基準化ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル

A Single Factor Model of Information Channel Using the Standardized Fuzzy Entropy

山　下　洋　史
Hiroshi Yamashita

1. はじめに

一般に，人間や組織にとって，意思決定に必要な情報が十分に得られていることは少なく，限られた情報（不十分な証拠）を基に意思決定を行っている。このように，与えられた証拠のみでは本来，結論が得られないような推論は「拡大推論」[1]と呼ばれる。したがって，人間や組織には，できる限り説得力のある拡大推論が求められるのである。

こうした拡大推論に対して，筆者[2]-[4]は，「最大エントロピー原理」[1]に基づき，一連のエントロピー・モデルを提案している。これらのモデルは，人間や組織が不十分な証拠から結論を導き出そうとするとき，その不十分な証拠を最大限に活用すると同時に，証拠が不十分であることを十分に認識すべきという立場から，上記のような拡大推論を，シャノン・エントロピー[5]の最大化問題として定式化し，その際の選択確率を推定するための分析モデルである。

さらに，筆者[6]-[8]は，不十分な証拠に介在する偶然性と漠然性という「あいまいさの二面性」[9]の視点に基づき，一連のファジィ・エントロピー・モデルを提案している。これにより，人間や組織の行う拡大推論を，偶然性と漠然性の両面から捉え，限られた（不十分な）証拠を制約条件として，ファジィ・エントロピー[10]を最大化するような選択確率（選択比率）の解を導いている。

一方で，筆者[11]は，上記のファジィ・エントロピー[10]には，偶然性と漠然性のみならず，多様性も含まれているという問題意識に基づき，こうしたファジィ・エントロピーから多様性を排除すべく「基準化ファジィ・エントロピー」を提案している。これは，偶然性に関するあいまいさを表す正規化シャノン・エントロピー[1]と，漠然性に関するあいまいさを表すメンバーシップ値まわりのエントロピーの和として定式化され，偶然性と漠然性に関するあいまいさ（あいまいさの二面性）の大きさを表す総合的な指標として位置づけられる。すなわち，従来のファジィ・エントロピーにおいて，偶然性に関するあいまいさを表すはずのシャノン・エントロピー[5]に多様性が介入している点に注目し，シャノン・エントロピーを正規化シャノン・エントロピー[1]

へと置き換えることにより多様性を排除することで，偶然性と漠然性に関するあいまいさのみを抽出したのである[12]。

本研究では，筆者[6]が従来の研究において提案した「一因子ファジィ情報路モデル」（ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル）に対して，上記の「基準化ファジィ・エントロピー」[11]を導入することにより，新たに「基準化ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル」を提案する。この提案モデルは，一因子ファジィ情報路モデルにおけるファジィ・エントロピーを，基準化ファジィ・エントロピーへと置き換えることにより，基準化ファジィ・エントロピー／平均特性値を最大化するような選択比率の解を導く分析モデルである。これにより，偶然性と漠然性のみならず多様性が含まれていた一因子ファジィ情報路モデルから多様性を排除したもとでの拡大推論を，基準化ファジィ・エントロピー／平均特性値の最大化問題としてモデル化することを試みる。

2. 拡大推論における最大エントロピー原理

人間や組織が，限られた情報（不十分な証拠）を基に意思決定を行い，何らかの結論を導き出していることは前述の通りであるが，その際に不十分な証拠を補強するために追加的な証拠を収集しようとすれば，取引費用が増大してしまう[8]。そこで，与えられた証拠のみでは本来は結論が得られないような「拡大推論」[1]を展開せざるを得ないのである。

こうした拡大推論を確率論的に展開した一般原理として「最大エントロピー原理」が広く知られている[1]。最大エントロピー原理は，与えられた証拠を制約として，その不十分な証拠に従ったすべての確率分布の中から最大のあいまいさ（シャノン・エントロピー[5]）を持つ分布を選択しようとする原理である。すなわち，不十分な証拠から確率分布を推定しようとするのであるから，証拠が「不十分」であることを「十分」に認識するためには，エントロピーの大きい確率分布を推定することが現実に即した行動となると考えるのである[12]。

上記のように，最大エントロピー原理では人間や組織が受信し処理する情報のあいまいさを「シャノン・エントロピー」によって捉えており，これを最大化するような確率分布を推定するモデルは「エントロピー・モデル」[13]と呼ばれる。次節では，こうしたエントロピー・モデルの中心に位置づけられ，かつ本研究の提案モデルの基礎となる「一因子情報路モデル」[13]を概説していくことにする。

