

## スマートナビゲーションに向けて

赤松幹之\*

本稿では、カーナビゲーションシステムという移動支援情報システムが持つべき特徴を示した。そして、移動体の中に置かれたカーナビゲーションシステムと路上に置かれた情報板が本質的に持つ違いを明らかにし、それぞれの特徴を生かしたカーナビゲーションと道路環境における情報の統合の可能性を論じ、いくつかの提案システムを紹介した。さらに、自動車運転行動が道路環境や交通状況に依存した行動であることから、この状況依存型の移動行動の負担を減らすことのできるようなモビリティ支援情報とは何か論じた。

### Towards Future Smart Navigation Systems

Motoyuki AKAMATSU\*

Characteristics of the car navigation system were discussed from the view point of a personal mobility assist information system. The nature differences between the car navigation system held by individual and the road sign situated on the ground were discussed. Several proposed systems that integrate a personal information system and the road environment were introduced. Since the driving behavior was affected by road environment and traffic situation, the mobility assist information to reduce the workload of the situation depended driving behavior was also discussed.

#### 1. カーナビゲーションシステムの機能

国内においてカーナビゲーションシステムと呼べるシステムが最初に登場したのは1980年代初頭であった。本号の別稿に述べられているように、これは自分の車両の位置をジャイロを用いて計測して、車載されたフィルム状の地図上にその位置を表示するものであったり、方位と距離のみを表示するものなどであった。それからカーナビゲーションシステムは電子化された道路地図を車載するようになり、自

車両位置の計測技術はジャイロセンサや地磁気計測をベースとしたものから、マップマッチング技術を統合したもの、そしてGPSを利用したものへと発展してきた。

従来からの紙による道路地図を用いる場合には、自分が地図のどこにいるのかを推定・判断しなければならない。これに対してナビゲーションシステムでは、地図上に自車位置を示すことで、ドライバーは目的地に向かうために地図上のどの道路を走れば良いか判断することが可能となった。どの道路を走っていくべきか、すなわち経路については、最初はドライバーが自車位置を基に判断していたが、90年代にはナビゲーションシステムが自動的に経路探索を行って経路を選択して、地図上に示すようになった。これによって、自分の位置を知ることによって目的地

\* 独立行政法人産業技術総合研究所人間福祉工学研究部門  
行動モデリング・グループリーダー  
Group Leader, Institute for Human Science and  
Biomedical Engineering, National Institute of Advanced  
Industrial Science and Technology  
原稿受理 2000年8月23日

に至るためにはどちらに曲がればよいかを決定するというナビゲーション・タスクが、電子技術によって実現されるようになったといえよう。

しかし、カーナビゲーションシステムが行うのは、目的地に至るための経路を地図上に示すことであり、それだけでは目的地に到達することはできない。すなわち船でのナビゲーションタスクでいえば、海図上に経路が書かれただけでは目的地に行けるわけではなく、進路を変更すべき位置に自分がいるかを判断し、適切な進路変更を行う必要がある。言い換えれば、地図上の情報を実世界にあてはめて、とるべき行動を決定しなければならない。このために用いるのが、船でいえば灯台や島などであり、自動車運転でいえば建築物などのランドマークである (Table 1)。最初の頃の電子地図は国土地理院の地図が元であったために役所や公園などの公共施設は表示されていたが、それだけでは自車が進路変更すべき地点にいるかを判断するには不十分なものであった<sup>1)</sup>。その後、コンビニやガソリンスタンドなどのランドマークとなる建物が表示されるようになり、地図上の自車位置や経路を実際の道路と対応付けることが容易になった。

## 2. モビリティ情報の在りかた

我々が自宅に帰る時には無意識で帰ることができる。酔っぱらって、朝になって自宅に居ることに気付いたが、どうやって帰ったか思い出せないといった経験をする人も多い。また引越した後に、気付くと以前住んでいた家に向かっていたりすることもある。また逆に、実家などに帰った時に、店が変わっていたために、よく知っているはずなのに自分

