

# 人動車の特性に関する研究

Dynamic Performance of Anthro-mobile

平尾 収\*  
Osamu HIRAO

## 1. 緒 言

筆者は人間-自動車系のことを簡略化して人動車とよぶことにしている。欧米人にわかってもらうために Anthropos-Automobile System を簡略化して Anthro-mobile と称することにしている。本当は Anthro-mobile とした方がわかりがよいのかもしれないが思いきって Anthro-mobile ということにしたのである。そもそも人間-機械系と一口にいてもこれを三つに分類して取り扱うのがよいと思っている。(図1)その第1は地上に据え付けられた機械を人間が操作するという固定型

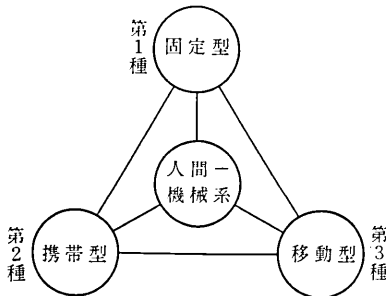


図1 人間-機械系の分類  
第1種: 固定した機械と人間  
第2種: 携帯使用の機械と人間  
第3種: 移動する乗り物と人間

の人間-機械系である。第2は人間が機械をかかえたり、手にもったりして操作する携帯型の人間-機械系である。最後の第3は人間が機械の内部に乗りこんで全体が動きまわるといった移動型の人間-機械系である。もちろん人間-自動車系はこの第3種に属するわけである。ほかにこの種に属するものとしてはたとえば人間-電車系、人間-飛行機系、人間-船舶系あるいは人間-ロケット系があり、これらは一括して人間-乗り物系とでもいえばよいのであろう。このような第3種に属する人間-機械系では人間が乗っている部分の運動を表わす方程式は作用力以外の項については共通のものとなるので、この点からも一括して人間-乗り物系として取り扱うのも妥当であるということになる。しかし作用する外力や拘束力に関する法則はそれぞれ非常に異なるのであって、たとえば電車であればレールと車輪の間の作用力が支配的であり、飛行機の場合は空気力が支配的であり、自動車

ではタイヤと路面の間の作用力が支配的であり、また高速では空気力も大きな要素となるといった具合である。

このように考えれば人間-自動車系、すなわち人動車の運動特性を論ずる場合のタイヤ力学は人間-飛行機の運動特性を論ずる場合の空気力学とほぼ同じ役割りを果たすものであることがおのずから理解できよう。ところで第1種から第3種までの人間-機械系はその特性が人間、機械および作用力の方則をきめるものとしての環境の三者の性質とその相互関係によって支配されるという点で全く共通である(図2)。人動車についていうならばこのことはドライバ、自動車および道路環境、特に路面の状態によってその特性がきまるということになる。このような考えに立って人動車の特性について述べることにする。

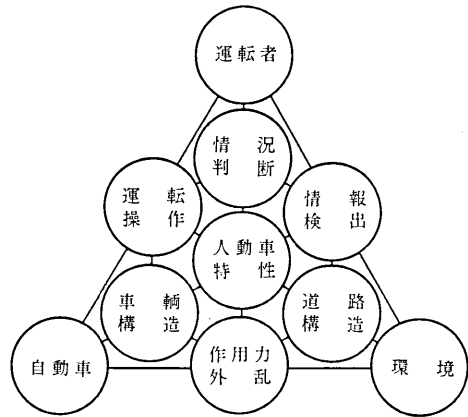


図2 人動車の特性を支配する要素

## 2. 人動車特性と自動車の評価

人動車の特性を表わすブロック線図は図3に示すようになる。これによって明らかなように自動車は人動車の重要な部分である。機械系としての自動車の特性は人動車の特性を大きく左右するにちがいないのである。この意味で機械系としての自動車の特性の改善は重要であるがそれは常に人動車の特性改善につながることを明らかにしつつ、機械系としての特性改善の目標とその評価の尺度をきめて進めなければならないのである。人動車の特性をぬきにした機械系単独としての特性評価は無意味に近いのである。このことはたとえば自動車の懸架ばねの吸振器の振動特性を評価する場合に多くの人間を使用

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

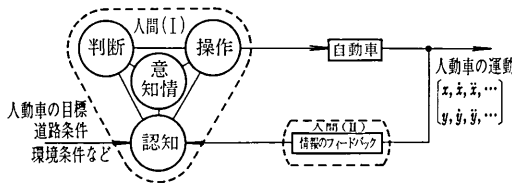


図 3 人動車が走行するときのメカニズムを示すブロックダイアグラム

ドライバーの手足の操作としての「出力」は自動車のハンドル、変速レバー、クラッチペダル、アクセルペダルなどへの「入力」となり、これは自動車の進行方向およびその左右方向の位置、速度、加速度などの自動車の「出力」となって現われ、これらの「出力」の情報はドライバーの目などの感覚によってとらえられ、いいかえれば情報のフィードバックとして「認知」され、これを道路条件などの環境条件を勘案しながら、目標に合わせるにはどうすればよいかを「判断」して操作の内容を決定して、次の操作を行なうということをくり返しながらいち進行する。

人間(I)：教育訓練により改善は可能であるが長期に亘る努力を必要とする部分。

人間(II)：教育により変わりやすい部分、比較的短期間の教育、たとえば教習所における教育と訓練により改善することができる部分。

して行なわれた Janeway の研究成果<sup>註1)</sup>としての乗り心地のものさしがどうしても必要なものとなるということの意味するのである。この Janeway の乗り心地係数は平均的な人間の感覚としての乗り心地のよさ、あるいは悪さを振動の周波数と振幅という物理的な量と結びつけたもので、このものさしによって本来人間-機械系として取り扱うべき評価は機械系単独としての自動車の評価に置換することができたのである。同じことが騒音の場合のホーンの尺度についてもいえるのである。すなわちこの尺度を使って人間不在の状態でも騒音についての自動車の評価ができることになるのである。このように人動車の特性の評価を機械系単独としての評価に結びつけるためには「乗り心地係数」や「ホーン」に相当するものさしを人動車の特性を構成するすべての要素について用意する必要があるわけである。いわゆる「フィーリング試験」が実は上述のものさしをつくる作業に相当するものであって、これを体系化して完全なものにすることによって、人動車特性の評価は機械系としての自動車単独の評価に置換することができるようになるのである。しかしそのためには乗り心地について Janeway が行なったような評価の定式化を人動車特性をきめるすべての要素について実現していくための研究が必要なのである。すなわちあらゆる面についてのフィーリング試験による評価の定式化の完成が必要なのである。そうなるまでは機械系単独としての自動車の研究はそのつど何らかの意味における「フィーリング試験」による評価によって方向を模索して進めなければならないのである。フィーリング試験による評価の定式化ができるまでは機械

系としての自動車の特性評価は人間-機械系としての自動車の特性評価と工学的には結びつかないといっても過言でないのである。一例をあげると機械系としての自動車の高速安定性はキングピン回りの固体摩擦が存在した方が良好になるが、人間-機械系としての高速安定性にはキングピン回りの固体摩擦は常に悪い方に作用するのである。この場合には機械系としての評価は人間-機械系としての評価と全く逆になるのである。このような極端な差のない場合でも一般に自動車としての評価と人動車としての評価が線形の対応を有する保障はない場合が多いと思われる。むしろ Janeway の乗り心地係数にしてもホーンの騒音レベルにしても物理量との関係は非線形で対数的な関係にあるとされている。明るさのスケールとして定められた国際マンセルスケールも物理量に対してほぼ対数的な関係となっている。このような点から推測すれば人間のすべてのフィーリングは物理量と対数的な関係にあるという考え方も一概に否定するわけにもいかないと思う。ところで人動車の特性は次の三つに大別して論ずるのがよいと考えている。すなわち、(1)運転特性、(2)快適特性および(3)安全特性である。(図4)このことは人動車の特性の評価は運転しやすくして快適でしかも安全であるという立場から行なうのだと考えたこ

