

B-5

時間的制約の異なる 5 種類の文容認性判断実験による 文法的錯覚の生起メカニズムの検証

峰見一輝

立命館大学 minemi@fc.ritsumeai.ac.jp

要旨

本研究では、文法性と容認性の乖離の一例である「文法的錯覚」を引き起こす認知メカニズムの解明のために、実験文の呈示方法や回答時間に対する時間的制約を操作した 5 種類の文容認性判断実験を行なった。先行研究では、時間的制約を課すことによって、記憶に対する検索処理の反復回数が制限されることで、文法的に正しい構造が構築できないために文法的錯覚が生じると主張されている。本研究で実験文として用いた日本語 *wh* 文の場合、回答時間に対する時間的制約が記憶検索処理の反復を制限すると考えられるが、回答時間だけでなく文の呈示方法に対して時間的制約を課した場合にも文法的錯覚が観察された。この結果は、記憶検索処理の反復回数が制限されることで文法的錯覚が生じるという仮説に一致しない。しかしながら、本研究では代替仮説の提案にまでは至っておらず、時間的制約の有無と文法的錯覚の生起条件との関連性に関して今後さらなる研究が求められる。

1. はじめに

ヒトの言語機能の解明は言語学の主たる研究課題の 1 つである。そして、ここでいう言語機能とは、ある文が文法的であるかどうかを規定する文法機能のことを指す場合が多い。また、文法機能の解明を目指す言語研究の多くは、時間という実世界における物理的制約や、記憶などの言語以外の認知機能に起因する認知的制約による影響を捨象した、純粋な計算 (computation) 機能として文法機能を設定する (Chomsky 1965)。しかしながら実際の言語処理は、実時間上で時間的・認知的制約の影響下に成立している。そのため、文法機能に基づいて予測される文法性 (grammaticality) と実時間での言語処理の結果として観察される容認性 (acceptability) の間には乖離が生じることがある。

このとき、文法性と容認性との間に生じる乖離に対する言語研究の在り方としては 2 通りが考えられる。1 つは、言語研究の対象を計算機能としての言語機能のみに絞り、両者の乖離が純粋な計算機能としての文法機能以外の何らかの時間的・認知的制約に起因すると見なし、それに対する説明は試みないという考え方である。もう 1 つは、言語研究の対象に、計算機能としての文法機能が実世界においてどのように働くかという認知アルゴリズム研究までを含み、言語機能と他の認知機能との相互作用メカニズムによって文法性と容認性との乖離に対する説明を試みるという考え方である。

本研究では、文法性と容認性との乖離を引き起こす言語機能と他の認知機能との相互作用メカニ

ズムを解明することで、認知科学におけるアルゴリズム研究としての言語研究に対し理論的貢献を目指す。具体的には、本研究では、文法性と容認性の乖離の一例である**文法的錯覚** (Lewis and Phillips 2015, Phillips et al. 2011) のうち、**日本語 *wh* 句の錯覚的認可**が生じる認知メカニズムの解明を目指し、時間的制約の異なる5種類の文容認性判断実験を行なった。文法的錯覚とは、理論言語学が文法的であると予測する文が実際には容認されなかったり、逆に非文法的であると予測する文が容認されたりする現象のことを指し、日本語 *wh* 句の錯覚的認可とは、構造的には許されない *wh* 句の認可によって文法的錯覚が生じることを指す。

2. 手がかりに基づく検索モデル (cue-based retrieval model)

文法的錯覚を引き起こす認知メカニズムとして提案されている処理モデルに**手がかりに基づく検索モデル**がある (Lewis and Vasishth 2005, Wagers, Lau, and Phillips 2009)。このモデルは、実時間での文理解において依存関係を構築する際に不可欠な作動記憶への検索 (retrieval) メカニズムによって文法的錯覚を説明する。ここでは、(1) のような英語の文における主語と動詞との数の一致を例にそのメカニズムを説明する。

(1) The key to the cabinets are surprisingly rusty after many years of disuse.

