

マルチエージェント・シミュレーションによる政策拡散の研究 —社会ネットワークに注目して—

湯川 拓（東京大学総合文化研究科博士課程）

はじめに

本稿はある国家によって採用された政策が他の国家にも波及していくという国際的な「政策拡散 (policy diffusion)」がどのような場合に起こるのかを、ネットワークという視点から明らかにするものである。政策拡散は自治体間や州政府間など数多くのユニットにおいて見られる現象であるが、国家間でも様々な政策が拡散していったとされている。政策拡散についての研究は近年急速に増加しつつあり、本項で扱う国際的な政策拡散についての研究もまた、一大潮流を作りつつある観がある。

それらの研究においては、「ある政策領域において拡散と呼べる現象があったかどうか」(whether)を経験的に確認する作業、並びに、「拡散があった場合、それはなぜ起こったのか」(why, how)というメカニズムを同定する作業、の二点が主要な問題関心となってきた。その半面、あまり取り組まれてこなかったのが「いつ(when)」「どこで(where)」「どの程度(to what extent)」という問いである。つまり、メカニズムの類型化は進んでも、それがどのような場合に働くのかについて先行研究の語るところは乏しい。

そのような中、近年拡散が起こる条件、あるいは拡散を促す要因として注目され始めているのが「ネットワーク」である。国際関係におけるネットワークとは、例えば政府間合合や共通の国際機構への参加などの外交関係がその最たるものであるが、他にも貿易量というモノの流れ、ビジネスコミュニティや NGO などの非国家のつながりなども含まれる。そしてこれらのネットワークが国際的な政策拡散を促進する、と考えられているのである。政策拡散は他者が政策を採用することが自らにも何らかの影響を及ぼすために生じる現象であるが、その「他者」として自分以外の全てを想定するのではなく、自分の個人的な社会ネットワークでつながっている他者を想定するのである。これは政策を採用する際の行動としては十分もっともらしいものである。

本稿ではこの「ネットワーク」と「政策拡散」の間の関係について、あるいは前者が後者に与える影響について、マルチエージェント・シミュレーション (Multi-Agent Simulation: MAS) という技法を用いることで新たな知見を提供する¹。特に、「あるコミュニティにおけるネットワークが密になるほど、政策は拡散する」という通説的な議論を再

¹ MAS はコンピュータ・シミュレーションの一技法である。MAS の特徴は、複数のエージェント（この場合は国家）の相互作用によってマクロな現象（この場合は政策拡散）を創発させることにある。

検討したい。

シミュレーションを用いるということは、一種の思考実験を行うということである。すなわち、本稿ではシンプルかつ自然な行動ルールに従って動く国家同士の相互作用によって政策拡散が生じるというモデルを構築し、そのモデルの振る舞いを決めるパラメータ（この場合はネットワーク）を変化させて実験することで、パラメータと政策拡散の関係を同定する²。従来の政策拡散研究のほとんどは個別事例（それも拡散に成功した事例のみ）を取り上げてそこから帰納的に考察する手法を採ってきた。その意味で本稿は従来とは異なる角度から政策拡散にアプローチするものであると言える。

1、先行研究

本稿では国際的な政策拡散の定義についてはシモンズらの研究に基づき、「ある国における政府の政策決定がそれ以前に他の国によってなされた政策選択からシステムティックに条件付けられる時、国際的な政策拡散が起こったとする」と考える（Simmons et al. 2006: 787）。したがって政策拡散は以前に他の国が採用した政策に規定されるという意味で経路依存적であると共に、国家間の相互依存関係によって特徴付けられると言える。

政策拡散研究は 40 年ほど前から存在するが、最初期の研究はアメリカの州政府間の政策拡散を扱ったものであった（Walker 1969; Gray 1973）。それらの研究はやがて周りの州のうちどれぐらいの割合の州が採用しているかという採用率を独立変数として組み込んだ計量分析を行うなど研究の幅を広げ研究を蓄積させてきた（Berry and Berry 1990; Mintrom 1997）。具体的には、死刑制度の廃止、宝くじ、カジノ合法化、福祉政策、環境基準など様々な政策の波及が指摘される。

他方、国際政治における政策拡散が本格的に研究されるようになったのはこの 10 年ほどである。それ以前の国際政治学における波及と言え、ほとんどの場合は戦争の波及であり政策の波及は対象とはならなかった³。やがて 90 年代から構成主義の台頭と共に規範の波及が扱われるようになり（Finnemore and Sikkink 1998）、最後に Simmons and Elkins(2004)を一つのきっかけとして主に国際政治経済の分野で政策拡散研究が一種のブームを迎えることになる。具体的には、年金の民営化（Brooks 2005）、国家予算における社会支出規模（Jahn 2006）、中央銀行の独立性（Polillo and Guillén 2005）、法人税引き下げ（Cao 2010）などの様々な政策が国際的に拡散していったことが指摘されている。

これらの政策拡散研究の多くは上でも述べたように個別事例の研究を通して、拡散があったか否かの判断、そしてどうして拡散が起こったのかというメカニズムの同定、を行ってきた。その結果、メカニズムとしては①学習、②競争、③模倣、④強制的の四つに類型化

² しかしいくらモデルにおける国家の行動ルールとしてシンプルなものを想定したとしても、それが多数（本稿の場合は 100）に及び、かつそれらが互いに複雑に相互作用を行う場合には、人間の頭でそれを処理するのは不可能である。したがって、コンピュータによるシミュレーションが必要になってくる。

³ 代表的な研究として、Most and Starr(1980)

できるということがコンセンサスになりつつある (Simmons et al. 2006)。それらのメカニズムのどれが働くにせよ、周りの国家の採用が一種の「バンドワゴン・プレッシャー」 (Abrahamson and Rosenkopf 1997) として働く、というわけである。つまり、他の国が採用するほど自国への圧力あるいは自国の採用へのインセンティブが高まるのである。

しかし、多くの場合政策拡散研究は個別事例、それも成功例のみを取り上げてきたために⁴、一般的にどのような場合にどの程度拡散が進むのか、という問題に答えることができなかった。さらにいうと、メカニズムのタイポロジーを作成することに留まり、理論化の試みが進展していない。このような点が政策拡散研究の課題としてあげられる。

そのような中、拡散を促進する要因として近年注目され始めたのがネットワークである⁵。つまり、政策拡散はただ単に国家から国家へ波及していくわけではなく、ネットワークでつながっている国家同士で波及していく、という議論である。具体的には、貿易や国際機関などのネットワーク通じて新自由主義的政策が拡散していくという研究 (Cao 2010) や、貿易を通じたネットワークが生み出す「規範的圧力」によって「中央銀行の独立性」という政策が拡散していったことを指摘する研究 (Polillo and Guillén 2005)、などがある。

本稿で注目したいのは、そのような研究ではネットワークと政策拡散が単線的な関係にあるとされてきたことである。すなわち、国家間のネットワークが密になっていくほどある政策は広く拡散していく、という関係が多くて多くの研究者の念頭にあり、それを仮説化して実証する（多くの場合は統計的手法を用いて）という方法が採られてきたのである。確かに、あるコミュニティにおいて構成員同士の社会的紐帯が密なほうが新しい価値やイノベーションが広がっていきやすい、という議論は直感にそぐうものではある。しかし本当にネットワークと政策拡散がそのような単純な関係にあるのか、MAS で検証することが本稿の課題となる。

2、モデルの説明

(1) 閾値モデル

① 閾値モデルの基本的説明

前節では、政策拡散研究についての先行研究をまとめてきた。しかし、政策拡散に関連する研究は政治学のみ求めてよいものではない。何かが波及していくことの研究は「イノベーションの普及」という形で比較的早くから一般的に議論されてきた (ロジャーズ 1990; ムーア 2002)。本稿ではその中でも特に数理社会学の分野で集団行動や価値の波及の分析に用いられてきた「閾値モデル」 (Granovetter 1978; Macy 1991) に基づいて政策

⁴ 例外としては、フォーマルモデルを用いた Volden et al.(2008)がある。ただしこれは自分一人で行う学習と周りからの拡散の二つが、メカニズムは違えど結果は類似したものになることを指摘するものであり、それ自体は興味深いものの本稿とは問題意識を異にする。

⁵ 国際関係論におけるネットワーク分析については、Hafner-Burton et al. (2009) 参照。

拡散をモデル化することにする。閾値モデルを採用する理由は、それが政策拡散において見られる「バンドワゴン・プレッシャー」すなわち、周りの国がある政策を採用することが自国に一種の圧力となって作用すること、を表現するにふさわしい数理モデルだからである。

