

# 経験に基づく概念形成と推論について

酒 井 義 郎\*

## Experience-Based Concept Formation and Reasoning

Yoshiro SAKAI

### Abstract

Experiencing is one of the major factors of expertise. One can only obtain the knowledge of phenomena in the real world through accumulating experiences. To learn theories and definitions of concepts may provide basic knowledge for the specific matters concerned. But more essential is such real knowledge which, in a sense, means the adaptation. Here the accumulation of experience is described in terms of the concepts of an experience sequence and a filter base. Forming an experience sequence is, at the same time, the process of inductive concept formation. These ideas are utilized for the reasoning process at the man-machine interface.

### 1. はじめに

コンピュータの発展に支えられて、生産の自動化が急速に進歩しつつある。こうした状況の中で、これまでいわば人間を排除する形で進められてきた自動化であったが、かなりの程度まで自動化が進んだ現在、やはりコンピュータの進展と相まって、人間の持つ知識を取り入れ、これまでいわゆる数式一辺倒であった考え方から次第により複雑な処理を可能にしようという発想が生まれてきた。これについては、知識工学、ファジイ集合論などの理論が大きく貢献しているが、さらにこれまでの発想の見直しも含めて人間の問題は非常に大きな問題となりつつあり、また一層その傾向が拡大していくものと思われる。ここでは、人間の特定の作業においては、定義などによる観念的な知識ではなく、実践に基づいて得られる経験的知識が大きな意味をもつという発想の下に経験の蓄積を調整（制御）操作に適用する手法について述べる。

### 2. 状態修正問題

本稿に於て議論する対象は、一般にいう“機械”の操作である。この場合、対象とする機械の動作（その時点での目的に応じて）の望ましい状態が想定される（人間の作業による操作を想定すれば、経験を積むことで視覚的に“あるべき状態”が容易に想像できるようになる。）が、その状態、あるいはこれに代わるものとしてそれまで現出していた状態がずれを生じて少し状態が変わったとしよう。このとき、作業者はその状態のずれに対応して必要な運転条件の変更を行わなければならない。一般には、状態のずれは視覚的、聴覚的な情報といえ、修正のために行なう運転条件の変更量は数値、あるいは数値ベクトルである。前者は1種のパターンであり、動くパターン（動的なパターン）も考えられるが、ここでは静的な、すなわちある1瞬における状態を撮影した静止画像、あるいは、スペクトル分析の結果を表示した画面などと考えればよい。（但し、正確には、ここで対象とするのは正常な状態の写真や画面と現に生じている（悪化した）状態との差、すなわち変化であるから、フェイルされる写真や画面（そのコピー）はそれらの比較による差をそうした写真や画面としたものと考えなければならない。

\* 生産機械工学科

しかし、このように考えると、スペクトルの場合などは“差”の処理が簡単にできるが、一般のパターンの場合には必ずしも簡単でない。なんらかの演算を導入すれば、一応の解決を見るが、往々にして、ad hocであり、ここではそうした操作の存在と、さらに積み重ねられる写真などはそのようなものであることを仮想しておくものとしてよいが、同時にこれについて異なる観点、すなわち、“差”を取らず、正常な状態と、異常を生じた状態をそれぞれ別個に記憶しておけばよいという立場もある。)このように考えるとき、それらは積み重ねて保存することができる。時間的にあとのものが上になるように積み重ねていけばよい。これらの状態変化に対処するため、実行された運転条件変更についても、それらをいちいち紙に記録したとして、一枚一枚上に重ねていけばよい。このようにして、経験の積み重ねに相当する、基本的なデータファイルができていくものとする。積み重ねられる枚数が増えれば増えるだけ、後に述べるように種々の分類やさらに一般的な処理を施すことが出来、種々の面で精密あるいは正確なもの(もちろん、これらの言葉の意味するところは各々の状況に依存する事柄であるが)に仕上がっていくといえる。こうした手続き、すなわち、状態変化を見だし、それに見合う条件変更はどの程度が望ましいかについて一応の解答を出し、その値を実行に移し、得られた結果から再びそれに見合う変更量を想定して実行に移す。この繰り返しで修正が終了する。この場合、十分な結果が得られないと判断できる場合は停止をすることも考えられるが、そうした処理については本稿で対象とする部分から外れるので今後はこの点については言及せず、修正動作が完了する場合のみを想定して議論を進める。さて、上に述べた手続きの基本的部分は一一般に用いられるように、

