

交通の円滑性とエコドライブの実現可能性

A Study on the Relationship between Traffic Smoothness and Energy Saving Drives*

森 健二**・牧下 寛***

By Kenji MORI**・Hiroshi MAKISHITA***

1. 研究の目的

自動車から排出されるCO₂を削減するためにエコドライブが求められている。エコドライブの方法には、運転操作だけをみてもいくつかの種類がある¹⁾。どのような運転操作を実践すれば効果的かは、交通の混雑状況によっても異なることから、その点を踏まえてドライバーへ啓発することが望ましい。そこで本研究では、エコドライブによるCO₂削減の可能性と交通の混雑状況との関連を明らかにする。

2. 研究の考え方

(1) 混雑状況別の運転挙動の実態把握

自動車は停止や加減速を繰り返しながら走行する。一連の挙動はCO₂排出に大きな影響を及ぼす。エコドライブが功を奏するか否かは、こうした挙動の発生状況と密接に関係している。例えば、エコドライブの一手法であるアイドリングストップは停止挙動が生じなければ実践できない。また、渋滞で低速走行を余儀なくされていれば、おのずと急加速の機会は少なく、緩やかな加速を心がけたところで、エコドライブを実践しない場合との挙動の差は少ない。

このように、何を心がけて運転すればCO₂排出を抑制できるかは、交通の混雑状況によって異なる。そこで本研究では、どのような車両挙動に起因したCO₂排出が卓越しているかを、混雑レベル毎に明らかにすることをねらいとして、実際の道路上での走行調査を行う。

(2) CO₂排出量の評価方法

検討にあたっては、CO₂排出量を車両挙動によって説明するモデルが必要である。本研究では既存のモデルを活用する。モデル選定にあたっては、車種やエンジン型式によらない仮想車両を対象とした計算方法であること、

走行や停止といった車両挙動の違いが反映できる計算方法であることを条件とした。

その結果、谷口ら²⁾のモデルを活用することとした。このモデルはCO₂の代理指標として燃料消費量を推定するもので、1km走行あたりの燃料消費量 F [cc/km]として次式(1)~(3)で表される。

$$F = F(\text{idle}) + F(\text{run}) \quad \dots (1)$$

$F(\text{idle})$: アイドリング時燃料消費量[cc/km]
 $F(\text{run})$: 走行時燃料消費量[cc/km]

(1)式において停止時消費分 $F(\text{idle})$ は次式(2)の通り。

$$F(\text{idle}) = 0.345 \times T(\text{idle}) \quad \dots (2)$$

$T(\text{idle})$: 1km 走行あたりの停止時間[sec/km]

そして、走行時消費分 $F(\text{run})$ は次式(3)の通り。

$$F(\text{run}) = 27.6 + 0.3102 \times T(\text{run}) + 0.05636 \times AAEE \quad \dots (3)$$

$T(\text{run})$: 1km の走行に要する時間[sec/km]

$$AAEE = \frac{1}{D} \sum_{k=1}^K \delta_k (v_k^2 - v_{k-1}^2)$$

: 1km あたり加速エネルギー当量[(m/sec)²/km]

D : 計測時間の走行距離[km]

k : 計測時間間隔

K : 計測時間を計測時間間隔で割った値

v_k : 計測周期 k における速度[m/sec]

δ_k : 加速時に 1、そうでない時に 0

分析ではCO₂排出量の代理指標として単位走行距離あたりの燃料消費量を用いる。計算の際には、計測時間間隔毎の燃料消費量が求められるよう式を変形する。

3 車両挙動についての実態調査

(1) 調査の概要

様々な混雑状況下での走行実態を把握するため、道路規格が異なる3つのコース(幹線、補助幹線、生活道路)を設定した。その際、需要が多い状況が期待される幹線道路の選定にあたっては、閑散時から混雑時まで多

