

帰納論理プログラミングを用いた建築空間の構成過程の分析

Analysis of Architectural Space Composition

Using Inductive Logic Programming

杉浦徳利

Noritoshi SUGIURA

岡崎甚幸

Shigeyuki OKAZAKI

京都大学大学院 工学研究科 生活空間学専攻

Department of Architecture and Environmental Design,

Graduate School of Engineering, Kyoto University

Abstract: In this paper, we summarize an application of ILP technique to the analysis of human design process in the domain of architectural design. We focus particularly on the discovering patterns in spacial composition process in a context of a framework of design analysis, called Architectural Space Montage Technique. Spacial composition data used in this paper are complexly structured data, which are collections of architectural objects with geometric relationships. The object and the relationship are constrained with a given set of attributes (such as object type, object angle, time stamp, relation type) together with background knowledge on the class hierarchies of object types and relation types. We model these spacial composition process data in first-order logic and apply an ILP system Progol to discover design patterns that characterize the given data.

1 はじめに

本論文では、建築におけるデザインプロセスの分析への帰納論理プログラミング(Inductive Logic Programming; ILP)の応用について報告する。

心理学における幾つかの研究[1][2]では、多くの人間に共通する空間把握の傾向があることが指摘されている。この傾向は、人間が建築空間をデザインする行為にも強く影響しており、建築物の配置や、建築物を構成する壁等の諸要素の配置(以下、空間構成)のパターンとして現れると考えられている[3][4]。人間の空間把握により適合した建築空間を創造するための手がかりとして、人間が潜在的に持つ空間構成のパターンを発見することが重要な課題の一つになっている。

本研究では、建築デザインプロセスにおける空間構成のパターンを調べることを目的とする。特に、異なるカテゴリに属する人間のデザインプロセスの違いを特徴付けるような空間構成のパターンの検出を行う。

居住空間構成法(以下、KK法と略す)は、空間構成のパターンを調べるために、岡崎等により開発された実験手法である[5]。被験者は、あらかじめ用意された1/50の縮尺の壁や家具等のミニチュア(以後、より一般的に物体と表現する)を、与えられた領域内に自由に配置して、建物や庭等の具体的な建築空間を構成する。配置された各物体の種類やその配置を分析することにより、特徴的な空間構成のパターンが抽出される。

本研究では、KK法の実験において、物体を幾何学的に関係付けて配置する行為(以下、配置行為)を重ねることにより、建築空間を構成していく過程(以下、空間構成過程)をデザインプロセスとみなす。KK法による作品および空間構成過程の例を図1に示す。

KK法の実験では、数十から数百の物体が配置される。物体が一つ配置される毎に、それまで配置されていた物体との間に複数の関係が生じる。このような複雑な構造を持つデータを対象にしたとき、人間による主観的な観察では、データ間に潜むパターンを偏り無く把握することは困難である。

そこで、本論では、機械学習手法の利用を考える。空間構成過程を計算機で分析可能にするために、空間記述言語を提案する。さらに、CAD上に再現された空間構成過程のデータを空間記述言語に自動的に変換し、これを機械学習することにより、物体の配置順序まで考慮した空間構成のパターンを表す規則を発見するシステムの構築を目指す。

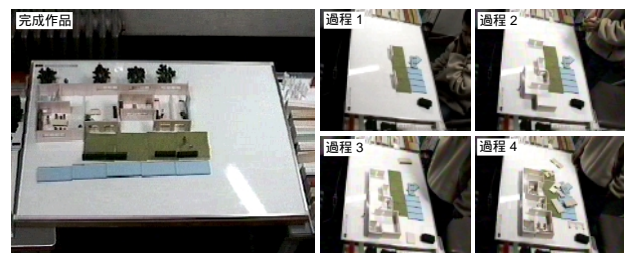


図1 居住空間構成法による完成作品(左)と空間構成過程(右)

今日では、医療[6]や流通[7]等の実用分野において、データマイニングのための帰納推論エンジンとしてC4.5[8]等の命題論理学習器が利用されることが多い。しかし、2次元の単一テーブルで表現されるデータしか処理できないため、空間構成過程のような構造を持つデータからパターンを発見することは困難である。そこで、本論では、一階述語論理上で帰納推論を行うILPシステムの一つであるProgolを利用する。

実際のKK法の実験データを分析した結果、提案するシステムは、与えた空間構成過程のデータを特徴付ける規則を発見した。得られた規則から、建築的な観点から興味深い、いくつかの空間構成のパターンを読み取ることができた。

