

エアコンをもつ家の配置と消費電力量との関係

室蘭工業大学 システムデザイン論研究室 吉木輝海

2015年2月27日

1 はじめに

2011年3月11日の東日本大震災により、福島第一原子力発電所がメルトダウンを起こした。その影響により、全国の原子力発電所は稼働停止した。日本では年々一世帯あたりの消費電力が増えている(図1)[1] ことも影響し、電力不足が深刻化している。原子力発電所の稼働停止の際に実施された計画停電などの政策により、現在では電力の供給は間に合っているものの、国民の節電に対する意識は向上した。とくにエアコンの設定温度に対しては神経質になっている。なぜならエアコンは消費電力量が多く、夏の間は長時間使用し続けるため、設定温度を上げるだけで簡単に節電ができるからである。しかし一般的に、夏の間エアコンの設定温度を上げすぎると健康に支障がでると言われている。現在の国が推奨するエアコンの設定温度は28度であるが、「日常生活における熱中症予防指針」[2]では28度を厳重警戒と定めている。仮に設定温度を28度以上に上げてしまうと、熱中症の危険性が更に高まる[2]。

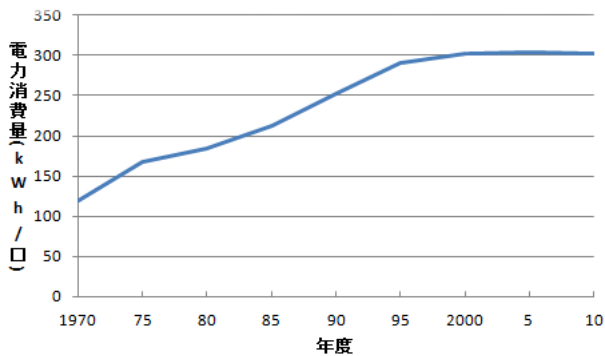


図1 一世帯あたりの電力消費量の推移

そこで現在のエアコンの設定温度を変えずに、エアコンをもつ家の配置を変えることによって消費電力を下げる方法を考える。このとき、エアコンがもつ特有の問題として次のことを考えなければならない。エアコンを使うと、室外機によって外気温が上昇する。すると周辺の家は、よりエアコンを使う。その結果、町全体の消費電力がさらに増加してしまう。家同士の距離が離れるほど、排熱の影響は小さくなるが、都市部では既に住宅が密集しており、十分な間隔をとる

ことは難しい。また排熱の影響を小さくするために、エアコンの設定温度を高くすると、健康に支障が出る。以上より、限られた面積の中で、家の配置を効率的に変え、エアコンの消費電力を抑える方法を考える必要がある。

そこで本研究では、同じ面積、同じ住宅数でも住宅の配置によってエアコンによる総消費電力量を抑えることが可能であるという仮説を立て、シミュレーション実験によってこれを検証する。また、総消費電力量が抑えられる配置にどのような特徴があるのかを考察する。そのために室外機の影響を受ける家同士の相互関係をモデル化し、モデル化した都市の消費電力量を測定し、学習によって総消費電力が多くなる家の配置と少なくなる家の配置を探索し、それぞれの配置にどのような特徴があるかを述べる。

2 背景理論

2.1 マルチエージェントシステム

Multi Agent System (以下 MAS とする) とは自律した個々の主体が多数集まって、相互に依存しあっているシステムのことである [3]。

MAS の特徴は、エージェントと呼ばれる自律的主体がすることである。自律的であるとは、自身の経験とそれが働く環境に組み込まれた知識の両方に基づいて行動できることである。つまり MAS は 1 個体であるエージェントが意思決定を行い、自律的に行動するという特徴をもっている。

図2にエージェントの行動と環境との関係を示す。エージェントは環境を知覚する。知覚して得た情報から、自身の意思決定により行動を起こす。エージェントが起こした行動により、環境に影響を与える。これらの動作を繰り返すことで、エージェントは環境との相互作用を起こしている。

