

プランニング過程の類似性に着目した類推的問題解決

山口智治, 白石圭子, 小野典彦, 翁長健治

広島大学工学部

本研究では、「事例に基づく問題解決」(Case-Based Problem Solving)をノービス・タイプとエキスパート・タイプの二種類に分類する。これらがそれぞれ、Carbonell の提唱する変形類推、誘導類推の過程と基本的アイデアを共有する。ここから、今まで狭い問題領域で考えられていた「事例に基づく問題解決」が領域を越えて事例を検索することにより、領域を越えて広く適用可能になることを指摘する。「領域を越えて事例を想起」する方法、想起された事例を新しい問題に適用する方法、プランニング過程の概要作成法、事例を記憶構造に組織化する方法等を提案する。

Analogical Problem Solving based on Similarity
to Previous Planning ProcessesTomoharu YAMAGUCHI, Keiko SHIRAIISHI, Norihiko ONO and Kenji ONAGA
Faculty of Engineering, HIROSHIMA University

Shitami, Saijo, Higashi-hirosima, Hiroshima, 724 Japan

We classify case-based problem solving into two distinct types, expert- and novice-types, whose underlying ideas nearly correspond to transformational analogy and derivational analogy proposed by Carbonell, respectively. This paper points out that most of previous works focused upon the former and that by incorporating the latter, case-based problem solving which confined its applicability within a single domain may be able to exhibit its multi-domain applicability. From this viewpoint, we propose mechanisms for (1) multi-domain case retrieval, (2) applications of thus retrieved cases to a new problem, (3) construction of plan abstractions as case indices, and (4) organization of new cases into case memory.

1. はじめに

我々人間が何か目標に対して、それを達成するプランを考える場合、過去の類似の経験をもとにプランニングすることが多い。ところが、人工知能研究における古典的問題解決法は、与えられる問題をそれぞれ独立に解決していた。つまり、過去に解決した問題と非常によく似た問題が後に与えられても、過去の経験は参考にされず、あらかじめ用意されたルールを用いて、最初からプランニングする。極端には、同じ問題を繰り返し与えても、その都度、長々とした同じプランニングプロセスを繰り返す。しかし、より知的な問題解決器としては、問題解決の経験を記憶しておき、過去の経験に似た問題が与えられたときには、その経験を思いだして新しい問題の解決の参考にすべきである。すなわち、問題解決は、与えられたルールのみでなく経験的記憶に基づいて、過去の問題解決の経験を新しい問題の解決に利用できるべきである。このような考えから、「事例に基づく問題解決」(Case-Based Planning, Case-Based Problem Solving)が提案されている [Ham 87] [Kol 85, 87] [Leh 87].

「事例に基づく問題解決」は主に、(1) 過去の事例の検索(想起)と、(2) 過去の事例の新しい問題への適用(調整)という過程から成る。この過程は、「類推による問題解決」の定義『過去の問題解決におけるエピソードから新しい問題に知識を移行すること、移行された知識を使って新しい問題に対する解を組み立てる』 [Car 86]と基本的アイデアを共有する。問題解決に関する研究が一般的にそうであったように、「事例に基づく問題解決」に関する従来の研究も、単独の領域(domain)内の問題について扱ってきたものが殆どである(例外として [Owe 88]がある)が、この類推との関係は、事例に基づく問題解決が領域を越えて適用可能なことを示唆する。

また、Carbonellは、類推による問題解決について、過去の解を新しい問題の解に変換する変形類推(transformational analogy) [Car 83]、過去の問題解決過程をトレースすることによって新しい問題の解を得る誘導類推(derivational analogy) [Car 86]を提案している。

従来から提案されている事例に基づく問題解決は、問題領域を狭く限定しているため、新しい問題に非常に類似した事例が記憶に豊富にある。よって、簡単な解変形操作により新しい問題の解が得られるが、この過程は、

