

# JWEIN14 ネットワーク上の情報カスケード

バンク・ランとネットワーク

Information cascade on Network

久門正人 金融庁

Masato Hisakado Financial Services Agency

守真太郎 北里大学

Shintaro Mori Kitasato University

キーワード: 情報カスケード、ネットワーク、相転移、イジング・モデル

## 概要

情報カスケードは人々の模倣行為によって、情報が連鎖する現象である。正しい情報が伝わる場合は問題ないが、時には誤った情報が連鎖する場合がある。このような現象は銀行の取りつけさわぎであるバンク・ランをはじめとして実際確認されている。アカデミックな世界(実験経済学など)では通常、情報カスケードは格子状に順次情報が伝わるのが想定されている。実際には人と人とのネットワークによって情報は伝わっていく。ここではネットワーク上でのモデルを考えることにより、ネットワークが情報カスケードに与える影響を考察する。これは山火事の広がりや周りの環境(伝染の強さ)によるのか、もしくはネットワークの影響(ハブの影響)によるのかについてひとつの結論を与える。

## 1. はじめに

模倣行為は様々な場面で見られる。これは群れで行動することが多い動物の世界はもちろんであるが、人間の世界でも頻繁に見られることである。これらは社会学や経済学などの世界で、議論されてきた。統計物理学はこのような模倣行為の集団現象である、マクロ現象を記述する有力な手段と考えられている。実際、社会物理学や経済物理学などはこのような試みの舞台となっている[G]。

人間は他人の行動を観察して、‘空気を読む’。これは‘社会的学習’と呼ばれることもある。これは実際、合理的な方法である。おいしいレストランは行列ができていている場合も多い。この行列に並べば、調査しなくてもおいしい食事にありつける。これは‘フリー・ランチ’の一種である。しか

しこのような行為を大勢の人がとった場合はどのような現象がみられるだろうか。誤った情報が連鎖することによって、(たとえば美味しくないレストランに行列ができるなど)間違った結論が導かれる。これは‘情報カスケード’<sup>1</sup>と呼ばれている現象である。実際、1973年豊川信用金庫でおこった、誤ったとりつけ騒ぎ(バンク・ラン。実際は豊川信用金庫に問題はなかった)は、情報(うわさ)の伝達の過程なども詳しく調べられている[I]。このうわさの伝達は知人関係によるネットワークを通しての情報の伝達であった。また最近では2009年イギリスのノーザンロック銀行で、預金総額の8%が数日の間に引き出されるといふ、バンク・ランがおこった。

<sup>1</sup> 情報カスケードと言った場合、一般に情報の内容の正誤については区別しない。

情報カスケードの実験は通常、1次元の格子状の実験によって行われることが多い。一方、実際の噂の流れなどはネットワークの形をとることが多い。本稿では情報カスケードにおけるネットワークの影響について考察する。

## 2. 目的

### 2.1 これまでの研究の紹介

#### ★情報カスケードの実験

情報カスケードの解析は、壺を用いた実験が有名である。赤球と白球の数が逆転している、2種類の壺を用意する。これを壺AとBとする。実験者はそのどちらかを選ぶ。どの壺が選ばれたかは、投票者は知らない。投票者はその壺から玉を1個引く。同時に過去の投票者の投票の履歴の集計を見ることができる。これらの情報をもとに投票者は壺がAかBかを判断し投票する。その後、玉はもとの壺に戻される。投票は順次異なる投票者が行う。投票は一般化されたポリアの壺過程と呼ばれるものになる[A]。以下では壺Aを正解の壺と仮定する。十分な人数の投票を行ったあとに、壺Aへの投票が壺Bへの投票を上回るであろうか？(多数決は正しいか?) 壺Bへの投票が壺Aへの投票を上回った場合、これは誤った情報の連鎖と考えることができる。このような現象は起きるのだろうか? 人数が増えるにしたがって誤った情報の連鎖は修正されることはあるのだろうか?