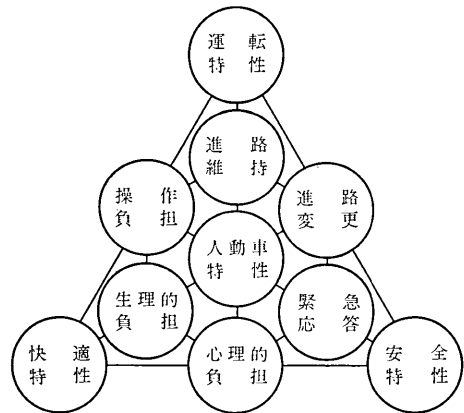


図 4 人動車の特性評価の目標と「ものさし」

とになる。これが人動車特性の評価を行なう場合の三つの目標と考えたわけである。そしてこれら相互の目標の間の重点配分は評価を行なうときの目的によって異なってくる。たとえば通勤の場合、旅行の場合、スポーツや娯楽へでかける場合等で重点配分は変わってくるものと思う。したがって上記の(1)~(3)の特性それぞれに対する評価が定まったとしてこれら三つの特性を総合した場合の評価はその評価の目的によって変わるのである。一般に通勤の場合にはよくてもレースには適さないというように、目的によってどれがよいかは変るのである。

このように人間-機械系の特性の評価には前にものべたようにまずフィーリングの定式化により「ものさし」

をつくることと、いくつかの「ものさし」の間の重みづけの決定とが必要となるのである。

### 3. 人間のフィーリングを定式化するに 当たっての問題点

評価を行なうときにはまずフィーリングの定式化が必要なのは前節で述べたがここで仮りに必要な要素の定量化ができたとしてそれぞれの要素の重みづけ、すなわちそれぞれの数値がどのような関係になった場合にもっとも高い評価を与えるのかということは評価を行なうその時点における評価する人間の主観にほかならないのである。そしてその評価は時間とともに変化するのが普通である。また場合によるとある程度以上の時間が経過すると評価は一定値におちつくことがある。このようなときには、はじめの主観的な評価は時間の経過とともに変化しつつ、一定の客観的な評価に達したものと考えてよいであろう。このようなことのおこる原因は「なれ」、すなわち人間の適応性の問題があることによるのである。すなわち自動車の運転性にしても快適性にしてもまた安全性にしてもそのフィーリングを定式化しようとするといままで使われてきたものと「異質」であるということと、「優劣」の問題との区別がむずかしいということがあるものなのである。たとえば 30 kg 程度の踏力で 0.6 g の減速度が得られるようなブレーキを使いなれた運転者は 20 kg 程度の踏力で 0.6 g の減速度の得られる軽いブレーキの車に乗るとはじめは調節がうまくいかずに追突されたりしてこんなに使いにくいブレーキの車を使う人がよくいるものだというように思うものである。しかしがまんして使っているうちに結構うまく使いこなせるようになるものである。そうなった時にまた始めの重いブレーキの車に乗ってみると前車にあぶなく追突しそうになったりしてこんなブレーキの効かないあぶない車に乗る人がよくもいるものだという感じがするものである。しかしまたこのブレーキになれてしまうといつのまにかそのような感じもなくなるものである。このような段階では重いブレーキと軽いブレーキと本来どちらがすぐれているかということとはなかなかいえないのである。なれたブレーキがよいといういい方ができるのかも知れないのである。もしそうだとすればこの 2 種のブレーキは「異質」なのであって、「優劣」はつけられないということになるのであろうか？ しかしそれぞれすっかり「なれ」た状態においていろいろな角度からみた要素について客観的なデータを出して検討すればおそらく「優劣」の評価へ持ち込むことも可能となるものと思われる。ハンドルの重さについても同様のことがあるし、だんだん検討していけばイージードライブ、快適性のいずれに対してもまたその他のすべての要素についても同様のことがあるのである。すなわち「なれ」の影響

を除くことができなければ本当の意味の客観性のある評価はむずかしいのである。

このように、評価を行なうときには人間の「なれ」の影響をいかにして除くかということが重要な問題なのである。そのためにはフィーリングテストのときにはじめての経験であるという人間、すなわち「自動車を運転したことのない」人間を選ぶか、逆にすべての車に十分「なれ」るまで練習した人間を用いるか、あるいはなれの影響を定量する方法を考えるか、三つの道があるはずである。このどの道を選ぶのがよいか、あるいはどの道を選び得るかということに対しては人間の適応性の問題を解明しなければ答えることができないのではないだろうか。はじめての人が練習しないで運転できる自動車と十分練習を積みばだれでも安全にうまく運転できる車とが異質のものとなるのであろうか。それとも全く同一の解となるのであろうか。あるいは練習してもしなくても同一の成績が得られる車というものが存在し得るのだろうか。またそれは練習すればそれに応じて上手に、安全に運転できるような性質の車よりすぐれたものになるのであろうか。考えてみるといろいろわからないことが多く、現在われわれが行なっている「評価」の評価からはじめなければならぬという気がしてくるのである。ここから現在われわれがよいと思っている車がほんとうによい車なのだろうかという疑問がでてくるのである。

#### (1) 人間の「なれ」と評価

評価に大きな影響を与えるものとして「好み」の問題がある。「好み」と「なれ」とは本来少し異なった性質のものであるかも知れない。しかしすきだからいつもそれを用いるので自然にそれになれてしまうともいえるし、また使われていないのでそれに愛着をおぼえて好きになることもたしかである。このように考えると好むものにはなれてしまうし、なれたものはすきになるという卵と鶏の関係にあるともいえるよう。またこの両者と密接な関係にあって、評価に大きな影響を与えるものとして期待感がある。いろいろ前事の情報があって、大きな期待をもっていると実物はあんがいつまらなかつたということになりがちなのである。この場合評価には期待値と現実値の差が大きな影響をもつことになって、とかく不当な評価を下すことになるのである。

このように「なれ」「このみ」および「期待」という一連の現象は評価の定式化を行なう場合の障害になるのであって、フィーリング試験を行なう場合にはこれらの現象の処理を必ず考慮しておかなければならないものと思う。この処理の方法としては前節でも述べたように三つの方法があるが、これらについて人動車特性からみて本来人間に最も適合した自動車を求めるという立場からの評価を行なう場合についての問題点とそれぞれの処理

法を述べることにする。

i) 自動車の運転については全く経験がないという人間を選んでテストする場合

この場合もっとも徹底して考えれば、生まれた時から自動車のある社会から完全に隔離して育った多数の人間を用意してフィーリング試験を行なう必要があるということになる。しかしこのようなことは現実には行なうことの許されないことであるから考えないことにして、可能な範囲で考えるとすれば一度もハンドルを握ったことのない多数の人を使って実験するのがよいと思う。この場合には現在までの個々の生活環境がその結果に影響すると思われるので、この点でできるだけ同一の条件の人間を集めることが重要になる。このような意味では免許を受ける資格が整う直前の年令の高校生を用いるのが最もよい方法だと思っている。この場合でも都市の学校の生徒と地方の学校の生徒では異なった結果を与えることも考えられる。また男性と女性で異なるであろうし、またさらに個々の人間の特性の差による評価の差異も当然でてくるものと思うが、これらはそれなりに自動車の評価にとって重要な本質的な意味をもつものといえよう。この場合無作意に多数の人間についてテストすることも必要であるがまた個々の人間の特性の差異に着目してデータをとることもまた重要である。

ii) これから評価しようとする自動車のすべてについて十分「なれ」るまで練習した人間を用いてテストする場合

いま 1, 2, 3…… $n$  までの  $n$  種類の自動車を比較して評価しようとする場合、評価テストを行なう場合のドライバーがこの中の一種類の  $m$  という自動車を自分の車として常用している場合にはその他の車が  $m$  とは異なるということと優る、あるいは劣るということの区別をつけることが非常にむずかしくなるのである。そこで  $m$  以外の 1, 2, 3…… $n$  までの車について  $m$  と同じ程度まで十分なれるまで常用したうで評価テストを行なう必要があるということである。ところで車  $m$  と同じ程度に十分なれるには 1, 2, 3…… $n$  車をどのようにまたそれぞれどれくらいの期間常用すればよいのかということはこれまた大変むずかしい問題なのである。筆者の考えによれば常に  $m$  という車だけを使用して他の車を運転した経験がないという場合には他の車になれるのに長い時間を必要とするが、平生  $m$  車以外に A, B, C……などのいろいろな車を乗りまわしている場合にはなれるのも早いと思っている。すなわち「なれる」のになれているという状態があると思っている。筆者はどちらかということこういう状態にあるが一昨年の 1 年間は 1 ヶ月毎に車を変えて乗るということを試みた。このときの経験によると乗りかえて 3 日目には新しい異なった車に乗っているという感じはほぼ消えて一応新しい車になれてしまうと考

