

千葉県におけるエコドライブ調査（Ⅰ）

－ 高速道路における調査結果 －

竹内和俊

1 はじめに

地球温暖化の原因物質である二酸化炭素（CO₂）の自動車からの排出量削減の有効な手段の一つとして「エコドライブ」が挙げられ、その実施効果については10%を超えるという報告例¹⁾もある。一方、地域における自動車の走行状態は、運転方法だけでなく地域の道路網、土地利用状況、地形等の要件によって変化するため、単にエコドライブと言ってもその実施に係る要因は地域の実情によって異なることが考えられる。

そこで、本調査研究においては、実走行試験によって千葉県の各種道路における自動車走行状態と燃料消費の関係を把握、解析し、燃料消費の少ない運転条件について考察する。その結果から、低燃料消費・低CO₂排出走行のための要件を整理して千葉県におけるエコドライブ方法について検討し、自動車からのCO₂排出量の削減を推進することを目的としている。本報では、実走行試験のうち高速道路を対象とした調査の結果について報告する。

2 調査方法

調査は走行ルートを設定し、車載式ディーゼル自動車排気ガス測定装置及びGPS航法装置による走行計測システム²⁾を搭載した試験車両を実走行し、1回/秒の頻度で試験車両の空燃比（A/F）、位置（緯度・経度、高度）及び車速などを収録することにより行った。

2・1 走行ルート

高速道路を対象としたルートは次の2ルートで、各調査日に該当するルートを1往復することにより試験を実施した。

ア 館山道ルート：館山道市原インターから富津竹岡インターに至るルート

イ 京葉道路等ルート：館山道市原インターから宮野木ジャンクションを経由して、京葉道

路市川インターに至るルート

このうち、館山道ルートは交通量が少なく、ほぼ自由流の状態にあると判断されるため、80km/時前後の定速走行試験を行い、道路勾配の燃料消費に対する影響について検討した。また、京葉道路等ルートについては、主に走行車線を対象に前方車両に追従する実走行試験を行い、燃料消費に対する車速など各種要因の影響について検討した。

2・2 調査日時

ア 館山道ルート：2009年10月6日9時～11時、14日8時～10時及び27日8時～10時

イ 京葉道路等ルート：2009年10月22日8時～10時及び26日8時～10時

2・3 試験車両

試験車両には、ディーゼル平積み2tトラックをレンタルして用いた。試験車両には2名が乗車し、車載式ディーゼル自動車排気ガス測定装置など約50kgの試験装置を搭載した。

試験に用いた車両の諸元を表1に示す。

2・4 主な測定項目及び方法

ア 空燃比及びNO_x濃度：直挿型NO_x・A/F分析計MEXA-720NO_x（株）堀場製作所製）により測定した。

表 1 試験車両の諸元

種別・用途	小型貨物
車体形状	キャブオーバ
初度登録年	1997年4月
メーカー	ニッサン
型式	KC-SP4F23
定員	6人
車体最大積載量	1250kg
車両重量	1690kg
車両総重量	3270kg

イ エンジン回転数 : FV コンバータ ((株) 京都エス・アール製) により ECU (電子制御ユニット) のエンジン回転数を収録した。

ウ 外気温 : 温湿度変換器 THT-B121 (神栄(株)製) により測定した。

エ 車速及び緯度・経度 : パイオニア・ナビコム(株)製 GPS-303PT を用いた GPS 航法装置による走行計測システム (三井造船(株)製) ²⁾ により測定した。

オ 高度 : 簡易 GPS システム WBT-201 (Wintec 製) により測定した。

2・5 燃料消費量等推計方法

燃料消費量は、以下に示す簡易法により各項目を算出して推計した。

ア 排気ガス量 : 排気ガス量 (L/秒) は、試験車輛のシリンダー容積、エンジン回転数及び充填効率などから算出した。

イ 新気量 : 新気量 (g/秒) は、空気の平均分子量 28.966、空気の酸素含有率 20.93%、セタンの平均 CH 組成を CH_{2.13}(軽油:CH_{1.8} ~ CH_{2.1})、軽油比重 0.860 (0.8017 ~ 0.8762) として完全燃焼を仮定して排気ガス量から推計した。

