

Adaptive significance of defective biconditional or biconditional event

Junki Yokokawa[†] Kuratomo Oyo[†] Tatsuji Takahashi[†][†]Graduate School of Tokyo Denki University

1. はじめに

この論文では因果帰納モデルの一つである “稀少と仮定される事例の比率” (pARIs: proportion of Assumed to be Rare Instances)[1] の、双条件文のモデルとしての理論的性質と適応の意味を考察し、実験により明らかにすることを試みた。

2. 既存研究

因果帰納とは、着目する結果事象 E と、原因として疑う原因候補事象 C の共起頻度情報から、原因 C から結果 E へという因果関係を構築する推論である。この因果帰納には様々なモデルがあるが、共起あるいは共変動情報を入力とした計算が第一歩である[2]。最も基本的な因果帰納研究では、2事象の共起情報をセル a, b, c, d に記録する、 2×2 分割表 (表1) が用いられる。

表 1: 2×2 分割表で表現された共起情報

		Effect (E)	
		E	$\neg E$
Cause (C)	C	a	b
	$\neg C$	c	d

この表上で pARIs は以下のように定義される：

$$\begin{aligned} pARIs &\triangleq P(p \wedge q | p \vee q) = \frac{P(C \wedge E)}{P(C \vee E)} \\ &= \frac{a}{a + b + c}. \end{aligned} \quad (4)$$

この形式は「推論心理学の新パラダイム」[7, 8] で着目されている無際限な世界での双条件文、双条件付事象 [6]であり、推論心理学では Wason らの発見した defective biconditional、Tversky の類似性の定義にも一致する [3, 4]。他にも Kosko による集合同一性の確率 [5]、情報工学で多用される Jaccard similarity index と一致し、理論的に正当化できる。

表 2 に現在推論心理学で一般的な条件文「ならば (if P then Q)」($P \Rightarrow Q$ と $Q|P$)と双条件事象「if P then Q , and if Q then P 」($Q||P$) の真理値表を示す。U は、無関係、無効あるいは不確実という意味を表す。表 1 の共起情報について原因 C を前件 P 、結果 E を後件 Q とすると表 2 との自然な対応が付き、pARIs が双条件付事象と同等なことが確認できる。

表 2: それぞれの真理値

		実質含意	条件付事象	双条件付事象	因果帰納セル
P	Q	$P \Rightarrow Q$	$Q P$	$Q P$	
T	T	T	T	T	a
T	F	F	F	F	b
F	T	T	U	F	c
F	F	T	U	U	d

この pARIs は過去の因果帰納実験データとのフィットが最も高く、少数サンプルからの統計判断のシミュレーションでも判断の早さと信頼性を両立させる指標であることがわかっている。そのため、人間が原因から結果への向き付きの因果関係を無方向化 (双条件化) し、一対一の因果関係と情報量獲得の効率化をデフォルトで行っていることが示唆されていると言える (対称性推論 [10])。また、認知実験により人が実際にセル d を無視していることが示唆され、pARIs のセル d の妥当性は高いものだと考えられる [1, 2, 9]。

3. 実験

人が実際に双条件文を解釈する際にどのように真理値表を捉えているかを確認する。

3.1. 実験内容

本実験はコンピュータ上で行った。実験参加者は東京電機大学理工学部の学生 140 人である。参加者はある双条件文に対して 4 (タスク A) または 9 (タスク B) 枚の写真を一枚ずつ提示され、写真の情報と双条件文との関係を回答する。これによって参加者が条件文の真理値表を構築することになる。タスク A, B は質問内容が 2 種類あり、被験者は 4 グループに分けられ、タスク A, B を一つずつ体験することになる。タスク A の質問は、『「もし写真に写った図形が星ならばそれは白く、また、もしその図形が白ならば、それは星である。」という文の真偽はどうなるか?』(ア) と、(ア)で「星」と「黒」、「白」と「丸」を各々入れ替えた (イ) の 2 種類である。タスク B の質問は、『「もし写真に写った図形が長方形ならばそれは黄色く、また、もしその図形が黄色ならば、それは長方形である。」という文の真偽はどうなるか?』(ウ) と、(ウ)で「長方形」と「紫」、「黄色」と「矢印」を各々入れ替えた (エ) の 2 種類で

