

# 科学技術振興調整費 重要課題解決型研究

## 状況・意図理解によるリスクの発見と回避

ニュースレター

交通事故対策技術の研究開発



"Situation and Intention Recognition for  
Risk Finding and Avoidance:  
Human-Centered Technology for Transportation Safety"

- ・代表者： 稲垣敏之 筑波大学大学院  
システム情報工学研究科 リスク工学専攻
- ・参画機関： 筑波大学  
産業技術総合研究所  
海上技術安全研究所  
電子航法研究所  
東北大学  
鉄道総合技術研究所  
交通安全環境研究所  
電気通信大学
- ・期間： 平成16年7月～19年3月
- ・研究費： 総額 約5億8500万円

Mar. 2006



## ニュースレターの発刊によせて

### 本プロジェクトの1年半

「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」プロジェクトが発足して、1年半が経過いたしました。この間、シンポジウムの開催、パンフレットの配布、各メーカーの方々との技術交流、研究施設公開などを行い、本プロジェクトの目指すところを皆様にお伝えするべく努めてまいりました。その結果、様々な方にご関心をお寄せいただけましたこと、感謝申し上げます。

### 研究成果

5つの研究項目それぞれにおいて、研究成果が形を成すようになってまいりました。その一部を本ニュースレターでお伝えさせていただきます。ここで取り上げましたトピックはあくまでも研究全体から見れば一部に過ぎません。さらに詳しいことをお知りになりたい方は、ぜひ事務局までお問合せ下さいますようお願い申し上げます。

### 今後に向けて

海外でも、当プロジェクトとよく似た観点からのプロジェクトがいくつか進行中です。私たちの目指す方向が間違ってはないと安心する反面、厳しい競争に一層気を引き締めてからねばならないとも考えております。本プロジェクトに残された期間はあと1年と短い期間ではありますが、少しでも多くの有意義な成果を挙げられるよう、皆様のご意見を伺いながら、今後も研究活動に取り組んでまいります。忌憚のないご意見・コメントをお寄せいただければ幸いです。

「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」  
プロジェクト 事務局

## 1. 人間機械相互作用

### 状況・意図に応じた適応的機能配分原理

研究項目1では、いつもと比べて運転への注意が十分でない場合に、ドライバの心的状態と交通の状況に応じて、警告を与える、「通常の運転状態」への復帰を促したり、緊急時に安全確保を行うことを目指しています。そこで、ドライバが運転支援システムを過信したり警戒心を低下させることにより運転への積極性が低下した場合、それを実時間で検出する技術の開発に取り込んでいます。

まず、運転への積極性が低下する状況での運転行動のデータを蓄積しています。場合によっては危険な状況にもなりうるので、実車ではなく、ドライビングシミュレータ（図1.1）でデータを計測します。

運転支援システムへの過信や警戒心の低下の影響として、研究項目1では、考え方等による「意識のわき見」に注目しています。この潜在的な高リスク心的状態を検出するには、さまざまなデータを多面的に分析し、特徴量を抽出する必要があります。そこで、視線の方向・移動、注視点、頭部の位置・動き、姿勢の変化（座りなおし等）、姿勢の特徴（前傾・後傾等）、機器の操作、ペダル操作の準備・実行・迷いなど、さまざまなデータを計測しています（図1.2）。

運転行動は個人によって著しい差異がありますので、研究項目1では個人適合型の技術として開発することを目指しています。運転行動データの蓄積に際しても、比較的少数の被験者を長期間にわたって観察する方式をとっています。

運転中の考え方を模擬するものとして、「一桁の数値同士の暗算」、たとえば「2+3は？」と実験者が問い合わせ、被験者に回答させるタスクを課した際の運転行動への影響を調べています。

10名の被験者の運転中の視行動を観察したところ、暗算タスク遂行中は、視線移動のパターンに違いが生じ、視線の停留（ある狭い範囲に視点がとどまる）の時間分布が変化することがわかりました。その変化は、図1.3のように視線の停留時間が短くなるもの（傾向1）もあれば、逆に、視線の停留時間が長くなるもの（傾向2）もあることがわかりました。周囲の交通状況によって、一人のドライバにおいても、傾向1が見られる場合もあれば、傾向2が



