

# 自動車に関する研究問題

Problems on Motor Vehicles yet to be Researched

平 尾 収\*

Osamu HIRAO

自動車は現代の社会にとって不可欠のものとなっているが、それはどのようにしてその価値が評価されるのであろうか、自動車を社会にとってより有用なものとしていくためにどのような点を研究し、どの方向に進歩させていけばよいのであろうか？ それにはどのようにして評価されるのかということから考える必要があるものと考えている。このような検討をすることによって、重要な研究問題がおのずから明らかになってくるのである。

## 1. 緒 言

自動車の発達の歴史をたどってみると、軽量で大きな出力を出すことのできる原動機の出現が長い間待たれていたことがわかる。キニョーがナポレオンのために砲車けん引用の蒸気自動車を初めて走らせたのは、ジェームス・ワットが蒸気の正圧を用いる蒸気原動機を実用化した翌年であることをみても、いかに長い間にわたって、車両用に使える軽量大出力の原動機が待ち望まれていたかということをかがうことができると思う。そしてこの場合もまた、その最初の適用が軍用であったことは、今日の原子力の利用が軍用から始まったことと事情は同じことであったと考えなければならぬのであろうか。

それはともかくとして、このように軽量高出力の原動機が出現したときには、それをとう載する車体のほうはすでに用意されていたのである。この車体のほうの発達の歴史は非常に古いようであるがこれも多分に軍用として発達してきたと思われる点が多い。第二次大戦以前には、「一天万乗の君」という言葉が日本ではよく用いられたが、この「万乗」という言葉は中国からきた言葉で、「一万台の戦車」という意味であるとのことであって、一万の戦車には100人の歩兵が付随していたとのことであるから、100万の軍兵を有する君主のことを「万乗の君」というのだそうである。

このように牛馬や人力にけんいんされる車両が古くから発達してきたところへ、ジェームス・ワットの発明によって、原動機性能がどうやら実用可能な域に達したということである。そこで自然に原動機のほうは王様の座を占める結果となり、まず原動機が最高の性能を発揮しうること重点がおかれ、車体のほうはあらゆる困難な条件をものんで原動機を受け入れるという考え方で、自動車としてなんとかまとめるということになった。このような考え方は最近まで、あるいは今日まで引き継がれてきたといってよいように思っている。いい変えれば、自動車の設計にあたってまず「Engine」があり、そこでそれをとう載するシャシ、ボデーを設計するというのが、今日までの自動車の普通的设计、計画の筋道であったの

である。

しかし、今日のように原動機的设计に関して理論的、技術的両面における高度の発展を遂げた時点においてはこのような歴史的因習を捨てて自動車の全体計画を行なうにあたって、まず設計しようとする自動車の用途やねらいから割り出して、最適のエンジン、シャシ、ボデーの組合わせを求めるという考え方、すなわち自動車全体を一つのシステムとして考え、その目標値と評価関数のあり方を十分検討したうえで、最良のものになるような全体としてバランスのとれた設計法を求めようとする必要がある。

ところで自動車ほどのものになると、一口に性能の目標値とか、評価関数とかいっても単純に決まるものではなく、多くの複雑な要素を有機的に考えなければならずまた、使用目的により、使用環境により、あるいは使用者の好みにより、また社会的慣習によってもそれぞれの要素に対する重点のおき方が変わってくる場合が多いので目標値を決めるにしても評価を行なうにしても、多分に最大公約数的なものにならざるをえず、「かくあるべし」という結論を出しうる性質のものではない。

しかし、考慮しなければならない要素をきれなく検討して、それぞれの要素について使用者の立場からの最大公約数を求めたうえで、自動車の全体計画(General layout)が決定されなければならない。そこでまず、自動車を使用する立場の人びとが、どのような点に着目して自動車を評価するのか？ということから検討を始めることが必要になる。

## 2. 自動車の評価のためのものさし

この場合、評価のためのものさしということとは、自動車をかう場合どのようない点を考慮して、自分の求める車を選定するののかということにほかならない。そこで選定のための目標がどのようなものになるかを検討してみると、つぎの三つ、すなわち(1)購入、維持あるいは使用にあたっての「費用」(2)通勤用に使うのか、商売のための連絡運搬に使うのか、あるいはスポーツ、娯楽やレジャー用に使うのかなどという「目的」、最後に(3)使用者の好みや趣味によって決まる「形態美」が目

