



# パリとロンドンでの 推論研究

第36回 高橋 達二 (東京電機大学, University of London, Birkbeck)

**著者紹介** ▶ 1978年秋田県生まれ。博士(理学)。東京電機大学理工学部情報システムデザイン学系准教授、ロンドン大学パークベック校客員研究員。内部観測研究室主宰。不定さも扱える認知の柔軟さを、可能な限り計算論的かつ経験的に研究したい。目下、強化学習における満足化の意義と、人間や動物の因果推論に関心がある。Cognitive Science Society, 日本認知科学会などの各会員。

## 1. はじめに

筆者は東京電機大学の理工学部、情報システムデザイン学系で内部観測研究室を主宰している。情報システムデザイン学系は、教員が20人以上いる、いわゆる文理複合型の組織である。2018年度からは知能情報デザインコースを四つ目の専門(英語でいうmajor)として新設し、筆者もそこに所属する。プログラミングと統計学を軸に、自然知能(認知科学・心理学)と人工知能を合わせて学ぶもので、恐らくコンセプトとしては世界的にも先進的である。

2008年度から同学系で働き始め、2010年度から自分の研究室を立ち上げ、2015年度で一度学生を全員送り出した。研究室からは通算で62人の学部生、14人の修士、2人の博士学生が卒業した。2016年度の1年間は研究室を休止し、本学の海外研修員として、ヨーロッパで研究を行った。滞在先は、パリのパリ高等研究実習院(EPHE)とロンドンのロンドン大学パークベック校の二つとした。パリでは数年来の友人のJean Baratgin教授、ロンドンでは一緒に多国間共同研究グラントを申請したことのあるMike Oaksford教授にホストをお願いした。

研究としては、世界に内在し、観測もまた行為であるしかないエージェントの認識と存在に興味がある。そのような考え方を進めたときにエージェントと環境、学習と適用、探索と活用、最適化と満足化、主観と客観、といった区分がどう変容するか、にも強い関

心がある。このような考え方の内部観測論はこれまで生命システムの数理、量子、タンパク質、脳、経済系、などを扱ってきたが、筆者は学習と、特に人間に見られるいわゆる高次認知、特に推論、因果判断、意思決定を主なフィールドとみなしている。

人工知能との関連では、深層学習が牽引している今回のブームを、自然知能の理解につなげることには関心がある。つなげる、というのは、人工知能の研究成果を自然知能の分析に役立てることと、自然知能の研究の知見を人工知能の発展に役立てるといふことの二方向を考えたい。

例えば、計算、合理性、論理といった言葉の人工知能関連のメディア記事や論文での使われ方に違和感がある。一言でいうと、関係概念が実体概念のように使われてしまっている。「コンピュータは計算が得意で、合理的で、論理的であり、その上に実装された人工知能も、人間と比較してそのような性質をもっている」とされやすい。そういった言い方は同語反復に近く、あまり意味がないと思う。ビット演算のイメージを計算機の振舞いのレベルまで拡張するのは、個別のニューロンの振舞いと動物の振舞いのレベルを一緒にくたにするのに近く思える。チューリングマシンやラムダ計算を考えても、カバーしづらいところは多い。ある計算は文脈に依存し、他の計算に文脈を提供する。合理性はさらに明らかに文脈に依存する。認知科学では合理性の

概念が1990年代から大きく転回した。環境の構造と不確実性を考慮したうえで、そこにおける個別のかつ深いゴールについて議論しない古典的な合理性は動物の理解に役立たないからである。新しい合理性は適応的合理性あるいは生態学的合理性と呼ばれる。

論理についても同様で、論理を古典論理と同一視し、真理値として真と偽のみ考えて、その非現実性を言いつつ、論理に則っている人工知能は論理的だが融通が利かない、というも、古い(古典的な)論理の捉え方であると思う。ここでもビット計算がそのまま参照点になっているように思われる。認知科学では、論理主義が一度席卷した関係で、ベイズ派を中心とした確率主義が論理を否定したが、その後2000年代から、哲学(Ramseyら)や確率論(de Finettiら)が心理学の実験的知見と合流し始め、二値論理の一般化としての確率論理が、理論的にも、また人間の推論の記述理論としても、ヨーロッパを中心に整備されつつある。

