

自然言語の条件文の void 値の確率的性質 Probabilistic properties of the void values in conditionals in natural language

佐藤 彩子[†], 吉沢 栄貴[‡], 高橋 達二[†]

Ayako Sato, Hideki Yoshizawa, Tatsuji Takahashi

[†] 東京電機大学, [‡] 東京電機大学大学院

Tokyo Denki University, Graduate school of Tokyo Denki University

tatsujit@mail.dendai.ac.jp

概要

「 p ならば q 」という形式をとる条件文の真理値について人間が解釈する際、「真」、「偽」だけでなく「不確実」をとることが知られている。この「不確実」の取りうる値について、Jeffrey は真を 1, 偽を 0 としたとき 0 から 1 の確率値 $P(q|p)$ をとるとし、Wang & Zhu がその検証を行った。しかし実験の設計や方法には議論の余地も見られた。そこで本研究では Wang & Zhu の実験を改善して日本語での追試を実施し、結果の比較を行なった。

キーワード：条件文, 主観確率理論, 三値論理, 確率論理

1. はじめに

人間は、既知の情報を元に不確実な未来の予測や、原因と結果の事象間の推定を繰り返すことで環境への適応を試みている。例えば、「頭痛がするならば、風邪を引いている」というような判断を行うことがあることが挙げられる。こういった、「 p ならば q 」“if p then q ”といった形式をもつ文を条件文と呼ぶ。論理学では条件文の取りうる真理値について「真 (T) true」「偽 (F) false」の 2 値で表現されているが、人間の直感をより正確に表現するためには、真でも偽でもない第三の値「不確実 (U) uncertain」を必要とする。そのため、条件文を含んだ体系には二値論理では不十分であり、少なくとも三値論理が必要であることが、これまでの研究から示唆されている。

この「不確実」について、de Finetti は後件の真偽に関わらず前件が偽のときに取るとした。一般的には、不確実な状況は確率値を用いて表現すべきであるため、 T を確率 1, F を確率 0 とした上で、 U は 0 から 1 の確率値ということになるが、具体的な U の取りうる値についてはまだあまり研究がない。これに関して、Jeffrey はその値は $P(q|p)$ を取るとする予測を立てている [1]。この Jeffrey の提唱した Jeffrey table について、Wang

& Zhu, 2019 では実験を伴った研究を行なった [2]。しかし、Wang & Zhu, 2019 では、前件が偽であるときの条件文の真理値は $P(q|p)$ の傾向は見られたが、実験設計や方法に議論の余地がある。

本研究では Wang & Zhu, 2019 を元に改善と日本語での追試を行い、より詳しい条件文の確率的性質を明らかにすることを目的とする。

2. 不確実

論理学において真理値は「真」と「偽」の 2 つで構成されるという二値論理が用いられている。しかし、二値論理では人間の直感的な論理を表現しようとする際に正確さに欠く部分があり、真偽について不明な場合における不確実性を考慮した論理体系が必要であるとされている。そこで「真」と「偽」の他に、第 3 の真理値「不確実」を加えた真理値表「欠陥真理値表」という概念が de Finetti によって提唱され、これは新パラダイム推論心理学により妥当であるとされている [3]。

古典的な二値論理学において条件文は実質含意 (material implication) として既定されており、 $\neg p \vee q$ と等価であるこれは前件 p が真、後件 q が偽である場合をのぞいて条件文の真理値は全て真をとる、すなわち前件 p が偽であるとき、後件 q が真偽どちらを取るかに関わらず条件文は真であるとしているものである。しかし、この解釈を人間の推論に当てはめようとすると直感との解釈の相違が生じてしまうと考えられている。

2.1 条件文における不確実性

人間の直感と実質含意との解釈の相違について、不確実に対して条件付き事象 (conditional event) という解釈を導入したことで解消が提唱された。この条件付き事象とは、実質含意とは異なり、前件 p が偽である時は後件 q の真偽に関わらず不確実をとるとするもの

表1 代表的な条件文のモデルの真理値表

事例	略号	実質含意	de Finetti	Jeffrey
$p \ \& \ q$	TT	true	true	true
$p \ \& \ \neg q$	TF	false	false	false
$\neg p \ \& \ q$	FT	true	uncertain	$P(q p)$
$\neg p \ \& \ \neg q$	FF	true	uncertain	$P(q p)$

