

追従走行時のドライバ挙動に関する研究

成 波* 谷口哲夫* 波多野忠* 松島和男*

Driver Behaviors in Car Following

by

Bo Cheng* Tetuso Taniguchi* Tadashi Hatano* Kazuo Matsushima*

Abstract

In recent years, the studies on the characteristics of driver behaviors are attached to importance more and more. It is expected to provide a guideline for the technological development such as ASV by clarifying the driver characteristics. This study investigated the characteristics of driver behaviors related to distance headway setting and control operations in a car-following by an expressway experiment in which subjects were requested to follow a preceding vehicle as usual. The mechanism of the driving behaviors of subjects was analyzed. It was found that the subjects set the distance headway only as the necessary to prevent another vehicle from cutting in ahead. It was also found that the subjects followed a similar pattern, based on multiple objectives, in making decisions with regard to their driving actions. The actions were mainly determined by the information directly related to the car-following task, such as distance headway, relative speed and the speed and acceleration of subject vehicle, and relative speed was regarded as more important than distance headway. In addition, it was also found that the subjects intentionally loosen the control of distance headway to avoid the deterioration of workload and riding comfort.

原稿受付：平成16年8月31日

*自動車安全研究領域

1. まえがき

交通安全問題は、近年 EU を始め欧米日各国に益々重要視されており、日本を含む多くの国は、5 年か 10 年をかけて交通事故死者数を半減するという極めて高い政策目標を掲げている。このような目標を達成するために、これまで衝突時にダメージを軽減させる「衝突安全」だけでは限界がある。明確なビジョンのもとに、事故原因分析や、事故を未然に防ぐ「予防安全」などの考えも取り入れた総合的な対策が求められる。

事故の 90% 以上がドライバによるものであり、また、その原因はドライバの運転能力の不足と指摘されている。そのため、ASV を始め様々な運転支援システムが開発され、実用化されつつある。これらのシステムはドライバの運転を補助するものであり、ドライバの運転特性を理解していない限り、これらのシステムがドライバにとって有効であると言い難い。従って、近年ドライバの運転特性における研究は、自動車業界だけではなく、心理学界などにも活発になっている。

運転時は一般に他車に追従することが多く、また自動車事故の全体の中に追突事故が最も大きな割合（約 30%）を占めている⁽¹⁾ ため、ASV では追従走行時のドライバを支援するシステムが最も精力的に開発されている。従って、追従走行時のドライバ運転特性の解明はより重要であると考えられる。

谷口⁽²⁾ は高速道路の交通実態を調査し、車間距離が 30~35m（車間時間 1.4~1.6s）を中心とし、20~45m（車間時間 0.9~2.0s）に集中することと、車間距離が道路環境や昼夜という視認性に関係せず、その時の交通量との関連が強いことを明らかにした。また、Serafin⁽³⁾ は高速道路での追従走行実験を行い、17 名の被験者の好ましい車間を調べ、それが 0.8~2.2s（車間時間）に分布する結果を得ている。一方、80km/h の速度で走っている車を、フルブレーキ（0.8G）で 45m の距離内に停止させる場合、最大空走時間が約 0.6 秒と推算される。このことは、上述の調査の中に車間距離の長いドライバにとっても、ブレーキで追突を避けるために、反応時間も含めわずが 0.6s で 0.8G の減速度を出さなければならないことを意味している。これはほとんどのドライバにとっては非常に難しいことであるといえる。

個人特性の異なるドライバは、実際の交通環境

におかれると、なぜ似たように短い車間で追従するか。また、このような短い車間で追従する場合、ドライバはどのように車両を制御しているか。それらの原因を明らかにすることは、追従走行時のドライバの運転特性の解明、さらに追突事故防止策の策定などに対して有益であると考えられる。本研究はこれらの問題を取り上げ、ドライバの心理特性と行動特性の側面から、追従走行時のドライバの運転特性を解析する。

2. アプローチ

追従走行時のドライバの運転特性については、これまで主にドライバの認知特性や操作特性から検討されている。例えば、澤田⁽⁴⁾ はドライバの車間距離の制御動作から検討し、車間距離を 20m 付近に設定するのが知覚しやすいためと説明した。松木⁽⁵⁾ は車間距離のドライバの選択反応時間との関係、牧下⁽⁶⁾ は車間距離のドライバの運転技能や属性等との関係について検討した。また、飯島ら⁽⁷⁾ は実車とドライビングシミュレータ実験によって、ドライバの車間調整の操作特性を調べた。しかし、これまでの研究では、実際の交通環境の中でドライバの運転行動に大きな影響を与える運転動機⁽⁹⁾ が無視されている。人はふつう何かしようと思ってからそれをすることが多い。即ち、動機は行動の目的または目標であり、動機があるから、行動が選択され実行されると考えられる。従って、ドライバの運転行動のメカニズムを解明するために、ドライバの運転動機の観点から検討することが必要であると考えられる。

これまでのドライバの運転特性における研究は、多くの場合単純な環境で単一のタスクを課された時のドライバのパフォーマンス、即ちドライバはすべての注意がそのタスクに向け、最善を尽くそうという条件で得られた最大能力を評価するものであるといえる。この時のドライバの運転行動が実道路上で生じる運転行動とは異なるため、得られた結果を直接ドライバの運転行動へ一般化することができるかは疑問である。また、実道路上では、操作能力よりも制御方針のほうが、ドライバの運転行動に大きく影響する場合が多いと考えられるため、ドライバの運転動作特性を解析する際に、ドライバの運転動作を決定するための意思決定や判断特性などを重要視する必要

