

拡張現実物を用いた条件文理解

Conditional sentence comprehension with augmented real objects

佐藤 有理[†], 杉本雄太郎[‡], 植田 一博[†]
Yuri Sato, Yutaro Sugimoto, Kazuhiro Ueda

[†]東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻 広域システム科学系

, [‡]慶應義塾大学 論理と感性のグローバル研究センター

Department of General Systems Studies, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo,

Global Centre for Advanced Research on Logic and Sensibility, Keio University

satoyuri0@gmail.com, sugimoto@abelard.flet.keio.ac.jp, ueda@gregorio.c.u-tokyo.ac.jp

Abstract

People, especially children, tend to take the conjunctive interpretation of conditionals, in which conditionals and conjunctions have no difference in their meaning (truth-assignment). In this study, we examined what leads to such interpretation of conditionals. To address the question, we focused on simple inference patterns from “if P then Q ” to “ P ” and to “ Q ”, which are consequently valid when the conjunctive interpretation holds. In making inferences, participants were also asked to move objects to correspond to the premises. In the experiment, the patterns of inference were found more frequently in the participants given real objects than in the participants given augmented-real (AR) objects and without object manipulation. This suggests that real objects represent only single case (i.e., reality) but AR objects are not the case; people who rely on a physical world environment when making inferences can often misinterpret conditionals as conjunctions, because the latter are more familiar to them.

Keywords — **diagrammatic reasoning; augmented reality, conditional, conjunctive interpretation.**

1. はじめに

図的推論の分野で研究対象となる外的表現は、大まかに次の二つのタイプに区分できる。ひとつは、仮想現実物である。例えば、よく知られた Barwise and Etchemendy の論理学学習支援システム Tarski’s world [2] や Hyperproof [3] における構成物 (チェッカーボードやブロック等) は、全て PC スクリーン上の仮想現実物である。また、論理文解釈／推論の支援を目的に使用されることの多いオイラー図やヴェン図も、通常は仮想現実物として提供される。もうひとつは、物理世界における現実物である。例えば、Zhang and Norman [15] は、逆

ハノイ塔課題をドーナツやカップやオレンジなどの様々な物理的な現実物で構成してみせたり、折り紙を通して幾何学課題や算数計算課題を行うときの折り紙なども現実物である。しかし、これら仮想現実物と現実物を時間的にも空間的にも同時に使用するような環境 (拡張現実 AR: Augmented Reality) は、図的推論の認知科学研究の関心を集めてこなかった。AR では、現実世界にコンピュータグラフィックスによる仮想現実物を重ねる。AR の特徴のひとつは、Hugues, Fuchs, and Nannipieri [4] が指摘するように、存在論的に異なる仮想現実と現実を同時に使用している点にある。本来、存在するものだけから成り立つのが現実であり、その点において、仮想現実が存在しているとは言えない。そのため、仮想現実によって拡張 (augment) されるのは、現実というよりは現実に対する知覚や理解である。我々は、このような特殊な存在の仕方が、ある種の論理結合子 (特に、条件法) の理解、とりわけ可能な状況を考えることの助けとなるのではないかと考える。

人間は条件文 (もし P ならば Q) をどのように解釈しているのだろうか。様々な解釈のあることがこれまでの研究で明らかになっているが、その中でも特に認知科学の観点から興味深いことに、人間は、しばしば条件文を連言文 (P かつ Q) と意味 (真理値の割り当て) において同じものとして解釈することがある。具体的に言えば、「太郎は大学にいるならば、図書館にいる」という条件文が成り立つのは、太郎が大学にいることと太郎が図書館にいることが確認できた場合だけであり、他の例えば、太郎が大学にいないと図書館にもいない状況では成り立っていないと考える解釈である。こうした解釈は、条件文の連言解釈と呼ばれ、文が成り立つ状況を答える真理表課題を使った実験研究において報告され [5, 9, 11]、特に子供でこの傾向が強く見られることが知られる [1]。しかし、このような条件文の連言解釈が成り立ってしまう

