

## 自動車の運転特性と燃料消費量の関係について

松木 裕二

九州大学大学院システム情報科学研究院 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

E-mail: matsuki@brain.is.kyushu-u.ac.jp

あらまし 自動車の燃料消費量を抑制することは、社会的に重要な課題である。そのため、様々な分野において研究が進められており、ハイブリッド車両や、燃費向上のための装置が開発されている。しかしながら、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のが数多く報告されている。本研究では、運転特性として運転者が保持する車間距離に着目し、先行車を追従しているときの加減速行動が車両の燃料消費量にどのような影響を与えるのかを実験的に調べた。その結果、車間距離を大きく保持することが、間接的に燃費を向上させることが明らかになった。このことは、運転者が自主的に安全運転行動を行うための強い動機付けになると考えられる。

キーワード 燃料消費量, 燃費, 車間距離, 車間時間, 安全運転

## The Relationship between Driving Behavior and Fuel Consumption

Yuji MATSUKI

Department of Intelligent Systems, Faculty of Information Science and Electrical Engineering,

Kyushu University 744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395 Japan

E-mail: matsuki@brain.is.kyushu-u.ac.jp

**Abstract** To improve fuel economy when driving a car is an environmentally and economically critical issue. Much work has been conducted in various technology fields, including the development of eco-friendly hybrid vehicles. This is just one of a variety of products designed for reducing fuel consumption and cost. However, in spite of these products it has been reported that fuel consumption varies depending on the driving practices, even when driving the same vehicle.

In this study, the authors focused on the characteristic of keeping headway distance while driving, and investigated its effect on fuel consumption. As a result, it was clarified that maintaining considerable headway indirectly improves fuel economy. This fact could become a strong motivator in promoting safe driving by way of maintaining sufficient headway while driving.

**Keyword** Fuel Consumption, Fuel Economy, Headway Distance, Headway Time, Safe Driving

### 1. はじめに

地球温暖化防止や大気汚染防止を目的として、自動車の燃費を向上させるための研究・開発が進められている。一方で、燃料消費量を抑えた自動車の運転方法も各方面から提案されている。警察庁、経済産業省、国土交通省及び環境省がメンバーとなって設置したエコドライブ普及連絡会では、10項目からなるエコドライブのポイントを指摘している。その中で運転挙動に直接関係するものとしては、「不要なアイドリングの停止」、「スムーズに発進を行う」、「減速時はエンジンブレーキを使用する」、「車間距離に余裕を持つ」の4つが挙げられる。

先の3つの項目については、一般的にもよく知られ

ており、個人でも数多くの方が実践している。それに対して、「車間距離に余裕を持つ」ことについては、具体的な方法やその効果検証に関する記述は少ない。そこで、本研究では、運転特性として運転者が保持する車間距離（車間時間）に着目し、先行車を追従しているときに、車間距離の大きさが燃料消費量にどのような影響を与えるのかを実験的に調べた。

### 2. 予備実験

本実験を行う前に、本実験で使用する実験車両の燃料消費特性（定速走行時の瞬間燃費とアイドリング時の1分当たりの平均燃料消費量）を調べる必要があり、予備実験を行った。

## 2.1. 装置

### ・燃料消費量測定装置

燃料消費量を測定するために、燃料消費量測定装置を用いた(テクトム製、燃費マネージャーFCM-2000)。この装置は、車両の診断用コネクタに装着するだけで、瞬間燃費、平均燃費、速度、エンジン回転数、燃料消費量を計測することができる。しかしながら、この装置は、測定データを付属の液晶画面に表示するだけであり、PC等に測定データを出力する機能は有していない。そこで、この液晶画面をデジタルビデオカメラ(SONY製、DCR-TRV22)で記録撮影し、オフラインで記録映像からデータを読み取って解析を行った。なお、このデータの読み取り作業は、撮影画像から自動的にデータを読み取るOCRアプリケーションを作成して利用した。

### ・実験車両

実験車両は、日産自動車のSERENA(型式UA-TC24)を用いた。この車両は、オートマチックトランスミッション仕様であった。実験中は、温度設定を25℃に固定したエアコンを常時作動させた。なお、風量は自動設定とした。

## 2.2. 方法

定速走行時の瞬間燃費を調べるために、40km/h、50km/h、60km/hの3つの速度条件を設けた。福岡市内にある平坦で長い直線道路を、燃料消費量計測装置を搭載した実験車両で走行した。運転者は、決められた設定速度を一定に保つようにアクセル踏量を調節して運転した。このときの瞬間燃費を、3つの速度条件(40km/h、50km/h、60km/h)ごとに2Hzで1分間計測し、その平均値と最大値を求めた。

