

レクチャーシリーズ 「人工知能とは」 [第3回]

人工知能とは (3)

Artificial Intelligence: What Is It? (3)

溝口 理一郎
Riichiro Mizoguchi

北陸先端科学技術大学院大学サービスサイエンス研究センター
Research Center for Service Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology.

Keyword: intelligence, artificial intelligence, intelligent behavior, knowledge, ontological engineering.

1. 知的であることと知的に振る舞うこと

問い1: 人工知能とは何か?

答え 1.1: 知能とは何かという問いに答えなければならない。

問い2: 知能とは何か?

答え 2: 知的な振舞いを生成する能力。

と言えそうであるので、知的であるということは何かと問えば十分であろう。この問いは後で答えるとする、人工知能はそれに「人工」を付けたものである、字義どおりに解釈すれば、

答え 1.2: 人工知能とは、人工的につくった知的な振舞いをするもの (システム) である。

問い3: 人工知能研究とは何か?

答え 3.1: 人工知能の実現を目指した (に貢献する) 研究。

ここで知的であることとは何かについての仮想的な問答を考えてみよう。

A: 知的であるとは、状況に応じて適応的に物事に対処する能力のことである。

B: じゃ、Feedback control は知的なのですね。

A: いや、数値的な最適制御はちょっと別なんですけど…

B: どう別なのですか?

A: 定量化されて解析的に解けてしまっているのは別なんです。

B: じゃ、四則演算はどちらなんですか?

A: 四則演算は定量的ではありますが、計算そのものは解析的ではなく、一つ一つ手続き的に実行しているので知的なんです。というか、計算をするということ自体が知的というべきだと思います。

B: え? じゃ、コンパイラは膨大なアルゴリズムに基づいて構文解析をして、エラーのあるプログラムを解析しつつ、実行可能なコードをはき出していますが知的なんですか?

A: いや、知識に基づいて動くことと、知的に動くこと

は別なんです。コンパイラは前者ですが、後者ではありません。

B: 本当ですか? 知識に基づいて動くことと知的に動くことが別とは知りませんでした。ということはシステムの実装の仕方が重要なわけですね? 試行錯誤をしながら実行すると知的になる?

A: そういうわけでもないのです。知的であることを内側から説明することと外側から説明することが混在しています。内部仕様と外部仕様の問題ですね。知的に振る舞うということは外部仕様の問題ですが、知的に振る舞う能力というは内部仕様の問題になります。それをごっちゃにするとややこしくなります…

Aさんも、わかっているようでよくわかっていないのではと思われる。知的に振る舞うシステムと知的なシステムは同義語ではない。振舞いだけを議論するのであればこの二つは同義といえるが、一歩下がって、何をしているかを問うとそれは前者には含まれていないが、後者には含まれる。具体的にいえば、プログラムをコンパイルするという作業自体は高度な知識が要求されそれ自体が知的な仕事である。知的に「振る舞う」ということは何をしているかは一切問わないで、どのようにするかだけが問われている。典型例でいえば、事前に定められたアルゴリズムに従って決まったことを間違いなく実行することは知的に「振る舞っている」とはいわれない。計算するというタスクはどのように実行されるかに無関係に知的なタスクである。コンパイラは知的なタスクを実行しているが、知的に振る舞ってはいない。要するに、知的であることには二つの側面がある。

問い4: 知的であるとは?

答え 4.1: 実行しているタスク自体に (高度な) 知識が要求され、それを実行すること自体が知的といえる。したがって実行の仕方には無関係であり得る。

答え 4.2: 実行しているタスクが知的であるかどうかには無関係に、振舞い自体が知的である。通常何も限定しなければ、人工知能研究では、振舞いが知的であることの理解が重要となると考えられている。

問い5：知的な振舞いとは何か？

答え5：アルゴリズム的ではない方法で Reflective なアーキテクチャに支えられて状況に適応的に対処すること。

知的なタスクという意味での知的さはある程度時代とともに変化しつつある。昔コンピュータがなかった頃は計算することは誰もが知的な行為と認識していた。文字認識のようなパターン認識も今では知的なタスクとはみなされていない。このことから、それが知能とは何かという問いに関しては重要な役割はもっていないことが見て取れる。以下では「知的である」という言葉は上の二つを区別しないで使うが、主に答え 4.2 の意味を指して使うことが多い。

問い6：なぜアルゴリズムに従うと知的に振る舞えないのですか？

答え6：何をしているかということ自体を認識して、自分自身の行動を説明することができないから。

何をしていても、何をしているかということ自体の認識とその意味をわかっていることが知的であることの重要な要素の一つであろう。それが柔軟に適応する能力の本質的要素の一つである。その意味でアルゴリズム実行はその種の知的さは原理的にもち得ないという点で知的とはいえなくなる。より具体的にいえば、与えられたゴールを達成する仕事をしているときですら、自身の行為をモニタリングして、必要であればさらに上位のゴールに置き換えてより良い解を見つける能力などは、後でも述べるが、知的能力のなかでも高度な能力といえる。そしてそのようなシステムは自身の振舞いを説明することができる。