*キーワード: エコドライブ、交通管理

**正員、工修、科学警察研究所
(E-mail: mori@nrrips.go.jp)

***非会員、博(情)、科学警察研究所
(E-mail: makishita@nrrips.go.jp)

様な状況が生じているか否かを事前に確認した。

運転挙動の平均的な傾向を把握するため、複数の被験者からデータを収集した。被験者数は27名で、年齢は22～47歳、免許取得後年数は2～28年と幅を持たせた。

また、データ量の充実を図るため、各コースをひとり3回走ることとした。

調査期間は2007年3月8日(木)～3月21日(水)とし、曜日には拘らなかった。

用いた車両は普通乗用車で、全被験者が同じ車を運転した。

(2) コースの詳細

各コースは可能な限り都市内走行の縮図となるような様々な交通場面が含まれるよう、以下のとおり設定した。

幹線道路コース

千葉県柏市内の国道16号松ヶ崎交差点から桜台交差点を往復する。このコースは混雑状況が多様であり、信号交差点も多い。折り返しの関係で国道16号外回りが約2.6km、内回りが約2.4kmとなっており、いずれも右折でコースを抜ける。分析にあたっては、外回り方向を幹線1、特に混雑の激しい状況下でのトリップを含む内回り方向を幹線2として分類した。

生活道路コース

千葉県柏市柏の葉1丁目と2丁目街区に設定された1周約1.5kmの周回である。信号はなく、一時停止交差点に優先側と非優先側から進入する場面を含む。

補助幹線道路コース

千葉県流山市東初石3丁目と西初石3丁目街区に設定された1周約3.8kmの周回である。信号交差点の右左折や踏切を含む。

(3) 計測項目

調査車両には、GPS、加速度計を搭載し、走行中の位置と加速度を計測した。計測に使用した機器は株式会社データ・テック製のセイフティ・レコーダ(型式番号SR-100)である。燃料消費量の推定に必要な速度は、GPSによる1秒ごとの位置から算出した。

(4) 被験者に対する走行方法の指示

普段の運転を心がけるように指示したのみで、被験者の自己責任で運転するよう念書をとった。車両には調査員が同乗し走行ルートや計測器の操作を行った。

4. 混雑状況と車両挙動・燃料消費量との関係分析

(1) 旅行速度と燃料消費量の関係

27人の被験者が3回ずつ走行したことから、各コースともに81トリップの走行データを得た(幹線1では

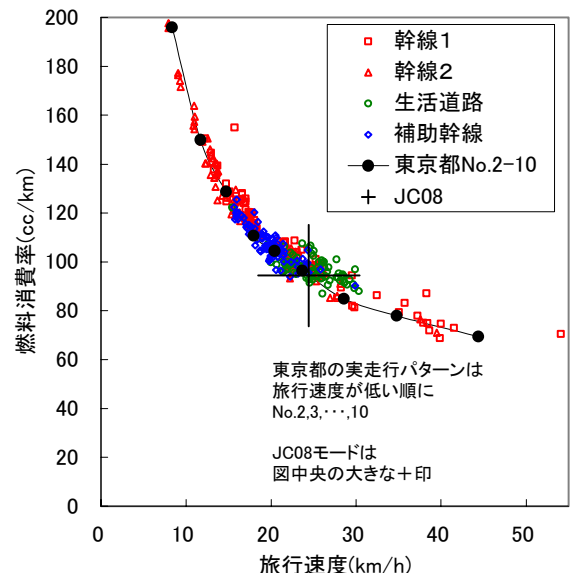


図-1 旅行速度と消費燃料の関係

2トリップが欠損)。まず、混雑を表す代表的な指標である旅行速度に着目し、トリップ毎に単位走行距離あたりの燃料消費量(以下、燃料消費率と称す)との関係をみた結果を図-1に示す。この図には参考として、既存の実走行パターンであるJC08モードならびに東京都の実走行パターンから計算された旅行速度と燃料消費率を併せて布置している。コースの種類は、幹線1と2、補助幹線、生活道路の4種類に分けている。

図-1をみると、まず散布図の横軸方向の広がりから、幹線道路については、ねらいどおり閑散時から混雑時まで幅広い状況下からデータが得られたとみられる。

改めて図-1をみると、旅行速度が小さいと燃料消費率が増す傾向が顕著である。一般に、運転操作の改善による省エネ効果は1割程度と言われている。これに対して、旅行速度の低下によってもたらされる消費燃料の増加は桁違いに多い。燃料消費量の削減にとって交通流の円滑化が重要であることが改めて理解できる。