ウ 燃料消費量 : 燃料消費量 (g/秒) は、新気量を空燃比 (A/F) で除して算出した。

2・6 交通量

交通量は、東日本高速道路(株) (NEXCO 東日本) から提供された区間交通量データを使用した。

なお、提供された区間交通量データのうち京葉道路等ルート「蘇我～松ヶ丘」間の下り線交通量は欠測であったため、前後の区間交通量の平均値で補填した。

2・7 各種データの取扱

ア 加速度 : 加速度 (km/時/秒) については、GPS 装置の車速測定精度等を考慮して -7km/時/秒未満及び 7km/時/秒超過を欠測とした。速度及び加速度による各モードの判定条件を表 2 に示す。

なお、10月26日(月)に実施した京葉道路等ルートの調査においては、走行計測システム

表 2 走行モード判別条件

モード	速度 (km/時)	加速度 (km/時/秒)
停止	0	0
定速	0 超過	-0.5 超過 または 0.5 未満
加速	0 以上	0.5 以上
減速	0 以上	-0.5 以下

の GPS アンテナ不良により緯度・経度、車速及び積算距離が欠測となった。そこで、簡易 GPS の WBT-201 のデータを使用し、欠測処理についても同様に行った。

イ 道路勾配 : 道路勾配(%)は、走行計測システムによる 1 秒毎の移動距離及び簡易 GPS による 1 秒毎の高度差から算出(上り勾配:正, 下り勾配:負)した。

なお、道路整備に係る基準を参考として、1 秒毎の勾配については-9%未満及び 9%超過を欠測とした。

3 調査結果

3・1 燃料消費量推計値の評価

前述のように、ここでの燃料消費量の推計方法は極めて簡略化した方法である。そこで、燃料消費量が実際にどの程度の精度で推計されているかについて、給油量との関係から評価した。

高速道路などを対象に実施した実走行調査の後、適宜給油を行い、給油量及び走行距離と積算した推計燃料消費量の関係をそれぞれ図 1 及び図 2 に示す。

なお、図 1 の回帰式はピンクの 1 点を除いたものである。

図 1 から、ピンクの 1 点だけ推計燃料消費量が給油量より明らかに少ないことが分かる。この 1 点は初回給油時の関係を示したもので、レンタカーとしてのディーゼル平積み 2t トラック納入時の給油レベルがその後のガソリン・スタンドでの給油レベルに比べ少なかったことの影響と考えられる。実際に、この 1 点の推計燃料消費量も図 2 の走行距離とは良い関係にある。

