ファジィと人間工学 人間の信頼性とファジィ

鬼沢 武久（筑波大・構造工学系）

Human Reliability Analysis and Fuzzy Sets Theory
Takehisa ONISAWA(Univ. of Tsukuba)

1. はじめに

従来、人間の信頼性の尺度として過誤率が使われている。過誤率は普通

$$\frac{\text{ある対象作業でエラーが生じた数}}{\text{その対象作業でエラーが生じ得る機会の数}}$$
で定義されている¹⁾。そして、過誤率を用いた人間の信頼性解析手法がいくつか提案されている²⁾³⁾。しかし過誤率を推定するためには非常に多くのデータが必要であるにもかかわらず、十分なデータがないのが実状である。データの情報源として、①解析対象である作業の記録、②類似作業の記録、③実験室レベルでの実験記録などがあるが、データの信頼性と収集できる数とは相反するものがある¹⁾。しかしどちらにしても、人間の信頼性を定量的に解析するためには過誤率などの数値情報が必要なため、①上記のデータから外挿する、②専門家の判断に従うなどの方法がとられている¹⁾。このように過誤率の推定には専門家の主観的判断が入り込んでおり、過誤率には数値が持つほどの正確さはない。また過誤率以外に人間の信頼性解析に必要な情報にも専門家の主観的判断が多く入り込んでいる。

本稿では、人間の信頼性解析に必要な情報には専門家の主観的判断が多く入り込んでいて、言葉で表現した方が適切であるとの観点にたってファジィ理論を応用した考えについて述べる。

2. 人間の信頼性に対する言葉による表現

ある作業における過誤率を求めるためには、過誤率で評価できるくらいのレベルにまでその作業を分析していく必要がある。しかしあまりミクロのレベルにまで分析していても無駄である。人間は同じ作業でも多様性を示すし、人間の信頼性の定量的な解析はそれほどの精度を持ち合わせていないからである¹⁾。人間の信頼性を過誤率などの数値で表現しても、数値が持っているほどの正確さがないことをあわせて考えると、人間の信頼性を言葉で表した方がよい。言葉の意味はあいまいであるため、そのあいまいさに人間の信頼性評価のあいまいさのニュアンスを含めることができるからである。

人間の信頼性に関する情報は数値で表現するよりは言葉で表現するくらいのレベルにとどめておいて、その言葉による情報を使って解析していくことは意味のあることである。

過誤率を用いた手法でも言葉による表現をしたモデルが使われている部分もある。Swainらは表1のようなモデルを提案している⁴⁾。人間

表1 従属性モデル

従属レベル	前の作業でエラーしたとき 次の作業でエラーする確率
完全従属	1, 0
高い従属	$(1 + Pr) / 2$
中位の従属	$(1 + 6 \times Pr) / 7$
低い従属	$(1 + 19 \times Pr) / 20$
ゼロ従属	Pr

Pr:独立としたときの次の作業における過誤率

が行う類似作業では、前の作業でエラーすれば次に行う作業でもエラーしやすくなるなどの従属性を考えなくてはならない。従属性を定量的に考慮するためには条件付き確率が必要となるが、この推定は過誤率の推定以上にむずかしい問題である。従属性は解析対象となる作業個々の問題であるため、推定するのに十分なデータがないのが普通だからである。そこでSwainらは表1のようなモデルを提案している。しかしこのモデルでは、従属レベルの意味を一つの数値や数式で表しているという問題点がある。

3. ファジィ理論を応用したモデル⁵⁾⁶⁾

3. 1 Failure Possibility

本稿では人間の信頼性尺度として、

$$F(x) = \frac{1}{1 + 20 \times |x - x_0|^m} \quad (1)$$

をメンバーシップ関数として持つファジィ集合 (failure possibility) を考える。ここで $0 \leq x, x_0 \leq 1$ で、 x_0 は最大グレードを与えるパラメータであり、 m はあいまいさを表すパラメータである。このファジィ集合を図示すると図1のようになる。横軸は主観的不信頼度を表

図1 Failure Possibility

わしている。主観的不信頼度0とは完全にエラーしないとの評価を意味し、不信頼度1とは完全にエラーするとの評価を意味する。0.5は標準の(不)信頼度を表している。 $F(x)$ の

