

車両走行時の環境負荷量計測技術の整理と推計モデル

井ノ口 弘昭¹・秋山 孝正²・奥野 良太³

¹関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail:hiroaki@inokuchi.jp

²関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail:akiyama@kansai-u.ac.jp

³関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの削減は世界的な課題であり、さまざまな削減対策が行われている。そのなかで、自動車からの二酸化炭素の削減は重要な課題である。

自動車からの二酸化炭素削減効果を検討する際は、個別車両の二酸化炭素排出量を高い精度で推計することが必要である。そこで本研究では、走行状態を考慮した二酸化炭素排出量の推計方法を検討する。はじめに、車両の二酸化炭素排出量の計測方法について整理する。つぎに、計測データを用いて、二酸化炭素排出量の推計モデルを構築する。推計モデルにニューラルネットワークモデルを用いることで、より精度の高い推計が可能である。

Key Words : carbon-dioxide emission, exhaust gas analysis, neural network model

1. はじめに

日本においては2020年までに1990年比で温室効果ガスを25%削減することを表明した。二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの削減は世界的な課題であり、さまざまな削減対策が行われている。2008年の二酸化炭素排出量は12.14億tCO₂であり、二酸化炭素排出のみでは基準年と比べて6%増加している¹⁾。そのうち、運輸部門は間接排出量で19.4%を占める。2006年度の運輸部門の二酸化炭素排出のうち、自動車は87.4%を占め²⁾、排出係数を見ても鉄道・船舶・航空機と比べて排出原単位は大きい。したがって、自動車からの二酸化炭素の削減は重要な課題である。

一般的には、自動車からの二酸化炭素排出量の予測は、走行距離に排出原単位を乗じることで算出する。また、日本全体の排出量の予測は、ガソリンなどの燃料消費量から算出する。しかしながら、二酸化炭素排出量は、速度・加速度等によって相違する。例えば、同一距離の走行で平均速度が同じであっても、加減速の状況が異なれば排出量が2倍のオーダーで相違することがある。したがって、自動車からの二酸化炭素削減効果を検討する際は、個別車両の二酸化炭素排出量を高い精度で推計する

ことが必要である。そこで本研究では、走行状態を考慮した二酸化炭素排出量の推計方法を検討する。そのために、線形回帰モデル・ニューラルネットワークモデルを用いて排出量推計モデルを構築し、比較検討する。また、排出量の上限値の推計方法を検討する。

2. 二酸化炭素排出量の計測方法

本章では、自動車からの二酸化炭素排出量の計測方法について整理する。

(1) 二酸化炭素排出量の計測方法の整理

自動車の二酸化炭素排出量の計測は、いくつかの方法がある。これを表-1に整理する。電気化学式は、専用のセンサにより検知する方法であり、センサがいくつか開発されている。燃料消費から推計する方法は、日本の運輸部門のCO₂を求める場合など、マクロレベルの推計で用いられる方法である。また、赤外線式はガスに赤外線を照射することで濃度を測定する方法である。これは、車両を開発した際に保安基準に適合しているかどうかを調べる際にも用いられている。本研究では、この赤外線式の測定機器を用いて濃度を測定する。

表-1 CO₂排出量の計測方法

方式	概要	特徴
電気化学式	固体電解質や電解液を用いて CO ₂ 等のガスを検知する	安価 測定濃度範囲が狭い
赤外線式 (NDIR)	ガス分子に赤外線を照射し、特定の波長の赤外線を吸収する特性を利用したもの	測定濃度範囲が広い 多くの種類のガスに 応用可能
燃料消費から推計	ガソリン等の燃料消費量と CO ₂ 排出量原単位を用いて推定	特別な装置は不要 ミクロレベルの推計 が出来ない

(2) 本研究で用いる計測方法

本研究で用いる CO₂ 排出量の計測方法について述べる。測定項目を図-1 に示す。CO₂ 排出量は、CO₂ 濃度に排出ガスの流量を乗じて算出する。上述の通り、CO₂ 濃度の測定には赤外線式の測定装置を用いる。この他に、車両挙動の測定として走行速度・エンジン回転数などを測定する。

実験車両には、図-2 に示す(1) CO₂ 濃度測定装置、(2) ガス流量計、(3) 走行速度などを記録する運行記録計、(4) 機器を動作させるためのバッテリーなどを搭載する。また、マフラーにアダプタを取り付け、流量を計測するためのピトー管・温度計や CO₂ 濃度を計測するためのガス引き込み管を設置する。エンジン回転数は車両のパルス信号、走行速度は GPS データを用いる。

排出ガスの計測は、シャーシダイナモを用いた室内実験が一般的である。この場合、大型の測定装置を用いることから、計測精度が高い。一方、本研究ではコンパクトな機器を自動車に搭載して一般道路を走行することにより、データを収集することが特徴である。これにより、計測精度はやや劣るものの、道路状況・交通状況を考慮したデータ収集が可能である。これらのデータは 1 秒間隔で収集する。

