

平成 23 年 2 月 7 日現在

研究種目：基盤研究(C)
研究期間：平成 19 年度～平成 21 年度
課題番号：19500229
研究課題名（和文）
適応的ヒューリスティックに基づく人間の推論と判断の統合的枠組みの研究
研究課題名（英文）
An integrative framework for human reasoning and judgment based on adaptive heuristics
研究代表者
服部 雅史（HATTORI MASASI）
立命館大学・文学部・教授
研究者番号：50301643

研究成果の概要（和文）：

本研究は、推論と判断に関する適応的ヒューリスティックを実験的・計算論的に明らかにし、多様な現象を統合的に説明する理論的枠組みを構築することを目的として実施された。特に、因果推論と確率判断に関して、顕著な研究成果を得た。因果帰納の二要因ヒューリスティックモデルの記述的妥当性と適応的合理性を明らかにし、基準率錯誤をはじめとするさまざまな思考のエラーを、等確率性仮説というキー概念を使って統合的に説明した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study was to empirically and computationally reveal the nature of human adaptive heuristics for reasoning and judgment and to construct a theoretical framework that provides an integrative perspective on a wide variety of phenomena. We have obtained a significant achievement with regard to causal reasoning and probability judgment. We clarified the descriptive validity and adaptive rationality of the dual-factor heuristic model and we explained various errors in thinking including the base rate fallacy using the equiprobability hypothesis.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 19 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
平成 20 年度	800,000	240,000	1,040,000
平成 21 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：因果推論，論理的推論，確率判断，対称性

1. 研究開始当初の背景

5 歳児でも、自分の知識に基づいて一貫性のある論理的な推論ができる。このような人

間の論理性は、悉無律的な論理学とは相容れないものである。つまり、論理学は、推論の計算論的水準の理論(Marr, 1982)ではない。それにも関わらず、これまでの推論研究は、論

理学という規範と人間の推論パフォーマンスの乖離を説明することに終始してきた。その結果、演繹、帰納、判断・意思決定などの高次認知のエラーやバイアスの多くが、別々の現象として研究されてきた。本研究は、確率論に基づく理論的枠組みによって、高次認知の諸現象を統合的に説明することを目指す。さらに、その根底にある認知的メカニズムについて、シンボル操作や言語運用、概念構造との関係において考察する。

本研究の背景には4つの研究の流れがある。1つめは、Anderson (1990) に始まる合理分析の考え方である。人間の認知は環境に最適化しているはずであるとの仮定の下で、環境を定式化し、そこでの最適解を求めることによって認知モデルを同定できるとする。これは、本研究の基底を流れるアイデアである。2つめは、Oaksford & Chater (1994) に始まるWason 選択課題を用いた演繹推論の研究である。確率論的枠組みにより、稀少性仮説と等確率性仮説(Hattori, 2002)のもとで、この課題が最適データ選択として説明されることが明らかにされた。3つめは、Cheng & Novick (1992) に代表される共変動に基づく因果帰納研究である。本研究の一部(研究I)は、彼女らのモデルに対するアンチテーゼとして提唱された DFH モデル(服部, 2001; Hattori, 2003; Hattori & Oaksford, 2005) の延長線上にある。4つめは、Kahneman, Slovic, & Tversky (1982) に代表される判断・意思決定の確率論的規範からの逸脱の研究である。本研究の理論的枠組みは、彼らのヒューリスティックに基づく説明より低水準のもので、しかも広いスコープを持つ。本研究は、以上4つの研究の流れを統合するものである。

2. 研究の目的

われわれの住む世界は、あいまいで不確定である。このような環境において適応的に生きるためには、有用なヒューリスティックを持つことが不可欠である。そこで本研究は、推論と判断に関する適応的ヒューリスティックを実験的・計算論的に明らかにし、多様な現象を統合的に説明する理論的枠組みを構築することを目的とした。この目的は、以下の3つのカテゴリーに分類される。

(1) 因果帰納と共変動検出

本研究代表者(服部, 2001, Hattori, 2003)によって以前に提案された二要因ヒューリスティックモデル(DFH)を拡張的に展開する。これまでの研究で明らかにされたことは、原因候補事象(c)と結果事象(e)の関係の強さを判断するとき、われわれは c が生じたときの e の生起確率 $P(e|c)$ と、 e が生じたとき

