

妥協効果を考慮した交通サービスの 料金設計に関する基礎的検討

樋口 徹哉¹・柳沼 秀樹²・寺部 慎太郎³・海野 遥香⁴・鈴木 雄⁵

¹ 学生非会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

E-mail: 7622533@ed.tus.ac.jp

² 正会員 東京理科大学准教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

E-mail: yaginuma@rs.tus.ac.jp

³ 正会員 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

E-mail: : terabe@rs.tus.ac.jp

⁴ 正会員 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

E-mail: : unoharuka@rs.tus.ac.jp

⁵ 正会員 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

E-mail: : yusuzuki@rs.tus.ac.jp

現在、我が国では自動運転や MaaS などの新たな交通サービスに関する実証実験が各地で実施されている。これら交通サービスを実現するためには、いくつかの課題が存在しており、その一つに需要を適切に配分するための料金設計が挙げられる。行動経済学で扱うおとり効果や妥協効果は消費者選好を誘引する手法として用いられており、例えば、サブスクリプションなどの商品バンドルの料金設定により、需要のコントロールを可能にする手段となりうる。本研究では、妥協効果を記述する離散選択モデルを援用した料金設計に関する基礎的な検討を行う。具体的には、柔軟に相関構造を表現できる GNL(Generalized Nested Logit)モデルを下敷きに、選択肢間の類似性から妥協効果を記述する。さらに、仮想的な選択実験からモデルのパラメータ推定ならびに妥協効果の発生条件を考察する。

Key Words: Fee design, Behavioral economics, Compromise effects, Discrete Choice Models

1. はじめに

現在、我が国では自動運転や MaaS (Mobility as a Service) などの新たな交通サービスに関する実証実験が各地で実施されている。MaaS とは、複数の異なる交通手段を統合した輸送サービスで、ICT 技術を活用して情報提供や予約、決済をアプリ上でシームレスに実現可能とする枠組みである。国土交通省では、日本版 MaaS の推進¹⁾として、MaaS などの新モビリティを活用することで、各地域が支える様々な交通課題を解決することが期待されている。その一つに交通制御等を行うことにより人や物のコントロールを行い、交通需要を適切に配分することが求められている。

一方で、マーケティングの分野では、消費者選好を誘引する手法として、行動経済学の知見がよく用いられている。行動経済学とは、経済学と心理学を組み合わせた、

非合理的でより現実的な人間の経済活動について扱う学問であり、これを利用したマーケティング戦略が多く立てられている。行動経済学の一つである妥協効果について、高橋ら²⁾は以下のように述べている。図-1 に示すように二つの属性 (属性 1, 属性 2) をもつ選択肢 A,C が存在し、どちらの選択肢も支配的でないとき、中間の属性を持つ選択肢 B を加えた場合に選択肢 B の選択確率が最も高くなる現象のことである。もしくは同様の条件下で A,B が提示されている状況で、新たな選択肢 C を加えることにより、選択肢 B が極端な選択肢ではなくなることで選択肢 B の選択確率が高くなる現象のことである。

この妥協効果は、効用最大化と反する現象とされており、一般的なランダム効用モデルの原理と反するため、既存の離散選択モデルにおいて表現することが不可能とされている。このような合理的な判断に反する非合理的な選好関係を文脈依存効果と呼ぶ。

本研究では、この効用最大化と反する現象である妥協効果を用いた、交通需要を適切に配分するための MaaS などの交通サービスの料金設計に関する基礎的な分析方法について述べる。その分析方法として GEV (Generalized Extreme Value) モデルの一種であり、柔軟な相関関係を表現することのできる GNL モデルを用いた手法を提案する。

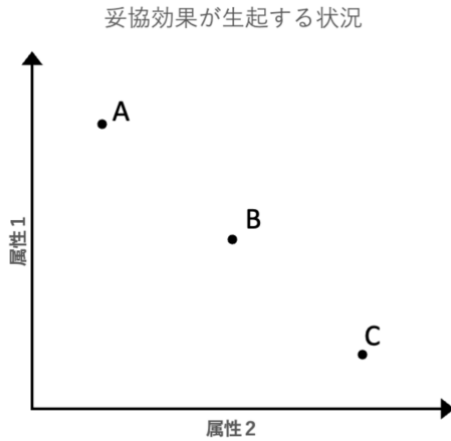


図-1 妥協効果の概略図

2. 文脈依存効果の概要

(1) 妥協効果

今回分析する妥協効果は文脈依存効果の一種である。この妥協効果に関して、高橋ら²⁾は妥協効果の発生条件に関して、(1)~(5)の条件を定義している。

a) 弱妥協効果

$$\frac{P_{B\{A,B,C\}}}{P_{A\{A,B,C\}} + P_{B\{A,B,C\}}} > P_{B\{A,B\}} \quad (1)$$

