原著論文

形式概念分析と数量化理論第Ⅲ類を用いた 包含・相関関係同時可視化システムの開発

島田 雄生*, 原田 利宣**

* 和歌山大学大学院, ** 和歌山大学

Development of Simultaneous Inclusion and Correlation Visualization System Using Formal Concept Analysis and Quantification Theory Class III

Yusei SHIMADA* and Toshinobu HARADA**

* Graduate School of Wakayama University, 930 Sakaedani, Wakayama-shi, Wakayama 640-8510, Japan

** Wakayama University, 930 Sakaedani, Wakayama-shi, Wakayama 640-8510, Japan

Abstract : In recent years, while data mining has attracted attention, formal concept analysis has the disadvantage that although it can understand the inclusion relation between attributes, it doesn't know what kind of meaning or inclusion relation the attributes have. Therefore, in this study, the inclusion of the attributes and the visualization of the correlation are realized by combining the Hasse diagram by formal concept analysis and the layout diagram of the attribute of quantification theory type III for visualizing the meaning between the attributes. Moreover, in order to confirm usefulness of the proposed method, we developed a simultaneous visualization system of inclusion and correlation combining formal concept analysis and quantification theory type III, and evaluated the proposed method using verification data. As a result, it was confirmed that useful information that can't be obtained only by formal concept analysis or quantification theory type III can be extracted.

Keywords : Data mining, Visualization system, Conceptual construction, Formal concept analysis, Quantification theory III

1. は じ め に

データマイニングとは、収集した大量のデータを解析することで、項目間に見られる規則性や関連性などの利用可能な知識を抽出する技術の総称である。特にビジネスにおいては、収集した大量のデータを分析し、それによって得られる知見を活用することが不可欠になりつつある [1]。また、データマイニングはいまだ発展途上の分野であるが、一方でそのニーズは非常に高まっている [2]。しかし、データマイニングで扱うデータが大きくなるにつれて、そこから得られる知見も膨大なものとなるため、データマイニングにおいては、データの分析のみならず、分析結果を簡潔に表現することも求められる。

このようなデータマイニングに利用される分析手法の中に形式概念分析という分析手法がある。形式概念分析とは、ハッセ図による属性間の包含関係を主にした概念構造 (概念間の包含関係や、ある概念が他の概念にもたらす影響など) の可視化が可能な分析手法であり、元データでは一目で把握できないデータ同士の関係性を直観的に可視化することができるという特徴がある。そのため、データをより理解しやすい形にするという点において、形式概念分析は非常に優れている分析手法であるといえる。しかし、形式概念分析は属性間の包含関係はわかるが、属性間でどのような意味性の中、包含関係をもつのかはわからないという欠点が存在する。

そこで本研究では、このような欠点を改善するために、形式概念分析に数量化理論第Ⅲ類を組み合わせ、新たな分析手法の提案を行う。また、提案した分析手法をもとにデータマイニングシステムを開発し、そのシステムを使用して実際に分析を行い、形式概念分析のみを用いた分析結果と比較することで提案手法の有用性を検証する。

数量化理論第Ⅲ類を用いた理由は、属性間の意味性の視覚化を行うことができ、この利点によって形式概念分析の欠点を補うことができると考えられるためである。なお、本稿は提案した分析手法の基礎的な評価を目的としているため、提案した手法と形式概念分析の比較では、書籍や論文から引用した比較的簡単な内容のデータを分析対象のモデルケースとして使用している。

次に、形式概念分析および数量化理論第Ⅲ類に関する既存研究を示す。

(1) 形式概念分析を用いた手法の提案

酒匂らは、形式概念分析とラフ集合を用いた分析手法を提案し、それを行うシステムを開発することで、分析手法の有用性を検証した [3]。澤勢らは、形式概念分析を機械学習に応用し、画像検索結果構造可視化システムを提案した [4]。形式概念分析の技術を Web ページクラスタリング手法に用いる研究もされている [5]。

(2) 数量化理論第Ⅲ類を用いた手法の提案

森らは、数量化理論第Ⅲ類を用いてスギ花粉飛散動態の分析を行った [6]。向日らは、数量化理論第Ⅲ類を用いて人と情報システムとの関係を調査した [7]。

以上に示すとおり、形式概念分析あるいは数量化理論第Ⅲ類単体を拡張した手法や、他の分析手法と組み合わせた手法を提案する研究はあるが、両者を組み合わせた手法が提案された例はない。また、ハッセ図と布置図の双方を組み合わせて、3次元座標面上にグラフを描画しようと試みた例もない。本研究における研究領域は、これら2分野を複合したものであるといえる。

