

# 主観的利得評価に基づく歩車間交錯時の 譲り合い意思決定行動分析

井料 美帆<sup>1</sup>・宮川 愛由<sup>2</sup>・谷口 綾子<sup>3</sup>・小嶋 文<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京大学生産技術研究所講師 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)  
E-mail:m-iryoo@iis.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 京都大学大学院助教 工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂4)  
E-mail:miyakawa@trans.kyoto-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 筑波大学大学院准教授 システム情報工学科 (〒305-8573 つくば市天王台1-1-1)  
E-mail: taniguchi@risk.tsukuba.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 埼玉大学大学院助教 理工学研究科 (〒338-8570 さいたま市桜区下大久保255)  
E-mail: kojima@dp.civil.saitama-u.ac.jp

無信号横断歩道では、本来横断歩行者に通行の優先権があるにも関わらず、歩行者に道を譲らない自動車が数多く見られる。これは、安全性の低下、横断機会の減少による歩行者サービスの質の低下につながる。歩行者の安全な横断機会を増やすためには、道路幾何構造や歩車間のコミュニケーション方法等の影響を考慮した歩車間の譲り合いの意思決定メカニズムを明らかにする必要がある。本研究ではアンケートによる主観評価から得られた個人々の利得データを用いて、譲り合い行動をゲームとして表現し、コミュニケーションが利得に与える影響を分析した。ゲームの均衡状態において、強い横断意思を持つ歩行者ほど運転者への挙手・会釈を積極的に行う傾向がみられ、コミュニケーションが運転者の意思決定に有用なシグナリングとして機能することが示された。

**Key Words :** *Pedestrian-vehicle conflict, unsignalized crosswalk, game theory, learning process, subjective utility*

## 1. はじめに

我が国の交通事故死者の3分の1以上は歩行者であり、歩行者の交通安全確保は喫緊の課題となっている。交通安全の対策の1つに交差点における信号の設置があるが、設置・メンテナンスの費用が問題である。また密な信号の設置は利用者の遅れ時間の増加にも繋がり、円滑性の観点からも望ましくない。無信号横断歩道は、比較的交通需要の少ない道路において、自動車の待ち時間をさほど増大させることなく歩行者に横断機会を与えることができる利点がある。道路交通法上では無信号横断歩道の横断歩行者は優先的に横断することができるが、実際に譲る自動車は少なく、本来期待する円滑性や安全性が担保されていないのが実態である。無信号でも歩行者が優先的に横断しやすい環境を構築することで、歩行者の安全性、円滑性の向上が期待される。

横断歩道での歩車間交錯に関しては、様々な既往研究がある。松尾ら<sup>1)</sup>は、無信号横断歩道での自動車の譲り合い行動を分析し、譲り率に地域差が存在する可能性や、挙

手による譲り率の向上効果に言及した。また、譲り率と横断歩行者の遅れ時間との関係を定量化した。三井ら<sup>2)</sup>は、高齢横断歩行者の車両ギャップ選択行動に着目し、横断行動のモデル化とシミュレーション分析を行った。尾崎ら<sup>3)</sup>は、接近車両が横断歩道にて安全に停止・通過することのできないジレンマゾーンに着目し、安全性評価を行っている。松尾らが指摘するように、譲り率は横断歩道の幾何構造、地域特性、歩車間のコミュニケーションの有無によって変動すると想定できる。歩行者がより安定的に優先権を取れるようにするためには、これらの影響要因を考慮した歩車間の意思決定のメカニズムを明らかにし、効果的な対策を提示することが望まれるが、歩車間の相互意思決定行動を説明可能なモデルは未だ確立されていない。

本研究では、歩車間の優先/非優先の意思決定行動をゲーム理論を用いて記述し、コミュニケーションや道路構造が意思決定に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。ここで、歩行者・運転者は無信号横断歩道での交錯を日々経験するが、交錯の相手は毎回異なるため、

それぞれ互いの利得構造が不明な中で意思決定を行うと想定できる。そこで、日々の行動から最も期待利得の高くなる戦略を学習することで、優先/非優先の選択確率を決定すると考える。

2章では、個人の利得行列を所与としたときの歩車間交錯のゲーム理論による表現と、その適用上の課題について説明する。3章では、Webアンケートによる主観評価データを用いて、歩車間交錯ゲームの利得行列の特性について基礎集計分析を行う。4章では、得られた利得行列を学習モデルに適用することで、道路特性やコミュニケーションの有無に応じた優先/非優先の均衡状態について考察し、最後に結論をまとめる。

## 2. 車両-歩行者間交錯のゲーム的表現

### (1) 利得行列の構成

本論文で対象とする歩車間の交錯状況を図-1に示す。横断歩道にて横断を始めようとする歩行者と、横断歩道に接近する自動車と同時に存在し、どちらもそのまま移動を続ければ横断歩道上で衝突する可能性が高い状況である。対象とする横断歩行者・自動車以外の周辺道路利用者はいないものとする。

