

# 思考における多様な生成物に対する再帰的結合の効果 —他者の意図に関する仮説生成の実験的研究—

## Effects of Recursive Combination to Diverse Products in Thinking: An Experimental Study of Hypothesis Generation Regarding Others' Intention

笠野 純基<sup>†</sup>, 橋本 敬<sup>‡</sup>  
Junki Kasano, Takashi Hashimoto

北陸先端科学技術大学院大学  
Japan Advanced Institute of Science and Technology  
<sup>†</sup>junki.kasano@jaist.ac.jp, <sup>‡</sup>hash@jaist.ac.jp

### 概要

言語表現, 他者推論, あるいは道具などの多様に生み出される様々な生成物は階層的な構造をしていることが多く, 階層的な構造は要素を再帰的に組み合わせていくことで作ることができる。では, 要素の再帰的な組み合わせが生成物の多様性に寄与し得る効果があるのだろうか。本研究は, 言語表現についてこの効果を確認することを目的とする。具体的には再帰的結合が他者の意図に関する多様な言語表現(意図に関する仮説)を生み出す効果があるかどうかを実験で検証する。

キーワード: 思考内容の多様性(Diversity of Thought Content), 再帰的結合(Recursive Combination), 他者の意図(Others' Intention)

### 1. はじめに

ヒト社会は, 言語表現, 音楽, 工業製品, 他者推論, デジタル情報, 創作など様々な種類の多様な人工物で溢れており, 人はこれらに関する多様なアイデアや計画などの生成物を頭の中で生み出すことができる。生成物を頭の中で多様に生み出すことができる能力はヒトの特質とも考えられ, 抽象的で想像上の物事すらも何らかの形で捉えられる。多様に生み出す能力は認知科学や認知心理学をはじめとする諸学問分野で研究されている。

多種多様な人工物は複数の要素が組み合わせられており, とくに階層的な構造を持つ場合が多いことが指摘されている[1][2]。Arthur はテクノロジーを新たな工業製品と工程と定義しており, テクノロジーはアセンブリ(組立部分)と下位アセンブリというパーツからなり, そのパーツ自身もまたテクノロジーとなる再帰的な階層構造を持つことを指摘し, テクノロジーを生み出す原理に「組み合わせ」を挙げている[1]。Hauser & Watumull は数学や音楽, 道德などの非物質的な生成物にも共通して再帰的な組み合わせにより階層的な構造が作られていることを示唆している[2]。

階層的な構造は要素の組み合わせを再帰的に繰り返すこと, すなわち再帰的結合で作ることができる[3][4][5]。再帰とは同じ動作や処理を繰り返すことである。例えば, 相似の関係にある人形を重ねたマトリョーシカ人形, 自然数の生成, プログラミングの再帰関数など挙げられる。再帰的結合とは物体や概念などの物事(要素)を組み合わせる方法の一種であり, 要素同士を組み合わせることで複合体をつくり, それを別の要素に対して組み合わせることを再帰的に繰り返すことである。再帰的結合を言語表現に適用すると, 語同士を組み合わせ複合語・句をつくり, それを他の語や句に対して組み合わせることを再帰的に繰り返すことを指す。

表 1 再帰, 再帰的/非再帰的結合の定義と特徴

	定義	特徴
再帰	同じ動作や処理を繰り返すこと	人間に限らず自然界のあらゆるところで見られ, 物質か非物質かを問わず観測できる一般的な現象である。
再帰的結合	要素同士を組み合わせることで複合体をつくり, それを別の要素に対して組み合わせることを再帰的に繰り返すこと	同じ要素, 同じ要素数であれば, 同じ種類の物体を作り出すことができる。
非再帰的結合	要素同士を組み合わせることで複合体をつくり, それに対して他の要素を組み合わせることを繰り返すこと	言語表現の意味は再帰的あるいは非再帰的かで, 語と語の修飾関係が異なるため意味も異なる。

階層的な構造を作り出す方法の一種である再帰的結合は, 生成物の多様性を高めることが望まれる環境において適応性があることが Toya & Hashimoto の進化シミュレーションで示されている[6]。ここでいう生成物の多様性を高めることが望まれる環境とは, 不確実性があったり資源が限られたりするような状況と考えられる。この環境において再帰的結合と複合体に対して他の要素を組み合わせることを繰り返す非再帰的結合が物体を操作する手段として調べられている。非再帰的結合は再帰的結合と同じく要素同士を再帰的に組み合わせることで階層的な構造を作り出す方法の一種である。再帰的と非再帰的な物体操作は同じ要素, 同じ要素

