

エコドライブの定量的評価法に関する研究

— 仮想車両モデルを用いた車両の標準化 —

岡村 整 小泉 大城* 小谷野眞司 横田 久司
(*非常勤研究員)

要 旨

東京都における温室効果ガス排出量のうち、約2割が自動車から排出されており、その排出削減が喫緊の課題となっている。この削減対策の一つとして、近年、国・自治体・業界団体等においてエコドライブの普及促進の取り組みが進められている。しかし、一般ドライバーや小規模運送事業者におけるエコドライブに対する取り組みは、まだ不十分な状況にある。エコドライブを推進するためには、エコドライブのレベル等を定量的に評価し、ドライバーへフィードバックすることが効果的である。しかし、一般的に用いられている燃費による評価では、車両自体の性能や大きさなどによっても異なるため、異なる車両間では互いのレベルを比較、評価することが困難である。このため、東京都環境科学研究所では、異なる車両間でも共通の尺度でエコドライブのレベルなどを比較・評価出来る仮想車両モデルを開発した。実走行試験による検証を行ったところ、本評価法によるエコドライブ評価指数と実測燃費は非常に良く対応しており（相関係数は0.93以上）、その有効性が確認された。

キーワード：温暖化対策、自動車、エコドライブ、トリップセグメント、評価法、推計モデル

A Numerical Evaluation Method of Eco-Drive: Standardization of Automobiles by Virtual Vehicle Model

OKAMURA Hitoshi, KOIZUMI Daiki*, KOYANO Shinji, YOKOTA Hisashi
(*Associate Researcher)

Summary

In 2004, the emission amount of greenhouse effect gas from automobiles in Tokyo has been estimated at 21.7% overall. Recently, Japanese government, local public bodies, and industry groups have been recommending eco-drive to automobile users for the reduction of such emission as mitigation of global warming. However, active effort for eco-drive among automobile users in families and small carriers is still insufficient. In order to spread eco-drive, sufficient information feedback based on numerical evaluation technology is required. The fuel economy, however, can not be used as a measure of eco-drive among various automobiles since it strongly depends on each automobile's performance as well as size etc. This report introduces our new evaluation method of eco-drive based on virtual vehicle model. Our method calculates Eco-drive Evaluation Index (EEI) which enables users to compare the effect of eco-drive numerically among various automobiles. Our simulation result showed that the correlation coefficient between real fuel consumption value and EEI is more than 0.93.

Keywords: mitigation of global warming, automobile, eco-drive, trip segment, numerical evaluation method, estimation model

1 はじめに

(1) 自動車からの二酸化炭素排出量

2007年に発表された「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の第4次報告では、「地球規模の気候変動が確かに生じつつあり、それが人間活動に起因している可能性が高く、今後の影響は極めて深刻なものである」と指摘している。このような状況の下、地球温暖化対策として、二酸化炭素(以下、CO₂)を主とする温室効果ガスの削減は、まさに喫緊の課題となっている。

温室効果ガスインベントリオフィスの発表資料に基づき、我が国における部門別のCO₂排出量(2004年度)を見ると、自動車からの排出が全体の約17.9%を占めていることが分かる。東京都においては、更に比率が高く全体の約21.7%を占めている。

また、運輸部門(全国)の内訳について詳しく見ると、自家用乗用車からの排出が全体の49.5%と、約半分を占めており、温暖化対策を推進するうえで、これら自家用乗用車を対象としたCO₂排出削減対策をより一層推進することが重要であると言える。

(2) 自動車からのCO₂排出削減対策

現在行われている自動車からのCO₂排出削減対策について、その代表的なものを分類すると、

ア 自動車単体

イ 燃料・エネルギー

ウ 利用方法

の3つの側面からの対策に大別される。アに分類される代表的なものとしては、燃費基準の導入などによる自動車の燃費改善の推進、イにはバイオマス燃料や電気自動車・燃料電池自動車など、化石燃料(ガソリン、軽油等)に代わる代替エネルギーの開発などがある。3番目のウに分類される対策として代表的なものとしては、交通需要マネジメント(TDM)やエコドライブの推進などが挙げられる。TDMについては、各自治体を中心に様々な取り組みが行われ、一定の効果が挙げられているものの、時間やコストがかかる対策も多い。一方で、エコドライブは、コストをかけずに誰でもすぐに実践可能という点で非常に優れた対策であると言える。