3. 最大エントロピー原理と一因子情報路モデル

前節で述べた拡大推論における「最大エントロピー原理」は，与えられた証拠が不十分であっても，その証拠を十分に活用するとともに，証拠が「不十分」であることを「十分」に認識すべく，その証拠に従ったすべての確率分布の中から最大の不確実さ（シャノン・エントロピー[5]）

を持つ分布を選択しようとする原理であった。これにより，不十分な証拠からでも，現実的な解（結論）を導き出すことができるようになるのである。

一因子情報路モデルは，上記のような「エントロピー最大化」の考え方に依拠した典型的な分析モデル（エントロピー・モデル）であろう。国沢[13]によれば，このモデルの基本的な考え方は「社会現象，たとえば大衆の行動を観察すると，大衆の持っている思惑によって巨視的には規制を受けつつ，結局は大衆の自由行動への欲望のためエントロピーの増大という方向に流される」というところにあり，こうした大衆の行動を「各銘柄（代替案）を特徴づける特性（例えば，価格）に関する満足感」と「自由勝手な選択行動」の両面からモデル化していることになる。

そこで，一因子情報路モデルでは，これらの両面について下記のような2つの仮説を設定し[13]，それぞれ(1)式の平均特性値 M と(2)式のエントロピー E によって捉えている。

① 大衆は銘柄を選択するに当たり，できるだけ自己の金銭的支出を小さくしようとする（一般的には，特性値 x_i の平均をなるべく小さくしようとする)。

② 大衆は銘柄を選択するに当たり，何の制約もなく各自の自由意思によって，できるだけ自由勝手な選択をしようとする。

$$M = \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot x_i \qquad (1)$$

$$E = \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \log p_i \qquad (2)$$

ただし，i：銘柄，p：選択比率，x：特性値

ここでの課題は，(1)式の平均特性値 M をなるべく小さく，(2)式のエントロピー E を大きくするような選択比率 p_i の推定にあるため，一因子情報路モデル[13]ではラグランジュの未定乗数 λ を用いて(3)式のように定式化している。

$$\phi = E/M - \lambda\left(\sum_{i=1}^{n} p_i - 1\right) \rightarrow \mathbf{max} \qquad (3)$$

(3)式は p_i に関して上に凸であるため，ϕ を p_i で偏微分して0とおき，その式を整理することにより，選択比率 p_i の解は(4)式のように与えられる。

$$p_i = w^{-x_i} \qquad (4)$$

$$\text{ただし，} w = e^{\lambda} \qquad (5)$$

ここで，選択比率の和は1であるため，(6)式を満たす w を数値的に求め，それを(4)式に代入することにより，(3)式を満足する選択比率 p_i を求めることができる[13]。

$$\sum_{i=1}^{n} w^{-x_i} = 1 \qquad (6)$$

これによれば，制約条件として考慮した要因以外の，無数の要因の階層的かつ交互作用的で，

しかも偶然的な影響を，エントロピー最大化という，極めて単純な基準で定式化することができるため，簡潔な形式でモデルを構築することができるのである[2]。

4. 一因子ファジィ情報路モデル

前節で述べた一因子情報路モデルに対し，筆者[6]-[8]はファジィ理論のメンバーシップ値μ_iを導入することにより，下記のような一因子ファジィ情報路モデルを提案している。このモデルは，人間や組織が受信し処理する情報に介在する偶然性と漠然性の両面に注目し，前者のあいまいさ（偶然性）を情報理論の「シャノン・エントロピー」によって，また後者のあいまいさ（漠然性）をファジィ理論における「メンバーシップ値まわりのエントロピー」によって，それぞれ捉えたモデルである。

通常の一因子情報路モデルにおける特性値x_iは，明確な特性値であったが，これが一因子ファジィ情報路モデルでは不明確な特性値（ファジィ情報）へと置き換えられるため，通常の一因子情報路モデルにおけるシャノン・エントロピーも，ファジィ・エントロピーへと置き換えられることになる。したがって，(7)式の平均特性値Mをなるべく小さく，(8)式のファジィ・エントロピーHをなるべく大きくするような選択確率p_iを推定することになる。

$$M = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot p_i \tag{7}$$

$$H = -\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \log p_i + \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot G_i \tag{8}$$

