

不定自然変換理論に基づく比喩理解モデルの実験的検証 Experimental validation of a model of metaphor comprehension based on the theory of indeterminate natural transformation

池田 駿介¹, 布山 美慕², 西郷 甲矢人³, 高橋 達二^{1,4}

Shunsuke Ikeda, Miho Fuyama, Hayato Saigo, Tatsuji Takahashi

東京電機大学¹ 早稲田大学² 長浜バイオ大学³ 理化学研究所⁴

Tokyo Denki University¹ Waseda University² Nagahama Institute of Bio-Science and Technology³ RIKEN⁴
tatsujit@mail.dendai.ac.jp

概要

意味の創造過程と類推・転移学習を探究するための仮説として近年に提案された、不定自然変換理論 (TINT: theory of indeterminate natural transformation) に基づく比喩理解モデルの2種類のシミュレーションを慣習性の異なる3つの比喩を対象に行った。また、実験によって、人間の比喩解釈となる対応づけのデータを収集し、これをシミュレーション結果との比較を行った。その結果、慣習性の高い比喩と低い比喩では人間に近い判断ができ、慣習性の中程度の比喩では人間とは異なる判断を行なった。

キーワード：比喩，圏論，類似，類推

1. はじめに

意味の創造過程と類推・転移学習を探究するための仮説として近年に提案された不定自然変換理論 (TINT, 布山・西郷, 2018 布山・西郷・高橋, 2020) は、さしあたりは比喩理解のモデルとして研究が進められている。TINT はイメージの意味を、イメージの間の連想関係として定義する。その上で、イメージの連想ネットワークの構造が、被喩辞のイメージからの喩辞のイメージの連想を端緒として動的に変化する過程として、比喩理解過程をモデル化する。このモデル化のために導入し用いたのが、圏論の諸概念である。イメージの意味をコスライス圏で、喩辞と被喩辞のイメージの意味の対応づけを関手でモデル化する。しかし、比喩理解の過程は無数に考えられるため、適切な関手の探索が難しい。したがって、まずは自明な関手を構築し、そこからの自然変換を探索することで、比喩の理解として適切な関手を構築するという過程によって表現している。

これに加えて、動的な過程として比喩理解を表現するために、あるイメージから別のイメージへの連想確率を導入し、圏の不定化を行っている。このようにして、全てのイメージ同士の連想関係を表す射に連想確

率が付与されている圏を、潜在圏と呼ぶものとする。この潜在圏の連想確率を元に、あるイメージから別のイメージが連想されると判断された場合には、そのイメージの間の射は圏に残り、そうでない場合には圏から消える。これを「励起 (excitation)」および「緩和 (relaxation)」と呼び、それぞれがどのように起きるのかをルールとして定める。ある時刻において励起している射からなる圏が、顕在圏と呼ばれる¹。

TINT は、これまで喩辞の慣習性の高い比喩については検証が進められてきた (池田・布山・西郷・高橋, 2021)。しかし、比喩は普段聞き慣れており、意味が通じるような慣習性の高い「死んだ比喩」と呼ばれるものから、聞いたことがなく意味をその場で考えるような慣習性の低い新規な比喩まで様々ある。これまでに比喩理解理論は複数提案されてきたが、慣習性の違いに応じて妥当な理論が異なるとの指摘があり (平・楠見, 2011)、慣習性の高低によって比喩理解過程の違いがある可能性が考えられる。そのため、TINT が、慣習性の低い比喩の理解も説明可能か、慣習性の違いによって説明性に違いがあるのか調べ、TINT が提案する比喩理解理論の妥当性を詳しく検討するため必要がある。

本研究では、直喩刺激-解釈セット (岡・大島・楠見, 2019) から慣習性が高い・中程度・低い3つの比喩を用いて、TINT に基づきシミュレーションを行った。さらに、これらの比喩について、人間がどのような連想の対応づけを行うのかをオンライン実験を用いてデータを収集し、TINT による比喩の解釈との比較を行う。これにより、慣習性の異なる比喩についても TINT がどの程度人間に近い判断が行えるかを検証し、理論の妥当性を評価し、課題を明確化する。

¹不定自然変換理論を詳細に説明したものとしては (布山 & 西郷, 2018; Fuyama & Saigo & Takahashi, 2020) を参照。

2. 不定自然変換理論 (TINT) の特徴

TINT の大きな特徴として、圏論の諸概念を導入し比喩理解の過程をモデル化している点がある。比喩理解のモデルにおいて、圏論を導入する価値については、人間の意味空間の条件が関連してくる。人間の意味空間として3つの条件が必要であることが示唆されており、1つ目は、複数のものの意味があった際に、これらの意味の近さを表現できることである。2つ目は、この意味の近さというのが対称性を要求しないことである。3つ目は、あるものの意味と他のものの意味の間で何かしらの演算が行えることである。圏はこの3つの条件を満たしうる最も弱い空間の1つであると見なすことができ、TINT ではできるだけ弱い制約の意味空間となりえる圏を用いて比喩理解の理論の構築を試みている。

また、Holyoak & Stamenković(2018) による広範な文献調査により、比喩理解研究は以下の3つの立場に大別できることが示されている。

1. analogy position: 比喩理解は類推を基盤としており、被喩辞と喩辞の意味の間の構造的な類似性の探索であるという立場。
2. categorization position: 比喩理解は被喩辞が喩辞のカテゴリに属するというカテゴリの宣言であるという立場。
3. conceptual mapping position: 比喩理解は、単なる言語の認知の一種ではなく、思考や理解の基盤をなす認知過程であるという立場。

