

## 非集計行動モデルの30年

ノーベル賞受賞研究者による回顧とこれからの展開

兵藤 哲朗

東京商船大学商船学部助教授

HYODO, Tetsuro

### 1. 非集計行動モデルとノーベル賞

久々の日本人ノーベル賞誕生にわく10月初旬、ノーベル経済学賞の受賞者も新聞紙上で報道されていた。そこになじみ深い名前を見いだした交通関係者も多かったのではなからうか。二名の受賞者のうちの一人はカリフォルニア大学バークレー校(UCB)のDaniel McFadden教授である。わが国でも大学院などで交通行動モデルの文献を勉強する際に、Ben-Akiva教授(MIT)と並び、必ずといってよいほど目にする名前であろう。

ノーベル賞授与の正式文書<sup>1</sup>を見ると分かる通り、今回の受賞理由には、経済学的理論背景に基づく選択行動モデルの開発、そして理論開発に止まらない、実用性のある方法論の展開があげられている。受賞を報道する多くのアメリカの新聞や、テレビ番組<sup>2</sup>では、McFadden教授の研究成果紹介に、サンフランシスコ湾岸域の公共交通であるBART(Bay Area Rapid Transit)の映像が用いられていた。後述する通り、BARTの需要予測には、彼が開発した交通行動モデルが用いられており、なおかつ、その予測作業自体も、彼を筆頭とするUCBの交通研究所(ITS: Institute of Transportation Study)のプロジェクトの成果であった。

さて、本稿で紹介するのは、この夏に国際交通行動学会(IATBR: International Association of Transportation Behavior Research)で発表されたMcFadden教授の招待講演論文である。論文では、1960年代以来のMcFadden教授の離散選択行動モデル(いわゆる非集計行動モデル)の開発経緯が、BARTの事例などを交えて紹介されている。今や交通需要

予測の標準的手法の地位を手中にした非集計行動モデルであるが、その黎明期の姿や、豊富なバリエーションが生み出された過程が個人の言葉としてまとめられているのが興味深い。非集計行動モデルの歴史は、極言すればMcFadden教授の研究の足跡そのものでもあると言えようか。以下、この招待論文の内容をかいつまんで紹介してみたい。

### 2. 論文の概略

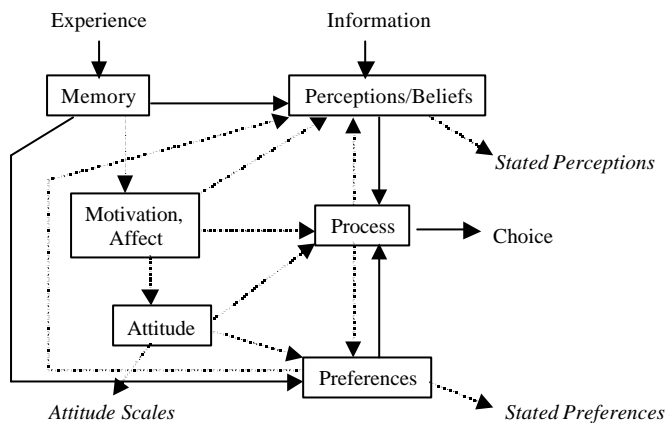
論文のタイトルは、"Disaggregate Behavioral Travel Demand's RUM Side --- A 30-Year Retrospective---"である("RUM"は"Random Utility Maximization"、ランダム効用最大化理論のこと)。文字通り、この30年間の非集計行動モデルの目覚ましい発展の足跡が30数ページに渡りまとめられている。ちなみに、目次は下記の通り。

1. Introduction
2. Developments
3. Choice Theory
  - Economic Consumer Theory and RUM
  - The Psychology of Choice
  - Market Research Methods and Travel Choices
4. Data
5. Statistical Methods
  - RUM Families
  - Sampling Methods
  - Latent Variable Models for Market Research Data
  - Computation and Simulation
  - Specification Testing: IIA Tests
  - Specification Testing: Mixing in MNL Models
6. A Look Ahead

第1章では、非集計行動モデルの適用性の高さを広く知らしめたBART開業前の交通手段選択モデル(車[一人乗車]-バス[徒歩アクセス]-バス[車アクセス]-車[カープール]の4手段選択)の推定結果や、その開発経緯が記されている。Nested Logitモデル開発前の、もはや古典の部類に属するモデル結果ではあるが、800弱のサンプルに対し、既に22

