

ウォーカブルな空間設計のためのスマート・プランニング 技術検証レポート

Technical Report for Smart Planning Methods for Walkable Design



PLATEAU
by MLIT



目次

I. 実証概要	2		
1. 全体概要	3		
2. 実施体制	5		
3. 実証エリア	6		
4. スケジュール	7		
II. 実証技術の概要	8		
1. 活用技術	9		
2. UC-win/Road (VR作成ソフト)	10		
3. Shade3D (3Dモデル作成ソフト)	11		
4. QGIS	12		
5. 行列演算プログラミング言語 (GAUSS)	13		
III. 実証システム	14		
1. 実証フロー	15		
2. 業務要件	16		
3. アーキテクチャ全体図	17		
4. システム機能	19		
5. アルゴリズム	26		
6. データ	31		
① 活用データ	31		
② データ処理	37		
③ 出力データ	51		
		7. ユーザインタフェース	55
		8. システムテスト結果	57
IV. 実証技術の検証	59		
1. 都市空間の質的变化の影響評価	60		
① 検証内容	60		
② 検証結果	61		
2. 政策活用可能性の検証	69		
① 検証内容	69		
② 検証結果	71		
V. 成果と課題	72		
1. 今年度の実証で得られた成果	73		
① 3D都市モデルによる技術面での優位性	73		
② 3D都市モデルによる政策面での優位性	74		
2. 今後の取り組みに向けた課題	75		
用語集	76		

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

I. 実証概要 > 1. 全体概要

全体概要（1 / 2）

本実証の全体概要は以下のとおり。

ユースケース名	ウォーカブルな空間設計のためのスマート・プランニング
実施場所	東京都渋谷区道玄坂地区
目標・課題・創出価値	<ul style="list-style-type: none"> 近年、世界的にウォーカブルな空間の重要性が認識され、国内各地でも歩行者目線での街路空間の再編の取り組みが活発化している。他方、空間の質の変化を定量的に評価することは難しく、その変化が歩行者の行動変容に与える影響を予測する手法は未だ確立されていない。また、空間の将来像について関係者間で合意形成をするためには、施策効果をエビデンスとして定量的に示すとともに、関係者が共通のイメージを持つことが重要となるが、まだ見ぬ将来の姿を想像することは難しい。 3D都市モデルを用いたVR空間及び歩行者シミュレーションモデルを構築することで、街路空間の再編などの空間の質的变化に対する歩行者変化を予測・評価できる科学的手法を確立し、道路空間再編等の質的空間整備の事業推進へ貢献する。
ユースケースの概要	<p>今後計画されている渋谷区道玄坂の道路空間再編の将来イメージを3D都市モデルを用いてバーチャル空間に構築。これを用いたVRアンケートを実施し、空間再編後の道玄坂への訪問意向の変化を把握する。アンケート結果や現状の人流データ、沿道建物の属性情報を取り込んだシミュレーションモデルの構築により、歩行空間再編による人流変化を予測し、施策効果をビジュアルと定量評価の両面からわかりやすく可視化する。</p>

I. 実証概要 > 1. 全体概要

全体概要 (2/2)

本実証の全体概要は以下のとおり。

実証仮説	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用することで、都市の変化をビジュアルに示すVR空間（3Dパース）を効率的に作成する。 作成したVR空間を利用したアンケートを実施することで、施設配置や歩行空間等の質を変化させた際の歩行者の回遊行動の変化を把握し、シミュレーションモデルを構築する。 構築したシミュレーションモデルを用いた結果を再度VR空間で再現することで、まちづくりの効果を定量的に分析可能とする。
検証ポイント	<ul style="list-style-type: none"> i) VR活用によるアンケート被験者の印象評価 <ul style="list-style-type: none"> アンケート被験者の空間の質的変化の体験・イメージしやすさ ii) モデル化による定量的な解析の有効性評価 <ul style="list-style-type: none"> 道路空間再編時の歩行者交通量の変化 経路選択モデルの精度（経路選択モデルの適合性（尤度比）、説明変数の有意差（t 値）） 歩行者シミュレーション結果にもとづく歩行者交通量をVR空間（クラウド環境）に可視化。 iii) VR利活用推進のための3D都市モデルの有効性評価 <ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用した場合とそうでない場合のVR作成コストの違い

I. 実証概要 > 2. 実施体制

実施体制

本実証の実施体制は下表および下図のとおり。

表 各主体の役割

主体	役割
パシフィックコンサルタンツ株式会社	<ul style="list-style-type: none"> データ整備 3D都市モデルよりデータ抽出 歩行者移動実態データ整理 システム開発・検証 アンケート設計 シミュレーションモデル構築 道路空間再編後の歩行者交通量推計 QGISプラグイン開発
株式会社フォーラムエイト	<ul style="list-style-type: none"> VR/可視化対応
渋谷区土木部	<ul style="list-style-type: none"> 実証エリア提供 渋谷区道玄坂地域
株式会社三菱総合研究所	<ul style="list-style-type: none"> プロジェクトマネジメント

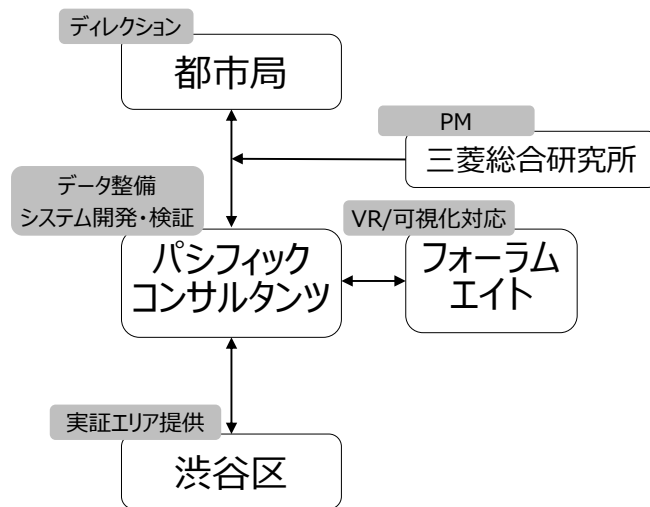


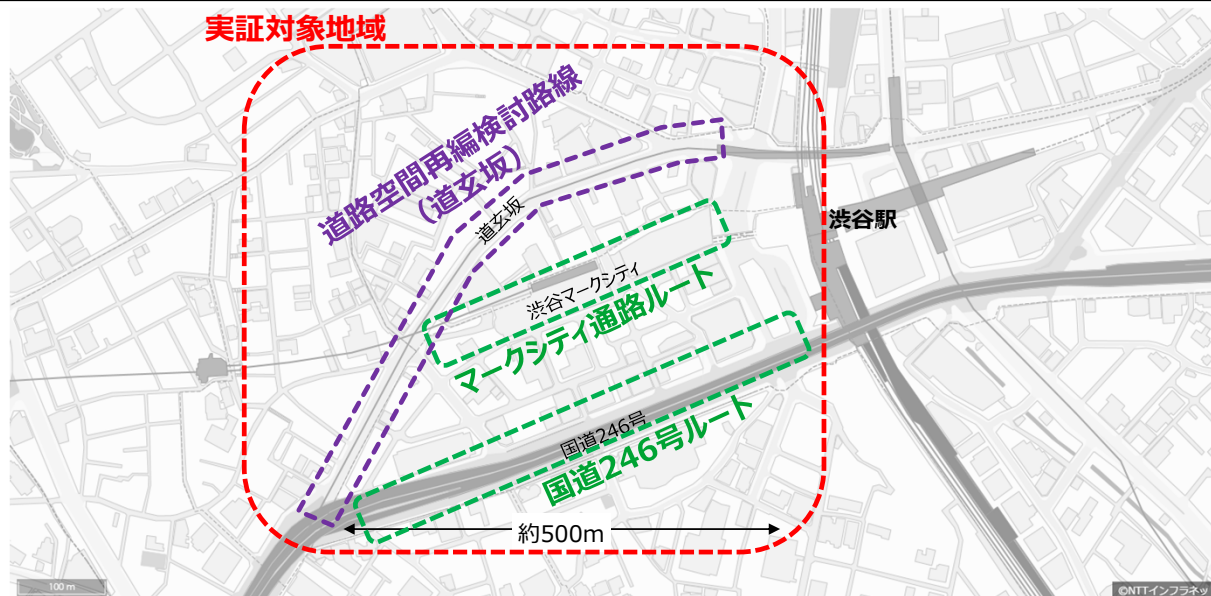
図 実施体制図

I. 実証概要 > 3. 実証エリア

実証エリア

本実証は、渋谷区が大山街道整備事業で検討路線としている道玄坂を含むエリアとして、東京都渋谷区の渋谷駅西側の500m程度の地域を対象として実施した。

東京都渋谷区 道玄坂地域



I. 実証概要

4. スケジュール

本実証は以下のスケジュールに沿って実施した。

実施事項	令和4年											令和5年		
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
1. 社会課題解決型ユースケース開発の検討	→													
2. ユースケース開発の実証計画の策定		→	→	→										
3. ユースケース開発の実証														
ア) データの収集・取得		→	→	→	→									
イ) システム開発														
① VRの作成			→	→	→	→	→	→						
② VRアンケートの構築・実施				→	→	→	→	→	→	→				
③ 歩行者行動モデルの構築							→	→	→	→	→			
ウ) ユースケース開発の実証														
① シミュレーションの実施									→	→	→			
② 予測結果の可視化										→	→	→		
③ 予測結果の活用											→	→		
4. 業務報告書の作成											→	→	→	

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

Ⅱ. 実証技術の概要 > 1. 活用技術

活用技術 | 一覧

活用技術	内容
1. UC-win/Road	CityGML形式の3D都市モデルや地理院タイルの地形メッシュ、航空写真等のオープンデータをベースとしてVR空間を作成するために使用。
2. Shade3D	3D形状のモデリング、レンダリング、アニメーション、3Dプリントなどに対応した3DCGソフトウェア。建物の修正、マークシティ内部の空間の作成、路上配置物の作成等の3Dモデル編集に使用。
3. QGIS	オープンソースのGISソフトであり、地理空間情報の作成、編集、解析が可能であるほか、各種プラグインを活用することにより機能の拡張が可能。3D都市モデルから沿道建物データを取得するために使用。
4. 行列演算プログラミング言語 (GAUSS)	行列を高速に計算できるプログラミング言語で、科学、工学、統計、生物測定、計量経済、財務分析などの幅広い分野で利用されている。経路選択モデルのパラメータ推定に利用。

Ⅱ. 実証技術の概要 > 2. UC-win/Road (VR作成ソフト)

UC-win/Road (VR作成ソフト)

CityGML形式の3D都市モデルをベースとしてVR空間を作成するために使用した。

概要

項目	内容
名称	UC-win/Road
概要	<ul style="list-style-type: none"> 3次元VRを簡単なPC操作で作成、利用できるソフトウェア
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> CityGML形式の3D都市モデルや地理院タイルの地形メッシュ、航空写真等のオープンデータをベースにVR空間を作成 3次元空間をリアルタイムで操作でき、道路計画、設計や、公共事業・開発全などの合意形成コミュニケーションツールなどに活用
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデル (CityGML形式) の読み込み 道路線形および道路断面構造の入力、路上配置物の追加 移動する歩行者の表現

UC-win/Roadで作成したVR



建築物モデルLOD 2データ (CityGML形式) をUCwin/Roadで読み込んでインフラ情報※1を重ね合わせ、建物等編集※2

※1 路面、街路樹、標識、信号機、街路灯、花壇、ポード、横断防止柵など

※2 フォーラムイト社製Shade3D Ver.23を利用 (次ページ参照)

Ⅱ. 実証技術の概要 > 3. Shade3D (3Dモデル作成ソフト)

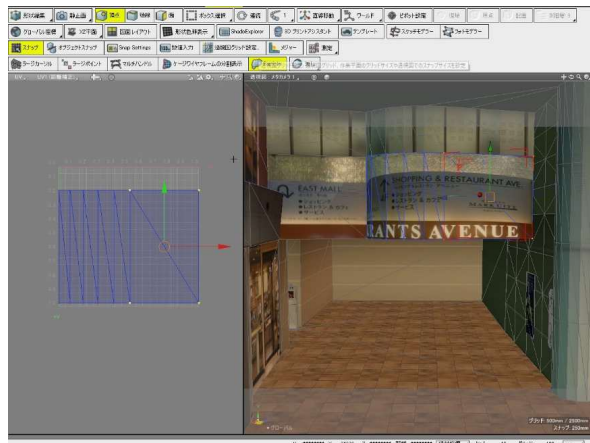
Shade3D (3Dモデル作成ソフト)

建築物の修正、マークシティ内部の空間の作成、路上配置物の作成等の3Dモデル編集に使用した。

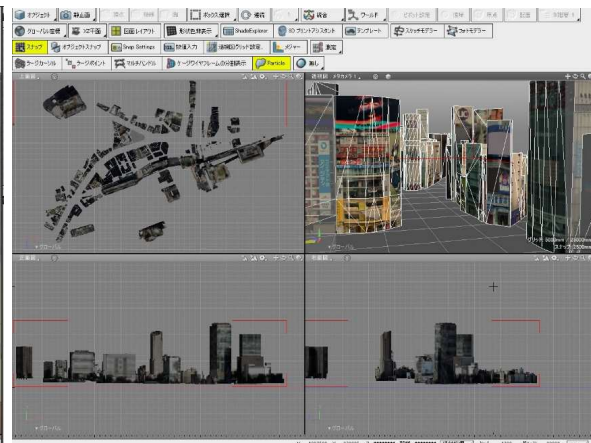
概要

Shade3Dで実施した3Dモデル編集画面

項目	内容
名称	Shade3D
概要	<ul style="list-style-type: none"> 3D形状のモデリング、レンダリング、アニメーション、3Dプリントなどに対応した3DCGソフトウェア
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> 3DCG制作のモデリング、材質設定、照明、アニメーション、レンダリングなど
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> 3D形状のモデリング テクスチャのUV座標の編集 テクスチャ画像の貼り付け



マークシティ内部のモデリング



建築物モデルの編集

Ⅱ. 実証技術の概要 > 4. QGIS

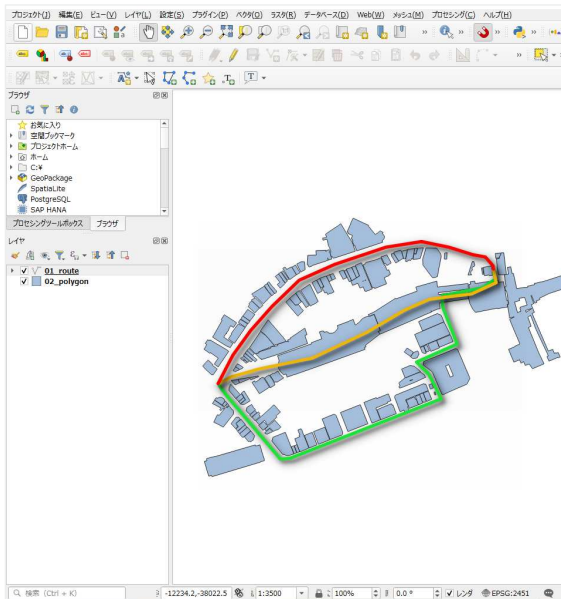
QGIS

3D都市モデルから経路沿道の建物データを取得するために使用した。

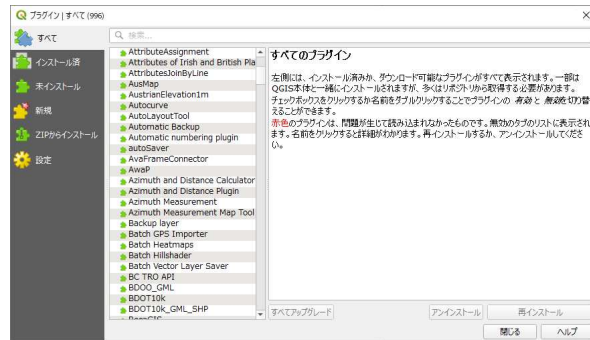
概要

項目	内容
名称	QGIS
概要	<ul style="list-style-type: none"> オープンソースのGISソフトウェア
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> 地理空間情報の作成、編集、解析 各種プラグインを活用することによる機能拡張
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> CityGMLの加工 経路沿道建物の抽出 属性データの取得

QGISの利用イメージ



QGIS上での地物の表示



導入可能なプラグイン

Ⅱ. 実証技術の概要 > 5. 行列演算プログラミング言語 (GAUSS)

行列演算プログラミング言語 (GAUSS)

