知識工学と人工知能 61－6パ4
（1988. 11. 17）

記号，その効用と限界
－ 知識処理における記号主義とパターン主義 －
定性推論の立場から

西田豊明
京都大学工学部情報工学教室

本稿では，定性推論という立場から，記号主義の効用と限界という問題について考えてみたい．物理システムのモデル化に焦点をあて，記号主義の立場，その効用，その限界，記号主義の不完全性を補うための知識構造，定性推論の立場，今後の研究方向という順序で議論する．

Symbolism: its Utility and Limitation
-- Symbolism and Patternism in Knowledge-based Systems --
From the Viewpoint of Qualitative Reasoning

Toyoaki Nishida
Department of Information Science, Kyoto University
Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan
nishida%doshita.kuis.kyoto-u.junet%japan@cs.net.relay

In this paper, I will argue the given problem -- the utility and the limitation of symbolism -- from the viewpoint of qualitative reasoning. I will focus the attention to modeling physical systems and discuss the following issues in order: the characterization of symbolism, its utility, its limitation, the knowledge system derived from the incompleteness of symbolism, qualitative reasoning and its relevance to the issue, and the suggested research direction.

0．あらまし

本稿では，定性推論という立場から，記号主義の効用と限界という問題について考えてみたい．広い意味では定性推論の対象は動的システム全般，ひいては思考過程全般にかかわるものであると考えられるが，ここでは焦点を絞るため物理システムを中心に議論する．

1．記号主義の立場　-- 記号主義＝認識＋記述＋推論

実世界の現象に関する学問は物理学である．知識体系としての物理学は，実世界の認識論とそれに基づくモデルにわけられる．質点系力学の場合は，物理世界を認識するため質点，力という概念が用いられ，その上の法則性が運動方程式という形で記述される．運動方程式は記号表現（数式）であり，記号処理の対象となる．

質点系力学を適用するためには，まず与えられた問題における質点を認識する．次に適当な座標系を定めて，認識された質点の位置，速度，質点に働く力などの要因を考慮して方程式をたてる．そして，たてられた方程式に基づいて予測を行なうことができる（図1）．

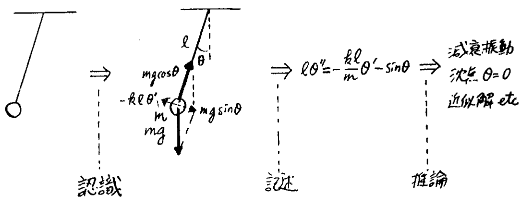

図1　記号主義＝認識＋記述＋推論

2．記号主義の効用　-- 推論・記憶・伝達・共有の効率

物理学にみる限りその効用は絶大である．与えられた状況を一旦認識論で捉えてしまえば，その後は記号と実体との関係を忘れて記号処理に専念すればよいということが経験的に保証されているといってよい．物理学の法則は全ての場合に対して検証されたわけではないという意味で，仮説に過ぎないが，これまで観測では測定誤差を極力小さくしたときこの法則によく合致することを指示すると考えられるデータが得られており，未知の状況に対しても正しい答ら得られるだろうということが経験的に知られている．（このあたりの議論に関しては文献1参照．）

議論を物理学に限らなくても，記憶，伝達，共有にも記号表現の効用は大きい．

3．記号主義の限界と問題点

(1) 記述能力の限界

万能で普遍的というのは推論に関するものばかりでなく，記述に関してもそうである．我々が最も広く使用する自然言語ですら万能ではない．写真1は著者が上海に旅行したとき観光船の上から撮影した風景であるが，これを自然言語に置き換えても同等の情報量は持たない．

