

集団的挙動の循環現象

著者	塩村 尊, 山原 雄一
雑誌名	情報研究 : 関西大学総合情報学部紀要
巻	30
ページ	37-49
発行年	2009-01
その他のタイトル	Cyclical Fluctuations in Collective Behavior
URL	http://hdl.handle.net/10112/1011

集団的挙動の循環現象

塩村 尊^{*1} 山原 雄一^{*2}

要 旨

本稿の目的は第1に、マルチエージェントモデルである閾値モデルと分居モデルを融合させることによりミクロ的挙動から閾値モデルの特徴である循環現象を生み出すことができることを示し、その挙動が閾値分布のみならず、エージェントが集団的挙動を参照するタイミングに依存していることを示すことにある。第2に、2005年パリ郊外で起きた暴動拡大のメカニズムを探り、可能ならば暴動発生による被害を最小限に食い止めるような方策を提案することを目的としている。我々のシミュレーション結果によれば、ネイティブフランスが都市部に集中する一方で、移民が郊外に密集するという居住地区の配置が大規模な暴動発生の原因になっていたこと、およびもしこのような分断がなくなり、互いに協力しつつ共棲することができたのであれば、今回のような暴動の拡大はなかったことが示唆される。

Cyclical Fluctuations in Collective Behavior

Takashi SHIOMURA Yuichi YAMAHARA

Abstract

The purpose of the paper is, first, to provide a synthesis of threshold and segregation models that can predict cyclical fluctuations in collective behavior based on individual behaviors, and to show that behavior depends not only on the distribution of thresholds among group members but also on the time at which they refer to collective behavior. Secondly, we investigate the mechanism concerning the expansion of the 2005 Paris suburb riots, and suggest safety measures that can minimize the damage caused by riots. Our simulations show that the extensive spread of the riots was in part caused by residential arrangement in France where middle and upper classes enjoy urban life, while minorities are concentrated in peripheral areas. If French people had avoided such segregation and cooperated with each other, such a spread of the riots could have been prevented.

^{*1} 関西大学総合情報学部

^{*2} 富士ソフト株式会社

1. はじめに

集団的挙動を記述する大変に興味深いモデルとして、Granovetter^[1]による閾値モデルを挙げることができる。これは集団的挙動、たとえば暴動、に参加するか否かの閾値が個人間で異なること、および個人意思決定が自分を取り巻く集団の挙動に依存することに着目し、閾値分布の相違が多様な集団的挙動を引き起こすことを明快に論じたものである。特に、平均として同じ傾向を示す2集団においても閾値の分布が異なると、これら2つの集団的挙動はまったく異なる場合があることを示し、平均値に代表されるマクロ指標への過信を警告している点は注目に値する。閾値モデルにはその後、Granovetter and Soong^[2]により上述した閾値（下側閾値）とともに一度採用された行動が破棄される閾値（上側閾値）が導入され、さらにはGranovetter and Soong^[3]により、これらの閾値が価格に依存する場合の経済分析が行われた。あわせて、2つの閾値の導入は集団的挙動に循環や、ときとしてカオス的挙動すら生み出すことも確認されている。

閾値モデルは比較的構造が単純であるものの、多くの有益な示唆を含んでおり、それゆえに様々な問題に対する応用の可能性を持っている。実際、石井^[4]は閾値モデルを世論の形成過程、特に“沈黙の螺旋”を記述するモデルとして再構築し、松田^[5]は流行現象を説明するモデルとして拡張を行った。後者は閾値分布の変化を1つのパラメータの変化によって表し、安定系からカオスへと至る系の挙動を体系的に分析するとともに実証分析への応用例も示している。また、Granovetter and Soong^[6]は閾値モデルの拡張として石井^[4]と同様に世論形成過程を扱うとともにSchellingのbounded-neighborhoodモデルの検討を行っている（Schelling^[7]-^[9]参照）。これらの閾値モデルは個人間の異質性と相互作用に着目しているという意味においてマルチエージェントモデルであるといえるが、その挙動がマクロ変数に集約されるため、各エージェントの行動が集団全体に与える影響、および後者から前者へのフィードバックを観察することを困難にしている。

