

# 新型コロナウイルス蔓延下での個人の外出自粛行動に対する社会的影響に関する研究 —モバイル空間統計を活用して—

森 隆慶<sup>1</sup>・パラディ ジアンカルロス<sup>2</sup>・高見 淳史<sup>3</sup>・谷口 綾子<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 非会員 東京大学大学院修士課程 工学系研究科都市工学専攻

(〒113-8656 東京都文京区本郷七丁目 3-1)

E-mail: morir@ut.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 東京大学講師 大学院工学系研究科都市工学専攻

E-mail: gtroncoso@ut.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 東京大学准教授 大学院工学系研究科都市工学専攻

E-mail: takami@ut.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>4</sup> 正会員 筑波大学教授 システム情報系

E-mail: taniguchi@risk.tsukuba.ac.jp

外出活動の抑制による他者との接触機会の低減は、感染症拡大防止へのアプローチの一つである。新型コロナウイルス蔓延下では、日本の外出抑制施策は法的拘束力を有しないにも関わらず外出活動の低下がみられた。その一因として、個人が自身の属する集団の傾向に同調する「社会的影響」があると推測される。他者の外出自粛に対し、それが認知された場合において個人がそれに同調することは既に明らかにされている。本研究では携帯電話の運用データから生成される「モバイル空間統計」に着目し、他者の外出自粛状況に関する実データの活用により社会的影響の推定を試みた。その結果、個人が集団の外出自粛状況に同調する外出目的と、反発する外出目的があることが示された。

**Key Words:** COVID-19, Going-out self-restraint, Social network, Social influence, DOCOMO Mobile Spatial Statistics

## 1. 背景と目的

新型コロナウイルスは本論文執筆時点（2022年3月）でも世界中の少なからぬ地域で感染拡大を続けている。前例がなく病理的被害の大きい感染症に対しては、ワクチンや特効薬の開発までの間は外出制限などの非薬理学的介入により他者との接触機会減少を図ることが重要とされる<sup>1)</sup>。

外出制限を伴う施策は国ごとに異なるが、日本政府の対応は外出自粛を要請するものにとどまり、法的拘束力をもたないにも関わらず、感染症拡大前と比較して拡大後には「外出活動が集団レベルで減少した」ことが様々な指標から明らかにされている。ところが「外出活動の集団レベルでの減少」の度合いは同一施策が講じられた地域間でも差が生じている<sup>2)3)</sup>。こうした地域は地理的にも近接していることから、地域特性や構成員の平均的

個人属性の差が大きいとは考え難く、「個人が他者と一致する行動をとる効果」の集積が地域差の一因として考えられる。

人間は、多くの行動で、個人ごとの私的な動機に加え、自身のもつ社会的ネットワーク（以下「SN」）内の他者の傾向・規範・慣習を参照の上で決定することにより、それに従うことによる他者からの称賛を得たり、背くことで集団から排除されることを防いだりしている<sup>4)</sup>。他者からの影響が強い行動を分析対象とする場合、ミクロな個人行動の単純な総和によって集団の現象を記述することは不適切であることが多い（集計・合成の誤謬<sup>5)</sup>。交通計画分野においても、社会心理学や社会学と比較すると蓄積は浅いものの、SN内の相互作用を考慮した行動モデルの推定への試みが蓄積されつつある。新型コロナウイルス蔓延下（以下「コロナ禍」）における外出自粛行動に関しても、他者の自粛について、少なくとも認

知された場合においては個人レベルの自粛が生じることは既に示されている<sup>9)</sup>。

そこで本研究では、外出自粛状況に関する実データとして携帯電話網の運用データから得られる情報を活用することにより、SN の枠組みを居住地周辺に所在する個人の集合とした場合における、集団の傾向に対する個人の行動変化についてモデル化を行う。これにより、コロナ禍における個人レベルでの行動変容に集団レベルでの行動変容が与える社会的影響の方向と大きさを定量的に明らかにすることを目的とする。

なお本稿では、「個人が、自身の所属する集団からの承認を得たり、アイデンティティを良好に保ったりするために、集団の態度・信念・行動に一致するように行動を選択する傾向」を「(同調方向の)社会的影響」と定義し、個人の態度や行動に強い影響を与える社会的集団を「準拠集団」と呼ぶこととする<sup>7)</sup>。また、他者の傾向と一致する行動をとることを「同調」と表現する。

## 2. 既往研究の整理

### (1) 社会的影響の推定アプローチ

SN 内の他者の行動に関する情報を扱うモデルとしては、所属する準拠集団の全構成員から均等に影響を受けると仮定して分析する「グローバルインタラクションモデル」と、相互作用が及ぶ相手を少数に特定して分析を行う「ローカルインタラクションモデル」がある。前者に該当する手法として「代理変数アプローチ」、後者に該当する手法として「実験的アプローチ」及び「自己中心ネットワークアプローチ」がある。このうち、「代理変数アプローチ」及び「実験的アプローチ」は個々人の SN に関する明示的な情報が得られない場合にも適用が可能である。複数のアプローチを組み合わせることもある<sup>7)</sup>。

代理変数アプローチとは、個々人のもつ SN を直接観測せず、集団の平均的な行動を効用関数に組み込む手法である。代理変数としては、準拠集団における当該選択肢の選択率を示す「フィールド変数」が多く用いられる。福田ら<sup>8)</sup>は、同一鉄道駅の利用者の集合を準拠集団に設定し、駐輪を駐輪場に行くか否か(すなわち路上駐輪をするか否か)の選択モデルを推定し、準拠集団と個人との均衡状態を望ましい形に変化させるうえで必要な施策を、路上駐輪の取り締まりを例に定量的に検証した。Dugundgi and Walker<sup>9)</sup>は、社会経済属性(年齢, 所得, 教育)が同一、及び居住地が近接する個人の集合を準拠集団に設定し、この集団におけるフィールド変数の項を効用関数に加えた交通手段の選択モデルを推定した。尤度比検定によりフィールド変数項のないベースラインモデ

