

主語の役割はいつ決まるか — 感覚交差語彙プライミングによる調査

磯野真之介・広瀬友紀
(東京大学)

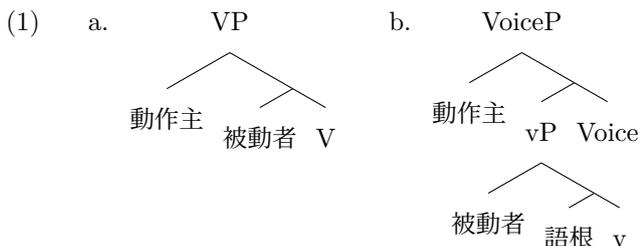
要約

ヒトが文を理解するときには、文の展開に応じて漸進的、予測的に構造を組み立てる。このような漸進的な文理解において、動作主あるいは被動者といった主題役割は主語にいつどのようにして付与されるだろうか。本発表では、この問いが項構造を表象する統語構造という理論言語学的な問題と、文解析器がどの程度予測を立てるかという心理言語学的な問題の双方に示唆を持つことをまず論じる。その上で、日本語の他動詞構文を用いた感覚交差語彙プライミングによる実験結果を報告する。実験の結果、日本語の他動詞構文では動詞や目的語の位置で主語が活性化されている証拠は見られなかった。これは、主語の動作主役割が抽象的な機能範疇 (active Voice) によって与えられていて、かつその機能範疇が主語入力時点でデフォルトで予測されているという仮説と整合的である。

1 背景

ヒトが文を読んだり聞いたりする際には、文末に到達する前から文の展開に応じて漸進的、予測的に構造を組み立て、意味を理解することができる。本研究では、このような漸進的な文理解において、文の序盤に現れた主語が文中で果たす主題役割 (thematic role) がどのような構造によって表象され、その構造がいつ予測されるかを探求した。

理論言語学においては、主題役割の付与のされ方には2つの考え方がある (Borer, 2005; Harley, 2011; Marantz, 2013)。一つは投射主義 (projectionism) と呼ばれ、動詞が項のリストを語彙的に持ち、それが統語構造にも反映されて主題役割が与えられる。もう一つは構築主義 (constructivism) であり、動詞は統語レベルで語根と機能範疇に分解され、項は後者によって導入される。(1a) に投射主義、(1b) に構築主義の分析の一例を示す。Voice は動作主 (Agent) を導入する機能範疇で、特に active Voice と呼ばれる (Kratzer, 1996)。v は被動者 (Patient あるいは Theme) を導入する機能範疇である。



これらの分析は理論言語学で発展してきたが、リアルタイムの文理解に対しても示唆を持つ (理論言語学とリアルタイムの文理解の関係については、Bresnan and Kaplan (1982) および S. Lewis and Phillips (2015) を参照)。日本語の他動詞文である (2) を例に考える。投射主義の下では、主語の主題役割は動詞「食べた」が入力された際に初めて与えられると予測される (可能性①)。一方構築主義の下では、文解析器が動詞入力前に active Voice の存在を予測するかによって、主題役割付与のタイミングが複数ありうる。事前に全く予測しなければ、投射主義と同じく「食べた」の時点で初めて active Voice が導入され、主語に動作主役割が与えられる。これに対して「うなぎを」が入力された時点で、対格付与のために (Kratzer, 1996) active Voice が導入されることも考えられる (可能性②)。さらに、「政治家が」が入力された時点で、予測的に active Voice が導入される可能性もある (可能性③)。

(2) 政治家がうなぎを食べた。

なお投射主義の下でも、主題役割が構造上の位置によって決まっていると仮定すれば (UTAH; Baker, 1988)、より早い段階で主語に主題役割が予測的に与えられると考えることは可能である。しかし、構築主義の動機の一つはまさに UTAH を規定ではなく説明することにあるので、そのような見方はむしろ構築主義的といえる。

