構造モデリングによるゾーニングの検証

——構造モデリングによるアプローチ——

古　川　博　仁

Verification of the Zoning by the Structure Modeling

——Approach by the Methods of ISM and DEMATEL——

Hirohito FURUKAWA

Key words：間取り　room planning，動線　traffic line，ゾーニング　zoning，ISM 法　Interpretive Structural Modeling，DEMATEL 法　Decision Making Trial and Evaluation Laboratory，クラスター分析　cluster analysis

1. 緒　　言

本論文の目的は３つある。それは，

1) 前報[1]で行った DEMATEL 法の解析について議論し，この手法が「より適切なゾーニング」を検証する上で果たして客観的な指標に成り得るのか否かを明らかにすること
2) ISM 法をゾーニングの初期計画の分析に適用して，初期思案からどの程度の情報が得られるのかを示すこと
3) DEMATEL 法，もしくは ISM 法で初期思案を分析してゾーニングと動線に関する情報をできるだけたくさん沢山獲得し，これをさらに前報で著者が示した仮説「最適な動線は完全木である」に基付いて改良し，間取り図のラフを得ること

である。

2. DEMATEL 法とゾーニング

DEMATEL（Decision Making Trial and Evaluation Laboratory）法とは，「試行と評価実験による意思決定」のことであり，問題解決をその問題が抱えている要因の関連性や因果関係で構造的に把握し，これを意思決定に役立てる支援手法（スイスのバテル研究所で開発）である。この手法は，各要因のつながりをマトリクスで表し，そのマトリクスを解析することによって各要因間の関連（寄与）を影響度として算出するものである。影響度は，各要因が他の要因に直接働きかける「直接影響度」と，別の要因を経由してその要素に働きかける「間接影響度」に分けられる。この２つの影響度の和を総合影響度と言い，この値をもって各要因毎に「自分が他に与えた影響」と「他から自分に与えられた影響」を算出する。算出したこの２つの値を足したものをその要因の役割の大きさ（中心度）と見なし，２つの値の差をその要因の真の存在価値（原因度）と見立てて，意思決定に役立てるものである。通常，各要因の中心度と原因度は散布図に表され，原因度が高い要因から低い要因へ矢印で結ばれた有向グラフで図解される。また，この２つの値をクラスター分析すれば，類似した要因同士の分類が統計的に行われる。これによって得られた分類が「より適切なゾーニング」の検証にどこまで適用できるのかを示すことが本論文の目的である。

本節で用いる素データは，前報と同様，次に示す表１の空間の結びつきと強さ[2]である。

前報[1]の結果と考察では，表１の素データに対する DEMATEL 法とそのクラスター分析による解析結

表1　空間の結びつきの強さ[2]（行列A）

前＼後	部屋1	部屋2	部屋3	部屋4	部屋5	部屋6	部屋7	部屋8
部屋1		0	1	126	79	122	32	51
部屋2	1		0	146	25	191	40	0
部屋3	0	11		117	178	109	20	0
部屋4	112	152	136		1203	402	50	17
部屋5	64	142	212	989		171	40	3
部屋6	55	109	181	607	733		31	14
部屋7	62	52	38	72	38	35		0
部屋8	0	0	0	1	0	7	0	

部屋1　夫婦室
部屋2　子供室
部屋3　祖母室
部屋4　DK
部屋5　L
部屋6　トイレ
部屋7　浴室
部屋8　洗面室

果を示したに過ぎない。この結果により，前報[1]で著者が取り組んだゾーニングの妥当性を検証した。本論文では，実際にどのような解析が行われたのかを示す。解析手法を具体的に示すことにより，この手法が「より適切なゾーニング」として採用できるのか否かを議論することが出来る。

2. 1　DEMATEL 法

表1「空間の結びつきの強さ」において，部屋1～8を要因ということにする。表1の素データを8行8列の行列Aで表し，Aの各要素をa(i,j) とする。AのことをDEMATEL法では「直接影響行列」と言い，各要素a (i,j) はi要因がj要因に直接与える影響を意味している。Aのi行の行和をad(i)，j列の列和をar(j) とする。行和ad(i) はi要因が残りの他の要因に与える影響の総和を意味し，列和ar(j) はj要因が残りの他の要因から受ける影響の総和を意味している。

さて，要因iから別の要因を経由して要因jに間接的に与える影響が算出できないものだろうか。行列を正規化し，正規化した行列の積を施せば，これが可能なのである。次に，それを示す。

Aの各要素a(i,j) は要因iから要因jに働く直接影響度を意味している。ここで，Aの行和の最大値をadmaxで表す。正規化とは，Aのすべての要素a(i,j) をadmaxで割ることである。これで得られた「正規化直接影響行列」をBで表し，その要素をb(i,j)，Bの行和をbd(i)，列和をbr(j) とする。すなわち，

$$A=\{a(i,j)\},\quad B=\{b(i,j)\}$$
$$ad(i)=\Sigma_j a(i,j),\quad j=1\sim n$$
$$ar(j)=\Sigma_i a(i,j),\quad i=1\sim n$$
$$admax = \max\ \{ad(i)\}$$
$$B = A / admax,\quad b(i,j)=a(i,j) / admax$$
$$bd(i)=\Sigma_j b(i,j),\quad j=1\sim n$$
$$br(j)=\Sigma_i b(i,j),\quad i=1\sim n$$

である。但し，Σ_i はi=1～nまでの和，Σ_j はj=1～nまでの和，nは要因の総数を意味する。表2は表1を正規化したマトリクス（行列B）である。

正規化することにより，Bの要素は全て

$$b(i,j)\leqq 1$$

となる。正規化する意味はここにある。

表2　表1の正規化（行列B）

前＼後	部屋1	部屋2	部屋3	部屋4	部屋5	部屋6	部屋7	部屋8
部屋1	0.000	0.000	0.000	0.061	0.038	0.059	0.015	0.025
部屋2	0.000	0.000	0.000	0.070	0.012	0.092	0.019	0.000
部屋3	0.000	0.005	0.000	0.056	0.086	0.053	0.010	0.000
部屋4	0.054	0.073	0.066	0.000	0.581	0.194	0.024	0.008
部屋5	0.031	0.069	0.102	0.477	0.000	0.083	0.019	0.001
部屋6	0.027	0.053	0.087	0.293	0.354	0.000	0.015	0.007
部屋7	0.030	0.025	0.018	0.035	0.018	0.017	0.000	0.000
部屋8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000

