

橋梁重要度の定量評価のための交通行動データを用いたマルチエージェントシミュレーションモデルの構築

○近堂岳, 小島颯人, 松崎仁平, 中村正樹, 榊原一紀, 立花潤三 (富山県立大学)

Development of Multi-agent simulation model using traffic behavior data for quantitative evaluation of bridge importance

*G. Kondo, H. Kojima, J. Matsuzaki, M. Nakamura, K. Sakakibara, and J. Tachibana
(Toyama Prefectural University)

概要 本研究は、急速に老朽化が進行している橋梁を定量的に評価することで、橋梁管理者が行う維持撤去の判断を支援することを目的とする。マルチエージェントシミュレーションを使用して住民の交通行動を再現し、その結果から橋梁の定量的な評価を行う。本研究では、携帯電話端末から得られた交通行動データを利用して、住民エージェントの属性ごとのコスト・疲労度に対する価値観を推定し、実際の交通行動に適合した精度の高いシミュレータを開発する。

キーワード: 都市交通シミュレーション, マルチエージェントシミュレーション, 最適化

1 はじめに

1.1 研究背景及び目的

日本では高度経済成長期に交通インフラの整備が急速に行われた。その例として富山県の架設年次別橋梁数を Fig. 1 に示す。そのため、今後橋梁を含む道路構造物の老朽化が進行し、補修や更新の頻度が増加すると考えられている。現在、道路橋の計画的な点検、診断、補修、更新を通じて、予防保全によるライフサイクルコスト削減を目指して、道路ストックの長寿寿命の取り組みが始まっている¹⁾。しかし、多くの道路ストックを抱える地方公共団体においては、技術的、経済的理由により、取り組みが遅れている。2021年度末の点検でのデータでは、早期措置段階、緊急措置段階と判断された橋梁において、地方公共団体が管理する橋梁の措置が未着手となっているものは59%となっている²⁾。富山県では2018年4月時点で、富山県が管理する橋長2m以上の橋梁は3,372橋あり、そのうち橋長15m以上の橋梁は825橋存在している。橋長15m以上の橋梁において、2018年4月時点では、建設後50年を経過する橋梁は約22%であるが、2028年には約49%、2038年には約89%までに増加する見込みとなっている³⁾。

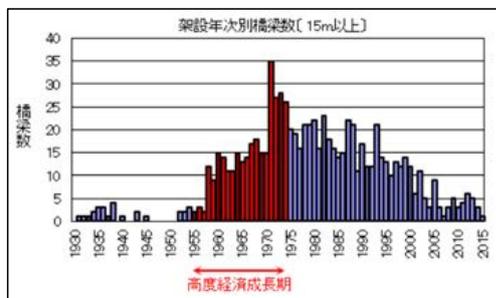


Fig. 1: 富山県の架設年次別橋梁数³⁾

このように、橋梁の老朽化による点検、診断、補修、更新の費用が増加する中で老朽化が進む橋梁全てを維持管理していくことは難しい。そのため、橋梁に優先順位をつけ、効率的に橋梁の管理を行う必要がある。し

かし、橋梁を撤去する場合は橋梁を撤去したことによる周辺住民への影響は無視することはできない。そのため、本研究では住民視点での橋梁の重要度を定量的に評価する。

先行研究⁴⁾では、マルチエージェントシミュレーションモデルを用いて住民視点での橋梁重要度を求める手法が提案されている。その方法として、対象地域の住民の交通行動とそれによって発生する交通渋滞をシミュレートし、評価対象の橋梁を取り除くことで発生する住民の交通行動の変化を見ることで橋梁の重要度を定量的に評価する。また、シミュレータで使用する疲労度パラメータは、対象地域とその周辺地域に住む住民に対して行ったアンケートに基づいて推定する。住民の価値観パラメータは、住民の多様性を考慮して、一様に平均を0.5とした正規分布に従った分布によって決定される。

本研究では、住民の価値観は性別や年齢などの属性によって偏りがあると考えられるため、住民の属性毎に価値観を決定する確率分布を用意して、シミュレーションを行う。しかし、人間の感覚である価値観を数値化することは難しいので、本研究ではパラメータ推定の手法の一つである焼きなまし法 (Simulated Annealing, 以下SA法と表記)⁵⁾と実際の人の行動のデータである携帯電話端末から得られた交通行動データを用いることで住民の属性毎の確率分布を推定する。また、こうして構築された精度の高いシミュレーションモデルを利用して、各橋梁の住民視点での重要度を定量的に評価することを目的とする。

1.2 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。第2章では本論文の関連研究に関して記述する。第3章では本論文の研究手法に関して記述する。第4章では本研究で行なった実験結果および考察について記述する。第5章はまとめとして、本研究で得られた結果を整理し、今後の課題について述べる。

2 関連研究

文献⁴⁾では社会資本の1つである橋梁を無くしたことによる住民の移動経路への影響を定量的に評価する

ことを目的とした、マルチエージェントシミュレーションモデルを用いた手法が提案されている。シミュレータは富山県富山市を対象とし、対象地域の道路ネットワーク構造を明示的に表現することで、各道路上の移動を評価することを可能としている。また、住民の移動に伴う疲労度を決定する疲労度パラメータを、アンケートと焼きなまし法を用いることで推定している。この論文で行われたアンケート調査の概要を Table 1 に示す。

