

CHC モデルに基づく認知アーキテクチャの比較

Comparison Between Cognitive Architectures Based On CHC Model

市瀬 龍太郎 *1

Ryutaro Ichise

*1 国立情報学研究所

National Institute of Informatics

There are many cognitive architectures available nowadays. However, it is difficult to compare those architectures, because there is no standard measure to evaluate them. In this paper, we analyze CHC model in the aspect of data and processing for creating the evaluation criteria.

1. はじめに

汎用人工知能を構築するためには、人間の知的な活動をモデル化する必要がある。これまでに、人間の知的活動をモデル化する様々な取り組みがなされているが、その一つとして、知的活動を、環境からの刺激に対して、反応を決める機構としてみなすエージェントモデルが知られている。エージェントモデルにおいては、入力となる刺激から、出力となる反応への情報の変換とみなすことが可能である。しかし、その変換過程においては、過去の経験（データ）を利用するなどが必要となるため、内部に何らかの構成要素と構造を持つことが必要となる。このような知的動作を実現するための内部機構は、認知アーキテクチャと呼ばれる。認知アーキテクチャは、汎用人工知能を作る際に最も見込みのある研究と言われている [Thórisson 12]。しかし、認知アーキテクチャは、知的動作を実現するための汎用的なフレームワークであるため、異なるアーキテクチャ同士の比較が難しいという課題がある。

これまでに認知アーキテクチャを比較するために、さまざまなタスクが考えられてきた。しかし、タスクで認知アーキテクチャの比較を行うと、タスクに特化した人工知能の作成と区別が付かなくなるため、能力で比較の方が望ましいとの提案 [Hernandez-Orallo 14] がなされている。しかしどのような能力で比較をするのかに関しては、様々な議論がなされており、結論が得られていない。

本稿では、心理学で知的な能力を測る際に使われる CHC モデルを用いて、能力の面から認知アーキテクチャの比較を行うことを提案する。そのために、CHC モデルを分析し、知能の評価軸について議論を行い、認知アーキテクチャの比較を行うための評価軸を明らかにする。

2. CHC モデル

CHC モデルは、Cattell, Horn, Carroll の理論を統合した知能の因子のモデルで、知能が 3 つの階層から成り立っていると考える考え方である。本稿では、Schneider らの研究 [Schneider 13] に基づいて、CHC モデルについて述べる。CHC モデルでは、知能を「一般 (General)」、「広範 (Broad)」、「限定 (Narrow)」の 3 つの階層に分類している。第 1 階層は、「一般知能 (g)」が

ただ 1 つあるのみで、知能を集約したものになっている。第 2 階層は、以下のように、16 個に分類されている。

流動性推論 (Gf)：推論、量的推論に関する能力

短期記憶 (Gsm)：作業記憶の能力

長期貯蔵と検索 (Glr)：記憶の想起、お互いに関連付けて記憶する能力、およびそれを検索する能力

処理速度 (Gs)：知覚速度や、読み書きの速度など処理の速さに関する能力

反応、意思決定速度 (Gt)：簡単な意思決定や反応を素早くこなす能力

精神運動速度 (Gps)：身体を素早く動かす能力

結晶性知識 (Gc)：言語発達、コミュニケーションなどの文化的知識

領域固有知識 (Gkn)：特定の領域に関する知識

読み書き (Grw)：文書の読み書きに関する知識

量的知識 (Gq)：数学に関する知識

視覚処理 (Gv)：視覚的な推論や記憶などに関する能力

聴覚処理 (Ga)：聴覚的な判別や記憶などに関する能力

嗅覚能力 (Go)：嗅覚的な検知や記憶に関する能力

触覚能力 (Gh)：触覚的な検知や処理に関する能力

運動感覚能力 (Gk)：身体の状態の認識能力

精神運動能力 (Gp)：身体を動かす能力

さらに第 3 階層では、各々をさらに詳細に分解し、人間の知的能力がどのような機能により、構成されているのかを明らかにしている。

3. 認知アーキテクチャからみた知能の要素

市瀬により、CHC モデルを認知アーキテクチャとして解釈することが行われている [市瀬 15]。そこでは、前章で述べた第 2 階層の 16 個の要素に対して考察をしている。Gv, Ga, Go, Gh は、外界から得られる情報を、Gk は、内部から得られる情報を知識に変換する機構とし、Gp は知識に基づき、外界への働きかけを行う機構としている。また、Gc, Gkn, Grw, Gq は知識に関連するものとし、それらの処理を Glr と Gf が行っているとしている。本稿では、知識に変換される以前、以後の処理を担当する Gv, Ga, Go, Gh, Gp, Gk 以外に関して、さらに詳細化を試みる。

連絡先: 市瀬 龍太郎, 国立情報学研究所情報学プリンシプル研究系, 〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋 2-1-2, Tel:03-4212-2000, E-mail:ichise@nii.ac.jp

認知アーキテクチャは、計算科学的な観点から構成されるため、基本的には「データ」と「処理」によって、記述がなされる。そのため、CHC モデルにおける知能の構成要素を「データ」と「処理」という観点から整理を行う。その結果、人間の知能を構成する要素として、以下の4つの軸があることが判明した。

