

2次元地図情報と3次元地図情報の有用性に関する比較研究

辛島光彦[†] 齋藤むら子[‡]

[†] 東海大学工学部 [‡] 早稲田大学理工学部

本研究はカーナビゲーションに表示される地図情報と走行画面を用いた経路選択と車間距離制御を模した1次元トラッキング作業からなる運転シミュレーション作業を被験者24名に課した実験を通じて、カーナビゲーションに表示される2次元地図情報と3次元地図情報の有用性について都市部を対象として比較検討した。その結果トラッキング作業のパフォーマンス及び注視特性の客観的評価指標からは2次元地図情報の有用性が示唆された。一方使用感に関する主観評価からは3次元地図情報の有用性が示唆された。またこれらの評価結果から総合的には都市部においては2次元地図情報が有用である可能性が示唆された。

A Study on the Comparison of the Usefulness between a 2 Dimensional Map and a 3 Dimensional Map

KARASHIMA Mitsuhiro[†], SAITO Murako[‡]

[†] School of Eng., Tokai Univ., [‡] School of Sci. and Eng., Waseda Univ.

This study aimed at comparing the usefulness between a 2 dimensional and a 3 dimensional map in a car navigation system through the simulated experiment. In the experiment, 24 subjects were required to select the correct routes by using the map display and the picture of the city area presented. They were also required to carry out the tracking task which simulated the control of the distance from the former car.

The results of the performance in the tracking task and the eye fixation time on the map indicated that the 2 dimensional map was more useful, while the results of the subjective score for the map used suggested that the 3 dimensional map was slightly useful. On the whole, it was suggested that the 2 dimensional map was more useful in the city area.

1. はじめに

近年、3次元空間、立体描写のソフト開発の発展に伴い、カーナビゲーションに代表されるように地図情報に鳥瞰図を取り入れた3次元地図情報(以下3次元情報)が導入されつつある。この3次元情報は、3次元で物を見るという人間の空間知覚能力を生かした情報表示方法として、高さ情報が欠落している平面図の2次元地図情報(以下2次元情報)と比較し、より直感的に捉えやすいと思われる。岸ら¹は主観評価において3次元情報が2次元情報よりも評価が高いことを示している。このことからカーナビゲーションにおいては2次元情報と比較して3次元情報はドライバーの趣向にマッチした地図情報として有用である可能性が示唆されている。

一方で3次元情報は、2次元情報と比較して、

同一横縮尺における地図において高さ情報を含み、かつ奥行き領域が広いと、一時に多量の情報を提供しているとも考えられる。人間が一時に処理できる情報量には上限が存在することが指摘されており²、このことから3次元情報は2次元情報と比較して1回あたりの注視時間が長くなることが予想される。ところで大門³は Rockwell の 2 seconds rule を取り上げ、走行中の 2sec を越えるディスプレイの注視は安全ではないとしている。また運転中に 95% のドライバーが不快感無くインパネを 1sec 注視できるが、2sec になると 50% 程度のドライバーしか注視できず⁴、ドライバーが運転中に車内を視認できる時間は 1~2sec 程度であるとされている⁵。加えて人間の情報処理能力と車内注視に関わる安全性の面から伊藤⁶は、車載情報システムに対して走行中における提示

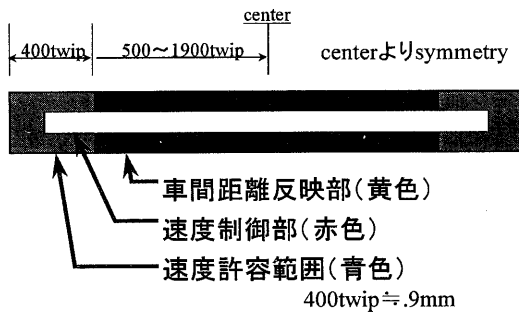


図1. トラッキング作業

情報量の低減の必要性を指摘している。これらの点から、3次元情報は2次元情報と比較して必ずしも有用でない可能性も考えられる。

このことからカーナビゲーションにおいて3次元情報を導入するためには、3次元情報と2次元情報の有用性を主観評価によって比較検討するだけでは十分でなく、パフォーマンス、注視特性等について客観的に比較検討することが必要である。ところでカーナビゲーションに表示される2次元情報と3次元情報の比較に関しては、主観評価による比較⁷等が行われてきているが、パフォーマンス、注視特性を用いて比較検討した研究はあまり見られない。

