

# エコドライブの実践効果に関するシミュレーション研究

## Simulation Study on the Effects of Eco-driving

屋井研究室 07M30340 増田 智志 (MASUDA, Satoshi)

**Keywords** : エコドライブ, エミッション, ドライビングシミュレータ  
Eco-driving, Emission, Driving Simulator

### 1. はじめに

地球温暖化が危惧される昨今、様々な分野において温室効果ガスである二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出抑制が求められている。とりわけ、我が国における自動車交通からの CO<sub>2</sub> 排出量は国内総排出量の 17%にものぼり<sup>1)</sup>、排出抑制のために様々な施策が検討・実施されている。中でも、自動車利用者であるドライバーの意思や心掛けによって実践されるエコドライブ(表 1)<sup>2)</sup>は、道路インフラの整備や改善の如何に関わらず実践出来ることから、その普及が期待されている。

我が国のエコドライブを取り巻く環境に目を向けると、貨物車等の業務用車両においては、トラック業界全体としての取り組みの充実(環境基本行動計画等)<sup>3)</sup>に加え、走行経費の削減等利点も多いことから積極的な普及が図られている。業務用車両のドライバーは、企業管理者により意識付けされその運転が評価されるとともに、車両に対し社費によって補助ツールが導入される等、エコドライブが普及しやすい環境にある。一方で一般ドライバーに関しては、当事者のインセティブが小さい事や運転頻度の低さ、自分には出来ないという諦めや誤認、教育機会の少なさや情報の混同、実践が当事者の意識に委ねられてしまう点等、未だエコドライブが普及しにくい環境にあると言える。すなわち、現実の自動車交通においては、運転挙動の異なるエコドライブ実践車が散在していくものと考えられる。

表 1. 日本におけるエコドライブの定義

エコドライブ 10 のススメ(※エコドライブ普及連絡会の定義)

運転テクニックに関わる項目

1. ふんわりアクセル「eスタート」[やさしい発進(5秒で20km/h)]
2. 加減速の少ない運転 [車間距離に余裕を持って定速走行]
3. 早めのアクセルオフ [エンジンブレーキの積極的利用]
4. アイドリングストップ [駐車時、信号待ち時間等]

知識や意識に関わる項目

5. エアコン使用を控えめに
6. 暖機運転を適切に [暖気の必要性は寒冷地のみ]
7. 道路交通情報の活用 [計画的な運転で余計な運転を減らす]
8. タイヤの空気圧をこまめにチェック
9. 不要な荷物を積まない
10. 駐車場所に注意する [渋滞の原因にならない]

しかしながら、エコドライブも通常の運転同様に他車両との相互関係の中で行われるにも関わらず、エコドライブの実践により起こる車両相互間の影響に関して定量的に把握した例は少ない。

そこでエコドライブ項目の中でも特に運転テクニック面に関して、車両相互間の影響など実践車排出に留まらない様々な効果をドライバー、車群・交通流といったレベルで把握し検討していく必要があるとともに、将来的にはより効果的な排出削減システムの開発検討も必要である。本研究では、その基礎段階という位置付けのもと、一般ドライバーのエコドライブ実践を対象として、まず先進と言われる欧州諸国と日本との比較整理を行う。次に排出量データ取得に向け現行のドライビングシミュレータ(DS)を排出計測の可能なものへと発展させ、それらを用いて車両相互影響を含めたエコドライブ実践効果に関する検討を行う。

### 2. 既往知見の整理と日欧比較

#### (1) 日欧の比較から

表 2. に欧州において展開されているエコドライブの定義を示す。日本では、低燃費実現のために“緩やかな発進”を求めている(表 1. 中 1)ことに対し、ドイツやスイスでは燃費の良い速度域まで素早く加速することを求めている(表 2. 中 α)。これらは両者ともに、基となる考え方は“エンジン回転数を抑えた走行が望ましい”と共通したものであり、筆者が考察するに日欧

