自動車用ラジオ選局ボタン番号の持つ エントロピーと平均識別時間の関係* (横一列6個ボタン配列3種類についての比較)

池 村 澄 男^{*1}

Relation between Entropy and Recognition Time of Station Selecting Button Number for Automobile Radio (Comparison Among 3 Types of Horizontal 1 Row 6 Buttons Arrangement)

Sumio IKEMURA^{*2}

^{*2} Department of Transportation Engineering, Meijo University,
1-501 Shiogamaguchi, Tempaku-ku, Nagoya-shi, Aichi, 468-8502 Japan

There are many references on "Information Theory" that treat information amount and entropy, but no study has been reported on the practical usage of this theory. In this study, this theory was tried on the recognition time of station selecting button number for automobile radio. Process to seek button number is considered to depend on button arrangement, and recognition time to depend on the information amount and entropy possessed by the button arrangement. So information amount and entropy were calculated and recognition time was measured, for three types of button arrangement: one set of six buttons (1×6), two sets of three buttons (2×3) and three sets of two buttons (3×2). It was found that there is a strong correlation between entropy (average information amount of each button arrangement) and average recognition time of six buttons, for three types of button arrangement. To seek by smaller entropy, average recognition time was found to be shorter. Recognition time, especially for the inner ones of six buttons was found to become shorter by dividing six to two or three sets.

Key Words: Human Engineering, Automobile, Recognition, Entropy, 6 Radio Buttons, Button Arrangement, Process to Seek Button, Information Amount, Recognition Time

1. 緒言

情報理論に関する文献⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾では、色々の説明がなされているが、この理論にある情報量やエントロピーを実用品に適用したものが見当たらないので、実用されている部品、ここでは自動車用ラジオの3種類のボタン配列について、各ボタンの探し方への適用を試みた。

ボタン配列の各ボタンの持つ情報量の平均値であるエントロピーは、その複雑さ、分かなさの尺度であるから、情報量とかエントロピーが大きいほど、そのボタンを探す時間が長くなるものと考えられる。したがって情報量とかエントロピーの大きさと平均識別時間の間に相関的な関係が得られれば、各種ボタン配列の持つエントロピーを計算するだけで、どのボタン配列が最適であるかを予想できることとなり、この手法が確立されればラジオに限らず各種ボタ

ン配列の評価に適用できる可能性があると考えられる。

ラジオ選局ボタンを識別する方法には、目的の番号を順番に各ボタン番号と照合しながら直接探し出す「データ駆動型処理 (data-driven processing)⁽⁴⁾」によって順番に探す方法もあるが、番号の配列を考慮して目的の番号のありそうな位置を概念的にとらえる「概念駆動型処理 (conceptually driven processing)⁽⁴⁾」によって目的のボタン番号を探す方法が多いのではないかと考えられる。

概念駆動型処理の場合には、その探し方はボタンの配列によって異なり、各ボタンの持っている情報量によって影響されるものと考えた。ボタン配列毎に各ボタンの持っている情報量を計算し、対応する各ボタンの識別に要する時間を実測して、情報量との識別時間との関係と、各ボタン配列の持つエントロピーとそのボタン配列の平均識別時間との関係について検討する。

2. ボタン配列の持つ情報量

2-1 情報量およびエントロピーの計算条件

* 原稿受付 2002 年 12 月 20 日。

^{*1} 正員, 名城大学理工学部(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜 口1-501)。

E-mail: ikemura@ccmfs.meijo-u.ac.jp

一般に生起確率を p_i とすれば情報量: h_i は(1)式, 情報量の平均値であるエントロピー: H_{Av} は(2)式で表される⁽³⁾.

$$h_i = \log_2 \frac{1}{p_i} \quad \text{----- (1)}$$

$$H_{Av} = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 \frac{1}{p_i} \quad \text{----- (2)}$$

図1に示す3種類のボタン配列の持つ情報量を計算する.

Fig.1 Button Arrangements

2.2 6個のラジオ選局ボタンを探す過程の基本パターン

2.2.1 パターン I 図2に示すような二者択一の要領⁽¹⁾で探すとして求めた推定情報量を, 表1と図5に示す.

