

単語の拡散性に差異がある ネーミングゲームの分析

大阪公立大学大学院・情報学研究科 橋本 虎汰郎, 北條 仁志

Kotaro Hashimoto, Hitoshi Hohjo
Graduate school of Informatics,
Osaka Metropolitan University

§1. はじめに

インターネットとソーシャルメディアの普及に伴い、コンテンツの拡散力とその広がり方に関する研究が注目されており、情報の拡散や意見形成を分析するためのマルチエージェントモデルの一つにネーミングゲーム [1, 21] がある。ネーミングゲームは言語や意見などの情報伝播の過程を表現するモデルであるが、ネーミングゲームの中では単語の拡散力は均一となっている。つまり、ネーミングゲームでは伝播する情報の拡散性の違いについて考慮されていない。

情報自体の拡散性を考慮することが必要な事例として、例えば、バイラルマーケティングと噂の伝播が挙げられる。バイラルマーケティング [10] とは、主にオンライン上でコンテンツがユーザからユーザへと急速に広がる現象を利用したマーケティング手法であり、インターネットとソーシャルメディアの普及に伴い企業にとって重要なマーケティング戦略の一つとなっている。Berger と Milkman による研究 [5] では、感情の役割がバイラル性に大きな影響を与えることが示されており、特に、ポジティブな感情や高い興奮を引き起こすコンテンツは、より多く共有される傾向がある。また、噂の伝播について、Rosnow ら [20] は噂の伝播の要因の一つとして、情報の曖昧性を挙げている。このように、情報の内容属性や機能が、伝達意図に影響を与えることが示されている。

本研究では、ネーミングゲームに単語の拡散性に差異を導入したバイラルワードネーミングゲームを提案する。バイラルワードネーミングゲームは、最小ネーミングゲーム [1] にメモリ内の単語の状態遷移、単語ごとに設定するバイラル確率を導入したモデルである。各エージェントのメモリ内の単語に通常状態及びバイラル状態の2種類の状態を設定し、エージェントがその単語を受け取ったときにその単語のバイラル確率に従ってバイラル状態に遷移する。また、エージェントが話し手となった際にバイラル状態の単語を優先

的に聞き手に伝達すると設定する。これにより、バイラル確率が高い単語はバイラル状態になりやすく、優先的に伝達されやすくなる。すなわち、バイラル確率をその単語の拡散力を表すパラメータとして表現している。

本稿は以下のように構成される：2 章ではネーミングゲームについて、3 章では提案モデルであるバイラルワードネーミングゲームについて説明する。4 章では数値実験とその考察を記述し、5 章にてまとめと展望について述べる。

§2. ネーミングゲームと最小ネーミングゲーム

ネーミングゲーム

ネーミングゲーム [1, 21] とは名付け行為とコミュニケーションを繰り返すことで、集団内で共有語彙が発生する様子を表現したマルチエージェントベースモデルである。ネーミングゲームでは、オブジェクトに名前をつける状況を想定している。ここで、オブジェクトとは、現実上あるいは概念上における物体、音、概念等を数理モデルにおいて形式的に表現したものである。また、各エージェントは自らのメモリ内に各オブジェクトに対応する名前の候補（単語）を持つことができる。

コミュニケーションは単語を伝達する話し手、単語を受け取る聞き手の2つのエージェント間で行われる。コミュニケーションの目的は話し手の着目したオブジェクトを単語を用いて正確に聞き手に伝えることであり、以下の手順はその目的に沿って形式化されている。まず、話し手は着目するオブジェクトをランダムに一つ選択する。次に、話し手はメモリ内のそのオブジェクトに対応した単語を一つ選択し、その単語を聞き手に伝達する。続いて、聞き手はその単語を受けとり、メモリ内からその単語に紐づいたオブジェクトを探す。もし、聞き手がメモリ内にその単語を持っており、なおかつ、その単語に紐づいている単語が話し手の着目したオブジェクトならばコミュニケーションは成功となり、そうでない場合は失敗となる。コミュニケーションが成功した場合、話し手と聞き手のメモリから着目したオブジェクトに紐づいた単語の内、今回伝達されたもの以外の単語を削除する。これは、今回のエージェント間でのコミュニケーションを今後円滑化するために成功した単語と同じ単語を使おうとするという様子を表現している。また、コミュニケーションが失敗した場合は、伝達単語を聞き手のメモリ内に着目したオブジェクトに対応する単