プログラムを構築し、シミュレーションモデルのパラメータを推定するために使用した。

概要

GAUSSによるパラメータ推定

項目	内容
名称	行列演算プログラミング言語 (GAUSS)
概要	<ul style="list-style-type: none"> 行列を高速に計算できるプログラミング言語 科学、工学、統計、生物測定、計量経済、財務分析などの幅広い分野で利用
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> 四則演算、行列やベクトルの演算 統計分析 データのグラフ表示
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> 尤度関数を最大化するパラメータの計算

```

GAUSS 64
File Edit Search Font Options Window Help
Debug Run J:\khhbaoprogmod2.ht
State Edit J:\khhbaoprogmod2.ht

***** 関数定義 *****
clear do,mark,ROBE;
clear srfrin1,prob,bb,para;
clear sel1,of;
clear do,mark2,ROBE2;
clear srfr2,prob2;
clear sel2,of2;

***** 関数定義 *****
open f1:c:\khhbaodata\data; r1=read(f1,10000);f1=close(f1);
open f2:c:\khhbaodata\data; s1=read(f2,10000);f2=close(f2);
open f3:c:\khhbaodata\data; s2=read(f3,10000);f3=close(f3);
open f4:c:\khhbaodata\data; s3=read(f4,10000);f4=close(f4);

***** 関数定義 *****
*#*#*# 関数定義 *****
*#*#*# 関数定義 *****
format %f %10.4;
library math;
#include mathlib.est;
*#*#*# 関数定義 *****

output files:c:\khhbaodata\out.out;
--outofout;
repmat(1,1,2);
*#*#*# 関数定義 *****
z1=rc;
proc f1(b,2);
*#*#*# 関数定義 *****
do; mark=bl; *#*#*# 関数定義 *****
mark=mark; *#*#*# 関数定義 *****
ROBE=mark2; *#*#*# 関数定義 *****
*#*#*# 関数定義 *****
*#*#*# 関数定義 *****
endproc f1;
endedit c:\khhbaoprogmod2.ht
  
```

パラメータ推定のために作成したプログラム

```

GAUSS 64
File Edit Search Font Options Window Help
Debug Run J:\khhbaoprogmod2.ht
State Edit J:\khhbaoprogmod2.ht

return code = 0
normal convergence
Mean log-likelihood -0.804871
Number of cases 1000
Covariance matrix of the parameters computed by the following method:
Inverse of computed Hessian

Parameters Estimates Std. err. Est./S.e. Prob. Gradient
-----
P01 1.0062 0.1090 9.219 0.0000 0.0000
P02 -1.5204 0.1807 -7.298 0.0000 0.0000
P03 -4.8223 2.6428 -1.825 0.0340 -0.0000
P04 -0.5727 0.1267 -4.526 0.0016 -0.0000
P05 0.8077 0.4578 1.782 0.0237 0.0000
P06 0.5166 0.2220 2.326 0.0190 0.0000

Correlation matrix of the parameters
-----
1.000 0.057 -0.004 0.018 -0.051 0.002
0.057 1.000 0.062 -0.024 -0.012 0.776
-0.004 0.062 1.000 -0.364 -0.004 -0.001
0.018 -0.024 -0.364 1.000 -0.007 -0.001
-0.051 -0.012 -0.004 -0.007 1.000 -0.013
0.002 0.776 -0.001 -0.001 -0.013 1.000

Number of iterations 44
Minutes to convergence 0.02400
L(0) = -1757.780
L(1) = -1921.473
p = 2, = 0.268
p = 2 = 0.264
(gauss)
  
```

プログラムを実行するとパラメータとt-値、モデルの精度を示すp2値が算定

パラメータ推定結果

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題



Ⅲ. 実証システム > 1. 実証フロー

実証フロー

本実証では3D都市モデルを活用して歩行者行動モデルを構築し、予測結果を可視化する一連の手法を開発し、開発した手法について自治体や学識経験者と意見交換をし、まちづくりの現場での活用可能性や課題を分析する。

都市空間データ
人流データの収集・取得

- 3D都市モデルから沿道建物の都市空間データを収集・取得。
- Wi-Fi統計データ（データ購入）からゾーン間ODデータ（ODはOrigin（出発地） Destination（目的地）の略、詳細は用語集参照）を収集・取得。
- 渋谷区過年度調査結果（渋谷区提供）から、歩行者断面交通量データを収集・取得。

空間再現
（3D都市モデルを活用
したVR作成）

- 3D都市モデルをもとに、UC-win/Roadを用いて道路インフラ情報等を追加した道玄坂の現況及び空間再編時のVRを作成（空間再編パターンは3パターン（歩道拡幅、歩道拡幅+オープンカフェ、歩行者天国））。
- あわせて、道玄坂空間再編時の利用意向の比較対象となる国道246号、マークシティ内通路のVRを作成。

空間再編後の
利用意向の把握

- 渋谷駅周辺の来訪者を対象に、道玄坂の空間再編後の利用意向を把握するためのVRアンケート調査（経路選択行動の変化、目的地選択行動の変化）を実施。

歩行者行動モデル構築

- 人流データや利用意向調査データを用いて、道玄坂の空間再編後の「経路選択行動」と「目的地選択行動」の変化量を予測するための歩行者行動モデルを構築。
- 空間再編パターン別に歩行者交通量の変化量を推計。

予測結果の可視化

- 空間再編時の歩行者交通量推計結果を、3D都市モデルを活用したVRを作成し、可視化。

自治体・学識経験者
との意見交換

- 自治体向けに3D都市モデルを活用して歩行者行動モデルを構築し予測結果を可視化する一連の手法を報告し、まちづくりの現場での活用可能性と課題について意見交換。
- 学識経験者と実証実験で構築した歩行者行動モデルの有用性について意見交換。



Ⅲ. 実証システム > 2. 業務要件

業務要件 | 道路空間再編の計画策定プロセス

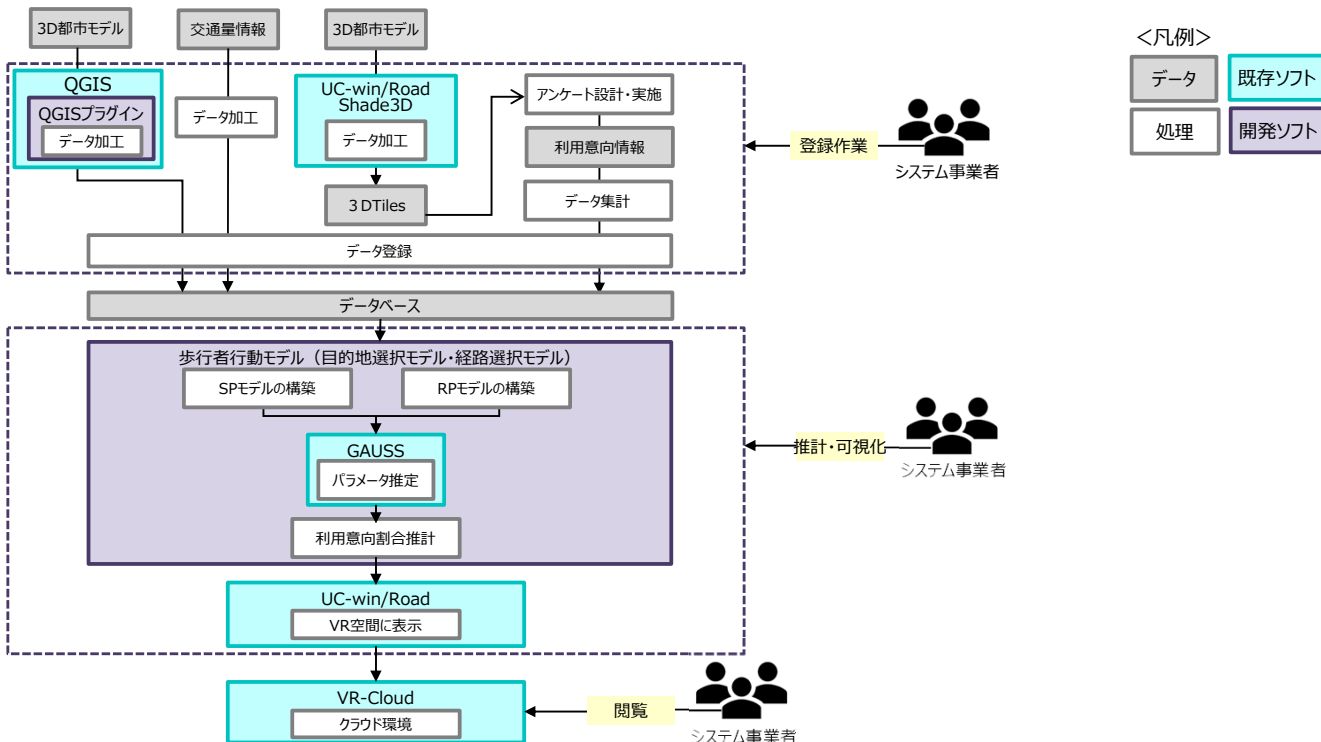
道路空間の再編の計画策定は、地域住民や交通管理者等の多数のステークホルダーとの合意形成を図りながら、地域ニーズに即した魅力的な空間の在り方を具体化するプロセスを取る。本実証は特に②～④のプロセスにおいて、活用を意図している。

項目	実施主体	内容
①コンセプト策定	自治体	自治体の上位計画に基づき、歩行者中心のにぎわいあるみちづくり等、道路整備のコンセプトを策定する。
②道路の将来像の検討	自治体	コンセプト実現のための道路の将来像を検討し、案を作成する。
③関係者協議	自治体・地域住民・ 交通管理者・ 学識経験者・ 物流事業者 等	自治体が主導して道路の将来像の案を検討した上で、地域住民との勉強会、道路管理者との協議、学識経験者を含む委員会等に提示し、意見交換をした上で合意形成を図る。 道路の将来像の検討にあたり、将来像の空間イメージや、道路整備による歩行者の行動の変化（来訪者がどの程度増加するか等）が論点となる。
④道路の将来像～ 関係者協議の繰り返し	同上	道路の将来像について合意形成できるまで検討と関係者協議を繰り返す。
⑤道路の将来像の決定	自治体	関係者と合意形成をし道路の将来像を決定する。

Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

システムアーキテクチャ全体図

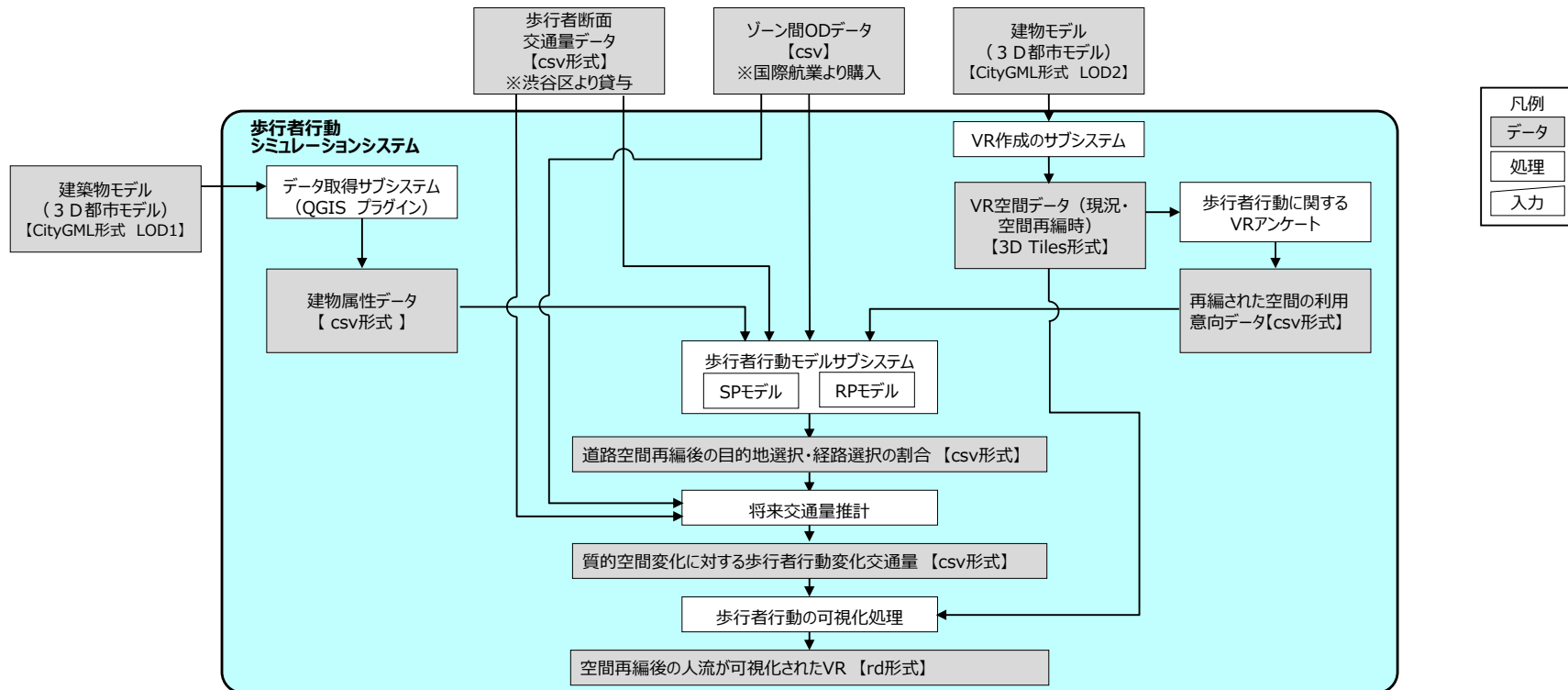
実証システムのシステムアーキテクチャ全体図を以下に示す。



Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

データアーキテクチャ全体図

実証システムのデータアーキテクチャ全体図を以下に示す。



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能

本実証で開発したシステム機能の一覧は以下の通り。

機能名	説明
【システム機能①】 QGISプラグインによる沿道建物属性データ等の取得	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルの建築物モデルLOD1から、対象ルート沿道の建物情報（計測高さ、図上面積、建物用途）を効率的に抽出するためのプラグイン。 QGIS上に表示している任意のベクタレイヤから基準とする経路レイヤと集計対象とするポリゴンレイヤを選択し、経路レイヤを基準として指定の距離内にある対象レイヤの属性値を集計し、経路レイヤデータに付与したshp形式のデータを作成。
【システム機能②】 歩行者シミュレーションシステム	<ul style="list-style-type: none"> 人流データなどのRPデータと空間再編後の選択意向などのSPデータをインプットデータとし、「a)経路選択行動（＝道玄坂を経路として利用する交通量の増減）」と「b)目的地選択行動（道玄坂を目的地とする交通量の増減）」の2種類の予測手法により、空間再編後の歩行者交通量の変化を予測。
【システム機能③】 歩行者シミュレーション結果の可視化	<ul style="list-style-type: none"> UC-win/Roadを用いて、道路の平面・縦断線形、地点ごとの横断面形状を定義することで道路の3次元形状を生成。生成された道路上に横断防止柵、街路灯や街路樹などを任意の位置に配置し3次元空間やインフラ情報を可視化。 UC-win/Roadの歩行者ネットワーク機能を使用し、歩行者シミュレーション結果をもとにした歩行者が動いている状況をアイレベルで移動しながら確認できるようVR上に可視化。

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

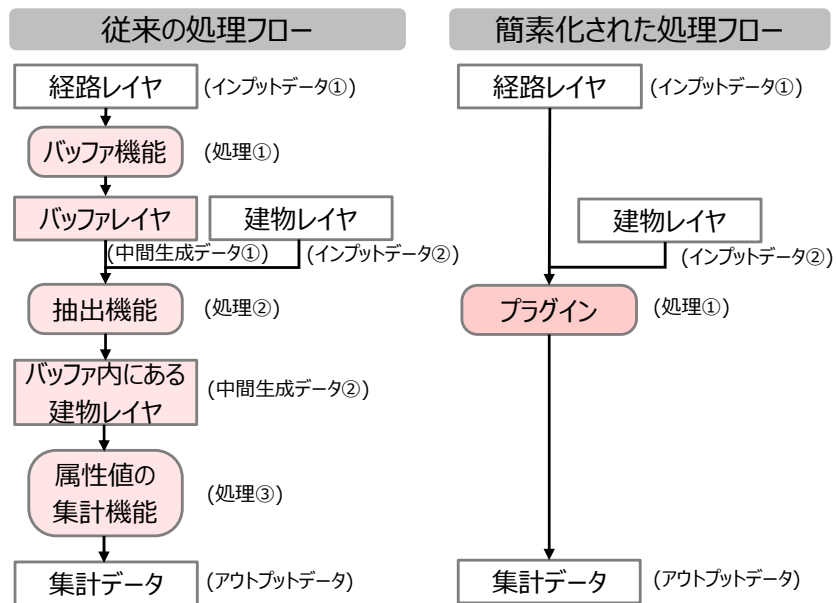
① QGISプラグインによる沿道建物属性データ等の取得

3D都市モデルの建築物モデルLOD1から、対象ルート沿道の建物情報（計測高さ、図上面積、建物用途）を効率的に抽出するため、QGISにて操作可能な変数取得のプラグインをPythonにて作成。

プラグインの提供機能と解決課題

項目	内容
提供機能	QGIS上に表示している任意のベクタレイヤから基準とする経路レイヤ（ラインレイヤまたはポリゴンレイヤ）と集計対象とするポリゴンレイヤを選択し、経路レイヤを基準として指定の距離内にある対象レイヤの属性値を集計し、経路レイヤデータに付与したデータ【shp】を作成。
課題	従来のQGISの基本的な機能では、複数の機能による処理（経路データを基準としたバッファ作成、作成したバッファ内の地物の抽出、抽出した地物の集計）を順番に実施する必要がある。機能ごとに処理方法の設定が必要なほか、処理の途中で生成されるデータが多数発生するため、試行回数を増やすほど管理が煩雑化。
解決方法	複数処理を一括で行うプラグインを作成し、設定の手間と中間生成データを削減し、抽出作業を効率化。

