

ネットワーク特性を考慮したクチコミ伝播の効果分析

飯塚 貴之
筑波大学社会工学類

水野 誠
筑波大学大学院システム情報工学研究科

1. はじめに

消費者行動がクチコミの影響を強く受けることは、以前からよく知られている (Katz and Lazarsfeld 1955)。しかし、最近インターネットの普及によって、消費者間の直接的な情報交換がより活発化している。そこで重要な論点となるのは、消費者間のネットワークの性質である。それについては、以前から社会ネットワーク分析の研究の蓄積があるが (e.g., Houston et al. 2004), 最近発展しつつある複雑ネットワークの研究が、スモールワールドやスケールフリー・ネットワークといった新たな概念を提供している (Watts 1999; Barabasi 2002; 増田, 今野 2006)。複雑ネットワーク上の情報伝播については、情報・通信工学の領域では研究があるものの、マーケティングあるいは消費者行動の領域ではほとんど研究はないと思われる。本研究では、複雑ネットワーク上の情報伝播の挙動を、消費者のクチコミ行動を前提にモデル化し、シミュレーションすることで分析する。

2. モデル

2.1 ネットワークの種類

本研究では、典型的なネットワークとして、スモールワールド・ネットワークとスケールフリー・ネットワークに注目する。また、これらのネットワークのベンチマークとして、ランダム・グラフ (RG) も取り上げる。まず、これらのネットワークの性質について述べよう。まず RG は、任意のノード間にリンクが張るかどうかを、独立な一様乱数で決めることで作成される。このネットワークの各ノードの次数 (他のノードとのリンクをいくつ持つか) はポアソン分布に従う (増田, 今野 2006)。

これに対して、Watts and Strogatz (1998) が発見したスモールワールド (SW) ネットワークは、まず円環状にノードを並べ、隣接するいくつかのノードをリンクしたのち、一定の確率でリンクを無作為に選んだノードにつなぎ変えていくことで作成される。このネットワークは、ノード間の平均距離がそう長くない割には、クラスタ係数が大きいという特徴を持つ。すなわち、限られたリンク数であってもかなり遠くの友人とつながることができ、かつ友達の友達が友達である確率が高いのである。

さらに Barabási (2002) は、次数分布がべき分布になる、スケールフリー (SF) ネットワークを見出した。つまり、次数が小さい多数のノードと、次数が非常に大きい少数のノードから構成される。この SF ネットワークは、SW ネットワークに比べるとクラスタ係数が小さい。つまり、友達の友達が友達である確率は、SF では SW に比べ低い。現実の人間関係のネットワークが SW, SF のどちらに近いかは、一概にいえないのである (増田, 今野 2006)。本研究では、RG, SW, SF ネットワークを仮想的に生成し、その上での情報伝播の効果を研究する。

2.2 コミュニケーション効果の測定

TV 広告の効果測定では、到達率 (Reach: R), 平均接触頻度 (Frequency: F), 知名率 (Awareness:

A) という指標がよく用いられる。クチコミ効果の評価においても、同じ指標を使うことにする。到達率とは、あるメッセージをそれまでに一度でも受け取った消費者の全体に占める比率、平均接触頻度とはそれまでに一度以上メッセージを受け取った人が受け取った回数、知名率とはメッセージへの接触の結果、そのメッセージ（新製品の告知の場合その名前）を記憶することである。各消費者が情報への接触を重ねる結果、いかに知名するかについては、広告効果モデルでの経験に従い、以下のような指数関数で定式化する。 t 期において、これまで知名していない消費者が知名する確率は

$$\Pr\{A_t = 1 \mid A_{t-1} = 0\} = 1 - \exp(-\alpha F_t) \quad (2.1)$$

ここで A_t は t 期に知名していたら 1、そうでなければ 0 となる変数であり、 F_t は t 期までメッセージを受取った回数、 α は正のパラメタである。接触の効果は単調増加的でかつ収穫逨減的である。接触回数が増えるにつれ知名確率は急速に上昇するが、いずれスローダウンして 1 へ収束していく。 α が大きいほど、接触から知名への変換が急速に起きる。

一方、到達率と接触頻度は時間に関して単調増加的であるが、知名は忘却によって低下し得る。そこで、記憶が保持される確率を以下のように定式化する。

$$\Pr\{A_t = 1 \mid A_{t-1} = 1\} = \exp(-\beta S_t) \quad (2.2)$$

ここで S_t は、 t 期まで続いたメッセージへの非接触状態の期間、 β は正のパラメタである。すなわち、いったん知名したのちも、メッセージに接触しない状態が続くと、記憶を保持する確率は加速的に低下する。 β の値が大きいほど、忘却する速度は早くなる。

2.3 メッセージの発信と受信

知名状態にある消費者は、ネットワークでつながっている他の消費者に一定の確率でそのメッセージを伝達する。本研究では、この確率は情報の送り手／受け手の特性によらず一定と考えている。現実には、相手によって情報を渡したり渡さなかったり、あるいは渡す情報の内容を改変したりすることがあり得るし、受け手の側も誰から情報を受取るか選択することがある。こうした点の拡張は今後の課題といえる。

