

1M-6

ソフトウェア開発における人的誤り 生起過程のモデルとその検証実験

古宮 誠一
(日立製作所より出向中)

石崎 豊
(東芝アドバンスシステム部より出向中)

情報処理振興事業協会 (IPA) 技術センター

1. はじめに

ソフトウェアにおいて、高度の信頼性を確保することの必要性が叫ばれている。ソフトウェア開発において、作成されたソフトウェアの信頼性を損なう原因の本質は、ソフトウェア開発の多くが人手で行われているからである。これに対してソフトウェア工学は、ソフトウェア開発の多くの部分を機械化することによって人的なエラーを取り除いてきた。しかし、ソフトウェア開発の主要な部分は未だ人手で行わざるを得ない状況にある。このような状況を踏まえ、特にソフトウェア開発の機械化が困難な部分に対して、ソフトウェアの信頼性を損なう人的要因を明らかにしてその対策を講じることは、ソフトウェアの高度信頼性を確保する上で有効だと思われる。

2. 人的誤り生起過程のモデル化

人の内面において、人手による作業に誤りを起こさせる原因となるもの（＝心理的な要因）を「人的誤りの心的要因」と呼ぶ。心的要因の例としては、理解力、集中力、注意力、忍耐力、洞察力、分析能力、合成能力、論理的思考能力、表現能力、管理能力などがある。また、人の外側において、人手による作業に誤りを起こさせ易く（起こり難く）する、即ち、「人的誤りの心的要因」の生起を促したり（抑制したり）、心的要因そのものに直接働きかけて、その影響力を増幅させたり（弱めたり）するものを「人的誤りの誘因（阻因）」と呼ぶ。誘因や阻因の例としては、ストレス、プレッシャー、時間的制約、経験、睡眠時間、教育、環境、ツールなどがある。この中にはストレスのように常に誘因としてのみ働くものや、プレッシャーのようにその大きさによって或る時は誘因として働き、また或る時は阻因として働くものがある。そして、心的要因、誘因、阻因の3つを併せて「人的誤りの人的要因」と呼ぶ。なお、人的誤りの心的要因は直接には制御できないので、人手による作業の信頼性を上げるには、心的要因とその誘因・阻因を突き止め、誘因と阻因を制御することによって心的要因を間接的に制御する必要がある。このように、人手による作業の誤りの原因には、その直接の原因となる心的要因と、これに直接働きかけて、その影響力を増幅させる働きをする誘因と、弱める働きをする阻因とがあると考えられる。従って、人手による作業の誤りの原因は、図1と図2のような二重構造になっていると考えられる。図1と図2の中の○印は、人的誤りの諸現象と心的要因との対応関係、および心的要因と誘因・阻因との対応関係を示す。そして、○印の箇所には、心的要因との確かな因果関係があり、その度合いを説明する、重みと閾値を持った適当な関数のようなものがあると仮定する。即ち、人的誤りの或る諸現象に対応する心的要因の特性を表す関数の値がその閾値を越えたときに、その心的要因が励起状態となって、対応する

The Model of Human Error Generation Processes
in Software Development
and Experiments for Verification
by Seichi KOMIYA and Yutaka ISHIZAKI
(Information-technology Promotion Agency, Japan)

人的誤りの 人的要因と 誤りの現象	心的 要因 1	心的 要因 2	心的 要因 3	心的 要因 p
誤りの現象1			○	
誤りの現象2	○			○
誤りの現象3		○		
.....				
誤りの現象n	○	○		

図1 人的誤りの原因の構造
(その1: 人的誤りの諸現象と心的要因との関係)

人的誤りの 心的要因と 誘因／阻因	誘因 ／ 阻因 1	誘因 ／ 阻因 2	誘因 ／ 阻因 3	誘因 ／ 阻因 m
心的要因1			○	○
心的要因2	○			
心的要因3		○		
.....				
心的要因p		○	○	

図2 人的誤りの原因の構造
(その2: 心的要因と誘因・阻因との関係)

人的誤りの 心的要因	誘因 ／ 阻因 1	誘因 ／ 阻因 2	誘因 ／ 阻因 3	誘因 ／ 阻因 m
誤りの現象1			○	
誤りの現象2	○			○
誤りの現象3		○		
.....				
誤りの現象p	○	○		

図3 潜在構造分析法による
「人的誤りの心的要因」の求め方

人的誤りの諸現象を生起すると解釈する。同様に、或る心的要因に対応する誘因（阻因）の特性を表す関数の値がその閾値を越えたときに、その誘因（阻因）が励起状態となって、対応する心的要因の生起を促す（抑制する）と解釈する。

図1と図2の構造は、人手による作業全般に当て嵌まる人的誤りの一般的なモデルと考えられる。しかし、人的誤りの諸現象・心的要因・誘因・阻因のそれぞれが、具体的にどのような事象を指すかは、対象とする作業によって異なる。従って、図1と図2の中の○印の位置も、またそれに対応するそれぞれの閾値関数も、対象となる作業によって異なってくる。特に、ソフトウェア開発作業の場合に、これらが具体的にどのようなことになるかが我々の関心事である。そこで、ソフトウェアの開発実験をもとに、人的誤り々の関心事である。そこで、ソフトウェアの開発実験をもとに、人的誤りの諸現象・心的要因・誘因・阻因の間の因果関係を明らかにして行く必要がある。