2. 知能の要素

問い7：知能を構成する要素にはどんなものがありますか？

答え7：知能の要素をあげてみると、以下の六つがあると思われる：

1. 推論と思考, 2. 学習と記憶, 3. 問題解決,
4. 言語とコミュニケーション, 5. 自己認識とメタ認知,
6. 先の五つのすべての基盤となる記号処理を支えるための、実世界と記号の双方向変換機能。

実際にこれらの機能を実現する（している）かどうかではなく、それを実現する能力をもつかどうか、それが知的であるかどうかを決定付ける。そして、知的であることのために特に重要な能力は自己認識やメタ認知機能であると思われる。もちろん、6 がなければ実世界で人

間は知能を発揮し得ないという意味で極めて重要である。

問い8：アルゴリズムはなぜ説明を生成できないのですか？

答え8：アルゴリズムには状況とか状態という概念がないからである。

アルゴリズムでは任意の時点での状態や状況は通ってきた道筋（プロセス）に分散してしまっているし、ある処理や分岐における意思決定の根拠の説明に、どこまでさかのぼれば適切な理由として認定できるかが不定である。一方、例えばプロダクションシステムでは常に状況が Working memory に明示的に示されており、各処理がどの状況や状態に反応して行われたかが確実に補足されている。そしてさらに良いことには各処理は直接実行されることはなく、推論エンジンが「わかった」うえで処理を選択し実行している。このことは知的であることの重要な要素である Reflection が素直な形で実装されていることになる。

問い9：プロダクションシステムもアルゴリズムではないのですか？

答え9：いいえ違います。

問い6と8はいずれもアルゴリズムとは何かということを確認する必要がある。コンピュータで実装可能なものは皆、所詮アルゴリズムなので問い6でいうアルゴリズムもプロダクションシステムも同じアルゴリズムの一種になってしまうという考えはある意味で正しい。しかし、大変危険な「正しさ」なのである。

例が古くて恐縮であるが、「FORTRAN（昔一世を風靡した数値計算用のコンピュータ言語）ではリスト処理ができないから AI 研究には使えない」という人に対して、「いいえ、できます。FORTRAN で LISP のインタプリタをつくれればよいのです」という答えはどこかおかしい。質問した人は「そうすればできるのは当然ですが、それを許すと FORTRAN という言語の特性（範疇）を無視した乱暴な議論になってしまいます」と答えるであろう。もう一つ例をあげると、認知とメタ認知は同じかという問いを考える。確かに、メタ認知も頭の中で行われているので認知の一種であることには違いない。したがって＜メタ認知 is-a 認知＞であるという主張は正しい。しかし、両者は同じではない。メタ認知は認知行為を対象とした認知であり、メタ認知と対比したときの「認知」は認知行為ではない普通の「ものごと」を対象にした認知行為を指すので両者は対比するに値する別の行為である。

ここで大切なことは、対比すべき概念は何かということと、概念化された世界の境界を超えるときには注意が必要ということである。問い6のアルゴリズムはプロダ

クションシステムと対比することを前提にした、通常の手続き実行のアルゴリズムであり、「リスト処理ができない FORTRAN」に対応するものなのである。したがって、「アルゴリズム」でプロダクションシステムを実装したからといって、「アルゴリズム」が説明能力をもつと主張することは適切ではない。

3. 個, 集団, インタラクション

これまでは一つの個体として人の知性を議論してきた。人間は他の人やものとの協調も含めて、置かれた環境とインタラクションしつつ生きていることを考えると、複数の人の集まり全体のことも考える必要があるように思われる。分散認知や Collective intelligence は知能の本質を問うことに意味があるかという問題を考えてみる。

3.1 分散認知

問い 10: 認知心理学にある分散認知という概念は、知能を考えるうえで重要な概念ではないのでしょうか?

答え 10: 知能は本質的には個々の Agent に存在するものです。

分散認知とは、複数の Agent で一つのコミュニティが形成されているとして、そのコミュニティにおける知識や認知は各参加 Agent に閉じたものではなく、そこにあるオブジェクト、ツールそして他の Agent に分散して存在すると主張する理論、あるいは枠組みである。しかし、この理論も知能とは何かを語るうえで本質的な意味はもたないと思われる。知識や認知、そして知能はあくまでも個人のものである。複数の Agent が協調して問題解決を行うときに問題解決プロセスが各 Agent に分散するのは自明のことである。協調によって生まれた記憶や得られた知識がそのときのコンテキストに依存しているのも当然のことであるのでことさら強調する必要はない。そして、依存するからといって知識、認知や知能が Agent の「外にある」ことにはならない。思い出すときのきっかけにそのときのコンテキストが必要であったり、効果的だったとしても、それらが Agent の外にあることにはならない。協調に参加した Agent が再会することによって初めてそのとき共有したであろう成果や雰囲気や酔うことができたとしても、単にそのことを契機として思い出したばかりであり、思い出されたものは個人の中にある記憶である。もちろん、知能の一つの要素に他者を含む環境とのインタラクションやコミュニケーションがあることはいうまでもない。それは各個人がもつ協調能力であり、使った能力は通常の知能である。

問い 11: 環境とのインタラクションに知能の本質はありますか?