表 2. 欧州におけるエコドライブの定義

Golden Rules of Eco-driving

(※ECODRIVEN[欧州諸国が参加する機構]による定義+α)

運転テクニックに関わる項目

1. なるべく早くシフトアップ [2000~2500回転でシフトアップ]
2. 定速走行 [高いギア&低い回転数の使用]
3. 交通状況の予測 [出来るだけ遠くを見て交通環境を予測]
4. スムーズな減速 [アクセルを放しギアを入れてスムーズに減速]
- (α. 走行速度までの素早い加速 [ドイツ、スイス])

知識や意識に関わる項目

5. タイヤの空気圧を頻繁にチェック [25%減圧で10%の抵抗, 2%の消費量増加]

でのAT利用率の違いや、交通環境(旅行速度)の違い及び運転容易性から判断されたものと考えられる。その結果、日本と欧州では、加速方法面に関して全く異なる対極の方法を推進しているという背景が存在する。

一方で、エコドライブの普及制度の現状を見るに、我が国はエコドライブという分野においては未だ発展途上のグループと言えるかもしれない。エコドライブ先進国と呼ばれるスイス、ドイツ、オランダといった国々では、日本が本格的な普及政策を検討する10年以上前からエコドライブの普及に力を注いできた経緯がある。早くから国際機構が設立され、先進諸国が他国を先導するとともに、研究成果や教育プログラムの共有、共通概念の構築などにより広く発展的な普及がなされてきた<sup>4)</sup>。欧州においては、DSなどの先端技術に優れるだけでなく、例えば年齢層により異なる教育方法を展開するなど、ドライバー心理等の副次的効果に関する研究成果を反映した普及方法が取られており<sup>5)</sup>、我が国が倣うべき点が多い現状である。

しかしながら先に示したように、日本と欧州のエコドライブにおいては、加速方法面や社会背景に関して違いが存在している。すなわち、運転挙動面に起因する削減効果やドライバー心理等の副次的効果については、日本独自に研究蓄積を行い、実践車の普及やドライバー教育へ反映させていかなければならない。

## (2) 既往知見

エコドライブに関する既往知見は大きく4つに分けることが出来る。A)教育方法や普及方法に関するもの<sup>6)</sup>、B)実践具合等の現状を把握したもの<sup>7)</sup>、C)直接的な実践効果(実践車燃料消費量)を対象とするもの<sup>8)</sup>、D)実践車燃費面以外での副次的効果に関するもの<sup>9)</sup>、の4分野である。ただし特に日本においては、C)に分類される知見が圧倒的に多く、それら研究においてはエコドライブ実践車の排出・燃料消費削減という直接的効果のみに対象が限られており、今後はそれら以外の側面について検討し明らかにしていく必要がある。

本研究において対象とする車両相互影響に関する国内研究としては、松村ら<sup>10)</sup>の研究が挙げられる。松村らは交通流シミュレーションを用いて、エコドライブ車が混入することにより交通流に起こる変化の存在を示し、エコドライブ車の混入率上昇にともない、エコドライブ車増加による削減以上の割合で交通流の総排出量が下がっていくという知見を得ている。

## 3. DSの概要と排出推計モデル

本研究ではエコドライブデータ取得にあたり、DSを用いた走行実験を行う。DSを用いるメリットとしては、実走行では得ることの出来ない同一環境下における複数走行データを得ることが出来ること、他車両との相互関係データを取得出来ることが挙げられる。

### (1) ドライビングシミュレータ MOVIC-T4

本研究で用いるDS(MOVIC-T4)は、ヘッドマウントディスプレイに走行画面を投影するとともに、走行時の体感速度を2軸Motion-baseにより再現する事で、実走行に近い没入感や走行感覚を再現している。また、およそ1/10秒単位で走行データを計測することが出来る。任意の車種特性を再現することが可能であり、本研究ではSUBARU Legacy(4door-type sedan, 2.0L, 2002)車両データを用いている。