心的要因のそれぞれが各種の人的誤りの発生にどの程度寄与したかを直接計測することはできない。しかし、誘因または阻因のそれぞれが各種の人的誤りの発生にどの程度寄与したかを直接計測することは可能である。それは図3のようにして、人的誤りの諸現象と誘因／阻因との相関係数を求めればよいからである（人的誤りの諸現象や誘因／阻因は名義尺度なので、相関係数としては、Kramerが提唱したcontingency coefficientを用いる）。ここで、人的誤りの諸現象と誘因／阻因の背後にあって両者を結び付けているものが心的要因である。このように考えて、相関係数の大きいもののそれぞれについて、その背後で働いている心的要因は何かということを知識や経験を基に抽出する方法が潜在構造分析法（Latent Structure Analysis）である。

3. マルチエージェントの協調問題としての実現

平均的人間が持つ人的要因の構造（人的誤りの諸現象・心的要因・誘因・阻因の間の因果関係）を説明するには、これを多変量解析の数理モデルとして捉え、多変量解析の手法によりアプローチするのが最も自然である。しかし、統計的手法の一種なので、多変量解析では特定個人における人的要因の構造を説明することはできない。そこで、心的要因・誘因・阻因のそれぞれをエージェントとしてモデル化し、これらのエージェントによる協調問題として捉え、人的誤りの諸現象の発生過程を説明するシステムを構築することを考える。

マルチエージェントによるモデル化の手順は次のとおりである。

- ①ソフトウェアの開発実験を行い、その結果に潜在構造分析法または主成分分析法を用いることにより、人的誤りの原因となる心的要因・誘因・阻因を抽出する。（ここまでは、多変量解析による分析の手順と同じである。）
 - ②システム工学の手法であるFSM(Fuzzy Structural Modeling)を用いて、人的誤りの人的要因相互の因果関係に基づく人的要因の階層構造を分析し、その構造（木構造またはネットワーク構造になっている）を同定する。
 - ③人的誤りの心的要因・誘因・阻因のそれぞれをエージェントと見なし、これら相互の因果関係を説明する閾値関数のようなものを想定する。
 - ④被験者の思考過程における人的誤りの人的要因を診断するシステムを構築し、被験者の人的要因を診断する。
- ここで構築するシステムは、システムのイメージは知的CAIシステムと呼ばれるものに近い。即ち、人的誤りの人的要因を診断する問題を被験者に与え、その応答を基に心的要因・誘因・阻因という3種類のエージェントの因果関係として、被験者の思考過程をシミュレートする。こう

して構築された被験者の思考過程のモデルから生成される被験者の応答と、被験者による生の応答とが一致すれば、被験者の思考過程が正しくモデル化されたと判断できる。このときの心的要因・誘因・阻因相互の因果関係とこれらのエージェントの特性を表現する関数を、被験者の思考過程における人的誤りの人的要因の診断結果として被験者に呈示する。そして、より高度の信頼性を確保するために、診断結果に対応する処方箋として誘因と阻因をどのように制御すればよいかを被験者に助言するシステムである。なお、人的誤りの人的要因相互の因果関係を説明する閾値関数の同定には、多変量解析のような統計的な手法は用いない。即ち、統計的なモデルを想定しない。統計的なモデルは、不特定多数の被験者における人的要因の診断には適用できるが、知的CAIシステムのような特定の個人の診断には適用できない（被験者とシステムとの対話だけでは、統計解析するに足るほど十分に、その被験者のデータを取得できない）からである。

4. おわりに

紙数の関係からここでは詳しいことは述べなかったが、「ソフトウェア開発における人的誤り生起過程のモデル」についての詳しい考察は文献[5]を参照されたい。また、この研究における最大の課題は、心的要因の抽出、そして心的要因と誘因・阻因と人的誤りの諸現象との因果関係解明のためにどのような実験をどのようにに行い、実験で得られたデータをどのように分析するかである。これについては文献[6]を参照されたい。人的要因解明のための実験を1993年度中に3度実施しており、この実験によって得られたデータを現在分析中である。

本稿で提案したマルチエージェント・システム構築の課題は、心的要因・誘因・阻因として、どのような要因を用意するかである。これについては、人的要因解明のための実験の分析結果を待たなければならない。また、人的誤りの人的要因を診断するための問題を被験者にどのように与え、どのように応答させるかということもシステムの有効性を示す上での重要な課題である。これらについては、診断に適した問題の発見にそのすべてが懸かっている。

最後に、この実験にご協力戴いたソフトウェア会社の皆様と、実験に立ち会うとともに実験で得られたデータの分析作業にご協力戴いている関係各位に感謝します。

〔参考文献〕

- [1]菅野文友：ヒューマンエラーのメカニズム，日科技連出版社(1980)。
- [2]Curtis, Bill Eds.: Tutorial: Human Factors in Software Development, IEEE Computer Society Press (1985)。
- [3]Minsky, Marvin: The Society of Mind, Simon & Schuster, Inc.(1986). (邦訳)安西祐一郎：心の社会，産業図書(1990)。
- [4]吉田見岳ほか：ソフトウェア品質に影響与える人的要因，ソフトウェア品質管理の研究「第7年度品質管理研究会分科会報告書」，(財)日本科学技術連盟，pp.169-182(1992)。
- [5]S. Komiya, et al.: The modeling of Human Error Generation processes in Software Development -Modeling as a Multi-agents Collaboration Problem-, Proceedings of Fourth International Workshop on Next Generation CASE Tools', pp.141-150(Paris, June 6-8, 1993)。
- [6]S. Komiya, et al.: 'A model of Human Error Generation processes in Software Development and its Evaluation', Proceedings of the IASTED International Conference -Reliability, Quality Control and Risk Assessment-, pp.151-154(Boston, Oct. 4-6, 1993)。