次にアイドリング状態での1分当たりの平均燃料消費量について調べた。実験車両に対して十分な暖気運転を行った後、ギアのセレクトレバーをドライブレンジに設定し、フットブレーキを踏んだ状態で車両を停止させ、その状態で1分当たりの平均燃料消費量を計測した。

## 2.3. 結果

定速で40km/h、50km/h、60km/hで走行した場合の瞬間燃費の平均値は、それぞれ17.7km/l、20.0km/l、17.1km/lであった。また、最大値は、それぞれ22.3km/l、24.0km/l、21.6km/lであった。この結果から、40km/hから60km/hまでの速度域においては、25km/l以上の瞬間燃費が計測されたときは、アクセルペダルを踏んでいない状態と見なすことにする。

アイドリング状態での1分当たりの平均燃料消費量は、18.3ml/minであった。本実験での車両の停止時に

は、この1分当たりの平均燃料消費量を用いて解析を行うことにする。

## 3. 本実験

本実験では、車間距離の大きさが燃料消費量にどのような影響を与えるのかを調べることにした。

### 3.1. 装置

#### ・運転挙動測定装置

本実験では、追従運転時の運転挙動を調べるため、渡邊らが開発した運転挙動測定装置を利用した[1]。この運転挙動測定装置では、車両速度、車間距離、車間時間、GPSからの位置情報、前方映像を1Hzで記録することができる。また測定データの解析時には、中村らが開発した解析プログラムを用いて行った。

### 3.2. 方法

被験者は、日常的に乗用車を運転する30代男性1名であった。被験者は、運転挙動測定装置と燃料消費量計測装置を搭載した実験車両を運転した。車室内では、予備実験と同様に25℃の設定温度でエアコンを作動させた。

実験に使用したコースは、福岡市内にある九州大学箱崎キャンパスから平山交差点までの7.7kmであった。道路は片側3車線であり、中央車線のみを走行した。コース上には21基の信号機が設置されていた。被験者には、このコースを被験者が短いと感じる車間時間と、長いと感じる車間時間の2種類の条件下で走行するように指示した(以後、前者を短い車間条件、後者を長い車間条件と呼ぶことにする)。この際、被験者には、目標とする具体的な車間距離、車間時間は指示しなかった。また、車間時間を一定に保つことに固執しないこと、アクセル・ブレーキの操作や走行速度の選択については、普段の運転通りに行うように指示した。

実験は、平日の午後2時から午後4時ごろまでの時間帯を選び、長い車間条件と短い車間条件をそれぞれ1日につき1往復ずつ行った。この1往復を往路と復路に分けて、2回の走行と見なした。4日間かけて合計16回の走行を行った。走行順序はカウンターバランスを取った。

測定項目は、現在時刻、車両速度、車間距離、車間時間、GPSによる緯度経度、瞬間燃費、エンジン回転数、車両の前方映像であった。

### 3.3. 分析

測定データを基に表1の分析項目を算出した。

表1 分析項目の一覧

測定	単位
全体および追従運転時の速度	km/h
全体の燃料消費量	ml
全体の燃費	km/l
追従走行時の燃費	km/l
追従走行時の車間時間	sec
追従走行時に加速度が0である割合	%
全体の走行時間	sec
アクセルペダルを最後に離れた走行位置から停止するまでの距離	m
全体の走行時間に対する停止時間の割合	%

表中の追従走行時とは、運転者が先行車を意識して追従している状態を指し、先行研究の判定基準に従って判断した[2]。分析項目「追従走行時に加速度が0である割合」とは、以下の式で表されるものである。

$$\text{追従走行時に加速度が0である割合} = \frac{\alpha}{\beta} \times 100$$

ただし、 $\alpha$ は追従走行の所要時間、 $\beta$ は、その追従走行時に加速度が0であった時間である。この値は、追従時の速度の安定性を表すものである。分析項目「アクセルペダルを最後に離れた走行位置から停止するまでの距離」とは、図1のDで表される距離である。ただし、停止直前に先行車を追従していない場合、または、停止時に先行車が実験車両の直前にいない場合は、分析対象から除外した。なお、運転者がアクセルペダルを離れたかどうかは、その時に測定した瞬間燃費が、予備実験の定速走行時の瞬間燃費の閾値 25km/lを超えたかどうかで判断した。このDは、運転者が先行車のさらに前方の停止すべき状況を如何に早く気付くことができたかを表すものである。

