Decision Field Theoryを用いた文脈効果のモデリングと配送サービス料金設計への適用

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　創域理工学研究科社会基盤工学専攻（〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641）
E-mail: 76222533@ed.tus.ac.jp
[2]正会員　東京理科大学准教授　創域理工学部社会基盤工学科（〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641）
E-mail: yaginuma@rs.tus.ac.jp (Corresponding Author)
[3]正会員　東京理科大学教授　創域理工学部社会基盤工学科（〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641）
E-mail: terabe@rs.tus.ac.jp
[4]正会員 茨城大学大学院助教 理工学研究科（〒 316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1）
E-mail: haruka.uno.uj38@vc.ibaraki.ac.jp
[5]正会員　東京理科大学助教　創域理工学部社会基盤工学科（〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641）
E-mail: yusuzuki@rs.tus.ac.jp

現在，トラックドライバーの労働時間短縮による輸送能力の不足が社会的な問題となっており，顧客の配送需要マネジメントを展開することによる，さらなる配送効率化が求められている．そのためには，配送需要を適切に配分するための料金設計の検討が必須となる．サービス料金の設計に関しては，文脈効果等の効用最大化と矛盾する選択行動を考慮した行動経済学的なアプローチが必須となるが，従来の手法ではこのような選択行動を適切に記述することが困難である．そこで本研究では，選好の時系列変化を内包したモデルである Decision Field Theory(DFT) を用いることで，文脈効果を考慮した選択行動のモデリングを試みる．さらに，配送サービスの料金設計に適用することで，配送需要の効率化に資する知見を獲得することを目指す．本研究を通じて，行動経済学的な視点を取り入れた効果的なメカニズムデザインの可能性を示す．

Key Words: *Behavioral economics, Context effects, Decision Field Theory, Fee design, Delivery service*

1. はじめに

近年，我が国では配送サービスの需要が増加するとともに，輸送能力の不足が社会的な問題となっている．国土交通省[1)] によると，2030 年には輸送能力の約 34.1% が不足すると予測されている．さらに，2024 年 4 月 1 日以降，自動車運転業務における年間の時間外労働時間が最大 960 時間に制限されることから，配送経路の更なる効率化や特定日時に対する需要集中の解消などが求められている．

このような物流課題を解決するために，顧客，トラック事業者，荷主のそれぞれに対して，様々なアプローチが試みられており，その一つに顧客の需要を適切に配分するための料金設計が挙げられる．一般的な配送サービスにおいては，顧客は自らのスケジュールに合わせて，予め指定された配送プランから，日時や配送方法を選択する．そして，その後配送業者は決定された条件に基づいて配送経路を決定する．

そのため，適切な配送プランの料金設計による顧客の需要マネジメントは,「配送経路の圧迫」や「特定日時に対する需要集中」等の顧客の配送プラン選択に起因する課題を解決する効果的な手法になりうる．一般的に，顧客の選択行動を記述する際には効用最大化に基づく合理的な選択を仮定している．しかし，実際の選択行動は知覚バイアスから発生する文脈効果等の効用最大化と矛盾する現象が発生するため，一般的な選択行動モデルで適切に記述することは困難である．そのため，選択行動に対して行動経済学的な視点を取り入れるためには，人々の実際の選択場面において発生する複雑な現象や，より現実に近い選択行動を記述することが可能なモデルが必要である．そこで，本研究では人間の意思決定過程を考慮したモデルである Multialternative DecisionField Theory を用いることで，効用最大化と反する現象である文脈効果を既往研究よりも詳細に記述し，行動経済学的な視点から物流の需要マネジメントを行うための知見を示す．

2. 既往研究のレビューと本研究の位置付け

(1) 既往研究のレビュー

a) 配送サービスに関する既往研究

これまでの研究により，配送に関連する問題に対する取り組みは数多く提案されている．Oyama ら[2)] は，配送日数の価値 (VODT) と配送時間スロット幅の価値

(VOTS) に焦点を当てた SP 調査を行い，ユーザーの選好分析を行った．その結果，VODT は最大で 219.4 円/日であるにも関わらず，中央値は 1 日あたりわずか 25.6 円であることを示している．また，VOTS は中央値 5.0 円/時間で分布していることから，ユーザーが時間帯の縮小を金銭的に高く評価していないことを明らかにした．この結果から，料金をわずかに変化させるだけで配送時間帯のサイズを長くすることが可能であり，ユーザーの満足度を大幅に低下させることなく配送効率を大幅に向上させる可能性があることを示唆している．