2 居住空間構成法

2.1 居住空間構成法の実験手順および特徴

KK法の実験手続きは以下の通りである。机上の60cm×90cmのホワイトボードの両側に壁や家具などの物体が並べられている。被験者は、テーマに関する教示を受けた後、ホワイトボード上に、物体を自由に配置して、理想の建築空間を構成する。実験中のボード上の様子はビデオカメラで撮影される。

KK法は、具体的な物体を配置するだけで空間が生成される。スケッチのように被験者の描画能力に影響されることがないため、幅広い被験者を対象にできる。また、被験者の作業手順を明確に捉えやすい。

実験で用いる物体の種類は実験対象やテーマにより多少異なるが、本研究では、実験のために表1に示す44種類を準備した。準備した物体の写真を図2に示す。

2.2 データモデル

[9]では、従来の実体関連モデル(Entity-Relation model)を拡張して、属性および関連をそれぞれ基本と派生の2種類に分けたRERモデルを提案し、これを用いて図形情報を表現できることを示した。本論では、図形の構成要素の静的な関係だけでなく、形態が生成される過程を表現可能な、方向性を持つ実体関連データを設定し、これを用いて空間構成過程をモデル化した。配置された各物体は実体にあたり、実体間には、幾何学的な関連が成り立つ。ただし、ある時点で配置された物体から、それ以前に配置されていた物体に対してのみ関連が成立可能であるため、実体間の関連のリンクは方向を持つ。実体は、配置された順番、種類等の属性を、幾何学的関連は、関係の型、相対角度等の属性を持つ。さらに、物体や物体間の関連の属性値について、概念の包含関係に基づくIS-A階層構造が予め分かっている。

表1 居住空間構成法の実験で使われるミニチュアの種類の一覧

壁	8種類:	無開口壁, ドア付壁, ドア窓付壁, 大窓付壁, 小窓付壁, 横長窓付壁(以上、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)、鏡面壁、透明壁(3600mm, 5400mmの長さ、無色透明、青透明、オレンジ透明の3色)
柱	1種類	
家具	12種類:	テーブル, 机, ソファ, 椅子, 棚, ロッカー, ベッド, テレビ, 電話, 畳, 絨毯, カーテン
キッチン・衛生設備	6種類:	洗濯機, 浴槽, 洗面台, 手洗台, キッチン流し台, トイレ
人間・動物	6種類:	男性, 女性, 女児, 男児, 犬, 猫
植物	6種類:	芝生, 針葉樹, 広葉樹, 垣根, 花壇, 植木鉢
その他	5種類:	バルコニー, 階段, 柵, ブロック塀, 門

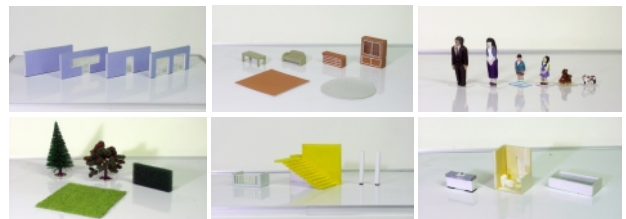


図2 居住空間構成法の実験で使われるミニチュアの写真(上段左より、壁、家具、人間、動物。下段左より、植物、バルコニー、階段、柵、キッチン・衛生器具)

3 空間構成過程分析システムの概要

空間構成過程分析システムの構成を図3に示す。分析システムは、CADによる入力部分、空間記述言語への変換部分、機械学習部分の処理モジュールから構成される。分析の手順は、次の3段階である。

- ・手順1 [データ取得] 実際の居住空間構成過程における配置行為をCADシステム上に再現する。
- ・手順2 [空間記述言語への変換] 機械学習のための前処理部分として、CADデータを空間記述言語に変換し、本論文で使用する推論エンジンProgolへの入力データの一部を自動作成する。物体と幾何学的関連を自動認識するモジュールプログラムをC言語で作成し、手順1で用いるCADシステムに組み込んだ。

手順1および2は、分析対象とする各空間構成過程が複数ある場合は、対象ごとに繰り返して行う。

- ・手順3 [規則の発見] 手順2で生成された空間記述言語表記に、正例、負例、属性値のIS-A関係を表す背景知識、探索空間の縮小のための言語バイアスを人手により加えたファイルを、Progolに入力し、学習させる。

