

脳情報処理制限に基づいた情報理解様式の検証

Verification of an information understanding style based on brain information processing restrictions

木治 潤一*¹ 折原 良平*¹ 内平 直志*¹
Junichi KIJII Ryohei ORIHARA Naoshi UCHIHIRA*¹ (株)東芝 研究開発センター

Corporate Research & Development Center TOSHIBA CORPORATION

A misunderstanding of information can serve as serious social problems. An information understanding style based on brain information processing restrictions enables to explain generation of the misunderstanding. This information understanding style is independent of domain knowledge which is used to understand the information correctly. A kind of state transition system model is built for the information understanding style. The validity of the information understanding style is verified on the topic of a maze search problem.

1. はじめに

科学技術の進歩と近年のIT技術の急速な発達により、社会の利便性と効率性を向上させたが、同時に、機器ないしシステムの設計開発、製造、使用、保守等のすべてにわたって、詳細化と細分化をもたらしたといえる。このためにわれわれは、否応なく、多種多様な膨大な量の情報を処理せざるをえなくなっている。これらにたいしては、故障診断を代表とするエキスパートシステムの発展に示されるように、ドメイン知識を熟練の専門家がまとめ整理し、従事者がそれを教育されるというのが現状である(パソコンやビデオ録画機などのマニュアルも同様であることは論をまたないだろう)。しかしながら、ここでは情報の受け手にとっての判り易さは考慮されておらず、重大な事故に結びつきかねない現状は何ら解決されていない[加藤 02]。端的にいえば、ドメイン知識による表現そのものが必ずしも判り易さを保証するものではないこと、情報理解に許される時間が限られていないのが現実にはそぐわないのが問題であると考えられる。

本研究では、人間が情報を求め理解する過程においては、ドメインの情報に依存しないメカニズムが存在し、情報に対する人の判断や行動に影響を及ぼしていると考えられる。そして、限られた時間の中で人の情報処理の特徴について検討し、想定する脳情報処理モデルの妥当性を検証することを目的とする。

2. 脳情報処理のドメイン非依存性

筆者らは、情報探索問題を対象として、ドメインに直接は依存しないような人間の情報処理のメカニズムとして、脳情報処理のモデルを提案している[木治 05]。これは仮定的状況モデル[齋木 91]における、主題化問題と抽象問題との共通の認知メカニズムの枠組みに対するアナロジーである。

2.1 Wasonの選択課題と仮定的状況モデル

Wasonの選択課題とは、たとえば「E」、「4」、「K」、「7」の4枚のカードを提示して、カードの記述の規則「表が母音なら裏は偶数」を確かめるのには必要最低限何枚をめくるか? という問題であり、問題の論理構造が比較的簡単であるにもかかわらず、正答率が低いというものである。また、カードの記述を主題化すれば、すなわち、値札や切手の問題にすれば論理構造が同じにもかかわらず正答率が高くなるという主題化効果も示されるものである。齋木はアルファベットと数字のカードの問題(抽象問

題)と主題化問題(値札問題、切手問題)とは別に、主題化問題間すなわち、値札問題と切手問題の正答率の正転移に着目することで、従来のスキーマ説では、主題化効果を生じさせる認知過程のメカニズムを十分には説明できないとして、仮定的状況モデルを提案している[齋木 91]。仮定的状況モデルは、問題にかかわる背景知識を利用して、人がその場で部分的に正しいと考えて随時構築する仮定的な解決モデルであり、主題化問題における正答率の差および正転移の説明において矛盾をきたさない。さらに、主題に依存しないで主題によって効果に違いはあるが、主題化効果を説明できることは、人の推論のメカニズムを説明するのに、抽象問題か主題化問題にかかわらない共通の枠組みがある証拠であると主張している。

2.2 Wasonの選択課題と情報探索問題とのアナロジー

たとえば、見たい番組を録画するためにビデオ機器の操作手順を調べることや、知りたい情報を求めてWEBページを検索することは、それぞれドメインは異なるが、必要な情報を求めるということでは共通している。これらを総称して情報探索問題と呼ぶことにする。