答え 11: ないと思います。

全生物の成長、発達、学習は、環境とのインタラクションを通して行われることは疑いようもない事実である。しかし、人間がそのような成長したからといってそこに知能の本質があるということにはならない。それは生物の生命活動の一つの重要な側面ではあるが、そして人間が最も環境とのインタラクションにおいて進化しているとしても、だからといって、それが知能の本質を形づくっていることにはならない。実社会問題解決では、環境とのインタラクションが重要となり、4番目の能力が目される度合いが増えるだけのことである。

Collective intelligence は集団として発揮される知能であるので、話題としては魅力的ではあるが、知能の本質という問いへの解答には貢献はしない。

3.2 情報処理の世界だけで行われている人工知能研究は根なし草?

問い 12: Symbol grounding に知能の本質はありますか?

答え 12: ないと思います。

Symbol grounding が一時注目されたことがあった。ロボットの分野では当然のことであるが、これがないと話にならないので自明のことかもしれない。記号主義の限界を指摘するコンテキストで、実世界に Grounding されていないコンピュータ内に閉じている記号処理の世界では実社会知能を表し得ない。使われている記号が実在する実体に Grounding されていない、根なし草のシステムになってしまうという指摘である。確かに一理はある。しかし、翻って人工知能研究全般を検討してみると、大半は根なし草の研究になってしまうが、それが間違っているということにはならないことを考えると、その指摘も「一理はある」という理解でよいであろう。

ここで誤解防止のための説明をしておく。6. の能力は Symbol grounding や環境とのインタラクションと近い関係にあるが、意味は大きく異なる。特に Symbol grounding は主に記号が実在のものに対応付けられている「こと」を指すが、6. の能力は実際に Grounding されているかどうかに関わりなく、実世界を観察や経験をして必要な物事を記号化して取り出す「能力」を指す。中島秀之氏も指摘している高級なパターン認識機能である。この機能があって初めて記号処理に基づく知的処理が実世界に対して意味をもつことになる。

この問題は卑近な例でいうと、スーパーに買い物に行ったときに実際に買ったものの値段と財布の所持金の計算が正しくできる能力と、教室で四則演算の演習問題を解く能力の問題と相似の関係にある。98 円の大根を 2

本買ったときの合計金額の計算と、教室で 98×2 を実行することの対比である。この例の場合には、スーパーでは計算がうまくできるが、教室ではしばしば失敗する子供がいるといわれている。しかし、Grounding されていないという批判を受けるのが普通であるので、その批判でいうと、計算の場合と逆で、教室では問題を解けるが、現実の問題では解くことができないということになる。大根の例ではさまざまな現実問題の枝葉末節を捨象して抽象化をして、抽象化された一般性の高い計算を実行するという逆の能力が問われているという点がおもしろい。

4. 学 習 理 論

問い 13：学習理論に知能の本質はありますか？

答え 13：どの理論も知能の一部しか捉えてはいない。

ここで、知能の成長や発達に関係が深い学習理論に目を向けてみよう。まず、構成主義について一言述べておきたい。構成主義 [Learning] は Authentic な状況での実践とそれを通して知識が学習者の頭の中で「構成 (build)」されることを重視するが、それでは学んだ結果を別の状況で適用する Knowledge transfer が説明できなくなり破綻している。人間の思考・推論能力の最大ともいえるものに抽象化と一般化能力があるが、一般化能力を無視する学習理論は信用できない。それを説明できない学習理論は不完全である。しかも、構成主義では Skill の習得に適していないことも出現当初より自明であった。基本スキルの習得は強制的に教え込むことが一番有効であり、本質的にそうすべきものである。理由はいらぬ。楽器の演奏訓練の実際がそれを如実に支持している。ピアノのスケールの練習はただ指が無意識にできるだけ早く一定のリズムで動くまで訓練することが必要であり、かつそれで十分である。理由はない。美しい音色と流れる楽曲はその上に初めて「構成」される。四則演算も同様である。言い換えると、人間の知能にはただ理由もなく当然のものとして詰め込んで（詰め込むほうが）良い基本技能（知能）があるということである。このような問題だらけの学習理論が一時もてはやされたことが筆者には全く理解できない。