に c が生起していた確率 $P(c|e)$ を同程度に考慮に入れるということであった。より具体的には、関係の強さの評定値は、両者の幾何平均値によって予測されるとするものであった。

しかし、DFH モデルの記述力が他のモデルと比べてどの程度高いのか、記述力が高いとすればそれはなぜか、このモデルが共変動と因果の違いをどう位置づけるのかについては十分に明らかになっていなかった。そこで、これらの点を明確にすることを目的とした。

以上の目的により実施された研究を、以下では研究Iと呼ぶ。

(2) 等確率性仮説の拡張

これまで個別に研究されてきた演繹推論、帰納推論、確率判断、意思決定における様々な問題を、統合的に説明するためのキー概念として、等確率性と稀少性を想定した。

等確率性仮説とは、任意の2つの事象(例： p と q) の関連性について考えるとき、両事象のデフォルトの生起確率がほぼ等しい $P(p) \approx P(q)$ と仮定することを指す。また、稀少性仮説は、両事象のデフォルトの生起確率が小さいと仮定することを指す。

本研究では、条件文推論における双条件解釈、因果帰納における密度バイアス、確率判断における基準率錯誤や連言錯誤など、これまで個別にはよく知られてきたエラーの多くが等確率性と稀少性の両方を満足しない構造を持つことに着目し、推論と判断・意思決定に共通する認知のしくみを説明することを目的とした。

以上の目的により実施された研究を、以下では研究IIと呼ぶ。

(3) 概念構造の合理分析

最後に概念構造の合理分析を行うことを目的とした。等確率性と稀少性という2つの仮説が正しいとしても、なぜそれらが成立するのかを説明するためには、人間の概念構造にまで踏み込む必要がある。シンボル操作や言語運用との関係を探りながら、高次認知の統合的な説明のための理論的枠組みの充実を目指すことを目的とした。

以上の目的により実施された研究を、以下では研究IIIと呼ぶ。

3. 研究の方法

個々の研究の方法は多岐にわたるため、本項と次項では、出版された研究成果(文献情報の詳細は項目5を参照)に基づいて説明する。研究Iに関する主要な研究成果は、次の2点である。

- (a) Hattori & Oaksford (2007): *Cognitive Science* 誌,
- (b) 服部(2008): 「日本心理学会シンポジウム」発表

研究 II に関する主要な研究成果は、次の 4 点である。

- (a) 服部(2008): 『認知科学』誌
- (b) Hattori & Nishida (2007): *SJDM2007* (国際学会) 発表
- (c) Hattori & Nishida (2009a): *Psychonomic Bulletin & Review* 誌
- (d) Hattori & Nishida (2009b): *SJDM2009* (国際学会) 発表

なお、研究 III に関する主要な研究成果は、服部・山崎(2008)(『認知科学』誌)であるが、現時点ではまだ萌芽的であるため、本稿では報告を省略する。

以下、最も顕著な成果である研究 I の(a)と研究 II の(c)について、それぞれ研究方法と成果を報告する。

- (1) Hattori & Oaksford (2007)

この論文では、因果帰納の二要因ヒューリスティック(DFH)モデルの記述的妥当性と適応的合理性を調べるため、2つのメタ分析、2つの実験、2つのコンピュータシミュレーションを行った。DFHとは、原因候補事象を c 、結果事象を e とするとき、両者の間の因果関係の強さについての共変動に基づく評定値は、 $P(e|c)$ と $P(c|e)$ の幾何平均(積の平方根)で予測できるとするものである。

以下では、最も重要なメタ分析と実験 2 について概要を説明する。

メタ分析 1 および 2

DFH の記述的妥当性を確認するため、 2×2 分割表に関してこれまで心理学、統計学、気象学、疫学などにおいて提案されたモデル(指標)を、そのモデル対象を問わず網羅的に集め、過去の因果帰納に関する離散課題のデータに対するフィットを比較した。