次章より、各手順について詳述する。

4 データの取得

KK法の実験における被験者の配置行為をデータ化する方法を以下に記す。

3次元CADシステム(MiniCAD7)をPascal言語で

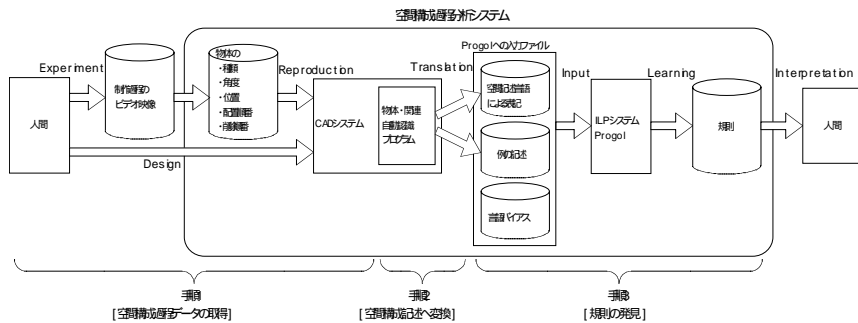


図3 空間構成過程分析システムの概要

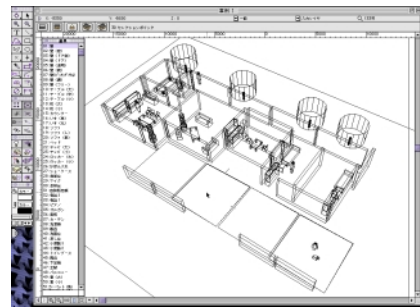


図4 CADシステムの画面

カスタマイズすることにより、CAD上にKK法の実験環境を再現した。KK法の実験で用意された44種類の物体の形態を模した3次元図形をそれぞれモデリングし、シンボルオブジェクトとして登録した。登録済みのシンボルオブジェクトの種類を選択し、CAD上に構築された3次元仮想空間の作業平面上をクリックすることにより、シンボルオブジェクトの複製を任意の位置および角度に配置できる。また、作業平面上にホワイトボードの範囲を表示した。3次元仮想空間における視点の位置は自由に回転や移動ができる。

一旦配置した物体を、完成に至る過程で、ホワイトボード上から削除する行為は、削除対象となる物体の描画線色を薄いグレーに変更し、さらに、削除された時期を表す番号を属性値*2として与えることにより代替した。例えば、配置番号nの物体が配置された直後に削除された物体には、削除番号としてnが与えられる。削除したい物体を選択しておき、削除コマンドを実行することにより、上記の操作が自動的に行われる。

KK法の実験における配置行為を次の方法で再現した。実験時に撮影されたビデオ映像から、「物体の種類」、「物体の絶対角度」、「ホワイトボード上の物体の位置」、「物体が配置および削除された順番」の情報を人手で抽出する。これらの情報に従い、上記のCADシステム上に構築された3次元仮想空間に物体を配置もしくは削除する。物体を配置した状態のCADシステムの画面を、図4に示す。

被験者が直接このCADシステムを使って、3次元仮想空間内で建築空間を構成することも可能である。

5 空間記述言語への変換

空間構成過程のデータを計算機が扱える形式で記述するために空間記述言語を設計した。空間記述言語は、物体および物体間の幾何学的関連の属性を表現する。

*2 MniCADでは、ユーザーが物体の属性を新規設定して、生成された個々の物体に属性値を与えることができる。ここでは、物体が削除された順番をその物体の属性値として数値で与えた。

以下に、空間記述言語への変換手順を示す。

5.1 基本データ

前節の手順で作成されたCADデータから、直接取り出せる基本的な情報は、配置された各物体に関する以下の4つである。

- 頂点座標： 物体に外接する最小の直方体の各頂点の座標値。
- 配置番号： 配置された順に物体に与えられる通し番号。
- 削除番号： CADシステムで物体を削除する際に物体に与えられた、削除された時期を表す番号。
- 種類のID番号： CADシステムで物体を配置する際に指定された物体の種類を表すID番号。

5.2 物体の属性

物体の属性として、「ID番号」「種類」「形態クラス」「絶対角度」の4種を設定した。基本データに基づき、物体毎にこれらの属性の値を割り当てる。

ID番号 O_ID ： 物体のID番号は、4桁の数字列とする。上一桁は、物体を配置した被験者のID番号、下三桁は、物体の配置番号を表す。

種類 O_Type ： 種類の属性値として、実験で 사용되는物体の具体的な名称を表す44個の基礎語彙、およびこれらを含む抽象的な物体の種類を表す10個の語彙を設定した。種類の属性値、およびそれらが成すIS-A階層構造を図5に示す。

形態クラス O_Shape ： 物体の形態を抽象化して、point, mat, lineの3種に分類した。これらを物体の形態クラスと呼ぶ。前節で記した、物体に外接する直方体に関する以下の基準に従い、各物体はいずれかの形態クラスに割り当てられる。

