

携帯端末を用いた自動車の低加速度運転 支援システム

高橋陽介^{†1} 井垣 宏^{†1} 井上亮文^{†1}

自動車走行では、車内環境、振動刺激、搭乗者の生理的・心理的要因といった多様な要素が乗り心地に影響を与えることが知られている。しかしながら、既存研究の多くが振動刺激のみを対象として自動車および運転操作による乗り心地を評価している。本研究では、運転者用と同乗者用それぞれの Android アプリケーション (TAKUMI-D および TAKUMI-P) を用いて、同乗者の感じる主観的な要因を考慮した低加速度運転支援システムを提案する。提案システムは Android 端末のみによって、同乗者ごとの主観的な要因にもとづく乗り心地評価を運転者にフィードバックすることが可能となった。

An Automobile Driver Assistance System that uses Mobile Device for Low Acceleration Driving

YOSUKE TAKAHASHI,^{†1} HIROSHI IGAKI^{†1}
and AKIFUMI INOUE^{†1}

The ride comfort of automobiles includes physiological and psychological factors of a passenger. However, many existing studies have discussed only about physical factors for the ride comfort, such as vibration stimulus. In this paper, we propose a driver assistance system for low acceleration operation that addresses the subjective factors of the passengers. This system consists of only two Android applications, TAKUMI-P for the passengers, and TAKUMI-D for the driver. The cooperation between TAKUMI-D and TAKUMI-P enables a driver to obtain feedback on the subjective ride comfort of the passengers.

1. はじめに

現代社会において、自動車は通勤の足やレジャーにおける移動手段として、日常生活に欠かせないものとなっている。全国の自動車（二輪車除く）の保有台数は 2011 年 4 月時点で 7514 万台以上であり、過去 20 年間の自動車保有台数も右肩上がりであり推移している¹⁾。このような現状において、自動車は単なる移動手段としてだけでなく、その乗り心地への配慮も求められるようになってきている²⁾。

自動車の乗り心地には大きく分けて車内環境、振動刺激、搭乗者の生理的要因、心理的要因の四つの要素が関与していると考えられている³⁾。その中でも特に振動刺激は乗り心地に大きく関与していると言われており、走行中の自動車の振動に関する研究や取り組みが数多く行われている⁴⁾⁻⁷⁾。振動刺激に関する研究では、サスペンション等による路面から伝わる上下方向の振動の緩和を目的としたものや、運転者の操作によって発生する前後左右方向の振動を運転者自身に抑制させることを目的としたものが存在する。

これらの研究では、加速度や振動周波数といった定量的なデータにもとづく乗り心地モデルがまず構築され、そのモデルを利用して各提案手法の評価や運転者へのフィードバックが行われている。このとき、サスペンション等の車体設備を対象とした研究においては、乗り心地モデルにもとづく指標（乗り心地指数と呼ぶ）が改善されることがその目標である。一方で、運転者の操作における振動抑制を目指す研究においては、過度に良い乗り心地指数を目指すことは運転者のストレスにつながる可能性がある⁸⁾。そのため、同乗者にとって許容できる閾値を設定し、その閾値にもとづいて運転者にフィードバックを行うことが重要となる。

これまでの運転者の操作を対象とした研究では、特別な設備を備えた自動車を用いて、複数の同乗者を対象とした予備実験を行い、実験結果の平均等を利用して閾値の設定を行っているものが多い⁹⁾。しかしながら、同乗者の感じる乗り心地はそのときどきの生理的・心理的要因に依存するため、個人差も大きい³⁾。そのため、固定的な閾値設定では、運転者、同乗者ともにストレスを感じる可能性がある。

そこで本研究では、同乗者自身によって走行中の動的な閾値設定が可能な低加速度運転支援システムを提案する。提案システムは運転者用 Android¹⁰⁾ アプリケーション「TAKUMI-D」

^{†1} 東京工科大学コンピュータサイエンス学部
School of Computer Science, Tokyo University of Technology

と同乗者用 Android アプリケーション「TAKUMI-P」の2つの Android アプリケーションから構成される。TAKUMI-D は走行時に乗り心地指数を算出し、設定された閾値にもとづいて運転者にフィードバックを行うアプリケーションである。例えば、乗り心地指数が閾値よりも悪い値であった場合は、運転者に低加速度運転を行う（すなわち乗り心地指数の改善）ように指示を行う。TAKUMI-P は TAKUMI-D で利用する閾値を同乗者自身が走行中に設定することを可能とするアプリケーションである。同乗者が走行中に感じる乗り心地にもとづいて閾値を容易に変更できるようにすることで、TAKUMI-D が個人差や体調等の主観的な要因を考慮したフィードバックを運転者に返すことが可能となる。

