個別的概念と一般的概念を介したストーリーの関連付け Story Association Mediated by Individual and General Concepts

秋元 泰介 AKIMOTO Taisuke

九州工業大学大学院情報工学研究院 dusta Sabaal of Commuter Salama and Sustama Engineering Kunchu Institute of Teach

Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

Abstract: From a cognitive system perspective, *story association* (association among stories) can be positioned as a common process underlying various cognitive activities including remembering and reusing of stories, construction of a subjective world, etc. In this paper, the author presents a basic computational theory of story association especially focusing on the role of entities, times, and places. In particular, an identical entity, time, or place appearing in multiple stories is positioned as an *individual concept*, a general level representational unit in a cognitive system. A simple implementation of story association model based on the proposed theory is also presented.

1. はじめに

筆者は、ストーリーを生成しながら外界と関わり合うことが人間の知能の本質であると考え、物語的な情報とその動きを中心に 据えた認知システムの研究を行っている.これまでに、世界の 表象としてのストーリーの構造や生成に関する概念レベルの理 論を提案してきた[Akimoto 18a, 18b].現在の主な課題は、それ らをもとに、計算レベルの理論・方法を作ることである.

人工知能・認知科学において、物語に関する研究には、問 題解決、状況説明、対話、コンテンツ生成、物語理解等、様々 な目的やタスクがあり得る。それに対して、認知システムの観点 から物語の認知を研究するということは、その根底をなす基本 原理を探求することを意味する。そのような立場から、本稿では、 ストーリーの「関連付け」に関する基本的な考え方とその部分的 な実装を示す。特に、個別的な存在物に対応する「個別的概念」 という要素の位置付けと働きに焦点を合わせる。

ここでストーリーの関連付けというのは、認知システムの内部 において、あるストーリーないし事物と、別のストーリーないし事 物とが結び付くことを意味する.また、それが様々な種類の情報 に基づく類似・関連性の複合的な働きによって生じることを、特 に、ストーリーの多元的関連付けと呼ぶ.認知システムにおいて、 ストーリーの関連付けは、主に以下の役割を担うと考えられる.

- あるストーリーないし事物と他のストーリーを関連付けることによって、事物の主観的な意味を形作る.
- 「今・ここ」のストーリーに、過去や未来のストーリー、あるい は別の場所のストーリーを結び付けることで、時間・空間 的な広がりのある世界を構築する。
- 新しいストーリーが生成する際に、それ以前に作られたス トーリーを、生成のための知識・素材として引き込む.
- 類似したストーリーを関連付ける仕組みは、一般的な構造 としてのスキーマを形成するための基盤になる.
- 以上を含め、様々な状況においてストーリーを想起するための基盤になる。

以下,2節で関連研究を概観した後に,3節でストーリーの多元的関連付けモデルの全体像を示し,4節で個別的概念という 要素の位置付けについて述べ,5節でそれに基づく部分的な 実装を示し,6節で今後の展望を示す.なお,本稿は[秋元 18] からの発展として位置付けられる.3節で示す全体像に大きな変更は無いが,その他の部分は新しい内容となっている.

2. 関連研究

ストーリーの関連付けに深く関連する問題として、人工知能・ 認知科学における記憶・想起に関する研究を概観する.

[Schank 82]は、MOP (memory organization packet)というスキ ーマ的な知識構造に基づいて、ある状況において、過去の類 似する経験(エピソード)を思い出したり、新しい経験を一般化・ 記憶したりする、発達的な記憶システムの枠組みを提示してい る. この発想は、後の事例ベース推論にもつながっている [Riesbeck 89].また、[Kolodner 83]は、[Schank 82]に示唆を得 て、E-MOP(episodic memory organization packet)という知識構 造に基づく記憶システムを実装している.