本稿のモデルにおいて個人（本稿のモデルでは国家）は初期状態では全て同一の政策（「既存政策」）を採っている。そしてその後、新政策を採り始める国家（イノベータ）が現れ、それが拡散していく。各国家は新政策を採用するかどうかを決定する際に周りがどの程度その政策を採用しているか、という集団における拡散率に準拠する。その際、採用するかどうかについての一定の基準値（＝閾値）をそれぞれが個別に持っており、拡散率が閾値に達すると自分も採用する。以上を整理すると以下のようになる。

- ・各国家は初期状態では既存政策を採用している（初期状態での新政策の拡散率は0）
- ・各国家 i は各時点において新政策を採用する／しないという選択肢を持つ。
- ・各国家 i は採用を決める際に、時点 t における集団の採用率 $r_t \in [0,1]$ に対して閾値 $x_i \in [0,1]$ を持ち $r_t \geq x_i$ ならば次の時点 $t+1$ において新政策を採用する。
- ・ x_i は時間的に一定である。

ここで閾値が一定の確率分布 $f(\cdot)$ に従うとすると、時点 $t+1$ での採用率は

$$r_{t+1} = F(r_t)$$

として表すことができる。ここで $F(\cdot)$ は閾値の累積分布関数である。なお、本稿では確率分布 $f(\cdot)$ として正規分布を設定する。これは実際の流行現象の波及過程においてしばしば見られる傾向から仮定されるものであり、閾値モデルの創始者であるグラノベッターをはじめとして一般的に用いられている（Granovetter and Soong 1983; Abrahamson and Rosenkopf 1993）。

なお、上でふれたイノベータは閾値が0、すなわち周りが採用していなくても新政策を採用する国家がこれにあたる。

②ネットワークの導入

以上が閾値モデルの説明である。本稿の工夫としてここにネットワークの要素を導入する。グラノベッターの閾値モデルにおいては、個人は集団すべてにおける採用率と自らの閾値を比較して採用を決める。しかし実際には「社会的構造（social structure）」の影響を考察する必要があることは、既にグラノベッター自身も指摘していた（Granovetter 1978: 1429-1430）。すなわち閾値モデルでは個人間はあたかも互いが見知らぬもの同士であるかのように扱われてきたが、実際には例えば知り合いの行動は他人よりも重視する（知り合いの内の採用率を全集団の内の採用率よりも重視する）、といったことは現実的にいかにも

ありそうなことである。また、上でも述べたように近年の政策拡散研究ではネットワークが拡散を促す要因として重視されている。

したがって本稿では集団全体の採用率ではなく、自分と関わりがある d 個の国家における採用率と自らの閾値を比較することによって採用を決めることにする。すなわち、

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^d \delta_j}{d}$$

Where δ_j equals 1 if agent j is an adopter or 0 otherwise.

とする⁶。

(2) マルチエージェント・シミュレーション

①従属変数とパラメータ

グラノベッターは上でも述べたように、社会的構造の重要性を指摘しながらもその影響は複雑であると指摘するに留まり、具体的な研究の俎上に乗せることはしなかった

(Granovetter 1978)。それに対し、本稿ではその複雑さに対して MAS によるアプローチを試みる。

各エージェント（本稿では国家にあたる）は上で述べたようなネットワーク込みの閾値モデルにしたがって行動する。エージェント数は 100 である。そして本稿の被説明変数は「拡散率」である。これは全エージェントの内、どれぐらいの割合が新政策（＝政策 B）を採用したか、というものである。

それぞれのエージェントが持つ閾値は正規分布に基づく乱数によって与えられる。グラノベッターのモデルに従い、その際 0 以下の乱数が割り当てられたときはそのエージェントの閾値は 0、1 以上の乱数が割り当てられたときの閾値は 1 とする (Granovetter 1978: 1427)。正規分布の形を規定する平均は b_{mean} 、標準偏差は b_{stdev} 、と表すことにする。

他方、本稿における独立変数、あるいは値を変化させるパラメータはネットワークである。ネットワークの形態はランダムネットワークであり（図 1-①）、そのリンク率をこちらで操作する。「リンク率」とは引きうるリンク総数（この場合、エージェントの数は 100 で固定なので $100(100-1)/2$ 本）の内、実際に引かれている割合を指す。リンク率が 1.0 のときは完全グラフになる。本稿ではリンク率を 0 から 0.5 まで 0.05 刻みに変化させ、拡散率の変化を見ていくことにする。

しかし、実際に試行する際には、各エージェントの閾値分布を規定する正規分布の b_{mean} と b_{stdev} をどのような値に設定するかが問題となってくる。というのも、閾値モデルでは閾値の分布のわずかな違いで結果が大きく変わる場合があるからである。本稿では閾値モデル

⁶ 閾値モデルとネットワークを接合させる試みとしては、Abrahamson and Rosenkopf(1997)や Valente(1996)、Chwe(1999)、Siegel(2009)などがある。

についてのそのような知見を踏まえて、いくつかの限定的な値の b_{mean} と b_{stdev} において試行を行うことにする。

それにあたり、ここで閾値モデルにおける均衡 (equilibrium) について述べたい。これは $r_t = r_{t+1} = r^*$ として示され、拡散率が変化を止める点のことである。一般にこれは累積分布曲線 $F(\cdot)$ と 45 度線のグラフの交点から求めることが出来る⁷。交点の数は 1 から 3 個の内のどれかをとるが、図 2 では例として三点で交わる場合を示してある。均衡には二種類あり、45 度線の上から下へとクロスする点は安定均衡であり、その近傍にある採用率の時間を経た後の収束点となる。逆に下から上へとクロスする点是不安定均衡と呼ばれ、時間と共に拡散率はそこから乖離していく。したがって一度不安定均衡点よりも大きな拡散率が得られれば、拡散率は飛躍的に増すことになる。この水準が「クリティカル・マス」にあたる (Schelling 1978)。あるいは、常に $F(\cdot)$ が 45 度線の上であれば、たとえ初期値が 0 でも拡散率は上昇していくことになる。

【図 2】

以上より、たとえ b_{mean} もしくは b_{stdev} のわずかな違いでも、閾値の累積分布関数 $F(\cdot)$ と 45 度線の関係によって拡散率がまったく変わってくるということがわかる⁸。したがって、 b_{mean} と b_{stdev} の値を変えて試行を行う際、本稿では「 $F(\cdot)$ と 45 度線が三つの交点を持つ場合」と試行 B「 $F(\cdot)$ が常に 45 度線の上にある場合」の二通りを行うことにする。具体的には試行 A-1 ($b_{mean}=0.3$, $b_{stdev}=0.15$) と試行 A-2 ($b_{mean}=0.25$, $b_{stdev}=0.15$) である。それぞれの 45 度線との関係は図 3 の通りである⁹。

【図 3】

A-1 と A-2 は b_{stdev} を固定させた上で b_{mean} を変化させることで $F(\cdot)$ を変えたものであるが、もちろん逆に b_{mean} を固定させた上で b_{stdev} を変化させることで同様のことも可能である。例

⁷ 閾値モデルにおける閾値の分布と均衡点について詳しくは、Granovetter and Soong(1983)、Yin(1998)、松田(2000)参照。

⁸ それと共に、以上のことからわかるのは閾値モデルが閾値分布とともに初期値にも依存するということである。すなわち、初期値が不安定均衡をわずかでも上回っていれば拡散率は上の安定均衡値まで上昇する。だが、本稿のモデルでは初期の採用率は 0 であるため、このような問題はひとまず扱う必要がない。

⁹ なお、図 3 はあくまで人数が無限として考えた場合のグラフであり、エージェント数が 100 であり、閾値を乱数を発生させる本稿のモデルでも同様のことが言えるのか、という問題はある。したがって、シンプルな閾値モデル (ネットワークが完全グラフ) において試したところ、拡散率は 300 回の平均で試行 A-1 が 0.15、試行 B-1 が 0.83 であり、両者に質的な差があるのは明らかである。

えば図 4 で示した B-2 ($b_{mean}=0.35$, $b_{stdev}=0.18$) と B-2 ($b_{mean}=0.35$, $b_{stdev}=0.23$) がそれにあたる¹⁰。

