

## 自動車運転習熟過程の陽的パラメータモデルの構築

Driving skill proficiency process modeling with explicit parameters

主任研究員名：梶井 一英

分担研究員名：大野 麻子

### 中間総括

公道を走ることができる自動車の自動運転技術の開発が急速に進んでいる。これは深層学習を用いた環境認識技術の発展と運転人間の操作からアクセル・ブレーキや操舵機構の駆動までが電氣的につながったXBW(X by wire)システムの市販車への適用が進んでいることによる。一方鉄道では1981年より完全自動運転が実用化されている。目標軌跡がレールとして固定されている鉄道に対して自動車ではそれを生成しなければならない。目標とする経路および速度の制約が決まれば、ハンドルとアクセル・ブレーキの操作はあらかじめプログラムが書き込まれた制御装置によりなされる。

人間の運転では環境からまず目標軌道を生成し、それに対して自身が制御装置として自動車を操作する必要がある。しかし人間の脳内にはプログラムが書き込まれていないので、そのプログラムを生成する必要がある。人間の能力、主には応答性、でどのような操作が可能なのか制御系の中での人間挙動の安定性解析から調べた。その結果自動車の走行目標に対してフィードフォワード操作が主でなければ制御できないことが分かった。フィードフォワード操作は偏差に固定ゲインをかけた操作でも成立するフィードバック制御ほど簡単ではなく、学習が必要となる。

人間の赤ちゃんは、身体的な可能性と制約があるもののほとんどプログラムがない状態で生まれる。そして周りの状態を見ていろんな人間らしい行動や操作(道具の使用)ができるようになる。運転操作の学習も同様であり、目標とする動きを認識し、そして操作した結果と目標との違いを判断する、それにより操作行動を修正すると考えた。この過程をアルゴリズムとして実現するために、ロボティクスで使われている繰り返し学習制御を目標速度に追従するアクセルとブレーキ操作量の学習に適用した。しかしこの方法は刻々の操作量の記憶が必要であるため、人間には適用できない。人間は目標に対する操作パターンとそのゲインを習得すると考える方が自然である。

人間が曲がりくねった経路をたどる時走ると4輪車の運転とでは身体の動かし方が全く異なるが、そのことは意識されない。身体のみで移動するには生まれつき備わった運動能力があるが、運転では道具の操作やさらにはその延長である機械を操作する。これが無意識に行われるには道具を身体の一部として制御系の中に取り込み、それらの応答込みで脳内に逆システムが形成されていると考えられる。これを拡張的身体の形成と呼ぶことにした。人間

行動は慣れるに従い基づくものが知識(Knowledge),規則(Rule)そして習熟技能(Skill)となるというSRKモデルの概念につながるものである。

ある目的に対する操作(体の動き)の系列を広い意味で技能と呼ぶことにする。この技能は人により異なり、上手かあまり上手くないという技能水準がある。習熟した技能の特徴の一つに操作の繰り返し正確さが挙げられる。また認識系と操作系で無駄のない動きも必要で、これはエネルギーが最小となるとともに応答性が上がることにも繋がる。習熟により人間の応答性が大幅に改善されることはないので、目標軌跡列のカットオフ周波数を下げることは非常に効果的である。滑らかな目標軌跡を生成し追従を容易することも習熟の大きな要素である。

現在運転支援(自動ではない)技術として適応型走行速度制御(Adaptive cruise control)や車線維持(Lane keep control)が実用化されているが、運転技能とは関係なく作動できるものである。技能習熟の支援として(1)運転者の習熟度や技能水準(疲労等による低下も含む)の判定、(2)経路や操作の目標示唆による技能獲得の促進があげられる。(1)については運転中の人の画像による推定が多くの研究に進められている。(2)については本研究の習熟過程モデルが有用と考えている。

# 技能の獲得と習熟過程のモデル構築

梅井 一英 (工学部交通機械工学科)

## 成果報告

自動車の運転は経路に追従すること目的として環境情報を認識して駆動力(アクセル/ブレーキ)と車両の方向(操舵装置)を制御することで、制御装置は人であっても電子装置であっても情報と運転装置という入出力は同じである。一般に電子制御装置では目標軌道に対してあらかじめ決められた操作(フィードフォワード)と目標からの偏差を刻々修正する操作(フィードバック)が組み合わされて対象を動かす。フィードバックは偏差やその蓄積に対して操作量を決めるもので、比較的やさしいが、フィードフォワードは操作に対して対象がどのように動くか事前の知見が必要である。