図1.1 ドライビングシミュレータ



図1.2 運転行動の計測

#### 傾向1：短い時間の停留が多くなる

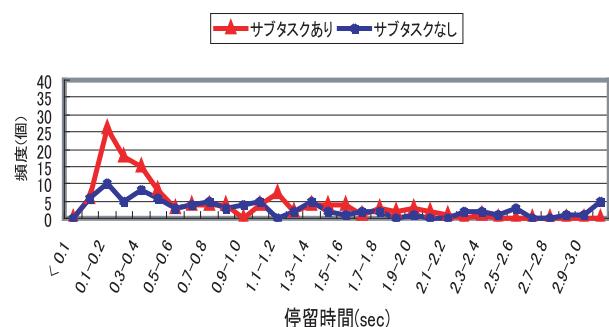


図1.3 視点の停留時間

見られることもあります。ただし、人によって、比較的傾向1が出やすいとか、逆に傾向2が出やすい、ということがあるようです。

いずれの傾向が出やすいかを利用して、「暗算タスクを付加されている状態」を検出するアルゴリズムを構築したところ、10人中3人に対しては50%以上の検出率（暗算をしているときに、「暗算をしている」と判定できる割合）を得ることができました（図1.4左）。視点の停留の形態に個人差があるのはもちろんですが、個人内でも日によって（走行ごとに）変動があります。そこで、その変動を反映させたアルゴリズムを構築したところ、人によっては検出率を70-80%にまで高めることができました（図1.4右）。

「緊張すると体が固くなる」とはよく言われることですが、運転中の考え方によって体は固くなるでしょうか。運転席の面圧シートで計測した体圧から運転席にかかる荷重の重心を求め、その重心位置を追跡することによって、体の動き（体動）を調べています。

平穏な交通状況での実験において、暗算タスク実行中は体動が少なくなる傾向が見されました。図1.5は、2分ごとに「暗算タスクあり」の運転と「暗算タスクなし」の運転を繰り返した際の、体動の変化を示したデータの一例です。120～240, 360～480, 600～720, 840～900秒のところで暗算タスクが付加されています。体動を120秒単位でカウントすると、はっきりと体動の増加・減少がわかります。集計を20秒単位で行っても、負荷があるときは体動が少なく、負荷がないと体動が多いという傾向を見出すことができます。

のことから、20秒ごとの体動のカウントにもとづいて、暗算タスクの有無の判定を行うアルゴリズムを構築しています。すでに、一部のドライバについては、「暗算負荷により体動の減少」を高い検出率で見出すことができるようになっています。

単調な交通状況では、たとえ疲労がなくとも眠気が襲ってくることも少なくありません。眠さが現れはじめる状況において、体動との関係を調べたところ、図1.6のように、0.3秒以上目を閉じているときと体動が多くなるときに相関を示す結果も出ています。

