Original Paper

Statistical Analysis on Transition of Actual Fuel Consumption by Improvement of Japanese 10·15 Mode Fuel Consumption

Yuki KUDOH^{*1}, Keisuke MATSUHASHI^{*2}, Yoshinori KONDO^{*2},
Shinji KOBAYASHI^{*2}, Yuichi MORIGUCHI^{*3}, and Hiroshi YAGITA^{*4}

(Received October 3, 2007)

乗用車の10・15モード燃費の向上による実燃費の推移に関する統計解析

工藤祐揮^{*1}, 松橋啓介^{*2}, 近藤美則^{*2}, 小林伸治^{*2}, 森口祐一^{*3}, 八木田浩史^{*4}

The aim of this study is to analyse the diffusion effect of passenger vehicles that achieved the fuel consumption standard under the Top Runners Approach towards the improvement of stock-based fuel consumption in actual use (actual fuel consumption). In order to investigate the actual fuel consumption with high statistical reliability, we have put focus upon voluntary reported fuel consumption log data collected from all over Japan for 54 months by a certain mobile phone contents provider and have established an actual fuel consumption database of passenger vehicles. The results of statistical analyses using the database show that actual fuel consumption can be explained by vehicle weight and that actual fuel consumption of gasoline-fuelled passenger vehicles is significantly improving every year compared with that of FY2001. The validity of the actual fuel consumption obtained from the database is confirmed by comparing with the actual fuel consumption estimated from existing transport statistics.

Key Words

Statistical analysis, Actual fuel consumption database, Passenger vehicles, Vehicle specification, Transition

1. 緒言

改正省エネ法によって導入されたトップランナー基準により、1995年度における車両重量別の燃費の実績値に対して、ガソリン乗用車全体では平均で22.8%向上させるという、2010年度燃費目標基準値が設定された。各自動車メーカーはこの燃費目標を達成するために様々な燃費改善技術の開発とそれらの新車への投入を早期に進めた結果、2005年度には新車販売割合でほとんどのガソリン乗用車が燃費目標を達成する

に至った。自動車の燃費改善は運輸部門におけるエネルギー消費削減策・温暖化対策の要となっており、「2030年のエネルギー需給展望」、「京都議定書目標達成計画」等でトップランナー基準による自動車燃費の改善に基づく効果が見込まれている。

ガソリン乗用車の2010年度燃費目標基準値は、自動車のカタログにも掲載されている10・15モード燃費で与えられているが、多くの自動車ユーザが経験している通り、10・15モー

- * 1 Research Institute of Science for Safety and Sustainability, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
16-1 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8569, Japan
- * 2 Social and Environmental Systems Division, National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan
- * 3 Research Center for Material Recycles and Waste Management, National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan
- * 4 Faculty of Engineering, Nippon Institute of Technology
4-1 Gakuendai, Miyashiro-machi, Minamisaitama-gun, Saitama, 345-8501, Japan

- * 1 (独)産業技術総合研究所 安全科学研究部門
〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1
- * 2 (独)国立環境研究所 社会環境システム研究領域
〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2
- * 3 (独)国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター
〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2
- * 4 日本工業大学工学部システム工学科
〒345-8501 埼玉県南埼玉郡宮代町学園台4-1

ド燃費と実走行燃費(実燃費)との間には乖離が存在する。これは、実燃費は自動車の諸元、走行動態、整備状況や、走行する地域の交通状況、気象条件など様々な要因に強く依存し、実走行時には必ずしも10・15走行試験モード通りの燃費性能を発揮できるとは限らないためである。運輸部門におけるエネルギー消費削減策・温暖化対策を検討する上で必要なのは自動車の実燃費であり、自動車燃費改善策導入の実効性を計るためには、自動車実燃費を正確に把握する必要がある。

実燃費の実態を把握するためには、大別して2つの方法がある。一方は統計データから得られる自動車走行量と燃料消費量から実燃費を推計する方法である。例えば自動車輸送統計年報¹⁾を用いると、地域・車種区分別の自動車燃費を過去に遡って算出することができる。しかし、ここから得られる燃費は実績値に基づく自動車総体としての実燃費であり、エンジン排気量や車両重量など諸元が異なる個々の自動車の実燃費を推計することはできない。他方は自動車ユーザへのアンケート調査を実施して、実燃費を統計的に解析する方法である。例えば佐川ら²⁾は、アンケート調査により乗用車の10・15モード燃費と実燃費の関係の把握を行っているが、乗用車ユーザの車の使用実態や使用地によって異なる実燃費を、限られたサンプル数の中で統計的信頼性の高い解析を行うことは困難であった。

様々な要因によって変化する実燃費を高い統計的信頼性を持って解析するために、筆者らは携帯電話のインターネットサービスを利用して全国規模で収集された自動車ユーザの自己申告に基づく給油ログデータを用いて乗用車実燃費データベースを構築し、ガソリン乗用車の実燃費とカタログ燃費および車両重量との関係を明らかにする³⁾とともに、ガソリン乗用車実燃費の走行する地域による平均旅行速度との関係を分析してきた⁴⁾。

