

2201

自動二輪車用 HUD による情報伝送量の評価*

伊藤 研一郎^{*1}, 西村 秀和^{*2}, 小木 哲朗^{*2}

Evaluation of Motorcyclist Visual Information Capacity Using the Head-Up Display

Kenichiro ITO^{*1}, Hidekazu NISHIMURA and Tetsuro OGI

^{*1} Keio Univ. Graduate School of System Design and Management
Hiyoshi 4-1-1, Kouhoku-ku, Yokohama, 223-8526 Japan

Recently, automobile navigation systems are widely used designed with the visual information capacity controlled. On the other hand, current motorcycle navigation systems have not been designed dedicated for motorcycle use, potentially having risks or is not being used efficiently. Regarding it is known that motorcyclists have characterful gaze movement compared to the automobile driver, it is important to consider the visual information capacity. Despite the fact, we have been proposing the use of head-up display technology. Although since we only focused to prove the concept, we have not been taking into account about the fact of information amount necessary to provide. Thus, in this paper, we discuss about designing the information to present on the head-up display suitable for motorcyclist. We conducted a simulation experiment comparing different kind of characters with different amount of information evaluated by the motorcyclist gaze point movement. From the experimental results, we conclude that using symbols or *Hiragana* is possibly the necessary character type to present compared to *Kanji* or English words.

Key Words : Head-up Display, Immersive CAVE, Motorcycle Simulator, Navigation System, Human Interface

1. はじめに

四輪自動車用のカーナビゲーションシステム（以下、カーナビ）は広く普及しているのに比べ、自動二輪車用のカーナビは普及していない。自動二輪車用カーナビの普及が遅れている原因としては、四輪自動車に比べ路面を注意する必要があるため、現在利用可能なカーナビの小型ディスプレイでは運転中に情報を見ることが難しいことがあげられ、カーナビを利用する高い需要があるのにも関わらず普及していないと考えられる⁽¹⁾。そこで筆者ら⁽²⁾は運転中でも情報を見ることが容易と考えられるヘッドアップディスプレイを用いた情報提示装置を提案している。

これまでの筆者らの研究からは、ヘッドアップディスプレイを用いた情報提示において、情報伝達として効率的な情報提示位置⁽³⁾や、提示に適した情報量（文字数）⁽⁴⁾があることが明らかとなった。しかしながら、これらの実験で用いた提示情報はヘッドアップディスプレイ評価のために用意されたため、提示する情報そのものの検討はまだ行われていない。カーナビの提示する情報は進行方向や地名などの多様な情報を想定することができるため、本論文では提示情報そのものに焦点をあて、情報伝送量について評価実験を行った。

本論文では、評価実験として同じ意味を有する情報を記号と 3 種類の文字種の合計 4 種類の情報種別を用いて情報提示実験を行った。具体的には、没入型自動二輪シミュレータを用いてヘッドアップディスプレイへの情報提示実験を通じて運転者の情報視認時の視線移動データを計測した。計測結果から、運転者が提示情報に対して費やした視線移動の時間を評価し、自動二輪車運転中に適した提示情報の伝送量について論じる。

^{*1} 学生員, 慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 (〒 223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1)

^{*2} 正員, 慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科

E-mail: aa@z7.keio.jp

2. 自動二輪車運転者への情報伝送

2.1 情報量について

一般的に人が受ける情報はその量をあらわす方法として Shannon⁽⁵⁾による情報量の考え方がよく知られており、文字や画像を用いた情報伝送を考える時に広く用いられている。またこの情報量の考えに則った場合、脳内ニューロンの情報処理速度の制限から最大の情報伝送速度ほぼ 50bit/s と言われており⁽⁶⁾、情報の注視時間などを考慮する場合に用いられる。そこで本研究においてもこれらの方法を用いて、提示情報の情報量をすべて bit 換算して考えることとした。