先行研究の観察からは可能性①から③のいずれが適切か決めることはできない。主流の見方といえるのは、動詞の位置で主語に主題役割を付与するというもので、その際に文解析器が作業記憶にある主語の表象を取り出す (retrieve) あるいは活性化する (activate) とされる。この見方は自己ペース読文実験や眼球運動計測実験における行動データから支持されてきた。たとえば (3) では、主語 *resident* が動詞 *was complaining* が読まれた際に取り出される。このとき、主語に意味的あるいは統語的に類似した要素 (例: *neighbor*) があると動詞の読み時間が増大する干渉効果 (interference effect) が観察されており、これは主語が動詞の位置で作業記憶から取り出されている証拠といえる (Van Dyke, 2007)。

(3) The *resident* who said that the {neighbor/warehouse} was dangerous *was complaining* about the investigation. (Van Dyke, 2007)

このほか、主語と動詞の距離が離れているときほど動詞の読み時間が増大する局所性効果 (locality effect) が主語の取り出しの証拠とされている (Bartek et al., 2011; Gibson, 2000; Grodner & Gibson, 2005; R. L. Lewis et al., 2006; Van Dyke & Lewis, 2003, など)。しかし、これらは英語のデータが中心であるので、動詞より前に現れる目的語が項構造の予測に果たす役割は不明である。すなわち、①と②の区別ができない。

他方で、動詞位置での主語の取り出しが必須ではないことを示唆する研究もある。Friedmann et al. (2008) は**感覚交差語彙プライミング実験** (Swinney et al., 1979) で、英語の非能格動詞・非対格動詞において主語が取り出されるかを調べた。この実験では (4) のような文を音声提示し^{*1}、主語の関連語または非関連語を途中で視覚提示してそれが実在する語彙かどうかの語彙性判断を行わせた。提示位置は (A) 主語オフセット、(B) 動詞オフセット、(C) 動詞の 750 ミリ秒後のいずれかであった。その結果、非対格動詞でのみ、(A) に加えて (C) で、関連語への反応時間が速くなる**プライミング効果**が見られた。このことは、非対格動詞の後に主語が取り出されていることを示唆する一方、非能格動詞の位置では主語を取り出す必要がないことも示唆している。これは、可能性③として議論したように、動詞より前に active Voice (=非能格動詞または他動詞) が予測されていて、非対格動詞の際のみ再分析が必要と考えれば説明できる。なお、Friedmann et al. (2008) は、この結果を非対格動詞においてのみ主語の元位置が動詞の後ろにあることを示すものと論じているが、非能格動詞の主題役割付与がいつ行われるかについては詳しく論じていない。

(4) a. (自他交替しない) 非対格

The *tailor*(A) from East Orange, New Jersey, mysteriously *disappeared*(B) when it was(C) time to adjust the tuxedos and dresses for the participants in the wedding party.

b. 非能格

The *surgeon*(A) with a brown felt fedora hat and matching coat eagerly *smiled*(B) when the beautiful(C) actress walked down the corridor to exam room three.

本研究はこうした状況を踏まえて、日本語の他動詞文において主語がいつ取り出されるかを、感覚交差語彙プライミング実験により調べるものである。

^{*1} Friedmann et al. (2008) では本文中の 2 条件のほかに自他交替する非対格動詞 (例: *break*) も用いているが割愛する。