#### ★模倣者と独立投票者

この実験ではすべての投票者が自己情報と他者からの情報をもとに投票する。われわれは自己情報によらずに投票するグループ(模倣者と呼ぶ)と自己情報のみで投票するグループ(独立投票者と呼ぶ)の2種類の投票者を考えた。この2種類の人数の比は $p:1-p$ とする。 $p$ は模倣者の割合である。この $p$ は相転移の温度に対応する役割をはたす、重要なパラメータにな

る。

独立投票者は自己情報にのみ基づき投票するので確率 $q$ で壺A、確率 $(1-q)$ で壺Bに投票するものとする。

では模倣者はどのような投票をするだろうか。自己情報をもっていないので、他者の投票の影響をふまえて投票するものと考えられる。この他者からの影響の関数を反応関数と呼ぶ。反応関数は他者の壺Aに対する壺Bへの投票の割合が多くなるにつれて、(i)線形に追随する反応(アナログ模倣者と呼ぶ)(ii)多いほうに追随する反応(デジタル模倣者と呼ぶ)<sup>2</sup>の2種類をここでは考える。実際の実験ではこの中間の反応をすることが観察されているが[M]、ここでは中間の場合の特徴を再現できる上記(i),(ii)の2種類の反応関数を考える。(i)よりも(ii)の模倣者のほうが模倣する傾向が強い。現実には情報の重要度(関心度)がアナログよりなのかデジタルよりなのかの反応を決定していると考えられる。

#### ★2つの相転移

このようなシステムでは $\infty$ 人の投票について2種類の相転移が存在する。壺Aへの投票率の分布を考える。

(i)のケースでは投票率の分布は常に1ピークの $\delta$ 関数となる。模倣者の割合 $p$ が小さければ通常のブラウン運動(BM)と同様に $\sqrt{t}$ で収束する。一方、 $pvc=0.5$ を境として収束が $\sqrt{t}$ より遅くなる。これをスーパー・ノーマル転移と呼ぶ。収束が遅い相をスーパー相、収束がBMと同じ相をノーマル相と呼ぶ。これは多少揺らぎが大きくなるものの、最終的には必ず正解に収束することを意味する[H1],[H3]。

<sup>2</sup>クォーラム反応と呼ばれることもある。定足数反応。この研究の場合は数ではなく割合。壺Aに投票した人の割合を $x$ とすると、それを参考に壺Aに投票する模倣者を $f(x)$ とする。アナログ(i) $f(x)=x$ 、デジタル(ii) $f(x)=\theta(x-1/2)$ に対応する。[M]で使用した中間の反応は $f(x)=1/2\{\tanh \lambda(x-1/2)+1\}$ 。λはパラメータ。

(ii) のケースでは、 $p$ が小さければ上記と同じ1ピークの $\delta$ 関数になるが、 $p_c$ ( $q$ に依存する)を境に分布が2ピークに変化する。これは、模倣者の割合 $p$ が増加し $p_c$ に達すると、1ピークだった分布関数が2ピークを持つようになる。これは $\infty$ 人の投票について投票結果が誤る場合が顕在化することを示している。この相転移のことを**情報カスケード転移**と呼ぶ。この2つの相を1ピーク相と2ピーク相と呼ぶ[H1],[H2]、

(i)と(ii)の間の場合はスーパー・ノーマル転移と情報カスケード転移の両方が共存することになる。

図1に2つの相転移の概念図を示した。

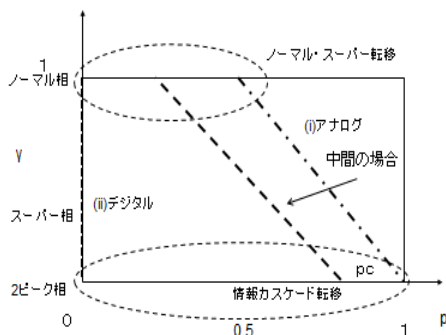


図1 2つの相転移。 $q=0.5$ の対称な場合。横軸は模倣者の割合。縦軸は収束が $T(-\gamma)$ の場合の $\gamma$ 。

## 2.2 研究の目的

### ★ネットワークの場合

以上はすべての投票を終了した投票者を参照する場合について考察した。ではこのシステムをネットワーク上で考えた場合、上記の2つの相転移はどのような影響をうけるであろうか。