我々は本提案システムの開発にあたり、閾値の上限と下限を設定するための予備実験を行った。予備実験では、同一車種、同一運転者で同一コースを同程度の時間をかけて同じように走った際に、各同乗者が走行時の前後左右方向の加速度に対して走行中どのように感じたかを評価システムによって1秒ごとに取得した。提案システムでは、この予備実験の結果にもとづき、同乗者が設定できる閾値の上限と下限を設定した。

本論文の構成を示す。2章では本論文のキーとなる乗り心地の定義付けと、本システムに必要な要件について述べる。また、関連研究の紹介とその課題についてもここで述べる。3章では提案システムの詳細について述べる。4章では予備実験の方法と結果について述べる。最後に5章ではまとめと今後について述べる。

2. 準備

2.1 乗り心地

自動車の乗り心地を決める要素には車内環境、振動刺激、搭乗者の生理的要因、心理的要因が含まれる。なお、ここで述べている搭乗者とは、自動車に乗車している人を指し、車を運転している運転者と、助手席や後部座席といった運転席以外の場所に着席している同乗者に分類される。本研究では、運転者のハンドル・ペダル操作による車の前後左右方向にかかる加速度の変化によって同乗者が感じる乗り心地を対象とする。

劉ら³⁾は乗り心地を評価する際に、表1に示す要因がどの程度寄与するかを調査する研究を行っている。それにより、振動刺激が最も乗り心地の評価に寄与すること、振動刺激に生理的要因、心理的要因といった主観的な要因を加味することで、寄与度が0.30から0.95(最大値1.00)に増大することなどが分かった。このような同乗者の主観介入の影響は、結果として乗り心地評価におけるデータの安定性と再現性の低下という問題につながると考えられている⁷⁾。

表1 乗り心地の評価基準

評価要因 評価基準	車内環境	振動刺激	生理的要因	心理的要因
	空間の広さ	振動強度	体調	気分
	騒音	周波数成分	覚醒度	安定感
	空気の清浄度	ランダム性	空腹度	習慣
	温度	激しさ		過去の体験
	座り心地			

2.2 関連研究

王らは、運転者の運転技法の改善を促し、同乗者の乗り心地を向上させることを目的としたシステムを提案している⁹⁾。このシステムは、自動車走行中の加速度とジャーク（加加速度）から構成される乗り心地指数を実時間で推定し、その指数を視覚・聴覚手法により運転者に提示するものである。また、乗り心地指数が事前に設定された閾値を超えるとピープ音が鳴るようになっている。しかしながら、設定された閾値は事前実験によって求められた固定的なものであり、同乗者の個人差等の主観的な要素を加味したものではない。

同乗者の主観的な要素を加味した乗り心地評価に関する研究としては、2.1節でも述べた劉ら³⁾によるものがある。劉らの手法では、自動車の走行終了後、同乗者にアンケートに答えてもらうことで、主観的な要因にもとづく乗り心地評価を行っている。この手法では、同乗者の生理的・心理的要因を考慮することが可能であるが、自動車走行時にその乗り心地評価を運転者にフィードバックする方法がない。

2.3 低加速度運転支援システムの課題

既存の運転者の操作による加速度変動の抑制を支援するシステムの多くには、以下に示す課題が存在する。

S1: 支援システムを利用するための加速度計測装置や乗り心地評価をフィードバックするシステムの設置が困難である。

S2: 乗り心地の良し悪しを判断する閾値を決定する際に、同乗者の主観的な要因を考慮していない。

S3: 設定された閾値が固定的であり、同乗者に応じて走行中に変更することができない。

S1 のとおり、既存システムの多くにおいて、加速度変動を検知する仕組みや乗り心地の評価を運転者にフィードバックする仕組みは特別な機構を利用して自動車に設置されている。全ての仕組みが容易に設置でき、かつ容易に利用できることが望ましい、

