

学習者の問題解決を支援する 知識ベースシステム

田中 克己 鈴木 昭二 伊藤 紘二

東京大学 工学部

我々が開発中のシステムCAFEKSは、学習者が解きたい問題の解決の支援を、広範な分野にわたる知識とそれに関するテキストの中からその問題に適用可能なものを検索し、学習者に提示することによっておこなうことを目指している。CAFEKSにおいては知識は問題の部分解であるとみることによって、問題のタイプ毎に知識のタイプを設け、問題の各タイプ毎の枠組みで問題記述、知識検索、知識の適用の支援をおこなうことにより、学習者との対話的な問題解決の支援が行われる。本論分では問題解決支援の枠組みと用いる知識表現、とくに問題解決に最も役立つと思われる知識を検索する手法につき説明する。

A Knowledge Base Assistance for Learning by Problem Solving

Katsumi TANAKA, Shouji SUZUKI, Kohji ITOH
Univ. of Tokyo
4-6-1, Komaba, Meguro-ku, Tokyo 113

Our CAFEKS system aims at assisting students in exploring such knowledges as applicable to the small steps of problem solving processes in diverse areas. Assistance for each of the 4 aspects of the process, i.e., understanding the problem, searching for knowledges, applying them, and controlling the process, comes from a knowledge base system. The present paper focuses on a dependency network method of proposing priority-evaluated candidate knowledges to the user student, starting from his incomplete problem specifications. It is the knowledges thus proposed that inform the student of what is wrong or missing in or helpful to add to his descriptions.

1. はじめに

生涯学習を支援するシステムにおいては、目的、興味、水準を異にした様々な学習者の要求に応えていく必要がある。我々が現在開発中のシステムCAFEEKS (Computer-Assisted Free Exploration of Knowledge Structure)においては、従来のCAIシステムと異なり、学習者がシステムに問題の記述を与えると、システムはそれを検索要求とみなし、問題の解決に必要な知識とそれに関するテキストを検索し、学習者に提示することにより、学習者の問題解決を支援する。その際には検索の対象となる知識の構造をいかに表現するかという問題と共に、どのようにしたら学習者にとって効率的に、しかも深い理解が得られるような問題解決ができるかということ、即ち学習者とシステムの間のインタフェースが問題になる。本稿では、システムの概要及び基本的な知識表現と問題解決支援の枠組みについて説明する。

2. 学習者の問題解決とその支援の枠組み

学習者の問題解決は、文献4)を参考に、次のような過程で行われるものと考えられる。

(1) 問題を理解する過程。即ち解きたい問題はどんな種類の問題か、与えられているものはなにか、未知のものはなにか、条件はなにか、ということを認識する過程。

(2) 問題を解決する計画を立てる過程。即ち問題を解くのにどのような知識を用い、どのようにその知識を適用していけばいいかということを考える過程。

(3) 問題を解決する過程。即ち(2)で立てた計画を実行に移し、知識を問題に対して適用していく過程。

(4) 解決過程を吟味する過程。ここでは(1)～(3)の各過程について、間違っていないか、もっとうまく解き方はないか、といった事を検討し、この先に進むべきか、終了してよいか、前に戻るべきかを考える。

本システムでは、学習者に対して上記のそれぞれの過程について支援を行っていく事を目的としている。本システムにおける問題解決の過程を図1に示す。図1で、問題のタイプの選択、問題の記述は(1)の過程に対応し、知識の検索、知識の理解は(2)の過程に対応し、知識の適用は(3)の過程に対応する。(4)の過程に対応するのが問題解決制御過程で、(3)の結果新たな問題(副問題と呼ぶ)が発生した場合には、再帰的にその解決を図っていき、また以前の履歴を保持している。このような過程の

それぞれが、学習者の問題解決支援の対象となる。

3. システムの概要^{1), 2), 3)}

図2にシステムの概要を示す。問題解決制御部によりトップレベルの処理は行われ、学習者とのやりとりを通して問題記述部、知識検索部、知識適用部に制御を移しつつ、問題を知識に分解しながら再帰的に処理していく。問題記述部、知識検索部、知識適用部では、それぞれ前章の(1)、(2)、(3)の支援を担当し、必要に応じて学習者からの入力を受け付け、また知識ベースの検索を行う。

