

JAN. 1981

RIIS-RR-29-1

UDC 007

産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-29-1

人間の予測確率を用いた特異性の定量化

(第1報)

機械研究部 深 谷 潔
杉 本 旭
近 藤 太 二

労働省産業安全研究所
MINISTRY OF LABOUR
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

人間の予測確率を用いた特異性の定量化(第1報)

深 谷 潔*
杉 本 旭*
近 藤 太 二*

Quantification of Singularity by Using Expectation Probability and an Example in Pursuit Tracking Task (1st report)

Kiyoshi FUKAYA
Noboru SUGIMOTO
Taiji KONDO

The method of quantifying the singularity of phenomena or events such as emergency were discussed. The singular event is defined as "The event which surprises man" and the singularity is evaluated by the "surprisal" which the event gives to the man. The largeness of "surprisal" (S for short) is the function of the following three factor.

- (1) D; the difference between expectation and the event which really happens
 - (2) W; the degree of importance of the event to the man
 - (3) U; the degree of urgency of the event or emergency,
- and defined as $S=D \cdot W \cdot \exp U$.

In this paper the first factor was mainly discussed. The expectation is supposed to be expressed as (E_i, p_i) , where E_i is the event which is thought to be able to happen and p_i is subject probability that E_i will happen. And suppose E_j which is among (E_i) really happens. At this time the difference between expectation and the event, i.e. D, is defined as

$$-\log p_j + \sum_k p_k \log p_k.$$

To confirm the effectiveness of the theory, we tried a few experiment where second and third factors are considered not to change. The experiment was of pursuit tracking. The expectation related to the position of the target point on the monitor scope were examined, and the probability was measured. By using them, the "surprisal" were calculated and compared with the score of tracking task which was described by mean square error. A sufficient result was obtained.

*機械研究部 Mechanical Engineering Research Division

1. はじめに

日常生活において、「突然大きな音がしたので、驚いて持っていたものを落としてしまった。」とか「急にスリップしたため、車をガードレールにぶつけた。」の話を聞いたり、経験したりしている。

産業現場においても、「プラントに異常が発生した時オペレータが対応を誤ったため、大事故になった。」という話は、スリーマイル島の原子炉事故の例など、しばしば耳にする。

このように人間が予期していない時に、「急に音がする。」「プラントに異常が発生する。」などの特異現象が起きた場合に人間が十分に対処できなくて、事故に継がるということは少なく、そのため、災害防止のために、これらの特異現象に対する人間の対処能力を知ることが必要となる。しかし、上記のように対象が質的に異なるため一般化が困難であり、対象によらず統一して人間特性を評価するためには、特異現象の特異性の定量化を行わねばならない。そのための一試案として、人間の予測確率を用いて定量化を行う手続を検討した。

2. 特異現象の定量化のための手法

2. 1 特異現象の定義

特異性の特異度を定量化するための第一段階として、特異現象とは何かを定義しよう。そのため、どのような場合に、人がその現象を特異であると感じるのか、いくつかの例を上げて、その背後に共通するものを探ってみよう。

第1の例として、「急に大きな音がした。」とか「角を曲ったとたん、人にぶつかりそうになった」とかいうものが上げられる。これらは、その時起きることが、「音がする。」「人の姿を目前にとらえる。」などのように、それ自体では特異とは言えない現象でも、「突然」起きることによって、特異性を持ち、人を驚かせたり、慌てさせたりする。

第2の例として、「車がスリップした。」とか

「プラントに異常が発生した。」とかいうものが上げられる。これらは、現象それ自体が異常であり特異性を持つといえよう。もつとも、自動車レースなどでは、意図的にタイヤをスリップさせてカーブを曲がるなどのテクニックが使われるが、そのような場合には、スリップも特異とは言えないであろう。

第3の例として、「階段を駆け上がっている時に、つまずいた。」とか「コードを引掛けて、半田ごてを畳の上に落した。」とかいうものが上げられる。これらのように、作業・動作をしている時にミスをする、人間は、「あっ。」と驚いたり、「しまった。」と思ったりする。このような心理的動揺も、特異性に起因すると思われる。

特異現象と考えられるものを3種類あげたが、これらの現象に共通していることは、ある種の不連続性が存在するということである。第1の例について言うと、「突然」という言葉は、今まで何の徴候もなかったところに、ある時点で何かが起きるといった状態を示すためのものであるから、そこに不連続性が存在するのは、いわば自明のことであろう。第2第3の例でも、特異現象の発生に伴ない、正常状態から非常状態へと質的に変化しているが、その変化は不連続と言えよう。

次にこれらが人間に与える影響というものを考えてみると、いずれも「人間に驚きを与える現象」と言えるのではないだろうか。第1の例のように、何かが、「突然」起きれば、人は驚きを感じるし、第2の例でも、平常と異なる現象が起きれば、当然、驚きを与えると考えられる。第3の例の「しまった。」という感情もある種の驚きの念を含んでいると思われる。

特異現象を特徴づける性質を2つ上げたが、この両者の関係を考えてみると、前者の不連続性は、後者の驚きの1つの原因になっていると思われる。本研究の目的である現象と人間の関係の解明という観点から見て、人間側に視点を置いた後者の性質を重視すると、特異現象とは

人間に驚きを与える現象と定義しても良いであろう。本稿においては、この定義を用いる。

2. 2 特異性の定式化

前節で、特異現象の定義を与えたが、この定義に従えば、特異性の定量化のためには、その現象が人に与える驚きを定量化すればよいことがわかる。しかし、一口に驚きと言っても、主観量なので、同じ特異現象に対しても、人によって、場合によって、驚きの程度が異ってくると考えられる。そこに何らかのヒューマンファクターを含むにしても、現象の客観化のためには、主観量としてのいわゆる驚きによらないで、「驚き」を定量化する必要がある。そのため、本節では、「驚き」の大きさ（以下、「驚愕度」と呼ぶ）に影響を与える因子について考察を行い、「驚き」およびそれによって評価される特異性の大きさ（以下、特異度と呼ぶ）の定式化を行う。

以下で、「驚き」に影響する因子にはどのようなものがあるかを考えてみよう。

一般に、人が驚きを感じるのは、何かが起きるか、何らかの変化があった時である。何の変化も起きないのに驚くとしたら、それは変化を予想あるいは期待していた場合であろう。逆に何の変化も期待していない時に、何かが変化するからこそ驚くと思われる。たとえば、「テレビのスイッチを入れても画が出ない。」と驚くし、逆に「タイムスイッチが入るなどの理由で、急に声が出る。」と驚くであろう。この両者とも予期・予測と異なる出来事が起きているが、そのことが驚きを引き起こしたと言えよう。また、前節で、特異現象の不連続性が驚きを引き起こすことを述べたが、これも、人が暗に連続性を予想しているための予測とのずれによるものと思われる。これらのことから、「予測と現実のずれの大きさ」（以下、はずれ度と呼ぶ）は、驚きに影響を与える最も基本的な因子と思われる。