S2 については、既存システムにおいて乗り心地が良いかどうかを判断するための乗り心



図 1 システム概要

地指数における閾値が、振動刺激等の客観的な要因のみを考慮した値として設定されているという問題である。加速度や加加速度といった客観的な指標のみにもとづいて乗り心地の良し悪しが判断されるため、乗り物酔いのしやすさ等の個人差を考慮した運転者へのフィードバックが困難になる。

S3 で示すように閾値が走行中に変更できなければ、同乗者の心理的・生理的な状態の変化に対応することができない。また、そもそも固定的に定められた閾値の場合、その値が高すぎたり低すぎたりすることがある。その結果、運転者が過度に低加速度運転をせざるを得なくなったり、同乗者が耐えられないような加速度変動による振動刺激が頻発したりするような状況になる可能性がある。

本研究では、これらの課題にもとづいて、同乗者の主観的な要因を考慮した乗り心地向上のための低加速度運転支援システムを提案する。

3. 低加速度運転支援システムの提案

本研究では、同乗者の主観的な要因を考慮し、同乗者自身によって走行中の動的な閾値設定をすることによって、乗り心地の向上を目指す低加速度運転支援システムを提案する。

前節で述べた課題の改善を目的として、本システムでは以下のキーアイデアにもとづいて実現される。

- K1: Android 端末を用いた加速度計測環境
- K2: 同乗者ごとの乗り心地プロフィールの登録
- K3: 同乗者による走行時間値変更に対応した、運転者への乗り心地評価フィードバック機能

提案システムの概要を図 1 に示す。本システムは運転者用の Android アプリケーション「TAKUMI-D」と、複数の同乗者用 Android アプリケーション「TAKUMI-P」から構成されており、TAKUMI-D と TAKUMI-P は Bluetooth を利用して通信を行う。TAKUMI-P は自動車に乗る全ての同乗者が持つ Android 端末にインストールされており、運転者が Android 端末を自動車内に固定するだけで利用できるようになる。

K2 で示したように同乗者ごとの乗り心地プロフィール情報が登録できるようになっている。ここで、乗り心地プロフィール情報とは、劉ら³⁾によって提案された乗り心地評価区分のうち生理的・心理的要因に関するものである。同乗者ごとに乗り物酔いのしやすさや睡眠不足の程度をプロフィールとして登録することで、自動車に同乗者が乗る際の閾値決定の目安とする。

一般に走行中に運転者に対してフィードバックされる情報は、TAKUMI-D が計測する加速度の変動と TAKUMI-D に設定される乗り心地指数の閾値に対応してその内容が異なる。運転者はフィードバック内容に応じてハンドル、ブレーキ、アクセル操作を変更するため、閾値が変化しなければ運転内容も変化しにくくなる。そこで我々は、K3 で示したとおり、走行中の任意の時点において、同乗者が TAKUMI-P を通じて TAKUMI-D の持つ閾値を変動させる仕組みを構築した。これにより、走行中に同乗者の気分が悪くなるといったケースにも閾値が追従し、結果としてより低加速度運転を運転者に促すことが可能となる。

以降の節では K1~K3 について詳述する。

3.1 Android 端末を用いた加速度計測環境

ハンドル、アクセル、ブレーキといった運転操作による加速度変動が同乗者に与える影響を計測するため、本システムでは 3 軸加速度センサを持つ Android 端末を利用する。Android 端末を運転者が車内に持ち込んで固定するだけで提案システムを使えるようにすることで、設置・利用の容易化を目指す。

運転者による運転操作がどのような加速度変動を自動車に与えたかを検知するためには、自動車の車体に対する前後左右方向をセンサによって認識する必要がある^{*1}。Android に搭

*1 ここでは、路面やサスペンション等による自動車の上下方向の加速度は対象としない

載されている 3 軸加速度センサは、図 2 に示す向きに軸が設定されている。そのため、平地を走行する自動車において、端末が地面に対して垂直に立っており、進行方向後ろに端末画面が向いている状態であれば、加速度センサの x 軸が左右方向、z 軸が前後方向にかかる加速度として検知できる。しかしながら、通常携帯型端末を車内で車載ホルダ等を利用して固定する場合、端末が傾いている可能性がある。そこで、前述の理想的な端末設置状態を基準として、x 軸を中心として θ_x 、z 軸を中心として θ_z 傾いているものとする。このとき、自動車の左右方向の加速度 a_{m_x} は加速度センサが示す x 軸方向の加速度 a_x と y 軸方向の加速度 a_y を利用し、下記 (1) 式のように算出される。同様に、自動車の前後左右方向の加速度 a_{m_z} は a_y と加速度センサが示す z 軸方向の加速度 a_z を利用し、式 (2) のように算出される。

$$a_{m_x} = a_x \cos \theta_x + a_y \sin \theta_x \quad (1)$$

$$a_{m_z} = -a_y \sin \theta_z + a_z \cos \theta_z \quad (2)$$

なお、y 軸を中心として Android 端末が傾いていた場合に、自動車の進行方向と Android 端末の向きがどの程度ずれているかを検知することができないため、本研究では y 軸方向の傾きは無いものとする。