次に，$B \times B = B^2$の行列の積を考えてみる。B^2の各要素を$b_2(i,j)$で表せば，行列の積の規則から

$$b_2(i,j) = \Sigma_p b(i,p) \times b(p,j),\ p = 1 \sim n$$

となる。正規化により$b(i,j) \leqq 1$であるから，これらの積も，$b(i,p) \times b(p,j) \leqq 1$となる。

ところで，積$b(i,p) \times b(p,j)$の持つ意味を考えてみよう。

積$b(i,p) \times b(p,j) = 0$とは，要因iから要因pを通して要因jに働く影響は0であり，影響が伝わらないことを意味する。

積$b(i,p) \times b(p,j) = 1$とは，要因iから要因pを通して要因jに働く影響は1であり，そのまま影響が伝わることを意味する。

積$b(i,p) \times b(p,j) < 1$とは，要因iから要因pを通して要因jに働く影響は，その積の値で間接的に伝わることを意味している。

$b_2(i,j)$は積$b(i,p) \times b(p,j)$の和のことであり，要因iから要因pを通して要因jに働く影響の総和を意味している。つまり，$B \times B$という行列の積の計算の仕組みがそのまま要因iから要因pを通して要因jに働く影響の総和を求めていることに成るのである。

このようにして求められたB^2は明らかに要因iから要因jへの間接的な影響を意味している。これを「間接影響行列」と言う。

要因iから要因jへの間接的な影響は，その間に最低でも$n-2$個の要因を経由するまで考える必要がある。反射を考えれば2n程度は必要だろう。ここで，B^mの各要素の値を見積もってみる。正規化により$b(i,j) \leqq 1$であるから，$m \geqq 2$においてB^mの各要素は$m = 20$程度でそのほとんどの要素がほぼ0に成る（高々見積もっても$0.9^{20} \fallingdotseq 0.12$程度である）。明らかに，$m \to \infty$では$B^m = 0$である。

そこで，$m \to \infty$，Eを単位行列，$E - B$の逆行列を$(E-B)^{-1}$とすれば，

$$B(E-B)^{-1} = B + B^2 + B^3 + \cdots + B^\infty$$

の性質から，直接影響行列と$m \to \infty$までの間接影響行列の全ての総和が一気に求められることになる。この総和を「総合影響行列」と言う。これをCで表すことにする。すなわち，

$$C = B(E-B)^{-1},\ C = \{c(ij)\}$$
$$cd(i) = \Sigma_j c(i,j),\ j = 1 \sim n$$
$$cr(j) = \Sigma_i c(i,j),\ i = 1 \sim n$$

である。

さて，このようにして求められた総合影響行列Cの行和$cd(i)$とは，要因iが残りの他の要因に働く影響度を示していると言える。また，列和$cr(j)$は，要因jが残りの他の要因から受ける影響度を意味している。ここで，$i = j$として$cd(i) + cr(i)$を考えると，

$cd(i) + cr(i) =$（自分が与えた影響）+（他から受けた影響）

であり，これは要因iの役割の大きさ（中心度）であると見なすことができる。また，$cd(i) - cr(i)$は（自分が与えた影響）と（他から受けた影響）の差であり，これは自分の真の存在価値（原因度）と見なすことができる。各要因を中心度と原因度で散布図に示し，原因度の高い要因から低い要因に向かって矢印を引けば，原因度による有向グラフが得られる。この有向グラフから，各要因の類似性が図解できる。

表4に各要因の中心度と原因度の値を示す。また，図1はその散布図と有向グラフである。

図1の散布図から，要因間のおよそのソーニングが可能である。散布図の描いた有向グラフからソーニングを行うと，（7，8），（2，3），（4，5）などの要因がゾーンとして（ ）で括れる。また，6，1はこ

表3　総合影響行列（行列C）

前＼後	部屋1	部屋2	部屋3	部屋4	部屋5	部屋6	部屋7	部屋8
部屋1	0.021	0.036	0.046	0.201	0.204	0.122	0.028	0.028
部屋2	0.024	0.040	0.050	0.224	0.205	0.161	0.033	0.004
部屋3	0.025	0.049	0.055	0.235	0.275	0.130	0.024	0.004
部屋4	0.151	0.247	0.290	0.788	1.249	0.498	0.085	0.024
部屋5	0.118	0.213	0.275	0.976	0.731	0.374	0.071	0.016
部屋6	0.117	0.208	0.279	0.908	1.020	0.302	0.070	0.021
部屋7	0.041	0.044	0.042	0.111	0.109	0.056	0.008	0.002
部屋8	0.000	0.001	0.001	0.004	0.004	0.005	0.000	0.000

表４　中心度と原因度

	中心度	原因度
①	1.185	0.187
②	1.579	－0.098
③	1.837	－0.241
④	6.779	－0.115
⑤	6.572	－1.022
⑥	4.575	1.276
⑦	0.731	0.095
⑧	0.114	－0.083