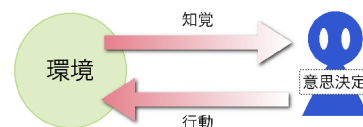


図2 エージェントの行動と環境との関係

2.2 ランダム探索法

ランダム探索法とは進化計算の手法の一つで、解をランダムに探索する手法である。ランダム探索法では最初に探索した結果を初期値として保存したうえで、以下の2ステップの動作を決められた回数だけ繰り返し、終了時に保存されていた結果を探索によって得られた解とする。

1. 解をランダムで探索をする。
2. 探索した結果が保存した結果よりも良い結果だった場合、結果を保存する。

以下の図3にランダム探索法の簡単な例を示す。

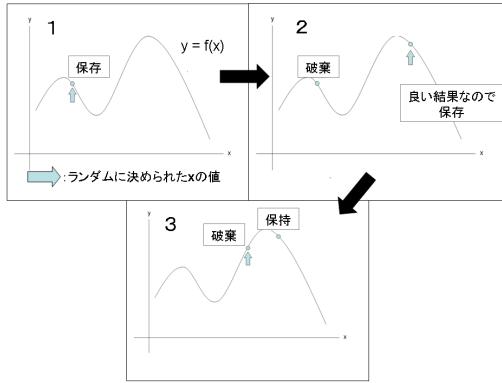


図3 ランダム探索法の例

ある関数 $y = f(x)$ の y の最大の値を探したい。このとき、以下の手順を用いる。

1. x_1 をランダムな値とし、 $y_1 = f(x_1)$ を求める (図3-1)。
2. x_2 をランダムな値とし、 $y_2 = f(x_2)$ を求める。
3. $y_2 > y_1$ ならば x_1 に x_2 の値を代入する (図3-2, 図3-3)。
4. 手順2から4を繰り返す。ただし探索が終了条件に達した場合、探索を終了し、そのときの x_1 を最適解とする。

3 モデルの設計

3.1 エージェントのデザイン

シミュレーションモデル内の各エージェントはエアコンが設置された家である。各エージェントのプロパティは以下の数式で定義した。

■瞬間消費電力

瞬間消費電力 ΔE はエアコンが起動したときの1時間の消費電力量である。瞬間消費電力 ΔE は室内温度 T_i と設定温度 T_p の差 (ΔT) によって決まる。時刻 t における瞬間消費電力 ΔE^t の計算式を以下の式 (1) に示す。

$$\Delta E^t = \begin{cases} \alpha \Delta T^t & (T_p^t < T_i^t) \\ 0 & (T_p^t \geq T_i^t) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 α は室温を1度下げるのに必要な電力量を表す定数であり、本研究では $\alpha = 100$ とした。

■室内温度

室内温度 T_i はエアコンが動作していないときの家エージェントの室内の温度を示す。この値は外気温 T_o の影響を受けて変動する。時刻 $t+1$ における室内温度 T_i^{t+1} の計算式を以下の式 (2) に示す。

$$T_i^{t+1} = T_i^t + \beta(T_o^t - T_i^t) \quad (2)$$

ここで、 β は家の壁の熱伝導係数を表す定数であり、本研究では $\beta = 0.25$ とした。

■外気温

外気温 T_o はエージェントの外部の気温である。外気温 T_o は1日の気温変化 $h(t)$ にもなって増減する。また他のエージェントの排熱の影響も受けて変動する。時刻 t における外気温 T_o^t の計算式を以下の式 (3) に示す。

$$T_o^t = h(t) + \gamma(T_e^t - h(t)) \quad (3)$$

ここで、 $h(t)$ は時間 t のときの、家エージェントの排熱による温度上昇分を含まない純粋な外気温である。 γ は空気熱伝導係数を表す定数であり、本研究では $\gamma = 0.2$ とした。