そこで本研究ではカーナビゲーションに表示される平面図と鳥瞰図による地図情報を用いた運転シミュレーション作業を通じて、2次元情報と3次元情報の有用性について、従来の主観評価に加えてパフォーマンス、注視特性を用いて比較検討した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1. 実験内容

カーナビゲーションに表示される地図情報を用いた運転シミュレーション作業として、17inchCRT上に予め撮影された走行画面(192mm×144mm)を提示し、その走行画面の前方車両との車間距離制御を想定した1次元トラッキング作業とカーナビゲーションに表示される地図情報を基に行う経路選択を同時に被験者に行わせた。

実験に用いられた走行画面は、東京都新宿区・港区内及び横浜市中区・西区内の都市部2ルートとした。なおいずれの走行経路も出発点と終点の間の走行距離約10kmを目安に選定した。また各走行画面には、走行時最大速度約50km/h、片側2車線道路においては右側車線、片側3車線道路に

おいては中央車線を走行することを目安として、晴天時、乾燥路面を渋滞無く走行した際に運転者の視野に近い形でビデオカメラにより撮影された映像から信号による停止期間を編集によりカットした映像を用いた。

実験に用いられた地図情報は、某社のカーナビゲーションの2次元情報と3次元情報を用い、予めビデオ収録したものを走行画面と同期させ6inchモニターから表示した。なお地図情報の表示方法は、2次元情報については一般に用いられる北を上とする方法と進行方向を上とする方法の内、比較的地図認識が遅く、方向判断が困難とされる^{5,8,9,10}北方向を上とする方法を、3次元情報については一般に用いられる進行方向を上とする方法を用いた。また地図情報の縮尺は2次元情報については1/12500、3次元情報については自車位置の横縮尺を2次元情報と同縮尺とした。

運転シミュレーションにおける1次元トラッキング作業は運転中の速度制御を想定した作業として、図1のように、走行画面の中央部に提示される前方車両との車間距離の変化に対応して変動する前方車両の車幅をイメージした目標(以下車間距離反映部)の長さに対して、被験者に一定の許容範囲内に指標(以下速度制御部)の長さをコントロールさせる^{11,12}作業とした。車間距離反映部の長さは、前方車両の車幅を追従する形で線形増減を繰り返し、速度制御部の長さは被験者にキーボードより、伸ばす際にはshiftキーを押し、縮める際にはctrlキーを押すことによりコントロールさせた。また運転シミュレーション作業におけるもう1つの作業である経路選択は、カーナビゲーションに表示される地図情報を基に、走行画面の進行に合わせ、右、左折の必要な交差点の約30m手前において被験者に右、左折の選択を行わせる作業とした。なお必要な右、左折の経

表1. 実験環境

視距離 PC-CRT	0.60m
視距離 Navigation monitor	0.71m
CRT-Navigation 間視野角	上下 19.3°
	左右 28.1°
作業面照度 PC-CRT	149.6lx
作業面照度 Navigation monitor	151.1lx
BGN	42.7dB(A)
室温	22.5°C
湿度	48.0%

路選択は、各ルートとも左右それぞれ6回で、被験者にキーボードより、右折の際には□キー、左折の際には*キーを押すことにより入力させた。なお実験環境等については、表1のようであった。