- point： 直方体の底面が、実寸に換算して辺長50cm以下の正方形である物体。
- mat： 直方体の高さが実寸に換算して、10cm以下の物体。

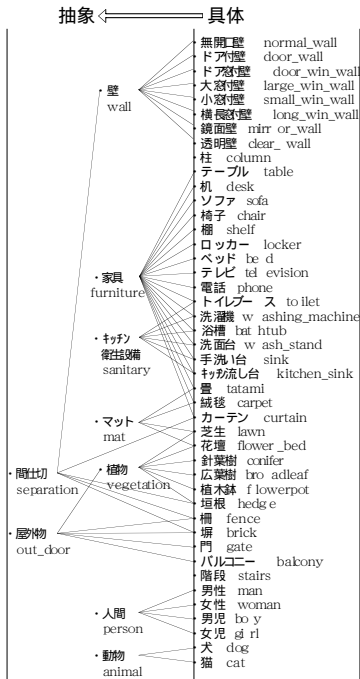


図5 物体の種類およびIS-A階層構造

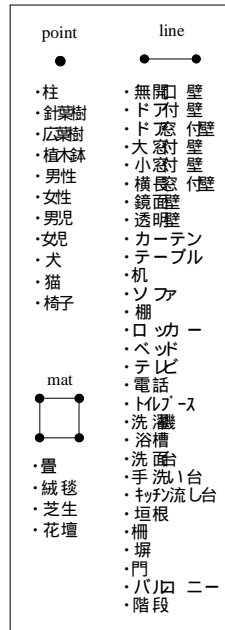


図6 各形態クラスに属する物体の種類

・line: 上記のいずれの条件も満たさない物体。
以後、物体の幾何学的情報は、形態クラスが point に属する物体は直方体底面の中心座標、mat に属する物体は直方体底面の4頂点の座標、line に属する物体は直方体底面の長軸の両端点座標により表される。これらを用いて、物体間の幾何学的関連の属性値が求められる。

図6に各形態クラスに属する物体の種類を示す。
絶対角度 A_Angle : 絶対角度はホワイトボードの長辺に対する物体の角度である。形態クラスが line または mat の物体がこの属性を持つ。 A_Angle { 0, 45, 90, ambiguous }. ambiguous は、0度、45度、90度のいずれでもない曖昧な角度を表す。

5.3 幾何学的関連の属性

幾何学的関連は、次の条件を満たす物体の対において成立する。対を成す物体の内、ID 番号が大きい(即ち、後に配置された)方を「主物体」、小さい(即ち、後に配置された)方を「目的物体」と名付ける。このとき、(主物体の配置番号) < (目的物体の削除番号)。

上記の条件を満たす全ての物体の対について、物体の属性値に基づき、以下に記す9種の幾何学的関連の属性の値が求められる。

接触状態 C : C { attach, separate, isolation } .
attacheは隣接している状態, separateは隣接していないが近傍にある状態, isolationは遠く離れており、独立した状態を表す。
関係の型 T : 接触状態が attach または separate で

ある対のみ、この属性を持つ。 T { on, parallel, t_type, bending, straight, close } . close は、on から straight のいずれでもない場合を表す。

相対角度 RA : RA { 0, 45, 90, ambiguous } .
屈折の方向 RO : 関係の型が bending である対のみ、この属性を持つ。 RO { right_handed, left_handed } . それぞれ右回り、左回りを表す。
端点の揃い方 AL : 関係の型が parallel である対のみ、この属性を持つ。 AL { regular, semi_regular, irregular } . それぞれ両端揃い、片端揃い、両端不揃いを表す。

距離 D : 関係の型が parallel である対のみ、この属性を持つ。 D { attach, close, right, distant } . right は、物体間の距離が目的物体の長さに等しい状態を表す。

形態クラスの組み合わせ S : S { line-point, line-mat, point-mat } .

原則的には、から の属性の値の組み合わせにより、幾何学的関連の形態の性質が表される。ただし、本論文では、人間が理解しやすいように、実際の空間構成過程において建築デザイン上意味があると考えられる39通りの属性の組み合わせを取り上げ、それぞれに幾何学的関連の種類 R_Type を表す基礎語彙(図7中に網掛けして示す)を割り当てた。さらに、これらを包含する抽象的な幾何学的関連の種類を表す40個の語彙を設定した。幾何学的関連の種類およびそれらが成すIS-A階層構造を図7に示す。

連結部位 C_Point : 接触状態が attach または separate または on の場合、目的物体のどの部分に主物体を連結させたかを表す属性をもつ。これを連結部位と呼ぶ。 C_Point { root, top, right_face, left_face } { center, edge, corner, fuzzy } .

