

離散選択実験と視線計測データ併用研究に係る動向

Perspectives on a Discrete Choice Experiment using Eye-Tracking Data

大床 太郎*1・井元 智子*2
Taro Ohdoko, Tomoko Imoto

Email: ohdoko@dokkyo.ac.jp

本稿では、表明選好法との併用が進む視線計測データについて、離散選択実験の研究に特化して整理した。既往研究は、離散選択実験の構成要素であるプロフィール属性情報について、単に注意を向けるという視覚的注意と、確実に処理しているという視覚的処理に加えて、どのように情報を探すのかという視覚的探索という3つの文脈で研究が進められていた。視覚的注意については、効用関数に注視測度を共変量として組み込む簡便法が提案されていた。視覚的処理については、選択セット情報の処理について離散的に捉える二項情報処理と、連続的に捉える潜在情報処理という2つの手法が提案されていた。視覚的探索については、方略指標の応用、努力最小限化選択モデルと限定合理性モデルという3つの手法が提案されていた。以上の整理をもとに、現状を踏まえて今後の研究方向性を考察した。

We reviewed stated preference research using eye-tracking data, especially discrete choice experiments. The literature review identified three research topics covering the profile attributes: i.e., visual attention, which denotes aiming at attention; visual attendance, which denotes confirmable processing; and visual search, which relates to acquiring information. A simple method was proposed for visual attention, by incorporating the attentional measure into the utility function as a covariate. Two methods were proposed for visual attendance: i.e., binary information processing, which treats visual attendance as a discrete variable and latent information processing, which treats visual attendance as a continuous variable. Three methods were proposed for visual search: i.e., employing a strategy measure, satisficing choice model, and the bounded rationality model. Based on these findings, we considered future research perspectives in accordance with the current circumstances.

キーワード：離散選択実験；視線計測；視覚的注意；視覚的処理；視覚的探索

Keywords: discrete choice experiment; eye-tracking; visual attention; visual attendance; visual search

*1: 獨協大学経済学部

*2: 東北大学大学院農学研究科

1. はじめに

計量心理学に端を発する離散選択実験 (discrete choice experiment: DCE) を含む表明選好法 (stated preference method) は、マーケティングのほか、交通工学や交通経済学、健康経済学、資源経済学、環境経済学、農業経済学の諸分野において、販売方略から政策的意思決定まで幅広く応用されている (Louviere et al.⁽³²⁾)。DCE は格子表現あるいは実際の財・サービスイメージに近い選択セット (choice set/choice card) をアンケートの回答者ⁱに提示して最も望ましい選択肢を答えてもらう形式をとる。DCE 質問設計においては、適切な実験計画法を用いて複数の属性 (プロフィール属性) を組み合わせて選択肢の候補 (プロフィール) を作成し、それにオプトアウト選択肢を加えた選択セットを構築する。選択セットは回答者に4~12セット程度提示される (Balcombe et al.⁽³⁾)。分析においては、独立同一分布に従う誤差項に第 I 種極値分布を、選好に均質性を仮定した条件付ロジットモデル (conditional logit model: CL, McFadden⁽³³⁾) を端緒として、選好の多様性を連続的に表現するランダムパラメータロジットモデル (random parameter logit model: RPLⁱⁱ, Train⁽⁶¹⁾) や誤差分散に反比例するスケールの多様性も表現可能な階層ベイズロジットモデル (hierarchical Bayes logit model: HBL, Train⁽⁶¹⁾)、RPL の定式化にスケールの多様性を追加した一般化多項ロジットモデル (generalized multinomial logit model, Fiebig et al.⁽¹⁷⁾)、離散的に表現する潜在クラスロジットモデル (latent class logit model) あるいは有限混合ロジットモデル (finite mixture logit model) (栗山・庄子⁽³⁰⁾) といった、より柔軟なモデルが開発されてきたⁱⁱⁱ。

一方で、分析において効用最大化が仮定されてきたことのみならず、すべての情報を処理している個人が仮定されている点についても未解決の課題がある (Hensher et al.⁽²³⁾; Hanemann⁽²²⁾)。前者については効用最大化によらない多様なヒューリスティックスの存在について数理心理学的な定式化がなされ (Chorus⁽¹¹⁾, Gilbride and Allenby⁽¹⁹⁾)^{iv}、後者については DCE のプロフィール属性に関する (部分的な) 情報の非処理 (attribute non-attendance: AN-A) というヒューリスティックスの可能性が指摘され、認知資源に限りのあるヒトの情報処理が検討されている^v。すなわち、あるプロフィール属性の情報を処理・考慮しているヒトを「(当該プロフィール属性に関する) 処理者 (attender)」, 処理・考慮しない (あるいは無視すらしている) ヒトを「非処理者 (non-attender)」として分析が可能かを模索する分野である。ヒト

の情報処理構造をより深く分析するため、近年の DCE 研究では Meißner and Decker⁽³⁴⁾を端緒として様々なセンサー、とりわけ視線計測 (eye-tracking: ET) データを利用する研究が増加している^{vi}。Balcombe et al.⁽³⁾は、離散選択実験の構成要素であるプロフィール属性情報について、単に注意を向けるという視覚的注意 (visual attention) と、確実に処理しているという視覚的処理 (visual attendance) という2つの文脈を定義し、研究分野としての状況整理を試みた。本稿は、Balcombe et al.⁽³⁾以降も研究が進展していること、手法のすそ野の広い表明選好法すべてを網羅すると手法特有の仮定も複雑に検討しなければならないことから、DCE に特化して概念の整理と研究の方向性の検討を目的とする^{vii}。

本稿の構成は以下のとおりである。2節ではET利用の基礎事項とDCEとの併用研究を概観、整理する。3節で総括し、今後の展望について述べる。

2. 既往研究概観

2.1 視線計測装置利用の基礎事項

ET データについては研究的・技術的な両面から進境著しい。研究的側面としては、まずは文章読解 (Rayner⁽⁴⁶⁾, Rayner⁽⁴⁷⁾) や意思決定理論 (Orquin and Loose⁽⁴⁰⁾) の分野においてさかんに利用されてきており、経済学においても Knoepfle et al.⁽²⁸⁾, Wang et al.⁽⁶⁹⁾, Reutskaja et al.⁽⁴⁸⁾を契機として事例蓄積が進んでいる。ET の技術的な側面としては、ビデオ記録による動画計測から赤外線照射による計測へ、参加者^{viii}の頭部を固定するものからしないものへ、さらにはフィールド実験にも用いられる眼鏡型へと、計測精度の向上とあわせて進展している^{ix}。ET データは、まず主に注視 (fixation) と衝動性眼球運動あるいはサッカード (saccade) に大別される (Wedel and Pieters⁽⁷⁰⁾, 里村⁽⁵²⁾)。前者は200~500ミリ秒の間に、観察者^xが設定した関心領域 (area of interest: AOI) に停留する眼球運動を、後者は20~40ミリ秒の間に注視点間を移動する高速な眼球運動を指す^{xi}。そのほか、瞳孔拡張 (pupil dilation) や瞬目 (blink) も ET データとして取得される。ET デバイスで測定された「生」のデータは欠損値やノイズが処理されたのち、眼球運動の速度を用いて設定される閾値によって注視とサッカードに分割される。閾値は参加者間で観察者が一定に設定するほか、Van der Lans et al.⁽⁶⁵⁾は参加者別に推定する手法を開発した。

ET データとして獲得された情報は複数の視線測度として計算・利用される。以下に挙げるようにきわめて多様であり、研究の文脈によってどれ

が適しているのかについて判断が求められる^{xii}。

- 1) 初回注視前経過時間 (time to first fixation: TFF) : AOI を最初に見るまでの経過時間。
- 2) 初回注視前注視頻度 (fixations before) : AOI を最初に見る前の注視点の数。
- 3) 初回注視経過時間 (first fixation duration: FFD) : AOI を最初に見たときの、最初の注視点における経過時間。
- 4) 注視経過時間 (fixation duration: FD) : AOI 内の注視点すべてについての経過時間。
- 5) 総注視経過時間 (total fixation duration: TFD) : FD の合計。
- 6) 注視頻度 (fixation count: FC) : AOI 内の注視点の数。
- 7) 停留時間 (visit duration: VD) : AOI 内に停留した最初の注視点から最後の注視点までの停留時間。停留は AOI 内に注視点が入ってから出るまでを 1 回と定義する。サッカードを含み、必然的に FD 以上となる。
- 8) 総停留時間 (total visit duration: TVD) : VD の合計。
- 9) 停留頻度 (visit count: VC) : AOI に停留した回数。必然的に FC 以下となる。
- 10) 注視割合 (percentage fixated: PF) : AOI 注視点数が全体の注視点数に占める割合。少なくとも 1 回注視したことが条件となる。