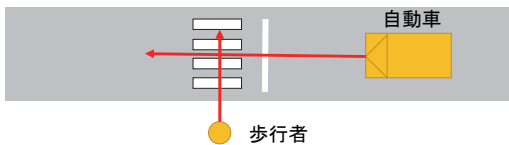


図-1：横断歩行者と自動車との交錯

このとき、運転者・歩行者はそれぞれ、自分が停止・減速して相手が先に横断歩道を通行できるようにする（譲る）か、自分が先に横断歩道を通行しようとする（譲らない）かの2種類の選択肢をもつ。この交錯を、運転者と歩行者との2プレイヤーゲームとみなす。各選択肢を取る時の運転者・歩行者の効用を、ゲーム理論における利得行列で表現すると表-1のようになる。以降、「譲る」戦略をS、「譲らない」戦略をGと表記し、戦略の組合せ及びその時の利得を（歩行者の戦略、運転者の戦略）の順で示す。表の $a_p, b_p, c_p, d_p$ はそれぞれ、(S,S), (S,G), (G,S), (G,G)での歩行者の利得を示す。 $a_v, b_v, c_v, d_v$ はそれぞれ、(S,S), (S,G), (G,S), (G,G)での歩行者の利得を示す。ただし、運転者と歩行者は同時に一度だけ意思決定を行うとの仮定をおく。

表-1：歩車間交錯の利得行列の例

		運転者	
		譲る	譲らない
歩行者	譲る	$(a_p, a_v)$	$(b_p, b_v)$
	譲らない	$(c_p, c_v)$	$(d_p, d_v)$

このゲームの解は、利得行列内の利得の相対的な大小関係によって定まる。(S,G),(G,S)の場合は、歩行者と運転者のいずれかが譲り、いずれかが譲らないことでスムーズな回避が可能である。このとき一般的には、譲らずに進んだプレイヤーは、高い効用を得られると推察される。一方、(G,G)では衝突のリスクが高く、双方の効用が低くなる。(S,S)では、(S,G)や(G,S)に比べると、一旦停止し、どちらかが行動を変更して進行するという手間がかかることから、(S,G)や(G,S)よりも効用が低くなる可能性があると考えられる。しかしこれらは一般的な想定であり、個々の交錯事象を扱うにはより詳細な利得行列の特性を知ることが必要である。

### (2) ゲームによる交錯記述の課題と本研究での対応

(1)節のようなゲームは、古くから交錯回避を説明するモデルとして提示されている。しかし実際の課題への適用には以下の課題がある。

#### a) 利得に影響を及ぼす要因

同じ道路利用者でも利得は常に一律の値を取ることはなく、自動車の接近速度やタイミングに応じた衝突リスク、交通量、道路幾何構造、歩車間のコミュニケーションの有無等の各種要素によって決定づけられると想定される。

利得の情報を得るためには、個別の戦略の利得を利用者に直接訪ねる方法と、利用者がゲームで実際に選択した戦略を入力として個別の利得を最尤推定する方法<sup>9)</sup>がある。前者は利得の値を直接得ることができる一方、あくまで主観評価に頼るため、その評価結果が実際の行動選択と合致している保証はない。後者はより客観的な結果が得られるものの、各戦略について推定に耐えうるだけのサンプル数が観測できることが求められる。

歩車間の交錯では、(G,G)のようにそもそもの観測確率が非常に低いケースが存在すること、国内の過去の観測事例において運転者が譲るケースの出現頻度が低いことを鑑みると、後者の手法での推定が容易でないと推察される。そこで本研究では後述の通り、アンケートによる主観評価結果を用いて利得を直接的に取得し、道路構造やコミュニケーションの有無に応じた利得構造と均衡戦略の違いを評価することとした。

#### b) 完全情報の仮定に関する課題

歩行者、運転者の利得行列には個人差がある。歩車間の交錯では、不特定多数の歩行者・運転者のうち、任意

の2名が交錯することとなり、お互いの利得行列の情報を認知することはほぼ不可能である。したがって、不完全情報下でゲームを行うと考えることが自然である。

個々人の利得行列情報は不明であるものの、人は日々の生活の中で繰り返し歩車間の交錯イベントを経験することで、母集団となる社会構成員の利得行列や戦略の選択確率を学習していくと考えられる。現実の社会で人がとる行動は、このような学習の結果得られた均衡戦略とみなすことができよう。

本研究では、個人がランダムに抽出された他人との交錯イベントを繰り返し経験し、より期待利得が高くなるように戦略を修正する学習過程をモデルにて表現する。学習を経たうえでの戦略ごとの選択確率の収束結果と、その結果にコミュニケーション等が与える影響を考察する。

### 3. 主観評価に基づく利得行列の構成

#### (1) Webアンケート調査

道路利用者個々人の利得行列の実態を調べるため、三条通および木屋町通を対象として、ドライバーへのWebアンケート調査を実施した。三条通、木屋町通ともに両側に歩道が整備された一方通行の道路(表-2)であるが、三条通は車道と歩道の段差がないなど、Shared Space的な道路整備がなされている。一方、木屋町通では歩車道間に柵や段差を設け、物理的に明確に分離されている。

