

# ヒューマンエラー防止のための動機づけモデルの心理実験による検証

松尾 太加志<sup>\*1</sup>

## The verification of the motivation model for prevention of human-error by psychological experiments

Takashi Matsuo<sup>\*1</sup>

**Abstract** - According to the motivation model for prevention of human-errors, workers use external cues, when the availability for external cues is high and the subjective confidence of behaviors is low. External cue corresponds to the incentive and subjective confidence is related the drive in the motivation theory. The validity of the model was examined by psychological experiments. Subjects memorized the position of 10 targets in the 8×6 matrix panel and confirmed the position by clicking of the panels. Finally, the purpose of subject's task is to open the targets. During the final task, they can utilize help information by clicking the help button. The number of confirmation trials and the delay time of the onset of help information were varied. The frequency of help information use was observed. The results fitted the motivation model and the validity of the model was confirmed.

**Keywords:** human-error, motivation model, psychological experiment, external cue

### 1. はじめに

松尾<sup>[1]</sup>は、原子力発電所のエラー事故をもとに、エラー防止に関する動機づけモデルを提案したが、実験による検証は行なわれていない。本稿は、エラー防止動機づけモデルを検証した心理実験の報告である。

### 2. エラー防止の動機づけモデル

#### 2.1 モデルの理念

ヒューマンエラーを防止するために、人間に対して注意の喚起や慎重な行動が求められるが、これは根本的な解決にはならない。人間はどのような努力をしても、エラーを起こしてしまう。注意が足りないとか努力を怠っているということではなく、人間の認知的過程の特性として当然の帰結である場合が少なくない。人間はヒューリスティックな判断などの認知的バイアス<sup>[2]</sup>によって効率的な処理を行なっている。しかし、一方で、それがエラーを誘発してしまう。そのため、ヒューマンエラーが生じるのは当然のことであり、バイアス判断などは、ミステイクの原因のひとつとして考えられている<sup>[3]</sup>。

ヒューマンエラーを防止するためには、人間の内的な処理過程の改善を求めるのではなく、外から気づかせることが必要である。外的手掛りを設けて、それを利用させるようなしくみにすることが大切である。したがって、エラー防止の問題は、人間がどうすれば外的手掛りを利用するのかということであり、この問題に対して動機づけ理論の枠組でアプローチしたのが本モデルである。

#### 2.2 外的手掛りとその利用可能性

外的手掛りには、人、ドキュメント、表示、対象が考えられる<sup>[1]</sup>。外的手掛りにとって重要なのは、どれだけ

実際に利用できるかということである。たとえば、マニュアルが整備されていても、読みにくいマニュアルであれば役に立たない。わかりにくい表示や、何のアドバイスもできない人であれば外的手掛りとして役に立たない。外的手掛りはただ存在すればよいのではなく、利用できる可能性がどの程度あるかが問題となる。利用可能性が高ければ、それだけエラーは防止できる。さらに、ここでの利用可能性は単に利用されやすいかどうかだけではなく、それによって、実際にエラーが防止できるかどうかも含めて、利用可能性という言い方をする。

#### 2.3 主観的確信度

外的手掛りが利用されるかどうかは、利用可能性の問題だけではなく、作業側側の要因も考えなければならない。作業者が自分の行なっている作業に自信がある場合、マニュアルに頼ったり人に尋ねたりすることはない。自信がない場合に、マニュアルを読んだり、人に尋ねたりする。つまり、作業者の作業に対する主観的確信度が高いか低いかによって、外的手掛りを利用するかどうかが決まってくる。

#### 2.4 動機づけモデル

外的手掛りを利用させるためには、外的手掛りの利用可能性を高くすることが重要である。そして、作業者の主観的確信度にも影響を受け、作業者の主観的確信度が低ければ外的手掛りが利用されるが、主観的確信度が高ければ外的手掛りは利用されない。