2.2. 実験条件

本実験においては、被験者選定に際し、運転免許条件に合わせ矯正視力にて両眼0.7以上を条件とした。また被験者のカーナビゲーション利用経験、使用機種等も作業及びカーナビゲーションの利用状態に影響を与える恐れがあることから、カーナビゲーションの利用経験はあるものの日常的に利用していないことも選定条件とした。さらに運転経験が作業及びカーナビゲーションの利用状態に影響を与える可能性があることから、運転経歴基準を免許取得後1年以上かつ定常的な週平均運転時間0.5時間以上と定め、被験者の属性を、この運転経歴基準を満たす群と満たさない群の2群に分けた。これらに基づき被験者としてそれぞれの群について12名、計24名の男女学生(22.2歳)を用いた。また走行経路によって地図情報の利用状態が異なる可能性を否定できないことから、走行経路を2ルートとし、各被験者に対して1ルートを選択し、実験を行った。

2.3. 評価項目

評価項目として以下の項目を用いた。

(1) 経路選択成績

運転シミュレーション作業中における経路選択のエラー数の総経路選択機会数に対する割合を経路選択成績とした。なおエラーは経路選択ミスと経路選択無視の両者とした。

(2) トラッキング制御成績

トラッキング作業において速度制御部が車間距離反映部の許容範囲内から逸脱する回数、及び250msec毎の逸脱部分の長さ(両側)を測定

し、
逸脱量：1minあたりの逸脱部分の長さ(両側)の総和(twip)、
逸脱回数：1minあたりの逸脱回数、
を評価項目として用いた。

(3) 注視特性

カーナビゲーションのモニターの上にCCDカメラを設置し、運転シミュレーション作業中の被験者の視線移動を計測し、カーナビゲーションの

平均注視時間：1回当たりの平均注視時間(sec)、
注視回数：1minあたりの注視回数、
注視率：総注視時間の走行時間に対する割合
を評価項目として用いた。

(4) 主観評価

被験者に実験終了後、使用した地図情報について、岸1のカーナビゲーションに表示される地図情報についてのアンケートを参考に作成した地図情報の使用感に関する11評価項目を(はい、いいえ)の2段階評価させた。

3. 実験結果及び考察

(1) パフォーマンス及び注視特性

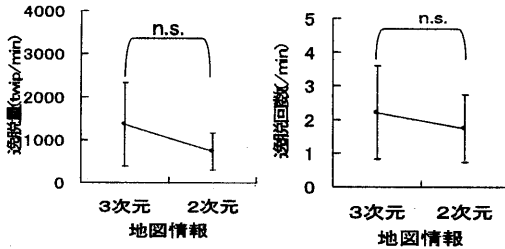
経路選択成績は、被験者、地図情報、走行経路によらず0%であった。またトラッキング制御成績(以下パフォーマンス)の各評価項目の結果に対し3元配置分散分析(被験者×地図情報×走行経路)を施したところ、表2に示すように有意水準5%で逸脱量、逸脱回数ともに有意な差は見られず、また因子間に交互作用も見られなかった。

しかし図2に示すように各指標とも統計的な有意差は見られないものの、3次元情報の場合の方がパフォーマンスが悪くなる傾向が見られた。このことより本実験においては2次元情報と3次元情報の間にパフォーマンスの明確な相違は見ら

表2. トラッキング制御成績と注視特性の各評価項目の3元配置分散分析結果

変動因	自由度	F ₀				
		逸脱量	逸脱回数	平均注視時間	注視回数	注視率
被験者(A)	1	0.02	0.14	0.04	2.35	2.47
地図情報(B)	1	3.95	0.83	7.65*	6.88*	0.10
走行経路(C)	1	0.34	0.00	0.54	3.45	2.36
A×B	1	0.30	1.72	0.02	0.08	0.12
A×C	1	0.02	0.00	1.72	0.68	3.96
B×C	1	3.69	2.30	1.25	0.72	0.00
A×B×C	1	0.20	0.51	1.19	0.38	2.17
誤差	16	—	—	—	—	—

*は5%有意



(a) 逸脱量 (b) 逸脱回数

図2. 地図情報とトラッキング制御成績 (n=24)