TINT はイメージの関係性という構造同士の対応づけを行うため、analogy position に近い。また、比喩を単なる言語表現のみとは考えず、新規な意味の創造過程とも捉えているため、conceptual mapping との関連性も高い。

analogy position では、構造同士の対応づけをどのように行うかが最大の課題の一つとなる。構造写像理論を元にした比喩理解の理論では、述語論理的なツリー構造で喩辞と被喩辞に対応する知識を表現し、述語(関係性を表す)部分での一致を探索する(Gentner, 1983; Falkenhainer, Forbus, & Gentner, 1989)。一方で、このような既存の方法が比喩理解過程をうまく説明するには、知識表現が十分作り込まれている必要があり、実際には比喩理解や類推に合わせて知識表現が作り込まれすぎているとの批判がある(Chalmers, French, & Hofstadter, 1992)。これらの既存理論に対し、TINT は連想関係のみで知識に相当する表象を表現する。これは圏の必要性で述べた最低限の構造(合成性)のみからなる知識であり、最小の仮定に基づく「最も貧しい」

知識表現の一つであると考えられる。加えて、構造同士の対応づけ(関手)をメタレベルの新奇の写像としてではなく、もともとの構造に含まれる連想関係によって表現する。自明な関手からより良い関手を探索するために用いる自然変換も、元の圏に存在する射の族にすぎない。したがって、TINT は、知識表現に最小の仮定を用い、また構造同士の対応づけ自身をも、元の知識表現以上の仮定を入れずに、ボトムアップに表現する理論である点が大きな特徴である。

3. シミュレーション

今回は直喩刺激-解釈セットから慣習性が低い「あくびは満月のようだ」、慣習性が中程度である「記憶は倉庫のようだ」、慣習性が高い「笑顔は花のようだ」という3つの比喩を対象にし、それぞれの比喩で2種類のシミュレーションを行った。2種類それぞれのシミュレーションの概念図を図1に示す。図の中で、丸で描かれているものがイメージで矢印が根元のイメージから行先のイメージへの連想を表す。

1つは対象同士対応づけのシミュレーションである。これは、コスライス圏における対象となる連想のみを励起させ、それらに対応づける方法である。コスライス圏とは以下の定義を満たす圏である。

定義 コスライス圏: C を圏、 X を C の対象とするとき、コスライス圏 $X \setminus C$ を次のように定義する。

1. 対象は $dom(f) = X$ となる全ての射 $f \in C$ である。
2. 射は $X \setminus C$ の対象 $f: X \rightarrow a$ から $g: X \rightarrow b$ への、 $h \circ f = g$ を満たすような $h \in C$ である。(このような f, g, h によって作られる構造を、本論文では「三角構造」と呼ぶ。)
3. 射の合成は C での合成である。
4. 恒等射は C の恒等射である。

コスライス圏は、もとの圏 C のある対象 X と他の対象の関係性を対象とし、それらの関係性同士の関係を射とする圏と言える。つまり、喩辞・被喩辞の意味を表すコスライス圏は、喩辞・被喩辞から他のイメージへの連想はコスライス圏の対象となり、喩辞・被喩辞以外のイメージ間の連想はコスライス圏での射となる。

対象同士の対応づけの場合、喩辞・被喩辞の意味を表すコスライス圏には、コスライス圏において対象となる連想しか励起せず、図1(a)の i_1 や i_2 のような、連想は存在しないため、ある連想について他の連想との関係を考えて対応づけを行うことをしない。

もう1つは三角構造同士の対応づけのシミュレ

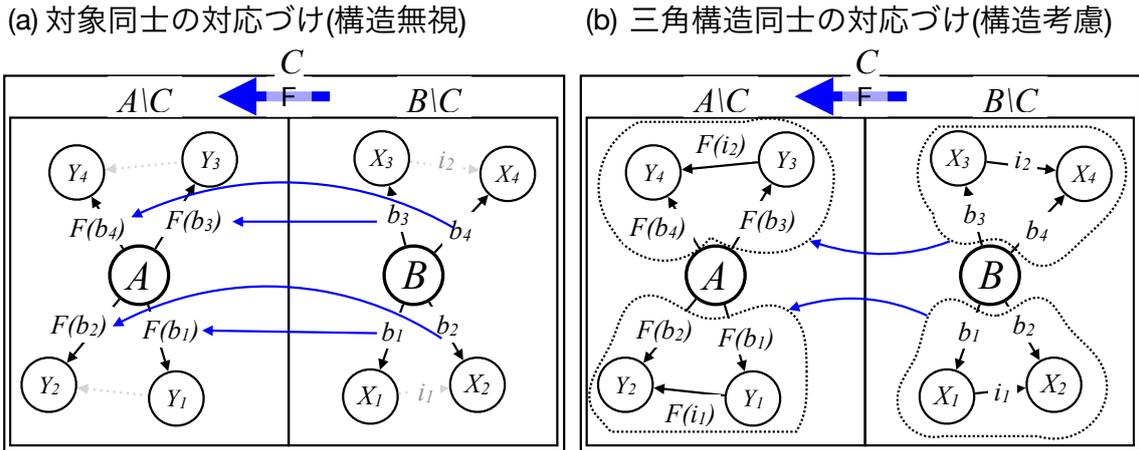


図1: 各シミュレーションの対応づけの方法の概念図(丸がイメージ, 矢印がイメージ間の連想)
 (a): 対象同士の対応づけ (構造無視), (b): 三角構造同士の対応づけ (構造考慮)

