

混雑時におけるエコドライブの効果

Effects of Eco-Drives under Various Conditions of Traffic Smoothness*

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。一口にエコドライブといってもその内容は様々である。具体的には、アイドリングストップやアクセルの踏み込みを加減するような運転操作によるものから、無用な荷物を積まない、さらにはタイヤの空気圧を適性に保つといった点検整備に類するものがこれに含まれる¹⁾。この様に、CO₂排出量を左右する要因は多岐にわたる。

このうち、走行中における具体的な運転操作について言えば、加速を緩やかにすることや、速度変動が少なくなるように走ることが挙げられる¹⁾。こうした車両挙動は、運転の自由度が高い閑散時には実現が容易と考えられる。しかし、速度が低く抑えられる混雑時には、周囲の車両の存在によって自車の動きが制約を受けるために、頻繁な停止発進を余儀なくされるなど、思うような車両挙動が実現できない可能性がある。そこで、エコドライブを意図した運転操作によって、混雑時においてどの程度の車両挙動の変化をもたらし、それが消費燃料削減につながるかを公道での走行実験によって確認する。

2. 研究の考え方

(1) エコドライブ中の運転挙動の実態把握

複数の被験者に普段の運転とエコドライブの両方を実践してもらい走行実験を行う。多様な混雑状況からのデータを得るために、実験は公道上で行う。そして、混雑の程度にかかわらず、普段の運転とエコドライブとで、車両挙動に相違が見られるか否か、さらにはそれによって環境負荷軽減をもたらすか否かに着目した分析を行う。

(2) エコドライブの評価方法

CO₂排出量は燃料消費量と比例関係にあることから、

本研究では燃料消費量によってエコドライブの効果を評価する。そして、その燃料消費量を車両挙動から推定することとする。この理由は、本研究では車両挙動の変化に伴う燃料消費量の削減量を検証することをねらいとしているためである。燃費計を用いて燃料消費量を直接計測する方法も有力であったが、混雑時の車両挙動の相違が明確に現れるか否かが不明であったことから、車両挙動以外の影響や計測誤差が含まれ得る直接計測という手段を避けたものである。

計算方法には谷口ら²⁾のモデルを活用する。このモデルは燃料消費量 F [cc/km]を次式(1)～(3)によって求める。この計算方法では、走行時の消費燃料の算出にあたり、加速エネルギー当量を変数として用いているので、速度変動の少ない運転を試みることによる燃料消費量の削減効果を求めるのに適していると考えた。

$$F = F(idle) + F(run) \cdots (1)$$

$F(idle)$: アイドリング時燃料消費量[cc/km]

$F(run)$: 走行時燃料消費量[cc/km]

(1)式において停止時消費分 $F(idle)$ は次式(2)の通り。

$$F(idle) = 0.345 \times T(idle) \cdots (2)$$

$T(idle)$: 1km 走行あたりの停止時間[sec/km]

そして走行時消費分 $F(run)$ は次式(3)の通り。

$$F(run) = 27.6 + 0.3102 \times T(run) + 0.05636 \times AAEE \cdots (3)$$

$T(run)$: 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

3 走行実験³⁾

(1) 実験の概要

図-1に実験コースを示す。コースの起終点はつくばエクスプレスの柏の葉キャンパス駅とし、国道16号

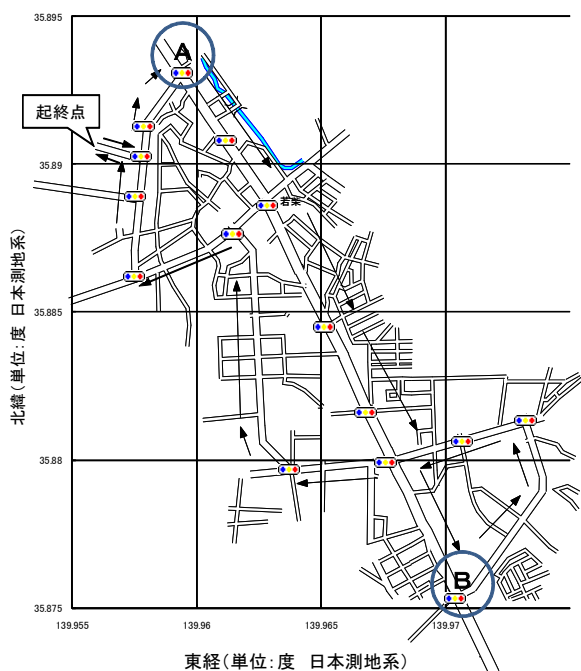
*キーワード: エコドライブ、交通管理

**正員、工修、科学警察研究所

(E-mail: mori@nrips.go.jp)

