

帰納論理プログラミングを用いた空間構成過程の解析

– 居住空間構成法による空間構成過程における固有な規則の抽出 –

Analysis of Spatial Composition process by Inductive Logic Programming

– Extracting Peculiar Rules in Process of Spatial Composition on Space Montage Technique –

杉浦徳利 *, 岡崎甚幸 **

Noritoshi SUGIURA, Shigeyuki OKAZAKI

The latent rules of space composition process in the experiment of Architectural Space Montage Technique (ASMT) was extracted by Inductive Logic Programming (ILP: one of machine learning methodology). The process of miniature disposition in ASMT is described as 5 attributes of miniatures: kind, direction, position, difference in order of disposition and geometric binomial relation, which is expressed in first order predicate logic. Four results of experiment of ASMT were analyzed by ILP. And the peculiar rules extracted in each experiment were L-shaped enclosure, composition with detached miniatures, lengthwise parallel, composition with mat, respectively.

Keywords: *Inductive Logic Programming, Inductive Reasoning, First-Order Predicate Logic, Architectural Space Montage Technique, Process of Spatial composition*
帰納論理プログラミング、帰納推論、一階述語論理、居住空間構成法、空間構成過程

研究の背景と目的および手法

我々が建築空間を表現するとき、そこには自身の内的世界^{注1)}が投影されると思われる。その所産として、具現化された作品は何らかの形式性を帯びる。内的世界は直接目では確認できないが、作品の形式性を見出すことによって、ある程度推測することが可能である。内的世界を探るための手法の一つに、「居住空間構成法」を用いた実験がある。居住空間構成法は、1/50の規格化された様々な壁、家具、人形などの模型（以下、「道具」）をホワイトボード上に自由に配置して具体的な建築空間を表現する手法である。これまでに、居住空間構成法による作品の分析から、分裂病者^{文献1)}や児童^{文献2)}や知的障害児^{文献3)}や幼稚園児^{文献4)}の内的世界が報告されてきた。

居住空間構成法による作品の制作過程では、被験者はあらかじめ頭の中にある設計図に従って道具を配置しているわけではない。ホワイトボード上の模型の世界と相互作用し、時には何度も作り直ししながら、徐々に空間を拡張していく。居住空間構成法による建築空間の表現を、設計初期段階におけるアイデアスケッチ等と同様の、被験者の内部と外部を橋渡しする創造的な行為と捉える。また、居住空間構成法では、道具の配置によって空間構成が進められるためスケッチなどの表現手法に比べて、空間操作の手順を明確に捉えることができる。また、道具が規格化されているため、異なる被験者同

士の制作過程を比較しやすい。

本研究では、居住空間構成法による作品の制作過程（以下、「空間構成過程」）に着目する。空間構成過程において道具を配置する行為（以下、「配置行為」）の潜在的な規則を発見し、そこから空間構成過程の特徴を推測することを目的とする。これは、空間構成に関わる内的世界を探る上での有用な知見になるとと思われる。

空間構成過程では、多くの道具が配置され、さらに道具の種類も多様である。また道具の移動や除去によりその様相が絶えず移り変わる。よって、人間の能力では発見不可能な分類規則もあり得る。そこで、機械学習の枠組みの一つである「帰納論理プログラミング Inductive Logic Programming」^{注2)}（以下、「ILP」）を用いて、配置行為の規則を抽出する方法を提案する。ILPは、個々の事例を一般化して新たな概念を導き出す帰納推論 Inductive Reasoning を、一階述語論理上で展開する枠組みである。帰納推論では、教師がある概念の例である「正事例」および反例である「負事例」を提示し、コンピュータが、正事例に対して真となり、負事例に対して偽となる「分類規則」を見つける。分類規則を用いて、新たに提示された事例が正事例か負事例か予測することができる。本論文では、空間構成過程という概念の分類規則をその概念に固有な特徴として捉える。

ILP以外の機械学習の枠組みとしてC4.5等のような命題論理に基

* 京都大学大学院工学研究科 博士後期課程・工修

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto Univ., M.Eng

** 京都大学大学院工学研究科 教授・工博

Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto Univ., Dr.Eng.

づく機械学習システムがある。居住空間構成法では、同時に複数の道具と関係付けて道具を配置することがある。道具間の関係の網状の連鎖を表現し、学習するためには、命題論理に基づく機械学習システムよりも、一階述語論理の表現力をもつ ILP が適当である。

本論文では、まず、居住空間構成法を用いた実験の概要を説明する。次に、機械学習をコンピュータのプログラムに行わせるために、空間構成過程を定式化し、一階述語論理で記述する方法を提案する。ILPのシステムの一つである「PROGOL」^{文献5)注3)}を用いて、各実験事例の空間構成過程を分類する規則を抽出し、そこから各実験事例特有の空間構成過程の特徴を考察する。PROGOLの推論アルゴリズムの概要は、注2および注3に記す。

1. 居住空間構成法を用いた実験の概要

1-1. 道具

居住空間構成法による実験では、無開口壁、ドア窓付壁等のスチレンボードでできた開口部の形が異なる6種類の壁(それぞれ1800mm, 2700mm, 3600mm, 5400mmの長さ、青、赤、黄、緑、白、グレー、ピンク、アイボリー、クリーム、ミント、木目の11色を準備した)および鏡面壁、透明壁の材質が異なる2種類の壁(それぞれ3600mm, 5400mmの長さを準備した。透明壁は無色、青、オレンジの3色を準備した)柱1種類、テーブル、ソファ、絨毯、棚等の家具と流し台、トイレ、浴槽等のキッチン・衛生設備を併せた18種類、男性、女性等人間4種類、犬、猫の動物2種類、芝生、針葉樹、広葉樹、垣根等の植物6種類、バルコニー、階段等の建築的な道具5種類、合計44種類を居住空間構成法の実験で用いる道具の種類とした。

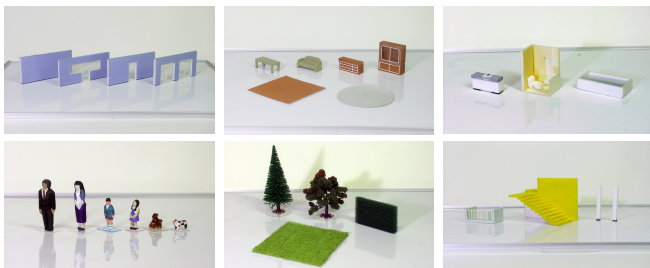


図1 居住空間構成法の実験で用いた道具(上段左より、壁、家具、キッチン・衛生器具。下段左より、人間・動物、植物、建築的な道具、柱)

1-2. 被験者と実験環境

被験者は建築学科の学生。大学校舎内の一室で実験を行った。机の上に大型ホワイトボード(60cm×90cm)が水平に置いてある。その両脇に小型ホワイトボード(30cm×45cm)が二枚ずつ置いてある。小型ホワイトボードの上に各種の壁が整理して立ててある。その他の道具はボードの左側に立てた棚(H90cm×W86cm×D14cm)に整理して並べてある。被験者はホワイトボードの前に座り、両脇にある壁や、棚にある道具を持ってきて、ホワイトボード上に作品を作っていく。実験者は一人で、被験者の斜め後方に待機して観察する。

1-3. 実験の手順

被験者が入室する。ホワイトボードの前に着席したら、まず「ここにある道具を使って、このボードの上に自分が住みたいと思う家を自由を作って下さい」と言う。さらに「時間がかかってもかまいませんので、納得いくように作ってください。」「完成したらそう言って下さい。」と教示する。制作中のホワイトボード上の様子およ

