

特徴間の相互作用を持つ比喩理解の計算モデル： 日本語コーパスの統計解析を用いて

A Computational Model of Metaphor Understanding with Dynamic Interaction among Features: Based on a Statistical Analysis of a Japanese Corpus

寺井あすか，中川正宣
Asuka Terai, Masanori Nakagawa

東京工業大学
Tokyo Institute of Technology
asuka@nm.hum.titech.ac.jp

Abstract

The purpose of this study is to construct a computational model of metaphor understanding based on statistical language analysis. The constructed model consists of two processes: a categorization process and a dynamic interaction process. The categorization process is based on the class-inclusion model of metaphor (Glucksberg, Kayser 1990). The dynamic interaction process is realized based on a recurrent neural network employing differential equations. The dynamic interaction process represents dynamic interaction among features in metaphor understanding. Finally, a psychological experiment is conducted in order to verify the psychological validity of the constructed model of metaphor understanding. The results from the psychological experiment support the constructed model.

Keywords — Metaphor Understanding, Neural Network, Statistical Language Analysis

1. はじめに

本研究の目的は、“AのようなB”という形式で表現される比喩表現の理解過程を表現する計算モデルの構築を行うことである。直喩の理解においては、喩辞(A)と被喩辞(B)がどのような特徴を持つのかという、知識構造の違いが比喩理解に影響を及ぼすことが梶見(1995)によって明らかにされている。しかし、喩辞(A)と被喩辞(B)に関する知識構造について、人間が扱う比喩を網羅するのに十分な量を心理実験のみによって抽出することは、現実的には非常に困難である。そこで、本研究では言語統計解析により得られた意味空間に基づき、喩辞(A)と被喩辞(B)を含む各概念を、意味空間内のベクトルを用いて表現することで、比喩理解の計算モデルを構築する。

比喩理解を説明する理論モデルのひとつとしてクラス包含理論(Glucksberg, Kayser 1990)が提

案されている。クラス包含理論は、喩辞を典型例とするアドホックなカテゴリに被喩辞が含まれるとみなすことで、比喩が理解されると説明するものである。このクラス包含理論に基づき、言語コーパスを用いた比喩理解モデルがすでにいくつか提案されている(Utsumi 2006, Kintsch 2000, Terai, Nakagawa 2007a, 2007b)。一方で、比喩理解過程において、喩辞、被喩辞との関連が弱いにも関わらず、比喩理解において顕現する特徴(創発特徴)も比喩理解に大きな影響を及ぼすことが明らかになっている(Nueckles, Janetzko 1997, Gineste, Indurkha, Scart 2000)。内海(2000)では、喩辞と関連の強い特徴と情緒(「明暗」「強弱」等)的に類似し、かつ被喩辞を説明しうる特徴が創発特徴となると説明している。すなわち、比喩理解過程において、特徴間での影響関係により創発特徴が顕現すると考えられる。先行モデル(Utsumi 2006, Kintsch 2000)は創発特徴の発生を特徴間の関係を用いて表現していないのに対し、Terai, Nakagawa(2007b)のモデルでは、比喩理解過程はカテゴリ化過程とダイナミックインタラクション過程の2段階からなると仮定し、クラス包含理論に基づくカテゴリ化過程モデルとリカレントニューラルネットワークを用いて特徴間の相互作用を表現可能なダイナミックインタラクション過程モデルを構築することで、特徴間の相互作用(関係)により創発特徴の発生を表している。しかし、Terai, Nakagawa(2007b)では、形容詞-名詞の係り受け関係データに基づくため、特徴が形容詞によるのみ表現されている。そのため、「歯車のような会話」という比喩が「(会話が)かみ合う」と理解されるような、動詞で表される特徴によって理解される比喩の理解過程を表現できないという問題がある。そこで、本研究では、Terai, Nakagawa(2007b)の2段階過程モデルを改良し、特徴を形容詞だけではなく動詞によっても表現可能なモデルの構築を行う。また、モデルの妥当性検証に関しても、

