室空間内の群集の個体専有面積分布把握のための実験

個体領域の確保を考慮した室空間の規模計画手法に関する研究

AN EXPERIMENTAL STUDY TO GRASP THE PROFILE OF DISTRIBUTION
OF PERSONAL OCCUPIED AREAS OF CROWD IN ROOM SPACEA study on the planning method of capacity and size of room under consideration
to keep personal spaces of occupant crowd

大竹 宏之*, 久保田 一弘**, 直井 英雄***

Hiroyuki OTAKE, Kazuhiro KUBOTA and Hideo NAOI

In architectural planning, room space areas are mainly decided according to physical spaces such as human body sizes, occupant crowd densities, and the sizes of furnitures necessary for the room. However, human beings are also psychological entities and naturally require psychological spaces^{1), 2)} as well. In former papers^{8) 12)}, we proposed a planning method of capacity and sizes of room under consideration to keep personal occupied areas. In this paper, we report the experimentally grasped distribution of allotted personal areas of occupant crowd to be used in the method, and the result of examination that the distribution can be approximated as Poisson distribution.

Keywords : *Personal occupied area, Personal space, Voronoi division, Occupant crowd density, Planning method of capacity and size of room*

個体専有面積, パーソナルスペース, ボロノイ分割, 群集密度, 規模計画

1. 研究の概要

1-1 研究目的

建築計画における室空間規模計画においては、所要室の必要面積は、物理的には人体寸法、収容人員、家具の寸法などにより決定されている。しかしながら、人間は本来、心理的な存在であり、当然のことながら、個体領域確保のための心理的な寸法を要求する。このような問題については、設計者の経験や総合的な判断に委ねられており、建築計画学としては特に定量的な規模計画手法を持ってはいなかった。

この課題に対し、筆者らは、これまでの研究で「個体領域の確保を考慮した室空間の規模計画手法」を提案した^{8) 12)}。この手法は、室空間の規模計画において、①室空間の群集密度（室面積と人数から求まる）、②（確保したい）個体専有面積、③（個体専有面積が確保される）人数の割合の3つの変数のうち2つの変数を確定すれば、残りの1つの変数が求められ、計画の参考に供しうるというものである。しかし、そこで用いた個体専有面積分布は、それまでの規模計画において群集観察や簡易な実験により得られた分布をもとにしたものであり、必ずしも十分な信頼性を持つものではなかった。そ

こで本研究では、室形状及び群集密度により決定される人間の立位における心理的な個体専有面積の分布を、実物大の室空間の実験により定量的に捉え、得られた分布が既往研究での検討結果と同様にポアソン分布とみなせるかどうか検討することを目的とする。

1-2 本研究の構成

本研究では、室空間内の群集の個体専有面積分布把握のための実験として、二段階の実験を行った。

まず、実験1では、この計画手法の基礎データとして用いる個体専有面積分布をとらえるため、実験室内で室空間内群集を作り出し、必要なデータを計測した。この際の群集の密度は、何段階かの密度に固定した。この結果を2で述べる。

また、実験2では、室空間内群集は現実的には時間の経過に従って密度が増えたり減ったりすることが多いことを考慮し、そのような群集の形成過程によって、個体専有面積分布が影響されるものかを確認しようとした。この結果を3で述べる。

なお、以下の報告の中で明らかにすることになるが、同じ密度の室空間内群集の個体専有面積分布は、その形成過程には左右されないとみなせたことから、ポアソン分布の適合性検討は、実験1の結

本研究は、参考文献10), 11)をもとに再構成したものである。

* 東京理科大学大学院工学研究科建築学専攻
博士課程学生・工修

** 東京理科大学工学部建築学科 補手・工修

*** 東京理科大学工学部建築学科 教授・工博

Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Tokyo Univ. of Science, M. Eng.