び発話をビデオカメラで記録する。基本的に制作中に実験者から質問はしないが、被験者が長い間考え込んでいたりする場合は、何を考えているのかを質問した。被験者が「できた」と言った時点を完成とみなし、その後作品について質問した。

2. 空間構成過程の定式化

2-1. 配置行為

ホワイトボード上に新たに配置された道具を「主道具」、主道具によって幾何学的に関係付けられた既配置の道具を「目的道具」とする。配置行為の具体的内容を表す要素として、「道具の配置順序の差D」、「道具の種類T」、「道具の角度A」、「道具の位置P」、「道具間の幾何学的二項関係G」を設定する。これらを「配置行為要素」と呼ぶ。

ここで、iを主道具の配置順序、jを目的道具の配置順序とすると、G(i,j)を主道具と目的道具の間の幾何学的二項関係とし、D(i,j)を、主道具と目的道具の配置順序の差であるとする(i>j, i,j:自然数)。このとき、R(G(i,j),D(i,j))を主道具と目的道具の間の二項関係Rijとする。一度の配置行為において目的道具が複数個ある場合は、二項関係Rijも複数存在する。また、Tiを配置順序iの道具の種類、Aiを配置順序iの道具の角度、Piを配置順序iの道具の位置とする。このとき、i番目に行われた配置行為Hiは、Ti, Ai, Piの各配置行為要素および二項関係Rijの集合として次のように表される。

$$H_i = \{ [T_i, A_i, P_i, R_{ij}] \mid j \leq i-1 \}$$

2-2. 空間構成過程

空間構成過程Kは、配置行為Hiの集合として、次のように一般的に表現できる。

$$K = \{ H_i \mid 1 \leq i \leq n \}$$

ただし、i ∈ {1,2,...,n} (n:配置された道具の総数)。

また、空間構成過程Kは、グラフとして表現することができる。図2に示すように、配置された道具をグラフの頂点、道具の配置順序を頂点のラベルとみなし、道具の幾何学的二項関係G(i,j)である道具iと道具jをそれぞれ頂点Niと頂点Njとする。このとき、空間構成過程Kを、頂点Niが頂点Njに隣接し、(辺の向きが頂点Niから頂点Njである)かつ、頂点Niと頂点Njを結ぶ辺のラベルがG(i,j)である有向グラフとみなす。ただし、i ∈ {1,2,...,n}, j ∈ {1,2,...,i-1} (n:配置された道具の総数)。

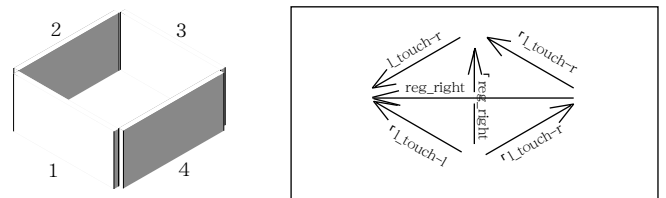


図2 空間構成過程のグラフによる表現

(図中の丸は道具を、丸中の数字は道具の配置順序を表す。矢印は幾何学的二項関係が成立することを表し、矢印の側の記述は幾何学的二項関係の値を表す)

2-3. 配置行為要素

各配置行為要素の定義、およびその取り得る値を以下に記す。

2-3-1. 道具の配置順序D

道具の配置順序を道具の識別番号として扱う。道具の配置順序は、ホワイトボード上から除去した道具も含めて数える。ただし、道具iをホワイトボード上に一旦配置し、次に道具jを配置する前に、道具

iをホワイトボード上から取り去った場合、道具iを配置したとみなさず、その配置順序は数えない。一旦配置した道具を移動した場合は、道具を除去して、新たに道具を配置したとみなす。

2-3-2. 道具の種類 T

居住空間構成法の実験で用意された道具の名称を種類Tの取り得る値とする(図3)。道具の種類は機能に関する具体-抽象関係のもとに階層構造をなしている。

2-3-3. 道具の角度 A

配置された道具の長辺の、ホワイトボードの長辺に対する角度を、道具の角度とした。0度、45度、90度のいずれかに近似できる道具は、それぞれ0, 45, 90とし、どの角度にも近似できない道具は、fuzzyとする。

2-3-4. 道具の位置 P

ホワイトボードの面を長辺方向(被験者から見て左右方向)に3つの領域に分割する。

被験者から見て右側から順にright, center, leftとする。さらに、短辺方向(奥行き方向)に3つの領域に分割する。被験者側から順にnear, middle, farとする。位置Pは、これらを組合せた合計9つの領域の内のどこに道具を配置するかを表す。

2-3-5. 道具間の幾何学的二項関係 G

配置順序の値が大きい道具の、配置順序の値が小さく、かつホワイトボード上から除去されていない道具に対する形態的な関係を幾何学的二項関係とする。道具の形態により「方向性がある道具」「方向性がない道具」「マット状の道具」の3つのクラス(以下、「形態クラス」)を設定した。主道具と目的道具が属する形態クラスの組合せにより、成立可能な幾何学的二項関係が決まる。

表1 形態クラスに属する道具の種類

形態クラス	形態クラスに属する道具の種類
方向性がある道具	無開口壁、ドア付き壁、大窓付き壁、小窓付き壁、横窓付き壁、透明壁、カーテン、柱、針葉樹、広葉樹、植木鉢、男性、女性、男児、女児、犬、猫、椅子
方向性がない道具	壁、鏡、ソファ、電話、テレビ、机、椅子、ロッカー、ベッド、テレビ、電話、トイレス、洗濯機、浴槽、洗面台、冷蔵庫、タタミ、カーペット、芝生、花壇、針葉樹、広葉樹、植木鉢、犬、猫、壁、レンガ、門、バルコニー、階段
マット状の道具	畳、絨毯、芝生、襦

幾何学的二項関係を、以下に挙げる観点から順に分類し、具体-抽象関係を表す階層構造に整理した(図4)。主道具を中心とした一定の範囲内に目的道具が存在しない場合は、他の道具と関係が成立しない状態、すなわち独立independとみなす。関係が成立する場合、道具の形態的な繋がりの方は、鉛直方向onと水平方向に分けられる。水平方向の関係の場合、道具間の角度と交差の状態は、線形linear, 屈折bending, T字型t_type, イの字型tv_type, 平行parallelがある。これら5つのどの状態にも当てはまらないものを近傍closeとする。線形linear, 屈折bending, T字型t_type, イの字型tv_typeの場合、道具の端点の接続状態は、接続touchと分離detachがある。端点の接続状態の各場合について、形態クラスの組合せは、基本的

