

人とのつながりやすさに基づく BIM を用いた応急仮設住宅団地の配置案評価手法の提案 Proposal of Evaluation Method for Arrangement of Emergency Temporary Housing Units Based on Ease of Communication Using BIM

○玉木 蒼乃*¹, 大西 康伸*²
Aono TAMAKI*¹ and Yasunobu ONISHI*²

*1 熊本大学大学院自然科学教育部 大学院生

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.

*2 熊本大学大学院先端科学研究部 准教授 博士 (学術)

Associate Prof., Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto Univ., Ph. D.

Summary: A previous study of our research group has developed a program that can automatically create the arrangement plan of emergency temporary housing units using BIM. The goals of this research are to develop a program to automatically evaluate the arrangement plan created with BIM focusing on the ease of communication and to propose a method to feed back the evaluation results to the arrangement plan. This paper is organized as follows. 1) To evaluate the ease of communication, we proposed an evaluation method for the arrangement plan that uses the distance from the housing units to the meeting facilities and the quantity of passers-by in front of the housing units as indicators. 2) Based on the evaluation method, an automatic evaluation program that can be executed on the arrangement plan data produced by BIM was developed. 3) By applying the improvement method of arrangement plan to the emergency temporary housing complex constructed on 17 sites and executing the developed program, it was confirmed that the evaluation of the arrangement plan was improved. As a result, it showed the possibility of creating and evaluating arrangement plan on the same platform of BIM.

キーワード: コミュニティ ; 動線 ; 距離 ; 通過量 ; 自動化 ; ビジュアルプログラミング

Keywords: Community; circulation; distance; quantity of passers-by; automation; visual programming.

1. 研究の背景と目的

近年、大規模な災害が発生した際に供給される応急仮設住宅団地（以下、仮設団地）において、入居期間の長期化や孤独死の発生などからコミュニティの形成が重要視されている。その配慮として、地域コミュニティ単位での入居者の選定¹⁾や熊本型D^{注1)}に基づいた配置計画がなされてきた。

一方で、我々の研究グループは、福岡ら²⁾の研究において BIM を利用した仮設団地の配置案の自動作成プログラム（以下、自動配置プログラム）を開発し、より多くの住戸や駐車場が配置された案を短時間で作成することが可能となった。しかし、配置案の質の向上に対しての支援はなされていない。そこで本研究では、仮設団地におけるコミュニティは人とのつながりを土台として形成されると認識し、BIM で自動作成された配置案を対象として人とのつながりやすさに基づく評価を行い、評価結果を配置案にフィードバックする手法を提案することを目的とする。

2. 既往研究

巖³⁾は、仮設住宅におけるコミュニティ形成のプロセスと新たな生活環境へのなじみの関係性について論じ、仮設住宅におけるコミュニティの重要性について示した。斎藤ら⁴⁾は、住戸や施設の配置などの空間計画がコミュニティ形成に与える影響について、顔見知りの広がりから分析した。石本ら⁵⁾は、建設された仮設団地の居住性と配置計画に対して、コミュニティ形成の観点から評価した。以上のように、仮設団地のコミュニティ形成を重要視する機運は高まっている。

また仮設住宅のコミュニティ形成に関する評価指標として、巖³⁾は集会施設まで約1分の距離に住戸がある場合、近隣付き合いに消極的でもほぼ毎日利用する入居者がみられたことから、住戸から集会施設までの距離が近いと利用頻度が高いことを示した。斎藤ら⁴⁾は集会施設やごみ置き場、駐車場などへの入居者の日常動線上に住戸を配置することで顔見知り形成されやすい環境になることを示した。しかし、限られた時間の中でそれらの評価のフィードバックを配置案に反映する方法を提案す

ることに焦点を当てた研究は見当たらない。本研究では福岡ら²⁾の研究で作成した配置案の BIM データに対してコミュニティの観点から自動で評価するプログラム(以下、自動評価プログラム)を開発し、さらに評価結果を配置案へフィードバックする一手法を提案しており、これらの既往研究の上に成り立つ研究である。

