

運転難易度のモデル化に向けた実験システムの構築と カーブ角度の影響調査

船崎友稀奈¹ 瀬戸徳¹ 二宮洗太¹ 樋川一幸¹ 中村聡史¹ 山中祥太²

概要: カーナビゲーションシステムでは主に地理的要因や混雑状況などによってルート推薦が行われている。しかしユーザの習熟度や道路ごとの運転難易度は考慮されておらず、ドライバの技量や心理的に不適切なルートを推薦されることがある。これらの要因も考慮したナビゲーションシステムを実現するために、我々は GUI 操作の性能モデルを運転操作に適用し、道路の状況など運転の難易度に基づくモデル化を行う方法を検討している。本研究では、そのための実験システムとしてドライビング実験システムを実装し、地理的条件のうちカーブの角度の影響を検証した実験により、計測時間とハンドル操作量の総量は運転難易度の特微量になることを明らかにした。また、ディスプレイと HMD の比較によりドライビングにおけるステアリングの法則を検証するためには、HMD を用いた方法が適切であると明らかにした。

キーワード: 運転難易度, ドライビング実験システム, HMD, 運転, 特微量

1. はじめに

GPS の発達でカーナビゲーションシステムが広く普及し、有料道路優先や距離優先といった環境的要因や混雑状況などによってルート推薦、到着時刻予測が行われるようになった。また、運転の習熟度はドライバによって大きく異なり、特に初心者ドライバは右左折や見通しの悪いカーブ、人の多い交差点といった特定の道路条件を苦手とする場合が多い。そのため、最短時間で目的地に到着するより、自身の運転しやすい道を使用したいなどのドライバ個人に合った経路選択をすることは事故の予防や安全な運転を行ううえで重要である。しかし、現在のカーナビゲーションシステムは最短時間や料金、混雑状況などの環境要因を考慮したルート推薦が主流であり、ドライバの特性や心情に合わせた選択肢を提示するシステムはない。ドライバに合わせたシステムを実現するためには、ドライバの行う運転に影響する要因を分析し、運転操作のモデル化をする必要がある。

ここで、人間の特性を分析し操作をモデル化したものとして、GUI に関するモデル化がある。ステアリングの法則は、コンピュータ上の線の描画や経路を通過するタスクなどのストロークを描く行為をモデル化するために提案された操作性モデルである[12]。この法則は強固なモデルとして知られ、スタイラスやタッチスクリーンなどの様々な入力デバイスの他に、仮想空間内で車を運転するタスクもモデル化も試みられている[1]。しかし、現実の運転とは大きく異なる実験によりモデル化をしているため、実用化するためには十分であるとは言い難い。また、運転の難易度 (ID) についての議論や、現実の運転に即したモデル化の研究は少ない。

そこで我々は、GUI 操作や運転の性能モデルを現実 に即した運転操作にも適用出来ると考え、GUI 性能モデルと同様に運転も難易度 (ID) を道路条件ごとに定義できると仮定した。ここで、世の中には様々な運転に関するゲームがあり、また免許の講習などにも利用できるような、様々な状況を再現および実験可能なドライビングシミュレータが存在している。しかし、このようなシミュレータはモデル化のための実験において使用するのには不向きであると考えられる。例えば、ある道幅において左折するといった条件における難易度のモデル化を行うためには、道幅を固定して左折の角度の条件を様々に変えつつ繰り返し左折するタスクを用意し、運転してもらうことによりデータとして必要な情報を収集する必要がある。また、実験において十分なデータを収集するため、失敗した運転タスクについては、再度実施してもらうなどの必要がある。こうした実験に特化したドライビングシミュレータは存在していない。

そこで本研究では、モデル化の前段階として複数の地理的条件を 3 次元空間内で再現できるドライビング実験システムを実装する。ここでは、既存研究においてカーブの走行挙動、走行軌跡は初心者と上級者の間で明確な差がある[2][3]ことから、本研究ではまず道路条件をカーブに限定し、アクセルの踏み込み量や速度などについて、上級者と初級者で違いがあるのか、そして角度によって違いがあるのかを比較することにより、難易度指標を定義について検討を行う。また、ディスプレイと、HMD (Head Mounted Display) の提示の違いによる比較を行い、どちらがよりモデル化のためのシステムとして適切かについて検証を行う。最後に、ドライビング実験システムの有用性を調べるとともに、現段階のシステムの問題点を挙げ、システムの改善について検討を行う。

