

ストーリーを中心に据えた認知システムの開発

Development of a Story-Centered Cognitive System



秋元 泰介 (Taisuke AKIMOTO, Ph. D.)

九州工業大学大学院 情報工学研究院

知能情報工学研究系 助教

(Assistant Professor, Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology)

人工知能学会 日本認知科学会

受賞：Outstanding Research Award, BICA Society (2019年)

研究専門分野：人工知能 認知科学 認知システム 計算的創造性 物語知能

あらまし

本研究は人工知能の基本的な問題に関するものであり、人の心に似た機械の作り方を明らかにするという認知的な関心を主な拠り所としている。心という複雑な対象に迫るためには、知性の一部ではなく全体を見渡す視点が必要である。こう考えて、心の様々な性質や振る舞いを包括するような枠組みや原理を解明ないし発明することが研究の主な関心である。本研究はこの問題に対して、人が過去・現在・未来・虚構等の事物を筋立てる普遍的な情報の形としての「物語／ストーリー」を中心に据えた独自のアプローチを採る。研究はまだ完結していないが、いくつかの部分的な試作や論考を経て、一つのまとまった認知システムを作ったことが現在の到達点である。このシステムには、平易な物語テキストを読みながらシステム内にその内容的構造（ストーリー）やネットワーク状の記憶組織を生成・蓄積していくプロセスや、記憶の中のストーリーを組み合わせる新しいストーリーを構成するプロセスが原初的な水準で具体化されている。これらは経験を通じた学習・発達や創造性に通じる基本的なメカニズムに相当する。

1. 背景

1.1 人工知能研究を動機付ける認知的な関心

人工知能という学問は、役に立つ技術としての側面に対する関心や要求だけではなく、認知的な関心によっても動機付けられる。ここで認知的な関心というのは、人の心・知性の仕組みの解明や、心に似た機械（プログラムやロボット）の発明を目指すことを意味する。心の解明を指向する立場（認知科学）においては、心の働きとコンピュータ上の計算プロセスとの間にある程度の対応関係が成り立ち得るという仮定のもとに、ある状況の中で人に似た振る舞いをする機械（モデル＝模型）を作ることを通して、心の仕組みの具体的な説明が試みられる。発明を指向する立場の場合は、心に似た機械の構築を試みる点は上と同じであるが、心の説明としての妥当性よりも、心に似た振る舞いをする機械を実現すること自体に強い関心が向けられる。

なお、ここで「心」というのは知能や知性と概ね同じ意味であり、人や生物の知的活動全般が対象になり得るが、SF的な人工知能のイメージから連想される意識的経験や自由意志を持つ機械のような難問が実際の人工知能研究の対象になることはあまり無いと言ってよいだろう（哲学的な議論においてはしばしば取り上げられる）。

現在は人工知能技術の普及に伴い技術的な側面に関心が集中しがちであるが、現在普及しているニューラル・ネットワーク（深層学習、ディープラーニング）系の技術も、基本的な部分は認知科学系の研究が元になっている。現在も認知的な関心に基づくニューラル・ネットワークの研究は行われているが、社会普及が始まってからは、これを純粋に工学的な対象として捉え、用途や性能の観点から分析・改良・応用等する研究が拡大している。

しかし、人工知能の対象は一般的に人々の知的な活動（その代替・支援・拡張等）であるため、実用的なものを作る段階においても、根本的な部分で認知的な問題に行き着くことは珍しくない。例えば、言葉を用いて人と自然に会話できるような技術があれば、保育や介護のように人と密接に関わる仕事に役立ちそうで

ストーリーを中心に据えた認知システムの開発

Development of a Story-Centered Cognitive System

あるが、これは現在の人工知能技術にとってはかなりの難問である。短中期的な解決が求められる場合は、現在の（ビッグ）データ駆動型の機械学習（ニューラル・ネットワークや統計的機械学習）の枠組みに沿って、例えば膨大な会話データから入力（人の発話）と出力（機械の発話）のパターンを学習するようなアプローチでもよいかも知れないが、それだけで実用的な水準のものが作れるかどうかは疑問である。人の会話の認知的なメカニズムを考えていくと、記憶、常識、自己と他者、言語認知、状況・文脈等といった数々の問題が現れてくるため、長期的に見れば、こうした認知的な仕組みに焦点を合わせた研究の積み重ねが革新的な技術の創出に貢献する可能性もあるだろう。