数であれば、同じ種類の物体を作り出すことができる。表1に再帰と本研究で扱う再帰的/非再帰的結合の定義と特徴をまとめる。一方でToya & Hashimotoによって行われたシミュレーションは種々の制限や前提、物体に対して行われる再帰的結合を想定している。従って、生成物の多様さに再帰的結合の効果があることが実証されたわけではない。

本研究ではToya & Hashimotoのシミュレーション結果から類推し、再帰的結合が非物質的な思考内容の多様な生成に効果があるのかを実証的に調査する。また生成物の多様性を高めることが望まれる環境として他者の意図を推測する環境を想定する。

普段我々は問題になり得る要因(要素)を複数考慮しながら自ら多様な選択肢を生み出し、仮説を選択し、行動していると考えられる。コミュニケーションなどの人との相互作用で、「人の意図」という見えない(不確実な)対象(問題となる要因)を推定し対処する仮説的な思考も思考内容の一種だろう。そこで本研究は多様な生成物が生み出されるかもしれない不確実な環境として、他者の意図を推測することが求められる実験課題を作成し、再帰的結合がその生成物の多様化に効果があるかどうかを分析する。

## 2. 目的

再帰的結合は人の思考内容を多様に生み出すことに

効果があるかどうかを実験で調査することを目的とする。具体的には複合語の意味を捉える訓練を再帰的結合あるいは非再帰的結合で行い、非再帰的結合よりも再帰的結合で訓練した方が他者の意図に関する仮説文を多様に生み出す効果があるという仮説を実験により検証する。

## 3. 方法

### 3.1. 実験計画

再帰的結合の訓練が仮説文を多様に生み出す効果があるのかを調査するために、再帰的結合(実験群)と非再帰的結合(対照群)の訓練を要因とする(独立変数)1要因の参加者間実験を行う。多様さの効果は他者の意図に関する仮説文の多様さ(従属変数)から評価する。

### 3.2. 実験手順

実験は3段階からなり、複合語の意味を再帰的あるいは非再帰的な語同士の組み合わせから読み取る訓練をする訓練段階、人物が描かれたイラストから他者の意図に関する仮説文を生成する生成段階、訓練による再帰的結合で複合語の意味を思考する傾向を評価する評価段階を1つの実験として行う(表2)。訓練段階で参加者はランダムに実験群と対照群に分ける。

表2 実験手順、実験の流れ、概要、実施内容、取得するデータ

実験の流れ	概要	実施内容	取得するデータ
訓練段階	再帰的結合(実験群)と非再帰的結合(対照群)のそれぞれで複合語・句の意味を捉える訓練をする。	訓練内容の説明(2語、3語と語数を増やしたのときの組み合わせ方と意味の捉え方)。参加者が訓練する教材は10問。複数の語を再帰的あるいは非再帰的に組み合わせたときにつくられる複合語・句とその意味を4択の中から1つ選んで回答する。選択肢は複合語・句をつくる途中過程についてi.つくられる複合語・句の意味とii.語と語の修飾関係の2条件からなる。時間制限なし。	問題の回答、回答に要した時間
生成段階	イラストに写る人物の意図に関する文を生成する。	実施課題と文の文字入力による記入方法の説明。イラストは4枚。1枚あたり8分間。4枚をランダム化し、それぞれに対して文を生成させる。イラストとイラストの間に30秒の安静時間を取る。	時間区間あたりの文の生成時間および文
評価段階	訓練段階で複合語・句の意味を捉えられたようになったかを調査する。	実施課題の回答方法を説明。複合語・句の組み合わせ順を2秒間表示した後、参加者は組み合わせられてつくられる複合語・句とその意味の2つが対応しているのか否かを適切である/適切でないの2択で回答する。10問行う。	問題の回答、回答に要した時間
アンケート	参加者の情報を取得する。	参加者は実験の最後にアンケートに回答する。	性別、年齢、読解力など

### 3.3. 訓練段階

参加者は語同士の修飾関係から複合語の意味を捉える訓練を行う(図1)。参加者は複合語とその意味の捉え方の説明を受け、複数の語を組み合わせた複合語とその意味の捉え方について4択から回答を1つ選び再帰的あるいは非再帰的の訓練課題を行う。

