

再帰的結合がもつ心的推測の多様化の効果

Effect of Recursive Combination on Diversification of Mental Inference

笠野 純基¹⁾, 橋本 敬²⁾

Junki Kasano, Takashi Hashimoto

北陸先端科学技術大学院大学

Japan Advanced Institute of Science and Technology

junki.kasano@jaist.ac.jp¹⁾, hash@jaist.ac.jp²⁾

概要

多様な思考は、柔軟な発想だけでなく、人工的な構造物の組み替えによる心的操作にも支えられている可能性がある。本研究では、3語句の修飾関係を組み替えることで異なる意味を生成する階層操作課題と、他者の心的内容に関する推測を生成する推測課題を用いて両者の関係を検討した。結果、階層操作課題を先に行った場合にのみ、推測の多様性との相関が確認された。これは、構造的な認知的操作が後続の多様な意味の生成を促す可能性が示唆された。

キーワード: 多様な思考, 再帰的結合, 他者推論, 実験室実験

1. はじめに一生成物の多様性と階層構造

言語表現, 工業製品, 他者推論 (Oesch & Dunbar 2017) など, 人が生み出す生成物は各カテゴリー内で多大なる多様性を持ち, これらの生成物は階層的な構造を持つことが多い (Arthur 2009; Hauser & Watumull 2017)。階層的な構造の形成には再帰的結合が関与している可能性がある (Chomsky 1993; Fujita 2009; Hashimoto 2020)。再帰的結合とは, 物体や概念などを組み合わせる操作を再帰的におこなうことである。すなわち, 要素を組み合わせさせて複合体を形成し, その複合体にさらに別の要素 (または複合体) を組み合わせることである。要素同士の組み合わせを再帰的に行うことで結合操作自体は単純でありながら多様な階層構造を生み出すことができる。言語における再帰的結合は Merge と呼ばれ, 有限な要素から無限の表現を生成する言語能力の基盤の一つとされる (Chomsky 1993)。

再帰的結合の生成物多様化の効果が, 適応度に寄与することが進化シミュレーションで示唆されている (Toya & Hashimoto, 2018)。しかし, 再帰的結合が実際に多様な生成物を生み出すことは実証されていない。

多様な生成物を生み出すことは創造性との関連が考えられる。創造性とは, 独創的で斬新かつ適切な多様なアイデアを生み出す能力である。創造性は流暢性・柔軟性・独自性といった観点から測定され, 人の創造的思考の多様性が捉えられてきた (Guilford, 1967)。近年では, 心の理論との関連も注目されている (Beloyianni et al.,

2024)。心の理論とは, 個人が自分自身や他人を, 心的存在 (感情, 意図, 欲求, 信念などを持つ) として理解し, 異なる精神状態を考慮して他人の行動を理解し, 予測し, 解釈する能力である。

他者推論は入れ子構造という階層性を持つので, 再帰的結合による生成プロセスが含まれる可能性がある。Oesch & Dunbar (2017) は言語能力が埋め込み (入れ子) 構造を持つ意図の理解を底上げしている可能性を実験により示した。一方で, 生成物 (他者に関する心的内容の推測) の多様化に対して再帰的結合の効果は明らかではない。

本研究は, 再帰的結合と他者の心的内容の推測多様性との関係を実証的に明らかにすることを目的とする。具体的には, 言語的な再帰的結合と推測の多様さの間には相関関係があるという仮説を検証する。

2. 実験

2.1. 実験参加者と手順

参加者は, 日本語を母語とする北陸先端科学技術大学院大学 (JAIST) の学生 40 名 ($M = 24.68, SD = 5.05$; 男性 33 名, $M = 24.58, SD = 4.85$; 女性 7 名, $M = 25.14, SD = 6.31$) であった。実験は JAIST ライフサイエンス委員会の承認を得て実施された (承認番号: 人 05-070)。