【図 4】

以上をまとめると、本稿はネットワークと拡散率の関係性を明らかにしようとする。シミュレーションにおいてパラメータの操作としては以上述べた A-1, A-2, B-1, B-2 の四通りの閾値分布においてそれぞれリンク率を 0 から 0.5 まで 0.05 刻みに変化させ、それぞれのリンク率の値について 300 回分の試行を行い、採用率の変化を見ていくことにする。

②解釈

最後に、パラメータである b_{mean} と b_{stdev} 、並びにリンク率が政策拡散の文脈でどのように解釈できるのかについてふれておきたい。まず b_{mean} は小さいほど閾値の平均値が小さくなり拡散がおきやすくなるため、既存政策の人気を示していると解釈できる (b_{mean} が大きいほど人気がある)。 b_{stdev} については、政策に対してそれぞれの国家が持つ満足度が国家がおかれた経済的／社会的状況に由来すると考えれば、 b_{stdev} は国家間の社会的／経済的多様性を示しているという解釈が可能である¹¹。また、リンク率は国際社会における関係性あるいはコミュニケーションの密度として理解することができる。

なお、このような b_{mean} と b_{stdev} の解釈に従えば、便宜的に試行 A1 は「既存政策の人気が高いモデル」、A2 は「既存政策の人気が低いモデル」、B1 は「国家の多様性が小さいモデル」、B2 は「国家の多様性が大きいモデル」、と呼ぶことができる。

3、試行結果

(1) 結果

まず、試行 A-1 (=既存政策の人気が高いモデル) 並びに試行 A-2 (=既存政策の人気が低いモデル) の結果を図 5 で示す。図中の直線はネットワークを考慮しない通常の閾値モデル (それはすなわち本稿のモデルではリンク率 1.0 の完全グラフ時を指す) の値である。リンク率を上げていくとネットワークの形状はリンク率 1.0 (完全グラフ) に近づいていくため、最終的には拡散率はこの直線の値に収斂すると思われる。

【図 5】

¹⁰ 拡散率は 300 回の平均で試行 B-1 が 0.12、試行 B-2 が 0.67 であった。

¹¹ この点については Yin(1988: 542)も参照。Yin は b_{stdev} は本稿のようなエージェントの属性の多様性と共に、政策 B のラディカルさを示しているという解釈も可能であるとしている。

これらから、二つの興味深い結果が得られた。第一に、試行 A-1 の場合には一度ピークをむかえた後はリンク数が増えていくほどに採用率が下がっていき、やがて完全グラフの値へと収斂する。すなわち、0.4 付近までは完全グラフの値を上回っているのである。第二に、試行 A-2 の場合にはリンク数が増えていくと拡散率も上昇していくが、興味深いことに極めて低いリンク率（具体的には、リンク率 0.05）で完全グラフの値へと収斂する。完全グラフの 5% しかリンクが引かれていない状態、あるいは自分以外の 99 人の内平均して約 5 人としかつながっていない状態にもかかわらず、拡散率は完全グラフのそれを達成するのである。したがって、それ以降に加えられる 95% のネットワークは拡散率には影響を及ぼさないことになる。

同様の傾向は図 6 で示したように、数値の絶対値や変化幅は異なるものの、試行 B-1（国家の多様性が小さいモデル）並びに試行 B-2（国家の多様性が大きいモデル）でも確認することができた。

【図 6】

（2）先行研究への示唆と現実へのインプリケーション

以上のことは政策拡散について興味深い知見を提供してくれる。何より重要なのはある社会におけるコミュニケーションの密度が政策拡散に与える影響、あるいはそれが社会に与える影響、は非常に複雑だ、ということである。

このような複雑さは従来の議論を再検討する契機を提供する。それはすなわち、ネットワークの密度と政策拡散の関係は、関係性が密なほど新政策が波及していくという単線的な関係ではない、ということである。実際には、状況によってはコミュニケーションが密なほど拡散率は下がったり、あるいは極めて低いリンク率で均衡に達しそれ以上いくらネットワークが密であっても拡散率は変化しなかったりする。この場合の「状況」とは具体的には「既存政策の人気」並びに「国家の多様性」という二つから成る。社会的紐帯が社会全体に及ぼす影響は、本稿のコンピュータ・シミュレーションで示したように、非常に複雑であり状況によって大きく異なってくるのである。

さらに、以上の複雑さをふまえると、既存研究におけるセレクション・バイアスの可能性を指摘することも出来る¹²。単一の事例から「ネットワークが密になるほど拡散が進む／進まない」といった判断を下すことはできない、ということが本稿のシミュレーションの結果から明らかになったからである¹³。ネットワークが政策拡散に及ぼす影響は（既存の政策の人気と国家の多様性に由来する）閾値分布によって大きく異なってからである。

¹² この点については Segel(2009)も参照。

¹³ また、Simmons and Elkins (2004) などのようにネットワークの密度をそのまま独立変数にして統計分析にかける、という手法もこうした複雑さを解明するのにそぐわない、ということになる。

以上、本稿の議論が先行研究の結論にどのような修正を加えることになるのかについて述べた。続いて、若干ではあるが本稿のシミュレーションの結果が持つ意味を具体的な事象の中で考えたい。本稿ではこの結果はグローバル化が政策／イノベーション／価値の波及に及ぼす影響について示唆を与えうると考える。グローバル化はしばしばこれらの収斂を引き起こすとされる。確かに、グローバル化によってヒト・モノ・カネ・情報の流れる「速度」が増したことは拡散に寄与するであろう。しかしやはりグローバル化によって引き起こされるであろう、通信網の拡大などの「ネットワークの拡大」それ自体は、拡散への効用が限られている可能性を示唆しているからである。逆に言うと、テクノロジーが発達する以前でもイノベーションや価値が意外なほどに波及していったという事例を解釈する可能性をこの結果は提示している。

4、応用的試行：ネットワークの形状の操作

以上、リンク率が政策拡散に及ぼす影響について、閾値の分布というコンディショナルな要因が存在することを示した。前節で行った試行ではリンク率を変化させていってその影響の変化を見たが、ネットワークの形態はランダム・グラフで固定されていた。それに対し、本節では応用的試行として、ネットワークの形態を変化させて拡散率の変化を見る。

応用的試行を行う理由は二つある。第一に、前節ではネットワークにおける「リンク率の変化」が拡散率に与える影響を考察したが、ここでは「ネットワークの形状」が拡散率に与える影響を考察する。第二に、ランダム・グラフにおいて見られた興味深い特徴が他のネットワークにおいても見られるのかを検証する。ランダム・グラフは特にその次数の大きさから必ずしも現実を反映しているとは限らないため¹⁴、現実へのインプリケーションを導く際には他のネットワークの形状でもそれが当てはまるのかどうかを吟味しておく必要がある。

したがって本稿では前節までで扱ったランダムネットワークに加えて、「国際社会における政策拡散」というテーマにひきつけて三つのネットワークとの比較分析を行う。すなわち、「スモール・ワールド」「リージョン・モデル」「大国モデル」の三つである。

(1) スモール・ワールド

第一に、「スモール・ワールド」である(図1-②)。スモール・ワールドは、平均次数を大きくしすぎずに小さい平均距離と大きいクラスター係数を達成するネットワークのことである¹⁵。作り方としては、最初にリング状に配置された100個のエージェントで次数 k の拡張サイクルを作り、合計 $\langle k \rangle N/2$ 本の枝の内、割合 p ($0 \leq p \leq 1$)だけの枝の片方の端点をつなぎかえる¹⁶。すなわち、リング状のネットワークから p だけ「近道」を作るわけで

¹⁴ 詳しくは、増田・今野(2010)参照。

¹⁵ 詳しくは、Watts and Strogatz (1998)参照。

¹⁶ すなわち、 $p=0$ のときはリング・モデルになり、 $p=1$ のときはランダム・グラフになる。

ある。現実世界のネットワークでもスモール・ワールドの形を取るものは多いことが指摘されているために、本稿でも取り上げることにする。

本稿では p は 0.1, 0.3, 0.5 の三通りとし、 k は 0 から 50 まで変化させて試行を行う。この三通りについて、それぞれ b_{mean} と b_{stdev} の設定が A1 のときと A2 のときに分ける。以上の六通りにおいて閾値モデルに基づく政策拡散のシミュレーションを行った結果が図 7 である。ネットワークの形態の変化が拡散率に及ぼす影響を示すことが本稿の主な目的なので、図中にはランダム・グラフの結果も書き入れてある¹⁷。