情報探索問題は、Wasonの選択課題とは違って、論理的条件を問う問題ではないのを承知で、Wasonの選択課題とのアナロジーの採用を考える。表1に具体的な対応関係を示す。

表1. Wasonの選択課題と情報探索問題のアナロジー。

Wasonの選択課題	情報探索問題
切手問題 値札問題	マニュアル(ビデオ等)検索 問題
抽象問題	WEB探索問題
主題化効果	迷路探索問題
仮定的状況モデル	学習効果
	脳情報処理モデル

人の認知過程のメカニズムに対する考え方として、仮定的状況モデルの立場をとれば、ドメインの違いにかかわらず、問題の解決の手立てを講じることができると考える。この考え方で問題解決がはかれるのであれば、マニュアルを参照するときもWEB検索するときも、あるいは、機器運転に従事する場合も、ドメインの区別なく共通に、理解をつなぐ仕組みを構築できるとおもわれる。

連絡先: 木治潤一, (株)東芝 研究開発センター, 〒212-8582
川崎市幸区小向東芝町1, TEL 044-549-2445, FAX 044-520-1268, junichi.kijii@toshiba.co.jp

2.3 脳情報処理モデル

表 1 のアナロジーを採用するとすれば, Wason の選択問題における抽象問題に対応するものが想定できる. 本研究では, 迷路探索問題を情報探索問題における抽象問題と位置づけることにした. 迷路探索問題は, 論理的条件は存在しないが, 進むにしたがって, 過去の経路も考え合わせることをせまられる繰り返し型の選択問題となる. そして, 情報探索問題においていくつかの情報の選択肢の中から逐次情報を選びながら目的の情報をさがすということは, 迷路探索問題で見通しの良い悪い程度に情報をあたえられてゴールをさがすということによって抽象化されると考える.

また, 仮定的状況モデルもしくはそれに相応するものも考える必要がある. しかしながら, 齋木[齋木 91]は仮定的状況モデルの構築については具体的には何も示していない. そこで, 次節に述べるように, 主題に依存しない形で, 脳の情報処理モデルを想定することにした. 脳の情報処理モデルにおいては, 情報状態なるものを定義する. 情報状態は, 脳内における「情報の在り方」を示すものとする. また, 情報は可塑性のある容器に入っているものと仮定し(「情報容器」), 情報容器の形が, 情報の在り方, すなわち, 情報状態を決定づけるものとする.

図 1 は本研究において提案する脳の情報処理モデルを離散時間状態遷移システム形式で示すブロック図である.

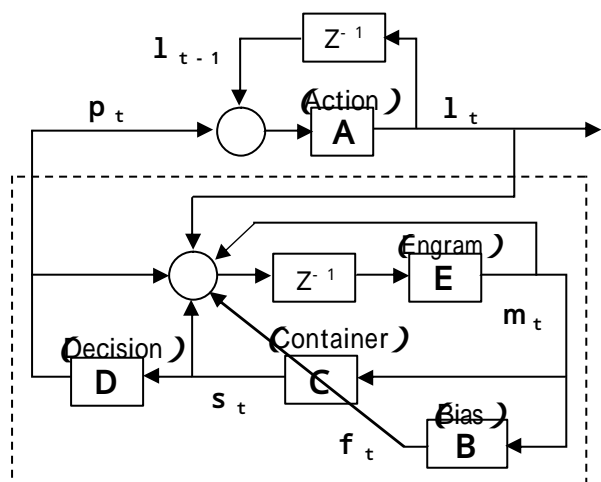


図 1. 脳の情報処理モデル (記号 は情報の結合を示す).

挙動は (1)~(5) 式で表す. 時刻 t における人の行動 (A: “Action”) のためのプランを p_t , 行動の結果を l_t であらわす. 過去からのすべての記憶情報 m_t とする. 過去の記憶 m_{t-1} に加えて, 情報状態 s_{t-1} , 情報容器特性パラメータ f_{t-1} , 行動プラン p_{t-1} , 行動結果 l_{t-1} があわせて記憶され更新されるものとする (E: “Engram”). また, 上で述べた情報状態は, 記憶情報が “容器” に存在していることで成り立っていると仮定し, 容器を “情報容器” と呼ぶことにする (C: “Container”). 情報状態 s_t は, すべての記憶情報 m_t のうち, 情報容器 C に存在できる情報として決定されるものとする. 行動プラン p_t は情報状態 s_t にもとづいて決定される (D: “Decision”). なお, 情報容器 C の特性は脳内の何らかの制約 (B: “Bias”) をうけて決定されるパラメータ f_t によって特徴づけられるものとする.