b) DFT に関する既往研究

最近の行動モデルの領域では，意思決定過程を記述する手法の 1 つとして Decision Field Theory（以下 DFT）が注目されている．DFT は，Busemeyer and Townsend[3)4)] によって提唱された動的な選択確率モデルの一種であり，人間の選択行動をより厳密に捉えるために開発された．その後も DFT は様々な研究によって発展を遂げており，Roe ら[5)] は，Multialternative Decision Field Theory (以下 MDFT) を用いることで,「妥協効果」「類似効果」「魅力効果」という異なる 3 の文脈効果を一つのモデルで表現することに成功している. また，近年ではモデルの数学的な構造を改良することで，限られた条件下での選択実験だけでなく，交通行動等の実データなどを用いた，離散選択分析への活用に焦点が当てられている．Hancock ら[6)] は，DFT の理論を拡張し，実世界における行動やより多様な文脈に適用することを試みた．そして，London Passenger Mode Choice (LPMC) のデータを用いた分析の結果，社会人口学的変数を取り入れた分析が可能であることや，従来の MNL モデルなどの手法に比べてより高い精度が得られている．

(2) 本研究の位置づけ

これまでの物流に関する既往研究において，効用最大化と矛盾する選択行動を考慮した行動経済学的なアプローチで課題に取り組んだものは見当たらない．さらに，配送サービスの選択行動分析においては，従来のランダム効用最大化という合理的な選択行動を仮定したモデルが使用され，非合理的な選択行動はあまり考慮されていない．

したがって，本研究では，配送サービスの選択に焦点を当てた SP 調査を行いデータを収集し，意思決定過程の動的な性質をモデル化した MDFT モデルを用いて，複雑な選択行動を記述することを目指す．さらに，従来の手法では適切に記述することが困難であった「非合理的な選択行動」を含めた選択行動のモデリングを行う．そして，適切な配送サービスの料金設計を行い，行動経済学的な視点から物流の課題解決に資するための新たな知見を示す．

3. 選択行動における文脈効果

文脈効果とは，知覚バイアスから発生する効用最大化と矛盾する選択行動のことである．具体的には「妥協効果」「魅力効果」「類似性効果」という異なる 3 つの現象のことを指す．

(1) 妥協効果

妥協効果とは，2 つの選択肢 A,B のどちらの選択肢も劣っていない属性空間上で，選択肢 A,B の中間の属性を持つ選択肢 C を追加した時，選択肢 C の相対的な選択確率が上昇する現象のことを指す．高橋ら[7)] は，妥協効果を条件の強弱によって「弱妥協効果」「強妥協効果」の 2 つに分類し，以下のように定義している．

まず，式 (1)，式 (2) のような選択肢属性=[1, 2] で構成された属性空間において，互いに劣っていない選択肢 A，B とその中間の位置に選択肢 C が存在する状況を仮定する．

$$A1 > C1 > B1 \tag{1}$$

$$B2 > C2 > A2 \tag{2}$$

a) 弱妥協効果

各選択肢集合において各選択確率がそれぞれ式 (3)，式 (4) を同時に満たす時，弱妥協効果が生起しているという．

$$\frac{Pr[C|\{A,B,C\}]}{P[A|\{A,B,C\}] + P[C|\{A,B,C\}]} > Pr[C|\{A,C\}] \tag{3}$$

$$\frac{Pr[C|\{A,B,C\}]}{Pr[B|\{A,B,C\}] + P[C|\{A,B,C\}]} > Pr[C|\{B,C\}] \tag{4}$$

ここで，$Pr[C|\{N\}]$ は選択肢集合 N の中から選択肢 C を選ぶ確率を表している．なお，式 (3)，式 (4) のどちらかしか満たしていない場合，妥協効果ではなくポラリゼーションと呼ぶ.
また，高橋ら[7)] では，弱妥協効果の大きさは式 (3)，式 (4) それぞれの式の，左辺から右辺を引いた値の最小値としている．

b) 強妥協効果

各選択肢集合において各選択確率がそれぞれ式 (5)，式 (6)，式 (7) を同時に満たす時，強妥協効果が生起し

ているという．

$$Pr[A|\{A,B\}] = Pr[A|\{A,C\}] = Pr[B|\{B,C\}] = \frac{1}{2} \tag{5}$$

$$Pr[C|\{A,B,C\}] > Pr[A|\{A,B,C\}] \tag{6}$$

$$Pr[C|\{A,B,C\}] > Pr[B|\{A,B,C\}] \tag{7}$$

ここで，$Pr[C|\{N\}]$ は選択肢集合 N の中から選択肢 C を選ぶ確率を表している．

(2) 魅力効果

魅力効果とは，2 属性を持つ二つの選択肢 A,B が存在している属性空間上で，選択肢 A に類似しているが，選択肢 A よりも劣った属性を持つ選択肢 D を追加した場合に選択肢 D が「おとり」となり，選択肢 A の相対的な選択確率が上昇する現象の事を指す．高橋ら[7] は，魅力効果についても条件の強弱によって「弱魅力効果」「強み力効果」の 2 つに分類し，以下のように定義している．