シミュレーションである。三角構造とは、コスライス圏の射となる構造である。この三角構造を考慮することによって、対象同士の対応づけでは無視していた i_1 や i_2 のようなイメージの関係性を表す射を考慮しながら対応づけを行うことができる。具体的には図1(b)のようにコスライス圏 $B \setminus C$ にある三角構造からコスライス圏 $A \setminus C$ に存在する三角構造への対応づけを行う。

4. 実験

今回は、シミュレーションの実行と、シミュレーション結果と人間との比較を行うためのデータを収集するために3つの実験を行なった。まず、シミュレーションの実行に必要なデータとして、喩辞・被喩辞の意味を表すコスライス圏の初期状態を決定するイメージたちが必要になる。さらに、対応づけを探索するために、イメージ間の連想強度が必要となる。そのため、2つの実験を行う。最初に、喩辞・被喩辞の意味を表すコスライス圏の初期状態を決定するイメージを取得するため、喩辞・被喩辞からどんなイメージを連想するかを問う連想イメージ取得実験を行なった。さらに、連想イメージ取得実験で得たイメージを利用して、連想されたイメージ間の連想強度を取得するため連想強度取得実験を行なった。

次に、人間との比較を行うためのデータとして、人間が比喩を理解しようとした際に、喩辞から連想する対象を被喩辞から連想するどの対象に対応づけるかというデータが必要になる。そのため、連想イメージ取得実験で得たイメージを利用して、人間がどのような対応づけを行うかについてのデータを取得するために比喩解釈実験を行なった。

あなたは授業の一環で、とあるゲームをしています。
 そのゲームでは、まず言葉が書いてあるカードの山から1枚引きます。
 引いたカードに書いてある言葉に対して、
 「その言葉から連想する言葉をできるだけ多く挙げる」
 というゲームを行っています。
 相手よりも多く、言葉を挙げられた場合、
 その分だけ、ポイントを得ることができます。
 あなたの友達太郎さんは、カードを引いて4つの言葉を挙げました。
 あなたがこのゲームに勝つには、引いたカードに書かれている言葉から連想する言葉を、
 5つ以上挙げる必要があります。
 あなたが引いたカードには「あくび」と書かれていました。

「あくび」から連想する5つの言葉を、それぞれ1つずつ、枠の中に入れてください

1.
2.
3.
4.
5.

図2: 連想イメージ取得実験：参加者への提示例

4.1 連想イメージ取得実験

以前のシミュレーションでは、コスライス圏の初期状態を決定するためのイメージ(対象)は著者らが選定したものをしていた。この方法では、比喩理解のシミュレーションがうまくいくように作り込まれたデータになっている可能性がある。そのため、今回はオンライン実験で実験参加者を募り、喩辞・被喩辞から連想するイメージを収集する。

クラウドソーシングで募集した実験参加者に、実験作成ツールである Qualtrics 上に構築した実験ページへアクセスしてもらい、そこで出題された設問に回答してもらった。この際、実験参加者には「あくび、満月、記憶、倉庫、笑顔、花」の内一つが割り当てられ、図2のようなページが表示され、そのイメージから連想する単語を5個挙げてもらった。

本実験の参加者は20代から60代の男性女性その他計600人であった(年齢の $M=40, SD=9.5$, 男女その他

それぞれ 272, 325, 3. 年齢については「20-24 歳」などの 5 年間区間で回答を求めたので、M や SD の計算に区間の中央値の 22 などを用いた.) . 回答された単語のうち、同義語や、ひらがな、カタカナ、漢字などの表記揺れなどを統一した². その後、実験参加者が回答した順番に 5,4,3,2,1 の得点を各単語につけ、単語ごとに合計をとった.

喩辞・被喩辞ごとの得点の上位 8 単語を表 1 に示す. 今回は、この表 1 に示された得点の上位 8 単語を各喩辞・被喩辞の初期イメージとした.

表 1: 比喩・被喩辞から連想された上位 8 単語

喩辞・被喩辞	連想した上位 8 単語
あくび	眠い, つまらない, 眠気, 寝不足, 涙, 口, 睡眠, 疲れ
満月	うさぎ, 丸い, 狼, 月見, 明るい, 十五夜, 団子, 夜
記憶	思い出, 忘れる, 脳, 過去, 暗記, 勉強, 曖昧, 試験
倉庫	荷物, 暗い, 保管, トラック, 物置き, フォークリフト, 港, 広い
笑顔	幸せ, 嬉しい, 楽しい, 明るい, 喜び, 赤ちゃん, 子供, 歯
花	綺麗, 春, 桜, 香り, 贈り物, 美しい, 花言葉, バラ

4.2 連想強度取得実験

TINT のシミュレーションで自然変換の探索を行うためには、連想可能性の射に連想確率が付与された潜在圏が必要である. そのため、潜在圏を作成する際に必要となるイメージ間の連想確率を実験により取得した.

