

# ドライビングシミュレータにおける カーブ走行時のカーブ半径と道路幅が運転に及ぼす影響の調査

高久拓海<sup>1</sup> 船崎友稀奈<sup>1</sup> 瀬戸徳<sup>1</sup> 中村聡史<sup>1</sup> 山中祥太<sup>2</sup>

**概要:** 運転の習熟度はドライバーによって大きく異なる。ドライバー毎に得意とする道や苦手とする道に差があるため、運転しやすい経路を選択することが事故の予防や安全な運転を行う上で重要である。しかし、現在のナビゲーションシステムではドライバーの習熟度や心情に合わせた道提示をするシステムはない。ドライバーの習熟度に合わせたナビゲーションシステムの実現のためには、運転の難易度に影響を及ぼす要因を分析し、モデル化する必要がある。過去の研究で、カーブ角度のみに注目した難易度調査が行われているが、他の要因については調査されていない。そこで本研究では、ドライビングシミュレータ上でカーブ半径や道路幅の異なるカーブを走行する実験を行い、運転の難易度に及ぼす影響について調査した。実験の結果、道幅やカーブ半径が運転の難易度に影響を及ぼすことを明らかにした。

**キーワード:** 運転, ドライビングシミュレータ, カーブ半径, 道路幅

## 1. はじめに

カーナビゲーションシステムの高性能化により、ルート推薦や到着時間予測など様々な形でドライバーへの支援が行われるようになった。ここで、運転の習熟度はドライバーによって大きく異なり、ドライバーごとに得意とする道や苦手とする道に差がある。我々が Yahoo!クラウドソーシングで実施した 2000 人の運転免許保有者を対象としたアンケート調査によると、特に初心者ドライバーは道路幅の狭い道や合流、高速、カーブや右折など特定の道路条件を苦手とすることが多かった。そのため、最短時間で目的地に到着するよりも、ドライバー個人の運転しやすい経路選択をすることが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では、ドライバーの習熟度や苦手意識に合わせた経路の推薦は行われてない。ドライバーに合わせた経路推薦システムの実現のためには、ドライバーの行う運転に影響する要因を分析し、運転技量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。Yamanaka ら[1]は、ペンを用いたステアリングの法則のモデル化において、カーブ半径とコースの幅がペンをスライドさせる動作にどのように影響を及ぼすかについての実験を行った。その結果、カーブ半径が小さいカーブではペンを動かす速度が遅いのに対して、カーブ半径が大きいカーブでは速度が速くなり、難易度が下がることが明らかになった。また、コースの幅が狭い試行ではペンを動かす速度が遅いのに対して、幅の広い試行では速度が速くなること明らかになった。一方 Zhai[2]らは、ステアリングの法則を仮想現実空間でも適応

できることを明らかにしている。このことからステアリングの法則を現実にも即した運転操作にも適応でき、カーブ半径や道路幅などに基づく運転の難易度が推定可能になると期待される。こうした様々な道路条件における運転のモデル化が可能になれば、習熟したドライバーと、何らかの道路条件に対して苦手意識をもつドライバーの自動判別もでき、そのドライバーに最適な経路推薦が可能になると考えられる。しかし、こうしたモデル化に適した実験用シミュレータは存在していない。

我々はこれまで道路条件ごとの運転のモデル化を行うために、複数の地理的条件を 3 次元空間内で繰り返し再現可能なドライビングシミュレータを実装してきた[3]。また、提案システムを用いてカーブ走行時のカーブ角度が運転の難易度にどのような影響を与えるか実験を行った。実験の結果、初心者と上級者でカーブ角度の大小によって 1 試行にかかる走行時間にばらつきがあることや、ハンドルの操作量に違いが見られ、難易度との関係が示唆された。一方で、カーブの角度のみに絞った実験設計であったため、カーブのきつさ (図 1) に影響を与えるカーブ半径の大きさや道路の道幅の広さが運転の難易度に影響を与えるかについては調査できていなかった。

そこで本研究では、運転容易性のモデル化のためカーブ走行時のカーブ半径と道路幅に注目し、運転の難易度にどのような影響を及ぼすかを調査する。具体的には、カーブ半径と道路幅の異なるコースを走行する実験を行い、ドライビングシミュレータ上での実験がペンで行われたステアリングの法則の実験結果と同様になるかの検証を行う。

<sup>1</sup> 明治大学  
Meiji University

<sup>2</sup> ヤフー株式会社  
Yahoo Japan Corporation

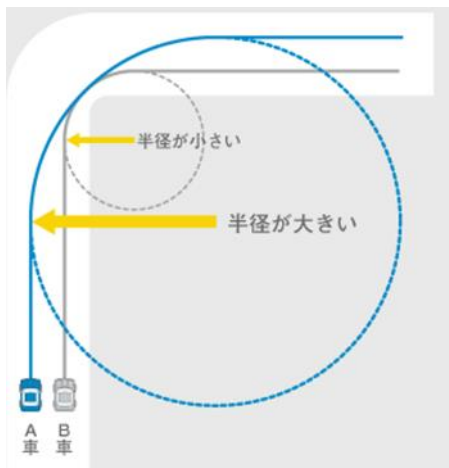


図1 カーブ半径のイメージ図

## 2. 関連研究

### 2.1 ステアリングの法則に関する研究

Accotら[4]は全長  $A$ 、幅  $W$  の経路を通過する時間 (MT) が次のような関係になるステアリングの法則を発見した。なお、この数式に含まれる文字  $a$ 、 $b$  はフリーパラメーターと呼ばれる回帰分析で決定される定数のことである。