したがって、ここでの推計燃料消費量は図 1 の一次回帰式から、ほぼ給油量の 90%を説明しており、概ね良い関係にもあると評価することができる。

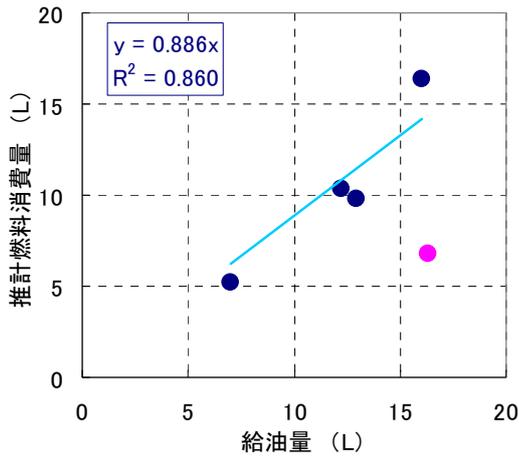


図 1 給油量と推計燃料消費量の関係

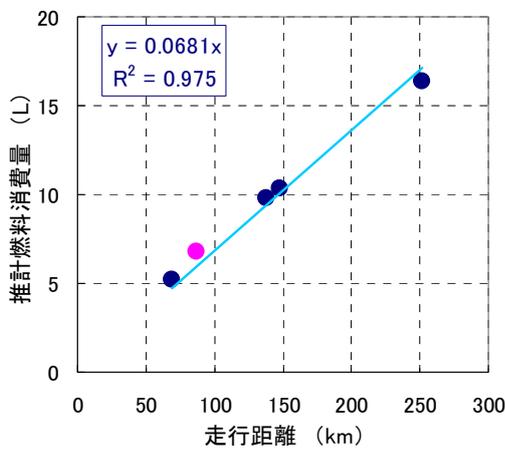


図 2 走行距離と推計燃料消費量の関係

3・2 道路勾配が燃料消費量に及ぼす影響

館山道ルートにおける実走行調査の一例を図 3 に示す。館山道は GPS 衛星の電波受信状況が良く、簡易 GPS の高度測定の高再現性も良好であった。そこで、館山道ルートについては、図のようにルート上の全行程を起伏に従って区間に分割（図 3 の赤矢印）し、道路勾配が燃料消費状況に及ぼす影響について各区間の測定結果から検討した。

各区間の平均勾配及び平均燃料消費量を求め、その関係を図 4 に示す。さらに、同様の関係を各区間の走行モード別に集計し、図 4 と同様に求めた一次

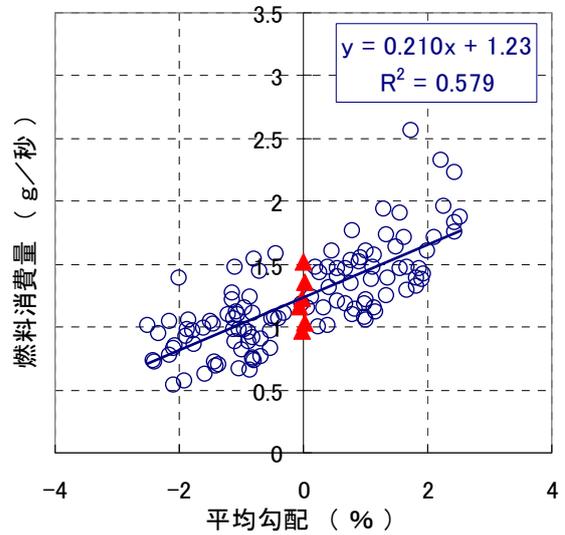


図 4 平均勾配と燃料消費量の関係

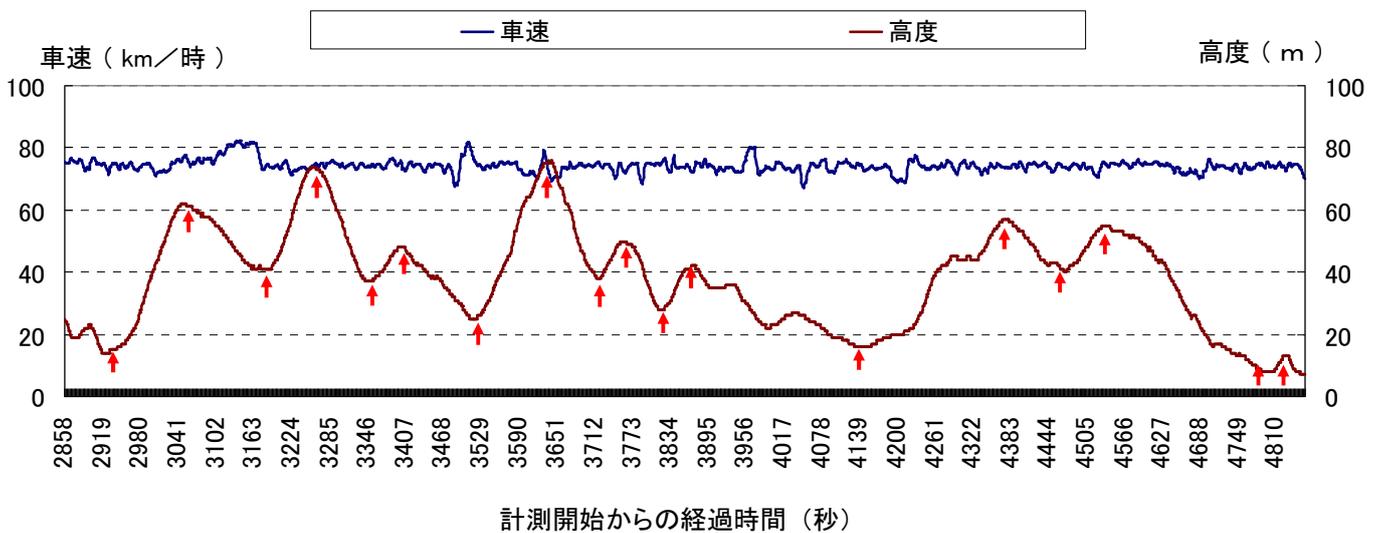


図 3 館山道上り線における実走行試験例 (2009 年 10 月 14 日 9 時～10 時)