一方、Schelling^{[7]-[9]}による分居モデルは格子空間に配置されたエージェントが同族を求めて移動を繰り返すときに明確な棲み分けが起こることを示したものであり、いわゆるボトムアップ・アプローチの社会科学における先駆的業績であるといつてよい。この分居モデルにおいては各エージェントが周辺同族比率を観察し、その比率がある閾値を下回ったときに転居を行うと想定されており、閾値モデルと同様に行動を起こすか否かの閾値が想定されている。

本稿第1の目的は、閾値モデルと分居モデルの融合を図り、閾値モデルで観察された循環現象をボトムアップ・アプローチにより再現することにある。また、この挙動が閾値分布のみならず、エージェントが集団的挙動を参照するタイミングに依存していることを示す。そして第2に、2005年パリ郊外で起きた暴動拡大のメカニズムを探り、可能ならば暴動発生による被害を最小限に食い止めるような方策を提案することを目的としている。我々のシミュレーション

結果によれば、ネイティブフランス人が都市部に集中する一方で、移民が郊外に密集するという居住地区の配置が大規模な暴動発生の原因になっていたこと、およびもしこのような分断がなくなり、互いに協力しつつ共棲することができたのであれば、今回のような暴動の拡大はなかったことが示唆される。

2. 閾値モデル

以下では松田^[5]、山口^[10]に基づき、若干一般化した閾値モデルの概略を述べるが、便宜上、集団的挙動は暴動への参加を意味するものとして説明する。ある個人が暴動に加わり始める集団内における暴動発生率を L で表すものとし、暴動から撤退する際の暴動発生率を U で表す。このように個人の行動を変化させる臨界値を一般に閾値と呼ぶが、議論の単純化のために当該集団は非常に大きく、各人はすべて個性的であり、それゆえに各人の閾値は他人のそれと重なることはないを仮定する。このとき、これら2つの閾値を持つ1個人と $L-U$ 平面における1点は同一視される。また、 $0 \leq L \leq U \leq 1$ を仮定する。

まず、集団内のすべて閾値 (L, U) に対して $a \leq U - L$ なる a が存在する場合を考える。ここで、パラメータ $0 \leq a \leq 1$ は集団に属する人々が暴動に加わったとき、これに加わり続けようとする動機の強さを表すものと解釈することができる。それゆえ、 a の値が大きい集団は一種の流行に対して冷め難い人が多数を占める集団であるといえる。

さてこの場合、集団のサイズは図1における左上隅の三角形領域の面積 $(1-a)^2/2$ によって表されるが、他方で $p(t)$ を時刻 t において暴動に加わった人々の割合とすると、閾値の定義から不等式 $L \leq p(t) \leq U$ を満たす者が暴動に加わることになる。したがって、これら2つの比率、すなわち次期における暴動発生率 $p(t+1)$ は $0 \leq a \leq 1/2$ のとき、

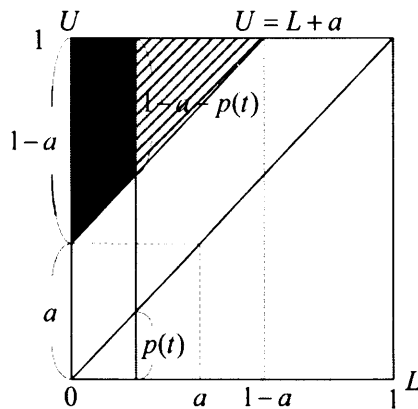


図1 集団における閾値の分布： $0 \leq a \leq 1/2$ 、かつ $0 \leq p(t) \leq a$ の場合。黒く塗り潰した部分が暴動参加者。

$$p(t+1) = \begin{cases} \frac{p(t)(2-p(t)-2a)}{(1-a)^2}, & (0 \leq p(t) \leq a) \\ \frac{2p(t)(1-p(t))-a^2}{(1-a)^2}, & (a < p(t) \leq 1-a) \\ \frac{(p(t)-2a+1)(1-p(t))}{(1-a)^2}, & (1-a < p(t) \leq 1) \end{cases} \quad (1a)$$

となるが、 $1/2 < a \leq 1$ のときは

$$p(t+1) = \begin{cases} \frac{p(t)(2-p(t)-2a)}{(1-a)^2}, & (0 \leq p(t) \leq 1-a) \\ 1, & (1-a < p(t) \leq a) \\ \frac{(p(t)-2a+1)(1-p(t))}{(1-a)^2}, & (a < p(t) \leq 1) \end{cases} \quad (1b)$$

