

利便性と地震時室内安全性の調和に配慮した家具ユニットの最適配置手法の提案

正会員 ○清水 学*¹
同 岡田 成幸**²

部門-細分類：14.地震災害-3.地震防災システム

キーワード：室内安全性、人的被害、最適配置、意思決定、危険度診断、家具

1. はじめに

建物内部被害による負傷事例は、過去の被害地震においても多数報告されている。その室内の被災には、家具転倒や内容物散乱など家具が大きく関与する。人的被害軽減のための地震時の家具転倒防止策として、建物壁体への家具の固定が行われることが多いが、実際には困難な場合が多く、家具の配置問題に辿り着く。一方、我々の室内レイアウトでは安全性に重点をおいた配置は見られず、利便性、快適性ばかりが見てとれる。本来、家具のレイアウトには安全性と利便性、快適性の調和が要請されるべきものである。また、同じ部屋であっても、住人の属性により安全性への取組み方は異なるはずである。すなわち、家具レイアウトに関し唯一の最適解はあり得ない。そこで、家具の配置状態を選択的行動とみなし、快適性・利便性を満たす条件下での選択行動における地震時負傷危険性を評価し、ある基準に照らして配置状態の最適性を考える。すなわち、意思決定問題を応用して、最適配置（利用者の個別要求を満たしながらも、できるだけ安全な配置）を提示するためのアルゴリズムを考察する。

2. 知識ベース

2.1 家具に関わる知識

本研究では、居住性を安全性、利便性、快適性の3要素により取扱う。快適性と利便性に関する配置ルールは主に建築計画学、室内計画学、人間工学に関する文献^{1)~4)}から家具の配置方法の類型とそれによる効果や、関わる要因を調査し整理した。また地震時安全性に関しては、釧路沖地震⁵⁾や鳥取県西部地震の室内危険度調査⁶⁾より安全基準を定めた。定義を表1に示す。

表1 利便性、快適性、安全性の定義

利便性	意図する行為が容易な状態。
快適性	見えや明るさ/開放感、コミュニケーション、極端な温熱環境の回避、作業域のゆとり。
安全性	地震時の家具の転倒、家具の内容物の散乱による負傷の可能性、及び避難経路の確保。

2.2 家具の位置決定要素の分類

家具を配置する際には、家具ごとに以下の3つ

の要素に配慮されると考えられる。①室内による制約：窓の位置や設備（冷暖房・配線）、出入口や室形状。②動作空間の確保：例えば、いすには、腰掛けたり、立ち上がったたりする一連の動作を行えるようにするなどのモジュラーコーディネーションが必要となる。③家具同士の相互関係：ソファや食卓から見やすいようにテレビを配置するなどの相互関係に配慮。

2.3 家具配置法の整理

各室の計画時に考慮される事柄をもとに、配置方法とそれとの関わりの深い項目を「要求」として対応させ表2に示した。

表2 家具の配置方法

分類	要求	配置方法	家具	室空間
利便性	調理作業	作業の三角形	冷蔵庫	台所
	テレビを見る	見やすい位置に配置	テレビ	居間 個室
	音楽を聴く	聞きやすい位置に配置	ステレオ	居間 個室
	動作空間を確保	動作空間を確保	すべて	すべて
快適性	会話	横一列に配置	ソファ	居間
		L字に配置		
		横一列に配置		
	落ち着き	入口から遠ざけて配置	ベッド	個室
	日当たり	入口に背を向けて配置	机	個室
窓際に配置		ベッド	個室	
その他	明るさ	窓際に配置	机	個室
	壁に沿って	壁に沿って	テーブル以外	すべて
	壁から離して	壁から離して	テーブル	すべて

2.4 家具ユニット

机の近くに本棚や棚を配置した場合、作業効率に向上がみられるように同じ用途に使用するなど、生活行為が形成するいくつかの家具の集合を家具ユニットとここでは呼ぶ。図1に主な家具間の関係、つまり、家具ユニットの枠組みの図式を示す。