まず，式 (8)，式 (9) のような選択肢属性 = $[1,2]$ 構成された属性空間上に存在する互いに劣っていない選択肢 A と B のうち，選択肢 A に属性は類似し，かつ選択肢 A よりも劣っている選択肢 D が存在する状況を仮定する．

$$A1 > D1 > B1 \tag{8}$$

$$B2 > A2 > D2 \tag{9}$$

a) 弱魅力効果

各選択肢集合において各選択確率が式 (10) を満たす時，弱魅力効果が生起しているという．

$$\frac{Pr[A|\{A,B,D\}]}{Pr[A|\{A,B,D\}] + Pr[B|\{A,B,D\}]} > Pr[A|\{A,B\}] \tag{10}$$

ここで，$Pr[A|\{N\}]$ は選択肢集合 N の中から選択肢 A を選ぶ確率である．また，弱魅力効果の大きさ δ_A は以下のように定義されている．

$$\delta_A = \frac{Pr[A|\{A,B,D\}]}{Pr[A|\{A,B,D\}] + Pr[B|\{A,B,D\}]} - Pr[A|\{A,B\}] \tag{11}$$

b) 強魅力効果

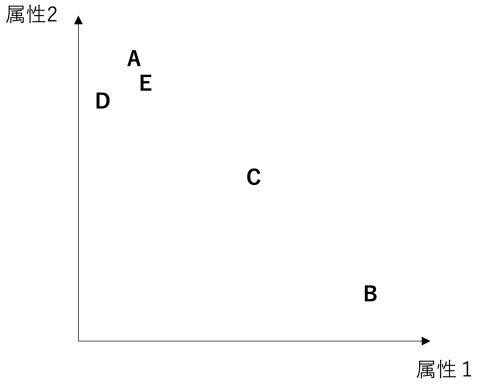
各選択肢集合において各選択確率が式 (12) を満たす時，強魅力効果が生起しているという．

$$Pr[A|\{A,B,D\}] > Pr[A|\{A,B\}] \tag{12}$$

(3) 類似性効果

類似性効果とは，既存の選択肢 A と類似し，かつ劣っていない新たな選択肢 E を追加したとき，その追加した選択肢 E が，既存の選択肢の相対的な選択確率を減少させる現象のことを指す．なお，類似性効果については，Nested Logit モデル等を用いることで効用最大化と対応させることができている．また，今回はこの類似性効果については分析の対象外としている．

これら 3 つの文脈効果が生じる際の，選択肢の相対的な位置関係を**図–1** に示す．



図–1 文脈効果が生じる際の選択肢の相対的な位置関係

4. 本研究で用いる選択行動モデル

本研究では，合理的な選択行動を仮定した Multinomial Logit Model(以下 MNL モデル) と，MDFT モデルを用いてその分析結果を比較する．

(1) MNL

選択肢の属性を $[1,2,\cdots j]$，効用関数を式 (13) とすると，選択肢集合 C の中から選択肢 k を選ぶ確率 $Pr[k|N]$ は式 (14) で表すことができる．

$$V_{k|N} = \beta_{1,k} \cdot x_{1,k} + \beta_{2,k} \cdot x_{2,k} \cdots + \beta_{j,k} \cdot x_{j,k} \tag{13}$$

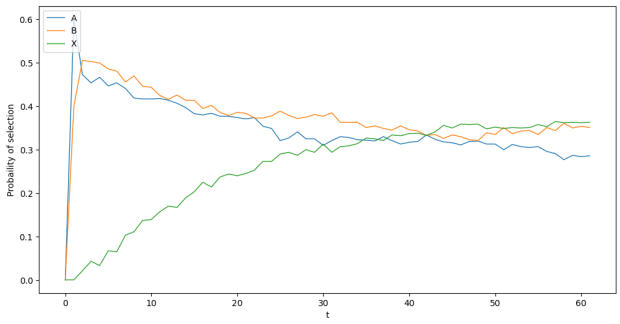
$$\Pr[k|N] = \frac{\exp(\mu V_k)}{\sum_k \exp(\mu V_k)} \tag{14}$$

(2) Decision Field Theory

a) モデルの概要

DFT は，Busemeyer and Townsend[3)4)] によって導入された動的な選択確率モデルである．このモデルの最大の特徴は，ある意思決定者が複数の選択肢とその選択肢属性を考慮しながら，その選好が時間とともに更新