プラグインによる処理フローの簡素化

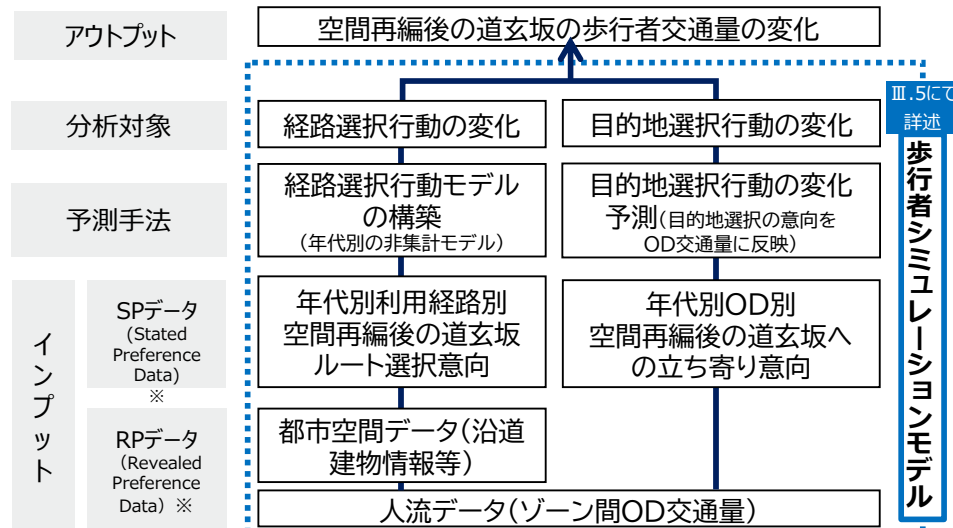


Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

② 歩行者シミュレーションシステム

人流データなどのRPデータと空間再編後の選択意向などのSPデータをインプットデータとし、「a)経路選択行動（道玄坂を経路として利用する交通量の増減）」と「b)目的地選択行動（道玄坂を目的地とする交通量の増減）」の2種類のシミュレーションモデルを作成し、空間再編後の歩行者交通量の変化を予測するシミュレーションシステムを構築。

シミュレーションのフレーム



※RPデータ：実際の行動等に基づくデータ（例：パーソナルトリップ調査データなど）
 SPデータ：仮想状況における選択に基づくデータ(例：新規路線導入時の利用意向アンケート)

シミュレーションの実装方法

- 人流データや建物情報データ、空間再編後の利用意向データをインプットデータとして、Excelを用いて歩行者交通量変化量を演算。

インプット・アウトプットデータ

○インプットデータ

- 人流データ[CSV形式]：OD経路（ゾーン記号）別、年齢階層（10代,20代,等）別の交通量（数値）データ
- 建物情報データ[CSV形式]：経路（道玄坂,マークシティ等）別の店舗数（数値）,建物面積（数値）等データ
- 空間再編後の利用意向データ[CSV形式]：年齢階層（10代,20代,等）別の道玄坂訪問頻度（数値）データ

○アウトプットデータ

- 道路空間再編後の属性別歩行者交通量の変化量[CSV形式]：再編パターン（歩道拡幅,オープンカー等）別歩行者交通量（数値）

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

③歩行者シミュレーション結果の可視化

UC-win/Roadの以下の機能を用いて、道路空間及び歩行者行動を可視化。

可視化対象		可視化手順	UC-win/Roadの利用機能
道路空間	道路	道路の三次元形状の生成する。	平面線形の入力、縦断線形の入力、横断面形状の作成
		車道、縁石、歩道等の要素毎のテクスチャを設定する。	道路横断面の編集
	道路付属物	3Dオブジェクトを、道路上の位置（起点からの距離、左右方向のオフセット量等）を指定して配置。花壇、ポラード、横断防止柵についてはShade3Dで新規作成し、3DS形式でインポートし配置、その他の素材（街路樹、標識、信号機、街路灯、テーブル等）はUC-win/Roadのサンプル素材(RoadDB)を配置。	道路付属物の配置、3DSモデル読み込み、RoadDBダウンロード
歩行者行動	歩行者	人物モデル（キャラクター）指定、景観パターンごとの人数設定、キャラクターごとの出現比率の設定、歩行速度設定を行う。	歩行者プロフィールの編集、歩行者の生成、O/Dマトリックス
	歩行者の経路	歩行者の経路設定（起点と終点のノードの指定）を行う。	歩行者ネットワーク（パスウェイ、ノード、O/Dマトリックス）

Shade3Dの以下の機能を用いて、道路付属物オブジェクトを作成。

可視化対象		可視化手順	Shade3Dの利用機能
道路空間	道路付属物	花壇、ポラード、横断防止柵について、現地の写真を基に3Dオブジェクトを作成し、3DS形式にエクスポートする。	モデリング、形状作成、テクスチャ貼り付け（UV編集）、3DS形式エクスポート

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

③歩行者シミュレーション結果の可視化 | 道路空間の可視化

UC-win/Roadを用いて道路及び道路付属物の仕様を設定し、道路空間を可視化。

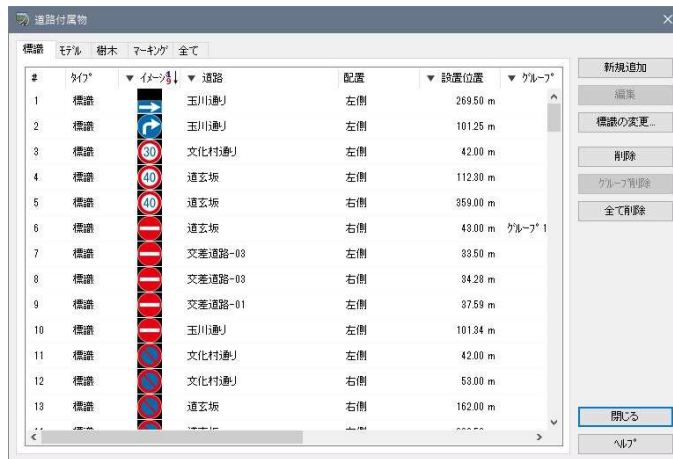
道路の可視化方法

- UC-win/Roadでは、道路の平面・縦断線形、地点ごとの横断面形状を定義することで道路の3次元形状が生成される。
- 1道路を構成する車道、縁石、歩道といった要素ごとにテクスチャを設定し、景観としての道路の表現を行った。



道路付属物の可視化方法

- 生成された道路上に3Dモデルを配置し、路上の景観を構築した。
- 横断防止柵、街路灯や街路樹などの3Dモデルを選択し、任意の位置をクリックもしくは道路上の距離を指定し一定間隔で配置した。
- 標識は画像の大きさと位置を指定することで支柱とセットで生成した。
- 道路構造に合わせて配置パターンを複数用意し、切り替え設定を行った。



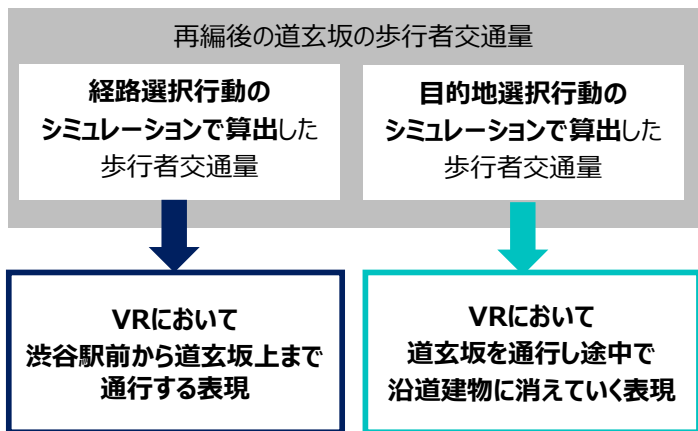
Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

③歩行者シミュレーション結果の可視化 | 歩行者行動の可視化

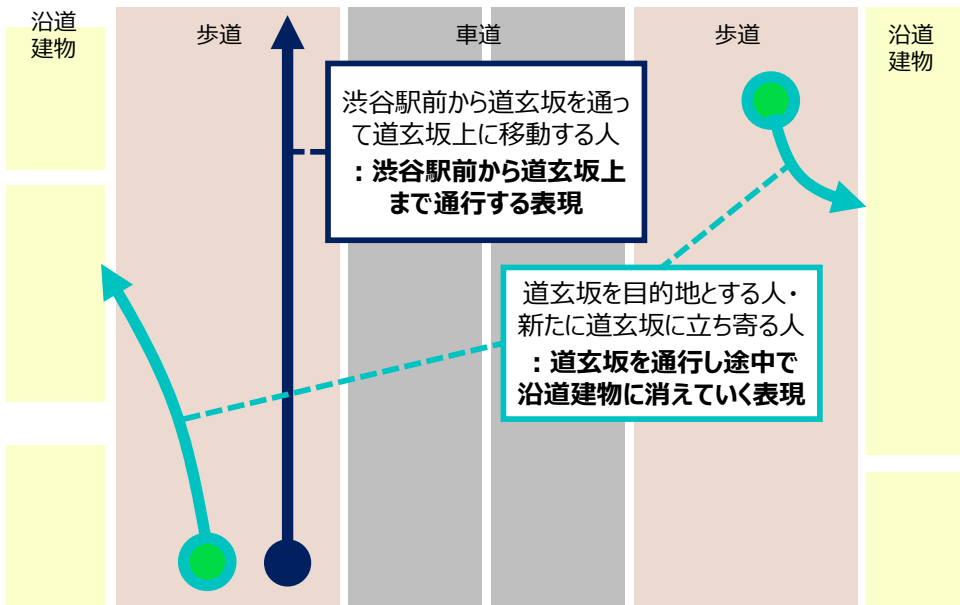
歩行者シミュレーション結果をもとにした歩行者が動いている状況をアイレベルで移動しながら確認できるよう可視化。

歩行者行動の可視化の表現の使い分け

- 可視化にあたっては、歩行者行動の動きにリアリティを持たせるため、道玄坂を通過する人と沿道建物に立ち寄る人に分け、沿道建物に立ち寄る人は、道路の途中で沿道建物に消えていく表現とする。



歩行者行動の可視化のイメージ



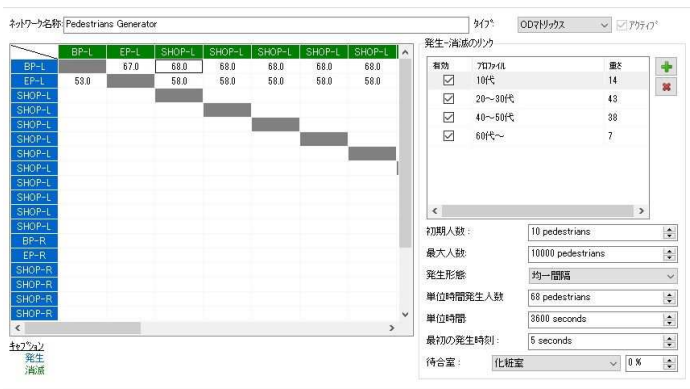
Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

③歩行者シミュレーション結果の可視化 | 歩行者行動の可視化

UC-win/Roadの歩行者ネットワーク機能を使用し、歩行者シミュレーション結果をVR上に可視化。

歩行者の可視化方法

- 歩行者交通量は10代、20～30代、40～50代、60代～の4段階に分けて個別にO/Dマトリクスを設定。
- 1時間当たりの通過人数が対象区間の両端から一定間隔で進入するように設定し、歩行者密度を再現。
- 一定の割合で店舗へ入る歩行者を設定し、沿道立寄歩行者の割合を反映。



O/Dマトリクス設定で目的地別歩行者交通量、年代別割合を入力

歩行者経路の可視化方法

- 歩道の起点、終点及び各店舗に、歩行者の発生点/消滅点（出発地/目的地）を設定（歩道両側）。
- 歩道から外れて沿道の店舗へ入るパスウェイを20～40m間隔で設定。



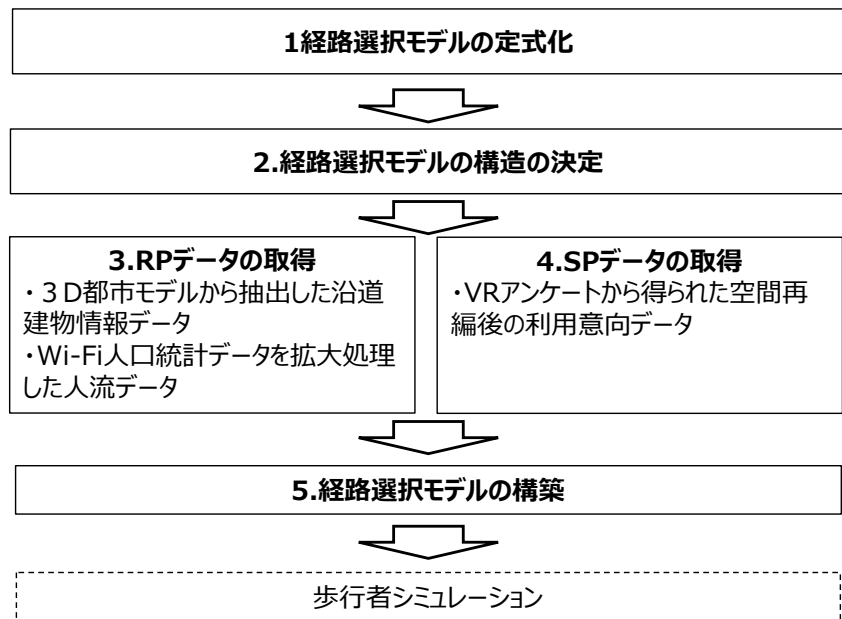
空間再編パターンに応じた歩行パスを設定し
歩行者交通量を反映

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

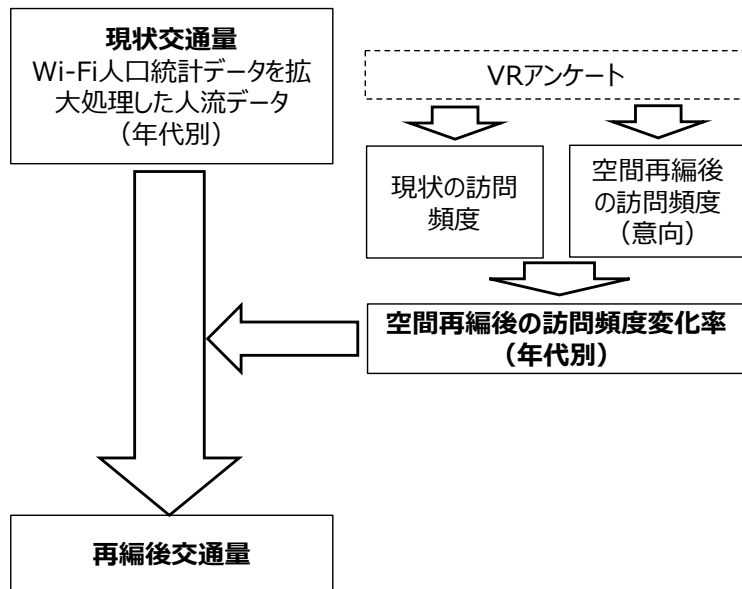
歩行者シミュレーションモデル | モデルの構成

本実証で構築した歩行者シミュレーションモデルは、「経路選択行動モデル」と「目的地選択行動の変化予測」から構成される。歩行者シミュレーションモデルを含む歩行者シミュレーションシステムについてはⅢ.4②を参照。

経路選択行動モデルの構築フロー



目的地選択行動の変化予測フロー



Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

歩行者シミュレーションモデル | 経路選択行動モデルの構築

経路選択行動の変化を、アンケート結果、実態の人流、3D都市モデルから抽出した沿道建物情報によりモデル化。

1. 経路選択モデルの定式化

- 交通需要予測等で用いられる非集計行動モデルを活用した経路選択モデルを構築する。

<経路選択モデルの定式化>

個人 n が経路の選択肢から i という代替案を採用したときに得られる効用を U_{in} と定義する。

$$U_{in} = \beta_1 X_{1n} + \beta_2 X_{2n} + \dots + \beta_k X_{kin} + \varepsilon_{in}$$

効用 U_{in} は決定的な要素項 V_{in} と変動的要素 ε_{in} の2つから定義できる。

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in}$$

誤差項 ε_{in} にロジスティック分布を仮定した非集計ロジットモデルを採用する。代替案が i と j がある場合、代替案 i の選択確率は以下で定義される。

$$P_n(i) = \exp(\mu V_{in}) / (\exp(\mu V_{in}) + \exp(\mu V_{jn}))$$

2. 経路選択モデルの構造の決定

- 経路選択モデルの数式を以下の通り定式化する。
- 説明変数は、物理的なデータから入手できるRPデータと、空間再編による利用意向等のSPデータを組み合わせて作成を行う。
- 幅員、距離等はRPデータから、道玄坂空間再現後の利用意向、オープンカフェ等々はVRアンケートから取得する。

$$P_{\text{道玄坂}} = \exp(U_{\text{道玄坂}}) / \exp(U_{\text{道玄坂}} + U_{\text{マークシティ}} + U_{246})$$

$$U_{\text{道玄坂}} = \alpha (\text{歩道幅員}) + \beta (\text{距離})$$

$$+ \delta (\text{沿道商業店舗密度})$$

$$+ \sigma (\text{オープンカフェ実施有無})$$

- $P_{\text{道玄坂}}$: 道玄坂経路の選択確率
- $U_{\text{道玄坂}}$: 道玄坂経路の効用
- $U_{\text{マークシティ}}$: マークシティ内経路の効用
- U_{246} : 国道246号経路の効用
- $\alpha, \beta, \delta, \sigma$: 各説明変数のパラメータ