訓練課題は階層的曖昧性を持つ複合語を用いて複合

複合語について2条件i.とii.を満たす選択肢を1つ選んでください。

以下に示す①②の手順に従ってつくられる複合語の意味は「赤い色のペンを立てて置ける立て」です。

赤い  $\xrightarrow{\text{①}}$  ペン  $\xrightarrow{\text{②}}$  立て

選択肢:

- 赤い色のペン/「赤いペン」が「立て」を修飾した
- 赤い色の立て/「赤いペン」が「立て」を修飾した
- ペンを立てておける立て/「赤い」が「ペン立て」を修飾した
- 赤い色のペン/「立て」が「赤いペン」を修飾した

図1 訓練課題と再帰的結合の訓練の例。

語の意味の捉え方を訓練する。階層的曖昧性とは言語表現の形式レベルが同じであっても、意味レベルでは語同士の修飾関係の捉え方によって意味は多義的に解釈できることである。階層的曖昧性を利用することで複合語の形式レベルでは同じものを提示でき、再帰的あるいは非再帰的に語同士の修飾関係から複合語の意味を読み解く訓練を行うことができる。

訓練段階はまず語同士の組み合わせ方は基本となる2語、3語と語数を増やして、つくられる複合語とその意味について実験群と対照群のそれぞれで説明する。参加者には2次元上に配置された複数の語を組み合わせる順(3語の場合は①②で示す)と教示文が示される。

具体的に各群で行う訓練課題の説明を示す。3語{赤い, ペン, 立て}を組み合わせた複合語「赤いペン立て」について考える。再帰的結合(実験群), 非再帰的結合(対照群)の順番で説明していく。再帰的結合(実験群)では①「赤い」と「ペン」の2語を組み合わせて名詞句「赤いペン」をつくり, ②それを「立て」に対して組み合わせ名詞句「赤いペン立て」がつくられる。①②の過程で名詞句の意味はそれぞれ「赤い色のペン」, 「赤い色のペンを立てておける立て」と解釈できる。非再帰的結合(対照群)では①「ペン」と「立て」の2語を組み合わせ名詞句「ペン立て」をつくり, ②それに対して「赤い」を組み合わせ名詞句「赤いペン立て」がつくら

れる。①②の過程で名詞句の意味はそれぞれ「ペンを立てておける立て」, 「ペンを立てておける立てが赤い色のもの」と解釈できる。以上の説明を参加者に行う。

訓練課題は再帰的あるいは非再帰的に語と語を組み合わせた複合語とその意味に関する問いに答える(図1)。回答方式は4択の中から回答を1つ選んでチェックを入れる。

具体的に参加者は4択の中から過程①でつくられた複合語の意味, 過程②でつくられた語と語の修飾関係の2つの条件に当てはまる選択肢を選んで回答する。再帰的あるいは非再帰的の訓練にあたって, 複合語を要素と並置して他の要素と組み合わせることを訓練するために, 途中の過程でつくられる条件i.複合語の意味や条件ii.語と語の修飾関係を選択肢としている。再帰的結合(実験群)では, ①「赤い色のペン」②「赤いペン」が「立て」を修飾する, 非再帰的結合(対照群)では, ①「ペンを立てておける立て」②「赤い」が「ペン立て」を修飾する, という選択肢が正解となる。参加者が選択した回答が間違った場合, ①②の過程で再帰的あるいは非再帰的となるように再度, 複合語の意味の捉え方を参加者に示す。訓練課題の問題数は10問, 回答時間は無制限とする。

### 3.4. 生成段階

参加者は人物が描かれたイラストから他者の意図に関する仮説文を時間内でたくさん生成する文生成課題を行う(図2)。

#### 問題の例

aとbのキャラクターはそれぞれ直接知ることが難しい“思い”を持っています。あなたはそれぞれのキャラクターが心の中で考えていそうなことを出来るだけたくさん考えて、記入してください。

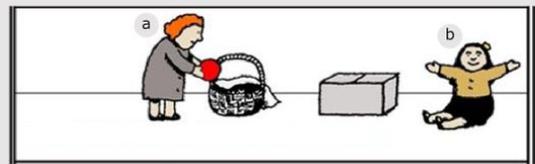


図2 生成課題。人物が描かれたイラストから他者の意図に関する仮説文を生成させる。

文生成課題は複数の人物や物, 場の状況などに関する情報が含まれたイラストを用いる。イラストは複数枚用意し参加者の前提知識による生成数に偏らないようにランダム化して提示する。時間はイラスト1枚あ