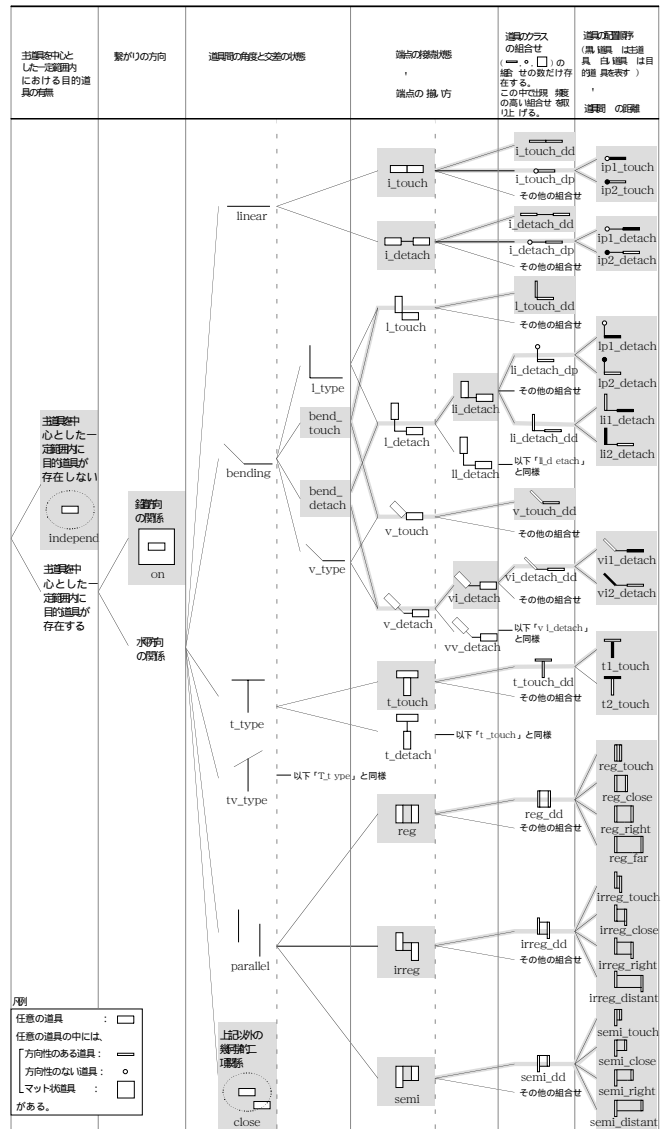


図4 幾何学的二項関係およびそれらの階層構造 (各幾何学的二項関係の図表現の下にその名称を記す。本論文では、網掛けの部分を取扱う)

に6通りの組合せが存在するが、本論文では、成立可能かつ居住空間構成法の実験において出現頻度が高い組合せを取り上げる。形態クラスの組合せにより成立する幾何学的二項関係を表2に示す。表2の中で、方向性のある道具同士の間で成立する幾何学的二項関係i_touch_dd, i_detach_dd, li_detach_dd, vi_detach_ddと方向性のある道具と方向性のない道具の間で成立する関係i_touch_dp, i_detach_dp, li_detach_dpの場合、関係を生じる2つの道具の配置順序の前後により、それぞれ2つの関係に分類される。次に、において、道具間の角度と交差の状態が平行parallelの場合、道具の端点の揃い方は、両端点揃いreg, 両端点揃いirreg, 片端点揃いsemiがあり、これらの各場合に、道具間の距離は、非常に近いtouch

表2 形態クラスの組合せにより成立する幾何学的二項関係

	方向性がある道具	方向性がない道具	マット状の道具
方向性がある道具	i_touch_dd i_detach_dd li_touch_dd li_detach_dd vi_touch_dd vi_detach_dd t_touch_dd t_detach_dd reg_dd irreg_dd semi_dd		
方向性がない道具	i_touch_dp i_detach_dp li_detach_dp	close	
マット状の道具	on	on close	on close

、近い close、目的道具の長さ等距離 right、遠い distant がある。図4の網掛けの部分が、本論文で扱う幾何学的二項関係とその階層構造である。屈折 bending に関する全ての幾何学的二項関係では、右回りと左回りを区別し、記述に際しては、それぞれ「-r」「-l」を付記する。

近傍 close と独立 independ 以外の幾何学的二項関係は、目的道具のどの部位に、主道具を関係付けたかを表す属性を持つ。この属性を「連結部位」と呼ぶ。線形 linear、屈折 bending、T字型 t_type に内包される幾何学的二項関係では、被験者から見て、目的道具の左端を始点 root、右端を終点 top とした。始点から終点に向かって、左側を left、右側を right とした。また、垂直方向の関係 on では、目的道具のどの部位に主道具が載るかによって center、corner、edge、fuzzy の4種を設定した。図5に連結部位の値とその範囲を示す。

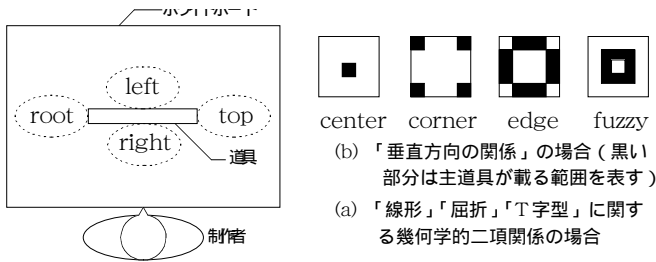


図5 道具の連結部位の値およびその範囲

3. 空間構成過程の分類問題への PROGOL の適用

3-1. 事例と背景知識の一階述語論理による記述法

先述の空間構成過程の定式化に基づいて、「~という配置行為要素ならば、実験事例Aの空間構成過程である」という形式の分類規則を得るために、正事例、負事例および背景知識^{注2)}を一階述語論理で以下のように記述した。これらがPROGOLへの入力データとなる。

3-1-1. 正事例および負事例の記述法

学習の目標概念「実験事例Aの空間構成過程」の具体例である、実験事例Aの配置行為を正事例、その他の作品の配置行為を負事例とする。事例は、述語 act/2 で表現する。以下に事例の書式を示す。

act (道具番号, 実験事例の識別番号)。

事例の記述の第一項には、主道具の道具番号が代入される。従って、一実験事例につき、配置された道具の数と同数の事例が存在する。道具番号は4または5桁の数字で、下3桁で道具の配置順序を表し、残りの上1桁または上2桁で実験事例番号を表す。第二項には、学習の目標概念に設定した実験事例の識別番号が代入される。正事例および負事例の記述例を図6に示す。

3-1-2. 背景知識の記述法

配置行為要素、およびその階層構造を背景知識とする。以下にこれらの記述法を記す。

3-1-2-1. 配置行為要素の記述法

空間構成過程を、配置行為要素を用いて一階述語論理で記述する。

正事例の記述	負事例の記述	
act(1001,ex1).	act(2001,ex1).	act(3001,ex1).
act(1002,ex1).	act(2002,ex1).	act(3002,ex1).
⋮	⋮	⋮
act(1162,ex1).	act(2103,ex1).	act(3096,ex1).
実験事例1の162番目の配置行為は、実験事例1の空間構成過程である	実験事例2の103番目の配置行為は、実験事例1の空間構成過程でない	実験事例3の96番目の配置行為は、実験事例1の空間構成過程でない

図6 実験事例1の空間構成過程の分類規則を求める場合の正事例と負事例の記述

道具の種類 T を type/2、道具の角度 A を angle/2、道具の位置 P を position/2、道具間の幾何学的二項関係 G および道具の配置順序の差 D を relation/5 で表現する。述語の後部の「/2」および「/5」はそれぞれ、述語が2つおよび、5つの項を持つことを表す。以下に、各配置行為要素の書式を示す。

type (道具番号, 道具の種類 T)。

angle (道具番号, 道具の角度 A)。

position (道具番号, 道具の位置 P)。

relation (主道具の道具番号, 道具間の幾何学的二項関係 G, 道具の連結部位, 配置順序の差 D, 目的道具の道具番号)。

各述語の第2項には各配置行為要素の値が代入される。述語 relation/5 の第3項は、連結部位の値が、第4項は、主道具と目的道具の配置順序の差が数値で代入される。入力データとして与えられる道具の種類 T および幾何学的二項関係 G の値は、図3および図4で示した具体-抽象の階層構造を表す木の葉の値である。なお、実験結果をCAD上に再現したデータから、2-3で記した定義をもとに、コンピュータが配置行為要素を認識して一階述語論理の記述に変換するシステムを構築し、これを用いて配置行為要素の記述を作成した。配置行為要素の記述例を図7に示す。

