

F-012

ネットワーク知識表現に基づく応答文生成
Knowledge Representation for Query-Answer

福田 雅志† 延澤 志保‡ 太原 育夫‡
Masashi Fukuda Shiho Nobesawa Ikuo Tahara

1. まえがき

自然言語をそのまま用いて問題解決を行うような人工知能が構築されれば、人間と計算機との情報交換を容易にすることができる。自然言語を用いるためには、その構造と用法、概念を明らかにする必要がある。このような目的を持った知識表現の一つとして、自然言語の語をノードとして扱い、それらをリンクしたニューラルネットワークで知識を表現し、ニューロン演算で知的処理をするモデルSMNM(Symbolic Manipulation type Neural-Network Model)が提案されている[1][2]。

本稿では、自然言語の文をその構文構造に基づき記述、処理するための方法として構文情報を持つニューラルネットワークモデルを提案する。本モデルは、文を文中の自立語をノード、ノード間の構文関係などの相互関係をリンクとした意味ネットワークで表現し、それをニューラルネットワークとして扱う[3]。本手法は知識ベースからの応答文生成を目的としており、ここでは、新たに文同士の関係に関する構文要素を導入して拡張を行い、質問文を入力としてニューラルネットワークを活性化させ応答文を生成するためのシステムを構築した。

2. 知識のネットワーク表現

2.1 ネットワークの記述

本モデルでは、まず日本語の一文を意味ネットワークによって記述する。日本語の一文に含まれる自立語と助詞に対応する概念を表す要素を用意して、それらの事象を記述する最小単位の要素とする。要素はネットワークにおけるノードで表し、ノード同士を結ぶことによって記述されたものを一つの知識とみなす。その一文の中の語と語の関係は、格文法に基づき、動詞を中心にとらえる。動詞と他の語との構文の関係、間に構文要素を表すノードを挟む形で記述する。本モデルで用いる構文要素を表1に示す[4]。

表1 構文要素

(動作)主格	ある動作を引き起こす者の役割。
経験者格	ある心理事象を体験する者の役割。
道具格	ある出来事の直接原因となったり、ある心理事象と関係して反応を起こされる刺激となる役割。
対象格	移動する対象物や変化する対象物。あるいは、判断、想像のような心理事象の内容を表す役割。
源泉格	対象物の移動における起点、および状態変化と形状変化における最初の状態や形状を表す役割。
目標格	対象物の移動における終点、および状態変化と形状変化における最終的な状態、結果を表す役割。
場所格	ある出来事が起こる場所および位置を表す役割。
時間格	ある出来事が起こる時間を表す役割。

† 東京理科大学大学院理工学研究科情報科学専攻
‡ 東京理科大学理工学部情報科学科

一文中の関係のうち、動詞を中心としたもの以外の関係として、修飾関係と共起関係を定義する。修飾関係も、動詞を中心とした関係と同じように、間に構文要素を挟む形で関係を示す。共起関係は同じ一文にある動詞以外のノードを互いに結ぶことにより表現する。例えば「日本の作家の漱石は1867年に東京で生まれた」という文は図1のように表現される。

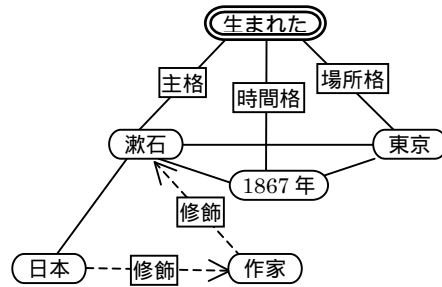


図1 一文のネットワーク表現

図1で使われている構文要素は主格、時間格、場所格、修飾であり、それぞれリンクしているノード同士の関係を示している。修飾関係を表すリンクは、動詞と他の自立語との関係、もしくは共起関係のように双方向ではなく、片方向のリンクである。「生まれた」の主格は「漱石」であり、「漱石」を主格としているのは「生まれた」であるが、「作家」を「漱石」を修飾しているが、「漱石」は「作家」を修飾していないからである。

2.2 同一化の規則

図1に示すように、本手法では一文のノードは、文の中心となる動詞、文中の動詞に関係した自立語、そしてそれらを修飾する語に分けられる。これらの個々の記述を統合し知識として機能させるために、共通の語を含む複数の文を同時に扱う際には、共通の概念を指すノードを同一化することで、複数の文の保持する知識を統合することが可能である。