となる。

図2は初期値を $p_0=0.1\%$ として a を変化させたときの写像(1)の挙動をグラフに表したものである。図から a の値が小さいほど、すなわち暴動に固執する者が少ないほど、暴動発生率は安定的に持続するが、 a が大きくなるにつれ、すなわち一度加わった暴動に執着する者が増大するにつれて、その挙動は規則的振動から不規則振動へと挙動が複雑になることがわかる。特に、 $a=0.65$ の場合、閾値 L が小さいことを反映してまたたく間に発生率は1に近づくが、一方で閾値 U が大きいため一度加わった暴動はそのまま持続し続け、参加率が1に近づいたときに急速に暴動が沈静化することとなる。したがって、図1のような閾値分布を前提とした

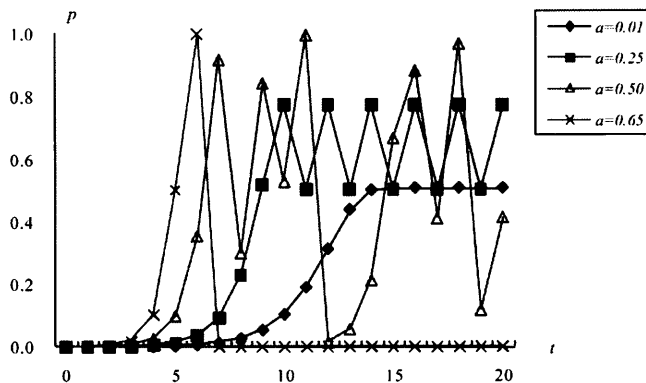


図2 閾値モデルの挙動： $p_0=0.1\%$ の場合。

場合、熱し易く、冷め難い集団において暴動の拡大と沈静が顕著に現れることになる。

3. 閾値モデル再考

この節では閾値モデルと分居モデルの融合を図り、いわゆるボトムアップ・アプローチにより流行、あるいはより一般的に集団内の情報伝播過程における振動が生み出されることを示す。さらには2005年パリ郊外で起こった暴動を念頭に置き、エージェントの空間的配置を政策的にアレンジすることにより暴動拡大を防ぐことができることを示す。

3.1 2005年パリ郊外暴動事件

Jacques Chirac大統領の任期満了に伴うフランス大統領選挙の決選投票が2007年5月6日行われ、即日開票の結果、右派与党・国民運動連合党首であるNicolas Sarkozy前内相が左派野党・社会党のSégolène Royal元家庭担当相を降し、大統領に当選した。Sarkozyは市場競争原理に基づく英米型の自由主義経済の実現と移民の選択的受け入れをフランス国民に訴える一方で、Royalは社会・福祉政策の充実による労働者の保護や弱者救済を訴えて大統領選挙に臨んだが、Sarkozy勝利により今後フランスは親米、右傾化傾向が鮮明になると思われる。

この大統領選挙に先立つ2005年11月、警官に追われた少年の感電死をきっかけとしてフランス全土に暴動が広がった。この背景にはフランス国内の移民に対する差別と経済格差がある。暴動の舞台となったパリ近郊の低所得者向け住宅に住む若者たちはフランス国籍を持ちながらも郊外出身、あるいはイスラム系という理由から就職や家探しなどで差別を受けてきた。バンリユー（Banlieues：郊外）という言葉がフランスでは犯罪、貧困など社会問題の代名詞となっていることから、彼らが受けている差別の一端を垣間見ることができる（文献 [11] 参照）。

上述したとおり、暴動が起こった直接のきっかけは少年の感電死であったが、これに拍車をかけたのが当時内相であったSarkozyの移民や低所得層に対する「社会のクズ」、「ゴロツキ」発言であった。しかしながら今回の暴動は、それ以前から長く続いてきた差別と貧困に対する若者、特に移民とその子孫、および低所得者層の蓄積された不満や怒りが社会に向けられたものであるというのが真実である（文献 [12] 参照）。