3-1-2-2. 配置行為要素の階層構造の記述法

道具の種類および幾何学的二項関係の具体-抽象関係(図3, 図4)を背景知識として与えた。具体-抽象関係は、配置行為要素の記述を含意記号「:-」で結んだ規則の形式で記述される。以下にその書式と読み方を示す。大文字のアルファベットは変数を表す。

type(I, P) :- type(I, O)。

「道具番号 I の道具の種類が O ならば、道具番号 I の道具の種類は P である」

relation(I, N, J, K, L) :- relation(I, M, J, K, L)。

実験事例3の3番目の配置行為では、無開口壁を0度の角度で、かつ被験者から見てホワイトボードの右中央の位置に、1手前に置かれた道具の終点の部位にL型接続の幾何学的二項関係で配置する。

```

type(3004,normal_wall).
angle(3004,0).
position(3004,center_center).
relation(3004,l_touch_dd-l,top,3,3001).
relation(3004,i_touch_dd,root,2,3002).

type(3001,door_wall).
angle(3001,90).
position(3001,center_middle).
relation(3001,independ,none,no_dif,no_obj).

```

実験事例3の4番目の配置行為では、無開口壁を0度の角度で、かつ被験者から見てホワイトボードの正面中央の位置に、3手前に置かれた道具の終点の部位にL型接続左回りの幾何学的二項関係、かつ2手前に置かれた道具の始点の部位にL型接続の幾何学的二項関係で配置する。

```

type(3005,normal_wall).
angle(3005,0).
position(3005,center_center).
relation(3005,t1_touch,root,4,3001).
relation(3005,irreg_near,right,3,3002).
relation(3005,irreg_near,right,2,3003).

```

実験事例3の1番目の配置行為では、ドア付き壁を90度の角度で、被験者から見てホワイトボードの正面中央に独立配置する。

```

type(3002,normal_wall).
angle(3002,0).
position(3002,center_center).
relation(3002,li_touch-r,top,1,3001).

```

実験事例3の2番目の配置行為では、無開口壁を0度の角度で、かつ被験者から見てホワイトボードの正面中央に、1手前に置かれた道具の終点の部位にL型接続右回りの幾何学的二項関係で配置する。

```

type(3003,normal_wall).
angle(3003,0).
position(3003,right_center).
relation(3003,i_touch_dd,top,1,3002).

```

図7 実験事例3の5回目の配置行為までの配置行為要素の記述 (各回の配置行為要素の記述の下にその内容を日本語で記す。左上写真の右上側が被験者)

「道具番号 I の道具と道具番号 L の道具間の幾何学的二項関係が M ならば、道具番号 I の道具と道具番号 L の道具間の幾何学的二項関係は N である」

3-2. 規則の抽出過程の概要

正事例、負事例、背景知識（配置行為要素、およびその具体-抽象関係の記述）および仮説空間を狭めるためのバイアスの情報^{注4}を PROGOL に与える。これにより、正事例の記述を頭部に、配置行為要素の記述、および配置行為要素の記述と具体-抽象関係の規則から帰結される記述、およびこれらの記述の一部が変数化された記述の組合せを本体部に持つ仮説を生成する。しかるべき仮説評価^{注3}の後、優良な仮説を規則として、その記述を出力する。規則は、空間構成過程を表す配置行為要素の記述の集合から、特定の実験事例に固有で、かつ頻出する記述を抜き出したものといえる。

4. 居住空間構成法の実験結果

4人の被験者に対して居住空間構成法の実験を行った。図8から11に、各実験事例における完成作品と空間構成過程、制作時間、配置道具総数を示す。PROGOLを用いて、これら4つの実験事例の空間構成過程の分類規則を求める。

5. 空間構成過程の規則の抽出結果と考察

5-1. 規則の抽出結果

PROGOLの計算結果より、複数の規則の記述と各規則が被覆する正事例が得られる。このとき、正事例の総数に対する、規則が被覆する正事例の数の割合を、規則の「被覆率」とする。被覆率の値が大きい規則ほど、より有意な規則として捉える。本論文における設定では、PROGOLが特定可能な、規則が被覆する正事例は、規則が言及するk回の配置行為の内、最後の配置行為のみである。規則が被覆する残りのk-1回の配置行為を表す正事例は規則を抽出した後、規則が被覆する正事例と背景知識から別途導出した。PROGOLが特定可能な規則が被覆する正事例と別途導出した残りの正事例を併せて、「被覆正事例群」とする。図12から15に各実験事例における規則の記述とその直訳と説明図、および被覆正事例群の図を被覆率の高いものから順に示す。規則の記述中の大文字のアルファベットは、変数を表す。規則の図および被覆正事例群の図中のアルファベットは、変数化された道具番号で、規則の記述に対応している。アルファベットの逆順が道具の配置順序に対応する。正事例の図中のグレーの道具は、道具Aが配置される直前にホワイトボード上に配置されていた道具を表す。規則の図は図4に示した幾何学的二項関係の一般的な形態に準ずる。規則の図表現に関する詳細は注5参照。

5-2. 規則の考察方法

2つ以下の正事例を被覆する規則は無効とする。4つの実験事例中で事例数が最も少ない実験事例1(事例数92)で、仮に2つの正事例を被覆する規則が得られた場合、その被覆率は2.17%である。また仮に3つの正事例を被覆する規則が得られた場合、その被覆率は3.26%である。そこで、被覆率が3%以上である規則を取り上げ、原則として、被覆率の高いものから順に以下の手順で各実験事例毎に考察した。被覆率の高い規則から選択する。規則の被覆率を()内に百分率で示す。選択した被覆正事例群、すなわち配置行為が、実際の制作過程のどのような局面で行われたかを確認する。選択した規則が言及する配置行為要素の組合せと手順の結果から、被験者に固有