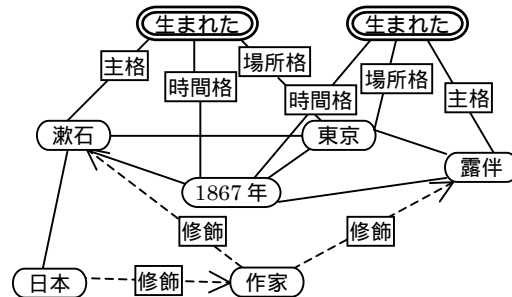


図2 二文のネットワーク表現

このノードの同一化の制約はノードにより異なる。文の中心となる動詞においては、同じ動詞でも指し示す動作が

同一とは限らないため、複数のノードを一つに纏めることはできない。その他の自立語においては、ネットワーク全体の中に一つ概念に対してつねに一つだけノードが存在するように構成する。これにより、個々の文は同一化された自立語を介してつながり、ノードによる文の記述とその文中の語句の内容を示した記述が一体的に、またあるノードに関連するノードがすべてリンクされた総合的な構成の意味ネットワークとなる。例えば、「日本の作家の漱石は1867年に東京で生まれた」と「作家の露伴は1867年に東京で生まれた」という文は図2のように共通のノードを共有するようなネットワークで表現される。

2.3 文と文の関係の記述

このように、本モデルでは日本語の一文をノードとリンクによって記述し、一つの文を一つの知識とみなすと前述した。しかし、文の構成によっては一文から複数の知識が得られる場合がある[5]。基本的な文の構成でも幾つかの種類があるが、前述したモデル化により、基本的な単文ネットワーク表現が可能である。重文や複文は二つの文にわけることによりネットワーク表現が可能である。例えば、「東京で生まれた漱石は草枕を書いた」という文は、「漱石は東京で生まれた」という文と「漱石は草枕を書いた」という文に分けることによりネットワーク表現が可能である。

一方、分割した二つの文に結束関係が存在する場合がある。主にそれは接続詞などで表される関係である。結束関係の構文要素としてどれだけのものを考えればよいかという問題は、対象とするテキストの種類に大きく依存するが、本稿では応答文生成を行うために必要なものとして表2に示すもの考える[6]。

表2 文同士の結束関係

理由	Siの理由がSjで述べられている。
原因-結果	Siの結果Sjとなる。
質問-応答	Siの質問に対してSjで答が示される。

(Siはある結束関係で接続させる二文のうち前の文、Sjは後の文)

このような文同士の結束関係の記述は、文の中心となる動詞同士に結束関係の構文要素を挟んでリンクし関係を記述することができる。例えば、「グアテマラでカスティリヨ・アルマスがアルペン政権を倒し、その実権を掌握した」という文は、図3のように表現される。

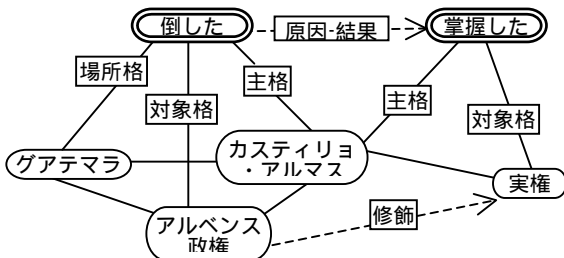


図3 結束関係のネットワーク表現

複文で表現される文同士の関係には、結束関係の他、文自体が他の文の動詞の格となる場合が考えられる。本稿のモデルでは動詞のノードは同一化を行わないため、動詞の

ノードを中心としたリンクにより文を特定することができる。その関係は、動詞の格として動詞を構文要素を挟んでリンクし記述する。例えば「チトー大統領が、ユーゴスラビアはNATOに協力することを言明した」という文では、図4のように表現される。