2. 使用する分析手法の解説

2.1 形式概念分析の概要

形式概念分析は、1982年にドイツのR.Willeによって束論をもとにして提唱された。この分析法は、分析対象が持つ属性を概念とし、概念間の半順序関係をハッセ図によって視覚化することができる。形式概念分析には、任意の名義尺度、順序尺度を分析対象として扱うことができる点や概念間の関係を、数値データを用いることなく表現できるため、分析対象がもっている情報の多様性を失わず、客観的な分析結果を得られる点などの利点がある[8]。

形式概念分析は、分析対象となるオブジェクトおよびオブジェクトが有する属性からなる属性表、あるいはコンテキスト表をあつかう。表1に属性表の例として、書籍「Introduction To Lattices And Order」より抜粋した属性表を示す[9]。表の左端にある「水星」、「金星」、…、「冥王星」はサンプルと呼ばれ、分析対象となる各惑星をあらわす。また、表の上端にある「大きさ」、「太陽からの距離」などを属性と呼ぶ。「小」や「近い」などの要素は属性値と呼ばれ、各属性がとっている実際の値を示す。

形式概念分析においては、属性表よりもコンテキスト表（クロス表）と呼ばれる表が用いられる場合が多い。表2にコンテキスト表の例を示す。表の左端にある「水星」、「金星」、…、「冥王星」はオブジェクトと呼ばれ、分析対象となる各惑星をあらわす。また、表の上端にある「大きさ：小」や「距離：近い」などを属性と呼ぶ。属性より下のセルは、オブジェクトがその列に対応する属性をもっている場合は「×」が記入され、持っていない場合は空白となる。属性表はコンテキスト表に変換することが可能であり、表2のコンテキスト表は表1の属性表を変換したものである。コンテキスト表から求めた属性およびオブジェクトの包含関係からなる概念構造を、概念束あるいはコンセプトラティスと呼び、形式概念分析でははじめにこの概念束を求める。概念束は、コンテキスト表におけるすべての属性、および属性の組み合わせに対する外延と、それに対応する内包を抽出することによって求めることができる。

さらに、コンテキスト表中から各属性に対応する外延を抽出し、さらにそれらの外延どうしの積集合を求めることで、オブジェクトの集合、属性の集合、それら集合間に成り立つ関係の3つの要素からなる形式概念を求める。表2から求めた形式概念を表3に示す。ここで、表3における「[]」は空集合を意味する。

表1 属性表の例

	属性		
	大きさ	太陽からの距離	衛星の有無
水星	小	近い	無
金星	小	近い	無
地球	小	近い	有
火星	小	近い	有
木星	大	遠い	有
土星	大	遠い	有
天王星	中	遠い	有
海王星	中	遠い	有
冥王星	小	遠い	有

サンプル

属性表

表2 コンテキスト表の例

	属性						
	小	中	大	近い	遠い	無	有
水星	×			×		×	
金星	×			×		×	
地球	×			×			×
火星	×			×			×
木星			×		×		×
土星			×		×		×
天王星		×			×		×
海王星		×			×		×
冥王星	×				×		×

オブジェクト

表3 形式概念の一覧

通番	内包	外延
0	[]	[水星,金星,地球,火星,木星,土星,天王星,海王星,冥王星]
1	[有]	[地球,火星,木星,土星,天王星,海王星,冥王星]
2	[小]	[水星,金星,地球,火星,冥王星]
3	[有, 小]	[地球,火星,冥王星]
4	[遠い]	[木星,土星,天王星,海王星,冥王星]
5	[小, 遠い]	[冥王星]
6	[近い]	[水星,金星,地球,火星]
7	[有, 近い]	[地球,火星]
8	[遠い, 有, 近い]	[]
9	[中]	[天王星,海王星]
10	[大]	[木星,土星]
11	[無]	[水星,金星]

形式概念はそれぞれが有している外延の間に包含関係があり、この包含関係にもとづいて、他の形式概念を包含しているものを上位、他の形式概念に包含されているものを下位とした階層的順序を定めることができる。

概念束を構成する形式概念は半順序関係を持っているためハッセ図として表すことができる。ハッセ図とは、半順序集合をノードとリンクによって図で示したものである。コンテキスト表から求めた概念束をハッセ図上に示したものが形式概念分析の最終的な分析結果となる。表2のコンテキスト表から描画したハッセ図を図1に示す。

続いて、ハッセ図の読み取り方について説明する。ハッセ図上の各ノードは形式概念を表しており、各形式概念はコンテキスト表における属性とそれに属するオブジェクトからなる。

