「基準率錯誤」錯誤：判断と推論のファラシーの統合理論に向けて

服部 雅史 [†‡]　　西田 豊 [†]

A “Base Rate Fallacy” Illusion: Toward an Integrative Theory of Fallacies in Judgment and Reasoning

Masasi HATTORI　　Yutaka NISHIDA

確率判断研究において,「基準率無視」と呼ばれる現象はよく知られている．しかし，実際には基準率が完全に無視されることは稀で，基準率が無視されると研究者が錯覚してきたといえる (Koehler, 1996)．最近では，確率ではなく頻度を用いた情報が基準率無視を抑制するという主張に対して，自然頻度形式自体が重要なわけではないという証拠も得られている．基準率が無視されたかのように見える回答（エラー）が発生するメカニズムは，等確率性仮説 (Hattori, 2002, 2003) の枠組みで説明可能である．これは，条件文演繹や因果帰納と共通の枠組みであり，人間の概念構造とも深く関係する考え方である．本研究では，この理論による基準率錯誤の説明とそれを裏づける実験結果，および，これまでの理論との関係について議論し，今後の判断・推論研究の方向性を示唆する．

Keywords: base rate neglect（基準率無視），equiprobability assumption（等確率性仮定），probability polarized structure（偏確率構造），expected information gain（期待獲得情報量），reasoning and probability judgment（推論と確率判断）

基準率錯誤をめぐって

1970 年代以降, Kahneman と Tversky による「ヒューリスティックスとバイアス」アプローチによって，不確実状況下における人間の確率判断の錯誤の多くが明らかにされてきた (たとえば, Tversky & Kahneman, 1974)．次のような課題 (Eddy, 1982; Gigerenzer & Hoffrage, 1995) において，人々はできごとの**基準率** (base rate) をうまく使うことができないことが指摘されてきた．

> 乳がんの検査に参加した 40 代の女性が乳がんである確率は 1 % です．もし女性が乳がんなら，その女性が検査で陽性になる確率は 80 % です．女性が乳がんでなくとも，検査で陽性となる確率は 9.6 % です．検査に参加した 40 代のある女性が陽性でした．この女性が本当に乳がんである確率はどのくらいでしょうか．（正解：約 7.8 %）

乳がん有病率（基準率）を $P(H)$，検査で陽性となる確率を $P(D)$ とすると，この課題は，検出率 $P(D|H)$ から事後確率 $P(H|D)$ を求める Bayes 推論問題である．検出率と事後確率の間には次の関係がある．

$$P(H|D) = P(D|H) \cdot \frac{P(H)}{P(D)}. \tag{1}$$

ここで，$P(D)$ は次のように表せる．

$$\begin{aligned} P(D) &= P(D|H)P(H) + P(D|\overline{H})P(\overline{H}) \\ &= .8 \times .01 + .096 \times .99 = .10304 \end{aligned} \tag{2}$$

よって，

$$P(H|D) = .8 \times \frac{.01}{.10304} \simeq 0.078. \tag{3}$$

式 1 より，基準率 $P(H)$ の低さは，回答すべき事後確率 $P(H|D)$ を下げることになるが，典型的な実験における回答の最頻値は，課題中に与えられた検出率と同じ 80 % 程度であることが知られている．これは，基準率の低さが考慮に入れられないことを示すため，**基準率無視**（または**基準率錯誤**）と呼ばれ，頑健で広く観察される現象と考えられてきた (Bar-Hillel, 1980).

---

† 立命館大学文学部

‡ 本稿の準備にあたり，日本学術振興会科学研究費第 14310045 号（基盤研究 B）の資金援助を受けた.

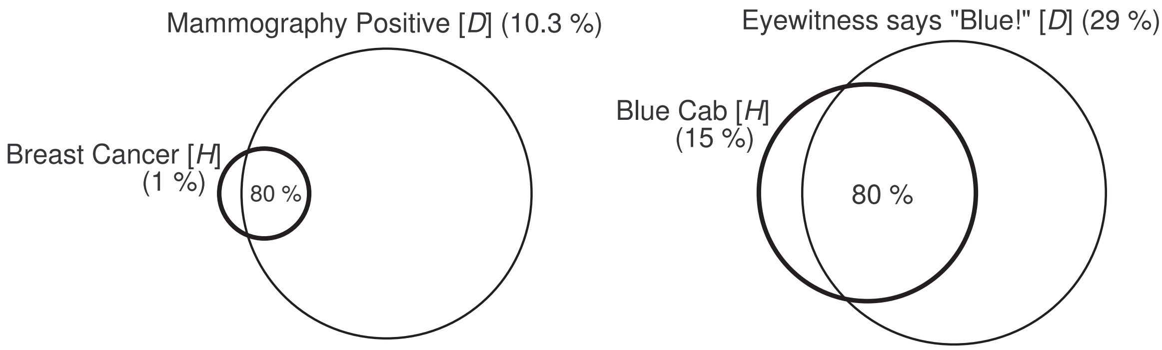

Figure 1. The probability polarized structure common to the so-called “base rate fallacy” problems: the brest cancer problem (left) and the cab problem (right).