$$\frac{P_{B\{A,B,C\}}}{P_{C\{A,B,C\}} + P_{B\{A,B,C\}}} > P_{B\{B,C\}} \quad (2)$$

b) 強妥協効果

$$P_{B\{A,B,C\}} > P_{A\{A,B,C\}} \quad (3)$$

$$P_{B\{A,B,C\}} > P_{C\{A,B,C\}} \quad (4)$$

$$P_{A\{A,B\}} = P_{B\{B,C\}} = P_{C\{A,C\}} = 1/2 \quad (5)$$

ここで $P_{B\{A,B,C\}}$ は選択肢集合 A,B,C が提示されている状況で、選択肢 B を選択する確率を表しており、 $P_{B\{A,B\}}$ は選択肢集合 A,B が提示されている状況で、選択肢 B を選択する確率を表している。

各選択肢集合における各選択確率が上式の条件を満たすとき、弱妥協効果、強妥協効果が生起している。上式の $P_{A\{A,B\}} = P_{B\{B,C\}} = P_{C\{A,C\}} = 1/2$ は選択肢集合が 2 選択肢のとき、各選択肢が選ばれる確率が等しいことを表している。

妥協効果の大きさに関して、(6)~(8)の定義が示されている。α は妥協効果の大きさを表し、これは選択肢集合が {A,B,C} の時の選択肢 B の選択確率の A,C に対する比率が、選択肢集合が {A,B} もしくは {B,C} の時の選択肢 B の選択確率の A,C に対する比率から計算されている。本研究においても、分析を行う際にこの定義で示されている計算式を用いる。

$$\alpha_{B\{A,B\}} = \frac{P_{B\{A,B,C\}}}{P_{A\{A,B,C\}} + P_{B\{A,B,C\}}} - P_{B\{A,B\}} \quad (6)$$

$$\alpha_{B\{B,C\}} = \frac{P_{B\{A,B,C\}}}{P_{C\{A,B,C\}} + P_{B\{A,B,C\}}} - P_{B\{B,C\}} \quad (7)$$

$$\alpha = \min \{ \alpha_{B\{A,B\}}, \alpha_{B\{B,C\}} \} \quad (8)$$

(2) 相対効用理論

通常の効用理論で用いられる効用においては、人々は該当する選択肢の属性の影響のみを考慮した選好を行っていることを仮定している。しかし、実際の選択においては、該当する選択肢の属性の影響だけでなく、選択肢集合に含まれる他の選択肢の影響や、他人の選択結果の影響、過去に選択した結果の影響などが存在する。そのなかで、選択肢集合に含まれるの他の選択肢の影響を考慮する考えの一つに Coleman の相対効用差の概念³⁾が存在する。Coleman の相対効用差の指標の定義を(9)に示す。

$$y_{i,j} = (u_{i,1,j} - u_{i,2,j}) / \sum_j |u_{i,1,j} - u_{i,2,j}| \quad (9)$$

ここで、i は個人、j は選択肢を示す。u_{i,1,j} は個人 i が仮に選択肢 j を選んだ場合に得られる効用、u_{i,2,j} は個人 i が実際に選択した結果の効用を表す。実際に選択した結果の効用と、他の選択肢を選択した場合の効用の大きさを比較することで、相対的な損得の評価を定量的に示すことを可能にしている。以下に例を示す。