Table 1: アンケート調査の概要⁴⁾

項目	内容
被験者	対象地域に住む 小学生, 中学生, 学生, 社会人, 高齢者
実施期間	2018年11月
サンプル数	3500
対象地域	シミュレーション対象地域 およびその周辺地域(富山市内57の町)
調査項目	1. 個人属性 2. 免許の有無 3. 各時間帯における目的地 4. 指定した2点間を移動する際の 利用交通手段

この論文では、パラメータ推定には住民に対して行ったアンケートを用いていたが、アンケートには、回答者の主観になり客観性に乏しい点や前提条件が多い点などの問題点がある。そのため、本研究では、アンケートではなく、携帯電話端末から得られた交通行動データを用いる。また、住民のコスト・疲労度に対する価値観は住民の多様性を考慮して、一様に平均を0.5とした両側切断正規分布を用いていたが、住民の属性毎に価値観の偏りがあると考え、住民の属性毎に確率分布を用意する。

3 研究手法

3.1 研究概要

本研究の流れは以下の通りである。まず、交通行動データを用いて、富山市内の対象地域の一年間の人流データを取得する。取得したデータから平日朝、平日昼、休日昼の3シナリオに分けて住民の目的地選択確率を求め、その確率を元にシナリオ毎のODデータを作成する。富山市内の対象地域の一年間の人流データ、作成したODデータ、マルチエージェントシミュレーションにおけるエージェントが持つ各種パラメータを元にSA法を使用してシナリオ毎の住民の属性別のコスト・疲労度に対する価値観の値を推定する。作成したODデータ、推定した住民の属性毎の価値観を用いて、全橋梁がある場合と各橋梁をそれぞれ撤去した場合のシミュレーションを各シナリオで行う。シミュレーション結果から各橋梁の有無による評価値、疲労度、コストの差を求め、その差から各橋梁の重要度を定量的に評価する。

3.2 評価対象

本研究でのシミュレーションは富山県富山市の市街地部(緯度:36.6719 ~ 36.7047, 経度:137.1971 ~ 137.2410)の範囲で行い、対象橋梁は富山市を流れる一級河川のいたち川に架かる19橋とする(Fig. 2)。



Fig. 2: 対象地域および対象橋梁

3.3 交通行動データ

本研究ではシミュレータで使用するパラメータの推定に交通行動データとして、KDDI Location Analyzer(以下KLAと表記)⁶⁾を使用する。KLAとはKDDIが所有している性別、年代、居住地、勤務地などを含む契約者情報とau携帯端末の位置情報データを組み合わせることで商圏や来訪者、時間帯別傾向など、鮮度の高いエリアマーケティングを可能にするエリア分析ツールである。KLAには通行人口分析、単点分析ダッシュボード、時系列来訪者比較分析、来訪者居住地分析などの機能があり、本研究では住民のODデータの作成に来訪者居住地分析と来訪者属性分析、パラメータ推定に通行人口分析を使用する。3.3.1, 3.3.2, 3.3.3節に本研究で使用する3つの分析機能について説明する。

3.3.1 来訪者居住地分析

来訪者居住地分析は、任意の施設に仮想境界線を設定することで、Table 2のように指定した期間や時間の来訪者数を、来訪者の居住地を市町村や町丁目単位に分割して表示する機能である。

Table 2: 来訪者居住地分析データ(一部)

コード	町丁目名	人数	獲得比率
16201027002	富山市安野屋町2丁目	319	0.171
16201626001	富山市布瀬町南1丁目	192	0.025
16201100002	富山市新根塚町2丁目	112	0.024
16201018000	富山市安田町	111	0.058
16201178003	富山市鶴島3区	102	0.028
16201027001	富山市安野屋町1丁目	101	0.027
16201172001	富山市五福1区の1	89	0.022
16201172005	富山市五福4区	88	0.008
16201326101	富山市中市1丁目	84	0.009

3.3.2 来訪者属性分析

来訪者属性分析は、来訪者居住地分析と同様に施設を設定すると、Table 3のように指定した期間や時間の設定した施設への来訪者数を、来訪者の属性(性・年代別に20代男性, 30代男性, ..., 70代以上男性, 20代女性, 30代女性, ..., 70代以上女性の全12属性)に分割して表示する機能である。

Table 3: 来訪者属性分析データ

属性	男性	女性
20代	2328	281
30代	1293	670
40代	1680	1427
50代	1407	563
60代	874	705
70歳以上	262	66

3.3.3 通行人口分析

通行人口分析は、来訪者居住地分析と同様にエリアを指定し、指定エリア内の交通量を平日/休日、時間帯別、性・年代別、交通手段(徒歩、自動車)別に道路毎に集計し表示する機能である。データの一部を Table 4 に示す。

Table 4: 通行人口分析データ (一部)

	男性	女性	20代	30代	40代
5時	11152	2133	1985	1218	5507
6時	29025	7016	4386	4074	5818
7時	81584	42584	7300	8918	49692
8時	59495	87267	40598	21508	31745
9時	57454	55188	17112	18554	18805
10時	54140	46181	11284	15166	20856
11時	51770	48735	10069	15362	24382
12時	46662	46856	8104	19311	20079
13時	53706	46567	9092	16053	18645
14時	57375	52888	10340	18705	26119
15時	60792	48980	11140	18851	25795
16時	58618	59607	14568	23968	26622
17時	61489	54072	15172	20112	25962

