

認知科学研究のツールとしての認知モデル LIDA の課題と展望

金子 祐二*, 小嶋 秀樹*

* 東北大学大学院教育学研究科

要旨: LIDA (Learning Intelligent Distribution Agent) は, 「様々なモダリティの情報処理は前意識的に非同期で行われ, あるしきい値を超えた情報だけが脳全体で共有される」というグローバルワークスペース理論 (Global Workspace Theory) に影響を受けた認知モデルである. LIDA は意思決定システム (コンピュータソフトウェア) であると同時に, 人工物が意識を持ちうるかの検証実験, すなわち人工意識の一つの実装試行という側面も併せ持つ. 本稿では, (1) LIDA の概要, (2) LIDA の情報処理単位である認知サイクル, (3) LIDA を構成する各モジュールとその関係性を概説した後, (4) LIDA の中で意識がどのような役割を担っているかを考察し, (5) 認知科学研究のツールとしての LIDA の課題と展望について述べる.

キーワード: 認知モデル, LIDA, 人工意識, グローバルワークスペース理論

1. 背景

我々は記憶を想起するとき, その記憶は画像あるいは動画のような形で立ち現れるように感じられる. そのイメージは個々人の経験と結びついており, 特定の音を聞いたり, 特定の場所を再訪したりした時など, その経験と近い刺激を受けたときに, 心の中に投影される. しかし必ずしも過去のエピソード記憶を写實的に想起したものとは限らないし, 想起時点での感情や環境に依存し, 刻一刻, 常に変わりゆくものであろう. この「心のイメージ生成機能」は, 人間の発達や学習に深く関与していると考えられる.

しかし現在の神経科学は, イメージ生成機能の解明には及んでいない. なぜならそれは主観的な「意識」の一部であり, これが器官である脳からいかに立ち現れるかは, 意識のハードプロブレム (Chalmers, 1996) といわれる問題であり, 機能主義によって (さらにいえば科学によって) 説明し得るのかという問題を孕んでいる. Block (1995) は意識を「アクセス意識」と「現象的意識 (クオリア)」に分類した上で, 機能主義的アプロー

チで現象的意識を扱うことには批判的である.

それでもなお, 機能主義的に意識を (すなわちアクセス意識だけを) モデル化し, イメージ生成機能, ひいては記憶や学習と意識との関連性を探究していくことは認知科学・心理学, あるいはヒューマン・マシンインタフェースの研究など, 多分野で意義があるといえる.

本稿は認知モデルである LIDA¹ (Learning Intelligent Distribution Agent) (Franklin and Patterson Jr, 2006; Baars and Franklin, 2009; Snider et al., 2011; Franklin et al., 2012, 2014, 2016) のレビューである. LIDA は米国海軍において人材アサインシステムとして使用されていた IDA (Intelligent Distribution Agent) に, 「様々なモダリティの情報処理は前意識的に非同期で行われ, あるしきい値を超えた情報だけが脳全体で共有される」というグローバルワークスペース理論 (Global Workspace Theory) (Baars, 1988) を組込んだ認知モデルであり, (少なくとも彼らの用語の定義上は) 「意識」を内包した認知モデルとなっている.

本稿は7章からなる. 第2章で LIDA の概要, 第

1 LIDA の提唱者 Franklin も「LIDA において現象的意識には言及しない」(Franklin et al., 2016) としている.

3章で LIDA の情報処理単位である認知サイクル、第4章で LIDA を構成する各モジュールとその関係性を概説した後、第5章で LIDA の中で意識がどのような役割を担っているかを考察し、第6章で認知科学研究のツールとしての LIDA の課題と展望について述べる。第7章はまとめである。

2. LIDA の概要

LIDA は Franklin が 2006年に発表した認知モデルである (Franklin and Patterson Jr, 2006)。従来の認知モデルは、知覚・注意・記憶・感情・意思決定・行動選択といった、認知プロセスの一部をモデル化したものが多いが、LIDA は認知プロセス全体、すなわち感覚入力から運動出力に至るまでの全範囲をカバーすることを目指している。

