

(研究ノート)

## 因果概念束を用いた知識構造モデルの応用

— 運転免許学科試験問題への応用 —

鈴木 治

常葉大学 名誉教授

E-mail: osuzuki@an.wakwak.com

## The Application of Causal Concept Lattice to Knowledge Structural Model

— The Application to exam questions of Driver's License Tests —

Osamu SUZUKI

Professor Emeritus TOKOHA UNIVERSITY

E-mail: osuzuki@an.wakwak.com

### [目次]

1. はじめに
2. 因果概念束
3. 運転免許学科試験〇×問題への応用
4. 因果概念束による学科試験問題の解答プロセス
5. 今後の検討課題
6. 終わりに
7. 参考文献

### 要旨

2022年11月以来、生成AIは世界中を席卷している。しかしその反面、生成AIはその確率モデルが故に、正確性などの面で弱点も露呈した。本研究は、形式概念分析を応用した因果概念束を用いて、より人の思考過程に近い知識構造モデルを提案する。今回は運転免許学科試験の問題を例にとり、因果概念束の適用について検証を行う。

**キーワード**：形式概念分析、因果概念束、因果関係、知識構造モデル

### Abstract

Since November 2022, generative AI has been widely adopted worldwide. However, the probabilistic nature of generative AI has revealed weaknesses in terms of accuracy and other aspects. This study proposes a Knowledge Structural Model that closely aligns with human thought processes by applying Formal Concept Analysis to Causal Concept Lattice. In this research, we focus on the application of the Causal Concept Lattice to exam questions of Driver's License Tests and further validate its effectiveness.

**Keywords** : formal concept analysis, causal concept lattice, causal relationship, knowledge structural model

### 1. はじめに

本研究は人の思考過程に近い知識構造モデルとしての因果概念束を考案し、前回の研究報告では小学生の文章理解を例とした検証を行った。今回はこれをさらに発展させ、運転免許学科試験への応用を試みる。本研究では

運転法規における外延・内包要素の定義づけの検討からスタートし、学科教科書や問題文章を因果概念束に組込むためのツール開発や標識画像の認識など、多くの試行錯誤を経て今回の中間報告に至っている。

### 2. 因果概念束<sup>(1)(2)</sup>

ここでは因果概念束 (Causal Concept Lattice) による知識構造モデルの応用可能性を検証する。因果概念束は形式概念分析 (Formal Concept Analysis) を基礎とする概念束であり、明示的に因果関係を埋め込む点において、自然言語処理 AI の GPT (Generative Pretrained Transformer) などとは基本的にその方式が異なっている。図 1 に因果概念束のイメージを示す。この因果概念束は、属性の包含関係 (Implication Rule) やアソシエーションルール (Association Rule) の検出に加え、因果関係を明示的に概念束に組込むことにより、推論やアブダクション、概念の抽象化などの人の思考に近い知識構造を表現する特徴を有する。

本研究が扱う因果関係は、実験や論理展開によって得られた既知の知見を概念束に埋め込むものであり、それらの因果関係の証明等は本研究の目的とはしない。

図 1 に示す因果概念束のイメージ図において、●印は入力文章を形式概念分析を用いて Context (文脈) に変換したものであり、本研究ではこれを「演繹概念」と定義する。また、○印は、概念束における  $\cap$  内包構造により生成 (抽象化) されるものであり、「帰納概念」と定義する。また、図中の太い線分は概念間の因果関係を示し、下位から上位に向かって原因→結果を表す。

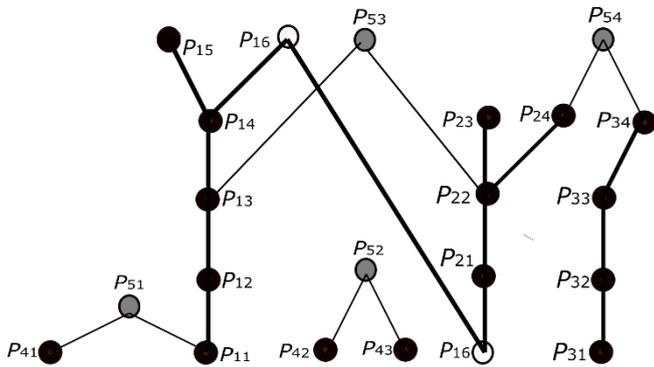
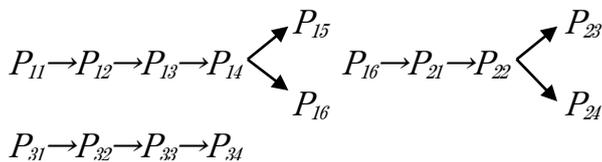
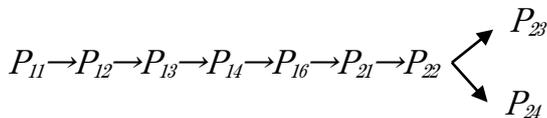