と、本当なのかは考えずに条件や仮定として出してきただけなのに、本当に（事実として）太郎が学校にいる／図書館にいると理解してしまっていることになってしまう。このような誤った推論を招く解釈がなぜ生じるのだろうか。

文の真偽は現実世界との対応に基づいて理解されるという古典意味論的見解(例えば[14])に従えば、連言文はひとつの状況と対応するため、現実世界だけで文の意味を理解することができる。一方で、条件文は（実質含意解釈でも双条件解釈でも）複数の状況に対応するため、現実世界に加えて可能世界を考えなければならない。このことから、現実世界に実際に存在するもの同士の関係から連言情報を抽出し利用することはできるが、現実物だけでは条件文情報を表現することが困難である。そのため、現実物に依存している人間特に子供(cf. [6, 7])は、条件文をより身近な連言文と同じようなものとして誤って解釈してしまうのではないかと考えられる。上記主張が正しいならば、(i) 現実物だけを使用して文理解を行うことが求められる環境（現実群と呼ぶ）では、条件文の連言解釈が誘導される一方で；(ii) 可能世界を暗示する拡張現実物が使用できる環境（拡張現実群と呼ぶ）では、条件文の連言解釈が軽減されると考えられる。

2. 予測

我々の実験では、「もし P なら、 Q 。そして R 。」から、 P 、 Q 、 R をそれぞれ導出する推論を扱う。 P と Q の導出には「もし...ならば(条件法)」の理解が関係し、 R の導出には「そして(連言)」の理解が関係する。これらの推論の形式はそれほど複雑ではないため、これらの推論が通常の言語的表現によって与えられた場合（言語群）、 P と Q の導出を「必ず言えるとは限らない」、 R の導出を「必ず言える」と判断するのは比較的容易であるだろう。

しかし、文の意味を現実物との対応で考えた場合（現実群）、上で述べたように、現実物は複数の状況を選言的に表現することができず、複数の状況のうちの一つを選ばざるを得ない。これは、過剰な特定性(over-specificity)と呼ばれる、言語表現では通常成り立たず図表現でのみ成り立つ特異的性質である[13, 12]。「もし P なら、 Q 」の解釈において、 P も Q も両方成り立つという解釈(条件法の連言解釈)のみを考えるよう誘導されるだろう。そのため、 P や Q を導出する推論を「必ず言える」と間違っって判断する傾向が、言語群よりも高まるだろう。

一方で、文の意味を拡張現実物との対応で考えた場合（拡張現実群）、拡張現実物が確実な存在

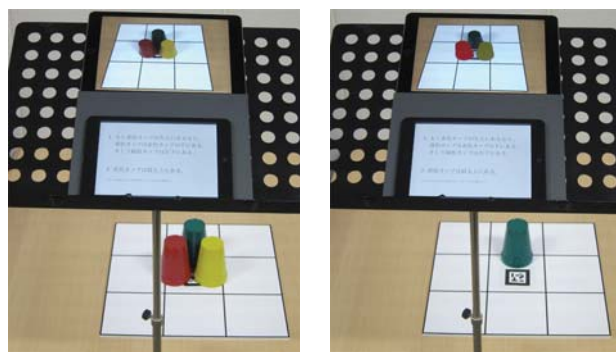


Fig. 1 現実群の課題（左）と拡張現実群の課題（右）

ではなくひとつの可能性を表すもので他の可能性があることも暗示するとすれば、複数の状況を選言的に表現することが可能だと考えられる。 P も Q も両方成り立つという連言解釈以外の解釈をとることができるだろう。そのため、 P や Q を導出する推論を「必ず言えるとは限らない」と判断する傾向が、現実群よりも高まるだろう。

加えて、「もし P なら、 Q 。そして R 。」から R を導出する推論はいつでも正しい。この実験では、現実群でも拡張現実群でも、 R に対応するオブジェクトは現実物として提供される。この推論に関しては、全ての群間の正答率に差はなく、比較的高い正答率であるだろう。