である。この解釈は条件文の形式に対応しているものと考えられている。これまでの研究で、人間の論理を表現するために定義された様々な真理値表について、代表的なものを表1に示す。Jeffrey tableはde Finetti tableを拡張した真理値表であり、de Finettiが U をとるとした前件が偽である場合に、Jeffreyはその値について「 p ならば q 」の信念の度合いを示す $P(q|p)$ をとるという予測を立てている。

3. Jeffrey tableに関する先行研究

これまでの先行研究では参加者が条件文の真理値について問われた際に、前件 p が偽のとき、真理値が U をとるか否かということを検証をする研究はあるが、より具体的に U について $P(q|p)$ を推測できるような場合を提示して回答を集める研究がなかった。この状況を受けて、Wang & Zhu, 2019では参加者が $P(q|p)$ を推測できるような実験をデザインし、これによってJeffrey tableについての検証を行なった。

3.1 先行研究の実験設定

Wang & Zhu, 2019の実験では大学生80人を対象にペーパーテストを用いて行なった。設問の内容は以下の通りである。実験参加者は母集団を与えられ、その後母集団からランダムにとった1つのサンプルについて提示される条件文が真である確率を判断する。具体的には、200枚のカードがあり、その内訳は次の4種類である。

- 90枚の丸くて赤いカード
- 10枚の丸くて青いカード
- 50枚の四角くて赤いカード
- 50枚の四角くて青いカード

この時に、200枚のパックから四角くて赤いカードが引かれたとする。「このカードについて「もしカードが丸いならば、それは赤である」というのはどのくらい確かだろうか？」という質問に参加者は確率を答える。

ここで、「もしカードが丸いならば、それは赤である」という条件文の前件の「カードが丸い」が p 、後件の「カードが赤い」が q であるとする、4種類のカー

ドは p と q がそれぞれ T/F である場合の $2 \times 2 = 4$ 種類の組み合わせ(TT, TF, FT, FF)に対応し、既に引かれた「四角くて赤いカード」は FT の事例に相当する。設問は焦点を当てるカードが FT である場合と FF である場合の2種類の組み合わせがあり、回答者はカウンターバランスをとってランダムに片方のパターンの設問を提示され、母集団の分布における TT の割合の高い(90/200)場合と低い(60/100)場合の2問について回答する。この研究では、母集団における TT の分布の差異による有意差は見られたが、参加者の回答の中央値は全ての種類の設問において $P(q|p)$ よりも低くなったという結果が出た。

3.2 先行研究の実験設定に関する議論

Wang & Zhu, 2019の実験では、「このカードについて」と焦点を当てるカードは FT, FF の2種類のみであった。しかし、この実験において回答の精度を検証しようとする、焦点を当てるカードが FT, FF のみとするのは不十分で、少なくとも TT, TF, FT, FF の全てのカードについての結果を分析する必要がある。Jeffrey tableが人間の条件文の真理値表とフィットするのであれば、焦点を当てるカードが TT ならば報告される確率は1、 TF ならば0、 FT, FF ならばどちらも $P(q|p)$ であることが期待される。