図1 因果概念束による知識表現のイメージ

例えば、図 1 は、次の因果関係、



を示す。また、同図の○印は、離散する因果関係の接続を意味し、例えば、図 1 では次の因果関係を表している。



これらの因果概念束に関する理論的考察は、『形式概念分析—入門・支援ソフト・応用—』及び『因果概念束にもとづく知識構造モデルの研究』に述べられている。

### 3. 運転免許学科試験〇×問題への応用<sup>(3)</sup>

本研究では、運転法規や運転免許学科試験問題に現れる文章をコンテキスト (Context) の外延と内包の組で表現し、その外延は「環境」、内包は「行動」とする形式概念 (Formal Concept) に変換される。ここで「環境」とは、例えば、交差点や信号機、踏切などの運転を取り巻く諸環境条件を指し、一方「行動」とは、例えば、「停止する」、「右折する」、「追い越す」などの運転行動を指すものとする。本研究は入力データとして、運転免許学科試験用教科書の文章を用いて因果概念束を生成している。その概念束の規模は今回、演繹概念は 2,834 個、帰納概念が 3,307 個の合計 6,141 個となった。なお、教科書は運転免許学科教本 (株)トヨタ名古屋教育センター著 令和 2 年 6 月 30 日) を用いているが、「標識・標示」及び「自動車の保守管理」の分野では用語説明が問題の質問主旨と同じであることが多いため、今回の文章データとしては対象外とした。

以降では、本研究で生成した因果概念束を用いた運転免許学科試験〇×問題の解法プロセスの概要を述べ、その結果明らかになった課題を考察する。

### 4. 因果概念束による学科試験問題の解答プロセス<sup>(4)</sup>

ここでは、簡単な運転免許学科試験の〇×問題の一例を取り上げ、その解答プロセスを以下の手順に従って説明する。本節では、学科教科書を学習した因果概念束が既に構築されていることを前提として述べる。

〔例題〕 (〇×選択問題)

「踏切で故障したときは、まず車の移動などの処置をして、その後に踏切支障報知装置を押すとよい。」

〔手順 1〕 問題文の質問内容分析

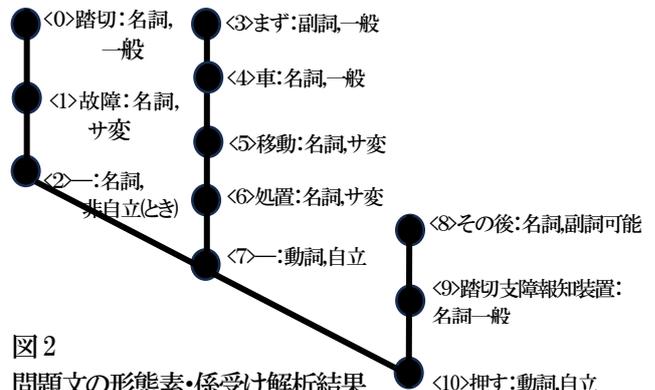


図 2 問題文の形態素・係受け解析結果

図2は形態素解析ソフト MeCab 及び係受け解析ソフト CaboCha を用いて試験問題を分析した結果である。本研究では、形式概念分析に適しやすい様に、文章の解析結果は同図に示すような編集を行っている。