\* 東京大学生産技術研究所第2部

標になると考えてよいと思っている。

そしてこの三つの目標に関連のある要素を六つに分けて、それぞれ関連の深さを考慮して配列してみたのが図1である。

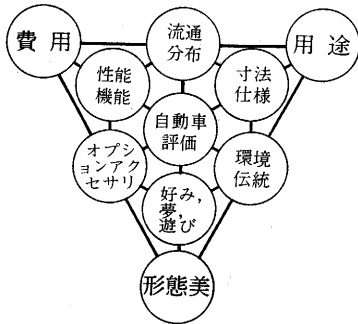


図1 自動車評価のためのネットワーク

まず自動車を買うという人は、できるだけ性能のよいりっぱな車がほしいわけであるが、それには経済的な制約が伴うのが常である。そこで費用の許す範囲においてできるだけ性能がよくて、自分の使用目的に適合した機能を持った車を求めることになる。この場合、自分の使用目的から、車の寸法諸元や構造仕様に対して種々の要求がでてくるわけであるが、そのためにあまり特殊な仕様や寸法のものを選ぶと、修理のときに部品がなかったり、あっても調達に時間を要したり、また下取りに出す場合に安くなったりということで、費用の点で問題がでてくることも多いので、流通分布の点についても十分な検討を行ない、用途に対する合目的性と、そのための余分の費用の点について調和を考えなければならない。

また、このような経済的な面と合目的性に関する十分な検討がなされる反面、多くの場合、形態美学的な立場からの取捨選択が行なわれることも見のがすわけにはいかない。むしろ費用と用途に対する合目的性の点であまり差がない場合には、この形態美が最終決定のためのカギとなる場合が多い。この場合、どのような車に形態美学的な価値を認めるかということ、それぞれ個人の好みとか、いだいている夢、あるいは芸術的遊びに対する共感の方向度合いなどによって決まってくるものであるが、またその車が使用される環境や伝統、すなわち道路、住宅、都市、文化や歴史的背景、風土、生活様式などによって大きく左右されるはずである。そしてこの形態美に対するあこがれは、再び費用との相談で、オプション部品の選択やアクセサリの使用によって逐次補っていくことが考えられる場合が多い。

すなわち、自動車を選ぶ場合には費用、用途、形態美の三つの目標を考慮しながら、性能機能、流通分布、寸法仕様、環境伝統、好みと夢と遊び、オプションとアクセサリの六つの要素をバランスにかけながら検討し、自分に最も適した車を選定すると考えてよいであろう。

自動車工学、内燃機関工学の立場は、この六つの要素のうちの「性能、機能」を向上、進歩させることに関する学問分野であるが、図1でもわかるように、性能、機能の点でいくらすぐれていても、それだけでは自動車としての高い評価を得るのには十分でない。それよりも上述した六つの要素のそれぞれがすぐれており、しかもバランスがとれていることが重要なのである。

しかしここでは上述のことを頭においた上で、性能と機能の問題にしばって検討を加えることにするが、そのまえに他の五つの要素について、いま少し検討を加えることにする。

(1) **流通分布**: この要素は図1において費用と用途を結ぶ辺上におかれているが、これはその自動車がどの程度一般的に広く使用されているか、したがってその車のサービス網は普及しているかどうか、部品の補給状態は円滑であるかどうか、どんな山間へき地でも故障などの場合にサービスを受けることができるかどうか、またその車の中古車として取引が円滑で、かつ合理的な値段がつけられるかどうかということが問題になるのである。いくら値段の安い車でも、調整整備や修理に手間がかかったり、次の車と買い変えるときに捨て値でなければ下取りに出せないようでは、結局高価な買い物になるわけであり、サービスの欠陥から稼働率が悪くなれば、使用目的にも支障が生じてくることになる。すなわち、性能と機能の点でいくらすぐれた素質をもっていても、この流通分布の点が十分でないと、車としては落第というようになってしまう。

