

部分性と情報

橋田 浩一 (新世代コンピュータ技術開発機構)

情報の部分性

そもそも情報という概念が有用なのは情報が部分的だからである。いかなる情報概念も、情報の部分性 (partiality of information) という大前提に従わねばならない。エントロピーとしての情報量という概念もこの前提を共有する。世界の状態が完全にわかっているとすれば、存在可能ないかなるメッセージも情報量がゼロであり、情報量という概念は無益となるからである。しかし、この情報量の概念が捉えているのは、情報の部分性のほんの一部に過ぎない。これが、いわゆる情報理論が人間のような対象を扱う上で不十分であることの本質的な原因である。

情報理論の問題点を明らかにするために、議論の都合上、情報の部分性を以下の2つの側面に分けて考える。

知識の部分性: 情報が部分的にしか与えられていない。

処理の部分性: 与えられた情報が部分的にしか処理されない。

明日の天気がわからない、というのは知識の部分性の例であり、将棋のルールを知っていても必勝手順がわかるわけではない、というのは処理の部分性のためと言える。これら2つはそれぞれ当り前のことである。しかし、以下で述べるように、処理の部分性は正しく考慮されていないことが多い。さらに、情報の部分性をこの2種類に分類するということは、説明の便宜上のものに過ぎず、後に明らかになるように、認知科学においては実質上無意味である。

エントロピーとしての情報量は情報の価値の指標¹として導入されたものと考えてよいが、処理の部分性を前提していないため、正しい指標になっていない。これが正しい指標を与えるためには、情報を解釈する際の処理のコストが無視できる理想的な状態を前提しなければならない。しかし実際には、処理のコストは無視できず、処理が部分的にしか行なわれないことも多い。そのため、論理的に等価な、従って同一のエントロピーを持つ情報であっても、その形式によって処理の複雑さが異なったり、解釈して得られるはずの結論が得られなかったりすることがあり得る。このような場合、エントロピーとしての情報量は情報の価値の指標として適切ではない。即ち、情報の有用性を捉えるには、処理の複雑性などの要因を考慮に入れる必要がある。

また、やはり処理の部分性を無視していることが原因で、現在対処しようとしている問題に対する、ある情報の関係の深さないしは重要性が、この情報量には正しく反映されていない。つまり、問題になっている世界の部分の状態について、ある情報が関係を持つかどうかということは、単にその情報量がゼロでない値をとるか否かによって区別される。しかし実際には多くの場合において、処理の部分性のゆえに、参照可能な情報のうちのど

の部分か現在の問題に関係するのかはさほど明らかではない。それどころか、解くべき問題が何なのかということすら不明であることがしばしばある。こうして、潜在的にはありとあらゆる情報が、目下の問題に関係し得ることになる²。

情報の価値の計量化においては、世界が特定の状態にある確率、処理の負荷、および重要性ないしは関連性という3つの要因を考慮しなければならない。確率はエントロピーに反映されるが、残りの2つの要因は本質的に処理の部分性に関わっており、エントロピーとしての情報量の理論では考慮されていない。このため、認知科学や人文・社会科学など、情報処理能力の限定された人間が関わる領域においては、情報量は情報の価値の指標として正しい量ではない。また、処理の複雑さを論ずるためには、論理的な命題内容よりはむしろ、情報の表現形式を考慮に入れる必要があり、それを度外視する情報理論はこの意味でも不十分である。

外延性

情報理論や形式論理など、意味や情報に関する理論体系においては、表現 (representation) とその外延 (extension) を考えることが多い。表現とは情報処理において直接処理されるものであり、外延とは表現される対象である。情報理論の場合には、情報の表現 (たとえば長さ n のビットベクトル) に対し、世界の状態の確率分布がその外延にあたると考えられる。また、認知科学で言う心的表象 (mental representation) も一種の表現であり、その外延は実世界や想像上の世界 (これらを総称して単に世界と呼ぶ) における対象である。外延を考えることによって表現の意味や真偽を論ずることができる。たとえば表現が正しいか誤っているかということや、その外延が存在するか否かに基づいて語ることができる。このような意味の理論を外延的意味論 (extensional semantics)³と呼ぶ。ここで重要なのは、表現と外延とは互いの単なる言い換えではなく、別々の操作原理に従う、ということである。たとえば、心的表象に対する操作は、世界における対応物の動きとは異質のものである。

