加速度分布特性に基づく路線バス運転手のエコドライブ評価

小谷野 眞司 岡村 整 宮城 実* 國領 和夫** (*東京都交通局 **(株現代企画社)

要旨

都内路線バス事業者の1営業所に在籍する多数の路線バス運転手の速度データを調査した。運転手毎の高加速度の出現特性には、渋滞などの走行環境や運転車両に関わらずに高低の特徴が見られた。次に、運転手毎の1路線の起終点間走行時の速度データを基に、モデル式を用いて燃費を指標とした運転手毎のエコドライブ評価指数を求めたところ、運転手毎に出現する高加速度値とエコドライブ評価指数には相関が得られた。この相関から、高加速度の抑制による燃費改善の効果の推計が可能となり、例えば、加速度値の最も高い運転手が平均的な運転手の加速度値レベルになると 6%程度の燃費改善が期待された。

キーワード:エコドライブ、高加速度値、燃費、路線バス運転手

An Evaluation of Eco-Drive among Route Bus Drivers
based on the Characteristics of Acceleration Distribution Patterns

KOYANO Shinji, OKAMURA Hitoshi, MIYAGI Minoru*, KOKURYO Kazuo**
(*Bureau of Transportation, Tokyo Metropolitan Government, **Gendaikikakusha CO.LTD)

Summary

The driving data of bus drivers in Tokyo metropolitan government were investigated in this paper. According to our detailed analysis, certain characteristics were observed on their acceleration distribution patterns regardless of traffic situation and driving vehicle. Furthermore, a relationship between these characteristics and the Eco-Drive Evaluation Index (E.E.I.) based on the same driving data is observed to be highly correlative. This relationship enables us to estimate the effect of fuel economy for every bus driver; for example, about 6% of fuel economy is expected to be reduced if a bus driver who has the highest acceleration characteristic would become careful to be the average one.

Keyword: Eco- Drive, Acceleration Distribution Pattern, fuel economy, route bus drivers

1 はじめに

近年、運送事業者等において、エコドライブを支援する機器等の導入が進んでいる。こうした機器の中には、運転中の急加速度や最高速度が制限値を超えた場合に、運転手に警報を発するほか、その運行記録を保存して、後の運転教育に利用するものなどがある。しかし、実際の路上を走行する際の適切な加速度の範囲と加速度を抑制した場合に得られる燃費改善効果に関する客観的な情報は少ない。

ここでは、エコドライブを推進する資料を得ることを目的に、都内路線バス事業者の1営業所に在籍する各路線バス運転手の走行記録等を調査し、運転手毎に加速度状況とエコドライブ評価指数(推計燃費を指標とした評価値)1³の関係を整理し、加速度を抑制した運転による燃費改善効果の推定を行った。

2 調査手法等

本調査は、次の(1)~(4)の手順により行った。

(1) 走行記録の解析等

バス事業者が収集している車両毎の走行記録を基に、運転手毎の加速度の出現状況を解析した。解析等は以下により行った。

①走行記録

走行記録は、本路線バス事業者が導入しているデータ記録機器(停留所名等の放送装置に付加機能を持たせたもの)に、次のデータ等が 0.5 秒毎に記録され、バス車両のメイン電源が ON から OFF の間で 1 ファイルが作成されるものである。また、ファイル名称から運転手、車両、運行時刻、路線系統等が特定できる。

- i 車速(km/h)
- ii 加速度(m/s²)
- iii エンジン回転数(min⁻¹)
- iv 直近に放送したバス停留所名 (コード)

②解析対象

解析は1営業所内に在籍する全運転手(約100名)のデータから次の範囲を対象とした。

期間:平成20年4月1日から半年間

路線: A 系統(約 4km)及び B 系統(約 16km)の 2 路線

③解析方法

同一運転手においても時間帯、道路混雑状況、運転する 車両の加速性能等によっては加速度の分布が異なることが 考えられるため、走行記録を、走行時の時間帯(ラッシュ時(7~9時台及び18~20時台)、日中(10~18時まで)、早朝夜間(7時以前及び21時以降)の3区分)、平均車速(9~12km/h、12~15km/h、15~18km/h の3種類)と車種(大型車、中型車の2種類)別に分類し、バスが起点のバス停を出発してから終点のバス停に到着するまで(以下、「起終点間走行」という。)のデータ毎に解析を行った。解析対象とした起終点間走行のデータ数は、表1のとおりである。なお、大型車、中型車とは、バス事業者等による分類方法で、車両長9mを境界としている。

