

平成 30 年度

世論力学における臨界点の研究

Study of critical points in opinion dynamics

平成 31 年 3 月

全研究室

1215064 大川晶

目次

1 要旨	3
2 導入	4
2.1 研究背景	4
2.2 研究概要	4
3 研究詳細	5
3.1 世論力学の一般化モデル	5
3.2 異なる心理的特徴を持つ三つのエージェント	6
3.3 研究対象	9
4 研究結果	10
4.1 意見 A 支持の inflexibles が与える影響	10
4.2 意見 A,B のそれぞれの inflexibles が与える影響	12
4.3 contrarians が inflexibles による相構造に与える影響	15
5 結論	16

謝辞

参考文献

付録

1 要旨

Serge Galam 博士によって創り出された Galam Model は社会の変動を数理的に表現したモデルである。この数十年の間、世界中の多くの国や地域で大規模な社会変遷が起こった。これらの変遷に対して社会学から数理科学に及ぶあらゆる分野の専門家により、分析や予測が行われていた。多くの専門家が上記の事象に対して予測ができなかったという結論に至る中で、Galam Model は有用な予測を与える結果を導き出していた。Galam Model は、人の意思や特徴に重点を置き、社会の動態を分析する Opinion Dynamics の分野において創り出された。Galam Model では数種の心理的特徴を持つエージェントとそのエージェントが公私に関わらず集まり意見の交換を行う小集団が想定されている。

本研究において用いるモデルの概要を以下に記述する。1.対立する 2 つの意見(A,B)のどちらか一方を支持する N 人のエージェントを r 人(2~4 人)のエージェントからなる小集団にランダムに分割する。2.その小集団内において意見の多数決を行う。3.この 1、2 の操作を繰り返し行う。上記のエージェントに対して以下の 3 種の心理的特徴を付加する。1.多数決による意見に従う浮動型(floaters)、2.自身が支持する意見を決して変更しない固定型(inflexibles)、3.多数決に反する意見に従う浮動型(contrarians)

研究方法としては、上記の Galam Model によるシミュレーションを意見 A、B それぞれの inflexibles の割合などを含む 6 つのパラメータの基で行い、それに伴う時間発展による floaters の割合の変動とその結果を導出する。この 6 つのパラメータと floaters 割合の結果の関係を比較検討する。

研究の結果、inflexibles に関するパラメータと floaters 割合の結果に注目すると、意見の遷移境界とそれに伴う臨界点を有する相構造が観られた。図 1 より、inflexibles の割合が意見の収束に大きく影響を与える領域が存在する一方で、ある値を境界として inflexibles の影響を受けない領域が存在する。しかし、contrarians が付加されることにより、floaters による多数決の影響が弱まり、inflexibles が影響を及ぼす領域が拡大されたことがわかった。以上より、多数決に反する意見を支持するいわゆる「あまのじゃく」なエージェントは集団に混乱や意見の均衡を与えるのではなく、固定型の意見の強化に影響を与えているということが考えられる。

2 導入

2.1 研究背景

社会の事象に対する物理的研究方法は社会科学の分野に多くの有用な結果を与えてきた。人の意思や行動に着目し、社会の動態を研究する世論力学は、数ある物理的研究方法の中で、主要な位置を占めていた。この世論力学において、物理学者の Serge Galam 博士は間接民主制の下に行われる公的な議論を仮定した世論動態を表現するモデルを創り出した。この Galam 博士によるモデルは、間接民主制における人の意思決定に潜む心理的性質に着目したモデルである。このモデルは、社会にとって徳があると期待される革新的な思想が現状維持を求める保守的な思想によって抑えられるというある種の矛盾を含んだ社会的事象の解明を目指して創り出されたモデルであり、これまでに起こった間接民主制における様々な事象の有用な予測を与えている。

2.2 研究概要

Galam 博士によるモデルは、対立する二つの意見(A、B)のどちらか一方の意見の選択が可能な N 人のエージェントを想定している。このエージェントを考えた上で、モデルは以下の二つの構造を有している。1.離散的に設定された時間 t においてエージェントが選択している意見を集計する。2.各時間 t において N 人のエージェントを 2~4 人の小集団に分割し、その集団内で意見の多数決を行う。

人間の複雑な心理的性質を考慮すると、ある二つの意見のどちらか一方を決定するある議題において、全ての有権者が、議題に対して挙げられる意見の絶対的な有用性のみで賛同して票を投じるとは限らない。例えば、自身の価値観に固執して、頑なに意見を変えない者や自身が所属するコミュニティの流行に従い意見を選択する者も存在する。中には、サイコロで無作為に意見を選択するという者もいるかもしれない。このような人間的な複雑性を取り入れるため、N 人のエージェントに対して、小集団内において機能する心理的性質を簡略化した以下の三種の特徴を付加する。1.多数決による意見に従う浮動型(floaters)、2.自身が支持する意見を決して変更しない固定型(inflexibles)、多数決に反する意見に従う浮動型(contrarians)

上記モデルの検証により、少数保守派の強化の原因となり得る因子とその要因として挙げる事ができる固有の心理的性質を持つエージェントが影響を与えるための基準となる臨界点が明らかになった。

上記のモデルにおける各要素を 6 つのパラメータとして導入し、一般化した世論動態を表現する式が存在する。本研究では、この式を基にしたシミュレーションを行い、その結果導出される意見の推移や収束と 6 つのパラメータとの関係について考察する。これにより、6 つのパラメータ空間における相構造が得られ、固定型エージェントが影響を及ぼす範囲が明らかになり、小集団内のエージェント数や多数決に反する浮動型エージェントの増加が、固定型エージェントの影響力を強化するということが明らかになった。

3 研究詳細

3.1 世論力学の一般化モデル

本研究において用いるモデルは N 人のエージェントを想定する。この N 人のエージェントは、二つの独立した意見 A、B のどちらか一方を支持するという想定に基づき、その意見 A、B に対応させた値 1 または 0 の二つの状態をとることができる。離散的に発展する時間 t を定め、その時間 t における意見 A 支持者の割合を $p[t]$ 、意見 B 支持者の割合を $(1-p[t])$ とそれぞれ定義する。各エージェントは支持する意見の変更が可能で、時間発展 $t \rightarrow (t+1)$ において意見交換を行う場面を想定した操作を行い、支持する意見を変更する。 $t=0$ における意見 A 支持者の割合 $p[0]$ を初期値とし、時間発展に伴う $p[t]$ の動態を $p[0] \rightarrow p[1] \rightarrow p[2] \rightarrow \dots$ と表す。