語として追加する。これは、聞き手が新しい単語を学習する様子を表現している。

ネーミングゲームの研究において、エージェント同士の関係をネットワークで表現し、そのネットワークにより隣接するエージェント間でしかコミュニケーションが取れないという条件を付けるアプローチが取られることが多い [9]。また、人間の記憶容量に限りがあること [24] や、記憶が忘却される性質 [8]などを考慮したネーミングゲームの研究も行われている。

最小ネーミングゲーム

最小ネーミングゲーム [1] とは、ネーミングゲームにおけるオブジェクトを一つに限定したものである。ネーミングゲームにおいて、多義語が存在しない、すなわち、複数のオブジェクトに紐づく同一の形式を持った単語が存在しない場合、そのネーミングゲームはオブジェクトごとの最小ネーミングゲームが単に組み合わさったモデルとなる。

ネーミングゲームにおいて、 A はそれぞれ全てのエージェントの集合、 $w \in W$ は単語を表す。また、エージェント $a \in A$ はメモリ M_a を持つ。メモリ M_a はエージェントが持つオブジェクトの名前候補の集合であり、 W の部分集合として定義される。

最小ネーミングゲームの手順は以下の通りである。

1. エージェント A の中から話し手 $s \in A$ をランダムに一人選択する。
2. ネットワークにおいて話し手と隣接するエージェントの中から聞き手 $h \in A$ をランダムに一人選択する。
3. 話し手 s はメモリ M_s の中から単語 $w \in M_s$ を一つランダムに選択し、聞き手 h に伝達する。なお、メモリ M_s に単語が存在しない場合はメモリ M_s にすべての単語の集合 W からランダムに選択した単語 $w \in W$ を追加し、その単語 w を聞き手 h に伝達する。
4. 聞き手 h は単語 w を受け取り、以下の場合に沿ってメモリ M_h を更新する。
 - (a) 聞き手のメモリ M_h に話し手が選択した単語 w が存在するとき、話し手 s と聞き手 h のメモリ M_s, M_h からそれ以外の単語を削除する。
 - (b) 聞き手のメモリ M_h に話し手が選択した単語 w が存在しないとき、聞き手 h のメモリ M_h にその単語 w を追加する。

5. 時刻を +1 進め、1~4 を指定回数繰り返す。

§3. 提案モデル

本研究では、最小ネーミングゲームに、単語の状態遷移とバイラル確率を導入したバイラルワードネーミングゲームを提案する。本モデルでは、各エージェントのメモリ内の単語は、通常状態とバイラル状態の2つの状態をとり、バイラル確率に従って状態遷移する。また、エージェントはバイラル状態の単語を優先的に伝達することで、バイラル確率の高い単語の拡散を促進する。

バイラルワードネーミングゲームにおいて、 A はそれぞれ全てのエージェントの集合、 W は全ての単語の集合を表す。エージェント $a \in A$ はメモリ M_a を持つ。メモリ M_a は W の部分集合として定義される。メモリ M_a 内の各単語 $w \in M_a$ に対して、状態 $C(w, M_a)$ を定義する。状態 C は通常状態 N またはバイラル状態 V の2通りとする。また、各単語 $w \in W$ に対して、バイラル確率 P_w を定義する。

バイラルワードネーミングゲームの手順は以下の通りである。

1. 全ての単語の集合 W の中から単語を一つ選び、エージェントのメモリ M_a に追加する。これをすべてのメモリに対して行う。
2. エージェント A の中から話し手 $s \in A$ をランダムに一人選択する。
3. ネットワークにおいて話し手と隣接するエージェントの中から聞き手 $h \in A$ をランダムに一人選択する。
4. 話し手 s はメモリ M_s の中から状態がバイラル状態である、すなわち、 $C(w, M_s) = V$ である単語 $w \in M_s$ を一つ選択し、聞き手 h に伝達する。なお、メモリ M_s にバイラル状態である単語が存在しない場合、単にメモリ M_s の中から単語 $w \in M_s$ を一つ選択し、聞き手 h に伝達する。また、メモリ M_s に単語が存在しない場合はメモリ M_s にすべての単語の集合 W から選択した一つの単語 $w \in W$ を追加し、その単語 w を聞き手 h に伝達する。
5. 聞き手 h は単語 w を受け取り、以下の場合に沿ってメモリ M_h を更新する。
 - (a) 聞き手のメモリ M_h に話し手が選択した単語 w が存在するとき、話し手 s と聞き手 h のメモリ M_s, M_h からそれ以外の単語を削除する。
 - (b) 聞き手のメモリ M_h に話し手が選択した単語 w が存在しないとき、聞き手 h

のメモリ M_h にその単語 w を追加する。

6. 聞き手のメモリにおける単語 w の状態 $C(w, M_h)$ を確率 P_w でバイラル状態 V に遷移させ、確率 $1 - P_w$ で通常状態 N のままにする。