Terai, Nakagawa(2007b)では被験者が回答した比喻の特徴とモデルが予測した比喻の特徴の比較を行うことによってのみ検証を行っているため、定量的な検証が困難であるという問題点があった。そこで、本研究では被験者にモデルが予測した比喻の特徴に対する妥当性の評価を行ってもらうことにより、定量的な妥当性の検証を行う。モデル構築の手順は以下のとおりである。

はじめに、形容詞-名詞、名詞-が-動詞、名詞-に-動詞、名詞-を-動詞の係り受け頻度データを毎日新聞10年分(1993-2002)から抽出する。抽出された係り受け頻度データに対し言語統計解析(Kameya, Sato 2005)を行い、言語統計解析によって推定された、各名詞を与えられた時の潜在クラスの条件付き確率を用いて各名詞(概念)をベクトルとして表現する。次に、カテゴリ化過程モデルの構築を行う。カテゴリ化過程モデルでは、言語統計解析結果を用いて計算した概念ベクトルを用い、喩辞を典型例とするアドホックなカテゴリのメンバーとしてみなされた被喩辞の意味を推定する。さらに、ダイナミックインタラクション過程モデルを、リカレントニューラルネットワークを用いて構築する。最後に、モデルの妥当性を検証するため、2種類の心理実験(比喻特徴抽出実験・モデルの妥当性評価実験)を行う。

2. 言語統計解析による概念の意味ベクトルの推定

毎日新聞10年分(1993年~2002年)から、CaboCha(工藤, 松本2002)を用いて名詞-が-動詞、名詞-に-動詞、名詞-を-動詞の係り受け頻度データを抽出した。抽出された係り受け頻度データに対し、言語統計解析(Kameya, Sato 2005)を行う。言語統計解析では、単語の係り受け共起は潜在クラスを介して決まると仮定する(式1)。

$$P(n_i^r, a_j^r) = \sum_k P(c_k^r) P(n_i^r | c_k^r) P(a_j^r | c_k^r) \quad (1)$$

式(1)では、係り受けデータ r (r は形容詞-名詞、名詞-が-動詞、等の係り受けの種類を表す)の尤度を最大にする、潜在クラス c_k^r が与えられたときの名詞 n_i^r 、形容詞または動詞 a_j^r の条件付き確率($P(n_i^r | c_k^r), P(a_j^r | c_k^r)$)と、潜在クラスの出現確率($P(c_k^r)$)を推定する。各係り受け共起頻度のデータの影響等しくするため、各データに対し潜在クラス数を200として推定を行った。

4種類の係り受け頻度データに共通して含まれる名詞(n_i^*)を対象とし、推定された確率を用いて、名詞が与えられたときの潜在クラスの条件付き確率

($P(c_k^r | n_i^*)$)を式(2)を用いて計算する。

$$P(c_k^r | n_i^*) = \frac{P(c_k^r) P(n_i^* | c_k^r)}{\sum_k P(c_k^r) P(n_i^* | c_k^r)} \quad (2)$$

各概念(名詞 n_i^*)の意味ベクトル($V(n_i^*)$)を、名詞が与えられたときの潜在クラスの条件付き確率($P(c_k^r | n_i^*)$)を用いて式(3)によって求める。

$$V_{k'}(n_i^*) = P(c_k^r | n_i^*) \quad (3)$$

式(3)では、 r ="形容詞-名詞"のとき $k' = k$, r ="名詞-が-動詞"のとき $k' = k + 200$, r ="名詞-に-動詞"のとき $k' = k + 400$, r ="名詞-を-動詞"のとき $k' = k + 600$ とする。

3. カテゴリ化過程モデル

言語統計解析により推定された概念(名詞)の意味ベクトルを用いて、クラス包含理論に基づくカテゴリ化過程モデルを構築する。はじめに、概念間の類似度は、式(3)によって計算される。

$$sim(n_i^*, n_h^*) = \frac{V(n_i^*) \cdot V(n_h^*)}{|V(n_i^*)| |V(n_h^*)|} \quad (4)$$

