

自動車からの二酸化炭素排出量推計モデルの精緻化*

Detailed Discussion of CO₂ Emission Forecast Model of the Vehicle*

井ノ口 弘昭**・秋山 孝正***

By Hiroaki INOKUCHI **・Takamasa AKIYAMA***

1. はじめに

二酸化炭素(CO₂)排出量の削減は世界的な課題であり、世界で様々な取り組みが行われている。日本においては、2008年の二酸化炭素排出量12.14億t-CO₂のうち、運輸部門は19.4%を占める¹⁾。この運輸部門に着目すると、自動車からの排出が多くを占め、自動車に対する対策は急務である。

自動車からの排出ガス量は、交通状況などに依存する。このため、CO₂排出量削減効果を検討する際は、個別車両のCO₂排出量を高い精度で推計することが必要である。そこで、我々は走行状態を考慮したCO₂排出量推計モデルの開発を行ってきた。本研究では、CO₂排出量推計モデルをより精緻なものにすることを旨とする。

2. 自動車のCO₂排出量の測定

CO₂排出量推計モデルを構築するために、自動車からのCO₂排出量を測定する。自動車からの排出ガスの計測は、一般的にはシャーシダイナモを用いて行われる。この方法は、大規模な機器を用いるため、計測精度が高い。しかしながら、室内実験のため、道路状況・交通状況を考慮することが困難である。それに対して、本研究では、コンパクトな計測機器を用いて、実道路を走行することにより計測を行う。この方法は、計測精度はやや劣るが、実走行に応じたデータの収集が可能である。

CO₂はガソリン等の燃料の燃焼により発生するため、自動車の燃料消費量からCO₂排出量を推計する方法も考えられる。しかしながら、車両から燃料消費量のデータを収集するのは難しい。そこで本研究では、マフラーからの排出ガスを直接計測する方法を用いる。

実験車両には、**図-1**に示す① CO₂濃度測定装置、② ガス流量計と機器を動作させるためのバッテリーなどを搭載した。また、マフラーにアダプタを取り付け、セン

*キーワード：交通環境、二酸化炭素排出量

**正員、博（工）、関西大学 環境都市工学部

(大阪府吹田市山手町3-3-35、

TEL:06-6368-0964、E-mail:hiroaki@inokuchi.jp)

***正員、工博、関西大学 環境都市工学部



図-1 本研究で用いる測定装置

サーやガスの引き込み管を設置した。この他に、速度・エンジン回転数記録計・GPSを設置して走行状態を記録した。これらのデータは1秒間隔で収集した。

本研究では、2台の車両(小型乗用車・ハイブリッド自動車)の実験データを用いる²⁾。実験車両の一覧を**表-1**に示す。ここで、2台の実験車両は排気量が同じであり、車両の大きさもほぼ同じである。燃料についても同じガソリンであるが、車両Bはハイブリッド自動車のため、10・15モードで走行した時のCO₂排出量は、車両Aと比べて少ないことが特徴である。

本研究では、多様な道路・交通状況に対応するデータを収集するため、一般道路(約56km)・都市高速道路(約22km)・都市間高速道路(名神吹田-西宮間約22km)を走行する。一般道路では、渋滞区間を包含していることから、収集データの多様性が確保されているものと考えられる。

表-1 実験車両一覧

車両	車両A	車両B
車両の種類	小型乗用車	ハイブリッド乗用車
総排気量(ℓ)	1.49	1.49
燃料の種類	ガソリン	ガソリン
10・15モード燃費(km/ℓ)	18.2	30
CO ₂ 排出量(g/km)	135	77
2010年燃費基準達成	○+10%	○+20%