3. 評価手法の提案

「仮設団地における人とのつながりやすさとは、入居者同士の接触する機会の多さである」という観点から、本研究では2つの指標を設定し3つの評価を行う。

3.1. 集会施設距離評価

1つ目の評価指標は「住戸と集会施設の距離」(以下、集会施設距離評価)とし、「集会施設までの距離が35m以下であれば訪れやすく70mを超えていれば訪れにくい」と定義する。各住戸の玄関から各集会施設に対する動線の中で最も短い動線の長さによって評価を行い、住戸を3段階に色付けする(図1)。

中評価と低評価の閾値は、厳³⁾により示された「近所付き合いに消極的であっても集会所まで徒歩1分程度の距離に居住している場合、ほぼ毎日集会所を利用していた」ことと、高橋ら⁶⁾により示された「歩行健常老人の平均歩行速度は1.23m/s」であることから、徒歩1分の移動距離はおおよそ73.8mであるとし、70mと設定している。高評価と中評価の閾値は、長澤ら⁷⁾により示された「買い物行動において目的地がない状態で立ち寄る店舗の平均店舗間距離が36.19m」であることから、35mと設定した。

3.2. 住戸前通過量評価

2つ目の評価指標は、斎藤ら⁴⁾の研究結果に基づき「住戸玄関前の通過量」とする(以下、住戸前通過量評価)。敷地内での通過量の分布を評価するために相対評価とし、集会施設距離評価と同様に3段階で評価する(図2)。住戸前通過量評価は「全住戸を住戸玄関前の通過量の少ない順に並べた際に、全住戸数の1/3番目にあたる住戸の属する通過量以下の住戸を低評価、次に多い通過量から全住戸数の2/3番目にあたる住戸の属する通過量以下の住戸を中評価、その他の住戸を高評価」と定義する^{注2)}。

住戸の玄関から集会施設、ごみ置き場、駐車場、交流場所(敷地内の既存施設など設計者が交流拠点と考える場所)、敷地出入口(以下、「その他施設」と総称する)までの最短距離の動線を評価対象として、住戸玄関前の動線の和を通過量とする。この際、集会施設、交流場所、敷地出入口については、仮設団地内に2つ以上設置されている場合、入居者はどちらの施設も利用すると想定し、各住戸から全ての施設に対する動線を取得する。ごみ置

き場と駐車場については、入居者は最も近い場所のものを利用すると想定し、全てのごみ置き場と駐車場までの動線の中で最も短い動線のみを取得する。

3.3. 総合評価

総合評価では集会施設距離評価と住戸前通過量評価の指標によって、仮設団地内の住戸をグループ分けし評価する(図3左)。6、9、12型^{注3)}の住戸タイプごとに入居者の属性情報を想定し、各住戸タイプが属すべきと考えるグループ(以下、適性グループ)にどの程度属しているか(以下、適性割合)を判定し、配置案をA、B、Cの3段階でランク付けし評価する(図3右、表1)。配置案ランクについて、Aの敷地は6、9型ともに適性グループに属している割合が高い(6型が8割以上、9型が9割以上)敷地、Cの敷地は反対に6、9型ともに適性グループに属している割合が低い(6型が7割未満、9型が8割未満)敷地、それ以外の敷地は全てBとなるように定義する。なお、本研究では、配置案ランクBが表2に示す評価対象敷地の6割~7割を占めることを目指し割合を定めたが、今後の研究によって適正な割合を設定する必要がある。