仮定 1: ある個人 i の i の実際の選択結果を B とし、効用 V は(10)であるとする。(選択肢群=A,B,C)

$$V_A = 10, V_B = 12, V_C = 14 \quad (10)$$

この時の相対効用差 y_{i,j} は、(11)の値を得る。

$$y_{i,A} = -1/2, y_{i,B} = 0, y_{i,C} = 1/2 \quad (11)$$

このように、実際に選択した結果との比較に基づく効用差 $y_{i,j}$ は正の値と負の値の両方をとる。これは、個人 i が実際の選択結果である B を選ばなかった時に損得が生まれることを意味し、正值の場合、選ぶことにより得をしたこと、負値の場合に損をしたことを表している。実際に選んだ選択肢 $u_{i,1,j}$ が、仮に選んだ選択肢 $u_{i,2,j}$ と一致する時は $y=0$ となり、これは損得が生まれないことを表している。また、この数値の大小は損得の大きさを表していて、値が大きいほど個人 i にとっての損得が大きいことを意味する。

Caleman は、 $y_{i,j}$ の絶対値 $|y_{i,j}|$ を **relative interest** と定義している。この **relative interest** は、実際に選択した結果と他を選択した結果の相対的な差を表す。

仮定 1 の場合の **relative interest** の値を(12)に示す。

$$|y_{i,A}| = 1/2, |y_{i,B}| = 0, |y_{i,C}| = 1/2 \quad (12)$$

ここで、個人 i が実際に選んだ選択肢 B を、個人 i にとっての最適な選択であると仮定する。すると、仮に他の選択肢 A,C を選んだ場合、 $|y_{i,j}| = 1/2$ となる。

個人 i にとっての最適な選択は選択肢 B であるので、この **relative interest** の値が大きいほど、選択肢 B を選ばずに他の選択肢を選んだ時の後悔が大きいと解釈することができる。なお、個人 i の各選択肢 j に対する **relative interest** の総和は 1 であることに注意したい。

$$|y_{i,1}| + |y_{i,2}| + |y_{i,3}| + \dots + |y_{i,j}| = \sum_j |y_{i,j}| = 1 \quad (13)$$

このように、実際の選択結果との差異を定義することで、人々の主観的な個人属性として今まで文脈依存効果として扱われてきた他の選択肢との比較を表現することができる。なお本研究において、**relative interest** の値は効用関数に基づいて計算されていることに注意が必要である。

3. GNL モデルを用いた妥協効果の表現

(1) モデル概要

本研究では、GNL(Generalized Nested Logit)を用いる。既存のモデルである MNL モデルは選択肢の類似性を考慮できず、IIA 特性の問題などが発生してしまう。その問題を考慮するために開発された NL モデルでは一つのネストへの帰属しか許していない (図-2)。

一方で、GNL は複数のネストへの帰属を許すため、既存のモデルで表現不可能とされていた複雑な相関構造を表現可能となっている (図-3)。これを可能にしたのが、「スケールパラメータ」と「アロケーションパラメータ」の存在である。スケールパラメータとは、ネス

ト下にある選択肢の類似度を表し、擬似的に相関を定義することを可能にしたものである。アロケーションパラメータとは選択肢の各ネストに対する帰属度を定義することを可能にしたものである。このアロケーションパラメータの存在が、複数ネストへの帰属を可能とし、様々な客観的基準でネスト構造を作ることができるようになった。

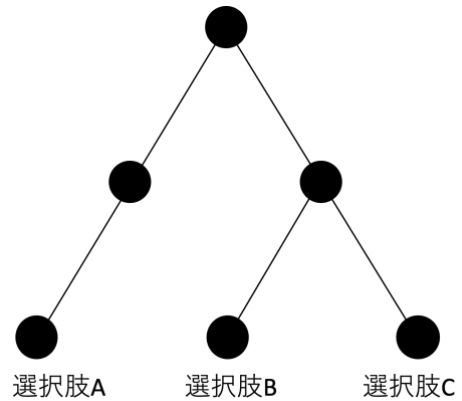


図-2 NLモデルの構造

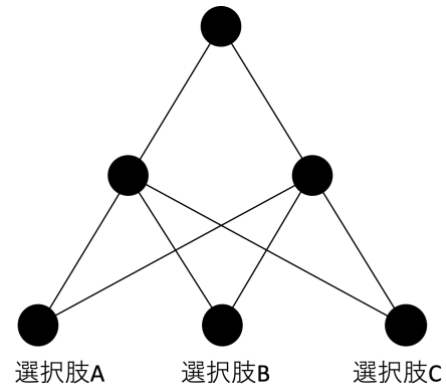


図-3 GNLモデルの構造

(2) モデルの定式化

GNL における選択確率式は(14)~(16)に示す通りである。

$$P(n) = \sum_m P(n|m)P(m) \quad (14)$$

$$P(n|m) = \frac{(\alpha_{nm}e^{v_n})^{1/\mu_m}}{\sum_{n \in N_m} (\alpha_{nm}e^{v_n})^{1/\mu_m}} \quad (15)$$

$$P(m) = \frac{(\sum_{n \in N_m} (\alpha_{nm}e^{v_n})^{1/\mu_m})^{\mu_m}}{\sum_m (\sum_{n \in N_m} (\alpha_{nm}e^{v_n})^{1/\mu_m})^{\mu_m}} \quad (16)$$