実験は 2 日に分けて行われた。1 日目には, 再帰的結合が用いられる典型例である言語表現について階層構造を操作する「階層操作課題」(2.2 節), および, 刺激画像中の人物の心的内容をできるだけ多く推測する「推測課題」(2.3 節) を, 順序をカウンターバランスさせて実施した。2 日目には, 交絡し得る要因として, 発散的思考の課題および個人特性を計測した (2.4 節)。

本実験では, 階層操作度と推測多様度の間には正の相関関係があるという仮説を検証する。また, 再帰的結合が推測の多様化に及ぼす効果を検討するために, 順序効果を統制変数として, 階層操作課題を先に行う群 (階層操作課題先行群) と推測課題を先に行う群 (推測課題先行群) の 2 群に分けた分析も行った。

2.2. 階層操作課題

言語における再帰的結合は物理的な操作とは異なり心的に行われ、それにより作られる階層を操作すると考え、その操作を行わせる階層操作課題を設計した。階層操作課題では、3語からなる複合語（図1）（30セット）を用い、複合語について2つの異なる階層構造（修飾関係）に対応した2つの異なる意味（図2）を1セットあたり30秒以内に口頭で回答させた。

階層構造を考え組み替えるのに要した時間が階層操作に関わると考え、各セットにつき問題提示から1つ目の意味の回答開始までの時間と、その回答終了から2つ目の意味の回答開始までの時間を合計し、全体（30秒）から差し引いた値を「階層操作時間」とした。さらに、個々のセットに起因するばらつきを低減するため、セットを限定し（「悲しい」「丸い」「重い」「美味しい」「多い」「少ない」で始まるセット、かつ呈示順（8~10, 18~20, 28~30））、その中央値を「階層操作度」として算出した。

練習問題

くろい 牛 ミルク

回答例1：
色が黒い牛で、
その牛が出すミルク

回答例2：
牛のミルクで、
そのミルクの色が黒い

回答は言い直し、2つの内どちらから回答しても良いとした

図1. 3語からなる複合語の刺激セットの例。左のよう
に刺激セットが呈示される。右は回答例。

大きい しま柄 Tシャツ

 大きい幅のしま柄で、
そのしま柄のTシャツ

大きい しま柄 Tシャツ

 しま柄のTシャツで、
そのTシャツが大きいもの

図2. 3語句について2つの異なる階層構造（修飾関係）
を持つ2つの意味の例。

2.3. 推測課題

推測課題では、人物2人が描かれた刺激画像中の人物の一方（Aとラベル付け、図3左）について「対象Aの思考内容（意図）」について、推測した内容をできるだけ多く回答させる。参加者には回答例を説明した後、画像中の物などは自由に解釈してよいことを伝え、回答の妨げにならないように配慮した。

各刺激画像につき120秒内に得られた回答数を「推測多様度」とした（図3）。1人当たり6問（イラスト4枚、写真2枚）行い、推測多様度は6問から得られた回答数の中央値を分析に用いた。



「Aの思考内容」について
推測したことを
できるだけたくさん回答させる
制限時間は120秒

1. 同僚が帰ろうとしている

2. 手を振っている

3. 動画でも見ようかな

4. 動画見てるのバレた

この場合の推測多様度は4

図3. 画像中の対象Aの思考内容について推測する
（左）。右上は指示、その下のリストは解答例。

2.4. 交絡要因

発散的思考の計測として、言語的流暢性課題（文字流暢性課題（Letter Fluency Test：LFT）と意味カテゴリー流暢性課題（Category Fluency Test：CFT）からなる）、代替用途課題（Alternative Uses Task：AUT）を実施した。言語流暢性は言語情報の検索と整理能力に関係し、LFTでは練習に「な」、本番に「い」「れ」で始まる単語を、CFTでは練習に「動物」、本番に「果物」「乗り物」に属する単語を、1問2分で可能な限り多く回答させた。AUTは、一般的なオブジェクトの異なる代替用途案を生み出す能力と関係する。練習に「レンガ」、本番に「靴下」「ワイヤーハンガー」を対象に、1問2分で日常的ではない代替用途をできるだけ多く回答させた。いずれも各課題の回答数の中央値を分析に用いた。

