

簡易なドライビングシミュレータの提案 A Tutorial on a Simple and Easy-to-build Driving Simulator

植田 真生史¹, 中西 航²
Makishi UEDA¹, Wataru NAKANISHI²

ドライビングシミュレータ(DS)は特有の利点を有する交通調査方法である。しかし、その構築や運用には設置空間、コスト、技術の観点で課題がある。これに対し、近年は家庭用コンピュータ上に仮想空間を構築するための3次元データや開発環境が充実し、仮想空間内での視点移動を遅延なくモニタに表示する環境も比較的安価に入手可能となっている。本稿では、DSの構築や運用における課題を低減した「簡易なDS」という考え方を提示し、DSを用いた実験の活用事例増加に貢献することを目的とする。まず、既往のDSの活用事例を概観し、簡易なDSで対応可能な実験の存在を確認した。つぎに、簡易なDSの構築方法を体系的に整理し、個別のステップごとにその方法を具体的に説明した。さいごに、簡易なDSの構築例とそれを用いた実験例を提示した。

Keywords: デジタルツイン, ドライビングシミュレータ, オープンデータ

1. はじめに

交通調査の手法には多様なものが存在する。それらは、2つの観点で4つの類型に整理できる(図1)。第一に、データ収集を行う空間が実在のものか仮想上のものかである(図1の横軸)。第二に、データ収集の方法が被験者への質問によるものか外部からの観測によるものかである(図1の縦軸)。これら4類型の概要を順に述べる。まず、仮想空間における質問調査は、被験者が仮想的な状況下での交通行動を想起して回答するもので、表明選好(SP)調査がその例である。また、実空間における質問調査は、被験者が実際に経験した過去の交通行動を想起して回答するもので、顕示選好(RP)調査がその例である。一方、実空間における観測には追跡調査や定点観測が該当し、ビデオ観測、GNSS軌跡やICカードデータの収集が代表例である。そして、仮想空間における観測には、Computer Graphics (CG)やVirtual Reality (VR)によって仮想的に生成される条件下での被験者の行動観測が該当し、ドライビングシミュレータ(以下、「DS」)を用いた実験(以下、「DS実験」)が代表例である。

本稿ではDS実験を扱う。DS実験には複数の利点がある。これを上記の類型と対応付けて整理する。まず、DS実験では、被験者に高い没入感を与えることができる。一般に、仮想空間における質問調査では、被験者が仮想的な状況を正確に想定することが必ずしも容易ではない。そのため、現実とは異なる行動意向等の回答を得る可能性がある。しかし、高い没入感のもとで行うDS実験は、現実に近い回答(運転行動データ)を得やすいだろう。これは、被験者が仮想的な状況を単に口頭や文章で説明さ

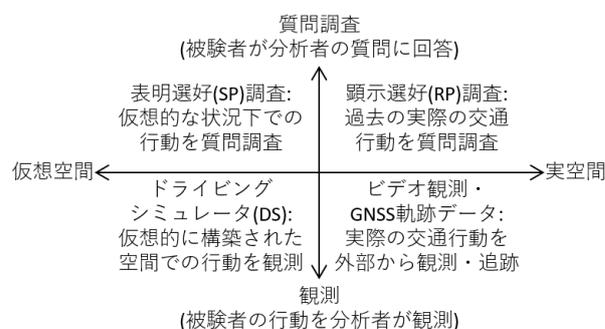


図1 交通行動調査の類型とその例

れるSP調査に比べて、実験結果の正確性という観点でアドバンテージとなる。また、DS実験は、仮想空間内に実験条件を生成するため、その制御が容易である¹⁾。これは、実際の行動結果をデータとして扱うRP調査やビデオ調査等に比べて、実空間では発生し得ない、または極度に発生頻度の低い事象を対象にできるという点でアドバンテージとなる。

一方で、DSの構築や運用には、設置空間、コスト、技術の観点で課題がある。一般にDSは設備が大規模で、導入コストが高額である。加えて、高度に専門的で、熟練者のみが運用可能である。これら3点の課題は、いずれもDS実験実施のボトルネックとなり得る。確かに、これらの特徴をもつDS(以下、「高機能なDS」と呼ぶ)は特定の実験において不可欠な役割を果たす。たとえば、運転環境や揺れ・傾きの再現などの被験者の臨場感を追求して、現実の運転行動と仮想空間内の運転行動の差分を限りなく小さくしたい場合には、高機能なDSのニーズが高いだろう。一方で、実際には、臨場感の追求を必要条件とし

