

活性拡散ネットワークとずれの解消理論に基づく 詩の鑑賞過程の計算モデル

A computational model of poetry appreciation based on a spreading activation network and the incongruity resolution theory

亀谷 長太[†], 宮本 友樹[†], 内海 彰[†]

Chota Kameya, Tomoki Miyamoto, Akira Utsumi

[†] 電気通信大学

The University of Electro-Communications

c.kameya@uec.ac.jp, miyamoto@uec.ac.jp, utsumi@uec.ac.jp

概要

詩の鑑賞の認知過程に着目した研究は少なく、その過程は明らかになっていない。そこで本研究では、鑑賞の認知過程を明らかにするために、詩的效果の喚起過程を説明するずれの解消理論を計算モデル化する。具体的には、詩の鑑賞過程の意味処理を活性拡散ネットワークでモデル化し、ネットワーク全体の活性度から認知的負荷とずれの解消をモデル化した。また、モデルの妥当性を評価するために、被験者実験で得られた詩的效果の評定結果を目的変数とする重回帰分析を実施した。分析の結果、ずれの解消が詩的效果（美しさ）に有意に影響を与えることが示された。

キーワード：詩、鑑賞過程、詩的效果、活性拡散モデル、ずれの解消理論

1. はじめに

文学作品や詩などの言語芸術の鑑賞において、鑑賞に関係のある要因を明らかにするための実験的な研究が多く行われてきた。これらの研究では、個人の状態・特性 (Hitsuwari & Nomura, 2021) や親和性 (Kraxenberger & Menninghaus, 2017)、韻律・押韻 (Obermeier et al., 2013) といった要素が詩の美的評価に影響を与えていることを示した。一方で、鑑賞の認知過程に着目した研究は少なく、その過程は明らかになっていない。その中で、詩的效果を認識する過程を説明するずれの解消理論 (Utsumi, 2002, 2005) が提案され、メタファーを対象とした評定実験 (Utsumi, 2005) も行われている。しかし、ずれの解消理論をモデル化するような研究は行われていない。

そこで本研究では、詩の鑑賞の認知過程を明らかにするために、ずれの解消理論の計算モデルを構築し、その妥当性を検証することを目的とする。まず、詩の鑑賞過程における意味処理を文中の単語とイメージの近い単語を想起する処理と捉え、鑑賞過程の意味処理を意味ネットワーク上の活性拡散過程として計算モデ

ル化する。次に、意味ネットワーク上の活性度の状態からずれの解消をモデル化する。そして、計算モデルによるシミュレーション実験の結果が、被験者実験から得られた詩的效果の評定結果をどれくらい説明できるかを分析することで、提案モデルの妥当性を検証する。

2. ずれの解消理論

詩的效果を喚起する過程を説明した理論の一つに、ずれの解消理論がある (Utsumi, 2002, 2005)。ずれの解消理論は以下の過程を経て詩的效果が生じると説明している。

1. 意図的な表現のずれが読み手に認知的負荷を与える。
2. その負荷を解消するために多様な解釈を生み出すことで詩的效果が生じる。

認知的負荷が高く、かつその負荷が多く解消されるほど、詩的效果がより大きくなる (Utsumi, 2002)。ずれと解消の考え方は、元々ユーモアの面白さを説明するモデルとして提案されたもので、関連性理論における詩的效果の考え方 (Pilkington, 2014) とも矛盾がない。

3. 計算モデル

本研究では、ずれの解消理論をモデル化するために、詩の鑑賞過程における意味処理を、意味ネットワーク上の活性拡散過程の観点から考える。そして、ネットワーク全体の活性度の状態から、認知的負荷とずれの解消を考える。

3.1 鑑賞過程の意味処理のモデル化

通常の記事の読解では単語の意味を理解し文意を把握することが重要であるが、詩では単語の持つイメージが読解に大きな影響を与える。そこで、詩の鑑賞における意味処理を、読んだ単語とイメージの近い単語を想起する処理と仮定する。そして、このイメージの想起処理を意味ネットワーク上の活性拡散過程としてモデル化する。