があると考えられる。

本研究では、まず、高速道路での追従走行実験を行い、被験者の追従車間距離および各車間距離における判断特性を調べ、運転動機の観点から被験者の車間距離設定のメカニズムを検討する。そして、追従走行時のドライバの運転動作を解析し、その時のドライバの制御方針や運転動作における意志決定特性などを分析し、追従走行時のドライバの運転動作のメカニズムを明らかにする。被験者の個人特性が異なると考えられるため、これらの解析は被験者の個人ベースで行う。

3. 車間設定挙動

3.1. 運転動機と車間距離

動機は人間の行動を決定する原因または目的であり、行動は動機を達成するための手段である。認知論の観点から人間の動機づけ行動は次のようなプロセスで遂行される。即ち、行動が状況刺激によって始まり、動機づけの後、人間は到達可能な選択肢から行動目標を設定し、そして、その目標を達成するための意図した目標指向行動を行う⁽⁹⁾。

車を運転するドライバについては、その行動プロセスが Fig. 1 のように考えられる。ドライバは、運転目的や交通状況などによって運転動機をつけてから、自身の状態などに合わせて動機達成のための行動目標を選択する。そして、その目標を達成するために、どのような運転行動が必要かを判断して実行すると考えられる。

多くの場合、人間は単純な動機ではなく、複数の動機の連合によって行動を決めると考えられる。ドライバの運転動機は、次の4つの基本動機を挙げることができる。即ち、速やかな移動への動機、安全への動機、負担軽減への動機と、

自己誇示や快樂の追求などの感情的な動機、である。また、ドライバはこれらの基本動機とその場の状況によって、ある現実的な動機を派生することが考えられる。

運転時のドライバの行動目標は走行経路、速度、車間距離等があるが、短期的に見れば速度と車間距離との二つが考えられる。また、本論文で取り上げる高速道路での追従走行場面では、追従車は常に先行車と同じ速度で走るようにするため、速度選択の自由度が制限され、走行中にドライバの常に判断する必要な行動目標が車間距離のみに

なると考えられる。

車間距離の設定は、先行車の急減速のような危険状況や、ドライバ自身の反応遅れに備える一つの安全措置であるといえる。それは移動時間に関係せず、主に安全動機などに関連するものと考えられる。車間距離が短いほど余裕が少なくなり、ドライバは危険と感じる一方、情報処理の速度や車間距離の制御精度も要求され、運転負担が増加すると予想される。よって、車間距離の設定は安全動機のほか、運転負担などにも関連すると考えられる。

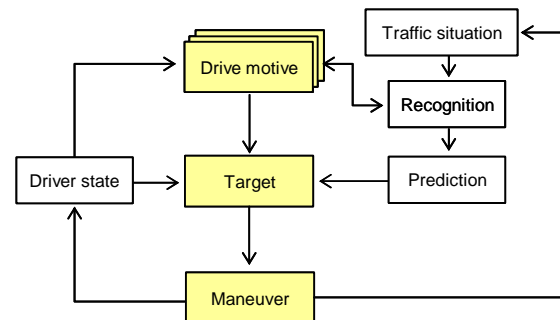


Fig.1 Process of driving behaviors

運転時に、ドライバは車間距離を長くして、安全性も保ち、運転負担も低減しようとする考えがあると考えられる。しかし、実際の交通環境では、車間距離を長くすると他車に割込まれる問題がある。服部⁽¹⁰⁾は、ドライバが浸入されると不快を感じる個人的なテリトリーを持っていることを指摘している。また、交通事故の多くは交通流が乱れる時に発生する⁽⁹⁾ことから、安定した走行状態で他車が急に割込んでくると衝突の危険性が高まると考えられる。そして、このようなことを避けるために、ドライバは車間を詰めて他車を割込ませないような動機が形成されると考えられる(もちろんそうしないドライバもいる)。

以上の考えにより、追従走行時にドライバは車間距離の設定に関して、他車を割込ませないために車間距離を詰めようとする意欲がある一方、安全や負担軽減などのために車間距離を広げようとする意欲もある。ドライバはこれらの動機のトレードオフにより目標車間距離を決定すると仮定することができる。

この仮説を検証するために、ドライバは追従走行時にある一定の目標車間距離を持っているか、あるならば、それはドライバの運転動機とどのような関係があるか、などについて明らかに

する必要がある。また、ドライバの運転動機は実際の交通環境に影響されると予想されるので、これらの検討は実際の交通環境を十分考慮した上で行う必要があると考えられる。

3.2. 実験方法

高速道路での追従走行実験を行い、各被験者の追従車間距離等について調べた。被験者は20~50代の男性4名であった。実験は次のように行った。

(1) 割り込み可能性評価実験 走行中に先行する一般走行車との間に他車が割り込んでくる可能性がどのくらいあるかを質問し、被験者に4段階(全くない、少しある、かなりある、十分にあり)での評価を求めた。

(2) 追従車間調査実験 (Fig.2) 供試車両1台(単独走行)と2台(車群走行)との2条件において追従走行実験を行った。これは、先行車が仲間同士の場合、被験者は他車に割り込ませまいとする動機がより強くなると予想されるためである。単独走行実験は上述の評価実験(1)が終わってから、被験者に「実験が終わりましたので、普段通りに運転して帰って下さい」、車群走行実験は「普段通りに先行車について走行して下さい」と教示した。