[図 7]

この結果より、スモール・ワールドについても、ランダム・グラフにおいて発見された特徴が見出されることが分かった。第一に、「既存政策の人気の高いモデル (A1)」の場合、比較的低いリンク率(0.2 前後)においてピークに達した後は、リンク率が上昇するほど拡散率はかえって下がる。第二に、「既存政策の人気の低いモデル (A2)」の場合、かなり低いリンク率(0.1 前後)において拡散率が均衡に達する。

次に、ネットワークの形状が拡散率に与える影響についてであるが、スモール・ワールドの場合、ランダム・グラフに比べ拡散率はより高くなる。これはランダムにおいて一度均衡点を越えてピークに達する場合 (A1) において顕著である。また、ピークに達するリンク率も、ランダム・グラフの場合に比べて高い。また、枝をつなぎかえる割合 p について見ると、 p が小さいほど、すなわち「近道」が少ないほど、拡散率とピークに達するリンク率はより高くなる。

(2) リージョン・モデル

第二に、「リージョン・モデル」である (図 1-③)。近年、地域主義あるいは地域化の動きが進む中で、「ヨーロッパ」「東アジア」などの地域ごとの関係性がより密になっている。そのように局地的なインタラクションの増加が見られる中、全体としての政策拡散あるいは地域を越えた政策拡散はどのような動きを見せるのだろうか。そのような問題意識の下に、本稿では「リージョン・モデル」を作成した。

このモデルでは 10 ずつのエージェントが計 10 個の「地域」を形成し、そこではネットワークは完全グラフが形成されている。そして地域をまたぐネットワーク (=ブリッジ) の数を操作することが出来る。当然、ブリッジ数を最大にすると全体として完全グラフになる¹⁸。このモデルも b_{mean} と b_{stdev} が A1 の場合と A2 の場合の両方で行う

¹⁷ 変数操作としては、 k を 0~20 の間は 4 刻みで、20~50 の間は 10 刻みで動かしている。当然であるが、 k の値を大きくしていくにつれてリンク率も増していくことになる。

¹⁸ 各リージョン内は常に完全グラフであるため、ブリッジ数 0 の時のリンク率は 0.0909... である。変数操作としては、以後ブリッジ数を 0~505 の間では 101 ずつ、505~2020 の間では 505 ずつ、動かしている。

[図 8]

この結果より、リージョン・モデルについてもランダム・グラフと同様の特徴が見られた。第一に、「既存政策の人気の高いモデル(A1)」については、あるリンク率 (0.15 前後) までは拡散率が完全グラフ時の値を越えて急激に上昇し、ピークを迎えた後に完全グラフ時の値へ収束していく。第二に、「既存政策の人気の低いモデル(A2)」についても、比較的低いリンク率(0.15 前後)で拡散率が均衡値に到達する。

拡散率の値そのものの比較としては、ピークにおける拡散率がランダム・グラフより高いということ、またピークや均衡値に達するリンク率がランダム・グラフの場合に比べて高いことはスモール・ワールドの場合と同様であるが、その後の拡散率がランダム・グラフと顕著な違いがないという点で異なっている。

(3) 大国モデル

第三に、「大国モデル」である (図 1-④)。国際社会はアナーキーであるとされ横並びのイメージが強い一方、その内実においては大国と小国の間に極めて大きな力の差があることも指摘されてきた。それは国際社会における「階層性」として議論される (Lake 2009)。その結果、同盟網などでも大国が「ハブ」となって圧倒的に多くのつながりをもつ、といった現象が観察される。そのように国際社会では少数の大国に極端に次数が集中している場合があることを表わしたのが、この大国モデルである。これは複雑ネットワークでは各ノードが持つリンク数の確率関数がべき則に従うという「スケールフリー・ネットワーク」にあたる。具体的なモデルの作り方としては、バラバシとアルバートが考案した、スケールフリー性が実現されるネットワークの作り方に従う¹⁹。それはネットワークが成長していく動的なモデルであり、新しく加わるノードは次数 m を持ち、次数が高いノードを優先的に選んで重複せずにリンクを結んでいく。これにより、各エージェントが持つ次数の分布はべき則 $p(k) \propto k^{-3}$ となる²⁰。モデル上では、このようにしてネットワークを形成した後、閾値モデルに基づく政策拡散が生じることになる。

これも b_{mean} と b_{stdev} が A1 の場合と A2 の場合の両方で行う²¹。変数操作としては、スモールワールドやリージョンのように様々な値で試行するではなく、 m は 2 と 3 のみで行う²²。

¹⁹ 詳しくはバラバシ(2002) 参照。

²⁰ バラバシ・アルバートモデルにおける次数分布の導出については増田・今野(2010: 99-103)参照。また、べき指数を 3 以外にすることも可能ではあるが、本稿では 3 に限定して試行を行う。

²¹ この場合のリンク率は、次数 2 で 0.04、次数 3 で 0.06 である。

²² これは、ノード数が 100 と限られているため、 m を 4 にあげた時点で次数分布がそれまでのべき則を維持できなくなるという理由による。なおこの場合のリンク率は、 $m=2$ で 0.04、 $m=4$ で 0.06 である。

[表 1]

大国モデルの場合は変数操作が限られていることから、これまでのようにリンク率を上げていったときの推移をランダム・グラフと比較することはできない。ただ、リンク数が 0.04 のときと 0.06 の時で比較してみると、多くの場合ランダム・グラフの値よりも低くなっている (A2 のリンク率 0.04 の場合のみ、大国モデルのほうが拡散率で上回るが、大きな違いはない)。特に A2 において差が顕著である。これはスモールワールドやリージョン・モデルでは見られなかったことであり、興味深い。もっとも大国モデルにおいては、極端に次数の高い「大国」が初期において採用者となっているかどうか、という偶然性が拡散を大きく左右していると思われる。

おわりに

本稿では国際的な政策拡散を左右する条件、特にネットワークが拡散率に与える影響をマルチエージェント・シミュレーションによって明らかにした。シミュレーションの主な結果は以下の四点にまとめられる。

- ①「既存政策の人気の高いモデル」と「国家の多様性が小さいモデル」においてはリンク率を上げていくと拡散率はピークを迎えた後に下がっていき、やがて完全グラフの値に収斂する。
- ②「既存政策の人気の低いモデル」と「国家の多様性が大きいモデル」においては極めて低いリンク率において拡散率は完全グラフの値に達し、それ以降は均衡する。
- ③ネットワークの形状を変えたとき、スモール・ワールドとリージョン・モデルにおいては以上の①と②は同様に確認される。
- ④リンク率だけではなく、ネットワークの形状も拡散率に大きな影響を与える。

これらの結果は、ネットワークが政策拡散に与える影響は従来理解されてきたように単純なものではなく、非常に複雑であることを示している。少なくとも単一の事例からはネットワークと政策拡散の関係一般を推し量ることはできないことになる。また、現実へのインプリケーションとしても「ネットワークの密度が低いにもかかわらず拡散した事例」や「ネットワークの密度が増したにもかかわらず拡散しなかった事例」という従来の見解からすればパズリングな事例を解釈する手がかりになる。

本稿で行ったことは一種の思考実験である。思考実験は理論や仮説を作るときに研究者が行っているものである。例えば「小選挙区制ならば二大政党制になる」というのも、選挙制度と政党制の関係についての思考実験を通してまずは理論的に導かれたのであり、

それがその後経験的に実証されていく。同様に、本稿ではネットワークと政策拡散の間の関係について思考実験を行ったのである。先行研究が示すように、一般には「ネットワークの密度が増すほど、政策は拡散する」と考えられてきた。これは直感にもそぐうものではある。しかし人間の頭による思考実験ではなくコンピュータを用いた思考実験により、ネットワークと政策拡散の間には非常に複雑な関係が存在することが明らかになった。前提を共有しつつそこから導かれる結果としてまったく新たなものを提示したという意味で、本稿の分析はコンピュータ・シミュレーションを導入する意義を端的に示すことができたと言える。また、閾値モデルにネットワークの要素を加えた（だけ）という極めてシンプルなモデルからこのように多様で複雑な結果が生み出されたということにも意義があるかもしれない。