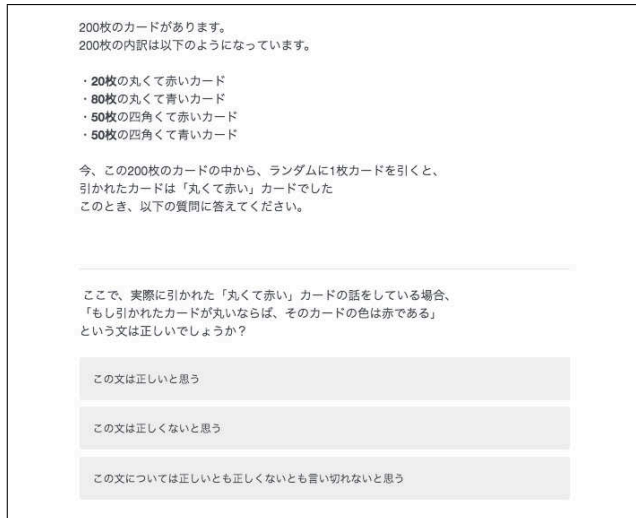
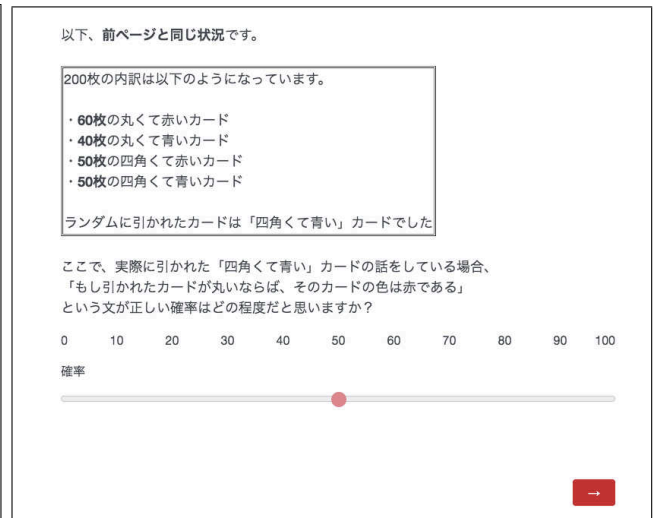
また、原文で“for the card”とされている「このカードについて」という文言は、焦点を当てるカードということを示す説明としては直感的ではないと考えられ、実験の説明文には大きな改善が可能であると考えられる。

4. 本実験

前章のWang & Zhu, 2019の実験を受け、本研究では質問をより自然かつ適切なものに変更するとともに、焦点の当たる事例に関して TT, TF, FT, FF の4パターンを作成して検証する。また、母集団における TT の割合という要因に関しても、高い、中程度、低い3パターンを増やして検証し、その回答を分析する。

4.1 実験手順

本実験では、クラウドソーシングで募集した参加者に実験作成ツールであるQualtrics上に用意した条件文実験にアクセスしてもらい、そこで出題される設問に回答を行ってもらう形式を採用した。参加者は図1のような画面を提示され、焦点を当てられたカードに

図1 実験参加者への提示例 (T , F , U ラジオボタン)図2 実験参加者への提示例 (U の確率を問うスライダー)

ついて提示された条件文が真か偽か不確かかをまずラジオボタンによって回答する。この時提示された条件文は真または偽であると回答した参加者は次の設問へ進み、不確実を選択した参加者のみ図2で示す次画面で確率値を0から100の間でスライダーを用いて回答する。これを母集団における TT の占める割合が高い (80/200), 中程度 (60/200), 低い (20/200) の3パターンについて繰り返す。焦点を当てるカードと提示される条件文の関係性について TT , TF , FT , FF の4種類のうち、どの種類を問われるかはカウンターバランスをとり、母集団に占める TT の割合3種類についてはランダムな順序で表示した。回答は、提示される条件文に対し焦点を当てるカードが TT , TF , FT , FF となる4種類の種類ごとに収集した。

4.2 実験結果

本実験では、本問を回答する前に参加者がどの程度文章を注意して読んでいるかを確認するため、文中に特定の回答を誘導する文言を入れた練習問題を出題し、誘導に沿って練習問題を回答した参加者の回答のみを分析対象とした。本実験は参加者200人に実施し、4種類の設問それぞれについてカウンターバランスを取り50人ずつ振り分けた。そのうち TT について37人、 TF について41人、 FT について35人、 FF について34人、計147人の回答を分析対象とした。実験結果は、参加者の回答を焦点を当てるカードの種類ごとに分類し、比較を行った。焦点を当てるカードに対し提示された条件文の真理値について、条件文が真である

と回答した場合は確率値100、偽であると回答した場合は確率値0、不確実であると回答した場合はその後の質問で参加者がスライダーを用いて回答した0から100の間の確率値を当てはめ、焦点を当てたカードの種類それぞれについて、平均値と標準偏差を算出したこれを表2に示す。また、参加者の回答の分布を示すヒストグラムを付録につける。

5. 考察

FT および FF の実験結果について検定を行うと、母集団における TT の占める割合の差異による有意差は認められたが FT , FF 間の焦点を当てるカードによる有意差は認められなかった。これは FT および FF は双方とも $P(q|p)$ を取る Jeffrey table に即した結果であると言える。