概念間の類似度に従って、この類似度に基づき喩辞ベクトルと類似している s 個の概念ベクトルからなる、喩辞ベクトルの近傍($Ns(vehicle)$)を計算する。次に、喩辞の近傍 $Ns(vehicle)$ から、被喩辞に類似した L 個の概念(n_i^*)を抽出する。これらの L 個の概念と喩辞からなるカテゴリを、喩辞を典型例とするアドホックなカテゴリとみなし、被喩辞、喩辞、 L 個の抽出された概念のセントロイド(重心)を求めることで、喩辞を典型例とするアドホックなカテゴリのメンバーとして被喩辞の意味ベクトル($V(M)$)を計算する(式(4)参照)。

$$V(M) = \frac{\sum_l V(n_l^*) + V(vehicle) + V(target)}{L + 2} \quad (5)$$

このようにして計算した意味ベクトル $V(M)$ に対し式(5)を用いることで、ベクトルの意味の解釈を行う。

$$P(a_j^r | M) = \sum_k P(a_j^r | c_k^r) V_{k'}(M) \quad (6)$$

式(5)では、 r ="形容詞-名詞"のとき $k' = k$, r ="名詞-が-動詞"のとき $k' = k + 200$, r ="名詞-に-動詞"のとき $k' = k + 400$, r ="名詞-を-動詞"のとき $k' = k + 600$ とする。カテゴリ化過程モデルのアルゴリズムは、Kintsch(2000), Utsumi(2006)のカテゴリ化理論に基づく比喩理解モデルと同様のものである。

表 1 モデルによるシミュレーション結果 (「戦争のような議論」)()内にモデルの出力値を示す。

$\beta = 0$	$\beta = 0.3$	$\beta = 0.6$
激しい(0.07)	激しい(0.09)	激しい(0.13)
起きる(0.03)	起きる(0.04)	展開する(0.09)
始まる(0.03)	続く(0.04)	続く(0.08)
続く(0.03)	展開する(0.04)	繰り返す(0.08)
展開する(0.02)	始まる(0.04)	繰り返される(0.07)
新たな(0.02)	熱い(0.03)	展開される(0.07)
熱い(0.02)	繰り返す(0.02)	激化する(0.07)
激しい(0.02)	新たな(0.02)	繰り返られる(0.07)
終わる(0.02)	激しい(0.02)	深まる(0.07)
参加する(0.01)	展開される(0.02)	起きる(0.07)

4. ダイナミックインタラクション過程モデル

カテゴリ化過程モデルで計算した $P(a_j^r|M)$ の値が閾値 θ^r を越えた場合、形容詞または動詞 a_j^r を比喩理解に関わる特徴として抽出する。次に、抽出された特徴を用いてリカレントニューラルネットワークモデルを構築する(図1)。

各ノードは各特徴(形容詞または動詞)を表現する。これらのノードは入力ノードでありかつ出力ノードである。 $x_q(t)$ により特徴 q を表すノードの時間 t の活性値を表すとき、各ノードの振る舞いは、式(6)に示した連立微分方程式によって決定する。

$$\frac{dx_q(t)}{dt} = \exp(-\alpha t)(-x_q(t) + \beta \sum_p w_{qp} x_p(t) + I_q(M)) \quad (7)$$

各ノードは $x_q(0) = 0$ 、 $I_q = P(a_j^r|M)$ 、 $q = a_j^r$ を入力値として持つ。 $\frac{dx_q(t)}{dt} = 0$ のとき $O_q(M) = x_q(t)$ を出力する。 $\beta \geq 0$ は比喩理解過程における特徴間の相互作用の影響の強さを表す。また、 $\exp(-\alpha t)$ は時間 t に従って減少する関数であり、特徴間の相互作用の影響が時間により減少する過程を表現し、 $\alpha \geq 0$ はその速度を表すパラメータである。 $s = 50$ 、 $L = 3$ 、 $\alpha = \ln(10)$ とし、 β の値を 0, 0.3, 0.6 に変化させ、シミュレーションを行った結果を表1として示す。 $\beta = 0$ の場合、カテゴリ化過程のみのモデルと同様の結果を表す。