ところが，Koehler (1996) は，それまでの基準率に関する膨大な研究を包括的にレビューした上で，「基準率を完全に無視する人がいるという結果を示した研究はほとんどない」(p. 3) と述べ，基準率無視を「神話 (myth)」とまで表現した．基準率が常に無視されるわけではないとすれば，どのようなときに基準率がよく使われ，どのようなときにあまり使われないのかが問題となる．

Gigerenzer & Hoffrage (1995) は，**自然頻度** (natural frequency) 形式で情報を与えた場合には基準率錯誤が生じにくいことを示した．人は自然頻度を判断するよう進化してきたため，できごとの生起情報は，確率ではなく頻度によって表現しなければ生態学的妥当性がないと主張した．しかし，Mellers & McGraw (1999) は，頻度表現が促進効果を持つのは，頻度表現によって下位集合の関係が透明化するからであって，頻度表現そのものが重要なわけではないと主張した．この考えを推し進めた Sloman, Over, Slovak, & Stibel (2003) は，頻度形式の表面的効果を**頻度錯誤** (frequency illusions) と称した．課題の**入れ子集合** (nested sets) 関係をわかりやすくするような言語表現や補助的な図を用いた実験により，確率表現であっても自然頻度表現と同等の促進効果があることを実証した．

基準率錯誤の原因を**逆転錯誤** (inverse fallacy) に求める考え方もある (Braine, Connell, Freitag, & O’Brien, 1990; Eddy, 1982; Villejoubert & Mandel, 2002)．逆転錯誤とは，条件つき確率をその逆と混同することを指す．すなわち，人々は，回答すべき事後確率 $P(H|D)$ と課題中に与えられている検出率 $P(D|H)$ と混同するため，結果として基準率錯誤が起こるとする考え方である．基準率錯誤に関しては，このように多くの理論があるが，それらの妥当性を検討するためには，まず，課題自体の構造と特徴を明らかにしておく必要がある．

基準率課題の構造

基準率課題としては，先の乳がん問題の他に，「タクシー問題」(Tversky & Kahneman, 1982)（付録参照）などがよく知られている．これらは互いに同型問題であり，課題構造の特徴は共通している．基準率課題の難しさは次の 2 点にあると考えられる．まず，式 1 で示される Bayes 計算において $P(D)$ が直接与えられていない点である．課題に与えられている偽陽性率 $P(D|\bar{H})$（乳がん問題では .096）を用いて，式 2 から計算する必要があるが，この計算は複雑で直感的にわかりにくい．

しかし，課題の困難さに関連して最も重要とわれわれが考えているのは，注目する 2 つの事象の周辺確率 $P(H)$ と $P(D)$ の大きさが明らかに異なる点である．Figure 1 は，乳がん問題とタクシー問題について，$P(H)$, $P(D)$, $P(H, D)$ のそれぞれの大きさが面積に対応するように描いた集合関係の図（オイラー円）である．（付録には，両問題において問題となっている 2 つの事象（H と D）の結合確率分布，および周辺確率分布が示されている．）Figure 1 を見ると，(1) $P(H)$ に比べて $P(D)$ が大きく，よって，(2) 集合 H の中で部分集合 $H \cap D$ の占める割合は大きいが，集合 D の中で占める割合は小さくなっていることがわかる．つまり，$P(D|H)$ は大きいが，$P(H|D)$ は小さい．以上の点が基準率課題に共通する構造的特徴であり，この課題の難しさと密接に関係していると考える．考察対象となる 2 事象の周辺確率 $P(H)$ と $P(D)$ が大きく異なる

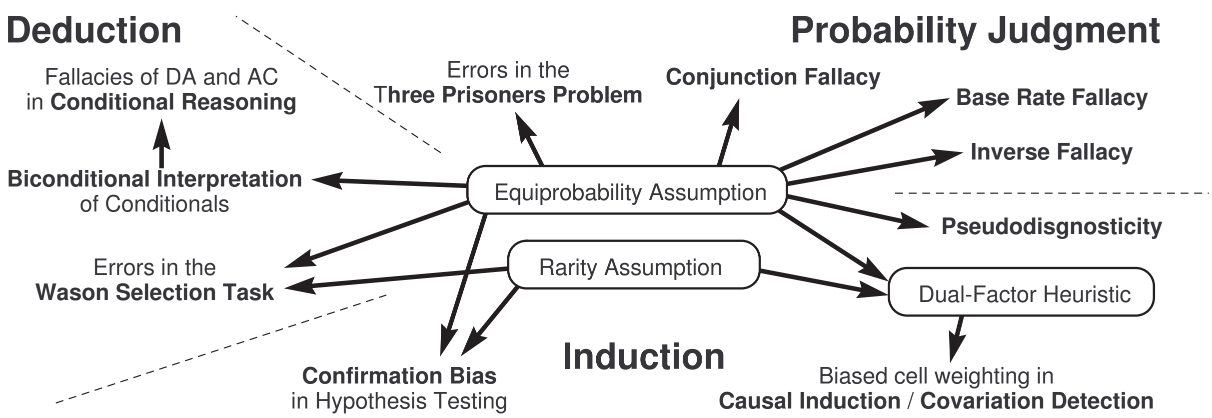

Figure 2. Explanatory links between hypothetical conceptions (circled) and psychological phenomena including fallacies and errors.

課題構造を**偏確率構造** (probability polarized structure) とよぶ.

等確率性仮説

判断と推論に共通する関係概念構造

当該の 2 事象のデフォルト確率を等しいと仮定する傾向は，条件文推論や因果推論において確認されてきた．Hattori (2002) は，最適データ選択モデル (optimal data selection model [Oaksford & Chater, 1994]) に基づく Wason 選択課題の分析から,「もし A ならば C」という条件文推論において，人は前件 (A) と後件 (C) の確率をほぼ等しく捉えると仮定することにより，結果が整合的に説明できることを示した．また，Hattori (2003) は，2 事象 C, E の間の因果帰納や共変動検出において，**二要因ヒューリスティック** (dual-factor heuristic; DFH) が因果性や相関関係の主観的評定値を最もよく予測することを示した．DFH は，$P(E|C)$ と $P(C|E)$ の幾何平均によって定まる測度 H によって定義される．このモデルに従えば，2 事象間に強い関係概念を形成（帰納）するためには，両事象の等確率性が前提となる．このような等確率性に関する前提は，双条件件性仮定，または**等確率性仮定** (equiprobability assumption) と呼ばれた．

基準率課題は条件文とは直接的には関係ないようにみえる．しかし，乳がん問題において，実験参加者は，乳がん (H) と陽性 (D) の間に「乳がんであれば陽性になる」または「陽性ならば乳がんである」という条件的関係（または因果関係）を暗黙に想定していると捉えることが可能である．こう考えれば，基準率課題と条件文推論や因果推論との関係性も直感的に納得できよう．

