

マルチエージェントシミュレーションを用いた 住民視点の橋梁の維持管理重要度の検討

立花 潤三¹・宮下 航²・尾山 武史³・榊原 一紀⁴

¹正会員 富山県立大学 工学部環境・社会基盤工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)
E-mail:tatibana@pu-toyama.ac.jp

²非会員 富山県立大学 工学部環境・社会基盤工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)
E-mail:t217039@st.pu-toyama.ac.jp

³非会員 富山県立大学大学院 情報システム工学専攻 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)
E-mail: t755005@st.pu-toyama.ac.jp

⁴非会員 富山県立大学 工学部電子・情報工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)
E-mail: sakakibara@pu-toyama.ac.jp

本研究では、マルチエージェントシミュレーション (MAS) を用いて、住民視点から見た橋梁の重要度の定量化を行った。効率的な橋梁の維持管理を進める上で、各橋梁の重要度を把握しておくことは必要不可欠であるが、住民視点から見た橋梁の重要度を推し量る方法はこれまでになかった。本研究で用いた MAS の特長は、各エージェントが個人の効用関数を持っている点にある。対象地 (富山市街地) 内の住民の日常生活行動を MAS で再現した時に、ある橋梁の有無が住民の行動に与える影響をエージェントの持つ効用関数を用いて定量化することで、橋梁の重要度を明らかにした。その結果、対象とした 19 の橋梁に対する住民視点の重要度及び通過人数を推計することができた。

Key Words : *multi agent simulation, maintenance of bridges, importance of bridges from residents perspective*

1. はじめに

我が国における急激な人口減少と超高齢化によって、地方財政は年々厳しさを増している¹⁾。一方で、高度経済成長期に建設された多くのインフラ施設は老朽化し、その維持管理の費用は今後増加することが予想されている²⁾。さらに、安全性確保の観点から平成 26 年に交通法施行規則が改正され、全ての橋梁の 5 年に 1 度の近接目視点検が各自治体に義務化された。このことにより、各自治体における橋梁の維持管理は、労力面・資金面において厳しい状況に追い込まれている。このままでは、現在地方自治体が保有するすべてのインフラ施設を健全な形で維持管理していくことが難しいことから、効率的な維持管理体制の構築および実装が喫緊の課題となっている。効率的な維持管理を行っていくには、対象とする総てのインフラ施設の状況を把握し、その重要度を考慮した上で合理的な管理目標と補修計画を策定する必要がある。橋梁の重要度については一部の自治体において、都市計画道路、緊急道路、路線バス経路などを考慮して評価している例があるが、日常生活において住民が感じ

る橋梁の重要度については調べる方法が乏しく、各自治体で把握は出来ていないのが現状である。

本研究では、地方自治体が保有する橋梁を対象として、マルチエージェントシミュレーション (以下 MAS) を用いて、住民視点から見た各橋梁重要度を定量的に明らかにすることを目的とする。

MAS は、PC 上の仮想空間において人の動きを再現し、その各種影響をシミュレーションするもので、近年の情報処理能力の向上により汎用コンピュータでも実行可能となった手法である。災害避難行動³⁾、交通行動⁴⁾、伝染病リスク分析⁵⁾などに利用されている。しかし、これまでに橋梁等のインフラ施設の利用頻度や優先度を評価する目的で利用した文献は出されていない。

2. 研究手法

2.1 対象地、対象橋梁

対象地は富山県富山市中心市街地とした。富山市は 2331 の橋梁を保有し、各橋梁の経過年、橋長、都市計画道路、緊急道路、バス路線の有無をデータベース化し



写真-1 いたち川流域の橋梁群

た上で、定期点検結果と併せて橋梁の重要度の評価を先駆的に行っている。また、対象とする橋梁については、富山市建設部橋梁保全対策課との協議の結果、いたち川にかかる橋梁群 19 橋 (写真-1) とした。理由としては、住民移動が多い住宅地に多数の橋梁が存在しており、実務経験から必要性の高いものと低いものが混在していることが挙げられた。