2000年度以降、乗用車と軽乗用車の新車販売台数は毎年426万台から476万台の間で推移してきた。このことは、乗用車・軽乗用車合計保有台数の約8%が、毎年新車に代替されていることを意味する。この間の乗用車保有台数の推移をみると、排気量1,500cc以上2,000cc未満の保有台数が激減する一方で、排気量1,500cc未満および2,000cc以上の保有台数は漸増しており⁵⁾、また軽乗用車の保有台数が激増している⁶⁾傾向がみられる。トップランナー基準に基づく乗用車燃費目標を達成した新車の販売台数が増えていること、また乗用車・軽乗用車の保有ベースのエンジン排気量や車両重量等の自動車諸元が変化していることを考慮すると、保有ベースの乗用車・軽乗用車の実燃費も毎年変化しているものと考えられる。また乗用車実燃費データベース構築に用いた給油ログデータを運営する携帯電話コンテンツプロバイダによると、このサービスの利用者数も毎年徐々に増加しており、より統計的信頼性の高い乗用車実燃費解析が可能になったと考えられる。

そこで筆者らは、毎年変化しつつあると考えられる乗用車実燃費の推移を検証するため、給油ログデータの分析対象期間を拡張して乗用車実燃費データベースの更新を行った。本稿では更新した乗用車実燃費データベースを用い、日本にお

ける乗用車の自動車諸元と実燃費の関係を定量化するとともに、乗用車実燃費の経年変化について検証する。

なお、本稿で分析の対象としている乗用車は、使用用途(家計利用・企業利用)によって燃費が異なるものと考えられる。しかし、乗用車実燃費データベースを構築するために使用した給油ログデータでは、その仕様上、このサービス利用者が使用する乗用車の属性が家計利用と企業利用とに分類されていない。さらに、分析に使用した保有台数についても使用用途別のデータを入手できなかったため、本稿では乗用車の使用用途による燃費の違いを考慮していない。また“燃費”は、燃料消費率と燃料消費量の両方に用いられることがある。本来、燃費は燃料消費率の略語であり、日本ではその単位として燃料1リットルあたりの走行距離[km/l]が用いられている。しかし、自動車走行に伴う燃料消費量やCO₂排出量の算出に必要となるのは、[km/l]の逆数が示す単位走行距離あたりの燃料消費量であり、自動車のエネルギー消費を表わす単位としてはこの方が合理的である。そこで本稿では、欧州で一般的に用いられる[l/100km]を燃料消費量の単位として採用した。

2. 乗用車実燃費データベースの概要

Fig. 1に、乗用車カタログデータと給油ログデータを用いて筆者らが構築してきた、乗用車実燃費データベースの概要を示す。

2.1 乗用車実燃費データベースの構造

日本の乗用車市場で販売された車両の詳細な自動車諸元を得るために、カーセンサーラボWebサービス⁷⁾から自動車カタログを取得した。取得した車名・年式・グレードごとの自動車カタログデータのうち、2005年3月までに発売された年式で、かつ車両型式に含まれる自動車識別記号⁸⁾から一意に乗用車と決まる35,177台分のデータを用いて、乗用車諸元データベースを構築した。

給油ログデータとしては、携帯電話コンテンツサービス“e燃費”⁹⁾の、自動車ユーザの自己申告に基づく給油ログデータを用いた。このサービスの利用を希望するユーザは、事前に携帯電話のインターネットサービスを利用して、居住地の郵便番号、車両型式、エンジン過給器搭載の有無、トランスミッションの種類、給油する燃料の種類別、の5項目を登録する。以

Fig. 1 Outline of the actual fuel consumption database

後は給油後のオドメータ（走行距離計）の読みと給油量を携帯電話で入力して送信することにより、データサーバに給油ログデータが蓄積される。

給油ログデータの初期登録5項目のうち、車両型式、エンジン過給器搭載の有無、トランスミッションの種類の3つ^{脚注1)}を乗用車諸元データベースの該当項目と組み合わせることにより、以下に示す17項目を実燃費データベースのフィールドとして採用した。ユーザ、使用の本拠の市区町村コード^{脚注2)}、給油年月、自動車メーカ、車両型式、車種（軽乗用車、乗用車）、燃料種別（ガソリン、軽油）、パワートレインの種類（ガソリンオートサイクルエンジン、ガソリンロータリーサイクルエンジン、ディーゼルスイクルエンジン、ガソリンハイブリッド）、過給器の有無、トランスミッションの種類（MT、AT/CVT^{脚注3)}）、駆動方式（二輪駆動、四輪駆動）、直噴エンジン搭載の有無、可変バルブタイミング（VVT）機構搭載の有無、燃料タンク容量、排気量、車両重量、10・15モード燃料消費率。これらのフィールドは、実燃費の集計要素として用いる。

車両型式ごとの自動車諸元値は年式やグレードによって異なるが、給油ログデータではそのシステムの仕様上、各登録ユーザが保有する車両の年式やグレードまでは特定することはできない。そこで乗用車諸元データベースに含まれる35,177台の自動車諸元値を年式・グレードの区分を4,988車両型式に統合し、給油ログデータの該当項目と関連付けた。ここで、年式・グレードを統合した結果、自動車諸元値の幅が生じたものについては、以下に示す数値をその代表値として採用した。

