

比喩理解における意味構造の対応づけ ：不定化した自然変換の探索として

Associating semantic structure in metaphor comprehension
: as a finding indeterminate natural transformation

布山美慕*¹
Miho Fuyama

西郷甲矢人*²
Hayato Saigo

*¹玉川大学
Tamagawa University

*²長浜バイオ大学
Nagahama Institute of Bio-Science and Technology

In the present paper, we propose a new theory named “Theory of indeterminate natural transformation (TINT)” to investigate the processes of creating meanings as association relationships between images, focusing on the metaphor comprehension as an example. TINT models the meaning creation as a constructing indeterminate natural transformation which is defined by the category theory and stochastic processes. This theory allows us to represent structure-structure interactions between the meaning of target and source of metaphor.

1. 意味の創造過程としての比喩理解

私たちはイメージの世界に生きている。いま見えているもの、聞いていること、触れている感覚、味わい、感じる匂い、こういった五感や体性感覚に基づくイメージ、想像上の架空のイメージ、言語的あるいは非言語的なイメージ、そういった種々のイメージの中で私たちは生きている。たとえば、グラス、雪、月、母、ドラゴン、文字の「あ」、数字の「49」、積分、神様、あの彼、などのイメージがあるだろう。

私たちはこれらのイメージに対して種々の意味を感じる。「月」は私にとってはどのような意味を持つか、と考えると、月は私にとって夜空にあり、明るく、アルテミスのように賢く美しく、同時に狂気も思わせ、また小さい頃に家族と一緒に見た思い出が浮かび...といったように無数の意味が現れる。

人は、こういったイメージやその意味を新たに創造することができる。実際、日常的にこの創造をなしている。身近には“花”についての知識を得ることで“花”のイメージの意味が変化することもあれば、数学や芸術などの仮想的な世界、あるいは“現実世界”を変革しているような種々の科学技術や多様な文化を築き上げることもある。それらはこの豊かなイメージの意味の創造によるものと考えられる。

前述のイメージの意味として、様々な想起される内容はそれ自体また別のイメージである。これを踏まえ、著者らはイメージの意味を、そのイメージから他のイメージへの想起関係の総体として捉えたい。本論文では、この作業仮説を元に、イメージの意味の創造過程の端的な一例として比喩理解に注目し、比喩理解の新しい理論として不定自然変換理論 (Theory of Indeterminate Natural Transformation) の提案を行う。比喩は「A は B のようだ」というようにあるものを別のものと言い表すことである (このとき、A を被喩辞、B を喩辞という)。A と B の間の想起関係がこの比喩を認識する以前に弱ければ、「A は B のようだ」という表現を知ることによって、A から B への新しい想起関係が生まれる。A からの想起関係の総体が A の意味だとすると、これは A の意味の変化、新規な A の意味の創造と見なせる。一つの想起関係だけが増えているため、新規な意味の創造過程としてもっとも端的な場合の一つである

う。したがって、(新規)比喩の理解過程を理論化することで、新規な意味の創造過程の理論の基礎の構築となることが期待できる。

2. 圏論の利用

「A は B のようだ」という比喩において、A と B は異なるイメージであるが、A と B はなんらかの意味で同じため、このような比喩が理解されうると考えられる。このように、自明に異なるもの間の同じさを扱う方法論として、数学の一分野である圏論の概念の応用が有用と考えられる [西郷 17]。加えて、圏論は種々の関係性を扱うことに優れており、こういった“同じさ”を関係性の関係として表現できる。これは、あるイメージの意味をあるイメージから別のイメージの想起関係として捉える本研究の思想と相性が良いと考えられる。こういった観点から、圏論の概念を利用して比喩の意味理解の過程の理論化を試みる。

本節ではごく簡単に必要となる圏論の概念を説明する。より詳しくは [MacLane 98]などを参照されたい。不定自然変換理論に必要な圏論の主要な概念は“圏”、“関手”、“自然変換”、“コスライス圏”である。

圏とは、大まかに言えば、「対象」たちを連絡する合成可能な矢印=「射」たちのなすネットワークである。対象はなんらかの現象を表し、射は現象の間の変換や過程を表すと解釈できる。形式的には、圏とは、対象と射からなる次の条件を満たす体系である。「対象」と「射」の関係について、まず各射 f には、2つの対象 $\text{dom}(f) \rightarrow \text{cod}(f)$ とが対応づけられていて、それぞれ域、余域と呼ばれる。 $\text{dom}(f)$ と $\text{cod}(f)$ は同じ対象であっても良い。