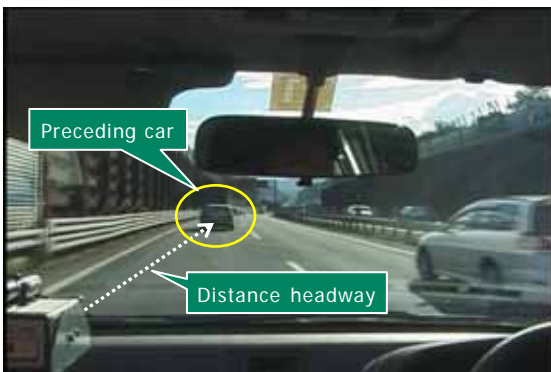


Fig.2 A car following test on an expressway

交通状況が被験者の判断や操作に影響すると予想されるので、実験は同じ区間、同じ時間帯で行った。実験時の交通量が少ないと、他車が追従している両車の間に割り込んで来ないだろうと予測されるため、実験は「やや込む」時間帯で行った。実験中にドライバの操作動作、生体情報と車両状態量を計測した。ドライバの操作動作はアクセル開度、ブレーキ踏力とハンドル角、生体情報

は心電図、車両状態量は車間距離、先行車と実験車の速度と加速度で、計9項目であった。

3.3. 実験結果

(1) 追従目標車間 単独走行(Single)と車群走行(Platoon)時の各被験者の車間時間の頻度分布を Fig. 3 に示す。Fig. 3 より、車間時間はやや左に偏って分布している(歪度:0.2~1.0, 尖度:0.5~5.9)が、近似的に正規分布と見なすことができると考えられる。人間行動の計測にあたって、ある数量が正規分布ならば、それは必ず人間の何かを捕らえていると考えられる。そこで、Fig. 3 に示すものは、被験者の追従時の目標車間であろうと考えられ、また、その目標車間は車間時間の平均値で表すことができると考えられる。

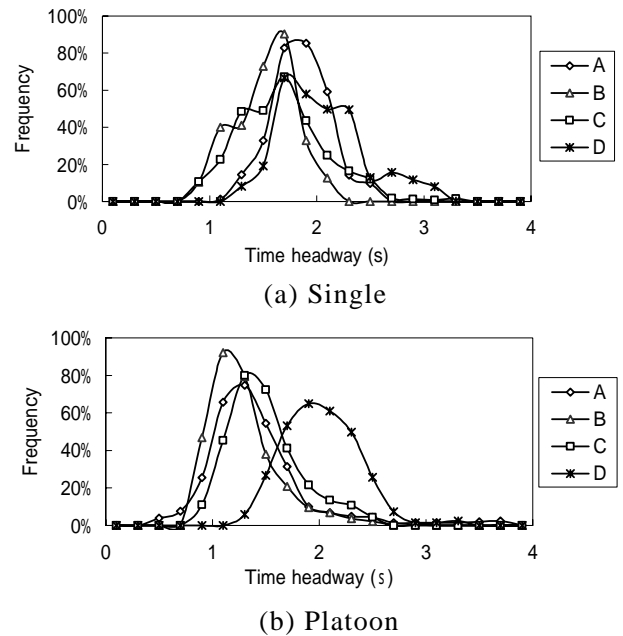
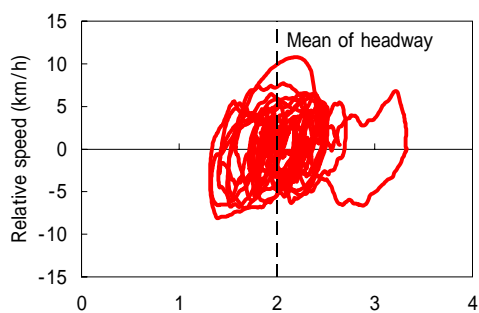


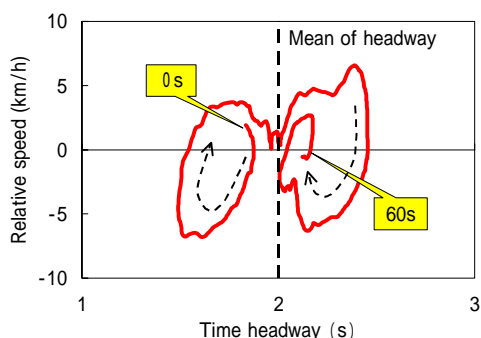
Fig.3 Frequency distribution of time headway in car following on an expressway

3.1 節にも述べたように、人間は行動目標がある場合、目標指向行動を行う。Fig. 4 には、車群走行の場合の被験者 D の運転動作の軌跡を示す。横軸は車間時間、縦軸は相対速度(先行車速度 - 自車速度)であり、図中の縦破線は車間時間の平均値(約 2.0s)を表すものである。Fig.4(a)はその全データ、Fig.4 (b)は分かりやすくするため、Fig.4 (a)の初期 60 s 間のデータを取り出して示すものである。Fig.4 (b)中の矢印は車両状態量の変化方向を示すものである。

Fig.4(a)より，車間時間と相対速度が(2,0)を中心分布していることがわかる。さらにFig.4(b)に示す被験者の動作軌跡から見ると，車両状態が中心(2,0)の付近にある場合その状態が維持され，車両状態がその中心を離れる場合時計回りの滑らかな曲線で中心へ収束される傾向を示している。また，他の被験者も似たような行動をとっていることが認められる。これらのことは，被験者は追従走行時に目標車間が存在し，またその目標を目指す運転行動を行っていることを示している。



(a) Whole time (about 806s)



