

# 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

飯田 空<sup>†</sup> 福井 雅弘<sup>†</sup> 高久 拓海<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

E-mail: <sup>†</sup> sorabun.iida@gmail.com

あらまし 適切な車のナビゲーションのためには、道路形状に応じた運転の難易度のモデル化が必要となる。我々はこれまでの研究において、カーブや道路幅が変化する経路での運転の難易度について調査し、モデル化を行ってきた。そこで本研究では道路幅が変化する要因として道路における路上駐車に着目することで、より現実に近い経路の状況をドライビングシミュレータ上で再現して実験を行い、その影響について調査を行った。実験の結果、路上駐車による道路幅の変化が運転の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, 路上駐車, 道路幅, ステアリングの法則, モデル化

## 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、経路推薦や到着時間予測など様々な形で自動車ドライバーへの支援が行われている。ここで得意とする道や苦手とする道はドライバーによって大きく異なる。Nakagawaら[1]の運転免許保有者 2,000 人を対象としたアンケート調査によると、幅の狭い道路や合流などの特定の道路条件を苦手とする初心者が多かった。このようなドライバーが安全かつ快適に運転できるよう支援するには、運転にかかる時間が最も短い経路よりも運転しやすい経路を推薦することが望ましい。そのようなドライバー個人の選好を反映した経路推薦システムの実現には、道路条件が運転に及ぼす影響を明らかにし、難易度を数値化する必要がある。道路条件による難易度の数値化には繰り返し運転をすることが必要であるが、ドライバーの特性も考慮しつつ様々な道路条件を網羅することは難しい。

ここで、様々な道路条件を考慮したモデル化を行ううえで、GUIに関するモデル化[2][3]を応用する研究が多数行われている。我々もこれまでにドライビングシミュレータ上で複数の地理的条件を繰り返し生成可能な仕組みを実装し[4]、カーブ走行時のカーブ角度や半径に着目した経路[5]や、道路幅の変化がある経路での運転難易度への影響[6]を明らかにしてきた。

これまでの研究ではコースの道路幅を一定のパラメータとして設定し実験を行ってきた。しかし、実際の道路では路上駐車や人、自転車などの要因によって幅が減少していることがあり、特に路上駐車により道路幅が減少していることが多い[7]。そこで本研究では運転難易度のモデル化のため、路上駐車による道路幅の変化が運転の難易度に及ぼす影響を調査する。具体

的には「なにもない区間」と「駐停車区間」を繋げた経路を一つの区間とし、その区間の長さや通過幅を設定できるコースを走行する実験を行う。また、ステアリングの法則の実験結果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[8]は全長 $A$ 、幅 $W$ の経路を通過する際の時間( $MT$ )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 $a$ 、 $b$ はフリーパラメータと呼ばれる回帰分析で決定される

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

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[9]やVR空間での自動車の運転[3]などにも適用できることが知られている。

### 2.2. 幅と長さが違う二つの直線経路を連結した経路におけるステアリングの法則

Yamanakaら[10]は図1のような幅と長さが違う2つの直線経路の中央を揃えて連結した経路を通過するの

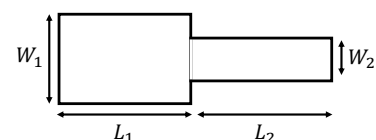


図1 Yamanakaらのモデルの図

にかかる時間 $MT_{rr}$ を下記の4つのモデルで表せることを示した。

$$MT_{rr} = a + b \cdot ID_{rr} \quad (2)$$

このとき、 $ID_{rr}$ を最初に置かれる経路の長さを $L_1$ 、幅を $W_1$ とし、次に置かれる経路の長さを $L_2$ 、幅を $W_2$ を用いて

$$ID_{rr1} = \frac{L_1}{W_1} + \frac{L_2}{W_2} \quad (3)$$

$$ID_{rr2} = \frac{L_1}{W_1} + \frac{c}{b} \frac{L_2}{W_2} \quad (4)$$

$$ID_{rr3} = \frac{L_1 - nW_1}{W_1} + \frac{c}{b} \ln\left(\frac{nW_1}{W_2} + 1\right) + \frac{dL_2}{bW_2} \quad (5)$$

$$ID_{rr4} = \frac{L_1 - nW_1}{W_1} + \frac{L_2}{W_2} + \frac{c}{b} \ln\left(\frac{nW_1}{W_2} + 1\right) \quad (6)$$

