

## 人間の運転習熟過程のモデル構築とその自律運転への適用

Modeling for human driving skill learning process and application to autonomous driving

主任研究員名：梶井 一英

分担研究員名：大野 麻子、松本 卓也

### 自動車運転の自動化と人間の関わり

2020年東京オリンピックを目標として自動運転の実用化研究が官民あげて行われている。一般公道での実用化のめどはまだ立っておらず、少しずつ実用化されている運転支援技術の延長と捉えた方がいい。自動化された時に必ず人間機械の相互作用 (Human machine interface) の問題が生じる。動力源を必要とする自動車は一般の人が混合交通路を運転するという点で、専門家が専用軌道を運転する列車や飛行機と異なっている。

自動車の登場から130年、その歴史は運転を安全に容易にするための技術開発であった。モータによるエンジン始動から始まり、より安全なブレーキ機能としてABS、パワーステアリング、電子スロットル、これらにより駆動と制動と操舵が人間によらず自動で行えるようになった。市販車では約30年前である。そして減速機能（あるいは衝突防止）付きのクルーズ制御と車線を識別できる車線逸脱防止制御を持って環境を認識して自動運転できる基盤ができた。

環境を認識して機械を操作することは、その入口と出口では人間であろうと自動機械であろうと同じである。そのため運転の研究は物理系とそして運転習熟学習の理解のための人間系の両方が必要である。物理系としてみると人間の応答はたかだか数Hzであり、フィードバックによる安定な修正量は限られているため、フィードフォワード操作が主となる。この操作量は電子制御のように予めプログラムされているわけではないので、学習によらざるをえない。この学習過程は人間系の研究となる。操作方法の学習過程として、適当な初期値で操作してその結果と目標との刻々の差を次の操作系列にフィードバックする繰り返し学習法を目標速度追従運転に適用して、目標速度に追従できるようにアクセルとブレーキを操作する操作系列が得られる。人間の学習にはこのような過程が含まれていると考えられるが、排ガス試験サイクルの運転のような場合には記憶量が膨大になるとともに刻々の誤差を少なくしようとする人間能力を超えた周波数応答性が要求される。これを避けるためには操作の規則を見つけてそのパラメータを記憶する方法がある。

技能水準の向上に伴い無駄な動きをせずに目標とする車両制御ができるようになる。拡張的な身体とは指で小球をつまむ動作と箸で同じ小球をつまむ動作に意識上の差はないが指の動きは異なることである。無意識のうちに操作するものの違いに応じてゲインとストロークを調整している。同じように目的地が決まれば自身の足で走るのと同じように自転車を運転することができる。運転の初めはハンドルをどう動かすか考えながらしていても、慣れると道路の車線を見ただけでハンドルを動かしていることも同じである。そしてこれらの行動原

理は、必要なエネルギーの最小化、運動量と脳の働き（脳のエネルギー消費量は質量に対して大きいことはよく知られている）であり、習熟過程にもこの原理が組み込まれている。

やさしい仕事、つまり変化の遅い目標に追従するための操作はいくつもある。短時間にハンドルを右に切っても同じだけも左に戻せば車は直進している。初心者が操作を少しくらい誤っても修正がきく場合である。しかし目標の難度が上がると、例えば曲がりくねった道路をかなりの速度で通り抜ける、あるいはサーキット走行のような場合、可能な操作は多くない。タイミングがずれると曲がりきれない、つまり大縄跳びで縄の動きを見誤って一人だけ引っかかるようなものである。

自動運転は鉄道や航空機で行なわれている。しかし前者は線路により強制された軌道を動き閉鎖された環境であり、後者も眼底された軌道を訓練されたパイロットの監視のもとで運転されている。開かれた一般道路環境で外乱も多く、一旦免許を取得すると訓練もない運転者のもとにある自動車とは違う。

自動運転が自動車専用道路などに限定されてできるようになった時には、自動と人間の運転の切り替えの問題が想定される。これも先ほどの大縄跳びと同じように、同期とタイミングが必要であるが、エネルギー最小化が自然の摂理である人間がうまく対応できるか課題である。この分野には人間運転の習熟過程の研究結果が適用できるはずである。