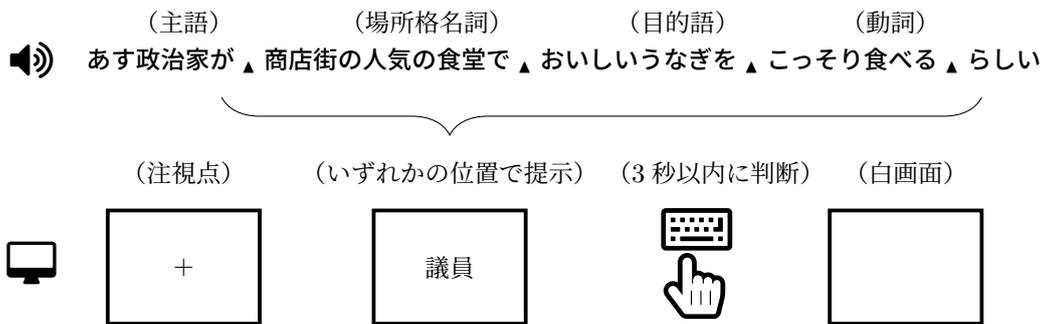


図1 実験のデザイン

2 実験

2.1 デザイン

実験の概要を図1に示す。参加者はウェブサイト（PCIBex Farm; <http://farm.pcibex.net>）に個人のパソコン端末でアクセスして実験を実施した。各試行では、日本語の他動詞文を参加者に音声で提示した。文は「時間副詞＋主語＋場所格名詞＋目的語＋動詞＋助動詞」という構成で、主語の末尾と目的語の主要部の語頭の間は15～20モース空けた（主語の活性の減衰を確保するため）。文の音声提示中に、語彙性判断をする語を画面に提示した。語彙性判断の位置は主語、場所格名詞、目的語、動詞のいずれかで、それぞれのオフセットから200ミリ秒後に提示した。参加者は3秒以内に、その語が実在語であればFキーで、非実在語であればJキーで反応するように求められた。文が再生され終わった後、「食堂があるのは商店街ですか？」のような「はい」「いいえ」で答えられる質問が画面に提示され、参加者は「はい」ならVキーで、「いいえ」ならNキーで回答した。

語彙性判断をする語は、ターゲット試行では主語と意味的に関連する語または関連しない語のいずれかであった。事前のノーミングとして、本実験の参加者とは別の10人の日本語母語話者に主語との関連性を7段階で評価してもらい、評価の平均値が5以上の語のみを関連語として、3以下の語のみを非関連語として用いた。ターゲット試行では常に実在語彙が提示され、フィラー試行ではターゲット試行と合わせて非実在語彙が半数になるように非実在語彙も提示された。

音声提示する文は30個で、語彙性判断の提示位置と主語の関連語かどうかによりそれぞれ $4 \times 2 = 8$ 条件あり、ラテン方格法で8つのリストに分配された。^{*2}これに60個のフィラー文を加え、ターゲット文が2つ連続しないような擬似ランダム順を参加者ごとに生成して提示した。このほかに練習として4試行を行った。参加者は試行と試行の間に自由に休憩してよく、また全体のちょうど半分が終わった時点で最低2分間の休憩を取るよう指示された。参加者あたりの所要時間は約40分であった。

可能性①～③のそれぞれの結果の予測を表1に示す。主語の直後ではいずれにしても主語によるプライミング効果が観察されると予測されるが、その後その効果は減衰し、主語が主題役割付与のために再び取り出されたタイミングでプライミング効果が再度現れるはずである。

2.2 参加者

日本語母語話者118人（大学生・大学院生、平均年齢21.1歳）が実験に参加し、700円相当のAmazonギフトカードを受け取った。このうち10人のデータは技術的なエラー^{*3}により分析前に取り除かれた。

^{*2} ラテン方格法では刺激の数は条件数の倍数であることが望ましく、本実験では32文の使用を予定していたが、語彙性判断に用いる語を上述の手順でノーミングした結果、使用できる文が30個にとどまった。

^{*3} サーバの不調でデータが保存されなかったケースのほか、参加者が適切なブラウザで実施していなかったケース、語彙性判断課題の回答がほとんど記録されていなかった（押すキーを間違っていたとみられる）ケースがあった。

	主題役割	主語の役割の事前付与	主語取り出し位置
可能性①	動詞が付与（投射主義）	なし	動詞
	機能範疇が付与（構築主義）	なし	動詞
可能性②	機能範疇が付与（構築主義）	遅め（目的語）	目的語
可能性③	機能範疇が付与（構築主義）	早め（主語）	なし

表1 仮説ごとの実験結果の予測

2.3 分析

当初予定していた分析では、語彙性判断の正答率あるいは内容理解課題の正答率が平均 $-2.5 \times$ 標準偏差を下回る参加者およびアイテムを除外することになっていた。この基準では6人の参加者と1個のターゲット・アイテムが取り除かれた。しかしこのデータでは、今回検証している①～③の可能性に関わらず必ず観察されるはずの主語直後のプライミング効果が見られなかった（ほかの位置でも見られなかった）。語彙性判断の反応時間のデータにノイズが多いと判断し、語彙性判断の正答率が90%未満の参加者を全て除外した*4ところ、主語直後のプライミング効果が現れた。これに該当するのは24人で、内容理解課題の正答率が低い1人と合わせて25人が除外された。以下ではこのデータ（83人、29アイテム）に基づく分析を報告する。したがって以下の分析は全て探索的（exploratory）であることに留意されたい（cf. Nicenboim et al., 2018）。