1.2 認知アーキテクチャ・認知システム

人の心・知性というのは複雑で捉えにくい対象であるため、認知的な関心に基づく人工知能研究においては、常に何らかの観点から問題が限定される。その際、心の一つの性質や振る舞い（例えば記憶、視覚、運動、言語、問題解決、コミュニケーション等の中の具体的なトピック）に焦点を絞り、その精巧なモデルを作るというのが比較的一般的な限定の仕方である。しかし、心という複雑な対象に迫るためには、要素ではなく全体を見渡す視点が必要であるという考え方もある。すなわち全体像に焦点を合わせて細部は粗く捉えるような形の限定である。このような全体的な視点に立った研究は認知アーキテクチャや認知システムと呼ばれる。そこでは、心の様々な性質や振る舞いを包括するシステム、あるいは一つ一つの性質や振る舞いが様々な種類や水準のプロセスの複合的な働きから生じるようなシステムの枠組みや原理を明らかにする（説明／発明する）ことが主要な問題の一つとなる。

なおこのような総合的知性は身体を持つ個体・エージェントに宿ると考えるのが自然であるため、知的エージェントやロボティクス系の研究と重なる部分もある。人のように様々な環境や仕事に対応できる **artificial general intelligence** (AGI、汎用人工知能) という究極的な人工知能像もこうした方向性の延長線上にあると考えてよいだろう。

1.3 物語・ストーリー

「物語」は人が過去・現在・未来・虚構等の事物を筋立てて表現する普遍的な形・行為・方法であり、物語を生み出したりコミュニケーションしたりすることは人の心や社会の主要な特徴の一つである。そのため、物語の生成や理解は人工知能・認知科学の重要な問題として一部の研究者により古くから取り組まれてきた。ただし、物語の生成や理解を単に技術的なタスク（例えば面白い小説を生成すること）として捉えるだけでは人工知能の根本問題には繋がりにくい。認知的な観点からそれを捉えることによって初めて、広範な知性の基盤や心の総合的な働きとしての側面が現れてくる。

例えば、事物を物語ることには当の事物を認識・想像すること（言い換えると人が如何に世界を認識・想像するかという問題）が含まれる。過去の経験を語るためには記憶を形成する仕組みも必要である。未来や現実とは異なる世界を想像することは自律性や創造性の基盤にもなる。物語の認知は記憶・言語・知覚・認識・想像・コミュニケーション等の様々な要素に関することから、これを心の全体的な働きや仕組みを明らかにするための切り口にすることもできる。

なお「物語 (narrative)」は一般的に言葉や映像などにより表現されたものを指すが、本研究では物語に似た構造や性質を持つ情報が個体（心ないし認知システム）の内部にも生じるという考え方をする。この個体内の物語的な情報（表象）のことを、本研究では特に「ストーリー (story)」と呼んでいる。

2. 目的と方法

2.1 目的

これまでに述べたような背景を踏まえて、筆者は次のような考えに基づく人工知能研究を行っている。

- 人は世界の事物をストーリーの形で認識したり想像したりする。
- ストーリーを（心の中及び外部環境や他者との間で）生み出すことが人間的な心の本質であり、また広範な知性の基盤である。
- ストーリーを生み出す仕組みは心の総合的な

ストーリーを中心に据えた認知システムの開発

Development of a Story-Centered Cognitive System

働きとして捉える必要がある。

- ストーリーを生み出す仕組みに着目することによって、心の総合的な働きを包括的に捉えることができる。

このような立場から、ストーリーの生成的な動きを中心に据えたアプローチにより、心の総合的な働きにより近い人工知能（認知システム）の作り方の一端を明らかにしていくことが本研究の目的である。

本研究はシステム内部の原理的及び包括的な仕組みや枠組みに焦点を合わせており、これ以降は抽象的な説明が多くなるが、その前に単純化した目標像を示しておく。図1は、ストーリーの動きを中心に据えた認知システムの究極的な目標を絵的に表したものである。エージェントが、内部にストーリーを生成・蓄積していきながら他者や外部環境と関わり合うようなイメージである。このストーリーは様々な意味・役割を持つ。