Carbonellの変形類推に相当する。

しかし、問題領域を限定しない場合は、知識の不完全性から、新しい問題にたいする解をこの方法で求めることは難かしく、人工知能システムの脆弱性として非難されてきた。

このような困難を克服するために誘導類推的な過程を導入し、異なる問題領域の問題解決事例から新しい問題の解を導くことの可能性を考察する。本稿では、事例に基づく問題解決をエキスパート・タイプとノービス・タイプに分類し、後者における誘導類推的問題解決過程を提案する。

2. 事例に基づく問題解決

事例に基づく問題解決は古典的問題解決の能力に加え、問題解決に関する何らかの情報を事例として蓄える。冒頭で述べたように、すでに提案されている事例に基づく問題解決の基本プロセスは以下のようなものである。

- (記憶) 問題解決の解を記憶しておく、
- (想起) 過去の問題に似た問題が新たに与えられると、過去の解を想起する。
- (調整) 過去の解をもとにして、新しい問題に適用可能なように、解を修正して新しい問題の解を得る。

古典的問題解決と違って、解の記憶を持つことにより、経験の量と質の変化にしたがって事例に基づく問題解決のプロセスも変化すべきである。

事例の蓄積が充分多くなると、新しい問題と類似した問題に過去に出会っている可能性が高くなる。すると、新しい問題によく類似した事例が想起され、過去の解に対しても調整が少なくてすむか、あるいは全く必要のない場合もあり得る。事例の蓄積が少ない場合、新しい問題によく類似した事例の想起力が弱い。類似性の低い事例が想起されると、その解は新しい問題に利用できないか、利用できても多くの調整を要する。つまり、事例を豊富にもつ問題解決システムは変形類推的であり、過去の事例に部分的修正を加えて新しい問題の解を生成する能力をもつが、経験の少ない問題解決システムは、変形類推のみでは事例から新しい問題の解を導く能力を未だ保有

していない。

このことから、著者らは事例に基づく問題解決を次章に示すように2種に分類して考える。

3. 事例に基づく問題解決の2つのタイプ

著者らは、事例に基づく問題解決をエキスパート・タイプとノービス・タイプの2種に分けて考える。これは、ある問題解決システムが存在して、それがエキスパートかノービスかに分類できるということの意味するのではない。ある問題が存在して、その問題の解決に関して、システムがおこなう解決がエキスパート・タイプであるかノービス・タイプであるかを考えるのである。つまり、与えられた問題の領域について、問題解決システムが十分な事例を蓄積して、問題解決に利用可能な事例を想起できる場合に、その問題解決器がおこなう問題解決はエキスパート・タイプであるとする。同じ問題解決システムでも、十分な事例をもっていない領域の問題を与えられたなら、その問題解決はノービス・タイプとなる。

3.1 エキスパート・タイプ

エキスパート・タイプの問題解決における想起は、直観的に起こると考えられる。すなわち、問題として目標が与えられたとき、目標を細かく分析することなく過去の事例を想起する。問題解決システムは、過去の事例について、プランニング過程に利用した知識を含め、多くの情報をもっているが、新しい問題については、提示された目標しかもっていない。事例を検索するためには、過去の事例が目標によって記憶にインデックス付けされていないなければならない。

利用すべき事例が想起された後、新しい問題に対して適用するための調整が行なわれる。エキスパート・タイプにおいて想起される事例は、新しい問題と十分に似ていることが期待でき、プランの調整も少なくともすむ。特に、同じ問題を繰り返し解く場合、想起されたプランはそのまま適用可能で、調整の必要はない。エキスパート・タイプのプラン調整は、おもに、過去のプランニング時の状況と現在の状況の相違に注目する。つまり、制約の充足を確認することである。過去のプランニング時の制約条件と現在の制約条件とが比較され、現在の制約が、過去のプランの実行を妨げる時、その部分のプランは現

在の制約を満たすように調整される。調整後のプランは新たな事例として記憶に蓄えられ、調整の原因となった制約は、プラン適用の制約条件として元の事例に加えられる。

3.2 ノービス・タイプ

ノービス・タイプにおける想起と調整のプロセスは、エキスパート・タイプのそれと大きく異なる。エキスパート・タイプのそれを直観的と呼んだが、ノービス・タイプの場合は分析的であると考えられる。

