ファジィ積分モデルに基づいた高所作業時のエラー要因解析

○貞徳 洋輝・松原 行宏・長町 三生（広島大学工学部）

Analysis of the Causes of Error during Work on Elevated Spots using a Fuzzy Integral Model

Hiroki SADATOKU, Yukihiro MATSUBARA, Mitsuo NAGAMACHI

Faculty of Engineering, Hiroshima University

1. まえがき

ヒューマンエラーによる事故・災害は多く、その中にはちょっとしたエラーが人間の命にかかわるような重大な事故も含まれている。とくに、作業者が高所から墜落・転倒するといった災害は、死亡や重傷にいたる危険性が高く重要な問題である¹⁾。これらのヒューマンエラーにはいろいろな要因（PSF: Performance Shaping Factors）²⁾が複雑にからみあって影響していると考えられる。このようなエラー要因を解析することは、作業の安全性向上のために重要である。エラー要因解析では要因相互の従属性を考慮する必要があるため、ファジィ積分モデルによる解析³⁾が有効であるとされている。

そこで本研究では、高所作業時におけるエラー要因解析をファジィ積分モデルを用いて行う。また、この解析に必要なエラー要因の評価を言葉で行い、エラー要因の重要性や従属性について考察する。

2. 高所作業時における事故解析の問題点

高所作業とは位置ポテンシャルが周囲と相対的に高い所での作業のことである¹⁾。こういった作業でのエラー要因は、（１）作業環境—はしご、脚立、自動車の荷台、屋根などの上、作業床の開口部の周辺など、（２）不安、緊張—ちょっとバランスを崩すだけで墜落し、死亡や重傷にいたる危険がある、（３）作業意識レベル—比較的低い場所での作業は安全対策が軽視されている、（４）経験・知識、（５）感情、（６）ストレスなどが考えられる。

このように高所作業では人間の内面的なエラー要因が多く、エラーとの因果関係や要因間の従属性が分かりにくい。また、これらの要因は定量的には扱いにくいものが多い。よって、ファジィ積分モデルや自然言語による要因評価が有効と考えられる。

3. ファジィ積分モデルによる解析方法

3.1 ファジィ積分モデル

人間のエラー発生過程は、Fig. 1のようなファジィ積分モデル³⁾によって表現される。エラーへの影響度 $g()$ はファジィ測度で表わされている。ファジィ測度の非加法性により、いくつかの要因の組合せに対しても影響度を与えることで、要因間の相互関係を表現できる。

$$Z = \int h(x) g() = \max \left[\min \left[\{ h(x_i) \} \wedge g(A) \right] \right] \\ P(K) \ni A \quad A \ni X_i$$

但し、 $K = \{x_1, \dots, x_n\}$ $P(K): K$ の σ -set

$A: P(K)$ の要素

Fig. 1 ファジィ積分モデル

3.2 ファジィ積分モデルによる解析

このファジィ積分モデルを用いた解析は、次の2つのステップに分かれる。

（１）モデルの構築

要因評価 $h(x_i)$ と全体評価 Z のデータセットを数件収集し、これを基に影響度 $g()$ を同定する。 $g()$ の同定方法は、ファジィ測度学習同定アルゴリズム (FLIA: Fuzzy Measure Learning Identification Algorithm) ⁴⁾ を用いる。

(2) 影響度 $g()$ を用いた解析

ステップ(1)で求めた影響度 $g()$ から、次のような指標²⁾を求めてPSFの重要性や従属性を考察する。

①結合係数: μ_{ij} 区間: $[-1, \infty]$ で2つのPSF間の相互関係を表現

$$\mu_{ij} = \frac{g(x_i \cup x_j) - (g(x_i) + g(x_j))}{g(x_i) \wedge g(x_j)} \quad \dots (i \neq j) \quad (1)$$

$$\mu_{ij} = 0 \quad \dots (i = j) \quad (2)$$

②重複係数: m_{ij} m_{ij} は μ_{ij} を区間 $[-1, 1]$ の間に規格化した値

③重複度: η_j x_j について重複係数を平均した係数

$$\eta_j = \left(\sum_{i=1}^n m_{ij}^3 \right) / (n-1) \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