もっとも、上で「思考実験」と述べたように本稿の発見はあくまで「論理上の発見」である。事例分析を重ねることで現実との対応関係をつけていくことが今後の課題である。

参考文献

- 松田光司(2000)「集合行動の閾値モデル」小林淳一他（編）『社会のメカニズム』ナカニシヤ出版。
- アラバート＝ラズロ・バラバシ、青木薫（訳）(2002)『新ネットワーク思考－世界の仕組みを解く』NHK 出版。
- ジェフリー・ムーア、川又政治訳（2003）『キャズム』翔泳社。
- 増田直紀・今野紀雄(2010)『複雑ネットワーク』近代科学者。
- E. M. ロジャーズ、青池慎一他監訳（1990）『イノベーション普及学』産能大学出版部。
- Abrahamson, Eric and Lori Rosenkopf (1993) “Institutional and Competitive Bandwagons: Using Mathematical Modeling as a Tool to Explore Innovation Diffusion”, *Academy of Management Review*, 18(3), 487-517.
- Abrahamson, Eric and Lori Rosenkopf (1997) “Social Network Effects on the Extent of Innovation Diffusion: A Computer Simulation”, *Organizational Science*, 8(3), 289-309.
- Berry, Francis Stokes and William D. Berry (1990) “State Lottery Adoptions as Policy Innovations: an Event History Analysis”, *American Political Science Review*, 84(2), 395-415.
- Brooks, S.M. (2005) “Interdependent and Domestic Foundations of Policy Change: The Diffusion of Pension Privatization Around the World”, *International Studies Quarterly*, 49 (2), 273-294.
- Canon, Bradley C. and Lawrence Baum (1981) “Patterns of Adoption of Tort Law Innovations: An Application of Diffusion Theory to Judicial Doctrines”,

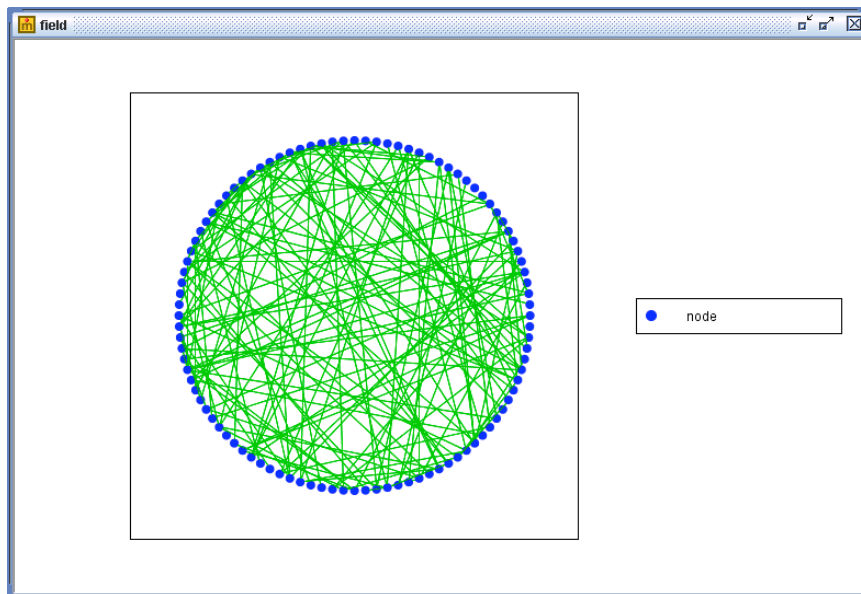
- American Political Science Review*, 75(4), 975-987.
- Cao, X (2010) "Networks as Channels of Policy Diffusion: Explaining Worldwide Changes in Capital Taxation, 1998-2006", *ISQ*, 54(3), 823-854.
- Chwe, Michael Suk-Young (1989) "Structure and Strategy in Collective Action", *American Journal of Sociology*, 105(1), 128-156.
- Finnemore, Martha and Kathryn Sikkink (1998) "International Norm Dynamics and Political Change", *International Organization*, 52(4), 887-914.
- Gray, Virginis (1973) "Innovations in the States: A Diffusion Study", *American Political Science Review*, 67(4), 1174-1185.
- Granovetter, M. (1978) "Threshold Models of Collective Behavior", *American Journal of Sociology*, 92, 1420-1443.
- Granovetter, M. and R. Soong (1983) "Threshold Models of Diffusion and Collective Behavior", *Journal of Mathematical Sociology*, 9, 165-179.
- Hafner-Burton, Emilie M., Miles Kahler and Alexander H. Montgomery (2009). Network Analysis for International Relations. *International Organization*, 63(3), 559-592.
- Jahn, D. (2006) "Globalization as 'Galton's Problem': The Missing Link in the Analysis of Diffusion Patterns in Welfare State Development", *International Organization*, 60(2), 401-431.
- Lake DA. (2009) *Hierarchy in International Relations*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Lake, D.A. and W.H. Wong (2009) "The Politics of Networks: Interests, Power, and Human Rights Norms", in Miles Kahler (ed.) *Networked Politics: Agency, Power, and Governance*, 127-150. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Lazer, David (2005) Regulatory Capitalism as a Networked Order: The International System as an Inform", *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 598(1) 52-66
- Lee, Chang Kil and David Strang (2006) "The International Diffusion of Public-Sector Downsizing: Network Emulation and Theory-Driven Learning", *International Organization*, 60(4) 883-909.
- Macy, Michael W. (1991) "Chains of Cooperation: Threshold Effects in Collective Action", *American Sociological Review*, 56(6), 730-747.
- Mintrom, Michael (1997) "Policy Entrepreneurs and the Diffusion of Innovation", *American Journal of Political Science*, 41(3), 738-770.
- Most, Benjamin A. and Harvey Starr (1980) "Diffusion, Reinforcement, Geopolitics and the Spread of War", *American Political Science Review*, 74(4), 932-946.

- Polillo, S. and Mauro F. Guillén (2005) "Globalization pressures and the state: the worldwide spread of central bank independence", *American Journal of Sociology*, 110(6), 1764–1802.
- Prakash, Aseem and Matthew Potoski (2007) "Investing Up: FDI and the Cross-Country Diffusion of ISO 14001 Management Systems", *International Studies Quarterly*, 51(3), 723-744.
- Schelling, Thomas C. (1978) *Micromotives and Macrobehavior*, (New York: Norton)
- Siegel, David A. (2009) "Social Networks and Collective Behavior", *American Journal of Political Science*, 53(1), 122-138.
- Simmons, Beth and Zachary Elkins (2004) "The Globalization of Liberalization: Policy Diffusion in the International Political Economy", *American Political Science Review*, 98(1), 171-189.
- Simmons, Beth, Frank Dobbin, and Geoffrey Garrett (2006) "Introduction: The International Diffusion of Liberalism", *International Organization*, 60(4), 781-810.
- Smirnov, Oleg and James H. Fowler (2007) "Policy-Motivated Parties in Dynamic Political Competition", *Journal of Theoretical Politics*, 19(1), 9-31.
- Strang, David and Michael Macy (2001) "In Search of Excellence: Fads, Success Stories, and Adaptive Emulation", *American Journal of Sociology*, 107(1), 147-82.
- Valente, Thomas W. (1996) "Social Network Threshold, to the Diffusion of Innovations", *Social Networks*, 18, 69-89.
- Volden, Craig, Michael M. Ting, and Daniel P. Carpenter (2008) "A Formal Model of Policy Learning and Policy Diffusion", *American Political Science Review*, 102, 319-332.
- Walker, Jack L. (1969) "The Diffusion of Innovations among the American States", *American Political Science Review*, 63(3), 880-899.
- Watts, D. J. and S. H. Strogatz (1998) "Collective Dynamics of Small World Networks", *Nature*, 393, 440-442.
- Yin, Chien-Chung (1998) "Equilibria of Collective Action in Different Distributions of Protest Thresholds", *Public Choice*, 97(4), 553-567.