(2) **寸法仕様**: これは図1にみるように、用途に直結する要素である。すなわち、たとえば主として商品、貨物の運搬に使用するのであれば、乗用車よりはトラックを選ぶことになるが、商品の種類によってデリバリアンにするか、ピックアップ形にするか、または三方アオリの荷台のトラックにするかなどと変わってくるわけであり、また一度に運ぶ貨物の量によっては、小形、中形、大形などと適合する寸法も変わってくる。また砂やジャリ、泥などを運搬する目的にはダンプ形の荷台のトラックにするわけであるが、この場合にも荷台の傾き方向が後方だけのものにするか、左右にも傾けられるものにするかなど多種多様の仕様が考えられる。

また乗用車を選ぶ場合にも、主として通勤用に用いるのか、レジャーが主なのか、また家族構成によって、あるいは商売にも用いるなどのことからワゴン形にするかなど、非常に多くの変化が考えられる。このように用途、あるいは使用目的といっても一色にしぼることがむずかしく、いろいろな目的に用いたいという場合も多くて、事からはきわめて複雑なのである。

(3) **環境伝統**: これは図1で「用途」と「形態美」とを結ぶ辺の中央においたが、車を使用目的によって選

ぶといっても、その場合に、自分の社会的地位とか、隣近所の思わくとか、自宅付近の道路の幅とか、車庫の広さなどにより、車の大きさ寸法などが決まってくる場合もある。また用途としては主として乗用車として使用するつもりであっても、隣近所や親せきなどの手前や思わくを考へて、ワゴンとかバン形のものを選ぶということもあると思う。また車のスタイルとか色彩についても、多分に自分自身の社会的地位や伝統などによって支配され、単に自分の好みや、美的好みによって決めるというわけにいかない場合も多い。

たとえば色についても、戦前の日本では自動車といえば黒塗りと決まっており、白や茶色の好きな人でも、よほどのことがなければ自分の好みの色を選ぶというわけにいかなかった。戦後はそのような伝統的慣習もくずれて、かなり自分の好みによって色を選ぶことができるようになったが、それでも着物の柄を選ぶようなわけにはなかなかいかない。このように環境伝統の支配力はなかなか根強いものがある。

(4) **好み、夢、遊び**：一般には自動車といえば、まずそのスタイルが問題にされるといってよいくらいに、形態美学的な要素が重要視されるわけであるが、その評価は人それぞれの好みとか、芸術的な夢や遊びのあり方や感覚によって、いろいろに変わってくる性質のものであって、服飾の流行のそれと同じように時代とともにその流行も移り変わるのである。

航空機の飛躍的な発展の時代には流線形が流行し、ロケットや宇宙開発時代になるとそれらを象徴したり、連想したりするようなムードを入れたデザインが採り入れられるといった調子で、必ずしも性能や機能の点からの必然性には結びつかないところの、いわば芸術的な遊びとか、ゆとりというものも求められるのである。すなわち、理づめのギリギリの設計というのではなく、いろいろな意味における——物心両面における——余裕が案外重要な評価につながるのである。

(5) **オプションアクセサリ**：この中には性能機能に関連の深いもの、たとえば自動変速機、オーバードライブ機構、エアコンディショナ、ヒータ、ラジオなどの類から、単なる装飾的趣味的なものに至るまで無数のものがある。この要素も費用とバランスを考へながら、性能や機能を自分の好みや能力に適合させるために重要な意義を持つものである。たとえば、オプションでフロアシフトの4段の変速機があるかどうかとか、あるいはイーゼードライブのオプションがあるかなどは、車種選択にあたって問題になることも多いのである。

このようにまず「性能機能」の検討から始めて、上記の五つの要素の検討を経て、再び、「性能機能」の要素にもどってくるわけである。初めにも述べたようにこの性能機能に関する要素は、自動車工学、内燃機関工学で