それでは、全く予想もしない事が起きたら、いつも人は同じように驚くであろうか。答は否である。これは次の例を考えればわかる。どこにあるかもよく知らない「外国で大火事があった。」という新聞記事を読んだとしよう。おそらく大して驚

かないであろう。これが、火事の起った場所が、たとえば「東京」であれば、かなり驚くと思われる。その違いはどこにあるかという点、その人の関心、あるいはその人に対する影響力の大きさにある。この因子を重要度と呼ぶことにしよう。なお、この因子は、起きた現象とそれを評価する人間によってその大きさが決まると思われる。

さらに次のような例を考えてみよう。「車を運転中、その前方の道に人が飛び出した。」といった場合、1m先に飛び出すか、10m先に飛び出すかでは、その驚きの大きさも違うと思われる。その違いは、よけられるかに否かという点にあるが、量的に表現すれば、よけるために要する時間とそこに達するまでの時間の大小関係で置き換えられよう。この例のように、対処するまでの時間的余裕の大小によっても驚き方は変ると思われる。この因子を緊急性と呼ぶことにしよう。

以上の議論をまとめると、特異度の定式化として、以下の式が得られる。

$$T(X) = S(D(X, Y(P)), W(X, P), U(X, P)) \quad (1)$$

但し、X：特異現象

T：その特異度

S：驚愕度（「驚き」の大きさ）

Y：予測

P：ヒューマン・ファクター

W：重要度

U：緊急性

D：はずれ度（予測と現象のずれの大きさ）

2. 3 特異性の定量化

前節では、特異度の定式化を行ったが、本節ではそれらの因子の数量化、及び、各因子と驚愕度の関係について考察を行い、特異性を定量化しよう。

2. 3. 1 はずれ度の定量化

この因子は、予測と現象によって決定されるが、この両者とも数量的なものではないので、まず、これらを数量的に表現しなくてはならない。その

ために第1ステップとして予測というものを考察してみよう。

人間が行う予測には、「スイッチを入れたのだからテレビがつくはずだ。」というような断定的な予測のほかに、「今日は天気が良くなりそうだ。」というような可能性に関する予測がある。このような可能性を表現する数字的手段として確率というものがある。この確率を用れば、予測を数的に表すことができる。たとえば、天気の場合は、

$$\{(晴: 0.8), (曇: 0.18), (雨: 0.02)\}$$

というように表すことができる。ここで、0.8, 0.18などは、それぞれ、晴、曇などの事象に対する予測確率であり、晴などに対する確信の程度を表している。テレビの例のように断定的な予測の事象に対しては、この値は、0.99あるいは0.999のような1に近い値になり、逆に、「思ってもみなかった」事象に対しては、無限小となる。このように、予測は、起こる可能性のあるいくつかの事象と、それぞれに割り当てられた予測確率で表現できる。これを定式化すると

$$\text{予測} = \{(E_i, p_i) \mid i = 1, 2, \dots, \ell\} \quad (2)$$

但し、 E_i : i 番目の起こり得る事象

p_i : E_i の予測生起確率

となる。ここで、 ℓ は問題となる対象について起こり得る事象の数である。また起こり得る事象が離散的でなく連続的な場合は、添字 i をパラメータ x に、1 から ℓ までの範囲を x の範囲にそれぞれ置き換えれば、同様の式が成り立つ。

この式の起こり得る事象の集合 $\{E_i\}$ に関して、いくつか注意すべき点があるので、以下に述べる。

第1は、問題とする特異現象を含む集合でなければならないということである。たとえば、「青天の霹靂」を問題にする場合は、 $\{E_i\}$ は天気に関するものになるが、この中に「晴」や「雨」などのほかに、「雷」も含めなければならない。

第2は、各 E_i は同一次元に属するようにしなければならないということである。たとえば、さいころをふった結果の予測において、起こり得る事象の集合として $\{(1 \text{ の目が出る}), \dots, (6 \text{ の目が出る}), (さいころが机から落ちる)\}$

を考えると不適当である。このような場合は、

さいころが落ちるか否かに関する予測、出る目に関する予測の2つに分けて考えるべきであろう。

はずれ度の定量化の第2のステップは、実際に起きた現象を表現することであるが、これはすでに述べたように、予測の表現の中に含まれている。すなわち、起こり得る事象の集合は実際に起きた現象を含んでいる。今後の便利のために、この現象を E_j とする。

第3のステップとして、はずれ度 D を予測確率 $\{p_i\}$ を用いて表そう。ここで、実際に起きた事象 E_j に対応する予測確率 p_j を重視し、はずれ度は、 p_j の関数および補正項によって表されると仮定しよう。

この p_j とずれとの関係を考える。 p_j が大きい時（起こりそうだと思っていた事象が起きた時）には、ずれは小さく、 p_j が小さい時（あまり起きそうにないと思っていた事象が起きた時）には、ずれは大きくなる。すなわち、はずれは、 p_j に関して単調減少関数になる。このような関数のうちから $-\log p_j$ を選ぶことにしよう。このように選ぶことによってある利点を得られるが、これについては後でふれる。

補正項を求めるため、 p_j 以外の $\{p_i\}$ の部分に注目して、次の例について考えてみよう。「2つの予測があり、それぞれ

$$\begin{aligned} &\{(A, \frac{1}{6}), (B, \frac{1}{6}), (C, \frac{1}{6}), (D, \frac{1}{6}), \\ &\quad (E, \frac{1}{6}), (F, \frac{1}{6})\} \\ &\{(A, \frac{1}{6}), (B, \frac{5}{6})\} \end{aligned}$$

と表されている。

事象 A が起こった時、両者の予測とのずれの大きさはどう違うであろうか。前者は、どれも同じように起こると思っていた時に、どれかが起こったという場合で、ある意味では予測通りと言えなくもない。それに対し、後者は、あまり起こりそうにないと思っていた事が起こったのだから、ずれは大きいと言える。両者の違いは、第1項 $-\log p_j$ の期待値にある。前者では、期待値と $-\log p_j$ が同じため、期待通りという感じを与える。従って、補正項として $\sum p_i \log p_i$ を採れば、両者を区別できる。

以上のことから、はずれ度を表す関数として、

$$D(j; p_1 \dots p_\ell) = -\log p_j + \sum_{h=1}^{\ell} p_h \log p_h$$

が得られた。

補足として、この関数の性質をいくつか述べる。

- (i) p_j に関する単調減少関数である。
- (ii) すべての p_i が等しい時、0 になる。
- (iii) 2つの独立な事象の積事象に関するずれは、それぞれの事象に関するずれの和になる。

