

[特 集]

社会的相互作用存在下での交通行動と ミクロ計量分析

福田大輔¹・上野博義²・森地 茂³

¹正会員 博(工) 東京工業大学大学院助手 理工学研究科土木工学専攻
(〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259 G3-14) E-mail: fukuda@plan.cv.titech.ac.jp

²修(工) 株式会社大和総研投資調査本部 (〒135-8460 江東区冬木15-6)

³フェロー会員 工博 政策研究大学院大学教授 (〒162-8677 新宿区若松町2-2)

交通現象を含む多くの社会現象において、社会的相互作用は、個人の意思決定に有意な影響を及ぼしている。近年、社会心理学や社会学の問題意識を受けて、非市場的な主体間相互作用の計量分析手法が進展しつつある。社会的相互作用の影響を選択行動モデルの枠組みで分析できれば、従来とは異なる行動予測や政策評価が可能になると期待される。本研究では、社会的相互作用が個人の行動に及ぼす影響の計測を行っている諸研究を概観し、交通計画が分析対象とする諸現象への適用可能性の検討を行う。また、違法駐輪問題を例として、社会的相互作用存在下での離散選択行動を定式化し、頻度依存行動によって生じた欠陥均衡の状態から脱却するために必要な政策介入の方法について、実証的に考察する。

Key Words : social interactions, conformity, frequency-dependent, microeconomic analysis, social dilemma, illegal bicycle-parking behavior

1. はじめに

(1) 社会的相互作用存在下での交通行動・交通現象
多くの交通現象において、個人の行動は、それを取り巻く他者からの影響を少なからず受けている。例えば、違法駐輪・駐車行動から、環境に配慮して自動車の利用や購入を自粛する行動、ETCのような新技術に対する消費者の適応行動、さらには、ロードプライシング導入の受容や、住民紛争における集団意見形成に至るまで、交通計画が分析対象とする人間行動の多くは、個人の私的動機のみならず、集団への同調傾向や社会規範、慣習等といった社会的要因にも影響を受けていると言えよう。

同調行動に代表される個々の主体間の相互依存関係(以後、社会的相互作用¹⁾と呼ぶ)は、マクロな交通現象に対しても多様な影響を及ぼし得る。例えば、同調効果、すなわち、正の社会的相互作用は、同一の集団に対しても複数の安定した社会状態を生起させ、各種の社会問題を引き起こす要因の一つと考えられている¹⁾。また、そのような正の社会的相互作用が存在する場合、軽微な政策介入を行ったた

けで集団行動に劇的な変化が生じる場合もあれば、逆に、一定以上の強い介入を行わなければ集団行動が変化しない場合もある等、政策介入にあたっては慎重を期す必要があると言われている¹⁾。

以上の指摘は、多くの交通行動や交通現象に対しても該当する。したがって、社会的相互作用を考慮した行動モデルと計量分析手法を構築することで、交通行動のメカニズムを的確に把握し、それに基づいた政策評価を行うことが可能になると期待される。

ところで、ロジットモデルをはじめとする各種の非集計行動モデルに基づく伝統的な交通需要予測は、

- ①個人の行動を記述する方程式を同定し；
- ②政策介入を外生変数の変化という形で表現して、個人の行動変化を予測し；
- ③個人の行動変化を積み上げて(拡大して)集計需要量を算出する；

という手順で行われることが一般的である²⁾。すなわち、このような予測方法は、当該意思決定に直面した個人が、周囲とは独立した意思決定主体であることを暗に仮定しており、個人の意思決定に周囲の人間の行動が及ぼす影響を明示的に考慮していない。

したがって、社会的相互作用の影響が大きい交通現象を分析する場合には、その影響によって社会全体がどのような状態に達し得るのかを正しく把握できないことが危惧される。

勿論、これまでの交通行動分析においても、主体間の非市場的な相互作用を考慮した計量分析を行っている例は見られる^{3), 4), 5)}が、研究の蓄積は充分とは言いがたい²⁾。また、従来の地域・交通モデルにおいて、近隣環境の影響(Neighborhood Effects)が説明変数の一部として考慮される場合もあった⁶⁾が、社会的相互作用の文脈の中で体系的に論じられることは無かった。さらに、個人の選択モデルと集計需要を統合的に用いるアプローチ⁷⁾も見られるが、その目的は行動モデルのパラメータ推定値の補正であり、ミクロな個人行動とマクロな社会現象との相互作用に関しては言及していない。

以上述べてきたように、これまでの交通行動モデリングにおいて、社会的動物⁸⁾という人間観は捨象されがちであった。しかし、ミクロな個人行動とマクロな社会現象との関係について、社会学の第一人者 James Coleman は、こう述べている。

“The principal task of the social sciences lies in the explanation of social phenomena, not the behavior of single individuals. In isolated cases the social phenomena may derive directly, through summation, from the behavior of individuals, but more often this is not so.”
(Coleman⁹⁾, p. 2)

つまり、社会的相互作用の影響が強い人間行動の場合、ミクロな個人行動の単純な総和をとることによってマクロな集団現象を表現するという行為は不適切であり、集計化の誤謬⁹⁾が生じる可能性が大きい。このことから、各種政策評価の前提となる行動モデルに対して、“社会性”という視点を導入することの重要性が確認できる。

(2) 社会的相互作用の計量分析

さて、社会心理学や社会学では、準拠集団の持つ集合的な諸性質は、個々の構成員の行動を規定する主要な要因であると考えられ、社会的相互作用に関しては、社会的ジレンマ^{10), 13)}、対人関係¹¹⁾、集合行動¹²⁾等を中心に膨大な研究の蓄積がある。これらの分野では、個人の意思決定に他者の認知や行動が及ぼす影響のモデル化や検証が行われており、多様な環境で社会的相互作用が個人行動に有意な影響を及ぼすことが、実験を通じても確認されている^{13), 14)}。

さらに、近年、ミクロ計量経済学においては、社会心理学や社会学で考えられてきた問題意識を受け、社会的相互作用を明示的に考慮した計量分析が行われつつある¹⁵⁾。グループ心理実験のように、人工的

に設定された環境で分析を行うのではなく、教育、犯罪、失業等の社会現象を対象として、非市場的な相互作用¹⁶⁾の影響を実際に計測し、行動予測を行うこと念頭に置いたモデルの開発が進展しつつある。

社会的相互作用を選択行動モデルのフレームに導入し、それが個人の行動にどのような影響を及ぼしているのかを実証的に把握できるようになれば、従来のような単純集計によるマクロな行動予測とは異なる分析・評価が可能になると期待される。

(3) 目的

以上、(1)、(2)で述べたような問題意識に基づき、本研究では、社会的相互作用の計量と実証分析に関して現在までに得られている主要な知見を整理し、交通計画が対象とする事例に対して、これらの知見がどこまで適用可能であるのかを展望する。その上で、社会的相互作用を考慮した行動予測を行うことによってどのような政策的含意を新たに提示することができるのかを論じる。その際の具体例として、違法駐輪問題を題材に、社会的相互作用存在下での離散選択行動を定式化し、頻度依存行動によって生じた社会的ジレンマの状況から脱却するための政策介入の方法について実証的に検討する。

本研究の構成を説明する。2.では社会的相互作用の計量分析を行っている既往研究を概観する。ここでは特に、パラメータの識別可能性、データの取得方法、非線形の行動モデルと複数均衡、実証分析例に焦点を絞ってレビューを行っている。3.では違法駐輪行動をケーススタディーとして行った実証分析と政策介入の影響分析の結果を示す。最後に、4.で本研究において得られた知見をまとめ、今後の研究展望について記す。

2. 社会的相互作用の計量と行動モデル

(1) 主体間相互作用の類型化

ミクロ計量経済学においては、主に社会学やゲーム理論の知見を援用し、社会的相互作用を明示的に考慮した行動計量分析が行われている。この分野での問題意識は、教育、犯罪、失業等といった、集団としての傾向に地域格差が見られる社会現象に対して、そのような状況が生起するメカニズムを、どのように説明し、いかにしてそれを実証的に検証することができるか、という点にある。準拠集団構成員間の社会的相互作用は、このような社会現象を説明するための有効な概念として着目されつつある。

社会的相互作用を計量的に分析する代表的アプロ

一は、社会ネットワーク分析のように、相互作用が及ぶ相手を少人数に特定した上で分析を行う“ローカルインタラクションモデル”と、個人が属する準拠集団の全構成員から平均的に影響を受けると仮定する“グローバルインタラクションモデル”に大別される¹⁷⁾。すなわち、ローカルインタラクションとは、特定個人間における社会的相互作用であり、一方、グローバルインタラクションとは、準拠集団の不特定多数の成員から受ける社会的相互作用を指している。

実際の計量分析は、後者のフレームに基づいて行われることが多いことから、以下では、グローバルインタラクションモデルに焦点を絞って説明する。

(2) 社会的相互作用の計測可能性

グローバルインタラクションモデルでは、準拠集団構成員間の個別の相互作用（社会ネットワーク）を明示的に考えず、準拠集団の平均的行動を代理変数として用い、相互作用の影響を記述する。このような想定のもと、準拠集団の特徴を示す説明変数を用いて個人の行動を回帰分析するという方法が、実証分析では数多く用いられている。

この“集団の特徴”に関しては、Manski^{18), 19)}が次の三種類に類型化している：

- ①内生効果(Endogenous Effects)：個人の行動傾向が集団全体の(平均的な)行動結果に依存して決まる場合、内生効果が存在する；
- ②外生効果(Exogenous Effects)：個人の行動傾向が集団全体の(平均的な)個人属性に依存して決まる場合、外生効果が存在する；
- ③相関効果(Correlated Effects)：同じ準拠集団に帰属している個人が同様の行動をとる理由が、それらの個人が類似した属性を持っているため、あるいは、個人が同様の社会環境に直面しているためである場合、相関効果が存在する。