エコドライブは、自動車の運用コストの削減、安全運転の両面から効果が期待されることから、大・中規模運送事業者においては、その普及に向けた取

り組みが積極的に行われている。しかし、一般ドライバーや小規模運送事業者等においては、取り組みが十分ではないのが現状である。行政等においても普及促進の取り組みが進められているが、現状においてはステッカーやパンフレットの配布など、広報・啓発活動が中心であり、より積極的、効果的な推進策が求められている。

(3) 研究目的

一般ドライバー等へのエコドライブの普及を推進するためには、エコドライブのレベルなどを定量的、客観的に評価し、ドライバーへフィードバックすることが効果的と考えられる。

エコドライブを定量的、客観的に評価する手法としては、走行中の燃費を実測し、その値によって評価することが一般的に行われている。しかし、燃費は車両自体の性能や大きさなどによっても異なるため、実測燃費を用いた場合、異なる車両間では比較、評価することが困難であるといった課題がある。

そこで、本研究では異なる車両に乗っているドライバー間でも、共通の尺度でエコドライブのレベルなどを比較・評価できる手法を開発することを目的としている。

2 仮想車両モデルの開発

今回、異なる車両間でも共通の尺度による評価を可能とするため、走行時の速度データからシミュレーションモデルを用いて、燃費を推計することによりエコドライブを評価する手法を考案した。この手法によれば、シミュレーションの条件を統一することによって、共通の尺度、条件による評価を行うことが可能であること、また、燃費(推計値)を指標とした客観性のある評価が可能であることなど、今回の目的に適した評価を行うことができる。

なお、今回開発したエコドライブ評価用のシミュレーションモデルを、ここでは以後「仮想車両モデル」と呼ぶこととする。

(1) トリップセグメントモデル

今回、仮想車両モデルを新たに開発するに当たっては、東京都環境科学研究所(以下、当研究所)にて開発したトリップセグメントモデル²³⁾⁴⁾(以下、TSM)をベースに改良を加えることとした。

このTSMを、以下に簡単に説明する。当研究所では、大型ディーゼル車等からの環境負荷量を推計するために、TSMを2005年に開発した。このTSMは、時系列速度データを入力とし、NO_xや燃料消費量(≒CO₂排出量)などの環境負荷量を推計するためのシミュレーションモデルである。

このモデルでは、走行時の時系列速度データをトリップセグメント²⁾(時間的移動としてのアイドリングおよび空間的移動としての発進から停止までの一つの走行区間の一対の組)という走行単位毎に、アイドリング・加速・定速・減速の4つの走行モードに分類し、各々の走行モードごとに燃料消費量等を推計するものである。

具体的な推定式は、(1)～(4)式に示すとおりであり、それぞれの走行モードを英文表記の頭文字を取った下付きインデックス：*i, a, c, d*で区別し、左辺に被説明変数として燃料消費量*F*[g]、右辺に説明変数として平均加速度*A*[km/h/s]、平均速度*V*[km/h]、および累計時間*T*[s]にて表される。

$$F_i = \alpha_i T_i \quad (1)$$

$$F_a = \alpha_a A_a V_a T_a \quad (2)$$

$$F_c = \alpha_c V_c T_c \quad (3)$$

$$F_d = \alpha_d V_d T_d \quad (4)$$

ただし、 α は各走行モードに固有の定数。

(2) 仮想車両モデルの開発 (TSMの改良)

仮想車両モデルの開発にあたり、まず走行モードの定義の見直しを行った。前述のTSMにおいては、走行モードをアイドリング・加速・定速・減速の4つに分けている。今回は、個々の走り方(エコドライブのレベル)を評価することが目的であることから、推計精度の一層の向上等を目的として、走行モードの定義を見直し、加速・定速モードをいくつかに分けた。本報では以後、この検討項目のことを「走行モードの詳細定義」と呼ぶこととする。