個人特性は7つの心理尺度（短縮版日本語版Big Five、発話傾向尺度、認知的熟慮性・衝動性尺度、心理的健康と関連する曖昧さ耐性尺度、ユーモア態度尺度、ユニークネス尺度、他者意識尺度）で計測した。心理尺度は、参加者ごとに得点を算出した。なお、一部尺度（曖昧さ耐性、内的他者意識）は項目不足により除外された。

3. 結果

相関分析にはスピアマンの算出方法を用いている。また統計的仮説検定の有意確率の補正は行っていない。

全体（N=40）の階層操作度と推測多様度には中程度の有意な正の相関（ $r=.42, p=.01$ ）が確認された（図4）。

順序効果の分析では、階層操作課題先行群（N=20）にのみ階層操作度と推測多様度の中程度の正の相関が見られた（ $r=.48, p=.03$ ）（図5緑）、逆順（推測課題先行群）（N=20）では相関は非有意であった（ $r=.35, p=.13$ ）（図5橙）。

順序効果を考慮した階層操作度・推測多様度と交絡要因の相関分析では、AUTはどちらの順序でも階層操作度・推測多様度と中程度の正の相関関係が見られた（階層操作課題先行群：階層操作度（ $r=.48, p<.05$ ）、推

— 483 —

測多様度 ($r = .53, p < .05$), 推測課題先行群: 階層操作度 ($r = .53, p < .05$), 推測多様度 ($r = .46, p < .05$) (図 6 右). AUT を統制した偏相関分析では階層操作度と推測多様度の相関は非有意となった(階層操作課題先行群: $r = .27, p = .26$, 推測課題先行群: $r = .14, p = .57$) (図 6 右). 両群で AUT の平均値に有意な差はなかった (ウェルチの t 検定, $t(37.57) = .31, p = .76, d = .10$ [95% CI = $[-.54, .74]$, $g = .10$ [95% CI = $[-.53, .72]$]).

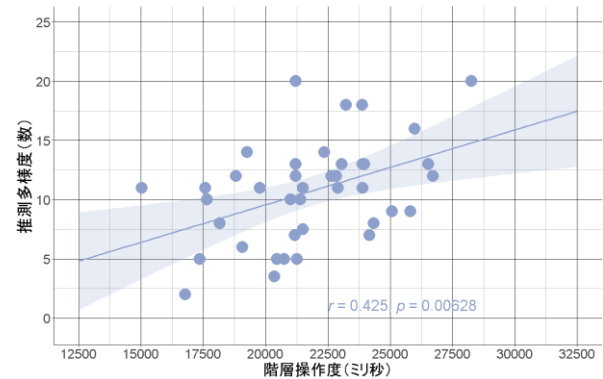


図 4. 全体 ($N = 40$) の階層操作度と推測多様度の散布図. 横軸は階層操作度 (ミリ秒), 縦軸は推測多様度 (数) である. 散布図中には回帰直線 (青い直線), 直線の周り 95%信頼区間 (半透明領域) を示す. 全体の階層操作度と推測多様度には中程度の正の相関 ($r = .42, p = .01$) が確認された.

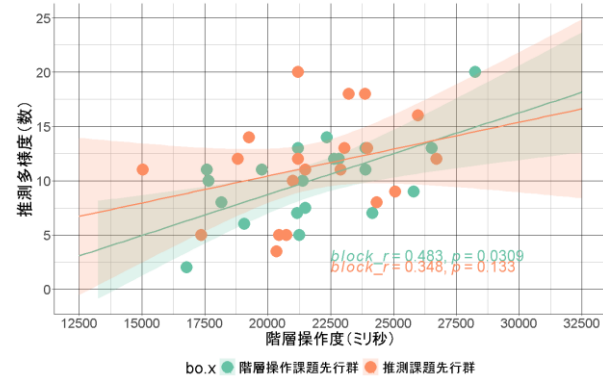


図 5. 順序効果を検討するために, 階層操作課題先行群 (緑色, $N = 20$) ($r = .48, p = .03$) と推測課題先行群 (橙色, $N = 20$) ($r = .35, p = .13$) に分けた散布図. 横軸は階層操作度 (ミリ秒), 縦軸は推測多様度 (数) である. 散布図中には回帰直線 (緑・橙色の直線), 直線の周り 95%信頼区間 (半透明領域) を示す.