配置番号の差 $Difference$: 基本データとして得られた、主物体と目的物体の配置番号の差を表す数値属性である。直前に配置した物体に対して関連付けた場合、 $Difference = 1$ である。

5.4 一階述語論理による記述

空間記述言語は、二項述語 type, 二項述語 angle, 五項述語 relation を用いて、次のように表記される。

物体の種類: $type(O_ID, O_Type)$.

物体の角度: $angle(O_ID, A_Angle)$.

幾何学的関連: $relation(SO_ID, R_Type, C_Point, Difference, OO_ID)$.

ここで、幾何学的関連を表す述語 relation の第1項 SO_ID および第5項 OO_ID は、それぞれ主物体および目的物体のID番号を表す。

CADシステムから出力される際には、物体の種類お

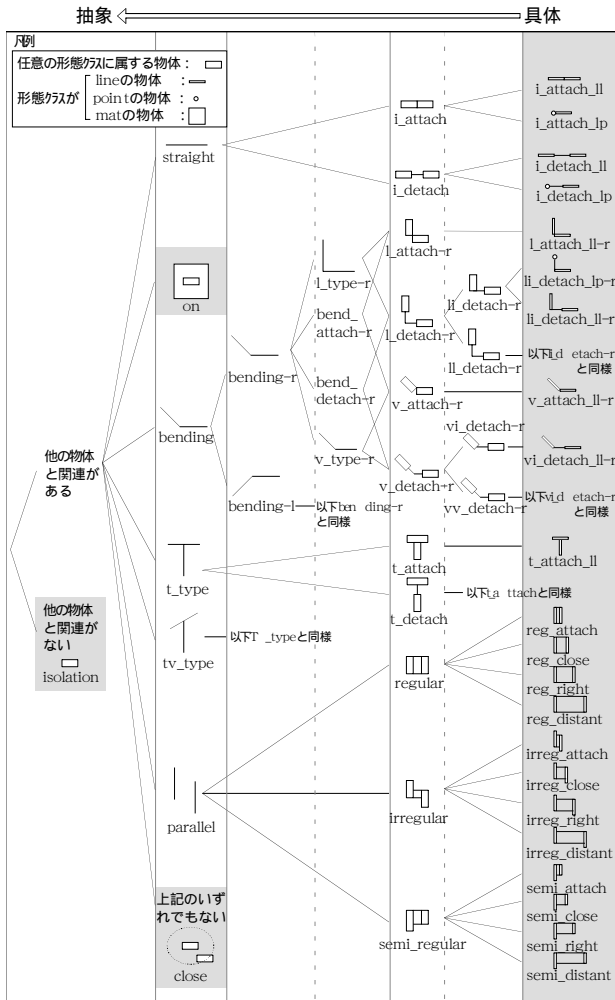


図7 幾何学的関連の種類およびIS-A階層構造（網掛け部分は基礎語彙を表す）

および角度、幾何学的関連は、それぞれ、基底単位節として記述される。また、 O_Type 、 R_Type には、基礎語彙が代入される。

物体および幾何学的関連の種類に関するIS-A関係は、含意を表すHorn節として記述する（図8参照）。

6 規則の発見

5章に示した方法で、空間記述言語に変換された空間構成過程のデータから、規則を発見する方法を以下に記す。

6.1 Progol

本論で提案するシステムでは、データマイニングエンジンとしてILPシステムの一つであるProgol^{*2}を採用した。ILPは、個々の事例を一般化して、新たな概

*2 本論文では、PROLOG言語で実装されたP-Progol2.7.5を使用した。

念を導き出す帰納推論を一階述語論理上で展開する枠組みである。Progolは、逆伴意法[10]に基づき、与えられた学習目標概念の正例および負例、背景知識、モード宣言（求める規則の頭部および本体部に使用可能な述語やその引数の入出力等を指定する）から、正例に対して真、負例に対して偽となる分類規則を見つける。規則は、Horn節の形式で出力される。入出力データは、PROLOG言語で表記される。

6.2 入力データの生成

正例および負例。本論文における学習目標概念は、個人またはグループに固有な空間構成過程である。学習目標概念に設定した制作者の個々の配置行為をそれぞれ正例とし、それ以外の制作者の個々の配置行為をそれぞれ負例とする。配置行為は、単項述語placementを用いて次のように記述する。

placement(O_ID).

