

# 感情遷移ネットワークの分析による感情モデルの検討

## Investigating the emotion model by analyzing the transition network of emotions

岩城 史享, 高橋 達二  
Fumitaka Iwaki, Tatsuji Takahashi

東京電機大学  
Tokyo Denki University  
23rmd06@ms.dendai.ac.jp

### 概要

本研究は、実験を行い収集したデータから感情遷移ネットワークを作成し、その構造を感情の輪と比較する。さらに、感情の類似性、関連性、遷移ネットワークに3つの埋め込み手法を適用し感情の分散表現を獲得する。そして、基本感情同士の演算で混合感情が表現できるかを検討する。感情遷移ネットワークと感情の輪の構造は大部分での類似性と局所的な相違点が確認できた。また、分散表現の演算により感情同士の関係がモデリングできる可能性が示唆された。

キーワード：感情、ネットワーク

### 1. はじめに

認知と感情の相互作用については、幅広い議論がなされている。その中で、認知と感情の関係の仕方は主に2通りあるとされている (Imbir, 2016)。一つ目は、認知が感情の基礎になり得るという仕方である (Hulsey & Hampson, 2014)。例えば、感情の認知的評価理論では、全ての感情プロセスの根底には認知システムがあるとされている (Smith & Ellsworth, 1985)。二つ目は、感情プロセスが認知的結果を持ち得るという仕方である。感情が認知に与える影響についてはいくつか理論が提唱されている。感情状態が人の記憶再生に影響を与えることは気分一致効果と呼ばれ、感情ネットワーク理論として説明されている (Bower, 1981)。また、Frogas は課題内容や判断対象の性質、認知的努力の高低により、感情が異なる影響を判断プロセスに与えることを示した包括的なモデルを提案した (Forgas, 1995)。

自然言語処理や機械学習などの分野では、感情分析に関する研究が盛んに行われている (Acheampong et al., 2020)。それらの一部の研究では、Plutchik により提案された感情の輪というモデルが利用されている (Plutchik, 1980)。Kumar と Vardhan は感情の輪から感情を採用して SNS のテキスト感情分類を試みた (Kumar & Vardhan, 2022)。Qi らは人間とロボットの

インタラクションをより自然にするため、感情の輪を利用した感情、気分、性格特性を含む感情モデルを提案し、人間の感情変化を模倣する社会的ロボットを作成した (Qi et al., 2019)。

感情の輪の妥当性に関する研究として、脳波による検証が行われている (Yamashita & Kudoh, 2022)。しかし、その構造の妥当性についてはまだ議論の余地がある。我々は、こうした感情一つ一つを対象に特徴を抽出した後に翻って全体の構造を把握するようなアプローチに対して、感情同士の結びつきから特徴を抽出するという仕方がより有効なのではないかと考えた。以前の研究では、感情同士の類似性と関連性を考慮した感情ネットワークを作成し、その構造を感情の輪と比較した。結果として、両者は大部分で似た構造を持っていたが、局所的な違いも見られた。また Plutchik は、感情は時系列的なものであるとも述べており (Plutchik, 2001)、我々は感情の遷移関係にも重要な手がかりがあるのではないかと考えた。

本研究では、感情の遷移関係について参加者に問う実験を行い、感情遷移ネットワークを作成した。得られたネットワークを modular decomposition of Markov chain (MDMC) (Okamoto & Qiu, 2022) というソフトウェアクラスタリング手法を用いて分析した。そして、その構造を感情の輪と比較した。また、感情の輪では感情同士の位置関係を円環構造で表現しているが、厳密な距離は定義されていない。我々は、感情ネットワークを空間へ埋め込み、分散表現を獲得することで感情のモデル化を検討する。埋め込み手法としては、MDMC、多次元尺度構成法、Poincare embedding (Nickel & Kiela, 2017) の3つを採用した。それぞれの分散表現について、感情同士の類似度計算から3種の埋め込みと感情の輪を比較する。