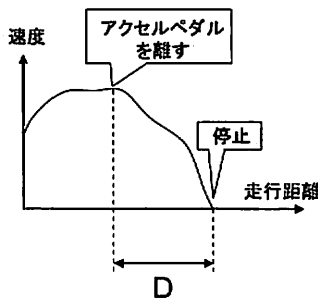


図1 停止位置とアクセルペダルを離れた位置との関係

分析項目「走行時間に対する停止時間の割合」とは、全体の走行時間に対して、赤信号などで停止していた時間がどの程度占めているのかを表すものである。表1の項目について分析を行い、短い車間条件と長い車間条件で比較を行った。なお、有意差検定は、すべて

Willcoxonの符号付き順位和検定を用いて行った。

### 3.4. 結果

・車間時間、速度および所要時間

図2に追従運転時の車間時間の結果を示す。短い車間条件と長い車間条件での車間時間の平均値はそれぞれ1.21秒と3.05秒であった。検定の結果、長い車間条件の方が有意に大きかった ( $Z=2.52, p<.05$ )。

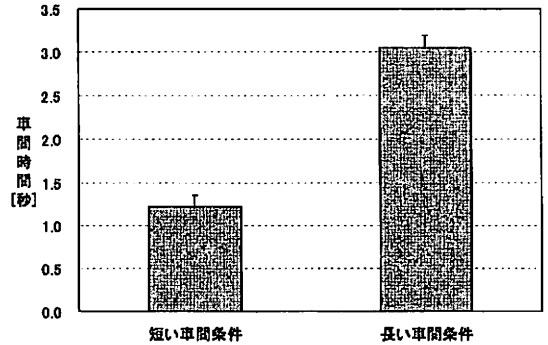


図2 追従運転時の平均車間時間

図3に平均速度の結果を示す。短い車間条件と長い車間条件での全体の平均速度は、それぞれ27.4km/hと28.9km/hであった。また、追従運転時の平均速度は、それぞれ48.7km/hと44.7km/hであった。図4に走行時間の結果を示す。短い車間条件と長い車間条件での走行時間の平均値はそれぞれ1016秒と969秒であった。検定の結果、有意な差は認められなかった ( $Z=1.26, n.s.$ )。図5に停止時間の割合の結果を示す。短い車間条件と長い車間条件での停止時間の割合の平均値はそれぞれ29.7%と26.3%であった。検定の結果、有意な差は認められなかった ( $Z=1.54, n.s.$ )。