Schank らの研究が問題解決のための目的指向的な想起に 比重を置いているのに対して,想起のより一般的な性質として, 類似に基づく想起の計算モデルが提案されている.これはアナ ロジーの研究とも直接的に関連している.例えば,[Thagard 90] は,意味的類似,構造的類似,目的・用途的類似の3種類の制 約充足に基づく想起モデル ARCS を提案している.[Forbus 94] は,表面的な類似に基づく選択と,構造的な類似に基づく選択 の二段階処理による想起モデル MAC/FAC を提案している.

本研究が焦点を合わせるのは、想起そのものではなく、その 土台となる構造や仕組みであるが、上記のような研究も参考に している.まず、ストーリーの関連付けが、様々な類似の複合的 な働きから生じると考える.この点は[Thagard 90]や[Forbus 94] に近い.一方、[Thagard 90; Forbus 94]は記憶間の比較あるい は制約充足的な計算を通して記憶を選択するような仕組みにな っているが、本研究では、システム内にストーリーを組織化する 働きをする心的要素が形成され、それを通してストーリーどうし が自ずと関連付けられるという考え方をする.この点は[Schank 82]に近い.加えて、ネットワーク状の記憶組織における意味や 想起等の現象を扱う活性伝播(spreading activation)[Collins 75; Anderson 83]の考え方(ネットワーク上のある要素の活性度が近 隣の要素に減衰しながら伝播・拡散していくような仕組み)も取り 入れる.

それから,認知システムへのアプローチとして見ると,本研究 は[Kokinov 94]の DUAL に比較的近いだろう. DUAL は, [Minsky 86]の『心の社会』に示唆を得て構築された,複数の小 さな表象的かつ処理的なエージェントからなる,マルチエージェ

連絡先:秋元 泰介,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,820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4, akimoto@ai.kyutech.ac.jp

ントシステム型の認知アーキテクチャである. それに対して本研 究の特徴は、ストーリーを中心に据えてシステム全体の構造や 動きをモデル化しようとする点にある.

3. ストーリーの多元的関連付けモデルの全体像

ストーリーの多元的関連付けの仕組みの基本的な考えは次 の通りである.個々のストーリーは、ある時、ある場所における具 体的な事象ないし事物に関する情報であるが、一般的な心的 要素を共有する形で構成される.そしてこの一般的な心的要素 を介して、自ずとストーリーどうしが関連付けられる.

3.1 一般的な心的要素に基づくストーリーの構成

ストーリーを構成する一般的な心的要素の分類を表1に示す (この分類は今後も継続的に拡張・修正していく必要がある).こ れらの要素及びストーリーを,情報の複合性・具体性という観点 から,図1に示すような形で,(1)ストーリー,(2)個別的概念・スキ ーマ,(3)一般的概念・感覚情報パターンという3つの層に分け る.外側ほど複合性・具体性が高くなるようになっている.なお, これらを全体として「心的世界」と呼ぶ.

3.2 活性伝播による関連付け

ストーリーの関連付けを、あるストーリーまたはその部分が活 性化した際に、一般的な心的要素を介した活性伝播によって、 他のストーリーが活性化することとする.ここでは、心的要素の 活性度という概念を、主に以下の二つの意味で用いる.

- ストーリーが活性化するということは、それが参照・想起・ 生成・変化等しやすい状態になることを意味する.
- 心的世界の活性状態は、全体として、その時に経験・注 目しているストーリーまたは事物の意味を表す.

この活性伝播の局所的な模式図を図 2 に示す.ある心的要素(ノード)の活性度が一つ以上の入力活性度に基づいて決まり、さらにそれが他の要素に伝播していくというものである.

