

要旨

本研究では、5歳から8歳までの子どもを対象とし、オンラインでの日本語の文理解プロセスにおける予測と再分析、及びそれらと認知機能の一つである抑制機能との関連について、視覚世界パラダイムを用いて検討した。一時的に誤った解釈に陥るようなガーデンパス文の処理では、解釈の再分析が強いられることが知られているが、最終的に正しい解釈を得る際に、最初に構築した誤った解釈を抑制する過程が存在すると考えられる。抑制機能の能力が高い人ほど、誤った解釈を導くような文の処理がより容易に行われるという仮説のもと、抑制機能の発達段階にある子どもに着目し、眼球運動測定実験を行った。その結果、予測や再分析を反映していると考えられる注視率と、抑制機能の能力を測る Go/No Go 課題の成績との関連がみられ、解釈の逸脱を含む文の理解において、抑制機能の個人差が影響している可能性が示された。

1. 背景

人間は、言語の入力を逐次的に理解していることが知られている。(1)のような文で、「男の子がジュースを飲んでいる」までの入力時点では、一時的に「ジュースを飲んでいるのは男の子である」というような、最終的には正しくない解釈に陥ることが知られており、このような一時的に統語的曖昧性を含む文は、ガーデンパス文と呼ばれている。

(1) 男の子がジュースを飲んでいる女の子に話しかけた。

ガーデンパス文では、逐次的な処理において、初分析の段階で一時的に誤った解釈を構築した場合、最終的に正しい解釈を得るためには、統語的曖昧性が解消される位置（「女の子」）で、「ジュースを飲んでいるのは女の子である」という解釈の再分析が強いられる。そして、意味的整合性や統語的な情報などがガーデンパス効果の大きさに影響していることを示した研究などもあり（e.g., Pickering & Traxler, 1998）、ガーデンパス文の処理では、様々な情報がその処理に影響することが示されている。また、言語理解における認知機能の役割に着目した研究では、認知的な制御を行う実行機能が、言語の処理に関わっていることが示唆されている（e.g., Mazuka et al., 2009; Novick et al., 2014）。しかし、具体的にどのような実行機能が、言語処理におけるどのような処理に関係しているのか、未だ明らかになっていない。

ガーデンパス文の理解では、再分析に伴い処理負荷が増加することがわかっているが、その再分析の際に、最初に誤って構築した解釈を抑制する過程があると想定すると、そのような処理と、実行機能の中でも、無関係な情報の干渉を抑える抑制機能とが関連している可能性が考えられる。つまり、抑制機能が高い人ほど、言語入力に対する処理においても、誤った解釈の抑制がより効果的に働き、ガーデンパス文の処理がより容易に行われる可能性がある。

また、実行機能は、年齢とともに発達することが知られ、とりわけ子どもの実行機能は発達段階にあると言われている（e.g., Lersback et al., 1998）。子どもの場合、実行機能の一つである抑制機能が十分に発達しておらず、発達段階的な抑制機能と言語処理との関連を調べることができると考えられる。

そこで、本研究では、子どもを対象に、オンラインでの日本語のガーデンパス文の処理における、関係のない情報の干渉を抑え、関係のある情報に注意を向ける抑制機能の影響を検討するために、視覚世界パラダイムを用いた眼球運動測定実験を行った。

2. 実験

2.1. 実験参加者

5歳から8歳までの聴覚や視覚に異常のない、44人の日本語母語話者である子どもが実験に参加した。

2.2. 眼球運動測定実験

視覚世界パラダイムを用いた眼球運動測定運動実験を行った。視線計測には、EyeLink 1000を使用した。

2.2.1. 聴覚刺激

実験では、聴覚刺激として、以下の(2)のような文を用いた。

- (2) a. 処理困難なし条件： ゆっくり歩いていた女の子がジュースをこぼしたよ。
- b. 目的格処理困難条件： ジュースをゆっくり歩いていた女の子に渡したよ。
- c. 主格処理困難条件： ジュースがゆっくり歩いていた女の子にこぼれたよ。

