては，すべての評価者が特定属性に対して 0 評価），拒否権を発動したかの如く，総合評価においても，当該属性は著しく低い評価が与えられることが見てとれる．これは，証拠の消失問題と呼ばれる Dempster の結合則の欠点が影響している．しかしながら，全体合意の中においては，少数の激しい拒否は尊重されるべきという合意の前提がある場合は，これを表現している

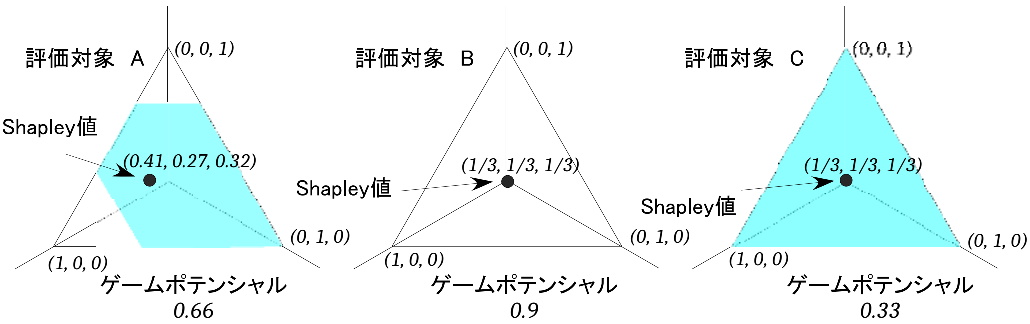

図４ 平均結合則による総合評価とゲームの解

ということもできる．選言結合則では，Dempster の結合則とは，反対の特徴を有していることがわかる．結合則の選択は，評価の統合における合意のための前提条件をどうするかということに対応しているように思える．また，現在もなお，証拠理論の分野においては，様々な証拠の結合則が，提案・議論されている．これに対して，集団意思決定の立場からも議論・貢献の余地があるのではないだろうか？

4.3 証拠理論とゲーム理論の融合的考察

ここでは，4.2 節において，平均結合則を通して得られた総合評価を，ゲームの解を通して，解釈することを試みる．評価対象 A，B，C の総合評価（平均結合則）を表す集合関数に対するゲームの解を図示したものを図 4 に示す（塗りつぶし部分はコアを表す）．この結果においては，特に，評価対象 B と C に注目したい．図 2 からもわかるように，評価対象 B に対する，3 人の評価は完全に分かれている．一方で，C に対するは，3 人の評価は完全に一致している．また，3 人の評価の単純な平均はともに，(2, 2, 2) で一致している．さらに，高い次元での集合関数表現においても，平均結合則を適用しているため，単純な平均をとっているに過ぎない．しかしながら，Shapley 値は一致しているものの，ゲームポテンシャルとコアは大きく異なっている（評価対象 B のコアは {(1/3, 1/3, 1/3)} からなる 1 点集合）．Shapley 値のように，次元削減をした場合，全く異なる見解の妥協点は，その平均値しか無いと解釈できる．また，ゲームポテンシャルは，今回の結果と，4.1 節の議論から，3 人の評価者間での見解の対立の程度・大きさを表していると解釈できそうである．また，コアは，評価者間での不満の不均衡（不公平感の偏り）の無い（少ない）範囲を表していると解釈できそうである．事実，**1)** 評価対象 C においては，3 人が同一評価をしているため，どのような総合評価も，すべての評価者に対して，同じ不満・満足をもたらす．一方で，**2)** 3 人が全く異なる（対称な）見解を持っている評価対象 B の場合は，総合評価が，3 人の評価の平均値（見解の均衡点）から少しでもずれると，その評価値は，ある特定の評価者の評価に近づき，他のいずれの評価者の評価からも遠ざかる．つまり，評価者間での不満の不均衡が生じる．また，**3)** 評価対象 A の場合，評価者全員が中間評価している属性 C_2 の変化には，各評価者は，同等の不満・満足を覚えるが，相反する評価をが与えられている属性 C_1 と C_3 の変化に対しては，対立見解を持つ評価者間の不満・満足は相反する．

5. おわりに

本稿では，多属性評価の投票を通した総合的評価法とその評価統合メカニズムに注目し，高萩の集合関数表現，協力ゲーム解概念，証拠理論における証拠の結合則等の，この分野への適応の可能性について検討した．その結果，決して，否定的なものではなかった．また，集団意思決定における，合意のための前提条件と証拠の結合則との関係については，より深い考察ができそうであり，今後の研究につなげたい．

参 考 文 献

[1] 大木真, 室伏俊明: “見解間距離均等法を用いた集団意思決定分析法の提案,” 知能と情報, Vol.25, No.5, pp. 842-852, 2013.
[2] 大木真, 工藤海人, 徳永弦己: “集団意思決定におけるチーム指向性の定量評価とその応用,” 知能と情報, Vol.30, No.4, pp. 605-612, 2018.
[3] 大木真, 入口純太: “集団エゴグラムと制限時間順守傾向の関係性分析の試み,” 第 23 回曖昧な気持ちに挑むワークショップ講演論文集, pp. 1-4, 2018.
[4] E. Takahagi: “On a fuzzy integral as the product-sum calculation between a set function and a fuzzy measure,” *Int. Conf. on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU 2016)*, pp. 91-100, 2016.
[5] 高萩栄一郎: “評価単位の等しいデータ群の集合関数表現,” 第 23 回曖昧な気持ちに挑むワークショップ講演論文集, pp. 5-10, 2018.
[6] 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.
[7] T. Driessen: *Cooperative Games, Solutions and Applications*, Springer, 1988.
[8] G. Shafer: *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, 1976.
[9] R. Yager: “On the Dempster’s Rule of Combination,” *Information Sciences*, Vol.41, pp. 93-138, 1987.
[10] F. Smarandache and J. Dezert eds., *Advances and Applications of DSmT for Information Fusion: Collected Works*, Vol.4, American Research Press, 2015.

（2020 年 3 月 3 日 受付）
（2020 年 3 月 18 日 採録）

［問い合わせ先］
〒960-1296　福島県福島市金谷川 1
福島大学 共生システム理工学類
藤本　勝成
TEL: 024-548-8436
E-mail: fujimoto@sss.fukushima-u.ac.jp

著　者　紹　介

藤本　勝成（ふじもと　かつしげ）［正会員］
1995 年東京工業大学大学院総合理工学研究科修了．東北大学工学研究科，福島大学経済学部を経て，現在，福島大学理工学群共生システム理工学類．

A Study on Aggregation Methods of Multiattribute Data and its Interpretations

by

Katsushige FUJIMOTO

Abstract:
This study aims to discuss and examine possibility of aggregation methods based on tools in cooperative game and evidence theory in a group decision making. In this paper, multiattribute data represented by evaluation vectors are extended toward a high dimensional space through a transformation introduced by Takahagi, a set function-representation of vectors. Some methods (methods for combination of evidence) in evidence theory are applied to aggregate evaluation data represented/extended as set functions. Some methods (solutions of game) in cooperative game theory are used as dimension reduction methods to represent set function form evaluation data as evaluation vectors.

Keywords: group decision making, evidence theory, multattribute data sets, Takahagi's set function-representation

Contact Address: **Katsushige FUJIMOTO**
Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University
1 Kanayagawa, Fukushima-shi, Fukushima 960-1296, Japan
TEL: +81-24-548-8436
E-mail: fujimoto@sss.fukushima-u.ac.jp