Research Assoc., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Tokyo Univ. of Science, M. Eng.
Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

果を用いて行っている。この結果を4で述べる。

2. 室空間内の群集の個体専有面積分布把握のための実験(実験1)
2-1 実験目的

提案している計画手法に用いる基礎データを得るため、実物大の室空間における実験により室形状及び群集密度ごとの個体専有面積の分布を、定量的に捉えることを目的とした。

2-2 実験概要

(1) 実験方法

壁(W900 x H2150のコンパネ)で囲まれた5種類の実験空間(図1)に、設定した密度毎に被験者を入室させ、各自、居心地の良いと思う場所に静止してもらった。被験者には、反射板を貼り付けた帽子をかぶってもらい、上部VTRカメラにて撮影し、個体領域の分布を観察した(図2、図3)。

図1 実験空間の設定

ビデオ撮影を行った静止画像からFrame-DIAS II(DKH社)を用いて被験者の位置座標を算出し、Excel VBAを用いてボロノイ分割を作成し、個体専有面積及び個体間距離を算出した。

図2 実験風景

図3 撮影状況

(2) 被験者

大学生、大学院生、および派遣会社からの派遣者を被験者とした。

表1 被験者の構成(人)

	男性	女性	合計
大学生・大学院生	9	2	11
T派遣会社派遣員	2	24	26
S派遣会社派遣員	5	4	9
計	16	30	46

(3) 実験場所

独立行政法人 建築研究所ユニバーサルデザイン実験棟 動作分析実験場で実施した。

(4) 計測条件

各実験空間において表2の被験者数で、中央に集まった後に居心地の良い場所に移動し、10回計測、その後、壁側に分散した後、居心地の良い場所に移動し10回計測、合計20回の被験者の居場所の分布の計測を行った。

表2 実験条件別の被験者数(人)

空間形状	室面積 (㎡)	密度(人/㎡)													
		0.4	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	1.6	2.0	2.4	2.5	2.8	3.0	3.2	3.5
CASE A	29.16	-	15	-	30	-	45	-	-	-	-	-	-	-	-
CASE B	12.96	-	7	-	13	-	20	-	26	-	33	-	39	-	46
CASE C	7.29	3	-	6	-	9	-	12	15	18	-	21	-	24	-
CASE D	12.96	-	7	-	13	-	20	-	26	-	33	-	39	-	46
CASE E	7.29	3	-	6	-	9	-	12	15	18	-	21	-	24	-

(5) 用語の定義

① 個体専有面積と個体間距離の定義

他のどの人よりも自分に近い領域をボロノイ分割により求め、得られた面積を個体専有面積と定義した。また、ボロノイ分割による各辺に直交する個体を結ぶ長さを、個体間距離と定義した(図4)。

② 周縁部と非周縁部の定義

群集において、壁側にいる人とそうではない人では、個体専有面積を取る際、異なった心理的影響が及ぼされ、かつ物理的条件が異なることを考慮し、周縁部と非周縁部に分けて検討を行った。ここで、個体専有面積が空間周囲の境界線に接している部分を周縁部、接していない部分を非周縁部とした(図5)。

図4 個体専有面積と個体間距離

図5 周縁部と非周縁部

2-3 実験結果及び考察

(1) 計測結果

一例として、計測により得られたCASE C密度2.0人/㎡における個体専有面積及び個体間距離のボロノイ図を示す(図6)。この図から必要データを拾い出して集計し、以下のグラフを作成した。なお、グラフの作成にあたっては、計測によるばらつきの程度については生データに近いグラフ表示がふさわしいと判断し、度数を折れ線で表示した。また、それ以降に述べる諸観点ごとの個体専有面積分布については、分布形状の比較のしやすさを考慮し、相対度数をエクセルの散布図(平滑線)を用いてグラフ表示した。

図6 ボロノイ分割による個体専有面積及び個体間距離

(2) 計測によるばらつきの程度

CASE B密度2.0人/㎡を例としてとり上げ、計測回数ごとの個体

専有面積分布を重ねて図7に示す。この図からも読み取れるように、サンプル数が十分な場合は、20%程度のばらつきとなることがわかる。以下の結果は、この程度のばらつきを含むものとして考える必要がある。

(3) 空間の形状による分布の違い

密度1.5人/㎡における空間形状別個体専有面積の分布を図8に示す。これをみると、空間形状及びその面積が違って、分布はほぼ等しい結果となった。

図7 計測回数ごとの個体専有面積分布
(CASE B 密度 2.0 人/㎡)