表-2：三条通、木屋町通の横断構成(単位:m)

	三条通	木屋町通
道路幅員	6.5	9.2
歩道幅員	両側 1.55	西側 1.2 東側 3.0
車道幅員	3.4	5.0(一部3.0m*)
歩車道の分離状況	段差・道路柵なし	段差・道路柵あり

\*)一部区間で、交通静穏化のため歩道幅員が拡張されており車道が3.0mとなっている。

アンケート回答者は京都市内在住の運転免許保持者のうち、三条通および木屋町通の運転経験がある者に限定した。実施期間は2014年10月21, 22日、有効サンプル数は471であった。

アンケートでは、横断歩道にて歩行者が横断しようとした際に車両が接近している状況を想定する。回答者は運転者もしくは横断歩行者のいずれかの立場に立ち、以下の各条件の組合せにおいて、気分がよいと感じるか否かを7段階評価(図-2)で回答した。設問の例を表-3に示す。

- ・歩行者が横断する／運転者に道を譲る

- ・運転者が止まらず走行する／歩行者に道を譲る
- ・歩行者が運転者に対してとるコミュニケーションの種類(コミュニケーションなし、挙手、アイコンタクト、会釈)

- ・対象横断歩道の場所(三条通／木屋町通)

なお、シナリオの組合せが多く、設問数が多くなることから、各回答者について、三条通または木屋町通いずれか1か所を想定した設問のみを回答してもらった。三条通、木屋町通を対象とする設問の有効サンプル数はそれぞれ238, 233であった。

以降、各条件ごとの7段階評価の回答結果がそのまま個人の利得を代表するものとみなし、分析を行う。

表-3：アンケート設問の例

条件	設問内容
三条通、運転者視点、(S,S), 挙手あり	あなたは、 <b>三条通(烏丸～寺町)をクルマで運転</b> していました。すると <b>信号のない横断歩道で、歩行者が「手を上げながら」道を渡ろう</b> としていました。だからあなたは、 <b>ブレーキを踏んで歩行者に道を譲ろう</b> としました。ですがその時、 <b>歩行者も立ち止まって、あなたに道を譲ろう</b> としました。この時、あなたはどのように感じますか？
木屋町通、歩行者視点、(G,G), 会釈あり	あなたは、 <b>木屋町通の道の端を歩いて</b> いました。あなたは <b>信号のない横断歩道で、「ドライバーに会釈して」道を反対側に渡ろう</b> としました。すると、あなたの進行方向に <b>クルマが向って</b> きました。ですがあなたは、 <b>そのまま立ち止まらず、道を渡ろう</b> としました。ところが <b>クルマもまたスピードを落とさず、そのまま進ん</b> できました。その結果、あなたは、 <b>ぶつかりそう</b> になりました。この時、あなたはどのように感じますか？

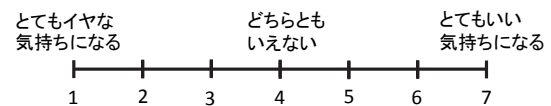
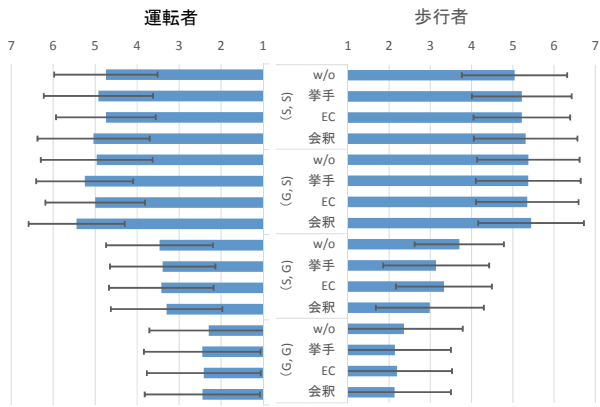


図-2：アンケート設問の回答方法(7段階評価)

#### (2) 平均的な利得の集計結果

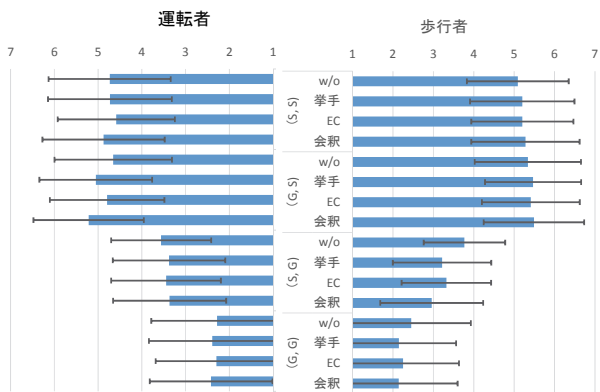
運転者・歩行者それぞれの視点での、三条通を対象とする各シナリオの利得の平均および標準偏差の集計結果を図-3に、木屋町通を対象とした集計結果を図-4に示す。