がどこにいるのかが分からなくなることもある。

自分の家に帰るといった行動は、どれくらい真直ぐ進んで、次にどちらに曲がって、さらにその後どれくらい進んで、というようにあらかじめある程度プラン (計画) された行動を獲得していると思われる。しかしながら酔っぱらってフラフラしながらでも帰れたり、店が新しくなると分からなくなることを考えると、このプランを単に自動的に実行してロボットのように移動しているのではなく、同時に外部環境にある手掛かりを用いていると考えられる。この時の外部環境の手掛かりとは、行き先表示板などの具体的に方向を示した情報ばかりではなく、道路周辺にある建物や店などさまざまなものも用いられていると考えられる。それがタバコ屋なのかコンビニなのか、信号や電柱であるか、それともシーン全体の雰囲気なのかは、それぞれの人によって異なると思われる。

このように考えると、我々が自動車を運転したり歩いたりして空間を移動する時には、左右折のイベントの系列をプランとして持っていて、そのイベントが環境側からの手掛かりによってトリガーが掛かって起動しているとみることができる。このことは言い換えれば、次にとるべき移動のアクションは自分が持っている情報であり、そのアクションのトリガーとなる情報は環境側にある情報とみることができる。このような観点からみると、分岐での方向選択情報は車内のディスプレイに表示し、交差点や分岐点の同定のための情報は道路環境側に表示することが、人間の移動のための情報として適合性が高いのかもしれない。そこで、以下では主に路上の情報と個人が持つ情報という観点からこれからのナビゲ

Table 1 トリップ中に用いられたランドマークの種類と頻度 (全発語単語数 = 246)

ランドマーク種類	全体 (被験者8名)		東京に不慣れなドライバー (被験者4名)	東京に慣れているドライバー (被験者4名)
	頻度	(路上:ナビ)*	頻度 (路上:ナビ)*	頻度 (路上:ナビ)*
建築物	49 (19.9%)	(27:22)	30 (14:16)	19 (13:6)
通り名	44 (17.9%)	(14:30)	22 (7:15)	22 (7:15)
交差点名	35 (14.2%)	(24:11)	12 (4:8)	23 (20:3)
距離	27 (11.0%)	(1:26)	12 (1:11)	15 (0:15)
地名	25 (10.2%)	(11:14)	22 (9:13)	3 (2:1)
道路標識	14 (5.7%)	(14:0)	9 (9:0)	5 (5:0)
方角	13 (5.3%)	(1:12)	6 (0:6)	7 (1:6)
鉄道	12 (4.9%)	(11:1)	9 (9:0)	3 (2:1)
高速道路	8 (3.3%)	(4:4)	4 (3:1)	4 (1:3)
駅	8 (3.3%)	(4:4)	4 (0:4)	4 (4:0)
高速入り口	4 (1.6%)	(2:2)	3 (1:2)	1 (1:0)
他	7 (2.9%)	(2:5)	7 (2:5)	0 (0:0)
全体	246 (100%)	(115:131)	140 (59:81)	106 (56:50)

注) (路上:ナビ)は(路上を見ている間の発語数:ナビ画面を見ながらの発語数)を表す。



Fig.1 情報内容が確認できる路上情報板

ーションシステムを考えてみたい。

### 3. 手持ち情報と路上情報の特徴<sup>2)</sup>

行くべき方向を知るためには、自分で手持ちの情報に頼る場合と、道路環境におかれている情報に頼る場合とに大きく分けることができる。道路環境側にある情報は個人がその内容を欲しいものに変えることが本質的にできないのに対し、手持ちにある情報はその個人が内容を変えることができるものである。すなわち個人に合った情報を呈示できるのがカーナビなどの手持ち情報の特徴である。また情報の在る場所という観点でみると、路上の情報板は路上に直接ついていることから道路環境の位置や状態(工事中など)と強く一致しており(Fig. 1)、その一方、手持ちの情報は個人のその時の位置や状態に対応できる利点を持っている。

情報へのアクセスという観点でみると、路上の情報板は路上を移動しながら自然に眼に入りやすいという受動的な情報の得られやすさ(アクセシビリティ)が高い。これに対し、手持ち情報はいつでも好きな時にアクセスできたり、知りたい情報を探していくなどの能動的で相方向性(インタラクティブ)が利点である。

