

自己実現する説得によるハンチング現象の抑制

岩瀬 竜也¹・田所 幸浩²・福田 大輔³

¹修士 (工学) 豊田中央研究所 (〒 480-1131 愛知県長久手市横道 41 - 2)

E-mail: e1340@mosk.tytlabs.co.jp

²博士 (工学) 豊田中央研究所

³正会員 博士 (工学) 東京工業大学准教授 大学院理工学研究科 (〒 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-M1-11)

道路利用者が交通状態を完全に把握していないケースでは、渋滞情報提供によって交通渋滞を改善できる可能性がある。これに対し従来の VICS などの渋滞情報提供においてはハンチング現象の発生が課題となっている。本研究では情報のコントロールによって人々の信念を変化させるピラーフデザインの理論に基づき情報提供が交通に与える影響をモデル化し、ハンチング現象と渋滞を同時に抑制する情報提供の条件を明らかにした。

Key Words: *Wardrop Equilibrium, Incomplete Information, Congestion Game, Belief Design, Persuasion Game, Hunting Phenomenon, VICS*

1. はじめに

交通混雑の問題は、Wardrop の第一原則が予測する利用者均衡が混雑外部性によって非効率になる現象として説明される¹⁾。混雑料金制度は金銭によるインセンティブを道路利用者に加え、均衡状態の効率を改善させようという試みである。一方で、道路利用者が交通状況について完全な情報を持たないことによって、均衡が非効率になるケースもある²⁾。この場合、適切な情報提供によって交通渋滞の問題を解消できる可能性があるが、提供する情報の設計には課題も残されている。その代表的な例が VICS による渋滞情報提供である。大口ら⁴⁾は VICS の適用事例を分析し、情報遅れによって発生するハンチング現象を調査した。ハンチング現象とは、渋滞している経路を回避させようと渋滞案内をすると、案内された別経路のほうが逆に渋滞し、情報遅れにより渋滞が経路間で振動する現象である。情報提供を意図的に止めることでハンチング現象を抑制できることが確認されており、渋滞を解消するための情報提供が渋滞を発生させるというジレンマを示す結果となっている。ハンチング現象の原因となる情報遅れを回避するため、予め全利用者の予定経路を集約し、渋滞予測情報を案内する手法も提案されているが、高処理負荷が懸念される⁵⁾。

ハンチング現象を抑制するには、その発生の仕組みを含めて情報提供が交通に与える影響を説明できる理論が必要である。近年、メカニズムデザインの分野では、情報のコントロールによって人々の信念を変化させ行動に影響を与えるピラーフ・デザインという考え方が進展している³⁾。本研究では、ピラーフデザイン

の理論を交通混雑の分析に適用し、ハンチング現象と渋滞を同時に抑制する情報提供の性質を理論的に明らかにすることを目的とする。

2. ゲーム理論的準備

本研究では交通現象と情報提供を抽象化し、理論的に分析するためのツールとしてゲーム理論を用いる。従来、交通を連続体として扱う研究が主流であるが、本研究では道路利用者を離散化して扱う。交通混雑・渋滞の問題を抽象化したゲームに Congestion game⁶⁾がある。これはリンクコストを利用者数の関数、利用者の利得を経路のリンクコストの和として定義し、利用者が経路選択をする状況をモデル化したものである。Congestion game はそのシンプルさ故に均衡の非効率性を分析するのに用いられている^{7),8),9)}。Congestion game を更に単純化したものに Minority game がある¹⁰⁾。Minority game は2つの選択肢のみを扱い、選択肢の利用者が少ないほど利得が高いというゲームであり、渋滞問題の本質をモデル化している。Klein¹¹⁾や Huberman ら¹²⁾は Minority game を使ってハンチング現象発生メカニズムを数理的に分析している。

