

道路交通からのCO₂排出量の簡易調査と 道路構造の違いによるCO₂排出量変化

土肥 学¹・曾根 真理²・瀧本 真理³

¹正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 環境研究部道路環境研究室 主任研究官
(〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地) E-mail: dohi-m2yz@nilim.go.jp

²正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 環境研究部道路環境研究室長
(〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地) E-mail: sone-s92df@nilim.go.jp

³正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 環境研究部道路環境研究室 研究官
(〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地) E-mail: takimoto-m92ta@nilim.go.jp

実際の道路上における自動車からのCO₂排出量は、カタログ燃費やシャンダイナモ測定値より高いと考えられる。そこで、本調査は、実道路上での自動車CO₂排出量について詳細に把握するため、市販の簡易燃費計を用いて、1秒毎の速度・燃料消費量データを収集する簡易調査法を検討・実施し、実道路上からのCO₂排出量を推定した。また、これらのデータを用いて、単路部・交差点部、道路勾配、交差点立体化、車線数といった道路構造の違いによるCO₂排出量への影響について分析を行った。

これらの調査・分析結果から、(1)簡易燃費計を用いた道路交通からのCO₂排出量の簡易調査法の実用性と留意点、(2)単路部における勾配の有無及び単路部・交差点部によるCO₂排出量の変動傾向、(3)交差点立体化の実施によるCO₂排出量の変動傾向、(4)車線数の違いによる走行特性及びCO₂排出量の変動傾向を把握することができた。

Key Words : CO₂ emissions, automobile, effect factor, road structure, traffic improve measure

1. はじめに

(1) 研究の背景と現状認識

運輸部門から排出されるCO₂排出量は、ここ数年減少傾向にあるものの、日本国内全体の排出量の約2割を占めている。温室効果ガス排出量を2020年までに25%削減し、2050年までに80%削減するという政府方針¹⁾などを達成していくためには、引き続きあらゆる分野において、削減対策に取り組んでいくことが必要である。

運輸部門の大半を占める自動車交通部門における温室効果ガス排出削減対策については、(1)自動車側の対策として自動車自体の燃費改善やエネルギー転換、(2)インフラ側の対策として道路交通流対策や都市構造転換、(3)ドライバー側の対策として公共交通への転換やエコドライブ・アイドリングストップの実施、などが進められているところである。

また、近年、石油価格の高騰やエコドライブ等の励行により、自動車利用者からの運転時の燃費情報に対するニーズが高まりつつある。これにあわせ、自動車技術が向上し、走行時の燃費情報を車内モニター等に表示する機能を装着した自動車が増えつつある。また、既往車へ

の燃料情報表示の外付け装置も普及しつつある。

幾つかの温室効果ガス排出削減対策導入によるCO₂排出量の削減効果の検証²⁾などや、自動車交通部門からのCO₂排出量推計手法に関する研究³⁾などは、既往で行われている。しかし、道路交通流対策のCO₂排出量削減効果を的確に把握するためには、実際の道路上における自動車からのCO₂排出量を詳細に捉えた上で、道路構造の違いによるCO₂排出量の変動特性を分析することが必要である。

(2) 既往研究の動向

実道路上における自動車排出ガス挙動を把握するための先行研究としては、高橋・手塚⁴⁾により、車両に搭載されたOBDより入手した車速・燃料噴射時間・エンジン回転数・吸気管圧力データを用いて燃費消費量を精度良く算出するパーソナル燃費計の開発が行われており、本手法は実道路上での詳細なデータを簡易に収集する手法の一つとして確立されている。また、近藤・小林ら⁵⁾により、車載型排出ガス計測システム及びGPS等車両位置情報を用いた走行動態調査は自動車の走行動態及び道路状況を把握する上で有効な手段であることが示されて