### 4. 道路上の情報とカーナビゲーション情報の統合

路上の標識と手持ちの情報はこれまでは独立していた。これに対し、この20年間発展してきたカーナビゲーションシステムは、GPSなどを用いた小型位置計測技術によって、道路環境中の空間的位置情報を手持ちの情報の上のせる技術であるといえる。言い換えれば、道路環境情報と手持ち情報をつなげる技術である。前章に述べたように道路環境にある路上標識と手持ちである車載のナビゲーションシステムにはそれぞれ特徴があり、これらの特徴を生か

したり、欠点を補うなどの相互補完的な統合がこれからの課題の一つである。

#### 4-1 カーナビゲーションシステムによる路上標識情報の補完

路上の標識は見えやすくまた空間的位置や路上での事象との同定にすぐれているが、設置数が限られている。そこで、カーナビゲーション側で標識や情報板のある所を表示したり、他の自動車などで見えなかった標識をユーザからの要求で表示するなど、路上標識や情報板のアクセス性を高めることが考えられる。また、渋滞情報板では限られた道の渋滞情報しか表示できないのに対し、VICSによるナビゲーションシステムによって細かい渋滞表示ができるということは、路上情報のナビゲーションシステムによる補完といえる。

路上の標識は利用する不特定多数の人に対応しなければならないが、さまざまな要求を持つ多くの人々に対応するには限界がある。例えば首都高速道路6号線周辺に向かう人も6号線の先の常磐高速道路を利用する人も6号線を利用する。そのため、6号線に向かう道には行き先表示板として「6号線」方面の表示と「常磐道」方面の表示が設置されている。このために道路上の標識が増えてかえって分かりにくくさせているという指摘がある<sup>3)</sup>。カーナビゲーションシステムには路上に設置されている行先表示板を表示して、その表示板とともに目的地方向の表示を行うものが多くなっているが、このように標識と合わせて表示することで、標識の数を減らすことも可能であろう。これはカーナビゲーションシステムによって路上標識の冗長性を減らすことであるが、これを極端におしすすめていくと、路上からの全ての標識類を取り去ってすべてカーナビゲーションシステムに表示すれば道路景観のために良いという考えもおきてくる。しかしながら筆者はこれに賛成しない。先に述べたように路上標識には空間位置や路上事象に対する同定性が高いという利点があり、これを取り去ることは道路を美しくするかもしれないが、分かりにくくすることになると思われる。

#### 4-2 路上標識を個人のナビゲーションに用いる

現在のような車内にディスプレイを持つカーナビゲーションシステムの間人工学的観点からみた問題は、車内ディスプレイを見るために路上から注意がはずれることがおきることと、ナビの地図上で示されている右左折すべき交差点が眼前にみえる道路

上の交差点であるかを同定(マッチング)しなければならないという認知的負荷があることである。実際にナビゲーションシステムを利用中のドライバーの視線を計測すると、交差点の前後でナビゲーションディスプレイを見る回数が増え、この時ドライバーは地図の交差点と実路の交差点が同じものであるか違うものであるかの同定を行っている<sup>1)</sup>。

交差点付近は交通の流れが複雑な所であり、この間に視線が路上から離れることはできるだけ避けたいことである。このことを解決するためには、車内にあるナビゲーションディスプレイを車外に出すのが一つの方法である。車外すなわち路上には道路標識があり、この道路標識をナビゲーションに用いることができれば、車内への視線移動をなくすることができる。さらに、先に述べたように道路標識は道路上に固定して設置されていることから空間位置の同定性がよい。すなわち行き先表示板とその示している交差点までの距離が原則的に一定になっていることから、行き先表示板に示されている交差点が路上のどの交差点かは経験的に同定しやすい。したがって、行き先表示板中の方向の矢印を発光できるようにして、目的地方向の矢印を発光させてみれば、安全で分かりやすいナビゲーションが構築可能である。