3.4 目的地選択確率

目的地選択確率は、住民が移動先として選択する目的施設がどの属性であるかを確率で表したものである。ここで目的施設の属性は、国土交通省の資料「人の移動目的」⁷⁾を参考に、コンビニ、スーパー・薬局、飲食店、教育施設、銀行・郵便局、娯楽施設、公園、公共施設、商業施設、職場、病院、その他用品店(家電量販店、雑貨店など)の12属性に設定した。以下に目的地選択確率の作成手順を示す。

1. 来訪者居住地分析機能を利用して合計 301 箇所の来訪者数データを各シナリオ毎に収集する。
2. 1で収集したデータをシナリオ毎に整理する。
3. 目的施設の来訪者属性を把握するために、Fig. 3のように対象地域の地域特性を仮定する。
4. 来訪者属性分析機能を用いて3で設定したそれぞれの地域特性エリアから各目的施設属性の代表データを1箇所ずつ収集する。
5. 4で収集した各地域特性エリアの代表データから目的施設属性毎に平均値を算出し、各目的施設属性毎の来訪者属性の割合を求める。

6. 2で作成した各目的地の来訪者数のデータに5で作成した各目的施設属性毎の来訪者属性の割合を乗ずることで、各目的施設毎の来訪者属性別の来訪者数を求める。
7. 6で求めた各目的施設毎の来訪者属性別の来訪者数を各町の総移動人口で割ることで目的地選択確率を算出する。

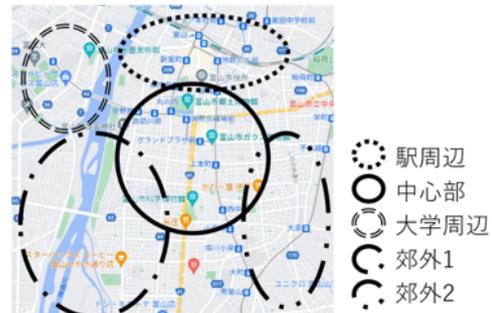


Fig. 3: 対象地域の地域属性区分

3.5 OD データ

OD データとは、シミュレーション上のエージェントの出発地と目的地を表すシミュレーションの入力データである。

3.5.1 人口データと各建物の延べ床面積

対象地域内の人口データを平成 27 年国勢調査から、年齢別、男女別に入手した。本研究における住民の属性区分は、男女別の 20 代、30 代、40 代、50 代、60 代、70 歳以上の合計 12 属性となる。また、KLA から得られるデータが 20 歳以上であるから、20 歳未満を省略して設定する。対象範囲内の各建物の延べ床面積については、ArcGIS⁸⁾を用いて、株式会社ゼンリンの富山市の建物地図情報データから求める。

3.5.2 Origin データ

Origin データとは、対象地域の住民の出発地と属性データのことである。シミュレーションにおいて、対象範囲内の住民の出発地点の情報と年代別人口は、現実に即したものにすることが必要である。シミュレーションでは、エージェントは道路上に存在するノード間を移動するため、対象範囲内の各建物の緯度・経度、年代別人口を求め、各建物から最も近いノードをエージェントの出発地点とした (Fig. 4)。このデータを Origin データとする。Origin データの作成手順を以下に示す。

1. 対象範囲内の各町の年代人口データを手に入る。
2. ArcGIS を用いて対象範囲内の建物の延べ床面積のデータを手に入る。
3. 1, 2で入手したデータを用いて単位床面積あたりの年代別人口を算出する。
4. 各建物の延べ床面積に3で求めた単位床面積あたりの年代別人口を乗ずることで各建物の人口データを作成する。

5. 4で作成した各建物の人口データを各建物から一番近いノードに集め、各ノードに集められた人口データを Origin データとする。

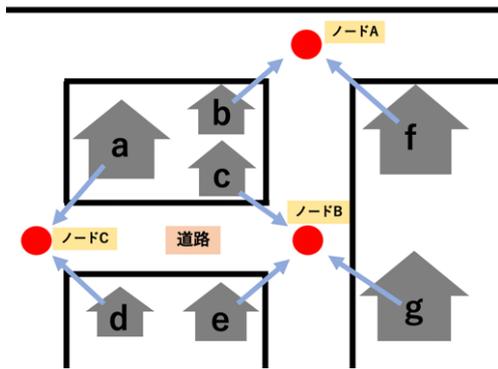


Fig. 4: Origin データ作成のイメージ図

3.5.3 Destination データ

Destination データは、対象地域の住民の目的地データのことである。3.5.2 節で作成した Origin データに対して、3.4 節で求めた目的地選択確率と乱数を用いることで Destination データを作成する。

上記の順で各3シナリオ毎に OD データを約4万人分ずつ作成する。シミュレーション実験では、上記 OD データから住民の属性の比率を変化させずにランダムに3000人ずつ抽出したデータセットを用意する。作成した OD データの一部を Table 5 に示す。

Table 5: OD データ (一部)