学習理論は、行動主義 (behaviorism) [Behaviorism], 認知主義 (cognitivism) や教授主義 (instructivism) [Psychology], 構成主義 (constructivism) [Learning], 社会的構成主義 (socio-constructivism) [socio] と進化 (?) してきて、今最先端では理論は信用できないので、現場に戻ろうという動きがあるといわれている [三宅]。私にはいずれの理論も、それで学習のすべてを言い尽くしているといわんばかりの主張さえしなければ、意義深く、部分的には正しい主張をもっているように思える。しかし、理論家は、例外なく、「過去の学習理論は間違っている、

正しい理論はこうだ！」というキャンペーンをやってきたことに問題がある。より本質的には、一つの理論で学習のすべての側面をカバーしているという思い込みが強い。およそ 10 年単位で新しい学習理論パラダイムが生まれて、本当に過去のパラダイムが間違っているとしたら、このように四つのパラダイムが短期間に生まれてくると、その研究分野全体の信頼が失われかねないことに留意すべきであろう。しかし、上に書いたように、行動主義理論でさえ、正しく使える（使うべき）状況は存在することからも推察されるように、私見ではあるが、実際には新しい理論はすべて、過去（既存）の理論が捉えていない、学習の新しい側面を見つけたものであり、その点で優れた点も持っている。上の四つの学習理論は、理論家が互いに相反するものと理解している事実とは異なり、全部の良いところを合わせると立派な理論になる可能性をもっていると筆者は考えている [Ertmer 93]。

問い 14：身体性やインタラクションに、知能の本質はあるか？

答え 14：ないと思います。

上の学習理論の議論は知能に関する議論でも当てはまる。身体性、インタラクションいずれも新しい知能の側面ではある。身体運動に関連する知能に関して身体性が本質であることはいままでのものにはなり得ない。実社会知能というのがあるとする。身体性と社会性などを総合的に加味した知能という考えもあるが、知的な振舞いを議論するときには（頭の中だけで行われる推論や問題解決だけの話とは異なり）実社会に存在する物事とのインタラクションが必要となるので重要な要素となる。しかし、それはあくまでも行動に関してのものであり、それを生み出す知能とは何かという問いに答えるというコンテキストにおいては本質的なことにはならない。行動に関わる事柄に関しては、机上で理科の問題を解くことと、セールスマンが売上げを伸ばすために努力することとは大きく異なるが、頭の中でやっていることはほとんど同じだからである。

5. 創造性、関連性

問い 15：人間の知的能力のなかで重要なものは？

答え 15：関連性の認識や状況の把握である。

一人の人間の知的さの議論に戻る。知能は創造的な仕事ができる。それでは、人工知能は創造的であり得るか？

この問いに答えるには「創造的」が意味することを明らかにしなければならないが、これまた難しい問題であるので、以下の議論は軽く聞き流していただきたい。

常々思ってきたことであるが、私が人間の知能で感心するのは創造的なことよりも、関連性の認識や状況の把握

握能力が優れていることである。創造性は設計と親和性が高く、レベルというものをいくつか導入することができる。例えば、

- i. 小さなパラメータの改善
- ii. 既知部品の新しい組合せ
- iii. 異分野で既知の原理や方法の導入
- iv. 未知の方式や原理の発想（発想後はなぜ、どのように良いかを説明が可能）
- v. 発想後も説明できない突飛な発想。
- vi. 完全に新規な理論の形成

のようなレベル分けである。したがって、ある程度は、創造性のどの程度の能力を解明しようとしているかを議論することができる。しかし、関連性の認識などはこのような手掛かりがないので説明することが難しい。それと、議論をしているときに、質問に対する回答や反論すべき内容がほとんど瞬時に浮かんでくることである。浮かんだ後でなぜそれで良いのかを説明することができるが、浮かぶときにはその説明ほど明確に論理を追ってはいない。ただ、浮かんでくるのである。あるいは発言者の誤解の原因も議論の達人には瞬時にわかる。これは全く説明ができない。説明できないだけでなく、これらのことは創造性発揮に比べて、より日常的であることも魅力の一つである（知能とは何かという問いより、はるかに意義が深いのではなからうか）。

関連性の認識は特別重要であるように思う。状況の把握（認識）も関連性認識と類似した機能といえる。すなわち、今焦点が当たっている対象に関するある理解や判断をするために関連する（そして効果的な）情報を集めたものが状況、あるいはコンテキストだからである。関連性をうまく見つけるには幅広い知識をもっていることが必要であると同時に、関連性に対応するリンク（関係：因果性、部分性など）を豊富にきめ細かくもっていて、それをその時点でのゴールや対象に併せて柔軟に使いこなすことが必要であるはずである。したがって、思考操作は多岐にわたり処理時間は大きくなると思われる。しかし、現実には人はそれを瞬時にかつ適切にやっけてのける。これらは明らかに記号処理と数値処理の中間に位置するようなニューラルネット的処理が行われているように思われる。