これは、動機づけにおける動因と誘因の関係と考えることができる。ここで、外的手掛りを利用する動因(D)は主観的確信度(SC)によって決定され、確信度が低くなると動因が高くなり、次のような式で表現される。

$$D = -SC \quad (1)$$

そして、誘因(I)は外的手掛りの利用可能性であり、行動

\*1: 北九州大学文学部

\*1: Faculty of Humanities, Kitakyushu University

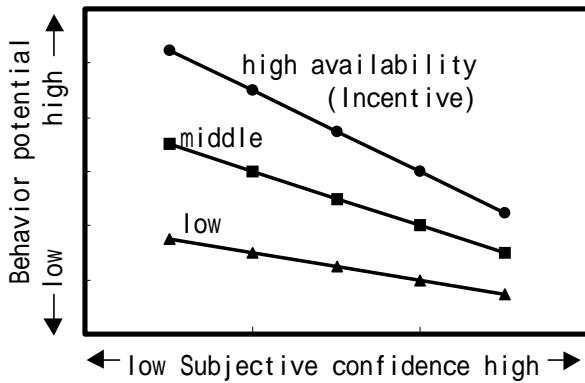


図1 エラー防止の動機づけモデル

Fig.1 The motivation model for prevention of human-error

のポテンシャル(P), ここでは, 外的手掛りを利用する行動のポテンシャルは, 動因(D)と誘因(I)の積となる。これは, ハル<sup>[4]</sup>やスペンズ<sup>[5]</sup>の学習理論, アトキンソンの動機づけモデル<sup>[6]</sup>などに見られる動機づけにおける一般的枠組みである。したがって, 次の式で表現できる。

$$P = (D - SC) \times I \quad (2)$$

主観的確信度が低ければ, 動因は高くなり, 外的手掛りは利用される。一方, 誘因である外的手掛りの利用可能性が高い場合も利用行動のポテンシャルは高くなる(図1参照)。

### 3. 心理実験

#### 3.1 目的

エラー防止の動機づけモデルを検証するために, 主観的確信度と外的手掛りの利用可能性を操作した心理実験を行ない, そのときの外的手掛りの利用行動を観察する。マトリックス上のパネルのターゲットの位置を記憶する課題を与え, 外的手掛りとしてパネルの位置のヒントを与えるヘルプ情報を設けた。そのヘルプ情報提示の待ち時間を変えることで外的手掛りの利用可能性を操作した。一方, 主観的確信度については, 記憶時に確認作業を行なわせ, その確認の回数によって, 主観的確信度が変わるように操作した。この実験結果を, 動機づけモデルに当てはめることによって, モデルの検証を行なう。

#### 3.2 方法

##### 3.2.1 被験者

大学生 10 名 (男性 1 名, 女性 9 名)

##### 3.2.2 課題

被験者の課題は, 6 × 8 のマトリックスのパネル上のあらかじめ定められたターゲットの位置を記憶し, そのターゲットのパネルを開くという課題である。課題は, 次の 3 つの段階に分かれている。最初は, ターゲット位置を記憶する記録段階である。6 × 8 の 48 のパネル中, 10 個がターゲットで, その位置はランダムに定められる。マトリックスは 5 秒間提示され, ターゲットは赤, それ以外は緑で表示される。第 2 段階は, 確認段階であ

る。全パネルが裏返しで表示され, 被験者はパネルをマウスでクリックしてパネルを表に戻して, ターゲットの位置を確認する。ターゲット以外のパネルを開いてもかまわない。確認時間は 10 秒で, 開くことのできるパネル数は 12 である。この 10 秒間の確認を数回行なう。それは実験条件によって異なり, 1, 3, 5 回のいずれかになる。10 秒間の確認が終わるごとに, パネルは, またすべて裏返しとなり繰り返される。最後が, 目標課題で, マウスをクリックすることによって, ターゲットのパネルを開いていく。このとき, ヘルプ情報を利用することができ, ヘルプボタンをクリックすると, まだ開いていないターゲットの位置のいずれかひとつの座標が表示される。ただし, ヘルプボタンを押してヘルプ情報(座標)が提示されるまでの時間は, 0, 1, 3 秒のいずれかとなる。ターゲット以外のパネルを開いてもかまわず, 開くことのできるパネル数に制限はない。与えられる時間は 20 秒である。

##### 3.2.3 装置

実験の制御はコンピュータ (NEC PC-9821 Xn/C9W) によってなされ, 15 インチカラーモニタ (NEC PC-KD854) に提示される。被験者はマウス (NEC 製) を利用して操作する。実験プログラムは本実験用に独自に開発したものである。