図8 空間形状別個体専有面積分布 (密度 1.5 人/㎡)

(4) 周縁部と非周縁部の別による分布の違い

CASE A 密度1.0人/㎡における周縁部および非周縁部の分布グラフを図9に示す。これをみると、非周縁部の個体専有面積が周縁部より大きくなる傾向が得られた。これは、非周縁部に属した人は、壁によってその個体専有面積が切断されることによる個体専有面積の減少がなかったことが原因だと考えられる。また、集団全体のグラフは周縁部のグラフにより近づいているが、これは非周縁部よりも周縁部に属する人が多かったことが要因だと考えられる。

(5) 密度による分布の違い

CASE A、CASE B、CASE C、CASE D、CASE Eのそれぞれについて、密度ごとの分布を重ねたものを図10から図14に示す。このうちCASE Aについては、高密度な実験を行っていないため、図10のグラフの印象は異なっているが、これも含めすべての分布は、ポアソン分布(ガンマ分布)に特徴が似ていると判断できる。

図9 周縁部・非周縁部別による個体専有面積分布

この分布は、もちろん、図9に示した周縁部と非周縁部を合わせたものであるが、ここで提案している室空間の規模計画手法としては、その両者を区別して扱うよりは、むしろ、群集全体の分布を対象とするほうが相応しい。

また、4で検討を加えるが、この分布が、仮にポアソン分布で近似できるとすれば、計画手法上はきわめて扱いやすいことになる。

図10 密度別個体専有面積分布 (実験1 CASE A)

図11 密度別個体専有面積分布 (実験1 CASE B)

図 12 密度別個体専有面積分布 (実験 1 CASE C)

図 13 密度別個体専有面積分布 (実験 1 CASE D)

図 14 密度別個体専有面積分布 (実験 1 CASE E)

3. 群集の形成過程の影響を見るための実験 (実験 2)

3-1 実験目的

実験 1 により、本研究の目的とする個体専有面積分布は一通り把握できた。しかし、室空間内の群集は、実際には個人で入室と退室を繰り返すため、実験 1 で設定したような常に密度が一定という状況は起こりえないものと考えられる。そこで本実験では、密度を増減させた際の群集の個体専有面積分布を定量的にとらえ、群集の形成過程の影響の有無を確認することを目的とした。

3-2 実験概要

(1) 実験方法

実験空間および最大密度は実験 1 と同様とし、一人ずつ順番に被験者に入室してもらうケースと、最大被験者数が入室した状態から一人ずつ退室してもらうケースを行った。

(2) 被験者

大学生、大学院生の合計 50 名のうち最大で 46 人を被験者とした。

(3) 実験場所

実験 1 と同様、独立行政法人 建築研究所 ユニバーサルデザイン実験棟 動作分析実験場で実施した。

(4) 計測条件

各実験空間において被験者の入室、退室方法を一人ずつ順番に被験者に入室してもらうケースと、最大被験者数が入室した状態から一人ずつ退室してもらうケースをそれぞれ 1 回ずつ被験者の居心地の良い場所に移動してもらい被験者の居場所の分布の計測を行った。CASE B のみ、入室を 4 回、退室は 2 回計測を行った。ただし、実験空間の出入り口を扉から開口とした。

3-3 実験結果および考察

(1) 密度の変化による個体専有面積分布の違い

CASE B における個体専有面積分布の実験 1 で固定した際と実験 2 の連続して被験者を入退出した際の密度別比較を図 15 及び図 16 に示す。また、実験 1 と実験 2 における密度毎の比較を図 17 から図 23 に示す。群集の形成過程が密度を固定したい際と連続とした際の結果により、密度が低い際は、ばらつきが見られるが、どの密度においても、個体専有面積の分布においてほぼ影響しないことが得られた。

(2) 実験空間別による分布の違い

密度 1.0 人/m² における実験 1 と実験 2 の実験空間形状別個体専有面積分布を図 24 に示す。空間形状の違いによる個体専有面積の分布については、明確な違いは見いだせなかった。連続して被験者を入退出した際に部屋形状に関係なく小さい個体専有面積に分布した結果となった。これは、周縁部を希望した被験者が多かったことに加え、自分の場所を確保すると、狭くても動かない状況が発生したことが一因と考えられる。

