

## 解説



## 定性推論の応用に関する展望†

岩崎 由美††

## 1. はじめに

今日エキスパートシステムは、実社会の中で、重要な情報処理の手段の一つとしての地位を確立している。しかし、そのほとんどは経験的な、いわゆる「浅い」知識に基づいて開発されたシステムである。経験則に頼るシステムが普及するにつれ、その根本的な欠点も数多く指摘されるようになった。従来の「狭くて浅い」エキスパートシステムに対して、次の世代のシステムとしては、対象の設計段階から保守までの情報を一貫して管理し、それを使って、知識を必要とする多くの作業をサポートできるものが望まれている。定性推論で研究されてきた、対象に関する深い知識に基づくモデルを使った推論は、そのようなシステムを実現するうえで重要な技術になると思われる。本稿ではこの観点に立って、定性推論、特にモデルに基づく推論とそれを利用する技術の発展によって、将来どのような応用システムが可能になるかについて考察する。

## 2. 経験則に基づく従来のエキスパートシステム

経験則だけに頼る従来のシステムの問題点は、扱う対象に関する基礎的な知識が欠けていることである。この種のシステムは、「エンジンの温度が高ければエンジンオイルが不足している可能性がある。」といった、片方が観察されればもう一方も観察される可能性が高い二つの命題の関係を、ルールという形で定式化した知識としてたくさんもっている。しかし、「オイル不足」と「高エンジン温度」という命題の関係をルールとしては知っていても、そもそもエンジンが何であ

り、どういう仕組みでどういう働きをするものであり、オイルとどういう関係があるか、などというあたり前の知識をもっていない。このことは、次のようなこの種のシステムの弱点につながっている。

1. 知識ベースの再利用が困難
2. 説明機能の貧困
3. 知識ベースの合成が困難

第一は、知識ベースの利用法が限られていることである。車の診断を目的としてまとめた経験的知識の大部分は、たとえ同じ車に関してでも、設計や挙動予測などの別用途には使用できない。また、これらの知識ベースが、燃焼、熱力学、機械など同じ工学的な基礎知識に基づいていても、扱っている対象が違う問題には利用することができない。この結果、知識獲得、知識ベースの構築などの、手間のかかる作業を、似たような分野ごとに、また同じ分野でも違った問題を扱おうとすることに繰り返すことになり、非常に無駄が多い。

第二は、この種のシステムが提供する説明機能は、問題に関するユーザの理解を助ける点では役に立たないことである。ある問題に対してなぜこの結論に達したのか説明を求めても、システムは、使ったルールの繋がりを示すのみである。しかし、なぜ「エンジンの温度が高い」という入力から「エンジンオイルが足りない」という結論に達したかと尋ねられて、「ルール×番と○番を使った」という程度の説明では、知識ベースのデバッグには役立っても、「なぜそうなるのか」というユーザの本当の疑問に答えたことにはならない。疑問に答えるには、「エンジンオイルは、エンジンのピストンとシリンダの間の摩擦を少なくする役割を果たしている。そのため、オイルが少なくなると摩擦が増えて、その結果摩擦熱でエンジンが熱くなる」といった、エンジンの構造やそこで起こっている物理現象の間の因果関係を踏ま

† Prospect on the Future Applications of Qualitative Physics by Yumi IWASAKI (Knowledge Systems Laboratory, Department of Computer Science, Stanford University).