一方、情報をコントロールして人々の行動に影響を与えるピラーフデザインと呼ばれる考え方が近年進展している。ピラーフデザインでは情報提供の抽象化として Persuasion game が用いられる¹³⁾。Persuasion game のプレイヤーは情報提供者である Sender と情報を受け意思決定を行う Receiver である。ある選択肢を選んだ際の Receiver の利得は未知の環境変数 x (交通状況など) に依存する。Receiver は x を直接観測できず、Sender が

提供する x に関する情報 (シグナル) を元に x に対する信念をベイズ更新する。Receiver は x に対する信念に基づいて選択肢の期待利得を決定するため、Sender はシグナルによって Receiver の選択に影響を与える事ができる。Persuasion game は情報提供による意思決定への介入、つまり説得の抽象化であり、種々の応用が考えられている^{14),15),16)}。Kamenica らはこれをさらに推し進め、Sender の利得を最大化する Receiver の信念を実現するよう、情報をコントロールする問題として定式化した¹⁷⁾。本研究では、交通渋滞問題を Minority game、情報提供を Persuasion game でモデル化し、両者を組み合わせることで、ハンチング現象を抑制する情報提供の理論的解析を行う。

3. 問題設定

図-1 に本研究の問題設定全体を示す。前節で述べたとおり、これは Minority game と Persuasion game の組合せとなっている。ここでは K 人の Receiver を仮定し、各 Receiver は 2 つの選択肢 (経路) から 1 つを選択する。 i 番目の Receiver の選択した経路を $a_i \in \{0, 1\}$ とする。また状態 x を、経路 1 を選んだ人数の割合と定義する。従って経路 1 を選んだ Receiver 数は xK となる。ここでは各 Receiver の状態推定値 x と、Receiver の選択結果で決まる実現値 \hat{x} を区別して扱う。実現値は以下の式で表される。

$$\hat{x} = \frac{\sum_{i=1}^K a_i}{K}. \quad (1)$$

Receiver の利得は実現値 \hat{x} で決まるが、Receiver は経路選択前に実現値 \hat{x} を知ることはできない。よって Receiver は状態の推定値 x にもとづいて、以下の式で利得を計算する。

$$u_i(a_i, x) = \begin{cases} 2x - 1 & (a_i = 0) \\ 1 - 2x & (a_i = 1). \end{cases} \quad (2)$$

選んだ経路の人数が少ないほど利得は大きくなり、2 つの選択肢の人数が等しいときには利得は 0 となる。これは Minority game に他ならない。Receiver はこの期待効用が最大となる経路を選択する。その際、Receiver は

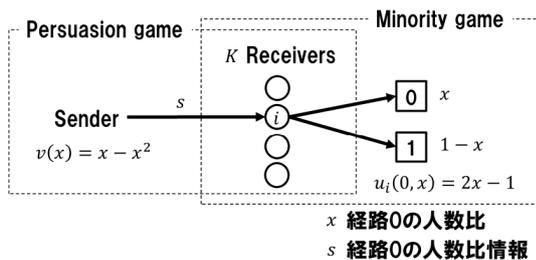


図-1 問題設定

状態 x について持っている不確実な知識を元に、期待効用を計算する。この Receiver の x に関する知識を表す確率分布を信念と呼ぶ。本研究では簡単のため、信念をガウス分布と仮定する。Receiver i の事前信念は以下の式で表される。

$$p_{0i}(x) = N(x; \mu_{0i}, \sigma_0^2). \quad (3)$$

さらに、事前信念の平均パラメータ μ_{0i} は各 Receiver によって異なり、以下のようなガウス分布に従うと仮定する。

$$p(\mu_{0i}) = N(\mu_{0i}; \mu_h, \sigma_h^2). \quad (4)$$

Persuasion game では Sender は情報をコントロールして Receiver の信念を変化させ、行動を誘導する。通常の Persuasion game において、Sender は状態の実現値 \hat{x} を観測した後、 \hat{x} の値に基づいてシグナル s を決定する¹⁷⁾。しかし本問題設定において、 \hat{x} は Receiver が選択した結果の実現値であるため、Sender は \hat{x} をシグナル送信前に観測できない。従って Sender は \hat{x} とは無関係に以下の分布に従ってシグナルを決定する (この仮定は後ほど緩和する)。