このほかに、ET データ計測実験中に、(ウェブ) 画面をクリックしたことに付随する視線測度もある。また、注視とサッカードの分類から視線移動 (gaze shifting: GS) も定義できる。

2.2 離散選択実験との併用研究概観

DCE と ET との併用研究について、筆者らが「(discrete) choice experiment+eye tracking」「conjoint analysis+eye tracking」と検索用語を設定して機械的に検索し、その引用文献や参考文献も検討したところ、表 1 の 22 論文が得られた。本節では基礎的事項を概観する。

まず、標本サイズについて、室内実験が必須である現状から、100 以上の参加者を集めているケースは比較的少ない。Balcombe et al.⁽⁴⁾は、もし分析精度を向上させることを考えるならば ET データを DCE の分析に追加するよりも標本サイズを大きくする方が調査費用の面でも効率的であり、非常に「手間」のかかる ET データを収集するならば、ET データでしかできない意思決定過程分析や DCE のプロフィール・選択セット設計

について取り組むべきと主張している。現に、Greibitus et al.⁽²⁰⁾や Spinks and Mortimer⁽⁵⁶⁾は属性数を変えることで選択セットの複雑性を変化させ、選択セット設計研究について取り組んでいる。

また、評価対象財としては、食品の事例が圧倒的に多い。当初は Wedel and Pieters⁽⁷⁰⁾の提唱する視覚的マーケティング (visual marketing) 研究として推進されてきたことがうかがえる。もちろん参加者に比較的なじみの深い食品を用いて研究方法に見通しをつけたいという事情もあろう。すでに、Behe et al.⁽⁷⁾や Palma et al.⁽⁴²⁾は園芸分野に、Krucien et al.⁽²⁹⁾、Ryan et al.⁽⁵¹⁾、Spinks and Mortimer⁽⁵⁶⁾は医療健康分野に、Oviedo and Caparros⁽⁴¹⁾は環境分野に適用を試みており、今後はさらに対象分野を拡大することが期待される。

ET データとしては、半数ほどの研究が複数の視線測度を併用した。とりわけ Ares et al.⁽²⁾は既往研究を引いて各測度に意味付けを定義している。すなわち、PF は個人由来のトップダウン要素 (Pieters and Wedel⁽⁴³⁾) と視覚的刺激由来のボトムアップ要素 (Wolfe⁽⁷²⁾) 双方に関連する測度として、VC と TVD は視覚的な情報の処理速度を示唆する測度 (Clifton et al.⁽¹²⁾) として、TFF は注意捕捉性を示唆する測度 (Holmqvist et al.⁽²⁴⁾) として、FC は視覚的な情報の処理と関連する測度 (Jacob and Kam⁽²⁵⁾; Holmqvist et al.⁽²⁴⁾) として、TFD は AOI 情報抽出の難易度と関連する測度 (Holmqvist et al.⁽²⁴⁾) として、それぞれ用いている。多様な側面を同時研究しようという試みの一方、DCE・ET 併用研究において行動科学的な有効理論 (effective theory)^{xiii}が不足しているために総合的に判断せざるを得ない可能性もある。

2.3 研究目的による分類

本節では、得られた 22 論文を目的別に分類する。Balcombe et al.⁽³⁾、Balcombe et al.⁽⁴⁾は DCE のプロフィール属性情報について、単に注意を向ける視覚的注意と考慮・比較したと確実に言える視覚的処理を分けた。

- 1) 視覚的注意 : Balcombe et al.⁽³⁾は FD で属性別に捉えるとした。
- 2) 視覚的処理 : 選択セットの全選択肢において当該属性が注視されること。Balcombe et al.⁽³⁾は FC で判断されるとした。

前者は後者の必要条件であり、プロフィール属性を考慮に入れたのかという AN-A 現象には視覚的処理概念が対応する。そこで、注意を明示するのは視覚的注意、処理や AN-A 現象を明示するのは視覚的処理に分類することとした。

表 1 : DCE/ET 併用研究の基礎事項整理

著者	標本サイズ	評価対象財	属性数	選択 セット数	利用 ET データ
視覚的注意					
Ares et al. ⁽²⁾	71	ヨーグルトラベル	3	8	FC, TFD, VD, TFF, PF
Behe et al. ⁽⁷⁾	101	園芸用花卉	3	9	TFF, FC, TFD, TVD
Bialkova et al. ⁽⁸⁾	64	ヨーグルトラベル	3	15	FD, FC
Grebitus et al. ⁽²⁰⁾	130	チェダーチーズ	3, 5	12	TVD
Meißner et al. ⁽³⁵⁾	60	カップコーヒー メーカー	6	12	FC
Meyerding and Merz ⁽³⁶⁾	73	リンゴ	3	49	FD, FC, VD, VC
Meyerding ⁽³⁷⁾	17	トマト	3	25	VD, VC, FD, FC
Orquin et al. ⁽³⁹⁾	68	フルーツヨーグルト	6	48	PF
Oviedo and Caparros ⁽⁴¹⁾	105	イタリアカサマツの 森林再生プログラム	3	4	TVD
Van Loo et al. ⁽⁶⁶⁾	81	グラウンドコーヒー	5	8	FC, FD
視覚的処理					
Ares et al. ⁽²⁾	71	ヨーグルトラベル	3	8	FC, TFD, VD, TFF, PF
Balcombe et al. ⁽³⁾	40	消費者物価指数 計測消費財	5	12	FC, FD
Balcombe et al. ⁽⁴⁾	99	ペパロニピッツァ	5	24	VD
Krucien et al. ⁽²⁹⁾	58	健康生活プログラム	7	12	TFD
Meyerding ⁽³⁷⁾	17	トマト	3	25	VD, VC, FD, FC
Spinks and Mortimer ⁽⁵⁶⁾	32	関節痛と不眠症の 治療法	3~8	8	VC
Van Loo et al. ⁽⁶⁷⁾	81	グラウンドコーヒー	5	8	FC, TFD
視覚的探索					
Meißner and Decker ⁽³⁴⁾	62	カップコーヒー メーカー	6	12	FC, GS
Palma et al. ⁽⁴²⁾	108	観葉植物	3	9	FFD, FC, TVD, 2回目の注視
Ryan et al. ⁽⁵¹⁾	58	健康生活プログラム	6	10	FC, GS
Stüttgen et al. ⁽⁵⁷⁾	75	インスタント ヌードル	3	15	FC, GS
Uggeldahl et al. ⁽⁶³⁾	190	牛ひき肉	4	12	GS
Yang et al. ⁽⁷³⁾	70	ラップトップ PC	6	20	VC, 注視位置間距離, GS
不明					
Greenacre ⁽²¹⁾	30	航空プラン	4	28	FD

注 1 : Ares et al.⁽²⁾と Meyerding⁽³⁷⁾は視覚的注意と視覚的処理の双方に分類した。

注 2 : Meißner et al.⁽³⁵⁾はほかにビーチバケーション研究や, Yang et al.⁽⁷³⁾のラップトップ PC の研究と合わせ, 差異の検証も報告している。

また、消費者行動の意思決定には視覚的な情報の探索も重要な要素のひとつである。消費者行動論においては、問題認識 (problem recognition)、情報探索 (information search)、選択肢評価 (alternative evaluation)、意思決定という流れで整理され (Mothersbaugh and Hawkins⁽³⁸⁾)、マーケティングの文脈では視覚的探索 (visual search) も研究されている (Wedel and Pieters⁽⁷¹⁾)。DCE のプロフィール属性情報についても、視覚的探索時にボトムアップ要素の影響から注意が向けられることや、目的に応じて考慮に入れるというトップダウン要素の影響から視覚的探索を行うことが考えられ、視覚的注意や視覚的処理とは別に視覚的探索の検討が欠かせない。そこで本稿では、DCE のプロフィール属性情報に関する視覚的探索について独立に分類することとした。