④必要係数: ξ_j ξ_j が1に近いほど x_j は必要であり、 ξ_j が0に近ければ x_j は重要でない。

$$\xi_j = 1 + \eta_j [1 - g(x_j)] \quad (4)$$

$$\eta_j = \eta_j \quad (\eta_j \leq 0)$$

$$\eta_j = 0 \quad (\eta_j > 0) \quad (j=1, 2, \dots, n)$$

4. 高所作業時のエラー要因解析

4.1 解析対象及び解析方法

高所作業時のエラー事象事例を57件収集し、それぞれの事例に対して次の6つの要因評価と作業状態の悪さの評価を1人の解析者に評価してもらった。これらの要因は定量的に扱いにくいいため、要因の評価を“全く悪くない”から“非常に悪い”まで8段階(全く～ない、殆ど～ない、あまり～ない、比較的～ない、少し～、悪い、とても～、非常に～)の言葉を用いて評価してもらった。

エラー要因:

- A. 作業環境
- B. 道具の適合レベル
- C. 作業場面・状況の把握、判断の能力
- D. 知識・経験レベル
- E. 作業の意識レベル
- D. 作業に対するストレス・感情

総合評価: エラー発生時の状態の悪さ

4.2 結果と考察

Table. 1は評価データから同定した影響度 $g()$ と $g()$ から算出した重複度 η 、必要係数 ξ を示す。これらは相対的な尺度で、値が大きいものほど重要な要因であることを示す。

影響度 $g()$ は、要因C(状況把握の能力)が0.482と最も大きく、作業内容の把握が悪いとエ

ラーにつながる可能性が最も大きいといえる。重複度 η は、0に近いほど加法的に影響することを意味する。最も0に近いのは要因F(ストレス・感情)の-0.081で、平均的に他の要因と加法的な関係であることを示し、重要な要因であることが分かる。逆に-1に最も近いのは要因E(作業の意識レベル)の-0.631で、他の要因と劣加法的な関係であることを示し、作業への意識は、潜在的に他の要因の悪さに影響を及ぼしていると考えられる。

この2つの係数を合わせて要因の必要性を示したのが必要係数 ξ である。0.935, 0.861, 0.835と相対的に値の高い要因F(ストレス・感情)、C(状況把握の能力)、B(道具の適合レベル)が高所作業の状態の悪さには重要な要因となっていると考えられる。

Table. 1 同定した影響度と各係数

要因	影響度	重複度	必要係数
A	0.250	-0.513	0.615
B	0.353	-0.253	0.836
C	0.482	-0.269	0.861
D	0.100	-0.417	0.624
E	0.242	-0.631	0.521
F	0.195	-0.081	0.935

5. まとめ

本研究では、高所作業時のエラー要因解析をファジィ積分モデルを用いて行い、これらの要因の重要性や従属性を考察した。その結果、高所作業においては作業状況の把握能力が最も影響する要因であり、またストレス・感情は他の要因よりも加法的な関係であるため重要な要因であることがわかった。

【参考文献】

- 1) 西島茂和: “墜落・転倒事故の防止対策”, 労働の科学, Vol. 44, No. 7, 17/21(1989)
- 2) 林善男: “人間信頼性工学—人間エラーの防止技術—”, 海文堂, 191/200(1984)
- 3) 鬼沢武久: “人的過誤の起こりやすさとFuzzy積分を用いたPerformance Shaping Factorのモデリング”, 人間工学, Vol. 22, No. 2, 82/89(1986)
- 4) K. Ishii and M. Sugeno: “A Model of Human Evaluation Process Using Fuzzy Measures”, Int. Journal of Man-Machine studies, Vol. 22, No. 1, 19/38(1985)