語彙性判断が誤っていた試行の反応時間もデータから取り除いた。さらに、これらの除外処理を行ったあと、条件（提示位置・関連性）ごとの反応時間の平均と標準偏差を計算し、平均 $\pm 2.5 \times$ 標準偏差を超える反応時間は除外した。これにより2.3%のデータが取り除かれた。

以上の処理を経た上で、反応時間を線形混合効果モデル（Baayen et al., 2008）で分析した。まず、主語の位置でプライミング効果が見られることを確認するため、主語位置での反応時間のモデルとして、関連性の主効果と、参加者ごと・アイテムごとのランダム切片および関連性のランダム効果を入れたモデルを構築した。さらに、目的語の位置でプライミング効果の復活が見られるかを調べるため、場所格名詞および目的語位置での反応時間のモデルとして、関連性および位置の主効果とそれらの交互作用、参加者ごと・アイテムごとのランダム切片および各ランダム効果を入れたモデルを構築した。目的語位置でプライミング効果の復活があれば、関連性および位置の交互作用が観察されるはずである。動詞の位置でのプライミング効果の復活についても同様に、目的語および動詞位置での反応時間のモデルを構築した。分析はR（R Core Team, 2021）のlme4パッケージ（Bates, Mächler, et al., 2015）を用いて行い、フルモデルからlmerTestパッケージ（Kuznetsova et al., 2017）のstep関数でモデルへの貢献度の低いランダム効果を段階的に削った（Bates, Kliegl, et al., 2015）。

2.4 結果

ターゲット試行に絞ると、語彙性判断の正解率は96.2%、内容理解課題の正解率は89.7%であった。

語彙性判断の提示位置・関連性ごとの反応時間を図2に示す。主語の位置では予測どおり有意なプライミング効果が見られた（ $p = 0.027$ ）。図から明らかなように、主語以降はプライミング効果は一貫して減衰した。プライミング効果の復活を示す関連度と提示位置の交互作用は、場所格名詞と目的語の分析、目的語と動詞の分析のいずれでも見られなかった（それぞれ $p = 0.24, p = 0.92$ ）。なお、場所格名詞の位置単独で分析すると、有意なプライミング効果が見られた（ $p = 0.013$ ）。

*4 Friedmann et al. (2008)でも語彙性判断の正答率が90%未満の参加者は除外されている。除外されたのは110人中3人で、本実験（108人中24人）よりはるかに少ない。この理由としては、実験室での実験とウェブベースの実験の違いが考えられる。

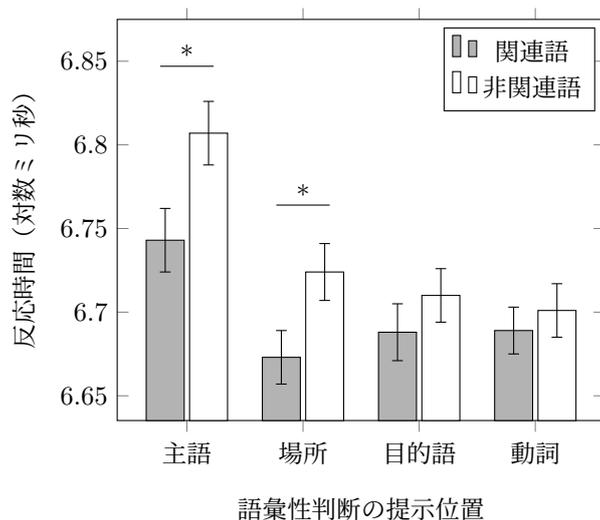


図2 語彙性判断課題の反応時間。エラーバーは標準誤差。*は有意差 ($p < 0.05$)

3 考察

本実験の結果、主語に意味的に関連する語を提示することによるプライミング効果は主語から動詞に向けて減衰する傾向がみられ、効果が復活することはなかった。この結果は、可能性③と最も整合的である。すなわち、主語が入力された時点で active Voice が予測され、主語に動作主役が与えられる。この予測はこれ以降修正される必要がないため、主語の取り出しは目的語・動詞のいずれの位置でも生じない。このため、プライミング効果は単に減衰を続けたと考えられる。これは、英語の非能格動詞において主語の取り出しが生じないという Friedmann et al. (2008) の感覚交差語彙プライミング実験の結果と整合的である。

