受信容量制約化での情報発信の安定な均衡状態の数値解析

地主　遼史[1]・井料　隆雅[2]

[1]学生会員　神戸大学　大学院工学研究科（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1）
E-mail:ryoji_jinushi2@stu.kobe-u.ac.jp

[2]正会員　神戸大学　大学院工学研究科

外部から与えられる情報は特定の状況下（見知らぬ旅先や災害直下）で交通行動に対して強い影響力を持つ．交通行動の文脈において，情報媒体が同一の情報を発信する量についての解析は一般的ではない．しかし，複数の主体が非協力的環境で発信量を決定する場合，各主体が他に対して優位に立とうとして，社会的に見て過大な情報量を発信することもありうる．本研究ではそのような状況下において複数の主体の情報発信が構成する均衡状態を定式化し数値的に解析する．特に，均衡状態が複数発生する場合において，進化ゲーム理論の動学を導入し，システム全体としての効率が異なる複数の均衡解からどれが選択されるかを示した．結果から，一定の条件下では発信費用の増加が，現在の均衡よりパレート優位な均衡に導くかせいぜい不変であることを示した．

Key Words : *advertising, congestion, information overload, equilibrium selection, evolution game*

1. はじめに

外部から与えられる情報は特定の状況下で交通行動に対して強い影響力を持つ．Ben-Akiva et al.[1]によれば，交通主体は主に経験(personal experience)・口コミ(word of mouth・情報媒体(media messages)を通して，情報を取得し，その情報を元に意思決定を行う．しかし，特定の状況では経験や口コミはうまく活用できない．例えば，見知らぬ旅先での回遊行動や状況が不明な災害直下での避難行動では，少なくとも経験は利用できない．口コミが伝播する時間余裕もないことも多いだろう．結果として，もっぱら情報媒体を介した情報に行動が左右されることが多くなる．Ben-Akiva et al. は情報媒体の例として，特にDriver Information Systemsなど管理主体が内容を決定する情報に注目しているが，今であれば，携帯やパソコンを介した多様な主体が発信する情報へのアクセスにも着目できるだろう．

情報媒体からの情報に行動が大きく影響される状況について，情報を受け止める側（情報受信者）に注目した研究が，防災や観光の観点から盛んに行われてきた．近年であれば，Zheng et al[2]は2011年にBrisbaneで発生した洪水について住民にアンケート調査を行い，利用する情報媒体や情報の価値，交通行動について，洪水中や洪水前後の変化を調査している．柳森と井料[3]は2014年の台風11号についてTwitter情報を用いて気象警報に対する住民の反応を調べている．

情報を受ける主体に加えて，情報媒体を通じて情報を発信する主体（情報発信者）も，なんらかの規準により情報発信の内容や量を決定する行動主体と考えることができる．交通工学の分野では，情報発信者の意思決定は外生的なものや，決定すべき政策変数として扱われることが多い．しかし，複数の情報発信者が非協力的に意思決定をし，その結果が互いに干渉する場合には，情報発信の内容や量を外生的にみなす扱いは不適切だろう．例えば，情報発信者と受信者が同一かつ多数存在し，それらの間で多数の情報伝播が発生する場合 (ref. Iryo et al[4])や（交通主体とは独立な）ある情報発信者が，自身の情報を独占的に提供しようとして，他の情報発信者による情報の発信を実質的に阻害しようとする場合などが考えられる． これらの例のように，唯一の管理者が存在せず，多数の意思決定者が自律分散的に行動するシステムは交通工学ではごく一般的であるが，情報発信においても，複数の意思決定者が存在し自律分散的なシステムを構成することは十分にありうる．このようなシステムを以降では「自律分散的な」情報発信システムと呼ぶ．

本研究では，上述した自律分散的な情報発信システムとして，互いに異なる単一の内容の情報について，その発信量を決定し発信する複数の情報発信者が存在するシ

ステムを考える．このシステムにおける情報発信者の意思決定を非協力ゲーム（自律分散的情報発信ゲーム，あるいは単に情報発信ゲーム）で記述し，その均衡状態とそれにいたる動学の解析を行う．自律分散的な情報発信は普段のおしゃべりから企業による広告，論文の投稿から災害時の住民による情報提供まで、普遍的に見られるといえる．このような状況をゲーム理論で定式化し数理的な特徴を分析することには意義があると考える．

本研究で定式化する情報発信ゲームでは，発信された情報の量に比べ，受信者が情報の処理に割ける時間や労力が不足することがあると考える．より具体的には，受信者が処理できる情報の量（受信容量）の上限が外生的に与えられており，その結果，それを超えた一部の発信が受信者に受信されずに捨てられてしまうことが起こる．このような設定では，ある発信者が多量の情報を発信すると，別の発信者の発信する情報が受信される確率が減ってしまうという負の相互作用が発生しうる．大量の情報を受信者が処理しきれない現象(Information Overload)は本研究で仮定する独立な発信者に限ったものではない(ref. Eppler & Mengis[5])．状況によっては道路掲示板や気象警報のような発信内容が管理者によって統制されたものでさえ発生することかもしれない．また，この現象を抑制すれば，集中管理がない自律分散制御を情報発信システムで実現することもできるかもしれない．近年になって経済学では，受信容量が不足する状況下における自律分散的な情報発信システムのモデル化が行われている．例えば，Van Zant[6]によって発信者が受信者を細かく選択できる場合が定式化されている．Anderson & de Palama[7]は受信容量を操作できる場合を分析した．また Anderson & de Palma[8]によって差異のない受信者への産業内競争 を考慮したモデルが検討されている．更に Anderson & de Palma[9]は送信者が複数回発信をできる場合をモデル化し，複数均衡が存在することを示した．