¹ 明治大学
Meiji University

² ヤフー株式会社
Yahoo Japan Corporation

2. 関連研究

2.1 GUI 性能に関するモデル化の研究

Accotら[4]は、全長 amplitude (A), 幅 width (W) の経路を通過する時間 movement time (MT) が次の関係になるステアリングの法則を発見した。この数式に含まれる文字 a, b はフリーパラメータと呼ばれ、実験データをモデルに当てはめた時、回帰分析で決定される定数のことである。

$$MT = a + b \frac{A}{W}$$

このうち、A/W がタスクの難易度 index of difficulty (ID, 単位: bits) と呼ばれる。移動距離 A が長くなるか幅 W が小さくなると難易度 ID が上昇し、通過時間 MT が長くなる。Accotら[4]は、直線と円形の経路を通過するタスク実験でステアリングの法則が高い相関を持ち、適応することを検証している。その後、マウス、タッチパッド、トラックボール、トラックポイント[5]、直接制御のスティラス操作[6]、タッチスクリーン[7]を使用した場合でもモデルが適合することがわかっている。また、タブレット入力面におけるペン先の移動距離と、ディスプレイ上のカーソル移動距離の比が異なる場合[8] や、経路の通過方向・角度が異なる場合[9]でも適合するとされている。ステアリングの法則は、経路の幅 W に対する移動速度 v の関数として以下のように表現されることもある。

$$v = a + bW$$

v は A/MT で、幅 W が大きいほどスピードが早くなるという関係がある。また、半径 r の経路であれば、の A を $2\pi r$ とすると求めることができ[1][5][8][10]、経路の形状に合わせて改良したモデルの適合度が検証されている。

2.2 ステアリングの法則を応用した運転のモデル化

ステアリングの法則を利用して運転をモデル化した実験も行われている。Zhaiら[1]は、歩行、走行、水泳、自転車、運転などの移動作業にはそれぞれステアリングの法則が関与していると考察している。また、手動の動作タスクでは人間のオペレータの体は静止しているため動作スケールは腕の長さに制限され、仕事は自己中心的であるとされる。歩行と走行の速度は一般的に人間の生理的な力によって制

限されるが、駆動において力は制限要因としてそれほど重要ではない。実際の運転タスクはエンジン性能や路面状態、車両安定性、リスクと安全性などの一連の複雑な要因が含まれる。これまでの実車で走行をするステアリングモデル研究[11]は、安全上の影響により経路幅の狭い範囲に限定されている。そのため、VRでの経路を通過するタスクの研究することが可能になれば柔軟性が高まる。なお、重量感や操作において実際の車両の物理的な条件が必要であるとし、運転席、ハンドル、ガス、ブレーキペダルがオートマチック車 (SAAB9-5 型) と同じシミュレータ上で移動運動実験を行っている[11]。しかし、この実験では既定の道路をはみ出さないように出来るだけ早く走行することが求められている。そのため、実験協力者はアクセルを全開に踏んで走行している場合が多く、実際の運転とは大きく異なった操作をしているため、実際の運転に即しておらず、現実世界のモデル化をするためには適切とは言えない。また、現実世界のモデル化をドライビングシステムで行ううえでの問題点を見つけることは出来ない。そこで本研究ではその問題点を挙げ、ドライビング実験システムを構築する。

3. ドライビング実験システムの構築

実車での実験は、場所や時間の制約が多く関わってしまう。また、天候や人通りなど、その日の道路状況によって実験協力者ごとの走行環境が変化する場合がある。モデル化実験においては、外的要因で実験協力者間の難易度変化が起こらないようにすることが望ましいと言える。また、先述の通り世の中には様々なドライビングシミュレータがあり、様々なことを試すことができるが、モデル化のためには要因を限定しつつ、様々なパターンを手軽に試せ、必要な情報を取捨選択でき、また新たな要因を手軽に追加できることが望ましい。そこで本研究では、モデル化のためのシステムをコンピュータ上の3次元空間で実装し、コースを自動生成可能なシステムを構築した。実験システムの実装には Unity を使用した (図1, 図2)。

このシステムはHMDとディスプレイ(デスクトップPC)



図1 実験協力者から見た画面 (左), ナイトモード (右)

の両方で動作するアプリケーションであり、実験協力者が見ている画面と実験者が管理をする画面（図3）の2種類がある。まず、実験協力者が実際にHMDやディスプレイで見えている画面は図1左のように擬似視界映像を表示し、この状態で運転を行う。道幅、カーブの角度、カーブ半径の値、コースの全長、何メートルごとにカーブを設置するかなどの実験条件により道路を自動生成することが可能である。また、左右にガードレールと木、建物などを必要に応じて提示することができる。これは周辺に提示するものにより、景色が移動する速さによって実験協力者に速度を感じさせるためである。さらに、今後の実験も見越して夜の道を運転するナイトモード（図1右）も実装した。運転における違和感を出さないようにするために、運転実験時に使用するハンドルの回転に合わせて実験協力者が見ている画面のハンドルも同じく回転するようにした。

本システムは1台のPC内で利用可能なものであるが、PCを2台用意してネットワーク接続し、実験者用PCと実験協力者の運転用PCとに役割分担を行い、その運転の様子や見ているものを実験者が観察できるようにしている。また、ケーブルやPCが不要なHMD（オールインワン型のVRシステム）でも利用可能とするため、実験協力者がHMDをかぶっている場合に、実験者側が実験協力者の見ている画面をリアルタイムに確認できるようにした。