周辺走行車両の台数や車種構成、車両特性を設定出来、また本年度新たにDSでの事前走再現機能を追加している。

### (2) 排出推計システムの導入

さらに、本研究ではエコドライブに対する評価を目的としているため、各走行における温室効果ガスCO<sub>2</sub>の排出量データを推計するシステムを導入した。排出推計の考え方を図1に示す。DSのアウトプットデータ及び車両諸元、コースデータを駆動力に変換し、推計モデルによって推計する。本システム導入により、各瞬間や特定区間の排出量推計が可能となるとともに、温室効果ガス排出係数(2.320 [kg-CO<sub>2</sub>/l])<sup>11)</sup>を用いることで、燃料消費量や燃費(km/l, l/km)の算出が可能である。

#### a) モデル作成に用いたデータ

モデル作成には、財団法人石油産業活性化センターによるJCAP2プロジェクトによって作成された排出マップを用いた。実車両を用い、オリジナルの走行モードによって測定された実測データである。排出マップは速度、及び駆動力によって表さ

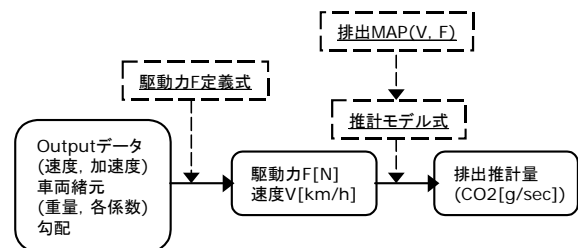


図1. 排出推計の考え方

表3. 駆動力F[N]の定義式

$$F = (1+\gamma) * W * ACC / 3.6 \quad (\text{加速抵抗項})$$

$$+ A * W * 9.80665 \quad (\text{転がり抵抗項})$$

$$+ W * 9.80665 * \sin \theta \quad (\text{重力勾配項})$$

$$+ B * 9.80665 * V * V \quad (\text{空気抵抗項}) \quad [N]$$

$\gamma$ : 回転部分相当慣性重量比率     $W$ : 車両質量  
 $ACC$ : 加速度     $A$ : 転がり抵抗数     $\theta$ : 道路縦断勾配  
 $B$ : 空気抵抗係数    重力加速度: 9.80665

表4. 排出推計式のパラメータ

調整済みR2	=	0.953	
		(パラメータ)	(変数)
CO2	=	-4.13E-01	(t値)
[g-CO2/sec]	+	7.79E-02	V
	+	-5.59E-04	V <sup>2</sup>
	+	1.17E-03	F
	+	3.91E-05	V*F
			103.67

ただし、CO2<0.72022(=アイドリング時排出量)ならば、  
CO2=0.72022[g-CO2/sec]とする  
V:速度[km/h] F:駆動力[N]

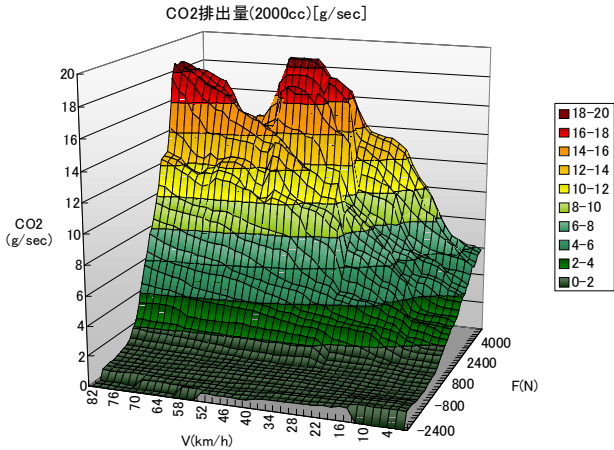


図2. 用いた排出マップ

れ、駆動力は表3.で定義される<sup>12)</sup>。駆動力の定義式には加速抵抗に加え、道路縦断勾配抵抗や車両重量、転がり抵抗、空気抵抗が含まれており、勾配や積載量等の状況による排出変化が表現されている。