ルと比較し、フィールド変数項が説明力をもつと結論付けている。

実験的アプローチとは、行動選択の要因となりうる変数に関して意図的に仮想的条件を設定・提示するものであり、提示する仮想的条件として個々人の SN に関する情報をも含む。自己中心ネットワークアプローチとは、個々人の SN に関する明示的情報を直接収集する手法であり、参照相手との社会的距離(SNの中で他者に対して抱く親近感や受容の度合い)により受ける影響の大きさが不均一となることを考慮することが可能である。

### (2) コロナ禍での外出行動の変容とその要因

本稿ではこれ以降、「外出自粛」の語を、新型コロナウイルス感染拡大前との比較において集団における外出行動の総和や個人の外出頻度を減少させること、と定義する。以下に述べる既往の分析は、いずれも「モバイル空間統計 分布統計」を用いた指標によって集団レベルでの外出自粛度合いを分析したものである。「モバイル空間統計 分布統計」とは、NTT ドコモによるメッシュ単位での(属性別)人口が把握可能なリアルタイム人口分布データである<sup>10)</sup>。データ特性は表-1の通りである。

感染症拡大により行動変容があったことや、その度合いの地域差を明らかにした既往研究として、住宅地における外出者数×平均外出時間の減少量で定義される「外出自粛率」の算出を行ったもの<sup>3)</sup>や、メッシュごとの人口の時間変化に基づいた指標「近似トリップ」の減少をみたもの<sup>2)</sup>が挙げられる。また Arimura et al.<sup>11)</sup>は札幌市におけるメッシュ別人口密度と土地利用との重ね合わせにより、公共施設が立地している地域において特に人口密度減少が顕著であることなど、施設の立地状況による人口密度変化の傾向を明らかにした。

個人レベルでの外出行動変容要因の分析を行った既往研究として、「他者の外出自粛度合いの認知(以下「自粛認知」)」「新型コロナウイルスに対するリスク認知(以下「リスク認知」)」「特性不安」に着目したもの<sup>5)</sup>があり、買い物目的の外出においてはこのうち自粛認知

表-1 モバイル空間統計分布統計のデータ特性

項目	特性
対象者	NTT ドコモ携帯電話契約者のうち 15~79 歳の者
頻度	毎日, 1時間毎
地域	日本全国
属性	性, 年代, 居住地別
空間解像度	最小 500m メッシュ (一部 250m メッシュ)
移動目的	把握不可
移動手段	把握不可

が、外食・レジャー目的での外出においては自粛認知及びリスク認知が作用していることが示された。

### 3. 方法

本研究では、コロナ禍における集団の外出自粛が個人の外出自粛行動にいかなる影響を及ぼすかを明らかにすべく、目的変数として個人レベルでの外出自粛に関する指標、説明変数として準拠集団における外出自粛状況に関する指標のほか、コントロール変数として他者とは独立の要因に関する変数を組み込んだモデルの推定を行う。目的変数と説明変数の一覧を表-2に示す。

#### (1) Web パネル調査の概要

目的変数及び説明変数のうちコントロール変数には、個人レベルでのデータが必要であり、本研究では Parady et al.<sup>9</sup>及びその後も断続的に実施された Web パネル調査から得た、以下の 5 時点におけるデータを用いる。

- $t_0$ …2020/1 以前 (感染拡大前)
- $t_1$ …2020/4/1~8 (緊急事態宣言前)
- $t_2$ …2020/4/16~23 (1 回目の緊急事態宣言中)
- $t_3$ …2020/9/10~16 (いわゆる「第二波」)
- $t_4$ …2021/2/2~16 (2 回目の緊急事態宣言中)

調査は $t_1$ ~ $t_4$ の時期に計 4 回行われ、 $t_0$ における情報

は 1 回目の調査 ( $t_1$ ) で収集した。サンプリング手法は割り当て法であり、年齢層 5 段階 (20 代/30 代/40 代/50 代/60 代以上) ×居住地 2 地域 (北関東:茨城県・群馬県・栃木県/南関東:埼玉県・千葉県・東京都・神奈川県) ×性別の 20 グループに分け、各グループ 40 名ずつの計 800 名を 1 回目調査の対象とした。このうち 4 回目までの全てに回答したのは 521 名であった (以下「全回答者」)。全回答者の属性を表-3に示す。

目的変数となる外出活動に関しては、目的別に週の外出回数を問うた。外出目的は「通勤・通学」「業務」「買い物 (日用品/その他)」「外食・飲酒 (一人/他人と公的なイベント/他人と私的に)」「余暇・レジャー (一人/他人と)」の計 9 種類に分類した。

#### (2) 推定するモデル

前節で挙げた 9 種類の外出目的のうち、義務的な活動であり、外出判断に個人裁量性が比較的小さいと思われる「通勤・通学」「業務」「外食・飲酒 (他人と公的なイベントで)」を除く 6 種類を分析の対象とした。モデル

表-3 全回答者の属性

項目	値
男性比率(%)	52.2
南関東居住者比率(%)	49.7
平均年齢(歳)	47.4
学生比率(%)	1.0
高齢者同居率(%)	25.5
自動車所有率(%)	74.3

表-2 目的変数・説明変数の定義

種類	名称	定義
説明変数	コントロール変数	定数項
	$t_1$ ~ $t_4$ ダミー	$t_0$ 以外の各時点 $n$ のサンプルにおいて $t_n$ ダミーは 1
	男性ダミー	男性の場合に 1
	60 歳以上ダミー	60 歳以上の場合に 1
	学生ダミー	学生の場合に 1
	高齢者同居ダミー	65 歳以上の同居者が「いる」と回答した場合に 1
	自動車所有ダミー	家族共有/自分が自由に使える自動車のどちらか一方でも所有している場合に 1
	状態不安	「何か不安である」「神経質になっている」「心に悩みがある」に当てはまるか否かの 5 段階の回答スコアの第一主成分
	自粛期待認知	自分が「外出を自粛することを期待されていると思うか」に関しついで、5 種類の周囲の人に関する 5 段階の回答スコアの第一主成分
	週の通勤頻度	週当たりの通勤回数
	リスク認知	新型コロナウイルスが「恐ろしいか」「よく知っていると思うか」「制御可能だと思うか」に関する 5 段階の回答スコアの第一主成分
	感染者数増加率	居住する都県における、アンケート各回の 14-8 日前に対する 7-1 日前の新規感染者数の増加率
人口密度	居住する市区町村の人口密度(万人/km <sup>2</sup> )	
着目する変数	近似トリップ減少率	$t_0$ に対する、 $t_1$ ~ $t_4$ における近似トリップの減少率
	目的変数	
目的変数	週の外出回数	買い物目的での週の外出回数
	週の外出有無	外食・飲酒及び余暇・レジャー目的での週の外出回数が 0 回か否か