3. 家具配置のルール化

家具配置のルールを考える際、最低要件ルールとして家具周りのモジュラーコーディネーションが挙げられる。以下これを踏まえ利便性・快適性・殊に安全性の観点からのルール化を行う。今回、実現したうち一部を示す。

□利便性からのルール

人体寸法からルール化が可能である。

作業の三角形 キッチンの機器の配置を計画する場合、頻繁に使われるシンク、レンジ、冷蔵庫を

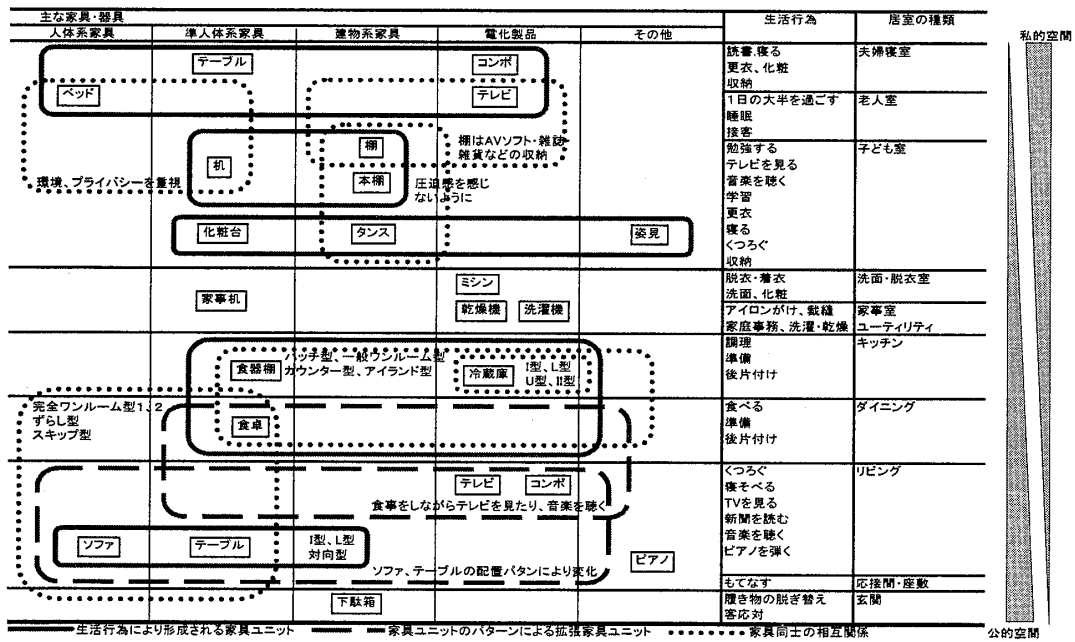


図1 家具と行為の関係

結ぶ動線（図1）を考える必要がある。この三角形を、作業の三角形という。この三角形が大きすぎても小さすぎても作業しにくい。3辺の和が360~660cm程度がよいとされている。この三角形を通路動線などが横切らないように計画する。これを家具ユニットとして一体のものとして扱う。このような扱いをすることによりユニット内で、利便性が確保される。

□快適性からのルール

人間工学からルール化が可能である。

ベッド 南側の日当たりのよい場所、入口から視かれにくい遠くに配置されるか、入口からの死角に配置されることが好まれる。また、ベッドからテレビを見る要求がある場合、テレビの最適距離域（図2）に配置される。テレビを見やすくするための配置には、最適距離以外に窓からの光の映り込みを防ぐために窓近くの壁際が考えられる。さらに電化製品はコンセントの近くがいいだろう。住人の要求によってはこれらも家具ユニットとして考えられる。

