

# 建築におけるマルチエージェントシステムの応用 Applications of Multi-Agent System in the field of Architecture

谷 明勲<sup>†</sup> 山邊 友一郎<sup>‡</sup>

Akinori TANI<sup>†</sup> and Yuichiro YAMABE<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> ‡ 神戸大学大学院工学研究科

<sup>†</sup> ‡ Graduate School of Engineering, KOBE University

E-mail: <sup>†</sup> tani@arch.kobe-u.ac.jp, <sup>‡</sup> yamabe@kobe-u.ac.jp

## 1. はじめに

筆者らは、2015年度の第43回画像電子学会年次大会で実施された『建築と画像電子』技術の融合を考える』と題した研究懇談会の議論を踏まえ、2015年12月に設置された画像電子学会・第二種委員会「建築と画像電子の共通領域(AIM)研究会」に参加し、建築と画像電子の共通領域に関する議論を行っている。また、2015年度の画像電子学会年次大会では、「建築情報モニタリングの現状と課題」と題した特別講演<sup>[1]</sup>、2016年度の画像電子学会年次大会では、「情報科学技術を用いた建築・都市モデルの創生」と題した講演<sup>[2]</sup>で、筆者らのグループで実施している研究例を紹介した。さらに、2016年9月に神戸大学で開催した第1回建築と画像電子の共通領域(AIM)研究懇談会では、「建築における最適化について」と「建築におけるマルチエージェントシステムの応用」と題した2件の建築分野の研究紹介<sup>[3]</sup>を行った。

本稿では、この研究懇談会で紹介した上記2件の内、マルチエージェントシステム(MAS)<sup>[4]</sup>の応用に関する研究事例に若干の追加検討を行った結果を示すとともに、スマートシティへのMASの応用性についての私見を述べさせていただくものとする。

## 2. 建築物の有する特徴とその最適化

建築物は、1)大規模で複雑で使用される部品数も非常に多い、2)施工に要する時間が長く、携わる人の数も多い、3)多目的性・多機能性を有する、4)耐用年数が長い、5)不確実な外乱、6)価格が高い、等の特徴を有する一つの工業製品ではあるが、これらの特徴から一般の工業製品と同様の意識は共有されにくいと思われる。また、7)空間の評価は、人間の主観や感性等を基に行われる、8)空間を使用する人間の行動を考慮する必要がある、等の特徴も有している。さらに、建築学は長い歴史を有し最先端の学問領域ではないが、人々の最先端のライフスタイルを反映する必要がある学問領域でもある。このような特徴を有する建築に関する問題の最適化を考える場合には、情報科学や計算

科学の手法の導入が必要と考える。

ここでは、人間行動を考慮した最適化を行うために、マルチエージェントシステムを導入した研究事例の紹介を行う。

## 3. マルチエージェントシステムを用いたテナント配置の最適化

ここでは、マルチエージェントシステム(MAS)と遺伝的アルゴリズム(GA)<sup>[5]</sup>を用いた商業施設内のテナント配置の最適化<sup>[6], [7]</sup>の研究事例を紹介する。なお、最適化にはパラメーターフリー遺伝的アルゴリズム(PfGA)<sup>[8], [9]</sup>を用いる。

図1にこの研究の対象空間(フロア構成)を示す。対象空間は40m×53mとし、1m×1mのセルで分割する。図1中に■で示す出入口は上側に2ヶ所設け、エージェントが入店と退店を行う。フロア内には、図1中の1~16で示す9m×9mのテナント6店舗(7, 8, 10~13)、11m×7mのテナント6店舗(1~6)、7m×11mのテナント3店舗(9, 14, 16)、7m×17mのテナント1店舗(15)の計16店舗を配置する。また、各テナントの集客力を100%から25%までの5%間隔で設定する。このテナントの集客力に応じて、エージェントが後述する2種類の購買行動を行うものとする。

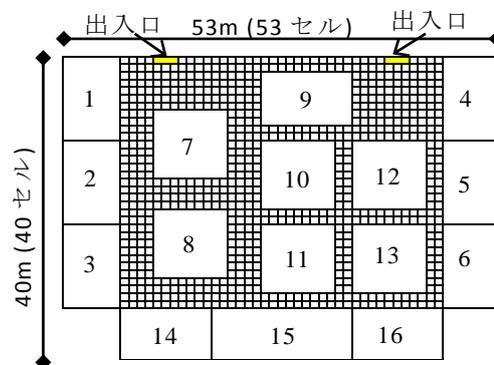


図1 テナントを配置するの対象空間<sup>[7]</sup>

エージェントの購買行動は、以下に示す計画購買と非計画購買の2種類を設定する。

①計画購買：計画購買は、事前に購買を計画して店舗

に訪れる購買行動で、各店舗に設定された集客力に応じて、計画購買を行う店舗番号を入店時に各エージェントに1つ設定する。

②非計画購買：非計画購買は、店内販売促進活動などで誘発される、事前に計画していない購買行動で、各店舗に設定した立ち寄り範囲内にエージェントが入ると、店舗の集客力に応じて非計画購買を行う設定とする。