以下に時間発展 $t \rightarrow (t+1)$ において行われるエージェントの意見変更の操作について説明する。 N 人のエージェントを r 人からなる小集団にランダムに分割する。その各小集団内で意見の集計を行い、各エージェントは自身が所属する小集団内の多数派に従い意見を変更する。小集団内の議論において、エージェント一人に与えられる票数は一票とする。小集団において多数決を行う際、集団の人数によっては票が同数となり、集団内の意見決定が行えない場合がある。実際の社会の集団での意思決定において、意見が同数に分かれることはほとんどない。その要因として、例えば、所属する小集団内の流行やその内で形成された意見に対する偏見による影響などが挙げられる。本研究ではこの意見の偏りを確率 k によって導入する。もし、票が同数になった場合、各エージェントは時間発展の際に確率 k によって意見 A に変更し、確率 $(1-k)$ によって意見 B に変更する。 k は条件 $0 < k < 1$ を満たす。

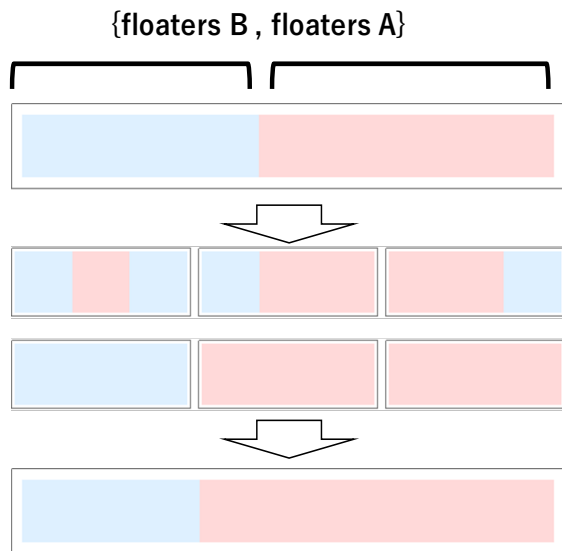
各小集団の意見変更が終了した後、小集団を解散し、全体の意見集計を行う。

3.2 異なる心理的特徴を持つ三つのエージェント

本研究では、floaters、inflexibles、contrarians の三種のエージェントを扱う。以下に各エージェントの本研究における特徴を説明する。

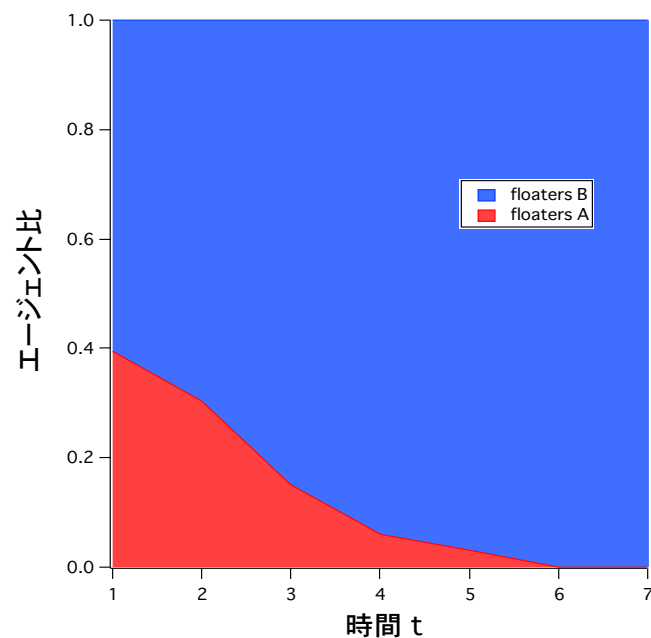
● 多数決による意見に従う浮動型エージェント (floaters)

floaters は自身の意見を小集団内における多数決の結果によって決定する。自身の意見が多数派に属している場合、意見の変更はない。一方、自身の意見が少数派の意見に属した場合、その意見を時間発展 $t \rightarrow (t+1)$ の際に、多数派の意見に変更する。票が同数となった場合、確率 k によって意見 A に、確率 $(1-k)$ によって意見 B に変更する。以下に $t \rightarrow (t+1)$ の流れと各エージェントの時間的推移を示す。



上図 floaters による多数決
($N=9, r=3$)

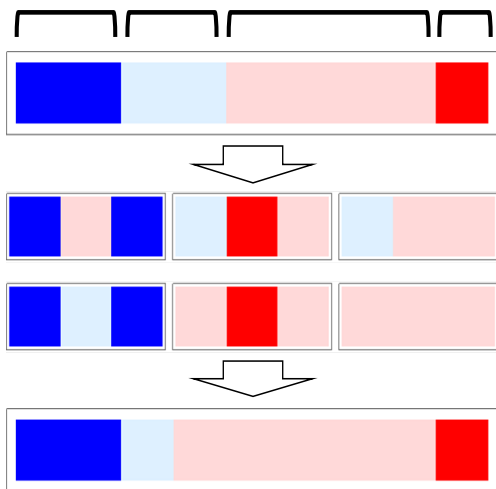
下図 多数決による floaters 割合
の時間的推移
($k=0.5, r=3, p[0]=0.4$)



●自身が支持する意見を決して変更しない固定型エージェント(inflexibles)

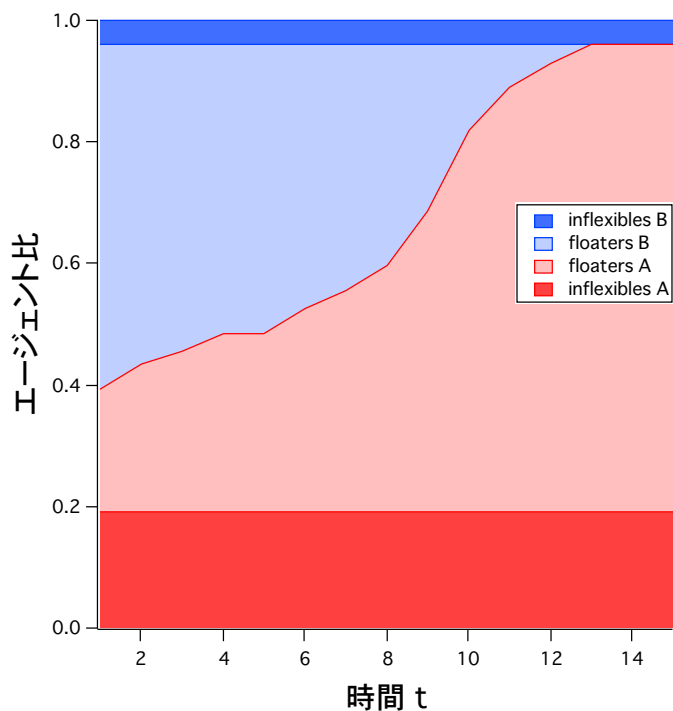
inflexibles は自身が少数派意見に属していても floaters のように意見を変更しない。多数派がどのような意見であったとしても自身の意見を強く支持し、決して多数派に流れることはない。票が同数の場合についても、同様に意見を変更することはない。inflexiblesA、B の全体における割合を、固定型のパラメータとしてそれぞれ a 、 b と定める。 a 、 b は条件 $0 \leq a, b \leq 1$ を満たす。