なお、以下の定式化における共通要素として確率的 (ランダム) 効用モデル (random utility model) をここで整理する。ランダム効用モデルでは、間接効用関数の観察可能な確定項と観察不可能な誤差項の加法分離性、パラメータの線型性 (linear-in-parameter) を仮定したモデルが多く用いられる^{xiv}。

$$U_{njt} = V_{njt} + \varepsilon_{njt} = \beta\lambda'x_{njkt} \quad \text{【Eq.1】}$$

n は回答者個人、 j は選択肢あるいは提示されたプロフィール、 t は複数回の質問をする DCE の選択セットの順序、 x_{njkt} は回答者 n に選択セット t で提示されたプロフィール j の属性 k を表す行列、 β はプロフィール属性の限界効用ベクトル、 λ は回答者の学習・疲労の効果が現れ、あるいは同じ選択状況においてまったく同様に回答するののかという選好の一貫性 (consistency) や DCE 質問にどれだけ確信をもって回答しているののかという選好の確実性 (certainty) と関連すると指摘されているスケールを表現するスカラーである (DeShazo and Fermo⁽¹⁴⁾, Scarpa et al.⁽⁵³⁾, Czajkowski et al.⁽¹³⁾)。

2.3.1 視覚的注意

Ares et al.⁽²⁾ は、Epstein et al.⁽¹⁵⁾ が開発した合理的経験的尺度 (rational experiential inventory) を用い、因子分析と潜在クラス分析を併用して回答者を直観的・経験的思考スタイルと分析的・合理的思考スタイルに分けたのち、クラスターごとに CL で効用関数を推定し、前述の視線測度の集計結果と合わせて報告した。選択セットとして現実的なデザインのヨーグルトラベルを上下に2つ組み合わせ、オプトアウトのない強制的選択実験 (forced choice experiment) を実施した。属性に

は詳細な栄養成分表示、ラベル背景、栄養成分の多寡を赤・黄・緑で示す信号システム (traffic light system: TLS) を用いて、詳細な記述とグラフィックなイメージの双方の影響を分析している。分析結果として、直観的・経験的思考スタイルの方が全体として視覚的注意度合が低いことを示唆した。また、選好順序と視線測度順序に一致が見られなかった^{xv}。すなわち、合理的消費者の仮定はこのような視覚的注意特性の違いを覆い隠してしまうこと、選好と視線測度が分析上で補完的役割を果たすことが示唆される。

Grebitus et al.⁽²⁰⁾ は間接効用関数を以下のように仮定した。

$$U_{njt} = \beta'_n x_{njkt} + \gamma'_n \text{TVD}_{x_{njkt}} + \varepsilon_{njt} \quad \text{【Eq.2】}$$

ここで $\gamma'_n \text{TVD}_{x_{njkt}}$ は、提示されたプロフィール属性 (の水準) ごとに TVD として計測された値を用い、RPL で推定する。ロジットモデルなど離散選択モデルでは一般的に間接効用関数について効用差を定式化することから、性別などの共変量はプロフィール属性との交差項として導入しなければ相殺・消去されてしまうところを、TVD はプロフィール属性 (や、その水準) ごとに異なるために直接的に間接効用関数に導入できる性質を利用している。本稿ではこれを視覚的注意についての「簡便法」と定義する。オプトアウトを含む格子表現の選択セットを用いて標準的な RPL と比較したところ、対数尤度、疑似決定係数 (McFadden's ρ) とも改善することを示した。

2.3.2 視覚的処理

前述の Ares et al.⁽²⁾ の結果には視覚的処理も含まれるため、ここでも触れておく。分析的・合理的思考スタイルの効用関数は詳細な栄養成分表示・ラベル背景・TLS の順に影響を受けていた一方で、直観的・経験的思考スタイルではラベル背景・詳細な栄養成分表示・TLS の順であった。また、TLS のみ、思考スタイルで視覚的処理を示唆する測度に有意差が見られず、それ以外は直観的・経験的思考スタイルの方が、視覚的処理の量・速度とも度合が低かった。また、選好順序と視線測度順序に一致が見られなかった。このことから、合理的消費者と想定される分析的・合理的思考スタイルの回答者は、客観的な情報である詳細な記載を好み、全体をより多く、より高速に視覚的処理していることが示唆される。すなわち、合理的消費者の仮定はこのような視覚的処理特性をも覆い隠してしまうこと、選好と視線測度が分析上で補完的役割を果たすことが示唆される。ただし、

TLS については思考スタイルで差がないため、視覚的処理の補助として性格特性に影響されない表示方法という可能性がある。

Balcombe et al.⁽³⁾は、Reutskaja et al.⁽⁴⁸⁾などの経済学分野の ET データの取り扱いが、1 回目の注視は無作為に発生しており、2 回以上注視していなければ参加者が視覚的処理しているとは言い難いとしてきたことを受け、当該プロファイル属性について 2 回以上注視すること、さらには DCE の選択セット数の半分以上を超えて注視していることの 2 点で処理者と非処理者を離散的に分割する手法を試みた。さらに、参加者が考慮に入れ（なかっ）たプロファイル属性についてアンケートの質問で直接たずねる表明 AN-A (Stated AN-A) データも統合し、以下のモデルを HBL で推定した。

$$\begin{aligned} U_{njt} &= \exp(\phi'_{nt}(\cdot)) K_n \beta'_n x_{njkt} + \varepsilon_{njt}, \\ K_n &= \text{diag}(\kappa_{n1}, \dots, \kappa_{nK}), \\ \kappa_{nk} &= \prod_c (1 - \delta_{cnk} + \tau_c \delta_{cnk}) \quad \text{【Eq.3】} \end{aligned}$$

ここで第 1 式の $\exp(\phi'_{nt}(\cdot))$ は厳密に正值の制約を置いたスケール^{xvi}で、個人別・選択セット別に推定され、学習・疲労効果の推定のみならず ET データの導入も可能なように関数化されている。第 2 式は第 3 式で導入された AN-A 指標を統合した対角行列で、プロファイル属性との交差項を表現する。第 3 式は、表明 AN-A、ET データで定義される非処理者といった C 種 ($c = 1, \dots, C$) の AN-A 指標を統合して用いることを表す。 τ_c は処理者と非処理者を分けるパラメータであり、 $\tau_c = 1$ と推定されれば前者と後者で限界効用に違いはなく、 $\tau_c = 0$ と推定されれば後者の限界効用が 0 となるように設計されている。 δ は表明 AN-A データや ET データから離散的に峻別される処理者・非処理者を表すダミー変数で、 $\delta = 1$ が後者を示す。TLS を設定し、オプトアウトを含めた格子表現の選択セットを用いて分析したところ、1) 属性間で TLS の色の選好に違いがないこと、2) 4 番目から 5 番目の選択セットに至るまでは学習効果、それ以降は疲労効果が見られた一方で、その効果に視線測度が影響していないこと、3) ET データで定義した AN-A (visual AN-A) と表明 AN-A 双方の効果が有意に推定され、前者の方が大きな効果を有していたことを示した。ただし、AN-A を仮定していない標準的な分析モデルとの比較は行っていない。また、 τ_c の設定上、選好が存在しないことと選好はあるが視覚的処理をしないことの交絡が懸念される。