本研究では、車種構成比率が高い小型乗用車を対象とする。実験車両は、小型乗用車のうち比較的販売台数が多い車両を選定する。実験車両の概要を表-1 に示す。

燃費・CO₂ 排出量は自動車製造会社が公表している数値である。これは、法令で定められた方法で 10・15 モードの走行パターンで計測した値である。実験車両は、ハイブリッド自動車等ではないが、2010 年燃費基準を達成している環境性能が比較的高い車両である。

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・都市高速道路(阪神高速道路 豊中一扇町)を約 36km 走行する。都市高速道路の規制速度は 50-60km/h である。基本的に、規制速度の範囲内で他車の流れに合わせて走行する。この走行を 3 回繰り返し返した。

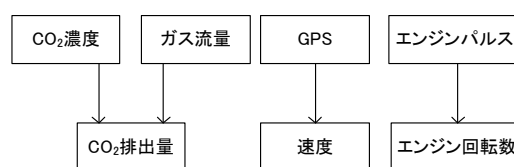


図-1 本研究での測定項目

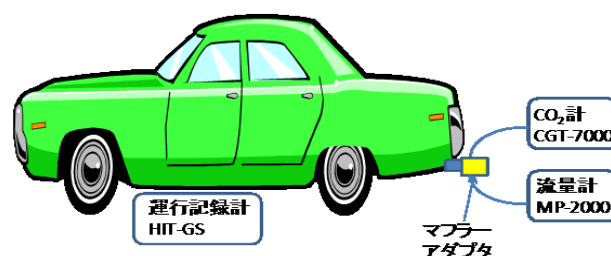


図-2 測定機器の構成

表-1 実験車両の概要

車両の種類	小型乗用車
総排気量	0.99ℓ
燃料の種類	ガソリン
10・15モード燃費	22.5km/ℓ
平成22年度燃費基準	+25%達成
CO ₂ 排出量	116g/km

(3) 測定結果

前述の方法を用いて走行調査を行った。実験の日時を表-2 に示す。1回目は、阪神高速道路 豊中一加島間の渋滞の影響で所要時間が他と比べて長い。

3. 二酸化炭素排出量推計モデルの構築

本章では、2章で収集したデータを用いて二酸化炭素排出量推計モデルを構築する。

(1) 二酸化炭素排出量推計モデルの説明要因

自動車からの CO₂ 排出量は、エンジン回転数・走行速度・加速度等の走行状況、勾配等の道路状況、エンジンの大きさ・乗車人員・貨物積載量等の車両状況などさまざまな影響を受ける。本研究では、車両ごとに CO₂ 排出量推計モデルを構築する。また、既存研究を参考に CO₂ 排出量推計モデルの説明変数として、走行速度と加速度

表-2 走行調査日時

年月日, 時間	所要時間
2011年1月11日 18:05~19:41	1時間 36分
2011年1月12日 9:53~11:11	1時間 18分
2011年1月12日 15:14~16:28	1時間 14分

を用いる。これは、交通計画立案の際に比較的容易にデータが得られるためである。ここで、正の加速度と負の加速度は異なる説明変数と定義した。加速時にエンジンにかかる負荷と減速時にかかる負荷は対称にならない。したがって、CO₂排出量も対称にならないと考えたためである。

(2) 回帰モデルによる排出量推計

本研究では、説明変数として速度・正の加速度・負の加速度を用いた式(1)に示す線形回帰モデルを構築する。

$$D_{CO_2} = \theta_v \cdot v + \theta_{a_+} \cdot \alpha_+ + \theta_{a_-} \cdot \alpha_- + \theta_c \quad (1)$$

ここで、

D_{CO_2} : CO₂排出量(g/s)、 v : 速度(km/h)、
 α_+ : 正の加速度(km/h/s)、
 α_- : 負の加速度(km/h/s)、
 $\theta_v, \theta_{a_+}, \theta_{a_-}, \theta_c$: 係数

測定実験データ 14743 サンプルを用いて線形回帰モデルのパラメータ推計を行った。パラメータ推計結果を表3に示す。

各説明変数のパラメータは、有意水準 5%および 1%で有意である。また、定数項(θ_c)の t 値も高い。これは、速度が 0km/h (アイドリング時) に発生する排出量の影響が大きいことを示している。加速度のパラメータ・t 値は減速度と比べて大きい。これは、減速時と比べて加速時において CO₂ 排出量に与える影響が大きいことを示す。このことから、加速・減速は説明変数を分ける必要性が示された。また、相関係数は 0.57 である。

線形回帰モデルの適合度を検討する。CO₂ 排出量の測定値と推計値との関係を図7に示す。全体的に測定値と推計値との相違が大きい。測定値が 2g-CO₂/s 以上の領域では、小さく推計される傾向がある。したがって、今回用いた線形回帰モデルでは、CO₂ 排出の現象を十分に説明出来ていないと考えられる。

