

## 省エネ運転評価技術の開発

### Development of the system of economy driving advice

安士 光男, 柳平 雅俊

Mitsuo Yasushi, Masatoshi Yanagidaira

**要旨** 適切な車間距離と燃費の関係を明らかにして、運転者にエコドライブをアドバイスする手法を提案する。多くの場合、走行車両は前方車両の影響を受けて走る。前方車の加減速に影響されないで走行するために十分な車間距離が必要である。交通工学の分野では、車両の挙動を前方車両に追従するモデルとして追従モデルを用いている。

市街地走行中の車間距離の適切さについて追従モデルを用いて実験した。被験者には、通常の運転とエコドライブの運転の2種類の条件下で走行するように指示した。最適な車間距離の指標として、交通流の分野では前方車両に追従するモデルが知られている。我々は追従モデルを用いて、運転の評価と運転アドバイスを行うシステムを開発した。車間距離の十分さを示す指標は追従モデルから計算される速度を閾値を用いて判別した結果、ノーマル運転で7%であり、エコ運転で72%であった。

**Summary** The Author proposed a method for fuel efficient driving, to make clear the relationship between the distance between vehicles and fuel efficiency. In many cases, vehicles change their acceleration primarily in response to changes in the distance to the vehicle in front. Distance to the vehicle in front, is required to maintain the momentum achieved by coasting without the accelerator and accelerating again when clear of an obstacle. In the field of traffic flow analysis, the optimal velocity model is one of the car-following models. By studying this model we could evaluate the driving behavior and economy driving advice. In the test, two types of driving conditions, normal drive and eco-drive, were instructed to driver and the optimal velocity speed threshold for distance between vehicles was calculated. As a result of an experiment, normal driving was detected 7 percent of the time, and eco-driving detected 72 percent of the time .

キーワード : 運転行動, 環境, エコドライブ, 燃料消費

#### 1. まえがき

自動車の燃料消費量を少なくするために、運転方法と燃料消費の関連性の解明が急がれている<sup>(1)(2)(3)</sup>。同じ車両を運転したとしても、運転者の運転特性の違いによって燃料消費量が異なってくることが数多く報告されている<sup>(4)(5)</sup>。車両密度の小さい環境であれば、加速を緩やかにして速度をあげないようにして走ると燃費は良くなる。車両密度の大きい走行環境では、車間距離に余裕をもつことにより加減速の少ない運転が可能である<sup>(7)(8)</sup>。しかし「車間距離に余裕をもつ」という具体的な指標はない。また、円滑な車の流れを妨げずに車群全体で安全性、経済性と渋滞の緩和を両立

する適度な車間距離が望まれる。そこで、適切な車間距離の評価と燃料消費量を表示することにより省燃料消費評価の精度を高めることのできる省燃料運転評価システムを開発した。実際の道路では、道路の混み具合、赤信号の有無など周辺の状況で速度、加減速が左右される。従来の省エネ運転評価装置では、周囲の状況(空いている道で赤信号なし)で定速走行すれば評価が良くなるし、渋滞で赤信号が多いと評価の結果が悪い。運転者が望むのは、さまざまな状況に応じた運転評価である。本研究では車間距離に応じた最適速度を計算している。一定時間内で最適速度より早い速度で走行している場合に、燃費が悪くなるという情報を

運転者に提示することができ、燃料消費の低減を促す運転アドバイスが可能である。

## 2. 車間距離の評価方法

車には前方の車との車頭距離によって決まる安定な速度(最適速度)があり、車頭距離が一定ならば、車の速度は最適速度に漸近すると考えられる。運動方程式を

$$\frac{d^2}{dt^2} x_n(t) = \alpha \left[ V(\Delta x_n) - \frac{d}{dt} x_n(t) \right] \quad (1)$$

と定義したものを最適速度(OV)モデルという。

ここで、 $x_n$ はn台目の車の位置を表し、 $\Delta x_n$ は車頭距離  $x_{n-1} - x_n$  である。 $V(\Delta x_n)$ は $\Delta x_n$ によって決まるOVを表し、車はそのときのOVとの速度の差によって加速や減速を行うとすることを表している。只木らは<sup>(9)</sup>OV関数として

$$V(\Delta x) = \frac{V_{\max}}{2} \left[ \tanh\left(2 \frac{\Delta x - d}{\omega}\right) + c \right] \quad (2)$$