実験における操作データ収集のため、スタート地点からゴール地点まで、時間、速度、車の通った位置、アクセルを踏んだ量、ハンドルの回転量を1秒当たり約33回程度取得しており、各実験協力者の実験1試行内複数カーブのデータをcsv形式で一括保存することができる。この画面では取得した値を保存するだけでなく、実験中の実験協力者の運転操作状況（ハンドル回転量、速度、アクセル・ブレーキ使用量）も確認することができる。これにより、実験協力者が現実の運転にそぐわない運転をしていた場合でもその場で注意または実験の中止をすることができる。

なお実装には、HMDとしてOculus Questを使用し、ハンドルコントローラはTHRUSTMASTERのT150 PRO force feedbackを使用した。なお、Oculus Questにはハンドルコントローラを直接接続できないため、ハンドルコントローラの情報を取得し、ネットワーク通信（UDPでデータ送信）により運転情報をHMDに送信する仕組みを実装した。本システムを利用している様子は、図4の通りである。

4. ドライビング実験

構築した実験システムの有用性と運転難易度の特徴量を調べるために、本システムを用いたドライビング実験を行った。ここでは特に、ディスプレイによるものとHMDによるもの双方についても実験を行い比較する。

カーブの角度は0°（直進）と30°、60°、90°、120°



図2 コースの自動生成（実験協力者には提示されない）



図3 実験者管理画面



図4 HMDシステムの利用風景

のそれぞれ右左折の9種類、幅4m、全長200m、カーブ半径は40mで昼の道の一般道一方通行の道路をシステムにより構築した。一方通行の道を採用した理由は、中央線からはみ出すといった要因を取り除くためである。9種類のカーブは毎回ランダムに提示され、実験慣れによる値のブレを小さくするために9カーブを1セットとし、10試行実験をした。

実験では、最初に実験の流れと注意点について実験協力者に説明を行い、次いで5試行取り組んでもらった後、5分の休憩を挟み、残りの5試行に取り組んでもらった。そのため、1名の実験協力者あたりの試行回数は条件×10セット

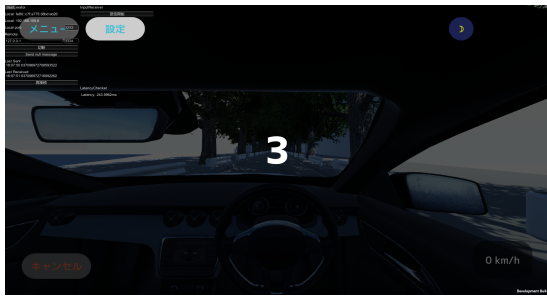


図5 カウントダウン画面

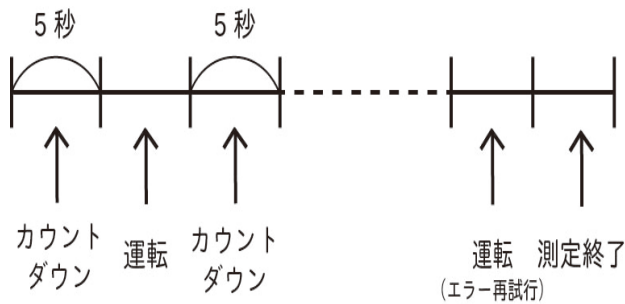


図6 実験の流れ

ト=90回であった。また、実験協力者には日を変えてディスプレイ版, HMD版それぞれについて運転してもらった。なお順序効果を考慮して、どちらを先に実施するかについては実験協力者によって変えた。

各試行における各コースでは、カウントダウンから始まり(図5)、道の左右に設置されているガードレールに接触すると事故(エラー)となり、エラーを起こした角度のコースは試行の最後にもう一度提示され測定を行うものとした(図6)。また、2回目に提示された測定でもエラーを起こした場合は記録なしとした。

実験協力者には左右のガードレールに接触しないよう常識的な速度で走行をすること、スピードを競うものではないため必要であればブレーキを使用可能なこと、HMDや画面酔いをした場合は測定を中断しても良いことを事前に伝えて実験を行った。事前説明から測定終了まで1名あたり約1時間を要した。

なお、実験協力者は男性14名、女性6名の大学生20名に実験を行った。20名の実験協力者は全員自動車運転免許を所持している。そのうち2名はシステムトラブルにより正しい値が取得出来なかったため除外した。本実験では、運転免許を所持して3年以上で日頃からよく運転をしている実験協力者を上級者、それ以外の実験協力者を初心者とした。実験協力者18名のうち、上級者が5名、初心者が13名となった。