情報伝送速度の上限があることから、情報量が増えると情報を理解して注視する時間が増えるのは自然な考え方である。そのため読書などの文字を読むという環境下では文字数の増加に伴い注視時間が増えることは容易に想像できるが、単純に1文字増えるごとに注視時間が1文字分増えていく増加傾向では無いことが眼球運動の計測結果などからわかっている⁽⁷⁾⁽⁸⁾。また、眼球運動の計測からわかる注視点の動きからは、文字列の認識はある程度の文字数を一塊として認識しつつ注視点を動かす傾向や、単語を認識して注視点を動かす傾向がわかっている⁽⁹⁾。つまり、注視時間を考える場合は情報の持つ情報量だけではなく、単語としての情報の意味まで考慮する必要がある。

提示する情報に文字を利用した場合では、情報量の考え方から文字の種類により1文字あたりの情報量は求められる。たとえばひらがなの場合は、濁音、半濁音、長音符を含め72種類の文字があることから1文字あたりの情報量は6.17 bit と考えることができる。同様に英語のアルファベットの場合は26文字であるため、4.70 bit と考えることができる。また、漢字は文字の種類が多いことで知られているが一般的に目にする常用漢字数2136文字を文字数としたとき、1文字あたりの情報量は11.06 bit となる。このとき、たとえば「星」という意味をひらがなと英語で表現すると「ほし」と「Star」となり、それぞれ12.34 bit と18.80 bit の情報量を有することとなり、漢字の11.06 bit と異なるビット数となる。このように単語や意味のある情報伝送を前提とした場合は、一つの意味の情報伝送を行う場合においても、利用する文字種や文字数により情報量が異なることから、注視時間が異なる結果が期待でき、効率的な情報伝送を考える上で提示する文字種を選ぶ必要があることがわかる。

2.2 運転者への情報伝送について

難波⁽¹⁰⁾によると情報を処理するために必要な時間は、情報を与えられている状況や、与えられた情報に対してもとめられる応答により変化すると言われている。筆者ら⁽⁴⁾のこれまでの自動二輪シミュレータを利用した研究結果からも、自動二輪シミュレータで運転操作を行うことをもとめられた場合の注視時間は、読書時の眼球運動の注視時間とは異なる情報伝送速度結果が得られることがわかっている。その結果、最大の情報伝送速度である50 bit/s の半分程度は自動二輪シミュレータの運転に費やされることが示唆されている。

また、自動二輪車を運転している状況では、情報伝送速度が影響を受けるだけでなく、情報伝送によって運転行動が疎かになってしまい安全運転に影響を与えてしまうことを考慮しなければならない。四輪自動車用カーナビの運用に関しては道路交通法に対する警視庁⁽¹¹⁾の見解や、日本自動車工業会⁽¹²⁾の定めるガイドラインが存在するが、自動二輪車用カーナビに対して注視点の動き⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾から検討を行う必要がある。

3. 情報伝送量評価実験

第2.1節では情報量の考え方と、効率的な情報伝送を検討するためにさまざまな文字種類の利用を考慮すべきであることについて論じた。第2.2節では自動二輪車を運転中の運転者に対して情報伝送を検討するためにこれまで明らかになっていることと、留意すべき内容について論じた。これらのことより、効率的な情報伝送量を検討するにあたり、文字の種類間での比較検討が必要であると考えられる。また、注視点の動きが計測環境の影響を受けることから自動二輪車運転中の環境で計測を行う必要がある。そのため、本論文においては安全性と計測環境の両立する没入型自動二輪シミュレータを利用し、ヘッドアップディスプレイに対する情報提示実験を行った。



Figure 1 Immersive CAVE experiment environment with head-up display

3・1 実験環境と実験条件

本論文では実験環境として、被験者の安全を優先するためにシミュレータで行うこととした。注視点の移動が重要であることから、シミュレータは広視野がディスプレイで覆われる没入型ディスプレイ環境が適切であると考へ、筆者ら⁽¹⁵⁾の開発した没入型自動二輪シミュレータを用いた。本シミュレータ環境で、筆者ら⁽²⁾の開発したヘッドアップディスプレイを利用し、実験環境として用いた(図1)。