これらの結果からは、平均的な利得行列としては、総じて(G, S)の効用が(S, S)や(S, G)よりも高いことがわかる。いずれの道路、コミュニケーション方法でも(G, S)が支配戦略となり、常に運転者が歩行者に譲る状態が最適となる。これは道路構造条件等が異なるとはいえ、松尾らの観測結果とほぼ正反対の結果である。今回のデータはSP調査であるがために被験者がより模範的に解答しがちなためと考えられる。



※w/o: コミュニケーションなし, EC: アイコンタクト

図-3: 各シナリオにおける利得の平均と標準偏差(三条通)



※w/o: コミュニケーションなし, EC: アイコンタクト

図-4: 各シナリオにおける利得の平均と標準偏差(木屋町通)

コミュニケーション方法間の違いによる利得の変動について、検定による比較の結果を表-4と表-5に示す。これらの表では、コミュニケーションを行わない場合と比較し、コミュニケーションの存在によって利得が有意に増加した場合に+、有意に減少した場合-を附している。三条通においては、「挙手」「会釈」がある場合には(G,S), (S,S)で運転者の利得が増加した。また、(S,G)では「会釈」による利得の有意な減少がみられた。これは、挙手、会釈のコミュニケーションにより、歩行者の横断に対して運転者がより協力的な行動をとるインセンティブが高まるとみなすことができる。歩行者では、いずれのコミュニケーション手段においても、運転者が譲らない場合の利得が有意に減少し、(S,S)での利得が増加した。この設問でのコミュニケーション手段はいずれも歩行者側から積極的に発するものであり、自分が取ろうとしたコミュニケーションの意図通りに運転者が行動することを強く期待しているためと考えられる。

木屋町通でも全体的には類似の傾向がみられる。ただし、運転者の(S,S)での利得増加は見られず、歩行者は(G,S)で利得が有意に減少する。木屋町通では道路構造上、コミュニケーションの生起が少ない環境であると考えら

れる。そのため、運転者・歩行者双方とも、コミュニケーションを取って歩行者の横断機会を設けることに必ずしも積極的ではなく、このような傾向がみられた可能性がある。

表-4: コミュニケーションの存在による利得変動の検定結果 (三条通)

	戦略	コミュニケーションの方法		
		挙手	アイコンタクト	会釈
運転者	(S,S)	++	×	++
	(G,S)	++	×	++
	(S,G)	×	×	--
	(G,G)	+	×	+
歩行者	(S,S)	++	++	++
	(G,S)	×	×	×
	(S,G)	--	--	--
	(G,G)	--	--	--

×: 有意差なし, +: 5%有意水準で増加, ++: 1%有意水準で増加, -: 5%有意水準で減少, --: 1%有意水準で減少

表-5: コミュニケーションの存在による利得変動の検定結果 (木屋町通)

	戦略	コミュニケーションの方式		
		挙手	アイコンタクト	会釈
運転者	(S,S)	×	×	×
	(G,S)	++	+	++
	(S,G)	-	×	--
	(G,G)	+	×	+
歩行者	(S,S)	++	++	++
	(G,S)	-	×	-
	(S,G)	--	--	--
	(G,G)	--	--	--

×: 有意差なし, +: 5%有意水準で増加, ++: 1%有意水準で増加, -: 5%有意水準で減少, --: 1%有意水準で減少

### (3) 個人の利得構造パターンの分析

実際に歩行者・運転者個々人が相手と交錯するときの戦略は、平均値ではなく、あくまで個人の利得の相対的な大小関係に基づいて決まる。(2)節での各戦略の標準偏差は1.0~1.5程度であり、戦略間の大小関係が逆転する利用者も少なくないと推察される。したがって、個人ごとの利得構造に着目することが必要である。

個々人の利得行列のパターンによっては、他者の利得によらず常にいずれかの戦略が支配戦略となる場合がある。歩行者であれば、表-1において

$$a_p > c_p \text{ かつ } b_p > d_p \tag{1}$$

のとき、常に「S」が支配戦略となり、

$$a_p < c_p \text{ かつ } b_p < d_p \tag{2}$$

のとき、常に「G」が支配戦略となる。同様に運転者で

は

$$a_v > b_v \text{ かつ } c_v > d_v, \quad (3)$$

のとき、常に「S」が支配戦略となり、

$$a_v < b_v \text{ かつ } c_v < d_v, \quad (4)$$

のとき、常に「G」が支配戦略となる。これ以外の時は、状況に応じて「S」または「G」のいずれかの戦略を選択する。

図-5に、運転者・歩行者別に、コミュニケーションのない場合と会積をした場合とで、それぞれのパターンに分類される被験者の割合を示す。運転者はいずれのケースでも75~85%程度の利用者が常に「S」を選択することが望ましいという結果となった。また、歩行者が会積をする場合は、「S」が支配的となる利用者の割合が有意に増加する。一方歩行者は、常に「S」を選択する人は50%以下にとどまり、会積をするとその割合が有意に減少する。3~4割程度の人が状況に応じて「S」と「G」の選択をすることが望ましいという利得構成になっていることがわかる。