ここで、 m はネスト、 n は選択肢であり、 $P(n|m)$ はネスト m を選択したときに n を選択する条件付き確率、

$P(m)$ はネスト m を選択する確率, $P(n)$ は各選択枝の選択確率である. α はアロケーションパラメータであり, ネストの選択枝への寄与度を示している. (17), (18)の制約のもとで設定され, 値が大きいほど寄与率が高い.

$$0 < \alpha < 1 \tag{17}$$

$$\sum_m \alpha_{nm} = 1 \tag{18}$$

μ はスケールパラメータでネスト下の選択枝の類似性を表し, (19)の制約のもとで設定され, 値が小さい方が類似性が高い.

$$0 < \mu < 1 \tag{19}$$

(3) 文脈依存効果を加味したモデル構造

本研究では, 離散選択モデルを用いて妥協効果を表現するために, Coleman の relative interest の概念を, GNL モデルにおけるアロケーションパラメータを用いて表現する. 具体的な例と構造を図-4 に示す.

仮定 2: ある個人 i の relative interest を(20)のように仮定する.

$$|y_{i,A}| = 0, |y_{i,B}| = 0.4, |y_{i,C}| = 0.6 \tag{20}$$

この relative interest をアロケーションパラメータに代入すると, $a=0, b=2/5, c=3/5$ となる. アロケーションパラメータ ar が $\sum_m \alpha_{nm} = 1$ の制約条件であることを加味したモデル構造が図-5, アロケーションパラメータ数値を表-1 に示す. この時, ネスト 1 下におけるアロケーションパラメータの値を, 選択することによって損をする大きさ, ネスト 2 下におけるアロケーションパラメータを, 選択することによって得をする大きさと解釈できる.

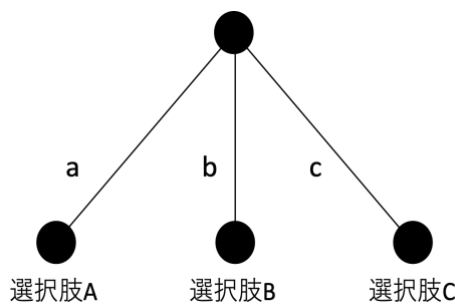


図-4 relative interest を適用した GNL モデルの構造

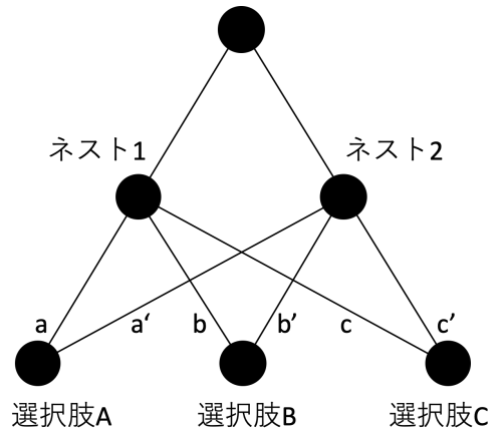


図-5 今回用いるネスト構造

表-1 アロケーションパラメータの設定値例

ar	値
a	0
b	2/5
c	3/5
a'	1
b'	3/5
c'	2/5

4. 使用データと分析内容

(1) 調査方法

今回の分析では, 妥協効果を測定することを目的としたため, 大学生が購買意識を持つ商品として, スマートフォンを提示した. なお, MaaS の購買意欲に関する調査は今後の課題である. 図-6 は実際に学生に提示したアンケートである.