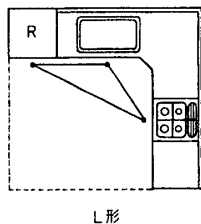


図2 作業の三角形³⁾

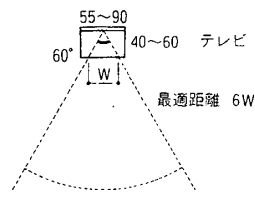


図3 テレビの最適距離³⁾

□安全性からのルール

安全確保のための単位床面積あたりの家具数の安全基準を0.3個/m²以下（図3,4）とする。さらに、室内ゾーニング法による区画単位「危険度」をある基準（後述）に照らし最小にする。

4. 危険度診断の手順

- ①単位面積あたりの家具数とケガとの間には相関があり、岡田ら^{5) 6)}が示す安全確保のための単位床面積あたりの家具数0.3個/m²以下（図4）より、一世帯の持ち家具数の多少を確認する。
- ②同じ値（図5）を用いて、一部屋あたりの家具数の上限を定め、家具数を決定する。また、例えば、高い災害回避能力を期待できない部屋の安全性を高めようとするると老人室の寝室の安全度順位を上げるように、単位安全度順位により上限の値を決定する。
- ③利便性と最低要件を考慮した住計画からの要求によって部屋における家具ユニットの利用形態が決定する。また、室内の制約を考慮し、部屋における家具ユニットの配置できない空間（図6

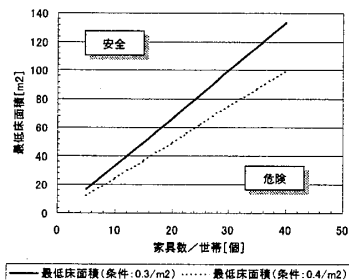


図4 安全性を考慮した世帯あたりの所要家具数と住居の最低床面積

の配置できない領域)を決定する。④家具ユニットの最適配置安全性からの要求(意思決定則の応用)に従って、最適解を求める。

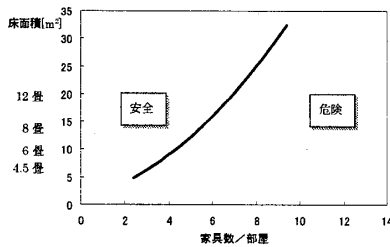


図5 家具数と部屋の床面積

4. 部屋ごとの最適配置計画

4.1 配置戦略

最適な配置とは、住人が所要するすべての家具を住宅内に配置したとき、地震時の安全性を最も確保することのできる配置状態をいう。

どの部屋にどの家具を置くかによって、地震時における住宅内部の危険性は異なる。さらに、同じ部屋に置く場合でもそれを入口付近に置くか、内壁にぴたりとつけて配置するかなどもによって異なる。最適化手法は、与えられた配置方法をさまざまに組み合わせることで家具配置案を作成し、その中の最も安全性を確保できる配置案を提示する。

また、地震時安全性の確保のしかたは、住人の考え方(戦略)により変化する。これを意思決定基準として、基準を最も満足する家具配置を決定することで、安全性を確保した家具配置状態を求める。

4.2 利得表の作成

室内における住人所在の位置を、室内一ニング法における単位区画で与える。住宅内部空間における地震時に住人が所在する場所(単位区画)が不確実である状況を考える。それぞれの単位区画内の負傷危険性は室内ゾーニング法の受傷可能性によって与えられ、それぞれの区画における危険性は家具配置状態により異なる。この関係を家具配置の選択を行、各单位区画を列として危険度を要素にもつ利得表(この場合は危険度表となる)によって表す。表3に利得表を示す。

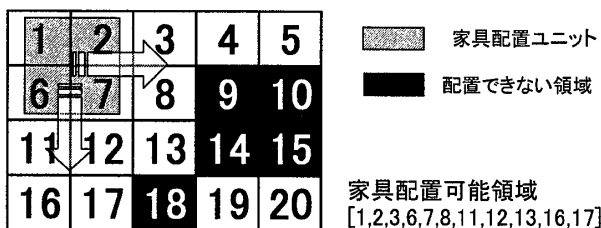


図6 利得表の図式

4.3 最適配置法の基準

最適案を得るための具体的手順は以下の通りである。①家具配置行動 a_i を選択した場合の所在区画(状態) s_j における負傷危険度を要素 u_{ij} にもつペイオフ行列(利得表)を作成する。②利得表を参照して意思決定基準に従って最適な配置案を決定する。意思決定基準には以下の(1)~(5)に示すものを使用する。