##### 3.2.4 手続き

実験は, 試行数が表示される画面で被験者自らがマウスクリックをすることによって開始する。最初の記録段階では, マトリックスと時間経過が表示され, 5 秒後自動的に次の確認段階に移る。ここでは, 確認回数, 時間, パネルを開いた数などが表示される。確認段階終了後, ターゲットの位置をどの程度覚えているかの主観的評価が求められ, 画面上に表示される 1 から 5 までの数字 (5 がもっともよく覚えたことを示す) をクリックすることによって回答する。最後に目標課題に移るが, このとき, ヘルプ待ち時間が表示された後, 課題画面に移る。課題実施時にも, ヘルプ待ち時間, 経過時間, パネルを開いた数などが表示される (図 2 参照)。制限時間の 20 秒を経過するか, ターゲットの 10 個のパネルをすべて開いた時点で終了する。



図2 課題作業画面の例

Fig.2 An example of display during task

以上の記録, 確認, 評定, 目標課題の一連の作業を 1 試行とし, 確認回数条件 3 通りとヘルプ待ち時間条件 3 通りの組み合わせの 9 試行がなされる。その順序はランダムで, 9 試行を 2 回繰り返し, 計 18 試行を行なう。本実験に入る前に, 6 試行の練習を行なった。

なお, 実験の教示では, 記憶の実験という言い方は避けた。また, 被験者の作業に対する重要度の認識を統制するため, 目標課題に失敗した場合は, その試行のやり直しを課す旨, 教示した。ただし, やり直しは実際には行なわなかった。

### 3.3 結果

データ処理にあたっては, 独立変数としての確認回数と被験者の主観的評価を主観的確信度の指標として用いた。主観的評価に関しては, 全員の被験者の反応割合から, z 変換を行なった値を指標として用いた。

#### 3.3.1 モデルへの当てはまり

ヘルプ利用回数に関して, 各条件ごとに 10 人の被験者の平均値を算出した。それをもとに, 確認回数と主観的評価を主観的確信度の指標として用い, 図 3 に示した。どちらの図でも, 主観的確信度が高いと利用回数が減っている。また, ヘルプ待ち時間が長くなり, 外的手掛りの利用可能性が低くなると, ヘルプの利用回数が少なくなっている。ただし, 主観的確信度が高いと, その差は縮まっており, モデルのグラフ (図 1) と同様の結果を示している。

動機づけモデルの式(2)に当てはまっているかどうかを確かめるために, 回帰分析を行なった。行動のポテンシャルにヘルプ利用回数を, 主観的確信度に確認回数または主観的評価の値をそのまま用いた。ただし, 外的手掛り利用可能性については, ヘルプ待ち時間を 3 秒から減

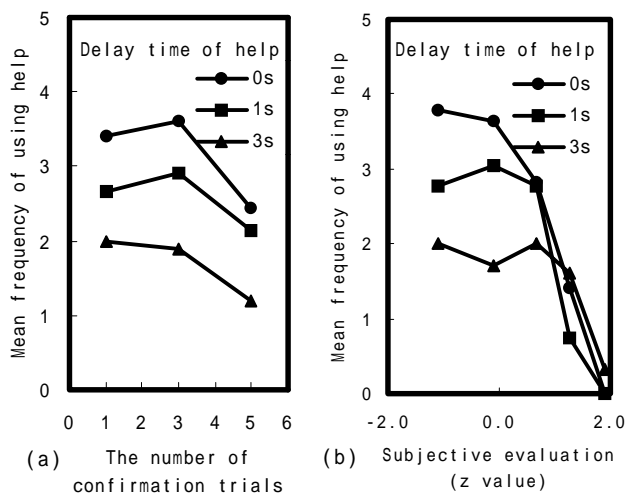


図 3 確認回数(a)と主観的評価(b)を指標としたときのヘルプ利用回数。

Fig.3 Frequency of using help as index of the number of confirmation trials(a) and subjective evaluation(b)