基準率課題において等確率性 $P(H) = P(D)$ を仮定すれば，式 1 より明らかなように，事後確率 $P(H|D)$ の Bayes 規範解は検出率 $P(D|H)$ と完全に等しくなる．よって，多くの実験参加者の回答とも一致する．つまり，われわれは，逆転錯誤によって基準率を無視するのではなく，2 つの周辺確率の等確率性を仮定することによって，事後確率と検出率がほぼ等しいと推定していると考えられる．

確率判断において等確率性が前提とされるとすれば，確率判断が演繹推論や帰納推論などと同一の枠組みによって説明されることになる．Figure 2 は，等確率性を含む仮説的概念が，推論や判断において知られる多様な錯誤やエラーの説明に，どのように関与し得るかを表している．仮説的説明概念としては，等確率性仮定の他に，**稀少性仮定** (rarity assumption [Oaksford & Chater, 1994]) と DFH が含まれている．この図の中には，本論文では言及できない問題もいくつか含まれているが，多くの錯誤やエラーがこのように少数の概念で説明可能であると，われわれは考えている．

偏確率構造とデフォルト値の調整

等確率性仮定が正しいとしたとき，偏確率構造をもった典型的な基準率課題に対する実験参加者の回答を Bayes 規範解に近づけるにはどうしたらよいだろうか．課題中で，$P(H)$ と $P(D)$ の値（数値）を参加者に明示的に提示するのもひとつの方法であるが，それだ

けで十分だろうか．これは，課題中で与えられる情報に対する感度 (sensitivity) の問題である．いま，2 つの極端なケースを考えることができる．1 つは，等確率性が（たとえば生得的に）固定されていて，全く調整不可能な状態である．もう 1 つは，課題中で与えた数値情報が正確に受け入れられ，Bayes の定理の計算問題と全く同様に直感的計算がなされる状態である．現実は，これらの 2 つのケースを双極とする連続体のどこかに位置するであろう．*[1]

おそらく，課題中で $P(H)$ と $P(D)$ の値を与えるだけでは，十分な促進効果は得られないと予想される．なぜなら，デフォルト値が特定の値に設定されているのには理由があると考えられるからである．一般に，判断に基づいて行動が生起し，行動の結果，何らかの心理的・物理的利得が発生する．行動にはコストが伴うため，結果の期待利得に応じて，行動を起こすかどうかに関する最適化のレベルが存在する．たとえば，朝の空模様から傘を持っていくかどうか決めるときの判断が，このレベルに相当する．傘を持って行かないで雨に降られる場合や，傘を持って行ったのに雨が降らない場合などの損得を暗黙裡に計算し（規範的には主観的期待効用の計算に相当する），総合的に判断する．また同時に，判断にも認知的コストが伴う．判断をパターン化して固定すれば，認知的コストは最小で済むが，判断結果の正確さにおいて代償を払うことになる．しかし，判断結果の正確さが，最終的な心理的・物理的期待利得に及ぼす影響が相対的に小さければ，パターン化した判断で十分ということになる．たとえば，一日中室内で過ごす予定であれば，雨が降るかどうかについて熟考しても意味がないかもしれない．正確な判断や，判断結果の正確さの査定に必要なメタ認知的モニタリングのためには認知的リソースが必要となるが，認知的リソースを注ぐ必要があるかどうかに関するメタレベルの判断が存在する．このように，判断をパターン化するかどうか，すなわち，情報に対する感度に関する最適化のレベルも存在する．

要するに，行動レベルと認知レベルの 2 重の最適化が存在し，両者は独立ではない．特に，後者に関しては，意識的処理との乖離を示唆する証拠がある．たとえば，基準率を単に問題文中で数値で与えるのではなく，事例を直接体験させると，基準率に対する感度が上昇することが知られている (Koehler, 1996)．すなわち，暗黙学習などの意識の介入しにくい状況の方が，むしろ Bayes 的規範に近いパフォーマンスを生むという逆説的結果が得られている．現在のところ，意識の役割と処理の違いなどについて，十分納得のいく説明を提供する理論はまだない．ただ，少なくとも，生態学的妥当性の低い方法（心理的・物理的利得に対する意識を喚起させない方法）によって $P(H)$ と $P(D)$ の数値を課題中で与えるだけでは，十分な促進効果が得られないことは間違いないだろう．

実験参加者が暗黙に仮定する集合の等確率構造を崩して，正しく偏確率構造を認識させるための方法としては，直接体験に基づく学習を利用する方法のほか，既存知識を利用することも可能であろう．そこで，既存知識を利用して偏確率構造を正しく認識させることによって，実験参加者の回答を Bayes 規範解に近づけることができるかどうか，実験的に検証した．

*[1] Oaksford & Chater (1994) は，稀少性仮定について同様の議論を行っている．

実験

等確率性仮説が正しいとすれば，実験参加者の既存知識を利用して課題の偏確率構造を正しく認識させることによって，典型的な基準率課題でも正答率が増えるはずである．このことを確かめるために実験を行った．仮説 H は X 症候群という仮想的な病気，データ D は咳の症状とした．X 症候群というのは比較的稀な疾病であり（基準率 $P(H)$ = LOW），高い確率で咳の症状を発症する（$P(D|H)$ = HIGH）とした．しかし，咳というのが珍しい症状ではない（$P(H) \ll P(D)$）ことをわれわれは知っているので，偏確率構造の認識が促進されると予想される．また，咳については，風邪や粉塵などの他の原因を思いつきやすいことから，咳をしているからといって X 症候群とは限らないという認識（$P(H|D)$ = LOW ）を促進し，このことも偏確率構造の認識に寄与すると考えられる．一方，統制群では，乳がん問題と同様，データ D を検査結果とした．実験群のみにおいて，Bayes 規範解に近い回答が得られると予想された．