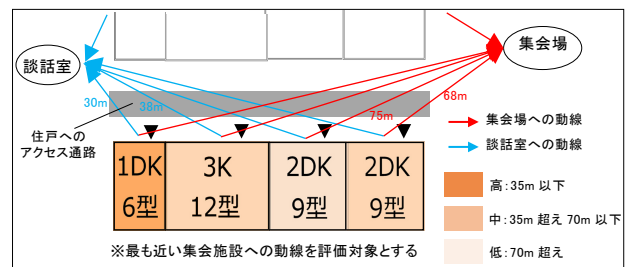


図1 集会施設距離評価の評価方法

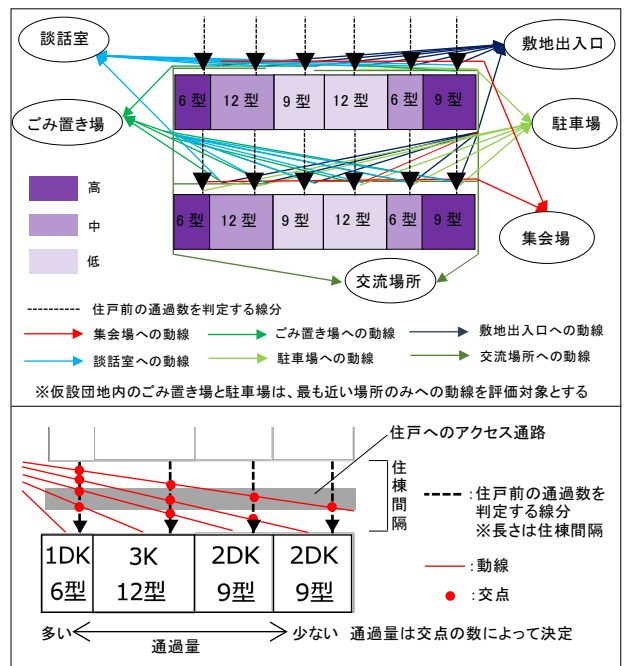


図2 住戸前通過量評価の評価方法

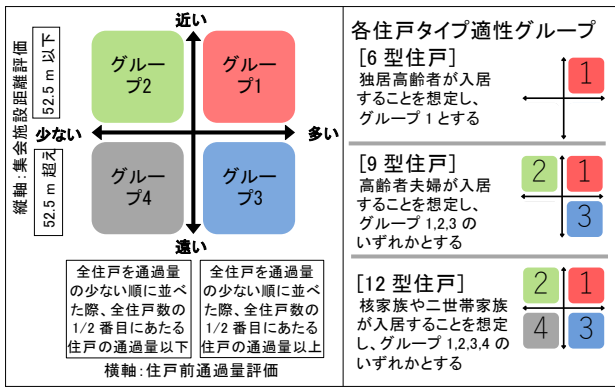


図3 総合評価(左)と各住戸タイプ適性グループ(右)

表1 配置案ランクの設定

配置案ランク A	配置案ランク B (以下のいずれかを満たす)	配置案ランク C
$0.8 \leq \frac{S_6}{n_6} \wedge 0.9 \leq \frac{S_9}{n_9}$	$0.7 \leq \frac{S_6}{n_6} < 0.8$ $0.8 \leq \frac{S_9}{n_9} < 0.9$	$S_6/n_6 < 0.7 \wedge S_9/n_9 < 0.8$
	$S_6/n_6 < 0.7 \wedge 0.9 \leq \frac{S_9}{n_9}$	
	$0.8 \leq \frac{S_6}{n_6} \wedge \frac{S_9}{n_9} < 0.8$	

※ n_6 : 6型住戸の全数、 S_6 : 6型住戸でグループ1に属する数
 n_9 : 9型住戸の全数、 S_9 : 9型住戸でグループ1, 2, 3に属する数
 $\frac{S_6}{n_6}$: 6型住戸適性割合、 $\frac{S_9}{n_9}$: 9型住戸適性割合