2.2 Multi Agent Simulation

本研究で用いた MAS⁶⁾ は、仮想空間につくった住民エージェント P_i を、それぞれ Origin (出発点) と Destination (目的地) を与えた時に、個人の効用関数を最小化するように移動経路、移動手段を決定し行動する。効用関数の定式化を以下に示す。

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

$$C_R = \sum_{k=1}^K (c_k^A \cdot v_k + c_k^B) \quad (2)$$

$$T_R = \sum_{k=0}^K (t_k^A \cdot v_k + t_k^B) \quad (3)$$

$$k \in R \quad (k=1,2,\dots,K) \quad (4)$$

ここで、 i :住民エージェント番号、 R :出発地から目的地までのトリップ (経路, 移動手段), $f_i(R)$:トリップによって決まるエージェント i の効用関数, w_i^C :コストに係るパラメータ, C_R :トリップ R にかかるコスト, w_i^T :疲労度に係るパラメータ, T_R :トリップ R にかかる疲労度, k :トリップ R を構成する小トリップ, c_k^A :拡張距離に依存するコスト係数, v_k :小トリップ k 拡張距離, c_k^B :距離に依存しないコスト定数, t_k^A :拡張

距離に依存する疲労度係数, c_k^B :距離に依存しない疲労度定数。

拡張距離とは、交通手段の違いや渋滞の影響を加味して所要時間の増加を距離として擬似的に捉えたものである。移動手段としては、徒歩、自転車、自家用車、バス、路面電車を想定した。トリップとは、エージェントがエージェントが Origin から Destination までの経路であり、移動手段ごとの小トリップで構成される。

2.3 Origin データの作成

対象地内の細かい住民情報は、個人情報保護の関係上得ることが出来なかった、以下の手順で Origin データを作成した。

- ① 対象地域内の町名ごとの人口データの入手と整理
- ② 対象地域内の建物の延べ床面積のデータの入手
- ③ ①②のデータを用いて各町の総延べ床面積当たりの人口を算出
- ④ ③及び各建物の延べ床面積より各建物への居住者の割り振り
- ⑤ ノードへの集約とエージェントの集約

以下、詳細を記す。

対象地域内の町名ごとの人口データは平成 27 年国勢調査小地域年齢 (5 歳階級) 別男女別人口⁷⁾を用いた。そこから自らの意思で移動できない乳児、保育園児、幼稚園児は対象から外し、小学生、中学生、高校生、社会人、専業主婦、高齢者という区分を作成した。なお、専業主婦については、平成 27 年国勢調査⁸⁾の結果から 20 歳以上の有配偶の割合を求め、対象地域内の有配偶の人口を算出した。そして、男女共同参画白書⁹⁾より専業主婦世帯割合 0.67 をかけて専業主婦の人数を算出した。

次に、対象地域内の建物延べ床面積を株式会社ゼンリンの富山市の建物地図情報データから ArcGIS を用いて解析した。その結果、対象地域内の町数は 131 町、個建物総数は 11858 戸となった。表-1 に各町の総延べ床面積と延べ床面積辺りの人口を示す。

この延べ床面積当たりの人口を各建物の延べ床面積に乗じて、各建物の居住者データを作成した。(表-2)そして、各建物の居住者を最も近いノードに集める処理をし、Origin データとした (表-3)。ノードは、エージェントの行動を出来るだけ単純化し処理速度を上げるために導入した概念であり、各建物に最も近い交差点を意味する。

対象地内の人口 (56,438 人) 分のエージェントを動かすのは本研究で用いた MAS の計算限界を超えるため、1 エージェントが数人分の役割を担うこととし、エージェントの数を各ケースで 6,000 に統一した。

2.4 Destination データの作成

Destination を構成する目的地は、小学校、中学校、高校、スーパーマーケット、大型商業施設、商店街、富山

表-1 各町の人口，総延床面積，延床面積当たりの人数
(一部抜粋)