†† スタッフォード大学工学部計算機学知知識システム研究所

えた説明が必要である。このような説明機能の貧困は、浅い知識に頼るシステムの知識ベースを教育や訓練に使えないことの一理由の一つになっている<sup>6)</sup>。

第三は、対象に関する基礎的な知識を欠けているため、目的に応じた知識ベースを組織的に作成する手段がないことである。従来のエキスパートシステム技術では、対象とする分野と問題の種類を限定する場合に限り、浅い知識（コンパイルされた知識と呼ぶこともある）に基づいて能率よく問題を解くシステムを作ることができた。反面、知識ベースの構築には多大の労力と時間を必要とするので、知識獲得がボトルネックといわれてきた。このボトルネックを解消するためには、知識ベースの自動合成が今後さらに重要となってくると思われる。一般的な基礎知識から、特定の種類の問題を能率良く解決するのに役立つルールを作り出す知識コンプレーションは、知識ベースを自動合成する手段の一つとして有望である<sup>3)~5), 19), 22)</sup>。しかしそのためにはもとなる深い知識が必要であり、それなしには知識ベースを組織的に合成するのは難しい。

### 3. 定性推論の応用における課題

定性推論の特徴は、定性的な情報を使って推論するところにある。しかしそれ以上に重要なのは、与えられた領域のモデルに基づいて対象の振る舞いを推論する点である。前章で述べた従来のエキスパートシステムの欠点を克服し、その応用範囲をさらに広げるうえで、モデルに基づいた推論 (model-based reasoning) はこれからますます重要になると考えられている。

モデルに基づいた推論の「モデル」とは、対象の構造やそこで起こっている物理現象、その間の因果関係などに関する知識を、一般的な形で宣言的に表したものである。前章のエンジンの例のように、エンジンの構造や燃焼、運動、摩擦、熱伝導などに関する明示的な知識表現をモデルとすると、それを使ってエンジンの振る舞いを推論することをモデルに基づく推論と呼ぶ。それに対して、直接観察される性質（たとえば地面の上の油の跡）と結論（エンジンの温度が上がる）を、それに結び付ける原理には言及せずに短絡的に結び付ける知識を用いて行う推論は、モデルに基づく

推論とは言い難い。定性推論の研究は、モデルに基づく推論において、対象領域の原理的な知識を一般的な形で表すための知識表現や、それを使う推論方法の開発に重要な成果をあげている。

対象をモデル化し、さまざまな条件のもとで挙動を予測し、対象の性質を調べることは、科学、工学のどの分野でも広く行われている最も基本的なパラダイムといってもよい。この過程には、**図-1**に示すように、大きく分けてモデルの構築、モデルの性質を明らかにするための実験や解析、結果の解釈の三つの段階がある。

いったん対象をモデル化して初期値を与えると、そこから数値的な結果を引き出すのは比較的機械的な作業である。従来から計算機は、そのための手段の一つである数値シミュレーションに欠かせない道具として威力を発揮してきた。反面、モデルの構築や結果の解釈は、モデルの分析に使われる技法の知識、ならびにモデル化の対象に関する基礎的な知識を大量に必要とするため、今までのところほとんど技術者の手作業で行われている。定性推論は、与えられたモデルの挙動の推測だけでなく、モデルの構築から結果の解析までの全段階を研究の対象としている。

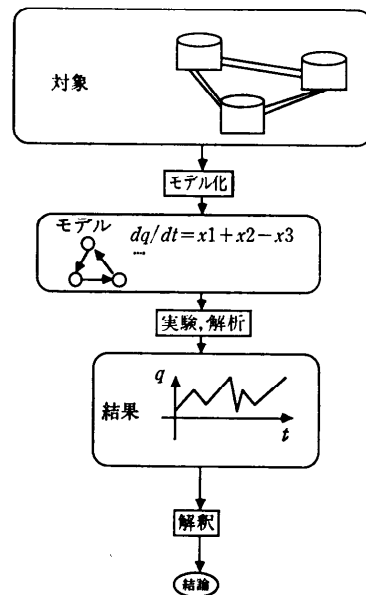


図-1 モデルに基づく推論の過程

### 3.1 応用の筋書き

対象の詳細なモデルおよびその管理や解析作業に必要な基礎知識やノウハウをもち、作業の全段階で技術者をサポートする能力のあるシステムが実現したときに、どんな機能を提供できるのか、次のような仮定の筋書きをもって描いてみる。図-2 はそのようなシステムの構想図である。