このネットワークのノードとリンクをニューロンとみなすと、それは局所表現したニューラルネットワークとなり、ニューロン演算によって推論する知的処理モデルとなる。

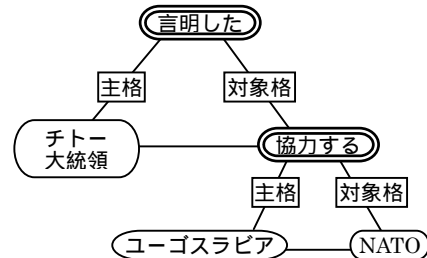


図4 文自体が格となるネットワーク表現

3. ニューラルネットワークとしての機能

3.1 発火規則

本モデルは、以下の手順に従って動作することでニューラルネットワークとして機能する。すなわち、本モデルでは、ノードが概念を表し、ネットワーク構成の一部あるいは全体が自然言語文を表しており、自然言語文を構成するノードを発火させることで、概念や自然言語文に対する操作を可能にする。ノードが発火するとリンクはニューロン軸索として機能し興奮波を伝播するため、しきい値を超えて刺激を受けたノードが発火するニューロン演算を行う。ここで、ノード特性はしきい値関数とする。一般に相互結合型のニューラルネットワークは複数回のニューロン演算を繰り返しながら安定な状態を見つける操作になるが、この演算は興奮波の伝播強度を一律に制御し、通常は次回起こるノードの発火で止める。この演算を数式モデルで表すと、ノード U_i を活性化したときの出力強度 $A_i(t)$ 、また結合係数を1としたとき、次時刻にノード U_j が受ける強度 $A_j(t+1)$ は、次式で示される[1]。

$$A_j(t+1) = \frac{1}{n} \sum_i k_{ji} A_i(t)$$

(ただし、 k_{ji} は U_i と U_j との結合の有無を表し、結合がある場合は $k_{ji}=1$ 、無い場合は $k_{ji}=0$ を示す。また n は活性化したノードの個数である)

$A_j \geq 1$ の刺激を受けたノードがしきい値を超えて発火する。いま、 n 個のノードを活性化したとき、出力強度 $A_i(t)$ を1とすれば、それぞれのリンク上を伝播する興奮波によって、活性化したすべてのノードにリンクしたノードだけが $(1/n) \times n = 1$ のしきい値に達する刺激を受ける。つまり、条件となる n 個のノードを活性化させてニューロン演算を行うと、活性化したすべてのノードにリンクしたノードが発火し、すべての推論の条件となるノードを発火すると、その条件を満たすノードが発火し、ニューロン演算により検索ができることになる。

図2の知識に対して、「東京で1867年に生まれたのは誰か?」という質問を入力した場合を考える。ここで疑問文の中の疑問詞にあたる自立語要素を疑問詞要素と呼び、

それに伴う発火させる要素を条件要素と呼ぶ。ここでは、「東京」、「1867年」、そしてその二つをそれぞれ場所格、時間格として持っている「生まれた」、そして疑問詞要素「誰」に対応する「主格」のリンクが条件要素となる。これにより、「生まれた」「1867年」「東京」は、上記の式に従い、それぞれのリンクの要素へ 1/3 の興奮波を伝播させる。これにより、しきい値が1を超えた「漱石」と「露伴」が答えとして発火し答えを検索することができる(図5)。

そしてその答えと疑問文のモデルにより、「漱石と露伴が1867年に東京で生まれた」という回答が作成される。ただし、動詞が選択された場合には、文自体が答えとなるかどうかを判定する必要があり、本稿では動詞を他のノードと区別し判定の段階を設けている。

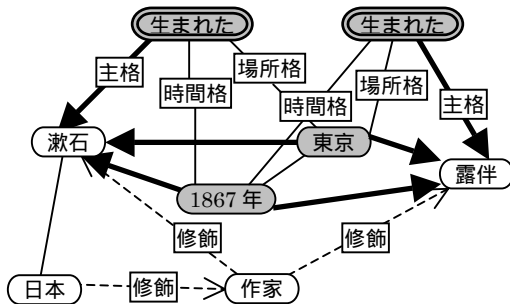


図5 応答プロセス

3.1 処理機構

汎用の計算機上での実行できる検索システムとして、入出力および演算を行う本モデルの処理機構を図6に示す。処理およびデータの流れを矢印で示し、各処理を担う機構は矩形で示している。システム全体は大きく分けて、学習システムと検索システムに分けられる。