ある心的要素 y の活性度ayの計算式の基本形を,

$$a_{\mathbf{y}} = \sum_{i}^{n} O_{\mathbf{x}_{i}} w_{i} \tag{1}$$

とする. ここでnは入力側の要素数, O_{x_i} は入力側のi番目の要素 x_i の出力活性度, w_i は y と x_i の間の結合強度である. x_i の出力 活性度 O_{x_i} は, 当該要素の活性度 a_{x_i} が閾値 θ_{out} 未満の場合に 他要素への伝播を遮断する以下の式により計算する.

$$O_{\mathbf{x}_{i}} = \begin{cases} 0, & a_{\mathbf{x}_{i}} < \theta_{out} \\ a_{\mathbf{x}_{i}}, & a_{\mathbf{x}_{i}} \ge \theta_{out} \end{cases}$$
(2)

表1 一般的な心的要素の種	頖.
---------------	----

一般的概念		単語の意味に相当する要素(例えば「犬」「社長」).
個別的概念		特定の存在物に対応する,固有名詞的な要素(例
		えば「タマ」「太郎」). 「私」(自分自身)も, 個別的概
		念の一種とする.また,個別的概念の特別な下位区
		分として,「時間概念」と「場所概念」を設ける.
	時間	ストーリー(事象)が起きる時間に対応する,言語的
	概念	に分節された時間範囲(例えば「平成」「明日」).
	場所	ストーリー(事象)が起きる場所に対応する,言語的
	概念	に分節された空間範囲(例えば「新宿」「自宅」).
感覚運動的		事物の具体的な心像(イメージ)を形作り, 非言語的
パターン		な感覚運動情報(視覚, 聴覚, 味覚, 嗅覚, 触覚,
		運動)の類似の認知のもとになる要素. 例えば, 画
		像認識で用いられる特徴表現を成す要素や、イメー
		ジスキーマの原始的要素に相当するもの.
スキーマ 以上が複合的に構造化された,複数のストー		以上が複合的に構造化された,複数のストーリー
		(の部分・要素)に通じる一般的構造.



図1 心的要素の組織構造(心的世界の構造).



図2 活性伝播の局所的な模式図.

3.3 ストーリーの関連付けの全体的な流れ

3.1 節で示した構造(図 1)と3.2 節で述べた活性伝播に基づいて,次のような流れでストーリーの関連付けが生じるものと考える—i) あるストーリーが活性化する.ii) ストーリーから個別的概念・スキーマへ,さらに一般的概念・感覚運動的パターンへと活性度が伝播する.iii) 一般的概念・感覚運動的パターンへの層や,個別的概念・スキーマの層の内部で活性度が伝播する.iv) 一般的概念・感覚運動的パターンから個別的概念・スキーマへ,さらにストーリー層へと活性度が伝播する.要するに,図 1 の構造において,外側→内側(ii),層内(iii),内側→外側(iv)という流れでストーリーどうしが関連付けられるということである.

4. 個別的概念の位置付け

図 1 に示した全体像における個別的概念に焦点を合わせて, その位置付けや働きについて述べる.

まず,個別的概念が特定の存在物に対応する要素であるという考えを,例を交えて説明する.ストーリーが世界の表象であるとすると,例えば「私」や友人の「三郎」は,ストーリーの中の登場人物として位置付けられる.仮に、「二年前の三郎は,坊主頭で毎日野球の練習に打ち込んでいた」と、「最近の三郎は,金髪で毎日学校をサボって私と一緒に街を徘徊している」という二つのストーリー(記憶)があるとする.このように人柄が変わっても、これらのストーリーに現れる「三郎」を同一の人物と見なされるべきであろう.このような同一性の認識を支えるのが,個別的概念である.

ある対象を以前見たものと同一であると見なすためには、類 似の認知も必要であろう.しかし、ここで述べているのは、「同一 である」という認識そのものに対応する表象が必要であり、それ は、対象と個別的概念とを結び付けることであるということである. なお、存在物を「人」や「猪」のようにカテゴリ化することは、それ を一般的概念と結び付けることとして、個別的概念の働きとは区 別することができる.

「名前」は、個別的概念の基本要素となるだろう.しかし、個別 的概念の形成は、基本的には、「一般化」に相当するものである と考える.すなわち、ある対象(事・物・者・場所・時間)が一つ以 上のストーリーの中で現れた際に、それに伴う様々な情報(心的 要素)がその個別的概念に結び付いたり離れたりして、その基 本的な性質が形作られていくということである.このような見方を すると、個別的概念とスキーマは似ている.(なお、一般化は、 帰納的ないしボトムアップ的にだけではなく、既存の構造の再 構成等によっても生じるものと考える.一般化については検討 すべき問題が多数あるが、本稿では立ち入らないことにする.)