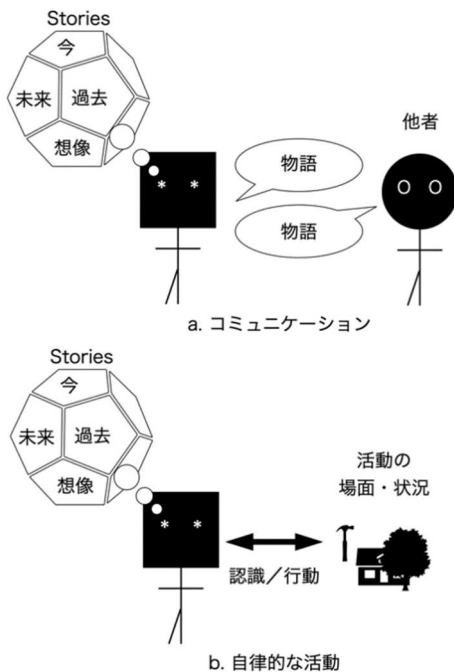


図1 ストーリーの生成的な動きを中心に据えた認知システムの究極的な目標像

図1aは他者とのコミュニケーションを表すが、過去の経験や未来の計画・目標を語る際の元になる内容

がストーリーであり、他者の話を理解して得られる情報もまたストーリーである。図1bはエージェントがある環境の中で活動する状況を表すが、その際に構成される未来（予想・目標・計画）や過去（関連する経験）もまたストーリーである。このように、ストーリー及びその生成を知的活動全般の基盤として仮定した上で、その原理的なメカニズムを見出そうとしているわけである。

2.2 システムの形

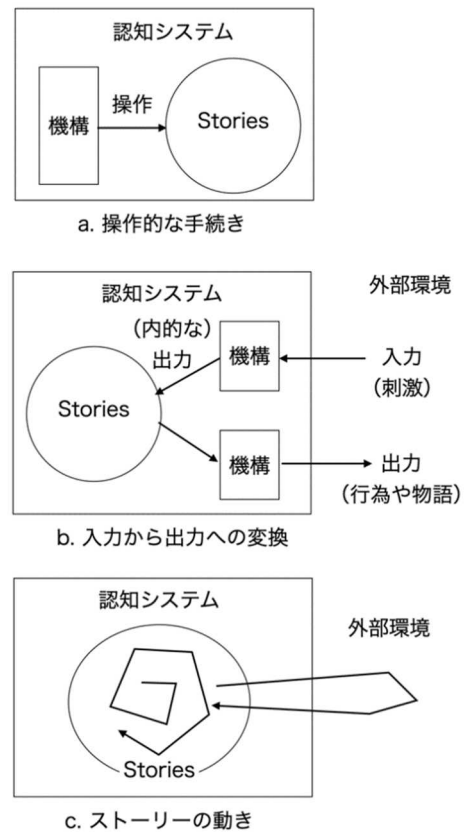


図2 一般的なシステムの形 (a, b) と本研究が考えるシステムの形 (c)

「ストーリーの動き」という言い方は、ストーリーの生成を、操作的な手続き（図2a）や入力から出力への変換（図2b）としてではなく、ストーリーを構成する情報的要素の並列分散的な働きから生じる自己組織的なプロセス（図2c）として捉えることを表している。ちなみに図2のaは記号処理的なシステム、bは深層

ストーリーを中心に据えた認知システムの開発

Development of a Story-Centered Cognitive System

学習的なシステムに重ね合わせるができるだろう。

ストーリーの生成を操作的な手続きとしないのは、第一にそれが構造的にもプロセス的にも複雑であり、中央制御的な視点で扱おうとしても将来的に壁に突き当たるだろうという見通しがあるからである。また、考え方の上でストーリーはエージェントにとっての世界に相当するものであり、それが（操作の）対象として現れる前に生成する仕組みがないと、システムの概念構成上の筋が通りにくいという理由もある。

ストーリーの生成を入力から出力への変換という見方をしない理由には次のようなものがある。まず、心の中に生じるストーリーを妄想や夢のような現象も含めて包括的に捉えると、外部からの入力・刺激は必須ではなく、ストーリーを構成する際の材料や制約の一種として位置付けることができる。また知能においては、外部環境の情報を能動的に取捨選択して取り込むことが重要であるとも考えられる。ストーリーとの関連によって情報が取捨選択されるという見方をすれば、能動的な知覚の仕組みも（考え方の上では）ある程度シンプルに説明できそうである。