参照する投票者 $r$ 人をすでに投票が終了した人の中から選択するとする。この選択のネットワークとしては①直前の $r$ 人。(これを1D格子モデルと呼ぶ。)②ランダムに選択された $r$ 人(これを

ランダム・グラフ・モデルと呼ぶ。)③バラバシ・アルバート・モデルに従って、多くの参照履歴がある人を優先的に選択するモデル(BAモデルと呼ぶ。)(図2)このモデルはハブの存在が知られている。①<②<③の序列で過去の特定の投票者の影響が強くなるものと考えられる。模倣投票者は(i)アナログと(ii)デジタルの2種類を考える。

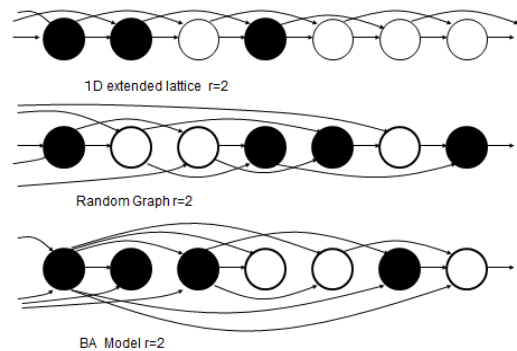


図2 参照人数 $r=2$ の場合のネットワークの図。①1D格子、②ランダム・グラフ、③BAモデル。○は壺Aへの投票(正解)、●は壺Bへの投票(不正解)を意味する。

## 3.4 研究手法

以下では、分析方法は基本的に平均場を用い分析した。<sup>3</sup>またシミュレーションによって平均場の結果を確認した。

## 3.5 研究結果

### ★2つの相転移(ネットワークの場合)

①1D格子モデルの場合、2つの均衡点(複数均衡)を振動するモデルになり、どちらかの均衡点に収束することはない。(i)アナログの場合はカーマンの蟻コロニー模型、(ii)デジタルの場合は有限サイズ( $r+1$ )の動的イジング・モデルになる。そのため2つの相転移は存在せず、情報カスケード転移は存在しない。

<sup>3</sup> ネットワークの1D格子のモデルは、平均場が成り立たないので、その他の解析方法を用いている。

②ランダム・グラフ・モデルと③BAモデルで、模倣投票者がデジタルの場合、情報カスケード転移が存在する。興味深いのはネットワークの差異によらず、情報カスケード転移の相転移点  $p_c$  は全く同じになる。

収束の速度については、②のランダム・グラフ・モデルの場合投票者がデジタルであっても、スーパー・ノーマル転移が存在する。また③BAモデルの場合、ノーマル相は存在せず、すべてがスーパー相になっている。そのためスーパー・ノーマル転移はない。

アナログ模倣者の場合は、②ランダム・グラフ・モデルと③BAモデルの場合、両方とも1ピーク相になっている。そのため情報カスケード転移は存在しない。

収束速度については、②のランダム・グラフ・モデルの場合、スーパー・ノーマル転移が存在する。③のBAモデルの場合、デジタル模倣者の場合と同様にノーマル相は存在せず、すべてがスーパー相となっている。そのためスーパー・ノーマル転移は存在しない。

このように、スーパー・ノーマル転移の相転移点はネットワークの形状によって移動するが、情報カスケード転移の転移点は移動しない。これはネットワークの形状は、情報カスケードに影響を及ぼすものの、その影響は限定的であることが類推される。

#### ★参照人数 $r$ の影響 ( $r \geq 3$ の場合)

参照人数  $r$  が3以上の場合、②ランダム・グラフ・モデル、③BAモデルでデジタル模倣者の場合、 $r$  が増加するにつれて、情報カスケードの相転移点  $p_c$  は下がる。②ランダム・グラフ・モデルの場合、デジタル模倣者、アナログ模倣者の双方でスーパー・ノーマル相転移の転移点  $p_{vc}$  は下がる。これは参照人数を多くするにつれて、模倣の影響が大きくなることを示している。