れないものの、2次元情報と比較し3次元情報の場合の方がパフォーマンスが若干悪くなる可能性が示唆された。

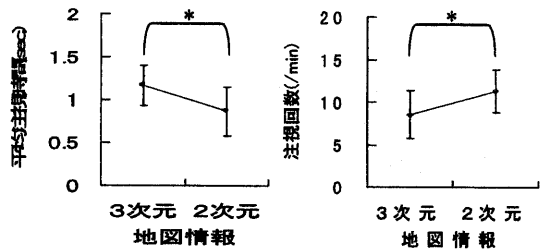
また注視特性についてパフォーマンス同様に3次元配置分散分析を行ったところ、表2、図3に示すように平均注視時間、注視回数に有意水準5%で統計的な有意差が見られたが、注視率には差が見られなかった。またこの平均注視時間、注視回数には因子間に交互作用は見られなかった。さらに平均注視時間と注視回数の無相関検定を行ったところ、表3に示されるように平均注視時間と注視回数には高い負の相関が見られた。以上のことから総注視(注視率)は地図情報の種類には寄らないが、3次元情報においては注視時間が2次元情報と比較し長くなり、それにあわせて注視回数が少なくなっていることが示唆された。3次元情報は2次元情報と比較し、高さ情報が加わり、加えて自転車位置同一縮尺において奥行き領域の情報量が多いことから、一度に処理しなければならない情報量が多くなるため、結果情報収集のための注視時間が長くなっている可能性が考えられる。一方で、3次元情報は2次元情報と比較し、奥行き領域の情報量を一時に多量に処理しているために情報収集のための注視回数が少なくなっている可能性が考えられる。

ところで地図情報の種類間におけるパフォーマンスと注視特性の関係は表3に示されるように、平均注視時間と各パフォーマンス間にのみ高い正の相関を示し、注視回数は各パフォーマンスとは統計的に有意な相関関係を示さなかった。この

表3. 相関係数と無相関検定結果

	平均注視時間	注視回数	逸脱量
逸脱回数	0.493*	-0.191	0.780**
逸脱量	0.642**	-0.354	
注視回数	-0.521**		

**1%有意、*5%有意



(a) 平均注視時間 (b) 注視回数

図3. 地図情報と注視特性 (n=24)

ことはカーナビゲーションの注視回数はトラッキング作業のパフォーマンスにあまり影響を与えていないが、カーナビゲーションの1回あたりの注視時間の増加はパフォーマンスを悪化させることを示唆している。

以上のパフォーマンスと注視特性の結果を総合すると、本研究で対象とした都市部においては、3次元情報の処理しなければならない情報量が多いことに起因して、3次元情報における平均注視時間が2次元情報よりも有意に長くなり、そのためパフォーマンスが2次元情報と比較して若干悪くなる傾向があると考えられる。よってパフォーマンスと注視特性の客観的評価指標からは本研究で対象とした都市部においては2次元情報の方が3次元情報よりも有用である可能性が示唆される。

ところで本研究においては2次元情報について、北を上とする表示方法を用いたが、実際のカーナビゲーションにおいては進行方向を上とする表示方法も同様に用いられている。一般に2次元情報において、地図の上を現実の進行方向に一致させた場合の方が、地図認識が速く、方向判断を誤りにくい傾向が示されている。このことから2次元情報について進行方向を上とする表示方法を用いた場合には、本実験で用いた北を上とする表示方法よりも情報取得のための注視が容易になることが推察される。よって進行方向を上とする表示方法を用いた場合には北を上とする表示方法を用いた場合と比較して、1回あたりの注視時間が短くなることが推察され、本実験のパフォーマンスと注視特性の客観的評価指標から得られた2次元情報の有用性がさらに強調されることが推察される。