図 15 実験 1 CASE B 密度別個体専有面積分布

図 1-6 実験 2 CASE B 密度別個体専有面積分布

図 2-0 実験 1 と実験 2 における個体専有面積分布の比較 (CASE B 密度 2.0 人/m²)

図 1-7 実験 1 と実験 2 における個体専有面積分布の比較 (CASE B 密度 0.5 人/m²)

図 2-1 実験 1 と実験 2 における個体専有面積分布の比較 (CASE B 密度 2.5 人/m²)

図 1-8 実験 1 と実験 2 における個体専有面積分布の比較 (CASE B 密度 1.0 人/m²)

図 2-2 実験 1 と実験 2 における個体専有面積分布の比較 (CASE B 密度 3.0 人/m²)

図 1-9 実験 1 と実験 2 における個体専有面積分布の比較 (CASE B 密度 1.5 人/m²)

図 2-3 実験 1 と実験 2 における個体専有面積分布の比較 (CASE B 密度 3.5 人/m²)

図 2-4 実験空間別個体専有面積分布

(3) 密度変化による個体専有面積のばらつき具合への影響

CASE C における被験者数の増加時と減少時における個体専有面積のばらつき具合を図 2-5 に示す。人数増加時、減少時でばらつき具合はあまり変わらず、その群集の形成過程には、ほぼ影響されないことが推察できる。なお、当然のことながらばらつきの程度は人数が多く、密度が高くなるほど小さくなるが見てとれる。これは、移動量が制限され、あいまいさの減少が寄与したものと推察される。

図 2-5 密度による個体専有面積のばらつき(CASE C)

4. 実験から得た個体専有面積分布のポアソン分布への適合性の検討

4-1 検討方針

実験 2 の結果、群集の形成過程が個体専有面積分布に影響しないことが明らかになったため、ポアソン分布への適合性の検討は、最も標準的なケースであり、全ての密度にわたって最も信頼性の高い安定したグラフが得られると判断した実験 1 CASE B の結果を用いて行う。

4-2 検討方法

(1) ポアソン分布への適合性検定の方法

ポアソン分布の確率関数は次式で表される。

$$P(n; \lambda) = \frac{\lambda^n}{n!} e^{-\lambda}$$

λ : 平均値(ポアソン定数)
 e : 自然対数の底(2.7182...)

($\lambda > 0$ $n=0,1,2,3 \dots$)

適合度の検定は通常の検定方法によって行い、有意水準 0.05 以上をポアソン分布に適合しているものとした。

(2) 区間および原点の設定

既往研究⁶⁾より、できる限り詰めるよう指示した群集においての個体専有面積の最小値が 0.15~0.25 m²/人であったことをふまえ、密度の区間としては、0.05 人/m²、0.1 人/m²、0.25 人/m²として検討した。また、分布の原点を 0~0.25 m²/人までを 0.05 m²/人間隔で設定した。

4-3 検定結果

CASE B における区間の設定での有意確率の適合率の結果を表 3 に示す。最も適合率の高かった、区間 0.05 人/m²を採用し、原点移動の検討を行った密度別のポアソン分布への適合率の結果を表 4 である。0.15 m²/人の原点を設定した場合では全体で 80%以上の適合率が確認できた。このことから本研究の目的とする手法においては、0.15 m²/人の原点を設定したポアソン分布を用いるのが妥当と思われる。

表 3 密度と区間による適合率 (有意水準 0.05)

密度 (人/m²)	区間(m²/人)			
	0.05	0.10	0.25	
0.5	0.95	1.00	0.95	
1.0	0.90	0.95	0.95	
1.5	0.80	0.65	0.50	
2.0	0.85	0.80	0.00	
2.5	0.65	0.25	0.00	
3.0	0.55	0.00	0.00	
3.5	0.30	0.00	0.00	

表 4 密度と原点移動による適合率 (有意水準 0.05)