#### ★参照人数 $r$ の影響 ( $r = 1, 2$ の場合)

参照人数が1人もしくは2人で②ランダム・グラ

フ・モデル、③BAモデルでデジタル模倣者の場合、情報カスケード転移はなくなり、アナログ模倣者の場合と同様になる。スーパー・ノーマル転移は②ランダム・グラフの場合  $p_{vc} = 0.5$  になる。一方、③BAモデルの場合はずべてがスーパー相になるスーパー・ノーマル転移はない。

#### ★参照人数 $r$ の影響 ( $r = \infty$ の場合)

参照人数  $r$  を  $\infty$  にした場合、過去全員の投票者の投票を参照することになる。そのためネットワークによる差異はなくなる。

#### ★シミュレーションによる結果 (デジタル模倣者の場合)

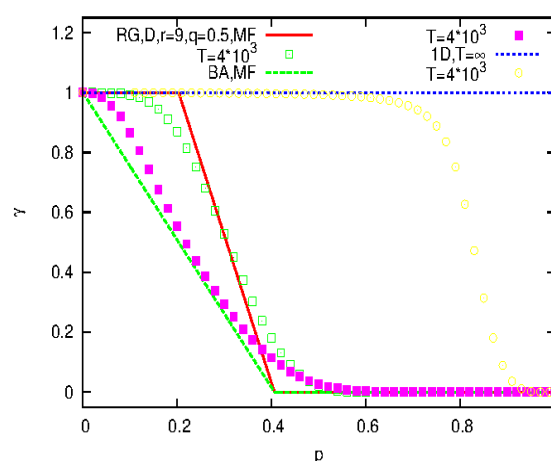


図3 シミュレーションによる結果

デジタル模倣者。参照人数  $r=9$ ,  $q=0.5$ , 投票者数  $T=4000$  による結果。横軸は模倣者の割合。縦軸は収束が  $T^{-\gamma}$  の場合の  $\gamma$ 。ノーマル相の場合  $\gamma=1$ , スーパー相の場合  $\gamma < 1$ 。  $\gamma=0$  は2ピーク相。実線と点線が平均場近似の結果でシンボルがシミュレーション結果。

以下、平均場などによる解析結果をシミュレーションで確認した。図3に対称な場合 ( $q=0.5$ ) のデジタル模倣者のシミュレーションの結果を示す。参照人数  $r=9$ ,  $q=0.5$ ,  $T=4000$  による結

果。ここで $T$ は投票人数。横軸はハーダーの割合。縦軸は収束が  $T(-\gamma)$  の場合の  $\gamma$ 。BAモデルの場合、解析結果どおりノーマル相が消えているように見える。またランダム・モデルの場合とBAモデルは情報カスケードの転移点 $p_c$ が一致していることがわかる。また1D格子モデルの場合は一見すると相転移があるように見えるが、これはシミュレーション・サイズ $T$ の問題である。

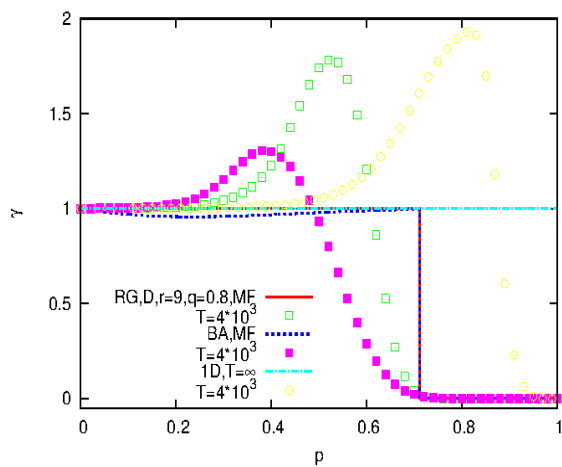


図4 シミュレーションによる結果  
デジタル模倣者。参照人数  $r=9$ ,  $q=0.8, T=4000$  による結果。横軸はハーダーの割合。縦軸は収束が  $T(-\gamma)$  の場合の  $\gamma$ 。ノーマル相の場合  $\gamma=1$ , スーパー相の場合  $\gamma < 1$ 。  $\gamma=0$  は2ピーク相。実線と点線が平均場近似の結果でシンボルがシミュレーション結果。