DFH 以外のモデルとしては、過去の文献から、パラメータを含まない 33 個のモデル(メタ分析 1)と、パラメータを含む 7 個のモデル(メタ分析 2)が集められた。一定の基準を満たす実験として、過去の文献から 6 件のデータが集められた。さらに、実験 1 の離散課題データと、次で述べる実験 2 のデータも加えて、データに対するモデルのフィットを比較した。パラメータを含まないモデルについてはフィットの良さを指標として r^2 を使用した。パラメータを含むモデルについては、 $AICc$ を使用した。

実験 2

メタ分析 1 と 2 の結果は、DFH の記述的妥

当性を端的に示したが、他のモデルでも DFH に近い成績を示したものがあつた。それらを明確に差別化するには、メタ分析だけでは限界があり、差別化のために設計された刺激セットを使用する必要がある。そこで、これまでの因果推論の研究において、最も影響力のある ΔP に焦点を当て、 H と ΔP を差別化するための実験材料を用意した(表 1)。なお、表の a, b, c, d は、それぞれ、原因 + 結果 = 有 + 有、有 + 無、無 + 有、無 + 無を表している。

表 1 実験 2 で使用した刺激

a	b	c	d	H	ΔP
1	1	12	28	.20	.20
1	0	24	24	.20	.50
1	0	19	78	.22	.80
3	1	6	5	.50	.20
3	1	6	18	.50	.50
1	0	3	12	.50	.80
12	3	3	2	.80	.20
12	3	3	7	.80	.50
9	1	3	27	.82	.80

実験には 50 名の学生が参加した。課題は、提示される各人物について、牛乳を飲むこと(原因候補事象)と腹痛(結果事象)の間の因果関係の強さを判断するというものであつた。コンピュータ画面に、牛乳を飲んだか飲まなかったか、腹痛になったかならなかつたかを表す図が逐次提示された。各事象の出現頻度は表 1 に示す通りで、提示順序はランダム化された。参加者は、各刺激提示後に、両者の因果関係の強さを 0 から 100 までの数値で回答した。

- (2) Hattori & Nishida (2009a)

この論文では、従来、基準率錯誤と呼ばれてきた確率判断における典型的なエラーを、われわれのオリジナルの考え方、等確率性仮説によって説明した。仮説の正しさは、2つの実験により鮮やかに支持された。

以下では、実験 1 の概要を説明する。

実験 1

本研究で扱ったのは、次のような確率判断課題である。

X 症候群の感染率は 1% です。X 症候群に感染しているならば、検査で陽性となる確率は 80% です。X 症候群に感染していないとしても、検査で陽性となる確率は 9.6% です。今、患者の検査が陽性でした。この患者が本当に X 症候群である確率は何%でしょうか? 直感で教えてください。____%

この課題の正解は 7.2% であるが、最も多

い回答は 80% である。従来、この課題で間違える理由は、課題中で与えられている基準率 (1%) を無視するためだと考えられてきた。しかしわれわれは、そうではなくて、課題中で問題になっている 2 事象 (X 症候群であること : H / 検査で陽性であること : D) の確率を等しいと仮定 (等確率性仮定) してしまうためと考えた。

そこで、実験参加者の持つ $P(H)$ と $P(D)$ の等確率性を崩すために既存の知識を利用した。たとえば、「咳をしている」という情報からは、風邪が原因であると推論されやすく、他にもタバコや空気の乾燥など多くの原因候補を思いつきやすい。したがって、等確率性仮説によれば、 D を「検査で陽性となること」ではなく「咳の症状」とすることにより、症候群 (H) に比べて咳の症状 (D) の事例数が圧倒的に多いことが知覚されやすくなり、偏確率構造の認識が促進されるために、基準率課題の正答率が上昇すると予想される。

統制条件では、上の課題を使用し、実験条件 (咳条件と呼ぶ) では、同じく X 症候群のカバーストーリーを用いたが、「検査で陽性となる」という部分が「咳の症状が出る」となっている課題文を使用した。

実験計画は 1 要因 2 水準 (統制 / 咳) の参加者間計画とした。大学生 36 名が実験に参加した。参加者は 18 名ずつ 2 つの条件にランダムに配置された。

4. 研究成果

(1) Hattori & Oaksford (2007)