以上により、運転者用 Android 端末が自動車に固定されてさえいれば、前後左右方向の加速度計測が可能となる。

3.2 乗り心地プロファイルの登録

乗り心地プロファイルは同乗者ごとの乗り心地に関する生理的・心理的要因に関する状況を表す。ここでは、劉ら³⁾の乗り心地評価区分のうち、下記に示すものをそれぞれ 5 段階形式で同乗者に TAKUMI-P を利用して搭乗前に登録してもらう。

- (1) 体調：身体がだるい等現在の体調がよいかどうか
- (2) 覚醒度：十分な睡眠がとれているかどうか
- (3) 空腹度：食事をきちんととっているか
- (4) 車酔いのしやすさ：車に酔いやすいかどうか

このとき全ての設問は、乗り心地に最も悪影響を及ぼすと思われる状態が 5 点、その逆が 1 点になるように設定されている。この設問ごとの回答内容の合計点 P を計算し、乗り心地プロファイルとして TAKUMI-D に登録する。TAKUMI-D は P と P の最大数との比 $P/(5 \times 4)$ を求め、各同乗者が乗り心地についてどの程度不快に感じる傾向にあるかを算出する。この傾向の大きさに応じて、より低加速度運転になるように乗り心地指数の閾値を決

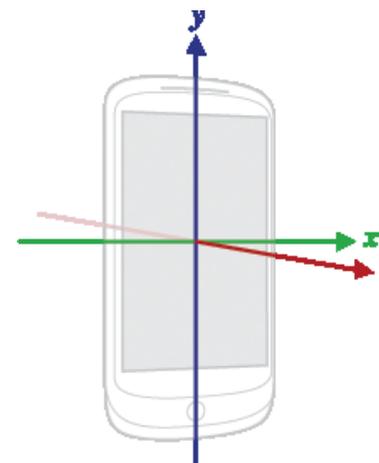


図 2 加速度センサの軸の向き¹¹⁾

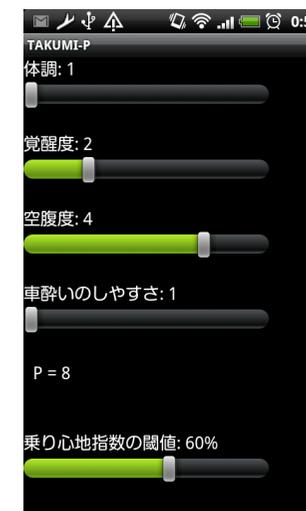


図 3 乗り心地プロファイルの編集画面 (TAKUMI-P)

定する。

図 3 に TAKUMI-P において閾値設定を行う際の画面を表示する。この画面で各スライダーを移動させ、乗り心地プロファイルの登録を行う。画面に表示されている $P=8$ は、上述の設問の回答の合計値を示している。その下には乗り心地指数の閾値を表示している。これは (3) 式によって、設問の回答値から自動的に算出される数値である。

$$C_{limit} = 100(1 - \frac{P}{20}) \quad (3)$$

以上により、同乗者の生理的・心理的要因といった主観的な要因に対応した乗り心地の閾値設定が可能となる。

3.3 走行時閾値変更に対応した乗り心地評価フィードバック機能

自動車搭乗時の乗り心地は、特に長時間の搭乗時においては、体調等の理由から途中で変化することがありうる。また、初期に登録された乗り心地指数の閾値が正しいとも限らない。そこで我々が提案する同乗者用 Android アプリケーション TAKUMI-P では TAKUMI-D と連携し、走行中の同乗者による閾値変更を実現する。図 3 の画面において、同乗者は乗り心地プロファイルの各値や乗り心地指数の閾値そのものを走行中の任意のタイミングで変更