	町内人口(人)	総延建物 床面積(m ²)	総延べ床面積当たり の人数(人/m ²)
愛宕町	532	16735.9	0.032
旭町	368	14856.8	0.025
綾田町	813	26815.9	0.03
安住町	132	439.4	0.3
安田町	161	6594.1	0.024
安野屋町	692	15333.2	0.045
磯部町	1167	25109.5	0.046
一番町	159	1588.6	0.1
稲荷元町	1253	27640.9	0.045
稲荷町	547	23223.8	0.024
栄町	476	12383.7	0.038
永楽町	731	14773.7	0.049
越前町	109	3163.9	0.034
於保多町	222	4378.8	0.051
奥井町	887	15552.3	0.057
奥田町	735	3760.4	0.195
音羽町	371	12303.2	0.03
花園町	889	29272.0	0.03
館出町	339	11470.4	0.03
丸の内	605	8896.2	0.068
牛島新町	308	579.3	0.532
牛島町	104	1193.8	0.087
牛島本町	860	6861.3	0.125
窪新町	1436	7331.6	0.196
窪本町	827	12458.2	0.066

表-2 各建物の年齢属性別居住者数 (一部抜粋)

建物No	男性				
	小学生(人)	中学生(人)	高校生(人)	社会人(人)	高齢者(人)
愛宕町 No.1	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
愛宕町 No.2	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
愛宕町 No.3	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
愛宕町 No.4	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
愛宕町 No.5	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
愛宕町 No.6	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
愛宕町 No.7	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
愛宕町 No.8	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
愛宕町 No.9	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
愛宕町 No.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
愛宕町 No.11	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
愛宕町 No.12	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
愛宕町 No.13	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
愛宕町 No.14	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
愛宕町 No.15	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
愛宕町 No.16	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
愛宕町 No.17	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
愛宕町 No.18	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
愛宕町 No.19	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
愛宕町 No.20	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
愛宕町 No.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
愛宕町 No.22	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
愛宕町 No.23	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
愛宕町 No.24	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
愛宕町 No.25	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
愛宕町 No.26	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
愛宕町 No.27	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
愛宕町 No.28	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
愛宕町 No.29	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
愛宕町 No.30	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07

駅，富山市役所，富山県庁，公園，老人ホーム，病院，対象地域外である。なおスーパーマーケットにはドラッグストアが含まれており，病院は総合病院，内科医院，整形外科を含む。そして対象地域外を目的地とする場合は主要幹線道路を自家用車で通って対象外へ行く場合と，富山駅を利用して電車で対象地域外へ行く場合を想定した。エージェントは，これらの目的地から各属性が持つ目的地選択確率に従って目的地を確率的に決定する。なお，道路情報については Open Street Map から得た。

表-3 各ノードの年齢属性別人数

ノード No.	男性 [人]				
	小学生	中学生	高校 ・大学生	社会人	高齢者
1	23	56	48	54	36
2	42	19	35	33	7
3	23	13	59	11	23
4	36	7	22	52	7
5	16	57	6	10	46
6	7	4	4	59	58
7	22	17	24	7	27
8	29	24	30	43	49
9	49	57	25	35	21
10	20	57	28	13	20
11	33	20	8	6	23
12	20	53	14	19	59
13	27	43	27	40	20
14	25	6	47	54	12
15	18	60	28	6	23
16	15	47	14	30	29
17	49	29	26	11	9
18	29	53	27	53	8
19	38	10	22	22	34
20	41	38	11	29	52
21	15	41	32	30	28
22	17	59	4	38	28
23	33	53	38	31	58
24	34	48	30	48	27
25	11	7	8	15	21
26	56	54	6	9	40
27	59	31	59	48	28
28	28	21	8	26	32
29	22	9	9	30	18
30	58	7	40	14	13

表-4 住民エージェントの目的地選択確率 (休日)

【休日】		スーパー	商業施設	公園	病院	エリア外
男性	小学生	0	0.33	0.33	0	0.33
	中学生	0	0.33	0.33	0	0.33
	高校生	0	0.5		0	0.5
	社会人	0.25	0.25	0.25	0	0.25
	高齢者	0.25	0.25	0.25	0	0.25
女性	小学生	0	0.33	0.33	0	0.33
	中学生	0	0.33	0.33	0	0.33
	高校生	0	0.5		0	0.5
	社会人	0.25	0.25	0.25	0	0.25
	主婦	0.25	0.25	0.25	0	0.25
高齢者	0.25	0.25	0.25	0	0.25	