実時間での文理解において数の一致のような依存関係を構築するためには、依存関係の終端 (例：動詞 *are*) が処理された時点で、既に処理が完了し作動記憶の中に貯蔵されている依存関係の始端 (例：主語名詞 *key*) を再度呼び出さなければならない。手がかりに基づく検索仮説では、後から処理された終端要素が持つ情報に基づいて検索手がかり (retrieval cue) を作り、記憶内に貯蔵されている始端要素を検索することで、実時間においても依存関係の構築が可能となると考える。その際、[+PL]という検索手がかりに対して非主語名詞である *cabinets* の数が一致していることで、本来は構造的に無関係な非主語名詞が呼び出され、錯覚的な数の一致が生じると考えられている (図1)。このとき、[+PL]という語彙的信息に基づいて非主語名詞 *cabinets* が呼び出されるか、[+SUBJ]という構造的情報に基づいて主語名詞 *key* が呼び出されるかは確率的に決定する。

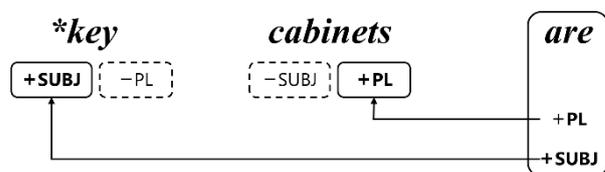


図1 手がかりに基づく検索

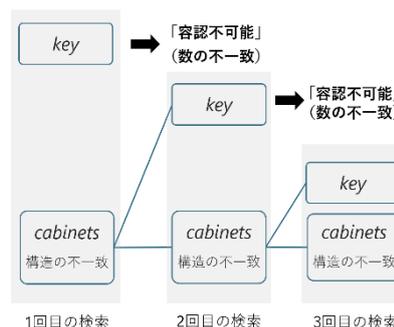


図2 検索処理の反復

3. 時間的制約付きの容認性判断実験

文法的錯覚は、時間的制約付きの容認性判断実験において生じやすく、時間的制約を課さない容認性判断実験では生じづらい (Parker 2019, Phillips et al. 2011)。ここでの時間的制約とは、実験手法として文呈示や回答時間に時間的制約を含むかどうかという違いを指す。つまり時間的制約なしの容認性判断実験とは、言語研究で広く用いられている、一文呈示および回答時間制限を課さない容

認性判断実験のことであり、**時間的制約ありの容認性判断実験**とは、単語・文節ごとの高速呈示および／または回答時間制限を課す容認性判断実験のことである。

容認性判断実験における時間的制約の有無が文法的錯覚の生じやすさに違いを生む要因としては、**時間的制約による検索処理の反復 (iteration) 回数**の制限が働いていると主張されている (Lewis and Phillips 2015, Parker 2019)。つまり、時間的制約の有無によって処理メカニズム自体が変化すると考えるのではなく、時間的制約の有無にかかわらず同一の記憶検索処理が働いているが、時間的制約が課されることによって、その反復回数に対して制限が生まれることで、文法的錯覚の生じやすさに差が生じるという考えである。

上述の通り、手がかりに基づく検索モデルでは、構造的情報に一致する要素 (主語名詞 *key*) が呼び出されるか、語彙的信息に一致する要素 (複数名詞 *cabinets*) が呼び出されるかは確率的に決定する。ここでは仮に、1 回の検索試行のうち、50%の確率で構造的情報に一致する要素が、同じく 50%の確率で語彙的信息に一致する要素が記憶から呼び出されると仮定する。その後、呼び出された要素はそれまでに構築された文の構造的表象に対して統合され、最終的に数の一致のような依存関係が成立しているかがチェックされる。

構造的情報に一致する要素 (主語名詞 *key*) が呼び出された場合は、構造的表象へ統合されるが、数の一致が成立していないため、非文法的な文として「容認不可能」と判断され、その時点で解析が終了する。一方で、語彙的信息に一致する要素が呼び出された場合は、それが持つ構造的情報がそれまでに構築された構造的表象と合致しないため、そもそも構造的統合が不可能となり、再度作動記憶に対する検索処理が実行される。記憶への再検索においても、1 回目の検索と同様の確率でどちらかの要素が呼び出される (図 2)。

このように、構造的情報に一致しない要素が呼び出される限りは検索処理の反復が生じるとすれば、検索処理の反復回数が増えれば増えるほど、文法的錯覚が生じる確率は低くなる。したがって、時間的制約がない容認性判断実験における検索処理の反復回数は事実上無限であるため文法的錯覚が生じる確率は低いが、時間的制約が課された場合は検索処理の反復回数には制限が生じ、文法的錯覚が生じる確率が高くなる。

Parker (2019) は、この仮説を検証するために、(1) のような英語の数の一致を含む文を、単語ごとに高速で呈示する高速逐次視覚呈示 (rapid serial visual presentation: RSVP) という手法を用いて呈示した上で、容認性判断の回答時間に対する時間的制約の有無を操作した実験を行なった。その結果、回答時間に制限を課した実験では文法的錯覚が観察されたが、制限を課さなかった実験では文法的錯覚は観察されなかった。この結果は、検索処理の反復回数に対する時間的制約によって、文法的錯覚が生じる確率が変化するという仮説に一致する。