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム 歩行者シミュレーションモデル | 経路選択行動モデルの構築

経路選択行動の変化を、アンケート結果、実態の人流、3D都市モデルから抽出した沿道建物情報によりモデル化。

3.RPデータの取得

- プラグインを活用して複数の歩行経路情報、建物情報を取得。

変数	変数の説明	取得方法
歩道幅員 (説明変数)	歩道幅員が広い方が効用が高いと考えられる	計画情報により取得
出発地から目的地までの経路の長さ (説明変数)	経路別の移動距離。経路が短いほど効用が高いと考えられる	プラグインにて取得
沿道建物棟数 (説明変数)	沿道建物の棟数	プラグインにて取得
沿道建物平均面積 (説明変数)	沿道建物の平均面積	プラグインにて取得
沿道建物平均高さ (説明変数)	沿道建物の平均高さ	プラグインにて取得



(RPデータ)

プラグインを活用し、経路別の延長、沿道建物数、沿道平均面積、沿道平均高さを取得。歩道幅員は、計画情報より、拡幅等の幅員を抽出。

4.SPデータの取得

- SPデータは、アンケートの意向結果等から取得。

変数	変数の説明	取得方法
経路選択結果 (目的変数)	空間再編によるルート選択結果 (道玄坂・246・マークシティ)	VRアンケート等により取得
オープンカフェの実施の有無 (説明変数)	オープンカフェの実施による経路選択の違いを反映	VRアンケート等により取得
歩行者天国実施の有無 (説明変数)	歩行者天国実施による経路選択の違いを反映	VRアンケート等により取得
年代 (説明変数)	年代の違いにより経路選択の違いを反映	VRアンケート等により取得
目的 (説明変数)	目的の違いにより経路選択の違いを反映	VRアンケート等により取得



(SPデータ)

アンケート結果から、選択ルート (道玄坂)、個人属性 (回答者の年齢 (30歳)、移動目的 (買い物) を取得)

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム 歩行者シミュレーションモデル | 経路選択行動モデルの構築

経路選択行動の変化を、アンケート結果、実態の人流、3D都市モデルから抽出した沿道建物情報によりモデル化。

経路選択モデルの構築

- 入手したSP・RPデータをもとに経路選択モデル構築データをセット。

データ入手情報

RPデータ	SPデータ
歩道幅員	経路選択結果 (目的変数)
出発地から目的地までの経路の長さ	歩行者天国実施の有無
沿道建物棟数	オープンカフェの有無 (説明変数)
沿道建物平均面積	移動目的
沿道建物平均高さ	年齢

モデル構築のためのデータセット

個人番号	目的変数	説明変数 (RPデータ)					説明変数 (SPデータ)		
		幅員	経路長	建物棟数	建物平均面積	建物平均高さ	オープンカフェの有無	歩行者天国実施の有無	個人属性 (若者ダミー、...)
1	道玄坂	7	500	50	.	0	0	1	
2	246	3				0	0	0	
3	マークシティ					0	0	0	

<パラメータ推定用プログラム (抜粋) >

```
@--パラメータ名--@
let_max_parms=
"1"
;
@---パラメータの初期値---@
start=zeros(6,1);
{b,ff,gg,cov,retcode}=maxlik(z,0,&li,start);
call maxprf(b,ff,gg,cov,retcode);

L0 = li(start z);
L0 = sumc(L0);
Lb = li(b,z);
Lb = sumc(Lb);
print "L(0) = ",L0;
print "L(b) = ",Lb;
print "p^2 = ",(L0-Lb)/L0;
print "p^2 = ",(L0-(Lb-rows(start)))/L0;

output off;

create fpara=c:$shibuya$output%out.dat with
x,1,3;
p1=writer(fpara,para);
fpara=close(fpara);

end;
```

- 説明変数を取捨選択し、GAUSSを活用してパラメータを推計。最終的に有意なモデルを構築(右表の変数)。

(モデルの解説)

- 歩行者密度 (歩行者交通量/有効幅員)が高まると選択率は低下⇒有効幅員が広がると選択率が高まる傾向
- 若者・移動目的が私事の場合が選択率が高くなる傾向

$$U_{道玄坂} = -4.823 (\text{歩行者密度 (人/100m)}) - 0.374 (\text{オープンカフェダミー}) + 0.908 (22歳以下ダミー) + 0.517 (\text{私事目的ダミー}) + 1.006 (\text{定数項})$$

$$U_{マークシティ} = -4.823 (\text{歩行者密度 (人/100m)}) + 0.517 (\text{私事目的ダミー})$$

$$U_{246} = -4.823 (\text{歩行者密度 (人/100m)}) - 1.320 (\text{定数項})$$

<構築した有意なモデルパラメータ>

説明変数	パラメータ	t-値
定数項	道玄坂	1.006 9.32
	国道246号	-1.320 -7.31
歩行者密度		-4.823 -1.83
ダミー	オープンカフェ	-0.374 -2.95
	年齢 (22歳以下)	0.908 1.98
	利用目的 (買物・飲食・娯楽)	0.517 2.33
サンプル数		1600
p2値 (自由度調整済)		0.264

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

歩行者シミュレーションモデル | 目的地選択行動の変化予測

アンケート調査で取得した年代別の現状の道玄坂への訪問頻度と、再編後の道玄坂への訪問頻度（意向）から、年代別の道玄坂の歩行者交通量の変化率を算出。アンケート調査の設問や結果等はⅢ.6.②データ処理 | アンケートの作成・実施～アンケートの結果にて詳述。

目的地選択行動の変化予測

<アンケート結果から算出した年代別の訪問頻度の変化率>

再編パターンX	訪問頻度/人・日		
年代	現状	再編後	変化率
10代	a	b	b/a
...

<訪問頻度の変化率からの歩行者交通量の算出>

再編パターンX	歩行者交通量/人・12h	
年代	現状	再編後
10代	A	$A(b/a)$
...

歩行者天国化 直近の渋谷駅周辺地域訪問 時に道玄坂を訪れた人	訪問頻度/人・日		
年代	現状	再編後	変化率
10代(サンプルなし)	-	-	-
20代	0.11	0.15	137%
30代	0.10	0.14	156%
40代	0.13	0.13	106%
50代	0.09	0.10	119%
60代	0.16	0.19	119%

歩行者天国化 直近の渋谷駅周辺地域訪問 時に道玄坂を訪れた人	歩行者交通量/人・12h	
年代	現状	再編後
10代	4,269	4,269
20代	7,217	9,883
30代	5,925	9,224
40代	6,268	6,620
50代	5,342	6,363
60代	2,257	2,677

Ⅲ.6.②
Wi-Fi統計
データを拡大
したゾーン間
OD交通量

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

① 活用データ | 3D都市モデル一覧

地物	地物型	属性区分	属性名	内容
建築物モデルLOD2	bldg:Building	空間属性	bldg:lod2Solid	建築物のLOD2の立体
		主題属性	bldg:usage	用途
			bldg:measuredHeight	計測高さ
			uro:buildingDetailAttribute/uro:buildingRoofEdgeArea	図形面積

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

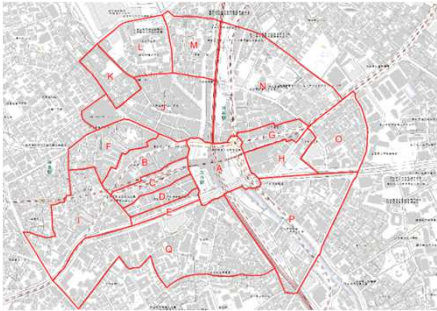
① 活用データ | その他の活用データ一覧

活用データ	内容	データ形式	出所
Wi-Fi人口統計データ	<ul style="list-style-type: none"> 町丁目を基本にゾーン分割した、2019年10月の1か月間ゾーン間のODデータ。 ユーザー属性（年代・性別）、OD（出発地・目的地）、発着時間等が含まれる。 	csv形式	国際航業株式会社
歩行者交通量調査結果（渋谷区）	<ul style="list-style-type: none"> 渋谷区が実施した交通量調査（調査員が歩行者交通量をカウント）結果を、方向別・時間帯別に集計したデータ。 渋谷区調査箇所のうち、道玄坂の歩行者交通量データを活用。 	csv形式	渋谷区
空間再編後の利用意向データ	<ul style="list-style-type: none"> アンケート結果から得られた、道路空間再編後の経路選択意向（道玄坂、マークシティ通路、国道246号のうち利用する移動経路）と目的地選択意向（道玄坂の訪問頻度）に関する調査データ。 アンケート回答者の属性情報として性別・年齢が付与されている。 	csv形式	本実証により作成

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ

Wi-Fi人口統計データ | データ概要

Wi-Fi人口統計データ（データ購入）からゾーン間ODデータを作成。データの概要は以下の通り。

項目	内容																																											
対象範囲	<ul style="list-style-type: none"> ・3D都市モデルを活用する範囲内において、ODデータを生成するためにゾーンを分割 ・町丁目単位を基本にゾーン分割し、経路選択分析の対象経路は細分化（下図A~E） ・結果として、下図の17ゾーンに分割 <div data-bbox="311 481 749 795" style="display: inline-block; vertical-align: middle;">  </div> <table border="1" data-bbox="848 436 1730 806" style="display: inline-table; vertical-align: middle; margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>ゾーン</th> <th>町丁目</th> <th>ゾーン</th> <th>町丁目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>渋谷二丁目ほか（渋谷駅）</td> <td>J</td> <td>宇田川町</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>道玄坂二丁目ほか（道玄坂）</td> <td>K</td> <td>宇田川町</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>道玄坂一丁目（マークシティ）</td> <td>L</td> <td>宇田川町</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>道玄坂一丁目（渋谷中央街）</td> <td>M</td> <td>神南一丁目ほか</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>道玄坂一丁目（国道246号）</td> <td>N</td> <td>渋谷一丁目</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>道玄坂二丁目ほか</td> <td>O</td> <td>渋谷二丁目</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>渋谷一丁目</td> <td>P</td> <td>渋谷三丁目</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>渋谷二丁目</td> <td>Q</td> <td>桜丘町ほか</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>円山町</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				ゾーン	町丁目	ゾーン	町丁目	A	渋谷二丁目ほか（渋谷駅）	J	宇田川町	B	道玄坂二丁目ほか（道玄坂）	K	宇田川町	C	道玄坂一丁目（マークシティ）	L	宇田川町	D	道玄坂一丁目（渋谷中央街）	M	神南一丁目ほか	E	道玄坂一丁目（国道246号）	N	渋谷一丁目	F	道玄坂二丁目ほか	O	渋谷二丁目	G	渋谷一丁目	P	渋谷三丁目	H	渋谷二丁目	Q	桜丘町ほか	I	円山町		
ゾーン	町丁目	ゾーン	町丁目																																									
A	渋谷二丁目ほか（渋谷駅）	J	宇田川町																																									
B	道玄坂二丁目ほか（道玄坂）	K	宇田川町																																									
C	道玄坂一丁目（マークシティ）	L	宇田川町																																									
D	道玄坂一丁目（渋谷中央街）	M	神南一丁目ほか																																									
E	道玄坂一丁目（国道246号）	N	渋谷一丁目																																									
F	道玄坂二丁目ほか	O	渋谷二丁目																																									
G	渋谷一丁目	P	渋谷三丁目																																									
H	渋谷二丁目	Q	桜丘町ほか																																									
I	円山町																																											
対象期間	2019年10月の1か月間																																											
サンプル数	約23万人・日																																											
データ購入先	Wi-Fi人口統計データ（国際航業株式会社より購入 https://biz.kkc.co.jp/data/stat/dynamic/ ）																																											

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ

Wi-Fi人口統計データ | データサンプル

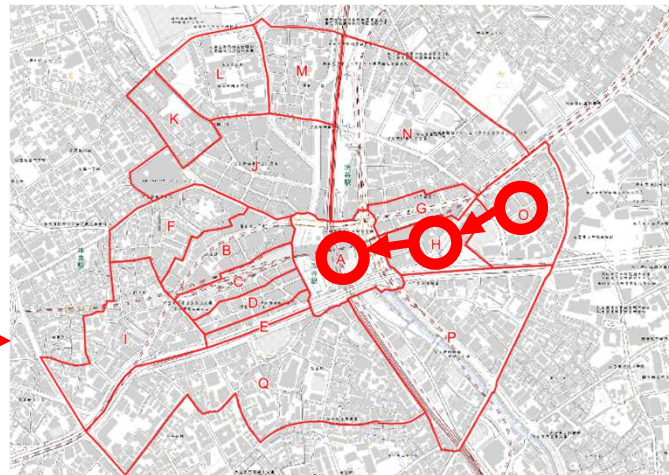
Wi-Fi統計データ（データ購入）のデータサンプルは以下の通り。
 日別の各ユーザーの属性及びルート、各ユーザーの1日の発着時間が付与されている。

データサンプル

ymd	user_id	age	gender	route	s_time	e_time
2019/10/1	*****	50	0	NGAGN	08:03.3	39:36.4
2019/10/1	*****	30	1	CA	58:54.6	02:07.8
2019/10/1	*****	50	0	BJA	11:57.8	50:31.1
2019/10/1	*****	40	0	AJ	33:41.4	08:41.4
2019/10/1	*****	20	1	AJLA	10:59.9	09:17.1
2019/10/1	*****	30	0	ABA	15:09.2	57:38.5
2019/10/1	*****	20	0	OHA	16:23.8	30:35.1

カラム名	形式	NULL	説明
ymd	D	なし	年月日
user_id	A	なし	ユーザーに対してユニーク
age	I	なし	ユーザーの年代（10代～70代まで）。10/20/30/40/50/60/70の値をとる。999はアプリ登録時に未入力、または10歳未満、80歳以上
gender	I	なし	ユーザーの性別（0=男性, 1=女性）。999はアプリ登録時に未入力
route	A	なし	ルート
s_time	T	なし	発時間
e_time	T	なし	着時間

ルート例（OHAの場合）



Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 歩行者交通量調査結果（渋谷区）

ゾーン間ODデータの拡大に活用した道玄坂の歩行者交通量調査結果は以下の通り。

データ概要

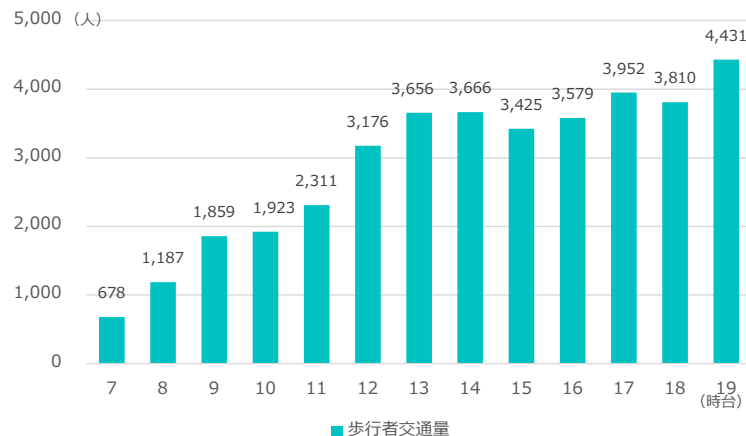
調査結果



調査方法 : 13時間連続で調査員が歩行者交通量をカウントした結果を、方向別・時間帯別に集計したデータ

調査日・時間 : 2021年3月11日（木）7:00～20:00

データ借用元 : 渋谷区



Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ

空間再編後の利用意向データ

アンケート回答者別の道路空間再編後の「経路選択意向」及び「目的地選択意向」の調査データは以下の通り。
 回答者の属性情報として性別・年齢が付与されている。

データサンプル

①経路選択意向調査

ID	性別	年齢	現状の渋谷駅前⇄道玄坂上間の移動経路	空間再編後：道玄坂の歩道が拡幅した場合の渋谷駅前⇄道玄坂上間の移動経路	左記の空間再編時の道玄坂の訪問頻度	空間再編後：道玄坂の歩道拡幅・オープンカフェ実施した場合の渋谷駅前⇄道玄坂上間の移動経路	左記の空間再編時の道玄坂の訪問頻度	空間再編後：道玄坂が歩行者天国化された場合の渋谷駅前⇄道玄坂上間の移動経路	左記の空間再編時の道玄坂の訪問頻度
22	2	52	2	2	3	2	3	2	3
23	2	60	1	1	5	1	5	1	5
29	1	46	1	1	3	1	3	1	3
30	1	44	1	1	4	1	4	1	4
31	1	53	2	2	2	3	2	2	2
33	1	54	1	1	2	3	2	1	2
34	1	54	3	3	6	3	6	3	6
37	2	57	1	1	3	1	3	1	3
38	1	59	2	1	4	1	4	1	4
42	1	42	1	1	3	1	3	1	3