クラウドソーシングで募集した実験参加者に Amazon Web Services の Elastic Compute Cloud 上に構築した実験ページへアクセスしてもらい、そこで出題された設問に回答してもらった. 「あくびは満月のようだ」、「記憶は倉庫のようだ」、「笑顔は花のようだ」という 3 つの比喩で、喩辞・被喩辞とその初期イメージは合わせて 18 個となった. 実験参加者は「あくびは満月のようだ」、「記憶は倉庫のようだ」、「笑顔は花のようだ」のうちどれか 1 つの比喩に割り当てられた. 実験参加者は、 $18 \times 17 = 306$ の連想について図 3 のようなページが表示され、あるイメージ A, B について「A から B を連想する強さ」というように提示され、A から B を連想する強さについて「全く連想しない」～「強

²どのような単語を同義語として統一したかについては、https://docs.google.com/spreadsheets/d/1YV_WDQaEg31TDWL6UeNgGyC2cBefq_-qzHBZdftGkJ3M/edit?usp=sharing を参照

Figure 3 shows five examples of the experiment interface. Each example consists of a metaphor pair (e.g., 「狼」から「涙」), a label 「を連想する強さ」, and five buttons for rating the strength of association: 「全く連想しない」, 「連想しない」, 「どちらでもない」, 「連想する」, and 「強く連想する」.

図 3: 連想強度取得実験: 参加者への提示例

く連想する」で評価を行ってもらった. また、設問が表示される順番に関しては参加者ごとにランダム化した.

本実験の参加者は 20 代から 60 代歳の男女計 100 人であった (年齢の $M=41$, $SD=8.8$, 男女それぞれ 50, 50. 年齢については「20-24 歳」などの 5 年間区間で回答を求めたので、M や SD の計算に区間の中央値の 22 などを用いた.) . 回答精度の観点から、各比喩ごとに回答された回答のうち、回答時間の早い順に上位 5%, 下位 5% を分析対象から外した. その後、連想強度をそれぞれ「全く連想しない: 0.05, 連想しない: 0.275, どちらでもない: 0.5, 連想する: 0.725, 強く連想する: 0.95」の変換規則に基づき連想確率に線形変換し、平均をとった.

例として、自然変換の探索の際に用いる、喩辞の初期イメージから、被喩辞の初期イメージへの連想確率を図 4~6 に示す.

4.3 人間の比喩解釈実験

TINT の対応づけがどの程度うまくいっているのかを判断するためのデータとして、人間の比喩の解釈のデータを実験によって収集した.

クラウドソーシングで募集した実験参加者に Amazon Web Services の Elastic Compute Cloud 上に構築した実験ページへアクセスしてもらいそこで出題された設問に回答してもらった. 実験参加者は「あくびは満月のようだ」、「記憶は倉庫のようだ」、「笑顔は花のようだ」の 3 つの比喩と、これらの比喩の喩辞と被喩辞を逆にした、「満月はあくびのようだ」、「倉庫は記憶のようだ」、「花は笑顔のようだ」の計 6 つの比喩のうちどれか一つに割り当てられた³. 実験参加者には図

³今後、喩辞と被喩辞を逆にした際に、どのような結果が得られるかの検証のために、逆向きの比喩解釈データも取得した.

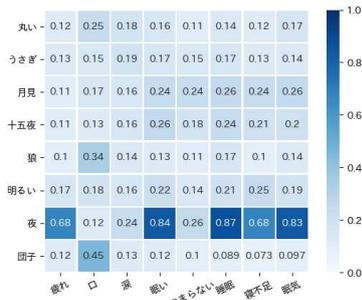


図4: 満月の初期イメージからあくびの初期イメージへの理想確率

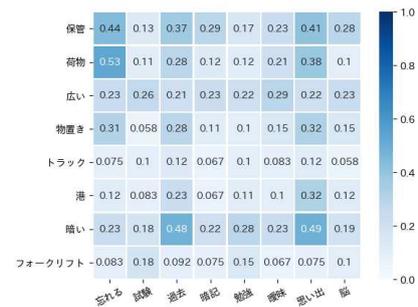


図5: 倉庫の初期イメージから記憶の初期イメージへの理想確率

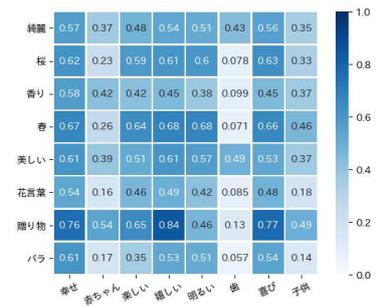


図6: 笑顔の初期イメージから花の初期イメージへの理想確率

「あくびは満月のようだ」という比喩について問います。
たとえられる側の「あくび」の持つ特徴として「眠い、つまらない、眠気、涙、寝不足、口、腫脹、疲れ」があるとしています。
また、たとえる側の「満月」の持つ特徴として「うさぎ、丸い、狼、月見、明るい、十五夜、団子、夜」があるとしています。

これらの特徴を踏まえて、「あくびは満月のようだ」という比喩を解釈しようとしてください。

ここで、「満月」にとっての「月見」が「あくび」にとってのどんな特徴に対応すると感じられるかについてお答えください。

「満月」にとっての「月見」を「あくび」にとっての「眠い」に対応づけることにどのくらい同意しますか？

「満月」にとっての「月見」を「あくび」にとっての「寝不足」に対応づけることにどのくらい同意しますか？

図7: 比喩解釈実験：参加者への提示例

7のようなページが表示され、まず喩辞の持つ初期イメージ、被喩辞の持つ初期イメージがそれぞれの特徴として提示される。そして、喩辞の持つ特徴Aと被喩辞の持つ特徴Bについて『「喩辞にとってのA」を「被喩辞にとってのB」に対応づけるのにどのくらい同意しますか?』という設問に対して、「全く同意しない」～「強く同意する」で回答してもらった。また設問が提示される順番に関しては、参加者ごとにランダム化されるように設定した。