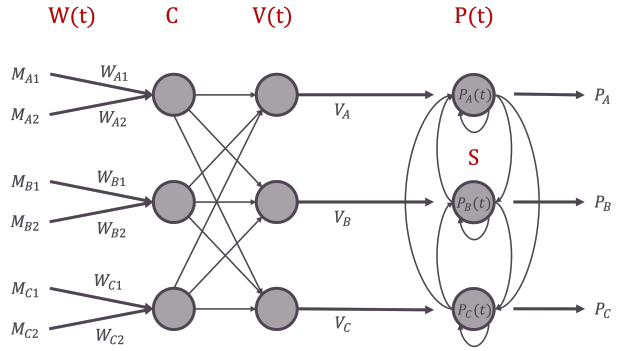
されることを表現している点である．**図–2** は，選好値が時間とともに更新される現象を記述した例[6] である．



図–2 時間経過よる選好値の変化

b) MDFT モデルの基本構造

MDFT モデルの構造と，選択確率が導出されるまでの流れを**図–3** に示す．



図–3 MDFT モデルの構造

MDFT モデルにおいては，各タイムステップで選好値 $P_k(t)$ を計算する．
時刻 t における選好値 $P_k(t)$ は以下のようにで定義されている．ここで，t は経過したタイムステップ数である．

$$P_k(t) = S \cdot P_k(t-1) + V_k(t) \tag{15}$$

S はフィードバック行列であり，以下のように定義されている．

$$S = I - \phi_2 * exp(-\phi_1 * D^2) \tag{16}$$

ここで I は単位行列である．ϕ_2 以前の時間までに蓄積された選好が減衰することを示すパラメータで，より最近の時間に注目した属性が意思決定者にとって重要になることを表現している．ϕ_1 は選択肢同士が互いに競合することを示すパラメータである．D はユークリッド距離を用いて表現された選択肢間の属性間距離である．

V は価値ベクトルであり，以下ののように定義されている．

$$V_k(t) = C \cdot M_k \cdot \beta \cdot W_k(t) + \varepsilon(t) \tag{17}$$

ここで，C は，属性を再スケールするために用いられるコントラスト行列，M は属性行列，β は各属性値に対応する属性スケーリング係数である．$W_k(t)$ は各タイムステップにおいて意思決定者どの属性に注目しているかを示す重みであり，各選択肢属性をランダムに注目するように設定されている．また，$\varepsilon(t)$ は選択肢間で同一かつ独立している誤差項である．
C はコントラスト行列であり，以下のように定義されている．

$$C = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & -1/(N-1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ -1/(N-1) & \cdots & 1 \end{bmatrix} \tag{18}$$

c) 選択確率の導出

MDFT モデルでは，時刻 t における選択肢 A の選好値が，B,C よりも高い時に A が選択肢集合 A,B,C から選ばれる．Roe ら[5] は，時刻 t における選択確率を求めるためには，選択肢の期待値 $\xi(t)$ と選好値の共分散と $\Omega(t)$ が必要であることを示している．
期待値 $\xi(t)$ は以下のように定義されている，

$$\begin{aligned} \xi(t) &= E[P_k(t)] \\ &= (I-S)^{-1}(I-S^t) \cdot \mu + S^t \cdot P(0) \end{aligned} \tag{19}$$

共分散 $\Omega_k(t)$ 以下のように定義されている，

$$\Omega_k(t) = Cov[P_k(t)] = \sum_{r=1}^{t-1} [S^r \cdot \Phi \cdot S^{r'}] \tag{20}$$

ここで，Φ と μ ははそれぞれ以下のように定義する．

$$\Phi = C \cdot M \cdot Cov[W(t)] \cdot M' \cdot C' + Cov[\varepsilon(t)] \tag{21}$$

$$\mu = C \cdot M \cdot W_m \tag{22}$$

$$W_m = [W_1, W_2, W_3 \cdots W_a]' \tag{23}$$

以上より，時刻 t における選択肢 k の選択確率 $\Pr[P_{k|N}(t)]$ は以下のように示される．

$$\begin{aligned} &\Pr[P_{k|N}(t)] \\ &= \Pr[P_A(t) - P_B(t) > 0 \cap P_A(t) - P_C(t) > 0] \\ &= \int_{X(t)>0} \exp\left[\frac{-(X(t)-\Gamma(t))'\Lambda(t)^{-1}(X(t)-\Gamma(t))}{2}\right] \\ &\qquad /(2\pi|\Lambda(t)|^{0.5})\, dX \end{aligned} \tag{24}$$

ここで X, Γ, Λ, L はそれぞれ以下のように定義する．

$$X = [P_A(t) - P_B(t),\ P_A(t) - P_C(t)]' \tag{25}$$

$$\Gamma = L\xi \tag{26}$$

$$\Lambda = L\Omega_t L' \tag{27}$$

$$L = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{28}$$

5. 配送サービス料金設計への適用

(1) 本調査，使用データの概要

本研究では，分析を行うために**図–4** のような SP 調査を行った．調査内容は物流サービスの配送時間スロット幅に対する選好調査である．また，得られたデータをもとに MNL，MDFT モデルの両モデルで選択行動を記述し，比較することを目的としている．調査対象者は，東京理科大学の 1 年生（123 名）であり，調査は 2023 年 9 月の授業時間内に実施した．