当研究所で所有しているシャシダイナモメータを用いて、2000～2007年に測定した、計32台のガソリン車の走行データ(データ番号1～32)を用いて、

検討を行った。今回対象とした車両の諸元を表1に示す。なお、今回用いた走行データは各車両とも、都内の標準的な走行パターンとして作成した東京都実走行パターンNo1～No12(平均車速4.6km/h～53.3km/h)を走行した時のデータであり、実車速[km/h]、加速度[km/h/s]、燃料消費量[g]などのデータ(1秒単位)から構成される。これらの走行データを用い、走行モードの詳細定義を変えながら、燃料消費量との相関係数によって評価を行った。

今回の検討結果に基づき、最終的に走行モードを表2のように定義した。同表に示すように、加速モードを20km/hを境に2つのモードに、同じく定速モードを5、30、50、70km/hを境に定速0から定速5までの6つのモードに細分化し、合計10モードに詳細定義した。

(3) エコドライブ評価指数

前述したように、多種多様な車両間でエコドライブのレベルを比較したい場合、燃費そのものは車両の性能や大きさ等によっても異なるため、単純にその大小だけでエコドライブの比較・評価を行うことは出来ない。

そこで、仮想車両モデルの出力値(以後、この出力値をエコドライブ評価指数*E*と呼ぶ。)は、車両がトリップ全体を40km/hで定速走行した時の燃費を100として標準化した値として定義した⁵⁾。すなわち、エコドライブ評価指数は、以下の(5)式で定義される：

エコドライブ評価指数(*E*)

$$= \frac{\text{実走行時の燃費の推計値}}{40\text{km/h 定速で走行時の燃費}} \times 100 \quad (5)$$

$$= \frac{L}{\beta_i T_i + \sum_{m=1}^2 \beta_{a_m} A_{a_m} V_{a_m} T_{a_m} + \sum_{n=0}^5 \beta_{c_n} V_{c_n} T_{c_n} + \beta_d V_d T_d} \times 100$$

ここで、*L*は走行距離[km]、 β は各走行モードに固有の定数、 $m = 1, 2, n = 0, 1, \dots, 5$ は、それぞれ詳細定義する加速・定速モードのインデックスである。

なお、同式中の β （各走行モードに固有の定数）については、前項(2)と同様の32台の車両による走行データを用いて、最小二乗法により各定数を決定した。図1に、同式から求めたエコドライブ評価指数と実測燃費との関係の一例を示す（表1中のデータ番号9の車両データ）。このグラフは、縦軸にエ

コドライブ評価指数、横軸に実測燃費を取り、トリップセグメント毎にデータをプロットしたものである。両者の相関係数は0.97（決定係数:0.94）であり、エコドライブ評価指数が実測燃費と高い相関を持っていることがわかる。