5. 分析結果

図7は各試行のエラー率の平均と、角度ごとのエラー率である。全試行のうち、エラー率はHMD実験のとき約4.6%、ディスプレイ実験のとき約8.7%、全体で約4.3%であった。1回目の試行のエラー率は13.1%と他の試行よりも高い値になったため、不慣れによる影響だと考えられる。この結果は分析の値に影響を与えると考え、1回目の計測値とエラーを排除した試行のみを有用な値とし、得られたデータを可視化して分析、検証を行う。また、本研究では1番エラー率が高かった左折120°のグラフを分析の結果の一部として示す。

本研究では、カーブの走行が難しいほど計測時間が掛かると予想している。つまりカーブが難しい方がカーブ中にハンドルを切る回数が増加し、カーブ後にハンドルの振れ幅が大きくなるという仮説から、難易度が計測時間とハンドルの振れ幅に及ぼす影響、HMD実験とディスプレイ実験の比較の3つの観点から分析を行った。

5.1 難易度が計測時間に及ぼす影響

我々は、カーブの角度が大きいほど難易度が上がり計測時間が長くなるという仮説をたてた。各実験協力者の最終フレームの計測時間を抽出し、カーブごとの計測時間の平均を求めた。18名の実験協力者のHMDとディスプレイでの計測時間をグラフに表したものが図8である。

特に初心者には、仮説の通りカーブ角度が大きい方が長い時間がかかり、小さくなると時間が短くなった実験協力者が多く見られる傾向があった。一方上級者は、多少計測時間に差があるものの、ほとんど直線に近いグラフになっ

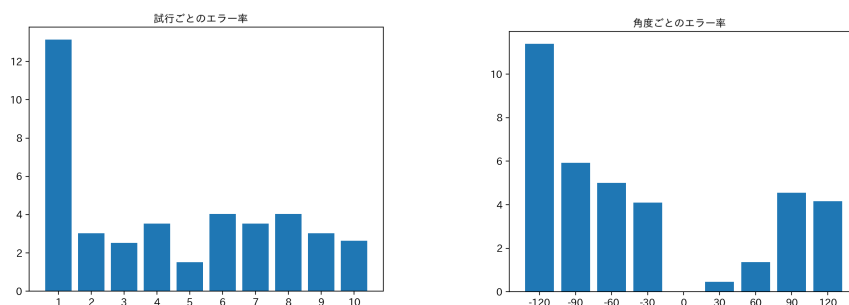


図7 実験協力者全体ごとのエラー率

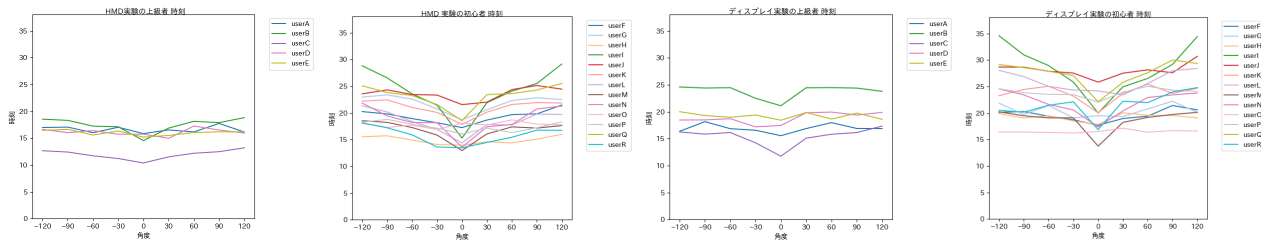


図 8 実験協力者人数分の各角度における測定時間

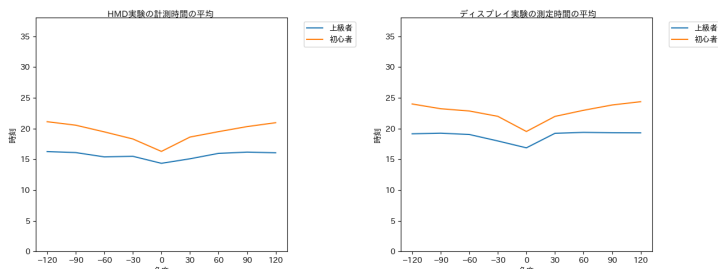


図 9 各角度における HMD 実験とディスプレイ実験の測定時間の平均

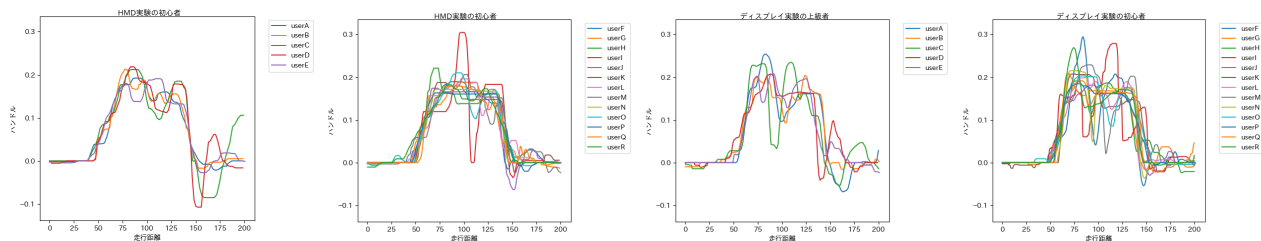


図 10 左折 120° の HMD 実験とディスプレイ実験のハンドル操作量

ており、角度の大きさにおける時間の差が小さかった。これは全実験協力者を見た場合（図 8）も、平均をとった場合（図 9）でも同じ傾向が見られた。つまり、カーブの計測時間は初心者の方が角度の大きさによって時間差が大きくなるため、初心者にとっては難易度を判定可能なものであると考えられる。

