

E8-4

統語変形はコミュニケーションから創発するのか？

梶川康平¹ 窪田悠介² 大関洋平¹
¹ 東京大学 ² 国立国語研究所

kohei-kajikawa@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

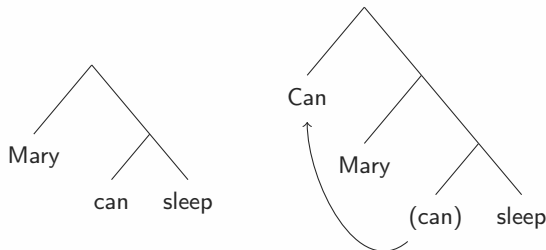
NLP2024@神戸

E8: テーマセッション4：言語とコミュニケーションの創発 (2)

2024/03/13

概要

- 自然言語には
 - (i) 合成性にもとづく統語構造
 - (ii) 統語構造を直接変形する操作 (統語変形) が存在する
- 合成性は、コミュニケーションと学習可能性の相互の圧力のもとで創発する、と主張されている (Kirby et al., 2015)
- では、統語変形は？
 - 統語変形を必要とする統語現象として等位接続に注目



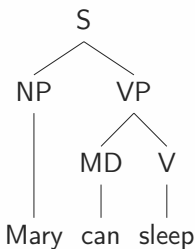
統語変形の例としての英語疑問文。統語変形は自然言語に広く存在する。

先行研究

- 自然言語は、なぜいまの形にあるのか？ 普遍性に理由を求める
 - 効率的なコミュニケーション/学習可能性の観点で最適だから
(Piantadosi et al., 2012; Kirby et al., 2015; Kemp et al., 2018; Gibson et al., 2019)
 - wordform, lexical semantics, syntax (word order) 等々で説明に成功
- Kirby らは、
コミュニケーションに関する圧力と学習可能性に関する圧力のトレードオフとして合成性にもとづく統語構造が創発する、と主張
 - 言語の文法は、コミュニケーションに適した表現を作れるようにしたい
 - 一方で、学習しやすいようにシンプルにしたい

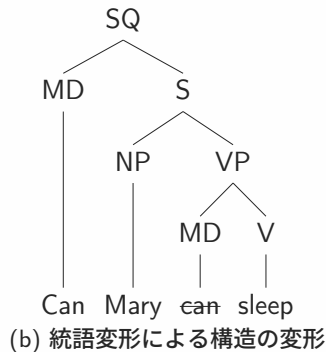
統語変形

- たとえば、**疑問文**は統語変形を必要とする
- 重要なのは、
移動させる句も、その句を移動させる位置も、統語構造を参照して決定され、
単語列の線形順序を参照することは決してない



(a) 文脈自由文法による基底構造の生成

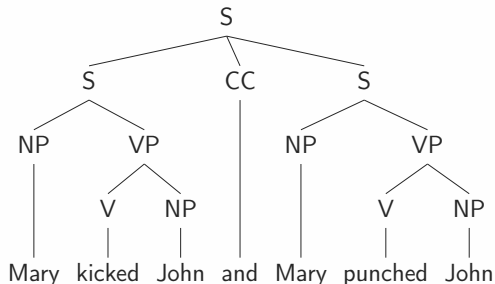
統語変形
⇒



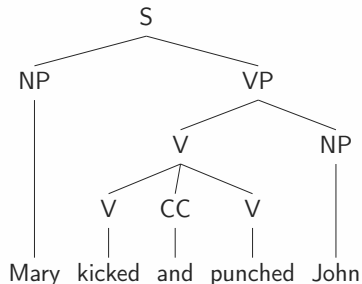
(b) 統語変形による構造の変形

統語変形：等位接続

- 等位接続も、統語変形を必要とする (Chomsky, 1957, 1955; Ross, 1967)
 - 2つ以上の文 (S) を入力とし、構造的に共通する部分をもとに1つの文にまとめ上げる
- 統語変形は、任意の統語範疇について、同一の統語範疇同士であれば等位接続できるという事実を説明することができる