密度 (人/m²)	区間(m²/人)						
	0.05	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	
0.5	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
1.0	0.90	0.80	0.85	0.85	0.80	0.65	
1.5	0.80	0.90	0.90	0.80	0.80	0.75	
2.0	0.85	0.85	0.90	0.90	0.85	0.65	
2.5	0.65	0.85	0.90	0.95	0.75	0.65	
3.0	0.55	0.75	0.75	0.90	0.85	0.55	
3.5	0.30	0.45	0.65	0.90	0.60	0.45	

原点移動をしていない実験 1 CASE B の密度別個体専有面積を図 2-6 に示す。また、0.15 m²/人の原点移動をしたものが図 2-7 であり、その理論ポアソン分布を図 2-8 に示す。

図 2-6 実験 1 密度別個体専有面積分布
(実験 1 CASE B 原点移動なし)

図 2-7 密度別個体専有面積分布
(実験 1 CASE B 0.15 m²/人に原点移動)

図 28 密度別個体専有面積分布
(近似した理論ポアソン分布)

5. 総括

本研究で行った 2 つの実験およびそれにもとづく検討により、以下の知見を得た。

- ① 室空間内の群集の密度別個体専有面積分布を得た。
- ② この分布は、群集の形成過程には左右されないものであることが明らかにした。
- ③ この分布が、ポアソン分布に近似できるものであることを明らかにした。

これにより、本研究に先立って枠組みを提案した「個体領域の確保を考慮した室空間の規模計画手法」は、数値の算定のために用いていた個体専有面積分布のグラフが、より信頼性の高いグラフに置き換えられたという意味で、十分な実用性を持つものになったと考える。

謝辞

本研究の遂行にあたっては、多くの方々の協力を得た。研究に協力していただいた東京理科大学の渡辺祥史氏をはじめとする大学院生、学部卒研究生諸君、また、実験施設を提供していただいた（独）建築研究所の布田健氏をはじめとする皆様など。ここに記して謝意を表すものである。

参考文献

- 1) Edward T. Hall 著、日高敏隆ほか訳：かくれた次元、みすず書房、1970
- 2) Robert Sommer 著、穂山貞登訳：人間の空間-デザインの行動研究、鹿島出版会、1972
- 3) 北田浩史ほか：通路空間にいる人間の個体距離に関する観察研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系 E-1、pp. 715-716、2001
- 4) 前川隆裕ほか：通路空間における人間の個体間距離に関する観察研究（その 2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系 E-1、pp. 663-664、2002
- 5) 前川隆裕ほか：通路空間における人間の個体距離に関する観察研究 その 3、日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系 E-1、pp. 839-840、2003
- 6) 三上喜隆ほか：限定空間内の群集密度と人間の個体距離分布との関係に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系 E-1、pp. 893-894、2004
- 7) 渡辺祥史ほか：限定空間内の群集密度と個体専有面積分布との関係に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系 E-1、pp. 915-916、2005

- 8) 佐野智彦ほか：個体領域の確保を考慮した室空間の規模計画手法に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系 E-1、pp. 875-876、2006
- 9) 佐野智彦ほか：二個体間に形成される心理的領域に関する基礎実験 個体領域の確保を考慮した室空間の規模計画手法に関する研究 その 2、日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系 E-1、pp. 847-848、2007
- 10) 大竹宏之ほか：限定空間内の群集の個体専有面積分布を把握するための基礎実験 個体領域の確保を考慮した室空間の規模計画手法に関する研究 その 3、日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系 E-1、pp. 905-906、2008
- 11) 大竹宏之ほか：限定空間内の群集の個体専有面積分布を把握するための基礎実験 個体領域の確保を考慮した室空間の規模計画手法に関する研究 その 4、日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系 E-1、pp. 991-992、2009
- 12) Hiroyuki Otake, Yoshihiro Watanabe, Kazuhiro Kubota, and Hideo Naoi, A STUDY ON THE PLANNING METHOD OF CAPACITY AND SIZE OF ROOM UNDER CONSIDERATION TO KEEP PERSONAL SPACE, INTERNATIONAL JOURNAL OF SPATIAL DESIGN & RESEARCH, VOL. 9, pp. 157-166, 2009.11

(2010年7月8日原稿受理、2010年10月5日採用決定)