実際にこのようなシステムとしては、駐車場内の空きスペースへ案内するシステムがある。しかしながらこの駐車場のシステムは、駐車場に入ってくる車両が一台ずつであり、かつ空きスペースはどのドライバーにとっても共通的な目的地であることから成立しているシステムである。普通の道路のように、複数の車両がそれぞれ別の目的地を持って走行している場合には対応しきれない。そこで、この問題を解決する一つの方法として、矢印ごとに異なる光学的性質を持った光を発光させ、車両内にその光を選択的に透過させる光学的フィルターをおくことが考えられる。この光学的フィルターを車載ナビゲーションシステムの判断に従って制御し、曲がるべき方向の矢印だけを選択的にドライバーに光って見えるようにするシステムが構築可能である。具体的な実現方法としては、表示板の矢印ごとに位相をずらして異なるタイミングで点滅させ、車内にはサンバイザーのような形で液晶シャッターを設置し、その開閉タイミングを車載ナビゲーションによって制御するシステムが考えられる( Fig. 2a )。交差点を右折させなければ、左折および直進矢印が点灯しているタ

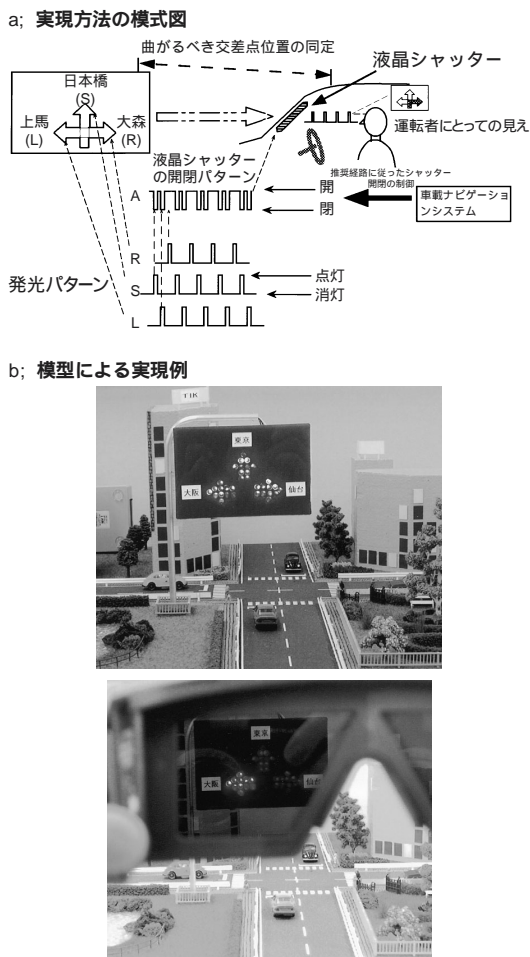


Fig.2 道路案内標識を用いた経路誘導方式

イミングには液晶シャッターを閉じるようにすれば、ドライバーには右折の矢印だけが光ってみるようにできる( Fig.2b )。このようなシステムを用いることで、ドライバーの精神的負荷が小さい形で経路誘導を行うことができる<sup>4)</sup>。

これは本来は不特定多数のための路上の標識を個人のための情報を呈示できるようにすることで、位置の同定性や運転中の受動的なアクセシビリティという路上標識の利点を生かす技術といえる。また、このような光フィルターの技術を用いれば、単に方向の矢印を選択的にドライバーに見せるだけでなく、同じ情報板から異なる言語的なメッセージをそれが必要とするドライバーだけに見せることも可能であろう。