なお、情報は最初外部から与えられる。最近注目されるクチコミ・マーケティングのように、一部の消費者に対して、企業からメッセージが届けられる。それがその後どう流れるかは、企業の手を離れ、消費者間のネットワークに委ねられる。

3. シミュレーション

3.1 ネットワークのパラメタ

消費者数（ノード数）を 1,000 として、RG モデル、SW モデル、SF モデルのそれぞれについて、3 つのネットワークを作成した。SF モデルについては、次数分布のベキ指数を $\gamma = 2.0, 2.1, 2.2$ の 3 水準設定し、その下での単一の連結グラフを模索的に作成した。現実のネットワークのベキ指数は 2 前後であることが多く、妥当なパラメタ設定だと思われる。

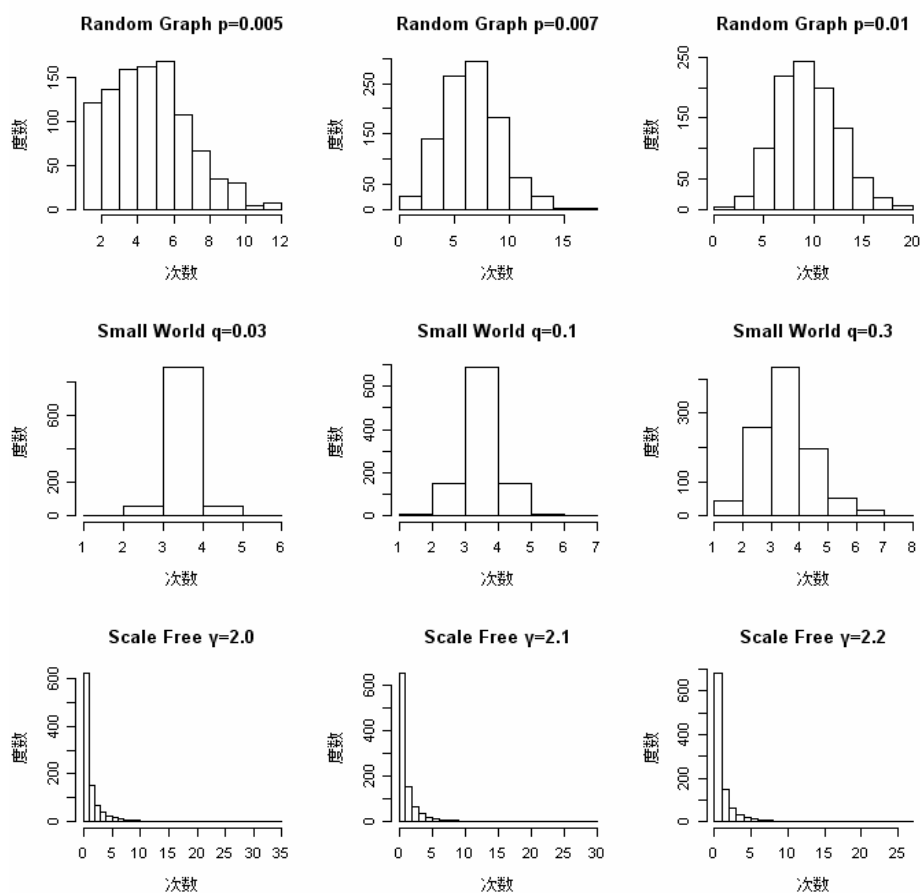
SW モデルでは、初期の次数 k と、枝をつなぎ換える確率 q がパラメタになる。まず、SF と平均次数がさほどかけ離れないように、 $k = 4$ とした。また、平均距離 L が小さく、クラスタリング係数 C が大きいという SW の性質をバランスよく実現するのは $q = 0.1$ である。そこでクラスタ係数、平均距離による伝播効果の違いを見るため、 $q = 0.03, 0.1, 0.3$ の 3 水準を設定した。RG では、任意のノード間にリンクを張る確率 p がパラメタになる。リン

クの本数ができる限り SF と SW と乖離しないよう $p = 0.005, 0.007, 0.01$ とした。
作成されたネットワークの平均距離, クラスタ係数, 総リンク数, 次数相関は表 3-1 の通りである。また, 次数分布は図 3-1 のようになる。

表 3-1 各ネットワークの特性

	p	平均距離	クラスタ係数	総リンク数	次数相関
Random Graph	0.005	4.426	0.004	2558	-0.023
	0.007	3.754	0.007	3531	-0.002
	0.010	3.262	0.012	4887	0.007
Small World	q				
	0.03	15.589	0.452	2000	0.021
	0.10	8.917	0.357	2000	-0.028
	0.30	6.169	0.157	2000	-0.054
Scale Free	γ				
	2.0	5.883	0.053	1304	-0.090
	2.1	6.510	0.022	1151	-0.212
	2.2	8.975	0.011	1031	-0.284