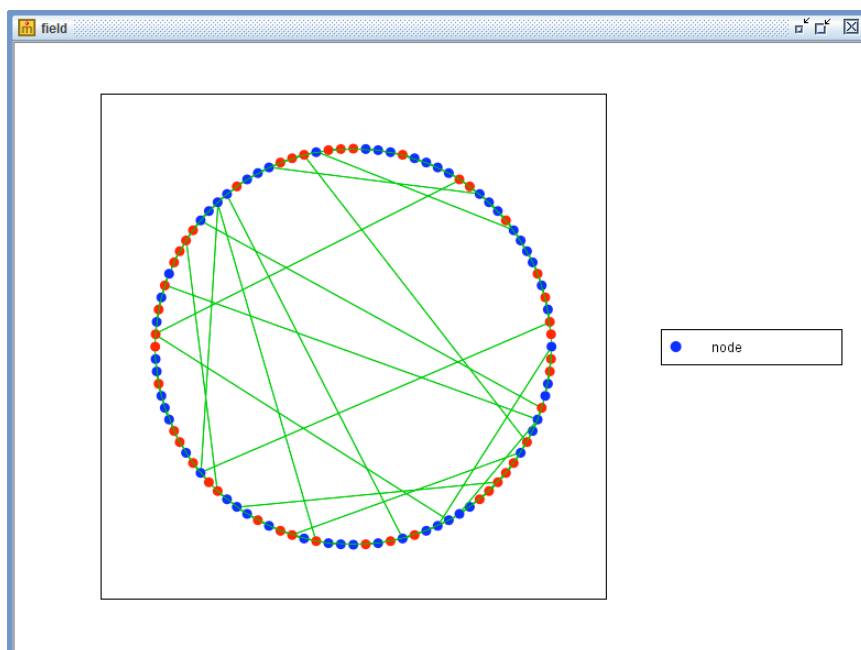
マルチエージェントシミュレーションによる政策拡散の研究：図表

図1 各ネットワークの形態

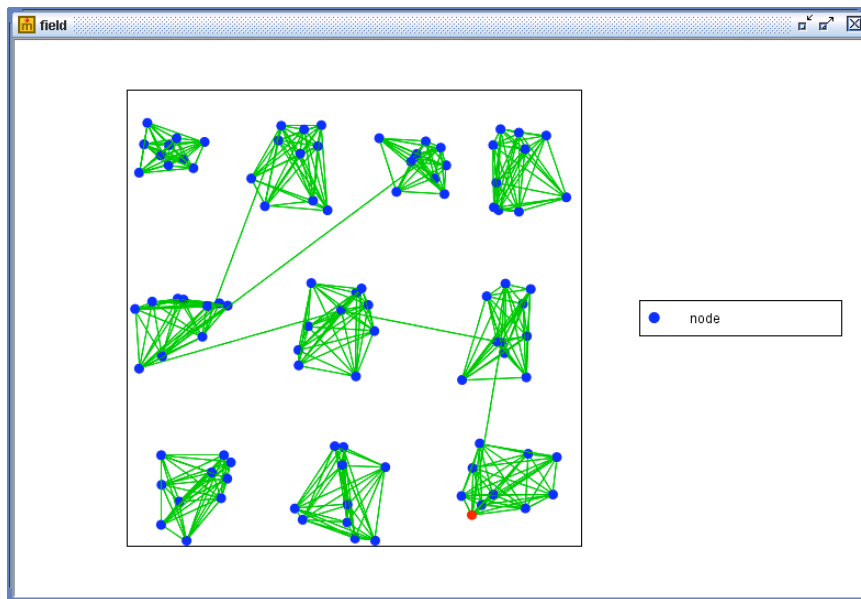
①ランダム・グラフ



②スモール・ワールド



③ リージョン・モデル



④ 大国モデル

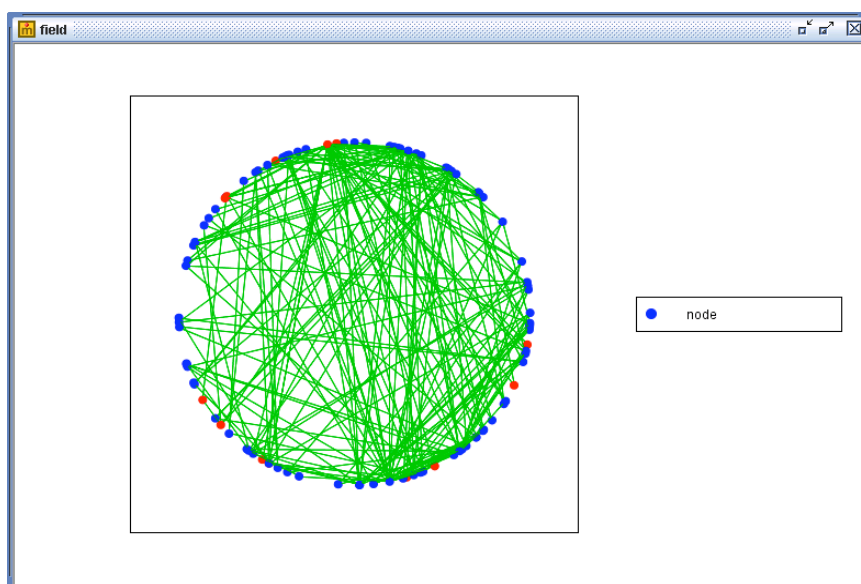


図 2 : 累積分布曲線と均衡点

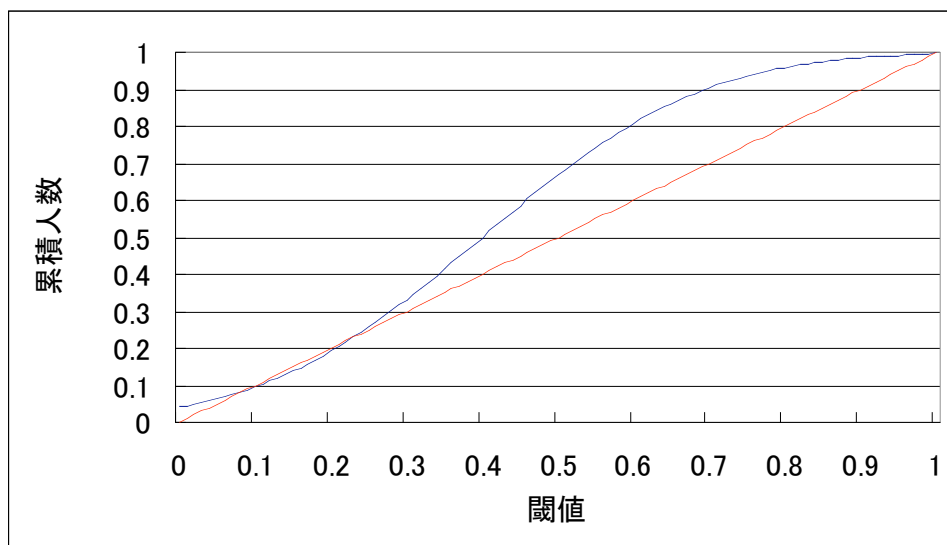