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

ここで、 $A/W$  の値はタスクの難易度 (ID) を表しており、ID が高いときは MT が増加する。このことから、移動距離  $A$  が長い場合や幅  $W$  が小さくなると、その操作が難しく時間がかかることを示している。また、ステアリングの法則は単純な直線や円形の経路を通過するタスクだけではなく、タッチスクリーンを使用した場合[5]や VR 空間での自動車の運転[2]などにも適用できることが知られている。

### 2.2 カーブ走行に関する研究

自動車でのカーブの運転は、カーブ区間に入る前の減速の調整や先が見えないことによるハンドルの切り具合などの要因によって運転を苦手とする要因の一つであることが考えられる。そのため、走行時のカーブに着目した研究が行われており、金沢ら[6]はカーブ区間進入前に速度を検知し音声によって減速を促すシステムを、四辻ら[7]はカーブ手前の直線区間に減速のマーク表示をコース中に設置し安全に減速させる手法を提案し、実車を用いて実験が行われている。実験の結果、一部の条件で通常の運転よりも安全に速度を減速させる結果が得られた。しかし、実験設定ではカーブの半径や道路の道幅などが実際の道路条件を再現できていない可能性が高く、現実世界の道路のモデル化をするためには適切とは言えない。また、高地ら[8]のカーブ走行時の運転挙動特性に関する年齢依存性を調べた研究や、李ら[9]のカーブ走行時の操舵に着目したドライバの運転特徴抽出はシミュレータを用いて実験が行われている。これらの

研究は運転頻度や年齢など実験協力者の運転熟練度における特徴抽出は行っているが、道路の地理的条件がドライバーに及ぼす影響については調査されていない。

そこで、本研究ではドライビング実験システムと HMD (Head Mounted Display) を用いて、より実世界の道路条件に近いコースで運転の難易度に及ぼす影響について調査する。

## 3. ドライビング実験

### 3.1 実験概要

本研究では、ドライビングシミュレータを用いてカーブ半径と道幅における速度に着目した実験を行う。ここでは、「カーブ半径の値が小さいほど運転の難易度が上がり運転速度が遅くなり、カーブ半径の値が大きいほど運転の難易度が下がり運転速度が速くなる」というカーブ半径についての仮説と、「道路幅が狭いほど運転の難易度が上がって運転速度が遅くなり、道路幅が広いほど運転の難易度が下がり運転速度が速くなる」という道路幅の仮説を立てた。この2つの仮説について、ドライビングシミュレータを用いた実験を実施し、検証する。

ドライビングシミュレータ (図2) は、これまで我々が構築してきたシステム[3]を改良し、任意のカーブ半径と道路幅を持つコースを生成できるようにした (図3)。なお、ドライビングシミュレータには HMD として Oculus Quest2、ステアリングコントローラーは Fanatec 社の ClubSport Wheel



図2 ドライビングシミュレータ



図3 コース生成システムの実行画面図

Base V2.5, ステアリングホイールは Fanatec 社の Podium Hub Lenkrad Classic 2, ペダルは Fanatec 社の ClubSport Pedals V3 inverted, シートは Next Level Racing 社の NLR-S010 を使用した。

### 3.2 道路の条件

カーブ半径の値を変更するだけでは、カーブ区間の値が統一できず実験に他の影響を与えると考えられる。そこで、カーブ半径と同時にカーブ角度の値を変更し、カーブ区間の長さが 100m になるよう調整した。具体的にはカーブ半径を R, カーブ角度を  $\theta$  としたときに、 $\theta = 180$  度となるカーブ半径 R の値を次の数式より算出し、カーブ半径の最小値を 32m に設定した。このカーブ半径 32m を基準として、カーブ半径を 2 倍にしていき、それぞれでカーブ角度の値を調整してカーブ区間が 100m となるようにした (図 4)。

$$R = 100 \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{360}{\theta}$$

その結果、カーブ半径とカーブ角度の種類は下の表 1 に示す 8 種類となった。なお、道路幅はシミュレータ上で事故を多発しない最小の値が 4m であったこと、また道路幅の広さの影響は等差的なものに比べ等比的なものの方が、運転速度に影響を及ぼすと考え、4m, 6m, 9m の 3 種類を実験に