本稿は、感情ネットワークの状態を特定の性質を持つ空間に埋め込むことで構造を捉えやすくし、また演算可能にすることで応用しやすくすることを目指す。応用先としては、認知と感情の相互作用のシミュレー

ションにおける認知-感情モデルの入力としての利用や、自然な感情表現をする社会的ロボットの内部表現としての利用などを現段階では想定している。

## 2. 感情の輪

感情の輪は Plutchik が提案した感情モデルである (Plutchik, 1980)。8つの基本感情が円環状に並び、その内側に強派生感情、外側に弱派生感情が配置されている。また、左右で隣り合った2つの基本感情の間にはそれらが混ざった混合感情が位置している。隣り合う感情同士は類似しており、向かい合う感情同士は対立している。図1が感情の輪である。Plutchik は隣り合っていない2つの基本感情からなる混合感情も16個考案している。本実験では、それらを含めた全48個の感情語を日本語に翻訳して使用した。

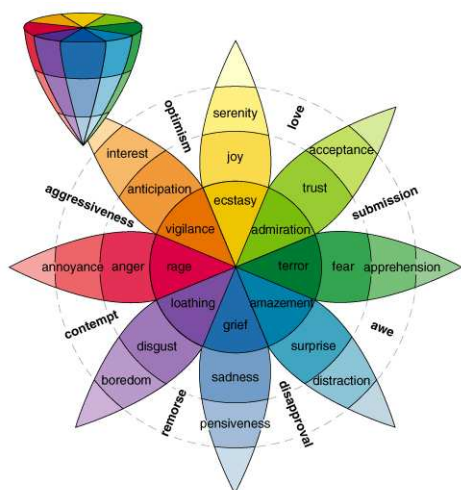


図1 Plutchik の感情の輪 (CC-BY-SA-3.0)

<https://www.fractal.org/Bewustzijns-Besturings-Model/Nature-of-emotions.htm>

表1 実験に使用した感情語

基本感情	喜び 信頼 恐れ 驚き 悲しみ 嫌悪 怒り 期待
強派生感情	恍惚 感嘆 恐怖 驚嘆 悲痛 憎悪 激怒 警戒
弱派生感情	平穏 容認 心配 動揺 憂い 退屈 苛立ち 興味
混合感情	楽観 希望 不安 愛 罪悪感 歓喜 服従 好奇心 感傷 畏敬 絶望 恥 失望 不審 憤慨 自責 羨望 悲観 軽蔑 冷笑 陰鬱 積極性 誇り 優位

## 3. 実験

本実験は、Inohara と Utsumi の日本語の単語ペアの類似度と関連度に関する研究 (Inohara & Utsumi, 2022) と、Kawakita らの人が認識する色の類似度についての研究 (Kawakita et al., 2024) を参考にした。

### 3.1 実験の手続き

本実験は Web 上で自作 Web ページを用いて実施した。参加者は CrowdWorks (<https://crowdworks.jp/>) というクラウドソーシングサイト上で募集した。実験に使用した感情語は表1に示した48単語である。これら全ての順序対について、感情の遷移を問う質問をした。参加者には、ある感情語 A, B について、「Aを感じた後に B を感じることはどのくらいよくありますか?」という質問に対し、「0: 全くない」～「7: とてもよくある」の8段階からドラッグで選択し回答してもらった。また、質の悪いデータを削除するため、catch trial と double-pass という2つのフィルタリング処理を施した。catch trial では、途中に「n という値を選択してください」( $n = 0, 1, \dots, 7$ )という質問を2回出題し、片方でも指示通りの値が入力されなかったデータは削除した。double-pass では、最後に今まで回答した質問の中からランダムに再度20問出題し、その20ペアに関する回答の相関係数が0.4未満のデータを削除した。

本実験の参加者は20～70代の360名だった。その中で、303名(年齢:  $M = 42.04$ ,  $SD = 9.67$ , 性別: 男性162名, 女性140名, その他1名)のデータを使用した。実験に使用した48個の感情語をノードとし、得られた遷移の評価値の回答者の平均を辺の重みとして感情遷移ネットワークを作成した。