上記の分類に従えば、非集計行動モデルの説明変数として従来用いられてきた地域属性変数等は、外生効果に寄与する変数と解釈できる。すなわち、近隣効果は、外生効果の一部と捉えることができる。

以下、Manski^{18), 19)}の基本モデルを説明する。準拠集団の構成が既知であるという前提のもと、母集団内の個人 i は、変数ベクトル $[q_i, y_{n(i)}, x_i, u_i]$ によって特徴付けられるものとする。ここで、 q_i は個人の行動を示すスカラー変数（具体的には、知能レベル・成績、所得等の連続変数）、 $y_{n(i)}$ は個人 i の準拠集団 $n(i)$ の特性を表す変数、 x_i と u_i は行動 q_i に影響する個人属性であり、分析者は、母集団からランダムに抽出された $[q_i, y_{n(i)}, x_i]$ のセットを観測できる。

そして、これらの変数間に、以下の二つの関係が成り立つと仮定する。

$$q_i = \alpha + \beta E(q_i | y_{n(i)}) + \gamma E(x_i | y_{n(i)}) + \eta x_i + u_i \quad (1)$$

$$E(u_i | y_{n(i)}, x_i) = \delta y_{n(i)} \quad (2)$$

但し、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \eta$ は未知パラメータベクトルである。式(1)は、個人 i の行動が、準拠集団の平均的な行動 $E(q_i | y_{n(i)})$ 、準拠集団の平均的特性 $E(x_i | y_{n(i)})$ に規定されることを表している。また、式(2)は、同一の準拠集団に帰属し、類似した特性を持つ個人の行動には系統性があることを示している。

このとき、 q_i の ($y_{n(i)}, x_i$) に関する条件付期待値を求めると、次式のように表される。

$$E(q_i | y_{n(i)}, x_i) = \alpha + \beta E(q_i | y_{n(i)}) + \gamma E(x_i | y_{n(i)}) + \delta y_{n(i)} + \eta x_i \quad (3)$$

この式に基づけば、Manski^{18), 19)}の提唱した各効果の存在は、次のようにして判断することができる。

$$\left[\begin{array}{l} \beta \neq 0 \text{ ならば、内生効果が存在する。} \\ \gamma \neq 0 \text{ ならば、外生効果が存在する。} \\ \delta \neq 0 \text{ ならば、相関効果が存在する。} \end{array} \right]$$

これらの各効果を定量的に把握することが、政策判断上大きな意味を持つ。例えば、学生の成績を向上させるために、教師が、補習の導入を検討している状況を考えよう。ここで仮に、学生の成績に正の内生効果が存在するならば、一部の学生に補習を行いさえすれば、その一部の学生の成績が向上することで他の学生の成績も向上するという社会的増幅(Social Multiplier)²⁰⁾が生じ、連鎖的に全ての学生の成績が向上する可能性が示唆される。一方、外生効果や相関効果は、社会的増幅の性質を有していない。このように、どのような効果が作用しているかによって、行うべき政策が大きく異なってくる。

a) 内生性・同時性

しかし、未知パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \eta$ を推定するにあたっては、幾つかの統計学的問題が存在する。

例として、内生効果と外生効果を統計的に識別することが不可能な場合を考えよう。式(3)の x_i に関する期待値計算を行うと、次式のようになる。

$$E(q_i | y_{n(i)}) = \alpha + \beta E(q_i | y_{n(i)}) + \gamma E(x_i | y_{n(i)}) + \delta y_{n(i)} + \eta E(x_i | y_{n(i)}) \quad (4)$$

ここで $\beta \neq 1$ と仮定すると、

$$E(q_i | y_{n(i)}) = \frac{\alpha}{1-\beta} + \frac{\gamma+\eta}{1-\beta} E(x_i | y_{n(i)}) + \frac{\delta}{1-\beta} y_{n(i)} \quad (5)$$

という関係が得られる。さらに、式(5)を式(3)に代入して、その誘導型を求めると、次式のようになる。

$$E(q_i | y_{n(i)}, x_i) = \frac{\alpha}{1-\beta} + \frac{\gamma + \beta\eta}{1-\beta} E(q_i | y_{n(i)}) + \frac{\delta}{1-\beta} y_{n(i)} + \eta x_i \quad (6)$$

$$= \pi_0 + \pi_1 E(q_i | y_{n(i)}) + \pi_2 y_{n(i)} + \eta x_i$$

マイクロデータを用いた実際の推定では、式(6)に対して通常最小二乗法(OLS)を適用し、モデルを同定することが多い。しかし、推定結果として求まるのは、合成パラメータ π_0, π_1, π_2 及び η であり、 β, γ, δ は識別されない。すなわち、内生効果と他の効果を分離することができない。例えば、式(6)で社会的相互作用の影響として推定されるのは、パラメータ π_1 であり、内生効果と外生効果の影響が分離されていない。

このような推定上の困難性から、実際の分析では、 $\gamma = 0, \delta = 0$ をア・プリオリに仮定し、内生効果の影響だけを仮定した Pure Endogenous Effect モデルを構築することが多い。しかし、このような適切化の処置を施しても、以下に述べるように、誤差項の相関によって生じる統計学的問題が残されている。

b) ランダム項の満たすべき仮定

OLS を用いて式(6)のパラメータを推定する場合、統計的に望ましい性質を有する推定量を得るためには、誘導型モデルの中の説明変数 $E(q_i | y_{n(i)})$ と非観測要因項 u_i とが独立である必要がある。しかし、この条件は一般には成立しないため、推定量が不偏性及び一致性を持たないことになる。

また、式(1)の右辺には、非観測要因項 u_i に加えて $E(q_i | y_{n(i)})$ という項も含まれている。この項は u_i からの影響を間接的に受けている。結果として、説明変数と誤差項が相関を持ち、推定量が一致性を保持しないことになる。

c) 自己選抜プロセスの影響

a), b) の議論は、準拠集団を既知とし、その準拠集団の構成員が変化しないという大前提に基づいている。しかし、教育や犯罪の実証分析では、個人が自身の選好に適した準拠集団を選択するという自己選抜メカニズム(Self Selection)の影響がしばしば確認されている。例えば、学生の成績は、クラスメートの平均的な成績からの影響である同輩集団効果(Peer Group Effect)のみならず、自身の学力に見合った学校を選択した結果(内生的選別: Endogenous Sorting)からの影響を受けているという指摘もある。すなわち、社会的相互作用の影響下に身を置くかどうかの意思決定を、個人が事前に行っている可能性があり、その場合、準拠集団への参入/退出過程を考慮する必要が生じる。

これに対処するためには、無作為なグループ配分(Randomized Group Assignment)等を行って、自己選抜バイアスの影響を予め除去したマイクロデータを用いることが望ましいと言われている²¹⁾。また、サンプルセレクションモデル²²⁾等を用いて、自己選抜のメカニズムを考慮した分析¹⁷⁾も提案されている。

d) 推定方法についてのまとめ

このように、線型回帰型の社会的相互作用モデルは、パラメータの識別問題が生じたり、誤差項が満たすべき性質が満足されない場合が多く、OLSのような通常の方法では統計的に望ましい推定量を求めることが難しい。これを回避するため、実際の推定では操作変数法や二段階最小二乗法等が適用される場合が実際には多い。但し、その場合でも、操作変数の特定化についての課題等が残されている。

一方、Manski^{18), 19)} は、二項選択モデルのような非線形の関数を用いた Pure Endogenous Effects モデルのパラメータ識別可能条件は、線形のモデルに比べて大幅に緩和されることを指摘している。この流れを汲んだ研究を次に紹介する。

(3) 非線形のマイクロ計量モデルと複数の社会的均衡

近年、Brock and Durlauf^{17), 23)} は、社会的相互作用を内生的に考慮した二項選択モデルを提案している。(2)で提示した線型モデルが、単一の社会的均衡解しか持ち得ず、パラメータの識別が困難であるのに対し、このモデルは、

- ①モデルの識別問題に柔軟に対処可能である；
- ②個人の行動が他人に影響し、それがまた本人に影響するという“内生性”を、合理的期待形成の仮定を通じて定式化し、相互作用の結果生じ得る複数均衡解を導出している；
- ③未知パラメータの統計的推測が可能、すなわち、実証分析への適用が可能である；

等といった特徴を持っている。特に、特徴②、③により、欠陥均衡(パレート劣位均衡)²⁴⁾の状態から、社会的により望ましい均衡状態へ移行することが可能かどうかを、実証的に分析することが可能となる。これにより、“協調の失敗”モデル²⁵⁾の定量的考察や、社会的ジレンマ解決のための各種方略²⁶⁾の定量的考察を行うことが可能になると期待される。

a) 定式化

以降の表記は基本的に Brock and Durlauf¹⁷⁾にしたがっている。 ω_i を行動主体 i の選択結果を示す二項変数とし、代替案 1 を選択した場合に +1、代替案 2 を選択した場合に -1 の値をとるものとする。また、以下のような三つの項からなる線型加算型の関数を用いて、各行動主体の効用を特定化する。

$$V(\omega_i) = u(\omega_i) + S(\omega_i, \bar{m}_i^e) + \varepsilon(\omega_i) \quad (7)$$

ここで、 $u(\omega_i)$ は個人の私的動機のみ依存する確効用項、 $S(\omega_i, \bar{m}_i^e)$ は構成員全体の選択結果に基づく効用項（社会的相互作用項）、 $\varepsilon(\omega_i)$ はランダム項である。ランダム項は、全ての構成員において、独立かつ同一のガンベル分布に従うと仮定する。

社会的相互作用項を規定する変数 \bar{m}_i^e は、主体 i が他主体の行動の平均的な結果に対して抱く主観的期待を表している。なお、二項変数 ω_i が $-1, +1$ という2値を取ることに対応して、 \bar{m}_i^e の定義域を -1 以上 $+1$ 以下としている。すなわち、代替案 1 を選択する構成員のシェアに対する主観的期待を \bar{p}_i^e とすれば、 $\bar{m}_i^e = 2\bar{p}_i^e - 1$ と表すことができる。