(i)(ii)の意味は、既に述べたとうりである。(iii)は、さいころが机から落ちる例のような複合された対象は、各要素ごとの予測とのずれを計算して、それを加えればよいことを示している。これは、 $-\log p_j$ を用いることによる利点である。

2. 3. 2 驚愕度の定量化

重要度、緊急度はもともと数量的な概念といえるが、必ずしもスカラー量とは限らない。その現象に関する知識・関心の程度、関係の深さ、前後の状況などの種々の要因、あるいは判断基準によって種々の評価がなし得る。それらの議論は別の機会にゆずり、ここではスカラー量として評価されていると仮定する。

各因子の数量化ができたので、第1に、各因子と驚愕度の関係について考慮しよう。

はずれ度 D と驚愕度 S との関係についていえば、大きなずれに対しては驚きも大きく、小さなずれに対しては驚きも小さいと言える。またははずれ度が0、すなわち、予測どうりの場合には驚愕度も0になる。従って、ずれと驚きの間には比例的関係があることが予想される。

重要度 W と驚愕度 S の関係について同様な関係がなりたつと思われる。すなわち、重要度が増すと驚きも増し、重要度が0の場合は、驚愕度も0になると考えられる。これは、自分が重要であると思っていることに大きな反応を示し、無価値であると思っていることに対しては無反応ということで、当然のことといえよう。

緊急度 U と驚愕度 S の関係についても、緊急度が増すほど驚きも大きくなるといえよう。これは前節の「飛び出し」の例を考えれば明らかであろう。しかし、はずれ度などとは異なり、緊急度が

0の時には、驚愕度が0にならない。これは、「ビックリ箱を開けた。」時には、驚きを感じるが、何の対処も必要はない（緊急度が0と考えられる）ことを考えれば明らかであろう。

以上の関係を満たすように驚愕度 S を定義しよう。ずれ D 、重要度 W と S の間には、それぞれ比例関係が成り立つとしよう。緊急度 U については、 U が0のとき1となる、ある U の増加関数と S の比例関係を仮定しよう。ここでは、その関数を $\exp U$ にとっておく。すると、驚愕度は、

$$S(W, U, \{p_i\}, E_j) = (-\log p_j + \sum_{h=1}^{\ell} p_h \log p_h) \cdot W \cdot \exp U$$

と定義できる。また、予測がいくつかの予測 $\alpha, \beta, \dots$ に分割できる場合は、それぞれの予測に対する驚愕度を $S_\alpha, S_\beta \dots$ と表わし、

$$S(\alpha, \beta \dots) = S_\alpha + S_\beta + \dots$$

と定義することにしよう。

3. 追従実験における例

3. 1 実験の概要

前章では、人間の予測確率等を用いて特異性を評価する手法の考え方を示したが、この章では、この手法の有効性を調べるために行った実験について述べる。

ところで、前章の理論が有効であるためには、

1. 予測の確率 p_i が既知であるか、測定し得る
2. 重要度 W 、緊急度 U が既知であるか、測定し得る
3. 計算された特異度が、人間に対する負荷の大きさを示している

ことが必要であろう。そのため、 p_i の測定を行い、重要度等は既知（ある一定値）となるよう条件を設定し、その時の特異度と人間の応答の関係を調べた。

具体的に言うと、行った実験は、制御工学の分野で昔から研究されてきた手動制御の実験に属す

るもので、モニタースコープ上に目標点を示し、この目標点の動きに制御レバーで制候される操作

点を追従されるというものである。この実験システムの概要をFig.1に示す。

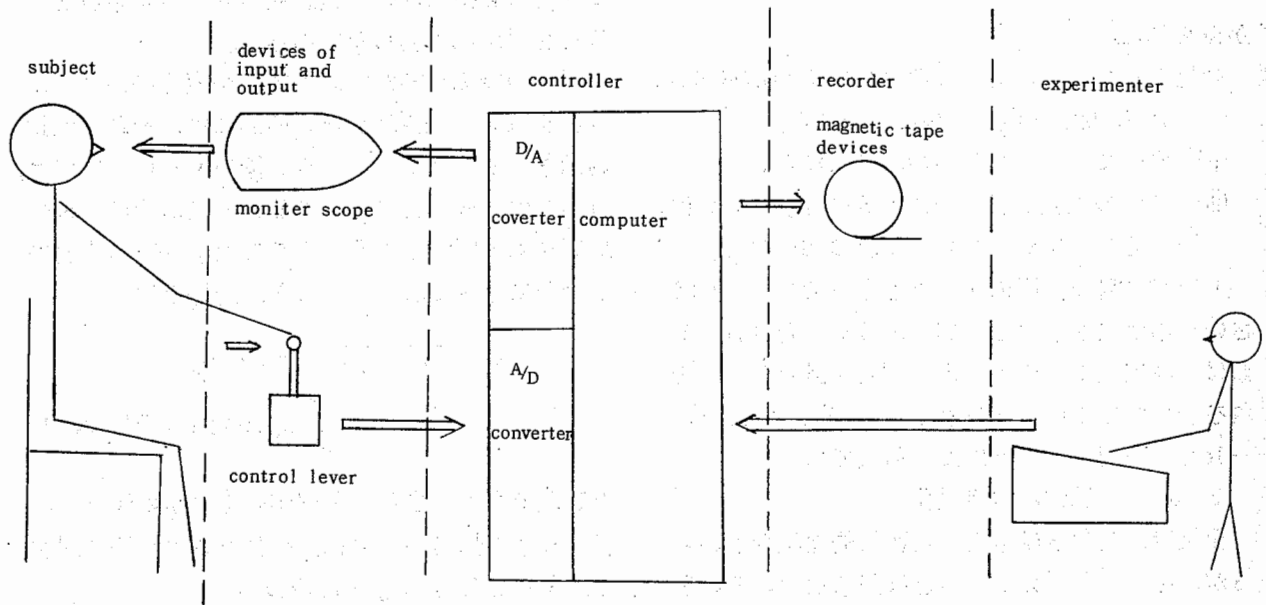


Fig.1 Blockdiagram of Experiment System

この実験に際して、特異現象として、目標点の動きのパターンを急変させ、その特異度と人間の応答の指標としての制御成績の関係を調べた。実験をこのように設定することによって、考察の対象とすべき予測を、目標点のモニタースコープ上の点の位置に関するものに限ることが可能となった。また、被験者にとって、モニタースコープ上の輝点の位置あるいは制御成績の重要度等は実験の間、一定であると思われる。従って、重要度等はこの実験においては比例定数としての意味しか持たないと考えられる。