***非会員、博(情)、科学警察研究所

(E-mail: makishita@nrips.go.jp)



図－1 実験コース

の若柴交差点を中心に8の字を逆に描く全長約6.2kmを周回することとした。コース選定にあたっては、様々な混雑状況を呈するエリアであることと、幹線道路を含むことを考慮した。

被験者は、第1種中型自動車免許を保有していることと、運転経験が1年以上あることを条件として公募した。その結果、30～50歳の男性8名、60歳以上の男性7名、30～50歳の女性2名、合計17名が被験者となった。

(2) 実験要領

各被験者はコースを6周した。1～2周目は普段通りの運転をしてもらい、3～6周目はエコドライブを行うものとした。エコドライブを普段の運転より後に設定したのは、先にエコドライブを実践すると、その運転の仕方が身についてしまい、後で行う普段の運転に影響することを懸念したためである。

実験は、平成19年11月19日～12月13日の間の平日に実施した。時間帯は日中とし、午前1人、午後1人のペースで行った。実験時の混雑状況は被験者によって異なり、比較的午後の方が混雑する傾向にあった。全ての走行を通じて、コース1周の平均旅行時間は約23分、標準偏差は約3分であった。

実験用の車両として2,000ccクラスの乗用車（オートマチック車）を準備した。全ての被験者がこの車両を使うことで、車両による加速性能の相違を排除した。実験車にはアクセル開度、ブレーキ踏力、速度、前後加速度などを計測するセンサー及び車両の前方と後方の状況を撮影するためのビデオカメラを搭載した。

(3) 被験者に対するエコドライブの教示

エコドライブの実践にあたっては、「ふんわりアクセル」と称し、5秒かけて20km/hになるつもりで発進するように求めた⁴⁾。そして、余裕のある車間距離を保ち、できるだけ加減速を抑えることを求めた。さらに減速時には、信号や先行車の動静に注意を払い、早めのアクセルオフを求めた。

実際の走行場面におけるエコドライブの実施については、被験者自身の判断に任せることとした。被験者にはこうした実験内容を十分に説明し、実験に参加することの同意を得た。

4. エコドライブの効果検証

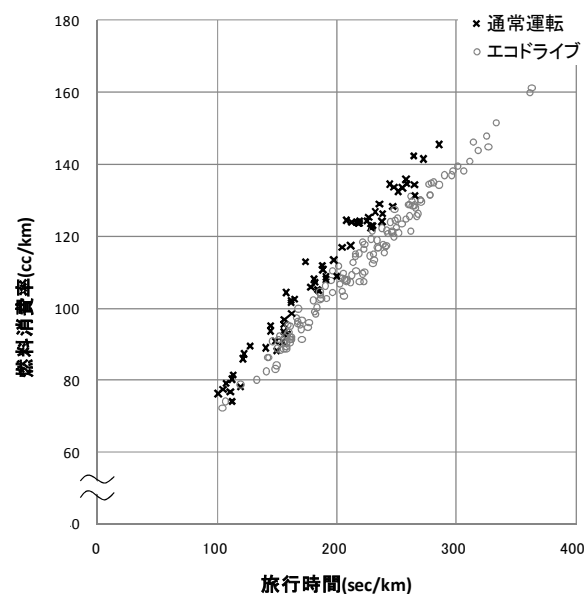
(1) 旅行時間と消費燃料の関係

図－2は、観測された実験車の旅行時間と、(1)式によって算出した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）との関係をみたものである。普段の運転を行った場合（以下、通常運転時）と、エコドライブ時とを比較して示している。比較にあたっては、1周6.2kmの周回コースを「幹線道路区間（図－1のA→B）」と「それ以外」の2区間に分けている。すなわち、1つ1つのプロットは1区間分のデータを意味する。データ量は以下の通りである。