ヘッドアップディスプレイ上に提示する情報は、筆者ら⁽⁴⁾のこれまでのひらがな文字列を用いた研究を参考として、提示位置は左下と右下へ提示を行った。提示情報はPerl/Tkを用いて開発したプログラムを用いて、Microsoft Windows 7の動作するノートパソコン(Panasonic製、Let's note CF-S10)を用いてVGA端子を用いて解像度848*480pxで出力し、レーザ光プロジェクタ(Microvision製、Pico Projector SHOWWX+)を用いて提示を行った。

情報の提示は、情報量の定量的評価を行うために、文字情報を用いることとした。利用する文字情報はアルファベット(英語)、漢字、ひらがなと記号を用いた。記号はISO/IEC 10646:2014で標準化されているUnicodeから36種類の記号を選んだ。選んだ記号は、交差点で左右の進行方向を示す矢印記号と一時停止を促すビックリマーク18種類と、U+2600-26FFブロック(Miscellaneous Symbols Block)から地図記号を中心とした記号18種類を用いた。

36種類の記号情報は、英語で記載されているUnicodeで定義されている記号の意味から修飾語を取り除いた英単語から提示に用いるアルファベット文字列を設定した。また、運転中に運転行動を促す矢印の記号は“Left”、“Right”とし、ビックリマークは“Warning”とした。これらのアルファベット文字列は、漢字とひらがなの提示のために筆者により和訳され、“Left”“Right”“Warning”はそれぞれ漢字では“左”“右”“注意”、ひらがなでは“ひだり”“みぎ”“ちゅうい”とした。

用意した文字列の提示は、運転者の推測による影響を排除するために、情報はランダムに選ばれ、英語・漢字・ひらがな・記号の提示もランダムに選ばれるよう配慮を行った。ただし、記号の1文字あたりの情報量を認識してもらうために、提示される可能性のある記号の一覧を数秒間認識してもらってから実験を行った。文字列の情報提示は、Noto Sans Symbols フォント(Google製、Noto フォントファミリー)を用いてアルファベット・漢字・ひらがなは大きさ72pt、記号は大半の文字が他の文字種と同等のサイズを得られるサイズ144pt、緑色(#00FF00)で行った。

3・2 評価方法

本論文では、注視点の計測として帽子型の視線計測装置（nac 製，EMR-9）を使用した。視線計測装置は前方視野を録画する視野カメラ（水平画角 92° ，垂直画角 69° ）と、左右両眼の瞳孔を計測するセンサで構成されている。左右両眼の注視点はそれぞれ計測されるとともに、キャリブレーションを通じて算出される両眼視点が視野カメラにより録画される動画（解像度 640×480 px，29.97 fps，MPEG4 形式）へ記録される(図 2)。

記録動画はヘッドアップディスプレイ上に提示された情報に対する運転者の視点の動きを2つの時間に分け、データ化を行った。情報が提示されてから視点を提示情報へ移し注視し始める時間を発見時間（Detection time）とし、提示情報を注視し始めてから見終わるまでの時間を視認時間（Observation time）とした（図 3）。

自動二輪シミュレータに乗車し運転を行う運転者は、1回の走行でヘッドアップディスプレイ上に情報が1回提示され、図4に示すコースを繰り返し走行してもらった。コースの終点ではリセットボタンが押され、コースの始点へ自動的に戻り、用意したすべての情報36種類が提示されるまで繰り返された。なお、運転操作をもとめる情報については、“右”と“左”に関しては交差点で右折と左折を行ってもらい、“注意”に関しては情報を認識してから一時停止を行うよう指示を行った。実験はヘッドアップディスプレイ上の右下と左下の2箇所にそれぞれ2回ずつ提示され、一人あたり合計144回の情報提示を行った。