図 3-1 各ネットワークの次数分布



これらのネットワークを社会ネットワーク分析のフリーソフトである Pajek を用いて可視化すると図 3-2, 3-3, 3-4 のようになる。

図 3-2 Random Graph ネットワーク : $p = 0.005$

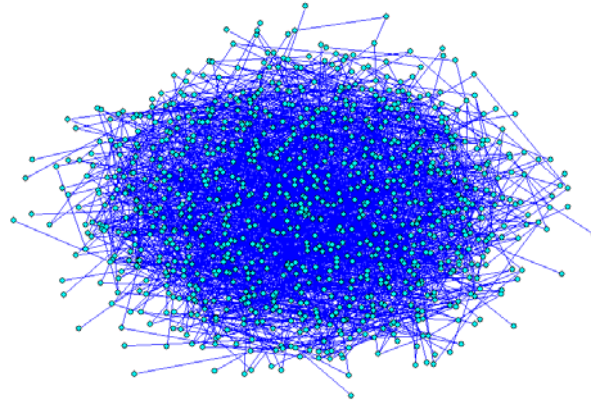


図 3-3 Small World ネットワーク : $q = 0.1$

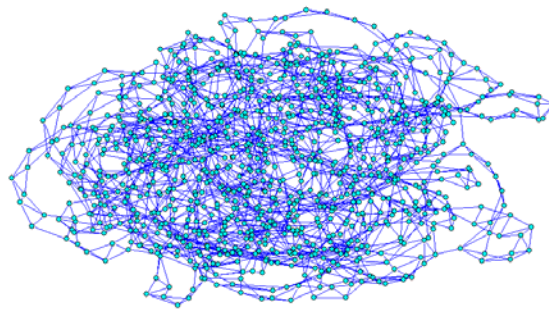
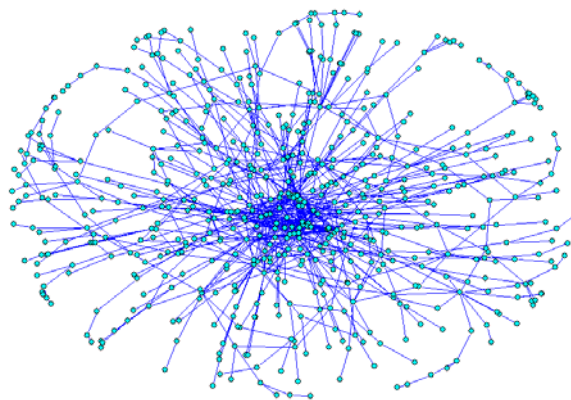


図 3-4 Scale Free ネットワーク : $\gamma = 2.0$



3.2 情報伝播と態度変容のパラメタ

各ネットワークに対し、最初に 100 人の消費者をランダムに選んでメッセージを与え、情報伝播を 1,000 ステップまで行なわせる。メッセージに接触し、知名した消費者は、根とワ

ーク上で直接リンクする他の消費者に対して確率0.1でメッセージを伝達する。従って、友人の多い消費者（次数の多いノード）ほど、多くの人々に情報を伝播させる。メッセージへの接触による知名と非接触による忘却の速度を支配するパラメタは、

知名速度 α {0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9}

忘却速度 β {0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9}

と設定した。消費者の知名／忘却速度，企業の戦略，消費者間ネットワークのモデルのすべての組み合わせについて，シミュレーションを10回ずつ行なった。

4. 結果

4.1 累積到達率への効果

図4.1は，累積到達率（Reach）のステップによる変化を，ネットワークの種類と知名速度 α でケースを分けた上で，忘却速度 β ごとに比較したものである。RGでは，忘却速度が一定水準以下である限り，メッセージはいずれ全員に到達する。しかし，SWでは，忘却速度がかなり小さくないと，全員に到達することはない。その点，SFのほうが，忘却速度が中位である範囲で，より多くの消費者にメッセージが到達する可能性を持っている。したがって，3種のネットワークのうちSWでは，忘却がある小さな閾値以上に起きただけでも情報の到達範囲が急激に狭くなるという特徴がある。「友達の友達は友達」という性質が，かえって情報の効率的な拡散を妨げていると考えられる。

図 4-1-1 RG ネットワーク ($p=0.005$) での累積到達率

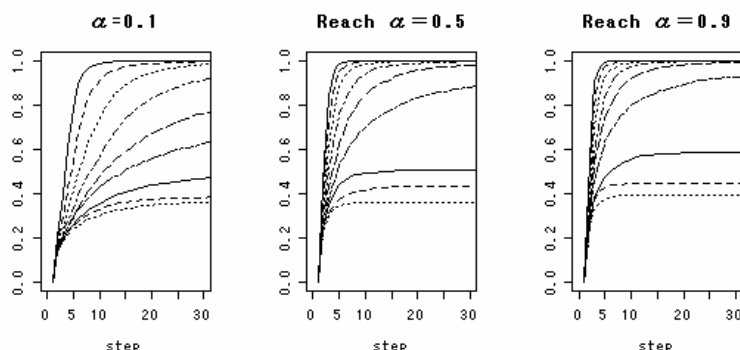


図 4-1-2 SW ネットワーク ($q=0.1$) での累積到達率

* $\beta=0.1-0.5$ の範囲 ($\beta>0.5$ のとき知名 0 となる)