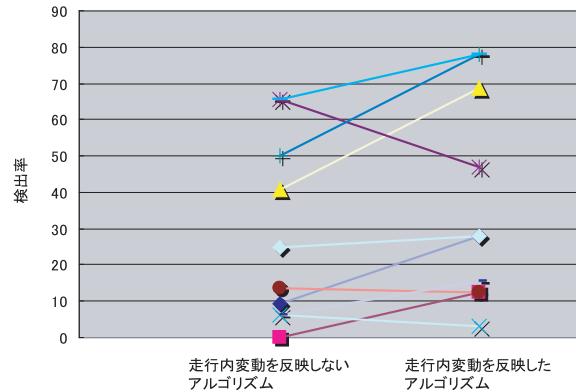


図1.4 視線停留時間による思考負荷抽出

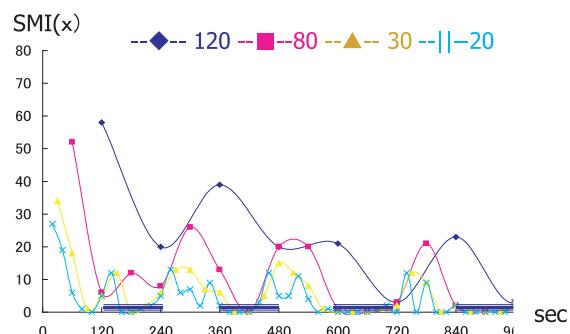


図1.5 思考負荷による体動変化抽出

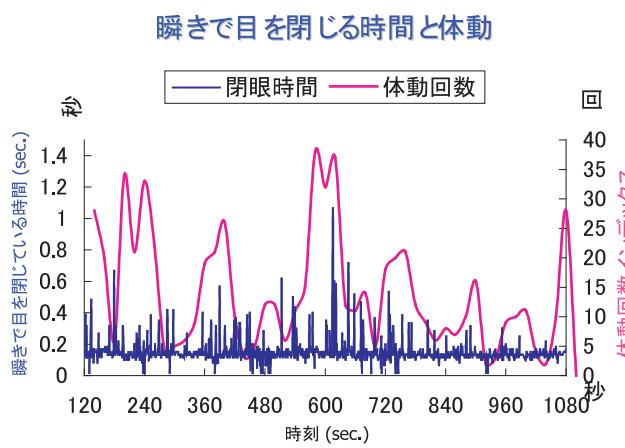


図1.6 体動と眼気

## 2. 状況・意図理解のための数理情報手法

### 状況・意図理解のための確率統計手法とビデオサーベイランス技術

運転者の周囲状況の理解が十分でない等のために多くの交通事故が発生しています。これを防止するための支援システムでは、車外の状況を適切に認識することが必要です。本プロジェクトでも車に搭載したカメラの画像を処理して、自動的に車外の状況を認識する手法の開発を行っています。

一般に、車は道路面上を直進しているので、カメラと道路との幾何学的な関係は一定です。この関係を利用して、道路面に描かれた車線の検出や道路面から一定の高さにあるヘッドライトの検出のための新たな手法を開発しました。

カメラと道路面との幾何学的な関係を利用して、画像中のエッジ点の座標を車の進行方向と直行する道路上の軸の座標に変換し、その軸を等間隔で区切った領域に投票することで、道路に平行な直線のみを検出する手法を開発しました。これにより、従来の直線検出手法にくらべて検出速度が高速化されるだけでなく、他車や道路の模様等の道路面と平行でない直線が検出されなくなるので、安定な車線検出が可能となります。図2.1に夜間の高速道路で後方を撮影した画像に対して、車線を検出した例を示します。

後続車両のヘッドライトをサポートベクターマシン(SVM)に訓練させ、夜間のバックミラー映像から後続車両のヘッドライトのみを認識させる手法を開発しました。SVMを用いた検出では、入力画像を多段階で縮小し、それらの縮小画像中のすべての位置で局所領域を切り出し、それら学習した識別器に入力する必要がありますが、カメラと道路面との幾何学的な関係を利用することで、効率的で安定な検出が可能となりました。図2.2にヘッドライトの検出例を示します。また、図2.3に後方車両までの距離の推定結果を示します。このグラフから後方車両が近づいてきている状況が理解できると思います。