1 学生会員, 学士(工学), 金沢大学大学院自然科学研究科

2 正会員, 博士(工学), 金沢大学理工研究域 / 東京科学大学環境・社会理工学院

ない実験も少なくない。たとえば、単純な交通環境での基本的な運転行動や意思決定プロセスを観察する実験である。このような実験では、より簡素な環境でも十分に対応できよう。

さて、DSを構成する要素として、道路および周辺地物の3次元データ、視点や車両の移動をモデリング可能な開発環境、リアルタイムに入力される運転動作に遅延なく対応できる表示環境の3つが不可欠である。近年では、国土交通省が主導するPLATEAU²⁾や(株)ゼンリンの3次元都市モデルデータ³⁾などの地形データの整備が進んでいる。また、Unity⁴⁾やUnreal Engine⁵⁾などの開発環境も充実している。さらに、安価なGPUなどの家庭用コンピュータのグラフィック・レンダリング性能がますます発展している。そのため、前述の設置空間、コスト、技術の3つの課題を回避できる、小規模かつ低コストで構築可能なDS(以下、高機能なDSに対して「簡易なDS」と呼ぶ)の実現可能性が高まっている。簡易なDSは、研究、実務のフィールドを問わず、様々な立場の主体に広範に活用されるポテンシャルを有している。具体的には、事故の発生を前提とした運転行動データの収集に対して、被験者を危険にさらさず、かつ、普段の運転行動に近いデータを得られる可能性がある。また、道路設計の変更など、実在しない設備やシステムの効果も、被験者の日常的な運転行動下で検証することが可能となる。このような事例に対するDSの利用価値は高く、一定程度リアリティを捨象した簡易なDSであったとしても、調査手法として採用できることに意義があろう。

しかし、簡易なDSの構築方法をまとめた資料は極めて少なく、日本語で記載されたものは著者らの知る限り存在しない。そのため、技術面の課題、すなわちDSが高度に専門的であるという問題点は簡易なDSにおいても存在する。実際にも簡易なDSの活用例は未だ少なく、事例ごとにいわば独学で多大な労力をかけて独自のDSが構築されているものと推察される。ゆえに、簡易なDSの有効性や適用範囲に関する実証的知見も不足している。これらの点が解決すれば、簡易なDSは導入が容易な調査手法として幅広く定着しうる。DS実験が従来のSP調査と同様に容易に活用できる調査手法となれば、多様な研究・政策課題に対する新たなアプローチとなるだろう。

簡易なDSを多くの場面で活用するという方向性は、近年のデジタルツインの注目と活用場面の広がりという時流にも沿っている。土木分野では、近年上述のPLATEAU²⁾がオープンデータとして公開され、現実の都市の3次元モデルデータを入手できる。また、こうした3次元モデルを動かす開発環境も多様化しており、無償で使用できるものも存在する。その一例に上述のUnity⁴⁾があり、交通工学や土木計画、都市計画の分野の研究でも多様な活用例が存在する。たとえば、本稿同様にDSの構築に使用したも

の⁶⁾⁷⁾、街路空間評価実験に使用したもの⁸⁾、AR可視化システムの構築に使用したもの⁹⁾、水害時の被災状況の再現システムの構築に使用したもの¹⁰⁾などがある。社会全体のデジタルツインの発展の潮流から鑑みても、DS実験が容易な調査手法として広範に定着することを目指したい。

そこで、本稿は、DS環境の民主化、すなわち、安価かつ容易に誰もが実験を行える状況の実現を念頭に、以下の3点を目的とする。

- 簡易なDSで実現可能な実験を具体的に説明し、その適用範囲を検討する。
- Unityを用いた簡易なDSの構築方法を体系的に整理する。
- 構築したDSを適用できる実験の実例を示す。

2. 既往のDSの活用事例

DS実験はこれまでに多く行われ、多様な政策・研究課題に対する実験的アプローチとして活用されてきた。しかし、それらの大多数では、1. で述べた高機能なDSが用いられている。一方で、近年では、簡易なDSの実現可能性が高まっている。そこで、本章では、まず、既往のDS実験の実例を複数紹介する。そのうえで、それらの実例における簡易なDSの適用範囲を検討する。

地震発生時の運転者の行動の分析¹¹⁾や路面変状による車両乗員のストレスの分析¹²⁾で用いられているDSは、高機能なDSの設備が大規模であるという特徴を有している。これらの実験では、運転席の振動を再現し、被験者に高い臨場感を提供しており、高機能なDSを用いることが必要不可欠であろう。ただし、運転席の振動を再現しない場合、地震等による揺れを再現した仮想環境さえ構築できれば、動揺装置がない簡易なDSの導入も視野に入るだろう。