「射 f の域が X 、余域が Y である」ということを

$$f : X \rightarrow Y$$

あるいは

$$X \xrightarrow{f} Y$$

などと記し、こういった矢印を用いて組み上げられた表記を図式と呼ぶ。図式中の矢印の向きは左から右に限らない。

各対象 X には、 X を域とし、余域とするような射 1_X が対応づけられており、 X の恒等射と呼ばれる。 X の恒等射 1_X については、 $1_X : X \rightarrow X$ である。

連絡先: 布山美慕, 玉川大学, 東京都町田市玉川学園 6-1-1 玉川大学工学部機械情報システム学科 岡田研究室 (133 室), 042-739-8326, miho02@sj9.so-net.ne.jp.

次に、射 f, g で、 $\text{cod}(f) = \text{dom}(g)$ となるものがあつたとき、つまり、

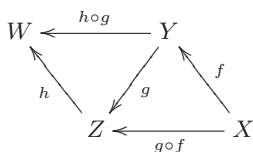
$$Z \xleftarrow{g} Y \xleftarrow{f} X$$

というような状況のとき、こういった f, g に対しては、これらの合成と呼ばれる射

$$Z \xleftarrow{g \circ f} X$$

が存在する。

これらの対象や射が満たすべき関係として、次の2つを要請する。

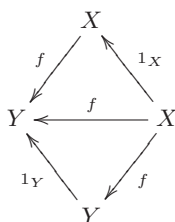


一つめは結合律で、上の図式のような状況のとき、 X から W への経路は平行四辺形の上側を通る経路 $((h \circ g) \circ f)$ と下側を通る経路 $(h \circ (g \circ f))$ の二種類が考えられるが、これらが射として同じものでなければいけないという要請である。つまり、

$$(h \circ g) \circ f = h \circ (g \circ f)$$

となる。このように、図式内の対象から対象への道筋（つまり射の合成方法）が複数あるときに、結果が選び方によらない場合、その図式は可換であると呼ばれる。

この概念を用いれば、二つめの関係である単位律は、任意の射 $f : X \rightarrow Y$ に対して、下記の図式が可換であることを要請するものとして述べられる。



つまり

$$f \circ 1_X = f = 1_Y \circ f$$

でなければならないというルールである。

まとめると、圏には「対象」と「射」とが備わっていて、これらは域、余域の概念を通じて関係しあっており、射には結合律をみたす合成という操作があり、対象には単位律をみたす恒等射が紐付けられている。

次に、二つの圏があつたときに、これらの圏の間の同じさの一種として関手を次のように定義する。

定義1: 圏 C の対象、射から圏 D の対象、射への対応 F が関手 (functor) であるとは、以下の3条件をみたすときにいう。

1. C の射 $f : X \rightarrow Y$ を D の射 $F(f) : F(X) \rightarrow F(Y)$ に対応させる。
2. C の各対象 X の恒等射 1_X について、 $F(1_X) = 1_{F(X)}$ となる。

3. C の射 f, g の合成 $f \circ g$ について、 $F(f \circ g) = F(f) \circ F(g)$ となる。

つまり、関手を関手に「きちんと」対応させるものが関手であると言える。ただし、この関手の定め方は一意とは限らない。

関手の定め方は一意とは限らないため、複数の関手を考えることができる。すると、これら複数の関手の間の変換を考えることができる。これが自然変換である。これは、ある圏と別の圏の一つの対応づけが自然変換を通じて他の対応づけに変換されると見ることができ、いわば関手自体を対象と見てそれらの間の射を考えることに相当する。

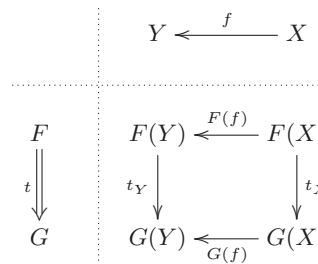
定義2: F, G は圏 C から圏 D への関手とする。 t が F から G への自然変換 (natural transformation) であるとは、以下の2条件をみたすときにいう。