てよさそうに思っている。そして約 1 ヶ月常用すれば一応その車のよさ、悪さは自分なりにのみこむことができるように思っている。しかし本当は年間を通して乗ってみないと冬乗ってよいと思っても夏乗ったら風通しが悪くて困るとか、オーバーヒートで手をやくとかいうことがでてくるかも知れないのである。しかしこのような季節の差に著るしく影響される要素を除けば目的によっては 3 日～1 ヶ月も乗れば「なれ」の問題は一応処理できるのではないかと考えている。それと同時に「好み」との関係や「期待感」の問題もほぼ整理されてくるものと思っている。しかしほとんどすべての種類の車にのりなれて、いわばなれの見地からして白色無差別の状態にあるテストドライバーであればちょっと乗ってみただけで「なれ」に影響されない評価をすることができるのではないかと考えている。

iii) ドライバーのなれの影響を定量的に測定したうで真の評価を算定する方法

現在このような方法が可能だと思っているわけではない。しかしもしなれの影響の測定ができるならばこのような方法も考えられるはずだといえるということである。筆者は現在 ii) の方法を主として自動車の種々の要素についてフィーリングの定式化を行なう研究を進めており、さらに今後できれば i) の方法をも加味してゆきたいと考えている。

ところで一般的に i) の方法による結果と ii) の方法による結果とが一致する保障はないのである。

むしろ一般論としては異なった結果になるといった方がよいと思っている。

## (2) 人間の適応性と評価

前節でのべたなれの問題は別の見方からすれば人間の適応性の問題としてとらえることもできる。ここでは自動車を運転する場合についての問題を論じてみよう。

いまあるドライバー  $D_1$  がある車  $V_1$  を運転するとし、たとえば練習場のテストコースを走る場合にアクセ

ル、クラッチ、ブレーキ、ステアリングなどのいくつかの操作をうまく組み合わせて次々と運転していくわけであるが、このような一連の操作の組合せをベクトルで表わし  $q$  とする

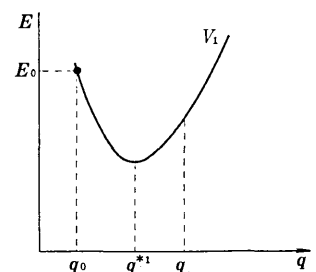


図 5

と、このような  $q$  の組合せの種類は連続して無限にあるわけであり、それぞれの  $q$  に応じてそのテストコースの走り方がきまってくるわけで、従って成績あるいは失点がかきまらざるはずなのである。そして一般にはある操作の組合せ  $q^{*1}$  で運転した時に最も失点が少なくなるとい

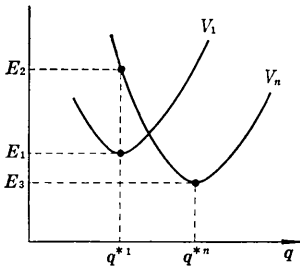


図 6

とすればこの過程がドライバー  $D_1$  が車  $V_1$  になれていく過程であり、適応(あるいは学習)の過程であって操作の組み合わせ  $q^*$  を十分身につけた状態が「なれた」ということであり、この状態に達するまでのくり返しの回数  $n$  の大小为適応性の問題であるといえよう。また同じコースを同じドライバーが走る場合でも車が  $V_1$  と異なる  $V_n$  である場合には最も失点の少ない  $q$  もまた  $V_1$  のときとは異なったものとなるのが普通であろう。たとえば図6に示すように  $V_1, V_n$  に対してそれぞれ  $b$  とその操作での失点評価  $E$  との関係が  $V_1, V_2$  の二つの曲線で示されるようになったとすると、 $V_1$  の車になれている人は平常  $q^*1$  の操作の組み合わせによって車を運転しているのでたまたま  $V_n$  の車に試乗したときもまず  $q^*1$  でこれを運転すると考えてよいであろう。

そうすると  $V_1$  の車のときは  $E_1$  という成績であったものが  $V_n$  の車のときは失点が多くなって  $E_2$  と成績が悪くなってしまふことになる。この状態で評価を求めれば  $V_1$  の車に高い評価が与えられるであろう。しかしドライバーが  $V_n$  の車に十分なれて操作法を  $q^*1 \rightarrow q^*n$  に変えた時点でみれば成績は  $E_3$  となり  $E_1$  よりも失点が少ないからここで再び評価を求めれば  $V_n$  の車

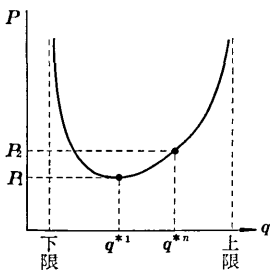


図 7

もなれるとあんがいい車だということになり  $V_1$  よりむしろ  $V_n$  の方が高い評価に変わるのではなからうか。これが評価に対するなれの影響である。しかしこの場合に  $q^*1$  の操作法と  $q^*n$  の操作法とが人間に対する負担の点で同じであるかどうかという問題がある。一般論として普通の人間が実施し得る操作法  $q$  には上限と下限があるとすると、 $q$  と人間の負担  $P$  との関係はたとえば図7に示されるようなものと考えてよいであろう。そうだとすると  $q^*1$  の操作法よりは  $q^*n$  の操作法の方が骨がおれて疲れるということになる。こうなると  $V_n$  の車の方がコースを運転するのに失点が少ないく早く走れるが早く疲れるということになって強壮な

うことがあり、このことを図に示すと図5のようになる。そして始めはたとえば  $q_0$  という操作の組み合わせで運転したのが何回かくり返すうちに  $q_1, q_2 \dots q_n$  などを経て  $q^*1$  に達する

男子向きであるが、女性などには  $V_1$  の車の方が疲れなくてよいというような結果となることもあろう。またたとえば図8に示すような  $q$  と  $E$  の関係を有する車  $V_m$  があったとするとこの車は  $q^*m$  の操作法を用いればきわ

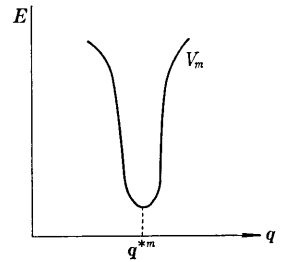
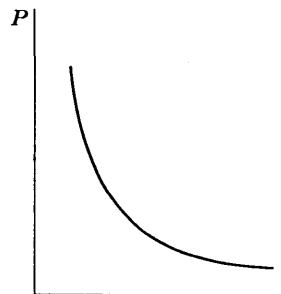


図 8

めて少ない失点となるが操作法がこれからわずかに異なっても急激に失点が増す車であるということになる。この場合には  $q^*m$  の許容誤差  $|\Delta q^*|$  がきわめて小さいことになるのであって、きわめて正確な操作が要求されることになり、わずかの狂いも許されない車だということである。ところで人間はきめられた操作を正確に行なうにはそれだけ緊張して努力する必要があるが負担は大きくなると考えるべきであろう。こう考えると操作の許容誤差  $|\Delta q^*|$  の大きさと負担  $P$  の関係は図9に示すようなものになると考えてよからう。



操作の許容誤差と負担  
図 9

練習しながらその車になれていく学習の課程とは最適の操作法  $q^*$  を見つけるための試行錯誤の経過であり、くり返し練習することにより操作誤差  $|\Delta q^*|$  を小さくすることができる。このような状態に達したときの運転操作はフィードバック制御というよりはフィードフォワード(予測制御あるいはプログラム制御)制御が主になった運転操作であるといつてよいと思う。

