

**感性評価を取り入れた  
展示の空間構成法に関する研究**

**宗本 晋作**

**感性評価を取り入れた  
展示の空間構成法に関する研究**

**2008年**

**宗本 晋作**

# 目次

第 1 章 序章	7
1.1 研究の背景：展示空間と人間行動のモデル化	9
1.2 研究の目的：空間嗜好を設計知識化した空間構成法	18
1.3 研究の方法：感性評価を取り入れた空間嗜好の設計知識化	18
1.4 論文の構成	22
1.5 関連する研究および本論の位置づけ	25
注釈	30
参考文献	35
第 2 章 空間嗜好の自己組織化マップを用いた評価パターンの類型化	41
2.1 目的と方法：空間嗜好の可視化分析による構造化	44
2.2 展示の空間データの作成	45
(1) 対象とする展示の空間概要	45
(2) 単位展示空間のモデル	47
(3) 展示の空間要素	49
2.3 感性評価実験	50
2.4 自己組織化マップ	52
(1) 自己組織化マップの導入	52
(2) 自己組織化マップのアルゴリズム	52
2.5 結果と考察	54
(1) 結果	54
(2) 考察	60
注釈	62
参考文献	63

### 第3章 印象がよいとされる展示の空間要素の

ラフ集合理論を用いた組合せの抽出 .....	65
3.1 目的と方法：空間嗜好の組合せ推論による知識化 .....	68
3.2 展示の空間データの作成 .....	70
(1) 対象とする展示の空間概要 .....	70
(2) 単位展示空間のモデル .....	70
(3) 展示の空間要素 .....	71
3.3 感性評価実験 .....	77
3.4 結果と考察 .....	78
(1) 結果 .....	78
(2) 考察 .....	83
注釈 .....	85
参考文献 .....	87

### 第4章 空間嗜好のベイジアンネットワークを用いた確率モデル .....

4.1 目的と方法：空間嗜好の確率モデルによる知識化 .....	93
4.2 展示の空間データの作成 .....	94
(1) 単位展示空間のモデル .....	94
(2) 展示の空間要素 .....	94
(3) 入力データ行列の作成 .....	97
4.3 ベイジアンネットワーク .....	98
(1) ベイジアンネットワークの構築 .....	98
(2) 確率推論 .....	99
4.4 結果と考察 .....	100
(1) グラフ構造の結果 .....	100
(2) グラフ構造の考察 .....	102
(3) 確率推論の結果 .....	104
注釈 .....	107
参考文献 .....	108

第 5 章	展示の計画への直交グラフ描画法を用いた空間分割法の活用	109
5.1	目的と方法：計算機を援用した展示の空間分割法の提示	112
5.2	展示の空間分割問題	113
(1)	展示の計画問題のモデル	113
(2)	展示の空間分割問題の定式化	117
5.3	展示の空間分割法の概要	118
5.4	直交グラフ描画法の拡張	121
(1)	直交グラフ描画法の導入	121
(2)	多様な分割パターンを生成するための拡張点	121
5.5	タブー探索法を用いた座標最適化手法	123
(1)	グラフ構造と制約条件	123
(2)	組合せ最適化問題への定式化	124
(3)	座標最適化に用いるタブー探索法	125
	注釈	126
	参考文献	128
第 6 章	空間嗜好の知識を用いた展示計画法の試行	129
6.1	目的と方法：空間嗜好の設計知識化	131
6.2	空間分割法の試行結果	132
6.3	展示の計画への空間に対する好みの知識の適用	137
	注釈	145
	参考文献	146
第 7 章	結章	147
付録		161

## 第 1 章 序章

## 第1章 序章

### 1.1 研究の背景

博物館や美術館を訪れる人々の大部分は展示を楽しむことを目的に来館する。利用者の心理や行動を考慮した空間の構成を行えば、展示の魅力は向上し、利用者を惹きつけるはずである。展示の計画には、人の心理や行動に基づく新しい空間構成法が求められるが、現状では不十分であり、それらに必要な知識を得る方法は未踏と云える。

展示は、およそ19世紀を通じて、私設のコレクションをただ並べるだけの「陳列」から意図的な配列へと改変された<sup>1)</sup>。19世紀初頭、展示は柱廊を持つ威圧的な外観のいわゆる博物館建築の陳列室で行われ、展示形式は陳列ケースの中に資料や標本を規則的にレイアウトを行う「施設主導型の展示」であった。19世紀後半から20世紀にかけて、実物を見せる教育の場としての展示の機能が重視され始め、明確なメッセージを伝達するための意図的な配列「資料(モノ)主導型の展示」が行われるようになった。この「資料(モノ)主導型の展示」が、現代の展示の主流となっている。「資料(モノ)主導型の展示」は、キュレーターの企画、すなわちキュレーターの頭の中にある認識秩序に従ってデザインされる。そのため、キュレーターが選ぶ特定の資料や芸術作品により、展示の本質が決まる場合には有効であるが、そうでない場合には、空間は単調になりやすく、利用者を惹きつけることは難しい<sup>2)</sup>。

展示は、展示物と利用者が一体的な意味を共有できるための空間として定義される。新井重三<sup>3)</sup>は、「展示とは展示資料(もの)を用いて、ある意図のもとにその価値を提示(*presentation*)するとともに展示企画者の考えや主張を表現・説示(*interpretation*)することにより、広く一般市民に対して感動と理解・発見と探求の空間を構築する行為」としている。また展示学辞典<sup>4)</sup>では、「展示は、陳列とちがって個々の物品を対象とするのではなく、多種多様な物たちが本来どのような環境に存在し、それらが相互に関連し合っどどのような意味世界を作り出しているかを考え、ある限定された空間の中にそれを再構成して表現するその空間全体」と定義されている。本論は、「資料(モノ)主導型の展示」に代えて、展示と利用者が一体的な意味を共有できる空間をつくるための人の心理や行動に基づく空間構成法を提示するものである。

そのために、人 - 利用者と物 - 展示環境を一体的なシステムと捉える。物 - 展示環境とそこでの人 - 利用者の行動を振舞としてモデル化してゆく。人の行動は、欲求 (need) や感情 (emotion)、知覚 (perception)、行動 (behavior)、意思 (will)、動因 (motive) に基づくとされる。展示の空間ではこの6つの要因に基づいて情報を探索する<sup>4)</sup>。この情報探索行為は、関心の度合いに左右されながら、次の行動を自由に選択する自由選択場面の選択行動と考えられる。実験心理学では、人の選択行動は、快 - 不快の判断に左右されると説明されている<sup>5)</sup>。好みや関心は快 - 不快の判断の一種であることから、展示の空間における情報探索行為は、利用者の空間に対する好みに左右されると云える。また展示の空間を人々が互いにかかわり合う公共空間と捉え、様々な活動を受け入れて、展示の空間を心地よく過ごせる場にすべきであるという考えがある<sup>2)</sup>。それには利用者の空間に対する好みを満足することは大切である。このように、展示環境とそこでの人の心理や行動のモデルは、空間に対する好みに関係づけることができる。

しかしながら、空間に対する好みは、人間一人ひとりの経験によって獲得されたものの見方や、価値観等、言語で表現できない要素によって構成された知覚であり、言語表現等によって他者に容易に伝達することが難しい潜在的な知識、すなわち暗黙知<sup>6)</sup>となっている。このような本人のみが保有する知は、他者に伝えるためにどのように実体化するかが重要となる。本論において、好みを人の心理や行動に基づく空間構成法の知識として設計に用いるには、まず、記述が不可能な暗黙知から文章化や図表化、数式化などによって説明できる知識、つまり形式知への転換（空間に対する好みの知識化）が必要となる。その上で、知識化された好みが、できるだけ無駄な試行を避けて効率よく解を探索するために設計者が設計案を操作するために用いる知識として利用できることを検証し、初めて、設計知識とすることができる（空間に対する好みの設計知識化）。そこで、本論ではまず、人に好まれる空間と好まれない空間から好みの本質を明らかにした（好みの構造化）上で、空間に対する好みを、対象が選好されるかどうかを推測して設計案を操作するための知識に加工する方法（好みの知識化）を提案し試行する。次にこれらの知見や知識を設計に利用する方法（好みの設計知識化）を人の心理や行動に基づく空間構成法として用いる。

一方、感性心理学では、好みは感性評価の次元の一つとされる<sup>7)</sup>。感性とは「物や事に対する感受性。とりわけ、対象の内包する多義的で、高速で行われるところの、

曖昧な情報に基づいて直感的に行われる処理に対する能力で、主として印象や評価の形で表現されるもの」<sup>7)</sup>と定義される。感性評価は「このように定義された感性の側面を実証的に捉えようとする試み」<sup>7)</sup>であり、好みは、人間の行う曖昧な、複数の情報を統合して無自覚的に、かつ瞬時に印象・評価の形をとる状況に合わせた判断を情報処理として扱う感性評価の方法を用いて捉えることができると考えられる。

また、好みは対象のある種の性質と個人の特質に規定されると考えられる<sup>5)</sup>。個人の特質を分けて対象に規定されるとするならば、好みは対象の性質を変数とする関数に置き換えることはできる。展示の空間を対象とする場合には、鑑賞者の動線や空間の形状、展示壁の配置等、空間を構成する要素(以下、空間要素と呼ぶ)を説明変数にすると考えられる。空間が好まれるかあるいは好まれないかは、これら複数の空間要素を意味あるまとまりとして捉え、空間要素の有無や複数の要素の影響しあう相互関係に基づいて、総合的に判断されると考えられる。ここで感性評価を取り入れて、このように曖昧な人間の脳内の判断を情報処理として入出力関係を統計的な学習手法で分析すれば、展示の空間に対する好みを、空間要素を説明変数として、好まれるあるいは好まれないの判別式や確率で説明することができる。これは、空間要素の構成による直接的な記述により、好みを知識として計画に取り入れることを可能にし、判別式や確率により好みの推測を可能にするモデルであると考えられる。

感性評価を取り入れて、好みを対象の性質を説明変数とするモデルで表現する

$$\text{好み} = F(E)\{\text{対象の性質 } E \quad e_1, \dots, e_n\}$$

$$\text{展示の空間に対する好み} = F(\text{空間要素})$$

$$\{\text{空間要素} \quad \text{鑑賞者の動線, 空間の形状, 展示壁の配置, } \dots \}$$

次に、記述した空間に対する好みの知識を展示の計画に利用するには、計算機を援用して、一体的で大きなフレキシブルな空間を、要求される条件を満足しながら機械的に分割する空間分割法を用いる。

展示の空間は、展示レイアウトの可変性を確保するため、一体的で大きなフレキシブルな空間を自由に分割して利用されることが多い<sup>8)</sup>。このとき、いくつかの空間に、どのような大きさや形状に分割するかを、展示の計画や、人間の心理や行動上の傾向、つまり空間に対する好みを考慮して検討を行う必要がある。そこで、計算機を援用し

た空間分割法を展示の計画に適用して多様な分割パターンを生成し、空間に対する好みの知識を用いて設計案を操作し、作成する。これにより好みの知識を展示の計画に利用する方法を示し、知識がどのように適用されるかを検証して設計知識化を行う。

こうして、空間に対する好みを、空間要素を説明変数としてそれらの判別式や確率で説明して好みの知識化を行い、これを計算機を援用した空間分割法に取り入れて、空間に対する好みを設計知識として空間要素の構成や分割パターンを計画する方法を示すことができる。空間要素の構成や分割パターンを検討することは展示の計画の基本であり、人の心理や行動に基づく新しい展示の空間構成法として用いることができる。

本論では、感性評価を取り入れて、まず空間に対する好みの構造を明らかにして(第2章)、展示の空間要素を説明変数とするモデルで記述し、好みの知識化を行う(第3,4章)。次に計算機を援用した空間分割法を展示の計画に適用し、一体的でフレキシブルな展示の空間を条件を満足するように機械的に分割する方法を示す(第5章)。この展示の空間分割法を用いて、空間に対する好みの知識を利用して、設計案を作成し、好みの設計知識化を行う(第6章)。最後にこれらの方法を一連の手順にして、空間に対する好みを設計知識化して、空間の分割パターンや空間要素の構成を総合的に計画するための空間構成法を示す(第7章)。展示の空間における人の心理や行動の要因として、空間に対する好みを空間要素の構成で直接的に記述することによって知識化し、これを計画に取り入れる方法は、展示の空間のみならず、一般的に建築計画に適用可能である。新しい視点から建築計画学を補足するものとして期待したい。

#### (1) 感性評価を取り入れた空間に対する好みのモデル化

好みは一般に人と共通する部分と人によって異なる部分があり、これらは対象の性質と個人の特質に規定される<sup>5)</sup>。空間に対する好みも同様であると考えられる。このような空間に対する好みを知識に加工するには、まず好みに内在する対象の性質と個人の特質を把握して好みの構造を明らかにし、次に個人の特質を分けて好みは対象の性質に規定される<sup>6)</sup>として、空間要素を説明変数とする判別式や確率で記述する必要がある。

好みを論理的に扱い、計画に用いる知識を獲得しようとする研究は、いわゆる感性評価を用いた研究として、これまでインダストリアルデザイン<sup>9)</sup>の分野を中心に展開され

てきたが、建築学の分野ではあまり進んでいない。インダストリアルデザインと建築学では、対象の認識に大きな違いがある。インダストリアルデザインが対象とするプロダクトは、対象を容易に認識することができる。建築が対象とする空間は、時には空気や光をも含むため、対象の認識は体験となる。桑子敏雄は、この空間認識を感性的経験と呼び、身体的な経験に基づくために、個別性を有していると説明している。このような認識を伴う好みは、多様性・複雑性を本質の内に宿していると云える。空間に対する好みを論理的に扱うためには、この多様性・複雑性をできるだけそのままの形で表現できるモデル化が必要となる。そこで、感性評価を取り入れて空間に対する好みを印象・評価の形で表現し、その構造把握や知識化の目的に適したモデル化を行う。

印象や評価の形で記述された好みには、個人差が見られるものの、類似の対象には同じ評価を与えるなど、全くバラバラでもない。複数の対象に評価を与えると、評価には傾向が表れ、類似の傾向を持つ人が少なからず存在すると仮定できる。そこで、空間に対する好みの共通する部分や差異を把握するには、個人の好みを好む空間、好まない空間の集合で表現して、それらの集合の類似性や差異、特徴を把握する。そして類型化を行い、好みの構造を明らかにする。

個人の好みを好む空間と好まない空間の集合  $U$  で表現する

好みの集合  $U =$  好む空間  $\{S_1, \dots\}$       好まない空間  $\{S_j, \dots\}$   
 A の好みの集合  $U_A =$  好む空間  $\{S_1, S_3, S_4, \dots\}$       好まない空間  $\{S_2, S_5, S_6, \dots\}$   
 B の好みの集合  $U_B =$  好む空間  $\{S_1, S_2, S_4, \dots\}$       好まない空間  $\{S_3, S_5, S_6, \dots\}$   
 空間  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, \dots$

次に空間に対する好みを空間要素の組合せの結果として機械的に捉えると、評価の結果は対象に含まれる空間要素の組合せと関係があると仮定できる。そこで、好みを空間要素を説明変数として判別式で説明するには、空間要素を  $I f$ 、評価の結果を  $Then$  とする  $I f$ - $Then$  ルール形式で表現し、空間要素の組合せで記述する。これは評価の要因を空間要素により把握することのできるモデルである。

好みを  $I f$ - $Then$  ルール形式で表現する

$I f$  [鑑賞者の動線が $\dots$ , and 空間の形状が $\dots, \dots$ ]  $Then$  [評価の結果は $\dots$ ]  
 空間要素 鑑賞者の動線, 空間の形状,  $\dots$

近年、人間の行動を不確実性を含む行為と捉え、不確実性を含んだまま計算機上にモデル化する概念がある<sup>10)</sup>。空間に対する好みを、空間要素を変数とする不確実性を含む確率的な行為として捉えれば、評価の結果と変数の関係は確率を用いてモデル化することができるかと仮定できる。そこで好みを確率で表現するには、変数である空間要素と評価の結果にある法則が成立する確信度を条件付き確率として、空間要素と評価の結果の関係をグラフ構造で表す確率モデルで表現する。これは、確率推論により、空間に対する選好の結果の予測や、選好される可能性の高い空間要素の推測を可能にするモデルである。

好みを確率モデルで表現する

空間要素が・・・であるときに、選好される確率

= 条件付き確率  $P_1(\text{選好} | \text{空間要素が} \dots)$

鑑賞者の動線が・・・であるときに、選好される確率

= 条件付き確率  $P_1(\text{選好} | \text{鑑賞者の動線が} \dots)$

空間要素 鑑賞者の動線 , ...

本論の特徴は、空間に対する好みを論理的に扱うために感性評価を取り入れてモデル化を行い、その構造を明らかにして、好みの知識化を行う点にある。空間に対する利用者の好みは、これまで設計者の経験や勘に基づく推測によって、個人やグループに抱え込まれた暗黙知として、無意識のうちに計画に用いられてきた。このような設計者の暗黙知を明示し、設計知識として共有し利用することができれば、空間に対する好みを知識化し設計に用いることが期待できる。

## (2) 空間要素によるモデル化

展示の空間は展示物の従として考えられ、空間と全く別の展示の意匠によって演出されることは少なくない。展示の計画において、空間と展示の意匠を一体化させることは、古くから展示の計画の大きな課題となっている<sup>1)</sup>。展示の計画に用いる知識は、建築計画学<sup>11)</sup>や博物館学<sup>3)</sup>、展示学<sup>4)</sup>において、空間や展示の項目ごとに個別に整理されている。

鑑賞者の動線は、展示の空間全体の順路と、個別に分割された展示ゾーン(以下、単位空間と呼ぶ)内の順路に分類される。展示の空間全体の動線は、接室順路方式、

廊下接続方式、中央ホール形式に大別され、それらの特徴が明らかにされている。単位空間内の順路は、出入口の位置や、展示壁の配置と動線の関係について長所や短所が整理されている。

展示の空間の形状は、平面の基本形は矩形や正方形であることや、歩行距離あたりの展示の壁面長を評価の指標としてこれを大きくすることが望ましいこと、曲面や半八角等の平面形状の長所や問題点について言及されている<sup>12)</sup>。岡野<sup>13)</sup>は、展示の空間の幅や奥行き、高さについて、視距離(人が展示物を見るときの人目の位置と展示物の間の距離)に基づいて科学的に分析し、展示の空間の床面積と壁面の長さの関係や、単位空間の床面積と天井高の関係、幅(間口)×奥行きの関係を明らかにした。

展示の空間の色彩は、床・壁・天井の配色について、一般的に床から壁、天井へと順次明るくし、空間全体は薄明であるが、天井はやや他の部分に比べて明るくすることが望ましい。床は明る過ぎると見る人は眩しく、光の反射で疲れを覚え、天井はあまり暗いと見学者は不安で、圧迫を感じ、気分も高揚しないと説明されている<sup>11)</sup>。

展示方式は、展示壁と展示台の一般的な形状について説明されている。展示壁や展示台の配置を検討するための基礎知識として、展示壁や台の典型的な配置を例にして、それらの配置と鑑賞者の自発的な視線の動きや経路の関係が説明されている<sup>11)</sup>。その他として、照明や空調等の項目が挙げられるが、主に資料の保存の観点から適正な照度や温度、湿度について言及されている。

このように、展示の空間は、床や壁、天井といった空間に関する項目や、展示方式やその配置といった展示に関する項目に分類され、個別に説明されてきた。しかしながら、これらの説明から空間や展示の項目をどのように組み合わせれば計画を行えばよいかを知ることはできない。そこで、上記のように知識として整理された項目を空間要素として用いて展示の空間のモデル化を行う。展示の空間を上記の項目の空間要素で構成されていると捉え、これらの項目に属する限られた空間要素の集合で記述する。これは展示の空間を空間要素の構成で再現するモデルとなり、空間要素をどのように組み合わせればその空間を得れば良いかを直接的に知ることができる。

展示の空間を計画項目に属する空間要素の集合で表現する

空間 = { 鑑賞者の動線, 空間の形状, 展示壁の配置, 展示方法, … }

空間 1 = { 一方向, 幅 5m 奥行き 10m 高さ 4m, 三面配置, 壁面展示, … }

鑑賞者の動線 一方向, 空間の形状 幅 5m 奥行き 10m 高さ 4m, …

空間 2 = { 三方向, 幅 10m 奥行き 5m … }

⋮

本論の特徴は、展示の空間を空間要素の集合としてモデル化を行い、計画に用いる知識を空間要素の組合せで直接的に記述する点にある。空間の要素と展示の要素を同時に扱うため、空間と展示の意匠が一体化され、設計知識としての効用が期待できる。

### (3) 計算機を援用した空間分割法の導入

一体的でユニバーサルな展示の空間を計画や人間の行動に合わせて分割するには、まず鑑賞者の動線の条件を満足することが大切である。展示の計画では、空間の分割数とそれらの順路を動線として設定し、その動線に合わせて単位空間の結びつきを確保しながら、空間を分割する。このとき動線に沿って決定される鑑賞者の移動距離は、鑑賞に伴う疲労感を緩和するために極力短くすることが望まれ、空間を分割する壁面は、限られた空間でより効果的な展示を行うために極力大きくすることが望まれる。このように、鑑賞者の動線と移動距離、展示の壁面長を同時に考慮する必要がある。単位空間の形状は、矩形もしくは直交非矩形(以下、非矩形と呼ぶ)が基本となる。展示の計画・設計においては、これらの条件を満足するように一体的でフレキシブルな展示の空間を分割して多様な分割パターンを生成し、設計解を幅広く探索することが求められる。

人間の思考は、豊富な知識に基づいて空間の分割パターンを総合的に評価することを得意とするが、多様な分割パターンの探索等、膨大な情報処理を苦手とする。この膨大な情報処理を計算機に代行させれば、考慮される条件は明瞭な数値基準によって判断されるものに限定されるが、設計解の探索に伴う人間の試行錯誤を支援することができる。計算機を援用し、空間の分割パターンを機械的に生成しようとする研究は様々に行われてきたが、展示の計画を対象とするものはない。そこで、計算機を援用した空間分割法を展示の計画に活用し、多様な分割パターンを生成しな

がら、設計解を幅広く生成する方法を示す。

鑑賞者の動線に合わせて単位空間の結びつきを確保しながら空間を分割するには、単位空間の隣接関係の保持を制約条件とするグラフ理論を用いた方法が適切である。グラフ理論を用いた方法は、単位空間の形状を矩形に限定すると、扱える隣接関係は大きく制約される<sup>14)</sup>。矩形に限定せず、非矩形を許容すれば、その制約は著しく緩和される。非矩形の単位空間は同面積の矩形の単位空間よりも外周長が大きくなり(図1-1)、壁面長の確保が大切な展示の計画には有効であると考えられる。そこで、展示の空間の分割パターンを直交グラフとしてモデル化し、非矩形の単位空間を扱う。直交グラフを扱うには、グラフ理論の一つである直交グラフ描画法を導入する。そして計算機を援用し、単位空間の隣接関係を制約条件とし、展示の壁面長を極力大きく、鑑賞者の移動距離を極力小さくする多様な分割パターンを直交グラフとして機械的に生成する。これは展示に必要な条件を満足する設計解を幅広く合理的に探索する方法となる。

#### 展示の空間の分割パターンを矩形と非矩形を含む直交グラフで表現する

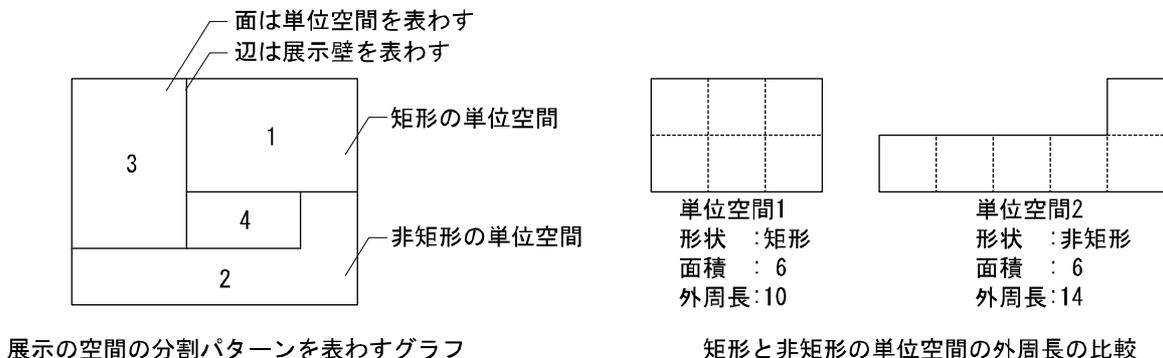


図1-1 直交グラフによる展示の空間のモデル化

グラフ理論を用いた方法に、展示の空間を対象とするものや非矩形の単位空間を扱うものはない。本論の特徴は、矩形や非矩形の単位空間を含む展示の空間の分割パターンを直交グラフとして表現する点にある。矩形に制約されずに幅広く多様な分割パターンを機械的に生成する空間分割法は、展示だけでなく平面計画や建築計画において適用されることが期待できる。

## 1.2 研究の目的

本論の目的は、感性評価を取り入れて利用者の空間に対する好みの知識化を行い、その知識を展示の計画に適用して人の心理や行動に合わせた空間を構成する新しい展示の空間構成法を提示することにある。そのために感性評価を取り入れた空間に対する好みの類型化と知識化、好みの知識を用いた展示計画法を試行し、最後にこれらを組み合わせて、感性評価を取り入れて空間に対する好みを設計知識化した展示の空間構成法を示す。

## 1.3 研究の方法

研究の方法としては、まず感性評価実験を行い、空間に対する好みを印象・評価の形で表現する。そして空間に対する好みを好む空間と好まない空間の集合として、集合の類似性や差異、特徴を把握して、類型化を行い、好みの構造を明らかにする。

次に展示の空間要素を説明変数として、空間に対する好みをそれらの組合せや確率モデルで記述し、好みの知識化を行う。

展示の計画に計算機を援用した空間分割法を適用する方法を示し、この展示の空間分割法を試行した後に、獲得した空間に対する好みの知識を用いて展示の設計案を作成する。そして獲得した空間に対する好みの知識が設計にどのように適用されるかを検証して好みの知識を用いた展示計画法を示し、空間に対する好みの設計知識化を行う。

最後に、感性評価を取り入れて好みの類型化を行い、好みを知識に加工して、得られた知識と計算機を援用した展示の空間分割法を用いて展示の計画を行う方法を一連の手順にして示し、これを空間に対する好みを設計知識化した新しい展示の空間構成法とする。以下に各方法の詳細を示す。

## (1) 研究の対象

一般に、空間がどのような設計知識に基づいて計画されたかを設計者以外の人間が特定し、検証することは困難である。そのため、筆者のよく知る展示の空間を対象として、空間に対する好みの知識化を行い、獲得される知識の検証を行う。そこで対象を、筆者が実際に計画を行った国立民族学博物館の特別企画展「インド サリーの世界」<sup>注1)</sup>の展示の空間とする。

対象には実現した実空間と計画案に基づく仮想空間を用いる。様々な展示ゾーンを単位展示空間として抽出し、これらを独自に定義した空間要素で記述したデータベースを構築する。実空間は、空間要素の構成が仮想空間に比べて不明瞭になるが、実際に空間を体験して評価を行うことができるため、評価者は限定されない。一方、計画案に基づく仮想空間は、空間要素の構成を明瞭にすることはできるが、実際に空間を体験して評価を行うことができず、評価者は建築の知識を有する者に限定される。対象と評価者を様々にして幅広く有効性を検証するために、展示の実空間と計画案に基づく展示の仮想空間を対象とする。

## (2) 感性評価実験

好みの評価尺度は連続しており、それ故にどこまでを好み、どこまでを好まないかを簡潔に説明することは困難である。一方、好みは複数の対象を比較した場合の判断であり、対象の識別を前提に相対的に定まるとされる<sup>5)</sup>。そこで本論は、感性評価を取り入れて空間に対する好みを印象・評価の形で表現するために、様々な空間要素で構成される空間を一つずつ提示して、それぞれの空間に対する印象や評価を選択する選択式の感性評価実験を用いる。

実在の展示の空間を対象とする場合には、展示会場で一般来場者が「印象がよい」あるいは「印象がよくない」を単位展示空間ごとに選択するアンケート調査を行う。

仮想空間を対象とする場合には、単位展示空間ごとに3Dイメージと平面図を組み合わせた説明シートを用意し、建築の知識を有する者(建築設計職に就く者や建築系の学生)が「選好する」あるいは「選好しない」を選択する評価実験を行う。

### (3) 空間に対する好みの類型化

対象の性質や個人の特質に規定される空間に対する好みを類型化によって、その構造を把握し、好みの知識化の準備を行う。

空間に対する好みを好む空間と好まない空間の集合として、集合の類似性や差異を把握するには、自己組織化マップ<sup>注2)</sup>を用いる。まず好む空間と好まない空間の集合を、感性評価実験の結果として得られる多項目の回答で記述する。集合の示す好みの傾向を多項目の回答のパターンとして捉え、対象の特徴を2次元空間に非線形写像する自己組織化マップを用いて、回答のパターンを可視化する。類似した回答のパターンをグループに分類し、好みの類型化を行い、好みの構造を明らかにする。なお本論は、建築学において自己組織化マップを導入した最初の研究である。

### (4) 空間に対する好みの知識化

空間に対する好みを規定する個人の特質を分けて、対象空間の性質のみに規定されるとして、好みの知識化を行う。

空間に対する個人の印象評価を、評価の結果を目的変数、空間要素を説明変数とするIf-Thenルールを持つモデルとして、その評価の要因を空間要素の組合せで簡潔に記述するには、ラフ集合理論<sup>注3)</sup>を用いる。感性評価実験の結果を空間要素の組合せの結果として捉え、対象を表現する要素の線形、非線形に関係なく、対象の分類や近似をできるだけ少数要素の組合せで表現するラフ集合理論を用いて、評価の結果を識別するために必要な空間要素の組合せを最小の属性集合で簡潔に記述し、知識化を行う。そして評価の要因としての空間要素を把握して、設計に用いる知識を得る。

空間に対する好みを、空間要素を変数とする確率的な行為として、感性評価実験の結果と空間要素の関係を確率モデルで表現するには、ベイジアンネットワーク<sup>注4)</sup>を用いる。空間要素を変数として、変数間の関係をグラフ構造で表し、不確実性を確率で定量化するベイジアンネットワークを用いて、グループの選好の結果と空間要素の関係を確率モデルで明示して知識化を行う。そして確率推論により、利用者の空間に対する好みを推測して設計に用いる知識を得る。なお本論は、建築学においてベイジアンネットワークを導入した最初の研究である。

## (5) 空間に対する好みの知識を用いた展示計画法(空間に対する好みの設計知識化)

### 1) 計算機を援用した展示の空間分割法

計算機を援用した空間分割法を展示の計画に適用するために、まず矩形と非矩形を含む展示の空間の分割パターンを直交グラフとして表現する。次に展示の計画問題を、鑑賞者の動線に合わせて単位空間の結びつきを保持しながら、展示の壁面長を極力大きくし、鑑賞に伴う疲労感を緩和するために鑑賞者の移動距離を極力小さくする分割パターンを求める問題として定式化を行う。直交グラフ描画法<sup>注5)</sup>を導入・拡張し、非矩形の単位空間の生成を制御し、多様な分割パターンを直交グラフとして列挙する。グラフ構造に着目した座標最適化手法を提示し、展示の壁面長を極力大きく、鑑賞者の移動距離を極力小さくする座標集合を分割パターンごとに決定する。

### 2) 空間に対する好みの知識を用いた展示計画法の試行

空間に対する好みの知識を利用するには、まず展示の空間分割法を例題に適用し、多様な分割パターンを生成する。次に空間に対する好みの知識を用いて好まれる単位空間を推測しながら、分割パターンを選択する。最後に好まれる空間要素の構成を推測して、展示の設計案を作成する。これによって、空間に対する好みの知識が分割パターンの選択や空間要素の構成に役立つかの検証を行う。

## (6) 感性評価を取り入れた展示の空間構成法

空間に対する好みの類型化、好みの知識化、好みの知識を用いた展示計画法を組み合わせ、感性評価を取り入れて空間に対する好みを設計知識化した空間構成法を示す。

まず展示の空間要素を定義し、展示の空間のモデル化を行う。続いて感性評価実験を行い、空間に対する好みを好む空間と好まない空間の集合として、集合の類似性や差異を可視化して、好みの類型化を行う。次に空間に対する好みを、空間要素を説明変数とする組合せや確率モデルで表現し、好みの知識化を行う。計算機を援用した展示の空間分割法を用いて人の行動や展示の計画に合わせて多様な分割パターンを機械的に生成しながら、空間に対する好みの知識を適用して分割パターンに含まれる単位展示空間の空間要素の構成を推測し、展示の設計案を作成する。このような手順の空間構成法を、感性評価を取り入れて空間に対する好みを設計知識として利用する新しい展示の空間構成法として提示する。

## 1.4 論文の構成

論文の章構成と研究の流れを図式化して示す(図1-2)。

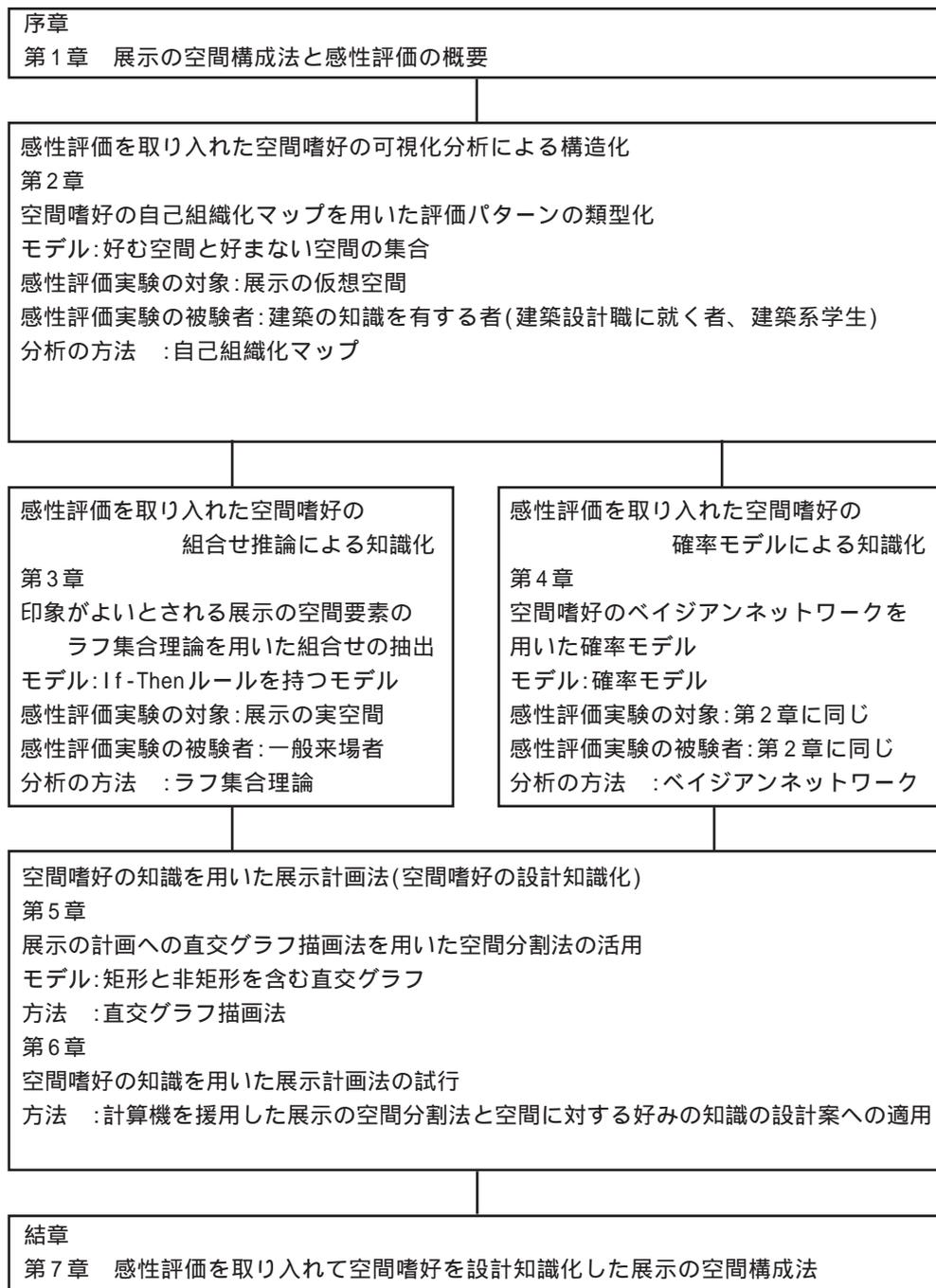


図1-2 論文の章構成と研究の流れ

第2章では、空間に対する好みを好む空間と好まない空間の集合として、集合の類似性や差異、特徴を視覚的に把握して類型化を行う。まず展示の仮想空間を対象として、単位展示空間ごとに3Dイメージと平面図を組み合わせた説明シートを用意し、建築の知識を有する者(建築設計職に就く者や建築系の学生)に「選好する」あるいは「選好しない」を選択する評価実験を行う。次に好む空間と好まない空間の集合を、感性評価実験の結果として得られる多項目の回答で記述する。自己組織化マップを用いて、回答のパターンの特徴を2次元空間に非線形写像して、対象の類似性や差異を視覚的に分析し、類型化を行う。

第3章では、空間に対する個人の印象評価を、評価の結果を目的変数、空間要素を説明変数とするIf-Thenルールを持つモデルであるとして、その評価の要因を空間要素の組合せで簡潔に説明する。まず展示の実空間を対象として、展示会場で一般来場者に単位展示空間ごとに「印象がよい」あるいは「印象がよくない」のアンケート調査を行う。印象評価の結果を識別するために必要な空間要素の組合せを印象評価の要因として、ラフ集合理論を用いて、対象を表現する要素の線形、非線形に関係なく、できるだけ少数の属性集合で簡潔に記述する。

第4章では、空間に対する好みを空間要素を変数とする確率的な行為であるとして、第2章で類型化を行った選好のグループを対象にして、グループごとに、空間に対する選好の結果と空間要素の関係を確率モデルにより表現する。まず第2章の感性評価実験の結果をグループごとに分類する。ベイジアンネットワークを用いて、各グループの選好の結果と空間要素の関係を確率モデルで明示して、変数とする空間要素間の関係をグラフ構造で表し、不確実性を確率で定量化する。

第5章では、一体的でフレキシブルな展示の空間を人の行動や展示の計画に合わせて機械的に分割する展示の空間分割法を提示する。まず、展示の空間の分割パターンを矩形と非矩形を含む直交グラフとして表現する。展示の計画問題を、鑑賞者の動線に合わせて単位空間の結びつきを保持しながら、展示の壁面長を極力を大きくし、鑑賞に伴う疲労感を緩和するために鑑賞者の移動距離を極力小さくする分割パターンを求める問題として定式化を行う。直交グラフ描画法を導入・拡張し、非矩形の単位空間の生成を制御し、多様な分割パターンを列挙する。直交グラフの座標最適化手法を提示し、展示の壁面長の極大化、移動距離の極小化を満足する座標集合を分割パターンごとに決定する方法を示す。

第6章では、計算機を援用した展示の空間分割法を試行し、空間に対する好みの知識を利用して展示の計画を行う。まず展示の空間分割法を例題に適用し、多様な分割パターンを生成する。生成された結果を検討しながら分割パターンの修正を行う。さらに異なる動線形式の分割パターンを生成し、前章の展示の空間分割問題の定式化と分割法の検証を行う。次に空間に対する好みの知識を用いて、展示の空間分割法により生成された分割パターンから設計解候補を選択し、単位展示空間ごとに好まれる可能性の高い空間要素の組合せを推測して、展示の設計案を作成する。そして空間に対する好みの知識が分割パターンの選択や空間要素の構成に役立つかを検証する。

第7章では、各章で示した空間に対する好みの類型化(第2章)、好みの知識化(第3,4章)、好みの知識を用いた展示計画法(第5,6章)を組み合わせ、感性評価を取り入れて空間に対する好みを設計知識として展示の計画に利用する空間構成法を示す。まず展示の空間要素の定義と展示の空間のモデル化を行う。続いて感性評価実験を用いて、空間に対する好みを好む空間と好まない空間の集合として、集合の類似性や差異を可視化して、好みの類型化を行う。次に空間に対する好みを、空間要素を説明変数とする空間要素の組合せや確率モデルで表現し、好みの知識化を行う。そして計算機を援用した展示の空間分割法を用いて、人の行動や展示の計画に合わせた多様な分割パターンを機械的に生成し、空間に対する好みの知識を用いて、好まれる可能性の高い単位空間や空間要素の構成を推測し、展示の設計案を作成する。このような手順の空間構成法を、感性評価を取り入れて空間に対する好みを設計知識化した新しい展示の空間構成法として提示する。最後に今後の研究に残された課題を挙げ、本論の結論とする。

## 1.5 関連する研究および本論の位置づけ

本論と関連する既往研究としては、感性評価に関するもの、展示の空間に関するもの、計算機を援用した平面計画法のもの等が挙げられる。以下に本論との関係を整理し、本論の位置づけを示す。

### (1) 感性評価に関する既往研究

感性評価に関する研究としては、心理学の分野では、美や芸術、創造を扱う芸術心理学を中心に、感性に関わる学問を感性心理学<sup>7)</sup>として総合的に発展させようとする研究領域が見られる。三浦<sup>15)</sup>は浮世絵の母子像を対象にして人物の印象を尋ねる実験を用いて、芸術心理学の立場から感性評価の特徴を導いた。これらの分野の研究は分析が主体であり、感性と対象の性質の関係を説明し、美や芸術の創造に用いる知識を得ようとする研究ではない。

一方、建築計画学や人間工学、情報工学等の工学の分野では、感性と対象の物理特性の関係を分析する研究がある。これらは人間の感性をデザインに結びつけるもの、人間の行動のモデル化に関するもの、人間の印象評価と空間を構成する部位との関係を分析するものに分類することができる。

人間の感性をデザインに結びつけようとする研究は、主にプロダクトデザインの分野で展開されてきたが、近年、建築の分野においても見られるようになってきた。プロダクトデザインの分野では、森、高梨<sup>9)</sup>は、ラフ集合理論が人間の感性評価のような非線形性を有するモデルに有用であることを自動車のデザインを対象にして示した。

建築計画学の分野では、瀧澤、河村、谷<sup>16)</sup>は、遺伝的プログラミングを用いて、家具のデザインに対する個人の嗜好の定量化を行った。杉浦、岡崎<sup>17)</sup>は、帰納論理プログラミングを用いた仮想空間の作成過程から被験者の嗜好を抽出することを試みた。松下、宗本<sup>18)</sup>は、対話型遺伝的アルゴリズムを用いてガラスファサードに対する個人の嗜好をガラス物性値で獲得することを試みた。齋藤、宗本、松下<sup>19)</sup>は、ラフ集合を用いて、建物ファサードを対象とする感性評価から「伝統的である」と感じる要因を形態要素の組合せで獲得した。

以上のように、人間の感性を定量化し、デザインに用いる知識を獲得しようとする研究は様々な視点で行われてきた。しかしながら、内部空間のデザインと空間の構成要素との関係を分析し、計画に用いる知識を獲得しようとする研究はない。

人間の行動のモデル化に関する研究では、人間の行動を不確実性を含んだままモデル化しようとする試みが、情報学や人工知能学において見られる。本村、金出<sup>20)</sup>は、ベイジアンネットワークを用いた人間の認知・評価構造のモデル化について概説した。岩崎、水野、原、本村<sup>21)</sup>はユーザーの状況や好みを加味してコンテンツを推薦するカーナビゲーションシステムの研究を行った。村上、酢山、折原<sup>22)</sup>は、消費者の心理的要因を加味したパーソナルコンピューターの購買行動の研究を行った。小野、本村、麻生<sup>23)</sup>は、アンケート分析に基づく個人の好みにあった映画コンテンツの推薦方式の研究を行った。酒井、持丸<sup>24)</sup>は、手術操作に伴う患者の生理・心理的反応を再現し、医師の操作と患者の反応の因果関係を明らかにした研究を行った。北村、アルティシオンシモ、本村、西田、山中<sup>25)</sup>は、乳幼児の行動を仮想空間内でシミュレーションするツールの研究を行った。

以上のように、人間の行動をモデル化する研究は様々に行われてきたが、人間の行動をモデル化し、建築やプロダクト等のデザインに用いる知識を得ようとする研究はない。

印象評価と空間を構成する部位との関係を分析する研究では、宗本、崎山<sup>26)</sup>は、外部空間の印象と構成要素の関係をゲシュタルト効果に基づいて明らかにした。込山、橋本、初見、高橋<sup>27, 28, 29)</sup>は、実物大の実験空間を用いて、空間の印象評価と容積との関係を分析した。高橋(洋)、大崎、込山、西出、初見、高橋(鷹)<sup>30)</sup>は、印象評価と床レベル差およびその平面形態との関係を分析した。橋本、西出<sup>31)</sup>は印象評価と空間欠損の及ぼす影響を分析した。橋本、大崎、西出、長澤<sup>32)</sup>は、印象評価と段差天井との関係を分析した。

以上のように、印象評価と空間を構成する部位の関係についての研究は様々に行われてきたが、これらは空間を構成する一つの部位と評価の関係を扱っており、その部位と評価との関係が明らかになっても、複数の部位を組み合わせる計画を行うための設計知識として用いることはできない。

本論の特色は、展示の空間に対する好みをモデル化し、非線形性を有するモデルとして、展示の計画に用いる知識を空間要素の組合せで直接的に説明する点にある。感性評価を非線形性を有するモデルとして、構造を把握して知識化を行う本論の方法は、心理学や他の分野においても適用されることが期待される。

## (2) 展示の空間に関する既往研究

展示の空間に関する研究は、建築計画学や展示学、博物館学で説明されている展示の空間を構成する要素を対象にして様々に行われてきた。展示と利用者評価の関係を対象とするもの、空間と展示の関係を対象とするもの、展示の空間における鑑賞者の行動を対象とするものがある。

展示と利用者評価の関係を対象とする研究では、中山、仙田、矢田、佐々木<sup>33)</sup>は、博物館の建築・展示計画の指標を、利用者の満足度と建築規模や展示のコンテンツで記述した。仙田、篠、矢田、鈴木<sup>34)</sup>は、美術館全体の壁面配置の指標を、鑑賞者の評価と独自に定義した美術館の特徴を表す指標で記述した。

空間と展示の関係を対象とする研究では、岡野<sup>13)</sup>は、視距離の概念に基づき、展示室の規模について科学的な分析を行った。林、栗原<sup>35,36)</sup>は、全国の美術館の各館の展覧会の実施状況を調査し、展覧会の構成と展示方式との関係を説明した。さらに展示方式に基づいて美術館の類型化を行い、類型化した美術館のタイプを展示手法の特徴や利用状況で説明した。

鑑賞者の行動を対象とする研究では、野村、大原<sup>37)</sup>は来館者の具体的な鑑賞行為を分析し、展示が鑑賞者に与える影響を鑑賞時間や行為の種類、動線の特徴で説明した。加野、松本<sup>38)</sup>は、経路のわかりやすさという視点で、鑑賞行動に適した展示のレイアウトや展示室の形態についての指針を示した。石川、大原<sup>39)</sup>は展示の順序や内容と鑑賞者の認知との関係を説明した。徐、西出<sup>40)</sup>は、美術館の展示の空間における歩行実験から、鑑賞者の経路選択と空間認知の関係を考察し、類型化を行った。朴、花里<sup>41)</sup>は、科学系博物館における利用者の行動の特性と展示手法の関係を分析した。

以上のように、展示の空間要素について様々に行われてきたが、鑑賞者の行動や心理に合わせて、空間要素をどのように組み合わせ構成すればよいかを知ることはできない。本論の特色は、空間に対する好みを空間要素の構成で直接的に説明して、好まれる展示の空間を空間要素の組合せで再現しようとする構成法にある。

### (3) 計算機を援用した空間分割法に関する既往研究

計算機を援用した空間分割法の研究は、問題の定式化と適用する手法の組合せにより様々に展開されてきた。本論では グラフ理論を用いたものと それ以外の手法を用いたものに分類する。

グラフ理論を用いた手法に関する研究としては、寺田<sup>42)</sup>は、単位空間の隣接関係、面積、形状条件を満足させながら、矩形の平面を矩形の単位空間に分割する手法を提示した。辻、川窪<sup>43,44,45)</sup>は、隣接条件と単位空間の形状・面積条件に加え、外面条件、方位条件を満足する長方形分割図を作成する方法を示した。ここでは、単位空間を点、要求される単位空間の隣接関係を辺で表わしたグラフ(以下隣接関係グラフと呼ぶ)が用いられる。隣接関係グラフの矩形双対変換<sup>42)</sup>から空間の分割パターンを表すラインプランを獲得する。全体の空間の形状は矩形に限定され、平面描画可能なすべての隣接関係グラフに対して矩形双対変換が可能とは限らないという問題を抱える<sup>14)</sup>。図1-3にその例を示す。

図1-3a, bの1~5の番号を持つ点は単位空間を表し、点と点の間を結ぶ辺によってそれらの単位空間同士が隣接することを示す。図1-3Aは図1-3aの隣接関係グラフの矩形双対変換から得られたラインプランである。図1-3B, Cは、図1-3bの隣接

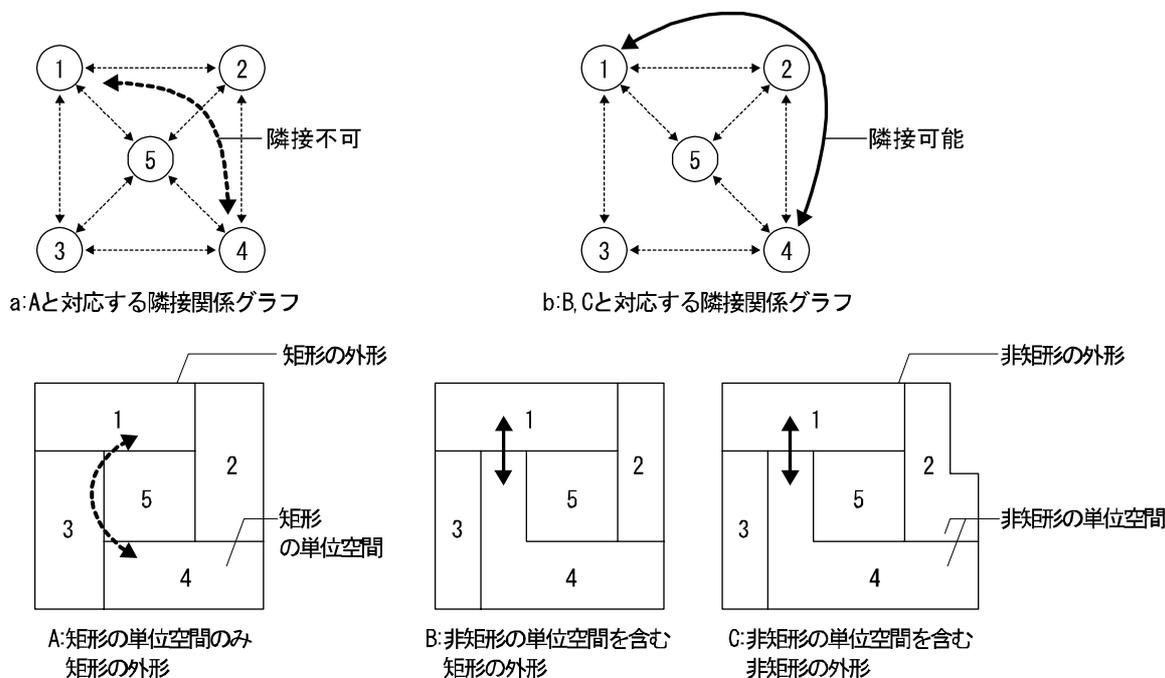


図1-3 隣接関係グラフとそれに対応するラインプラン

関係グラフに対応するラインプランである。単位空間が矩形に限定される矩形双対変換では、図 1-3b に見られる単位空間 1 と単位空間 4 が隣接するような隣接関係グラフを扱うことはできない。また図 1-3c に見られるような外形が非矩形の平面を扱うことはできない。

矩形双対変換により獲得したラインプランを表すグラフでは、グラフ全体の形状を与えられた外形に適合させること、分割された単位空間を目標の面積や形状となるように、各点の座標を決定する必要がある。辻、川窪<sup>43, 44, 45)</sup>は、単位空間の面積と形状に関する条件を面積と縦横比で表し、それらを満足するラインプランを作成した。しかしながら全体の形状を条件として扱っておらず、全体の空間の外形を要求する形状に適合させることはできない。

他の手法を用いた研究は、近年多く見られる。浅野、加藤、吉村<sup>46)</sup>は、Sequence-Pair と呼ぶ矩形領域の位置関係を表現する方法を用いて、通路を含む単位空間の配置を行った。桑川<sup>47)</sup>は、最小配置図と呼ぶ既存設計事例から配置順序を抽出し、これに従って間口、奥行き寸法を持つ単位空間を配置した。神山、瀧澤、加藤<sup>48)</sup>は、2 階建住宅の配置問題において、フロアプラン列挙アルゴリズムを用いて隣接要求を満足するすべてのフロアプランの単位空間の面積と形状の最適化を行った。

以上のように、空間分割法の研究は、矩形平面を矩形に分割する方法、通路を扱うための方法、2 階建ての建物のプランを同時に作成する方法など、様々な手法が提示されてきた。しかしながら、展示の空間を対象とし、非矩形の単位空間を扱ったものは見られない。本論の特色は、展示の空間分割法として、直交グラフ描画法を導入し、非矩形の図形を扱う空間分割法を提示する点にある。

## 注釈

注1) 国立民族学博物館の特別展示場は、博物館の研究機関に所属する研究者の発表の場として、年2回のペースで様々なテーマで企画展が催される。展示場は、一体的でフレキシブルな円形の空間であり、プランの対称軸にそって大階段と2層分の吹抜けがある。展示の空間の外側にはエレベーターや準備室等のコアがある。

特別展「インド サリーの世界」は、本論で用いた三つの計画案の一つに基づいて、2005年9月8日～2005年12月6日に特別展示場で開催された。3つの計画案を図1-4、1-5、1-6に示す。実施案は図1-4である。この企画展は、インドの最新のサリーやデザイナーズ・ファッションなど150点を展示するもので、展示品は布に限定された。3つの計画案の空間分割はすべて同じ展示の主旨に基づいている。展示の主旨は付録を参照されたい。企画展の展示の設計を2005年1月～7月に筆者が行った。

3つの計画案はすべて展示場中央の吹抜け空間を動線の核とした中央ホール形式、観覧順序は順路を鑑賞者に依存する自由方式である。各展示ゾーンの床・壁・天井の色は、特別展示場の展示空間と同色の黒や白を基調とする。1階の天井高は4.0m、2階の天井高は2.8m、吹抜け部分の天井高は12.0mである。サリーを展示するための展示方式は、壁面に展示を行う壁面展示方式、展示台の上に展示を行う展示台展示方式、マネキンに着せ付けを行うマネキン展示方式の3種類に限定される。

主催者からは、展示が単調になり鑑賞者が退屈しないよう、様々な展示の空間を用意することが求められた。そこで、単位空間の隣接関係をそのままにして、空間の大きさや展示の方法や配色の組合せにより、様々な展示の空間が生まれるように工夫して、展示の計画を行った。これらの展示の空間は限られた空間要素によって構成されている。

上記のように、対象の企画展の展示は、受動態展示として特殊なものではない。参加・体験型展示等の能動態展示や他の受動態展示への本手法の適用は、今後の課題である。

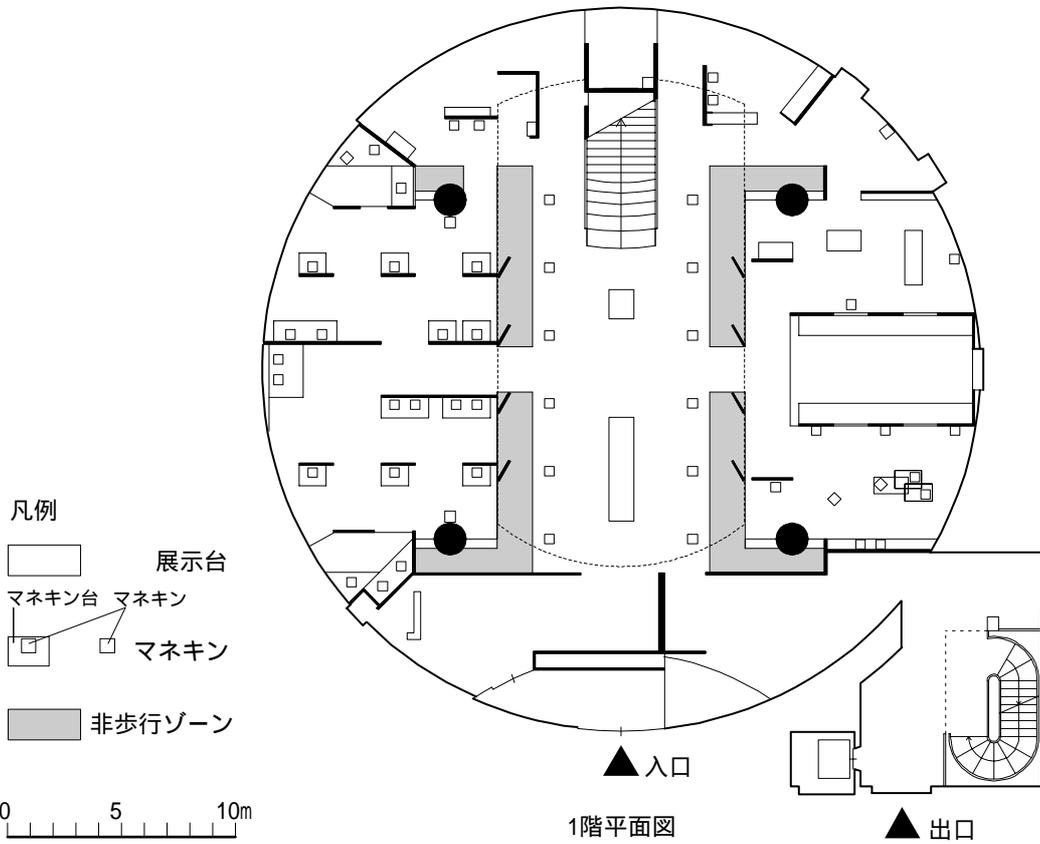
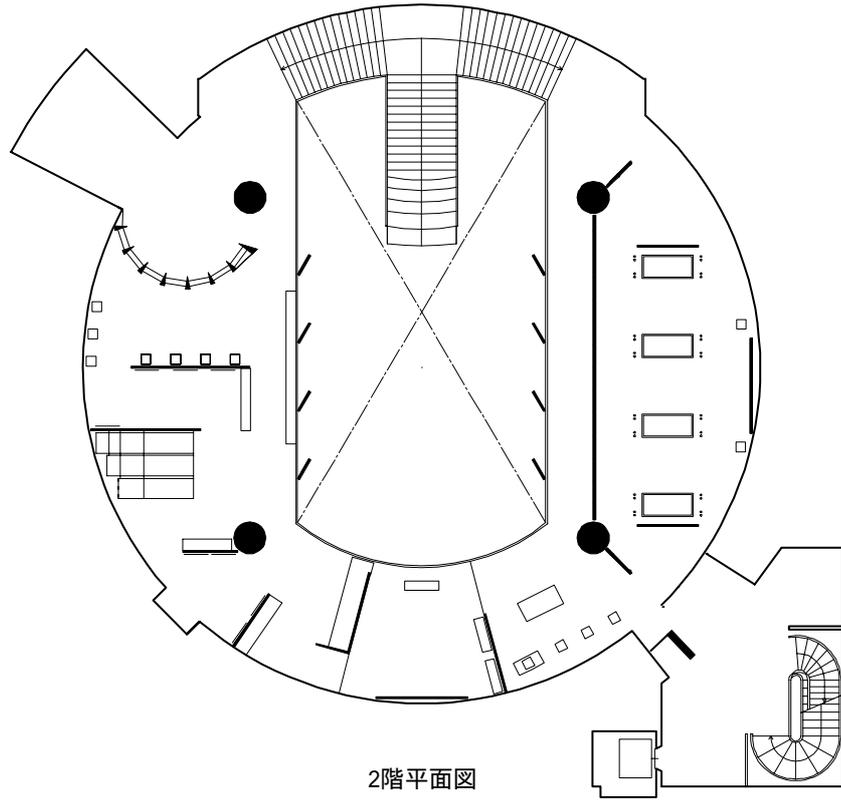