なお、用いた排出マップはDS設定に合わせたガソリンエンジン乗用車(排気量2000cc, 2002年式)の排出計測データ(図2)である。

### b) 推計モデルの作成

推計モデルのパラメータは排出マップデータを重回帰分析することにより求めた。その際、マイナス駆動力データを除外する等、想定される実験条件や他の排出モデル<sup>13)</sup>を参考に研究適応性を高めている。

パラメータ推計結果を表4.に示す。本モデルを用いると、推計結果が極端に小さくなるケースやマイナスとなるケースが生じるが、排出マップとの整合を図るためアイドリング時排出を基準として近似している。排出マップデータを用いた推計結果を図3.に示す。なお、図中加速度はおおよその値のため、ブレが生じている。

## 4. 走行実験

通常走行及びエコドライブ走行データの取得、排出量と走行

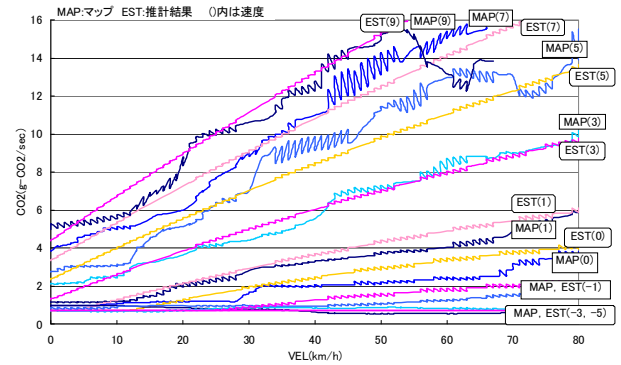


図3. モデルによる排出量推計結果と排出マップ値



図4. 走行画面イメージ

時の走行環境(他車両)との関係データ取得を目的に前述 DS を活用した走行実験を行う。排出量や燃料消費効率が低いと考えられる都市内における走行を対象として選び、エコドライブの実践効果を検証・考察する。

### (1) 実験概要

被験者は仮想都市内コースにおいて先行車を追従する(図4)。走行コースは2車線道路3.5kmであり、500m毎に信号交差点を設置した。交差点における右左折は行わず、左側車線のみの走行とし車線変更を禁止した。

走行実験の構成を図5.に示す。走行形態を便宜的に走行実験1と走行実験2に分けて記す。走行実験1では設定した先行車両を追従し、実験2において異なる被験者の実験1データを追従するというものであり、得られるデータは以下4通りである。

1: 被験者の一般的な追従走行データ

1e：被験者のエコドライブ実践データ

2：1を追従する通常走行

2e：eを追従する“通常”走行

なお、エコドライブ実践前にはエコドライブ実践方法を教示するとともに、十分な練習時間を確保する。

## (2) 実験シナリオの設定

実験シナリオとして前方車走行挙動を図6.に示す。前方車走行挙動には、信号交差点における大きな減速(右左折車の存在)や、追従時の速度波状走行など、実走行において起こる特徴的な挙動を取り入れている。これらは、都市内道路実走行による事前調査及び排出ガス試験モードであるJC08モード<sup>14)</sup>を参考に決定した。事前走行調査では、実験と同条件の道路(都市内2車線道路)を走行した際の追従走行をビデオ映像に記録しており、追従走行時の速度推移を参考にしている。

また走行環境として、前方車に加え追い越し車線および後方に複数台のAI車両を発生させている。

## 5. 分析

### (1) 実践車に対する分析

エコドライブ実践車(1e)と通常走行車(1)について比較・分析する。エコドライブ本来の目的である排出量については、その削減率や絶対量差を、本実験の基礎データとして分析する。ま