3. 2 予測確率の測定

3. 2. 1 測定方法

人間は、追従動作において、目標点の位置に関してどのような予測を行っているであろうか。予測する時点での目標点の位置、速度、加速度等をもとに、次の目標点の現れる位置を予測すると考えられるが、長町らの研究¹⁾によれば、このような予測は、目標点の位置、速度によってほとんど決まり、加速度等の情報はあまり用いられないとい

うことが知られている。それでは、目標点の位置と速度で未来値が確定的に予測されるのだろうか。おそらく目標点の位置と速度で決まる点を中心にして「この辺」という分布を持つ予測であろう。この分布の形としては、誤差分布、すなわち、正規分布を仮定して良いであろう。また、この分布の標準偏差については、速度の一次式を仮定しよう。これは、ゆっくり動き回る目標より、早く動き回る目標の方が予測範囲を絞りにくいと思われるので、その効果を含めるためのものである。この予測モデルをFig.2に示す。

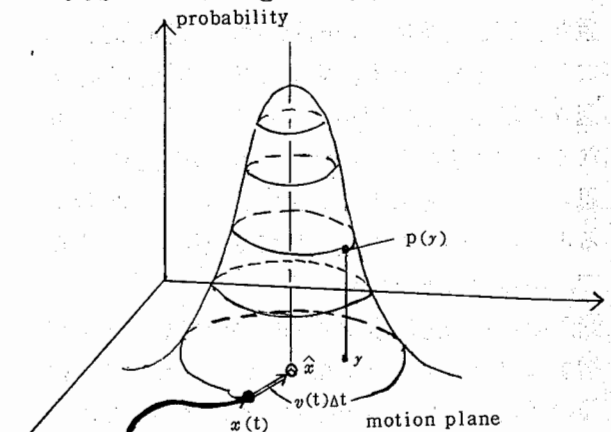


Fig.2 Model of Expectation

前章の表現法を用いて、 Δt 時間後の目標点の位置に関する時刻 t_0 における予測を表すと、

$$\text{予測}(\Delta t, t_0) = \{E_y, P(y, \Delta t, t_0) \mid y \in A\}$$

但し、 E_y : Δt 後に目標点が座標 y にあるという事象

y : 目標点の Δt 後の位置となる可能性のある点

A : モニタースコープの画面全体

P : 予測位置 y に対する確率密度を表す関数

となる。また P の関数形は、

$$\begin{cases} P(y, \Delta t, t_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(y - \hat{x})^2}{2\sigma^2}\right\} & (7-1) \\ \hat{x}(t_0, \Delta t) = x(t_0) + v(t_0) \cdot \Delta t & (7-2) \\ \sigma = a + b \cdot |v(t_0)| & (7-3) \end{cases}$$

但し、 $x(t)$: 目標点の位置を表す関数

$\hat{x}$: 予測の中心 (Fig.2 参照)

$v(t)$: 目標点の速度を表す関数

と表される。この予測のモデルの検証のために、下記の測定を行った。

Fig.1の実験システムを用いて、モニタースコープ上に目標点を示し、この目標点のあるパターンに従い、一定時間ごとに移動させた。その際、目標点が静止している間に、次に目標が来る位置を予測させた。予測点の指示方法は、ボタン付制御レバーを用い、操作点を予測位置に動かし、ボタンを押すという手段を用いた。

被験者1人に対して要領を覚えさせるために2度練習させた後、9回の試行を続けて行った。3回の試行が組になり、各組の表示更新の時間間隔は、1.5秒、1秒、0.5秒とした。

1回の試行について100点の表示を行い、その時の目標点の動きのパターンは、2つの正弦波を合成したものを用いた。その合成波の位相、振幅、周期は乱数を用いて決定し、毎回パターンを計算した。

被験者は、男子学生ら8名を用いた。

なお、目標の動きは水平方向で、操作点は、目

標の動作線から3cm離れた平行線上を動く。

また、理想的には、3, 3の実験と条件をそろえる意味で、連続的に動く目標点に対する測定を行うことが望ましいが、連続的であると、どの時点でどの時点に対する予測を行ったか明らかでないため、目標点の動きは断続的なものを用いた。

3. 2. 2 予測実験の結果

測定結果の一例をFig.3に示す。下段は、予測されるべき目標パターンと予測結果を表示時系列に従ってプロットしたもので、上段は、目標の位置が変化してから予測値を入力するまでの反応時間を表示間隔に対するパーセンテージで示してある。反応時間が100%のものは、その時間内に予測入力のなかったものを示す。これは、主に目標パターンのピークなど目標点の移動量が極めて小さい時や速度の過大評価による予測の行き過ぎが発生した時の調整などの時に現れると考えられるので、前の予測点と同じ点を予測したと解釈した。

これらのデータを用いて予測モデルの検証を行った。第1に、次の式を用いて予測点の目標点による重回帰分析を行った。

$$\hat{x}_{k+1} = a_0 + a_1 \cdot x_k + a_2 \cdot \Delta x_k + a_3 \cdot \Delta^2 x_k + \dots + a_5 \cdot \Delta^4 x_k \quad (8)$$

但し、 $\hat{x}_{k+1}$: $k+1$ 番目の目標点の予測値

x_k : k 番目の目標点の位置

$\Delta^i x_k$: x_k の第 i 差分

$$\begin{aligned} (\Delta^i x_k) &= \Delta^{i-1} x_k - \Delta^{i-1} x_{k-1}, \\ \Delta^0 x_k &= x_k \end{aligned}$$

その結果をTable 1に示す。表に示されるように、 $\Delta^2 x_k$ なども有意ではあるが、その寄与は小さい。実際、 x_k , Δx_k のみによる回帰でも、相関係数はほとんど変りがない。また a_0 は $a_1 \cdot \sigma(x_k)^*$ に対して1%以下なので、 $a_1 x_k$ に対して無視できる。 Δx_k は速度に比例した量と考えられるので、モデルの7-2式は成り立つと考えられる。