推定は、外出目的別に行った。買い物目的に関しては、週の実施回数を目的変数とし、上限を7回、下限を0回とするトービットモデル（以下 Tobit）を適用した。外食・飲酒目的及び余暇・レジャー目的に関しては、週の外出回数の回答に「0回」が占める割合が高く、回数平均値も小さかったことから、「0回」とするか否かの離散選択についてミックスロジットモデル（以下 MXL）を推定した（近似トリップ減少率のパラメータがランダムパラメータである）。以下、「週の外出回数が0回でない」選択肢を「外出する」と記す。

推定においては、買い物目的に対しては全回答者のデータを、外食・飲酒及び余暇・レジャー目的に対しては全回答者のうち $t_0$ における当該目的での週の外出回数が0回でない者のデータを用いた。

説明変数のうち、集団の外出自粛状況に関する指標としては、モバイル空間統計より得られる「近似トリップ減少率」を用いた。具体的には、Hara and Yamaguchi<sup>2)</sup>を参考に、各時点に対応する7日間のデータを用いて式(1)の通り近似トリップを算出し、 $t_1 \sim t_4$ の各時点における近似トリップ数の $t_0$ からの減少率を近似トリップ減少率と定義した。

$$D_t = \sum_{i \in I} \frac{|x_{i,t,a,s} - x_{i,t+1,a,s}|}{2} \quad (1)$$

ただし、 $t$ は時点、 $i$ はエリアI内のメッシュ、 $a$ は年齢層、 $s$ は性別、 $x$ はメッシュ人口を表している。モバイル空間統計では外出自粛状況を目的ごとに区別することが出来ないが、「個人は他者の外出目的を認識できない」という仮定をおくと、このように外出目的を区別しない指標を用いることが望ましいと判断した。

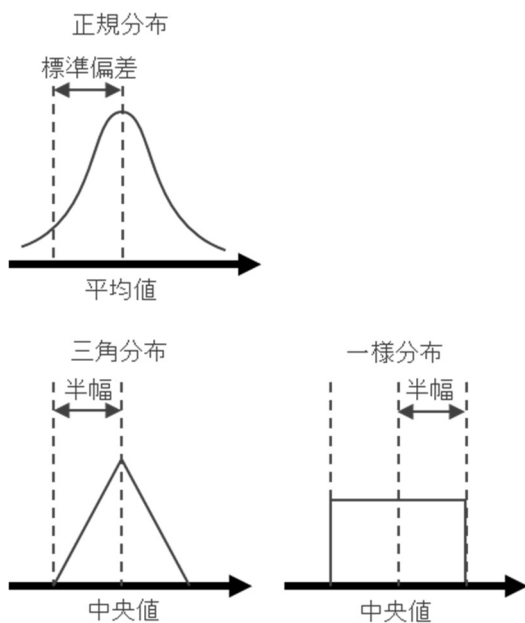


図-1 MXLのパラメータ分布形と推定されるパラメータ

以上のデータをもとにモデルの特定化、及び推定されたモデルによる効果量の算出及びシミュレーションを行った。

### (3) 検証の進め方

モデルの特定化においては、I.現象を説明する最も適切なモデルはどのような形で定式化されるか、II.準拠集団の空間的範囲はいかなるものか、III.準拠集団のいつの外出自粛状況を参照するか、の3項目に着目し、各項目で複数の候補（表-4）を設け、比較した。

項目Iは、近似トリップ減少率が目的変数（Tobit）及び効用関数（MXL）に対してどのように影響するかである。第一に、「近似トリップ減少率に対して一様に変化する形状（以下「一様線形」）」と、「集団の外出自粛の度合いが小さい場合に、集団の外出自粛を個人が認識しない」可能性を考慮し、一定の閾値を超えた場合にのみ線形変化する形状を設定した。第二に、MXLの近似トリップ減少率のパラメータ分布形に関しては、極端なパラメータ値を許容する正規分布と、最大・最小値のある三角分布及び一様分布を候補とし、中央値・平均値及び標準偏差・半幅を推定した（図-1）。

項目IIIに関しては、集団の外出自粛状況を個人が認知して行動に反映するまでに時間差がある可能性が考えられることから比較検討を行うこととした。なお調査の2回目以降に収集された各サンプルの回答日時から、ほとんどの回答が調査2日目までになされていることが明らかとなっている。

計算コストの制約上網羅的に試行することはできないため、項目I~IIIの順に、未比較の項目はデフォルトの設定に固定し、一定の基準で選出された設定を次段階で用いる形で進めた。モデル選出は、10分割交差検証指標としてTobitではRMSE（平均平方根二乗誤差）、MXLではMisclassification Rate、及び近似トリップ減少率に関するパラメータの安定性、すなわち有意性に基づいて行った。Misclassification Rateは下記のように定義される。

分割されたサンプルのうちテストデータに含まれる

表-4 モデル設定の候補(赤字は検証により選出された設定)

項目	特性
I	三角分布・正規分布・一様分布 (MXL) 一様線形, 閾値 0, 3, 5, 10, 15, 20% (MXL, Tobit)
II	居住する市区町村 居住地から半径 0.5, 1, 3, 5, 7, 10km 居住市区町村内最大乗降客数の駅(駅がなければ市区町村庁舎)から半径 0.5, 1, 3, 5km
III	各 Web 調査の 1~7 日目, 7-1 日前, 9-3 日前, 11-5 日前, 13-7 日前, 16-10 日前, 20-14 日前

表-5 選出されたモデルの近似トリップ減少率のパラメータ推定値(Tobit)

外出目的	推定値
買い物(日用品)	-1.455
(その他)	-1.663

表-6 選出されたモデルの近似トリップ減少率のパラメータ推定値(MXL)

