

不確定な名辞系列問題のメンタルモデル構築における対称性バイアス

Symmetry bias in the construction of mental models of indeterminate term series problems.

青井 孝史[†], 日高 昇平[†]
Takafumi Aoi, Shohei Hidaka

[†]北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology
shhidaka@jaist.ac.jp

概要

「AはBより大きい。BはCより大きい。」などの前提文から、「AはBより大きいか」などの間に答える推論課題は名辞系列問題と呼ばれる。前提文を満たす名辞の順序が、全順序としては1つに定まらない不確定な名辞系列問題の推論では、複数の全順序を暗示する単一のメンタルモデルが構築されるとする説が有力とされる。本研究では80人の参加者の不確定な名辞系列問題に対する回答を収集し、その回答のパターンを分析した。その結果、推論の過程で名辞間の対称性を認識しやすい異性体モデルが心的に表象されることが示唆された。また、名辞の対称性を利用して推論中の認知負荷を下げようとする名辞表象における対称性バイアスの存在も示唆された。

キーワード: 名辞系列問題、メンタルモデル、対称性バイアス

1. メンタルモデルと名辞系列問題

文章を読んで理解することは、人間が知的な生活を送っていくうえで重要な行為である。文章理解のプロセスを体系化した Kintsch の構成・統合モデル[1]では、文章の読み手は最終的な心的表象として、文章が記述する情報どうしを統合した状況モデルが構築されるとしている。この状況モデルは、Johnson-Laird が提唱したメンタルモデル[2]と本質的に同じものとされている。

文章を読んでメンタルモデルを構築する過程では、文中に書かれている情報をもとに直接書かれていない情報を読みとり、メンタルモデルに組み込む必要がある。このように明示されていない情報を明示された情報から補う行為を推論と呼ぶ。推論は文章理解のみならず様々な知的活動の中核をなす行為であり、認知心理学において重要な研究の題材となっている。

推論を研究するにあたり、よく用いられる題材のひとつとして名辞系列問題が挙げられる。これは「AはBより大きい」「BはCより大きい」という前提から「AはCより大きい」や「Bは2番目に大きい」などの結論を導くというもので、最も単純な演繹推論問題のひとつである。名辞系列問題は形式が単純なので実験時の変数操作が容

易であるという利点があり、多くの推論研究で題材とされてきた[3][4]。

本研究では名辞系列問題のなかでも、どのようなメンタルモデルが構築されるかについて意見の分かれている不確定問題について検証を行い、有力なモデルを提示する。また、検証の過程で、「対称性」という考え方が推論プロセスの研究において有効な切り口になりうることを示唆された。その点についても報告する。

2. 名辞系列問題における不確定問題

名辞系列問題に取り組む推論者の頭の中ではAやBなどの名辞を前提で記述された通りの順番に並べたメンタルモデルが構築されると考えるのが通説である[5][6][7]。たとえば「AはBより大きい」「BはCより大きい」という前提であれば、 $A > B > C$ というメンタルモデルが構築される。 $A > B > C$ のように、全ての要素のどの2つをとっても順序がつけられるような順序関係を全順序という。例に挙げた名辞系列問題は、全順序メンタルモデルをただ1つ構築できる問題である。

一方、前提が「AはBより大きい」「AはCより大きい」の場合には、BとCの間の順序関係は不確定である。このような、一部の要素間に順序関係がないような順序を部分順序という。この場合、 $A > B > C$ と $A > C > B$ の2つの全順序メンタルモデルを構築することができる。このように複数の全順序メンタルモデルを構築可能な問題は不確定名辞系列問題(以下、不確定問題と略する)と呼ばれる[8]。

先行研究[9][10][11]では、不確定問題では順序についての詳細を問われないかぎり、全ての全順序メンタルモデルが形成されるのではなく、1つの全順序メンタルモデルだけが構築されること、その際に構築されやすい全順序メンタルモデルと構築されにくい全順序メンタルモデルとに分かれることなどが示唆されている。不確定問題で構築されやすい全順序メンタルモデルは、同じ名辞に隣

接しうる複数の名辞のうち、先に読まれた前提に登場する名辞を隣接位置に置いたものである(「AはBより大きい」「AはCより大きい」の例で言えば、Aに隣接しうるBとCのうち、前提内で先に登場したBがAの隣に置かれる $A>B>C$ の方が $A>C>B$ よりも構築されやすい)。