Balcombe et al.⁽⁴⁾は、Balcombe et al.⁽³⁾の ET データによる離散的な処理者・非処理者の定義を用い

て視覚的処理の検討を進めるため、より柔軟に選好の多様性を表現するモデルを提案した。1) RPL や HBL が直接的には回答者をクラスタリングしておらず、正規分布に近いような単峰的選好構造推定になりがちなこと、2) LCL あるいは有限混合ロジットモデルはクラスタリングによって複峰的選好構造推定も明示的にできる一方で、クラスターの数 (クラス数) は情報量規準などを用いて外生的に決定しなければならないことから、とりわけ機械学習で応用が進むノンパラメトリックベイズを用いたベイズ無限混合ロジットモデル (Bayesian infinite mixture logit model: BIML)^{xvii}を開発した。BIML はクラス数推定と選好に離散的あるいは複峰的構造を許して選好とスケールの多様性の推定を同時に行うため、従来のモデルの制約をさらに緩和する。オプトアウトのない強制的選択実験として 2×2 の格子表現の選択セットを用い、BIML によって個人別の限界効用を推定したうえで ET データとの相関を検証した。分析の結果、ET データと支払意思額 (willingness to pay) には相関関係が示唆されたがきわめて弱いことを示した。ここから、選好と視線測度が分析上で補完的役割を果たすことが示唆される。ただし、標準的な分析モデルとの比較は行っていない。

Van Loo et al.⁽⁶⁷⁾は、視覚的処理について Balcombe et al.⁽³⁾の方法に恣意性が存在すると指摘し、当該属性について 2 回以上の注視という条件を 1 回以上に緩和して条件の違いによる比較分析を試みている。実験では、現実的なグラウンドコーヒーのパックイメージに近い選択セットにオプトアウトを含めて参加者に提示した。分析の結果、視覚的処理の定義手法が変われば実験者の処理者・非処理者の割り当てが変わること、Balcombe et al.⁽³⁾の方法ではモデル適合性が下がり、全サンプルを処理者と定義した結果に劣り得ることを示した。この結果は、Balcombe et al.⁽³⁾の処理者・非処理者の定義に限界があることを示唆する。

Krucien et al.⁽²⁹⁾は CL を踏襲し、Balcombe et al.⁽³⁾の方法を離散的な処理者の定義による (視覚的) 二項情報処理 (binary information processing) モデルと位置付けたうえで、連続的に処理者を捉えるべく、ハイブリッド選択モデル (hybrid choice model, Ben-Akiva et al.⁽⁵⁾) を応用して以下のような (視覚的) 潜在情報処理 (latent information processing) モデルを提案した。

$$\begin{aligned} IP_n &= f_1(z_n) + \eta_n, \eta_n \sim \text{Normal}(0, 1), \\ LV_{nk} &= f_2(fd_{nk}, IP_n) + \omega_{nk}, \omega_{nk} \sim \text{Normal}(0, \sigma_k), \end{aligned}$$

$$U_{njt} = f_3(\cdot) = \exp(\cdot) \sum_k (\beta_k + \alpha_k IP_n) x_{njkt} + \varepsilon_{njt}, \varepsilon_{njt} \sim \text{Extreme Value Type I} \quad \text{【Eq.4】}$$

ここで、 IP_n は個人の情報処理量を表す潜在変数であり、 z_n は個人属性の効果を表す。 LV_{nk} はFD (fd_{nk})と連続的な情報処理量で定義される潜在変数(latent variable)である。そして、情報処理量は U_{njt} で定義される間接効用関数にも影響を及ぼす。スケールも $\exp(\cdot)$ のように関数化されている。以上のように情報処理量の連続性を確保したうえで、効用と視線特性の双方に情報処理量が影響を及ぼすモデルを構築した。Krucien et al.⁽²⁹⁾では1)従来の完全情報処理を仮定し、スケールに選択セット順を導入した分散不均一(heteroscedastic) CL, 2)1)のRPL推定, 3)完全情報処理の仮定を緩和した二項情報処理モデルと4)潜在情報処理モデルの推定結果を比較している。オプトアウトを含む格子表現の選択セットを用いて分析したところ、1)より3), 3)より4)の方が、対数尤度、ベイズ情報量規準とも改善することを示した^{xviii}。

2.3.3 視覚的探索

視覚的探索に分類されるものとして、どのように視線を移動させて情報を獲得しているかという探索的視線移動と、どこで情報獲得を止めるかという探索停止の2つが考えられる。

探索的視線移動に関する研究として、Palma et al.⁽⁴²⁾は2×2の画面のセル分割を行い、それぞれのセルに実際の観葉植物を選択肢として配置したDCEを実施した。その結果、「Z」型の視線移動、すなわち左上から右上、その後左下から右下に視線が動いたことを確認した。

Meißner and Decker⁽³⁴⁾やRyan et al.⁽⁵¹⁾は、Böckenholt and Hynan⁽⁹⁾が定義した方略指標(strategy measure)を利用して、格子状のDCE質問について1つの選択肢内の属性を比較する(タテの)視線移動傾向である選択肢方向の視覚的探索と、複数の選択肢間の属性水準を比較する(ヨコの)視線移動傾向である属性方向の視覚的探索を分析した。Meißner and Decker⁽³⁴⁾は、オプトアウトを含む選択セットを用いて方略指標をグラフプロットし、最初の選択セットは(ヨコの)属性方向に視線を動かし、後になるにつれて(タテの)選択肢方向に変化することを示した。最初は属性レベルを比較し、後になるにつれてひとつひとつの選択肢を見てから属性レベルを比較することが示唆される。また、選択セット順で変化していることから、学習・疲労効果の可能性がある。

一方でRyan et al.⁽⁵¹⁾は、オプトアウトを含む選択セットを用いて、属性および選択肢位置のランダム割り当ても行ってより詳細に検討している。まず、対数化したFCを分析したところ、上から下へ、左から右へ向かう視線バイアスを確認した。また、方略指標を分析したところ、選択セットが後になるにつれて、属性方向の視覚的探索が増加することを確認した。こちらはMeißner and Decker⁽³⁴⁾とは逆の結果となるため、今後のさらなる検証が待たれる。

また、Uggeldahl et al.⁽⁶³⁾は、(ヨコの)選択肢方向の方略指標を標準化したGSデータで定義して分析した。現実的なパック入りの牛ひき肉画像を提示したサンプルと格子表現の選択セットを提示したサンプルに分割して実験している。分析に際しては、スケールに方略指標、回答時間、確信をもってDCE質問に回答したかを問う表明確信尺度(certainty scale)を導入した分散不均一RPLを用いた。分析の結果、最もモデル適合度が高かったのは方略指標のみをスケールに導入したモデルであった一方、方略指標に回答時間を追加導入したモデルでは、前者が有意にならず、後者が有意となった。この結果からUggeldahl et al.⁽⁶³⁾は方略指標と回答時間の相関可能性を指摘している。

探索停止に関する研究として、Stüttgen et al.⁽⁵⁷⁾が、視覚的コンジョイント実験(visual conjoint experiment)と名付けたプロジェクト併用室内実験で、Simon⁽⁵⁵⁾の提唱した努力最小限化(satisficing)選択モデルの有効性を吟味した。ホールアウト(holdout)検証用として実験に用いた選択セットの中から3つ選定し、標準的なCLと予測精度を比較したところ、努力最小限化モデルが対数尤度を改善することを確認した。この研究からは、探索停止に関する明示的な定式化の必要性がうかがえる。

また、Yang et al.⁽⁷³⁾は、Simon⁽⁵⁴⁾をもとに情報獲得における限定合理性(bounded rationality)モデルを検討したGabaix et al.⁽¹⁸⁾とCLを踏襲し、選択肢から得られる効用と、情報を探し続けるという探索過程から得られる効用を明示的に定式化することで統合的に分析する手法を提案した。

$$\max \left\{ \max \left[\begin{array}{l} \max[U_{\text{product}}(a) + \varepsilon(a), \\ U_{\text{search}}(a) + \varepsilon(a) \\ + \sum w(\cdot) \max[U_{\text{product}}(a') + \varepsilon(a')] \end{array} \right] \right\},$$

$$w(\cdot) = \begin{cases} \frac{\exp(\xi VC)}{(L-1)\exp(0) + \exp(\xi VC)} \Big|_{1=1^*} & \text{【Eq.5】} \\ \frac{\exp(0)}{(L-1)\exp(0) + \exp(\xi VC)} \Big|_{1 \neq 1^*} \end{cases}$$