- ・エンジン排気量、燃料タンク容量には、それぞれの最大値を採用した。
- ・車両重量、10・15モード燃料消費率には、それぞれの最小値と最大値の平均値を採用した。

本研究では、2000年10月から2005年3月までの54ヶ月間に全国から集められた2,937,780件の給油ログデータから、まず統計的信頼性を高めるために以下のデータを除去した。

- (1) 登録ユーザの使用の本拠が特定できないデータ（21,736件）。
- (2) 乗用車諸元データベースに情報が含まれていない車両型式を保有しているユーザのデータ（611,357件）。
- (3) 満タン率（＝給油量／燃料タンク容量）が60%未満、または100%より大きいデータ（535,620件）。

次に、ユーザ u 、車両型式 v の給油ログデータ i から燃料消費率 f_{euv} [km/l] を次式で算出したとき、以下のデータを除去し

た。ただし、 $d_{uv,i}$ [km], $f_{u,v,i}$ [l], $n_{uv,i}$ はそれぞれユーザ u 、車両型式 v の給油ログデータ i の走行距離、給油量、データ数である。

$$f_{euv} = \sum_{i \in uv} (d_{uv,i} / f_{u,v,i}) / n_{uv,i} \quad (1)$$

- (4) f_{euv} の算出に用いたユーザ u 、車両型式 v の給油ログデータ i のうち、Grubbs検定により有意水準5%で外れ値と見なされるデータ（57,118件）。

- (5) $n_{uv,i}$ が5未満のユーザ u 、車両型式 v のデータ（10,773件）。

- (6) f_{euv} の分散が $10 [(km/l)^2]$ より大きいユーザ u 、車両型式 v のデータ（4,789件）。

最後に、(1)式で算出したユーザ u 、車両型式 v のデータの燃料消費率 f_{euv} [km/l] から車両型式 v の燃料消費率 f_{ev} [km/l] を次式で算出したときに、以下のデータを除去した。ただし、 n_{uv} は車両型式 v を保有するユーザ u の数である。

$$f_{ev} = \sum_{u \in v} f_{euv} / n_{uv} \quad (2)$$

- (7) f_{ev} を構成するユーザ u 、車両型式 v の燃料消費率 f_{euv} のうち、Grubbs検定により有意水準5%で外れ値と見なされるデータ（10,414件）。

- (8) n_{uv} が3未満の車両型式 v のデータ（40,050件）。

(1)～(8)に該当するデータを除去した1,645,923件の給油ログデータを用いて構築した乗用車実燃費データベースには、延べ49,677ユーザ^{脚注4)}、2,022車両型式の情報が含まれる。そのサンプル数の内訳および、サンプル数の2005年3月末現在の保有台数に対する抽出率、乗用車諸元データベースに情報が含まれる車両型式に対する抽出率をTable 1に示した。Table 1で、LP-GV、P-DV、P-GV、P-HVはそれぞれガソリン軽乗用車、ディーゼル乗用車、ガソリン乗用車、ガソリンハイブリッド乗用車を表し、また車両重量区分は乗用車の等価慣性重量に基づく区分にしたがった。

2.2 満タン法で算出する実燃費の信頼性

乗用車実燃費データベースから算出する実燃費は、前回給油時からの走行距離と燃料給油量を基とする、いわゆる“満タン法”で算出する。したがって、各ユーザが毎回給油する際に満タンにしていることが前提となるが、満タン給油しないユーザが存在する。

“e燃費”ではユーザに満タン給油することを推奨しており、携帯電話でデータ入力する際にも満タンにしたかどうかの確認画面が表示される。ここで、2回以上連続して満タンにした状況が確認できて初めて、2回目以降に入力したデータが給油ログデータとして保存されるシステムになっている。また乗用車実燃費データベースを構築する際、2.1(3)の満タン率基準に該当する給油ログデータは除外したため、全1,645,923件のデータの満タン率平均は76.8%（標準偏差8.82%）であった。給油は乗用車の燃料タンクが完全に空になる前に行う必要があるため、この満タン率平均値からほとんどのデータが満タン給油されていると考えられる。中には満タン率の低い場合もあるが、乗用車実燃費データベース構築にあたっては、

脚注4) 同じユーザが、対象期間中に乗用車を乗り換えている場合がある。

脚注1) 乗用車実燃費データベースでは、車両型式が同じでも過給器の有無、トランスミッションの種類が異なれば、それらは別の型式として扱っている。

脚注2) 初期登録項目の居住地の郵便番号から、ユーザの自動車使用の本拠の市区町村コードが特定できる。

脚注3) トランスミッションがATかCVTかによって車両諸元は異なる。最新の給油ログデータでは両者は異なる区分となっているが、分析対象期間初期ではAT/CVTという1つの区分であったため、この区分を採用した。