提示した選択肢は，選択肢集合が {A,B} で構成されており，選択肢属性と水準はそれぞれ「配送料 (4 水準)」「配送時間スロット幅 (4 水準)」で設定されている**表–1**．加えて，本調査では対象者が想定する商品やその金額が異なる場合に感応度逓減性が発生し，配送料に対して感じる価値が異なってしまうことを回避するために，商品価格を 1500 円に固定している．また，再配達料を 200 円に固定している．

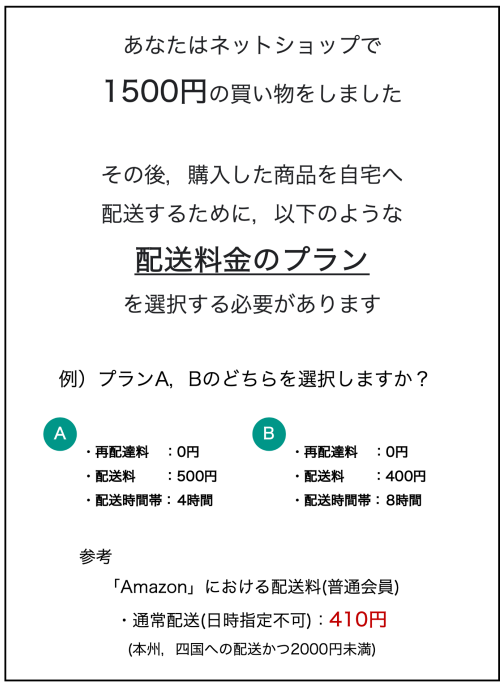
表–1 提示する選択肢に関する情報

選択肢属性	水準
配達料 (円)	[400,500,600,700]
配送時間スロット幅 (時間)	[2,4,6,8]

(2) 推定結果

前述の SP 調査から得られた 615 サンプルを使用し，R のパッケージである appolo[8] を用いて推定を行った．**表–2**，**表–3** より，MDFT モデルでは MNL モデルに比べて最終尤度がわずかに上昇していることから，モデルの適合度はわずかに上昇したといえる．

また，配送時間スロット幅，配送料のそれぞれについて，MNL モデルと MDFT モデルの間で推定されたパラメータの符号が逆転している．Oyama ら[2] によると，一般的に配送時間帯幅や配送料金は，属性値が小さいほど選ばれやすいが，MDFT モデルのパラメータ



図–4 調査票の概要

の値はこれと反する．これは，MDFT モデルが累積モデルあり，属性値が小さい方が選ばれやすいことを表現することができないため，Hancock ら[9] を参照し，選択肢の属性値 a を以下の式を用いてスケール調整しているためである．

$$a = 1 - \frac{a_k - max(a)}{max(a) - min(a)} \tag{29}$$

なお，MDFT モデルにおいては，計算上の問題を回避するために，Hancock ら[10]，Hess ら[11] を参考にして推定時に以下の制約条件を加えている．

$$timestep = 1 + \exp(p_timestep) \tag{30}$$

$$\Phi_1 = \exp(p_phi1) \tag{31}$$

$$\Phi_2 = \frac{\exp(p_phi2)}{1 + \exp(p_phi2)} \tag{32}$$

(3) 選択確率の記述方法

今回は，既存の配送サービスの料金プラン（既存の選択肢 A,B）に，新しく第 3 の料金プラン（新たな選択肢 C）を導入する．そして，その第 3 のプランの属性値を，2 属性で構成された属性空間上で変動させることで，選択肢集合の変化，選択肢の属性間距離に対する選択確率を記述する．

表–2 パラメータ推定結果 (MNL)

パラメータ	推定値	t 値
b_slot	-2.384	-6.68^{**}
b_cost	-0.0729	-9.42^{**}
	サンプル数	610
	初期尤度	-426.29
	最終尤度	-364.52
	尤度比	0.1449
		$^{**}1\%$有意

表–3 パラメータ推定結果 (MDFT)

パラメータ	推定値	t 値
b_slot	0.336	155.68^{**}
b_cost	1.036	210.43^{**}
p_error_sd	1.000	fixed
p_timestep	4.107	9.177^{**}
p_phi1	5.009	171.43^{**}
p_phi2	-3.113	-62.53^{**}
	サンプル数	610
	初期尤度	-426.29
	最終尤度	-364.21
	尤度比	0.1456
		$^{**}1\%$有意

本研究における効用関数は，以下のように表すことができる．

$$V_{k|N} = \beta_{slotsize} \cdot slotsize_k + \beta_{cost} \cdot cost_k \tag{33}$$