現実の情報処理装置において表現に関する処理が実現された場合、処理の部分性のゆえに、外延的意味論における表現と外延の対応関係が保存されないのが普通である。たとえば形式論理の推論を計算機や人間が実行する場合、矛盾を見逃すこと、つまり表現に外延を割り当てられないのに気付かないことがしばしば起こる。情報理論にせよ、論理にせよ、外延的理論が有用であるためには、処理が完全に行われるように問題を限定する必要がある。しかし、これは認知科学の前提に反する。

認知科学は処理の部分性から逃れられない。しかも、

² そのような場合に、関係のある情報だけを参照するにはどうするか、というのが、フレーム問題 (Frame Problem) である。

³ 表式的意味論 (denotational semantics)、宣言の意味論 (declarative semantics) とも言う。

¹ たとえば、エントロピーの大きな通信経路は良い通信経路だとされる。

何らかの外延的意味論を前提せねばならない。生体内の表現⁴と、それに対応する世界の対象とは、異なる動作原理に従うからである。従って、認知科学で扱うべき表現の体系においては、無矛盾性が保証されない⁵。認知科学の究極の問題のひとつは、矛盾を含みつつほとんどの場合に正しく状況に対処できるようなシステムはいかなるものか、という問題である。無矛盾性が保証されないということは、数学的に厳密な定式化が不可能だということである。情報理論のみならず、非単調論理や確率論理やファジー論理を含む論理学など、形式的でない外延的理論も、認知科学における情報概念を正しく捉えることができない。

処理のモデル

しかし、知識の部分性に限って言えば、数学的な形式化は可能である。情報理論は世界の状態の確率分布、非単調論理は集合論的モデルのクラス、ファジー論理はファジー集合をそれぞれ外延として用いることにより、知識の部分性を捉えている。従って、こうした理論を何らかの処理の理論と組合せることによって、情報や意味の正しい形式化が得られると思われるかも知れない。しかし、認知科学において知識の部分性と処理の部分性を区別して定式化することは不可能であり、このアプローチは誤っている。即ち、部分性は本質的に1つであり、その一部だけを扱う理論は役に立たない [H2]。

知識の部分性と処理の部分性とを区別できない理由を3つ挙げる⁶。第1に、ある情報が得られていないとき、それが知識の部分性によるのか処理の部分性によるのかを一般には識別できない。この識別のためには完全な処理を行わねばならないが、それは不可能なのである。ある情報が欠けているということは、外延的にではなく、それまでの処理⁷によって得られていないということとして統一的に捉えなければならない。第2に、情報処理システムのある部分における知識の部分性は、それを含む、より大きな部分における処理の部分性であるから、あるシステムにおける処理の部分性に関する理論はその部分システムにおける知識の部分性に関する理論を含むことになる。即ち、処理が部分的であるような情報処理システムにおいては、知識の部分性に関する理論と処理の部分性に関する理論とを分けることはできない。第3に、部分的な処理のための制御に関する理論があれば、情報処理システムの仕様は完全に与えられるから、知識の部分性のみに関する理論は無用である。

こうして、認知科学における情報の部分性を捉えるには、処理に関する理論が必要であり十分であることがわかる。その理論は数学的に形式化することができるかも知れない。即ち、表現と外延とを本質的に同一のものとすれば、明らかに無矛盾な形式的理論ができる。たとえば、論理式等の表現そのものを外延とすることにより、ある処理の意味をその前後における表現の変化として定式化し、さらに、ある表現に対して適用可能な処理の全体を考えることによって、その表現の意味を論ずるなどということができる。このような意味論を操作的意味論 (operational semantics)⁸と言う。認知科学においても、