5.2 難易度がハンドルの振れに及ぼす影響

実験協力者の運転の様子を観察していると、カーブ後に直線に戻った時、ふらつきが多い傾向は初心者によく見られた。車体がふらつくということは、ハンドルの振れ幅に現れるものと考えられる。また、上級者は各角度における最適なハンドル回転量を 1 回で回すことができるのに対し、初心者は最適な回転量がわからないため何度かハンドルを切るのではないかと考えられる。ここでハンドルの振れ幅は、角度ごとの単位時間あたりのハンドル操作量をハンドル操作量の時間で積分し、所要時間で割った値と定義した。この指標は値が小さいほどハンドル操作量が小さく、適切にカーブを曲がれていると言える。なお離散値の積分であるため、台形積分を使用し、その値を用いて分析を行った。さらにステアリングの法則の実験では最短時間で、適切に経路を通過することが求められる。本システ

ムが、ドライビングにおけるステアリングの法則を検証するために有用かを調べるために、ハンドル操作量の総量を定義する。これはハンドル操作量を時間で積分した値となっており、短い時間かつ、適切にハンドルを操作すると値が小さくなる。ここにおいても台形積分を用いた。

初心者と上級者を比較したところ、直線に戻った時のふらつきにおける有意な差は見られなかった（図 10）。しかし、ハンドル回転量の総量を比較すると、初心者より上級者の方が右左折の絶対値が小さいという結果になった（図 11）。また、全実験協力者分をプロットし比較した場合でも同様に、上級者の方がハンドルを切る量が少なかった（図 12）。このことから、上級者の方が各角度における最適なハンドル回転量を少ない時間で定められることがわかった。

5.4 HMD 実験とディスプレイ実験の比較

HMD 実験とディスプレイ実験の結果を比較する。初心者と上級者の平均計測時間の差が HMD では 3.8 秒、ディスプレイでは 3.9 秒であった。上級者は各角度において大きな差が見られずグラフが直線的だったのに対し、初心者は角度が大きいほど時間が長く、小さいほど時間が短くなるという結果が双方の実験に見られた。また、ディスプレイ実験の方が HMD 実験よりも全体的に計測時間が長い傾

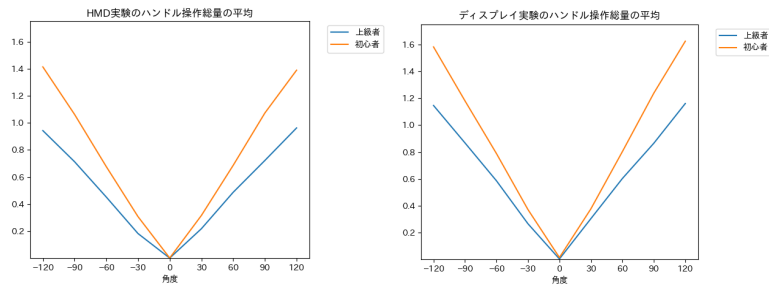


図 11 各角度における HMD 実験とディスプレイ実験のハンドル操作量の総量の平均

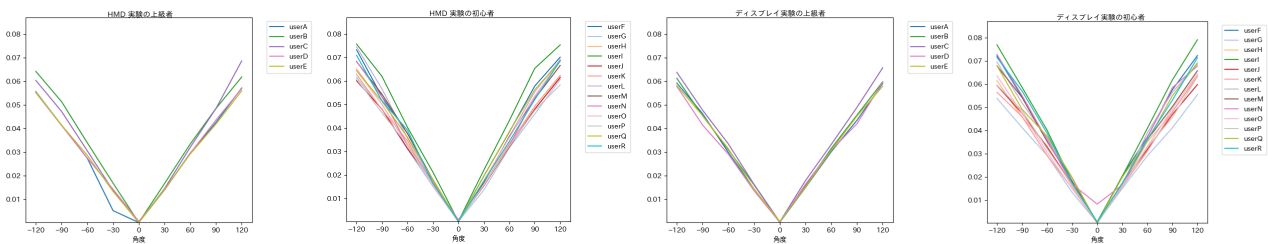


図 12 実験協力者人数分の各角度における単位時間あたりのハンドル操作量

向にあった。

ハンドルの操作について比較をした場合、カーブ後から直線になる時のふらつきには差はなかったが、ディスプレイ実験ではカーブ中のハンドル操作にふらつきが大きく見られる傾向があった。そこで、ハンドル操作量の総量を比較すると、ディスプレイ実験の方が HMD 実験の時よりも、初心者、上級者共にハンドル操作総量の絶対値が大きくなった。