Fig.2 Process to seek button number PATTERN I

Table 1 Estimated amount of information to seek each button number PATTERN I $H_{Av} = 3.333$ bits

Button no.	1	2	3
Information amount (bits)	$\log_2 2$ 1.000	$\log_2 4$ 2.000	$\log_2 8$ 3.000
Button no.	4	5	6
Information amount (bits)	$\log_2 16$ 4.000	$\log_2 32$ 5.000	$\log_2 32$ 5.000

1の持つ情報量は「第1段階の左にある」という情報で $\log_2 2 = 1.000$ となる。2の持つ情報量は「第1段階の右のグループにあり, 第2段階の左にある」ということで, $\log_2 2 + \log_2 2 = \log_2 4 = 2.000$ bits となる。以下3~5は同様に算出できるが, 6の持つ情報量は「第5段階の右にある」ということで5と同じ情報量となる。

したがって, パターン I の場合, 各ボタンの持つ情報量の平均値、すなわちエントロピーは 3.333 bits となる。

Fig.3 Process to seek button number PATTERN II

Table 2 Estimated amount of information to seek each button number PATTERN II $H_{Av} = 2.667$ bits

Button no.	1	2	3
Information amount (bits)	$\log_2 4$ 2.000	$\log_2 8$ 3.000	$\log_2 8$ 3.000

2.2.2 パターン II 図3に示す二者択一の要領で, 両端から探すとして求めた推定情報量を, 表2と図5に示す。

1は「第1段階の左グループに, 第2段階の左にある」ということで, 1の持つ情報量は, $\log_2 2 + \log_2 2 = \log_2 4 = 2.000$ bits となる。2の持つ情報量は「第1段階の左グループに, 第2段階の右グループに, 第3段階の左にある」ということで, 2の持つ情報量は, $\log_2 2 + \log_2 2 + \log_2 2 = \log_2 8 = 3.000$ bits となる。同様に3の持つ情報量は「第3段階の右にある」ということで2と同じ情報量となる。4~6の情報量は右端の6を基準にして同様に算出される。

したがって, パターン II の持つエントロピーは 2.667 bits となる。なお表2の右半分は, 左右対称で同じことの繰り返しなので省略した。

2.2.3 パターン III 図4に示す三者択一と二者択一の要領で探すとして求めた推定情報量を表3と図5に示す。

1の持つ情報量は「第1段階では三者択一の左グループにあり, 第2段階では二者択一の左にある」ということで, $\log_2 3 + \log_2 2 = \log_2 6 = 2.585$ bits となる。2の持つ情報量は「第2段階の右にある」ということで, 1と同じ 2.585 とな

Fig.4 Process to seek button number PATTERN III

Table 3 The estimated amount of information to seek each button number PATTERN III $H_{Av} = 2.585$ bits

Button no.	1	2	3
Information amount (bits)	$\log_2 6$ 2.585	$\log_2 6$ 2.585	$\log_2 6$ 2.585

る。3～6の持つ情報量は同様に 2.585 bits となる。

したがって、パターンⅡの持つエントロピーは 2.585 bits となる。

一般に n 個の生起する確率 p_i が等しい場合は、 $p_i = 1/n$ となり、情報量の平均値であるエントロピー: H_{AV} は(3)式で表される⁽³⁾から、 $n=6$ の場合は

$$H_{AV} = \log_2 n = \log_2 6 = 2.585 \text{ ----- (3)}$$

となる。6個のボタンをどのような探し方をしてもエントロピーの最小値は 2.585 bits であると言えるので、PATTERN Ⅲはエントロピー最少の探し方をしていると言える。

2.3 ボタン配列の持つエントロピーと

ボタン番号の視探索総時間(識別時間)

以上の情報量計算結果を図5に示す。ボタン配列の番号を探すのに要する視探索総時間は、ボタン配列の持つエントロピーに比例すると考えられるので、図1 (a)の連続6個タイプはパターンⅠで、図1 (b)の2分割タイプはパターンⅡで、図1 (c)の3分割タイプはパターンⅢはでボタン番号を探すものと仮定すると、(a)、(b)、(c)の順番に視探索総時間(識別時間)が短くなることが予想される。

Fig.5 Estimated amount of information to seek
each number 3 BASIC PATTERNS

3. 識別時間の定義および試験方法

3.1 識別時間

3.1.1 識別時間の定義 ラジオ選局ボタンの操作時に視線が前方視界から離れる時間は、図6に示すように、視線の移動時間(往)、識別時間および視線の移動時間(復)からなる。識別時間は、視線が選局ボタン付近に到