形式概念分析と数量化理論第Ⅲ類を用いた包含・相関関係同時可視化システムの開発

図1 ハッセ図

リンクはノードどうしの包含・被包含関係、正確に言えばノードに対応する形式概念の外延どうしの包含・被包含関係を示しており、図において上位に位置しているノードが下位に位置しているノードを包含している[3]。例えば、図1における6番ノードと11番ノードがリンクで繋がっているが、これは2つのノードが包含、被包含関係にあることを示している。図1では「太陽からの距離：近い」の属性を持つ6番ノードが「衛星の有無：無」の属性を持つ11番ノードの上位に位置しているため、「衛星を持たない惑星は必ず太陽からの距離が近い」というオブジェクトの共通性にもとづいた属性間関係性を読み取ることができる。このように形式概念分析では、ハッセ図により属性の包含関係を読み取ることが可能である。

2.2 数量化理論第Ⅲ類の概要

数量化理論は林知己夫によって開発された、多次元データを数量化して分析するための手法であり、分析の目的によって、第Ⅰ類から第Ⅵ類までの手法が存在する[10]。数量化理論第Ⅲ類は、目的変数(外的基準)がなく、説明変数(アイテム・カテゴリ)が質的変数で与えられるデータに対して、数多くある観察変数(説明変数)からいくつかの潜在変数を見出す手法である。その潜在変数における各サンプル、カテゴリの得点から、各サンプル、カテゴリの相関を調べることができる。潜在変数を見出す関係式における観察変数のウェイトを用いて観察変数の相関を調べ、ウェイトをカテゴリスコア、サンプルの得点をサンプルスコアとして算出する。

数量化理論第Ⅲ類は、分析対象となるサンプルおよびサンプルが有するアイテム・カテゴリからなるアイテム・カテゴリ表をあらかじめ分析を行う。表4にアイテム・カテゴリ表の例として、書籍「Introduction To Lattices And Order」より抜粋したデータをアイテム・カテゴリ表に直したものを示す[9]。表の左端にある「水星」、「金星」、…、「冥王星」はサンプルと呼ばれ、分析対象となる各惑星をあらわす。また、表の上端にある「大きさ」、「太陽からの距離」などをアイテムと呼び、「小」や「近い」などの要素はカテゴリと呼ばれる。サンプルがカテゴリに反応した場合、アイテム・カテゴリ表の該当する欄に「×」がつき、反応がなかった場合は無印となっている。

表4 アイテム・カテゴリ表

	属性						
	大きさ			太陽からの距離		衛星の有無	
	小	中	大	近い	遠い	無	有
水星	×			×		×	
金星	×			×		×	
地球	×			×			×
火星	×			×			×
木星			×		×		×
土星			×		×		×
天王星		×			×		×
海王星		×			×		×
冥王星	×				×		×

サンプル

図2 1-3軸のカテゴリマップ

このアイテム・カテゴリ表を用いて、サンプルスコア、カテゴリスコアの算出を行い、そのスコアを2次元座標面に布置することで描画される図が布置図(サンプルスコアマップ、カテゴリスコアマップ)である。布置図を描画することで、サンプルやカテゴリの意味性の視覚化を行うことができる。例として、表4のアイテム・カテゴリ表を用いて数量化理論第Ⅲ類の分析を行った結果、1-3軸のカテゴリマップ(布置図)は図2のように描画された。

図2を用いて、布置図の読み取り方を説明する。はじめに、カテゴリマップから、それぞれの軸の解釈を行う。例えば、第1軸は「太陽系の惑星の順番を表す軸」、第3軸は「衛星の有無を表す軸」というように解釈することができる。この軸の解釈をそれぞれの軸について行い、軸ごとに布置されているカテゴリ、サンプル間の距離によってそれぞれの意味性の中で相関が求まり、布置されている位置が近いと相関があり類似性をもつと解釈できる。例として、図2のカテゴリマップ上で、カテゴリ「小」と「近い」は近い位置に布置されていることから相関をもつことがわかる。よってこの2つのカテゴリは、「太陽系の中でも太陽に近い惑星」という意味性の中で相関関係にあるといえる。また、軸を変更して布置図を描画することで、様々な意味性の中での相関関係が視覚化され、データ全体の相関関係を簡単に把握することができる。

表5 形式概念分析と数量化理論第Ⅲ類の特徴

	形式概念分析	数量化理論第Ⅲ類
分析対象のデータ	属性表	アイテム・カテゴリ表
得られる分析結果	ハッセ図	布置図
特徴	すべての属性間の包含関係の視覚化が可能	特徴の似通ったカテゴリーやケースを見つけ出す