を採用した。

$d > 0$ ,  $c > 0$ のとき $\Delta x$ がある値以下では $V(\Delta x)$ は負値になるが、その範囲では $V(\Delta x) = 0$ とする。最適速度のパラメータとして、下記の定数を用いた。

最大速度  $V_{\max} = 12\text{m/sec}$ , 安全距離  $d = 25\text{m}$ ,  
 $C = 0.913$ ,  $w = 23.3\text{m}$

車間距離の十分さの指標として、走行速度が最適速度より小さい時間の割合(%)を計算する。上記最適速度関数(図1)で、左上領域が最適速度より走行速度が高い場合であり、車間距離が不十分であると判定する。図1で右下領域が最適速度より車速が遅い領域で、車間距離が十分であると判定している。即ち、

T1: 最適速度  $\geq$  走行速度の時間

T2: 最適速度  $<$  走行速度の時間

R: 車間距離の十分さの評価値

$$R = \frac{T1}{T1 + T2} \quad (3)$$

このように算出した車間距離の十分さの指標は、市街地走行で渋滞から空いている状態まで、最適な車間距離を解析するのに有効な指標となる。

## 3. 実験

### 3.1 実験車両

実験車両は、エンジン2.4L、5速オートマチックミッションのミニバンである。車速、燃料消費量データは、車両のCANバスより入手した。データは1秒

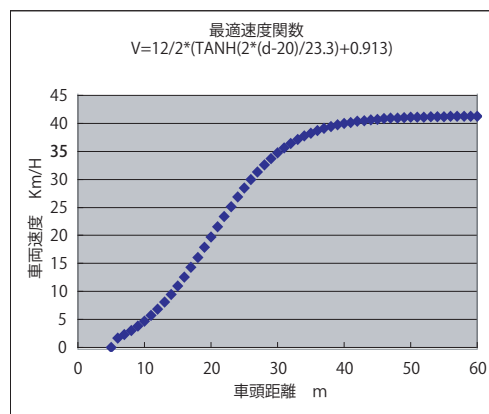


図1 最適速度関数

Fig.1 Optimal velocity model

毎にPCに測定データを記録した。

### 3.2 車間距離測定装置

単眼カメラをルームミラーの位置に設置し、画像処理にて前方車両までの距離を1秒間に10回測定する。前方車両までの距離を5m~120mの範囲で計測する。

画像処理のアルゴリズムを図2に示す。道路上の白線を検知し、画面上で消失点(無限遠方の座標)を求め、周辺の画像の動きベクトルより、車両の速度を

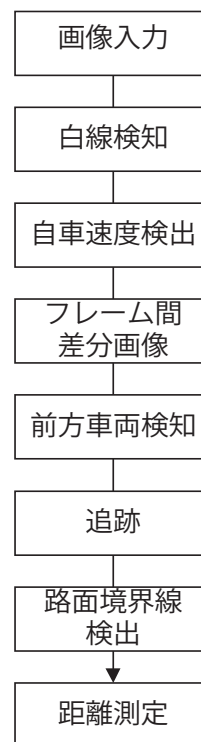


図2 前方車両までの距離解析方法

Fig.2 Analysis of the headway distance

検出する。連続画像の差分を求めることにより、動く物体（近距離の車両など）と静止物体（遠方の車両または道路上の標識など）を検出する。検出した物体は連続画像で5フレーム以上追跡し、その形状が変わらなければ車両として認識する。また、消失点から検出した車両下面（道路と車両の境界線）までの位置関係で距離を算出する。これはカメラの位置（取り付け高さ）があらかじめ分かっていることが前提になる。

### 3.3 実験方法

被験者は、日常的に乗用車を運転する40代の男性1名であった。実験は2008年7月に行った。道路は片側1車線であり、コース上には40箇所の信号が設置されている。鶴ヶ島市内から川越市内の往復走行で14.3 kmのコースである。車室内では25度の設定温度でエアコンを作動させた。被験者には、通常の運転とエコドライブの運転の2種類の条件下で走行するように指示した。

- 1 回目：普段通りの運転（ノーマル運転）
- 2 回目：車間距離を十分にとることを意識したエコドライブ（エコ運転）

この際、エコドライブについての教示は下記のように指示した。

- ・ 車間距離は余裕をもって、交通状況に応じた安全な定速走行に努めましょう。
- ・ 赤信号で停止位置が分かったら、早めにアクセルから足を離して減速しましょう。