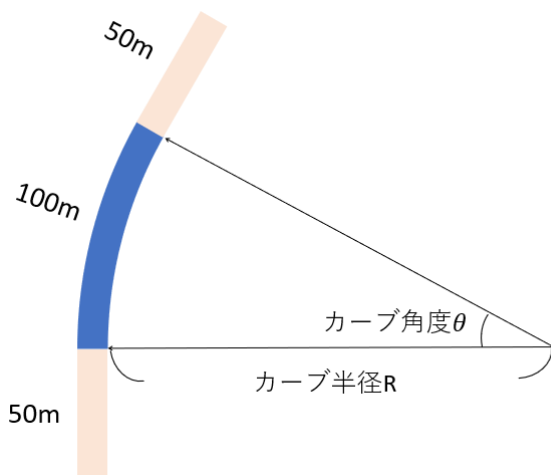


図 4 実験コースのイメージ図

表 1 カーブ半径とカーブ角度の組み合わせ

カーブ半径(m)	カーブ角度(度)
32	180
64	90
129	45
258	23
517	11
1033	6
2067	3
4134	1

使用することとした。なおコースの全長は 200m で最初と最後の 50m は直線、昼の道の一般道一方通行のコースとした。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。

### 3.3 実験手順

実験慣れによる値のブレを小さくするため、ある道路幅におけるカーブ半径とカーブ角度の組み合わせ 8 種類がランダムに提示されるのを 1 セットとした。ここで、道路幅の提示順による順序効果の影響を減らすため、道路幅 4m, 6m, 9m を 1 セットずつ行うのを 1 つのセットグループとして、4m, 6m, 9m の 3 種類の道幅を並び替えてできる 6 つのセットグループを作成した。すべてのセットグループで道路幅 4m, 6m, 9m を 1 セット行うため、実験協力者一人あたりの走行数は 144 回となる。

各セットにおける各コースでは、カウントダウンから始まり (図 5), カウントダウンが 0 になると計測を開始し、車の前面が 200m の地点に達するまで走行すると計測終了となる。また、車の横幅の当たり判定を 2m として、全長 200m のコースで道の左右に設置されているガードレールに車が接触すると事故 (エラー) となるようにした。ここで、カーブ区間 100m で起こったエラーと、前後 50m の直線区間で起こったエラーは区別せず、同一のエラーとして扱うものとした。エラーを起こしたコースはセットの最後にもう一度提示され測定を行うものとした。なお、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、ガードレールに接触しないように運転すること、極端に遅い運転や無理をして最高速度を狙うような運転ではなく、エラーを起こさない前提でスピードを出せる範囲で出してほしいことを事前に伝えて実験を行った。なお休憩については、HMD を用いた VR の見え方に個人差があると考え、各セット終了時に実験協力者に体調を確認し、実験協力者の好きなタイミングで休憩を取れるよ