3. 注釈付モデルと異性体モデル

不確定問題において構築可能な全順序メンタルモデルのうち1つだけが構築されるという考え方は、ワーキングメモリの容量など人間の処理能力の限界を考慮すれば妥当であると思われる。しかし、単に特定の全順序メンタルモデルを構築するだけでは、誤った推論をしてしまう可能性がある。たとえば「AはBより大きい」「AはCより大きい」に対して $A>B>C$ を構築するだけでは、実際には不明なBとCの大小関係を「BはCより大きい」と決めつけてしまう場合、BとCの順序関係の間に誤答する可能性がある。

不確定問題の推論において構築される単一のメンタルモデルは、複数の全順序メンタルモデルの存在を暗示するような形態となっているのではないかと考えられる。そのようなメンタルモデルの形態として有力な候補に、注釈付モデル[12][13][14]と異性体モデル [15][16]とがある。

注釈付モデルは、たとえば「AはBより大きい」「BはCより大きい」「BはDより大きい」という前提に対し、Bより小さいと言及された2つの名辞(CとD)のどちらかにBより小さいことを意味する注釈を付けて、 $A>B>C>_B D$ あるいは $A>B>D>_B C$ などと表現したものである。注釈付モデルを構築する際には、同じ名辞に隣接しうる複数の名辞のうち先に読まれた前提に登場する名辞を隣接位置に置き、後に登場した名辞に注釈を付与したメンタルモデル(上の例で言えば後に登場するDに注釈を付与した $A>B>C>_B D$)が構築されやすいことが報告されている。

異性体モデルとは名辞の連なりに分岐を入れることで注釈を表したメンタルモデルであり、たとえば前述の前提を $A>B>\frac{C}{D}$ のように表現する。これまで述べてきたような全順序メンタルモデルに対し、異性体モデルは部分順序を許容したメンタルモデルであると言える。

4. 本研究の仮説

本研究では、不確定な名辞系列問題に取り組む推論者

は異性体モデルをメンタルモデルとして構築すると仮説を立てた。なぜなら異性体モデルは名辞の順序関係における対称性を把握しやすく、その対称性を利用することで推論時の認知負荷を減らすことが可能だと考えられるからである。

先に挙げた「AはBより大きい」「BはCより大きい」「BはDより大きい」という例では、CとDの位置を交換しても、ともに与えられた前提文を満たす。このようにモデル上の位置の交換により前提との適合性が変わらないことを名辞CとDが対称であると定義する。CとDが対称であることを認識していれば、CとDがともに「3番目か4番目に大きい」と容易に判断でき、認知負荷は軽くなる。異性体モデル $A>B>\frac{C}{D}$ ではCとDの対称性を認識しやすいが、注釈付モデル $A>B>D>_B C$ ではそのような対称性を即座に認識することは難しいと思われる。したがって、一般に人間は認知負荷が低い処理を好むことを考えると、異性体モデルは有望であると本研究では考える。

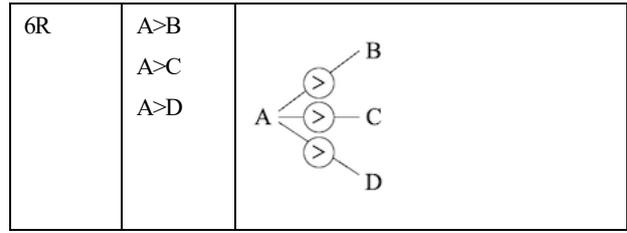
5. 実験計画

不確定な名辞系列問題を解くときに異性体モデルが構築されるという仮説が正しければ、「AはBより大きい」「BはCより大きい」「BはDより大きい」のように対称な名辞がある問題(異性体モデルは $A>B>\frac{C}{D}$)は、「AはBより大きい」「BはDより大きい」「AはCより大きい」(異性体モデルは $A>\frac{B>D}{C}$)のように対称な名辞がない問題より回答が容易になると予測する。したがって、この予測を検証するために、以下の実験を行った。実験参加者は対称な名辞がある不確定問題、対称な名辞がない不確定問題の両方を解き、それぞれの正答率と回答時間を分析することで、仮説の予測を検討した。回答時間については、正答時のデータのみを対象として平均値を算出した。仮説の通り回答が容易になれば、対称な名辞がある問題は正答率が高くなり平均解答時間が短くなるはずである。