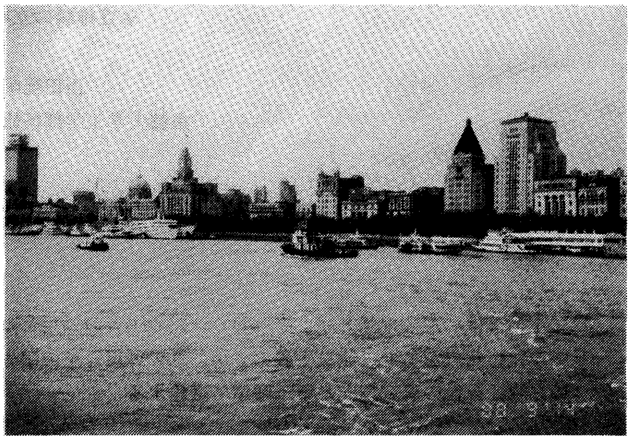

写真1　画像情報≠言語情報

ただし，記号系による近似はできる．写真1を任意の精度でデジタル近似することは可能である．ただし，このような量子化による近似は自然言語や他の高レベルの記号系による近似と性格が異なる．実際，このような画像よりも自然言語の方がより適切に表現できる情報もあるが，この問題についてはここでは議論しない．

(2) 適用の限界

万能で普遍的な記号系は存在しない．これまで知られているどの記号系や理論（例えば，ニュートン力学）も適用限界があるという意味で万能ではない．

(3) 適用条件の暗黙性

どのような場合に与えられた対象を質点と考えれば良いかという判断は暗黙的であり，理論適用者の経験や勘にかなり依存する．

4．知識構造　-- 人間の知識＝ロゴス＋パトス

ここで人間の知識構造に話題を写したい．人間の知識が言語化できる部分（ロゴス（logos）：「言葉」）とそうでない部分（パトス（pathos）：「情念」，本稿では感念という造語を用いたい）に分けられる（図2）という観察はギリシャ時代の昔から行なわれていた[3]．

人間が意識的・明示的に行なう推論に関わる部分はロゴスである．一方，パトスは感覚，勘というような（広

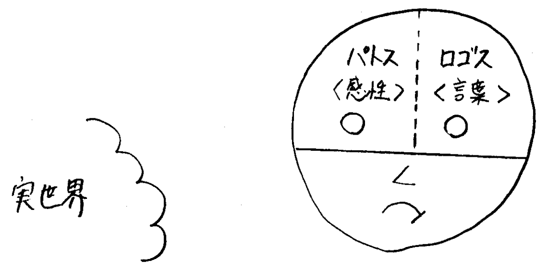

図２　人間の知識＝ロゴス＋パトス

い意味での）知識のまだ言語化されないどろどろとした部分であるが，概念間の距離感覚を司るという意味で重要な役割を果たすと考えられる．ロゴスとパトスの対比は情報科学ではシンボリズムとパターンニズムの対比に相当する．

（1）ロゴス＝言語：論理性，パトス＝感性：距離感覚

ある現象が完全に記号系として捉えられたときは，純粋にロゴスすなわち記号系の持つ演算だけで現象の完全な説明と予測が得られるが，日常世界ではそのようなことはまれである．ほとんどの場合，ロゴスによる言語化から取り残された部分が存在し，それがパトスとして残っていると考えられる．一般に，論理的な記号系では距離尺度が与えられていないので，メトリックな情報はパトスの部分が担っていることが多いと考えられる．そのため，与えられた情報をロゴスのレベルだけではなく，パトスのレベルまで進めて理解しないと深い理解が得られないと考えられる．

（2）知識の増加＝ロゴス化された範囲の増加

パトスは不安定な存在でありロゴスに比べて演算・伝達・共有が困難である．これまでの科学の歴史はよりよいロゴス（記号系）を創出(theory formation)し，共通の知識におけるロゴスの割合を高めようという試みの繰り返しとして位置づけられよう．ロゴスの創出は創造的な仕事であり，膨大な試行錯誤的探索を必要とする．