#### 4. 人動車の制御

ドライバーが目をつぶったのでは自動車を安全にうまく運転することはできない。このことは目からくる情報のフィードバックによって正常な運転ができることを示すものであって、人動車の制御はフィードバック制御であるということを示していることになる。このように人動車系をフィードバック制御系として扱うことは多くの研究者によって試みられている<sup>2)</sup>。人動車が道路に沿って走行するときの制御法として最も広く用いられる仮定としては近藤の仮定がある。これはドライバーは進行方向の前方  $L^{(m)}$  におけるコースからの偏差  $y_t$  に比例した操舵を行なうという仮定である。すなわちドライバーが操舵するハンドル角を  $\theta$  とすると図10を参照して

$$\theta = K \cdot y_t \dots \dots \dots (1) \text{ と仮定したことになる。}$$

これはさらに同図にみるように自動車の進行方向と道路

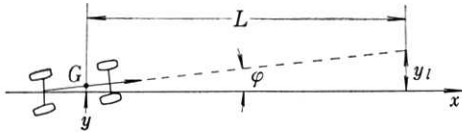


図 10 前方  $L(m)$  におけるコース偏差  $y_l$  に比例した操舵をするという近藤

の方向との角偏差を  $\varphi$  とすると、現在のコースの中心線上からの偏差を  $y$  として、

$$y_l \doteq y + \varphi \cdot L \quad \text{となるから (1) 式は}$$

$$\theta \doteq K(y + L \cdot \varphi) \dots \dots \dots (2)$$

となり、ドライバーは現在の偏差と姿勢角の偏差  $\varphi$  とに比例した操舵を行なうという仮定といってもよいのである。またこのときの車速を  $v(m/s)$  とすると、 $y_l$  は  $L/\varphi$  (s) 後のコースからの偏差ということになるから  $L/v(s)$  の将来の偏差を予測した制御を行なっているという仮定でもあるわけである。筆者はこの仮定がどの程度実際に近いかということを確認するための実験を行なってみた。その結果を図 11 に示す。この場合には  $L=7(m)$  として整理してあるが、これはドライバー席にすわってボンネット越しに見える路面の一番近いところまでの距離をとったものである。

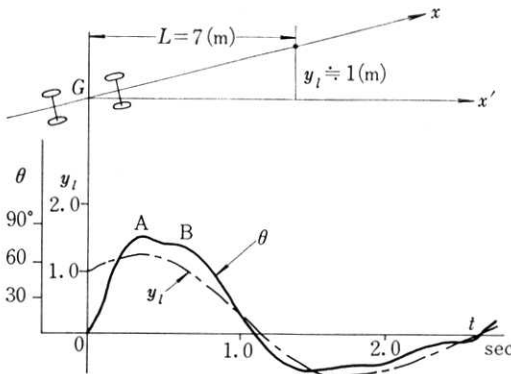


図 11 折線試験のときの  $y_l, \theta$  (折線通過のときを  $t=0$  とした。この時  $y_l=1(m)$ ,  $v=14(m/s)$ )

実験はまず  $x$  に沿って直進して前輪がコースの折点 0 に達したときにできるだけすみやかに進路を  $x'$  に変えるように操舵をさせるようにして行なった。そしてこの場合の 0 点以後における  $y_l$  と  $\theta$  との関係を示したのが図 11 である。この場合、人動車が 0 点に達したときに目標とするコースが  $x$  から  $x'$  に変わるわけであるから、今までほとんどゼロであった偏差  $y_l$  がいきなりこの場合には約 1(m) にステップ状に増加するわけである。それに応じてドライバーは急激にハンドルを切るが、これが図の実線上で OA で示される部分である。この期間は  $y_l$  のステップ状の変化に対してハンドル角はランプ状に切られていることを示している。次に同じく実線で AB と様子を見るような期間があって、それ以後はほぼ

$y_l$  に比例してハンドル角  $\theta$  を切っていることがわかる。この結果からいえることは  $y_l$  の急激なステップ状の変化に対してはハンドル角  $\theta$  はおよそ 0.3 秒程度のおくれを生ずるが、周期が 2 秒程度の  $y_l$  の変化に対してはほぼおくれなしに比例的な関係で  $y_l$  に  $\theta$  が追いついていると考えてよいということである。すなわち周期が 2 秒程度以上の場合にはほぼ (1) 式あるいは (2) 式で示される関係が成立していると考えてよいことがわかるのである。ところで自動車の走行速度を  $v$  とするとコースの中心線からの左右位置  $y$  の増減は姿勢角の偏差  $\varphi$  と  $v$  の積でほぼ表わされるから

$$\dot{y} \doteq \varphi \cdot v \dots \dots \dots (3) \text{となる。これを (2) 式に}$$

入れると

$$\theta \doteq K \left( y + \frac{L}{v} \cdot \dot{y} \right) \dots \dots (4) \text{となる。}$$

すなわち任意の速度  $v(m/s)$  で走行するときにドライバーは  $L(m)$  前方のコースからの偏差  $y_l$  に比例した操舵を行なうという近藤の仮定は (4) 式で示すようにそのときのコースずれ  $y$  とその増減を示す  $\dot{y}$  とをフィードバックして制御していると仮定したことになり、このときの  $\dot{y}$  の係数  $L/v(s)$  は、微分時間 ( $T_D$ ) に相当することはすぐに理解できよう。前方注視距離  $L$  を大きくすることは微分時間  $T_D$  を長くとることに相当し、また  $L$  は一定にして速度  $v$  を大にすることはフィードバックの微分時間を短くすることになるのである。いまドライバーがハンドル操作によってコースからの偏差  $y$  を小さくするように努めるとすると、ハンドル角  $\theta$  からみて偏差  $y$  はほぼ 2 重積分に相当するからフィードバックの微分時間  $T_D$  の大小はその成績に大きな影響があるはずであり、また  $y$  に着目した一巡伝達関数のゲインはほぼ速度の二乗すなわち  $v^2$  に比例するから高速の場合は  $T_D$  の重要性が特に顕著になる。筆者のところで図 12 に示す装置のシャーシダイナモ上で微分時間  $T_D$  の影響を検討した一例を図 13 に示す。同図は (4) 式すなわち  $\theta = K(y + T_D \cdot \dot{y}) \dots \dots$  ただし  $L/v = T_D$  とした。……で表わされる操舵を行なった場合、走行軌跡の航行の全振幅がほぼ 1(m) になるときの  $T_D$  と車速  $v$  との関係を示すもので

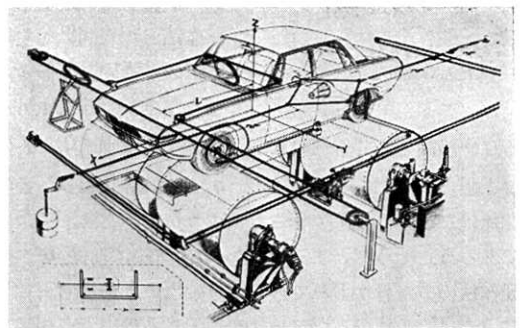


図 12

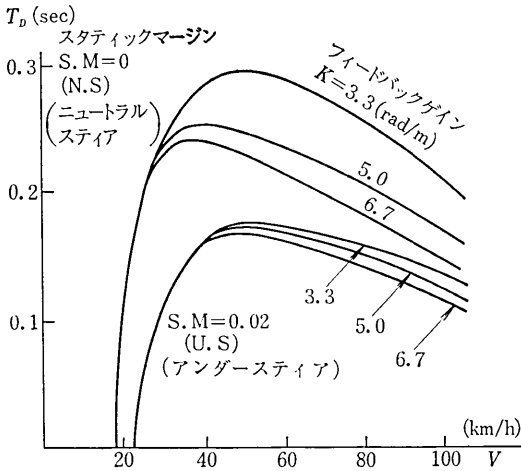


図 13 人動車の安定のために必要な微分時間と走行速度の関係

ハンドル操作角を  $\theta$  とし、コースからの偏差を  $y$  とし  
 $\theta = K(y + T_D \cdot \dot{y})$   
 で表されるフィードバック制御を行ない蛇行の全振幅が 1(m) になるときの  $V$  と  $T_D$  の関係を示した。前方注視距離を  $L$ (m) とし速度を  $v$ (m/s) とすると  $T_D = L/v$  である。  $K$  はフィードバックゲイン (rad/m) である。

ある。舵行の全振幅が 1(m) となるところを安定限界と考えたのはシャーシダイナモの幅の制約から振幅がこれより大きくなるとドラムから脱輪するからであって、特別な根拠があるわけではないが、実用上は妥当な判定基準ではないかと考えている。