調査対象と時期: 東京理科大学工学部土木工学科の1年生 (82 名) 調査は, 授業時間内に実施した. 調査時期 2022 年 8 月

質問紙: 調査対象者に対して次のような調査目的を提示した. ”今回は消費者の購買行動に関する研究として以下のアンケートを作成いたしました. ご協力のほどよろしくお願いいたします. (このアンケート結果は本研究の分析以外の目的で使用されることはありません) ”

質問：スマホの機種変をするために以下のどれかのスマホを買おうと仮定します。どのスマホを購入しますか？（同ブランド，他の機能は同じ）

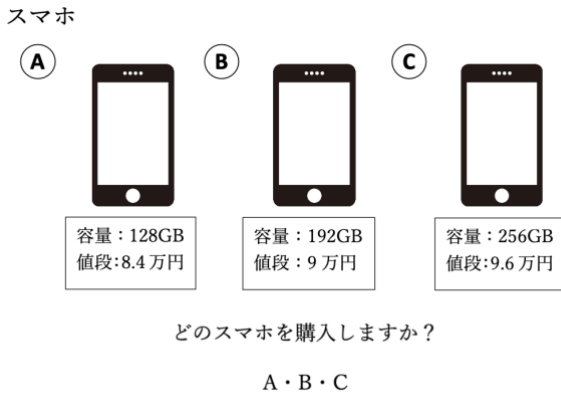


図-6 実際に提示したアンケート

(2) データ概要

今回のアンケート調査では，属性として，スマートフォンの容量と料金の2つを設定している。また，料金を変数として，選択肢 A,C の料金を選択肢 B に対して同じ間隔で変動させたアンケートを 30 通り作成した。これらのアンケートを無作為に学生に提示することで，離散選択モデルで扱うことのできるデータを収集した。図-7 にそのデータの集計結果を示す。横軸は中央値（選択肢 B）に対する，選択肢 A,C の料金幅を示し，縦軸がその料金幅における選択確率を表す。

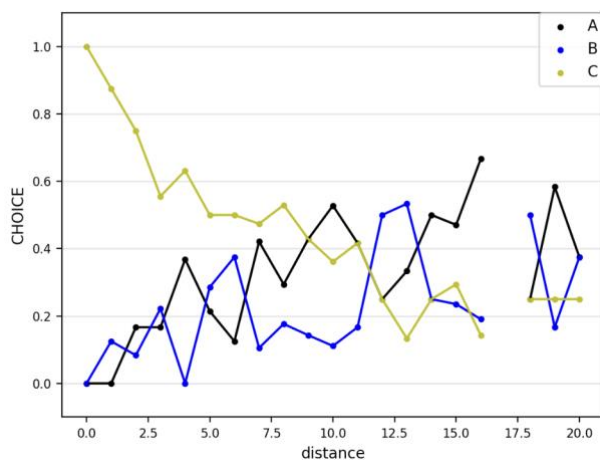


図-7 アンケート集計結果

(3) パラメータ推定結果の比較

本研究では，4 章において定義した *relative interest* の値を導出するために，一旦 MNL でパラメータ推定を行い，そこから得たパラメータをもとに個人ごとの相対効用を算出した。MNL と GNL で用いた効用関数を(21)に示す。

$$V = ASC + B_1 * capacity + B_2 * COST \quad (21)$$

ASC は定数項， B_1 はスマホ容量のパラメータ， B_2 は料金のパラメータである。本研究では，MNL, GNL におけるパラメータ推定結果の比較を行なった。表-2, 表-3 にその結果を示す。

a) MNL

表-2 パラメータ推定結果(MNL)

変数名	パラメータ	t 値
定数項	0.901	6.52
定数項	0.181	1.31
容量	0.2	-7.2
費用	-0.823	9.51
サンプル数	344	
修正済み尤度比的中率	0.868	
	0.541	

b) GNL

表-3 パラメータ推定結果(GNL)

変数名	パラメータ	t 値
定数項	2.213	3.73
定数項	1.32	2.19
容量	0.466	-4.15
費用	-2.252	4.76
サンプル数	344	
修正済み尤度比的中率	0.938	
	0.616	

MNL と GNL モデルのパラメータ推定結果を比較すると，GNL モデルにおいて尤度比，的中率が共に向上した。これは，従来では離散選択モデルで表現不可能とされた個人の主観に基づく選択行動において，一定の解釈を可能にしたと考えられる。