#id	origin	dest	license
0	2592	2358	0
1	2592	14	1
2	2592	459	1
3	2592	14	1
4	2592	138	1
5	2592	459	1
7	2592	11	1
8	2728	150	0

3.6 マルチエージェントシミュレーション

マルチエージェントシミュレーションとは、複数の自律的に行動する個々のエージェントとそのエージェントによる相互作用によって分析対象をモデル化するシミュレーション技法である。マルチエージェントシミュレーションの特徴として、簡単な個の設定で複雑な集団としての行動をシミュレートすることができる点、対象の現象の全体をモデル化する必要がない点が挙げられる。これらの特徴によってマルチエージェントシミュレーションは複雑系と呼ばれる相互に関連する複数の要因が合わさって全体としての性質を見せるが、全体としての挙動が個々の要因や部分からは明らかでない事象をシミュレートすることができる。本研究では対象地域の住民の交通行動とそれによって発生する交通渋滞をマルチエージェントシミュレーション

を利用してシミュレートする。

3.6.1 エージェントの意思決定

エージェントの意思決定とは、住民エージェント毎に与えられた OD 情報に対してトリップの決定を行うことである。本研究では、各住民エージェントは移動行動に対して距離と移動手段に対して評価値を持ち、それらから計算する評価値を最適にするように経路・手段を選択すると仮定し、住民エージェントに意思決定を行わせる。住民エージェントの意思決定を行うとき、経路探索を各住民エージェント毎に行うと計算負荷が大きくなるため、住民エージェントが共通して取り扱うことができる部分を共通化することで計算負荷の軽減を図る。そこで、二つの仮定を置く。

仮定 1. エージェントによって拡張距離は異なるない。

仮定 2. 同一の道路・線路を用いる場合は移動手段によって拡張距離は異なるない。

ここでの拡張距離とは、経路の距離に渋滞などによる影響を加味したものであり、交通量に応じた所要時間の増加を距離の増加として擬似的に捉えるものである。仮定 1 を設けることにより、最短拡張距離を持つ経路の探索をエージェント毎に行う必要がなくなる。また、仮定 2 はミュレーションの計算コスト削減のための仮定であり、道路を使用する移動手段が経路探索結果を共有することを可能にし、移動手段毎に計算を行う必要がなくなる。各住民エージェントは、それぞれのコスト・疲労度に対する価値観を持っており、その価値観に従って移動手段及び移動経路を決定、つまりトリップを決定する。その意思決定過程は、前述の仮定により全エージェントについて以下の共通部と個別部に分けられる。

3.6.2 共通部 (アルゴリズム 1)

地点間に距離と混雑度から算出される擬似的距離を設定し、全地点間について、その擬似的距離の経路和を最小にする経路を求める。地点間の距離は、基本的に実際の距離を与えるが、それを加工することにより経路の有無や渋滞状況を表現し、それを拡張距離と呼ぶことにする。河川の橋のない部分などの道路が存在しない区間については、距離を ∞ とすることで経路が存在しないことを表現する。また、道路が存在する場合、その容量と交通量に応じた拡張距離を与える。鉄道等の路線が限られている移動手段においては、それぞれ個別に探索を行う必要があるが、移動可能な経路が路線に限られているため計算負荷は小さい。また、鉄道などの道路を使用しない移動手段においては、渋滞が存在しないため、拡張距離ではなく実距離を用いる。

3.6.3 個別部 (アルゴリズム 2)

住民 P_i の意思決定は、トリップ R のコスト C_R 、疲労度 T_R 、住民のコスト価値観 w_i^C ・疲労度価値観 w_i^T を用いて評価値

$$f_i(R) = w_i^C C_R + w_i^T T_R \quad (1)$$

を計算し、

$$R_i^* = \arg \min_{R \in \mathcal{R}_i} f_i(R) \quad (2)$$

となる最適トリップ R_i^* を探索することで行われる。ただし、 \mathcal{R}_i は実行可能なトリップの集合を表す。トリップ R のコスト C_R 及び疲労度 T_R は拡張距離の線形式で表されるとする。よってトリップ R が L_R 段の移動手段で行われると、トリップ R の l 段目の移動手段を j_{Rl} 、それに対応する拡張距離を v_{Rl} として、

$$C_R = \sum_{l=1}^{L_R} (c_{j_{Rl}}^A v_{Rl} + c_{j_{Rl}}^B) \quad (3)$$

$$T_R = \sum_{l=1}^{L_R} (t_{j_{Rl}}^A v_{Rl} + t_{j_{Rl}}^B) \quad (4)$$

と表せる。以上より評価値 $f_i(R)$ を用いて組合せ最適解問題を解くことで、各エージェントは最適なトリップを決定する。Fig. 5 に住民エージェントの意思決定の流れを示す。