自動車系が完全な線型系であれば外乱がないときは安定ならば振幅はゼロになるはずであるが、実際には自動車系の非線型性とドラム、タイヤの不整からくる外乱が常に存在するので常に舵行する。  $T_D$  の値を小さくしていくとこの舵行の振幅が増大していくのでこれがほぼ 1(m) に達したときを安定の限界として図 13 を求めたものである。この関係には当然のことながらスタティックマージンの値 (S.M. これは U.S.: O.S. 特性をきめる) とフィードバックゲイン ( $K$ ) の値とが影響する。同図でみるとわかるように、  $L$ (m) 前方におけるコースずれ  $y_1$  に比例した操舵を行なうという近藤の仮定に従って走行する場合はニュートラルステアまたはアンダーステアの車ならば微分時間が 0.3 秒以上あれば常に安定に走れることになる。すなわち

$$T_D = \frac{L}{v} \geq 0.3 \text{ (sec)}$$

ならば安定に走行できることを示している。このことはたとえば  $v=30$  m/s (時速にして  $V=108$  km/h) のときでも前方注視距離  $L$  が 10m あれば十分安定に走れることを示すものである。しかしトンネルの中などに入ったときに壁との距離しかわからないことになると  $T_D = 0$  となり、舵行振幅は大きくなって側壁へ衝突するようになる。また曲線部などでややもすると前方注視点を決

って左右のコースずれのみに気をとられて  $T_D = 0$  の状態となって進路が発散してしまうことも多い。この場合 図 14 に示すようにカーブの内側の路側線に視

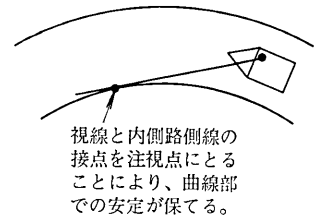


図 14

線に向けて視線とこの路側線との接点を注視点にえらぶことにより必要な前方注視距離を保つことが可能である。このことは曲線の高速安定走行には必要不可欠の条件である。このようにいろいろテストコース上およびシャーシダイナモ上で実験した結果、人動車は近藤の仮定で安定に走行することができることがわかったが、それでは人動車が東名高速道路を走行するときこのようなフィードバック制御をしながら走っているかという必ずしもそうでないようである。筆者は自分自身の運転の自己観察と多くの人々の運転のやり方の観察の結果、横変位  $y$  についてはある幅の不感帯があり、  $y$  の値がこれを越すと修正操作を行なうということで、わずかな舵行をくり返しながら走行しており、単純な近藤の仮定によるフィードバック制御とは内容的に異なる場合が多いように思っている。

#### 4.1 車線走行中の人動車の制御

人動車が比較的外乱の少ない車線内を走行する場合はよく観察すると前節で述べたように車線内でわずかに舵行しながら走行している場合が多く、舵行の振幅は車線幅によってほぼ定まるようで、東名高速のように 3.75 米程度の車線幅の場合には全振幅 1 (米) 位になるようである。また舵行の周期は車線中心からの偏差が一定値に達するまでの時間によってきまり、横風など特別な外乱のない場合には 20~30 秒程度の場合が多いが、これには機械系としての自動車の特性も影響するものと思っている。また車線幅や道路の凹凸などの状況によっても変わる。このような状態のときの運転操作を観察すると、たとえば図 15 A 点に示す場合のように車線の中心より進行方向左側に位置しており、わずかに右方へ移動

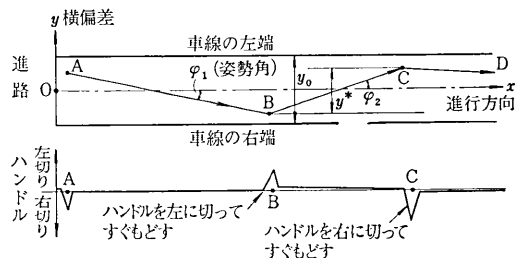


図 15 実際に高速道路などを走るときの操舵のやり方 (下図の場合のように  $\phi_1 < \phi_2$  となっているときは C 点での操舵量は B 点でのそれよりも大きくなる)

しながらBに向って進行しているときにはこのことをみてドライバーはそのままB点までほとんどハンドル操作を行なうことなく進行し、B点まできて始めてハンドルを左に少し切ってすぐ戻して今まで少しづつ右方へ寄っていたのがやや左方へ寄りながらほぼCへ向って進行するようになるのをみてふたたびしばらくそのまま走り、C点に達したときに今度はハンドルを右に少し切っすぐもどし、今まで左へ少しづつ寄りながら走っていたのが右へ少しづつ寄りながら進行するようになるのをみてまたしばらくそのまま走るということをくり返し走るのが普通である。図 15 にはそのような走り方の走行軌跡とハンドル操作を模型的に示した。この場合何んらかの外乱によりたとえはA-B、あるいはB-Cなどの進路と道路中心線とのなす角φの値が大きくなればハンドル操作の舵角はそれに応じて大きくなり、舵行の周期は短くなる。また車線幅  $y_0$  が狭いときには舵行の振幅  $y^*$  も小さくなり、舵行の周期もまた短くなる。また場合によるとA点とB点、B点とC点の中間でハンドルをわずかにちょっと切っすぐもどすという操作を加えて車線内で右方または左方へ寄る速さ、すなわち  $\dot{y}$  の大きさを修正することがある。このときは  $\dot{y}$  の大きさを調節するだけであって、A、B、C…点などにおけるように  $\dot{y}$  の符号を変えることはない。

このようにみえてくと車線内を走行しているときはドライバーは図 16 に示すように「ハンドルを少し切っすぐ戻す」という操作をくり返し走っているわけであ

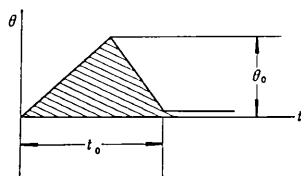


図 16  $\theta_0$  は多くは 10~20 度程度  $t_0$  は 2 秒程度である。

る。そして図 15 の A、B、C…点など、車線中心線からの偏差が大きいきにはこの操作によって  $\dot{y}$  の符号が反転するようにして、もっと車線中心に近い位置の場合には  $\dot{y}$  の符号はそのままその大きさを調節するように操作するのが普通である。図 16 に示すようにハンドルをちょっときってすぐ戻す操作を行なうと、人動車の姿勢角φは同図に斜線で示した面積に比例した値  $\Delta\phi$  だけ変化することになる。ハンドル角θと姿勢角φとの関係はこのような場合ほぼ次式で表わされる。

$$\phi = \frac{v}{n \cdot l} \int_0^{t_0} \theta dt \dots \dots \dots (5)$$

ここで  $n = \theta/\alpha$   $\alpha$  は  $\theta$  に対応する実舵角  
 $l$  = 自動車ホイールベース (m)  
 $v$  = 走行速度 (m/s)

そこで図 16 に示すような操舵の場合は操舵前の姿勢角を  $\phi_0$  として

$$\phi - \phi_0 \doteq \frac{v}{2 \cdot n \cdot l} \theta_0 \cdot t_0 \dots \dots \dots (6)$$

このようにドライバーは姿勢角の調節は  $\theta_0$  の大きさと  $t_0$  の大きさ、すなわち切り角の大きさと切る速さとで調節できるわけである。そしてこれをどのように組み合わせるかということは個人個人の運転法の特徴となる。こう考えると、このときの制御法は線型の単純なフィードバック制御ではなく、一種のプログラム制御である。また見方によると  $y$  を制御するために  $\dot{y}$  を操作するともいえるので微分制御と考えてもよいと思っている。また車線中心からの偏差がある値 ( $y_0$ ) になるまで放置するということから  $y$  についてのある範囲の不感帯が設けられていると考えてよい。また実際には  $(\theta_0 \cdot t_0)$  の値も連続的に変えて操作されるのではなく、段階的に変わるようである。このように考えると、偏差  $y$  の値がある値を超えたときに、そのときの  $\dot{y}$  の大きい符号によって  $(\theta_0 \cdot t_0)_1, (\theta_0 \cdot t_0)_2, (\theta_0 \cdot t_0)_3 \dots$  などの段階的に変化する操作量のどれを用いるかを決定して操舵しているとみることができ、サンプル値多位置制御を行なっているものといってもよいと思っている註<sup>3)</sup>