1. t は、 C の各対象 X に対して D の射 $t_X : F(X) \rightarrow G(X)$ を対応させる *1。
2. C の各射 $f : X \rightarrow Y$ について、 $F(X)$ から $G(Y)$ への射として

$$t_Y \circ F(f) = G(f) \circ t_X$$

が成り立つ。

この自然変換の図式は次のように描くことができる。



次に、イメージの意味の総体を表すのに用いるコスライス圏の概念を導入する。

定義3: C を圏、 X を C の対象とすると、コスライス圏 X/C を次のように定義する。

1. 対象は $\text{dom}(f) = X$ となる全ての射 $f \in C$ 。
2. 射は $f : X \rightarrow a$ から $g : X \rightarrow b$ への、 $h \circ f = g$ を満たすような $h \in C$ 。
3. 射の合成は C の合成で行う。
4. 恒等射は C の恒等射を引き継ぐ。

3. 不定自然変換理論の骨子

3.1 被喩辞と喩辞の間の意味ある関手の自然変換による探索

不定自然変換理論では、次のようにイメージの圏とイメージの意味の圏を定義する。

定義4: イメージの圏 C の対象はイメージ (一節で述べたように、五感等に基づくものでも、言語的・非言語的なものでも、抽象的でも具体的でも良い種々のもの)、 C の射はそれら

*1 つまり自然変換は、そのそもそもの「身分」としては、対象から射への対応である。

の間の想起関係とする（対象間の射は複数あって良いが、この拡張は今後の研究にし、本論文ではこれを想起可能性として一つに限定して議論する）。

定義 5: A がイメージの圏 C の対象であるとする。このとき A の意味の圏をコスライス圏 $A \setminus C$ で表現する。

1 節で述べたように、不定自然変換理論ではイメージの意味を他のイメージとの想起関係として捉える。たとえば、赤の意味は、赤から想起される他のイメージとの想起関係全体と考え、これを赤のコスライス圏として定義する。そして、不定自然変換理論では比喩理解の過程を次のようにコスライス圏の関手の自然変換の探索過程と見なす。

以上の定義のもとに、不定自然変換理論は比喩の意味理解を以下のように説明する。まず、「 A は B のようだ」という比喩がなされたとする。すると、 A から B への想起が起こる。これは図 1 のように表現されたイメージ A と B の意味を表すコスライス圏 $A \setminus C$ と $B \setminus C$ の間に、図 2 に示すように比喩によって一つの射 f が生まれることに相当する（この f によって、厳密には全体の圏が変化するため、 C' と記している。ただし、あとで確率過程を導入して定式化しなおす際にこの変化は吸収される）。この f によって、自然に一意的にコスライス圏 $B \setminus C'$ から $A \setminus C'$ への関手 $f \setminus C'$ が生まれる。ここで、 $f \setminus C := (\cdot) \circ f : B \setminus C \rightarrow A \setminus C$ であり、たとえば、図 2 の $b_1 \in B \setminus C'$ を $b_1 \circ f \in A \setminus C$ にうつすような関手である。この関手を *Base of Metaphor Functor* と呼ぶ。この Base of Metaphor Functor は、図 2 で見れば、「 B にとっての y 」を「 A にとっての B にとっての y 」というようなかたちで B を媒介として y と A との想起関係を作る。しかし、このように B を経由するかたちでは、直接的な想起関係でないため、比喩の解釈が不明確で、比喩理解がなされたとは考えにくい。そこで、 $f \setminus C'$ の自然変換によってより自然な関手 F を見出し、意味を理解しようとする。これは、たとえば、 $b_1 \circ f$ に対応するものコスライス圏 $A \setminus C$ の対象を探索することに相当する（すでに $b_1 \circ f \in A \setminus C'$ なので、 $A \setminus C'$ の射の探索となっており、自然変換の探索に相当する）。この探索によって、図 3 のようにに対応する j が見つかる（ただし他の対象との関係性も含めて自然変換のかたちで対応することが条件）、この対応づけによって新たな関手 F が見出される。この対応づけでは、「 B にとっての y 」は「 A にとっての j 」というように、 B と A それぞれから直接に想起されるイメージ同士の間に対応づけがなされ、比喩の意味が解釈される（たとえば、「薔薇のような愛」という比喩なら、「薔薇にとってのトゲ」が「愛にとっての残酷さ」のように対応することで、この比喩の意味の理解が進む）。こういった一連の対応づけをなす関手 F が比喩の意味となると考える。ただし、自然変換は強い条件であり、コスライス圏 $B \setminus C'$ から $A \setminus C'$ への関手そのもの、つまりコスライス圏 $A \setminus C'$ と $B \setminus C'$ 全体に対して見出すことは通常難しいと考えられる（「薔薇」から想起されるイメージ全てに対して「愛」から想起されるイメージの全てを単一の解釈で結びつけることは難しい）。したがって、コスライス圏 $A \setminus C'$ とコスライス圏 $B \setminus C'$ の部分的な圏同士を結びつける関手に対する自然変換を探索すると考えるのが妥当であろう。部分的な圏は複数あり、自然変換も複数ありえるため、一つの比喩には複数の解釈がありえ、それらが並存する状態が比喩理解の状態だと考えられる。