7. 時刻を $+1$ 進め、2~6 を指定回数繰り返す。

なお、すべての単語 $w \in W$ に対して、バイラル確率が $P_w = 0$ である場合は、最小ネーミングゲームと同値になる。

§4. 数値実験

バイラルワードネーミングゲームを用いて数値実験を行い、総単語数・異なる単語数・成功率の推移及び収束時間について分析した。総単語数とはすべてのエージェントのメモリに存在する単語数の合計値であり、異なる単語数とはすべてのエージェントのメモリに存在する単語の種類の数である。また、成功率は直近 100 回のコミュニケーションにおける成功したコミュニケーションの割合として定義する。収束時間は異なる単語数が 1 かつ成功率が 1.0 になった時刻を表す。

数値実験においては、各エージェントのメモリの初期値は各エージェントに固有の単語を一つずつ格納しておいた。また、コミュニケーションの指定回数は予め定めず、収束する、すなわち異なる単語数が 1 かつ成功率が 1.0 になるタイミングまで繰り返した。なお、数値実験シミュレーションの効率性の観点から、調べる各指標の計算と収束判定のタイミングは 100 時刻ごとに行った。

本実験では、ある一つの単語のみに非負のバイラル確率 $p \geq 0$ を付与、それ以外は $p = 0$ とする。このとき、バイラル確率 $p \geq 0$ を与える単語をバイラル単語と呼ぶ。本研究では、バイラル単語のバイラル確率を変化させて数値実験結果の比較を行うことで、拡散力と収束過程の関係について調べた。

エージェントの数を $|A| = 10, 20, 40, 50, 60, 80, 100, 200, 300, 400, 500$ 、バイラルワードのバイラル確率を $p = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ とし、全通りの組み合わせに対し数値実験を行った。また、全単語の数 $|W|$ とエージェントの数 $|A|$ について $|W| = |A|$ とした。なお、本実験では、エージェント間の繋がりを表現するためのネットワークは完全グラフであるとする。これは、全てのエージェントの組がコミュニケーション可能であるこ

とを表す。

上記の条件で数値実験を各 1000 回ずつ行い、総単語数・異なる単語数・成功率の推移は試行回数 1000 回の平均値として、収束時間の分布は試行回数 1000 回の内訳として示す。

§5. 結果

総単語数の推移は図 1 の通りである。

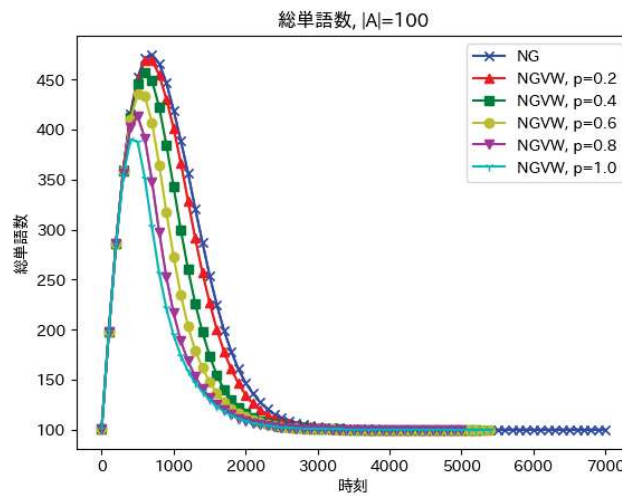


図 1 総単語数の推移

図 1 では、エージェント数 $|A| = 100$ のみを示している。この図から分かる通り、バイラル確率 p が大きくなるにつれて、総単語数が最大になる時刻及び収束時刻が早くなり、総単語数の最大値は小さくなっていることが分かる。

次に、異なる単語数の推移は図 2 の通りである。

図 2 でも、エージェント数 $|A| = 100$ のみを示している。この図からは、バイラル確率 p が大きくなるにつれて、異なる単語数の減少していくスピードが速くなっていることが見て取れる。また、バイラル確率 p が大きくなるにつれて収束時間も短くなっていることは図 1 の総単語数の推移とも対応している。