それ以外に筆者が興味をもつ知的能力の中で、「いくら頑張ってもこの問題は解ける気がしないけど、問題の設定が悪いのでは？」と考えるような Reflective な思考である。このようなメタレベルの思考は知的であることの本質の一つであると思われる。そして、問題設定を変更した後、新しい問題空間（探索空間）を設定して、そこで問題解決を始めることができる。この能力はすばらしい。大昔 Newell らのグループが開発した認知アーキテクチャの SOAR には問題空間設定メカニズムが埋め込まれている [Laird 87]。問題空間設定メカニズムをさらに強化して実問題に適用できる強力さと適当に広い一般性

をもつものに仕上げる問題は非常に興味深いものがある。

6. 知能と知識

6.1 一般性の壁

問い 16：知能を大雑把にいうと？

答え 16：知能 = (知識 + 推論 (学習)) / アーキテクチャ

さて、人工知能研究とは何かという本題に戻ろう。結局のところ、上にあげた六つの要素に関わる研究ということになる。おおざっぱな議論で恐縮だが、

知能 = (知識 + 推論 (学習)) / アーキテクチャ
という図式はある程度は正しいと思われる。もちろん、アーキテクチャにはメタな構造を加えて自己認識機能を導入することと豊富な推論と記憶とを支える仕組みの導入が前提である。そこで、人工知能研究者に聞いてみる。知識も推論も両方とも大事ですか？ 99%の人がハイと答えるであろう。そこで、あなたは、知識、推論、アーキテクチャの中のどの研究をしたいですか？ と聞くと 99%の人は知識以外と答えると予想される。それほど知識は研究課題としては人気がない。なぜか？

ここで突然、上で述べた知能の六つの要素に知識が含まれていないことに気付いた。これは少なくとも私にとっては新鮮な気づきである。知「能」は能力に直接関連する概念である。知識はどのようにこじつけても能力にはならない。その意味で知識は知能世界では継子なのかもしれない。実際、元々頭の中にある能力的なものではなく、後天的に獲得したものであり、各種能力が参照するデータの様相が強い。しかし、実際に知識が知能の世界において継子であったとしても、知識がなければ知能はほとんど発揮し得ない。ソフトがないコンピュータのようなものになってしまう。ということで、知識は知能発揮において重要な要素であるということにしておく。もちろん、認識論にまで踏み込めば、ものを知る能力までさかのぼって、人はなぜ外界で起こっていることの観測を通して、物事を知り得るのかという問題は六つ目の知能に関連する深い問いである。しかし、それは哲学の領域であるので、本稿ではそこまでは踏み込まないこととする。

問い 17：知識がなぜ研究の対象になりにくいのか？

答え 17：ドメイン知識は一般性がないからである。

知識が研究の対象になりにくいという問題に戻ってエキスパートシステムの時代はどうであったか思い出してみよう。Feigenbaum 教授が主張した知識工学は、推論ではなく知識に問題解決力の源泉があるという「Knowledge is power」[Feigenbaum] 原理に基づいて、1970 年後半から 20 年弱の間、知識工学旋風が吹き乱れ

た。では、その時代に知識の研究がなされたのかというと、残念ながら答えは No である。ただひたすら(大規模)ルールベースが構築されただけであり、唯一の知識関連といえる研究は知識獲得研究 [KBS] であった。エキスパートシステムは研究ではなく「開発」として捉えられた。その中で、筆者らは山口高平先生と一緒に深い知識 [山口 87] やタスク知識 [Mizoguchi 95] という知識工学の本流ともいべき研究をしていた。そして、いうまでもなく、それが今のオントロジー工学を推進する原動力となった。

筆者と筆者の研究室の懸命の努力にもかかわらず内容指向研究 [溝口 96] がなぜ広まらなかったのかと言う問題を考えて見たい。内容、すなわちドメイン知識には一般性がない。そのドメイン固有性という概念はシステムの欠点を指摘する言葉であることのほうが、長所を言うときよりはるかに多い。研究成果は一般的でなければならぬ。それは研究(学問)の宿命である。科学の真理も工学の技術も適用範囲が広がれば広いほど重宝がられる。特殊な状況における真理は、「それはそうでしょうが、私には関係がない」といわれる確率が高い。そして残念ながら、ドメイン知識は本質的に一般性がない。一般性があるのはアーキテクチャと推論だけである。

一般性が重要であるからと言って、一般性だけを重視して追求すると根無し草的 AI 研究になってしまう可能性がある。といって、推論がドメイン依存である (Grounding されている) と言うのには違和感がある。システム全体としての Grounding は知識が面倒を見るべきなのであろう。すると、以下の問題が深刻な問題として顕在化する。

「一般性の壁」

ドメイン知識がもつ一般性の壁を越える必要がある。

実は、オントロジー工学はこの一般性の壁問題を解消して知識工学を救う救世主としての使命を背負って生まれたと筆者は考えている。そのオントロジー工学とは何であろうか、そしてなぜ良いのであろうか？