2.3 形式概念分析と数量化理論第Ⅲ類の組み合わせ

形式概念分析と数量化理論第Ⅲ類の特徴を表5に示す。前述のとおり、形式概念分析があつかう属性表、コンテキスト表は、分析対象のサンプルおよびサンプルがもつ属性からなる。また、数量化理論第Ⅲ類があつかうアイテム・カテゴリ表は、分析対象のサンプルおよびサンプルがもつカテゴリからなる。これらのことにより、形式概念分析であつかうコンテキスト表と数量化理論第Ⅲ類であつかうアイテム・カテゴリ表は同じ形式で表すことができることから、同一の分析対象に対して形式概念分析と数量化理論第Ⅲ類を同時に実行することが可能である。本研究で提案する分析手法は、これを利用して、分析対象を形式概念分析および数量化理論第Ⅲ類にかけ、形式概念分析によって得られたハッセ図と数量化理論第Ⅲ類で得られたカテゴリスコアの布置図を組み合わせることで、両方の分析結果を単一の図の上で可視化できるようにしたものである。

形式概念分析によるハッセ図は、属性間の包含・被包含関係を読み取ることができるが、その包含・被包含関係の意味性までを読み取ることができない。そこで数量化理論第Ⅲ類によるカテゴリスコアの布置図を用いることで、相関関係を持つ属性を見つけ出し、布置図の軸の解釈を行うとともにどのような意味性の中で包含関係をもつかを探ることで、属性の包含と相関関係の視覚化を図る。形式概念分析と数量化理論第Ⅲ類を組み合わせることで得られる利点として、属性間の包含関係と意味性の視覚化を同一の図上で行うことにより形式概念分析のみでは知りえない新たな知見を見出すことができる点が考えられる。

3. 包含・相関関係同時可視化システムの解説

3.1 システムの概要

前章で提案した手法をもとに、形式概念分析と数量化理論第Ⅲ類を組み合わせた分析を行うことができる包含・相関関係同時可視化システムを開発した。開発言語は、高速に行列計算ができるNumpyがライブラリで搭載されている点などからPythonと、ブラウザ上でのグラフビジュアライゼーションに優れている点などからJavascriptを使用した。本研究で提案する手法のフローチャートを図3に示す。本手法は、分析対象データを形式概念分析と数量化理論第Ⅲ類により分析し、それぞれの分析結果を統合する手法である。具体的には、同様のデータに対し、形式概念分析によるハッセ図を描画するアルゴリズム、数量化理論第Ⅲ類による布置図を描画するアルゴリズムを実行する。その後、それぞれ2次元

図3 提案手法のフローチャート

で描画された図同士を合成させ、 x - y - z 座標で表した3次元空間で包含・相関関係の同時可視化を行った図を描画する。ここでは、 x - z 座標面を正面図、 y - z 座標面を側面図、 x - y 座標面を平面図とする。 x 軸にカテゴリスコアの a 軸、 y 軸にカテゴリスコアの b 軸（ $a < b$ ）、 z 軸にハッセ図におけるそれぞれのノードの階層の値を割り振ることによって3次元空間に図を描画する。これによって、正面図、および側面図にハッセ図、平面図に数量化理論第Ⅲ類によるカテゴリスコアの布置図が見られる。これを包含・相関関係同時可視化システムと呼称する。

3.2 システムの機能

開発したシステムを用いて表1の属性表を分析した結果を図4に示す。図4を例に本システムの機能の説明を行う。

図4における緑色のノードは、形式概念において、内包、または外延が空集合であるノードを意味している。表3より、図4での通番が「0」のノードは内包が、通番が「8」のノードは外延が空集合のため、これらのノードは緑色に着色されている。また、形式概念における内包を通番の若い順から見ていった場合、内包に新規の属性が含まれるものは包含・相関関係同時可視化システムにおいて青色のノードで表される。例えば、図4の通番が「4」のノードは「太陽からの距離が

図4 包含・相関関係同時可視化システム

形式概念分析と数量化理論第Ⅲ類を用いた包含・相関関係同時可視化システムの開発

遠い」という属性を持っており、「太陽からの距離が近い」という属性は、表3より、内包を通番の若い順から見ていった場合、通番が「4」の内包に初めて集合を持つので、この「4」のノードは青色で描画されている。逆に、形式概念における内包を通番の若い順から見ていった場合、内包に新規の属性が含まれないものは、包含・相関関係同時可視化システムにおいて黄色のノードで表される。

このように、ノードを色で分類した理由は、包含・相関関係同時可視化システムの平面図にて、青色のノードのみに着目すると、数量化理論第Ⅲ類の結果得られたカテゴリスコアの布置図として見る事ができるからである。また、包含・相関関係同時可視化システムを正面図、および側面図から見ると、形式概念分析の結果得られたハッセ図が見られる。本システムの平面図を図5、正面図を図6に示す。また、包含・相関関係同時可視化システムは軸切り替えボタンによって、x軸、y軸のカテゴリスコアの値を変更することで布置図の軸を切り替えて表示することが可能である。

次に包含・相関関係同時可視化システムの読み取り方について図4を例として説明する。図4における「大きさ：小」と「太陽からの距離：近い」の属性を持つ2つノードに着目する。まず、図6の正面図（ハッセ図）から読み取れるように、