次に、7-2式に示される予測の中心 $\hat{x}$ の回りの予測の分布を調べよう。

* $\sigma(x_k)$ は x_k の標準偏差を表す。

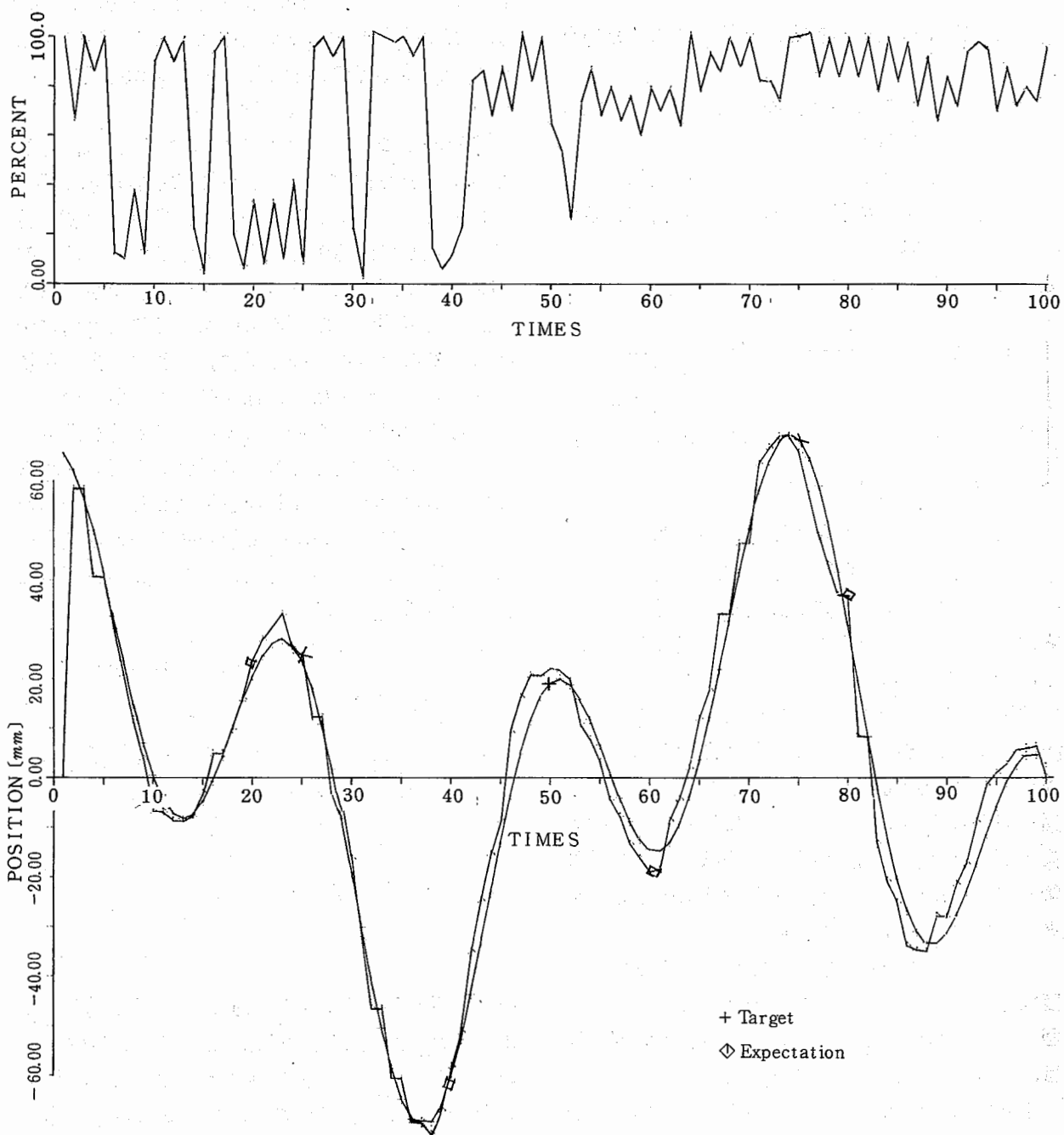


Fig.3 An Example of Raw Data of Expectation Experiment

Table 1 The Standard Regression Coefficients

subjects	Standard Regression Coefficients					multiple correlations
	$x_{\%}$	$\Delta x_{\%}$	$\Delta^2 x_{\%}$	$\Delta^3 x_{\%}$	$\Delta^4 x_{\%}$	
A	0.966 ***	0.284 ***	0.007	0.026 **	- 0.031 ***	0.991
A	0.957 ***	0.265 ***				0.991
B	0.985 ***	0.252 ***	0.055 ***	- 0.013 **	0.001	0.997
B	0.946 ***	0.269 ***				0.996
C	0.969 ***	0.215 ***	0.024 ***	- 0.003	- 0.006	0.994
C	0.951 ***	0.221 ***				0.994
D	0.974 ***	0.276 ***	0.043 ***	0.000	- 0.015 ***	0.997
D	0.942 ***	0.282 ***				0.996
E	0.974 ***	0.251 ***	0.042 ***	- 0.002	- 0.038 ***	0.993
E	0.992 ***	0.257 ***				0.992
F	0.956 ***	0.247 ***	0.019 *	- 0.000	- 0.012 *	0.991
F	0.941 ***	0.250 ***				0.990
G	0.989 ***	0.254 ***	0.064 ***	- 0.015 **	0.003	0.996
G	0.944 ***	0.274 ***				0.996
H	0.989 ***	0.241 ***	0.070 ***	- 0.026 **	0.011 ***	0.997
H	0.943 ***	0.269 ***				0.996

*** significant at 0.1% level by T-test

** significant at 1% level by T-test

そのためには、各 v ごとに、 $y - \hat{x}$ のヒストグラムを作ればよい。 v は、 $\Delta x_{\%}$ に対応し、また y は予測点、 $\hat{x}$ は(8)式の回帰による点(ただし $a_0, a_3 \sim a_5$ は 0)に、それぞれ対応する。 $y - \hat{x}$ に対応するものを残差と呼ぶことにすると、上述のヒストグラムは各 $\Delta x_{\%}$ に対する残差のヒストグラムになる。 $\Delta x_{\%}$ の絶対値 $|\Delta x_{\%}|$ を 16 にクラス分けして、各 $|\Delta x_{\%}|$ ごとに残差の平均値、標準偏差を求めた。また、この残差を各 $|\Delta x_{\%}|$ のクラスごとに、それぞれの標準偏差に比例した大きさのクラスに分けて、度数分布を求めた。これらを Table 2 に示す。

また、 $|\Delta x_{\%}|$ に対する残差のヒストグラムの 1 例を Fig. 4 に、 $|\Delta x_{\%}|$ と残差の平均、標準偏差を Fig. 5 に示す。

Fig. 5 に見られるように、残差の標準偏差((7-3)式の σ に対応する)は $|\Delta x_{\%}|$ に対して近似的には直線的な増加の傾向を示す。従って、(7-3)式は妥当と思われる。また Fig. 4 の分布の形は、おおむね正規分布で近似できる。従って、(7-1)式も妥当と思われる。以上のことから、(7)式の予測モデルの妥当性が明らかになった。