また、成功率の推移は図 3 の通りである。

図 3 では、バイラル確率 p が大きくなるにつれて、成功率の上昇スピードが速いこと

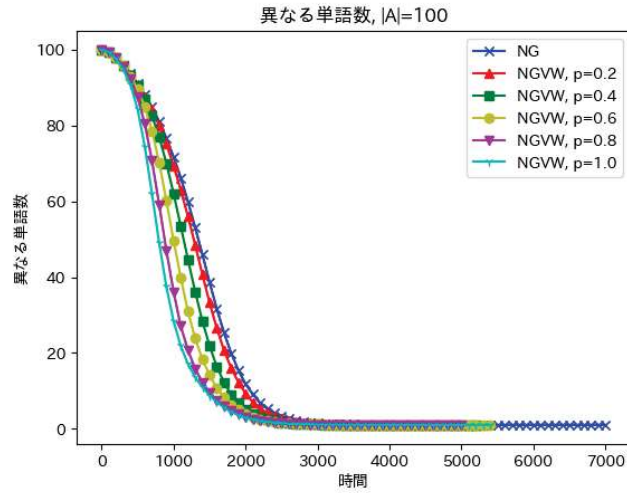


図 2 異なる単語数の推移

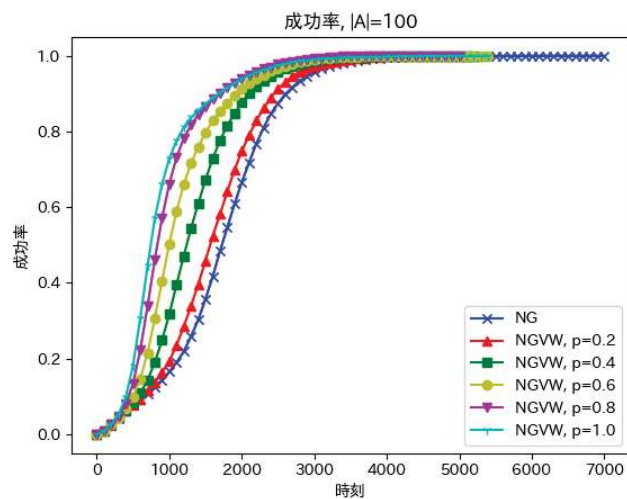


図 3 成功率の推移

がわかる。これは高いバイラル確率の状況では、バイラル単語が急速に伝播していくことで、エージェントがそのバイラルワードを持っている割合が増加し、それに伴い、成功率が上昇していったと考えられる。また、コミュニケーションの成功に伴い、バイラル単語以外の単語がメモリから削除されていくので、総単語数及び異なる単語数の減少も同時に起こっていると考えられる。なお、エージェント数 $|A| = 100$ 以外でも同様の結果が得られた。

エージェント数と収束時間の関係を図 4 に示す。

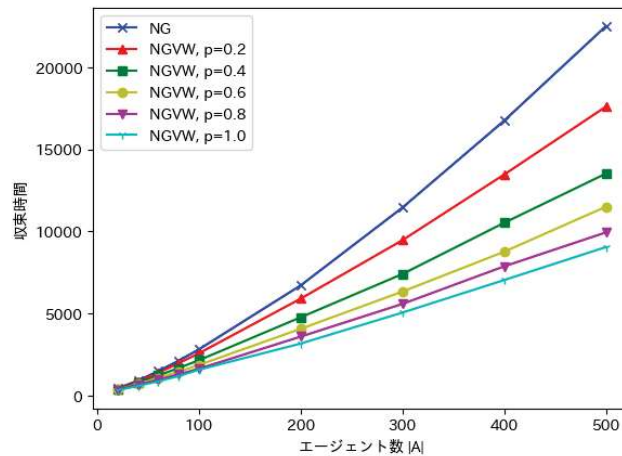


図 4 収束時間とエージェント数の関係

図 4 より、バイラル確率が小さいと増加傾向が冪乗関数的に、バイラル確率が大きいと直線的になることが見て取れる。

バイラルワードネーミングゲームでは、バイラル確率が高いバイラル単語が急速に広まっていく様子が見られた。これら結果より、拡散力の高い情報は集団内における合意形成やコンセンサスの速度を高めることが分かった。一方、拡散する情報が誤まった情報である場合は、その情報がその他の情報と比較して急速に広まってしまう恐れがあることも数値実験により示唆されている。

§6. まとめ

本研究では、コンテンツの拡散力とその広がり方に関する分析を行うため、単語の拡散性をネーミングゲームに導入したバイラルワードネーミングゲームを提案した。数値実験では、バイラル確率とエージェント数を変化させて、総単語数・異なる単語数・成功率の推移及び収束時間について分析した。結果としては、バイラルワードネーミングゲームでは、高いバイラル確率を持つ単語が急速に広まっていく様子が見られ、拡散力の高い情報は集団内における合意形成やコンセンサスの速度を高めた一方、拡散する情報が誤まった情報である場合は、その情報がその他の情報と比較して急速に広まってしまう恐れがあるという捉え方もできる。今後の展望として、エージェント間のネットワークを考慮したバイラルワードネーミングゲームの研究を進め、より現実的な状況でのシミュレーションを