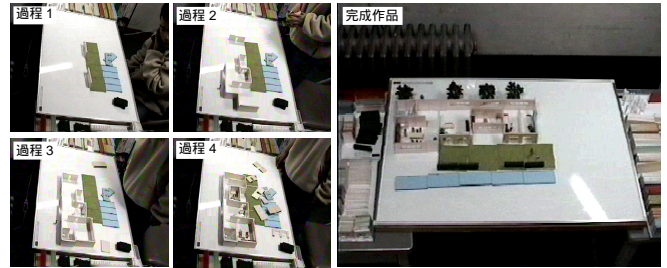


図8 実験事例1の空間構成過程と完成作品 制作時間：46分 配置道具総数：92個

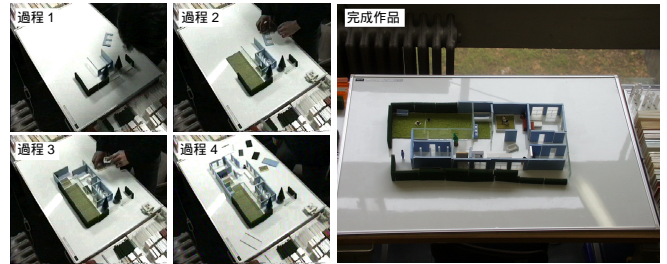


図9 実験事例2の空間構成過程と完成作品 制作時間：30分 配置道具総数：103個

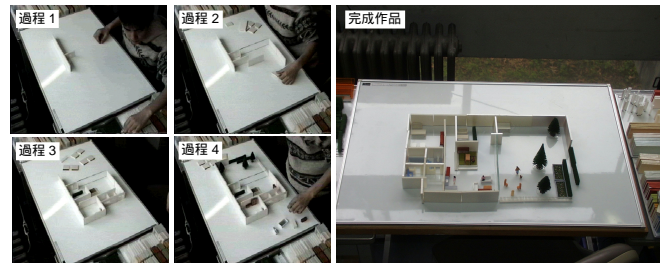


図10 実験事例3の空間構成過程と完成作品 制作時間：28分 配置道具総数：96個

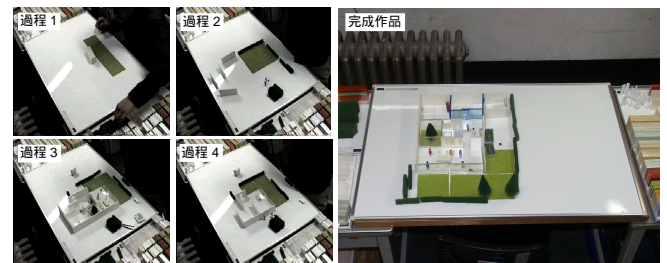


図11 実験事例4の空間構成過程と完成作品 制作時間：25分 配置道具総数：133個

の空間構成過程の特徴を推測する。

5-3. 実験事例における規則の考察

5-3-1. 実験事例1の規則の考察

L字型の囲いと被験者に直交する家具の構成：規則1-1(9.8%)は、「屈折接続左回り bend_touch_l」で関係付けた後、「I型接続 i_touch_dd」で関係付け、さらに「家具 furniture」を角度「90」でかつ「両端点不揃い平行 irreg」の関係で配置することを示している。角度「90」は、ホワイトボードの短辺方向と平行なので、道具の角度が「90」の状態とは、被験者と道具の長辺側が直交する状態である。従って、「屈折接続左回り bend_touch_l」と「I型接続 i_touch_dd」の関係により、L型に道具を連続させて囲い、最後に家具を被験者に直交させて配置することが特徴だと考えられる。L字型の再構成と被験者に正対する平行の構成：規則1-2(6.5%)は、道具Hの「top」の連結部位に「屈折接続左回り bend_touch_l」の関係で道具Fを配置した後、道具Fの「root」の連結部位に「屈折接続右回り bend_touch_r」の関係で道具Dを配置し、さらにその後、道具Dに対して「両端点不揃い平行 irreg」

<p>規則 1-1 被覆率：9.8%</p> <p>act(A,ex1):-type(A,furniture),angle(A,90),relation(A,irreg,B,C,D),relation(D,l_touch_dd,top,E,F),relation(F,bend_touch-l,G,I,H),道具Hを配置し、その後道具Fを道具Hに対してbend_touch-lの関係で配置し、道具Dを道具Fのtopの連結部位に対してl_touch_ddの関係で配置し、道具Aを90度の角度かつ道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例1の空間構成過程である。</p>
<p>規則 1-2 被覆率：6.5%</p> <p>act(A,ex1):-angle(A,0),relation(A,irreg,B,C,D),relation(D,bend_touch-r,root,E,F),relation(F,bend_touch-l,top,G,H),道具Fを配置し、道具Fを道具Hのtopの連結部位に対してbend_touch-lの関係で配置し、道具Dを道具Fのrootの連結部位に対してbend_touch-rの関係で配置し、道具Aを0度の角度かつ道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例1の空間構成過程である。</p>
<p>規則 1-3 被覆率：5.4%</p> <p>act(A,ex1):-angle(A,0),relation(A,irreg,B,C,D),relation(D,irreg,left,I,E),道具Eを配置し、その後道具Dを道具Eのleftの連結部位に対してirregの関係で配置し、道具Aを0度の角度かつ道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例1の空間構成過程である。</p>
<p>規則 1-4 被覆率：5.4%</p> <p>act(A,ex1):-relation(A,bend_touch-l,root,B,C),relation(C,irreg,left,D,E),relation(E,independ_none,no,dif,F),angle(E,0),道具Eを0度の角度でindependに配置し、道具Cを道具Eのleftの連結部位に対してirregの関係で配置し、道具Aを道具Cのrootの連結部位に対してbend_touch-lの関係で配置するならば、実験事例1の空間構成過程である。</p>
<p>規則 1-5 被覆率：4.3%</p> <p>act(A,ex1):-relation(A,lp2_detach-l,B,C,D),relation(D,bend_touch-l,B,E,F),type(F,wall),壁Fを配置し、道具Dを壁Fに対してbend_touch-lの関係で配置し、道具Aを道具Dに対してlp2_detach-lの関係で配置するならば、実験事例1の空間構成過程である。</p>
<p>規則 1-6 被覆率：3.3%</p> <p>act(A,ex1):-relation(A,l_touch_dd,B,C,D),relation(D,irreg,left,E,F),relation(F,irreg,G,I,H),angle(H,0),道具Hを0度の角度で配置し、その後道具Fを道具Hに対してirregの関係で配置し、道具Dを道具Fのleftの連結部位に対してirregの関係で配置し、道具Aを道具Dに対してl_touch_ddの関係で配置するならば、実験事例1の空間構成過程である。</p>

図 12-1 実験事例1の規則の被覆率、記述、訳(上欄) 規則の説明図(下左欄)、被覆正事例群(下右欄)

の関係かつ角度「0」で道具Aを配置する事を示している。道具の角度が「0」の状態とは、被験者と道具の長辺側が正対する状態である。被覆正事例群の図から、道具Hに対して道具Fを関係付けてL字型を構成した後、道具Hをホワイトボード上から一旦除去し、その後、かつて道具Hが存在した位置に道具Dを配置して再びL字型を構成し、さらにその後、被験者に正対する平行を構成していることが分かる。従って、L字型を再構成した後に、被験者に正対する平行を構成することが特徴であると考えられる。被験者に正対する層状の構成：規則1-3(5.4%)は、角度「0」で「両端点不揃い平行irreg」の関係を繰り返すことを示している。被験者に正対する互いに平行な道具群による層状の構成が特徴であると考えられる。また、規則1-6(3.3%)からも、類似の特徴を読み取ることができる。雁行の構成：規則1-7(3.3%)は、「左回り接続 bend_touch-l」と「右回り接続

