総 説

自動車の燃料消費率の推移とその要因

山本 将史^{☆1}, 深澤 恒典^{☆2}, 山末 英嗣^{☆1}, 石原 慶一^{☆1}^{☆1} 京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー社会・環境科学専攻, 〒606-8501 京都市左京区吉田本町.^{☆2} 京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー社会・環境科学専攻, 〒606-8501 京都市左京区吉田本町,
[現] いすゞ自動車(株), 〒210-8524 川崎市川崎区殿町 3-25-1.

The Transition of Fuel Economy on Automobiles and its Factor

Masashi Yamamoto^{☆1}, Tunenori Hukasawa^{☆2}, Eiji Yamasue^{☆1} and Keiichi N Ishihara^{☆1}^{☆1} Department of Socio Environmental Energy Science, Graduate School of Energy Science, Kyoto University, Yosidahonmachi Sakyo-ku, Kyoto 606-8501.^{☆2} Department of Socio Environmental Energy Science, Graduate School of Energy Science, Kyoto University, Yosidahonmachi Sakyo-ku, Kyoto 606-8501. [Isuzu Motors Limited, 3-25-1 Tonomachi Kawasaki-ku, Kawasaki 210-8524].

Received January 16, 2002

SYNOPSIS

The fuel economies for various kinds of automobiles have been investigated. According to the fuel economy based upon the department of transportation standard, the fuel economies in 2000 improved 9~23% compared to those in 1990 for each class of the curb weight. However, the total fuel economy in Japan, which were estimated from the both data of the total amount of fuel consumption and total killometrage in Japan from 1965 to 2000, show about 9 km/liter, and in the recent decade it became rather worse. The reason for this inconsistency is that the large size automobile became popular because of the inclination of user, anti-regulation of automobile tax, price down of fuel and so on. In order to improve the total fuel economy aiming the reduction of CO₂ emission, two problems, which are "improvement of the fuel economy for the respective automobile" and "suppression of the over sizing of automobile", are examined.

KEY WORDS

fuel economy, automobile

1 緒 言

1960年代後半から1970年の高度成長期にかけ3C(カー, カラーテレビ, クーラー)と呼ばれ、憧れの的であった自動車は、日本経済の発展・成熟を経て現在では生活必需品となっている。しかし、自動車は生活を快適・便利なものにする一方、年間一万人を越える交通事故死者、排気ガスによる地域大気環境の汚染、振動や騒音、公共交通機関の衰退など様々な弊害も生み出してきた。また地球環境に与える影響も決して小さなものではなく、乗用車による二酸化炭素の排出量は1998年において年間約6000万t-C¹)であり、日本における二酸化炭素排出量の二割以上を占めているのが現状である。日本の二酸化炭素排出量のうち運輸部門からの排出が占める割合は年々大きくなっているが、これは運輸部門エネルギー消費量の約九割を占める自動車の、走行距離が大きく増大していることが原因である。Fig.1に日本における二酸化炭素総排出量の推移と自動車の総走行距離の推移を示すが²⁾、1970年には総走行距離が2730億kmであったのに対し1999年には7651億km

と2.8倍もの増加が見られる。このことは、単純には自動車のガソリン消費量すなわち二酸化炭素排出量が約3倍になったことを意味している。このことから、自動車による二酸化炭素排出量を削減することが、地球環境問題の解決策の一つであることが分かる。

そのような状況の中で、1997年にCOP3(気候変動枠組条約第3回締約国会議)で採択された京都議定書により、日本は温室効果ガス排出量を2008年~2013年平均で1990年比6%削減する目標が定められた。これを受けて政府は「地球温暖化対策推進大綱」を定め、各分野での削減目標を設定した³⁾。運輸部門では排出量の増加を考慮し、エネルギー消費量を1995年水準と同水準に抑えることが目標とされた。具体的には2010年時点において1730万kl(原油換算)の消費量削減が求められている。その中で「自動車燃費の改善」によるエネルギー削減量は450万kl(原油換算)となっており、これは運輸部門全体の削減目標の4分の1に相当し、自動車の燃費改善に対する期待が大きいことを意味している。また、これと平行

Fig.1 The transition of mileage and CO₂ emission.