外出目的	正規分布		三角分布	
	平均値	標準偏差	中央値	半幅
外食・飲酒(一人)	11.753	13.749	11.708	32.773
(他人と私的に)	6.031	7.640	5.918	17.463
余暇・レジャー(一人)	9.466	10.094	9.510	23.493
(他人と)	13.797	14.385	13.401	32.829

個々のサンプルに対し、予測された選択確率が 0.5 を超える選択肢を予測アウトカムとする。  $Q[y_n, \hat{y}_n]$  はサンプル  $n$  に対する予測の正確さの指標、  $y_n, \hat{y}_n$  はそれぞれ予測・実際に観測されたアウトカムあり、  $y_n, \hat{y}_n$  が一致する場合に  $Q[y_n, \hat{y}_n] = 0$ 、一致しない場合に  $Q[y_n, \hat{y}_n] = 1$  である。次に、ホールドアウト推定量HOVを求める(式(2))。

$$HOV = \frac{1}{N_v} \sum_{n_v=1}^{N_v} Q[y_n, \hat{y}_n] \quad (2)$$

$N_v$  は検証データに用いたグループのサンプル数である。このようにして 10 回求めたHOVの平均値が交差検証推定量CVとなり、これが Misclassification Rate に該当する(式(3))。

$$CV = \frac{1}{10} \sum_{b=1}^{10} HOV_b \quad (3)$$

これにより、十分な再現性及び安定した推定結果による議論可能性を有するモデルを選出した。なお、  $p < 0.1$  の場合に有意と見なす。データへの適合度に差がほとんどないモデル形も存在し、選出されたモデルが必ずしも統計的に優れるとは限らないことに留意が必要である。

MXL においては、パラメータが中央値または平均値となる個人を「代表的な個人」と見なすこととし、中央値または平均値の符号と、正值への分布確率から結果の解釈を行った。

選出されたモデルに対し、モデルが有すると考えられる内生性の補正を行った上で、近似トリップ減少率に対する Tobit の限界効果と MXL の弾力性を求めるとともに、ある属性の個人を想定したシミュレーションを行った。

## 4. 結果

### (1) モデル推定結果

項目 I ~ III についての比較により選出されたモデルの設定は、表-4 の赤字となっているものである。選出段階の詳細は付録で述べる。

パラメータに関しては Tobit では負が同調、正が反発を示す符号であり、MXL では正が同調、負が反発を示す符号である。モデル推定結果のうち、近似トリップ減少率のパラメータ推定値は表-5・6の通りとなった。

選択されたモデルにおける近似トリップ減少率のパラメータは、買い物目的においては負値となり、外食・飲酒及び余暇・レジャー目的においては、正規分布の平均値が正值となったほか、三角分布の中央値が正值、半幅は平均値よりも大きい正值となり、分布範囲が負値にもまたがること示された。

### (2) 内生性の補正

内生性とは、説明変数と誤差項が相関することにより、推定されたパラメータがバイアスを受ける現象を指す。本研究で推定するモデルでは集団の外出自粛から個人の外出自粛への因果関係に着目しているが、集団の外出自粛が個人の外出自粛の集積の結果であることから、個人の外出自粛から集団の外出自粛への因果関係も成立していると考えられる(同時性)。この場合、近似トリップ減少率と誤差項には相関が生じる。

操作変数を設定し、これを用いて Tobit では二段階最小二乗法、MXL では制御関数法を適用した。操作変数は、①観測可能である、②内生変数と(強く)相関する、③誤差項と相関しない、の条件を満たす必要がある。本研究では、市区町村別の近似トリップ減少率が人口密度と強く相関していたことから、以下の手順で計算される「居住市区町村と人口密度の近い市区町村の近似トリップ減少率」を操作変数として用いることとした。

表-7 内生性を補正したモデルの近似トリップ減少率のパラメータ推定値(Tobit)

外出目的	推定値
買い物(日用品)	2.307
(その他)	-1.384

表-8 内生性を補正したモデルの近似トリップ減少率のパラメータ推定値(MXL)

外出目的	正規分布		三角分布	
	平均値	標準偏差	中央値	半幅
外食・飲酒(一人)	15.187	13.761	15.056	32.887
(他人と私的に)	8.401	7.668	8.194	17.425
余暇・レジャー(一人)	13.363	10.362	13.377	24.163
(他人と)	19.520	14.280	19.333	32.896

表-9 限界効果(Tobit)

外出目的	限界効果
買い物(日用品)	0.020
(その他)	-0.010

表-10 弾力性(MXL・正規分布)

外出目的	平均値-標準偏差	平均値	平均値+標準偏差
外食・飲酒(一人)	0.064	0.457	0.336
(他人と私的に)	0.033	0.204	0.191
余暇・レジャー(一人)	0.137	0.274	0.216
(他人と)	0.216	0.330	0.197

表-11 弾力性(MXL・三角分布)

外出目的	第一四分位数	中央値	第三四分位数
外食・飲酒(一人)	0.250	0.454	0.384
(他人と私的に)	0.119	0.200	0.200
余暇・レジャー(一人)	0.235	0.272	0.234
(他人と)	0.331	0.331	0.233

[1]関東地方の市区町村を、人口密度で順位付けする。

[2]サンプルの居住市区町村の順位を  $n$  位とすると、ルールで決定した市区町村における、各時期の近似トリップを合計し、その値の減少率を求める。

- ・  $n = 1 \rightarrow 2-6$  位の市区町村
- ・  $2 \leq n \leq 5 \rightarrow 1 \sim (n-1)$  位・ $(n+1) \sim (n+5)$  位の市区町村
- ・  $6 \leq n \leq 351 \rightarrow (n-5) \sim (n-1)$  位・ $(n+1) \sim (n+5)$  位の市区町村
- ・  $352 \leq n \leq 355 \rightarrow (n-5) \sim (n-1)$  位・ $(n+1) \sim 356$  位の市区町村
- ・  $n = 356 \rightarrow$  (該当サンプルなし)