活性拡散モデル (Collins & Loftus, 1975) は、単語の意味処理の過程を意味ネットワーク上の活性拡散として模倣したモデルである。意味ネットワークは単語を表すノードと、単語間の関係を表すリンクで構成される。活性拡散モデルの意味処理は、ネットワーク上の単語の活性度がリンクの重みに応じて他の単語へ拡散される過程で表現される。

本研究では、先行研究 (Vitevitch, Ercal, & Adagarla, 2011; Siew, 2019) をベースに活性拡散過程を計算モデルとして表現する。この活性拡散モデルの時点 t における単語 i の活性度 $a_i(t)$ を、次式で定義する。

$$a_i(t) = r \cdot a_i(t-1) + (1-r) \cdot fam_i \cdot \sum_j w_{ji} a_j(t-1) \quad (1)$$

$$w_{ij} = \frac{\text{similarity}(i, j)}{\sum_k \text{similarity}(i, k)} \quad (2)$$

$$\text{similarity}(i, j) = \begin{cases} \cos(i, j) & \cos(i, j) \geq \theta \\ 0.0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

式 (1) の r は次ステップへ保持する活性度の割合、 fam_i は単語 i の親密度、 w_{ji} は単語 j から単語 i へのリンクの重みを表す。式 (3) の $\cos(i, j)$ は単語 i と単語 j の単語ベクトルから算出されるコサイン類似度、 θ は単語間にリンクを貼るかどうかを決めるためのコサイン類似度の閾値を表す。パラメータはそれぞれ $0.0 < r < 1.0$, $0.0 \leq fam_i \leq 1.0$, $0.0 \leq \theta < 1.0$ の範囲を取る。

行全体の意味が複数の単語の意味から構成されていると考えると、行全体のイメージ想起処理の過程は、行の先頭の単語から末尾の単語まで、出現順に単語のイメージの想起していく過程と表現できる。提案モデルでは、以下の過程に従って、一つの単語のイメージが想起される。

1. 一つの単語に 100 の初期活性度を与えて活性化させる。
2. 意味ネットワーク全体で T 回活性拡散を行う。

この処理を、行中の全単語で出現順に実行して、行全体のイメージを想起する。例えば、ある行が 5 つの単語で構成されていたとき、 $5 \times T$ 回の活性拡散を経て、行全体のイメージ想起処理が完了する。そして、この行単位の処理をタイトルを含めた全ての行で実行し、詩全体の鑑賞過程を再現する。

3.2 認知的負荷とずれの解消のモデル化

鑑賞過程で生じる認知的負荷とずれの解消をモデル化するために、各行を読み終えた後の意味ネットワーク上の活性度のばらつきを考える。読んだ行から受けるイメージが前行までから想起されたイメージと異なる

ときは、まだ活性化されていない単語が活性化されるため、多くの単語が活性化されて意味ネットワーク上の活性度のばらつきが一樣になる。一方、読んだ行から受けるイメージが前行までで想起されたイメージと似ている場合には、すでに活性化されている単語以外はあまり活性化されないため、意味ネットワーク上の活性度のばらつきが偏る。つまり、表現がずれて認知的負荷が生じると前行より活性度のばらつきが一樣になり、意味的なずれが解消されると前行より活性度のばらつきが小さくなる可以考虑することができる。

提案モデルでは、時点 t におけるネットワーク全体の活性度のばらつきを、式 (4) に示す Shannon エントロピーで表現する。ばらつきが一樣になると Shannon エントロピーは大きくなり、ばらつきが小さくなると値は小さくなる。

$$H(t) = - \sum_i p_i(t) \log p_i(t) \quad (4)$$

$$p_i(t) = \frac{a_i(t)}{\sum_j a_j(t)} \quad (5)$$

一文を鑑賞して生じた認知的負荷やずれの解消をモデル化するために、隣接する行間のエントロピーの差を考える。ある詩の行 t と前行 $t-1$ とのエントロピー差を式 (6) に示す。前述の議論を踏まえると、エントロピーの差 $\Delta H(t)$ が正のときには行 t を読んで認知的負荷がかかっている状態、負のときには行 t を読んで負荷が解消された状態を表していると考えられる。本研究では、詩全体の認知的負荷やずれの解消の度合いを数量化するために、詩全体の行数で平均を取る。従って、詩全体の行数を s とすると、認知的負荷は式 (7)、ずれの解消は式 (8) で定義することができる。 $\mathbb{1}_{(\text{condition})}$ は、条件 condition が真のときに 1、偽のときに 0 を返す指示関数である。