して1999年4月に省エネルギー法が改正され、自動車においてトップランナー方式による省エネルギー策が進められることとなった。

各自動車メーカーにおいて燃費向上の努力は特に近年精力的になされており、エンジンとモーターのハイブリッド化、筒内直接噴射エンジン⁹⁾、リーンバーンエンジンなどが開発されている。メーカーの公表値によると、筒内直接噴射エンジンで25～35%、リーンバーンエンジンで約20%程度の燃費向上が実現されている。また、その他にもエンジン効率の向上、車重の軽量化、空気抵抗の削減などの技術が導入されており、近年の10・15モード燃費値は飛躍的に向上している。ところが実際に燃費のデータを広い車種や年式に渡って調査し、総合的な研究が行われた例は皆無といえる。そこで本研究では、各種統計資料、インターネット、自動車関連雑誌、アンケートを基に10・15モード燃費だけでなく実測燃費も調査し、現状の社会における自動車燃費についてその要因を分析し、二酸化炭素排出量削減の方策について検討することを目的とする。

2 自動車の実測燃費の調査

2.1 10・15モード燃費データの収集およびその結果

10・15モード燃費とは、市街地走行を想定した10モード走行と高速道路やバイパスなどの走行を想定した15モードとの組み合わせにより測定される運輸省基準による燃費である。メーカーの作成するカタログにはほぼこのモードに基づく燃費が記載されている。本研究では、1990年に発行された自動車ガイドブック⁹⁾および2000年に発行された自動車ガイドブック⁹⁾に記載されている燃費を比較した。具体的には、2010年度の燃費基準において示された重量区分に合わせ、各文献に記載されている燃費データを703kg未満、703～828kg、828～1016kg、1016～1266kg、1266～1516kg、1516～1766kg、および1766kg以上、の区分毎に収集しそれらの平均値を算出した。なお1990年当時は10モード燃費の計測しか行われてい

Fig.2 The comparison of fuel economy in 1990, 2000 (classified by curb vehicle weight).

Table 1 The comparison of fuel economy and curb vehicle weight in 1990, 2000 (classified by engine size).

engine size	weight(kg)		Fuel economy(km/l)	
	1990	2000	1990	2000
660cc	654.17	837.98	18.38	17.85
1500cc	985.74	1118.33	15.09	16.02
1600cc	1072.13	1132.31	12.99	13.88
2000cc	1332.78	1379.88	10.22	12.10
2500cc	1575.45	1535.26	8.95	9.89
3000cc	1577.89	1662.20	8.40	9.46

なかったため、10・15モード燃費に変換して比較した。調査結果をFig.2に示すが、全ての重量区分において2000年の燃費データが1990年の燃費データに勝っており、9～23%向上している。

またTable 1には、上記の文献値を排気量毎に整理した値を示す。表から分かるように、同排気量の場合1990年の車両重量より2000年の車両重量の方が2500ccクラスを除き重くなっている。それにもかかわらず軽自動車以外で燃費が向上しているのは、エンジン技術の向上が大きな効果を上げたためと考えられる。また、これらの結果から、同重量区分における比較では2000年の方が小排気量車の占める割合が多いと考えられ、これが見かけ上燃費向上に大きな役割を演じたと考えられる。軽自動車の燃費が悪化しているのは、近年の車にはエアコン装置、パワーステアリング、パワーウィンドウ、オーディオ機器など様々な機能が搭載されているが、これらの動力は全てエンジンの馬力から賄われている。軽自動車は