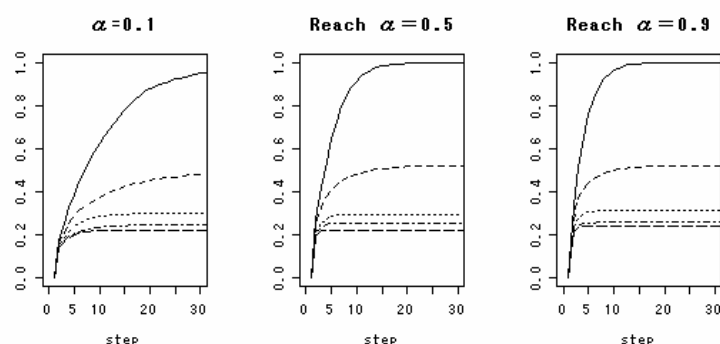
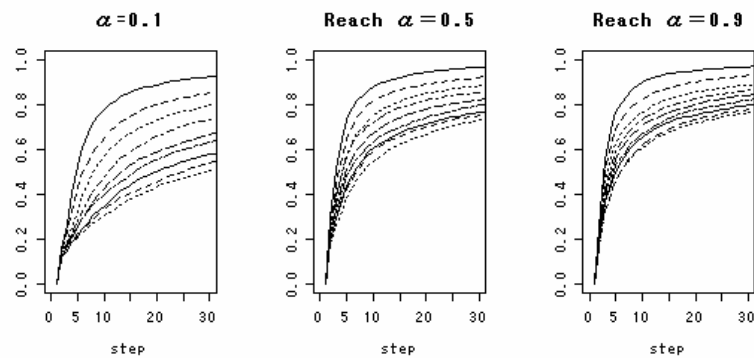


図 4-1-3 SF ネットワーク ($\gamma=2.0$) での累積到達率



4.2 平均接触頻度への効果

RG ネットワークにおいて平均接触頻度が全体に高水準になるのは、ノード間のリンク数が多いことから考えて、当然であろう。SW ネットワークでは、知名速度が一定水準を上回るだけでなく、忘却速度がかなり小さくないと、平均接触回数は増加しない。つまり、忘却について閾値効果が存在しそうである。しかし、SF ネットワークでは忘却速度の効果は連続的で、閾値効果はさほど強くない。

図 4-2-1 RG ネットワーク ($p=0.005$) での平均接触頻度

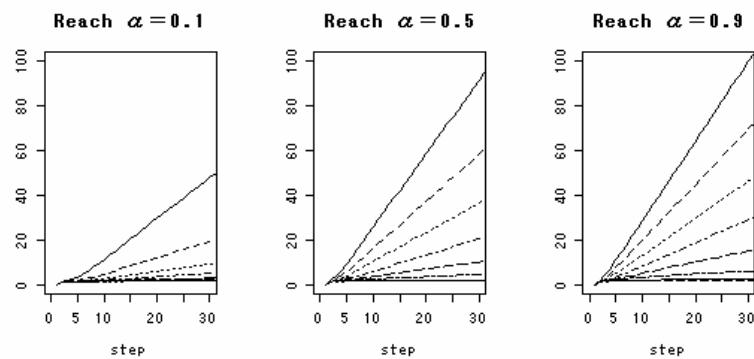


図 4-2-2 SW ネットワーク ($q=0.1$) での平均接触頻度

* $\beta=0.1-0.5$ の範囲 ($\beta>0.5$ のとき知名 0 となる)

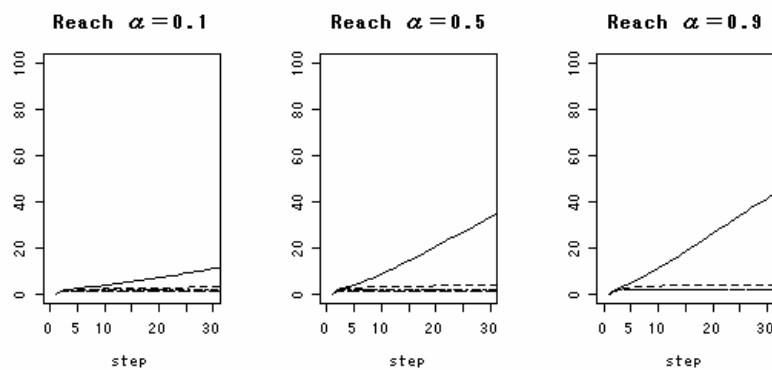
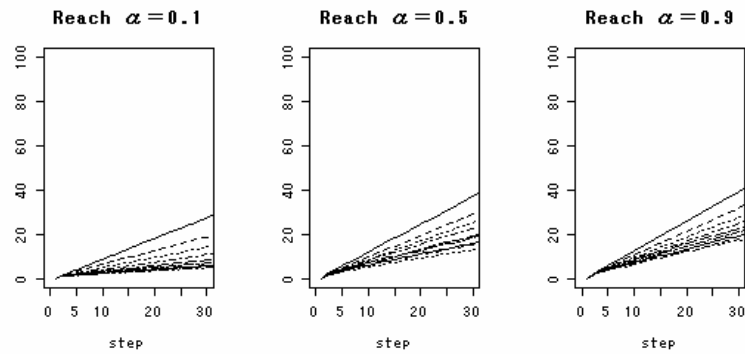