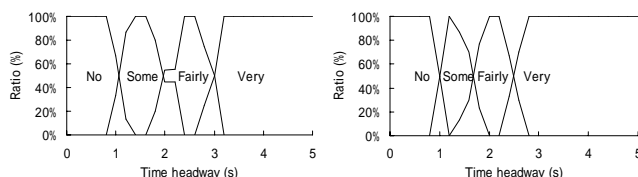
(b) First 60s

Fig.4 Trajectory of driving behavior in car following on an expressway (Subject D, Platoon)

(2) 目標車間と運転動機 目標車間と運転動機の関係を検討するために，まず被験者の運転動機を定量的に表現する必要がある。ここで，人間の意志や判断などの心理活動の定量化に有効であるファジー手法の考え方をを用いて，被験者の運転動機の定量化を行い，その結果はFig.5に示す。Fig.5は，前方に他車が割込む可能性について各被験者の評価結果を示すものである。横軸は車間時間，縦軸はそれぞれの車間時間における各評価レベル(4段階)の割合(その車間における各レベルの評価される回数/総評価回数)である。図

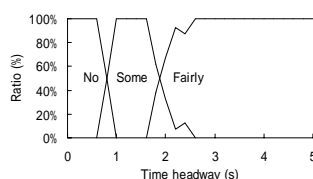
中の各評価レベルの間に重なっている部分があるが，これは人間の判断のあいまいさを示すものである。

Fig.5の結果から，被験者A,B,Cは割込まれる可能性に対する判断がほぼ同じであるが，被験者Dは右に寄っていることがわかる。これは，被験者Dの実験時に交通量が他よりかなり少なく，同じ車間でも割込まれる可能性が小さいと評価されたためであると考えられる。このことは，被験者の割込まれる可能性における判断がその時の交通量に依存することを示唆している。被験者が目標車間をFig.5に示す割込まれる可能性マップのどこに設置するかは，その被験者の割込まれないという動機の強さを表すものであると考えられる。次に，このような考えの下に被験者の目標車間と運転動機との関係を検討する。

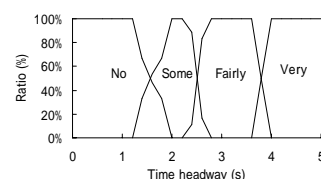


(a) Subject A

(b) Subject B



(c) Subject C



(d) Subject D

Fig.5 Subjective rating on the possibility that another vehicle cut in ahead when running on an expressway

Fig.6は，Fig.5の割込まれる可能性の評価結果の上に，Fig.3の追従車間を合わせて示すものである。Fig.7から，追従車間は被験者や実験条件によって異なるが，ほぼ同じく割込まれる可能性の「少しある」範囲に設定されており，また，単独走行に比べて車群走行では，被験者が車間を詰めようとする行動をしている(追従車間が「少しある」の右側から左側へ移る)ことがわかる。また，この時でも，どの被験者も「全くない」範囲にほとんど車間を設定しておらず，車間の分布曲線の左端部は「少しある」の左端とほぼ一致している。これらのことは，被験者が各車間におけ

る割込まれる可能性について明確かつ安定な判断基準を持っており、また、多くの場合その基準のもとで車間を設定していることを示している。

以上、他車を割込ませたくないという動機がドライバーの追従車間の設定に影響するという観点から、ドライバーの車間設定について検討したが、そのほか、「後続車からのプレッシャー」や「他車と同じように走りたい」などの動機も影響があると考えられる。それらについての検討は今後の課題であると考えられる。

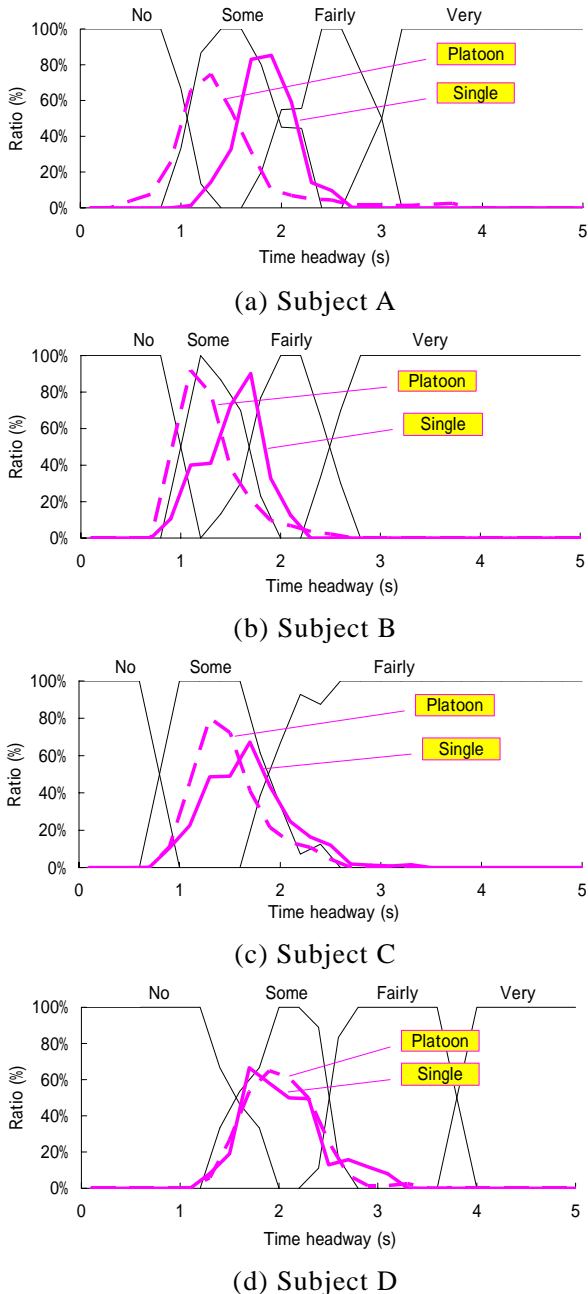


Fig.6 Relationship between time headway and driving motive

4. 車間維持挙動

運転時にドライバーは状況認識、動作判断の上、操作を行うというような制御プロセスで車を運転すると考えられる。ドライバーの運転制御方針、即ち何を目標にし何を重視して制御するかは、ドライバーの運転動作の判断に大きな影響を与えると思われる。そこで、ここでの運転動作解析は、操作動作そのものより、動作のためドライバーはどのような制御方針を立てて、どのように意志決定を行っているかに重点を置いて、追従時のドライバーの運転動作のメカニズムを解析する。