ここで、 $\max\{\cdot\}$ 内部の第1項 $U_{\text{product}}(a) + \varepsilon(a)$ は現時点で得られている情報を以て選んだ選択肢 a から得られる効用で、情報をこれ以上追加的に探索しない状態で最大の効用が得られる選択肢を選ぶことに相当し、第2項のうち $U_{\text{search}}(a) + \varepsilon(a)$ は現時点で得られている情報に追加して視覚的探索する過程から得られる効用を表す。第2項の残りの $\sum w(\cdot) \max[U_{\text{product}}(a') + \varepsilon(a')]$ は、追加的に視覚的探索した直後に選んだ選択肢 a' から得られると参加者が予想する将来的期待効用である。将来的期待効用は属性レベル $l(1, \dots, L)$ に関する信念が追加的情報量で更新されることを示す確率ウェイト $w(\cdot)$ で加重平均される。 $w(\cdot)$ で表現される信念とは、短期記憶中にある属性レベル l が実際にプロファイルに表現されている真の属性レベル l^* と一致すると信じていることであり、 $w(\cdot)$ の明示的な導入が短期記憶からの情報抽出の不確実性を表現している。 $w(\cdot)$ には VC が導入され、記憶と一致したときには追加的に一単位視線が停留することで信念が強化される一方、一致しないときには何も強化されない。さらに、追加的に視覚的探索しない第1項のケースと追加的に視覚的探索する第2項のケースで効用値を比較して大きな方で決定する消費者像が $\max\{\cdot\}$ として仮定される。オプトアウトのない強制的選択実験データについて、3つの分析モデルをベイズ推定し、モデル適合性を比較した。すなわち、1) 標準的な効用最大化、2) 効用最大化に視覚的探索を外生変数として導入、3) 効用最大化に視覚的探索を内生的に導入 [※] の3つである。比較の際に分析に含める選択セット数を8~16まで変化させ、ホールドアウト検証用に提示選択セットの前に収集した DCE 質問への回答結果を予測できるかという外的妥当性を、的中率 (hit rate) を用いて検証している。分析の結果、3) のモデル適合性が高い一方、分析に用いる選択セット数が増加するにつれて各モデル適合性の差異が縮小していくことを示した。比較的少ない選択セット数である際には特に、視覚的探索過程を効用関数に内生的に導入すべきことを示唆している。

3. おわりに

本稿では、DCE に ET データを併用した既往研究の概念整理を試みた。その結果、まず、室内実験に伴ってサンプルサイズが限定的であること、食品事例が多いこと、複数の視線測度を利用することで多様な側面を同時研究する試みがある一方で行動科学的な有効理論の欠如可能性もあることを確認した。また、個別の研究は視覚的注意・視覚的処理・視覚的探索として整理され、それぞれ

に多様な視線測度の適用や定式化が試みられてきた現状も確認した。限定的なサンプルサイズについて、現状を踏まえて ET データを収集することでしかできない意思決定過程研究や DCE の質問設計研究を行うべきであるという主張がある一方で、StickyByTobii[※] などにおいてウェブカメラで ET データを計測する事例も提案されており、徐々に状況は緩和に向かうと考えられる。食品事例が多いことについて、すでに他の対象へと拡大がみられることから、より広範に研究蓄積が進むものと期待される。

しかしながら、個別の研究を概観するに、まず必要とされるのは DCE・ET データ併用研究における行動科学的な有効理論の構築と定式化であろう。Wedel and Pieters⁽⁷⁰⁾ は視覚的マーケティングの文脈で、ワーキングメモリ内に存在する情報の有益性 (informativeness) とボトムアップ要素である顕著性 (saliency, サリエンシー) が注意特性 (attentional property) に影響する注意理論 (theory of attention) を構築した。構成要素は以下のように整理される。

- 1) 情報の有益性：消費者の目的による視覚的長期記憶の活性化、視覚的長期記憶のテンプレート生成の順に生じるトップダウン要素が影響して、注意特性の調整を行うワーキングメモリ要素。
- 2) 顕著性：ボトムアップ要素である視覚的マーケティング刺激が影響するワーキングメモリ要素。
- 3) 注意特性：対象や空間的な選定と注意の指向性。
- 4) ワーキングメモリ：学習・選好形成・選択などの下流効果を生む短期記憶概念。視覚的長期記憶の更新も行う。
- 5) 眼球運動：ET データが測定する注視とサッカード。ワーキングメモリの更新も行う。

すなわち、ワーキングメモリは効用と視線特性の2つそれぞれに影響を与えている。また、Van Loo et al.⁽⁶⁷⁾ による二項情報処理モデルの恣意性に関する指摘、Krucien et al.⁽²⁹⁾ の提案する潜在情報処理モデルの有効性を考え合わせると、単に注意を向けるという視覚的注意から考慮に入れるという視覚的処理に至る連続量として「広義の視覚的処理」を定義し、効用関数の外部でワーキングメモリと対応するような潜在変数を用いた潜在情報処理モデルの発想が有望であろう。Greibitus et al.⁽²⁰⁾ の簡便法は TVD を効用関数の外生変数とすることから潜在情報処理モデルの近似といえるが、効

用関数の交差項として導入すると、TVDが0になったときに選好が存在しないことと選好はあるが広義の視覚的処理をしないことが交絡するため、Greibitus et al.⁽²⁰⁾のように直接的に効用関数に導入したり、潜在クラスロジットモデルで対応したりするなどの工夫が必要である。広義の視覚的処理にも多様性が想定されることから、Van der Lans et al.⁽⁶⁵⁾のアルゴリズムが注視とサッカードの閾値を個人別に推定したかのように、視覚的注意と視覚的処理の閾値が個人別に定まるモデルも考えられる。Ares et al.⁽²⁾のように性格特性である合理的経験的尺度を分析に含めることも検討に値しよう。ただし、複雑化しすぎることによってモデル適合性を下げることにならないよう、十分な注意が必要である。

また、視覚的探索については、効用関数内での定義模索が有望な研究方向性であろう。既往研究では、探索停止の明示的導入モデル・効用関数における視覚的探索過程の内生的導入モデルの高い適合性や、探索的視線移動は回答時間との相関可能性が示唆されている。それらを合わせて考えれば、回答時間は視覚的探索の代理変数としても有望ではないだろうか。もちろんETデータが取得できれば方略指標を応用したりYang et al.⁽⁷³⁾のように視覚的探索過程を効用関数に内生的に導入したりすることができ、大規模アイトラック調査が可能となればその流れはさらに推し進められよう。ただし、室内実験に限られがちなETデータ利用や、ウェブアンケートが頻繁に用いられているDCEの現状に鑑みるに、特にウェブアンケートにおいては比較的容易に計測可能な回答時間を利用することが現実的である。こちらも複雑化しすぎることの弊害に注意を要する。

DCE研究諸分野で整理されている今後の魅力的な研究方向性には、ETデータ利用も資すると考えられる。マーケティングにおいて、Swait and Feinberg⁽⁵⁹⁾は離散選択モデリング(discrete choice modeling, DCE)の上位概念かつ表明選好法の下位概念、Carson and Louviere⁽¹⁰⁾について、プロフィール属性情報の処理とも関連する意思決定方略選定(decision strategy selection)研究、選択枝のふるい落としとしてあるカットオフ(cutoff)研究、現代的消費者の置かれているインターネットショッピングと大量な情報の処理という現状に関わるビッグデータ研究を含む6つの将来的な研究方向性を示唆した^{xxi}。資源環境経済学において、Adamowicz et al.⁽¹⁾は離散選択モデリングが環境質変化に対する厚生測度計測に用いられていることに触れ、ヒトの情報処理や選択セットの複雑性に関連する選択セット設計研究、選択行動の

ヒューリスティクスに関わる選択フォーマット効果(choice format effect)研究、効用最大化以外の意思決定方略における厚生測度の検討やAN-A現象と関わる情報処理方略研究を含む9つの将来的な研究方向性を示唆した^{xxii}。健康経済学において、Lancsar and Burge⁽³¹⁾は市民啓発概念である情報加速(information acceleration, Urban et al.⁽⁶⁴⁾)と質問紙における説明内容の最適設計・選択セット形成と考慮セット(consideration set)・選択セット設計に関わるDCE質問の認知負荷最小化研究、テラーメイド医療に関わる個人レベルの(ヒューリスティクス)推定研究を含む8つの将来的な研究方向性を示唆した^{xxiii}。ヒトの視覚的注意・処理と探索を知ることによって、マーケティング方略や政策に対するDCE情報の有効性が高められ、厚生測度・行動科学的有効理論の検討やナッジ(nudge, Sunstein⁽⁵⁸⁾)の利用が加速されよう。