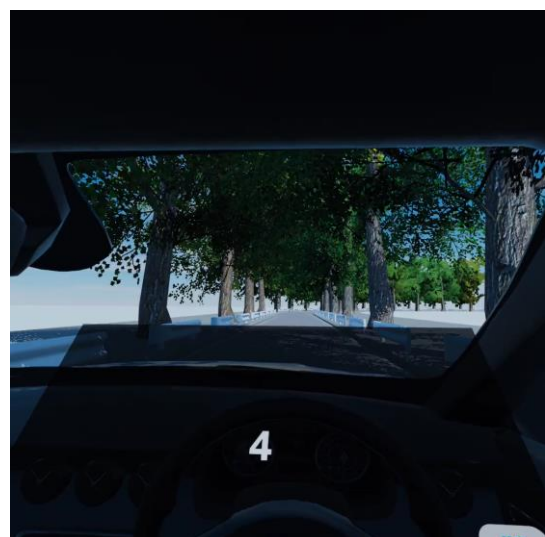


図 5 各施行時のカウントダウンの様子

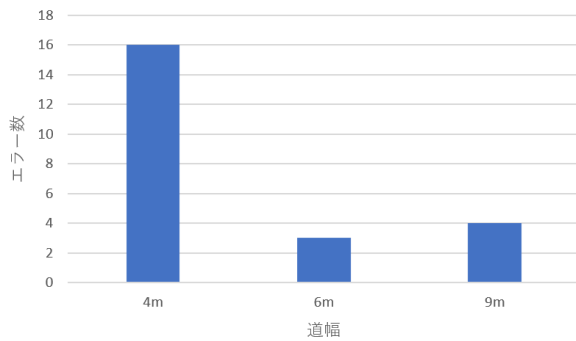


図6 道路幅ごとの実験全体のエラー数

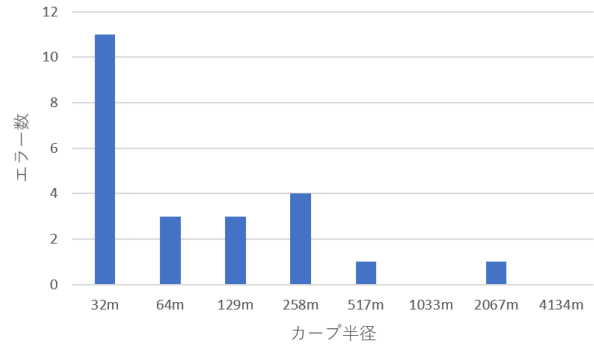


図7 カーブ半径ごとの実験全体のエラー数

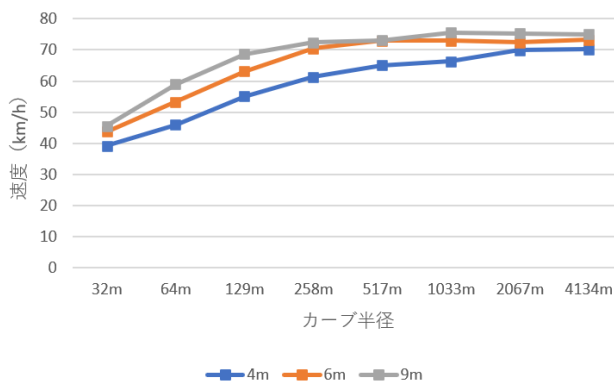


図8 道路幅ごとの各カーブ半径の平均運転速度

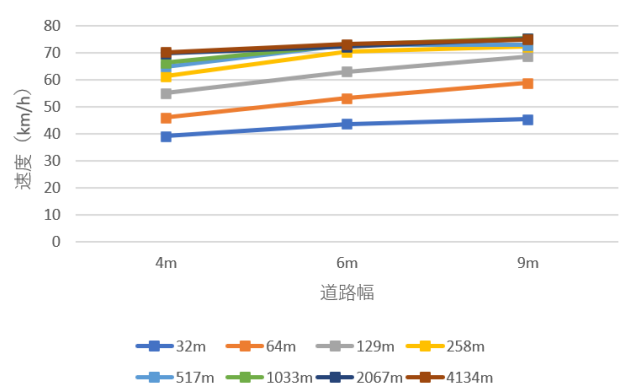


図9 各カーブ半径における道路幅ごとの平均運転速度

うにした。また、実験協力者が休憩を取らない場合は6セット目と12セット目終了時に強制的に休憩を取るようにした。実験は、テストコース走行から測定終了まで1名あたり1時間半を要した。なお、実験協力者は自動車運転免許を持っている大学生9名（男性7名、女性2名）であった。

#### 4. 実験結果

本実験では、「カーブ半径の値が小さいほど運転の難易度が上がり運転速度が遅くなり、カーブ半径の値が大きいほど運転の難易度が下がり運転速度が速くなる」というカーブ半径についての仮説と、「道路幅が狭いほど運転の難易度が上がって運転速度が遅くなり、道路幅が広いほど運転の難易度が下がって運転速度が速くなる」という道路幅の仮説の2つを検証する実験を行う。そこで、まずはカーブ半径とエラー率の関係について結果を示し、次いで道路幅とエラー率の関係を確認する。また、カーブ半径、道路幅ごとのカーブ区間の平均速度、平均通過時間についての結果も示す。

##### 4.1 カーブ半径、道路幅とエラーの関係

本実験における全体のエラー数は、実験協力者9名の総試行1319回のうち、23回であった。図6に道路幅ごとのエラー数の分布、図7にカーブ半径ごとのエラー数の分布を示す。道路幅のエラー数の割合は、4mで16回、6mで3回、

9mで4回となった。また、カーブ半径ごとのエラー数の分布としては、32m、64m、129m、258m、517m、1033m、2067m、4134mでそれぞれ11回、3回、3回、4回、1回、0回、1回、0回となった。この結果より、4mの道路幅、カーブ半径32mでそれぞれ最もエラーが多いことがわかる。

##### 4.2 各カーブ半径、各道路幅におけるカーブ区間の平均運転速度の結果

平均運転速度について調べるため、カーブ区間のみの平均運転速度を計算した。なお速度の分析の対象をカーブ区間100mのみに絞った理由は、カーブ区間の前後50mの直線で極端な急アクセルを踏むなどの実際の運転とは異なる走行が多く行われたためである。

図8に道路幅ごとの各カーブ半径の平均運転速度の結果を示す。全ての道路幅でカーブ半径が大きくなるにつれて、平均運転速度も速くなる傾向が見られた。また、カーブ半径が32mのときに、4m、6m、9mのいずれの条件でも平均運転速度が一番遅い結果となった。一方で、カーブ半径が4134mのときに道路幅4mと6mの平均運転速度が最も速かった。さらに、道路幅9mではカーブ半径が1033mのときに平均運転速度が最も速かった。