表 1 対象車両諸元

試験年度	データ番号	車輛形式	原動機形式	排気量	等価慣性	車輛総重量
				[cc]	重量[kg]	[kg]
2007	1	CBA-BL5	EJ20	1,994	1,500	1,615
2007	2	DBA-KSP90	1KR	996	1,000	1,255
2007	3	DBA-L550S	EF	659	875	1,040
2007	4	DBA-JB5	P07A	658	1,000	1,080
2006	5	CBF-TRH200V	1TR	1,998	1,750	3,035
2006	6	UA-E51	VQ35	3,498	2,000	2,430
2006	7	DBA-GRX120	4GR	2,499	1,500	1,775
2006	8	DBA-NZE121G	1NZ	1,496	1,220	1,385
2006	9	DBA-BZ11	CR14	1,386	1,250	1,345
2006	10	DBA-GD1	L13A	1,339	1,000	1,275
2006	11	DBA-KGC10	1KR	996	1,000	1,175
2005	12	DBA-ZC11S	M13A	1,328	1,250	1,295
2005	13	DBA-QG10	QG18	1,769	1,250	1,435
2005	14	UA-ES1	D15B	1,493	1,250	1,355
2005	15	UA-UCF31	3UZ	4,292	2,000	2,105
2005	16	UA-RF3	K20A	1,998	1,750	1,970
2005	17	GF-AE110	5A-FE	1,498	1,250	1,335
2005	18	CBF-VW11	QG18	1,760	1,500	1,810
2004	19	TA-MNH10W	1MZ	2,994	2,000	2,320
2004	20	TC-TRH112V	1TR	1,998	2,250	2,975
2004	21	UB-NCP50V	2NZ	1,298	1,250	1,550
2004	22	CBA-TC24	QR20(E)	1,998	1,750	2,000
2004	23	GH-203042	271	1,790	1,500	1,755
2004	24	CBA-GRS180	4GR	2,491	1,750	1,835
2004	25	UA-DY3W	ZJ	1,340	1,250	1,355
2002	26	GG-EE103V	5E	1,496	1,250	1,490
2002	27	TA-RA1	EN07	658	1,000	1,080
2002	28	GC-KR42V	7K	1,781	1,750	2,165
2002	29	GD-S200V	EF	659	1,000	1,320
2002	30	LA-GD1	L13A	1,339	1,000	1,265
2002	31	GH-CS2A	4G15	1,468	1,250	1,405
2000	32	E-FB13	GA15	1,497	1,000	1,255

表 2 走行モードの詳細定義

走行モード名	速度	加速度
アイドリングモード	$V_i = 0.0$	-
加速1モード	$+5.0 < V_{a_1} \leq +20.0$	$+1.0 \leq A_{a_1}$
加速2モード	$+20.0 < V_{a_2}$	$+1.0 \leq A_{a_2}$
定速0モード	$0.0 < V_{c_0} \leq +5.0$	-
定速1モード	$+5.0 < V_{c_1} \leq +30.0$	$A_{c_1} < +1.0$
定速2モード	$+30.0 < V_{c_2} \leq +50.0$	$A_{c_2} < +1.0$
定速3モード	$+50.0 < V_{c_3} \leq +70.0$	$A_{c_3} < +1.0$
定速4モード	$+70.0 < V_{c_4} \leq +90.0$	$A_{c_4} < +1.0$
定速5モード	$+90.0 < V_{c_5}$	$A_{c_5} < +1.0$
減速モード	$+5.0 < V_d$	$A_d \leq -1.0$

速度単位：[km/h]，加速度単位：[km/h/s]

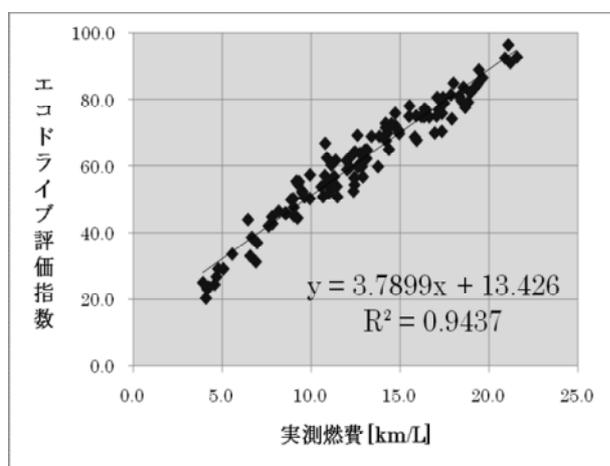


図 1 検討結果の一例（データ番号9）

4 実走行試験による検証

今回開発した仮想車両モデルの有効性等を検証するため、実際に使用中の車両を用いた実走行試験を行った。

(1) 実走行データの収集

川崎市公害研究所の協力を得て、実際に業務に使用中のガソリン乗用車2台（共に同一車種）に、速度等のデータを取得するための装置としてカーナビ

ゲーションシステムおよびエコドライブ評価指数との比較、検証用として燃費を実測するための瞬時燃費計を取り付け、実走行時における各種データを記録媒体（SD カード）に記録した。今回の試験に用いた車両諸元を表3に、測定機器、収集データ項目等表4に示す。