この結果からは新たに2つの問いが生じる。背景の節で述べたように、自己ペース読文や眼球運動計測実験の行動データからは、動詞の位置で主語が取り出されることが示唆されている。これらの研究は他動詞・非能格動詞・非対格動詞の区別に特に注目していないが、刺激には他動詞や非能格動詞が含まれており、それらにおいても主語が取り出されていることが示唆される。こうした観察は Friedmann et al. (2008) や本実験の観察とは異なっている。考えられる一つの理由は実験パラダイムの違いである。自己ペース読文や眼球運動計測実験では、参加者が各領域に注目する時間を自由に制御できる。このため、統語的に必要な処理に加えて、文のよりよい理解のために確認的に主語を取り出している可能性がある (Isono & Hirose, 2022a, 2022b)。感覚交差語彙プライミング実験では、参加者は文の展開を制御できないので、そのような追加的な処理を行っていないと考えられる。この仮説をさらに検証する今後の研究としては、自己ペース読文実験や眼球運動計測実験の教示を変えたり、感覚交差語彙プライミング実験で音声提示する文の話速を変えたりし、主語の取り出しに変化が出るかを調べることが考えられる。

第2の問いは、主語入力時に active Voice が予測されるのはなぜかという点である。考えられる一つの理由は頻度で、他動詞および非能格構文を形成する active Voice が、非対格構文を形成する non-active Voice よりも出現頻度が高いため予測されていると考えられる。この仮説が正しければ、実験中に多くの非対格構文に晒された場合には、予測が変化するはずである (実験中の文によって文解析器の構造予測が変化するという証拠については、Fine et al., 2013; Prasad & Linzen, 2021, を参照)。この点も将来の課題である。

なお、これに関連して、文解析器がどれだけの数の予測を保持できるかという問題がある (Jurafsky, 1996; van Schijndel & Linzen, 2021)。主語が入力された時点で、active Voice の構造と non-active Voice の構造をどちらも予測しているのであれば、動詞入力時には両者の確率分布を更新するだけでよく、非対格動詞が現れたときのみ主語を特に活性化する理由は考えられない。そのため、Friedmann et al. (2008) の結果を踏まえれば、文解析器は non-active Voice 構造の予測を並行的に保持しておらず、非対格動詞が現れた際に再分析をしていると考えられるが、この点も

さらなる探究が必要である。

4 結論

本研究は、ヒトの漸進的な文理解においていつ主語に主題役割が付与されるかを、日本語の他動詞文を用いた感覚交差語彙プライミング実験により調べた。プライミング効果は主語の入力時以降一貫して減衰する傾向を見せ、主語の再活性化の証拠は得られなかった。この結果は、主語入力時にすぐに、それに動作主役割を付与する機能範疇 (active Voice) が予測されているという仮説と整合する。先行研究との比較からは、このような予測や主語の再活性化のあり方は実験パラダイムや刺激文の傾向にも左右されることが示唆されるが、この点のさらなる追求は今後の課題である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 20H01254 (代表者: 広瀬友紀) の助成を受けたものです。