<p>規則 1-7 被覆率：3.3%</p> <p>act(A,ex1):-relation(A,l_touch,B,C,D),relation(D,bend_touch-r,E,F,G),relation(G,bend_touch-l,H,I,J),道具Jを配置し、道具Gを道具Jに対してbend_touch-lの関係で配置し、道具Dを道具Gに対してbend_touch-rの関係で配置し、道具Aを道具Dに対してl_touchの関係で配置するならば、実験事例1の空間構成過程である。</p>
<p>規則 1-8 被覆率：3.3%</p> <p>act(A,ex1):-relation(A,lp2_detach,root,B,C),relation(C,bend_touch-r,D,E,F),道具Fを配置し、道具Cを道具Fに対してbend_touch-rの関係で配置し、道具Aを道具Cのrootの連結部位に対してlp2_detachの関係で配置するならば、実験事例1の空間構成過程である。</p>
<p>規則 1-9 被覆率：3.3%</p> <p>act(A,ex1):-relation(A,l_touch_dd,top,I,B),type(B,wall),relation(B,bend_touch-l,C,D,E),type(E,wall),relation(E,bend_touch-r,F,G,H),道具Hを配置し、壁Eを道具Hに対してbend_touch-rの関係で配置し、壁Dを壁Eに対してbend_touch-lの関係で配置し、その後道具Aを壁Bのtopの連結部位に対してl_touch_ddの関係で配置するならば、実験事例1の空間構成過程である。</p>
<p>規則 1-10 被覆率：3.3%</p> <p>act(A,ex1):-relation(A,bend_touch-l,B,C,D),relation(D,irreg,E,F),relation(F,l_detach_dd,top,I,G),道具Gを配置し、その後道具Fを道具Gのtopの連結部位に対してl_detach_ddの関係で配置し、その後道具Dを道具Fに対してirregの関係で配置し、道具Aを道具Dに対してbend_touch-lの関係で配置するならば、実験事例1の空間構成過程である。</p>
<p>規則 1-11 被覆率：3.3%</p> <p>act(A,ex1):-type(A,wall),relation(A,bend_touch-l,top,B,C),relation(C,bend_touch-r,D,E,F),道具Fを配置し、道具Cを道具Fに対してbend_touch-rの関係で配置し、壁Aを道具Cのtopの連結部位に対してbend_touch-lの関係で配置するならば、実験事例1の空間構成過程である。</p>

図 12-2 (図 12-1の続き) 実験事例1の規則の被覆率、記述、訳(上欄) 規則の説明図(下左欄)、被覆正事例群(下右欄)

bend_touch-r」の関係が交互に繰り返されることを示している。被覆正事例群の図から、直角に屈折させて構成していることがわかる。従って、雁行を構成することが特徴であると考えられる。また、類似の特徴を示す、規則1-9(3.3%)、1-11(3.3%)が散見される。

5-3-2 実験事例2の規則の考察

非接続の囲いと被験者に正対する平行の構成：規則2-1(14.6%)は、「屈折分離右回り bend_detach-l」の関係で道具を配置した後、「両端点不揃い平行irreg」の関係で道具を配置することを示している。被覆正事例群の図より、道具を分離しつつ囲い、その後、被験者に正対する平行を構成することが分かる。柱を含む道具の近傍配置：規則2-2(9.7%)は、「柱 column」を含む3個の方向性のない道具を「近傍 close」の関係で配置することを示している。柱を含む方向性のない道具またはマット状の道具の近傍配置が特徴であると考えられる。

5-3-3 実験事例3の規則の考察

被験者に直交する縦方向の層状の構成：規則3-1(16.7%)は、角度「90」で「両端点不揃い平行irreg」の関係を繰り返すことを示している。従って、被験者に直交する、互いに平行な道具群による縦方向の層状の構成が特徴だと考えられる。また、被覆正事例群の図から、縦方向の層状の構成は、この作品の広範囲に渡って存在している

<p>規則 2-1 被覆率: 14.6%</p> <p>act(A,ex2)--angle(A,0),relation(A,irreg,B,C,D),relation(D,bend_detach-l,root,5,E).</p> <p>道具Eを配置し、その5手後に道具Dを道具Eのrootの連結部位に対してbend_detach-lの関係で配置し、道具Aを0度の角度かつ道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例2の空間構成過程である。</p>			
<p>規則 2-2 被覆率: 9.7%</p> <p>act(A,ex2)--relation(A,close,none,B,C),relation(C,close,none,D,E),type(E,column).</p> <p>柱Eを配置し、道具Cを柱Eに対してcloseの関係で配置し、道具Aを道具Cに対してcloseの関係で配置するならば、実験事例2の空間構成過程である。</p>			
<p>規則 2-3 被覆率: 3.9%</p> <p>act(A,ex2)--type(A,column).</p> <p>柱Aを配置するならば、実験事例2の空間構成過程である。</p>			
<p>規則 2-4 被覆率: 3.9%</p> <p>act(A,ex2)--angle(A,0),relation(A,irreg,B,C,D),relation(D,bend_touch-r,top,12,E).</p> <p>道具Eを配置し、その12手後に道具Dを道具Eのtopの連結部位に対してbend_touch-rの関係で配置し、道具Aを0度の角度かつ道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例2の空間構成過程である。</p>			
<p>規則 2-5 被覆率: 3.9%</p> <p>act(A,ex2)--relation(A,irreg,B,C,D),relation(D,bend_detach-r,top,11,E).</p> <p>道具Eを配置し、その11手後に道具Dを道具Eのtopの連結部位に対してbend_detach-rの関係で配置し、道具Aを道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例2の空間構成過程である。</p>			

図13 実験事例2の規則の被覆率、記述、訳(上欄) 規則の説明図(下左欄)、被覆正事例群(下右欄)

ことが分かる。さらに、この規則は被覆率も高いことから、縦方向の層状の構成は、作品全体を統括する構成であると考えられる。非接続の囲い: 規則3-2(9.4%)は、「屈折分離左回り bend_detach-l」で関係付けた後、「両端点不揃い平行 irreg」で関係付け、さらに「屈折分離左回り bend_detach-l」で関係付けることが示されている。道具を互いに分離させつつ、囲いを構成することが特徴だと考えられる。また、規則3-6(4.2%)からも、類似の特徴を読み取ることができる。

5-3-4 実験事例4の規則の考察

マットを含む道具の近傍配置: 規則4-1(19.5%)は、2つの「マット mat」を含む5個の道具を「近傍close」の関係で配置することが示されている。マットを含む方向性のない道具またはマット状の道具の近傍配置が特徴であると考えられる。T字型の構成と被験者に直交する縦方向の平行の構成: 規則4-2(7.5%)は、「T型接続 t2_touch」の関係で道具を関係付けた後、角度「90」かつ「両端点不揃い平行 irreg」の関係で道具を配置することを示している。T字型の構成をした後、被験者に直交する縦方向の平行を構成することが特徴であると考えられる。非接続の囲いと被験者に正対する層状の構成: 規則4-3(5.3%)は、「屈折分離左回り bend_detach-r」で関係付けた後、角度「0」で「両端点不揃い平行 irreg」の関係を繰り返すことを示している。