図 4-2-3 SF ネットワーク ($\gamma=2.0$) での平均接触頻度



4.3 知名度への効果

RG ネットワークでは知名速度が大きく、かつ忘却速度が小さい場合に知名度が上昇するが、ある上限まで行くと、あとは伸びなくなる。SF ネットワークも同じような傾向にあるが、上限となる知名率は RG より低い（これは総リンク数の差、それによる平均接触頻度の差から見て当然だろう）。SW では、忘却速度がかなり高い場合のみ知名が上昇するという閾値効果がはっきり現れている。

図 4-3-1 RG ネットワーク ($p=0.005$) での知名度

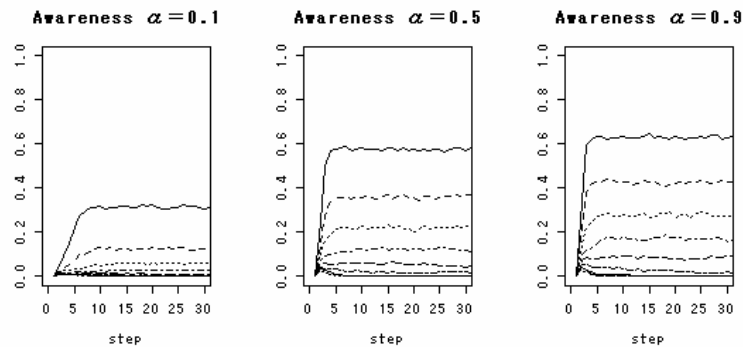


図 4-3-2 SW ネットワーク ($q=0.1$) での知名度

* $\beta=0.1-0.5$ の範囲 ($\beta>0.5$ のとき知名 0 となる)

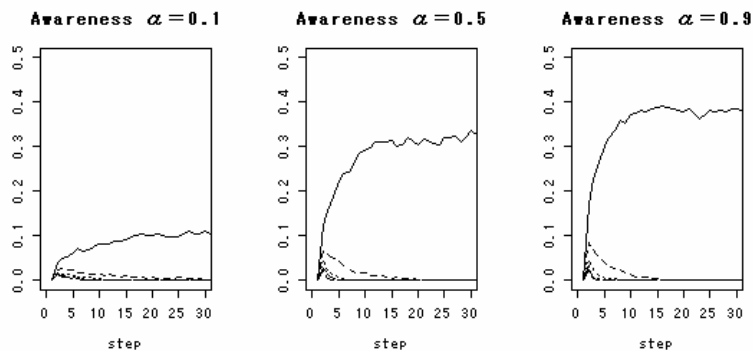
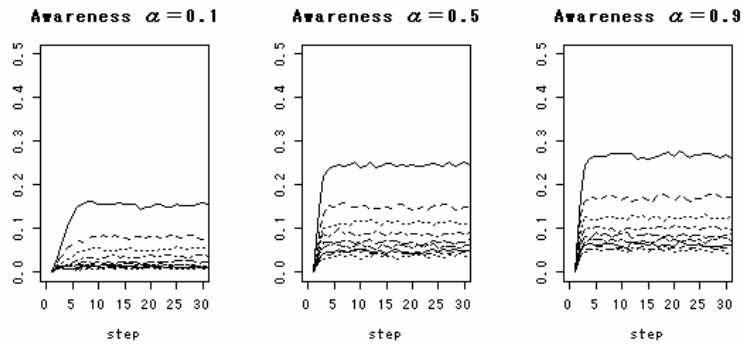


図 4-3-3 SF ネットワーク ($\gamma=2.0$) での知名度

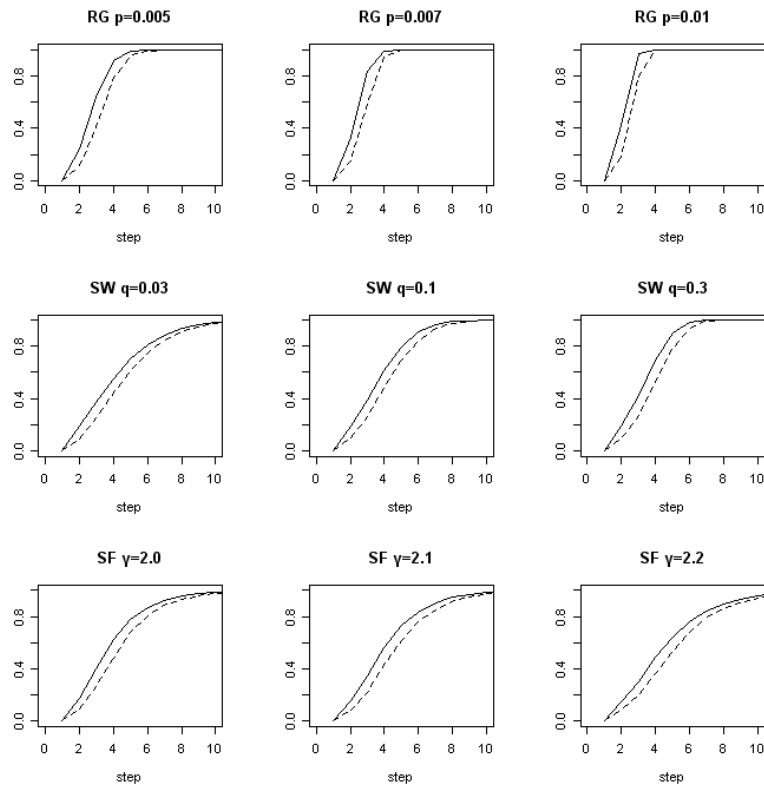


4.4 忘却がない場合

忘却速度が 0 の場合、累積到達率も知名度も、ネットワークの性質の違いに関わりなく、ステップとともに上昇し、ほぼ 100% に収束する。したがって、ネットワークによる情報伝播効果の差が顕著になるのは、忘却が存在するときである。わずかであれ忘却が存在すると、ネットワーク特性の効果が顕在化するのだといえる。