統語変形
⇒



言語のデザイン

- 本研究では、3種類の異なるクラスの文法をもつ言語を比較・検証する
- no-transform 言語：
 - 統語変形が存在しない言語。文レベルの等位接続のみ可能
 - syntactic-transform 言語：
 - 統語変形が存在する言語。同一の統語範疇同士であれば等位接続が可能
 - radical-transform 言語：
 - 統語変形による等位接続に加え、さらに「同一文中で既に使用した表現を削除する」という非統語変形が存在する言語

言語	例文
no-transform	<i>Anna thought that John ran and Anna thought that John thought</i>
syntactic-transform	<i>Anna thought that John ran and thought</i>
radical-transform	<i>Anna thought that John ran and</i>

想定する圧力

学習可能性

- 人間の一般認知能力として、同一のデータから学習されるパターンの中では最も単純なものが選好される (Chater and Vitányi, 2003)
- つまり、より文法規則数の少ない言語が好まれると考えられる
- no-transform 言語 > syntactic-transform 言語 > radical-transform 言語の順に好まれると予想

言語	例文
no-transform	<i>Anna thought that John ran and Anna thought that John thought</i>
syntactic-transform	<i>Anna thought that John ran and thought</i>
radical-transform	<i>Anna thought that John ran and</i>

想定する圧力

コミュニケーションの効率性

- 意味の復元が可能な場合、より短い言語表現が要求される (Piantadosi et al., 2012)
- つまり、より表現長が短い言語が好まれると考えられる
- radical-transform 言語 > syntactic-transform 言語 > no-transform 言語
の順に好まれると予想

言語	例文
no-transform	<i>Anna thought that John ran and Anna thought that John thought</i>
syntactic-transform	<i>Anna thought that John ran and thought</i>
radical-transform	<i>Anna thought that John ran and</i>

実験

学習可能性

- モデルの統語構造の理解を評価するのに、文から対応する意味（述語論理表現）への翻訳タスクを用いる (Kim and Linzen, 2020)
- ランダムに生成した 50,000 文 (train:test = 8:2) を用い、正解率が初めて 0.99 を超えたエポック数を、その言語の学習可能性とする

John ran



アテンション付きRNN



ran(John)

コミュニケーションの効率性

- 各言語の平均表現長（平均単語数）を、コミュニケーションの効率性とする

結果

- それぞれの言語において、言語の生成 → 学習・評価を 30 試行ずつ行った

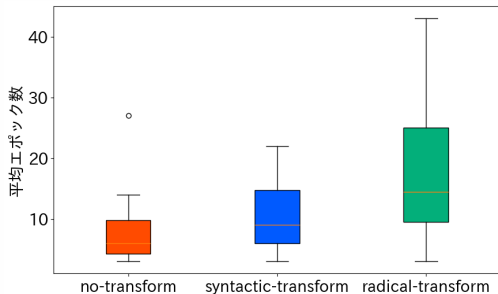


Figure: 各言語の学習可能性

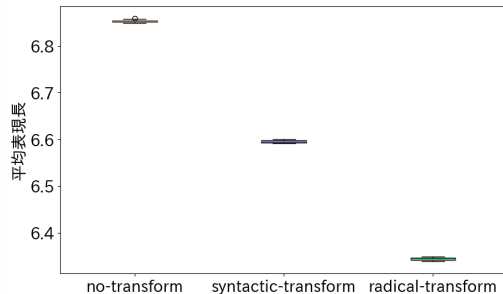


Figure: 各言語のコミュニケーションの効率性

結果

- 結果、すべての言語間で統計的な有意差が認められた。

比較群	平均エピソード数		平均表現長	
	統計量	p 値	統計量	p 値
♣/◇	2.562	0.016	101.0	0.012
◇/♡	-3.059	0.005	103.0	0.013
♡/♣	4.564	< 0.001	39.5	0.002