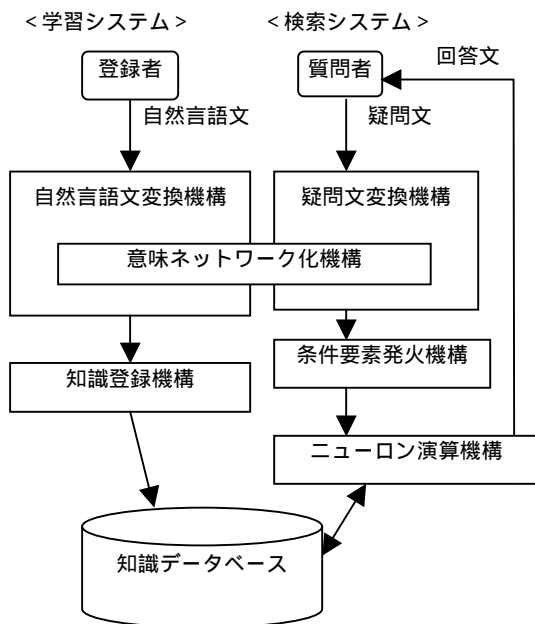


図6 処理機構

学習システムは、日本語の一文を知識として変換してデータベースに登録する機構である。登録者が自然言語の一文を入力すると、それは自然言語文変換機構に渡される。自然言語文変換機構は意味ネットワーク化機構を持ち、入力された自然言語文を意味ネットワーク表現の知識に変換する。最終的に知識は知識登録機構によってノードやリンクで表される関係へと変換され、知識データベースに登録される。登録者が次々と知識を登録することによって、複数の知識を持つ大きなニューラルネットワークが構成され、それによって学習が行なわれる。

検索システムは、質問を発行すると検索を行い、その回答を返す機構である。質問者が疑問文を入力すると、それは疑問文変換機構によって意味ネットワーク表現に変換される。意味ネットワーク化機構は学習システムと共通である。疑問文は意味ネットワーク表現で表されると、条件要素の発火を制御する。まず条件要素発火制御機構によって指示された発火すべき条件自立語要素に対応するデータベース内のノードを発火させてニューロン演算を行う。発火が収束した時点で検索を行い、回答文を生成して質問者に返す。

4. 実装

本モデルの意味ネットワークを構成しているノードとリンクを2つの集合と捉え、その情報を保持できるように、2次元表型のデータ構造に変換すると、汎用の関係型データベースシステムで本モデルを実現することができる。システムは変換されたネットワーク情報を保持するデータベースを持つ。関係表を用いて、その内部定義を考える。ここでは3つのテーブルを用意する。第1に各ノードの情報を保持する「Node」テーブル、第2にノード間のリンクの情報を保持する「Link」テーブル、第3に疑問文から得られた条件要素の発火時刻情報を保持する「Prerequisite」テーブルである。各テーブルの定義を表3に示す。

表3 各テーブルの定義

「Node」テーブル定義

フィールド	型	説明
NodeID	整数型	ノード固有のID
NodeName	文字列型	ノードの概念(=記号名)
NodeType	文字列型	ノードの形式(動詞かどうか)

「Link」テーブル定義

フィールド	型	説明
LinkID	整数型	リンク固有のID
NodeID	整数型	Nodeテーブルの同名と同じ
LinkNode	整数型	NodeIDが示すノードがリンクしているID
LinkType	整数型	リンクの形式

「Prerequisite」テーブル定義

フィールド	型	説明
PreID	整数型	前提条件固有のID
NodeID	整数型	Nodeテーブルの同名と同じ
NodeName	整数型	Nodeテーブルの同名と同じ
LinkType	整数型	Linkテーブルの同名と同じ

まず、ここで「日本の作家の漱石は 1867 年に東京で生まれた」という文の登録を例として登録処理の流れを述べる。まず文中の自立語が Node テーブルに ID を付けて登録され、そのノード間の関係が Link テーブルに登録される。同様に、「作家の露伴は 1867 年に東京で生まれた」という文の構造がそれぞれのテーブルに登録される。この時、同一化の規則により、動詞以外の既に登録されているノードは登録されない。ここでは「生まれた」と「露伴」の二つのノードが登録され、そして既存のノードと新しく登録されたノードの関係を、構文要素を補足して Link テーブルに登録する。それらの登録された知識に対して発せられた疑問文は、まずモデル化され、その後 Prerequisite テーブルに登録される。図 3 における疑問文は「東京で 1867 年に生まれたのは誰か?」という文であり、「生まれた」というノードと「誰」に対応した「主格」の構文要素、そして「東京」と「1867 年」というノードがまず発火するため、それらが登録される。