ただし，G_i：メンバーシップ値まわりのエントロピー

$$G_i = -\mu_i \cdot \log \mu_i - (1-\mu_i)\log(1-\mu_i) \tag{9}$$

一因子ファジィ情報路モデルでは，(7)式と(8)式の両面を考慮して，平均特性値Mをなるべく小さく，ファジィ・エントロピーHを大きくするようなp_iを推定すべく，ラグランジュの未定乗数λを導入して(10)式のように定式化している[6]。

$$R = H/M - \lambda\left(\sum_{i=1}^{n} p_i - 1\right) \to \mathbf{max} \tag{10}$$

(10)式はp_iに関して上に凸であるため，(4)式をp_iで偏微分して0とおき，その式を整理することにより，(11)式のようなp_iの解が得られる[7]。

$$p_i = \exp[G_i - x_i \cdot H/M] = \exp[G_i] \cdot \omega^{x_i} \tag{11}$$

$$\text{ただし，} \omega = \exp[-H/M] \tag{12}$$

ここで，p_iの和は1なので，ωは(13)式を満たすことになる。

$$\sum_{i=1}^{n} \exp[G_i] \cdot \omega^{x_i} = 1 \tag{13}$$

そこで，(13)式を満たす ω の値を数値的に求め，その値を(11)式に代入することにより，(10)式を最大化する p_i を推定することができる[6]。

さらに，(11)式を(4)式と比較すると，一因子ファジィ情報路モデルから得られる p_i の解は，通常の一因子情報路モデルの解に対して，e の G_i 乗で重みづけした形で，自然な拡張形となっていることがわかる[7]。

5. 偶然性・漠然性・多様性と基準化ファジィ・エントロピー

通常の一因子情報路モデル[13]（3節を参照）や，筆者[7]の一因子ファジィ情報路モデル（4節を参照）では，人間や組織が受信し送信する情報に介在する「偶然性」を，シャノン・エントロピー[5]によって捉えてきた。しかしながら，このシャノン・エントロピー E には，(2)式の n が増大すると，E も単調に増大するという性質があり，これはシャノン・エントロピーに偶然性のみならず「多様性」が含まれていることを意味する。例えば，すべての p_i が $1/n$ のとき $E=\log n$ で，シャノン・エントロピーは n の増加にともない単調に増加する。

そこで，筆者[12]は，シャノン・エントロピー E を多様性エントロピー（ハートレー・エントロピー $H=\log n$）で除した正規化シャノン・エントロピー[1]を，偶然性に関するあいまいさを表す指標（偶然性エントロピー N）として位置づけ直す枠組みを提示している。こうした偶然性エントロピー N とシャノン・エントロピー E，および多様性エントロピー H の関係は，(14)式のように記述される[11]。

$$N=E/H=-\sum_{i=1}^{n}p_i\cdot\log p_i/\log n=-\sum_{i=1}^{n}p_i\cdot\log_n p_i \tag{14}$$

さらに，筆者[12]は，ファジィ・エントロピー H についても，(8)式の右辺第1項がシャノン・エントロピー E であるため，ここに偶然性のみならず多様性が含まれているという問題意識に基づき，ファジィ・エントロピー H のうち，右辺第1項（シャノン・エントロピー E）のみを多様性エントロピー H（$=\log n$，ハートレー・エントロピー[14]）で除した(14)式の偶然性エントロピー（正規化シャノン・エントロピー N）に，メンバーシップ値まわりのエントロピー M を加えた基準化ファジィ・エントロピー S を，偶然性と漠然性に関するあいまいさの総合的な指標として位置づけ直している。これにより，従来は偶然性と漠然性のみならず多様性が含まれていたファジィ・エントロピー H から，多様性を取り除くことができるのである。

6. 本研究で提案する「基準化ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル」

本研究では，4節で述べた筆者[6]の一因子ファジィ情報路モデル（以下，「従来モデル」と呼ぶことにする）において，偶然性と漠然性のみならず多様性が含まれていたファジィ・エントロ