しかしながら、Parker (2019) の研究に用いられた (1) のような実験文では、検索処理が生じる動詞位置から文末までの間に一定数の語を含むため、文を読み終わった後に行なわれる容認性判断における回答時間の制限が、検索処理の反復回数に対する時間的制約として機能しているかは疑問が残る。そこで本研究は、検索処理が文末において生じると考えられる日本語 *wh* 句の錯覚的認可 (Minemi and Hirose 2019) を対象に、時間的制約の異なる 5 種類の容認性判断実験を行なうことで、上記の仮説を検証した。

4. 本研究

本研究では、検索処理の反復に対する時間的制約の有無によって、日本語 *wh* 句の錯覚的認可の有無が決定されるかどうかを検証するために、文呈示や回答時間に時間的制約を課した 5 種類の文容認性判断実験を実施した。

日本語の *wh* 句は、疑問助詞の「の/か」などの認可子によって認可されなければならない (Harada 1972, Nishigauchi 1999)。(2) は、主節主語 *wh* 句を主節の疑問助詞「の」が認可可能なため文法的である。一方で、(3ab) はともに、主節主語 *wh* 句を認可できる位置に認可子が存在しないため非文法的である。(3a) の (3b) の違いは、(3a) は文中に疑問助詞「か」を含まないのに対して、(3b) は埋込節に「か」を含む点である。

(2) どの生徒が [先生が教室でマンガを読んでいたと] 教頭に言ったの？

(3) a. *どの生徒が [先生が教室でマンガを読んでいたか] 教頭に言った。

b. *どの生徒が [先生が教室でマンガを読んでいたと] 教頭に言った。

Minemi and Hirose (2019) が (3) のような文を用いて RSVP による回答時間制限付き (3 秒以内) の容認性判断実験を実施したところ、(3a) の方が (3b) よりも容認度が高かった。この結果は、構造的には *wh* 句の認可に無関係な位置であったとしても、潜在的に *wh* 句を認可可能な疑問助詞「か」が文中に含まれることによって、*wh* 句の錯覚的認可が生じることを示している。また、*wh* 句の認可が構造的に正しく成立しているかどうかを判明するのは文末の主節補文標識位置であるため、検索処理の反復が生じるのも文末まで読んだ後のことであると考えられる。そのため、この実験においては回答時間の制限によって、検索処理の反復回数に対して時間的制約が生じていると考えられ、この結果は Parker (2019) らが提案する、時間的制約によって検索処理の反復回数が制限されることで文法的錯覚が生じるという仮説に一致する。しかしながら、回答時間に時間的制約を設けた場合にも、文法的錯覚が観察されるかどうかを検証する必要がある。

4.1. 手順

本研究では、クラウドソーシングサービス Crowd Works (<https://crowdworks.jp/>) にて募集した日本語母語話者に対し、Minemi and Hirose (2019) と同様の実験文を用いて、以下の時間的制約の異なる 5 種類の文容認性判断実験を行なった (PCIBex (<https://www.pcibex.net/>)) を用いたオンライン実験)。

- 実験 1：一文呈示 (時間制限なし) + 回答時間制限なし (オフライン) (N=35)
- 実験 2：一文呈示 (7 秒) + 回答時間制限なし (N=41)
- 実験 3：一文呈示 (7 秒) + 回答時間制限あり (3 秒) (N=34)
- 実験 4：RSVP (SOA：700 ミリ秒, ISI：300 ミリ秒) + 回答時間制限なし (N=30)
- 実験 5：RSVP (SOA：700 ミリ秒, ISI：300 ミリ秒) + 回答時間制限あり (3 秒) (N=32)

実験 1 は実験文の呈示方法と容認性判断の回答時間の両方に時間的制約のない、いわゆる紙ペー

スの容認性判断と同様の課題であった。実験 2・3 は、実験文の呈示方法は一文呈示であったが、実験 4・5 と文呈示時間を統一するために文呈示時間を 7 秒間に設定した。また、実験 2 では回答時間に制限は設けなかったが、実験 3 では 3 秒間に制限した。実験 4・5 では各文節を 700 ミリ秒ずつ呈示し、文節ごとの呈示間隔は 300 ミリ秒とした（1 文節あたり 1 秒 [700 ミリ秒+300 ミリ秒] ×7 文節=7 秒）。