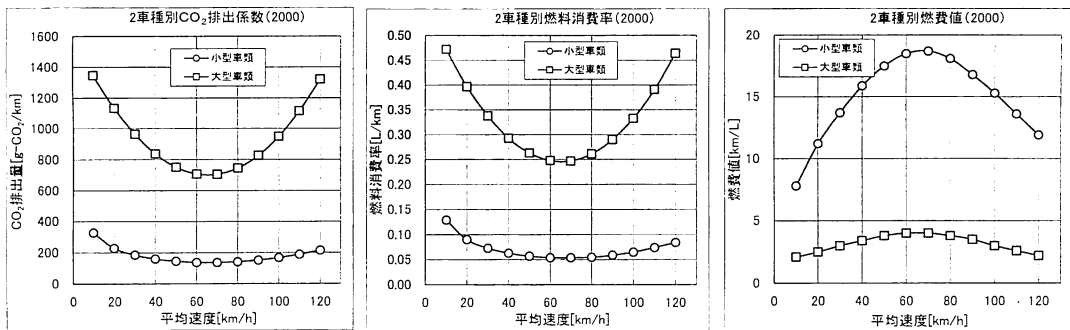


図-1 平均速度別・2車種別CO₂排出係数，燃料消費率，燃費値（2000年次） 参考文献9)を基に作成

いる。道路と排出ガス挙動の関係についての先行研究としては、高田・飯田⁷⁾により交差点及び狭路におけるNO_xの集中的な局所汚染の発生や、山本⁸⁾により急勾配の登り坂における排出ガス増大が確認されている。

(3) 本研究にあたっての課題設定

地球温暖化対策に限らず、大気汚染対策としても、自動車からのCO₂や大気汚染物質などの排出量を把握することは重要である。しかし、自動車排出ガス量測定は従来からシャシダイナモメータを用いた室内試験によるものが中心であり、道路上におけるこれらの排出挙動を的確に捉えることは十分できていないと考えられる。また、既往の先行研究を踏まえると、単路部・交差点部、交差点交差形状(平面交差・立体交差)、車線数・道路改良の有無といった道路構造の違いによるCO₂排出量の変動特性についての知見は未だ十分とはいえないと考えている。

そこで、本稿では、このような背景を踏まえ、市販の簡易燃費計を用いて、道路走行時の自動車の瞬間燃料消費量のデータ収集を行った。また、収集した燃料消費量データをCO₂排出量に換算し、道路走行時のCO₂排出量及びその挙動を把握した。更に、これらのデータを用いて、単路部・交差点部、道路勾配、交差点立体化、車線数といった道路構造の違いによるCO₂排出量への影響について分析を行った。

2. 各種道路施策におけるCO₂排出量低減効果

一般道路では、バイパス整備や道路拡幅、交差点立体化、右左折レーン設置・延伸などにより、平均旅行速度を上昇させCO₂排出量低減を図ることを基本としている。

平均速度別CO₂排出量・燃料消費率・燃費を図-1に示す⁹⁾。平均速度60km/h程度までは速度上昇に伴い、1km当たりのCO₂排出量が低下していく。同様に、燃料消費率(=1km当たりの燃料消費量)及び燃費も改善していく。

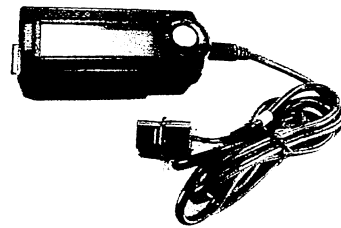


図-2 本調査に使用した簡易燃費計（㈱テクトム製）

3. 簡易燃費計を用いたCO₂排出量の簡易調査概要

(1) シャシダイナモ室内試験の課題

NO_x・PMやCO₂等の自動車排出ガス量の調査方法は、現在、シャシダイナモメータを用いた室内測定が基本となっている。しかし、この方法は、事前に設定した一定の条件下における室内試験であることから、実道路上よりも低い排出ガス量となっている。その要因については、例えば、実道路上での気象変化や渋滞変化、個々人の運転方法の違い、従来未考慮となっているアクセサリ使用や冷機運転影響等によるものが考えられる。また、走行モード追従型の室内試験であることから、実道路上でのアクセル・ブレーキ挙動とは必ずしも一致しない場合がある。

(2) 簡易燃費計を用いたCO₂排出量簡易調査方法

CO₂については、温室効果ガス国家インベントリにおいても、基本的に燃料消費量からCO₂排出量を算出している¹⁰⁾など。これを踏まえれば、排気ガス量ではなく燃料消費量を詳細に把握し、道路走行時のCO₂排出量を推計することはインベントリとの整合性が高い方法であると考えられる。