因果関係と相関関係が異なることは誰でも知っている。しかし、両者の関係について、誰もが納得する説明はまだない。本研究では、因果帰納は、因果的に関連ある候補要因を効率よく拾い上げるヒューリスティック段階と、両者の関係が本当の因果関係なのか単なる相関関係なのかを見極める分析的段階の 2 段階からなると仮定した。さらに、前者においては因果と相関は明確に区別されず、その段階では、二要因ヒューリスティックモデル (DFH) が重要な役割を果たすと考えた。つまり、DFH は、共変動 (相関) に基づく関連性判断のための効率的な近似計算の手段として、生態学的に有効に機能していると考えた。この仮説を、2 つのメタ分析、2 つの実験、2 つのシミュレーションによって検証した。

メタ分析 1 および 2

2x2 分割表に関する 40 個の指標を、パラメータを含むものと含まないものに分けて、離散課題の因果帰納データへのフィットを DFH と比較したところ、いずれの比較においても、DFH がデータに対して最もよいフィッ

トを示した。前者の結果を図 1 に示す。

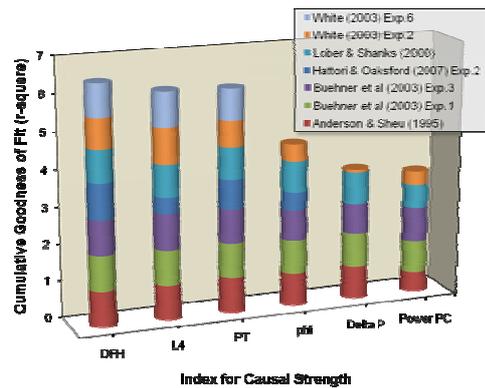


図 1 メタ分析 1 (パラメータを含まないモデル) の結果。

実験 2

図 2 は、参加者が答えた因果関係の強さの評定値の平均を示す。 H とは非常に高い相関を示したが ($r^2 = .96$), ΔP とはほとんど無相関であった ($r^2 = .00$)。

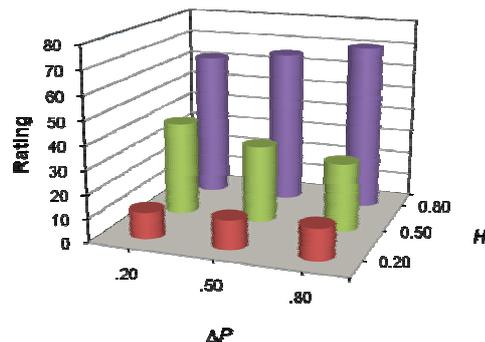


図 2 実験 2 における因果強度評定値

まとめ

因果帰納の DFH モデルは、(1) 因果帰納には、原因候補を選び出すヒューリスティック段階と、真の原因かどうかを検証する分析的段階の 2 段階があり、(2) ヒューリスティック段階では、因果と相関の明確な区別をしないことを前提とする。さらに、(3) ヒューリスティック段階では無関連要因を素早くふるい落とすことが目的であるため、(4) 稀少性などの推論環境に関する仮定を積極的に取り入れて、できるだけ計算の迅速・省力化を図りながら、できるだけ正確な推論をすることが考慮されている。この指標は、セル d の高頻度 (稀少性) を前提にした相関係数 ϕ の近似計算 (省力的算出) になっている。形式上は、原因が起きたときに結果が起きる確率と、結果が起きたときに原因が起きていた確率の平均 (幾何平均) になっており、直感的にも説得力がある。

このモデルが優れている点は、実験データに対して極めてよい適合を示すことである。Hattori & Oaksford (2007) は、 2×2 分割表に関する 41 個のモデルを 8 つの実験データを用いて比較し、DFH モデルが最良の結果を示したことを報告した。また、このモデルは、当該の 2 事象の生起確率が低く（稀少性）、ほぼ等しい（等確率性 equiprobability）という条件が満たされる推論環境では、非常に少ないサンプルから、かなり正確に母集団の共変関係を推定する。このモデルの記述的妥当性を前提とすれば、この結果は、逆に稀少性と等確率性の仮定の妥当性を示唆すると言える。