図9は各カーブ半径における3種類の道路幅の平均運転速度である。全体的に、すべてのカーブ半径で道路幅が広くなるにつれて、平均運転速度が速くなる傾向が見られた。ま



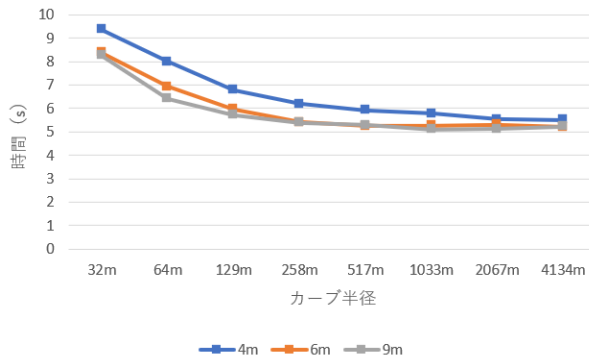


図 10 道路幅ごとの各カーブ半径の平均通過時間

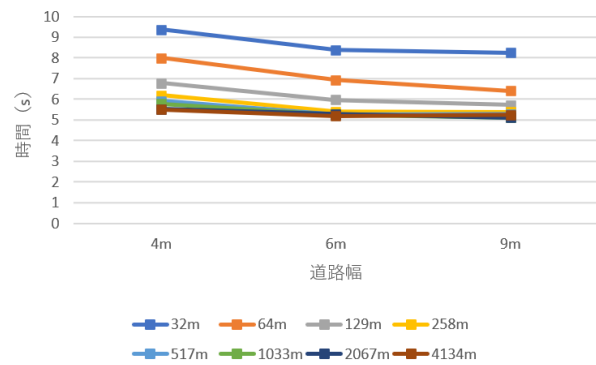


図 11 各カーブ半径における道路幅ごとの平均通過時間

た、道路幅がすべてのカーブ半径で道路幅が 4m の時に、平均運転速度が最も遅い結果となった。一方で、すべてのカーブ半径で道路幅が 9m のときの平均運転速度が最大となった。

カーブ半径と道路幅の条件から、道路幅ごとのカーブ半径 8 種類と、カーブ半径ごとの 3 種類の道路幅について平均運転速度の一次元配置分散分析の多重比較を行った。検定の結果、カーブ半径 32m は 129m, 258m, 517m, 1033m, 2067m, 4134m の 6 種類のカーブ半径と有意な差があった。しかし、カーブ半径が 129m より大きい条件同士での組み合わせでは、どの条件でも有意差が見られなかった。一方で、道路幅の比較の結果は、カーブ半径が 32m と 64m のときに道路幅 4m と 9m で有意な差が出たが、道路幅が 4m と 6m, 6m と 9m のときはいずれの条件でも有意な差は見られなかった。

#### 4.3 各カーブ半径、各道路幅におけるカーブ区間の平均通過時間の結果

我々はステアリングの法則と経路を通過する時間の関係より、運転の難易度に応じてカーブ区間を通過する時間に差が出ると考えた。そこで、カーブ区間の平均通過時間を計算した。なお、1 試行あたりにかかった時間の計測については、4.2 節の理由に加えてカウントダウン以降にアクセルを踏み出すタイミングが実験協力者ごとに異なり、正確な走行時間が取れないことから、カーブ区間のみを分析の対象とした。

図 10 に道路幅ごとの各カーブ半径の平均通過時間を示す。全体的に、カーブ半径が大きくなるほど平均通過時間が短くなるが、一定の値を超えてからは平均通過時間に大きな差が出なかった。また、すべての道路幅においてカーブ半径が 32m のときに、カーブ区間の平均通過時間が最も長くなった。

図 11 に各カーブ半径における 3 種類の道路幅の平均通過時間を示す。8 種類のカーブ半径それぞれにおいて、道路幅が 4m のときの平均通過時間が最も長くなった。また、カーブ半径の値が小さい種類では道路幅の大小で平均通過時間

に差があるが、カーブ半径が大きくなるにつれて、道路幅に寄らず平均通過時間の値の差が小さくなっている結果が見られた。

4.2 節と同様に道路幅ごとのカーブ半径 8 種類と、カーブ半径ごとの 3 種類の道路幅について平均通過時間の一次元配置分散分析の多重比較を行った。結果として平均運転速度のときと同じで、カーブ半径 32m は 129m, 258m, 517m, 1033m, 2067m, 4134m の 6 種類のカーブ半径と有意な差があった。なお、道路幅の有意差が見られたのは、カーブ半径が 32m と 64m のときの道路幅 4m と 9m の組み合わせだけであった。

## 5. 実験結果の分析

4 章で得られた実験結果と 3 章で立てた 2 つの仮説を比較して、実験データの分析を行う。

### 5.1 カーブ半径、道路幅とエラーに及ぼす影響

4.1 節より、道路幅が一番狭い 4m で過半数を超えるエラー数が起きていることから、道路幅が狭いと運転難易度が上がるという仮説通りの結果となった。一方で、道路幅 6m と 9m では差が見られなかった。

またカーブ半径とエラーの関係について、カーブ半径の値が一番小さい 32m の試行で半分近いエラー数が起きていること、23 回のエラーの内 21 回がカーブ半径の小さい 4 種類 (32m, 64m, 129m, 258m) で起きていたことから、カーブ半径の値が小さいほど運転の難易度が上がるという概ね仮説に近い結果が得られた。

### 5.2 カーブ半径と道路幅がカーブ区間の平均通過時間に及ぼす影響

4.2 節の結果より、全ての道路幅でカーブ半径が大きいほど平均運転速度も速くなっていたこと、カーブ半径が 32m のときと 4134m の速度を比べると、すべての道路幅で 30km/h 以上の差があったことがわかった。また、分散分析と多重比較の結果から、カーブ半径が小さい試行と大きい試行では、運転速度に有意な差があることが分かった。これらのことから、「カーブ半径が小さいほど運転速度が遅くな