と表した。それぞれのモデルにある $a, b, c, d, n$ はそれぞれ回帰分析で決定されるフリーパラメータである。

### 2.3. 路上駐車に関する研究

実際の道路において、路上駐車による道路幅の減少は、その道を走行する車の速度に影響を与えることが考えられる。この路上駐車による道路の幅員減少が運転速度に与える効果を調べる研究はいくつか行われている。

Distefano[7]らは、実際の道路における路上駐車の流れをシケインとして運転速度に与える影響について調査をし、路上駐車により道路幅が減少している箇所では、他の部分よりも平均速度が22km/h減少することを明らかにした。また、李ら[11]は都心部の一方通行の区画道路を対象に路上駐車を考慮した通過車両が通過する幅や、その幅の大きさによる走行速度を調査し、幅員が大きくなれば速度は大きくなるが、幅員が4.1m以上になると差はないことを明らかにした。しかし、これらの研究では実際の道路状況をもとにしているため、路上駐車による道路の幅員減少の変化量について網羅的に調査することはしていない。また、実際の環境で実験を行うにはコストがかかり試せる道路条件が少なく、その道路条件ごとの運転難易度のモデル化には不十分である。

## 3. ドライビング実験

### 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路上駐車による複数の道路幅や区間長を持つコースにおいて速度や区間を通過するのにかかった時間に着目して実験を行う。ここでは、Yamanakaらのモデルが運転実験に適合するかを検証する。

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[4]を改良し、3つの区間長、3つの路上駐車により幅が減少した後の道路幅(以下、通過幅という)、基本となる道路幅の合計7つのパラ



図2 システムを使用している様子

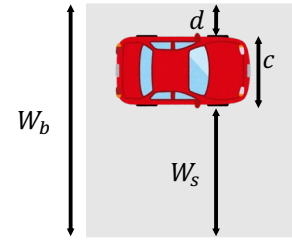


図3 経路幅の関係

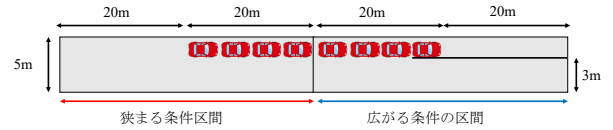


図4 コース内の区間長40m、始端幅及び終端幅が3m、5mのときの区間の例

メータを任意の数値に設定したコースを生成できるようにした。

なお、ドライビングシミュレータにはHMDとしてMeta Quest3、ステアリングコントローラーはFanatec社のClubSport Wheel 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. 実験設計

我々のこれまでの研究から、道路幅が広すぎる場合は幅が運転難易度に影響を与えにくいことがわかっている。そのため、今回のベースとなる道路幅 $W_b$ (以下、ベース幅という)を5mと設定した。また、ベース幅から路上駐車を想定した車(以下、路上駐車想定車という)の幅 $C$ と、道路の端から路上駐車想定車の距離 $d$ をベース幅から引いたものを通過幅 $W_s$ とし、その関係性を図3に示す。路上駐車想定車の幅 $C$ は1.77mとした。何も無い区間の経路の長さを経路長 $L_n$ とし、路上駐車想定車が置かれている区間(以下、駐停車区間という)を経路長 $L_p$ とした。駐停車区間の経路長 $L_p$ は、縦並びに設置してある路上駐車想定車の列の先頭車両の先端から、最後尾の車両の後端までの距離を指す。また、ある1つの組み合わせの区間でこの何も無い区