知識ベースの部分は、問題や知識の記述に用いる概念の枠組みを与える概念フレームユニット(CFU)とCFUの記述を用いて概念間の関係を知識として与える知識記述ユニット(KDU)からなる。また知識一つ一つには、それを詳しく説明するためのテキストが用意されており、学習者はそのテキストを見ることによって知識を理解することになる。

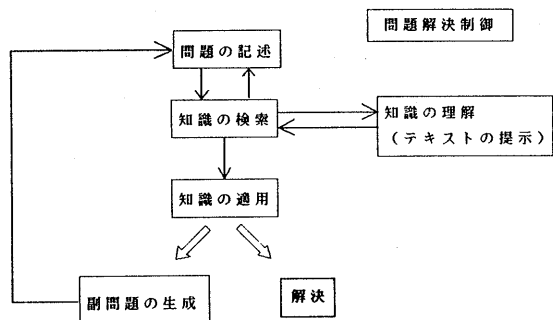


図1 問題解決の過程

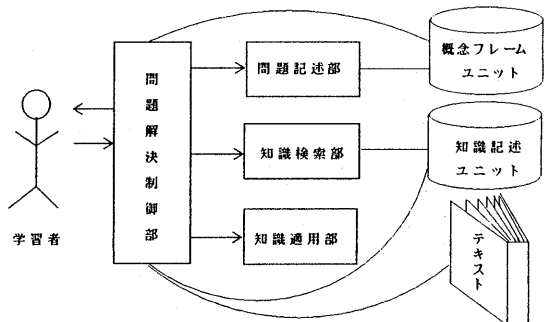


図2 システムの概要

4. 知識の記述と問題記述^{1), 2)}

知識ベースは、概念の枠組みを与える概念フレームユニット (CFU) の集まりと、CFU の記述を用いて、概念間の関係を与える知識記述ユニット (KDU) の集まりからなる。

概念フレームユニットは、概念が指示する対象そのものを値とするSELFスロットと、SELFスロットの値に対して一意的に値が決まる属性スロットからなる。

(CFU の例) 錐体は、底面及び高さを持つ。

錐体 (self(X), 底面(P), 高さ(H))。

属性スロットは、概念を観察する際の枠組みとなり、また例外記述がない限り下位の概念に継承される。(図3)

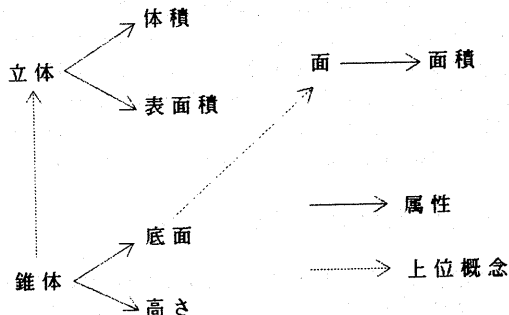


図3 属性の継承

知識記述ユニット (KDU) は、関係の種類により異なった述語により表され、概念や属性間の関係を表すが、一般に次の形をしている。

<タイプ名> (<id>, <関係>,
<関係を導く関係のリスト>,
<コンテキスト>,
<テキストへのポインタ>).

コンテキストはCFUの記述を用いて関係部分に登場した変数の意味や、その他の知識を適用するための条件を与える。また、知識を詳しく説明するためのテキストへのポインタを持つ。

一方、問題記述は、問題のタイプ、「求めるもの」、「与えられたもの」と問題に関する制約条件をこれらの記述により与えることにより行われる。そして、この記述が、その問題を解くのに使える知識の検索を起動する。

現在考えている関係のタイプとしては、概念間の階層・含意関係を表すカテゴリ関係、数量的関数関

係、概念間の構造を表す構造関係、概念間に全体一部分という関係が成立することを示す構成関係、入力と出力をもつ概念に対し、入出力間の関係を与える変換関係、作図等の操作などがあり、それぞれのタイプにより、検索推論の仕方が異なる。

知識記述の例>

カテゴリ関係：鯨のすみかは海である。

```
categ(100,  
[海(self(Y))<-鯨(self(X)),  
動物(self(X),すみか(Y)],[],text(100)).
```