図5 包含・相関関係同時可視化システムの平面図

図6 包含・相関関係同時可視化システムの正面図

この2つの属性は包含関係を持ち、「大きさ：小」という属性は「太陽からの距離：近い」という属性を包含している。つまり「太陽からの距離」が「近い」惑星は必ず「大きさ」が「小さい」ことがこの図からわかる。また、図5の平面図（1-3軸のカテゴリスコアの布置図）において「大きさ：小」と「太陽からの距離：近い」の2つの属性は、近い位置に布置されていることから、相関をもつことがわかる。これらのことから、「大きさ」が「小さい」惑星と、「太陽からの距離」が「近い」惑星は、軸の解釈において相関関係にあり、また、ハッセ図から、太陽からの距離が近い惑星は必ず、惑星の大きさが小さいことが読み取ることができる。したがって、これらの2つの属性の包含関係、相関関係の同時視覚化を行うことができた。このようにして、包含・相関関係同時可視化システムを読み取ることができる。

4. 提案手法を用いた分析および考察

4.1 分析方法の概要

提案した分析手法の有用性を検証するため、評価実験を行った。評価実験では、はじめに既存の論文や文献に掲載されているテストデータに対し、提案した手法を用いた分析を行い、その分析結果に対して考察を行う。最後に、分析したデータに対し、形式概念分析あるいは数量化理論第Ⅲ類を単体で用いた分析結果と提案手法を用いた分析結果を比較し、双方の分析結果の違いを検討する。提案手法を用いた分析結果からのみ得ることができる情報があれば、今回の提案手法は既存の分析手法からは得られない情報を抽出することができ、有用であるといえる。

4.2 分析結果の比較および考察

(1) スポーツカーの現状分析

分析対象として、書籍「コンセプトデザイン」[11]において使用された「スポーツカーの現状分析」のデータを使用する。このデータは、数量化理論第Ⅲ類プログラムへの入力データ例として利用された属性値データである。この属性値データ表を表6に示す。

表6 スポーツカーの現状分析データ

	エンジン	駆動方式	サスペンション	タイプ	車重クラス
GT-R	直6	4WD	マルチリンク	ノッチバック	1.3 t↑
シルビア	直4	2FR	マルチリンク	ノッチバック	1.3 t↓
Z	V6	2FR	マルチリンク	ハッチバック	1.3 t↑
スープラ	直6	2FR	ダブルウィッシュボーン	ハッチバック	1.3 t↑
セリカ	直4	2FR	ストラット	ハッチバック	1.3 t↓
MR2	直4	2MR	ストラット	ノッチバック	1.3 t↓
トレノ	直4	2FF	ストラット	ハッチバック	1.3 t↓
RX-7	RE	2FR	マルチリンク	ハッチバック	1.3 t↓
ロードス	直4	2FR	ストラット	ノッチバック	1.3 t↓
コスモ	RE	2FR	ダブルウィッシュボーン	ノッチバック	1.3 t↑
GTO	V6	4WD	ダブルウィッシュボーン	ハッチバック	1.3 t↑
NSX	V6	2MR	ダブルウィッシュボーン	ノッチバック	1.3 t↑
プレリユ	直4	2FF	ダブルウィッシュボーン	ノッチバック	1.3 t↓
CR-X	直4	2FF	ダブルウィッシュボーン	ノッチバック	1.3 t↓

図7 ハッセ図 (スポーツカーの現状分析)

(i) ハッセ図からの読み取り

表6のデータを包含・相関関係同時可視化システムで分析した結果得られた正面図(ハッセ図)を図7に示す。図7より、ハッセ図からいくつかの属性の包含が読み取ることができる。例として、「エンジン」の「RE」は「駆動方式」の「2FR」に包含されている。これは、データ内の「エンジン」が「RE」のスポーツカーは、必ず「駆動方式」が「2FR」であることを示している。また、「エンジン」の「V6」、「直6」、「駆動方式」の「4WD」は「車重クラス」の「1.3t↑」に包含されていることから、データ内の「エンジン」が「V6」、「直6」、「駆動方式」が「4WD」のスポーツカーは、必ず「車重クラス」が「1.3t↑」であることがわかる。これら以外にも、ハッセ図により様々な包含関係を読み取ることができる。