また、実際に事例として簡単な利得表(表5)を作成し、各基準の最適配置案を求める。

表3 利得表

状態(住人が所在する区画)	s_1	...	s_j	...	s_n
存在確率	P_1		P_j		P_n
行動(家具配置)	a_1	u_{11}	u_{1j}	u_{1n}	
	\vdots				
	a_i	u_{i1}	u_{ij}	u_{in}	
	\vdots				
	a_m	u_{m1}	u_{mj}	u_{mn}	

表4 意志決定基準

(1)ミニマックス基準	$U_w(a_i) = \max_j u_{ij} \rightarrow \min$
(2)マキシミン基準	$U_o(a_i) = \min_j u_{ij} \rightarrow \max$
(3)マキシマックス基準	$U_s(a_i) = \max_j w_{ij} \rightarrow \max$ 但し $w_{ij} = \max_k u_{kj} - u_{ij}$
(4)ラプラス基準	$U_L(a_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n u_{ij} \rightarrow \min$

表5 利得表の事例

状態	状態1 区画(1)	状態2 区画(2)	状態3 区画(3)	状態j 区画(j)
行動	存在確率 0.2	存在確率 0.1	存在確率 0.05	存在確率 x
配置パターン a_1	危険度 0.7	危険度 0.9	危険度 0.0	
配置パターン a_2	危険度 0.2	危険度 0.5	危険度 0.8	

(1) ミニマックス基準

ある行動(a_i)による最大の危険度が最小となるように決定を行う。最悪の状況発生を仮定し、そのときの危険度を最小にする基準である。一般的な部屋に適用するところでは考える。

$$U_w(a_i) = \max_j u_{ij} \rightarrow \min$$

ex)

$$U_w(a_1, a_2) = \max_j \{u_{1j}, u_{2j}\} = \begin{bmatrix} 0.9 \\ 0.8 \end{bmatrix} \rightarrow \min = 0.8$$

→配列 a_2 を選択

(2) マキシミン基準

最小の危険度（ゼロリスク）が最頻となるように決定を行う。ゼロリスク空間の数を最大にする基準である。寝室や老人室等の高い災害回避能力を期待できない部屋に適用する。

$$U_o(a_i) = \min_j u_{ij} \rightarrow \max$$

ex)

$$U_o(a_1, a_2) = \min_j \{u_{1j}, u_{2j}\} = \begin{bmatrix} 0.0 \\ 0.2 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Freq}(0.0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow \max = 1$$

→配列 a₁ を選択

(3) マキシマックス基準

ある状態における最大危険からの差が最大となるような決定を行う。極端な危険空間を作らない基準である。安全な空間を作り出せるにも拘わらず危険な空間となることが問題である。

$$U_s(a_i) = \max_j w_{ij} \rightarrow \max$$

但し、w_{ij} はある状態 k における最大危険からの差（機会利得）を意味する。

$$w_{ij} = \max_k u_{kj} - u_{ij}$$

ex)

$$w_{ij} = \{ \max_1 u_{1j} - u_{ij}, \max_2 u_{2j} - u_{ij}, \max_3 u_{3j} - u_{ij} \} = \begin{bmatrix} 0.7-0.7 & 0.9-0.9 & 0.8-0.0 \\ 0.7-0.2 & 0.9-0.5 & 0.8-0.8 \end{bmatrix}$$

$$U_s(a_1, a_2) = \{ \max_j w_{1j}, \max_j w_{2j} \} = \begin{bmatrix} 0.8 \\ 0.5 \end{bmatrix} \rightarrow \max = 0.8$$