- 性別
 経路選択肢
 1：男性、2：女性
 1：道玄坂
 2：マークシティ内通路
 3：国道246号歩道
- 訪問頻度
 1：週に3日以上
 2：週に1～2日程度
 3：2～3週間に1日程度
 4：1か月に1日程度
 5：1か月に1日未満
 6：わからない

②目的地選択意向調査

ID	性別	年齢	現状の道玄坂の訪問頻度	空間再編後：道玄坂の歩道が拡幅した場合の道玄坂の訪問頻度	空間再編後：道玄坂の歩道拡幅・オープンカフェ実施した場合の道玄坂の訪問頻度	空間再編後：道玄坂が歩行者天国化された場合の道玄坂の訪問頻度
1	2	57	2	2	3	2
3	2	53	4	4	4	4
5	1	60	3	3	3	3
6	1	53	4	4	4	4
9	2	48	4	5	5	5
13	1	57	3	3	3	3
14	1	59	4	5	6	5
16	1	54	2	1	1	1
17	1	50	4	5	5	5
19	2	45	4	6	5	5

- 性別
 訪問頻度
 1：男性、2：女性
 1：週に3日以上
 2：週に1～2日程度
 3：2～3週間に1日程度
 4：1か月に1日程度
 5：1か月に1日未満
 6：わからない

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

② データ処理 | 一覧

システムに入力するデータ (データ形式)	用途	処理内容	データ処理ソフトウェア	活用データ (データ形式)
建物属性データ (CSV形式)	<ul style="list-style-type: none">歩行者行動モデルのインプット	<ul style="list-style-type: none">3D都市モデルをQGIS上に表示し、経路から任意の範囲内に存在するものを抽出。抽出したもののから周辺の建物データを集計。	QGIS	3D都市モデル (CityGML形式)
人流データ (CSV形式)	<ul style="list-style-type: none">歩行者行動モデルにおけるゾーン間OD交通量としてのインプット	<ul style="list-style-type: none">対象ゾーンを発着しているデータ（渋谷駅⇄道玄坂上）を抽出。断面交通量にあわせてゾーン間OD交通量を拡大処理。	Excel	<ul style="list-style-type: none">Wi-Fi統計データによる人流データ歩行者断面交通量データ (CSV形式)
VR空間 (3D Tiles形式)	<ul style="list-style-type: none">空間再編の利用意向を尋ねるアンケート調査への活用歩行者推計結果の可視化	<ul style="list-style-type: none">3D都市モデルをベースにインフラ情報等を追加したVR空間をUC-win/Roadを用いて作成。Shade3Dを用いて沿道建物を編集。作成するVR空間は、道玄坂、マークシティ内通路、国道246号の3経路。	UC-win/Road Shade 3D	<ul style="list-style-type: none">3D都市モデル (CityGML形式)
VRアンケート結果 (CSV形式)	<ul style="list-style-type: none">歩行者行動モデルにおける利用意向データとしてのインプット	<ul style="list-style-type: none">アンケート調査用のVR空間をクラウド環境で構築し、アンケートサイトからVRのブラウザにジャンプしVR体験する方式でアンケートを実施。WEBアンケート会社のモニターを対象に「目的地選択意向調査」と「経路選択意向調査」を実施。	WEBアンケート サイト	<ul style="list-style-type: none">アンケート設問（docx形式）VR空間（クラウド環境）

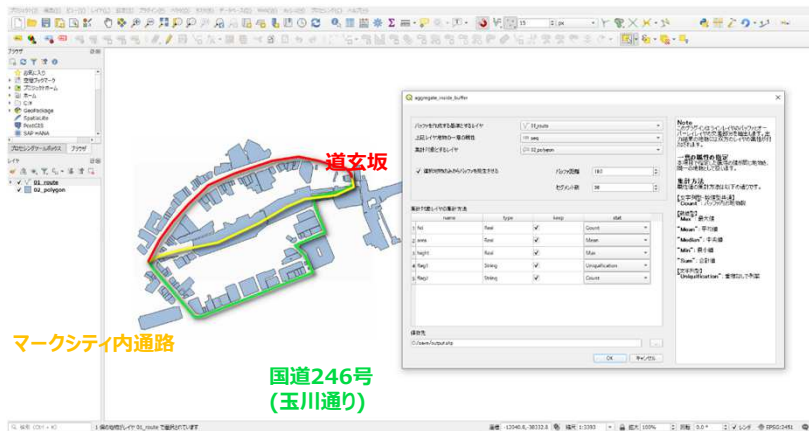
Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ② データ処理

建物属性データの生成

作成したQGISプラグインにより、QGIS上に表示した3D都市モデルから沿道建物の属性データを抽出して集計。

3D都市モデルと各経路のデータをQGIS上に表示

抽出データ例



経路名称	経路長	沿道建物数	沿道建物平均面積 (図上面積)	沿道建物平均高さ (計測高さ)
道玄坂	540.0m	68	431.2㎡	28.2m
マークシティ内通路	493.9m	32	910.7㎡	29.2m
国道246号 (玉川通り)	753.4m	62	587.9㎡	33.1m

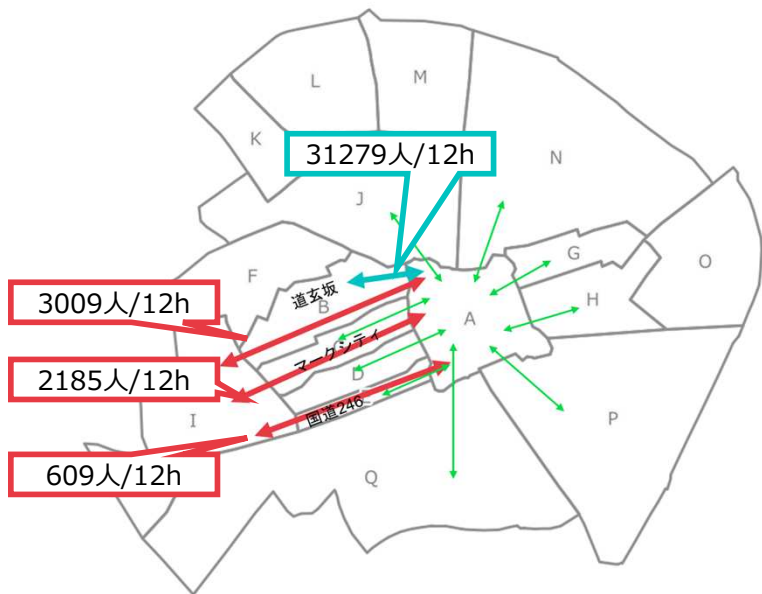
Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ② データ処理

人流データの生成

Wi-Fi統計データから対象ゾーンを発着しているデータを抽出し、道玄坂の歩行者断面交通量データに、道玄坂を通るABとABIのOD交通量の合計が一致するように、ゾーン間OD交通量を拡大処理。

ODのエリア分け

拡大処理後のOD交通量



OD	10代	20代	30代	40代	50代	60代-	合計
AB	4,269	7,217	5,925	6,268	5,342	2,257	31,279
AC	1,465	2,912	2,874	3,476	2,803	1,228	14,759
AD	132	629	760	762	613	321	3,219
AE	72	252	418	499	327	185	1,754
AG	615	1,627	1,614	1,845	1,452	587	7,740
AH	950	2,608	3,544	3,063	2,374	1,055	13,594
ABI	133	692	752	712	488	232	3,009
ACI	51	369	596	609	380	180	2,185
AEI	20	107	161	150	122	49	609
AJ	4,882	8,975	6,139	5,764	4,219	1,991	31,970
AN	696	1,316	1,479	1,589	1,287	593	6,960
AP	2,274	5,219	5,193	6,079	4,156	1,731	24,651
AQ	1,144	2,660	2,599	2,997	2,214	894	12,508

(人/12h・平日)

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理

3D都市モデルを活用したVR空間の生成

作成方法の概要は以下の通り。

- 3D都市モデルのLOD2【City GML形式】をベースにインフラ情報等を追加したVR空間をUC-win/Roadを用いて作成する。
- また、Shade3Dを用いて沿道建物を編集（現地写真を撮影し、その写真をテクスチャとして加工し建物モデルに貼り付け）。
- 作成するVR空間は、道玄坂の道路空間再編時の経路利用意向を把握するアンケートの選択肢である3経路※とする。
 ※（A）道玄坂（現況及び空間再編3パターン）、（B）マークシティ内通路、（C）国道246号（玉川通り）とする。

各経路のVR作成において追加した情報

経路	インフラ情報の付加		建物編集	
	ソフト：UC-win/Road		ソフト：Shade3D	
(A) 道玄坂	現状	<ul style="list-style-type: none"> • LOD2に路面、街路樹、標識、信号機、街路灯、花壇、ポラード、横断防止柵を付加 ※ 	<ul style="list-style-type: none"> • 撮影した沿道建物の写真を加工し、道路沿いの面に貼り付け 	
	空間再編3パターン	<ul style="list-style-type: none"> • 現状のモデルに、拡幅された道路・利用状況を付加（3パターンの詳細は次ページ） 	<ul style="list-style-type: none"> • 同上 	
(B) マークシティ内通路	<ul style="list-style-type: none"> • LOD2に建物内のモデルはないため、全てUC-win/Roadにて作成 		<ul style="list-style-type: none"> • 建物内通路の形状を作成し、撮影した写真を加工して貼り付け 	
(C) 国道246号（玉川通り）	<ul style="list-style-type: none"> • LOD2に路面、標識、街路灯、歩道橋、ガードレールを付加 		<ul style="list-style-type: none"> • 沿道建物の写真貼り付け無し 	

※路面、街路樹、標識、信号機、街路灯→ソフトに標準搭載されている素材を活用
 花壇、ポラード、横断防止柵→今回の実証にあわせて作成

VR作成経路



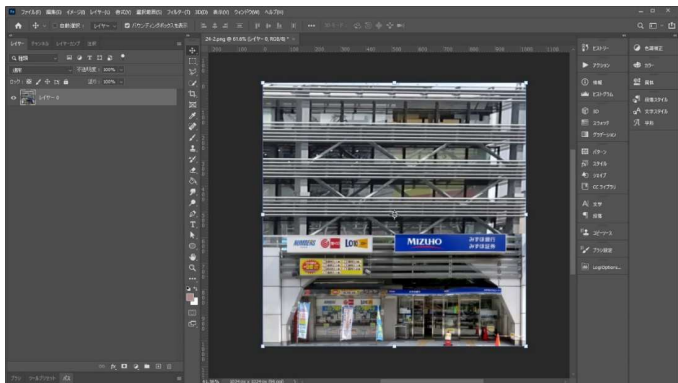
Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ② データ処理

3D都市モデルを活用したVR空間の生成

Shade3Dを用いた建築物モデルへの写真貼り付け方法は以下の通り。

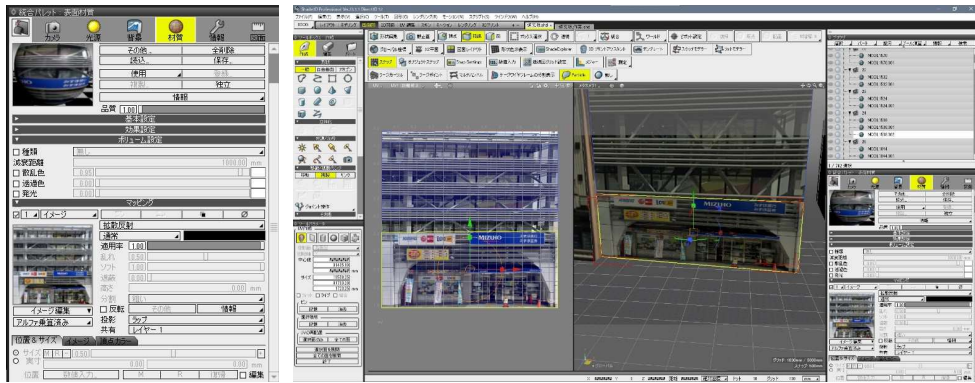
画像編集ソフト (Photoshop)

- 建物を正面から撮影し、水平垂直を合わせる処理や複数枚の画像をつなぎ合わせる処理を行う。



Shade3D

- 編集した画像を対象の建物モデルにテクスチャとして設定する。UV設定により面毎に画像の貼り方を調整し、建物モデルの形状と画像の見た目が合致するよう画像の位置や大きさを設定する。

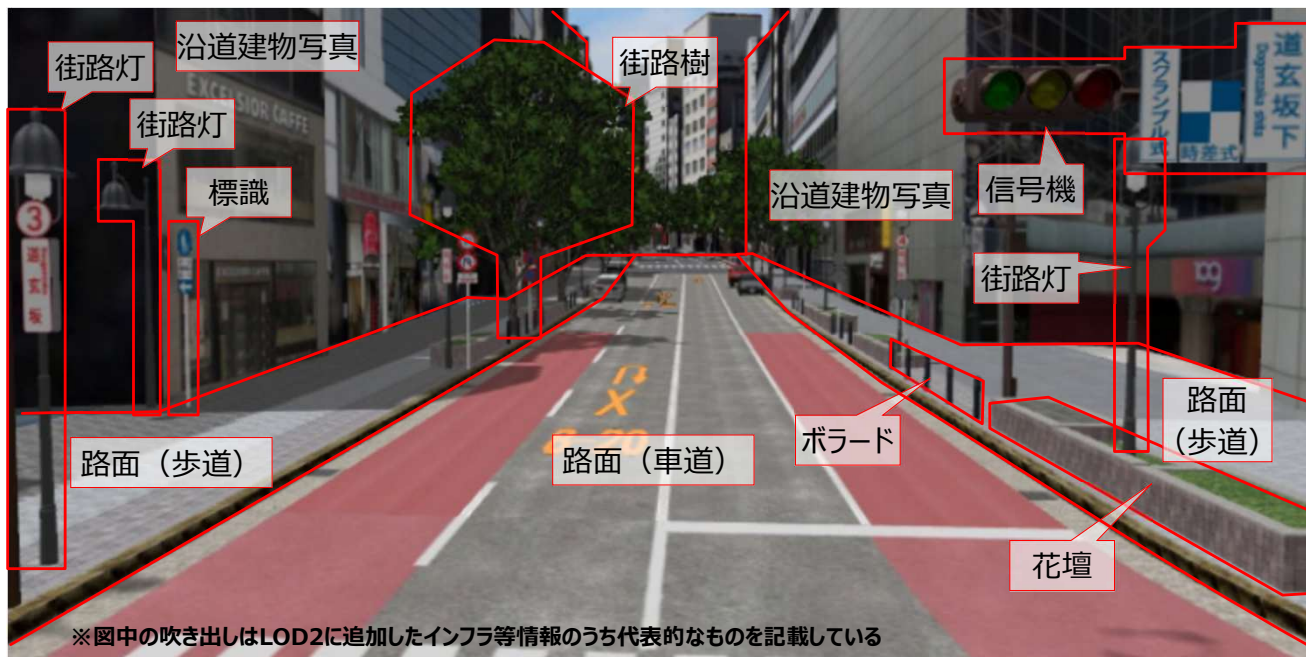


Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理

3D都市モデルを活用したVR空間の生成

3D都市モデルのLOD 2 に路面、街路樹、標識、信号機、街路灯、ポラード、花壇などを追加（UC-win/Road を利用）。

追加したインフラ等情報



Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ② データ処理

3D都市モデルを活用したVR空間の生成

渋谷区とも協議のうえ、道路空間再編パターンとして「歩道拡幅」、「歩道拡幅 + オープンカフェ」、「歩道拡幅 + 歩行者天国化」の3種を作成。

道路空間再編パターン

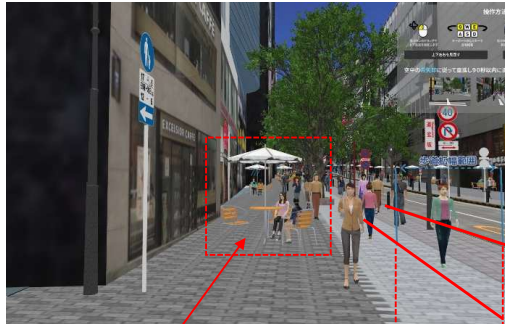
- 歩道拡幅の幅は、1車線分の車線幅程度とし、約2.6mとした。
- オープンカフェは植栽柵で狭くなる部分などを除いて10m程度の間隔で配置した。なお、建物入口を塞がないよう調整しているため間隔は若干のばらつきがある。また、店舗とテーブルの間を人が通らないよう店舗側に寄せて配置した。
- 歩行者は駅側と坂上側から一定間隔で出現させた（歩行者交通量可視化の詳細はP25参照）。

歩道拡幅



歩道拡幅範囲

歩道拡幅 + オープンカフェ



オープンカフェ

歩道拡幅範囲

歩道拡幅 + 歩行者天国化



歩行者天国

歩道拡幅範囲

※図は3D都市モデルを活用したVRイメージ画像であり実際の計画とは無関係です。

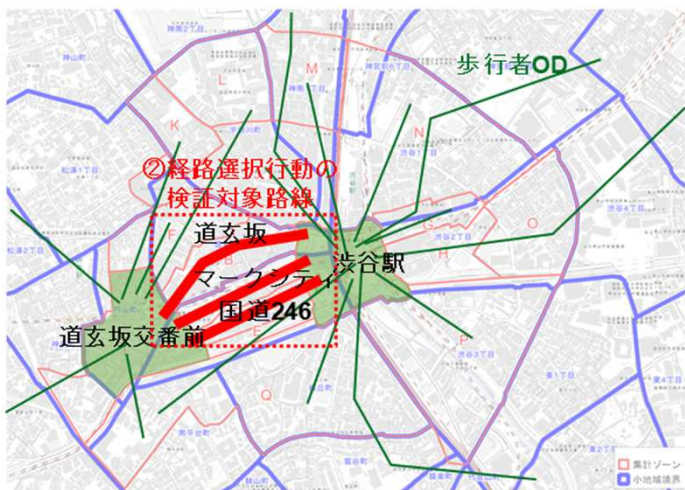
Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ② データ処理