4. 自動評価プログラムの開発

4.1. プログラムの概要

本研究では、BIM ツール上で動作する配置案の自動評価プログラムを開発する。開発にあたり BIM ツールとしてオートデスク社の Revit2021 (以下、Revit)、プログラミングツールとして Dynamo2.5.0、プログラミング言語の Python、データの出力を目的として Excel2019 (以下、Excel) を使用する。また、人の動線を評価対象としていることから Revit のルート解析機能を利用する。この機能は、任意に選択した2点間を最短距離で結ぶ線分オブジェクト (以下、移動経路パス) を自動作成する。移動経路パスの属性情報から、移動時間や移動距離について算定が可能である。Revit 内のオブジェクトは障害物として移動経路パスに影響を与えるため、特定のオブジェクトを障害物として認識させない設定や、障害物として認識する高さ範囲の設定を行う (図4)。室内の避難経路の検討などに用いることを想定した機能であるが、本研究では外構に用いる。

開発するプログラムは、本研究室の福岡ら²⁾の研究にて開発した自動配置プログラムを用いて作成した、配置案の BIM モデルを対象に評価を行うことを前提とする (図5)。次に自動評価プログラムで評価を行うために新規作成した BIM パーツ (Revit におけるファミリー) について説明する (図6)。「交流場所指定」BIM パーツは、住戸前通過量評価を行う上で動線の作成対象ではない敷地内の既存施設や敷地出入口などへの動線を生成するための BIM パーツである。設計者が敷地内の交流拠点と考える場所に任意に配置することで、評価結果に反映される。「通り抜け禁止指定」BIM パーツは、敷地において通

り抜けを禁止し、配置した箇所を通らないように動線が作成される BIM パーツである。経路として認識させたくない場合に設計者が任意で配置することで、集会施設距離評価と住戸前通過量評価のそれぞれの評価結果に反映される。

4.2. プログラムの処理の流れ

本研究で開発した自動評価プログラムは、3つの異なる処理を担う部分から構成される。自動評価プログラムの全体の処理のフロー図を図7に、詳細な処理の流れを図8に示す。

Step A の処理では評価に用いる情報生成を行う。住戸からその他施設までの移動経路パスの作成や評価結果の書き出しを行うビューの作成およびトリミング領域の設定を行う。

Step B の処理では評価結果の提示を行う。集会施設距離評価では集会施設までの移動経路パスの長さを、住戸前通過量評価ではその他施設までの移動経路パスの住戸前の通過量を取得する。その後、各評価の閾値によって集会施設距離評価と住戸前通過量評価を低評価、中評価、高評価で評価し、Revit のビュー上の住戸を3段階に色付けを行う。それらの評価に基づいて総合評価で各住戸が