(a) 夜間の高速道路



(b) トラックが通行中のシーン

図2.1 夜間の高速道路画像での車線検出



図2.2 後方車両のヘッドライトの検出

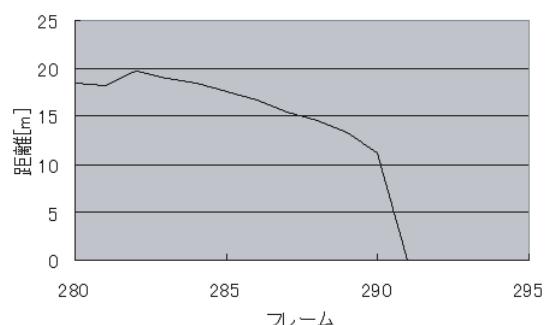


図2.3 後方車両までの距離の推移

## 動的環境センシングによる視覚増強技術

車の運転をしているときに、運転者からは見えないところから車や人が出てくることが、交通事故の大きな原因の一つとされています。

私達の研究グループでは、運転者に視覚的な増強手段を提供することで、運転者から見て、死角になるところを減らせるような技術の開発を行っています。

現在、その実例として、交差点における右折時の、直進車両との衝突の危険性を回避できるような視覚支援を研究しています。

自分が右に曲がろうとするとき、対向車線に右折車両が停まっていると、その後ろから来る直進車両がよく見えません（図2.4）。これは、右折車両が死角を作ってしまうからです。そこで、私達は「バーチャルスロープ」という視覚増強技術を提案しています。バーチャルスロープでは、対向車線はあたかも上り坂のように見えるため、右折車両がいても、その後ろまでよく見えます（図2.5）。



図2.4 右折時の様子



図2.5 バーチャルスロープ

バーチャルスロープの実現のためには、交差点に設置された道路監視カメラを用います。図2.6左のように、自車両（赤車）が交差点に近づいたとき、その上にある道路監視カメラからならば、右折車両（青車）の影に隠れて見えない対向車両（緑車）が見えています。しかし、残念なことに、その映像は上から交差点を見下ろしたものなので、そのまま運転者に見せても、運転者は自分がその映像に対してどこに位置しているのかすら分かりにくい状態になります。でも、図2.6右のように、道路監視カメラを仮想的に運転者と同じ位置に動かし、同時に対向車線を「上り坂」状にすることで、見やすさと分かりやすさが両立できるようになります。

現在、実際に交差点に設置したカメラを利用して実車実験を進めています。



図2.6 バーチャルスロープの原理

### 3. 運転行動モデリング

#### 長距離運転行動データベースに基づくリスク評価技術

通常の運転では、運転者は事故に遭わないように運転を行っています。すなわち、自らが適切と思ういつもの運転をしていれば、運転のリスクはあるレベル以下に保たれていると考えられます。これに対し、たまたま何かに気を取られたり、ぼんやり状態などによって通常の運転ではなくなると、運転のリスクが高くなります。この研究では、長時間の運転行動を計測・蓄積することで通常の運転を把握し、それからの逸脱の程度によってリスクの評価をする技術の開発を行います。

この目的のために、実際の運送業務における長時間運転の運転行動データ（運転操作、車両状態、車間距離、走行中の道路上の位置など）を計測する装置（長距離運転行動計測装置）を開発しました

（図3.1）。東京－大阪間の高速道路（東名高速道路、名神高速道路）を定期運行する運送トラックに長距離運転行動計測装置を設置し、12名のドライバーの半年間程度の運転行動データを収集しました。これから長距離運転行動データベースを作成しました。

このデータベースを用いて通常運転行動のモデルを構築していくのですが、ここでは先行車への追従状況における運転行動モデルを紹介します。追従運転行動に係わるデータ項目である相対速度と自車加速度に対して、動的確率モデルの一つである自己回帰隠れマルコフモデル(AR-HMM)を適用しました。このモデルは、フィードバック系における制御モードの切り替えタイミングを推定するために利用されます。図3.2では、相対速度と自車加速度のデータに加えて、車間距離のデータおよびAR-HMMによるドライバーの制御モード遷移の推定結果を示しています。3つの制御モードのうち3番目ものが、相対速度から自車加速度への比例的な応答特性を持つ典型的な追従運転モードを表しています。

このように、様々な運転状況における通常運転の確率モデルを、運転行動データベースを用いた学習によって構築していきます。運転リスクの実時間評価は、計測された運転行動データから現在の運転状況を判断し、対応する確率モデルを呼び出して、その尤度を計算することによって実現されます。