3. 実験

3.1 方法

論理学授業の受講経験のない学生54名を対象に実験を行った。募集方法や実験方法は、東京大学大学院総合文化研究科・倫理審査委員会の承認を受けた。実験参加者は、無作為に言語群(17名)と現実群(18名)と拡張現実群(17名)に分けられた(2名を撮影の失敗と教示の理解不足のため分析から除外した)。課題は、自然言語で構成される推論課題(すべての群)と、カップ配置課題(現実群と拡張現実群)とから成る。Fig.1にあるように、譜面台下のタブレットPCに推論課題が提示され、譜面台上のタブレットPCと机上の実際のカップを使ってカップ配置課題が行われる。

推論課題は全群共通で、文1と文2から文3が必ず言えるかどうかをマルかバツで判断することが求められた。Table 1に、課題例が示されている。文1は条件の結合子を含む複合文で、文2は連言によって文1と結合されている。文3は、(i) 結合子を含まないケース (ii) 条件結合子を含むケース (iii) 否定の結合子を含むケースに分かれる。文の内容は、カップの3×3格子上の位置に関するものである。赤色カップの絶対位置が文1の前件で記述さ

Table. 1 課題で使用された文 (6タイプ)

R1 ₁ .	もし赤色カップが右上にあるなら、 黄色カップは赤色カップの左にある。 そして緑色カップは左中央にある。 赤色カップは最も右にある。
R2 ₁ .	もし赤色カップが左下にあるなら、 黄色カップは赤色カップの右にある。 そして緑色カップは右中央にある。 もし赤色カップが左下にあるなら、 赤色カップは最も左にある。
Y1 ₁ .	もし赤色カップが中央下にあるなら、 黄色カップは赤色カップの左にある。 そして緑色カップは右中央にある。 黄色カップは最も左にある。
Y2 ₁ .	もし赤色カップが中央上にあるなら、 黄色カップは赤色カップの右にある。 そして緑色カップは左中央にある。 もし赤色カップが中央上にあるなら、 黄色カップは最も右にある。
G1 ₁ .	もし赤色カップが中央上にあるなら、 黄色カップは赤色カップの左下にある。 そして緑色カップは右上にある。 緑色カップは最も右にある。
G2 ₁ .	もし赤色カップが中央下にあるなら、 黄色カップは赤色カップの右上にある。 そして緑色カップは左下にある。 緑色カップは最も左にない。

れ、黄色カップの赤色カップからの相対位置が後件で記述され、緑色カップの絶対位置が文2で記述された。赤黄緑カップのいずれかに関して最上級の方角(例:最も右)が文3で記述された。文3の(ii)のケースにおいて、条件文の前件は文1と同じであり、このケースの文3で赤色カップか黄色カップについて言及している場合には、必ず正しい帰結となるよう設定された。上記の課題設定に従い、推論課題はTable 1のように6つのタイプに分かれる。R1、Y1、G2の正答はバツであり、R2、Y2、G1の正答はマルである。それぞれについて異なる位置や方角の記述が与えられた課題が、他に5題ずつ用意された。

カップ配置課題では、文1と文2に対応するようにカップを動かすことが求められた。机上には3×3格子盤が用意されていて、真ん中のマスにARマーカーのためのバーコードが置かれた。それぞれの群において異なるバーコードが用意され、拡張現実群では赤色と黄色のARカップが譜面台上のカメラ機能が作動中のタブレットPCに表示されるが、現実群ではARカップは表示されなかった。現実群(Fig.1左)では、3つ全てのカップが机上に置か

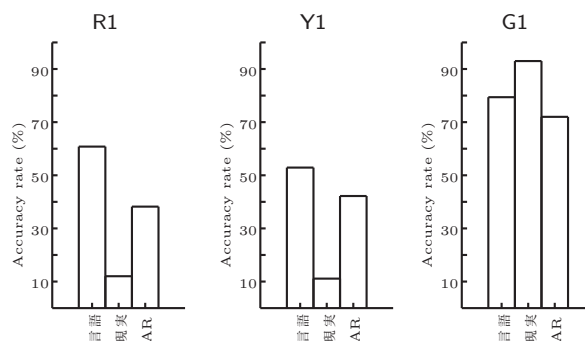


Fig. 2 言語群、現実群、拡張現実(AR)群におけるR1/Y1/G1タイプ課題の平均正答率

れていて、それを手で動かすよう指示された。拡張現実群(Fig.1右)では、緑色カップのみが机上に置かれていて、それを手で動かすよう指示され、赤色と黄色のARカップは、譜面台上のタブレットPCの画面タッチによって操作することが求められた。課題遂行の手続きとしては、まず文1と文2が譜面台下のタブレットPCに提示され、次にそれに対応するようにカップを動かした。カップ配置が済んだ後に、譜面台下のタブレットPCに文3と教示(文3が必ず言える場合にはマル、そうでない場合にはバツ)が追加表示された。