■設定温度

設定温度 T_p は各家エージェントのエアコンの設定温度であり、その値は常に一定である。本研究では図4の分布にし

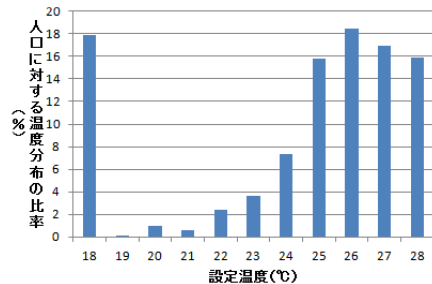


図4 各家のエアコンの設定温度の分布

たがって各家の設定温度を設定する。

■排熱

各家エージェントのエアコンの排熱の温度 T_e はそのエージェントの室内温度と、エアコンの設定温度との差によって決まり、距離によって減衰する。熱を排出したエージェントからの距離 d の地点での時刻 $t+1$ における排熱温度 T_e^{t+1} の計算式を以下の式 (4) に示す。

$$T_e^{t+1} = (T_e^t - T_o^t)D(d) + T_o^t \quad (4)$$

ここで、 T_e^t は時刻 t 時点での他の家エージェントが出す排熱の温度であり、 d は熱を排出した家エージェントとその排熱の影響を受ける家エージェントとの距離である。 D は排熱の距離による減衰を考慮するため関数である。

■純外気温

純外気温 $h(t)$ とは家エージェントの排熱による温度上昇分を含まない純粋な外気温である。純外気温 T_e は図 5[4] に示した 2014 年 8 月の東京都の 1 日の気温の平均に基づいて設定した。

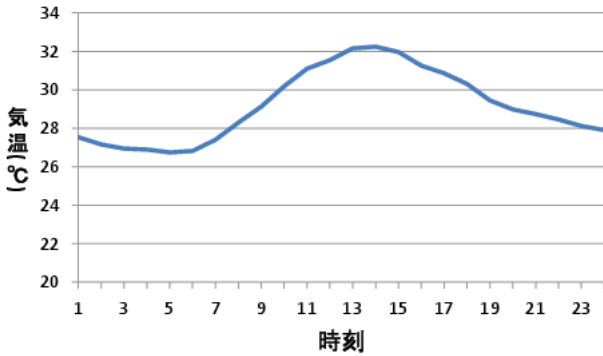


図 5 2014 年 8 月の東京都の 1 日の平均気温推移

3.2 エージェントの行動

■エージェントの行動ルール

家エージェントの行動は、設定温度 T_p と室内温度 T_i^t の関係によって決定される。各家エージェントの行動ルールは以下のとおりである。

- condition 1 : $T_p < T_i^t$

行動 : エアコンが起動。

結果 1 : 電力を消費。

結果 2 : 外気温 (T_o^t) が上昇。

結果 3 : 室内温度 (T_i^t) が設定温度 (T_p) まで下がる。

- condition 2 : $T_p \geq T_i^t$

行動 : エアコンの動作が止まる。

結果 1 : 電力が消費されない。

結果 2 : 外気温 (T_o^t) は上昇しない。

結果 3 : 室内温度 (T_i^t) は他のエージェントの排熱の影響を受けて上昇する。

■エージェントの行動

図 6 に家エージェントの行動をフローチャートで示す。

- (1) エージェントをランダムに配置する
- (2) 室内温度 (T_i) は外気温 (T_o) の影響を受けて変動する
- (3) 室内温度 (T_i) と設定温度 (T_p) の値を比べる
- (4) 電力 (ΔE) を消費する
- (5) 室内温度 (T_i) が設定温度 (T_p) と同じ値まで下がる
- (6) 累積消費電力 (E) に瞬間消費電力 (ΔE) を足す
- (7) 家同士の距離 (d) と T_i と T_p の差 (ΔT) により排熱の値 (T_e) が決まる
- (8) 排熱温度 (T_e) と純外気温 (h) から外気温 (T_o) の値が決まる
- (9) 消化ステップ数が終了ステップ数に達したかどうかを判断