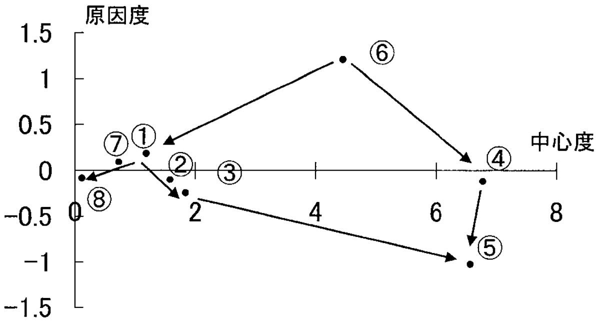

図１　中心度と原因度による散布図

れ等のゾーンの根に相当する部分である。

さらなるゾーニングとして，表４の各要因の中心度と原因度をクラスター分析する方法も考えられる。次節ではそれを示す。

ところで，図１の有向グラフから要因の流れを辿ると，

６→１，６→４の大きな流れ，

１→７→８，１→２→３，４→５の流れ，

３→５の流れ

が見られる。

驚いたことにこれ等の流れは，もしゾーニングが適切に行われたならば，その後の動線計画では「動線はこうあるべきだ」という適切性をも示唆しているように思われるのである。つまり，DEMATEL 法はゾーニングが適切に行われているのか否かだけを検証しているのではなく，それと同時にもしそれが実施されていたとすれば，その後の動線はこうなる筈であるということをも示唆しており，「ゾーニングと動線の適切性の２つの事柄がこの手法で一気に検証できる」と考えられるのである。

2.2　クラスター分析

表４をウォード法でクラスター分析３）した結果が図２である。単純にはクラスター分析（最近接法）とは，各要素を（中心度，原因度）の座標点と見なし，それらの点と点の間の距離をミンコフスキー距離やマハラノビス距離などで表して，この距離が最小の要素同士から類似性が強いと見なして順にクラスターに分類していく方法である。ウォード法とは，その中でユークリッド距離（２次元ミンコフスキー距離）を用い，クラスター内の距離の平方和が小さくなるものから順に分類していく方法である。本論文ではそれを採用した。

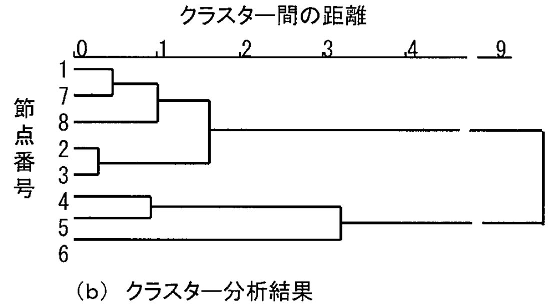

図２　表４のクラスター分析結果

図２のデンドログラムからクラスター分析によるゾーニングは（１，７），（２，３），（４，５）であり，要因８は（１，７），（２，３）の根に成っている。要因６は，図１と図２でどちらも共に他の全ての要因の根になっている。

図１と図２の食い違いは要因１の捉え方にある。図１の有向グラフでは，要因１が（７，８）と（２，３）の根になっているのである。果たしてどちらが適切なのだろうか。

本来，DEMATEL 法は有向グラフを得るところまでが解析であって，クラスター分析は余分であると言うのは早計である。同じ表４のデータを有向グラフで捉えるのか，クラスター分析で捉えるのかということは同等の問題である。

有向グラフでは原因度の高い方から低い方に向かって木を伸ばして行き，原因度の高さに重点を置いている。これに対してクラスター分析は，要因間の距離の近いものから順にクラスターに分類しており，距離の近さに重点を置いている。実は，クラスター分析の方に問題が生じているのである。

統計学では表４のように僅か８組というデータ数で

は，分析してその結果はあまり信頼できない。「データ数としては最低でも50以上は必要である」というのが定説であり，そうでない場合には注意が必要である。データ数が８程度ではノンパラメトリックな分析に頼るしかないというのが本筋である。ノンパラメトリックとは，例えば表４のデータを中心度と原因度でそれぞれ順位（昇順）に置き換えることである。ノンパラメトリックな分析とは，この順位からデータの傾向性だけを抽出して分析し，その結果から定性的なものだけを捉える方法である。当然，クラスター分析も単純に最近接法でよい。

図３にノンパラメトリックによるクラスター分析結果を示す。

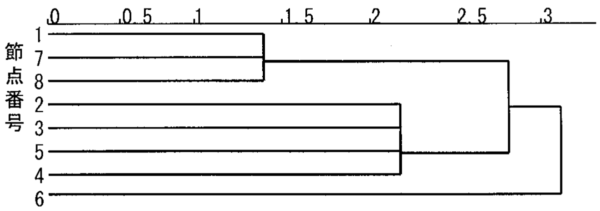

図３　ノンパラメトリックによるクラスター分析

図３のデンドログラムから，統計学的には要因１，７，８の間には類似性の優位は無く，ゾーニングは（１，７，８）のように大雑把に括るというのが答えである。

従って，DEMATEL 法では従来どおり有向グラフで捉えるのがベターのようである。クラスター分析は，あくまでもクラスターを定性的に捉える上では意味を持つが，それをもってゾーニングを検証する武器にはならない。

ところで，図１の有向グラフに戻って，ゾーニングと動線を確認する。

ソーニングは

（７，８），（２，３），（４，５）

動線は，

６→１，６→４，１→７→８，１→２→３，
４→５，３→５

である。

これ等を検証の条件として前報をチェックしてみると，驚いたことに前報で得た間取り図はこれらの条件を全て満たしているのである。前報の間取り図は著者独自の改良を加え，それで「より適切な間取り図」の一例として挙げたものである。

ここに著者は次の仮説を提唱する。

（仮説）「DEMATEL 法は，ゾーニングと動線の適切性を同時に検証する方法である」

この仮説については，結果と考察で検討する。

3. ISM 法によるゾーニングと動線計画

家の間取りを大まかに考えるときに，そもそも表１のようなデータなどは存在しない。「規模計画」で敷地と建物の大きさがほぼ決定すれば，次に「基本計画」に移り，与えられた範囲内でおよその間取りを想定する。必要な部屋を思い浮かべてそれをリストアップし，それらを何度も図に描く，これがエスキスである。

「単に図に描くだけでは何も成らない」というのが本論文のそもそもの動機である。部屋同士のつながりをある程度想定して，（ゾーニング）→（動線計画）を繰り返し行うのであるが，しかしそれだけでは適切なものは得られない。本論文はまさにこの部分に挑戦しているのであって，その打開策として２つの仮説を掲げるのである。