数量的関数関係：錐体の体積、底面の面積、高さの間にはf1なる関数関係が成立する。

```
function(200,f1(V,A,H),[],  
[錐体(self(X),底面(P),高さ(H)),  
面(self(P),面積(A)),  
立体(self(X),体積(V))],  
text(200)).
```

構造関係：自動車のボディ、シャーシ、パワートレインの間にはリンク1、リンク2により結ばれる構造関係が成立する。

```
struc(300,[A],[[B,[BS]],S,[BS,SP]],PT,[SP]],  
[自動車(self(A),ボディ(B),シャーシ(S),  
パワートレイン(PT),リンク1(BS),  
リンク2(SP))],  
text(300)).
```

エネルギー変換・構造関係：カム機構の構造により、回転運動のエネルギーは往復運動のエネルギーに変換される。

```
etrans_struc(400,[T,[X,Y]],C,[S,A]],  
[回転<-往復変換(self(T),  
回転運動(X),往復運動(Y)),  
カム機構(self(C),シャフト(S),アーム(A)),  
エネルギー変換(T)],text(400)).
```

問題記述の例>

上底面の面積a1,下底面の面積a2,高さhである錐台の体積vは? :

問題のタイプ : 未知数の消去

「求めるもの」: v

「与えられたもの」: s1,s2,h

「制約条件」 : 錐台(self(x),上底面(s1),
下底面(s2),高さ(h)),
面(self(s1),面積(a1)),
面(self(s2),面積(a2)),
立体(self(x),体積(v)).

5. 問題記述の支援

問題記述部の働きは、システムに学習者の解こうとする問題の仕様を入力させ、それを前章で述べたような表現に変換することである。このための方法としては、一般的には、学習者がキーワードを入力し、システムがそれに対してあらかじめ用意された概念の候補を提示し、学習者が選択したのち値を入力していくといったものが考えられる（例：図4）。

しかし、学習者に問題を簡単に入力させ、しかもわかりやすくその内容を表示するためには、幾何の問題には図形の入力、表示機能を持つインタフェースを用いるなど、問題のタイプごとに別々のインタフェースを用意する必要がある。そこでは学習者が画面上で、点、直線などの条件を記述し、システムはそれを確認していくことになる。

実例 （下線部は学習者の入力）

問題：上底面、下底面の面積がそれぞれ a_1, a_2 で、高さが h である錐台の体積を求めよ。

問題のタイプは？：未知数の消去

キーワード：錐台

概念の候補：1. 錐台 2. 立体

選択する概念：1

値を入力してください：x

錐台xは上底面？をもつ。

値を入力してください：s1

上底面s1は面である。
面s1は面積？をもつ。

値を入力してください：a1

錐台xは下底面？をもつ。

図4 問題記述の例

6. 知識検索の支援

学習者により問題記述が入力された後に、それに対して然るべき知識を適用して、問題解決を試みる。ここでいう然るべき知識とは、問題の中の「求めるもの」の一部あるいは全体を関係の部分に含んでいる知識であるということができる。（例えば、錐台

の体積を求める問題の場合には、錐台の体積を関係の部分に含んだ関数関係でなければ、この問題を解決することができない。）このような知識を、問題解決に必要な知識という。しかし、そのような知識がかりに得られたとしても、知識の適用条件（コンテキスト）が問題記述により満足されなければ、その知識を適用することはできない。満足されない部分があるときには、学習者がその部分を問題記述に付け加えるか、それを証明することを副問題にするかしなければならない。したがって、最終的にシステムが検索し、学習者に提案すべき知識とは、問題解決に必要な知識であって、コンテキストが問題記述により導出されない部分が最も少ない知識であるということができる。ここで言う導出とは、概念及び概念の属性、階層関係のみを用いて証明される範囲を指す。

このような知識を検索する方法としては、はじめに問題解決に必要な知識を検索したのち、コンテキストが問題記述によってどれくらい導けるかによって優先度をつけて、優先度の高い順に学習者に提示し、学習者がその中から、テキストなどを参考に選択していくのが最も良いと思われる。この検索における2段階の具体的な手法につき以下説明する。