暴動がこれだけの規模のものとなった原因の1つは暴徒化した移民や低所得者層の居住環境にある。バンリユーという言葉通り、彼らの居住区のほとんどは郊外に密集している。このため、一部の若者たちの暴動を目の当たりにした周辺の住民たちが、これに感化され易かったと考えられる。図3は2005年11月4日時点における暴動発生地域を表したものであるが、実際、暴動がバンリユーから広がりを見せていることが分かる。もし移民たちがこのように都市近郊に密集していなければ、これほどまでに暴動は広がらなかったであろう。

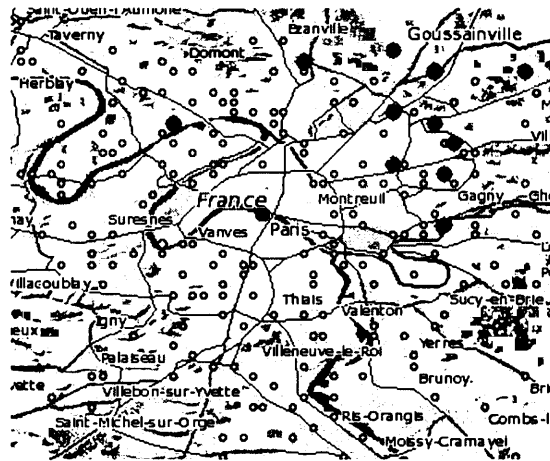


図3 2005年11月4日におけるパリ郊外の暴動発生地域：黒い点で表された箇所が暴動発生地域である（文献 [13] より転載）。

3.2 集団的挙動の循環現象

我々のモデルにおいては、移民とその子孫（以下移民と略す）、暴動参加者（以下参加者と略す）、ネイティブフランス（以下ネイティブと略す）の3タイプのエージェントが想定されており、これらのエージェントがSchellingの2次元分居モデルと同様に、正方格子空間内にランダムに配置される。この正方格子空間は有限であり、したがってエージェントの視界や移動範囲は空間外に及ぶことはないものとする。

個々の移民には第2節で想定した閾値 (L, U) を持つように、次の手続きにより閾値を与えている。

- A.1 閾値 L を 0 以上 1 未満の乱数で決定する。
- A.2 閾値 U を 0 以上 1 未満の乱数で決定する。
- A.3 閾値 U から閾値 L を引いた値が、あらかじめ設定した a の値以上であれば処理を終了する。そうでなければA.1に戻る。

移民は時刻 t における自身を中心とする Moore 近傍の意味での視界内の暴動参加率、

$$p(t) \equiv \frac{\text{暴動参加者}}{\text{移民総数}}$$

を自身の閾値 (L, U) と比較し、暴動に参加していない移民が不等式 $L \leq p(t) \leq U$ を満たすとき、エージェントタイプを移民から参加者へと変更する。他方、この不等式を満たさない場合、移民に関してはエージェントタイプを変更しないが、参加者は暴動から撤退するためにエージェントタイプを移民に変更する。この際、ネイティブは任意の $p(t)$ に対して暴動に参加することはないと仮定する。それゆえ、暴動に参加するのは移民に限定される点に注意されたい。この

処理をランダムかつ重複することなく全エージェントに対して行うことを1ステップと呼ぶ。ステップの詳細は以下のとおりである。

- B.1 全エージェントを未選択状態にする。
- B.2 暴動参加率 $p(t)$ を求める。
- B.3 未選択のエージェントを1つ選ぶ。
- B.4 選択中のエージェントのタイプが移民か参加者であればB.5へ、そうでなければB.3に戻る。
- B.5 選択中のエージェントが $L \leq p(t) \leq U$ を満たすならば参加者に変更する。そうでなければ移民に変更する。
- B.6 エージェントを選択済みにする。
- B.7 未選択のエージェントがあればB.3に戻る。なければ終了する。

ここで、もしエージェントの視界が空間全体に及ぶならば、すべてのエージェントは共通の暴動参加率に直面することになる点に注意されたい。これに対して視界が局所的であるならば、暴動参加者の空間的配置によってエージェントの直面する暴動参加率は異なる。

さて、上に述べたモデルが循環を引き起こすことを確認しよう。ここで、格子空間内に占める移民とネイティブの比率を各々、100%と0%に設定し、移民が暴動を起こし始める率、すなわち初期暴動参加率を $p_0 = 1\%$ 、パラメータを $a = 0.5$ とする。また、各エージェントは無限の視界を持つものとし、暴動参加者はランダムに配置されるものとする。図4はこれらの初期設定の下、シミュレーションを128ステップまで進めたときの暴動参加率の推移を表したものである。ただし、グラフは100ステップまでを描画している。同じデータを用いてスペクトル