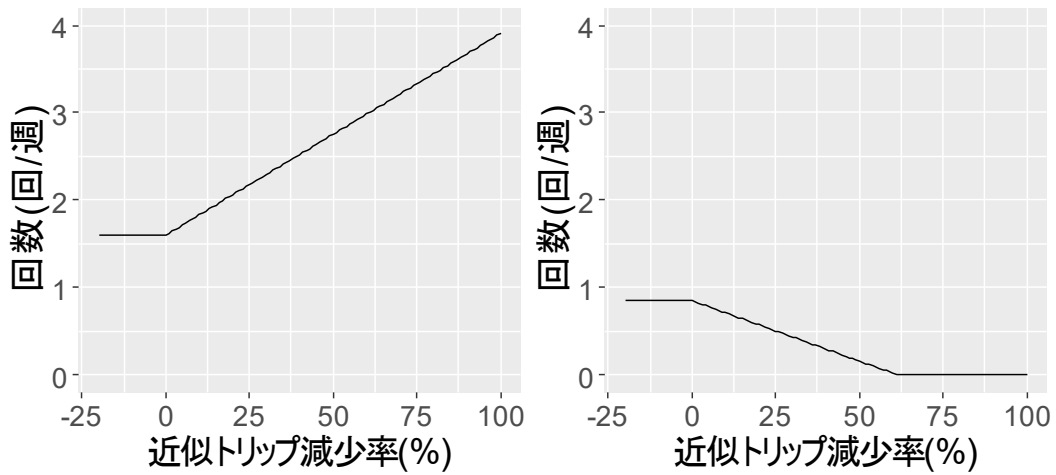
操作変数（「居住市区町村と人口密度の近い市区町村の近似トリップ減少率」）により内生変数（「居住市区町

村の近似トリップ減少率」）を線形回帰し、Tobit では説明変数のうち内生変数を回帰値に置き換え、MXL では内生変数と回帰値の残差を説明変数に加えた上でパラメータを推定した。推定結果のうち、近似トリップ減少率のパラメータを表-7・8に示す。

内生性の補正により、買い物（日用品）目的でのパラメータは負（同調）から正（反発）に転じた。その他の外出目的では、値の変動はあったものの、前節での解釈に変化を与えるものではなかった。

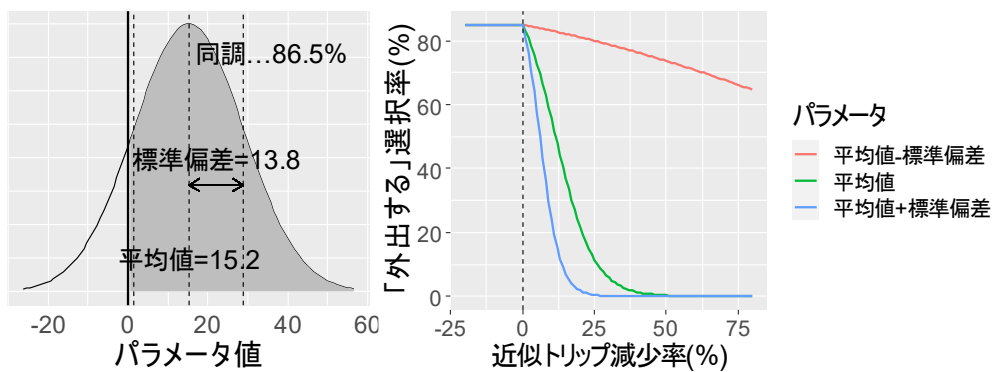
### (3) 効果量及びシミュレーション

効果量として近似トリップ減少率に対する Tobit における限界効果と MXL における弾力性を算出した（表-9～11）。本節で示す効果量は、Tobit については「近似ト

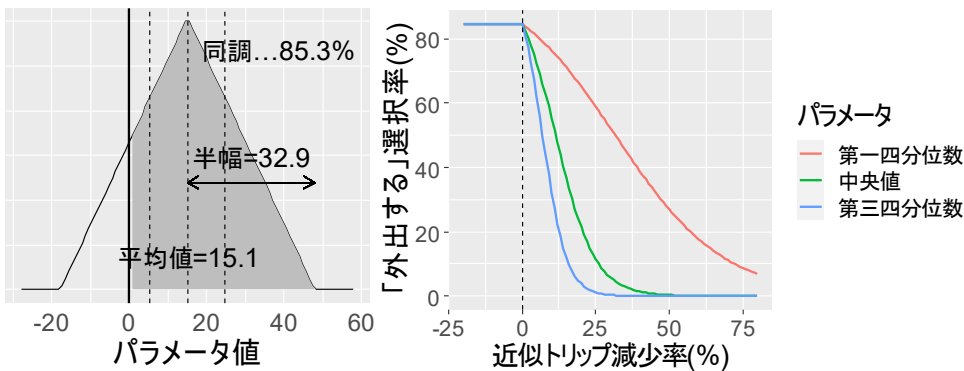


▲買い物(日用品)

▲買い物(その他)



▲外食・飲酒(一人)のパラメータ分布(正規分布)とシミュレーション



▲外食・飲酒(一人)のパラメータ分布(三角分布)とシミュレーション

図-2 MXLのパラメータ分布とシミュレーション結果

リップ減少率 (%) が1ポイント増加したとき (例 : 5%→6%), 週の外出回数は何回増加するか」を意味するのに対し, MXLについては「近似トリップ減少率 (%) が1.01倍になったとき (ex. 5%→5.05%), 週の外出選択確率は何%減少するか」を意味している。

続いて, 特定の属性・条件 (時点  $t$ , 男性, 60歳未満, 非学生, 高齢者同居なし, 自動車所有, 週5回通勤, 居住都県の新規感染者数増減なし, 居住市区町村の人口密

度 1万人/km<sup>2</sup>) の個人を想定して目的別の週の外出回数や外出選択確率のシミュレーションを行った。

シミュレーションは, MXL については近似トリップ減少率のパラメータを, 三角分布では第一四分位数・中央値・第三四分位数とした場合について, 正規分布では平均値-標準偏差・標準偏差・平均値+標準偏差とした場合について, それぞれ実施した。また, 推定されたランダムパラメータの分布, 及びその分布範囲に基づいてパ

ラメータが正となる確率を算出した。これは、集団の外出自粛状況に「同調」する個人の割合の推定値に当たる。なお MXL に関しては、結果の解釈に差が生じるほどの違いが外出目的ごとでは見られなかったことから、ここでは外食・飲酒（一人）の結果のみ図-2 に示す。