アンケートの作成・実施

都市空間の質的变化による選択行動の変化として以下2つを想定し、それぞれの利用意向を把握するためのアンケート設計を実施。

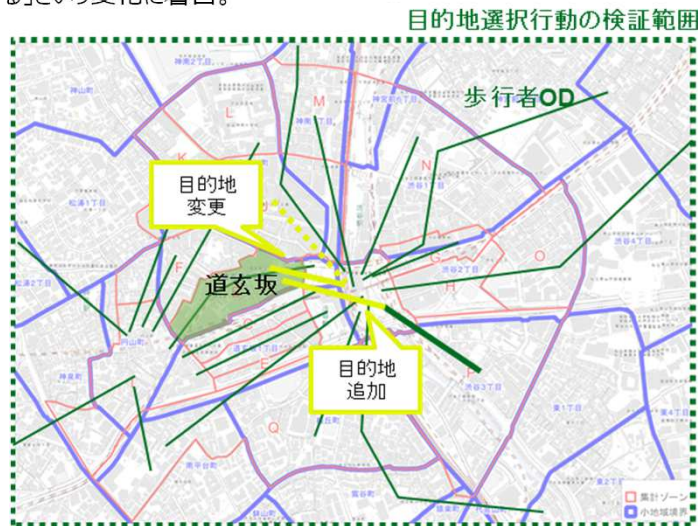
① 経路選択意向調査

- 道玄坂の道路再編による空間の質的な魅力向上により、「歩行者が目的地までの経路として道玄坂を選択する」という変化に着目。



② 目的地選択意向調査

- 道玄坂の道路再編による空間の質的な魅力向上により、「歩行者の目的地に道玄坂が追加される」又は「歩行者の目的地が道玄坂に変更される」という変化に着目。



Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ② データ処理

アンケートの作成・実施 | アンケートの基本設計

アンケート調査は、回答者の直近の渋谷駅周辺訪問時の行動によって、「経路選択意向調査」と「目的地選択意向調査」の各設問に分岐するように設計。

アンケートの基本設計




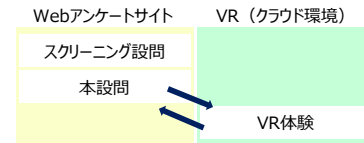
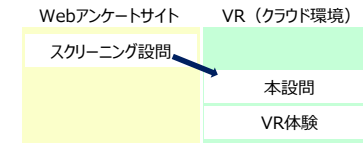
Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理

アンケートの作成・実施 | アンケート実施方法

アンケートサンプル数の確保と、適切な回答環境の整備に留意した実施方法を設計。

アンケート実施方法

- 本実証のアンケート調査においては、渋谷駅周辺訪問者の行動実態に応じたサンプルを収集する必要があったため、決められた条件で目標サンプル数を確実に回収することができるWEBアンケート会社のモニターを対象とした調査を行った。
- WEBアンケート会社のモニターアンケートでは、回答者自らが操作して移動するVR空間をWEBアンケート内に組み込むことが設計上出来ないため、UC-win/Roadで作成したVR空間をクラウド環境で構築し、回答者の操作性やアンケート設計上の実現性なども踏まえ、以下パターンBの方法で実施した。

パターン	パターンA	パターンB	パターンC
概要			
	WebアンケートサイトにUC-win/Roadから出力したAIレベルの3D動画を埋め込み、全ての操作（VR体験・設問への回答）をwebアンケートサイト上で実施	webアンケートサイト上で設問へ回答、アンケートサイトからVRのブラウザにジャンプしVRを体験	スクリーニング調査のみwebアンケートサイトで実施しその後の全ての操作（VR体験・設問への回答）をVRブラウザ上で実施
VR体験のリアリティ	△ 動画であるため体験のリアリティが低い	◎ 回答者が自ら操作して空間内を自由に移動することが出来るため体験のリアリティが高い	◎ 回答者が自ら操作して空間内を自由に移動することが出来るため体験のリアリティが高い
被験者目線での操作性	○ Webアンケートサイトから移動なし	△ WebアンケートサイトとVRブラウザの移動が発生	○ VRブラウザで基本的にすべてが完結
システム上の実現性	○ 実現可能	○ 実現可能	× 専用のシステム開発が必要で実現可能性が低い

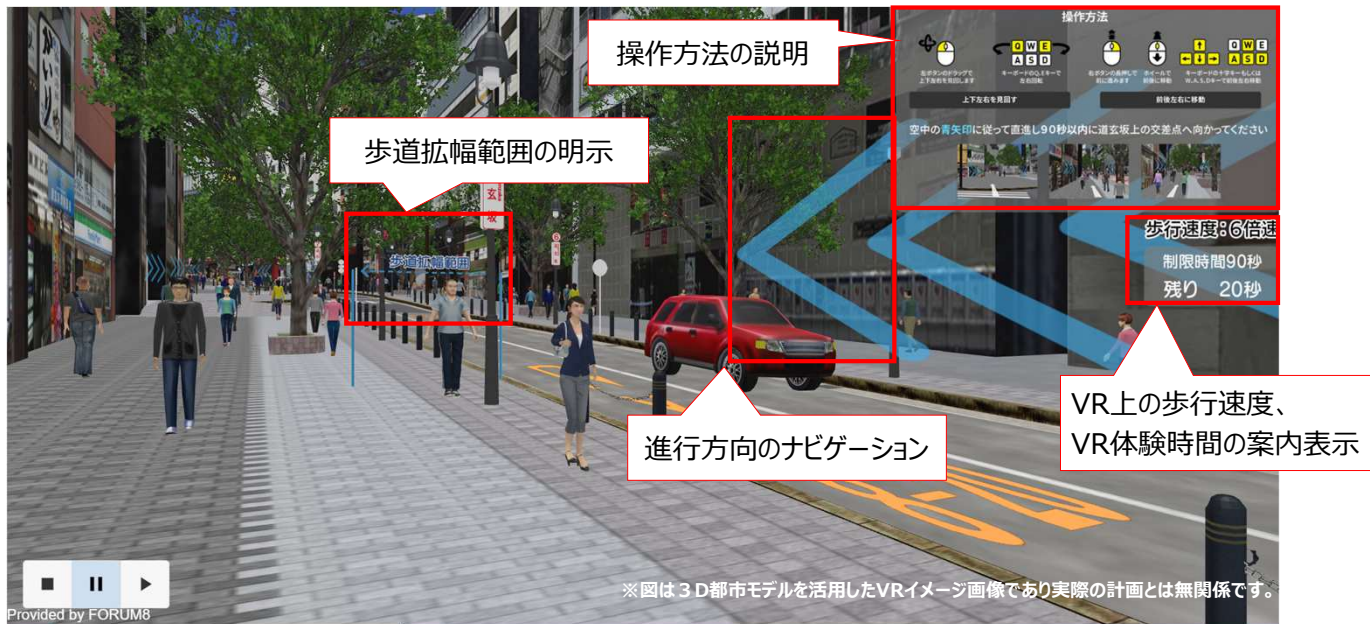
Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ② データ処理

アンケートの作成・実施 | アンケート調査用のVR作成

被験者のVR体験のユーザビリティに配慮し、操作方法や進行方向のナビゲーション、空間再編による歩道拡幅部分の案内などの情報を追加したアンケート調査用のVRを作成。

VRの操作画面のイメージ

- 被験者はVR空間上で、マウスやキーボード操作により、好きな方向に移動したり視点を変えたりした体験をすることが可能。



Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ② データ処理

アンケートの作成・実施 | アンケートの設問構成

アンケートの設問構成は以下の通り。

アンケートの設問構成

	設問概要	データの使用目的
Ⅰ：被験者の渋谷での行動の実態	過去1か月の渋谷駅周辺への訪問有無	スクリーニング
	過去1か月の渋谷駅周辺への訪問頻度	参考情報
	渋谷駅周辺で立ち寄ったエリア	経路選択・目的地選択分析
	各エリアに立ち寄った目的・交通手段	経路選択・目的地選択分析
	渋谷駅前から道玄坂上への移動に利用したルート・ルート選択の理由	経路選択分析
	過去1か月の道玄坂への訪問頻度	目的地選択分析
	現在の道玄坂に対する印象と理由	経路選択・目的地選択分析の裏付け
	道玄坂での消費金額	空間再編による地域への経済効果分析
Ⅱ：道玄坂再編後の経路選択・目的地選択意向	道玄坂の空間再編後に渋谷駅前から道玄坂上への移動に利用するルート・ルート選択において重視したこと	経路選択分析
	空間再編後の道玄坂の印象	
	空間再編後の道玄坂への立ち寄り頻度	目的地選択分析
Ⅲ：道玄坂に求める機能・アンケートの感想	将来の道玄坂に求める機能	経路選択・目的地選択の裏付け
	VRアンケートへの感想	VRアンケートの課題分析

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ② データ処理

アンケートの作成・実施 | アンケート実施概要

アンケート調査の実施概要は以下の通り。

実施概要・設問概要

WEBアンケート画面イメージ

【実施概要】

- 実施期間：2022/11/2～11/10
- 実施方法：VRを用いたWEBアンケート
(PCでの回答に限る)
※楽天インサイトのアンケートモニター対象
- 回答対象者：一都三県在住者の中で1か月以内に渋谷駅周辺地域を訪れた人
- 回収数：1000サンプル

居住地	サンプル割合
埼玉県	17%
千葉県	14%
東京都	44%
神奈川県	25%

年齢階層	サンプル割合
20代以下	8%
30代	15%
40代	34%
50代以上	43%

【設問】

- 渋谷駅周辺地域での現状の行動
- 現状の道玄坂に対する印象
- 再編後の道玄坂への訪問意向
- 再編後の道玄坂に求めること 等



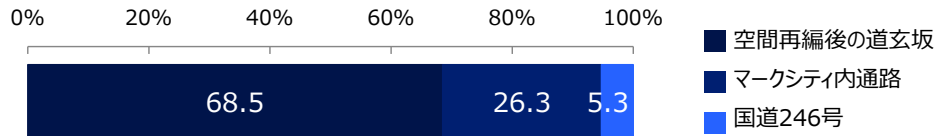
Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ② データ処理

アンケートの結果

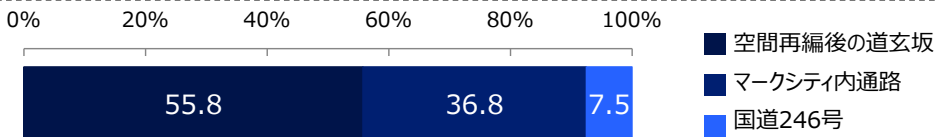
主要なアンケート結果は以下の通り。

アンケート結果

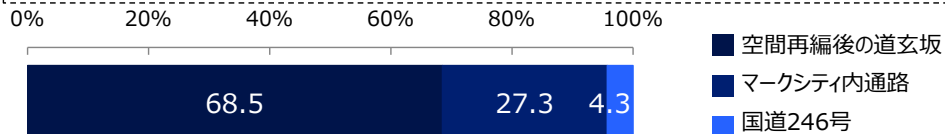
道玄坂の歩道が広がった場合、あなたは道玄坂・マークシティ内通路・国道246号のうちどのルートを通して道玄坂上に行きますか。



道玄坂の歩道が広がって、歩道上でオープンカフェが実施されている場合、あなたは道玄坂・マークシティ内通路・国道246号のうちどのルートを通して道玄坂上に行きますか。



道玄坂が歩行者天国化された場合、あなたは道玄坂・マークシティ内通路・国道246号のうちどのルートを通して道玄坂上に行きますか。



※図は3D都市モデルを活用したVRイメージ画像であり実際の計画とは無関係です。

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

③ 出力データ | 一覧

出力データ	内容	データ形式
①空間再編時の道路状況・利活用の可視化データ	<ul style="list-style-type: none"> 道玄坂の現況と空間再編時における、VR空間内の建物、道路、道路付属物の詳細な3D形状データが含まれた3D Tiles形式のデータを出力。 PLATEAU VIEWで重ね合わせての閲覧が可能。 	3D Tiles形式
②質的空間変化に対する歩行者行動変化交通量	<ul style="list-style-type: none"> 歩行者シミュレーションシステムにて将来交通量を推計した結果、道路空間再編パターン別に年齢階層別の歩行者行動変化量をcsvの表形式で出力。 	CSV形式
③空間再編後の人流が可視化されたVR	<ul style="list-style-type: none"> 歩行シミュレーションを行うためのVR空間としてRD形式のファイルを作成（UC-win/Roadの固有のデータ形式）。 データにはVR空間内の地形、道路線形、道路断面、道路付属物、標識、建物、車両、歩行者キャラクタ等の3D形状データが含まれる。 交通量や歩行者の人数などの情報も含まれており、それに基づいて人流を表現。 	RD形式

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③ 出力データ

空間再編時の道路状況・利活用の可視化データ

PLATEAU VIEWでの閲覧が可能な3D Tiles形式で出力。

作成方法

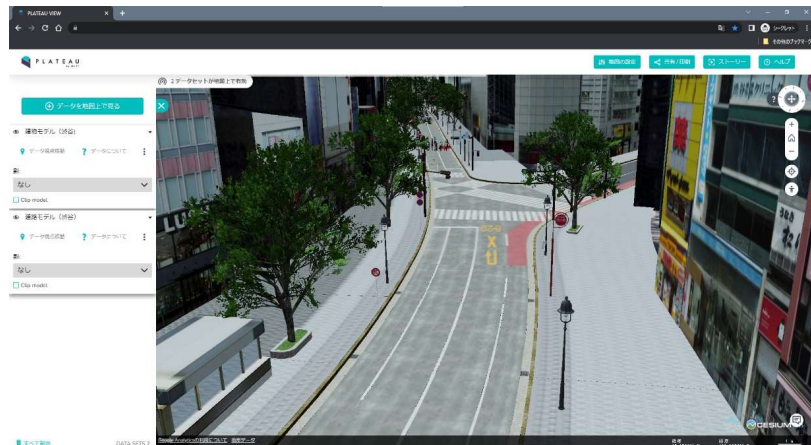
- UC-win/RoadからFBX形式で空間を出力し、Shade3DでOBJ形式に変換を行う。
- 次にobj23dtiles※1を使用し、OBJ形式からtileset.json（3D Tiles形式において、モデルの配置位置などの情報が記載されたファイル）を出力する。b3dm（3D Tilesの3D形状データファイル）は次の方法で別途出力を行った。
- FBX形式からGLB形式に変換しPBRマテリアルを調整のうえ、3d-tiles-tools※2を使用しGLBからb3dmを出力した。OBJ形式を経由する場合と比べてPBRマテリアル設定が維持されるため、質感の表現が容易となる。

※1 <https://github.com/PrincessGod/objTo3d-tiles>

※2 <https://github.com/CesiumGS/3d-tiles-tools>

含まれている情報

- 3D Tiles形式のデータにはVR空間内の建物、道路、道路付属物の詳細な3D形状データが含まれる。
- PLATEAU VIEWで重ね合わせての閲覧と、各パターンの切り替え表示が可能。



Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③出力データ

質的空間変化に対する歩行者行動変化交通量

歩行者シミュレーションシステムにて将来交通量を推計した結果、道路空間再編パターン別に年齢階層別の歩行者行動変化量を表形式で出力。

年齢階層別の歩行者行動変化量

再編パターン① 歩道拡幅

	現状	再編後	変化率
10代	0.03	0.03	100%
20代	5.30	6.63	125%
30代	9.83	10.47	106%
40代	21.53	23.03	107%
50代	17.53	20.00	114%
60代	1.63	1.87	114%
全年代	55.87	62.03	111%

再編パターン② オープンカフェ

	現状	再編後	変化率
10代	0.03	0.03	100%
20代	5.27	5.97	113%
30代	9.83	10.67	108%
40代	21.23	21.13	100%
50代	17.37	18.83	108%
60代	1.60	1.93	121%
全年代	55.33	58.57	106%

再編パターン③ 歩行者天国

	現状	再編後	変化率
10代	0.03	0.03	100%
20代	5.23	5.80	111%
30代	9.07	10.67	118%
40代	21.10	22.57	107%
50代	17.43	18.40	106%
60代	1.63	1.67	102%
全年代	54.50	59.13	109%

a)現状の訪問頻度
(単位：人・日)

b)空間再編後の訪問頻度
(単位：人・日)

歩行者交通量の変化割合
(=b÷a)

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③出力データ

空間再編後の人流が可視化されたVR

複数回実施される関係者協議を経て、条件を可変させていくことができるように、UC-win/Roadでの編集が可能なデータ形式でVRを出力。

作成方法

- RD形式のファイルはUC-win/Roadの固有のデータ形式であり、歩行シミュレーションを行うためのVR空間として作成。
- CityGML形式の都市モデルや、地理院タイルの地形メッシュ、航空写真等のオープンデータを読み込み、VR空間を作成している。
- また、道路線形および道路断面構造を入力し、道路付属物を配置することで現地の都市景観を再現している。
- 交通流や歩行者設定などの動的な要素の表現機能により人流や交通量を表現している。