地球を回る人工衛星を設計することにしよう。その衛星では、備え付けてある太陽電池と蓄電池の組合せによって電力を賄う。日中は、太陽電池が発電して電力の需要を満たすだけでなく、余剰電力で蓄電池を充電して夜間の電力需要も賄う。この電気系統の詳しい設計を進めていくにつれて、それに関する情報を入れたモデル（図中のデバイス モデル）が構築される。このモデルは単に物理的な構造だけでなく、全体と各部分の機能、作動のための条件、設計理由などの情報も含んでいる。

モデルに基づく推論の機能は、設計者が多様な可能性を容易に模索できる環境を提供する。当初の設計ではニッケル-カドミウム (NiCd) 電池が使われたとする。モデルを使って、この設計によるシステムが、予想されるさまざまな条件のもとでの電力需要を満たすかどうか、またそのためには NiCd 電池は具体的にどのような仕様のもでなければならないかを判断する。仮に、モデルを使ったシミュレーションの結果、NiCd 電池特有

のメモリ効果による容量の低下によって、予想される電力需要が満たされなくなることが分かったとする。それに対処するために、設計者は電池の修復回路を設計に加えて、その使用手続きを指定する。そこでさらに、修復回路が他の部分の妨げにならないか、修復手続きが予想される容量の低下の回復にどれくらい有効であるか、などの分析をシステムが行う。こうして作り上げられたモデルは、分析結果に基づいてくださった設計上の判断の根拠を、記録、説明する手段としての役割も果たす。

仮に、設計の途中で電池技術の進歩によって NiCd 電池よりも、ニッケル-水素 (NiH<sub>2</sub>) 電池のほうが、経費や重量の面で優れたものになり、電池を代えることになったとする。当初の設計は NiCd 電池の性質を考慮して作ったものであるから、電池の代替は他の部分の設計変更も余儀なくする。この際に、モデルに記録してある部分の設計理由は、どの部分を手直ししなくてはならないかを決定するのに役立つ。たとえば、先に加えた修復回路は、メモリ効果の少ない NiH<sub>2</sub> 電池を使用する場合は削除できる。また、修復回路を加えたために設計を変更した部分ももう一度見直す必要が出てくる。このように設計の進行にともなって構築されたモデルは、設計中あるいは設計後も、予想外の状態が起きた場合に、システムの再編成の可能性を模索しその挙動を予測する作業を助けることができる。

モデルに基づいて挙動を推定し、説明する機能は、技術者や乗組員の訓練にも利用できる。この機能は、さらに操作や保守のマニュアルを自動的に作成するためにも使える可能性がある。その他、システムの監視、故障診断、自己処理に当たるエキスパートシステムの構築にも利用できる。

次に、以上に描いた構想を実現するための三つの重要な課題について述べる。

### 3.2 特定モデルの構築

与えられた対象の構造や機能に関する知識からシステムの挙動を推定する能力は、他の多くの機能を実現するためにも必要な最も基本的な能力である。その機能は、推論のためのモデルの構築、推論、解釈の三つの作業を行う機能に分けられる。その中でも、与えられた問題解決のための適切なモデル（図-2 の中のデバイス モデルと区