3. CO₂排出量推計モデルの構築

(1) CO₂排出量推計モデル

本研究では、個別車両の走行によるCO₂排出量を推計するモデルを構築する。CO₂排出量の推計では、排出係数を用いる方法が一般的である。しかしながら、各種の研究から、CO₂排出量は車両の走行速度・加速度・エンジン回転数等の影響を受けることが知られている。速度の影響を考慮した排出係数は推計されているものの、加速度の影響は考慮できていない。同じ平均速度でも加減速の相違により、CO₂排出量が2倍程度になることもある。そのため、我々の一連の研究では、走行速度と加速度を説明変数としたモデルを構築している。本研究で用いるCO₂排出量推計モデルを式(1)に示す。

$$D_{CO_2} = \theta_v \cdot v + \theta_a \cdot a + \theta_c \quad (1)$$

ここで、

D_{CO_2} : CO₂排出量(g/s)、 v : 速度(km/h)、

a : 加速度(km/h/s)、

$\theta_v, \theta_a, \theta_c$: 係数

2章で収集した走行データを用いて、パラメータを推計した。車両A・Bについてのパラメータを表-2に示す。車両Aについては、 θ_c (定数)の推計値およびt値が大きい。これは、アイドリング時においても一定の排出量があることを示す。それに対して、車両Bの θ_c (定数)の推計値はほぼ0であり、t値も有意でなかった。これは、車両Bがハイブリッド自動車であるため、車両が停止している状態ではエンジンが停止し、排出ガスが出ないことが原因である。このように、推計モデルは各車両の特徴を表していると考えられる。また、車両Bの θ_a (加速度)のパラメータは車両Aと比べて小さい。これについても、車両Bに関して、ハイブリッド自動車の特徴であるエンジンに加えてモーターの動力も利用しているためであると考えられる。

つぎに、排出量推計モデルの推計誤差について検討する。本研究では、推計誤差を検討する指標としてRMSを用いる。車両A・BのRMS指標を図-2に示す。車両A・Bを比較すると、車両BのRMS指標値が大きい。これは、推計モデルおよび計測面においての原因が考えられる。今回の排出量推計モデルでは、ハイブリッド自動車の動力モーターの稼働状況を考慮していない。ハイブリッド自動車は、モーターで動作可能な場合は、エンジンを停止あるいは出力を減らし、モーターで動作する。本推計モデルでは、このことが十分に表せていないと考えられる。

表-2 CO₂排出量推計モデルのパラメータ推計値

	車両A	車両B
θ_c (定数)	1.472 (135.3)	-0.010 (-0.9)
θ_v (速度)	0.0095 (32.5)	0.0238 (82.5)
θ_a (加速度)	0.315 (45.0)	0.083 (28.5)
相関係数	0.64	0.48

()内はt値を示す

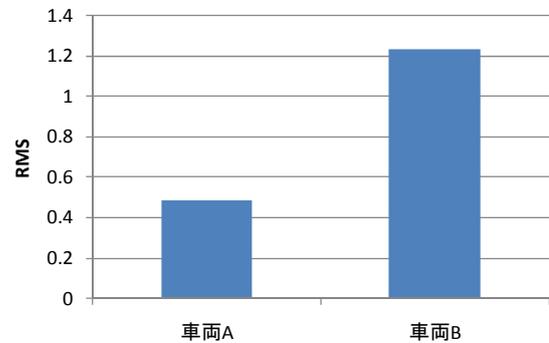


図-2 各車両のRMS指標

また、計測面の原因としては、計測装置・計測方法の2つが考えられる。計測装置は、車両に積載可能なコンパクトな装置を用いている。このため、シャーシダイナモ試験で用いられる大型の計測機器と比べると計測精度は劣る。計測方法においては、より安定した計測が出来るように更なる改良が必要である。

(2) 速度帯別CO₂排出量推計モデル

現在の乗用車は、AT(オートマティク・トランスミッション)車が主流である。車種によって、4速ATあるいは5速ATなど変速機の段数が異なる。その他に、無段変速機であるCVTも実用化されている。自動車は、同じ走行速度・加速度であってもその時に使用しているギアが異なれば、エンジン回転数・CO₂排出量は相違する。また、ギアが切り替わる前後では、速度は連続的に変化するものの、エンジン回転数・CO₂排出量は不連続に変化する。したがって、ギアの影響を考慮したCO₂排出量推計モデルを検討する。