本システムでは、1 エージェントを1つのセル(1m×1m)で表現する。エージェント総数は400とし、通常エージェント、歩行速度 1/2 エージェント、購買活動中エージェントの3種類を設定する。歩行速度 1/2 エージェントは、エージェント数  $n$  に対して20%の確率( $n \bmod 5=1$  の場合)で入店させる。また、歩行速度 1/2 エージェントの内、2回に1回は介助者を含めた2人1組でエージェントが入店するものとするが、この2人組も1エージェントとカウントする。さらに、本システムでは、通常エージェントが1セル移動する時間を1ステップとし、歩行速度 1/2 エージェントは2ステップに1セル移動可能とする。エージェントは、設定した入店間隔(ステップ)毎に1人が2つの出入口から交互に入店させる。上記のエージェントの行動フローを図2に示す。

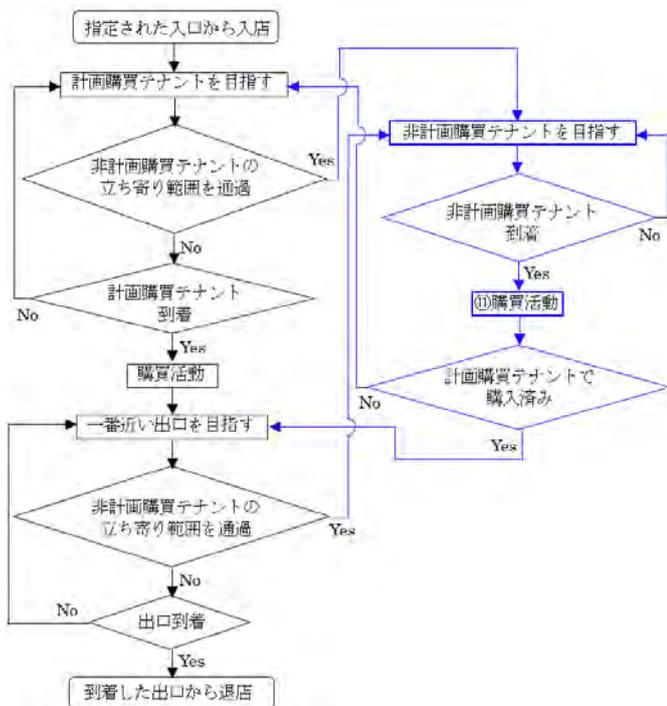


図2 エージェントの行動フロー

エージェントの行動ルールは、①他のエージェントがいるセル、②1つ前に自分の座標であったセル、③2つ前に自分の座標であったセル、④目標とするテナント以外のテナントセル、これら4つ以外の上下左右斜め8方向のセルに移動可能とし、最短距離で移動する

ものとする。移動可能方向が3つ以上存在する場合は、目的地に近い上位3つの、移動可能方向が2つのみの場合は2つのセルの内、設定した確率で移動方向を決定する。

GAの評価関数としては、以下の3項目を設定する。

1)移動負担(EV1):この評価では、購入回数は考慮せず、できる限り短い移動距離で買い物を終えることを目的とし、評価値を式(1)に示す全てのエージェントの購買時の総移動マス数  $A_1$  を総エージェント数  $N$  で除した平均値の逆数に10,000を乗じて求める。

$$EV1 = \frac{N}{A_1} \times 10000 \quad (1)$$

2)売り上げ(EV2):この評価は、できる限り多くのテナントでエージェントが購買活動することが望ましいと考え、評価値を式(2)に示す全てのエージェントが入店から退店までに購買活動したテナント数  $A_2$  を総エージェント数  $N$  で除した平均値に100を乗じて求める。

$$EV2 = \frac{A_2}{N} \times 100 \quad (2)$$

3)接近回数(EV3):この評価は、エージェントがフロア内を移動する際に、エージェントの近傍8セルに他のエージェントが存在すると「他エージェントと接近した」と見なし、この値が大きいほどエージェントが滞留して不快感が高いと考える。評価値は式(3)に示す全てのエージェントの入店から退店までの接近回数の総和  $A_3$  を総エージェント数  $N$  で除した平均値の逆数に10000を乗じて求める。