<p>規則 3-1 被覆率: 16.7%</p> <p>act(A,ex3)--angle(A,90),relation(A,irreg,B,C,D),relation(D,irreg,left,E,F),relation(F,bend_detach-l,root,G,H),relation(H,bend_touch-r,I,L).</p> <p>道具Jを配置し、その後道具Iを道具Jに対してbend_touch-rの関係で配置し、道具Fを道具Hのrootの連結部位に対してbend_detach-lの関係で配置し、道具Dを道具Fのleftの連結部位に対してirregの関係で配置し、道具Aを90度の角度かつ道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例3の空間構成過程である。</p>			
<p>規則 3-2 被覆率: 9.4%</p> <p>act(A,ex3)--relation(A,irreg,B,C,D),relation(D,bend_detach-l,E,F,G),type(G,wall),relation(G,irreg,left,H,D),relation(L,bend_detach-l,I,K,L),type(L,wall).</p> <p>壁Lを配置し、道具Iを壁Lに対してbend_detach-lの関係で配置し、壁Gを道具Iのleftの連結部位に対してirregの関係で配置し、道具Dを壁Gに対してbend_detach-lの関係で配置し、道具Aを道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例3の空間構成過程である。</p>			
<p>規則 3-3 被覆率: 9.4%</p> <p>act(A,ex3)--angle(A,90),relation(A,irreg,B,C,D),relation(D,t_touch,E,F,G),relation(G,t_touch,root,H,D).</p> <p>道具Iを配置し、道具Gを道具Iのrootの連結部位に対してt_touchの関係で配置し、道具Dを道具Gに対してt_touchの関係で配置し、道具Aを90度の角度かつ道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例3の空間構成過程である。</p>			
<p>規則 3-4 被覆率: 5.2%</p> <p>(A,ex3)--relation(A,irreg,B,C,D),relation(D,irreg,B,E,F),type(F,wall),relation(F,bend_detach-r,top,G,H),relation(H,irreg,left,I,J).</p> <p>道具Jを配置し、道具Iを道具Jのleftの連結部位に対してirregの関係で配置し、道具Dを道具Iのtopの連結部位に対してbend_detach-rの関係で配置し、道具Aを壁Fに対してirregの関係で配置し、道具Aを道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例3の空間構成過程である。</p>			
<p>規則 3-5 被覆率: 4.2%</p> <p>(A,ex3)--relation(A,t_touch,dd,top,B,C),relation(C,bend_touch-r,D,I,E),type(E,wall).</p> <p>壁Eを配置し、その後道具Cを壁Eに対してbend_touch-rの関係で配置し、道具Aを道具Cのtopの連結部位に対してt_touch,ddの関係で配置するならば、実験事例3の空間構成過程である。</p>			
<p>規則 3-6 被覆率: 4.2%</p> <p>act(A,ex3)--relation(A,irreg,B,C,D),relation(D,bend_detach-r,top,E,F),relation(F,irreg,left,G,H),relation(H,bend_detach-l,top,I,J).</p> <p>道具Jを配置し、道具Iを道具Jのtopの連結部位に対してbend_detach-lの関係で配置し、道具Fを道具Hのleftの連結部位に対してirregの関係で配置し、道具Dを道具Fのtopの連結部位に対してbend_detach-rの関係で配置し、道具Aを道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例3の空間構成過程である。</p>			
<p>規則 3-7 被覆率: 4.2%</p> <p>(A,ex3)--relation(A,t_touch,right,B,C),relation(C,bend_detach-r,top,D,E),type(E,wall),relation(E,irreg,left,F,G).</p> <p>道具Gを配置し、壁Eを道具Gのleftの連結部位に対してirregの関係で配置し、道具Cを壁Eのtopの連結部位に対してbend_detach-rの関係で配置し、道具Aを道具Cのrightの連結部位に対してt_touchの関係で配置するならば、実験事例3の空間構成過程である。</p>			

図14 実験事例3の規則の被覆率、記述、訳(上欄) 規則の説明図(下左欄)、被覆正事例群(下右欄)

道具を互いに分離させつつ、囲いを構成した後、被験者に正対する互いに平行な道具群により層状を構成することが特徴だと考えられる。

5-3-5 各実験事例の特徴のまとめ

実験事例1から4の顕著な特徴として、それぞれ「L字型の囲いと被験者に直交する家具の構成」、「非接続の囲いと被験者に正対する平行の構成」、「被験者に直交する縦方向の層状の構成」、「マットを含む道具の近傍配置」が見られた。

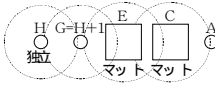

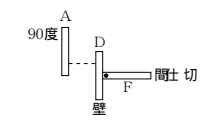
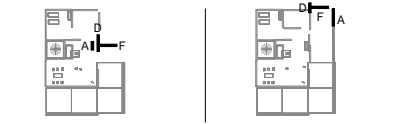
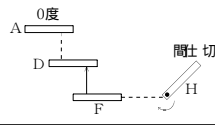
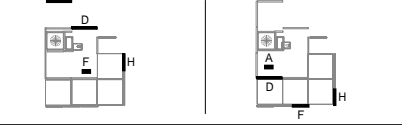
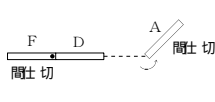

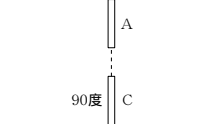

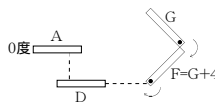

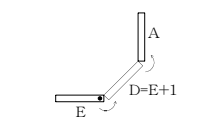
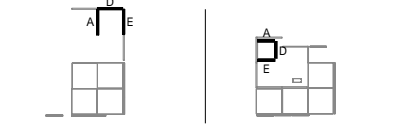
<p>規則 4-1 被覆率：19.5%</p> <p>act(A,ex4):-relation(A.close,none,B,C),relation(C.close,none,D,E),type(E,mat),relation(E.close,none,F,G),relation(G.close,none,H,I),relation(H.independ,none,no_dir,I),relation(A.close,J,B,C),type(C,mat). 道具Hをindependで配置し、その後には道具Cを道具Hに対してcloseの関係で配置し、マットEを道具Hに対してcloseの関係で配置し、マットCをマットEに対してcloseの関係で配置し、道具AをマットCに対してcloseの関係で配置するならば、実験事例4の空間構成過程である。</p> 	
<p>規則 4-2 被覆率：7.5%</p> <p>act(A,ex4):-angle(A,90),relation(A.irreg,B,C,D),type(D,wall),relation(D,I.touch,root,E,F),type(F,separation),間仕切りFを配置し、壁Iを間仕切りFのrootの連結部位に対してI.touchの関係で配置し、道具Aを90度の角度かつ壁Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例4の空間構成過程である。</p> 	
<p>規則 4-3 被覆率：5.3%</p> <p>act(A,ex4):-angle(A,90),relation(A.irreg,B,C,D),relation(D.irreg,left,E,F),relation(F.bend,detach-r,root,G,H,I),type(I,separation),間仕切りIを配置し、道具Fを間仕切りIのrootの連結部位に対してbend,detach-rの関係で配置し、道具Jを道具Fのleftの連結部位に対してirregの関係で配置し、道具Aを0度の角度かつ道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例4の空間構成過程である。</p> 	
<p>規則 4-4 被覆率：5.3%</p> <p>act(A,ex4):-type(A,separation),relation(A.bend,detach-l,B,C,D),relation(D,I.touch,dd,top,E,F),type(F,separation),間仕切りFを配置し、道具Dを間仕切りFのtopの連結部位に対してI.touch_ddの関係で配置し、間仕切りAを道具Dに対してbend,detach-lの関係で配置するならば、実験事例4の空間構成過程である。</p> 	
<p>規則 4-5 被覆率：3.0%</p> <p>act(A,ex4):-relation(A,I.detach,dd,top,B,C),angle(C,90),道具Cを90度の角度で配置し、道具Aを道具Cのtopの連結部位に対してI.detach_ddの関係で配置するならば、実験事例4の空間構成過程である。</p> 	
<p>規則 4-6 被覆率：3.0%</p> <p>act(A,ex4):-angle(A,0),relation(A.irreg,B,C,D),relation(D,bend,detach-r,root,E,F),relation(F,bend,touch-r,top,A,G),道具Cを配置し、その後には道具Fを道具Gのtopの連結部位に対してbend,detach-rの関係で配置し、道具Dを道具Fのrootの連結部位に対してbend,touch-rの関係で配置し、道具Aを0度の角度かつ道具Dに対してirregの関係で配置するならば、実験事例4の空間構成過程である。</p> 	
<p>規則 4-7 被覆率：3.0%</p> <p>act(A,ex4):-relation(A.bend,touch-l,B,C,D),relation(D,bend,touch-l,top,I,E),道具Eを配置し、その後には道具Dを道具Eのtopの連結部位に対してbend,touch-lの関係で配置し、道具Aを道具Dに対してbend,touch-lの関係で配置するならば、実験事例4の空間構成過程である。</p> 	