そこで、1秒毎の燃料消費量データを記録可能な簡易燃費計を用いて、道路上における自動車からのCO₂排出

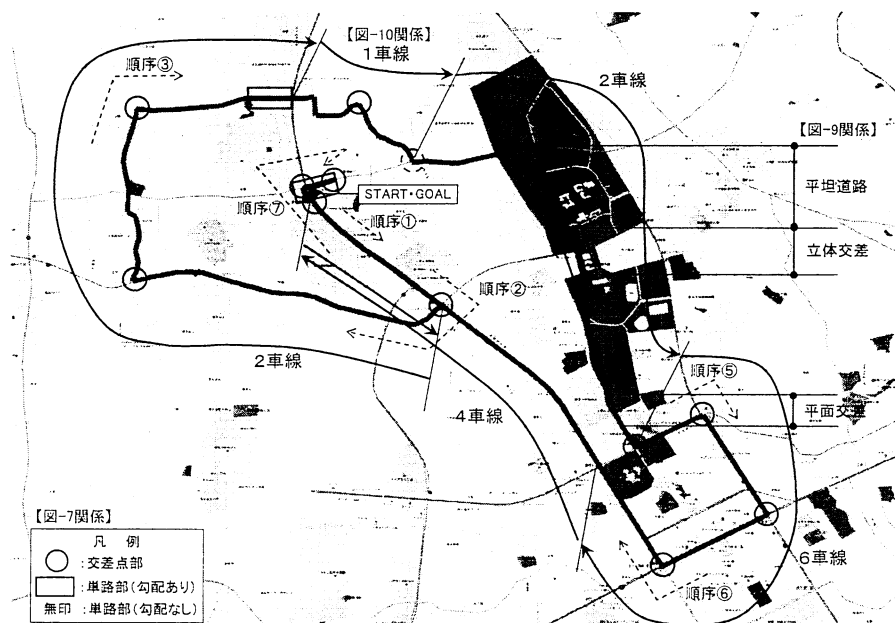


図-3 簡易燃費計を用いた道路上的CO₂排出量調査ルート

量を調査した。本調査では図-2に示す(株)テクトム製簡易燃費計FCM2000W改を用いた。本機器は車両ECUに記録される日時・車速・エンジン回転数・燃料噴射時間・GPS等の概ね1秒間毎のデータをメモリーカードに記録することができる。あわせて、これらのデータから瞬間燃料使用量を式(1)により算出するものであり、この仕組みは近年の自動車における燃費表示機能と同等である。

$$Q = P \times (N \div 2 \div 60) \times F \quad (1)$$

ここで、Q：瞬間燃料使用量[cc/s]、P：1回当たりの燃料噴射時間[ms]、N：エンジン回転数[rpm]、2：排気回数への換算、60：単位換算定数[rpm→rps]、F：燃料補正係数(車両毎の定数)

また、総燃料使用量は、瞬間燃料使用量Qの総和から算出することができるが、自動車からの燃料噴射時間の情報から換算される燃料消費量については燃料噴射時間中における燃料噴射状況変化などによる推定誤差が生じることが考えられる。そのため、本調査ではガソリタンクへの給油量をその都度記録し、給油間の瞬間燃料消費量の積算値(総燃料消費量)と実際の燃料使用量との比で換算した値を実際の燃料消費量として用いることとした。燃料実使用量は、給油のタイミング間での燃料使用量をその直後の実際の給油量から把握するものとした。そのため、給油の際には毎回の給油ラインを一定にする必要があるため、目視で油面が確認出来るところに基準線を設けた。給油は万全を期すため給油後の油面低下を考慮し2回に分けて実施した。

CO₂排出量は燃料使用量から式(2)により換算した。

$$\text{CO}_2\text{排出量}[\text{g-CO}_2/\text{s}] = (Q \div 1000) \times 34.6 \times 67.1 \quad (2)$$

ここで、Q：燃料使用量[cc/s]、1000：単位換算定数[cc→L]、34.6：ガソリン1L当たりの発熱量[MJ/L]、67.1：ガソリンの発熱量当たりのCO₂排出原単位[g-CO₂/MJ]

(3) 実道路上におけるCO₂排出量簡易調査の諸条件

調査ルートは図-3に示す茨城県つくば市内の幹線道路や細街路を含む周囲ルートとした。また、複数の上下勾配のある道路や異なる車線数(6車線・4車線・2車線・1車線)が含まれるよう、ルートを設定を行った。

調査車両は、乗用車からの平均的なCO₂排出量の排出挙動を把握する目的から、自動車燃費一覧¹⁾に掲載された情報を参考に、車両重量が平均的な車両であるトヨタ製のガソリン小型自動車(通称名：ウィッシュ、型式：DBA-ZNE10G)を用いた。上述の燃料補正係数は燃費計メーカー提供値(2,200)を用いた。実道路調査の積載条件は2名乗車とした。