(2) 主観評価

使用感に関する主観評価に対して、各評価について「はい」を1、「いいえ」を0とした上で、

表 4. 主観評価項目

番号	評価項目
①	経路の先まで見通せて不安感がない
②	経路以外の情報も十分把握できる
③	右左折(直進)すべき交差点と方向が良く分かる
④	画面が見やすい
⑤	自分がどこにいるかが良く分かる
⑥	進行方向がわかりやすい
⑦	距離感がつかみやすい
⑧	細かい道まで良く分かる
⑨	経路が良く分かる
⑩	情報が多すぎる
⑪	情報が少なすぎる

評価は (はい・いいえ) の 2 段階評価

各水準における 3 名の被験者の「はい」に関する訴え率をロジット変換し、繰り返しのない 3 元配置分散分析を行ったところ、全ての項目において因子、交互作用を問わず統計的な有意性は見られなかった。このことから統計的には主観評価の全ての項目において地図情報の種類における相違は示されなかった。また評価項目の①～⑨をプラスの評価項目、⑩、⑪をマイナスの評価項目とみなし、各被験者の総合主観評価を単純に、

$$x_{\text{total}} = \sum_{i=1}^9 x_i - \sum_{j=10}^{11} x_j$$

(x_i, x_j は評価項目 ij における評価、

x_{total} は総合主観評価)

とおき、総合主観評価に対する 3 元配置分散分析を行ったところ、因子、因子間交互作用を問わず統計的な有意性は見られなかった。このことから総合主観評価においても統計的には地図情報の種類における相違は示されなかった。しかしパフォーマンス同様に各評価項目における 2 次元情報と 3 次元情報を比較すると、図 4, 5 に示されるように統計的有意差は見られないものの、画面の見易さを除く他の評価項目並びに総合主観評価において 3 次元情報の使用感を評価する傾向が示唆された。これは岸¹らの研究ほど明確ではないが同様の傾向であった。このことから統計的な有意性は見られないものの画面の見易さを除いて全般的には 2 次元情報と比較し 3 次元情報の方が若干使用感が良い可能性が示唆された。画面の見易さについて 3 次元情報が 2 次元情報と比較して使用感の評価が悪いのは、パフォーマンスと注視特性と同様に高さ情報と奥行き情報による 3 次元情報の情報量の多さに起因している可能性

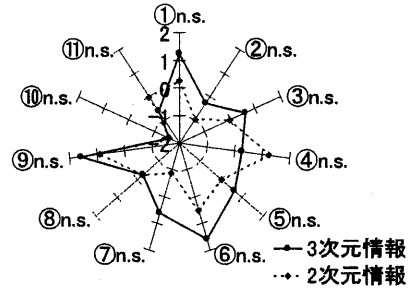


図 4. 地図情報使用感主観評価 (n=24)

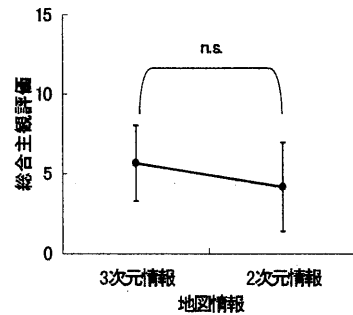


図 5. 総合主観評価 (n=24)

が考えられる。

ところで本研究では 2 次元情報の表示方法が北を上としているが、前述のように進行方向を上とする場合と比較して方向判断がしにくいことが示されており、本研究における 2 次元情報の評価は、進行方向を上とする表示方法と比較し、使用感について低い評価がなされている可能性が考えられる。そこで本実験結果からだけでは 2 次元情報の表示方法に関わらず使用感に関する主観評価においては 2 次元情報と比較し 3 次元情報の方が有用であるとは断定できない。そのため今後 2 次元情報において進行方向を上とした表示方法を用いた場合の 2 次元情報と 3 次元情報との比較が課題として残される。

本研究から、カーナビゲーションに表示される地図情報表示において、パフォーマンスと注視特性の客観的評価指標からは、対象とした都市部においては 3 次元情報と比較し処理しなければならない情報量の少ない 2 次元情報が有用である可能性が示唆された。一方使用感に関する主観評価からは 2 次元情報と比較し、あまり明確ではないが、過去の知見と同様に 3 次元情報が有用である可能