（3）理論の画期的進歩＝矛盾した記号系の統合

歴史を振り返ってみると，科学に画期的な進歩があったのはロゴスとして体系化された知識に矛盾が生じたときである．矛盾した理論を統合する新しい理論構築が試みられるであろう．矛盾した理論Ａ，Ｂが与えられたとき，模索される新しい理論Ｃは理論Ａと理論Ｂを包括するようなものである．すなわち，Ｃの適用範囲はＡとＢよりも広く，ＡとＢはＣのある条件のもとでの近似として特徴づけられるものである．これを模式的に示すと図３のようになる．

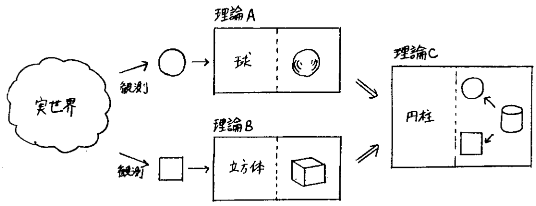

図３　矛盾した理論を含む新しい理論の生成

５．定性推論　-- 定性推論＝動的システムの性質に関する記号的推論

これまで述べたことのなかに本稿の主題である定性推論の視点を埋め込んでみよう．定性推論のめざす方向は対象となる動的システムの動態の性質を解析する手法の定式化とその応用である．これまでの典型的な手法は領域の記号化とその上での記号推論であった[4]．

（1）記号化：（パターン→記号）の側面

科学における基本的な態度は質的に異なるものを分離し，それを分類する(categorize)ことであった．この「質的」というところがまさに英語の"qualitative"であり，定性推論の基本的立場の一つである．定性的な挙動予測は方程式記述を数値的にシミュレーションするのではなく，領域をまず適当な手法で記号化し，その上で数値計算ではなく，記号的な演算によって結論を導出する方法が取られてきた．

最も単純な方法として初期の研究ではしきい値による方法が用いられた．これは1次元の領域を質的に異なるいくつかの部分領域に分け，その間の遷移可能性を調べることによって，挙動の予測を行なったり，パラメータ値を増減させたときの系の挙動の変化を予測したりする．

典型的な場合としてForbus-Faltings-Nielsenの定性運動学[2](Qualitative Kinematics：（注）内容を考慮すると"kinematics"よりも"kinetics"[†]のほうが適切であろう)を取り上げてみよう．図４aのようなラチェットの挙動の解析は，(step 1) それぞれの部品の状態を示す二つのパラメータΦとϕの許容値を解析する．この結果，図４bのようなC-space(Configuration space)が得られる．(step 2) C-spaceを部分領域に分割し，各部分領域にラベルをつける．状態の直接的な遷移は隣接した部分領域間でしか起きないがこのことを表現した空間語彙と呼ばれる状態遷移グラフを作成する．(step 3) 力学と運動学の

†) Singer, F.L.: Engineering Mechanics, John-Weatherhill, Inc, pp. 238, 1963.