定式化された情報発信ゲームの挙動を，均衡状態へいたる調整プロセスの動学と，それにより複数存在しうる均衡解のどれが選択される（実現する）かを解析することにより調べる．Van Zantをはじめとして，先行研究の数理モデルは静的な均衡を議論しており，均衡にいたる調整プロセスの動学は取り扱われていない．進化ゲーム理論で議論される[10]ように，調整プロセスの動学を扱うことで，均衡解への収束や均衡解の安定性を議論できる．本研究は調整プロセスの動学の具体的な定式化としてSmith Dynamics[11]を用いる．多数の発信者を異なる便益（本研究の定式化では，便益はゲーム理論上での利得と対応する）を持つグループに分類させ，戦略を情報の発信数とする集団ゲームを構成する．特に戦略およびグループいずれも2種類しかない場合について考え，その相平面を数値的に計算し図示する．さらに，発信費用を変化させ，各均衡解へ収束する範囲の変化と均衡解の安定性を相平面上で議論する．発信費用の変化は多くの情報発信システムに適用可能な施策に思われ，また先行研究でも政策変数として議論されている．

本研究の構成を以下に示す．1章では研究の問題意識と先行研究との位置づけを説明した．2章では自律分散的な情報発信システムを定式化する．そのシステムにおける調整プロセスの動学として3章ではSmith Dynamicsを導入する． 4章では数値計算を用いて各均衡解の収束と均衡解の安定性を議論し，最後に5章で結論を述べる．

2. モデルの定式化と均衡の定義

本研究では自律分散的な情報発信のシステムを利用者均衡配分と同様な形で定式化し，その数理的な特徴を分析する．本章ではモデルの枠組みを示し，均衡状態を定義する．本研究のモデルは Anderson & de Palma の定式化を参考に定式化した[9]．(3)で Anderson & de Palma のモデルとの定式化上の差異を示す．

(1) モデルの設定

単一の受信者集団への自律分散的な情報発信システムを考える．現実的には受信者はそれぞれ発信を処理できる量（受信容量）に異なる制約を持ちうる．しかし，本論は発信者の挙動に重きを置くので，全ての受信者が代表値と同様の受信容量ϕを持つことにする．受信者は受信容量を超えた数の発信に直面すると，受信容量と同じ分だけ，全ての発信からランダムに発信を受信（処理を行う）し，のこりは無視すると仮定する．したがってある発信が受信される確率（以下受信率ρ）は発信の総数をNとすると

$$\rho = \min\left[1, \frac{\phi}{N}\right] \tag{1}$$

と計算できる．

本研究で注目する自律分散的な情報発信システムでは，独立に発信を決定する発信者群の受信容量の奪い合いによって，発信内容と発信の総量(総発信数N)が決定される．各発信者は独自の発信したい情報を持ち，その情報が受信者に受信されることで便益を得る．便益は一度でも受信されることで発生し，複数回の受信されても追加的な便益は発生しないと仮定する．各発信者は受信から得る便益の大きさによって分類され，個人特性$r \in R$を持つ発信者は便益π_rを得る．発信には1回あたり費用γが必要となり，発信者はそれぞれ独立に追加的な発信がもたらす利潤（便益―コスト）を考慮して，離散的な発信数lを決定する．各発信者が得る利潤は

$$u(r,l,\rho) = \pi^r(1-\mathrm{F}(l,\rho)) - \gamma l \tag{2}$$

と定式化される．

(2) 均衡の定義

全ての発信者が利潤 $u(r,l,\rho)$ を最大化する状態，すなわち全ての企業の発信数 l が，最適化問題

$$\max_{l} u(r,l,\rho) \tag{3}$$

の解である状態を均衡状態（ナッシュ均衡）と定義する．ここでFはある発信者の情報が受信されない確率であり，$F(l,\rho)=(1-\rho)^{l}$ である．したがって $1-F(l,\rho)$ は発信者の情報が一度でも受信される確率を示す．

システム全体の均衡を交通流の利用者均衡配分にならって，一種のPopulation Gameとして定式化する．個人特性 r を持ち，l 回発信する発信者の人数を $x_l(r)$ と表記する．全体の発信者数は常に保存されるので、$D(r)$ を個人特性 r を持つ発信者の総数とすると

$$\sum_{l\in S} x_l(r)=D(r) \tag{4}$$

が常に成り立つ．ただし，発信数の最小値，最大値を $l_{\min}, l_{\max}$ とし，発信者の選択できる戦略（発信数の組み合わせ）を $S=\{l_{\min}, l_{\min}+1, l_{\min}+2, ..., l_{\max}\}$ とした．現在の状態（発信者の個人特性ごとの各発信数を選択する総数）を表現するベクトル $\mathbf{x}=\{x_l(r)\}\quad \forall r\in R, \forall\ l\in S$ を用いて，総発信数 N は