IF (状態の変化) THEN (運転条件変更) (1)  
の形式で表現できる。

### 3. 経験の蓄積とその表現

文章表現として述べてきたことについて、ここでは一つの数式モデルとして記述することを試みる。上で、パターンや数値は一つ一つを積み重ねるものとする、すなわち、各々の属する集合の中でのデータの単位とした。“積み重ねること”はそれら同一の種類のデータの単位の並び(基本的には時間的順序による。時間的にあとのものがあとに並ぶ並び方)であると考えればよい。すなわち、次の(数)列によって表現できる。(ここでいう列は必ずしも数列の意味ではないので、

以後単に列と呼ぶこととする。列はいわゆる数列の場合も含むものとする。)

$$(a_k) | n = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n), \quad (2)$$

ここで、記号“ $| n$ ”は蓄積されたデータの数が $n$ 個であることを示す。実際に式(1)を適用する場合に、状態変化に対応する値がいくらかを推定するについてはある一つの値を選ばなければならない。その機構についても検討されなければならないが、その点については後に触れることとし、取りあえず仮に、式(2)の列の最後の値が代表値であると考えておく。このための人工的な操作として、無限列の概念を導入する。すなわち、式(2)の代わりに、

$$(a_k)_n = (a_1, a_2, \dots, a_{n-1}, a_n, a_n, a_n, \dots) \quad (3)$$

とする。蓄積されたデータのうち、最後の $a_n$ が第 $n$ 項以降繰り返され、その時点での一種の収束性を仮定する。実質的には、式(2)と同じものであるが、式(3)の意味するところは、(数)列の集合(これを $L$ とする)の要素である式(3)を実数の集合(これを $R$ とする)の要素に対応付け、列と数を同一視しようとするのである。いま、写像 $f$ を $f: L \rightarrow R$ とすれば、 $f$ は(列の最後の項第 $n$ 項を極限值とみなし)  $q \in L$ について、

$$a_n = f(q) \quad (4)$$

なる対応を与えるものである。以降において、 $a_n$ を列の代表要素と呼ぶ。このように定義すると、列と数値が同値なものとして扱えるが、列として値を扱うことははじめから数値として扱うのとは違うことを示す好例が次のものである：第 $k$ 項が $1/k$ である無限列は式(3)の表記法によれば、

$$(1/k)_\infty \quad (5)$$

と書けるが、これを経験列として、有限項で止めたとすれば、

$$(1/k)_n \quad (6)$$

この列の代表要素は $1/n$ であるが、 $n \rightarrow \infty$ とするとき、代表要素は値0に向かう。式(5)はこのような動きを含んだものであり、特定の数値はその固定した値しか示さず、従って動きを表現することはできない。この例の示すように列による表現は動きを含んだものといえる。経験に伴う経時的変化などがこれに該当する。このように定義するとき、式(1)のIF部ならびにTHEN部はいくつかの解釈を与えられる：

- 解釈1) それまでの経験の蓄積としての全データ、すなわち、列そのもの  
 解釈2) 列の極限值、すなわち各々の列の代表要素を各部に当てる。  
 解釈3) 基本的には後に触れる部分を含むが、写像と

してでなく、上記1), 2)を融合したような概念として、式(1)を“関係”として捉える。

#### 4. 経験に基づく概念形成および推論について

ここでいう概念の定義としてはすでに与えた [1], 概念: 有限個ないし高々加算無限個の属性によって規定される対象。

を採用する。概念の属性を上述の経験列によって形成する。例えば、文献 [1] において述べたように、式(1) THEN 部に用いられる数値は、特に解釈3)の場合、概念化して用いられる。

ここで、経験列の推論への適用上の処理について述べる。経験列における各項の並び順については種々の順序が設定できる。上記においては、これを時間的順序としたが、その意味するところは以下のようなものである。一般に経験の積み重ねは時間経過に伴って生じるので、したがって、生のデータは時間的順序に従って生成される。しかし、そのデータは蓄積した本人の意向次第でどのようにも使われる。これは蓄積が時間的なそれとは異なる優先順位を採用して行なわれるものと考え、これを基本的な部分については解決できる。これをソフトウェアとして実現する際に、処理される手順としては、ソフトウェアのうえでは生のデータは後に述べるようにすべての処理の基になるものであるから、そのまま格納される。考慮すべきその特定の優先順位に従った経験列は生のデータを崩すことなく、別に生成されていくものとする。このようにして、いくつかの異なる順序関係を基にした経験列が生成可能である。この手続きは、経験列の大きさを  $n$  とすれば、経験列はこの大きさの有限列であるから、時間的順序による並びから、異なる順序による並びに変更する手続きは順序列によって表現できる。ソフトウェアの上でのアルゴリズムとしては(ある順序関係が与えられたものとして、これを  $R$  とする。また、これを表現する順序列を  $\pi$  とする。)