取り扱うときの中心となるものであるから、これについてさらに掘り下げた検討を進めることとする。

### 3. 自動車の性能と機能の計画ネットワーク

自動車の性能、機能の設計を行なう場合の目標を三つに分けて考えるとすると、どういうものになるであろうか、いろいろな表現のしかたがあると思うが、私は(1)高速性、(2)安全性、および(3)家具性の三つであると考えている。初めの二つについては説明を要しないと思うが、最後の家具性については少し説明を加える必要があるものと思う。私のいう家具性とは、それについての特別な知識や技術を持たないしろうとにも取り扱うことができること、日常の整備点検等の保守の努力をしなくても常に正常な機能を発揮すること、日常生活に使用して無害であることなどの特性を備えているものをさしているのである。

自動車は現状では、まだいろいろな点で完全な家具になっているとはいえないのであって、機械から家具へ脱皮しつつある過渡期にあるものと考えている。そこで、いかにして完全な家具に近いものにするかということが自動車を計画するときの一つの重要な目標になると考えているのである。

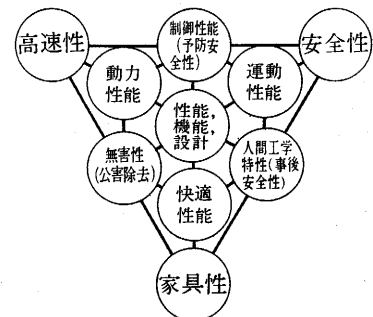


図2 自動車の性能、機能、設計計画のネットワーク

そこで図2を見ていただきたい。自動車評価の場合と同じように、この三つの目標を実現するために必要な要素を六つに分けてみると、高速化に直結する要素としては、原動機および動力伝達機の性能諸元によって決まってくるころの動力性能を考へるべきであろう。それから安全性に直結する要素としては、運動性能を考へる。動力性能のほうは、自動車の進行方向(x軸方向)の運動性能に関するものであるのに対して、この運動性能のほうは、自動車の進行方向と直角方向(y軸方向)の運動に関する性能に関連の深いものといつてよい。最後の家具性に直結する要素としては、快適性能がある。これは上述に準じた表現をすれば、自動車の上下方向(z軸方向)の運動に関する性能に深いものであるといつてよい。

すなわち高速性、安全性、家具性の三つの目標にそれ

ぞれ直結する要素として、動力性能、運動性能および快適性能をあげたが、残りの三つの要素としては、これらの性能を人間の機能や能力に適合させることを内容に持ったものを考えるのがよいと思っている。そこで高速性と安全性に関連のある要素として、制御性という要素を考えた。これは $x$ 軸方向の運動に対する制御性と、 $y$ 軸方向の運動に対する制御性を含めた「人間—自動車系」の特性に関する要素で、高速における安定性と操縦性の調和が重点となる。安全性の側からみれば、この要素は事故を起こさないという意味の安全、すなわち予防安全に関するものであるといえる。

つぎに安全性と家具性の双方の目標に関連の深い要素としては、人間工学という要素を考えるべきであると思う。この表現は必ずしも適当ではないと思っているが、ほかによい表わし方がみつからないので、一応このような表現を用いておくことにした。その内容は自動車の居住区域の構造の人間に対する適合性の問題であって、衝突などの事故を起こしたときの乗員の安全、すなわち「事後安全」の問題をも含む要素なのである。このような意味での安全性は、家具性にとっても重要なものであるはずなのである。

最後に、家具性と高速性の両目標にとって関連の深い要素として、「無害性」を考えた。これは排出ガスによる公害のほか、振動、騒音、熱的影響などの点でも、外部に対しても内部の乗員に対しても無害でなければならぬのである。これは家具性にとってはきわめて重要なことであるが、高速性のための原動機の性能の点からみれば、これはきわめてやっかいなことなのである。すなわち、いかに性能を犠牲にすることなく無害にするかという問題をかかえざるを得ないことになるのである。

このように考えたうえで図2に示したように、自動車の性能機能の設計目標として高速性、安全性、家具性を考え、これらに関連して必要な要素を動力性能、制御性能、運動性能、人間工学性能、快適性能および無害性能の六つに分けて、ネットワークをつくってみたのである。以下にそれぞれの要素についてさらに少し説明を加えることにする。