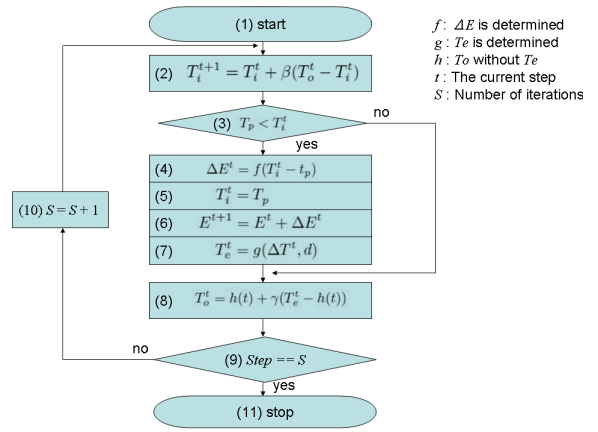


図 6 エージェントの行動の流れ

する

- (10) 消化ステップ数に 1 を加算する

- (11) シミュレーションを終了。累積消費電力 (E) が確定する

■エージェント同士の関係

エージェント間のパラメータの関係を図 7 に示す。A と A' はそれぞれ個別のエージェントを示している。各ノードはエージェントのパラメータを示している。矢印の始点にあるパラメータは終点にあるパラメータに影響を与える。

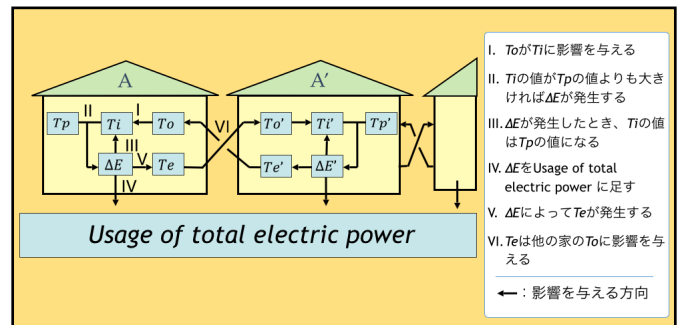


図 7 二つのエージェント間の関係

- 外気温が室内温度に影響を与える。
- 瞬間消費電力は設定温度と室内温度の差によって決まる。
- 瞬間消費電力が正の数のとき、室内温度は設定温度と同じ値になる。
- 瞬間消費電力の値が総消費電力に加算される。
- 瞬間消費電力量により排熱量が決まる。
- 外気温は排熱により決まる。

3.3 探索時のエージェントの動き

作成したモデルでシミュレーションを行い、より消費電力が少なくなる、または多くなる家の配置をランダム探索法を

使って探索する。ランダム探索法とはターゲット空間をランダムに探索して適切な解を見つける方法である。図 8 に本研究で用いたランダム探索法の手続きをフローチャートで示す。

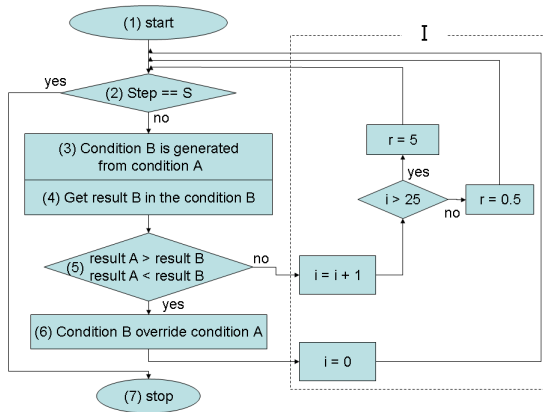


図 8 本研究で用いたランダム探索法の手続き

- (1) 探索空間と探索するときの条件を設定する。本研究では家の配置が条件である。Condition A は設定された条件であり、ランダムに生成される。また Result A に Condition A のときの探索結果を設定する。本研究では消費電力量が結果である。
- (2) ステップ数が S 達していれば探索を終了する。
- (3) Condition A の各エージェントの配置を半径 r の範囲でランダムに移動させた Condition B を生成する
- (4) Condition B の総消費電力量 Result B を取得する
- (5) Result A と Result B を比べる。
- (6) Result B が Result A よりも良い結果なら、Condition A の配置を Condition B の配置に置き換える。
- (7) ステップ数が S に達するまでランダム探索を続ける。