値はそのグレードである。 $F(x) > 0$ ゆえに、(1)式で表されるファジィ集合は、人間はエラーする可能性もエラーしない可能性もあることを表している。

人間の信頼性を言葉で表現するに際して、本稿では、「人間の信頼性の評価」と「そのあいまいさ」という形で表現する。そして「人間の信頼性の評価」にパラメータ x_0 を、「評価のあいまいさ」にパラメータ m を、それぞれ表2、表3のように対応させる。なお表2のパラメー

表2 信頼性評価とパラメータ x_0

信頼性評価の表現(クラス)	パラメータ x_0
この作業での信頼性は	
全くない (1)	—
非常に低い (2)	0.9-1.0(0.95)
低い (3)	0.7-0.9(0.8)
どちらかという 低い (4)	0.55-0.7(0.625)
標準である (5)	0.45-0.55(0.5)
どちらかという 高い (6)	0.3-0.45(0.375)
高い (7)	0.2-0.3(0.25)
かなり高い (8)	0.1-0.2(0.15)
きわめて高い (9)	0.05-0.1(0.075)
エラーはないに近い(10)	0.0-0.05(0.025)
エラーは全くない (11)	—

表3 評価のあいまいさとパラメータ m

あいまいさの表現 (クラス)	パラメータ m
あいまいさは小さい (1)	2.0
あいまいさは中程度 (2)	2.5
あいまいさはやや大きい(3)	3.0
あいまいさは大きい (4)	3.5

x_0 のカッコ内の数値は各クラスの代表値である。またクラス1, 11のファジィ集合は

$$\text{クラス1} \quad F(x) = \begin{cases} 1 : x = 1 \\ 0 : x \neq 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{クラス11} \quad F(x) = \begin{cases} 1 : x = 0 \\ 0 : x \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

で表される。

人間の信頼性に関する情報として過誤率で与えられる場合もある。過誤率は普通 $[p_L, p_M, p_U]$ で与えられる。 p_M は過誤率の最良の推定値、 p_L はその下限値、 p_U はその上限値である。このとき、(1) 式のパラメータ x_0 は

$$x_0 = \frac{1}{1 + (K \times \log(1/p_M))^3} \quad (4)$$

で求める。ただし $p_M \neq 0$ で、 $p_M=0$ のときは $x_0=0$ とする。また $K=1/\log(1/p_S)$ で、 p_S は評価者が持っている基準の過誤率であり、 K は評価者の主観的な基準の信頼性を表すパラメータである。人間の信頼性を言葉で表現するということは、対象作業に関する少ないデータと評価者が持っている基準の信頼性とを比較した結果であるから、 p_M を (4) 式の意味で評価することはその数式モデルになっている。

一方 (1) 式のパラメータ m は、 p_M/p_L 、 p_U/p_M を k とすると、 k が大きくなるほどあいまいであるという観点に立って、表4のよう

表4 パラメータ k とパラメータ m

クラス	パラメータ k	パラメータ m
1	$k \leq 3$	2.0
2	$3 < k \leq 5$	2.5
3	$5 < k \leq 10$	3.0
4	$10 < k$	3.5

に決める。ただしこの表におけるクラスは表3におけるクラスに対応している。

3. 2 Failure Possibility の演算

人間の信頼性をフォールトツリーを使って解析するには問題点もあるが¹⁾、本稿ではフォールトツリーを用いて解析をすすめていくことにする。基本となる演算は *and* 演算と *or* 演算である。*and* 演算、*or* 演算としてそれぞれ、次のような演算を用いる。

$$\Pi(x, y) = \frac{1}{1 + \{((1-x)/x)^{1/3} + ((1-y)/y)^{1/3}\}^3} \quad (5)$$

$$G(x, y) = \frac{\{(x/(1-x))^3 + (y/(1-y))^3\}^{1/3}}{1 + \{(x/(1-x))^3 + (y/(1-y))^3\}^{1/3}} \quad (6)$$

ただし $\Pi(x, 0) = \Pi(0, y) = 0$ 、 $G(x, 1) = G(1, y) = 1$ であり、ファジィ集合の演算は拡張原理⁷⁾を用いて行われる。これらの演算は確率の演算との整合性⁵⁾から選ばれた演算であるが、言葉による表現を重視する場合には必ずしも確率の演算との整合性を考える必要はない⁸⁾。