最後にDCEとETの併用研究を概観して、いくつかの標準的ガイドラインの必要性を指摘して結語とする。まず、複数のDCE質問を提示する前に行うべき視線調整、注視とサッカードの峻別に関する定義、デバイスと参加者の距離、モニターの種別と解像度、選択時の操作など、ETデータ利用実験特有の情報記載や、意思決定に影響を及ぼす時間的制約(time pressure)条件を設定したのかについて、本稿で整理した論文は明記状況がまちまちであった。また、Van Loo et al.⁽⁶⁷⁾によれば、視覚的処理やAOIの定義もより標準化する必要がある。さらに、ETデータの用語統一と邦訳について、ETデータから生成される測度の名称のばらつきがみられ、試みに検索したところ、複数の案が乱立状態であった。本稿の2.1節において試みに邦訳案を提供したが、邦文論文によってはアルファベットで英語を示すなど、邦訳も十分に確定していないものと思われる。ETデータ利用を実務的にあるいは学際的に普及させるには、用語の統一と学術的な邦訳確定が喫緊の課題である。これら標準的ガイドラインの構築によって、どのような際にどのように実験計画してどのETデータを使うのが明確になり、本分野のいっそうの発展が期待できよう。

謝辞

本稿は一部に獨協大学情報学研究所の助成を受けた。ここに記して深謝する。

参考文献

- (1) Adamowicz W.L., Glenk K., Meyerhoff J., "Choice Modelling Research in Environmental

and Resource Economics.” In: Hess S., Daly A. (eds) *Handbook of Choice Modelling*. Edward Elger, Cheltenham, UK, pp.661–674 (2014).

(2) Ares G., Mawad F., Giménez A., Maiche A., “Influence of Rational and Intuitive Thinking Styles on Food Choice: Preliminary Evidence from an Eye-Tracking Study with Yogurt Labels.” *Food Quality and Preference*, Vol.31, pp.28–37 (2014).

(3) Balcombe K., Fraser I., McSorley E., “Visual Attention and Attribute Attendance in Multi-Attribute Choice Experiments.” *Journal of Applied Econometrics*, Vol.30, pp.447–467 (2015).

(4) Balcombe K., Fraser I., Williams L., McSorley E., “Examining the Relationship between Visual Attention and Stated Preferences: A Discrete Choice Experiment Using Eye-Tracking.” *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol.144, pp.238–257 (2017).

(5) Ben-Akiva M., McFadden D., Train K.E., Walker J., Bhat C., Bierlaire M., Bolduc D., Boersch-supan A., Brownstone D., Bunch D.S., Daly A., Palma A.D., Gopinath D., Karlstrom A., Munizaga M.A. “Hybrid Choice Models: Progress and Challenges.” *Marketing Letters*, Vol.13, pp.163–175 (2002).

(6) Behe B.K., Campbell B.L., Khachatryan H., Hall C.R., Dennis J.H., Huddleston P.T., Fernandez R.T., “Incorporating Eye Tracking Technology and Conjoint Analysis to Better Understand the Green Industry Consumer.” *HortScience*, Vol.49, Issue 12, pp.1550–1557 (2014).

(7) Behe B.K., Bae M., Huddleston P.F., Sage L., “The Effect of Involvement on Visual Attention and Product Choice.” *Journal of Retailing and Consumer Services*, Vol.24, pp.10–21 (2015).

(8) Bialkova S., Grunert K.G., Juhl H.J., Wasowicz-Kirylo G., Stysko-Kunkowska M., Van Trijp H.C.M., “Attention Mediates the Effect of Nutrition Label Information on Consumers' Choice: Evidence from a Choice Experiment Involving Eye-Tracking.” *Appetite*, Vol.76, pp.66–

75 (2014).

(9) Böckenholt U., Hynan L.S., “Caveats on a Process-Tracing Measure and a Remedy.” *Journal of Behavioral Decision Making*, Vol.7, Issue 2, pp.103–117 (1994).

(10) Carson R.T., Louviere J.J., “A Common Nomenclature for Stated Preference Elicitation Approaches.” *Environmental and Resource Economics*, Vol.49, pp.539–559 (2011).

(11) Chorus C.G., “Capturing Alternative Decision Rules in Travel Choice Models: A Critical Discussion.” In: Hess S., Daly A. (eds) *Handbook of Choice Modelling*. Edward Elger, Cheltenham, UK, pp.290–310 (2014).

(12) Clifton C. Jr., Staub, A., Rayner, K. “Eye Movements in Reading Words and Sentences.” R. Van Gompel, M. Fisher, W. Murray, R.L. Hill (Eds.) *Eye Movement Research: A Window on Mind and Brain*. Elsevier Ltd., Oxford, UK, pp.341–372 (2007).

(13) Czajkowski M., Bartczak A., Giergiczny M., Navrud S., Zylicz T., “Providing Preference-Based Support for Forest Ecosystem Service Management.” *Forest Policy and Economics*, Vol.39, pp.1–12 (2014).

(14) DeShazo J.R., Fermo G., “Designing Choice Sets for Stated Preference Methods: The Effects of Complexity on Choice Consistency.” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.44, Issue 1, pp.123–143 (2002).

(15) Epstein S., Pacini R., Denes-Raj V., Heier H., “Individual Differences in Intuitive-Experiential and Analytical-Rational Thinking Styles.” *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.71, Issue 2, pp.390–405 (1996).

(16) Fenko A., Nicolaas I., Galetzka M., “Does Attention to Health Labels Predict a Healthy Food Choice? An Eye-Tracking Study.” *Food Quality and Preference*, Vol.69, pp.57–65 (2018).

(17) Fiebig DG, Keane MP, Louviere JJ, Wasi N., “The Generalized Multinomial Logit Model: Accounting for Scale and Coefficient Heterogeneity.” *Marketing Science* Vol.29, Issue 3, pp.393–421 (2010).

(18) Gabaix X., Laibson D., Moloche G.,

Weinberg S., “Costly Information Acquisition: Experimental Analysis of a Boundedly Rational Model.” *American Economic Review*, Vol.96, Issue 4, pp.1043–1068 (2006).

(19) Gilbride T.J., Allenby G.M., “A Choice Model with Conjunctive, Disjunctive, and Compensatory Screening Rule.” *Marketing Science*, Vol.23, Issue 3, pp.391–406 (2004).

(20) Grebitus C., Roosen J., Seitz C.C., “Visual Attention and Choice: A Behavioral Economics Perspective on Food Decisions.” *Journal of Agricultural and Food Industrial Organization*, Vol.13, Issue 1, pp.73–81 (2015).

(21) Greenacre L., “Mean and Variability Effects in Decision Framing.” *Contemporary Management Research*, Vol.12, Issue 3, pp.309–336 (2016).

(22) Hanemann W.M., “Discrete/Continuous Models of Consumer Demand.” *Econometrica*, Vol.52, Issue 3, pp.541–561 (1984).

(23) Hensher D.A., Rose J., Greene W.H., “The Implications on Willingness to Pay of Respondents Ignoring Specific Attributes.” *Transportation*, Vol.32, pp.203–222 (2005).

(24) Holmqvist K., Nyström M., Andersson R., Van de Weijer J. *Eyetracking: A Comprehensive Guide to Methods and Measures*. Oxford University Press, New York (2011).

(25) Jacob R.J.K., Karn K.S. “Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver Promises.” J. Hyönä, R. Radach, H. Deubel (Eds.) *The Mind's Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research*. Elsevier Science BV, Amsterdam, The Netherlands: North-Holland, pp. 573–605 (2003).

(26) Khachatryan H., Rihn A.L., Campbell B., Yue C., Hall C., Behe B., “Visual Attention to Eco-Labels Predicts Consumer Preferences for Pollinator Friendly Plants.” *Sustainability*, Vol.9, No.10: 1743 (2017).