また、今回の結果では条件文の真理値を U と答えた参加者の中で、スライダーによって確率を回答した際に100または0と回答する参加者は見られなかった。つまり、ヒストグラムに見られる0と回答した参加者は、全て焦点を当てたカードについて提示された条件文を「正しくない」と推測した参加者、100と回答した参加者は全て「正しい」と推測した参加者のみであると言える。 FT , FF の結果を見る際に、後述する実験の問題点によって正確に設問を読解できず、「正しくない」と答えている参加者が一定数いると仮定して0と回答した参加者を除外すると、参加者の回答の中央値は、限りなく母集団における TT のカードの占める割合、すなわち $P(q|p)$ に近づく。これは、前件が偽を取る時に真理値として $P(q|p)$ を取る Jeffrey table と合致しており、この分析方法および結果が正当であれ

表2 実験結果 平均値 (標準偏差)

焦点を当てたカード	80/100	60/100	20/100
$p \ \& \ q$	35.68 (41.63)	27.70 (32.93)	20.27 (35.83)
$p \ \& \ \neg q$	20.17 (33.31)	14.95 (29.06)	13.66 (28.97)
$\neg p \ \& \ q$	20.60 (33.77)	17.43 (28.89)	18.03 (32.97)
$\neg p \ \& \ \neg q$	21.56 (34.34)	16.91 (29.80)	5.00 (10.15)

ば Jeffrey table は人間の直感に即していると言える可能性がある。しかし、参加者が条件文の解釈を連言的に捉えた可能性もあり、今回の本研究では「正しくない」と回答した参加者の中で設問の読解に問題があったと選択した参加者と、連言的な解釈をして選択した参加者の区別をすることは不可能であること、実験設計および手法そのものにも問題があったと見られることから、0 という回答を除外しての結果は、本来の取りうる結果とは相違がある可能性もある。

本実験では焦点を当てるカードの種類や母集団における TT の占める割合の高中低を問わず、全てのパターンで参加者の回答した確率値の中央値が0を取った。すなわち、 TT , TF , FT , FF どのパターンに関しても参加者の過半数が確率値0をとっており、これは焦点を当てたカードについて提示された条件文は「正しくない」と回答しているということを示す。 TF はどのようなモデルであっても確率値は0を取ること、条件文の解釈を連言的に捉えた可能性もあることから TF , FT , FF に関しては中央値が0を取ることには不自然な点はないが、どのようなモデルであっても確率値100が報告されるはずの TT でさえも中央値が0を取っていることから実験設計または実験手法に問題があると考えられる。考えうる問題点としては以下の通りである。

5.1 本実験と元実験の設計上の差異による問題

本実験と元実験の間で生じた結果に影響を与える差異として、前の設問へ戻ることが可能かどうかによる差異と、参加者の属性の差異が考えられる。

5.1.1 前の設問へ戻ることが可能かどうかによる差異

本実験の結果では母集団における TT の占める割合の高中低それぞれについて (0, 100, 0) や、(0, $P(q|p)$, 100) 等といった回答パターンの統一されていない回答がしばしば見られた。設問の提示順はランダムであ

り、計3問出題される設問で、その差異は母集団に占める TT の割合のみであるという作りの実験であることを考えると、本来回答のパターンは (100, 100, 100), (0, 0, 0), ($P(q|p)$, $P(q|p)$, $P(q|p)$) のいずれかが多数を占めると考えられる。しかし、今回参加者の回答する確率値が実験中に極端に変わってしまうという事象が発生してしまったのは、繰り返し設問を提示され、複数回考えるうちに参加者が設問の誤読や勘違いなどに気づき、回答パターンを変えた可能性が考えられる。この場合、元論文で実施されていたようなペーパーテストの実験形式であれば参加者が設問の誤読に気付いた時点で前の設問に戻り、回答し直すことが可能である。つまり、提示される2問(本実験では3問)の回答が共通パターン (TT , FF , $P(q|p)$, $P(q|p)$) を取りやすいと考えられる。しかし、本実験で行なったオンライン実験では実験ページに前画面への遷移を可能とする「戻るボタン」を設置しておらず、一度回答を送信した設問に戻って回答し直すことは不可能である。よって実験途中で参加者が設問の誤読などに気づいた場合にも修正を行うことが不可能であったため、回答パターンの統一が難しく、今回の本実験のような回答が出現したと考えられる。