方法

基準率課題　非等確率 (unequiprobability) 条件では，既存知識を利用して，偏確率構造の認識を促進させることが意図された．冒頭に示した乳がん問題 (Eddy, 1982; Gigerenzer & Hoffrage, 1995) を参考に，次のような課題を作成した．

近年、X 症候群という難病の感染例が報告されるようになりました。この X 症候群は風邪と似た症状が出ることが知られています。さて、あなたは病院で働く医者であると仮定してください。あなたに求められているのは次の情報から患者が X 症候群に感染しているかどうかを判断することです。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、咳の症状がある確率は 80 % です。X 症候群に感染していないとしても、咳の症状がある確率は 9.6 % です。今、患者が咳をしています。この患者が本当に X 症候群である確率は何 % でしょうか. 直感で答えてください。 ___ %

統制条件では,「咳の症状がある」という部分を「検査で陽性となる」に変更した課題を用いた.

確率構造課題 A, B　参加者が基準率課題の確率構造をどのように理解しているかを検証するため，以下に述べるような確率構造課題 A, B を用意した．確率構造課題 A, B は，いずれもマグニチュード推定法の一種であり，X 症候群である人の数 $N(H)$ を基準として，咳をしている人（または検査で陽性となった人）の数 $N(D)$，および，X 症候群でかつ咳をしている人（または X 症候群でかつ検査で陽性になった人）の数 $N(H, D)$ を，それぞれ評定させた．具体的には，以下に述べるような課題であった．

確率構造課題 A では，X 症候群である人の数を基準となる特定の大きさの長方形で示したとき，咳をしている人の数はどれくらいの大きさの長方形で表せるかを描かせた．ただし，描きやすさを考慮して，回答用紙に左端の縦線（実線 10 mm）と上下の平行線（破線 117 mm）をあらかじめ印刷しておき，右端の縦線 1 本を入れるだけで長方形を完成できるようにした．このとき，$N(H)$ を表す長方形の大きさがヒントにならないよう，$N(H)$ を表す長方形を 3 種類（幅：10/57/117 mm，高さ：10 mm）用意した．基準となる 3 種類の長方形は，大きさは異なるが同じ人数を意味するものとされた．参加者には，最も描きやすい解答欄を 1 つだけ選んで描くよう指示した．たとえば，$N(D)$ が $N(H)$ に比べてずっと大きいと思えば，$N(H)$ が 10 mm の長方形で表されている解答欄が最も使いやすいが，逆に，$N(D)$ が非常に小さいと思えば，117 mm の解答欄が使いやすい．解答欄には，基準となる $N(H)$ を表す長方形と，$N(D)$ 回答用の図形のペア 3 組が，すべて左端をそろえて縦に並べて描かれてあった．確率構造課題 A の教示文は次の通りであった．

X 症候群に感染している患者の数を，模式的に図のように四角形の大きさで表します．咳をしている患者の数を四角形の大きさで表すと，どのくらいの大きさになるでしょうか．直感で答えてください．下の点線の四角形は右端が開いていて，大きさが決まっていません．右端の縦線を 1 本書き入れて,「咳をしている患者の数」を表す大きさの四角形を完成させてください．答えは (1), (2), (3) の解答欄のうち，あなたが思い浮かべる「咳をしている患者の数」を表す大きさの四角形を一番描きやすいものを選んでください．例えば，X 症候群の四角形より大きい四角形を描きたければ (1) に，X 症候群の四角形より小さい四角形を描きたければ (3) に，同じ程度の大きさなら (2) に描いてください．(1), (2), (3) の四角形は同じ人数を意味しています.

続く確率構造課題 B では，全く同様にして，X 症候群でかつ咳をしている人（検査で陽性になった人）の数 $N(H, D)$ を長方形によって表してもらった．描かれていた $N(H)$ を示す長方形の横の長さは 57 mm，回答欄の大きさは横 117 mm（両者とも縦の長さは 10 mm）であった.

手続き　課題が印刷された冊子は，注意事項が書かれたフェイスシート 1 枚を含む計 4 ページから構成されており，1 ページにつき 1 つの課題が印刷されていた．フェイスシートには，課題文をよく読んでから答えること，確率を回答する際に計算の必要はなく直観で答えること，制限時間はなく自分のペースで答えること，3 つの問題全てに答えることが教示してあり，実験開始前に実験者によって読み上げられた．実験参加者に参加の意思を確認した後，実験者によって問題 1 の問題文が読み上げられた．このとき，基準率課題（冊子中では問題 1 と表記された）の課題文は，後続の確率構造課題 A, B（問題 2, 3 と表記された）にも共通のものであり，よく理解するよう教示した．次に，基準率課題の回答が終わったら，確率構造課題 A, B に続けて回答するよう教示した．また，確率構造課題は，基準率課題とは回答方法が異なるため，気をつけて解答するように教示した．実験は，個別もしくは 2 名で実施された.

実験参加者　立命館大学の学部学生 36 名が実験に参加した．参加者は，2 つの条件に 18 名ずつランダムに配置された.