2.5 目的地選択確率の設定

本研究では平日朝，平日昼，休日昼の3ケースを用意してシミュレーションを行った。平日の朝の場合，主に学生の通学時間，社会人の通勤時間を想定している。

また平日昼は主に専業主婦の買い物の時間と高齢者が移動する時間帯である。そして，休日の昼は全属性の住民が活発に移動する。これらの行動予想を元に各属性の目的地選択確率を作成した(表-4 参照)。ここで中学校は，校区によって行く先が決まっているが，高校生については富山県内の全高校をランダムで決定した。また，スーパーマーケット，病院，老人ホーム，公園については，最寄の施設を選択することとした。

2.6 エージェントの経路・移動手段の決定機構

式 (1) の効用関数の最小化は，移動経路，移動手段

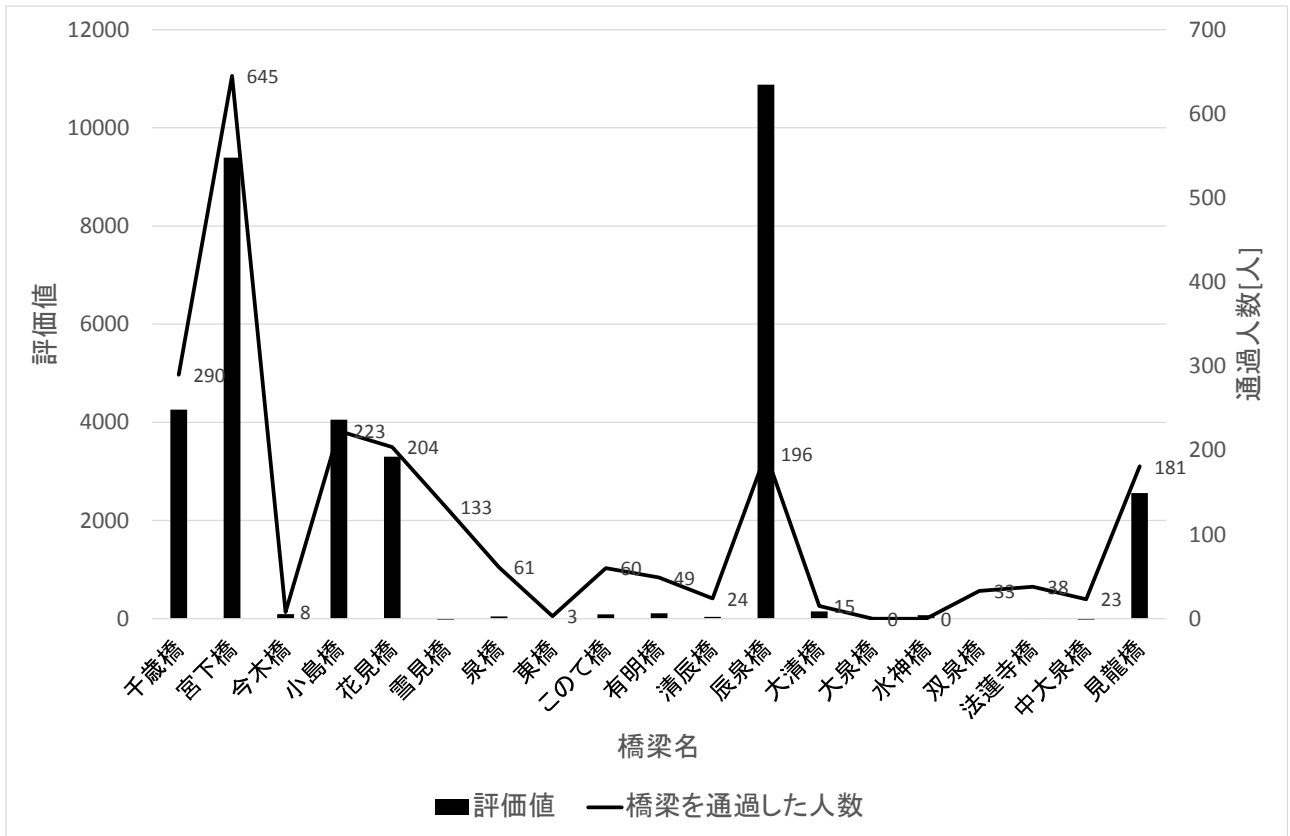


図-1 平日朝のシミュレーション結果

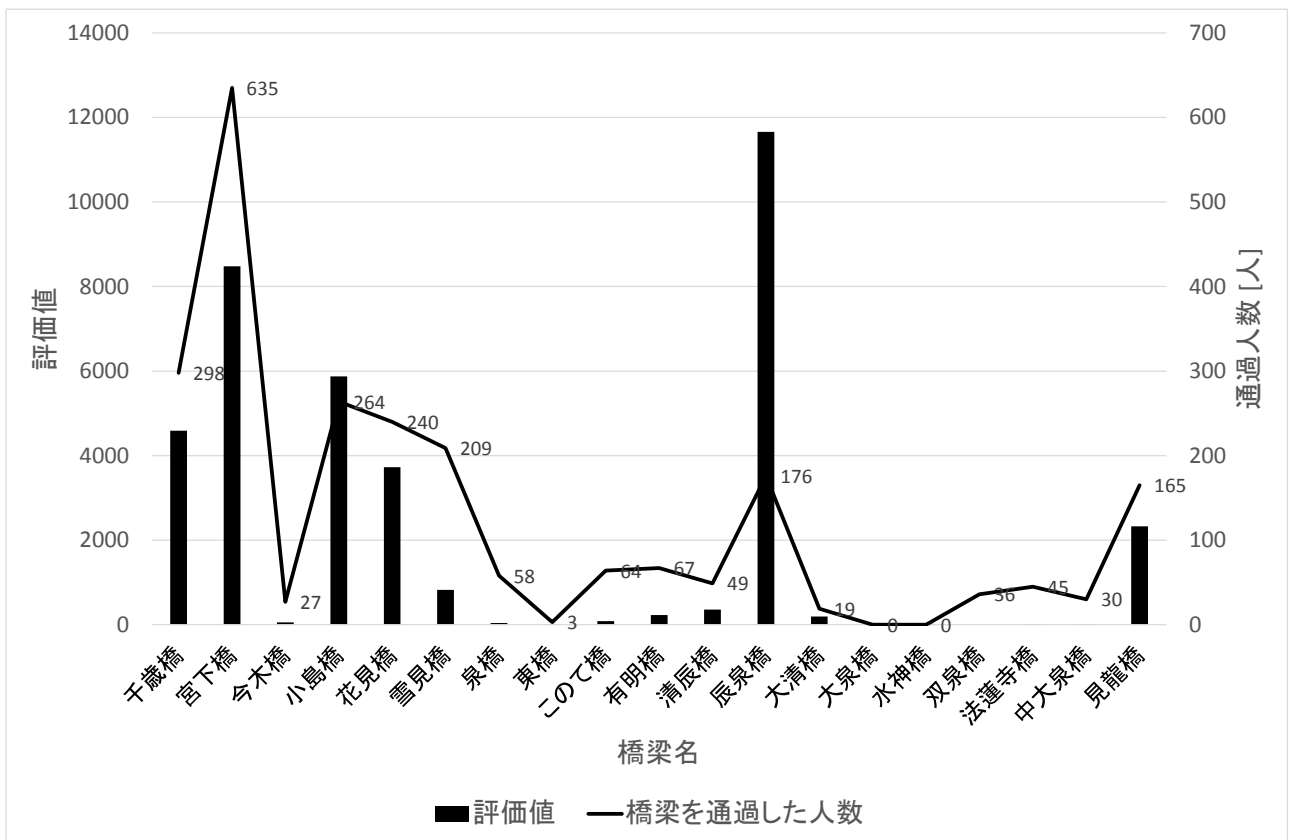


図-2 平日昼のシミュレーション結果

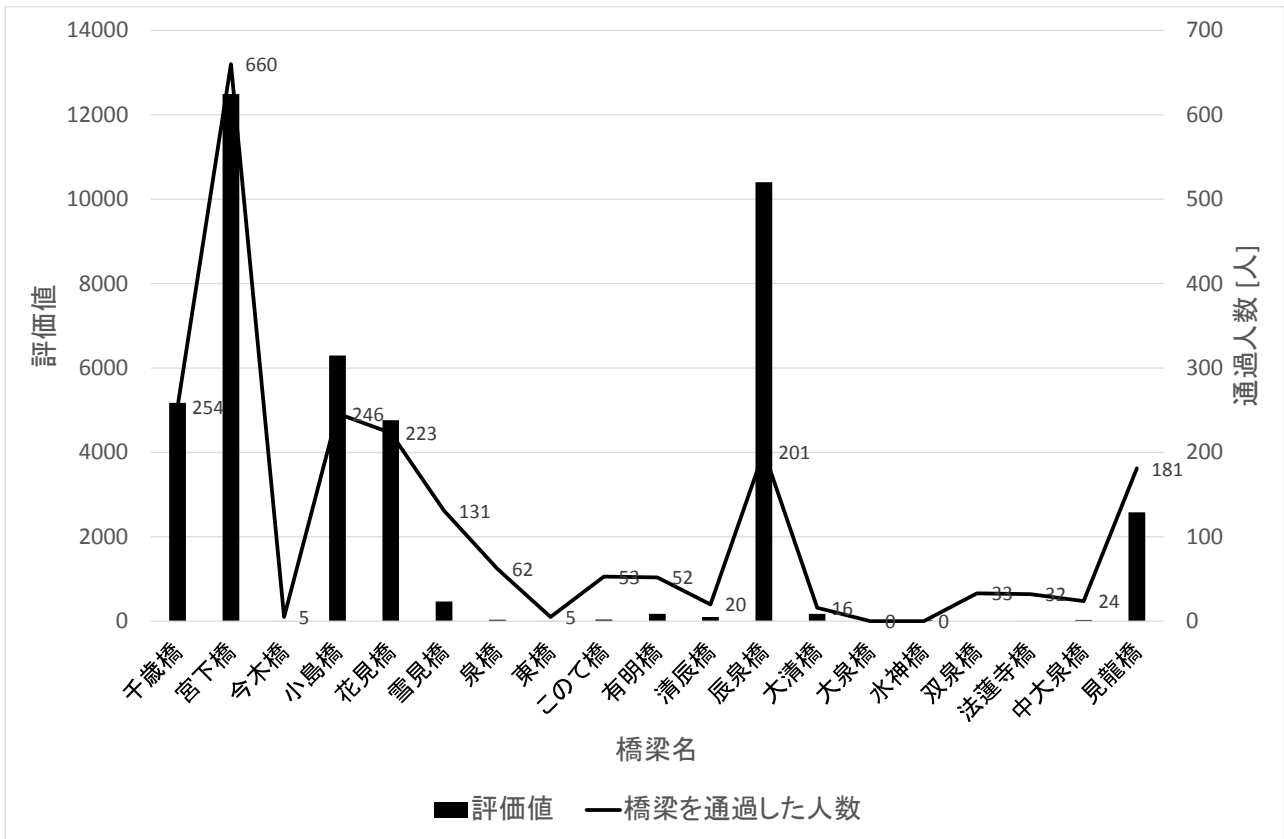


図-3 休日昼のシミュレーション結果

の組み合わせ最適化問題として分枝限定法を用いて解いている⁹⁾。

3. 研究結果

平日朝のシミュレーション結果を図-1に示す。対象地の人口が当該橋梁が無い場合の評価値の差分が大きかったのは、宮下橋、辰泉橋であり、これらの橋梁が平日朝の通勤通学にとって重要な橋であることがわかった。宮下橋については、一人当たりの評価値の差分は大きくないが、通過人数が多いことが評価値の差分を高める結果となった。一方で、辰泉橋は、通過人数が突出しているわけではないが一人当たりの評価値の差分が大きかったことがわかった。逆に、評価値の差分が小さかったのは大泉橋、水神橋、双泉橋であった。通勤・通学においてこれらの橋の重要性は高くないことが示唆された。