Table 1 Data size of the actual fuel consumption database

Vehicle type		Number of log data	Number of users	Number of vehicle types
Light passenger GV (LP-GV)		151,742	4,734 (0.035% ^{*1})	265 (54.6% ^{*2})
Passenger DV (P-DV)	1,016 ~ 1,265kg	91	4	1
	1,266 ~ 1,515kg	496	19	5
	1,516 ~ 1,765kg	8,040	236	27
	1,766 ~ 2,015kg	28,021	809	57
	2,016 ~ 2,265kg	18,159	477	22
	2,266kg ~	188	7	1
	Total	54,995	1,552 (0.061% ^{*1})	113 (21.4% ^{*2})
Passenger GV (P-GV)	~ 702kg	1,179	48	4
	703 ~ 827kg	10,626	380	20
	828 ~ 1,015kg	120,105	4,005	169
	1,016 ~ 1,265kg	346,834	10,968	481
	1,266 ~ 1,515kg	600,790	17,468	567
	1,516 ~ 1,765kg	281,517	8,150	285
	1,766 ~ 2,015kg	51,055	1,543	84
	2,016 ~ 2,265kg	18,398	526	24
	2,266kg ~	3,298	87	2
	Total	1,433,802	43,175 (0.108% ^{*1})	1,636 (41.3% ^{*2})
Passenger HV (P-HV)	703 ~ 827kg	66	4	1
	828 ~ 1,015kg	379	12	1
	1,016 ~ 1,265kg	2,455	86	3
	1,266 ~ 1,515kg	671	43	1
	1,766 ~ 2,015kg	1,447	51	1
	2,016 ~ 2,265kg	366	20	1
	Total	5,384	216 (0.111% ^{*1})	8 (57.1% ^{*2})
Total		1,645,923	49,677 (0.089% ^{*1})	2,022 (40.5% ^{*2})

*1: Sampling rate to number of vehicles owned as of March 2005

*2: Sampling rate to number of vehicle types included in vehicle specification database

2.1(5)に示したように、対象期間中5回以上給油したユーザのログデータだけを採用している。また3章以降の解析で用いる実燃費は、あるユーザの累積給油量と累積走行距離の調和平均により算出するため、ある1回の給油データがそのユーザの調和平均実燃費に与える誤差は小さくなる。したがって、乗用車実燃費データベースから得られる乗用車実燃費には一定の信頼性があると考え、3章以降の解析を行った。

3. 自動車諸元と乗用車実燃費

本章では自動車諸元と乗用車実燃費の関係を、乗用車実燃費データベースを用いて解析する。自動車燃費は様々な自動車諸元によって決定されるが、自動車燃費向上によるエネルギー消費削減策・温暖化対策を検討する上で採用されているトップランナー燃費基準では、10・15モード燃費基準値が車両重量区分ごとに与えられている。そこで本稿では、10・15モード燃費および車両重量と、実燃費の関係を焦点をあてる。

2005年3月末までに乗用車市場に投入されたP-HVは9車種12車両型式であり、そのうち5車種8車両型式の情報がデータベースには含まれている。P-HVの燃費性能は、搭載するハイブリッド機構（シリーズ方式、パラレル方式、シリーズ・パラレル併用方式）やハイブリッド度（フルハイブリッ

ド、パワーアシストハイブリッド、マイルドハイブリッド、プラグインハイブリッド）などによって異なると考えられる。しかし、ハイブリッド機構やハイブリッド度の組み合わせごとに自動車諸元とP-HV実燃費の関係を把握することは、まだ一部車種にしかハイブリッド化が展開されていない現在の状況では統計的に有意な解析を行うことが困難であるため、本稿ではP-HVは1つのカテゴリに集約して解析を行った。

3.1 10・15モード燃料消費率と実燃料消費率

乗用車の10・15モード燃料消費率から実燃料消費率を推計することを目的とし、10・15モード燃費が与えられている^{脚注5)}車両型式 v の10・15モード燃料消費率 $FE_{v,10\cdot15}$ [km/l]と実燃料消費率 $FE_{v,actual}$ [km/l]の関係をFig. 2に示した。ここで、 $FE_{v,actual}$ は文献¹⁰⁾と同様に、 d_{vj} [km]、 f_{vj} [l]をそれぞれ車両型式 v のログデータ i の走行距離、給油量として、次式によって算出した。

$$FE_{v,actual} = \sum_{i \in v} d_{vj} / \sum_{i \in v} f_{vj} \quad (3)$$

従来の自動車燃費向上による運輸部門の省エネ対策効果で、

脚注5) データベースに情報が含まれる一部のガソリン乗用車およびほとんどのディーゼル乗用車の車両型式については、10・15モード燃費が公表されていない。

Fig. 2 10 · 15 mode fuel economy and actual fuel economy

Table 2 Estimates of parameters by regression Eq. (4)

	LP-GV	P-DV	P-GV	P-HV
n	240	36	1,352	8
R^2	0.989	0.995	0.989	0.994
a	0.725	0.823	0.760	0.622
(95 CI)	(0.715 ~ 0.735)	(0.803 ~ 0.844)	(0.756 ~ 0.765)	(0.579 ~ 0.666)
t	144.3	82.6	346.1	34.0

* n : Sample number of vehicle types, 95 CI: 95% confidential interval, t : t statistics