本実験の参加者は20代から70代の男女計250人であった(年齢のM=41,SD=9.3,男女それぞれ134,116。年齢については「20-24歳」などの5年間区間で回答を求めたので、MやSDの計算に区間の中央値の22などを用いた。)。回答精度の観点から、各比喩ごとに回答された回答のうち、回答時間の早い順に上位5%、下位5%を分析対象から外した。その後、各設問の評価をそれぞれ「全く同意しない:1,同意しない:2,どちらでもない:3,同意する:4,強く同意する:5」の変換規則に基づき変換し、平均をとった。本研究では、喩辞と被喩辞がそのままである「あくびは満月のようだ」、「記憶は倉庫のようだ」、「笑顔は花のようだ」の3つの比喩についてのデータのみを用いる。3つの比喩において、比喩を理解しようとした際に、人間が喩辞の対象を被喩辞のどの対象に対応づけるかを図8～10に

示す。

図8～10は人間が比喩を理解する際に、喩辞の意味を構成する対象から被喩辞の意味を構成する対象への対応づけにどの程度同意できるかということを示している。これを見ると、「あくびは満月のようだ」という比喩において、丸いに対応づく対象として最も強く同意されているものは口であり、夜と対応づく対象として最も強く同意されているものは眠いと眠気であった。その他の対象については対応づくものがないことへの同意が強かった。次に「記憶は倉庫のようだ」という比喩において、保管と対応づく対象として最も強く同意されているものは暗記と思い出であり、荷物と対応づく対象として最も強く同意されているものは思い出であった。また、どの対象も対応づくものがないということへの同意は弱かった。最後に「笑顔は花のようだ」という比喩においては、喩辞の多くの対象が美しいや春、綺麗に対応づくということへの同意が強かった。

5. シミュレーション結果

5.1 対象同士の対応づけ

「あくびは満月のようだ」、「記憶は倉庫のようだ」、「笑顔は花のようだ」という比喩に対して、1000回のシミュレーションを行なった結果を図11～13に示す。図11～13は各比喩について、対象同士の対応づけのシミュレーションを1,000回行った時に、喩辞の意味を構成する対象が被喩辞の意味を構成する対象に何回対応づけられたかということを示している。

これを見ると、「あくびは満月のようだ」という比喩において、夜は睡眠に対応づくことが多く、その回数は862回であった。丸いは口に対応づけられることが多いが、その一方で対応づけられないと判断されることも多い。次に「記憶は倉庫のようだ」という比喩において、荷物は忘れるに対応づくことが最も多く、その回数は536回であった。トラックとフォークリフト

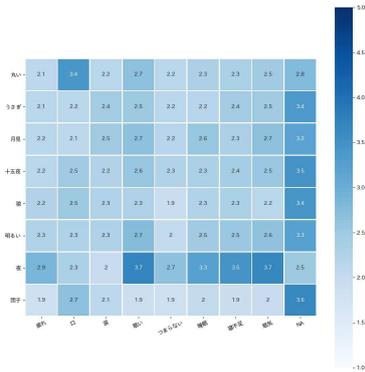


図 8: 人間の比喩の解釈となる喩辞の対象から被喩辞の対象への対応づけ: あくびは満月のような

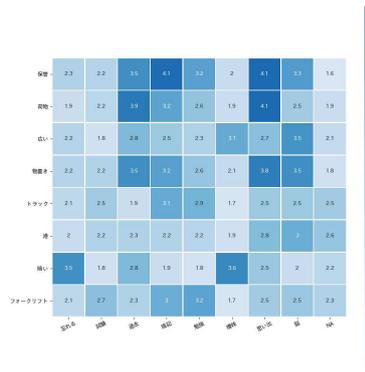


図 9: 人間の比喩の解釈となる喩辞の対象から被喩辞の対象への対応づけ: 記憶は倉庫のような

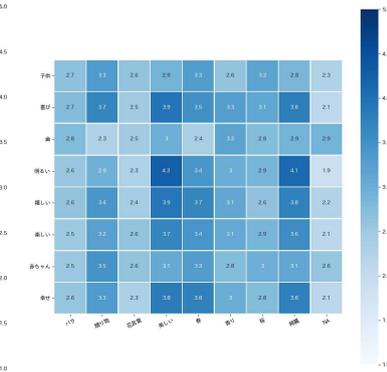


図 10: 人間の比喩の解釈となる喩辞の対象から被喩辞の対象への対応づけ: 笑顔は花のような



図 11: 対象同士の TINT の比喩の解釈となる喩辞の対象から被喩辞の対象への対応づけ: あくびは満月のような

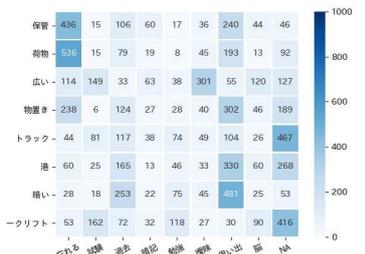


図 12: 対象同士の TINT の比喩の解釈となる喩辞の対象から被喩辞の対象への対応づけ: 記憶は倉庫のような

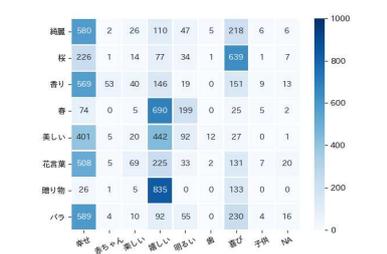


図 13: 対象同士の TINT の比喩の解釈となる喩辞の対象から被喩辞の対象への対応づけ: 笑顔は花のような

に関しては対応づくものがないとされることが最も多く、その回数は 467, 416 回であった。最後に「笑顔は花のようだ」という比喩において、贈り物は嬉しに correspond つけられることが最も多く、その回数は 835 回であった。綺麗, 香り, 美しい, 花言葉, バラなどの多くのイメージは幸せに対応づけられることが多い。