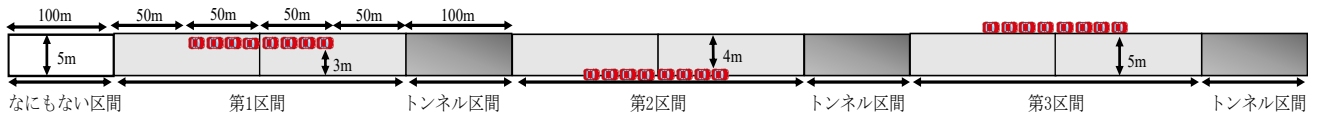


図5 コースのイメージ図

間の経路長と駐停車区間の経路長は同じ長さで設定し、1つの区間の長さは $L_n$ と $L_p$ を足した長さとなる。通過幅は3m, 4m, 5mの中から一つランダムに選定し、1つの区間の長さも40m, 100m, 200mの中からも1つ選定した2つを1組とする9種類の組み合わせを採用した。

ここで、我々のこれまでに行ってきた実験では走行回数が多く、実験参加者への負担が大きいという問題があった。そこで1回の走行で多くの組み合わせの条件の試行ができるように、1コースの中に3種類の組み合わせの狭まる条件と広がる条件を走行できるようにした。図4は経路長40m、通過幅3mの時の1つの区間を示している。1つの区間に同じ組み合わせの狭まる条件と広がる条件を繋げて設置することで走行回数を減らした。実験協力者が走行するある1つのコースではこの区間が3つ連結する構成になる。

それぞれの区間前の走行条件を揃えるために、最初に提示される第1区間の前にはスタート位置から第1区間が始まるまでに100mのなにもない区間を設けた。また、区間の間の走行速度と車線位置の統制をするため、第1区間と次に提示される第2区間の間と、第2区間と第3区間の間にはトンネル区間100mを設けた。図5にすべての区間長が100mで通過幅が3m,4m,5mの順番で提示されているコースの例を示す。

### 3.3. 実験手順

実験慣れによる運転速度のブレをなくすため、ある区間における通過幅と区間長の組み合わせ9種類がランダムにそれぞれ2回提示されるのを1セットとし、3セットを作成した。1コース3種類の組み合わせで構成されており、9種類の組み合わせが2回提示されるので、1セットは6コースを走行する。実験協力者一人あたりの走行回数は18回となる。

各コースは、カウントダウンから始まりカウントが0になると計測を開始し、車の車面がゴールの地点に達すると計測が終了となる。コース内には路上駐車想定車が左右どちらかに無作為に設置してある区間が3つある。なお、この実験では2種類のコースのエラー基準を設定した。1つ目は、コースの道路端から0.5m位置に設置してあるガードレールと路上駐車想定車に当たった場合で、当たった後無事にゴールをしてもセットの最後に繰り返し成功するまで行った。2つ目は、車が縁石に乗り上げた場合をエラーとし、分析の時に

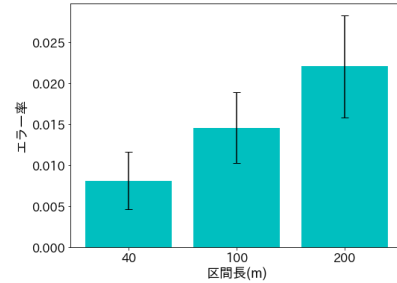


図6 区間長ごとのエラー率

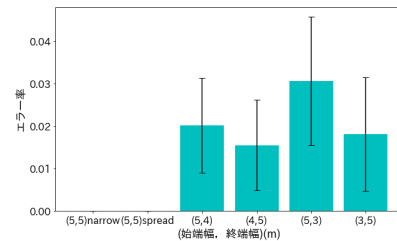


図7 始端幅と終端幅の組ごとのエラー率

表1 各組み合わせの条件別平均通過時間

道路幅 (始端, 終端) (m)	平均通過時間 (s)		
	区間長 40m	区間長 100m	区間長 200m
( <u>3</u> , 5)	2.48	6.18	12.17
(5, <u>3</u> )	2.69	6.62	13.03
( <u>4</u> , 5)	2.23	5.65	11.35
(5, <u>4</u> )	2.39	5.99	12.06
( <u>5</u> , 5)	2.09	5.59	11.10
(5, <u>5</u> )	2.21	5.93	11.35