$$N(\mathbf{x})=\sum_{r\in R}\sum_{l\in S} l x_l(r) \tag{5}$$

である．したがってシステム全体のNash均衡は式(3)と同様の意味を持つ以下の式を満たす．

$$\bar{u}(r)\geq u(r,l,N(\mathbf{x}))\ \forall r\in R, \forall l\in S \tag{6}$$

ここで $\bar{u}(r)$ は均衡で選択されている発信数の利潤である．なお上記の均衡配分問題は交通量配分と同様に以下の相補性条件を満たす．

$$x_l(r)\left(\bar{u}(r)-u(r,n,N(\mathbf{x}))\right)=0 \tag{7}$$

(3) Anderson & de Palma の定式化との差異

本論では発信者の個人特性を離散的に扱っているが，Anderson & de Palmaは連続的に扱っている．個人特性を離散的に扱ったために，個人特性ごとに戦略（発信数）の更新を行う動学を導入することが可能である．

3. 戦略の更新と均衡解の特徴

2 章で構築した，各発信者が複数回発信可能なモデルには複数の均衡解が予想される．このようなモデルに対して，均衡に至る調整プロセスの動学を与えることにより，初期値に対してどの均衡解に収束するのかを決定できるようになる．また均衡解の安定性についても分析できる．収束の範囲と安定性を理解することは政策を考える際に有用である．例えば，各均衡解に収束する範囲がわかれば政策によってパレート劣位な均衡に陥ることを回避できる．仮に政策によってパレート優位な均衡に変移できるとして，その優位な均衡が外力に対して安定的でなければ，政策の有用性は怪しくなる．本章ではモデル内での発信者による「戦略（発信数）の更新」に動学（Smith Dynamics）を導入する[11]．

(1) 戦略の更新

2 章で構築したモデルに対して，「戦略（発信数）の更新」の概念を導入する．既存研究では均衡に至る動学はあまり分析されていない．発信者の意思決定について，Anderson & de Palma[9]は各発信者が総発信数に与える影響が十分に小さいために，総発信数を所与とした意思決定が行われると仮定している．しかし，総発信数を発信者がどのような手段で把握するのか不明である．意思決定に使われる利潤が確率を伴う期待値であることを考えると，自身の効用から演算的に総発信数を把握することは難しい．本研究では各発信者は，自身と同様の個人特性を持つ他の発信者の行動を参考にして，戦略（発信数）を更新すると仮定する．

このような選択肢を比較して戦略を変更するダイナミクスとして Smith Dynamics がある．ダイナミクスは他にも多数存在するが，Smith Dynamics はいくつかの望ましい特長を有しているため，本論で採用した（ref. Sandholm[10]）．Smith Dynamics は

$$\begin{aligned}\dot{x}_i(r)=&\sum_{j=l_{\min}}^{l_{\max}} x_j(r)\left[u_i(r)-u_j(r)\right]_+\\&-x_i(r)\sum_{j=l_{\min}}^{l_{\max}}\left[u_j(r)-u_i(r)\right]_+\end{aligned} \tag{8}$$

と定式化される．ここで，$u_l(r)\equiv u(r,l)$，$[a]_+\equiv\max\{a,0\}$ である．また，$x_i(r)$ は連続時間 t に依存するとし，$\dot{x}_i(r)$ は $x_i(r)$ の時間微分であるとする．$u_i(r)$，$u_j(r)$ も $\mathbf{x}$ に依存するため，これらも結果的には時間に依存する．一般に，Smith Dynamics は，その停留点がナッシュ均衡と等価であることが知られている（ref. Sandholm[11]）

4. 数値計算

本章では 2 章 3 章の議論を踏まえて，モデルに対して数値計算を行う．数値計算の目的は，初期条件に対して均衡解に至る収束の経路を示すことと，均衡解の安定性を議論することである．

(1) 初期条件

本研究ではモデルの特徴を理解するために実用的な示唆を得るために数値計算を行う．数値計算に用いた初期条件を表 1 に示す．各状態に対する変化を平面に描くことが可能で、解釈も容易な条件として，個人特性 2 種類×選択できる発信数(1 回, 2 回)の場合を採用した．まず発信費用 $\gamma=0.1$ の場合を示し分析を行う．その後，発信費用を順に変化させて（$\gamma=0.1,\ 0.2,\ 0.22,\ 0.3$），均衡解に収束する範囲と均衡解の安定性への影響を分析する．

表 1　数値計算のパラメータ

個人特性 r	便益 π_r	需要 $D(r)$	発信回数 S	受信容量 ϕ
1, 2	$0.5r$	200	1, 2	400

(2) 数値計算

数値計算では，2 種類の発信者が発信数を 1 ないし 2 回行う状況を対象にする．複数回の受信に便益が発生しないとう仮定から，2 回発信を行うことは，発信の労力増加と複数回の受信による受信容量の浪費を生むので，社会的に効率の悪い過度な発信と解釈する．一方，過度な発信を抑制し，1 回の発信で抑えることが社会にとって望ましいとする．直感的には発信費用を増加させることで，過度な発信を抑制できるように思われる．しかし，静的な均衡の議論では複数均衡が報告されており，半端な発信費用の増加がどのような影響を持つのか不明であった．発信費用の増加は均衡をより劣位の均衡に導く可能性がある．本節ではまず表 1 で与えたパラメータに対し，各均衡に収束する初期値の範囲を示す．次に発信費用 γ を変化させ，その影響を見る．