ギアの切り替え時期は、積載物の重量や道路勾配などによる影響を受けるが、走行速度の影響が大きい。具体的には、一般的な走行状態において、20km/h・40km/h・60km/h付近でギアを切り替えることが多い。そこで、本研究ではこれらを考慮して0~20km/h、20~40km/h、40~60km/h、60km/h~の速度帯に分割してモデル構築を行う。車両Aについての速度帯ごとの回帰モデルの加速度に対する係数(θ_a)を図-3に示す。速度帯が高くなれば加速度のパラメータ値が大きくなる傾向がある。特

に、60 km/h～の速度帯において、パラメータ値が大きい。これは、速度が高くなるほど、速度変化と比べて加速度の変化の影響が大きいことを示している。

車両Aについての実績値と回帰モデルによる推計値のRMS指標を図-4に示す。低い速度帯では、RMS指標も小さく、良好な推計を行っていると言える。今回用いているRMSは絶対量のため、速度が高くなれば排出量が多くなり、誤差量も多くなる傾向がある。しかしながら、60km/h～の速度帯におけるRMSはやや低く、良好な推計を行っている。

車両Bにおける速度帯ごとの加速度のパラメータを図-5に示す。0～20km/hの速度帯でパラメータが小さいことは車両Aと同一であるが、20～40km/hで大きな値になる。これは、ハイブリッド自動車のモーターによる動力とエンジンによる動力の使用比率が異なるためであると考えられる。

車両Bについての実績値と推計値のRMS指標を図-6に示す。車両Bについても速度帯が高くなるほどRMSは大きくなる傾向がある。0～20km/hにおいては、他の速度帯と比べて良好な推計を行っていると言える。

(3) 走行状態別 CO₂ 排出量推計モデル

CO₂排出量は加減速の影響を大きく受ける。特に、加速状態ではエンジンの負荷が大きく、CO₂排出量が増加する。一方、減速状態ではエンジンに大きな負荷はかからない。また、定速状態では、速度を保つためにエンジンに負荷はかかるが、加速状態と比べると負荷は小さい。このように、走行状態によりエンジンの負荷・CO₂排出量の相違が考えられるため、走行状態別のCO₂排出量推計モデルを検討する。

ここで、加速・減速・定速の3種類の走行状態を定義する。本研究では、1秒ごとの5秒間の速度データ (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5) に注目する。 $v_1 < v_2 < v_3 < v_4 < v_5$ が成り立つ場合を加速状態と定義する。また、減速状態は $v_1 > v_2 > v_3 > v_4 > v_5$ が成り立つ場合である。その他の場合を定速状態と定義する。

走行状態別にCO₂排出量推計モデルのパラメータを推計した。車両Aについての回帰モデルの速度に対する係数 (θ_v) を図-7に示す。加速時および定速時は、パラメータ値が大きい、減速時はパラメータ値が小さい。t値は加速・定速状態は16.1, 24.8であるが、減速状態では1.7である。加速・定速状態では速度の影響を大きく受けるが、減速状態では影響が小さい。これは、前述の通り、減速時はエンジンの負荷が小さく、エンジン回転数も下がるためであると考えられる。

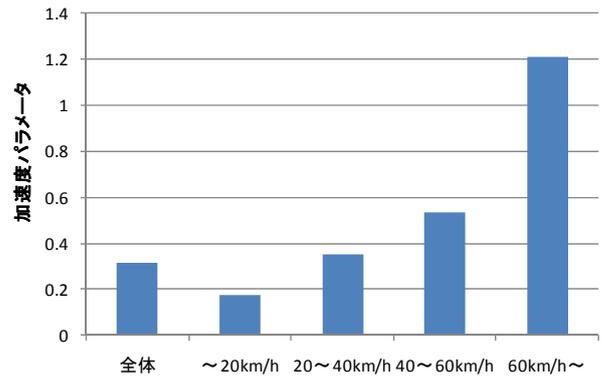


図-3 速度帯別の回帰モデルの係数 (θ_a) (車両A)