#### 4.2 車線変更のときの人動車の制御

このときも当然近藤の仮定にもとづくフィードバック制御によって走行することも可能な場合もある。しかし図 17(a) に示した  $\overline{AB}$  の長さが前方注視距離  $L$  よりも短い場合には同図(b) に示すように走行軌跡は  $OABx'$  とははなはだしく異なったものとなり、 $OABx'$

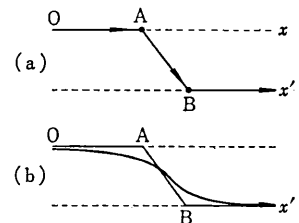


図 17

に沿って走るといふ感覚からは違いものとなる。しかし実際の路上を走行する場合には  $OABx'$  にできるだけ忠実に (実際にはある誤差の範囲内で忠実に) 走らなければならないのである。こうなると近藤の仮定にもとづく単純なフィードバック制御法では満足な結果は得られないのである。このような場合にドライバーは普通同図でA点の手前適当なところまで直進してそこでハンドルを見込みで適当量切っすぐこれまた見込みで切り戻して車をAB線上に乗せ、ついでB点に達する前に再び適当な見込みでハンドルを左に切っすぐ切りもどして  $Bx'$  線上に乗せるという操作を行なう。この場合上述したように見込みで操舵するわけであるから見込みが不適切であれば軌跡は  $OABx'$  から外れることになる。しかし何度か練習することによってその誤差を許容範囲内に保つことができるようになる。この場合に走行速



度を増すと操作は段々むつかしくなっていくには要求される誤差範囲内で OABx' を走りぬけることができなくなる。このような限界はドライバーの特性と自動車の特性の双方によってきまる。要するに自動車特性によってきまるのである。この場合の操作は車が A 点に対してどういう位置にどういう速さで来たかということでその後の予測によって操舵法をきめてしまうということでフィードフォワード制御を行なっているといえる。またその後の操作法が場合によればハンドル操作の外にアクセル、ブレーキ、クラッチなどの操作も併用され、それらは手順としてもまたそれぞれの操作量としてもまた操作のタイミングの点でもどのように組み合わせるかということが重要な問題となるのでプログラム制御を行なっているともいえる。そして練習とは最適のプログラムを会得する過程であると考えてよいと思っている。それではフィードバックは全く行なわれないのかというところではなく、プログラムの不完全さにもとづく誤差と積分誤差を除くためのフィードバックが必要になる。このような点について生研の自動車試験台で浜田註<sup>4)</sup>が行なった実験がある。その概略を紹介すると試験台上での 0.5 m 幅の車線の急変更の操作を十分練習させたいうで合図と同時に目をつぶって車線変更を行なわせたいうですぐに目を開かせるようにすると目を開いたままでの車線変更

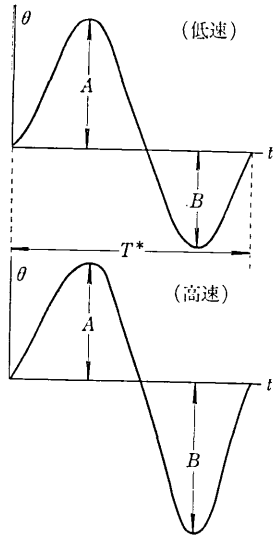


図 18

とはほぼ同じように車線変更を行なうことが可能であることがわかった。この場合車線変更のプログラム操舵はほぼ 1.5 秒でおわり、それ以後は新しい車線上で安定させるためのフィードバック操舵（近藤の仮定に近い）となっていることがわかった。すなわち十分なれたときは車線変更の操作開始後約 1.5 秒の間は目を開いても目をつぶっていても制御成績にはほとんど影響がないことがわかった。図 18 は急激な車線変更に十分なれたときのハンドル角  $\theta$  の変化を模型的に示したもので、多少の個人差はあるが個人個人についてはほぼ一定の形となる。T\* は前述したようにおよそ 1.5 秒前後の値となり、図に示す振幅比 B/A は低速のときは 1 よりも小さいが、高速の場合には 1 より大きくなる<sup>註 5)</sup>。この B/A の値がどうなるかには機械系としての自動車の特性が大きく影響するはずであるので、図 18 に示したような操舵プログラムが一般性のあるもの

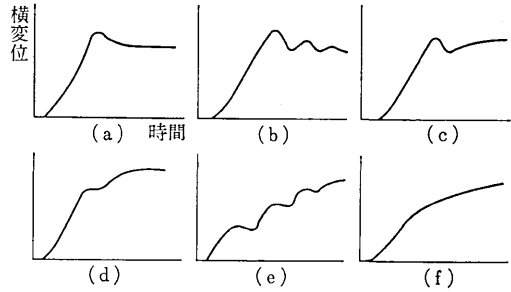


図 19 車線変更の軌跡の個人差

であるかどうかについては疑わしい点があると考えている。

このような車線変更操舵の練習を行なうということは上述したように最適の操舵プログラムを求めめるための学習の過程であるから必ずそこにはそれぞれのドライバーが最適だと考える結果の理想型であってそれと比較しながら毎回の操作結果を評価して逐次理想型に近づく努力を行ないながら学習を進めるわけであるが、この場合それぞれのドライバーが心に描く理想型は必ずしも同一ではないと思われるので十分学習を終えたとドライバー自身が感じた時点における軌跡（これはこの場合の制御成績である）を検討してみるとほぼ図 19 に示す代表的パターンに分けることができる。これを見とできるだけ速やかにしかも正確に車線変更を行なうように指示されてもそれをそれぞれのドライバーがどのように受けとるかは個々の人間の主観の問題となって図 19 のようにさまざまなのだということを示すものと思う。そこでこのような目標の個人差を除くためには図 20 に示すような車線幅をきめた走路の与え方をする必要がありますかと思う。こうすればこの車線からはみださないように走るということで制御目標の設定に際しての個人差を除くことができる。



図 20

4.4 自動車の速度制御

走行速度の制御はアクセルペダルの踏みしろの調節あるいはブレーキなどによって駆動力を操作して行なうが車の加速度は駆動力と走行抵抗の差に比例するから駆動力を  $F(\text{kg})$ 、走行抵抗を  $R(\text{kg})$ 、総重量を  $W(\text{kg})$  として走行速度は

$$v = v_0 + \frac{W}{g} \int_0^t (F - R) dt$$

となり駆動力を操作するとすれば速度の制御は積分系の制御となる。アクセルペダルの踏み代と駆動力の関係は機関の種類、ガバナーの有無やその構造によって異なり、また回転数の影響も受けるが、たとえば一定の速度を維持するためのアクセルペダルの比較的小さな操作を

考えればアクセルペダルの操作量と駆動トルクとの関係はほぼ比例的な関係にあると考えてよいから速度制御はアクセルペダルの操作からみてほぼ積分系の制御とみてよい。これが性能試験などの場合に速度一定で試験区間を走るように指示されてもよほど熟練しないとその忠実な実行が難かしい原因である。普通の路上走行の場合はドライバーが一定速度で走っているつもりでも 20% くらいは変動しているのが常である。変動を 5% 程度以下に制御しようと思うと 10 秒に一度くらいは速度計をみてアクセルを加減しなければならないようである。また流体変速機付の場合には変速機が積分的な要素を備えているので、速度制御は二重積分系の制御となり、一定速度で走ることがまた一段とむづかしくなる。このような性質があるので多くの自動車連続して走行する場合には縦振動(車の列の長さが伸びたりちぢんだりする)が発生する。

#### 4.5 車間距離の制御と定位置停車

走行速度に応じた車間距離を保つことは安全保持のうえから必要なこととされているが、この車間距離を一定に保つことは前節で述べたことからわかるように普通のギヤミッション付の場合には二重積分系の制御の問題となり流体変速機付きの場合には積分的要素がもう一つ重なることになる。このことから車間距離を一定に保つためにはドライバーとしては非常にむづかしい操作を必要とすることになることがわかる。このために初心者は前車に追いついて走る場合にとかくアクセルペダルとブレーキペダルを交互にふみ、車間距離がかなりの振幅で変わることになる。車間距離保持について良好な制御成績を得るためには車間距離 $X$ を監視するだけでなく、その変化 $\dot{X}$ またできれば $\ddot{X}$ をもフィードバックしてアクセルペダルの調節を行なう必要があるわけである。またアクセルペダルの操作としては踏んだり、はなしたりという制御法(バンク・バング制御に近い)が用いられることが多い。