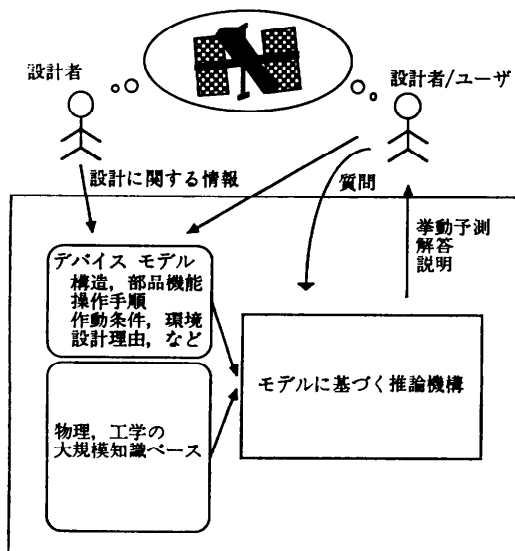


図-2 システムの構想図

別して、ここでは特定モデル…Problem-Specific Model…と呼ぶ)を構築する作業は、非常に多くの知識を要する自動化の困難な作業である。特定モデルは、微分方程式や差分方程式で表される場合も、他の方法で表される場合もある。モデル化の際、人間は対象に関して与えられた問題を解決するには、どのようなモデルが適切であるか考えて構築する。そのために、対象のどの側面(たとえば、熱力学的、科学的、機械的など)に注目し、それをどれくらい詳細に反映させる必要があるかななどの点を考慮に入れる。定性推論システムがモデルを構築する際にも、まずユーザが推論の目的をはっきり指定したうえで、システムが、それに応じて、適切な仮定条件を定める必要がある。構築されたモデルが人間に理解しやすいものであるためにも、また挙動推定の作業を必要以上に複雑なものにしないためにも、モデルの抽象化、単純化が重要である。モデルの自動合成、自動選択、抽象化などの課題は、定性推論の中で今最も盛んに研究されている課題の一つである<sup>2), 7), 11), 13), 16)~18), 21), 24)</sup>。

特定モデルを作成する機能をもつことは、シミュレーション機能の有効範囲を広げることにもなる。従来のシミュレーションプログラムは、対象の状態が仮定された条件の範囲を越えた場合には役に立たない。しかし、システム自体に特定のモデルを作成する能力があれば、新しい状況に合ったプログラムを作成してシミュレーションを続行することが可能になる。また、シミュレーションの結果を解釈する作業には、モデルの抽象化で仮定した条件など、特定モデルの構築に使われた知識が必要である。システム自体に特定モデルを構築する機能があることは、結果を解釈する作業の自動化にもつながる<sup>13)</sup>。

### 3.3 モデルに基づく説明機能

モデルに基づく推論機能を使うことによって、人間に分かりやすいグラフィックスや自然言語を用いて装置の仕組みを説明するプログラムを作成することが可能になる。ここで言う「仕組みに関する説明」とは、対象の状態に変化をもたらす原因となるプロセスや因果関係の概念を用いた説明である。定性推論は、プロセスや因果関係に関する知識を直接用いて挙動を予測するので、その意味での説明は比較的自然に供給できる。従来のシ

ミュレーションによって得られる数値結果を、ユーザが挙動を理解するうえで意味のある因果関係などの概念を使って解釈するためにも、定性推論に基づく説明が役に立つ。

### 3.4 エンジニアリング用の大規模知識ベース

上述したモデルに基づく推論機能や説明機能を実現するのに最も重要な資源となるのは、言うまでもなく知識である。応用物理や工学の分野には、モデルの作成と使用技術に関する知識が豊富にある。定性推論は、このような、今まで手作業だけでしか表現し使用することのできなかった知識を、計算機上で、大勢がさまざまな目的に利用できるように形にすることによって、これらの分野に貢献できると思われる。

この10年あまりの間に、工学的、科学的知識の表現法やその利用については、かなりの技術的な進歩があった。たとえば、因果関係や、関数を通じた変数間の依存関係の知識を使った故障診断や設計のための手法がいくつか開発された<sup>8)~10), 14), 15), 23)</sup>。この種の手法は、限られた分野でいくつかの例題を扱えることは実証されている。しかし、それを実際に広く役立つものにするためには、実世界にあるものの仕組みについての大量の知識が必要である。言い換えれば、エンジニアの知的なアシスタントを実現するための人工知能の手法は、今のところ使える知識の幅の狭さと少なさによって用途が限られている。この問題を解決して、汎用度の高いモデルに基づく推論システムを実現するためには、知識の深さの点でも量の点でも従来の知識ベースの枠を越えた、大規模な知識ベースが必要であると考えられる。