{inflexibles B , floaters B , floaters A , inflexibles A}



上図 inflexibles を含む多数決
($N=9, r=3, a=1, b=2$)

下図 inflexibles を含む多数決による
各エージェント割合の時間的推移
($k=0.5, r=3, p[0]=0.4, a=0.2, b=0.05$)

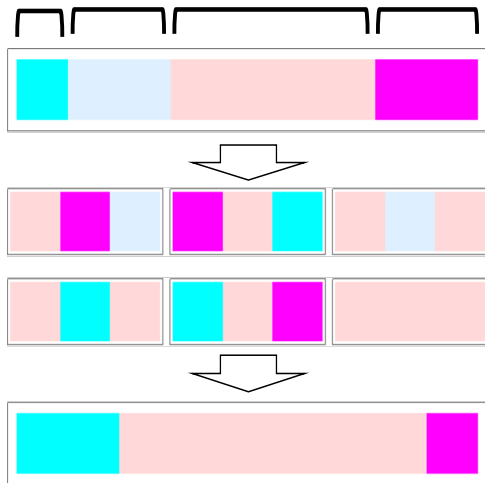


●多数決に反する意見に従う浮動型エージェント (contrarians)

contrarians は floaters と同じく小集団内における多数決の結果によって自身の意見を決定する。しかし、このエージェントは floaters とは異なり、集団の多数派意見に反する意見に従う、いわゆる「あまのじゃく」な特徴を持っている。

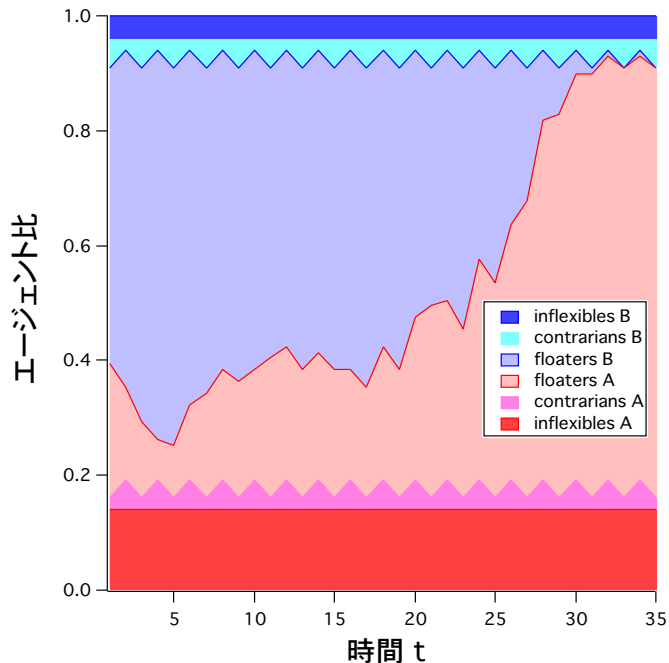
もし、このエージェントが小集団の多数派意見に属している場合、この多数派意見に反して、少数派の意見に変更する。floaters 内における contrarians の割合を c と定める。 c は条件 $0 \leq c \leq 1$ を満たしている。A、B 両方の floaters を合わせた割合は $(1-a-b)$ より、全体の内の contrarians の割合は $c(1-a-b)$ となる。

{contrarians B, floaters B, floaters A, contrarians A}



上図 contrarians を含む多数決
($N=9, r=3, c=3$)

下図 contrarians を含む多数決による
各エージェント割合の時間的推移
($k=0.5, r=3, p[0]=0.4, a=0.2, b=0.05, c=0.1$)



3.3 研究対象

本研究では、6つのパラメータ $p[0]$ 、 k 、 r 、 a 、 b 、 c を定めることにより導かれる時間発展に伴う意見 A の支持者の推移 $p[1] \rightarrow p[2] \rightarrow p[3] \rightarrow \dots$ に着目する。意見割合の収束が見られるまで、各時間 t における $p[t]$ を記録し、6つのパラメータ値に対する最終的な支持者の割合を各パラメータセットについて比較する。

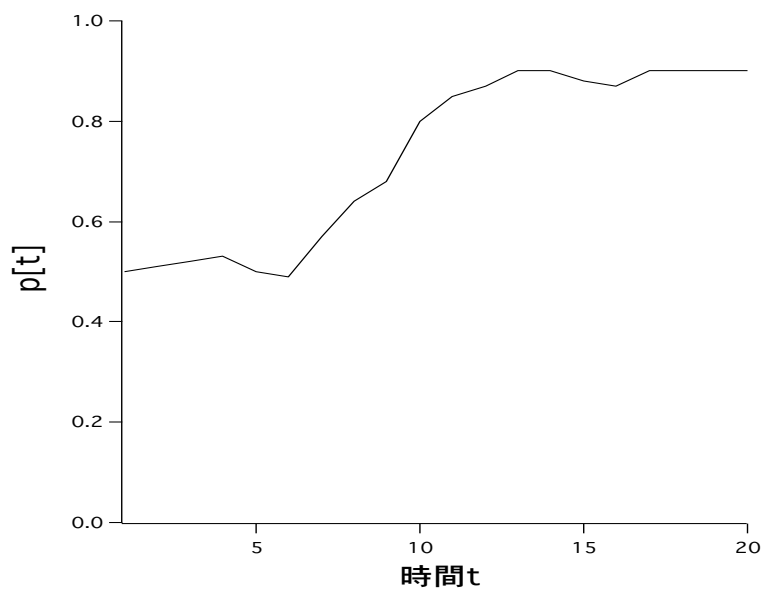


図 $p[0]=0.5$, $k=0.5$, $r=5$, $a=0.3$, $b=0.1$, $c=0$ における意見 A 支持者の割合の時間的推移

4 研究結果

4.1 意見 A 支持の inflexibles が与える影響

最初に、最終的なエージェントの割合と inflexibles に関するパラメータ a との関係について考えていく。 $k=0.5, r=5, c=0, b=0$ と定め、多数決の試行回数 T は $T=100$ とする。各 a について、初期値 $p[0]$ を $a < p[0] < 1$ の範囲で変化させた場合の $p[t]$ の推移を図 4.1 に示す。