3.2 動的な理解過程の記述のための圏の不定化

3.1 で記述したような圏の変化・発展過程（比喩の指定による射 f の発生や、自然変換の探索過程など）は圏論の枠組みの中では表現できない。そこで、これらの動的な過程を表現す

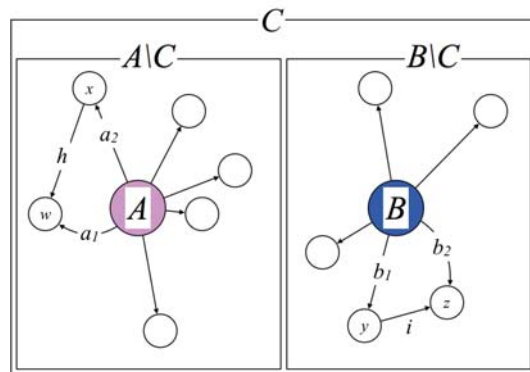


図 1: イメージ A の意味とイメージ B の意味を表現するコスライス圏 $A \setminus C$ と $B \setminus C$ 。

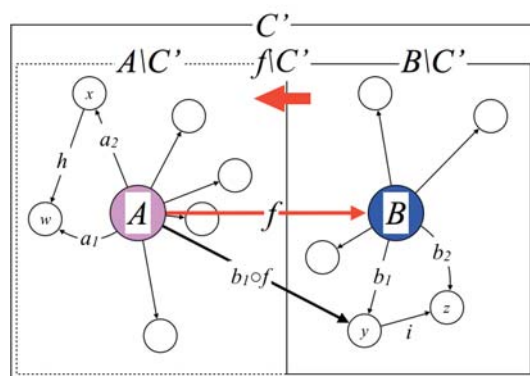


図 2: 比喩の指定。 A は B のようだという比喩の指定によって f が生まれる。 f を元に $f \setminus C$ (Base of metaphor functor) が生まれる。

るために、不定自然変換理論では確率的な過程を導入する。確率過程の入れ方については、現在研究を進めており、本論文では現在までのアイデアを記す。

基本的なアイデアとしては、イメージの圏 C の射である想起に、想起の確率的な重み μ を導入し、かつこの想起の連鎖過程のルールとして射の励起と緩和のルールを導入する。以下にこの不定化のアイデアを比喩理解の過程にそって羅列する。

- 全てのイメージの体系と全ての想起関係は圏 C としてモデル化される。想起確率 μ と励起緩和のルールは以下のように導入される。
- イメージ A の意味はコスライス圏と想起確率 μ によってモデル化される
- 「 A は B のようだ」という比喩表現によって、射が励起される。 f は f の μ の値に関わらず必ず励起される。この射 f の励起を契機に、励起と緩和の過程を経て Base of metaphor functor に対する自然変換を満たす関手が構築される。
- 励起の過程は以下のルールに従う。