大規模な知識ベースの構築は、非常に多くの労力と時間のかかる作業である。また、多くの人間の間のコミュニケーションを助け、多目的に使える知識ベースという目標からも、その構築には、大学や専門分野の枠を越えて幅広いグループの協力が不可欠である。しかしそのためには、まず第一に、皆が同じ言葉を喋ることが必要である。「同じ言葉を喋る」とは、知識表現に共通の表現形式があること、基礎的な知識の中核をなす一般的な概念を表す共通の語彙があること、さらにそれを使ってそれ以外の言葉の意味(概念)を一意定義するための形式が与えられていることである。

今まで意味ネットワークや述語論理などの形式

を使って、さまざまな分野で数多く知識ベースが構築されてきた。しかし、その中で、別々の人間が開発した二つの知識ベース間で、自由に情報交換ができた例は少ない。今の知識表現言語の状態は、CommonLisp 以前の Lisp 言語の状態よりもさらに混沌としていて、さながらバベルの塔といった状態を呈している。その理由は、今までの知識ベースの構築では、知識の表現形式やその中で使われる語彙は、その場の目的だけを眼中において選択されてきたからである。また、同じ表現方式や語彙を使っているにもかかわらず、情報の交換が自由に行えるわけではない。表現された知識が実際の対象について何を意味しているかを知るためには、使われている単語の正確な定義がなくてはならない。たとえば、「抵抗」という名詞は、知識ベースごとに、「電気回路の中に使われる特定の種類の部品」、「一般に電気を流せば無視できない程度の抵抗があるもの」、あるいは「電気抵抗値」のいずれかを意味するかも知れない。このような違いは微妙なようでも、明白にしなければ、表現されている知識を正確に解釈できない。大勢で使える汎用的な大規模知識ベースを共同作業で構築するには、表現形式に加えて、知識の中核となる語彙と、それを使ってさらに他の用語を定義するための形式を定めることが不可欠である。

4. 定性推論の応用プロジェクト

この章では、応用プロジェクトとして、スタンフォード大学とマサチューセッツ工科大学で進んでいるプロジェクトを紹介する。

4.1 How Things Work プロジェクト

スタンフォード大学知識システム研究所で進められている How Things Work プロジェクト (以下 HTW と略す) では、モデルに基づく推論技術を中心として、エンジニアリングの分野で今までのエキスパートシステムを越えるものを作ることを目指している。その中心となるのは、Device Modeling Environment (以下 DME と略す) と呼ばれる技術設計用のインタラクティブな計算環境で<sup>18)</sup>、図-2 の構想を具体化したものである。ここでは、技術者が装置の構造を設計図のような形で与え、その振る舞いに関する質問を提示すると、適切なモデルをシステムが自動的に作成し、解析を行う。得られた結果は、ユーザの目的に

じた適切な解釈を加えて提供される。ユーザは、それを受けてさらに詳しい分析を要求したり、あるいは設計を手直したり、さらに具体的な情報を加えたりして設計を進めていく。このように、人間とシステムが共同で作業を進めていく環境をわれわれは目指している。

DME のトップレベルの構造は図-3 に示す。システムの中核となるのは、工学の基礎知識を含む知識ベース、モデル構築部、挙動予測部、結果解釈部である。知識ベースの中には、対象の分野で起こり得る個々の物理現象や部品の機能などに関する知識が個体挙動モデル (individual behavior model...ibm) と呼ばれる形で集められている。ibm は、Forbus の定性プロセス理論<sup>12)</sup>における定性的プロセスや個体ビューの定義に準じた形で、前提条件、拘束条件、それに影響の三つの部分で定義されている。QPT は、連続的な動的プロセスとして表される物理的な自然現象を主に扱う。それに対して、HTW は自然に起こり得る物理現象だけでなく、個々の部品の機能や平衡状態にある現象、非連続的な変化をもたらす現象も ibm として表し、同じ枠組みの中で扱う。