(4) 妥協効果の表現力の比較

3章では、弱妥協効果と強妥協効果を定義したが、強妥協効果は式(5)の厳しい制約条件を持っている。そのため、本研究の分析においては、弱妥協効果の指標を用いた。(22)に再度この指標を示す。

$$\alpha = \min \{ \alpha_{B\{A,B\}}, \alpha_{B\{B,C\}} \} \quad (22)$$

以下では、料金幅に対する選択確率を記述し、それに対する弱妥協効果の大きさをどの程度表現できているか、MNL,GNLで比較した。図-8、図-10が、選択枝間の料金幅に対する選択確率の変化を表し、図-9、図-11が選択枝間の料金幅に対する妥協効果の大きさの変化を表す。

図-8、図-10を比較すると、モデルごとの選択確率に大きな差は見られない。しかし、どちらのモデルにおいても、選択枝Bの選択確率は3選択枝の中で最も低い。そのため、今回提示したアンケートにおいて、選択枝Bは中庸な選択枝ではなく、中途半端な選択枝であるという表現が適していると考える。この、中庸な選択枝と中途半端な選択枝の差については議論の余地がある。図-9、図-11を比較すると、MNLにおいては料金幅の変化に対して、妥協効果の大きさに変化は見られない一方で、GNLにおいては妥協効果の大きさが大きく変化している。ここで、妥協効果が発生させるためには、以下の条件を満たす必要があることを再確認する。

「妥協効果は、二つの属性による属性空間においてA, BCいずれの選択枝も支配的でない状況で、その中間の属性を持つ新たな選択枝Bを加えた場合、中庸な新たな選択枝Bの選択確率が高くなる」

図-10より、属性間距離=13においてこの条件を満たす。図-11における妥協効果の最大値が属性間距離=13の時であり、図-10に示す選択枝Bの選択確率が最も高くなる時と一致する。そのため、選択枝A,Cのどちらも支配的でない状況下において、選択枝Bの相対的な選択確率が上昇していることを表現できている。これは、GNLモデルにおいて、弱妥協効果を再現できていると考察する。

a) MNL

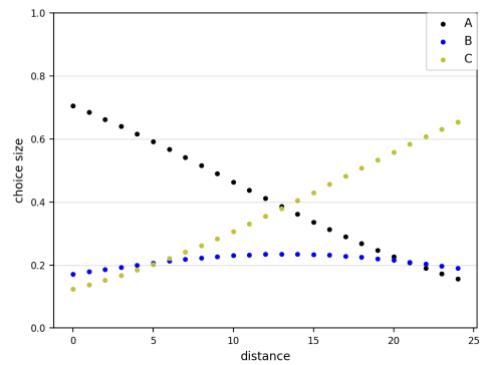


図-8 選択枝間の料金幅による選択確率の変化(MNL)

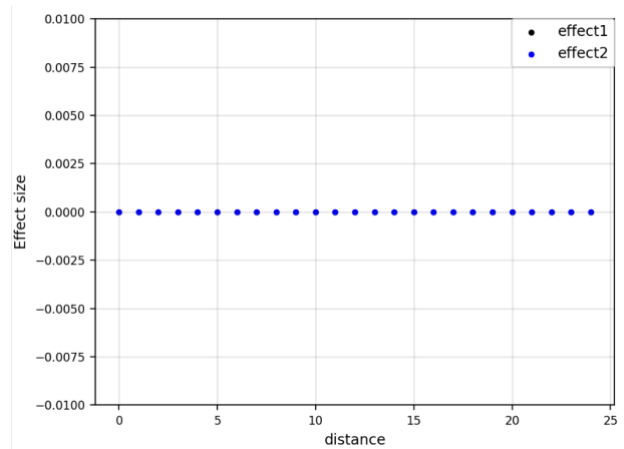


図-9 料金幅による妥協効果の大きさの変化(MNL)

b) GNL

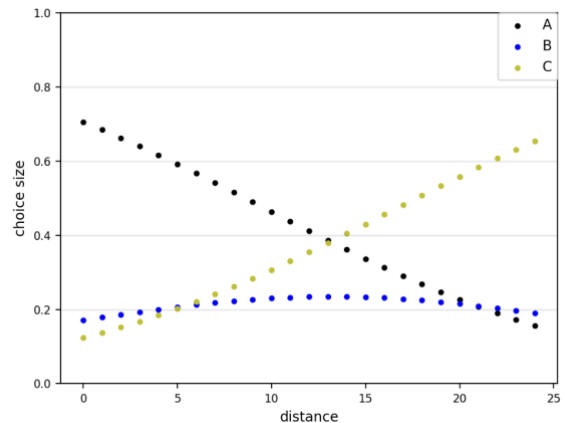


図-10 選択枝間の料金幅による選択確率の変化(GNL)