2.3 問題

ストーリーの動きとしての認知システムの構想を具体化しながらシステムを作り、システムを作りながらこの構想を具体化していくことが研究プロセスの基本線である。こうして開発を進めているシステムをCOMOS (cognitive monogatari system の略) と呼んでいる。

システムを作るにあたっては、ストーリーの構造と動きを一体的に捉えて、ストーリーを構成する情報的要素がどのようなもので、それらがどのように構造化・組織化されるのかを、表現力や生成力等の観点から総合的にデザインすることが主な問題となる。ここで表現力というのは、世界の事物をより豊かかつ制限的に表現できることを意味する。生成力は、要素や構造そのものが構造を作り出す性質を持つことを意味するが、システム全体として様々な動きが整合的につながることも重要である。

この問題をもう少し具体的に考えてみる。

まず、ストーリーは複数の事象の連なりとして捉え

ることができるが、それには人・物・動作などの言語的に区別できる実体的な要素が含まれる。個々のストーリーに現れるのは基本的にある時ある場所における個別具体的な事物であるが、それらは同時に、複数の事物に共通する側面も持っている。例えば、「馬」や「走る」のような概念（言語表現における名詞や動詞に対応）は複数の出来事に当てはまる。また、人が経験または想像する出来事には、言語的な情報だけでなく、視覚や聴覚のような感覚運動的な情報も含まれ、そのような情報にも個別具体的な側面と一般的な側面（パターン）がある。

上に挙げたような事物、概念、パターンなどが、一つのストーリーを構成する要素になると仮定すると、それぞれをシステム内でどのように表現するかや、どのような形でそれらがストーリーとしてまとまるのかを考える必要がある。一方、人の心と照らし合わせると、多数のストーリーを思い出すことができるような形で保持したり、その土台として膨大な概念やパターンを蓄えたりするような仕組みも問題となる。このような観点から捉えると、概念やパターンのような一般性のある要素は、多数のストーリーの「間」を形作る要素として位置付けることもできる。

以上のような構造を全体として捉えるとかなり複雑なものになるが、それをコンピュータ上で扱おうとすれば、ひとまずは要素間の結合／ネットワークを構造と動きの基本に据えるのが妥当だろう。動きの上で結合を作り出したり調整したりする力・性質は個々の要素（または部分構造）に帰属する。ストーリーの動きを構成する主要な認知プロセスとして、今のところは関係付け、関連付け、類似、類比、融合、汎化、変形、忘却等が必要であると考えている。こうした諸種の認知プロセスを、結合を基本とする共通の仕組みでまとめることが動きの面での主なチャレンジである。

3. 研究の現在地

以上のような考えによる構想のもとに、いくつかの部分的な試作や論考[1-8]を経て、一つのまとまったシステムを作った[9]。なお構想や部分的な試作・論考の中には本助成期間以前から取り組んできたものも含まれる。現在はまだ構想の初歩的な具体化に相当する段

ストーリーを中心に据えた認知システムの開発

Development of a Story-Centered Cognitive System

階であり、欠けている部分も多くあるが、研究の現在地としてこのシステムを簡単に説明する。

3.1 システム構造の概観

現時点における COMOS の構造をおおまかに表すと図 3 のようになる。

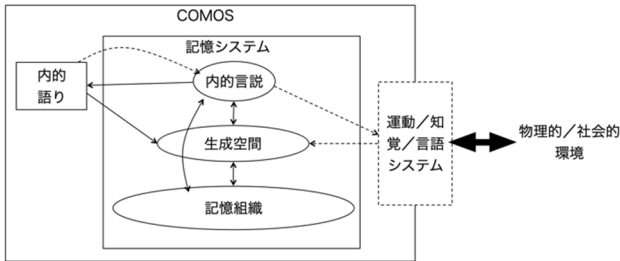


図 3 COMOS の構造。
破線は実装が特に不十分な部分である。

COMOS の核となるのは、ストーリーの生成的な動きが生じる場としての「記憶システム」である。これは 3 つの層からなり、多数のストーリーやストーリー間の構造を持続的に形成・保持していく部分を「記憶組織」、新しいストーリーを動的に生成していく部分を「生成空間」及び「内的言説」と呼んでいる。