また，MDFT モデルでは効用関数と同じ変数を用いて，属性行列 M を以下のように定義する．

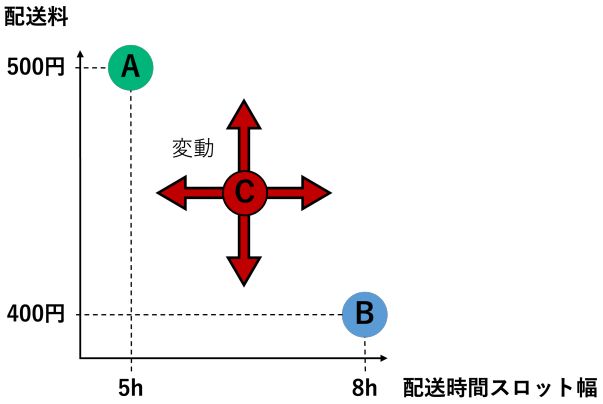
$$M = \begin{bmatrix} slotsizze_A & cost_A \\ slotsizze_B & cost_B \end{bmatrix} \tag{34}$$

ここで，$slotsize$ は配送時間スロット幅，$cost$ は配送料金である．これらの情報をもとに，以下の手順で選択結果を記述する．

手順 1：属性空間上に配置する選択肢 A,B の属性値を**表–4** のように設定する．この時，推定したパラメータを使用することで，選択肢 A,B はいずれも，極端に支配的でない状態に配置した．これを図示したのが**図–5** の A,B である．

手順 2：属性空間上に配置する選択肢 C の属性値を**表–4** のように設定する．この時，選択肢 C の属性値は，配送スロット幅を 0.5 時間の間隔，配送料金を 10 円の間隔で変動させた．これにより，選択肢 C の属性値は属性空間上で 7×11 通りのの属性値を持ち，それに伴い選択肢集合 {A,B,C} もまた 7×11 通り作成される．

手順 3：推定されたパラメータを用い，MNL モデル,MDFT モデルによりそれぞれ選択確率を記述する．選択肢 B の属性値を変動させることに依存して，選択肢集合内の全ての選択肢 {A,B,C} の選択確率も同時に変動する．つまり，各選択肢 A,B,C に関して 7×11 通りの選択確率を記述することができる．これを MNL モデル,MDFT モデルの各モデルで記述し，図示したのが**図–6**, **図–7**, **図–8** である．



図–5 設定値

(4) 選択確率の記述結果

a) 既存の選択肢 A，B

新たな選択肢 C を投入した際の選択肢 A,B 選択確率を，MNL モデル,MDFT モデルの両モデルで記述した結果が，**図–6**，**図–7** である．選択肢 A，B の選択確率 $\Pr[A|\{A,B,C\}]$，$\Pr[B|\{A,B,C\}]$ に関して，MNL モデルに比べて MDFT モデルは特定の箇所の選択確率が上昇している．これは選択肢 A，B それぞれと選択肢 C の属性間距離が近く，かつ選択肢 C が A，B よりも劣った属性値を持つ時であるため，選択肢 C がおとりとなり，選択肢 A，B それぞれの選択確率を上昇させているといえる．

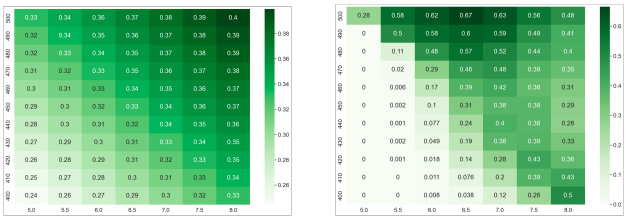
b) 新たに追加した選択肢 C

新たな選択肢 C を追加した際の，選択肢 C の選択確率を MNL モデル,MDFT モデルの両モデルで記述した結果が，**図–8** である．属性値の変化に対する選択確率の変化は MNL モデル,MDFT モデルで概ね同じである

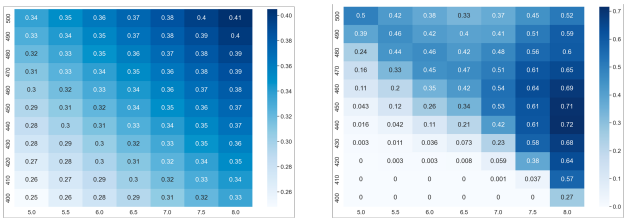
表–4 本研究での基本的な属性値の設定

選択肢	配送時間スロット幅 (変動間隔)	配送料金 (変動間隔)	固定 or 変動
A	5 時間	500 円	固定
B	8 時間	600 円	固定
C	2 時間～8 時間 (0.5 時間)	400 円～500 円 (10 円)	変動