ピー H を基準化ファジィ・エントロピー S へと置き換えることにより，ファジィ・エントロピー H から多様性を取り除いた新たな分析モデル（基準化ファジィ・エントロピー[11]を用いた一因子情報路モデル）を提案する。そこで，(15)式の平均特性値 M をなるべく小さく，かつ(16)式の基準化ファジィ・エントロピー S をなるべく大きくするような p_i の推定問題を考えることにする。

$$M = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot p_i \tag{15}$$

$$S = -\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \log p_i / \log n + \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot G_i \tag{16}$$

ここで，(15)式と(16)式の両面を考慮すれば，上記の推定問題はラグランジュの未定乗数 λ を用いて(17)式のように定式化される。

$$Q = S/M - \lambda\left(\sum_{i=1}^{n} p_i - 1\right) \rightarrow \mathbf{max} \tag{17}$$

(17)式も，(3)式や(10)式と同様に，p_i に関して上に凸であるため，Q の最大値は(4)式を p_i で偏微分して 0 とおいた方程式を満足する。そこで，Q を p_i で偏微分して 0 とおけば，

$$\delta Q/\delta p_i = [\{(-1-\log p_i)/\log n + G_i\}M - x_i \cdot S]/M^2 - \lambda = 0 \tag{18}$$

となる。(18)式の方程式は全部で n 本得られるため，これらの両辺に p_i を乗じた上で，i について足し込むと，(19)式のようになる。

$$\{(-1/\log n + S)M - M \cdot S\}/M^2 - \lambda = 0 \tag{19}$$

$$\text{よって，} \lambda = -1/(M \cdot \log n)$$

となる。これを(18)式に代入すれば，

$$\{(-\log p_i/\log n + G_i)M - x_i \cdot S\}/M^2 = 0 \tag{20}$$

$$-\log p_i/\log n + G_i - x_i \cdot S/M = 0 \tag{21}$$

となり，これより(22)式が得られる。

$$p_i = \exp[(G_i - x_i \cdot S/M)\log n] = n^{G_i} \cdot W^{x_i} \tag{22}$$

$$\text{ただし，} W = n^{-S/M} \tag{23}$$

ここで，p_i の和は 1 なので，W は明らかに(24)式を満足する。

$$\sum_{i=1}^{n} n^{G_i} \cdot W^{x_i} = 1 \tag{24}$$

そこで，(24)式を満たす W の値を数値的に求め，その値を(22)式に代入することにより，(17)式を最大化する p_i を推定することができる。

(22)式を(11)式と比較すると，本研究の提案モデルから得られる解は，従来モデル[6]に対し

て，e を n に置き換えた自然な拡張形となっていることがわかる。これは，(14)式において対数の底が e から n に置き換えられることと整合的な解であり，そういった意味で，本研究の提案モデルから得られる解の妥当性を確認することができるのである。

7. 簡単な数値例による提案モデルの実証分析

本研究の提案モデル（基準化ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル）から得られる p_i の解と，筆者[6]の従来モデル（一因子ファジィ情報路モデル）の解とを比較するために，メンバーシップ値 μ_i と特性値 x_i の簡単な数値例を設定することにより，両モデルの実証分析を試みることにしよう。その際，両モデルに対する多様性の影響を比較するために，**表 1** の Case-1〜Case-12 に示すように，n の数が異なる数値例を設定する（$n = 2, 4, 6, 8, 10, 12$）。

表 1 において，Case-1〜Case-3 と Case-10〜Case-12，Case-4 と Case-5，Case-7〜Case-9 は，それぞれ n の数が異なるだけで，基本的に同様の数値例であり，これにより本研究の提案モデルと従来モデルに対する，多様性（多様性エントロピー $H = \log n$）の影響を比較していくことにする。

表 1　メンバーシップ値 μ_i と特性値 x_i の簡単な数値例

事象	Case-1		Case-2		Case-3		Case-4		Case-5		Case-6	
x_i	メンバーシップ値 μ_i	特性値 x_i	μ_i	x_i	μ_i	x_i	μ_i	x_i	μ_i	x_i	μ_i	x_i
x_1	0.2	1	0.2	1	0.2	1	0.2	1	0.2	1	0.2	1
x_2	0.8	2	0.2	1	0.2	1	0.5	1.5	0.2	1	0.2	1.2
x_3	—	—	0.8	2	0.2	1	0.8	2	0.5	1.5	0.5	1.4
x_4	—	—	0.8	2	0.8	2	—	—	0.5	1.5	0.5	1.6
x_5	—	—	—	—	0.8	2	—	—	0.8	2	0.8	1.8
x_6	—	—	—	—	0.8	2	—	—	0.8	2	0.8	2