図 3 : 試行 A1 と A2

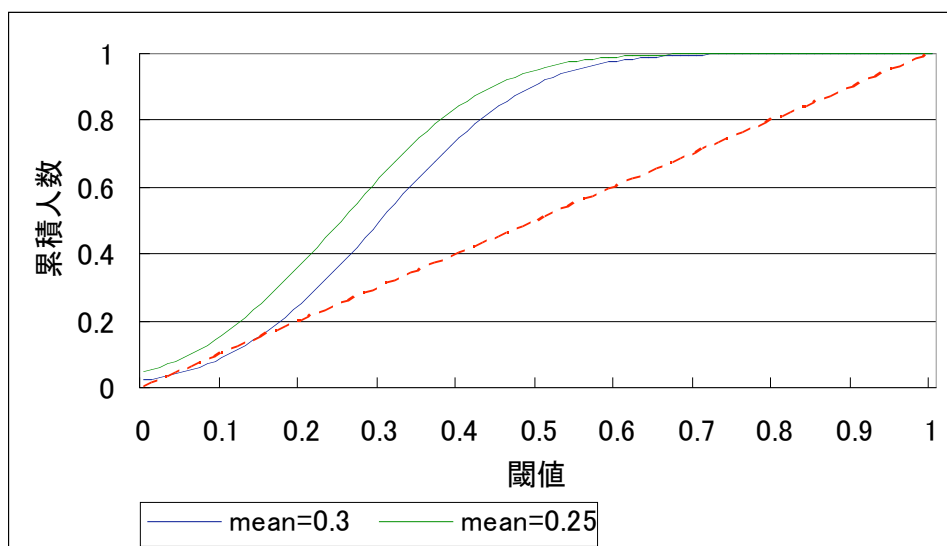


図 4 : 試行 B1 と B2

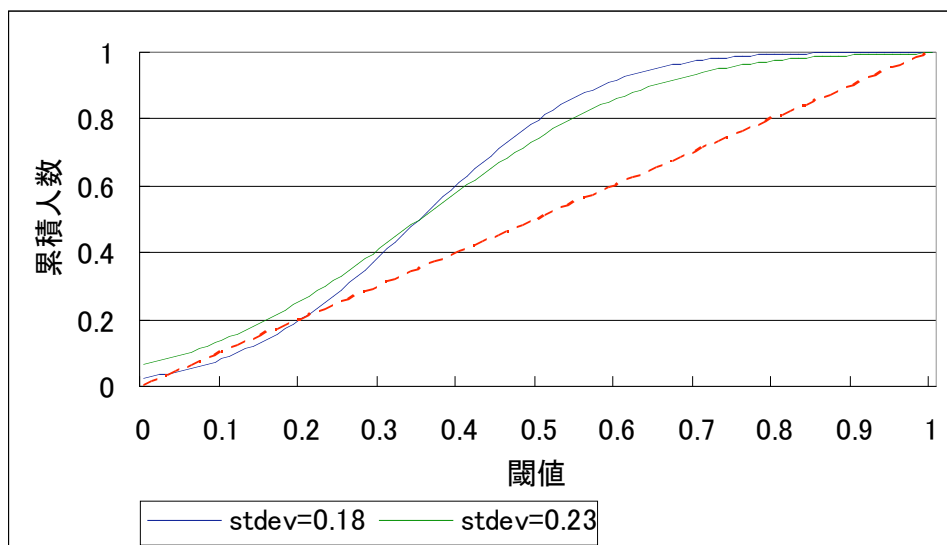
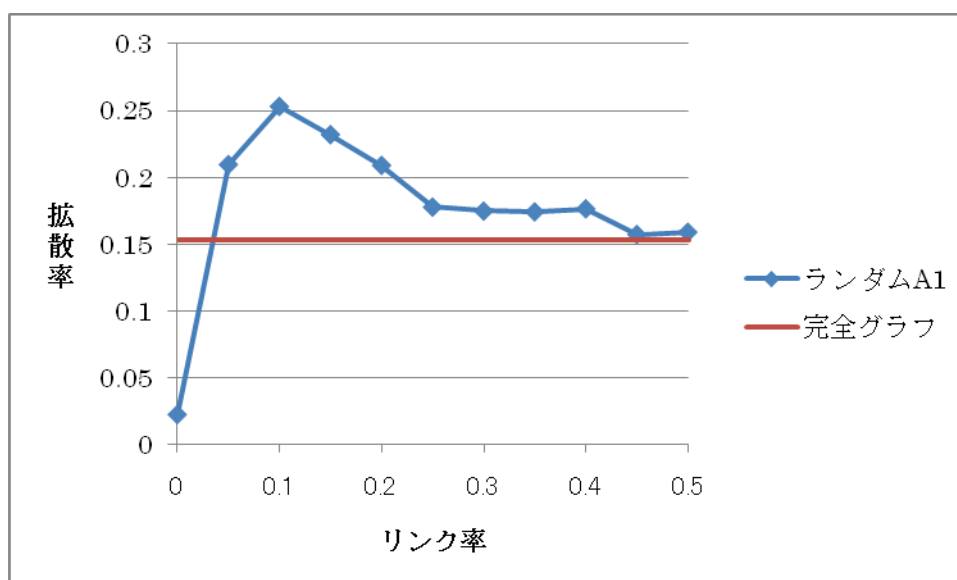


図 5 : ランダム A1 と A2

A1



A2

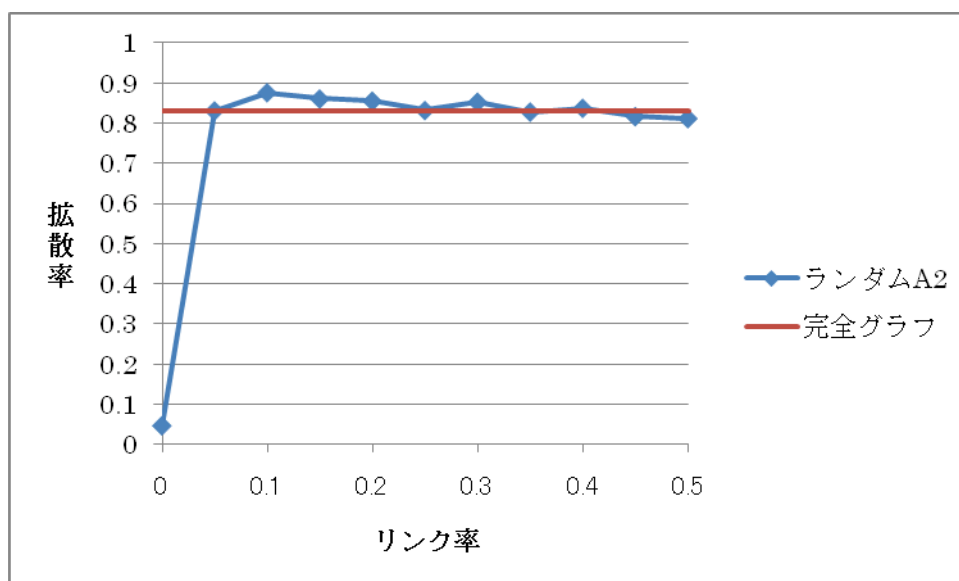
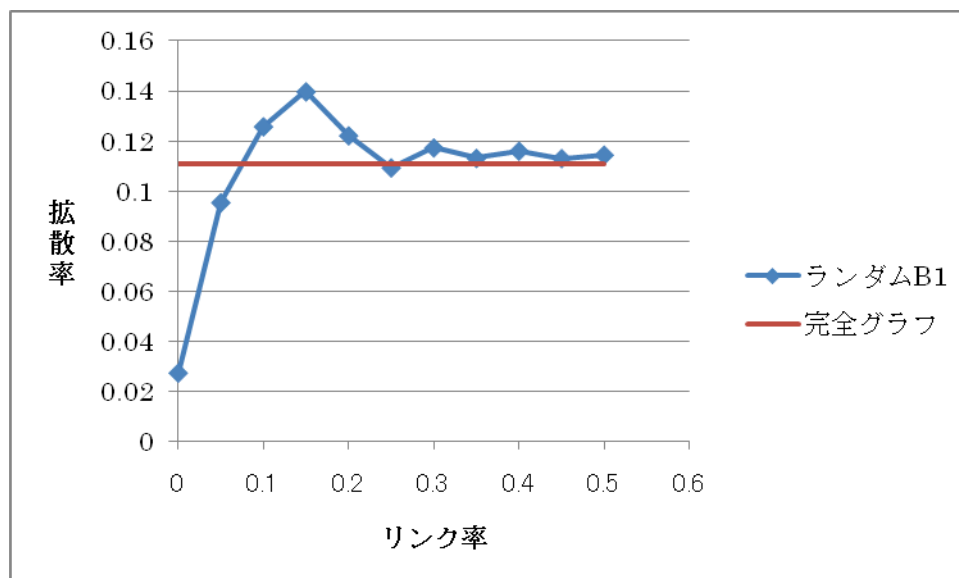