- ・通常運転時：68件（17人×2周×2区間）
- ・エコドライブ時：134件（17人×4周×2区間－欠損2）

図－2をみると、まず横軸方向の旅行時間の広がりから、今回の実験が、当初のねらい通り様々な混雑レベルで実施されていたことがわかる。

そして、通常運転時とエコドライブ時で燃料消費率を比較すると、混雑レベルにかかわらず、エコドライブ



図－2 エコドライブの効果

時の方が低い傾向が見られる。すなわち、旅行速度が低く抑えられる混雑時であっても、アクセルやブレーキを加減しながら速度変動を少なくすることを心がけることで、消費燃料は少なくなることが確認されたとと言える。

(2) 混雑レベル別のエコドライブの効果

次に、混雑の激しさによって、エコドライブの効果に相違があるか否かを検討する。混雑の激しさを表す指標としては単位走行距離あたりの旅行時間を用いる。表-1は、旅行時間レベル別に、通常運転時とエコドライブ時の燃料消費率を比較した結果である。そして図-3は、表-1に示した燃料消費率の削減量と削減率を、グラフで示したものである。

表-1をみると、旅行時間レベルに関わらず、エコドライブ時の燃料消費率は通常運転時よりも低い傾向が見られる。そして図-3より、サンプルが少ない旅行時間120sec/km以下と270sec/km超レベルを除くと、エコドライブによる消費燃料の削減効果は5.2～9.6cc/km、率にして5.0～7.7%である。

表-1 エコドライブによる消費燃料削減効果

混雑レベル		サンプル数 (注1)		燃料消費率 cc/km (注2)			
旅行時間 sec/km	旅行速度 km/h	通常 運転	エコ ドライブ	通常 運転 [A]	エコ ドライブ [B]	削減量 [A-B]	削減率 (注3)
120以下	30以上	8	3	77.9	75.1	2.8	(3.6%)
120-150	24-30	8	7	89.9	84.7	5.2	(5.8%)
150-180	20-24	13	28	99.2	92.8	6.4	(6.4%)
180-210	17-20	12	22	110.7	105.1	5.5	(5.0%)
210-240	15-17	15	26	124.0	114.4	9.6	(7.7%)
240-270	13-15	10	27	134.1	124.6	9.5	(7.1%)
270超	13未満	2	21	143.5	140.4	3.1	(2.2%)

(注1) サンプル数の合計値は以下の通り

- ・通常運転時: 68 (17人×2周×2区間)
- ・エコドライブ時: 134 (17人×4周×2区間-欠損2)

(注2) 式1による推定値

(注3) 削減率=(A-B)/A

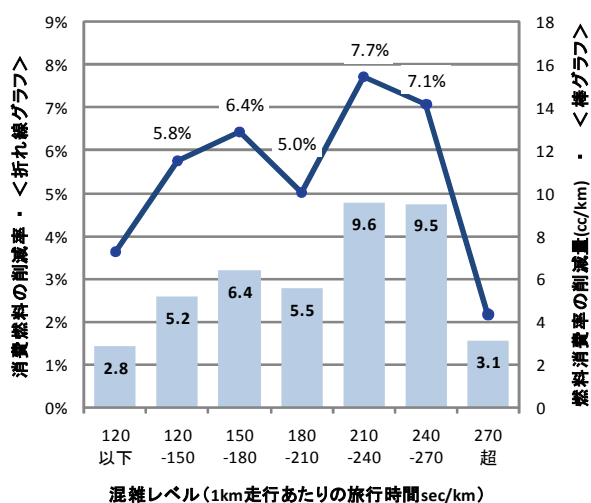


図-3 エコドライブによる燃料削減効果

・削減率は式1による燃料消費率に基づき算出

(3) エコドライブによる旅行速度低下の可能性

図-2をみると、エコドライブ時に旅行速度が遅いケースが多く、通常運転時に旅行速度が速いケースが多い。そして、表-1からも旅行時間270sec/kmを超える記録にはエコドライブ時が多い。こうした偏りが生じた理由は2つ考えられる。ひとつは実験エリアにおいて混雑が激しくなる時間帯が、エコドライブ時と重なったためである。特に、午後の実験において、エコドライブの周回が混雑の激しい夕方になったことが影響したと推察する。もうひとつは、エコドライブ時には加速を緩やかにすることを心がけているために、結果として旅行速度が低下することである。旅行速度の低下は燃料消費率の増加に結びつくので、せっかくのエコドライブが実は旅行速度の低下をもたらし、効果が打ち消された可能性がある。ここではその点を検証する。