$$EV3 = \frac{N}{A_3} \times 10000 \quad (3)$$

この事例では、最適化にPfGAを用いるため、上記EV1~EV3の評価をそれぞれ100に規準化した評価関数で総合評価値EVを求め、EVの最大化問題として最適化を行う。なお、既往の研究では総合評価値EVを相加平均で求めていたが、ここでは相乗平均を用いた場合の検討も行う。相加平均、相乗平均を用いた場合の総合評価値EV(相加)とEV(相乗)を式(4)、(5)に示す。

$$EV(\text{相加}) = \frac{1}{3} \left( \frac{EV1 \times 100}{K_1} + \frac{EV2 \times 100}{K_2} + \frac{EV3 \times 100}{K_3} \right) \quad (4)$$

$$EV(\text{相乗}) = \left( \frac{EV1 \times 100}{K_1} \times \frac{EV2 \times 100}{K_2} \times \frac{EV3 \times 100}{K_3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

設定した総合評価の算定方法で、相加平均を用いる場合はいずれかの評価値が大きくなれば総合評価値も高くなるが、相乗平均の場合は各評価項目の評価値が向上しないと評価値が高くないという特徴がある。

ここで、式(4)、(5)中の  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  は規準化に用い

る値で、表 1 に示す各評価項目を単独で評価指標とした場合の最適化結果の評価値を用いる。

表 1 評価関数の規準化に用いる値

|                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|
| K <sub>1</sub> | K <sub>2</sub> | K <sub>3</sub> |
| 193.5          | 399.5          | 863.9          |

シミュレーションは、エージェント数 400、入店間隔 2 ステップ、購買活動時間 10 ステップとし、総世代数 10000 として、表 2 に示す 4Case 実行した。各シミュレーションで得られた各評価値を表 3 に示す。

表 2 シミュレーションの設定

|       | 総合評価 | 乱数の初期値 |
|-------|------|--------|
| Case1 | 相加平均 | 1      |
| Case2 | 相加平均 | 2      |
| Case3 | 相乗平均 | 1      |
| Case4 | 相乗平均 | 2      |

表 3 各 Case の評価値一覧

|     | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| EV1 | 184.2 | 187.3 | 187.2 | 183.7 |
| EV2 | 296.8 | 289.5 | 300.8 | 305.5 |
| EV3 | 833.7 | 870.1 | 838.8 | 827.6 |
| EV  | 88.65 | 89.98 | 89.08 | 88.59 |

表 3 より、ここでは総合評価値の高い Case2, Case3 について、得られたテナント配置、各テナントの購買人数を図 3~6 に示す。なお、図 3, 5 中の①~⑯は、集客力(100%~25%で 5%毎)の値の大きい方から順に番号付けを行ったものである。また、図 4, 6 中の横軸の数字は、それぞれ図 3, 5 中に示すテナント番号に対応し、図中の数字は各テナントでの購買人数を示している。

図 3 より、相加平均を総合評価に用いた Case2 の場合では、出入口に近い壁側に集客力①~④の、中央出入口に近い中央に集客力④, ⑥のテナントが配置されている。一方、集客力の低いテナントは出入口から遠い下側に配置されている。また、図 4 に示す Case2 の各店舗の購買人数は、出入口近くのテナント⑥の購買人数が最も大きく、購買者数が 100 人超のテナントは、人数の多い順にテナント⑥, ⑤, ⑪, ⑨, ③で、テナント③以外は出入口に近い中央のテナントとなった。

次に、図 5 に示す相乗平均を総合評価に用いた Case3 の場合では、出入口に近い壁側に集客力①~③の、中央出入口に近い中央に集客力④, ⑥, ⑧, ⑨のテナントが配置されている。一方、集客力の低いテナントは、Case2 と同様に、出入口から遠い下側に配置された。また、図 6 に示す Case3 の各店舗の購買人数は、出入口近くのテナント④の購買人数が最も大きく、購買者数が 100 人超のテナントは、人数の多い順にテナント④, ⑥, ⑧, ⑨で、すべて出入口に近い中央のテナントとなった。