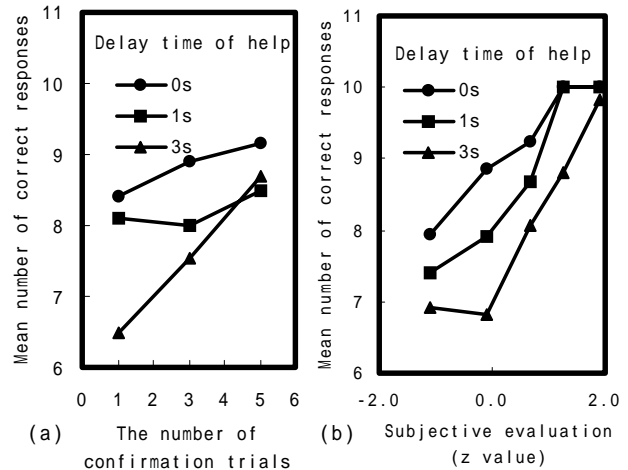


図 4 確認回数(a)と主観的評価(b)を指標としたときの正反応数。

Fig.4 Number of correct responses as index of the number of confirmation trials(a) and subjective evaluation(b)

じた値を用い, 値が大きくなると外的手掛りの利用可能性が大きくなるようにした。回帰式は, 係数 k, 定数項 C, 定数 をパラメータとする次のような式とした。

$$\text{ヘルプ利用回数} = k \times (\text{主観的確信度}) \times (\text{3} - \text{ヘルプ待ち時間}) + C \quad (3)$$

回帰分析の結果, 主観的確信度に確認回数を用いた場合も ( $F=133.8; df=3,6; p<.01$ ), 主観的評価を用いた場合も ( $F=47.74; df=3,6; p<.01$ ) 有意に係数は 0 ではなかった。それぞれの寄与率は, 81%, 73%であった。

#### 3.3.2 正反応による (エラー防止) 分析

主観的確信度と外的手掛り利用可能性の条件間の違いによって, どの程度エラーが防止できたかを見ることとした。そのため, 条件ごとの目標課題段階でのターゲットのクリック数について, 10 人の被験者の平均値を算出し, 図 4 に示した。2 つの条件を因子とした 2 要因分散分析を行なったところ, 主観的確信度として確認回数を使った場合, ヘルプ待ち時間において有意な傾向がある ( $F=4.70; df=2,4; p<.10$ ) にとどまり, 確認回数には有意差はなかった。一方, 主観的評価を使った場合は, 外的手掛り利用可能性 ( $F=12.01; df=2,4; p<.01$ ) と主観的確信度 ( $F=26.25; df=4,8; p<.01$ ) の両要因ともに有意な差が認められた。Tukey 法による多重比較を行なったところ, 5% 水準で有意な差が認められたのは, ヘルプ待ち時間が 0 秒と 3 秒, 1 秒と 3 秒の間であった。主観的評価では, 5 段階の評定段階のうち, ひとつ以上の段階を越えたところですべてに差がみられた。

### 3.4 考察

主観的確信度の指標に確認回数を用いた場合も, 主観的評価を用いた場合も, 高い寄与率を示し, 今回の実験結果は, モデルに当てはまったと考えることができる。

さらに, 実際のエラー防止にどのように関わっている

かについては、正反応数によって分析を行なった。ヘルプ待ち時間が短い場合、つまり外的手掛りの利用可能性が高い場合は、正答数は多くなっており、外的手掛りの利用可能性を高めることがエラー防止に重要であることが示された。ただし、主観的確信度が低い場合、外的手掛りを利用しエラー防止に努めているものの、エラーが増える結果となっている。

#### 4. 全体的考察

心理実験から得られた結果は、モデルに当てはまる結論を導くことができたが、いくつかの問題点が考えられる。

まず、主観的確信度の測定の問題である。今回の実験では、独立変数の確認回数と被験者個人による評定値を主観的確信度の指標として用いた。前者は、厳密には主観的確信度ではないため妥当性に欠く。後者の場合、内省として評価が正しくなされているかどうかの問題が残る。評定は目標課題直前になされたため、疎かになった可能性が考えられる。また、目標課題に失敗するのを恐れ、失敗回避動機が高い人の場合、過少に評価した可能性もある<sup>[7]</sup>。このような問題はエラー事例の分析でも問題となる。エラー事故発生後に作業者の内省に頼ることになるが、そこにバイアスが生じることは避けられない。