道路冠水時の運転者の迂回行動の分析¹³⁾や降雪時を想定したシナリオでの走行実験¹⁴⁾、津波の避難実験¹⁵⁾で用いられているDSはいずれもFORUM8社製のUC-win/Road¹⁶⁾を利用して構築された。UC-win/Roadは、3次元リアルタイム・バーチャルリアリティソフトで、多様なリアルタイム・シミュレーションが行える有償の環境開発ソフトである。また、UC-win/Roadは信号灯器位置の違いによる運転挙動の違いの分析¹⁷⁾や路面装飾デザインの違いによる運転挙動の違いの分析¹⁸⁾、反転インターチェンジにおける走行速度の分析¹⁹⁾のためのDS環境の構築にも利用されている。以上で取り上げた事例は被験者が視聴する仮想環境に特徴がある。すなわち、特殊な気象・路面条件下のシミュレーションの構築や、特殊な街路環境の作成である。仮にそうした特殊な仮想空間が簡易なDSの環境下で構築できれば、その活用も当然見込める。

一方で、高速道路上での合流に関する情報提供と運転挙動の分析⁹⁾や、市街地の交差点右折時の横断歩行者事故

に関する分析⁷⁾で活用されたDSは開発環境にUnityを用いた小規模なDSである。すなわち、本稿で構築するDSと同様の簡易なDSとみなして良いだろう。これらのDS環境では、高速道路の直線区間や市街地内の交差点を模造して、他車や歩行者の挙動や道路標識の教示内容を実験環境内で可変としている。これらの実例をより広い視点で捉えると、簡易なDSは、周囲の交通の状況の変化に応じた運転挙動の分析や運転者への情報提供設備の効果検証に対して、活用され得るといえる。

3. 簡易なDSの構築方法

本章では、簡易なDSの構築方法をステップごとに説明する。まず、3.1でDS構築の方針を説明する。その後、3.2で仮想空間を構築し、3.3で自車、3.4で他車と信号機をそれぞれ制御するための設定を行う。なお、本章の内容をより詳細に説明した資料は、ソフトウェア開発プラットフォームGitHubの筆頭著者のページ(https://github.com/mac-ky/build_DrivingSimulator.git)にアップロードしており、今後も随時更新する予定である。

3.1 DS構築の方針

1. で述べたように、DSの構築には3次元データ、開発環境、表示環境が必要である。このうち表示環境について、本稿で構築する簡易なDSは、家庭用コンピュータに必要な最小限の周辺機器を接続して構築するものとする。ここで、映像を出力するモニタと運転操作を行う入力機器は必須である。入力機器は一般的なキーボードでも問題ないが、実車に近い操作感を再現するために後述のハンドルコントローラを使用することも考えられる。

さて、このコンピュータ上に3次元データを取り込み、シミュレーションを行う仮想空間を構築することとなる。3次元データには、都市全体あるいは個々の構造物について公開されている多様なオープンデータを活用できる。また、道路については2次元の平面画像として生成しても良い。そして、仮想空間を作成し、そこに2次元の道路画像や3次元の構造物データを作成あるいは配置するために用いるものが開発環境である。近年ではオープンソース・フリーウェアが充実しつつあるため、それらを活用できる。開発環境では、以下が行える:

- コンピュータ上への3次元の仮想空間の作成
- その仮想空間での、2次元の平面画像や3次元の立体データの作成および配置
- それらの見た目(テクスチャ)の調整や影の投影
- 仮想空間内部を任意の視点から眺めた画像の生成(運転席からの眺めに相当)
- 視点を時間とともに移動し、眺めた画像を逐次出力した連続的な映像の生成(運転時に視聴する映像に相当)

以降で示す例では、開発環境としてUnity⁸⁾を用いている。UnityはUnity Technologies社が開発・提供する開発環境で、個人であれば無料で使用できる。また、Unityでは、アセットと呼ばれる各種物体の3次元データが提供され、仮想空間内で使用できる。そのため、既成の自動車や樹木などを容易に仮想空間内に配置できる。同様に、建造物壁面や路面等の見た目(テクスチャ)も提供されている。そのため、DSにおいて運転する環境に、比較的容易に臨場感をもたらすことができる。

以降では、以上の3次元データ、開発環境、表示環境のもとで実際に簡易なDSを構築していく。

3.2 仮想空間の構築

簡易なDSにおいても、高機能なDSと同様に、走行環境としての仮想空間を構築する必要がある。その最低限の要件は、自動車が走行するための路面が作成されていることである。また、一般的な路面標示の作成も多くの場合には必要だろう。さらに、行いたい実験の内容によっては、走行時の臨場感を一定程度確保する意味で、周辺の建造物や道路付属物も作成されていることが望ましい。以下でその手順を説明する。大まかには、1.と2.で作成する地物を定め、3.と4.でそれらを作成・配置し、5.で調整を行うという流れである。