6.2 オントロジー研究 [溝口 12]

問い 18：オントロジー工学とは何か？

答え 18：存在物自体をドメイン固有性を超越した視点から検討して、存在物の一般性を際立たせ、知識を深く理解することに貢献する工学的な学問である。

知識はすべて何かに関する知識である。その「何か」は存在物と存在物間の関係が中心となる。オントロジー工学は存在を工学的に議論する学問であるので、存在物に関して多くを知ることによって知識を深く理解するこ

とに貢献する。表層的に言えば知識表現に貢献する。

オントロジーは存在物自体を、ドメイン固有性を超越した視点から検討して、存在物としての一般性を際立たせる形で概念化を促進する。人工物とは何かという問いは発するが、ポンプとは何かということは問わない。機能とは何かは真剣に検討するがポンプの機能には何かがあるかは検討しない。そして機能と振舞い、属性(attribute)と特性(property)や、プロセスとイベントなどの一見類似した概念はどこがどう異なるのかを検討する。

問い 19：教師は人間か？

答え 19：いいえ。ただし、教師 is-a 人間であるかという質問の意味においてである。教師はロール概念である。

したがって、例えば行為のインスタンスとイベントのインスタンスの違いを説明することができる。なぜ「教師 is-a 人間」とモデル化することが不適切であるか説明する。part-of 関係には意味論的に何種類の関係があるのかを考察する。例えば、

<木 part-of 森>

<夫 part-of 夫婦>

<エンジン part-of 車>

の三つの全体部分関係がどのように異なるかを説明する。また、

<オミナエシ is-a 秋の七草>と

<オミナエシ part-of 秋の七草>

のどちらが正しいのかという問題に答える。

これらは現実世界を対象として知識を工学する際に陥る可能性のある概念の混同を避けることに大きく貢献する。さらに、事物の間関係を同定する際の指針も提供する。これらの深い考察の結果、正しい is-a 階層を提供し、ドメイン依存の概念が相互にどのクラスに属する概念であるのか、何段階層を上ると同じクラスを親クラスとして共有するかということを明確に示すことによって相互の共通性と相違点を明確に示すことができる。このように、オントロジー工学は、概念の相互運用性を促進することによって、(ドメイン)知識の一般性の壁を越えることを助けるための理論と技術なのである。

問い 20：表現力が十分ある知識表現言語と推論エンジンがあれば、それに知識を入れさえすれば、それなりの推論システムがつくれるか？

答え 20：いいえ。

オントロジー工学はまた、内容指向研究 [溝口 96] の核になる理論であることを忘れてはならない。内容指向というコンテキストの下で熱く語って来たことであるが、多くの人工知能研究者は、「表現力が十分ある知識表現言語と推論エンジンがあれば、それに知識を入れさ

えすれば、それなりの推論システム(問題解決システム)がつくれる」と考えているように見える。「いや、そんなことはない」という反論が聞こえてきそうであるが、反論の典型は「推論エンジンが遅いので、知識を書いたからといって問題が実時間で解けるかどうかかわからない。エンジンの高速化が必要になるし、速度と表現力のトレードオフ問題という大きな問題を解決しないとイケない」というものであろう。その反論は正しい。正しいが、全く不十分である。それは、形式指向研究の範疇内での解答なのである。実問題を相手にすると、「知識を入れる」ことが極めて難しい。あるドメインにおけるある種の問題を解くために入れておくべき必要十分な知識を収集し、理解してその構造を確定することは気が遠くなるほど難しい問題なのである。「きっとそうなのでしょう。でも、それは研究の対象になりにくいのでは? だってほとんど定式化できそうな一般性が見えない。」まさしくそのとおりで、著者もそう思う。ただし、この意見の人と異なるところは、この人は「だから研究しない」と結論するのであるが、筆者は「だから研究する」となる点である。筆者の研究グループはそういう心意気でオントロジー工学を実践してきた。ドメイン依存の概念を組織化するための指針とテンプレートを与えてくれる、オントロジー工学はそういう学問である。

よくいわれることであるが、そして問答4~8が示唆することでもあるが、推論しないシステムは知的とはいえない。じゃ、溝口研究室がつくってきた多くのシステムは推論しないので、溝口研究室は人工知能研究をしていないということになってしまう。果たしてこの批判に対してどのように対処したらよいのであろうか? 確かに「知能」に関する研究はしていないが、知能を発揮するために不可欠な「知識」に関する研究をしているということが出来る。実際、6.1節で論じたように、オントロジー工学は知識を理解するための基盤となる理論を提供する。そして、知識は知能を発揮するために不可欠な基盤要素であり、答え3.1に従えば、オントロジー工学は知能の研究に貢献しているといえる。

7. 本 音

問い21: そもそも、人工知能とは何かという問いは、論じるに足るか?