り、カーブ半径が大きいほど運転速度が速くなる」という仮説通りの結果が得られたと言える。ここで、カーブ半径が129mと258mのようにある一定の値を超えた組み合わせでは、平均運転速度に有意差が見られなかった。このことから、カーブ半径と運転速度の関係は、カーブ半径がある一定の値を超えると、速度に影響が出にくくなることがわかった。

カーブ半径ごとの道路幅についての結果は、カーブ半径が64m, 129m, 258mでは、それぞれ最低の平均運転速度と最大の平均運転速度で10km/h以上の差が出ていた。また、道路幅が4mと6mのときの平均運転速度を比較すると、カーブ半径8種類のうち5種類で平均運転速度に5km/h以上の差があった。一方で、道路幅に有意差が出たのはカーブ半径が32mと64mのときの4mと9mの組み合わせのみであり、その他の組み合わせについては有意差が見られなかった。これの結果から、道路幅による影響ではなく、カーブ半径の大小による影響が強く影響したのではないかと考えられる。そのため、「道路幅が狭いほど運転速度が遅くなり、道路幅が広いほど運転速度が速くなる」という仮説に対して、平均運転速度は道路幅では明確な差があるとは言えず、仮説通りの結果ではなかった。

### 5.3 カーブ半径と道路幅がカーブ区間の平均通過時間に及ぼす影響

4.3節の結果より、カーブ半径が大きいほど平均通過時間が長いことがわかった。ここで、ステアリングの法則と経路を通過する時間は、タスクの難易度が上がると、通過時間が長くなることが分かっている。今回、カーブ半径が小さくなるとカーブ区間の通過時間が長くなっているため、カーブ半径が小さい試行は運転の難易度が高いと言える。また、カーブ半径が小さい値では通過時間に有意な差があるのに対して、カーブ半径が大きくなると通過時間の有意な差が見られなくなることから、カーブ半径がある程度まで大きくなると運転の難易度は変わらなくなると考えられる。

各カーブ半径における道路幅の影響について、道路幅による影響が見られたのは、道路幅が4mと9mの組み合わせのみであり、4mと6m, 6mと9mではいずれも有意な差は見られなかった。また、4mと9mの組み合わせで有意差が見られたのはカーブ半径が32mと64mのときのみである。そのため、平均通過時間も平均運転速度と同じで、道路幅よりカーブ半径が運転の難易度に強く影響を及ぼしていたと考えられ、「道路幅が狭いほど運転の難易度が上がって運転速度が遅くなり、道路幅が広いほど運転の難易度が下がって運転速度が速くなる」という仮説と異なる結果が得られた。

## 6. 考察

5章の分析結果をもとに、カーブ走行時のカーブ半径と道路幅が運転の難易度にどのように影響するかと今後の課題

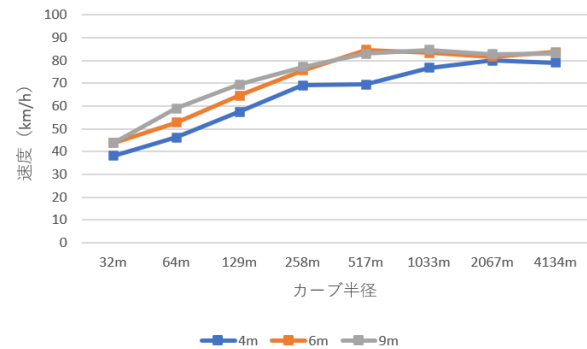


図12 道路幅6mと9mで差がない実験協力者の平均運転速度

についての考察を行う。

### 6.1 カーブ半径が運転の難易度に及ぼす影響

5.2節, 5.3節で得られたデータから、カーブ半径の値が小さい試行は運転の難易度が高く、運転速度も遅くなり、カーブ区間の平均通過時間が長くなることがわかった。また、カーブ半径の値が大きくなると運転の難易度が下がり、運転速度が速くなることや平均通過時間が短くなることわかれる。ただし、カーブ半径の値がとある一定の値を超えると、運転の難易度が上がりにくくなり、速度もある一定の値に収束していくようになった。これは、カーブ区間の長さを100mに統一するため、カーブ半径と同時にカーブ角度の値を調整したことが影響を及ぼしたと考えられる。カーブ半径が大きい場合、カーブ区間を100mにするためには必然的にカーブ角度の値を小さくする必要があり、カーブ半径が一定の値を超えた場合、生成されるコースは似たような直線のコースとなる。そのため、その値以上の条件では運転の難易度は大きく変わらないと考えられる。加えて、カーブ半径の難易度が運転に強く影響するため、道路幅が狭い4mの場合と十分な幅がある6mの組み合わせで有意な差が見られなかったのではないかと考えられる。