以後、 J を未知パラメータとし、社会的相互作用項を次式のように特定化する。なお、パラメータ J が全主体に共通とすることで、相互作用の影響度が全ての主体で同一であることを暗に仮定している。

$$S(\omega_i, \bar{m}_i^e) = J\omega_i \bar{m}_i^e \quad (8)$$

パラメータ J が正であれば、各構成員は集団の多数を占める選択に同調する傾向を持つことを意味する。一方、 J が負であれば、多数が行う選択とは異なる選択を行う傾向が高いことを意味する。

意思決定の時点において、各主体は自身のランダム項の値は認識しているものとし、他者の平均的な選択結果に対する主観的期待を与件として意思決定を行うものとする。また、個人間で各自の意思決定に関するコミュニケーションを行うことは無いと仮定する。すると、主体 i が行動 ω_i を選択する確率は、 θ をランダム項のスケールパラメータとして、以下の二項ロジットモデルで表される。

$$P(\omega_i) = \frac{\exp[\theta(u(\omega_i) + J\omega_i \bar{m}_i^e)]}{\sum_{v_i \in \{+1, -1\}} \exp[\theta(u(v_i) + Jv_i \bar{m}_i^e)]} \quad (9)$$

b) 集合行動の均衡方程式

ここで、 $h+k=u(+1)$ 及び $-h+k=u(-1)$ を満たすように変数 h, k を与え、主体 i に対して ω_i の期待値を求めると、次式ようになる。

$$E[\omega_i] = \tanh(\theta h + \theta J(I-1)^{-1} \sum_{j \neq i} m_{i,j}^e) \quad (10)$$

I は準拠集団の構成員の総数である。また、 $m_{i,j}^e$ は主体 i が主体 j の行動に対して抱く主観的期待であり、 $\bar{m}_i^e = (I-1)^{-1} \sum_{j \neq i} m_{i,j}^e$ の関係が成り立つ。

ここでさらに、全ての行動主体が合理的期待を形成し、各主体が集団全体の行動シェアに対して抱く主観的期待が、数学的な客観的期待値に一致することを仮定する。すなわち $m_{i,j}^e = E[\omega_j] \forall i, j$ が成り

立つと仮定すれば、次式が成り立つ。

$$m_{i,j}^e = \tanh(\theta h + \theta J(I-1)^{-1} \sum_{i \neq j} m_{j,i}^e) \forall j \quad (11)$$

$m_{i,j}^e = E[\omega_j] \forall i, j$ であることに着目すれば、式(11)は、次式に等価である。

$$E[\omega_i] = \tanh(\theta h + \theta J(I-1)^{-1} \sum_{j \neq i} E[\omega_j]) \forall i \quad (12)$$

この式が全ての i に対して成立する（自己一貫性が満足される）のは、この期待値が対象とする集団の平均的な選択行動（選択シェア）に一致する場合のみであることが知られている^{17), 23)}。このとき、式の対称性より、以下の均衡方程式が導出される。

$$m^* = \tanh(\theta h + \theta J m^*) \quad (13)$$

m^* は、社会的均衡状態において、準拠集団の中で選択肢 1 を選択する主体の比率を p^* としたときに、 $m^* = 2p^* - 1$ で表される変数である。

この方程式は、パラメータ θ, h, J の符号、及びそれらの大小関係次第で、最大三つの複数均衡解を持つことが知られている¹⁴⁾。この場合、集団現象に地域差が見られる状況は、各集団が異なる安定均衡に陥っている状況と解釈することができる。また、解の安定性に関しても、

①方程式が唯一解しか持たない場合、その解は常に局所的に安定な解となる；

②3つの解 (m_+^*, m_m^*, m_-^* ; $m_+^* < m_m^* < m_-^*$) を持つ場合、 m_+^*, m_-^* は局所的に安定な解となり、 m_m^* は局所的に不安定な解となる；

という性質を有している。以上は、協同現象を定式化したシナジェティクスモデル^{27), 28)}における均衡解の性質と同じである。

c) 政策介入による均衡解シフト

この均衡方程式を用いると、どの程度の政策介入を行えば、社会が欠陥均衡の状況から脱却できるのかを調べることができる。図-1には、準拠集団の状態（シェア） p と個人の選択確率 P との関係（反応曲線）が示されている。式(13)の解は、この図では、曲線と45度線との交点によって表される。

例として、ある社会集団が曲線 0 として描かれる反応曲線を有し、初期時点での選択シェアが、外生的に A 点の値として与えられている状況を考えよう。この場合、均衡点と現況点 A との位置関係により、集団の行動シェアは、唯一の安定解である B 点に移行していくことが推察される。

ここで、私的インセンティブを与えて私的効用項を変化させることは、図-1において曲線を縦軸に平行にシフトさせることに相当する。例えば、現状が A 点である場合、前述の通り、この社会は、欠

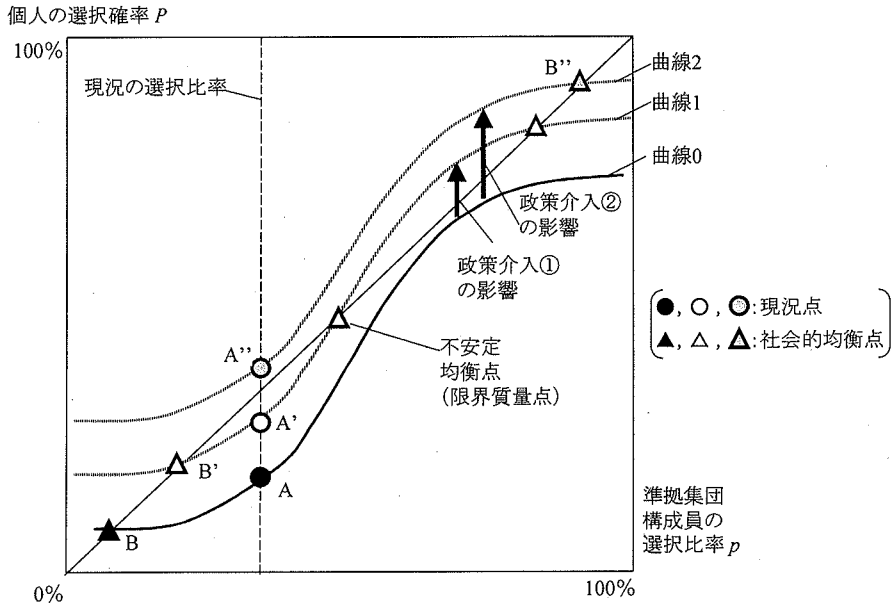


図-1 準拠集団のマクロな状態と個人のミクロな選択行動との関係

陥均衡点である B へ移行すると推察される。この状況から脱却する為には、ある政策①の実施によって、反応曲線が 1 にシフトしたものとしよう。しかし、この程度の政策介入では、現況点と各均衡点との位置関係により、安定な欠陥均衡点である B' に結局は陥ってしまうと考えられる。そこでさらに、より強い政策②を実施して、反応曲線が 2 にシフトしたものとしよう。この場合には、曲線が大幅に上方シフトすることで限界質量点²⁹⁾(不安定均衡点)が消失し、より社会的に望ましい一意の均衡点 B'' しか存在し得ず、その集団の選択シェアは、その点に到達することが推察される。

(4) 無作為グループ配分

社会的相互作用を計測するために必要なマイクロデータの取得方法について述べる。2. (2) c) で述べたように、意思決定主体が当該準拠集団に加わるかどうかの意思決定を事前に完了しており、さらに、参加の意思決定そのものが、当該選択行動と強く関係すると判断される場合、自己選抜メカニズムを考慮しないモデルでは、推定量にバイアスが生じることになる³⁰⁾。すなわち、グループ固有の非観測要因の存在により、社会的相互作用の影響を正しく識別することが困難になると考えられる。

これに対して、各意思決定主体を複数の準拠集団にランダムに配分して、準拠集団を外生的に与えたデータを用いる方法が提案されている。実際、アメリカでは、志願者を募って行う Gautreaux Assisted

Housing プログラム、School Voucher プログラム等といった各種の社会実験の中で、無作為グループ配分に類似した振り分け方法が実施されている。また、これらのデータを用いて社会的相互作用(近隣効果)を計測している研究も見られる^{31), 32)}。

近年、交通分野においても、TDM 施策等を中心に、社会実験が数多く実施されている。社会実験においては、行動主体がその実験に参加するか否かの決定そのものが、実験の中でその主体が取る選択に大きな影響を及ぼすと思われる。社会実験が参加者の行動に及ぼす影響を正しく把握するためにも、上記のような分析を行う必要性が高まるであろう。

(5) 準拠集団の特定化

インタラクションモデルのフレームワークで社会的相互作用を分析するためには、分析者にとって、準拠集団の構成が既知でなければならない。これは、自己選抜メカニズムを考慮した場合でも同様である。準拠集団の定義は実に多様であり^{33), 34), 35)}、統一の見解は未だ存在しない。では、既存の実証分析では、どのような特定化を行ってきたのであろうか。以下では、その代表例を紹介する。

Woittiez and Kapteyan³⁶⁾ は、個人が帰属する準拠集団の特徴を、年齢階層や収入レベルに関する情報に基づいて構成している。具体的には、因子分析を用いて特徴空間の次元を縮小し、その因子スコアを説明変数とした回帰分析を行って、社会的相互作用の影響を計測している。Case and Katz³⁷⁾ は、準拠集