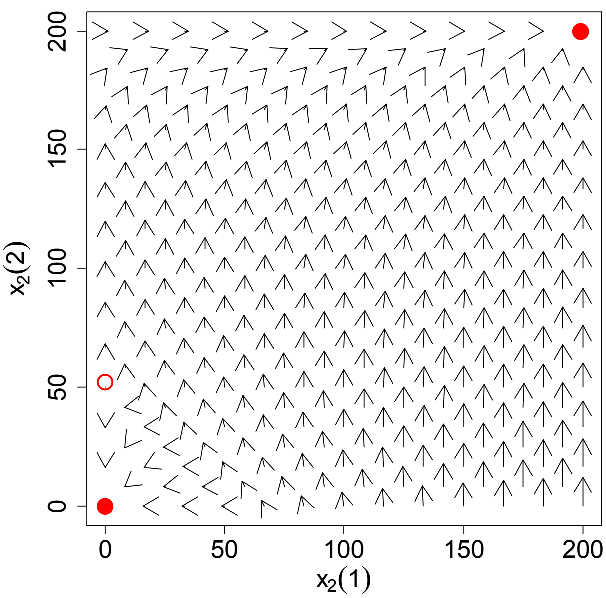


図 1　$\gamma=0.1$ の相平面

図 2 は矢印は各状態に対する変異を意味しており，横軸が $x(r=0,l=2)/D(r)$，縦軸が $x(1,2)/D(r)$ の相平面である．3 つの赤い丸点は均衡点を表しており，中抜き点は不安定な均衡である（微小な変動に対して安定でない）．

式(5)を用いて，図 2 にある中抜きの均衡点について，数理的に安定性を調べる．まず $\rho=1$ の時，発信は必ず受信されるので，$u(r,1,N(\mathbf{x}))>u(r,2,N(\mathbf{x}))\forall r$ が成立する．ゆえに $(x(1,2),x(2,2))=(0,0)$ で無ければ，均衡解にならない．したがって中抜きの均衡解では $1>\rho>0$ が満たされる．中抜きの均衡解において，発信者に用いられている戦略（発信数）の利潤は等しくなるはずなので，

$$u(r=2,l=1,N(\mathbf{x}))=u(2,2,N(\mathbf{x})) \tag{9}$$

である．そのような時の $N(\mathbf{x}^*)$ を考えると

$$\begin{aligned} &\pi^2(\mathrm{F}(2,\rho)-\mathrm{F}(1,\rho))=\gamma \\ &\Leftrightarrow (1-\rho)\rho=\frac{\gamma}{\pi^2} \\ &\Leftrightarrow \rho=\frac{1\pm\sqrt{1+4\gamma/\pi^2}}{2} \end{aligned} \tag{10}$$

ここで $1>\rho>0$ なので

$$\begin{aligned} &\rho=\phi/N(\mathbf{x}^*)=\left(1+\sqrt{1+4\gamma/\pi^2}\right)/2 \\ &\Leftrightarrow N(\mathbf{x}^*)=2\phi/\left(1+\sqrt{1+4\gamma/\pi^2}\right) \end{aligned} \tag{11}$$

である．この均衡から $x_2^*(2)$ に微小な変化(ε)が起きた場合（同時に総発信数が $N(\mathbf{x}^*)-\varepsilon\le N(\mathbf{x})\le N(\mathbf{x}^*)+\varepsilon$ の領域を動く場合）を考える．個人特性 r ごとの動学は

$$\begin{aligned} \dot{x}_2(1)=&x_1^*(1)\left[u_2(1)-u_1(1)\right]_+ \\ &-x_2^*(1)\left[u_1(1)-u_2(1)\right]_+ \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_2(2)=&x_1^*(2)\left[u_2(2)-u_1(2)\right]_+ \\ &-x_2^*(2)\left[u_1(2)-u_2(2)\right]_+ \end{aligned} \tag{13}$$

である．式(12)の右辺は式(9)が成立している条件では概ね負になる．正確には $N(\mathbf{x}^*)-\varepsilon\le N(\mathbf{x})\le N(\mathbf{x}^*)+\varepsilon$ が

$$\begin{aligned} &u_2(1)>u_1(1) \\ &\Leftrightarrow N(\mathbf{x}^*)+\varepsilon<2\phi/\left(1+\sqrt{1+4\gamma/\pi^1}\right) \\ &\Leftrightarrow \varepsilon<2\phi\left(\begin{aligned} &1/\left(1+\sqrt{1+4\gamma/\pi^1}\right) \\ &-1/\left(1+\sqrt{1+4\gamma/\pi^2}\right) \end{aligned}\right) \end{aligned} \tag{14}$$