以上より、Cases2, 3 の結果と共に、総合評価の方法によらずほぼ同様のテナント配置が得られた。これは、エージェントが計画購買を行うテナントの割合を集客

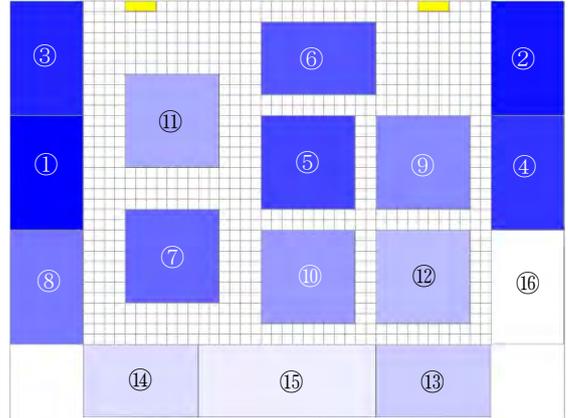


図 3 Case2 のテナントレイアウト最適化結果  
各テナントの購買人数(Case2)

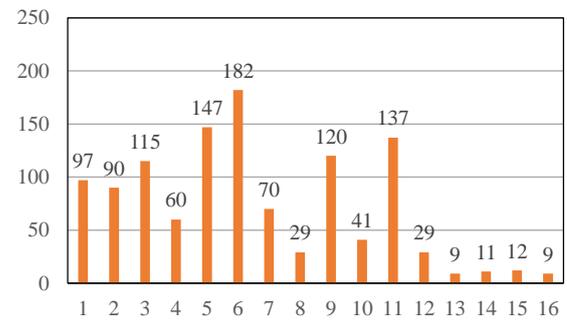


図 4 Case2 の場合の各テナントでの購買人数

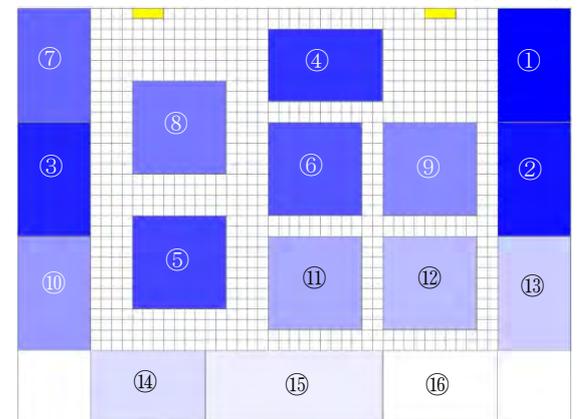


図 5 Case3 のテナントレイアウト最適化結果  
各テナントの購買人数(Case3)

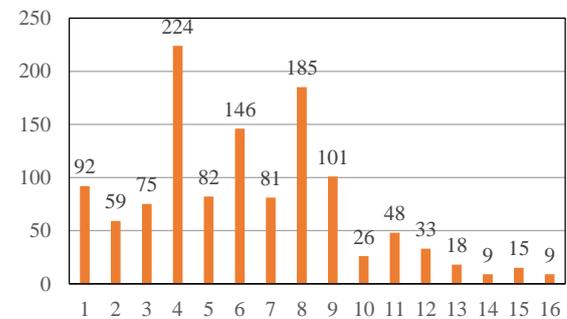


図 6 Case3 の場合の各テナントでの購買人数

力に応じて設定しているため、集客力上位テナントが入り口付近に配置されることで、多くのエージェントが入店してすぐに計画購買テナントに到達でき、非計

## 文 献

画購買を行わない場合は移動距離が短くなると考えられる。また、出入口付近と中央に集客力上位テナントが配置されることにより、非計画購買を行うエージェントが多くなると考えられる。さらに、集客力上位テナントが左右に分散したことで、計画購買、非計画購買を行うエージェントも分散し、接近回数も低減したと考えられる。表3中に示す評価値を見ると、各評価値とも表2に示す単独で評価した場合の値より若干小さいが、ほぼ同様の評価値が得られており、各評価を総合的に最適化できたと考える。ただし、EV2(売り上げ)の評価値は、単独で最適化した場合の値の約72~76%程度の値で、他の2つの評価項目より総合評価を行った場合に評価が上がりにくい結果となった。このため、EV2の評価を向上させるためには、EV2に重みを与える等の検討が必要と考える。

ここでは、人間行動を考慮したテナント配置の最適化を2種類の総合評価算定式を用いた単目的のGAで行い、設定した評価に応じた最適化を行えたと考える。ただし、マルチエージェントを用いた最適化には時間を要するため、実用的な時間内で実行可能な問題設定を行う必要があると考える。

## 4. まとめ

本稿では、筆者らの研究グループで実施した、MASを用いた最適化に関して、テナント配置の最適化に関する研究事例を紹介した。これ以外にも、筆者らの研究グループでは、MASを用いた大学食堂におけるテーブル配置の検討<sup>[10]</sup>、美術館における絵画配置の検討<sup>[11]</sup>、地震災害時の救助シミュレーション<sup>[22]</sup>、ニューラルネットワークとPfGAを用いた人間歩行モデル<sup>[13]</sup>、マルチエージェントシステムを用いた津波シミュレーション<sup>[14]</sup>、群衆避難時の避難経路形状による避難速度の変化に関する研究<sup>[15]</sup>等も行っている。