- (1) $l_t = A(l_{t-1}, p_t)$.
- (2) $f_t = B(m_t)$.
- (3) $s_t = C(f_t, m_t)$.

(4) $p_t = D(s_t)$.

(5) $m_t = E(m_{t-1}, s_{t-1}, f_{t-1}, p_{t-1}, l_{t-1})$.

2.4 迷路シミュレーション

筆者らは記憶の数を単純に制限した情報容器を用いた脳情報処理モデルによる迷路シミュレーションをおこなった[木治 05]. 図 2 は題材とした迷路である. S はスタート地点を示し, G はゴールを表す. 9x9 のマス目で構成され, 各マス目において, 太線で示される壁でさえぎられていない限りは前後左右に進むことができる. ただし, 便宜上, 相対的な方向である “前後左右” を, 以後, 紙面に対して絶対的な方向を表す “上下左右” および進んできた方向 (後側方向) の “後” であらわすものとする. 図 2 では, 記憶数を 10 に制限した脳情報処理モデルに深さ優先探索に相応する発見的ルール (3 節表 2 の 発見的ルール 1) を作成して適用した (D). ハッチングで示される位置で, 未知の位置の候補が絞られず, 上方向が優先される繰り返し (ループ) により G に到達できなかった (300 ステップで打ち切り).

なお, 記憶数を制限しないで深さ優先探索をおこなった場合には 80 ステップで G に達する. また別に, ゴールに到達してもよいはずのステップ (150) を超えた場合に, 行動プラン決定方針を変更させるルールを付加すると G に到達するという結果も得ている (3 節表 2 の 発見的ルール 2).

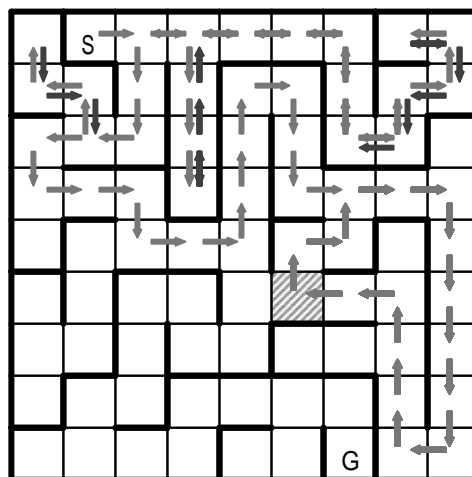


図 2. 記憶数を 10 に制限した脳情報処理モデルに深さ優先探索相応の発見的ルールを作成し, 適用した.

この上の迷路探索問題におけるシミュレーション結果は, ループ (進捗しない状況) から抜け出すには探索方針を複数用意しておいて適当なところでこれまでの方針を変えればよい, すなわち, 記憶が制限されていても探索方針を複数持って使い分ければ (使い分けの知識を知っていれば) 迷路探索においてゴールに到達する可能性があることを示している.

もし, 人の記憶 (短期記憶) が制限されていないのであれば, 多くの人は深さ優先探索をとるに違いない. わざわざ複数の探索方針を考えなくても済むからである (迷路のゲームとしては成り立たなくなるが). しかし, 実際は, 独自の方針を立てて迷路を取り組んでいると思われる. つまり, 記憶 (短期記憶) には制限があり, だからこそ, 複数の探索方針を立てるといふ方策に出られると思われるが, この方策が現実的に可能であることを上のシミュレーション結果が示している.