エコドライブ時の実験車の旅行時間が、同時刻における他車の旅行時間よりも長かったか否かを検証するために、実験コース付近の光学式車両感知器で得られる旅行時間データを活用する。すなわち、実験車の旅行時間と、感知器によって推定される旅行時間を比較し、両者がほぼ一致していれば、実験車の旅行時間の増加は、エコドライブによるものでなく、混雑によるものとなる。

比較するのは周回コースの幹線道路区間であり、感知器との位置関係は図-4の通りである。対象区間は完全には一致しないが、7割程度は重なっている。

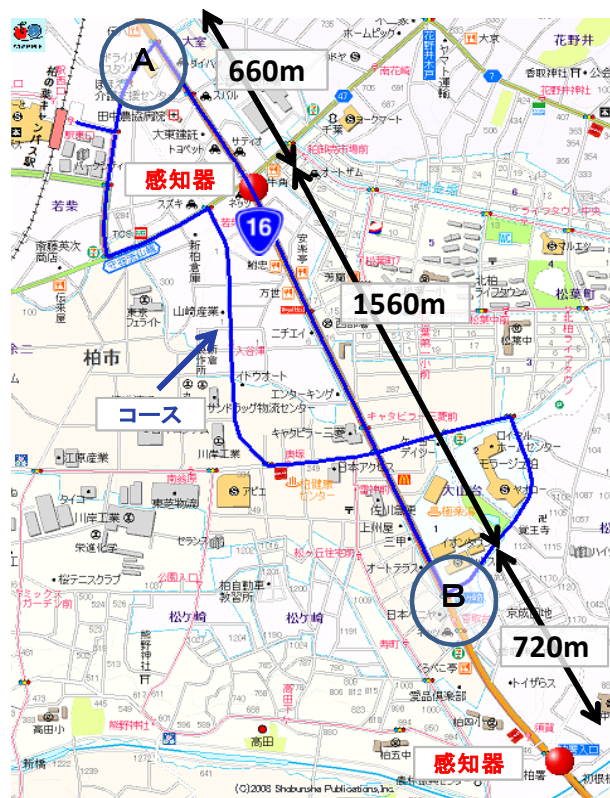


図-4 実験コースの幹線区間(A→B)と感知器の位置関係

感知器データによる旅行時間の推定方法は以下の通りである。まず、実験車が図-4のA地点を右折して国道16号へ入る前後5分の間に、上流側の感知器で捕捉された一般車両のうち、下流の感知器でも捕捉された車両をヒット車両とした。そして、当該5分間のヒット車両の旅行時間の中央値を感知器による推定旅行時間とした。

光学式車両感知器では VICS 対応の車載器を搭載した車両しか捕捉できないが、ほとんどの実験周回で数台から10台程度のヒット車両が捕捉された。ヒット車両がいなかった場合は、実験車が16号へ進入する前後5分の範囲を超えて最も近い時間にヒットした車両の旅行時間を推定旅行時間とした。

図-5は感知器による推定旅行時間と実験車の旅行時間の関係をプロットしたものである。両者は必ずしも一致せず、かなりのばらつきがあり、かつ旅行時間が長い右上に布置されたプロットには、実験車の旅行時間が大きくなるという偏りまで見受けられる。しかし、こ