団を2ブロック以内の近隣住民と定義している。その上で、各準拠集団構成員からの影響が等しいという仮定のもと、準拠集団が個人の行動に及ぼす影響を推定し、犯罪率の地域間格差について分析している。Dutta and Jackson³⁸⁾は、準拠集団の形成が社会ネットワークにおける紐帯の形成と分断に等しいと考え、協力ゲーム理論に基づいた分析フレームを提示している。また、Conely and Topa³⁹⁾は、準拠集団は個人間の社会的距離によって決定されると考え、物理的距離、人種、職業等に基づいて社会的距離を定義し、多次元尺度法を用いて準拠集団を規定している。その上で、社会的相互作用の影響を、自己相関関数を用いて推定している。

このように、実証分析における準拠集団の特定化では多様な方法が用いられているが、総括すると、

- ①社会的・経済的な観点から、分析者の直感に合致すると考えられる準拠集団を外生的に特定化したり、あるいは、分析者が特定化したりすることが容易な対象を準拠集団と見なしている；
- ②準拠集団の特定化が難しい現象に対しては、主体間の社会的距離を特定化し、幾つかの候補距離尺度を比較して決定する；

のいずれかの方法に基づく場合がほとんどである。交通行動モデルへの適用に際しても、準拠集団の設定が容易に可能であることが、要件の一つになると思われる。

(6) 実証分析例

本節の最後に、社会的相互作用の影響の計測を試みている代表的な研究について概説する。

Evans *et al.*⁴⁰⁾は、学生が学校を中退するか否かの意思決定に、その学生が所属する学校環境の影響が大きいと考え、その実証分析を行っている。準拠集団は各学校であり、低収入層家計の割合の相違が学校中退の意思決定の差異を引き起こすという仮定のもと、変形二変量プロビットモデルを用いて、集団の全体の平均的行動と個人行動を記述している。しかし、社会的相互作用の影響は有意でなく、その他のパラメータの符号も直感に反した結果となっている。また、推定結果が操作変数の選択に大きく左右されるという問題点も明るみにになっている。

Rivkin⁴¹⁾は、Evans *et al.*⁴⁰⁾と同一のデータを用いて、どのような集計データを操作変数に用いれば推定バイアスが減少するのかを詳細に分析している。様々な地域特性を操作変数として試行錯誤的に推定を行った結果、社会的相互作用の項は有意となる場合が幾つか示されている。しかし、用いた操作変数の種類によってパラメータの推定結果が大きく異なる

ことも確認されている。

Sacerdote⁴²⁾は、ルームメイトが当該学生の生活全般に及ぼす影響を計測している。学生生活においては、大学選択や、友人グループ等の影響により、自己選抜バイアスが生じやすい。しかし、ルームメイトに関しては、ランダムマッチングが予め行われており、その影響を分析するにあたっては、グループ無作為配分がすでに完了しているものと見なして良いと考えられる。推定の結果、大学一年時におけるGPA (Grade Point Average)、及び、フラタニティへの加入行動に関しては、ルームメイトによる社会的相互作用が有意な影響を及ぼしていることが確認されている。

Case and Katz³⁷⁾は、準拠集団が各種の社会病的行動(犯罪、麻薬、母子家庭化、失業、大学中退等)に与える影響を計測している。準拠集団として、“当該個人の居住地区から2ブロック以内の居住者”、“家族”の2種類を検討し、それらの平均的な行動が社会的相互作用として個人に影響するものと想定したPure Endogenous Effectsモデルを適用している。パラメータ推定の結果、どの行動に対しても社会的相互作用が有意な影響を及ぼすことが確認された。

Gaviria and Raphael⁴³⁾は、当該学生の通っている学校を準拠集団と定義し、準拠集団が各種の行動(麻薬使用、飲酒、喫煙、教会参加、中退)に及ぼす影響を計測している。特に、自己選抜バイアスの影響を分析するために、サンプルを2年以内に引越してきたグループと、それ以前から移住していたグループとに分けてグループ別に推定し、比較を行っている。積極的に自己選抜を行っていると思われる2年以内に引越してきたサブグループの方が、社会的相互作用の影響が大きいことが示されている。

Topa⁴⁴⁾は、社会的に近接した地域ほど当該地域の失業率に影響を及ぼしやすいという状況を表現した空間的相互作用モデルを構築し、失業率の地域間格差の実証分析を行っている。分析の結果、近隣地域の失業率の度合いが有意な影響を及ぼすという結論が得られている。さらに、教育水準の低い地域やマイノリティーが多い地域では、そのような相互作用が特に大きいことが判明している。

また、Evans *et al.*⁴⁵⁾は、喫煙するか否かという意思決定に、職場での禁煙対策が及ぼす影響を二変量プロビットモデルを用いて分析した。喫煙の意思決定を行うときに、周辺の人間の喫煙率が影響する状況を表現したモデルを構築している。また、彼らの研究では、個人がそのような喫煙対策の施された職場を選択するかどうかという意思決定も同時に表現して、自己選抜バイアスへの配慮も行っている。

このように、マイクロ行動計量分析において社会的相互作用が重視され、その計測が積極的に行われている理由は、社会的相互作用が、正の社会的な増幅効果を持ち、集団行動の予測を困難にしている点にあると考えられる。また、社会的相互作用は、各種の社会問題(社会病理現象)が生じる原因ともなり得る。先述のとおり、交通計画が対象とする人間行動の多くは相互依存적であり、そのような社会的相互作用の結果、社会的ジレンマ等の状況に陥っている場合も少なくない。このような理由から、社会的相互作用の影響を考慮した交通行動のモデル化と、それに基づく政策分析が重要になると考えられる。

3. 社会的相互作用が個人行動に及ぼす影響の実証的考察—違法駐輪行動を例に一

本節では、社会的相互作用の影響を計測する事例として違法駐輪問題を取り上げ、意識調査データを用いた計量分析を行う。違法駐輪を対象とするのは、この社会問題が大都市の駅周辺を中心に日本各地で観察され、しかも、個人の駐輪場所決定行動が他者の行動状況に大きく依存した結果として社会的ジレンマの様相を帯びていることが、従来の研究^{46), 47)}からも明らかにされているためである。

(1) 社会問題として見た放置自転車

大都市の鉄道駅周辺における放置自転車の発生は、駅前交通の錯綜、緊急時の交通障害、駅前景観の破壊等の社会問題を引き起こしており、放置自転車削減への社会的要請は強い。これを受け、各自治体は駐輪場整備や各種のキャンペーンを継続的に実施している⁴⁸⁾。しかし、このような努力にも関わらず、放置自転車の状況はなかなか改善されていない。すなわち、都市圏全体で見た場合、違法駐輪という社会的迷惑行為が慢性化していると考えられる。

一方、個別の駅を精査すると、放置自転車の状況は駅によって大きく異なっており、乗入台数に占める放置台数の割合も大きくばらばらしている⁴⁹⁾。例えば、同程度の違法駐輪対策が施されている同一行政区画内であっても、駅によって、自転車の放置率は大きく異なっている。

以上の定性的考察より、違法駐輪という社会問題は、以下の性質を有していると考えられる。

- ① 駐輪場整備や取締り強化等の対策にも関わらず、状況が改善されない場合が多い(膠着状態)。
- ② 類似した環境であっても、場所によって放置状況が大きく異なっている(地域差の発生)。

これらの現状を、社会的相互作用の文脈に即して解釈してみよう。すると、自転車利用者の駐輪場所選択行動は、他者の駐輪場所選択行動からも影響を受けている、すなわち、「周囲の人間が路上駐輪しているから、自分もそれに同調しよう」という意識が強く作用していると考えられることができる。この結果、個人としては路上駐輪の方が得策であるものの、だからといって全員が路上駐輪すると、全員が駐輪場を利用するときよりも状況は悪くなるという状況が生じ、社会学で云われる欠陥均衡状態にロックインしているのである。すなわち、上記①は、“意思決定主体間の強い相互作用によって欠陥均衡から脱却できず、社会的ジレンマの状況に陥っている状況”であり、②は、“強い相互作用のために複数の安定状態が存在し、欠陥均衡に陥っている状況と望ましい状態で安定している状況が混在している状況”であると解釈できよう。

以下では、2.(3)で示した方法に基づいて、社会的相互作用を内生的に考慮した離散型選択モデルを構築し、違法駐輪問題を改善するために必要な政策介入の方法に関する実証的考察を行う。

(2) 意識調査の概要

実証分析を行うに先立ち、平成7年度の大都市交通センサス⁵⁰⁾、及び、平成12年度の東京都資料⁵¹⁾に基づいて調査対象駅を選定した。具体的には、端末交通手段としての自転車利用者が多いこと、及び、同程度の違法駐輪対策が実施されていても放置率が大きく異なっていることに留意して、東京都内から巢鴨、田端、綾瀬という3つの鉄道駅を選出した。

選出された各駅周辺の世帯を対象に、各駅に自転車アクセスする場合の駐輪場所選択行動に関する意識調査を行った。調査票の配布エリアに関しては、2.(2)で説明した自己選抜によるバイアスが生じる可能性が少しでも低くなるよう、地理的に判断して、当該駅以外にもアクセスが可能と考えられる地域を調査対象から除外した。調査は、東京大学測量/地域計画研究室のメンバーによって訪問配布・郵送回収方式で2001年12月上旬に実施され、合計1616人からの有効回答を得た。表-1にアンケートの設問内容を、表-2に回収結果と駅環境特性の概要を、表-3に駅別のサンプル特性をそれぞれ示す⁵²⁾。

巢鴨駅周辺の放置駐輪率は、田端駅、綾瀬駅のそれに比べて格段に高いが、これが駐輪場整備の遅れのみ起因するものとは必ずしも言い切れない。なぜなら、巢鴨における駐輪場利用率(駐輪場容量に対する実際の利用者数の割合)は、2001年10月現在で約6割であり⁶⁾、駐輪場容量が不足している

訳ではないからである。また、駐輪場料金についても、三つの駅間で大きな差はない(表-2)。サンプルの社会経済属性に関しても、駐輪時間以外は駅間で大きな差は見られない(表-3)。すなわち、駐輪場に関するこれらの基本特性だけでは、放置率の地域間格差を十分に説明できていないことになる。