表 1 解析対象とした起終点間走行の数

車種	時間帯	A系統	B系統
大型車	ラッシュ時	12,843	4,633
	日中	18,530	6,390
八至甲	早朝・夜間	1,124	1,209
	計	32,497	12,232
	ラッシュ時	55	2,362
中型車	日中	152	3,280
中至早	早朝・夜間	0	654
	計	207	6,296
	ラッシュ時	12,898	6,995
合計	日中	18,682	9,670
	早朝・夜間	1,124	1,863
	計	32,704	18,528

(2) 代表速度データの抽出

エコドライブ評価指数を算出するため、運転手毎に起終 点間走行時の速度データを路線別、車種別、平均車速別に 抽出した。ここで、抽出データは、それぞれ分類毎に運転 手毎の平均的な加速度分布をしているもの(以下、「平均的 加速時の走行」という。)と加速度が高いもの(以下、「高 加速時の走行」という。)の2種類を抽出した。(運転手に よっては該当するデータが存在しないケースもある)。

(3) エコドライブ評価指数の算出

(2)で抽出した速度データを基に運転手毎のエコドライブ評価指数を算出した。

エコドライブ評価指数は、当研究所が作成したエコドライブ評価モデル¹⁾³⁾を用いた。モデル式を式(1)に示す。

エコドライブ評価指数=

平均速度 $(km/h) \times$ 時間 (sec) [=走行距離] β i·Ti + β a·Aa·Va·Ta + β d·Vd·Td + Σ β cs·Vcs·Tcs

· · · (1)

ここで、

βi :アイトリング係数 βa:加速係数 βd:減速係数

βcs:定速係数[s=1~n]

Ti : アイドリングモード累計時間(sec)
Ta : 加速モード累計時間(sec)
Td : 減速モード累計時間(sec)

Tcs:定速モード累計時間(sec)[s=1~n] **Aa**:加速モード平均加速度(km/h/s)

 Va
 : 加速モード平均速度(km/h)

Vd :減速モード平均速度(km/h)

Vcs: 定速モード平均速度(km/h)[s=1~n]

である。

なお、モデル式の定数は、当研究所にて、これまでに測定した大型貨物車の燃費と速度データ (10 台分) を基に決定した。この手法は、乗客数(車両重量)やエアコンの使用状況などによる燃費の影響を排除し、各運転手の加速の仕方などの運転特性の違い(エコドライブ度)を評価できる特徴を持つ。

なお、これまでの調査では、乗用車やトラック等について、実測の燃費とモデル式により推計した燃費との相関が高いことを確認している。ここでは、路線バス車両の燃費とエコドライブ評価指数の相関についても確認した。

(4) 運転手別の加速度状況とエコドライブ評価指数の関係の整理

(1)で得られた運転手別の加速度特性と(3)のエコドライブ評価指数の関係を考察した。

3 結果

(1) 運転手別加速度状況

ア 加速度出現分布の状況

全運転手の日中の平均車速が12~15km/h 時の加速度分布の状況を図1に示す。平均値がゼロの正規分布に近い分布となった。他の車速区分においても同様に正規分布に近い分布を示したが、標準偏差は表2に示すとおり、車速が高いほど大きく、また、路線長の長いB系統がやや大きい結果となった。

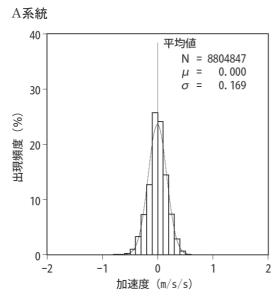
イ 運転手別高加速度の出現状況

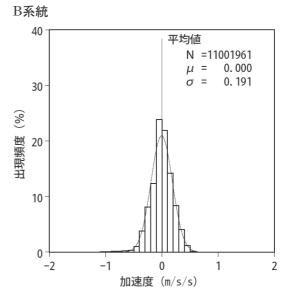
1 つの起終点間走行に出現する瞬時的な最大加速度は、 車速センサ等のノイズによる異常値のほか、運行上の避け がたい状況等に起因することもあるなど、運転手の運転の 特性を特徴付けない可能性がある。

このため、本調査においては1つの起終点間走行データ ごとに得られる0.5秒おきの加速度データ系列を対象に、 まず、横軸に加速度(m/s²)、縦軸に相対度数を取った累積