I の処理は局所解を避けるためのものである。式 (5) はランダムな探索で使用される条件を示している。

$$r = \begin{cases} 0.5 & (i < N) \\ 5 & (i \geq N) \end{cases} \quad (N = 25) \quad (5)$$

この r の範囲内でエージェントはランダムに配置される。 i は Condition A が変わらない探索が続いた回数である。探索は決められた探索回数で終了する。

4 シミュレーション実験

エアコンが設置された家の配置を変化させることで有意に消費電力が増える、または減るかを確認するためにシミュレーション実験を行う。実験には artisoc[5] を使用する。artisoc はコンピュータ上で人工社会を作り社会シミュレーションを行って現象を分析するツールである。

4.1 実験の諸条件

実験での諸設定を以下に示す。ただし、以下は artisoc の設定に基づいた条件の設定をする。家エージェントは 3 章で

示した通りに作成する。家エージェントを配置する探索空間の範囲は縦に 15、横に 15 である。この外からは影響を受けない。

実験に用いる他のパラメータは以下に示す。

- エージェントの数：220
- 学習世代：1,000
- 実験回数：20 回

4.2 実験結果

表 1 と表 2 に各試行の実験の結果を示す。表 1 は消費電力が少なくなる配置を探索した結果の一部であり、表 2 は消費電力が多くなる配置を探索した結果の一部である。

表 1 電力量が少なくなる配置での総消費電力量 (kW)

Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5
734,536	732,931	734,878	734,799	734,738
Trial 6	Trial 7	Trial 8	Trial 9	Trial 10
734,640	730,308	732,714	735,108	736,294

表 2 電力量が多くなる配置での総消費電力量 (kW)

Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5
746,551	747,603	747,605	747,456	747,669
Trial 6	Trial 7	Trial 8	Trial 9	Trial 10
747,147	747,070	747,208	747,084	747,259

実験で得た結果のデータに対して t 検定 (両側検定) を実施した結果、消費電力量の少なくなる配置と多くなる配置との間で総消費電力量に強い有意な差があった ($t = 20.34$, $p < 0.01$)。この結果はエアコンの節電に効率的な、または非効率的な家の配置が存在することを示している。

5 考察

消費電力量が有意に多くなる、または少なくなる家の配置の特徴を調べるために、家同士の密集具合を調べた。密集具合は R を使用しエアコンの設定温度が 18 度の家エージェントの密度の濃淡を画像で出力し分析した。これは設定温度が 18 度の家エージェントが回りの家エージェントに一番影響を与えるためである。出力した濃淡画像の例を図 9 に示す。図 9 中の小さな丸は、実際に探索空間内に配置された設定温度が 18 度のエージェントである。図中の六角形は色が濃くなれば濃くなるほど、その範囲の中には多くのエージェントが含まれていることを表わしている。図 10 に六角形の色濃淡の説明の図を示す。この六角形の数数を数えることにより、家エージェントの密集具合を分析した。