実験文は、(4) のような 2 要因 4 条件（主節主語タイプ [wh, 非 wh] ×埋込節タイプ [か, と]）デザインで作られた。(4ab) は (3ab) に対応する非文法的な wh 文であり、(4cd) は主節主語が非 wh 句である。このような実験文 24 セットをラテン方格によって 4 つのリストに分け、各リストにフィラー文 48 文を加えたため、1 つのリストは合計 72 文であった。各文の容認性は、「容認可能」か「容認不可能」かの二択での判断とした。

- (4) a. *どの生徒が [先生が 教室で マンガを 読んでいたか] 教頭に 言った。
b. *どの生徒が [先生が 教室で マンガを 読んでいたと] 教頭に 言った。
c. その生徒が [先生が 教室で マンガを 読んでいたか] 教頭に 言った。
d. その生徒が [先生が 教室で マンガを 読んでいたと] 教頭に 言った。

4.2. 結果予測

検索処理の反復回数に対する時間的制約によって文法的錯覚の有無が決定するのであれば、実験文の呈示方法に関係なく、回答時間に制限を課した実験 3 と実験 5 でのみ錯覚的認可が観察されると予測される。

4.3. 分析

容認度データはロジスティック混合効果モデルによって分析した (Baayen, Davidson, and Bates 2008)。応答変数は文法性と容認性の不一致率とし、固定効果には主節主語タイプと埋込節タイプの 2 要因とそれらの交互作用が含み、主節主語タイプは wh 条件を-0.5、非 wh 条件を 0.5、埋込節タイプは「か」条件を-0.5、「と」を 0.5 としてコーディングした。最大モデルのランダム効果には、実験参加者と刺激セットについてのランダム切片とランダムスロープが含まれた。最適モデルは“parsimonious approach”によって選択された (Bates et al. 2015)。

4.4. 結果

各実験における文法性と容認性の不一致率は図 3 の通りである。統計的には、回答時間に対する時間的制約にかかわらず、実験文の呈示に RSVP を用いた実験 4 と実験 5 でのみ、主節主語タイプと埋込節タイプの交互作用が有意傾向であった（実験 4 : $p = .08$, 実験 5 : $p = .06$ ）。これは、実験 4・5 において、wh 条件 (4ab) における不一致率の差が非 wh 条件 (4cd) における不一致率の差よりも大きかったことを反映していると考えられる。実験 5 に関しては、下位検定の結果、wh 条件でのみ埋込節タイプの単純主効果が有意であった (wh 条件 : $Estimate = -0.885, z = -3.578, p < .001$;

非 *wh* 条件 : $Estimate = -0.223, z = -0.888, p = .375$)。実験 4 に関しては, *wh* 条件でも非 *wh* 条件でも埋込節タイプの単純主効果が有意であった (*wh* 条件 : $Estimate = -1.452, z = -4.549, p < .001$; 非 *wh* 条件 : $Estimate = -0.672, z = -2.127, p = .033$)。一方で, 実験 2・3 では交互作用は有意ではなかったものの, *wh* 条件において (4a) の不一致率の方が (4b) の不一致率よりも有意に高かった (実験 2 : $Estimate = -0.987, z = -2.813, p = .005$; 実験 3 : $Estimate = -1.649, z = -5.345, p < .001$)。

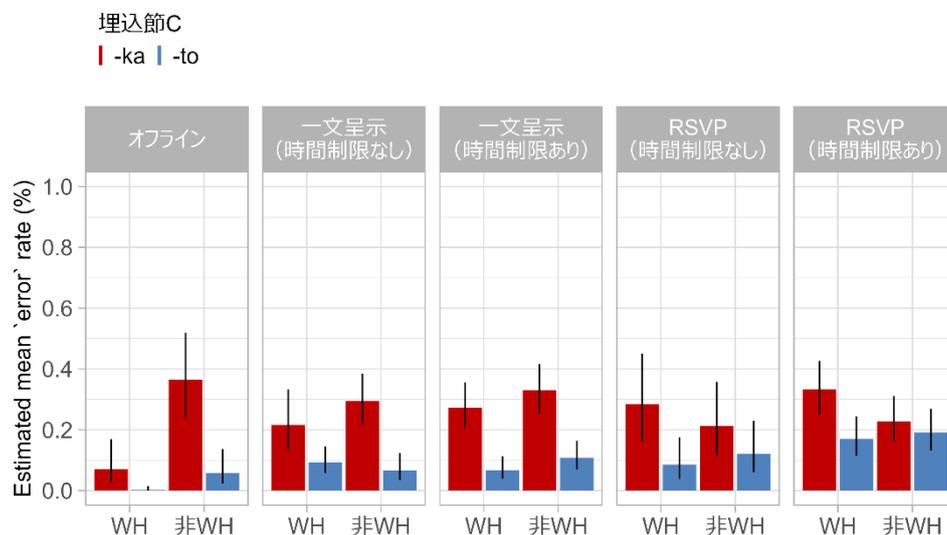


図 3 各実験における文法性と容認性の不一致率 (エラーバー : 95%CI)