4.1. 解析方法

4.1.1. 運転動作の分類

ドライバーの運転は一連の動作により構成され、運転動作には個人差があるものの、各ドライバーは個人特有のパターンがあり、ほぼ一定である⁽¹¹⁾。Fig.7は、本実験での被験者Aのアクセル操作とブレーキ操作の一例である。

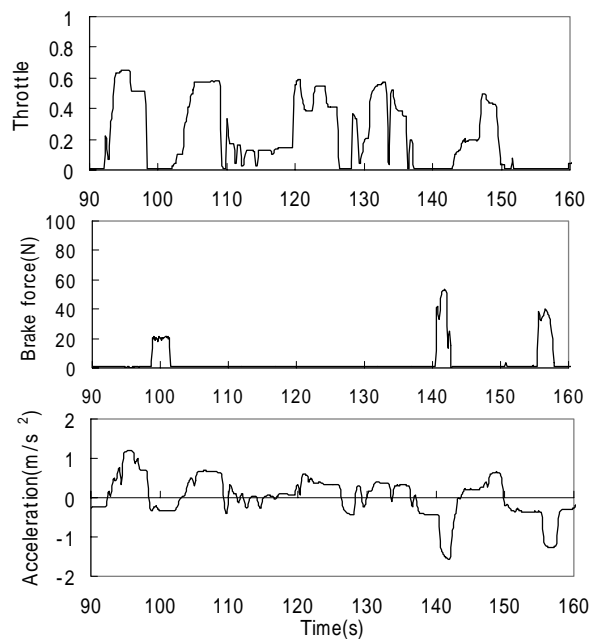


Fig.7 Operations of throttle and brake (driver A)

Fig.7より、運転動作特にアクセル操作はほぼ段階状に変化し、動作が始まってから、操作量が一定の量まで立ち上がり、そしてそのまま終了まで保たれ、動作中に細かい調整をあまりしないことが読み取れる。他の被験者も似たようなパターンを示している。このことは、動作開始タイミング、最大操作量と持続時間が分かれば、被験者の運転動作がほぼ特定できることを示している。ま

た、被験者は動作タイミングや最大操作量を決めた上操作を行い、動作中に時々刻々その時の走行状況等に合わせて操作量を調整することがなく、既定のパターンで動作することを示している。言い換えれば、最大操作量は動作開始時に決められており、その時点での走行状況に関連するものと予想される。これに対して、動作中には各時刻の操作量が必ずしもその時の走行状況に連動しないと考えられる。以上の考えに基づき、本論文では、被験者の運転動作の操作量と動作開始時の車両状態量等の入力情報との関係に着目し、重回帰分析法で被験者の運転動作特性を解析する。

追従走行中に、ドライバは基本的にはアクセルやブレーキの操作によって速度を調整し、また速度調整によって先行車との車間距離を調整すると考えられる。速度調整の目的によれば、ドライバの運転動作は加速、減速と速度維持(自車加速度0)の三つの動作に大別することができる。高速道路では、エンジンプレーキ(アクセルオフ)による減速する機会が多いため、ここで、ドライバの減速動作をさらにエンジンプレーキによる減速動作とフットブレーキによる減速動作に細分する。即ち、追従走行時の被験者の運転動作を速度維持、加速、エンジンプレーキ減速とフットブレーキ減速の4つに分けることにする。

各動作の操作量については、アクセル操作にせよブレーキ操作にせよ、いずれも速度調整のための制御量であり、また車両の前後加速度との相関が強い(相関係数0.9以上)ため、ここでは、操作量を、動作毎の最大加速度修正量(MVA)、即ち各動作中の最大加速度と当該動作開始時の初期加速度との差を用いて評価する。

4.1.2. 重回帰分析

被験者がどのような情報で判断し、またそれらの情報が運転動作にどのくらい規定するかについて、重回帰分析法を用いて解析する。

被験者の運転は、基本的には多目標制御行動であると考えられる。追従走行時の被験者は、先行車追従という行動目標のほか、安全性、運転負担、乗り心地なども考慮して運転動作を決めると考えられる。そこで、ここでは、入力情報として、追従タスクに直接関連すると思われる車両状態量以外、被験者の運転動作に影響すると思われるほかの情報も含めて解析を行う。

目的変数は最大加速度修正量とした。説明変数は、最初に、動作開始時の車両状態量として車間距離、車間時間、自車と先行車の速度と加速度、相対速度、相対加速度、被験者の緊張度を表すものとしてRRI(心拍のR波間隔、緊張すると小さくなる)、道路の線形を表すものとしてハンドル角などを取り上げ、変数増減法により選別した結果、車間距離(*hd*)、相対速度(*vr*)、相対加速度(*ar*)、自車速度(*v0*)、自車加速度(*a0*)、RRIとハンドル角(*str*)の7変数とした。重回帰分析の結果、各被験者において重回帰係数は0.8~0.9($p < 0.01$)であり、被験者の運転動作をほぼ説明できると判断される。ここで、重回帰係数がより大きくなる理由の一つとしては、被験者の運転行動に大きく影響すると思われる環境要因が含まれていないことであると考えられる。