(2a)は一時的な統語的曖昧性が生じないベースライン条件である。一方、(2b)、(2c)は関係節動詞（「歩いていた」）までの時点で、意味のある解釈が成立しない条件である。(2b)では、「歩いていた」という動詞が自動詞であり対格を取ることができないため、統語的に解釈が困難である。一方、(2c)では、「ジュースが歩いていた」という解釈は、「歩いていた」という動詞にとって、「ジュース」が主語として意味役割的に不可能であるため、解釈が困難である。また、関係節主要部名詞「女の子」の時点で、一時的な曖昧性が解消され、関係節構造を含む文であることが明らかとなる。実験文は、21セットのターゲット文と23文のフィラー文で構成されており、ターゲット文はラテン方各法により配置された。

2.2.2. 視覚刺激

スクリーンには、視覚刺激として、4つのオブジェクトを含む絵が呈示された。例を、図1に示す。

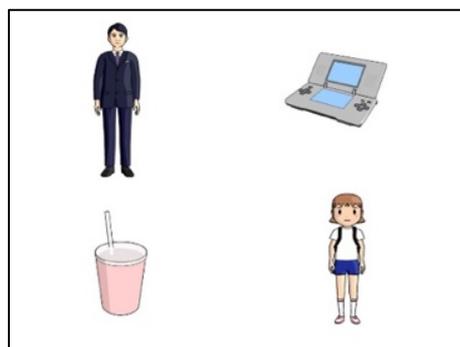


図1. 実験文(2)に対応する絵刺激の例

絵刺激には、targetである関係節の主要部名詞の女の子、targetと同様に関係節動詞句「ゆっくり歩いていた」の主語となり得る competitorとして、有生名詞である男の人、themeとして主節主語名詞のジュース、そして、distractorとして無生名詞のゲーム機が含まれていた。実験では、スクリーン上に視覚刺激が呈示された1000ms後に、聴覚刺激が呈示された。

2.2.3. 実験手続き

実験参加者は、図1に示すような画面を見ながら、(2)のような関係節を含む文を一文聞き、それぞれの文を聞いた後に、内容の理解度を測る課題（以下、内容理解課題）に回答し、その間の視線計測が行われた。内容理解課題では、「この中で、ゆっくり歩いていたのは、どれ？」という質問に、実験参加者が画面上のものを指差す形で回答した。

2.3. Go/NO Go 課題

眼球運動測定実験後に、抑制機能を測る Go/No Go 課題も行われた。Go/No Go 課題では、画面上に次々とランダムに動物の絵が呈示され、実験参加者はサルやライオンなどの動物の絵が呈示される度に、できる限り早くキーボード上のスペースキーを押す（Go 条件）よう求められるが、魚の絵が呈示された時のみスペースキーを押さない（No Go 条件）ように求められた。分析の際は、No Go 条件における正答率を Go/No Go 課題の成績として扱った。

2.4. 予測

関係節動詞句「ゆっくりと歩いていた」の音声入力後に、関係節主要部の入力を予測しているならば、その予測を反映して、図1で関係節主要部として可能な、有生名詞オブジェクトである女の子と男の人への注視率が高くなると予測される。(2b)、(2c)の目的格処理困難条件や主格処理困難条件においても、「歩いていた」の入力後に、意味の通る解釈が困難となり、「ジュースを／が」と「ゆっくりと歩いていた」の間に節境界を置き、関係節構造を含む文であるという再分析が行われ、関係節主要部の入力を予測しているならば、その予測を反映して、有生名詞への注意率が高くなると予測される。また、目的格処理困難条件や主格処理困難条件では、意味の通る解釈が難しいことで、それに基づいた処理負荷が生じ、関係節主要部の入力を予測することがより困難となるならば、処理困難なし条件(2a)よりも、有生名詞への注視率が低くなると予測される。

また、関係節主要部「女の子」の入力後に、関係節主要部と関係節動詞の統合が行われているならば、関係節主要部との統合を反映して、図1における女の子への注視率が高くなると予測される。関係節構造を含むという再分析がより困難であった場合には、より困難でない場合に比べて、関係節主要部の入力後、関係節主要部との統合を反映した注視率は、より高くなると予測される。