含まれている情報

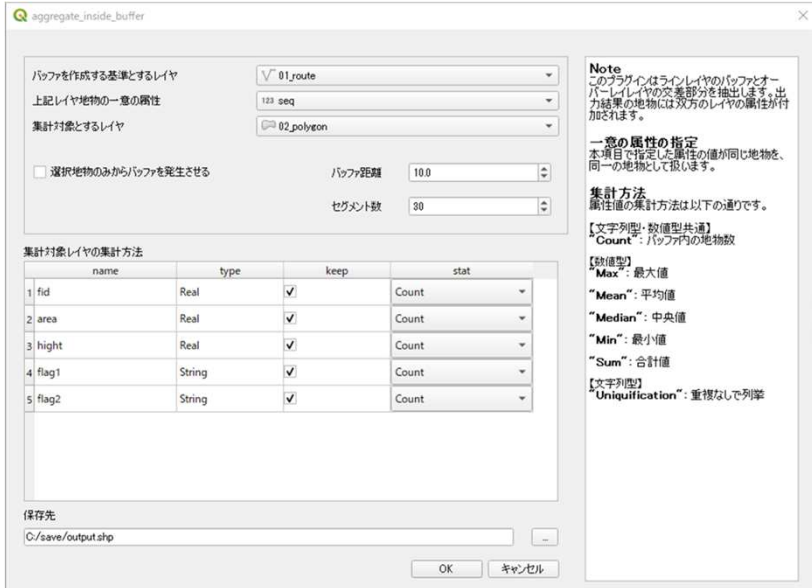
- データにはVR空間内の地形、道路線形、道路断面、道路付属物、標識、建物、車両、歩行者キャラクタ等の3D形状データが含まれる。
- 交通量や歩行者の人数などの情報も含まれており、それに基づいて人流を表現できる。
- FBX形式や3DS形式でVR空間を出力できるため、他の3Dモデル形式（3D Tiles、GLB）や、ゲームエンジン向けの空間を作成する際のベースとして利用することも可能。

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

① 沿道建物情報等のデータ取得を行うQGISプラグイン

操作画面をシンプルにわかりやすく設計するとともに、操作方法の解説に加え、事前準備作業やエラー事例等を含めた利用マニュアルを用意（Github上で公開）。

プラグイン画面 デザイン



プラグイン画面のデザインは、以下の通りです。

Buffer作成

- バッファを作成する基準とするレイヤ: 01_route
- 上記レイヤ地物の一意の属性: 122_seq
- 集計対象とするレイヤ: 02_polyeon
- 選択地物のみからバッファを発生させる
- バッファ距離: 10.0
- セグメント数: 30

集計対象レイヤの集計方法

name	type	keep	stat
1 fid	Real	<input checked="" type="checkbox"/>	Count
2 area	Real	<input checked="" type="checkbox"/>	Count
3 hight	Real	<input checked="" type="checkbox"/>	Count
4 flag1	String	<input checked="" type="checkbox"/>	Count
5 flag2	String	<input checked="" type="checkbox"/>	Count

保存先

C:/save/output.shp

Note

このプラグインはラインレイヤのバッファとオーバーレイレイヤの交差部分を抽出し、出力結果の地物には双方のレイヤの属性が付加されます。

一意の属性の指定

本項目で指定した属性の値が同じ地物を、同一の地物として扱います。

集計方法

属性値の集計方法は以下の通りです。

【文字列型・数値型共通】

- Count: バッファ内の地物数

【数値型】

- Max: 最大値
- Mean: 平均値
- Median: 中央値
- Min: 最小値
- Sum: 合計値

【文字列型】

- Uniquification: 重複なしで列挙

プラグイン画面 処理概要

機能名	説明
パラメータ設定	各項目について、コンボボックス、テキストボックス、チェックボックスにより選択して設定する。 <ul style="list-style-type: none"> ・バッファを作成する基準とするレイヤ ・上記レイヤ地物の一意の属性 ・集計対象とするレイヤ ・バッファ距離 ・バッファのセグメント数 ・集計方法
保存先	・保存先のファイルパスを指定する。
OK (実行)	・押下すると処理を行う。
キャンセル (閉じる)	・スクリプト画面を閉じる。

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

② 空間再編による人流の変化を反映したVR

VR-Cloudのクライアントアプリをインストールすることで、PCにVR用の動作環境を構築することなくVR空間を表示、操作することが可能。

VRの操作方法

- クライアントアプリインストール後、起動の後URL入力の項目を選択。URLを入力し、接続を行う。
- 接続後、操作権の取得を選択することでVRの操作を300秒間行うことが可能となる。左上のアイコンをクリックし、バーチャル空間の探索⇒シナリオの実行を選択し、4パターンの景観から選択することで歩行シミュレーションが開始される。



シナリオ実行中はキーボードおよびマウスにより操作を行う。

前後移動：↑↓キー

左右移動：←→キー

進行方向の変更：マウスドラッグ



Ⅲ. 実証システム > 8. システムテスト結果

システムテスト結果 | 歩行者シミュレーション結果の可視化VR

VRソフト（UC-win/Road 及び VR-Cloud）で該当の試験項目が達成されているか操作テストを行い、異常な動きがないことを確認。

試験項目	確認内容	結果
道玄坂の路上を正常にウォークスルーできるか。	対象範囲を起点から終点まで往復、歩道および車道を移動しながら視点の異常や歩行不能になる場所が無い確認。	ウォークスルー中に視点の異常や歩行不能等の不具合は発生していない。
現況および3パターンの空間再編イメージを切り替えられるか。	各パターンのウォークスルーシミュレーションを実行し、道路構造や配置物が想定通りのパターンに切り替わっているか確認。	各パターンの切り替えを繰り返した結果、表示パターンの異常は発生していない。
現況および3パターンの空間再編に応じた歩行者の動きが再現されるか。	各パターンのウォークスルーシミュレーションを実行し、歩行者が配置物を突き抜けたり想定と異なる動きをしていないか確認。	歩行者と配置物の重なりや想定外の動きは発生していない。



Ⅲ. 実証システム > 8. システムテスト結果

システムテスト結果 | アンケート調査用VR

VRソフト（UC-win/Road 及び VR-Cloud）で該当の試験項目が達成されているか操作テストを行い、異常な動きがないことを確認。

試験項目	確認内容	結果
道玄坂の路上を正常にウォークスルーできるか。	対象範囲を起点から終点まで往復、歩道および車道を移動しながら視点の異常や歩行不能になる場所が無い確認。	ウォークスルー中に視点の異常や歩行不能等の不具合は発生していない。
現況および3パターンの空間再編イメージを切り替えられるか。	各パターンのウォークスルーシミュレーションを実行し、道路構造や配置物が想定通りのパターンに切り替わっているか確認。	各パターンの切り替えを繰り返した結果、表示パターンの異常は発生していない。
現況および3パターンの空間再編に応じた歩行者の動きが再現されるか。	各パターンのウォークスルーシミュレーションを実行し、歩行者が配置物を突き抜けたり想定と異なる動きをしていないか確認。	歩行者と配置物の重なりや想定外の動きは発生していない。
操作説明等画面上の案内は正しく表示されるか。	各パターンのウォークスルーシミュレーションを実行し、操作説明、カウントダウン、進行方向指示が正しく表示されるか確認。	各パターン実行し、画面上の案内に異常は発生していない。
シミュレーションの終了メッセージが正しく表示されるか。	各パターンのウォークスルーシミュレーションを実行し、終了地点に達した場合もしくは開始から90秒経過後にアンケートサイトに戻るメッセージが表示されるか確認。	各パターン実行し、いずれかの条件により必ず終了メッセージが表示されることを確認した。

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

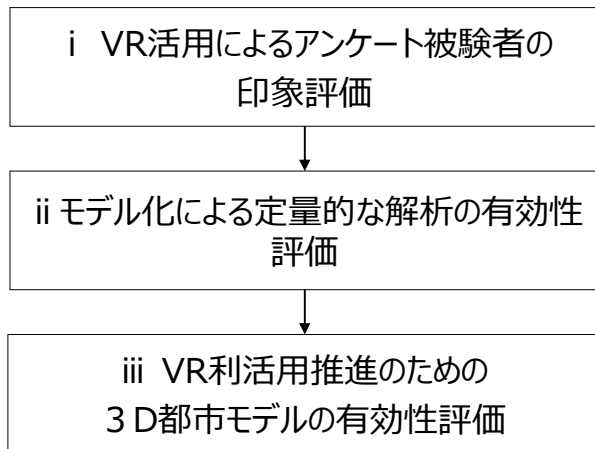
IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

IV. 実証技術の検証 > 1. 都市空間の質的変化の影響評価

① 検証内容 | 全体フロー

本実証で開発した手法が、都市空間の質的変化を評価する手法として有効であるかを、以下の3点から検証



- i. VRを活用することによるアンケート被験者の印象評価：
 - ・アンケート被験者がバーチャル空間を歩く体験を通じて、空間再編時の利用意向をたずねるVRアンケートを実施。
- ii. モデル化による定量的な解析の有効性評価
 - ・経路選択モデル等を構築し歩行者交通量の推計、歩行者交通量をVR空間に可視化。
- iii. VR利活用推進のための3D都市モデルの有効性評価：
 - ・3D都市モデルを活用した場合とそうでない場合のVR作成コストを比較。

IV. 実証技術の検証 > 1. 都市空間の質的変化の影響評価

② 検証結果 | サマリ

都市空間の質的変化の影響評価に関する、検証項目及び検証結果の概要は以下の通り。

(詳細は次ページ以降参照)

検証項目	検証内容	検証結果
i) VR活用によるアンケート被験者の印象評価	<ul style="list-style-type: none"> アンケート被験者がバーチャル空間を歩く体験を通じて、空間再編時の利用意向をたずねるVRアンケートを実施。 	<ul style="list-style-type: none"> アンケート被験者から「道路空間再編のイメージをリアルに体感できた」等の意見があげられ、作成したVRでバーチャル空間を体験することで、よりリアルな空間変化に対する行動変化を把握できたと考えられる。
ii) モデル化による定量的な解析の有効性評価	<ul style="list-style-type: none"> VRアンケートによる、目的地選択意向と経路選択意向の調査結果を踏まえた歩行者交通量を推計。 道玄坂、国道246号、マークシティのどの経路を選択するかを経路選択モデルを構築。 歩行者シミュレーション結果にもとづく歩行者交通量をVR空間（クラウド環境）に可視化。 	<ul style="list-style-type: none"> 道路空間再編により歩行者交通量が増加。 歩道拡幅や賑わい創出などの都市空間の質的変化が、来街者増加の効果に寄与することを確認。 経路選択モデル推定結果では、パラメータ推定結果から以下を確認。 <ul style="list-style-type: none"> 有効幅員が広がると選択確率が高まる。 若者で私事目的場合に選択確率が高まる。
iii) VR利活用推進のための3D都市モデルの有効性評価	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用した場合とそうでない場合のVR作成コストを比較。 	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルをベースとしたVR作成により、従来方法に比べ約4割のコスト減となることを確認。

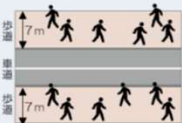
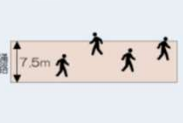
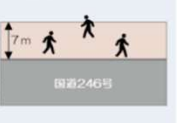
IV. 実証技術の検証 > 1. 都市空間の質的变化の影響評価 > ② 検証結果

i) VR活用によるアンケート被験者の印象評価

現状存在しないものが出来た場合の利用意向をたずねるアンケート調査では、テキストや簡易なイラストが用いられることが多いが、文字やイラストだけでは空間の質的变化の影響がとらえにくいいため、本実証ではアンケート被験者がバーチャル空間を歩く体験を通じて、空間再編時の利用意向をたずねるVRアンケートを行った。

従来のアンケート

- 文字やイラストで表現できない空間の質的な変化の影響は捉えにくい
- 回答者により、文字やイラストから想像している空間が異なる。

	道玄坂	マークシティ内通路	国道246号
ルートの長さ	500m	470m	600m
所要時間	7分	7分	6分
歩道・通路幅員 (代表的な箇所)	片側7m (両側合計14m)	7.5m	片側7m
屋内/屋外	屋外	屋内	屋外
歩道・通路 沿道店舗数	55軒	24軒	18軒
歩行者密度	5.8人/m・分 	2.9人/m・分 	2.5人/m・分 

3D都市モデルを活用したVRアンケート

- バーチャル空間を歩く体験をしてもらうことで、文字情報で表現できない空間の質的な変化による回答者の意向の変化を捉えられる。

道玄坂



マークシティ内
通路



国道246号



※図は3D都市モデルを活用したVRイメージ画像であり実際の計画とは無関係です。

IV. 実証技術の検証 > 1. 都市空間の質的变化の影響評価 > ② 検証結果

i) VR活用によるアンケート被験者の印象評価

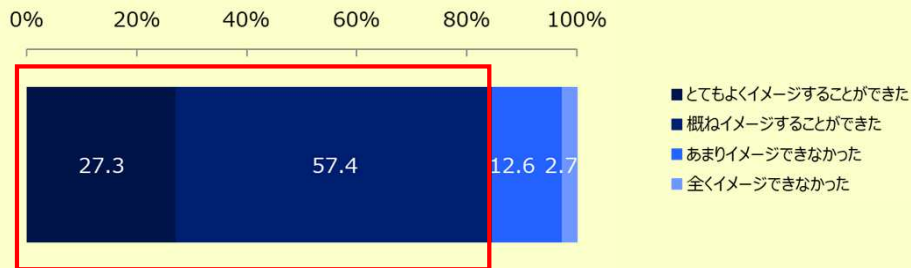
空間の質的变化を捉える際に、VRを活用することの有効性を定性的に確認できた。

- VRアンケート結果から、道路空間再編のイメージをリアルに体感できたとの意見や、空間の将来像に対する具体的な意見を把握できた。
- VRによりバーチャル空間を体験することで、よりリアルな空間変化に対する行動を把握できたと考えられる。

VR体験に基づく空間のイメージしやすさに関する意見

VR体験に基づく空間再編に関する意見

設問：VRを体験することにより、空間再編後の道玄坂の姿をイメージすることができましたか。



約85%が「イメージ出来た」と回答

(自由回答)

- 提案内容がVRで体験できたのでイメージがつかみやすかった。
- 自分がその場にいるかのような不思議な体験ができました。

⇒空間再編のイメージをリアルに体験できたとの意見

(自由回答)

○空間再編に対してポジティブな意見

- 実際にこのように都市開発されると非常に良い。
- 今回のような映像の街作りをして頂ければ、活気のある街になると思う。
- 道玄坂の街路が広がると歩きやすく、大変気持ちが良い。

○現状のままを望む意見

- 新しい試みだと思うが、あの辺はあのまま残しておいてほしい。

⇒単なる良い・悪いだけでなく、空間の将来像に対する具体的な意見を把握

IV. 実証技術の検証 > 1. 都市空間の質的変化の影響評価 > ② 検証結果

ii) モデル化による定量的な解析の有効性評価

歩行者シミュレーションモデルの有効性に係るKPI及びその結果は以下の通り。

KPI	KPIの評価方法	達成度・結果
①経路選択モデルの説明変数の有意性	モデル説明変数に道路空間再編の変数におけるパラメータのt 値の絶対値： 1.96 以上	<ul style="list-style-type: none"> 歩行者密度や利用目的などの説明変数については、t 値の絶対値1.96以上で達成。 一方、沿道店舗数などの建物情報などの説明変数はt 値が1.96未満で、こうした説明変数を用いた有意なモデルが構築できなかった。
②経路選択モデルの適合性	修正済み ρ^2 値（尤度比）：0.2以上	<ul style="list-style-type: none"> 修正済みρ^2値-0.264で達成。
③経路選択モデルの妥当性	スマート・プランニングの手法や技術に精通した有識者に本実証で構築した経路選択モデルの妥当性についてヒアリング <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <p><ヒアリング先> 対象：東京大学 浦田淳司講師 （土木計画学研究委員会 スマート・プランニング研究小委員会メンバー） 実施日：2023/2/10（ウェブ会議形式）</p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> 整備後空間の通行快適性など従来と異なる手法で道路整備を評価する取組みとして本実証の有用性がある。 一方、店舗数など沿道環境の説明変数のパラメータが有意に推定できておらず、SP モデルの LOS データを一律でなく幅を持たせる、異なる経路の RP データを用いて推定するなど工夫・改善の余地がある。

IV. 実証技術の検証 > 1. 都市空間の質的変化の影響評価 > ② 検証結果

ii) モデル化による定量的な解析の有効性評価

有意なパラメータを特定し、歩行経路選択行動の要因を統計的なモデルにより表現できた。

経路選択モデルの有効性

- 道玄坂、国道246号、マークシティのどの経路を選択するかをの経路選択モデルを構築した。
- 歩行者交通量／有効幅員で決まる歩行者密度が大きくなると選択率は低下（有効幅員が広がると選択率が高まる）、若者・移動目的が私事の場合が選択確率が高くなる傾向が確認された。
- 一方で、経路選択モデルにおいて、沿道店舗数などの“建物情報”を変数とした有意なモデルができなかった（t 値の絶対値が1.96未満）ため、建物情報の感度を把握するための複数パターンのVRアンケート実施などによるモデル改善が今後の課題である。