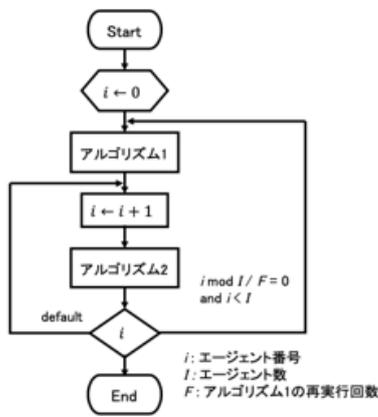


Fig. 5: 住民エージェントの意思決定の流れ

3.6.4 シミュレータ

シミュレーションの対象範囲に対して OpenStreetMap⁹⁾ から得られた地理情報を元に道路ネットワークを作成した (Fig. 6)。

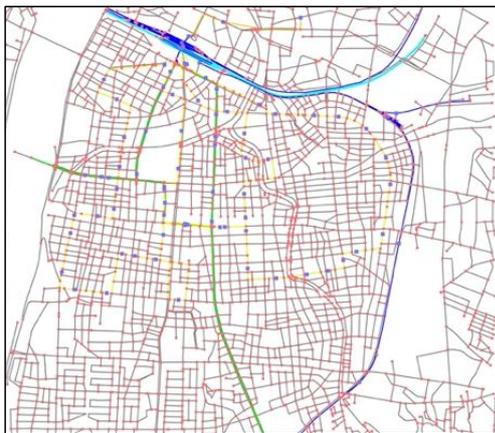


Fig. 6: 道路ネットワーク

このネットワークはノード (地点) とエッジ (道) で構成されており、ノードは駅、バス停の有無など、エッジは道路の容量、距離、一方通行の可否、路線の有無などの情報を持っている。

シミュレータでの住民の移動手段としては徒歩、自転車、自家用車、鉄道 (路面電車)、バスが存在し、各移動手段毎にコスト/疲労度パラメータを設定した。

コストパラメータは実際の移動手段毎の運賃体系を元に、徒歩は $c_0^A = c_0^B = 0$ 、自転車は $c_1^A = c_1^B = 0$ 、自家用車は $c_2^A = 0.011$ 、 $c_2^B = 200$ 、鉄道 (路面電車) は $c_3^A = 0$ 、 $c_3^B = 210$ 、バスは $c_4^A = 0.006$ 、 $c_4^B = 210$ と設定した。ここで c_j^A は距離従属コスト、 c_j^B は固定コストを表す。

疲労度パラメータは先行研究で住民アンケートと SA 法を用いて求めたものを使用し、徒歩は $t_0^A = 0.826149994$ 、 $t_0^B = 0$ 、自転車は $t_1^A = 0.340560869$ 、 $t_1^B = 404.9029824$ 、自家用車は $t_2^A = 0.312961008$ 、 $t_2^B = 401.4500769$ 、鉄道 (路面電車) は $t_3^A = 0.110113320777187$ 、 $t_3^B = 402.615522864871$ 、バスは $t_4^A = 0.294842169$ 、 $t_4^B = 377.362635$ とした。ここで t_j^A は距離従属疲労度、 t_j^B は固定疲労度を表す。このように設定した各パラメータをまとめたものを Table 6 に示す。

Table 6: 各移動手段のコスト/疲労度パラメータ

移動手段	コスト		疲労度	
	距離従属	固定	距離従属	固定
徒歩	0.0	0	0.826149994	0.0
自転車	0.0	0	0.340560869	404.902982
自家用車	0.011	200	0.312961008	401.450076
鉄道 (路面電車)	0.0	210	0.110113320	402.615522
バス	0.006	210	0.294842169	377.362635

3.7 焼きなまし法 (Simulated Annealing)

SA 法とは、金属加工の焼きなましを模した、大域的最適化問題で使用される確率的探索アルゴリズムである。SA 法は計算量が多くなるが、容易に局所解に捕捉されないという特徴を持つ。この特徴は温度パラメータという独自のパラメータを持つことによって実現される。温度パラメータは探索ステップが進む毎に減少し、式 5 に従い解の採用確率に影響を与える。ここでこの問題は最小化問題であり、 r は解の採用確率、 ΔE は近傍解の評価値を a 、暫定解の評価値を b としたときの評価値の差 ($a - b$)、 T は温度パラメータを表す。これによって高温時には評価値が悪くなる解も積極的に採用して広い範囲を探索し、低温時には評価値が良くなる解のみを採用して最適解を見つけることができる。

$$r = \begin{cases} 1 & \text{if } \Delta E < 0 \\ \exp(-\Delta E/T) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

本研究では、この SA 法と KLA の通行人口分析を用いて住民の属性別のコスト・疲労度に対する価値観の値を推定する。SA 法による住民の価値観の推定の流れは以下の通りである。

SA 法による価値観パラメータ推定の流れ

1. 住民の価値観パラメータを決める決定変数を設定しシミュレーションを行い、シミュレータの各交差点の交通量を求める。
2. 1 で求めた交通量と KLA の通行人口分析から得た実際の人の交通量を、1 箇所の交差点を基準とした各交差点の比率に変換する。

3. 2で求めた、シミュレーションの各交差点交通量の比と実際の各交差点交通量の比の二乗誤差を計算する。
4. 1で設定した決定変数を少し変更し2, 3を行う。
5. 3, 4で求めた二乗誤差の総和のうち小さい方の価値観パラメータを4と同様に少し変更し二乗誤差の総和を計算する。
6. 1~5を十分に繰り返し、最終的に二乗誤差の総和が一番小さかった決定変数をマルチエージェントシミュレーションに使用する。