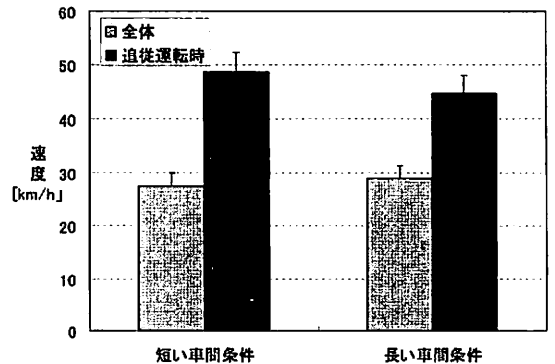


図3 全体と追従運転時の平均速度

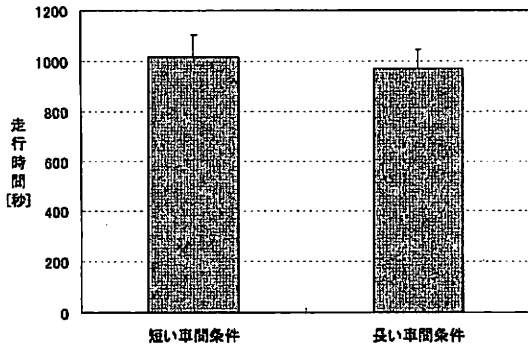


図4 全体の平均走行時間

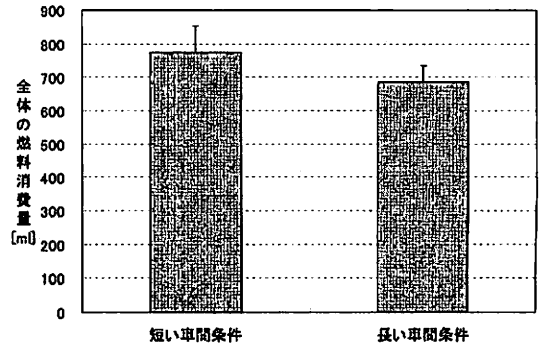


図6 全体の平均燃料消費量

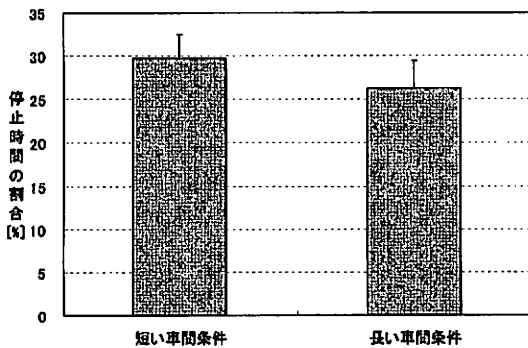


図5 停止時間の割合

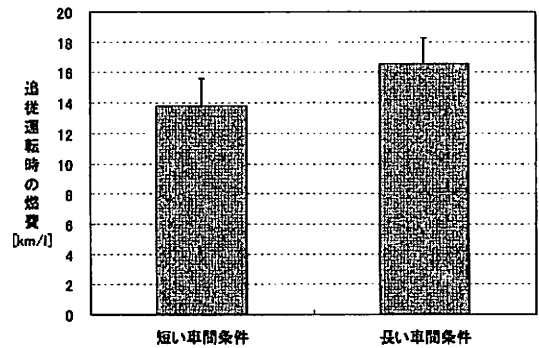


図7 追従運転時の平均燃費

・燃料消費量および燃費

全体の燃料消費量の結果を図6に示す。短い車間条件と長い車間条件での全体の燃料消費量の平均値はそれぞれ774.2mlと685.5mlであった。検定の結果、短い車間条件の方が有意に大きかった ( $Z=2.52, p<.05$ )。また、この値を燃費に換算すると、それぞれ9.99km/lと11.2km/lとなった。次に追従運転時の燃費の結果を図7に示す。短い車間条件と長い車間条件での追従運転時の燃費の平均値はそれぞれ13.8km/lと16.6km/lであった。検定の結果、長い車間条件の方が有意に大きかった ( $Z=2.25, p<.05$ )。

・追従運転時の運転特性

追従運転時に加速度が0である割合の結果を図8に示す。短い車間条件と長い車間条件での平均値はそれぞれ59.0%と68.6%であった。検定の結果、長い車間条件の方が有意に大きかった ( $Z=2.24, p<.05$ )。また、アクセルペダルを最後に離れた走行位置から停止位置までの距離の結果を図9に示す。短い車間条件と長い車間条件での平均値はそれぞれ126.7mと199.7mであった。検定の結果、長い車間条件の方が有意に大きかった ( $Z=2.52, p<.05$ )。