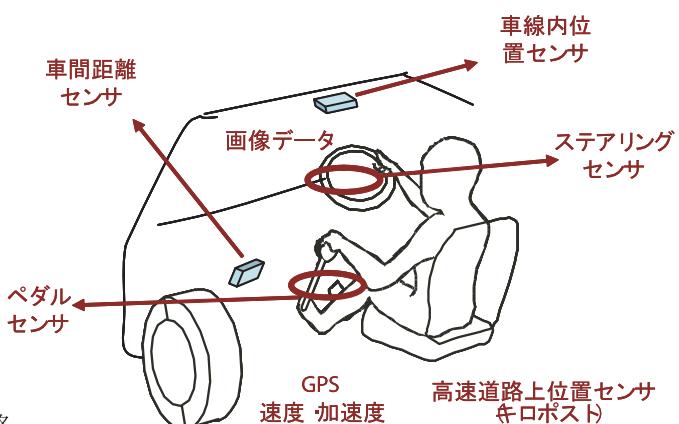


図3.1 長距離運転行動計測装置

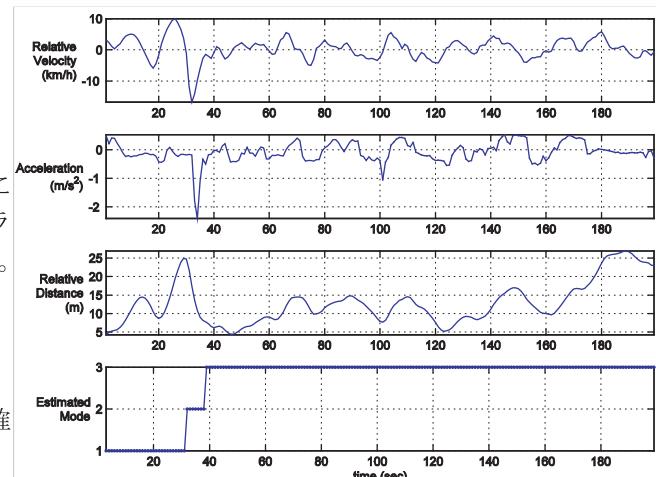


図3.2 制御モード遷移の推定結果

## 運転作業状態の推定技術

交通事故のリスクを包括的に低減させるためには、運転員の状態に応じて警報を与えるだけでなく、危険な状態に陥る前の、より早い段階で運転員と運行管理者に安全運転に関するアドバイスを提供することが重要になります。海上技術安全研究所が実施した調査によると、不適切な運行管理によって運転員の過労や時間的切迫による先急ぎ運転が引き起こされていたなど、運行管理者が運行の実態を把握していないことに起因する問題が明らかになっています。海上技術安全研究所では、これらの課題を解決するために、運転画像記録システム（図3.3）を開発することによって、運転に専念している時間は全体の6割程度にとどまる（図3.4）ことなど、運行の実態を明らかにする技術を確立しました。



図3.3 運転画像記録システムにより得られた画像と設置したカメラ（後方、側方、正面からの3画像を記録します。）

また、長距離運転行動データ計測装置によって得られた運転行動データを解析して、主として追い越しや車線変更の中の不安全運転行動を検出し、運転行動の負担度や危険度を評価する技術を開発することにより、運行管理に資する運行状態を把握する手法の基盤を構築してきました。

本研究は、プロジェクトが目標とする予防安全型技術の中でも、運行管理者による座学的な安全運転教育と衝突警報システムとの間をうめる安全対策技術を開発するものです。運行管理者が運行の実態を把握するのを支援する運転作業状態報告システムを構築するため、運転作業状態を指標化する技術と、運転員が危険な状態に陥る前より早い段階で事故のリスクを低減させるため、運行中に実際に行われた不安全行動に基づいて音声によるアドバイスを提供する技術の開発をおこなっています。

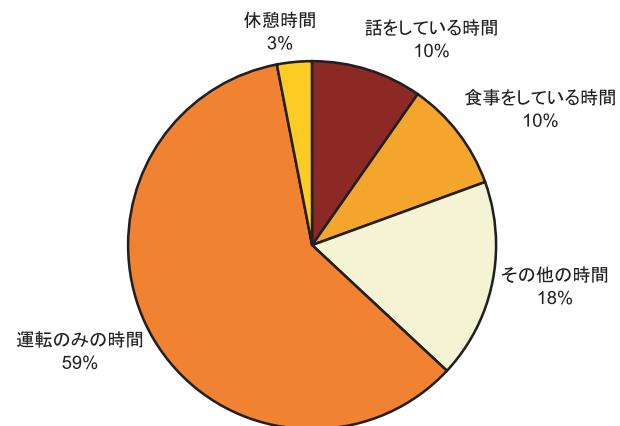


図3.4 走行時間全体に占める運転行動の時間割合を示したグラフ  
(運転に専念している時間は全体の6割程度にとどまることが分かりました。)