結果および考察

基準率課題における回答の分布を Figure 3 に示す．$P(H|D)$ 評定値の非等確率条件における最頻値は 1，次

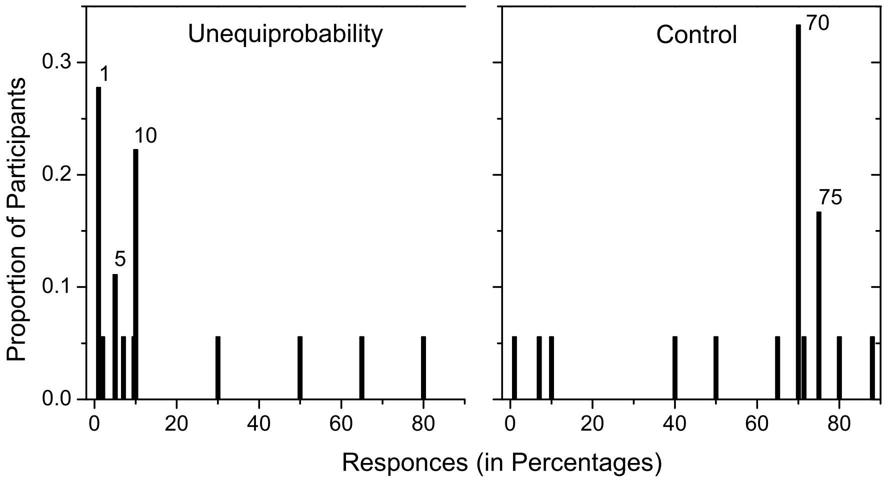

Figure 3. Proportion of participants giving responses plotted against responses (in percentages). The left panel shows the distribution of responses from the unequiprobability task. The right panel shows data from the control task.

いで 10 であった．一方，統制条件の最頻値は 70，次いで 75 であった．Figure 3 より，評定値の母集団分布には正規性が期待できないと判断し，中央値を比較したところ，非等確率条件が 8.3，統制条件が 70.0 であった．Mann-Whitney 検定により，条件間に有意な差が認められた，$U(18, 18) = 48.5$, $p < .001$.

統制条件の結果は従来の研究と同様の傾向であったが，非等確率条件の結果は，正答に近い回答が多く，典型的な基準率課題の実験結果とは明らかに異なる傾向を示した．両条件とも提示した確率情報は全く同一で，違いは D に相当する事象（咳または検査）だけであった．$P(D)$ が $P(H)$ に比べて高いことが容易に想像できる非等確率条件において，正答が劇的に促進されたことから，$P(H) \ll P(D)$ という集合関係を認識させれば基準率課題に正答できるとする等確率性仮説が支持された．また，D に相当する事象を言い換えるだけで正答率が上昇したことは，人々が単に基準率を無視しているわけではないことを示している．

Figure 4 は，確率構造課題 A における参加者の $P(D)$ の回答の頻度分布を示す．基準率課題における正解・不正解，および実験条件別に色分けし，積み重ね棒グラフによって表されている．なお，Figure 3 の分布から判断し，基準率課題において 10 以下の回答をした者を正解者に分類した．Figure 4 は，明らかに 2 峰性の分布を示している．0 以上 2 未満の部分に位置する第 1 のグループは，課題文中の基準率 $P(H) = .01$ に直接的に影響された参加者群を表している．すなわち，これ

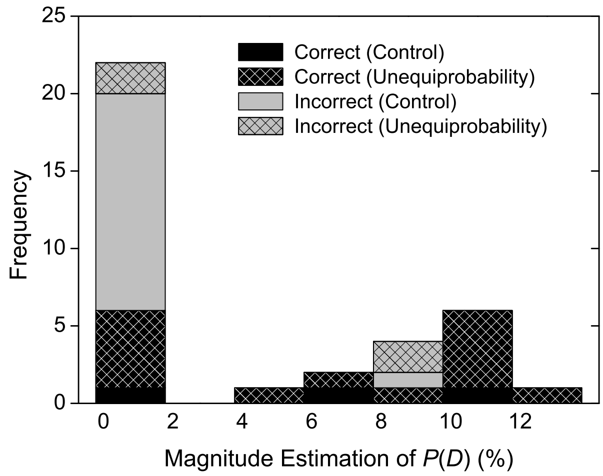

Figure 4. A frequency distribution of the magnitude of $P(D)$ estimated continuosly in the Probability Structure Task A. The estimation was transformed on a percentage basis.

らの参加者は等確率性を仮定したといえる．一方，10 以上 12 未満の位置にピークを持つ第 2 のグループは，直感的計算によって Bayes 規範解 (10.3) に近い回答を得た参加者群を表しており，彼らは等確率性の仮定を崩すことに成功したといえる．そこで，第 1 グループ（確率構造課題 A で 0 以上 2 未満の回答［＝誤答］をした参加者）を等確率仮定群，第 2 グループ（4 以上の回答［＝規範解に近い回答］をした参加者）を非等確率仮定群と呼ぶ．基準率課題で正解したのは，等確率

仮定群の 27 % (6/22) であったが，非等確率仮定群では 79 % (11/14) で，正解者数に有意差が認められた，$\chi^2(1, N = 36) = 9.03, p < .01$．また，統制条件の参加者の 83 % (15/18) が等確率仮定群に属したのに対して，非等確率条件で等確率仮定群に分類されたのは 39 % (7/18) にとどまった，$\chi^2(1, N = 36) = 7.48, p < .01$．

$P(H, D)$ の推定が要求された確率構造課題 B については，.08 ± .01 を正解の範囲として，基準率課題における正解との関係をみた．確率構造課題 B の正解者 (24/36) については，54 % (13/24) が基準率課題にも正解できたのに対して，不正解者は 33 % (4/12) しか基準率課題に正解できなかったが，統計的に有意な差ではなかった，$\chi^2(1, N = 36) = 1.39, p = .23$．ただし，条件間には正答率の差が見られた．統制：50 % (9/18) vs. 非等確率：83 % (15/18)，$\chi^2(1, N = 36) = 4.50, p < .05$．

確率構造課題 A の結果から，$P(H) \ll P(D)$ という非等確率関係の認識が，基準率課題における正答の確率を高めることが示された．また，実験条件の操作が有効に働いたことから，非等確率関係の認識に対する非等確率関係の既存知識の有効性が示された．確率構造課題 B の結果は，確率構造課題 A の結果ほどわかりやすくない．しかし，この課題の正答率が高く比較的簡単な課題であったことから，この課題に正答することが基準率課題に正答するための必要条件に近い位置づけにあったと考えられるかもしれない．