達した瞬間から、番号を識別して視線が選局ボタンから離れる瞬間までの時間とした。

3.1.2 識別時間の測定 今回は識別時間にのみ注目して測定するため、被験者には「ボタン番号を識別したら、直ちに視線を前方視界に戻す」ように指示した。

図6に示すEOG (electro-oculogram)の出力(視線の変位に相当)と、これの微分値(視線の移動速度に相当)を、計測用のCRT画面上に表示した。なおEOGの出力は、正が右方向を、負が左方向を示す。

Fig.6 EOG Output (eye movement)

3.1.3 識別時間の解析 視線始動の瞬間にはEOG出力の微分値が0から離れ、視線の目標付近到達の瞬間には微分値が0となると考えて解析した。

なお、横軸の時間はカーソルを合わせれば、1 millisecond の単位で読みとれるようになっている。

念のため試験の初めにアイマークカメラとCCDカメラを併用し、これらの画像を四画面合成器で合成した結果を解析⁽⁵⁾して、被験者の目の動きがEOG出力と対応していることを確認した。

3.2 試験方法

3.2.1 自動車の模擬運転席 乗用車の運転席部分を切り取り、ステアリングホイール、アクセル・ブレーキペダルに、適当な抵抗を付加して極力違和感が無いようにし、これらの操作量は、A/D変換してCRT画面に連動させた。

3.2.2 自動車の前方視界 前方視界の代わりに、図7に示すような幅のある目標枠と、被験者の運転操作と連動

して動く制御反映枠をCRT上に表示した⁽⁶⁾。被験者の視線を前方視界に集中させるため、目標枠を左右方向に移動したり、枠の大きさを拡大(速度大に相当)・縮小(速度小に相当)したりし、これに対応して、被験者にはステアリングホイール、アクセル・ブレーキペダルなどを操作させて、制御反映枠を目標枠の幅の中に合わせる作業をさせた。

Fig.7 Forward scene drawn in CRT

実際の運転では、左右の動き、発進停止は予見できることが多いので、左右の矢印を表示、停止時には黄・赤信号を、発進時には青信号を出して被験者が予見できるようにした。

またゲーム感覚を出しながら被験者に正確な操作をさせるために、制御反映部が目標部に合っているときは、点数を増加、合っていないときは警告音を出しながら、点数を減少させて、制御成績を点数で画面に表示した。

3.2.3 被験者 年令21~24才の男子学生8名で、普通自動車運転免許保持者である。

3.2.4 試験品 市販品にはこのような3種類の配列のラジオがあるがボタンの大きさが異なるので、試験品差を無くするために市販品の平均的な大きさのボタンを選択し、図8

に示すような3種類の選局ボタン配列の模型を作って使用した。

Button size 10×19 mm, Number size 4×3 mm

Fig.8 Button arrangements

3.2.5 試験要領 各配列の各番号について10回以上試験し、番号指示は図7中央の目標枠の中に提示し、その提示順序は乱数表で決めた。

4. 試験結果

図9に選局ボタン番号識別時間の実測結果を、各被験者別に示す。図中の表内に識別時間のボタン配列別の平均値と、目標部に制御反映部を合わせる作業の制御成績の点数を記載した。

なお実測データの中で平均値の2倍以上となり、明らかに実験ミスと思われるものは除外した。

Fig.9 Measured recognition time for one row

3 types of button arrangement

Average±Standard deviation of recognition time

図9の試験結果より、全被験者の識別時間実測値を平均した結果を表4に示す。

Table4 Average of measured recognition time including all subjects for 3 button arrangements. unit:s

Button no.	1	2	3	4	5	6	Avg.
1×6	0.381	0.462	0.495	0.514	0.470	0.415	0.457
2×3	0.376	0.440	0.459	0.474	0.481	0.422	0.442
3×2	0.361	0.428	0.466	0.473	0.442	0.402	0.429
Overall Avg.	0.373	0.445	0.475	0.489	0.464	0.413	0.444