4.2. 解析結果

4.2.1. 動作における意思決定

Fig.8には、目的変数(MVA)に対する各説明変数の標準偏回帰係数(以下回帰係数という)を示す。回帰係数の方向は定性的に説明変数が目的変数をどう規定するか、大きさ(絶対値)は定量的にどのくらい規定するか(寄与度)を表すものである。これらの回帰係数の比較によって、被験者がどの情報を重視し、どのように動作を決めたかを分析することができると考えられる。Fig.8より、以下のことが読み取れる。

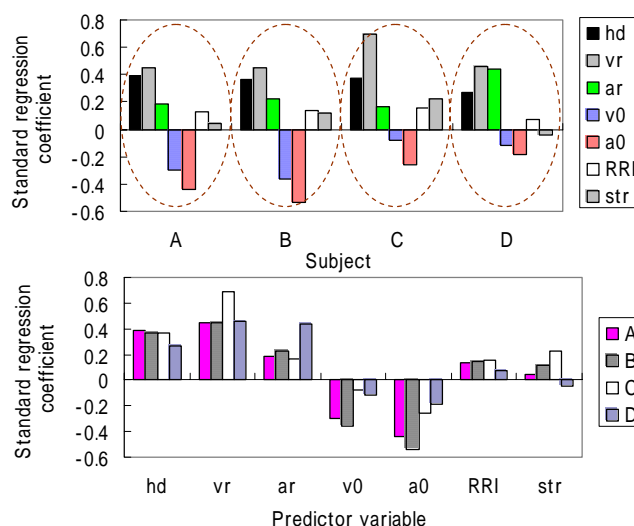


Fig.8 Standard regression coefficient of predictor variable for each subject

1) 各被験者(A,B,C,D)において、説明変数における回帰係数の方向と相対的な大きさについては、個人差があるものの、ほぼ同様である(上図)。このことから、追従運転時に各被験者が似たようなパターンで意志決定を行うと考えられる。

2) 追従タスクに直接関連する情報が相対速度、車間距離と相対加速度であると考えられる。これらの情報については、被験者間で個人差が小さく、かつ寄与度が全体の中に占める割合が大きい(下図)ので、被験者は主に追従タスクに関連するこれらの情報に基づいて運転動作を決めると考えられる。

3) 相対速度における回帰係数は、車間距離に比べて絶対値が大きいため(特に被験者 C,D, 上図)、被験者が車間距離よりも相対速度を重視すると考えられる。相対加速度については、被験者 D を除けば回帰係数の絶対値が小さい。これは視覚による相対加速度の認知が難しいためであると考えられる。

4) 自車速度と自車加速度における回帰係数は、人によって異なり(A,B 大, C,D 小)、個人差が大きい。速度は安全性に、加速度は乗り心地に関係するものであると考えられるので、個人差が大きいことは、安全性や乗り心地などのメインタスク以外の目標に対して、人によって考え方が異なることを示している。

5) RRI の回帰係数は全員プラスであるが、絶対値が小さい(下図)。このことにより、被験者が緊張した場面において加速を控える傾向が見られるが、運転動作への影響が小さいと考えられる。また、ハンドル角についても絶対値が小さく、運転動作への影響が小さいと考えられる。

以上のことから、被験者は追従走行時主に相対速度、車間距離、自車速度と自車加速度などの情報に基づいて動作を決める。また被験者は車間距離より相対速度を重視し、追従という目標のほか、安全性や乗り心地なども考慮して、似たようなパターンで運転動作における意思決定を行うと考えられる。

4.2.2. 制御成績

運転動作の結果は、被験者の運転制御成績に反映されると思われる。ここでは、制御目標(車間距離と相対速度)の標準偏差を用いて被験者の制御成績を評価する。Table1 には、高速道路実験で

の各被験者の車間距離と相対速度における平均値(Mean)と標準偏差(SD)を示す。ここで、車間距離と相対速度の平均値は被験者の制御目標、標準偏差は被験者の制御成績を表すものとして用いる。一般に車間距離が長くなると、車間距離と相対速度の制御成績が悪くなるので、その制御成績を評価する際に車間距離の影響を考慮する必要がある。しかし、今回の実験では、Table1 に示すように各被験者の車間距離には大きな差がなかったため、その影響を考慮しない。

Table1 Headway distance and relative speed when following a preceding vehicle on an expressway

Subject	Headway distance(m)		Relative speed(km/h)	
	Mean	SD	Mean	SD
A	27.1	10.4	0.0	4.0
B	29.1	8.4	-0.3	3.9
C	30.3	5.2	-0.1	3.7
D	39.6	7.4	0.1	3.4

Table1 より、車間距離については、標準偏差かつ標準偏差の個人差が大きい(SD=5.2~10.4m)ことがわかる。また、相対速度については、平均値がほぼ 0、標準偏差が小さい(SD 4.0km/h)ことがわかる。車間距離と相対速度の標準偏差を直接比較できないため、それぞれの認知閾値に比べて検討する。