## 4. 結果と考察

感情の類似性ネットワークと関連性ネットワークのデータは以前の研究結果 (Iwaki & Takahashi, 2024) を使用した。

### 4.1 感情遷移ネットワークの分析

実験により得られた感情遷移の評価値の分布を類似性、関連性と比較した。使用した各データの回答の総数は統一されていないため、割合で比較した結果を図2に示す。類似性は低評価値の割合が大きく、一方で関連性は高評価値の割合が大きい。感情遷移は関連性に近い分布となることがわかった。しかし、評価値7の時は類似性に近い分布となった。類似性は対象の感情語ペアのみに注目するため低評価値が多くなり、関連性は対象の感情語ペア以外の周囲の要素も考慮するため高評価値が多くなると考えられる。ある感情を感

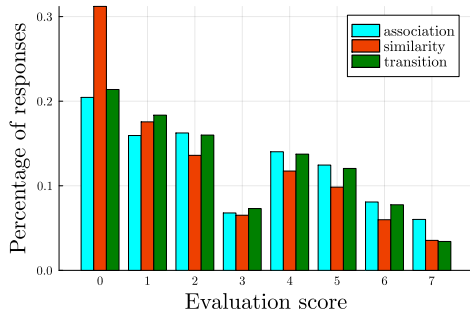


図2 評価値の分布

じているという条件下で別の感情に移行することはどのくらい起こり得るかという遷移の評価は、類似の評価方法より関連の評価方法に近いことが示唆された。評価値7のとき、遷移の評価値の割合が関連に比べ小さいことは、関連と比較すると遷移は評価値6と7の間の差が大きいことを示唆している。これについて、人は自身の経験から感情遷移のような事象の判断をするときは、その事象に対する最大の肯定をしづらい傾向にあるのではないかと考えた。

次に、MDMCを用いて感情遷移ネットワークのコミュニティ抽出を行った結果を表2に示す。MDMCは事前に総コミュニティ数を決めておく必要があり、今回はその数を10とした。また、MDMCには解像度のパラメータ $\alpha$ があり、この値が小さいほどネットワークはより多くの、より小さなコミュニティに分解される。今回は $\alpha = .0001$ とした。 $k$ はコミュニティ番号であり、恣意的に割り振った。MDMCによる

表2 感情遷移ネットワークのコミュニティ抽出結果

$k$	member
1	喜び 平穩 容認 楽観 希望 誇り
2	信頼 驚き 期待 恍惚 感嘆 驚嘆 興味 愛 歓喜 好奇心 積極性 優位
3	恐れ 恐怖 心配 動揺 警戒 不安 不審
4	悲しみ 悲痛 憂い 憎悪 罪悪感 服従 感傷 絶望 恥 失望 自責 嫉妬 悲観 冷笑 陰鬱
5	嫌悪 怒り 激怒 苛立ち 憤慨 軽蔑
6	退屈

コミュニティ抽出の結果、6つのコミュニティに分かれた。この結果と感情の輪の構造を normalized mutual information (NMI) で比較した。この指標は、2つのクラスタリング間に相互情報量があれば1に近い値をとり、なければ0に近い値を取る。感情の輪では、基本感情とその派生感情の集合を1つのクラスタとみなした。感情の輪と遷移ネットワークのNMIは0.77だった。以前の結果で、類似性ネットワークは0.81、関連

性ネットワークは0.71という値をそれぞれ感情の輪とのNMIで示した。いずれも感情の輪の構造との間に相互情報量があると考えられる。他方で、感情の輪では驚きが悲しみに近い場所にあるが表2では信頼と同じコミュニティに分割されていることや、基本感情と派生感情という関係の期待と警戒が信頼と恐れという別々のコミュニティに分解されているなどの違いも見られる。これらの違いは類似性と関連性でも確認できており、今回の結果もそれを支持する形となった。