3. 3 従属性の問題

確率論的手法でとられている従属性のモデルを拡張して考える。表1のモデルでは従属レベルの言葉の意味を1つの数値や式で表現しているが、言葉の意味は数値や式で表現しきれものではなく、また、従属レベル間の境界も表1のように明確に表現しきれものではない。さらに従属レベルの評価には、その作業を熟知している専門家の主観的判断が入り込んでいる。本稿では従属性の評価について、従属レベルの評価とそのあいまいさという形で言葉で表現し、その意味を表すファジィ集合をメンバーシップ関数(1)で表すモデルを考える。表5に従属レベルの評価の言葉による表現とパラメータ x_0 との対応を示す。なお評価のあいまいさについ

表5 従属レベルの評価とパラメータ x_0

従属レベルの評価(クラス)	パラメータ x_0
完全従属 (1)	—
高い従属レベル (2)	0.95
中程度の従属レベル (3)	0.75
低い従属レベル (4)	0.5
ゼロ従属 (5)	—

ては表3を使う。ただし、完全従属、ゼロ従属を表すファジィ集合はそれぞれ、(2)式、

(3)式で表される。従属性を考慮した演算には(5)式の *and* 演算、(6)式の *or* 演算を使う。

3. 4 解析結果の言葉による表現

解析の結果得られたファジィ集合を F_R 、あ

らかじめ用意されているファジィ集合を F_S とする。ただし F_S はメンバーシップ関数 (1) 式を持つものとする。 F_R, F_S の α -カット⁷⁾ をそれぞれ、 $(F_R)_\alpha = (x_{R1}(\alpha), x_{R2}(\alpha))$ 、 $(F_S)_\alpha = (x_{S1}(\alpha), x_{S2}(\alpha))$ として、 F_R と F_S との距離

$$d = \int_0^1 \{ (x_{R1}(\alpha) - x_{S1}(\alpha))^2 + (x_{R2}(\alpha) - x_{S2}(\alpha))^2 \}^{1/2} d\alpha \quad (7)$$

を最小にするパラメータ x_0 、 m を求める。ただし、 x_0 は $0 \leq x_0 \leq 1$ 、 m は 2, 2.5, 3, 3.5 の範囲を動くものとする。言葉で表現するときは表 2、表 3 を参考にする。

4. 例

一人の作業員が A, B 二つの作業を行うとする。このとき 2 つの作業でエラーすると作業全体としてエラーとなるとする。標準的な作業員が作業を行うとして、その信頼性の評価は標準でそのあいまいさは中程度とする。従属性については、(I) 従属性は高く、あいまいさは中程度、(II) ゼロ従属の二つの場合を考える。解析結果のファジィ集合 F_R と、距離 d を最小にするファジィ集合 F_S とを図 2 に示す。言葉

図2 解析結果

で表現すると、(I) の場合は、この作業での信頼性はどちらかというと高く、あいまいさは大きい、(II) の場合は、この作業での信頼性

はかなり高く、あいまいさは小さいとなる。

5. おわりに

本稿では人間の信頼性を解析するのに必要な情報は、専門家の主観的判断が大いに入り込んでいて、言葉で表現した方がよいとの観点にたつて、ファジィ理論の立場からの 1 つのモデルについて述べた。しかし確率論的手法を否定しているわけではない。(信頼性の問題) = (確率論) という図式は必ずしも適当ではないし、両者歩み寄った方法論を開発する必要があるように思う。

参考文献

- 1) 林喜男：人間信頼性工学 — 人間エラーの防止技術 —，海文堂，1984.
- 2) 行待武生，飛岡利明：人間-機械系の定量的信頼性解析のための一技法，日本人間工学会誌，Vol.18, No.2, pp.83-95, 1982.
- 3) A.D.Swain et al.: Handbook of Human Reliability with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, NUREG/CR-1278, 1983.
- 4) A.D.Swain: A Method for Performing a Human-Factors Reliability Analysis, Report SCR-685, Sandia Corporation, 1963.
- 5) T.Onisawa: An Application of Fuzzy Concepts to Modelling of Reliability Analysis, Fuzzy Sets and Systems, Vol.37, No.3, pp.267-286, 1990.
- 6) T.Onisawa: A Model of Human Reliability Analysis with Natural Language Expressions, Proc. of 11th Congress of the International Ergonomics Association, Vol.1, pp.417-419, Paris, 1991.
- 7) 本多中二，大里有生：ファジィ工学入門，海文堂，1989.
- 8) 鬼沢武久：人間のファジィ信頼性解析における演算について，第8回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，1992.