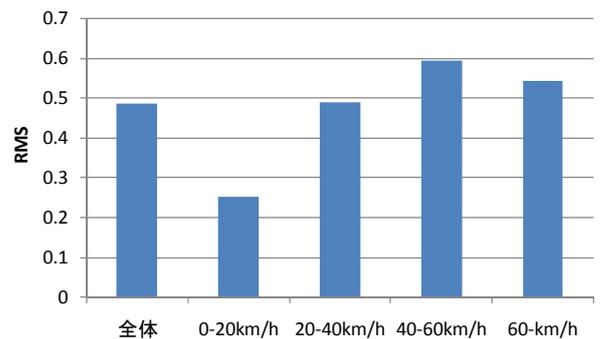


図-4 速度帯別の回帰モデルのRMS指標 (車両A)

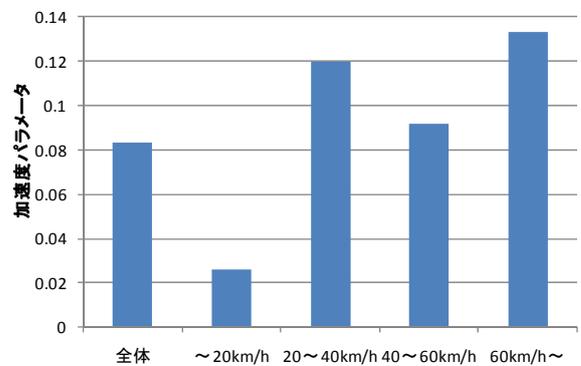


図-5 速度帯別の回帰モデルの係数 (θ_a) (車両B)

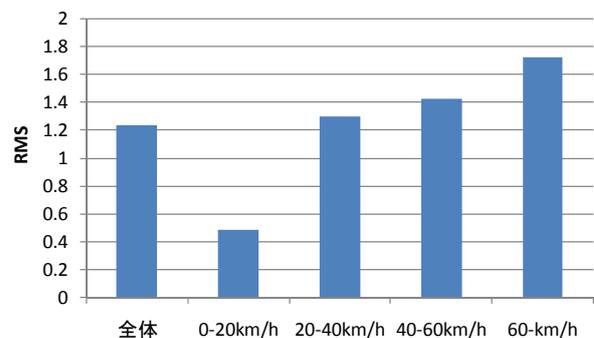


図-6 速度帯別の回帰モデルのRMS指標 (車両B)

車両Aについての走行状態別のRMS指標を図-8に示す。排出量は減速・定速・加速の順に大きくなる傾向があるため、RMS指標も減速・定速・加速の順に大きい。

つぎに、車両Bについて走行状態別の回帰モデルの速度に対する係数を図-9に示す。加速状態では、パラメータ値が大きい、減速・定速状態では小さい。これは、速度が安定している場合で、動力用バッテリーが使用可能な時はエンジンを停止あるいは出力を低下させ、モーターの動力を利用するためであると考えられる。

車両Bについての走行状態別のRMS指標を図-10に示す。車両Aと同様に、加速時のRMS指標値は大きい、減速と定速を比べるとほぼ同一である。

4. おわりに

本研究では、走行状態を考慮したCO₂排出量推計モデルをより精緻なものにするために、分析を行った。これは、交通渋滞対策などの各種道路交通政策を行った場合のCO₂排出量削減効果を検討するために、個別車両のCO₂排出量を高い精度で推計することを目指すものである。このため、2種類の車両に対して、①速度帯別のCO₂排出量推計モデルの構築、②走行状態別のCO₂排出量推計モデルの構築を行った。その結果、

- 1) 速度帯別のCO₂排出量推計モデルの構築では、①速度帯が高くなれば加速度の回帰係数が大きくなる傾向があること、②ハイブリッド自動車では20~40km/hの速度帯で加速度の回帰係数が大きな値になることなどがわかった。
- 2) 走行状態別のCO₂排出量推計モデルの構築では、①加速時および定速時は、速度の回帰係数が大きい、減速時は回帰係数が小さいこと、②ハイブリッド自動車では、加速状態ではパラメータ値が大きい、減速・定速状態では小さいことなどがわかった。