他の理論による説明

基準率錯誤については，これまで多くの理論が提唱されてきた．以下では，本稿で示した等確率性仮説とそれを支持する実験結果が，従来の理論によってどのように説明され得るかを検討する．

自然頻度仮説

Gigerenzer & Hoffrage (1995) は，確率理論の出現よりずっと以前からわれわれは頻度による情報形式を使っており，心は頻度形式に調整されていると主張した．進化的観点が多くの洞察をもたらすことは間違いないが，自然頻度仮説の主張は過度に限定的であり，われわれの見解はこの仮説と対立する．頻度形式の進化的優位性の実証は現実的には困難であるが，彼らの説は反駁可能である．もし彼らの説が正しければ，少なくとも情報を確率値で与える限り，課題が偏確率構造を持つか否かに関係なく，われわれは確率判断課題を適切に考えることができないことになる．したがって，この理論は本実験結果を説明できない．本実験では，自然頻度ではなく確率によって情報を提示したにも関わらず，直感的な判断で正答に近い値を推定できたからである．一方，われわれの予測は，課題が偏確率構造を持たないか，あるいは，偏確率構造を持っていても，既存知識や直接体験による学習などによって実験参加者が課題構造をよく理解していれば，Bayes 規範解に近い解を得ることができるというものであり，本実験結果を無理なく説明できる．

以上より，自然頻度表現に関して，本研究によって次のことが示唆されたと言ってよいだろう．すなわち，従来の研究において，自然頻度表現によって正答率が上昇したように見えたのは，自然頻度表現そのものの効果ではなく，自然頻度表現が偏確率構造を認識させやすい特性を持っているからだと考えられる．

逆転錯誤説

逆転錯誤説は，人は条件つき確率 $P(A|B)$ をその逆 $P(B|A)$ と混同する傾向があると主張する (Braine et al., 1990; Eddy, 1982; Villejoubert & Mandel, 2002)．逆転錯誤に類似するアイデアは，これまでの演繹推論研究の中に見ることができる．Chapman & Chapman (1959) は，定言的三段論法の推論におけるエラーについて分析し，変換仮説 (conversion hypothesis) を提唱した．これは，「すべての S は P である」という前提文が，誤って「すべての P は S である」と捉えられたり，同様に，「いくらかの S は P でない」という前提文が，「いくらかの P は S でない」と捉えられることを指す．また，Geis & Zwicky (1971) は，「もし A ならば C である」という発話（条件文）は，「もし C ならば A である」という推論を自動的に誘発するとして，このことを誘発推論 (invited inference) と呼んだ．

基準率錯誤の逆転錯誤説とわれわれの理論は，結果予測の多くを共有する．しかし，最も大きな違いは，因果関係の方向である．逆転錯誤説は，逆転錯誤が原因で基準率錯誤が起こるとするが，われわれの理論は，人々の等確率性の仮定が原因で，結果として基準率錯誤と逆転錯誤が起こると考える．逆転錯誤説の提唱者たちに課せられている最大の課題は，逆転錯誤がなぜ生じるかを説明することである．人は本来的に条件つき確率とその逆を区別することができないと仮定する (e.g., Braine et al., 1990) のも 1 つの考え方であるが，この考え方では，基準率が無視されない場合の説明が

困難である．Gavanski & Hui (1992) は，カテゴリー H と特徴 D による標本空間の切り分けに基づく説明を提供している．この説によれば，集合 H と D がカテゴリーと特徴の関係にある限り，$P(H|D)$ の推定値としては常に $P(D|H)$ が回答されることになる．つまり，偏確率構造の明確化とパフォーマンスは無関係ということになる．

本実験では，集合 H は X 症候群という疾病，集合 D は咳という症状であった．X 症候群は未知の疾病であるが，一般のカテゴリーの特性を満たしていないと考える理由は何もない．また，咳は，疾病というカテゴリーに付随する特徴と考えることができる．したがって，Gavanski & Hui (1992) の考え方に従えば，逆転錯誤は生じるはずであり，その結果，$P(H|D)$ の推定値として $P(D|H) = .80$ が回答されることが予測される．一方，等確率性仮説は，$P(H)$ と $P(D)$ を等確率であると仮定することが阻止されれば，基準率錯誤も逆転錯誤も発生しないと予測する．本実験の結果は，この等確率仮説によって無理なく説明される．

Macchi (1995, 2000) は，尤度（検出率）情報 $P(D|H)$ の理解過程における誤りが逆転錯誤を引き起こし，この誤りは，**区分明示表記** (partitive formulation) によって回避することができるとした．区分明示表記の明解な定義は与えられていないが，考察対象となる集合の外延 (extension) を明確にする表現を指すと考えられる．たとえば，「自殺による死亡率は，自殺行為をした少年における方が少女より 3 倍高い[*2]」という表現は，自殺行為によって死亡した少年の率が問題になっているような誤解を与えやすい．しかし，「致死自殺行為率は，少年における方が少女より 3 倍高い[*3]」（区分明示表記）と表すと，少年の集合の中に，部分集合としての行為が存在する関係がわかりやすくなる．「行為」という表現が集合の外延を考えやすくするといえるだろう (cf. Sloman & Over, 2003; Tversky & Kahneman, 1983)．この観点は，次の入れ子集合仮説と共通する．

入れ子集合仮説

入れ子集合仮説は，課題の論理構造とその認識を問題としている点で，われわれの理論と観点を共有している．ただし，入れ子集合仮説において，「入れ子集合関係」というのが何を指すのか，正確に特定されていない点が問題である．Mellers & McGraw (1999) は，入れ子集合を「より大きな集合に対する部分集合[*4]」(p. 419) とした．この表現はあまりに一般的過ぎるため，入れ子集合関係の認識が，偏確率構造の認識，すなわち「集合 H と D の大きさが大幅に違うと認識すること」と同じことを指すとは考えにくい．

