

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22500247

研究課題名(和文) 推論と判断における等確率ヒューリスティックと因果性

研究課題名(英文) The equiprobability heuristic and causality in reasoning and judgment

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、推論と判断のさまざまな現象を、確率モデルと少数の基本的概念によって包括的に捉え、基本的概念と因果性の関連を明確にすることを目的として実施された。まず、定言三段論法の確率モデルは、典型的演繹推論における等確率性仮説を明らかにした。次に、二重フレーム理論は、肯定と否定の心理的非対称性から多様な現象間の類似性を明らかにした。さらに、基準率錯誤の生起要因は等確率性の仮定であり、等確率性が仮定される理由は二重フレーム理論の枠組みで解釈できることを明らかにした。最後に、因果性の明確化がモンティホール問題のような困難な問題の正解を促進することを示し、因果性と等確率性と結びつきを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to provide comprehensive understanding of various phenomena including biases and fallacies of reasoning and judgment using probabilistic models and several basic original ideas. First, a new probabilistic model of syllogistic reasoning was proposed, and it suggested an equiprobability hypothesis of deductive reasoning. Second, a dual frame theory based on an affirmation-negation asymmetry revealed the analogous structure of seemingly unrelated performances in various tasks from different areas of psychology. Third, it was revealed that the main cause of the base rate fallacy is not neglecting the base rate, but is assuming the equiprobability of target events, and the mechanism of the assumption was explained by the dual frame theory. Fourth, the close connection between causality and equiprobability was demonstrated through the performance of a well-known probability judgment task, the Monty Hall problem.

研究分野：認知科学

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：因果 確率

## 1. 研究開始当初の背景

われわれ人間は、論理的な推論を行う。そのことに疑いはない。たとえば、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を行うことができる。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。むしろ、因果性の概念に支えられていると考えられる。生物が環境の中で適応的に生きていくために、因果性の概念は不可欠であろう。近年の研究では、ラットでも因果的介入の概念を持っていることが示唆されている (Blaisdell, Sawa, Leising, & Waldmann, 2006)。未来の予測、そして特に制御のためには、環境を正確に認知する必要があり、因果性は、そのために必須の認知的概念装置と位置づけられよう。

因果性には、確率的な共変性（相関関係）以上の概念が含まれるものの、因果性の概念は確率的フレームワークとの親和性が高い。したがって、人間の論理性の研究のためには、確率論的枠組みが有益である。Oaksford & Chater (1994) の情報獲得モデルは、それまでの論理学を規範とする推論研究領域に確率的アプローチの端緒を開いた。その後、この流れは大きく展開し、現在では、推論の心理学の新パラダイムと呼ばれている。この流れの中で、本研究代表者はこれまでに、Wason 選択課題 (Hattori, 2002) や因果帰納 (Hattori & Oaksford, 2007) の確率モデルを提案してきた。それらの研究において、稀少性と等確率性という2つの性質がクローズアップされてきた (服部, 2008)。すなわち、表面上はまったく異なる課題の解決過程において、稀少性と等確率性という二つの要因が共通して関与していることが示された。

以上を踏まえて、近年明らかにされてきたこのような観点に基づいて研究を進めれば、これまでの思考・推論・意思決定の研究においてアドホックに命名されてきた様々なバイアスや錯誤を統合的に捉え直すことができる可能性があると考えられた。

## 2. 研究の目的

本研究は、稀少性と等確率性という思考・推論の特性が、因果性の認知と深く関係しているという仮説に基づいている。本研究は、二つの目的を設定して実施された。第1は、これまで個別に研究されてきた推論と判断の様々な現象を、確率モデルという眼鏡を通してできるだけ包括的に捉えることである。第2は、そうして包括的に捉えたときにキーとなる基本的説明概念を、因果性との関連で解釈することである。

前述の通り、人間の論理性は、必ずしも論理学に一致するという意味での論理性ではない。むしろ、結論の有用性や導出の効率性の観点が重要である。したがって、本研究では、その分析のために情報量や効用を考慮し

た確率的手法を用いる。まず、これまで個別に研究されてきた思考・推論（演繹、帰納、判断、意思決定）の材料について、確率論的観点から形式的に分析し、できるだけ少ない基本的構成概念で人間の思考を統合的に捉え直すことを検討する。次に、そうして抽出された基本的概念と因果性との関係を明らかにする。最後に、高次認知の根底にある認知的メカニズムについて、シンボル操作、概念構造、コミュニケーションとの関係において考察することにより、思考・推論の他の認知機能との関係や位置づけを明確にすることを旨とする。