たり8分間とし、イラストの前後で30秒の安静時間を設ける。回答方式は参加者自らがキーボードを使い文字入力させる。参加者には文を生成することに集中させるために、記入した内容をすべて確認できるように表示させておく。文は記入できる文字数を50文字以内と制限し、字数制限内に収まるように参加者に内容を修正させる。

文生成課題を行う際、参加者には「思い付いた内容や記入内容には正解はありませんので出来るだけたくさんの内容を記入してください」と教示する。生成の妨げにならないように、図2を用いて記入例を以下に示す。3番目の「aは籠に赤い球を入れようとしている」と4番目の「aは籠から赤い球を取り出してどこかに持っていこうとしている」のように「入れる」と「取り出す」という相反・矛盾する内容や、15番目の「aが手にした玉からbが生まれた」のように「玉から人物がうまれた」という非現実的な内容なども記入させるように促す。

生成される文は言語流暢性課題[7][8]での指標を参考に、参加者が生成した文の数や使用語彙・節の数と種類を時間区間あたりで計測する。それに加えて、文の階層構造、要素・複合体の再利用の程度を特徴づける指標で測定する。

### 3.5. 評価段階

訓練段階で参加者が再帰的あるいは非再帰的で複合語の意味を捉えられるように訓練できたのかを評価する評価課題を行う。評価課題は画面中央に注視点を1秒、語と語の組み合わせ順を2秒、複合語および複合語の意味と「適切である」か「適切でない」の2択を問う問題を10問行う。取得するデータは2択の回答と回答までに掛かった時間を測定する。再帰的あるいは非再帰的の訓練ができていれば短い時間で正解する割合が高いと考えられる。

## 4. 分析方法

個人差の影響をランダム効果とした一般化線形混合モデルを用いて、訓練課題と文生成課題の関係を予測する統計モデリングを行う。生成された文は言語流暢性課題[8]での指標を参考に、生成した仮説文の数や使用語彙・節の数(fluency)と種類(unicqueness)に加え、文の階層構造や要素・複合体の再利用の程度を特徴づける指標で分析する。

## 5. 予想される結果

再帰的結合は非再帰的結合と比べて文の時間区間あたりの生成数は時間とともに線形に増加する、あるいは少なくともあまり減少しないのに対して、非再帰的結合は時間が経つにつれ生成数は減少していくと考えられる。なぜなら、再帰的結合を使う場合、時間が経つにつれて文の要素・複合体の再利用の程度が非再帰的結合と比較して増加すると考えられるためである。

上記の実験内容が滞りなく実施可能であることを少人数の参加者を対象に調査も兼ねた予備実験を行う。

## 文献

- [1] Arthur, B., (2009). "The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves", New York: Simon & Schuster.
- [2] 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*, Vol. 43, No. 37, pp. 78-94.
- [3] 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.
- [4] Fujita, K., (2009). "A prospect for evolutionary adequacy: Merge and the evolution and development of human language" *Biolinguistics*, Vol. 3, No. 2-3, pp. 128-153.
- [5] Hashimoto, T., (2020). "The emergent constructive approach to evolinguistics: Considering hierarchy and intention sharing in linguistic communication", *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Vol. 29, No. 6, pp. 675-696.
- [6] Toya, G. & Hashimoto, T., (2018). "Recursive combination has adaptability in diversifiability of production and material culture", *Frontiers in Psychology*, Vol. 9, No. 1512, pp. 1-17.
- [7] Ghoreishi Z. S., Azimian M., Alaghand R. J., Khorrami B. A., Rafiee S, M., Salavati M., Shiani A., & Bayat N., (2020). "Analysis of connected speech in Persian aphasic patients and its relationship with type and severity of aphasia", *Function and Disability Journal*, Vol. 3, No. 1, pp. 141-150.
- [8] 光戸利奈, 錦織翼, 辰川和美, 橋本優花里, 宮谷真人, (2019). "アルツハイマー病と軽度認知障害における言語流暢性課題の質的検討", *高次脳機能研究*, Vol. 39, No. 1, pp. 18-27.