事象	Case-7		Case-8		Case-9		Case-10		Case-11		Case-12	
x_i	メンバーシップ値 μ_i	特性値 x_i	μ_i	x_i	μ_i	x_i	μ_i	x_i	μ_i	x_i	μ_i	x_i
x_1	0.2	1	0.2	1	0.2	1	0.2	1	0.2	1	0.2	1
x_2	0.4	1.5	0.2	1	0.2	1	0.2	1	0.2	1	0.2	1
x_3	0.6	2	0.4	1.5	0.2	1	0.2	1	0.2	1	0.2	1
x_4	0.8	2.5	0.4	1.5	0.4	1.5	0.2	1	0.2	1	0.2	1
x_5	—	—	0.6	2	0.4	1.5	0.8	2	0.2	1	0.2	1
x_6	—	—	0.6	2	0.4	1.5	0.8	2	0.8	2	0.2	1
x_7	—	—	0.8	2.5	0.6	2	0.8	2	0.8	2	0.8	2
x_8	—	—	0.8	2.5	0.6	2	0.8	2	0.8	2	0.8	2
x_9	—	—	—	—	0.6	2	—	—	0.8	2	0.8	2
x_{10}	—	—	—	—	0.8	2.5	—	—	0.8	2	0.8	2
x_{11}	—	—	—	—	0.8	2.5	—	—	—	—	0.8	2
x_{12}	—	—	—	—	0.8	2.5	—	—	—	—	0.8	2

表 1（Case-1〜Case-12）の数値例について，本研究の提案モデルにより選択比率 p_i を推定した結果，**表 2** のような推定値が得られた。

表 2　本研究の提案モデルによる選択比率 p_i の推定結果

選択比率 p_i	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6
p_1	0.676	0.414	0.297	0.509	0.308	0.327
p_2	0.324	0.414	0.297	0.341	0.308	0.219
p_3	—	0.086	0.297	0.150	0.154	0.207
p_4	—	0.086	0.036	—	0.154	0.138
p_5	—	—	0.036	—	0.039	0.065
p_6	—	—	0.036	—	0.039	0.044
選択比率 p_i	**Case-7**	**Case-8**	**Case-9**	**Case-10**	**Case-11**	**Case-12**
p_1	0.487	0.302	0.222	0.231	0.189	0.159
p_2	0.305	0.302	0.222	0.231	0.189	0.159
p_3	0.150	0.141	0.222	0.231	0.189	0.159
p_4	0.058	0.141	0.086	0.231	0.189	0.159
p_5	—	0.046	0.086	0.019	0.189	0.159
p_6	—	0.046	0.086	0.019	0.011	0.159
p_7	—	0.011	0.022	0.019	0.011	0.007
p_8	—	0.011	0.022	0.019	0.011	0.007
p_9	—	—	0.022	—	0.011	0.007
p_{10}	—	—	0.004	—	0.011	0.007
p_{11}	—	—	0.004	—	—	0.007
p_{12}	—	—	0.004	—	—	0.007

表 2 と同様に，Case-1〜Case-12 の数値例について，従来モデル[6]の選択比率 p_i を推定すると，**表 3** のような結果となった。

表 2 と**表 3** の分析結果から，Case-1 を除くすべての Case について，本研究の提案モデルから得られた選択比率 p_i のバラツキは，従来モデルから得られた p_i のバラツキよりも大きくなっていることがわかる。これは，本研究の提案モデルから得られた選択比率 p_i が，従来モデルに比較して，(17)式の分母 M の影響を大きく受けていることを示している。すなわち，特性値 x_i の違いが，従来モデルよりも本研究の提案モデルにおいて，p_i の推定値に大きく反映しているのである。例えば，Case-2 を見てみると，従来モデルでは $p_1 = p_2 = 0.402$ で，$p_3 = p_4 = 0.098$ であった選択比率が，本研究の提案モデルでは $p_1 = p_2 = 0.414$ で，$p_3 = p_4 = 0.086$ となっており，選択比率 p_i の差が明らかに拡大している。Case-2 のみならず，Case-3〜Case-12 でも，これと同様の結果となっている。ここでは，その要因について少し掘り下げて検討していくことにしよう。