(3) モデルの特定化とパラメータ推定の手順

モデルの基本構造は Brock and Durlauf¹⁷⁾ に従うため、その導出過程に関しては2.(3)を参照されたい。

ここでは、駐輪場所決定に関する私的動機の個人間での差異を考慮するために、効用関数の確定項 $u(\cdot)$ が個人を規定する社会経済属性によって異なると考え、 h を、次式で表される h_i に置き換える。

$$h_i = b + c'X_i + d'Y_{n(i)} \quad (14)$$

ここで、 b : 定数項、 X_i : 個人 i に固有の説明変数ベクトル、 $Y_{n(i)}$: 個人 i が所属する準拠集団 $n(i)$ に固有の説明変数ベクトル、 c, d : 未知パラメータベクトルである。

表-1 アンケートの設問内容

設問	内容
駅利用目的	①通勤・通学, ②通勤・通学以外の電車利用, ③駅周辺施設利用
駐輪場所	路上, 駐輪場の2種類
駅利用特性	利用頻度, 自宅出発時刻, 駐輪時間
駐輪行動に関する主観的評価値	駐輪場所を決定する際に、以下の8項目の要因それぞれに関してどの程度、配慮しているのかを、5段階評価(5:とても気にする~1:ほとんど気にしない)で回答 (a) 駐輪した場所から駅改札までの所要時間 (b) 公営駐輪場の利用料金 (c) 駐輪場の利便性 (d) 放置自転車の取り締まり (e) 他自転車の路上駐輪の程度 (f) 駅周辺的美観への配慮 (g) 通行人への配慮 (h) 公共空間に駐輪することの罪悪感
仮想設問	[駐輪場の利用料金], [他自転車の路上駐輪比率], の組合せを10条件提示し、各条件に関して、(路上駐輪, 駐輪場利用, 自転車利用を止める)のいずれか1つを選択
個人属性	年齢, 性別, 職種, 居住年数, 住居形態, 住所

表-2 各地区のアンケート収集状況・路上駐輪率・駅環境特性

	質問票配布数	有効サンプル数	回収率	路上駐輪率 (本調査の回答の集計結果)	取り締まり頻度	公営駐輪所利用料金	放置率 (東京都2000年データ ⁴⁸⁾)
巢鴨	6000	771	12.9%	77%	10回/月	2,500円/月	95.5%
田端	5000	345	6.9%	31%	4回/月	1,500円/月	7.3%
綾瀬	5000	500	10.0%	15%	15回/月	2,100円/月	1.8%
計	16000	1,616	10.1%	48%	-	-	-

表-3 駅利用者の社会経済属性 (括弧内は標準偏差)

	男性比率	既婚者比率	通勤・通学者比率	平均年齢(才)	平均居住年数(年)	平均徒歩時間(分)	平均自転車利用頻度(日/週)	平均駐輪時間(時間/回)
巢鴨	40.6%	63.4%	28.0%	44.3 (16.8)	2.50 (1.31)	14.2 (4.2)	2.07 (1.69)	3.81 (3.83)
田端	48.8%	57.0%	34.7%	40.5 (17.7)	2.88 (1.19)	18.9 (5.4)	2.21 (1.97)	6.11 (4.30)
綾瀬	41.0%	62.3%	38.0%	43.0 (16.6)	2.38 (1.22)	19.0 (5.2)	2.34 (1.82)	4.83 (4.14)
合計	42.4%	61.8%	32.5%	43.2 (17.0)	2.54 (1.27)	16.6 (5.3)	2.18 (1.79)	4.61 (4.13)

このとき、スケールパラメータ θ を 1 に基準化すると、個人 i の 2 項選択モデル(駐輪場所選択モデル)、及び、個人 i の帰属する準拠集団 $n(i)$ の均衡方程式は、それぞれ以下のように再定式化される。

$$P(\omega_i) = \frac{\exp[\omega_i(b+c'X_i+d'Y_{n(i)}+Jm_{n(i)})]}{\sum_{v_i \in \{+1, -1\}} \exp[v_i(b+c'X_i+d'Y_{n(i)}+Jm_{n(i)})]} \quad (15)$$

$$m_{n(i)} = \int \tanh(b+c'X_i+d'Y_{n(i)}+Jm_{n(i)}) dF_{X_i|Y_{n(i)}} \quad (16)$$

ここで、 $F_{X_i|Y_{n(i)}}$ は、準拠集団 n における X_i の経験分布関数である。

式 (15) の右辺、及び、式 (16) の両辺には、モデルの内生変数である選択結果のシェア変数 $m_{n(i)}$ が組み込まれている。このような状況で未知パラメータを推定するための簡便な方法として、Naïve 推定量の考えに基づく推定法^{17), 23)} が提案されている。これは、 $m_{n(i)}$ の代理変数として何らかの適当な方法で計測された外生変数 $\bar{m}_{n(i)}$ を代わりに用いることにより、最尤推定を行う過程において均衡方程式を考慮せずともよいという考えである。これに従えば、通常の二項ロジットモデル同様、最尤法によるパラメータ推定が可能となる。

具体的な方法は以下のとおりである。まず外生変数 $\bar{m}_{n(i)}$ を特定化し、この $\bar{m}_{n(i)}$ とその他の説明変数を用いて通常の 2 項ロジットモデルと同様に式 (15) の最尤推定を行う。次に、推定されたパラメータ $(\hat{b}, \hat{c}, \hat{d}, \hat{J})$ と他の説明変数を用いて、以下の近似式 (17) を m_n に関して解き、均衡解 \hat{m}_n を準拠集団 n 毎に求める。

$$m_n = \int \tanh(\hat{b} + \hat{c}'X_i + \hat{d}'Y_n + \hat{J}m_n) dF_{X_i|Y_n} \\ \cong \frac{1}{N_n} \sum_{i \in n} \tanh(\hat{b} + \hat{c}'X_i + \hat{d}'Y_n + \hat{J}m_n) \quad \forall n \quad (17)$$

ここで、 N_n は、準拠集団 $n(i) = n$ に属しているサンプルの総数である。

(4) 準拠集団と説明変数の特定化

まず、準拠集団に関しては、各鉄道駅を利用する集団毎に構成し、 $n=1$: 巢鴨駅、 $n=2$: 田端駅、 $n=3$: 綾瀬駅の利用者とそれぞれラベリングした。すなわち、ある個人の準拠集団を、その個人が通常利用している駅に自転車でアクセスしている集団と見なしている。同じ駅であっても、駐輪場所の空間的相違により、個人が異なる準拠集団を認知する可能性も考えられるが、今回の調査票設計では駐輪場所を特定することが不可能なこと、及び、違法駐輪状況の空間的な分布パターンが各駅共にある程度類似していることから¹⁷⁾、上記のような設定を行っている。

次に、個人の私的動機に影響を及ぼす説明変数、及び、準拠集団の特徴を表す説明変数に関しては、変数を試行錯誤的に組合せて、適合度が最も大きいモデルを選択した。その際、意識調査の中で尋ねている駐輪行動に関する各種の主観的評価値(五段階評価値)の情報を活用するために、これらの評価値を用いて確認的因子分析を行い、得られた三つの因子(表-4)に関しても説明変数の候補としている。

また、Naïve 推定量を求めるためには、外生変数 $\bar{m}_{n(i)}$ の代理変数 \bar{m}_n ($n = 1, 2, 3$)が必要であるが、本研究では、準拠集団別に集計されたサンプル集団の放置駐輪率(表-2)から算出される値を代理変数として用いている¹⁸⁾。

(5) パラメータと反応曲線の推計結果

未知パラメータの推定結果を表-5 に示す。パラメータの符号は直感に合致したものとなり、その多くは、統計的に有意な値となった。但し、駐輪所利

表-4 主観的評価値を用いた確認的因子分析の結果(最尤解)

変数	因子 1	因子 2	因子 3	独自因子の分散
(a) 所要時間	0.880	—	—	0.735
(b) 利用料金	0.711	—	—	0.870
(c) 利便性	0.454	—	—	0.944
(d) 取り締まり	—	0.418	—	0.831
(e) 他自転車	—	0.837	—	0.483
(f) 美観	—	—	0.969	0.627
(g) 通行人	—	—	0.625	0.460
(h) 公共空間	—	—	0.787	0.784
因子間相関:	因子 1	因子 2	因子 3	
因子 1	1.000			
因子 2	0.164	1.000		
因子 3	0.090	0.596	1.000	
適合度指標:				
$\chi^2 = 255.05$ ($df = 17, p = 0.0001$) RMSEA = 0.093 GFI = 0.960				

用料金(表-2)に関しては、統計的に有意なパラメータとならなかったため、説明変数から除外している。一方、取り締まり頻度に関しては、統計的に有意な正の推定値が得られており、取り締まり回数が増えるほど、人々が駐輪場を利用する可能性が高まることが示唆される結果となっている。

潜在変数 Risk(「放置自転車の取締り」,「他自転車の路上駐輪の程度」という二つの主観的評価指標によって規定される潜在変数で、表-4の因子 2 に相当)の符号は負になっている。これは、駐輪場に自転車を停める人にとっては、撤去されるリスクが無いという内実を表した結果である。また、潜在変数 Public(主観的評価「美観への配慮」,「通行人への配慮」,「公共空間への放置への罪悪感」によって規定される潜在変数で、表-4の因子 3 に相当)の符号は正で、その説明力も高い。つまり、公共心が高い人は駐輪場に駐車する確率が高いという結果となっている。