$$\pi(s) = N(s; \mu_s, \sigma_s^2). \quad (5)$$

Sender は Receiver ごとに独立にシグナルを決定し、通知する。Receiver は受け取ったシグナルに基づいて信念をベイズ更新する。本研究では、Receiver はシグナル s が状態 x の観測結果に基づいて決定されたと考えたと仮定する。つまり、Receiver が信念をベイズ更新する際のシグナル s の尤度を以下の式で表す。

$$\pi(s|x) = N(s; x, \sigma_s^2). \quad (6)$$

すると、シグナルを受け取った後の Receiver の事後信念はベイズの定理より以下のように求められる。

$$p_i(x|s) = \frac{\pi(s|x)p_{0i}(x)}{\int \pi(s|x)p_{0i}(x)dx}. \quad (7)$$

Sender の目的は自分の利得 $v(\hat{x})$ を最大にすることであり、そのためにシグナル分布 $\pi(s)$ を通じて Receiver の事後信念をコントロールする。ここでは Sender は道路管理者であり、渋滞を抑えるため、2 つの経路に均等に Receiver を割り当てることを目的とする。すると Sender の利得は例えば以下の様な関数で表される。

$$v(\hat{x}) = \hat{x} - \hat{x}^2 \quad (8)$$

sender に与えられた問題は、上記 $v(\hat{x})$ の期待値を最大化するようなシグナル分布 $\pi(s)$ を決定することである。これは以下の最適化問題として定式化される。

$$\begin{aligned} \max_{\pi} \quad & E_{\pi}[v(\hat{x})] \\ \text{s.t.} \quad & \hat{x} = \frac{\sum_{i=1}^K a_i^*}{K} \\ & a_i^* \in \arg \max E[u_i(a_i, x)]. \end{aligned} \quad (9)$$

これは具体的には $\pi(s)$ の二つのパラメータ μ_s 及び σ_s を決定する問題となる．Sender はシグナル $\pi(s)$ を決める際に状態の実現値 \hat{x} を観測することはできないが，この状況で Sender はどのようにシグナル $\pi(s)$ を決めるべきだろうか？過去の交通状態の観測を元に決めることも考えられるが，情報遅れによってハンチング現象を発生させる可能性があることが既に示されている⁴⁾．

4. 自己実現シグナル

(1) 自己実現条件

ここでは上記の課題を解決するためのアプローチを述べる．ハンチング現象は渋滞とそれに関する情報が互いにタイムラグを生じながら追いかけてあうことで発生する．しかし Minority game というゲーム構造が予めわかっており，Receiver の選択経路とその結果得られる状態 \hat{x} の関係がわかっているとすれば，シグナル s を出した結果の状態 \hat{x} も予測できる可能性がある．従って，シグナルの内容と結果状態が自ずと一致するようなシグナルを設計し，それを Receiver に与えることで，ハンチング現象の問題は解決すると期待される．このような自ずとシグナル通りの結果を導くシグナルのことを本研究では「自己実現シグナル」と呼ぶ．自己実現シグナルを導くため，まずは以下の補題を示す．

Lemma 1. 状態の実現値 \hat{x} は以下の式で与えられる．

$$\hat{x} = F(0; 2\bar{\mu} - 1, 4\bar{\sigma}^2). \quad (10)$$

ここで $F(y; \mu, \sigma^2)$ はガウス分布の累積分布関数である．

Proof. シグナル s_j を与えられた際の Receiver の事後分布は，ベイズの定理を用いて以下のように表される．

$$p_{ij}(x|s_j) = N(x; \mu_{ij}, \sigma^2). \quad (11)$$

ただし

$$\begin{aligned} \mu_{ij} &= \sigma^2 \left(\frac{s_j}{\sigma_s^2} + \frac{\mu_{0i}}{\sigma_0^2} \right), \\ \sigma^2 &= \frac{\sigma_0^2 \sigma_s^2}{\sigma_0^2 + \sigma_s^2}. \end{aligned} \quad (12)$$