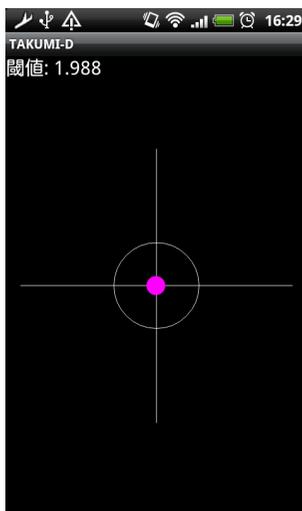


図4 乗り心地評価のフィードバック画面 (TAKUMI-D)



図5 乗り心地評価システムの画面 (TAKUMI-E)

することができる。

図4は運転者に乗り心地評価をフィードバックする画面である。この画面では、TAKUMI-Dが計測した自動車の前後左右方向の加速度を走行中に表示する。さらに、同乗者に指定された閾値を画面左上の数値と、円の大きさで表す。閾値の計算は、システムで設定可能な閾値^{*1}の上限 a_U と下限 a_L を用いて、(4) 式によって算出している。

$$a_{limit} = \frac{C_{limit}}{100}(a_U - a_L) + a_L \quad (4)$$

走行時に、TAKUMI-Dが検知した加速度が閾値を越えたら、ピープ音を鳴らして運転者に伝える。閾値の大きさを同乗者が変更できるため、ピープ音が鳴るタイミングを同乗者が制御することができる。

3.4 システム利用例

TAKUMI-D および TAKUMI-P の利用例を以下に示す。

- 運転者側 Android アプリケーション (TAKUMI-D)

STEP1-1: 運転者は Android 端末上で TAKUMI-D を起動し、端末を車載ホルダに固定する。

STEP1-2: 運転者は自動車が静止した状態で TAKUMI-D の “Calibration” を実行する。Calibration 機能を実行すると、TAKUMI-D は固定されている端末の傾きを計測し、自動車の前後左右方向の加速度を計測し始める。

STEP1-3: 同乗者用 Android アプリケーション (TAKUMI-P) と Bluetooth 接続を行う。

STEP1-4: TAKUMI-P から乗り心地プロファイルを受信する。

STEP1-5: 全ての同乗者のプロファイルを受信後、乗り心地指数の閾値を計算し、設定する。

STEP1-6: 走行開始。

STEP1-7: 走行中、ハンドルやペダルを荒く扱ったことによって乗り心地指数が閾値を越えた場合、運転者用端末はピープ音を鳴らし、乗り心地が低下していることを運転者に通知する。また、同乗者によってプロファイルが変更された場合や閾値が直接変更された場合、その都度閾値を再計算し、設定しなおす。

走行終了後、TAKUMI-D を終了する。

- 同乗者側 Android アプリケーション (TAKUMI-P)

STEP2-1: 同乗者は Android 端末上で TAKUMI-P を起動する。

STEP2-2: TAKUMI-D と Bluetooth 接続を行う。

STEP2-3: Android 端末に乗り心地プロファイルを登録し、TAKUMI-D にプロファイルを送信する。

STEP2-4: 走行開始。

STEP2-5: 走行中、運転者の運転が不快と感じた場合や気分が悪くなった場合、プロファイルの変更や閾値の修正を行うことができる。閾値に関する変更依頼は TAKUMI-D に反映される。

STEP2-6: 走行終了後、TAKUMI-P を終了する。

なお、本研究における乗り心地指数は自動車の前後左右方向の加速度と等しいものとする。そのため STEP1-5 では、複数の同乗者によって指定された閾値の中で最も値が小さいものを利用して、TAKUMI-D における閾値として設定する。また、同乗者が指定する閾値が大きすぎてどんな運転をしてもピープ音が鳴らないようなケースや、逆に小さすぎて常にピープ音が鳴っているようなケースを防ぐために、閾値の上限値と下限値を決定するための

*1 具体的な値は 4.2 節で述べる

予備実験を行った。次章ではその予備実験について詳述する。

4. 予備実験

4.1 実験環境

乗り心地指数の閾値上限と下限を設定するために、予備実験を行った。実験環境を表 2 に示す。実験に使用するコースは交差点や S 字カーブを含むものである。運転者には走行中、決まったところで急加速や急ブレーキ、急ハンドルを危険のない範囲で行うよう指示した。一度の走行における同乗者は運転者以外に 3 名で、視覚による影響を避けるため、目を閉じた状態で座席についてもらい、乗り心地を評価してもらった。