階層操作課題先行群では LFT と階層操作度・推測多様度がそれぞれ有意に相関 ($r = .66, p < .01$; $r = .65, p < .01$), 推測課題先行群では CFT と階層操作度・推測多様度が相関した ($r = .67, p < .01$; $r = .45, p < .05$). また, 推測課題先行群における階層操作度は外的他者意識と

負の相関を示した ($r = -.51, p < .05$).

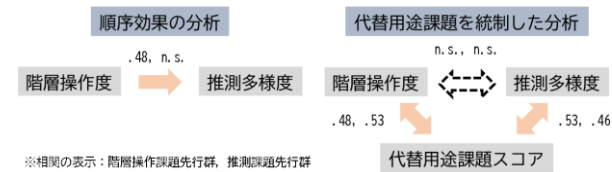


図 6. 左: 順序効果の分析. 図中の数値は, 左が階層操作課題先行群, 右が推測課題先行群の相関 (両図とも). 階層操作課題先行群 ($N = 20$) にのみ階層操作度と推測多様度に中程度の正の相関が見られた ($r = .48, p = .03$). 右: 代替用途課題を統制した分析. 統制前の階層操作課題先行群で見られた相関 (左図) は非有意となった ($r = .21, p = .19$).

4. 考察・限界

全体の分析では階層操作度と推測多様度の間に中程度の正相関が見られたが, AUT を統制した偏相関分析ではこの関係は消失した (図 6 右). この結果は, 推測課題だけでなく階層操作課題も発散的思考という共通基盤と関連する可能性を示す. 一方, 順序効果を考慮すると, 階層操作課題を先に実施した群においてのみ相関が維持されたことから, 階層操作が後続の推測課題に影響を与える認知的プライミング効果が示唆される (図 6 左).

この非対称的な順序効果 (認知的プライミング効果) は, 階層操作課題が単なる発散的思考の活性化ではなく, 再帰的結合による構造的認知戦略の活性化をもたらした可能性を示す. 実際, 言語流暢性との相関パターンも順序により異なり, 階層操作課題先行群では階層操作度は LFT (音韻処理的操作), 推測課題先行群では推測多様度は CFT (意味的連想) とそれぞれ相関した. これは, 課題ごとに活性化する発散的思考の性質が異なることを示しており, 階層操作課題は構造的操作を伴う発散性を喚起した可能性がある. また, 外的他者意識の高さが階層操作度と負に相関した点は, 社会的自己意識が高い個人では, 推測課題の実施が心理的な制約として作用し, 後続課題 (階層に基づく意味生成) の柔軟な遂行が抑制されやすい可能性を示唆する.

さらに, AUT に群間差が見られなかったことから, プライミング効果は能力そのものではなく, 一時的な認知的構え (Cognitive Set) の違いに起因していると解釈できる. 階層操作課題の様子を観察していると, たとえば「美味しい/ 父さんの/ 煮込み」という刺激語セット

を使った場合、多くの参加者は、意味は異なるが階層構造が同じものを回答する傾向がある（「父さんが煮込まれた煮込み」と「父さんが煮込んだ煮込み」では意味は異なるが修飾関係は同じ）。参加者は意味を回答するとき（つまり意味生成）、異なる意味であることを強調するために形容詞（美味しい）の位置を変える操作が見られた（名詞句にする NP 型：「美味しい父さんが煮込まれた煮込み」、文にする S(NP-VP) 型：「父さんが煮込まれた煮込みが美味しい」）。これにより、階層操作課題は、言語的再構成や構文的視点切り替え（リフレーミング）を促し、その状態で推測課題に臨むことで、生成物の多様性に影響した可能性がある。