### 6.2 道路幅が運転の難易度に及ぼす影響

本研究における道路幅が及ぼす影響として、「道路幅が狭いほど運転の難易度が上がって運転速度が遅くなり、道路幅が広いほど運転の難易度が下がって運転速度が速くなる」と仮説を立てた。しかし、5.2節, 5.3節で得られた結果から、道路幅の6mと9mをすべての条件で比較した場合に、平均運転速度と平均通過時間に有意な差が出なかった。以降では、道路幅が6mと9mで運転の難易度に差が出なかった要因について考察していく。

国土交通省が開示している幅員構成の資料[10]によると、車道の車線幅員は一般的に3.25mか3.5mのどちらかとなっている。今回実験で使用した道路幅は、路肩などの余分なスペースがなく、車道のすぐ横にガードレールが設置されている設計であった。そのため、道路幅が4mの場合だと左右のガードレールがすぐ近くにあり、現実世界の車線幅員に

似た状況での走行であったと考えられる。一方で、道路幅が6mと9mの場合は、ドライビングシミュレータ上で車線幅員が6mまたは9mの道路を走行することとなる。ドライビングシミュレータと実車では道路の見え方が全く同じわけではないが、一般的な車線幅員よりも2倍以上広いコースでの運転になると考えられる。実際に実験協力者9人の中で、「道路幅が4mで狭いときは比較的速度を抑えたのに対して、6mと9mのときは速い速度で運転した」といった意見もあった。その実験協力者のデータを個別に分析した結果、道路幅が6mと9mの速度がほとんどのカーブ半径で似たような値を取っていた(図12)。このことから、道路幅が6mと9mのどちらでも、速い速度を維持しつつエラーを起こさないように運転できたため、道路幅を6mと9mで比較したときに運転の難易度に差が出なかったのではないかと考えられる。実際の道路とかけ離れた条件では運転の難易度に及ぼす影響に差が出なくなるため、実世界の条件に寄せた実験設定を再設定し、実験により検証していく予定である。

### 6.3 ドライバの習熟度が及ぼす影響

本研究ではカーブ半径と道路幅の2つの地理的条件が運転の難易度に与える影響についての実験を行い、結果の分析を行ってきた。一方で、実験及び分析は2つの地理的条件にのみ着目したもので、車の運転技量といった実験協力者に関する要因については踏み込めていない。ここで、実験結果には地理的要因ではなく実験協力者に関する要因が強く反映されたと思われるものがあつた。そこで、該当する2名のデータについて、反映された特徴と合わせて考察する。

図13と図14にそれぞれの実験協力者の運転速度を示す。この結果より、一人目の実験協力者はカーブ半径の大小では平均運転速度に差が出ているのに対して、平均運転速度が60km/hを超えず、道路幅が平均運転速度に影響しない結果となった。また、二人目の実験協力者の結果は、カーブ半径が32mと4134mのときの平均運転速度の差が、道路幅4m、6m、9mのそれぞれで7.0km/h、7.1km/h、9.6km/hとなった。加えて、道路幅についてはすべてのカーブ半径で平均運転速度に4km/h以上の差が出なかった。このことから、二人目の実験協力者は仮説とは異なり、カーブ半径と道路幅のどちらの要因も平均運転速度に影響を及ぼさなかった。

2名の実験協力者で道路幅が影響を及ぼさなかった理由としては、ドライビングシミュレータでの運転でも、実際の運転のルールに準拠した運転を行っていたからと考えられる。これは、実世界での一般道路の最高速度が60km/hであることから、道路幅が実世界の車線幅員より広がる条件でも、法定速度の60km/hを超えないように運転していたからと考えられる。