今回の分析では、速度帯別あるいは走行状態別の推計モデルを構築したが、RMS指標の劇的な改善は見られなかった。より精緻なモデルにするためには、①計測の工夫による測定データの信頼性の向上、②ニューラルネットワークモデルなどの回帰分析以外の手法を用いた速度帯別・走行状態別の推計を行う必要がある。

参考文献

- 1) 全国地球温暖化防止活動推進センター：日本の部門別二酸化炭素排出量，<http://www.jccca.org/content/view/1046/786/>.
- 2) 井ノ口弘昭，甲斐智則：ハイブリッド自動車の二酸化炭素排出量推計モデルの構築，第29回交通工学研究発表会論文集，2009.

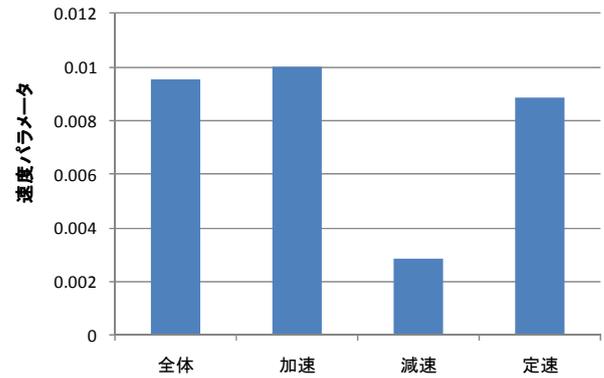


図-7 走行状態別の回帰モデルの係数 (θ_v) (車両A)

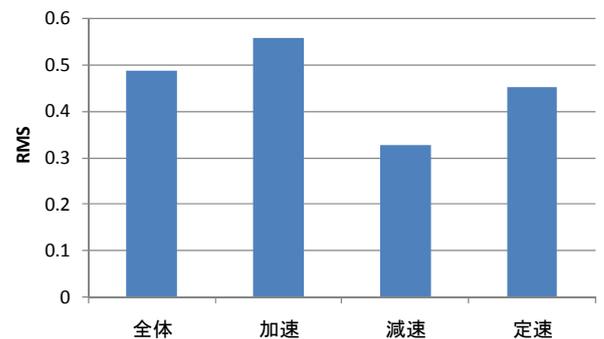


図-8 走行状態別の回帰モデルのRMS指標 (車両A)

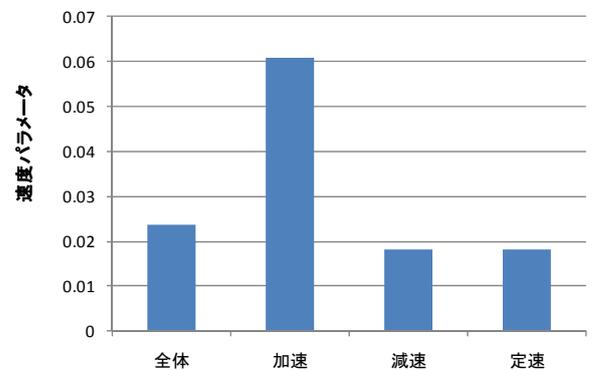


図-9 走行状態別の回帰モデルの係数 (θ_v) (車両B)

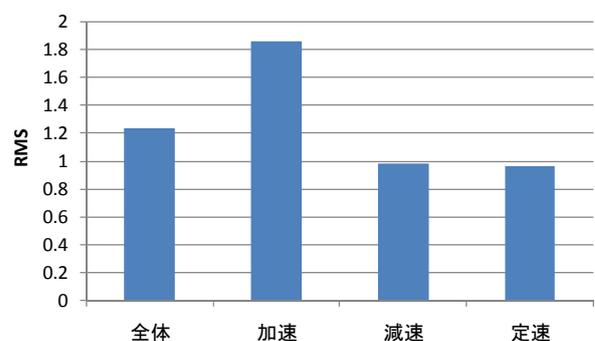


図-10 走行状態別の回帰モデルのRMS指標 (車両B)