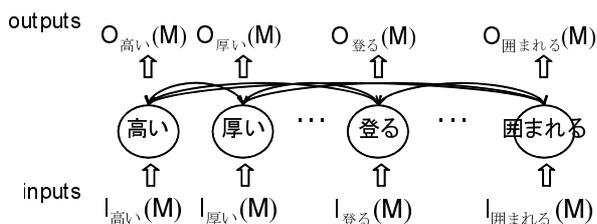


図 1 ダイナミックインタラクション過程モデルのアーキテクチャ

5. 実験によるモデルの検証

5.1 比喩特徴抽出実験

被験者は、大学生85名。被験者を2群(Aグループ:42名、Bグループ:43名)に分け、ひとつのグループに喩辞、被喩辞を提示し、それらの特徴を自由に回答させた場合、別のグループにそれらの喩辞、被喩辞を用いた比喩を提示し、その特徴を自由に回答させる。比喩文は中本・楠見(2004)で用いられた比喩文から6文を選択した。自由回答に対し、Chasenを用いて形態素解析を行い、3人以上の被験者が回答している形容詞または動詞を特徴として抽出した。結果の一例(「戦争のような議論」)を表2に示す。実験結果から、「激しい」「飛び交う」「うるさい」「行う」が創発特徴であることがわかる。

モデルの妥当性を検証するため、これらの結果とモデルシミュレーション結果の比較を行う。「激しい」という特徴はカテゴリ化過程のみのモデル($\beta = 0$)、2段階過程モデル($\beta = 0.3$ 、 $\beta = 0.6$)のシミュレーション結果すべてにおいて1番強い比喩の特徴として示されている。また、 $\beta = 0$ 、 $\beta = 0.3$ において「熱い」が上位10番以内の比喩の特徴として推定されている。しかし、創発特徴である「激しい」の動詞化である「激化する」という特徴は

表 2 特徴抽出実験結果 (「戦争のような議論」)()内に回答者数を示す。

戦争	議論	戦争のような議論
死ぬ(11)	言い合う(9)	激しい(9)
悲しい(8)	難しい(9)	言い合う(7)
殺す(6)	言う(6)	飛び交う(5)
こわい(4)	出す(5)	うるさい(3)
つらい(4)	熱い(5)	言う(3)
痛い(4)	考える(4)	行う(3)
使う(3)	話し合う(4)	熱い(3)
出る(3)	出し合う(3)	
生きる(3)	纏まる(3)	
怖い(3)	様々な(3)	

$\beta = 0.6$ のシミュレーション結果においてのみ上位10番以内の比喩の特徴として推定されている。「激化する」という特徴は、被験者によって回答されていない特徴であるが、創発特徴である可能性が考えられる。このことから、 β の値が創発特徴の発生と関係していることが示唆される。しかし、この実験結果のみからモデルの妥当性を検証することは困難である。そこで、被験者にシミュレーション結果を提示し、妥当性を回答してもらう実験を行う。

5.2 モデルの妥当性評定実験

カテゴリ化過程のみのモデル($\beta = 0$)と2段階過程モデル($\beta = 0.3$, $\beta = 0.6$)のシミュレーション結果を被験者に提示し、2段階過程モデルの妥当性を検証する。被験者は、大学生45名。比喩文は中本・楠見(2004)で用いられた比喩文から16文を選択した。比喩文と $\beta = 0$, $\beta = 0.3$, $\beta = 0.6$ を用いてシミュレーションを行った結果(上位10個の特徴)を被験者に提示し、それらが比喩の解釈としてどの程度妥当かを7段階(全く妥当ではない-非常に妥当である)で評定させた。