(3) ニューラルネットワークモデルによる排出量推計

今回用いた速度・加速度の説明変数と CO₂ 排出量は複雑に関係している。そのため、本研究では線形回帰モデルの他に、ニューラルネットワークの利用を考えた。ニューラルネットワークは、非線形性の複雑な現象を記述できることが特徴である。本研究では、ニューラルネットワークモデルの一種である階層型ニューラルネットワークを用いてモデルを構築する。CO₂ 排出量推計モデルのニューラルネットワーク構造を図4に示す。入力変数は、線形回帰モデルと同一の速度・加速度・減速度であり、3層の階層型ニューラルネットワークとする。モデ

表-3 回帰モデルのパラメータ

説明変数	パラメータ	t 値
θ_v (速度)	0.0226	73.59
θ_{a_+} (加速度)	0.1500	33.59
θ_{a_-} (減速度)	-0.0442	-9.92
θ_c (定数項)	0.7235	64.16

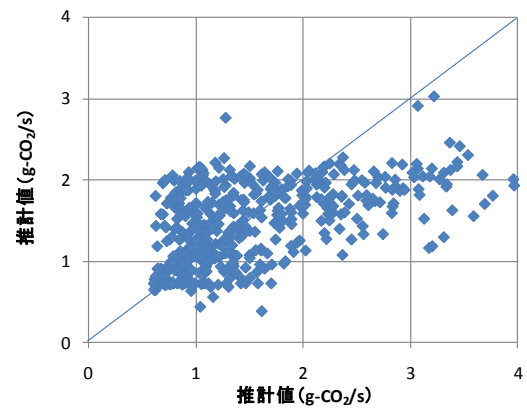


図-3 線形回帰モデルを用いた CO₂ 排出量の推計値と測定値との関係

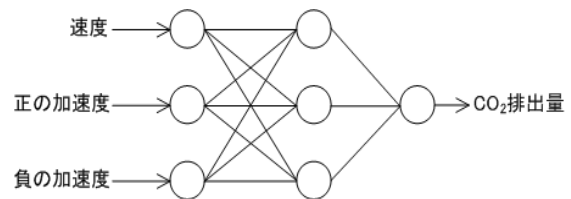


図4 ニューラルネットワークモデル構造

ルの構築のために用いたデータは、線形回帰モデルで用いたデータと同一である。

速度・加速度別のCO₂排出量の推計値を図5に示す。速度が高くなるほど、加速度が大きくなるほど排出量が多くなる傾向がある。走行速度が100km/hの排出量は0km/hの2~4倍である。このように、ニューラルネットワークモデルを用いることで、線形回帰モデルでは表せ

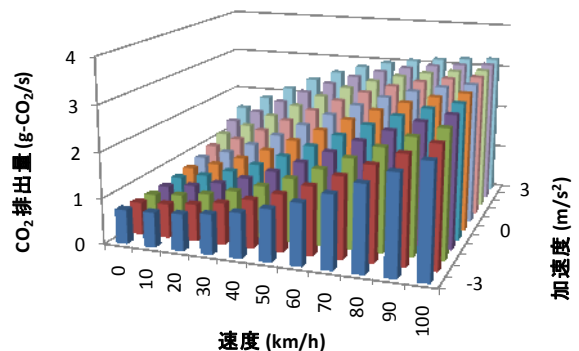


図5 ニューラルネットワークモデルの速度・加速度と CO₂ 排出量との関係

ない非線形関係が表現できた。相関係数は0.60であり、線形回帰モデルと比べて向上した。

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構築した。本研究の成果を以下に整理する。

- 1) 測定方法について整理した。また、計測機器を載せた実験車両で実道路を走行することで、交通状況を考慮した多様な排出量のデータを収集することが出来た。
- 2) 説明変数に走行速度・加速度・減速度を用いて、(1)線形回帰モデル、(2)ニューラルネットワークモデルにより二酸化炭素排出量推計モデルを構築した。その結果、ニューラルネットワークモデルを用いた場合に平均二乗誤差が小さくなることが分かった。

今後は、説明変数の追加等による更なるモデルの改良が必要である。また、現在は1秒単位で収集したデータをそのまま用いているが、変動が大きいため、データの

集計単位の変更などが必要である。

参考文献

- 1) 全国地球温暖化防止活動推進センター：日本における温室効果ガス排出量の推移，http://www.jccca.org/chart/chart04_01.html
- 2) 交通エコロジー・モビリティ財団：運輸・交通と環境 2009年版、pp.10-13.
- 3) 国土交通省：道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 別添 42（軽・中量車排出ガスの測定方法）.
- 4) 井ノ口弘昭，秋山孝正：道路交通運用のための自動車排出ガス推計モデルの構築，交通工学研究発表会論文集，Vol.30, pp.145-148, 2010.
- 5) 井ノ口弘昭，秋山孝正：自動車からの二酸化炭素排出量推計モデルの精緻化，土木計画学研究・講演集，Vol.42, No.178, 2010.

(2011.5.6 受付)