### 4 - 3 道路環境上にナビゲーション情報などの情報をみせる

前節では、経路情報という個人ごとに異なるよう



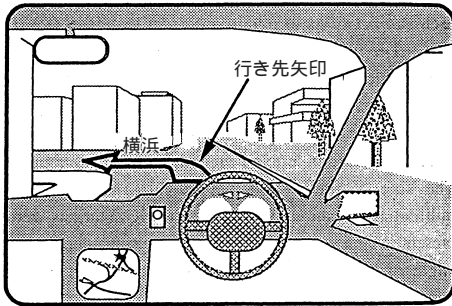


Fig.3 オンシーンHUD



Fig.4 Augmented Reality技術による実世界と情報の統合

な情報を、路上の標識を用いて表示する可能性について紹介した。このようなことは必ずしも標識に頼る必要はなく、道路や路上の建物などに直接情報を表示することも考えられる。このような技術として現実環境と仮想環境を融合するオーギュメントド・リアリティ（拡張現実感：AR）技術がある。これは例えばヘッドアップディスプレイ（HUD）やシースルー型のヘッドマウントディスプレイ（HMD）を用いて実際の道路や建物の見えている位置に重ねて（オンシーン型表示）、矢印などの経路誘導情報などを表示するものである（Fig. 3<sup>5)</sup>。これは経路誘導情報に限らず、例えば建物の中にどのような店やオフィスが入っているかなどの情報の表示にも用いることができる（Fig. 4）。ただし、建物に情報が重なって見えるようにすることは技術的に容易であるが、フロントウィンドウのHUDやHMDを用いて路上に情報を重ねて見えるようにするためには、かなり正確にドライバーの眼の位置を計測する必要があることが技術的課題である。特に乗用車のように視点が低い場合には視線が地面となす角が小さいために、わずかな眼の上下動によって投射された像の路上での位置が大きく動くことになるからである。また頭を動かした時にそれに合わせて映像を動かさなければならないが、この時に生ずる遅れも問題になる可能性がある。さらに、このように実際の路上に情報を重

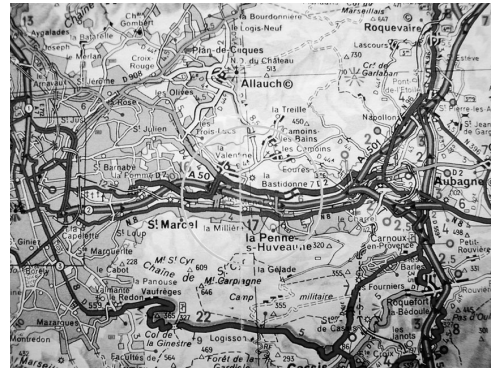


Fig.5 分岐部が拡大された道路地図



Fig.6 地形が立体的に把握しやすい地図

ねて表示する場合には、ある程度その情報表示によって実際の路上のもの（歩行者や障害物や道路状態など）をかくしてしまうことになることにも注意する必要があり、安全性については若干の問題がある。

実際の路上のものを隠してしまうことや頭部位置の計測精度といった問題は、実際のものに直接重ねて見えるように表示しようとするため、これを解決するために道路風景画像に行き先や店舗情報を重ねたものをディスプレイに表示してみせるということも考えられている<sup>6)</sup>。ただし、このようにしてしまうと、道路風景画像と実際の道路風景との同定の認知負荷が生じる危険がある。

## 5. モビリティを支援するシステムとは

### 5-1 移動に必要な情報

本稿では、ナビゲーションシステムと路上情報との統合などのこれからの技術的課題について紹介してきた。最後に人間が自動車を用いて移動するというモビリティに用いている情報とは何かという問題にたちかえて考えてみたい。

フランスのミシュランの地図には道路のジャンク

ション部分が拡大されて描かれている(Fig. 5)。これは正しいスケールで描いてしまうと、細かすぎて道路のつながり具合が分からなくなってしまうからである。また20世紀初頭の道路地図には道路勾配が書かれていたそうである。これは当時の車のエンジンパワーでは登ることができないことがおきたからである。一方、海図には暗礁や海底の地形が描かれており、船にとって危険なエリアが示されている。カーナビゲーションシステムにおけるVICISによる交通渋滞情報は経路移動の困難性の情報であり、いわば海図における暗礁の情報に近いものである。また登山用の地図は谷や尾根のようすが分かりやすいように立体的にみえるように描かれている地図が多い(Fig. 6)。これは登山には経路だけでなく地形も重要であるからである。このように、単に経路を示すことだけがモビリティの支援ではなく、移動形態によってその支援に必要な情報が異なるものと考えられる。

### 5 - 2 知っている道と知らない道

現在のナビゲーションシステムは進むべき道路が示されており、これによって自らの目的地に到達できる。自動車による移動をさらに支援するためには、何をこれから考えるべきであろうか。