$$\Delta H(t) = H(t) - H(t-1) \quad (6)$$

$$\text{認知的負荷} = \frac{1}{s} \sum_{t=1}^s \Delta H(t) \mathbb{1}_{(\Delta H(t) > 0)} \quad (7)$$

$$\text{ずれの解消} = \frac{1}{s} \sum_{t=1}^s |\Delta H(t)| \mathbb{1}_{(\Delta H(t) < 0)} \quad (8)$$

4. モデルの評価

4.1 被験者実験

提案した認知モデルの妥当性を検証するために、被験者実験を実施して詩的効果のデータを収集した。本実験は電気通信大学倫理委員会（倫理管理番号第 23078 号）の承認を得て実施した。被験者はクラウドワークスで募集した。また、実験で使用した詩は、20 世紀から 21 世紀にかけて出版された日本語の叙情詩

表1 パラメータの値

パラメータ	値
r	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5
T	1 ~ 5
θ	0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4

と叙景詩を、それぞれ 10 篇ずつ選定した。詩の平均行数は 13.05 行で、標準偏差は 4.19 であった。

被験者実験では 20 篇の詩をそれぞれ 20 人の被験者が読み、読了後に読んだ詩について美しさ（“詩を読んで美的な魅力を感じた”）、イメージの鮮明さ 1（“詩を読んだときにイメージが容易に浮かんだ”）、イメージの鮮明さ 2（“詩を読んで浮かんだイメージは鮮明だった”）、好み（“この詩を好きだと思った”）をそれぞれ 7 段階のリッカート尺度（1：全くそう思わない，7：強くそう思う）で評価してもらった。これらの評定項目は先行研究 (Hitsuwari & Nomura, 2021) を参考に決定した。また、それぞれの詩についてこれまでに読んだことがあるかどうか回答してもらった。

4.2 シミュレーション実験

表 1 に実験で使用したパラメータとその値を示す。意味ネットワークの構築には、日本語 Wikipedia エンティティベクトル^{*1}の単語ベクトル（200 次元）を用いた。提案モデルでは、詩に含まれる内容語と、エンティティベクトル内で出現頻度が上位の詩に含まれない内容語を合わせて 15000 語になるように、詩ごとに意味ネットワークを構築した。

親密度は NTT データベースシリーズ「日本語の語彙特性」の単語親密度を使用した。この親密度のデータは 1 から 7 の範囲を取るため、0 から 1 の範囲に正規化して使用した。また、詩に登場するが親密度データベースに存在しない単語は 1 として計算した。

4.3 評価方法

本研究では、提案モデルの認知的負荷とずれの解消が、被験者実験で得られた評定結果を説明できるか重回帰分析を用いて検証する。まず、表 1 に示すパラメータの組み合わせで認知的負荷とずれの解消をそれぞれ求めた。各指標を求める際には、タイトルと 1 行目のエントロピー差を考慮しない ($2 \leq t \leq s$)。次に、認知的負荷とずれの解消を説明変数、美しさ・鮮明さ・好みの平均評定値を目的変数として重回帰分析を実施した。

エントロピーの計算には、活性度の大きさが上位 5000 件の単語を用いた。また、初見か既読かどうか

表2 目的変数が美しさの場合の重回帰分析結果（決定係数の上位 5 件）

r	T	θ	R^2	標準偏回帰係数	
				認知的負荷	ずれの解消
0.1	2	0.1	.652	.049	.828***
0.2	3	0.1	.650	.023	.813***
0.2	3	0.0	.628	.034	.804***
0.1	2	0.0	.606	.033	.792***
0.3	4	0.1	.598	-.022	.767***