5. 情報量と識別時間実測値の関係についての考察

5・1 連続6個タイプ 表1の情報量と図9に示す被験者Aの識別時間全実測値との間の関係を図10の上部に示すが、強い相関関係がある。被験者Aの場合、ボタン番号5, 6の識別時間がパターンIに較べて短いので、被験者に確認した結果、「基本的には左基準で探しているが、5, 6になると途中から右端基準で探す」とのことであった。

Fig.10 Correlation between estimated information amount and measured recognition time for 1×6 SUBJECT A

図11に示すように、「1, 2まで来たとき、第3段階で6は右にある、5は残りグループの右にある」と探すと仮定して情報量を算出すると、表5に示すようにエントロピーは2.833bitsとなる。このパターンI Mod.を用いると図12となり、このパターンI Mod.の情報量と被験者Aの識別時間との相関関係は図10の下部に示すように、さらに強くなる。

Fig.11 Process to seek button number PATTERN I Mod.

Table5 Estimated amount of information to seek each button number PATTERN I Mod. $H_{AV.} = 2.833$ bits

Button no.	1	2	3
Information amount (bits)	$\log_2 2$ 1.000	$\log_2 4$ 2.000	$\log_2 8$ 3.000
Button no.	4	5	6
Information amount (bits)	$\log_2 16$ 4.000	$\log_2 16$ 4.000	$\log_2 8$ 3.000

Fig.12 Estimated amount of information to seek each button number MODIFIED PATTERNS

被験者B～Eの識別時間はパターンIIの情報量と、被験者F～Hの識別時間はパターンIIIと類似している。図9の連続6個の識別時間実測平均値を、パターンI Mod., II, IIIに類似した被験者のグループに分類して、それぞれ平均した結果を図13に示す。

図13を図2の基本パターンおよび図12のMod.パターンと比較すると、被験者Aの場合はパターンI Mod.と、被験者B～Eの場合はパターンIIと、被験者F～Hの場合はパターンIIIとかなり類似していると言える。

Fig.13 Average of measured recognition time for 1×6 corresponding to 3 BASIC PATTERNS

5・2 2分割タイプ 最初から6個のボタン配列を中央で左右に2分割しておけば、パターンⅡの探し方になると考えて試験したが、予想通りにはならなかった。

一部番号の識別時間が短くなったが、個人差が大きくて共通するパターンは見出せなかった。

5・3 3分割タイプ 最初から6個のボタンを各2個に3分割すれば、パターンⅢの探し方になると予想して試験した。被験者によっては予想と大幅に異なる結果となったが、パターンⅢで探すように仕向けるので、フラットな形状が多く識別時間が短くなった。

被験者Aは常に左から探す傾向で、パターンⅠ Mod.に近いが、3～5では明らかに分割の効果が見られる。

被験者Bの識別時間はパターンⅢに近く、被験者Cの識別時間は一部分割の効果が見られるが、被験者Dでは分割の効果が見られない。

被験者F, G, Hは3配列ともにフラットに近く、常にパターンⅢで探していると考えられる。

5・4 全タイプ 以上の検討結果より各配列各被験者についての推定視探索パターンをまとめると表6となる。

Table6 Estimated PATTERS to seek buttons

SUBJECT	A	B	C	D	E	F	G	H
1×6	I Mod.	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
2×3	I Mod.	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
3×2	I Mod.	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ

表6を見ると、ボタン番号配列を変更したにも拘らず、各被験者の推定視探索パターンは殆ど変わっていない。しかし、これに対応した実測平均識別時間は図7となり、被験者F, G, Hのように連続6個配列でもパターンⅢで探す場合は、ボタン番号配列を変更しても変わらないが、パターンⅠ Mod.とかパターンⅡで探す他の被験者の場合は、分割することによって平均識別時間が短くなっており、分割の効果がある。推定視探索パターンが変化してないにも

Table7 Average of measured recognition time unit:s

SUBJECT	A	B	C	D	E	F	G	H	Avg.
1×6	0.523	0.425	0.547	0.523	0.668	0.431	0.290	0.292	0.457
2×3	0.515	0.377	0.540	0.471	0.673	0.361	0.262	0.327	0.442
3×2	0.434	0.369	0.514	0.491	0.639	0.404	0.290	0.322	0.429