Figure 2 Recorded movie from eye-mark recorder with gaze point explanations

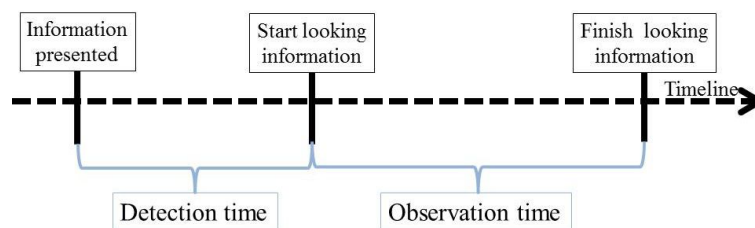


Figure 3 Defined durations for data analysis

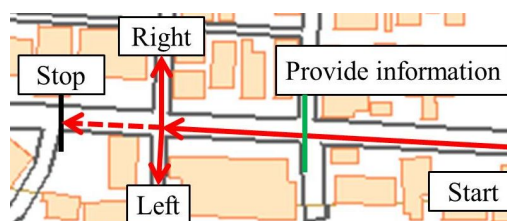


Figure 4 Experiment course

3・3 実験結果

実験は普通自動二輪免許を保持する 20 代の男性 3 名に対して行った。その結果、3 名から合計 432 回試行を行ったが、視線計測装置より得られる動画のコマ落ちなどの影響からデータ化を行うことが困難な試行に関しては分析対象から除外し、分析可能なデータは合計 403 データであった。なお、提示した情報種別はランダムに選択されたため均一回数の表示が行われていないため、分析に用いた 403 データの内訳を表 1 に示す。

データ分析はまず、情報種別と提示位置を因子とおいた二元配置の分散分析を、発見時間・視認時間に対してそれぞれ行った。分析の結果、発見時間はいずれの因子も有意な差はなく、視認時間は情報種別に関して 1% 有意 ($p=0.001$) であった。情報種別に関して視認時間で有意な差が見られたため、多重比較 (Tukey の HSD) を行った。計測データの平均値と標準偏差、多重比較の結果を図 5 に示す。また因子間の交互作用は発見時間・視認時間においてともになかった。

また、文字種別の情報量に関する平均値を表 2 にまとめる。

Table 1 Obtained samples from the experiment

Subject			Character Type				Total
			Symbol	English	Kanji	Hiragana	
A	Position	Lower Left	18	12	16	22	68
		Lower Right	14	24	12	18	68
	Total	32	36	28	40	136	
B	Position	Lower Left	18	17	14	20	69
		Lower Right	13	12	16	18	59
	Total	31	29	30	38	128	
C	Position	Lower Left	15	18	17	19	69
		Lower Right	18	18	18	16	70
	Total	33	36	35	35	139	
Total	Position	Lower Left	51	47	47	61	206
		Lower Right	45	54	46	52	197
	Total	96	101	93	113	403	

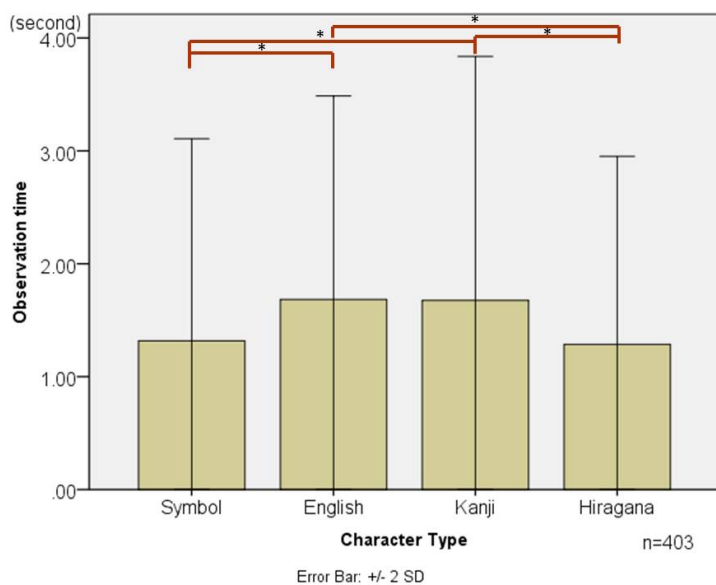


Figure 5 Experimental results of observation type

Table 2 Mean data of experiment results

Character Type	Bits per letter	Letters presented (mean)	Bits presented (mean)	Observation time [s] (mean)	Bits per second (mean)
Symbol	5.17	1.00	5.17	1.32	5.78
English	4.70	5.91	27.78	1.68	20.80
Kanji	11.06	1.54	17.00	1.68	14.17
Hiragana	6.17	3.58	22.06	1.29	23.30