## 3. 研究の方法

前項の目的を達成するため、本研究では、以下の四つの研究を実施した。

- (1) 定言三段論法の確率モデルの提唱
- (2) 二重フレーム理論の提唱
- (3) 基準率錯誤の生起要因の検討
- (4) モンティホール問題の困難さの検討

以下、順に研究方法の概要を述べるが、(1)、(3)が第1の目的、(2)、(3)、(4)が第2の目的に対応している。

### (1) 定言三段論法の確率モデルの提唱

定言三段論法の確率モデルを構築して、理論的枠組みを提唱した。定言三段論法とは、アリストテレスにさかのぼる典型的な演繹推論であるが、人々は、演繹推論においても確率的表象を構築して推論を行うと仮定した。このモデルは、確率的表象と個体ベースの表象という2つの大きな仮定に基づくもので、以下の三つの処理段階を仮定している。まず、与えられた前提文から確率原型モデルと呼ばれる確率的表象を構成する。次に、確率原型モデルに基づいて、ランダムサンプリングにより個体ベースの標本メンタルモデルを形成する。最後に、こうして構成されたモデルに基づいて、論理的結論を生成する。確率的プロセスを仮定したことにより、誤答の頻度分布の予測が可能となる。そこで、過去の実験データを用いてモデルの記述的妥当性を量的に評価した。

また、心的表象に基づくモデルであることから、これまでの研究で予測されなかった新しい予測が可能になる。すなわち、このモデルが論理的推論における内容効果を説明できる可能性があるため、その点を明らかにするために実験を行った。

### (2) 二重フレーム理論の提唱

因果性と等確率性の概念の統合を試みた。肯定と否定は論理的には可換であるが、心理的には可換ではない。この非対称性を明らかにするために、知覚現象について Rubin (1915/1958) が指摘した「図と地」の関係にヒントを得て、図地フレーミングという概念を提唱した。思考の対称性と非対称性の不可分

の関係を明らかにすることを試みた。その概念をさらに発展させ、二重フレーム理論として定式化した。

### (3) 基準率錯誤の生起要因の検討

基準率錯誤について確率モデルに基づく説明を提供し、仮説の妥当性を実証的に検討した。この錯誤は、本研究代表者によるこれまでの研究から、人々が等確率性を仮定することによって起こることが明らかにされた。まず、他の理論では十分に満足いく説明が提供されないことを実験で実証した。次に、等確率性を仮定する理由が図地フレーミング、すなわち、否定情報の使いにくさにあると考え、変形問題を使ってその点を実証的に確認した。

### (4) モンティホール問題の困難さの検討

等確率性は、人々が因果スキーマによって状況をとらえるときに強く仮定されると考えられる。もしこの仮定が正しければ、等確率性の仮定が課題の正解に寄与する場合には、課題のカバーストーリーに因果性を導入することによって課題の正答率が上昇するはずである。そこで、非常に難しいことで有名なモンティホール課題を取り上げ、この課題に対してこのようなカバーストーリーの操作が正解率を上昇させることを確認した。

## 4. 研究成果

以下、前項の四つの研究について、それぞれ述べる。

### (1) 定言三段論法の確率モデル

定言的三段論法推論の確率サンプリング・モデルと呼ばれるこのモデルは、従来のメンタルモデル理論と確率ヒューリスティック・モデルを統合的に発展させたまったく新しいモデルである。確率的表象に基づいて論理的推論を行う過程をシミュレートする。このモデルは、われわれは前提文が規定する論理関係を網羅的に確かめるのではなく、実際に「ありそうな」状況を想定して、事例に基づいて推論することを仮定する。次のような仮定に基づいている。

事態に対応したモデルには、論理的関係（だけ）ではなく確率的情報も含まれる。

論理的関係は、有限少数個の個物に基づいて推論される。

さらに、上記のと の仮定をスムーズに結びつけるために、無作為抽出のアイデアが導入される。具体的には、モデルが三段論法の回答を導く過程は次の3ステップ（図1参照）から構成されるものとし、最終的に結論の回答の確率分布を予測する。