ドライバの相対速度における認知閾値を Torf⁽¹²⁾ は実車実験で調べた。それは約 $3.0 \sim 3.7 \times 10^{-2} \text{1/s}$ (相対速度 / 車間距離, 車間距離 24m) であることがわかった。今回の実験に適用すると、約 $3.2 \sim 5.3 \text{ km/h}$ (車間距離の平均値約 30~40m) にあたり、Table1 の相対速度の標準偏差に近いことがわかる。各被験者の相対速度の標準偏差がほぼ同じ、かつ相対速度の認知閾値に近いことは、相対速度の制御が被験者の認知限界に関係する可能性があることを示唆している。

また、車間距離の変化における認知閾値を Snider⁽¹³⁾ は実車実験で調べ、約 6.1% (車間距離の変化 / 車間距離, 車間距離 38m の場合) であることがわかった。今回の実験に適用するとそれは約 1.8~2.4m にあたる。Table1 に示す車間距離の標準偏差がその値をはるかに上回る。即ち、認知閾値に比べて見ると、車間距離の制御成績が相対速度より悪いことを示している。

4.3. 考察

前節では、被験者は車間距離より相対速度を重視する制御方針の下に追従運転を行うと推定された。その理由については、以下に被験者の制御能力と制御容易さの観点から考察する。そのため、テストコースにおいて定車間距離の追従走行実験を行った。

実験は片道 2 車線のテストコース周回路 (5 km / 周) で行った (Fig.9)。車速が 80km/h になってから、その時点の車間距離を被験者に口頭で提示しながら目標車間距離になるまで調整してもらう。車両状態がほぼ安定してから、被験者に「できるだけ今の車間距離を維持しながら追従して下さい」と教示し、計測を始める。先行車の走り方が追従車の運転動作や制御精度に影響すると考えられるので、先行車に速度範囲を $80 \pm 20\text{km/h}$ にし、各試行の速度のバラツキをなるべく同じようにすると教示した。実験条件として、目標車間距離を 10,20,30,40,50m の 5 条件とし、被験者毎にランダムに指示した。被験者は前述の高速道路実験と同じメンバーであった。



(a) Target distance 40m (b) Target distance 10m
Fig.9 A car following test with constant distance headways in a test course

4.3.1. 制御能力

高速道路とテストコースで車間距離と相対速度における標準偏差を Fig.10 に示す。図中のテストコースでの各被験者の目標車間距離は、その被験者の高速道路実験での平均車間距離 (Table1) に最も近いものにした (A,B,C : 30m, D:40m)。

相対速度 (Fig.10 下図) については、被験者 B は高速道路より標準偏差を抑えたが、他の被験者は高速道路とほぼ同様である。ここで、興味深いのは、道路環境 (高速道路 vs テストコース) や運転タスク (通常追従 vs 定車間追従) などに関係せず、各被験者は相対速度における制御精度がほぼ同じであることである。このことは、相対速

度の制御において、被験者が運転状況の変化に対応する能力を持つことと、それ以上に制御成績を上げられないことを示している。また、異なる状況では各被験者において、相対速度の標準偏差が 4.2 節に述べた認知閾値に近いことは、相対速度の制御において、高速道路でもテストコースでも被験者が認知限界付近で制御を行っている と推測される。

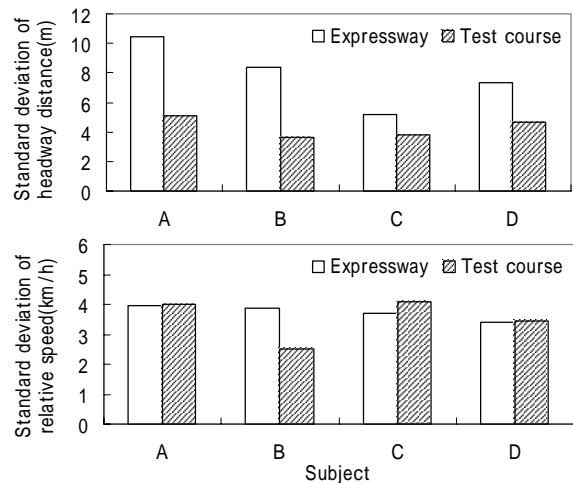


Fig.10 Comparison of standard deviations of headway distance and relative speed between expressway and test course

車間距離 (Fig.10 上図) については、被験者全員、特に高速道路でバラツキの大きい被験者 A,B が大幅に抑え、かつ各被験者とも標準偏差が認知閾値に近づいている。このことは、被験者の制御能力について、相対速度にせよ車間距離にせよ被験者間には大きな差がない。また、高速道路では車間距離の制御成績が悪いのは、被験者の制御能力の問題ではないと考えられる。

4.3.2. 制御容易さ

高速道路とテストコースでの被験者の操作量と操作頻度を比較する。Fig.11 には、被験者 A の高速道路とテストコース (目標車間 30m) での最大加速度修正量 (MVA) と最大加速度 (MA)、及び各操作の持続時間の平均値と標準偏差を示す。

Fig.11 より、高速道路に比べてテストコースでは被験者の操作量が大きく、持続時間が短いことがわかる ($p < 0.01$)。前述のように、高速道路に比べてテストコースでは、相対速度の制御精度はほぼ同じだが、車間距離の制御精度は大幅に改善され

た。このことも考えると、Fig.11の結果は、被験者が車間距離のバラツキを抑えるために、動作修正を大きくかつ頻繁に行うようになることを示している。これにより、被験者は運転負担も増え、また乗り心地も悪くなると予想される。即ち、同じ認知限界までにバラツキを抑えるのに、車間距離が相対速度より制御しにくいことを示唆している。その理由についてはさらに検討する。