4 実験結果と考察

4.1 価値観 w の確率分布の推定

3.3.3節で述べた通行人口分析データと3.6節で述べたマルチエージェントシミュレーション・モデル、3.7節で述べたSA法を使用して、住民のコスト・疲労度に対する価値観 w を決定する確率分布の推定を行った。実験時の環境はCPUは3 GHz 10コア Intel Xeon W, メモリは64GBで行った。

4.1.1 SA法の設定

SAのパラメータはシナリオ毎に設定し、平日朝は最高温度は40000, 終了温度は0.02とし、平日昼, 休日昼は最高温度は80000, 終了温度は0.057, 冷却率は共通で0.98とした。また、近傍解の作成方法は平均・分散の値の範囲をそれぞれ0~1, 0~0.1とし、住民の属性毎の平均分散の24パラメータからランダムに1つ選び、それを値の範囲を出ないように、平均はランダムに-0.25~0.25の範囲で変化させ、分散はランダムに-0.025~0.025の範囲で変化させることで近傍解を作成する。

4.1.2 SA法の結果

4.1.1節の設定を使用して、各シナリオ毎に3000人のODデータで乱数値を変えて3回実行した。例として平日朝のシナリオに対してSA法を適応した際の評価値の推移をFig. 7に示す。

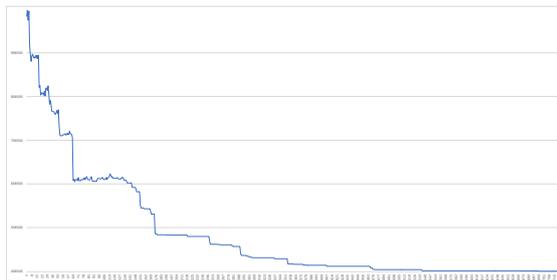


Fig. 7: SAにおける評価値の推移

Fig. 7の横軸はSA法における探索回数、縦軸はSA法の評価値である、シミュレーションの各交差点交通量の比とKLAの通行人口分析の各交差点交通量の比の二乗誤差の総和を表している。Fig. 7を見ると探索が進む毎に評価値が上下しつつも小さくなっており、シミュレータの結果が通行人口分析の値に近づいていることが分かる。

4.1.3 決定した平均分散の値

4.1.2節よりSAの評価値が最も小さいものを各シナリオの住民の属性毎の平均と分散の値とした。決定したシナリオ毎の住民の属性毎の平均と分散の値をTable 7, 8, 9に示す。

Table 7: 住民属性毎の平均と分散の値 平日朝

属性	平均	分散
20代女性	0.3525510691035285	0.02813620721802239
30代女性	0.8796184400282963	0.06730637866109451
40代女性	0.8819343000508255	0.007248533620036099
50代女性	0.3238482748940211	0.03596024362370853
60代女性	0.9741003421031706	0.04432000086973959
70歳以上女性	0.9581857325008418	0.036181408060124674
20代男性	0.9502517928949754	0.03177535383043471
30代男性	0.9763870690033823	0.08265137815291804
40代男性	0.8717981582653338	0.035846074195151054
50代男性	0.9259917088370508	0.03991262583722886
60代男性	0.9265848092295936	0.0493051909565989
70歳以上男性	0.9938103621468657	0.05409268618902136

Table 8: 住民属性毎の平均と分散の値 平日昼

属性	平均	分散
20代女性	0.9909102305024631	0.07668161368200582
30代女性	0.9292735305744286	0.037994549273954764
40代女性	0.12195487767036256	0.06606994649998324
50代女性	0.9306308574132158	0.00320291156486603
60代女性	0.8737379339412925	0.01020132583915866
70歳以上女性	0.9025763875501676	0.028681621007783174
20代男性	0.9997947719102251	0.03261888442890809
30代男性	0.9198178238396821	0.03956099178125764
40代男性	0.9242168719385453	0.058276625361819594
50代男性	0.950598489747766	0.02923808730978444
60代男性	0.9369708936117348	0.05357890461268712
70歳以上男性	0.9309501677065415	0.02715791643188773

Table 9: 住民属性毎の平均と分散の値 休日昼

属性	平均	分散
20代女性	0.3274986790804063	0.04397373743255459
30代女性	0.932014130723755	0.07761439805071246
40代女性	0.8390779904567678	0.06816289738845974
50代女性	0.9267777775354011	0.0031073292157993483
60代女性	0.9741003421031706	0.09287430643178352
70歳以上女性	0.9092971447930666	0.022060396255751628
20代男性	0.9432544080140397	0.00572051217678189
30代男性	0.9774504258563896	0.08160321045035984
40代男性	0.9840169283193807	0.06191322063493272
50代男性	0.9899820785912479	0.04827037123714593
60代男性	0.9180219514362424	0.055211438167289094
70歳以上男性	0.9832646070962394	0.03843272592103148

4.2 橋梁の評価

4.2.1 各シナリオの分析

4.1.3節で決定された平均分散の値を用いて全橋梁がある場合と各橋梁をそれぞれ撤去した場合の合計20パターンのシミュレーションをシナリオ毎に行う。シミュレート結果から全橋梁がある場合とそれぞれの橋梁を撤去した場合の評価値や疲労度、コストの差分を求め、その値を元に各橋梁の住民視点での重要度を評価する。