- ステップ1 確率原型モデルの構成：二つの前提文から論理的に矛盾のないよう確率原型モデルを構成する。
- ステップ2 標本メンタルモデルの構成

成：確率原型モデルに従って有限少数個のデータをランダムに発生させ、標本メンタルモデルを構成する。

- ステップ3 論理的結論の生成：構成された標本メンタルモデルが満たす論理的関係を順次検証し、満たされたものを結論とする。

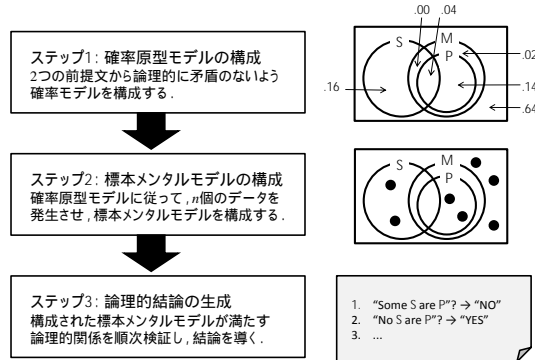


図1 確率サンプリング・モデルの概要

モデルの妥当性を確かめるため、過去の文献の実験データに対してモデルの最適パラメータを求めたところ、これまでのどのモデルよりも高いフィットが得られた（図2参照）。データは、Dickstein (1978), Exp 1 & 2 ( $n = 22 + 19$ ), Johnson-Laird, & Steedman (1978), Exp 2, 1st & 2nd ( $n = 20 + 20$ ), Guyote & Sternberg (1981), Exp 1, ( $n = 49$ ), Johnson-Laird, & Bara (1984), Exp 3 ( $n = 20$ ), Bara, Bucciarelli, & Johnson-Laird (1995), adults & adolescents ( $n = 20 + 20$ ), Roberts, Newstead, & Griggs (2001) ( $n = 56$ ) の計9件 ( $N = 246$ ) である。

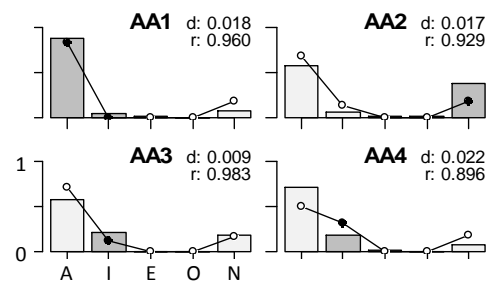


図2 確率サンプリング・モデルを実験データ（過去の文献の9件の実験）に適合させた結果（一部）

モデルの最適パラメータ値から、三段論法で考慮対象となる三つの集合 S, M, P は、いずれもほぼ同じ大きさと仮定されていることが示唆された。これまで、Wason 選択課題 (Hattori, 2002), 因果帰納 (Hattori & Oaksford, 2007), 基準率課題 (Hattori & Nishida, 2009) において、等確率性を前提としたヒューリスティックが用いられていることが示されてきたが、これらの結果は、人間が外界を認識する際の一般的な特性について語っているとみることができる。つまり、これまで別々の現象と考えられてきた条件のおよび定言的演繹、帰納、確率判断などにおける様々な

エラーが、等確率性という共通の特性によって説明できる可能性 (服部, 2008) が、本研究によってさらに堅固に裏付けられた。

さらに、モデルの記述的妥当性を確認するため、新たに実験 (実験 1) を行った。三段論法は、格 (二つの前提文に含まれる名辞の位置関係) によって妥当な結論が異なる場合があるが、従来のモデル (確率ヒューリスティックモデル) では格による解答パタンの分布の違いを説明できなかった。実は、等確率性が仮定される場合には格による解答パタンの違いは大きくなるが、三段論法によっては、等確率性が仮定されない場合には解答パターンが大きく変化する。そこで、等確率性が仮定されにくいような三段論法を作成し、その場合に参加者の解答パターンが変化するかどうか、また、変化した解答パターンをモデルが予測できるかどうかを検討した。その結果、確率サンプリング・モデルが予想する通りの解答パターンが発生し、モデルが支持された。

## (2) 二重フレーム理論

一般に、肯定 (生起・行為) は注意の対象であり、否定 (不生起・非行為) はそれ以外の背景である。肯定と否定の関係は、知覚現象について Rubin (1915/1958) が指摘した「図と地」の関係に似ており、注意の向かない背景事象は曖昧になり、有効な認知的処理を受けにくい (図地フレーミングによる認知と呼ぶ)。このことが、演繹、確率推論、類推、意思決定、メタ表象 (心の理論)、対人認知など、これまでに心理学の異なる領域で個別に論じられてきたさまざまな誤差やバイアスと関係していることを論じた。