(2) Hattori & Nishida (2009a)

実験 1

図 6 は、参加者の回答のヒストグラムを表す。統制条件(PT)では従来の実験結果と同様、70%前後の回答が多かったが、咳条件では、正解率が 70%程度まで高まった。

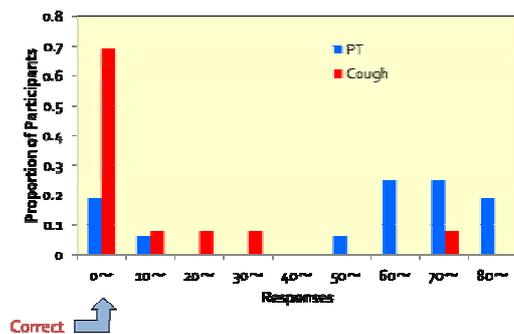


図 6 実験 1 における回答の分布

咳条件では正答できるのに、統制条件では正解できないという結果は、 $P(H)$ と $P(D)$ が等確率でないことを知覚させれば、基準率課題に正答できるという等確率性仮説を支持する。つまり、課題中で問題となっている病気（原因）と症状（結果）の確率、すなわち $P(H)$ と $P(D)$ が等確率であると仮定することこそが、基準率錯誤と逆転錯誤を引き起こしていると考えられる。

ある結果（たとえば咳）をもたらす原因として、課題中に与えられたもの（X 症候群）以外の代替原因（たとえば痰が詰まること）を想定しやすい場合には、デフォルトの等確率性の仮定が抑制されると考えられる。

さらに本実験は、従来のもう一つの有力な仮説である自然頻度仮説も暗に否定している。自然頻度仮説とは、課題の困難さは、確率という情報提示方法にあり、自然頻度によって情報を提示することによってパフォーマンスを改善できるとする考え方である。本

実験の情報提示は、確率形式であったため、自然頻度を用いなくとも正答に近い値を直感的な判断で推定できることが示された。つまり、頻度表現そのものが正解率を上昇させる要因ではないといえる。

まとめ

咳に関する既有知識など、代替原因についての強力な手がかりがある場合には、等確率性の仮定は容易に上書きされて、確率判断課題における基準率錯誤は消失する。つまり、基準率錯誤と呼ばれていた錯誤は、基準率とは無関係である。

そのような強力な手がかりがない場合には、等確率性仮定は上書きされにくい。特に、因果関係（病気とその症状など）に関する記述に関しては、等確率性の仮定は強力に働くように思われる。そのような場合のパフォーマンスは、新たに入ってきた情報がデフォルトの仮定とどれくらいずれているかの程度に応じて、規範的回答からずれることになる。

(3) 対称性認知科学の提案

服部(2008a)は、なぜ等確率性を仮定するのかについて、統合失調症感受性遺伝子仮説と称する大胆な仮説を提案した。これは、等確率性の系統発生的創発に関する仮説である。

等確率性は、行動分析学や比較認知科学において精力的に研究されてきた推論の対称性と密接に関係している。対称性とは、「PならばQ」が正しいとき、同時に「QならばP」も正しいことを指す。たとえば、リンゴが「リンゴ」と呼ばれることを学んだ後、「リンゴ」と言われてリンゴが選べるかテストする。このテストをパスしたら、対称性が獲得されているという。推論における対称性の成立は、人間以外の動物においては極めて困難であることが知られている。

チンパンジーでも対称性が成立しないという事実は、2つの示唆を与える。1つは、対称性と言語の関係である。対象・ラベル間の対称性推論能力は、効率的な語意獲得のために必須である。また、2つのものごとの間の関係の対称性は、条件文や因果文の解釈や生成と切り離すことはできない。対称性推論、抽象化能力、言語の三者は、相互依存的に複雑に関係していることは間違いない。

もう1つの示唆は、対称性と創造性の関係である。対称性推論は論理的に偽りである。最も知的なはずの人間だけが、非論理的な推論をしてしまう理由は、対称性推論が人間の創造性と深く関係していると考えられる。つまり、対称性推論は、論理的には誤っているが発見的特性を秘めている。