Sloman et al. (2003) は，「集合関係が入れ子でなくなると問題が難しくなるだろう[*5]」(p. 303) という予測から，検出率 $P(D|H)$ を .999 にした実験（実験 4）を行っている（実験 1–3 では検出率は 1.0 ）．このことから，彼らの定義では，乳がん問題やタクシー問題（いずれも検出率は .80）は入れ子集合構造を持たないことになり，よって，これらの問題で促進効果を得るのは難しいことになる．一方，われわれの理論は，これらの課題でも偏確率構造の認識によって促進効果が得られると予測する．本実験の結果は，われわれの理論の予測通りであった．

入れ子集合仮説の核心的主張があいまいであることと関係して，どの研究者の説が入れ子集合仮説に分類されるかも不明瞭である．Sloman et al. (2003) は，確率的メンタルモデル理論 (Johnson-Laird, Legrenzi, Girotto, Legrenzi, & Caverni, 1999) まで入れ子集合仮説に含めている．Macchi (1995, 2000) の区分明示構造の概念も，入れ子集合仮説の観点にかなり近いように思われる．Hoffrage, Gigerenzer, Krauss, & Martignon (2002) は，入れ子集合仮説や区分明示構造の概念に何も新しいところはないと批判した．彼らによれば，入れ子集合の特性は自然頻度が持つ一特性であり，促進効果の十分条件ではない．重要な点は，集合 D を $a = P(H \cap D)$ と $b = P(\bar{H} \cap D)$ の 2 つの部分に分けることによって，$P(H|D)$ の計算が次のように簡単になる点である．

$$P(H|D) = \frac{a}{a+b} \tag{4}$$

いずれにせよ，入れ子集合仮説は複数の理論の最大公約数的な観点であるとしても，その核となる「入れ子集合構造」の概念をより明確にする責任を負っている．そのような理論的整備がなされたときに，等確率性仮説との関係が明確になるだろう．

[*2] 原文では，“The percentage of *deaths by suicide* is three limes higher among boys who attempted suicide than among girls.”（斜体は原文のまま）

[*3] 原文では，“The percentage of *suicide attempts that result in death* is three times higher among boys than among girls.”（同上）

[*4] 原文では，“subsets relative to larger sets”.

[*5] 原文では，“a problem should be more difficult if the relevant relations are not nested.”.

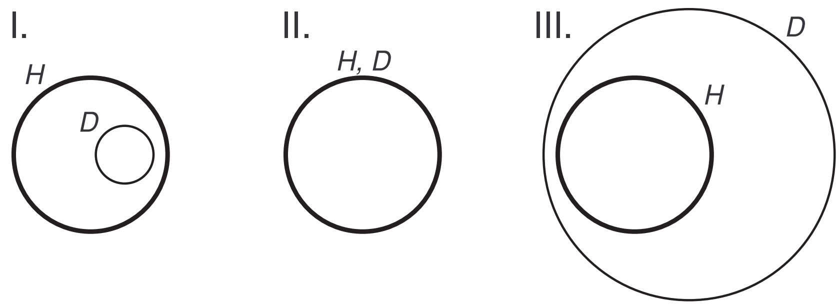

Figure 5. Three patterns of the set size relationship between two arbitrary sets *H* and *D*.

等確率性の最適性

本実験の結果は，等確率性仮説の予測通りであった．しかし，なぜ人々は等確率を仮定するのであろうか．等確率性がデフォルト値として設定されているとすれば，それはどのような最適化の結果なのであろうか．Tversky & Kahneman (1983) は，連言錯誤 (conjunction fallacy) や基準率錯誤を説明する代表性ヒューリスティック (representativeness heuristic) の一部が，期待獲得情報量最大化によって説明されると論じた．Grice (1975) の協調の原則 (cooperative principle) に基づき，質と量のトレードオフを考え合わせて伝達メッセージを評価するとき，代表性ヒューリスティックによって，メッセージの価値（期待獲得情報量）の最大化が実現されている可能性を示唆した．また，Oaksford & Chater (1994) は，Wason 選択課題のエラーが，稀少性仮定の下では期待獲得情報量の最大化という合理的な選択であることを示した．Evans & Over (1996) は，期待獲得情報量最大化を含む**認識論的効用** (epstemic utility) という概念を導入し，仮説検証行動を包括的に説明しようとした．

認識論的効用は，会話や仮説検証・判断・推論などにおいて中心的役割を果たしていると考えられるが，等確率性は，認識論的効用の観点から最も望ましい性質を備えているといえる．たとえば，乳がんの検査の信頼性について考えてみる．一般に，最も信頼性の高い検査とは，罹病者の全員が陽性となり，非罹病者の全員が陰性となるものであろう．Figure 5 は，任意の 2 つの集合の大きさの関係のパタンをあらわしている．II の場合，すなわち，罹病者の集合 (*H*) と検査で陽性となる人の集合 (*D*) が正確に一致する場合，その検査は最も多くの情報量をもたらす．これに対して，I の場合は，陽性判定は間違いないものの，検査結果の大半は陰性で罹病者の見逃しが多いため，あまり信頼がおけない．逆に，III の場合は，オリジナルの乳がん問題と同様，陽性判定が取り越し苦労を生む（虚報である）可能性が高く，やはり検査の信頼性が高いとはいえない．結局，集合サイズが同じ（等確率性が成立する）とき，最も多い期待獲得情報量が約束される．

認識論的効用の最大化に対して等確率性が重要な役割を果たしていることは，帰納的推論研究からも示唆されている．Hattori (2003) が提唱した 2 事象間の共変動検出の DFH モデルは，最もよく実験データにフィットしただけでなく，計算論的分析によって，等確率性と稀少性が満たされた環境において，極めて効率的に四分点相関係数 ϕ を近似することが明らかになった (Hattori & Oaksford, 2004, 2006)．この結果自体は，等確率性の仮定そのものが最適化の結果であることの直接的な証拠ではないが，その可能性を強く示唆するものである．なぜならば，われわれの認知が環境に対して最適化されている (Anderson, 1990) のだとすれば，われわれは，等確率性と稀少性を満たすようなやり方で，2 事象間の関係性のカテゴリー化をしたり，条件文などの言語表現を運用したりすることにより，トータルな認知活動の最適化を実現していると考えることができるからである．

引用文献

Anderson, J. R. (1990). *The adaptive character of thought*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Bar-Hillel, M. (1980). The base-rate fallacy in probability judgments. *Acta Psychologica*, *44*, 211–233.