#### 4.2 感情ネットワークの埋め込み

感情の類似性、関連性、遷移のネットワークから、次の3つの手法を用いてそれぞれ感情の分散表現を獲得した。一つ目はMDMCを用いた方法である。MDMCはソフトクラスタリング手法であり、計算過程でノード毎のコミュニティの確率分布 $p(k|i)$ を生成する。これを分散表現として使用できないかと考えた。二つ目は多次元尺度構成法(MDS)である。MDSは非類似度行列を線型空間に埋め込む手法である。今回は、ネットワークの全ての辺の重み $W$ に対し、 $7-w$  ( $w \in W$ ) という変換を施すことにより非類似度行列を作成して使用した。三つ目はPoincare embeddingである。これは双曲空間埋め込みの手法であり、階層構造を表現することに長けているとされる。Poincare embeddingは辺の重みを考慮できないため、重みが4未満の辺を削除したネットワークを使用した。各手法で埋め込みを行った後、感情の輪で提案されている混合感情をどの程度表現できるかについて調べた。各ネットワークは感情の輪と相互情報量があるため、ネットワークに基づいた基本感情の分散表現から混合感情を表現できるのではないかと考えた。ある2つの基本感情とそれらが混ざった混合感情について、まず2つの基本感情の分散表現の各成分を平均した。そして、その分散表現の近傍何番目に対象の混合感情が位置しているかを求めた。近傍の探索にはcosine類似度を使用した。Plutchikが提案した混合感情は24個あり、その全てについて2つの基本感情の近傍における順位を算出した。以上の処理を埋め込み手法とネットワークの種類ごとに行い、それぞれ近傍順位の平均をとり比較した。結果を表3に示す。それぞれ48感情語中の順位である。MDMCが最も良い成績となった。MDMCはネットワークのコミュニティ抽出手法であるため、最もネットワークの構造を反映した分散表現を獲得することができたと考えられる。一方でPoincare embeddingは他手法と比べ表現力の悪さが目立った。理由としては、用いたネット

表3 埋め込み手法, ネットワークの種類ごとの2つの基本感情の平均分散表現に対する混合感情の近傍順位の平均(分散)

	similarity	association	transition
MDMC	10.92 (10.73)	11.25 (10.53)	11.17 (10.59)
MDS	13.08 (12.72)	13.54 (10.20)	13.46 (11.12)
Poincare	16.13 (13.63)	18.92 (14.26)	19.63 (15.59)

ワークが階層構造を持っていなかったことが考えられる。一般にネットワークにスケールフリー性があると階層的であると言われ, スケールフリー性を持つネットワークは次数分布にべき乗則が現れる。図3に類似性, 関連性, 遷移ネットワークの次数分布を示す。3つのネットワークはすべて重み付きグラフであるため, 次数は重み付きの入次数と出次数の平均と定義した。図3を見ると, 3つのネットワークの次数分布

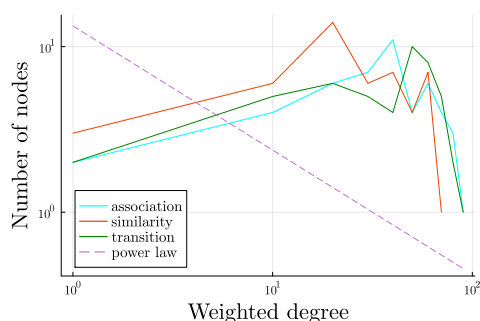


図3 各ネットワークの次数分布

はいずれもべき乗則を示しておらず, 各ネットワークはスケールフリー性を持たない, つまり階層性を有していないことがわかる。したがって, これらのネットワークの埋め込みに Poincare embedding は有効でないことが示唆された。

## 5. おわりに

本研究では, まず認知実験を行い感情の遷移についてのデータを収集した。得られたデータから感情遷移ネットワークを作成し, その構造を感情の輪と比較した。結果として, 大部分で似た構造が確認されたが, 他方で局所的な違いも見られた。これは, 以前行った類似性と関連性ネットワークに基づく検証結果を支持する形となった。また, 3つの埋め込み手法を用いて類似性, 関連性, 遷移ネットワークから感情の分散表現を獲得した。そして, 基本感情同士の演算で混合感情がどれくらい表現できるかを検証し, MDMCが最も混合感情に近い分散表現を得られることを示した。