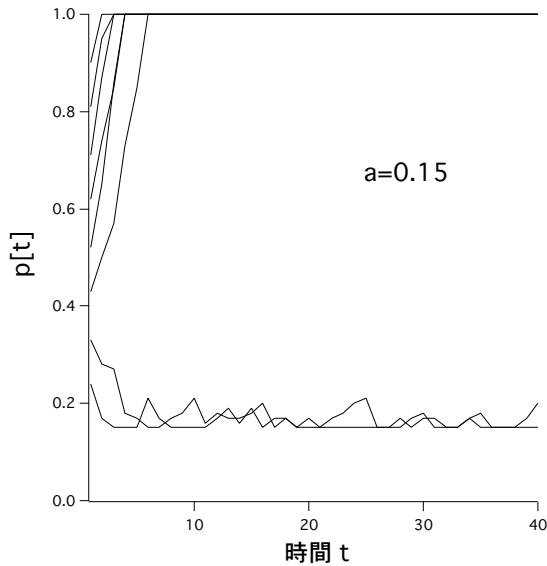


図 4.1 複数の初期値 $p[0]$ における $p[t]$ の推移
($k=0.5, r=0.5, b=0, c=0$)

図 4.1 より、 $a=0.15$ では $p[0]$ によって、 $p[t]=0.5$ を境として意見 A、B どちらにも収束し得ることが確認できる。しかし、 a の値を増加させていくと $a=0.2$ と $a=0.25$ の間を境として、入力した全ての $p[0]$ について意見 A に収束していることが確認できる。(図 4.2)

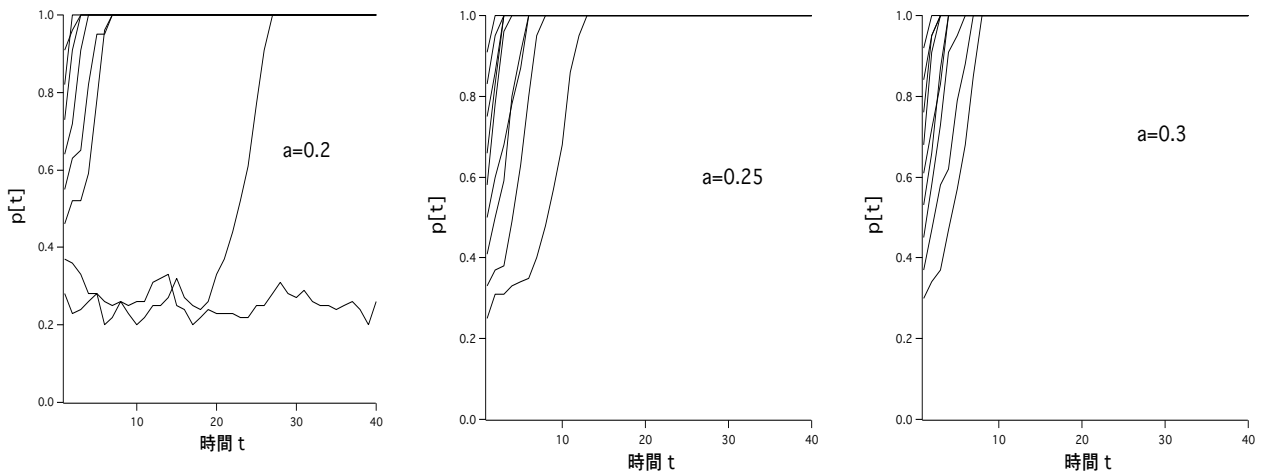


図 4.2 各 a についての複数の初期値 $p[0]$ における $p[t]$ の推移
($k=0.5, r=0.5, b=0, c=0$)

さらに、 a の値を細かく取り、最終的に収束する割合のみを取り出しプロットした図を以下に示す。

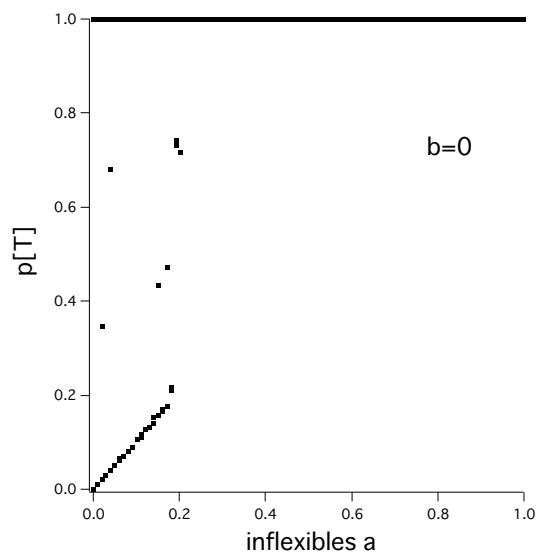


図 4.3 各パラメータ a における $p[t]$ の最終的な割合のプロット図
($k=0.5, r=0.5, b=0, c=0$)

図より、 $a=0.2$ より少し大きい値が意見 A を最終的な多数派とする境界を定める臨界点であることが確認できる。実験の結果より、この境界に対応する値は $a \cong 0.21$ であることが明らかになった。

$r=3,5,7$ について、 $b=0$ 時の各 r について臨界値を比較する。(図 4.4)