さらに、目的格処理困難条件や主格処理困難条件では、意味の通る解釈が困難となった際に、「ジュースを／が」と「ゆっくりと歩いていた」の間に節境界を置き正しい解釈（「[ジュースを][歩いていた... / [ジュースが][歩いていた...]」）をするためには、誤った解釈（「[ジュースを歩いていた]... / [ジュースが歩いていた]...」）を抑制する必要があると考えられる。実行機能の一つである抑制機能が、統語的・意味的に逸脱のある解釈を抑制する処理と関連しているならば、関係節（主要部）の予測や統合を反映した注視率との間に交互作用があると予測される。具体的には、抑制機能がより高い子どもは、初分析の段階で構築された誤った解釈を抑制することができ、再分析に関わる処理負荷がより低くなると予測される。

2.5. 結果と考察

内容理解課題

内容理解課題の正答率は、処理困難なし条件で最も高く（94.79%）、次に目的格処理困難条件（78.18%）、主格処理困難条件（65.36%）の順であった。分析には一般化線形混合効果モデルを用い、固定要因として実験条件を、ランダム要因として実験参加者、アイテムを含めた。まず、実験条件をランダムスロープとして二つのランダム要因に含め、Backward selection approach によって最適モデルを探索した。その結果、それぞれの条件間で、統計的に有意差が確認された（表1）。また、目的格処理困難条件と年齢、主格処理困難条件と年齢の交互作用がそれぞれ確認され（表2）、年齢が上がるにつれて、それぞれの条件での正答率も高かった。

表1. モデルの検定結果（ベースライン：処理困難なし条件 (2a) vs (2b) and (2c)）

	β	SE	z	p
(Intercept)	4.31	0.48	8.96	<.001***
目的格処理困難条件	-2.09	0.33	-6.31	<.001***
主格処理困難条件	-3.13	0.34	-9.14	<.001***

表2. 年齢を含めたモデルの検定結果

	β	SE	z	p
(Intercept)	5.23	0.65	8.09	<.001***
目的格処理困難条件	-2.97	0.57	-5.23	<.001***
主格処理困難条件	-4.02	0.58	-6.98	<.001***
年齢	2.42	0.56	4.33	<.001***
目的格処理困難条件×年齢	-1.14	0.49	-2.32	0.021*
主格処理困難条件×年齢	-1.18	0.50	-2.38	0.017*

また、年齢の代わりに、Go/No Go 課題の成績（No Go 条件における正答率）¹をモデルに含めたところ、主格処理困難条件と Go/No Go 課題の正答率の交互作用が有意傾向であった（ $\beta=0.67, SE=0.40, z=1.67, p=0.096$ ）。主格処理困難条件では、Go/No Go 課題の正答率が高くなるにつれて、内容理解課題の正答率も高い傾向が見られた。