各 Receiver に提示されるシグナルは式 (5) の分布に従うため，上記事後分布をシグナルについて周辺化すると，以下ようになる．

$$p_i(x) = \int p_{ij}(x|s_j) \pi(s_j) ds_j = N(x; \mu_i, \sigma_1^2). \quad (13)$$

ただし

$$\begin{aligned} \mu_i &= \sigma^2 \left(\frac{\mu_s}{\sigma_s^2} + \frac{\mu_{0i}}{\sigma_0^2} \right), \\ \sigma_1^2 &= \sigma^2 + \frac{\sigma^4}{\sigma_s^2}. \end{aligned} \quad (14)$$

さらに事前信念パラメータ μ_{0i} は式 (4) の分布に従うため，式 (13) を周辺化すると以下ようになる．

$$p(x) = \int p_i(x) p(\mu_{0i}) d\mu_{0i} = N(x; \bar{\mu}, \bar{\sigma}^2). \quad (15)$$

ただし

$$\begin{aligned} \bar{\mu} &= \sigma^2 \left(\frac{\mu_s}{\sigma_s^2} + \frac{\mu_h}{\sigma_0^2} \right), \\ \bar{\sigma}^2 &= \sigma_1^2 + \frac{\sigma^4}{\sigma_0^2}. \end{aligned} \quad (16)$$

Receiver は平均的には上記の事後信念に従い選択を行う．人数 K が十分大きいとすると，大数の法則より以下が成り立つ．

$$\begin{aligned} \hat{x} &= \frac{\sum_{i=1}^K a_i}{K} = E[a_i] = P\{a_i = 1\} \\ &= P\{u(1, x) - u(0, x) \geq 0\} \\ &= P\{2 - 4x \geq 0\} \\ &= P\{2x - 1 \leq 0\}. \end{aligned} \quad (17)$$

ここで x が式 (15) に従うとすると， $y = 2x - 1$ は以下のガウス分布に従う．

$$p(y) = N(y; 2\bar{\mu} - 1, 4\bar{\sigma}^2). \quad (18)$$

式 (17) と式 (18) より，

$$\hat{x} = F(0; 2\bar{\mu} - 1, 4\bar{\sigma}^2).$$

以上より Lemma 1 が示された． \square

次に，Lemma 1 の右辺を μ_s の関数とみなし，次の関数 f を定義する．

$$f(\mu_s) = F(0; 2\bar{\mu} - 1, 4\bar{\sigma}^2). \quad (19)$$

すると自己実現シグナルは次の命題によって与えられる．

Proposition 1. シグナルが次の自己実現条件を満たすとき，かつその時に限りシグナル平均 μ_s と状態 \hat{x} の差が許容誤差 ϵ 以下となる．

$$|f(\mu_s) - \mu_s| \leq \epsilon. \quad (20)$$

Proof. 自己実現シグナルではシグナル平均 μ_s と状態 \hat{x} が ϵ 以下となる．このことは以下の式で表される．

$$|\hat{x} - \mu_s| \leq \epsilon. \quad (21)$$

Lemma 1 と式 (19) より，これは以下の式と同値である．

$$|f(\mu_s) - \mu_s| \leq \epsilon.$$

以上より Proposition 1 が示された． \square

Sender は交通状態 \hat{x} を事前に観測できないにもかかわらず，Proposition 1 の条件を満たすシグナルを Receiver に送ればシグナル通りの交通状態が許容誤差以下で実現され，ハンチング現象は起こらない．