図4に非対称な場合 ( $q=0.8$ ) のデジタル模倣者のシミュレーション結果を示す。参照人数  $r=9, q=0.8, T=4000$  による結果。横軸はハーダーの割合。縦軸は収束が  $T(-\gamma)$  の場合の  $\gamma$ 。ランダム・モデルの場合とBAモデルは情報カスケードの転移点 $p_c$ が一致していることがわかる。 $\gamma > 1$  の部分が見られるがこれは、シミュレーション・サイズ( $T$ )の増加によって解消できると考えられる。1D格子モデルの場合是对称の場合と

同様に一見すると相転移があるように見えるが、これはシミュレーション・サイズの問題であると考えられる。

★シミュレーションによる結果(アナログ模倣者の場合)

図5、図6はランダム・グラフとBAモデルのアナログ模倣者のときの結果である。アナログ模倣者の場合、両グラフともに情報カスケードの転移はなく1ピーク相のみである。差が見られるのはスーパー・ノーマル転移である。ランダム・グラフでは $q$ によらず、 $p_{vc}=0.5$  で転移がみられる。一方、BAモデルの場合、 $q$ によらずすべての領域で収束は遅くなる。

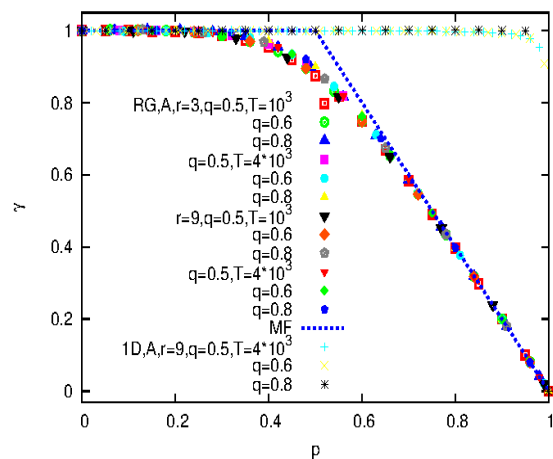


図5 シミュレーションによる結果。ランダム・グラフ、アナログ模倣者。参照人数は  $r=3, 9, q=0.5, 0.6, 0.8, T=1000$  による結果。横軸はハーダーの割合。縦軸は収束が  $T(-\gamma)$  の場合の  $\gamma$ 。ノーマル相の場合  $\gamma=1$ , スーパー相の場合  $\gamma < 1$ 。点線が平均場近似の結果でシンボルがシミュレーション結果。

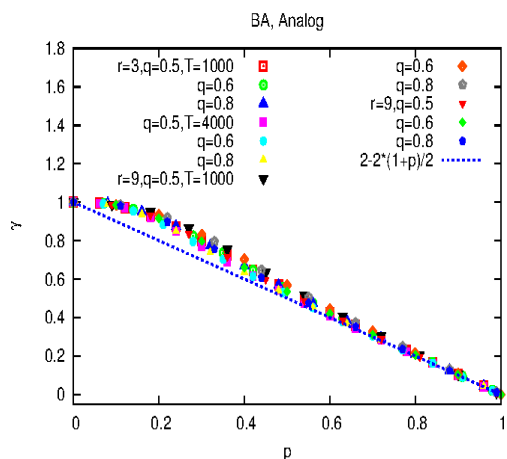


図 6 シミュレーションによる結果。BAモデル、アナログ模倣者。参照人数は  $r=3,9$ ,  $q=0.5,0.6,0.8, T=1000$  による結果。横軸はハーダーの割合。縦軸は収束が  $T^{-\gamma}$  の場合の  $\gamma$ 。ノーマル相の場合  $\gamma=1$ , スーパー相の場合  $\gamma < 1$ 。点線が平均場近似の結果でシンボルがシミュレーション結果。