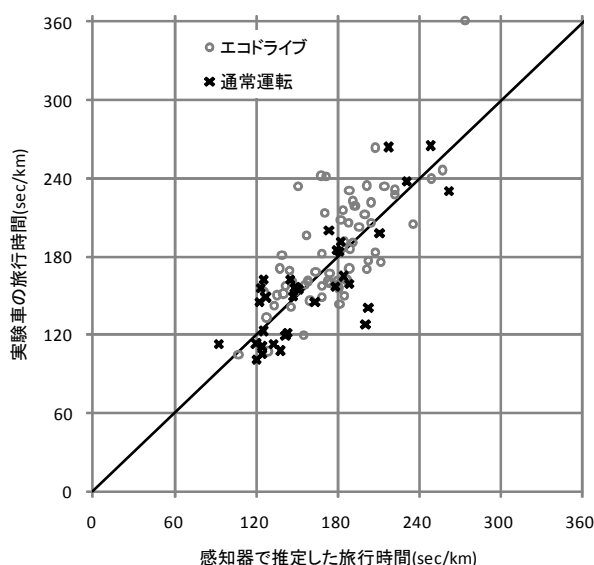


図-5 感知器旅行時間と実験車旅行時間

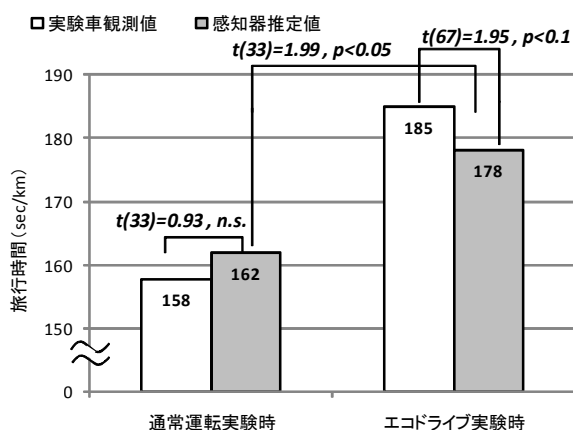


図-6 感知器と実験車の旅行時間

でのねらいは、エコドライブ時と通常運転時とで混雑状況に相違があったか否かを知ることであり、そのような検証には耐えうるデータと考えた。

図-6は、感知器による推定旅行時間と実験車による旅行時間を実験モード別（通常運転とエコドライブ）に比較した結果である。感知器による推定旅行時間をみると、通常運転時が162sec/kmであるのに対し、エコドライブ時は178sec/kmと長い。両者の差について、それぞれの母分散が未知で異なるものとし、t検定を行ったところ、統計的に有意な差があった（ $t(33)=1.99$, $p<0.05$ ）。つまり、エコドライブ実験時は平均的にみて通常運転時より混雑が激しい状況下で実施されていたと言える。こうした偏りが生じた理由としては、先にも述べたとおり、エコドライブを実施した時間帯が、夕方の混雑時に差し掛かることが多かったためと考えられる。

次に、感知器と実験車との旅行時間の差についても、同様にそれぞれの母分散が未知で異なるものとし、t検定を行ったところ、通常運転時には有意な差はなかった（ $t(33)=0.93$ ）。通常運転時には、実験車と他車で旅行時間に差がないことは至極当然の結果と言える。

これに対して、エコドライブ時は、実験車の旅行時間が感知器で推定された旅行時間より長い傾向がみられた（ $t(67)=1.95$, $p<0.1$ ）。つまり、エコドライブをすると周囲の車より後れをとることを示唆している。その程度を旅行時間の増加に換算すると、図-6より約7sec/kmである。

この7sec/kmの旅行時間の伸びによる燃料消費率の増加量は、(3)式の第2項で試算すると約2.2cc/kmとなる。一方、図-3によると、エコドライブによる燃料消費率の削減量は、例えば、旅行時間210sec/km以上の混雑時には9cc/km以上見込まれる。すなわち、エコドライブの実践は、旅行時間の伸びによって消費燃料の増加をもたらすが、エコドライブという行為そのものによる消費燃料の削減量が大きく、十分に効果があるものと考えられる。

(4) 被験者別にみたエコドライブの効果

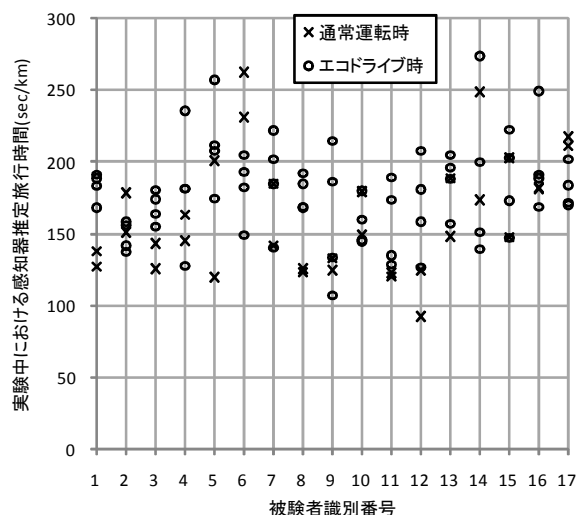
走行実験に際して、具体的なエコドライブの方法については、「3.(3)」で述べたとおり、全ての被験者に対して共通の指示を行っている。しかし、その実践については被験者の判断に委ねており、被験者によって上手にこなすことができた者とそうでない者がいた可能性がある。被験者ごとにエコドライブ効果の相違を把握することは、今後の普及啓発のあり方を考える上で意義がある。そこで、こうした点について検証を試みる。