答え21: いいえ(^^);

ここまで、人工知能とは何かという問いを真剣に論じてきたが、ここで少し本音の話をしよう。人工知能は自然知能に匹敵するものになり得るのか? コンピュータは意識をもてるか? とかいう議論はお酒を飲みながらするのは楽しいが、その結論を特別に重視する必要は、私は何となくないと思ってしまう。どちらになっても人工知能研究は変わらないと思われるからである。

例えば、コンピュータが本当に恋ができるかどうか? コンピュータが漫才を聞いて心底笑えるか? それは、コンピュータを人に置き換えてもあまり代わり映えがしない。人は本当に人を愛せるか? この問いは十分に吟味する価値がある。我々人間の間でも、他人が自分と同じように感じて笑って恋をしているというのは幻想かもしれない。所詮他人のことは観察されるすべての情報から「推察した」結果に過ぎない。あるいは、自分の中で起こっていることをそっくり他人にimposeしているだけである。ということはコンピュータに人を愛せないという結論が出てほしいことではないように思ってしまう。

問い22: 意識とは何か?

答え22: 自己を含むあらゆるものへの志向性を発揮するもの(とこと)。

ただ、意識とは何か、ということが興味深いことは確かである。私なりに答えてみたが、やっぱりそれは人工知能研究の本質であるかということ、哲学や心理学でやっていただくべき問題であるように思える。

そもそも人工研究者は「人工知能とは何か」という問いに明確に答えをもっておくべきなのであろうか? ほかの研究分野の例を考えてみよう。

問い23: オントロジー工学者はオントロジーの標準定義をもっているのですか?

答え23: いいえ。

オントロジーがはやりだした頃は「オントロジーとは何か?」という議論が盛んに行われた。そして、残念ながら全員が合意できる定義は得られなかった。今では、オントロジーを定義する議論はやめるとするのは研究者の暗黙の合意となっている。人工知能も同じことがいえるのではないだろうか。

問い24: 工学者・技術者は、日夜機能的人工物をつくっていますが、人工物や機能とは何かという標準定義をもっていますか?

答え24: いいえ

工学の世界では人工物や機能が何かということはいまだに定義が終わっていない。興味すらないといえる。工学者はそのような問いに興味を示すかもしれないが、通常は議論の対象にはならない。それらの話題は、オントロジー工学が盛んになってようやく、オントロジーの会議などで真剣に議論されるようになった。しかし、現場の多くの工学者や技術者はエンジンやポンプの機能についてはいくらでも熱く、詳しく述べる事が出来るが、機能とは何かには自己流の定義を述べるか、興味を示さないでやり過ごしてしまう。そして、いまだに、機能と

は何かは世界の誰も知らない。

問い 25：医療の分野では疾患とは何かという標準定義をもっていますか？

答え 25：いいえ。

医療の分野でも疾患とは何かも定義が確立されていない。医者は糖尿病、虚血性心疾患など個別の疾患については熱く、詳しく説明できるが、それらの最上位に位置する「疾患とは何か？」という問いには答えることができない。

このことは人工知能研究にも当てはまる。いや、当てはまらないほうがおかしいといえる。結局、人工知能研究者としては何を研究するかが大事であり、それは「知的である何かをつくること」と「それに貢献する何かをすること」であると思われる。その観点から見てもコンピュータが人と同じように意識をもてるか、人工知能研究者は自然知能を工学的につくれるのかという問いの重要性は下がってしまう。

問い 3 のもう一つの答えとして以下のものがある。

問い 3：人工知能研究とは何か？

答え 3.2：人工知能を構築する過程を通して構成的手法で知能とは何かの解明を目指した研究。

この解答は重要で、逆説的ではあるが、著者は知能とは何かという問いは人工知能研究の結果としてわかることであって、始めにわかっておく必要はないと思う。なぜなら、それが人工知能研究の定義なのだから。

以前、著者が今より若かった頃、知識処理とか知識工学とかいう言葉を使って学生が学科全体のゼミで発表していると、「君が言う知識とは何ですか？ 定義を教えてくださいませんか？」とおっしゃる先生がいた。学生がそれに答えられないと、「定義をしていない言葉は使わないようにしてください。聞いているほうは全然わからないので」というダメ押し発言がなされることがあった。一見「定義なしに言葉を使うな」という主張は正しいように聞こえるが、「知識」に関しては適切でないように感じていた。その理由は、おそらく、知識が何であるかは知識工学や人工知能研究が完成した暁に明らかになるものであるような気がするのである。人工知能が何であるかも、それが完成して初めてわかるものではなかろうか？

8. むすびにかえて

最後にほかの解説との関連について言及しておこう。まず、中島氏の話と著者の話がかみ合っていないように感じる読者のために一言。良くかみ合っていないように見える理由としては二つあると思われる。一つ