そして、社会的相互作用の強さを示す J の値は有意な正の値となっている。すなわち、路上であれ駐

輪場であれ、個人は、多くの人が駐輪している場所に駐輪する傾向を有しているということが、統計的に確認された。

次に、推定されたパラメータを用い、式(17)に基づいて推計された準拠集団別の反応曲線を図-2に示す。巢鴨駅に対する反応曲線が最も下方に位置する結果となったが、これは、巢鴨駅利用者の自転車利用頻度や午前中の利用率、駐輪時間(表-3)、及び、公共心の大きさを表す変数 Public の平均が、他の二駅に比べて相対的に小さいことが原因と考えられる。

Naive 推定を行ったため、現況点(黒丸印)と、その集団が到達先と考えられる社会的均衡点(三角印)とが一致していない。これは、推定方法に起因する誤差が生じていることが主な原因と考えられる。現況点から均衡点への移行過程に関しては、本来、その動学的性質も含めた詳細な議論が別途必要だが、以下では、2.(3)と同様の単純な解釈を試みよう。現況点と社会的均衡点との位置関係から判断すると、まず、田端駅と綾瀬駅では、現況点から社会的に望

表-5 離散選択モデルのパラメータ推定結果

説明変数	説明(単位等)	推定値	t-値	
定数項	—	-0.772	-5.96	
X_i	利用頻度	利用回/週	0.0402	1.79
	午前利用ダミー	午前の利用のとき1	0.197	2.72
	駐輪時間	分	0.0431	4.84
	Risk	因子2(リスク感)	-0.159	-3.41
	Public	因子3(公共心)	0.302	6.28
	居住年数	年	0.0593	2.36
	通勤・通学者ダミー	通勤者 or 通学者=1	0.247	3.59
$Y_{n(t)}$	取り締まり頻度	取り締まり回数/月	0.0188	2.14
$\bar{m}_{n(t)}$	社会的相互作用項	集計平均シェア p を $2p-1$ に変換した値	1.117	18.9

対数尤度:-771.311 初期尤度:-1120.1
自由度修正済尤度比:0.305 サンプル数:1,616

※スケールパラメータ θ は予め1に基準化してある。

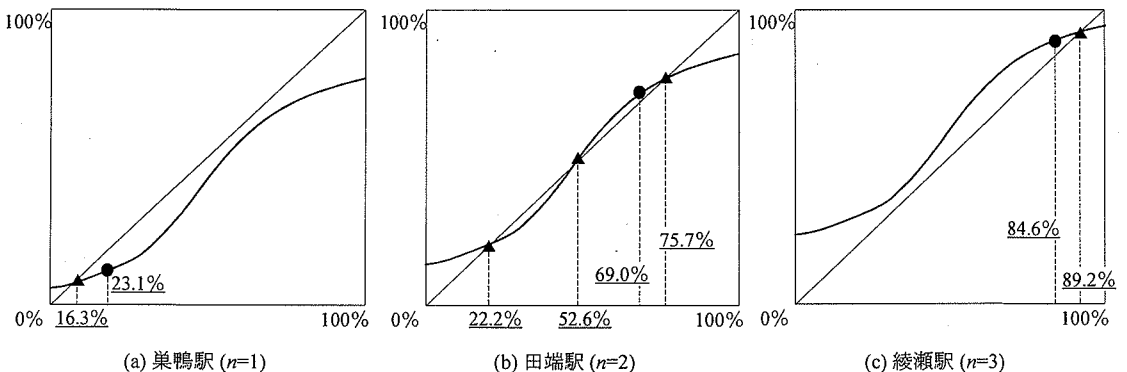


図-2 準拠集団別に推計された反応曲線

(横軸: 準拠集団構成員の駐輪場選択比率, 縦軸: 個人の駐輪場選択確率, ●: 現況点, ▲: 社会的均衡点)

ましい均衡解へ移行していく可能性が高いことが推察される。一方、巣鴨駅に関しては、駐輪場利用率の低い欠陥均衡状態へと移行する可能性が高いことが推察される。

(6) 政策介入の影響分析

以下では、正の社会的相互作用の影響によって欠陥均衡に陥るとされる巣鴨駅の駐輪状況(図-2 (a)を参照)を、どう改善すればよいのかを検討する。

前述の通り、政策介入を行って私的効用項を変化させることは、反応曲線を縦方向にシフトさせることに対応する。この状況から脱却するためには、ある強さ以上の私的インセンティブを付与して反応曲線を大幅にシフトさせ、社会的に望ましい唯一均衡解しか存在していない状態を実現する必要がある。

そのためには、政策介入を通じて、巣鴨駅利用者に対して推計された現況の反応曲線(図-3における曲線0)を、曲線1(45度線と2点で交わっており、うち1点は接している状況)よりも上方にシフトさせる必要がある。このとき、曲線0を上方に Δh^* だけシフトさせることで曲線1に一致したとすれば、次の方程式が m_1 について二つの解を持つ。

$$m_1 = \frac{1}{N_1} \sum_{i \in n(i)=1} \tanh(\Delta h^* + \hat{b} + \hat{c}' X_i + \hat{d}' Y_i + \hat{J} m_1) \quad (18)$$

式(18)が唯2つの解を持つという条件にしたがって、 Δh^* を数値解析的に求めると、0.092となる。また、このとき、社会的均衡を達成する m_1 の値は-0.484と0.600となる。そして、各 m_1 の値に対応する駐輪場利用率は、それぞれ25.8%、80.0%

であり、前者が政策介入によって生じた限界質量点である(図-3内の白三角印)。すなわち、政策介入によって、反応曲線が曲線1以上に上方へとシフトしない限り、欠陥均衡に陥りつつある現状からの脱却が難しいということが示唆される。

上記の試算結果を用いて、“取締り頻度の増加”という具体的な改善策を、どの位の強度で実施すれば、この状況から脱却できるのかを考察する。表-5より、取締り頻度の影響度を表すパラメータの値は、約0.018である。したがって、曲線1よりも上方に反応曲線をシフトさせるために少なくとも必要な追加取締り回数を計算すると、 $0.092 \div 0.018 = \text{約} 5 \text{ 回/月}$ となる。すなわち、月間の取締り頻度を現状から1~2回程度増加しただけでは、大きな効果が得られず、ある一定以上の頻度(ここでは5回/月)で取り締まりが実施されなければ、欠陥均衡に陥りつつある状況から脱却できないことが推察される。一方で、この計算結果は、もしこの状況から脱却できたならば、全体の80%以上の個人が駐輪場を利用する状態へと自動的に到達することを意味している。

勿論、このような考察は、多くの仮定の上で成り立つものである。特に、複数均衡解を有する統計モデルのパラメータ推定^{52), 53), 54), 55)}や、均衡点へと移行する動的プロセスの解明⁵⁶⁾を始めとして、残された課題は多い。今後は、それらの改善を継続的に行いたい。また、今回は違法駐輪を一例として取り上げたが、社会的相互作用の影響を内生化したこのモデルは、他の交通現象へも適用が可能である。特に本モデルは選択枝が三つ以上存在する場合⁵⁷⁾にも拡張できる。今後は、これらの展開を行いたい。

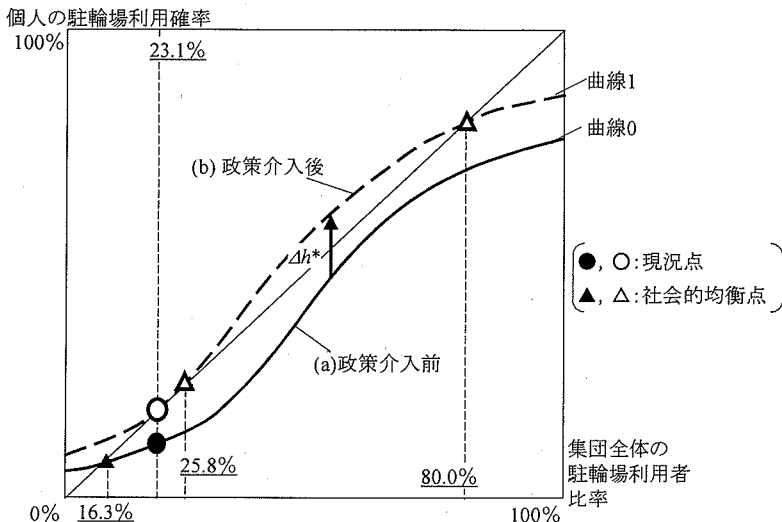


図-3 反応曲線に基づく取締り頻度増加政策の影響分析(対象準拠集団:巣鴨駅利用者)

4. おわりに—社会的行動のモデル化への期待—

(1) まとめ

本研究では、社会的相互作用の影響の推計を行っている既往のミクロ計量経済学研究を中心としたレビューを行い、交通行動モデルへの社会的相互作用の導入可能性の検討を行った。また、違法駐輪問題を対象としたケース・スタディーを行い、社会的相互作用存在下での集団行動変容の可能性についての定量的考察を行った。以上より、適切なモデル構築やデータ収集を行うことによって、社会的相互作用の計測と、それがマクロな集団現象に及ぼす影響分析を実施できる可能性が示されたと考えている。

社会的相互作用は、集団としての行動変容を阻害する要因、あるいは、行動変容を促す原動力のいずれにも成り得る。したがって、社会的相互作用の影響を高い信頼性で推計できるようになれば、社会的相互作用を介して人々の行動や態度を変容させるためにはどうすればよいのかを、実務的に検討することが可能になると思われる。

具体的には、社会的ジレンマの解消を目指した各種交通政策の導入を検討するに当たって、「何%の人がその行動を選択すれば、自動的に残りの大半の人間がその行動に同調し、望ましい社会状態に自動的に到達するのか」をまず推測する。その上で、政策担当者は、その“何%”の人々の行動変容を実現するために必要な具体的政策を検討することになる。

すなわち、他者行動頻度に対する個人行動の反応曲線を高い精度で推計できれば、行政は強硬な政策介入を闇雲に行う必要は無く、限界質量点を消失させ得るだけのレベルで政策を実施すれば良いことになる。これは、「違法駐輪のような軽微な迷惑行為であっても、行政は、徹底的な防止対策（e.g. 完全パトロール）を実施しなければならない」という社会学理論の主張⁵⁸⁾とは、大きく異なる含意である。頻度依存的な様相を帯びた各種の交通問題に対して、このような考えに基づく分析を行うことの意義は、決して小さくないと思われる。