確率統計に基づいた機械学習が一般的になってからは、計算の概念が多様化し、ある意味では曖昧になり、合理性は統計学的推論の妥当性となり、論理は狭いものとして否定されがちである。このような状況で、新しい計算、合理性、論理などの道具立てを用いて、自然・人工両知能の分析や人間の特異性を明らかにするのは喫緊の課題の一つであると考えている。

このあたりはイギリスと西ヨーロッ

パを中心とした推論心理学が中心となって知見を蓄えてきたところで、地味だし、実験設定で思想を表現するところがあって慣れないと論文も本も読みづらいが、今後いわゆる高次認知の機能の実現といった段階にさしかかった際にも本質的な重要性をもつ分野だと思ふ。

さて、本稿は以下、筆者のホストをしてくれた二人を紹介し、筆者が彼らと行った推論心理学における研究について触れ、少しヨーロッパでの生活のことも書く。

## 2. パリでの研究

パリでホストをしてくれた Baratgin 教授は、パリ第8大学と EPHE に所属し、ある種の質的なベイジアン立場を取り、確率判断や、不確実な前提からの推論の研究を行っている。また、パリを中心とした推論の研究グループである PARIS (Probability, Assessment, Reasoning and Inferences Studies) を率いている。最近では、de Finetti の主観確率理論が人間の推論をどのくらい適切に記述するか、という問いにフォーカスしている。不確実性のもとでの、確率論と整合的な論理として、de Finetti は三値論理を提案しているが、そこでは標準的な真と偽のほかに、真でも偽でもない、あるいは真偽がわからないという認識論的な第三の値を認める。これにより、ある対象がある属性をもつかどうかに関するデータの欠損などを扱えるほか、特に「 $p$ ならば $q$ 」のような条件文を適切に扱うことができるとされる。古典論理の範囲では自然言語の条件文「 $p$ ならば $q$ 」に最も近いとされるのは実質含意「 $p \supset q$ 」で、これは「 $p$ でないかまたは $q$ である」に同値として定義される。それに対して de Finetti は、条件文「 $p$ ならば $q$ 」が全体として、前件 $p$ が真のときは $q$ と同じ真理値をもち、前件が $p$ が真でないときは真でも偽でもない、とし、これが条件付きの賭けと並行的であると主張した。賭けでいうと、条件文を主張する者の勝ち、負け、賭けの無効、という三つのケースが、それぞれ、真 (true)、偽 (false)、真でも



図1 Jean Baratgin 教授

偽でもない (void)、という値に対応する。そして事象 $p, q$ に対して $q|p$ を条件付き事象と呼び、条件文の確率が条件付き確率 $P(q|p)$ で与えられるとした。これを支持するデータが推論心理学でもかなり蓄積されてきているが、この重要性は確率論との整合性にある。また、このような論理は conditional event algebra という名前で研究されており、広い意味での人工知能の研究の範囲に入っている。条件付き事象も事象であり、条件文も文である、というのは、関数型プログラミング言語のように、関数を値として扱えるというのに近い、概念的にも面白いと思う。

このような背景のもと、Baratgin 教授は自然言語の基本的な結合子、すなわち「かつ」、「または」、「でない」、「ならば」などの確率論理的な性質を、筆者と共同で実験的に調査している。特に、双条件文、「 $p$ ならば $q$ 、かつ $q$ ならば $p$ 」という、二つの条件文の連言の真理値表やその確率形式について興味深い結果を得ている。

Baratgin 教授はロボットとの相互作用などについても大学院生と研究しており、親日家でもある。彼には、大阪市立大学の山 祐嗣先生が日本側の研究代表者であった二国間交流日仏共同研究 CHORUS プログラム「真と偽を超えて一確信の度合い」(2011~14)におけるフランス側研究代表者として出会い、共同研究を始めた。