4. (1)で選出されたモデルにおける設定において、Tobit の目的変数形・MXL の効用関数形が「閾値 0%」となったため、近似トリップ減少率が 0%未満の領域においては外出回数や外出選択確率が横ばいとなる。0 以上の領域については、いずれの外出目的においても無視できない程度に外出回数や外出選択確率に変化がみられた。

また、MXL を適用した外出目的において、近似トリップのランダムパラメータが正となる割合は概ね 85~90%であり、多くの個人が集団の外出自粛状況に同調することや、反発する個人が存在する可能性が示唆された。なお、この割合に分布形による差異はほぼ見られなかった。一方、買い物（日用品）目的においては、代表的な個人は集団の自粛状況に「反発」し、近似トリップの減少につれて外出回数を増加させることが示された。要因として、他の種類の外出行動を抑制したことにより、生活必需行動である日用品の買い物がその代替行動となったり、自宅で過ごす時間が増加したことで、必要なものが多くなったことが考えられる。

## 5. 結論と今後の課題

本研究では、「個人レベルでの行動変容に居住地周辺での行動変容が与える社会的影響は、どちらの方向にどれだけあるか」を検証した。

検証の結果、少なくとも特定の準拠集団の枠組みのもとでは、対象とした全ての外出目的に関して少なからぬ社会的影響の存在が示された。MXL により推定を行った外食・飲酒及び余暇・レジャー目的における社会的影響の方向に関しては、集団の外出自粛状況に「多くの個人は同調する」ことが示されたほか、「反発する個人も存在する」可能性も示唆された。Tobit により推定を行った買い物目的においては、日用品の買い物では反発の社会的影響が、その他の買い物では同調の社会的影響があることが明らかとなった。

今後の課題に関しては、以下に 2 点を述べる。

1 つは、データの性質や取得プロセスに関するものである。本研究で使用した Web アンケート調査データに関する課題として、サンプリング手法が原因でバイアスが生じている可能性があること、サンプルを関東地方に限定しているため得られた結果が他の地域や社会的文脈にも普遍的に言えると保証されないこと、個々の外出活動について尋ねたにとどまり、他のトリップとの相互作用

を観測できていないことが挙げられる。モバイル空間統計に関する限界としては、人口密度が低いほど滞在人口の精度が下がることや、人々の移動状況の傾向を捉える指標として近似トリップ減少率を用いることの妥当性に関するものが挙げられる。

2 つ目は、「社会的影響」の定義との整合性についてである。本研究では社会的影響を推定するため、集団の外出自粛状況に関する指標におけるパラメータを推定した。推定されたパラメータは、個人が集団の外出自粛状況にどのような反応を示すかについて示唆を与えることが出来る一方、その反応が必ずしも社会的影響であるとは限らない。具体的には、集団が外出自粛を行うことを通して個人が「恐ろしい病気である」と認識することにより外出を減少させる現象が「同調」と捉えられたり、集団の外出自粛で人の密度が小さくなることで、個人が「感染リスクが小さい」と認識して外出を増加させる現象が「反発」と捉えられている可能性がある。これらを区別した結果を得るためには、追加的な調査や分析が必要である。

謝辞：モバイル空間統計のデータ提供は、東京大学・福田大輔教授との共同研究の一環として(株)ドコモ・インサイトマーケティングより行われた。また本研究は科研費(20H02266)の助成を受けたものである。

付録

a) 定式化の形(項目 I)

Tobit の推定結果の概要を表-14 に示す。

(1) モデル候補の比較結果詳細

本節で掲載する表の凡例は、表-12・13 の通りである。  
また、表中の符号は、Tobit の近似トリップ減少率、及び MXL の近似トリップ減少率のパラメータの中央値/平均値の符号を表している。

MXL については、まずランダムパラメータの分布形を三角分布に固定した上で効用関数形ごとの比較を行った(表-15)。続いて、パラメータの標準誤差が比較的大きくなった効用関数形を取り除いたうえで、パラメータ分布形ごとの比較を行った(表-16)。ここで、閾値 15%・20%の候補が除外されたが、これらの値を超える

表-12 推定結果表凡例(Tobit)

背景色	有意性	解釈
	○	社会的影響の方向が議論可能
		議論不能

表-13 推定結果表凡例(MXL)

背景色	有意性		解釈
	平均・中央値	半幅・標準偏差	
	○	○	平均的な個人の社会的影響の方向と分布の範囲が議論可能
		○	分布に幅があることのみ確認できる
			議論不能

表-14 推定結果(項目 I・Tobit)

目的	一様線形	閾値(%)					
		0	3	5	10	15	20
買い物(日用品)	-	-	-	-	-	-	-
(その他)	-	-	-	-	-	-	-

表-15 推定結果(項目 I・MXL 三角分布)

目的	一様線形	閾値(%)					
		0	3	5	10	15	20
外食・飲酒 (一人)	+	+	+	+	+	+	+
(他人と私的に)	+	+	+	+	+	+	+
余暇・レジャー(一人)	+	+	+	+	+	+	-
(他人と)	+	+	+	+	+	-	-

表-16 推定結果(項目 I・MXL 正規・一様分布)

分布形	目的	一様線形	閾値(%)			
			0	3	5	10
正規分布	外食・飲酒 (一人)	+	+	+	+	+
	(他人と私的に)	+	+	+	+	+
	余暇・レジャー(一人)	+	+	+	+	+
	(他人と)	+	+	+	+	+
一様分布	外食・飲酒 (一人)	+	+	+	+	+
	(他人と私的に)	+	+	+	+	+
	余暇・レジャー(一人)	+	+	+	+	+
	(他人と)	+	+	+	+	+

表-17 推定結果表凡例(項目Ⅱ)

式形	目的	市 区 町 村	居住地からの半径(km)						駅・庁舎からの半径(km)			
			0.5	1	3	5	7	10	0.5	1	3	5
Tobit	買い物 (日用品)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(その他)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MXL(三角分布)	外食・飲酒 (一人)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	(他人と私的に)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	余暇・レジャー(一人)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	(他人と)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
MXL(正規分布)	外食・飲酒 (一人)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	(他人と私的に)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	余暇・レジャー(一人)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	(他人と)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