以上の考えに基づいて、ある個別的概念と他の心的要素と の結び付きを以下のように整理する.

- 個別的概念は、それが直接的に関与するストーリーと結び付く.
- 個別的概念には、それが持つ基本的な属性として、一般的概念及び感覚運動的パターンが結び付く.
- 個別的概念どうしは、広い意味での関連性(例えば人間 関係や時間・空間的な包含・近接)によって結び付く.

これらがストーリーの関連付けを媒介することになるが,最初 のもの(ストーリーと個別的概念の結び付き)については,特に 以下のような機能を持つと考えられる.

- 世界を構成する存在物・時間・場所等をキーとしてストーリーを参照・想起するための索引となる。
- 諸々の存在物(自己・他者・物・時間・場所)に対して,個 体の記憶(ストーリー)に基づく主観的な意味を形作る.

5. 簡易的な実装

以上の考えに基づいて,個別的概念と一般的概念を介して ストーリーの関連付けを行うプログラムを簡易的に実装した.実 装言語は Scala である.なお,一般的概念の方は,単語間の意 味的な類似による関連付けに関与する.スキーマ,感覚運動的 パターン,それから生成や一般化の仕組みは実装に含まれて いない.また,ストーリーの内部構造は扱わずに,単なる一ノー ドとして表現している.

5.1 入力データ

入力として、複数のストーリーと個別的概念のデータが与えられる. 一つのストーリーは、固有番号、自然言語表現、任意の数の一般的概念名及び各々の重み、任意の数の個別的概念名及び各々の重みからなる. 重みの値は $0 < w \le 1$ とする. ここに記述する一般的概念と個別的概念は、原則としてストーリーに現れるものとする. なお、自然言語表現はプログラムの動作には関与しない. 図 3 に一つのストーリーの記述例を示す. 一方、一つの個別的概念のデータは、名前(固有番号付き)、任意の数の個別的概念名及び各々の重み、任意の数の一般的概念名及び各々の重み($0 < w \le 1$)からなる. こちらの記述例は割

愛するが、記述形式はストーリーと概ね同じである. 以上の入力データから、図4に示すような形のネットワーク構造が作られる.ストーリー(S)、個別的概念(D)、一般的概念(G)の3層からなり、要素間の結合構造は $W^{(SD)}, W^{(SG)}, W^{(DG)}, W^{(DD)}$ の4つの行列により表現される($0 \le w \le 1$.結合の無い部分は0).例えば $w_{13}^{(SD)}=0.3$ は、ストーリー s_1 と個別的概念 d3の間の結合強度が0.3であることを意味する.

私は物心がついた時からずっと東京の下町にある五郎の家で暮らしている。

下町 暮らす

#1

0.3 0.3

\$1:私 \$2:五郎 \$p1:東京 \$p5:五郎の家

0.5 0.4 0.4 0.5

図3 入力のストーリーデータの記述例.





加えて、一般的概念間の類似度・関連性の表現として、単語 の意味を多次元ベクトルにより表現する word2vec [Mikolov 13] の Skip-gram モデル (300 次元、ウィンドウサイズ 10, negative sampling)を用いる. 学習には『現代日本語書き言葉均衡コー パス』[国立国語学研究所 15] (出現頻度 10 以上の単語 175801 個を対象)を用いた. これによる単語ベクトル間のコサイン類似 度を、一般的概念間の結合強度と見なす.

5.2 活性伝播の流れ

初期状態として,任意の一つのストーリーの活性度を1とする. その後,以下に示す 6 つの Step を指定回数反復する.なお, Step 6 は活性度に基づく想起の簡易的な実装に相当するもの であり,本稿において重要なのは Steps 1–5 である.

