

## 論文の内容の要旨

論文題目 自動車運転行動の特徴量抽出とドライバ脳活動計測による運転技量の評価

氏名 李 曙光

### 1. 研究背景

交通安全と省エネルギーなど問題を解決するため、次世代交通では高度運転支援システムおよび自動運転などの技術の発展が求められる。人への受容性が高く、効果的な高度運転支援システムの構築のためにはドライバの運転技量の評価が重要である。また、ドライバの運転技能は交通安全だけでなく、燃料消費などに大きく影響を及ぼすため効率的な自動車の運転支援においてもドライバの運転技能の評価は重要となる。本研究は、自動車分野におけるビッグデータの活用と脳科学分野の脳活動計測手法の進歩を背景として、自動車を運転するドライバの運転行動について、機械学習法と脳活動計測という新たな手法を活用して検討したものである。

### 2. 研究目的

運転行為の三要素の「認知・判断・操作」は全て脳活動に関わる。そのため、運転技量の評価はドライバの操作だけでなく、運転中のドライバの脳活動の検討が必要である。本研究は、ドライバモデルの高度化を目指し、ドライバの運転技量の評価手法を検討するためのビッグデータを活用した運転熟練者と未熟練者の運転特徴抽出手法の確立と、脳科学に基づいて生理学的の見地から運転技量差の裏付けを検討することによる運転技量の評価における指針を提案することである。

運転する時は、ドライバは視覚野、体性感覚野と前庭神経を含む各機能からフィードバックした体感情報を感知して、頭頂連合野で情報を統合して、「認知・判断」のための適切な材料が用意されている。そこで、本研究では、運転技量は情報統合能力と関係があると仮説を立てる。具体的には、情報統合に関わる頭頂連合野の活性レベルと運転技量のレベルに関係があることを実験により検証する。

### 3. ドライバの運転特徴抽出手法および特徴抽出

運転技量の評価のためには熟練ドライバと未熟練ドライバの運転特徴差の把握が必要である。従来研究では、ドライバの運転特性については、演繹手法により制御工学などの立場から伝達関数や方程式でドライバモデルは表現されてきた。本研究は自動車分野にあるビッグデータを重要な背景として、ドライバの運転データに関するビッグデータに基づく、帰納的な手法の観点からドライバモデルの理解と解釈を目的としたドライバの運転特徴の抽出手法を提案した。基本的なコンセプトは、蓄積した膨大な量の運転操作データから熟練と未熟練ドライバにおける二つのグループの代表的な操作特徴差を抽出する。運転操作特徴の抽出アルゴリズムとして、機械学習法の一手法である AdaBoost をベースとした手法を提案した(図 1)。提案手法を検討するために、多曲率カーブにおいて運転免許を所有する 20~30 代の男女 16 名の被験者実験を行った(図 2)。

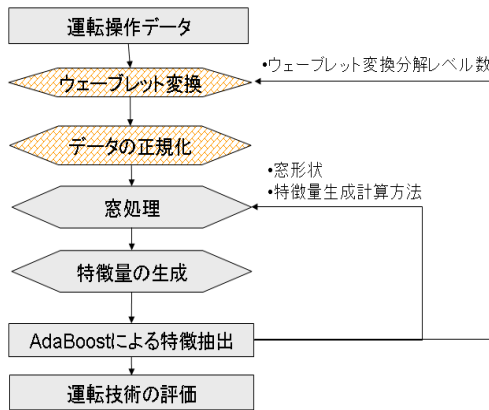


図1 特徴抽出する手法

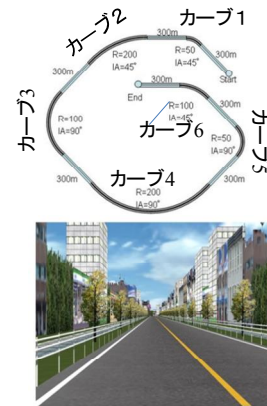


図2 コースレイアウトとCG映像のイメージ

実験で得られた運転操作のデータについて合成ジャークを評価基準として熟練走行と未熟練走行とに分類し、熟練と未熟練ドライバーの運転特徴をカーブごとで抽出した。図3にはカーブ1に対して抽出された特徴の場所を示している。六つカーブに於いて抽出された箇所と特徴量を図4にまとめている。カーブの入口と出口において、操舵、アクセルと横変位に関わる特徴量が多く抽出された。カーブ進入時の速度や操舵調整が熟練と未熟練者の差がと言え、横変位からは、カーブの進入と退出の軌跡に明確な特徴差が存在する。本手法により、熟練者と未熟練者がどのような場所で、どのような操作に違いがあるかを抽出することが可能した。