例の記述は、CADデータから、空間構成過程が空間記述言語に変換されると同時に自動的に生成される。

背景知識。その配置行為を正または負例に設定した制作者の空間構成過程を、空間記述言語に変換したものの、および物体および幾何学的関連の種類に関するIS-A関係を表すHorn節集合を背景知識とする。

モード宣言。モード宣言は、人手により生成した述語placementが規則の頭部に、空間記述言語で用いられる3種の述語、type、angle、relationが本体部に使われるように指定した。規則本体部が、物体間の幾何学的関連による推移的閉包を表すように、関連を表す述語relationの引数の入出力モードを設定した。

Progolへの入力データの具体例を図8に示す。

6.3 命題論理に基づく機械学習システムとの比較

近年では、C4.5等の命題論理に基づく機械学習システムが、幾つかの実用的分野で応用されている。このシステムは、属性-値の2次元単一表で表現できるデータしか扱うことができない。幾何学的関連の連鎖により複雑な構造を成す空間構成過程のデータから、Progolの出力に相当する学習結果を得るためには、幾何学的関連だけに限定して考えても、学習目標とする空間構成過程の属性として、設定した領域で、成立可能な幾何学的関連による推移的閉包を書き尽くして、それぞれに値を与える必要がある。現在、79種類の幾何学的関連が設定してあるため、配置された物体の数を n 個とすると属性数は、 $\sum_{i=1}^{n-1} 79^{n-i}$ 個である。これを書き尽くすことは、現実的に不可能と考えられる。

7 学習実験

KK法の実験を行い、提案したシステムを用いて、実際の空間構成過程のデータから、規則の抽出を試みた。

7.1 空間構成過程の分析における問題

KK法の既往研究では、主に実験者の主観的な観察と内省により、完成作品における空間構成のパターンが抽出されてきた。被験者が子供の場合は、認知能力の発達途上にあるが故に、完成作品に空間的な矛盾が生じる。これを抛り所にして、空間構成の傾向を比較的明確に読みとれた。しかし、被験者が成人の場合、その空間構成は非常に多様で、矛盾も少なく、既往の分析手法では、傾向を把握し難いという問題がある。

本研究で提案する分析方法により、人手では発見し難い、成人の空間構成を特徴付けるパターンが発見されることが期待される。

7.2 居住空間構成法の実験結果および Progol への入力データ

前節の問題に基づき、成人の空間構成のパターンを調べるために、建築を専攻している大学生4人、および建築とは無関係の大学生4人、計8人に対してそれぞれ1回ずつKK法の実験を行った。前者4人を建築グループ、後者4人を非建築グループと呼ぶことにする。各実験結果の概要を表2に示す。

これらのKK法の実験結果を基に、次の2通りの場合について学習実験を行った。

- ・学習実験：建築グループの全ての配置行為を正例、非建築グループの全ての配置行為を負例とした場合。
- ・学習実験：例の正負を学習の逆に設定した場合。

学習実験からは、建築グループに固有な規則が、学習実験からは、非建築グループに固有な規則が得られる。学習実験の場合のProgolへの入力データを図8に示す。

7.3 学習結果および考察

学習実験では、全147個の規則を、学習実験では、全149個の規則を発見した。

得られた規則の中で、グループに属する過半数（本論文では3人以上）の被験者の配置行為を被覆する規則を、そのグループに属する被験者に共通する規則とみなす。共通規則をグループの特徴とみなす。学習実験では29個が、学習実験では35個が共通規則であった。各学習実験における被覆率が上位5番目までの共通規則の記述を図9および図10に示す。各学習実験における第1規則の直訳、規則が表すパターンを実

表2 居住空間構成法の実験結果

実験番号	事例	事例	事例	事例	事例	事例	事例	事例
所属グループ	建築				非建築			
制作時間(分)	46	28	30	25	60	29	25	47
配置行為数(回)	92	96	103	133	149	110	70	71

モード宣言	正例	負例
:-mode(1,placement(+o_id)).	placement(1001).	placement(5001).
:-mode(1,type(+o_id,#o_type)).	placement(1002).	placement(5002).
:-mode(1,angle(+o_id,#o_angle)).	placement(1003).	placement(5003).
:-mode(1,relation(+o_id,#r_type,#c_point,-difference,-o_id)).	⋮	⋮
:-mode(1,relation(+o_id,#r_type,#c_point,#difference,-o_id)).	⋮	⋮

背景知識	
物体の種類IS-A関係	幾何学的関連IS-A関係
type(A,wall):-type(A,normal_wall).	relation(A,i_attach,B,C,D):-relation(A,i_attach_ll,B,C,D).
type(A,separation):-type(A,normal_wall).	relation(A,linear,B,C,D):-relation(A,i_attach_ll,B,C,D).
⋮	⋮