を満たす範囲では負になる．式(14)が成立するほどεが十分に小さいと仮定する．中抜きの均衡点では境界条件の下限（$x_2^*(1)=0$）なので，$x_2^*(1)$は微小な変化に対して，安定である．しかし，式(13)の右辺は$N(\mathbf{x}^*)+\varepsilon$の時正，$N(\mathbf{x}^*)-\varepsilon$の時負となり，系の状態は均衡解から離れてしまう．したがって個人特性$r=2$を持つ発信者の微小な変化に対して，中抜きの均衡点はリアプノフ安定でない（リアプノフ安定の定義についてはたとえばストロガッツ[12]を参照）．

次に均衡点と発信費用の関係を見る．発信費用を微小な値から増加させていくと（図 2～8），均衡点が増減する様子がわかる．この均衡点の増減を解析的に考えてみたい．式(12)および式(13)の正負はそれぞれ

$$u_2(1)-u_1(1)=\pi^1\rho(1-\rho)-\gamma \qquad (15)$$

$$u_2(2)-u_1(2)=\pi^2\rho(1-\rho)-\gamma \qquad (16)$$

と一致する．便益π^rは個人特性ごとに異なるため，式(15)および式(16)が同時に 0 になることはない．したがって少なくとも片方が境界条件によって固定される条件でなければ，均衡解にはならない．また式(16)―式(15)が常に正であることから，$\dot{x}_2(1)\geq 0$ $\dot{x}_2(2)<0$あるいは$\dot{x}_2(1)>0$ $\dot{x}_2(2)\leq 0$という組み合わせは実現しない．したがって，均衡解は$x_1(1)=0$または$x_2(2)=200$のどちらかを少なくとも満たす．式(15)および式(16)を用いて，発信費用γを変数とした，各点に関する$\dot{x}_2(1)$および$\dot{x}_2(2)$の増減表を表 2 に示す．なお各点におけるρは常に一定であることに注意されたい．

表 2　発信費用に対する戦略の増減表

γ	$\cdots$	$\pi^1\rho(1-\rho)$	$\cdots$	$\pi^2\rho(1-\rho)$	$\cdots$
$\dot{x}_2(1)$	+	0	-	-	-
$\dot{x}_2(2)$	+	+	+	0	-