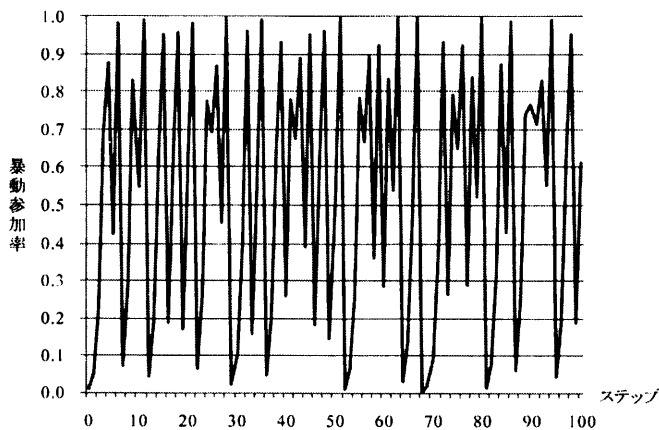


図4 暴動参加率の離散力学的挙動：不規則振動が観察される。

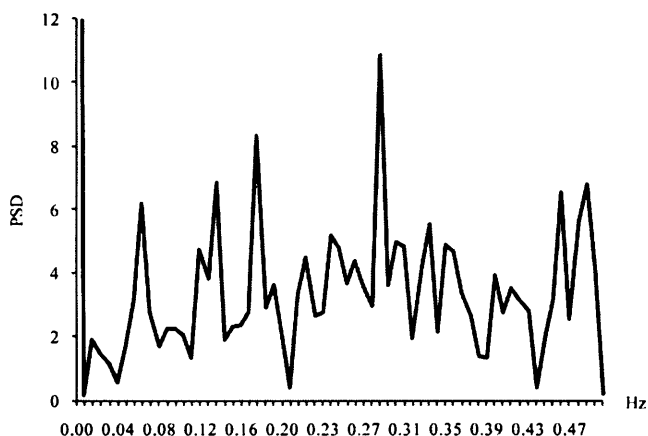


図5 スペクトル解析：縦軸と横軸は各々、パワースペクトル密度と周波数。

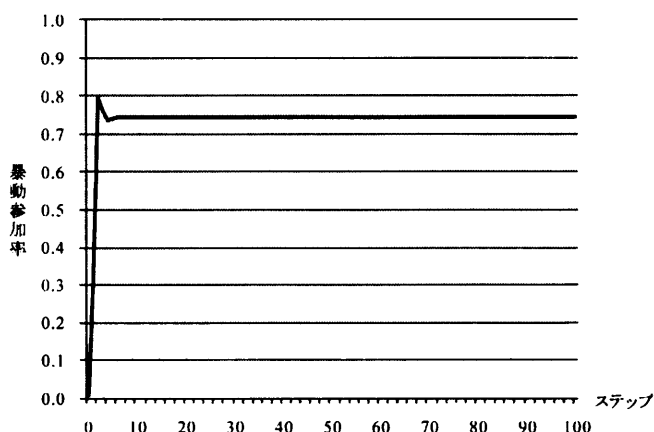


図6 暴動参加率の連続力学的挙動：ほぼ一定の水準に落ち着く。

解析を行った結果が図5であるが、これは128個のデータが1秒間に観察されたと仮定して解析を行っている。

図5より暴動の初期段階において不規則振動の特徴である連続スペクトルが現れていることが確認されるが、我々が繰り返し行った数値実験においては、いずれの場合もカオスの挙動には至らず、最終的には規則的振動が観察された。しかしながら、この振動はときとして比較的長い周期を持ち、一見するとカオスの挙動と識別が困難な場合もある。

一方、上の手続きのB.2とB.3を入れ替えた場合、1ステップ中に刻々と変化する暴動参加率を移民が参照する結果、 a の値に関わらず暴動参加率は、微振動は残るものの、ほぼ一定の値に落ち着くようになる(図6参照)。