(27) Khushaba R.N., Wise C., Kodagoda S., Louviere J.J., Kahn B.E., Townsend C., “Consumer Neuroscience: Assessing the Brain Response to Marketing Stimuli Using Electroencephalogram (EEG) and Eye Tracking.”

Expert Systems with Applications, Vol.40, pp.3803–3812 (2013).

(28) Knoepfle D.T., Wang J.T., Camerer C.F., “Studying Learning in Games Using Eye-Tracking.” *Journal of the European Economic Association*, Vol.7, Issue 2/3, 388–398 (2009).

(29) Krucien N., Ryan M., Hermens F., “Visual Attention in Multi-Attributes Choices: What Can Eye-Tracking Tell Us?” *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol.135, pp.251–267 (2017).

(30) 栗山浩一, 庄子康, 『環境と観光の経済評価—国立公園の維持と管理—』 勁草書房 (2005) .

(31) Lancsar E., Burge P., “Choice Modelling Research in Health Economics.” In: Hess S., Daly A. (eds) *Handbook of Choice Modelling*. Edward Elger, Cheltenham, UK, pp.675–687 (2014).

(32) Louviere J.J., Hensher D.A., Swait J.D., *Stated Choice Methods: Analysis and Application*. Cambridge University Press. UK (2000).

(33) McFadden D., “Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behaviour.” P. Zarembka (Ed.) *Frontiers in Econometrics*. Academic Press, NY, pp.105–142 (1974).

(34) Meißner M., Decker R., “Eye-tracking Information Processing in Choice-Based Conjoint Analysis.” *International Journal of Market Research*, Vol.52, Issue 5, pp.593–612 (2010).

(35) Meißner M., Musalem A., Huber J., “Eye Tracking Reveals Processes that Enable Conjoint Choices to Become Increasingly Efficient with Practice.” *Journal of Marketing Research*, Vol.53, pp.1–17 (2016).

(36) Meyerding S.G.H., Merz N., “Consumer Preferences for Organic Labels in Germany Using the Example of Apples: Combining Choice-Based Conjoint Analysis and Eye-Tracking Measurements.” *Journal of Cleaner Production*, Vol.181, Issue 20, pp.772–783 (2018).

(37) Meyerding S.G.H., “Combining Eye-Tracking and Choice-based Conjoint Analysis in a Bottom-up Experiment.” *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, Vol.11, Issue 1, pp.28–44 (2018).

(38) Mothersbaugh D.L., Hawkins D.I.

Consumer Behavior: Building Marketing Strategy Thirteenth Edition. McGraw-Hill Education, New York (2016).

(39) Orquin J.L., Bagger M.P., Loose S.M., “Learning Affects Top Down and Bottom Up Modulation of Eye Movements in Decision Making.” *Judgment and Decision Making*, Vol.8, Issue 6, pp.700–716 (2013).

(40) Orquin J.L., Loose S.M., “Attention and Choice: A Review on Eye Movements in Decision Making.” *Acta Psychologica*, Vol.144, pp.190–206 (2013).

(41) Oviedo J.L., Caparros A., “Information and Visual Attention in Contingent Valuation and Choice Modeling: Field and Eye-tracking Experiments Applied to Reforestations in Spain.” *Journal of Forest Economics*, Vol.21, Issue 4, pp.185–204 (2015).

(42) Palma M.A., Behe B.K., Hall C.R., Huddleston P.T., Fernandez T., “Tracking Position Premiums in Discrete Choice Experiments.” *Applied Economics Letters*, Vol.23, Issue 18, pp.1269–1273 (2016).

(43) Pieters R., Wedel M. “Attention Capture and Transfer in Advertising: Brand, Pictorial, and Text-Size Effects.” *Journal of Marketing*, Vol.68, pp.36–50 (2004).

(44) Piqueras-Fiszman B., Velasco C., Salgado-Montejo A., Spence C., “Using Combined Eye Tracking and Word Association in order to Assess Novel Packaging Solutions: A Case Study Involving Jam Jars.” *Food Quality and Preference*, Vol.28, pp.328–338 (2013).

(45) Rasch C., Louviere J.J., Teichert T., “Using Facial EMG and Eye Tracking to Study Integral Affect in Discrete Choice Experiments.” *The Journal of Choice Modelling*, Vol.14, pp.32–47 (2015).

(46) Rayner K., “Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research.” *Psychological Bulletin*, Vol.124, Issue 3, pp.372–422 (1998).

(47) Rayner K., “Eye movements and Attention in Reading, Scene Perception, and Visual Search.” *The Quarterly Journal of*

Experimental Psychology, Vol.62, Issue.8, pp.1457–1506 (2009).

(48) Reutskaja E., Nagel R., Camerer C.F., Rangel A., “Search Dynamics in Consumer Choice under Time Pressure: An Eye-Tracking Study.” *American Economic Review*, Vol.101, Issue2, pp.900–926 (2011).

(49) Rihn A.L., Khachatryan H., Campbell B., Hall C., Behe B., “Consumer Response to Novel Indoor Foliage Plant Attributes: Evidence from a Conjoint Experiment and Gaze Analysis.” *HortScience*, Vol.50, Issue 10, pp.1524–1530 (2015).

(50) Rihn A., Khachatryan H., Campbell B., Hall C., Behe B., “Consumer Preferences for Organic Production Methods and Origin Promotions on Ornamental Plants: Evidence from Eye-Tracking Experiments.” *Agricultural Economics*, Vol.47, pp.599–608 (2016).

(51) Ryan M., Krucien N., Hermens F., “The Eyes Have It: Using Eye Tracking to Inform Information Processing Strategies in Multi-Attributes Choices.” *Health Economics*, Vol.27, Issue 4, pp.709–721 (2018).

(52) 里村卓也, 「視線計測による消費者行動の理解」『オペレーションズ・リサーチ』 Vol.62, Issue 12, pp.775–781 (2017).

(53) Scarpa R., Notaro S., Louviere J.J., Raffaelli R., “Exploring Scale Effects of Best/Worst Rank Ordered Choice Data to Estimate Benefits of Tourism in Alpine Grazing Commons.” *American Journal of Agricultural Economics*, Vol.93, Issue 3, pp.813–828 (2011).

(54) Simon H.A., “A Behavioral Model of Rational Choice.” *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.69, No.1, pp.99–118 (1955).

(55) Simon H.A., “Rational Choice and the Structure of the Environment.” *Psychological Review*, Vol.63, Issue 2, 129–138 (1956).

(56) Spinks J., Mortimer D., “Lost in the Crowd? Using Eye-Tracking to Investigate the Effect of Complexity on Attribute Non-Attendance in Discrete Choice Experiments.” *BMC Medical Informatics and Decision Making*, Vol.16, Issue 14 (2016).