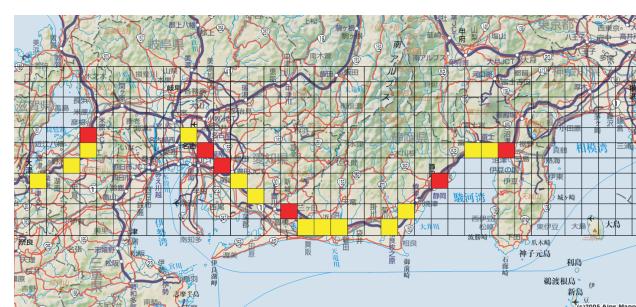


図3.5 追い越し運転が多い箇所を集計した  
東名・名神高速道路追い越しマップ  
(赤い箇所は、最も頻繁に追い越しをおこなわれた区間を示しています。)

## 4. 運転員心身状態評価技術

電子航法研究所と東北大大学と鉄道総合技術研究所は、共同で、声からその人の疲労状態等を評価するための研究開発を進めています。

この研究は、トラック等の運転者の声から彼らの疲労状態を評価して過労運転等を防止する装置の実現を目指すものです。

一般的に人の疲労状態を評価する方法は、今日様々に提案されていますが、殆ど全ての方法が「疲労度を評価するための作業」を必要としたり、また

「唾液や血液等の採取」を必要としたりするもので、トラックの運転席で運転者が試すことができる様なものではありません。ましてや、これらの方法では、運転作業中に運転者の疲労度等が計測できる訳ではありません。

声から疲労状態や、あるいは単調な状況の継続で眠くなっているような状態を計測検出することが可能であれば、例えば、ラジオからの「運転手さん、今日の積み荷は何ですか?」とか「どこまで運ぶのですか?」とか言った問い合わせに「マグロを東京の築地まで運ぶんだ。」等と応えるだけで、その運転者がどの程度の疲労状態にあって、数十分以内に眠気を催す可能性が高いのか、あるいは低いのか、判定することができるようになる訳です。

今まで、列車や自動車の運転シミュレータを利用した実験や、また運動用の自転車を利用した実験を行い、私たちは、長時間の運転作業や、きつい肉体的な運動によって、その被験者の声が変化することを検証してきました。声をカオス理論という数学を利用して分析することで、その発話者のその時の大脳新皮質の活性度が計測できることが確認されてきたのです。

声から計算される評価指数を脳活性度指数と呼ぶこととすれば、単調な作業を長時間続ければ、次第に脳活性度指数値が低下していくことを観測することができます。また、一生懸命に自転車を30分間こぎ続けると言った強い運動性の負荷を加えた場合には、運動直後には低下している脳活性度指数値が数十分から一時間程度の休憩により平常状態のレベルに回復していく様子を観測することができます。



図4.1 疲労評価実験

これまでの実験結果からは、声から計算される脳活性度指数値には男女差はあるのですが、それ以外の個人差が唾液中のホルモン等の他の生理的な指標値に比較してかなり小さいことが分かっています。具体的には、発話音声から計算される脳活性度指数値の個人差は血圧の個人差程度と考えられています。例えば、血圧の上が160であれば高いと言われるようになれば高いと言われるようになり、脳活性度指数値についても明確に平均的平常値が存在するので、初めての計測であっても、その人が過労状態であったり、極度な緊張状態にあつたりすれば、その状態を正確に識別することが可能です。