6. 1 問題解決に必要な知識の検索

問題記述から、問題解決に必要な知識の検索を行なうには、図5のように、関係のタイプにより分類され、知識の関係の部分とコンテキストを述語ごとに参照するためのインデックスを用いる。

また、問題記述の中の着目する概念を学習者に指定させ、インデックスに対する構造的な検索ボタン作成する。その検索ボタンの下位概念のほうから出発して、そのボタンに含まれる全ての述語がインデックスの集合の中に存在し、かつ引数の束縛関係が充足されるような知識を検索していく。必要に応じて着目する概念が知識表現の関係の部分に含むかどうかを調べ、このようにして残った知識が問題解決に必要な知識となる。

このような知識が見つからなかったときには、学習者に対して検索ボタンの変更を要求する。例としては、図6のように検索ボタンを下位概念の方を切り捨てることなどにより一般化することがある。この場合には、新たな検索ボタンについて、インデックスの検索をやり直すことになる。

6. 2 知識に対する優先度付け

システムは6. 1の手法により得られた一つ以上の問題解決に必要な知識について、ある評価値にし

知識記述：

```
function(200,f1(V,A,H),[],
  [錐体(self(X),底面(P),高さ(H))
  面(self(P),面積(A))],text(200)).
```

問題記述：

問題のタイプ：未知数の消去

求めるもの： v

与えられたもの： a, h

制約条件：錐体(self(x),底面(s),高さ(h))

面(self(s),面積(a))

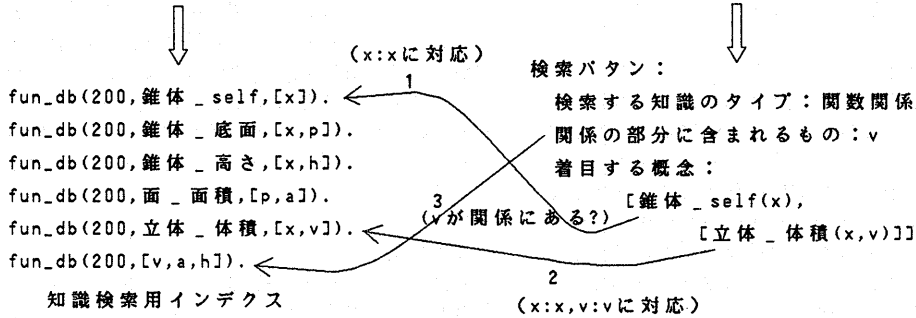


図5 問題解決に必要な知識の検索

検索ボタン：

[錐体 _ self(x),
[立体 _ 体積(x,v)]]
↓
vを含む知識を検索
失敗

新たな検索ボタン：

[立体 _ self(x),
[立体 _ 体積(x,v)]]

図6 検索ボタンの変更（一般化）

たがい優先度を決め、学習者に提示する。この場合の評価値としては、それぞれの知識のコンテキストの内の、問題記述により導出されない述語の数が最も小さい順に優先度が高いとするのが妥当であると思われる。なぜなら導出されない述語が少ない方が、後に学習者により、または知識を用いて満足される可能性が高いと思われるからである。

このような評価値を求めるには、6.1で得られた知識ごとにコンテキスト中の述語を一つ一つ問題記述から導出してみることにより可能である。しかし問題記述から知識記述への導出には複数の組合せが考えられ、それはコンテキスト中の変数がどの様に定数化するかに対応する。それは述語を導出する順序に依存すると考えられる。

従って単純に知識の導出の可能な組合せを求めるには、コンテキスト中の述語を、全ての順序で導出していかなければならず、効率が悪くなる。そこで図7のようにコンテキストを変数と、その変数に有する述語を接続することにより、ネットワーク状に表現し、このネットワークに沿って導出を行う。こ