<有意なモデル>

$U_{道玄坂} = -4.823$ （歩行者密度） -0.374 （オープンカフェダミー） $+0.908$ （22歳以下ダミー） $+0.517$ （私事目的ダミー） $+1.006$ （定数項）

$U_{マークシティ} = -4.823$ （歩行者密度） $+0.517$ （私事目的ダミー）

$U_{246} = -4.823$ （歩行者密度） -1.320 （定数項）

<有意なモデルパラメータ>

説明変数		パラメータ	t-値
定数項	道玄坂	1.006	9.32
	国道246号	-1.320	-7.31
歩行者密度		-4.823	-1.83
ダミー	オープンカフェ	-0.374	-2.95
	年齢（22歳以下）	0.908	1.98
	利用目的（買物・飲食・娯楽）	0.517	2.33
サンプル数		1600	
ρ 2値（自由度調整済）		0.264	

<参考> 左記モデルに沿線店舗数を組み込んだ場合のパラメータ

説明変数		パラメータ	t-値
定数項	道玄坂	0.896	0.57
	国道246号	-1.299	-3.69
歩行者密度		-4.822	-1.83
沿線店舗数		0.356	0.07
ダミー	オープンカフェ	-0.374	-2.95
	年齢（22歳以下）	0.908	1.98
	利用目的（買物・飲食・娯楽）	0.517	2.33
サンプル数		1600	
ρ 2値（自由度調整済）		0.264	

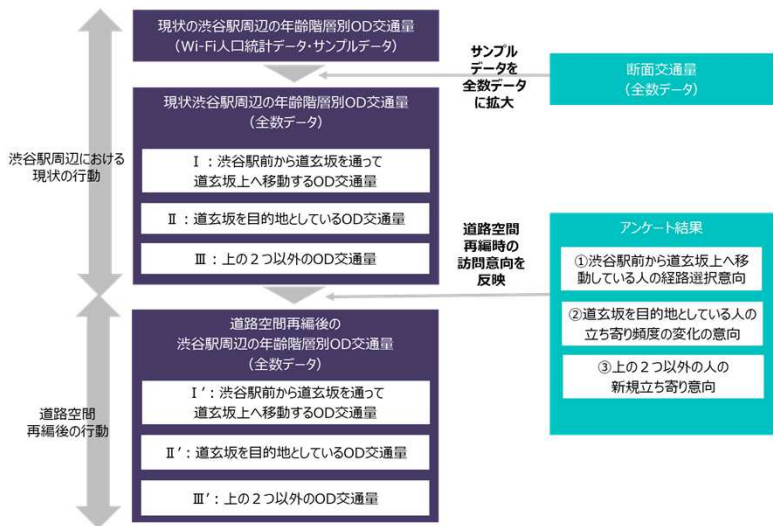
IV. 実証技術の検証 > 1. 都市空間の質的变化の影響評価 > ② 検証結果

ii) モデル化による定量的な解析の有効性評価

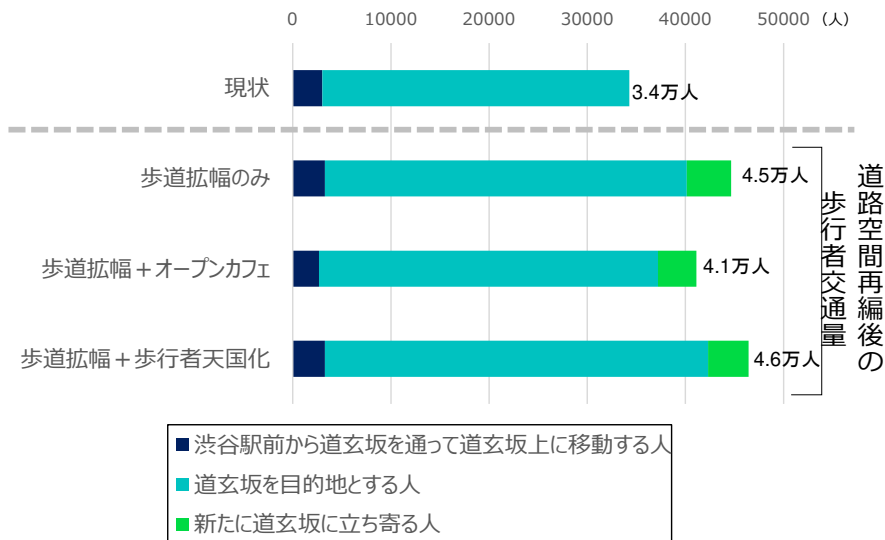
歩道拡幅や賑わい創出などの都市空間の質的变化が、来街者増加の効果に寄与することを定量的に評価。

- VRアンケートによる、目的地選択意向と経路選択意向の調査結果を踏まえ、歩行者交通量の推計を行った。
- 現況の道玄坂歩行者交通量3.4万人/日（R2歩行者交通量調査結果）が、空間再編により、4.1～4.6万人/日（参考：コロナ前約5万人/日）に増加する結果となった。

歩行者交通量の推計方法



空間再編による道玄坂の歩行者交通量の変化（人/日）



IV. 実証技術の検証 > 1. 都市空間の質的变化の影響評価 > ② 検証結果 ii) モデル化による定量的な解析の有効性評価

歩行者シミュレーション結果にもとづく歩行者交通量をVR空間（クラウド環境）に再現・可視化を行った。
定量的な解析手法により、道路空間再編後には現況よりも歩行者交通量が増加することを視覚的に確認できた。

現況

道路空間再編

現況の歩行者交通量を表現

再現する歩行者交通量：
路線延長(500m)あたり約380人



予測した空間再編後の歩行者交通量を表現

■ 再編パターン①
歩道拡幅のみ

再現する歩行者交通量：
路線延長(500m)あたり約500人



■ 再編パターン②
歩道拡幅 + オープンカフェ

再現する歩行者交通量：
路線延長(500m)あたり約460人



■ 再編パターン③
歩道拡幅 + 歩行者天国化

再現する歩行者交通量：
路線延長(500m)あたり約520人



※図は3D都市モデルを活用したVRイメージ画像であり実際の計画とは無関係です。

IV. 実証技術の検証 > 1. 都市空間の質的変化の影響評価 > ②検証結果

iii) VR活用推進のための3D都市モデルの有効性評価

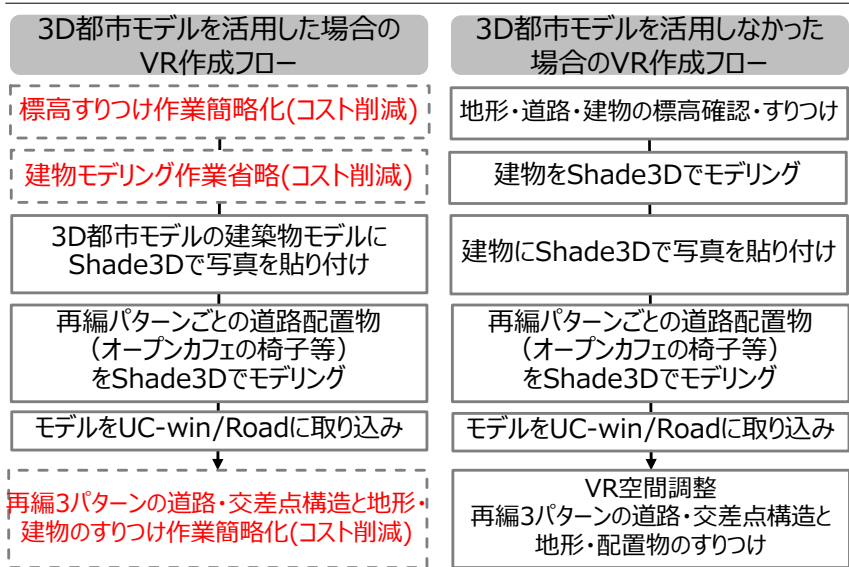
3D都市モデルを活用することで将来イメージのVRを低コストで作成可能であることを確認。

- 通常のVR自体は3D都市モデルを使わずに作成可能であるが、3D都市モデルをベースとしたVR作成により、約2百万円のコストを削減（従来方法に比べ約4割のコスト減）することができ、3D都市モデルを活用することで将来イメージのVRを低コストで作成可能であることを確認できた（コストは本実証の対象範囲でVR作成に必要な工数を積み上げ概略で試算）。

VR作成に係るコスト比較

VR作成対象	3D都市モデルを活用した場合 (A)	3D都市モデルを活用しなかった場合 (B)	3D都市モデル活用により削減できるコスト (B-A)
現況の道玄坂	約160万円	約260万円	約100万円
空間再編後の道玄坂 (現況分に追加で必要な金額)	約230万円	約360万円	約130万円
合計	約390万円	約620万円	約230万円

VR作成にあたり効率化が期待される工程



IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用可能性の検証

① 検証内容 | 渋谷区による評価

本実証で開発した手法が、地方公共団体による政策推進の場面で有効に活用できるかについて、渋谷区実務担当者による評価を実施。

目的	3D都市モデルを活用した道路空間再編の歩行者行動の予測・評価手法の政策活用可能性の検証
実施期間	2023年1月24日（火） 11:00～12:00
実施場所	パシフィックコンサルタンツ神保町オフィス会議室
主な参加者	国交省都市局2名、渋谷区2名、MRI1名、実証開発事業者6名
実施内容	<p>本実証対象範囲における道路空間再編事業に関わる渋谷区職員とともに、まちづくりの現場での活用可能性などについて意見交換を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクト全体の成果報告 ・シミュレーション結果を可視化したVRの体験 ・まちづくりの現場での活用可能性についての意見交換

IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用可能性の検証

① 検証内容 | 渋谷区による評価

渋谷区による評価の様子



渋谷区に対する成果報告の様子



シミュレーション結果を反映したVR（オープンカフェ実施時）



渋谷区職員がVRを体験する様子



シミュレーション結果を反映したVR（歩行者天国化実施時）

※図は3D都市モデルを活用したVRイメージ画像であり実際の計画とは無関係です。

IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用可能性の検証

② 検証結果 | 渋谷区による評価

項目	成果	課題
シミュレーション結果	<ul style="list-style-type: none"> 道路空間再編時に歩行者交通量が増加するシミュレーション結果を報告し、渋谷区から「今後の検討にとって有効な結果が得られた」との意見があった。 	<ul style="list-style-type: none"> 実証内で、一定の条件下によりオープンカフェ実施の際の意向を確認したが、賑わい創出効果が確認できなかったため、今後自治体側の検討深度化を踏まえたパターン別意向把握などの検討が必要。
3D都市モデルを活用した3次元VR	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用した3次元VRについて、渋谷区から「空間再編後のイメージをつかむために非常にわかりやすいツール。今後、オープンカフェの密度の議論などにも使える」との意見があった。 	<ul style="list-style-type: none"> VRの利用環境について、自治体等ユーザーが利用できる環境について留意（本実証で利用したVRビューアーでは、ネイティブアプリのインストールが必要だが、自治体のセキュリティ基準によっては利用ができない可能性あり。）
合意形成への活用	<ul style="list-style-type: none"> 今後の関係者への説明等への活用可能性について、渋谷区から「視覚的にイメージつきやすく、検討段階からも関係者への説明など色々なことに活用できる」との意見があった。 	<ul style="list-style-type: none"> 合意形成に向けて関係者との意見交換とそれを受けた検討案の修正が必要となる。自治体等が検討状況に合わせてVRを修正しつつ活用していくためには、VR作成時の操作を簡易にしていけることが別途必要。

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

① 3D都市モデルによる技術面での優位性

項目	想定される技術面での優位性
質的空間を体験するVRの作成	<ul style="list-style-type: none"> VR作成時に3D都市モデルを活用することで従来より約2百万円コストダウンできることが確認され、3D都市モデルの活用により、空間再編後の様子をリアルに体験できるVRを効率的に作成できた。 また、VR作成における技術面のその他の優位性としては、3D都市モデルは全国的に一定の規格で整備されているためデータ自体の正確性が担保されていること、3D都市モデルの活用により都市の建物更新にあわせたVR更新が容易であることなどがあげられる。
道路空間の質的変化の影響評価	<ul style="list-style-type: none"> アンケート回答者の約85%がVRを体験することにより空間再編後の様子をイメージできたと回答していることから、VRを活用することで、2Dでは限界があった都市空間の質的変化の影響について、利用者の意向をより解像度高く把握することができ、それによる経路選択意向のモデル化ができた。
予測のための効率的なデータ収集	<ul style="list-style-type: none"> QGISプラグインの開発により、3D都市モデルから経路選択モデル構築に必要な店舗数等の説明変数となる情報を効率的に取得できるようになった（従来のQGISの基本的な機能では、指定した道路と沿道の情報を一括で取得することは困難）。

V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

② 3D都市モデルによる政策面での優位性

項目	想定される政策面での優位性
合意形成の円滑化	<ul style="list-style-type: none"> 渋谷区より空間再編の検討段階から関係者への説明等に活用できる旨の意見を得た。VRの活用で空間の将来イメージをリアルに体験できることにより、関係者間の将来イメージの共有を円滑に進めることができ、まちづくりにおける合意形成や関係者の意見の吸い上げの支援に効果的であることが示唆された。
3DCG等作成の効率性向上	<ul style="list-style-type: none"> 自治体内で3DCGの活用が進む中で、製作の効率性向上の観点から、3Dモデル/データ基盤として3D都市モデルが有効である（PLATEAU事業によるデータ流通が進むことの価値）。

V. 成果と課題 > 2. 今後の取り組みに向けた課題

今後の取り組みに向けた課題

項目	活用にあたっての課題
VRの作成	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルを活用してリアルな空間を再現するVRを効率的に作成できる一方、PLATEAUで公開されている建物テクスチャは、質的空間体験をするにあたり不明瞭なものがあるため、VRの作成にあたり公開データをそのまま使えずテクスチャ貼替えが必要な場合がある。
歩行者シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> 実証内で、一定の条件下によりオープンカフェ実施の際の意向を確認したが、賑わい創出効果が確認できなかったため、今後自治体側の検討深度化を踏まえたパターン別意向把握などの検討が必要 経路選択モデルにおいて、幅員や個人属性を要素としたモデル構築はできたが、“建物情報”を用いた変数とした有意なモデルができなかった。建物情報の感度を把握するための複数パターンのVRアンケート実施が必要。
自治体のVR利用環境	<ul style="list-style-type: none"> VRにおける空間条件の設定について、自治体職員自らが簡易的に作り変えるような手段開発は別途必要。 VRの利用環境について、自治体等ユーザーが利用できる環境について留意が必要である（本実証で利用したVRビューアーでは、ネイティブアプリのインストールが必要だが、自治体のセキュリティ基準によっては利用できない可能性がある）。

用語集

用語		内容
ア行	RPデータ	Revealed Preferenceデータの略語。実際の行動に基づくデータで、例えばパーソントリップ調査データなどが該当する。今回の実証では、人流データ（ゾーン間OD交通量）などをRPデータとして用いている。
	SPデータ	Started Preferenceデータの略語。実験者により提示される仮想の状況における被験者の選考に基づくデータで、例えば、新規路線導入時の利用意向アンケートなどが該当する。今回の実証では、空間再編後の経路選択意向のアンケート調査結果をSPデータとして用いている。
	OD（オーディー）	ODは、Origin（出発地）－Destination（到着地）の略語。ある地域を区分し、トリップがどのゾーンから出発してどのゾーンに到着したかまとめたものをOD交通量などという。
サ行	説明変数	統計学において、分析対象となるデータの中で、別の変数に対して影響を与える変数を指し、予測モデルの構築に用いられる。例えば、今回の実証では、空間再編後の歩行者交通量を予測するために、歩行者密度や移動目的、年齢階層などの要因を説明変数として用いている。
タ行	トリップ	ある目的（例えば、出勤や買物など）を持って起点から終点へ移動する際の、一方向の移動を表す概念であり、同時にその移動を定量的に表現する際の単位。
	t値（ティーち）	推定されたパラメータ値をその推定標準偏差で割った値。一般的には、t 値の絶対値が 1.96 以上であれば、有意性があると判断される。
ハ行	ポラード	路上に設置して、車の通行・進入を制限する設備。車止め。
ヤ行	尤度比（ゆうどひ）	ロジットモデルにおいて、推定されたモデルの適合度を評価する指標の 1 つ。この値は 0 から 1 の間にあり、数値が大きいほどモデルの適合度が良いとされる。

ウォークブルな空間設計のためのスマート・プランニング 技術検証レポート

令和5年3月 発行

委託者：国土交通省 都市局 都市政策課

受託者：パシフィックコンサルタンツ・フォーラムエイト共同提案体

本報告書は、パシフィックコンサルタンツ・フォーラムエイト共同提案体が国土交通省との間で締結した業務委託契約書に基づき作成したものです。受託者の作業は、本報告書に記載された特定の手続きや分析に限定されており、令和5年3月までに入手した情報にのみ基づいて実施しております。従って、令和5年4月以降に環境や状況の変化があったとしても、本報告書に記載されている内容には反映されておられません。