3. 被験者実験

2 節で紹介したシミュレーション結果は、情報を理解して意思決定をおこなう際に、短期記憶が制限されるということを人間自身が前提としている可能性を示していると思われるが、これは人が記憶に頼る深さ優先探索を試みていないということを前提とすればという条件付きである。そこで、実際に迷路ゲームを被験者におこなってもらい、計算機シミュレーションの結果と比較をおこなう。

3.1 実験システム

図 3 は、被験者におこなってもらった迷路ゲームにおける一場面を示すものである。被験者は、スタート位置から、前後左右の進行方向を選択してゴールを目指す。実験では被験者が進行を選択するために押すキーの履歴を経過時間とともに記録する。本システムでは最小で約 40ms 程度の時間間隔で被験者のキー操作を記録できる。

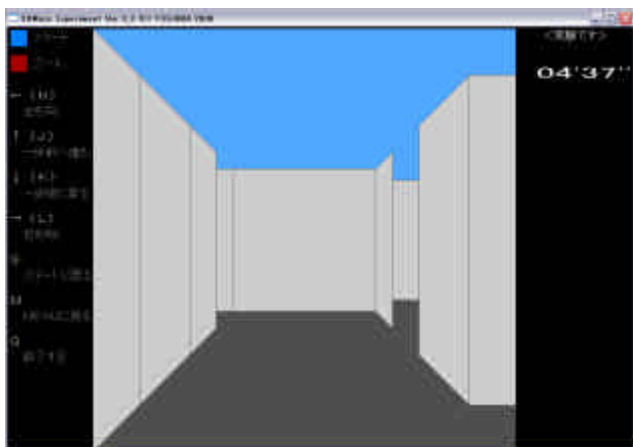


図 3. 迷路ゲームの一場面。前後左右の中から進行方向を選択しつつゴールを目指す、というゲームを被験者に行なってもらった。

3.2 実験結果

表 2 は被験者実験の結果をまとめたものである。5×5、9×9、11×11 のマス目を持つ迷路問題に対して、それぞれ数人ずつ、迷路ゲームに挑戦してもらった。深さ優先探索および発見的ルール 1~3 は比較のための計算機シミュレーションの結果であり、一部は[木治 05]で発表済みのものである。

発見的ルール 1~3 では、発見的ルール 1, 2 について 2 節で示したように、記憶数を 10 に制限してある。一部、2 節の説明の繰り返しであるが、発見的ルール 1 は、進行方向を最優先として上下左右の優先順位（ただし、「後」に当たるものは最後の選択とする）として方向の選択をおこなうものである。記憶数の制限をのぞけば深さ優先探索に相当する。発見的ルール 2 は、歩数 150（深さ優先探索ではゴールに到達可能な歩数 / 打ち切り歩数 300 の半分）を超えた時点で、各マス目で壁までの距離が短い方向を優先する選択方針とするルールに切り替えることを発見的ルール 1 に付加したものである。発見的ルール 3 は、発見的ルール 2 において歩数 150 での選択方針切替えを、つぎの条件で切り替えることにしたものである。即ち、ループ（マス目の再訪）にかかる歩数が記憶数を超え、かつ、選択方針切替えが記憶数の 2 倍の歩数分の過去において行われていない（前回、記憶数の歩数の過去分切替がおこなわれていないことに対応）という場合を選択方針切替えの条件とするものである。

また、表 2 での被験者 1~7 (9×9 の迷路は 5 まで) は迷路によって異なる被験者である。ハッチング部分はゴールまで到達しなかったことを示す。筆者らは、やはり 2 節ですでに述べたように[木治 05]において、記憶数が制限されても、方針変更をするルールを構成することで、深さ優先探索のようにゴールへ到達することが可能であることを示した。表 2 の発見的ルール 1~3 はそれぞれ状況に応じて方針を変更するように作成して、発見的ルール 1, 2 ではゴールまで到達できない場合があるが、発見的ルール 3 においてすべての迷路において深さ優先探索の結果とほぼ同等の結果をもたらしている。

これらのことから、被験者実験に関してつぎの二つのことを予想した。一つは、被験者独自の構築ルールに依存するので、よい結果とわるい結果が別れるだろうということ。もう一つは、迷路が大きくなるにつれて、迷いによって歩数が増え、また、ゴールへ到達できない被験者が増えるだろうということである。後者は迷路規模が大きくなるとより多くの情報を記憶する必要があるのに、使える記憶数（短期記憶）はそれに比して増やすことができないことが原因だと考えたからである。