次に、これらのテーブル内の情報に対してニューロン演算を行うために、SQL を用いて式の問い合わせを行う。SQL は、いわば集合演算を行うツールであり、通常 SQL は内部のデータやその構造を強く意識してデータを操作・抽出するため、未知のデータベースから有益な情報を探し出すには不向きなツールと言える。しかし、自然言語の持つ情報をデータとして持ち、検索にも自然言語を使う本モデルは、ニューロン演算を SQL で代替できる。

発火の式を実装した SQL を実行すると、表 4 のような結果が得られ、「漱石」と「露伴」というノードが発火の結果として導かれている。このように、知識を Node テーブルと Link テーブルに登録し、それらに対する質問を Prerequisite テーブルに登録し、SQL を実行することによって、ニューロン演算を実現している。

表 4 SQL の結果

LinkNode	NodeName	ignition
2	漱石	3
6	露伴	3

5. 評価実験

年表コーパスに 50 文を対象として、それをモデル化しニューロン演算による検索を行うことによってシステムの性能を評価した。評価尺度としては、モデル化率と解答率を用いた。モデル化率は、コーパス中のすべての文中、本手法において表現可能であった文の割合であり、解答率は表現可能であった文に対して、質問に対しての発火機能が正常に機能した文の割合である。

コーパスの 50 文の中に含まれるノードは 398 語あった。これを本手法の同一化の規則により共通ノードを検索したところ、45 語が同一化可能なノードであり、自立語ノードは 283 語となった。これらのノードを構文要素を用いてリンクすることによりモデル化を行い、これらの複数の知識に対して関連付けを行うような質問や、逆に特定するような質問をし、ノードの検索を行った。その結果を表 5 に示す。

今回の実験で対象とした 50 文のうち 44 文、283 語のノードのうち 265 語がモデル化に成功という結果になった。

そのモデル化が可能であった文において質問文のノードを発火し、応答文生成のためのノードを検索した。その結果、モデル化した全ての文とノードにおいて発火機構は全て正常に機能した。これは年表コーパスでは自然言語の知識が比較的簡潔な文で書かれており、格構造の省略が少なく、本モデルに適したコーパスのためである。

表 5 モデル化率と解答率 (%)

	ノード	文
モデル化率	93	88
解答率	100	100

今回の実験では表 1 で示した 8 つの構文要素と、修飾関係、そして共起関係を示した 10 種類の構文要素、そして文同士の関係を示す 3 つの構文要素を使用した。モデル化不能となった文やノードは、この関係だけでは表せない is-a 関係や指示語などの扱いであった。そのような文に対しては構文要素を考慮し拡張して、改めて発火の式を定義する必要がある。そのような新たな構文要素が機能するかは、より大きなコーパスで確かめる必要があるが、このように新たな構造要素を用意して関係を表現すれば、より多くの文を知識表現できる可能性を示唆している。

6. むすび

本稿では、自然言語の一文の語をノードとしネットワークを作り、ニューラルネットワークとして機能するように構成することにより、ニューロン演算で知識を検索するニューラルネットワークモデルができることを示した。この知識表現は、文と文の関係を共通のノードを同一化する処理、構文要素の拡張により、多数の文に渡って、意味に基づく柔軟な処理を可能にした。

言語は語の組合せと構文規則などで作られた情報表現系で、人間はこの言語を使って思考し内的な情報を表すことから、人間の内部情報も言語の概念に基づく構成に近い構造になっていると考えられる。

参考文献

- [1] 赤羽 旗一: “記号処理型のニューラルネットワークモデルと集合で表した知識表現,” 人工知能学会誌, Vol.11, No.4, pp.566-573, Jul. 1996.
- [2] 小林 靖宙, 太原 育夫: “ニューラルネットワークによる自然言語の知識表現,” 2001 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 情報・システム Vol.1, p.115, Mar. 2001.
- [3] 福田 雅志, 延澤 志保, 太原 育夫: “応答文生成のためのニューラルネットワークによる知識表現,” 言語処理学会第 10 回年次大会発表論文集, C4-2, Mar. 2004.
- [4] 長尾 真: 自然言語処理, 岩波講座, Apr. 1996.
- [5] 江馬 務, 谷山 茂, 猪野 謙二: 新修国語総覧, 京都書房, Jun.1977.
- [6] 黒橋 禎夫, 長尾 真: “表層表現中の情報に基づく文章構造の自動抽出,” 自然言語処理, Vol.1, No.1, pp.3-20, Oct. 1994.