実走行燃費（実走行燃料消費率）は理論燃費（10・15モード燃料消費率）に“実走行係数”や“乖離率”と呼ばれる係数を乗じて推算されてきた^{11)~13)}。本稿でもこれらと同様に $FE_{v,actual}$ は $FE_{v,10\cdot15}$ と比例関係にあると考え、次式によって $FE_{v,actual}$ を $FE_{v,10\cdot15}$ で説明した回帰分析の結果を、Table 2に示す。

$$FE_{v,actual} = FE_{v,10\cdot15} \quad (4)$$

Fig. 2の直線は、 $FE_{v,actual}$ が $FE_{v,10\cdot15}$ 通りの燃料消費率性能を発揮できる場合を表すが、多くの乗用車の $FE_{v,actual}$ は $FE_{v,10\cdot15}$ との間に乖離があり、その乖離は10・15モード燃費性能が高い車両型式ほど大きくなる傾向が、Fig. 2とTable 2から確認できる。なおFig. 2で、 $FE_{v,actual}$ が $FE_{v,10\cdot15}$ よりも上回る車両型式が存在することが伺えるが、これら25型式のP-GVのうち23型式は輸入車である。これは、輸入車の仕様は輸入元メーカーの考え方で決められており、日本の10・15モード走行や日本の交通事情で実燃料消費率が良くなるように駆動系や動力

伝達系が最適化されていないために、このような傾向が現れていると考えられる。

3.2 車両重量と実燃料消費量

Fig. 3に、乗用車実燃費データベースに情報が含まれるすべての車両型式の車両重量 w_v [kg] と実燃料消費量 $FC_{v,actual}$ [l/100km] の関係を示す。ここで、 $FC_{v,actual}$ は(3)式と同様に、 d_{vi} [km], f_{vi} [l] をそれぞれ車両型式 v のログデータ i の走行距離、給油量として、次式によって算出した。

$$FC_{v,actual} = 100 \sum_{i \in v} f_{vi} / \sum_{i \in v} d_{vi} \quad (5)$$

Fig. 3で、ガソリン乗用車2010年燃費目標値 ([l/100km] 単位) またはディーゼル乗用車2005年燃費目標値 ([l/100km] 単位) よりもプロットが下であれば、その車両型式の実燃料消費量も燃費基準目標値を達成していることを意味する。前述の通り、2005年度には新車販売割合でほとんどのガソリン乗用車が車両重量別に燃費目標を達成するに至ったが、理論燃費と実燃費との間に存在する乖離のため、実走行時でもこの燃費目標値を達成しているのはP-DVの一部およびP-HVだけであることがわかる。

また次式によって $FC_{v,actual}$ を w_v で説明した回帰分析の結果を、Table 3に示す。

$$FC_{v,actual} = cw_v + d \quad (6)$$

Table 3から、LP-GVおよびP-DVの $FC_{v,actual}$ を w_v のみで説明することは難しいという結果に至った。

近年の新車販売台数の伸びが著しい軽乗用車は、車両の大きさとエンジン排気量が規格により制約されている。この規

Fig. 3 Vehicle weight and actual fuel consumption

Table 3 Estimates of parameters by regression Eq. (6)

	LP-GV		P-DV		P-GV		P-HV	
n	265		113		1,636		8	
R^2	0.471		0.336		0.700		0.925	
	$c \times 10^{-3}$	d	$c \times 10^{-3}$	d	$c \times 10^{-3}$	d	$c \times 10^{-3}$	d
B	9.09	0.493	5.10	2.951	8.45	0.446	4.64	0.238
(95 CI)	(7.92 ~ 10.3)	(- 0.445 ~ 1.43)	(3.75 ~ 6.45)	(0.433 ~ 5.47)	(8.18 ~ 8.72)	(0.079 ~ 0.812)	(3.32 ~ 5.96)	(- 1.57 ~ 2.04)
t	15.3	1.0	7.5	2.3	61.8	2.4	8.6	0.3

* n : Sample number of vehicle types, B : Partial regression coefficient, t : t statistics.

格の中で様々なユーザのニーズに応えるべく、軽乗用車メーカはハッチバック・ワゴン・クロカンなど多様な形状の乗用車を提供しており、これらの乗用車にはトランスミッションの種類や駆動方式の違いも存在する。また軽乗用車メーカはエンジン出力に関する自主規制を行っており、装備の充実や安全対策のために増加した車両重量をカバーするため、過給器を搭載する車両型式もある。その結果、排気量に対する車両重量の幅が非常に大きい。例えば乗用車諸元データベースに含まれる軽乗用車のうち、衝突安全基準への対応のために車両規格が変更された平成10年以降に発売された車両型式を対象とすると、エンジン排気量が657～660ccに対して車両重量の平均値は842kgであるが、最小値、最大値はそれぞれ550kg, 1,060kgと、倍近い差がある。その結果、同程度の車両重量でも車両形状に起因する走行抵抗の違いや、トランスミッションの種類、駆動方式、過給器搭載の有無により、車両型式ごとの燃料消費量には違いが生じるため、(6)式による回帰分析の決定係数が低くなっている。

一方、Fig. 3に含まれるP-DVの113車両型式の、燃料消費量に影響を与える自動車諸元値の搭載状況をみると、四輪駆動は75型式、トランスミッションがAT/CVTが92型式、過給器搭載が108型式、直噴エンジンが11型式あり、これらが1,705～2,165kgと、P-GVの715～2,380kgと比べると極めて狭い車両重量の範囲に分布している。このことが、P-DVの $FC_{v,actual}$ を w_v で説明した場合に決定係数が低くなる原因になっているものと考えられる。