運転手は個人により運転特性が異なることを考慮し、20歳前後の初心者(Y)、40～50歳代の熟練者(M)、60～70歳代の高齢者(O)の各グループから男性2名(1&2)女性1名(3)の各3名、計9名の調査を行った(括弧内の記号・数字は図-5と同じ)。走行時間帯は、通勤等の渋滞発生が想定される朝夕と、渋滞のない昼で計3回とした。調査時期は天候・気象変化が比較的少ない冬季(平成22年1月～2月)とした。調査期間中の天候はいずれも晴もしくは曇りであった。9名の被験者は1日毎に交替するものとし、1名の被験者は同じ1日での平日朝(8時台)・昼(10時台)・夕(17時台)を走行した。各被験者には事前に走行ル

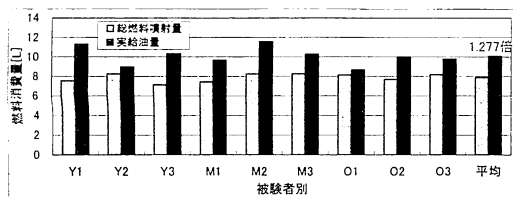


図-4 瞬間燃料消費量の積算値と燃料実使用量との比較

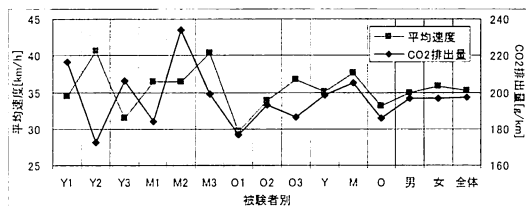


図-5 被験者間の走行特性比較

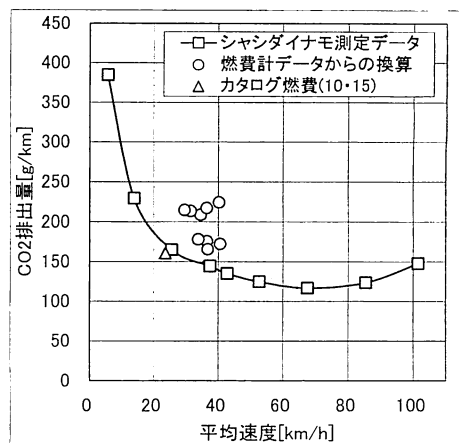


図-6 燃費計からのCO₂排出量とシャシダイナモメータからのCO₂排出量の比較

ートを説明したが、それ以外の運転方法等の指示は特段行わないものとした。

なお、今回の調査は、基本的な道路構造によるCO₂排出量の違いを把握することを目的としたことから、その他の考えられるCO₂排出量変動要因（車種、使用状況、運転方法、混雑度など）については調査条件の統一化（1台の車両使用、アクセサリ未使用）及び平均化（運転特性分布を考慮し選定した老若男女からなる複数の被験者による統一調査条件下における、道路混雑状況の異なる朝昼夕での調査結果を包括的に比較）を図ることにより大きな影響が出ないように留意した。季節や車種などの違いによるCO₂排出量の変化は想定されるが、今回の調査からは対象外とし今後の調査課題とした。

4. 調査結果

(1) 燃費計の燃料噴射量と実給油量の比較

燃費計から算定される総燃料使用量と実際の給油量とで異なることが想定されることから、これらの比較分析を行った。簡易燃費計によるデータ収集した総燃料噴射量とガソリンタンクへの実給油量との比較図を図-4に示す。給油は被験者の切替えの度に行った。

全ての被験者において、実給油量は総燃料噴射量を上回っており、その差は平均1.227倍(最大1.449倍、最小1.065倍)であった。総燃料噴射量はメーカー提供の燃料係数を用いて算出したものであるが、全被験者とも同じ方向に差が生じていること、本調査は冬季（1～2月）に実施したことから、季節や車両・走行ルートなどの違い等の要因により差が生じたことが考えられる。本結果から、同様の仕組みとなっている近年の自動車の燃費表示

機能についても精度的課題があることが示唆される。

(2) 被験者間の走行特性比較

運転者の違いにより走行特性が変化することが想定されることから、これらの比較分析を行った。簡易燃費計を用いた道路におけるCO₂排出量調査における被験者別の平均速度及び平均燃費を図-5に示す。

平均速度は全被験者とも30～40km/hの間であった。傾向としては、熟練者は35～40km/hと全体的にやや高い平均速度となっていること、高齢者は40km/h近い平均速度は出ていないことが挙げられる。平均速度とCO₂排出量の関係は、被験者別に比較すると全般的には平均速度が大きいほどCO₂排出量が低下する傾向がみられるものの、被験者M1とM2は平均速度はほぼ同じであるのに対しCO₂排出量は大きく異なる、被験者O1は平均速度及びCO₂排出量とも小さい、3名の被験者の平均値のY,M,O男、女では平均速度とCO₂排出量は同様なデータ変動という結果となっており、明確な傾向までは見出せなかった。