心的表象などの表現の処理に関する理論として操作的意味論を用いることができる⁹。

外延的意味論と操作的意味論とは、それぞれ独自のレベルを構成する。操作的意味論は、表現とそれに対応する世界の対象との関係を説明する理論にはならず、その説明理論としては、前述のように、矛盾を含む外延的意味論が必要とされる。一般に、外延的意味論においてひとつの世界を表現する方法は多数あるから、外延は表現よりも抽象的なものである。即ち、外延的意味論は操作的意味論よりも抽象度が高く、前者のレベルから見れば後者は動作原理にあたる。さらに、処理が部分的であるようなシステムにおいては、前者は後者の単なる抽象化ではない。つまり、外延的意味論は矛盾を含むから、外延的意味論を操作的意味論に還元するのは不可能であり、ここで2つのレベルを指定せざるを得ない。

処理の部分性の下では、表現されるということは、還元不能な近似的抽象化になっているということである。認知の情報処理システムにおいて、この表現するという関係は、心的表象のレベルと世界の対象のレベルとの間のみならず、他のさまざまな情報のレベルにも見出されるだろう¹⁰。たとえば、心的表象のレベル内においても、表象のある部分が他の部分を表現し、心的表象のレベル自体が複数のレベルからなっているだろう。また、神経回路網のレベルは心的表象のレベルを表現しているとも考えられる。各々のレベルは、下位レベルに還元不可能であるという意味で独自性を持っているから、認知科学における情報概念を理解するには、各レベルとそれらの間の関係を論ずる¹¹必要がある。

隣接するレベル間の関係を説明する外延的意味論は、矛盾を含むものとは言え、近似的には下位レベルに外延の意味を与えている。従って、下位レベルにある表現を、処理を規定するプログラムと見なした場合、それは手続き (procedure) よりも制約 (constraint) に近い形、即ち、各部分に処理手順をなるべく明示しないような形をしている¹²と考えられる。この結論は、別のさらに強い理由によって支持される。つまり、どのような情報が与えられるかを前以て予測できない場合、処理すべき情報の流れは非常に複雑なものとなり、処理の手順を全てプログラムの各部に明示するような形で記述すると、プログラムが巨大になり過ぎる [H3]¹³という理由である。

こうして、認知の情報処理モデルの一般形を求める上での指針が得られる。さしあたり、記号的な表象のレベルの表現とその「外延的意味」に関しては、既成のプログラミングの枠組を近似として用いることによって、研究に着手することができる。しかし、神経回路網のレベルを表現とし、これに記号的な表象を外延として近似的に対応させる理論を作ること、そしてさらにその下位のレベルに関する定式化について論ずること等は、今後の課題である。

⁹ 状況意味論 (Situation Semantics) やメンタル・スペース (Mental Space) の考え方は操作的意味論に通ずる所がある。ただし、これらは未だ処理の理論を持たない。

¹⁰ これは層の理論 [K2] に通ずる。

¹¹ それをわざわざ避けて失敗したのが行動主義である。また、これらのレベルが実在するという考え方と状況意味論の実在論との関係はいかに?

¹² これは厳密にまで近似であり、いわゆる手続き的な知識の存在を否定するものではない。

¹³ このことは、階層的な抽象化の構造を持つということと共に、部分情報システムが進化を続けるだけの安定性を持つための要件を構成するものと考えられる。

⁴ 心的表象に限らず、他の生理的状態による情報の表現をも含む。

⁵ さらに、形式的体系とは違い、矛盾がシステム全体に及ぶこともない。これもまた処理の部分性による。

⁶ これらは実は同一の事実の言い換えになっている。

⁷ 外界からの情報収集を含む。

⁸ 手続き的意味論 (procedural semantics) とも言う。