図地フレーミングとの密接な関係性が指摘された現象は、特徴肯定性効果 (Sainsbury & Jenkins, 1967; Newman, Wolff, & Hearst, 1980)、属性フレーミング (Levin & Gaeth, 1968)、因果帰納における  $d$  セル無視 (Hattori & Oaksford, 2009)、確証バイアス (Wason, 1960; Klayman & Ha, 1987)、類似性判断における非相補性 (Tversky, 1977)、選好の非相補性 (Shafir, 1993)、誤信念課題における知識の影響の非対称性 (Birch & Bloom, 2003)、後知恵バイアス (Fischhoff, 1975)、スポットライト効果 (Gilovich, Medvec, & Savitsky, 2000)、透明性の錯覚 (Gilovich, Savitsky, & Medvec, 1998)、フォルス・コンセンサス効果 (Ross, Greene, & House, 1977) などである。

図地フレーミングの長所として考えられるのは、記憶や処理容量の節約、フレーム問題の (疑似的) 解決である。その反面、上記に挙げたような認知的バイアスや誤差が短所として表面化することもある。しかし、図地フレーミングはいわゆる「ものの見方」であるため、見方を変えることによってバイアスを減らすことは可能である。対象を図としてクローズアップする見方と、非対象も対象化して二項対立的に扱う見方がある。このよ

うな世界の見方を、A フレームと B フレームと呼ぶことにする。図地フレーミングは前者の見方 (A フレーム) を指すが、後者の見方 (B フレーム) に移行することによってバイアスを減らすことが期待できると予想される。

## (3) 基準率錯誤の生起要因

まず、等確率仮説以外の説による説明が不適切であることを示すため、三つの実験 (実験 2, 3, 4) を行った。次に、等確率性が仮定される理由を図地フレーミングの観点から説明するために、二つの実験 (実験 5, 6) を行った。

現在、基準率錯誤を説明する主な仮説として、基準率が無視されるとする「無視説」、自然頻度による問題提示 (だけ) が解決を促進するとする「頻度説」があるが、これらの説明では不十分なことを実証した。実験 2 では、基準率を無視することによって、むしろ正解に導かれる課題を作成し、それでも正解率が増加しないことを確認した。実験 3 では、通常基準率課題とは逆に、基準率が大きい課題を用いて、無視説がやはり正解率の上昇を予測する課題で、やはり正解率が上がらないことを確認した。実験 4 では、確率構造認識容易性と課題形式 (頻度形式と確率形式) を操作し、頻度形式が確率構造認識を促すために正解率が上昇することを示すため、内的表象を分析した。その結果、頻度説より等確率仮説が妥当であることを確認した。

基準率課題では、課題中で与えられる確率情報の一部が、「乳がんでないにもかかわらず、誤って陽性とする確率が 9.6%」といったように、否定命題 (「乳がんでない」) に基づく条件つき確率として提示されるが、この確率情報は、否定命題のスコープ (命題が対象とする範囲) に光を当てる必要がある。もし、このような命題の扱いに困難が伴うとすれば、正確な課題の確率構造の理解が難しくなり、結果として等確率性が仮定されるという可能性も考えられる。もしこの考えが正しければ、確率情報を地ベースの形態で与えることを避けることにより正答率が上昇するはずである。そこで、この予測を実験によって確認した。

実験 5 では、 $P(D|\neg H)$  の代わりに  $P(\neg H, D)$  の確率情報を与えることとし、それに伴い他の確率情報も全体集合に基づく確率にそろえたところ、正答率が上昇した。

ただ、実験 5 では、数式上での正解の計算式が明らかに簡単になっていることから、単に計算が単純化したために正答率が上昇したという解釈も可能である。そこで、課題中で与える情報を偽判定オッズとして、計算の複雑さがオリジナルと同等以上になるようにした (実験 6)。その結果、やはり正答率が上昇した。以上より、地ベース情報の使用が困難であるために等確率性が仮定されるとする仮説が支持された。

#### (4) モンティホール問題の困難さの検討

モンティホール問題 (e.g., vos Savant, 1996) とは、次のような問題である。

あなたはゲーム番組に出ている、3つのドアのうち1つを選ぶとします。1つのドアの後ろには車があって、あとの2つのドアの後ろにはヤギがいます。あなたは1つのドアを選びました。すると、それぞれのドアの後ろに何があるかを知っている番組の司会者は、残った2つのドアのうち1つを開けて、ヤギを見せて言います。「もう1つのドアに替えてもよいですが、どうしますか？」さて、ドアを替えた方がいいのでしょうか。