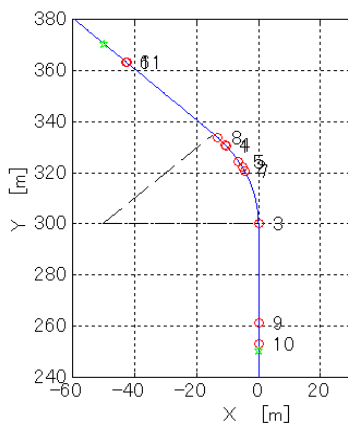


図3 特徴抽出した場所

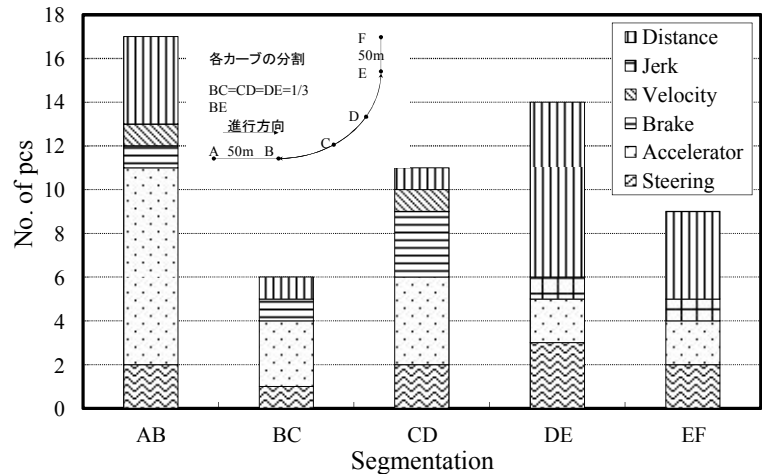


図4 場所ごと特徴抽出した特徴量の統計

#### 4. ドライビングシミュレータを用いた脳の計測の実験環境の構築

運転行為は、走行環境を認知して集められた情報を脳が処理・判断するとともに指令を出して運転操作を行うことである。生理学で、脳の活動は運転行為の中心位置と言える。そのため、運転行為を行いながら脳の活動を計測できる新しい実験環境を構築が必要である。

本研究では、モーション装置と音響装置により実車に近い臨場感を実現することが可能なドラ

イビングシミュレータ（DS）を利用するとともに近赤外光分光法(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)を導入して、新しい実験環境を構築する(図 5)。この新しい実験環境により、臨場感の高い環境下におけるアクセル、ブレーキとハンドルを含む複雑な運転操作と運転走行中の脳の活性とを同期して計測し、その解析を行うことが可能となる。新しい実験環境を検証するために、左右カーブの走行時における脳の活性化状態と運転行動を計測する。

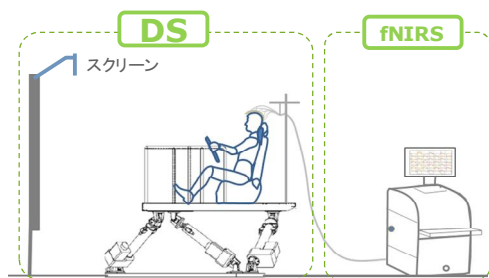


図 5 構築された新しい実験環境

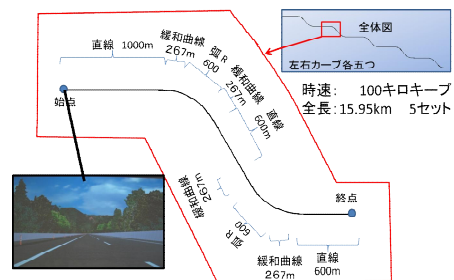


図 6 検証実験のシナリオ

本実験環境の有効性を検証するために DS 実験を行った。実験は 20～30 代の 15 名ドライバが実験に参加した。図 6 に実験コースの全体平面線形を示している。被験者に加速区間で車両速度を 100km/h まで加速させ、実験コースを 100km/h を保持して走行するように指示した。

15 名のドライバごとに左右カーブ 5 回ずつの走行があるので、75 回走行の各チャンネルの値を積分して、カーブ走行中の各指標の 1 秒当たりの変化量を算出した。結果は図 7 に示している。酸素消費量 ( $\Delta COE$ ) では、右脳の運動関連領域 (BA6) で、左カーブ走行中と右カーブ走行中