表3 走行モード別平均勾配と燃料消費量の関係

モード	決定係数	一次回帰式
加速	0.479	$y = 0.220x + 1.58$
減速	0.495	$y = 0.177x + 0.903$
定速	0.593	$y = 0.215x + 1.22$

回帰式等を表3に示す。

なお、図の▲印は全区間の関係で、図示した回帰式の算出には含まれていない。

図4から、燃料消費量は平均勾配と一次的な良い関係にあることが分かる。また、表3から、この関係は走行モードによって異なり、加速時における燃料消費量が高いことが分かる。

勾配自体による燃料消費量は、上り勾配から下り勾配に代わることによりプラス・マイナスの効果があるため、往復走行ではほぼ相殺されることになる。しかしながら、上述の結果からエコドライブ的には、上り勾配では極力加速せず、定速で上ることが望ましいと言える。

これらの結果を燃費 (km/L) の観点から見るため、軽油の比重を0.860として各区間の燃料消費量の合計値と走行距離の積算値から燃費を算出し、平均勾配と燃費の関係を図5に示す。

なお、図の回帰式は上下線を合わせた関係について示したものである。

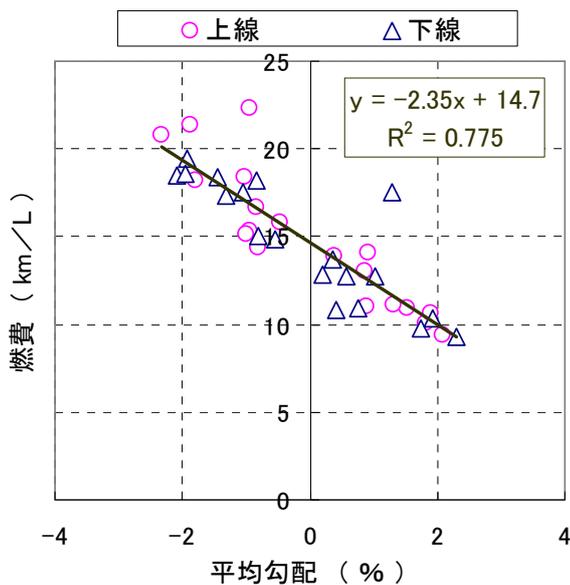


図5 平均勾配と燃費の関係

図から、平均勾配が約-2%~2%の間において平均勾配と燃費は一次的な良い関係にあり、その回帰式から勾配0%の時の燃費は14.7 km/Lである。平均勾配が1%増加すると燃費は12.3 km/Lとなり約16%悪化することになる。なお、図1の関係から、ここでの燃料消費量は給油量の約90%で、実際の燃費はもう少し低いことが考えられる。

ただし、この関係は図に示した平均勾配が約-2%~2%の範囲で言えることであり、平均勾配がこの範囲を超える場合に平均勾配と燃費の間に一次的な関係が成立するとは限らない。また、この回帰式はあくまでも本試験に用いた試験車両における関係であり、基本的には車両総重量とエンジン性能の如何によって回帰係数や切片が変化することが考えられる。さらに、この結果は定速走行試験によるもので、実走行試験結果ではない点にも注意を要する。

3・3 燃料消費量等に及ぼす各種要因の検討

次に、京葉道路等ルートにおける実走行結果から燃料消費量等に及ぼす各種要因の影響について検討を行った。

館山道市原インターから京葉道路市川インターに至る間のインター及び料金所等により、調査区間をKY01~KY12の12区間に分割した。分割した各区間の平均車速、平均加速度及び平均勾配を算出し、提供された区間交通量と伴に同じく区間毎に算出した平均燃料消費量との関係についてP値を基に変数減少法による重回帰分析を行った。また、区間毎の燃費を算出し、同じく平均車速、平均加速度、平均勾配及び区間交通量を説明変数とした重回帰分析を行った。燃料消費量及び燃費を目的関数とした重回帰分析結果を表4に示す。