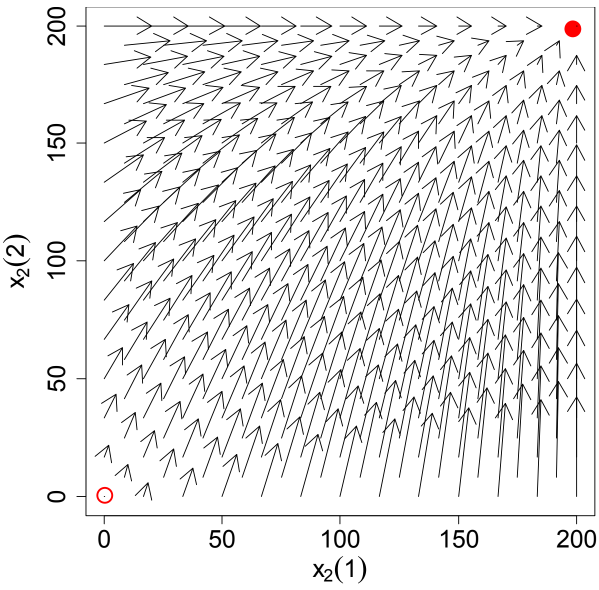


図 2　$\gamma=0.01$ の相平面

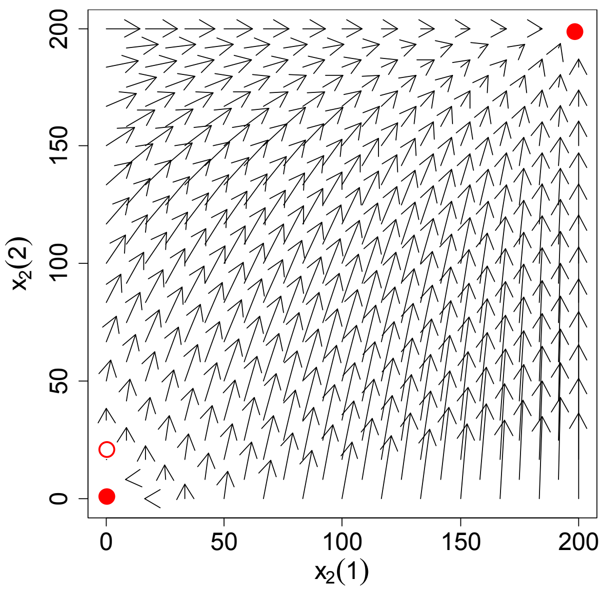


図 3　$\gamma=0.04$ の相平面

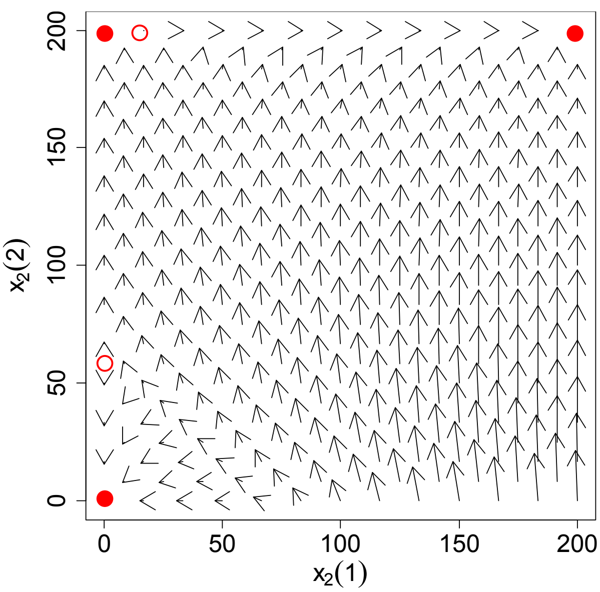


図 4　$\gamma=0.115$ の相平面

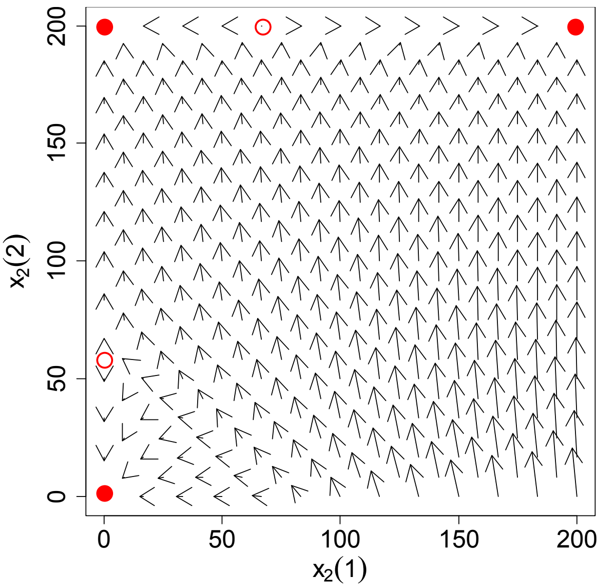


図 5　$\gamma = 0.12$ の相平面

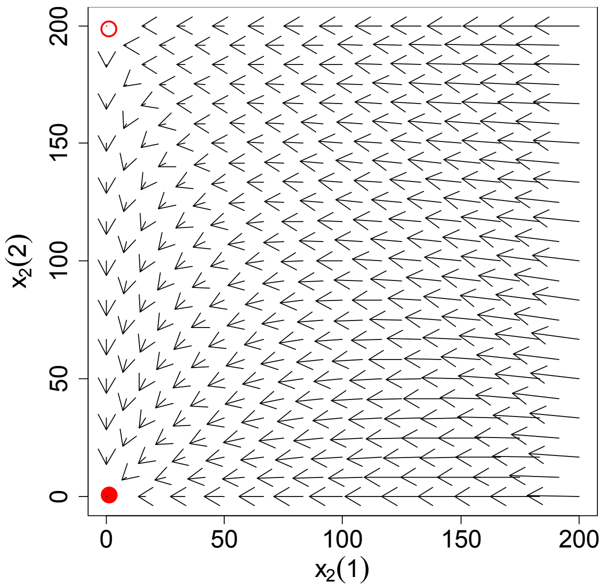


図 8　$\gamma = 0.22$ の相平面

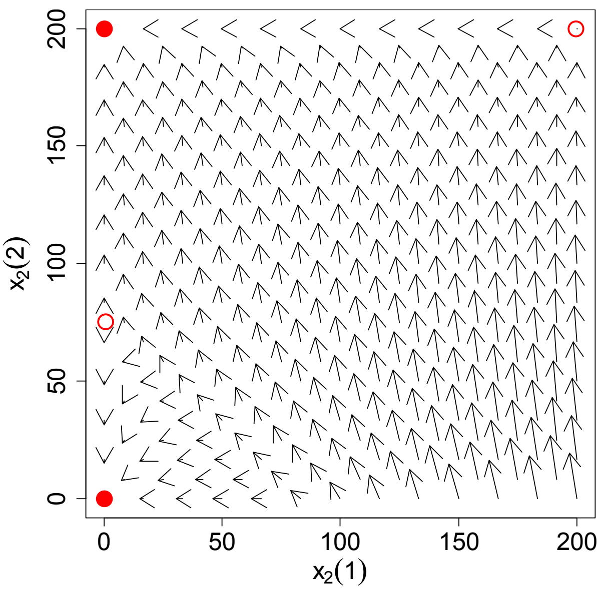


図 6　$\gamma = 0.12515$ の相平面

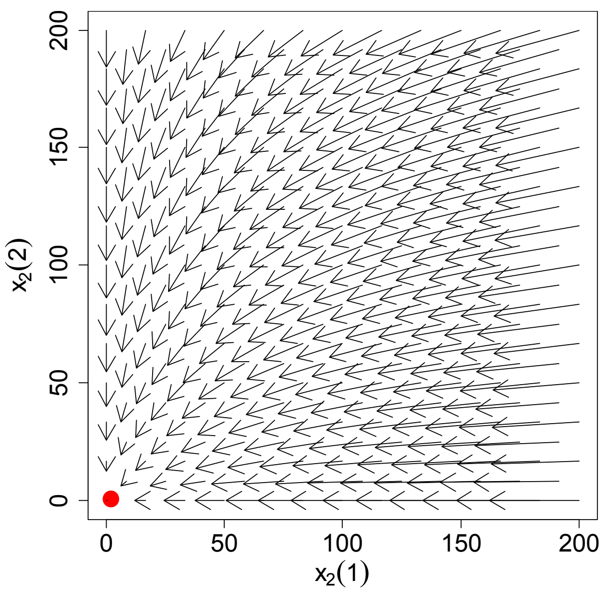


図 9　$\gamma = 0.3$ の相平面

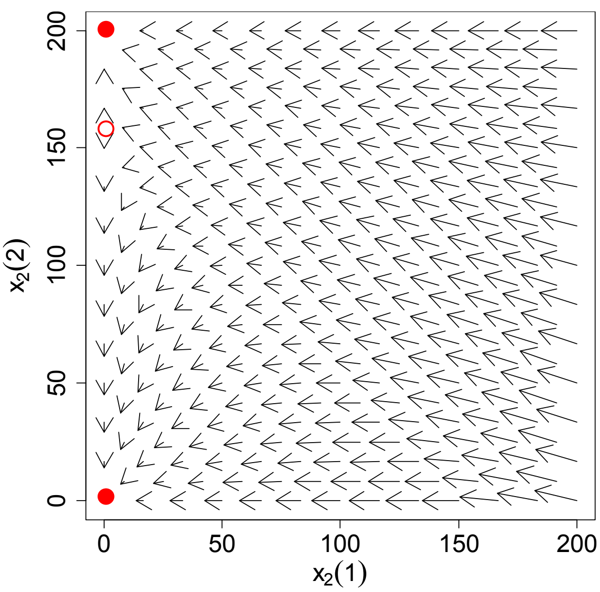


図 7　$\gamma = 0.2$ の相平面

表 2 に示した通り，発信費用γの増加が各点における変異を発信数を減少させる方向に移動させることがわかる．数値計算の設定上，各状態$\mathbf{x}$における総発信数は原点$\left(x_2(1), x_2(2)\right) = (0,0)$からのマンハッタン距離$z$を用いて$N(\mathbf{x}) = 400 + z$で表現できる．