行う他、誤情報拡散防止のための戦略をバイラルワードネーミングゲームを用いて提案したいと考えている。

参考文献

- [1] Baronchelli, A., M. Felici, V. Loreto, E. Caglioti, L. Steels, Sharp transition towards shared vocabularies in multi-agent systems, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 06 (2006), P06014, 1-12.
- [2] Baronchelli, A., A gentle introduction to the minimal naming game, *Belgian Journal of Linguistics*, 30(1) (2016), 171 – 192.
- [3] Baronchelli, A., Role of feedback and broadcasting in the naming game, *Physical Review E*, 83(4) (2011), 046103.
- [4] Baronchelli, A., V. Loreto, A. Puglisi, Individual biases, cultural evolution, and the statistical nature of language universals: The case of colour naming systems, *PLoS One*, 10 (2015), 0125019.
- [5] Berger, J., Milkman, K. L., What Makes Online Content Viral? *Journal of Marketing Research*, 49(2), (2012), 192-205.
- [6] Eyre, H., J. Lawry, Language games with vague categories and negations, *Adaptive Behavior*, 22(5) (2014), 289 - 303.
- [7] Fan, Z. Y., Ying-Cheng Lai, Wallace Kit-Sang Tang, Likelihood category game model for knowledge consensus, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 540 (2020), 123022.
- [8] Fu, G., Y. Cai, W. Zhang, Analysis of naming game over network in presence of memory loss, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 479 (2017), 350-361.
- [9] Gao, Y., G. Chen, R. H. M. Chan, Naming Game on network: Let everyone to be both speaker and hearer, *Scientific Reports*, 4 (2014), 6149, 1-9.
- [10] Leskovec, J., Adamic, L. A., Huberman, B. A., The dynamics of viral marketing, *ACM Transactions on the Web* 1, (2007), 5 – es.
- [11] Li, B., G. Chen, T. W. Chow, Naming game with multiple hearers, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 18(5) (2013), 1214 – 1228.
- [12] Li, D., Z. Fan, W. K. S. Tang, Domain learning naming game for color categorization, *PLoS One*, 12 (2017), e0188164.

- [13] Lipowska,D., A.Lipowski, Naming game on adaptive weighted networks, *Artificial Life*, 18(3) (2012), 311 – 323.
- [14] Lou,Y., G.Chen, Analysis of the "naming game" with learning errors in communications, *Scientific Reports.*, 5 (2015), 12191.
- [15] Lou,Y.,etal., Local communities obstruct global consensus:Naming game on multi-local-world networks, *PhysicaA*, 492 (2018), 1741 – 1752.
- [16] Lou,Y., G. Chen, J. Hu, Communicating with sentences: A multi-word naming game model, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 490 (2018), 857 – 868.
- [17] Mukherjee,A., F. Tria, A. Baronchelli, A. Puglisi, V. Loreto, Aging in language dynamics, *PLoS One*, 6 (2016), 16677.
- [18] Pucci,L., P. Gravino, V.D. Servedio, Modeling the emergence of a new language: Naming game with hybridization, in: *International Workshop on Self-Organizing Systems*, Springer, 2013.
- [19] Puglisi,A., A. Baronchelli, V. Loreto, Cultural route to the emergence of linguistic categories., *Proceedings of the National Academy of Sciences* ,105 (2008), 7936 – 7940.
- [20] Rosnow,Ralph L., James L. Esposito, Leo Gibney, Factors influencing rumor spreading: Replication and extension, *Language & Communication*, 8(1), (1988), 29-42.
- [21] Steels, L. , A self-organizing spatial vocabulary, *Artificial Life Journal*, 2(3) (1995), 319-332.
- [22] Steels., L., *The Talking Heads Experiment, Volume 1. Words and Meanings.* Laboratorium, Antwerpen (Belgium), 2019.
- [23] Steels,L., T. Belpaeme, Coordinating perceptually grounded categories through language: A case study for colour., *Behavioral and Brain Sciences*, 28 (2005), 469 – 488.
- [24] Wang, W.X., B.Y. Lin, C.L. Tang, G.R. Chen, Agreement dynamics of finite-memory language games on networks, *The European Physical Journal B*, 60(4) (2007), 529-536.
- [25] Zhou, J., Yang Lou, Guanrong Chen, Wallace K.S. Tang, Multi-language naming game, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 496 (2018), 620-634.