5.1.2 参加者層の属性の差異

Wang & Zhu, 2019 では参加者の属性を大学生に固定し80人で実験を行なったのに対し、本実験では参加者の属性を指定しない200人で行ったため、そもそも参加者の保有する前提知識に差があり、提示された設問が適切に読み解かれなかった可能性があると考えられる。特に、本実験のような、抽象的マテリアルで確率判断をさせると、分散が大きくなったりそもそも題意が理解されない可能性が高いと考えられる。

5.2 元実験の設計の問題

本実験および Wang & Zhu, 2019 で提示に使用した条件文は、Jeffrey table が人間の直感に沿うものであるということを検証するには、条件文の種類が妥当で

はなかった可能性があげられる。今回元実験および本実験で使用したカードの図形と色を対応づける条件文は、日常生活で使用されるような文脈を持つ条件文とは異なるため、参加者が直感的な判断をくだしづらかった可能性があると考えられる。

また、元論文で使用された、設問文中の焦点を当てるカードを指す役割を持つ “for the card” の部分が直感的ではなく、今回の実験での “for the card” 部分に当たる「実際に引かれたカードの話をしている場合」という文言にしても意味が読み取りづらく直感的でないため適切に読み解かれなかった可能性がある。

6. おわりに

本実験の結果のみを見ると Jeffrey table が人間の直感に沿っているとまでは主張できない。しかし、この結果は実験の設計及び手法に問題があったことによるものという可能性も考えられる。本実験の改善点、検証及び議論が必要な点は多々あり、それらを改善して再実験を行なった場合結果が変わる可能性は大に見られる。よりわかりやすく結果の変化が見られそうな改善点としては、設問に用いる条件文を文脈的なものにする、または焦点を当てるカードについての記述をより直感的なものにするなどがあげられ、このような条件で再実験を行うと前件 p が偽のときについて $P(q|p)$ を回答する人が増加する可能性がある。特に、前者の改善点は、6 種類の条件文 [4] それぞれについて実験を行うことで、条件文の種類による解釈の違いが検証できる。また、本実験の設問では参加者 1 人に対し母集団における TT の割合のみを変更し、焦点を当てるカードの種類は 1 種類であったが、参加者 1 人に対して母集団における TT の割合を固定し、焦点を当てるカードの種類を 4 種類全て問うことで、条件文の解釈について実質含意や連言、Jeffrey table といった各モデルをとる人の割合の検証ができる。よって、上記のような条件を改めた再実験の実施を行なっていく。

文献

- [1] Jeffrey, R., Edgington, D. (1991). Matter-of-Fact Conditionals, Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes, Vol. 65 (1991), pp. 161-183+185-209
- [2] Wang, M., Zhu, M. (2019). Evidence for the Jeffrey Table: Credibility Ratings for Conditionals Given False Antecedent Cases, Experimental Psychology (2019). doi:10.1027/1618-3169/a000443
- [3] Over, D. E. (2009). New paradigm psychology of reasoning. *Thinking & Reasoning*, 15(4), 431-438.
- [4] Gauffroy, C., & Barrouillet, P. (2009). Heuristic and analytic processes in mental models for conditionals:

An integrative developmental theory. *Developmental Review*, 29(4), 249-282. doi:10.1016/j.dr.2009.09.002