人間の応答性でどのような制御操作ができるかを、人間を簡単なフィードバック制御装置とみてモデルを作成し、制御理論を用いて安定解析をして、可能なフィードバックゲインを求めた。そのゲインでは排気ガス試験サイクルの目標速度に追従できない、これより人間の運転は主にフィードフォワード操作であることを示した。そして人間は運転操作プログラムが組み込まれているわけではないので自ら学習しなければならない。

身体に生まれつき備わった運動能力と運転操作についての知見を用い、目標と操作した結果のずれのみから次の操作行動を修正することが運転の学習であると考えた。目標とする動きを認識し、そして操作した結果と目標との違いを判断する、それにより操作行動を修正している。この過程をアルゴリズムとして実現するために、ロボティクスで使われている繰り返し学習制御法を適用した。この学習制御方法を目標速度に追従するアクセルとブレーキ操作量の学習に適用した。計算機シミュレーションにより10回程度の繰り返しで目標速度に対する操作量が学習できることがわかる。しかしこの方法は刻々の操作量の記憶が必要であるため、人間には適用できない。人間は目標に対する操作パターンとそのゲインを習得すると考える方が自然である。これで基本的な操作技能が獲得できる。

また車両質量が変わってもアクセル踏み力が変わっても同じように運転ができるのは、脳内で無意識のうちに応答性の違いを補正しているからである。指先と同様に箸を使っても物をつまみ上げることができるのと同じで、これを拡張的身体と呼ぶことにした。

一般に目標が簡単であれば操作に滑らかさがなくても目標が実現でき、また操作結果が目標からずれても修正できる。上達者は綺麗な動きで目標を実現し、それは認識系と操作系でエネルギー最小となる行動と言える。目標が高度になるとそのための操作の幅が狭くなり、操作の時系列がほぼ一義的に決まる。操作系列の幅が狭くなるとほとんどフィードフォワードとなり、その操作量も繰り返しで正確さが要求される。熟練により人間の応答性が格段に上がるわけではないので、熟練者は予見範囲が広くまた滑らかな目標系列(遮断周波数が低い)を生成できると言える。

# 顔情報を用いた人間行動の特徴抽出とパラメータ表現

大野 麻子（工学部電子情報通信工学科）

我が国における自動運転基準は「運転者の責任下における車線維持などの運転支援」といった米国 SAE 国際基準のレベル 2 をベースとしており，システムが個々の運転者の習熟度や技量に応じ適切な支援を提供することが求められる。

運転者は主に視覚情報として外部情報を取得し「操舵」「加速」「停止」といった運転操作を行う。ここで運転者が取得した情報をどのように認識し，それをもとにどのような判断を下して運転操作に至るのかについて観測することは不可能である。また，個々の運転者の技量には差異があり，経験により更新可能である。運転者が自らの運転操作とそれに対する車両の応答をもとに自己調整を行うことを通して経験的に車両特性のパラメータを学習し，目標系列に対する操作系列のパターンを変化させる過程を習熟過程と考えると，運転に慣れることで上達するという現象を運転者の操作系列と内部状態との対応をもとに説明可能であるかもしれない。

そこで本研究では，運転者の内部状態を集中状態／非集中状態の 2 状態に単純化し，センサデバイスにより計測した外面的情報を用いて推定する枠組みを構築するため，学習者行動分析における集中度推定をもとにした検討を行う。教育工学の分野において，学習者の理解度推定の前段階として，人間の外面的な特徴から集中度を推定する試みが多く行われている。このような研究では，人間の挙動をカメラやモーションセンサで記録し，外面的な特徴の抽出を行う。本研究ではオムロン社の製造するヒューマンビジョンコンポ（Human Vision Components:HVC）を用いた。HVC は搭載された小型カメラで撮影した人物の顔器官（目や口）を検出し，その形状の変化をリアルタイムに計測・記録する。HVC により取得可能な顔情報のうち，目つむり（瞼の閉じ具合）と上下・左右方向の顔の向きの情報を用いて，講義形式の授業を受ける学習者の内部状態（集中状態／非集中状態）を推定するための初期の試みを行った。

予備実験において，HVC により計測された顔情報を用いて座っている被験者の注視状況及び行動，特に，完全に下を向いている場合と手元を見ている場合についても判別が可能であることを確認した。ここで被験者が取り得る行動はあらかじめ類型化され，顔情報の計測値と紐づけされている。また，各行動には教員に対するアンケート調査結果をもとに集中状態／非集中状態のラベルづけが行われている。これにより計測した顔情報，すなわち教員から見た学生の外面的特徴から内部状態の推定を行う。

このように，HVC を用いて計測した顔情報をもとに被験者の挙動や外面的な特徴を判別し，内部状態の推定を行う試みについて実験を通して有益な示唆が得られた。これを先に行った動線分析により得られた知見と併せ運転者行動モデルに適用することが今後の課題となる。