まず、図-7は17人の被験者の各6回の実験中における感知器で推定された旅行時間を整理したものである。この図より、各実験がどの程度の混雑状況下で実施され

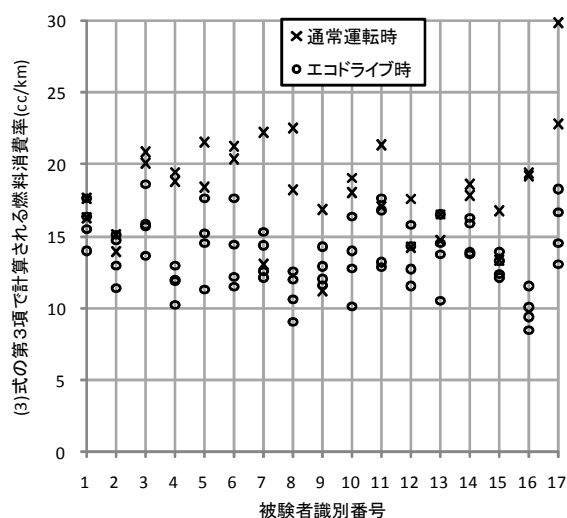
たかが概観できる。横軸に被験者を並べ、縦軸が混雑度合いを表す感知器推定旅行時間である。被験者1人あたり通常運転時が2ケース、エコドライブ時が4ケースの都合6つの値がプロットされている。

これをみると、実験時の混雑状況は被験者によってばらついている。加えて、通常運転時とエコドライブ時とで混雑状況が異なる。例えば、被験者1,3,8,11,12は通常運転時の2ケースがいずれもエコドライブ時の4ケースより閑散時に実施されている。逆に被験者6,17は通常運転時の2ケースがいずれもエコドライブ時の4ケースより混雑時に実施されている。燃料消費率が旅行時間に支配的な影響を受けることから、こうしたデータを用いて、被験者別に(1)式で計算される燃料消費率によってエコドライブの効果量を比較することは適切ではないと考える。

そこで、ここでは(1)式の代わりに(3)式の第3項によってエコドライブ効果量の比較を試みる。(3)式の第3項は走行時に消費する燃料のうち、加速エネルギー当量



図－7 被験者別にみた実験時の混雑状況



図－8 被験者別にみた実験毎の燃料消費率

表－2 被験者別にみたエコドライブの効果

被験者	燃料消費率 cc/km (注1)			
	通常運転 [A]	エコドライブ [B]	削減量 [A-B]	削減率 (注2)
1	17.0	15.9	1.1	(6%)
2	14.5	13.5	1.0	(7%)
3	20.5	15.9	4.6	(22%)
4	19.1	11.8	7.3	(38%)
5	20.0	14.7	5.3	(27%)
6	20.8	13.9	6.9	(33%)
7	17.7	13.6	4.1	(23%)
8	20.4	11.0	9.4	(46%)
9	14.0	12.7	1.3	(9%)
10	18.6	13.3	5.3	(28%)
11	19.2	15.1	4.1	(21%)
12	15.9	13.6	2.3	(14%)
13	15.6	13.8	1.8	(12%)
14	18.2	15.0	3.2	(18%)
15	15.1	12.9	2.2	(15%)
16	19.3	9.9	9.4	(49%)
17	26.3	15.6	10.7	(41%)

(注1) (3)式の第3項で計算される値

(注2) 削減率=(A-B)/A

によって影響を受ける消費燃料を意味しており、エコドライブによって加減速の少ない運転を行ったことによる効果を部分的に検証できると考える。図－8は17人の被験者の各6回の実験中において、(3)式の第3項で計算される燃料消費率を整理したものである。

図－8をみると、全体的にエコドライブ時の燃料消費率が通常運転時よりも低い傾向が見られる。17人中9人の被験者(3, 4, 5, 6, 8, 10, 14, 16, 17)はエコドライブ時の4ケースがいずれも通常運転時の2ケースより燃料消費率が低くなっている。さらに被験者別に通常運転時とエコドライブ時の燃料消費率の平均値を比較した結果を表－2に示す。これをみると、被験者によって燃料消費率の削減効果にばらつきはあるものの、全ての被験者がエコドライブによって燃料消費率を低下できていることがわかる。削減効果が比較的低いのは被験者1, 2, 9であるがこの3人はいずれも通常運転時の燃料消費率が低く、普段の運転から省エネ運転が実現できているためにエコドライブ時と通常運転時との消費燃料の差が少なかったものと推察される。