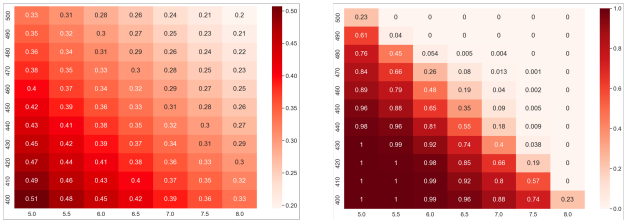
が，特筆すべきは，C が A，B の中間に位置しているときで，選択肢 C の選択確率 $\Pr[C|\{A,B,C\}]$ が最も高い．これは，選択肢 A，B がどちらも支配的でない属性空間上で，中庸な選択肢の選択確率が上昇することを表現できているといえる．



図–6 選択肢 A の選択確率（左：MNL，右：MDFT）



図–7 選択肢 B の選択確率（左：MNL，右：MDFT）



図–8 選択肢 C の選択確率（左：MNL，右：MDFT）

(5) MDFT モデルにおける文脈効果発生の有無

3 章で述べた「妥協効果」「魅力効果」の定義に基づき，それぞれの現象が生起しているかを検証する．

a) 妥協効果

本研究では変動可能な選択肢 C の属性値を選択肢 A,B の中間の位置に設定することで，中庸な選択肢を作り，弱妥協効果発生の有無を検証する．まず，選択肢 C の属性値を式 (35), 式 (36) によって算出するとともに別途 $\Pr[C|\{A,C\}]$，$\Pr[C|\{B,C\}]$ を算出し，**表–5** に記載した．

$$cost_C = \frac{cost_A + cost_B}{2} \tag{35}$$

$$slotsize_C = \frac{slotsize_A + slotsize_B}{2} \tag{36}$$

表–5 より，

$$\Pr[C|\{A,C\}] = 0.523 \tag{37}$$

$$\Pr[C|\{B,C\}] = 0.483 \tag{38}$$

式 (3)，式 (4) より

$$\frac{0.35}{0.34+0.35} = 0.507 > 0.483 \tag{39}$$

$$\frac{0.35}{0.31+0.35} = 0.53 > 0.523 \tag{40}$$

よって，各選択肢の属性値が**表–5** の時，妥協効果は発生している．また，この時の妥協効果の大きさは 0.024 である．

b) 魅力効果

魅力効果に関しては，ターゲットを選択肢 A に設定し，弱妥協効果について検証する．まず，弱妥協効果の条件である式 (8)，式 (9) を満たすように第 3 の選択肢 D の属性値を**表–6** のように変動させる．また，選択肢 D は属性空間上の特定の位置において選択肢 A に類似し，かつ劣っている値に設定する．この時の選択肢 D をおとりとみなし，魅力効果発生の有無やその大きさを検証する．また，別途計算した $\Pr[A|\{A,B\}]$ を**表–6** に記載した．

$$\Pr[A|\{A,B\}] = 0.467 \tag{41}$$

ここで，$\Pr[A|\{A,B,D\}]$ と $\Pr[B|\{A,B,D\}]$ はそれぞれ 7×11 通り存在するため，δ_A も 7×11 通り作成される．以上の結果を用いて δ_A を**図–9** に記述した．

図–9 では，選択肢 D の属性を選択肢 A よりも劣る位置に配置した場合に，選択肢 D がおとりとなり，魅力

表–5 選択肢 C が A,B の中間に位置する時の各選択肢の情報 (MDFT)

選択肢 k	配送時間スロット幅	配送料金	$\Pr[k\|\{A,B,C\}]$	$\Pr[k\|\{A,C\}]$	$\Pr[k\|\{B,C\}]$
A	5 時間	500 円	0.31	0.477	-
B	8 時間	400 円	0.34	-	0.517
C	6.5 時間	450 円	0.35	0.523	0.483

表–6 魅力効果の検証に用いる各選択肢の属性値 (MDFT)

選択肢 k	配送時間スロット幅 (変動間隔)	配送料金 (変動間隔)	$\Pr[k\|\{A,B\}]$
A	5 時間	500 円	0.467
B	8 時間	400 円	0,533
D	5〜8 時間 (0.5 時間)	500 円〜600 円 (10 円)	-

効果が発生することを表現できている．また，ターゲットとおとりの属性間距離が極端に近い場合や極端に遠い場合には，魅力効果の大きさは小さい．そのため，この場合は第 3 の選択肢 D がおとりとしての役割を十分に果たしておらず，おとりの選択肢属性はターゲットに対して適切な距離でないことを記述しているといえる．

以上より，妥協効果と魅力効果について既往研究に比べてより詳細に記述した．また魅力効果に関しては，属性間の距離に依存してその値が変化し，適切な距離が存在することをことを記述した．この結果は，行動経済学の視点から配送サービスの適切な料金を定量的に設計する上での有益な情報となりうる．