各シナリオのシミュレーション結果を Fig. 8 ~ 10 に示す。

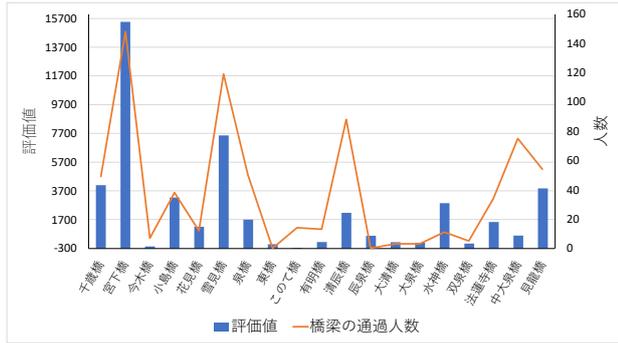


Fig. 8: 評価値 平日朝

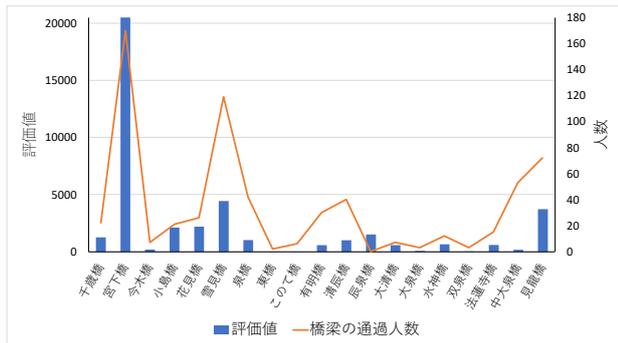


Fig. 9: 評価値 平日昼

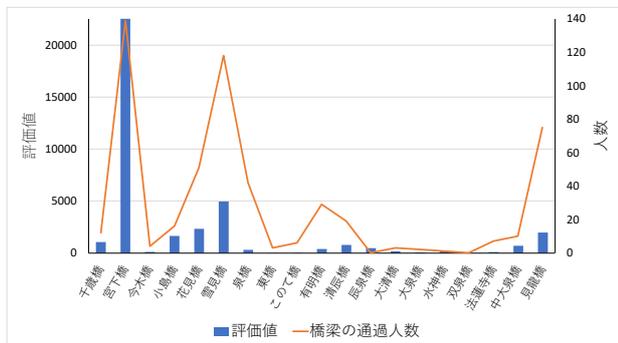


Fig. 10: 評価値 休日昼

Fig. 8, 9, 10 は全橋梁がある場合とそれぞれの橋梁を撤去した場合の評価値の差を示したものであり、横軸は撤去する橋梁名、第1軸はその橋梁を撤去した場合の全エージェントの合計評価値の差分を、第2軸は全ての橋梁がある場合に各橋梁を通過した人数を表している。

Fig. 8 より、平日朝において多くの橋梁は橋梁を撤去した場合の評価値の差分と橋梁の通過人数に比例の関係が見られるが、中大泉橋と水神橋の2橋はその関係が見られない。中大泉橋は比較的用户数が多いが、評価値の差が小さい。そのため、橋を撤去した場合でも近くに迂回路があり住民の移動に大きな影響を与えない重要度が低い橋梁であると考えられる。一方で、水神橋は利用者はあまり多くないが、評価値の差は大きい。すなわち、橋を撤去した場合は大きな迂回を行

う必要がある人が存在することを考慮する必要がある。

Fig. 8 と Fig. 9, 10 を比較すると清辰橋の通過人数は順に 88, 40, 19 人となっている。そのため、清辰橋は住民の通勤時に多く利用されており、住民の日常生活の中で重要度が高いと考えられる。

4.2.2 3シナリオ合計

全橋梁がある場合とそれぞれの橋梁を撤去した場合の評価値の差の3シナリオ合計値と全ての橋梁がある場合の各橋梁の通過人数の3シナリオ合計値を示した図を Fig. 11 に、Fig. 11 の評価値を降順に並べたものを Fig. 12 に、3シナリオの評価値の差の合計値を3シナリオ合計の通過人数で割った値である、橋梁を通過した一人あたりの評価値を示す図を Fig. 13 に示す。

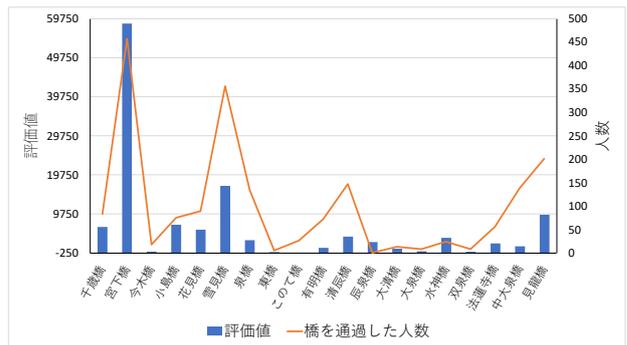


Fig. 11: 評価値 合計

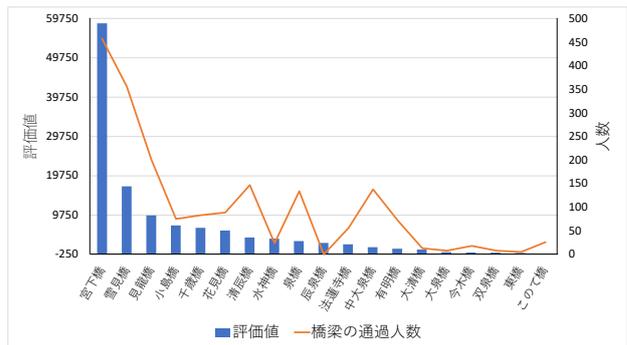


Fig. 12: 評価値 合計 (降順)