P-HVのサンプル数は、本章冒頭に記した理由により他と比べて少ない。今後、ハイブリッド機構やハイブリッド度が異なる様々なP-HVが市場に展開されれば、Table 3の回帰分析結果は異なってくると考えられる。しかしTable 3のP-HVの結果は、日本において自動車の省エネルギー・温暖化対策の要として今後も幅広く普及することが期待されているP-HVの、現在の技術水準での実燃料消費量の推計に用いることができる。

車両重量の軽量化は、エンジンや駆動系の効率向上と並んで燃費向上技術として大きな役割を担っている。また一部の車両型式では、諸元として車両重量は与えられているものの、10・15モード燃料消費率が公表されていない場合がある。本節で行った回帰分析の結果は、現在の技術水準で乗用車車両重量の軽量化を行った場合や、10・15モード燃料消費率が不明でも、車両重量が判明している乗用車の実燃料消費量の推計に用いることができる。

4. ガソリン乗用車実燃料消費量の年度差の検定

2010年度燃費目標基準値を達成した乗用車の保有台数が増加している状況で、保有ベースの平均車両重量と実燃費も毎年変化しているものと考えられる。そこで2001年度から2004年度までを対象として、乗用車実燃費データベースに含まれるガソリン乗用車(P-GVとP-HV)の車両型式別の車両重量と実燃料消費量[l/100km]の変化を統計的に検定した。

Table 4に、P-GV、P-HVそれぞれの車両重量の記述統計量

を示した。この統計量に対し、一元配置分散分析によりP-GVとP-HVのそれぞれについて各年度の車両重量構成の差の検定を行った。その結果、P-HVには各年度の車両重量平均値には有意な差が見られなかったが($F = 0.252$, $p = 0.859 > 0.05$)、P-GVには有意差が認められた($F = 2.71$, $p = 0.044 < 0.05$)。そこでP-GVについてScheffe法により多重比較を行ったが、2001年度から2004年度までの車両重量平均値には有意差が検出できなかった。したがって、乗用車実燃費データベースに含まれるガソリン乗用車の車両重量平均値の差についての帰無仮説の採択をここでは保留する。

次に、各年度のガソリン乗用車実燃料消費量の変化を調べる。3.2に記した通り、乗用車実燃費[l/100km]は車両重量[kg]と比例関係にある。そこで車両重量が実燃料消費量に及ぼす影響を調整するため、共分散分析により各年度の実燃料消費量平均値の差の検定を行った。その結果、P-GVでは2001年度から2004年度までの実燃料消費量平均値には有意差が認められた($F = 19.7$, $p = 0.000 < 0.05$)。またTable 5に結果を示した多重比較により、Sidakの方法で車両重量による影響を調整した実燃料消費量の調整平均には、2003年度と2004年度以外のすべての組み合わせで有意差が認められた($p < 0.05$)。一方、P-HVについて共分散分析の結果、2001年度から2004年度までの燃料消費量平均値には有意差が認められなかった($F = 0.299$, $p = 0.826 > 0.05$)。

検定の結果、2001年度から2004年度の期間でP-GVの車両重量平均値の差についての帰無仮説の採択は保留したものの、車両重量で調整した実燃料消費量平均値は2001年度と比較すると毎年減少しており、乗用車実燃費データベースに情報が含まれる車両型式のP-GVの実燃料消費量は、燃費向上技術が搭載された車両型式が増えたことなど、車両重量変化以外の

Table 4 Descriptive statistics of vehicle weight [kg]

FY	P-GV			P-HV		
	n	μ	σ	n	μ	σ
2001	970	1,330.92	268.04	5	1,196.00	415.73
2002	1,073	1,342.16	275.34	4	1,290.00	414.17
2003	1,091	1,353.79	272.29	7	1,378.57	410.15
2004	1,089	1,362.95	269.70	7	1,378.57	410.15
All	4,223	1,347.94	271.70	23	1,323.48	390.39

* n : Number of vehicle types, μ : Population mean, σ : Standard deviation

Table 5 Results of post-hoc multiple comparisons by Sidak adjustment for actual fuel consumption of P-GV [l/100km]

	FY2002	FY2003	FY2004
FY2001	0.190*	0.403*	0.441*
FY2002		0.213*	0.251*
FY2003			0.038

a) Value in each cell shows the differential of population mean μ_r in rowwise group r and μ_c in columnwise group c . For example, $\mu_{FY2001} - \mu_{FY2002} = 0.190$

b) Asterisk denotes significance at 5% level

要因により着実に減少していることが確認できる。一方、P-HVに関してこの期間に実燃料消費量の変化に有意差がないのは、この期間に新たに市場に投入された、あるいはモデルチェンジによって大幅に自動車諸元が変更した車両型式がないためである。

5. 乗用車実燃費データベースから得られる実燃料消費量の妥当性の検討

本章では、以下に示す Case A, B の 2 つの方法でガソリン乗用車全体の实燃料消費量を乗用車実燃費データベースから年度別に推計し、これらを Case C の既存の統計から求められる値と比較することにより、データベースから得られる実燃料消費量の妥当性を検討する。