(3) 簡易燃費計から算定した実道路上でのCO₂排出量とシャシダイナモメータで測定したCO₂排出量の比較

簡易燃費計データから算出した実道路上におけるCO₂排出量と、同型式の車両をシャシダイナモメータにおいて実走行状態を再現し測定したCO₂排出量及びカタログ燃費から算出されるCO₂排出量を平均速度別比較を図-6に示す。実走行状態は参考文献12)の実走行モード（土研モード）を用いて再現した。シャシダイナモ測定は実道路調査と同じ型式の車両を用い、積載条件は2名乗車、60km/hの定速走行20分間の試験前運転を行った上で実施した。シャシダイナモによるCO₂排出量測定はNDIR（非分散形赤外線分析計）によるものである。カタログ燃費

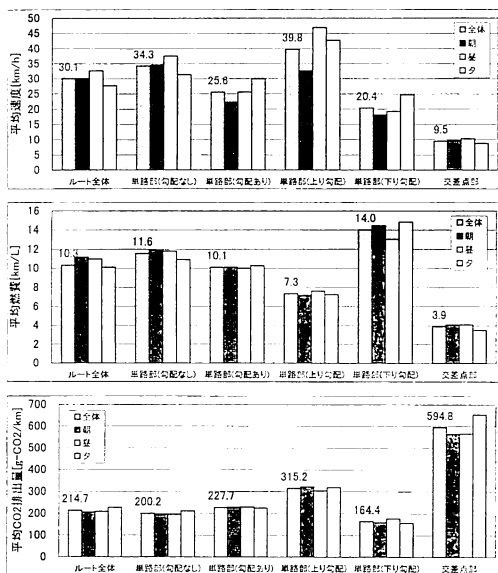


図-7 単路部（勾配の有無）・交差点部における平均速度・燃費・CO₂排出量と各増減率の比較

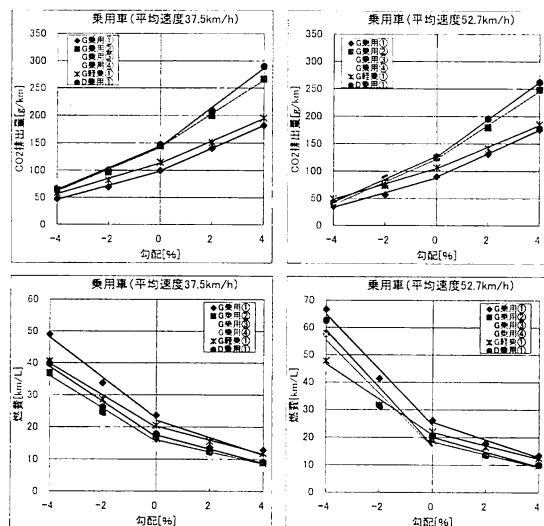
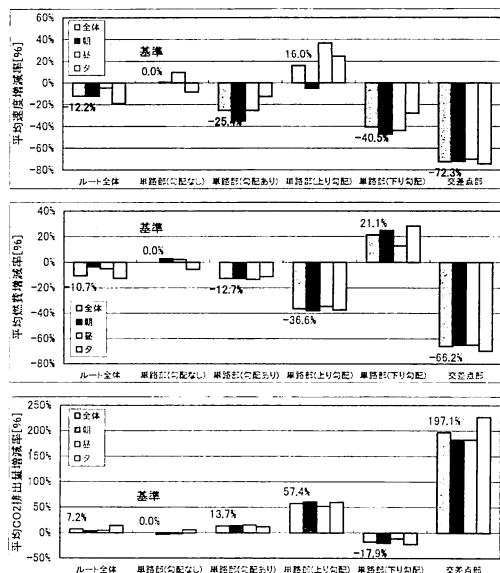


図-8 ガソリン・ディーゼル乗用車における勾配の違いによるCO₂排出量・燃費の比較

は参考文献⁷⁾の値を用いた。

簡易燃費計データから算出したCO₂排出量は、シャシダイナモ測定データ及びカタログ燃費に比べ、約10～50%ほど大きな値であった。通常、実走行燃費はカタログ燃費の約30%減（CO₂排出量では増）といわれているが、平均的に考えれば、その傾向を捉えているといえる。