二人目の実験協力者でカーブ半径による平均運転速度に影響が出なかった理由としては、常に安全を意識して一定の速度で走ることを心掛けていたからと考えられる。特に、

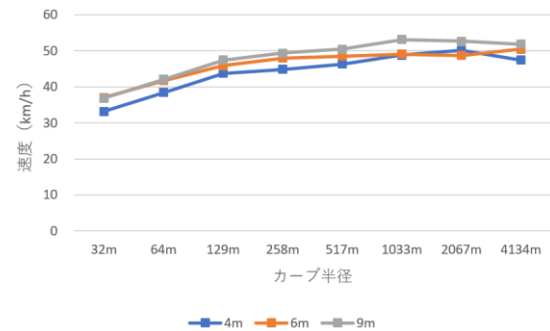


図13 普段から運転する実験協力者の運転平均速度

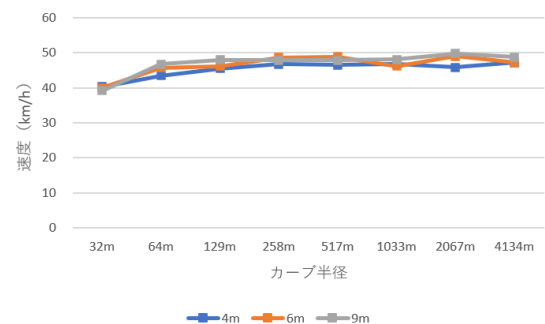


図14 カーブ半径と道路幅で差が出なかった実験協力者の運転平均速度

直線に近いコースとカーブがきついコースで差が出なかったことは、常に速度を40-50km/h前後に保つよう運転していたためと思われる。

### 6.4 今後の展望

実験の結果から、カーブ半径と道路幅は運転の難易度に一部影響を及ぼしていることが明らかとなった。しかし、実際の運転条件とかけ離れた場合では、運転の難易度に及ぼす影響が小さくなることがわかった。また、運転の難易度には地理的条件以外にも、運転者もつドライバの習熟度や性格といった特徴が運転に大きな影響を与えることが考えられる。例えば、免許を取るための授業では、アンケートや心理テストを用いて性格診断テストが行われていることから、運転者の性格によって運転挙動に影響を及ぼす可能性がある。さらに、本研究ではドライビングシミュレータでの走行前に実験参加者全員に、「事故を起こさない前提で出せる範囲でスピードを出す」点を事前に伝えて実験を行ったが、この事前に伝える内容によって、運転の意識が変わることも考えられる。これらの実験協力者に関する条件と、地理的条件を組み合わせることで、より特徴的な運転技量のモデル化が実現でき、ドライバごとの経路推薦システムが実現できると考えられる。

## 7. おわりに

本研究では、ドライバに合わせた経路推薦システムを実現するための運転技量のモデル化について、カーブ走行時のカーブ半径と道路幅が運転の難易度に及ぼす影響について調査を行った。実験では、「カーブ半径の値が小さいほど運転の難易度が上がり運転速度が遅くなり、カーブ半径の値が大きいくほど運転の難易度が下がり運転速度が速くなる」というカーブ半径についての仮説と、「道路幅が狭いほど運転の難易度が上がって運転速度が遅くなり、道路幅が広いほど運転の難易度が下がり運転速度が速くなる」という道路幅の仮説を立てて検証を行った。実験では、異なる8種類のカーブ半径と3種類の道路幅から生成されるコースで、実験協力者一人あたり144試行走行し、得られたデータからエラー数の条件分布、カーブ区間の平均運転速度と平均通過時間について分析、考察を行った。その結果、「カーブ半径が小さいほど運転の難易度が上がる」、「平均運転速度が遅くなる」、「平均通過時間が長くなる」という仮説通りの結果が得られた。道路幅については、実世界の道路に似ている道路幅と実世界よりも大きい道路幅では、難易度、平均運転速度、平均通過時間に差があったのに対して、実世界とは異なる2つの道路幅の比較では、前述した条件ほど差は生まれなかった。このことから、カーブ半径は運転の難易度に影響を与えられ考えられる。

今後の展望としては、地理的な条件を実世界の地理的条件に寄せた条件に変更し、運転技量のモデル化をさらに進めることである。また、地理的な要因に加えて、ドライバの性格や運転前に事前に与えられた情報といった、実験協力者に着目した要因を組み合わせた実験を行うことで、よりドライバ個人の特徴的な運転技量のモデル化が実現でき、ドライバ毎の経路推薦システムが実現できると考える。

## 参考文献

- [1] Shota, Y., Homei, M.. Modeling Pen Steering Performance in a Single Constant-width Curved Path. ISS '19: Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, pp.65-76, 2019
- [2] Zhai, S., Accot, J., Woltjer, R.. Human action laws in electronic virtual worlds: an empirical study of path steering performance in VR. Presence, vol. 13, no. 2, pp.113-127, 2004.
- [3] 船崎友稀奈, 瀬戸徳, 二宮洸太, 樋川一幸, 中村聡史, 山中祥太. 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. 情報処理学会研究報告 ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), vol.2019-HCI-185, Issue.17, pp.1-8, 2019.
- [4] Accot, J. Zhai, S.. Beyond Fitts' law: models for trajectory-based HCI tasks. In Proc. of CHI '97, pp.295-302. 1997.
- [5] Accot, J. Zhai, S.. Performance evaluation of input devices in trajectory-based tasks: an application of the steering law. In Proc. of CHI '99, pp.466-472. 1999.
- [6] 金澤文彦, 岩崎健. 首都高速道路の急カーブ区間における

安全運転支援サービスの効果検証実験. 土木技術資料=Civil engineering journal: 土木技術の総合情報誌, vol. 55.5, pp. 10-13, 2013.

- [7] 四辻裕文, 邢健, 喜多秀行, 米村圭一郎, 甲斐徳高, 松本猛秀. カーブの平面曲線半径に適した減速マーク表示に関する屋外実験研究. 交通工学論文集, vol. 5, no. 4, pp. A\_32-A\_41, 2019.
- [8] 高地康宏, 村岡一信, 沢田康次, 太田博雄. 高齢運転者のカーブ走行時運転挙動特性について, vol. 44, no. 3, pp. 165-170, 2008.
- [9] 李曙光, 山邊茂之, 佐藤洋一, 平沢隆之, 須田義大. チャンドラスリ ナイワラ P, 那和一成, 松村健, 田口康治. カーブ走行の操舵に着目したドライバの運転特徴抽出に関する研究. 自動車技術開論文集, vol. 43, no. 6, pp. 1387-1392, 2002.
- [10] 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](https://www.mlit.go.jp/road/sign/pdf/kouzourei_2.pdf), (参照 2021-11-1).