図1-4 計画案1(実施案)

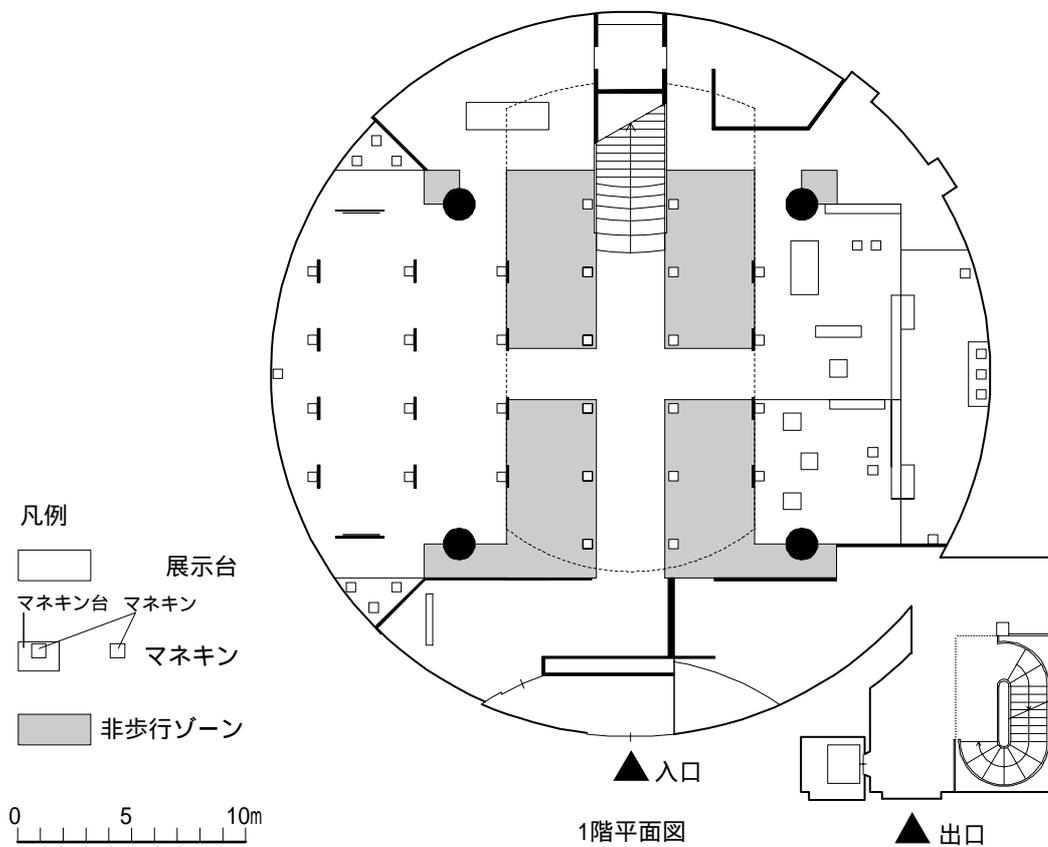
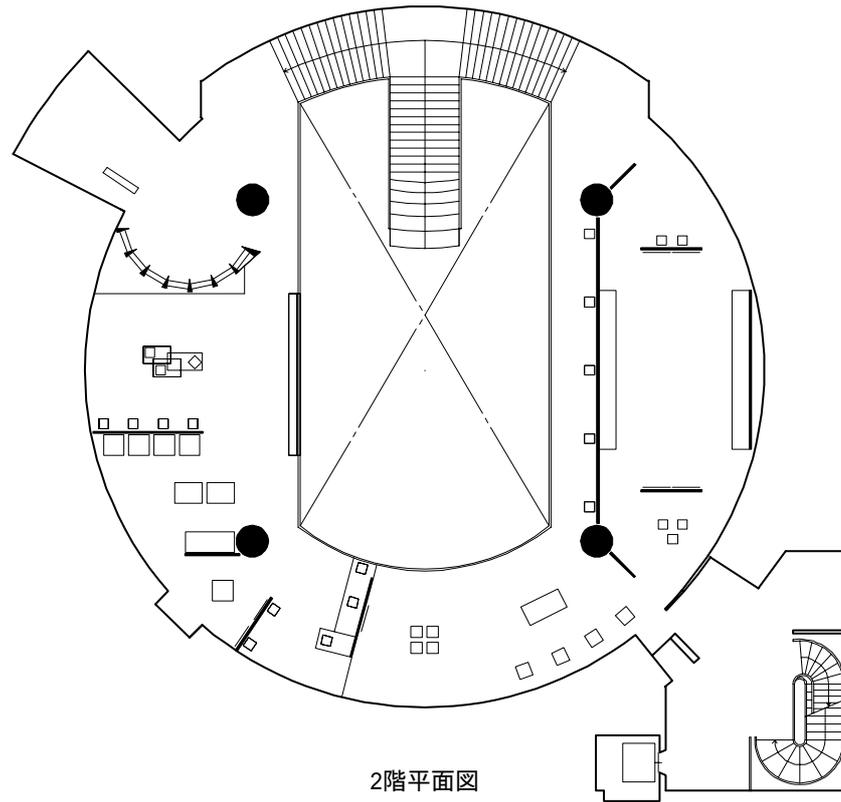
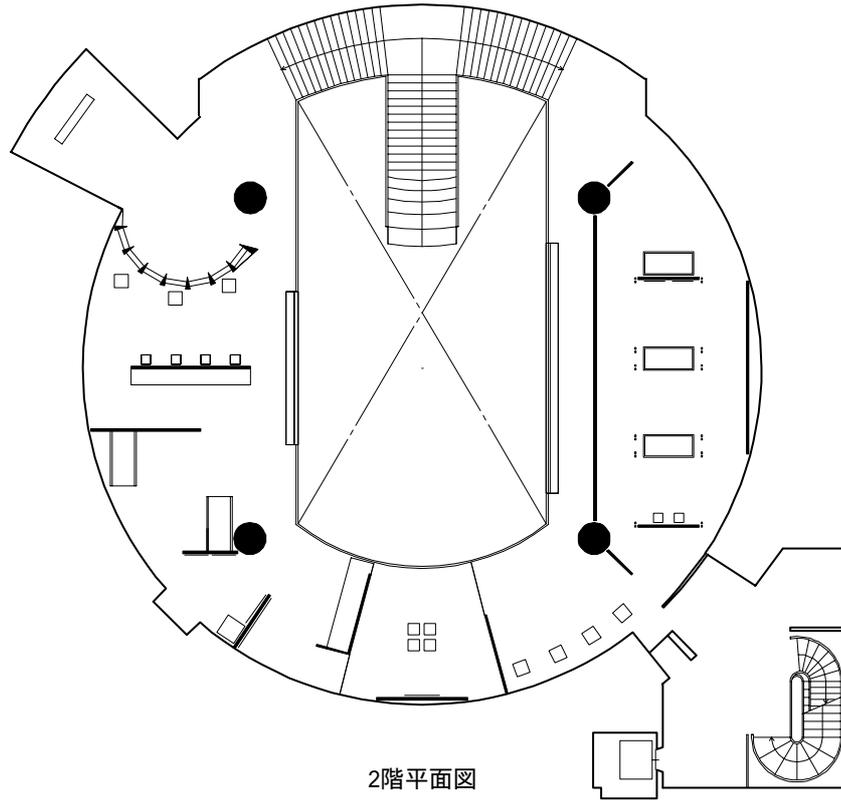


図1-5 計画案2



2階平面図

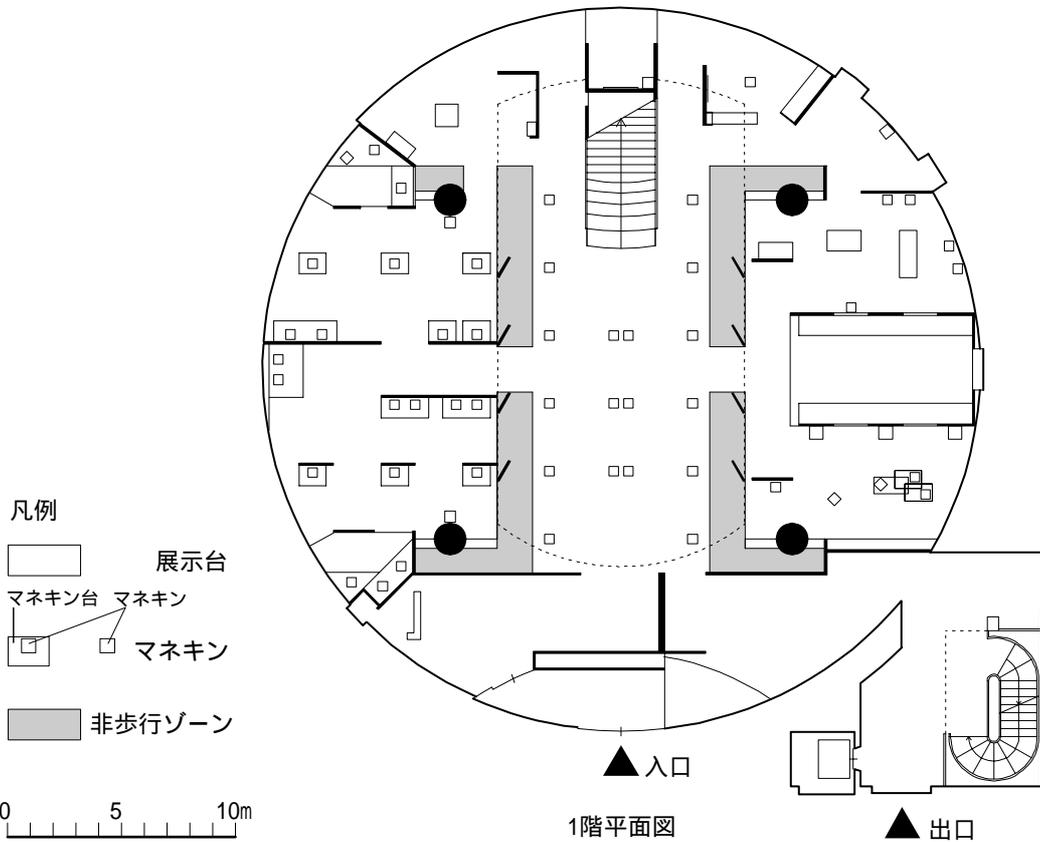


図1-6 計画案3

注2) 自己組織化マップ<sup>49)</sup>は、脳の神経回路網をモデルにしてT. Kohonenにより提唱された教師なしニューラルネットワーク理論で、自己組織化という過程を経て、高次元データを2次元平面上へ非線型写像するデータ解析方法である。

注3) ラフ集合理論<sup>50)</sup>は1982年にポーランドのZ. Pawlakにより提案された理論である。対象に関する複数の属性(形態等の特徴)の値から構成される情報表を基に、対象を正しく分類するのに必要な最小の属性集合の特定、ある属性の値を他の属性から導く決定条件の抽出等が可能である。つまり、対象集合を上手に特定できる範囲で情報を粗く(ラフ)捉えることにより、対象集合を程よく説明するための記述を求めることができる。

注4) ベイジアンネットワーク<sup>51)</sup>は統計的学習により、複数の変数の関係を非循環有向グラフで表し、変数間の関係をそれぞれ条件付確率で定量化する確率モデルである。ベイジアンネットワークを用いると、一部の変数の観測結果を証拠状態として設定したときの、それ以外の変数についての確率分布を、確率伝搬法と呼ばれるアルゴリズムにより推論することができる。

注5) 直交グラフ描画法<sup>52)</sup>はグラフの分かりやすさ・見やすさを主眼にして、可能な限りグラフ内部の面を矩形にしながら、すべての線分を水平もしくは垂直に描画する方法である。辺の曲げにより非矩形の面が生まれる。得られるグラフの辺の曲げの数、つまり非矩形の面の数が最小になることは論文<sup>52)</sup>で保証されている。

## 参考文献

- 1) 倉田公裕、矢島國雄：新編博物館学 6 版、東京堂出版、1997
- 2) Kathleen McLean 著 井島真知・芦谷美奈子訳：博物館をみせる  
- 人々のための展示のプランニング -、三秀舎
- 3) 新井重三「展示概論」古賀忠道、徳川宗敬、樋口清之監修：  
展示と展示法(新井重三・佐々木朝登編)博物館学講座第7巻 3版、雄山閣出版、  
1978
- 4) 展示学辞典、日本展示学会「展示学辞典」編集委員会編集、ぎょうせい
- 5) 近江源太郎：好みの心理 - 色・形・人の好き嫌い -、創拓社、1985
- 6) Michael Polanyi 著 高橋勇夫訳：暗黙知の次元、ちくま学芸文庫、2003
- 7) 海保博之、楠見孝監修：心理学総合辞典、朝倉書店、2006
- 8) 建築設計資料集成 建築 文化 日本建築学会編
- 9) 森典彦、高梨令：ラフ集合の概念による推論を用いた設計支援、  
東京工芸大学紀要、vol. 3、pp. 35 38、1997
- 10) 本村陽一：ベイジアンネットワークによるヒューマンモデリングの実際、  
信学技報、NC2004-54、pp.19 24、2004. 7
- 11) 半澤重信：博物館建築 博物館・美術館・資料館の空間計画、鹿島出版会、1991
- 12) 新訂建築学大系第34 - コミュニティセンター・図書館・博物館・美術館 -、彰国社、  
1970
- 13) 岡野眞：美術館における展示空間の規模計画に関する基礎的研究、  
博士学位論文(東京大学)、1978.3
- 14) 宗本晋作、加藤直樹、今村元一：直交グラフ描画法を用いた室配置手法  
- タブー探索法を用いた対話型多目的最適化 -、日本建築学会計画系論文集、  
第529号、pp.279 286、2000.3
- 15) Miura, K., & Koike, M.: Judgement, interpretation and impression of gaze  
direction in a Ukiyo-e picture. Japanese Psychological Research, 45,  
209-220, 2004
- 16) 瀧澤重志、河村廣、谷明勲：対話型進化計算法による家具デザイン  
遺伝的プログラミングによるユーザー嗜好の定量化と予測、  
日本建築学会システム技術委員会 第23回情報システム利用シンポジウム、  
pp.175 178、2000

- 17) 杉浦徳利、岡崎甚幸：帰納論理プログラミングを用いた空間構成過程の解析、日本建築学会計画系論文集、第546号、pp.141 148、2001. 8
- 18) 松下大輔、宗本順三：CG 画像の感性評価による対話型進化計算を用いたファサードガラス特性の探索法の研究、日本建築学会計画系論文集、第584号、pp.187 192、2004.10
- 19) 齋藤篤史、宗本順三、松下大輔：感性評価に基づく形態要素のラフ集合を用いた組合せ推論の研究 産寧坂伝統的建造物群保存地区のファサードを対象として、日本建築学会計画系論文集、第594号、pp.85 91、2005. 8
- 20) 本村陽一、金出武雄：ヒトの認知・評価構造の定量化モデリングと確率推論、信学技報、NC2004-119、pp.25 30、2005. 1
- 21) 岩崎弘利、水野伸洋、原孝介、本村陽一：ユーザーの好みに合わせてコンテンツを推薦するカーナビへのベイジアンネットの適用、信学技報、NC2004-55、pp.25 30、2004. 7
- 22) 村上知子、酢山明弘、折原良平：ベイジアンネットワークによる消費者行動分析 - 消費者の内部状態の解明に向けて -、信学技報、NC2004-70、pp.9 14、2004.10
- 23) 小野智弘、本村陽一、麻生英樹：ベイジアンネットによる映画コンテンツ推薦方式の検討、信学技報、NC2004-66、pp.55 60、2005. 1
- 24) 酒井健作、持丸正明：局所麻酔下手術シミュレーションのための患者反応モデルの構築、信学技報、NC2004-56、pp.31 36、2004. 7
- 25) 北村光司、アルティシオンシモ、本村陽一、西田佳史、山中龍宏：乳幼児の事故予防のための確率的行動モデル、信学技報、NC2004-65、pp.49 54、2004.10
- 26) 宗本順三、崎山徹：外部空間の「印象」とその要因となる空間特性についての研究 九州芸術工科大学キャンパスとその周辺市街地の外部空間について、日本建築学会計画系論文集、第453号、pp.95 104、1993.11
- 27) 込山敦司、橋本都子、初見学、高橋鷹志：室空間の容積と印象評価に関する実験的研究 容積を指標とした空間計画のための基礎研究(その1) 日本建築学会計画系論文集、第496号、pp.119 124、1997. 6

- 28) 橋本都子、込山敦司、初見学、高橋鷹志：室空間の容積と印象評価に関する実験的研究 容積を指標とした空間計画のための基礎研究（その2）  
日本建築学会計画系論文集、第508号、pp.99 104、1998. 6
- 29) 橋本都子、込山敦司、初見学、高橋鷹志：複数の在室者による室空間の容積と印象評価に関する実験的研究 容積を指標とした空間計画のための基礎研究（その3）  
日本建築学会計画系論文集、第525号、pp.153 159、1999.11
- 30) 高橋洋子、大崎淳史、込山敦司、西出和彦、初見学、高橋鷹志：  
床レベル差とその平面形態が空間の印象評価と体験者の行動に及ぼす影響、  
日本建築学会計画系論文集、第520号、pp.165 172、1999. 6
- 31) 橋本雅好、西出和彦：室空間における空間欠損と容積の知覚・印象評価の関係に関する基礎実験、  
日本建築学会計画系論文集、第530号、pp.171 177、2000. 4
- 32) 橋本雅好、大崎淳史、西出和彦、長澤 泰：段差天井と容積の知覚・室空間の印象評価との関係に関する実験的研究、  
日本建築学会計画系論文集、第540号、pp.167 173、2001. 2
- 33) 中山豊、仙田満、矢田努、佐々木省悟：利用者の満足度よりみた科学博物館の建築・展示計画に関する研究、  
日本建築学会計画系論文集、第516号、pp. 123 128、1999. 2
- 34) 仙田満、篠直人、矢田努、鈴木裕美：美術館展示室の建築計画的な研究  
展示壁面の配置方法と利用者の評価について、  
日本建築学会計画系論文集、第517号、pp.145 149、1999. 3
- 35) 林采震、栗原嘉一郎：美術館における展示方式の構成とその特性  
美術館の建築計画に関する研究 その1、  
日本建築学会計画系論文集、第421号、pp.63 73、1991. 3
- 36) 林采震、栗原嘉一郎：展示方式による美術館の類型化とその展示手法  
美術館の建築計画に関する研究 その2、  
日本建築学会計画系論文集、第430号、pp.77 86、1991.12
- 37) 野村東太、大原一興、朴光範、小川英彦、真鍋博司、西宮浩司：博物館の展示・解説が来館者行為に与える影響、  
博物館に関する建築計画的な研究、  
日本建築学会計画系論文集、第445号、pp.73 81、1993. 3

- 38) 加野隆司、松本啓俊：展示方式と鑑賞行動からみた博物館の建築計画に関する研究 展示レイアウトおよび展示室の形態に関する研究 、  
日本建築学会計画系論文集、第454号、pp.55-64、1993.12
- 39) 石川宏之、大原一興：展示順序と観覧者の認知における差異の考察、  
日本建築学会計画系論文集、第502号、pp.111-116、1997.12
- 40) 徐華、西出和彦：経路選択の類型 展示空間における経路選択並びに空間認知に関する研究(その1)、日本建築学会計画系論文集、第568号、pp.53-60、  
2003.6
- 41) 朴 鍾 来、花里俊廣：科学系博物館における展示手法と利用者の行動特徴からみた展示の分析、日本建築学会計画系論文集、第593号、pp.57-63、  
2005.7
- 42) 寺田秀夫、室空間の隣接関係により定義された長方形分割図を求める方法について、日本建築学会計画系論文集、第414号、pp.69-80、1990.8
- 43) 辻正矩、川窪広明：計画と条件に適合する長方形分割図の作成方法について - グラフ理論的アプローチによる平面計画の方法 その1、  
日本建築学会計画系論文集、第494号、pp.129-136、1997.4
- 44) 辻正矩、川窪広明：長方形分割図の室寸法を決定する方法について - グラフ理論的アプローチによる平面計画の方法 その2 -、  
日本建築学会計画系論文集、第513号、pp.159-166、1998.11
- 45) 川窪広明、辻正矩：有向隣接グラフを用いた長方形分割図の作成方法について - グラフ理論的アプローチによる平面計画の方法 その3 -、  
日本建築学会計画系論文集、第549号、pp.161-168、2001.11
- 46) 浅野寛治、加藤直樹、吉村茂久：Sequence-Pair に基づく室・通路・出入口配置最適化手法 - 数理計画法と遺伝的アルゴリズムの融合による優良解探索 -、  
日本建築学会計画系論文集、第572号、pp.209-216、2003.10
- 47) 桑川栄一：室配置方角と室接続関係の図式化を用いた平面プラン作成支援方法の提案、日本建築学会計画系論文集、第584号、pp.13-20、2004.10
- 48) 神山直之、瀧澤重志、加藤直樹：フロアプランの列挙に基づく2階建て住宅の室配置アルゴリズム、日本建築学会計画系論文集、第601号、  
pp.65-72、2006.3

- 49) T. Kohonen 著、徳高平蔵、岸田悟、藤村喜久郎訳：自己組織化マップ (Self-Organizing Maps)、シュプリンガー・フェアラーク東京、1996
- 50) 森典彦、田中英夫、井上勝雄：ラフ集合と感性 データからの知識獲得と推論、海文堂、2004
- 51) S. Russell and P. Norvig 著 古川康一監訳：エージェントアプローチ人工知能 (Artificial Intelligence, A modern approach)、共立出版、1997
- 52) M. S. Rahman, S. Nakano and T. Nishizeki, A Linear Algorithm for Orthogonal Drawings of Triconnected Cubic Plane Graphs, Proc. of 5th Int. Symp., GD '97. LNCS 1353, pp.99-110, 1997, Springer Verlag

## 第2章 空間嗜好の自己組織化マップを用いた 評価パターンの類型化

## 第2章 空間嗜好の自己組織化マップを用いた評価パターンの類型化

空間に対して、好む、好まないとする判断は、人それぞれに異なっており、その個人差を把握して、一般性のある好みの構造を把握することは困難である。また利用者それぞれが、自分の好む空間の特徴を的確に説明することは困難である。しかしながら、様々な要素により構成される空間を一つずつ「選好する」あるいは「選好しない」として区分するとき、個人の「選好する」空間を多数の項目の回答のパターンで簡潔に記述することはできる。そこで、このような回答のパターンを視覚的に分析する方法により、対象空間の特徴や個人差の把握が困難な空間に対する好みの構造を把握し、類型化を行う。

いくつかの属性で記述されている対象を、その特徴を反映するように、特徴マップと呼ばれる2次元空間へ非線型写像を行うには、自己組織化マップ(SOM: Self-Organizing Maps)<sup>注1)</sup>が有効である。対象とこれを表現する複数の属性との関係を知り、対象の特徴を反映する位置づけを得るものとして、多変量解析を用いたモデルがよく知られているが、対象の属性の関係が複雑な非線形の場合には、適切とは云えない。ニューラルネットのバックプロパゲーション法は非線形性を有するモデルを扱うことはできるが、予め分類の基準変数の設定が必要である。自己組織化マップは教師なし学習のアルゴリズムを用いるフィードフォワード型のニューラルネットモデル<sup>1)</sup>で、対象の属性すべてを写像し、対象の特徴を反映する特徴マップを作成する。この方法は従来の非線形性を有するモデルを扱う方法と異なり、基準変数を必要とせず、対象の特徴や分類属性を特徴マップにより容易に可視化することができる。自己組織化マップは高次元データに対して汎用性の高い非線形主成分分析の一つとして、これまでデータマイニングや画像分類、情報検索等に活用されている<sup>2)</sup>。医療分野では藤村他の健康診断データの分析と診断システムの研究<sup>3)</sup>、情報工学の分野では細川他の画像分類処理による市街地特性の研究<sup>4)</sup>等が挙げられるが、建築学の分野では見られない。

本章では自己組織化マップを用いて、感性評価の回答として得られる好まれる空間(選好空間)と好まれない空間(非選好空間)を、特徴マップでそれらの特徴を反映する2次元平面に位置づけ、選好空間と非選好空間の特徴を可視化する<sup>注2)</sup>。特徴マップ上の選好空間と非選好空間の分布から、展示の空間に対する個人の好みを選好す

る空間の特徴に着目して比較することができる。これらの分布の特徴により、展示の空間に対する好みの類型化を行い、好みの構造を明らかにする。

## 2.1 目的と方法

明示や分類が困難な展示の空間に対する個人の好みを感性評価実験の回答として得る。次に好みを多項目の回答のパターンで簡潔に記述し、可視化分析を行う。そして、被験者がどのような展示の空間を好む傾向にあるのか、また好まない傾向にあるのかを視覚的に把握し、展示の空間に対する好みの類型化を行い、好みの構造を明らかにすることを目的とする。

方法として、展示の空間要素の構成を明瞭にするために、本章では、国立民族学博物館の企画展の計画案に基づく仮想空間を用いる。まず、展示の空間を本章で定義する展示の空間要素で記述したデータベースを作成する。次に、それらの展示の空間を「選好する」あるいは「選好しない」かの感性評価実験を行い、個人の選好空間を多項目の回答のパターンで記述する。自己組織化マップを用いて、空間要素の特徴に基づく展示の空間の位置づけを特徴マップとして獲得する。特徴マップに示された選好空間と非選好空間の位置や分布から、どのような展示の空間を好む傾向にあるのかという個人の好みの構造を、視覚的に把握し、類型化を行う。

## 2.2 展示の空間データの作成

### (1) 対象とする展示の空間概要

国立民族学博物館の特別展「インド サリーの世界」の計画案に基づく仮想空間を、展示空間事例として用いる。壁や展示方式により区分可能な任意のゾーンを展示ゾーンとして、それぞれ1階、2階から成る3つの計画案から55の展示ゾーンを抽出した。抽出した展示ゾーンは、鑑賞者の動線形式、空間の立体形状、色彩、壁配置や展示方式に様々な違いが見られる。ただし、鑑賞者の動線形式は1～6方向、空間の高さは会場高さにより3種類に限定される。色彩は黒や白の無彩色を基調とし、

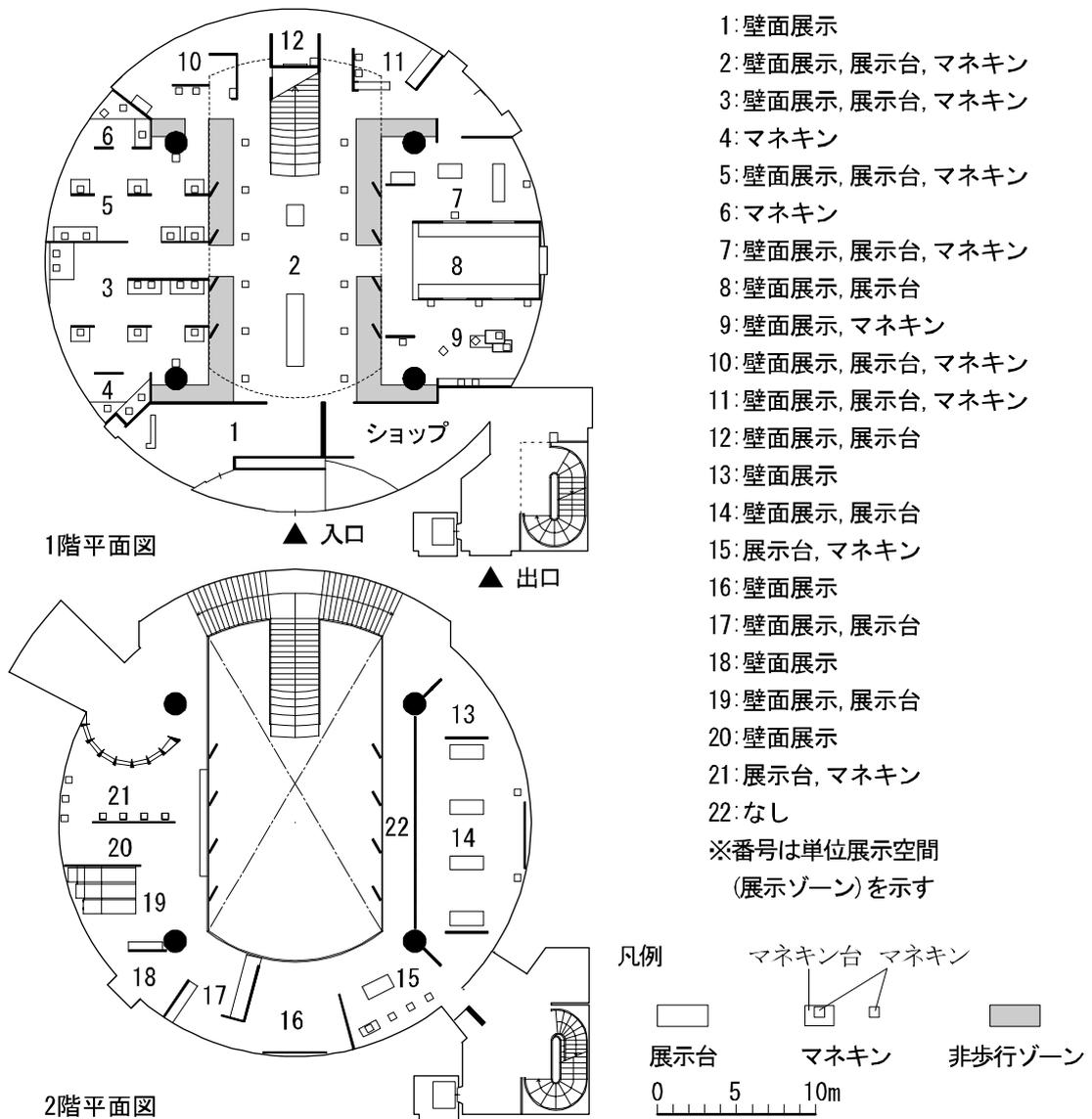
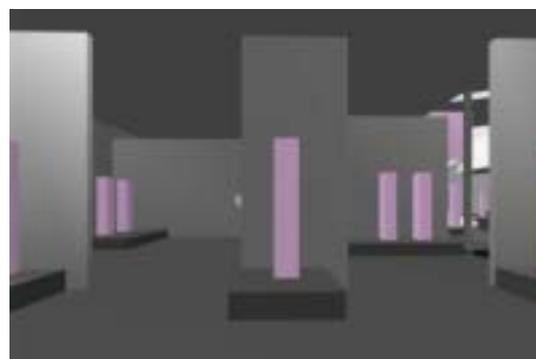


図2-1 「インド サリーの世界」展の計画案の平面図

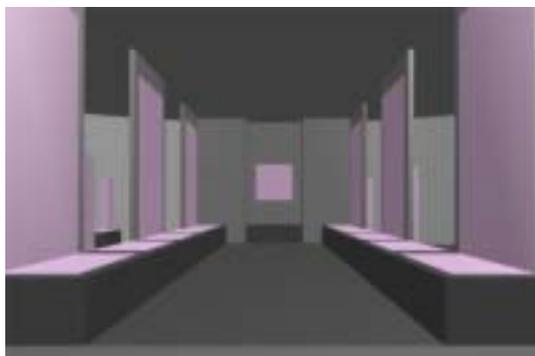
展示方式は布展示で用いる3種類の方式、壁面展示方式、展示台方式、マネキン展示方式の組合せに限定される。抽出した展示ゾーンの例として、図2-1に計画案の平面プランと各展示ゾーンで用いられる展示方式を示す。図2-2に展示ゾーンの3Dイメージ<sup>注3)</sup>を示す。図2-1は図1-4と同じ平面図である。



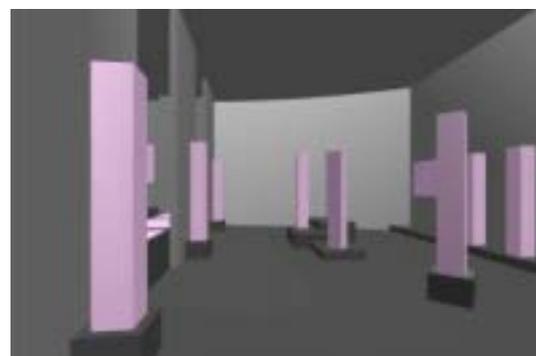
単位展示空間2(展示ゾーン2)



単位展示空間3(展示ゾーン3)



単位展示空間8(展示ゾーン8)



単位展示空間9(展示ゾーン9)



単位展示空間15(展示ゾーン15)



単位展示空間19(展示ゾーン19)

図2-2 単位展示空間(展示ゾーン)の3Dイメージ(抜粋)

(2) 単位展示空間のモデル

展示ゾーンをそれぞれ単位展示空間と呼び、下記に定義する展示の空間要素を用いて記述する。建築計画や博物館学、展示学の文献<sup>5,6,7,8)</sup>に基づき、鑑賞者の動線形式、空間の立体形状、色彩、壁配置、展示方式に関する5項目の空間要素により単位展示空間を記述する(表2-1～表2-5)。それぞれの項目をより詳細に記述するために、以下に17細分項目を定義する。これらの空間要素すべてを展示の空間要素と呼び、空間要素の組合せにより単位展示空間のモデルを構成するとみなす。展示空間内の照明要素や展示物の相違は対象とはしない。抽出した55展示ゾーンをそれぞれ単位展示空間とし、単位展示空間ごとに展示の空間要素で記述したデータベースを作成した。

表2-1 動線形式の要素

鑑賞者の動線形式	単位展示空間から別の単位展示空間へ移動可能な方向数を1~6の数値で記述する					
	1方向	2方向	3方向	4方向	5方向	6方向
	↔ 移動できる方向					単位展示空間

表2-2 立体形状の要素

空間の立体形状	短辺(m)	平面における対向の2辺の長さの和の1/2で、小さい方の数値で記述する
	長辺(m)	平面における対向の2辺の長さの和の1/2で、大きい方の数値で記述する
	天井高(m)	断面図に示す3つの会場高さで決定され、数値で記述する 
	面積(m <sup>2</sup> )	面積の数値で記述する
	細長比	細長比 = 短辺 / 長辺 の数値で記述する

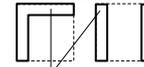
表2-3 色彩の要素

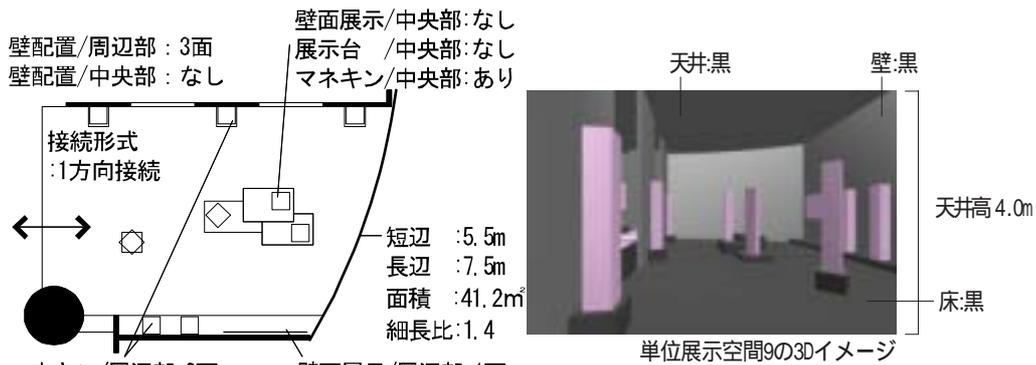
色彩	床	黒であれば1、白であれば0、黒白混在であれば0.5とし、数値で記述する
	壁	黒であれば1、白であれば0、黒白混在であれば0.5とし、数値で記述する
	天井	黒であれば1、白であれば0、黒白混在であれば0.5とし、数値で記述する

表 2-4 壁配置の要素

壁配置	周辺部	<p>単位展示空間の一边の長さに対する壁の長さの合計（壁面率）が50%以上であれば1面とし、面の数である0~4の数値で記述する</p> <p>0面  1面  2面  3面  4面 </p> <p>面の組合せ方は考慮しない</p>
	中央部	<p>中央部は壁の有無で記述し、壁があれば1、なければ0とする</p> <p>あり = 1  なし = 0 </p> <p>壁の向きや数は考慮しない</p>

表 2-5 展示方式の要素

展示方式	周辺部	壁面	各展示方式の存在する面の数である0~4の数値で記述する
		展示台	0面  1面  2面  3面  4面 
		マネキン	面の組合せ方は考慮しない
	中央部	壁面	中央部は各展示方式の有無で記述し、壁があれば1、なければ0とする
		展示台	あり = 1  なし = 0 
		マネキン	展示方式の数や向きは考慮しない



単位展示空間9を記述する17要素

接続形式	: 1	細長比	: 1.4	壁配置 /周辺部:	3	展示台 /周辺部:	0
短辺	: 5.5	色彩 /床	: 1	壁配置 /中央部:	0	展示台 /中央部:	0
長辺	: 7.5	色彩 /壁	: 1	壁面展示/周辺部:	1	マネキン/周辺部:	2
高さ	: 4.0	色彩 /壁	: 1	壁面展示/中央部:	0	マネキン/中央部:	1
面積	: 41.2						

図 2-3 単位展示空間モデルの記述例(単位展示空間9の場合)

(3) 展示の空間要素

鑑賞者の動線形式は表2-1の1項目、空間の立体形状は表2-2の5項目(短辺, 長辺, 天井高, 面積, 細長比)、色彩は表2-3の3項目(床の色, 壁の色, 天井の色)、壁配置は表2-4の2項目(周辺部, 中央部)、展示方式は表2-5の6項目(壁面展示方式、展示台展示方式、マネキン展示方式についてそれぞれ周辺部と中央部の配置位置に分けて記述)の空間要素を定義する。定義した空間要素で記述した単位展示空間のモデルの例を図2-3に示す。

抽出した55単位展示空間すべてについて記述し、自己組織化マップの入力データ表を作成した。各単位展示空間に関する情報を17項目により構成される行によって記述した。表2-6に入力データ行列の構成を示す。

表2-6 入力データ行列の構成

単位展示空間	動線形式	空間形状					色彩			壁配置		展示方式					
		短辺	長辺	天井高	面積	細長比	床	壁	天井	壁配置 周辺部	壁配置 中央部	壁面 周辺部	壁面 中央部	展示台 周辺部	展示台 中央部	マネキン 周辺部	マネキン 中央部
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S1	2	30	100	40	300	3.3	1	1	1	3	0	2	0	0	0	0	0
S2	6	80	180	120	1440	2.3	1	0.5	1	0	0	1	0	0	1	2	0
S3	2	75	95	40	712	1.3	1	1	1	2	1	3	0	1	0	2	1
S4	1	30	42	40	126	1.4	1	1	1	3	0	0	0	0	0	2	0
S5	3	60	95	40	570	1.6	1	1	1	2	1	2	0	1	0	1	1
S6	1	30	40	40	120	1.3	1	1	1	2	0	0	0	0	0	2	0
S7	2	55	75	40	412	1.4	1	1	1	3	0	1	0	0	1	2	0
S8	1	49	80	40	392	1.6	1	1	1	3	0	3	0	3	0	0	0
S9	1	55	75	40	412	1.4	1	1	1	3	0	1	0	0	0	2	1
⋮																	
S53	2	27	94	28	253	3.5	0	0	1	3	0	0	0	2	0	0	0
S54	3	45	93	28	418	2.1	0	0	1	2	0	0	0	2	0	1	0
S55	2	22	135	28	297	6.1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0

### 2.3 感性評価実験

評価対象とする55の単位展示空間について、単位展示空間ごとに平面図と2つの3Dイメージ<sup>注4)</sup>を用意し、これらを同時に見ることができるように、図2-4のような1枚のシートとし、A3サイズで55空間の説明シートを準備した(付録参照)。

平面図と3Dイメージを用いた空間に対する選好の評価において、建築設計経験のない人間の空間把握の個人差は大きく、評価に影響を与えると考え、被験者を建築設計経験のある者とした。空間に対する好みと知識背景に関係があるかどうかを知るために、被験者の内訳は、建築設計職に就く者25名、建築系学生25名とした。建築設計職に就く者は、(株)東洋設計事務所の設計部に所属し意匠設計を行う者である。男性23名、女性2名で、実務経験年数は表2-7による。実務経験年数27年の男性1名は展示の設計経験を持つ。建築系学生は京都大学工学部建築学科に所属する4回生で、計画系を専攻する者である。男性17名、女性8名で、全員22歳もしくは23歳、設計経験年数は4年である。

調査期間は2006年1月16日から同1月28日までの間である。建築設計職に就く者には(株)東洋設計事務所の執務室で、建築系学生には京都大学建築系校舎の製図室(4回生ラボ)で実施した。

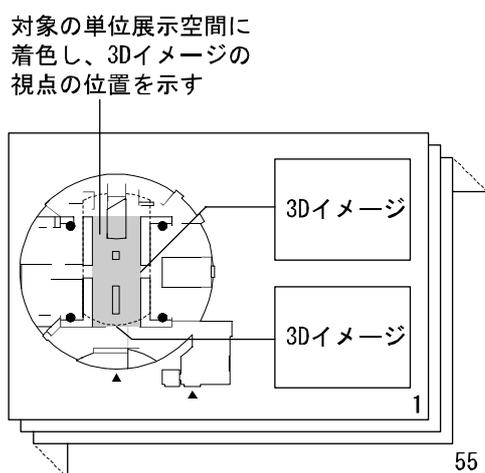


図2-4 単位展示空間の説明シート

表2-7 建築設計職に就く被験者の内訳

実務経験年数	男	女
40年以上	1	0
30年以上 ~ 40年未満	1	0
20年以上 ~ 30年未満	2	0
10年以上 ~ 20年未満	9	1
0年以上 ~ 10年未満	10	1
計	23	2

被験者が3Dイメージから展示の空間を想像しやすくするために、実際の展示空間とそれに対応する3Dイメージを同時に見ることのできる説明シート(図2-5)を用いて、仮想空間のモデルを説明した。次に被験者ごとに個別に一枚ずつ単位空間の説明シートを提示して、その単位展示空間を「選好する」あるいは「選好しない」を選択する評価実験を行った。「選好する」ならば回答欄に○を、「選好しない」ならば×を解答欄に記入する。この感性評価実験により、50名分の55単位展示空間に対する回答を得た。回答の「選好する」を1、「選好しない」を2として、回答のパターンを記述した。選好データとして、被験者を行、回答のパターンを列とするデータ行列を作成した(図2-6)。

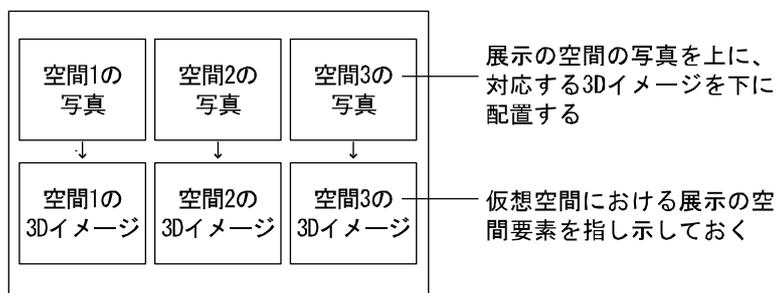


図2-5 仮想空間の3Dイメージの見方を説明するシート

	55単位展示空間に対する回答		
被験者1	2 1 1	...	2 2 1
⋮			
被験者 (50名)	回答のパターン		
被験者50	1 1 2	...	1 2 1

図2-6 選好データの構成

## 2.4 自己組織化マップ

### (1) 自己組織化マップの導入

感性評価実験の回答項目である55単位展示空間の、空間要素の特徴を反映する位置づけを特徴マップとして可視化するために、自己組織化マップを適用する。

自己組織化マップ(SOM: Self-Organizing Maps)は、脳の神経回路網をモデルにしてコホネン(T. Kohonen)<sup>1)</sup>により提案された教師なしのニューラルネットワークアルゴリズムである。入力された多次元データの空間分布を、教師なし学習および近傍学習によって、自己組織化の過程を経て、特徴マップと呼ぶ2次元平面へ非線型写像を行う。特徴マップは、入力データにおける各属性の写像によって作成されるもので、対象の特徴だけでなく、分類属性の特徴も要素マップに可視化される。このような自己組織化マップを適用することで、複数の要素で記述された単位展示空間の、その特徴を反映する位置づけが特徴マップとして可視化される。文献<sup>1)</sup>より以下に理論の概略を述べる。

### (2) 自己組織化マップのアルゴリズム

自己組織化マップは、入力層と出力層により構成された2層のニューラルネットワークである。出力層は競合層とも呼ばれ、ノードが2次元平面上に格子状に並べられている。

入力が $n$ 次元のベクトル $x_j(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jn})$ であるとき、出力層上に格子状に配された各ノード $i$ はそれぞれ $n$ 次元のベクトル $m_i(m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{in})$ を持つものとする。このベクトルを参照ベクトルと呼ぶ。参照ベクトル $m_i$ は、下記の方法により、自己組織化の過程において、少しずつ修正されてゆく。Tを総学習回数とすると、 $T = 0$ のとき、参照ベクトルは乱数である。

1. 入力ベクトル $x_j$ が与えられたとき、入力ベクトルをすべての参照ベクトルと比較し、入力ベクトルと参照ベクトルの類似度と考えられるユークリッド距離 $|x_j - m_i|$ を最小にする参照ベクトルを持つノードを勝者ノード $c$ とする。勝者ノード $c$ は(1)式のように定義される。これは(2)式と同じ意味である。

$$c = \underset{i}{\operatorname{argmin}} \{|x_j - m_i|\} \quad (1)$$

$$|x_j - m_i| = \min |x_j - m_i| \quad (2)$$

2. 勝者ノードおよびその近傍ノードの参照ベクトル  $m_i$  を入力ベクトルに近づけるように学習する。学習は下記の式によって行う。

$$m_i(t+1) = m_i(t) + h_{ci}(t)[x_j(t) - m_i(t)] \quad (3)$$

ここで、 $t$  は学習回数で、 $h_{ci}(t)$  は近傍関数で、例えば以下のように定義される。

$$h_{ci}(t) = (t) \cdot \exp\left(-\frac{|r_c - r_i|^2}{2 \cdot t^2}\right) \quad (4)$$

$r_c, r_i$  はノード  $c$  と  $i$  の2次元平面上の座標ベクトルで、 $|r_c - r_i|^2$  により勝者ノードとの距離が離れるにつれて  $h_{ci}$  の値は小さくなり、 $x_j$  の影響は小さくなる。 $(t)$ 、 $(t)$  はともに学習回数  $t$  とともに単調に減少する関数である。

3. 事前に設定した総学習回数  $T$  まで、すべての入力ベクトルに対して1, 2の操作を繰り返すことで学習を行う。

上記のアルゴリズムの結果、出力層のノードの参照ベクトル  $m_i$  は、入力データ集合を表現する情報を持つように最適化される。出力層の格子状に配列されたノードは六角形や四角形で表現され、特徴マップとして出力される。特徴マップには、最適化された参照ベクトル  $m_i$  によるノード  $i$  と入力データ集合の対応づけに基づいて、入力データ集合の分布が表現される。

## 2.5 結果と考察

### (1) 結果

自己組織化マップを用いて、55 単位展示空間の空間要素の特徴に基づく位置づけを特徴マップとして得た<sup>注5)</sup>(図2-7)。特徴マップ上に、ノードと対応づけされた単位展示空間の番号を示す。特徴マップにより、近くに位置づけられた単位展示空間はそれらの特徴が類似であること、離れて位置づけられた単位展示空間はそれらの特徴が類似でないことが視覚的に把握できる。特徴マップに方角はない。

ここでは、選好空間と非選好空間の分布に基づいて、どのような展示の空間が好まれる傾向にあるのか、また好まれない傾向にあるのかを記述するために、特徴マップの位置によって、単位展示空間の特徴を、図2-7に示す[A]~[G]の7種類のタイプに大別した<sup>注6)</sup>。各タイプに属する単位展示空間の特徴の違いをよく表す空間要素として、天井高、面積、床の色、壁の色が挙げられる(図2-7中 参照)。他の空

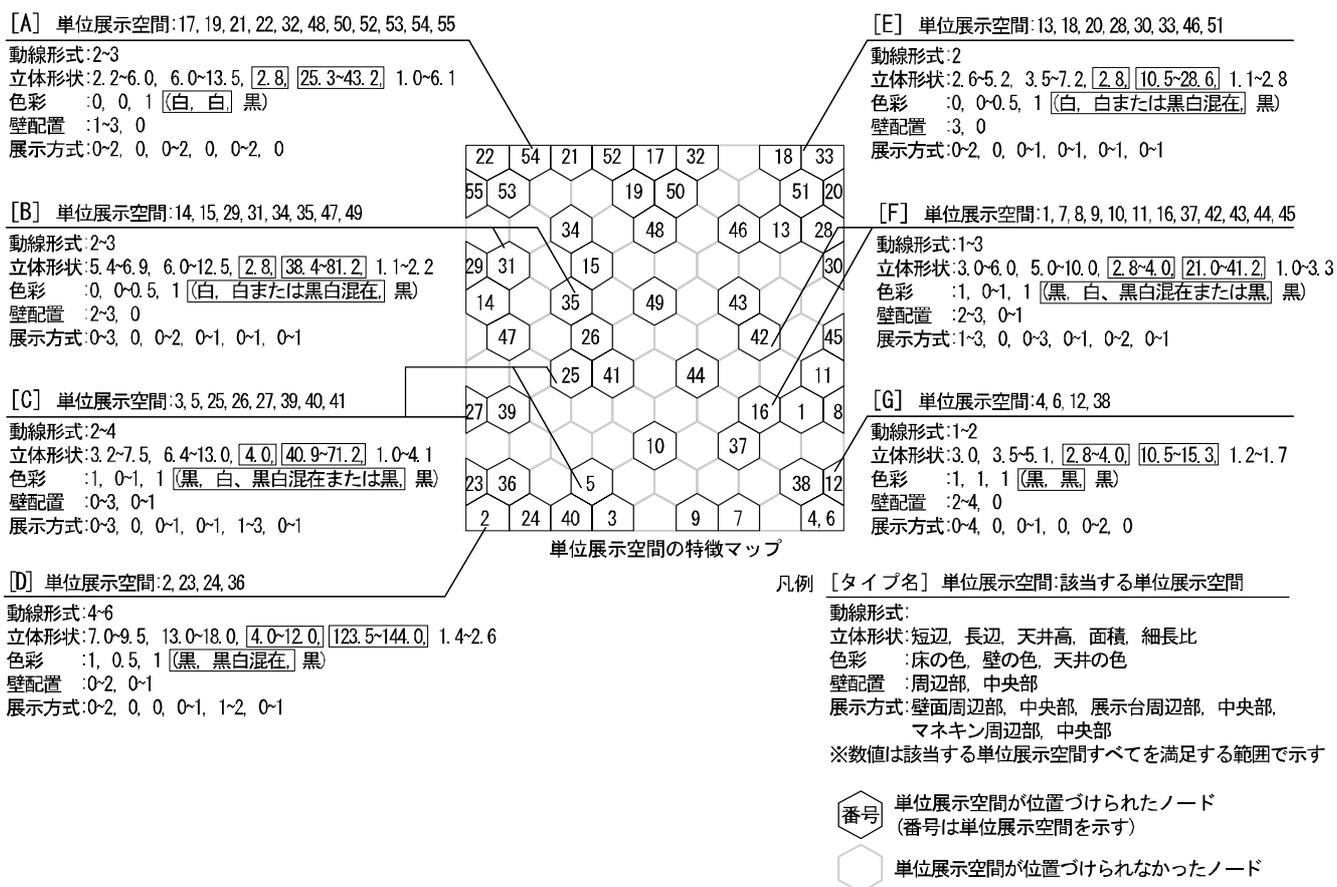


図2-7 単位展示空間の特徴マップと位置によって大別した空間のタイプ

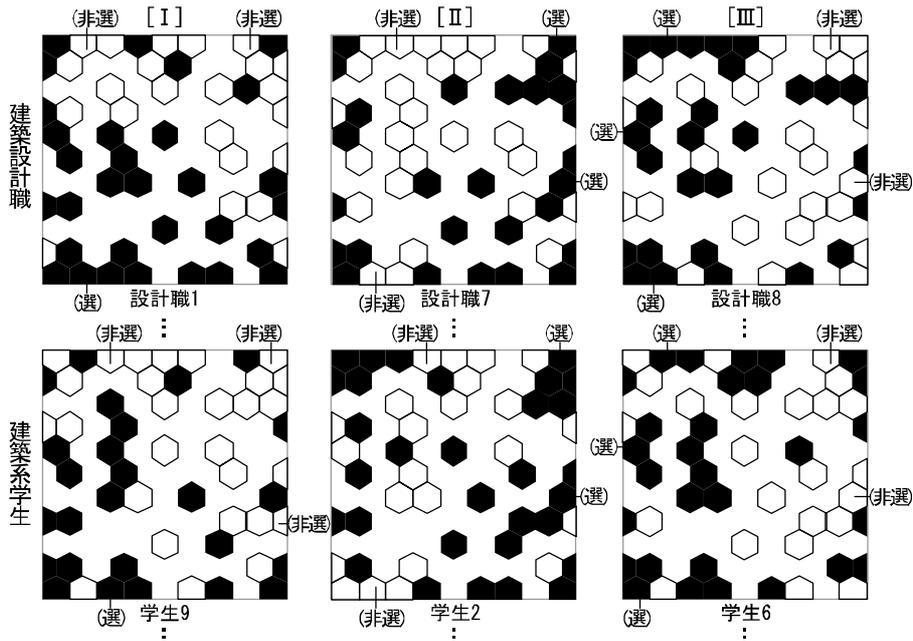
間要素は、その範囲が全体に及んだり、狭かったり、重なりあったりと、タイプの違いをより詳しく説明することはできない。そこで天井高と面積を組み合わせ、空間の大きさとして着目する。[E]と[G],[A]と[F],[B]と[C]がそれぞれの範囲が類似しており、[E]と[G],[A]と[F],[B]と[C],[D]を4段階に分類する。大きさの順に1,2,3,4の数字で表す。また配色に着目すると[A],[B],[E]は白系、[C],[D],[F],[G]は黒系として、2種類にまとめることができる。空間の大きさと配色を用いて、[A]~[G]の各タイプの特徴を、[A](2,白)、[B](3,白)、[C](3,黒)、[D](4,黒)、[E](1,白)、[F](2,黒)、[G](1,黒)と表す(表2-8)。

表2-8 7タイプの単位展示空間の特徴

	大きさ 1	2	3	4
色彩				
白系	[E] 2.8m, 10.5_28.6m <sup>2</sup> 白, 白黒白混在	[A] 2.8m, 25.3_43.2m <sup>2</sup> 白, 白	[B] 2.8m, 38.4_81.2m <sup>2</sup> 白, 白黒白混在	
	[G] 2.8_4.0m, 10.5_15.3m <sup>2</sup> 黒, 黒	[F] 2.8_4.0m, 21.0_41.2m <sup>2</sup> 黒, 白黒白混在	[C] 4.0m, 40.9_71.2m <sup>2</sup> 黒, 白黒白混在	[D] 4.0_12.0m, 123.5_144.0m <sup>2</sup> 黒, 黒白混在
黒系				

被験者50名(建築設計職に就く者25名, 建築系学生25名)の「選好する」および「選好しない(非選好)」とする感性評価の結果を表す選好データを用いて、図2-7の特徴マップに50名分の展示の選好空間と非選好空間の位置を被験者ごとに記した(図2-8)。これを選好マップと呼ぶ。選好マップの選好空間のまとまりによって被験者が好む傾向にある空間の特徴を、非選好空間のまとまりによって被験者が好まない傾向にある空間の特徴を視覚的に把握することができる。選好マップの選好空間と非選好空間のまとまりの位置や分布を客観的に分析するために、50選好マップそれぞれについて、[A]~[G]の7種類のタイプに含まれる選好空間と非選好空間の割合を調べた。[A]~[G]の各タイプが選好空間の50%以上占めるタイプであるか、あるいは非選好空間の50%以上占めるタイプであるかに着目し、5タイプ以上が一致する(不一致が2以下となる)選好マップ同士を同グループとした。選好マップの分布の特徴を図2-8の[ ]~[ ]の6グループに分類できた。

建築設計職の被験者、建築系学生の被験者共に、[ ]~[ ]グループそれぞれに該当する選好マップが見られた。[ ]~[ ]グループごとに各単位展示空間に対する選好・非選好の評価の割合を集計し、単位展示空間の選好率・非選好率として特徴マッ