(ii) 布置図からの読み取り

表6のデータを包含・相関関係同時可視化システムで分析した結果得られた平面図(1-2軸の布置図)を図8に示す。図8より、カテゴリスコアの1-2軸の布置図から軸の解釈と、それに基づくいくつかの属性の相関関係が読み取ることができる。軸の解釈として、第1軸は車格(車のグレードの高さ)を、第2軸はFR系のスポーツカーかMR系のスポーツカーかを指標にされた軸であると読み取ることができる。また、属性の相関関係の例として、図8の右側に描画されている「車重クラス」の「1.3t↓」、「エンジン」の「直4」、「サスペンション」の「ストラット」、「駆動方式」の「2FF」は、布置図上で近くに布置されていることから、相関をもつことが読み取れる。しかし、これらは第2軸の視点から見ると、中心付近に布置されているので、第1軸の意味性を強くもっている。よって、これらの属性は、1軸の「車格高⇄低」の中の「車格が低い」という意味性の中で相関関係にあることがわかる。

図8 1-2軸の布置図 (スポーツカーの現状分析)

(iii) 包含をもつ属性間の意味性の読み取り

(ii)で属性の相関関係の例として取り上げた「車重クラス」の「1.3t↓」、「エンジン」の「直4」、「サスペンション」の「ストラット」、「駆動方式」の「2FF」は、ハッセ図から包含関係をもっていることがわかる。「サスペンション」の「ストラット」、「駆動方式」の「2FR」は「エンジン」の「直4」に包含されており、さらに、「エンジン」の「直4」は「車重クラス」の「1.3t↓」に包含されている。よって、包含・相関関係同時可視化システムより、これらの属性は「車格高⇄低」の中の「車格が低い」という意味性の中で、包含関係をもっていると考えられる。同様に、「駆動方式」の「2FR」と「エンジン」の「RE」も包含関係をもっており、1-2軸の布置図上でも近い位置(図8の上側)に布置されていることから、相関関係にあることが読み取れる。よって、包含・相関関係同時可視化

形式概念分析と数量化理論第Ⅲ類を用いた包含・相関関係同時可視化システムの開発

図9 1-5軸の布置図(スポーツカーの現状分析)

システムより、これらの属性は1軸の「車格高⇔低」、2軸の「FR系⇔MR系」の中の「車格がやや高いFR系のスポーツカー」という意味性の中、包含・相関関係をもっていると考えられる。以上から、包含・相関関係同時可視化システムによって、属性間でどのような意味性の中、包含関係をもつかを検討することができた。次に、「タイプ」の「ノッチバック」と「駆動方式」の「2MR」の2つの属性に着目すると、この2つの属性はハッセ図より、包含関係をもっていることがわかり、「駆動方式」の「2MR」は「タイプ」の「ノッチバック」に包含されていることが読み取れる。しかし、図8の1-2軸の布置図より、「タイプ」の「ノッチバック」と「駆動方式」の「2MR」は近い位置に布置されておらず、相関をもっていないことがわかる。ここで、1-2軸で描画していた布置図を違う軸を用いて描画してみる。カテゴリスコアの1-5軸の布置図を図9に示す。図9より、カテゴリスコア1-5軸の布置図では「タイプ」の「ノッチバック」と「駆動方式」の「2MR」は近い位置(図9の下側)に布置されているため、この2つの属性は1-5軸の布置図において相関関係にあるといえる。軸の解釈として、第1軸は先ほどと同じく、車格を、第5軸は高出力車の中でもエンジンがV6か直6かを表す軸であると読

み取ることができる。よって、「タイプ」の「ノッチバック」と「駆動方式」の「2MR」は、1軸の「車格高⇔低」、5軸の「V6⇔直6」の中の「車格がやや高く、直6のエンジンを搭載しているスポーツカー」という意味性の中、包含関係をもっていると考えられる。このように、布置図の軸を変えることで、包含関係の意味性が見えてくる場合がある。これらのことを踏まえて、包含・相関関係同時可視化システムから、属性間でどのような意味性の中、包含関係をもつかを検討できる。これは形式概念分析や数量化理論第Ⅲ類単体では検討することは難しく、提案手法の有用性を示している。

(2) 自動車の形態要素とイメージの分析

2つ目の分析対象データとして、表7の「自動車のイメージの分析データ」をあげる。これは、森らの研究[12]においてラフ集合分析に使用された決定表から決定属性を削除し、さらにその一部を抜粋したものである。

(i) ハッセ図からの読み取り

表7のデータを包含・相関関係同時可視化システムで分析した結果得られた正面図(ハッセ図)を図10に示す。図10より、ハッセ図からいくつかの属性の包含が読み取ることができる。例として、「ラジエータグリル」の「なし」は「HLの回り込み」の「なし」に包含されている。これは、データ内の