5.2 三角構造同士の対応づけ

「あくびは満月のような」、「記憶は倉庫のような」、「笑顔は花のようだ」という比喩に対して、喩辞と喩辞の初期イメージで構成できる全ての三角構造 56 個それぞれでシミュレーションを 1,000 回行った。例として、初期イメージ内で連想確率が最大の三角構造である(十五夜→月見), (トラック→荷物), (桜→春)についてのシミュレーション結果を図 14~16 に示す。

図 14~16 は三角構造を考慮した対応づけのシミュレーションを 1,000 回行った時に、喩辞の意味を構成する対象が被喩辞の意味を構成する対象に何回対応づけられたかということを示している。「あくびは満月のような」という比喩において、十五夜も月見も対応づくものがないことが最も多く 330 回であった。また回数としては少ないが眠い, 睡眠, 寝不足, 眠気などに

対応づくことがある。次に「記憶は倉庫のようだ」という比喩においては、トラックも荷物も対応づくことが最も多く 520 回であった。また 219 回ではあるが荷物は忘れるに対応づけられることがある。最後に「笑顔は花のようだ」という比喩において、桜は楽しいに、春は嬉しに correspond つけられることが多く、その回数はそれぞれ 490 回, 445 回である。また、対応つかないことは 8 回であり、ほとんどの場合いずれかの対象に対応づけられることが分かる。この結果から、慣習性が異なる比喩についても、三角構造を考慮しながらの対応づけを行うことで、対象同士の対応づけの傾向から変化することが示された。

6. 人間の対応づけとシミュレーション結果の比較

対象同士の対応づけの傾向、三角構造同士の対応づけの傾向それぞれについて、人間の対応づけとの類似度を調べるためにスピアマンの順位相関係数を計算した。この相関係数が高いほど、シミュレーションと人間の対応づけが近いことを示唆する。喩辞の対象それぞれについて、その対象が TINT の対象同士の対応づけでどのように対応づけられたのかというデータと、その対象を人間がどのように対応づけたのかという

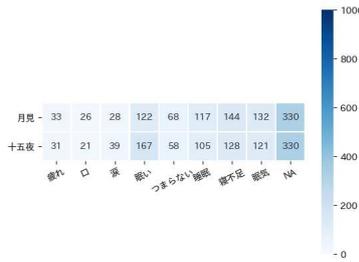


図 14: 三角構造を考慮した TINT の比喩の解釈となる、喩辞の対象から被喩辞の対象への対応づけ：あくびは満月のような



図 15: 三角構造を考慮した TINT の比喩の解釈となる、喩辞の対象から被喩辞の対象への対応づけ：記憶は倉庫のような



図 16: 三角構造を考慮した TINT の比喩の解釈となる、喩辞の対象から被喩辞の対象への対応づけ：笑顔は花のような

データで相関係数を計算した。三角構造の対応づけについては、そのシミュレーションで喩辞のコスライス圏の初期状態として設定した対象のみ、相関係数を対象同士の対応づけと同様に計算した。

「あくびは満月のような」、「記憶は倉庫のような」、「笑顔は花のような」の3つの比喩それぞれで、対象同士の対応づけのシミュレーション結果と人間の対応づけとの相関係数を表2~4に示す。

これを見ると「あくびは満月のような」という比喩の対象同士の対応づけでは、有意水準10%で有意な対応づけはうさぎ、5%で有意な対応づけは月見、十五夜、夜となっている。次に「記憶は倉庫のような」という比喩の対象同士の対応づけでは、有意水準10%でも有意な対応づけはなかった。逆に負の相関係数を持つ対象も見られた。最後に「笑顔は花のような」という比喩の対象同士の対応づけでは、有意水準10%で有意な対応づけは春、5%で有意な対応づけは綺麗、1%で有意な対応づけは贈り物、美しい、桜、香り、バラ、花言葉であった。この比喩に関しては、全て対象の対応づけについて、人間と有意に相関がある対応づけが行えていることが分かった。

次に56個の三角構造同士のシミュレーション結果と人間の対応づけの相関係数を計算し、有意水準10%、5%、1%で有意な三角構造について表5~6に示す。

これを見ると「あくびは満月のような」という比喩の三角構造同士の対応づけでは、有意な対応づけを行うことができた三角構造は5個存在した。特に、相関係数が最も大きい三角構造である(月見→うさぎ)では対象同士の対応づけと人間の相関係数を上回るという結果になった。次に「記憶は倉庫のような」という比喩の三角構造同士の対応づけでは、対象同士と同様に有意水準10%でも有意な対応づけはなかった。最後に「笑顔は花のような」という比喩の対象同士の対応づけでは、有意な対応づけを行うことができた三角構造は15個存在した。しかし、相関係数が最も大きい三角構造である(バラ→香り)でも対象同士の対応づけと