排気量が小さいため馬力も小さく、エンジンの効率向上よりも上記の機能によって奪われた馬力の分燃費が悪化したと考えられる。

以上の結果から、最近の10年間に於いても、技術者の努力により車一台毎の燃費は軽自動車の場合を除いて同重量区分、同排気量区分において向上していることが分かった。しかし、これらの値は車一台毎の10・15モード燃費データであり車の車両台数などは考慮されていないため、日本全国レベルでの燃費の推移を読みとることができない。国土交通省ではこれらに台数を掛け合わせた平均燃費を算出しているが、10・15モード燃費であるため実燃費との乖離がある。そこで、次に日本における総走行距離および総燃料消費量からの実際の平均燃費の算出を試みた。

2.2 日本における総走行距離および総燃料消費量からの燃費データ算出

日本における自家用乗用車の総走行距離および総燃料消費量は省エネルギー総覧⁷⁾及び自動車輸送統計年報⁸⁾よりデータを収集し、値を算出した。このようにして得られた日本における平均燃費の推移をFig.3に示す。図より平均燃費は35年間9km/l前後と変化がなく、最近の十数年に限って見ると悪化の傾向を示している。前節で述べたように、個々の車両については燃費が向上しているにもかかわらず平均燃費が向上していない。

2.3 日本における燃費推移に関する考察

最近十数年の燃費悪化原因として、自動車の大型化が第一に考えられる。Fig.4に乗用車種別毎の保有台数の移り変わりを示す。図から分かるように、1980年代後半から急速に普通乗用車、いわゆる3ナンバー車の保有台数が増えていることがわかる。3ナンバー車は車重も排気量も大きく、その結果燃費も悪化する。個々の自動車の燃費が向上したとしても、日本全体に渡って3ナンバー車の保有台数が増えれば当然日本における平均燃費は悪化する。したがって、排気量の大きな

な車に乗り換えずに同じサイズの車に乗り換えていたなら燃費は改善されていたと考えられる。

自動車の大型化が進んだ原因は二つ考えられる。一つ目はユーザーの嗜好によるものである。自動車を購入する際どのような項目を重視するかについてのアンケート調査結果を示す(Table 2)¹⁰⁾。この結果からわかるように、自動車購入の際、燃費を重視すると答えたのはわずか4%にすぎず、一番重視されるのは価格である。普通乗用車は小型乗用車に比べて価格が高く、このことは乗用車の大型化とは逆の結果をもたらすように思える。しかし1989年に自動車税の改正が行われ、普通乗用車の自動車税が大幅に減税されたことにより普通乗用車の維持コストが低下したことを考慮すると、普通乗用車の保有促進につながったと考えられる。またそれと共に消費税導入に伴う物品税の廃止により、排気量の大きな自動車の値段が下がり手ごろ感が高まったことも普及を後押しした理由の一つといえる。二つ目はガソリン価格の低下によるものである。Fig.5にガソリン価格の推移を示す¹¹⁾。この図から、1990年以降ちょうど普通乗用車の保有台数増加の時期と重なるようにガソリン価格が低下することが見て取れる。ガソリン価格の低下によりユーザーの燃費に対する関心が低くなり、これが燃費の悪い大型車の購入の障壁を下げることにつながっていると考えられる。

Fig.3 The total fuel economy.

Fig.4 The registration of passenger car.

Table 2 The most important factor on choosing car.

point	ratio
price	33%
design	20%
brand-name	12%
safety	9%
easy drive	6%
cab space	4%
fuel economy	4%
others	12%

Fig.5 The transition of gas price.

Fig.6 The average speed on some city.

この他にも、平均実測燃費の悪化した原因として渋滞量が増加したことが考えられる。渋滞時はアイドリングの時間が多くなることや加速減速の回数が増加するため燃費が悪化する。実際平均速度が40km/hから10km/hへ変化すると燃費は50%悪化する¹²⁾と言われている。Fig.6に各都市の渋滞ピーク時における平均速度の推移を示す。図からわかるように、平均速度は一時的に改善されることもあったが長期的には悪化しており、1994年の値が最も平均速度が低い。このことより、渋滞量の増加が平均燃費の悪化の原因の一つと考えることは妥当といえる。

以上より、自動車個々の燃費はメーカーの努力により確実に向上しているが、購入者の嗜好や渋滞の増加といった社会的な理由により、日本全体としての平均燃費が悪化していることが分かった。

Fig.7 The fuel economy standard and results.