## 4. 実験結果

### 4.1 車間距離の十分さ

走行中に車間距離が10 m～60 mの範囲になるときを追従運転とした。ノーマル運転では、総運転時間は1571秒であり、追従運転時間は1071秒(68%)であった。平均車間距離は24.3 mであり、平均速度は9.4 m/secであった。走行速度が最適速度より小さい(車間距離が十分)な時間81秒(7%)であった。エコ運転では、総運転時間が1704秒であり、追従運転時間629秒(37%)であった。平均車間距離は30.8 mであり、平均車速は6.9 m/secであった。走行速度が最適速度より小さい(車間距離が十分)時間は453秒(72%)であった。表1にエコモードとノーマルモードでの走行結果を示す。図3に、車間距離の十分さを示す指標を示す。ノーマル運転とエコ運転の違いが顕著に表れている。図4に、最適速度関数を基準として車間距離と車速の散佈図を示す。

表1 エコモードとノーマルモードでの走行結果

Table.1 Result of the normal drive and eco-drive

	ノーマル	エコ
走行時間(sec)	1571	1704
追従時間(sec)	1071	629
平均車間距離(m)	24.3	30.8
平均速度(m/sec)	9.4	6.9
車間距離の十分さ	7%	72%

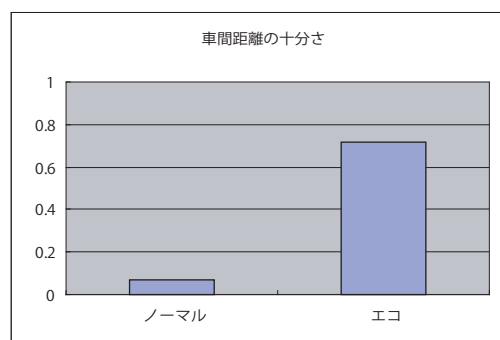


図3 車間距離の十分さの指標

Fig.3 The sufficiency of the headway distance

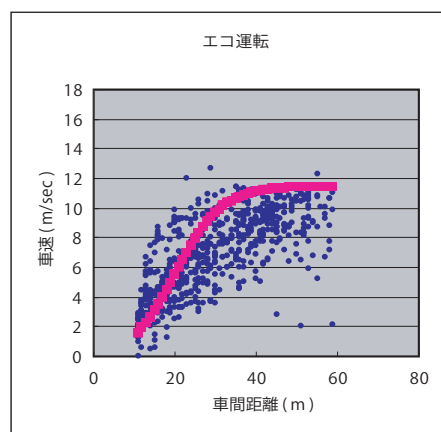
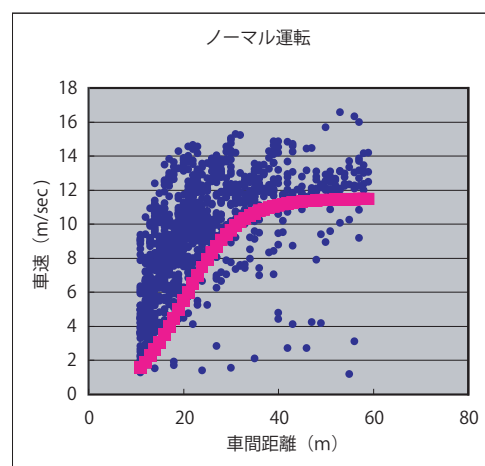


図4 車間距離と車速の関係

Fig.4 Result of headway distance and speed

## 4.2 走行区間と燃費の関係

信号停止中のガソリン消費を省くために、停止中のデータを省いた。走行時間はノーマル運転で1571秒、エコ運転で1704秒であり、エコ運転で8%時間が長くなった。走行中の燃料消費はノーマル走行で1.76L、エコ運転で153Lであり、エコ運転で12%削減された。燃費はノーマル走行で8.12km/Lであり、エコ運転で9.35km/Lであり、エコ運転で15%改善した。平均速度はノーマル運転で9.11m/secであり、エコ運転で8.39m/secであり、エコ運転が8%遅かった。

信号機は40カ所、数百メートルおきにあった。また、発進から停止までを1区間と考え、区間の距離と速度を比較した。ノーマル運転での停止回数は23回であり、エコ運転で19回であった。発進から停止までの区間の距離はノーマル運転で600m、エコ運転で680mであった。走行モードの結果を表2に示す。

表2 走行モードでの結果  
Table.2 Result of drive mode experiment

	ノーマル	エコ	差 (%)
時間(sec)	1571	1704	8%
燃料(cc)	17600	15300	-13%
燃費(km/L)	8.12	9.35	15%
速度(m/s)	9.11	8.39	-8%
平均区間(m/s)	600	680	13%
停止回数	23	19	-17%