(2) 今後の展望

本研究で提案したミクロ行動計量分析によるアプローチは、交通計画が対象とする諸現象に対しても、十分に適用可能である。例えば、

- ①違法駐輪・駐車行動、自動車利用自粛行動のように、自身に対する“社会的逸脱性⁵⁹⁾”が弱いと考えられる現象；
- ②ETC車載器の普及⁶⁰⁾や観光地目的地地選択のように、情報的影響⁵⁹⁾が大きいと考えられる現象；

に対して、社会的相互作用を考慮した行動モデルを適用することが考えられる。勿論、そのためには、

- ①いかなる状況で社会的相互作用が発生するのか；
- ②誰から相互作用を受けるのか；
- ③どのくらいのタイムスパンで社会的相互作用が波及するのか；

等といった、相互作用形成のメカニズムに関しても別途分析する必要が生じてくるだろう。その際には、態度理論^{61), 62)}等に基づいた検証を行うことも、別途考えられる⁹⁾。それら以外にも、複数均衡を持つ統計モデルのパラメータ推定法、バイアスの無いデータの取得可能性等といった課題も未解決のまま残されており、これらの改善も継続的に行う必要がある。

以上の課題が解決できれば、単なる行動予測にとどまらず、社会的規範、文化、利他性、人々の慣習等といった、社会的な行動要因(社会性)が形成されるメカニズム⁶³⁾に関しても、ミクロ計量分析に基づいた考察が可能となるかも知れない¹⁰⁾。例えば、環境配慮的な交通行動規範が成立する可能性や、主体間相互作用の結果として社会的信頼⁶⁴⁾が形成される可能性^{65), 66)}についての検討を行うことができるようになることが期待される。“社会性”が行動モデルの中で適切に表現され、その影響を高い信頼度で計測できるようになれば、予測のためのツールとしてのみならず、現象理解のためのツールとしての、行動モデルの有用性が高まるとと思われる。

謝辞：本研究は、文部科学省科学研究費若手研究 B (課題番号：14750444, 16760422)による研究助成を受けて実施された。また、本稿の内容に関して、東京工業大学屋井鉄雄教授、上田孝行助教授、藤井聡助教授から、有益なご示唆を多数賜った。ここに付して、感謝の意を表します。

補注

- [1] 社会的相互作用の経済学的な定義は「個人の享受する効用あるいは利得が、自身の帰属する準拠集団内の他者の行動に依存して決定される状況¹⁷⁾」であり、「バンドワゴン・スノップ効果⁶⁷⁾」、「戦略的補完性⁶⁸⁾」、「ネットワーク外部性⁶⁹⁾」と称される。一方、社会心理学や社会学では「同調効果」と呼ばれ、同調効果が顕著に表れる行動は「頻度依存行動(frequency-dependent behavior)^{70), 71)}」と称される。
- [2] 小林他³⁾の定式化は、利他的動機の考えに基づいて他者の効用関数を当該意思決定主体の効用関数に反映させているものであり、本研究が主に対象とする集団への同調という状況を直接的に表現していない。森川他⁴⁾では、他者の行動比率が個人の効用関数の説

- 明変数として用いられているものの、ミクロな個人行動とマクロな集団行動との整合性については明確に述べられていない。佐々木他⁷⁾では、周囲の行動比率と個人行動との関係を分析しているが、全個人で同一の反応曲線を仮定せざるを得ない構造になっており、個人の私的動機と社会的影響とを分離したシミュレーションを行うに留まっている。
- [3] 人間の頻度依存傾向を記述するモデルは、その適用に際して、社会的ジレンマの状況が生じていることを必ずしも前提としていない。しかし、他者の行動頻度への反応性は、社会的ジレンマの状況下でも頻繁に観察され、場合によっては支配的な戦略になることが、実験を通じて確認されている⁷²⁾。
- [4] Brock and Durlauf²³⁾に基づいて、均衡解の存在条件を整理すると、次のように場合分けされる。
- i) $\theta J < 1$ ならば、唯一の均衡解が存在する。
 - ii) $\theta J > 1$ かつ $h = 0$ ならば、3つの均衡解が存在する。
 - iii) $\theta J > 1$ かつ $h \neq 0$ ならば、ある閾値 $H (> 0)$ が存在し、それに対してさらに、
 - a) $|\theta h| < H$ ならば、3つの均衡解が存在する；
 - b) $|\theta h| = H$ ならば、2つの均衡解が存在する；
 - c) $|\theta h| > H$ ならば、1つの均衡解が存在する。
- [5] 本研究で用いたアンケートデータは、下記のウェブページにおいて公開しているので、興味ある方は参照されたい。
<<http://www.plan.cv.titech.ac.jp/yailab/fukuda/enquete02/>>
- [6] 筆者らが、東京都豊島区の行政担当者に対して行ったヒヤリング(2001年11月)に基づいた知見である。
- [7] 筆者らが、東京都豊島区、北区、荒川区の各行政担当者に対して行ったヒヤリング(2001年11月)に基づいた知見である。
- [8] 東京都の算出した放置率(表-2の最右列を参照)も、代理変数の候補として考えられる。しかし、東京都が放置率を算出するために行った調査時点と本研究の意識調査を実施した時点の間に、巣鴨駅周辺では、駐輪場の新たな設置と放置禁止区域の変更が実施されている。このような駅周辺環境の変化の影響を可能な限り除外するために、本研究では、意識調査から得られた集計平均値を用いている。
- [9] 心理実験的なアプローチを通じて社会的相互作用を計測することの必要性も指摘されている⁶⁶⁾。
- [10] 社会的関係を明示的に考慮した行動モデルの開発も、進展しつつある⁷³⁾。
- 6) 例えば、矢澤則彦、金本良嗣：ヘドニックアプローチにおける変数選択、環境科学会誌, Vol. 5, pp. 45-56, 1992.
- 7) 森地茂, 屋井鉄雄, 平井節生: 個人データと集計データとの統合利用によるモデル構築方法, 土木計画学研究・論文集, No. 10, pp. 291-298, 1987.
- 8) アリストテレス (山本光雄[訳]): 政治学, 岩波書店, 1969.
- 9) Coleman, J.: *Foundations of Social Theory*, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, 1990.
- 10) Dawes, R. M.: *Social Dilemmas*, *Annual Review of Psychology*, Vol. 31, pp. 169-193, 1980.
- 11) Blanck, P. (ed.): *Interpersonal Expectations - Theory, Research and Applications-*, Cambridge University Press, New York, 1993.
- 12) Granovetter, M.: Threshold Models of Collective Behavior, *American Journal of Sociology*, Vol. 83, pp. 1420-1433, 1978.
- 13) Asch, S.: Effects of Group Pressure upon the Modification and Distortion of Judgment, In *Groups, Leadership and Men*, M. Guetzkow (ed.), Russell, New York, 1951.
- 14) Aronson, E. (吉畑和孝[監訳], 岡隆, 亀田達也[訳]): *ザ・ソーシャル・アニマル-人間行動の社会心理学的研究*, サイエンス社, 1992.
- 15) Glaeser, E. and Scheinkman, J.: Measuring Social Interactions, In *Social Dynamics*, S. Durlauf and P. Young (eds.), MIT Press, Cambridge, pp. 83-102, 2001.
- 16) Glaeser, E. and Scheinkman, J.: Nonmarket Interactions, In *Advances in Economics and Econometrics: Theory and Applications, Eighth World Congress, Vol. 1*, M. Dewatripoint, L. Hansen and S. Turnovsky (eds.), Cambridge University Press, New York, pp. 339-369, 2003.
- 17) Brock, W. and Durlauf, S.: Interactions-Based Models, In *Handbook of Econometrics: Vol. 5*, J. Heckman and E. Leamer (eds.), Elsevier Science, Amsterdam, pp. 3297-3380, 2001.
- 18) Manski, C.: Identification of Endogenous Social Effects: The Reflection Problem, *Review of Economic Studies*, Vol. 60, pp. 531-542, 1993.
- 19) Manski, C.: *Identification Problems in Social Sciences*, Harvard University Press, Cambridge, 1995.
- 20) Gleaser, E., Sacerdote, B. and Scheinkman, J.: The Social Multiplier, *NBER Working Paper*, No. 9153, National Bureau of Economic Research, 2002.
- 21) Riccio, J. and Bloom, H.: Extending the Reach of Randomized Social Experiments: New Directions in Evaluations of American Welfare-to-work and Employment Initiatives, *Journal of the Royal Statistical Society A*, Vol. 165, pp. 13-30, 2002.
- 22) Heckman, J.: Sample Selection Bias as a Specification Error, *Econometrica*, Vol. 47, pp. 153-162, 1979.
- 23) Brock, W. and Durlauf, S.: Discrete Choice with Social Interactions, *Review of Economic Studies*, Vol. 68, pp. 235-260, 2001.
- 24) 海野道郎: 社会的ジレンマ解決の可能性-応用社会学への一貢献, *社会学研究*, Vol. 55, pp. 121-135, 1990.
- 25) Romer, D. (堀雅博, 岩成博夫, 南條隆[訳]): 上級マクロ経済学, 日本評論社, pp. 324-331, 1998.
- 26) 山岸俊男: 社会的ジレンマのしくみ「自分一人ぐらいの心理」の招くもの, サイエンス社, 1990.
- 27) Weidlich, W.: *Physics and Social Science: The Approach*

参考文献

- 1) Durlauf, S.: A Framework for the Study of Individual Behavior and Social Interactions, *Sociological Methodology*, Vol. 31, pp. 1-47, 2001.
- 2) 土木学会(編): 非集計行動モデルの理論と実際, 土木学会, 1995.
- 3) 小林潔司, 喜多秀行, 多々納裕一: 相乗り・送迎のためのランダム・マッチングモデルに関する研究, 土木学会論文集, No. 536/IV-30, pp. 49-58, 1996.
- 4) 森川高行, 田中小百合, 荻野成康: 社会的相互作用を取り入れた個人選択モデル-自動車利用自粛行動への適用-, 土木学会論文集, No. 569/IV-36, pp. 53-63, 1997.
- 5) 佐々木邦明, 西井和夫, 土屋勇太: パークアンドバスライド利用意向がマクロの利用率から受ける影響に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No. 20, pp. 835-841, 2003.