問題が与えられたとき、その目標のみで事例を想起することは困難である。つまり、事例が目標によって記憶にインデックス付けされているだけでは不十分なのである。ノービス・タイプでは、適切な事例を想起するために目標を分析し、より多くの情報を得て、事例の適切性を判断しなければならない。問題として提示される目標や制約のタイプから、共通する部分をもつ事例を検索する。事例は、その目標や制約のタイプによってもインデックス付けされていないなければならない。それでも適切な事例が想起されないこともある。この場合、通常の探索的プランニングを開始し、プランニング過程に特徴があれば、それを手がかりに事例を検索する。このために事例の蓄積は、プランニング過程についても分析し、その情報を用いて記憶にインデックス付けしなければならない。

ある事例が想起されたとしても、ノービス・タイプでは、プランの調整がより重要である。想起された事例は何らかの視点で、現在の問題と類似しているが、それ以外の点で大きく異なっている可能性がある。特に、異なる問題領域から、プランニング過程の類似性などにより想起された事例は、具体的なプランレベルでは殆ど利用価値がないかもしれない。従って、より抽象的なレベルで事例を概観する必要がある。得られた抽象的戦略に基づいてプランを具体的レベルで作成しなければならない。その際、元の事例の戦略下において具体的レベルの要素がもつ意味を解析し、現在の問題について同じ意味をもつ要素を選んでプランニングする。問題解決システムは、具体的プランから抽象的戦略を推論でき、その戦略から新たなプランを構成する能力を要求される。抽象レベル戦略は具体レベルでのエピソードの分類に依存しないの

で、このような能力をもてば、領域を越えた問題解決を可能にする。

4. 変形類推とエキスパート・タイプの問題解決過程

本章では、変形類推について概説し、この手法でエキスパート・タイプの「事例に基づく問題解決」が可能なことを示す。

4.1 問題

本稿で対象とする問題解決について明確にする。問題解決とは、『十分に定義されたゴールを達成するために、(前もって分析された)有限のオペレータ集合からオペレータの系列を選択することである』とする。[New 72]

- ・ゴールとは到達すべきある状態のことである。
- ・オペレータとは、状態に何らかの変化を引き起こす操作のことである。
- ・このようにして選択されたオペレータの系列をゴール達成のためのプランと呼ぶ。問題の解である。
- ・問題は制約条件を伴い、制約を犯すオペレータの使用は制限する。

また、問題解決の対象は、理論的に整理できる数学やパズル等でなく、過去の経験に基づく問題解決を主に行なう日常生活の世界を単純化したものを扱う。

4.2 変形類推 [Car 83]

Carbonell は、目的手段解析 (MEA) によって解決される問題を拡張し、変形類推による問題解決の方法を示した。

これは、新しい問題を解くために、これと類似性が強く既に解の求まっている問題の解を想起し、この解にオペレータの挿入や削除、置換などの操作を施して、新しい問題の解を構成する方法である。

類似性の尺度として、2つの問題の初期状態、最終状態、制約、の差分を比較する関数と、想起されたオペレータの連鎖の前提条件のうち新しい問題状況でも満足されるものの比率を用いている。

このような基準をもって探索された既決の問題の解から新しい問題の解への変換は、T-オペレータを用いてメタ問題として解かれる。

4.3 エキスパート・タイプの問題解決過程

エキスパート・タイプの事例に基づく問題解決における想起も、初期状態と目標状態の類似性、制約条件の類似性等を尺度として用いる。事例は、これらの情報で索引付けされて記憶に蓄えられる。エキスパート・タイプでは、新しい問題と強い類似性を持つ事例が存在するので、初期/目標状態、制約のマッチングをとることでより過去の事例を想起することができる。

このタイプで想起される事例は新しい問題と殆ど同じである。よってプランの調整は、必要ないか、想起された事例の解を新しい制約条件を犯さないように、オペレータの変更を行なうだけでよい。つまり、Carbonell の変形類推とT-オペレータによる操作ができれば充分である。図1にエキスパート・タイプの変形類推型問題解決プロセスを示す。