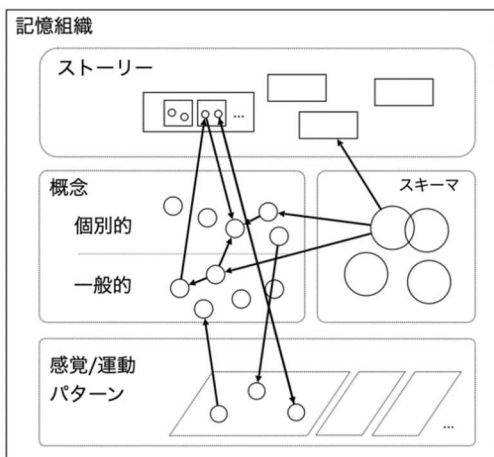


図 4 記憶組織の構造

個々のストーリーの内部構造は、マンガ的な構造(オブジェクトや運動を空間的に配置したコマの並び)とネットワーク状の関係構造が合わさったものとなっている。記憶組織は図 4 のような構造を持ち、ここでス

トーリー、概念、スキーマ (ストーリーの巨視的なパターン)、感覚運動的なパターン (例えば視覚的な特徴表現)といった要素がネットワーク状に組織化される。このネットワークは予め作り込むのではなく、生成空間と内的言説を通して生成されたストーリー (経験に相当) が蓄積的に刻み込まれることにより徐々に形成されていく。

図 3 において記憶システムと外部環境の間に位置する「運動/知覚/言語システム」は、外部環境の情報を記憶システム (ストーリーの生成プロセス) に取り込む働きや、ストーリーをもとに行動や表現を生成する働きを担う機構である。ただしこの機構は大部分がまだ概念的なもの (実装に反映されていない) にとどまっている。現在の実装には、平易な物語テキストを解析して記憶システム内にストーリーを構成する簡易的なプロセスのみが用意されている。

図 3 の左側に位置する「内的語り」は、比喩的に言うと、意識的な水準からストーリーの生成を方向付けるような機構である。前述したように本研究では、情報の要素の並列分散的な作動を通してストーリーやストーリー間の構造が構成されるという考え方をする。実装上は、記憶システム内に発生する個々の要素が自動的に作動する動作主体となり、各々が結合や活性化等の働きをするようになっている。この並列分散的なプロセスは無意識的な水準に喩えられるが、これだけではシステムの動きを統制することができないため、記憶システムに外側から働きかける仕組みが必要になる。それを担うのが内的語りであり、生成空間と内的言説は、それぞれ無意識的な水準と意識的な水準に対応している。内的語りの基本的な働きは注意、すなわち無意識的な水準 (生成空間) で生成されていくストーリーの一部 (一つのコマの中のオブジェクトや運動) に注目してよりまとまりのある構造 (内的言説) を作り出すことである。

なおストーリー、内的言説、内的語り等の用語は、物語論 (narratology) の概念を認知システムへとアナロジー的に取り込んだものであるが、本稿では物語論的な話にはあまり立ち入らないことにする。

ストーリーを中心に据えた認知システムの開発

Development of a Story-Centered Cognitive System

3.2 基本的な動作シナリオ

現在の COMOS は全体として自律的に働くには程遠いため、いくつかの基本的な動作シナリオを定めて試験的に動かしているような段階である。ここでは 2 種類の基本的な動作シナリオを説明する。

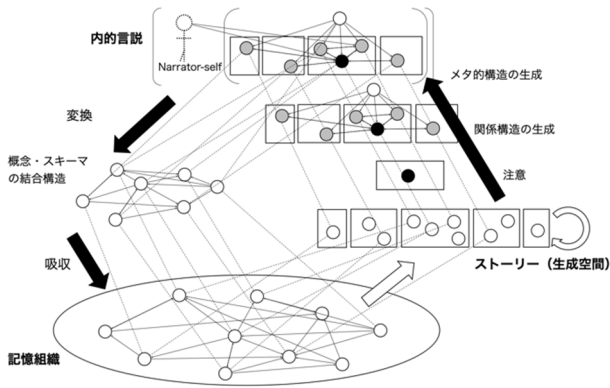


図5 動作シナリオ1の概要. 物語テキストを1文ずつ取り込みながらストーリー～内的言説を生成しつつ記憶組織を形成する。

はじめに示すのは、平易な物語テキストを読むことを通してストーリーや概念のネットワークを生成・形成していくプロセスである(図5)。これは外部環境の情報をもとに経験や記憶を構成することに相当する。処理の流れを手続き的に表すと概ね次のようになる。