- of Synergetics, *Physics Reports*, Vol. 204, pp. 1-164, 1992.
- 28) 上田孝行, 岡田雅美: 公共デザインの多数決による集団的決定プロセスに関する研究, 土木計画学研究・論文集, No. 14, pp. 133-139, 1997.
 - 29) Schelling, T.: *Micromotives and Macrobehavior*, Norton & Company, New York, 1978.
 - 30) 松田芳郎, 伴金美, 美添泰人(編): 講座マイクロ統計分析 ②: ミクロ統計の集計解析と技法, 日本評論社, pp. 205-213, 2000.
 - 31) Rosenbaum, J.: Changing the Geography of Opportunity by Expanding Residential Choice: Lessons from the Gautreaux Program, *Housing Policy Debate*, Vol. 6, pp. 231-269, 1995.
 - 32) Rouse, C.: Private School Vouchers and Student Achievement: An Evaluation of the Milwaukee Parental Choice Program, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 113, pp. 553-602, 1998.
 - 33) Bearden, W. and Etzel, M.: Reference Group Influence on Product and Brand Purchase Decisions, *Journal of Consumer Research*, Vol. 9, pp. 183-194, 1982.
 - 34) Dawson, E. and Chatman, E.: Reference Group Theory with Implications for Information Studies: A Theoretical Essay, *Information Research*, Vol. 6, 2001.
<<http://informationr.net/ir/6-3/paper105a.html>>
 - 35) Hayakawa, H. and Venieris, Y.: Consumer Interdependence via Reference Groups, *Journal of Political Economy*, Vol. 85, pp. 599-615, 1977.
 - 36) Woittiez, I. And Kapteyn, A.: Social Interactions and Habit Formation in a Model of Female Labour Supply, *Journal of Public Economics*, Vol. 70, pp. 185-205, 1998.
 - 37) Case, A. and Katz, L.: The Company You Keep: The Effects of Family and Neighborhood on Disadvantaged Youths, *NBER Working Paper*, No. 3705, National Bureau of Economic Research, 1991.
 - 38) Dutta, B. and Jackson, M.: On the Formation of Networks and Groups, In *Models of the Strategic Formation of Networks and Groups*, B. Dutta and M. Jackson (eds.), Springer-Verlag, forthcoming.
 - 39) Conley, T. and Topa, G., Socio-Economic Distance and Spatial Patterns in Unemployment, *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 17, pp. 303-327, 2002.
 - 40) Evans, W., Oates, W. and Schwab, R.: Measuring Peer Group Effects: A Study of Teenage Behavior, *Journal of Political Economy*, Vol. 100, pp. 966-991, 1992.
 - 41) Rivkin, S.: Tiebout Sorting, Aggregation and Estimation of Peer Group Effects, *Economics of Education Review*, Vol. 20, pp. 201-209, 2001.
 - 42) Sacerdote, B.: Peer Effects with Random Assignment: Results for Dartmouth Roommates, *NBER Working Paper*, No. 7469, National Bureau of Economic Research, 2000.
 - 43) Gaviria, A. and Raphael, S.: School-Based Peer Effects and Juvenile Behavior, *Review of Economics and Statistics*, Vol. 83, pp. 257-268, 2001.
 - 44) Topa, G.: Social Interactions, Local Spillovers and Unemployment, *Review of Economic Studies*, Vol. 68, pp. 261-295, 2001.
 - 45) Evans, W., Farrelly, M. and Montgomery, E.: Do Workplace Smoking Bans Reduce Smoking? *NBER Working Paper*, No. 5567, National Bureau of Economic Research, 1996.
 - 46) 藤井聡, 小畑篤史, 北村隆一: 自転車放置者への説得的コミュニケーション: 社会的ジレンマ解消のための心理的方略, 土木計画学研究・論文集, Vol. 19, pp. 439-446, 2002.
 - 47) 神山英紀: 行為者間に異質性が存在する社会的ジレンマ・モデル, 理論と方法, Vol. 13, pp.209-224, 1999.
 - 48) 東京都生活文化局総務部(編): 第17回駅前放置自転車クリーンキャンペーン報告書, 東京都生活文化局, 2001.
 - 49) 兼子隼, 岸井隆幸: 東京都における端末自転車利用状況と駐輪場整備に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 23, No. 1, pp. 643-646, 2000.
 - 50) 運輸政策研究機構(編): 平成7年度大都市交通センサス(総集編), 運輸政策研究機構, 1996.
 - 51) 東京都生活文化局総務部(編): 駅前放置自転車の現況と対策(平成12年度), 東京都生活文化局, 2001.
 - 52) Jovanovic, B.: Observable Implications of Models with Multiple Equilibria, *Econometrica*, Vol. 57, pp. 1431-1437, 1989.
 - 53) Cooper, R.: Estimation and Identification of Structural Parameters in the Presence of Multiple Equilibria, *Les Annales d'Economie et de Statistique*, No. 6, pp. 1-26, 2002.
 - 54) Tamer, E.: Incomplete Simultaneous Discrete Response Model with Multiple Equilibria, *Review of Economic Studies*, Vol. 70, pp. 147-165, 2003.
 - 55) Bisin, A., Moro, A. and Topa, G.: The Empirical Content of Models with Multiple Equilibria, *Paper Prepared for the Microeconomics Seminar*, Department of Economics, Boston University, 2002.
 - 56) 青木正直: 異質的エージェントの確率動学入門, 共立出版, 2003.
 - 57) Brock, W. and Durlauf, S.: A Multinomial Choice Model of Neighborhood Effects, *American Economic Review*, Vol. 92, pp. 298-303, 2002.
 - 58) Wilson, J. and Kelling, G.: Broken Windows, *The Atlantic Monthly*, Vol. 249, No. 3, pp. 29-38, 1982.
 - 59) Deutsch, M. and Gerard, B.: A Study of Normative and Informational Social Influences upon Individual Judgment, *Journal of Abnormal and Social Psychology*, Vol. 51, pp. 629-636, 1955.
 - 60) 渡邊健: 利用者間の相互依存性を考慮した ETC 車載器普及予測モデル, 東京工業大学大学院情報理工学研究科情報環境学専攻修士論文, 2003.
 - 61) Ajzen, I. and Fishbein, M.: Attitude-Behavior Relations: A Theoretical Analysis and Review of Empirical Research, *Psychological Bulletin*, Vol. 84, pp. 888-918, 1980.
 - 62) Gärling, T., Gillholm, R. and Gärling, A.: Reintroducing Attitude Theory in Travel Behavior Research: The Validity of An Interactive Interview Procedure to Predict Car Use, *Transportation*, Vol. 25, pp. 129-146, 1998.
 - 63) Emirbayer, M. and Goodwin, J.: Network Analysis, Culture, and the Problem of Agency, *American Journal of Sociology*, Vol. 99, pp. 1411-1454, 1994.
 - 64) Cook, K. (ed): *Trust in Society*, Russell Sage Foundation, New York, 2001.
 - 65) Durlauf, S.: Bowling Alone: A Review Essay, *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol. 47, pp. 259-273, 2002.

- 66) Durlauf, S.: On the Empirics of Social Capital, *The Economic Journal*, Vol. 112, pp. 459-479, 2002.
- 67) Leibenstein, H.: Bandwagon, Snob, and Veblen Effects in the Theory of Consumers' Demand, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 64, pp. 183-207, 1950.
- 68) 例えば; 松井彰彦: 慣習と規範の経済学—ゲーム理論からのメッセージ, 東洋経済新報社, 2002.
- 69) 例えば; 依田高典: ネットワーク・エコノミクス, 日本評論社, 2001.
- 70) 山岸俊男: 心でっかちな日本人—集団主義文化という幻想—, 日本経済新聞社, 2002.
- 71) Kameda, T. and Nakanishi, D.: Cost-Benefit Analysis of Social/Cultural Learning in a Nonstationary Uncertain Environment: An Evolutionary Simulation and an Experiment with Human Subjects, *Evolution and Human Behavior*, Vol. 23, pp. 373-393, 2002.
- 72) 品田瑞穂, 亀田達也: 社会的ジレンマ状況における行動戦略の自生に関する実験的研究, *心理学研究*, Vol. 74, pp. 71-76, 2003.
- 73) Okuno-Fujiwara, M.: Social Relations and Endogenous Culture, *Japanese Economic Review*, Vol. 53, pp. 1-24, 2002.

(2003. 6. 6 受付)

MODELLING TRAVEL BEHAVIOR AND MICROECONOMETRIC ANALYSIS IN THE PRESENCE OF SOCIAL INTERACTIONS

Daisuke FUKUDA, Hiroyoshi UENO and Shigeru MORICHI

In many social phenomena, including the ones related to transportation planning, human behaviors involve positive social interactions and various kinds of travel behaviors tend to conform to the actions of the majority. This paper overviews the method of measuring and modeling social interactions recently developed in microeconometrics, and examines their applicability to travel behavior analysis. In addition, a discrete choice model with endogenous social interactions is proposed and applied to the micro data of illegal bicycle-parking behavior collected in Metropolitan Tokyo. With the proposed model, the level of optimal policy interventions such as police patrols and/or penalties to achieve the desirable and stable aggregate behaviors are empirically measured and evaluated.