1. 行いたい実験に応じて、仮想空間上の道路あるいは道路ネットワークの構造を定める。たとえば、路線長、車線数、車線幅、路面標示、路肩の有無、歩道の有無、交差点の形状等が含まれる。
2. 必要に応じて、1.の道路上に作成する道路付属物や沿道の建造物を想定する。たとえば、道路標識、信号機、ガードレール、街路樹等が含まれる。
3. 1.と2.で作成する地物が定まったら、それらの位置・向き・サイズ等の情報を収集もしくは作成する。実在空間を模造する場合は、現地の道路構造(長さ、幅、向き等)を調査すればよい。必要に応じて、道路付属物や建造物の大きさ、位置、向き等も調査する。元となる実在空間が存在しない場合は、現実に即した街路設計とするために、典型的な道路構造や道路付属物、建造物の配置を調査すればよい。
4. 3.の情報をもとに、開発環境を用いて、仮想空間上に地形、道路、標識等一式を作成し、適切な位置に配置する。
5. 必要に応じて道路や建造物の見た目を現実に近づける。たとえば、テクスチャの適用や照明などの光源の設定、影や光沢の描画設定である。

これらのうち、1.と2.はDS実験を行う目的に直結する事項であり、分析者が決定する必要があるという意味では高機能なDSでも簡易なDSでも変わらない。一方で、3.から5.は簡易なDSの特性が発揮される部分である。すな

わち、オープンデータやオープンソースの活用を前提としていることに加えて、それらを使いこなせば行いたい実験に応じた仮想空間の簡略化が可能となることから、必要な人的・時間的・経済的リソースもおおのずと削減できるのである。

一例として、著者らが構築した仮想空間の作成工程における工夫や特徴を説明する。そこでは、実在空間を模造した仮想空間を構築している(手順1.)。また、一定程度の臨場感を求めるため、沿道の店舗や住宅、信号機や街路樹を模造することとし、実験上特に重要となる建造物は詳細に作り込むこととしている(手順2.)。

この場合、手順3.では、実在する道路の情報をGoogleの航空写真から収集できる(図2(a)). 具体的には、航空写真をなぞることで現地の道路線形と路面標示の画像を作成すればよい(図2(b)). この画像作成は簡単な方法で問題なく、著者らはPowerPointの図形ツールで行った。そして、手順4.で、仮想空間内にこの画像を配置することで、現地に即した路面を模造する(図2(c)). 著者らはここでUnityを用いている。

また、建造物と道路付属物の作成も、道路と同様に手順3.で現地の調査を行い、手順4.で仮想空間内に作成・配置する。ただし、これを愚直に行くと、各建造物や道路付属物を個別に作成・配置する必要があり、多大な労力を要する。より簡単に仮想空間を構築するために、ここでは2つの方法を説明する。ひとつは、PLATEAU²⁾の3次元モデルを活用する方法である。PLATEAUは国土交通省が主導するプロジェクトで、その一環として実在都市の3次元モデルが公開されている。これを仮想空間内に取り込むことで、手順3.と手順4.をまとめて簡単に行うことができる。

ただし、このような実在都市の3次元モデルでは、行いたい実験に応じた仮想空間を作成できない場合もある。対象都市のモデルデータが未整備、取得できるモデルデータにおいて建造物の新築や取り壊し等が未反映、道路付属物の再現が不完全といった場合である。そこで、次善策としてもうひとつの方法を説明する。まず、Googleの航空写真から現地の調査を行い(手順3.)、前述のUnity

のアセットに存在する既成の3次元モデルを選択して、現地の建造物や道路付属物に即した店舗や住宅、街路樹などを作成・配置する(手順4.)。1つ目の方法よりも労力を要するものの、各建造物や道路付属物を個別に作成するよりもはるかに簡単である。

仮想空間の構築自体は上記で完了する。これに加え、必要に応じてテクスチャの設定を変更することで、細部の作り込みを行う(手順5.)。具体的には、道路付属物の色調を現実に即したものに調整し、店舗の看板などの複雑な視覚的ディテールも再現する(図3)。光源を設置すれば影を投影することもできる。これらにより、実験実施時の被験者の臨場感を高めることができる。