(2) 最適な自己実現シグナル

自己実現シグナルを求めるには、式 (20) における許容誤差 $\epsilon = 0$ とすればよい。このとき、次の μ_s に関する自己写像が得られる。

$$\mu_s = f(\mu_s). \quad (22)$$

自己実現シグナルの平均パラメータ μ_s はこの自己写像の不動点となる。この値を用いることでハンチング現象を抑制することができる。しかし、本研究の目的はハンチング現象を抑制すると同時に渋滞を最小化することである。許容誤差 $\epsilon > 0$ を設定してシグナルに自由度を持たせることで、 $v(\hat{x})$ を最大化するようにシグナルを調整することができる。

5. 自己実現シグナルの安定性

(1) 繰り返しゲームへの拡張

前章までの議論では交通状態 \hat{x} は過去の交通状態とは独立に Receiver の信念のみに依存すると仮定していた。しかし実際は交通状態には時間相関がある。また、Receiver の事前信念パラメータについて、Sender が完全に把握しているとは限らず、誤った値に基づいてシグナル設計をすると期待通りの結果が得られない可能性がある。ここでは前章までの仮定を緩和し、過去の交通状態の情報も用いて自己実現シグナルを設計する問題を考える。時刻 t における交通状態を \hat{x}_t 、シグナル平均を $\mu_{s,t}$ とする。またシグナル分散 σ_s^2 は時刻によらず一定とする。Sender は毎時刻 Receiver にシグナルを送り、交通状態に介入する。現実の交通では、対象となる道路区間に存在する利用者は時間と共に入れ替わる。そこで各時刻において新しく入れ替わる myopic な Receiver を想定し、Receiver の事前信念パラメータ $\mu_h, \sigma_h, \sigma_0$ は時刻によらず一定とする。Sender はシグナル平均を過去の交通状態を観測して決めるものとし、

$$\mu_{s,t} = \hat{x}_{t-1} \quad (23)$$

とする。つまり、シグナルは以下の分布に従う。

$$\pi(s|\hat{x}_{t-1}) = N(s; \hat{x}_{t-1}, \sigma_s^2) \quad (24)$$

また、Lemma 1 と式 (19) より、 \hat{x}_t は次の式で求められる。

$$\hat{x}_t = f(\mu_{s,t}). \quad (25)$$

すると、式 (23) より、交通状態とシグナル平均について次の式が成り立つ。

$$\hat{x}_t = f(\hat{x}_{t-1}) \quad (26a)$$

$$\mu_{s,t} = f(\mu_{s,t-1}). \quad (26b)$$

今回検討する繰り返しゲームでは、ある初期状態 \hat{x}_0 から開始し、上記の式に従って状態 \hat{x}_t とシグナル $\mu_{s,t}$ が推移する。時系列 $\mu_{s,t}$ が収束する場合、収束時の値は

式 (22) の不動点であり、前章で求めた自己実現シグナルの平均パラメータ μ_s と一致する。収束しない場合、 $\mu_{s,t}$ と \hat{x}_t の値は振動し、ハンチング現象を引き起こす。以下ではハンチング現象を起こさず、 $\mu_{s,t}$ の値が自己実現シグナルに収束するための条件を明らかにする。

(2) 自己実現シグナルの安定条件

以下の命題はシグナル平均 $\mu_{s,t}$ がハンチング現象を起こさず自己実現シグナル平均へと収束するための十分条件を与える。

Proposition 2. 自己実現シグナルは以下の時安定である。

$$\sigma_s^2 \geq \frac{-4\pi\sigma_0^4 + \sqrt{16\pi^2\sigma_0^8 + 8\pi(\sigma_0^2 + \sigma_h^2)\sigma_0^4}}{4\pi(\sigma_0^2 + \sigma_h^2)}. \quad (27)$$