乗り心地の評価には、TAKUMI-D と同乗者用乗り心地評価 Android アプリケーション「TAKUMI-E」を用いた。TAKUMI-D は走行中の前後左右方向の加速度を 1/10 秒ごとに記録する。TAKUMI-E は図 5 に示すような、画面全体に配置された 4 つのボタンを持っており、どのボタンがいつ同乗者に押されたかを記録する。走行中は、1 秒に 1 回メトロノームを利用して音を鳴らし、その音とタイミングを合わせて、同乗者の感じる乗り心地を TAKUMI-E の各ボタンを押すことで評価してもらった。各ボタンを押す際の乗り心地評価に関する評価基準は以下のとおりである。ただし、乗り心地の評価対象は、運転者の操作によって発生する前後左右方向の揺れのみで、道路の凸凹等による上下方向の揺れは評価対象外であると全ての同乗者に伝えておいた。

- 0: 不快感も何も感じない (何も押さない)
- 1: 不快ではないが、少し違和感を覚える
- 2: 概ね問題ないが、少し不快に感じる
- 3: かなり不快である。継続してこの状態が続くと耐えられない可能性がある
- 4: 今すぐ車から降りたいほど不快に感じる。体調に影響があると感じる

このような乗り心地評価のための走行実験を 3 回行い、どの程度の加速度のときに被験者がどのように感じるかを計測した。

4.2 実験結果

予備実験における 2 回目の走行時の自動車の左右方向の加速度を図 6 に、前後方向の加速度を図 7 に示す。また、図 8 には、同じ走行における被験者 4~6 の乗り心地評価内容を示す。本予備実験では、TAKUMI-D システムにおける閾値の上限値と下限値を決定するため、各走行において同乗者全員が 3 以上の評価を下したときの加速度と同乗者の少なくとも 1 人が 2 以上と判断したときの加速度を前後左右両方向において抽出した。ここでは、自

表 2 実験環境

実験場所	東京工科大学八王子キャンパス構内
走行距離	約 2.0km
使用車種	マツダ アクセラスポーツ
運転者用 Android 端末	HTC Desire Z
同乗者用 Android 端末 1	SHARP IS03
同乗者用 Android 端末 2	SAMSUNG GALAXY S
同乗者用 Android 端末 3	SAMSUNG Nexus S
被験者	20 歳代前半の大学生・大学院生 9 人

表 3 各走行における閾値の算出結果

	1 回目	2 回目	3 回目
X 軸上限	2.310917896	該当なし	該当なし
Z 軸上限	2.818997773	3.055974041	2.535526877
X 軸下限	0.81717033	0.880321362	1.233529751
Z 軸下限	0.382025702	0.405921967	1.857194435

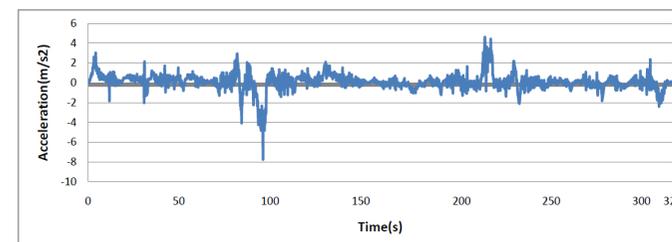


図 6 左右方向の加速度変化

動車の加速度変動と同乗者による乗り心地評価の間にタイムラグが発生することを考慮し、被験者が評価を行った 1 秒前から 4 秒前の時点までの 3 秒間の加速度の平均を算出した。

算出結果を表 3 に示す。走行 2, 3 回目の x 軸上限の記述が該当なしとなっているのは、全同乗者が 3 以上の評価を下すことが無かったためである。この算出結果にもとづき、TAKUMI-D システムにおいて設定可能な閾値の上限値を 2 回目 z 軸上限の 3.06, 下限値を 1 回目 z 軸下限の 0.38 と設定した。この実験により、被験者が閾値を設定する際に、その値が大きすぎたり小さすぎたりすることを防げるようになった。