我々は今回得られた分散表現を用いて, 感情の入出力や感情同士の関係をモデリングできる可能性があるのではないかと考える。また, 感情-認知モデルの入

力やパラメータとして用いることで, 認知と感情の相互作用のシミュレーションにも応用できるのではないかと考えている。さらに, より円滑なヒューマンエージェントインタラクションに向けた社会的エージェントへの応用も目指すところである。

## 文献

- Acheampong, Francisca A., Wenyu, C., Nunoo-Mensah, H. (2020). Text-based emotion detection: Advances, challenges, and opportunities. *Engineering Reports*, 2(7), e12189. <https://doi.org/10.1002/eng2.12189>
- Bower, G. H. (1981). Mood and memory. *American Psychologist*, 36(2), 129–148. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.36.2.129>.
- Forgas, J. P. (1995). Mood and judgement: the affect infusion model (AIM). *Psychological Bulletin*, 117(1), 39–66. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.117.1.39>
- Hulsey, Timothy L. & Hampson, Peter J. (2014). Moral expertise. *New Ideas in Psychology*, 34, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2014.02.001>
- Imbir, Kamil K. (2016). From heart to mind and back again. A duality of emotion overview on emotion-cognition interactions. *New Ideas in Psychology*, 43, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2016.04.001>
- Inohara, K. & Utsumi, A. (2022). JWSAN: Japanese word similarity and association norm. *Lang Resources & Evaluation*, 56, 109–137. <https://doi.org/10.1007/s10579-021-09543-7>
- Iwaki, F. & Takahashi, T. (2024). Investigating the structure of emotions by analyzing similarity and association of emotion words. *The Twenty-Ninth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2024*.
- Kawakita, G., Zelenikow-Johnston, M. A., Takeda, K., Tsuchita, N., Oizumi, M. (2024). Is my “red” your “red”? Unsupervised alignment of qualia structures via optimal transport. *ICLR 2024 Workshop on Representational Alignment*, pp. 1–9. <https://openreview.net/forum?id=4kY8ziFgGy>
- Kumar, P. & Vardhan, M. (2022). PWEBSA: Twitter sentiment analysis by combining Plutchik wheel of emotion and word embedding. *International Journal of Information Technology*, 14, 69–77. <http://s://doi.org/10.1007/s41870-021-00767-y>
- Nickel, M. & Kiela, D. (2017). Poincaré embedding for learning hierarchical representation. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, pp. 1–10. [https://proceedings.neurips.cc/paper\\_files/paper/2017/file/59dfa2df42d9e3d41f5b02bfc32229dd-Paper.pdf](https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2017/file/59dfa2df42d9e3d41f5b02bfc32229dd-Paper.pdf)
- Okamoto, H. & Qiu, X. (2022). Detecting hierarchical organization of pervasive communities by modular decomposition of Markov chain. *Sci Rep*, 12, 20211. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24567-x>
- Plutchik, R. (1980). *Emotion: Theory, reaserch, and experience: Vol. 1. Theories of emotion*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-11313-X>
- Plutchik, R. (2001). The nature of emotions: Human emotions have deep evolutionary roots, a fact that may explain their complexity and provide tools for clinical practice. *American Scientist*, 89(4), 344–350. <https://doi.org/10.1511/2001.28.344>
- Qi, X., Wang, W., Guo, L., Li, M., Zhang, X., Wei, R. (2019). Building a Plutchik’s wheel inspired affective model for social robots. *Journal of Bionic Engineering*, 16(2), 209–221. <https://doi.org/10.1007/s42235-019-0018-3>
- Smith, C. A., & Ellsworth, P. C. (1985). Patterns of cognitive appraisal in emotion. *Journal of personality and social psychology*, 48(4), 813–838.
- Yamashita, T., Kudoh, S. N. (2022). Elucidation of validity of emotion model on EEG and facial expression. *2022 Joint 12th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 23rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS)*, pp. 1–4. <http://dx.doi.org/10.1109/SCISISIS55246.2022.10001972>