[I]グループの特徴

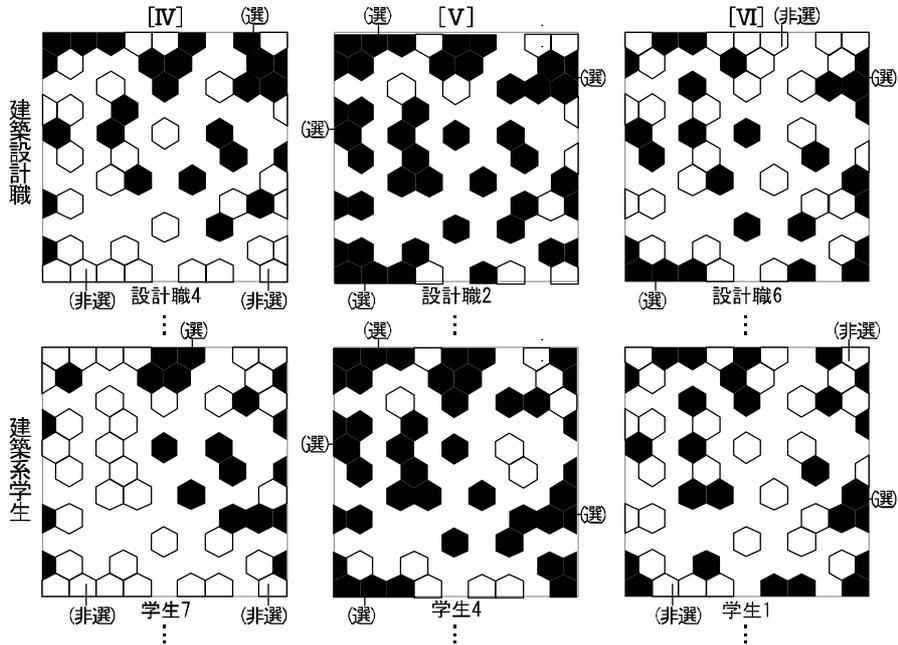
- ・左下部分に選好空間の大半が位置して島状のまとまりを示す。
- ・左上や右上、右下部分に大半の非選好空間が位置して島状のまとまりを示す。

[II]グループの特徴

- ・右下や右上部分に選好空間の大半が位置して島状のまとまりを示す。
- ・左下からやや右上にかけて非選好空間の大半が位置して島状のまとまりを示す。

[III]グループの特徴

- ・左側に選好空間の大半が位置して島状のまとまりを示す。
- ・右側に非選好空間の大半が位置して島状のまとまりを示す。



[IV]グループの特徴

- ・右上部分に選好空間の大半が散在する。
- ・下側や左上に非選好空間の大半が位置して島状のまとまりを示す。

[V]グループの特徴

- ・多数を占める選好空間が全体的に広がり、それらのまとまりが目立つ。
- ・少数の非選好空間が各所に散在する。

[VI]グループの特徴

- ・比較的に数の少ない選好空間が散在する。
- ・非選好空間も全体的に広がり、分布にはっきりとした偏りは見られない。

凡例 ● 選好空間 (選) 選好空間の島状のまとまり ※白地は単位展示空間の位置づけのない箇所、各選好マップのキャプションは被験者を表す  
 ○ 非選好空間 (非選) 非選好空間の島状のまとまり

図2-8 6グループに分類した選好マップ(抜粋)

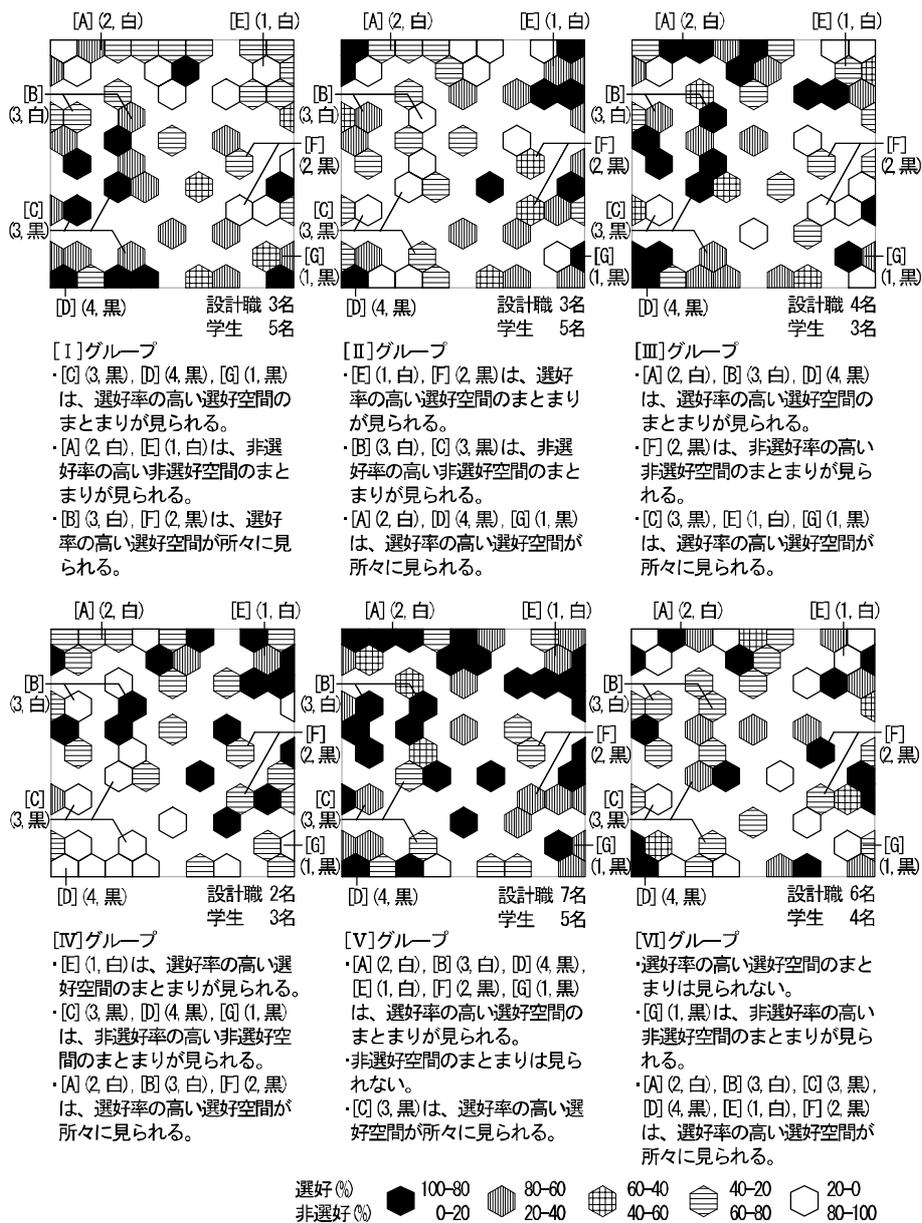


図 2-9 選好マップのグループごとの集計結果

プに記した(図 2-9)。選好率とはグループの被験者数に対するその単位展示空間を選好する被験者数の割合、非選好率とはグループの被験者数に対してその単位展示空間を非選好とする被験者数の割合であり、各単位展示空間の選好率と非選好率の和は100%である。どちらの評価が多いのかを知るために、それらを組み合わせ、5段階に分類した(図 2-9)。

グループごとに集計したマップに見られる特徴、例えば選好率の高い単位展示空間のまとまりや非選好率の高い単位展示空間のまとまり、選好率の高い単位展示空

間が所々に現れることなどから、各グループの展示の空間に対する好みの傾向を把握することができる。そこでグループごとに集計したマップの選好空間と非選好空間が、[A]～[G]の単位展示空間のタイプに対してどのように分布しているかの分析を行った(図2-9)。これらの分布の分析から、選好率の高い単位展示空間のまとまりが見られたタイプ(選好率60%以上の単位展示空間が3分の2を占め、非選好率40%以下の単位展示空間が3分の1以下)を好む傾向にある、非選好率の高い単位展示空間のまとまりが見られたタイプ(非選好率60%以上の単位展示空間が3分の2を占め、選好率40%以下の単位展示空間が3分の1以下)を好まない傾向にある、選好率80%以上の単位展示空間が所々に見える上記以外のタイプを特定の空間だけを共通して好む傾向にあるとした。[ ]～[ ]グループの展示の空間に対する好みは、[A]～[G]の単位展示空間のタイプに対して、好む傾向にあるのか、好まない傾向にあるのか、特定の空間だけを共通して好む傾向にあるのかに着目して、各グループの好みの違いを以下に説明する。

[ ]グループとして、図2-9の分布から、[C](3, 黒), [D](4, 黒), [G](1, 黒)を好む傾向、[A](2, 白), [E](1, 白)を好まない傾向、[B](3, 白), [F](2, 黒)を特定の空間だけを共通して好む傾向が把握される。

[ ]グループとして、図2-9の分布から、[E](1, 白), [F](2, 黒)を好む傾向、[B](3, 白), [C](3, 黒)を好まない傾向、[A](2, 白), [D](4, 黒), [G](1, 黒)を特定の空間だけを共通して好む傾向が把握される。

[ ]グループとして、図2-9の分布から、[A](2, 白), [B](3, 白), [D](4, 黒)を好む傾向、[F](2, 黒)を好まない傾向、[C](3, 黒), [E](1, 白), [G](1, 黒)を特定の空間だけを共通して好む傾向が把握される。

[ ]グループとして、図2-9の分布から、[E](1, 白)を好む傾向、[C](3, 黒), [D](4, 黒), [G](1, 黒)を好まない傾向、[A](2, 白), [B](3, 白), [F](2, 黒)を特定の空間だけを共通して好む傾向が把握される。

[ ]グループとして、図2-9の分布から、[A](2, 白), [B](3, 白), [D](4, 黒), [E](1, 白), [F](2, 黒), [G](1, 黒)を好む傾向、[C](3, 黒)を特定の空間だけを共通して好む傾向が把握される。非選好空間のまとまりが見られずに、好まない傾向を把握することはできなかったのは、各被験者の非選好空間が散在していた上に、被験者

同士で共通でないものが多く、それらの非選好率が低かったためである。

[ ]グループとして、図2-9の分布から、[G](1, 黒)を好まない傾向、[A](2, 白), [B](3, 白), [C](3, 黒), [D](4, 黒), [E](1, 白), [F](2, 黒)を特定の空間だけを共通して好む傾向が把握される。被験者同士で共通して選好するものも多く、それらの選好率は高かったにもかかわらず、選好率の高い単位展示空間のまとまりは見られずに、いずれのタイプも好む傾向として把握することはできなかった。これは、各選好マップの選好空間が散在し、個人の好みの範囲を示すとも云える選好空間のまとまりが他のグループと比べて小さかったためである。

(2) 考察

[ ] ~ [ ]グループに類型化した展示の空間に対する好みを、[A] ~ [G]タイプの単位展示空間に対して、好む傾向、好まない傾向、特定の空間だけを共通して好む傾向の3傾向で示す。好みの個人の特徴を示す[ ] ~ [ ]グループを行、対象空間の特徴を示す[A] ~ [G]タイプを列として6行7列の表により類型化を行い、好みの構造を明らかにした(表2-9)。

[ ], [ ], [ ], [ ]グループの好みの違いは、主に好む傾向の空間と好まない傾向の空間のタイプの違いに現れ、[ ], [ ]グループの好みの違いは、主に同タイプに対する好む範囲の違いに現れている。またこれらの好む傾向、好まない傾向および好む範囲に、建築の知識背景との関係は見られなかった。

[ ]グループでは、好む傾向を意味する や は主に黒系のタイプ([C],[D],[F],[G])に、好まない傾向を意味する×は白系のタイプ([A],[E])に、逆に[ ]グループでは、 や は主に白系のタイプ([A],[B],[E])に、×は黒系のタイプ([C],[D],[G])に偏って見られた(表2-9)。これらのことから、[ ], [ ]グループの好みは、色彩の空間要素に関係があり、それらは相反する傾向にあると考えられる。

表2-9の列に着目すると、[A] ~ [G]のいずれのタイプも、好む傾向にある、好まない傾向を示す×を含み、どのタイプの単位展示空間が多くの人に好まれる空間であるかを把握することはできない。これらのことから、いずれのタイプの展示の空

表2-9 展示の空間のタイプに対する各グループの好み

		対象空間の特徴							備考
		[E] 1 白系	[A] 2 白系	[B] 3 白系	[G] 1 黒系	[F] 2 黒系	[C] 3 黒系	[D] 4 黒系	
個人 の 特 質	[I] 設計:3名 学生:5名	×	×	▲	●	▲	●	●	色彩の要素と関係がある
	[II] 設計:3名 学生:5名	●	▲	×	▲	●	×	▲	-
	[III] 設計:4名 学生:3名	▲	●	●	▲	×	▲	●	-
	[IV] 設計:2名 学生:3名	●	▲	▲	×	▲	×	×	色彩の要素と関係がある
	[V] 設計:7名 学生:5名	●	●	●	●	●	▲	●	-
	[VI] 設計:6名 学生:4名	▲	▲	▲	×	▲	▲	▲	-
凡例		● 好む傾向がある	×	好まない傾向がある	▲	特定の空間のみを共通して好む傾向がある			

間に対しても、好む傾向の者と好まない傾向の者が存在し、人々に幅広く好まれる展示の空間を計画するためには、様々な種類の空間を用意することが大切であると考えられる。これらの考察は、設計者の推測から逸脱しない知見であり、これまで明示が困難であった設計者の推測を説明するものであると云える。

予め選好に関係のある空間要素を特定し、より少ない項目で単位展示空間を記述することができれば、特徴マップにより選好の違いは明確にされと考えられる。しかしながら、選好に関係のある空間要素に限定して単位空間を記述すると、類似した空間が特徴マップ上で隣接するとは限らない。本章では、単位展示空間を空間の構成要素で詳細に記述し、類似の空間要素で構成される展示の空間、つまり類似した空間が特徴マップ上で隣接するように自己組織化マップを適用した。これによって、類似の空間を任意のタイプ(本章では空間の大きさと配色の違いによる[A]~[G]の7タイプ)に分類し、各タイプに対する好みの傾向を分析しながら、逐次的に類型化を行い、好みの構造を明らかにすることができた。加えて、選好マップの選好空間同士あるいは非選好空間同士の隣接は、類似の空間に対して、被験者が同じ評価を与えたことが分かった。これは、展示の空間に対する選好評価において、類似した対象に与える評価にはまとまりがあり、類似した対象の選好評価結果は、対象の類似度に基づいて既得の選好データから推測することができることを示していると云える。

予め分類の基準変数の設定が困難な対象を、自己組織化マップを用いて視覚的に分析し類型化を行う方法は、従来の多変量解析を用いた方法に比べて、サンプル数に関係なく、逐次的に分類し、類型化を行うことができることを示した。

## 注釈

注1) 自己組織化マップは、脳の神経回路網をモデルにしてT. Kohonenにより提唱された教師なしニューラルネットワーク理論で、自己組織化という過程を経て、高次元データを2次元平面上へ非線型写像するデータ解析方法である。詳しくは文献1)を参照されたい。

注2) 自己組織化マップによって得られる特徴マップは、対象を記述するすべての属性を写像して得られるものであり、線型回帰モデルのように説明力の高い特徴に一元化するものではない。対象の特徴が複数存在する場合であっても、それらの特徴は一元化されずに、特徴マップによってそのまま可視化され、把握することができる。

注3) 3Dイメージは、サリーをすべて1枚の面(幅は規格サイズの1.2m、すべて同色)として表現し、マネキン展示方式のサリーのみ角柱(0.3m × 0.3m × 1.7m)で表現した。

注4) 単位展示空間ごとに用意した3Dイメージの視線方向は、基本的には単位展示空間の短辺と長辺に平行のものとし、それぞれ1つずつ準備した。視点は空間を把握しやすい位置で決定した。各視点の位置は被験者に分かるように平面プランに示した。

注5) 本論では、自己組織化マップの構築アルゴリズムにはViscovery SOMine v3.0Jを用いた。特徴マップのノード数は100、10列×11行とした。ノード数が同じであれば、複数回実行しても、生成される特徴マップと単位空間の位置づけは、ほとんど変わらなかった。そのため、後からでも特徴マップ上に新しいサンプルの位置づけを追加することができた。しかしながら、ノード数が異なると特徴マップそのものの大きさが変わるため、単位空間の位置づけも大きく異なった。本論では、ノード数60, 100, 150, 200を試行し、単位空間数55に対して、適度に分散した位置づけが得られたノード数100を採用した。

注6) 本論では類型化を目的とするため、対象の大きな特徴に着目して分類した。各要素について得られる要素マップを参考にしながら細かく分析すれば、対象の特徴は位置によりさらに細かく把握することができる。

## 参考文献

- 1) T. Kohonen 著、徳高平蔵、岸田悟、藤村喜久郎訳：自己組織化マップ (Self-Organizing Maps)、シュプリンガー・フェアラーク東京、1996
- 2) 徳高平蔵、藤村喜久郎、山川烈監修：自己組織化マップ応用事例集 SOM による可視化情報処理、海文堂、2002
- 3) 黒澤仁、大貝哲彦、藤村喜久郎、徳高平蔵、大北正昭、真庭芳郎、宇佐美真、傳秋光：自己組織化マップによる健康診断システムの試作、電子情報通信学会技報、pp. 37-40、2003. 3
- 4) 細川直史、伊藤陽介、星仰：自己組織化マップによる多偏波 SAR データからの市街地特性の抽出、電子情報通信学会論文誌 B Vol. J84-BNo.6、pp. 1043-1049、2001. 6
- 5) 岡野眞：美術館における展示空間の規模計画に関する基礎的研究、博士学位論文 (東京大学)、1978.3
- 6) 建築設計資料集成 建築 文化 日本建築学会編
- 7) 倉田公裕、矢島國雄：新編博物館学、東京堂出版、1997
- 8) 日本展示学会『展示学事典』編集委員会編：展示学辞典、ぎょうせい、1996

### 第3章 印象がよいとされる展示の空間要素の ラフ集合理論を用いた組合せの抽出

### 第3章 印象がよいとされる展示の空間要素のラフ集合理論を用いた組合せの抽出

前章では、展示の空間に対する好みを多項目の回答のパターンとして捉え、対象空間の特徴の簡潔な記述や個人差の把握が困難な利用者の空間に対する好みの傾向を可視化し、類型化を行った。これにより、個人の好みの対象空間の特徴や個人差を把握して、好みの構造を明らかにすることはできたが、空間に対する印象や評価において、空間要素のどのような組合せが大切であるかを知ることはできない。これに対し本章は、印象がよいとされる展示の空間の要因を空間要素の組合せで直接的に記述し、知識化しようとするものである。

展示に対して鑑賞者が直感的に印象がよいと感じるのは、個人の感性や経験によって異なるため、印象がよいと感じる理由を簡潔に説明することは困難である。仮に鑑賞者それぞれが印象のよい展示の空間特徴を詳細に記述できたとしても、そこから意味や本質を理解して、一般性を見出すことは困難である。

ここで、鑑賞者の印象がよいと感じるのは、展示の空間を構成する要素、つまり展示の空間要素の組合せの結果と捉える。印象がよいと感じる要因を展示の空間要素の組合せに要約して簡潔に記述できれば、展示の計画に利用できる知識となる。

ラフ集合理論<sup>注1)</sup>は、対象を表現する要素の線形、非線形に関係なく、対象の分類・近似をできるだけ少数要素の組合せの集合で表現することが可能である。対象とこれを表現する要素の関係を知る方法として、線形回帰モデルがよく知られているが、対象の要素の関係が複雑な場合には必ずしも適切な方法とは云えない。ニューラルネットワークのバックプロパゲーション法は非線形性を有するモデルで、対象と要素の関係を学習するものであるが、どの要素の組合せが対象を簡単かつ十分有効に表すことができるのかを知ることはできない。ラフ集合理論は類別や近似の概念に基づくデータ解析手法として、様々に成果が上げられている<sup>1)</sup>。本章ではラフ集合理論を導入し、印象のよい展示の空間の要因として、評価の結果を識別するために必要な空間要素の組合せを最小の属性集合で簡潔に記述する。

### 3.1 目的と方法

展示の空間に対して鑑賞者が印象がよいと感じる要因を、空間要素の組合せや重要度を用いて簡潔に記述することによって、知識化を行うことを目的とする。

方法としては、以下の通りを行う。まず始めに、対象とする展示を国立民族学博物館の特別展示場で行われた企画展の実空間とし、場内の大小様々な展示の空間を、本章で定義する空間要素で記述したデータベースを作成する。次にアンケートを用いて、それらの空間の印象が良好かどうかの感性評価実験を行う。感性評価実験の結果にラフ集合理論を適用して、鑑賞者によって「印象がよい」と評価される要因

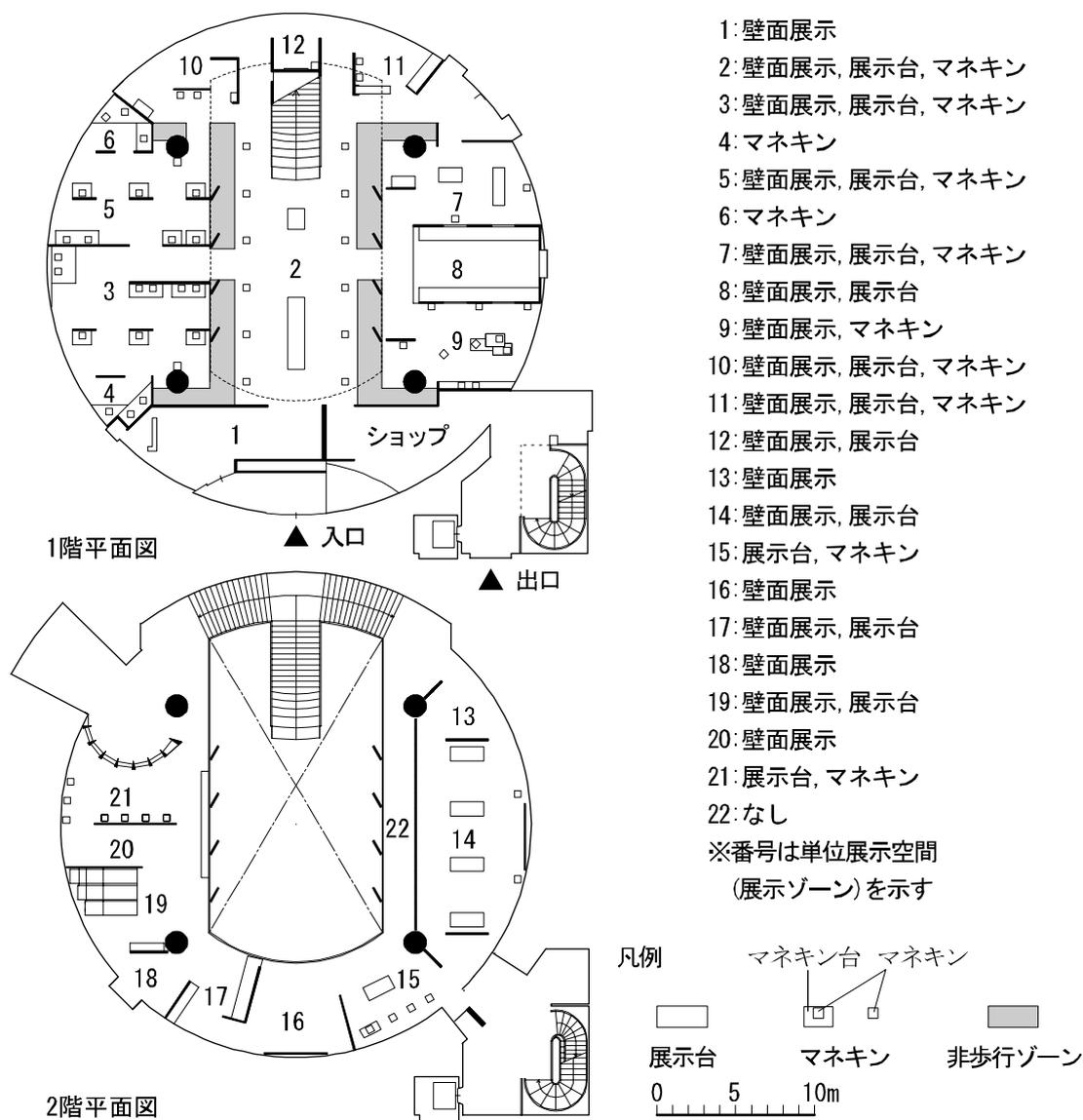


図 3-1 「インド サリーの世界」展の平面図

を、縮約(reduct)<sup>注2)</sup>として獲得し、評価の結果を識別するのに必要な展示の空間要素の組合せを最小の属性集合によって簡潔に記述する。縮約として獲得した空間要素の組合せと重要度<sup>注3)</sup>による簡潔な記述を考察し、印象評価に寄与する空間要素を把握する。



単位展示空間2(展示ゾーン2)



単位展示空間3(展示ゾーン3)



単位展示空間7(展示ゾーン7)



単位展示空間9(展示ゾーン9)



単位展示空間15(展示ゾーン15)



単位展示空間19(展示ゾーン19)

写真3-1 単位展示空間(展示ゾーン)の写真(抜粋)

### 3.2 展示の空間データの作成

#### (1) 対象とする展示の空間概要

本章は、国立民族学博物館の特別展示場で開催された特別展「インド サリーの世界」の展示の実空間を対象とした。展示は1階の12展示ゾーン、2階の10展示ゾーン、合計22展示ゾーンから成る。展示ではインドのサリーを展示するため、色彩は黒や白の無彩色を基調とし、展示方式は布展示で用いる3種類の方式に大別できる。図3-1に企画展の平面図と22展示ゾーンで用いられた展示方式を示す。写真3-1には展示の空間の例を示す。2005年12月に22展示ゾーンの個別の印象についてアンケート調査<sup>注4)</sup>を行った。図3-1は図2-1と同じものである。

#### (2) 単位展示空間のモデル

単位展示空間を記述するには、前章と同じ5項目、鑑賞者の動線形式、空間の立体形状、色彩、壁配置、展示方式を用いる。詳細に記述するために、(3)展示の空間要素で、15細分項目を定義する。細分項目の定義は、基本的には前章に倣う。ただし記述には略記号を用いて、色彩の項目では床・壁・天井の組合せで扱うために細分項目数は前章と異なる。これらすべてを展示の空間要素と呼び、単位展示空間の特徴を記述する。展示の空間要素の集合により単位展示空間のモデルを構成するとみなす。展示空間内の照度は、展示物の照度条件より一律と考え、照明要素は考慮しない。また展示物の相違も対象とはしない<sup>注5)</sup>。図3-1に示す22展示ゾーンをそれぞれ単位展示空間とし、単位展示空間ごとに展示の空間要素で記述したデータベースを作成した。

### (3) 展示の空間要素

#### 鑑賞者の動線形式の要素

単位展示空間から別の単位展示空間へ移動可能な数により、7種類の要素に分類する(表3-1)。

表3-1 動線形式(C)の要素

略記号	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C9
空間要素							
リターン型	1方面接続	2方面接続	3方面接続	4方面接続	5方面接続	6方面接続	その他
		接続方向の組合せ方は考慮しない					
		↔ 移動できる方向					単位展示空間

#### 空間の立体形状の要素

単位展示空間の立体形状を短辺(W)m、長辺(D)m、天井高(H)m、面積(S)m<sup>2</sup>、細長比(A=D/W)の5つの項目で記述する<sup>注6)</sup>。平面における対向の2辺の長さの和の1/2をとり、値の小さいものを短辺(W)m、大きいものを長辺(D)mとする。展示物の大きさを幅1.2m(展示物であるサリーの規格サイズ)としたときに人間の視角から求められる視距離2.5mを基準にして、2.5mごとに展示方式に応じた距離を設定する(図3-2)。これらの距離を用いて、短辺(W)、長辺(D)、面積(S)を図3-3のように設定し、5段階に各要素进行分类する(表3-2, 3-3, 3-4)。なお外周部の壁面が曲面であることは扱わない。

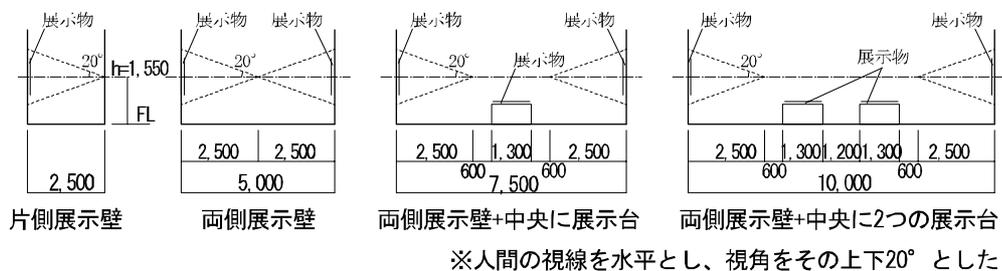


図3-2 視距離に基づく展示空間における4段階の距離

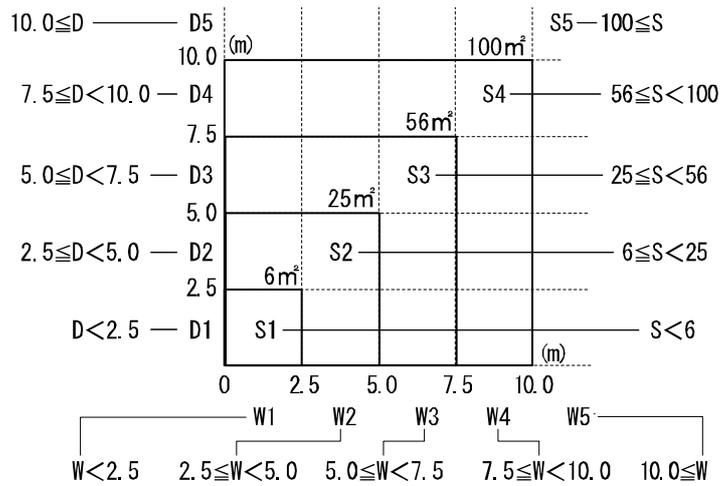


図 3-3 短辺(W), 長辺(D), 面積(S)の設定

表3-2 短辺(W)の要素

空間要素	略記号
$W < 2.5$	W1
$2.5 \leq W < 5.0$	W2
$5.0 \leq W < 7.5$	W3
$7.5 \leq W < 10.0$	W4
$10.0 \leq W$	W5

表3-3 長辺(D)の要素

空間要素	略記号
$D < 2.5$	D1
$2.5 \leq D < 5.0$	D2
$5.0 \leq D < 7.5$	D3
$7.5 \leq D < 10.0$	D4
$10.0 \leq D$	D5

表3-4 面積(S)の要素

空間要素	略記号
$S < 6$	S1
$6 \leq S < 25$	S2
$25 \leq S < 56$	S3
$56 \leq S < 100$	S4
$100 \leq S$	S5

細長比(A)については、大半の単位展示空間の細長比が1.0 ~ 3.5の範囲にあり、1.0, 1.5, 2.0, 3.5が区分の指標として示されている<sup>2)</sup>。これらを用いて図3-4のように設定し、4段階に要素を分類する(表3-5)。

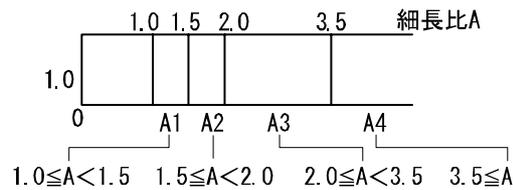


図 3-4 細長比(A)の設定

表 3-5 細長比(A)の要素

空間要素	略記号
$1.0 \leq A < 1.5$	A1
$1.5 \leq A < 2.0$	A2
$2.0 \leq A < 3.5$	A3
$3.5 \leq A$	A4

単位展示空間の高さ(H) m については、図3-5に示す断面図の会場高さで決定される。表3-6のように3要素に分類する。

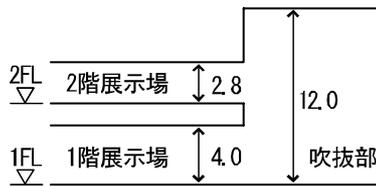


図3-5 会場の断面と高さ(H)の設定

表3-6 高さ(H)の要素

空間要素	略記号
H= 2.8	H1
H= 4.0	H2
H=12.0	H3

### 色彩の要素

対象となる単位展示空間の色彩(I)は、黒や白の無彩色を基調としている。このことから、床、壁、天井の部位の色の組合せで表3-7に示す9要素に分類する。展示方式(展示台やマネキン)の色は、展示物に関係して決定されるため、ここでは考慮しない。

表3-7 色彩(I)の要素

略記号	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9
空間要素	天井	黒	白	黒	白	黒	白	黒	白
	壁	黒	黒	白	白	黒	白	白	白
	床	黒	黒	黒	黒	白	白	白	白
									その他

### 壁配置の要素

単位展示空間の壁の配置を周辺部(L)と中央部(M)に分ける。周辺部(L)は、単位展示空間の一边の長さに対する壁の長さの合計(壁面率)が50%以上であれば一面とし、面の数で分類する(表3-8)。中央部(M)は壁の有無を記述する(表3-9)。ここでは周辺部の面の組合わせ方や中央部の壁の向きや数は考慮しない。

表3-8 周辺部の壁面配置(L)の要素

周辺部	L1	L2	L3	L4	L9
略記号	L1	L2	L3	L4	L9
空間要素					
	一面	二面	三面	四面	なし

面の組合わせ方は考慮しない

表 3-9 中央部の壁面配置(M)の要素

中央部		M1	M9
略記号			
空間要素		 あり	 なし

展示方式の要素

対象となる展示で用いる展示方式<sup>注7)</sup>は、壁面展示(a, b)と展示台によるもの(c, d)、及びマネキンによるもの(e, f)の3つの方式に大別される。壁配置と展示方式の配置の記述を対応させ、区別して記述することにより、周辺部や中央部の部分ごとに、壁配置と展示方式の配置が互いに関係して印象評価に寄与する場合を考慮することができる。展示方式の配置の記述を壁配置の記述と同様に、各方式の配置位置を周辺部(a, c, e)と中央部(b, d, f)に分け、周辺部(a, c, e)はその方式が存在する面の数で、中央部(b, d, f)はその方式の有無で分類する。ここでは周辺部の面の組合せ方や中央部の数や向きは考慮しない(表 3-10, 3-11)。

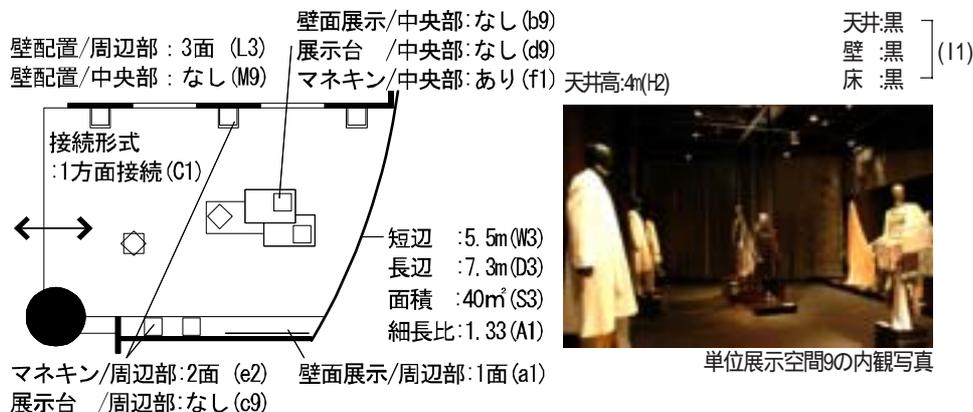
表 3-10 周辺部の展示方式(a, c, e)の要素

周辺部		a1	a2	a3	a4	a9
略記号	壁面展示	a1	a2	a3	a4	a9
	展示台	c1	c2	c3	c4	c9
	マネキン	e1	e2	e3	e4	e9
空間要素		 一面	 二面	 三面	 四面	 なし

表 3-11 中央部の展示方式(b, d, f)の要素

中央部		b1	b9
略記号	壁面展示	b1	b9
	展示台	d1	d9
	マネキン	f1	f9
空間要素		 あり	 なし

上記で定義した展示の空間要素で記述した単位展示空間のモデルの例を図3-6に示す。空間要素の記述は略記号で行う。



単位展示空間9を記述する15要素の略記号

接続形式	:C1	面積	:S3	壁配置 /周辺部:	L3	展示台 /周辺部:	c9
短辺	:W3	細長比	:A1	壁配置 /中央部:	M9	展示台 /中央部:	d9
長辺	:D3	色彩	:I1	壁面展示/周辺部:	a1	マネキン/周辺部:	e2
高さ	:H2			壁面展示/中央部:	b9	マネキン/中央部:	f1

図3-6 単位展示空間モデルの記述例 (単位展示空間9の場合)

図3-1に示す22単位展示空間すべてについて記述し、ラフ集合理論を適用するための入力データ表を作成した。各単位展示空間に関する情報を以下に示す15項目により構成される行によって記述した。各項目には要素の略記号が代入され、付帯する”N”が項目の要素番号を示す。単位展示空間に対する評価は、3.3感性評価実験で得られる結果に基づき、「印象がよい」とする評価を1、「印象がよくない」とする評価を2として、被験者毎に第16項から順に代入する。表3-12に入力データ行列の構成を示す。

動線形式 : C(N)

空間形状 : W(N), D(N), H(N), S(N), A(N)

色彩 : I(N)

壁配置 : L(N), M(N)

展示方式 : a(N), b(N), c(N), d(N), e(N), f(N)

表 3-12 入力データ行列の構成

単位展示空間	動線形式	空間形状					色彩	壁配置		展示方式						被験者1の評価	被験者2の評価
		短辺	長辺	天井高	面積	細長比		壁配置	壁配置	壁面	壁面	展示台	展示台	マネキン	マネキン		
								周辺部	中央部	周辺部	中央部	周辺部	中央部	周辺部	中央部		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	C2	W2	D4	H2	S3	A3	I1	L3	M9	a2	b9	c9	d9	e9	f9	1	1
2	C6	W4	D4	H3	S5	A3	I9	L9	M9	a1	b9	c9	d1	e2	f9	1	1
3	C2	W4	D4	H2	S4	A1	I1	L2	M1	a3	b9	c1	d9	e2	f1	1	1
4	C1	W2	D2	H2	S2	A2	I1	L3	M9	a9	b9	c9	d9	e2	f9	2	1
5	C3	W3	D4	H2	S4	A2	I1	L2	M1	a2	b9	c1	d9	e1	f1	1	1
6	C1	W2	D2	H2	S2	A1	I1	L2	M9	a9	b9	c9	d9	e2	f9	1	1
7	C2	W3	D4	H2	S3	A1	I1	L3	M9	a1	b9	c9	d1	e2	f9	2	1
8	C1	W2	D4	H2	S3	A1	I1	L3	M9	a3	b9	c3	d9	e9	f9	1	1
9	C1	W3	D3	H2	S3	A1	I1	L3	M9	a1	b9	c9	d9	e2	f1	1	1
10	C2	W3	D4	H2	S3	A2	I9	L2	M1	a3	b9	c2	d9	e9	f1	2	1
11	C2	W2	D3	H2	S2	A1	I9	L3	M9	a2	b9	c1	d9	e1	f9	1	1
12	C2	W2	D2	H1	S2	A1	I9	L4	M9	a4	b9	c1	d9	e9	f9	1	1
13	C2	W2	D3	H1	S2	A1	I9	L3	M9	a2	b9	c9	d9	e9	f9	2	2
14	C2	W3	D4	H1	S4	A2	I9	L3	M9	a3	b9	c2	d1	e1	f9	1	2
15	C3	W3	D3	H1	S3	A1	I8	L2	M9	a9	b9	c1	d1	e1	f9	1	2
16	C2	W3	D3	H1	S3	A1	I9	L2	M9	a2	b9	c9	d9	e9	f9	1	1
17	C2	W2	D3	H1	S3	A1	I8	L2	M9	a1	b9	c2	d9	e9	f9	1	1
18	C2	W2	D2	H1	S2	A1	I8	L3	M9	a2	b9	c9	d9	e9	f9	2	1
19	C3	W3	D4	H1	S3	A1	I8	L2	M9	a2	b9	c1	d9	e9	f9	1	1
20	C2	W1	D3	H1	S2	A3	I8	L3	M9	a2	b9	c9	d9	e9	f9	2	1
21	C3	W2	D4	H1	S3	A3	I8	L2	M9	a9	b9	c2	d9	e2	f9	1	1
22	C2	W1	D4	H1	S3	A4	I8	L1	M9	a9	b9	c9	d9	e9	f9	1	2

### 3.3 感性評価実験

「インド サリーの世界」展の会場で、来館者を被験者にして、対象の22単位展示空間についてのアンケートを用いた感性評価実験を行った(会場の単位展示空間の平面図および内観写真は図3-1, 写真3-1参照)。

アンケート用紙(付録参照)は、筆者が会場で来館者に手渡しで配布した。展示物の違いを考慮せずに、単位展示空間が鑑賞者にとって「印象がよい」と感じるか、あるいは「印象がよくない」と感じるかを直感的に判断し、解答欄に「印象がよい」ならば○を、「印象がよくない」ならば×を、単位展示空間ごとにその場で記入するように依頼した。巡回の順序および順路は指定していない。アンケート用紙の回収は回収ボックスを設置して行った。

被験者の数は男性10名、女性10名とし、被験者の年齢の内訳を表3-13に示す。調査は2005年12月5日に実施した。有効回答率は100%で、この感性評価実験によって男性10名、女性10名分<sup>注8)</sup>の評価データを得た。

表3-13 被験者の内訳

年齢	男	女
70才以上	0	0
60才以上 ~ 70才未満	3	1
50才以上 ~ 60才未満	1	2
40才以上 ~ 50才未満	2	0
30才以上 ~ 40才未満	1	3
20才以上 ~ 30才未満	3	4
計	10	10

### 3.4 結果と考察

#### (1) 結果

被験者20名(男性10名、女性10名)の「印象がよい」および「印象がよくない」と感じる評価の要因をラフ集合理論の縮約(reduct)として空間要素の組合せにして獲得した。縮約はCI値<sup>注3)</sup>が高いほど信頼性が高い。表3-14, 3-15では、CI値の大きいものから順に上位を記述した。

縮約とはある決定属性(本章では「印象がよい」あるいは「印象がよくない」)を確実に分類するのに十分な極小の属性集合をいう。縮約を求める方法に、識別行列と呼ぶ行列式の形式(本章では表3-12)を用いるShan/Ziarkoのアルゴリズムがある。識別行列における*i*行*j*列の要素を $d_{ij}$ とするとき、縮約Rは次式

$$R = \bigcup_j \{ \bigcap_i d_{ij}, d_{ij} \cap 0 \} \quad (1)$$

により与えられる。ここで論理記号  $\cup$  はor結合、 $\cap$  はand結合、 $0$  は空集合を示す<sup>3)</sup>。

「印象がよい」とする縮約に含まれる空間要素の組合せは、「印象がよくない」と判断された単位展示空間には含まれていない。逆に「印象がよくない」とする縮約に含まれる空間要素の組合せは、「印象がよい」と判断された単位展示空間には含まれていない。つまり獲得した縮約は、鑑賞者が展示の空間を「印象がよい」あるいは「印象がよくない」と感じる上での十分条件と云える。例えば、表3-14に示す被験者1の「印象がよい」とする縮約最上段にあるC2I1は、C2(2面接続)の動線形式、I1(床:黒, 壁:黒, 天井:黒)の配色により、被験者1が「印象がよい」と判断したことを示す。その右に示すCI値0.27は、C2I1を含みかつ被験者1により「印象がよい」と判断された単位展示空間数の割合が、被験者1により「印象がよい」と判断されたすべての単位展示空間数に対して、0.27であることを示す。C2I1の空間要素の組合せは、「印象がよくない」と判断された単位展示空間には含まれていない。

以下に得られた縮約の出現頻度の高い要素に着目して、縮約の傾向を項目ごとに述べる。

#### 鑑賞者の動線形式(C)

「印象がよい」と判断される縮約上位にC2(2方面接続)やC3(3方面接続)が、他の空間要素と結びついて上位に現れている。一方、別の被験者の「印象がよくない」と判断される縮約上位にもC2やC3が別の要素と結びついて現れている。

表 3-14 男性グループの縮約と CI 値 (抜粋)

「印象がよい」とする縮約 (男性被験者1)		「印象がよい」とする縮約 (男性被験者2)		「印象がよい」とする縮約 (男性被験者3)	
縮約	CI値	縮約	CI値	縮約	CI値
C2I1	0.27	H2	0.55	H2	0.52
a1f9	0.27	I1	0.44	D4d9	0.47
I1L2	0.27	L2d9	0.44	S3d9	0.47
D4c1	0.27	e2	0.38	I1	0.42
D4a2	0.27	A1D4	0.27	D4S3	0.42
I8a2	0.27	W3d9	0.27	L2d9	0.42
L3S3f9	0.27	D4L2	0.27	e2	0.36
A1I1f9	0.27	c1d9	0.27	S3e9	0.36
D4H2f9	0.27	A1S3d9	0.27	C2S3	0.31
S3W2e9	0.27	a1	0.22	I8d9	0.31
A1D4f9	0.27	C1	0.22	D4c9	0.26
L2c1d9	0.27	f1	0.22	D4e9	0.26
D4I1f9	0.27	D2	0.22	A1D4	0.26
H2S3f9	0.27	S3W2	0.22	W3d9	0.26
A1I8d9	0.27	C2L2	0.22	D4L2	0.26
A1I8e9	0.27	L3S3	0.22	c1d9	0.26
I1S3f9	0.27	L2e9	0.22	S3c9	0.26
C2e2	0.18	D4S3W3	0.22	I8e9	0.26
a1d1	0.18	A1S3e9	0.22	a1	0.21
c9d1	0.18	M1	0.16	f1	0.21
d1e2	0.18	A3	0.16	D2	0.21
A1a3	0.18	a3d9	0.16	C1	0.21
I1a3	0.18	W3c9	0.16	L3S3	0.21
:		:		:	
「印象がよくない」とする縮約 (男性被験者1)		「印象がよくない」とする縮約 (男性被験者2)		「印象がよくない」とする縮約 (男性被験者3)	
縮約	CI値	縮約	CI値	縮約	CI値
C2I9M9	0.50	H1d1	0.50	H1d1	0.66
C2I9f9	0.50	H1e1	0.50	H1e1	0.66
A1I9	0.40	d1e1	0.50	d1e1	0.66
H1I9	0.40	C2D4H1	0.50	H1I9L3	0.66
I9d9f9	0.40	H1I9L3	0.50	M9W3e1	0.66
I9M9d9	0.40	M9W3e1	0.50	W3e1f9	0.66
D3I9	0.30	W3e1f9	0.50	H1S4	0.33
I9W2	0.30	L1	0.25	A2H1	0.33
I9S2	0.30	H1S4	0.25	H1a3	0.33
I9L3	0.30	A2H1	0.25	L3S4	0.33
I9a2	0.30	H1a3	0.25	M9S4	0.33
M9e1	0.30	L3S4	0.25	S4d1	0.33
e1f9	0.30	M9S4	0.25	S4f9	0.33
H1a9	0.30	S4d1	0.25	A2d1	0.33
I8a9	0.30	S4f9	0.25	I9S4	0.33
S3a9	0.30	A2d1	0.25	a3d1	0.33
A1D3a2	0.30	I9S4	0.25	S4c2	0.33
I9M9e9	0.30	a3d1	0.25	L3c2	0.33
I9e9f9	0.30	S4c2	0.25	c2d1	0.33
A2L3	0.20	L3c2	0.25	c2e1	0.33
A2M9	0.20	c2d1	0.25	a3e1	0.33
A2f9	0.20	c2e1	0.25	C3D3	0.33
D3c1	0.20	a3e1	0.25	D3a9	0.33
:		:		:	

表 3-15 女性グループの縮約とCI値(抜粋)

「印象がよい」とする縮約 (女性被験者6)		「印象がよい」とする縮約 (女性被験者7)		「印象がよい」とする縮約 (女性被験者8)	
縮約	CI値	縮約	CI値	縮約	CI値
I1	0.61	A1D4H2	0.50	I1	0.53
e2	0.53	A1D4I1	0.50	e2	0.46
D4H2	0.53	I1W3	0.37	D4H2	0.46
A1D4	0.38	W3c9	0.37	D4W3	0.40
H2S3	0.38	D4a1	0.37	A1D4	0.33
H2c9	0.38	a1c9	0.37	D4L3	0.33
D4L2	0.38	a1e2	0.37	H2S3	0.33
C1	0.30	I1f1	0.37	H2c9	0.33
f1	0.30	D4c9e2	0.37	D4L2	0.33
H2W3	0.30	A1H2S3	0.37	a1	0.26
L3S3	0.30	A1I1S3	0.37	d1	0.26
H2L2	0.30	A1L3S3	0.37	C1	0.26
D4S3W3	0.30	A1I1L3	0.37	a3	0.26
D4W3d9	0.30	A1D4L3	0.37	f1	0.26
M1	0.23	D4H2e2	0.37	A2	0.26
A3	0.23	A1D4e2	0.37	C3	0.26
D4W2	0.23	D4I1e2	0.37	c2	0.26
H2a3	0.23	W3e2	0.25	H2L2	0.26
a3d9	0.23	W3a1	0.25	L2c1	0.26
H2e9	0.23	H2a1	0.25	L3S3	0.26
D4c1	0.23	I1a1	0.25	S3W2	0.26
D4a1	0.23	a1d1	0.25	H2W3	0.26
A2H2	0.23	d1e2	0.25	I8L2	0.26
:		:		:	
「印象がよくない」とする縮約 (女性被験者6)		「印象がよくない」とする縮約 (女性被験者7)		「印象がよくない」とする縮約 (女性被験者8)	
縮約	CI値	縮約	CI値	縮約	CI値
A1C2M9d9	0.66	I8	0.50	C2S2	0.71
A1C2d9f9	0.66	L3S2	0.35	H1c9	0.71
A1D3	0.55	S2c9	0.35	D3a2	0.57
C2I9M9	0.55	W2c9	0.35	A1I9	0.57
C2I9f9	0.55	L3a2	0.35	S2a2	0.57
A1C2W2	0.55	C2L3d9	0.35	H1S2	0.57
A1C2H1	0.55	L3c9d9f9	0.35	S2e9	0.57
A1C2e9	0.55	c2	0.28	A1C2a2	0.57
A1I9	0.44	S2a2	0.28	C2H1a2	0.57
H1I9	0.44	W2a2	0.28	I9W2	0.42
I9M9d9	0.44	H1L3	0.28	I9S2	0.42
I9d9f9	0.44	D4H1	0.28	I9a2	0.42
A1C2a2	0.44	L3c9e9	0.28	D3S2	0.42
C2H1W2	0.44	C2L3W2	0.28	D3L3	0.42
A1H1W2	0.44	C2L3e9	0.28	D3c9	0.42
H1W2e9	0.44	W2e2	0.21	I8c9	0.42
A1C2S2	0.44	L2W2	0.21	A1L3a2	0.42
C2S2W2	0.44	D2c9	0.21	H1I9d9	0.42
I9a2	0.33	D3W2	0.21	H1I9e9	0.42
D3I9	0.33	D3S2	0.21	A1L3S2	0.42
D3W2	0.33	D3L3	0.21	H1L3a2	0.42
M9e1	0.33	I9L3	0.21	H1L3d9	0.42
e1f9	0.33	M9e1	0.21	A1C2L3W2	0.42
:		:		:	

空間形状(W, D, H, S, A)

・短辺(W)

男性グループ、女性グループ共に、「印象がよい」と判断される縮約上位に、W2(2.5  $W < 5.0$ )やW3(5.0  $W < 7.5$ )が他の空間要素と結びついて上位に現れている。また、これらは別の要素との組合せにより、別の被験者の「印象的ではない」と判断される縮約上位にも現れている<sup>注9)</sup>。

・長辺(D)

男性グループ、女性グループ共に「印象がよい」と判断される縮約上位にD4(7.5  $D < 10.0$ )が、「印象がよくない」と判断される縮約上位にはD3(5.0  $D < 7.5$ )が、いずれも他の空間要素と結びついて上位に現れている(表3-14, 3-15中 参照)。

・面積(S)

男性グループ、女性グループ共に、「印象がよい」と判断される縮約上位にはS3(25  $S < 56$ )が、「印象がよくない」と判断される縮約上位にはS2(6  $S < 25$ )が、いずれも他の空間要素と結びついて現れている。

・細長比(A)

文献<sup>2)</sup>で一般的な展示空間の細長比とされるA1(1.0  $A < 1.5$ )が、男性グループ、女性グループ共に、他の空間要素と結びついて「印象がよい」と判断される縮約上位に現れている。またA1は結びつく要素を替え、「印象がよくない」と判断される縮約上位にも現れている。文献<sup>1)</sup>で一般的とされない細長比A3(2.0  $A < 3.5$ )は、「印象がよい」と判断される縮約上位に単独で現れる被験者が男性グループ、女性グループ共に見られた。A3は被験者によってはそれだけで「印象がよい」と判断される空間要素と云える。

・天井高(H)

男性グループ、女性グループ共に「印象がよい」と判断される縮約上位に、H2(H=4.0)が単独で現れる被験者がみられた。またH2が他の空間要素との組合せにより、「印象がよい」と判断される縮約上位に現れる被験者もいた。H2は被験者によっ

てはそれだけで「印象がよい」と判断される空間要素と云える。

一方、H1(H=2.8)が、男性グループ、女性グループともに他の空間要素と結びついて、「印象がよくない」と判断される縮約上位に現れている(表3-14,3-15中 参照)。

#### 色彩(I)

男性グループ、女性グループ共に、「印象がよい」と判断される縮約上位にI1(床:黒,壁:黒,天井:黒)が単独で現れる被験者が多く見られた。またI1が他の空間要素と結びついて「印象がよい」と判断される縮約上位に現れた被験者もいた(表3-14,3-15中 参照)。I1は被験者によってはそれだけで「印象がよい」と判断される空間要素と云える。

「印象がよくない」と判断される縮約上位には、男性グループ、女性グループ共に、I9(その他)が他の要素と結びついて現れている。

#### 壁配置(L,M)

男性グループ、女性グループ共に、「印象がよい」と判断される縮約上位にL2(周辺部2面の壁配置),L3(周辺部3面の壁配置)が、いずれも他の空間要素と結びついて現れている。しかしL3は結びつく要素を替え、「印象がよくない」と判断される縮約上位にも現れている。

#### 展示方式(a,b,c,d,e,f)

「印象がよい」と判断される縮約上位に、男性グループ、女性グループ問わず、a1(周辺部1面の壁面展示),e2(周辺部2面のマネキンによる展示),f1(中央部のマネキンによる展示)が単独で現れる被験者が見られる。また別の被験者では、それらが他の空間要素と結びついて「印象がよい」と判断される縮約上位に現れている。被験者によってはa1,e2,f1の個々の要素だけで「印象がよい」と判断されると云える。

「印象がよくない」と判断される縮約上位には、a2(周辺部2面の壁面展示),c2(周辺部2面の展示台による展示),e1(周辺部1面のマネキンによる展示)が、他の空間要素と結びついて現れている。

(2) 考察

縮約への出現傾向に基づいて、「印象がよい」あるいは「印象がよくない」とする判断にどのように寄与しているかにより、展示の空間要素を表3-16の5種類に大別した。

[ ]D4(7.5 ≤ D < 10.0), S3(25 ≤ S < 56), L2(周辺部の壁の2面配置)は、他の空間要素との組合せにより「印象がよい」と判断されると云える。

[ ]A3(2.0 ≤ A < 3.5), H2(H=4.0), I1(床:黒, 壁:黒, 天井:黒), a1(周辺部1面の壁面展示), e2(周辺部2面のマネキンによる展示), f1(中央部のマネキンによる展示)は、鑑賞者によってはこれらの空間要素だけでも「印象がよい」と判断され

表3-16 縮約への出現頻度の高い展示の空間要素の分類

種類	展示空間の要素	縮約への出現傾向
印象がよい	組合せ D4(7.5 ≤ D < 10.0) S3(25 ≤ S < 56) L2(周辺部2面の壁配置)	[i] 他の要素との組合せにより、主として「印象がよい」とする縮約に現れ、「印象がよくない」とする縮約への出現頻度は低かった要素
	単独 A3(2.0 ≤ A < 3.5) H2(H=4.0) I1(床:黒, 壁:黒, 天井:黒) a1(周辺部1面の壁面展示) e2(周辺部2面のマネキンによる展示) f1(中央部のマネキンによる展示)	[ii] 他の要素との組合せでも、単独でも「印象がよい」とする縮約に現れ、「印象がよくない」とする縮約への出現頻度は低かった要素
印象がよくない	組合せ D3(5.0 ≤ D < 7.5) S2(6 ≤ S < 25) H1(H=2.8) I9(その他) a2(周辺部2面の壁面展示) c2(周辺部2面の展示台による展示) e1(周辺部1面のマネキンによる展示)	[iii] 他の要素との組合せにより、主として「印象がよくない」とする縮約に現れ「印象がよい」とする縮約への出現頻度は低かった要素
	単独 該当なし	[iv] 他の要素との組合せでも、単独でも「印象がよくない」とする縮約に現れ「印象がよい」とする縮約への出現頻度は低かった要素
両方	組合せ G2(2方面接続) G3(3方面接続) W2(2.5 ≤ W < 5.0) W3(5.0 ≤ W < 7.5) A1(1.0 ≤ A < 1.5) L3(周辺部3面の壁配置)	[v] 他の要素との組合せにより、「印象がよい」とする縮約にも、「印象がよくない」とする縮約にも現れた要素

ると云える。これは特定の空間要素に対する嗜好の個人差によるものと考えられる。

[ ] D3(5.0  $D < 7.5$ ), S2(6  $S < 25$ ), H1(H=2.8), I9(その他), a2(周辺部2面の壁面展示), c2(周辺部2面の展示台による展示), e1(周辺部1面のマネキンによる展示)は、他の空間要素との組合せにより、「印象がよくない」と判断されると云える。

[ ] これらの要素だけで「印象がよくない」と判断される場合があると考えられるが、該当する空間要素は見られなかった。

[ ] C2(2方面接続), C3(3方面接続), W2(2.5  $W < 5.0$ ), W3(5.0  $W < 7.5$ ), A1(1.0  $A < 1.5$ ), L3(周辺部3面の壁配置)は、その要素単体では「印象がよい」、あるいは「印象がよくない」とする判断を左右するとは云えないが、他の空間要素との組合せにより、どちらの判断にも寄与すると云える。