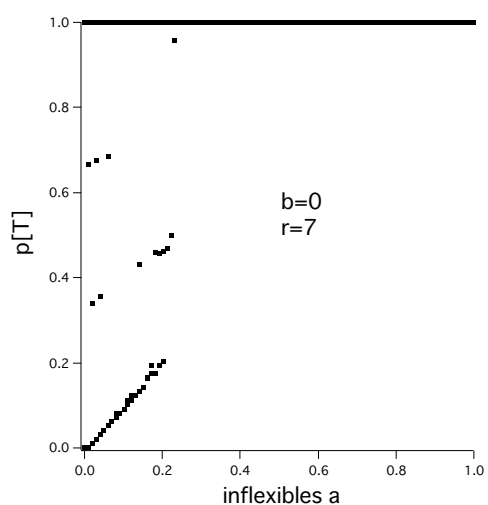
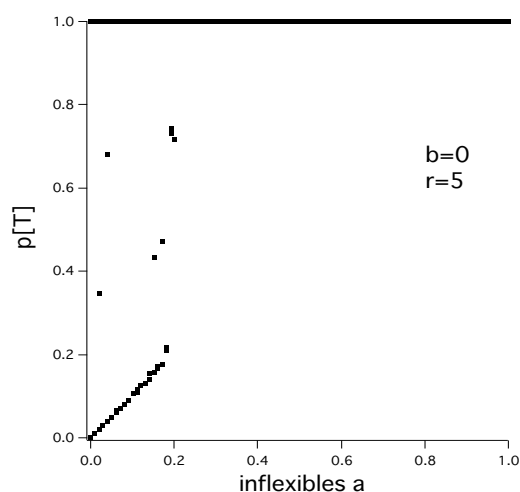
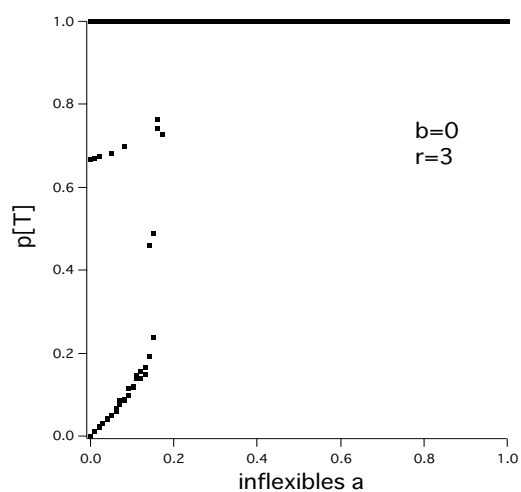


図 4.4 $r=3,5,7$ についての各パラメータ a における $p[t]$ の最終的な割合のプロット図
($k=0.5, b=0, c=0$)

図 4.4 より、 r の値を増加させていくにつれ、上述の臨界値も同様に増加していることが確認できる。各 r の臨界値 a_r は $a_3 \cong 0.17, a_5 \cong 0.21, a_7 \cong 0.23$ である。

4.2 意見 A,B のそれぞれの inflexibles が与える影響

$k=0.5$, $r=5$, $c=0$ と定め、多数決の試行回数 T は $T=100$ とする。パラメータ b の変化に対する a についての臨界点の変化を図 4.5 に示す。

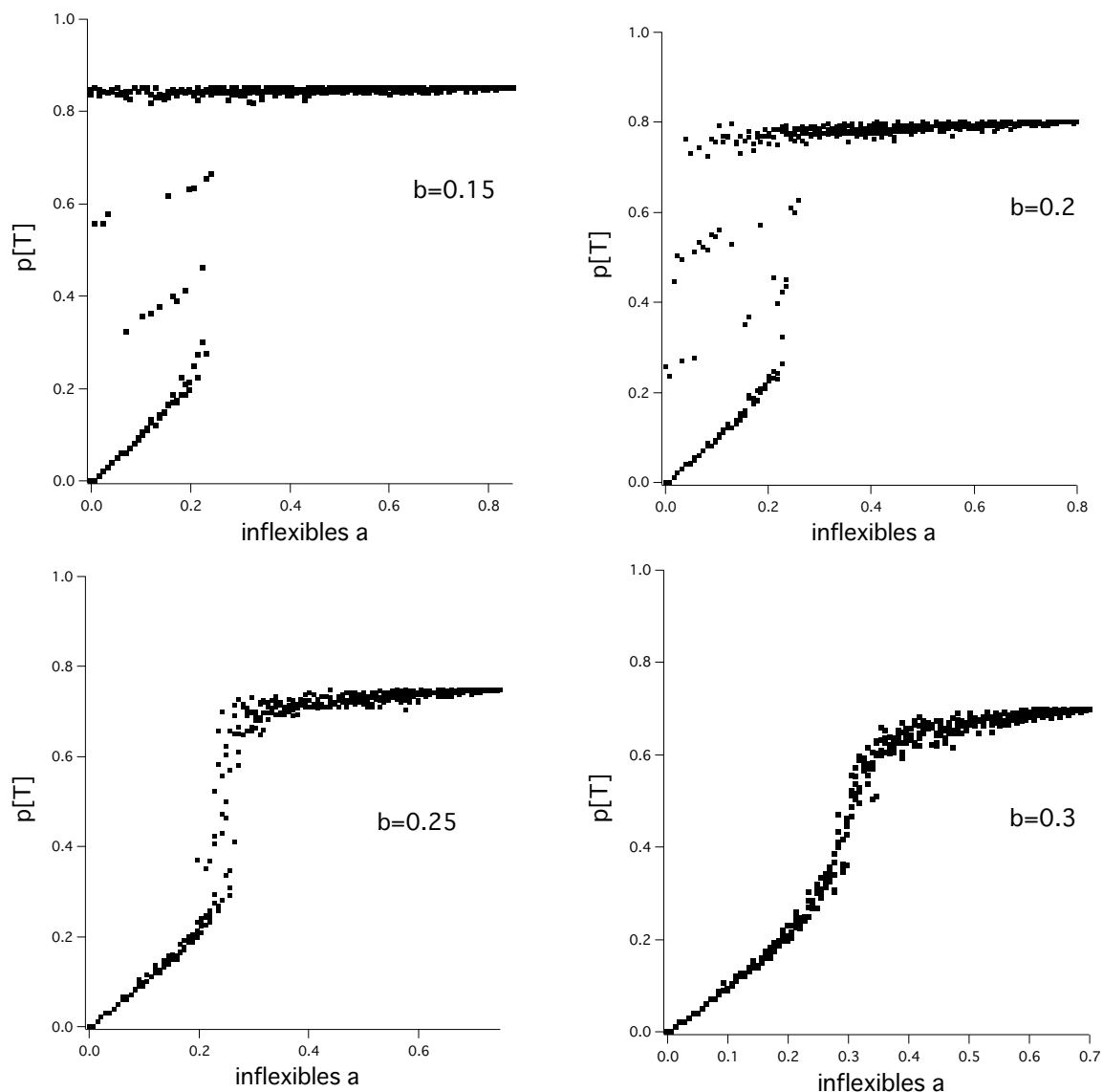


図 4.5 $b=0.15, 0.2, 0.25, 0.3$ について、二つの領域を隔てる臨界点を示すプロット図

図 4.5 より、 b 値が増加するにつれて、 a についての臨界値が増加していることが確認できる。加えて、 $b=0.2$ と $b=0.25$ の間を境として、臨界点が隔てる各領域の特徴が異なっていることが確認できる。 $b=0.2$ 以下の図については、臨界点を境として意見 A,B どちらも最終的な多数派となる可能性がある領域と意見 A のみが最終的な多数派となる領域に分かれている。一方で、 $b=0.25$ 以上の図については、意見 B のみが最終的な多数派となる領域と意見 A のみが最終的な多数派となる領域に分かれている。以上より、 a に加えて b についても、意見の最終的な結果を定める臨界点が存在すると考えられる。