Step 1 (S 層→D 層): 下式により, 各ストーリーの出力活性度 *O_s*と*W*^(SD)から, 各個別的概念の活性度*a*_d,を計算する.

$$a_{d_j} = \sum_{i}^{|S|} O_{s_i} w_{ij}^{(SD)}$$
(3)

Step 2 (SD 層→G 層): 下式により, 各ストーリーの出力活性 度 $O_{s_i} \geq W^{(SG)}$, 及び各個別的概念の出力活性度 $O_{d_j} \geq W^{(DG)}$ から, 各一般的概念の活性度 a_{g_k} を計算する.

$$a_{g_k} = \sum_{i}^{|S|} O_{s_i} w_{ik}^{(SG)} + \sum_{j}^{|D|} O_{d_j} w_{jk}^{(DG)}$$
(4)

Step 3 (G 層→G 層): 下式により, Step 2 終了時における各一般的概念の出力活性度 O_{g_j} と一般的概念間のコサイン類似度 $(sim(g_i, g_i))$ から, 各一般的概念の活性度を計算する.

$$a_{\mathbf{g}_i} = \sum_{j}^{|\mathsf{G}|} O_{\mathbf{g}_j} \mathrm{sim}(\mathbf{g}_i, \, \mathbf{g}_j) \tag{5}$$

ここで, コサイン類似度が閾値θ_{sim}未満の場合は, 類似度を0と 見なして活性度が伝播しないようにしている.

Step 4 (GD 層→D 層): 下式により, 各個別的概念の出力活性度 $O_{d_i} \geq W^{(DD)}$, 及び各一般的概念の出力活性度 $O_{g_j} \geq W^{(DG)}$ から, 各個別的概念の活性度を計算する.

$$a_{d_k} = \sum_{i}^{|\mathsf{D}|} O_{d_i} w_{ik}^{(\mathsf{DD})} + \sum_{j}^{|\mathsf{G}|} O_{g_j} w_{kj}^{(\mathsf{DG})}$$
(6)

Step 5 (GD 層→S 層): 下式により, 各一般的概念の出力活性度 $O_{g_i} \geq W^{(SG)}$, 及び各個別的概念の出力活性度 $O_{d_j} \geq W^{(SD)}$ から, 各ストーリーの活性度を計算する.

$$a_{s_k} = \sum_{i}^{|G|} O_{g_i} w_{ki}^{(SG)} + \sum_{j}^{|D|} O_{d_j} w_{kj}^{(SD)}$$
(7)

Step 6: 焦点移動. ストーリーの活性度の大きさに応じた確率 的選択により,別のストーリーに焦点を移す(そのストーリーの活 性度を 1 にし,他のストーリーの活性度を減衰する). その後 Step 1 に戻る.

なお、上記の各 Step の計算後には、活性度の値が 0 以上 1 以下の範囲におさまるように正規化を行う. すなわち、活性度の 最大値が 1 を超える場合に、最小値を 0 とみなし、当該の層の 全要素の活性度を最大値で割った値に書き換える.

5.3 動作例

このプログラムの動作例を概略的に示す.入力データとして, あるエージェントの記憶の内容を想定した 10 個のストーリーと, それらに現れる 18 個の個別的概念のデータを手作業で用意し た.一般的概念は全部で 37 個である.ストーリーの内訳は,「私」 の過去・未来に関するストーリー4 個,友人の「太郎」に関するス トーリー2 個,社会的な出来事に関するストーリー2 個,フィクシ ョン2 個である.