なお、表4のケース1~3が燃料消費量、ケース4及び5が燃費に関する分析結果である。

表4から、燃料消費量についてはどのケースも各説明変数で良く説明されているが、結果的に燃料消費量は速度、加速度及び交通量でほぼ説明され、最も寄与が高いのは車速であることが分かる。勾配の影響が小さく解析されたのは、館山道に比べ起伏が小さいこと、試験方法が異なること及びGPS衛星の電波受信状況が館山道に比べ悪かったため勾配の

表 4 燃料消費量及び燃費に関する重回帰分析結果

ケース番号	決定係数	重回帰係数				切片	P値				
		車速	加速度	勾配	交通量		車速	加速度	勾配	交通量	切片
1	0.807	0.0145	0.300	0.0861	-0.0000787	0.121	1.15E-11	0.00151	0.0208	0.0242	0.480
2	0.982	0.0155	0.294	0.0913	-0.0000582	—	9.75E-26	0.00165	0.0122	0.00184	—
3	0.979	0.0154	0.307	—	-0.0000623	—	6.87E-25	0.00187	—	0.00163	—
4	0.393	-0.021	-6.77	-0.992	0.00193	14.6	0.541	0.00106	0.211	0.0114	0.000298
5	0.368	—	-7.01	—	0.00227	12.5	—	0.000646	—	0.000471	9.24E-10

再現性が劣っていたことの影響と考えられる。

また、交通量の重回帰係数が負となったのは、調査時には発進・停止を繰り返すような深刻な渋滞が発生せず、例えば船橋～市川間（3車線）のように交通量の多い区間でスムーズな流れになっていたこと、交通量の増加によって車速が低下し、結果的に燃料消費量も低下する現象となったことなどが考えられる。

上述のように、車速が燃料消費量の最も大きな支配要因であったことを示す一例として、図6に上り

線の全区間・全試験の平均燃料消費量を、図7に平均車速をモード別に示す。

図6及び図7から、区間別の燃料消費量と車速の全モードの変化から全体的な傾向は良く一致している。しかしながら、区間別に見ると車速がモード別に殆ど変わらないにも係わらず、燃料消費量はモードにより異なり加速>定速>減速の順に大きく、加速度の影響も受けていることが分かる。

燃費に関する重回帰分析結果からは、あまり良い関係は認められなかったが、燃費は加速度と交通量で説明される傾向にあった。このうち、加速度の重回帰係数は負で、加速の多いアクセル・ワークは燃費を悪化させ、しいてはCO₂排出量を増加させると言える。

一方、交通量の重回帰係数は正で、交通量の増加が燃費を向上させる傾向を示しているが、これは前述のように本試験時には交通量の増加が車速を低下させ経済速度に導いた結果が反映されたものと言える。このことは、高速道路の交通状況を考慮すると、例えばお盆等の帰省ラッシュ時などのように過大な交通状況となり発進・停止を繰り返す状況になるまでは、高速道路の適度な交通量増が低CO₂排出状況に導くことを示している。

また、燃料消費量の大きな支配要因であった車速が燃費の支配要因とならなかった理由は、車速が早くなれば区間通過時間が短縮され、全燃料消費量に大きな差異が生じないためである。