本稿で紹介したように、MASは人間行動に基づく検討を行う場合に有効なシステムで、直接、スマートシティに関する問題に適用できるものではない。ただ、スマートシティ内の人間行動に基づく施設配置や、施設内の機能や店舗等のレイアウト等には適用できると考える。また、都市レベルの問題として、神戸市の駅から観光地への移動を対象とした休憩施設の配置についての検討も始めており、問題を簡略化できればPCレベルの計算能力でも検討できると考える。しかし、実際の都市を対象とした詳細なMASを用いた最適化を行うためには、高い計算能力を有するコンピュータでも多くの時間を要すると考えられ、実用的な時間内で実行可能な問題設定を行う必要があると考える。

- [1] 谷明勲：建築情報モニタリングの現状と展望，2015年度・第43回画像電子学会年次大会予稿集，特別講演Q-2，pp.1-6，2015.6.
- [2] 谷明勲，山邊友一郎：情報科学技術を用いた建築・都市モデルの創生，2016年度・第44回画像電子学会年次大会予稿集，T5-8，pp.1-6，2016.6.
- [3] 画像電子学会HP：建築と画像電子の共通領域(AIM)研究会 第1回 AIM 研究懇談会([http://www.y-adagio.com/public/committees/aim/conf/cnfs\\_aim.htm#aim1](http://www.y-adagio.com/public/committees/aim/conf/cnfs_aim.htm#aim1)) (2016.12.14 閲覧)
- [4] 生天目章：マルチエージェントと複雑系，森北出版，第1版第1刷，1998.11.
- [5] Holland, J. H. : Adaptation in Natural and Artificial Systems, The University of Michigan, 1975, and MIT Press, 1992.
- [6] 楠本達平，谷明勲，山邊友一郎：マルチエージェントとGAを用いた百貨店のテナント配置最適化に関する研究，日本建築学会，第37回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，論文，pp.103-108，2014.12.
- [7] 楠本達平，山邊友一郎，谷明勲：MASとGAを用いたテナント配置の最適化，計算工学講演論文集，Vol.20，D-9-5，CD-ROM，pp.1-4，2015.6.
- [8] 澤井秀文，木津左千夫，遠藤哲郎：パラメータの設定を不要にした遺伝的アルゴリズム，電子情報通信学会誌，研究速報，Vol.J81-D-II，No.2，pp.450-452，1998.2.
- [9] 澤井秀文，木津左千夫，足立進：パラメータ設定不要の遺伝的アルゴリズムとその並列分散処理，北野弘明編著：遺伝的アルゴリズム④，産業図書，初版，pp.77-111，2000.8.
- [10] 織田瑞夫，瀧澤重志，河村廣，谷明勲：エージェントモデルによる連続的空間における人間行動シミュレータの構築及び建築計画への応用，日本建築学会計画系論文集，第558号，pp.315-322，2002.8.
- [11] 勝山道夫，瀧澤重志，河村廣，谷明勲：エージェントによる美術館における人間行動モデル ～絵画鑑賞中の行動パターンの追加～，日本建築学会，第25回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，pp.157-162，2002.12.
- [12] Tani, A., Yamamura, T., Waridashi, Y., Kawamura, H. and Takizawa, A.: Simulation on Rescue in Case of Earthquake Disaster by Multi-Agent System, Proceeding of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, DVD-ROM, Paper No.636, pp.1-12, 2004.8.
- [13] 島田陽子，河村廣，谷明勲，瀧澤重志：ニューラルネットワークとパラメーターフリー遺伝的アルゴリズムを併用した人間歩行モデル—識別センサを有する複数対向・可変速度型エージェントの場合—，日本建築学会，第27回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，論文，pp.1-6，2004.12.
- [14] Yamabe, Y., Nakano, Y. and Tani, A.: A Simulation on Tsunami Evacuation Using a Multi Agent System - The Relationship between Evacuation Behavior and Tsunami Victims, Proc. of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, CD-ROM, Paper No.1953, pp.1-8, 2012.9.
- [15] Kanehara, H., Tani, A. and Yamabe, Y.: Study on the Variation in Evacuation Pace Depending on Route Shape: Effect of Route Elements on Evacuation Performance, Proc. of the 16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, USB-ROM, pp.333-359, 2016.7.