表 3 試験車両諸元（2台とも同一車種）

項目	摘要
車両形式	TA-RM12
原動機形式	QR20
排気量 [cc]	1,998
車両重量 [kg]	1,480
車両総重量 [kg]	1,865

表 4 測定機器および収集データ

項目	摘要
カーナビシステム	AVIC-HRV026ZZ
瞬時燃費計	EC15WWF-40
収集データ [測定単位]	時刻 [年月日時分秒]
	速度 [km/h]
	緯度経度 [度]
	標高 [m]
	道路種別（一般道/高速道）
	燃料消費量 [cc/秒]
	冷却水温度 [°C]

(2) 検証方法

各種データを記録したSDカードを毎月回収し、速度データ、燃料消費量データ等を1秒単位で処理、整理した。これらの走行データに基づき、今回開発した仮想車両モデルを用いてエコドライブ評価指数を計算するとともに、燃料消費量から燃費を算出し、両者の比較を行った。

今回の試験車両2台（以下、1号車、2号車と呼ぶ。）の月別走行距離、日数等（データ収集開始月から2008年3月まで）を、それぞれ表5、6に示す。

表 5 月別実走行データ(1号車)

年	月	走行距離 (キロ)	日数	トリップ セグメント数
2007	11	641.0	18	1,409
2007	12	359.3	18	859
2008	1	281.3	12	601
2008	2	467.3	18	1,257
2008	3	562.4	18	1,316
合計		2311.3	84	5,442

表 6 月別実走行データ(2号車)

年	月	走行距離 (キロ)	日数	トリップ セグメント数
2007	12	624.3	18	1,349
2008	1	470.0	12	967
2008	2	403.4	12	1,068
2008	3	774.5	17	1,813
合計		2272.2	59	5,197

(3) 検証結果及び考察

図2、図3に、今回の実走行試験による検証結果の一例を示す。図2、図3は、それぞれ1号車、2号車の結果(2007年12月)であり、どちらも縦軸第一軸(左軸)にエコドライブ評価指数、縦軸第二軸(右軸)に実測燃費[km/L]を、横軸に経過日数を取り、1日毎のデータをプロットしたものである。なお、これらの図は、アイドリングを考慮しない場合の結果である。

これらの図から分かるように、エコドライブ評価指数(実線)と実測燃費(破線)は良く対応しており(相関係数: 1号車0.93、2号車0.97)、今回の評価法の有効性を確認することができた。

なお、実走行においては、今回の評価法で評価対象としている走り方以外にも、燃費に影響を与える要因が様々ある。この代表的なものとしては、エアコン使用による影響、積載重量(乗車人数等)による影響、道路勾配による影響などが挙げられる。しかし、前述したとおり、今回の評価法はあくまで走り方を評価対象としているため、エアコンや積載重量等の影響については考慮していない。したがって、実走行試験においては、エアコンは使用しない、乗

車人数は一定とするなど、試験条件を統一することが望ましいが、今回は通常業務に使用中の車両であるため、これらの条件統一は行っていない。このため、今回のエコドライブ評価指数と実測燃費の比較・検証においては、これらの影響に起因する誤差もあるものと推察される。

なお、今回評価対象としていない道路勾配の影響については、今後、これを反映できるように仮想車両モデルに道路勾配のファクターを追加する予定である。

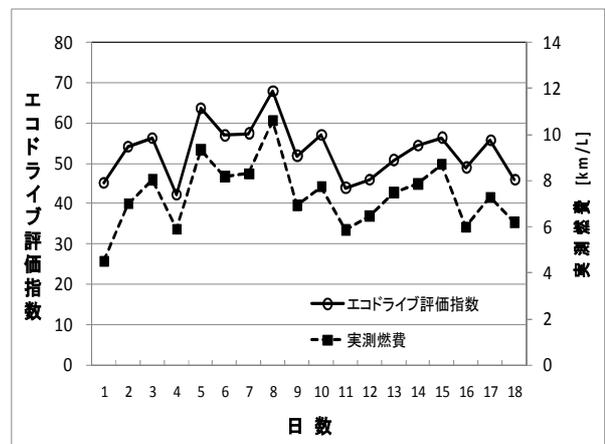


図 2 実走行試験による検証結果(1号車)