3・4 燃料消費量と汚染物質排出量の関係

京葉道路等ルートにおける区間別NO_x排出量と燃料消費量図の関係を図8に示す。

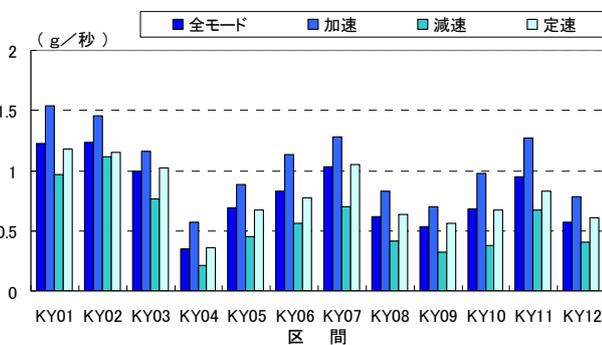


図 6 区間別、モード別平均燃料消費量

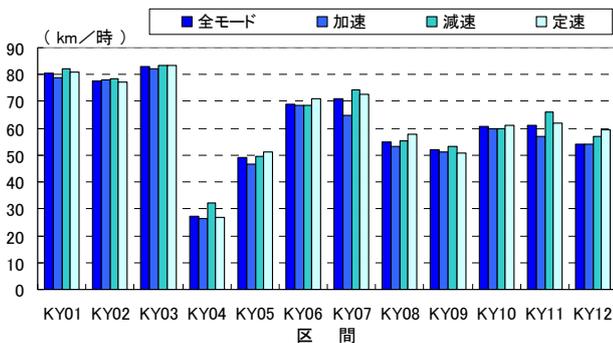


図 7 区間別、モード別平均車速

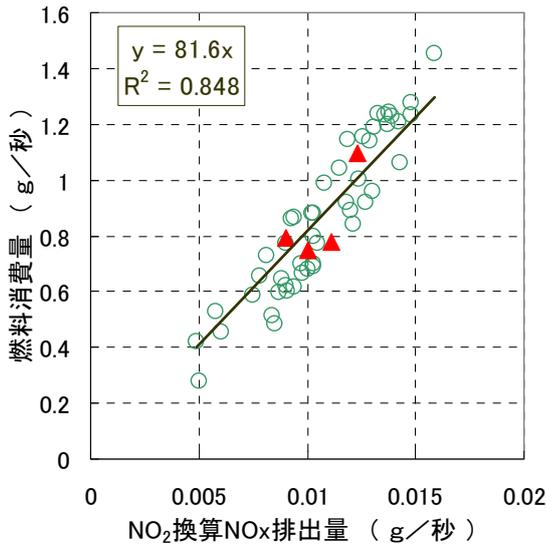


図 8 NOx 排出量と燃料消費量の関係

なお、▲印は全区間における関係を示したもので、図に示した一次回帰式の算出には含まれていない。

図 8 から、NOx 排出量の多い時には燃料消費量も多く、エコドライブを実践することは温暖化防止のため単に CO₂ 排出量を減らすだけでなく、地域の大気汚染の改善にも繋がる事が分かる。

4 おわりに

本報では、千葉県におけるエコドライブ調査のうち高速道路の結果について報告した。高速道路については地域的な特性はあまりなく、ここでの結果は千葉県以外の高速道路についても該当するものと考え

えられる。

高速道路に関する調査をエコドライブの観点から取りまとめると、次のとおりである。

- ア 道路勾配は燃費を悪化させるが、往復走行でその影響は相殺される。ただし、上り坂での加速は燃料消費を悪化させるため、定速で登坂するのが良い。
- イ 高速道路での燃費悪化の主たる原因は加速にあり、加速の少ない定速運転が良い。
- ウ 高速道路における適度な交通量の増加は、燃費を低下させる効果がある。

謝辞

本調査の実施にあたっては、交通量のデータを東日本高速道路(株) (NEXCO 東日本) から提供していただきました。ここに記して深謝いたします。

引用文献

- 1) 加藤秀樹, 小林伸治 : エコドライブにおける燃費改善要因の解析. 自動車技術, 62, 11, 79 ~84 (2008).
- 2) 竹内和俊, 石井栄勇, 吉成晴彦 : GPS 航法装置を用いた交通流調査に関する一考察. JSAE1998 年春季大会学術講演会前刷集, 982, 83~86, 9832323 (1998).

Ecodriving Investigation in Chiba Prefecture (I)
 — Result of the Survey in Expressways —
 Kazutoshi Takeuchi

地球温暖化の原因物質である二酸化炭素の自動車からの排出量低減を図るため、有力な手段であるエコドライブを千葉県において推進することを目的に、実走行試験によって県内の各種道路の自動車走行状態と燃料消費の関係について調査した。ここでは、そのうちの高速道路における調査結果について解析し、加速度や道路勾配などの燃費に対する影響について検討した。その結果、エコドライブ的には上り坂での加速は燃費を悪化させるため、定速で登坂するのが良いことなどが判明した。

キーワード : エコドライブ, 燃料消費量, 燃費, 車速, 加速度, 道路勾配, 交通量