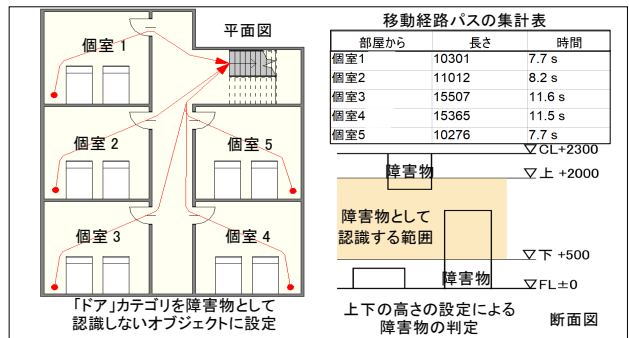


図4 Revit のルート解析機能

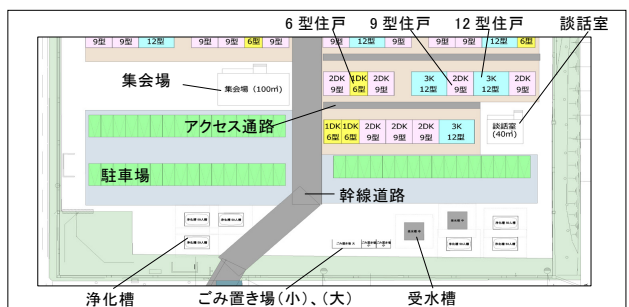


図5 福岡ら²⁾の研究で開発した自動配置プログラムで作成された配置案 BIM モデル

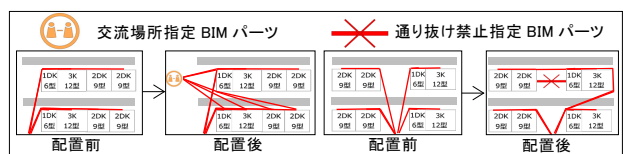


図6 自動評価プログラムで使用する BIM パーツ

グループ1~4のどれに属するか、色付けすることで評価結果を提示する。

Step Cの処理では評価結果として配置案ランクの算定と書き出しを行う。評価結果として、総合評価の結果に基づく6、9型住戸の適性割合および、各グループに属する住戸タイプの数算定した後、それらの値に基づい

て配置案ランクの算定を行い、Excelへの書き出しを行う

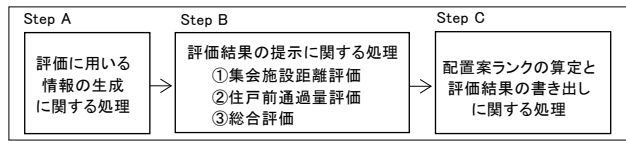


図7 プログラム全体の処理のフロー図



図8 プログラムの処理の流れ

う。また、同時に Revit の各評価結果ビューを画像としても書き出すことで、配置案を作成していく中で複数案の比較検討を行う際に資料として用いることが可能である。

5. 開発プログラムを用いた配置案の改善手法の提案

5.1. 評価の方法

実際に建設された仮設団地の配置案を対象に開発したプログラムを用いて評価を行い、配置案ランクについて分析した上で、配置案ランクの向上に必要と考えられる操作を提案する。その後、それらの操作を行った配置案に対して、再度自動評価プログラムを実行し評価が向上することを確かめる。これは、実務において設定した評価指標に基づいて自動で評価を行い、評価結果を配置案に反映することで評価を改善しうることを示すことを目的に行う。対象敷地は、プレハブ建築協会会員企業より図面を入手した、東日本大震災以降に建設された仮設団地のうち、集会施設が整備されている17敷地^{注4)}とする。

評価手順として、まず実在案の仮設団地の図面に基づき Revit を用いて手動で配置案を作成する^{注5)}。次に交流場所指定 BIM パーツを広場や東屋などの既存施設や敷地出入口に配置する。その際、敷地出入口はバス停や駅、港、小学校、スーパー、コンビニのいずれかの施設が敷地出入口から一定の距離以内にある場合に入居者の動線が集中するとして、交流場所指定 BIM パーツを配置することとする。また、任意で通り抜け禁止指定 BIM パーツについても配置する。最後に、障害物として認識する BIM パーツをルート解析機能で設定し、自動評価プログラムを実行する。

5.2. 配置案の改善手法

実在案を対象に自動評価プログラムを実行した結果、配置案ランク A が1敷地、B が11敷地、C が5敷地となり、ほとんどの敷地が配置案ランク B または C になった(表2)。そこで、配置案ランク B または C の配置案を対象に、配置案ランクの向上に必要と考えられる配置案に対する4つの操作を順に行った^{注7)}(表3、図9)。

操作1は、集会施設は幹線道路沿いに配置するという仮設住宅の配置ルールに則りつつ、住戸エリアの中央に集会施設を配置することで各住戸からの集会施設への距離を短縮し、集会施設距離評価を向上させる操作である。操作2は、操作1と同様の操作であり、大規模な敷地に対して集会施設を追加し、分散して配置することで集会施設距離評価を向上させるための操作である。操作3は、通常動線は幹線道路に向かうためその付近の通過量が多いことと、幹線道路沿いに集会施設があることから6型、9型の適性割合を向上させるための操作である。操作4は、操作3を同じ住棟の行内だけでなく、広く敷地全体