3.2 結果

Fig. 2に平均正答率の結果を示す。予測した通り、条件文からの前件の導出を問うR1タイプについて、現実群の正答率は12.0%で、言語群の60.8%よりも有意に低く(Mann-Whitney $U = 66$, $P = 0.001$)、条件文からの後件の導出を問うY1タイプについても、現実群の正答率は11.1%で、言語群の52.9%よりも有意に低かった(Mann-Whitney $U = 69$, $P = 0.002$)。加えて、これも予測した通り、R1タイプについて、拡張現実群の正答率は38.2%で、現実群の12.0%よりも有意に高く(Mann-Whitney $U = 100$, $P = 0.042$)、Y1タイプについても、拡張現実群の正答率は42.2%で、現実群の11.1%よりも有意に高かった(Mann-Whitney $U = 75.5$, $P = 0.005$)。連言文からの後半部分の導出を問うG1タイプは、言語群の正答率が79.4%、現実群の正答率が93.0%、拡張現実群の正答率が72.0%であり、予測の通り正答率はどれも高く有意差はなかった。また、R2、Y2、G2タイプはそれぞれ98%以上の完璧に近い正答率であった。

現実群と拡張現実群の詳細なパフォーマンスを分析するために、反応時間の比較を行った。課題完了にかかる時間は、R1タイプについて、現実群において20.8秒、拡張現実群において23.3秒で、対

数変換後のt検定において両者の間に有意差はなかった($t(33) = 0.563$)。Y1タイプについても、現実群において23.6秒、拡張現実群において24.1秒で、両者の間に有意差はなかった($t(33) = 0.237$)。加えて、推論にかかる時間(文3が現れてからマルかバツを判断するまでの時間)に限っても、R1タイプについて、現実群において5.3秒/拡張現実群において5.8秒で有意差はなく($t(33) = 0.867$)、Y1タイプについても、現実群において6.4秒/拡張現実群において7.3秒で有意差はなかった($t(33) = 0.624$)。

また、現実群と拡張現実群のそれぞれ98%以上の参加者が、条件文の前件(赤色カップ)と後件(黄色カップ)ならびに連言(緑色カップ)において記述されていたマス目(すべてが真である状況)にカップを配置していた。

3.3 考察

現実群ではほとんど(88%以上)の参加者が、「もしPなら、Q。そしてR。」からのPやQの導出を正しいと判断していたが、そういった誤判断は言語群や拡張現実群では有意に減少していた。現実物が条件文理解を阻害していたが、拡張現実物がそれを改善しており、拡張現実物が現実物よりも、条件文理解で効果的に働いていたことを示す。

上記の経験的知見は、現実物と拡張現実物の存在論的な違い、つまり、現実物はひとつの確実な存在であり拡張現実物は可能的な存在であるということによって、自然に説明できる。条件文を連言文と異なるものとして理解するには、条件文が表す複数の状況を考慮する必要があり、表されている存在が可能性であり他の可能性を暗示している拡張現実物は、この要求にうまく合致している。また一方で、ひとつの確実な存在でしかない現実物は、この要求を満たしておらず、むしろその過剰な特定性は条件文を連言文と同じようなものとして理解する(つまり、条件文の連言解釈)よう誘導している。