空間構成過程の空間記述言語による表記	
type(1001,lawn).	type(5001,door_window_wall).
angle(1001,0).	angle(5001,0).
relation(1001,isolation,none,no_dif,no_obj).	relation(5001,isolation,none,no_dif,no_obj).
type(1002,lawn).	type(5002,large_window_wall).
angle(1002,0).	angle(5002,0).
relation(1002,close,none,1,1001).	relation(5002,irreg_distant,left,1,5001).
⋮	⋮

図8 学習実験におけるProgolへの入力データ

規則 -1:	placement(A) :- relation(A,irregular,right_face,B,C), (被覆率 3.8%)	relation(C,semi_regular,right_face,D,E), relation(E,i_attach,top,F,G).
規則 -2:	placement(A) :- angle(A,90),relation(A,close,none,B,C). (被覆率 3.5%)	
規則 -3:	placement(A) :- angle(A,90),relation(A,irregular,left_face,B,C), (被覆率 2.1%)	angle(C,90),relation(A,irregular,left_face,2,C), type(C,separation).
規則 -4:	placement(A) :- relation(A,li_detach-r,root,B,C),type(C,wall), (被覆率 1.9%)	relation(C,irregular,left_face,D,E),angle(E,0).
規則 -5:	placement(A) :- type(A,person),angle(A,90). (被覆率 1.9%)	
規則 -6:	placement(A) :- type(A,separation),angle(A,90), (被覆率 1.4%)	relation(A,isolation,none,B,C).

図9 建築グループの共通規則（被覆率が上位5番までの規則を抜粋）

規則 -1:	placement(A) :- relation(A,irregular,left_face,B,C), (被覆率 3.7%)	relation(C,i_attach,top,1,E),type(E,wall),angle(E,0).
規則 -2:	placement(A) :- relation(A,bend_attach-1,top,B,C), (被覆率 3.0%)	relation(C,i_attach,root,D,E).
規則 -3:	placement(A) :- type(A,wall),relation(A,bend_attach-r,root,B,C), (被覆率 3.0%)	type(C,wall),relation(C,i_attach,top,D,E).
規則 -4:	placement(A) :- relation(A,i_attach,root,B,C), (被覆率 2.7%)	relation(C,bend_attach-1,root,D,E).
規則 -5:	placement(A) :- relation(A,i_attach,top,B,C),type(C,wall), (被覆率 2.7%)	relation(C,i_attach,root,D,E),type(E,wall).
規則 -6:	placement(A) :- relation(A,i_attach,top,B,C), (被覆率 2.7%)	relation(C,li_detach-r,root,D,E),type(E,wall).
規則 -7:	placement(A) :- relation(A,close,none,B,C),type(C,mat), (被覆率 2.5%)	relation(C,close,none,D,E),type(E,furniture).
規則 -8:	placement(A) :- relation(A,bend_attach-1,root,1,B), (被覆率 2.2%)	relation(B,bend_attach-1,root,C,D).
規則 -9:	placement(A) :- relation(A,bend_attach-1,root,B,C), (被覆率 2.2%)	relation(C,irregular,left_face,D,E),type(E,wall), relation(E,bend_attach-r,root,F,G).

図10 非建築グループの共通規則（被覆率が上位5番までの規則を抜粋）

体関連モデルで表現したもの、および規則に対応する実際の物体配置を図11および図12に示す。以下に、各グループの共通特徴を記す。

建築グループの共通特徴。 規則 -1では、平行を

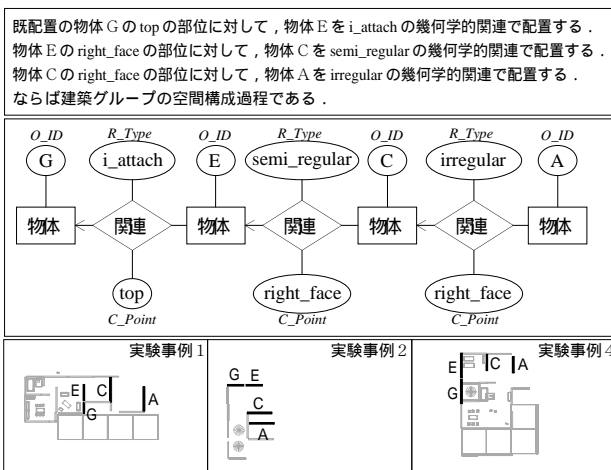


図 11 規則 -1 の直訳 (上) 実体関連モデル表現 (中) 規則に対応する実際の物体の配置 (下) (グレーの物体は物体 A が配置された時点で既に配置されていた物体を表す)