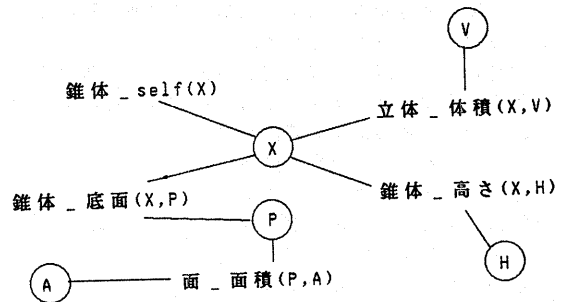


図7 コンテキストのネットワーク表現

れにより、変数を共有する述語のみをたどることにより、無駄な試行を制限することができる。このような導出の組合せのうち、導出されない述語が最小になるような組合せを採用したときの導出されない述語の個数を、この知識の評価値とする。6.1で得られた述語ごとにこの操作を行ない、各知識ごとの評価値を求める。

7. 知識適用の支援

第6章によって学習者が選択した知識について、学習者がこれを問題記述に対して適用し、その結果をシステムに与える。適用した結果には、次の2点が挙げられる。

①「求めるもの」が得られたか。また新たな「求めるもの」が発生したか。

②適用した知識のコンテキストのうち、どの条件が満たされ、どの条件が満たされなかったか。

システムは自分の持っている情報によって判断できる限りにおいて、上記の適用結果をチェックする。

もし学習者が適用した結果を与えることができなかった場合には、システムが適用した結果を学習者に提示し、理解を促しつつ問題解決を先に進めることになる。その場合にはシステムは6.2の結果を利用して②の結果を求める。

8. 解決過程の吟味の支援

このような結果をシステムに与え、「求めるもの」がすべて得られ、かつ全ての条件が満たされていれば、問題解決は終了した事になる。しかし②でのコンテキストに満たされていない条件がある場合には、当の知識を適用するためには、その条件を証明しなければならない。従ってこの条件を満たすことがさしあたっての副問題となる。その後②で完全に条件が満たされた後には、①の「求めるもの」が残っていた場合、それを求めることが副問題となる。このように副問題を設定し、それに対して問題の記述からの支援を再び行なっていく。

問題解決が理想的に進んでいるときには、学習者は第5～7章に述べたような方法をとって行けばよい。しかし解決のための知識が見つからない等で、一旦問題解決にいきづまったときにはこれ以上問題解決を進めていくことができなくなる。このようなときには、前の段階に戻って検討し直す必要があると思われる。このため、システムは常に以前の問題記述を保持し、そこまで制御を戻すことができるようにする。この機能によって、問題解決の各段階においての吟味が可能になる。

9. 問題解決過程の例

上述してきたような問題解決の過程の実例を、錐台の上底面及び

下底面の面積と高さから、体積を求める問題を例にとって図8に示す。なおこの場合の導出によって導かれる範囲を図9に示しておく。

10. おわりに

今回は、学習者の問題解決を支援するシステムCAFEEKSについて、その知識表現及び、解決の各段階における支援の枠組みについて説明した。現在、Prologにて支援の各段階および知識ベースを試作中である。今後も、より学習者が主体的にかつ理解が深まるような支援の方法についての検討が必要と思われる。

<参考文献>

- 1) 伊藤, 埴, 田中, 松本, "CAFEEKS—学習者の問題解決を支援するシステムとして—", 信学技報, ET87-1
- 2) 埴, "学習者の問題解決を支援するシステム", 東京大学修士論文, 1987年3月
- 3) 田中, 埴, 伊藤, "学習における問題解決を支援する知識ベースシステム", 人工知能学会全国大会第1回 9-14, 1987
- 4) G. ボリア, 数学の問題の発見的解き方, 上, 下, 柴垣, 金山訳, みすず書房, 1964

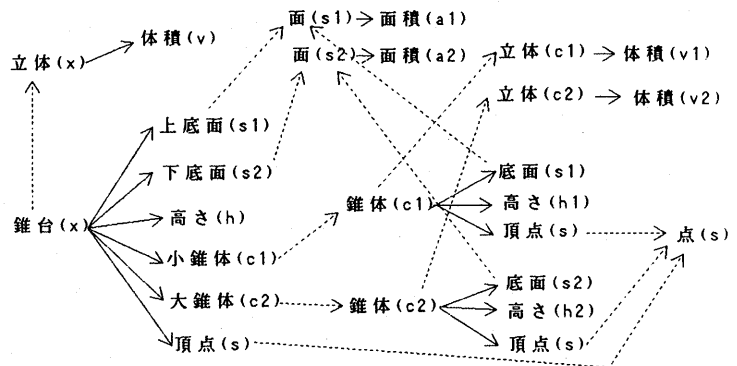


図9 錐台から導出される範囲
(実線は属性、破線は階層関係)