<sup>1</sup><http://www.kva.se> で公開されている "Advanced information on the Bank of Sweden Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel, 2000" より

<sup>2</sup> <http://emlab.berkeley.edu/users/mcfadden/nobel00.html> より



選択行動における意思決定プロセス（論文より）

[ 実線は通常の経済学で考えられるプロセス、破線は心理学的要素のつながりを示す ]

にも及ぶ説明変数が含まれていることに驚かされる<sup>3</sup>。

さて、30年以上に及ぶ非集計行動モデルの発展を支えた契機として、2章において3つのキーワードがあげられている。すなわち、「認知心理学」「計算法」「マーケットリサーチ」の進展である。「認知心理学」との関連では、人間の行動を、態度 (attitude) や知覚 (perception)、そして嗜好 (taste) などを交えた理解の必要性が述べられている (図参照)。これは LISREL などを組み込んだ行動モデルとして 1980 年代後半に提案された分析フレームである。また「計算法」が支えたモデルとしては、1980 年代後半の多項 Probit モデルの推定手法の開発や、1990 年代後半の Mixed Logit モデルなどがあげられる。「マーケットリサーチ」との出会いでは、意識データ (Stated Preference) を用いた幾つかの選択モデル構築方法の開発が記憶に新しい。

論文中、最も多くページが割かれているのは、非集計行動モデルのミクロ経済学的背景である ("Economic Consumer Theory and RUM")。そこでは所得や時間制約下の合理的な選択行動が、間接効用関数を通じて定式化されることや、導かれる支払い意思額 (WTP: Willingness To Pay) 式の性質などが紹介されている。なかでも McFadden 教授が強調しているのは、1990 年後半に開発された Mixed Logit モデルが、あらゆるランダム効用モデルを近似することができるという興味深い結果である<sup>4</sup>。Mixed Logit モデ

ルは下記の式の通り (変数説明は省略)、ロジットモデルの誤差項を一般化したモデルであり、シミュレーション法でパラメータが推定される。

$$P_c(i) = \int \frac{\exp[Z(a - c_i, w, t_i \mathbf{I}, x_i, s) \cdot \mathbf{a}]}{\sum_{j \in C} \exp[Z(a - c_j, w, t_j \mathbf{I}, x_j, s) \cdot \mathbf{a}]} \cdot F(d\mathbf{a})$$

Mixed Logit モデルがこのような汎用性を有する理由については、本文中にも直感的な説明がなされているが、証明は McFadden *et al.* (1998) に詳しい。極めて難解な証明プロセスであるため、本稿筆者の手に余る内容であるが、興味をお持ちの読者は一読されたい。

### 3. これからの展開

論文の最後には、1 ページではあるが、今後の非集計行動モデルの発展の方向性についてコメントが記されている。強調されているのは、認知や知覚といった心理学の要素が、今後の交通選択行動モデルの発展に大きな役割を果たすという見通しである。詳細な交通政策に対する住民意識調査や、サービス質を重視した交通需要予測など、近年交通行動モデルに求められる役割が多様化してきた背景を考えれば、McFadden 教授のこの予想的を得ていると思われる。

論文を通読し、BART モデルに始まる 30 年間の非集計行動モデルの展開を顧みると、いかに同モデルが豊饒に研究テーマを生み出し、そして強力な実務ツールとして機能してきたか、その証左を再確認できる。21 世紀を迎える今、一つの milestone としても本論文が持つ意義は大きい。温故知新の言葉通り、本論文が新たな展開への架け橋として多くの方の眼にとまることを願う次第である。

#### < 参考文献 >

- 1) McFadden, D. (2000): "Disaggregate Behavioral Travel Demand's RUM Side --- A 30-Year Retrospective ---", IATBR, <http://emlab.berkeley.edu/users/mcfadden> で公開
- 2) McFadden, D. and Train, K. (1998): "Mixed MNL Models for Discrete Response", *Journal of Applied Econometrics*

<sup>3</sup> わが国では、実務・研究ともに、これほど多数の説明変数が用いられることは稀であろう。米国流の説明変数の多いモデルの源流を見る思いである。

<sup>4</sup> 原文は "any well-behaved RUM model can be approximated to any desired level of accuracy by a random-parameters or mixed MNL model, or more

particularly by a latent class model, provided the transformation of observed variables and the random distributions that enter these forms are sufficiently flexible". 潜在クラスモデルも強力な近似モデルとされている。