人間の相関係数よりは低いという結果になった。

これらの結果をまとめると、慣習性の高い比喩である「笑顔は花のような」では、対象同士の対応づけ、三角構造同士の対応づけの両方でかなり人間に近い対応づけが行えている。また、慣習性が低い比喩である「あくびは満月のような」では「笑顔は花のような」には及ばないものの、対象同士の対応づけ、三角構造同士の対応づけの両方で人間に近い対応づけが行えている対象もあった。しかし、慣習性が中程度の比喩である「記憶は倉庫のような」では対象同士の対応づけ、三角構造同士の対応づけ共に人間とは異なる対応づけを行っていた。

7. 対象同士の対応づけと三角構造同士の対応づけの比較

対象同士の対応づけと人間の相関係数、三角構造同士の対応づけと人間の相関係数の比較を行う。対象同士の対応づけと人間の対応づけの相関係数、三角構造同士の対応づけと人間の対応づけの相関係数において、三角構造同士の対応づけと人間との相関係数が、対象同士の対応づけと人間の相関係数を上回っていれば、構造を考慮することで人間に近い判断ができていくと解釈できる。そこで、三角構造同士の対応づけと人間の相関係数が、三角構造をなすどちらの対象においても、対象同士の対応づけと人間の相関係数を上回っているもの、下回っているものをそれぞれ調べた。その結果、「あくびは満月のような」では上回った三角構造が6個、下回った三角構造が29個、「記憶は倉庫のような」では上回った三角構造が0個、下回った三角構造が35個、「笑顔は花のような」では上回った三角構造が0個、下回った三角構造が47個であった。この結果から、3つの比喩全てにおいて対象同士の対応づけと人間の相関を下回る三角構造の数が多いことがわかり、今回の比喩では対象同士の対応づけの方が人間に近い判断ができていくことを示している。

表2: TINT 対象同士の対応づけと人間の対応づけの 表3: TINT 対象同士の対応づけと人間の対応づけの 表4: TINT 対象同士の対応づけと人間の対応づけの
 相関係数:あくびは満月のような 相関係数:記憶は倉庫のような 相関係数:笑顔は花のような

イメージ	相関係数	p 値	イメージ	相関係数	p 値	イメージ	相関係数	p 値
月見	0.73	0.02	港	0.57	0.11	花言葉	0.98	4.2e-6
十五夜	0.72	0.03	保管	0.47	0.21	バラ	0.96	3.2e-5
夜	0.71	0.03	フォークリフト	0.4	0.29	香り	0.9	0.001
丸い	0.63	0.07	暗い	0.32	0.41	桜	0.89	0.001
うさぎ	0.6	0.09	物置き	0.14	0.72	美しい	0.83	0.01
団子	0.51	0.16	広い	-0.15	0.7	贈り物	0.8	0.01
狼	0.46	0.21	荷物	-0.15	0.7	綺麗	0.74	0.02
明るい	0.33	0.39	トラック	-0.31	0.42	春	0.61	0.08

表5: TINT 三角構造の対応づけと人間の対応づけの相関係数 (相関係数の合計の降順):あくびは満月のような

三角構造		相関係数		p 値	
dom	cod	dom	cod	dom	cod
十五夜	→ 月見	0.72	0.75	0.03	0.02
月見	→ うさぎ	0.8	0.76	0.01	0.016
月見	→ 丸い	0.77	0.68	0.016	0.045
丸い	→ 団子	0.68	0.59	0.044	0.093
丸い	→ 十五夜	0.74	0.6	0.024	0.088

表6: TINT 三角構造の対応づけと人間の対応づけの相関係数 (相関係数の合計の降順):笑顔は花のような

三角構造		相関係数		p 値	
dom	cod	dom	cod	dom	cod
バラ	→ 美しい	0.75	0.66	0.02	0.053
バラ	→ 香り	0.82	0.91	0.007	0.001
バラ	→ 綺麗	0.73	0.73	0.025	0.026
花言葉	→ 美しい	0.7	0.67	0.035	0.049
美しい	→ バラ	0.73	0.73	0.026	0.025
美しい	→ 桜	0.74	0.68	0.023	0.044
美しい	→ 綺麗	0.63	0.72	0.07	0.03
春	→ 桜	0.66	0.75	0.051	0.019
香り	→ バラ	0.93	0.73	0.0	0.025
桜	→ 美しい	0.66	0.65	0.053	0.06
桜	→ 春	0.66	0.74	0.053	0.024
桜	→ 綺麗	0.68	0.69	0.046	0.041
綺麗	→ バラ	0.63	0.73	0.07	0.025
綺麗	→ 美しい	0.7	0.69	0.037	0.038
綺麗	→ 桜	0.81	0.64	0.008	0.066

8. 考察

以前に行われたシミュレーション (池田・布山・西郷・高橋, 2021) では, 三角構造同士の対応づけの方が, 対象同士の対応づけよりも人間に近い判断が行えているという結果であった. しかし, 今回のシミュレーションでは, 7. 節の結果から, 対象同士の対応づけの方が人間に近い判断が行えているとの結果が出た. この結果の違いはどこにあるのかを考察する.