bの値を細かく取り、領域を色分けにより表した図を示す。

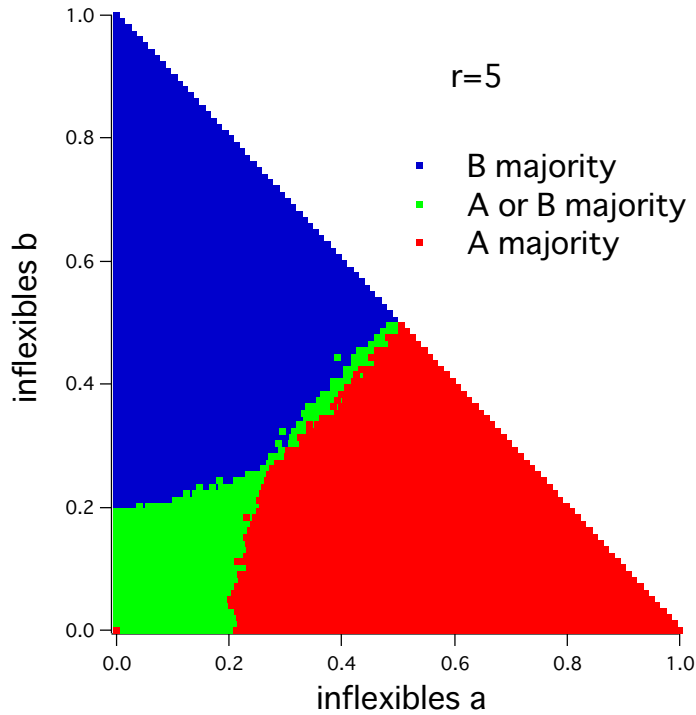


図 4.6 最終的な多数派を決定する領域とその領域を隔てる境界を表す図

図 4.6 より、b についても a と同様に臨界点が存在することが確認できる。そして、その臨界点による境界によって隔てられた領域は以下の三つの領域からなる相構造となっている。1.意見 A が最終的な多数派となる領域(赤の領域)、2.意見 A,B どちらもが最終的な多数派となる可能性がある領域(緑の領域)、3.意見 B が最終的な多数派となる領域(青の領域)

a,b それぞれの値が増加するにつれ、緑の領域と赤や青の領域を隔てる境界の臨界値が増加していることが確認できる。

r=3,7,4,6 について、その相構造を示す。

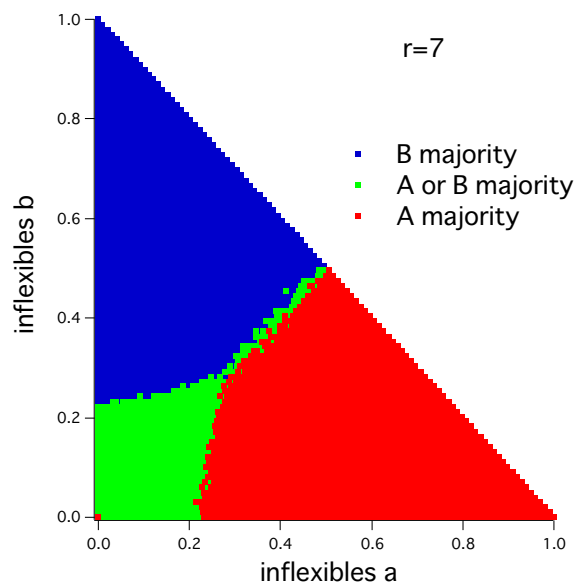
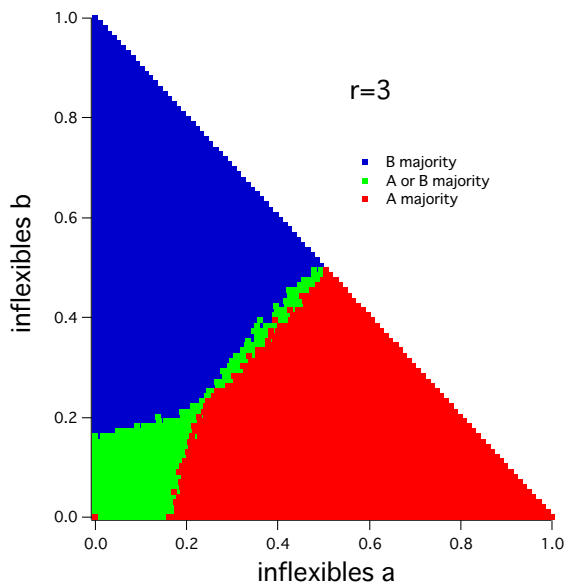