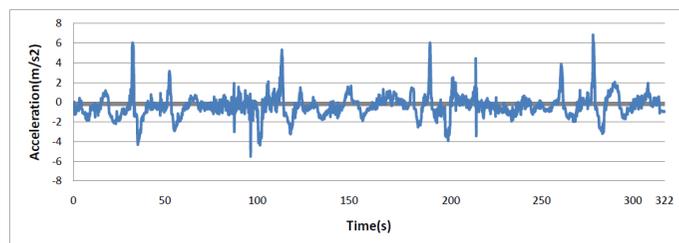


図 7 前後方向の加速度変化

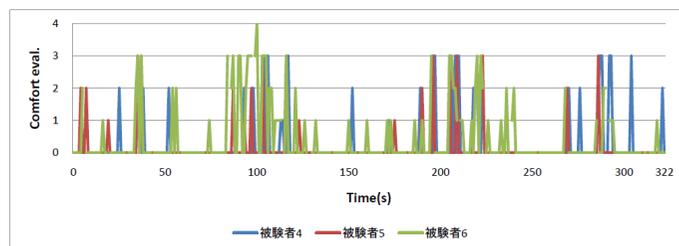


図 8 被験者 4~6 の乗り心地評価

5. ま と め

本研究では、同乗者および運転者が Android 端末を持っていれば利用可能な低加速度運転支援システムを提案した。自動車に特別な設備が不要なため、誰にでも容易に提案システムを利用することが可能となった。また、乗り心地プロファイルを同乗者ごとに登録できるようにすることで、乗り物酔いのしやすさや前日の睡眠時間等、生理的・心理的な個人差を考慮した閾値の決定ができるようになった。さらに、走行中の閾値変更に対応したことで、同乗者における乗り心地の時間変化を運転者が考慮することが可能となった。

今後の課題として、運転者用 Android 端末をより自由に車内に設置できるようにすることが挙げられる。我々のシステムでは、運転者用 Android 端末がその加速度センサの y 軸を中心として傾いて設置されることを想定していない。そのため、走行中の加速度や GPS データを利用して、自動車の進行方向と端末の傾きを計測する手法を今後確立していきたい。また、中長距離の走行時において、提案システムの実証実験を行い、閾値設定手法の妥

当性を評価することを考えている。

参 考 文 献

- 1) 自動車検査登録情報協会：自動車保有台数統計データ車種別（詳細）保有台数表，<http://www.airia.or.jp/number/pdf/01.pdf>. 2011年07月20日参照。
- 2) 趙 莉，堀 洋一：安全と乗り心地の向上を目指し加速度・ジャーク限界とドライバ指令変更を考慮したリアルタイム速度パターン生成，電気学会研究会資料・IIC，産業計測制御研究会，Vol.IIC-06，No.16-39，41-44，pp.5-9（2006）。
- 3) 劉 建中，久保光徳，青木弘行，鈴木 邁，後藤忠俊：自動車走行における乗り心地評価構造：階層化ファジィ積分モデルによる定量化，デザイン学研究，Vol.41，No.1，pp.43-50（1994-05-31）。
- 4) 王 鋒，佐川貢一，猪岡 光：自動車の加減速と乗り心地の関係に関する研究，人間工学，Vol.36，No.4，pp.191-200（2000）。
- 5) 赤津洋介：乗心地評価手法の開発，自動車技術，Vol.52，No.3，pp.47-52（1998-03-01）。
- 6) 武井一剛，石黒陸雄：乗員の官能評価にもとづく乗り心地評価，豊田中央研究所 R&D レビュー，Vol.30，No.3，pp.47-56（1995）。
- 7) 久保光徳，寺内文雄，青木弘行，古沢克仁：デジタルヒューマンによる自動車用シートの乗り心地評価，デザイン学研究，Vol.55，No.3，pp.31-36（2008）。
- 8) 山邊茂之，鄭 仁成，中村弘毅，多加谷敦，大堀真敬，中野公彦，須田義大：エコドライブ時における身体的ドライバ負担の評価，交通・物流部門大会講演論文集，Vol.18，pp.299-300（2009）。
- 9) 王 鋒，佐川貢一，石原 正，猪岡 光：乗り心地向上を目的とする自動車運転支援システム，電気学会論文誌・D，産業応用部門誌，Vol.122，No.7，pp.730-735（2002）。
- 10) Burnette, E.: *Hello, Android: Introducing Google's Mobile Development Platform*, Pragmatic Bookshelf (2008).
- 11) Google Inc.: SensorEvent — Android Developers, <http://developer.android.com/reference/android/hardware/SensorEvent.html>. 2011年8月22日参照。