(2) 燃料消費量の走行モード別内訳

走行状態を、停止、発進時加速、走行時加速、定速・減速(以下、定常走行と称す)の4モードに分け、それぞれ燃料消費率を計算した。それらの値を積み上げ式に整理した結果をコース別に示したのが図-2～5である。

各図は、横軸方向に左から旅行速度の小さい順にトリップを並べている。旅行速度が小さいと消費燃料が多くなる傾向にあるため、各図とも棒グラフの高さは右下がりの傾向を示す。これらの図を用いて、走行モード別の燃料消費率と旅行速度の関連を考察する。

まず、停止時と発進時の燃料消費率は、幹線道路において高く生活道路では皆無に近い。この理由は、生活道路は常に閑散としており、停止挙動がほとんどなかつ

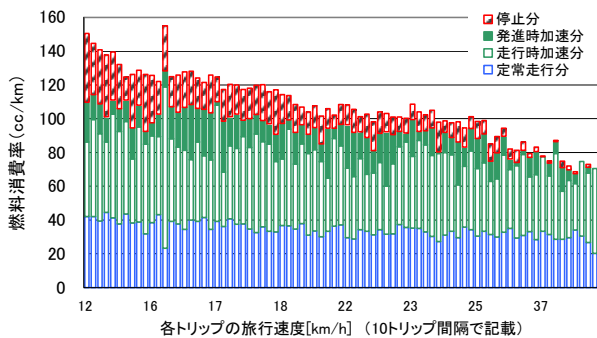


図-2 消費燃料の走行状態別内訳(幹線道路1)
欠損を除く79トリップを旅行速度の小さい順に並べている

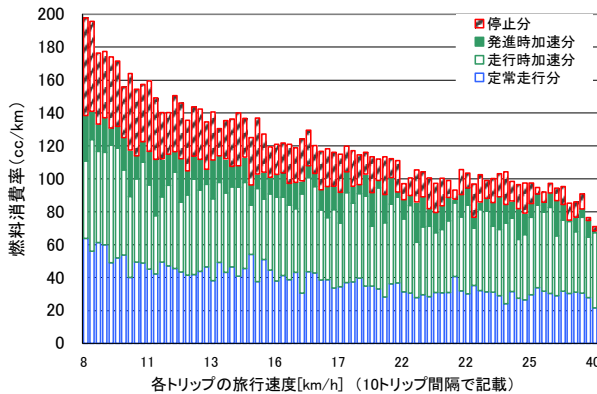


図-3 消費燃料の走行状態別内訳(幹線道路2)
全81トリップを旅行速度の小さい順に並べている

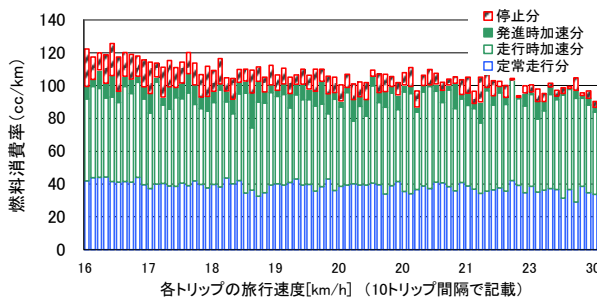


図-4 消費燃料の走行状態別内訳(補助幹線道路)
全81トリップを旅行速度の小さい順に並べている

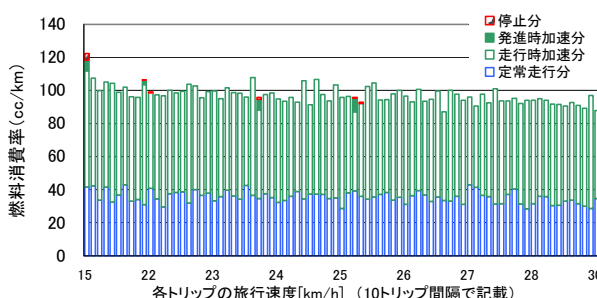


図-5 消費燃料の走行状態別内訳(生活道路)
全81トリップを旅行速度の小さい順に並べている

たためである。そして、幹線道路でも旅行速度が高い場合は同様の理由で停止時と発進時の燃料消費率は低い。この様に、停止挙動に伴う燃料消費量は円滑性の影響を受けやすいことがわかる。