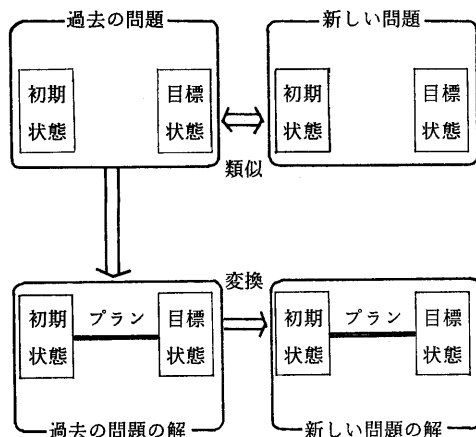


図1. 変形類推型的事例に基づく問題解決プロセス

5. 誘導類推とノービス・タイプの問題解決過程

5.1 誘導類推 [Car 86]

問題解決の過程では、最終的に得られるプランや状態等に加え、代替案の生成や破棄などの中間的情報が生成される。変形類推法ではこれらの情報は一切無視されていたが、誘導類推法ではこれらの情報を利用して、類似した過去の事例の問題解決過程(誘導)を再現して、類似した新しい問題の解を組み立てるために修正すべき箇所を見つけて修正を施す。

5.2 ノービス・タイプの問題解決過程

ノービス・タイプの問題解決においては、エキスパート・タイプの想起に用いた情報以外の情報を用いる必要がある。しかし、新しい問題に関する情報は与えられた初期／目標状態と制約のみである。よって、新しい問題に関する情報を得るためにも、まず弱解法や Wilensky [Wil 83] のように用意されたプランの具現化によるプランニングを行なう必要がある。プランニングを開始すると制約の違反や代替案の生成や破棄などの中間的情報が生成される。このような情報を索引として事例が記憶に蓄積されていれば、プランニング過程の特徴の類似性による事例の想起が可能になる。

このようにして想起された事例は2.3でも述べたように具体的なプランレベルでは適用できない場合が多い。そこで、想起された事例のプランニング過程で、新しい問題のプランニング過程をガイドする。

これは、誘導類推と基本的にアイデアを共有していると考えられる。そこで、プランニング過程の特徴とその索引化方法が定義できるならば、領域に依存でない事例に基づく問題解決が可能になる。図2にノービス・タイプの誘導類推型問題解決プロセスを示す。

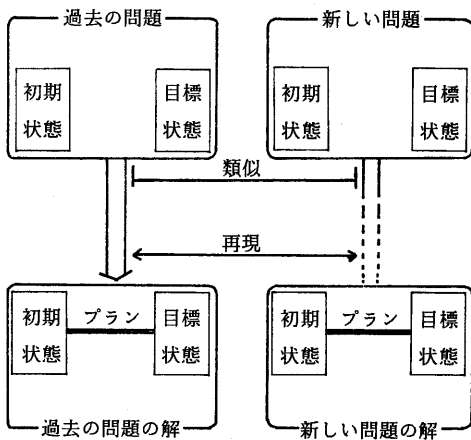


図2. 誘導類推型事例に基づく問題解決プロセス

5.3 事例に基づく誘導類推的問題解決

異なる領域の問題解決事例を利用して「事例に基づく問題解決」を行なうために誘導類推のアイデアを応用す

る。誘導を記録する情報として以下のものを用いることを提案する。

- ・初期状態
- ・目標（副目標）状態
- ・プラン
- ・目標間の関係 [Wil 81]
- ・メタ目標 [〃]
- ・メタプラン [〃]
- ・制約
- ・制約を犯した中間プラン

5.3.1 想起

全プランニング過程をそのまま事例として記憶したのでは、記憶量もさることながら想起の際の検索が困難になる。これを避けるためにはプランニング過程の特徴を認識し、表現する方法が必要になる。そこで、以下のよう

- ・目標、副目標を各々のゴールタイプ [Sch 77] に置き換える。
- ・同じゴールタイプが連続する場合はそれらをまとめて、ひとつにする。（CとP、SとEのように同じクラスのゴールは同じタイプと見なす）
- ・目標間の関係とメタプランを記録する。
- ・オブジェクトは、プランにおける役割で表現する。