4. 考察

本論文における実験結果から、提示文字種別でアルファベットを用いた英語の提示と漢字による提示が、記号とひらがなの提示比べて視認時間が長くなるという結果が得られた。アルファベットは意味のある情報を提示するためには自然と提示文字数が長くなったことによる視認時間の増加が考えられるが、漢字は文字数が短いにもかかわらず英語の提示とほぼ同等であることや、ひらがなは漢字より文字数が長くなるのにもかかわらず視認時間が短いことから、提示文字数によって視認時間についての差を説明することはできない。アルファベットは英単語で情報提示を行ったため、被験者にとって母国語で無い提示であったことが影響した可能性はある。母国語と外国語の読書速度を比較した先行研究⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾は、外国語は母国語に比べて読書速度が遅くなる傾向を示しており、本実験と傾向が一致していると言えるが、漢字の提示は日本語の常用漢字から選んでいるのにもかかわらず視認時間が遅かったことから本実験結果は母国語か外国語かでも説明はできない。

視認時間の有意差を文字数では説明できないことから、2.1節で述べた情報量の考え方をを用いて比較を行う。表2にまとめた情報量を用いた比較結果に示す1秒あたりの情報量の平均値は、情報種別を因子とおいた一元配置の分散分析では1%有意 ($p=0.000$) であり、多重比較(Tukey の HSD)の結果、アルファベットとひらがな間以外のすべての組み合わせで有意であった。この結果の傾向は、筆者ら⁽¹⁸⁾が行った自動二輪車運転環境下ではない室内で行った同種の実験結果と傾向が一致しており、情報量の考え方を適応して提示文字種類による視認時間の差が説明可能であることがわかる。また同実験結果の視認時間の平均値と比較すると、すべての情報種別の視認時間において本論文の視認時間の方が長くなっていることがわかる(表3)。これは2.2節で論じた、情報を処理する時間が情報を与えられている状況や求められる応答に影響を受けている表れであると考えられる。特に漢字の視認時間の増加は顕著であり、記号・アルファベットが約0.36秒であったのに比べ倍近い約0.7秒も増加した。これは、本実験における提示において、交差点で右折と左折を促す漢字の情報として“右”と“左”が漢字としての見分けがつきにくいことが影響しているのではないかと推察でき、本実験結果における漢字情報提示が英語とほぼ同等に視認時間が長くなった原因と考えられる。同様にひらがなの視認時間が約0.19秒の増加にとどまった要因としては、交差点で右折と左折を促すひらがなの“みぎ”と“ひだり”では形だけでなく文字数の違いによるものと考えられる。

Table 3 Comparison of observation time between experimental environments

Environment: Standard room		Environment: Driving simulator	
Task: Press ten-key button		Task: Maneuver motorcycle	
Character Type	Observation time (sec)	Character Type	Observation time (sec)
Symbol	0.95	Symbol	1.32
English	1.32	English	1.68
Kanji	0.97	Kanji	1.68
Hiragana	1.10	Hiragana	1.29

5. おわりに

本論文では、自動二輪車用ヘッドアップディスプレイの提示に適した情報伝送量を調べるために、効率的な情報量の提示を検討するために文字の情報種類に着目した。合計 36 種類の情報を用意し、没入型シミュレータ環境でヘッドアップディスプレイを装着した自動二輪シミュレータを用いて被験者実験を行った。視線計測装置を用いて運転者の視線移動を計測し、情報提示に対して費やされた時間を発見時間と視認時間にかけて分析をおこなった。分析の結果、アルファベットを用いた英単語の提示と漢字の提示では視認時間が有意に長いことがわかった。英語と漢字の視認時間が長かった考察を行い、その結果情報量の考え方から、同じ意味の情報提示においても各情報種別により視認時間に影響がある可能性についてわかった。