表3-16に挙がらない空間要素は、展示の「印象がよい」あるいは「印象がよくない」とする判断に寄与しにくい要素である。

「印象がよい」とする判断は、被験者によっては表3-16[ ]のように空間のプロポーション(細長比)や高さ、色彩、展示方式の特定の空間要素だけで「印象がよい」とされることがあり、特定の要素に対する個人的な嗜好が反映されやすいと考えられる。

一方、「印象がよくない」とする判断は、被験者のほとんどの縮約が2要素以上の組合せで記述されているように、複数の空間要素により総合的に判断されると考えられる。

男性被験者、女性被験者の縮約に、はっきりとした構成要素の違いは発見されなかった。男性被験者2,3や女性被験者8の縮約のように、共通の空間要素の組合せを含む類似した縮約が見られたことは、展示の空間印象の要因に、性別に関係なく類似した嗜好があると考えられる。

印象評価の結果を空間要素の組合せの結果として機械的に捉え、評価の結果を識別するために必要な空間要素の組合せを、ラフ集合理論を用いて、必要最小の属性集合で記述する方法は、印象評価の要因を簡潔に知ることができることを示した。

## 注釈

注1) ラフ集合理論<sup>1)</sup>の概念は1982年にポーランドのZ. Pawlakにより提案された。

対象に関する複数の属性(形態等の特徴)の値から構成される情報表を基に、対象を正しく分類するのに必要な最小の属性集合の特定、ある属性の値を他の属性から導く決定条件の抽出等が可能である。つまり、対象集合を上手に特定できる範囲で情報を粗く(ラフ)捉えることにより、対象集合を程よく説明するための記述を求めようとする手法である。なお本章では属性を空間要素として扱っている。詳しくは文献1)を参照されたい。

注2) 目的のクラス(ある決定属性値を持つ集合)を他から識別するための十分条件、言い換えれば、目的のクラスだけが持つ属性の最小集合を縮約(reduct)と呼ぶ。

注3) 重要度には縮約の確実さの程度を表す指標であるCI(covering index)を用いる。CIは被覆度に対応しており、次式で与えられる。

$$CI = \frac{|S \quad D|}{|D|}$$

ここでSはある属性であり、Dはあるクラスに所属する対象の集合を示す。

注4) 来館者に会場内でアンケート用紙を配布し、展示物の違いを考慮せず、会場の各展示ゾーンの「印象がよい」あるいは「印象がよくないか」を直感的に判断して、印象がよければ○を、よくなければ×を用紙に記入して頂いた。アンケートは2005年12月5日に実施した。

注5) 展示物であるインドのサリーは、色あい、質感ともに様々であったが、類似した展示物も多く含まれていた。類似の展示物が展示された単位展示空間に対する印象評価の結果は、同一被験者であっても異なる場合があった。これらのことから、モデルとして展示物はすべてと同じと考えて、展示物が印象評価に反映されていないと考えた。

注6) 印象評価に寄与する要素は縮約に現れ、寄与しない要素は縮約に現れない。

印象評価に寄与しない要素は、ラフ集合理論の縮約により省かれる。変数を独立変数に限らず、要素として多く設定すれば、縮約から印象評価に寄与する要素をより詳しく知ることができる。本論は、独立変数である「天井高」「面積」「細長比」の3項目に加え、「短辺」「長辺」「天井高」「面積」「細長比」の5項目で表した。

注7) 展示方式は、設計者が計画する要素で、展示物に関係なく印象評価に影響を与える。例えば、同じ空間であっても、展示台方式であれば狭く感じられ、壁面展示方式であれば、広く感じられる等の影響が考えられる。

注8) ラフ集合理論により獲得される縮約には、展示の空間に対する個々の鑑賞者の印象の特性が、要素の組合せに反映されると考えられる。鑑賞者の特性を含んだまま扱うために、本論では大量数のサンプルを対象にした平均的な分析ではなく、少数サンプルの精密調査を採用し、分析対象者数を20名と限定した。

注9) 印象評価に寄与しない要素は縮約に現れない。「印象がよい」、「印象がよくない」の双方に出現する要素は、その要素単体では「印象がよい」、あるいは「印象がよくない」とする判断を左右するとは云えないが、他の要素と結びつくことにより、印象評価に寄与していると考えられる。

## 参考文献

- 1) 日本ファジィ学会：ファジィとソフトコンピューティングハンドブック、  
共立出版、2000
- 2) 岡野眞：美術館における展示空間の規模計画に関する基礎的研究、博士学位論文  
(東京大学)、1978.3
- 3) 森典彦、田中英夫、井上勝雄：ラフ集合と感性 データからの知識獲得と推論、  
海文堂、2004

## 第4章 空間嗜好のベイジアンネットワークを用いた 確率モデル

## 第4章 空間嗜好のベイジアンネットワークを用いた確率モデル

前章では、人により異なる展示の空間に対する印象・評価の要因を、評価の結果を識別するための必要最小の空間要素の組合せによって簡潔に記述した。しかしながら、これは展示の空間に対する好みと空間要素の関係をモデルとして直接的に説明するには至っていない。本章は、共通部分の多く類似性の高い好みをグループとして扱い、好みを規定する個人の特質を分けて扱う。これにより空間に対する好みは、対象空間の性質に規定されるとして、グループの好みと空間要素の関係を構造化し、より一般性の高い知識を獲得することができる。

展示の計画において、設計者は、自分の経験や勘に基づいて、計画対象の空間が好まれるか、あるいは好まれないかを推測し、空間の構成要素(空間要素)の決定を行う。しかしながら、これらを知識として明示することは困難である。ここでは、第2章で類型化した展示の空間に対する6グループの好みを対象として、それらの好みと展示の空間要素の関係について構造化を行う。そして、好みを推測するこのような暗黙知を説明し、対象の選好を推測するための知識を獲得する。

展示の空間を好む、あるいは好まないと判断する選好は、不確実性を含む行為と考えられる。一方、展示の空間は、空間要素の集合により記述することができる。そこで展示の空間に対する選好を、空間要素を変数とする不確実性を含む確率的な行為と捉え、選好の結果と空間要素の関係を確率モデルで表現する。

このような対象のモデル化には、対象の背景にある変数の複雑な関係を表すためにグラフ構造を利用し、不確実性を確率で扱うことができるベイジアンネットワーク<sup>1)</sup>を用いる。ベイジアンネットワークは統計的学習により、複数の変数の関係を非循環有向グラフで表し、変数間の関係をそれぞれ条件付確率で定量化する確率モデルである。確率モデルは、変数の関係を表すグラフ構造と条件付確率の集合により定義される。

ベイジアンネットワークは、変数間の関係が非線形・非正規的であっても、離散的な条件付確率表によって柔軟にモデル化を行うことができる。さらに確率推論<sup>注1)</sup>により、一部の説明変数を観測したときのその他の変数の確率分布を計算することができ、予測に用いられる。近年、不確実性を含む人間の行動を計算機上にモデル化する手法として注目を集めている<sup>2)</sup>が、建築学では見られていない。

本章ではベイジアンネットワークを用いて、展示の空間に対する好みと空間要素の関係を確率モデルで表現し、これまで経験や勘により推測されてきた明示が困難な好みの知識をグラフで明示する。さらに確率推論を用いて、選好の結果や好まれる空間要素の確率分布を計算し、好みのような人間の曖昧な判断を推測する。

#### 4.1 目的と方法

展示の空間に対する選好を、空間要素を変数とする不確実性を含む確率的な行為として、選好の結果と空間要素の関係を確率モデルで表現し、知識化を行うことを目的とする。

方法としては、第2章と同じく、国立民族学博物館の企画展の計画案に基づく仮想空間を用いる。第2章では、対象の空間に対する感性評価実験<sup>注2)</sup>の回答から、被験者がどのような展示の空間を好む傾向にあるのか、また好まない傾向にあるのかを視覚的に把握し、展示の空間に対する個人の好みの類型化を行った(表4-1)。第2章の感性評価実験により得られたデータを、類型化した[ ]~[ ]グループに分類して使用する。それぞれのデータにベイジアンネットワークを適用し、選好の結果と展示の空間要素の関係を示す確率モデルを獲得する。獲得した確率モデルのグラフ構造を分析し、表4-1に示す6グループの好みの違いを空間要素の関係で説明する。次に確率モデルに共通の部分グラフが示す空間要素の関係について考察を行い、モデルの検証を行う。最後にベイジアンネットワークの確率推論を用いて、グループに選好される可能性の高い空間要素の組合せや、任意の展示の空間に対する選好の結果を推測する。

表4-1 6グループの好みの傾向

グループ	好みの傾向
[I] 設計:3名 学生:5名	[C] (3, 黒), [D] (4, 黒), [G] (1, 黒)を好む傾向 [A] (2, 白), [E] (1, 白)を好まない傾向 [B] (3, 白), [F] (2, 黒)の特定の空間だけを共通して好む傾向
[II] 設計:3名 学生:5名	[E] (1, 白), [F] (2, 黒)を好む傾向 [B] (3, 白), [C] (3, 黒)を好まない傾向 [A] (2, 白), [D] (4, 黒), [G] (1, 黒)の特定の空間だけを共通して好む傾向
[III] 設計:4名 学生:3名	[A] (2, 白), [B] (3, 白), [D] (4, 黒)を好む傾向 [F] (2, 黒)を好まない傾向 [C] (3, 黒), [E] (1, 白), [G] (1, 黒)の特定の空間だけを共通して好む傾向
[IV] 設計:2名 学生:3名	[E] (1, 白)を好む傾向 [C] (3, 黒), [D] (4, 黒), [G] (1, 黒)を好まない傾向 [A] (2, 白), [B] (3, 白), [F] (2, 黒)の特定の空間だけを共通して好む傾向
[V] 設計:7名 学生:5名	[A] (2, 白), [B] (3, 白), [D] (4, 黒), [E] (1, 白), [F] (2, 黒), [G] (1, 黒)を好む傾向 [C] (3, 黒)の特定の空間だけを共通して好む傾向
[VI] 設計:6名 学生:4名	[G] (1, 黒)を好まない傾向 [A] (2, 白), [B] (3, 白), [C] (3, 黒), [D] (4, 黒), [E] (1, 白), [F] (2, 黒)の特定の空間だけを共通して好む傾向

## 4.2 展示の空間データの作成

### (1) 単位展示空間のモデル

企画展の計画案に基づく展示の仮想空間を対象とし、第2章と同じ5.5 単位展示空間を用いる(図2-1、2-2)。単位展示空間の記述は、前章と同じ鑑賞者の動線形式、空間の立体形状、色彩、壁配置、展示方式の5項目で行う。本章ではこの5項目の関係を把握するためにモデルを簡略にする<sup>注3)</sup>。要素の定義は基本的に前章に倣うものの、本章では以下の7細分項目で定義する。これらの空間要素の組合せにより、単位展示空間のモデルが構成されるとみなす。照明要素と展示物の相違は対象としない。

### (2) 展示の空間要素

鑑賞者の動線形式は表4-2の略記号を用いて記述する(表4-2は表3-1に同じ)。

表4-2 動線形式(C)の要素

略記号	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C9
空間要素							
リターン型	1方面接続	2方面接続	3方面接続	4方面接続	5方面接続	6方面接続	その他

↔ 移動できる方向    □ 単位展示空間

(注) 接続方向の組合せ方は考慮しない

空間の立体形状は、面積、細長比、高さに分類する。面積については、展示物の大きさ(サリーの規格サイズ幅1.2m)に対応する視距離2.5mを基準にする(図3-2)。図4-1のように、2.5、5.0、7.5、10.0(m)を1辺とする、細長比が1.0の正方形の面積6、25、56、100(m<sup>2</sup>)を指標にして、表4-3の略記号を用いて記述する(図4-1は図3-3、表4-3は表3-4に同じ)。

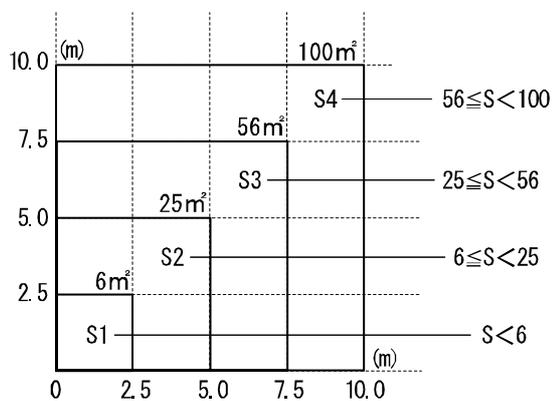


図4-1 面積(S)の設定

表4-3 面積(S)の要素

空間要素	略記号
$S < 6$	S1
$6 \leq S < 25$	S2
$25 \leq S < 56$	S3
$56 \leq S < 100$	S4
$100 \leq S$	S5

細長比については、文献<sup>3)</sup>より展示空間の大半の細長比が1.0～3.5の範囲にあり、1.0, 1.5, 2.0, 3.5を区分の指標として示されている。これらを用いて図4-2のように設定し、表4-4の略記号で記述する(図4-2は図3-4、表4-4は表3-5に同じ)。

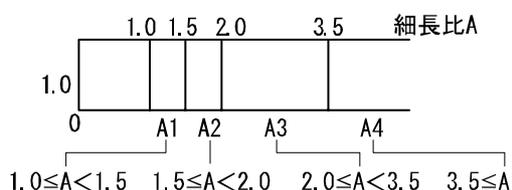


図4-2 細長比(A)の設定

表4-4 細長比(A)の要素

空間要素	略記号
$1.0 \leq A < 1.5$	A1
$1.5 \leq A < 2.0$	A2
$2.0 \leq A < 3.5$	A3
$3.5 \leq A$	A4

高さについては、図4-3のように3種類の会場高さにより決定され、表4-5の略記号を用いて記述する(図4-3は図3-5、表4-5は表3-6に同じ)。

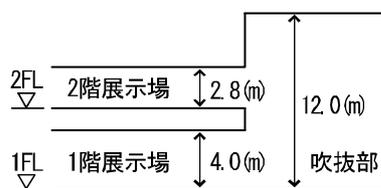


図4-3 会場の断面と高さ(H)の設定

表4-5 高さ(H)の要素

空間要素	略記号
H= 2.8	H1
H= 4.0	H2
H=12.0	H3

色彩については、単位展示空間の床、壁、天井をそれぞれ1つの部位として、黒と白の部位数の組合せにより分類し、表4-6の略記号を用いて記述する。

表4-6 色彩(I)の要素

略記号	I0	I1	I2	I3
空間要素	黒 白	0部位 3部位	1部位 2部位	2部位 1部位 0部位

壁配置については、単位展示空間の一辺の長さに対する壁の長さの合計(壁面率)が50%以上であれば1面とし、0～4の面の数で分類する。表4-7の略記号を用いて記述する。

表4-7 壁配置(L)の要素

略記号	L0	L1	L2	L3	L4
空間要素	なし	一面	二面	三面	四面

面の組合せ方は考慮しない

展示方式については、3 展示方式( 壁面展示方式、展示台方式、マネキン展示方式) の組合せで表現する。展示方式の配置される面の数は0 ~ 3 面( 残り1 面は出入口) であり、各展示方式の配置される面数を0 ~ 1 面、2 ~ 3 面に大別し、それらの組合せにより分類する。表4 - 8 の略記号を用いて記述する。

表4 - 8 展示方式(E)の要素

略記号	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
空間要素 壁面展示	0-1	0-1	0-1	0-1	2-3	2-3	2-3	2-3
展示台	0-1	0-1	2-3	2-3	0-1	0-1	2-3	2-3
マネキン	0-1	2-3	0-1	2-3	0-1	2-3	0-1	2-3

数字は配置される面の数を示す

定義した空間要素で記述した単位展示空間のモデルの例を図4 - 4 に示す。抽出した55 単位展示空間すべてについて記述し、単位展示空間を行、空間要素を列とする55 行7 列の単位展示空間のデータ行列を準備する。

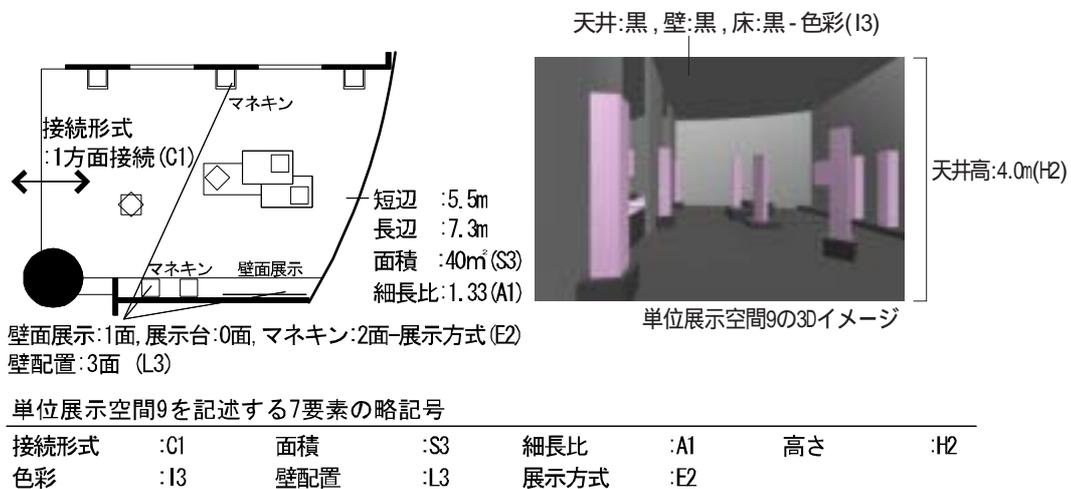


図4 - 4 単位展示空間モデルの記述例( 単位展示空間9 の場合)

(3) 入力データ行列の作成

第2章で得た感性評価実験<sup>注2)</sup>のデータを用いた。感性評価実験で得た被験者50名(建築設計職25名、建築系学生25名)分の回答を、表4-1の[ ]~[ ]グループに分類した。各グループの建築設計職と建築系学生の数を表4-1に示す。回答の「選好する」を1、「選好しない」を2として、データ行列の第9列目に順に代入し、グループ毎に入力データ行列を作成する。グループの被験者数をn人とすると、入力データ行列は55n行9列となる。入力データ行列の構成を表4-9に示す。

表4-9 入力データ行列の構成

単位展示空間の要素								選好の結果 R
空間の番号	動線形式 C	面積 S	細長比 A	高さ H	色彩 I	壁配置 L	展示方式 E	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	3	2	3	3	5	2
2	6	5	3	3	2	0	2	1
⋮				⋮				⋮
55	2	3	4	1	1	1	1	1
1	2	3	3	2	3	3	5	1
2	6	5	3	3	2	0	2	2
⋮				⋮				⋮
55	2	3	4	1	1	1	1	1
1	2	3	3	2	3	3	5	2
2	6	5	3	3	2	0	2	1
⋮				⋮				⋮
55	2	3	4	1	1	1	1	2

55×n 行

被験者1名分 (55空間)

n番目の被験者 (55空間)

### 4.3 ベイジアンネットワーク

#### (1) ベイジアンネットワークの構築

表4-1の[ ]~[ ]グループそれぞれについて準備した6入力データ行列から、選好の結果と展示の空間要素の関係を示す確率モデルを獲得するために、ベイジアンネットワークを用いる。文献<sup>1)</sup>よりベイジアンネットワークの概略を述べる。

ベイジアンネットワークは、確率変数をノードとし、変数間の関係を有向リンクで表すグラフである。有向リンクの元のノードを親ノード、先にあるノードを子ノードと呼び、有向リンクによって親から子の向きに関係があることを示す。子ノード $X_j$ に対する複数の親ノードを集合 $(X_j)$ と表すと、 $X_j$ と $(X_j)$ の関係は、子ノードの変数 $X_j$ について親ノードの値を条件とする条件付確率によって、以下のように定量的に表すことができる。

$$P(X_j | (X_j)) \quad (1)$$

さらに $n$ 個の確率変数 $X_1, \dots, X_n$ のそれぞれを子ノードとして同様に考えると、すべての確率変数の同時確率分布は次式のように表せる。

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{j=1}^n P(X_j | (X_j)) \quad (2)$$

このように変数間の依存関係は、各子ノードとその親ノード間にリンクを持つグラフと式(2)の全ての確率値を並べた表、条件付確率表(conditional probability table, CPT)で定義されるベイジアンネットワークにより、モデル化される。

親ノードがある状態 $(X_j)=x$ ( $x$ は親ノード群の各値で構成したベクトル)のもとでの $n$ 通りの離散状態を $y_1, \dots, y_n$ を持つ変数 $X_j$ の条件付確率分布は $p(X_j=y_1|x), \dots, p(X_j=y_n|x)$ となる。これを各行として、親ノードが取りうる全ての状態 $(X_j)=x_1, \dots, x_m$ のそれぞれについて列を構成し、確率値を定めた表が $X_j$ の条件付確率表(CPT)となる。

モデルの構築は、入力データを最も良く説明するようにグラフ構造と条件付確率を決定することで行われる。一般的には下記の手順で行う。

- ) モデルの変数  $X_j$  から、ノードを作成する。
- ) 変数間の関係にしたがって、親ノードから子ノードに有向リンクを張り、  
( $X_j$ ) を決定する。
- ) 変数間の関係を定量的に表す条件付確率表を決定する。

本論では、ベイジアンネットワークの構築アルゴリズムには WEKA 3.4.8 の Bayes Net を用いた。子ノードごとにそれぞれ最適な局所木を探索するグラフ探索には、タブー探索法<sup>注4)</sup>を用いた。詳しくは文献<sup>4)</sup>を参照されたい。

## (2) 確率推論

ベイジアンネットワークによる確率推論<sup>注1)</sup>は、観測された情報からの確率伝搬(変数間の局所計算)によって各変数の確率分布を更新していく確率伝播法と呼ばれる計算方法により行われる。文献<sup>1)</sup>より確率伝播法の理論的概略を述べる。

変数の値  $e$  が観測されたときの任意のノード  $X_j$  の事後確率  $P(X_j | e)$  は、親ノード  $X_{j-1}$  に与えられる観測情報を  $e^+$ 、子ノード  $X_{j+1}$  に与えられる観測情報を  $e^-$  とすると、ベイズの定理により式(3)のように与えられる。

$$P(X_j | e) = P(e^- | X_j) P(X_j | e^+) \quad (3)$$

$$= 1 / P(e^- | e^+) \quad (4)$$

一方、親ノードから伝播する確率  $P(X_j | e^+)$ 、子ノードから伝播する確率  $P(e^- | X_j)$  は、式(5)、(6)のように、ノードの条件付確率表と観測値を使って求めることができる。

$$P(X_j | e^+) = \prod_{X_{j-1}} P(X_j | X_{j-1}) P(X_{j-1} | e^+) \quad (5)$$

$$P(e^- | X_j) = \prod_{X_{j+1}} P(e^- | X_{j+1}) P(X_{j+1} | X_j) \quad (6)$$

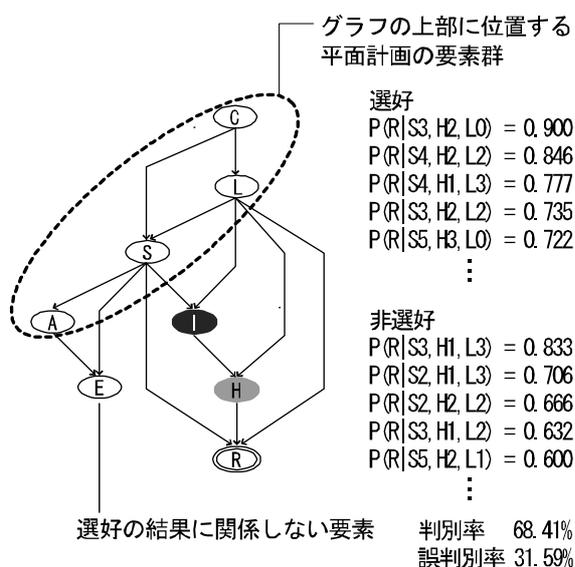
式(3)を再帰的に適用することにより、任意のノードの事後確率  $P(X_j | e)$  を得ることができる。

#### 4.4 結果と考察

##### (1) グラフ構造の結果

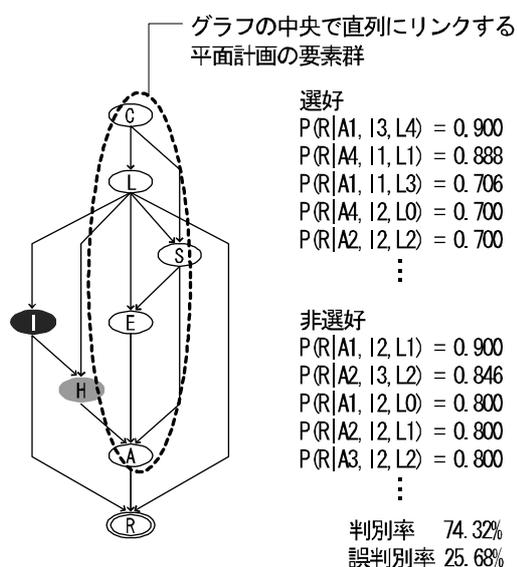
ベイジアンネットワークを用いて、[ ] ~ [ ] グループそれぞれについて、選好の結果と空間要素の関係を示す確率モデルを獲得した(図4-5)。各グループのモデルの適合度は、選好するあるいは選好しないをどれだけ正しく判別できるかを示す判別率<sup>注5)</sup>によって示した。各ノードは空間要素に対応する。ノードR(選好の結果)に到る有向リンクを辿ると、どの空間要素が選好の結果に関係するかを把握することができる。図4-5左上の[ ]グループのノードC(鑑賞者動線) ノードS(面積) ノードR(選好の結果)への有向リンクは、C(鑑賞者動線)、S(面積)がR(選好の結果)へ関係することを示す。ノードA(細長比) ノードE(展示方式)のように、ノードR(選好の結果)に到らない有向リンクは、選好の結果に関係しない。

ノードR(選好の結果)の条件付確率から、ノードR(選好の結果)に有向リンクを持つ空間要素について、任意の要素の組合せが含まれるときの選好される確率を知ることができる。図4-5に選好する、選好しない(非選好)の条件付確率をそれぞれ高確率のものから順に5つずつ示した<sup>注6)</sup>。図4-5左上の[ ]グループの選好の条件付確率 $P(R|S3, H2, L0) = 0.900$ は、 $S3(25\text{ m}^2 \leq S < 56\text{ m}^2)$ 、 $H2(H=4\text{m})$ 、 $L0(L=0\text{面})$ のときに0.900の確率で選好されることを示す。



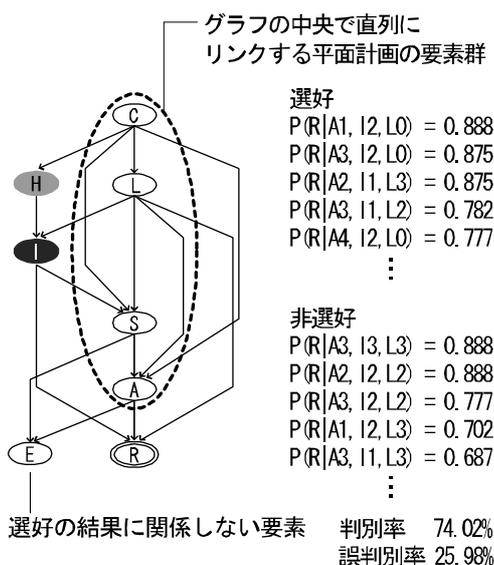
[I]

・平面計画の要素C(鑑賞者動線)、L(壁配置)、S(面積)がグラフ上部でリンクする。それらは、L(壁配置)を基点に、下部のI(色彩)とH(高さ)にリンクする。  
・A(細長比)、E(展示方式)は、R(選好の結果)に関係しない。

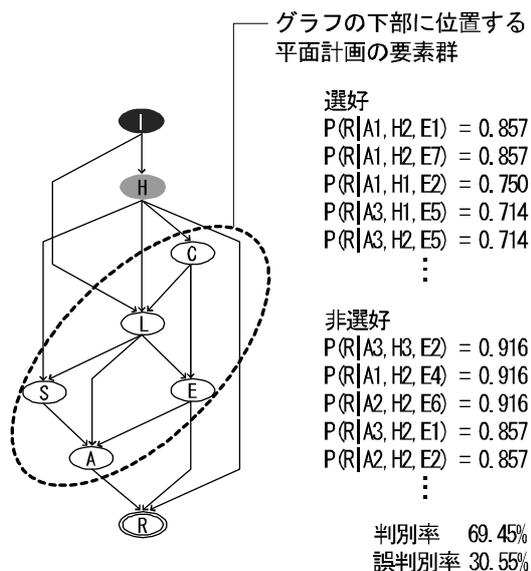


[II]

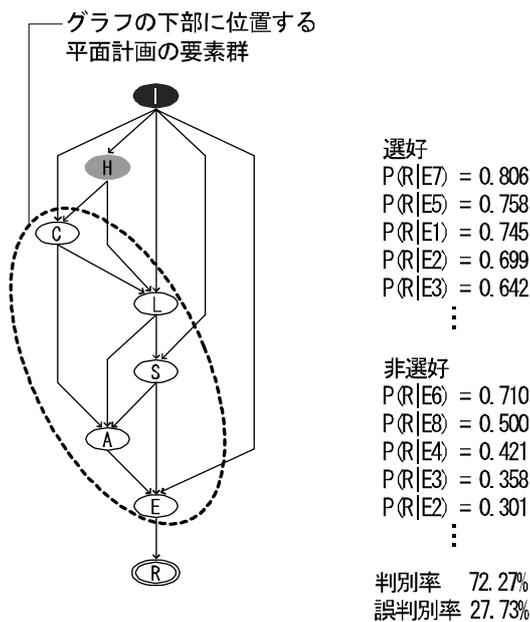
・平面計画の要素が、C(動線計画)、L(壁配置)、S(面積)、E(展示方式)、A(細長比)の順にリンクする。他方では、L(壁配置)を基点に左側に位置するI(色彩)とH(高さ)にリンクする。



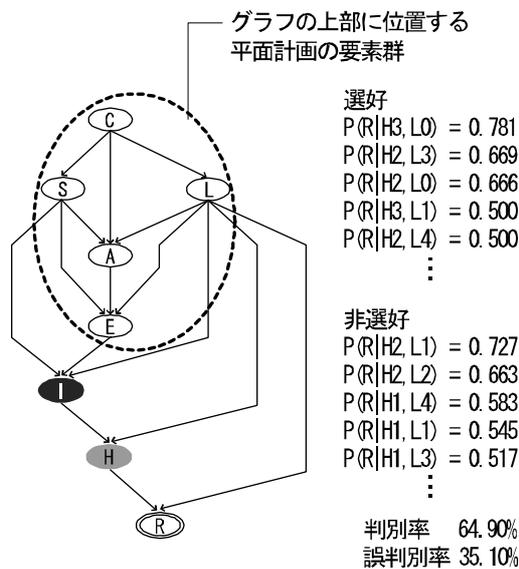
[III]  
 ・平面計画の要素が、C(動線計画), L(壁配置), S(面積), A(細長比)の順にリンクする。他方では、L(壁配置)から左側に位置するI(色彩)にリンクする。  
 ・E(展示方式)は、R(選好の結果)に関係しない。



[IV]  
 ・平面計画の要素C(動線計画), L(壁配置), E(展示方式), S(面積), A(細長比)がグラフ下部に位置する。グラフ上部のI(色彩)とH(高さ)から、下部の平面計画の要素群の基点となるL(壁配置)にリンクが張られる。



[V]  
 ・平面計画の要素が、C(動線計画), L(壁配置), S(面積), A(細長比), E(展示方式)の順にリンクし、グラフの下部に位置する。グラフ上部のI(色彩)とH(高さ)から、下部の平面計画の要素群の基点となるL(壁配置)にリンクが張られる。



[VI]  
 ・平面計画の要素C(鑑賞者動線), S(面積), L(壁配置), A(細長比), E(展示方式)がグラフ上部でリンクする。それらは、L(壁配置)を基点に、下部のI(色彩)とH(高さ)にリンクする。

凡例 平面計画の要素群 (C) 鑑賞者動線 (S) 面積 (A) 細長比 (L) 壁配置 (E) 展示方式  
 (H) 高さ (I) 色彩 (R) 選好の結果 → 有向リンク

図 4-5 [ ] ~ [ ] グループの選好の結果と空間要素の関係を示すベイジアンネットワーク

まず獲得したモデルのグラフ構造における大きな違いを明らかにするために、C(鑑賞者動線)、S(面積)、A(細長比)、L(壁配置)、E(展示方式)を平面計画の要素群として、平面計画の要素群とH(高さ)、I(色彩)の位置関係の特徴を記述した(図4-5)。これらの特徴から3つのグラフ構造に分類することができる。そして表4-1の[ ]~[ ]グループの違いは、このグラフ構造の違いにより説明することができる。

[ ]グループと[ ]グループのグラフ構造は、平面計画の要素群がグラフの上部に位置し、それらが色彩の要素、高さの要素に関係する構造を持つ。[ ]と[ ]グループの違いは、[ ]グループはA(細長比)、E(展示方式)が選好の結果に関係しない点や、[ ]グループの方がグラフの経路が多く、要素がより多様に関係する点にある。

[ ]グループと[ ]グループのグラフ構造は、平面計画の要素群がグラフ中央に直列にリンクし、色彩の要素、高さの要素は、L(壁配置)から迂回路のようにリンクする構造を持つ。[ ]と[ ]グループの違いは、[ ]グループはE(展示方式)が選好の結果に関係しない点や、[ ]グループの方が[ ]グループよりもグラフの経路が多く、要素がより多様に関係する点にある。

[ ]グループと[ ]グループのグラフ構造は、色彩の要素、高さの要素がグラフの上部に位置し、グラフの下部に位置する平面計画の要素群に関係する構造を持つ。[ ]と[ ]グループの違いは、[ ]グループの方がノードがよりグラフの経路が長く、選好に多くの要素が総合的に関係する点にある。

## (2) グラフ構造の考察

上記の[ ]と[ ], [ ]と[ ], [ ]と[ ]のベイジアンネットワークにおける3種類のグラフ構造は、平面計画の要素群の位置の違いによるものであった。平面計画の要素群がグラフの上部に位置する場合([ ], [ ])は、平面計画の要素群はR(選好の結果)に直接関係しない。下部に位置するI(色彩)やH(高さ)の要素との組合せによりR(選好の結果)に関係し、I(色彩)やH(高さ)の要素がR(選好の結果)に直接関係することを意味すると考えられる。平面計画の要素群がグラフの下部に位置する場合([ ], [ ])は、上部に位置するI(色彩)やH(高さ)の要素との組合せによりR(選好の結果)に関係し、平面計画の要素群がR(選好の結果)に直接関係することを意味すると考えられる。また、平面計画の要素群がグラフの中央で直列にリンクする場合([ ], [ ])は、I(色彩)やH(高さ)の要素との組合せによりR(選好の結果)に関

係する場合と、平面計画の要素群だけでR(選好の結果)に直接関係する場合の双方があることを意味すると考えられる。グラフの要素の位置により、それぞれの要素がR(選好の結果)にどのように関係するかを知識として把握することができる。

次に4グループ(全体の2/3)以上の確率モデルに共通する部分グラフが示す空間要素の関係を分析した。

ノードC(鑑賞者動線) ノードL(壁配置)への有向リンクが、[ ]~[ ]の6グループのノードR(選好の結果)に到る経路において見られた。この有向リンクは、鑑賞者の動きと壁配置の密接な関係を意味し、これらが選好の結果に関係することを示すと考えられる。

ノードL(壁配置) ノードS(面積)への有向リンクが、[ ]~[ ]の5グループのノードR(選好の結果)に到る経路において見られた。この有向リンクは、壁の圧迫感等を意味し、これらが選好の結果に関係することを示すと考えられる。グループ[ ]では、ノードL(壁配置)、ノードS(面積)は共にノードR(選好の結果)に直接リンクし、選好の結果に直接関係した。

ノードS(面積) ノードA(細長比)への有向リンクが、[ ]~[ ]の6グループのノードR(選好の結果)に到る経路において見られた。この有向リンクは、空間の平面形状を意味し、これらが選好の結果に関係することを示すと考えられる。[ ]グループでは、ノードR(選好の結果)に到る経路になかったことから、空間の平面形状は選好に関係しないと考えられる。

ノードL(壁配置) ノードI(色彩)への有向リンクが、[ ][ ][ ][ ]の4グループのノードR(選好の結果)に到る経路において見られた。この有向リンクは、壁の色等を意味し、これらが選好の結果に関係することを示すと考えられる。グループ[ ][ ]では、ノードL(壁配置)、ノードI(色彩)は共にノードR(選好の結果)に直接リンクし、選好の結果に直接関係した。

ノードS(面積) ノードE(展示方式)への有向リンクが、[ ][ ][ ][ ][ ]の5グループのノードR(選好の結果)に到る経路に見られた。この有向リンクは空間の大きさと展示方式に関係する視距離等を意味し、これらが選好の結果に関係することを示すと考えられる。

また、グループ[ ]~[ ]のすべてのモデルにおいて、L(壁配置)が平面計画の要素群や色彩の要素、高さの要素の基点となっていた。これは、展示の計画において、好みに関係なく、壁配置の計画が肝要であることを示すと考えられる。

### (3) 確率推論の結果

次にベイジアンネットワークの確率推論を行った。図4-5の選好の条件付確率より、各グループに選好される可能性の高い空間要素の組合せを知ることができるが、それらはノードR(選好の結果)に直接リンクする親ノードに限定される。そこで、図4-5の条件付確率の空間要素の組合せをベイジアンネットワークに代入し、確率推論を行い、残りのノードの確率分布を求めた。[ ]グループの確率モデルにおいて、S3(25 m<sup>2</sup> < S < 56 m<sup>2</sup>), H2(H=4.0m), L0(壁なし), R1(選好)を代入したときの確率推論の例を示す(図4-6)。ノードC(鑑賞者動線)ではC4(4方向接続)、ノードA(細長比)ではA1(1.0 < A < 1.5)、ノードI(色彩)ではI2(黒の部位2、白の部位1)が他の空間要素に比べて高確率となった。グラフ端部に位置するノードE(展示方式)では、どの要素の確率も低かった。選好される可能性の高い空間要素の組合せは、S3(25 < S < 56), H2(H=4.0m), L0(壁なし)に対して、C4(4方向接続), A1(1.0 < A < 1.5), I2(黒の部位2、白の部位1)であることが推測できる。

[ ]グループのベイジアンネットワークの確率推論を用いて、図4-5の条件付確率に示したS(面積), H(高さ), L(壁配置)の空間要素の組合せに対してそれぞれ残り

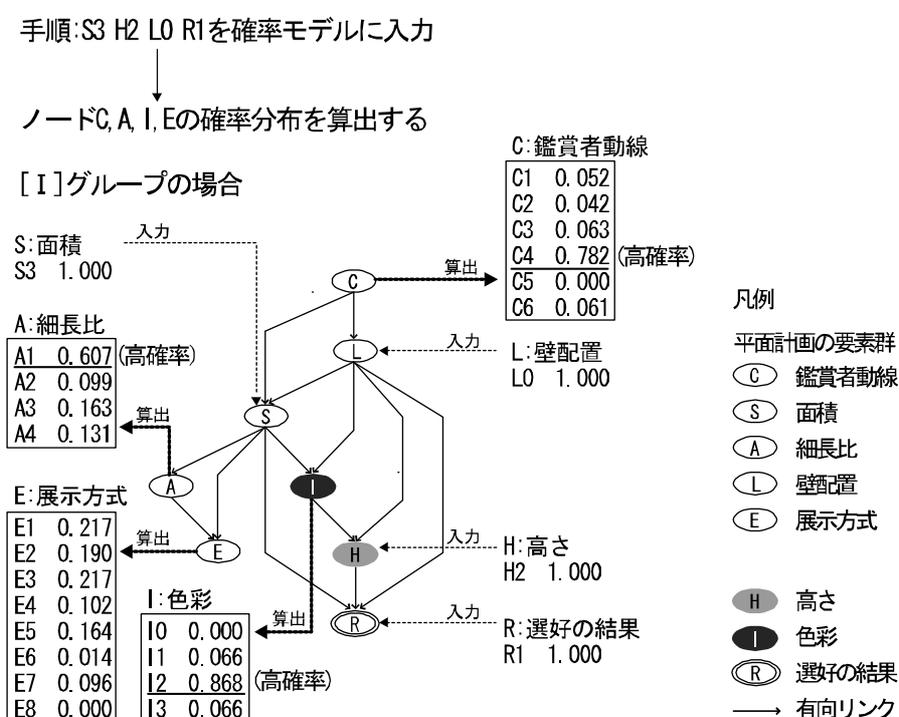


図4-6 空間要素の組合せを推測するベイジアンネットワークの確率推論

表 4-10 選好される可能性が高いと推測された展示の空間要素の組合せ

[I]グループ

入力した 空間要素 の組合せ	S(面積)	S3	1.000	S4	1.000	S4	1.000	S3	1.000	S5	1.000
	H(高さ)	H2	1.000	H2	1.000	H1	1.000	H2	1.000	H3	1.000
	L(壁配置)	L0	1.000	L2	1.000	L3	1.000	L2	1.000	L0	1.000
	R(選好の結果)	R0	1.000	R0	1.000	R0	1.000	R0	1.000	R0	1.000
	C(鑑賞者動線)	C4	0.860	C3	0.639	C2	0.955	C3	0.632	C6	0.712
	A(細長比)	A1	0.607	A2	0.602	A2	0.609	A1	0.607	A3	0.607
	I(色彩)	I2	0.868	I3	0.967	I1	0.997	I2	0.717	I2	0.948
	E(展示方式)	E1 (E3)	0.217	E7	0.239	E7	0.239	E1	0.217	E2	0.480

算出した確率分布において最高確率の空間要素の組合せ

手順1:対象を展示の空間要素で記述し、  
C2 S3 A1 H2 I2 L1 E4を得る

手順2:C2 S3 A1 H2 I2 L1 E4を  
確率モデルに入力する

ノードRの確率分布を算出する



対象の単位展示空間  
C2 S3 A1 H2 I2 L1 E4

[I]グループの場合

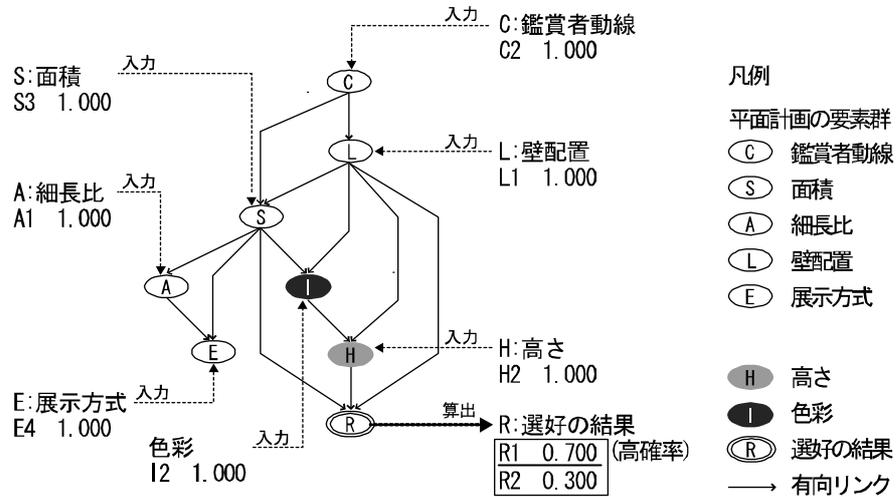


図 4-7 選好の結果を推測するベイジアンネットワークの確率推論

表 4-11 6 グループの対象の単位展示空間を選好する確率

R(選好の結果)	[I]グループ	[II]グループ	[III]グループ	[IV]グループ	[V]グループ	[VI]グループ
R1 (選好)	0.700	0.100	0.667	0.083	0.579	0.273
R2 (非選好)	0.300	0.900	0.333	0.917	0.421	0.727

の要素の確率分布を算出した。算出した確率分布において最高確率の要素を抽出し、表4-10に整理した。表4-10の確率を信頼度にして、予め決定された空間要素の組合せに対して、残りの空間要素を選択することができる。

また、図4-7に任意の単位展示空間が[ ]グループに選好される、あるいは選好されないかの推論の例を示した。表4-11は各グループの確率モデルに対する推論結果である。対象の単位展示空間が、[ ]～[ ]の好みのグループに選好される、あるいは選好されないかを、確率に基づいて推測することができる。全55単位展示空間に対する選好の結果の推定精度は、図4-5の判別率によって示される。

ベイジアンネットワークを用いて、選好の結果と展示の空間要素の関係を確率モデルで表現すれば、確率モデルのグラフ構造の相違から、好みの違いを空間要素の関係で視覚的に把握することができた。共通の部分グラフが示す空間要素の知見は、展示の空間の設計知識から逸脱しない内容であり、獲得したモデルはこれまで明示が困難であった知識を説明するものであった。また、ベイジアンネットワークの確率推論を用いて、展示の空間要素と選好の結果の関係を表す確率モデルから、選好される可能性の高い空間要素の組合せや展示の空間に対する選好の結果を推測できることを示した。

## 注釈

注1) ベイジアンネットワークは、一部の変数の観測結果を証拠状態として設定したときの、それ以外の変数についての確率分布を、確率伝搬法と呼ばれるアルゴリズムにより推論することができる。詳しくは文献<sup>1)</sup>を参照されたい。

注2) 感性評価実験には、単位展示空間ごとに平面図と2つの3Dイメージを1枚にまとめた説明シートを用意した。被験者ごとに説明シートを1枚ずつ提示して、その単位展示空間を「選好する」あるいは「選好しない」を選択する評価実験を行った。感性評価実験により、被験者50名(建築設計職に就く者25名、建築系学生25名)分の55単位展示空間に対する回答を得た。

注3) 第2章では、選好された空間の特徴を詳細に記述するため、17種類の空間要素を用いた。本章では、計画に用いる知識として整理するために、鑑賞者の動線形式、空間の立体形状、色彩、壁配置、展示方式の5項目の関係を把握することが大切であると考え、7種類の空間要素により簡潔にモデル化を行った。

注4) ベイジアンネットワークのグラフ構造の決定は、一般にNP困難で、様々な局所探索アルゴリズムが提案されている。用いる探索アルゴリズムによって、得られるグラフ構造は大きく異なった。本論ではWEKAに実装されているタブー探索法<sup>4)</sup>を用いた。タブー探索法は、探索力が高く、比較的探索時間の短い、実用的なアルゴリズムとして知られる。タブー探索法と遺伝的アルゴリズム(GA)やシミュレイトド・アニーリング(SA)を試用し比較した結果、GAやSAからは複雑過ぎて分かりにくいグラフが得られたが、タブー探索法からは短い探索時間で、適度に単純化されたグラフ構造のベイジアンネットワーク(図4-5)を得ることができた。

注5) 判別率は、同じグループに属する個人の好みの類似度に左右される。第2章では、[A]~[G]の7種類の空間のタイプに対して選好であるか非選好であるかを確認し、5タイプ以上が一致する選好マップを同グループとしたため、各グループのモデルの判別率もまた5/7(71.4%)程度になると考えられる。よって得られた確率モデルは適正であると云える。

注6) ノードR(選好の結果)の条件付確率に着目すると、ノードRに直接リンクするノードに対応する空間要素について、どの空間要素を含む場合にどのくらいの確率で選好するあるいは選好しないかを、好みの特徴として直接的に把握することができる。

## 参考文献

- 1) S. Russell and P. Norvig 著 古川康一監訳：エージェントアプローチ人工知能 (Artificial Intelligence, A modern approach)、共立出版、1997
- 2) 本村陽一：ベイジアンネットワークによるヒューマンモデリングの実際、信学技報、NC2004-54、pp.19-24、2004. 7
- 3) 岡野眞：美術館における展示空間の規模計画に関する基礎的研究、博士学位論文 (東京大学)、1978.3
- 4) Ian H. Witten, Eibe Frank: Data Mining 2nd - Practical Machine Learning Tools And Techniques-, Morgan Kaufmann Publishers, 2005

## 第5章 展示の計画への直交グラフ描画法を用いた 空間分割法の活用

## 第5章 展示の計画への直交グラフ描画法を用いた空間分割法の活用

前章までに獲得した空間に対する好みの知識を展示の計画に利用するには、計算機を援用して一体的でフレキシブルな空間を必要な条件に合わせて機械的に分割する方法を用いる。本章では、この計算機を援用した空間分割法を展示の計画に適用する方法を示す。

展示の計画では、空間の分割数や単位空間の順路を鑑賞者の動線として設定する。また展示の壁面長を最大限に確保し、鑑賞に伴う疲労感を緩和するために、鑑賞者の移動距離を極力短くすることが望まれる。このように展示の壁面長、鑑賞者の移動距離を同時に考慮しながら、鑑賞者の動線に合わせて一体的でフレキシブルな空間を分割する必要がある。設計解の探索は、空間の分割数や動線の設定を見直ししながら、条件を満足する分割パターンを得るまで繰り返し行われる。

一般に、人間の思考は知識に基づいて設計解を総合的に評価することを得意とするが、解の探索に要する膨大な情報処理を苦手とする。展示の計画において、人間が空間に対する好みの設計知識に基づいて空間の分割数や動線の設定、分割パターンの評価を行い、計算機が条件を満足する分割パターンを生成すれば、試行が容易になり、展示の設計案を合理的に検討することができると考えられる。

計算機を援用した空間分割法を展示の計画に適用するには、計算機の処理のために、計画問題のモデル化が必要である。展示の空間の分割パターンをシングルラインのグラフで表現すると、単位空間はラインに囲まれた面として表される。そして計画問題は、鑑賞者の動線に合わせて単位空間の結びつきを保持したまま、展示の壁面長を極力大きくし、鑑賞者の移動距離を極力短くするように、一体的な空間を分割する問題(展示の空間分割問題)にモデル化される。

単位空間の結びつきを保持するには、空間の隣接関係を制約条件として、グラフ理論を用いる方法が適切である。しかしながらグラフ理論を用いた方法は1.5 関連する研究および本論の位置づけで示したように、扱うことのできる単位空間の隣接関係に制約がある<sup>1)</sup>。また展示の壁面長を確保するには、同面積の矩形よりも外周長の長い直交非矩形(以下、非矩形)の単位空間を含めて扱う方法が有効であると考えられる。グラフ理論を用いた既往研究に、非矩形の単位空間を扱うものはない。そこで本章は、展示の空間の分割パターンを直交グラフ<sup>注1)</sup>にモデル化して、非矩形の単位空間を扱い

隣接関係の制約を解消する直交グラフ描画法<sup>2)</sup>を導入する。そして、条件を満足する多様な分割パターンを機械的に生成する展示の空間分割法を提示する。

### 5.1 目的と方法

計算機を援用して一体的でフレキシブルな空間を機械的に分割する方法を展示の計画に適用して、鑑賞者の動線に合わせた単位空間の隣接関係を保持しながら、展示の壁面長を極力大きく、鑑賞者の移動距離を極力短くする展示の空間の分割パターンを多様に生成する展示の空間分割法を提示することを目的とする。

方法としては、まず展示の計画問題のモデル化を行うために、展示の空間の分割パターンを直交グラフとして表現する。計画条件となる鑑賞者の動線を単位空間の隣接関係、鑑賞者の移動距離を単位空間の重心間距離の和、展示の壁面長を単位空間の外周長の和としてグラフ上に定義し、展示の計画問題を、条件を満足する直交グラフを求める問題として定式化する。次に直交グラフ描画法を導入・拡張して、非矩形の単位空間の生成を制御しつつ、直交グラフの多様化を図る。最後に、独自に提案する直交グラフの座標最適化手法<sup>1,3)</sup>を用いて、条件を十分に満足するグラフの座標集合を求め、多様な分割パターンを直交グラフとして獲得する。

## 5.2 展示の空間分割問題

### (1) 展示の計画問題のモデル

展示の計画に計算機を援用するには、計算機処理のために、設計目標を単純に表現し、モデル化を行う必要がある。

展示の計画では、空間の分割数や単位空間の観覧順序を鑑賞者の動線として設定する。動線は、単位空間を点、空間の結びつきを線分とする図式で表現される。空間を分割する壁面は、動線に合わせて、単位空間を示す点の周りに配置される(図5-1)。図5-1A1, A2は建築計画学<sup>4)</sup>において展示の空間の代表的な巡回方式とされる接室順路方式と中央ホール形式の動線を示す。廊下接続方式は、廊下を一点で表現すると、中央ホール形式と同じ型(図5-1A2)になる。各方式の特徴を以下に記す。詳しくは文献4)を参照されたい。

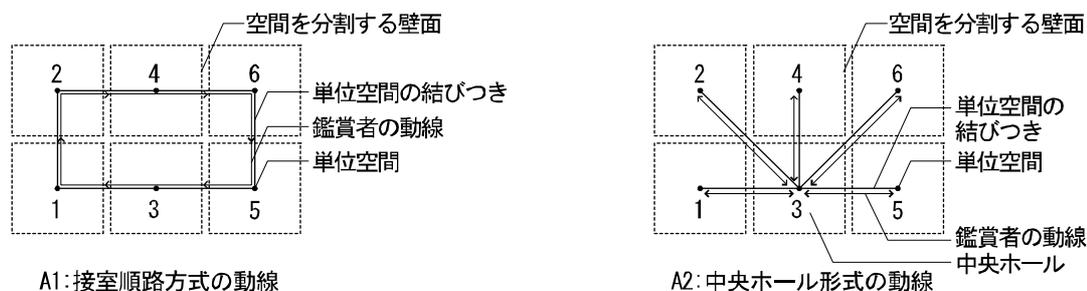


図5-1 鑑賞者の動線を表わす図式

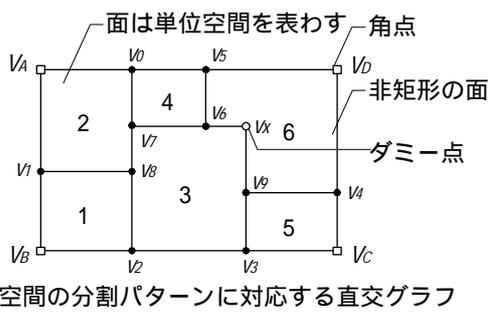
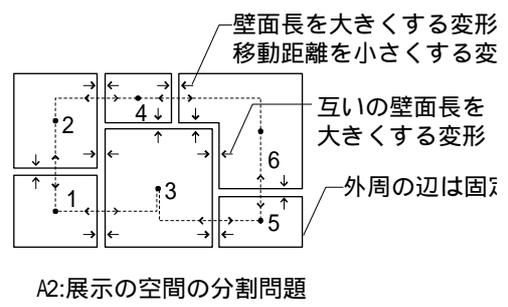
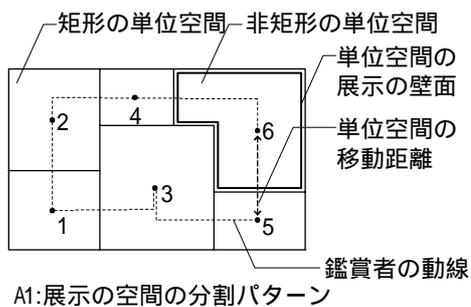
接室順路方式は単位空間をつなげて動線をつくるもので、観覧順序は一般的には非可逆である。中央ホール形式は中心となる単位空間に他の空間が接続する形式で、観覧順序は自由である。廊下接続方式は、単位空間が廊下に接続する形式で、単位空間の観覧順序は非可逆、もしくは自由どちらでも設定することができる。

空間を分割する壁面は、通常、直交するように配置され、分割された空間は矩形もしくは非矩形となる。非矩形の単位空間は、同面積の矩形の単位空間よりも外周長が長く、展示の壁面長の確保に有効であると考えられる。そこで矩形と非矩形の単位空間を含む分割パターンを扱う。

矩形と非矩形の単位空間を含む展示の空間の分割パターンをシングルラインで記述すると、単位空間はラインに囲まれる面として表現される(図5-2A1)。単位空間の結びつきは互いの空間が隣接することにより満足される。単位空間の展示の壁面長は単位空間の外周長、鑑賞者の移動距離は単位空間の重心間距離に置き換えられる。

このとき、展示の壁面長を大きくすることと鑑賞者の移動距離を小さくすることは、基本的には相反する要求となる(図5-2A2)。展示の空間分割問題は、単位空間を適度な大きさに調整し、展示の壁面長と鑑賞者の移動距離の条件をバランスよく満足する分割パターンを探索する問題と云える。

このような分割パターンは直交グラフによって表現される(図5-2A3)。グラフの面は単位空間を表す。グラフの点は基本的に3次であり、外周部の角に位置する2次の点を角点、非矩形の面に含まれる2次の点をダミー点と呼ぶ。直交グラフで表現された分割パターンにおける展示の空間の外形や単位空間の隣接関係、展示の壁面長、鑑賞者の移動距離を以下に定義する。



- 凡例
- 2 数字は単位空間を表わす
  - 単位空間の重心
  - 鑑賞者の動線
  - ← 壁面長を大きくする変形 (単位空間を大きくする変形)
  - ↔ 移動距離を小さくする変形 (単位空間を小さくする変形)

図5-2 展示の空間分割問題のモデル

### 展示の空間の外形

展示の空間の外形を直交グラフ(以下外形グラフと呼ぶ)で表わし、空間分割法により獲得される分割パターンの外形をすべてこのグラフに一致させる。外形は直交グラフで表現可能なもの(図5-3A類)に限定される。図5-3B類のような図形を取り扱うことはできない。

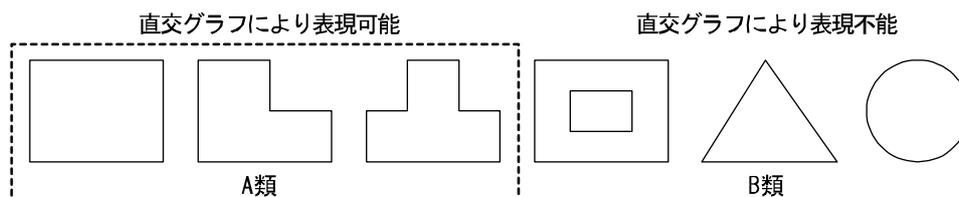


図5-3 展示の空間の外形グラフの例

### 隣接関係

単位空間が隣り合うか隣り合わないかを隣接関係として表現する。単位空間同士が1辺以上共有する場合を隣接する、そうでない場合を隣接しないと定義する。これらは空間を分割する際の制約条件となる。長方形分割図を用いた既往研究<sup>5)</sup>では、図5-4A1のみを隣接すると定義されるが、ここでは図5-4A1、A2、A3を隣接するとし、図5-4Bは隣接しないとする。図5-4A1、A2、A3の隣接関係は1-2というグラフで表現される。1と2は単位空間を表し、グラフの辺は隣接することを示す。単位空間1、2間が移動可能であるかどうかは任意とする。