1. データの量
2. データの処理容量
3. データの処理正確性
4. データの処理速度

まず、第1項目のデータの量が知能に関係するという点は、知識の量（データの量）が知能に関係しているという考え方である。単純に考えると、知識の量（データの量）が多ければ多い程、知能が高いと考えられ、知能が知識（データ）の量により計測可能であることを意味する。第2項目のデータの処理容量が関係するという点は、記憶の容量の大きさが知能に関係しているという考え方である。たとえば、人間に記憶課題が与えられた際に、より多くの事を覚えられた方が、知的であるとみなされる。そのため、知能がデータの処理容量により計測可能であることになる。第3項目のデータの処理の正確性が関係するという点は、与えられたデータの処理の正確性が知能に関係しているという考え方である。例えば、人間がある事柄を記憶した際に、その記憶を正確に思い出すことができれば、知的であるとみなされる。そのため、知能がデータ処理の正確性により計測可能であることになる。第4項目のデータの処理速度に関係するという点は、素早い処理が知能に関係しているという考え方である。例えば、ある映像が与えられた時に、何が起きているのかを認識する速度などがこれに当たり、知能がデータ処理の速度により計測可能であることになる。

上記で述べた4つの観点から、CHC モデルにおける第2階層および第3階層に存在する知能の因子の分類を試みた。その結果、表1が得られた。表は左から第2階層の要素、第3階層の要素、要素の意味を順に示している。第3階層が空白になっているものは、第2階層だけで、知能の要素の分類を行えたものである。なお、領域固有知識を表す Gkn は、さらに分類する必要があると考えられるが、CHC モデルにより第3階層が作られていないため、本稿では除外した。また、Carroll が弱い因子とした Grw の SG（スペリング能力）についても、除外した。

4. 認知アーキテクチャの比較

前章で述べた分類を用いると、認知アーキテクチャの比較がより一般的、詳細に可能となる。知能の要素を決定すると、データ量で比較すべき項目、処理の正確性で比較すべき項目などが明示化されるためである。例えば、会話することを考えた場合には、知能の要素として Gc が関係する。その中で評価する場合に、データ量で評価できる K0,VL,MY と、処理で評価できる LD,LS,CM があり、それぞれがどのような実装になるかで、認知アーキテクチャの比較が可能となる。会話に必要な語や概念の定義に関する知識を蓄えている VL を例に取ると、ACT-R では、Declarative Module において、知識が保持されている。同様に、SOAR では、Semantic Memory において、LIDA では、Declarative Memory において、知識が保持されている。そのため、実際に保持している知識量（データ量）を比較することにより、認知アーキテクチャの比較を行うことが可能となる。

表 1: 知能を構成する要素
データの量

Gc	K0	社会における一般知識
Gc	VL	語や概念の定義に関する知識
Gc	MY	会話の際の文法などに関する知識
Grw	EU	書く際の語の用法などに関する知識
Gq	KM	数学に関する知識

データの処理可能な容量

Gsm		短期記憶の容量
-----	--	---------

データ処理の正確性

Gf		推論・量的推論に関する能力
Glr		記憶を検索、変換する能力
Gc	LD	会話の際の単語を理解する能力
Gc	LS	会話の際の話を理解する能力
Gc	CM	会話の際の考えを伝える能力
Grw	RD	読む際の単語を理解する能力
Grw	RC	読む際に文章を理解する能力
Grw	WA	思考を文章で伝える能力
Gq	A3	数学に関する能力

データ処理の速度

Gs		認識速度
Gt		意思決定速度
Gps		身体を動かす速度
Grw	RS	読む速度
Grw	WS	書く速度

5. まとめ

本稿では、認知アーキテクチャを比較するために、CHC モデルを用いることを提案し、そのために CHC モデルに含まれる知能の因子をデータと処理という観点から分析を行った。その結果、知能の要素を4つに分解することが可能となり、それぞれの知能の因子に対して計測可能な指標を与えることができた。それを用いることで、ACT-R, SOAR, LIDA のような異なる認知アーキテクチャの能力に対して、客観的な比較ができることが示された。

参考文献

- [Hernandez-Orallo 14] Hernandez-Orallo, J.: AI Evaluation: past, present and future, <http://arxiv.org/abs/1408.6908> (2014)
- [Schneider 13] Schneider, J. and McGrew, K.: The Cattell-Horn-Carroll (CHC) Model of Intelligence v2.2, <http://www.iapsych.com/chcv2.pdf> (2013)
- [Thórisson 12] Thórisson, K. R. and Helgasson, H.: Cognitive Architectures and Autonomy: A Comparative Review, *Journal of Artificial General Intelligence*, Vol. 3, No. 2, pp. 1–30 (2012)
- [市瀬 15] 市瀬 龍太郎: 認知アーキテクチャ評価手法の一考察, 人工知能学会研究会資料, Vol. SIG-AGI-001-12, (2015)