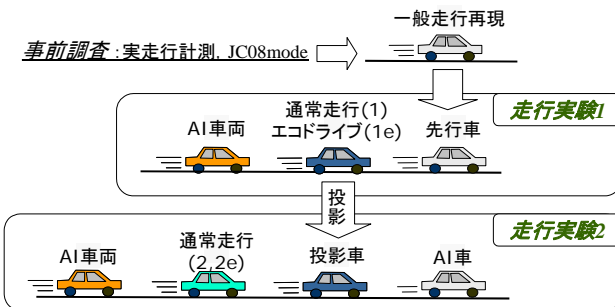


図5. 走行実験の構成

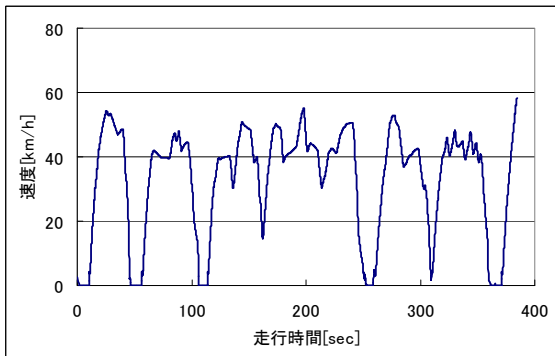


図6. 先行車の挙動シナリオ

たエコドライブの実践に起因する運転挙動差を見出すとともに、アンケート指標等とリンクさせることでエコドライブ実践の要求がドライバーに与える影響について検証する。

### (2) 後続車両に対する分析

後続車(2,2e)に関しては、両者の排出量に関して分析を行う。主に、“同じ通常走行であっても、エコドライブ実践車を追従する車両の排出量は小さくなる”という仮説を検証していく。

これは前方車がエコドライブを実践することで、その効果が後続車に伝播するという考え方による。例えば発進時に着目するならば、前方車が緩やかな加速をすることで、後続車もまた緩やかな加速を行わざるを得ないはずである。しかし一方で、排出が削減されるケースと削減されないケースの両方が存在するとも考えられる。それらはドライバー特性によるものと考えられるが、後続車排出についてエコドライブ実践効果としての指標を得ることは意義深い。

分析ではエコドライブ車を追従することによる排出削減の度合いを把握するとともに、削減の有無について両者を隔てる条件について1及び1e走行データ等を基に検証する。また、後続車排出量が前方車排出量に起因するという仮説に関して、排出形成の要因抽出による検証を試みる。

## 6. 終わりに

本稿では、本研究における問題意識と実験へ向けた諸準備、及び実験計画について示した。以降の内容については、発表時及び本論に譲る。

### 参考文献

- 1) 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス、日本の温室効果ガス排出量データ、2008
- 2) エコドライブ普及連絡会、エコドライブ10のススメ、2003
- 3) 村田省蔵、トラック輸送における安全・環境対策の今、交通工学、Vol.41, NO.5, 2006
- 4) 例えば、ECODRIVEN HP(<http://www.ecodrive.org/>)
- 5) CIECA、CIECA Eco-driving project final report、2007
- 6) 例えば、Swiss energy partner、Eco-Driver® Facts & Figures、2002
- 7) 例えば、Lisa Schweitzer et al.(USA)、Truck driver environmental and energy attitude - an exploratory analysis、Transportation Research Part D, No.13, pp.141-150、2008
- 8) 例えば、谷口ら、省エネ運転の推進と燃料消費削減の可能性、交通工学、Vol.41, NO.5, pp.54-62、2006
- 9) 例えば、A.E.af Wählberg(Sweden)、Short-term effects of training in economical driving: Passenger comfort and driver acceleration behavior、International Journal of Industrial Ergonomics 36, pp.151-163、2006
- 10) 松村ら、道路交通流を対象としたエコドライブの実施効果の推定—NoxとCO2を対象に—、平成18年土木学会関西支部年次学術講演会、IV-32、2006
- 11) 環境省、地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン、2007、
- 12) ISUZU自動車HP、燃費運転マニュアル、[http://www.isuzu.co.jp/cv/cost/manual/knowledge\\_2.html](http://www.isuzu.co.jp/cv/cost/manual/knowledge_2.html)
- 13) 例えば、馬場ら、走行特性を考慮した自動車排出係数の検討(その2)、IBS Annual Report、2007
- 14) 国土交通省、報道発表資料、2006.11.01