初期状態としてストーリー#1(図3)の活性度を1とし、活性伝 播の閾値 θ_{out} と θ_{sim} は何れも 0.3 として、 プログラムを実行した. 実際の出力は各 Step における各要素の活性度のログデータで あるが,動きを直感的に把握するための可視化プログラム (Processing で実装)も用意した.これにより表現された、1 巡目 の Step 5 終了時の活性状態を図 5 に示す. 図 1 と同じような形 で,3 つの同心円上に,一般的概念,個別的概念,ストーリーに 対応するオブジェクト(円または点)が配置されている.各要素 の活性度の大きさは円・点の色の濃度・サイズにより,活性伝播 は要素間を結ぶ線の色の濃度によりそれぞれ表現される.この 例では、ストーリー#1 から、個別的概念「\$1:私」「\$2:五郎」「\$p1: 東京」等を介して、「私」の過去や未来に関するストーリー#2-4 や,社会的な出来事に関するストーリー#7(1964 年の東京オリ ンピックに関するもの)等が活性化している. 一般的概念も複数 活性化しているが、この例では、ストーリーの活性化にはあまり 関与していないようである.



図51巡目Step5終了時の活性状態.

6. おわりに

本稿では、認知システムにおけるストーリーの関連付けについて、特に個別的概念を主題として検討した.結論として、個別的概念は、ストーリーに現れる個別的な存在物の同一性を支える要素であり、その基本的な性質は、一般化を通じて、他の心的要素と結び付くような形で形成される、という考えを述べた.さらに、この考えに基づいて、個別的概念と一般的概念を介したストーリーの関連付けの簡易的な実装と動作例を示した.紙幅の都合により、十分な議論や説明ができなかった部分も多くあるため、そこは今後別稿でより詳しく扱うことにしたい.特に、時間や場所については、それぞれ特別な検討が必要であろう.また、次の課題として、視覚的情報の導入や、ストーリーの内部構造の扱いについても考えていく予定である.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18K18344 の助成を受けた.

参考文献

- [Akimoto 18a] Akimoto, T.: Stories as mental representations of an agent's subjective world: A structural overview. *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, 25, 107-112 (2018)
- [Akimoto 18b] Akimoto, T.: Emergentist view on generative narrative cognition: Considering principles of the self-organization of mental stories. Advances in Human-Computer Interaction: Special Issue on Language Sense and Communication on Computer, 2018, Article ID 6780564 (2018)
- [秋元 18] 秋元 泰介: 認知システムのためのストーリーの多元的関連付 けモデルの概念と部分的実装.人工知能学会ことば工学研究会(第 60 回)資料, pp. 15-25 (2018)
- [Anderson 83] Anderson, J. R.: A spreading activation theory of memory. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 22(3), 261-295 (1983)
- [Collins 75] Collins, A. M., & Loftus, E. F.: A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407-428 (1975)
- [Forbus 94] Forbus, K. D., Gentner, D., & Law, K.: MAC/FAC: A model of similarity-based retrieval. *Cognitive Science*, 19, 141-205 (1994)
- [Kokinov 94] Kokinov, B. N.: The DUAL cognitive architecture: A hybrid multi-agent approach. Proceedings of the 11th European Conference on Artificial Intelligence, pp. 203-207 (1994)
- [国立国語学研究所 15] 国立国語学研究所コーパス開発センター: 『現 代日本語書き言葉均衡コーパス』利用の手引き第1.1版.国立国語 学研究所 (2015)
- [Kolodner 83] Kolodner, J. K.: Maintaining organization in a dynamic long-term memory. *Cognitive Science*, 7, 243-280 (1983)
- [Mikolov 13] Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J.: Distributed representations of words and phrases and their compositionality. *Proceedings of the 26th International Conference on Neural Information Processing Systems*, pp. 3111-3119 (2013)
- [Minsky 86] Minsky, M .: The Society of Mind. Simon & Schuster (1986)
- [Riesbeck 89] Riesbeck, C. K., & Schank, R. C.: Inside Case-Based Reasoning. Lawrence Erlbaum (1989)
- [Schank 82] Schank, R. C.: Dynamic Memory: A Theory of Reminding and Learning in Computers and People. Cambridge University Press (1982)
- [Thagard 90] Thagard, P., Holyoak, K. J., Nelson, G., & Gochfeld, D.: Analog retrieval by constraint satisfaction. *Artificial Intelligence*, 46, 259-310 (1990)