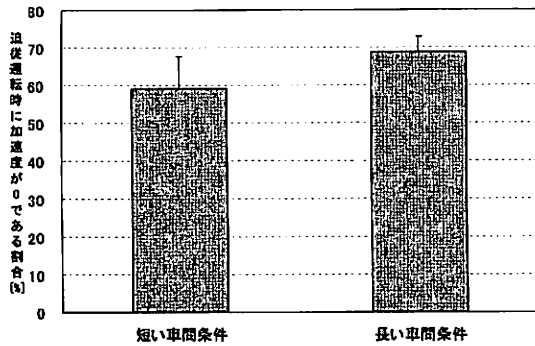


図8 追従運転時に加速度が0である割合

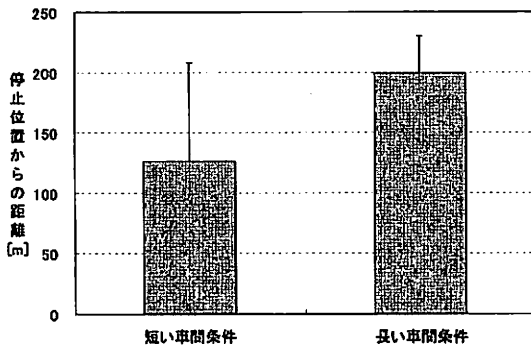


図9 アクセルペダルを最後に離れた走行位置から停止位置までの平均距離

### 3.5. 考察

車間時間の結果から、運転者は短い車間条件と長い車間条件で、それぞれ1.21秒と3.05秒で走行していた。平均速度の結果を見ると、追従運転時においては44.7km/hで運転していた。中島らの観測データによれば、平均速度が90km/hの高速道路でさえ、車間時間の最頻値は1秒付近であった[3]。そのため、本実験のように、44.7km/hの速度で、1.2秒の車間時間で走行する運転者は少数とは考えにくい。逆に安全性の高い3秒以上の車間時間で走行する運転者の方が少数であろう。長い車間時間で運転する運転者が少ない理由の一つは、長い車間時間で走行することによって、他車の割込みが増え、目的地までの所要時間が増大することを不快に感じるためと考えられる。しかしながら、Kumagaiの研究によれば、1.5秒と3.0秒の車間時間で走行した場合、その所要時間差が数秒程度しかないことが明らかになっている[4]。本実験においても、短い車間条件と長い車間条件での所要時間には統計的な差は見られず、平均値の差を求めると長い車間条件での

走行の方が約45秒早く目的地に到着していた。このことは3秒程度の大きな車間時間で走行したとしても、時間的な効率は低下しないことを示している。

燃料消費量の結果を見ると、短い車間条件と長い車間条件での全体の燃料消費量は、それぞれ774.2mlと685.5mlであった。車間時間を1.2秒から3秒にすることによって、燃料を約11%節約したことになる。車間時間の増大が燃料消費量の節約にどのように寄与したのか、その原因について考察する。

停止時間の割合について見ると、統計的な差は認められなかった。また、全体の平均速度や所要時間について両条件間に大きな差は見られなかったことを考え合わせると、保持する車間時間の大きさは、赤信号などによる停止時間には影響を与えていないと考えられる。

一方、追従運転時の燃費について見ると、長い車間条件の方が短い車間条件よりも燃費が良かった。このことは追従運転時の運転方法の違いが、燃料消費量に影響を与えたと考えられる。追従運転時に加速度が0である割合の結果を見ると、短い車間時間で追従運転をしている時は、長い車間時間で追従運転をしているときに比べて、速度が一定しておらず、加速と減速を数多く繰り返していることが分かる。短い車間条件下では、先行車までの距離が約15mと非常に短いため、先行車の僅かな減速行動に対して、直ちに制動操作が要求され、そのため、制動操作の頻度が上昇し、車両の持つ運動エネルギーを減少させる。そして、再び加速する場合にはさらに燃料を消費し、燃費が悪化することになる。さらに、運転者の反応時間が僅かでも遅れた場合には、直ちにフットブレーキを踏み込まなければならないため、過剰に減速を行うことも考えられる。そして、再び、元の車間時間で追従運転を行うために、無駄な加速を行うことになる。

また、アクセルペダルを最後に離れた走行位置から停止位置までの平均距離について見ると、長い車間条件の方が、短い車間条件に比べて、その距離が長かった。このことは、長い車間条件で追従運転を行った方が、早く減速行動を開始していることを意味している。そして、その減速行動は、先行車のさらに前方の状況を早く認知できていることに由来していると考えられる。著者らが行った先行研究によれば、短い車間時間で走行時には、運転者の情報処理能力の多くは、先行車の減速行動を監視するために費やされ、先行車の動きや尾灯の点灯以外の周辺の対象物に対する反応は遅れたり、ばらつくことが分かっている[5]。この先行研究の結果を本実験結果に適用すると、短い車間条件で走行した場合、先行車の動きを監視することのみに注意が行き、先行車の前方の状況の変化に気付くのが

遅れる。例えば、先行車が追従している車両が尾灯を付けて減速を始めている状況や、前方にある信号機が赤信号に変わった状況がそれに該当する。逆に長い車間条件であれば、先行車に多くの情報処理資源を費やす必要がないため、早く前方の状況変化に気づき、直ちに加速を止めて、無駄な燃料消費を抑制することができる。そのため、長い車間条件で走行している場合に比べて、短い車間条件で走行している場合は、無駄に燃料を消費することとなると考えられる。さらに、先行車がトラックやバスのような大型車両の場合は、短い車間条件では、先行車までの距離が近い。ため、前景が大型車両で遮蔽され、前方の状況を視認することが不可能になり、一層、前方の状況変化に気づきにくくなる。また、このような状況下では、先行車の減速行動を予測することが困難になるため、衝突の危険性が非常に高まると考えられる。