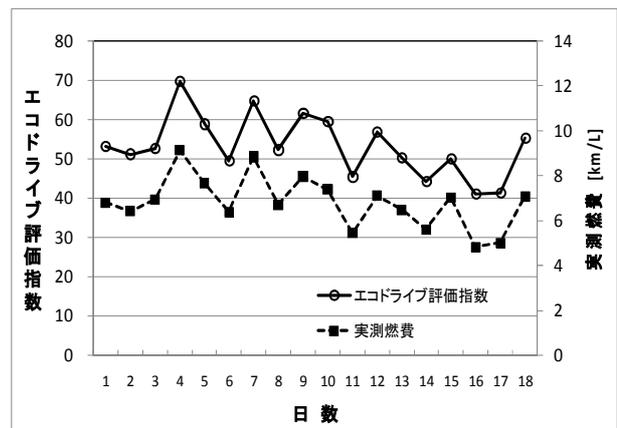


図 3 実走行試験による検証結果(2号車)

5 まとめおよび今後の課題

本報では、エコドライブを定量的、客観的に評価する手法を提案した。

今回の評価法は、異なる車両間でも共通の尺度による評価を可能とするため、走行時の時系列速度データからシミュレーションモデルを用いて求めた推計燃費によってエコドライブを評価するものである。このエコドライブ評価用のシミュレーションモデルとして、仮想車両モデルを開発し、それを用いたエコドライブ評価指数と実測燃費とを、実走行試験により比較・検証した。その結果、実測燃費との相関係数は0.93以上と、良好な結果が得られ、本評価法の有効性を確認することができた。

今回開発した仮想車両モデルによるエコドライブ評価指数は、基本的には燃費を指標とした評価である。しかし、燃費は渋滞路や高速道など、その走行条件などによっても大きく異なってくる。このため、走行ルート等に捉われずに、走り方（運転技術）を公平に評価するためには、今回の仮想車両モデルで行った「車両の標準化」に加えて、「走行ルートの標準化」も必要であると考えており、この標準化手法について、現在検討を進めているところである。

エコドライブの推進策としては、これまでパンフレット等による広報、啓発活動が中心であったが、今回のエコドライブの定量的、客観的な評価法を確立することにより、エコドライブコンテスト、エコドライブ認証制度等への活用など、行政等においてもエコドライブの支援、推進策の選択肢が大きく広がるものと期待している。

本研究は、環境省の「平成19年度 地域の産学官連携による環境技術開発基盤整備モデル事業」（自動車の走行方法改善による温暖化対策の推進[研究代表者：東京都環境科学研究所 岡村整]）により実施したものである。

謝 辞

本評価法の開発に当たり、御助言、御協力頂きました、中央大学鹿島茂教授、川崎市公害研究所小倉氏、鶴見氏、パイオニアナビコム榎森氏、吉田氏、及び三菱UFJリサーチ&コンサルティングの方々へ深く感謝致します。

参考文献

- 1) 東京都環境局：「都における温室効果ガス排出量総合調査」（2006）.
- 2) 横田久司ら：「走行動態記録に基づく自動車からの環境負荷量推計モデルの開発」, 2004年東京都環境科学研究所年報, pp.40-48 (2004).
- 3) 横田久司ら：「走行動態記録に基づく自動車からの環境負荷量推計モデルの開発（トリップセグメントモデルの汎用化）」, 大気環境学会誌, 第40巻, 第2号, pp.67-83 (2005).
- 4) 鹿島茂ら：「自動車の走行モードを明示的に考慮したNOx排出量推計モデルの開発」, 大気環境学会誌, 第40巻, 第4号, pp.137-147 (2005).
- 5) 岡村整ら：「エコドライブの評価手法に関する研究」, 第47回 大気環境学会年会講演要旨集 (2006).
- 6) 岡村整ら：「自動車の走行方法改善による温暖化対策の推進」, 第48回 大気環境学会年会講演要旨集 (2007).