この結果は、再帰的結合が多様な構造を生み出すことの適応的意義を示した Toya & Hashimoto (2018) のシミュレーション研究の実証的支持と位置づけられる。ただし、今回の実験が捉えているのは、言語の再帰的結合と他者の心的内容の推測の多様化という限定された思考を対象としたものであり、かつ、短期的な思考生成への影響である。再帰的結合が意味生成の柔軟性に本質的に関与するか、それがどんな適応的意義を持つかは今後の課題である。

本研究にはいくつかの制約がある。第一に、推測の多様性を回答数のみで測定した点であり、新奇性、柔軟性、再利用構造などの質的側面を検討する必要がある。第二に、反応時間に基づく階層操作度の指標は、再帰的操作と他の認知活動・負荷（ワーキングメモリ等）を区別するには不十分であり、本当に再帰的結合や階層操作を反映していることを示す必要がある。意味的内容や構造の複雑性を持つように結合する要素数を加味した課題設計が求められる。第三に、順序効果の一方性は示されたが、その効果の持続時間や媒介メカニズムの解明には至っていない。今後は認知過程の時間的推移を含む設計（二重課題法など）が必要である。

5. 結論

再帰的結合と他者の心的内容の推測多様性との関係を実験で検討した。その結果、言語の再帰的結合を心的に行う操作を先に行った場合、再帰的結合操作に関係する階層操作度とその後に行う心的内容の推測の多様性の間には、代替用途課題に表れる発散的思考を介した間接的影響があることが示された。これは、階層操作課題が推測多様度に影響を与えるプライミング効果を示唆する。このことから、再帰的結合が他者推論を多様

化する効果を持つという仮説は支持された。

今後、階層操作の影響が代替用途課題的な発散的思考を介して推測多様度に影響を与える、プライミング効果の背後にある認知的基盤を調べる必要がある。代替用途課題的な発散的思考とは、物事の異なる使用状況や文脈などをリフレーミングするものと考えられる。このことから、記号の意味表現を表す階層操作と記号の使用状況の表し方であるリフレーミングという認知的操作の相互作用が、どのように多様な意味を生み出すのかを実験によって明らかにしていく。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP20H04256, 24K15102 の助成を受けたものである。

文献

- Arthur, B., (2009) *The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves*. New York, NY: Simon & Schuster.
- Beloyianni, V., Zbainos, D., & Karagianni, M. P. (2024). From mindreading to originality: Exploring the relationship between Theory of Mind and Creativity across the lifespan. *British Journal of Developmental Psychology*, 42(2), 215-233.
- Chomsky, N. (1993) A minimalist program for linguistic theory. Hale K, Keyser, S.J. eds, *The View from Building 20*, pp. 1-52. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fujita, K. (2009) A prospect for evolutionary adequacy: Merge and the evolution and development of human language. *Biolinguistics*, 3(2-3), 128-153.
- Guilford, J. P. (1967) *Nature of Human Intelligence*, New York, NY: McGraw-Hill.
- Hauser, M. D. & Watumull, J. (2017) The universal generative faculty: The source of our expressive power in language, mathematics, morality, and music. *Journal of Neurolinguistics*, 43(37), 78-94.
- Hashimoto, T. (2020) The emergent constructive approach to evolinguistics: Considering hierarchy and intention sharing in linguistic communication. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 29(6), 675-696.
- Oesch, N., & Dunbar, R. (2017). The emergence of recursion in human language: Mentalising predicts recursive syntax task performance. *Journal of Neurolinguistics*, 43, 95-106.
- Toya, G. & Hashimoto, T. (2018) Recursive combination has adaptability in diversifiability of production and material culture. *Frontiers in Psychology*, 9(1512), 1-17.