声から脳活性度を計算することはとても複雑なので、未だ、運転者が何か話せば直ぐにその声を分析して疲労状態を判定して運転者に警告する様な装置を、トラックの運転席等に置ける程にはコンパクトに作ることはできていません。しかし、今のパソコンが後10倍くらい高性能になれば、図の様な機能を持った自動車を作ることは、最早、夢ではないのです。

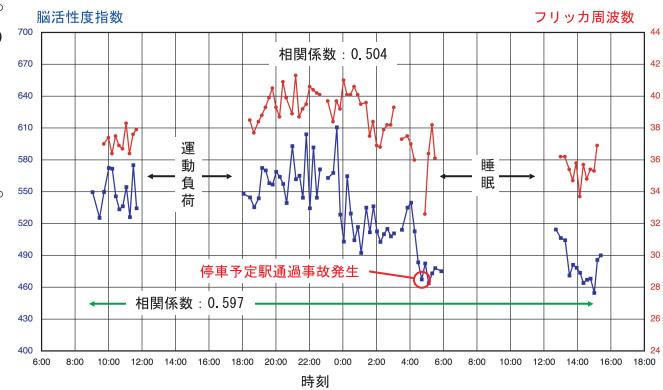


図4.2 疲労実験における脳活性度指数とフリッカ周波数の推移

現在、私たちは、多くの鉄道会社や運輸物流企業、また自動車製造企業の方々のご支援を受けながら、信号処理アルゴリズムの改善、環境雑音に強いマイクロフォンの開発、等々、音声信号処理を高速化し、またその信頼性を向上させるための研究開発を進めています。

## 5. 高齢者支援

### 高齢者に適した情報提示技術のあり方

自動車のIT化に伴い、ドライバの認知・判断を支援する機能が車両に搭載されつつあります。このような新技術によりヒューマンエラーに起因する事故の減少が期待されますが、使い方によっては逆に運転を混乱させるおそれがあります（図5.1）。特に、高齢者は新技術の受け入れに時間がかかります。高齢者が適応しやすい技術は職業ドライバや一般ドライバにも有効であり、交通安全全般に貢献するものと考えます。本研究では高齢ドライバに優しい情報提供方法のあり方を調べています。そのためには高齢者の運転時の基本特性を理解することが重要です。

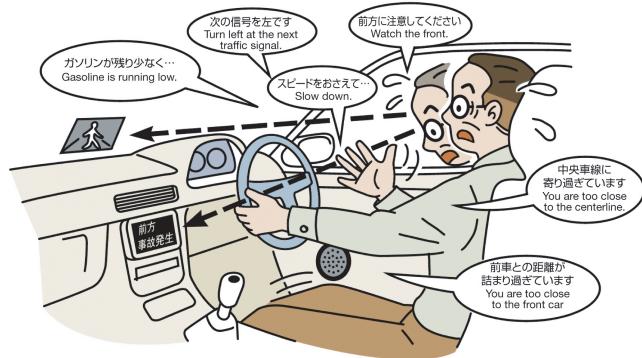


図5.1 運転支援システムの問題点

注意喚起や警報などの支援情報は聴覚的に提示されることが多いため、これらが安全に活用されるためには、車室内の音環境の物理的な特性とドライバの聴覚特性の両方を理解する必要があります。私たちは車内の暗騒音を解析し、音声情報の聞き取りやすさを数量化しています。また、実際に高齢者、若年者の被験者を用いて実験を行い、聴覚情報の聞き取りやすさや高齢者が受容できる情報の数を調べました。その結果、高齢者は若年者よりも暗騒音の影響を受けやすく、一度に取得できる情報の数が少ないことが分かりました（図5.2）。さらに、警報音の音質やタイミングなどを検討し、運転中に役立つ提示方法を開発しています。