(1) 動力性能: これは前述したように自動車の前後方向、すなわち $x$ 軸方向の運動に関する性能であって、主として原動機、動力伝達機および制動装置の性能諸元によって支配される。すなわち加速、登坂、最高速、燃料消費率、制動、惰行などの性能が問題になる。また定常状態における性能ばかりでなく過渡的な状態における性能、特にその応答特性が重要である。この過渡応答特性に重要な影響をおよぼすのは、ガソリン機関では気化器、ディーゼル機関では燃料噴射系とそのガバナの特性であるが、動力伝達機、特に変速機の特長も重要である。流体変速機を用いると乗員の運転操作の負担は少なく

なるが、その積分的特性のために応答特性は普通は悪くなり、速度の制御性の点で問題が起こる場合も多い。また原動機としてガスタービンを用いるときは出力応答の特性が大きな問題となり、ガバナおよび変速機の特長の変定には多くの問題があるはずである。また制御装置については制動力の高速におけるフェードの現象が重要である。このための摩擦材料の選定、冷却の確保などが重要である。またベーパーロックやブレーキのキシミ音(鳴き)もなかなかやっかいな問題である。またブレーキ力の制御性、特にアンチスキッドの対策は、自動車の制御性能に大きな影響を有する。

(2) 制御性能: 上述のように $x$ 軸方向の運動の制御性は、原動機、動力伝達機および制動装置の過渡特性に直接影響されるが、これらの制御特性の人間に対する適応性が重要である。すなわち、アクセルやクラッチのペダルにしても、ブレーキペダルにしても必要な操作力が大きすぎても、小さすぎても、人間は制御がやりにくくなるものであって、それぞれ適度な重さと動き、すなわちストロークが必要であるし、またそれらの系のダンピングや場合によると、固体摩擦さえ必要になる場合もあるのである。いわば、人間とのインピーダンスの整合が重要なのである。

同様なことが自動車の進行方向に直角方向、すなわち $y$ 軸方向の運動に対しても必要となってくる。すなわち、運転者の目標とする進路に対して自動車の動きを制御して必要な進路を保持したり、変更したりする場合に、ハンドル系の剛性、慣性性能率、粘性抵抗、摩擦抵抗、ガタ、全歯車比、操舵に必要なトルク、復原トルクなどの相対的な関係が重要な問題となってくる。

元来、走行中の自動車には必ず運転者がいて、道路の定められた部分を守るように速度と進路の制御が行なわれており、運転者は自動車の速度なり、進路なりを常に監視して、アクセルペダル、ブレーキペダルおよびハンドルを操作し、その結果としての自動車の応答をみて、またそれぞれに必要な制御操作を加えるということを取り返しているわけである。すなわち、人間は $x$ 、 $\dot{x}$ 、 $\ddot{x}$ 、 $y$ 、 $\dot{y}$ 、 $\ddot{y}$ ……などを検出しながら操縦操作を行なっていると考えると、人間—自動車系を図3に示すような閉ループ制御系として考えて、この特性が好ましいものになるように考えなければならないのである。そしてこのことは、安定性と操縦性の向上ということを通じて、

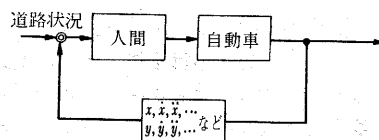


図3 閉ループとしての人間—自動車系 (人動車系)

事故を起こすおそれの少ない安全な状態につながるはずである。そこでこのような方向の努力を「予防安全」の対策と名づけてよいものと思っている。

(3) **運動性能**: 上述のような人間—自動車系, すなわち人動車としての特性にとって, 人間と切り離れた自動車単体の力学的な特性が, まず重要なものとなってくる。このような意味の自動車特性を運動性能と呼ぶことにする。この特性で最も重要なものは, いわゆるアンダステア, オーバステアの性質と呼ばれる性質に関するものである。

これは自動車の操舵角と旋回半径, 走行速度の相対関係に関する性質であって, 操舵角を一定にして種々の速度で定常円旋回を行なう場合に, 高速の場合ほど旋回半径が大きいという性能を *under steer* といい, 旋回半径が速さによって変わらないものを *neutral steer*, また高速の場合ほど旋回半径が小さくなるような性質を *over steer*, また, ある速さまでは *under steer* で, それを越すと *over steer* になる性質のものを *reverse steer* と呼ぶ。一般に認められた日本語訳はないように思うが, 筆者はそれぞれを「鈍い舵」, 「中立の舵」, 「過敏な舵」, および「反転する舵」としたらどうかと思っている。