該当する区間のみを除外した。1つ目のエラー基準のときのセットの最後に走行するコースは、エラーをしたコースと同じ組み合わせの同じ提示順になるが、路上駐車想定車の設置位置は左右どちらかのランダムのため、同じとは限らない。

実験協力者には、法定速度を守ること、いつも運転している速度で走行すること、路上駐車想定車やガードレールに当たらないように注意することを事前に指示して実験を行った。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ことを考え、各セット終了時などに実験協力者に体調や集中できているかを確認し、必要な場合は最大5分間休憩できるようにした。走行後はアンケートに答えてもらい終了とした。

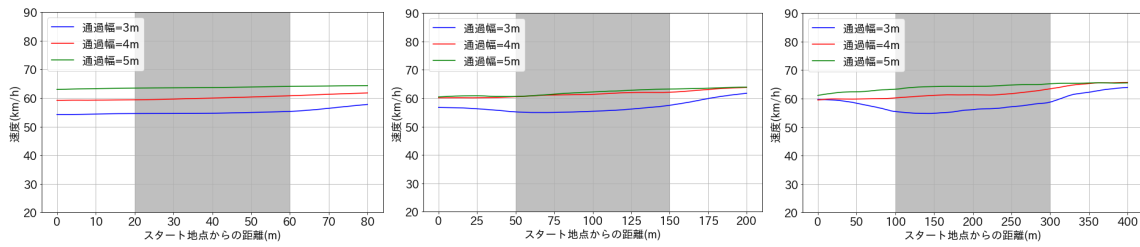


図8 (左) 区間長 (左) 40m, (中) 100m, (右) 200m のときの区間における速度

実験は、練習走行から測定終了まで1名あたり約50分を要した。

#### 4. 実験結果

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5名, 男性15名)であった。全実験協力者の区間内の平均速度及び平均通過時間において外れ値がなかったため, 全実験協力者を分析対象とした。本章では, 区間長, 始端幅及び終端幅ごとの1つの区間におけるエラー数や平均通過時間の結果を示す。ここで, 始端幅及び終端幅はベース幅と通過幅からなる組み合わせであり, (始端幅[m], 終端幅[m])とし, 駐停車区間が属する幅に下線を付与している。具体的には, 3mと5mの組み合わせでは, 狭まる条件では(5, 3), 広がる条件では(3, 5)となる。

##### 4.1. 各通過幅, 経路長におけるエラー数

本実験における全体の始端幅と終端幅, 区間長の合計18種類の組み合わせの区間ごとに分けた時のエラー数は実験協力者20名総走行2,286回のうち38回であった。図6に区間長ごとの実験参加者の平均エラー率, 図7に始端幅及び終端幅の組ごとの実験参加者の平均エラー率を示す。なお, エラーバーは標準誤差を表している。

区間長ごとのエラー率のグラフから, エラー率は区間長が長くなるにつれて高くなることがわかり, 平均エラー率は区間長が40mのとき最も低く, 区間長が200mのとき最も高い。始端幅及び終端幅の組み合わせごとのエラー率のグラフでは, 始端幅及び終端幅がどちらも5mのとき, 平均エラー率が0であり, エラーがなかったことがわかる。また, それ以外の組み合わせでは, 広がる条件よりも狭まる条件の平均エラー率が高いことがわかる。