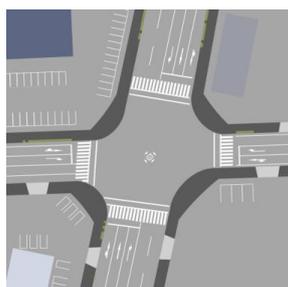
3.3 自転車の準備

簡易なDSであっても、仮想空間内に車両(自転車)が存在し、それを被験者が運転できる必要がある。また、被験者が視聴する映像が実際の運転者の視野となるべく整合していることが重要である。さらに、行いたい実験の内容によっては、自転車の走行速度を確認できるメーターや、周囲の交通の状況を確認できるミラー等が備わっていることが望ましい。以下でその手順を説明する。

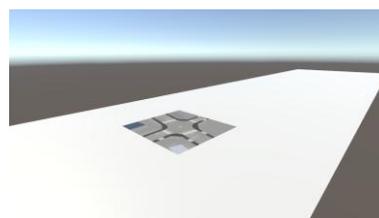
1. 自転車の車種やサイズを定める。また、自転車の操作感に求められる性能を定める。たとえば、自転車の操作方法(キーボード入力か、現実のハンドルやペダルに近い入力機器を用いるか)や走行時の振動の再現の要否が含まれる。
2. 運転時にリアルタイムに被験者に提示する情報を想定する。たとえば、自転車の走行速度や周囲の交通の状況が含まれる。また、その提示方法(単に数値を画面上に出力するか、メーターやミラーを作成するか)も想定しておく。
3. 開発環境を用いて1.で定めた自転車を作成し、仮想空間内に配置する。そして、被験者が自転車を運転できるようにする。ここで、1.で定めた性能を充足させる。
4. 被験者が視聴する映像の視点や視野の広さを、1.で



(a)現地の航空写真の取得



(b)路面標示のイラスト化



(c)画像の配置

図2 路面の模造の手順

定めた自車の車種やサイズ感と整合するように定める。そのうえで、開発環境から出力される映像とも一致させるように、開発環境内で視点の移動や視野の調整を行う。

5. 必要に応じて、2.で想定した情報の提示方法を実装する。

一例として、著者らの構築過程における工夫や特徴を説明する。手順1.では、市販のゲーム用ハンドルコントローラである(株)ロジクール製のLogicool G29 Driving Force(図4)²⁰⁾を用いることとする。また手順2.では、運転席からの前景をモニタに表示させ、自車の周囲の先行車、対向車を確認できる仕様とする。さらに、バックミラー(ルームミラーとドアミラー)を追加し、後続車の確認も行える仕様とする。

この場合、手順3.では、既成の乗用車の3次元モデルを仮想空間内に配置する。3次元モデルの導入は、3.2において建造物や道路付属物を配置した工程と同様である。そのうえで、上述のハンドルコントローラの操作と配置した3次元モデルの挙動を連動させる。すなわち、ハンドル・ペダルの操作にしたがって仮想空間内で自車が移動するようにする。ここでは、購入したハンドルコントローラに付随するソフトウェアやツールを用いればよい。手順4.では、開発環境内で視点の移動を行う。Unityには、仮想空間をリアルタイムにキャプチャするカメラのような部品が存在する。この部品を自車の運転席に配置し、適切な視野角にする。そして、常に自車とともに移動するように設定すればよい。手順5.では、手順4.と同様に、自車の後方をリアルタイムにキャプチャすればよい。

3.4 自車以外の準備

簡易なDSであっても、仮想空間内に自車以外の動的な要素を存在させたい場合が多い。他車、歩行者、信号機などがこれに相当する。これらが実験の目的に応じて自然な動作を行うことが望ましい。以下にその設定手順を説明する。

1. 自車以外に動作させる要素を定める。たとえば、前述のとおり、他車、歩行者、信号機などが含まれる。
2. 1.で定めた要素の動作パターンを想定する。たとえ



図4 使用するハンドルコントローラ

ば、移動速度や出現・消滅のタイミングが含まれる。なお、詳細は省くが、動作パターンは各種のパラメータを用いて記述する。

3. 1.で定めた要素を開発環境で作成し、仮想空間に配置する。なお、信号機のような一部の要素は3.2で配置が完了している場合もある。
4. 3.で配置した要素が2.の設計に従って動作するように設定する。

一例として、著者らの構築過程における工夫や特徴を説明する。そこでは、他車(先行車、後続車、対向車)と信号機を動作させる要素としている(手順1.)。

まず、他車は移動経路と移動速度、車間を各車で個別に設定できる仕様とする(手順2.)。この場合、手順3.では自車同様に既成の乗用車の3次元モデルを仮想空間内に配置する。そして、手順4.では開発環境内で他車の移動経路を制御する。ここで移動経路上の移動速度をパラメータで調整できる。したがって、他車を実験で行いたいことに応じた挙動で走行させることができる^{*1)}。