表7 自動車の形態要素とイメージ

	丸み	キャビンとボデー	ラジエータグリル	ヘッドランプ	HLの回り込み
Integra	中間	分割型	なし	丸か曲線	なし
Prelude	丸い	半融合型	小さい	丸か曲線	あり
silvia	中間	分割型	小さい	なし	あり
500	丸い	半融合型	小さい	丸か曲線	あり
Supra	丸い	半融合型	なし	丸か曲線	なし
Diamante	角ばり	分割型	目立つ	丸か曲線	あり
Micra	丸い	一体化型	小さい	丸か曲線	なし
850i	中間	分割型	小さい	長方形	あり
620si	中間	半融合型	目立つ	なし	あり
Eldorado	角ばり	半融合型	目立つ	なし	あり
Coupe S	丸い	一体化型	目立つ	丸か曲線	なし
456 GT	丸い	半融合型	なし	長方形	なし
Grand AM	中間	分割型	目立つ	丸か曲線	なし

図10 ハッセ図(自動車の形態要素とイメージ)

図11 1-2軸の布置図(自動車の形態要素とイメージ)

「ラジエータグリル」が「なし」の自動車は、必ず「HLの回り込み」が「なし」であることを示している。また、「丸み」の「角ばり」は「HLの回り込み」の「あり」、「ラジエータグリル」の「目立つ」のそれぞれに包含されていることから、データ内の「丸み」が「角ばり」の自動車は、必ず「HLの回り込み」が「あり」かつ「ラジエータグリル」が「目立つ」という特徴をもつ。これら以外にも、ハッセ図により様々な包含関係を読み取ることができる。

(ii) 布置図からの読み取り

表7のデータを包含・相関関係同時可視化システムで分析した結果得られた平面図(1-2軸の布置図)を図11に示す。図11より、カテゴリスコアの1-2軸の布置図から軸の解釈と、それに基づくいくつかの属性の相関関係を読み取ることができる。軸の解釈として、第1軸はスポーツカー系か乗用車系かを、第2軸はラジエータグリルの目立ち度を指標にした軸であると読み取ることができる。また、属性の相関関係の例として、図11の右下に描画されている「ラジエータグリル」の「目立つ」と「丸み」の「角ばり」は布置図上で近くに布置されていることから、相関をもつことが読み取れる。よって、これらの属性は1軸の「スポーツカー⇔乗用車」、2軸の「ラジエータグリルの目立ち度」の中の「ラジエータグリルが目立つスポーツカー系の車」という意味性の中で相関関係にあることがわかる。また、図11の右上に描画されている「キャビンとボデー」の「分割型」と「丸み」の「中間」も布置図上で近くに布置されていることから、相関をもつことが読み取れる。

(iii) 包含をもつ属性間の意味性の読み取り

(ii)より、「ラジエータグリル」の「目立つ」と「丸み」の「角ばり」は1-2軸の布置図より相関関係にあることがわかる。また、(i)より、「ラジエータグリル」の「目立つ」と「丸み」の「角ばり」は包含関係にあることもわかる。よって、包含・相関関係同時可視化システムより、これらの属性は「ラジエー

図12 1-3軸の布置図(自動車の形態要素とイメージ)

タグリルが目立つスポーツカー系の車」という意味性の中、包含関係をもっていると考えられる。したがって、包含・相関関係同時可視化システムによって、属性間でどのような意味性の中、包含関係をもつかを検討することができた。次に、「HLの回り込み」の「なし」と「キャビンとボデー」の「一体化型」の2つの属性に着目すると、この2つの属性はハッセ図より、包含関係をもっていることがわかり、「キャビンとボデー」の「一体化型」は「HLの回り込み」の「なし」に包含されていることが読み取れる。しかし、図11の1-2軸の布置図より、「HLの回り込み」の「なし」と「キャビンとボデー」の「一体化型」は近い位置に布置されておらず、相関をもっていないことがわかる。ここで、カテゴリスコアの1-3軸の布置図に着目する。カテゴリスコアの1-3軸の布置図を図12に示す。図12より、カテゴリスコア1-3軸の布置図では「HLの回り込み」の「なし」と「キャビンとボデー」の「一体化型」は近い位置(図12の左上)に布置されているため、この2つの属性は1-3軸の布置図において相関関係にあるといえる。軸の解釈として、第1軸は先ほどと同じく、スポーツカー系か乗用車系かを、第3軸はヘッドランプの回り込みのありなしを指標にした軸であると読み取ることができる。よって、「HLの回り込み」の「なし」と「キャビンとボデー」の「一体化型」は、1軸の「スポーツカー⇔乗用車」、3軸の「HLの回り込みあり⇔なし」の中の「ヘッドランプの回り込みがない乗用車系の車」という意味性の中、包含関係をもっていると考えられる。

以上より、相関関係の同時可視化システムから、属性間でどのような意味性の中、包含関係をもつかを検討できた。これは形式概念分析や数量化理論第Ⅲ類単体では検討することは難しく、提案手法の有用性を示している。

