



連載

ビブリア・トーク
—私のオススメ—

…加藤由花 (東京女子大学)

経営科学のニューフロンティア 7
混雑と待ち

高橋幸雄, 森村英典 著

(株)朝倉書店 (2001), 240p., 3,900 円+税, ISBN: 978-4-254-27517-9



本書は、待ち行列理論の入門書である。まえがきには「これまでにないまったく新しいタイプの入門書に挑戦してみることにした」と記されているが、まさにそのとおり、他の入門書とは一線を画すユニークな作りになっている。

まず、取り上げられている題材に特徴がある。本書では、待ち行列理論を「偶然を原因とする混雑現象の解析理論」と定義しているが、世の中には交通工学、在庫理論など、混雑現象を扱う学問は数多く存在している。これら広い意味での混雑現象を統合して論じることが本書の目指すところであり、「混雑」「待ち」というキーワードのもと、多種多様な題材が集められている。まったく異なる分野でありながら、「流入」と「流出」という観点から、混雑現象が統一的に論じられていく手法は見事である。

そしてもう1つ、各現象に対する理論的な裏付けが丁寧に解説されている点も、本書の特徴である。前半部（第1章から第4章まで）では、なるべく数学を使わず、直感的な議論がなされていくが、それに続く後半部（第5章から第9章まで）では、いくつかの現象を選択し、数理的に掘り下げた解説が行われていく。混雑現象を比較的簡単なモデルを用いて解析することで、単なる直感では得られない問題の本質が理解でき、適切な対応策が得られることが実感できる構成になっているのだ。決して難しい数学的概念を扱っているわけではないのだが、さまざまな事象を紹介しただけの読み物にならないよう、理論的な裏づけが丁寧に行われている点も好感が持てる。以下、内容を見ていこう。

人気店の行列はなぜできる？

まず前半部では、「混雑と待ち」現象が、とにかく広範囲に紹介されている。人気店の行列から人事の停滞まで、こんなものまで考察対象になるのかと驚かされる。主なものをいくつか紹介しておこう。

- 開門待ち型混雑（休日のテーマパーク、人気商品の売り出し日の行列など）
- ラッシュアワー型混雑（通勤ラッシュ、学食の行列、災害時の電話輻輳など）
- ランダム到着による待ち行列（スーパーのレジ、銀行のATM、滑走路など）
- 呼損系の待ち行列（電話、駐車場、レストラン、オーバーブッキングなど）
- 計算機における待ち行列（割込優先権、ジョブの処理方法、メモリ割当など）
- 通信における待ち行列（インターネット、LAN、ウィンドウ制御など）
- 歩行者と混雑（電車の定員、歩行者と専有面積、横断歩道、ホームや階段の混雑、緊急避難と非常口、エスカレータ、エレベータなど）
- 車の混雑（交差点における渋滞、ダンゴ運転、料金所、救急車の混雑など）
- 鉄道における混雑（電車の運行、ダイヤの回復、貨物ヤードなど）
- 都市と交通（水路交通、建物の高さや都市の大きさ、コンパクトシティなど）
- 備蓄と在庫（石油、米、水、図書館、DB、安全在庫、最適発注量など）
- その他（レンタカー、集中豪雨、洪水、ダム、ごみ問題とリサイクル、電力需要、人事の停滞など）

ランダム到着の意味

続く後半部では、前半で取り上げたいいくつかの現象を数理モデル化し、その解析方法が説明されている。ここでは「数理的にもう少し掘り下げることによってその本質の理解が容易になり、またその対策も自然と明らかになるような例」として、以下に示す電車やバスの待ち時間が取り上げられている。

適当な時間に停留所に到着した客が、次のバスが来るまでに平均何分待つ必要があるかという問題を考える。平均待ち時間はバスの到着間隔の分布によって決まり、たとえばバスがちょうど10分間隔で到着するのであれば、平均待ち時間は5分になる。これは、客の到着時点がバスの到着間隔（10分間）の間に一様に分布していると仮定し、待ち時間の期待値を取ることでより求められる。一方、バスの到着が（平均間隔は10分だが）まったくランダムであった場合は、バスの到着間隔は指数分布に従い、平均待ち時間は10分（等間隔の場合の2倍）になる。

ここでは、「ランダム到着」のモデルが、到着時間間隔が互いに独立で指数分布に従う確率過程となることが示され、ランダム性を示す最も重要な要素として「無記憶性（マルコフ性）」の説明が行われている。無記憶性は、確率過程のある時点から将来の振舞いが従う確率法則が、現在の状態のみに依存し過去の状態遷移には無関係に決まる性質のことであり、待ち行列理論の解析において重要な役割を果たす性質である。前半部のさまざまな現象を直感的に理解してきた読者は、ここにきて数理モデルのありがたさ（数式で書ける！）を実感することになる。

後半部ではさらに、窓口数の効果、待ち行列ネットワーク、流体モデルを用いた信号の周期やエレベータの配置問題などの解析結果も紹介され、それぞれの現象と数理モデル化の結果を体得できるようになっている。

情報ネットワークとのかかわり

待ち行列理論は、オペレーションズ・リサーチ（OR）の一分野であり、本書の著者たちもOR分野の研究者である。一方、本書にも記されているとおり、待ち行列理論そのものは、電話システムの設計と評価のために、1990年代の早い時期に、デンマークの電話会社技師 Erlang によってなされたのが最初と言われている。情報通信分野との関連は当初から深く、「通信トラフィック理論」として、さまざまなモデルが数学的に、また数値計算、シミュレーションによって解析されてきた歴史がある。

情報ネットワークは、本質的に確率現象を扱う学問なので、基礎理論として確率過程をベースとしたトラフィック理論を身につけておくことは意義がある。そのため、多くの大学でトラフィック理論に関する講義が行われており、KleinrockのQueueing Systemsを始め、多くの教科書が出版されている。しかし、確率論から始まるこれらの教科書は数式だらけになりがちで、難しすぎるとの声も聞かれる。

本書は、教科書として講義用に用いるというより、参考書や副読本にぴったりの本である。勉強したいのだけど待ち行列理論ってよく分からない！という方にもお薦めである。日頃遭遇するさまざまな確率現象が、どのように数理的にモデル化されていくのかをぜひ体感してみたい。

トラヒック vs. トラフィック

ちなみに、情報処理学会では traffic を「トラフィック」と記載するが、通信業界では「トラヒック」と記載するのが慣例である。「トラヒック」と書いて情報処理学会に投稿した論文が、掲載前の校閲で「トラフィック」と直されてきたときにはちょっとしたカルチャーショックであった。企業に在籍していた当時は、所属部署名からして「通信トラヒック研究部」だったので、世の趨勢がトラフィックであるとは、夢にも思っていなかったのだ。

(2014年9月10日受付)

加藤由花（正会員） yuka@lab.twcu.ac.jp

1989年東大・理卒業。NTT、電気通信大学、産業技術大学院大学を経て、2014年から東京女子大学教授。情報ネットワークに関する研究に従事。博士（工学）。

訂 正

本誌 55 卷 12 号 (2014 年 12 月号) の連載 ビブリオ・トーカー私のオススメ「経営科学のニューフロンティア7 混雑と待ち」に一部誤りがありました。お詫びして訂正いたします。

p. 1409 右段 6 行目 (誤) 1990 年代 (正) 1900 年代