実験結果を、図2に示す。評定値に対し β の1要因分散分析を行った結果、 β の主効果が見られた($F(2,2104)=3.33, p<.05$)。このとき、Tukeyの下位検定を行ったところ、カテゴリ化過程のみのモデル($\beta = 0$)と2段階過程モデル($\beta = 0.6$)の間で有意な差が見られ($p<.05$)、カテゴリ化過程のみのモデルと比較し、2段階過程モデル($\beta = 0.6$)が有意に妥当であることが示された。

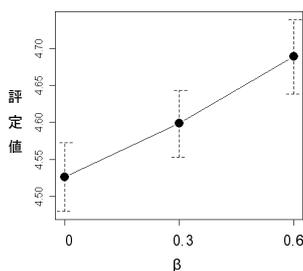


図2 モデルの出力結果に対する妥当性評定の平均値(バーは標準誤差を示す)

6. 考察

本研究では、言語統計解析に基づき、比喩理解はカテゴリ化過程とダイナミックインタラクション過程の2段階からなると仮定し、比喩理解モデルの構築を行った。心理実験を行った結果、カテゴリ化過程のみのモデルと比較し、ダイナミック

インタラクション過程を仮定した2段階モデルによる解釈が、有意に妥当であることが示された。本研究では、比喩理解における特徴間の相互作用の影響を表すパラメータ β に関し、0, 0.3, 0.6と値を変化させてシミュレーションを行った。今後は、カテゴリ化過程モデルにおけるアドホックなカテゴリの選択に関わるパラメータ s, L の値を変化させ、シミュレーションを行うことでこれらのパラメータが比喩理解に及ぼす影響を検討したいと考えている。

謝辞

本研究は文部科学省における平成18年度科学技術振興調整費による委託事業「若手研究者の自立的な研究環境整備促進事業」、科学研究費補助金基盤研究(B)(19330156, 代表: 中川正宣)の援助を受けて行われた。

参考文献

- [1] Gineste, M., Indurkha, B., Scart, V. (2000) Emergence of features in metaphor comprehension. *Metaphor and Symbol*, 15(3) 117-135.
- [2] Glucksberg, S., Keysar, B. (1990) Understanding Metaphoric Comparisons: Beyond Similarity. *Psychological Review*, 97(1) 3-18.
- [3] Kameya, Y., Sato, T. (2005) Computation of probabilistic relationship between concepts and their attributes using a statistical analysis of Japanese corpora. *Proc. of Symposium on Large-scale Knowledge Resources: LKR2005*. 65-68.
- [4] Kintsch, W. (2000) Metaphor comprehension: A computational theory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7(2) 257-266.
- [5] 中本敬子, 楠見孝 (2004) 比喩材料文の心理的特性と分類: 基準表作成の試み. *読書科学*, 48, 1-10.
- [6] Nueckles, M., Janetzko, D. (1997) The role of semantic similarity in the comprehension of metaphor. *Proc. of the 19th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. 578-583.
- [7] Terai, A., Nakagawa, M. (2007) A Neural Network Model of Metaphor Understanding with Dynamic Interaction based on a Statistical Language Analysis; Targeting a Human-like Model. *International Journal of Neural Systems*, 17(4) 265-274.
- [8] Terai, A., Nakagawa, M. (2007) A Computational Model of Metaphor Understanding Consisting of Two Processes. *J. Marques de Sa et al. (Eds.): ICANN 2007, Part 2, LNCS*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 963-972.
- [9] Terai, A., Nakagawa, M. (2008) A Corpus-Based Computational Model of Metaphor Understanding Incorporating Dynamic Interaction. *ICANN 2008. Part 2, LNCS*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 443-452.
- [10] 内海彰 (2000) 比喩の認知/計算モデル. *Computer Today*. 96(3) 34-39.
- [11] Utsumi, A. (2006) Computational exploration of metaphor comprehension processes. *Proc. of the 28th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. 2281-2286.