（仮説１）「最適な動線は完全木である」

（仮説２）「DEMATEL 法は，ゾーニングと動線の適切性を同時に検証する方法である」

しかしながら，仮説２は表１の様なデータが必要であり基本計画の初期の段階ではこんなことはあり得ない。初期段階で自分の考えを支援するツールは無いものだろうか，その候補として挙げられるのが ISM 法である。

ISM（Interpretive Structure Modeling）法とは，「翻訳した構造モデリング」の手法のことであり，問題解決に際して自己意識に浮かび上がった要因の相互関係を矢印でつないで構造化し，さらに要因毎にレベル（階層）化して要因同士の因果関係を把握し，これを意思決定に役立てる支援手法（J. N. Warfield，アメリカのバテル・コロンバス研究所で開発）である。この手法は計画の初期に自己意識に浮かび上がった要因同士の関係を大雑把にマトリクスで表し，そのマトリクスを解析することによって各要因間の因果関係（寄与，影響度）を明確にするものである。明確とは，要因同士のつながりに推移律をあてはめて，本来つながりがないと思われていた要因同士をつなげる作業である。これを階層的に行うのが ISM 法である。あるいはその結果から最短パスを求めたり，中心指数を計算してどの要因に情報が集中しやすいのかといった解析を行

うことも可能である。また，DEMATEL法と同様に各要因毎に中心度（関連度とも言う）と原因度（影響度とも言う）を求めてその散布図（有向グラフ）を描くことも可能である。問題は，それをゾーニングや動線計画に役立てる事が出来るのか否かということである。

3.1 ISM法

図4にISM法で解析する要因の有向グラフを示す。図4は，計画当初の初期思案を示している。

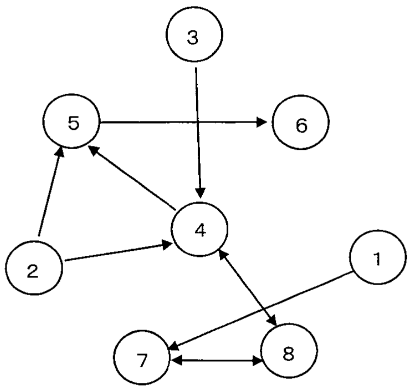

図4 初期思案

ISM法では，初期思案を有向グラフで表す際に，要因間の結び付きから入り口と出口を想定し，入り口が最低レベルであり出口が最高レベルであるという大まかな初期階層を想定する。それを図4で説明すると，有向グラフの矢印は要因1，2，3のそれぞれから出発して，最終的には要因6に達する経路になっている。初期階層は，最低レベルが要因1，2，3，最高レベルが要因6，他の要因4，5，7，8は中間レベルである。このように分割することを「要因の多階層分割」という。

図4の有向グラフをマトリクスで表したのものが表5である。グラフ理論ではこれを隣接行列と言い，これを行列Dで表すことにする。D = {d(i,j)} において，d(i,j) = 1とは要因iから要因jに矢印が伸びていることを意味し，このとき要因iと要因jは隣接しているという。同時に，要因iからjへは1回で到達できることを意味している。

DEMATEL法と同様に行列Dのべき乗積を考える。但し，各要素の演算はブール代数則に従うものとする。すなわち，

$$0+0=0,\quad 0+1=1,\quad 1+1=1,$$
$$0\times 0=0,\quad 0\times 1=0,\quad 1\times 1=1$$

である。

例えば，$D\times D=D^2$の行列積を考えてみる。D^2の各要素を$d_2(i,j)$とすれば，行列積の規則から，

$$D_2(i,j)=\Sigma_p d(i,p)\times d(p,j),\quad p=1\sim n$$

の計算がブール代数則に従って行われる。実際の計算では，十進の四則演算で$d_2(i,j)$を求めておいて，

もし，$d_2(i,j)\geqq 1$ であれば$d_2(i,j)=1$ に置き換え，

もし，$d_2(i,j)=0$ であればそのままにする，

でよい。

ところで，ブール代数則によって求められた$d_2(i,j)$は，いったいどのような意味を持つのだろう。何故，ブール代数則なのか，それはDEMATEL法が何故正規化したのかと同じ理由である。行列積の性質から，$d_2(i,j)=1$とは要因iから他の要因を1回だけ経由して要因jに至るということ，つまりiからjへは2回で到達可能であることを意味している。本論文では，これを単に距離（枝数）と呼ぶことにする。

ここで，DEMATEL法と同様に

$$D(E-D)^{-1}=D+D^2+D^3+\cdots+D^\infty$$

表5 初期思案のマトリクス（行列D）

前＼後	部屋1	部屋2	部屋3	部屋4	部屋5	部屋6	部屋7	部屋8
部屋1		0	0	0	0	0	1	0
部屋2	0		0	1	1	0	0	0
部屋3	0	0		1	0	0	0	0
部屋4	0	0	0		1	0	0	1
部屋5	0	0	0	0		1	0	0
部屋6	0	0	0	0	0		0	0
部屋7	0	0	0	0	0	0		1
部屋8	0	0	0	1	0	0	1	

部屋1 夫婦室
部屋2 子供室
部屋3 祖母室
部屋4 DK
部屋5 L
部屋6 トイレ
部屋7 浴室
部屋8 洗面室

を考えると，これは要因 i から要因 j に到達可能か否かを表す行列であることが分かる。すなわち，

$D(E-D)^{-1}$の i,j 要素が 1 であれば i から j へは到達可能である。また，これを到達するまでの枝数で表すと i から j への距離（枝数）の行列が得られる。この行列を「距離行列」と呼ぶ。表 6 はこのようにして求めた距離行列を示している。このマトリクスは，i から j への最短パス問題に利用される。