Proof. ハンチング現象が起こらない自己実現シグナルの条件は、式 (22) の不動点の安定条件となる。一般的に自己写像 $x = g(x)$ の不動点 x_0 が安定になるための条件は、

$$|g'(x_0)| \leq 1 \quad (28)$$

で与えられる。式 (22) の関数 f の μ_s についての微分は以下の式で与えられる。

$$\frac{df}{d\mu_s} = \frac{-\sigma^2}{\sqrt{2\pi\sigma}\sigma_s^2} \exp\left(-\frac{(2\bar{\mu}-1)^2}{8\sigma^2}\right). \quad (29)$$

すると不動点安定条件は、以下で与えられる。

$$\left| \frac{-\sigma^2}{\sqrt{2\pi\sigma}\sigma_s^2} \exp\left(-\frac{(2\bar{\mu}-1)^2}{8\sigma^2}\right) \right| \leq 1. \quad (30)$$

ここで、

$$\exp\left(-\frac{(2\bar{\mu}-1)^2}{8\sigma^2}\right) \leq 1, \quad (31)$$

より、等号の成り立つ最も不安定な場合でも安定性を保証するには、

$$\frac{\sigma^2}{\sqrt{2\pi\sigma}\sigma_s^2} \leq 1. \quad (32)$$

という条件が満たされねばならない。そこで式 (32) を σ_s^2 について解くと、

$$\sigma_s^2 \geq \frac{-4\pi\sigma_0^4 + \sqrt{16\pi^2\sigma_0^8 + 8\pi(\sigma_0^2 + \sigma_h^2)\sigma_0^4}}{4\pi(\sigma_0^2 + \sigma_h^2)}.$$

となる。以上より Proposition 2 が示された。□

Proposition 2 は σ_s が自己実現シグナルの安定性において重要な役割を果たすことを意味している。 σ_s が大きいほど、ハンチング現象は抑制される。しかし σ_s が大きいということは、シグナル s と交通状態 \hat{x} が解離する頻度が高くなるということであり、Sender の信頼性を損なうという意味で望ましくない。したがって、最適な σ_s は Proposition 2 を満たす最小の値となる。

表-1 パラメータの規定値

Parameter	Value
μ_h	0.3
σ_h	0.2
σ_0	0.2
σ_s	0.22
ϵ	0.1
M	150
K	81

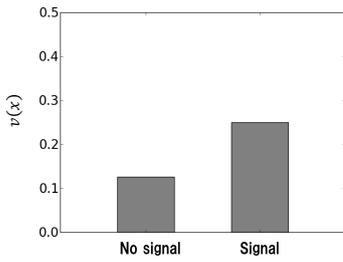


図-2 Sender の期待利得の変化

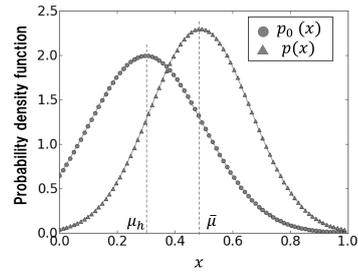


図-3 Receiver の信念の変化

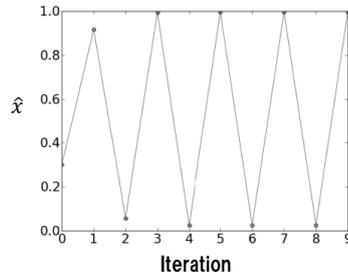


図-4 不安定シグナルによるハンチング現象

6. 数値実験

(1) 提案理論の交通問題への適用

提案する情報提供手法がハンチング現象と渋滞を同時に抑制することを確認するため、数値実験を行った。想定している状況は3章で示したとおり、道路利用者である Receiver が2つの経路 $a_i \in \{0, 1\}$ を選択する問題である。道路管理者は、各経路の利用者割合の情報を道路利用者に伝え、渋滞の抑制を試みる。情報提供の仕方によってはハンチング現象を引き起こす可能性がある。しかし、Proposition 1 の自己実現シグナルの値を利用者割合情報として選ぶことで、ハンチング現象を防ぎつつシグナル通りの利用者割合を実現できると思われる。また、情報提供の効果は一時的なものではなく、長期間にわたって安定的に持続することが望ましい。現在はカーナビやスマートフォンのような個人端末を通じて、各利用者ごとに異なる情報を配信することができる。よって Proposition 2 に従って情報をばらつかせることで、安定的にハンチング現象を抑えることができると期待される。ここでは上記の仮説を検証するための実験内容とその結果について述べる。以下、実験で使用したパラメータの値は特に明示しない限り表-1 の値を用いる。