LIDA が、近年発展を遂げた機械学習モデルのベースとなっているニューラルネットワークではないこともまた、LIDA の大きな特徴である。Franklin は (Franklin et al., 2016) の中で繰り返し、LIDA は脳ではなく心をモデル化したものであると主張しており、近年の全脳アーキテクチャ (Yamakawa et al., 2016) のような、脳そのものを対象とするアプローチとは異なる。ただしこれは、

脳神経科学の知見を無視しているのではなく、脳内で LIDA が動作し得ることを確認しながら、「脳というハードウェア上で動作可能な心というソフトウェア」として検討がなされている。

3. LIDA の認知サイクル

LIDA の情報処理には処理時間の概念がある。すなわち、環境を10Hz以下のサンプリング周波数でサンプリングしてから、後述する情報処理を行い、最終的に適切な応答を行うまで遅延時間がある。LIDA では、この環境のサンプリングから応答までの情報処理単位を「認知サイクル」と呼んでいる。1認知サイクルは200～500ミリ秒で、並列 (1認知サイクルが終わる前に次の認知サイクルが始まる) に行われることもある。

認知サイクルは「知覚・理解フェーズ」「注意フェーズ」「行動・学習フェーズ」の3つのフェーズからなる。

知覚・理解フェーズでは、入力された感覚データや記憶などを用いて、環境内における自身の現在の状況を把握する。注意フェーズでは状況をフィルタリングし、最も顕著なコンテンツをグローバルワークスペース理論に基づいて脳全体に

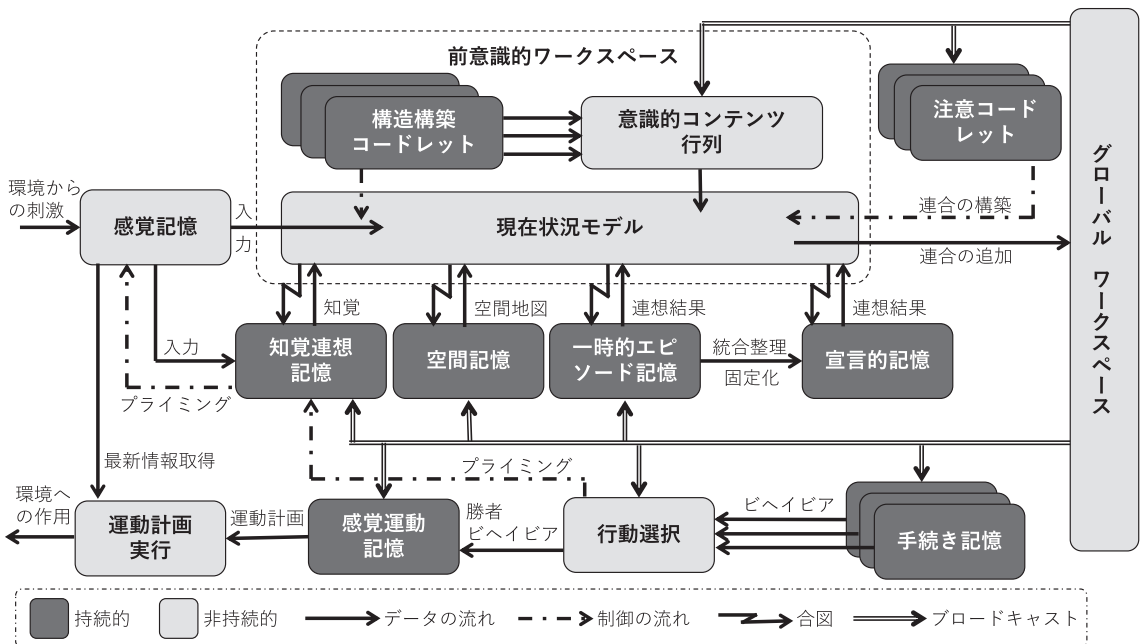


図1 LIDAモジュール図 (Franklin et al., 2016) をもとに著者が改変

ブロードキャストする。行動・学習フェーズでは入力・刺激に対応した行動を選択して実行するとともに、記憶の更新(学習)が行われる。

LIDA のモジュール図を図1に示す。本章では認知サイクルの各フェーズと、各フェーズにおけるモジュールの機能を概説する。各モジュールの詳細については4章で解説する。