また，この距離（枝数）から中心指数を次のように求めることが出来る。

（中心指数）＝{距離（枝数）の総和}／（距離行列の行和）

表 6 には，その値も付している。

中心指数から，情報は要因 4， 5， 6 に向かって昇順に集中していることが分かる。距離（枝数）が 0 である要素は到達不可能な要因同士の組み合わせである。

$D(E-D)^{-1}$と同等な行列として，次の様な可到達行列 F が一般的に用いられる。

$$F=(D+E)^{m} \quad =\Sigma_{m}D^{m}+E$$

この公式はブール代数則だからこそ成り立つことを付言しておく。可到達行列 F は m →∞で不変となる。ここで m の値は最低でも，m ≒ n（要因数程度）は必要である。m →∞で F が不変だからと言って必ずしも $D^{m}=0$となる訳ではない。初期思案に初めから双方向の有効枝が存在していたり，有効枝の連結が閉路のサイクルを成していたりすれば，$\Sigma_{m}D^{m}$の値はブール代数則で不変になると言うことである。表 7 に，可到達マトリクスを示す。

可到達行列 F＝{f(i,j)} において，f(i,j)＝1とは要因 i から要因 j に距離（枝数）が 1 回で到達可能であることを意味している。それを有向グラフで表すと図 5 の様になる。このことは，計画の初期の段階で回り道をしていた要因 i から j への経路を，ブール代数則の推移律で短縮化して，距離（枝数）1 回の有向枝に置き換えたことに相当している。

それにしても図 5 の有向グラフは煩雑である。そこで，これをさらに階層化（多階層分割と言う）して，できるだけ情報を獲得し易くする。

表 8 に可到達行列 F の多階層分割のプロセスを示す。

ここで，G(i) とは，可到達行列 F において f(i,j)＝1 となる要因 i と要因 j の組み合わせにおいて，要因 i

表 6　距離行列

前＼後	部屋1	部屋2	部屋3	部屋4	部屋5	部屋6	部屋7	部屋8
部屋1	0	0	0	3	4	5	1	2
部屋2	0	0	0	1	1	2	3	2
部屋3	0	0	0	1	2	3	3	2
部屋4	0	0	0	2	1	2	2	1
部屋5	0	0	0	0	0	1	0	0
部屋6	0	0	0	0	0	0	0	0
部屋7	0	0	0	2	3	4	2	1
部屋8	0	0	0	1	2	3	1	2

表 7　可到達マトリクス（行列 F）

前＼後	部屋1	部屋2	部屋3	部屋4	部屋5	部屋6	部屋7	部屋8
部屋1	1	0	0	1	1	1	1	1
部屋2	0	1	0	1	1	1	1	1
部屋3	0	0	1	1	1	1	1	1
部屋4	0	0	0	1	1	1	1	1
部屋5	0	0	0	0	1	1	0	0
部屋6	0	0	0	0	0	1	0	0
部屋7	0	0	0	1	1	1	1	1
部屋8	0	0	0	1	1	1	1	1

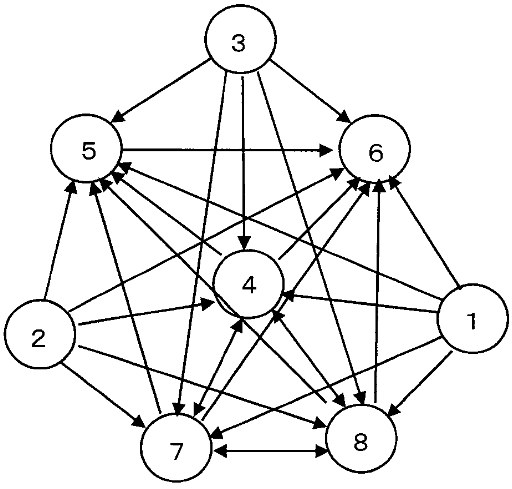

図５ 推移律によって短縮された経路を持つ有向グラフ

自身を含み，要因ｉを始点とし要因ｊを終点とする１本の有向枝の終点ｊの集合とする。また，H(i)とは，逆に要因ｉ自身を含み，要因ｉを終点とし要因ｊを始点とする１本の有向枝の始点ｊの集合とする。この二つの積集合 G(i)∩H(i)を計算して，その共通要素を探る。これは，その要因自身と要因間を双方向で結んでいる有向枝の抽出である。

さて，多階層分割とは，まず始めにＦから分割条件 G(i)∩H(i)＝G(i)を満たす要因を抽出してそのレベルを１と置き，次にその要因をＦから削除して残りの要因で同様な操作を行い，分割条件を満たす要因をレベル２と置く，以下これを繰り返して残りの要因に対してレベル３，４…と分割して行く作業のことである。

表８ 可到達行列Ｆの多階層分割のプロセス

分割条件

要因	G(I)	H(I)	G(I)∩H(I)	G(I)∩H(I)=G(I)	レベル	前＼後	部屋1	部屋2	部屋3	部屋4	部屋5	部屋6	部屋7	部屋8	
1	1,4,5,6,7,8	1	1			部屋1	1	0	0	1	1	1	1	1	部屋1 夫婦室
2	2,4,5,6,7,8	2	2			部屋2	0	1	0	1	1	1	1	1	部屋2 子供室
3	3,4,5,6,7,8	3	3			部屋3	0	0	1	1	1	1	1	1	部屋3 祖母室
4	4,5,6,7,8	1,2,3,4,7,8	4,7,8			部屋4	0	0	0	1	1	1	1	1	部屋4 DK
5	5,6	1,2,3,4,5,7,8	5			部屋5	0	0	0	0	1	1	0	0	部屋5 L
6	6	1,2,3,4,5,6,7,8	6	○	1	部屋6	0	0	0	0	0	1	0	0	部屋6 トイレ
7	4,5,6,7,8	1,2,3,4,7,8	4,7,8			部屋7	0	0	0	1	1	1	1	1	部屋7 浴室
8	4,5,6,7,8	1,2,3,4,7,8	4,7,8			部屋8	0	0	0	1	1	1	1	1	部屋8 洗面室