従来モデル（一因子ファジィ情報路モデル[6]）では，分子のファジィ・エントロピー H に偶

表 3　従来モデルによる選択比率 p_i の推定結果

選択比率 p_i	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6
p_1	0.702	0.402	0.284	0.506	0.295	0.295
p_2	0.298	0.402	0.284	0.339	0.295	0.209
p_3	—	0.098	0.284	0.155	0.152	0.180
p_4	—	0.098	0.049	—	0.152	0.128
p_5	—	—	0.049	—	0.053	0.075
p_6	—	—	0.049	—	0.053	0.053

選択比率 p_i	Case-7	Case-8	Case-9	Case-10	Case-11	Case-12
p_1	0.470	0.283	0.207	0.221	0.180	0.153
p_2	0.299	0.283	0.207	0.221	0.180	0.153
p_3	0.159	0.139	0.207	0.221	0.180	0.153
p_4	0.072	0.139	0.087	0.221	0.180	0.153
p_5	—	0.058	0.087	0.029	0.180	0.153
p_6	—	0.058	0.087	0.029	0.020	0.153
p_7	—	0.020	0.031	0.029	0.020	0.014
p_8	—	0.020	0.031	0.029	0.020	0.014
p_9	—	—	0.031	—	0.020	0.014
p_{10}	—	—	0.009	—	0.020	0.014
p_{11}	—	—	0.009	—	—	0.014
p_{12}	—	—	0.009	—	—	0.014

然性と漠然性のみならず多様性が含まれていたのであるが，これを本研究の提案モデルでは基準化ファジィ・エントロピー S へと置き換え，分子から多様性を取り除いたことで，相対的に分母の影響力が大きくなり，従来モデルよりも本研究の提案モデルにおいて特性値 x_i の違いが大きく反映するようになったものと思われる。なぜなら，従来モデルの(10)式も，本研究の提案モデルの(17)式も，分母 M の式は同一であり，両モデルの違いは分子のみであるため，その分子が偶然性エントロピーと漠然性エントロピーの和のみとなった本研究の提案モデルは，従来モデルよりも大きく分母の影響を受けるようになるからである。例えば，Case-2 の分子を計算してみると，従来モデル（ファジィ・エントロピー H）の場合は 1.652 であるのに対して，本研究の提案モデル（基準化ファジィ・エントロピー S）の場合は 1.331 であり，本研究の提案モデルでは分子のファジィ・エントロピー H のうち，(8)式の第 1 項（シャノン・エントロピー E）を多様性エントロピー H（$= \log n$，ハートレー・エントロピー[14]）で除した分だけ分子の値が小さくなったのである。

本研究において「基準化ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル」を提案した趣旨は，多様性エントロピーを分子から排除することで，偶然性エントロピーと漠然性エントロピーの和の最大化にあるため，上記のような本研究の提案モデルの特性は，まさしく本研究の趣旨に

合致している。ただし，Case-1 のみ，従来モデルから得られた選択比率 p_i のバラツキよりも，本研究の提案モデルのバラツキが大きくなっているのは，Case-1 は $n = 2$ のため，$\log 2 \fallingdotseq 0.693 < 1$ となって，シャノン・エントロピー E を多様性エントロピーで除することにより，従来モデルよりも本研究の提案モデルの分子の方が大きくなることで，分子の影響が強まったからであろう。

一方で，現実の問題（拡大推論）に対する適合性については，本研究の提案モデルと従来モデルが，それぞれ一長一短を持つことになる。それは，各特性値 x_i の違いが p_i の推定値に大きく反映するような問題では本研究の提案モデルの方が適しているが，さほど大きく反映しないような問題では従来モデルの方が適しているからである。こうした適合性の違いは，選択肢の多様性が人間や組織の意思決定に大きく反映する問題か否かの違いを意味する。換言すれば，人間や組織の意思決定において，選択肢の多様性が大きく反映するような場面では従来モデルが適しており，多様性があまり反映しない場面では本研究の提案モデルが適しているということになるのである。

以上の議論をふまえ，今後は現実のさまざまな問題に対して，通常の一因子情報路モデル，一因子ファジィ情報路モデル（従来モデル），基準化ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル（本研究の提案モデル）を適用し，それぞれの適合性について検討していきたい。