表-18 推定結果(項目Ⅲ)

式形	目的	1~7 日目	7~1 日前	9~3 日前	11~5 日前	13~7 日前	16~10 日前	20~14 日前
Tobit	買い物 (日用品)	—	—	—	—	—	—	—
	(その他)	—	—	—	—	—	—	—
MXL(三角分布)	外食・飲酒 (一人)	+	+	+	+	+	+	+
	(他人と私的に)	+	+	+	+	+	+	+
	余暇・レジャー(一人)	+	+	+	+	+	+	+
	(他人と)	+	+	+	+	+	+	+
MXL(正規分布)	外食・飲酒 (一人)	+	+	+	+	+	+	+
	(他人と私的に)	+	+	+	+	+	+	+
	余暇・レジャー(一人)	+	+	+	+	+	+	+
	(他人と)	+	+	+	+	+	+	+

近似トリップ減少率となったサンプル数が少ないためパラメータが不安定となったと考えられる。

表-14・16 より、全ての外出目的に対して安定したパラメータとなるのは効用関数・目的変数形を一様線形、または閾値 0%としたときであった。MXLのパラメータ分布形ごとの差はほとんど見られなかった。

項目Ⅱ・Ⅲにおいては、効用関数・目的変数形として閾値 0%を、パラメータ分布形としては正規分布および三角分布を採用した。効用関数・目的変数形に関しては、コロナ禍においては集団の外出活動が増加（近似トリップ減少率が負値）の場合に個人が同調して外出活動を増加させるとは考えられないことから閾値のある形が選択された。パラメータ分布形に関しては、極端なパラメータ値の有無を特定することができず、正規分布は一般的には中心極限定理から使用が正当化されること、三角分布は正規分布と同様に平均値における分布確率が最大となることから選択された。

b) 準拠集団の空間的範囲形(項目Ⅱ)

モデル推定結果の概要を表-17に示す。表-17より、全ての外出目的に対して安定したパラメータとなるのは、準拠集団を「居住地からの半径 7km」とした場合のみであった。したがって項目Ⅲではこれを採用することとし

た。

c) 準拠集団の参照時点(項目Ⅲ)

モデル推定結果の概要を表-18に示す。表-18より、全ての外出目的に対して安定したパラメータとなるのは、準拠集団の参照時点を各調査の「1~7 日目」および「7~1 日前」とした場合であった。集団の外出自粛が個人行動に反映されるまでの時間差の存在を考慮し、効果量の算出及びシミュレーションでは「7~1 日前」とするものを用いることとした。

(2) 内生性の補正がなされたモデルの推定結果詳細

表-19 Tobit の推定結果

. :10%有意, \* :5%有意, \*\* :1%有意, \*\*\* :0.1%有意 +…週の外出行回数増加, -…減少

	買い物(日用品)		買い物(その他)	
	推定値		推定値	
定数項	2.065	***(+)	0.455	***(+)
t <sub>1</sub> ダミー	-0.639	***(-)	-0.191	
t <sub>2</sub> ダミー	-0.470	**(-)	-0.254	(-)
t <sub>3</sub> ダミー	-0.402	**(-)	0.034	
t <sub>4</sub> ダミー	-0.508	***(-)	-0.186	(-)
男性ダミー	-0.434	***(-)	0.002	
60歳以上ダミー	0.606	***(+)	0.156	*(+)
学生ダミー	-0.115		0.082	
高齢者同居ダミー	-0.099		0.070	
自動車所有ダミー	-0.097		0.109	
状態不安	0.014		0.047	*(+)
自粛期待認知	0.107	***(+)	0.107	***(+)
週の通勤頻度	-0.042		-0.051	
リスク認知	-0.034		-0.016	
感染者数増加率	0.007		-0.070	**(-)
人口密度	0.000		0.000	*(+)
近似トリップ減少率	2.307	*(+)	-1.384	(-)
Number of rows in database	2605.000		2605.000	
Number of individuals	521.000		521.000	
Time periods	5.000		5.000	
Rho-square	0.016		0.020	
交差検証値(RMSE)	1.622		1.190	

表-20 MXL(正規分布)の推定結果

. :10%有意, \* :5%有意, \*\* :1%有意, \*\*\* :0.1%有意 +…「外出する」選択率低下, -…上昇

	外食・飲酒(一人)		外食・飲酒(他人と私的)		余暇・レジャー(一人)		余暇・レジャー(他人と)	
	推定値		推定値		推定値		推定値	
定数項	-15.174		-12.265		-9.945		-14.672	
t <sub>1</sub> ダミー	15.099		12.404		10.616		15.832	
t <sub>2</sub> ダミー	15.707		13.565		11.419		16.800	
t <sub>3</sub> ダミー	14.989		12.126		10.803		15.642	
t <sub>4</sub> ダミー	15.042		12.564		10.881		15.916	
男性ダミー	-0.941	***(-)	-0.247		-1.008	***(-)	-0.634	**(-)
60歳以上ダミー	0.292		0.387		0.593	(+)	0.316	
学生ダミー	-0.684		-1.187		-0.561		-0.273	
高齢者同居ダミー	0.126		0.027		-0.371		-0.019	
自動車所有ダミー	0.766	*(-)	0.335		-0.116		-0.577	
状態不安	-0.013		0.061		0.152	**(+)	0.101	
自粛期待認知	0.138	*(+)	0.124	**(+)	0.081	(+)	0.067	
週の通勤頻度	-0.065		-0.044		-0.050		-0.059	
リスク認知	0.148	(+)	0.115		0.205	*(+)	0.122	
感染者数増加率	0.035		-0.038		0.060		0.026	
人口密度	-1.778	**(-)	-0.533		-0.958		-1.979	***(-)
残差	5.046		2.886		5.279		8.061	*(+)
近似トリップ減少率(中央値)	15.187	**(+)	8.401	*(+)	13.363	*(+)	19.520	***(+)
近似トリップ減少率(半幅)	13.761	***(+)	7.668	***(+)	10.362	***(+)	14.280	***(+)
Number of observations	1245.000		1440.000		1225.000		1485.000	
Number of individuals	249.000		288.000		245.000		297.000	
Time periods	5.000		5.000		5.000		5.000	
Rho-square(0)	0.318		0.340		0.350		0.369	
交差検証(Misclassification Rate)	0.291		0.261		0.269		0.248	