(2)節の結果と比較すると、平均的な利得行列では(G,S)が支配的ではあるが、個別の歩行者では「G」が支配的となる者は少なく、あくまで運転者の選択に呼応して「S」を選択する構造になっていることがうかがえる。運転者側は(2)の結果と同様、「S」が支配的な利用者がほとんどである。運転者にとって「S」戦略は、歩行者優先の規範と衝突リスク回避の双方を同時に満たす合理的な選択であるためと考えられる。一方歩行者は、優先権を取るための「G」戦略と、衝突リスク回避の「S」戦略との間での選択を迫られるためにこのような分布になると考えられる。

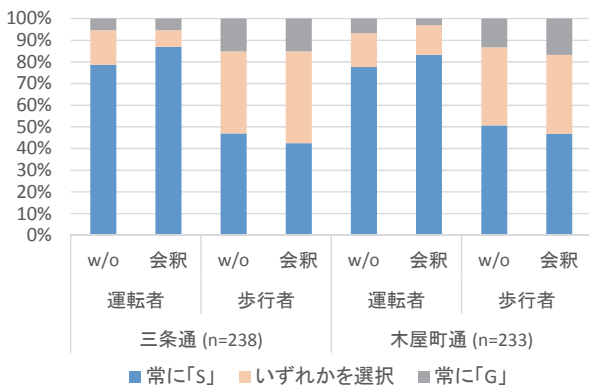


図-5：支配戦略を持つ個人の割合  
(コミュニケーションなし、会積ありの別)

#### 4. 繰返しゲームによる戦略均衡状態の分析

##### (1) 繰返しゲームによる戦略選択確率の学習過程

前章で示したアンケート調査による利得行列の結果から、特に歩行者に関しては、運転者との状況に応じて戦略を選択する者が多いことが示された。しかし、2. (2b)で論じたとおり、歩行者・運転者は互いの利得情報を持たないまま行動選択を行うことが常である。これら戦略が流動的な歩行者も、学習を通じて何らかの戦略選択確率の傾向を持つと考えられる。本章では、道路利用者が繰返し学習を行った時の戦略の選択確率を導出し、その特性を考察する。

ここで留意すべきは、歩行者はSまたはGの戦略を選択するだけでなく、コミュニケーションを発するという選択肢を持っていることである。コミュニケーションの有無とS,Gの戦略を組み合わせることで、歩行者はより期待利得の高い状態を目指すことができると考えられる。そこで以下では、歩行者がコミュニケーションの手段を選択することができる場合とできない場合とに分け、それぞれのシナリオでの学習結果の比較を行う。

学習過程では、 $m$ 人の歩行者、 $n$ 人の運転者を母集団とする社会を想定する。各個人の利得行列は、コミュニケーション手段、道路構造等の関数として確定的に定まるものとする。学習過程の計算フローを図-6に示す。

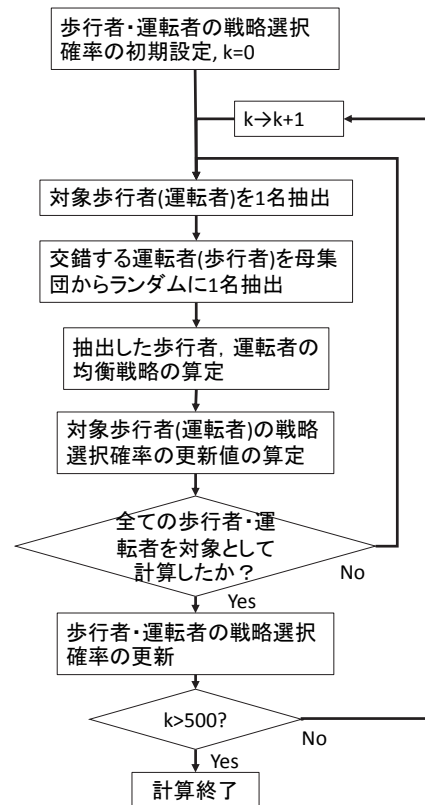


図-6：繰返しゲームの計算フロー

### a) 歩行者のコミュニケーション手段を固定した場合の戦略選択確率の学習過程

まず、歩行者のコミュニケーション手段を所与とし、全ての人が同じ手段をとると仮定する。歩行者、運転者はそれぞれ、G, Sのいずれかを確率的に選択する。

#### Step 1. 戦略選択確率の初期設定

$k$ 回目の繰り返し計算における歩行者 $i$ 、運転者 $j$ の戦略「G」選択確率をそれぞれ $\theta_i(k), \phi_j(k)$ とする。初期値として、 $\theta_i(0), \phi_j(0)$ の値を外生的に与える。

#### Step 2. ゲームのプレイヤーの抽出

母集団の歩行者・運転者の中から、戦略選択確率を更新しようとする対象者を1名抽出する。この対象歩行者(運転者) $i$ と交錯する運転者(歩行者) $j$ を母集団中からランダムに1名抽出する。