図 4-3 忘却がない場合の累積到達率と知名度

* 実線が到達率，破線が知名度



4.5 回数と接触頻度

以上では、消費者を集計レベルで眺めてきたが、今度は個人レベルの効果を見ることにしよう。横軸に消費者の回数を取り、それぞれのメッセージへの接触頻度をプロットすると、図 4.5 のようになる。RG では、忘却速度がそう大きくない範囲で、回数と接触頻度とは相関している。SW では、忘却指数が極めて小さい場合のみ、回数と接触頻度が相関する。

図 4-5-1 RG ネットワーク ($p=0.005$, $\alpha=0.5$) での回数と接触頻度の関係

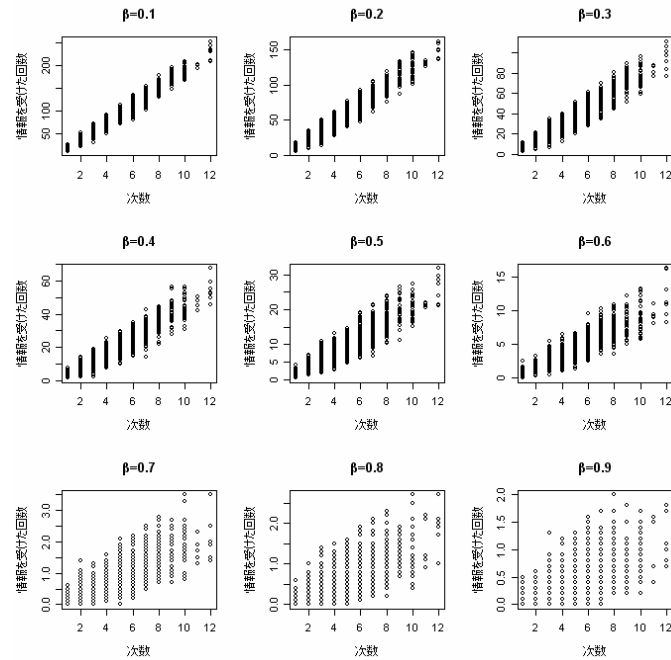


図 4-5-2 SW ネットワーク ($q=0.1$, $\alpha=0.5$) での回数と接触頻度の関係

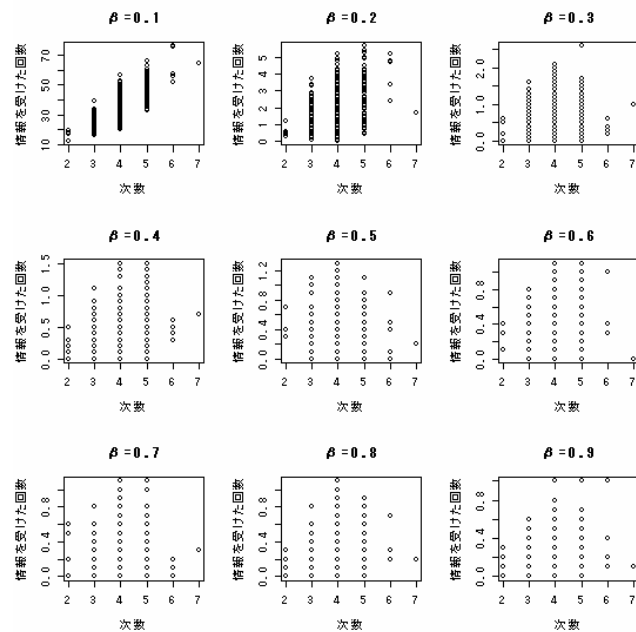
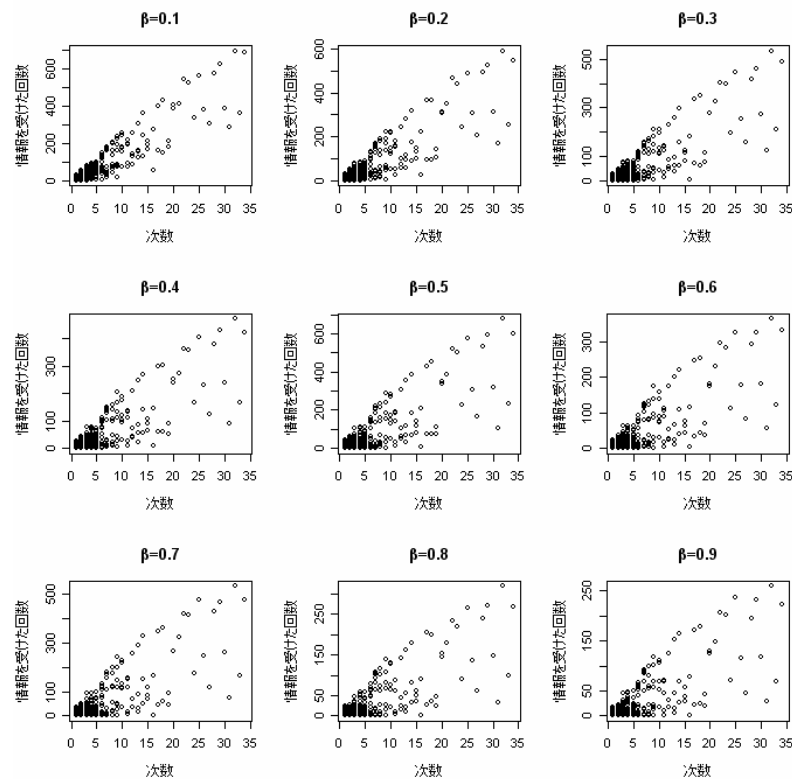