一方、各図とも、定常走行時の燃料消費率には右下がりの傾向を確認でき、特に図-3でその傾向が顕著である。この理由は、幹線2では例えば旅行速度が10km/h以下といった混雑したトリップが含まれており、こうし

たトリップでは一定距離の走行に要する時間が長くなるため定常走行時の消費燃料が増える。定常走行時に消費される燃料は、走行するために最小限必要なものと考えられ、エコドライブで削減することは困難といえる。

コース別に各モードの燃料消費率と旅行速度との相関係数を整理した結果を表-1に示す。ほとんどのケースで両者の間に相関が見られる。特に、幹線、補助幹線では停止時の相関が高い。この他、幹線2では、走行時加速分の相関係数も-0.84と大きい(絶対値が大きいという意味、以下同様)。これには、激しい混雑時において、停止・発進を繰り返す波状運転が多かったことが関係している。補助幹線でも踏切通過の際の波状運転が多く、走行時加速分の相関係数が-0.60と大きい。

表-1 各走行モードの燃料消費率の旅行速度との相関係数

道路種別 (データ数)	停止	発進時 加速	走行時 加速	定常走行
幹線1 (79)	-0.83 **	-0.47 **	-0.35 **	-0.68 **
幹線2 (81)	-0.86 **	-0.44 **	-0.84 **	-0.50 **
補助幹線 (81)	-0.76 **	0.16	-0.60 **	-0.40 **
生活道路 (81)	-0.38 **	-0.31 **	-0.40 **	-0.24 *

** 1%有意、*5%有意

(3) 燃料消費量に対する走行モードの影響

- 走行コース別の分析 -

これまで見てきたように、燃料消費率は旅行速度と極めて強い関連があり、中でも停止時の燃料消費率と旅行速度との相関が大きい。ただし、こうした傾向は走行したコースによって異なることから、コース別に各モードの燃料消費量が全消費量にどのような影響を与えているのか、その影響の強さを寄与率(共分散比)によって比較する。寄与率(共分散比)とは、複数の個別変数の合計を求めた場合、その合計の分散に対する個別項目の寄与を割合で表現するもので、次式(4)で求める。

$$\text{寄与率} = \frac{\text{個別項目 } i \text{ と合計との共分散}}{\text{合計の分散}} \dots(4)$$

寄与率(共分散比)の合計は1となり、個別項目と合計との相関が正である場合、個別変数の合計に対する寄与という意味をもつ。表-2は、路線別の共分散比を示したもので、走行モードの寄与を比較できる。表-2をみると、幹線と補助幹線では停止時の影響が最も強く4割以上を占めている。停止時の燃料消費量は、全消費量に対するシェアという点では大きくないが、消費量全

表-2 燃料消費量全体に占める走行モードの影響

道路種別 (データ数)	共分散比(寄与率)				平均値(cc/km)			
	停止	発進時 加速	走行時 加速	定常 走行	停止	発進時 加速	走行時 加速	定常 走行
幹線1 (79)	41.7%	16.7%	27.0%	14.6%	14.2	13.9	44.9	34.3
幹線2 (81)	41.8%	12.6%	16.2%	29.4%	21.9	13.6	47.5	38.5
補助幹線 (81)	50.4%	20.7%	10.1%	18.8%	9.6	6.7	52.4	38.6
生活道路 (81)	4.3%	7.0%	68.3%	20.3%	0.1	0.3	61.5	35.4

体の変動の決め手となっていることが分かる。

この理由は今回の調査を様々な混雑下で実施したことが関係している。調査において、運転者はエコドライブを意識していないので、閑散時以外は周囲の状況に合わせて流れに沿った運転をした。この場合、観測される運転挙動の違いには、個人差よりも置かれた状況の差、すなわち混雑レベルの違いが色濃く反映されたと考えられる。停止時間の多寡は、この混雑レベルを象徴的に表わす現象であったと言える。したがって、停止時の燃料消費量は全体に対するシェアとしては少ないが、様々な混雑状況が含まれる今回のデータによれば、全消費量の変動に対する寄与率が高くなったものと考えられる。

これに対して、常に閑散としていた生活道路では、停止時の影響は少なく、それに対して走行時加速分の寄与率が7割近くを占めている。こうした道路では、発進時の加速を緩やかにすることや、波状運転の回避が燃料消費量の抑制に効果的と言える。