また、信号機は、各現示が点灯するタイミングとその点灯時間を任意に設定できる要素とする(手順2.)。手順3.は3.2で追加したモデルをそのまま利用できる。そして、手順4.では開発環境内で要素の出現(点灯)と消滅(消灯)を制御する。ここで、その出現と消滅のパラメータを調整することで、実験で行いたいことに応じて各現示を点灯させることができる^{*2)}。歩行者等のその他の動的な要素についても同様に設定を行える。



(a) テクスチャ適用前



(b) テクスチャ適用後

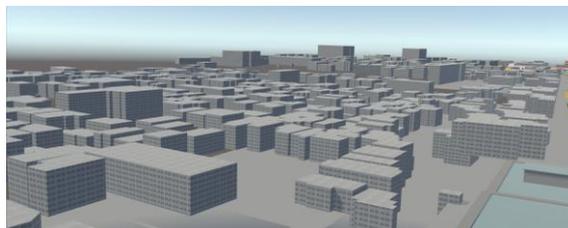
図3 テクスチャの適用例



(a) 現地の道路線形と路面標示を再現した画像



(b) Unityのアセットで再現した建造物と道路付属物



(c) PLATEAUの3次元モデルで再現した建造物

図5 構築した仮想空間



図6 被験者が視聴する画面



図7 実験風景

4. 簡易なDSIによる実験例

本章では、3. で示した方法によって著者らが構築した簡易なDSとその活用例を示す。4.1で著者らが構築したDSを説明し、4.2でDS実験の例を示す。

4.1 構築したDS

(1)仮想空間の構築

仮想空間の構築にあたって、実在する街路として、金沢市内の伏見台一丁目交差点とその周辺を想定した。3.2の手順3.により現地の道路線形と路面標示を再現した画像を図5(a)に示す。PowerPointの図形ツールを組み合わせで作成しただけであるものの、一定程度のリアリティを有する。また、仮想空間内に作成・配置した建造物や道路付属物の一部を図5(b)(c)に示す。図5(b)は3.1で述べたUnityのアセットを用いて沿道の建造物や道路付属物を作成・配置したものである。それらの見た目は実在する建造物を再現できており、リアリティを有する。また、図5(c)はPLATEAUの3次元モデルによって作成・配置した建造物である。見た目のリアリティは捨象されるが、広範囲の建造物を短時間で容易に作成できた。

(2)自転車等の準備

3.3で説明したように、被験者は運転席からの前景を視聴し、バックミラーで自車の後方を確認することができる(図6)。また、自車の操作にはハンドルコントローラを用いる。そして、仮想空間内での運転席の視点と一致するようにディスプレイと椅子を配置する。また、出力される映像と視野が一致するように設定する。ここでは24インチのモニタを縦に4枚並べる構成とした(図7)。なお、必要な機材のうち、必ずしも一般的ではないものは、ハンドルコントローラと4枚の画像を出力できるグラフィックカードのみであり、比較的安価に調達可能である³⁾。

また、複数の他車の移動軌跡・速度・出現タイミングを設定し、リアルタイムで動作させるものとする。

4.2 実験例

以上で構築した簡易なDSと被験者の運転操作の様子を図7に示す。まず、被験者へのヒアリングから、現実に即した運転が違和感なく行えることを確認した。つぎに、構築したDSを用いて、運転行動を観測する実験を行った。以下でその実験について説明する。なお、詳細な実験条件や実験結果は発表時に報告する予定である。