表 2 加速度分布の標準偏差

平均車速	A系統	B系統
9km/h未満	0.156	0.165
9 ~ 12km/h	0.166	0.179
12~15km/h	0.169	0.191
15 ∼ 18km/h	0.172	0.205
18km/h以上	0.178	ND





※ N:0.5sec毎の加速度データ数、 μ :平均値(m/s^2)、 σ :標準偏差(m/s^2) 曲線は、平均値、標準偏差に対応させた正規分布曲線

図1 全運転手の加速度分布(日中:平均車速12~15km/h時)

度数分布図を作成した。次に、この累積度数分布図において、相対度数が80%、90%、98%となる加速度値をそれぞれ加速度80%値、加速度90%値、加速度98%値として高加速度の指標とし(図2に示すとおり)、運転手毎に値を整理し比較した。

ここで、系統別、車種別に加速度 90%値の分布(運転手の人数割合)を図 3 に示す。加速度 90%値(大型車)は、A 系統では $0.576\sim1.097 \text{m/s}^2$ 、B 系統では $0.645\sim1.168 \text{m/s}^2$ の範囲にあった。系統別では、A 系統では $0.800\sim0.850 \text{m/s}^2$ の運転手が多く、B 系統では $0.850\sim0.900 \text{m/s}^2$ の運転手が最も多く、やや広く分布している。車種別で見ると、大型車、中型車の分布状況はやや異なるものの、加速度 90%値の範囲は、ほぼ同一であった。

次に、路線別、車種別に運転手毎の各加速度値を大きい順に並べ替えた際の順位を図4に示す。運転手毎の加速度値による順位は、路線や車種が異なっていてもほぼ同じであり、加速度値には各運転手の運転の特徴が表れていると言える。なお、この特徴は、異なる速度区分においても同様であった。

(2) エコドライブ評価指数

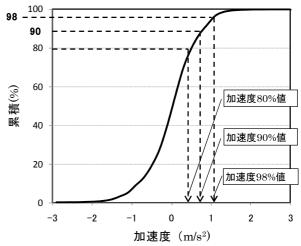
ア 評価指数の計算結果

路線別、車種別、平均車速別に、運転手毎の平均的加速時の走行と高加速時の走行におけるエコドライブ評価指数を計算した。B系統における平均車速12~15km/hの時のエコドライブ評価指数の分布を図5に示し、全計算結果をまとめたものを表3に示す。なお、エコドライブ評価指数の計算は、車両が停止している時にアイドリングをしているものとしてアイドリングの燃料消費を加味して計算した場合と、車両停止のアイドリング時の燃料消費分を一切除外して計算した場合の2通りを実施した。

エコドライブ評価指数は、値が高いほど燃費が良い走行を示す。ただし、燃費と同様、運転技術とは別に、渋滞がなくスムーズに流れている時など(平均車速が上昇する)、 発進と停止の回数が少なく、定速走行の時間割合が多くなることによっても評価指数は相対的に高くなる。

この調査結果から得られた主な特徴は次のとおりである。

- i 同一の運転手が同じ路線を走行する場合においても、 高加速時の走行の場合は、平均的加速時の走行に比べエ コドライブ評価指数が 3~5 ポイント程度低い。
- ii A、Bの2系統に出現する平均車速の範囲では、平均車速の違いによるエコドライブ評価指数の差は小さい。



※ 車両停止時の加速度(Om/s2)は除外して作成

図2 運転手別高加速度値指標の作成方法

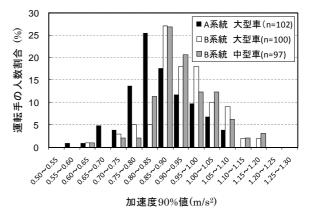
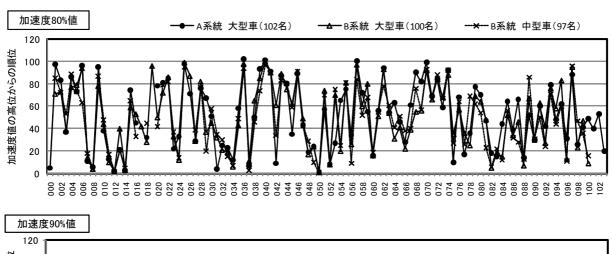