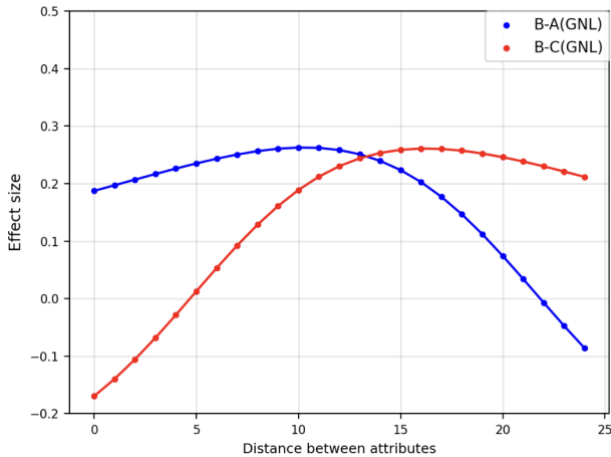


図-11 料金幅による妥協効果の大きさの変化(GNL)

5. まとめと今後の展望

(1) まとめ

本研究では、妥協効果を用いた MaaS の料金設計に、柔軟の相関関係を表現することのできる GNL モデルを用いた手法について検討した。具体的には、学生が購買意欲のある商品を対象としたアンケート調査によりデータを集計し、そのデータをもとに効用最大化と反する文脈依存効果の一種である妥協効果を、GNL モデルで表現した。

GNL モデルにおいて、Coleman の相対効用理論に基づいたパラメータ設定を行なったところ、尤度比の向上が見られた。また、MNL,GNL において表現された妥協効果の大きさを比較したところ、GNL モデルにおいて従来の妥協効果の定義と整合性のとれた変化がみられた。これらのことから、従来の離散選択モデルでは表現不可能とされた個人の選好に基づく選択行動について、一定の解釈を可能にしたと考えられる。

(2) 今後の展望

今後の展望として以下の 2 点が課題として挙げられる。1 点目は、妥協効果を用いた交通サービスについての政策について検討し、さらなる分析を行うことである。

今回分析した妥協効果は、3 選択肢の状況下で発生するとされている。そのため、実際の交通サービスの設計を行う際に、この知見は汎用性に欠ける。そこで、今後は妥協効果を援用することのできる状況や、プラン設計についても検討していく。

2 点目は、さらなるアンケート調査を行い、実際の選択行動を把握し、妥協効果の大きさを測定することである。アンケート調査において、2 選択肢を提示した場合と 3 選択肢を提示した場合の比較を行うことで、モデルで表現された妥協効果の大きさと、実際に観測される妥協効果の大きさを比較する。今後はこれらの課題解決を目指し、研究を進めていく。

参考文献

- 1) 国土交通省：日本版 MaaS の推進，
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/japanmaas/promotion/>，最終閲覧 2022 年 9 月
- 2) 高橋啓，大野高裕：効用最大化と矛盾する心理的効果の GEV モデルにおける表現，日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌，Transactions of the Operations Research Society of Japan Vol. 57, 2014, pp. 67–91
- 3) Coleman, J.S. : The Mathematics of Collective Action, Aline Publishing Company, Chicago, Chapter 3, 1973.
- 4) 張峻屹，杉恵頼寧，藤原章正，玉置善生：相対性効用の概念に基づく交通機関 SP パネルデータの分析，土木計画学研究・論文集 Vol.19no.3, 2002 年 9 月

(2022. 9. 30 受付)

Fundamental study on fee design for transportation service considering compromise effects

Tetsuya HIGUCHI, Hideki YAGINUMA, Shintaro TERABE,
Haruka UNO, Yu SUZUKI

Japan is currently conducting demonstration tests of new transportation services such as MaaS. One of the challenges in realizing these transportation services is to design fees for appropriate demand allocation. In this study, we conduct a basic study on fee design using the compromise effect. Using the Generalized Nested Logit (GNL) model, which can represent the correlation structure flexibly, we describe the compromise effect based on the similarity between alternatives and consider the conditions for its occurrence.