5. 結論と今後の課題

(1) 結論

本研究では、エコドライブを実践することによって、混雑時においても消費燃料が削減されることを走行実験により確認した。削減量は約5～9cc/km、率にして5～7%程度である。

一方、エコドライブによって旅行速度が低下する傾向が見られ、その量は、旅行時間になると約7sec/kmの増

加である。これに伴い燃料消費率は約2.2cc/km増加すると推定される。この増加量は、上述したエコドライブによるそもそもの消費燃料の削減量よりは少なく、旅行速度が低下するからと言ってエコドライブの効果がなくなると言うことではないことが確認された。

また、エコドライブの効果を被験者別にみると、被験者17人全員について、速度変動が少なくなる運転が実現できていたと見られ、エコドライブによる燃料消費率の削減傾向が確認された。

(2) 今後の課題

今回、エコドライブとしてアクセルやブレーキの加減を取り扱ったが、これに信号待ち時のアイドリングストップを加えて、エコドライブの効果を検証する必要があると考える。

なぜなら、今回の実験で実践したアクセルやブレーキの加減は、ペダルカットを多用するために、緩やかに停止していく挙動が生じやすい。そのため、1回あたりの停止時間が短くなる傾向がある。一方、アイドリングストップは、こまめに停止するよりも1回あたりの停止時間が長いほど実施効果が高いという特徴がある。そこで、アイドリングストップの効果を含めてエコドライブの効果量を明らかにすべきと考える。

一方、今回の検討結果からは、エコドライブを実践すると、わずかながら旅行時間の増加傾向が確認された。このことより、追い越しができない道路においては、エ

コドライブ実践車が存在することによって、交通流全体の旅行速度が低下する可能性がある。交通流の中にエコドライブをする車としない車が混在した場合、エコドライブをしない車は、こうした旅行速度の低下に伴う消費燃料の増加という影響だけを被り、その車の消費燃料が増加する可能性がある。

そこで、交通流全体としてみた場合のエコドライブの効果を検証する必要があると考える。その際、エコドライブ実践車が交通流に占める割合と、交通流全体としての燃料削減効果との関係を把握することが重要と考える。両者の関係が明らかになれば、エコドライブ啓発のための具体的な目標設定において参考となる資料が得られると考える。

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、2007
- 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
- 3) 牧下寛、森健二、「エコドライブを意識した運転時の車両挙動と反応時間」、交通工学、44-2、pp.68～77、2009
- 4) 谷口正明、笠井純一、三分一寛、「発進時の省エネ運転意識と燃料消費量」、自動車技術会2006年春季学術講演会概要集20055304、2006

混雑時におけるエコドライブの効果*

森 健二**・牧下 寛***

エコドライブに伴うアクセルやブレーキを加減する運転操作が、交通混雑の激しい場面においても効果があるか否かを、実際の道路における走行調査によって明らかにした。その結果、混雑している状況下においても消費燃料が削減されることを確認した。削減量は約5～9cc/km、率にして5～7%程度と考えられる。一方、エコドライブによって旅行速度が低下する傾向が見られ、それによる燃料消費率の増加分は約2.2cc/kmと見積もられる。この程度の増加であれば、上述したエコドライブによるそもそもの消費燃料の削減効果は相殺されないと考えられる。

Effects of Eco-Drives under Various Conditions of Traffic Smoothness*

By Kenji MORI**・Hiroshi MAKISHITA ***

The purpose of this research is evaluating the effects of Eco-driving under heavy traffic. We used the approximate 6.2-km route in Kashiwa district, Chiba Prefecture as an experimental course. The course was decided to simulate common traffic situations in urban areas. Seventeen participants drove the experimental vehicle : a 2,000-cc class passenger car with an automatic transmission. We measured speed and vehicle acceleration using sensors equipped on the experimental vehicle. The average fuel consumption decreased 5-7% by Eco-driving. On the other hand, Eco-driving lengthened travel time, but fuel consumption due to it was less than the amount of decrease by Eco-driving.