装置の構造と初期条件を入力として与えられると、モデル構築部は前提条件が満足されている ibm を選んで、与えられた構造に合わせてそれぞれの具体例 (instance) を作る。その具体例に含ま

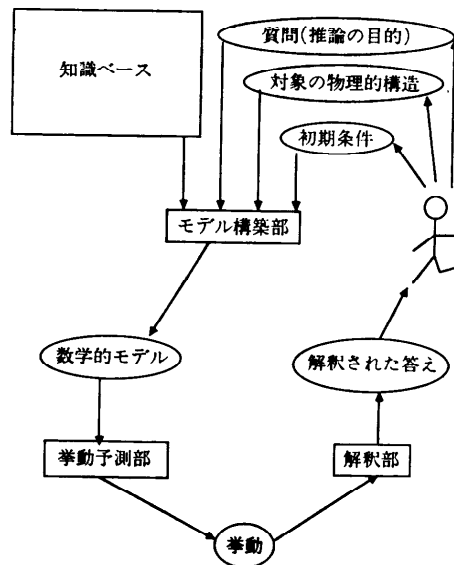


図-3 DME のトップレベル構造

れている変数間の拘束条件や影響に関する情報を集めて、定性的な方程式モデルが作られる。挙動予測部は、それを使って対象の振る舞いを予測する。この部分は、現在は QSIM<sup>20)</sup> に基づいた定性シミュレーションを行うが、ほかにも数値シミュレーションや、シミュレーション以外の解析方法も必要に応じて駆使できるようにする予定である。さらに解釈部は、発生した現象や変化の大筋をまとめて、振動、分散、収束などの言葉を使ってユーザに報告する。将来この解釈部は、ユーザの目的を詳細に分析して、よりの得た解答や説明ができるようにする予定である。

HTW は、応用分野としては電気、機械に焦点を当てており、特に人工衛星のいくつかの部分を取っている。また、複数の技術者が多目的に使える大規模知識ベースの構築を目指して、電子工学や機械工学の研究者と共同で、装置の構造、機能、物理的プロセスなどの知識を表すための共通言語や共通のオントロジーを確立する作業も進めている。

#### 4.2 Scientific computing プロジェクト

マサチューセッツ工科大学では、非線形な動的モデルの振る舞いを明らかにするための過程…シミュレーションプログラムの構築、それを使った数値実験の設計と実行、出た結果の解釈…の作業を助けるためのプログラムが、いくつか構築されている<sup>1)</sup>。各プログラムはこの過程の別々の段階に焦点を当てているが、いずれも従来の数値計算に基づいた解析技術と AI の手法を共に用いて、さまざまな分野で扱われる動的体系の挙動を調べる際の知的なアシスタントを実現することを目指している。

各システムの目的を表-1 にまとめて示す。Abelson の分岐解釈システム (Bifurcation Interpreter) は、パラメータの範囲と状態空間の中の領域を指定すると、与えられた動的モデルの定常状態における軌道を見つけて、その軌道の分岐点周辺がパラメータの変化につれてどのように変化するかを探り、その結果を要約して報告する。

Yip の KAM は、与えられたモデルについて数値シミュレーション実験を計画する際に、モデルの挙動を理解するために最も有効な初期条件を設定し、実験の結果得られた相肖像 (phase diagram) を描いて、その特徴を要約する。KAM で注目す

表-1 MIT の各システムとその機能

システム名	機能
Bifurcation Interpreter	動的システムの定常軌道を探る、軌道と分岐のタイプを分類。
KAM	非線形システムの相肖像を描き、その特徴を定性的に説明。
Kineticists Workbench	化学反応のメカニズムの特徴を定性的に説明。
PRL	非線形微分方程式の解の挙動を区分線形推論によって定性的に説明。
Digital Orrery	物体間の重力方程式を解くための高精度の数値積分マシン。