図4と6の挙動の相違は暴動参加率が離散的に変化するか、連続的に変化するかによる。い

わば、ロジスティック写像とロジスティック方程式の挙動の相違と同じ理由であると考えてよい (May^[14] 参照)。我々とはアプローチは異なるものの、時間的遅れが循環現象の鍵となる点は中山^[16] においても強調されている。

3.3 閾値モデルと分居モデルの融合

3.2節のモデルにおいてはエージェントの視界は空間全体に及び、エージェントは空間内を移動することもない。そこで次にエージェントの視界に制約を設けるとともに、エージェントの移動を考えることとする。ここにおいて閾値モデルと分居モデルは完全に融合したといえる。

分居モデルと同様、エージェントは同族を求めて移動するものと仮定する。そこで、エージェントに移動するか否かの判定のための閾値 W を与え、エージェントは自身を除く視界内のエージェントに対する自身と同タイプエージェントの割合、すなわち幸福度 w を計算するものとする。もし $w < W$ であるならば、エージェントは移動範囲内の空き地にランダムに移動する。なお、単純化のため、視界範囲や移動範囲は全エージェントに共通な値を与えている。

図7はエージェントの移動が無い場合と有る場合における100ステップまでの暴動参加率の推移を表したものである。初期分布は格子空間内の人口比率を70%とし、その内の20%を移民、80%をネイティブとしてランダムに配置した。また、移民の内10%を初期暴動参加者としている。エージェントの視界と移動範囲はいずれも2である。

エージェントの移動が無い場合と有る場合の平均暴動参加率は各々、約36%と約55%である。予想されるとおり、エージェントの移動を許した場合、同族が集まる傾向があるために移民の中で暴動が急速に広がり、暴動の規模が拡大することがわかる。

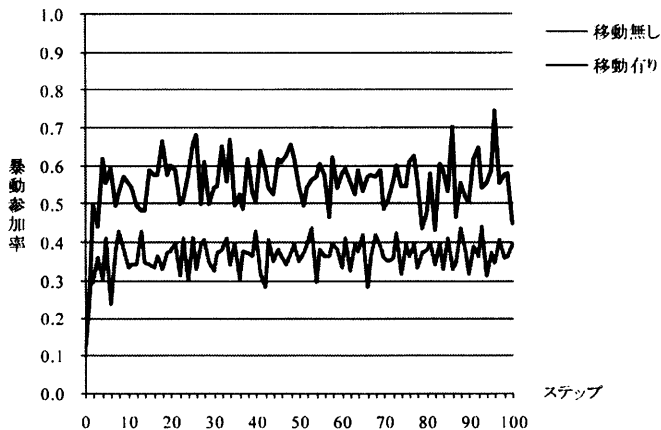


図7 エージェントの移動が無い場合と有りの場合における暴動参加率の推移

3.4 安定した社会づくりに向けて

現実社会においては、人は様々な事情からその居を定めている。したがって、シミュレーションを行う際、エージェントの初期配置にも、ある種の規則を組み込んで考察を行うことが有益であろう。そこで第3.1節の議論に戻り、フランスにおける暴動の背景にある都市部（中心部）にネイティブが居住し、郊外（周囲）に移民が居住するという状況を考える。ネイティブと移民の人口比率は各々、80%と20%に設定し、初期暴動参加者は移民の中からランダムに2%現れるものと仮定した（図8a参照）。また、エージェントの視界は1である。議論の単純化のため、以下ではエージェントの移動を考慮しない。

図9における黒の折れ線は、この初期分布の下、100ステップまでシミュレーションを行った結果である。20ステップで移民の約60%が暴動に参加し、以後多少の振動はあるものの常に50%以上が暴動に参加しているという状況が観察される。この結果は実際に起こったフランスの暴動と重ねることができる。図8aのように移民が密集しているような状況においては、当初は小規模であった暴動も連鎖的に広がり、最終的には大規模な暴動になってしまうのである。

それではたとえ暴動が起きたとしても、それを小規模なものに食い止めることのできる安定した社会を構築するにはどうすれば良いのであろうか。1つの極端な方法は政策的、あるいは強制的に移民居住区を分散させることである。