##### 4.2. 各組み合わせにおける平均通過時間

表1は道路条件ごとの区間を通過するのにかかった時間の実験参加者の平均を示す。区間長が等しく始端幅と終端幅が入れ替わっている2つの条件を比較すると, どの条件においても幅が狭まるときの方が広がるときよりも通過時間が長かった。また, 区間長40mと区間長100mのとき, 始端幅と終端幅が入れ替わっている2つの条件を比較すると, 始端幅と終端幅の差

が大きいほど, 狭まる条件と広がる条件の平均通過時間の差も大きくなることがわかる。

#### 5. 考察

##### 5.1. 道路幅の変化が運転の難易度に及ぼす影響

実験結果より, すべての区間長が等しく始端幅と終端幅が入れ替わっている組み合わせにおいて, 狭まる条件よりも広がる条件の平均通過時間が短いことがわかる。また, 始端幅及び終端幅の組み合わせが(3, 5), (4, 5)のとき, つまり広がる条件に比べ狭まる条件の方が, エラー率が高いこともわかる。これらのことから, 狭まる条件に比べ広がる条件の方が, 運転の難易度が低いことがわかる。広がる条件の平均通過時間が短い要因の一つとして, 実験設定上狭まる区間の後に広がる区間が設置しており, 狭まる区間の中で実験協力者がその幅に慣れ, 徐々に駐停車区間で徐々にスピードを上げることが考えられる。

また, 区間長200mにおいて始端幅及び終端幅が入れ替わっている狭まる条件と広がる条件の差はそれぞれ, 3mと5mのとき0.86秒, 4mと5mのとき0.71秒, 5mと5mのとき0.25秒であった。これより, すべての区間長において始端幅と終端幅の差が大きいほど始端幅と終端幅を入れ替えた時の2つの条件の平均通過時間の差が大きいと考えられる。

表1より, 始端幅及び終端幅がどちらも5mのすべての区間長において, (5, 5)よりも(5, 5)の方が平均の通過時間が短かった。これは, (5, 5)において実際には道路の幅を減少させていない駐停車車両が, 実験参加者に道路幅が減少していると思わせる何らかの要因が関係していると考えられる。

##### 5.2. 道路幅の変化が運転の速度に及ぼす影響

図8は横軸にスタート地点からの距離, 縦軸に全実験協力者のその地点での平均の速度をとったグラフである。グラフの凡例はその時の通過幅を表しており, 区間長40のグラフの通過幅3mは, 前半40mで(5, 3)の狭まる条件の組み合わせを示し, 後半40mで(3, 5)の広がる条件の組み合わせである。背景色が灰色の部分は, 駐停車区間を表している。

図8より, 区間長40m及び区間長200mのとき, 通

過幅が大きくなるにつれて、全ての地点で平均速度が高くなるのがわかる。また、区間長 100m のとき、通過幅 4m と通過幅 5m が重なって見える箇所があるが、駐停車区間の始めと終わりの地点に関しては、通過幅 5m の平均速度が通過幅 4m よりも速いことがわかった。これらのことから、すべての区間長において、通過幅が大きいほど駐停車区間の始めと終わりの地点の平均速度が高くなるのがわかる。

図 8 の区間長 200m 及び区間長 100m の通過幅 3m に着目すると、駐停車区間が始まる位置の平均速度が通過幅 4m と通過幅 5m に比べて速度の低下の割合が高い。しかし、通過幅 3m の駐停車区間の始まる位置の平均速度と終わる位置の平均速度を比べたとき、最も上昇しているのも通過幅 3m だった。これは、実験協力者が通過幅 3m の駐停車区間に入るとき実際よりも狭く認知し、その狭さに慣れてくると速度を上げるという行動をするためだと考えられる。

## 6. 運転難易度のモデル化

実験結果をもとに、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路上駐車により道路幅が変化する経路の運転難易度の数値化に適用できるかを検証する。