次に信号、停止線などで要求される定位置停車もブレーキ踏力を操作するとして二重積分系の制御の問題となる。そしてこの場合急ブレーキは安全保持の見地から問題があるので普通は 0.1~0.2(G) 程度の減速度の範囲内で処理しなければならないのである。また停止までの間に減速度の急激な変化があると乗員の首が前後に振れて乗り心地を害するのでブレーキのかけ始めと停止の直前に減速度が急変しないようにブレーキペダルの踏力を調節することも必要になるのである。こうなると単純なフィードバック制御ではとうてい目的を達することができなくて、高度なフィードフォワード制御が必要になる。すなわちドライバーはブレーキ操作を始めるときの停止すべき位置までの距離を自車の速度からきめて一定の割合で踏力を「一定値」まで増加し、様子をみながら(こ

れはフィードバック操作となる)必要あれば踏力を少し調節し、停止位置の少し手前から踏力を少しづつ減じつつは停止予定位置で $v=0$ 、踏力 $=0$ となるようにブレーキ操作を行なうのである。これをうまくやっけるためにはかなりの練習が必要である。またブレーキの状態が変わったり、車の積荷が変わったり異なった車に乗り換えた場合には上述の踏力の「一定値」を変える必要がある、その状態になれてプログラムの最適化が完了するまではかなりギコチないブレーキ操作になることはさげられないことになるのである。このような定位置停止の操作は日常何気なくくり返し行なっていることであるが、その操作の内容はかなり高度で複雑な内容のプログラムを含んだ操作となっている。

#### 5. 自動車の応答

前節で述べた自動車の制御はいずれも通常の路上走行の場合の基本的走行状態であって、一見複雑な実用走行も主としてこれらの組み合わせとして論ずることができる。これらは自動車が自分から制御目標を設定してそれに合致するようにハンドル、アクセル、ブレーキなどを操作する場合のことに相当するわけであるが、実際にはこのような状態の外に突風に吹かれるとか、予期しない路上障害物に遭遇するとかいうようないろいろな意味でのドライバーの予期しない外乱が作用することも多い。このような場合にその外乱に対して自動車がどのような応答をするかということについてここで述べることにする。

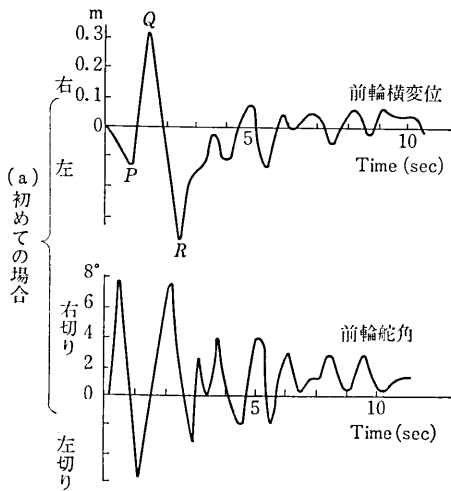
機械系としての自動車に対する外乱はタイヤあるいは車体に対する作用力に限られるが、人間-機械系に対する外乱としてはこの外に心理的な外乱がある。すなわち自動車はちょっと大きな音でオドカシタだけで安定を失う場合もあるのである。

また外力が作用した場合に多くはその影響が心理的な外乱を誘発して外力の影響に相乗的に作用する。また場合によると外力の影響よりもそれによって誘発される心理的作用の影響の方がはるかに大きくなる。前節が平常時の自動車特性とするならば、ここで述べるのは緊急時の自動車特性である。

##### 5.1 自動車でステップ状の横力が作用した場合

走行中に切り通しを抜けたとたんに横風を受けた場合などがこれに当たるわけであるが、これに相当する状態を生研の自動車試験台上で設定して実験を行なった。ステップ状の横力を加える方法としては前バンパーに取りつけたピアノ線にばねで 50 kg の張力を与えておいてピアノ線を切断するというを行なった。

図 21 にその結果の一例を示す。図の(a)は初めて体験した場合で、ドライバーは筆者自身である。まず 0 点で、前で前バンパーに 50 kg のステップ状の横力変化が



(a)

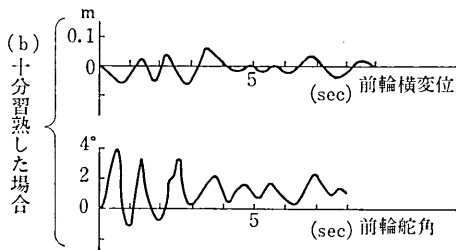


図 21 (b)

与えられ、それにより前輪の横移動が左方へ  $0 \rightarrow P$  と生じている。これに対応してドライバーは右へ実舵角にして約  $8^\circ$  度急激な操作を行ないすぐに左へ約  $6^\circ$  度切り戻している。この間に前輪位置で  $P \rightarrow Q$  と大きな横移動が右方へ起っている。この間に舵角は再び右へ大きく当てられており、横移動は  $Q \rightarrow R$  と振幅が大きくなっており、その後によりやく振幅は収れんして約  $3 \sim 4$  秒では軌跡は平常にもどっている。ここで注目すべきことは  $0 \rightarrow P$  から  $P \rightarrow Q \rightarrow R$  と振幅が増加していることである。これはステップ状の横力変化の直接の影響というよりはそのショックにおどろいたドライバーの過大な操舵による影響とみるべきである。事実筆者はこのとき試験台のドラムから脱輪するのではないかと大いにあわてたわけである。しかし数回くり返しての練習によって同様の外乱に対して (b) 図に示すように十分平穏に対処し得るようになった。この場合には操舵角は  $4^\circ$  程度以下で対処していることがわかる。すなわち (a) の場合にはステップ状の横力外乱に対処する操舵量がわからなかったため反射的に過大な操舵を行なってこれが最初の外乱より大きな外乱をひき起こすことになって  $P \rightarrow Q \rightarrow R$  と増幅する結果となったもので、練習によって最初の操舵角の最適値のみ込むと (b) のように良好な対応が可能となるのである。(a) の場合には  $Q$ 、または  $R$  で路外転落とい

う事態を招くことになるのである。高速走行において風にあおられたときは (a) のようにして中央分離帯やガードレールへ突込むことが多いのである。これが力学的な外乱によってドライバーに心理的な外乱が誘発されて人動車の安定が害されるという現象である。このような場合の練習の効果はきわめて大きい。

5.2 緊急回避を必要とする場合の応答

前節の場合は予測しなかった外力の作用によって目的とする進路から外れるのを修正して安定な走行を続けようとして対応する場合であったが、この場合は予測しなかった障害物を進路上に発見してそれを回避しようとして対応する場合である。

すなわち前節の場合はまず外力の作用から始まるのに対してこの場合は心理的な作用から始まるわけである。この場合の対応として重要なことはまず第 1 に障害物に触れることなく回避すること、第 2 に回避に成功した後には安定で制御の可能な状態にあることである。

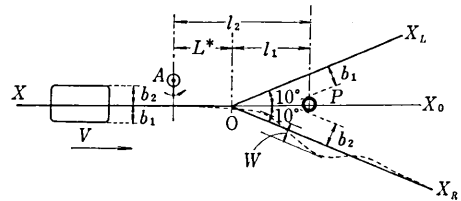


図 22

人動車のこのような観点からの特性についての試験法としての回避試験法を開発した。これは図 22 に示すような実験用走路で最小回避距離  $L^*$  と回避後の最大振幅  $W$  を求めようというものである。すなわち同図の左方から  $XX_0$  に沿って一定速  $v$  m/s で走行してくる人動車がちょうど  $A$  点に達すると、 $A$  点を中心として回転できるように支えられたバーによってフロントバンパーに取りつけられたスイッチをたたかれ、これによって前方においたパイロンを右に操舵して避けるか左に操舵して避けるかの指示が閃光によって示されるようになってくる。このバーによる打音と閃光による左右の指示に従って、緊急操舵を行なってパイロン  $P_0$  に触れないように回避してその後は  $OX_R$  線上を直進するという目標に適合するように操舵を行なうようにする。そしてパイロン  $P_0$  に触れずにしかも最終的には  $OX_R$  に漸近させることのできる最小値を  $L^*$  とするのである。この場合パイロンの位置は  $OX_L$ 、 $OX_R$  からそれぞれ試験車の軌跡測定点から右および左の幅  $b_1$ 、 $b_2$  だけ離れた位置におき、 $l_1$  は試験車が  $0.5$  秒間に進行する距離を選ぶことにした。すなわち  $l_1/v = 0.5$  秒となるように  $l_1$  を選ぶ。この  $0.5$  秒という時間にはかならずしも明確な根拠はないが、人間の応答の無駄時間がほぼ  $0.5$  秒程度であることから  $l_1$  をこのように選んでおけば図 22 において