表1に、実験で出題した名辞系列問題の分類を示す。3つの前提から4つの名辞(A, B, C, D)の順序関係を推論する名辞系列問題であり、構築される異性体モデルの形状によって8パターンに分類できる。8パタンのうち1つは全順序メンタルモデルがただ1つだけ構築できる問題であるが、それ以外の7パターンは複数の全順

序メンタルモデルを構築可能な不確定問題である。それぞれのパターンについて1番目、2番目、3番目、4番目に大きい名辞をそれぞれ答えさせる問題があるので、全部で32パタンの問題が存在することになる。実験参加者には75問の問題を解いてもらい、そのなかで32パタンの問題それぞれが必ず2問以上出題されるようにした。出題順はランダムであり、また、同じパタンの問題でも前提の並び順はその時々によってランダムに変わる形式とした。回答は選択肢で名辞を選ぶ形式であり、複数の名辞を選択することができ、該当する可能性のある全ての名辞が過不足なく選択された場合のみを正解とした。

実験はオンライン心理学実験のプラットフォームであるPavlovia(<https://pavlovia.org/>)にて行った。80名の実験参加者はクラウドソーシングサービスで募集した。各実験参加者は各自のPCからPavloviaにアクセスしてWebサーバ上で名辞系列問題を解いた。



6. 結果と考察

対称な名辞がある不確定問題(表1の2L、2R、6L、6R)は、そうでない不確定問題(3L、3R、5M)よりも有意に正答率が高く正答時の回答時間も短くなっており、全順序メンタルモデルがただ1つに定まる問題(1M)と比べても遜色なかった(図1および図2)。実験参加者が名辞の対称性を利用して効率的に推論していたことが示唆され、仮説と一貫した結果が得られたと言える。

表1 出題した名辞系列問題の全パターン

パターン	前提	異性体モデル
1M	A>B B>C C>D	A —> B —> C —> D
2L	A>C B>C C>D	
2R	A>B B>C B>D	
3L	A>B B>D C>D	
3R	A>B B>D A>C	
5M	A>C A>D B>D	
6L	A>D B>D C>D	

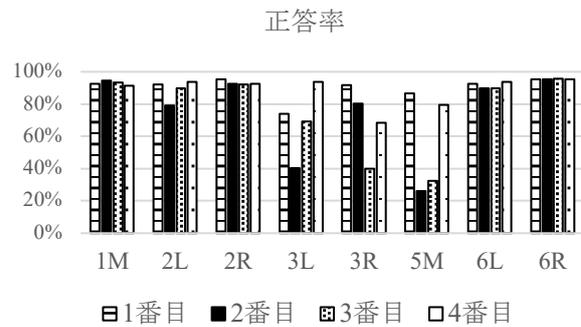


図1 問題パターンごとの正答率

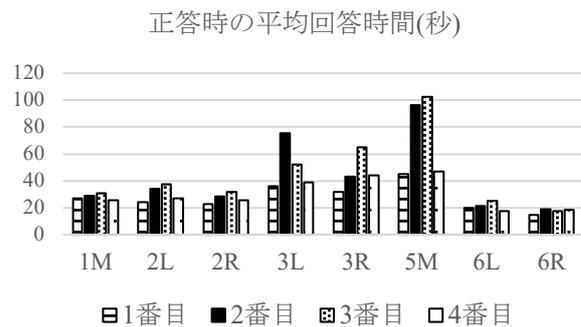


図2 問題パターンごとの正答時の平均回答時間

また、たとえば3Rの3番目に大きい名辞を答えさせる問題など、対称な名辞がない不確定問題のなかでも特に正答率が低く平均回答時間が長い問題については誤答パターンを分析した。すると、対称でない名辞どうしを対称であると誤認してメンタルモデルを構築したと考えられる

誤答が過半数を占めた。たとえば 3R の異性体モデルは $A > \frac{B > D}{C}$ であり 3 番目に大きい可能性のある名辞は B と C と D であるが、これに B と C と回答する誤答が大多数

だった。この結果は、 $A > \frac{B > D}{C}$ と構築すべきところを、

B と C を対称であると誤認識して $A > \frac{B}{C} > D$ というメンタルモデルを構築したと考えると説明がつく。

以上のような結果から、推論者には名辞の対称性を利用して推論における認知負荷を下げる傾向、すなわち「対称性バイアス」があることが示唆される。推論者は対称な名辞を有する異性体モデルを構築できるような問題(表 1 の 2L、2R、6L、6R)ではその対称性を活かして効率的な推論を行うことができ、そうでない不確定問題(3L、3R、5M)を推論するときには対称性バイアスによって誤った推論を導きやすかったのではないかと考えられる。