例えば、‘雨の中、戸外のポストにある新聞を取ってくる’という A-goal（達成ゴール）の問題を考える。晴れた日のように、そのまま外に出ると雨に濡れてしまう。‘雨に濡れたくない’という P-goal（維持ゴール）と‘新聞をとってくる’という A-goal が conflict（衝突）の関係にある。そこで、雨に濡れないように‘傘をさしてポストまでゆき、新聞をとって戻ってくる’というプランを作成する。ここで、雨は障害物、傘は障害物を遮蔽するもの、新聞は目的物である。また、‘コンロの上の熱いやかんの湯をカップに注ぐ’場合、素手でやかんを持つとすれば、火傷をしてしまうことがわかり、A-goal と P-goal の conflict が起る。ここでも、やかんの熱は障害物であり、湯が目的物である。そこで、A-goal と P-goal の conflict と目的物、障害物の存

在という共通性によって、先の傘の例を想起することができる。

5.3.2 調整

このように想起が起きると、そこからプランの調整をおこなう。たとえば、熱いやかんを持つときに、傘の例から、何らかの熱を遮蔽する物があればよいことがわかる。やかん程度の熱なら、ふきんが遮蔽物として役立つことを知っていれば、雨を避けるために傘を使ったプランから、やかんの熱を避けるためにふきんを使うというプランが得られる。

5.3.3 不足する知識の仮説的補足

利用する事例が想起され、現在の問題に適用するためにプランの調整をおこなうが、必ずしも修正のために充分なオペレータを問題解決システムがもっているとは限らない。つまり、想起された事例の領域で存在したオペレータに対応する、現在の問題領域でのオペレータを問題解決システムが知らない場合がある。そのような場合、現問題領域でも、そのようなオペレータがあることを仮定してプランニングをおこなう。例えば、'原子力発電所事故の原因調査のために、放射能もれしている現場に行かなければならない' としよう。普段着のまま現場に行けば、たちまち放射能に汚染されてしまう。'原因を知る' A-goal と '放射能に汚染されない' P-goal の conflict が検出される。また、原因は目的物、放射能は障害物であり、これから傘の例やふきんの例が想起される。その例から、放射能を遮る遮蔽物があればよいことがわかる。しかし、問題解決器が放射能に対する遮蔽物を知らないとしよう。従来の問題解決では、ここでプランニングは失敗してしまう。それは、問題解決器の知識が、問題解決に関して完全であると仮定し、もてる知識のみでプランニングするからである。ところが、現実には、問題解決器の知識は極めて不完全であり、その世界で閉じてしまうことは、創造的プランニングを妨げる。放射能の例でも、問題解決器は放射能防護服を知らないが、その機能を果たすものが存在すれば傘から類推したそのプランが有効であることを示している。

ただし、オブジェクトやオペレータの存在の仮定を用いたプランは、その結果のフィードバックを必要とする。

もし、プランが成功したとすると、仮定したオブジェクトやオペレータは新しく現問題領域のものとして知識ベースに加える。逆に、失敗した場合は、オブジェクトやオペレータの存在の仮定が誤りであったとみなし、現問題領域での制約として知識ベースに加える。

5.4 プランの成功/失敗のフィードバックと一般化

複数の領域で適用できた事例からプランの一般化を行なう可能性があるが、プランは各領域毎に異なる側面から調整を行なっているため、必ずしも特定の一般化をうながすものではない。また、プランの成功/失敗が、問題解決器の知らない原因によって左右される可能性もある。よって、一般化を考える場合は、上記の点に留意して、成功/失敗の要因を分析しておく必要があるだろう。

6. エキスパート・タイプとノービス・タイプの統合

2章で述べたように、これら2種の問題解決は、問題解決器の分類ではなく事例に基づく問題解決の過程の2つの側面である。よって、実際に問題解決を行なうシステムでは、これらを統合した問題解決過程をとらねばならない。その概略を図3に示す。

7. おわりに

著者らは、事例に基づく問題解決をノービス・タイプとエキスパート・タイプに分類し、ノービス・タイプの問題解決において誘導類推的な方法を導入することを提案した。これにより領域を越えて事例を利用することが可能になり、狭い問題領域に縛られず、従来から指摘されている人工知能システムの脆弱性を回避するひとつの手がかりが得られると考える。

参考文献

- [Ham 87] K. J. Hammond : Case-Based Planning, position paper written for the DARPA workshop on planning, Santa Cruz, CA, 1987.
- [Kol 85] J. L. Kolodner, R. L. Simpson, Jr. and K. Sycara-Cyranski : A Process Model of Case-Based Reasoning in Problem Solving, Proceedings of IJCAI-85, pp. 284-290, 1985.