実験では、車両の側方すり抜け行動を扱う。道路の上か

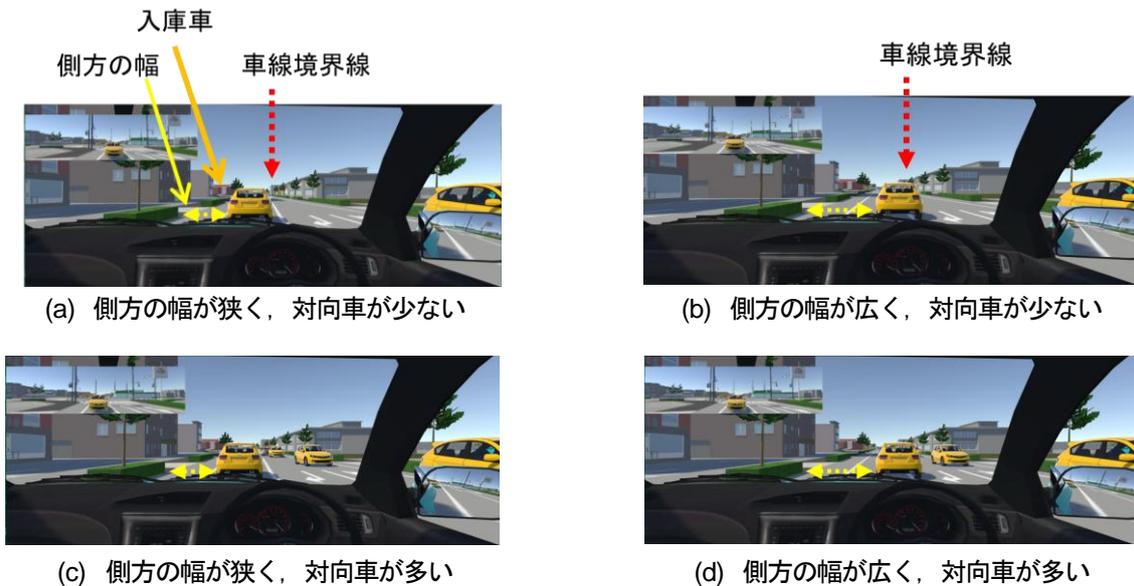


図8 実験の様子

ら右側の沿道路外施設へ進入する右折車は、対向車の間隙を利用する。そのため、道路上で一定時間停止することがある。すると、後続車は右折車の左側方を通過して直進する場合がある。このとき、車線幅・道路幅によっては、右折入庫車や路肩を走行する軽車両との接触のリスクがある。

後続車が側方すり抜けを行いやすい・行にくい条件が分かれば、安全対策上有効である。ただし、これを実空間の観測やデータで得ることは現実的でない。他車の移動経路や台数を任意に設定できるDSが有効な調査手法となる。そこで、右折車の停止位置と対向車の台数とが異なる条件で被験者に直進車を運転させて、側方すり抜けの実施有無を観測した(図8)。側方の幅は、右折車が車線境界線を跨ぐようにして停止するか否かで、その大きさが異なっている。また、対向車の台数の多少で、右折車の停止時間も異なっている。

5. おわりに

本稿では、DS実験がより多くの場面で用いられる環境の実現のために、従来の高機能なDSに対して簡易なDSという考え方を提示した。簡易なDSは、実験で行いたいことに応じた必要最低限の機能を有するものである。そのため、比較的小規模な設備で、オープンデータやオープンソースを用いて安価に構築可能である。まず、DSの既往の活用対象を概観し、実際にこのような簡易なDSで対応可能な実験が存在することを確認した。そのうえで、簡易なDSの普及に向けた課題のひとつは、構築方法が整理されていない点にあることを指摘した。そこで、簡易なDSの構築方法を体系的に整理し、個別のステップごとに説明した。再掲となるが、詳細はウェブ上の資料²⁾を参照されたい。さらに、実際に構築した簡易なDSと、そ

こで行った実験例を示した。著者らの取り組みを通して、DS実験が多様な研究・政策課題に対して容易に活用できる調査手法となることを期待したい。

なお、本稿では簡易なDSの構築方法を体系的に示したものの、各ステップでの具体的な方法は特定のソフトウェア等を用いる数種類しか示していない。著者らは本稿で示した方法が容易であると考えているが、ほかの方法との比較を行い、実験の目的に応じた複数の構築方法を共有知とする方向も有望だろう。また、簡易なDSが実際の運転環境をどの程度再現できているかの検証は不十分である。今後、被験者が感じる速度や加速度、使用するハンドルコントローラの操作感等の調整可能性を検討するなど、簡易なDSを用いた実験から得られる結果の信頼性を高めていくことも重要であろう。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費23K26218, 24K01004の助成を受けた。

補注

- *1 この調整には、開発環境で使用されているプログラミング言語に関する若干の知識が必要である。簡易なDSを目指すうえでの障壁となりうるが、任意の実験条件の生成のためには最低限必要な工程である。
- *2 *1同様である。
- *3 同程度に広い視野を確保できる大きなディスプレイが用意できれば、著者らが用いたようなグラフィックカードは不要である。広い視野を確保する必要がない場合も同様である。また、行いたい実験によっては、ハンドルコントローラも必須の機材ではない。