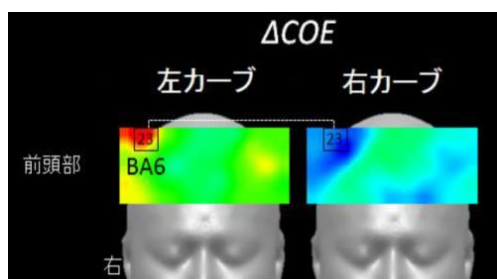


図 7 左右カーブの脳機能計測結果

との間に有意差を認めた。左カーブ走行では  $\Delta COE$  が増加し、右カーブ走行では  $\Delta COE$  は減少した。右カーブよりも左カーブで BA6 が活動したことが分かった。右脳 BA6 によって右カーブ走行と左カーブ走行を区別できる可能性が示された。構築された実験環境でドライバの脳活動が計測可能であることが示された。

## 5. ドライビングシミュレータ実験に基づく脳活動と運転技量の関係の解析

構築された実験環境を用いて、運転中のドライバの頭頂連合野の活性化レベルと運転技量のレベルの関係を検討するために、被験者実験を行った。具体的には、実在するテストコースを DS で可能な限り再現して(図 8) , 20～30 代の健常ドライバ 8 名を対象として実験を行った。取得した実験データに基づいて、合成ジャークを用いて運転熟練者と未熟練者を定義する(図 9)。熟練と未熟練の分類結果から D1, D2, D3 と D5 のドライバを熟練グループとし、D6, D7, D8 のドライバを未熟練グループとし、この二つのグループの走行データを対象として解析を行った。D4 は熟練走行と未熟練走行が混在し、今回の解析には不採用とした。



図8 実験用コースとCG映像のイメージ

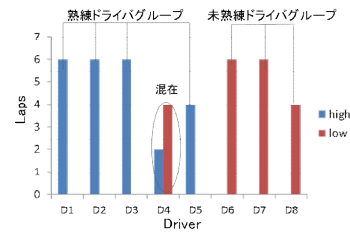


図9 熟練と未熟練ドライバグループの定義

両グループの走行データと頭頂連合野の活性化状態の差異性を検出した。図10には熟練と未熟練ドライバの速度、アクセル開度と操舵角度の平均波形の比較であり、有意差検定の結果により両グループの差異性を検出した場所を点線で標記している。500m地点から1200m地点までのカーブの入口で、未熟練ドライバグループはアクセルによる速度調整が大きく、速度が大幅に落ちているのに対して、熟練グループではアクセルと速度が共に安定していることが分かった。図11には熟練者と未熟練者の頭頂連合野の活性化レベルを示している。今回の実験では頭頂連合野(BA7)の領域に対して17チャンネルを計測したので、17チャンネルの酸素消費量( $\Delta\text{COE}$ )の平均波形を図に示している。すなわち、直線からカーブに進入する時、熟練ドライバは運転中の頭頂連合野の活性化レベルが高いことが分かった。

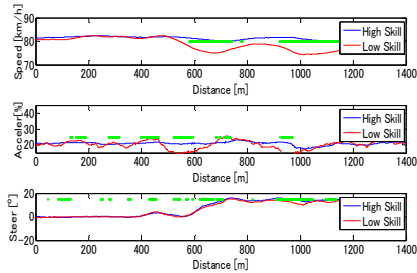


図10 熟練と未熟ドライバの操作データの比較

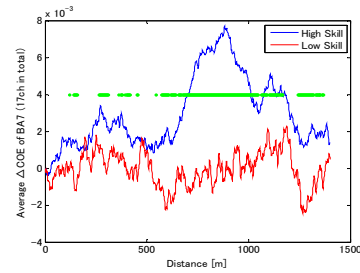


図11 頭頂連合野の活性比較

## 6. 考察

運転する時、ドライバは各官能器官がセンサーとして運転に関連する情報を感知して、頭頂連合野で情報を統合して、判断のための適切な材料が用意される。運転熟練者は運転中頭頂連合野がより活性化し、情報統合の能力が高くて、運転がスムーズになる。本研究では、情報統合の能力が運転技量の評価において重要であることを明らかにした。

## 7. 結論

本研究は、運転行動と自動車の挙動の機械学習法を適用した運転技量の評価手法を構築し、DS実験を通じて、自動車を運転するドライバの運転技量と脳活動を計測し、高い運転技量には情報統合が重要であることを明らかにした。研究成果によって、ドライバモデルの高度化が可能であり、次世代交通に関する様々な技術(安全・安心・快適)に組み込み、活用することが期待される。