### 3 まとめ

情報カスケードのモデルでは独立投票者と模倣投票者の2種類の投票者を考えることによって、2種類の相転移がある。1つは正解に収束するものの、その収束が遅いか速いかの収束速度の転移であるスーパー・ノーマル転移。もうひとつは壺Aの投票率の分布関数が1ピークの $\delta$ 関数から2ピークへと変化する転移である情報カスケード転移である。情報カスケードと呼ばれる現象は情報カスケード転移によって顕在化する。

デジタル模倣者	情報カスケード転移	スーパー・ノーマル転移
1D格子	なし。振動。有限サイズの動的イジングモデルに相当。	なし。
ランダム・グラフ	あり。BAモデルと同じ転移点。	あり。
BAモデル	あり。ランダム・グラフ	なし。すべてがスー

	フと同じ転移点	パー相
--	---------	-----

表1 デジタル模倣者の場合の2種類の相転移の有無。参照人数 $r$ は3以上の場合。(平均場による解析結果)

アナログ模倣者	情報カスケード転移	スーパー・ノーマル転移
1D格子	なし。カーマンの蟻コロニーモデルに相当。	なし
ランダム・グラフ	なし	あり。
BAモデル	なし	なし。すべてがスーパー相

表2 アナログ模倣者の場合の2種類の相転移の有無。参照人数 $r$ は3以上の場合。(平均場による解析結果)

これをネットワーク上でモデルを組み立て、ネットワークの影響について平均場の手法で考察した。(表1, 2参照)①1D格子モデルの場合は振動し、2つの相転移は存在しない。②ランダム・グラフと③BAモデルの場合、スーパー・ノーマル相転移の転移点は移動するものの、情報カスケードの転移点はネットワークの形状に依存しないことがわかった。これからネットワークの影響は限定的であると考えられる。<sup>4</sup>

山火事の延焼の拡がりや周りの環境などの状況によるのか、それともハブの存在によるネットワークの影響なのか、という議論があるが、上記の議論から、ハブの存在は限定的な影響であり、必要条件ではない。逆に感染率(上記のモデルの場合は反応関数)が重要な役割を果たしていると考えられる。<sup>5</sup>

バンク・ランはうわさの広がり発端となることが

<sup>4</sup> パーコレーションの場合、ランダム・グラフからBAモデルに変化するにつれて相転移点が下がり、BAモデルで相転移点は0になる。これはスーパー・ノーマル相転移と同様な振る舞いである。

<sup>5</sup> 同様の指摘が[W]に見られる。

多い。うわさの広がりの場合、その情報が重要な情報であるかどうか(情報の重要性)が、感染率に大きく影響すると思われる。この影響が、反応がデジタルに近くなるのか、それともアナログに近くなるのかを分けているものと考えられる。銀行の預金が今後引き出せるかどうかは預金者にとって非常にナイーブな問題である。これは感染率が高くなる(=デジタルに近くなる)典型例であると考えられる。

### 参考文献

- [G] G Galam Statistical Physics **61** (1990) 943
- [I]伊藤陽一・小川浩一・榊博文 「デマの研究: 愛知県豊川信用金庫”取り付け”騒ぎの現地調査」『総合ジャーナリズム研究』 **69号** 1974
- [AH] L R Anderson and C A Holt "Information Cascades in the Laboratory". The American Economic Review **87** (5) (1997) 847-862
- [A]ブライアン・アーサー 「収益逡増と経路依存」多賀出版 (2003)
- [M]S.Mori, M. Hisakado and T. Takahashi  
Phase transition to two-peaks phase in an information cascade voting experiment  
Physical Review E **86** (2012) 026109-026118
- [H1]M. Hisakado and S.Mori,  
Two kinds of phase transitions in a voting model  
J. Phys. A: Math. Theor **45** (2012) 345002
- [H2]M.Hisakado and S.Mori,  
Digital herders and phase transition in a voting model J. Phys. A: Math. Theor. **44** (2011) 275204
- [H3]M. Hisakado and S.Mori,  
Phase transition and information cascade in a voting model, J. Phys. A: Math. Theor. **43** (2010) 315207
- [W] D J Watts and P S Dodds, J.Consumer