3 平均燃費改善への提言

緒言でも述べたように、2010年度の燃費基準値は二酸化炭素排出量の削減を目標として定められたものである。それを受けて各自動車メーカーは燃費基準値達成のための技術開発を行い、自動車個々については燃費の改善に成功している。しかしながら、平均燃費は3ナンバー車保有台数の増加などにより悪化した。このままでは燃費基準が達成されても、本来の目的である二酸化炭素の削減には効果がない。そこで平均燃費改善に対し二つの方策について検討を行う。一つは自動車個々の燃費をさらに向上すること、一つは自動車の大排気量化に歯止めをかけることである。

3.1 自動車個々の燃費の改善に伴う問題点

自動車個々の燃費改善に向けてはこれまでに述べてきたように2010年燃費基準達成にむけて努力がなされている。Fig.7に重量区分ごとの目標と1995年度実績値を示す。区分ごとで要求される改善率に差があるが最低でも11%、最も高いところでは30%の向上が要求される。一方、燃費改善技術として可変バルブタイミング、電子制御燃料噴射装置、燃焼室改良などの数々の技術が開発中であり、粉末冶金技術もその技術改良に寄与している。しかし筒内直接噴射エンジン(直噴エンジン)を除く燃費向上技術による改善は10%数にとどまると考えられており¹³⁾、目標値達成のためには直噴エンジン搭載もしくはハイブリッド化なども必要になってくると考えられる。だが直噴エンジンは10・15モード燃費と実燃費との乖離が大きいという問題が存在する。

Table 3に本研究において調査した自動車の実燃費データを

示す。調査はインターネット(約1600件)、自動車関連雑誌(約300件)および本研究室において作成したホームページでのアンケート調査(約50件)に基づいている。この結果により、実燃費は運輸省審査値の約80%、直噴エンジン(直噴エンジン)搭載車に限ってみれば約60%との結果が得られた。直噴エンジン搭載車の実際の燃費がのびない原因として審査値測定時と実走行時の環境の違いが考えられる。直噴エンジンは低回転数時に薄い空燃比(希薄燃焼モード)でエンジンを使用することにより燃費向上をねらったものである。しかし、強い加速を求めるときや高速巡航時には通常燃焼モードに切り替わる。審査値測定時には最大加速が求められる場面でも、希薄燃焼モードで対応でき通常モードに切り替わることはない。一方、実走行時には高回転での使用が多くなり希薄燃焼モードを使用する事が少なく直噴エンジンの特性を生かすことができない。このような理由により、直噴エンジン搭載車では10・15モード燃費と実燃費との乖離が進んだものと考えられる。同じくハイブリッド車についても実際の燃費は運輸省審査値の約60%にとどまっている。

以上から今後直噴エンジン搭載車の普及により2010年度の燃費基準値が達成されても実際の燃費は改善せず二酸化炭素排出量の削減につながらない恐れがある。

3.2 自動車の小排気量化

最初に車の小排気量化に成功したアメリカの例を示す。アメリカでは1975年に成立したエネルギー政策および保護法(Energy Policy and Conservation Act)の下で、自動車メーカーの生産する乗用車燃費平均の改善を規定した企業平均燃費(CAFE値: Corporate Average Fuel Economy)規制が実施されている。CAFE値は以下の式により算出される。

$$\text{CAFE 値} = (\sum \text{当該形式の燃費} \times \text{販売台数}) / \sum \text{販売台数}$$

1974年のCAFE値が14.2MPG(Mile Per Gallon)であることを考えると、1985年の規制値(27.5MPG)は、乗用車の燃費を約2倍に向上することを要求するものであり、さらに、未達成の場合は、0.1MPGごとに「最高10ドル×生産台数」の罰金をメーカーが納めなければならないという厳しいもので