性が示唆された。このように本研究からは、対象とした都市部において、客観的評価指標と主観評価とでは地図情報の有用性について背反的な評価が示唆された。しかし総合的に判断すると、注視特性にのみ2次元情報と3次元情報の間に統計的な相違が見られ、その注視特性はパフォーマンスと高い相関をもっており、かつ自動車運転においては安全面に直接的に影響を与えるパフォーマンス及び注視特性の結果が使用感に関する主観評価よりも優先されるべきであると考えられることから、本研究からは都市部においては3次元情報と比較し2次元情報が有用である可能性が示唆される。

4. まとめ

本研究では、都市部を対象にカーナビゲーションに表示される平面図と鳥瞰図による地図情報を用いた運転シミュレーション作業を通じて、従来の主観評価に加えて客観的評価指標を用いて2次元情報と3次元情報の有用性について比較検討した。その結果パフォーマンスと注視特性の客観的評価指標からは、2次元情報の有用性が示唆された。一方主観評価からは余り明確ではないものの、従来の知見と同様に3次元情報の有用性が示唆された。また以上の客観的評価と主観評価を基に総合的に判断して、本研究の対象とした都市部においては2次元情報が有用である可能性が示唆された。

しかし本研究の結果は2次元情報の北を上とする表示方法のみを検討した結果であり、進行方向を上とする表示方法については検討しておらず、今後進行方向を上とする表示方法を用いた2次元情報と3次元情報の比較研究が必要である。

また本研究の結果は都市部の限られた走行経路及び1つの地図縮尺より導き出されたものである。2次元情報と3次元情報の有用性については多分に運転者が処理しなければならない情報量が影響を与えると推察されることから、今後走行経路及び地図情報に関わる運転者が処理しなければならない情報量の記述方法を確立し、その情報量に基づいた複数の走行経路と地図縮尺における詳細な両地図情報の比較検討が必要である。

本研究は、平成9年度早稲田大学特定課題研究助成97A-157を受け行われたものである。また本研究の実験データ収集においてご協力頂いた早

稲田大学大学院小林希世氏に深謝致します。

参考文献

- 1 岸則政、渡部眞幸、曾根学、崎川忠：鳥瞰図表示ナビゲーションの開発と評価、自動車技術、.50, 7, 17-22, 1996
- 2 Marko, H.: Information theory and cybernetics, IEEE spectrum, 4, 11, 75-83, 1967
- 3 大門樹：経路誘導システムにおけるランドマークの表示方法に関する研究、人間工学, 33(supplement), 122-123, 1997
- 4 Kimura, K., Osumi, Y., & Nagai, Y.: CRT Display Visibility in Automobiles., ERGONOMICS, 33, 6, 707-718, 1990
- 5 岸浩司、杉浦精一、木村賢治：自動車用ナビゲーション画面の視認性検討、自動車技術, 46, 9, 61-67, 1992
- 6 伊藤肇：車載ディスプレイにおける画像技術；車載ディスプレイへの要求事項、映像情報メディア学会誌、.51, 6, 751-754, 1997
- 7 Watanabe, M., Nakayama, O., & Kishi, N.: Development and Evaluation of a Car Navigation System Providing a Bird's-Eye View Map Display, SAE paper, 961007, 1996
- 8 Shepard, R.N. & Hurwitz, S.: Upward direction, mental rotation, and discrimination of left and right turns in maps., Cognition, 18, 161-193, 1984
- 9 Levine, M.: You are here maps, Psychological considerations, Environment and Behavior, 14, 221-237, 1982
- 10 Levine, M., Marchon, I., & Hanley, G.: The placement and misplacement of you-are-here maps., Environment and Behavior, 16, 139-157, 1984
- 11 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特性に関する研究、人間工学, 29, 3, 157-165, 1993
- 12 野口薫：道路交通に関する知覚研究の現状、国際交通安全学会誌, 1, 2, 103-110, 1975