#### Step 3. 均衡戦略と戦略選択確率の更新値の算定

抽出したプレイヤー同士の交錯ゲームのNash均衡解を求める。対象歩行者 $i$ の均衡解の戦略G選択確率を $\hat{\theta}_i(k)$ とすると、純粋戦略では均衡解がGのときに $\hat{\theta}_i(k) = 1$ 、均衡解がSのときに $\hat{\theta}_i(k) = 0$ となる。更新後の選択確率は

$$\theta_i(k+1) = \theta_i(k) + \frac{1}{k+1} (\hat{\theta}_i(k) - \theta_i(k)) \quad (5)$$

とする。対象者が運転者の場合についても同様の計算を行う。これを繰り返すことにより、戦略選択確率の収束解を求める。

### b) 歩行者がコミュニケーション手段を選択できる場合の戦略選択確率の学習過程

a)では全ての人が同じコミュニケーション手段を取るとみなしたが、歩行者は自分の利得を最大化するようコミュニケーションを効果的に活用すると考えられる。そこで、コミュニケーションの有無を含めた学習過程についても検討を行う。

簡単のため、コミュニケーション手段を会積のみに限定する。歩行者の取りうる戦略は、「コミュニケーションなし・G」「コミュニケーションなし・S」「会積・G」「会積・S」の4通りである。運転者側は、歩行者が会積をするか否かの情報を受け取ったうえで、S, Gのいずれかを選択する。歩行者 $i$ の $k$ 回目の繰り返しゲームでの「コミュニケーションなし・G」「コミュニケーションなし・S」「会積・G」「会積・S」の選択確率をそれぞれ $\theta_i^{wo,S}(k), \theta_i^{wo,G}(k), \theta_i^{b,S}(k), \theta_i^{b,G}(k)$  ( $\theta_i^{wo,S} + \theta_i^{wo,G} + \theta_i^{b,S} + \theta_i^{b,G} = 1$ )とする。運転者 $j$ につい

ては、コミュニケーションがないときと歩行者が会積をしたときのそれぞれの条件下での「G」の選択確率を $\phi_j^{wo}(k), \phi_j^b(k)$ とする。

このとき、取りうる戦略の種類は増加するものの、基本的な計算フローは図-6と同様である。選択確率の更新は以下の通り行う。 $k$ 回目の均衡解における各戦略の選択確率を $\hat{\theta}_i^{wo,S}(k), \hat{\theta}_i^{wo,G}(k), \hat{\theta}_i^{b,S}(k), \hat{\theta}_i^{b,G}(k), \hat{\phi}_j^{wo}(k), \hat{\phi}_j^{b,S}(k)$  (ただし、純粋戦略は1, それ以外は0)とすると、歩行者 $i$ の $\theta_i^{wo,S}$ の更新値は、

$$\theta_i^{wo,S}(k+1) = \theta_i^{wo,S}(k) + \frac{1}{k+1} (\hat{\theta}_i^{wo,S}(k) - \theta_i^{wo,S}(k)) \quad (6)$$

とする。 $\theta_i^{wo,G}(k), \theta_i^{b,S}(k), \theta_i^{b,G}(k), \phi_j^{wo}(k), \phi_j^b(k)$ も同様の方法で更新する。

### (2) 繰返しゲームのシナリオ設定

繰返しゲームでは、歩行者・運転者の母集団がアンケートの有効回答者群に一致するものとみなす。すなわち、アンケートの回答サンプル数と同じ人数の歩行者・運転者をそれぞれ生成し、各プレイヤーの利得行列はアンケートの回答結果に一致するとした。

シナリオは、コミュニケーション手法を固定した場合として、全ての歩行者がコミュニケーションを行わないケース(w/oケース)と、全ての歩行者が会積するケース(会積ケース)を設定した。さらに、コミュニケーションの有無を選択できるケース(選択ケース)を設けた。

### (3) 収束結果の比較 (w/oケース, 会積ケース)

歩行者 $i$ の「G」選択確率の収束値を $\bar{\theta}_i$ 、運転者 $j$ の「G」選択確率の収束値を $\bar{\phi}_j$ とすると、 $\bar{\theta}_i, \bar{\phi}_j$ はコミュニケーションの有無に応じた利得行列の違いにより異なる値をとる。また、個人間での利得行列のバラつきに応じて分布する。以下ではこの選択確率の分布状況を確認する。

まず、w/oケースと会積ケースの収束結果を示す。図-7, 図-8は、全ての歩行者・運転者について選択確率の初期値を $\theta_i(0) = 0, \phi_j(0) = 1$ としたときの、 $\bar{\theta}_i, \bar{\phi}_j$ のそれぞれの分布を示している。会積ケースでは、個々の歩行者の「G」選択確率が向上するとともに、「G」を選択しない運転者の割合が高くなるのがわかる。

同様に、図-9, 図-10は全ての歩行者・運転者について初期値を $\theta_i(0) = 1, \phi_j(0) = 0$ としたときの $\bar{\theta}_i, \bar{\phi}_j$ の分布である。初期状態で歩行者の「G」選択確率が高いと、収束値の「G」選択確率も若干高くなるが、全体の分布の傾向に対する初期値の影響は大きくはない。