Table 2 Frequency Table , Mean and S.D. of Residuals
corresponding to velocity classes

velocity class No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
velocity range (mm/s)	~18.9	~37.7	~56.6	~75.4	~94.3	~113.1	~132.0	~150.9	~169.7	~188.6	~207.4	~226.3	~245.1	~264.0	~282.9	~301.7	
Mean of residuals (mm)	-0.16	-0.21	-0.17	-0.14	0.00	0.16	-0.33	0.41	-0.15	0.02	-	0.30	0.45	0.14	0.31	0.20	
S.D. of residuals (mm)	1.84	2.51	2.68	2.78	2.74	3.35	3.63	2.27	2.77	3.25	-	3.92	9.45	3.76	3.94	6.24	
residuals class number	1	2	2	6	7	4	1	4	0	2	3	0	2	0	3	2	1
	2	0	2	1	1	1	1	2	0	1	1	0	1	0	3	1	1
	3	0	1	1	1	2	0	1	0	0	2	0	0	0	1	0	1
	4	2	2	1	4	4	2	0	3	0	1	0	0	0	1	0	2
	5	0	4	3	2	5	4	2	2	1	3	0	0	0	1	1	1
	6	2	3	2	5	2	1	5	4	0	4	0	2	0	3	1	1
	7	2	4	1	3	8	4	2	3	2	2	0	1	0	2	2	0
	8	4	4	2	11	3	0	5	0	2	8	0	4	1	4	3	2
	9	5	8	5	10	11	1	5	2	3	11	0	2	3	3	1	2
	10	3	9	4	12	17	5	9	9	6	10	0	8	0	5	3	1
	11	5	10	8	9	9	6	6	8	10	12	0	4	2	5	10	4
	12	6	14	13	29	27	6	16	10	16	15	0	11	6	10	15	5
	13	7	12	7	24	23	4	15	13	7	22	0	7	5	11	4	4
	14	14	8	13	26	22	12	25	8	10	22	0	15	9	19	10	8
	15	14	19	22	39	30	14	31	9	8	24	0	8	9	17	9	8
	16	14	24	32	32	44	25	28	14	18	40	0	13	8	22	18	13
	17	16	29	36	54	42	14	28	18	12	39	0	15	30	18	15	8
	18	21	28	31	41	42	14	27	14	21	37	0	14	34	16	17	14
	19	10	26	23	49	45	17	36	7	12	38	0	20	47	25	17	9
	20	36	54	60	110	81	29	76	23	29	94	0	34	99	40	30	26
	21	22	23	35	59	51	11	49	17	16	52	0	15	48	23	20	10
	22	14	31	29	55	43	18	24	16	16	37	0	16	21	28	15	11
	23	13	25	24	44	42	18	37	18	9	27	0	11	21	19	19	10
	24	12	30	24	43	42	20	26	20	20	26	0	20	12	18	12	7
	25	12	22	21	30	33	11	27	11	13	27	0	15	14	12	13	7
	26	11	18	12	23	23	13	19	12	14	22	0	14	5	15	11	5
	27	10	20	15	20	20	12	14	14	6	19	0	10	4	14	5	7
	28	2	11	9	24	16	6	13	9	8	15	0	8	3	8	7	4
	29	4	6	5	16	17	4	16	6	2	12	0	4	1	8	5	3
	30	6	9	7	11	17	2	7	5	6	10	0	5	0	7	5	4
	31	4	6	9	13	12	2	0	2	5	10	0	0	0	4	4	3
	32	3	5	5	3	10	1	4	3	3	6	0	0	0	7	3	3
	33	5	2	2	3	3	1	1	3	1	2	0	0	1	4	1	2
	34	2	1	4	4	6	1	1	2	1	3	0	3	0	4	2	1
	35	2	1	2	2	1	2	1	1	0	1	0	0	0	1	2	2
	36	0	0	0	3	3	1	3	0	3	1	0	0	0	1	3	0
	37	0	2	1	3	1	0	3	0	2	0	0	1	0	1	0	1
	38	0	1	0	2	1	0	1	0	2	4	0	1	0	0	0	0
	39	0	0	1	2	1	2	3	2	1	3	0	1	0	1	1	1
	40	3	4	4	7	4	3	4	0	0	7	0	3	1	0	1	0
Total	288	480	480	836	768	288	576	288	288	672	0	288	384	384	288	192	