(4) 燃料消費量に対する走行モードの影響

- 混雑レベル別の分析 -

前節の検討で、燃料消費量全体の変動に対する寄与は、混雑時には停止時の消費分が、閑散時には走行時の加速による消費分が大きいことが確認された。ここでは、混雑の程度を少し細かく分類し、前節と同様に寄与率の分析を試みる。幹線1と2の計160トリップを旅行速度によって4分類し、各モードの燃料消費量が全消費量にどのような影響を与えているのかを分析した。その結果を表-3に示す。走行モードは、走行時加速分と定常走行分をひとまとめにしている。

限られたサンプル数による検討ではあるが、以下のような解釈ができると考えられる。まず、停止時の寄与率は旅行速度15km/h以下と15~20km/hでは大きい。この理由は、旅行速度レベルを分けたとは言え、それぞれの範囲内での旅行速度の大小が影響したためと考えられる。この混雑水準においては、消費燃料全体にとっては走行時の挙動の違いよりも、停止時間がトリップ中にどれだけ多く含まれているかが利くと言える。

旅行速度20~25km/hでは発進時の寄与が大きい。この理由のひとつにはトリップ中の発進回数の違いが挙げられるが、それよりは発進時の加速挙動の個人差が大きかったと推察する。なぜなら、一般にこの旅行速度レベルは混雑しているとはいえ、自由な加速挙動が実現していたと考えられるためである。

さらに、旅行速度25km/hを超える水準となると、定常走行時の速度変動の有無にも個人差が現れ、その差が全消費量に与える影響も少なくない。また、停止時の寄与も39%を占めている。停止時の燃料消費量のシェアはわずかではあるが、閑散時であるからこそ信号による

停止機会の差が全消費量の差としてはっきり現れることで、寄与率が大きくなったと言える。

表-3 消費燃料全体に占める走行モードの影響
- 幹線道路の旅行速度レベル別 -

旅行速度レベル (サンプル数)	共分散比(寄与率)			平均値(cc/km)		
	発進時 加速	走行	停止	発進時 加速	走行	停止
15km/h以下 (37)	9%	44%	47%	17	99	36
15~20km/h (45)	5%	23%	72%	15	86	20
20~25km/h (49)	83%	11%	6%	14	73	13
25km/h超 (29)	34%	26%	39%	8	71	5

5. 結論と今後の課題

本研究では、エコドライブによるCO₂削減の可能性と交通の混雑状況との関連を検討した。運転者へのよりきめ細かな啓発に必要な知見として以下の結果を得た。

混雑時には、発進時の加速挙動の改善による環境負荷軽減は期待できず、加えて波状運転や低速度での運転を余儀なくされる。そこで、エコドライブとしては停止時のアイドリングストップを心がけるべきである。

閑散時においても、やはり停止時にアイドリングストップを実施することで確実に環境負荷を軽減できるが、発進時の加速挙動の改善や波状運転の回避によって、アイドリングストップによる効果量をはるかに上回る環境負荷軽減が期待できる。

この混雑レベルの閾値は20km/h程度と推察される。

今後の課題としては以下が挙げられる。

被験者にエコドライブを意識した運転と通常運転の両方を実践してもらい車両挙動を比較する。そして、エコドライブ実践時に走行中のどの挙動による消費燃料が削減されるかを混雑レベルごとに検証する。

その際、燃料消費量の推定モデルとしては、加速度の大きさが変数となっていることが望ましいと考える。

加速挙動をゆるやかにすることや波状運転を回避すると言った運転者側の努力が功を奏するには、ある程度、交通の円滑性を確保する必要がある。今回、その水準として旅行速度20km/hという閾値を示した。この値についてさらなる検証を試み、エコドライブが期待できるとした場合に、交通管理者サイドとしてどの程度の円滑化を目指すべきか、すなわち環境負荷軽減という観点からの交通円滑化の目標水準を確立する。

参考文献

- 1) 交通エコロジー・モビリティ財団、「エコドライブの普及報告書」、平成19年3月
- 2) 谷口正明、大口敬、岡本智、「実用燃費の要因構造に関する研究」、自動車技術会論文集Vol.28、No.1、pp.59-64、1997