要因	G(I)	H(I)	G(I)∩H(I)	G(I)∩H(I)=G(I)	レベル	前＼後	部屋1	部屋2	部屋3	部屋4	部屋5	部屋7	部屋8
1	1,4,5,7,8	1	1			部屋1	1	0	0	1	1	1	1
2	2,4,5,7,8	2	2			部屋2	0	1	0	1	1	1	1
3	3,4,5,7,8	3	3			部屋3	0	0	1	1	1	1	1
4	4,5,7,8	1,2,3,4,7,8	4,7,8			部屋4	0	0	0	1	1	1	1
5	5	1,2,3,4,5,7,8	5	○	2	部屋5	0	0	0	0	1	0	0
7	4,5,7,8	1,2,3,4,7,8	4,7,8			部屋7	0	0	0	1	1	1	1
8	4,5,7,8	1,2,3,4,7,8	4,7,8			部屋8	0	0	0	1	1	1	1

要因	G(I)	H(I)	G(I)∩H(I)	G(I)∩H(I)=G(I)	レベル	前＼後	部屋1	部屋2	部屋3	部屋4	部屋7	部屋8
1	1,4,7,8	1	1			部屋1	1	0	0	1	1	1
2	2,4,7,8	2	2			部屋2	0	1	0	1	1	1
3	3,4,7,8	3	3			部屋3	0	0	1	1	1	1
4	4,7,8	1,2,3,4,7,8	4,7,8	○	3	部屋4	0	0	0	1	1	1
7	4,7,8	1,2,3,4,7,8	4,7,8	○	3	部屋7	0	0	0	1	1	1
8	4,7,8	1,2,3,4,7,8	4,7,8	○	3	部屋8	0	0	0	1	1	1

要因	G(I)	H(I)	G(I)∩H(I)	G(I)∩H(I)=G(I)	レベル	前＼後	部屋1	部屋2	部屋3
1	1,4,7,8	1	1	○	4	部屋1	1	0	0
2	2,4,7,8	2	2	○	4	部屋2	0	1	0
3	3,4,7,8	3	3	○	4	部屋3	0	0	1

表9　多階層分割で得られた要因のレベル

多階層分割結果

レベル	1	2	3	4
要　因	6	5	4，7，8	1，2，3

初期思案でのレベル（初期階層）

レベル	1	2	3	4
要　因	6	5，7，8	1，4	2，3

多階層分割の結果を，表9に示す。

表9の多階層分割と初期思案を多階層分割した初期階層とを比較すると，最高レベルでは一致しているが，それ以下のレベルでは要因1，4，7，8が一致していないことが分かる。

このレベルとは，情報がそこに集まるターミナル（端点）としての役割を階層的に表したものであり，ここでは原因となる要因が一番レベルが低いことを意味している。

さて，初期階層との不一致は，可到達行列Fがその独特のブール代数則の推移律で，要因同士の連結関係を明確にしたからに他ならない。例えば，図4と図5の有向グラフを比較すると，図5では推移律により要因1と要因4，5，6，8の各節点は互いに1本の枝で隣接されいる。これ等は，元々は直接つながっていなかったのであるが，これがあたかも初めから直接つながっていたとして多階層分割すれば，要因1は要因2，3と同レベル（原因度が高い）になることが分かる。可到達行列はそのことを明らかにしているのである。

次に，可到達行列Fを多階層分割して得られたレベルから，要因毎にゾーニングを行うと，

（1，2，3），（4，7，8），5，6

となる。

これに対して，可到達行列Fを用いてDEMATEL法と同様に各要因毎に中心度と原因度を求め，その散布図から有向グラフを描き，それによってゾーニングを行ってみる。勿論，Fの各要因毎の行和と列和は通常の十進演算則に従う。すなわち，F＝{f(i,j)}において

$$fd(i)=\Sigma_j f(i,j),\ j=1\sim n$$

$$fr(j)=\Sigma_i f(i,j),\ i=1\sim n$$

である。また，i＝jとして，要因iの中心度と原因度をそれぞれ，

（中心度）＝fd(i)＋fr(i)，（原因度）＝fd(i)－fr(i)

で計算する。これで描いた散布図と有向グラフを図6に示す。

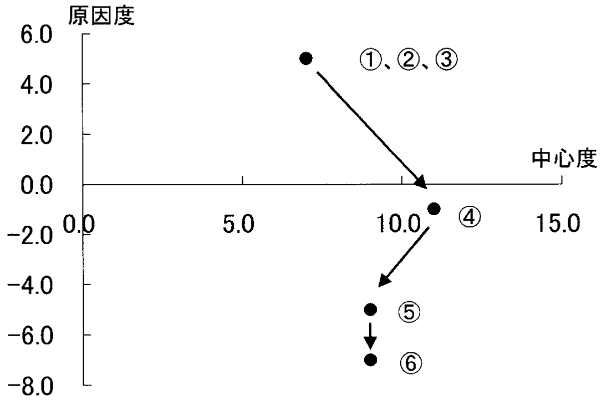

図6　可到達行列による散布図と有向グラフ

図6の有向グラフから，次のようなゾーニングが可能である。

ゾーニング（1，2，3），（4，7，8），5，6

これは，先に示した多階層分割のレベルによるゾーニングと完全に一致している。

つまり，「多階層分割と中心度と原因度による有向グラフは同等である」と言える。この点に関しての検証は，結果と考察で行う。

3.2 距離行列によるゾーニングと動線計画

前節のISM法による多階層分割で得られたゾーニングは，初期思案で行った初期階層に比べてそんなに飛躍したものではない。むしろ予測可能な当たり前の結果ばかりである。ISM法で図4から図5が得られたときには驚いたが，ゾーニングの観点で見ると，初期思案とほとんど変わりがない。