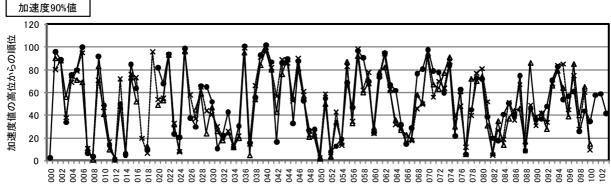
図3 加速度90%値の分布

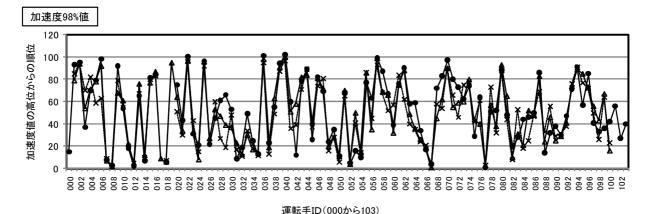
- iii 路線長の長いB系統のエコドライブ評価指数は、路線 長の短いA系統に比較し、ばらつきが少ない。
- iv 運転手間で、エコドライブ評価指数には差が見られ、 最下位の者と最上位の者では、15~22 ポイント程度 (アイドリングを加味した計算値)の違いがある。

イ エコドライブ評価指数と燃費の関係

これまでに当研究所がシャシダイナモメータ上で実施した過渡走行時の燃費データを基に、バス車両でのエコドライブ評価指数と燃費の関係を確認した。結果を図 6、7 に示す。この図は、東京都実走行パターン 10 種(平均車速4.6~44.4km/h)の走行を行った平成 6 年排出ガス規制適合の路線バス(等価慣性重量は11,540kg、以下この車両を「KC」という。)と関連調査で実施した路線バス走行パターン 6 種(平均車速4.8~19.0km/h)40による走行を行った新短期排出ガス規制に適合した路線バス(等価慣性重量







注)順位は、乗務員毎の起終点間走行の加速度値の平均値で比較しており、データ数が3未満の運転手は除いている。

図4 運転手別の加速度順位

は11,925kg、以下この車両を「PJ」という。)の燃費とエコドライブ評価指数を計算した結果である。図6から、PJと KCでは回帰直線の傾きは異なるが、全体的には燃費とエコドライブ評価指数には良好な相関関係が得られていることが確認される。また、図7に示すPJのアイドリングを除外したエコドライブ評価指数は55~58の狭い範囲に集中した。これは、路線バスの走行の特徴に起因するものと考えられる。すなわち、都市部の路線バスでは、かなり煩雑にバス停留所に停まり、乗客が乗り降りする。このため、路線バスの平均車速は、渋滞などの道路状況よりむし

る乗降客の数などによる停車時間(アイドリング)の長短により決まる傾向がある。したがって、この停車時間(アイドリング)の影響を除外するとほぼ同じ走行となるためと考えられる。このため、PJと KC の燃費性能には、大きな差はないと考えられる。

ここで、前述したエコドライブ評価指数の同一運転手の高加速時の走行と平均的加速時の走行の $3\sim5$ ポイント程度の差、最下位の者と最上位の者の $15\sim22$ ポイント程度の差は、図6に示すPJの関係を基にすると、それぞれ、 $3\sim4\%$ 程度、 $11\sim16\%$ 程度の燃費の差になる。

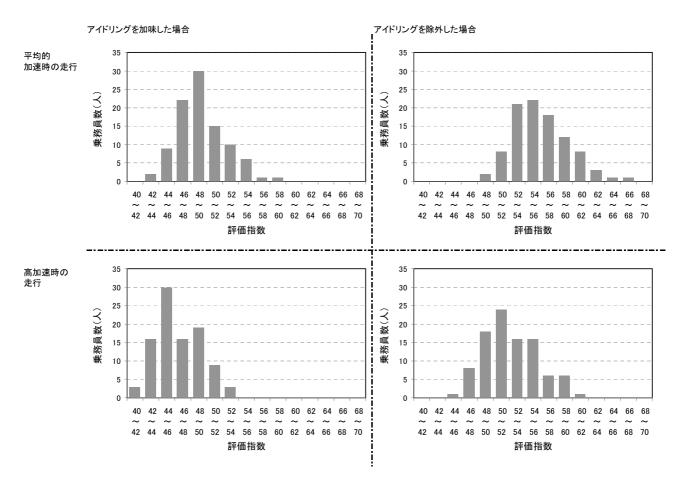


図 5 エコドライブ評価指数の分布(B 系統 大型車 平均車速 $12{\sim}15$ km/h)