密集具合を分析する際に、4 通りの大きさの六角形を使

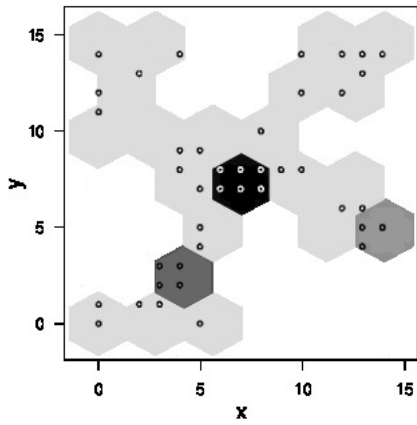


図9 家の配置の例

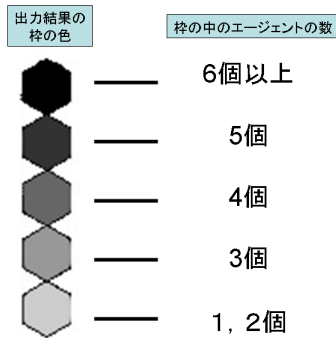


図10 六角形の色の説明

用した。4通りのパターンを図11に示す。六角形の大きさは、探索空間内に並べたときに横一列に4個が収まる大きさ(xbin=4)を最大とし、xbin=7までの4通りである。

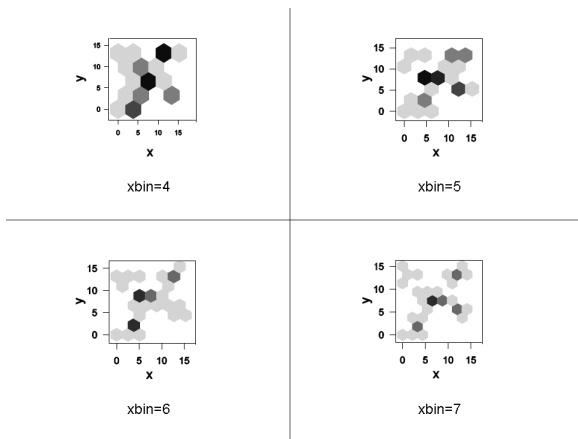


図11 それぞれの条件でのエージェントの密度の濃淡

5.1 エージェントの密集具合

以下にエージェントの密集具合を表した表の一部を表3から表6に示す。Number of agent とは、1つの六角形の

中に存在するエージェントの数である。Good arrangement とは、消費電力が少なくなる配置での六角形の数の平均である。Bad arrangement とは、消費電力が多くなる配置での六角形の数の平均である。

表3 それぞれの六角形に含まれるエージェントの数と t 検定結果 (xbin=4)

Number of agent	0	1,2	3	4	5
Good arrangement	7.40	9.00	2.95	1.90	0.65
Bad arrangement	3.10	13.95	4.60	0.95	0.35
p 値	$p \leq 0.01^{***}$	$p \leq 0.01^{***}$	$p \leq 0.01^{***}$	$p < 0.01^{***}$	$0.10 < p$

表4 それぞれの六角形に含まれるエージェントの数と t 検定結果 (xbin=5)

Number of agent	0	1,2	3	4	5
Good arrangement	13.60	13.45	3.45	1.50	0.60
Bad arrangement	7.50	22.85	2.30	0.30	0.05
p 値	$p \leq 0.01^{***}$	$p \leq 0.01^{***}$	$0.01 < p^{**} \leq 0.05$	$p \leq 0.01^{***}$	$p \leq 0.01^{***}$

表5 それぞれの六角形に含まれるエージェントの数と t 検定結果 (xbin=6)

Number of agent	0	1,2	3	4	5	6
Good arrangement	15.25	19.85	2.55	0.50	0.80	0.05
Bad arrangement	9.50	28.10	1.15	0.25	0.00	0.00
p 値	$p \leq 0.01^{***}$	$p \leq 0.01^{***}$	$p \leq 0.01^{***}$	$0.10 < p$	$p \leq 0.01^{***}$	$0.10 < p$

表6 それぞれの六角形に含まれるエージェントの数と t 検定結果 (xbin=7)

Number of agent	0	1,2	3	4	5
Good arrangement	17.8	24.6	2.1	0.3	0.2
Bad arrangement	13.7	30.7	0.6	0	0
p 値	$p \leq 0.01^{***}$	$p \leq 0.01^{***}$	$p \leq 0.01^{***}$	$0.01 < p^{**} \leq 0.05$	$0.01 < p^{**} \leq 0.05$