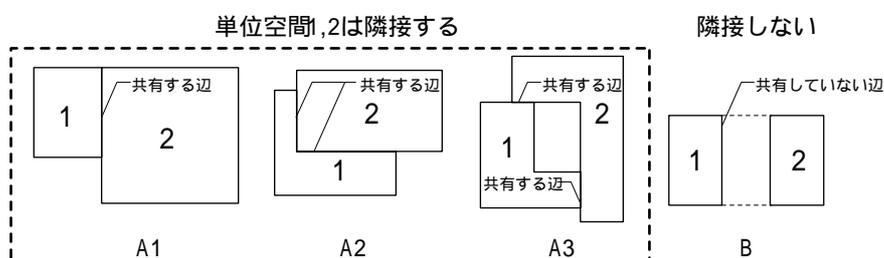


図5-4 隣接関係の例

### 展示の壁面長

単位空間の外周の壁面を展示に用いるとして、単位空間が矩形、非矩形問わず、単位空間  $i$  の外周長  $L_i$  を単位空間  $i$  の展示の壁面長として定義する(図5-5)。出入口による展示の壁面の欠損は考慮しない。

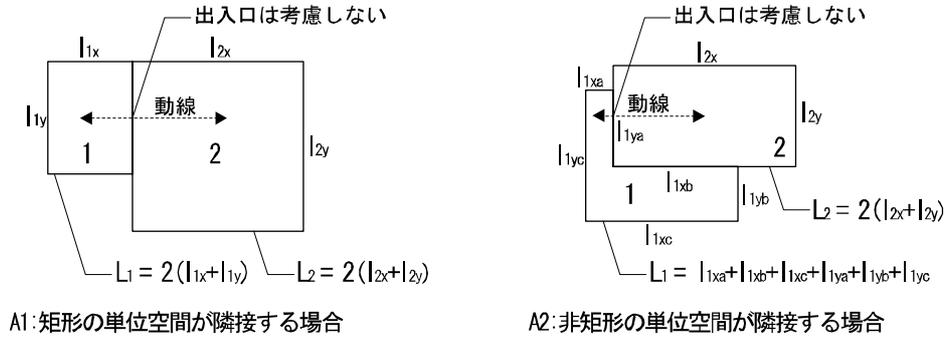


図5-5 展示の壁面長

このとき、展示の壁面長  $L$  は、単位空間  $i$  の外周長  $L_i$  の総和

$$L = \sum_{i=1}^n L_i \quad (n \text{ は空間の分割数}) \quad (1)$$

として表される。

### 鑑賞者の移動距離

任意の単位空間から単位空間への鑑賞者の移動は、空間を分割する壁面に平行であると想定し、鑑賞者の移動距離を  $x$ ,  $y$  方向に分けて算定する。図5-6A1のように矩形の単位空間が隣接する場合には、単位空間 1 2 間の鑑賞者の移動距離は、 $D_{12} = |x| + |y|$  で表す。

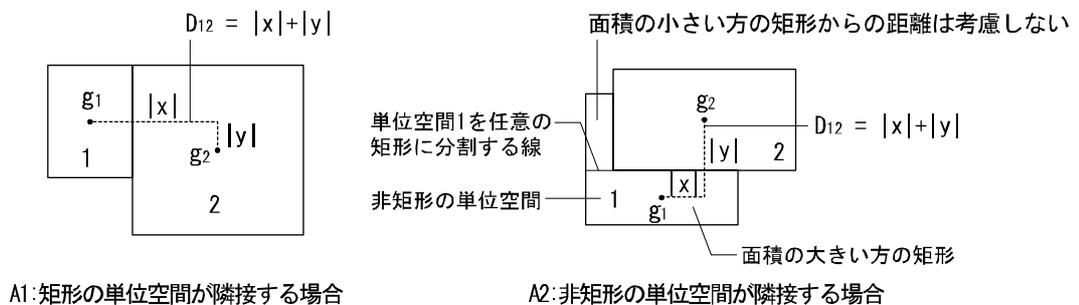


図5-6 鑑賞者の移動距離

非矩形の単位空間が隣接する場合には、任意の矩形の単位空間に分割する。面積の大きい方の矩形の重心を用いて、重心間距離を算定する(図5-6A2)。動線に合わせて単位空間の重心間距離の和を求め、これを鑑賞者の移動距離  $D$  とする。このとき鑑賞者の移動距離  $D$  は、

$$D = \sum D_{lm} \quad (l, m \text{ は指定した単位空間の番号}) \quad (2)$$

と定義される。鑑賞者の動線は任意に指定することができる。図5-2A1の動線は、単位空間の番号を用いて、3 1 2 4 6 5 3 と表される。

## (2) 展示の空間分割問題の定式化

単位空間の外周長の和  $L$  を大きくする要求と単位空間の重心間距離の和  $D$  を小さくする要求は、相反する要求である(図5-2A2)。これらの要求を同時に満足するために、分割パターンの指数  $Q$  を提案する。指数  $Q$  は、展示の壁面長  $L$ 、鑑賞者の移動距離  $D$  を用いて、

$$Q = D/L \quad (3)$$

と定義する。

このとき、単位空間の結びつきを保持し、展示の壁面長を極力大きく、鑑賞者の移動距離を極力小さくするように分割する展示の計画問題は、単位空間の隣接関係を制約条件とし、分割パターンの指数  $Q$  を最小化する分割パターンを求める問題として定式化される。

### 5.3 展示の空間分割法の概要

まず展示の空間の分割数や観覧順序を鑑賞者の動線として設定し、単位空間の隣接関係をグラフで表現する。次に、直交グラフ描画法を導入して分割パターンの多様化を行い、座標最適化手法により分割パターンの指数  $Q$  を最小化する直交グラフの点の座標集合を決定する。このような空間分割法を適用し、一体的でフレキシブルな展示の空間を条件を満足するように分割し、多様な分割パターンを機械的に生成する。展示の空間分割法の手順を図 5-7 に示す。

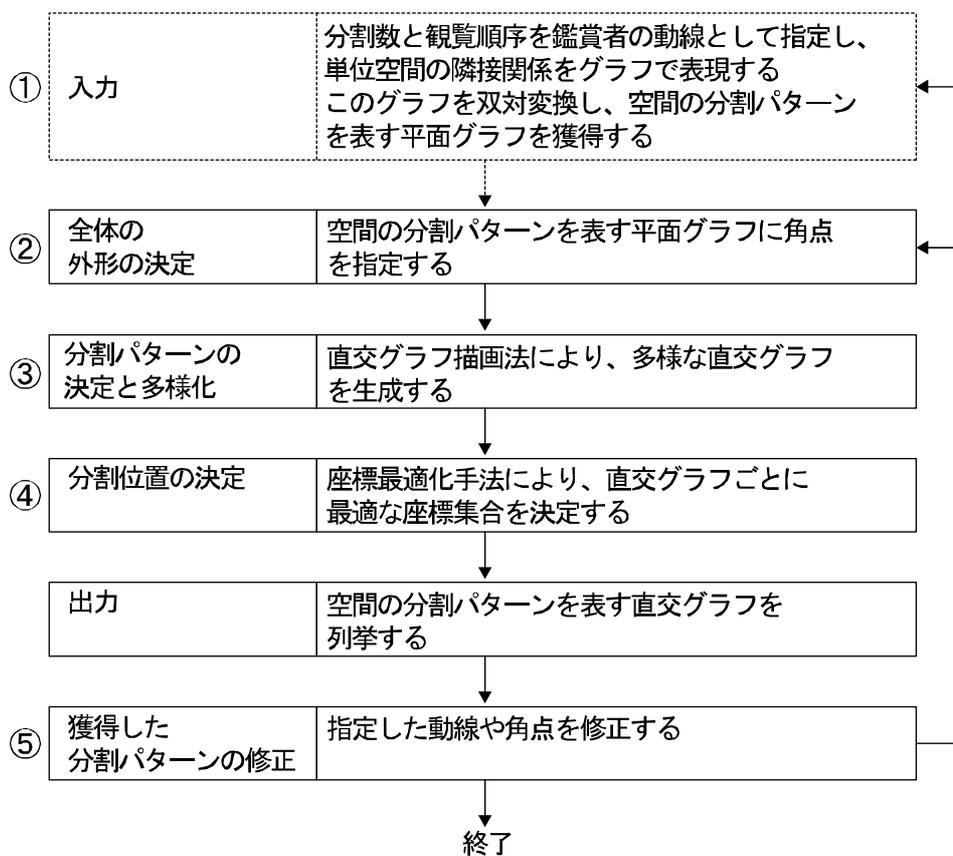


図 5-7 展示の空間分割法の基本手順

#### 入力

展示の空間の分割数と単位空間の観覧順序を鑑賞者の動線として設定する。次に単位空間の隣接関係をグラフで表現し、その双対グラフから、単位空間の分割パターンを表わす平面グラフを得る。平面グラフの辺の向きや位置は定まっていない。ここでは、このような双対グラフが与えられたとき、展示の空間の外形や展示の壁面長、鑑賞者の移動距離の条件を満足する空間の分割パターンを機械的に生成する。

### 外形グラフによる全体の外形の決定

展示の空間の外形を外形グラフに適合させる。外形グラフの頂点  $V_x$  ( 図 5 - 8 における  $x = A, B, C, D$  ) に対応する点を、分割パターンを表わす平面グラフの辺上に指定する。指定した点を直交グラフの角点として、平面グラフの外形を外形グラフに適合するように変形させる。

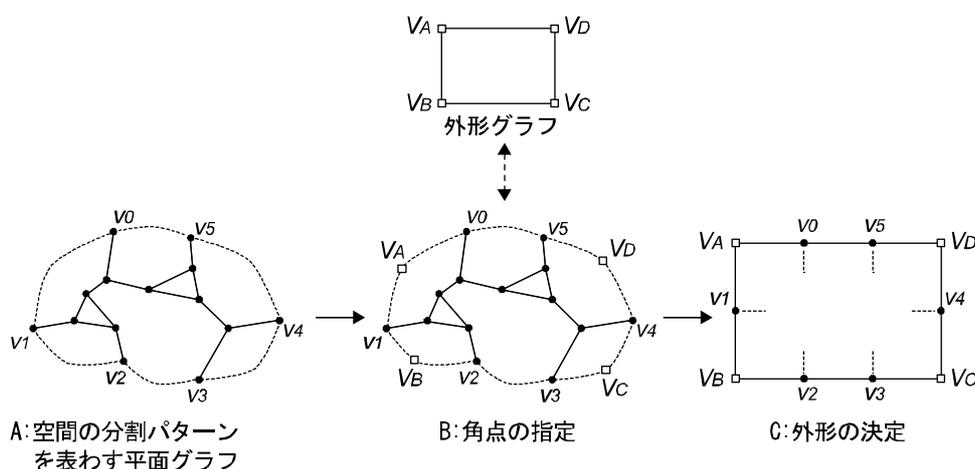


図 5 - 8 分割パターンを表わす平面グラフの外形の決定

### 直交グラフ描画法による空間の分割パターンの決定と多様化

直交グラフ描画法<sup>注2)</sup>により、平面グラフの外周部の辺を外形グラフに合わせて水平もしくは垂直方向に決定する。続いて内部の辺の方向は任意に水平もしくは垂直に決定し、空間の分割パターンを表わす直交グラフを決定する。図 5 - 9 B1、B2 はともに図 5 - 9 A から得られる直交グラフであるが、点線部分の辺の方向  $V_k V_j$  が異なり、別の分割パターンを表す。直交グラフ描画法には拡張を施し( 5 . 4 直交グラフ描画法の拡張を参照)、図 5 - 9 B1、B2 のように、辺の方向が部分的に異なる直交グラフを全て列挙する。獲得される直交グラフの各点の座標は定まっていない。

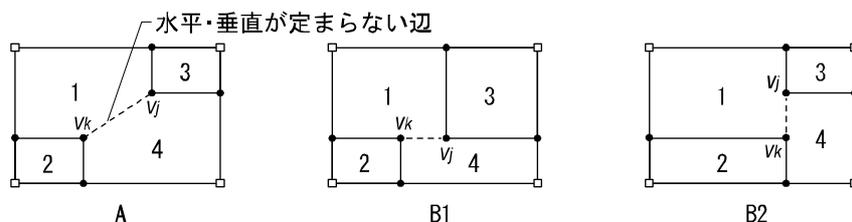


図 5 - 9 部分的に辺の方向が異なる分割パターン

### 座標最適化手法による分割位置の決定

タブー探索法<sup>注3)</sup>を用いた座標最適化手法を提案する。直交グラフの角点の座標を定数、角点以外の点の座標を変数とする。タブー探索法を用いて、外形を固定したまま、グラフ内部の線分を移動させ、分割パターンの指数  $Q$  を最小化する変数の座標集合を決定する。座標集合により分割位置は決定される。直交グラフ描画法により生成された全ての直交グラフについて行い、異なる配置構造を持つ分割パターンをすべて列挙する。図 5 - 10 に座標最適化による分割位置の移動の例を示す。

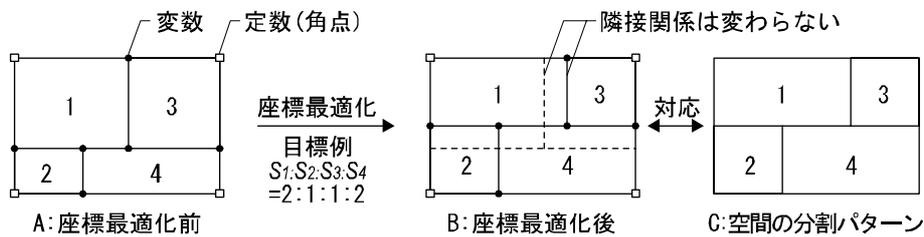


図 5 - 10 座標最適化手法による分割位置の移動と分割パターンの決定

### 獲得した分割パターンの修正

本来、得られる分割パターンそれぞれに対して、単位空間の配置に適した動線を指定する必要がある。しかしながら、動線を指定する初期の段階で、配置に適した動線を指定することは困難である。したがって、生成された結果を見て、観覧順序や分割数を修正し、再実行する必要がある。このようなフィードバックにより、単位空間の配置とそれに適した動線の間を調整する。

## 5.4 直交グラフ描画法の拡張

### (1) 直交グラフ描画法の導入

グラフ描画分野で用いられる直交グラフ描画法<sup>2)</sup>に拡張を施し、展示の空間分割法に導入する<sup>注4)</sup>。直交グラフ描画法はグラフの分かりやすさ・見やすさを主眼におくため、辺の曲げ<sup>注5)</sup>を最少にして、可能な限り面を矩形にしながら、平面グラフを直交グラフで描画する。つまり矩形の単位空間に分割しても隣接関係を満足することができない場合に、非矩形の単位空間を必要最小限に生成し、隣接関係の制約を解消する描画法である(図1-3)。

直交グラフ描画法は、本来、平面グラフを任意の1つの直交グラフに描画するためのものである。しかしながら展示の空間の分割パターンの検討には、条件を最も満足する分割パターンを唯一解として提示するよりも、条件を十分に満足する配置構造の異なる分割パターンを複数列挙する方が、設計解を幅広く検討することができる。そこで条件を満足する直交グラフをすべて列挙するように、直交グラフ描画法に拡張を施す。

### (2) 多様な分割パターンを生成するための拡張点

直交グラフ描画法は、縮約(contraction)という操作によって、縮約グラフ(図5-11A1)と被縮約部分グラフ(図5-11A2)に分け、多段階の手順で行われる。縮約グラフでは矩形グラフ描画法を用いて内部の辺の方向を決定する。被縮約部分グラフでは、ダミー点を設定した後、矩形グラフ描画法を用いてグラフ内部の辺の方向を決定する。最後に被縮約部分グラフを縮約グラフへ埋め込む。直交グラフ描画法は平面グラフが直交グラフで描画できれば十分であるため、それぞれの段階で1つに定まらない選択候補の中から、無作為に1通りに決定しながら1つの直交グラフを獲得する。本章では以下の2つのケースの選択候補を組合せ、条件を満足する直交グラフを総列挙するように拡張する。

#### 1) 矩形グラフ描画法によってグラフ内部の辺の方向は一意に定まらない場合が存在する

外形が決定すると、外形上の点から内部に向かう辺は一意に定まる。よって外平面に接する面(外周と接する面) $f_i$ が4つの辺で構成される場合には $f_i$ が矩形になる。しかし上記の場合を除き図5-9のように、各辺の方向は一意に定まらない。図

5-11A1 では、辺  $XV_1$ 、 $V_1Y$ 、 $YV_5$  がそれぞれにあたる。このような辺の方向を水平、垂直方向にして、それらの組合せにより矩形グラフの多様化をはかる。

2) 縮約点への埋め込みは、一意に定まらない

ダミー点を追加し矩形描画した被縮約部分グラフを、平面性<sup>注6)</sup>を損なわないように縮約点に埋め込む。非矩形の単位空間は、この埋め込みにより生成される。埋め込みパターンは一つの縮約点に対して4通りが存在する。つまり埋め込みにより4通りの非矩形の単位空間が生成される。図5-11に縮約点Yの埋め込みパターンを示す。詳細は文献2)を参照されたい。

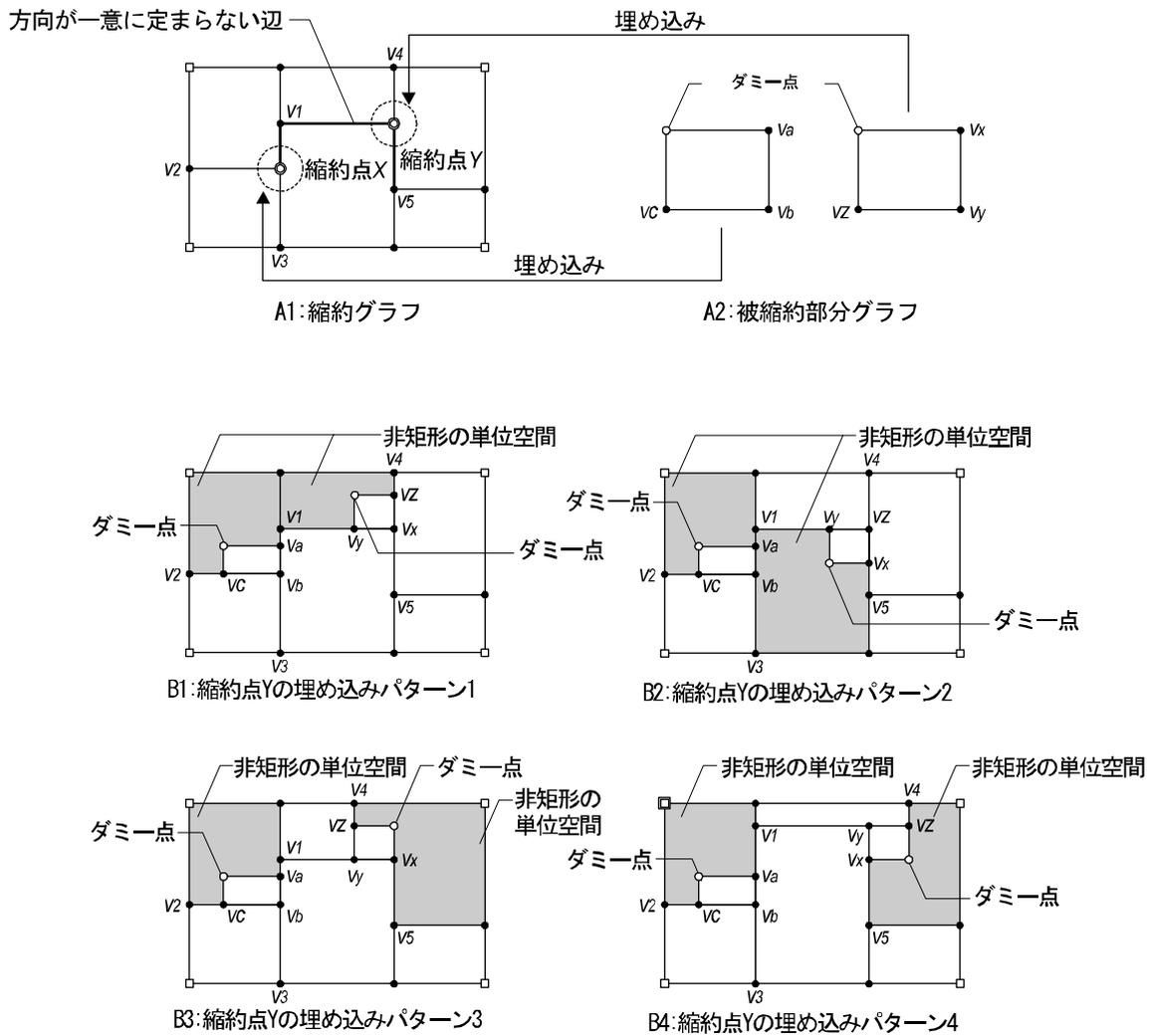


図5-11 縮約グラフへの埋め込みパターン

## 5.5 タブー探索法を用いた座標最適化手法

### (1) グラフ構造と制約条件

直交グラフの点の座標集合が与えられれば、鑑賞者の移動距離  $D$ 、展示の壁面長  $L$ 、及び分割パターンの指数  $Q$  の値を算出することができる。そこで直交グラフの点の座標集合を変数として、式(3)を最小化する座標集合を求める。

一般には元のグラフの水平線分、垂直線分の隣接関係を保存することが困難で、座標最適化の際に問題となる。平面グラフの座標最適化において、グラフの平面性を保持するために、グラフ構造に着目する。線分同士の交差を禁止するために、水

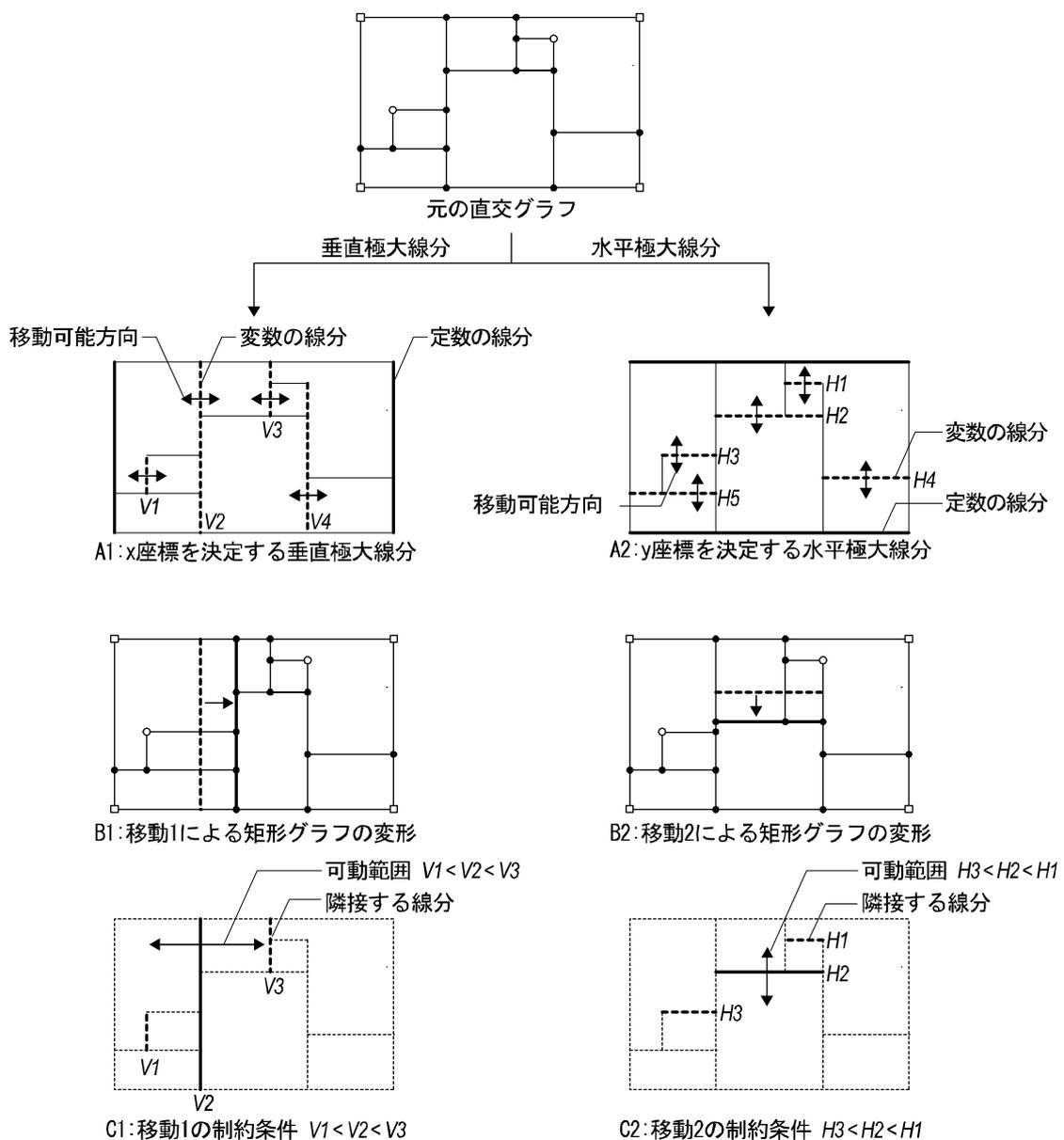


図 5-12 グラフの平面性を保持するための極大線分の制約条件

平極大線分の座標の上下関係、垂直極大線分の座標の左右関係を保存し、グラフ描画を保証する。図5-12A1、A2に直交グラフの水平極大線分と垂直極大線分を示す。図5-12B1、B2のように、グラフは極大線分の移動により変形される。グラフの平面性を保持するための制約条件は、極大線分の位置関係を用いて図5-12C1、C2のように記述することができる。

## (2) 組合せ最適化問題への定式化

空間の分割位置の調整は、通常、ある規定されたグリッドに基づいて行われる。そこで分割位置の座標を、グリッドに基づく離散変数とする。外形が矩形の場合には外形グラフを、外形が非矩形の場合には外形グラフの最小包含矩形をグリッド幅で等分割する(図5-13A1、A2)。それらの分割点に各極大線分の位置を割り付けることで直交グラフの座標を決定することができる。このときグラフの頂点の座標集合は、分割点の組合せにより表現される。図5-13B1に水平・垂直極大線分と分割点の組合せを、図5-13B2に対応する直交グラフを示す。

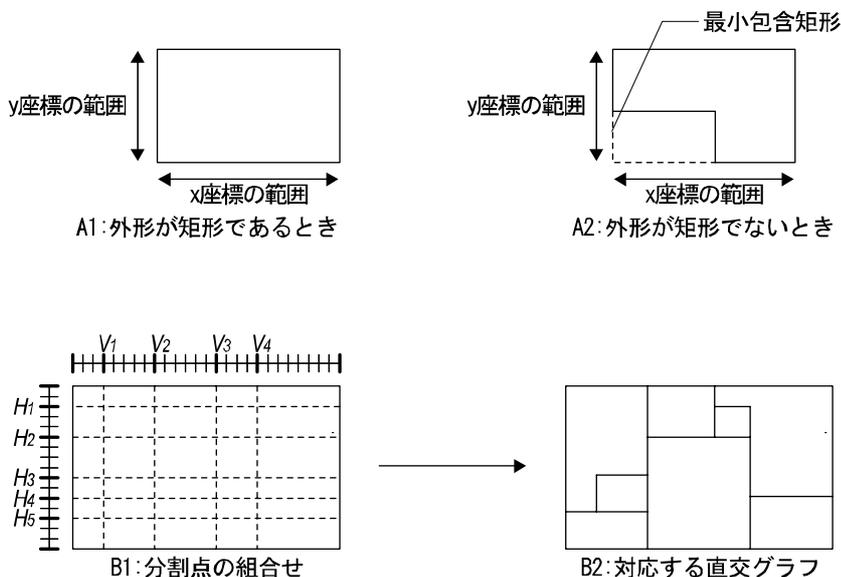


図5-13 座標変数の分割点への割り付けと対応する直交グラフ

こうして直交グラフの座標の最適化問題は、座標変数  $V_i, H_j$  ( $1 \leq i \leq l, 1 \leq j \leq m$ ) に分割点を割り当てて、式(3)の目的関数を最小にする組合せ最適化問題に帰着させることができる。 $l, m$ は各々垂直極大線分と水平極大線分の数を表す。垂直極大線分のx座標を左から順に  $V_1, \dots, V_l$ 、水平極大線分のy座標を上から順に  $H_1, \dots, H_m$  とする。

(3) 座標最適化に用いるタブー探索法

上記の組合せ問題に対してタブー探索法<sup>6)</sup>を適用する。この際に重要なのが近傍の定義であり、本章では以下のような近傍を用いる。変形操作のタブー記憶リストは16とし実装した。

現在得られている解を  $x$  とし、 $x$  を少し変形して得られる解集合が近傍  $N(x)$  である。本章で用いる解の変形操作について説明する。

$x$  における  $i$  番目の垂直線分に対し、その座標を大きくする方向に隣り合う分割点へ +1 だけ動かす操作を  $move(V_i, +1)$  と表し、その座標を小さくする方向に -1 だけ動かす操作を  $move(V_i, -1)$  と表す。水平線分に対しても同様に  $move(H_j, +1)$ 、 $move(H_j, -1)$  を定義する。すると  $N(x)$  は以下のように定義される。

$$N(x) = \{x^{move(V_i, +1)}, x^{move(V_i, -1)} \mid 1 \leq i \leq l\} \cup \{x^{move(H_j, +1)}, x^{move(H_j, -1)} \mid 1 \leq j \leq m\} \quad (4)$$

なお、順序を満たす範囲で、乱数を用いて生成された実行可能解を初期解とする。図 5-14 に  $x$  の変形操作とそれに対応する直交グラフの例を示す。

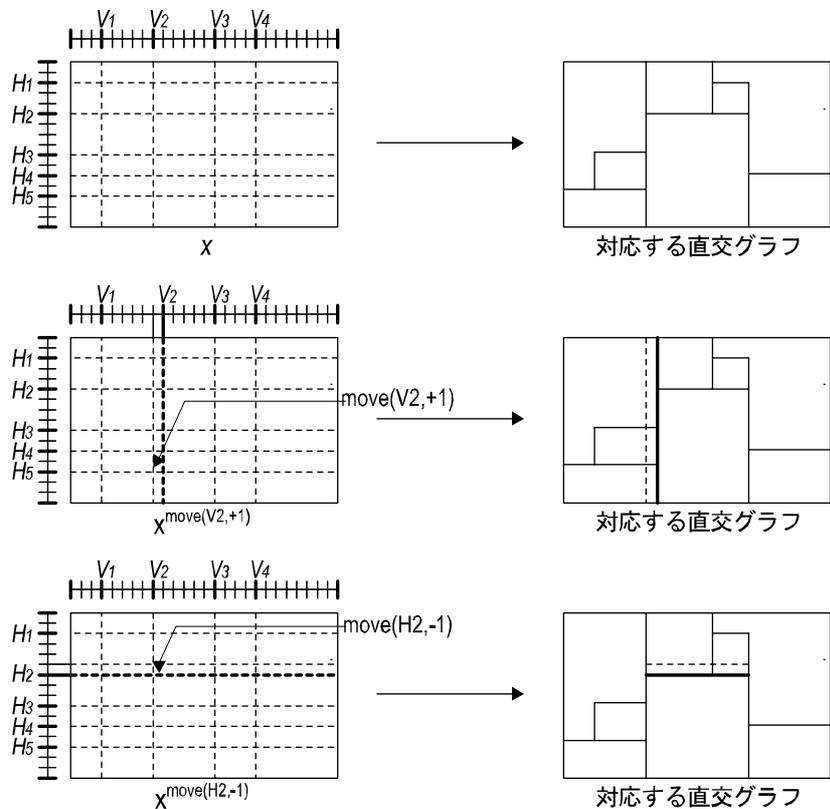


図 5-14  $x$  の変形操作と対応する直交グラフ

注釈

注1) すべての線分が水平もしくは垂直に描画され、両端点以外に他の線分と交わる  
ことのない平面グラフ。長方形分割図もこの一つである。

注2) 直交グラフ描画法の概要を以下に述べる。まずはじめに、外形を長方形で描画  
する為に、各頂点となる角点を任意の4辺に追加する(図5-15A1)。G上の閉路に  
着目したとき、閉路上の点から閉路の外側に向かう辺を閉路の足と呼び、足の接  
続している点を足点と呼ぶ(図5-15A2)。矩形描画においては、閉路上の足点を角  
点としてみなすため、閉路上に3つの足点しか存在しなければ、その閉路は矩形  
描画不可能である。この閉路を3足サイクルと呼び、グラフ上から矩形描画不可  
能な3足サイクルを取り除くため、その部分を一点に置き換える。この操作を縮  
約(contraction)と呼び、置き換えられた点を縮約点と呼ぶ(図5-15A3)。この  
とき縮約によって点が減じたグラフを縮約グラフ、縮約によって抽出された部分

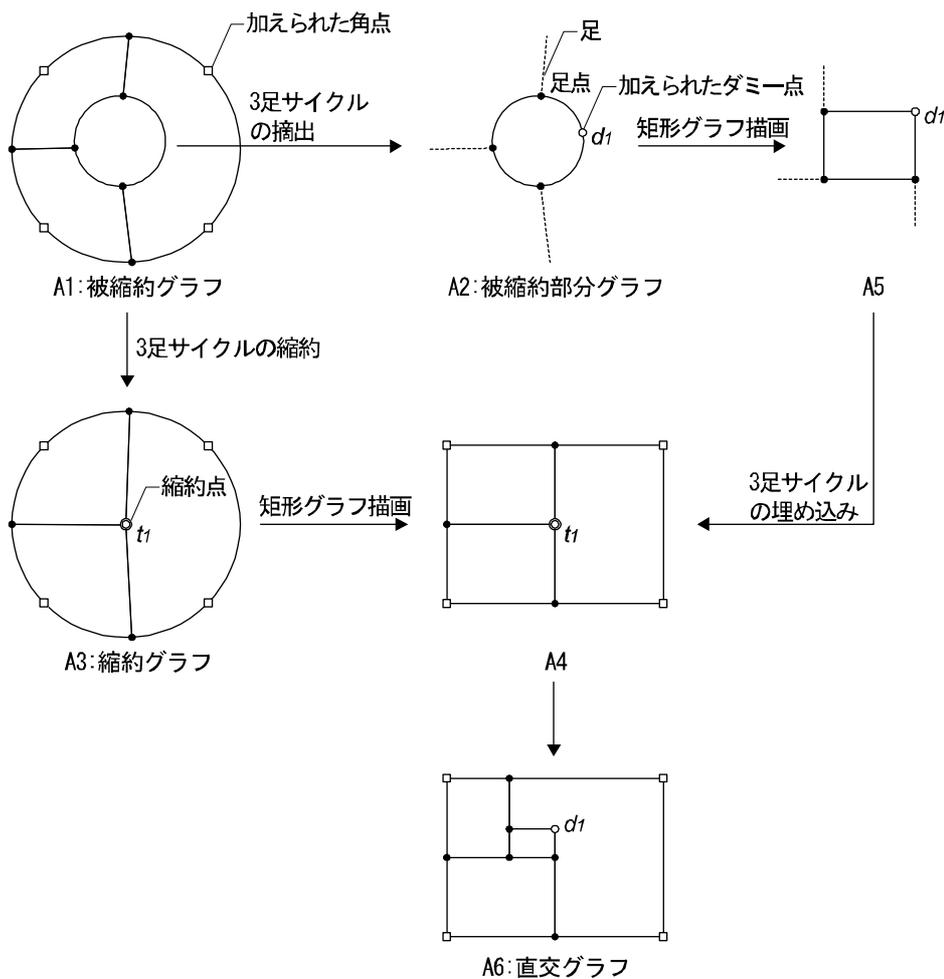


図 5-15 直交グラフ描画法の手順

グラフ(3足サイクルで囲まれた部分グラフ)を被縮約部分グラフと呼ぶ。一般に被縮約部分グラフ内部にも3足サイクルが現れる場合も多く、被縮約部分グラフに3足サイクルが現れなくなるまで、縮約操作を繰り返し行う。このようにして得られたグラフは矩形グラフ描画可能であり、それを矩形グラフ描画法<sup>7)</sup>により、矩形グラフで描画する(図5-15A4)。

一方、縮約操作によって抽出された被縮約部分グラフは外形が矩形に定まらないために矩形描画が不可能であるが、ダミー点と呼ぶ点を仮想的に追加し、ダミー点による曲げを生成することで、外形を矩形に定め、矩形グラフ描画法により矩形グラフで描画する(図5-15A5)。全ての被縮約部分グラフを矩形で描画した後、これらを縮約グラフ内の縮約点に順次埋め込んでいくことで、元のグラフGの直交グラフを獲得する(図5-15A6)。非矩形の面は、縮約点に被縮約部分グラフを戻すときに、ダミー点によって作られた曲げを持つ辺の外側にはじめて表れる。またこのようにして得られた直交グラフが、曲げの数が最小であることは論文2)で保証されている。

注3) 対象とする最適化問題の近似解xを生成し、それを解消しながら最適解を探索するアルゴリズムで、遺伝的アルゴリズムと並んで、組合せ的にすべての解空間を探索することが不可能な組合せ最適化問題に対して有効であることが知られる。タブー探索法(Tabu Search)は、その基本となる局所探索法(Local Search)に「タブー」という概念を加味した探索法の一つと定義される。タブー探索法の詳細については文献6)を参照されたい。

注4) 入力グラフを直交グラフ描画法に導入する際には、入力グラフの正則3次グラフへの修正が必要である。それはグラフ内の4次以上の点を3次の点へ分割することにより行う。本章では分割パターンへの影響を配慮し、実装上、新しく生成された辺(図5-16の点線)の長さは微小に設定した。

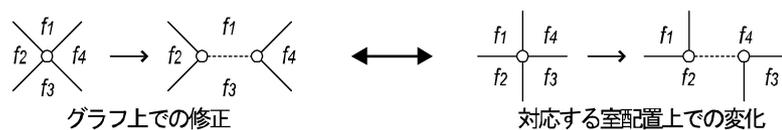


図5-16 4次の点の分割操作

注5) 辺の途中で方向が変化すること。長方形分割図には見られない。

注6) 辺がその端点だけで交わるように描画可能なグラフの性質である。

## 参考文献

- 1) 宗本晋作、加藤直樹、今村元一：直交グラフ描画法を用いた室配置手法  
- タブー探索法を用いた対話型多目的最適化 -、日本建築学会計画系論文集、  
第529号、pp.279 286、2000.3
- 2) M.S.Rahman, S.Nakano and T.Nishizeki, A Linear Algorithm for  
Orthogonal Drawings of Triconnected Cubic Plane Graphs, Proc. of 5th  
Int.Symp., GD '97. LNCS 1353, pp.99-110, 1997, Springer Verlag
- 3) 宗本晋作, 加藤直樹, 今村元一：直交グラフ描画法に基づく最適室配置手法、  
日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.459 460、1998.9
- 4) 半澤重信：博物館建築 博物館・美術館・資料館の空間計画、鹿島出版会、1991
- 5) 寺田秀夫、室空間の隣接関係により定義された長方形分割図を求める方法  
について、日本建築学会計画系論文集、第414号、pp.69-80、1990.
- 6) F.Glover, M.Laguna, Tabu Search, Kluwer Academic Publishers, 1997
- 7) M.S.Rahman, S.Nakano and T.Nishizeki, Rectangle grid drawings of plane  
graphs, Proc. of COCOON '96, LNCS 1090(1996), pp.92-105,  
Springer Verlag

## 第6章 空間嗜好の知識を用いた展示計画法の試行

## 第6章 空間嗜好の知識を用いた展示計画法の試行

第2章では、展示の空間に対する好みの対象空間の特徴と個人の特質を視覚的に把握して類型化を行った(表2-9)。第3章では、展示の空間に対する印象評価の結果を必要最小の空間要素の組合せで直接的に記述し、印象評価に寄与する空間要素を分類し、好みの知識を得た(表3-16)。第4章では、展示の空間に対する選好の結果と空間要素の関係を確率モデルで表現し、確率推論により選好される可能性の高い空間要素の組合せの推測(図4-6)や、単位展示空間の選好の結果の予測(図4-7)を行って、好みの知識として利用できることを確認した。前章では、得られた好みの知識を展示の計画に取り入れて利用するための計算機を援用した展示の空間分割法を提示した。本章はこの展示の空間分割法を用いて、獲得した空間に対する好みの知識を展示の計画に利用して設計知識としての有用性を検証する。

### 6.1 目的と方法

計算機を援用した展示の空間分割法を用いて、空間に対する好みの知識を展示の計画に利用し、設計知識として有用であることを示すことを目的とする。

方法としては、まずは展示の空間分割法を例題に適用し、展示に必要な計画条件を満足する多様な分割パターンを生成する。生成された結果を検討しながら条件を変更して分割パターンの修正を行う。異なる動線形式の分割パターンを生成し、前章の展示の空間分割問題の定式化と分割法が展示の計画に有意であることを示す。次に空間に対する好みの知識を用いて、展示の空間分割法により生成された分割パターンから設計解候補を選択し、単位展示空間ごとに好まれる可能性の高い空間要素の組合せを推測して、展示の設計案を作成する。そして空間に対する好みの知識が設計知識として役立つかを検証する。

## 6.2 空間分割法の試行結果

展示の空間分割法の手順に従い、空間に対する好みの知識を用いながら試行した。以下にその結果を示す。

### 1) 例題

間口20m 奥行20mの正方形の外形を持つユニバーサルな展示の空間を展示ゾーンとエントランスホールとショップに分割する。出入口は間口方向の1辺のみとする。展示の空間の外形を、外形グラフとして20m × 20mの正方形で表現する(図6-1A1)。

### 2) 条件の設定

3.4(2)考察(表3-16)で得られた空間に対する好みの知識より、単位空間の面積は、他の空間要素との組合せにより印象がよいと判断される $S3(25 \leq S < 56)$ を目安とするのが良いと考えられる。そこで空間の分割数は $7(400 \div 56 = 7.1)$ とする。7単位空間はエントランスホール(T0)、5展示ゾーン(T1 ~ T5)、ショップ(T6)とする。また観覧者の動線の空間要素C2(2方面接続)は他の空間要素との組合せにより展示の空間の印象に関する(表3-16)ことから、動線はそれぞれの単位空間がC2(2方面接続)となる接室順序方式が適切であると考えた。観覧順序はT0(エントランスホール)

T1(展示ゾーン1) T2(展示ゾーン2) T3(展示ゾーン3) T4(展示ゾーン4) T5(展示ゾーン5) T6(ショップ) T0(エントランスホール)を指定した。7つの単位空間の隣接関係を満足する平面グラフは所与とする(図6-1A2)。

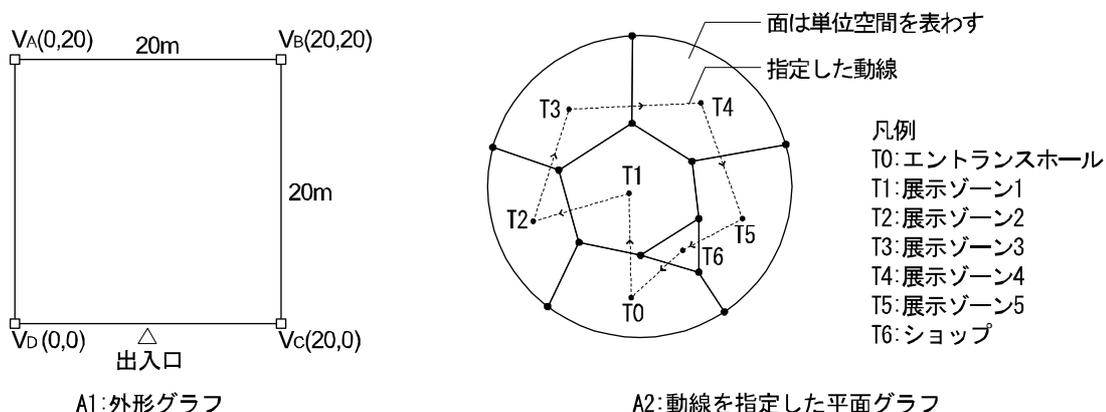


図6-1 外形グラフと分割パターンを表わす平面グラフ

### 3) 角点の指定

単位空間 T0 を出入口側に接するように配置するために、単位空間 T0 と隣接する単位空間 T2 の辺に角点  $V_D$  を、単位空間 T5 の辺に  $V_C$  を指定した。角点  $V_A$ 、 $V_B$  は任意に指定した(図 6-2)。

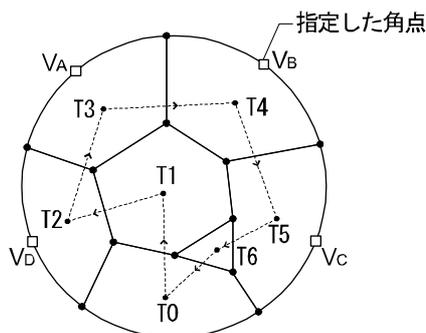


図 6-2 角点を指定した平面グラフ

### 4) 得られた結果

展示の空間分割法を試行<sup>注1)</sup>して、12 の異なる分割パターンを表わす直交グラフを得た(図 6-3)。直交グラフ描画法の縮約グラフの内部の辺の向きの違いを X, Y, Z の3パターン、被縮約グラフの埋め込みの向きの違いを 1, 2, 3, 4 の4パターンとして、得られた直交グラフをそれらの組合せで整理した。パターン X は単位空間 T4、T5 が縦に直列、パターン Y は単位空間 T2、T3 が縦に直列、パターン Z は単位空間 T3、T4 が横に直列するものを示す。パターン 1 は単位空間 T1 が非矩形、パターン 2 は単位空間 T0 が非矩形、パターン 3 は単位空間 T5 が非矩形(上部が凸)、パターン 4 は単位空間 T5 が非矩形(下部が凸)のものを示す。分割パターン X1 は単位空間 T4、T5 が縦に直列し、単位空間 T1 が非矩形の分割パターンを表わす。図 6-3 の直交グラフには、分割パターンの指数  $Q$  を最小化する座標集合が与えられている。図中の点線は、指数  $Q$  と鑑賞者の移動距離  $D$  の値を算出した動線を示す。

分割パターン X1, X2, X3, Y2, Y3, Y4, Z1, Z2, Z3, Z4 は、バランスよく分割され、展示の計画の検討に有意な解である。得られた分割パターンから、単位空間の位置と鑑賞者の動線の間係を知り、分割パターンの合理性を視覚的に把握することができる。図 6-3 を横方向に比較するよりも、縦方向に比較する方がパターンの違いが明確である。これはパターン

1 ~ 4 の非矩形の単位空間の向きの違いが、分割パターンの違いをより明確にしていることを示す。非矩形の単位空間は分割パターンの多様化に大きく貢献し、展示の計画への直交グラフ描画法の導入は有効であった。

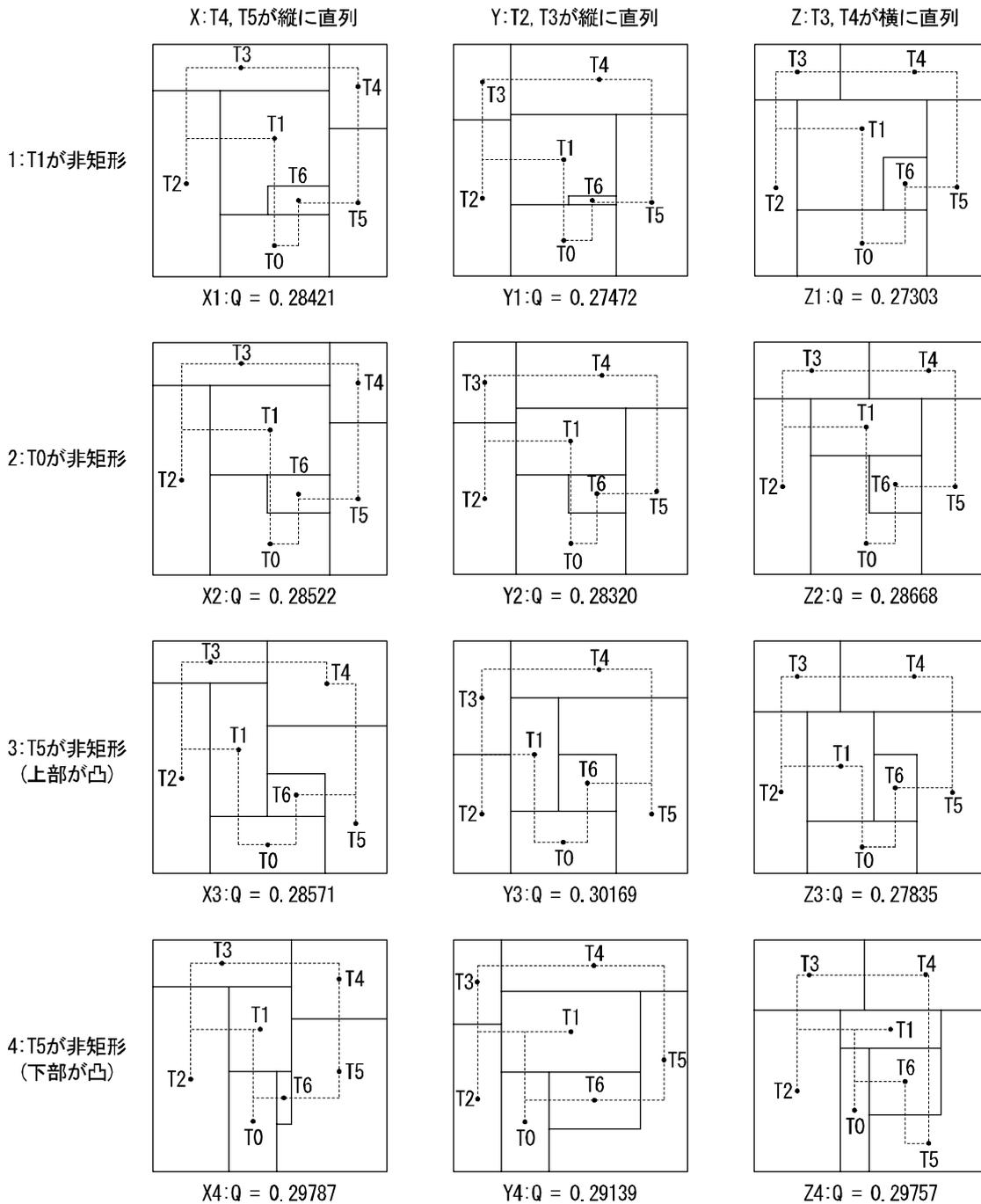


図 6-3 得られた 12 分割パターン

### 5) 獲得した分割パターンの修正

生成された結果を見て、より合理的な動線が推察される場合には、動線を変更して再実行する必要がある。図6-3では、単位空間T0より左に曲がり単位空間T2に入る動線T0→T2・・・がそれに当たる。対象は分割パターンX1として、T0→T2・・・

T6→T0を満足する4通りの動線を指定した。動線a,b,c,dは、最初のT0→T2および最後のT6→T0は共通であるが、単位空間T1の順番が異なる。その結果、図6-4の分割パターンX1aは他のパターンよりも逆戻りする部分が少なく、スムーズな動線となり、指数Qの値は大幅に改善された<sup>注2)</sup>。分割パターンX1には動線a(T0→T2→T1→T3→T4→T5→T6→T0)が合理的であることが発見された。

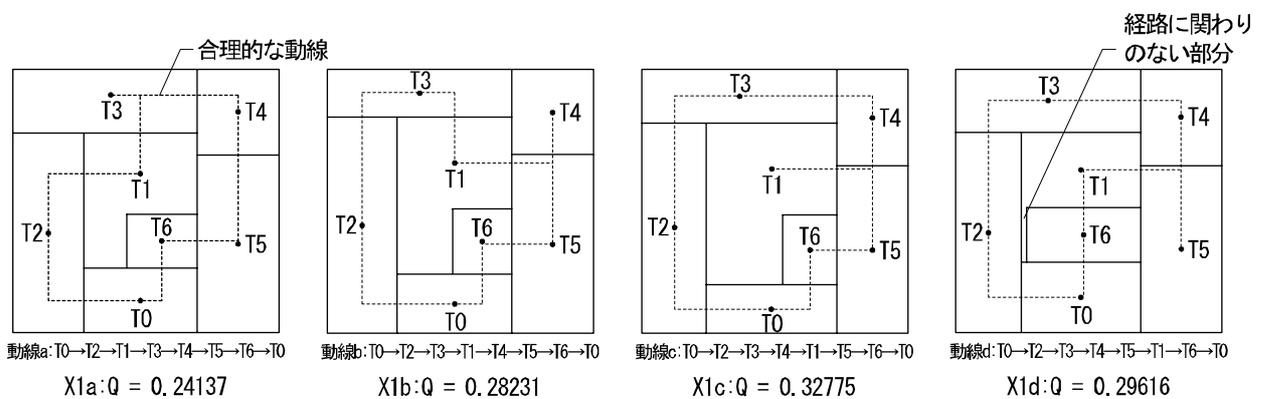


図6-4 経路変更により修正された分割パターン

### 6) 展示の空間分割問題の定式化と分割法の検証

接室順路方式と全く異なる中央ホール形式の巡回方式について試行した。図6-1A2の中央に位置する単位空間T1を中央ホールに変更する。他の単位空間は同じである。角点は同じ位置に指定した。鑑賞者の動線は、単位空間T0から単位空間T1(中央ホール)に移動し、単位空間T1(中央ホール)を基点に他の単位空間T2,T3,T4,T5,T6を往

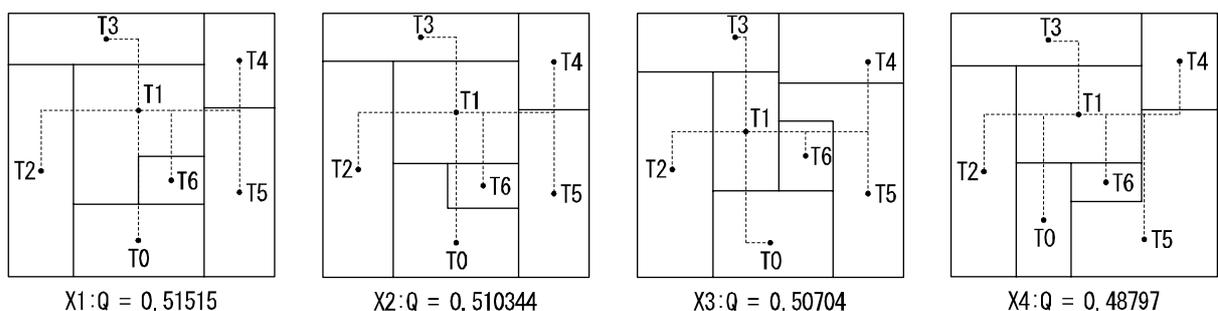


図6-5 中央ホール形式の分割パターン

復して、単位空間  $T_0$  に戻るものとし、 $T_0 \quad T_1 \quad T_2 \quad T_1 \quad T_3 \quad T_1 \quad T_4 \quad T_1 \quad T_5$   
 $T_1 \quad T_6 \quad T_1 \quad T_0$  と指定した。試行の対象には、分割パターンの違いが明確である 1 ~ 4 パターンが良いと考え、分割パターン  $X_1 \sim X_4$  を用いた。結果を図 6-5 に示す。単位空間  $T_1$  (中央ホール) を中心に他の単位空間がバランスよく分割された有意な解が得られた。

より複雑な分割パターンや巡回方式についての試行は必要であるが、展示の空間の基本的な巡回形式である接室順路方式や中央ホール形式について、有意な分割パターンが得られたことは、前章の展示の空間の分割問題の定式化と分割法が適切であったと云える。分割パターンの検討には、パレート最適解を探索し分割位置を詳細に決定するよりも、グラフ構造の多様化が大切であると考え、指数  $Q$  を第 5 章の式(3)のように単純に定義した。指数  $Q = D - \alpha L$  ( $\alpha$  は任意な値) と定義すれば、トレードオフの関係にある展示の壁面長  $L$ 、鑑賞者の移動距離  $D$  のパレート最適解を探索することができると考えられる。

グラフの構造によっては、図 6-3 の分割パターン  $X_4$ 、 $Y_1$  の単位空間  $T_6$  に見られるように、極端に小さい単位空間が生成される可能性がある。逆に、図 6-4 の分割パターン  $X_{1d}$  のように、非矩形の凸部分が経路に関わりがない場合に極端に小さくなる可能性がある。これは単位空間  $T_1$ ,  $T_0$  間の隣接が不要で、単位空間  $T_1$  が矩形である方が合理的であることを示すと考えられる。これらの制御が必要である。

### 6.3 展示の計画への空間に対する好みの知識の適用

空間に対する好みの知識を用いて、空間分割法により機械的に生成された多様な分割パターンを評価する。その評価の結果を総合的に判断して、設計候補に適した分割パターンを選択する。さらに単位展示空間ごとに好まれる可能性の高い空間要素の組合せを推測して展示の設計案を作成する。通常、分割パターンの評価や選択、展示の設計案の作成は、設計者の暗黙知に基づいて行われると考えられるが、ここでは空間に対する好みの知識を適用して、好みの知識が設計知識として役立つかを検証する。

建築計画学<sup>1)</sup>や展示学<sup>2)</sup>には、接室順路方式の典型的な例が示されている(図6-6)。基本的には、縦横方向に等分に分割し、等幅の単位空間が連続する分割パターンである。図6-3では分割パターンX3,Y2,Y3,Y4,Z2,Z3がそれに当たる。このとき、これらの分割パターンから人の心理や行動に合わせた空間の構成を行うのに適した分割パターンを推定する必要がある。そこで、空間に対する好みの知識を用いて分割パターンの評価を行った。