3.1. 知覚・理解フェーズ

知覚・理解フェーズは、「感覚記憶 (Sensory Memory)」への刺激の入力から始まる。感覚刺激を処理した結果は、「知覚連想記憶 (Perceptual Associative Memory)」と「現在状況モデル (Current Situational Model)」の両方に送られる。「知覚連想記憶」は、「現在状況モデル」が利用できる形式の知覚情報を生成する。「現在状況モデル」は、自身が保持している感覚情報、「知覚連想記憶」、「空間記憶 (Spatial Memory)」、「一時的エピソード記憶 (Transient Episodic Memory)」、「宣言的記憶 (Declarative Memory)」からの情報を手がかりに、自身を継続的に更新する。さらに、「意識的コンテンツ行列 (Conscious Contents Queue)」からの情報を使用して、「前意識的 (pre-conscious)」な思考を構築する「構造構築コードレット (Structure Building Codelets)」も、「現在状況モデル」を更新する。

3.2. 注意フェーズ

注意フェーズでは、「注意コードレット (Attention Codelets)」が「現在状況モデル」を継続的に監視する。その中の顕著なコンテンツは連合 (Coalition)²を作り「グローバルワークスペース (Global Workspace)」に送られて、他の連合と競争 (顕著性の比較)が行われる。勝利した、すなわち最も顕著な連合の内容がモデル全体にブロードキャストされる。LIDA における意識とは、このブロードキャストである。

3.3. 行動・学習フェーズ

「手続き記憶 (Procedural Memory)」はブロー

ドキャストされたコンテンツを用いて、入力刺激への応答としての行動 (ビヘイビアと呼ぶ) をインスタンス化し「行動選択 (Action Selection)」モジュールに送る。ここで実際に行動に移すビヘイビアが選択され「感覚運動記憶 (Sensory Motor Memory)」に転送され、運動計画に変換される。

またこのフェーズでは、ブロードキャストされたコンテンツを用いて、ほぼすべての持続的モジュールが自身を更新 (学習) する。

4. LIDA の各モジュールとその相互作用

本章では、LIDA の各モジュールとその相互作用について述べる。LIDA は並列システムであり、「グローバルワークスペース」(単一のブロードキャストが逐次的に発生する)と、「行動選択」(一つの認知サイクル中に単一の行動を選択する)を除いて、各モジュールは独立して非同期に動作している。なお、入出力のモジュールである「感覚記憶」と「運動計画実行」は、モデルで解こうとする課題やシステムに組込む入出力の系 (センサとアクチュエータなど) に依存するため、詳細な説明は行わない。

4.1. 感覚記憶

「感覚記憶」は次元削減、あるいはパターン認識器である。様々なセンサから入ってくる刺激が、「感覚記憶」でごく短時間 (実時間で数十ミリ秒) のうちに、ディープラーニングで研究されているような形状、色、特徴的な音のパターン認識器、あるいは空間的・時間的パターン認識器を通して、高次元の物理データから概念的な低次元の感覚情報に変換される。得られた感覚情報は、「知覚連想記憶」と「現在状況モデル」の両方に同時に渡される。

4.2. 知覚連想記憶

「知覚連想記憶」内では、ノード—リンク形式で感覚情報を表現している。ノードは事象・物体・感情・行動・カテゴリ・概念などを表し、リンクはそれらの間の関係 (“is-a”・“has-a”・因果関

2 コンテンツはノード—リンク形式の構造であるが、「グローバルワークスペース」に送られる際に他の構造を内包したり結合したりするため、「連合」という用語が使われている。

係・障害要因)を表す。各ノードはベースレベルの活性化値 (base-level activation) と現在の活性化値 (current activation) を持っており、「感覚記憶」からの入力によってノードが活性化し、また現在の活性化値はリンクに沿って伝播する。