## 3. ロンドンでの研究

ロンドン側のホストである Oaksford 教授は、ロンドン大学バークベック

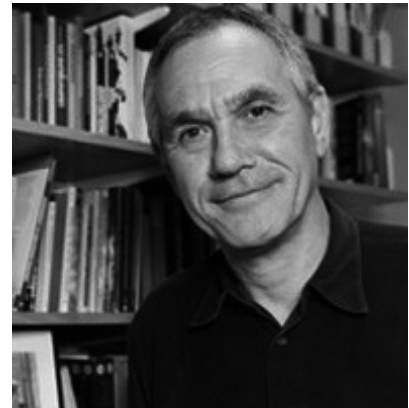


図2 Mike Oaksford 教授

校の心理学部学部長であり、また Ulrike Hahn 教授と Reasoning and Argumentation Lab (ReAL) を共同主宰している。Oaksford は1990年代から、推論の心理学を牽引してきた。最初期は論理主義・記号主義的な認知の理論を批判し、確率的アプローチを具体化していった。また、記号主義への批判の関係で、コネクショニストアプローチにも深い関心をもち、2016年には15回目がフィラデルフィアで行われ、筆者も聴講した The Neural Computation and Psychology Workshop (NCPW) Series の第1回は、イギリスのウェールズにおいて Oaksford の主催で行われている。このように当初から計算論的レベルだけでなくアルゴリズムレベルにも関心を払っており、また一貫してフレーム問題などへの理解も深い。

Oaksford は長年の共同研究者である Nick Chater とともに2000年代前半までは4枚カード問題や三段論法、条件推論などのタスクを主に扱い、論理的な推論形式とそこに見られる人間のエラー・不合理性を確率論や情報理論を用いてモデリングし、人間が環境からの獲得情報量を最大化するといった行動をしていることを明らかにし、それが不確実性のもとで合理的であることを示した。これは、実験者が論理課題として与えた実験タスクが、実験参加者には確率的なタスクとして解釈されてきたこと、そして Oaksford & Chater の前にはそれが気付かれてこなかったことを意味する。ある意味では、「普通の人々」である実験参加者のほうが実験者よりも合理的であったことに

なるのが興味深い。彼らは、このようなモデリングと実験、そして丁寧にフェアな議論により、推論の分野での人間観を書き換えることに成功している。その後 2000 年代後半からは本人の言う「心理言語学的転回」を経て、実際の言語使用、特に議論 argumentation における合理性を再考し、議論において通常は誤謬や詭弁とされる、例えば「無知に訴える論証」をベイジ的に分析し、その限定的な合理性を示すなどの仕事を精力的に行っている。

人間の推論が因果モデルに基づいており、またベイズネットが適切な枠組みを与えることもごく早くから主張しており、論理から確率を経て因果へ、という流れをつくった一人でもある。この流れにおいて、Oaksford の多数の論文の中での異色の仕事として、立命館大学の服部雅史教授との 2007 年の因果帰納に関する論文があり、これは人間の因果推論が、観察と介入の 2 段階に分かれているという理論を与えたうえで、観察段階の新しいモデル (2 要因ヒューリスティクス) を与えるものである。筆者の最近の研究の一つはこの議論に深く関連しており、より単純かつデータフィットが良く、またシミュレーションでも小サンプルからのより優れた推測を行う pARIs (proportion of assumed-to-be rare instances) モデルを提案するものである。これをもとに Oaksford との共同研究として、観察段階・介入段階を包括する理論とアルゴリズムの提案を行う作業を進めている。これによって、なぜ人間の因果関係に関する直感が時に対称的であるのかの合理的な説明を行い、かつ人間がなぜごく少数のデータから因果関係を、時に適切に判断で・また時に固有の傾向の間違い方をするのか、について答えることができると考えている。また、pARIs の値をカイ 2 乗の代わりに用いることで、それなりに自然な前提のもとで、PC アルゴリズムなどの初期の手続きにおいてより迅速な独立性検定を実施できると思われる。pARIs モデルは前章で述べた de Finetti の体系での双条件文の確率に相当し、また類似性の尺度としてよく用いられる Jaccard