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

で認知的負荷や詩に対する評価が変わる可能性があるため、この詩を読んだことがあると回答したデータを省いて、それぞれの詩の平均評定値を求めた。

5. 結果・考察

本稿では、詩の美的鑑賞の認知過程を調査するために、評定結果の美しさに着目して分析する。表 2 に決定係数が最も高かったパラメータの組み合わせ 5 件の重回帰分析の結果を示す。いずれもずれの解消が有意に関係するという結果が得られた。また、ずれの解消の標準偏回帰係数はいずれも正の値となった。一方で、認知的負荷は有意な正の相関が得られなかった。

ずれの解消理論に従うと、認知的負荷とずれの解消の値がそれぞれ大きいほど、美しさが高くなると予想できる。重回帰分析の結果、ずれの解消が有意な正の相関を示し、仮説通りの結果となった。この結果から、鑑賞過程における詩的效果はずれの解消によって生じる可能性が示された。

一方で、認知的負荷と詩的效果の間には、仮説とは異なり有意な正の相関が見られなかった。この結果から、認知的負荷の大きさが詩的效果に関係しない可能性と、認知的負荷を適切にモデル化できていなかった可能性の 2 つが考えられる。認知的負荷を適切にモデル化できていないとすると、意味ネットワーク全体の活性度の単調増加が原因である可能性がある。提案モデルでは、新しい行を読むたびに意味ネットワーク上の活性度が蓄積され、総量が単調に増加していく。その状態で活性拡散が進むと、多くの単語に活性度が拡散し、活性度のばらつきが一様になってエントロピーが大きくなっていく。そのため、時間が経過するほどエントロピーの差 $\Delta H(t)$ が小さくなってしまい、認知的負荷を捉えられなくなった可能性がある。

*1 https://www.cl.ecei.tohoku.ac.jp/~m-suzuki/jawiki_vector/

6. おわりに

本研究では、詩の鑑賞の認知過程を明らかにするために、ずれの解消理論の計算モデルを構築し、その妥当性を検証した。具体的には、意味ネットワーク上の活性拡散に基づいて鑑賞過程の意味処理をモデル化し、意味ネットワーク上の活性度のばらつきから認知的負荷とずれの解消をモデル化した。重回帰分析による検証の結果、ずれの解消が詩的效果に影響を与える可能性が示された。しかし、認知的負荷については、有意な正の相関が得られなかった。

提案モデルでは、詩の単語の意味のみに着目している。しかし、詩の美的評価には音韻が大きく関わっていることが示されている。そのため、意味処理と同時に頭韻や脚韻など韻の認知過程を説明するモデルを検討する必要がある。また、提案モデルでは、鑑賞過程の意味処理を文を構成する単語のイメージ想起と定義しているが、それでは文法やレトリックを考慮できていないとは言い難い。今後は文を単語のイメージだけでなく文として処理できる枠組みを考える必要がある。

References

- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407-428.
- Hitsuwari, J., & Nomura, M. (2021). How individual states and traits predict aesthetic appreciation of haiku poetry. *Empirical Studies of the Arts*, 40(1), 81-99.
- Kraxenberger, M., & Menninghaus, W. (2017). Affinity for poetry and aesthetic appreciation of joyful and sad poems. *Frontiers in Psychology*, 7.
- Obermeier, C., Menninghaus, W., von Koppenfels, M., Raetig, T., Schmidt-Kassow, M., Otterbein, S., & Kotz, S. A. (2013). Aesthetic and emotional effects of meter and rhyme in poetry. *Frontiers in Psychology*, 4.
- Pilkington, A. (2014). Poetic Effects: A relevance theory perspective. In S. Roger D. (Ed.), *Literary Pragmatics (Routledge Revivals)*. Routledge.
- Siew, C. S. Q. (2019). spreadr: An r package to simulate spreading activation in a network. *Behavior Research Methods*, 51(2), 910-929.
- Utsumi, A. (2002). Toward a cognitive model of poetic effects in figurative language. In *Proc. of 2002 IEEE international conference on systems, man and cybernetics*.
- Utsumi, A. (2005). The role of feature emergence in metaphor appreciation. *Metaphor and Symbol*, 20(3), 152-172.
- Vitevitch, M. S., Ercal, G., & Adagarla, B. (2011). Simulating retrieval from a highly clustered network: Implications for spoken word recognition. *Frontiers in Psychology*, 2.