参考文献

- 1) Fayyaz, M., Bliemer, M.C.J., Beck, M.J., Hess, S. and van Lint, J.W.C. : Stated choices and simulated experiences: Differences in the value of travel time and reliability, Transportation Research Part C, Vol.128, 103145, 2021.
- 2) 国土交通省 : About | PLATEAU とは, PLATEAU by MLIT, <https://www.mlit.go.jp/plateau/about/>, 2025.05.01 アクセス
- 3) 株式会社ゼンリン : 3D 地図データ, ZENRIN 商品・サービス, <https://www.zenrin.co.jp/product/category/gis/contents/3d/index.html>, 2025.05.04 アクセス
- 4) Unity : Unity のリアルタイム開発プラットフォーム | 2D/3D、VR/AR エンジン, <https://unity.com/ja>, 2025.05.07 アクセス
- 5) Unreal Engine : Unreal Engine: 最も強力なリアルタイム 3D 制作プラットフォーム, <https://www.unrealengine.com/ja>, 2025.05.07 アクセス
- 6) 合田理人, 外井哲志, 大枝良直 : 車線規制渋滞時の交互合流定着に向けた情報提供によるドライバー心理と運転挙動の変化, 交通工学論文集, Vol.8, No.2, pp.A_82-A_90, 2022.
- 7) 岡崎泰勢, 高橋翔, 丸山凌平, 萩原亨 : Virtual Reality Driving Simulator を用いた市街地交差点における右折ドライバの横断歩行者認知に関する研究, 交通工学論文集, Vol.8, No.2, pp.A_185-A_193, 2022.
- 8) 篠田侑希, 中村一樹, 山田彩未 : 環境音が街路空間評価に与える影響分析, 都市計画論文集, Vol.58, No.3, pp.1546-1553, 2023.
- 9) 鈴木雅大, 大川博史, 中祖諒大, 櫻山和男 : 小型 GNSS 受信機を用いた水域環境における AR 可視化システムの構築, 土木学会論文集, Vol.79, No.22, 22-22013, 2023.
- 10) 松田知樹, 高橋亨輔, 井面仁志 : 水害の被災イメージ構築を支援する複合現実を用いた災害状況再現システムの開発, 土木学会論文集, Vol.80, No.22, 23-22019, 2024.
- 11) 古賀亮太郎, 柳沼秀樹, 寺部慎太郎, 康楠, 田中皓介 : ドライビングシミュレータを用いた大地震における運転行動解析, 交通工学論文集, Vol.6, No.4, pp.A_71-A_78, 2020.
- 12) 稲木万玲, 富山和也, 伊藤将光, 佐藤正和 : 車両乗員の生理反応に基づくストレス要因を考慮した路面変状評価, 土木学会論文集, Vol.79, No.21, 23-21019, 2023.
- 13) 石坂哲宏, 清水敬仁, 大川友也, 岸紗也都 : 道路冠水の情報提供による迂回路選択に関する研究, 交通工学論文集, Vol.11, No.2, pp.A_55-A_62, 2025.
- 14) 頓部真大, 浜岡秀勝, 萩原亨, 佐々木伸, 高木一誠 : 視線誘導標設置区間における帯状ガイドライトの機能評価, 交通工学論文集, Vol.8, No.4, pp.A_16-A_23, 2022.
- 15) 小山天城, 丸山喜久 : 地震後の道路交通状況と渋滞情報を反映した津波避難実験, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.74, No.4, pp. I_429- I_440, 2018.
- 16) FORUM8 : 製品情報 : UC-win/Road, <https://www.forum8.co.jp/product/ucwin/road/ucwin-road-1.htm>, 2025.05.01 アクセス
- 17) 小松香貴, 小根山裕之, 柳原正実 : 様々な信号制御方式を対象とした信号灯器位置と車両挙動の関係, 交通工学論文集, Vol.10, No.1, pp.A_324-A_332, 2024.
- 18) 中野結香, 中川晴賀, 嶋田喜昭, 樋口恵一, 三村泰広, 葉袋奈美子 : 路面装飾デザインの違いが自動車走行速度にもたらす影響 - ドライビングシミュレータの走行データ分析から -, 交通工学論文集, Vol.11, No.2, pp.A_188-A_196, 2025.
- 19) 井上卓磨, 田中伸治, 松行美帆子, 有吉亮 : VR を活用した反転インターチェンジにおける利用者挙動・意識分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.78, No.5, pp. I_789-I_798, 2023.
- 20) logitech : Logitech G29 Driving Force Steering Wheels & Pedals, Logitech G, <https://www.logitechg.com/en-us/products/driving/driving-force-racing-wheel.941-000110.html>, 2025.05.06 アクセス
- 21) mac-ky : build_DrivingSimulator, GitHub, https://github.com/mac-ky/build_DrivingSimulator.git