制御特性からみた, 人間に対する適応性の点からすれば「中立」またはやや「鈍い舵」が好ましいと考えられている。またローリング, ピッチングおよびバラシシングなどの性質も重要な力学的性質であって, 懸架機構, すなわち, にないバネ, ダンパ, 車輪およびタイヤの性能諸元, さらに車体の重心位置などが支配的な要素となっており, これらの特性は, 走行中の路面の凸凹などによる振動, 騒音, 乗りごちなどの人間工学的な性能に深い関連を持つものである。

(4) **人間工学特性**: これは人動車系の制御特性のところでも述べたのは, また異なった意味での人間に対する適応性の問題が主になる。すなわち, 上述した騒音の除去と振動乗りごちの向上ということ, 事故の起こった場合の人間の被害を最小にとどめるための安全構造の問題, すなわち衝撃をうけたときの人間の強度, あるいは生存限界を考慮に入れた安全装備の性能向上ということが重要な問題である。「制御性」の向上が「予防安全」につながるのに対して, この要素の改善は事故が起こったときの安全, すなわち「事後安全」の問題に直結するといつてよいのである。この数年来, アメリカでやかましい問題となって法制化されつつある, いわゆる安全に関する 26 項目の多くは, この「事後安全」に関するものなのである。そしてこれらは上述した人体強度, あるいは生存限界に関する問題であると同時に, また生理的, 肉体的, 心理的な適応の問題でもあるので, つぎに述べる快適性能にも深い関連がある。

(5) **快適性能**: これに重要なのは, 人間をとりまく

環境の問題である。すなわち通風換気, 気圧, 温度, 湿度の調節, じんあい, 臭気の防除, 振動騒音の除去などのほか, 座席の形やかたさ寸法, 室内の広さ, 色彩, 明るさなどのほか, 芸術的な好みや情感なども, 場合によると重要な因子となって機械工学というよりは建築意匠学, あるいは装飾学的な分野に属する事からも多いといつてよいと思う。

しかし同時に機能部品の信頼性, 耐久性, 点検整備の無用化ということが重要な背景となるはずのものであるということは忘れてはならないことであろうと考えている。さらにつぎに述べる無害性ということも, この快適性能をささえる重要な因子であると考えている。

(6) **無害性**: 快適な家具として, ぜひとも備えなければならない性質の一つといつてもよいが, この「無害性」を損う最大の元凶は, 現在では原動機である。特に現在の原動機として用いられている内燃機関の排出する有毒, あるいは有害なガスが無害化に対する最大のテーマであることは周知のとおりであるが, このほかにも原動機系から発生するおびただしい熱, それから振動と騒音も無害化に対する大きな障害なのである。

そこでこの無害化を推進するには, 現在の内燃機関を無害化していく方向と, もっと本質的に無害な原動機を開発導入する方向, すなわち, たとえば電気原動機にする方向との二つの道があると考えられている。そしてこれらのことは, また必要な動力性能は維持したうえで進められなければならないのであって, 最初に論じた要素, すなわち「動力性能」の要素と深い関連があるのである。現在の内燃機関を捨ててほとんど無害な電気自動車に乗り替えることができない大きな理由は動力性能の点で満足させる見込みがいまのところ当分ないからにほかならないのである。

このように完全な性能と機能を備えた自動車というのは上記の六つの要素のそれぞれを追及したうえで相互の要素間のバランスを完全にとることによって得られるものなのだと思うのである。

#### 4. 結 言

このように考えてくると動力性能は最も古くから取り組まれて来た問題であり, ついで快適性能が取り上げられ, 第二次大戦後になって運動性能に関する理論的研究が重要視されるようになり, ついで最近になって人間工学特性, 無害性および制御性能が重要問題として登場するに至ったのである。いずれもまだまだ解決しなければならない多くの問題が残されているが, 人間の制御特性の問題を含んだ人動車系の特性に関する研究はまだ始まったばかりであり, 予防安全に関連して特に重点的に研究を進めなければならない問題であると考えている。

(1968年7月16日受理)