5. 道路構造の違いによるCO₂排出量変化

本章では、単路部・交差点部、道路勾配、交差点立体

化、車線数といった道路構造の違いによるCO₂排出量変化について、調査結果から整理・分析を行う。今回の調査は、基本的な道路構造によるCO₂排出量の違いを把握することを目的としたことから、調査条件は出来るだけ同様に設定することとした。季節や車種の違いによるCO₂排出量の変化は想定されるが、これらの比較調査は今回調査の対象外とした。また、交差点における一時停止・再加速の有無によるCO₂排出量の変化も想定されるが、これらは道路上で実際に断続的に起こっている現象であり、これらを排除した比較を行うことは非現実的な現象を捉えることになることから、これらも含めた比較整理を行うこととした。

(1) 単路部（勾配の有無）・交差点部の比較分析

簡易燃費計を用いた実走調査の全被験者平均の平均速度・燃費・CO₂排出量を道路構造別に比較したものを図-7に示す。ここで、道路構造は、単路部（勾配の有無・上下勾配別）・交差点部別で整理した。

単路部（勾配なし）を基準とした場合、単路部（勾配あり）ではCO₂排出量は13.7%増、交差点部では197.1%増となった。勾配の有無による差については、単路部（上り勾配）が57.4%増であるのに対し、単路部（下り勾配）は17.9%減に留まっていることから、上り勾配時の影響によるものと捉えることができる。

勾配の有無によるCO₂排出量の違いについては、シャシダイナモメータによるCO₂排出量測定データからもその傾向を確認している。図-8は、シャシダイナモメータにより測定したガソリン・ディーゼル乗用車からのCO₂排出量・燃費を勾配別に比較したものである。勾配の上

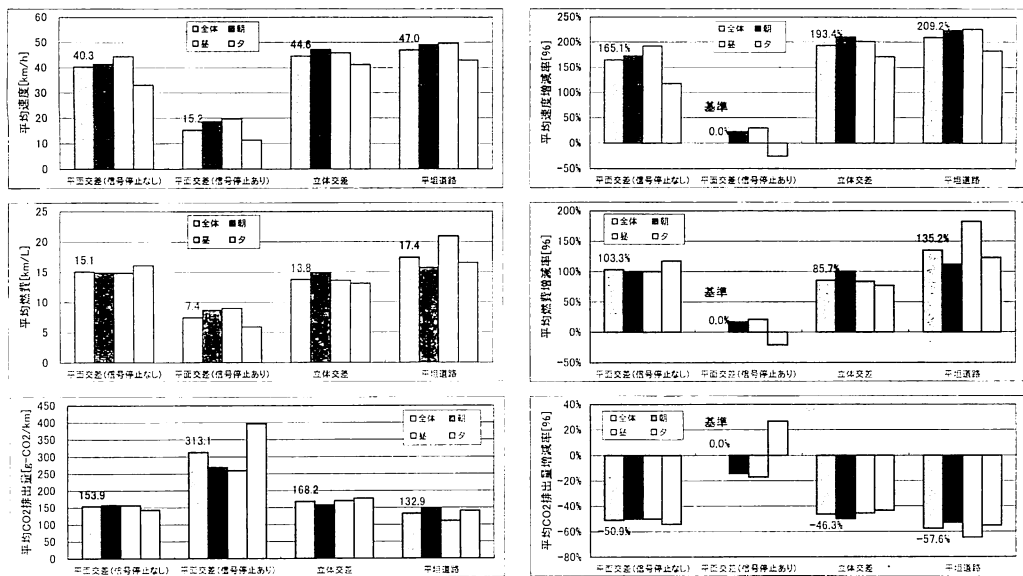


図-9 平面交差・立体交差・平面道路別の平均速度・燃費・CO₂排出量と各増減率の比較

昇に伴うCO₂排出量の増加は、下り勾配（マイナス勾配）よりも上り勾配（プラス勾配）でより大きな傾きとなっていることがわかる。

交差点部における大幅な増加については、信号による一時停止及び交差点通過後の加速時のCO₂排出量増が要因であると考えられる。1秒毎の計測データを確認したところ、その傾向が確認された。

(2) 交差点立体化による比較分析

調査ルート中の平面交差・立体交差・平面道路別の平均速度・燃費・CO₂排出量と各増減率を比較したものを図-9に示す。ここで、平面道路は交差する道路が立体化した場合を想定したものである。

平面交差（信号停止あり）を基準とした場合、立体交差ではCO₂排出量は46.3%減、平面道路では57.6%減となった。このことは交差点立体化により当該交差点におけるCO₂排出量は半減できるポテンシャルを有することを示唆するものと捉えることができる。また、交差点立体化においては、当該道路が立体交差化した場合と交差道路が立体交差化した場合とでは排出量削減効果が異なってくることから、双方の道路を考慮し、総合的に判断することが必要であることが示唆される。