0 (Basic rule): 励起した二つの射の合成によってできた射は励起する。域と余域の対象と同一視できる

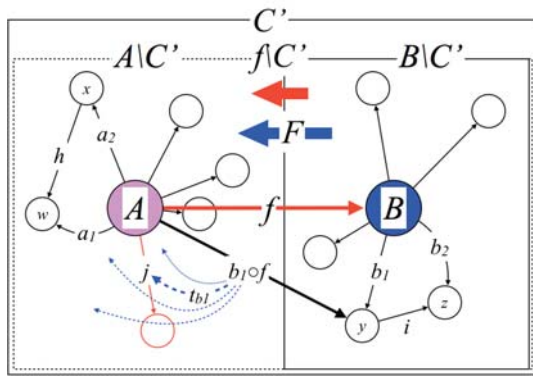


図 3: $f \setminus C$ に対する自然変換が探索され、比喩の関手 F が構築される。

恒等射が励起している射は励起する (μ に関わらず必ず励起する)。

- 1 (Neighboring rule): 励起した射の余域を域に持つ射は μ に依存して決まるある確率で励起する。
- 2 (Fork rule): 域を共有している射が励起しているとき、その余域の間の射 (あるいは間の射に相当する合成射) が探索され確率 μ に従って励起する。ルール 1 あるいは 2 の特別な場合として、逆射も確率 μ で励起する。

- 緩和の過程は以下のルールに従う (励起に比較して長い時間で緩和過程は起こる)。

- 1 (Anti-Fork rule): 域を共有する 2 つの射が互いの余域間に射を持たないとき、この 2 つの射の励起はおさまる (2 つの射はその時点の圏からなくなる)

- 以上の過程を経て、不定圏は定まり、励起した射の族は $f \setminus C$ (Base of metaphor functor) の自然変換を成す (ここで生まれる自然変換が不定自然変換である)

- ここまでの不定自然変換の過程によって、 μ の値が変化する (学習が起こる)。この μ の変化はイメージの想起関係の変化であり、この変化によって私たちの世界の見え方が変化する。

4. 既存の比喩の理論との違いと今後の展望

本理論の特徴は、関手と自然変換の概念を用いて、被喩辞と喩辞のイメージの構造の対応づけの記述を既存の理論よりも精緻化した点である。被喩辞と喩辞の概念の構造間の対応づけの探索に注目した類似の理論として、隠喩履歴理論 [Bowdle05] がある。しかし、隠喩履歴理論では、概念が有する種々の特徴の一つずつの対応づけが主であり、本理論が記述を試みている全体の構造同士の対応づけ (たとえば可換図式等で記載される関係性の保存) ほど強い制約は明確ではない。現時点では、本理論の実証的な検証は行なっていないため、実際の人の認知にどちらがより妥当かは不明であるが、この点は理論の違いとして重要であろう。これ以外にも、多くの比喩理解の理論が存在するが (レビューとして [平 11])、こういった他の理論との詳細な比較は今後の課題である。

今後の展望・課題としては以下のような順での研究を検討している。

1. 簡単なトイモデルを作り比喩理解の表現として不定自然変換理論がどの程度妥当か確かめ、改善する
2. 比喩の理解過程の時間的な発展をシミュレーションできるように実装し、人が妥当だと思う比喩の解釈との類似性を調べ、理論の妥当性や改善を試みる。
3. より詳しい先行研究との比較を行う。将来的にはパフォーマンスの比較も行う
4. 人を使った検証実験を考え、試みる

これらのステップごとに本理論を改定し、より良い理論の構築を目指す。特に、自然変換という強い制約に対して、比較的自由度の高い確率過程の導入をどのように行うのか、試行を繰り返しながら検討したい。

また、ステップ 2 のシミュレーションでは、たとえば、コーパスを元にして構築された距離の入った意味空間上での距離の逆数が想起関係に相関すると仮定することで実際の比喩の理解過程をシミュレーションすることを検討している (たとえば、skip gram モデル [Mikolov13] などを用いたベクトル空間を利用できる可能性があるだろう)。こういったシミュレーションによって、定量的・定性的に既存の理論との比喩理解の説明のパフォーマンスの比較が可能となり、本理論の説明範囲が明確になることが期待される。

参考文献

- [西郷 17] 西郷甲矢人: 「同じさ」の措定: 圏論的観点から, JCSS Japanese Cognitive Science Society, pp.334-342 (2017) .
- [MacLane 98] Mac Lane, S.: Categories for the Working Mathematician 5(2). Springer (1998).
- [Bowdle05] Bowdle, B. F. & Gentner, D.: The Career of Metaphor. Psychological Review, 122(1), pp.193-216(2005).
- [平 11] 平知宏・楠見孝: 比喩研究の動向と展望, 心理学研究, 82(3), pp.283-299(2011).
- [Mikolov13] Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv preprint, arXiv: 1301.3781(2013).