1) まず、第1項から第  $n$  項までについて、 $R$  による第1位の項を捜す。この項を第  $i_1$  項とする。いま、仮の順序列を  $\xi$  とすれば、 $i_1 = \xi(1)$  を得る。

2) 次に、第2項から第  $n$  項までについて1)と同様にして、 $i_2 = \xi(2)$  を求める。このようにして、一般に第  $k$  項から第  $n$  項までについて、この操作を繰り返す。ただし、 $1 \leq i_m \leq n$ ,  $m=1, 2, \dots, n$ ;  $k=1, 2, 3, \dots, n$ . 上のアルゴリズムにより求まる順序列  $\xi$  は求める順序列  $\pi$  の逆、すなわち、

$$\pi = \xi^{-1}, \quad (7)$$

である。

例: “大きい”, “小さい”, “中くらい”

運転中に生じるある特定の状態のずれを対象とする場合、この状況下での対応、すなわち THEN 部で適用される操作変数の種類、は同一である。異なる点は変更量の大きさである。(もちろん、ずれの程度に応じて操作する変数自体が異なるような調整を必要とする場合もあるが、ここでは簡単のため、同一種類であると仮定する。) “ある特定の状態のずれ”は一つのコンテキストを与える。このコンテキストという語を用いれば、上記のことは“同一のコンテキストの中では必要な操作は同一である。”と表現できる。このとき、生のデータである、時間的順序に基づいた経験列  $(a_k)_n$  から、そのコンテキストに応じた値として何か数値を与える必要がある。その数値の決定にはいくつかの方法が考えられる。

##### 1) “最新”の値

この場合、 $a_n$  が選ばれることになる。これは、“記憶に新しい”ということであり、これの意味するところは上述した“動き”の問題である。

2) これまでのデータに基づいて、“普通”(“中くらい”)と考えられる値を選ぶ。

この手続きにもいくつかの仕方が考えられる。

i) 平均

ii) 中央値

iii) 最頻値

これらのいずれを採用するにしろ、1)の場合と異なり、データの蓄積された時間的順序は一切関係していない。

以上の決定法により与えられた値はそれが実際に適用され、その結果が望ましいものであったか、さらに修正を必要としたかによって最終的な評価を受けることになる。前者の場合はもちろん与えられた値がそのまま経験データの一つとして記憶される。後者の場合、最後に調整が落ち着くまでの差引きの値として最終的に必要となった修正量が記憶される。

次に来る段階としては、上のようにしてある程度データが蓄積されれば、状況判断としてより細かな分類が行なわれることがある。

a) その特定のコンテキストのうちの一部が、異なるコンテキストとして別扱いを受ける。

この点については、すでに触れたように、本稿の範囲を越える。

b) 同じコンテキストをより細かくカテゴリー化する。その一例が、“大きい”, “中くらい”, “小さい”である。b)における“大きい”, “中くらい”, “小さい”の分類

手続きについても、いくつか方法が考えられる。

イ) 2)により、“中くらい”というカテゴリーが形成され、“中くらいでない”ものとして、すなわち

$$\sim \text{中くらい} \equiv \text{大きい} \vee \text{小さい} \quad (8)$$

であるとし、さらに(実数の場合)実数としての通常の順序関係、すなわち大小関係から、“中くらい”より小さいものを“小さい”とし、大きいものを“大きい”と判断する。

ロ) “大きい”または“小さい”のカテゴリーが先に形成される。

これは、卑近な例としては、安い品物に常に注目しているような場合であって、調整操作の上でも同様でいつもできるだけ低い値を心掛けているような場合である。(例えば、エネルギー的に低いもので済ませたい、などの場合)このとき、