(3) 車線数の違いによる比較分析

調査ルート中の最高速度・平均速度・燃費・CO₂排出量を車線数別に比較したものを図-10に示す。

CO₂排出量を比較すると、4車線と2車線がほぼ同等であるのに対し、1車線道路では8.0%増、6車線道路では35.0%増という結果となった。

1車線道路については、今回の調査ではいわゆる道路改良が済んでいない幅員5.5m以下の狭あいな道路を対象とし、道路改良が済んでいない道路では走行性が十分確保されず走行速度低下・CO₂排出量増加をもたらしていることの検証として比較調査することとしたが、結果、最高速度が2車線以上と比べて、20km/h近く低下しており、これにより平均速度も5km/h低下したことが要因である。今回の1車線道路の幅員は2.4m～3.6mと狭あいであったことから、全被験者とも最高速度が低下したものと考えられる。このことは、道路の整備率・改良率を高めていくことが道路交通からのCO₂排出量削減に有効であることを示唆していると考えられる。

一方、6車線道路については、今回の調査では道路改良済の2車線以上の道路では走行速度・CO₂排出量は車線数によらずあまり変化しないと想定し調査したところであるが、結果、最高速度は4車線・2車線道路と同等であるものの、平均速度が10km/h以上低下したことが要因である。この要因について調査データを細かく確認したところ、交差点前後での一時停止及び再加速の頻度が多くなっており、そのことは、今回の6車線道路の信号密度は3.3基/kmであるのに対し、4車線道路は2.1基/km、2車線道路は1.1基/kmであったことから同様に推察されるものである。

なお、この6車線道路の取扱い・考え方については、更なる調査が必要であると考えている。

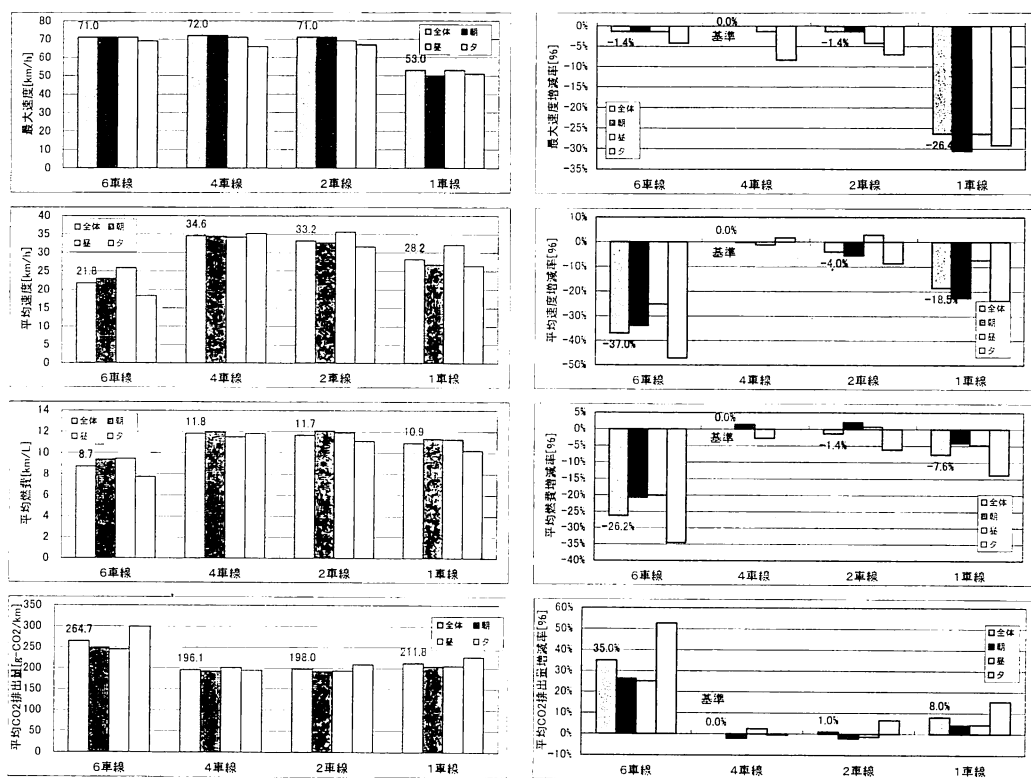


図-10 車線数別の最高速度・平均速度・燃費・CO₂排出量と各増減率の比較

6. まとめ

本調査よりわかった知見を下記に整理する。なお、本調査結果は、基本的な道路構造によるCO₂排出量の違いを明確に把握する観点から、特定の車両及び季節に限定して実施したところである。そのため、下記(2)～(4)の結果を一般化するためには様々な車両や異なる季節・気象条件等におけるデータ蓄積を行った上で更なる検証が必要である。