図 3 ロンドン大学バークベック校心理学部の集合写真。反 Brexit の意味合いがあったようである。筆者は自宅の掃除のため機会を逸した

係数と等価なほか、三角ノルムの性質ももっており、かつ心理学の実験でもさまざまなタスクでそのパターンを現すので、より豊かな含意をもっているものと期待している。

#### 4. ヨーロッパでの生活

ご存じのとおり、結構いろいろあった時期にヨーロッパに滞在した。海外研修の申請を出しているところだった 2015 年 11 月のパリのテロで、国家緊急事態宣言が出され、所属先で恒例となっているフランスの提携先研究機関への訪問も中止になっていた。来てみたら街中に警備の兵隊が多く、日本人観光客はかなり少なかった。同じ建物に住んでいたマダムがオーナだった日本人に人気の商店が潰れていたりした。パリの街中で日本語を良く聞くようになったのは夏を過ぎてからで、その後もずっと昔より少なかったという感覚がある。パリで住んだのは 3 区のマレ地区で、テロの現場は六つとも近かった。ロンドンでの 3 月のテロの時も住居から歩いてすぐの距離だったので、そのときにすでに家族が帰国しているのは安心であった。

その他、労働法改正のデモとストで物騒だったり、CDG を飛び立ったエジプト航空の飛行機の墜落もあったし、4 月後半から 5 月いっぱい悪天候でセーヌ川も洪水になり、パリでは噂どおりの滞在手続きの面倒。県庁に 7 回行って、妻と娘がアメリカに里帰りできない危険性が 8 月の出発直前までであった。妻も大学教員なので、今思えば、何とか研究者ビザを取ったほう



図 4 MERLiN ラボの壁に貼られていた国旗。あるメンバによれば、日本の国旗は上下が逆で、地球外のものも混じっているらしい

が良かった。Brexit のあった 6 月下旬はブレターニュ地方で研究をしており、ホストである CNRS の Hugo Mercier 氏と家族ぐるみの付き合いができた。Brexit について、アイルランド出身の奥さんの視点も含め、いろいろと話ができ興味深かった。7 月にはニースで痛ましいテロがあった。8 月には筆者は ICT (International Conference of Thinking) でプロヴィデンスのブラウン大学、NCPW15 と CogSci 2016 でフィラデルフィアに行ったが、帰りの JFK 空港では発砲騒ぎ (後に誤報と判明) があり、3 時間の足止めを食った。その後 11 月にはアメリカの大統領選挙もあったが、アメリカ人の妻は今でも参っている。

パリでは最初は EPHE の一室で仕事をしていた。筑波大学に留学し、旧フランステレコムの日法人のトップだった人と長話をしたり、なかなか面白い職場だったのだが、研究所内の研究組織に大きい変化があり、その後は必要があって街中のコワーキングスペース (シェアオフィス) を多用した。これは、お金はかかるものの、とても良かった。筆者はフランス語が得意でないので、コワーキングスペースでスタッフや他の客と英語でおしゃべりができたのが良かった。ちなみに知らない人としょっちゅうおしゃべりするのはパリでもロンドンでも、普通のカフェでも電車でも同じで、近所のスーパーの店員に映画を薦めらるといったことも頻繁にあって楽しかった。フランスに行った後も、日本に帰国後も、

通説どおり6週間後に軽いカルチャーショックがあったように思うが、帰国時のそれは、通りすがりの人と話ができないのを少し息苦しく思う。大体、現地で深くお世話になった人達とは、公園やカフェで出会ったし、子供連れだとさらに話が弾んだ。また、パリにせよロンドンにせよ、多様性の尊重なり、こちらを「外人」扱いしない人々のオープンさの恩恵は最大限に受けた。ありがたいことである。