(2) 繰り返しのない場合

まず繰り返しのない場合において、交通状況に関する情報の不足が均衡の非効率性を引き起こし、さらに提

案する情報提供手法が効率を改善することを示す。表-1 において、交通利用者の事前信念を表すパラメータは $\mu_h = 0.3$ である。これは「利用者の3割が経路1を選ぶ」と平均的な利用者が信じていることを意味している。多くの利用者が経路1の方が空いていると思っているため、情報提供がない場合の均衡状態においては経路1が渋滞することになり、 $\hat{x} = 0.85$ となる。道路管理者である Sender は渋滞緩和のため、自己実現シグナルを用いる。式(22)より、自己実現シグナルの期待値は、 $\mu_s = 0.62$ となる。ここでは許容誤差 $\epsilon = 0.1$ を許しており、 $[\mu_s - \epsilon, \mu_s + \epsilon]$ の範囲で最適シグナルを探索する。このケースでは $\mu_s + \epsilon$ が最適であり、その時の結果状態は $\hat{x} = 0.52$ となり、 $[\mu_s - \epsilon, \mu_s + \epsilon]$ の範囲に収まっている。また Sender の期待利得の変化を図-2 に示す。説得によって渋滞が緩和し Sender の期待利得が増加していることがわかる。また図-3 に Receiver の信念の変化を示す。信念の平均値が変化しており、これが交通状態 \hat{x} を変化させたことがわかる。このように提案する自己実現シグナルを用いると、道路利用者の信念を変化させてシグナル通りの交通状態を実現し、不完全情報に起因する非効率性を改善することができる。

(3) 繰り返しのある不安定な場合

(2) の例ではシグナル分散 σ_s^2 は特に最適化されていない値を用いた。ここでは繰り返しゲームにおいて、 σ_s^2 が結果の安定性を支配することを示す。式(27)で計算される安定条件は $\sigma_s \geq 0.2$ であるが、ここでは $\sigma_s = 0.13$ とする。したがってこのケースでは安定条件は満たされ

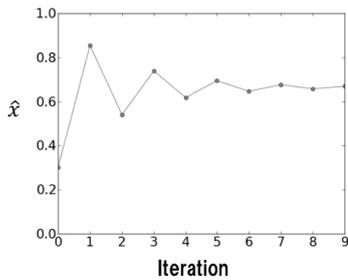


図-5 安定シグナルによるハンチング現象の抑制

ていない。また初期値として $\mu_{s,0} = 0.3$ を用いる。式 (26) にしたがって、状態 \hat{x}_t の遷移をシミュレーションした結果を図-4 に示す。理論通り、状態 \hat{x}_t に振動が発生しており、ハンチング現象が生じていることが確認できる。

(4) 繰り返しのある安定な場合

ここでは $\sigma_s = 0.29$ とする。この場合、先程とは異なり安定条件 $\sigma_s \geq 0.2$ は満たされている。初期値として先程と同じく $\mu_{s,0} = 0.3$ を用いた時の \hat{x} のシミュレーション結果を図-5 に示す。理論通りハンチング現象が抑制され、状態 \hat{x} が自己実現シグナルの値 $\mu_s = 0.62$ に収束していることが確認できる。このように、Receiver の事前信念を正確に把握できず、自己実現シグナルとは異なる初期値を設定したとしても、安定条件を満たす σ_s の値を使うことでハンチング現象を抑制し、シグナルを自己実現シグナルに収束させることが可能である。