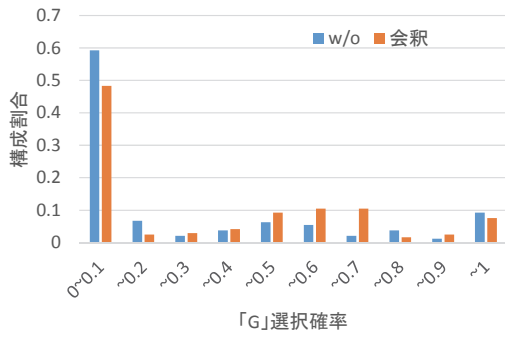


図-7: 歩行者の「G」選択確率分布の収束結果(三条通, 初期値すべて歩行者「S」, 運転者「G」)

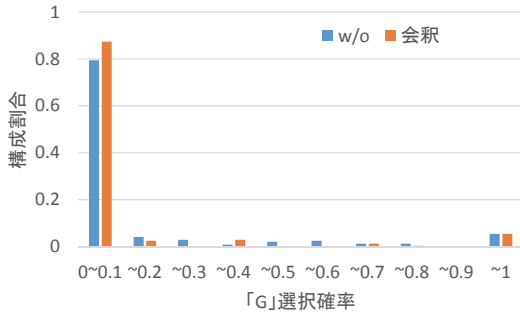


図-8: 運転者の「G」選択確率分布の収束結果(三条通, 初期値はすべて歩行者「S」, 運転者「G」)

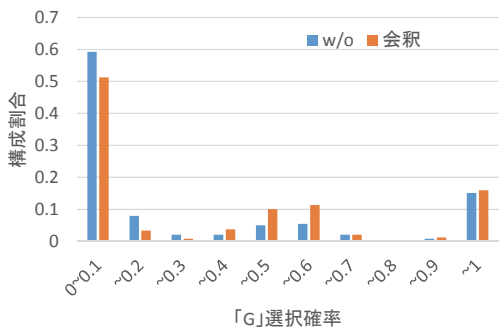


図-9: 歩行者の「G」選択確率分布の収束結果(三条通, 初期値はすべて歩行者「G」, 運転者「S」)

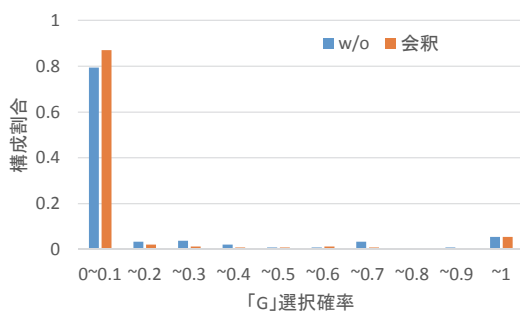


図-10: 運転者の「G」選択確率分布の収束結果(三条通, 初期値はすべて歩行者「G」, 運転者「S」)

(4) コミュニケーション手法を選択できる場合の収束結果

次に, 選択ケースの結果について考察する. 歩行者 $i$ がコミュニケーションなしで「S」「G」を選択する確率の収束値をそれぞれ $\bar{\theta}_i^{wo,S}, \bar{\theta}_i^{wo,G}$ , 会釈をして「S」「G」を選択する確率の収束値をそれぞれ $\bar{\theta}_i^{b,S}, \bar{\theta}_i^{b,G}$ とする. 歩行者が「G」を選択する確率は,

$$\bar{\theta}_i^{wo,G} + \bar{\theta}_i^{b,G} \tag{7}$$

である. 図-11に, 三条通を対象とする歩行者の「G」選択確率 $\bar{\theta}_i^{wo,G} + \bar{\theta}_i^{b,G}$ の計算結果を示す. 初期値は,  $\hat{\theta}_i^{wo,S}(0) = 1, \hat{\phi}_j^{wo}(0) = 1, \hat{\phi}_j^{b,S}(0) = 1$ とした. 比較のために図-7の結果を併記している. 選択ケースでは, 歩行者の「G」選択確率は, コミュニケーションをとらないケースと会釈を行うケースの中間程度の分布となる.

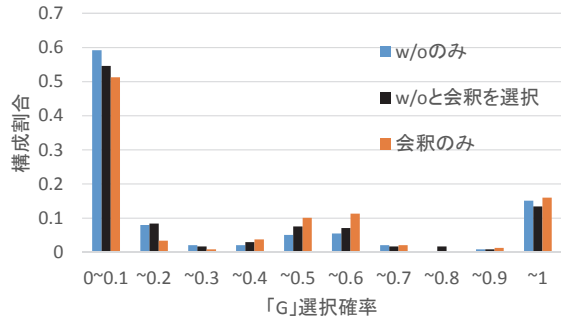


図-11: 歩行者の「G」選択確率分布の収束結果(三条通, 初期値は歩行者「コミュニケーションなし, S」, 運転者「G」)

次に, この条件下においてコミュニケーションをとらない場合と, 会釈を行う場合とでの「G」選択の条件付き確率を調べる. コミュニケーションをとらないという条件の下で, 歩行者が「G」を選択をする確率は,

$$\frac{\bar{\theta}_i^{wo,G}}{\bar{\theta}_i^{wo,G} + \bar{\theta}_i^{wo,S}} \tag{8}$$