表-21 MXL(三角分布)の推定結果

. :10%有意, \* :5%有意, \*\* :1%有意, \*\*\* :0.1%有意 +…「外出する」選択率低下, -…上昇

	外食・飲酒(一人)		外食・飲酒(他人と私的)		余暇・レジャー(一人)		余暇・レジャー(他人と)	
	推定値		推定値		推定値		推定値	
定数項	-8.447	***(-)	-10.445	*(-)	-15.956		-8.398	
t <sub>1</sub> ダミー	8.384	***(+)	10.585	*(+)	16.635		9.519	
t <sub>2</sub> ダミー	9.001	***(+)	11.736	*(+)	17.439		10.475	
t <sub>3</sub> ダミー	8.268	***(*)	10.309	*(+)	16.822		9.330	
t <sub>4</sub> ダミー	8.322	***(+)	10.747	*(+)	16.899		9.600	
男性ダミー	-0.942	***(-)	-0.248		-1.012	***(-)	-0.621	**(-)
60歳以上ダミー	0.296		0.386		0.587	(+)	0.291	
学生ダミー	-0.726		-1.164		-0.554		-0.269	
高齢者同居ダミー	0.128		0.031		-0.367		0.003	
自動車所有ダミー	0.758	*(+)	0.332		-0.127		-0.566	
状態不安	-0.014		0.060		0.151	**(+)	0.100	(+)
自粛期待認知	0.139	*(+)	0.124	**(+)	0.082	(+)	0.069	
週の通勤頻度	-0.065		-0.045		-0.050		-0.056	
リスク認知	0.148	(+)	0.117		0.205	*(+)	0.124	
感染者数増加率	0.033		-0.038		0.059		0.023	
人口密度	-1.767	**(-)	-0.507		-0.942		-1.940	***(-)
残差	4.988		2.827		5.240		8.304	*(+)
近似トリップ減少率(中央値)	15.056	**(+)	8.194	*(+)	13.377	*(+)	19.333	***(+)
近似トリップ減少率(半幅)	32.887	***(+)	17.425	***(+)	24.163	***(+)	32.896	***(+)
Number of observations	1245.000		1440.000		1225.000		1485.000	
Number of individuals	249.000		288.000		245.000		297.000	
Time periods	5.000		5.000		5.000		5.000	
Rho-square(0)	0.318		0.339		0.351		0.368	
交差検証(Misclassification Rate)	0.293		0.262		0.271		0.248	

## REFERENCES

- 1) 大津山堅介, 齋藤悠介, 小松崎暢彦, 石井沙知香, 松本慎一郎, 竹中大貴, & 廣井悠. (2020). COVID-19 に対する都市封鎖の類型化と課題 主要感染拡大国における暫定的事例研究. 都市計画論文集, 55(3), 1350-1357.
- 2) Hara, Y., & Yamaguchi, H. (2021). Japanese travel behavior trends and change under COVID-19 state-of-emergency declaration: NatioSNide observation by mobile phone location data. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9, 100288.
- 3) 流動人口ビッグデータによる地域住民の自粛率の見える化 - 感染者数と自粛の関係 - \_ キヤノングローバル戦略研究所 [https://cigs.canon/article/20200422\\_6369.html](https://cigs.canon/article/20200422_6369.html)
- 4) Bavel, J. J. V., Baicker, K., Boggio, P. S., Capraro, V., Cichocka, A., Cikara, M., ... & Willer, R. (2020). Using social and behavioural science to support COVID-19 pandemic response. *Nature human behaviour*, 4(5), 460-471.
- 5) Manski, C. F. (1993). Identification of endogenous social effects: The reflection problem. *The review of economic studies*, 60(3), 531-542.
- 6) Parady, G., Taniguchi, A., & Takami, K. (2020). Travel behavior changes during the COVID-19 pandemic in Japan: Analyzing the effects of risk perception and social influence on going-out self-restriction. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 7, 100181.
- 7) Kim, J., Rasouli, S., & Timmermans, H. J. (2018). Social networks, social influence and activity-travel behaviour: a review of models and empirical evidence. *Transport Reviews*, 38(4), 499-523.
- 8) 福田大輔, 上野博義, & 森地茂. (2004). 社会的相互作用存在下での交通行動とマイクロ計量分析. 土木学会論文集, (765), 49-64.
- 9) Dugundji, E. R., & Walker, J. L. (2005). Discrete choice with social and spatial network interdependencies: an empirical example using mixed generalized extreme value models with field and panel effects. *Transportation Research Record*, 1921(1), 70-78.
- 10) 【公式】モバイル空間統計\_位置情報などのビッグデータを利用した人口統計情報 <https://mobaku.jp/>
- 11) Arimura, M., Ha, T. V., Okumura, K., & Asada, T. (2020). Changes in urban mobility in Sapporo city, Japan due to the Covid-19 emergency declarations. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 7, 100212.

(Received ? ,? ,? ,? ,? ,? )

(Accepted ? ,? ,? ,? ,? ,? )

## Analyzing the effect of social influence on going-out self-restraint behavior during the COVID-19 pandemic using mobile spatial statistics

Ryukei MORI, Giancarlos PARADY, Kiyoshi TAKAMI and Ayako TANIGUCHI

Reducing opportunities for contact with others by restricting outings is one of the approaches to prevent the spread of infectious diseases. Under the COVID-19, a decrease in outing activity was observed even though Japan's measures to reduce outings were not legally binding. We speculate that one of the reasons for this is the "social influence" that causes individuals to identify with the group to which they belong. It has already been shown that individuals become sympathetic to others' refraining from going out when they are aware of it. In this study, we used the "DOCOMO mobile spatial statistics" generated from the operational data of cell phones, and tried to estimate the social influence by using the actual data on going-out self-restraint behavior of others. The results indicated that there were two types of outing purposes: those in which individuals were sympathetic to the group's voluntary curfew situation, and those in which they were repulsed by it.