# 運転者の物理的な制約と学習過程の数理モデル

梅井 一英 (工学部交通機械工学科)

自動の運転とは道路環境や目的で生成される目標軌道に沿って速度の制約のもとでアクセル/ブレーキとハンドルを操作するものである。自動車が出場してから長い間人間のみが運転していたが、近年では電子制御装置による運転技術も開発されている。道路環境から情報を取り出すところが運転の入り口で、運転操作をすることが運転の出口であり、これらは人間でも電子制御装置でも同じである。そうすれば人間と電子制御装置では何が違うのか、そしてその違いにより運転過程がどう違うのかが明らかにすべき研究課題の一つである。

人間の周波数応答はフィードフォワードでも 10Hz 以下と言われており、電子制御装置のそれと比べてはるかに低い。このことから人間の運転はフィードフォワード操作が主であり、予測に基づく操作であることが知られている。当研究では自動車の排気ガス試験で必要な目標速度追従運転において、人間の応答性の制約によるフィードバック安定性を定量的に解析し、フィードバックのみでは速度の許容範囲に入らないことを示した。

フィードフォワードには目標に対してどのように操作するのかをあらかじめ知っておく必要がある。電子制御装置ではプログラムとしてそれが与えられるが、自動車の操作を知らない人間の場合は学習する必要がある。大体の操作方法があらかじめ分かっている場合、例えば速度を上げるにはアクセルをもっと踏むという、目標に追従できる操作量を系統的に得られる方法として繰り返し学習制御法がある。これはある回の運転結果と目標との誤差量を次の運転操作に補正するものである。この学習方法により任意の初期操作量から始めて 10 回程度の繰り返しで排気ガス試験サイクルの目標速度に追従できることを示した。この方法がそのまま人間に適用するには記憶量の制約があると思われ、人間はこうした方法で操作規則を見つけそしてその操作規則のパラメータを覚えると考えた。そして 4 つのパラメータを持つ規則により速度追従運転ができることを数値シミュレーションで示した。

人間の運転の場合その技能は熟練によりある程度向上する。初心者と熟練者の運転挙動の違いは提案した運転者モデルにおいて操作の誤差（正確さ）と操作タイミングのズレをパラメータとして表わすことができる。人間行動の本質から習熟の原理はその行動に必要なエネルギー最小化と無意識の行動（さらには拡張的な身体としての道具の使用）である。エネルギー節減には無駄な動きをしない、例えばズレを修正する必要のない精確さ、や対象を絞った認識やパターン化による脳の使用の節減がある。簡単な作業の場合にはその目標を実現する動きは様々あり、それらには無駄な動きを含むものもある。高度な作業では実現過程は限られていて、それらは最適な行動になる。こうした行動を獲得できた時のみエキスパートとなりうる。

# 大規模時系列データを対象とした人間行動特徴の抽出 および表現手法の獲得

大野 麻子（工学部電子情報通信工学科）

## 本分担研究の目的

本研究では人間行動の結果として計測・取得された時系列データから、その行動主体のとする行動パターンを特徴として抽出し、モデルにより定量表現する手法の獲得を目指す。

## 本分担研究の位置づけ

ある人間行動を分析するために必要な大量の実世界データを直ちに入手することは難しい。代替措置として、シミュレーションにより人工的に生成したデータや、実世界において取得された他種のデータをモデル構築の参考データとして用いる場合がある。前者は目的ベースの研究、後者は手法ベースの研究と位置付けられる。

本研究では、小売店における実際の顧客の行動結果として取得された時系列位置情報データを車両の運転により得られた位置情報データの代替とし、これを対象として顧客行動の分類モデルを構築する。その過程で得られた知見を本共同研究テーマである運転習熟過程のモデル構築に役立てる。

## 本分担研究の内容

本研究では隠れマルコフモデル (Hidden Markov Model: HMM) および決定木による運転行動のモデル化について検討を行う。

前者については、本研究でこれまでに提案した CM アルゴリズムという手法を用いる。時系列位置情報データである走行データを、「曲がる」「止まる」「障害物を避ける」といった走行中の行動を表す文字に置き換えることで文字列化する。着目する文字の前後に出現するパターンを HMM に学習させ、モデルのパラメータにより運転の熟練者と初心者の行動特性の差異を定量表現することを目指す。これにより、走行中のある局面の直前直後にどのような行動を行ったかといった局所的な行動特徴を表すモデルを複数個構築し、それらを用いて一人または同一属性の運転者の行動を説明する。