別の可能な説明についても言及しておこう。拡張現実物の効果は、拡張現実物が現実物よりも注意(attention)を集めるということから説明できるかもしれない。このような説明は、拡張現実の教育的効果を研究する文脈において、しばしば見られる[10]。拡張現実物の効果は、あるオブジェクトに選択的に注目が集まり、比較的多くの時間をかけて慎重にそのオブジェクトの持つ意味を考えたことに、基づいていると説明できる。このような控えめな説明で事足りるのであれば、我々の説明のような存在論的な違いにまで言及する必要はな

いかもしれない。しかし、我々の実験では、反応時間について拡張現実群の方が現実群よりも解くのに統計的に有意に時間がかかっていた、という結果を得ることはできなかった。これは、この注意に基づく説明を必ずしも強く肯定するものではない。

存在の仕方に基づく我々の説明が正しいとすると、文の真偽を現実世界との対応に基づいて理解することが人々にとって自然であることが示唆される。認知心理学の文脈では、特に子供が条件文の連言解釈をとる傾向に着目し、この解釈がワーキングメモリの制限と関連することが示されてきた[1]。しかし、なぜ条件文のデフォルト解釈が前件と後件が真である状況(連言解釈)なのかは必ずしも明らかにされていない。Barrouillet & Lecas [1]は、この解釈がJohnson-Lairdのメンタルモデル理論における「初期モデル」に対応しているが、メンタルモデル理論においてもその根拠は特に示されていない。対応説に基づく意味理解は、この溝を埋めることが期待できる。真である状況だけが現実存在しているのも、現実との対応によって文の意味を捉えているのであれば、文が真となる状況だけが意味として選択される、と考えることができる。

本研究は、条件文を主な題材としたが、意味解釈において複数の可能世界を必要とする論理結合子は、選言「PあるいはQ」など他にもある。この結合子の理解に関しても、包含と排他など複数の解釈があり、発達段階においてとられる解釈の違いがあることが知られている[8]。本研究の拡張現実を用いたアプローチを、さらに拡張していくことが期待される。

謝辞

本研究は、JSPS特別研究員奨励費(25-2291)の助成を受けた。

参考文献

- [1] Barrouillet, P. & Lecas, J.F. (1999). Mental models in conditional reasoning and working memory. *Thinking and Reasoning*, 5, 289-302.
- [2] Barwise, J. & Etchemendy, J. (1991). *Tarski's World*. Stanford, CA: CSLI Publications.
- [3] Barwise, J. & Etchemendy, J. (1994). *Hyperproof. CSLI Lecture Notes 42*. Stanford, CA: CSLI Publications.
- [4] Hugues, O., Fuchs, P., & Nannipieri, O. (2011). New augmented reality taxonomy: technologies and features of augmented environment In B. Furht (Ed.). *Handbook of Augmented Reality* (pp. 47-63). New York: Springer.
- [5] Marcus, S.L. & Rips, L.J. (1979). Conditional reasoning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18, 199-223.

- [6] Markovits, H. & Vachon, R. (1989). Reasoning with contrary-to-fact propositions. *Journal of Experimental Child Psychology*, 47, 398–412.
- [7] Markovits, H. & Vachon, R. (1990). Conditional reasoning, representation, and level of abstraction. *Developmental Psychology*, 26, 942–951.
- [8] Noveck, I.A., Chierchia, G., Chevaux, F., Guelminger, R., & Sylvestre, E. (2002). Linguistic-pragmatic factors in interpreting disjunctions. *Thinking and Reasoning*, 8, 297–326.
- [9] Politzer, G. (1981). Differences in interpretation of implication. *American Journal of Psychology*, 94, 461–477.
- [10] Radu, I. (2014). Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18, 1533–1543.
- [11] Sloutsky, V.M. & Goldvarg, Y. (2004). Mental representation of logical connectives. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 57, 636–665.
- [12] Shimojima, A. (1996). *On the Efficacy of Representation*. PhD thesis, Indiana University.
- [13] Stenning, K. & Oberlander, J. (1995). A cognitive theory of graphical and linguistic reasoning. *Cognitive Science*, 19, 97–140.
- [14] Tarski, A. (1944). The semantic conception of truth: and the foundations of semantics. *Philosophy and Phenomenological Research*, 4, 341–376.
- [15] Zhang, J. & Norman, D.A. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, 18, 87–122.