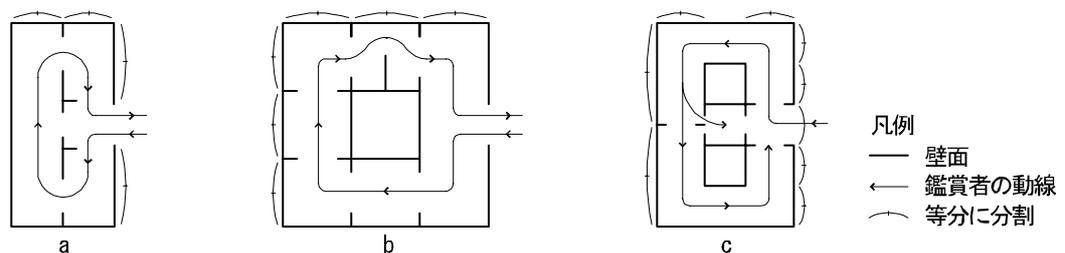


図6-6 接室順路方式の典型的な例

空間の分割パターンは、各单位空間の鑑賞者の動線形式Cや短辺W、長辺D、面積S、細長比Aの空間要素を決定する。そこで、これらの要素のうちで印象評価に寄与するものを表3-16から抽出した。抽出された要素は、単独でも印象がよいとする判断に寄与する空間要素A3(2.0  $A < 3.5$ )と、他の空間要素との組合せにより印象がよいとする判断に寄与する空間要素D4(7.5  $D < 10.0$ ), S3(25  $S < 56$ )である。これらの空間要素は単位空間に含まれていても、必ずしもその単位空間が印象がよいと判断されるとは限らないが、これらの要素が単位空間に含まれる回数が多いほど、印象がよいと判断される確率は高いと云える。そこで、空間要素A3(2.0  $A < 3.5$ ), D4(7.5  $D < 10.0$ ), S3(25  $S < 56$ )がどの単位空間に含まれているかを分割パターンごとに把握した(表6-1)。非矩形の単位空間は、それを内包する最小包含矩形

に近似して、短辺 W、長辺 D、面積 S、細長比 A の要素を決定した。そして分割パターン X3, Y2, Y3, Y4, Z2, Z3 をこれらの空間要素が含まれる回数の多い順に評価した。評価の順は、分割パターン Y3 (12 回)、X3 (11 回)、Z2 (10 回)、Y4, Z3 (9 回)、Y2 (7 回) となった (表 6-1 中 参照)。

表 6-1 分割パターン Y3 に含まれる単位空間の印象が良いとする判断に寄与する空間要素を含む回数

	A3 (2.0 ≤ A < 3.5)	D4 (7.5 ≤ D < 10.0)	S3 (25 ≤ S < 56)	含む回数 (評価順)
分割パターン X1	T2, T5, T6	T0, T1	T0, T4	7 (8位)
X2	T2, T5	T0, T1	T3, T4	6 (11位)
X3	T0, T1, T2, T3, T5	T0, T3, T4	T0, T1, T3	11 (2位)
X4	T0, T2, T3	T0, T4	T0, T1, T3, T4	9 (4位)
Y1	T2, T4, T5	T0, T1	T0, T3	7 (8位)
Y2	T2, T4, T5	T0, T1	T1, T3	7 (8位)
Y3	T1, T2, T3, T4, T5	T0, T1, T3	T0, T1, T2, T3	12 (1位)
Y4	T0, T2	T0, T3, T6	T0, T2, T3, T6	9 (4位)
Z1	T4, T5		T2, T3	4 (12位)
Z2	T2, T3, T4, T5	T0, T1, T3	T1, T3, T4	10 (3位)
Z3	T0, T2, T4, T5	T0, T1	T0, T1, T3	9 (4位)
Z4	T1, T5	T1, T3, T6	T0, T1, T6	8 (7位)

表 6-2 分割パターン Y3 に含まれる単位空間の選好の結果の確率分布

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	0.55	0.68	0.68	0.50	0.55	0.68	0.42
II	0.44	0.57	0.48	0.50	0.50	0.48	0.51
III	0.35	0.41	0.45	0.50	0.39	0.45	0.38
IV	0.30	0.48	0.47	0.51	0.60	0.47	0.54
V	0.71	0.44	0.65	0.70	0.65	0.65	0.65
VI	0.40	0.36	0.47	0.47	0.58	0.47	0.50

X1: 17単位空間 (11位)

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	0.55	0.68	0.68	0.55	0.68	0.68	0.42
II	0.50	0.57	0.48	0.50	0.48	0.48	0.50
III	0.39	0.41	0.45	0.39	0.45	0.45	0.41
IV	0.60	0.48	0.47	0.60	0.47	0.47	0.51
V	0.70	0.44	0.65	0.70	0.65	0.65	0.65
VI	0.58	0.36	0.47	0.58	0.47	0.47	0.36

Y1: 18単位空間 (7位)

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	0.49	0.68	0.55	0.55	0.68	0.68	0.42
II	0.41	0.57	0.50	0.44	0.48	0.48	0.60
III	0.59	0.41	0.50	0.35	0.45	0.45	0.37
IV	0.24	0.48	0.51	0.30	0.47	0.47	0.61
V	0.55	0.44	0.68	0.71	0.65	0.65	0.72
VI	0.55	0.36	0.40	0.40	0.47	0.47	0.60

Z1: 18単位空間 (7位)

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	0.68	0.68	0.68	0.55	0.55	0.68	0.42
II	0.41	0.57	0.48	0.50	0.50	0.48	0.45
III	0.45	0.41	0.45	0.50	0.39	0.45	0.61
IV	0.24	0.48	0.47	0.51	0.60	0.47	0.30
V	0.55	0.44	0.65	0.68	0.70	0.65	0.70
VI	0.55	0.36	0.47	0.40	0.58	0.47	0.34

Y2: 18単位空間 (7位)

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	0.68	0.55	0.68	0.55	0.68	0.68	0.42
II	0.41	0.44	0.48	0.50	0.48	0.48	0.45
III	0.41	0.44	0.48	0.50	0.48	0.48	0.45
IV	0.24	0.30	0.47	0.60	0.47	0.47	0.30
V	0.55	0.71	0.65	0.70	0.65	0.65	0.70
VI	0.55	0.40	0.47	0.58	0.47	0.47	0.34

Y3: 16単位空間 (12位)

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.54
II	0.46	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.59
III	0.60	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.32
IV	0.34	0.67	0.67	0.67	0.48	0.55	0.64
V	0.71	0.71	0.71	0.71	0.65	0.68	0.72
VI	0.40	0.66	0.66	0.66	0.47	0.54	0.60

Y4: 25単位空間 (1位)

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.54
II	0.54	0.46	0.54	0.59	0.54	0.54	0.46
III	0.27	0.60	0.27	0.41	0.27	0.27	0.39
IV	0.61	0.30	0.47	0.60	0.47	0.47	0.30
V	0.71	0.71	0.65	0.70	0.65	0.65	0.70
VI	0.66	0.40	0.47	0.58	0.47	0.47	0.34

Z3: 18単位空間 (7位)

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	0.55	0.55	0.49	0.55	0.55	0.49	0.49
II	0.45	0.50	0.48	0.45	0.50	0.44	0.50
III	0.29	0.39	0.39	0.29	0.39	0.49	0.50
IV	0.61	0.60	0.40	0.61	0.60	0.32	0.51
V	0.71	0.70	0.68	0.71	0.70	0.48	0.65
VI	0.66	0.58	0.54	0.66	0.58	0.54	0.36

X4: 21単位空間 (5位)

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51
II	0.54	0.46	0.54	0.46	0.50	0.50	0.46
III	0.27	0.61	0.27	0.60	0.50	0.50	0.60
IV	0.67	0.40	0.67	0.30	0.51	0.51	0.30
V	0.71	0.55	0.71	0.71	0.65	0.65	0.71
VI	0.66	0.55	0.66	0.66	0.47	0.47	0.40

Y4: 21単位空間 (5位)

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	0.55	0.55	0.49	0.68	0.68	0.68	0.55
II	0.50	0.45	0.44	0.41	0.41	0.48	0.50
III	0.50	0.29	0.49	0.59	0.59	0.45	0.39
IV	0.51	0.61	0.32	0.24	0.24	0.47	0.60
V	0.68	0.71	0.48	0.55	0.55	0.65	0.70
VI	0.40	0.66	0.54	0.55	0.55	0.47	0.58

Z4: 22単位空間 (3位)

次に、第4章で獲得した確率モデルの確率推論(4.4(3)確率推論の結果 図4-7 参照)を用いて、各単位空間の選好の結果Rの確率分布を分割パターンごとに推測した。各単位空間の鑑賞者の動線形式C、面積S、細長比Aの空間要素を ~ グループの確率モデルに代入した。鑑賞者の動線形式Cは接室順路方式であることから、出入口を持つ単位空間T0をC3(3方向接続)、残りの単位空間をC2(2方向接続)とした。面積S、細長比Aは各単位空間の大きさ、形状に合う空間要素を代入した。単位空間T0 ~ T6に対する ~ グループの選好の結果Rの確率分布を分割パターンごとに表6-2に示した。数値は単位空間の選好される確率を示す。選好される確率が0.5を超える単位空間を多く含む分割パターンは、より多くの人に好まれる可能性が高いと考えられる(表6-2中の小 参照)。そこで分割パターンX3,Y2,Y3,Y4,Z2,Z3を、選好の結果Rの確率が0.5を超える単位空間を多く含む順に評価した。評価の順は、分割パターンY3(25単位空間)、X3(24単位空間)、Z2(22単位空間)、Y4(21単位空間)、Z3(18単位空間)、Y2(16単位空間)となった(表6-2中の大 参照)。

ラフ集合理論によって獲得された知識、ベイジアンネットワークによって獲得された知識、どちらの知識を用いた評価においても、Y3,X3,Z2,Y4,Z3,Y2の順となり、評価の順位は一致した。中でも分割パターンY3,X3,Z2,Y4の表6-1,6-2における評価の順位はいずれも1位~5位であり、12分割パターンの上位を占めていた。そこで分割パターンY3,X3,Z2,Y4をこの順に設計解候補として選択した(図6-7)。

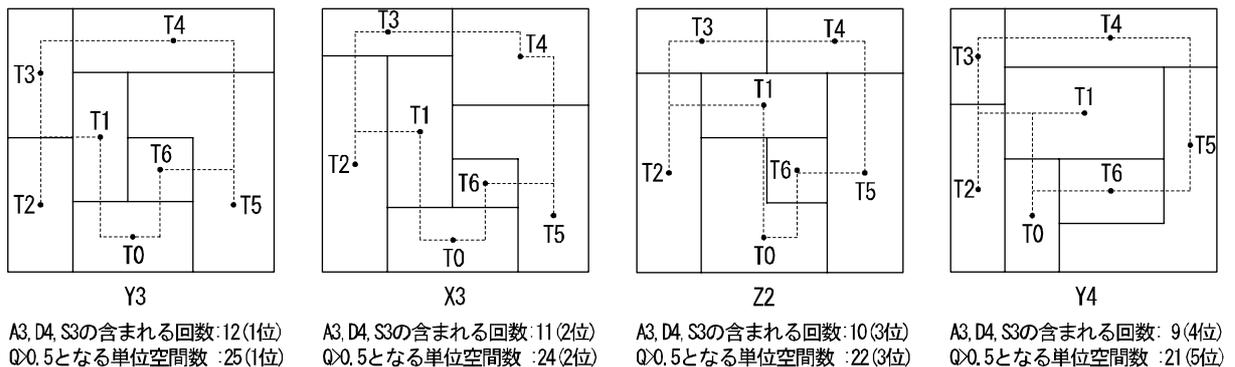


図6-7 設計解候補として選択した分割パターン

分割パターンY3,X3,Z2,Y4に含まれる単位空間のうち、ベイジアンネットワークにより推測された選好の結果Rの確率が0.5を超える単位空間を抽出した(表6-3)。表6-3に抽出された単位空間は、列方向つまりグループごとには類似の形状となっ

ているが、行方向つまりグループ同士を比較すると様々な形状となっている。これは、確率モデルの確率推論は好みに合わせて空間要素の組合せを総合的に判断していることを示す。

第3章のラフ集合理論によって獲得された知識と第4章のベイジアンネットワークによって獲得された知識は、異なる対象と方法により得られた知識にもかかわらず、分割パターンの評価の順位は一致した。これは、好みの知識を用いて分割パターンを適正に評価できることを裏付けている。また、ラフ集合理論により獲得された知識は、A3(2.0  $A < 3.5$ ), D4(7.5  $D < 10.0$ ), S3(25  $S < 56$ )の空間形状の要素に着目して、印象が良いと判断される可能性の高い分割パターンの選択に有意であり、ベイジアンネットワークにより獲得された知識は、空間要素の組合せを総合的に判断して、選好される可能性の高い分割パターンを選択するのに有意であると云える。

最後に、最も評価の高かった分割パターンY3を用いて展示の設計案を作成した。ベイジアンネットワークの確率推論により、分割パターンY3に含まれる単位空間T0~T6の残りの空間要素の確率分布を推測した(表6-4)。確率を指標として、

表6-3 ベイジアンネットワークにより推測された選好の確率(表6-2)が0.5を超える単位空間

	I	II	III	IV	V	VI
Y3						
X3						
Z2						
Y4						

0 7.5 10.0

表6-4 分割パターンY3に含まれる単位空間T0～T6の空間要素の確率分布

	I	II	III	IV	V	VI
H1	0.29	0.25	0.74	0.83	0.70	0.50
H2	0.66	0.70	0.25	0.17	0.27	0.43
H3	0.05	0.04	0.00	0.00	0.03	0.07
I0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I1	0.27	0.25	0.67	0.74	0.59	0.33
I2	0.44	0.39	0.14	0.18	0.34	0.50
I3	0.29	0.35	0.19	0.08	0.06	0.17
L0	0.01	0.00	0.01	0.05	0.00	0.02
L1	0.11	0.10	0.09	0.12	0.04	0.03
L2	0.33	0.39	0.62	0.63	0.85	0.69
L3	0.50	0.50	0.23	0.16	0.06	0.14
L4	0.04	0.01	0.06	0.03	0.04	0.13
E1	0.03	0.07	0.04	0.10	0.11	0.07
E2	0.03	0.07	0.04	0.08	0.11	0.07
E3	0.29	0.44	0.29	0.07	0.22	0.13
E4	0.03	0.04	0.04	0.06	0.09	0.07
E5	0.03	0.04	0.04	0.13	0.11	0.07
E6	0.03	0.03	0.04	0.10	0.04	0.07
E7	0.55	0.31	0.54	0.46	0.32	0.52
E8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

T0(エントランスホール)

	I	II	III	IV	V	VI
H1	0.29	0.52	0.52	0.63	0.42	0.24
H2	0.66	0.43	0.48	0.37	0.55	0.74
H3	0.05	0.05	0.01	0.00	0.03	0.02
I0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I1	0.27	0.48	0.44	0.57	0.24	0.23
I2	0.44	0.29	0.38	0.26	0.44	0.33
I3	0.29	0.24	0.18	0.18	0.31	0.44
L0	0.01	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00
L1	0.11	0.27	0.08	0.16	0.02	0.01
L2	0.33	0.35	0.11	0.37	0.04	0.01
L3	0.50	0.36	0.75	0.35	0.92	0.94
L4	0.04	0.01	0.05	0.06	0.02	0.03
E1	0.19	0.27	0.19	0.16	0.34	0.04
E2	0.02	0.05	0.02	0.07	0.05	0.04
E3	0.36	0.22	0.36	0.08	0.18	0.37
E4	0.19	0.20	0.19	0.12	0.10	0.04
E5	0.19	0.15	0.19	0.42	0.26	0.41
E6	0.02	0.02	0.02	0.08	0.02	0.04
E7	0.02	0.09	0.02	0.09	0.05	0.04
E8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

T1, T2, T3(展示ゾーン1, 2, 3)

	I	II	III	IV	V	VI
H1	0.72	0.54	0.76	0.67	0.76	0.46
H2	0.25	0.42	0.24	0.32	0.23	0.44
H3	0.02	0.04	0.00	0.01	0.01	0.10
I0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I1	0.73	0.51	0.66	0.59	0.68	0.41
I2	0.07	0.19	0.09	0.23	0.11	0.28
I3	0.20	0.31	0.25	0.18	0.21	0.31
L0	0.00	0.01	0.02	0.10	0.02	0.02
L1	0.07	0.03	0.20	0.05	0.21	0.30
L2	0.30	0.54	0.45	0.51	0.22	0.13
L3	0.59	0.39	0.18	0.20	0.30	0.42
L4	0.03	0.03	0.15	0.14	0.25	0.13
E1	0.07	0.05	0.07	0.16	0.09	0.13
E2	0.07	0.09	0.07	0.11	0.09	0.13
E3	0.60	0.31	0.57	0.14	0.51	0.21
E4	0.07	0.05	0.07	0.05	0.07	0.13
E5	0.07	0.16	0.07	0.38	0.10	0.13
E6	0.07	0.16	0.07	0.06	0.04	0.13
E7	0.07	0.20	0.07	0.10	0.10	0.13
E8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

T4(展示ゾーン4)

	I	II	III	IV	V	VI
H1	0.38	0.42	0.63	0.49	0.45	0.36
H2	0.58	0.38	0.36	0.47	0.52	0.61
H3	0.04	0.20	0.00	0.03	0.03	0.03
I0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I1	0.31	0.36	0.42	0.44	0.28	0.32
I2	0.38	0.31	0.24	0.25	0.53	0.35
I3	0.31	0.33	0.33	0.31	0.19	0.34
L0	0.00	0.10	0.04	0.27	0.02	0.00
L1	0.09	0.21	0.24	0.22	0.53	0.07
L2	0.32	0.19	0.30	0.09	0.09	0.25
L3	0.55	0.25	0.19	0.08	0.16	0.64
L4	0.04	0.25	0.24	0.33	0.20	0.03
E1	0.04	0.12	0.05	0.15	0.10	0.14
E2	0.74	0.23	0.71	0.14	0.51	0.15
E3	0.04	0.12	0.05	0.07	0.08	0.14
E4	0.04	0.12	0.05	0.13	0.07	0.14
E5	0.04	0.12	0.05	0.34	0.10	0.14
E6	0.04	0.18	0.05	0.07	0.04	0.14
E7	0.04	0.12	0.05	0.10	0.10	0.14
E8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

T5(展示ゾーン5)

	I	II	III	IV	V	VI
H1	0.42	0.53	0.83	0.80	0.84	0.52
H2	0.53	0.46	0.16	0.20	0.15	0.45
H3	0.05	0.01	0.00	0.00	0.02	0.03
I0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I1	0.39	0.51	0.83	0.73	0.77	0.53
I2	0.18	0.23	0.12	0.10	0.15	0.25
I3	0.43	0.26	0.05	0.17	0.07	0.22
L0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
L1	0.12	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04
L2	0.32	0.05	0.02	0.05	0.00	0.04
L3	0.51	0.89	0.95	0.74	0.95	0.88
L4	0.04	0.06	0.02	0.18	0.04	0.05
E1	0.18	0.14	0.18	0.15	0.25	0.19
E2	0.18	0.10	0.18	0.13	0.06	0.15
E3	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
E4	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
E5	0.60	0.73	0.60	0.62	0.64	0.58
E6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
E7	0.01	0.01	0.01	0.05	0.02	0.02
E8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

T6(展示ゾーン6)

グループに選好されるにはどのような空間要素を用いればよいのかを単位空間ごとに把握し、空間要素の候補を絞りながら計画を行った。

空間の高さH1(2.8m)は、単位空間T5を除くいずれの単位空間においても、半数以上のグループが好む可能性は高い(表6-4中)。計画の合理性を考慮すれば、高さをすべてH1(2.8m)として一定でよいと判断することができる。

壁配置Lは、単位空間T0はL2(2面配置)、単位空間T1, T2, T3はL3(3面配置)、単位空間T4はL2(2面配置)もしくはL3(3面配置)、単位空間T5はL1(1面配置)もしくはL3(3面配置)、単位空間T6はL3(3面配置)とすると好まれる可能性は高い(表6-

好みの知識に基づく空間要素の候補

単位空間T0(エントランスホール)

- ・壁配置 :L2(2面配置) →L2(2面配置)
- ・展示方式 :E7(壁2-3面, 台2-3面, 7柱0-1面) →2-3面に配置
- ・色彩 :I1(黒1部位, 白2部位)

単位空間T1, T2, T3(展示ゾーン1, 2, 3)

- ・壁配置 :L3(3面配置) →L3(3面配置)
- ・展示方式 :特になし →適宜
- ・色彩 :I1(黒1部位, 白2部位)

単位空間T4(展示ゾーン4)

- ・壁配置 :L2(2面配置), L3(3面配置) →L3(3面配置)
- ・展示方式 :E3(壁0-1面, 台2-3面, 7柱0-1面) →2-3面に配置
- ・色彩 :I1(黒1部位, 白2部位)

単位空間T5(展示ゾーン5)

- ・壁配置 :L1(1面配置), L3(3面配置) →L3(3面配置)
- ・展示方式 :E2(壁0-1面, 台0-1面, 7柱2-3面) →2-3面に配置
- ・色彩 :I2(黒2部位, 白1部位)

単位空間T6(ショップ)

- ・壁配置 :L3(3面配置) →L3(3面配置)
- ・展示方式 :E5(壁2-3面, 台0-1面, 7柱0-1面) →2-3面に配置
- ・色彩 :I1(黒1部位, 白2部位)

※単位空間T0~T6の高さHはすべてH1(2.8m)とする

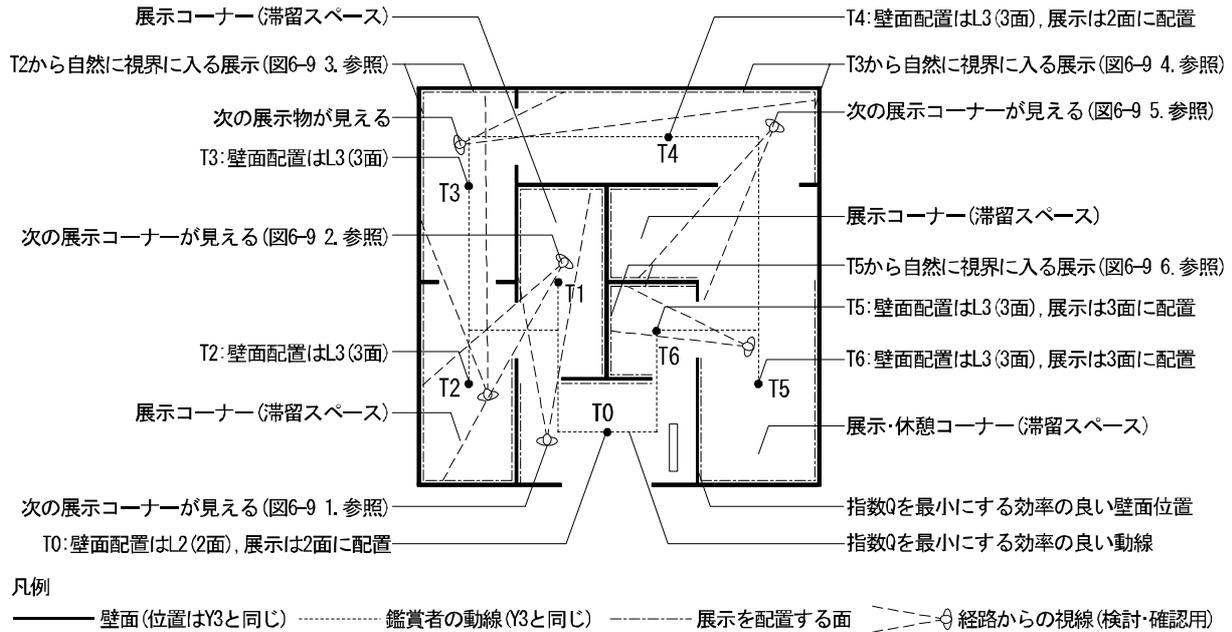


図 6-8 分割パターンY3に基づく展示の設計案

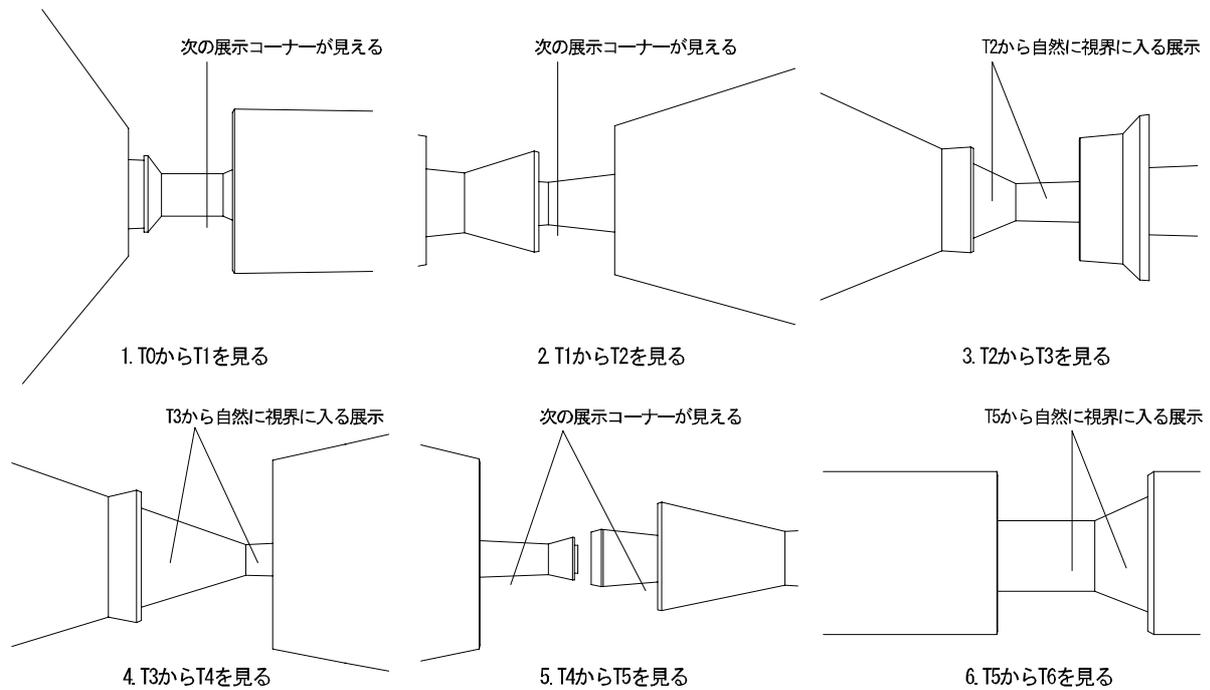


図 6-9 空間のシーケンスを示す3Dイメージ

4中)。一方、表6-3によれば、グループは単位空間T6以外を、グループは単位空間T0以外を愛好する確率は低い。そこで、グループに好まれる可能性を少しでも高めるために、単位空間T0はグループを、単位空間T1～T5はグループを、単位空間T6はグループの確率分布を重視して高確率の空間要素を選択した(表6-4中2重)。単位空間T4はL3(3面配置)、単位空間T5はL3(3面配置)となった。これらを各単位空間の壁配置の条件とした(図6-8)。

展示方式Eは、壁配置Lと同様に、表6-4の0.5を超える確率の空間要素(表6-4中)のうち、グループの確率分布を重視して空間要素を選択した(表6-4中2重)。そして具体的な展示方式は未定としても、まずは単位空間ごとに展示を何面に配置しなければならないかを把握した(図6-8)。

色彩Iも壁配置L、展示方式Eと同様に、表6-4の0.5を超える確率の空間要素(表6-4中)のうち、グループの確率分布を重視して空間要素の候補を絞り(表6-4中2重)、配色を検討するための知識を獲得した(図6-8)。またグループは確率モデル(図4-5)において色彩Iが愛好の結果Rに直接リンクし、配色が愛好の結果Rに直接関係することが分かっている。

図6-8上部に示す空間要素の候補を満足するように、分割パターンY3に基づいて設計案を作成していく(図6-8,6-9)。壁面の位置と鑑賞者の動線は、分割パターンY3と全く同じとし、計算機によって決定されたものを利用した。これにより、鑑賞者の移動距離の最小化と展示の壁面長の最大化をバランスよく満足する計画であることが保

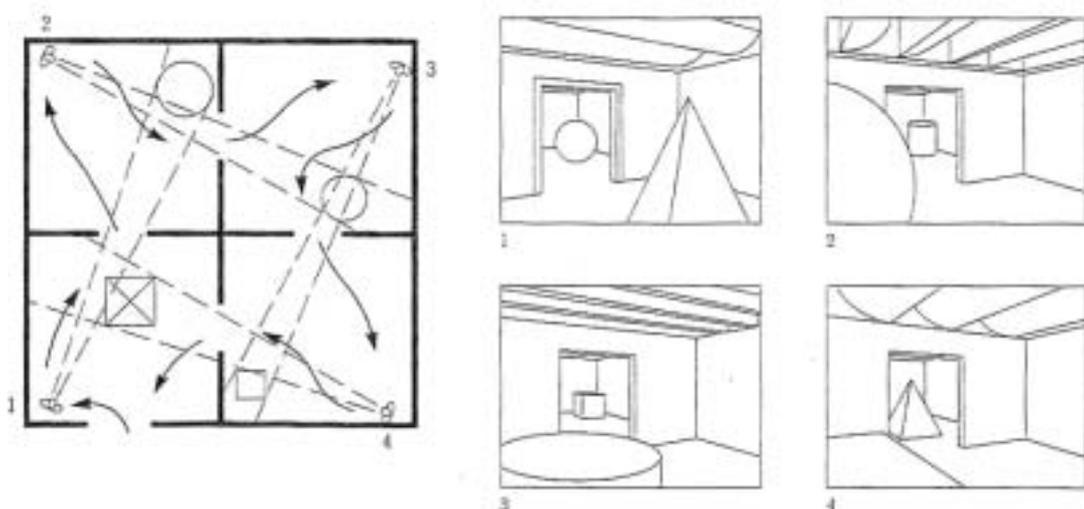


図6-10 シークエンシャルな展示のモデル(設計資料集成<sup>3)</sup>からの引用)

障される。また動線の行き止まりは、自然な滞留スペースとなるので、展示コーナーに利用した。次に、分割パターンの単位空間の壁配置と好みの知識から推測された壁配置Lに関する空間要素の候補を比較し、その条件を満足していることを確認した。そして展示を配置する面が、動線に沿って進むと次の展示が自然に視界に入ることを確認しつつ、上記の配置面数を満足するように、かつ、開口部からは、図6-10に示す建築設計資料集成<sup>3)</sup>のシークエンシャルな展示のモデル<sup>注3)</sup>に倣い、次に見るべき展示物や展示コーナーが見通せるように、展示の配置面と開口部の位置を適宜調整しながら決定した(図6-8 一点鎖線, 6-9)。

さらに、図6-8 上部に挙げた色彩Iの空間要素の候補を用いて、単位空間の配色を検討することができる。例えば、単位空間T0の色彩I1(黒1部位、白2部位)により、単位空間T0は黒1部位、白2部位となる配色(床:黒, 壁:白, 天井:白等)から順に検討すればよいことが分かる。こうして空間に対する好みの知識を適用しながら、設計者の苦手とする膨大な情報処理を計算機が代行して設計に必要な情報を獲得し、設計者が本来得意とする総合的な判断を効率よく行う対話によって、展示の計画を合理的に進めていくことができる。

作成された展示の計画は、計算機を援用して発見された、移動距離あたりの展示の壁面長を極力長くする合理的な動線を持つ。そして空間に対する好みの知識により好まれると推測された空間要素を用いた単位空間が、シークエンシャルな展示のモデルに倣って連続する。経路の途中に設けられた滞留スペースは、正面性の強い展示コーナーとなり、変化に富んだ展示のストーリーをつくることを可能にする。加えて移動の合間の休憩スペースとしても機能し、鑑賞者によっては経路を短縮することもできる。このような特徴を持つ空間構成は、鑑賞者の情報探索行為を促し、様々な行為が選択できる居心地の良い場が形成されることが期待でき、鑑賞者の心理や行動に合わせた空間構成と云うことができる。このように、展示の空間分割法から得られた設計案に空間に対する好みの知識を適用することによって、好みの知識に基づく推測結果を総合的に判断しながら、人の心理や行動に合わせた空間構成を合理的に設計することができ、好みの知識は設計知識として有用であることを示すことができた。



注2) 指数  $Q$  は同じ分割パターンの直交グラフを比較し、最適な座標集合を決定するためのものである。分割パターンが同じである図6-3X1、図6-4X1a、X1b、X1c、X1d は、指数  $Q$  により分割パターンの合理性を比較することができる。分割パターンが異なる場合には、単位空間の位置関係により指数  $Q$  の値に有利・不利があるため、分割パターンの指数  $Q$  の値だけを比較して、値の小さい分割パターンが優れていると云うことはできない。単位空間の位置関係と動線の形状、指数  $Q$  の値を総合的に評価する必要がある。

注3) 観覧経路を歩きながら、次に見るべき展示物が垣間見えることで、次々と展示の予告がなされるように配慮すると、鑑賞者は展示の流れを理解しやすい。図6-10のように、次の展示物を見通せる開口部を設けておくことで、連続的な展示のストーリー性を保ち、鑑賞者の情報探索を促すことができる。

#### 参考文献

- 1) 半澤重信：博物館建築 博物館・美術館・資料館の空間計画、鹿島出版会、1991
- 2) 展示学辞典、日本展示学会「展示学辞典」編集委員会編集、ぎょうせい
- 3) 建築設計資料集成 建築 文化 日本建築学会編

## 第 7 章 結章

## 第7章 結章

本論は、従来の展示物主導型の展示の問題点を指摘し、人の行動や心理に合わせて空間を構成するには、利用者の空間に対する好みが重要であることを説明し、感性評価を取り入れて好みの知識化を行い、これを設計知識として利用する新しい展示の空間構成法を示そうとするものである。第2章では、好みの知識化の予備段階として、空間に対する好みの類型化を行い、その構造を明らかにした。第3,4章では、空間に対する好みを展示の計画に取り入れるために、空間要素を説明変数としてそれらの組合せや確率モデルで表現し、好みの知識化を行った。第5章では、計算機を援用して展示の計画の基本的な条件を満足する展示の空間の分割パターンを機械的に生成する方法を提示し、第6章では、この展示の空間分割法を用いて生成した設計案に、第3,4章で獲得した空間に対する好みの知識を適用して展示の計画を行い、好みの知識を用いた展示計画法を示した。以下に各章の概要を示し、最後に空間に対する好みの類型化、好みの知識化、好みの知識を用いた展示計画法を一連の手順にして、感性評価を取り入れて空間に対する好みを設計知識化した新しい空間構成法を示す。

第2章では、企画展の計画案に基づく展示の仮想空間を対象とした。これを展示の空間要素で記述したデータベースを構築し、感性評価実験を行った。感性評価実験には、単位展示空間ごとに3Dイメージと平面図を組み合わせた説明シートを用意し、建築の知識を有する者(建築設計職に就く者や建築系の学生)を被験者として、「選好する」あるいは「選好しない」を選択する評価実験を行った。空間に対する好みを、好む空間と好まない空間の集合として、好みの集合を感性評価実験の結果である多項目の回答で記述した。自己組織化マップを適用し、空間要素の特徴に基づく展示の空間の位置づけを特徴マップとして獲得した。感性評価実験によって得た展示の選好空間の特徴マップ上の位置と分布から、多項目の回答のパターンを視覚的に把握し、空間に対する好みを6グループに分類した。さらに分類した好みを、7タイプに大別した空間に対して好む傾向、好まない傾向、特定の空間だけを共通して好む傾向の3傾向で示し、6グループを行、7タイプを列とする6行7列の表にして類型化を行い、好みの構造を明らかにした。

また空間に対する好みには、色彩の要素に関係のあるグループがあり、グループ同士は相反する傾向にあることや、いずれの種類展示空間にも好む傾向の者と好まない傾向の者が存在することを示した。人々に幅広く好まれる展示の空間の計画には、様々な種類の空間の用意が大切であること、展示の空間に対する選好評価の結果にはまとまりがあり、類似の対象の評価結果を既得のデータから推測することができることを示した。これらは、これまで説明の困難であった設計者の推測に裏づけを与えるものであった。

このように、人間の感性評価を選択式の感性評価実験から獲得される多項目の回答として捉え、自己組織化マップを用いて回答のパターンを可視化し、類型化を行うことによって、その構造を明らかにできることを示した。

第3章では、国立民族学博物館の特別展示場で行われた企画展の展示の実空間を対象とした。感性評価実験は、展示会場で一般来場者を被験者として、単位展示空間ごとに「印象がよい」あるいは「印象がよくない」を選択するアンケート調査により行った。人間の感性評価をIf-Thenルールを持つモデルとして捉え、感性評価実験の結果にラフ集合理論を適用し、鑑賞者によって「印象がよい」あるいは「印象がよくない」とされる直感的な判断の要因を、縮約として展示の空間要素の組合せで簡潔に記述した。得られた縮約の分析から、展示の空間に対する印象に寄与する要素を5種類に分類した。

また「印象がよい」とする判断は、特定の要素に対する鑑賞者の個人的嗜好が反映されやすいが、「印象がよくない」とする判断は複数の要素による総合的な判断であること、空間の印象の要因には鑑賞者間に空間要素に対する類似した嗜好があることが推測された。

このように、感性評価実験の結果を空間要素の組合せの結果として機械的に捉えて、ラフ集合理論を用いて、評価の結果を識別するために必要な空間要素の組合せを最小の属性集合で記述することによって知識化を行い、評価の要因を簡潔に知ることができることを示した。

第4章では、第2章で類型化された6選好グループを対象とした。空間に対する好みを、空間要素を変数とする確率的な行為であると捉え、ベイジアンネットワーク

を用いて、選好の結果と空間要素の関係を有向グラフと条件付確率で表現する確率モデルを得た。獲得したモデルのグラフ構造の分析から、第2章で類型化された選好グループの違いは、平面計画の要素群と高さの要素、色彩の要素の関係によって、簡潔に説明できることを示した。モデルの部分グラフが示す空間要素の関係は、展示の空間の設計知識から逸脱しない内容であり、獲得したモデルはこれまで明示が困難であった知識を説明するものであることを示した。

さらにベイジアンネットワークの確率推論を行い、グループに選好される可能性の高い空間要素の組合せや、任意の単位展示空間に対する選好の結果を推測した。

このように人間の感性評価を不確実性を含む確率的な行為として捉え、ベイジアンネットワークを用いて感性評価実験の結果と空間要素の関係を確率モデルで表現することによって知識化を行い、確率推論により感性評価の結果や好まれる空間要素の組合せを推測できることを示した。

第5章では、まず矩形と非矩形を含む展示の空間の分割パターンを直交グラフとして表現し、鑑賞者の移動距離  $D$  を単位空間の重心間距離の和、展示の壁面長  $L$  を単位空間の外周長の総和として、展示の計画問題を、単位空間の隣接関係を制約条件とし、独自に提案する分割パターンの指数  $Q = D / L$  (鑑賞者の移動距離) /  $L$  (展示の壁面長) を最小化する分割パターンを求める問題として定式化を行った。

次に直交グラフ描画法を導入・拡張し、非矩形の単位空間の生成を制御しつつ、多様な分割パターンを直交グラフとして列挙する方法を示した。

最後に直交グラフの座標最適化手法を提示し、展示の壁面長を極力大きく、移動距離を極力小さくする座標集合を分割パターンごとに決定し、展示の空間の多様な分割パターンを生成する方法を示した。

このように、直交グラフ描画法を用いることにより、計算機を援用した空間分割法を展示の計画に活用して、一体的でフレキシブルな展示空間を人の行動や展示の計画に合わせて合理的に分割する方法を示した。

第6章では、まず展示の空間分割法を例題に適用して、条件を満足する12の異なる展示の空間の分割パターンを生成した。得られた分割パターンから、単位空間の位置と鑑賞者の動線を知り、分割パターンの合理性を視覚的に把握することができた。非矩形の単位空間は分割パターンの多様化に大きく貢献し、直交グラフ描画法の

導入は、展示の計画に有意であった。生成された結果を検討しながら予め指定した動線を修正し、より合理的な動線が発見できることを示した。また基本的な巡回形式である強制動線方式や中央ホール形式について、有意な分割パターンを獲得し、展示の空間の分割問題の定式化や分割法が展示の計画に適切であることを示した。

次に、空間に対する好みの知識を用いて、展示の空間分割法により生成された分割パターンを評価し、設計解候補を選択した。ラフ集合理論により獲得された知識に基づく分割パターンの評価順位とベイジアンネットワークにより獲得された知識に基づく分割パターンの評価順位が一致し、空間に対する好みの知識により分割パターンを適正に評価することができることを示した。これによって、ラフ集合理論により獲得された知識は、空間の大きさやプロポーションの要素に着目して、印象が良いと判断される可能性の高い分割パターンの選択に有意であり、ベイジアンネットワークにより獲得された知識は、空間要素の組合せを総合的に判断して、選好される可能性の高い分割パターンの選択に有意であることを示すことができた。

最後に、ベイジアンネットワークの確率推論を用いて、～のグループの選好する可能性の高い空間要素の組合せを推測して、展示の設計案を作成した。そして空間に対する好みの知識を適用しながら、設計者の苦手とする膨大な情報処理を計算機が代行して情報を獲得し、人間が本来得意とする総合的な判断を効率よく行う対話によって、展示の計画を合理的に進めていくことができることを示した。また、作成した設計案は、計算機の援用により発見された、移動距離を極力短くし展示の壁面長を極力長くする合理的な動線と壁面の分割位置を持つ。この動線に沿って、空間に対する好みの知識に基づいて選択された空間要素により構成された単位空間が垣間見えるように連続する。また経路の途中の滞留スペースは変化に富んだ展示のストーリーをつくり、休憩スペースとしても機能する。これは、鑑賞者の情報探索行為を促し、様々な行為を選択することができる居心地の良い場を形成することが期待でき、人の心理や行動に合わせた空間の構成と云える。

このように、空間に対する好みの知識は、展示の空間分割法と組み合わせることにより、人の心理や行動に合わせて合理的に展示の空間を構成するのに有用な設計知識となることを示した。

設計知識は、設計の公式やカタログなどの汎用的な知識と、ある特定目的に対してのみ有効なヒューリスティクスが混在していると考えられる。そのため、設計知識には設計対象そのものに関する知識と設計対象を解析して設計解を求める方法の知識が必要となる。

前者の設計対象に関する知識は設計対象の構造や属性をユーザーが処理可能な形式で表現するもので、従来から対象モデルと呼ばれ、その構造の可変 / 不可変性や設計パラメーターの線形 / 非線形が問題となる。本論は感性評価を取り入れて、空間に対する好みの3つの論理的なモデルを示した。さらに設計のパラメーターである空間要素を説明変数として、変数の線形、非線形に関わりなく対象を非線形写像することのできる自己組織化マップを用いて、好みを規定する対象空間の性質と個人の特質を同時にかつ可視化する方法を提示した。その結果、好みの構造を視覚的に把握し、好みの知識化の準備を行うことができた。

後者の対象モデルを解析して設計解を求める方法の知識は、その表現形式と解析方法、そして知識の適用法が問題となる。知識の表現形式としては、設計のパラメーターとなる空間要素を説明変数として判別式や確率で記述する形式を提示し、その成果を示した。対象モデルの解析方法としては、まず対象を表現する説明変数の線形、非線形に関係なく対象をできるだけ少数の属性集合で簡潔に記述するラフ集合理論を用いる方法を提示して、評価の結果を識別するのに必要な空間要素の組合せを最小の属性集合で簡潔に記述することにより、評価に寄与する空間要素を分類した。次に人間行動のモデル化で成果が挙げられているベイジアンネットワークを用いる方法を提示して、空間要素を説明変数として変数間の関係と選好の結果を有向グラフと条件付確率で表す確率モデルを獲得し、このモデルの確率推論により好みを確率で示した。

知識の適用法としては、まず展示の空間分割法を提示して、設計対象を知識を適用するための表現モデルで記述し、設計をそのモデルの生成・評価・選択・修正のプロセスにした。同時に計算機を援用して、膨大な解空間に対する設計解の幅広い探索を可能にした。次に生成された設計案に、上記の解析方法により獲得した好みの知識を適用して、印象評価に寄与する空間要素の知識は設計解の選択や評価に有用であり、好まれる可能性の高い空間要素の組合せを推測して確率で提示する知識は、解候補が多く存在する場合の検討範囲の論理的な絞込みや解の探索手順の決定、設計解の修正操作の指針となり、選好の結果を推測して確率で提示する知識は、設計解を評価するための指標となることを示した。また、この知識の適用法によって、計算機が人間の苦手とする膨大な情報処理を代行して設計案の探索や設計に必要な情報を提供し、設計者がその情報に基づいて本来得意とする総合的な判断を行いながら、計画を進めることが可能になり、対話によって設計解が効率よく求められることを示した。

上記の結果は設計過程における設計者の試行錯誤を軽減するものであり、設計者ができるだけ無駄な試行を避けて効率よく設計解を目指すために用いる知識、いわ



ゆる設計知識によく似た役割を果たし、空間に対する好み知識化の過程を経て、十分に設計知識化されたことを示すものと云える。このような成果が挙げられた空間に対する好みの類型化や好み知識化、好み知識を用いた展示計画法を組み合わせれば、設計問題に向けて設計対象に関する知識と対象を解析して設計解を求める方法の知識を適切に表現し、その知識を設計者が総合的に判断しながら利用する対話的なシステムを提示することができる(図7-1)。これは、感性評価を取り入れて空間に対する好みを設計知識化した空間構成法として、人の心理や行動に合わせて分割パターンや空間要素の構成を合理的に計画する方法として用いることができる。

### (1) 展示の空間要素の定義と展示の空間モデル

対象とする展示の空間を記述するには、建築計画学や展示学、博物館学において説明されている項目を空間要素として用いる。これらの空間要素は、展示の実空間、仮想空間、いずれも扱うことができる。空間に対する好み知識は、空間要素で記述され、どのように組み合わせる展示の計画を行えばよいかを直接的に知ることができる。さらに、空間の要素と展示の要素を同時に扱えるため、これまで問題とされてきた空間と展示の意匠の一体化に有用な知識が得られる(第2～4章)。

### (2) 空間に対する好みの印象や評価の形式による記述

好みは、一般に評価尺度が連続し簡潔に説明することが困難な対象である。好みは複数の対象を相対的に比較した場合の判断で、対象の識別を前提に定まることから、選択式の感性評価実験を行い、空間に対する好みを印象・評価の形式で簡潔に記述する(第2,3章)。

### (3) 空間に対する好みの類型化

対象の性質や個人の特質に規定される好みを類型化することによって、その構造を把握し、知識化のための準備を行う。対象の性質と個人の特質を把握するには、自己組織化マップを用いる。従来の線形モデルは予め分類するための基準変数を設定する必要がある。また分析には、通常、多くのサンプルが必要とされる。自己組織化マップを用いれば、好みを規定する対象空間の性質と個人の特質を可視化することができる[計算機]。それ故、予め分類の基準変数の設定が困難な対象を視覚的に把握することによって、サンプル数に関係なく、逐次的に分類し類型化を行うことができる[設計者](第2章)。

#### (4) 空間に対する好みの知識化

好みを規定する個人の特質を分けて、好みは対象空間の性質のみに規定されるとして知識化を行う。

感性評価の結果を識別するために必要な空間要素の組合せを最小の属性集合で記述して、感性評価の要因を把握するには、ラフ集合理論を用いる。対象が感性評価のように曖昧な場合、従来の線形回帰モデルは適切ではない。ラフ集合理論は対象が線形、非線形に関わらず適用することができる。感性評価の要因を空間要素の組合せとして要約し[ 計算機]、この簡潔な記述から感性評価に寄与する要素を把握して、展示の設計に用いる知識を得る[ 設計者] (第3章)。

感性評価の結果と空間要素の関係を確率モデルで表現するには、ベイジアンネットワークを用いる。確率モデルにより、感性評価の判断の構造をグラフ構造により示すことができる[ 計算機]。さらに確率推論により、評価の結果や評価に効果的な空間要素の構成を確率で示し[ 計算機]、展示の設計に用いる知識を得る[ 設計者] (第4章)。

#### (5) 空間に対する好みの知識を取り入れた展示の空間分割数と鑑賞者の動線の設定

空間に対する好みの知識(3.4(2)考察 表3-16)から、印象評価に寄与する鑑賞者の動線や面積の空間要素を把握し、展示の空間の分割数や単位空間の観覧順序を計算機を援用した展示の空間分割法の入力条件として設定する[ 設計者] (第5章)。

#### (6) 展示の空間の多様な分割パターンの生成

計算機を援用して、観覧者の動線に合わせて単位空間の結びつきを保持し、展示の壁面長を極力大きく、鑑賞者の移動距離を極力短くするように展示の空間を分割し、多様な分割パターンを生成する[ 計算機] (第5,6章)。そして得られた分割パターンから、単位空間の位置と鑑賞者の動線の関係を視覚的に把握し、指定する動線を修正しながら、より合理的な動線と分割パターンが得られるまで繰り返し試行する[ 計算機]。このように計算機を援用して、分割パターンの探索を容易にし、一つずつスケッチを作成しながら行う設計者の試行錯誤を軽減する。

非矩形の単位空間は空間の分割パターンの多様化、つまり解空間の探索範囲の拡大に有効である。空間の分割パターンを直交グラフで表現し、直交グラフ描画法を導入し、多様な分割パターンを機械的に生成する空間分割法は、展示の計画のみならず、平面計画や建築計画においても適用が可能である。

(7) 空間に対する好みの知識を取り入れた展示の空間の分割パターンの評価と選択  
展示の空間分割法により生成された多様な分割パターンに、空間に対する好みの知識を適用してその評価を行い[ 計算機]、設計候補を選択する[ 設計者]。

印象がよいとする判断に寄与する空間要素(3.4(2)考察 表3-16)を多く含む分割パターンを判別し[ 計算機]、単位空間の大きさやプロポーションに着目して適切な分割パターンを選択する[ 設計者](6.3 展示の計画への空間に対する好みの知識の適用 表6-1)。

またベイジアンネットワークの確率推論(4.4(3)確率推論の結果 図4-7)により、分割パターンに含まれる単位空間の選好の結果を推測し[ 計算機]、空間要素の組合せの総合的な評価を示す確率を指標として、適切な分割パターンを選択する[ 設計者](6.3 展示の計画への空間に対する好みの知識の適用 表6-2)。

(8) 空間に対する好みの知識を取り入れた展示の空間要素の推測と設計案の作成

展示の空間の分割パターンに含まれる単位空間の空間要素を空間に対する好みの確率モデルに代入し、確率推論(4.4(3)確率推論の結果 図4-6)を行って、高さ、壁配置、展示方式、色彩の空間要素の確率分布を得る[ 計算機](6.3 展示の計画への空間に対する好みの知識の適用 表6-4)。得られた確率を信頼度にして、計画に用いる空間要素の候補を絞り、これらの空間要素を満足するように設計案を作成する[ 設計者]。壁面の位置と鑑賞者の動線は選択した分割パターンと同じとし、展示の配置は、動線に沿って進むと次の展示が自然に視界に入ることを確認しつつ、好みの知識に基づく配置面数を満足するように単位空間の開口位置を調整し決定する[ 設計者]。さらに空間の配色は、好みの知識によって絞られた色彩の空間要素の候補を参照して検討する[ 設計者]。(6.3 展示の計画への空間に対する好みの知識の適用 図6-8)。

(9) 空間に対する好みの知識を取り入れた設計案の評価と決定

空間に対する好みの確率モデルに、設計案として作成した単位空間の空間要素を代入し、その単位空間に対する選好の結果を推測する[ 計算機](4.4(3)確率推論の結果 図4-7)。評価の方法としては、すべての単位空間の選好の結果を推測し、計画全体を考慮して評価を行う方法や、特定の単位空間に対する選好の結果を重視して、計画の評価を行う方法が考えられる。このような設計案の評価から、設計案の修正や決定の指針を得る[ 設計者]。

近年の社会環境の変化に伴い、人間の心理や行動はますます複雑化している。本来、空間の計画は人間の心理や行動を考慮したものでなければならない。建築計画学には、人間の心理や行動をモデル化して計画を行う方法の確立が必要であるが、その必要な知識を得る方法は不十分である。本論の感性評価を取り入れて人間の感性を論理的に扱い、非線形性を有するモデルとして、その構造を可視化して知識に加工する方法(知識化)を用いれば、人間の心理や行動を推測して計画を行う設計者の暗黙知を明示して共有することが期待できる。さらに計算機を援用した空間分割法を用いて効率よく解を生成しながら、設計案の作成に、獲得した知識を取り入れた空間計画法(設計知識化)を組み合わせることによって、感性評価を建築計画に援用することができる。好み以外に、美しい、楽しい等、他の感性評価の援用も必要であるが、適用には、今後検証が必要である。人間の感性評価を取り入れて建築計画学を新しい側面から補足していくためには、本論の空間構成法のまだまだ多くの部分を発展させていく必要があり、本論はその萌芽的研究である。

最後に残された課題を整理する。本論は感性評価を取り入れて空間に対する好みをモデル化し、分析・知識化して設計に用いようとする萌芽的研究であり、提示した方法と獲得される知識の有効性の検証のため、対象を筆者のよく知る展示空間に限定した。次の段階としては、他の展示の空間に適用するとともに、一般建築計画まで適用範囲を広げて、より幅広く本論の有効性を検証する必要がある。

実用に向けての課題もある。本論で提示した方法は対象と入力データに左右される。つまり、対象の記述に用いる空間要素により、獲得される知識の内容が異なる。入力データとなる対象やデータを記述する空間要素の選定等、実用に即したデータ化を検討する必要がある。

空間分割法においては、人間の思考過程に近づけた解の探索を行うために、探索過程の機械学習や、評価関数への人間の感性尺度の導入等、まだまだ多くの発展の余地を残している。

## 本論と関連する発表論文等一覧

### 第2章 空間嗜好の自己組織化マップを用いた評価パターンの類型化

宗本晋作：自己組織化マップによる評価パターンの可視化分析を用いた空間嗜好の類型化の研究  
企画展の展示計画を対象として

日本建築学会学術講演梗概集、A-2、pp.511 512、2006. 7

宗本晋作：自己組織化マップによる評価パターンの可視化分析を用いた空間嗜好の類型化の研究  
企画展の展示計画を対象として

日本建築学会計画系論文集、第609号、pp.231 237、2006.11

### 第3章 印象がよいとされる展示の空間要素のラフ集合理論を用いた組合せの抽出

宗本晋作：ラフ集合理論を用いた感性評価に基づく魅力ある空間の構成則の獲得手法

日本建築学会大会学術講演梗概集、A-2、pp.525 526、2005.7

宗本晋作：ラフ集合を用いた空間要素の組合せ推論に基づく印象評価の研究  
国立民族学博物館の企画展を対象として

日本建築学会計画系論文集、第608号、pp.235 241、2006.10

### 第4章 空間嗜好のベイジアンネットワークを用いた確率モデル

宗本晋作：ベイジアンネットワークを用いた空間嗜好の確率モデルの研究  
- 企画展の展示計画を対象として -

日本建築学会大会学術講演梗概集、A-2、pp.455 456、2007.7

宗本晋作：ベイジアンネットワークを用いた空間嗜好の確率モデルの研究  
- 企画展の展示計画を対象として その2 -

日本建築学会計画系論文集、第618号 pp.173-179、2007.8

### 第45回(2006年度)財団法人竹中育英会建築研究助成

人の好みを取り入れた展示の空間計画法の研究

第5章 展示の計画への直交グラフ描画法を用いた空間分割法の活用

宗本晋作，加藤直樹，今村元一：直交グラフ描画法に基づく最適室配置手法

日本建築学会近畿支部研究報告集、第38号、pp.177 178、1998.7

宗本晋作，加藤直樹，今村元一：直交グラフ描画法に基づく最適室配置手法

日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.459 460、1998.9

宗本晋作、加藤直樹、今村元一：直交グラフ描画法を用いた室配置手法

- タブー探索法を用いた対話型多目的最適化 -

日本建築学会計画系論文集、第529号、pp.279 286、2000.3

宗本晋作、瀧澤重志、加藤直樹：直交グラフ描画を用いた展示の空間分割法

日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.429 430、2008.9

付録 特別展「インドサリーの世界」に関する資料

付録 特別展「インド サリーの世界」に関する資料

1. 展示の概要を示す販促物



図1 フライヤー(表面)

## 特別展 インド サリーの世界



インドのサリーは、一枚の布を身にまとう民族衣装です。インドの染織や刺繍、ミラーワークなどの華麗で繊細な手仕事の伝統は、地域色豊かなサリーの世界をつくりだしました。さらにインドから輸出された布は世界の人びとを魅了し、西洋と日本にファッション革命を起こしました。

インドはいま、グローバル化と経済自由化の進展によって大きく変換しています。人びとのライフスタイルが変わるとともに、ファッションもまたダイナミックに変化し、それを通して新しいインド・イメージが創りだされています。

本特別展では、インドのサリーとデザイナーズ・ファッションなど150点を展示し、躍動するインドの新たな魅力をご紹介します。また試着コーナーで、インド・ファッションの魅力を体験していただけます。



---

### 特別展関連催し物



**みんぱくゼミナール**

第329回「サリー幻燈—ファッションがつくるインド」  
9/17(土) 14:00-15:30 (13:30開場) 講師:杉本昌典(民俗学者)

第330回「サリーと呼ばれないサリー—インドファッションの革命」  
10/15(土) 14:00-15:30 (13:30開場) 講師:南真木人(民俗学教授)

**みんぱく映画会**

「インド映画祭」(モンスーン・ウェディング、ボンベイなど全5作品)  
11/12(土) 13(日) 22(水-木) 26(土) 27(日)

**研究公演**

「マンガラ・イサイ—インドの儀式音楽」9/10(土) 13:30—  
※要申込(申込費360円) 9時開演の場にお知らせ下さい

会場:国立民族学博物館 講堂 定員:450名  
観覧無料(ただし、特別展および常設展を公開になる方は、観覧料が必要です)  
お問い合わせ:広報企画課企画連携係 TEL:06-4874-2151

**ワークショップ**

●インド製造ニュージカルダンス 9/17(土) 14(日) 24(土) 25(日) 10/8(土) 9(日) 22(土) 23(日) 11/5(土) 6(日) 19(土) 20(日)	●インドの志賀舞踊と民謡舞踊 10/7(日) 30(日) 会場:国立民族学博物館 特別展示室内 お問い合わせ:学芸企画課学芸係 TEL:06-4874-2151
--	---

国立民族学博物館友の会講演会(特別展関連) ※自由参加(詳細は下記のとおり) ※申し込みが必要です  
「ファッションからみるインド—ナショナル・ドレスとなった一枚の布」  
10/7(土) 講師:杉本昌典(学芸企画課学芸係)  
「変わるインドの都市と人びと」11/18(土) 講師:三浦 隆(民俗学教授)  
お問い合わせ:学芸企画課企画連携係(国立民族学博物館友の会) TEL:06-4877-6892



---

**国立民族学博物館 交通のご案内**



〒565-0872 大阪府茨木市南茨木1-1-1  
TEL:06-4874-2111

● 本展—特別展特別公開期間  
● 特別展特別公開—本展同時、本展の会場より10分以内  
● 特別展特別公開—本展同時、本展の会場より10分以内  
● 特別展特別公開—本展同時、本展の会場より10分以内  
● 特別展特別公開—本展同時、本展の会場より10分以内  
● 特別展特別公開—本展同時、本展の会場より10分以内