を対象として行う操作である。

各操作を行い、再度自動評価プログラムで評価した結果、配置案ランクが B または C であった全ての敷地で配置案ランクを向上させることができた。集会施設の位置の操作(操作1、2)では配置案ランクが A まで向上した敷地はなく、6、9型住戸の位置の操作(操作3、4)まで行うことで同16敷地中14敷地の配置案ランクが A にまで向上したことを確認した。操作4後に配置案ランクが B に留まった原因として、住戸タイプ比率に着目した際に SO1 仮設団地では6型住戸:9型住戸:12型住戸 = 1.5:3.5:1、HY 仮設団地では6型住戸:9型住戸:12型住戸 ≒ 1.3:3.8:1 と、9型住戸が他の住戸タイプより多いことが影響したと考えられる。加えて敷地規模も比較的大きいことから、9型住戸の適性割合が9割を超えることができなかつたため配置案ランクを A まで向上させることができなかつたと考えられる。

表2 各操作による配置案ランクの変化

規模 注6)	No	対象敷地		操作前		操作1後		操作2後		操作3後		操作4後					
		団地名	敷地面積(m ²)	住戸数	6適(%)	9適(%)	ランク	6適(%)	9適(%)	ランク	6適(%)	9適(%)	ランク	6適(%)	9適(%)	ランク	
小	1	UK	1,759	21	50	100	B	—	—	—	—	100	100	A	—	—	
	2	AH	3,272	21	50	100	B	67	100	B	—	—	100	100	A	—	
	3	ST	3,175	32	13	100	B	13	88	B	—	—	25	94	B	88 94	
	4	II	9,000	34	14	85	B	43	84	B	—	—	43	89	B	100 95	
	5	IM	4,661	37	100	67	B	50	92	B	—	—	100	92	A	—	
	6	RK	4,569	41	25	78	C	0	100	B	—	—	67	100	B	100 100	
	7	NS	6,692	45	100	100	A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
中	8	IT4	5,547	50	25	81	B	25	100	B	—	—	50	100	B	100 100	
	9	SK	6,382	60	31	100	B	46	97	B	—	—	85	97	A	—	
	10	IT2	6,949	66	25	66	C	19	95	B	—	—	63	97	B	88 97	
	11	IT3	8,655	77	50	87	B	36	83	B	—	—	50	83	B	93 91	
大	12	SO1	9,044	80	10	73	C	22	79	C	39	84	B	50	85	B	83 82
	13	SO2	10,371	95	0	88	B	0	77	C	21	89	B	43	89	B	100 100
	14	WK1	53,189	104	20	81	B	—	—	—	30	92	B	50	94	B	90 92
	15	SS	7,861	106	30	81	B	41	89	B	49	94	B	57	96	B	81 98
	16	RH	14,574	132	0	60	C	27	69	C	47	92	B	71	92	B	100 92
	17	HY	16,707	209	10	71	C	8	70	C	8	81	B	54	77	C	92 78

※6 適:6型住戸の適性割合、9 適:9型住戸の適性割合
—:操作をスキップ(既に操作後の配置案となっている場合)

表3 配置案ランク B または C の配置案に対して行う操作

集会施設に関する操作	操作1	住戸エリアに接する幹線道路沿いかつその幹線道路の中央付近の住戸と集会施設を入れ替える
	操作2	80 戸以上整備されている敷地において集会場が1棟のみ配置されている場合は談話室を1棟追加し住戸と置き換える 【住戸エリアが1つの場合】 住戸エリアに接する幹線道路沿いかつ住戸エリアを幹線道路に沿って3等分する境界線付近の住戸と集会施設を置き換える 【住戸エリアが複数の場合】 住戸エリアに接する幹線道路沿いかつその幹線道路の中央付近の住戸と集会施設を置き換える ※同じ住戸エリアに配置しないかつ集会施設同士が近づかないように留意する
操作3		各住棟の行において、幹線道路に最も近い住戸を6型住戸、9型住戸の順に置き換える
6、9型住戸に関する操作	操作4	幹線道路から最も近い6型住戸、9型住戸を幹線道路に最も近いかつ集会施設周辺の12型住戸と順次入れ替える ※各住棟において、6型住戸が4戸以上含まれないように留意する