知識を利用して，可能な状態遷移を求める．図４cはギヤが左回りしかできないとした場合の状態遷移可能性を示す．

ただし，最近は上のような「シャープな」境界に基づく定性化の問題点が指摘され，それにかわって量の大きさの程度に関する推論が注目されている[4]．

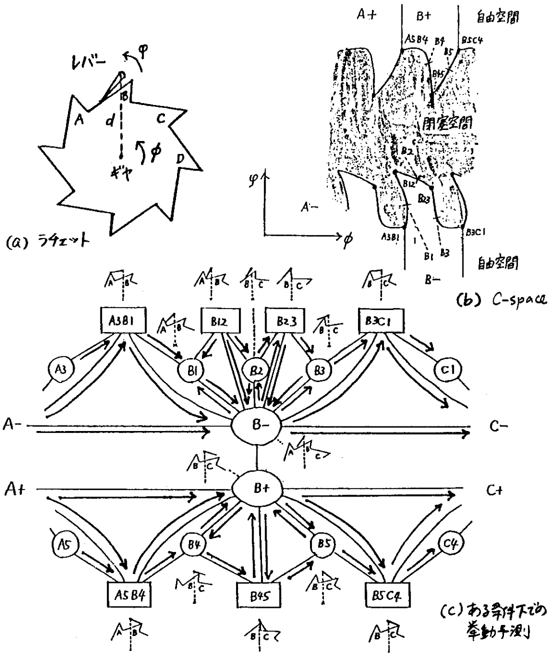

図4．定性運動学によるラチェットの挙動解析

(2) パターン化してから記号化する

動的な系の挙動は微分方程式で捉えられるが，微分方程式という表現形式は動態を捉えるのには適していない．例えば，

$$\begin{cases} x' = y - (x^3 - x) \\ y' = -x \end{cases} \qquad x, y\text{は時間の関数}$$

はVan der Polの方程式と呼ばれるが，この方程式の動態はこの式をながめているより，図５のような方程式の与えるベクトル場を示した相空間図の方が捉え易い．（ただし，視覚的に捉え易いのは２次元まで）．

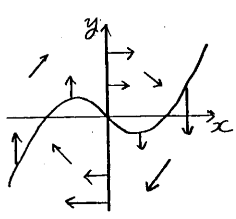

図５　Var der Pol 方程式の与えるベクトル場

純粋数学に力学系[6]という分野がある．（連続的）力学系のアプローチは微分方程式の性質を相空間の幾何学的性質を調べることによって把握しようというものである．例えば，振動，（平衡点の）安定性，（系の）安定性などの性質はほぼ直接的に相空間図の幾何学的性質と対応する．このような手法は，方程式が解析的に解けない場合に有効である．ちなみに力学系の理論は微分方程式の定性的理論と呼ばれている[6, pp. 381]．もちろん，力学系の理論の目的は単に相空間図を作って人間の目に示すことなどではなく，幾何学的な理論を展開することによって定性的な性質を記号的に求める手段を探ることにある．

定性推論の分野でも力学系の理論を取り入れる試みがMITやテキサス大学などで行なわれている．

6．研究テーマ　-- 自律物理学

人工知能の良さは機械が知識と推論能力を持ち，自動的に推論ができることであった．ところがこれまでＡＩの分野では，記号系だけ単独に取り出して自動化することばかりが取り上げられ，対象の認識の過程については研究がすすんでいない．

今後の人工知能の研究では，対象の認識過程を含んだ議論とモデル化が必要であると考えられる．本稿で取り上げた物理システムに関する問題解決に関しては，対象の認識過程まで自動化した「自律物理学(autonomous physics)」（図６）を今後研究する必要があると考えられる．このテーマには現在我々の研究グループでも取り組みはじめている[5]が，自律物理学を実現するためには記号主義を主体にした（狭義の）人工知能とパターン認識の手法を融合した枠組みをどのように実現するかが課題である．

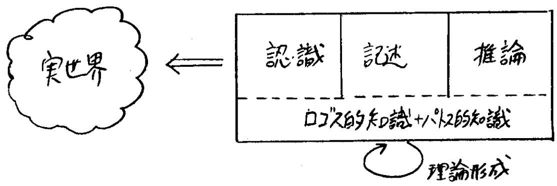

図６　自律物理学

参考文献

[1] ボーム著，村田訳：現代物理学における因果性と偶然性，東京図書，1969．

[2] Forbus, K. D., Nielsen, P., and Faltings, B.: Qualitative Kinematics: A Framework, Proc. IJCAI-87, pp. 430-435, 1987.

[3] 丸山：言葉と無意識，講談社現代新書，871，講談社，1982．

[4] 西田：定性推論に関する最近の研究動向(1)(2)，情報処理学会誌，Vol. 29, No. 9, No. 11, 1988．

[5] Nishida, T., Takeshita, A., and Doshita, S.: A Heuristic Method of Model Inference. International Computer Science Conference '88, Hong Kong, 1988, (to be presented).

[6] スメール，ハーシュ著：田村他訳：力学系入門，岩波書店，1976．