- [Kol 87] J. L. Kolodner : Extending Problem Solver Capabilities Through Case-Based Inference, Proceedings of fourth international workshop on Machine Learning, pp.167-178, 1987.
- [Leh 87] W. G. Lehnert : Case-Based Problem Solving with a Large Knowledge Base of Learned Cases, Proceedings of AAAI-87 Sixth National conference on Artificial Intelligence, pp.301-306, 1987.
- [Owe 88] C. Owens : Domain-Independent Prototype Cases for Planning, Proceedings of Case-Based Reasoning Workshop, pp.302-311, 1988.
- [Car 86] Derivational Analogy : A Theory of Reconstructive Problem Solving and Expertise Acquisition, in Machine Learning vol.2, chap.14, Michalski et al. eds., Morgan Kaufmann, 1986.
- [Car 83] J. G. Carbonell : Learning by Analogy : Formulating and generalizing Plans from Past Experience, in Machine Learning vol.1, chap.3, R.S.Michalski et al. eds., Morgan Kaufmann, 1983.
- [Sch 80] R. C. Schank : Language and Memory, Cognitive Science vol.4, pp.243-284, 1980.
- [Kol 84] J. L. Kolodner : Retrieval and Organizational Strategies in Conceptual Memory, Lawrence Erlbaum Associates, 1984
- [Sch 77] R. C. Schank and R. P. Abelson : Scripts, Plans, Goals and Understanding, Lawrence Erlbaum Associates, 1977.
- [Wil 81] R. Wilensky : Meta-Planning : Representing and Using Knowledge About Planning in Problem Solving and Natural Language Understanding, Cognitive Science 5, pp.197-233, 1981.
- [Wil 83] R. Wilensky : Planning and Understanding, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1983.

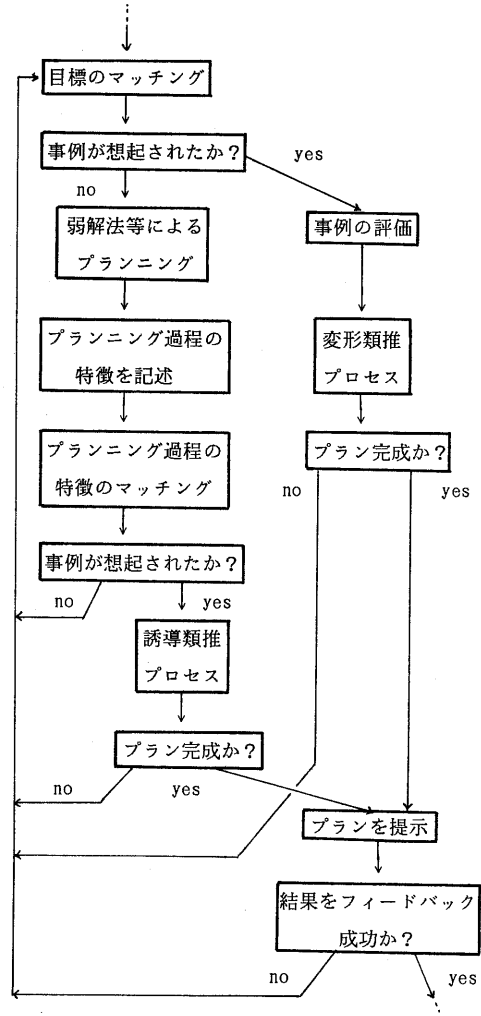


図3. 二つのタイプの問題解決プロセスの統合
(主に右側がエキスパート左側がノービスのプロセス)