ある。これらの質問に参加者は「真である」、「真でも偽でもない」、「偽である」のいずれかを選択して答える。

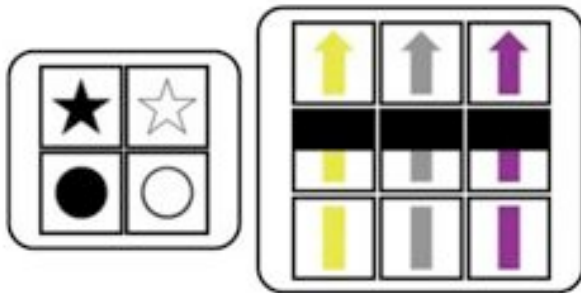


図 1：タスク A (左) と B (右) の写真群

3.2. 結果

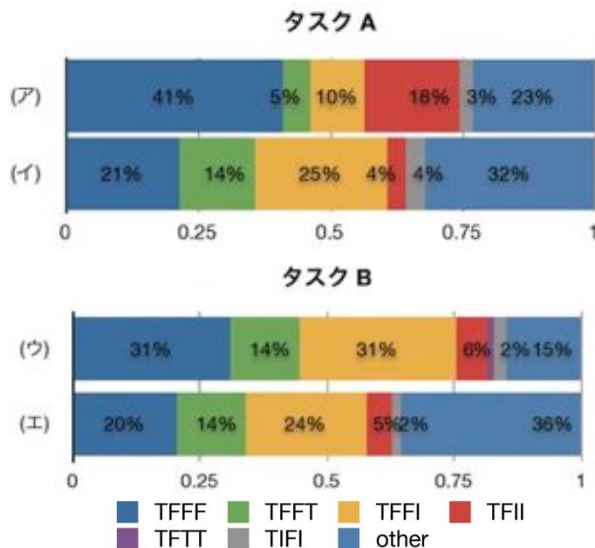


図 2：タスク A, B の結果

タスク A とタスク B における参加者の回答を表 2 にある真理値 4 種類でカテゴライズしたものが図 2 の結果である。たとえば “TFTT” は実質含意を意味する。

4. 考察

双条件文を提示した際、参加者達はバラつきがあるものの “TFFF”, “TFFI”, “TFFT” の順で条件文を捉えている傾向がわかる。これはそれぞれ、連言確率、双条件付事象(pARIs)、実質等値と一致する。これらは $(P \text{ AND } Q) \wedge (Q \text{ AND } P)$, $(P \Rightarrow Q) \wedge (Q \Rightarrow P)$, $(P \rightarrow Q) \wedge (Q \rightarrow P)$ より求めることができる。このような回答がほとんどであることから、参加者達が双条件文をその論理的の性質である無方向性を捉えた上で解釈しようとしていることが分かる。今回の実験では 3 種の枠組みが連言以上に偏ったが、それは今実験で扱った問

題の枠組みが「星ならば黒い」といった、因果関係などの先後関係のない基本的な条件文だったからだと考えられる。先後関係を感じづらい条件文によって「ならば」よりも「AND」で条件文を解釈してしまったと考え、結果は自然と考えられ、今後因果条件文を用いればより双条件付事象の回答が増えると思われる。

“TFFI” すなわち双条件付事象の適応的意味は人間の用いる記号の一般の性質から議論できる。双条件付事象の、連言や実質等置との違いは not-P & not-Q の場合に関し、T でも F でもなく U を割り振り無視する点にある。人間は記号の稀少性に敏感に反応する[9,11]。通常、何かの記号 P と P でないもの (not-P) を考えると、P の方が not-P よりずっと稀である。カラスでない物体の方がカラスよりずっと多い。そのため、全般的に P & Q が最も稀であり、P & not-Q と not-P & Q は稀で、not-P & not-Q はありふれている。ベイズ的な分析から、P と Q の関係を判断するための情報としては not-P & not-Q が最も役に立たないことが分かる[11]。このような情報を無視することは、人間の限られた作動記憶の容量の節約に繋がるだけでなく、小サンプルからの統計的判断を従来よりも素早くかつ信頼できるものにできることなどが分かっていることから、適応的であると言える。

参考文献

- [1]. Takahashi, T., Kohno Y. & Oyo, K. (2010). *Proceedings ICCS2010*, 361–362.
- [2]. Hattori, M., Oaksford, M. (2007). *Cognitive Science*, 31, 765–814.
- [3]. Wason, P. C. (1966). In B. M. Foss (ed.) *New Horizons in Psychology*, Penguin Books, Harmondsworth: Middlesex, UK, 135–151.
- [4]. Tversky, A. (1977). *Psychological Review*, 84 (4), 327–352.
- [5]. Kosko, B. (2004). *International Journal of Intelligent Systems*, 19, 1151–1171.
- [6]. Gilio, A. and Sanfilippo, G. (submitted manuscript).
- [7]. Politzer, G., Over, D. E., & Baratgin, J. (2010). *Thinking & Reasoning*, 16(3), 172–197.
- [8]. Over, D. E. (2009). *Thinking & Reasoning*, 15(4), 431–438.
- [9]. 横川純貴, 大用庫智, 高橋達二. (2012). 2012 年度日本認知科学会第 29 回大会論文集, 4–20.
- [10]. 服部雅史. (2008). *認知科学*, 15(3), 408–427.
- [11]. McKenzie, C.R.M. (2004). *Memory & Cognition*, 32 (6), 874–885.