発進から停止までの区間距離と燃費は相関が大きい。加速—等速—減速という走行区間で、加速時に燃料を多く消費するので、区間距離が短いと等速走行期間が短くなり、燃費が悪くなる。図5に走行距離と燃費の関係を示す。

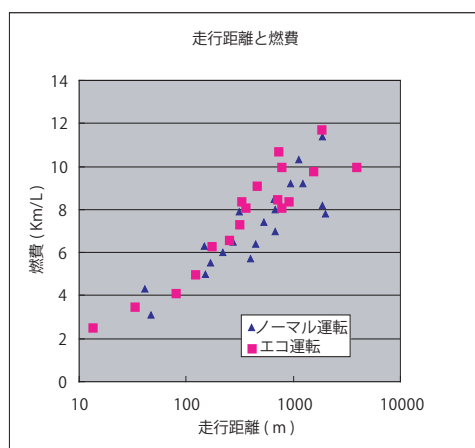


図5 走行距離と燃費の関係

Fig.5 Result of distance and fuel consumption

## 4.3 走行モードと燃費の関係

市街地走行で燃費を比較する場合、同じ道路を同じ運転で走っても信号の停止回数や時間によって燃費は異なる。そこで、走行状態を停止、加速、定速走行、減速に区別した。速度が1m/sec以下を停止状態とし、停止以外で加速度が0.5m/sec<sup>2</sup>以上を加速状態、加速度が-0.5m/sec<sup>2</sup>以下を減速状態、それ以外を定速状態とした。

加速時の時間はノーマル運転で342秒であり、エコ運転で187秒であった。エコ運転の方が45%少なかった。等速時の時間はノーマル運転で980秒であり、エコ運転で1348秒であった。エコ運転の方が38%多かった。減速時の時間はノーマル運転で250秒であり、エコ運転で169秒であった。エコ運転の方が32%少なかった。ノーマル運転時とエコ運転時の走行モードを図6に示す。

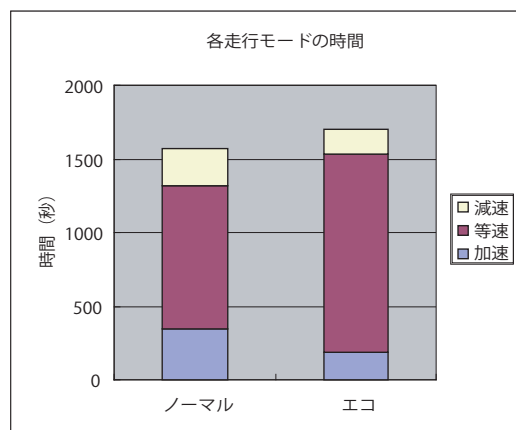


図6 ノーマルとエコでの走行モード割合

Fig.6 Driving mode of times

加速時の燃費は、ノーマルモードで2.14k/Lでありエコ運転で1.41k/Lであり、エコ運転で34%悪かった。等速時の燃費は、ノーマルモードで10.8k/Lでありエコ運転で10.3k/Lであり、エコ運転で5%悪かった。減速時の燃費は、ノーマルモードで17.1k/Lでありエコ運転で12.5k/Lであり、エコ運転で27%悪かった。走行モードでの燃費を図7に示す。

加速時の平均加速度はノーマル運転で0.86m/sec<sup>2</sup>であり、エコ運転で0.69m/sec<sup>2</sup>であり、エコ運転で20%小さかった。減速時の平均加速度はノーマル運転で-1.16m/sec<sup>2</sup>であり、エコ運転で-1.06m/sec<sup>2</sup>であり、エコ運転で8%小さかった。走行モードによる加速度を図8に示す。