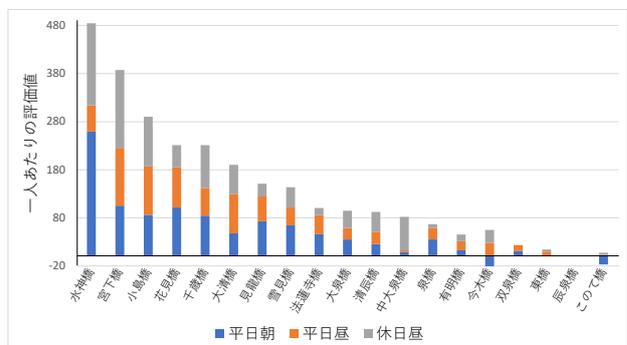


Fig. 13: 橋梁を通過した一人あたりの評価値

Fig. 12 より、清辰橋、泉橋、法蓮寺橋、中大泉橋、有明橋が評価値に対して橋を通過した人数が多くなっている。このことより、これらの橋梁は撤去された場

合でも他の橋梁と比べて迂回時の移動距離の増加が小さく、住民へ与える影響も小さいことがわかる。また、合計評価値が低い東橋とこのて橋の間には県道6号線に架かる久右衛門橋があるため、多くの人がそちらの橋を通り、この2橋を撤去した場合でも住民への与える影響が小さいと考えることができる。

Fig. 13を見ると橋梁を通過した一人あたりの評価値が一番大きいのは水神橋である。内訳を見ると平日朝の値が大きく、3シナリオの合計値の53%を占めている。よって、水神橋を撤去すると限られた人が平日の通勤に大きな影響を受けるといえることが考えられる。

5 まとめと今後の課題

5.1 まとめ

本研究では、交通行動データを用いたパラメータ推定を行い、シミュレータの性能の向上および住民視点での各橋梁の重要度の定量評価を行った。先行研究では、パラメータ推定には住民に対して行ったアンケートを用いていたが、本研究ではKLAという実データを用いたため、回答者の主観になり客観性に乏しい点、前提条件が多い点などのアンケート特有の問題を解決することができたと考える。また、住民のコスト・疲労度に対する価値観を属性毎に設定したことによって、先行研究では評価値の差が見られなかった橋において差が見られるようになり、シミュレータの再現度がより高まったと考えられる。今回の手法を用いることで、清辰橋や泉橋などのいくつかの橋梁に対して、橋梁の通過人数だけでは分からなかった重要度を確かめることができた。

5.2 今後の課題

今後の課題として、各移動手段のコスト/疲労度パラメータの値により、住民の意思決定時のトリップRのコスト C_R に対して疲労度 T_R の値が大きくなりやすいため、住民は価値観に関わらず、コストが多く掛かるルートを通りやすくなっている点の改善が挙げられる。

各移動手段のコスト/疲労度パラメータの値に関して、住民の評価値を求める際にコスト C_R と疲労度 T_R が同程度の値になるような係数の設定やコスト/疲労度パラメータの値が離れすぎないように設定等による対応が考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省 (2012), 道路橋の予防保全の取り組み.
https://www.hrr.mlit.go.jp/road/hozen.kaigi/img/1_kouen2_siryu.pdf
(2022年12月13日最終閲覧)
- 2) 国土交通省 (2022), 橋梁等の2021年度(令和3年度)点検結果をとりまとめ.
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001513468.pdf>
(2022年12月13日最終閲覧)
- 3) 富山県 (2018), 富山県橋梁長寿命化修繕計画
<https://www.pref.toyama.jp/1501/kendodukuri/dourokouwan/douro/kj00010308.html>
(2022年12月13日最終閲覧)
- 4) 榊原一紀, 立花潤三: 最適化指向マルチエージェント・シミュレーションによる橋梁重要度の定量評価, 2019年電気学会電子・情報・システム部門大会論文集, TC2-4, 108/113, (2019)
- 5) Bruce E. Rosen, 中野良平: シミュレーテッドアニーリング: 基礎と最新技術, 人工知能学会誌, 9-3, 365/372 (1994)

- 6) KDDI Location Analyzer ホームページ
<https://k-locationanalyzer.com> (2023年1月24日最終閲覧)
- 7) 国土交通省, 都市における人の動きとその変化
<https://www.mlit.go.jp/common/001223976.pdf>
(2023年1月10日最終閲覧)
- 8) ArcGIS ホームページ
<https://www.esri.com/products/arcgis/> (2023年1月24日最終閲覧)
- 9) OpenStreetMap ホームページ
<https://www.openstreetmap.org/#map=5/35.588/134.380> (2023年1月24日最終閲覧)