表 2. 迷路ゲームの実験結果。ハッチング部はゴールに未到達を示す（歩数 300 で打ち切り）。深さ優先探索、発見的ルール 1~3 は計算機シミュレーションである（一部、[木治 05]で発表済）。被験者実験中の太字で示す値は深さ優先探索を大幅に超える結果を示す。

迷路データ	5×5	9×9	11×11
指標	歩数	歩数	歩数
深さ優先探索	30	80	187
発見的ルール1	300	300	300
発見的ルール2	170	180	300
発見的ルール3	40	102	203
被験者1	27	76	218
被験者2	55	218	144
被験者3	15	108	92
被験者4	37	78	122
被験者5	37	248	708
被験者6	23		100
被験者7	10		280

表 2 中、被験者実験についての結果を簡単にまとめて列挙する。

- 11×11 迷路における被験者 7 以外はすべての被験者がゴールに到達している（非ハッチング部）
- 歩数がかかってもゴールに到達している被験者が多い（非ハッチングの太字部）
- いずれの迷路規模においても、深さ優先探索よりも歩数が大幅にかかる被験者が存在する（太字部）
- いずれの迷路規模においても、深さ優先探索と同等の歩数でゴールに到達した被験者が存在する（非太字部）
- 迷路規模が大きくなっても、必ずしも、歩数が増える（迷う被験者が多くはなっていない）
- 迷路規模が大きくなると、迷う被験者と迷わない被験者の歩数の差が極端になる

3.3 考察

必ずしもすべての被験者が深さ優先探索相当の歩数でゴールに到達しているわけではないので、人間は記憶にだけ頼るような意思決定をおこなってはいないと推定できる。脳の情報処

理において短期記憶が制限を受けていることの傍証ともなると考える。迷路探索では、すべてを記憶に頼らないで、被験者に依存するが状況に応じて方針を使い分けられているとおもわれる。

ところで、迷路規模がおおきくなると迷う被験者が増えるとの予想は正しいとは言えない結果となった。深さ優先探索の歩数程度でゴールに到達する被験者の数は、迷路の規模に応じて有意の差があるとはいえない結果だからである。迷路の規模による影響は、迷ったときの歩数の増え方にあらわれるだけにとどまっている。

したがって、表2の被験者実験結果はつぎのように考えることができる。

- 方針を使い分けしている
- 迷路規模の大きさが直接的な要因で迷うのではない、すなわち、迷いの原因は記憶数の制限に由来するが、直接的原因ではない
- 方針に沿っているときは主観的には迷っていない

つまり、被験者は、自分なりの方針をたてて意思決定をおこないつつ、その方針は状況に応じて変更する。方針にそって行動している間は迷っているとは考えない。方針に沿うことで記憶に頼ることからまめかれている。したがって、迷いは直接的には迷路の規模に依存しない。方針が立たなくなったときに迷っていることが自覚されることになる。

3.4 課題と展開

被験者実験では、記憶制限の影響をうけていることへの対策で、方針を使い分けることによってゴールを目指していた。記憶を方針によって代替していたと思われる。

ところで、方向選択方針そのものも短期記憶における情報であることには違いない。しかし、本稿の実験では方針の保持の仕方については考慮していない。きめこまかく方針をたくさんもてば臨機応変の対応が可能になるかもしれないが、短期記憶容量が全体として制限されているのであれば、随時の外部からの刺激情報を保持する制限がその分きつくなるといのがより実際のだと思われる。

今後の課題として、過去の経路だけを単純に順序にしたがって記憶する、とするのではなく、各マス目での方向情報の特徴に依存して前後左右だけでなく壁の隙間から伺える斜め方向も含めて、印象的なパターンか否かで記憶のし易さは異なるだろう。記憶するとともに、選択方針(たとえば、発見的ルール1~3などそれぞれのルール群)や選択方針切替え(ルール群におけるルール切替え)の条件をも短期記憶で保持することを想定することをモデルに組み込むことを考えたい。これにより、被験者の具体的な記憶と比較でき、したがって、記憶容量の制限がどうい記憶内容にたいしておこなわれるのか明らかになるとと思われる。例えば、本稿での実験結果の規模の大きな迷路でもゴールに到達できた被験者が、記憶や方針の使い分けをうまくおこなう様子を説明できると考える。