このことから、各カーブにおける最適なハンドル回転量を定めるために、ディスプレイ実験の方が時間を費やされていたことがわかる。

6. 考察

5 章で得られた分析結果をもとに、運転難易度の特徴量と実装したドライビング実験システムの有用性と今後の課題について考察を行う。

6.1 運転難易度推定のための特徴量の抽出

5.1 節、5.2 節で得られたデータから、上級者の方が角度の大きさに左右されず、無駄のない走行ができていたことがわかる。一方、初心者は同じ長さのカーブでも角度の大きさが大きいほど計測時間が長くなっていった。これは、カーブにおける最適なハンドル角度をすぐに適正量まで切ることができなかったため、結果的にハンドル回転量の総量が上級者に比べて大きくなっていることに繋がっていると考察できる。このことから、計測時間とカーブ中のハンドル回転量の総量は運転難易度推定のための特徴量として考えられる。

次に個人の運転について着目するため、図 13 に上級者の中でカーブ後から直線に戻る時にふらつきが大きく見られた者と見られなかった者、初心者の中でふらつきが大きく見られた者と見られなかった者の合計 4 人の実験協力者のハンドルの振れ幅の結果を示す。ここで図 13 は、左からハンドルの振れ幅が小さかった上級者、振れ幅が大きかった初心者、振れ幅が大きかった上級者、振れ幅が小さかった初心者である。同条件下での比較にも関わらず大きく結果が変わっていることがわかる。そこで、この 4 名の実験協力者の速度推移を可視化したものが図 14 である。

図 13, 14 で 1 番左のハンドルの振れ幅が小さかった上級者はトップスピードが一般道の法定速度の 60 キロメートル/時で走行していた。運転の慣れの影響もあり、60 キロメートル/時のスピードでも正しく減速し、直線に戻った後もふらつきが少なく緩やかに加速できていることがわかる。一方、左から 2 番目のハンドルの振れ幅が大きかった初心者は、1 番左の上級者と同じくトップスピードが 60 キロメートル/時であったが、カーブ前での減速量が少なく、必要減速量に到達するまでに時間が掛かった結果、カーブ中も直線に戻った後もふらつきが大きく急に加速していたことがわかった。

次に、図 13, 14 で左から 3 番目のハンドルの振れ幅が大きかった上級者は、カーブ前のトップスピードが 70 キロメートル/時で、カーブ前で減速をした状態でもスピードが大体 50 キロメートル/時であった。運転慣れしている分、最適なハンドル角度を理解し、速いスピードでカーブを曲がる事が出来てしまう影響で、カーブ後に直線に戻る際のふらつきが大きく見られたのではないかと考えられる。