あるアンケート調査によれば、高齢者ドライバーのかなりの割合の人が自分の知っている道しか走らないという(Fig. 7)<sup>7)</sup>。また、まわりにいる女性達も多くはやはりそのように言っている。例えばご主人を毎日駅に送らなければならない人のなかには、自宅と駅間の道を決めて、そこしか走らないという人がいる。それがたとえ混雑する道であって他にすいている道があったとしても、その決まった道を走るのである。これは何故であろうか。「知っている道」と「知らない道」との違いは何であろうか。「知っている道」という時の意味の一つは、とるべき道すじ、すなわち経路である。「知らない道」を走りたくないのは道に迷いたくないという気持ちである。しかしこの「道」という言葉は必ずしも経路ということだけをさしていないと考えられる。我々が「知っている」というのは、このあたりの交通量はどの程度か、路上駐車車両はどれくらいいるのか、歩行者や自転車が多いのか、路地から出てくる車が多くあるのか、駐車場に入るために減速して曲がる車が多いのか、電柱や看板の後ろに歩行者がかくされているのか、道路に穴があいているのか、この先道は急に狭くなるのか、信号のついている場所はど

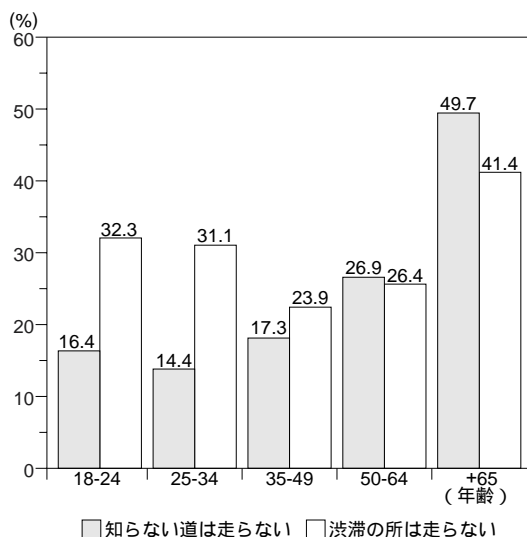


Fig.7 運転の習慣

か、赤信号で止まることが多いのか、右左折するために減速する自動車は多いのか、渋滞しやすい所なのか、といった道路環境や交通状況を知っていることなのである。言い換えれば、知っているとは、道路の環境や道路状況の変化や他の車両の動きなどの注意すべき点があらかじめ分かっており、それによって、ブレーキをかける準備をいつするのか、いつブレーキをかけるのか、いつハンドルを切る準備をするのか、いつハンドルを切るのか、といった運動行動を一連の流れとして把握し、プランとして持っていることと考えられる。これに対して知らない道では、この先道がどうなっているのか、自動車がどこから出てくるのか、どこに信号があるか、前の車の動きはどうなのかといったその場の状況を、その場にきてさまざまな所に注意を配って情報処理を行うことで判断・予測しなければならない。知らない道を走りたくない人は、このようなタスクが自分にとって負担と感じられるからであろう。

### 5 - 3 運転タスク負担を低減させるナビゲーションとは

現在のカーナビゲーションシステムは走る経路は示してくれるが、周りの車両の動きがどうなるのか、どこに注意を向けるべきなのか、そのためにどういった行動の準備をしておかなければいけないのか、といったことは教えてくれない。運転行動によるモビリティを支援していくことを目指すのであれば、次世代のナビゲーションシステムはこういったことに対しても同時に支援するものと考えていく必要がある。