図 4-5-3 SF ネットワーク ($\gamma=2.0$, $\alpha=0.5$) での次数と接触頻度の関係



SF では全般に相関が見られるが、次数が大きい消費者の間で平均接触頻度の分散が大きくなっている。すなわち、友人数が多い消費者のなかでも、クチコミのハブ、コネクターになる場合とそうでない場合があるということである。その差が何によってもたらされるかを探ることもまた、今後に残された課題である。

4.6 次数に応じた情報賦与

次数がメッセージへの接触頻度と一定程度相関することがわかっているとしたら、企業としては初期時点で、次数の大きい（友人の多い）消費者を優先してメッセージを賦与したほうが合理的である。もし企業がそのような戦略を実行したとすると、これまでの知見はどう変化するだろうか。

RG ネットワークでは、初期の情報賦与戦略の差は、結果にほとんど影響を与えなかった。SW, SF ネットワークの場合は、知名率の立ち上がりの速度に影響を与えているようである。すなわち、次数中心性の高い消費者に優先的にメッセージを流すことで、多少とも情報の普及を早めることができる。ただし、それも忘却速度がきわめて遅い場合でないと効果を発揮しない。

次数中心性に基づいて消費者を選び情報を賦与する戦略は、知名率の立ち上がりを早める効果はあるものの、最終的な知名率にはさほど影響しない。これまでのクチコミ研究では、いわゆる「弱い紐帯」の重要性が示唆されてきた (Brown and Reingen 1987; Godes and Mayzlin 2004)。したがって、そのノードがどれほど多くの間接的な関係を仲介しているかという媒介中心性 (between centrality) に従って情報を賦与する戦略も考えられる。今回分析に用いたネットワークでは、次数中心性と媒介中心性の間には非常にゆるやかな相関しかない。したがって、どちらの指標を戦略に使うかで、効果が変わる可能性がある。

図 4-6-1 SW ネットワーク ($q=0.1$; $\alpha=0.1$) での情報賦与戦略と知名率

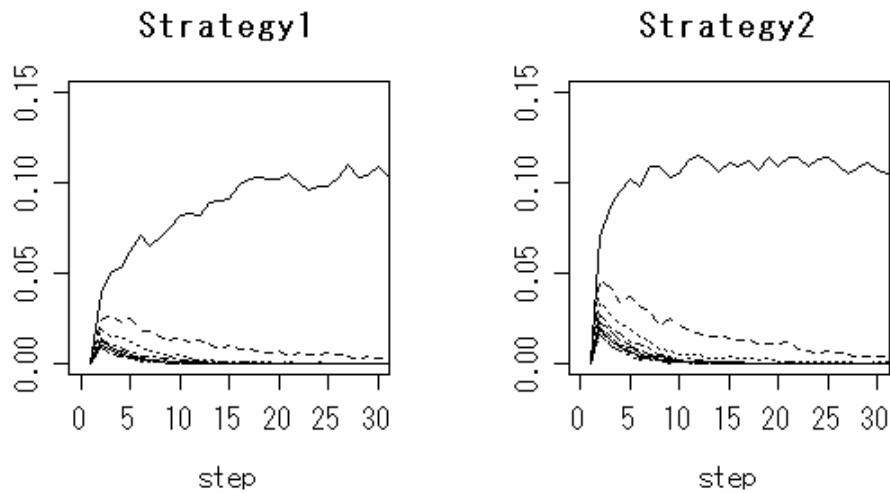
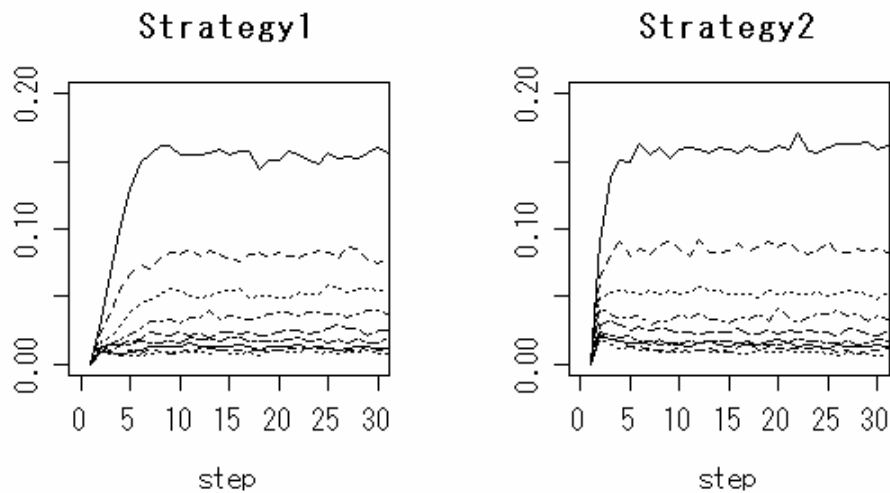