**国立民族学博物館**  
http://www.minpaku.ac.jp/  
〒565-0872 大阪府茨木市南茨木1-1-1  
TEL:06-4874-2111

※特別展の詳しい情報はホームページをご覧ください [www.minpaku.ac.jp/special/sari/](http://www.minpaku.ac.jp/special/sari/)

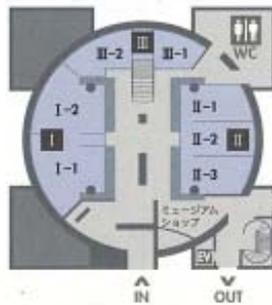
図2 フライヤー(裏面)

# 1F

## インド・ファッションの現在

インドのファッションを「つくること（ファッションング）」は、インドらしさとは何かを探求することでもあります。インド・ファッションの創造とは、インド・イメージを形にすること、「インドをつくること（ファッションング・インディア）」に他ならないのです。

1階は現代のインド・ファッションを展望する3つのゾーンから構成されています。



### I エキゾチックなインド 'Exotic India'

#### 1 マハラジャ・インスピレーション

*Inspiration from Maharajas*

インドの伝統に育まれた染織技法が、イギリス植民地時代のマハラジャのイメージとともに、現代のウエディング・ファッションのうちに華麗によみがえりました。

#### 2 魅惑のラージャスターン

*Alluring Rajasthan*

ラージャスターンには、インドの原郷というイメージがあります。この地方の美しい刺繍やミラーワークをほどこした民衆の衣装が洗練されて、エスニック・シックのモードとなりました。



# India Fashion Now

### II インド・モダンの世界 'Indo-Modern' World

#### 1 ハンディクラフツ・リバイバル

*Revival of Handicrafts*

地方の日常生活の中に埋もれ忘れられようとしていた手工芸の技が、若いデザイナーの工房にもちこまれて、ハイファッションを彩るようになりました。

#### 2 リージョナル・ミックス

*Mixing Regional Traditions*

サリー・ショップが最新のデザインを買いあななかで、インド各地の地方色豊かなデザインや技法が境界を越えて混ざりあい、新しいサリーが生まれています。

#### 3 クレオール・ファッション

*Creole Fashion*

白や黒を基調としたモダンなモードにインドの伝統的な手仕事を生かした新しいドレス・スタイルは、グローバル化時代のクレオール・ファッションといえるでしょう。



### III ナショナリズムとファッション Nationalism and Fashion

#### 1 ナショナル・ドレスの模索

*Creating National Dress*

独立運動のなかでインドの伝統が見直され、イギリスの機械織り製品を捨てて国産品を愛用しようという運動がおこり、サリーがインドのナショナル・ドレスとなりました。

#### 2 アートとファッションの邂逅

*Where Art meets Fashion*

サリーを着たインド女性のイメージは、絵画、踊り、音楽、映画などのアートをおして浸透しました。最近では、サリーそのものがアートになってきています。



1909年、カルカッタに於ける「白」のサリー  
Chandrabhawan Devi, c. 1909  
Courtesy: Ananda Bhawan,  
Photo: Anandam, Shantipur,  
Barrackpore

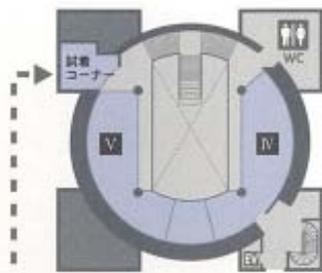
図3 リーフレットの抜粋(表面)

# 2F

## Dynamism of Indian Textiles

### インドの布の広がり多様性

インドのテキスタイルは、はるか昔からインド洋を越えて世界各地に運ばれていました。インド各地の布の生産地は、こうした交易ネットワークと結びついて繁栄しました。ヨーロッパ船がインドの港から船積みした大量のインドの布は、アジアやアフリカ、そしてヨーロッパのファッションに大きな影響をあたえました。2階はインドのテキスタイルのダイナミックな広がりを展望する2つのゾーンから構成されています。



試着コーナー：  
サリーなどの試着と写真撮影ができます。

### IV 海を越えたインドの布 Traveling Textiles

インドの美しいテキスタイルは、いつの時代も世界の人びとの憧れのまどでした。ヨーロッパ船が運んだインドの布は、東西世界にファッション革命をおこしました。



### V ローカル・サリー Regional Varieties

インド伝統的なサリーは、地域によって素材や染織技法にさまざまな違いがあります。また地方や階層、宗派によって、着方にも違いがあるのです。



### インドのデザイナー (1F)

- エイブラハム&タコール Abraham & Thakore
- アブ・ジャニ&サンディープ・コースラ Abu Jani & Sandeep Khosla
- アキ・ナルーラ Aki Narula
- アナミカ・カンナー Anamika Khanna
- アニター・モディ Anita Mody
- アヌラダ・ヴァキル Anuradha Vakil
- アーシマ&リーナー・シン Ashima & Leena Singh
- ディーピカ・ゴウインド Deepika Govind
- ディープナス&リチャ Diipnaz & Richa
- JJヴァラヤ JJ Valaya
- マニッシュ・アロラ Manish Arora
- マニッシュ・マルホートラ Manish Malhotra

- モニシャ・ジャイシング Monisha Jaising
- ニキ・マハージャン Niki Mahajan
- ラジェーシュ・プラタップ・シン Rajesh Pratap Singh
- リトゥ・ベリ Ritu Beri
- リトゥ・クマール Ritu Kumar
- リトゥ・セクサリア Ritu Sekaria
- ロヒット・バル Rohit Bal
- サビヤサッチ・ムケルジー Sabyasachi Mukherjee
- サティア・ポール Satya Paul
- シャハーブ・ドゥラジー Shahab Durrani
- スニート・ヴァルマー Suneet Varma
- タルン・タヒリアニ Tarun Tahiliani

図4 リーフレットの抜粋(裏面)

## 2. アンケート

アンケートにご協力いただき、ありがとうございます。

■アンケートの目的

このアンケートは、どの展示空間の印象が良く、どの展示空間の印象があまり良くないのかを細かく知って、今後の展示空間の設計に活かすためのものです。

■アンケートの目的

下図のそれぞれの展示空間について、直感的に展示空間として印象良く感じた場合には○を直感的に展示空間として印象良く感じなかった場合には×を展示空間の名前の横（または下）の枠の中にご記入ください(裏面の2階の分もご記入ください)。

(お願い)

「あのサリーが綺麗だから…」のような、展示品の質の違いは考慮に入れないで下さい。

**1F**  
裏面に2Fが  
あります。

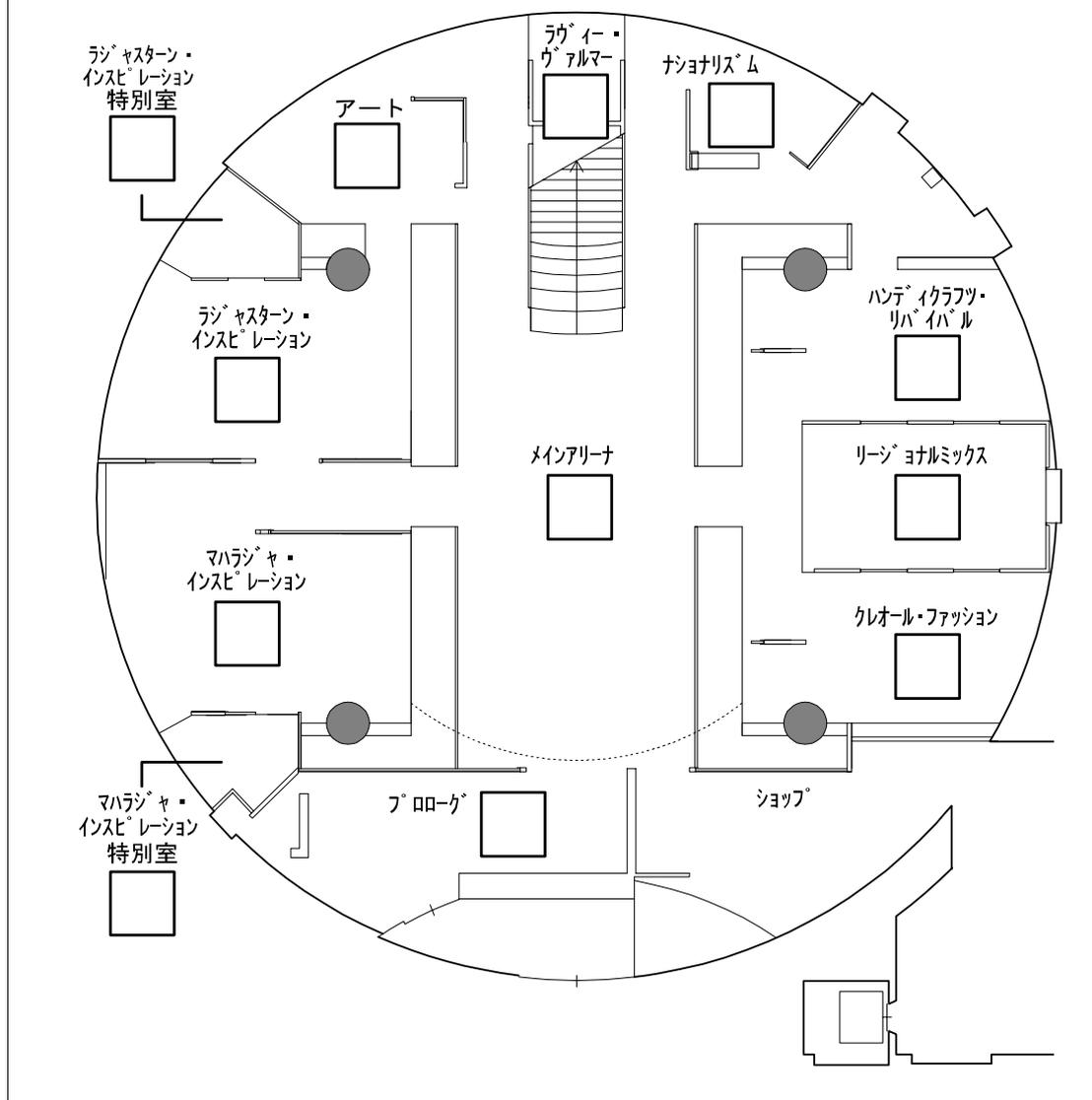


図5 会場で配布したアンケート(表面)

アンケートにご協力いただき、ありがとうございます。

**2F**  
裏面に1Fが  
あります。

■アンケートの目的

このアンケートは、どの展示空間の印象が良く、どの展示空間の印象があまり良くないのかを細かく知って、今後の展示空間の設計に活かすためのものです。

■アンケートの目的

下図のそれぞれの展示空間について、直感的に展示空間として印象良く感じた場合には○を直感的に展示空間として印象良く感じなかった場合には×を展示空間の名前の横（または下）の枠の中にご記入ください(裏面の1階の分もご記入ください)。

(お願い)

「あのサリーが綺麗だから…」のような、展示品の質の違いは考慮に入れないで下さい。

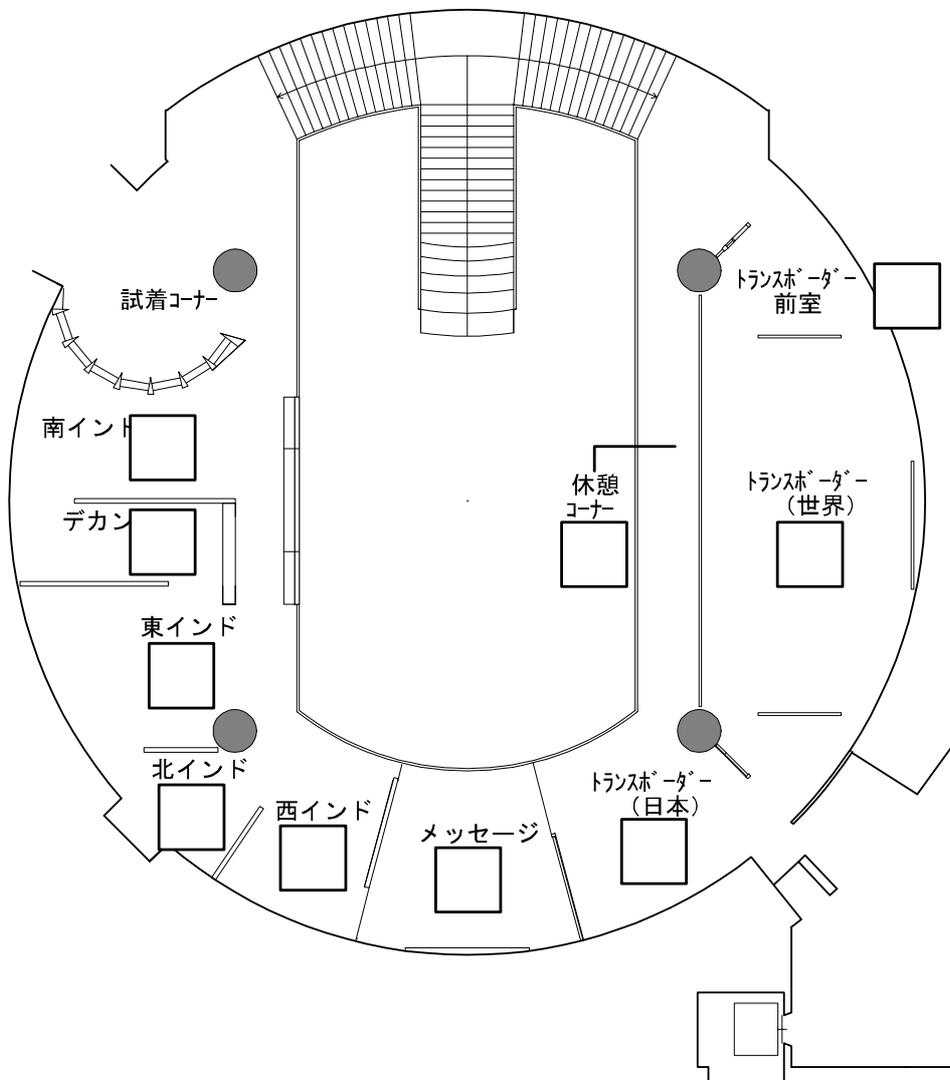
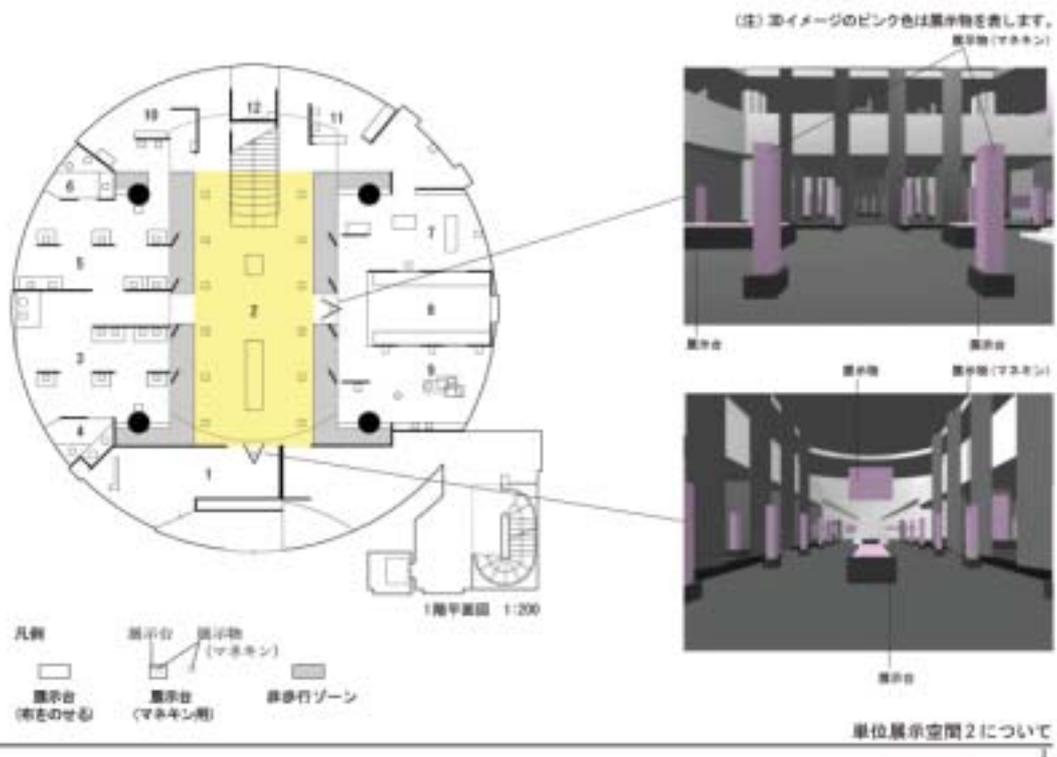
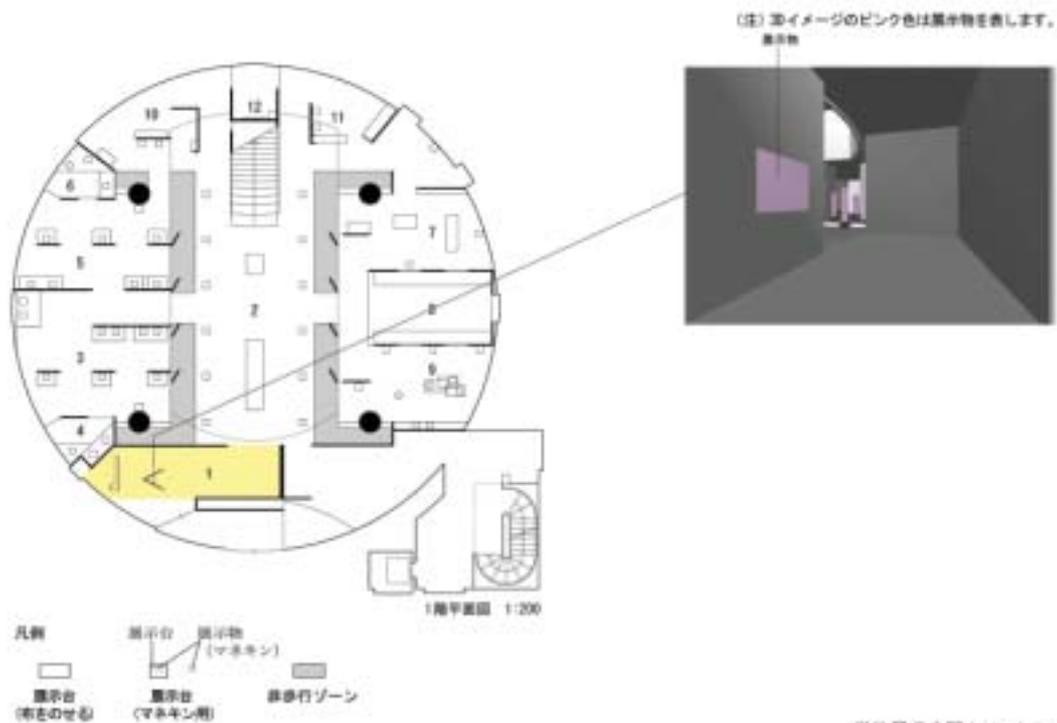
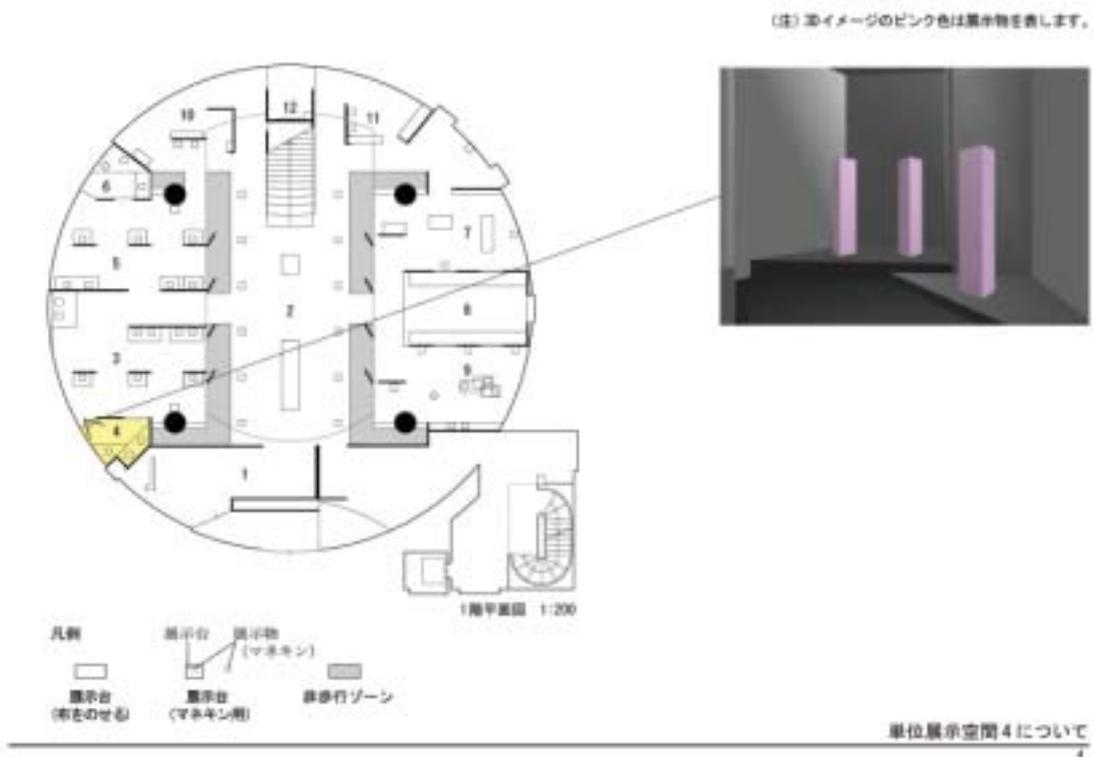
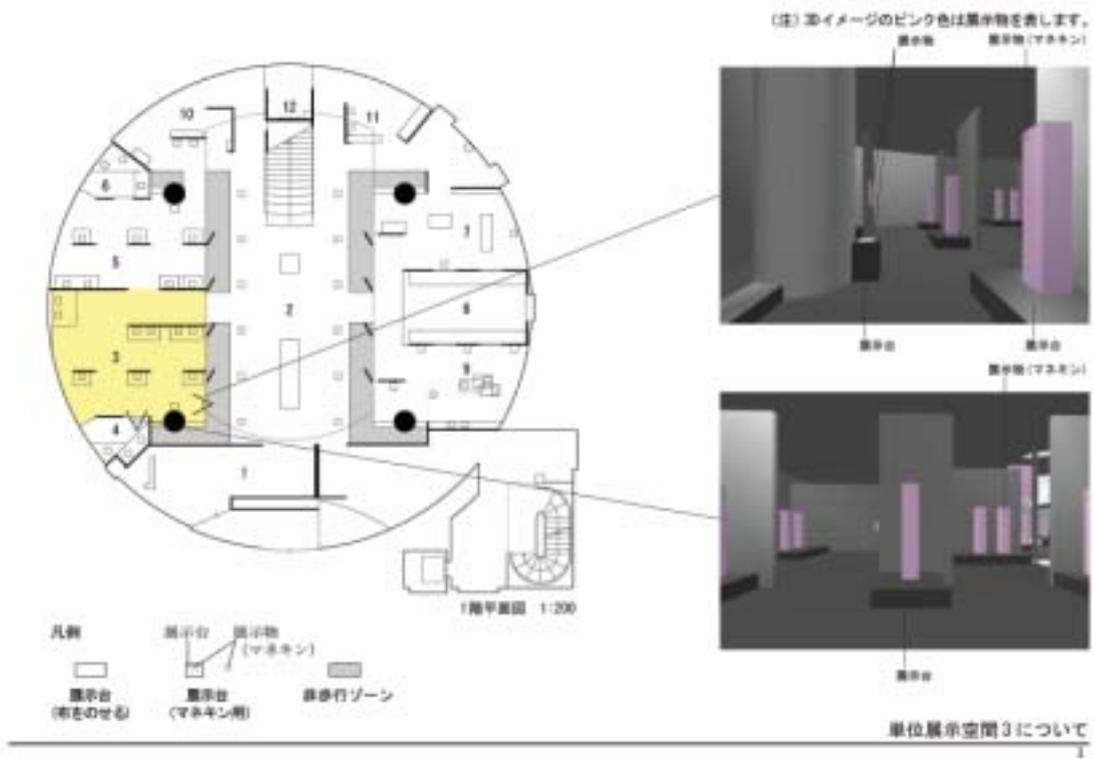


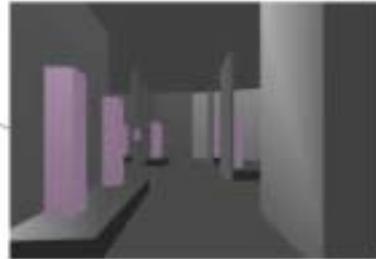
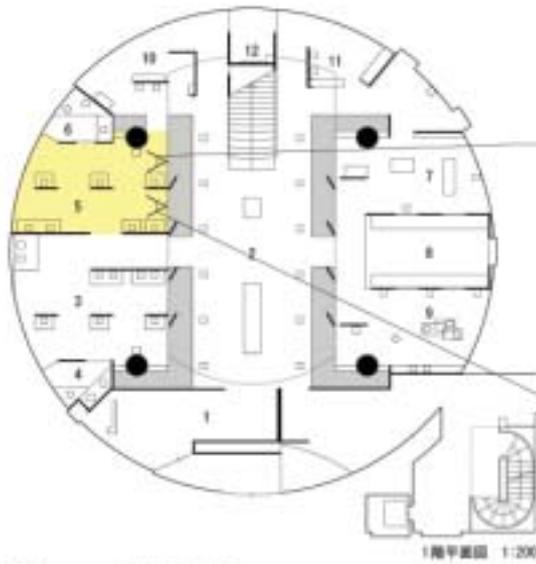
図6 会場で配布したアンケート(裏面)







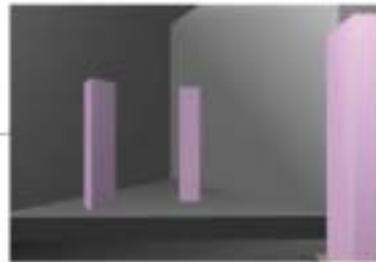
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



凡例  
□ 展示台 (布をのせる)  
■ 展示台 (マネキン用)  
■ 展示物 (マネキン)  
■ 非歩行ゾーン

単位展示空間5について

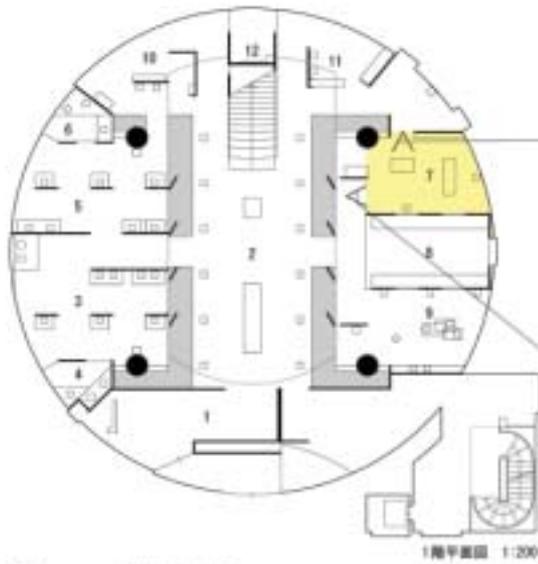
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



凡例  
□ 展示台 (布をのせる)  
■ 展示台 (マネキン用)  
■ 展示物 (マネキン)  
■ 非歩行ゾーン

単位展示空間6について

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。

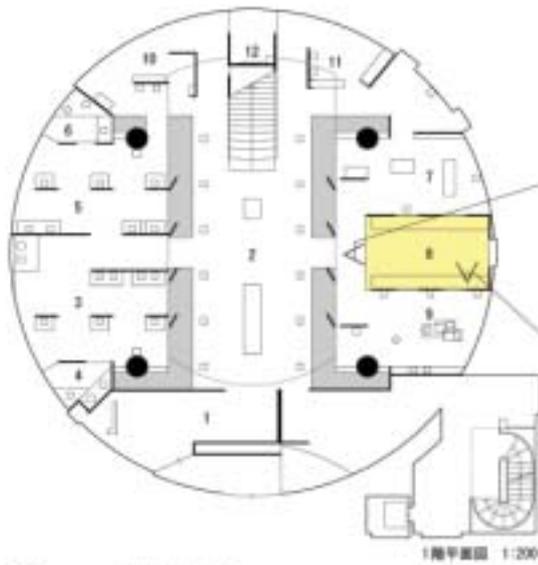


凡例  
展示台 (布をのせる)  
展示台 (マネキン用)  
展示物 (マネキン)  
非歩行ゾーン

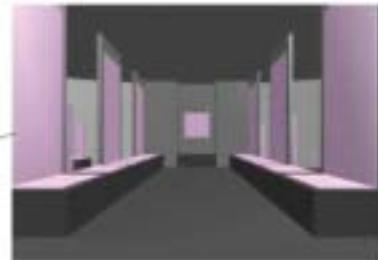


単位展示空間7について

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。

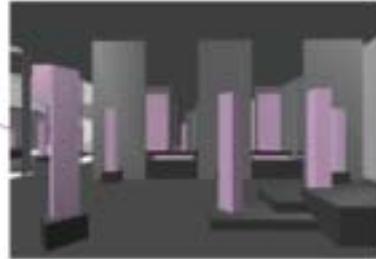
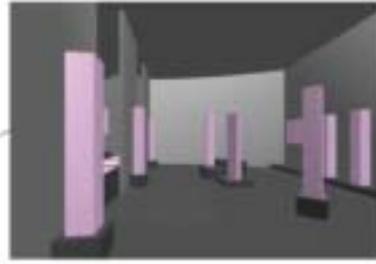
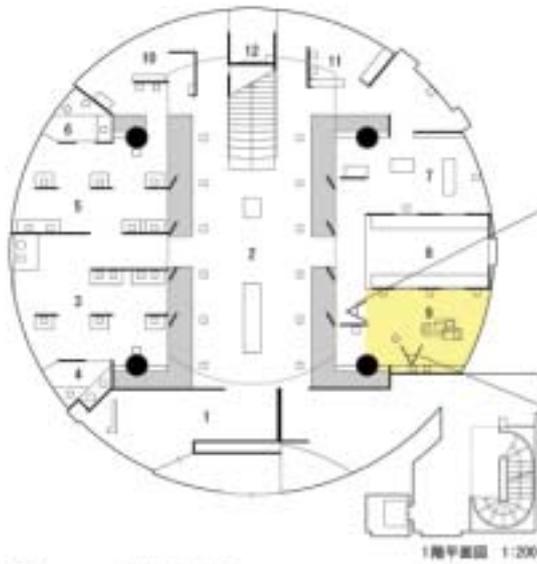


凡例  
展示台 (布をのせる)  
展示台 (マネキン用)  
展示物 (マネキン)  
非歩行ゾーン



単位展示空間8について

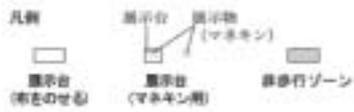
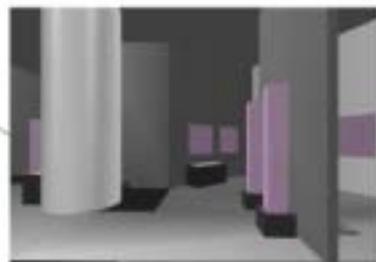
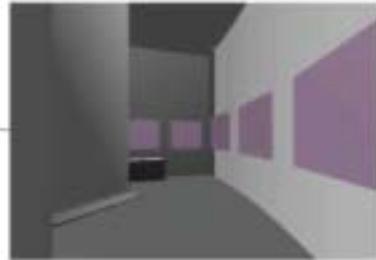
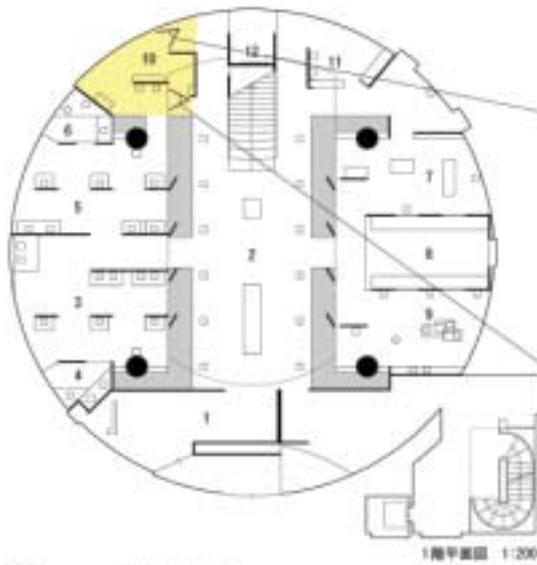
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



1階平面図 1:200

単位展示空間1について

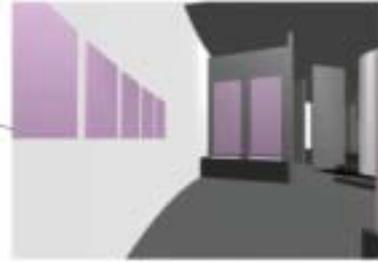
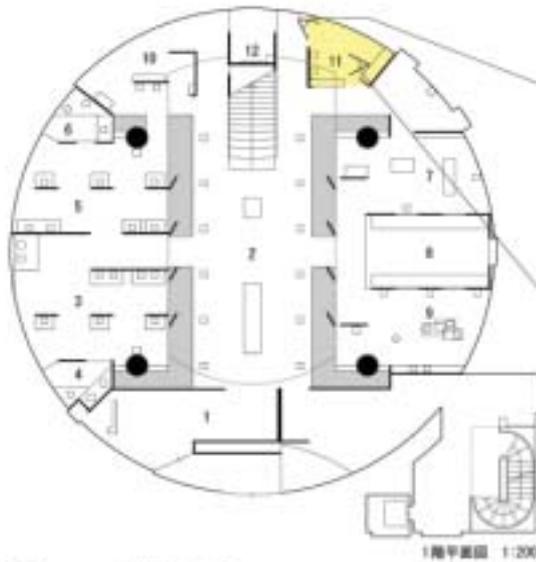
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



1階平面図 1:200

単位展示空間10について

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



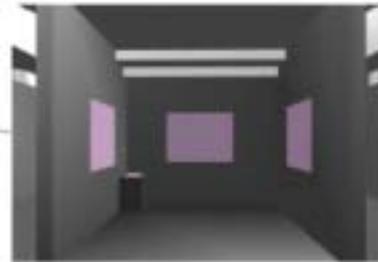
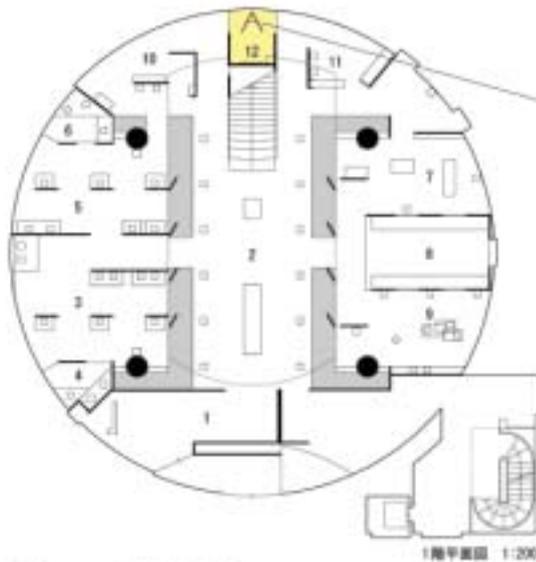
凡例  
展示台 (布をのせる)  
展示台 (マネキン用)  
展示物 (マネキン)  
非歩行ゾーン

1階平面図 1:200

単位展示空間11について

11

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



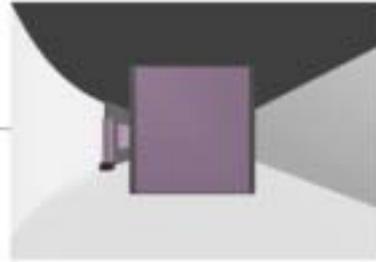
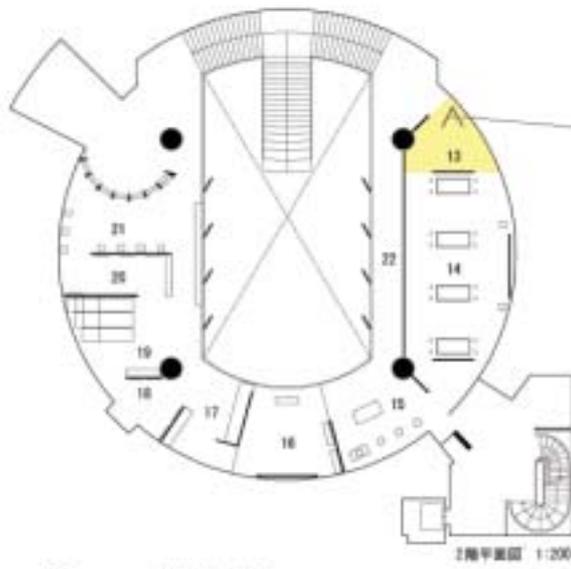
凡例  
展示台 (布をのせる)  
展示台 (マネキン用)  
展示物 (マネキン)  
非歩行ゾーン

1階平面図 1:200

単位展示空間12について

12

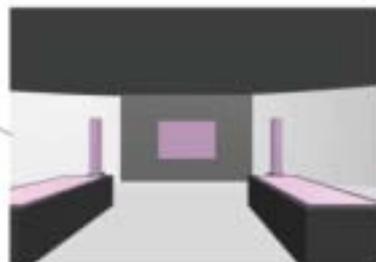
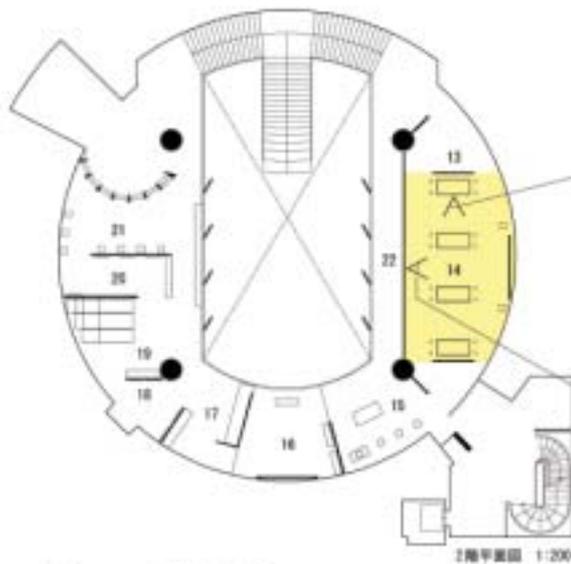
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間13について

13

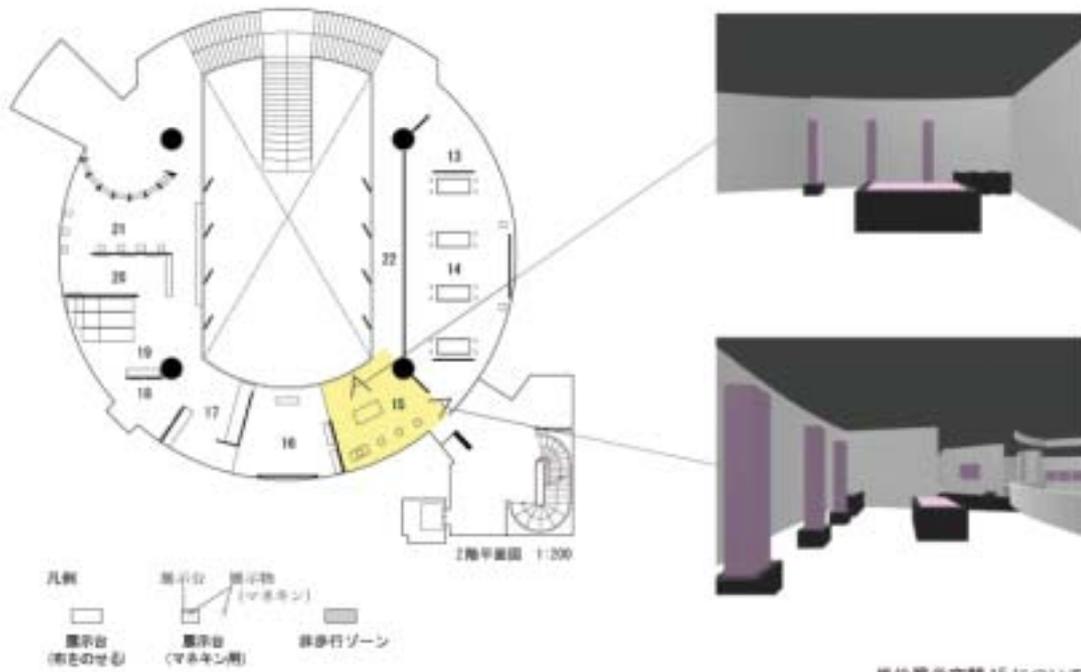
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間14について

14

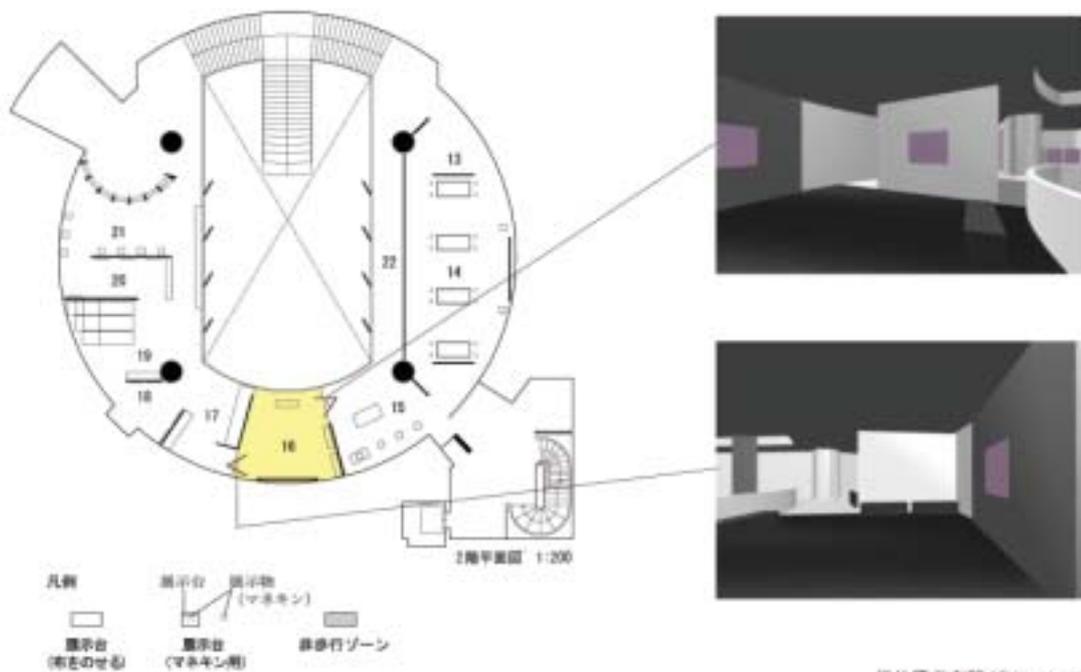
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間 15 について

18

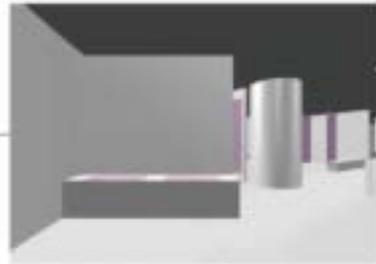
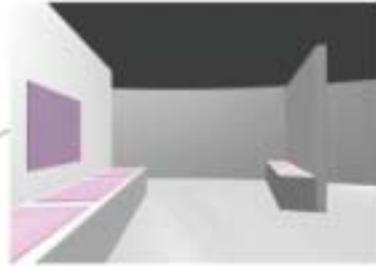
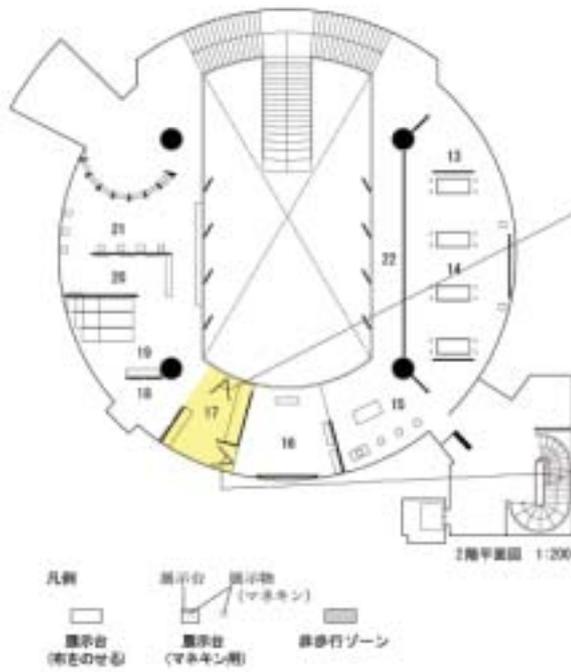
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間 16 について

18

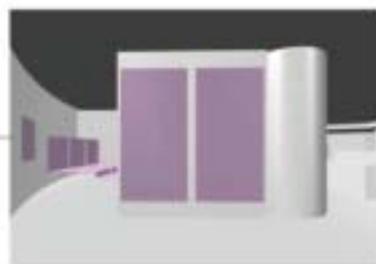
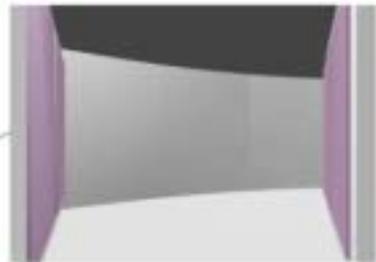
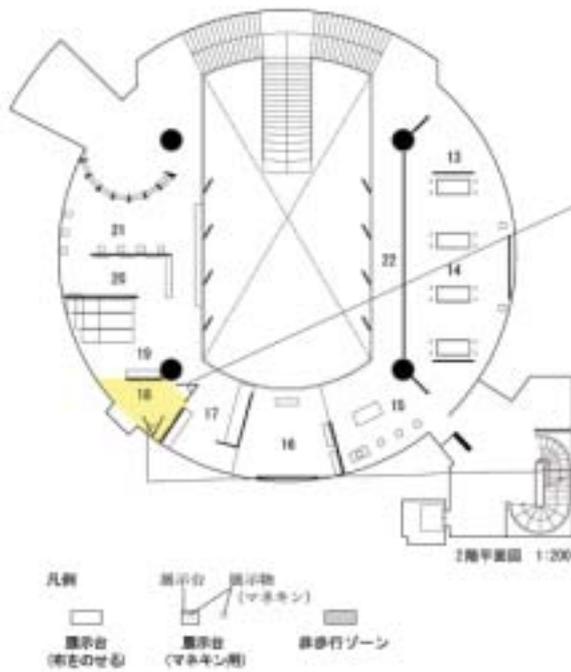
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間17について

11

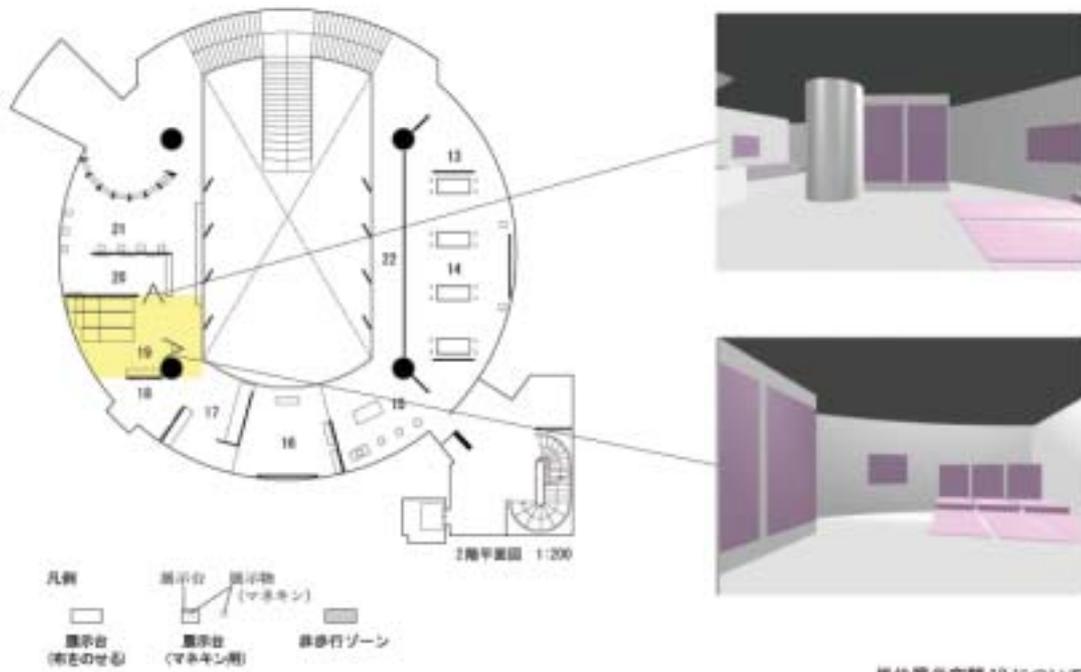
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間18について

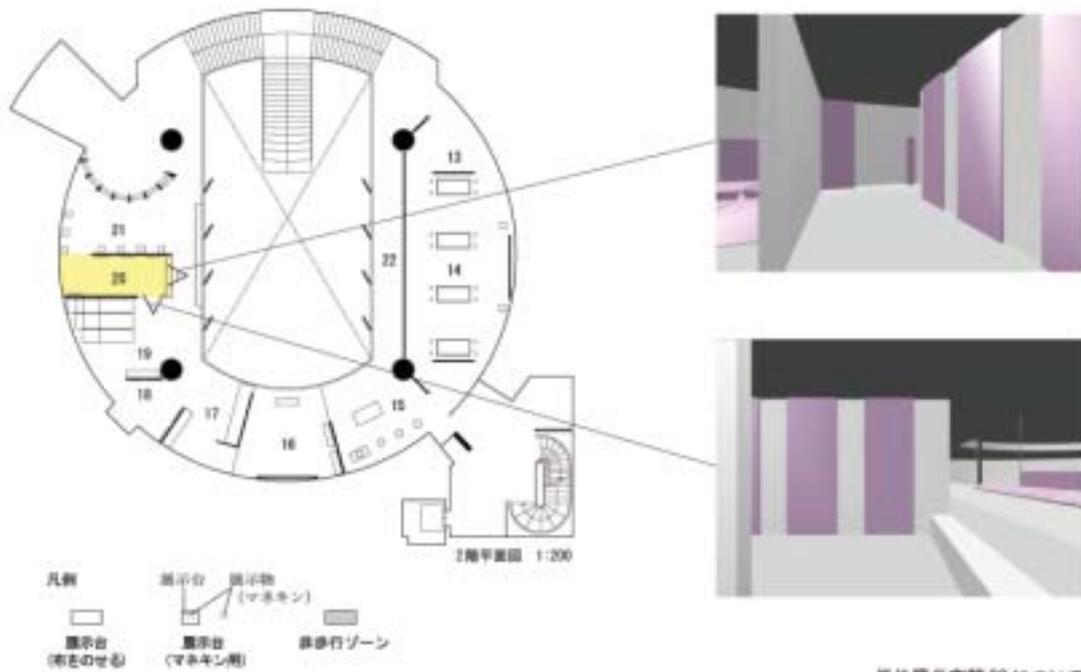
12

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



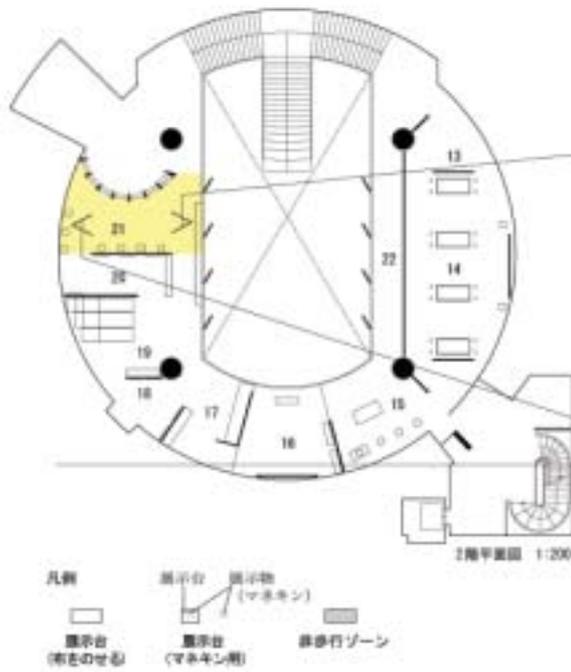
19

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



20

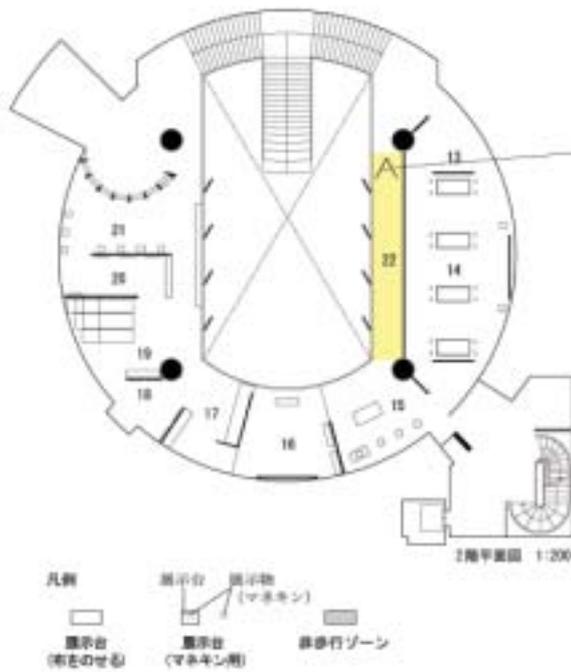
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間21について

21

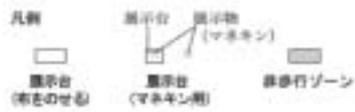
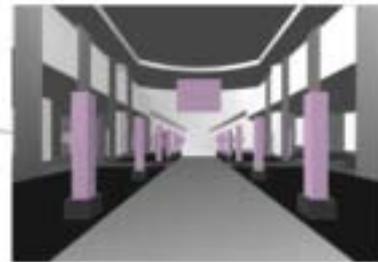
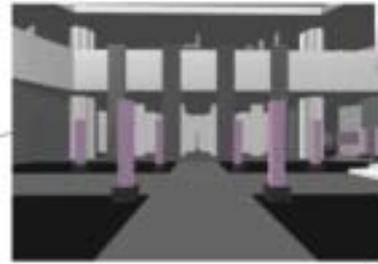
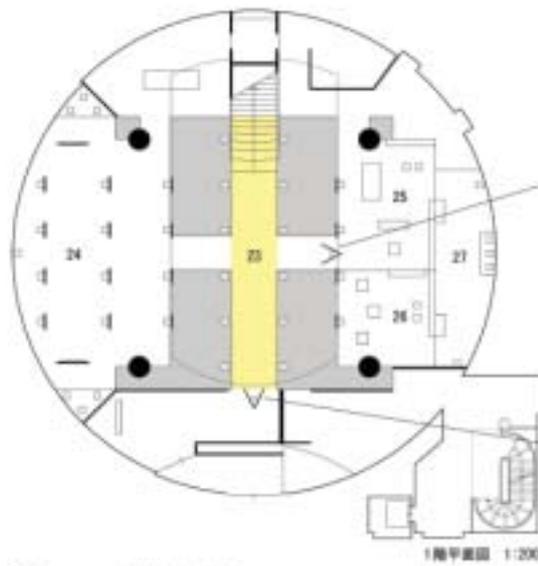
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間22について

22

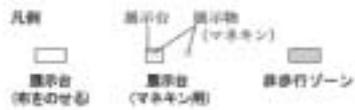
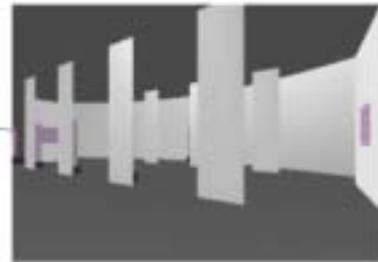
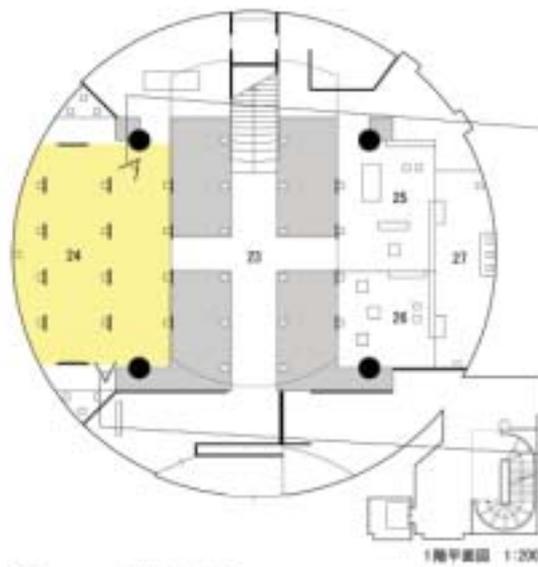
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間23について

23

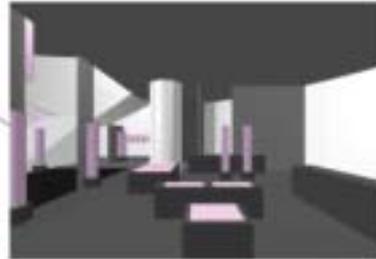
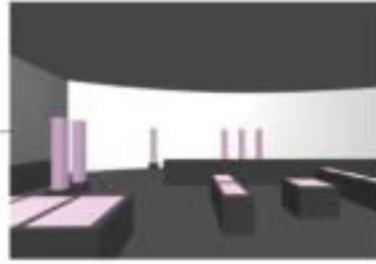
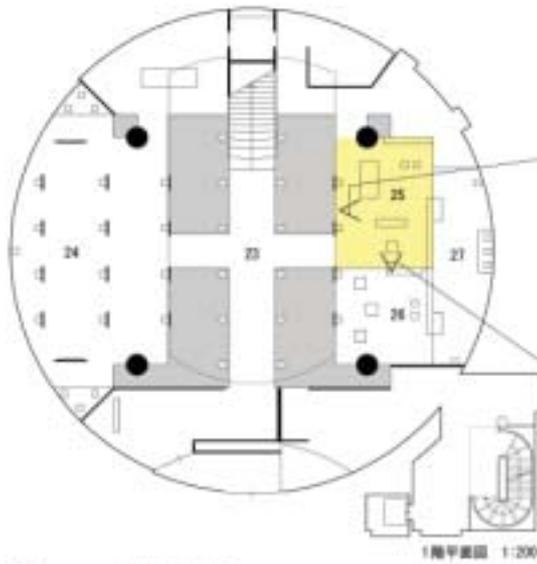
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間24について