図 4.7.1 r=3,7 について、最終的な多数派の意見を定める相図

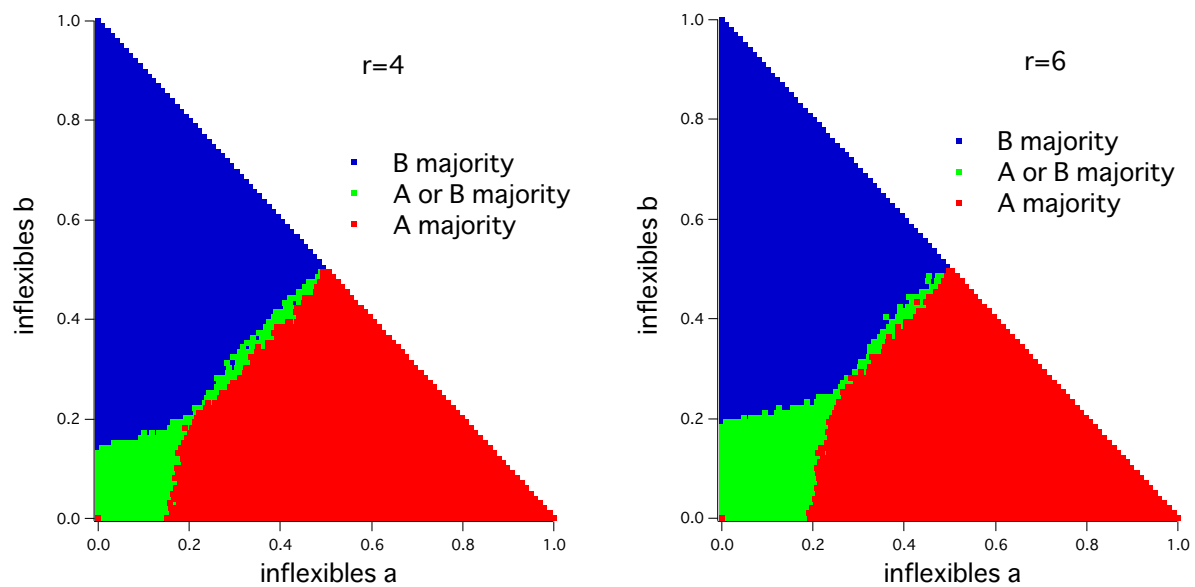


図 4.7.2 $r=4,6$ について、最終的な多数派の意見を定める相図

図 4.7.1、図 4.7.2 より、 r が増加するにつれて緑の領域が拡大していることが確認できる。以上より、パラメータ r の増加は、inflexibles a, b の影響力を弱めていると考えられる。

4.3 contrarians が inflexibles による相構造に与える影響

$k=0.5, r=5$ と定める。パラメータ c の変化させた値に対する a, b についての相構造の変化を図 4.8 に示す。

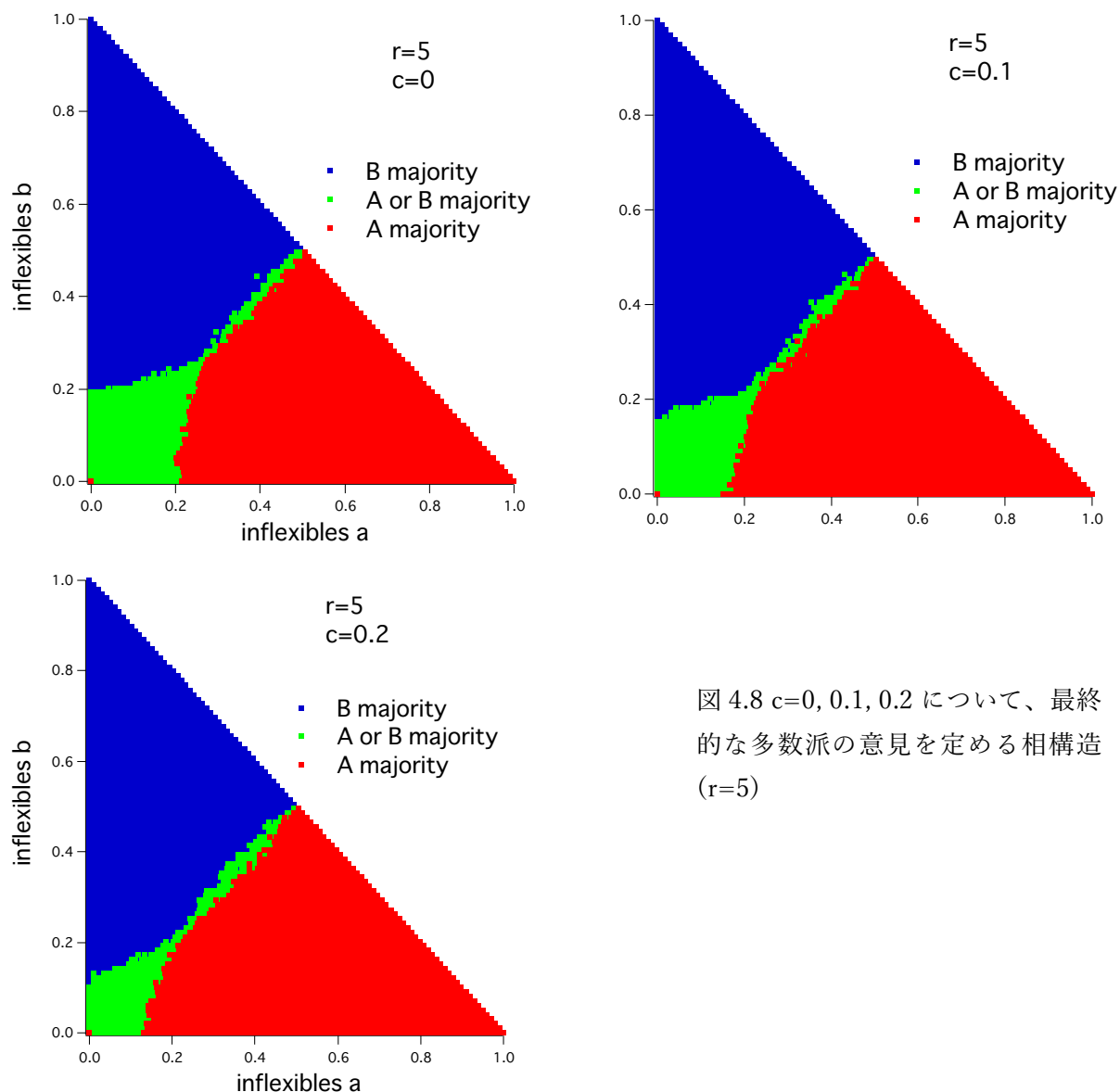


図 4.8 より、 c の値が増加するにつれて緑の領域が縮小していることが確認できる。以上より、contrarians の増加は inflexibles の影響力を強化していると考えられる。

5 結論

本研究では、Galam 博士によって作り出された世論力学モデルをより一般化したモデルについて、6つのパラメータとそこから導かれる結果の比較により、特定のパラメータが結果に与える影響やパラメータ同士の相互関係について検討した。

最初に、inflexibles が与える影響について検討した。研究の結果より、inflexibles が支配的な領域と floaters による意見決定の可能性のある領域を隔てる、臨界点の存在が明らかになった。さらに、この臨界点を意見 A,B それぞれの inflexibles について検討すると、以下の三つの領域を持つ相構造が得られた。1.意見 A が最終的な多数派となる領域、2.意見 A,B どちらもが最終的な多数派となる可能性がある領域、3.意見 B が最終的な多数派となる領域、である。この相構造が得られたことにより、対応する社会の事象についての予測を行う場合、各パラメータについて特定の値を導くよりも、パラメータの特定をより広範囲に行える柔軟性を持ちつつ、与えられる結果に対して有用性のある予測が可能になる。