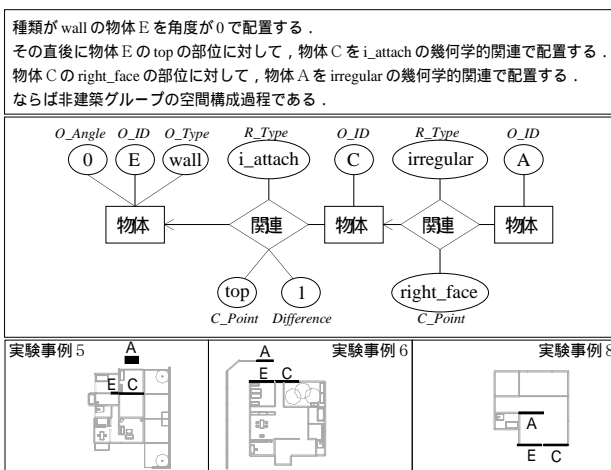


図 12 規則 -1 の直訳 (上) 実体関連モデル表現 (中) 規則に対応する実際の物体の配置 (下)

表す関連の種類 irregular および semi_regular が言及されている。物体を互いに平行に配置することにより、層状を構成することが特徴であると考えられる。規則 -3 から類似の特徴を読みとれる。

規則 -2,3,5,6 では、いずれも物体の角度 90 が言及されている。被験者に対して直交する方向に物体を配置することにより空間を構成することが特徴であると考えられる。

規則 -1,2,3,4,6 では、いずれも irregular, close, li_detach-r, isolation 等の物体が隣接せずに分離した状態を表す幾何学的関連が言及されている。物体を分離させつつ、空間を構成することが特徴であると考えられる。

非建築グループの共通特徴。規則 -1 において言及される物体は、すべて角度 0 であることが示されている。建築グループの特徴 に対し、物体を角度 0、つまり被験者自身に物体が正対するように配置することが特徴であると考えられる。

規則 -2,3,4,5,8 規則で言及される幾何学的関連

の種類は、すべて i_attach や bend_attach-l 等の、物体の端点同士が隣接する状態を表すものである。建築グループの特徴 に対して、物体の端点を隣接することにより空間を構成することが特徴であると考えられる。

8. 結論

本論では、ILP を建築におけるデザインプロセスの分析に応用した .KK 法による空間構成過程を、物体とその間の幾何学的関連、およびそれらの属性から成る ER データとしてモデル化した。空間構成過程を表記するための空間記述言語を設計し、一階述語論理で記述する方法を提案した。空間構成過程を CAD 上に再現したデータから、空間記述言語表記を自動的に生成し、そこから、空間構成過程のパターンを発見するシステムを提案した。データマイニングエンジンとして、ILP システムの一つである Progol を採用した。

建築を専攻している大学生、および建築とは無関係の大学生を対象とした KK 法の実験結果を用いて、提案したシステムによる学習実験を行った。得られた規則の被覆率は高くはなかったが、規則から、層状の構成、物体の非隣接による構成、被験者に直交する構成(建築グループ)、被験者に正対する構成、物体の隣接による構成(非建築グループ)等の両グループの空間把握の違いを示唆するパターンを得ることができた。今回の学習実験により、特殊な実験道具や熟練した分析者なしで、デザインプロセスの傾向を知ることが可能であること、さらに、人手による分析では、分析困難な対象からも、意味ある傾向を発見可能であることを示した。

参考文献

- [1] Piaget, J., Inhelder, B., (滝沢武久 訳):「現代心理学 VII 知能と思考」, 白水社, (1972)
- [2] 皆藤 章:「風景構成法 その基礎と実験」, 清信書房 (1994)
- [3] Schulz, C. N., (加藤邦男 訳):「実存・建築・空間」, 鹿島出版会 (1973)
- [4] Bollnow, O. F., (大塚恵一 訳):「人間と空間」, せりか書房 (1978)
- [5] 岡崎甚幸 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] 津本周作, 田中博: データマイニングの医療応用, 人工知能学会誌, Vol.12, No.4, pp.536-543 (1997)
- [7] 尾尾雅之, 清水周一: 流通業におけるデータマイニング, 人工知能学会誌, Vol.12, No.4, pp.528-535 (1997)
- [8] J. R. Quinlan, C4.5: Programs for Machine Learning, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA (1993)
- [9] 嶋津恵子, 古川康一: データベースからの知識発見システム DB-Amp, 人工知能学会誌, Vol.15, No.4, pp.629-637 (2000)
- [10] Muggleton, S: Inverse Entailment and PROGOL, New Generation Computing, 13, pp.245-286 (1995)
- [11] 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)