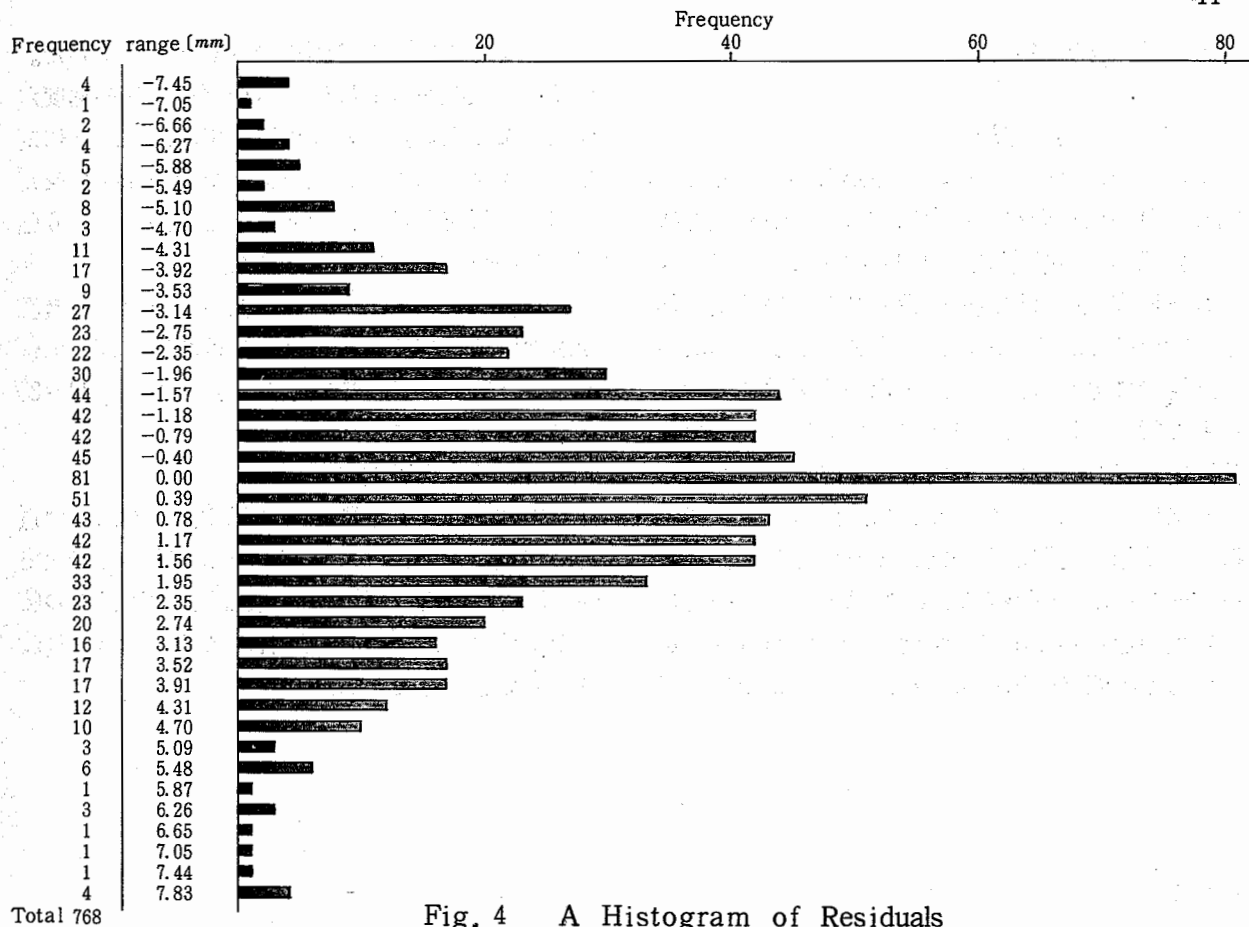


Fig. 4 A Histogram of Residuals

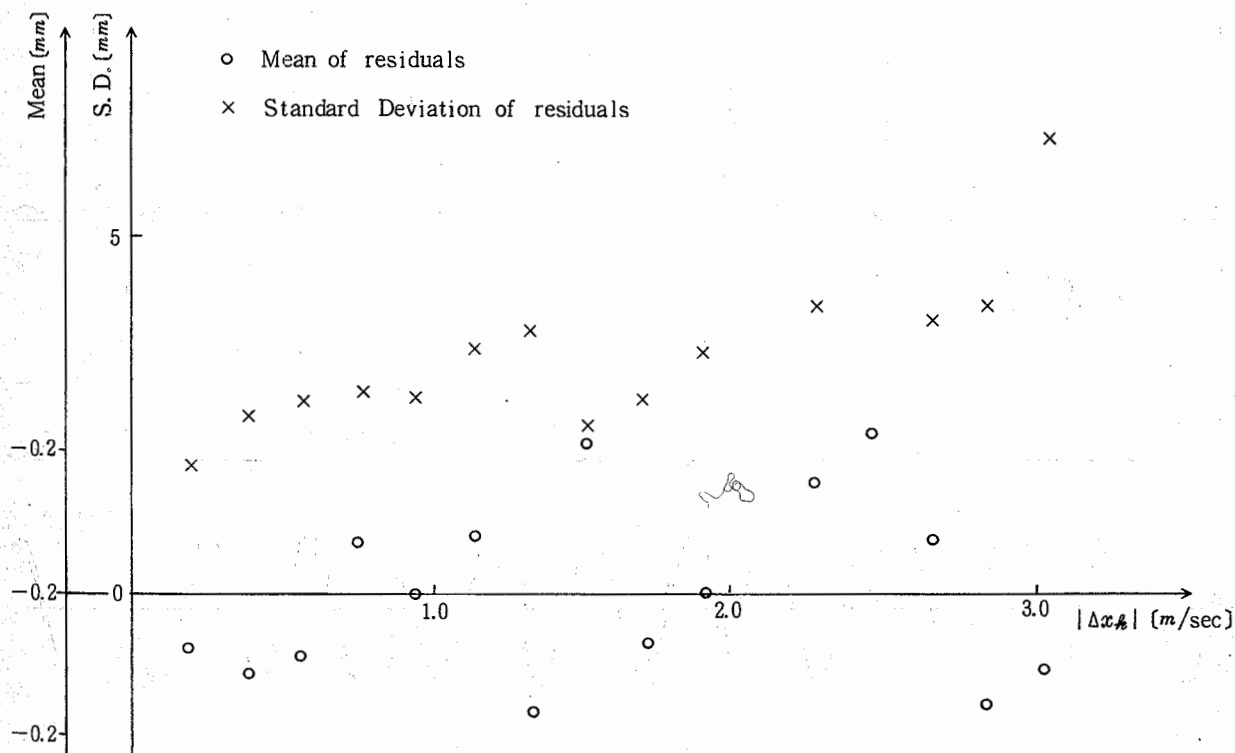


Fig. 5 Mean and S.D. of Residuals

3. 3 追従実験

3. 3. 1 実験方法

モニタースコープ上に、あらかじめ計算機で作成しておいた目標パターンに従って、目標点を次々に表示し、被験者に、制御レバーによって操作される操作点を目標点に一致させるという追従作業を行わせた。この際、点の動きがチラつかないで連続的に見えるように、表示の更新は10 msecごとに行った。また、目標パターンは、2つの正弦波を合成したもので、被験者がパターンを覚えられないように、各試行ごとに、乱数によって、振幅、位相、周期などを定めて、計算した。なお、パターン長は、1,024点で、1周期分のデータを含む。

以上の追従動作中に、乱数によって前もって定めてある時間（表示点数）がたつと、この目標パ

ターンを今までと逆の順に表示するようにした。この時、被験者の目には、目標パターンの速度が反転してみえる。このようにして、追従動作に対し、モニタースコープ上で特異現象を発生させた。一回の試行時間は40秒であり、その間に3～6回程、この特異現象を発生させた。

各被験者ごとに、一定の目標パターンで特異現象がない追従作業を、4試行分行わせ、作業に慣れさせた後、8試行を行った。被験者は、22～30歳の男子6名である。

3. 3. 2 実験結果

実験結果の一例をFig.6に示す。下段は目標点と操作点のモニタースコープ上の位置の時間変化で、中段はその制御成績の時間変化、上段は目標の特異度を示す。若干の時間遅れはあるが、おおむね良く追従を行っている。