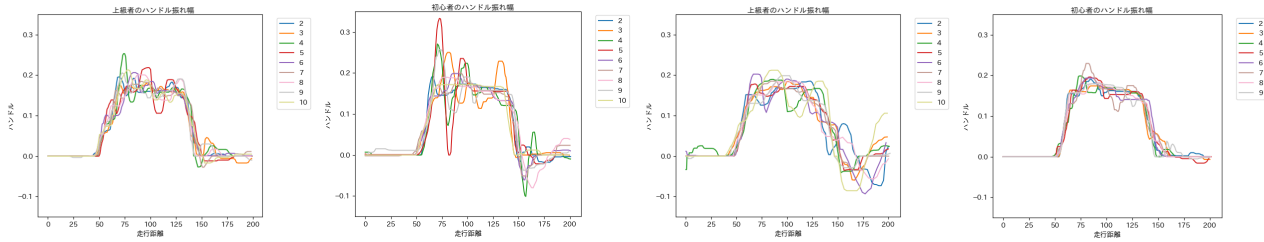


図 13 左折 120° HMD 実験の個人のハンドル振れ幅

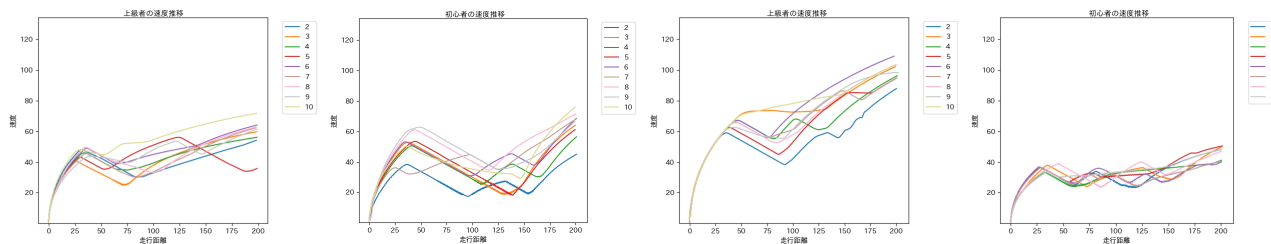


図 14 左折 120° HMD 実験の個人の速度推移

一方、左から 4 番目のハンドルの振れ幅が小さかった初心者は、カーブ前のトップスピードが 40 キロメートル/時に満たない場合がほとんどであった。また、カーブ前で減速をすると 20 キロメートル/時となり、その後加速した場合も 20 キロメートル/時台で走行をしていた。つまりスピードを出さずに 20~30 キロメートル/時で運転をしていたため、直線に戻ってもふらつきが少なくなったのではないかと考えられる。

6.2 実験システムの有用性と今後の課題

実験中にシステムの使用感に関するアンケート調査を行った結果、実験協力者の 9 割以上がディスプレイ実験よりも HMD のシステムの方が本来の運転に近く、運転がしやすいと答えていた。しかし、一部の実験協力者は、HMD 実験は視覚的リアリティが高いのに対し、ハンドル操作やアクセルを踏んだときの加減速が実際の運転とは異なり、そのギャップで運転がしにくかったと回答していた。実験で使用したアクセルペダルはゲーム用に作られていることもあり、アクセルペダルが現実と比べて軽い作りになっている。また、本システムでのアクセルを踏んだときのスピードの上がり方が悪く、実際の運転時のトップスピードを出すためにアクセルを全開に踏まないでカーブ前までに上がらなかったという回答もあった。このことから、今回は全長 200 メートルの道路で実験を行ったがカーブ前の道路の長さ (約 40 メートル) をさらに長くし、実験協力者がアクセルを全開に踏まずともカーブ前にトップスピードにすることができる長さが必要であると考えられる。また、実際のアクセルに比べてアクセル感が悪かったため、アクセルの重さや速度調整も合わせて改善するべきであることもわかった。

視覚的な点に関して、ディスプレイでの実験ではカーブを認識しにくいという意見が多数あった。それに比べ、HMD での実験ではカーブの大きさの認知がしやすく運転がしやすかったと回答していた。これは図 12 の結果にも示されており、ディスプレイ実験の方が HMD 実験の時よりもハンドルの回転量の総量が多かった。このことから、ディスプレイ実験ではカーブの大きさを正しく認識することが出来ず、最適なハンドル回転量を決定するまでに時間を要していたことがわかった。同様の理由で、ドライビングにおけるステアリングの法則を調べる実験で本システムを用いる場合、ディスプレイより HMD の方が有用であると言える。

アンケート調査で本実験システムの使用しにくかった点を挙げてもらったところ、速度計の位置、体感のリアリティのなさ、ブレーキの感度が問題として挙げられた。HMD 実験時の速度計の位置は、通常車の窓ガラスやドアミラーを操作する位置にあったが、通常通り運転した場合だと、速度計が視界に入ってくることはなく、確認するためにはわざわざ右下を見なければならぬ。実際の運転時には右下を見るような場面は存在しないため、現実と大きくかけ離れていたといえる。また、ブレーキの感度が良いため、少し踏んだだけでも一気に減速してしまっていた。

今回のディスプレイ実験との比較では、HMD の方が有用であることがわかった。しかし、本実験では通常の椅子を使用して行っていたため、振動や遠心力といった物理的要因がなく、実際の車と比べ、視覚と体感にギャップがあるという意見が多かった。また、本実験は実験協力者が見ている画面に計測時間が表示される仕様となっていた。これにより、次は何秒までにゴールするといったゲーム要

素を実験協力者が自発的に見出し、速いスピードで走行していた者と考えられる。これらのことから、視覚と体感のギャップを取り除き、仮想空間であるという考えをいかに少なくするかが本システムの今後の課題である。

6.3 実験結果を踏まえた今後の展望

カーブが難易度に影響を及ぼす特徴量は、実験の結果から計測時間とハンドルの回転量の総量であることがわかった。しかし、分析の値や実験中のアンケート調査から、カーブ単体ではそこまで大きく難易度に及ぼす影響が見受けられなかった。その他に考えられる要因として、カーブ半径 r の大きさが難易度に影響する可能性もある。半径 r が小さくなるほどカーブはきつくなり、走行が難しくなる。国土交通省の道路構造令[14]にも安全性や円滑性の観点に、カーブの角度ではなく、曲線半径が挙げられている。また、その他運転操作に影響を与える要因として左右の建物や木の圧迫度、人通りの多さ、前後の車両の有無[13]などがある。これらの要因単体が難易度に及ぼす影響や、カーブの大きさと半径 r などのその他要因の特徴量が組み合わせることで難易度を推定し、モデル化が実現できると考えられる。