表1に示したように、本研究は論理的課題における仮定的状況モデルにたいして、情報探索問題において脳情報処理のモデルをアナロジーとするものである。仮定的状況モデルにおいて主張されている部分的な解決モデルをメンタルモデルとして持つとおなじことが、迷路問題において、各状況の方針に相応していると思われる。

迷路探索問題は、仮定的状況モデルの抽象問題のアナロジーとして、情報探索問題における抽象問題となる。したがって、具体的問題、すなわち、機器のマニュアルを調べたり、WEBで情報検索をしたりする場合においては、迷路問題とおなじ探索行動がおこなわれるとおもわれる。

情報の受け手の脳情報処理の制限を考慮すれば、受け手は理解の仕方の方針を立ててそれにしたがって、情報を受け取っている。必ずしも深さ優先探索のように論理的に正しく受け取っているわけではないということを示していると思われる。

したがって、マニュアルなど具体的な情報を提供する側は、情報探索者にたいして、情報そのものを合理的に呈示するほかに、情報探索方針を複数用意しながら、随時、切り替えさせるといような仕組みを導入することが必要だと思われる。仮定的状況モデルのアナロジーによれば、これらはドメインそのものには依存しないので、本研究の脳情報処理モデルは多くの情報探索問題で共通に応用できると考える。

4. おわりに

仮定的状況モデルにおけるWasonの選択問題におけるの抽象問題に対応するものとして、迷路探索問題を取り上げて被験者実験をおこない、記憶の忘却を考慮した脳情報処理モデルの振る舞いの検証を試みた。

脳の記憶容量の制限は、複数方針の使い分けにつながり、迷いは、記憶容量の大きさが直接影響するというより、方針使い分けの破綻に起因するとい結論に達した。

本研究は、いわゆる学習機能を開発して人工的な知能の構築を目指す[植村05]のではなく、機器運転・保守マニュアル(行動支援情報提供)、教育、情報デザインの分野において、リアルタイムに人の脳の情報処理システムに適した情報呈示を可能として、情報の効率の利用をうながすことを目的としている。

実際に情報呈示する場合には、情報の受け手がどのような方針を持っていて、それが正しい、あるいは間違いである、という指摘ができなければ、情報呈示技術としての効果は小さいとおもわれる。

しかしながら、すでにふれたように、本稿では、まだ、被験者の方針については具体的に同定できるような詳細な検討には達していない。また、記憶にかかわる情報処理のメカニズムについて、既存の研究[Mitchell93]、[寺澤97]に比して原初的であるとも考えている。

制限される短期記憶の中に、どのように方針が記憶として保持されるのか、情報かどのように短期記憶において随時更新されるのか、あるいは忘却されるのかなどのメカニズムのモデル化が今後の課題であると考えられる。

なお、被験者は、筆者らの同僚である、(株)東芝 研究開発センター システム技術ラボラトリー 所属の有志であることを謝意をもって記しておく。

参考文献

- [加藤02] 加藤寛一郎: 墜落 第十巻 人間のミス, 講談社, pp.197-244, 2002.
- [木治05] 木治潤一ほか: 効果的な情報呈示のための脳情報処理モデルの提案, 計測自動制御学会 システム 情報部門 学術講演会 2005 予稿集, pp.360-365, 2005.
- [齋木91] 齋木潤: 仮定的状況モデルによる推論? Wasonの選択課題における主題化効果の検討?, 教育心理学研究, 第39巻, 第1号, pp.1-10, 1991.
- [植村05] 植村渉ほか: POMDPs 環境のためのエピソード強化型強化学習法, 電子情報通信学会論文誌 A Vol. J88-A No.6 pp.761-774, 2005.
- [Mitchell93] Melanie Mitchel: Analogy-Making as Perception A Computer Model, The MIT Press/Bradford Books, 1993.
- [寺澤97] 寺澤孝文: 再認メカニズムと記憶の永続性, 風間書房, 1997.