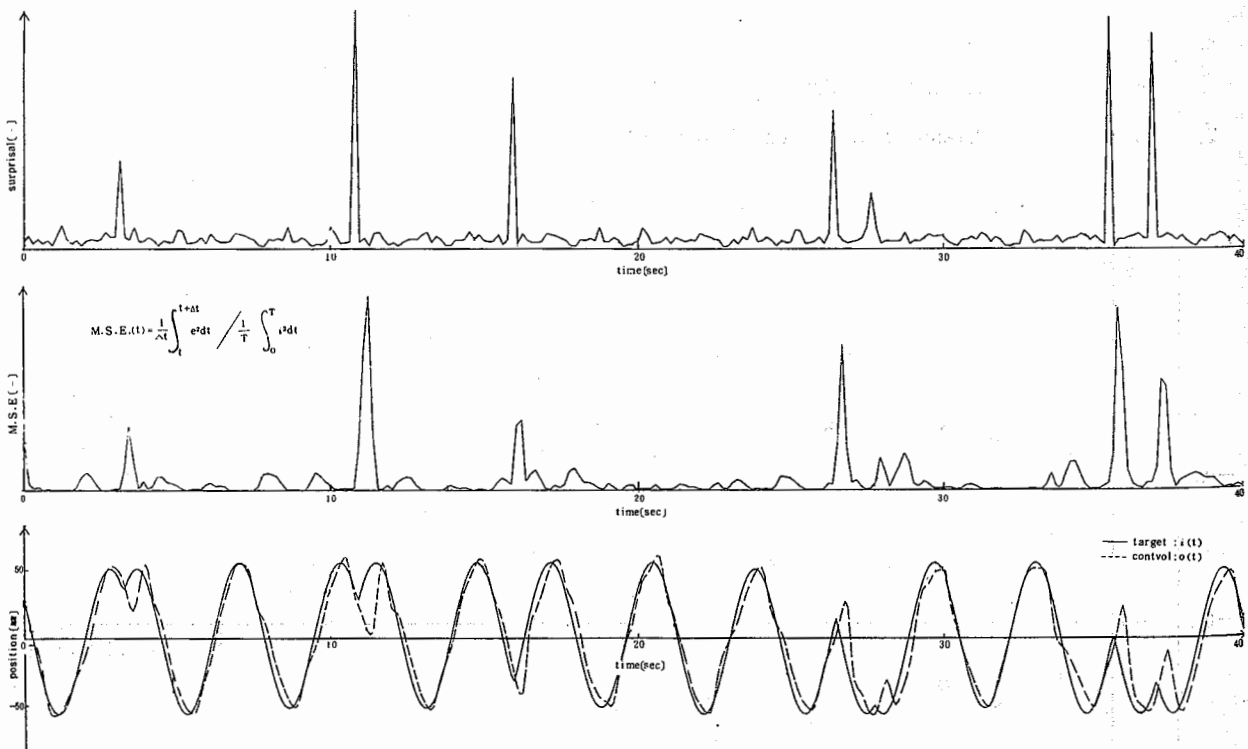


Fig.6 A Result of Pursuit Tracking

制御成績の評価法は、種々の方法があるが、ここでは、もっとも一般的な、目標値と追従値の差の二乗積分を用いた。ただし、積分は、全区間に対してではなく、小時間区間ごとに行い、その時間変化を示した。なお、この値が大きい程成績は悪い。

特異度は、(7)式の予測確率を(5)の特異度の式に代入して計算した。なお、(7)式は連続量に対するものなので、(5)式のサンメションを形式的に積分で置きかえた。

図でも明らかなように、入力の特異度が大きくなると、それに応じて制御成績も悪化している。その対応関係は極めて良好である。従って、前章で定義した特異度というものが、追従作業の難易度の一つの指標となり得ると言えよう。このことはまた、前章の手法が有効であることを意味している。

なお、制御成績と特異度の単純相関を取っても、時間遅れがあるため、小さな相関しか得られなかった。この両者の正準相関を取ると、各試行について、0.92～0.60の間の相関が得られた。

また、被験者の実験に対する感想として、「速度が反転した後で、目標点の動きが早くなったように見えた。」

「目標点と操作点が完全に重なると、どっちがどっちだか分からなくなり、逆に操作してしまった。」などの興味ある意見が得られた。

2番目の感想を述べた被験者の試行のうちで、目標の特異度は小さいのに、急に制御成績が悪くなったものがあったが、これは、感想にあるような情況に対応するものと考えられる。これは、目標点と操作点の形状的区別をつけなかった実験上の失敗によるものと言えるが、これを前章の理論で説明するならば、操作点の予測に関するずれが大きくなったためと考えられるのではないだろうか。実験者の期待通りに実験が行われている時は、操作点は制御レバーに比例して動くので、操作点に対する予測のずれは、十分小さいと思われる。操作点と目標点を取り違えた時は、意図する動きに対して、いわば逆に操作点が動くのだから、実験で用いた特異現象と同じことになると言えよう。

4. おわりに

人間の予測確率を用いて、現象の特異度を評価する手法を示した。以下に概要を述べる。

1. 特異現象を人間に驚きを与える現象と定義し、その驚きの大きさ（驚愕度）で、特異度を評価する。
2. 驚愕度は、予測と現実とのずれの大きさ（はずれ度）、重要度、緊急度の関数として表される。
3. 予測を確率で表現し、この予測確率を用いて、予測と現実のずれを計算する。

以上の手法を用いて、追従制御実験における入力の特異度を計算し、制御成績と比較した結果、よい一致がみられた。

今後は、今回扱わなかった、重要度・緊急度と特異度に関する論議、実験などを行い、この手法の不備な点を補っていきたい。

参考文献

- 1) 長町三生他：カルマンフィルタと人間の推定機能の比較に関する研究、人間工学 Vol・14, No.3 (昭55.8.22受理)

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-29-1

昭和56年1月20日 発行

発行所 労働省産業安全研究所

〒108 東京都港区芝5丁目35番1号

電話 (03) 453-8441 番(代)

印刷所 プロ製版印刷株式会社

U.D.C. 662.61 : 534.222

燃料～空気混合ガスの爆ごう濃度限界

松井英憲

産業安全研究所研究報告

RIIS-RR-29-3, 1~15 (1981)

爆ごう濃度限界の測定値が、測定方法によって非常に異なることや、爆ごう濃度限界の標準的な測定方法が確立されていないことに対して、爆ごう限界に対する正しい認識を得ることと、燃料～空気混合ガスの真の爆ごう濃度限界を決定することを目的として研究を行った。

水素、メタン、エチレン及びプロパンと空気の混合ガスについて、爆ごう波管を用いて、爆ごう濃度限界に及ぼす起爆方法、管径及び管路の障害物の影響について実験を行い、爆ごう濃度限界に及ぼす諸因子の解明を試みた。

(図11, 表6, 参26)

UDC 662.61 : 534.222

Composition Limits of Detonability in Fuel-Air Mixtures

by H. Matsui

Research Report of the Research Institute of Industrial Safety

RIIS-RR-29-3, 1~15(1981)

The aim of this study is to clarify the criteria of propagation of a detonation wave in fuel-air mixtures and to establish the standard operational definition for the detonability limits based on experiments.

Detonation parameters have been determined in fuel (H_2 , CH_4 , C_2H_4 and C_3H_8)-air mixtures in 1" and 2" tube with different initiation methods and driver sources. It was found that the detonable composition range strongly depends on the strength of the blast wave from the driver detonations.

(11 figures, 6 tables, 26 references)