$\rho$を$z$の関数として表現すると図 10 のようになり，数値計算の条件（$\rho \geq 0.5$）では$(1-\rho)\rho$の単調増加が成立する（より一般的な場合については付録を参照されたい）．ここまでの議論から，マンハッタン距離で原点に近い部分から順番に変異の符号が負になる．そのため，現在の状態$\mathbf{x}$よりも原点に近い部分はパレート優位な均衡（ρの高い均衡）かせいぜい現在と不変な均衡へ収束する．したがって発信費用の増加によって，ある状態に対する収束先の均衡が，より劣位な均衡（ρの低い均衡）に変化することはない．このことから本研究と同様な構造に限れば，発信費用の上昇は政策的にマイナスにならない．

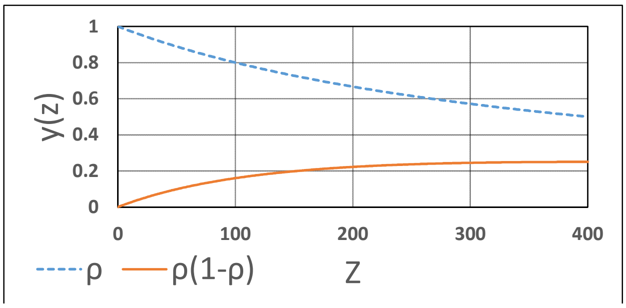


図 10　マンハッタン距離と受信率

5. 結論

本研究では情報を受け取る側の容量が限定された状況における自律分散的な情報発信システムの数理モデルに進化ゲームの動学（Smith Dynamics）を導入し，各均衡に収束する範囲と均衡解の安定性を議論した．動学を導入するために，発信を行う主体の個人特性を離散的に扱うことで交通流モデルにおける利用者均衡配分問題と同様の定式化を行った．発信数の選択肢と個人特性がそれぞれ 2 種類存在する条件の数値計算を行い，発信費用の変化と各均衡解へ収束する（状態の）範囲や均衡解の安定性の関係を分析した．先行研究と整合的な複数均衡解を確認すると共に，安定でない均衡解の実例を示した．また本研究で仮定した発信数と個人特性が 2×2 のゲームでは，発信費用の増加はどのような初期状態に対しても，現状より劣位な均衡に導く変移を起こさないことを明らかにした．