参考文献

- Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, *59*(4), 390–412. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2007.12.005>
- Baker, M. C. (1988). *Incorporation: A theory of grammatical function changing*. University of Chicago Press.
- Bartek, B., Lewis, R. L., Vasishth, S., & Smith, M. R. (2011). In search of on-line locality effects in sentence comprehension. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *37*(5), 1178–1198. <https://doi.org/10.1037/a0024194>
- Bates, D., Kliegl, R., Vasishth, S., & Baayen, R. H. (2015). Parsimonious mixed models. <https://arxiv.org/abs/1506.04967>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Borer, H. (2005). *In name only*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199263905.001.0001>
- Bresnan, J., & Kaplan, R. (1982). Introduction: Grammars as mental representations of language. In J. Bresnan (Ed.), *The mental representation of grammatical relations* (pp. i–lii). MIT Press.
- Fine, A. B., Jaeger, T. F., Farmer, T. A., & Qian, T. (2013). Rapid expectation adaptation during syntactic comprehension. *PLoS ONE*, *8*(10), e77661. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077661>
- Friedmann, N., Taranto, G., Shapiro, L. P., & Swinney, D. (2008). The leaf fell (the leaf): The online processing of unaccusatives. *Linguistic Inquiry*, *39*(3), 355–377. <https://doi.org/10.1162/ling.2008.39.3.355>
- Gibson, E. (2000). The dependency locality theory: A distance-based theory of linguistic complexity. In A. P. Marantz, Y. Miyashita, & W. O’Neil (Eds.), *Image, language, brain*. MIT Press.
- Grodner, D., & Gibson, E. (2005). Consequences of the serial nature of linguistic input for sentential complexity. *Cognitive Science*, *29*, 261–290. <https://doi.org/10.1207/s15516709cog0000-7>
- Harley, H. (2011). A Minimalist approach to argument structure. In C. Boeckx (Ed.), *The Oxford handbook of linguistic minimalism* (pp. 427–448). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199549368.013.0019>

- Isono, S., & Hirose, Y. (2022a). Psycholinguistic evidence for severing arguments from the verb. In K. Horie, K. Akita, Y. Kubota, D. Y. Oshima, & A. Utsugi (Eds.), *Proceedings of the 29th Japanese/Korean linguistics conference*. CSLI Publications.
- Isono, S., & Hirose, Y. (2022b). Retrieval of predictions and retrieval of arguments as distinct processes. *The 35th Annual Conference on Human Sentence Processing (HSP2022)*.
- Jurafsky, D. (1996). A probabilistic model of lexical and syntactic access and disambiguation. *Cognitive Science*, 20(2), 137–194. [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(99\)80005-6](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(99)80005-6)
- Kratzer, A. (1996). Severing the external argument from its verb. In J. Rooryck & L. Zaring (Eds.), *Phrase structure and the lexicon* (pp. 109–137). Kluwer. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-8617-7>
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest package: Tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*, 82(13), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>
- Lewis, R. L., Vasishth, S., & Van Dyke, J. A. (2006). Computational principles of working memory in sentence comprehension. *Trends in Cognitive Science*, 10(10), 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.08.007>
- Lewis, S., & Phillips, C. (2015). Aligning grammatical theories and language processing models. *Journal of Psycholinguistic Research*, 44(1), 27–46. <https://doi.org/10.1007/s10936-014-9329-z>
- Marantz, A. (2013). Verbal argument structure: Event and participants. *Lingua*, 130, 152–168. <https://doi.org/10.1016/j.lingua.2012.10.012>
- Nicenboim, B., Vasishth, S., Engelmann, F., & Suckow, K. (2018). Exploratory and confirmatory analyses in sentence processing: A case study of number interference in German. *Cognitive Science*, 42(Suppl. 4), 1075–1100. <https://doi.org/10.1111/cogs.12589>
- Prasad, G., & Linzen, T. (2021). Rapid syntactic adaptation in self-paced reading: Detectable, but only with many participants. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 47(7), 1156–1172. <https://doi.org/10.1037/xlm0001046>
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Swinney, D. A., Onifer, W., Prather, P., & Hirshkowitz, M. (1979). Semantic facilitation across sensory modalities in the processing of individual words and sentences. *Memory and Cognition*, 7(3), 159–165. <https://doi.org/10.3758/BF03197534>
- Van Dyke, J. A. (2007). Interference effects from grammatically unavailable constituents during sentence processing. *Journal of experimental psychology: Learning, memory, and cognition*, 33(2), 407–430. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.2.407>
- Van Dyke, J. A., & Lewis, R. L. (2003). Distinguishing effects of structure and decay on attachment and repair: A cue-based parsing account of recovery from misanalyzed ambiguities. *Journal of Memory and Language*, 49(3), 285–316. [https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(03\)00081-0](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(03)00081-0)
- van Schijndel, M., & Linzen, T. (2021). Single-stage prediction models do not explain the magnitude of syntactic disambiguation difficulty. *Cognitive Science*, 45, e12988. <https://doi.org/10.1111/cogs.12988>