対称性バイアスとは、本来、人間が「p ならば q である」という事実を学習するときに、論理的には等価でない「q ならば p である」も学習してしまう現象を指す。このような対称性バイアスは、文字列などのシンボルとそれが指し示す対象の双方向の関係を学習する単語学習との関連で研究されており、近年の研究では人間の幼児が単語を学習する前の段階から対称性バイアスを有していることも報告されている[17]。本研究の成果は名辞系列問題におけるメンタルモデルの研究の文脈を、このような対称性バイアスの研究の文脈に接続しうるものであるとも考えている。

謝辞

本研究は科研費基盤研究B(一般)JP23H0369, JST さきがけ JPMJPR20C9 の助成を受けて行われた。

文献

- [1] Kintsch, W. (1998) "Comprehension, A paradigm for cognition." New York: Cambridge University Press.
- [2] Johnson-Laird, P. N. (1983) "Mental models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness." Cambridge : Cambridge University Press 海保博之 (監訳) (1988) メンタルモデル — 言語・推論・意識の認知科学 — 産業図書
- [3] 山祐嗣 (1994) "演繹推理の認知モデル" ナカニシヤ出版
- [4] Johnson-Laird, P. N. (1972) "The three-term series problem." *Cognition*, Vol.1, pp.57-82
- [5] De Soto, C. B., London, M., & Handel, S. (1965) "Social reasoning and spatial paralogic." *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.2, pp.513-521
- [6] Huttenlocher, J. (1968) "Constructing spatial images: a strategy in

- reasoning." *Psychological Review*, Vol.75, pp.550-560
- [7] Byrne, R. M. J., & Johnson-Laird, P. N. (1989) "Spatial reasoning. *Journal of Memory and Language*", Vol.28, pp.564-575
- [8] Sternberg, R. J. (1981) "Reasoning with determinate and indeterminate linear syllogisms." *British Journal of Psychology*, Vol.72, pp.407-420
- [9] Knauff, M., Rauh, R., & Schlieder, C. (1995) "Preferred mental models in qualitative spatial reasoning: A cognitive assessment of Allen's calculus." In *Proceedings of the 17th annual conference of the Cognitive Science Society Mahwah NJ: Erlbaum*, pp. 200-205
- [10] Jahn, G., Knauff, M., & Johnson-Laird, P. (2005) "Preferred Mental Models in Spatial Reasoning." In *Proceedings of the Twenty Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society, Mahwah, NJ: Erlbaum*, pp.1036-1041
- [11] Goodwin, G. P., & Johnson-Laird, P. N. (2005) "Reasoning about relations." *Psychological Review*, vol.112, pp.468-493
- [12] Rauh, R. (2000) "Strategies of constructing preferred mental models in spatial relational inference." In W. Schaeken, G. De Vooght, A. Vandierendonck, & G. d'Ydewalle (Eds.), *Deductive reasoning and strategies* New York: Lawrence Erlbaum Associates. pp. 177-190
- [13] Ragni, M., Knauff, M., & Nebel, B. (2005) "A computational model for spatial reasoning with mental models." In B. Bara, B. Barsalou, & M. Bucciarelli (Eds.), *Proceedings of the 27th annual conference of the Cognitive Science Society Mahwah NJ: Erlbaum*, pp.1064-1070
- [14] Ragni, M., & Knauff, M. (2013) "A theory and a computational model of spatial reasoning with preferred mental models." *Psychological Review*, vol.120, pp.561-588 (2013)
- [15] Vandierendonck, A., Dierckx, V., & De Vooght, G. (2004) "Mental model construction in linear reasoning: Evidence for the construction of initial annotated models." *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol.57, pp.1369-1391
- [16] Schaeken, W., Van Der Henst, J.-B., & Schroyens, W. (2007) "The mental models theory of relational reasoning: Premises' relevance, conclusions' phrasing, and cognitive economy." In W. S. W. Schaeken A. Vandierendonck (Ed.), *The mental models theory of reasoning: Refinements and extensions* Erlbaum, pp. 129-149
- [17] Imai, M., Murai, C., Ohba, M., Hidaka, S., Okada, H., & Hashiya, K. (2022) "The contingency symmetry bias as a foundation of word learning: Evidence from 8-month-olds in a matching-to-sample task." *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, Vol.44, pp.3161-3166