ところがである。距離行列により中心度と原因度を求めて，その散布図から有向グラフを描くとどうだろう。つまり，DEMATEL法による距離行列の解析である。

図7に距離行列による散布図と有向グラフを示す。

驚いたことに，大まかな初期思案からでも，ソーニングと動線計画に対してかなりの情報が獲得できるのである。

すなわち，

ゾーニングに対しての情報

要因1を根として（2，3）をゾーニング

要因7を根として（4，8）をゾーニング

あるいは，（7，8），（4，5）をゾーニング

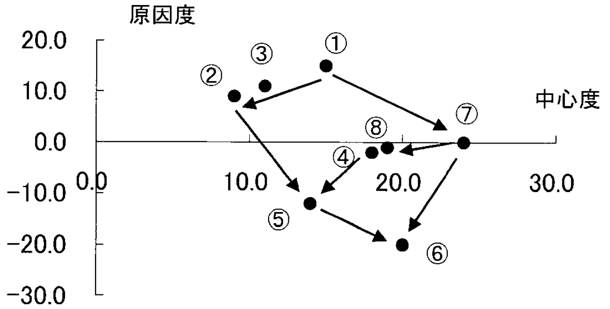

図7　距離行列による散布図と有向グラフ

してもよい。

また，動線計画の情報としては，

1→（2，3），1→7，7→8→4→5

7→6，5→6，（2，3）→5

あるいは，（7，8）→（4，5）としてもよい，などである。

ここに著者は，大まかな初期思案に対して「距離行列による中心度と原因度の散布図とその有向グラフは，ゾーニングと動線計画に有効である」ということを提唱する。

図7と図1との関連は，入り口と出口の設定の違いである。図1は要因6を入り口とし，要因3，5，8を出口にしていると考えられる。ところが，図7は要因1，2，3を入り口とし，要因5，6を出口にしているのである。従って，有向グラフは互いに逆になる。

以上から，適切なゾーニングとして（2，3），（4，5），（7，8）が結論される。

ゾーニングが適切に行われれば，次はいよいよ著者の仮説「最適な動線は完全木である」に基付いた動線計画（改良）の出番である。動線計画（改良）は，動線の種類毎（生活，衛生，家事など）に行うのが好ましいが，ここでは議論の展開上，入り口，出口，中間の要因に焦点を当てて行うことにする。

図7の有向グラフを矢印の方向に従って上から下に眺めると，要因1と（2，3），（7，8）は共に関係があり，また，（7，8）と（4，5）も関係があることが分かる。すなわち，

1→（2，3），1→（7，8），

（7，8）→（4，5）

である。これが完全木になるように改良すると，

1→（2，3），1→（7，8），

1→（7，8）

となる。これは要因1から見た動線であり，これを動線計画の第1段階に位置付ける。

次に，図7の有向グラフを下から上に向かって矢印の逆方向に眺めると，要因6と（4，5），（7，8）は共に関係があり，また，（4，5）と（2，3）も関係があることが分かる。すなわち，

6→（4，5），6→（7，8），

（4，5）→（2，3）

である。これが完全木になるように改良すると，

6→（4，5），6→（7，8），

6→（2，3）

となる。これは，要因6から見た動線であり，動線計画の第2段階に位置付ける。

さらに，図7の有向グラフから中間の（4，5）から関係を見ると，

（4，5）→（7，8），（4，5）→6

（4，5）→（2，3）

である。これはそのまま完全木なので改良する必要はない。これを，動線計画の第3段階とする。

これらの動線計画は，要因を部屋に置き換えると，次のように見なすことが出来る。

動線計画の第1段階は家事動線＋生活動線に相当しており，第2段階は衛生動線，第3段階は生活動線＋衛生動線に相当しているのである。

これ等の改良から，図8の新プランが考えられるのである。

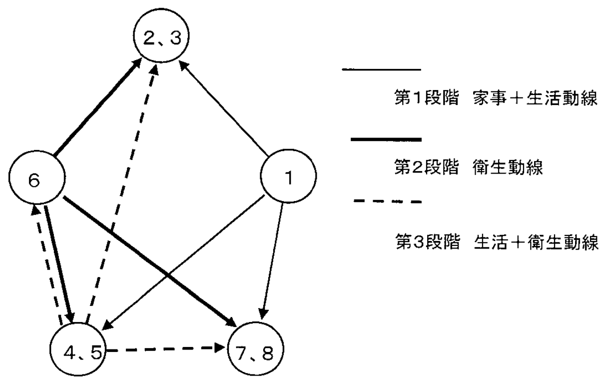

図8　動線計画で初期思案を改良した新プラン

動線で結ばれた無向グラフは平面グラフであり，これを前報で行ったドロネー図とボロノイ図の関係に当てはめれば，間取り図のラフが得られる。その一例を図9に示す。

ここに示した間取り図が前報と同じであるのは，いささか作為的ではあるが，大雑把な初期思案が素デー

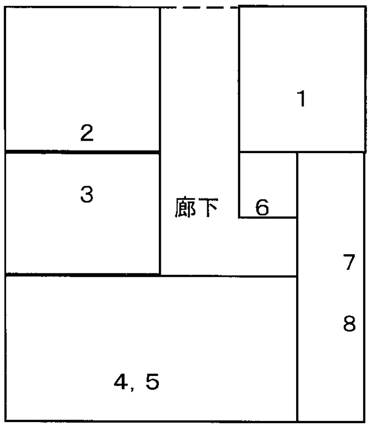

図9　間取り図のラフ

タであることを勘案すれば，これも一つの結果として採択できると思われる。

本節では可到達行列による ISM 法ではうまくいかなかったが，距離行列を DEMATEL 法で解析すれば，初期思案からでもゾーニングと動線計画に関してかなり情報を得ることができ，それを基にすれば，荒々ではあるが間取り図のラフを得ることは可能であることを報告して，この節を閉じる。

4. 結果と考察

本論文で判明したことを列記する。

(1) DEMATEL 法の総合影響行列（マトリクス）から，各要素の中心度と原因度を求めて，それで類似した要因を分類する場合は，それを散布図に描き，その有向グラフから分類するのがよい。

この分類の妥当性をクラスター分析で確かめる場合は，行列の階数に注意し，階数が小さいときはノンパラメトリックなクラスター分析を行うべきである。

(2) 間取りを思案する場合，「単に図に描くだけでは何も成らない」というのが著者の主張である。部屋同士のつながりをある程度想定して，（ゾーニング）→（動線計画）を繰り返し行ったとしても，それだけでは適切なものは得られない。本論文では，その打開策として２つの仮説を掲げる。