眼球運動データ

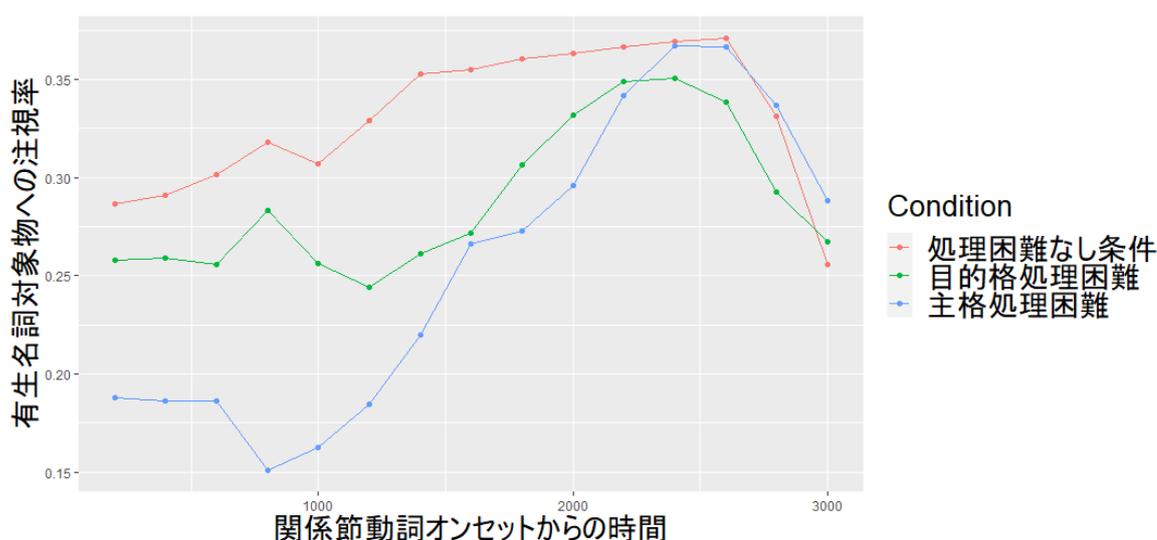


図2. 「女の子」入力前の有生名詞への注視率

¹ Go 条件での正答率が 70% 以下の 3 人を分析から排除した。また、年齢と Go/No Go 課題の成績との相関は低いことが確認された ($r=0.02$)。

まず、関係節動詞（「歩いていた」）のオンセットの 200ms 後から関係節主要部（「女の子」）のオンセットまでの間に、画面上で関係節主要部として可能な有生名詞（図 1 で、女の子または男の人）を注視した量を対数オッズで算出し、線形混合効果モデルを用いて分析した。図 2 に関係節動詞のオンセットからの注視率を示す。この時間枠での有生名詞への注視は、実際に関係節主要部の入力がある前に、画面に呈示された視覚情報を含む環境下において、関係節を含む構造である、もしくは関係節主要部が入力されるといふ予測を反映していると考えられる。目的格処理困難条件と主格処理困難条件では、意味的に逸脱した単節の解釈から、関係節を含む構造であるという再分析も含まれていると考えられる。

分析の結果、処理困難なし条件と比べて、目的格処理困難条件と主格処理困難条件では、有生名詞の領域を見ていた割合が有意に低かった（表 3）。さらに、目的格処理困難条件と主格処理困難条件の間にも有意差が見られ、目的格処理困難条件の注視率の方が主格処理困難条件の注視率よりも高かった（ $\beta = 1.89, SE = 0.30, df = 822.43, t = 6.34, p < 0.001$ ）。画面に呈示された視覚情報を含む環境下において、関係節を含む構造である、もしくは関係節主要部が入力されるといふ予測が、処理困難なし条件、目的格処理困難条件、主格処理困難条件の順に高いことを反映していると考えられる。

表 3. モデルの検定結果（ベースライン：処理困難なし条件 (2a) vs. (2b) and (2c)

	β	SE	df	t	p
(Intercept)	1.39	0.36	48.23	3.85	< 0.001***
目的格処理困難条件	-1.13	0.30	821.88	-3.81	< 0.001***
主格処理困難条件	-3.03	0.30	821.47	-10.21	< 0.001***