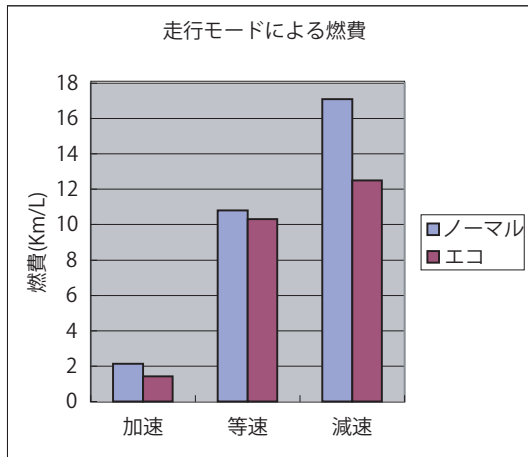


図7 走行モードと燃費の関係

Fig.7 Fuel consumption of driving mode

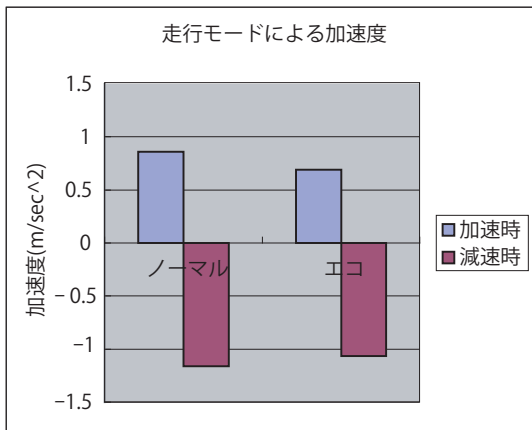


図8 走行モードの加減速時による加速度

Fig.8 Acceleration of driving mode

加速時の平均速度はノーマル運転で7.28m/secで、エコ運転で5.16m/secでありエコ運転で29%低かった。等速時の平均速度はノーマル運転で10.4m/secで、エコ運転で9.2m/secでありエコ運転で12%低かった。減速時の平均速度はノーマル運転で6.51m/secで、エコ運転で5.47m/secでありエコ運転で16%低かった。走行モードにおける平均速度を図9に示す。表3に各走行モードでに時間、消費燃料、燃費、平均速度を示す。

## 5. 考察

### 5.1 車間距離の十分さの判定

追突事故を防止する目的で、車間時間を2秒以上にすることが推奨されている。時速40km(秒速11m)で2秒間に進む距離は約22mである。しかし、走行中に目測で判断することは容易ではない。本実験では車間距離と走行速度より車間距離の十分さを判別

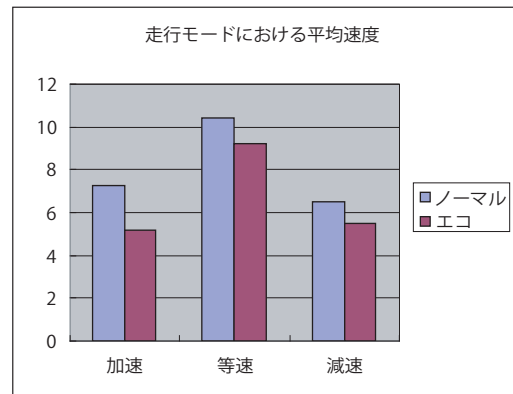


図9 走行モードにおねる平均速度

Fig.9 Average speed of driving mode

表3 実験結果

Table.3 Result of experiment

			ノーマル	エコ	差%
加速	時間	sec	342	187	-45%
	消費燃料	cc	7306	2636	-64%
	燃費	cc/sec	2.14	1.41	-34%
	平均速度	m/sec	7.28	5.16	-29%
	平均加速度	m/sec <sup>2</sup>	0.86	0.69	-20%
	燃費	L/Km	3.41	3.66	7%
等速	時間	sec	980	1348	38%
	消費燃料	cc	934	1197	28%
	燃費	km/L	10.80	10.30	-5%
	平均速度	m/sec	10.40	9.20	-12%
減速	時間	sec	250	169	-32%
	消費燃料	cc	94.2	73.6	-22%
	燃費	km/L	17.1	12.5	-27%
	平均速度	m/sec	6.51	5.47	-16%
	平均加速度	m/sec <sup>2</sup>	-1.16	-1.06	-8%



する基準として、交通流の最適速度関数を用いた。この基準を用いることにより車間距離の尺度が7%と72%と判別し、時速10 km～時速40 kmの範囲で判定可能であった。

## 5.2 走行区間と燃費の関係

市街地では信号で停止することが多い。走行中の燃費を比較するために、発進から停止までの区間で比較した。走行区間を対数スケールにして、10 mから10 kの範囲で燃費と走行区間距離に線形の関係が見られた。エコ運転の比較を行う場合には、走行区間距離を同じ条件で比較する必要がある。また、運転者が燃費低減の運転を学習する場合に、走行区間と燃費の関係を理解しやすい表示などが望まれる。長い区間を走ると燃費が良くなった直接の原因は、加速が減少し、等速走行が増えたためと考えられる。