ドアを替えると当たる確率が2倍になるのだが、実際にはドアを替えると答える人は少なく、通常10%程度であることが多い。

この課題が難しさについてはさまざまな議論があり(e.g., Burns & Wieth, 2004)、おそらく単一の要因に帰着するものではないと考えられる。ただ、図地フレーミングの考えに基づけば、課題の因果構造を明確にすることによって正解率を上げることが可能という予測ができる。すなわち、この課題における因果関係は、「ドアXに車がある」ことと「司会者がドアYを開ける」ことの間にあるが、このように対象が異なることによって、因果関係が非常にわかりにくくなっている。たとえば、「ドアXが当たり」なので「ドアXを開けない(守る)」とすることによって、開けなかったドアXが当たりなのではないかということが、推論しやすくなる。このように、因果スキーマは原因と結果の対一関係を強く示唆することから、課題の因果関係をわかりやすくすることによって、正解率を上げることができると考え、変形課題(SB課題)を使って実験を行った。その結果、以下に示すように劇的に正解率を高めることができた(2色のバーは選択理由による区別であり、いずれも正解である)。

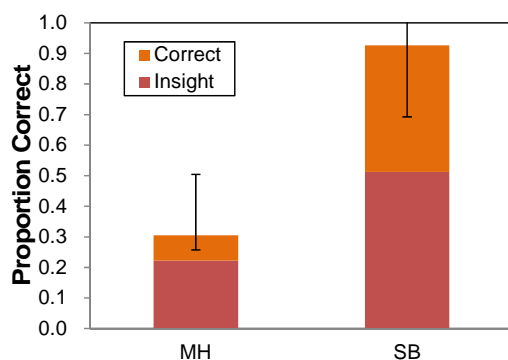


図3 実験6における正解率

この結果は、課題の正解に一致するように因果スキーマをうまく起動させることができれば、困難な確率課題でも正解することができることになることを示しており、図地フレーミングの考えを支持するものである。

#### 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5件)

(1) 服部雅史, 思考の図と地: フレーミングによる肯定・否定の非対称性, 立命館文学, 査読無, No. 636, 2014, pp. 131-147.

[http://ci.nii.ac.jp/vol\\_issue/nels/AN00289973\\_ja.html](http://ci.nii.ac.jp/vol_issue/nels/AN00289973_ja.html)

(2) Hattori, M., Sloman, S. A., & Orita, R., Effects of subliminal hints on insight problem solving. *Psychonomic Bulletin & Review*, 査読有, Vol. 20, No. 4, 2013, pp. 790-797

doi: 10.3758/s13423-013-0389-0

(3) 西田豊・服部雅史, 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, Vol. 18, No. 1, 2011, pp. 173-189.

doi: 10.11225/jcss.18.173

〔学会発表〕(計26件)

(1) Hattori, M., Probabilistic representation in syllogistic reasoning. *Reasoning, Cognition and Life: A Conference in Honour of Professor Ken Manktelow*, 2014/5/16, Univ of Wolverhampton, Wolverhampton, UK.

(2) 服部雅史, 思考の対称性と非対称性: 因果性と図地フレーミングによる推論と判断のバイアス, 第7回錯覚ワークショップ, 2014/3/12, 明治大学中野キャンパス

(3) 服部雅史, 肯定と否定の非対称性: 確率推論課題における図地フレーミングの実験的検討, 日本認知科学会第30回大会, 2013/9/12, 玉川大学

(4) 服部雅史, 定言三段論法の内容効果と等確率性仮定: 確率サンプリング・モデルによる検討, 日本認知科学会第29回大会, 2012/12/15, 仙台国際センター

(5) 服部雅史, 定言的三段論法推論の確率サンプリング・モデル, 日本認知科学会第28回大会, 2011/9/24, 東京大学

(6) 服部雅史, モンティホール問題における等確率性と因果性, 日本認知科学会第27回大会 ワークショップ「確率判断と因果推論」, 2010/9/19, 神戸大学

〔図書〕(計6件)

(1) 田山忠行・須藤 昇(編著), 服部雅史ほか(著), 培風館, 基礎心理学入門, 2012, 295(183-201)

(2) 箱田裕司(編著), 熊田孝恒・清水寛之・菱谷晋介・服部雅史・坂本勉(著), 誠信書房, 心理学研究法2 認知, 2012, 250(149-195)

(3) 楠見孝(編), 服部雅史ほか(著), 北大路書房, 現代の認知心理学 3 思考と言語, 2010, 299(2-29)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等：特になし

## 6．研究組織

(1)研究代表者

服部 雅史（Masasi, Hattori）

立命館大学・文学部・教授

研究者番号：50301643

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし