

# ドライビングシミュレータにおける 対向車の速度が認知的狭さにおよぼす影響

熊谷 航太<sup>†</sup> 成瀬 詩織<sup>†</sup> 飯田 空<sup>†</sup> 福井 雅弘<sup>†</sup> 中村 聡史<sup>†</sup>  
山中 祥太<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 明治大学総合数理学部 〒164-8525 東京都中野区中野4丁目21-1

<sup>††</sup> LINE ヤフー株式会社 〒102-8282 東京都千代田区紀尾井町1-3 東京ガーデンテラス紀尾井町 紀尾井タワー

あらまし 適切な車のナビゲーションのためには、道路の物理的構造だけでなく、運転者が受ける心理的負荷や注意の向け方を考慮した運転難易度のモデル化が必要である。我々はこれまでの研究において、道路幅が徐々に変化する経路、路上駐車の有無、ドア開閉といった挙動によって道路幅が制限される経路における運転難易度について調査し、路上駐車により運転者が実際の道路幅よりも狭いと認知する可能性を明らかにしてきた。しかし、対向車の接近のように交通環境が時間的に変化する状況において、認知的狭さや運転行動がどのように変化するかは十分に検討されていない。そこで、対向車接近下の認知的狭さと運転行動への影響を調査した。実験の結果、対向車の接近とその速度は運転難易度に影響を及ぼすこと、その影響の度合いはステアリングの法則に関するモデルを用いて推定できる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, 対向車, 道路幅, ステアリングの法則, モデル化

## Effects of Cognitive Narrowness Caused by Oncoming Vehicles on Driving Behavior in a Driving Simulator

Kota KUMAGAI<sup>†</sup>, Shiori NARUSE<sup>†</sup>, Sora IIDA<sup>†</sup>, Masahiro FUKUI<sup>†</sup>, Satoshi NAKAMURA<sup>†</sup>, and  
Shota YAMANAKA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University

<sup>††</sup> LY Corporation

**Abstract** For appropriate vehicle navigation, modeling driving difficulty requires consideration not only of the physical structure of roads but also of the psychological load experienced by drivers and how they direct their attention. In our previous studies, we investigated driving difficulty on routes where road width gradually changes, routes with on-street parking, and routes where road width is restricted by behaviors like opening doors. We revealed that on-street parking can cause drivers to perceive the road width as narrower than it actually is. However, how perceived narrowness and driving behavior change in situations where the traffic environment changes over time, such as the approach of oncoming vehicles, has not been sufficiently examined. Therefore, we investigated the effects of perceived narrowness and driving behavior under conditions of approaching oncoming vehicles. The experimental results revealed that the approach of oncoming vehicles and their speed affect driving difficulty, and that the degree of this effect can be estimated using a model based on steering laws.

**Key words** Driving Simulator, Cognitive Narrowness, On-street Parking, Steering law, Modeling

### 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、現在地から目的地までの経路推薦や到着時間予測などさまざまな形で運転者に対する支援が行われている。しかし、これらのナビ

ゲーションシステムでは道路条件による精神的な影響については十分に考慮されていない。Nakagawaら [1]がYahoo!クラウドソーシングを用いて運転免許保有者2000人を対象に実施したアンケートによると、運転初心者が幅の狭い道路や合流

部など特定の道路条件を苦手としていることが報告されている。このような運転者の運転行動を支援するためには最短経路や所要時間の短い経路の推薦を行うよりも、運転者が負担の少ない経路選択ができることが好ましい。そのためには、道路条件ごとに運転行動に与える影響を考慮したうえで、運転難易度を数値化し、モデル化を行うことが必要である。一方、実際の車両を用いた実験では、多様な道路条件を網羅的に再現することが困難であり、運転難易度の包括的なモデル化は難しい。

GUI操作を対象として提案されたステアリングモデルは、人間の軌跡操作を説明する一般的な法則として知られており [2], [3], VR空間や様々な操作タスクに適用されている。また、これらのモデルを運転分野へ応用し、道路条件を考慮した運転難易度を評価する研究も数多く行われている [4]。我々もこれまで、ドライビングシミュレータを用いて、カーブ [5], 道路幅が連続的に変化する経路 [6], 路上駐車の有無 [7], また駐車車両のドアの開閉を含む道路条件 [8] における運転難易度のモデル化を行ってきた。特にドア開閉を伴う道路条件に関する実験では、運転者が道路幅を実際より狭く認知する「認知的狭さ」をモデルに反映させてきた。しかし、これらの研究では、対向車の接近のように交通環境が時間的に変化する状況において、運転者が感じる認知的狭さや運転行動がどのように変化するかは十分に検討されていなかった。

そこで本研究では、対向車の存在およびその走行状態に着目し、対向車接近下における認知的狭さの発生と運転速度変化を明らかにすることを目的とする。ここでは、対向車が存在する区間を設定し、その通過可能な幅と走行速度の有無が運転者に及ぼす影響を、ドライビングシミュレータを用いた実験により調査する。また、ステアリングの法則がドライビングシミュレータ上での実験に適用できるかを検証する。

## 2. 関連研究

### 2.1 ステアリングの法則

Accotら [9] は全長  $A$ , 幅  $W$  の経路を通過する際の時間 ( $MT$ ) が次のようになるステアリングの法則を発見した。本研究では小文字の  $a, b$  を、回帰分析で決定されるフリーパラメータとして扱う。

$$MT = a + b \frac{A}{W} \quad (1)$$

ここで、 $A/W$  の値はタスクの難易度 ( $ID$ ) を表し、その値が高くなるほど  $MT$  も増加する。つまり、移動距離  $A$  が長い場合や幅  $W$  が狭くなる場合に、操作者にとってより高い操作負担を生じさせることを意味している。また、ステアリングの法則は実世界と VR 環境の両方で運転に適用できることが知られている [3]。

一方、本研究では通過時間だけでなく、走行中の速度変化にも着目するため、速度  $V$  についても取り扱う。先行研究では、通過幅が狭いほど、通過速度が小さくなることが知られており、この関係は次の線形式で表される [3], [9]。

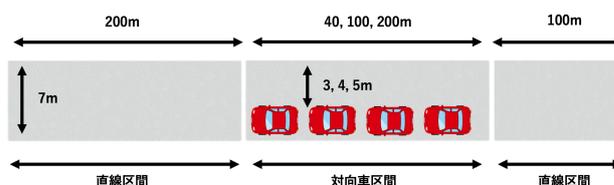


図1 経路幅の関係

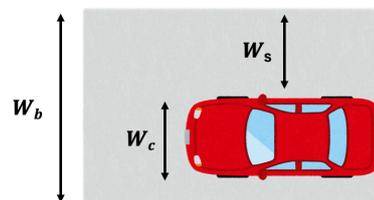


図2 実験で用いたコース構成

$$V = a + bW \quad (2)$$

本研究ではこの式を、対向車条件下の速度低下を認知的な道幅変化と関連付けて説明するために用いる。

### 2.2 対向車と認知的狭さに関する研究

道路環境が運転者の心理的負荷や行動に与える影響については、これまでにも多くの研究が行われてきた。Edquistら [10] は、ドライビングシミュレータを用いた実験により、路上駐車が存在する運転者の心理的負荷を増大させ、走行速度の低下や車線内の横方向位置の変化（道路中央寄りへの移動）を引き起こすことを明らかにしている。また、対向車の速度や有無は、ドライバーの判断や認知負荷にも大きく関係する。Trendeら [11] は、対向車とのギャップ（距離・時間）の誤判断が事故リスクに直結することを報告し、対向車速度が高いほど利用可能な時間余裕が減少し、認知判断の難度が増すことを指摘している。これらの研究は、道路幅の制約や対向車の存在が運転者の心理的負荷や判断に影響を与えることを示しているが、対向車の接近に伴う認知的狭さの変化と運転行動の関係については十分に検討されていない。

## 3. 実験

### 3.1 実験概要

本実験では、ドライビングシミュレータを用いて、対向車が接近する状況における運転行動を計測する。認知的狭さそのものは直接測定せず、その影響として現れる運転行動（速度低下・エラー率）を指標として評価する。本研究では、対向車が走行して接近する条件は停止条件に比べ、運転者がより強い認知的狭さを知覚し、速度低下およびエラー率の増加が生じるという仮説のもと検証を行う。

また、式1と2のステアリングの法則が対向車のある状況下でも適用可能かを検証する。

### 3.2 実験設計

本実験では、ドライビングシミュレータを用いて、図1に示すように直線区間と対向車区間を連結したコースを走行し

表1 対向車区間における条件別平均通過時間

通過幅	対向車速度	平均通過時間 (秒)		
		区間長 40m	区間長 100m	区間長 200m
3m	0 km/h	4.13	11.67	24.56
3m	60 km/h	2.33	6.58	14.06
4m	0 km/h	3.84	10.80	22.73
4m	60 km/h	2.11	6.09	12.20
5m	0 km/h	3.75	10.84	22.45
5m	60 km/h	2.06	6.08	12.17

てもらい、対向車区間とその前後における速度変化およびエラー率に着目した分析を行う。ここで、対向車区間の長さを  $L_p$  と定義する。

対向車の速度は 0 km/h と 60 km/h の 2 条件を設定した。60 km/h は一般道路における法定速度の代表値として、0 km/h は対向車の動的要因を排除した基準条件として採用した。対向車区間の区間長  $L_p$  は先行研究に基づき、40 m, 100 m, 200 m の 3 水準とした。

また、対向車区間における運転車両と対向車との相対的な走行可能幅を通過幅  $W_s$  と定義した。本実験では、先行研究に基づき、通過幅を 3 m, 4 m, 5 m の 3 水準とし、対向車の走行位置を運転者側へ段階的に近づけることで調整した。なお、運転車両、対向車の車両幅  $W_c$  は全て 1.77 m とした。また、これらの条件を実現する道路幅として、ベース幅を  $W_b = 7$  m に設定した (図2)。

走行開始地点から対向車区間が始まるまでの直線区間の長さは、対向車とすれ違うまでに安定した速度を維持できるよう、200 m に固定した。また、対向車区間通過後も直線区間を設けることで、進入時および通過後における運転車両速度の変化を連続的に評価できる構成とした。

各条件は 1 条件につき 1 コースで構成されており、参加者は全 18 条件のコースを走行した。各コースは、対向車が存在しない区間と対向車区間を直線的に連結した構成とし、対向車条件の違いによる運転行動の差を同一の走行環境下で比較できるよう設計した。

実験開始時には、アクセル操作のみで直進してゴールに到達することを防ぐため、車両がわずかに右方向へ傾いた状態で走行が開始されるよう設定した。これにより走行開始直後にステアリング操作が必要となるが、対向車区間まで十分な直線区間を設けているため、その影響は対向車区間の評価には大きく影響しないと考えられる。

なお、実験で用いるドライビングシミュレータはこれまで開発してきたシステム [5] を利用し、Meta Quest 3 (HMD)、Fanatec 社製の ClubSport Wheel Base V2.5 (ステアリングコントローラ)、Podium Hub Lenkrad Classic 2 (ステアリングホイール)、ClubSport Pedals V3 inverted (ペダル)、Next Level Racing 社製の NLR-S010 (シート) を使用した。

### 3.3 実験手順

対向車区間の 18 条件をランダムな順序で連続して走行するものを 1 セットとし、実験の慣れによる運転行動のブレを低

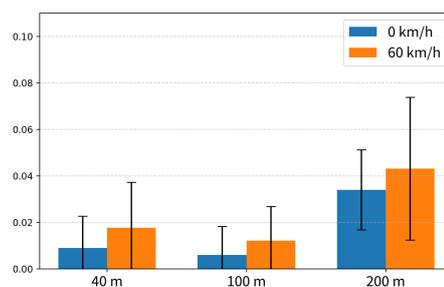


図3 区間長別のエラー率 (対向車速度条件の比較)

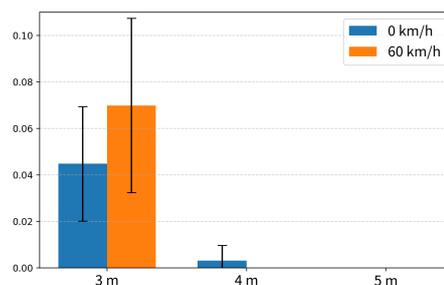


図4 通過幅別のエラー率 (対向車速度条件の比較)

減するため、各実験協力者は 5 セットの走行を行った。その結果、実験協力者 1 人あたりの総走行回数は 90 回となった。

実験開始前には、実験協力者に VR 空間上のドライビングシミュレータの操作に慣れてもらうため、ランダムに選択した 3 コースを用いた練習走行に取り組んでもらった。

各コースでは、カウントダウン表示の終了と同時に計測が開始され、運転車両の前端がゴールの地点に到達した時点で計測を終了とした。走行中にガードレールや対向車との衝突、または縁石に乗り上げた場合をエラー試行と定義した。エラーが発生したコースについては、エラーが発生しない成功試行が得られるまで、セット終了時に同一条件の走行を再度取り組んでもらった。

実験協力者には、運転中は速度が 60 km/h 程度になるように運転をし、エラーを発生させないことを意識して走行するよう指示した。また、各セット終了時には最大 5 分の休憩時間を設け、実験協力者の疲労度や集中力を確認した。全走行終了後にはアンケート調査を実施し、実験を終了とした。なお、練習走行を含めた実験全体の所要時間は、実験協力者 1 名あたり約 1 時間 15 分であった。

## 4. 実験結果

本章では、区間長、通過幅、および対向車速度の有無の組み合わせ条件ごとに、単一区間におけるエラー率、平均速度、ならびに通過時間の結果を示す。通過時間は、対向車列の先頭車とのすれ違い開始から最後尾車とのすれ違い終了までのすれ違い継続時間として定義した。

### 4.1 実験協力者およびデータの除外

実験協力者は自動車運転免許を持っている大学生および大学院生 20 名 (女性 3 名, 男性 17 名) であった。分析に際しては、エラー試行およびログの欠損等によりデータが正しく

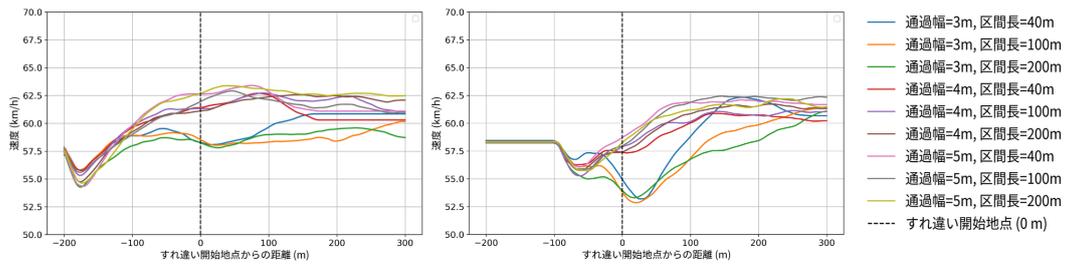


図5 すれ違い前後における運転車両の速度（速度なし：左，速度あり：右）

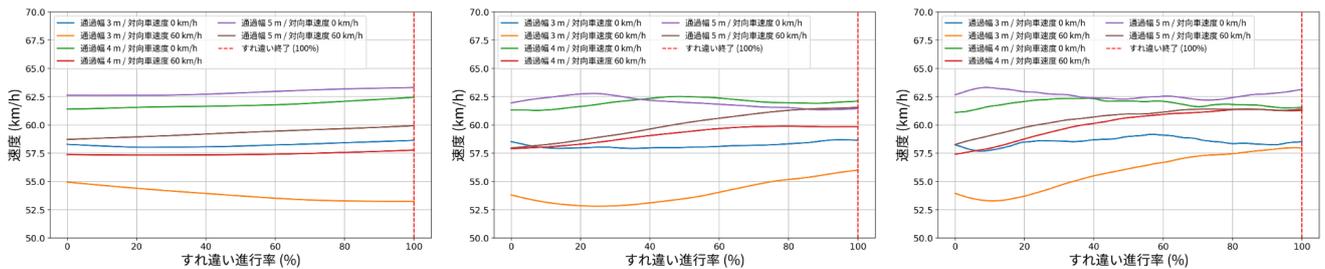


図6 すれ違い区間（0-100%）に正規化した運転車両速度の推移  
区間長 40m（左）区間長 100m（中）区間長 200m（右）

取得できなかった試行を除外した。また、条件ごとの区間内平均速度および平均通過時間について、外れ値となる実験協力者は確認されなかったため、20名全員を分析対象とした。

#### 4.2 エラー率

本実験におけるエラー回数は、実験協力者20名による再走行を含む全走行1841回のうち41回であり、全体のエラー率は2.2%であった。図3は区間長別のエラー率を、図4は通過幅別のエラー率を、それぞれ対向車速度条件ごとに示したものである。また、図中のエラーバーは被験者間平均の95%信頼区間を示す。図3より、いずれの区間長においても、対向車が走行する条件の方がエラー率が高い傾向が確認された。さらに、図4に示すように、エラーの大部分は通過幅3mの条件であった。

これらの結果より、対向車が走行する条件において通過幅が狭い場合にエラー率が増加する傾向が確認された。

#### 4.3 平均速度

通過幅、対向車速度、区間長毎の平均通過時間を調査するため、平均を求めたものを表1に示す。この結果より、対向車が走行している条件と停止している条件では、すれ違いのタイミングおよび継続時間が異なる。そのため、本研究では距離基準および区間正規化の両観点から速度変化を評価する。

対向車の速度による運転車両の速度変化を調査するため、対向車速度条件（0km/h, 60km/h）毎の運転車両の速度の変化を図5に示す。ここでは、対向車が動いている場合と停止している場合とで、対向車とすれ違うタイミングおよびすれ違いに要する時間が異なるため、両条件を分けて可視化している。横軸が対向車とすれ違った地点を0mとした相対位置を表しており、負の値はすれ違い前、正の値はすれ違い後を

示している。その結果、対向車速度が60km/h、通過幅が3mの条件においては、対向車とすれ違う直前から直後にかけて運転車両速度が低下する傾向が確認された。一方、通過幅が4mおよび5mの条件では、対向車の接近に伴う速度低下は確認されなかった。

また、対向車が走行している条件では、対向車とのすれ違い位置が条件ごとに異なるため、対向車区間中の速度変化を統一的に評価することが難しい。そこで、図6では、対向車とのすれ違い開始を0%、すれ違い終了を100%として区間を正規化し、すれ違い中の運転車両速度の変化を示した。

区間を正規化して比較した結果、区間長40mの条件では、対向車速度が60km/hかつ通過幅が3mの条件において、速度低下が確認された。また、区間長100mおよび200mでは同条件において、すれ違い開始後に速度が低下し、その後、再び回復するまでの一連の推移が観察された。

以上の結果より、対向車が走行し通過幅が狭い条件においてのみ顕著な速度低下が観察された。

## 5. 考察

### 5.1 通過幅および対向車速度が運転行動に及ぼす影響

結果より、対向車が走行する条件であり、かつ通過幅が3mの条件においてのみ、速度低下が観察された。これらの結果は、対向車走行条件において認知的狭さが増大し、それが速度低下およびエラー率の増加につながるという本研究の仮説を部分的に支持する結果である。

この速度の低下はすれ違い開始点に到達する前から緩やかに生じており、対向車の接近に応じた予測的な速度調整が行われている可能性が示唆される。また、0m付近で速度低下

が強まり、すれ違い開始後もしばらく低下傾向が継続する挙動が観察された。このことから、対向車とのすれ違いに伴う負荷は瞬間的に生じるのではなく、接近段階から開始段階にかけて段階的に増大し、その後解消されていく過程として現れると考えられる。

この結果は、対向車速度がある条件かつ通過幅 3 m におけるエラー率の高さとも一致している。また、通過幅が 4 m および 5 m の条件、対向車速度が 0 km/h の条件では顕著な速度低下が見られなかったことから、対向車の存在と通過幅の狭さが同時に成立した場合にのみ、運転行動に影響が現れると考えられる。

## 5.2 区間長が速度低下および回復過程に及ぼす影響

次に、すれ違い区間を 0-100% に正規化した際の変化に着目する。本研究では、運転車両と対向車列の先頭車がすれ違いを開始した地点から、最後尾車とのすれ違いが終了する地点までをすれ違い区間と定義する。区間長 40 m の条件では、全体として大きな速度変化は観察されなかった。ただし、対向車速度が 60 km/h かつ通過幅が 3 m の条件においては、すれ違い中に速度が低下する傾向が確認された。速度低下が進行する途中にすれ違いが終了していることから、区間長 40 m の条件では、対向車の影響が運転行動として十分に顕在化する前に区間が終了していると考えられる。一方、区間長 100 m および 200 m の条件では、同条件において、すれ違い開始後に速度が低下し、その後すれ違い終了に向けて徐々に回復するまでの一連の過程が観察された。

この結果から、対向車による影響は、通過幅が狭く対向車速度が高い条件において、すれ違い区間が十分な長さを有する場合に、速度低下および回復という形で段階的に表出することが示唆される。具体的には、区間長が短い条件では速度調整が行われる前にすれ違いが終了するのに対し、区間長が十分に長い条件では、対向車接近に伴う心理的負荷が速度低下として顕在化し、すれ違い後の速度回復までを含む運転行動の変化が観測可能となることが考えられる。

## 6. 運転難易度のモデル化

本章では、対向車が動くことにより運転者が認知的な狭さを感じて速度が低下するという仮説に基づきモデル化を行う。対向車条件では、運転車の速度によってすれ違い区間の開始・終了位置が変化するため、ステアリングの法則における区間長  $A$  に相当するパラメータを定義することが難しく、通過時間  $MT$  を安定してモデル化するうえでの制約となっている。そこで、より安定して観測可能な指標で対向車とすれ違い区間における平均速度  $V$  を推定するモデルを構築し、その結果を踏まえたうえで  $MT$  のモデルを検討する。

### 6.1 平均速度のモデル化

2章で述べたように、通過幅  $W$  と平均速度  $V$  には線形の関係  $V = a + bW$  がある (式 2)。本研究では対向車区間の通過幅を  $W_2$  とし、ダミー変数である  $move$  (停止: 0, 走行: 1) を導入し、速度  $V$  を推定するモデルを構築する。

モデル適合度の検証では、通過幅と運転車両の幅  $W_c = 1.77$  m を差し引いた実効幅  $W_2 = W_s - W_c$  を説明変数として定義する。したがって、本研究における  $W_2$  は 1.23 m, 2.23 m, 3.23 m に対応する。

前述の仮説に基づくと、対向車が動く場合は運転者に認知的狭さが発生し、走行可能と認識する幅が物理的な実効幅  $W_2$  よりも狭くなると考えられる。そこで、この影響を表す知覚実効幅を  $W'_2$  とし、

$$W'_2 = W_2 - c \cdot move \quad (3)$$

と定義する。なお、 $c$  は認知的狭さに対応するフリーパラメータであり、 $c > 0$  であれば仮説どおり対向車が動くことで運転者が道路を実際よりも狭く認識していることを意味する。

また、式 2 の  $W$  を  $W'_2$  に置き換え、速度を次式で表す。

$$V = a + b(W_2 - c \cdot move) \quad (4)$$

回帰分析の結果、式 4 の適合度は  $R^2 = 0.8650$ , 補正  $R^2 = 0.8361$  を示し、本モデルが対向車の速度の有無や通過幅の違いがもたらす運転速度の減少量を高い精度で推定できることが確認された。また、係数  $c$  の値は約 1.19 となったことから、対向車が走ることで、運転者が実効幅を実際のものより約 1.19 m 狭く認識した可能性が示唆された。

### 6.2 通過時間 $MT$ のモデル化

ステアリングの法則では、通過時間は  $MT = a + bA/W$  で表され、区間長  $A$  はユーザが操作を受ける距離を指す一定の値として定義できることが前提となっているが、前述したように今回の実験設計では区間長  $A$  を一定の値として定めることが難しい。そこで本研究では、対向車を静止系の基準と見なし、運転車両が対向車の絶対速度 60 km/h を加算した速度で走行するものと捉えてモデル化を行う。これによって、対向車区間を一定の長さを持つ操作区間として扱えるようになり、ステアリングの法則が容易に適用可能となる。なお、相対速度成分は回帰モデルの係数に吸収される。

ステアリングの法則に基づき、通過時間のベースとなるモデルを  $MT = a + bA/W$  とする。本研究では、対向車とすれ違い区間の通過時間のモデルを、推定平均速度  $V$  (式 4) を用いて次の形で表す。

$$MT = a + b \frac{A}{V} \quad (5)$$

本研究では、式 5 における速度  $V$  の扱いとして、以下の 3 通りの方法で比較した。まず、区間内で観測された実測平均速度をそのまま用いる方法 (以下、実測速度法)、次に、速度モデル (式 4) により推定した平均速度を用いる方法 (以下、推定速度法)、さらに、速度を式に組み込み、複数のパラメータを同時に推定する方法である (以下、同時推定法)。

この 3 つのモデルの回帰直線を図 7 に示す。結果として、実測速度法では、 $R^2 = 0.7553$ , 補正  $R^2 = 0.7400$ , 推定速度法では、 $R^2 = 0.7504$ , 補正  $R^2 = 0.7171$  となり、いずれの方法においても通過時間を一定程度説明できることが確認された。

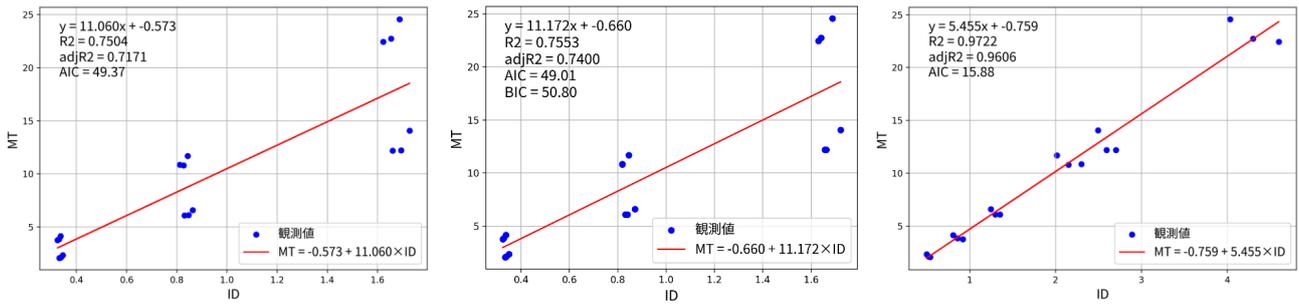


図7 IDとMTの関係(回帰直線)

速度Vの定義の違いによる比較(左:推定速度, 中:実測速度, 右:同時推定)

一方で、適合度は十分に高いとは言えず、単純な速度の扱いのみでは通過時間の変動を完全には捉えられない可能性が示唆された。同時推定法では、 $R^2 = 0.9722$ 、補正  $R^2 = 0.9606$  となり、非常に高い適合度が得られた。しかし、本モデルは複数のパラメータを同時に推定する構造を持つため、過剰適合の影響を受けている可能性がある。したがって、本結果を他の条件に応用する際には慎重に検討する必要がある。

## 7. おわりに

本研究では、対向車接近のように交通環境が時間的に変化する状況における運転難易度のモデル化に向け、対向車速度が認知的狭さに関連すると考えられる運転行動を調査した。実験は対向車の速度の有無条件と、対向車区間の区間長、通過幅の組み合わせからなる18種類のコースを実施し、エラー率、区間内での平均通過速度、すれ違い中とその前後における平均速度について分析を行った。実験の結果、対向車が走行する条件では、特に通過幅が狭い場合にエラー率の増加および速度低下が生じる傾向が確認された。また、すれ違い区間に進入する前から減速が生じることがあり、対向車接近に対する予測的な運転行動が示唆された。