## 5.3 走行モードと燃費の関係

定速走行ではエンジンの特性から車速が20 m/sec前後が燃費が良いことが知られている。各走行モードでエコ運転の方が平均車速が遅かったことが燃費悪化の原因と考えられる。また、エコ運転時に加速度が小さかったことが燃費向上に寄与したと考えられる。減速時にはエンジン回転数が一定以上で燃料カットが行われ、燃費が良くなる。エコドライブの燃費が悪化した原因として、エコ運転時の方が車速が遅かったため燃料カットの割合が少なかったことが推測される。

## 5.4 車間距離と燃費の関係

車間距離の十分さを判別する手法として、交通流の最適速度関数を用いて有用性を確認した。本研究では車間距離に応じた最適速度を計算し、車間距離の十分さを判別した。

一定時間内で最適速度より早い速度で走行している場合に、燃費が悪くなるという情報を運転者に提示することができ、燃料消費の低減を促す運転アドバイスが可能である。

また、短い車間距離の走行では運転者の注意は先行車の減速行動を監視するために費やされ、先行車以外の情報、たとえば前方の信号が赤に変わったことなどへの注意力が少なくなることが知られている。長い車間距離で追従運転しているときには先行車の制動行動にも余裕を持って対応できるほか、前方の信号機が赤信号の場合に早めにアクセルをオフにして燃費の良い運転ができ、安全運転にもつながる。

## 6. まとめ

車間距離を十分にとることを意識した運転で、普段通りの運転と比べて燃費が15%改善した。交通流の最適速度関数を用いて、市街地走行中の車間距離の適切さについて判別関数を用いて実験し、車間距離の十分さを示す指標は、ノーマル運転で7%であり、エコ運転で72%であった。車間距離の十分さを示す指標の有用性が示唆された。

近年車載用のカメラが普及し、車載画像処理の分野は重要になりつつある。車両の前部に取り付けたカメラから前方の車両を検出し、車間距離を検出することが可能である。

車間距離の十分さを判定する手法として、交通流の最適速度関数を用いた。車間距離を十分にとれば余裕のある運転ができて、燃料消費量も少なくなることが知られている。実際の走行では、信号機の有無、渋滞の程度によって燃費は変化するが、運転者にわかりやすい情報をフィードバックすることにより、車間距離と燃費の関係を明らかにして、燃料消費量を減らすことにより安全運転を行う動機付けになると考えられる。運転中には車載ナビゲーションモニターで表示することにより、高解像度と視認性が期待できる。また、走行履歴を利用して運転後に詳しい運転評価を知ることが可能である。渋滞情報と連携することにより燃料消費量の推定が精度良く行える可能性もある。今後、運転者にとってどのようなアプリケーションが使いやすいかを考えながら研究を進めていきたい。

## 参考文献

- (1) 宮城政雄：都市交通の自動車燃料消費量に関する解析と推定, Mot Veh Technol Prog Harmony Vol.2, p.747-755, 1983
- (2) 小鷹稔生：地方都市中心部における自動車の走行燃費の推定, 日本機械学会・自動車技術会内燃機関シンポジウム講演論文集, Vol.16th, p.337-342, 2000
- (3) 大口敬：燃費推定モデルを用いた道路交通施設整備効果の試算, 土木計画学研究・論文集, No. 12, p.575-582, 1995
- (4) 加藤秀樹：エコドライブにおける燃料改善要因の解析, 自動車技術会 学術講演会前刷集, No.108-99
- (5) 松木裕二：自動車の運転特性と燃料消費量の関係について, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.266, p.1-6, 2006

- (6) 片山 硬：交通流と燃料消費率に関する調査，日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集，Vol.2nd，p.489-494，1993
- (7) 小林 功：エコドライブ走行が交通流に与える影響に関する基礎的研究，土木計画学研究・講演集 (CD-ROM)，Vol.33，PageROMBUNNO.17，2006
- (8) 中島 ひろ子：実走行における燃料消費量の推定，自動車技術会学術講演会前刷集，No.108-99
- (9) 只木 進一：交通流の科学，日本物理学会誌，Vol.55 No.3，2000

### 筆 者 紹 介

#### 安 士 光 男 (やすしみつお)

技術開発本部 開発センター MS 第一開発部に所属，主な経歴は，リラクセーション機器の開発，生理心理情報処理，快適空間制御技術の開発を行う。得意分野，技術などは，ナビゲーションのエコ機能開発。特に，環境改善技術に興味をもつ。

#### 柳 平 雅 俊 (やなぎだいら まさとし)

技術開発本部 開発センター MS 第 1 開発部，現在，車両内における情報処理技術の研究に従事