\* 最小の値が第  $n$  項(代表要素)となるような順列  $\pi$  が適用され、常に小さい順に並べられていく。

\*\* 同時に、“小さい”の逆の順に並べたものとして“大きい”の経験列が生成される。

\*\*\* 次に、中央値(例えば;一般には、2)の i, ii, iii)のいずれかでよい。)を中心として“中くらい”というカテゴリーが形成される。すなわち、式(8)の否定として、

$$\text{中くらい} \equiv \sim (\text{大きい} \vee \text{小さい}) \\ \sim \text{大きい} \wedge \sim \text{小さい} \quad (9)$$

ここで、フィルタベースの定義を与えておく。

フィルタベース: 列  $(a_k)_n$  が与えられたとき、集合

$$B_k = \{a_i : k \leq i \leq n\}$$

の族  $B = \{B_k\}$  をフィルタベースと呼ぶ。

このフィルタベースを用いて、与えられた値の感覚的な(あいまいな)評価を行なうことができる。いま、一般にある特定の対象についての感覚を  $F$  として、

$$e(a | F) = \langle a, F \rangle$$

という表現を採用する。ここに、 $e()$  は  $F$  による  $a$  の評価値であることを示し、 $\langle \rangle$  は  $a$  を  $F$  で評価する手続きを意味する。評価値  $e()$  は上の例の場合、“大きい”、“中くらい”、“小さい”の三つの値(概念)を取り得る。この三つの概念の集合を  $C$  とすると、 $a$  が実数であれば、 $e$  は、

$$e : R \rightarrow C$$

なる関数であるが、右辺の  $\langle \rangle$  は感覚的な手続きを示している。すなわち、右辺の手続きとしては一般的には一意的に  $a$  に対応する  $C$  の要素が求まらず、知識を必要とするが、その手続きが確立されれば  $e$  は見かけ上関数として扱える。

例: 評価に際して判断しにくい場合

すなわち例えば、“大きい”、“中くらい”の境目あたりに  $a$  の評価が位置付けられる場合、その評価を“大きい”とするべきか“中くらい”とするべきかはおかれた状況に依存する。結論を下すには補助的な知識(一般には常識の範疇にはいるもの)を援用する必要がある。そのような知識の例としては、“そう判断することが安全側にいることになるよう、決定を下す”である。その辺りの値を適用しなければならない状況にはあるが、大きい値が危険に結びつく、あるいは不安定状態に陥り易いといった場合のように、“もうすでに大きい値である”と判断する方がよいというときは、“大きい”と判断され、逆にあまり小さい値でない方がよい場合、“まだ小さい”と判断されなければならない。

詳細については後報で述べるが、抽象的に感覚  $F$  と呼んだものの具体的な規範として、フィルタベースがある。例えば、“大きい”を表現する経験列のフィルタベースからある特定の値が大きいかどうか判定される。すなわち、ランクを与える。ランクは“大きい”なら“大きい”について、“中くらい”なら“中くらい”について、それぞれ独立して与えられるから、相互にランクの比較をすることはできない。これが上記の例のようになんらかの知識を援用しないと決断が下せない場合を招くのである。また、結局判断しきれなかったが、とにかくそのデータもどれかのカテゴリーとして整理しておかねばならない場合、判断において迷ったカテゴリーのいずれかに入れておけばよい。でたがめのようなデータはもともとランクが低いのでその後の評価に影響は出ないし、いずれ、データの蓄積量が増えれば、解決されていく問題である。その解決には、直接的にデータの蓄積そのものが(分類の詳細化によって)解決に導く場合、および何らかの知識の導入(ある日突然の)が解決してくれる場合、さらに新たなカテゴリーとして分類されるに至る場合がある。

これまでに述べた部分は主に THEN 部についてであったが、これには IF 部における状況が基になっている。フィルタベースについて詳細を省略したのでこれについても詳述しないが、THEN 部について生成されたフィルタベースは IF 部についてのフィルタベースを自動的に生成することになる。また逆も言える。このようにして、状態変化についての評価は式(1)の意味で考える限り、それに対応して取られる行動、すなわち操作変数の変更量の上で比較され、そこで得られた感覚がその確立に伴い、次第に状態変化自体についての序列化を意味するようになる。最初は変更量の大きさを媒介として、間接的に状態変化パターン同士の比較

が行なわれていたものが次第に（見かけ上）直接的な比較として扱われるようになる。

以上、経験列の生成という形を通じて、経験の蓄積とそれに伴う操作法の確立の問題について論じた。

**参 考 文 献**

- 1) 酒井, Langari: 山口大学研究報告 Vol.39, No.2(1989)

(平成元年4月15日受理)