### 6.1. モデルとの適合性

Yamanaka らが示した 4 つのモデルの適合性について、図 9, 10, 11, 12 はそれぞれ横軸に  $ID_{rr1}$ ,  $ID_{rr2}$ ,  $ID_{rr3}$ ,  $ID_{rr4}$ , 縦軸に実験で得られた平均通過時間  $MT$  を取ったグラフである。図中の青い点は実験から得られたデータであり、直線は独立変数をそれぞれの  $ID$ , 従属変数を  $MT$  として線形近似したものである。

図 9, 10, 11, 12 のグラフがすべて  $R^2 > 0.97$  であることから、すべてのモデルにおいて十分に高い精度で  $MT$  を推測できることが明らかになった。また、 $R^2$  の値が最も高い値を示したのは  $R^2 = 0.981$  で  $ID_{rr2}$  と  $ID_{rr3}$  であった。 $adjR^2$  の値が最も高い値を示したのは  $adjR^2 = 0.976$  で、 $ID_{rr2}$  であった。同様に  $AIC$  の値が最も低い値を示したのも  $AIC = -15.63$  で  $ID_{rr2}$  であった。

モデルの適合度の指標 ( $R^2$ ,  $adjR^2$ ,  $AIC$ ) が同程度であれば、フリーパラメータの個数が少ない方が利便性が高いとされる。たとえば  $ID_{rr2}$  は線形回帰のみであり、一般的な表計算ソフトでも  $MT$  を推定可能である。一方で  $ID_{rr3}$  は非線形回帰が必要であり、対応したプログラミング言語のライブラリや統計分析ソフトウェアが必要である。またフリーパラメータの個数が多いとオーバーフィッティングの危険が高まるため、今回の実験結果で最も推奨されるのは  $ID_{rr2}$  である。

Yamanaka らのモデルを用いて  $ID$  から  $MT$  を推測することが可能かを検証した結果、どのモデルも十分に高い精度となることが明らかになった。特に、 $ID_{rr2}$  のモ

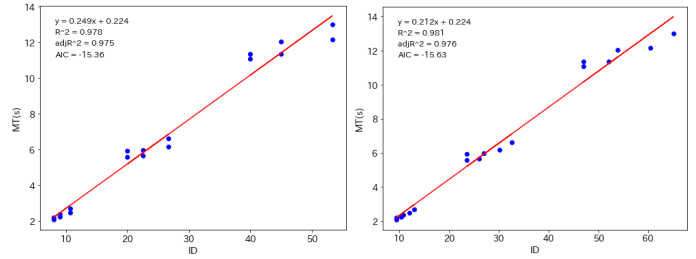


図 9  $ID_{rr1}$  と  $MT$  の関係

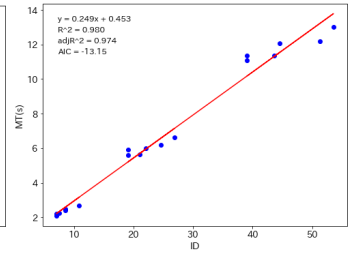
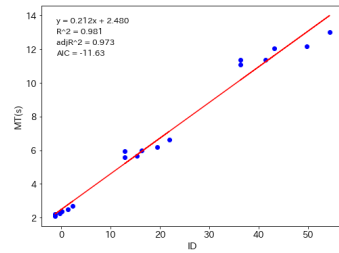
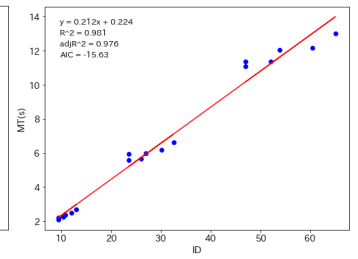