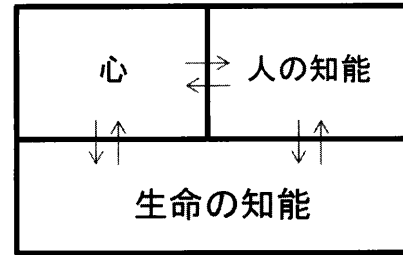


図 1 自然知能の階層

は、中島氏が種としての人間（動物）を念頭に置いて知能を語っているが、私は完全に個人としての人間の知能を語っているからである。ちょうど宗教家が神の愛を語るのと恋人同士が二人の愛を語ることの差と相似である。もう一つは、中島氏は知能をどちらかという外部仕様から攻めているが、私は内部仕様から攻めている。どちらが良いかの問題ではなく、二つは相補的であろう。

西田氏の解説は一般市民の目線ですいぶんわかりやすく書かれている。知能を筆者より広く捉えて心まで広げて、一般市民が思う十全な人の頭脳をもつ人工知能キャラクターをつくる話に焦点を当てている。

筆者の意見の前提として、すべての動物に共通する（生命の）知能と呼べるものは中島氏が論じているので省略し、主に人工知能研究が対象としている、人間が特に優れていると思われる知能について論じている。したがって、筆者は本稿で述べた知能だけで自然知能が構成出来るとは夢にも思っていない。例えば、自然知能を構成するのであれば、図 1 に示すように、中島氏の言う知能を Core にして生物としてもつべき核知能を最下層においてその上に西田氏の心と私の人間としての知能を配置すれば良いという構図になっていると思われる。3 人をこの順序で解説を依頼された松尾編集委員長の慧眼に拍手。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、大阪大学産業科学研究所來村徳信准教授と編集委員長の東京大学大学院工学系研究科松尾豊准教授に有益なコメントをいただきました。ここに記して感謝致します。

◇ 参考文献 ◇

- [Behaviorism] <http://en.wikipedia.org/wiki/Behaviorism>
- [Ertmer 93] Ertmer, P. A. and Newby, T. J.: Behaviorism, cognitivism, constructivism: Comparing critical features from an instructional design perspective, *Performance Improvement Quarterly*, Vol. 6, No. 4, pp. 50-70 (1993)
- [Feigenbaum] Feigenbaum, E.: http://www.computerhistory.org/fellowawards/hall/bios/Edward_Feigenbaum/
- [KBS] *Proc. Nth Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop, Banff, Canada*
- [Learning] [http://en.wikipedia.org/wiki/Constructivism_\(learning_theory\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Constructivism_(learning_theory))
- [Laird 87] Laird, J., Rosenbloom, P. and A. Newell.: *Soar: An Architecture for General Intelligence, Artificial Intelligence*

(journal), Vol. 33, pp. 1-64 (1987)

[三宅] 三宅なほみ (私信)

[Mizoguchi 95] Mizoguchi, R. et al.: Task ontology for reuse of problem solving knowledge, *Proc. of Knowledge Building & Knowledge Sharing 1995 (KB&KS'95)*, pp. 46-59, Enschede, The Netherlands (1995)

[溝口 96] 溝口理一郎: 形式と内容—内容指向人工知能研究の勧め, *人工知能学会誌*, Vol. 11, No. 1, pp. 50-59 (1996)

[溝口 12] 溝口理一郎: *オントロジー工学の理論と実践*, オーム社 (2012)

[Psychology] [http://en.wikipedia.org/wiki/Cognitivism_\(psychology\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Cognitivism_(psychology))

[Socio] <http://edutechwiki.unige.ch/en/Socio-constructivism>

[山口 95] 山口高平, 溝口理一郎ほか: 深い知識に基づく知識コンパイラの設計, *人工知能学会誌*, Vol. 2, No. 3, pp. 333-340 (1987)

2013年3月26日 受理

著者紹介



溝口 理一郎 (正会員)

1977年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。大阪大学産業科学研究所助手、助教授、教授を経て、2012年10月より北陸先端科学技術大学院大学サービスサイエンス研究センター教授。工学博士。音声の認識・理解、エキスパートシステム、知的学習支援システム、オントロジー工学の研究に従事。1985年 Pattern Recognition Society 論文賞, 1988年電子情報通信学会論文賞, 1996年本学会創立10周年記念論文賞, 1999年, 2006年 ICCE Best paper Awards, 2005年大川出版賞 (オントロジー工学), 2006年本学会論文賞, 2009年本学会功績賞, 2010年教育システム情報学会論文賞, 2013年 LOD チャレンジ2012 ライフサイエンス賞受賞。本学会編集委員会委員長, 教育システム情報学会編集委員長, 本学会会長, Intl. AI in Education (IAIED) Soc. President, APC of AACE President, J. of Web Semantics Editors-in-Chief, Semantic Web Science Assoc. Vice-President を歴任。現在, IEEE TLT と ACM TiiS の Associate エディタ。