あった。上式からもわかるように、CAFE値は個々の車の燃費変化だけでなく、売れる車の種類によっても変わってくる。例えば燃費の良い小型車が多く売れるとCAFE値は改善されるが、その反対に燃費の悪い大型車が多く売れるとCAFE値は悪化する。それを裏付けるかのようにCAFE値と平均排気量の推移を見ると、平均排気量が急激に低下すると平行してCAFE値の改善が進んでいることがわかる(Fig.8)¹⁴⁾。また1983年にCAFE値が低下したのも、ガソリン価格の低下により大型車の売れ行きが急激に伸びたことによるものである¹⁵⁾。このようにCAFE値の改善に成功した結果、実際の燃費も大きく改善し1990年代半ばには日本を上回る水準にまで燃費は向上した(Fig.9)¹⁶⁾。以上のようにアメリカにおいては自動車の小型化を進めることで燃費の大幅な改善に成功した。

日本においては1979年に「エネルギーの使用の合理化に関する法律」が規定され、それに基づき乗用車の燃費改善を図ることが目標とされ重量別に燃費目標が定められた。重量別の燃費基準をもうけた理由は、その当時小型車が主流を占めておりサイズダウンによる燃費向上は困難との判断からであった¹⁷⁾。しかし現在状況は大きく変化している。1989年の

Fig.8 The transition of CAFE and engine size.

Table 3 The gap between fuel economies, actual and 10-15 mode.

	NA	TURBO	DIRECT	ROTARY	HIBRID	AVE
under 703kg	0.82	0.48	nq	nq	nq	0.81
703kg~828kg	0.82	0.74	nq	nq	nq	0.8
828kg~1016kg	0.74	0.68	0.73	nq	nq	0.73
1016kg~1266kg	0.82	0.77	0.61	0.76	0.63	0.79
1266kg~1516kg	0.77	0.71	0.6	0.68	nq	0.72
1516kg~1766kg	0.79	0.77	0.6	nq	nq	0.78
1766kg~2016kg	0.83	0.89	0.6	nq	nq	0.81
2016kg~2266kg	0.91	0.92	0.56	nq	nq	0.86
over 2266kg	0.86	nq	nq	nq	nq	0.86
AVE	0.8	0.73	0.61	0.74	0.63	0.77

Fig.9 The comparison of fuel economy in U.S.A and Japan.

法改正を受け、選べる自動車の幅は大きく広がった。法改正以前は排気量が1000cc～2000ccの車で車種のほぼ九割を占めていたのが改正後は約五割までに低下した^{18,19)}。同時に軽自動車や2000ccを越える普通乗用車の車種数が増加し、ユーザーの選択の幅が広まり、それと平行して軽自動車や普通乗用車の保有率増加が進んでいる。このような状況を考慮すると、現在ではサイズダウンにより燃費の改善を図ることも考えてもいいのではないだろうか。実際サイズアップによって平均実測燃費がどれくらい変化したか試算をおこなってみる。想定した条件は1990年時点での排気量別乗用車保有台数割合が2000年まで変化しない、すなわち1990年から2000年までの間に車を乗り換えるときは所有していた車と同じ排気量の車に乗るという条件である。なお保有台数の増加分についても排気量別乗用車保有台数割合に基づき増加すると考える。このようにして得られた仮定の排気量別乗用車保有台数、自動車ガイドブックより算出した排気量別燃費、一台あたりの走行距離から乗用車のガソリン消費量予測を行い、2000年の実際のガソリン消費量と比較することで燃費の算出を行った。その結果、サイズアップにより平均実測燃費は10%悪化したとの結果が得られた。この先どの程度サイズアップが続くかわからないが、このままでは重量区分ごとでの目標値が達成されても実測燃費との乖離の問題と共にサイズアップに伴う平均燃費の悪化により、第一の目標である二酸化炭素排出量の削減が難しくなる公算が大きい。このような事態を防ぐためにも、車各々の燃費改善だけでなくサイズダウンによる燃費改善の方法を考えるべきである。