謝 辞

本研究は、公益財団法人 JKA のオートレース補助事業 (27-159) の補助を受けて実施した。

文 献

- (1) 自動車安全運転センター, “自動二輪車等への情報提供のあり方に関する調査研究”, 自動車安全運転センター (2006).
- (2) Ito, K., Tateyama, Y., Nishimura H., and Ogi T., “Development of head-up display for motorcycle navigation system”, *Asia-Pacific Conference on Systems Engineering (APCOSEC)* (2013), Paper No.TS-05-2.
- (3) 伊藤研一郎, 立山義祐, 西村秀和, 小木哲朗, “ヘッドアップディスプレイによる自動二輪運転手への情報提示の評価”, 日本機械学会 第 23 回設計工学・システム部門講演会, JSME No.13-22 (2013), Paper No.3205.
- (4) 伊藤研一郎, 立山義祐, 西村秀和, 小木哲朗, “自動二輪車用ヘッドアップディスプレイの提示コンテンツ設計”, 日本機械学会 第 24 回設計工学・システム部門講演会, JSME No.14-27 (2014), Paper No.1408.
- (5) Shannon C. E., “A Mathematical theory of communication”, *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, Vol. 5, No. 1 (2001), pp.3-55.
- (6) Marko, H., “Information theory and cybernetics”, *IEEE Spectrum*, Vol.4, No.11 (1967), pp.75-83.
- (7) Ikeda ., and Saida S., “Span of recognition in reading”, *Vision Research*, Vol. 18, No. 1 (1978), pp.83-88.
- (8) 渡辺隆行, 安村通晃, 小田浩一, 西本卓也, “視覚障害者の聴覚認知の解明と音声対話への利用に向けて”, (ヒューマンコミュニケーショングループ (HCG) シンポジウム), *電子情報通信学会技術研究報告 WIT 福祉情報工学*, Vol. 104, No. 751 (2005), pp.7-12.
- (9) 懸田孝一, “読書時の単語認知過程: 眼球運動を指標とした研究の概観”, *北海道大学文学部紀要*, Vol. 46, No. 3 (1998), pp.155-192.
- (10) 難波誠一, “画像情報量と提示時間”, *NHK 技術研究*, Vol. 35, No. 1 (1983), pp.1-18.
- (11) 警察庁, “交通情報の提供に関する指針”, 国家公安委員会告示第 1 2 号 (2002).
- (12) 日本自動車工業会, “画像表示装置の取り扱いについて 改訂第 3.0 版”, 日本自動車工業会 (2004).
- (13) 森田敬信, “運転行動における視覚情報摂取過程: 二輪自動車運転を中心として”, *大阪大学人間科学部紀要*, Vol. 4 (1978), pp. 239-265.
- (14) 三浦利章, “視覚的行動・研究ノート: 注視時間と有効視野を中心として”, *大阪大学人間科学部紀要*, Vol. 8 (1982), pp.171-206.
- (15) Ito K., Tateyama, Y., Nishimura, H., Ogi,T., “Development of Motorcycle Simulator in the Immersive Projection Display Environment”, *ASIAGRAPH 2015 Conference PROCEEDINGS* (2015), pp.41-46.
- (16) Altarriba, J., Kroll, J.F., Sholl, A., and Rayner, K., “The Influence of Lexical and Conceptual Constraints on Reading Mixed-Language Sentences: Evidence from Eye Fixations and Naming Times”, *Memory & Cognition*, Vol. 24, No. 4 (1996), pp.477 - 492.
- (17) Chincotta, D., and Hyönä, J., and Underwood, G., “Eye Fixations, Speech Rate and Bilingual Digit Span: Numeral Reading Indexes Fluency Not Word Length”, *Acta Psychologica*, Vol. 93, No. 3 (1997), pp.253 - 275.

- (18) 伊藤研一郎, 西村秀和, 小木哲朗, “自動二輪車運転支援を目的とした情報種別による視覚処理時間の評価”, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2015, (2015).