図 4-6-2 SF ネットワーク ($\gamma=2.0$; $\alpha=0.1$) での情報賦与戦略と知名率



6. 結論

本研究では、複雑ネットワーク研究の進展を受けて、RG, SW, SF の3種類のネットワーク上でのクチコミ伝播効果のシミュレーションを行なった。効果指標に用いたのは、TV 広告効果の測定にさかんに用いられてきた累積到達率、平均接触頻度、知名率の3つである。消費者はメッセージへ繰り返し接触することで知名ようになるが、非接触が連続すると忘却も生じる。従って、知名率はダイナミックに変動し得る。

シミュレーションの結果わかったのは、SW ネットワークの特異性である。RG 及び SF ネットワークでは、知名速度が高く、忘却速度が低くなるにつれ、連続的に到達率が上昇していく。これに対して、SW では忘却速度がかなり小さくならないと、到達率は十分高くないというある種の閾値効果がある。「友達の友達」である確率が高いことが、情報の広範な浸透を妨げていると考えられる。しかし、忘却速度が非常に小さい場合には、SW では平均接触頻度が高くなり、知名率が高まる。つまり、SW ネットワークほど、忘却速度がある閾値を下回るかどうか敏感だということができる。

クチコミ・マーケティングでは、最初に少数の消費者にメッセージを賦与するが、回数中心性の高い（友人が多い）消費者を優先するという戦略は、忘却速度がそれほど大きくない場合に知名度の立ち上がりを早めることができる。しかし、究極の知名度にそれはさほど影響しない。より効果的な情報賦与戦略のためには、媒介中心性など、他の指標に基づく戦略の可能性を検討すべきであろう。

本研究で仮定された消費者行動について、さらなる拡張が必要である。ここでは、消費者は、ネットワーク上でリンクする他の消費者に対してランダムに情報を送るが、現実にはより選択的であると思われる。それは、情報を受取る場合についてもいえる（Leskovec, Adamic, and Huberman 2006）。

また、忘却についても、非接触状態が続くと一律に生じると仮定されているが、実際は過去の知名度の長さにも影響されるはずである。忘却の効果が重要な役割を担っているだけに、忘却に関するモデリングには注意深くあるべきであろう。

そして本研究のような理論研究を実証研究と並行して進めるべきことはいうまでもない。直接クチコミの伝播プロセスを観察することは難しいにせよ、消費者間ネットワークの性質、クチコミの伝播速度やメッセージの知名度などの情報を紡ぎ合わせながら、シミュレーションの妥当性を検証していくことが望まれる。

参考文献

Barabási, Albert-Laszlo (2002), *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means*, Perseus Books Group. (新ネットワーク思考—世界のしくみを読み解く, NHK 出版)

Brown, J. J. and Reingen, P.H (1987), "Social Ties and Word-of-Mouth Referral Behavior," *Journal of Consumer Research*, 14(December), 350-362..

Godes, D. and Mayzlin, D. (2004), "Firm-Created Word-of-Mouth Communication: A Field-Based Quasi-Experiment," *HBS Marketing Research Papers*, 04-03.

Houston, Mark, Michael Hutt, Christine Moorman, Peter H. Reingen, Aric Rindfleisch, Vanitha Swaminathan, and Beth Walker (2004), "A Network Perspective on Marketing Strategy Performance," in Cristine Moorman and Donald R. Lehmann eds., *Assessing Marketing Strategy Performance*, Cambridge, MA: Marketing Science Institute, 229-246.

Katz, Elihu and Paul F. Lazarsfeld (1955), *Personal Influence: The Part Played by People in the Flow of Mass Communications*. Free Press.

Leskovec, Jure, Lada A. Adamic, and Bernardo A. Huberman (2006), The Dynamics of Viral Marketing, *Proceedings of the 7th ACM Conference on Electronic Commerce*, June, 228-237..

Watts, Duncan J. and Steven H. Strogatz (1998), Collective Dynamics of 'Small-world' Networks. *Nature*, Jun 4; 393(6684): 409-10

増田直紀, 今野紀雄 (2006)『複雑ネットワークの科学』産業図書.

Watts, Duncan J. (1999), *Small Worlds: The Dynamics of Networks Between Order and Randomness*, Princeton University Press. (スモールワールド・ネットワーク—世界を知るための新科学的思考法, 阪急コミュニケーションズ)