4 結 論

自動車、特に乗用車の燃費について、実走行燃費と10・15モード燃費の比較検討、排気量、重量、保有台数からの検討、

及び米国との比較など、様々な面から検討を行った。その結果、以下のことがわかった。

- ・ 自動車個々の燃費に関しては改善されている。
- ・ 自動車個々の燃費は改善されているが平均燃費は悪化している。
- ・ 10・15モード燃費と実燃費の乖離の問題から自動車個々の燃費改善には限界がある。

以上から、二酸化炭素排出量削減のためには小排気量車への変換促進による燃費の改善が必要ではないかとの結論に至った。

謝 辞

本研究は日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業におけるプロジェクト「環境負荷低減を目的とした新しい自律分散型都市エネルギーシステム」(プロジェクト番号: JSPS-RFTF97P01002)の一環として行われました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) (株)日刊自動車新聞社: 自動車産業ハンドブック 2001 年版, (株)日刊自動車新聞社 (2000) より算出。
- 2) (財)日本エネルギー経済研究所 エネルギー計量分析センター: EDMC エネルギー・経済統計要覧, (財)省エネルギーセンター, (2000)。
- 3) (株)日刊自動車新聞社: 自動車産業ハンドブック 2001 年版, (株)日刊自動車新聞社, (2000)404。
- 4) 久米建夫, 棚田浩, 飯田和正, 村上信明, 安東弘光: "筒内噴射ガソリンエンジンのための燃焼制御", <http://www.mitsubishi-motors.co.jp/NEWS/gdi-engine/gdi00.html>。
- 5) 社団法人自動車工業振興会: 自動車ガイドブック vol.37, 社団法人自動車工業振興会, (1990)。
- 6) 社団法人自動車工業振興会: 自動車ガイドブック vol.47, 社団法人自動車工業振興会, (2000)。
- 7) 資源エネルギー庁省エネルギー石油代替エネルギー対策課: 省エネルギー総覧 1997, 通産資料調査会, (1996)。
- 8) 運輸省運輸政策局情報管理部統計課: 自動車輸送統計年報, 運輸政策局情報管理部。
- 9) (株)日刊自動車新聞社: 自動車産業ハンドブック 2001 年版, (株)日刊自動車新聞社, (2000)388-389。
- 10) 坂口隆洋: "低燃費自動車の普及が自家用乗用車のガソリン需要に及ぼす影響", エネルギー経済, 26(4)(2000)1-22。
- 11) 総務庁統計局: 消費者物価指数年報, 日本統計協会。
- 12) 運輸省: 運輸白書平成 11 年度版, 大蔵省印刷局, (2000)91。
- 13) 総合エネルギー調査会省エネルギー基準部会自動車判断基準小委員会・運輸技術審議会自動車部会燃費基準小委員会中間とりまとめ, <http://www.meti.go.jp/feedback/data/iscar00j.html>。
- 14) <http://www.nhtsa.dot.gov/cars/problems/studies/fuelecon/index.html>。

- 15) 中島泰夫: "乗用車の燃費低減についての諸問題(1)", 機械の研究, 36(8)(1984)43-49.
- 16) Stacy C Davis, Oak Ridge National Laboratory: TRANSPORTATION ENERGY DATA BOOK EDITION21.
- 17) 中島泰夫: "乗用車の燃費低減についての諸問題(1)", 機械の研究, 36(8)(1984)43-49.
- 18) 社団法人自動車工業振興会: 自動車ガイドブックvol.37, 社団法人自動車工業振興会, (1990).
- 19) 社団法人自動車工業振興会: 自動車ガイドブックvol.47, 社団法人自動車工業振興会, (2000).