7. おわりに

本研究では、シンプルでカスタマイズ性が高く、同条件の実験を繰り返し行うことができるドライビング実験システムの実装と、ディスプレイと HMD の差に関する実験、またカーブ単体が難易度に及ぼす特徴量の調査を行った。実験では、カーブの走行が難しいほど計測時間が掛かることや、カーブが難しい方がカーブ中に何度もハンドルを切り、カーブ後にハンドルの振れ幅が大きくなるという仮説を立てて検証した。カーブの大きさの異なる道路を、今回提案する HMD での実験方法とディスプレイでの実験方法でそれぞれ 10 試行走行し、得られたデータの可視化と実験中に実施したアンケート調査から、初心者と上級者に分けて分析、考察を行った。その結果、仮説通り初心者は上級者と比べ、カーブ角度の大きさによって時間差が大きくなる傾向が見られた。また、初心者は各カーブの大きさにおける最適なハンドル操作量を決定するまでに時間がかかることがわかった。これらのことから、計測時間とハンドル操作量の総量は運転難易度推定のための特徴量になると考えられる。また、実験の結果からディスプレイによるシステムよりも HMD を使用したシステムの方が有用であると示された。しかし、HMD のシステムにも課題点が多く見られたため、改善が必要である。

今後の展望としては、実験システムを改善し、より現実に近い運転を可能にすることである。また、カーブ以外の他の要因単体が運転難易度へ及ぼす特徴量を調査するとともに、いくつかの特徴量を組み合わせた場合の難易度変化についても検証していく予定である。そのうえで、運転の

難しさに関するモデル化を実現する。一方、運転には様々な他の要因が影響を及ぼしていると考えられる。そこで今後は、運転において音楽や知覚的鋭敏化を促すような外的要因[15]の影響についても検証予定である。

謝辞 本研究の一部は、JST ACCEL（グラント番号 JPMJAC1602）の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] Zhai, S., Accot, J., and Woltjer, R.. Human action laws in electronic virtual worlds: an empirical study of path steering performance in VR. *Presence*, vol. 13, no. 2, p.113-127. 2004.
- [2] 小島幸夫. 初心運転者と熟練運転者の運転特性-1.注視特性について, 科学警察研究所報告交通編, vol. 36, no. 1, 1995.
- [3] 小島幸夫, 永井正夫. 初心運転者と熟練運転者の運転特性、2.カーブ区間での速度制御と方向制御, 科学警察研究所報告交通編, vol. 38, no. 2, 1997.
- [4] Accot, J. and Zhai, S.. Beyond Fitts' law: models for trajectory-based HCI tasks. In *Proc. of CHI '97*, p.295-302. 1997.
- [5] Accot, J. and Zhai, S.. Performance evaluation of input devices in trajectory-based tasks: an application of the steering law. In *Proc. of CHI '99*, p.466-472. 1999.
- [6] Kulikov, S., MacKenzie, I. S., and Stuerzlinger, W.. Measuring the effective parameters of steering motions. In *Ext. Abst. of CHI '05*, p.1569-1572. 2005.
- [7] Senanayake, R. and Goonetilleke, R. S.. Pointing device performance in steering tasks. *Perceptual and Motor Skills*, vol. 122, no. 3, p.886-910. 2016.
- [8] Accot, J. and Zhai, S.. Scale effects in steering law tasks. In *Proc. of CHI '01*, p. 1-8. 2001.
- [9] Thibbotuwawa, N., Goonetilleke, R. S., and Hoffmann, E. R.. Constrained path tracking at varying angles in a mouse tracking task. *Hum. Factors*, vol. 54, no. 1, p.137-149. 2012.
- [10] Ren, X. and Zhou, X.. An investigation of the usability of the stylus pen for various age groups on personal digital assistants. *Behaviour & Information Technology*, vol. 30, no. 6, p.709-726. 2011.
- [11] Defazio, K., Wittman, D., and Drury, C. G.. Effective vehicle width in self-paced tracking. *Applied Ergonomics*, vol. 23, no. 6, p.382-386. 1992.
- [12] 山中祥太, Wolfgang Stuerzlinger, 宮下芳明. 連結した直線経路をステアリングする動作の分析とモデル化, 情報処理学会インタラクティブ 2017, p.17-26.
- [13] 櫻井宏樹, 松本修一, 葛西誠, 平岡敏洋. 先々行車両の加減速情報が追従車両に与える影響 土木学会論文集 D3 (土木計画学), vol.71, no.5 (土木計画学研究・論文集第 32 巻), p. I_797-I_804. 2015.
- [14] “国土交通省 道路構造令について(2) ~道路構造の各規定~”. https://www.mlit.go.jp/road/sign/pdf/kouzourei_2.pdf, (参照 2019-11-16).
- [15] 大野直紀, 中村聡史. 周辺視野における知覚的鋭敏化による中心視野への影響の調査. *ヒューマンコミュニケーション基礎研究会*. 2018. vol. 118, no. 49, p. 17-21.