5.2 考察

■ xbin=4 に関して

xbin=4 は六角形が大きく、一つの六角形の中に多くのエージェントが含まれる可能性が高い。しかし Good arrangement ではエージェントの数が0の六角形の数の平均が7.40に対して、Bad arrangement では3.10であり、強い有意差がみられる ($t = 7.59, p \leq 0.01$)。つまり Good arrangement の方が Bad arrangement よりもまとまっているということが分かる。また Good arrangement に見られた9個の密集について消費電力量を詳しく調べてみると、他の配置よりも消費電力量が少ないものであった。つまり密集すればするほど消費電力量が減らせる可能性がある。

■ xbin=7 に関して

xbin=7 は最も六角形の面積が小さく、1つの六角形の中に含まれるエージェントは少なくなる可能性が高い。Number of agent が0の部分を見てみると、Good arrangement と Bad arrangement の数には強い有意差がみられる

($t = 86.80, p \leq 0.01$). つまり Bad arrangement の方が有意にエージェントの配置にばらつきがあると考えられる。

■全ての表に関して

どの表に関しても、Good arrangement のほうが Bad arrangement よりも「エージェント数が0の六角形」が多く、「エージェント数が1, 2個の六角形」が少ない。これらはエージェントが散らばっているのではなく、密集したほうが消費電力が少なくなることを示している。

6 おわりに

6.1 まとめ

本研究では、同じ面積、同じ住宅数でも住宅の配置によってエアコンによる総消費電力を抑えることが可能であるという仮説を立て、これを検証した。検証するためモデルを作成し、シミュレーション実験を行った。家同士の関係を artisoc で表現し、ランダム探索法により、累積消費電力が少ない家の配置を探索した。実験の結果、エージェントの配置をエアコンの節電に効果的な配置に近づけることができた。また、エアコンの設定温度の低い家が密集していると消費電力が抑えられ、設定温度が低い家が広く分布していると、消費電力量が上がるという特徴を発見した。

6.2 今後の展望

本研究の実験の結果、排熱を多く出す建物が密集すればエアコンの消費電力量が下がることがわかった。このことから、病院やコンビニエンスストアなどの常にエアコンを使う必要がある建物を密集させた都市モデルを考えることができるため、都市モデルの新たな指針になると考えられる。また大学のようなキャンパス内にいくつもの建物をもつ場所のデザインにも応用できる。エアコンを多く使う施設は、その施設同士を近づけて配置することにより、エアコンの消費電力量を減らしたキャンパスを考えることができる。

本研究ではエアコンをもつ家の配置と消費電力量の関係を明らかにした。この手法は家同士の相互作用をモデル化し、進化計算を用いて結果を導いたことに新規性がある。そこで進化計算と家同士の相互関係をモデル化できるものなら、本研究が応用できると期待される。例えば建物が出す騒音に着目したときに、家の配置をどのように変更すれば騒音問題が軽減できるかを考え、それに合わせて家エージェントのパラメータを変更すれば、同じような探索によって結果が得られると考えられる。また騒音問題だけではなく、異臭や交通の利便性を考慮したモデルを作成すれば、ある都市に合った最適な都市モデルが見つけれられる。そのほかにも、モデル内に架空の建物を建築したときに、どこに配置するのが適切かを考えることもできる。例えば住宅群にコンビニエンスストアを設置するときに、どこに配置すれば消費電力量が抑えられる配置になるかを考えることができる。また消費電力量だけ

でなく、先に述べた改良を加えたモデルならば、利便性を考慮した建物の配置も行えるようになると考えられる。

参考文献

- [1] (一財)日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧 2013」
- [2] 日本生気象学会：「日常生活における熱中症予防指針」Ver.3 確定版, 2013
- [3] マルチエージェントシステムの基礎と応用
- [4] 国土交通省気象庁：気象データ, 2013
- [5] 山影進：人口社会構築指南, artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門, 書籍工房早山, 2010年4月22日