図–9 ターゲットを A とした時の魅力効果の大きさ

6. おわりに

(1) 結論

本研究では，顧客の配送サービス選択に焦点を当てた SP 調査を行い，そこから得たデータをもとに MDFT モデルを用いて，効用最大化と反する現象である文脈効果を既往研究よりも厳密に記述することを目指した．具体的には，属性空間上で一つの選択肢の属性値，選択肢の位置関係を変動させた時の選択確率を記述した．その結果，MNL モデルでは表現が困難だった文脈効果について，選択肢の属性間距離に対する発生の有無とその大きさを定量的に示すことができた．魅力効果に関しては，ターゲットとおとりの属性間距離が極端に近い場合や極端に遠い場合には，比較的小さく生起していることから，与えられた選択肢の属性値に対して適切な距離が存在することが示唆された．この結果は，行動経済学の視点から配送サービスの料金設計を定量的に設計し，顧客の需要マネジメントを行う上での新たな知見となることが期待される．

(2) 今後の展望

今後の展望として追加の SP 調査と，調査から得られるデータを用いた記述性能の検証が挙げられる．今回は 2 選択肢を提示した際に得られた選択結果と，そこから推定したパラメータを用いて，仮想の第 3 選択肢を追加した際の選択確率を記述したが，実際に 3 選択肢を提示した時の選択結果と比較することで記述性能を確かめる必要がある．また，将来的には顧客の配送需要マネジメントを行動経済学的な視点から行うための，基礎的なメカニズムデザインの構築を行っていく．

参考文献

1) 国土交通省: 物流の 2024 年問題について, https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001620626.pdf
2) Yuki Oyama, Daisuke Fukuda, Naoto Imura, Katsuhiro Nishinari: E-commerce users ’ preferences for delivery options, arXiv e- prints, 2022.
3) Jerome R. Busemeyer and James T. Townsend: Decision Field Theory: A Dynamic-Cognitive Approach to Decision Making in an Uncertain Environment, Psychological Review, Vol.100, No.3, 432-459, 1993.
4) Jerome R. Busemeyer and James T. Townsend: Fundamen-

tal derivations from decision field theory, Mathematical Social Sciences 23,255-282 North-Holland, 1992.
5) Robert M. Roe, Jerome R. Busemeyer, and James T. Townsend: Multialternative Decision Field Theory: A Dynamic Connectionist Model of Decision Making, Psychological Review, Vol.108, No.2,370-392, 2001.
6) Thomas O. Hancock, Stephane Hess, Charisma F. Choudhury, Panagiotis Tsoleridis: Decision field theory: an extension for real-world settings, Australasian Transport Research Forum 2021 Proceedings 8-10 December, Brisbane, Australia, 2021
7) 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, Transactions of the Operations Research Society of Japan Vol.57, pp.67–91, 2014
8) Apollo website: http://www.apollochoicemodelling.com
9) Thomas O. Hancock, Stephane Hess, Charisma F. Choudhury: Decision field theory: Improvements to current methodology and comparisons with standard choice modelling techniques, Transportation Research Part B:Methodological, Vol.107, Pages 18-40, 2018
10) Thomas O. Hancock, Stephane Hess, A. A. J. Marley, Charisma F. Choudhury: An accumulation of preference: Two alternative dynamic models for understanding transport choices, Transportation Research Part B: Methodological, Vol.149, pp.250-282, 2021.
11) Stephane Hess, David Palma: Apollo: A flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application, Journal of Choice Modelling: Vol.32,2019.

(2023. 10. 13)

MODELING OF CONTEXT EFFECTS USING DECISION FIELD THEORY AND APPLICATION TO DELIVERY SERVICE FEE DESIGN

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

The shortage of transportation capacity due to the shortening of truck drivers' working hours has become a social problem, and there is a need to further improve delivery efficiency by developing customer delivery demand management. For this purpose, it is essential to consider rate design to allocate delivery demand appropriately. A behavioral economics approach that takes into account context effects and other selection behaviors that are inconsistent with utility maximization is essential for designing service rates, but it is difficult to adequately describe such selection behaviors using conventional methods. Therefore, in this study, we developed a model that incorporates time-series changes in preferences, Decision Field Theory (DFT).The modeling of choice behavior that takes into account context effects is attempted by using Decision Field Theory (DFT), a model that includes time-series changes in preferences. Furthermore, we aim to obtain knowledge that contributes to improving the efficiency of delivery demand by applying the model to the design of delivery service rates. Through this study, we show the possibility of effective mechanism design that incorporates a behavioral economics perspective.The study also aims to obtain knowledge that contributes to the efficiency of delivery demand by applying it to the design of delivery service rates.