24

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



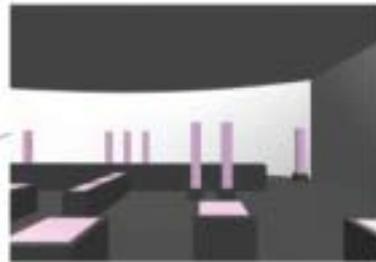
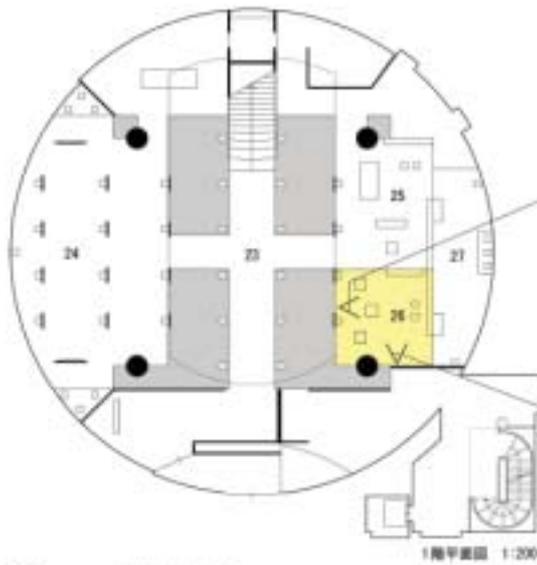
凡例  
□ 展示台 (布をのせる)  
■ 展示台 (マネキン用)  
■ 展示物 (マネキン)  
■ 非歩行ゾーン

1階平面図 1:200

単位展示空間25について

25

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



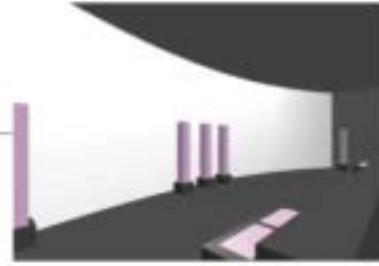
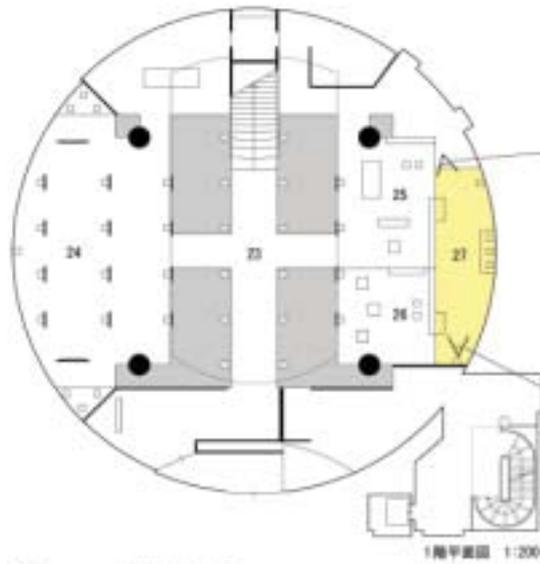
凡例  
□ 展示台 (布をのせる)  
■ 展示台 (マネキン用)  
■ 展示物 (マネキン)  
■ 非歩行ゾーン

1階平面図 1:200

単位展示空間26について

26

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。

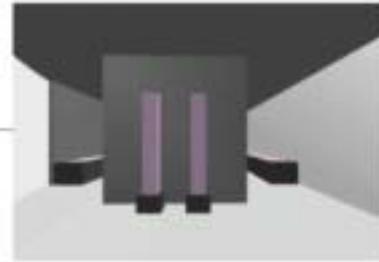
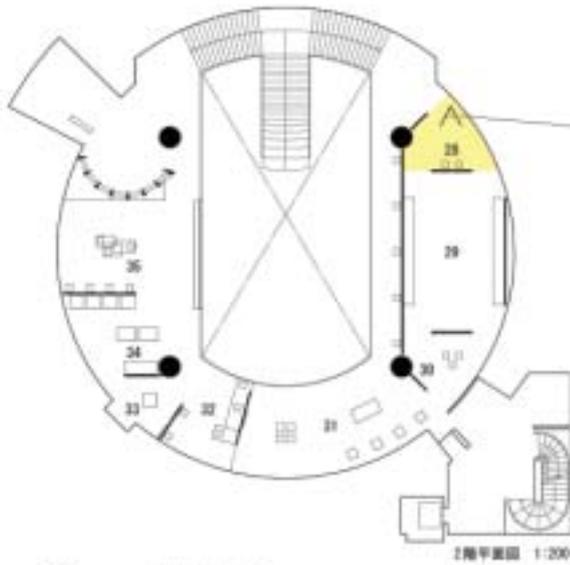


凡例  
展示台 (布をのせる)  
展示台 (マネキン用)  
展示物 (マネキン)  
通行ゾーン

単位展示空間27について

27

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。

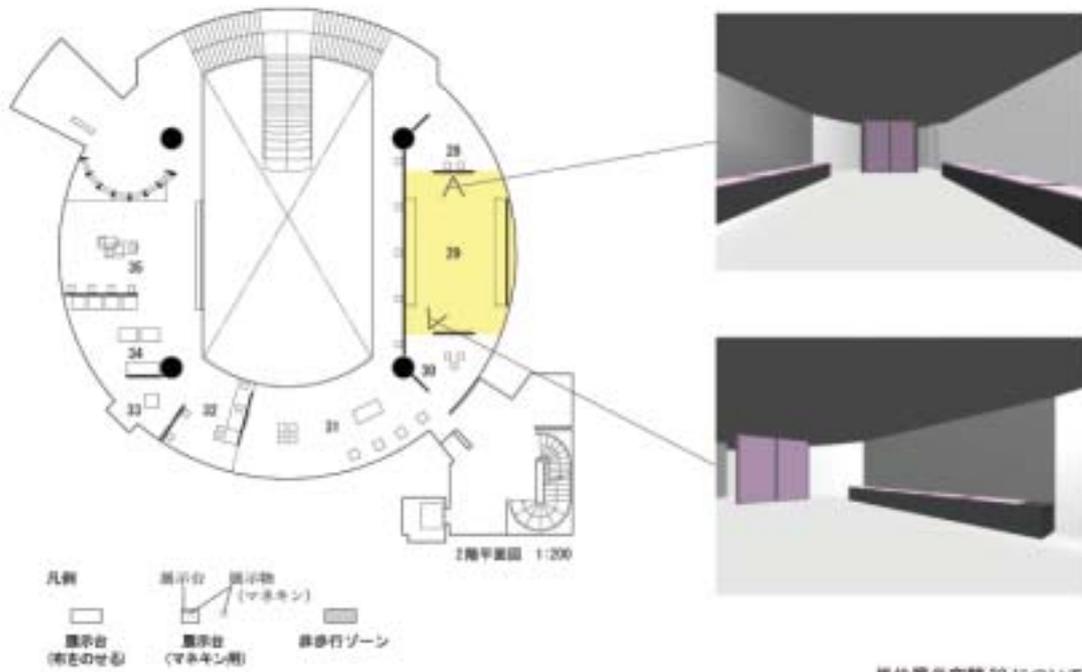


凡例  
展示台 (布をのせる)  
展示台 (マネキン用)  
展示物 (マネキン)  
通行ゾーン

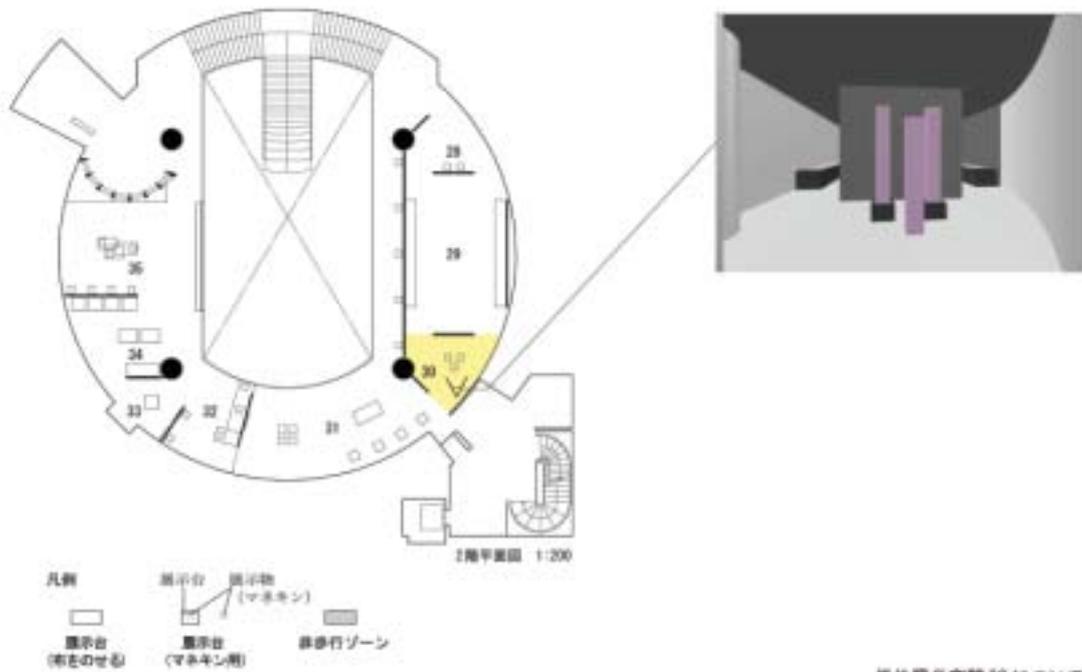
単位展示空間28について

28

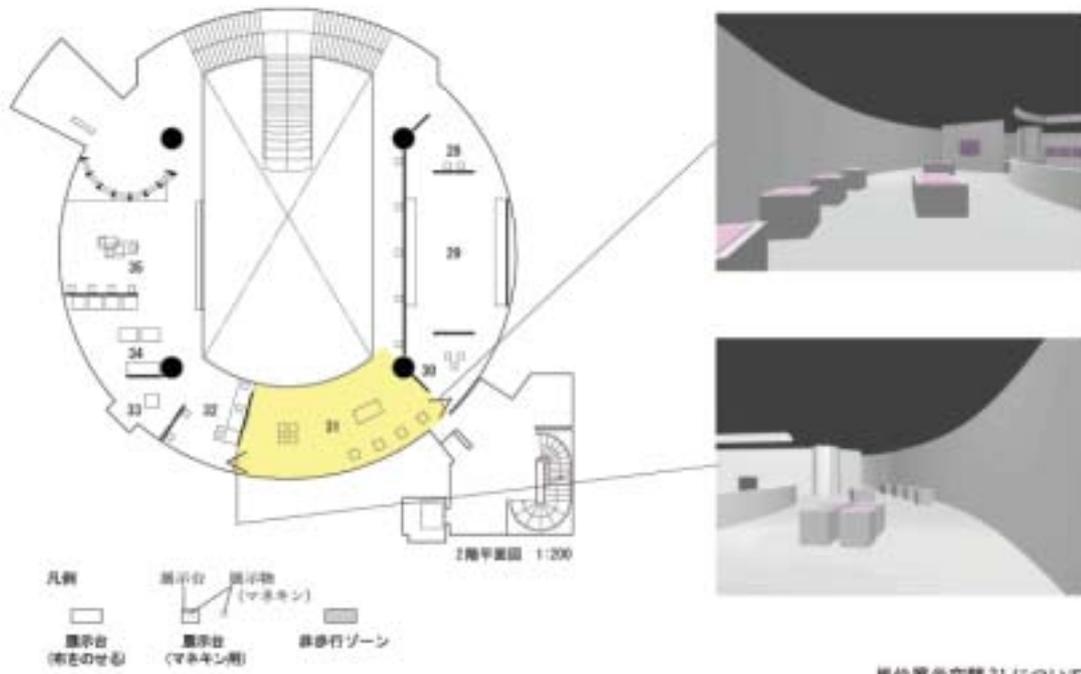
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



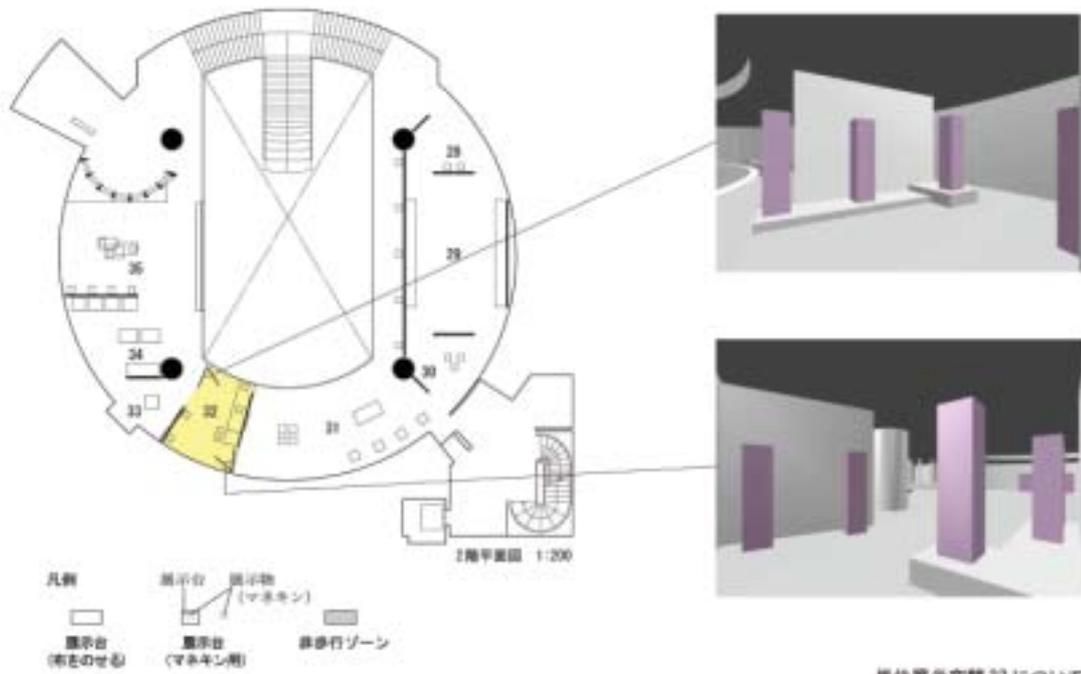
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



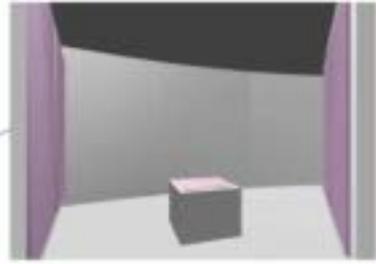
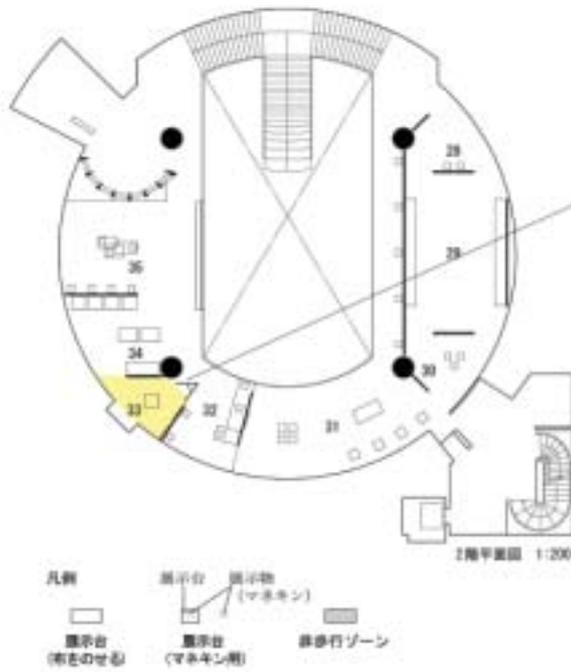
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



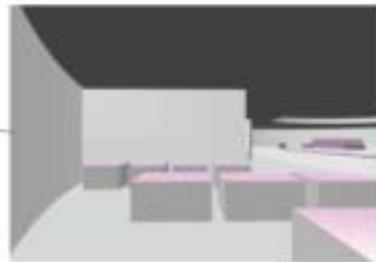
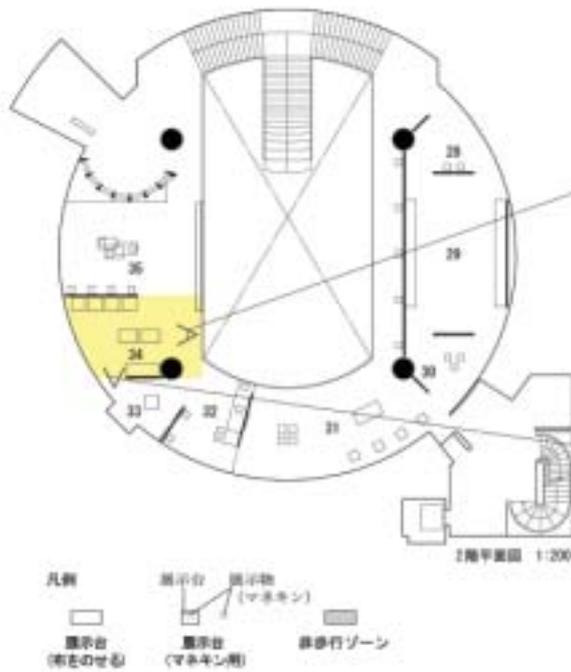
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間33について

33

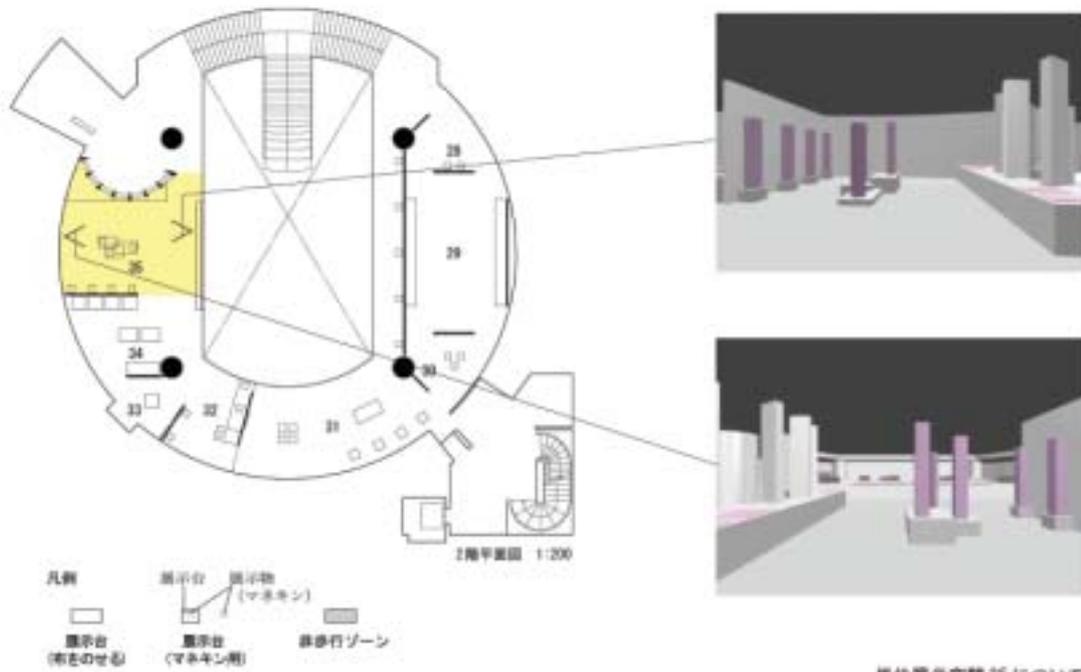
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間34について

34

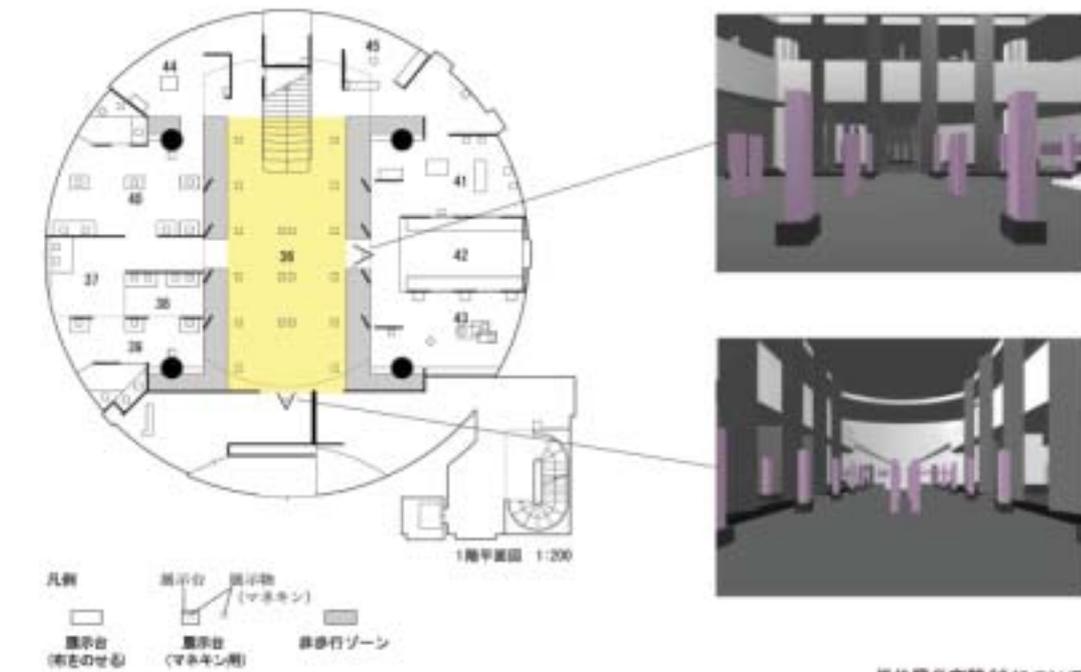
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間35について

35

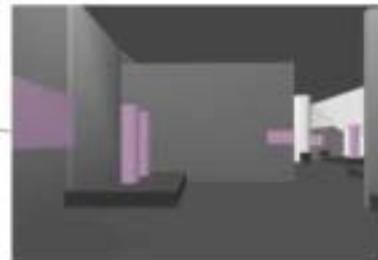
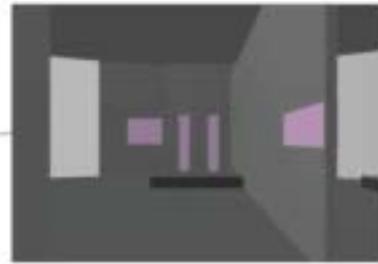
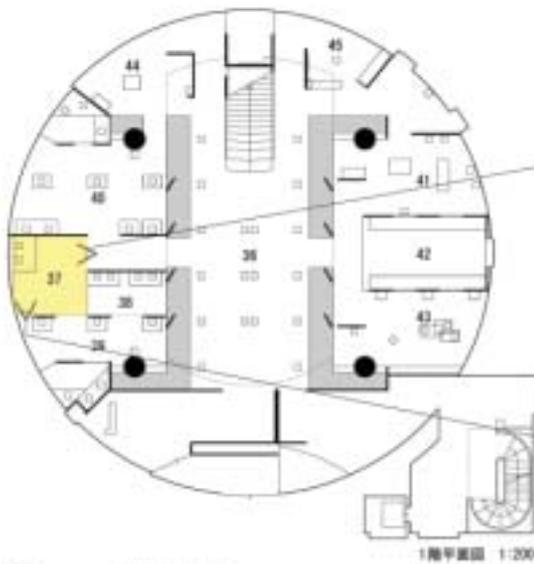
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間36について

36

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。

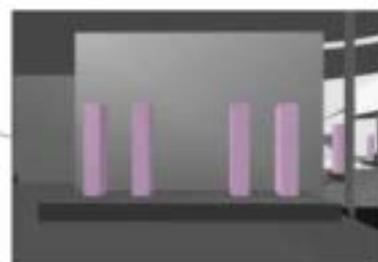
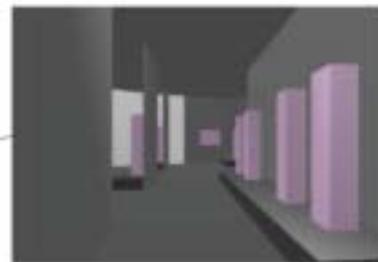


1階平面図 1:200

単位展示空間37について

37

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。

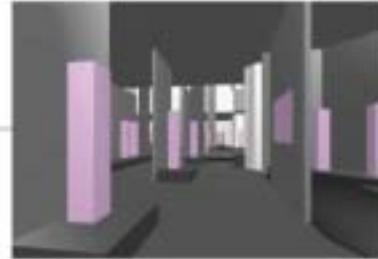
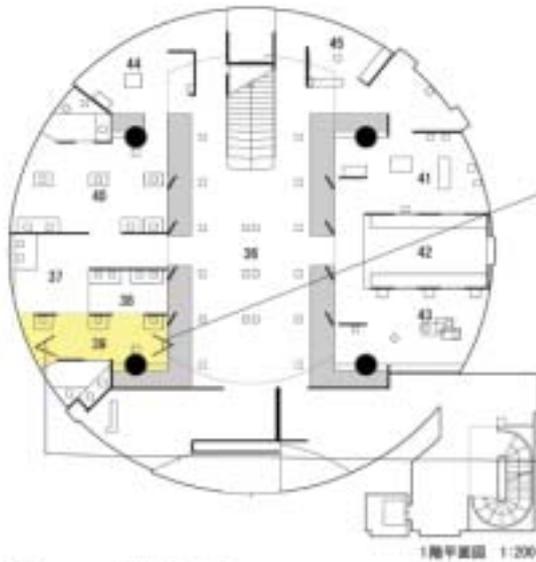


1階平面図 1:200

単位展示空間38について

38

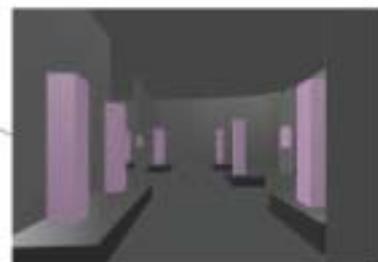
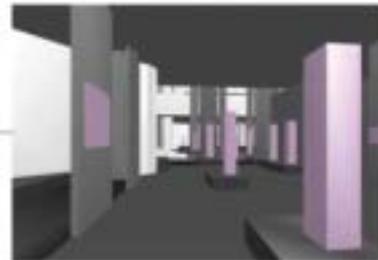
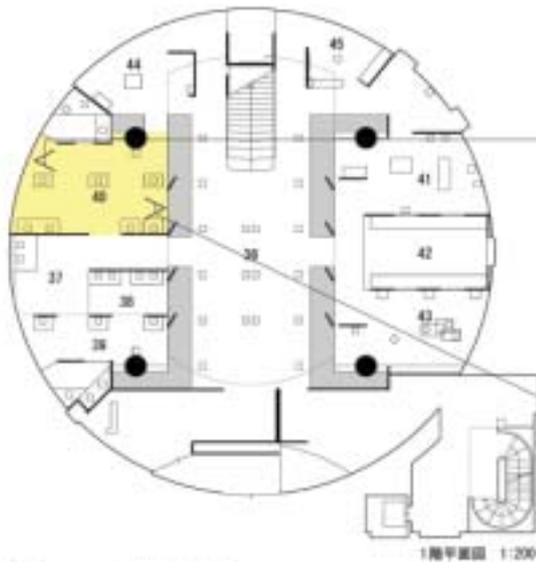
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間39について

38

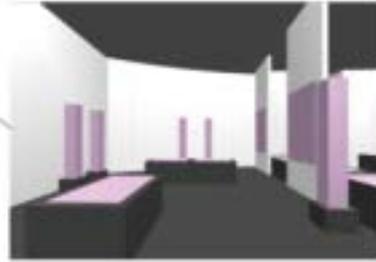
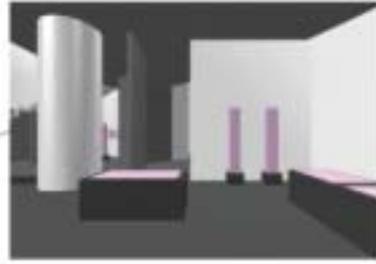
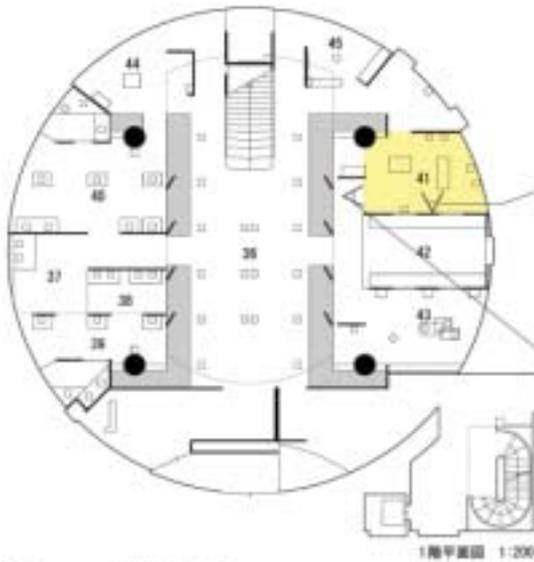
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間40について

39

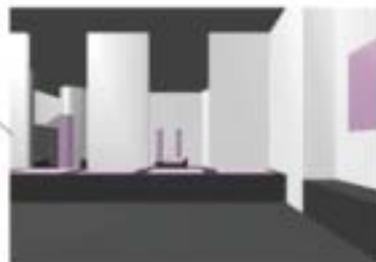
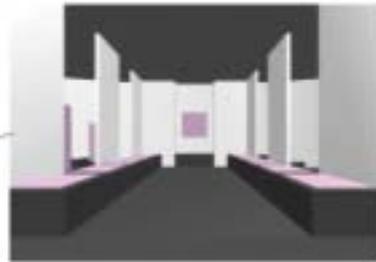
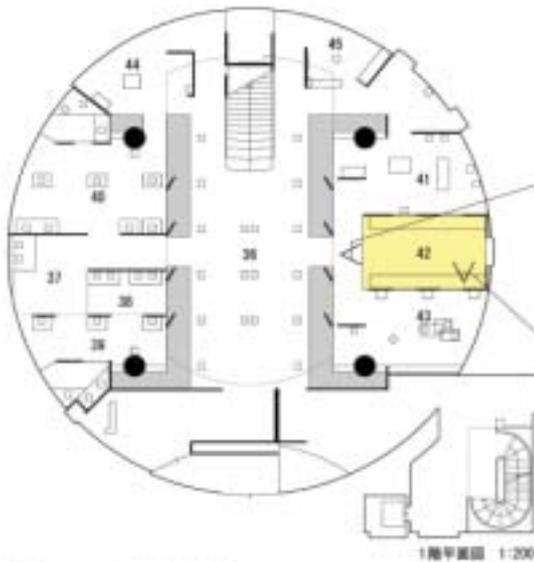
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間41について

41

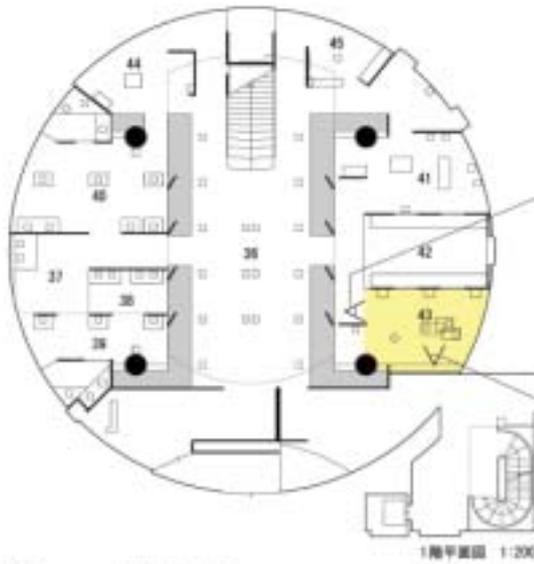
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



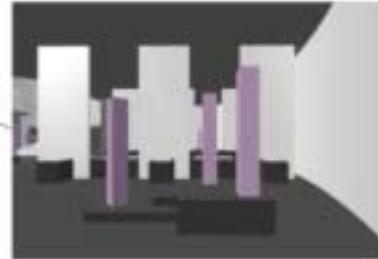
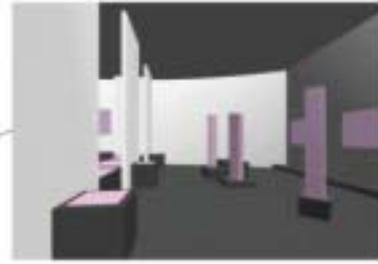
単位展示空間42について

42

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



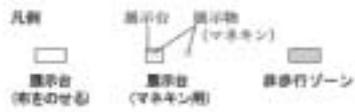
1階平面図 1:200



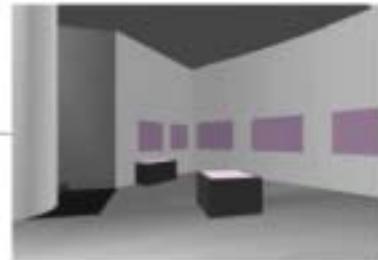
単位展示空間43について

43

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



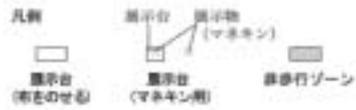
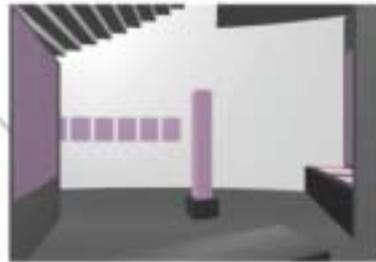
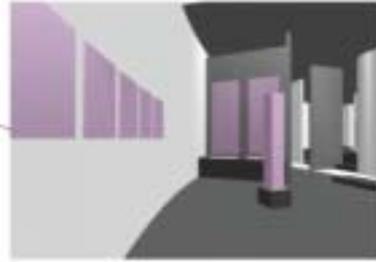
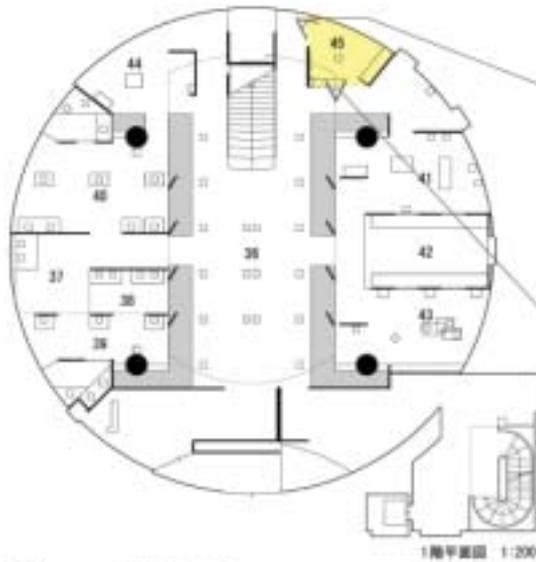
1階平面図 1:200



単位展示空間44について

44

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。

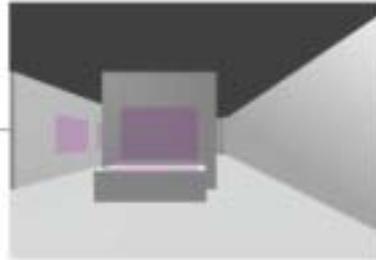
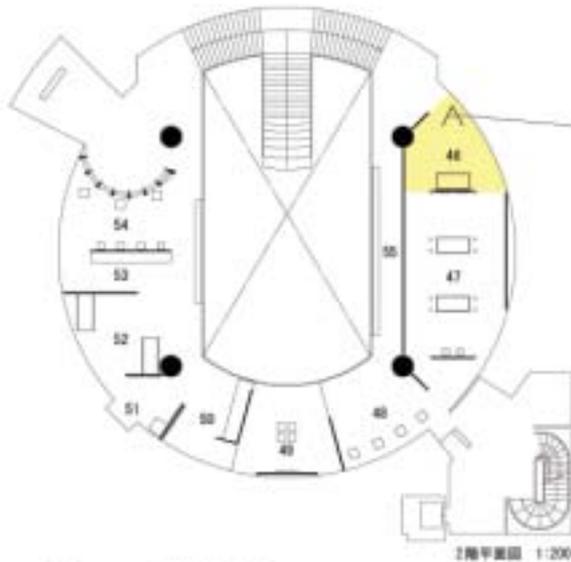


1階平面図 1:200

単位展示空間45について

4

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。

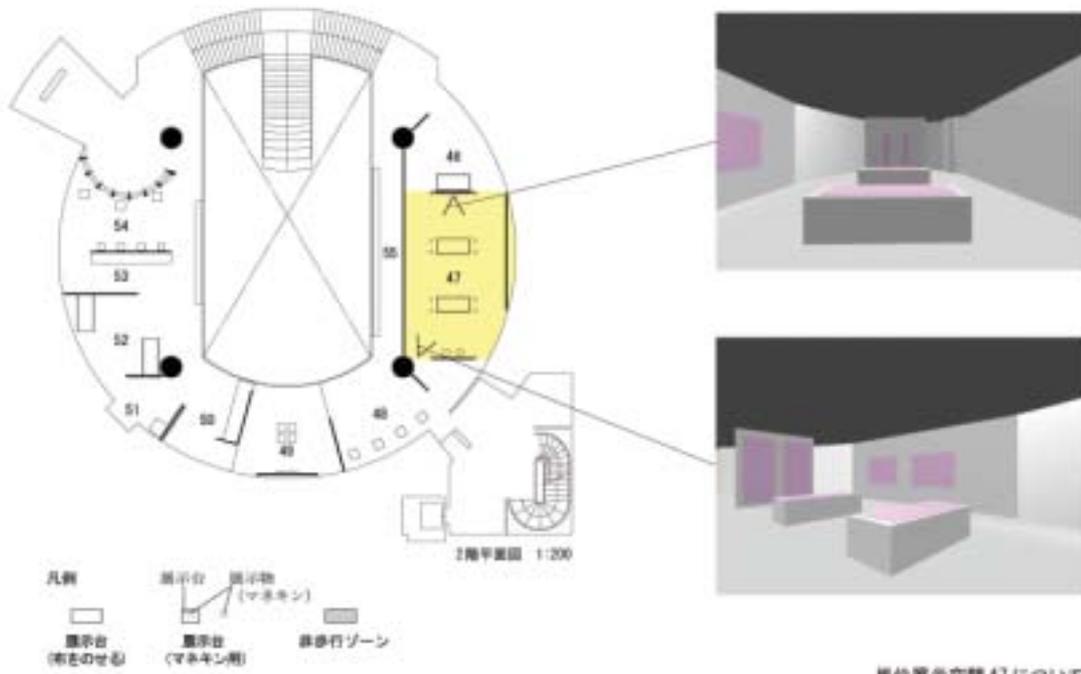


2階平面図 1:200

単位展示空間46について

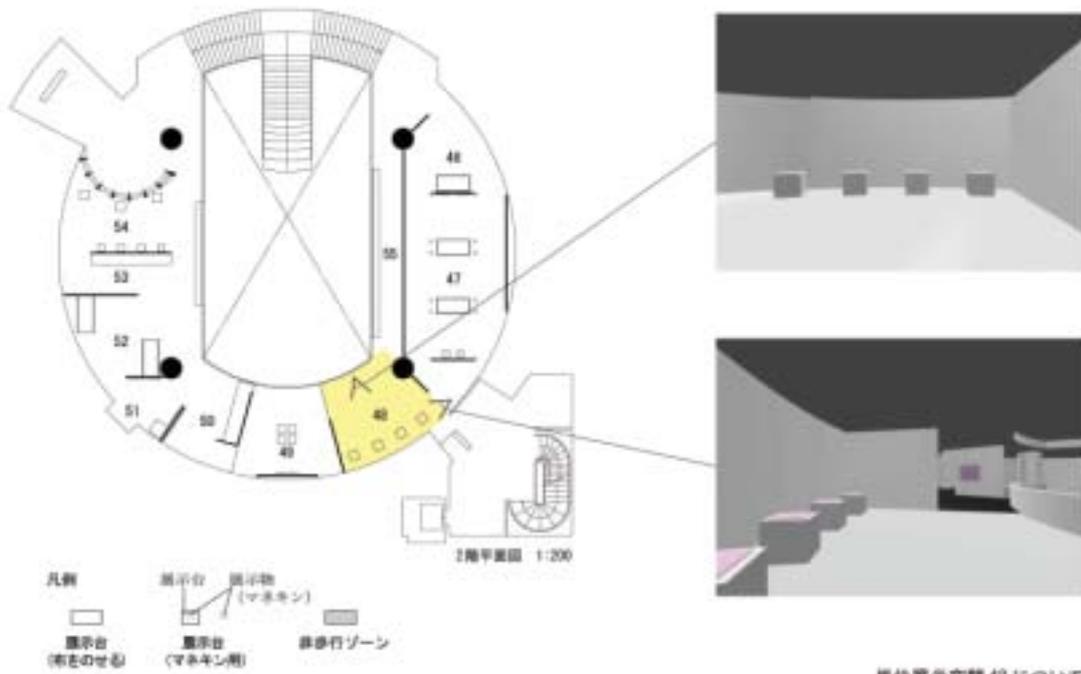
4

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



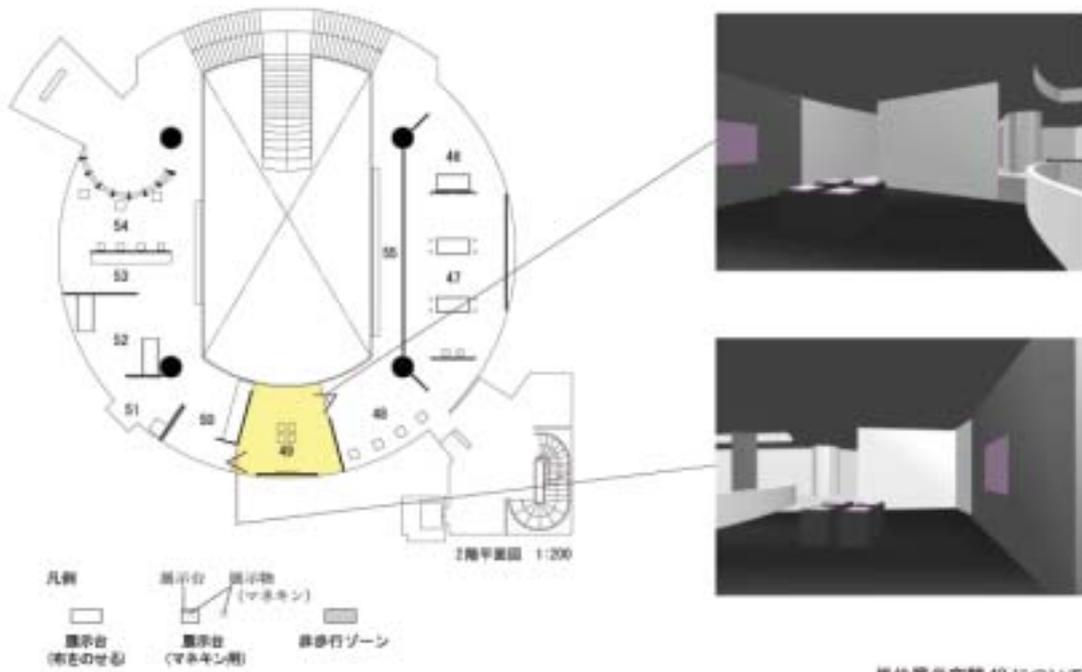
47

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。

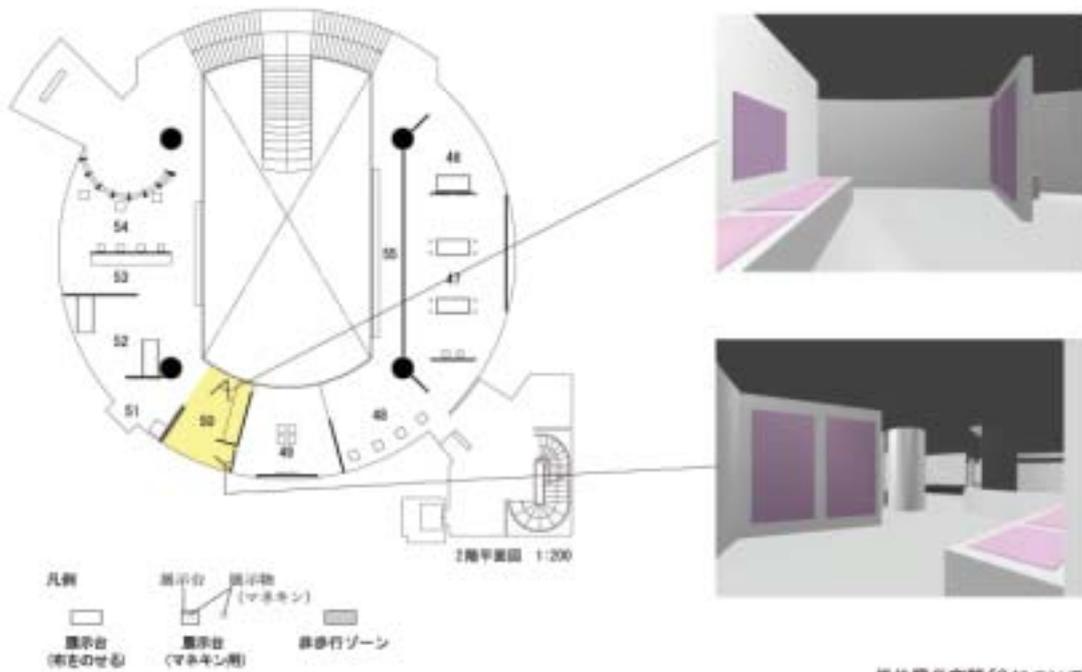


48

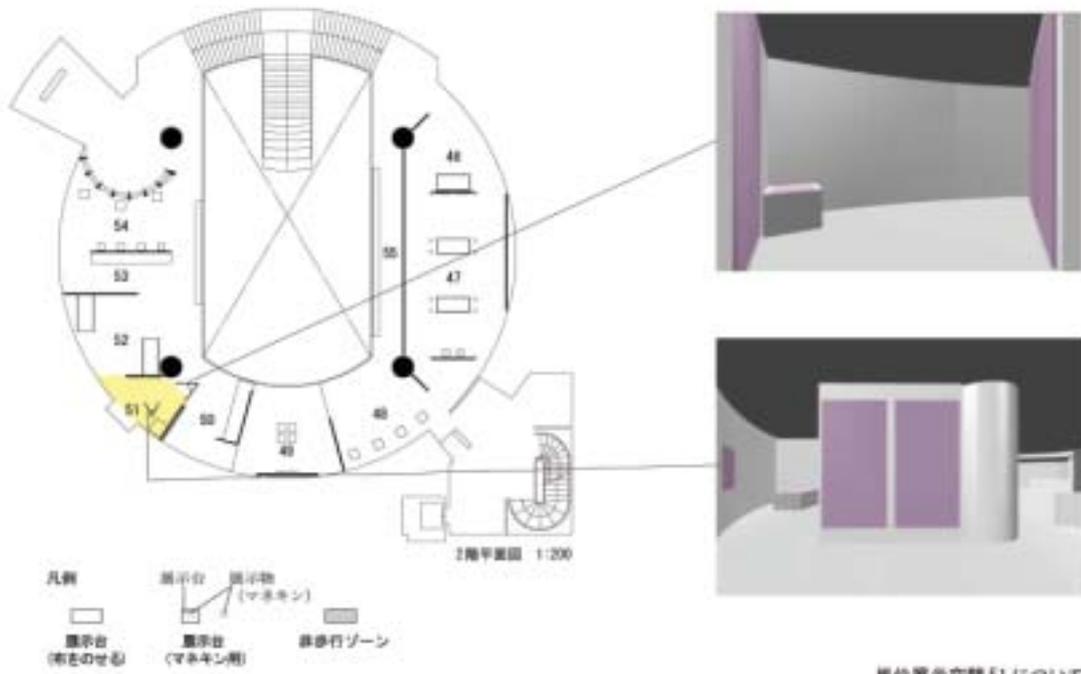
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



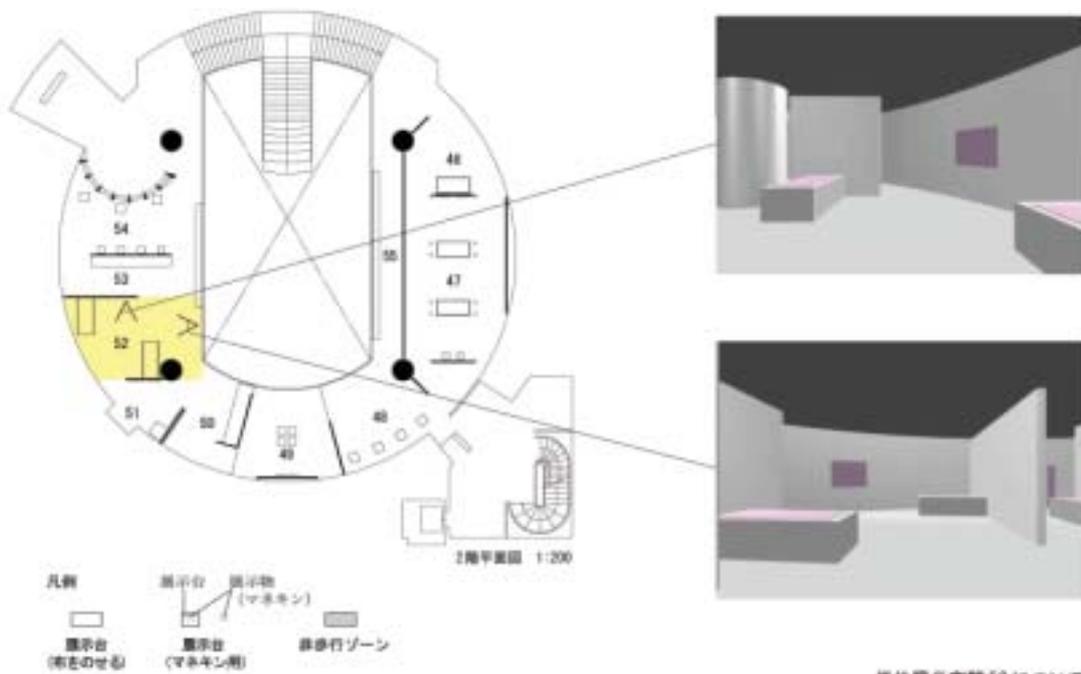
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



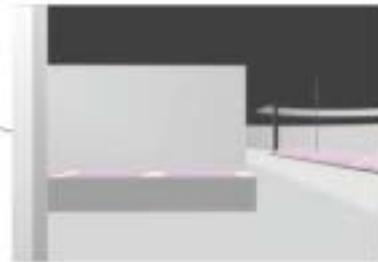
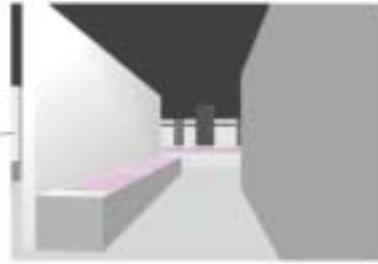
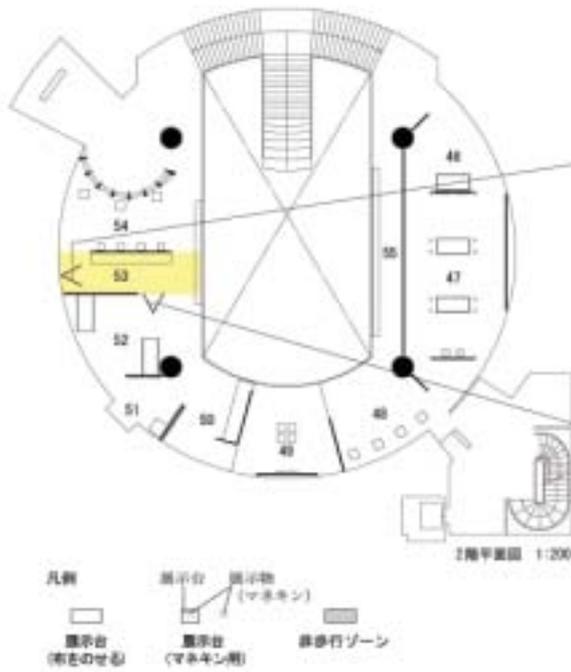
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



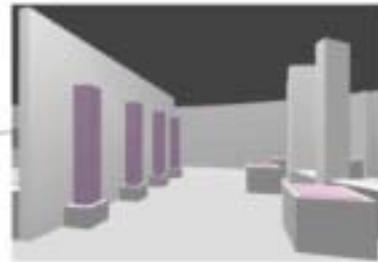
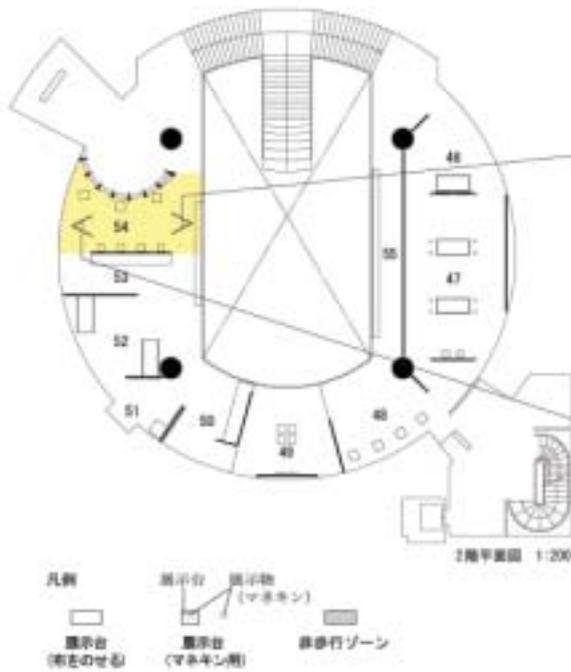
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間53について

53

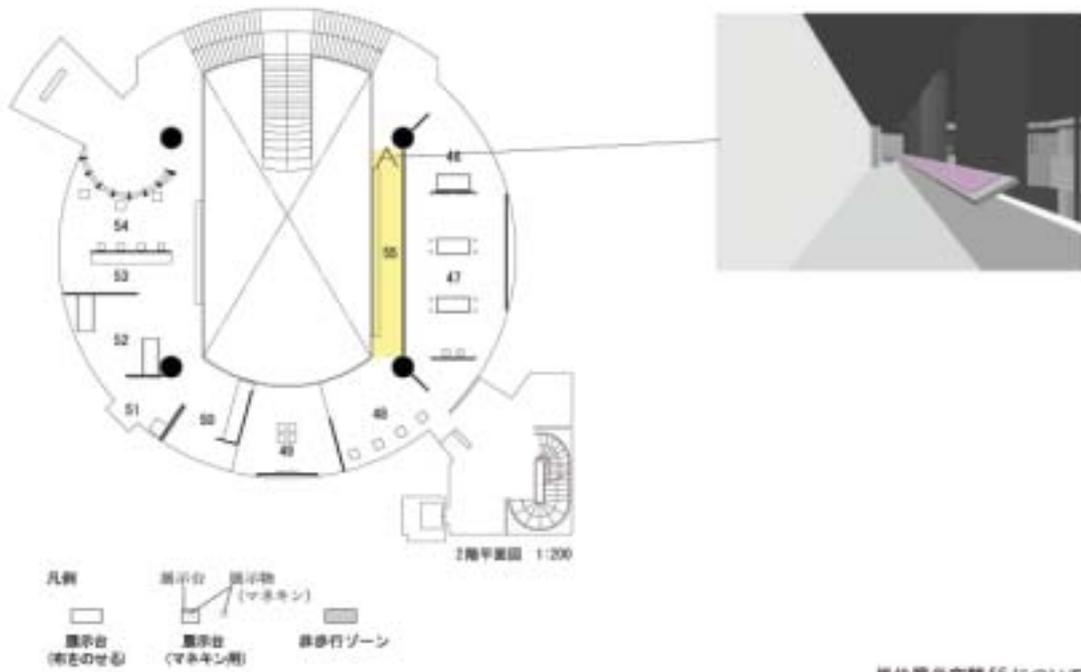
(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間54について

54

(注) 3Dイメージのピンク色は展示物を表します。



単位展示空間 55 について



## 謝辞

本論文をまとめるにあたり、多くの方々に懇切なご指導とご配慮を賜りました。ここに記して感謝の意を申し上げます。

高松伸教授(京都大学大学院工学研究科)には、本研究を行う機会を与えて頂くとともに、工学研究の方法のみならず、設計に至るまで幅広くご指導とご鞭撻を賜りましたことを、ここに深く感謝と御礼を申し上げます。

加藤直樹教授(京都大学大学院工学研究科)には、本研究で用いた情報技術に関する細やかなご指導とご鞭撻を賜りましたことを、ここに心より感謝の意を申し上げます。

門内輝行教授(京都大学大学院工学研究科)には、本研究のとりまとめにおいて貴重なご意見とご鞭撻を賜りましたことを、ここに謹んで感謝を申し上げます。

瀧澤重志助教(京都大学大学院工学研究科)には、情報技術の実装においてご協力を賜りましたことを、ここに深く御礼を申し上げます。

高取愛子助教(京都大学大学院工学研究科)、並びに高松研究室の諸兄姉には、研究生活の中で温かいご支援を頂きましたことを、ここに篤く御礼を申し上げます。

現地調査に際しましては、国立民族学博物館の職員の皆様、並びにTSPNの方々にご理解とご協力を頂きましたことを、ここに御礼を申し上げます。

最後に、温かく見守り励まし、研究を陰で支えてくれた家族に心から感謝いたします。