「感覚記憶」からの入力に加えて、後述する「現在状況モデル」からの合図によっても活性化されることがある。ベースレベルの活性化値と現在の活性化値の合計がしきい値を超えた感覚情報は、「現在状況モデル」内に複製される。

4.3. 空間記憶

「空間記憶」では、環境やエージェントの位置・方向に関する空間情報のエンコード・保存・記憶を行う。LIDA では認識された物体の識別情報（「知覚連想記憶」ノードとして表現される）に加え、エージェントとの相対的な位置も知覚的に取得することができる。これらの位置情報は、特殊な「知覚連想記憶」リンクとして定義されている。

4.4. 一時的エピソード記憶・宣言的記憶

一般にエピソード記憶はイベント（エピソード）の記憶であり「いつ・どこで・何を」の形式で表現され、長期的に（長ければ一生涯にわたって）記憶されるが、LIDA では比較的短期間（数時間から1日）「一時的エピソード記憶」に、それより長期の記憶は「宣言的記憶」に保存される。「宣言的記憶」はブロードキャストから学習される LIDA の他の記憶とは異なり、「一時的エピソード記憶」からオフラインで「宣言的記憶」に固定化される。これは、人間のレム睡眠において「一時的エピソード記憶」のうち減衰していない記憶が「宣言的記憶」に統合・整理されることを模したものである。

「いつ・どこで・何を」という形式のエピソード記憶に加えて、「宣言的記憶」には、事実・規則などの形で「何を」のみを保持し、「いつ・どこで」が失われた記憶も存在し、それを意味記憶と呼ぶ。

4.5. 現在状況モデル

「現在状況モデル」は、現在の状況を反映するために継続的に更新される。「知覚連想記憶」からはノード—リンク構造で、「感覚記憶」からは

後述する「構造構築コードレット」によってノード—リンク構造に変換されて入力される。

「現在状況モデル」に新しい感覚情報が到着すると、「知覚連想記憶」・「空間記憶」・「一時的エピソード記憶」・「宣言的記憶」に合図を送り、知覚・空間地図・連想結果を生成する。これらは、それ自体が新しい入力になり得る。したがって再び合図が送られ、新たな入力を生み出すこともある。このようにして新しい入力が継続的に追加されていく。同時に入力は様々な減衰率（数十秒のオーダー）で減衰する。

「現在状況モデル」が扱う情報は、エージェント内外で実際に起こっていることを表す実在的なものと、記憶・願望・計画・想像などの仮想的なものがある。したがって「現在状況モデル」内の構造は、「構造構築コードレット」が作成したものであっても、「知覚連想記憶」が作成したものであってもよい。これは、心のイメージ生成機能のモデル化といえる。

4.6. 構造構築コードレット

「構造構築コードレット」は「現在状況モデル」内に様々なノード—リンク構造を作成（削除）することで、「現在状況モデル」を更新する。

また、作成したノードへ、現在の活性化値を割り当てる。この活性化値は、既存構造の現在の活性化値、「構造構築コードレット」自体のベースレベル活性化値などの関数となっている。「構造構築コードレット」のベースレベルの活性化値は、自身が構築した構造がどれだけブロードキャストされたかによって決定される。ブロードキャスト時に、自身が構築したコンテンツを「構造構築コードレット」が認識すると、ベースレベルの活性化値がわずかに増加する。その結果「有用な」構造を作成した「構造構築コードレット」は、より高いベースレベルの活性化値を持つようになる。

4.7. 意識的コンテンツ行列

「意識的コンテンツ行列」は、過去の数十個の意識的コンテンツを記憶する非常に短期的な記憶システムである。新たにブロードキャストされたコンテンツが行列の最後尾に追加される。「構造構築コードレット」は「意識的コンテンツ行列」

から、その中の任意の順位のデータを読み出すことができる。またイベントが行列に格納されてからのブロードキャストの発生回数を数えることで、イベントの持続時間を測定することができ、LIDA 内での時間認識の中心的な役割を果たしている。

4.8. 注意コードレット

「現在状況モデル」内のコンテンツは複雑で多種多様である。注意フェーズでは、最も顕著なコンテンツ（重要・緊急・執拗・新しい・予期せぬ・大きな音・明るい・動くなど）が選択されて、ブロードキャストのコンテンツとなるように競い合う。この顕著性を決めるのが「注意コードレット」である。「注意コードレット」は「知覚連想記憶」を継続的に監視し、顕著なコンテンツを見つけると、それを自身に組み込み、また他の「注意コードレット」と連合を形成して「グローバルワークスペース」に移動する。

現在4種類の「注意コードレット」が実装されている。(1) デフォルト注意コードレット (default attention codelets) は、「現在状況モデル」を観察し、最も活性化された構造を「グローバルワークスペース」に移動させる。(2) 特定の注意コードレット (specific attention codelets) は、LIDA における選択的注意課題遂行で用いられ、特定の注意に向けた対象を抽出するコードレットである。(3) 期待コードレット (expectation codelets) は、選択した行動とその結果を結び付けさせるために実装されており、これによってエージェントは直近の行動後の事象を抽出し、行動による結果として結び付ける。(4) 意思決定コードレット (intention codelets) は、後述する「行動選択」で意思決定が選ばれた際に生成される。意思決定は複数の認知サイクルにわたって行われ、その間に意思への賛成意見・反対意見・別提案などの選択肢となり得る構造をこのコードレットが「グローバルワークスペース」に移動させる。一定期間内に意識された選択肢から最終的に行動が選択されるようにすることで、意思決定の際の逡巡をモデル化している。

4.9. グローバルワークスペース

「注意コードレット」が「グローバルワークスペース」に移動させた構造は、そこで「ブロードキャスト権」をかけて競う。この競争は単純なもので、最も高い活性化値を持つ構造が勝利する。

他のモジュールと異なり、「グローバルワークスペース」は非同期ではなく以下の4つの異なるトリガーで動作を開始する。

第1のトリガーは、単純なしきい値である。しきい値を超えた活性化値を持つ構造が到着すると、競争が開始される。このトリガーがあることにより、非常に高い顕著性を持つ構造が意識に到達する確率が高くなり、ブロードキャストのコンテンツになる。

第2のトリガーは、「グローバルワークスペース」内の構造の活性化値の総和がしきい値を超えたときに発生する。このトリガーは、中程度の注目度の活動が多く発生している状況で有用である。

第3のトリガーは、指定された期間「グローバルワークスペース」に新しい構造が到着しなかった場合に発生する。このトリガーは、ほとんど何も起きていない状況に適用される。

第4のトリガーは、指定された期間、ブロードキャストがなかったときに発生する。人間は、瞑想中のような、意識的なものが何も起きていないときでも、意識が止まることはなく、相対的に有意性の低いものがブロードキャストされる。第4のトリガーはこれをモデル化したものである。

4.10. 手続き記憶

「手続き記憶」は「ある目標を達成するために特定の状況下でどう行動すべきか」の記憶である。「手続き記憶」はノード—リンク構造であり、出力される行動をスキームと呼ぶ。スキームは「指を差す」「拾う」「右に曲がる」などの単純な行動一つでもよいし、それらの複合でもよいし、分岐があってもよい。

ブロードキャストを受信すると、ブロードキャストの内容と一致度が高いスキームは複製される。これをビヘイビアと呼ぶ。あるイベントによってビヘイビアが選択・実行され、その後当該イベントがブロードキャストされたとき、ビヘイビアを複製したスキームのベースレベルの活性化値が

増加する。

4.11. 行動選択

「行動選択」は「グローバルワークスペース」と同様、ビヘイビアが実行権を競い合うモジュールである。どのビヘイビアが選択されるかは、いくつかの条件によって決まる。まずビヘイビアは、適切なコンテキスト（前提条件）にマッチしていなければならない。またそれは少なくとも既定のしきい値を超える活性化値を持っていないなければならない。

「行動選択」におけるトリガーは、「グローバルワークスペース」のものと同様に3種類実装されている。(1) あるビヘイビアの活性化値がしきい値を超えている場合。(2) 「行動選択」内の全ビヘイビアの活性化値が、あるしきい値レベルを超えている場合。これはエージェントが選択できる多くの行動があるが、大きな関心のある行動がない場合に起こり得る。(3) ある一定時間内に行動が実行されなかった場合。

4.12. 感覚運動記憶・運動計画実行

「行動選択」からのビヘイビアは「感覚運動記憶」

によって運動計画（低レベルの実行可能な行動パターン、例えばモーター制御コマンドなど）に変換され、「運動計画実行」で実行される。

5. LIDA における意識

LIDA はグローバルワークスペース理論を取り入れ、意識の概念を取り込んだ認知モデルである。では LIDA における意識とはどのような役割を果たしているのだろうか。LIDA においては意識という実行主体が存在しない。意識は情報がブロードキャストされる機能、あるいは現象であって、意識モジュールのようなものが何らかの情報処理をしているわけではない。環境からの入力によって記憶が無意識に想起されてしまい、他の記憶と連合して競争が起こってしまい、勝者の情報がブロードキャストされてしまい、適切な行動を選択実行してしまうように、認知プロセスの最初から最後まで「受け身」の情報処理が行われる。

このような「受け身」の認知モデルの例としては、同時期に提唱された受動意識仮説による認知モデル（前野, 2005）がある。受動意識仮説による認知モデルの概要図を図2に示す。これは「意識システムは、無意識システムの膨大な自律分散

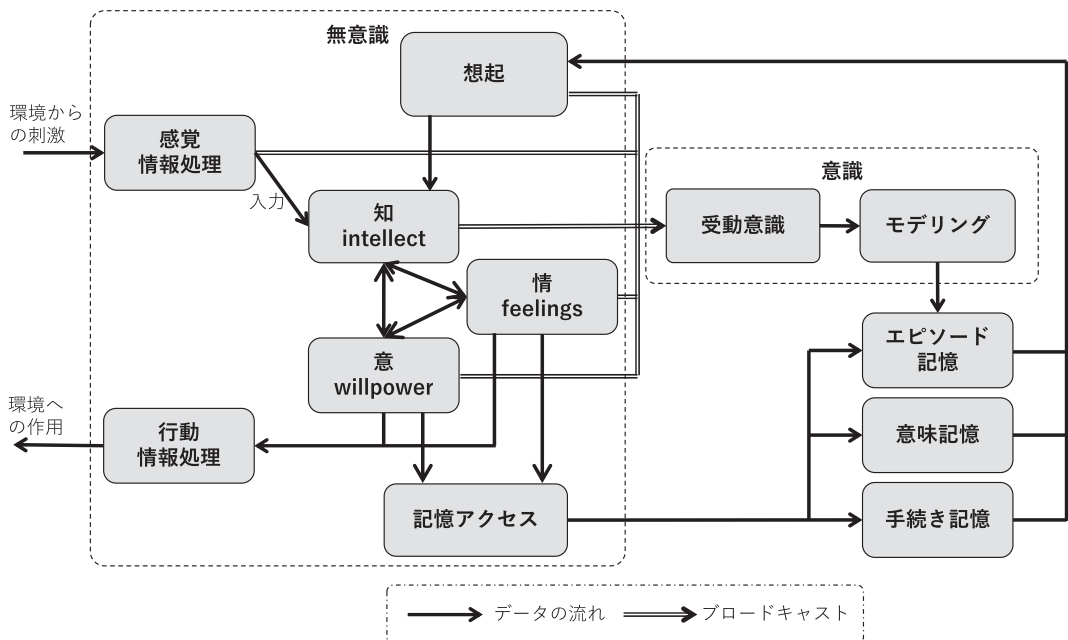


図2 受動意識仮説による認知モデル概念図, (前野, 2005)をもとに著者が改変

的处理の一部を、あたかも自分が行っていることであるかのように錯覚しながら、単純化し追体験している受動的なシステムに過ぎない』という仮説に基づく認知モデル」(前野, 2010)である。

LIDA と受動意識仮説とでは、感情・情動のモジュールの有無、無意識のモジュール同士の直接相互作用の有無などがあるが、最大の相違点は実行主体としての意識の有無である。受動意識仮説における意識は、現在の状況を時系列化あるいは因果関係・カテゴリー化を行い、エピソード記憶として記憶できるようにする実行主体であり、LIDA における「現在状況モデル」に相当する。受動的システムとするのであれば LIDA のようにこれらが前意識的に行われることでも実現できるが、あえて実行主体がある理由として、前野 (2005) は受動意識仮説で積極的にクオリアの議論を展開しており、現象的意識(クオリア)を受容するメカニズムを導入する動機があったと考えられる。

この点で LIDA における意識は、実行主体がなく、より受動的でより自動機械的であるといえる。

6. 認知科学研究のツールとしての LIDA の課題と展望

LIDA を組み込んだ応用例としては、工学的応用 (Hernes et al., 2016; Paraense, 2016; Dutt et al., 2016)、経済学領域における応用 (Hernes and Bytniewski, 2016)、映画のリコメンドシステム (Santos et al., 2019) などいくつかあるが、認知科学研究のツールとしての LIDA の使用例は少ない。これは現状の LIDA の課題として、全てのモジュールがプログラムとして実装されているわけではないことが理由として挙げられる。

では LIDA が全機能実装できたとして、認知科学研究のツールとして使用し得るだろうか。ここでは思考実験として Libet et al. (1983) の行動意図の遅延実験を考える。この実験では、指の運動準備電位発生の数百ミリ秒後に、その行動意図が発生しているという実験結果が得られている。

実行主体としての意識を有する認知モデルであれば、素朴に我々が感じるように、意識がトップダウンで行動意図を発生させたと同時、もしくはその後で行動を開始するため、Libet の実験結果

の説明がつかない。

実行主体のない LIDA では、自己の行動意図の認知のためには、システムの外側の環境(図1の「環境」は、自己の身体性も含むと考える)を含めた再帰的なループを構築する必要がある。つまり合図あるいは「今だ」という内言が一旦システムの外に出力され、改めて入力され知覚し、「現在状況モデル」内に構築されている自己のモデルで、自己が合図を出したことが認知され(自己モデルと合図の知覚が連合してブロードキャストされ)、その時点で自己が自己の意思を認識し、現在の時刻を読むという行動を選択すると考えるのである。すなわち、Libet の実験で被験者が視認した時刻は「自己が主体的に行動を意図した」時刻ではなく、「行動を発生させる合図を『現在状況モデル』が再帰的に知覚した」時刻であるとすれば、矛盾なく説明ができる。数百ミリ秒オーダーの遅延が発生するかどうかなど、課題は残るが、LIDA を Libet 実験の解釈、ひいては認知科学研究のツールとして使用できる可能性が大いにあると考える。

7. まとめ

本稿は認知モデル LIDA のレビューを行い、LIDA では認知が受動的に行われていること、意識の実行主体が存在しないことを説明し、LIDA の認知科学研究のツールとしての使用可能性を検討した。今後、LIDA に現在不足している実装を補いながら、認知モデルとして整備していきたい。

参考文献

- Baars, Bernard J. (1988) *A cognitive theory of consciousness*; Cambridge University Press.
- Baars, Bernard J and Stan Franklin (2009) "Consciousness is computational: The LIDA model of global workspace theory", *International Journal of Machine Consciousness*, Vol. 1, No. 1, pp. 23-32.
- Block, Ned (1995) "On a confusion about a function of consciousness", *Behavioral and brain sciences*, Vol. 18, No. 2, pp. 227-247.
- Chalmers, David J (1996) *The conscious mind: In search of a fundamental theory*; Oxford university press, (林一訳, 『意識する心—脳と精神の根本