6. 研究のまとめ

本研究では、BIM を用いて自動作成した仮設住宅の配置案を対象とし、人のつながりやすさのための仮の指標を設定した上で、配置案を人の動線に基づき自動評価するプログラムを開発した。これにより、BIM という同じプラットフォームで、配置案の作成と評価を行うとい

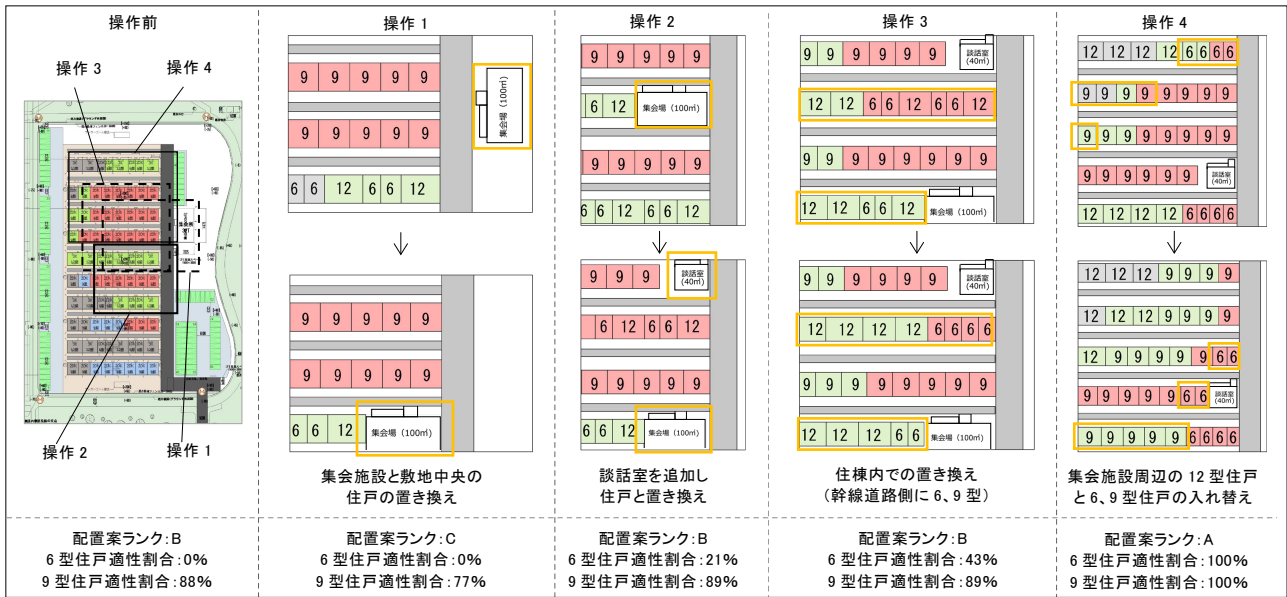


図 9 配置案ランク B または C の配置案に対して行う操作と配置案ランクの変化の例 (SO2 仮設団地)

う手法を示すことができた。さらに、自動評価プログラムの評価結果を配置案にフィードバックする手法の一つを示すことができた。改善手法を反映させた配置案の評価を数値化することで評価が向上していく過程を示し、改善手法の配置案に対する有効性を把握できると考える。