8. おわりに

本研究では，通常の一因子情報路モデル[13]のシャノン・エントロピーを，ファジィ・エントロピーへと拡張した筆者[6]の一因子ファジィ情報路モデル（従来モデル）には，偶然性と漠然性のみならず多様性が含まれていたという問題意識に基づき，上記のファジィ・エントロピーを「基準化ファジィ・エントロピー」[11]に置き換えることにより多様性を排除した「基準化ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル」を新たに提案した。これにより，基準化ファジィ・エントロピー／平均特性値を最大化するような選択比率の解を導くことを可能にし，偶然性と漠然性のみならず多様性が含まれていた従来モデルから，多様性を排除したもとでの拡大推論を，簡潔な形式でモデル化した。

さらに，本研究の提案モデルと従来モデルから得られる選択比率の解を比較すべく，メンバーシップ値 μ_i と特性値 x_i の簡単な数値例を設定し，両モデルの実証分析を試みた結果，下記のような知見が得られた。

① 本研究の提案モデルから得られた選択比率のバラツキは，従来モデルよりも大きくなっており，本研究の提案モデルでは各特性値の違いがより大きく選択比率の推定値に反映する。

② 本研究で提案したモデルの趣旨は，多様性エントロピーを分子から排除することによる

偶然性エントロピーと漠然性エントロピーの和の最大化にあるため，①のような提案モデルの特性は，まさしく本研究の趣旨に合致している。

③ 一方で，現実の問題（拡大推論）に対する適合性については，各特性値の違いが選択比率の推定値に大きく反映するような問題では本研究の提案モデルの方が適しているが，さほど大きく反映しないような問題では従来モデルの方が適しており，両モデルはそれぞれ一長一短を持っている。

こうした本研究の議論と提案モデルは，人間や組織の意思決定に関する「拡大推論」の問題，とりわけ情報のあいまいさの二面性（偶然性と漠然性）に注目した拡大推論の問題に対して，新たな研究アプローチの出発点となりうるのではないかと思われる。そこで，今後は現実のさまざまな問題に対して本研究の提案モデルを適用していくことにより，その妥当性・有効性を検証していきたい。

参考文献

[1] Klir, G. J. and Folger, T. A.: *Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information*, Prentice-Hall, 1988（本多中二訳：ファジィ情報学，日刊工業新聞社，1993）

[2] 山下洋史："経営倫理に関する行動エントロピー・モデル"，日本経営倫理学会誌，No. 8, pp. 143–149, 2001

[3] 山下洋史："企業活動における低エネルギーと高エントロピーの調和モデル"，明治大学商学論叢，Vol. 92, No. 3, pp. 17–30, 2010

[4] 山下洋史："工業経営における「非正規従業員による低エネルギー化と正規従業員による高エントロピー化の調和モデル」"，工業経営学会誌「工業経営研究」，No. 26, pp. 46–52, 2012

[5] Shannon, C. E.: "The Mathematical Theory of Communication", *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, 1948

[6] 山下洋史，尾関守："ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル"，経営情報学会春季大会予稿集，pp. 191–194, 1993

[7] 山下洋史："ファジィ・エントロピーを用いた情報管理モデル"，明治大学商学論叢，Vol. 81, No. 1, 2 合併号，pp. 235–254, 1999

[8] 山下洋史，山本昌弘，萩原統宏："CSR 評価の重みつきファジィ情報路モデル"，明治大学商学論叢，Vol. 95, No. 1, pp. 1–15, 2012

[9] 山下洋史："偶然性と漠然性に関するあいまいさの表現方法"，山梨学院短期大学「経営研究」，No. 3, pp. 71–79, 1994

[10] 西川智登，清水静江，宮本日出雄："意思決定過程における入力情報に対する判断力の構造"，日本経営システム学会誌，Vol. 9, No. 1, pp. 35–41, 1992

[11] 山下洋史："基準化ファジィ・エントロピーに関する研究"，日本経営システム学会誌，Vol. 17, No. 1, pp. 31–37, 2000

[12] 山下洋史："偶然性・漠然性・多様性と複雑性の計量化指標に関する研究"，明治大学商学論叢，Vol. 96, No. 3, pp. 1–11, 2014

[13] 国沢清典：エントロピー・モデル，日科技連，1975

[14] Hartley, R. V. L.: "Transmission and Information", *Bell System Technical Journal*, Vol. 7, No. 3, pp. 535–563, 1928