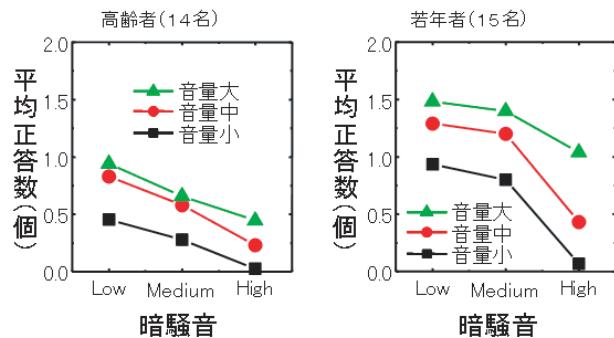


図5.2 二つの音声情報を同時に提示した場合に正しく弁別できる情報の数

## 運転行動改善のための学習支援機構

高齢運転者は、加齢と共に運転に必要な能力が低下してきます。このため、自動化装置による運転支援や情報提示による認知支援が有効となりますが、それと共に、運転者自身が自己の運転能力の低下を認識し自発的に安全な運転を心がけるようになるための学習支援が必要です。

例えば、安全な車間距離は各自のブレーキ反応速度に依って異なるため、自分の運転能力に基づいた必要距離(最大停止距離)を自覚し運転する必要があります。さらに、他車の運転行動意図を考慮しない運転を行う傾向が出てくるため、例えば、前方に割り込んだ車は左折のために急ブレーキをかけることがあるなどの行動予測を意識的に行う必要が出てきます。



図5.3 体験型教示で利用する前方車の急停止

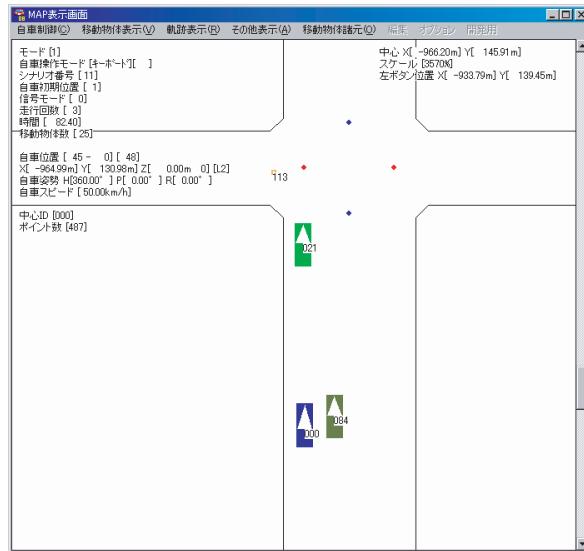


図5.4 客体視教示で利用する鳥瞰図

そこで、ドライビングシミュレータを使った幾つかの教示方法による学習支援の効果を比較検討しています。実際に追突を体験する体験型教示法

(図5.3)、空から運転状況を鳥瞰する客体視教示法(図5.4)、それらを口頭による教示法と比較し、高齢者に最も効果の高い教示法を追究しています(図5.5)。

ドライビングシミュレータにより、画一的な教示ではなく個々の能力に応じた車間距離や運転技術を学習させることが可能となり、自発的な安全運転へと誘導する効果が高い方法と期待されます。

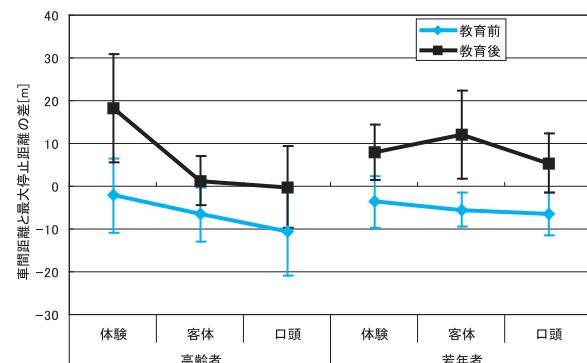


図5.5 交差点通過時の車間距離と最大停止距離との差

## 問合せ・連絡先

〒305-8573

茨城県つくば市天王台1-1-1

筑波大学大学院

システム情報工学研究科 リスク工学専攻

認知システムデザイン研究室内

「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」プロジェクト事務局

電話／FAX 029-853-5011

[E-mail] [kashin-office@css.risk.tsukuba.ac.jp](mailto:kashin-office@css.risk.tsukuba.ac.jp)

ホームページ <http://www.kashin.risk.tsukuba.ac.jp>