- (57) Stüttgen P., Boatwright P., Monroe R.T., “A Satisficing Choice Model.” *Management Science*, Vol.31, Issue.6, pp.878–899 (2012).
- (58) Sunstein C.R., “Nudging: A Very Short Guide.” *Journal of Consumer Policy*, Vol.37, Issue 4, pp.583–588 (2014).
- (59) Swait J., Feinberg F., “Deciding How to Decide: An Agenda for Multi-Stage Choice Modeling Research in Marketing.” In: Hess S., Daly A. (eds) *Handbook of Choice Modelling*. Edward Elger, Cheltenham, UK, pp.649–660 (2014).
- (60) 千葉元気, 都築誉史, 「意思決定における決定方略と過程追跡法 (process tracing method) に関する研究動向」『立教大学心理学研究』Vol.55, pp.33–44 (2013).
- (61) Train K.E., *Discrete Choice Methods with Simulation Second Edition*, Cambridge University Press, NY (2009).
- (62) 土田尚弘, 「マーケティング・サイエンスにおける離散選択モデルの展望」『経営と制度』Vol.8, pp.63–91 (2010).
- (63) Uggeldahl K., Jacobsen C., Lundhede T.H., Olsen S.B., “Choice Certainty in Discrete Choice Experiments: Will Eye Tracking Provide Useful Measures?” *Journal of Choice Modelling*, Vol.20, pp.35–48 (2016).
- (64) Urban G.L., Hauser J.R., Qualls W.J., Weinberg B.D., Bohlmann J.D., Chicos R.A., Information Acceleration: Validation and Lessons from the Field. *Journal of Marketing Research* Vol.34, Issue 1, pp.143-153 (1997).
- (65) Van der Lans R., Wedel M., Pieters R., “Defining Eye-Fixation Sequences across Individuals and Tasks: The Binocular-Individual Threshold (BIT) Algorithm.” *Behavior Research Methods*, Vol.43, pp.239–257 (2011).
- (66) Van Loo E.J., Caputo V., Nayga Jr. R.M., Seo H.S., Zhang B., Verbeke W., “Sustainability Labels on Coffee: Consumer Preferences, Willingness-to-Pay and Visual Attention to Attributes.” *Ecological Economics*, Vol.118, pp.215–225 (2015).
- (67) Van Loo E.J., Nayga Jr. R.M., Campbell D., Seo H.S., Verbeke W., “Using Eye Tracking to Account for Attribute Non-Attendance in Choice Experiments.” *European Review of Agricultural Economics*, Vol.45, Issue 3, pp.333–365 (2018).
- (68) Vidal L., Antúnez L., Sapolinski A., Giménez A., Maiche A., Ares G., “Can Eye-Tracking Techniques Overcome a Limitation of Conjoint Analysis? Case Study on Healthfulness Perception of Yogurt Labels.” *Journal of Sensory Studies*, Vol.28, pp.370–380 (2013).
- (69) Wang J.T., Spezio M., Camerer C.F., “Pinocchio's Pupil: Using Eyetracking and Pupil Dilation to Understand Truth Telling and Deception in Sender-Receiver Games.” *American Economic Review*, Vol.100, Issue 3, pp.984–1007 (2010).
- (70) Wedel M., Pieters R., “Eye Tracking for Visual Marketing.” *Foundations and Trends® in Marketing*, Vol.1, Issue 4, pp.231–320 (2008a).
- (71) Wedel M. Pieters R., “A Review of Eye-Tracking Research in Marketing.” N.K. Malhotra (Eds.) *Review of Marketing Research*, Vol.4, M.E.Sharpe, Inc., New York, pp.123-147 (2008b).
- (72) Wolfe J.M., “Visual Search”. H. Pashler (Ed.) *Attention*. Psychology Press, East Sussex, UK, pp.13–74 (1998).
- (73) Yang L., Toubia O., De Jong M.G., “A Bounded Rationality Model of Information Search and Choice in Preference Measurement.” *Journal of Marketing Research*, Vol.52, pp.166–183 (2015).

ⁱ ET データをとらないとき、本稿では「回答者」と表現する。

ⁱⁱ 混合ロジットモデル (mixed logit model) とも呼ばれる。

ⁱⁱⁱ ほかのモデルについては土田⁽⁶²⁾に詳しく整理されている。

^{iv} Chorus⁽¹¹⁾は、標準的な効用最大化以外の DCE に

関するヒューリスティックスとして、排除ルール (elimination-by-aspects), 辞書的選択 (lexicographic choice), 参照依存型効用最大化 (reference-dependent utility maximization), (対照的)比較優位 ((symmetric) relative advantage), 文脈的凹性 (contextual concavity), 後悔最小化 (regret minimization) について数理心理学的に整理した。また, Gilbride and

Allenby⁽¹⁹⁾は連言ルール (conjunctive rule) と選言ルール (disjunctive rule) について定式化している。千葉・都築⁽⁶⁰⁾はそのほかの意思決定方略にも触れている。

v AN-Aの各種の定義と計測方法についてはVan Loo et al.⁽⁶⁶⁾に詳しく整理されている。

vi Khushaba et al.⁽⁶⁷⁾は脳科学的な意思決定過程を迫うために脳波計 (electroencephalogram) を表明選好法の一つであるベストワースト尺度法 (best-worst scaling) と、Rasch et al.⁽⁴⁵⁾は感情 (affect) を推定するために顔面筋電計 (facial electromyography) を CE と組み合わせた。

vii CE 以外の表明選好法と ET を組み合わせた事例は、完全プロファイル評定 (contingent rating) を用いた Piqueras-Fizman et al.⁽⁴⁴⁾, Vidal et al.⁽⁶⁸⁾, Behe et al.⁽⁶⁾, Rihn et al.⁽⁴⁹⁾, Rihn et al.⁽⁵⁰⁾, Khachatryan et al.⁽²⁶⁾ や、仮想評価法 (contingent valuation method) を用いた Oviedo and Caparros⁽⁴¹⁾ がある。

viii 実験として ET データをとるとき、本稿では「回答者」ではなく「参加者」と表現する。

ix Fenko et al.⁽⁴⁶⁾は食品選択のフィールド実験に眼鏡型 ET デバイスを利用した。

x 本稿では、アンケートの調査 (実施) 者、実験 (実施) 者を含め、観察者と表現する。

xi Wedel and Pieters⁽⁷⁰⁾はサッカーボールを 20~100 ミリ秒としていた。

xii Tobii Studio User's Manual. <https://www.tobii.com/siteassets/tobii-pro/user-manuals/tobii-pro-studio-user-manual.pdf> (retrieved on 2018/10/1).

xiii

<https://www.nationalaffairs.com/publications/detail/how-effective-is-economic-theory> (retrieved on 2018/10/1).

xiv 以降の数式において、概要をつかむため、紙幅の関係上からも一部省略的に表現する。また、本稿の中での記法を統一するため、実際の論文と記法を変えている部分もある。

xv ただし、AOI サイズ、プロファイル属性のなじみの深さに差異があることから結果には留保を要する。

xvi 誤差分散と反比例することから、明示的に正值として定義する必要がある。

xvii 離散変数発生メカニズムを明示して、ディリクレ過程混合ロジットモデル (Dirichlet process mixture logit model) と表現できる。

xviii ただし、2) の対数尤度、ベイズ情報量規準とも、他に比べて最も改善されており、結果には留保を要する。

xix 3) はさらに、3-1) Eq.5 で表現される、効用最大化・効用関数における視覚的探索過程の内生的導入・信念の更新・探索直後に選択した際の将来的期待効用モデル、3-2) 信念の更新のみ除外したモデル、3-3) 将来的期待効用のみ除外したモデルとして細分化され、逸脱度情報量規準 (deviance information criterion) で比較され、結果として Eq.5 が採択された。

xx <https://app.sticky.ai/> (retrieved on 2018/10/1)

xxi ほかに、CL 以外のモデルにも柔軟に対応する選択セット形成 (choice set formation) 研究、選択目的間のトレードオフや選択の成功に関わる複数目的追求 (multiple goal pursuit) 研究、選好の多様性やモデル識別性に関わるベイズ・ノンパラメトリックアプローチを挙げた。

xxii ほかに、選好やスケールの多様性研究、家計内の交渉とネットワーク分析研究、仮想バイアス (hypothetical bias) を緩和する帰結性 (consequentiality) や社会的望ましさのバイアス (social desirability bias) を緩和する推論評価法 (inferred valuation method) に関わる誘因両立性研究、選択セット形成・選択セットに関する制約や内生性に関わる資産価値選択研究、時間次元・データ融合 (data fusion) ・内生性・選択セット形成・多目的性に関わるレクリエーション需要研究、支払意思額の距離的減衰 (distant decay) ・近隣の効果・空間的多様性を含む空間研究を挙げた。

xxiii ほかに、自由診療などの顕示選好 (revealed preference) データとの結合推定や便益移転 (benefit transfer)、標本列挙法 (sample enumeration, Train⁽⁶¹⁾) に関わる外的妥当性・需要予測研究、健康政策の介入効果や分配の衡平性に関わる費用便益分析・質調整生存年 (quality adjusted life year) 当たり費用あるいは費用効用分析 (cost utility analysis) への DCE 応用研究、依存症を含むライフスタイル選択研究、高齢化とエイジング研究、途上国における基礎的医療パッケージ研究、健康分野以外の環境・マーケティング・労働等各分野との分野横断的研究を挙げた。