さらに、ステアリングの法則に基づくモデルを拡張し、対向車の速度を考慮した、対向車とすれ違っている区間での平均速度Vをモデル化することで、対向車の速度の有無が運転速度に与える影響を推定可能なモデルを構築することができた。また、この速度モデルを通過時間モデルに組み込むことで、道路条件から通過時間MTを推定するための手がかりとなる知見を得られた。具体的には、実測速度を用いる方法よりも速度も同時に推定するモデルの方が高い適合度が示され、対向車条件と通過幅の相互作用が運転難易度に大きく関与する可能性が明らかになった。

なお、本研究では対向車条件をダミー変数  $move$  として扱ったが、対向車速度を連続量  $V_o$  として導入し、 $W'_2 = W_2 - cV_o$  のように表現することで、複数の速度条件を統一的に扱えるモデルへ拡張できる可能性がある。

本研究では、対向車区間の前後に幅の広い経路を配置したコース構成を前提としていたが、今後は対向車がある区間の前後の道路幅を操作し、減速が狭さによるものか、狭くなる

ことの予測によるものかについても検証する。これにより、モデルの精度向上と、より現実的な道路条件への適用可能性の検討を進める。

## 文 献

- [1] Nakagawa, Y., Matsuda, S., Takaku, T., Nakamura, S., Komatsu, T., Torii, T., Sumikawa, R. and Takao, H.: A Study on the Effects of Intrinsic Motivation from Self-determination on Driving Skill, in *HCI International 2023 Posters*, pp. 73–81 (2023).
- [2] Yamanaka, S. and Miyashita, H.: Modeling Pen Steering Performance in a Single Constant-Width Curved Path, in *Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, ISS '19*, pp. 65–76 (2019).
- [3] Zhai, S., Accot, J. and Woltjer, R.: Human Action Laws in Electronic Virtual Worlds: An Empirical Study of Path Steering Performance in VR, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 13, No. 2, pp. 113–127 (2004).
- [4] Godley, S. T., Triggs, T. J. and Fildes, B. N.: Driving Simulator Validation for Speed Research, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 34, No. 5, pp. 589–600 (2002).
- [5] Yamanaka, S., Takaku, T., Funazaki, Y., Seto, N. and Nakamura, S.: Evaluating the Applicability of GUI-Based Steering Laws to VR Car Driving: A Case of Curved Constrained Paths, *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, Vol. 7, No. ISS, pp. 93–113 (2023).
- [6] Fukui, M., Takaku, T., Nakamura, S. and Yamanaka, S.: Evaluating the Applicability of GUI-based Steering Laws to Virtual Reality Car Driving: A Case of Width-Changing Paths, in *Proceedings of the 35th Australian Computer-Human Interaction Conference, OzCHI '23*, pp. 316–323 (2023).
- [7] 飯田空, 福井雅弘, 高久拓海, 中村聡史, 山中祥太: ドライビングシミュレータにおける路上駐車による道路幅の変化が運転に及ぼす影響, Technical Report MVE2023-47, 電子情報通信学会 (2024).
- [8] 成瀬詩織, 飯田空, 福井雅弘, 高久拓海, 中村聡史, 山中祥太: ドライビングシミュレータにおける路上駐車によるドア開閉が認知的狭さに及ぼす影響について, HCG シンポジウム 2024 論文集, No. B-4-6 (2024).
- [9] Accot, J. and Zhai, S.: Beyond Fitts' Law: Models for Trajectory-Based HCI Tasks, in *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '97*, pp. 295–302 (1997).
- [10] Edquist, J., Rudin-Brown, C. M. and Lenné, M. G.: The Effects of On-street Parking and Road Environment Visual Complexity on Travel Speed and Reaction Time, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 45, pp. 759–765 (2012).
- [11] Trende, A., Unni, A., Jablonski, M., Biebl, B., Lüdtkke, A., Fränze, M. and Rieger, J. W.: Driver's Turning Intent Recognition Model Based On Brain Activation and Contextual Information, *Frontiers in Neuroergonomics*, Vol. 3, p. 956863 (2022).