平日昼の結果を図-2に示す。平日昼のエージェントは、会社に勤めていない主婦、高齢者が中心となる。平日昼の場合評価値の差分が大きかったのは平日朝と同じ辰泉橋、宮下橋であった。主婦の行動の主目的は買物、高齢者の場合は、病院、買い物、商業施設などが挙げられるが、宮下橋を通過するバスの利用により評価値が高い結果となった。辰泉橋については、本橋梁が無い場合、近くに代替する橋梁が無く、遠回りをしなければならない

ことから評価値が高くなったものと考えられる。

休日昼のシミュレーション結果を図-3に示す。休日昼の評価値の差分も高いのは宮下橋、辰泉橋となった。休日のエージェントは、全年齢属性であり、それぞれ目的地も様々に設定してある。しかし、結果として評価値の分布は、平日のものと大きな違いが見られなかった。

3つのケースの分析を通して重要度が高かったのは、千歳橋、宮下橋、小島橋、花見橋、辰泉橋、見龍橋となった。この結果は例えば、将来的に橋梁数の削減を検討する際には重要度の低い橋梁から検討するなど、橋梁維持管理におけるスクリーニングなどに用いることができるものとする。

4. おわりに

本研究では、MASを用いて、住民の日常生活における橋梁の重要度の定量化を行った。本MASの特長は、各エージェントが個人の効用関数を持っている点にある。このモデルの特長を活かし、平日朝、平日昼、休日昼の対象地内の住民行動を再現し、対象橋梁の有無によって住民の効用関数の差分の大小により、橋梁の重要度を定量化した。

この結果、住民の日常生活における各橋梁の重要度を定量化することができたが、平日朝、平日昼、休日昼の

重要度に大きな違いがなかった。この原因を考察すると、一番の原因は、今回のシミュレーションでは路線バスへの依存度が高く、どのケースでも路線バスが通っている千歳橋、宮下橋、花見橋、辰泉橋の評価値が高い傾向になったことが挙げられる。路線バスの利用率が高かった原因としては、本研究で用いたエージェントが移動手段を選ぶ確率は、アンケート調査から得ているが、このアンケート調査は以前他の地域で行ったものであり、本研究の対象地と交通事情が異なることが挙げられる。従って、当該対象地域の住民に対して意識調査を行い、対象地域の交通事情を反映させた移動手段選択の重み付けを改めて行う必要があると考える。

また、今回のモデル分析では、住民の目的地選択確率は、各年代別の行動予測を元に設定したものである。今後は、対象地の住民への意識調査を通して日常生活行動を詳細に把握しモデルへインプットすることにより、より現実に近い結果が得られるものとする。

参考文献

- 1) 総務省, 平成 30 年, 今後目指すべき地方財政の姿と平成 31 年度の地方財政への対応についての意見 http://www.soumu.go.jp/main_content/000588934.pdf (2019.1.8 閲覧)
- 2) 国土交通省, 平成 23 年度国土交通白書.
- 3) 畑山満則, 中居楓子, 矢守克也, 地域ごとの津波避難計画策定を支援する津波避難評価システムの開発, 情報処理学会論文誌 Vol.55, No.5, pp 1498- 1508, 2014.
- 4) 萬屋賢人, 菅原俊治, 渋滞緩和エージェントモデルによる渋滞緩和の提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 4, No. 4, pp. 1-9, 2011.
- 5) Catherine Linard, Nicolas Ponçonb, Didier Fontenilleb, Eric F. Lambina, A multi-agent simulation to assess the risk of malaria re-emergence in southern France, Ecological Modelling, Vol. 220 Issue2, pp.160-174, 2009.
- 6) 松本卓也, 榊原一紀, 玉置久, 都市交通の数理最適化を用いたマルチエージェントシミュレーションモデル, 電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol.136, No.2, pp.165-172, 2016.
- 7) 平成 27 年国勢調査 年齢 (5 歳階級) 男女別人口一町丁・字等, 2015.
- 8) 平成 27 年国勢調査, 配偶関係 (3 区分) 男女別 15 歳以上人口一町丁・字等, 2015.
- 9) 厚生労働省, 平成 28 年度版男女共同参画白書, 2016.

(2019.. 受付)