7. 結論

本研究では、ハンチング現象と渋滞を同時に抑制する情報提供の性質を理論的に明らかにすることを目的とした。情報提供による渋滞改善問題を Minority game と Persuasion game で表現し、情報提供が満たすべき安定な自己実現シグナルの条件を数理的に明らかにした。また数値実験により、提案する情報提供手法が確かにハンチング現象と渋滞を同時に抑制し、不完全情報に起因する非効率性を緩和することを示した。

今後の課題として、より一般的な分布クラスの信念への対応、マイノリティゲーム以外の一般的なモデルへの対応といった理論の拡張が挙げられる。

参考文献

- 1) Koutsoupias, E., Papadimitriou, C.: Worst-case equilibria, *STACS 99*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 404-413, 1999.
- 2) Angeletos, G.M., Pavan, A.: Efficiency and Welfare in Economies with Incomplete Information, *MIT and Northwestern University*, 2005.
- 3) 田村 彌.: メカニズムデザインと意思決定のフロンティア 第4章 最適シグナル, 慶應義塾大学出版会, 2014.
- 4) 大口敬, 佐藤貴行, 鹿田成則.: 渋滞時の代替経路選択行動に与える交通情報提供効果, *土木計画学研究・論文集*, Vol.22, pp.799-804, 2005.
- 5) 山下倫央, 車谷浩一: 道路交通流の円滑化に向けた情報共有に基づく協調カーナビの提案, *情報処理学会研究報告*, Vol.67, pp.63-70, 2006.
- 6) Rosenthal, R. W.: A class of games possessing pure-strategy Nash equilibria, *International Journal of Game Theory*, Vol.2, pp.6567, 1973.
- 7) Tiemann, K.: Selfish routing with incomplete information, *PhD Thesis. University of Paderborn.*, 2007.
- 8) Roughgarden, T.: Selfish routing and the price of anarchy, *Cambridge: MIT press*, Vol.174, 2005.
- 9) Gairing, M.: Quantifying the Efficiency of Congestion Games, *WINE Tutorial*, 2014.
- 10) Arthur, B.: Inductive Reasoning and Bounded Rationality, *American Economic Association Papers*, Vol.84, pp.406-411, 1994.
- 11) Klein, M., Metzler, R., and Bar-Yam, Y.: Handling emergent resource use oscillations, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, Vol.35(3), pp.327336, 2005.
- 12) Huberman, B.A. and Hogg, T.: The emergence of computational ecologies, *Lectures in Complex Systems*, 1992.
- 13) Milgrom, P., and Roberts, J.: Relying on the information of interested parties, *The RAND Journal of Economics*, Vol.17(1), pp.1832, 1986.
- 14) Mathis, J.: Full revelation of information in sender-receiver games of persuasion, *Journal of Economic Theory*, Vol.143(1), pp.571584, 2008.
- 15) Mullainathan, S., Schwartzstein, J. and Shleifer, A.: Coarse thinking and persuasion, *National Bureau of Economic Research*, w12720, 2006.
- 16) Shin, H.S.: The burden of proof in a game of persuasion, *Journal of Economic Theory*, Vol.64(1), pp.253264, 1994.
- 17) Kamenica, E. and Gentzkow, M.: Bayesian persuasion, *American Economic Review*, Vol.101(6), 2011.

(2015. 4. 24 受付)

Suppression of Hunting Phenomenon with Self Fulfilling Persuasion

Tatsuya Iwase, Yukihiro Tadokoro, Daisuke Fukuda

Incomplete information on traffic may cause inefficient traffic than Wardrop's equilibrium in reality. Traditional traffic information systems, such as VICS, sometimes induce unwanted hunting phenomenon. In this paper, we simplified influence of information on traffic as game theoretic models and revealed the conditions of suppressing hunting phenomenon and traffic congestion simultaneously.