図8bは上と同じ条件ではあるが、移民とネイティブを政策的に混在させた場合の初期分布であり、図9における薄い灰色の折れ線は100ステップまでの暴動参加率の推移を表している。この間、暴動参加率は10%未満にとどまっていることが図より確認されるが、仮定により暴動に参加しないネイティブの存在が、いわば防波堤の役割を果たしていることが分かる。

しかしながら、このような一種の“囲い込み”政策は倫理的、道徳的にも批判されるものであろう。もう少し穏やかな対策はないのであろうか。民族間の対立が固有の文化や宗教、あるいは慣習に根ざす場合、実現は決して容易なことではないが、異なる民族であることを意識させない、したがって自然発生的に多民族が混在している社会を構築する環境作りが望まれる。

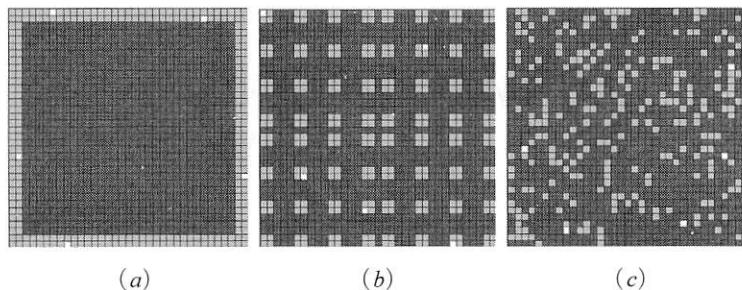


図8 初期分布状況：灰色が移民，白が参加者，濃い灰色がネイティブを表す。(a)は移民がネイティブの周辺に密集している状況を表している。一方，(b)は移民の囲い込み政策が採られた場合であり，(c)は移民との融合政策が採られた場合である。

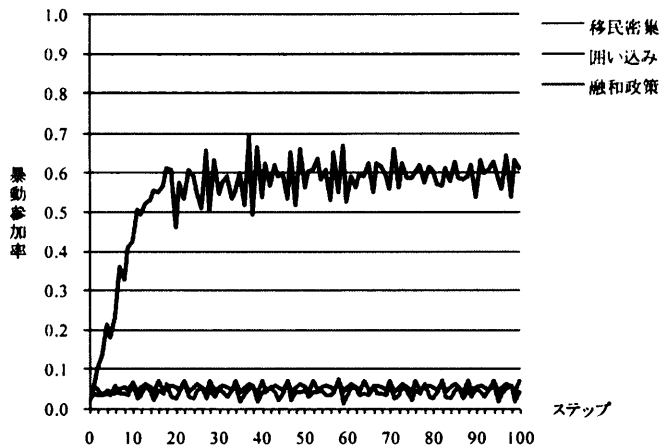


図9 暴動抑止政策が採られなかった場合と採られた場合の暴動参加率の推移

理想論ではあるが、民族間の交流が進み、民族の違いをまったく意識しない、したがって図8cのような、移民が空間上にランダムに配置されているような状況を考えてみよう。

図9における濃い灰色の折れ線は上に述べた意味での、ある種の“融和政策”が採られた場合の暴動参加率の推移を表したものであるが、囲い込み政策を採らずとも暴動参加率は10%未満にとどまることがわかる。やはりこの場合もネイティブが防波堤の役割を果たしていることが暴動参加率を低く抑える原因となっているが、融和政策と囲い込み政策との決定的な違いは、前者が、移民がネイティブにより管理されている、あるいはネイティブが移民を管理しているという意識を持たせない点である。

4. おわりに

Granovetter and Soong^[2]はボトムアップ・アプローチの可能性を示唆しているものの、閾値モデルにおいては集団的挙動がマクロ変数に集約される。このように集約された変数の系から流行の循環現象を説明しようとするモデルとして、松田^[5]の他に七條^[15]や中山^[16]を挙げることができる。七條^[15]は離散化した成長方程式により流行の循環現象を説明しようとするものであり、中山^[16]はロジットモデルから流行の循環やカオス的挙動を説明している（成長方程式の詳細については、たとえばBanks^[17]を参照されたい）。一方で我々の試みと同様、閾値モデルと格子モデルのハイブリッドモデルから流行の循環現象を説明しようとしたものとして中井^{[18], [19]}があるが、これらのモデルは1つの現象の伝播過程で現れる循環を説明しようとするのではなく、いわば世代に渡り類似した現象が繰り返されることを説明しようとするものである。