べき点の一つは、ユーザに提示するために相肖像を描くだけではなく、システム自身がコンピュータビジョンの手法を使って、軌道がどの種類に属するかを決定するのに相肖像を使うことである。

Sacks の開発した区分線形推論 (PLR) プログラムは、閉解を求めるのが難しい非線形微分方程式の振る舞いについて、区間別の線形近似を使って状態遷移図を描き、全体の挙動を定性的に説明する。

Eisenberg の Kineticist's Workbench は、数値シミュレーションとシンボリックな手法を合わせて用いることによって、複雑な化学反応のメカニズムの特徴を、平衡、定常状態、振動など、化学者にとって意味のある言葉で説明する。

Sussman のグループが開発した Digital Orrery は物体間の重力方程式を積分するための、高精度の数値積分マシンである。この小型の専用マシンを作ることによって、従来、非常に多くの計算量を必要とするためにスーパーコンピュータを駆使して行われていた作業が、大変手軽にできるようになった。Sussman らは、長い間天体力学の分野で未解決であった太陽系の安定性の問題に挑むために、このマシンを使って数値実験を行い、太陽系の長期にわたる運動がカオス的であることを実証した。

MIT のこれらのプロジェクトは、従来の数値計算技術と AI の手法を駆使することによって、高度な科学計算における知的なアシスタントを目指しており、注目に値する。

## 5. おわりに

定性推論の意義は、モデルの挙動推定だけでなく、モデルの構築や挙動の解釈など、従来の技術が系統立てて扱わなかった問題を、人工知能の手法を用いて扱っているところにある。しかし、定性推論に限らず、新しい技術を実際の場で有効に使うためには、その技術を孤立したものとして使うのではなく、既存の推論、解析技術と組み合わせ、いかにしてシステム全体の機能の拡大や改善に導くかが鍵となる。本稿ではこの見地から、複雑な対象の挙動に関するさまざまな問題の解決に、従来の技術に加えて、定性推論、大規模知識ベース、それに基づく説明機能などの技術を合わせ持つ包括的なシステムが果たし得る役割について考察した。紙面の都合で説明できなかったが、定性推論の研究の成果を大規模な実際問題に応用する努力をしているものには、他にも Forbus & Falkenhainer<sup>11)</sup> や Addanki et al.<sup>2)</sup> などのプロジェクトがある。