次に、a,b 以外のパラメータが結果に及ぼす影響について検討した。研究の結果から多数決を行う小集団のエージェント数 r の増加は、inflexibles の影響力を弱め、floaters の初期構成が最終的な多数派を決定する可能性がある領域が拡大した。そして、contrarians の割合を表す c の増加は inflexibles の影響力を強め、inflexibles が最終的な多数派を決定する支配的な領域が拡大した。以下で記述する社会的事象に対応させることにより、これらの結果についての説明が可能であると考えられる。このパラメータ r は、社会において各個人が情報を取得する場所や方法を表している。 r の増加はこの情報取得環境の公共性の強化に対応している。 r が小さい場合、各個人の得られる情報量が少なくなり、inflexibles に対応する強硬な意見支持者や有識者などによる影響力が強くなる。一方で、 r の増加に伴い、より公共性が高くなり、inflexibles に対応する者の意見が希薄になり、 r 全体に対する影響力が弱まる。この r が低い状態の例としては、有力な意見が優先されやすいインターネット環境における情報収集などが挙げられる。Contrarians の影響について、この contrarians はいわゆる「あまのじゃく」である。意見の有無に関わらず、多数派の意見に対して反対する。contrarians はこのエージェントの説明においても表したように、所属するコミュニティに混乱を引き起こす。この混乱は floaters に属する構成員に対して不安を与える。この不安により、floaters は自身の意見に自信を持つ inflexibles の意見に影響されやすくなる。よって、inflexibles の意見が強化される。以上より、このモデルは人の心理的特徴を的確に再現した上で、有用な予測を与えるモデルとなり得る。

謝辞

指導教員として、研究についての指導と助力をくださった全卓樹には深く感謝いたします。また、研究において、自身の精神的支柱となっていた研究室所属のメンバー各員にも感謝いたします。

参考文献

S.Galam , Sociophysics : A Physicist's Modeling of Psycho-political Phenomena , Springer,NewYork(2012).

S.Galam and T.Cheon , Tipping Point Dynamics : A Universal Formula , arXiv:1901.09622(2019)

付録

以下に、本研究で用いたプログラムの主要部を添付する。
(使用ソフト: WOLFRAM MATHEMATICA 11)

```
(* Galam temporal evolution 2018.12.1 A. Okawa KUT *)
(* *)
rr = 5;
fa = 0.5;
ia = 0.3;
ib = 0.1;
kk = 0.5;
cc = 0;

m1 = 10; (* # of initial p0 *)
nn = 100; (* # of time steps *)
SB = ConstantArray[0, {m1, nn}];

(* ia loop *)
Do[
  ia = 0 + 0.02*ilp; (* ia =0, 0.02, ... 0.20 *)
  (* *)
  am = 100;
  tn = IntegerPart[am/rr];(* tn groups *)
  an = rr*tn; (* # of agents *)
  (* *)
  Print["N=", an, " r=", rr, " k=", kk, " c=", cc, " a=", ia, " b=", ib];
  (* *)
  Do[
    fa = ia + (j1 - 1)/(m1 - 1) (1 - ia);
    afi = an*fa; afm = IntegerPart[afi];
    aii = an*ia; aim = IntegerPart[aii];
    bii = an*ib; bim = IntegerPart[bii];
    cfa = an*(fa - ia)*cc; cam = IntegerPart[cfa];
    cfb = an*((1 - fa) - ib)*cc; cbm = IntegerPart[cfb];
    Ds = ConstantArray[0, {nn, an, 3}];
```

```

(* n=1 -----*)
Do[Ds[[1, i, 1]] = 1, {i, 1, afm}];
Do[Ds[[1, i, 2]] = 1, {i, 1, aim}];
Do[Ds[[1, i + aim, 3]] = 1, {i, 1, cam}];
Do[Ds[[1, i + afm, 2]] = 1, {i, 1, bim}];
Do[Ds[[1, i + afm + bim, 3]] = 1, {i, 1, cbm}];
SB[[j1, 1]] = Sum[Ds[[1, i, 1]], {i, 1, an}]/an;
(* n=2~nn -----*)
ic1 = 0;
Do[
  DF = ConstantArray[0, {tn, rr}];
  ic1 = ic1 + 1;
  rc = RandomSample[Range[an]];
  jc1 = 0;
  Do[Do[jc1 = jc1 + 1;
    DF[[i1, i2]] = Ds[[s1 - 1, rc[[jc1]]]], {i2, 1, rr}], {i1, 1, tn}];
  ic2 = 0;
  Do[
    po = Sum[DF[[u1, i, 1]], {i, 1, rr}];
  (* start discussion *)
  Do[
    pk = RandomReal[{0, 1}];
    st1 = DF[[u1, u2, 1]];
    st2 = DF[[u1, u2, 2]];
    st3 = DF[[u1, u2, 3]];

    If[st1 == 1,
      (* agent A*)
      If[po == rr/2,
        (* tie *)
        If[pk > kk && st2 != 1, DF[[u1, u2, 1]] = 0],
        If[po > rr/2,

```

```

(* A is majority *)
      If[st3 == 1 && st2 != 1, DF[[u1, u2, 1]] = 0],
(* A is minority *)
      If[st2 != 1, DF[[u1, u2, 1]] = 0];
];
];
,
(* agent B*)
      If[po == rr/2,
(* tie *)
          If[pk > (1 - kk) && st2 != 1, DF[[u1, u2, 1]] = 1],
          If[po < rr/2,
(* B is majority *)
              If[st3 == 1 && st2 != 1, DF[[u1, u2, 1]] = 1],
(* B is minority *)
              If[st2 != 1, DF[[u1, u2, 1]] = 1];
];
];
, {u2, 1, rr}];
, {u1, 1, tn}];
(* finish discussion *)
jc2 = 0;
Do[Do[jc2 = jc2 + 1;
      Ds[[s1, jc2]] = DF[[i1, i2]], {i2, 1, rr}], {i1, 1, tn}];
SB[[j1, s1]] = Sum[Ds[[s1, i3, 1]], {i3, 1, an}]/an;
, {s1, 2, nn}];
, {j1, 1, m1}];
Print[ListLinePlot[SB, PlotStyle -> Gray,
      PlotRange -> {{1, 20}, {0, 1}}, AxesLabel -> {"t", "p(t)}]];
, {ilp, 0, 10}]

```