図 6 : ランダム B1 と B2

B1



B2

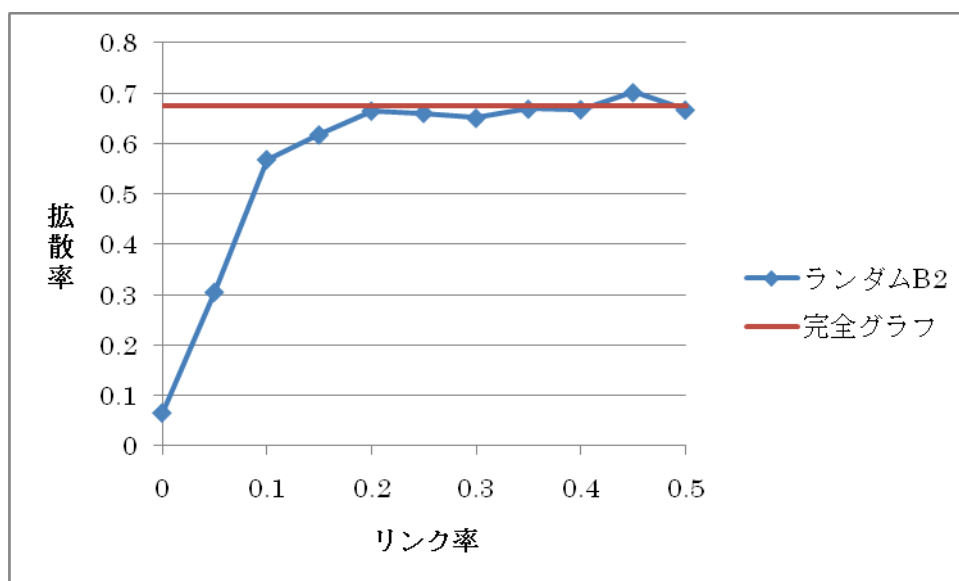
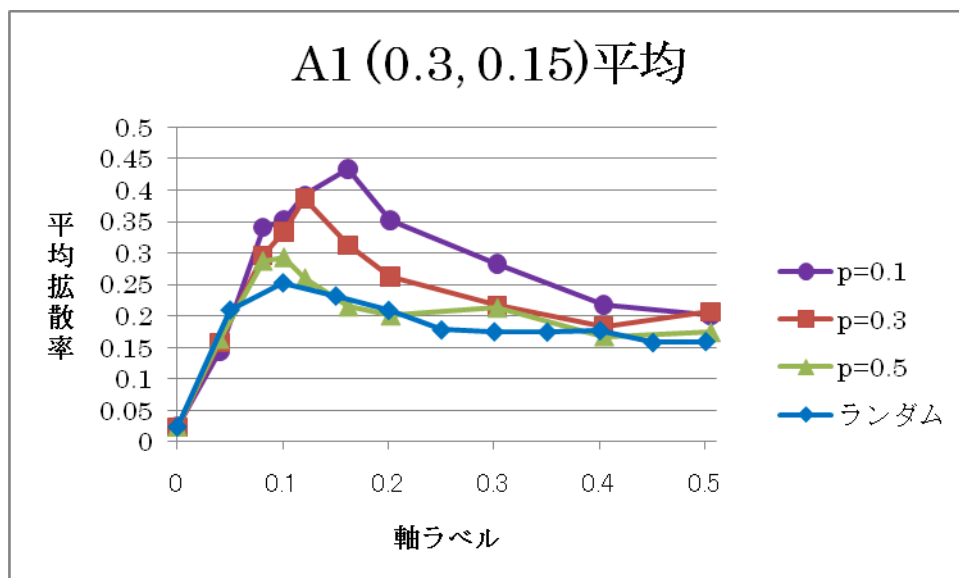


図7 スモールワールド
スモールワールド A1



スモールワールド A2

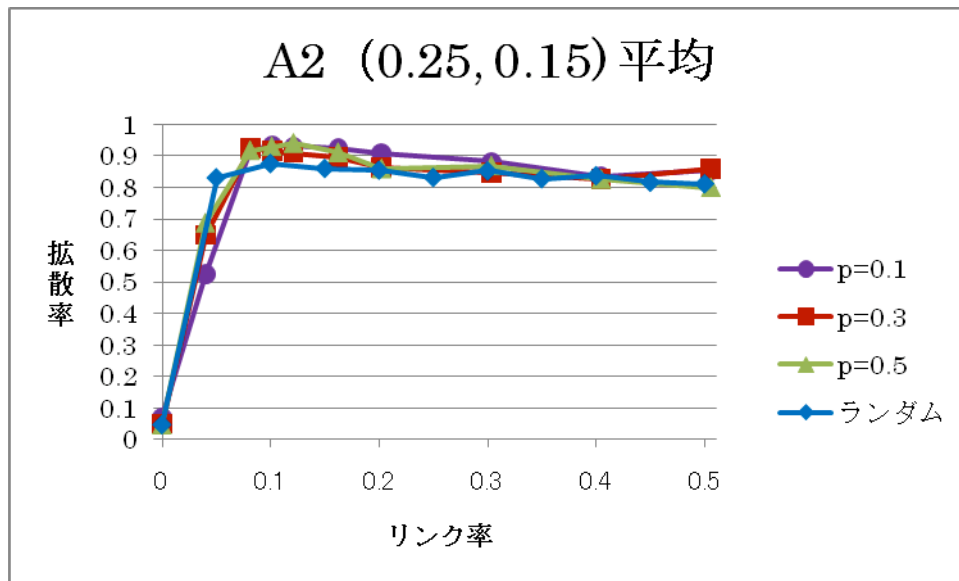
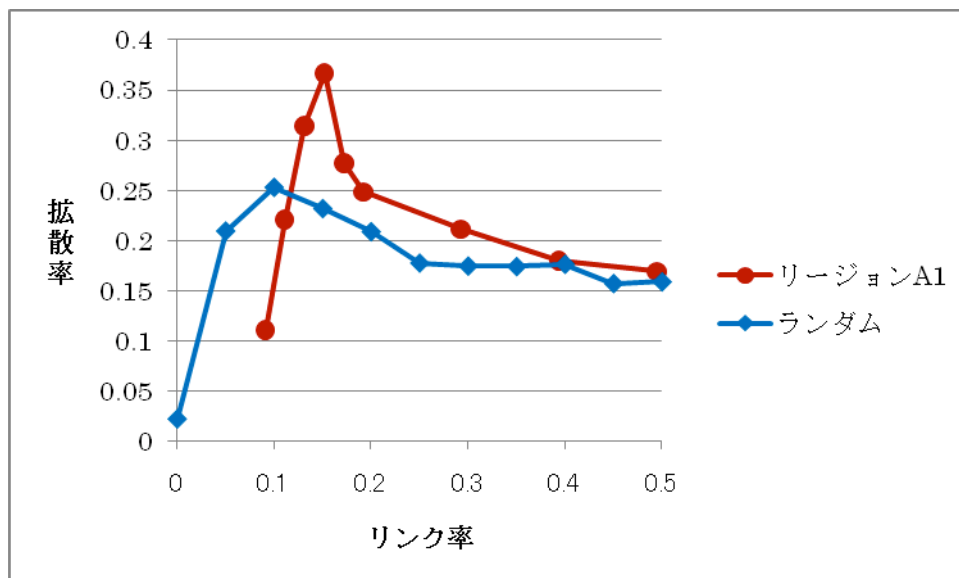


図8 リージョン・モデル

リージョン・モデル A1



リージョン・モデル A2

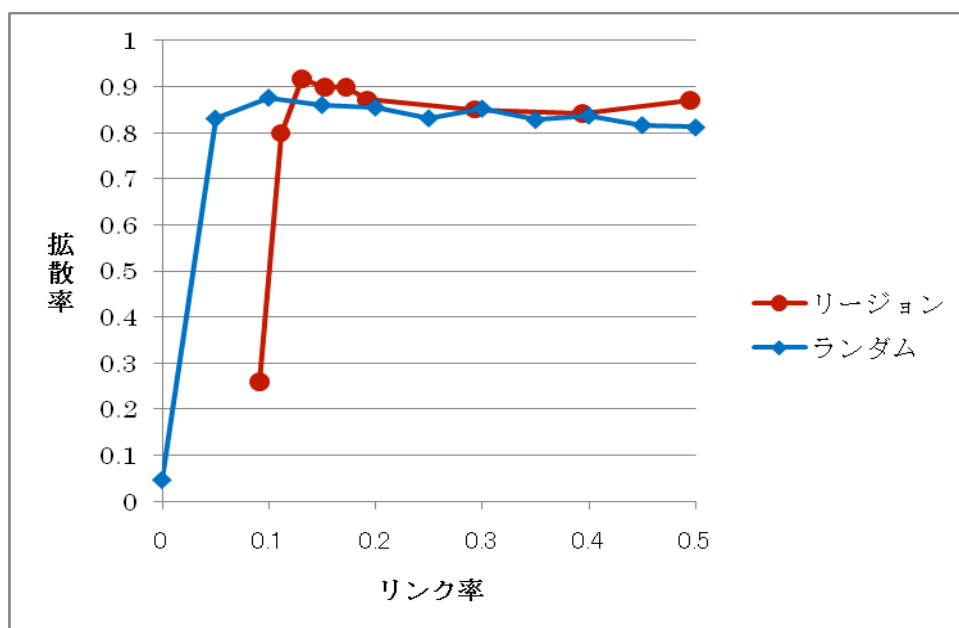


表 1

大国モデル A1

次数	2	3
リンク率	0.04	0.06
大国モデル拡散率	0.158	0.159
ランダム拡散率	0.146	0.228

大国モデル A2

次数	2	3
リンク率	0.04	0.06
大国モデル拡散率	0.655	0.541
ランダム拡散率	0.750	0.861