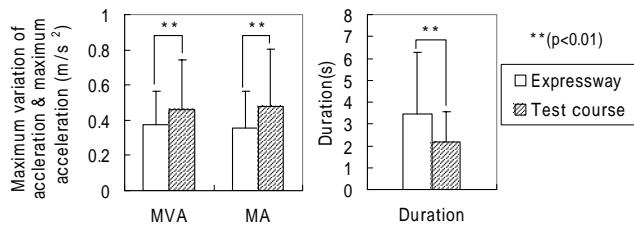


Fig.11 Comparison of driver's behaviors between expressway and test course (target of headway=30m, driver A)

人間の運動の知覚特性から見ると、人間は参照のない絶対運動への検知が参照のある相対運動より悪い⁽¹⁴⁾。追従運転中に相対速度については常に先行車との相対静止状態($v_r=0$)と比較することができるのに対して、車間距離については目標車間距離のような参照がないため、認知しにくいと考えられる。また、人間の車間距離と相対速度に対する認知閾値が注視時間によって異なる変化が起こり、即ち、注視時間が長くなると、相対速度における閾値は下げるが、車間距離における閾値が上がることが Evans⁽¹⁵⁾の研究からわかっている。これによれば、追従運転時、特に何かの動作を行おうとする時に、ドライバは先行車への注視時間が長くなると予想される。その結果、相対速度の認知がより易しく、車間距離の認知がより難しくなると推測される。

また、一般に人間が運動する目標を追従する時に、認知・判断から操作までに時間がかかる。このような遅れ時間を補償するために人間が予測制御を行う。ただし、追従させる制御対象の特性が2階以上の積分系になると制御が困難になる⁽¹⁶⁾。恐らくこれは、制御者が自らの制御動作から制御対象の将来の状態を予測しにくくなるためと考えられる。車の場合、ドライバのアクセルやブレーキ操作が車両の前後加速度にほぼ比例するので、ドライバの操作量 vs 相対速度には1

階の積分要素が入り、操作量 vs 車間距離には2階の積分要素が入っていると考えられる。従って、車間距離は相対速度より制御しにくいと推測される。

以上のことから、車間距離は相対速度に比べて認知しにくくかつ制御しにくいいため、車間距離の制御成績を上げるために運転負担や乗り心地などが悪化される恐れがある。それを避けるために、高速道路では被験者が意図的に車間距離の制御を緩めていると推測される。

5. まとめ

本研究では、高速道路での走行場面を取り上げ、追従走行時の被験者の車間設定挙動と運転挙動について解析した。その結果、

(1)被験者は追従走行時に他車を割込ませたくないという運動動機を持っており、また、それを達成するように車間距離を設定していることがわかった。

(2)追従走行時に、被験者は多目標制御を行い、追従という目標のほか、安全性や乗り心地なども考慮して、各被験者とも似たようなパターンで運転動作における意志決定を行うことがわかった。

(3)被験者は主に相対速度、車間距離、自車速度と自車加速度などの情報に基づき動作を決めるが、その中車間距離よりも相対速度を重視することがわかった。

(4)被験者は、基本的には、車間距離や相対速度を目標値に近づけるように制御を行うが、相対速度よりも車間距離が認知しにくく、かつ制御しにくいので、被験者が運転負担軽減などのため車間距離の制御を意図的に緩めると推測される。

今後は、被験者の運転行動に影響を与えらると思われる環境要因などを取り上げて検討することが必要であると考えられる。

参考文献

- (1) 交通統計 H13 年版,交通事故総合分析センター (2002)
- (2) 谷口実, "高速道路の車間距離",自動車技術, Vol.37, No.5, pp.518-523(1983)
- (3) C.Serafin, etc, "ACC Human Factor Issue", Technical Paper FISITA, Vol.14, pp.1590-1609 (1998)

- (4) 澤田東一ほか，“車間距離制御における運転者の動作特性”，人間工学，Vol.33, No.6, p.363-370 (1997)
- (5) 松木裕二ほか，“運転者の進行方向空間保持距離に関する研究(第2報)”，自動車技術会学術講演会刷集，No.6-02, pp.11~14 (2002)
- (6) 牧下寛ほか，“運転者の属性と車間距離の関係”，IATSS Review, Vol.26, No.1, pp.57-66 (2000)
- (7) 成波ほか，“追従走行時のドライバの車間距離設定についての考察”，自動車技術会学術講演会刷集，No.31-02, pp.518-523 (2002)
- (8) クレベルスベルク,交通心理学,清文社(1990)
- (9) 加川元通ほか,動機づけの基礎と実際,川島書店(1997)
- (10) 服部廣司ほか,“ドライバの車間距離判断に関する研究”,自動車技術会学術講演会刷集, No.902, pp.2.185-188 (1990)
- (11) 天野也寸志ほか,“緊急時におけるドライバの運転動作モデル(障害物回避時および車両特性急変時への適用)”,日本機械学会論文集(C), Vol.65, No.632,p.282-288(1999)
- (12) A.S.Torf and L.Duckstein, “A methodology for the determination of driver perceptual latency in car following”, Human Factors, Vol.8, p.441-447 (1966)
- (13) J.H.Snider, “The detection threshold for changes in headway”, Report No.EES202B-4, Ohio State Univ. (1966)
- (14) 日本視覚学会,視覚情報処理ハンドブック,朝倉書店(2000)
- (15) L.Evans and R.Rothery, “Perceptual Thresholds in Car following”, Transportation Science, Vol.11, No.1, p.60-72 (1977)
- (16) 佐藤方彦,人間工学の基準数値数式便覧,技報堂(1992)