後者については、熟練者と初心者の違いの表れやすい局面における操舵・駆動・制動の違いについて分類ルールを生成することを目指す。ここで、同じ熟練運転者であっても、常に最短経路をとるように操舵・駆動・制動を行う場合もあれば、結果として冗長な経路となったとしても同乗者への負担を最小化するような運転行動を行う場合もある。これを「効率重視」「安全重視」といった運転者の指向を表す分類指標として用いることも運転者の行動を説明する上で有益であると考えられる。

いずれのモデルにおいても、操舵・駆動・制動といった行動を表す時系列データやその結

果として得られた車体の経路を表す時系列位置座標データをどのように文字列化するかといった前処理が最も困難かつ重要なポイントとなる。

今回の共同研究では前述の予備段階として、顧客動線を表す時系列位置座標データを文字列化し分類を行う試みを通して、HMM または決定木を用いた運転者分類モデルの構築手法の獲得に有用な知見を得ることを目指している。

平成 27 年度には、顧客動線データの取得された店舗を複数のエリアに分割し、内側のエリアにおける回遊行動などを説明変数とした決定木により購買額の高い顧客と低い顧客グループに分類する手法を提案した。

# 人間モデルを用いた運転支援技術

松本 卓也（神戸大学企画評価室）

人間が主体となってシステムを操作する人間機械系においては、人間の知的側面と技能的側面が相互に作用し合い、双方が重要な役割を果たしていると考えられる。例えば自動車では、人間が状況を認識・判断し適切な処置を正確に行なうことで機械を操らなければならない。このような人間機械系を対象とした支援や補償を行なう際には、操縦者となる人間の知能面・技能面の双方を陽に考慮することが肝要となる。

本研究では、人間モデルを用いたシミュレーションを通して人間側へ熟練支援・補償のアプローチをすることを目的に、多様な特徴や熟練度による行動を再現できるような人間モデルの構築を目指し、人間-機械系のひとつの例としてレーシングカートを選択し、操縦エージェントを構築することを課題とした。レーシングカートは、自動車を始めとした他の人間-機械系よりも単純な構造であり、人間の操作がそのまま走行に表れやすい。また、タイムや軌跡による走行結果の評価が容易であるという利点がある。

操縦者は観測・認識・判断・操作の4つの処理を繰り返し行なうことで車両を操縦しているものと考え、これらの処理を行なうドライバモデルを構築した。このドライバモデルでは、観測部において外部状態を基に観測状態を獲得し、認識部で観測状態を基に解釈可能な認識状態とする。さらに判断部において認識状態およびコース情報を基に様々な意思決定を行ない、それを実現するための操作量を決定し、操作部において前段で決定した操作量をカートに対して実現する。一般的な認知・判断・操作の3段階とは異なり、認知を観測・認識に分割することで、観測および操作を物理層と情報層のインターフェース部分と捉えることが可能となる。また、判断部は異なる処理内容を担う多数の部分モジュールから構成されているとする。各モジュールは、処理精度や処理時間といった人間らしさを十分に考慮することに留意し構築した。人間の操縦過程や情報処理、試行錯誤による学習や予め持っている知識等の要素を考慮したドライバモデルとし、慣れによる意思決定プロセスの単純化や緊急時など様々な条件下での判断といった事象を表現できるモデルとしている。それらを初等的に実装してシミュレーションを行ない、本モデルの妥当性を確認した。

以上を総括し本研究の現状をまとめると、人間らしい意思決定プロセスを行なわせるドライバモデルの大枠が定まり、シミュレーションを行なう環境もほぼ整った段階であると言える。それを踏まえ、実機実験データの分析や議論を通して具体的な意思決定の処理プロセスを仮定し、シミュレーションを通して検証を行ないモデルの改良・修正を繰り返すことで操縦の際の人間の知能・技能の働きを探っていくことが今後の課題となる。