パリは何度か研究出張でも行っていて、プリンタなど使いやすすくない印象があったので、ソニーのA4サイズの電子ペーパーのDPT-S1とiPad Pro+Apple Pencilを中心に、完全にペーパーレスにして行った。なぜかパリでは電子ペーパー端末に興味津々な人に良く声を掛けられ、それは何なのか、どう使うのか、どこのメーカーの何という型番なのか、と10回くらい聞かれたので、こちらも説明に慣れて流暢になり、型番などスマホで写真を撮るよう勧めるなど、手順がすぐに固まった。ロンドンでもフランス出身の研究者に同様に尋ねられた。何かある。

ロンドンでは1か月間、ロンドン大学バークベック校の地下にあるMERLiN (Mace Experimental Research Laboratories in Neuroscience) labというところに机をもらって落ち着いて研究ができた。認知神経科学の研究室なので、学生の卒研の実験に参加したりした。学生もスタッフも全員が揃いも揃って英語が流暢なのは、まあ当たり前であるが、大きなアドバンテージである。

筆者の仕事時間は年で平均して、せいぜい週に30時間くらいだっただろうか。子供が1歳になったばかりで、また保育園も現地ではほぼ全く使えなかつ

たからである。これではあまりに足りない、結構フラストレーションもあったのだが、今年4月の帰国後は教育や雑用で、全く集中して研究のできない週すらあるわけで、ヨーロッパでは、特に日本での学期中の2倍以上のアウトプットがあったし、研究費の申請書などにもそれなりの時間を費やせたのはありがたかった。

## 5. 日本の研究

Mikeはパークベック校の心理学部の学部長を長くやっているので、打合せ時にいろいろ面白い話を聞いた。印象に残っている話の一つは「心理学部の教員については研究に支障が出ず、共同研究や交流の時間も取れるよう、年間40時間以上教えさせないように守っている。そうしないとアカデミックな機関として存続できないから」というもので、40コマか、授業か、時間か、単位を聞き返してしまった。ただ確かに、北米でも、研究費をたくさんとる研究教員の教育負担も大体同様であり、週2コマの授業を一セメスター行うという場合が多いように見える。欧米の研究大学の教員の仕事の速さを想起し、納得した。また、最近良く話題になるように、日本の大学に比べてスタッフが数倍多く、大学教員が試験監督を行うようなことはけっしてないそうである。大学院生に聞いたら、ときどき時給20ポンド程度で監督をするのだと言っていた。

こういった話については、ヨーロッパ滞在中であるのを生かして各国の制度についてときどき聞いてみたが、どこと比較しても、日本の先生が働き過ぎなのは確かである。日本の大学の良さについてはいうまでもない、として、しかし環境の落差を肝に銘じたうえで、

仕事の仕方をよく考え直すきっかけになった。また、この1年間で三つほど、すべて違う国の研究者との行き違いとその修復のプロセスを経験し、自分の基本的な協働ポリシーに関しても考える良い機会になった。

## 謝辞

研究に関しJeanとMikeに、諸手続きとサポートについてEPHEのアジア・アフリカ地域担当のChristophe Valia-Kollery 准教授とパークベックの院生のNicole Cruzに、大変お世話になりました。パリでEPHEのオフィスを使いづらくなってからはHubsy Café & CoworkingのRebecca, Anthony, Jérémyが面倒を見てくれました。最初はArts & Métiers店で、オープン後は保育園に近い新République店で、のびのび仕事をさせてもらいました。近所のFringeやFragmentsでも相当長居をさせてもらいました。

同じくらいの子供のいる夫婦であるThérèseとHugo、リエさんとオリヴィエ、ミユキさんとセバスチャン、アイコさんとザックに本当にいろいろな面で深く助けられました。

日本で筆者の不在をカバーしてくれた同僚の上浦さん、柴山さん、我妻さん、佐藤先生、会いに来てくれた山川さん、一郎さん、秋田の両親、会いに来てようとしてくれた寺島さん、浅川さん、沼尻さん、ありがとうございました。そして同時期にパリにいた武藤さん、あまりお会いできませんでしたが大変心強かったです。

皆さんなしには今回の在外研究は不可能でした。どうもありがとうございました！ 今後ともよろしく願いたします。