表 3 運転手のエコドライブ評価指数

系統	車種	走り方	車速区分	平均値	最小値	最大値	標準偏差	人数
A系統		平均的な走行	9 ~ 12km/h	58.8 (50.2)	50.2 (44.1)	67.8 (58.2)	4.15 (3.3)	95
			12 ~ 15km/h	59.1 (52.8)	49.3 (44.7)	71.0 (65.4)	4.03 (3.6)	100
	大型車		15~18km/h	60.7 (56.0)	50.5 (45.9)	70.0 (67.2)	4.20 (4.0)	100
	八至里	高加速時の走行	9 ~ 12km/h	53.6 (46.2)	44.8 (39.2)	62.7 (53.5)	3.83 (3.2)	95
			12 ~ 15km/h	54.0 (48.3)	44.8 (39.9)	63.1 (57.1)	3.96 (3.5)	100
			15~18km/h	55.9 (51.5)	46.5 (42.9)	66.8 (60.0)	4.34 (3.9)	100
	大型車	平均的な走行	9 ~ 12km/h	56.6 (48.5)	48.6 (41.9)	65.4 (55.9)	3.10 (2.6)	96
			12 ~ 15km/h	55.9 (49.3)	48.3 (43.7)	67.3 (59.9)	3.53 (3.0)	96
			15~18km/h	54.5 (49.7)	46.2 (42.3)	62.1 (56.2)	3.65 (3.2)	52
		高加速時の走行	9 ~ 12km/h	53.4 (46.0)	45.9 (40.0)	60.7 (51.1)	3.23 (2.6)	96
			12~15km/h	52.2 (46.5)	45.4 (41.1)	60.4 (53.2)	3.39 (2.9)	96
B系統			15 ∼ 18km/h	50.9 (46.7)	43.9 (40.8)	58.3 (53.1)	3.56 (3.2)	52
D采剂	中型車	平均的な走行	9 ~ 12km/h	59.3 (50.6)	51.3 (44.7)	69.8 (60.5)	3.42 (2.8)	75
			12~15km/h	59.1 (52.2)	50.9 (44.9)	69.4 (62.6)	3.53 (3.3)	80
			15 ∼ 18km/h	57.9 (52.6)	48.5 (44.6)	63.7 (57.9)	3.59 (3.2)	17
		高加速時の走行	9 ~ 12km/h	56.6 (48.4)	48.3 (41.8)	64.5 (56.6)	3.38 (2.8)	75
			12 ~ 15km/h	55.2 (48.9)	47.9 (42.8)	64.9 (58.2)	3.31 (2.9)	80
			15 ∼ 18km/h	52.8 (48.5)	46.0 (41.9)	58.7 (53.7)	3.37 (3.2)	17

()内は、アイドリング部を除外して計算した結果

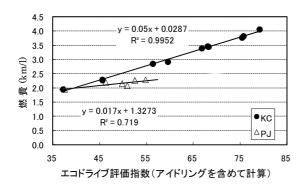


図 6 エコドライブ評価指数と燃費の相関(1)

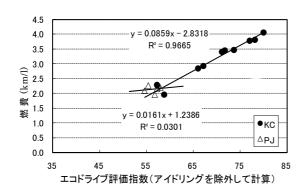


図7 エコドライブ評価指数と燃費の相関(2)

(3) 出現する各加速度値とエコドライブ評価指数の関係

運転手毎に加速度 80%値、90%値並びに 98%値を運転手特性とし、その運転手の平均的な加速時のエコドライブ評価指数との関係を図 8、9、10 に示す。この図は、A系統、B系統(大型車のみ)の平均車速が 12~15km/h について示したものであるが、加速度 80%値、90%値、98%値のいずれを指標に見ても、加速度値が高い運転手ほどエコドライブ評価指数が低い値となる線形の傾向が現われた。また、これらの相関を見ると、加速度 98%値の決定係数 (R²) は他に比べて低い。

図8の関係から、A系統路線では加速度80%値が0.1m/s² 増えるとエコドライブ評価指数は、4.9 ポイント程度下がることが分かる。これは、図6のPJの燃費とエコドライブ評価指数の関係をあてはめた場合、約4%の燃費悪化となる。表4に各加速度値が0.1m/s²抑制された場合のエコドライブ評価指数の増加ポイント数と燃費改善率について、路線と車速毎にまとめた一覧を示す。

運転手毎の加速度 80%値、90%値については、前述のとおり運転手間における差があり、例えば、B系統で加速度 80%値が最も大きい($0.79 m/s^2$)運転手がエコドライブに 心掛けて、平均的($0.60 m/s^2$)な運転になるとすると、エ