過度の対称性推論が、統合失調症患者の推論に認められることがある。統合失調症には

強い遺伝的基盤がある上に、生涯有病率は人種・文化を問わずほぼ同じ（約1%）であることが知られている。よって、この病気は人類分化の極めて初期に現れ、その遺伝特性には繁殖的適応度の点で何らかの利点があると考えるのが自然である。その利点については諸説あるが、創造性、言語、社会的知性などが注目されている。

創造性、言語、社会的知性、いずれの背景にも対称性が関係していることから、人類の知性と言語の系統発生の前提条件に対称性が関与しており、その生物学的基盤に統合失調症リスク遺伝子の一部が関係していると仮定することは不可能ではない。今後、さまざまな実証的研究を進めていく価値があると考えられる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計11件)

西田豊・服部雅史 (2011). 基準率無視および自然頻度の幻想：等確率性仮説に基づく実験的検討．*認知科学*, 査読有, 18(1). 印刷中.

湊美智子・服部雅史 (2011). 音楽による気分誘導法の批判的検討．*認知心理学研究*, 査読有, 8(2). 印刷中.

田村昌彦・服部雅史・三輪和久 (2010). 仮説検証過程における確信度更新と検証系列：情報獲得モデルによる検討．*認知科学*, 査読有, 17(1), 180-195.

服部郁子 (2009a). 因果推論における2つのシステムと長期記憶の検索．*立命館人間科学研究*, 査読有, 20, 93-105.

<http://www.ritsumeihuman.com/publication/files/ningen20/p093-105.pdf>

服部雅史・山崎由美子 (2009). 対称性認知科学の論点と広がり．*認知科学*, 査読無, 16(1), 120-121.

Hattori, M. & Nishida, Y. (2009a). Why does the base rate appear to be ignored? The equiprobability hypothesis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 査読有, 16(6), 1065-1070.

服部雅史 (2009a). 理論と論理．*認知科学*, 査読無, 16(4), 471-472.

服部雅史・山崎由美子 (2008). 対称性と双方向性の認知科学．*認知科学*, 査読無, 15(3), 315-321

服部雅史 (2008b). 推論に関する対称性, 対称性に関する推論．*月刊言語*, 査読無, 37(3), 4-5.

服部雅史 (2008a). 推論と判断の等確率性仮説：思考の対称性とその適応的意味．*認知科学*, 査読有, 15(3), 408-427.

Hattori, M. & Oaksford, M. (2007). Adaptive non-interventional heuristics for covariation detection in causal induction: Model comparison and rational analysis. *Cognitive Science*, 査読有, 31(5), 765-814.

〔学会発表〕(計19件)

Hattori, M., & Nishida, Y. (2009b). Not the base rate but the imbalanced structure does matter. *The 30th Annual Conference of the Society for Judgment and Decision Making*. Sheraton Boston Hotel, Boston, MA. November 22.

服部雅史 (2008c). Looking for a needle in a haystack? A heuristic for discriminating probable causes. シンポジウム：「因果帰納推論と随伴性学習：認知的アプローチと連合的アプローチ」．日本心理学会第72回大会．北海道大学．9月21日．

服部雅史・篠原修二 (2007). ワークショップ：「思考と言語獲得における対称性」企画・研究発表．日本認知科学会第24回大会論文集, 540-545. 成城大学．9月5日．

Hattori, M., & Nishida, Y. (2007). Why does the base rate appear to be neglected? The equiprobability hypothesis. *The 28th Annual Conference of the Society for Judgment and Decision Making*. The Westin Long Beach, Long Beach, CA. November 18.

〔図書〕(計4件)

服部雅史 (2010). 演繹推論と帰納推論．楠見孝 (編) 現代の認知心理学 3 思考と言語, 2-29．北大路書房．

服部雅史 (2007). 推論の諸相．稲垣佳世子他 (編) 認知過程研究：知識の獲得とその利用, 125-139．放送大学教育振興会．

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.psy.ritsumeimei.ac.jp/~hat/symmetry/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

服部 雅史 (HATTORI MASASI)
立命館大学・文学部・教授
研究者番号：50301643

(2) 研究分担者

服部 郁子 (HATTORI IKUKO)
立命館大学・文学部・講師
研究者番号：60425014