Case A：乗用車実燃費データベースに情報が含まれるガソリン乗用車の情報を、年度・車両重量別に集計することによって直接算出する。

Case B：乗用車実燃費データベースに情報が含まれるガソリン乗用車の車両重量と実燃料消費量の回帰分析の結果と、データが入手できた 2003 年から 2005 年までの各年 3 月末現在ガソリン乗用車車両重量別保有台数から算出する。

Case C：自動車輸送統計年報¹⁾ から算出する。

乗用車の車両重量別保有台数¹⁴⁾ は、車両重量 10kg ごとに保有台数が与えられているが、これらにはガソリン乗用車だけでなくディーゼル乗用車などの保有台数が含まれている。そこでディーゼル乗用車の自動車諸元は、自動車諸元データベースに含まれているディーゼル乗用車の情報に従うと仮定し、まず排気量別自動車保有台数⁵⁾ からディーゼル乗用車の車両重量別保有台数を推計した。これを文献¹⁴⁾ の保有台数から減じることで、ガソリン乗用車の車両重量別保有台数を求めた。ガソリン乗用車のうち P-HV は、平成 17 年 3 月末現在の車両型式別保有台数¹⁵⁾、初度登録年別保有台数¹⁶⁾ および各年の車名別販売ランキング¹⁷⁾ から推計した各年の車両型式別保有台数を用いて、車両重量別保有台数を 10kg ごとに算出した。Fig. 4 に、2002 年度 (2003 年 3 月末) から 2004 年度 (2005 年 3 月末) までのガソリン乗用車の車両重量別保有

Fig. 4 Number of gasoline fuelled passenger vehicles owned and sampling ratio of registered users included in the database

比率 (OR) および、それぞれの車両重量別保有台数に対する Case A の集計結果に情報が含まれる給油ログデータ登録ユーザのサンプル率 (SR) を示す。ここで、車両重量区分はトップランナー基準で採用されているガソリン乗用車の等価慣性重量区分にしたがった。Fig. 4 から、乗用車実燃費データベースに含まれる登録ユーザ数はすべての車両重量区分から一様に抽出されていないことがわかる。このため、Case A の集計結果には、給油ログデータの登録ユーザが保有する車両型式の重量構成の偏りが含まれ得ることに留意する必要がある。

4 章に記したように、車両重量で調整した P-GV の実燃料消費量平均値には年度による差が認められた。そこで Case B では、Case A に含まれ得る車両型式構成の偏りを補正した上で、各年度の実燃料消費量の改善率を考慮して実燃料消費量を推計することを想定した。車両重量と実燃料消費量の関係として、P-GV については (6) 式の回帰分析を年度ごとに行った結果 (Table 6) を、また年度による実燃料消費量平均値の差が認められなかった P-HV については Table 3 の値を用いた。P-GV, P-HV それぞれの車両重量に対して、回帰分析の結果から算出した実燃料消費量に車両重量別保有率を乗じることで Case B を算出した。

自動車輸送統計年報¹⁾ では乗用車の燃料消費量が燃料種別 (ガソリン・軽油) に掲載されているが、走行量は燃料種別に与えられていない。しかし、文献³⁾ で中古車販売台数から推計したガソリン乗用車とディーゼル乗用車の年間平均走行距離はそれぞれ 0.96 万 km, 1.1 万 km であり、若干の差があることが確認されている。そこで、保有台数に年間平均走行距離を乗じて算出したガソリン乗用車とディーゼル乗用車の走行量の比を、自動車輸送統計年報¹⁾ の乗用車走行量に乘じることでガソリン乗用車走行量を求めた上で、Case C を推計した。

Case A ~ Case C で推計した 2002 年度から 2004 年度までのガソリン乗用車全体の实燃料消費量を Table 7 に示す。乗用車実燃費データベースから直接集計した Case A と自動車輸送統計年報¹⁾ に基づいて推計した Case C では、実燃料消費量が毎年減少していることが確認できるが、乗用車実燃費データベースから得られた回帰式と保有台数から推計した Case B では、2003 年度と 2004 年度とで平均値が減少していない。これは Table 5 に示した多重比較の結果で、両年度の実燃料消費量

Table 6 Estimates of parameters by regression Eq. (6) for P-GVs by each year

	FY2002		FY2003		FY2004	
n	1,073		1,091		1,089	
R^2	0.729		0.704		0.684	
	$a \times 10^{-3}$	b	$a \times 10^{-3}$	b	$a \times 10^{-3}$	b
B (95 CI)	8.57 (8.25 ~ 8.88)	0.338 (- 0.091 ~ 0.767)	8.38 (8.06 ~ 8.70)	0.377 (- 0.069 ~ 0.822)	8.33 (7.99 ~ 8.67)	0.408 (- 0.060 ~ 0.876)
t	53.7	1.6	50.9	1.7	48.5	1.7

* n : Sample number of vehicle types, B : Partial regression coefficient, t : t statistics.