- (1) 自動車の燃費表示機能や簡易燃費計データから算出される総燃料消費量及びCO₂排出量は実値よりも低めに算出されることが確認された。なお、この差は実給油量を用いて換算可能であり、本調査方法が実道路上でのCO₂排出量挙動の把握に簡易かつ有効な手段であることが確認された。
- (2) 単路部（勾配なし）に比べ、単路部（勾配あり）では約10～15%、交差点部では約200%のCO₂排出量増加が見込まれる。要因は、前者は上下勾配の存在、後者は信号での一時停止及び再加速が考えられる。
- (3) 交差点立体化の実施により、平面交差（信号停止あり）と比較し、立体交差側では約40～50%、交差道路側では約50～60%のCO₂排出量削減効果が見込まれる。双方の削減効果の違いは勾配の存在による。

- (4) 狭い1車線道路においては、最高速度が低下し、その結果、平均速度の低下及び約5～15%のCO₂排出量増加をもたらす。

参考文献

- 1) 環境省記者発表資料：地球温暖化基本法案の閣議決定について（お知らせ）、環境省、2010.3.12.
- 2) 谷口守，橋本成仁，氏原岳人，古川のり子：低炭素社会に向けた居住者を対象とした自動車 CO₂ 排出量の削減方策の効果，環境システム研究論文集，Vol.37，2009.10.
- 3) 松橋啓介，工藤祐輝，上岡直見，森口祐一：市区町村の運輸部門 CO₂ 排出量の推計手法に関する比較研究，環境システム研究論文集，Vol.32，2004.10.
- 4) 高橋和夫，手塚繁樹：OBD II を用いたパーソナル燃費計の開発，全国自動車短期大学協会 自動車整備技術に関する研究報告誌，No.33，pp.18-23，2004.
- 5) 近藤美則，小林伸治，森口祐一，田邊遼：車載型機器による走行動態調査と走行動態の燃費及び排出ガスに及ぼす影響の解析，自動車技術会論文集，Vol.35，No.3，pp.77-83，2004.6.
- 6) 近藤美則，小林伸治，森口祐一：車載型機器による走行動態及び排出ガスの計測，自動車技術会論文集，Vol.36，No.5，pp.105-111，2005.9.
- 7) 高田寛，宮崎富夫，飯田訓正：走行自動車による沿道局所排出ガス汚染のメカニズム解析，自動車技術会論文集，Vol.35，No.1，pp.115-120，2004.1.

- 8) 山本敏朗, 小川恭弘, 佐藤進: 車載計測システムを用いた実路走行時の環境負荷量の計測および増大要因の解析 (第2報), 自動車技術会論文集, Vol.38, No.6, pp.229-234, 2007.11.
- 9) 大城温, 松下雅行, 並河良治, 大西博文: 自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数, 土木技術資料 43-11, pp.50-55, 2001.11.
- 10) 温室効果ガスインベントリオフィス: 日本国温室効果ガスインベントリ報告書, 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター, 2009.4.
- 11) 国土交通省自動車交通局: 自動車燃費一覧(平成 21 年 3 月), 2009.3.
- 12) 並河良治, 高井嘉親, 大城温: 自動車排出係数の算定根拠, 国土技術政策総合研究所資料第 141 号, 2003.12.

SIMPLE INVESTIGATION OF CO₂ EMISSIONS FROM ROAD TRAFFIC AND ITS VARIATION ACCORDING TO DIFFERENCES OF ROAD STRUCTURE

Manabu DOHI, Shinri SONE and Masamichi TAKIMOTO

It is thought that CO₂ emissions by real road traffic are higher than catalog fuel consumption and its value measured by chassis dynamo meters. So, in order to understand CO₂ emissions in detail based on real road traffic, we examined a simple investigating method using fuel consumption meters to collect car speed and fuel consumption by the second. And we estimated CO₂ emissions from real road traffic. Moreover, we analyzed influences on CO₂ emissions of differences in road structures.

As a result, we understand the (1) Utility of a simple investigating method using fuel consumption meters and precautions to be taken using the method, (2) Tendencies for CO₂ emissions to vary between crossings and uninterrupted road with or without a slope, (3) Tendency for CO₂ emissions to change after improvement of an overhead crossing, (4) Changes of running characteristics and CO₂ emissions according to differences in the number of road lanes.