長い車間条件での走行においては、追従運転時の速度変化が少なく、減速や停止を強いられる前方の状況を早く認知できた。その結果、無駄な加減速が減少し、燃料消費量を間接的に抑制することができたと考えられる。

大きな車間時間を保持することは、自動車運転の安全性を高める上で、非常に重要であることはよく知られている。しかしながら、その知識があつたとしても、一般の運転者が急ぎたい衝動を抑制し、安全な運転を実行することは難しい。著者は、これまで急いだ運転を行うことによってどれほどの時間遅れがあるのかを実験的に調べ、それが運転者の錯覚であることを交通安全教育に利用しようと試みてきた[6][7]。しかしながら、急ぎの衝動が強い運転者にとっては、運転行動を永続的に変えるほどの効果は期待できなかった。その大きな理由の一つは、安全運転を行うことによる具体的に明瞭なメリットを示していなかったことが挙げられる。しかしながら、今回の実験結果によって、そのメリットを見いだすことが出来たと考える。すなわち、3秒の車間時間を保持することで燃料消費量を1割近く抑制することが可能になるという事実である。この事実は、大きな車間時間を保持する強い動機付けに繋がると考えられる。2006年9月3日現在のガソリンの値段は、1リットルあたり140円を超えている。この値段から計算すれば、1.2秒の車間時間で走行していた運転者が、3秒の車間時間を保持するようになれば、1リットルにつき約14円の経済的利益を得る。これまで、安全運転や事故の危険性について関心の低かった運転者層に対して、経済性という具体的に明瞭なメリットを示すことが可能になる。この動機付けを利用した教育手法を開発することによって、安全運転行動の促進に貢献することができると考えられる。

#### 4. まとめ

自動車運転時の車間時間に着目し、追従運転時に保持する車間時間の大きさが、燃料消費量にどのような影響を与えるのか実験的に調べた。その結果、車間距離を大きく保持することは、以下のような燃費向上につながる効果を持つことが明らかになった。

- ・追従運転車の速度を安定させ、先行車の加減速に対して、過剰に反応することを抑制し、無駄な燃料消費を抑えることができる。

- ・先行車の前方の状況を素早く認知することが可能になるため、無駄な燃料消費を抑えることができる。

これらの効果によって、本実験では約11%の燃料を節約した。このことは、安全運転を行うことが、燃料消費量を減らし、経済性を高めることを意味している。この事実は、安全な車間時間を保持させる教育を行う上で、非常に強い動機付けになると考えられる。

#### 文 献

- [1] S. Watanabe, K. Matsunaga, K. Shidoji, Y. Matsuki, and K. Goshi, "Development of an intelligent driver support system for commercial vehicle drivers," Proc. of 11<sup>th</sup> World Congress on ITS., CD-ROM, Nagoya, Japan, October.2004.
- [2] Y. Matsuki, K. Maruyama, K. Matsunaga, and K. Shidoji "The education system for convincing drivers of inefficiency of speedy-driving," Proc. of the 4<sup>th</sup> IASTED International Conference Computers and Advanced Technology in Education, pp.145-149, Banff, Canada, June.2001.
- [3] 中島源雄, 末永一男, 鈴木昭弘, 船津孝行, 堀内敦, 松永勝也, "動的な環境における視覚の特性," 国際交通安全学会誌, vol.8, no.3, pp.6-16, 1983.
- [4] T. Kumagai, Y. Matsuki, K. Shidoji and M. Ogawa, "Influence of time gap on the number of interrupting cars and the traveling time," Proc. of International Mobility Engineering Congress and Exposition 2005., pp.143-146, Chennai, India, October.2005.
- [5] 松木裕二, 松永勝也, 志堂寺和則, "自動車運転時における進行方向空間の大きさと認知・反応時間の関係," 九州大学大学院システム情報科学紀要, vol.6, no.1, pp.53-58, March.2001.
- [6] Y. Matsuki, K. Shidoji, K. Matsunaga, and T. Kumagai, "A comparison between subjective traveling time and actual traveling time in terms of driving speed," Proc. of International Mobility Engineering Congress and Exposition 2005., pp.147-150, Chennai, India, October.2005.
- [7] Y. Matsuki, K. Matsunaga, and K. Shidoji "Evaluation of education system for discerning suitable headway," Proc. of the 4<sup>th</sup> IASTED International Conference Computers and Advanced Technology in Education, pp.109-113, Banff, Canada, June.2001.