- それぞれ対応のある t 検定とウィルコクソンの符号付順位検定の結果
- ♣ は no-transform 言語、◇ は syntactic-transform 言語、♡ は radical-transform 言語
- 有意水準は、Bonferroni 補正により $\alpha = 0.05/3 = 0.017$ とした

結果・考察

- 学習可能性は、高い順に、
no-transform 言語 > syntactic-transform 言語 > radical-transform 言語
- コミュニケーションの効率性は、高い順に、
radical-transform 言語 > syntactic-transform 言語 > no-transform 言語
- 結論として、学習可能性とコミュニケーションに関する圧力のトレードオフとして、
統語変形による等位接続を持つ syntactic-transform 言語が創発する可能性が示唆された

おわりに

- 本研究は、統語変形が、コミュニケーションと学習可能性に関する圧力のトレードオフとして創発するのかを検証することを目的とし、結果として、統語変形のある言語では、2つの圧力のトレードオフが成り立っていることを示した
- しかしながら、本研究は、統語変形が最適であるか、という観点や、統語変形が実際に創発するか、という観点での検証はまだ行っていない
- 今後、現状の自然言語の文法が2つの圧力下での最適解であるか、また、Kirbyらの繰り返し学習モデルを用いて、統語変形のある言語が創発するのかを検証することを課題とする

謝辞

- 本研究は JST さきがけ JPMJPR21C2、JSPS 科研費 21K00541、国立国語研究所共同研究プロジェクト「計算言語学的手法による理論言語学の実証的な方法論の開拓」の助成を受けたものです。

参考文献 I

- Chater, N. and Vitányi, P. (2003). Simplicity: a unifying principle in cognitive science? Trends in Cognitive Sciences, 7(1):19–22.
- Chomsky, N. (1957). Syntactic structures. Mouton.
- Chomsky, N. (1975 (=1955)). The Logical Structure of Linguistic Theory. Springer New York, NY.
- Chomsky, N. (1981). Lectures on Government and Binding. De Gruyter Mouton, Berlin, New York.
- Gibson, E., Futrell, R., Piantadosi, S. T., Dautriche, I., Mahowald, K., Bergen, L., and Levy, R. (2019). How efficiency shapes human language. Trends in Cognitive Sciences, 23(5):389–407.
- Kemp, C., Xu, Y., and Regier, T. (2018). Semantic typology and efficient communication. Annual Review of Linguistics, 4(1):109–128.
- Kim, N. and Linzen, T. (2020). COGS: A compositional generalization challenge based on semantic interpretation. In Webber, B., Cohn, T., He, Y., and Liu, Y., editors, Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), pages 9087–9105, Online. Association for Computational Linguistics.
- Kirby, S., Tamariz, M., Cornish, H., and Smith, K. (2015). Compression and communication in the cultural evolution of linguistic structure. Cognition, 141:87–102.
- Piantadosi, S. T., Tily, H., and Gibson, E. (2012). The communicative function of ambiguity in language. Cognition, 122(3):280–291.
- Ross, J. R. (1967). Constraints on variables in syntax. PhD thesis, MIT.

基底構造を生成する文脈自由文法

S	$\rightarrow NP VP \mid S conj S$
VP	$\rightarrow TV_{that} S' \mid TV NP \mid IV$
S'	$\rightarrow that S$
TV_{that}	$\rightarrow thought \mid said \mid believed \mid explained \mid knew$
TV	$\rightarrow liked \mid kicked \mid knew \mid toughed \mid called \mid$ $admired \mid met$
IV	$\rightarrow ran \mid swam \mid laughed \mid slept \mid thought$
NP	$\rightarrow John \mid Mary \mid Ken \mid Sue \mid James \mid Robert \mid$ $Susan \mid Ana$
$conj$	$\rightarrow and$

- 等位接続や埋め込みの影響で生成される文が指数関数的に増大することを防ぐため、同一文中に *and* は1つまで、*that* は2つまでという制約を加えた
- *John liked John.* や *John said that John ran.* といった束縛条件 (Chomsky, 1981) に違反した文は生成しないようにした