次は、実験室実験の結果を実際の作業場面に適用できるかの問題である。実験で与えた課題は任意のものであり、外的手掛りとその利用可能性の程度、主観的確信度の操作も、実験として成立するように適当な案配で定めたにすぎない。実際の作業場面ではエラーに対する重要度の認識から行動が慎重になり、外的手掛りを利用する可能性は高くなる。また、緊張が高い場面ではそれがストレスとなって、逆に外的手掛りを利用しないことにもなりかねない。このようなエラーに対する重大性を認識するメタ認知やストレス因などが、外的手掛りの利用動因に影響を与えているはずである。したがって、式(1)の利用動因には、メタ認知とストレス因も要素として含めて次のようにすべきであろう。

$$\text{利用動因(D)} = \text{主観的確信度} + \text{メタ認知} - \text{ストレス因} \quad (4)$$

実験場面では、教示である程度操作はできるものの、被験者と実験者の暗黙の了解にまかされており、十分に条件統制できているとは言い難い。本実験で、エラーが完全になくならなかった(図4参照)のは、メタ認知においてエラーに対する許容が高かったせいであろう。

このように考えていくと、実験室実験の結果が実際の作業場面に適用できるかどうかの問題は残ってしまう。しかし、一方でエラー事例の研究は、ともすると情報の選択的使用による分析に陥りがちであり、実験を通してエラーに対する行動を分析することは重要である。

エラー防止の動機づけモデルは、ヒューマンエラーの

メカニズムを解析することを目的とするのではなく、実際にエラー防止のために何をなすべきかを考える上で提起されたモデルである。そのため、モデルとしては多少粗削りではあるが、本実験で示されたように、外的手掛りが高めることがエラー防止には必要であることがわかってくる。実際に制約などによって、間違った操作ができないようなフルブーフな設計<sup>[8]</sup>にすれば、エラーは確実に防止できる。これは、外的手掛りの利用可能性が極めて高いと考えることができる。今後、実験条件の設定を再検討するなど、さらに精緻化したモデルによって、このモデルがエラー防止に役立つことが期待される。

#### 謝辞

本研究は、原子力安全システム研究所のヒューマンエラーワークショップの一環として行なわれ、そのお世話をいただいた同研究所の守川伸一氏に感謝申し上げます。また、実験は、北九州大学文学部人間関係学科柳田せつ子さんの2000年度卒業論文の一環として行なわれ、実験を実施した柳田さんにも、この場を借りてお礼を申し上げます。

#### 参考文献

- [1] 松尾: エラー防止の動機づけモデル; 箱田他: ヒューマンエラーの認知心理学的調査検討報告書 - 事故事例の認知心理学的分析 - (株)原子力安全システム研究所, Pp.32-39 (2000).印刷中
- [2] Aronson, E.: *The Social Animal Sixth Edition*; W.H. Freeman and Company(1992). (古畑監訳: ザ・ソーシャル・アニマル(第6版) - 人間行動の社会心理学的研究 - ; サイエンス社, 1994).
- [3] Reason, J.: *Human Error*; Cambridge University Press(1990). (林監訳: ヒューマンエラー - 認知科学的アプローチ - ; 海文堂出版, 1994).
- [4] Hull, C.L.: *A Behavior System: An Introduction to Behavior Theory*; Yale University Press(1952). (能見, 岡本訳者代表: 行動の体系; 誠信書房, 1971).
- [5] Spence, K.W.: *Behavior Theory and Conditioning*; Yale University Press(1956). (三谷訳: 行動理論と条件づけ; ナカニシヤ出版, 1982).
- [6] Atkinson, J.W.: Motivational determinants of risk-taking behavior; *Psychological Review*, **Vol.64**, No.6, 359-372 (1957).
- [7] Atkinson, J.W., Litwin, G.H.: Achievement motive and test anxiety conceived as motive to approach success and motive to avoid failure; *Journal of Abnormal and Social Psychology*, **Vol.60**, No.1, 52-63 (1960).
- [8] 松尾: コミュニケーションの心理学 - 認知心理学・社会心理学・認知工学からのアプローチ - ; ナカニシヤ出版(1999).