表 1

車種	A	B	C	D
諸元				
重量	800kg	920	945	1,280
ホイールベース	2.35m	2.42	2.50	2.69
操舵系ギヤ比	1:15.6 ~18.2	1:17.5	1:18.9	1:20.0

$l_2 > l_1$ ,  $L^* > 0$  すなわち A 点が O 点より常に左にあると考えてよいと思われるからである。

次に  $OX_L$ ,  $OX_R$  と  $OX_0$  とのなす角  $\phi$  の値は  $v$  との関連において定めなければならないが,  $v$  を大きくすれば試験の安全性の見地から  $\phi$  は小さくしていかなければならないという関係にある。そして  $\phi$  の値をあまり小さくするとパイロンを設置する位置に問題がでくるのである。そこで種々実験も行ないまたこれらのことも考慮して,  $\phi = 10^\circ$ ,  $v = 50 \text{ km/h}$  を用いることにした。

このような試験を市販の表 1 に示すような 4 種類の乗用車を用いて行なった。

D 車はハンドルの操作が重く, かつ歯車化が大きいため, すなわちハンドルの力学的ゲインも, 幾何学的ゲインもともに小さいために最小回避距離  $L^*$  は 6 メートルより小さくすることはむづかしい。

また車両の全長も四輪中最大で, 重心まわりの慣性性能率が高いことも  $L^*$  が大きくなる原因となっているといえよう。また  $L^*$  の値として 3.5 メートルという四車中の最小値をマークした B 車は四輪とも独立懸架の構造を有し, ハンドルも軽く, ギヤ比も 1/17.5 と小さくハンドルのゲインが大きいことによるものといつてよからう。A 車は B 車より小型で, 重量も軽いにもかかわらず  $L^*$  の値が 4.5 メートルにとどまったのは操舵系の剛性が比較的強く, 懸架バネもやわらかいことが原因となっているものと思われる。

また障害物は回避し得たとしても分離帯などに突込むようではだめなわけであるから, 収束性を表わす軌跡の振幅の最大値  $W$  の値も安定と操縦性のバランスを判断するのに重要な値である。図 23 は各車種に対する  $L^*$  と  $W$  を整理したものである。 $L^*$  の値にとってハンドル系のギヤ比は極めて大きな影響を有すると考えられるの

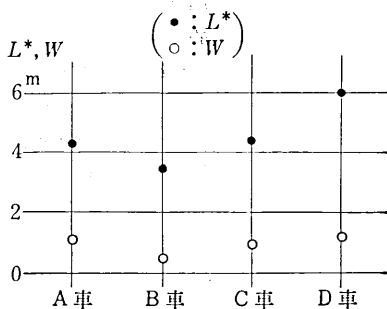


図 23

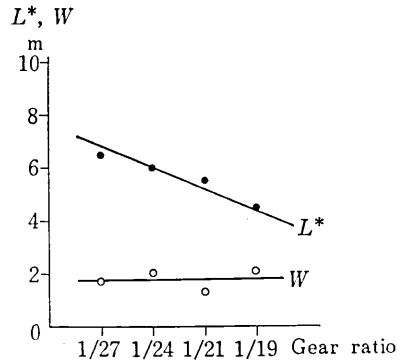


図 24

で操舵力は一定のままギヤ比を変更し得る試験車を用いて幾何学的なゲインの影響を求めた結果を図 24 に示す。これによるとギヤ比とともに  $L^*$  の値が小さくなるのがわかる。しかし  $W$  の変化はほとんどないと考えてよさそうである。

なおギヤ比は同一でハンドルの重さだけが変わった場合に  $L^*$  の値にどのような影響がでるかという実験も行なうべきであると思うが, ハンドルの重さを自由に变化させることが今回はできなかった。ハンドルのギヤ比, 重さについてそれぞれ適当な値の範囲が存在するものと思うがまだそれを明らかにするに至っていない。

(1973年1月8日受理)

参 考 文 献

註1) Janeway の評価基準 (Vehicle Vibration Limit to fit the Passenger; S. A. E. J., Vol. 56, 1948. 8): 自動車工学の分野ではきわめて一般化されているもので感覚域の限界は  $af^x=c$  ( $a$ : 振幅,  $f$ : 振動数,  $x$ : 1~3 の間で変化する指数) の曲線であらわれ,  $x=1$  の場合には振動の速度  $af=c$ ,  $x=2$  の場合には加速度  $af^2=c$ ,  $x=3$  の場合には加速度変化率  $af^3=c$  に振動感覚が依存する。また振動乗り心地の安全限界は振動数と振幅の関係によって示している。しかしこの基準は振動数の範囲によって表現しているため設計基準に用いられても実際の走行での評価にはほとんど用いられない。

この他に Reiher-Meister の評価基準 (Die Empfindlichkeit des Menschen gegen Erschütterungen: Forschung auf dem gebiete des Ingenieurswesens. Vol. 2, 1931, Vol. 6, 1935). Jachlin-Liddell の評価基準 (Riding Comfort Analysis Engineering Bulletin Research Series No. 44. Purdue Univ. 1933~5) がある。

註2) 近藤政市: 自動車技術 Vol. 7, No. 5, 1953. 自動車技術論文集 No. 5.  
 藤井, 井口: 機械学会論文集 24 券 147 号。  
 藤井澄二: 機械学会誌 Vol. 63, No. 494, 「高速度における自動操縦の問題」  
 井口雅一: 機械学会誌 Vol. 62, No. 491, 「運転者の運動特性からみた自動車の走行安定性」  
 " : 東大大学院博士論文, 1962, 「手動制御系の研究」  
 菊地英一: 自動車技術論文集, No. 6 (第1分冊), 「ハンドルの重さと操縦性」  
 自動車技術 Vol. 17. No. 3 「変位インピー...

- ダンスによる自動車の操縦性の評価」  
自動制御 31年3月。  
自動車技術, Vol. 18, No. 11 (1964)「適応  
制御系としてみた自動車の操縦性」
- 山川新二: 自動車技術, Vol. 18, No. 11 (1964)「ある  
操舵を加えた自動車のアンダステア, オーバ  
ステア特性に関する一考察」
- 平尾, 安部: 自動車技術論文集, 1970. 1「人動車の進  
路変更特性」  
: 自動車技術論文論文集, 1970. 5 [Direction  
change Performance of Automobile]
- 平尾, 安部: 自動車技術, 24, 11. 1970. 「人動車の立  
場からの自動車の評価」  
: 自動車技術, 24, 8. 1970 「パワステア考」  
: 自動車技術, 23, 1. 1969 「人動車の安定性  
改善のための微分項を含んだ操舵系につい  
て」  
: 自動車技術会 学術講演前刷集, No. 722 「人  
動車の車線変更特性とステップ横力特性」
- 平尾, 山田: 自動車技術, 20, 11. 1966 「操舵系の動特  
性の改善」
- 平尾, 山田, 菊地: 生研報告, 17, 7 [Improvement  
of Handling Characteristics of the Vehi-  
cle as a Man-Machine System]
- 平尾, 杉浦, 宮迎: FISITA(国際自動車技術会議)1968.  
[Improvement of Safety of Automobile  
as Man-Machine System at High-Speed  
Running]
- Weir, C. H., and MacRuer, D. T., 1968.  
Highway Research Record No. 247, 7-28.  
[A Theory for Driver Steering Control  
of Motor Vehicle]
- Lacovoni, D. H., 1967.  
S. A. E paper No. 670609.  
[Vehicle-Driver Simulation for a Cros-  
swind Disturbance Condition]
- 註3) 生産研究, Vol. 20, No. 1 (43年1月)「人間-自動車系  
の研究のための自動操縦」
- 註4) 東大機械工学研究報告, 第5巻 (・45年)
- 註5) 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 722.