→配列 a₁ を選択

(4) ラプラス基準

状態発生確率を同等とし、危険度の平均値が最小となる決定を行う。部屋の危険度分布の平均を最小にする基準である。子供室など存在確率を限定することが難しい部屋に適用する。

$$U_L(a_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m u_{ij} \rightarrow \min$$

ex)

$$U_L(a_1, a_2) = \begin{bmatrix} \frac{0.7+0.9+0.0}{3} \\ \frac{0.2+0.5+0.8}{3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.53 \\ 0.5 \end{bmatrix} \rightarrow \min = 0.5$$

→配列 a₂ を選択

(5) 期待利得の算出による方法

さらに上記の基準に加えて、危険度ではなく、危険度に所在確率 p_j を乗じた利得確率を求める。

利得確率に対して上記 (1) ~ (3) の基準による決定により、住人のライフスタイルを反映した最適配置の決定が行われる。

5. 意思決定則による診断例

家具の最適配置化を試みた結果を図7（数値はケガ発生危険度）に示す。左図はミニマックス基準、右図はマキシミン基準による決定で得られたものの1つである。ミニマックス基準では危険度が全体的に低く、健常者用の配置となっている。一方、マキシミン基準によれば、最大危険度はミニ家具の周辺が高くなるが、家具の転倒のない安全空間（ゼロリスク空間）がソファから戸口の経路上に確保される。災害回避能力の劣る高齢者にはこちらの配置が望ましい。このように利用者が選択する基準に応じて、異なる危険度をもつ家具案が示される。

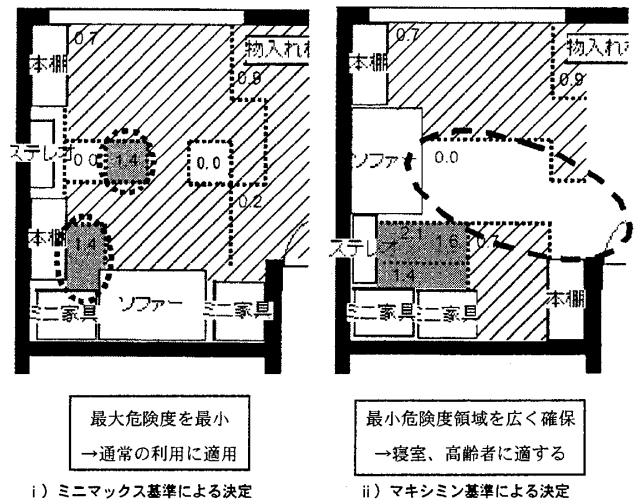


図7 最適家具配置実行例

6. おわりに

本研究により、室内の安全性確保のために意思決定を応用した家具配置最適化手法のルールが構築できた。今後は、そのルールを地震時室内危険度診断ツール^{7) 8)}に取込み、利便性・快適性との調和を計る。

[参考文献]

(1). 住環境の計画編集委員会編「住環境の計画2 住宅を計画する<第二版>」、彰国社、1999 (2). 古賀蒼章・埴村「女子大生の自室における家具の配置の規定要因 その1 実態調査概要と家具相互の関連」、日本建築学会大会学術講演梗概集、E-2、pp.189-190、1997 (3). 岩井一幸・奥田宗幸著「図解 すまいの寸法・計画事典」、彰国社、1992 (4). 日本建築学会(編)「建築設計資料集成 [総合編]」、丸善、2001 1987 (5). 岡田成幸・他「往診型居室内地震危険度ゾーニング評価システムの開発」、平成6~8年度科学研究費補助金研究成果報告書、1997 (6). 西田佳未「人的被害軽減に向けた鳥取県西部地震のマクロ解析と個別室内危険度評価」、北海道大学修士論文、2002 (7). 黒田誠宏・岡田成幸「地震時室内危険度診断ツールの開発」、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.99-100、2001 (8) 黒田誠宏「地震時居住空間危険度診断システムの開発」北海道大学修士論文、2001

*1 北海道大学大学院修士課程
**2 北海道大学助教授・工博

Graduate School, Hokkaido Univ.
Assoc. Prof., Hokkaido Univ., Dr. Eng