以前と今回では行なったシミュレーションに違いはない. したがって, 対象にした比喻や用いたデータに影響されたと考えられる. 対象とした比喻の違いとしては, 以前は慣習性が高い「蝶は踊り子のような」という比喻を対象とし, 今回は慣習性が異なる比喻であ

る「あくびは満月のような」、「記憶は倉庫のような」、「笑顔は花のような」の3つを対象とした. 共に慣習性の高い比喻である「蝶は踊り子のような」と「笑顔は花のような」の慣習性はそれぞれ, 8.42と8.33と大きな違いはない. しかし, 今回は慣習性の高い, 中程度, 低いごとに1つの比喻でしか検証を行っていない. そのため, 慣習性による影響ではなく, その比喻表現固有の影響である可能性も考えられる. したがって, 慣習性の違いによる影響についてはより多くの比喻を用いた分析が必要であると考えられる.

もう一つは用いたデータの違いである. 以前に用いたデータのうち, 喩辞・被喩辞から連想する初期イメージは著者らが定めていた. しかし, 今回は実験を行い, 取得したデータから初期イメージを定めている. この実験の際には, 参加者にはカバーストーリーとして連想ゲームであると伝えられ, 比喻の文脈であるとは伝えられなかった. さらに, ある比喻について喩辞から連想する単語と被喩辞から連想する単語は, それぞれ別の参加者により回答されていた. この初期イメージの定め方が原因であると考えられる. 連想の際に比喻という文脈を与えられなかったことで, 比喻理解を行う際の連想は異なる, 連想を行なった可能性があった. さらに, 喩辞から連想する単語と被喩辞から連想する単語を別の実験参加者が回答したことによって, 喩辞・被喩辞のどちらかの構造を考えてから, もう一方の構造を考えるということも行なっていなかった. これらのことにより, 構造を考えた上で対応づけを行う三角構造同士の対応づけよりも, 連想をそれぞれ独立で対応づける対象同士の対応づけの方が, 今回は人間に近い判断ができたと考えられる.

9. おわりに

本研究では, 不定自然変換理論に基づく比喻理解モデルが慣習性の異なる比喻についても, どの程度人間に近い判断ができるかを検証するために行なった. 直喩刺激-解釈セット (岡・大島・楠見, 2019) から慣習性が高い・中程度・低い3つの比喻を用いて, TINT の

対象同士の対応づけ、三角構造同士の対応づけの2種類のシミュレーションを行なった。シミュレーションに必要なデータとシミュレーションと人間の比較を行うためのデータを収集するために、最初に連想イメージ取得実験を行い、得たデータを用いて、喩辞・被喩辞の意味の構造を定めた。次に、連想強度取得実験を行い、自然変換の探索の際に必要な連想確率を取得した。さらに、人間の比喩解釈のデータを実験により取得し、シミュレーション結果が人間に近い判断が行えているかを検証した。その結果、慣習性の高い「笑顔は花のようだ」については対象同士の対応づけも、三角構造同士の対応づけも人間に近い対応づけが行えていた。また、慣習性の低い「あくびは満月のようだ」については「笑顔は花のようだ」に比べると劣るが、対象同士の対応づけも三角構造同士の対応づけもいくつかの対象についてはある程度人間に近い判断ができていた。しかし、慣習性が中程度の「記憶は倉庫のようだ」については対象同士の対応づけ、三角構造同士の対応づけの両者ともに人間の判断から遠い対応づけを行っていた。

今後の展望を述べる。今回は、慣習性が高い、中程度、低い比喩からそれぞれ1つを対象にシミュレーションを行なった。今後は慣習性ごとに1つではなく、複数の比喩を対象にシミュレーションを行い、慣習性の違いについてより検証していきたい。また、意味の初期状態（コスライス圏）を取得する実験を行う際に、比喩の文脈であることを意識させ、また喩辞から連想するイメージと被喩辞から連想するイメージを同じ実験参加者に回答させるたデータを用いることで、シミュレーション結果が変わってくるのかどうかを検証したい。さらに、初期イメージを8個など固定させるのではなく、シミュレーションの中に意味の構造を発展させる過程を設けたい。これを行うことで、対応づけが行われなかった場合には、別のイメージへと連想を発展させ、再度対応づけを行うことができ、より柔軟な対応づけを行うことができると考えられる。

References

- 布山 美慕 西郷 甲矢人, (2018). 不定自然変換理論の構築：圏論を用いた動的な比喩理解の記述, 知識共創, 8, III, 5, 1-11.
- Miho Fuyama, Hayato Saigo, Tatsuji Takahashi (2020). A category theoretic approach to metaphor comprehension: Theory of indeterminate natural transformation, *BioSystems*, 104213.
- 池田 駿介 布山 美慕 西郷 甲矢人 高橋 達二 (2021). 不

定自然変換理論に基づく比喩理解モデルの計算論的実装の試み, 認知科学, 28, 1, 39-56.

- 平 知宏 楠見 孝 (2011). 比喩研究の動向と展望, 心理学研究, 82, 3, 283-299.
- 岡 隆之介 大島 裕明 楠見 孝 (2019), 比喩研究のための直喩刺激-解釈セット作成および妥当性の検討, 心理学研究, 90, 1, 53-62
- Holyoak, K. J. & Stamenković, D. (2018). Metaphorcomprehension: A critical review of theories and evidence, *Psychological bulletin*, 144, 641-671.
- Genter, D. (1983), Structure-mapping: A theoretical framework for analogy, *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Falkenhainer, B., Forbus, K. D., & Gentner, D. (1989). The Structure-Mapping Engine: Algorithm and Examples, *Artificial Intelligence*, 41, 1-63.
- Chalmers, D. J., French, R. M., & Hofstadter, D. R. (1992). High-level perception, representation, and analogy: A critique of artificial intelligence methodology, *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 4, 185-211