図 11  $ID_{rr3}$  と  $MT$  の関係 図 12  $ID_{rr4}$  と  $MT$  の関係

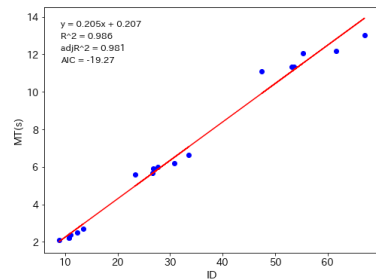


図 13  $ID_{rr2\_arrange}$  と  $MT$  の関係

デルが高い精度で  $MT$  を推測できる可能性が示唆された。今回扱ったモデルは、2 つの直線経路の中央を揃えて連結した場合の経路のモデルであったが、本実験のようなコースのような 1 つ目の直線経路の上端や下端にもう一方の直線経路が連結されている場合の経路にも高い精度で推定できることを示した。

### 6.2. 駐車車両が運転難易度に及ぼす影響

路上駐車が多い狭い道路を運転しているときに考えられる危険として、駐車車両のドアがいきなり開くことや、路上駐車されている車と車の間から人が飛び出してくることが挙げられる。そこで、本実験でも実験協力者がこのような危険を考えているとし、「すべての駐車区間において、『ドアが開く』ことや、『人が飛び出してくる』場合の危険に備えた実際の道路幅に対して認知的狭さ  $W_x$  がある」という仮説を立てた。実際に実験協力者に対して実験後に行ったアンケートでは、「車と車の間から何か物ができたりするのかもしれない、アクセルを緩めた」という意見があった。

この仮説に基づき、実験結果から最も適合度の高い  $ID_{rr2}$  に調整を行った。具体的には、すべての始端幅及び終端幅の組み合わせの駐停車区間が属する幅に対して定数  $W_x$  を引いた。例として、(3, 5) の場合は  $(3 - W_x, 5)$ ,

(5, 5)の場合は(5, 5- $W_x$ )となる。

分析の結果、精度は良くならなかった。このことから、始端幅及び終端幅がどちらも 5m の条件に対してのみ $W_x$ を引く処理に変更した。始端幅及び終端幅がどちらも 5m でない組み合わせに対しては $W_x = 0$ として分析し、どちらも 5m の組み合わせに対しては、最も適合度の指標が良かった $W_x = 0.8$ とした。

(5, 5) の式を(7)に、(5, 5)の式を(8)に示す。

$$ID_{rr2arrange} = \frac{L_1}{W_1} + \frac{c}{b} \frac{L_2}{W_2 - W_x} \quad (7)$$

$$ID_{rr2arrange} = \frac{L_1}{W_1 - W_x} + \frac{c}{b} \frac{L_2}{W_2} \quad (8)$$

図 13 は横軸に $ID_{rr2arrange}$ を用いて求めた $ID$ 、縦軸に実験で得られた平均通過時間 $MT$ をとったグラフである。最も適合度の指標が良かった $ID_{rr2}$ の図 10 と比較すると、 $ID_{rr2arrange}$ は $R^2 = 0.986$ ,  $adjR^2 = 0.981$ であり、ともに $ID_{rr2}$ よりも高かった。また、 $AIC = -19.27$ であり $ID_{rr2}$ よりも低かった。これらのことから、 $ID_{rr2arrange}$ の方が $ID_{rr2}$ よりも $MT$ を推定する精度が高いと言える。今後は道路幅が一定である場合だけでなく、すべての駐停車区間において駐車想定車の存在による運転難易度への認知的な影響をどのようにモデルに組み込むべきか考える必要がある。

## 7. おわりに

本研究では、運転難易度のモデル化を行うために、路上駐車による道路幅の変化が運転に与える影響についての調査を行った。実験は異なる 6 通りの始端幅及び終端幅の組み合わせと、3 種類の区間長からなるコースで実施し、エラー率、区間内での平均通過時間やその地点での平均速度について分析を行った。その結果、すべての区間長で始端幅及び終端幅の組み合わせを入れ替えた条件のときに、狭まる条件の平均通過時間よりも広がる条件の方が短いことがわかった。道路幅に干渉していない 5m の組み合わせの条件においても、すべての区間長で(5, 5)の平均通過時間よりも(5, 5)の方が短かった。