本研究で設定した人とのつながりやすさの評価指標は予備実験やヒアリングにより得られた指標ではなく、既往研究の成果をもとに設定したものである。どのような評価指標を採用するかが今後の課題である。また、本研究では配置案ランクの向上に必要な操作を人が行ったが、それらをコンピュータが自動的に判断し配置案に反映できるプログラムの開発や、人とのつながりやすさ以外の評価指標を考慮した自動評価プログラムの開発が展望としてあげられる。

なお、本研究は科学研究費補助金（基盤研究（C）、課題番号21K04415）の一環として実施した。

謝辞

大和ハウス工業株式会社、大和リース株式会社の関係者の方々には、研究を進めるにあたり貴重なデータをご提供いただくとともに、多大なご助言を賜りました。この場をお借りして御礼を申し上げます。

注釈

- 注1) 熊本県が災害救助法に基づき策定した仮設住宅の整備方針で、過去の教訓を踏まえて、従来の仮設住宅に比べ住宅としての性能の向上とともにゆとりある配置計画（隣棟間隔の拡幅、有機的路地の作成、共用空間の充実）が図られたもの。
- 注2) 厳しく評価するために、評価の境目にあたる住戸（全住戸を住戸玄関前の通過量の少ない順に並べた際に、全住戸数の 1/3 番目と 2/3 番目の住戸）の通過量に属する住戸は全て低い方の評価になるよう設定している。
- 注3) 6 型は 1DK、9 型は 2DK、12 型は 3K の間取りを示す。

- 注4) 本研究では住戸数が 20 戸未満の小規模な仮設団地、玄関が向かい合わせの住棟配置になっている仮設団地（プログラムが対応していないため）、熊本型 D によって建設された仮設団地（プログラムが路地がある場合の評価に対応していないため）を評価対象外とする。
- 注5) 自動配置プログラムでは実在案の仮設団地の配置案を全く同じに再現できないため、自動配置プログラムで作成した配置案と同等のデータの配置案を手動で作成し評価を行う。
- 注6) 仮設団地の敷地規模について、20 戸以上 50 戸未満の仮設団地を小規模な敷地、50 以上 80 戸未満の仮設団地を中規模な敷地、80 戸以上の仮設団地を大規模な敷地とする。
- 注7) 大幅な配置案の変更を行うことで更なる評価の向上が考えられるが、本研究では迅速な建設を目的とし、必要最小限の操作による人とのつながりやすさの向上を目指した。

参考文献

- 1) 大水敏弘、「実証・仮設住宅 東日本大震災の現場から」、学芸出版社、2013.9
- 2) 福岡怜大、大西康伸、「対話的計画機能を実装した BIM による仮設住宅配置案の作成手法に関する研究」、日本建築学会第 42 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集 (DVD)、pp.48-53、2019.12
- 3) 厳爽、「仮設住宅におけるコミュニティの形成と「なじみ」のプロセスに関する考察 一宮城県 A 市仮設 B 団地の事例を通して一」、宮城学院女子大学生生活環境科学研究所研究報告（生活環境科学研究所）第 48 号、pp.9-17、2016
- 4) 齊藤慶伸、富安亮輔、趙晟恩、栗原理沙、西出和彦、狩野徹、大月敏雄、岡本和彦、後藤純、井本佐保里、似内遼一、「コミュニティケア型仮設住宅における顔見知りの広がりに関する研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集 (DVD)、建築計画、pp.45-48、2013.8
- 5) 石本隆之介、安武敦子、「コミュニティ形成の視点からみた応急仮設住宅の居住性および住宅団地の評価-熊本地震を通して-」、日本建築学会技術報告集、第 60 号、pp795-799、2019
- 6) 高橋徹、林玉子、「屋外における高齢者の歩行特性について」、総合都市研究、第 39 号、pp21-38、1990.3
- 7) 長澤夏子、佐古崇、渡辺仁史、「大規模商業施設計画のための買い物行動モデル」、日本建築学会計画系論文集、第 75 巻、第 646 号、pp.2611-2616、2009.12