Braine, M. D. S., Connell, J., Freitag, J., & O'Brien, D. P. (1990). Is the base rate fallacy an instance of asserting the consequent? In K. J. Gilhooly, M. T. G. Keane, R. H. Logie, & G. Erdos (Eds.), *Lines of thinking: Reflections on the psychology of thought* (Vol. 1, pp. 165–180). Chichester, England: Wiley.

Chapman, L. J., & Chapman, J. P. (1959). Atmosphere effect re-examined. *Journal of Experimental Psychology*, *58*, 220–226.

Eddy, D. M. (1982). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. In D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 249–267). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Evans, J. St. B. T., & Over, D. E. (1996). *Rationality and reasoning*. Hove, UK: Psychology Press.

Gavanski, I., & Hui, C. (1992). Natural sample spaces and uncertain belief. *Journal of Personality and Social Psychology*, *63*, 766–780.

Geis, M. L., & Zwicky, A. M. (1971). On invited inferences. *Linguistic Inquiry*, *2*, 561–566.

Gigerenzer, G., & Hoffrage, U. (1995). How to improve Bayesian reasoning without instruction: Frequency formats. *Psychological Review*, *102*, 684–704.

Grice, H. P. (1975). Logic and conversation. In P. Cole & J. L. Morgan (Eds.), *Syntax and semantics 3: Speech acts* (pp. 41–58). London: Academic Press.

Hattori, M. (2002). A quantitative model of optimal data selection in Wason's selection task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *55A*, 1241–1272.

Hattori, M. (2003). Adaptive heuristics of covariation detection: A model of causal induction. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Cognitive Science and the Seventh Australasian Society for Cognitive Science Joint Conference (ICCS/ASCS 2003)* (Vol. 1, pp. 163–168). The University of New South Wales, Sydney, Australia.

Hattori, M., & Oaksford, M. (2004). Discriminating multiple causes from a number of candidates: An adaptive heuristic in covariation detection. In *Conference Proceedings of the Fifth International Conference on Thinking (ICT 2004)* (p. 10). University of Leuven, Belgium.

Hattori, M., & Oaksford, M. (2006). Adaptive heuristics for covariation detection: Model comparison and rational analysis. (Manuscript under review)

Hoffrage, U., Gigerenzer, G., Krauss, S., & Martignon, L. (2002). Representation facilitates reasoning: What natural frequencies are and what they are not. *Cognition*, *84*, 343–352.

Johnson-Laird, P. N., Legrenzi, P., Girotto, V., Legrenzi, M. S., & Caverni, J.-P. (1999). Naive probability: A mental model theory of extensional reasoning. *Psychological Review*, *106*, 62–88.

Koehler, J. J. (1996). The base rate fallacy reconsidered: Descriptive, normative, and methodological challenges. *Behavioral and Brain Sciences*, *19*, 1–53.

Macchi, L. (1995). Pragmatic aspects of the base-rate fallacy. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *48A*, 188–207.

Macchi, L. (2000). Partitive formulation of information in probabilistic problems: Beyond heuristics and frequency format explanations. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *82*, 217–236.

Mellers, B. A., & McGraw, A. P. (1999). How to improve bayesian reasoning: Comment on Gigerenzer and Hoffrage (1995). *Psychological Review*, *106*, 417–424.

Oaksford, M., & Chater, N. (1994). A rational analysis of the selection task as optimal data selection. *Psychological Review*, *101*, 608–631.

Sloman, S. A., Over, D., Slovak, L., & Stibel, J. M. (2003). Frequency illusions and other fallacies. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *91*, 296–309.

Sloman, S. A., & Over, D. E. (2003). Probability judgement from the inside and out. In D. E. Over (Ed.), *Evolutionary and the psychology of thinking: The debate* (pp. 145–169). Hove, UK: Psychology Press.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, *185*, 1124–1131.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1982). Evidential impact of base rates. In D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 153–160). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1983). Extensional versus intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgment. *Psychological Review*, *90*, 293–315.

Villejoubert, G., & Mandel, D. R. (2002). The inverse fallacy: An account of deviations from bayes's theorem and the additivity principle. *Memory & Cognition*, *30*, 171–178.

付録

タクシー問題 (Tversky & Kahneman, 1982)

ある夜，タクシーによるひき逃げ事件が起きました．その街には，緑タクと青タクの 2 つのタクシー会社がありました．街の中の 85 % のタクシーが緑タクで，15 % が青タクです．ある目撃者が，犯人は青タクだったと言いました．判事は，事故の夜と全く同じ状況下でその目撃者の信頼性を検査して，どちらの色も 80 % の場合には正しく同定できるが，20 % の場合には間違えると結論しました．さて，事件を起こしたタクシーが，本当に青タクだった確率はどれくらいでしょうか．（正解：41 %）

乳がん問題の結合確率分布と周辺確率分布

	Mammography		Total
	Positive (D)	Negative ($\bar{D}$)	
Breast Cancer (H)	.008	.002	.010
No Breast Cancer ($\bar{H}$)	.095	.895	.990
Total	.103	.897	1.000

タクシー問題の結合確率分布と周辺確率分布

	Testimony		Total
	“Blue!” (D)	“Green!” ($\bar{D}$)	
Blue Cab (H)	.12	.03	.15
Green Cab ($\bar{H}$)	.17	.68	.85
Total	.29	.71	1.00