- ① 物語テキストから1文を取り込み、構文解析等を経てストーリーを構成・更新する。
- ② 内的語り機構がストーリー中の今読み込まれた部分に注意を向ける。
- ③ 注意対象を中心に関係的なネットワークが生成され、内的言説となる。
- ④ 内的言説を記憶組織に刻み込む。内的言説における結合は、記憶組織における概念間のネットワーク構造へと汎化的に蓄積される。
- ⑤ 次の文に移って上と同様の処理をする。

2 つ目のシナリオは、記憶組織の中のストーリーどうしが結び付いて混ざり合うようなプロセスである。これ自体に具体的な機能があるわけではないが、創造

的な認知を含む心の様々な働きの基本として位置付けられる。このプロセスを手続き的に説明すると次のようになる。図6を併せて参照されたい。

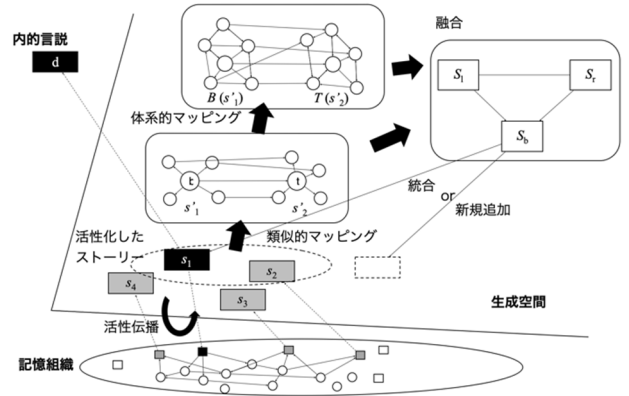


図6 動作シナリオ2の概要. 記憶組織中のストーリー間にアナロジー的な結合を構成して融合する。

- ① 一つのストーリーに注意を向けて内的言説が生成される。この過程は動作シナリオ1と同様であり、対象となるストーリーは記憶組織中のストーリー(想起)でもよいし、外部環境(物語テキスト)に対応するストーリーでもよい。
- ② 記憶組織のネットワーク上で、ステップ1の注意対象に関連するストーリーが活性化して生成空間に取り込まれる。
- ③ 生成空間において、注意対象を取り巻く構造と他のストーリーの部分構造との間に、アナロジー的な結合(マッピング)が生じる。
- ④ このアナロジー的な結合を介して両端の構造が混ざり合い、新しい構造が生まれる。例えば、「ボクサーが強盗犯をノックアウトする」と「兵隊がビルを爆破する」を組み合わせると「兵隊のようなボクサーが強盗犯を爆破するかのようにノックアウトする」ができるようなイメージである(実際の内部構造は分かりにくいのでここでは文で表している)。

3.3 成果と課題

現時点において、このシステムは一体のエージェントとして自律的に作動するような段階には至っていないし、知的な振る舞いをデモンストレーションするこ

ストーリーを中心に据えた認知システムの開発

Development of a Story-Centered Cognitive System

ともできない。しかし、不完全ながらもシステムの全体的な枠組みと基本的なプロセスを形にしたことにより、今度は全体としての整合性をとりながら部分を洗練させていく段階に移行することができる。これは研究過程のステップとしては大きな前進である。

例えば、外部から情報を取り込んでストーリー・記憶組織を形成するプロセス（動作シナリオ 1）においては、テキストに書かれていない情報を想像的に補うことや、視覚的な情報を含む（マルチ）モーダルなストーリー・記憶組織を生成・形成することが課題になる。また、記憶要素間の結合の生成や調整の仕組みを、表現力や汎化能力の観点から改めて検討していく必要もある。実のところ、ネットワーク的な構造観では窮屈な（システムが概念的及び機構的に煩雑になる）ところも現れてきたため、それを越えるような構造に拡張することも検討中である。