付録

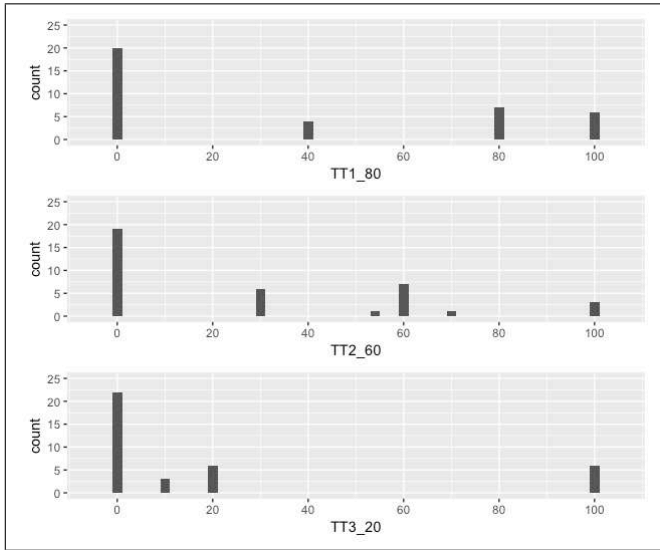


図3 TTのヒストグラム

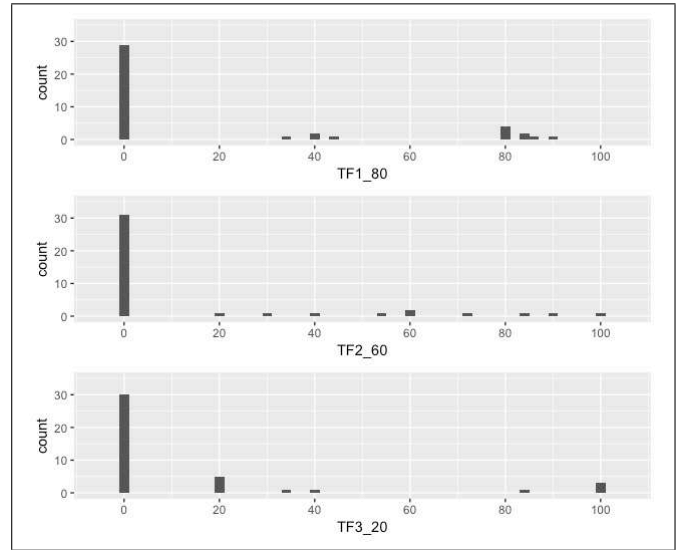


図4 TFのヒストグラム

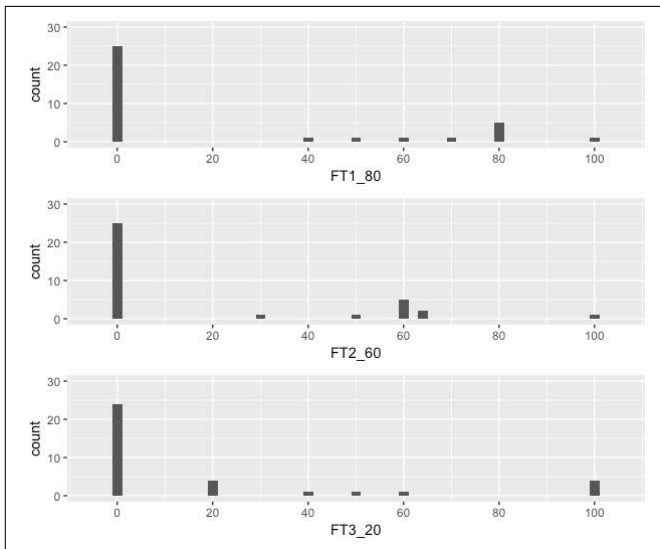


図5 FTのヒストグラム

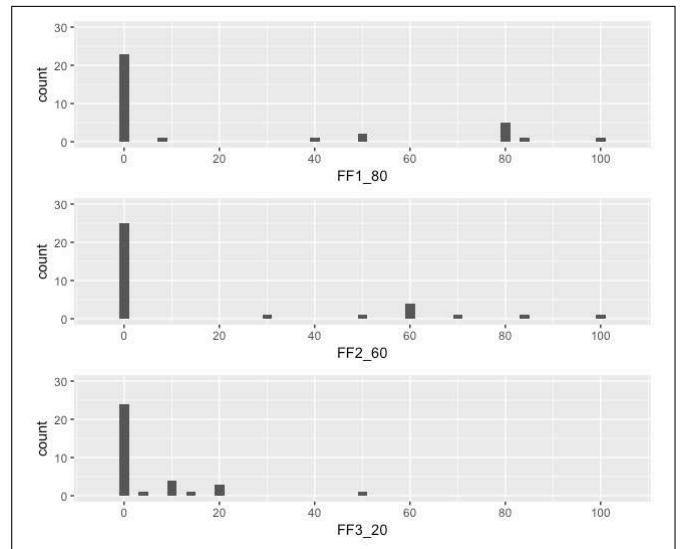


図6 FFのヒストグラム