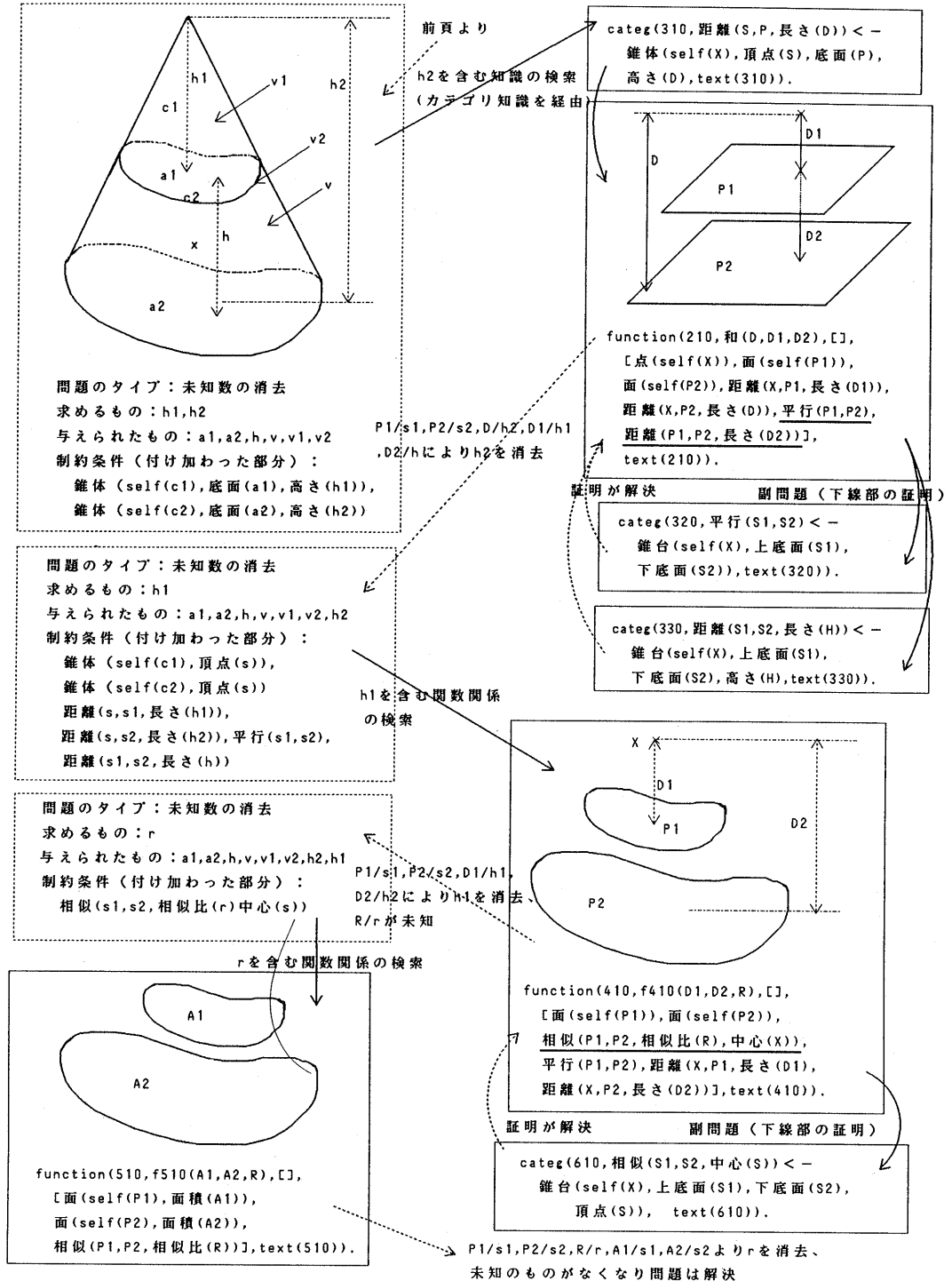


図 8（続き）