一方、動作シナリオ 2 の融合的なプロセスは、システムの中で多様な働きをする包括的な仕組みとして位置付けられるが、それを実現するためにはより具体的な働きに焦点を絞った研究を行う必要もある。例えば非現実の事態を想像する、過去の経験を新しい状況に応用する、事物を比喩的に意味付ける、類似する経験から共通構造を構成する等である。

4. 展望

最後にこの研究が将来的にどのようなことに役立つのかを考えてみたい。

総合的な心・知能に似た人工知能の究極の形としては、フィクションで描かれるような人型ロボットを思い浮かべる人が多いのではないかと思う。過去や未来のことを記憶・想像して物語ることは、少なくとも振る舞いの上ではその必須の要素になりそうである。しかし、そのような人工知能の実現可能性や実現時期、有用性等を今ここで論じてあまり意味はないだろう（現時点からは見通せないほど大きな隔りがあるという意味である）。

人工知能における総合的な認知の重要性として筆者が特に強調したいのは、人が普段何気なく行っていることの多くが、心の全体的な働きに根ざしているということである。言語や物語はその典型であり、多くの

人は言葉を自然に操り過去や未来を物語ることができるが、人工知能においてはそれが特に難問となる。言語や物語を操るためには、社会・文化的な環境における経験に基づく「常識」や「記憶」を他者との間で共有することや、固有の「視点」で事物を認識・表現したり他者の視点を想像したりすることが必要である。こうした「個体的」な情報処理を探求することが、情報技術を質的に拡張するための鍵になるのではないかと思う。これはエージェントやロボットのような形に限らず、知的な情報技術全般に関わり得る問題である。本研究の成果が直接的に応用可能であると主張するつもりはないが、例えば自然言語処理や画像認識のような技術領域においても、個体的・総合的・認知的等の観点を取り入れることによって、機能や性能を拡張していく余地は大いに残されているだろう。

謝辞

私事であるが、筆者は本年 8 月を持って現所属先を退職し、その後は独立して本研究に取り組む予定である。研究の助走期間をサポートしていただいたテレコム先端技術研究支援センターに謝意を表す。なお本研究は JSPS 科研費 JP18K18344 の支援も受けた。

参考文献

- [1] Akimoto, T.: Stories as mental representations of an agent's subjective world: A structural overview, *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, Vol. 25, pp. 107–112, 2018.
- [2] Akimoto, T.: Key issues for generative narrative cognition in a cognitive system: Association and blending of stories, *Story-Enabled Intelligence, AAAI 2019 Spring Symposium*, 2019.
- [3] Akimoto, T.: Theoretical framework for computational story blending: From a cognitive system perspective, *Proceedings of 10th International Conference on Computational Creativity*, pp. 49–56, 2019.
- [4] Akimoto, T.: Narrative structure in the mind: Translating Genette's narrative discourse theory into a cognitive system, *Cognitive Systems*

ストーリーを中心に据えた認知システムの開発

Development of a Story-Centered Cognitive System

Research, Vol. 58, pp. 342–350, 2019.

- [5] Akimoto, T.: Developing a parallel distributed memory system of stories: A preliminary report, In Samsonovich, A. V. & Klimov, V. V. (Eds.), *Postproceedings of the 11th Annual International Conference on Brain-Inspired Cognitive Architectures for Artificial Intelligence, Procedia Computer Science*, Vol. 190, pp. 23–30, 2020.
- [6] 山内 玲未・秋元 泰介: ストーリーにおける文脈構造間の類比的マッピングに基づく事象間の類似—計算モデルの提案, *認知科学*, Vol. 28, No. 1, pp. 153-160, 2021.
- [7] 秋元 泰介: 構造的組み合わせによる事象融合の計算モデル, *日本認知科学会第 37 回大会論文集*, 2021.
- [8] Akimoto, T.: Cognitive space for narrative-based world representation, *Cognitive Systems Research*, Vol. 65, pp. 167–183, 2021.
- [9] Akimoto, T.: Development of COMOS architecture based on a story-centric view of the mind, In Klimov, V. V. & Kelley, D. J. (Eds.), *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2021, Studies in Computational Intelligence*, Vol. 1032, pp. 1–14, Springer, 2021.

この研究は、令和元年度 S C A T 研究助成の対象として採用され、令和 2 ～ 3 年度に実施されたものです。