図3は、図2に示した問題文の形態素・係受け解析結果もとに形式概念分析を適用し、その結果得られた因果概念束を表示したものである。ここでは問題文に「車の

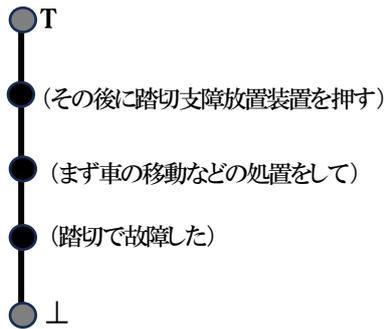


図3 問題文の因果概念束

移動」、「踏切支障報知装置」などが含まれていることが示されている。この問題文の因果概念束はこの後の○×判定で使われる。

次に、この問題文の因果概念束の概念集合を用いて学科教科書の因果概念束を検索し、問題の主旨に合致する演繹概念 {外延, 内包} を抽出する。この場合、複数文が含まれる問題の場合には、質問内容の前提条件が分散して記述されることがあるため、問題全体の複数文章を対象として質問主旨に合致する演繹概念を抽出する必要がある。また、教科書内容とは直接関係のない文章や用語が記述される場合もあり、それらは問題主旨から外れていると判断して無視している。これらのアルゴリズムは複雑であるため、ここではその詳細は省略する。

[手順2] 質問主旨に合致する演繹概念を用いて、解答となり得る部分因果概念束を抽出する

図4は質問主旨に合致する学科教科書の部分因果概念束を表示したものである。ここで、各ノードは概念 {外延, 内包} を示すが、説明の都合上、分かりやすいように元の入力文章のみを表示している。前述のように、因果概念束は下位概念 (下方) から上位概念 (上方) に向かって辿るが、同図では①「踏切で車が動かない」、②「二輪車は降りて」、③「四輪車は」から始まる3つの因果関係が示されている。

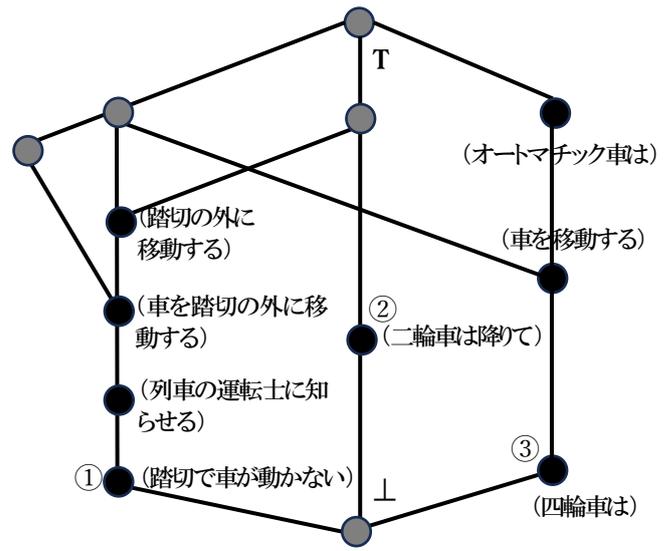


図4 問題文に関連する部分因果概念束

[手順3] 解答となり得る学科教科書の部分因果概念束を抽出する

図3に示した問題文には「車の移動」、「踏切支障報知装置」などが含まれていることから、この問題文の問題主旨に近い演繹概念として、図4の①を起点とする概念束の再読み込みを行う。

この結果、図5に示す学科教科書の部分因果関係が得られる。同図には「踏切で車が動かない」→「踏切支障報知装置、非常ボタンを押す」→「列車の運転士に知らせる」→「車を踏切の外に移動する」→「踏切の外に移動する」という学科教科書において記述されている因果関係が示されている。但し、同図には「踏切の外に移動する」が重複出現しているが、これは2つの演繹概念間における外延・内包の包含によるものである。

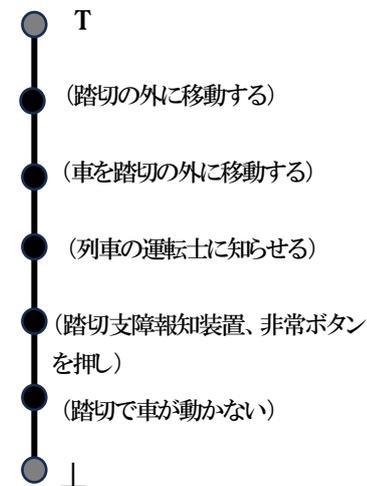


図5 解答候補となる因果概念束

[手順4] 質問内容と教科書の部分因果概念束を比較して○×判定を行う

ここで、図3と図5における概念要素間の比較を行う。この比較を行うと、「踏切支障報知装置を押す」概念と「車を移動する」概念等は、問題と教科書において両者に矛盾は検出されない。しかし、その因果関係の方向は両者が逆になっている。つまり、順序関係に矛盾が生じている。本研究では概念間の比較は文章ではなく、概念 {外延, 内包} の集合演算によって行われるため、概念間の順序関係は文章比較よりも容易である。従ってこの問題の答は「×」となる。その理由は教科書の因果概念束では「踏切支障報知装置、非常ボタンを押す」→「列車の運転士に知らせる」→「車を踏切の外に移動する」と記述されている一方、問題文では逆の「車を踏切の外に移動」→「踏切支障報知装置を押す」と記述していることから、運転行動に矛盾が生じていることになる。この問題は車が踏切内で故障したとき、踏切事故防止の観点から、最初に列車運転手に知らせる行動が優先されることを質問主旨とした問題である。

## 5. 今後の検討課題<sup>⑥</sup>

この中間報告の段階では、まだ問題文入力から解答までの全プロセスの自動化は実現されていない。自動化のためには、今後以下の項目の検討が必要である。

### ① 問題が複数文から構成されている場合

前述したように、問題を構成する文章が複数の場合、質問主旨の前提条件が各文章に分散して記述されることがある。このため、本研究では複数文章全体を通して質問主旨に合致する因果概念を抽出している。しかしこの場合、概念の外延と内包の組み合わせ数が大きくなり、問題主旨に合致する因果概念の検索には多くの処理時間を要している。今のところ、概ね良好な結果を得ているが、今後効率の良い概念抽出方法を検討したい。

### ② 問題文中に学科教科書にはない用語が使われている場合

本研究において使用する文章データの用語は、全て学科教科書に準拠している。よって、学科教科書で使われていない用語は、○×判定には使用しないことにした。しかし、今後、より汎用的な解答を行うためには、ソーラスの利用も考慮に入れる必要がある。

### ③ ○×判定アルゴリズムの検討

今回は、問題文と学科教科書の2つの因果概念束を目

視により比較して判定を行った。今後これを自動化するには、○×判定処理の開発が必要になる。この○×判定のためには、問題文と教科書それぞれの因果概念束を構成する用語の矛盾判定や順序判定が重要になる。例題で示した運転行動の順序関係は、因果概念束を利用することにより比較的容易に判定ができる。しかし、運転行動の矛盾の発見はやや複雑になる。例えば「徐行する」と「徐行しない」、「赤色」と「青色」などの否定関係や語句区別は判定が容易であるが、「気を付ける」と「徐行する」など、曖昧表現が含まれる場合には、語句の意味論的な解釈が必要となり、正誤判定アルゴリズムは一層複雑になる。今後はより多くの問題を通して、正誤判定アルゴリズムの検証を行っていきたいと考える。

### ④ 「標識・標示」に関する○×問題

前述のように、今回の報告では標識・標示等の学科教科書データは対象外としたが、本研究はイラスト画像が含まれる○×問題の解答プロセスについても検討を行っている。具体的には、教科書の精緻なカラー画像をCNN (Convolutional Neural Network, Python) を用いて学習させておき、問題に出てくる標識や危険予測等の簡易イラスト画像を識別し、そこから問題の質問主旨を把握して○×問題に解答するという方法である。しかし、現状はAI用の訓練画像データが不足しており、十分な画像認識のレベルまでには至っていないのが実情である。

## 6. 終わりに<sup>⑦</sup>

本研究は、人に類似する運転知識や技術の汎化能力を有し、様々な運転環境にも論理的な判断を下すことができる知識モデルの構築を目指している。本研究の因果概念束の生成方式は「逐次更新アルゴリズム」を採用しており、概念束の蓄積規模はデータベース最大容量まで文章データの追加が可能である。今回はマンパワー不足のためデータ量は十分ではないが、今後とも教科書データを追加し、残された検討課題を念頭に置きながら、因果概念束を用いた運転免許学科試験の解答プロセスの自動化に向けて研究を進めていきたいと考える。

## 7. 参考文献

- (1) 鈴木 治、『因果概念束にもとづく知識構造モデルの研究』、常葉大学経営学部紀要、第8巻第2号、pp. 1-11、2021
- (2) 鈴木 治、室伏俊明、『形式概念分析—入門・支援ソフト・応用—』、日本知情報ファジィ学会、日本知能情報ファジィ学会誌 19(2)、pp. 103-142、2007
- (3) 株式会社トヨタ名古屋教育センター、『学科教本 統合編』、2020

(4)長 信一、『普通免許 テキスト&速攻問題集』、成美堂出版、2020

(5)全日本交通安全協会、『わかりやすい道路交通法』、2019

(2022/12/28 執筆、2023/11/27 改訂)