- 理論を求めて』, 白揚社, 2001年)。
- Dutt, Nikil, Axel Jantsch, and Santanu Sarma (2016) “Toward smart embedded systems: A self-aware system-on-chip (SoC) perspective”, *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, Vol. 15, No. 2.
- Franklin, Stan and F G Patterson Jr (2006) “The LIDA architecture: Adding new modes of learning to an intelligent, autonomous, software agent”, *International Conference on Integrated Design and Process Technology*, Vol. 703, pp. 764-1004.
- Franklin, Stan, Steve Strain, Javier Snaider, Ryan McCall, and Usef Faghihi (2012) “Global Workspace Theory, its LIDA model and the underlying neuroscience”, *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, Vol. 1, pp. 32-43.
- Franklin, Stan, Tamas Madl, Sidney D’Mello, and Javier Snaider (2014) “LIDA: A systems-level architecture for cognition, emotion, and learning”, *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, Vol. 6, No. 1, pp. 19-41.
- Franklin, Stan, Tamas Madl, Steve Strain, Usef Faghihi, Daqi Dong, Sean Kugele, Javier Snaider, Pulin Agrawal, and Sheng Chen (2016) “A LIDA cognitive model tutorial”, *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, Vol. 16, pp. 105-130.
- Hernes, Marcin and Andrzej Bytniewski (2016) “Integration of Collective Knowledge in Financial Decision Support System”, in Nguyen, Ngoc Thanh, Bogdan Trawinski, Hamido Fujita, and TzungPei Hong eds. *Intelligent Information and Database Systems*, pp. 470-479, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hernes, Marcin, Marcin Maleszka, Ngoc Thanh Nguyen, and Andrzej Bytniewski (2016) *A Method for Size and Shape Estimation in Visual Inspection for Grain Quality Control in the Rice Identification Collaborative Environment Multiagent System*, pp. 205-217, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Libet, Benjamin, Curtis A Gleason, Elwood W Wright, and Dennis K Pearl (1983) “Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential)”, *Brain*, Vol. 106, No. 3, pp. 623-642, 09.
- Paraense, A L O (2016) “A machine consciousness approach to urban traffic signal control”, University of Campinas, Ph.D. dissertation.
- Santos, Mariana B., Amanda M. Lima, Lucas A. Silva, Felipe S. Vargas, Guilherme A. Wachs-Lopes, and Paulo S. Rodrigues (2019) “MIRA: A Computational Neuro-Based Cognitive Architecture Applied to Movie Recommender Systems”, arXiv preprint arXiv:1902.09291.
- Snaider, Javier, Ryan McCall, and Stan Franklin (2011) “The LIDA Framework as a General Tool for AGI”, *International Conference on Artificial General Intelligence*, pp. 133-142, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Yamakawa, Hiroshi, Masahiko Osawa, and Yutaka Matsuo (2016) “Whole brain architecture approach is a feasible way toward an artificial general intelligence”, in *International Conference on Neural Information Processing*, pp. 275-281, Springer.
- 前野隆司 (2005) 「ロボットの心の作り方—受動意識仮説に基づく基本概念の提案—」, 『日本ロボット学会誌』, 第23巻, pp. 51-62.
- 前野隆司 (2010) 『脳はなぜ「心」を作ったのか: 「私」の謎を解く受動意識仮説』, 筑摩書房.

Issues and prospects of cognitive model LIDA as a tool for cognitive science research

Yuji KANEKO*, Hideki KOZIMA*

* Graduate School of Education, Tohoku University

ABSTRACT

LIDA (Learning Intelligent Distribution Agent) is a cognitive model inspired by the Global Workspace Theory which states that information processing in various modalities is done pre-consciously and asynchronously, and the only one “winner” information that is the most salient is broadcasted across the whole brain. LIDA is recognized as a decision-making system (or computer software) , and at the same time, it is an experiment to verify whether artifacts can have consciousness, i.e., an implementation trial of artificial consciousness. In this paper, we will (1) give an overview of LIDA, (2) outline the cognitive cycle, which is the information processing unit of LIDA, (3) outline each module of LIDA and its relationships, (4) discuss the role of consciousness in LIDA and (5) discuss the issues and prospects of LIDA as a tool for cognitive science research.

Key words: Cognitive model, LIDA, Artificial consciousness, Global Workspace Theory