5. ま と め

本研究では以下に示す成果が得られた。

- (1) 形式概念分析と数量化理論第Ⅲ類を組み合わせ、ハッセ図とカテゴリスコアの布置図を融合させることで、包含・相関関係の同時可視化手法を提案した。

形式概念分析と数量化理論Ⅲ類を用いた包含・相関関係同時可視化システムの開発

- (2) 既存の形式概念分析や数量化理論Ⅲ類を用いた分析結果と、提案手法を使用した分析結果を比較し、提案手法の有用性を検証した。
- (3) その結果、本システムの分析結果からしか得られない包含・相関関係をいくつか得ることができた。また、グラフ上で属性間の包含と意味性を同時に可視化することができるため、形式概念分析、数量化理論Ⅲ類をそれぞれ単体で用いて分析を行うよりも容易に情報を抽出することができた。このことから、本研究で提案した分析手法は、数学的に定義された概念に基づき、データ分析を行う新たな手法として、有用性があると考えることができた。

また、今後の課題として以下のことがあげられる。

- (1) 現在のシステムを用いた提案手法では、入力されるデータの数が多くなるとシステムの処理速度が極めて遅くなるかつ、グラフの概念構造が複雑になり、可視化が困難にあるため、大規模なデータの分析には不向きである。そのため、アルゴリズムの再検討と、グラフの必要な部分以外を省略し、簡略化して描画する機能をシステムに組み込み、提案手法の再検討を行う必要がある。
- (2) 現在のシステムでは、手動で布置図の軸を切り替えて包含の意味性を模索しているが、この方法だと手間がかかり、分析に時間がかかってしまうので、自動で包含の意味性を探索する機能をシステムに組み込む必要がある。
- (3) 本研究では、属性(カテゴリ)間の包含・相関関係に着目して研究を行ったが、これらとサンプルとの関わりについてはまだ検討できていないので、引き続き研究を行う必要がある。

参 考 文 献

- [1] 藤巻遼平, 森永聡: ビッグデータ時代の最先端データマイニング, NEC技報, 65(2), pp.81-85, 2012.
- [2] Kolyshkina, I.: Actuary Australia, Institute of Actuaries of Australia, 90, p.14, 2004.
- [3] 酒匂一世, 原田利宣: ラフ集合と形式概念分析を用いた概念構造可視化システムの開発, デザイン学研究, 64(3), pp.11-20, 2017.
- [4] 澤勢一史, 延原肇: 大規模画像群のための形式概念分析に基づく束構造可視化システム, 知能と情報: 日本知能情報ファジィ学会誌, 21(1), pp.32-40, 2009.
- [5] Zhang, Z., Zhao, J., and Yan, X.: A web page clustering method based on formal concept analysis, MDPI AG, 28, pp.238-239, 2018.
- [6] 森繁人, 斎藤等, 伊藤聡久, 関瑞恵: 数量化理論Ⅲ類によるスギ花粉飛散動態分析, 耳鼻咽喉科臨床, 88(10), pp.1279-1285, 1995.
- [7] 向日恒喜, 植田真司, 村杉健, 宇井徹雄: 人と情報システムに関する数量化理論Ⅲ類による分析, 日本経営工学会, 日本経営工学会誌, 45(5), pp.472-478, 1994.
- [8] 長田博泰: 形式概念にもとづく質的分析, 社会情報, 14(1), pp.19-37, 2004.
- [9] 澤勢一史, 延原肇: 概念の接続情報に基づく束構造の複雑さの定量化, 日本知能情報ファジィ学会, 第27回ファジィシステムシンポジウム, pp.275-278, 2011.
- [10] 長本田正久, 島田一明: 経営のための多変量解析法, 山能大学出版部刊, pp.139-153, 1977.
- [11] 島田哲夫, 原田利宣: コンセプトデザインニングー企画・設計・評価への科学的アプローチ, 科学技術出版, pp.98-106, 1996.
- [12] 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, 東京工芸大学芸術学部紀要, 3, pp.35-38, 1997.

島田 雄生 (非会員)

2019年 和歌山大学システム工学部卒業。同年, 和歌山大学大学院システム工学研究科システム工学専攻博士前期課程入学。現在に至る。主として, 形式概念分析に関する研究に従事。

原田 利宣 (正会員)

1996年 千葉大学大学院自然科学研究科修士。工学(博士)。マツダ株式会社車両設計部, 日産自動車株式会社デザイン本部を経て, 1997年度 和歌山大学システム工学部助教授。2004年度より, 同教授。現在に至る。曲線(面)

の分析・創成手法開発やラフ集合を中心としたデザイン方法論の開発に従事。1996年 日本デザイン学会研究奨励賞受賞, 2004年 グッドデザイン賞受賞, 2002, 2004, 2005, 2010年 感性工学会出版賞など。