## 参 考 文 献

- 1) Abelson, H., Eisenberg, M., Halfant, M., Katzenelson, J., Sacks, E., Sussman, G. J., Wisdom, J. and Yip, K.: *Intelligence in Scientific Computing*, *Comm. of the ACM*, Vol. 32, No. 5, pp. 546-562 (1989).
- 2) Addanki, S., Cremonini, R. and Penberthy, J. S.: *Reasoning about Assumptions in Graphs of Models*, *Proc. of IJCAI-89*, pp. 1432-1438 (1989).
- 3) Anderson, J. R.: *Knowledge Compilation: The General Learning Mechanism*, *Machine Learning*, Vol. 11, ed. by Michalski, R. S., Carbonell, J. G. and Mitchell, T. M. (1986).
- 4) Araya, A. A. and Mittal, S.: *Compiling Design Plans from Descriptions of Artifacts and Problem Solving Heuristics*, *Proc. of IJCAI-87*, pp. 552-558 (1987).
- 5) Brown, D. C. and Sloan, W. N.: *Compilation of Design Knowledge for Routine Design Expert Systems: An initial view*, *Proc. ASME International Computers in Engineering Conference*, Vol. 1, pp. 131-136 (1987).
- 6) Clancey, W. J.: *The Epistemology of a Rule-Based Expert System—a Framework for Explanation*, *Artif. Intell.* Vol. 20, No. 3, pp. 215-251 (1983).
- 7) Crawford, J., Farquhar, A. and Kuipers, B.: *QPC: A Compiler from Physical Models into Qualitative Differential Equations*, *Proc. of AAAI-90*, pp. 365-372 (1990).
- 8) Davis, R.: *Diagnostic Reasoning Based on Structure and Behavior*, *Artif. Intell.*, Vol. 24, pp. 347-410 (1984).
- 9) de Kleer, J. and Williams, B. C.: *Diagnosing Multiple Faults*, *Artif. Intell.*, Vol. 32, No. 1, pp. 97-130 (1987).
- 10) de Kleer, J. and Williams, B. C.: *Diagnosis with Behavioral Modes*, *Proc. of IJCAI-89*, pp. 1324-1330 (1989).
- 11) Falkenhainer, B. and Forbus, K.: *Setting Up Large-Scale Qualitative Models*, *Proc. of AAAI-88*, pp. 301-306 (1988).
- 12) Forbus, D. K.: *Qualitative Process Theory*, *Artif. Intell.*, Vol. 24, pp. 85-168 (1984).
- 13) Forbus, D. K.: *Self-Explanatory Simulations: An Integration of Qualitative and Quantitative Knowledge*, *Proc. of AAAI-90*, pp. 380-387 (1990).
- 14) Genesereth, M.: *The Use of Design Descriptions in Automated Diagnosis*, *Artif. Intell.*, Vol. 24, pp. 411-436 (1984).
- 15) Hamscher, W. C. and Davis, R.: *Diagnosing Circuits with State: An Inherently Underconstrained Problem*, *Proc. of AAAI-84*, pp. 142-147 (1984).
- 16) Iwasaki, Y.: *Two Model Abstraction Techniques Based on Temporal Grain Size: Aggregation and Mixed Models*, *Proc. of the Third International Workshop on Qualitative Reasoning* (1989).
- 17) Iwasaki, Y.: *Reasoning with Multiple Abstraction Models*, *Proc. of the 4th International Workshop on Qualitative Physics*, pp. 183-194 (1990).
- 18) Iwasaki, Y., Low, C. M. and Nayak, P.: *DME: An Interactive Environment for Modeling Devices*, Technical Report, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University (1990).
- 19) Keller, R., Baudin, C., Iwasaki, Y., Nayak, P. and Tanaka, K.: *Compiling Diagnosis Rules and Redesign Plans from a Structure/Behavior Device Model: The Details*, Technical Report KSL 89-50, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University (1989).
- 20) Kuipers, B.: *Qualitative Simulation*, *Artif. Intell.*, Vol. 29, pp. 289-338 (1986).
- 21) 溝口文雄: 定性推論のためのモデル化支援システム, *人工知能学会誌*, Vol. 4, No. 5, pp. 547-555 (1989).
- 22) Sembugamoorthy, V. and Chandrasekaran, B.: *Functional Representation of Devices and Compilation of Diagnostic Problem-Solving Systems, Experience, Memory, and Reasoning*, ed. by Kolodner, J. L. and Riesbeck, C. K. (1986).

- 23) Reiter, R.: *A Theory of Diagnosis from First Principles, Artif. Intell.*, Vol. 32, pp. 57-96 (1987).
- 24) Weld, D.: *Approximation Reformulations, Proc. of AAAI-90*, pp. 407-412 (1990).  
(平成2年9月7日受付)

**岩崎 由美**

1979年オーベリン大学数学科卒業。1982年スタンフォード大学大学院計算機学科修士課程修了。ノレッジエンジニアとしてテクノレッジ社勤務の後、1988年カーネギーメロン大学大学院計算機科学科博士課程修了、工学博士。同年スタンフォード大学計算機科学科知識システム研究所研究員。現在に至る。定性物理、因果関係を使った推論、モデルに基づいた推論などの技術の開発と、その応用に興味を持つ。AAAI, JSAI, Sigma Xi, CPSR (Computer Professionals for Social Responsibility) 各会員。