また、ステアリングの法則に基づいた Yamanaka らの長さや幅が異なる 2 つの直線経路の中央を揃えて連結した経路のモデルを用いて、道路条件から算出した $ID$ によって $MT$ を推定できるか検証した。その結果、どのモデルも高い適合性を示し十分な精度で推定できることがわかった。実験協力者が駐停車想定車において道路幅が認知的に狭く見えると仮説を立て、 $ID_{rr2}$ を変更した。その結果、始端幅及び終端幅がどちらも 5m の条件に対してのみ認知的狭さ $W_x$ を適用したとき適合度を表す指標は良くなった。すべての駐停車区間において、どの程度認知的作用があるかは今後検証予定である。

今後は、コース条件を再設計したうえで、運転難易度のモデル化をさらに進める予定である。また、今回用いたモデルは 2 つの直線経路の中央を揃えて連結した経路におけるモデルであったため、本実験のような 1 つ目の経路の上端や下端に合わせて 2 つ目の直線経路を連結させた経路に対してのモデルについても考案し、検証する予定である。

## 文 献

- [1] Y. Nakagawa, S. Matsuda, T. Takaku, S. Nakamura, T. Komatsu, T. Torii, R. Sumikawa, and H. Takao. "A Study on the Effects of Intrinsic Motivation from Self-determination on Driving Skill," International Conference on Human-Computer Interaction (HCII 2023), vol.1836, pp.73-81, July.2023.
- [2] S. Yamanaka, and H. Miayashita, "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, Nov.2019.
- [3] S. Zhai, J. Accot, and R. Woltjer, "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, April.2004.
- [4] Y. Funazaki, N. Seto, K. Ninomiya, K. Hikawa, S. Nakamura, and S. Yamanaka, "Driving Experiment System Using HMDs to Measure Drivers' Proficiency and Difficulty of Various Road Conditions," HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems, HCII 2022, vol. LNCS 13335, pp.247-257, June.2022.
- [5] S. Yamanaka, T. Takaku, Y. Funazaki, N. Seto, and S. Nakamura, "Evaluating the Applicability of GUI-based Steering Laws to VR Car Driving: A Case of Curved Constrained Paths," The 2023 ACM Interactive Surfaces and Spaces Conference (ACM ISS 2023), vol.7, no. 430, pp.93-113, Nov.2023.
- [6] M. Fukui, T. Takaku, S. Nakamura, and S. Yamanaka, "Evaluating the Applicability of GUI-based Steering Laws to Virtual Reality Car Driving: A Case of Width-Changing Paths," 35th Australian Conference on Human-Computer Interaction (OzCHI), Dec.2023.
- [7] N. Distefano, and S. Leonardi, "Evaluation of the Benefits of Traffic Calming on Vehicle Speed Reduction," Civil Engineering and Architecture, 7(4), pp.200-214, July.2019.
- [8] J. Accot, and S. Zhai, "Beyond Fitts' law: models for trajectory-based HCI tasks," In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '97), pp. 295-302, Mar.1997.
- [9] J. Accot, and S. Zhai, "Performance evaluation of input devices in trajectory-based tasks: an application of the steering law," In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '99), pp. 466-472, May.1999.
- [10] S. Yamanaka, W. Stuerzlinger, and H. Miyashita, "Steering Through Sequential Linear Path Segments," Proceedings of the 2017 CHI on Human Factors in Computing Systems (CHI '17), pp232-243, May.2017.
- [11] 李相光, 樗木武, 辰巳浩, "都市部区画道路の路上駐車に対するドライバー意識とそのために必要な車道幅員に関する研究," 都市計画論文集, vol.29, pp.277-282, Nov.1994.