拘らず識別時間が短くなっているのは、分割による情報量の減少と対応していると推定される。なお全体としては個人差が大きくて、個別には評価できないことが分かった。

6. エントロピーと平均識別時間についての考察

個人差が大きくて被験者毎の評価ができないが、全体としては分割によって識別時間が短縮されているので、観点を変えてボタン配列全体として評価してみる。

各ボタン配列に対応して算出した図5に示すエントロピーと、表7の平均識別時間の関係を見ると、図14のようになり、非常に強い相関関係があると言え、最初に予想した通り、3種類のボタン配列の平均識別時間は、各配列の持つエントロピーの大きさと対応していることを裏付けている。

Fig.14 Correlation between estimated entropy and measured average recognition time for all subjects for 3 button arrangements

ボタン番号別の傾向を見るために、表4の結果を、各ボタン番号別平均識別時間の短い順に並べ替えたものを、図15にグラフで示す。

情報量と識別時間の関係を見るために、表6に示す各パターンの情報量を求めて、図15に対応する図を求める、図16に示すようになる。

図15より、2分割タイプにおける一部の例外を除き、3種類のボタン配列に共通して、各ボタン番号の平均識別時間は1, 6, 2, 5, 3, 4の順に識別時間が短くなっている。言い換えると、両端に近いほうが短く、しかも両端から同じ位置では数字の小さい左のほうが、識別時間が短くなっている。

図16より、情報量についても若干の例外はあるが、実測した平均識別時間とほぼ同じ傾向になっている。

平均的に見ると、2分割タイプの分割部分にあるボタン番号3および4、3分割タイプの分割部分にあるボタン番号2～5の識別時間は、連続6個タイプの識別時間より短くなっており、明らかに分割の効果があると言える。

Fig. 15 Average of measured recognition time including all subjects for 3 button arrangements

Fig. 16 Average of estimated information amount including all subjects for 3 button arrangements

7. 結言

3種類の自動車用ラジオ選局ボタン配列:連続6個,2分割,3分割について各ボタン番号の持っている情報量と各配列の持っているエントロピーを計算するとともに,各ボタン番号の識別時間を実測して,各ボタン番号の持っている情報量と各ボタンの平均識別時間および各ボタン配列の持っているエントロピーと各ボタン配列の平均識別時間の関係を比較検討した結果,次のことが明らかとなった。

- (1) 連続6個タイプの左端基準で探すパターンⅠ(エントロピー 3.333 bits), 6個を左右に2分割して両端基準で探すパターンⅡ(エントロピー 2.667 bits), 6個を左, 中央, 右に3分割して探すパターンⅢ(エントロピー 2.585 bits)の基本パターンがあるが, 実際には派生パターンがある。
- (2) 各ボタンの持つ情報量と, 各ボタンの平均識別時間との間の相関関係は見出せなかった。

(3) 各ボタン配列の持っているエントロピーと各配列の平均識別時間との間には強い相関関係があり, 全体的に見るとエントロピーを計算すれば, 識別時間が予想できる可能性がある。

(4) 連続6個のタイプより, 6個のボタンを3個または2個のグループに分割したほうが, エントロピーが小さくなるので, 識別時間も短くなり, 実用性が高いと言える。

(5) 一部の例外を除き, 3種類のボタン配列に共通して, 各ボタン番号の平均識別時間は, 1, 6, 2, 5, 3, 4の順に短くなっており, 両端に近いほうが短く, 両端から同じ位置では数字の小さい左のほうが短くなっているため, 使用頻度の多いものをこの順序に設定する方法が考えられる。

文 献

- (1) 堀淳一, エントロピーとは何か「でたらめ」の効用, (1979), pp62-67, 講談社
- (2) 宮川洋, 電子通信大学講座39 情報理論, (1979), pp31-33, コロナ社
- (3) Mark S.Sanders and Ernest J.Mc Cormick, *HUMAN FACTORS IN ENGINEERING AND DESIGN*, (1987), pp44-45, McGraw-Hill.
- (4) P.H.Lindsay, D.A.Norman, 中溝幸夫, 箱田裕司, 近藤倫明(共訳), 情報処理心理学入門Ⅰ 感覚と知覚, (1983), pp9-11, サイエンス社
- (5) 川上祥央・神谷公一・濱谷克則, 運転者の覚醒度低下, 自動車技術, 46-9 (1992), p30
- (6) 大門樹・川嶋弘尚・赤松幹之, 車載情報機器搭載時における運転者の特性に関する研究, 人間工学, 29-3 (1993), pp158-159