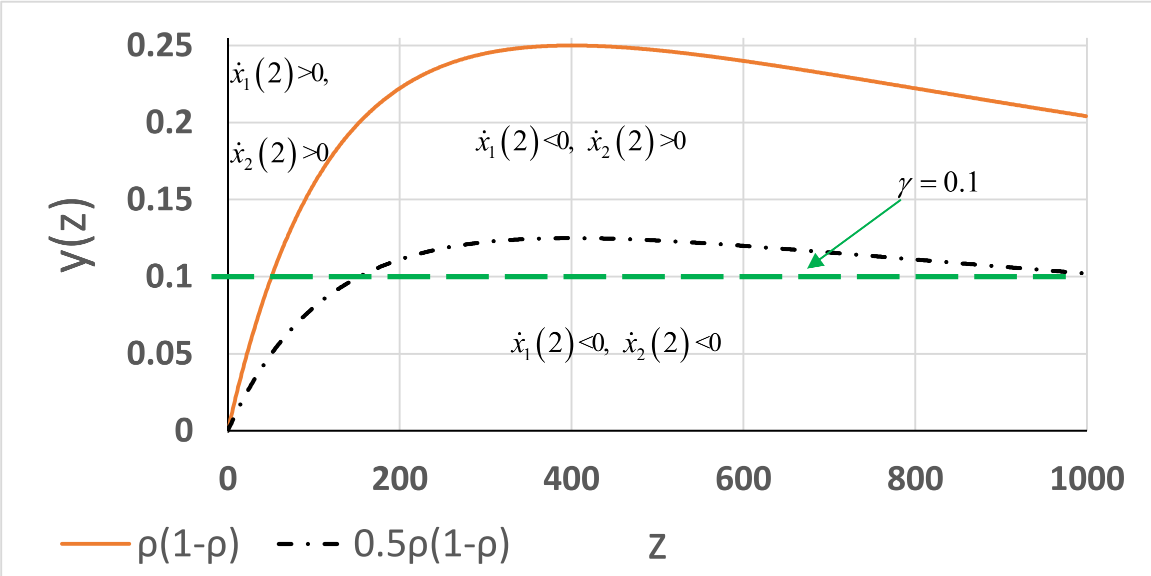
本研究の結果から 2 つの政策が有望に思える．第一に発信費用を上昇させることが政策として考えられる．自律分散的な情報発信システムが悪い状態に陥っている場合，（発信者が負担する）発信にかかる費用を上げることで状態を改善できる，少なくとも状態が悪化しないことを結果は示唆している．しかし，一口に自律分散的な情報発信システムと表現しても，普段のおしゃべりや災害時の住民による情報提供は発信費用を挙げることが（倫理的・技術的に）困難である．このような場合に実現可能な第二の選択肢として，なんらかの一時的な政策により，システムの状態を推移させ，パレート優位かつ安定な均衡状態に導くという方法が考えられる．また発信費用の上昇は優位な均衡状態へ収束する初期条件を広げるので，システムの状態を推移させる政策と組み合わせることも可能である．

本研究の数値計算は個人特性と選択可能な発信数を 2 つづつに限定しており，発信者の個人特性や選択可能な発信数を増加させたより多次元な条件に対する分析は今後の課題である．

参考文献

1) Ben-Akiva, M., De Palma, A. & Isam, K. : Dynamic network models and driver information systems. Transportation Research Part A: General, 25(5), pp.251–266. ,1991
2) Zheng, Z., Lee, J. (Brian), Saifuzzaman, M. & Sun, J. : Exploring association between perceived importance of travel/traffic information and travel behaviour in natural disasters: A case study of the 2011 Brisbane floods. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 51, pp.243–259., 2015
3) 柳森和真, 井料隆雅, Twitter データを用いた水害時の避難情報に対する住民の反応と行動の時系列分析, 第 51 回土木計画学研究発表会・講演集, 2015
4) Iryo, T., Yamabe, K. & Asakura, Y. : Dynamics of information generation and transmissions through a social network in non-recurrent transport behaviour. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 20(1), pp. 236–251, 2012
5) Eppler, M. & Mengis, J. :The Concept of Information Overload: A Review of Literature. The Information Society: An International Journal, 20, pp. 325–344.,2004
6) Van Zandt, T. : Information Overload in a Network of Targeted Communication. *The RAND Journal of Economics*,35, pp. 542–560 ,2004.
7) Anderson, S. P. & de Palma, A. : Information congestion. *The RAND Journal of Economics*, 40, pp. 688–709, 2009.
8) Anderson, S. P.,& de Palma, A. : Competition for attention in the Information (overload) Age. The RAND Journal of Economics, 43(1), pp. 1–25. 2012.
9) Anderson, S. P. & de Palma, A. : Shouting to Be Heard in Advertising. *Management Science*, 59, pp. 1545–1556 , 2013.
10) Sandholm,W.H. (2010). *Population Games and Evolutionary Dynamics*. MIT, pp150
11) Smith, M. : The stability of a dynamic model of traffic assignment - An application of a method of Lyapunov. Transportation Science, 18(3), pp. 245–252. 1984
12) ストロガッツ,S.H.　田中久陽・中尾裕也・千葉逸人（訳）(2015).「非線形ダイナミクスとカオス　– 実験的基礎から物理・生物・工学への応用まで」, 丸善出版

(2015. 7. 31 受付)



付録　発信費用 $\gamma=0.1$ の場合の場合分け

STABILITY OF EQUILIBRIA OF INFORMATION TRANSMITTION SYSTEM UNDER LIMITED RESORCE OF RECIPIENT

Ryoji JINUSHI and Takamasa IRYO

Messages from media have deep impacts on travel behavior under the special situation (e.g. strange land or disaster situation). In the context of travel behavior, it is not general to analyze how much messages the information media send about single information. However multi senders select each volume of message without cooperation, some senders may send excess volume in order to get advantage. In this paper, the equilibrium about multi senders' information transmission under such a situation is discussed. To select equilibrium, the approach of evolutionary game is applied. Then numerical calculation shows equilibrium selection from multiple equilibrium which are different from efficiency of the entire system. From the results, raising message cost make Pareto improvement or no impact under some situations.