Table 2 運転行動に関わる要因

状況	
自車両状況	速度、加速度、角加速度、ハンドル、ペダル、レバー、スイッチ、ツマミ等からのフィードバック、車内情報機器表示内容、車内計器表示内容、警告灯、オーディオ内容
交通状況	車線内位置、先行車両との車間距離、先行車両速度との差、先行車両の挙動、先行車両の種類、対向車線右折車の挙動、他車両の接近状態、歩行者の挙動、自転車、停止車両との車間距離の変化、後方車両の挙動、徐行車の存在、対向車の挙動、外部の物音
道路状況	車線幅、道路曲率、交差点形状、道路勾配、道路狭窄、外壁の高さ、トンネル壁、舗装種類、凸凹の多さ、わだちの多さ、コーナーの見通し、明度変化、眩しさ、風向、駐車車両数、出入口の有無視程、積雪、凍結
設置または 呈示情報環境	交通信号内容、側方交通信号内容、歩行者信号内容、次の信号の内容、信号が変わる時間間隔、規制標識内容、案内標識内容、車線規制標識、交差点名表示、地域名表示、標識の位置
文脈	
トリップ文脈	目的地、経路、余裕時間、目的地位置の確信度、現在地、交差点前後、トリップ中の相対位置、右左折地点の手前/直後、交差点間相対位置、次交差点までの距離、経路中の交差点数
トリップ経歴	渋滞後、高速道路進入直後、高速道路出た直後、ひやっとした直後
環境	
道路環境	道路種類、車線数、道路幅、車線幅、信号頻度、交差点数、分合流数、ブライントコーナー頻度、横断歩道数、橋数、カーブの頻度、中央分離帯の有無、平均曲率、平均勾配、坂道の割合、視程距離、明度条件、道路周囲建造物、標識量、看板類景観複雑さ
交通環境	車線内車両密度、車線内車線変更頻度、車線内車両平均速度、車線内車両速度バラッキ、対向車線車両密度、歩行者量、自転車量、二輪車量、他車両種類比率(大型、軽、輸入車等)動物
自車両環境	自車両種類、同乗者、着衣、靴、帽子、サングラス、積載量、車両性能、車両/部品故障

だが、運転にかかわる環境要因や状況要因は多種多岐に渡り( Table 2 )、その一つひとつについて情報呈示や注意喚起をすることは情報過多になり、逆にドライバーの負担を増やす可能性がある。そういった情報呈示をすることなく運転を支援する方法として、その人にとって走りやすい道を選んで経路誘導することが考えられる。現在は距離の短さや経路の単純さなどが経路選択の評価基準であるが、そういった時間的経済性を重視するのではなく、できるだけ走り慣れた道を選ぶことが考えられる。もちろん、初めて行く地域では走り慣れた道を選ぶことができない。したがってそのような場合には知っている道と似た道路構造や似た道路環境を持つ道に誘導することである。さらには、似た道路環境に誘導するだ

けでなく、交通の流れや走っている車両などの交通状況が普段走る道と似ている道に誘導することが考えられる。すなわち、初めてのところでありながら、どこか走ったことのある道と似た感じがする「なじみ」のある道を走らせるようにするのである。これによって、いつもの運転の仕方をしたままで、知らない所を負担なく走ることが可能になると考えられる。これを実現するためには、人が道路や交通のどこに注意して運転をしているのかという、運転行動を決める道路環境要因および交通状況要因を明かにしていかなければならない。

### 参考文献

- 1) M . Akamatsu , M . Yoshioka , N . Imacho , T . Daimon , H . Kawashima : Analysis of driving a car with a navigation system in an urban area , Ergonomics and Safety of Intelligent Driver Interfaces , I . Noy ( Ed ) , pp 85-96 , 1997
- 2) 『平成11年度次世代移動情報ヒューマンインタフェースの研究成果報告書』自動車技術会、pp . 49-76、2000年
- 3) 小木、堀野、岸田、山岡、森「大都市高速道路網案内標識の人間工学的評価方式」『人間工学』Vol 34、特別号、pp 298-299、1998年
- 4) 赤松、大門「道路案内標識を用いた経路誘導インタフェース」『交通科学』Vol 28、No .1 2、pp 21-28、1998年
- 5) T .Todoriki , J .Fukano , S .Okabayashi : Application of Head- Up Displays for In- Vehicle Navigation / Route Guidance , Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings , pp 479-484 , 1994
- 6) 長井、片桐、杉山「実写ライブ映像を使用したナビゲーションシステム」NTT R&D、Vol 49、pp 25-30、2000年
- 7) A .Pauzie , D .Letisserand : Ergonomics of MM I in aid driving systems : approach focusing on elderly visual capacities , Studies in Health Technology and Informatics , Bouma & Graafmans , Eds . , Proceeding of the 1st Conference Gerontechnology , Netherlands : IOS Press , pp 329-334 , 1991