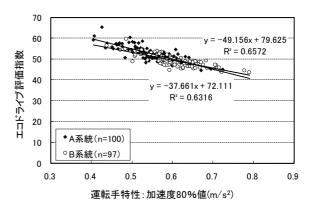


図8 加速度80%値とエコドライブ評価指数

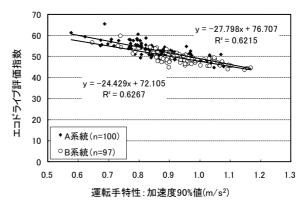


図 9 加速度 90%値とエコドライブ評価指数

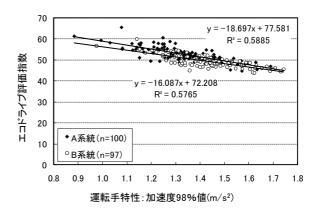


図 10 加速度 98%値とエコドライブ評価指数

表 4 加速度値 0.1 m/s² 抑制によるエコドライブ評価指数 の増加ポイントと燃費改善率

路線	TITLE For the Nets	加速度80%値		加速度90%値		加速度98%値	
	平均車速	増加ポイント	燃費改善率	増加ポイント	燃費改善率	増加ポイント	燃費改善率
A系統	9 ~ 12km/h	3.9	3.0%	2.2	1.7%	1.4	1.1%
	12~15km/h	4.9	3.7%	2.8	2.0%	1.9	1.4%
	15~18km/h	5.7	4.2%	3.3	2.3%	2.2	1.5%
B系統	9 ~ 12km/h	3.4	2.7%	2.1	1.7%	1.4	1.0%
	12~15km/h	3.8	3.0%	2.4	1.9%	1.6	1.2%
	15~18km/h	4.1	3.2%	2.6	1.9%	1.7	1.3%

※燃費改善率は、「PJ」車両において各加速度値の高い運転手を基準に試算

コドライブ評価指数は7ポイント程度向上し、6%程度の燃費向上が期待できるものと考えられる。

4 まとめ

本調査で得られた結果をまとめると次のとおりである。

- i 運転手毎に、出現する加速度の累積度数分布を作成し、 加速度の小さい値からの80%、90%及び98%に当たる加 速度値を見た場合、乗車する路線や車種が異なっていて も、運転手間の各加速度値を比較した順位は同程度とな り、運転手の運転の仕方を特徴付けるものとなった。
- ii 運転手毎に系統別、平均車速別に平均的加速時の走行と高加速時の走行のそれぞれから、起終点間走行の車速データを抽出し、当研究所が作成した評価モデルを用い、エコドライブ評価指数を算出した。エコドライブ評価指数と燃費の関係を基に、平均的加速時の走行と高加速時の走行の燃費を比較すると、高加速時の走行は3~4%程度燃費が悪い。また、平均的加速時の走行の燃費を見ると、燃費の良い運転手と悪い運転手では11~16%程度の燃費差があった。
- iii 加速度 80%値、90%値、98%値を運転手の特性値として、当該運転手のエコドライブ評価指数との相関を確認すると、加速度値が高い運転手ほど、エコドライブ評価指数は低い値となった。この関係から、例えば、加速度80%値が 0.1m/s² 抑制された運転の場合の燃費改善率は、3~4%である。
- iv 本調査で定義した加速度 80%値、或いは 90%値といった一定の高加速度値は、燃費の状態を表す指標となり、エコドライブの度合いを改善させていく材料として、有効に活用できるものと考えられる。

5 おわりに

本結果が、旅客運送事業者や貨物運送事業者等における エコドライブの取り組み推進に向けての資料となれば幸い である。

本調査は、東京都交通局からの受託事業の一環として実施したものである。走行記録の提供等、様々なご協力頂いた交通局自動車部の関係職員の方々に感謝申し上げます。

参考文献

1) 岡村整ら: 「エコドライブの評価手法に関する研究」,第 47 回大気環境学会年会講演要旨集(2006)

- 2) 岡村整ら:「自動車の走行方法改善による温暖化対策の推進」,第48回大気環境学会年会講演要旨集(2007)
- 3) 岡村整ら: 「エコドライブの定量的評価法に関する研究」, 2008 年東京都環境科学研究所年報 p3-9(2008)
- 4) 小谷野眞司ら:「最新規制路線バスのアイドリングストップによる CO₂等の低減効果」,2009 年東京都環境科学研究所年報 p**-**(2009)