Table 7 Comparison of actual fuel consumption of gasoline fuelled passenger vehicles by different estimation method

[l/100km]	FY2002	FY2003	FY2004
Case A	11.81	11.62	11.59
Case B (95 CI)	11.36 (11.24~11.48)	11.23 (11.10~11.36)	11.24 (11.11~11.37)
Case C	11.66	11.49	11.13
Case A / Case C	1.01	1.01	1.04
Case B / Case C (95 CI)	0.974 (0.964~0.984)	0.977 (0.966~0.988)	1.01 (0.998~1.02)

調整平均に有意差が認められなかった影響が表れているものと考えられる。年度により多少の差があるが、Case A, Bの乗用車実燃費データベースから得られたガソリン乗用車全体の実燃料消費量推計値は、いずれともCase Cの推計値に対して最大で4%の範囲内に存在する。このことから、乗用車実燃費データベースから得られるガソリン乗用車実燃料消費量には妥当性があると言える。

6. 結 言

乗用車実燃費と自動車諸元との関係を定量化することを目的とし、携帯電話のインターネットサービスにより全国規模で収集された自動車ユーザの自己申告に基づく給油ログデータを用いて、乗用車実燃費データベースを構築した。本稿では乗用車の諸元のうち10・15モード燃費と車両重量に着目し、これら2つの諸元と乗用車実燃費データベースから得られる実燃費の関係を回帰分析により明らかにした。また、乗用車実燃費データベースから得られる年度ごとのガソリン乗用車の実燃料消費量の検定から、2001年度を基準とすると、車両重量で調整した実燃料消費量は有意に改善していることを確認した。さらに、乗用車実燃費データベースから得られるガソリン乗用車全体の実燃料消費量は、既存の統計から推計されるガソリン乗用車実燃料消費量と整合性が取れており、乗用車実燃費データベースから得られるガソリン乗用車の実燃料消費量の妥当性を確認した。

本稿では自動車諸元として10・15モード燃費と車両重量に着目して、それらと乗用車実燃費との関係を解析したが、実燃費はエンジンの制御方式や駆動系の構成など様々な要因の影響も受ける。今後は、これら自動車技術を搭載した場合の実燃費への影響を評価することを検討している。

なお、平成19年7月の省エネ法令改正により、自動車燃料消費試験の走行モードとして、本稿でも乗用車燃費の指標とした10・15モードの他に、より最近の走行実態に即したJC08モードが採用された。平成23年3月までは自動車カタログには10・15モード燃費とJC08モード燃費が併記されるが、今後はこのJC08モード燃費と実燃費の関係も把握する必要がある。また、自動車から排出される温室効果ガス排出量を捉えるための基礎データとなる自動車の燃料消費量を正確に把握することを目的とした、自動車燃料消費調査¹⁸⁾が平成18年10月から正式に実施された。自動車実燃費の実態を把握するために、今後はこの調査結果にも留意していく必要がある。

謝 辞

本研究は、環境省地球環境研究総合推進費S-3-5「技術革新と需要変化を見据えた交通部門のCO₂削減中長期的戦略に関する研究」の支援により実施された。

文 献：References

- 1) 国土交通省総合政策局情報管理部，各年度自動車輸送統計年報：Annual Statistics of Automotive Transport, Ministry of Land, Infrastructure and Transport
- 2) 佐川直人，坂口隆洋，第16回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集，pp.545-548(2000)：Sagawa, N., Sakaguchi, T., Proceedings of the 16th Conference on Energy Systems, Economics and Environment, pp.545-548(2000)
- 3) Kudoh, Y., Kondo, K., Matsushashi, K., Kobayashi, S., Moriguchi, Y., *Applied Energy*, **79**, 291-308(2004)
- 4) 工藤祐揮，松橋啓介，森口祐一，近藤美則，小林伸治，土木学会論文集，**793**(IV-68)，41-48(2005)：Kudoh, Y., Matsushashi, K., Moriguchi, Y., Kondo, Y., Kobayashi, S., *Journal of Infrastructure Planning and Management*, **793**(IV-68)，41-48(2005)
- 5) 各年3月末現在自検協統計自動車保有車両数，(財)自動車検査登録協会：AIRA Statistics of Number of Vehicles Owned at the End of Each Financial Year, Automobile Inspection and Registration Association(AIRA)
- 6) <http://www.zenkeijikyo.or.jp/statistics/hoyuudaisu.htm>
- 7) <http://www.carsensorlab.net/websevice/>
- 8) <http://www.mlit.go.jp/jidosha/sesaku/environment/osen/osen.htm>
- 9) 藤原央行，自動車技術，**61**(7)，36-41(2007)：Fujiwara, K., *Journal of Society of Automotive Engineers of Japan*, **61**(7)，36-41(2007)
- 10) Office of Transportation and Air Quality, EPA420-R-04-001(2004)
- 11) <http://www.eccj.or.jp/transportation/index.html>
- 12) <http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-38/mat02-2.pdf>
- 13) <http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g01101fj.pdf>
- 14) 平成15年，16年，17年3月末現在乗用車車両重量別保有台数，(財)自動車検査登録協会：Number of Vehicles Owned by Vehicle Weight at the End of Each Financial Year, AIRA
- 15) 平成17年3月末現在乗用車車両型式別保有台数，(財)自動車検査登録協会：Number of Vehicles Owned by Vehicle Type at the End of FY2005, AIRA
- 16) 各年3月末現在初度登録年別自動車保有車両数，(財)自動車検査登録協会：Number of Vehicles Owned by First Registered Year at the End of Each Financial Year, AIRA
- 17) <http://kurumart.jp/ranking/index.html>
- 18) <http://toukei.mlit.go.jp/nenryou/nenryou.html>