図 15 実験事例4の規則の被覆率訳、記述、訳(上欄) 規則の説明図(下左欄)、被覆正事例群(下右欄)

5-4. 各実験事例の相互比較

実験事例1と2は、囲いを構成した後、平行を構成する点が類似するが、実験事例1では道具を接続させて囲いを構成するのに対して、実験事例2は道具の非接続により囲いを構成する点が異なる。実験事例1と3は共に層状を構成する点が類似するが、実験事例1では、被験者に正対する層状であるのに対し、実験事例3では、被験者から見て縦方向の層状を構成する点が異なる。実験事例1と4は、共に被験

者に正対する層状を構成する点が類似する。実験事例2と3は、道具の非接続により囲いを構成する点が類似する。実験事例2と4は、共に道具を近傍に配置する点が類似するが、実験事例2では、近傍配置による構成は、柱や木のような方向性のない道具を含む比較的小規模な構成であるのに対し、実験事例4は、芝生や絨毯等のマット状の道具を含む、比較的大規模な構成である。実験事例3と4は、共に被験者に直交する縦方向の平行を構成する点が類似するが、実験事例3が平行の構成を連続させて層状を構成するのに対し、実験事例4では、平行の構成は連続されることなく、層状を構成しない。

結語

居住空間構成法による空間構成過程を道具の種類、角度、位置、配置順序の差、および道具間の幾何学的二項関係の5つの特性により定式化し、ILPを用いて空間構成過程の分類規則を発見するために一階述語論理で記述する方法を提案した。ILPシステムの一つであるPROGOLを用いて、空間構成過程の分類規則を抽出するシステムを構築し、居住空間構成法の実験結果をもとに、その分類規則を求めた。分類規則から、L字型の囲いと被験者に直交する家具の構成(実験事例1)、非接続囲いと被験者に正対する平行の構成の組合せ(実験事例2)、被験者に直交する縦方向の層状の構成(実験事例3)、マット状の道具を含む道具の近傍配置(実験事例4)の各実験事例に固有な空間構成過程の特徴を読み取りこの有効性を示した。

注

- 1) 内的世界とは、河合が心像 image と呼び、ローウェンフェルトが schema と呼び、ピアジェが認識の操作の側面と呼び、衛藤が世界図式と呼んだものを指す。
- 2) ILP は、Stephen Muggleton、Ross Quinlan 等によって開発された、機械学習の体系の一つである。個々の事例を一般化して新たな概念を導き出す帰納推論、一階述語論理上で展開することにより、概念学習を達成する枠組みである。一般化とは、各事例の詳細を無視することにより、事例間の共通性を見つけることである。概念学習に利用できる既知の知識の総称を「背景知識」、背景知識だけでは説明できない概念に対し背景知識に加えることでその概念が説明可能となる、変数を含む規則を「仮説」と呼ぶ。仮説は、既知の背景知識とそれが一般化された記述の組合せで表される。ILP は、仮説の生成と検証をくり返すことによって、分類規則の発見に至る。仮説の生成は「既知の背景知識とそれが一般化された記述の間の可能な組合せの中から、適切な基準によって評価し最適な仮説を選択する」という探索問題として定式化される。学習する対象になる概念を「学習の目標概念」という。
- 3) PROGOL は、Stephen Muggleton 等によって開発され ILP システムの一つである。PROGOL における仮説の生成と検証の動作原理は、単純な枚挙法ではなく、最弱仮説 (Most Specific Hypothesis, MSH) の生成や、その生成過程において変数の伝播を制御するモード宣言などの言語バイアスの設定により、探索空間の縮小と計算の効率化が図られている。また、PROGOL の探索は、発見的評価関数を用いた最良優先探索である A* 探索に改良を加えた A*-like 探索であり、網羅的なトップダウン探索によって最良解を求める。PROGOL での候補仮説の評価基準は記述長最長原理 (Minimum Description Length Principle) を採用しており、より多くの正事例を被覆(説明)し、かつ被覆(説明)する負事例がなるべく少なく、記述がより簡潔な(記述長が短い)ものほど、優良な仮説として評価する。
- 4) PROGOL では、与えられた背景知識を表す各述語の項の値を変数にすることにより一般化を行う。このとき、全ての項の値を変数化の対象にすると、探索空間が大きくなり過ぎ、探索効率が悪化する。そこで探索空間を狭めるためのバイアスとして、各述語の各項の値が変数化可能であるか、定数(具体的な値)のまま一般化の対象にならないかを指定できる(これを入力モード宣言と言う)。本論文では次のように引数の入力モードを設定した。述語 type の第 1 項「道具番号」は変数。第 2 項「道具の種類」は定数。述語 angle の第 1 項「道具番号」は変数。第 2 項「道具の角度」は定数。述語 position の第 1 項「道具番号」は変数。第 2 項「道具の位置」は定数。述語 relation の第 1 項「主道具の道具番号」は変数。第 2 項「道具間の幾何学的二項関係」は定数。第 3 項「道具の連結部位」、第 4 項「道具の配置順序の差」は定数または変数。
- 5) 規則の図は、規則が表す道具の配置を平面的に表現したもので、道具の種類、角度、位置の情報について指定がある場合は、道具の側に文字で示した。道具の配置順序の差が指定されているときは、その関係を等式で表した。角度の指定がない限り、最初に配置される道具は「0度」の角度で表した。図の周りの長方形の枠は、ホワイトボードを表し、枠の下側が被験者側である。道具間の非接続を表す幾何学的二項関係「parallel」、「detach」、「bend,detach」が成立する道具間を点線で結んだ。幾何学的二項関係が「bend,touch」、「bend,detach」の場合はそれぞれ「v_touch」、「v_detach」の形態で表した。その連結部位「top」または「root」が指定されている場合は、その位置を図中に「・」で示した。連結部位「left」または「right」が指定されている場合は、その位置を図中に矢印で示した。「bend-」またはこれが内包する幾何学的二項関係の場合は「右回り」「左回り」を図中に矢印で示した。

参考文献

- 1) 岡崎善幸 他：居住空間構成法と分裂病者，日本建築学会計画系論文報告集，第 436 号，pp.127-137, 1992.6
- 2) 岡崎善幸：居住空間構成法と児童，日本建築学会計画系論文報告集，第 438 号，pp.109-118, 1992.8
- 3) 岡崎善幸 他：居住空間構成法と知的障害児，日本建築学会計画系論文報告集，第 496 号，pp.237-245, 1997.6
- 4) 岡崎善幸 他：居住空間構成法と幼稚園児，日本建築学会計画系論文報告集，第 518 号，pp.313-320, 1999.4
- 5) Muggleton, S.: Inverse Entailment and PROGOL, New Generation Computing, 13, pp.245-286, 1995
- 6) 古川康一 他：小特集「帰納論理プログラミング」, 人工知能学会誌, vol.12 No.5, pp.655-688, 1997
- 7) Ross D. KING: Relating Chemical Activity to Structure: An Examination of ILP Successes, New Generation Computing, 13, pp.411-433, 1995
- 8) 古川康一、嶋津恵子: PROGOL によるデータベースからの知識発見, 人工知能学会全国大会, pp.49-52, 1996
- 9) R.D.Coyne 他著 渡辺俊 他訳: デザインの知識工学, オーム社, 1994