5. 考察

本研究の結果は, 回答時間に対して時間的制約を課した場合だけでなく, 実験中に何らかの時間的制約が課されている場合に日本語 *wh* 句の錯覚的認可が生じることを示しており, 文法的錯覚の有無が検索処理の反復回数に対する時間的制約によって決定されるという仮説は支持されなかった。日本語 *wh* 句の錯覚的認可に関しては, 文中ではなく文末まで読んだ時点で検索処理が開始されると考えられる (Minemi and Hirose 2019)。そのため, もし上記の仮説が正しければ, 実験文の呈示に対する時間的制約に関係なく, 容認性判断の回答時間に対する時間的制約がある場合にのみ文法的錯覚が生じると予測される。しかし本研究では, 回答時間に対して時間的制約を課した場合だけでなく, 実験中に何らかの時間的制約が課されている場合に錯覚的認可が観察された。この結果は, 検索処理の反復回数に対する時間的制約によって文法的錯覚の有無が決定されるという仮説には一致しない。一方で, 本研究の結果だけでは, なぜ時間的制約を課すことで文法的錯覚が生じるかという疑問に関して代替となる処理メカニズムは提案できないため, 今後さらなる研究が必要である。

また, 比較対象として設定した埋込節に疑問助詞を含む非 *wh* 文 (4c) においても文法性と容認性の不一致が観察されており, 使用する実験文の再考も必要であるとも考えられる。しかしながら, 実験文の呈示に RSVP を用いた実験 4・5 でのみ主節主語タイプと埋込節タイプの交互作用が有意傾向であったことは, RSVP によって文を呈示した場合に非 *wh* 文 (4c) における不一致率が低くな

ることを示唆しているとも解釈でき、文法的錯覚が生じうる *wh* 文だけでなく非 *wh* 文における処理メカニズムの検証によって新たな処理メカニズムの可能性を探ることができるかもしれない。

参考文献

- Baayen, R. Harald, Douglas Davidson, and Douglas Bates. (2008) Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language* 59(4): 390–412.
- Bates, Douglas, Martin Mächler, Ben Bolker, and Steve Walker. (2015) Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67(1): 1–48.
- Chomsky, Noam. (1965) *Aspects of the theory of syntax*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Harada, Kazuko I. (1972) Constraints on *WH-Q* binding. *Studies in Descriptive and Applied Linguistics* 5: 180–206.
- Lewis, Richard L., and Shravan Vasishth. (2005) An activation-based model of sentence processing as skilled memory retrieval. *Cognitive Science* 29(3): 375–419.
- Lewis, Shevaun, and Colin Phillips. (2015) Aligning grammatical theories and language processing models. *Journal of Psycholinguistic Research* 44(1): 27–46.
- Minemi, Itsuki, and Yuki Hirose. (2019) Ungrammaticality triggers illusory licensing of *wh*-phrases in Japanese. *IEICE Technical Report* 119(151): 83–88.
- Nishigauchi, Taisuke. (1999) Quantification and *wh*-constructions. In: Natsuko Tsujimura (ed.) *A Handbook of Japanese Linguistics*, 269–296. Blackwell Publishers.
- Parker, Dan. (2019) Two minds are not always better than one: Modeling evidence for a single sentence analyzer. *Glossa: A Journal of General Linguistics* 4(1): 64.
- Phillips, Colin, Matthew W. Wagers, and Ellen F. Lau. (2011) Grammatical illusions and selective fallibility in real-time language comprehension. In: Jeffrey Runner (ed.) *Experiments at the Interfaces*, 147–180. Bingley, England, UK: Emerald Group Publishing Limited.
- Wagers, Matthew W., Ellen F. Lau, and Colin Phillips. (2009) Agreement attraction in comprehension: Representations and processes. *Journal of Memory and Language* 61(2): 206–237.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20H01254, JP21K19999, JP21H00524, JP23K17498 の助成を受けたものです。