である. また, 会釈を行うという条件の下で歩行者が「G」を選択する確率は

$$\frac{\bar{\theta}_i^{b,G}}{\bar{\theta}_i^{b,G} + \bar{\theta}_i^{b,S}} \tag{9}$$

となる. 図-12に, これらの選択確率の分布を示す. 会釈を行う条件の下での「G」選択確率は, コミュニケーションを行わない条件での選択確率に比べて高い傾向がみられた. これは, 歩車間の利得行列が互いに不明な不完全情報ゲームの下で, 歩行者が「G」の選択を希望す

る旨を運転者に効果的に示す方法として、会釈が用いられていると解釈することができる。なお、挙手を行う場合も同様の傾向が確認されたが、アイコンタクトではコミュニケーションなしとの違いは見られなかった。

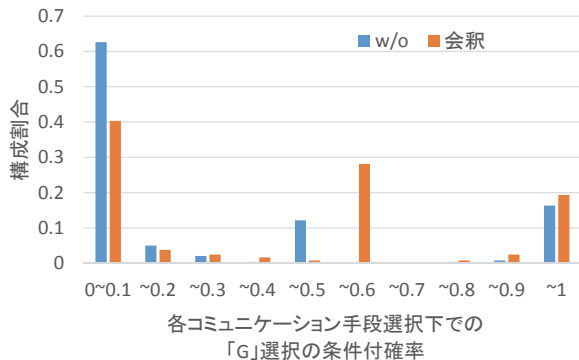


図-12：歩行者の各コミュニケーション選択条件下における選択戦略

## 5. まとめと今後の課題

本論文は、無信号横断歩道における歩車間の交錯をゲームとして表現し、道路構造やコミュニケーション方法に応じた個人の利得行列の分布やゲームの均衡解の変動状況について分析を行った。Webアンケート結果からは、全てのケースにおいて、平均的には運転者が譲り、歩行者が譲らない傾向が見られた。個人ごとの利得に着目すると、歩行者の行動によらず常に譲ろうとする運転者が8割程度であるのに対し、歩行者では確定的に戦略を定める人は運転者よりも少なく、3~4割の人が運転者の利得に応じて行動を変更しうる利得構造を持っていた。

相手の利得行列が不明な条件における繰り返しゲームの計算結果では、会釈・挙手のコミュニケーションを行うか否かを歩行者が自由に選択できる場合、コミュニケーションを取らない歩行者は譲り、コミュニケーションをとる歩行者は譲らないという傾向がみられた。これは、コミュニケーションが歩行者の横断意思の強さを運転者に伝え、譲り行動を生起するためのシグナリングとして有用であることを示唆する。また、歩行者の挙手によ

て運転者の譲り行動選択確率が向上することは実測調査によっても指摘されており<sup>5)</sup>、主観的評価に基づく本モデルと実測の行動との間に一定の整合性を確認することができた。

今回はWebアンケートによる主観評価に基づき利得行列を生成した。利得行列の生成には、利用者が回答した主観評価の利得を最適化する、という規範に従う仮定を置いているが、その前提が適切であるか、より詳細な吟味が今後必要である。さらに一般論として、このようなSPデータでは実際の行動よりも模範的な回答をする傾向があると考えられる。より信頼性の高い個人の利得の推定を行うことが課題である。

また、実際の道路利用者は同一タイミングで一度だけ意思決定を行うのではなく、時々刻々とお互いの行動を確認しながら自己の行動を更新する。時間軸を考慮した意思決定の枠組みを検討することも必要である。

**謝辞：**本研究は一般社団法人日本損害保険協会の自賠責運用益拠出事業（研究支援）助成金「優先配慮行動を促す道路上のコミュニケーションと交通安全」（研究代表者：筑波大学谷口綾子）の研究助成を受けて実施したものである。

## 参考文献

- 1) 松尾幸二郎ら：無信号横断歩道におけるドライバーの「譲り」に関する基礎的分析，土木計画学研究・講演集，Vol.48，CD-ROM，2013.
- 2) 三井達郎ら：無信号横断歩道における高齢者の横断行動と安全対策に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.15，pp.791-808，1998.
- 3) 尾崎龍樹ら：無信号横断歩道における歩車錯綜時の安全性評価，土木計画学研究・講演集，Vol.26，CD-ROM，2002.
- 4) 喜多秀行ら：ゲーム的状况下におけるプレイヤーの利得推定モデル，土木学会論文集，No.737/IV-60，pp.147-157，2003.
- 5) 田辺太一ら：ドライバーの協調行動促進に歩行者コミュニケーションが及ぼす影響，土木計画学研究・講演集，Vol.52，CD-ROM，2015.

(2015.7.31 受付)

## ANALYSIS OF GIVE-WAY DECISION MAKING BEHAVIOR IN PEDESTRIAN-VEHICLE CONFLICTS BASED ON SUBJECTIVE UTILITY EVALUATION

Miho IRYO, Ayu MIYAKAWA, Ayako TANIGUCHI and Aya KOJIMA