（仮説１）「最適な動線は完全木である」

（仮説２）「DEMATEL 法は，ゾーニングと動線の適切性を同時に検証する方法である」

このうち，仮説１は前報で掲げたもので，仮説２は本報で掲げるものである。仮説２の妥当性については，暗黙のうちに3.2節で示した。

3.2節の「距離行列によるゾーニングと動線計画」は DEMATEL 法によるものであり，この手法で得られた情報をもとにして，仮説１の改良を加え，間取り図のラフを作成したのである。

(3) 間取り図を考える初期思案では，出来るだけ簡単な情報（データ）を基にして，出来るだけ適切なゾーニングと動線計画の糸口を掴みたい。これに応えるものとして ISM 法を検討した。しかしながら，多階層分割だけではソーニングと動線計画に対して，多くの情報を得ることは出来なかった。

そこで，本論文では距離行列を求め，これを DEMATEL 法で解析して豊富な情報を獲得し，良好な結果を得ることができた。

すなわち，距離行列から各要因毎に中心度と原因度を算出して，それを散布図に描き，その有向グラフからソーニングと動線計画の情報を得ることに成功したのである。また，ここから得た動線の情報を，著者の仮説１で改良すれば，初期思案であるにもかかわらす，それを支援するより適切な情報に改良でき得ることを示した。本論文では，それをもとに間取り図のラフを作成した。

このことから，著者は次のことを提唱する。

大まかな初期思案に対して「距離行列による中心度と原因度の散布図とその有向グラフは，ゾーニングと動線計画に有効である」

(4) ISM 法では，可到達行列を多階層分割して，各要因をレベル毎に分類することと，可到達行列から中心度と原因度を求めてそれを散布図に描き，その有向グラフから各要因を分類することとは同等である。手短に言えば，「多階層分割と中心度と原因度による有向グラフは同等である」

以上，４つの事柄が本論文で得た知見である。

これについては検証を必要とするので，次にそれを示す。

（検証）多階層分割の作業は，まず始めに可到達行列 **F** を分割条件 $G(i) \cap H(i) = G(i)$ で区分けし，この条件に合う要因をレベル１とする。次に，レベル１の要因を **F** から除いて，残りの要因で同様の作業を行う，これにより全ての要因をレベルに分割する，これが多階層分割である。レベル１とは，分割条件 $G(i) \cap H(i) = G(i)$ より，到達点の要因が該当する。逆に，出発点に相当する要因は，集合 $G(i)$ の要素数が集合 $H(i)$ の要素数よりも多く，原因度が高い。これは本論文ではレベルが低いことを意味している。

ここで，GとHの集合の要素数をそれぞれ｜G(i)｜，｜H(i)｜で表すと，レベル1とは

min（｜G(i)｜－｜H(i)｜）

のことであり，レベルが最低であるとは，

max（｜G(i)｜－｜H(i)｜）

を意味している。

次に，可到達行列Fの中心度と原因度についてであるが，

（中心度）＝fd(i)＋fr(i)，（原因度）＝fd(i)－fr(i)

である。ここで，

fd(i)＝｜G(i)｜，fr(i)＝｜H(i)｜

であることに気付くと，

（原因度）＝｜G(i)｜－｜H(i)｜

となり，原因度だけで分類すれば，多階層分割と類似した結果が得られることが分かる。完全に同じ結果を得るためには，レベルに分類された要因同士の中心度がそれぞれ同じ値になる必要がある。もし，そうであれば，

「多階層分割と中心度と原因度による有向グラフは同等である」が言えるのである。しかしながら，同じレベルの要因同士でも中心度が大幅に異なれば，多階層分割では同一レベルでも，有向グラフ上では異なるものとして分類される。と言うのは，各要因の｜G(i)｜，｜H(i)｜において，｜G(i)｜－｜H(i)｜が同じ値になったからといって，｜G(i)｜＋｜H(i)｜の値までが同じになるとは限らないからである。本論文の場合，図6において同一レベルで各要因のfd(i),. fr(i)の値を調べてみると，どの要因も同じ値になっており，これにより多階層分割と有向グラフの分類が完全に一致したものと考えられる。

以上

5. 要　　約

本論文は，前報の続編に当たり，「ゾーニングと動線計画」に対するDEMATEL法とISM法によるアプローチである。DEMATEL法はゾーニングと動線計画が適切に行われているのか否かに関して豊富な情報を与えてくれ，適切性の検証のみならず，初期思案に適用すればその有力なサポートにも成り得ることが判明した。但し，DEMATEL法で初期思案を解析する場合には，従来の可到達行列によるよりも，距離行列で解析することを推奨する。

ISM法による初期思案の解析は，今回のケースでは特に優れた情報を与えてくれるようには思われなかった。しかしながら，ブール代数則による推移律は要素間の関連を瞬時に捉える上では有効でると思われる。

謝　　辞

本論文を作成するにあたり，暖かいご支援を賜りました本学コミュニティ生活学科の諸先生方ならびに元広島文化短期大学の星出仁美先生に，心より感謝の意を表します。

参 考 文 献

1）古川博仁：間取りと動線に関する考察，広島文化短期大学紀要，第41号，13-25（2008）
2）小原二郎編集：インテリア大事典，179-180（1990），壁装材料協会，東京
3）藤沢偉作著：多変量解析法，120-131（1995），現代数学社，京都

Summary

This paper is the sequel of the references(1) one and is approaching by the DEMATEL method and the ISM method on "the zoning and the traffic lines". The DEMATEL method gives rich information about whether it is that the zoning and the traffic lines are appropriately done, and was proved that it was possible to become the influential support, too, if applying the DEMATEL method to the early stage consideration in addition to verifying appropriateness. But, analyzing the early stage consideration by the DEMATEL method, it recommends to analyze by the distance matrix than analyzing by the reachability matrix.

At the case in this paper, the analysis of the early stage consideration by the ISM method didn't seem to have given specifically excellent information. However, the change law by the Boolean algebra one is valid when it takes relation among the elements instantly and it seems to be useful for the solution of such a problem.