我々は閾値モデルと分居モデルを融合することを考えてきたが、その結果、ボトムアップ・

アプローチにより集団的挙動における循環を生み出すことができた。換言するならば、ミクロレベルのエージェントの挙動からマクロレベルの振動を生み出すことができた。特に、初期段階において、一見するとカオスの挙動と識別が困難な不規則振動が現れる場合があることは注目に値する。また、この挙動が閾値分布のみならず、エージェントが集団の挙動を参照するタイミング、あるいは時間的遅れに依存していることも確認することができた。

本稿は2005年、パリ郊外で起きた暴動拡大のメカニズムを探り、可能ならば暴動発生による被害を最小限に食い止めるような方策を提案することを目的としている。我々のシミュレーション結果によれば、ネイティブが都市部に集中する一方で、移民が郊外に密集するという居住地区の配置が大規模な暴動発生の原因になっていたこと、およびもしこのような分断がなくなり、互いに協力しつつ共棲することができたのであれば、今回のような暴動の拡大はなかったであろう。

現実の社会でそれを実現することは決して容易ではないが、民族の違いを意識することなく、自然発生的に多民族が混在するような社会作りが被害を最小限に食い止める策である。もちろん、移民をネイティブが囲う、あるいは監視するという意識の下で移民居住区を分断しても問題の根本的解決にはならない。互いの交流を通じてバンリュウという言葉が犯罪、貧困など社会問題の代名詞ではなくなったときこそが真に問題が克服されたときであるといえる。

参考文献

- [1] Granovetter, M.: Threshold models of collective behavior, *American Journal of Sociology*, Vol.83, No.6, pp.1420-143 (1978).
- [2] Granovetter, M. and Soong, R.: Threshold models of diffusion and collective behavior, *Journal of Mathematical Sociology*, Vol.9, pp.165-79 (1983).
- [3] Granovetter, M. and Soong, R.: Threshold models of interpersonal effects in consumer demand, *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol.7, pp.83-99 (1986).
- [4] 石井健一: 世論形成の閾値モデル, 理論と方法, Vol.2, No.1, pp.15-28 (1987).
- [5] 松田光司: 流行現象とベクトル型閾値モデル, 理論と方法, Vol.11, No.2, pp.113-128 (1996).
- [6] Granovetter, M. and Soong, R.: Threshold models of diversity: Chinese restaurants, residential segregation, and the spiral of silence, *Sociological Methodology*, Vol.18, pp.69-104 (1988).
- [7] Schelling, T. C.: Models of segregation, *American Economic Review, Papers and Proceedings*, Vol.59, No.2, pp.488-493 (1969).
- [8] Schelling, T. C.: Dynamic models of segregation, *Journal of Mathematical Sociology*; No.1, pp.143-86 (1971).
- [9] Schelling, T. C.: *Micromotives and Macrobehavior*, W. W. Norton & Company, New York (1978).
- [10] 山口昌哉: カオス入門, 朝倉書店 (1996).
- [11] 北海道新聞: フランスの暴動 (<http://www5.hokkaido-np.co.jp/motto/20051119/2005>).
- [12] 沖縄タイムス: 社説 (<http://www.okinawatimes.co.jp/edi/20051109.html>,2005).
- [13] Wikimedia Commons: Paris suburb riots (http://commons.wikimedia.org/wiki/Paris_suburb_riots,2005).

- [14] May, R. M.: Simple mathematical models with very complicated dynamics, *Nature*, Vol.261, pp.459-476 (1976).
- [15] 七條達弘: 時間的遅れのある伝播モデル, 理論と方法, Vol.13, No.1, pp.75-91 (1998).
- [16] 中山昌一朗: ロジック型離散選択に基づいた流行現象モデル, 理論と方法, Vol.18, No.1, pp.89-102 (2003).
- [17] Banks, R. B.: *Growth and Diffusion Phenomena*, Springer-Verlag, Berlin (1994).
- [18] 中井豊: 人口社会における循環型流行現象のシミュレーション実験, 理論と方法, Vol.15, No.2, pp.345-358 (2000).
- [19] 中井豊: 人口社会を用いた熱狂の発生メカニズムの考察, 理論と方法, Vol.19, No.1, pp.21-36 (2004).