また、構造の一時的曖昧性が解消され、関係節動詞と関係節主要部との統合が行われると考えられる関係節主要部「女の子」の入力後の注視率の変化を図 3 に示す。

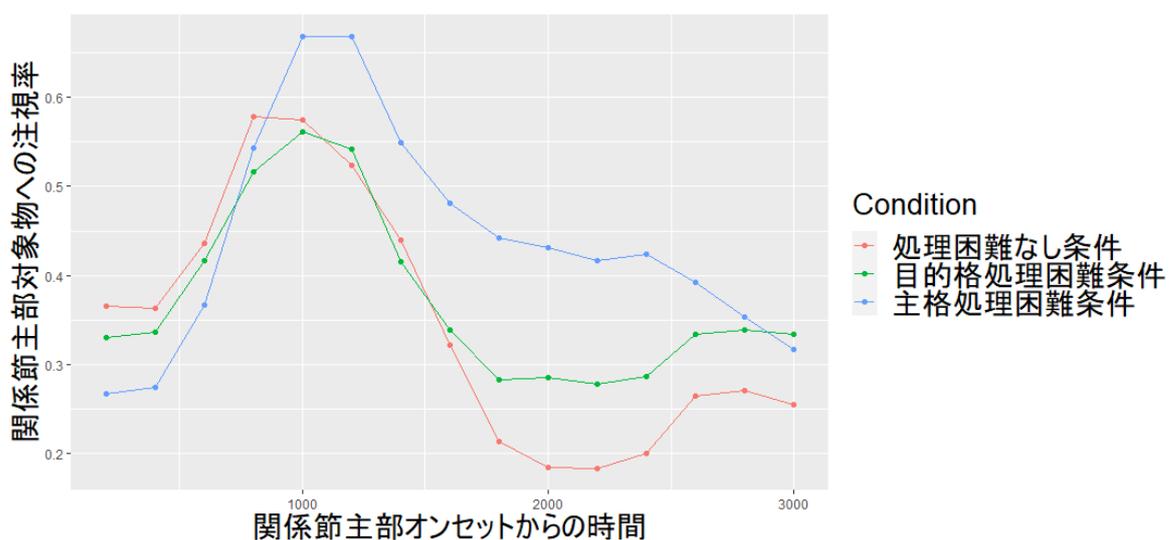


図 3. 「女の子」入力後の女の子への注視率

関係節主要部の入力のオンセットの 200ms 後から関係節主要部のオフセットまでの、画面上のすべての注視の中で関係節主要部の名詞の領域（図 1 で「女の子」）に注視した量を対数オッズで算出し、線形混合効果モデルを用いて分析したところ（表 4）、処理困難なし条件に比べて、主格処理困難条件での女の子への注視率は有意に高かった。一方、処理困難なし条件と目的格処理困難条件間では女の子への

注視率に統計的に有意な差が見られなかった。これは、曖昧性解消後（「女の子」の入力後）に、構造の再分析が処理困難なし条件と目的格処理困難条件ではより容易に行われたために、ターゲットである関係節主要部の女の子へ注意を向けなくなったことに起因すると考えられ、主格処理困難条件で最も低い正答率のデータとも整合性がある。

表4. モデルの検定結果（ベースライン：処理困難なし条件 (2a) vs. (2b) and (2c)）

	β	SE	df	t	p
(Intercept)	-1.03	0.28	45.17	-3.70	<0.001***
目的格処理困難条件	0.33	0.25	811.43	1.32	0.19
主格処理困難条件	0.72	0.25	811.09	2.91	<0.01**

抑制機能との関連性

抑制機能と予測処理との関連を調べるために、関係節動詞「歩いていた」のオンセットから関係節主要部「女の子」のオンセットまでの時間枠で、Go/No Go 課題の成績を標準化し連続変数として含めたモデルを検討したところ、Go/No Go 課題の成績と目的格処理困難条件での注視率との間に有意な交互作用が見られ（表5）、Go/No Go 課題の成績が良い（No Go 条件における正答率が高い）ほど、処理困難なし条件と比べて、目的格処理困難条件で有生名詞を見ていた割合が有意に高かった。これは、抑制機能が高いほど関係節主要部の入力を予測することを示唆していると考えられる。

表5. 関係節主要部の入力以前：Go/No Go 課題の成績を含めたモデルの検定結果

	β	SE	df	t	p
(Intercept)	1.47	0.36	47.33	4.04	<0.001***
目的格処理困難条件	-1.12	0.31	751.46	-3.60	<0.001***
主格処理困難条件	-2.96	0.31	750.93	-9.53	<0.001***
Go/No Go 課題	0.16	0.26	142.91	0.63	0.53
目的格処理困難条件×Go/No Go 課題	0.80	0.32	762.68	2.55	<0.05 *
主格処理困難条件×Go/No Go 課題	0.18	0.31	763.49	0.57	0.57

表6. 関係節主要部の入力後：Go/No Go 課題の成績を含めたモデルの検定結果

	β	SE	df	t	p
(Intercept)	-0.94	0.29	47.44	-3.25	<0.005**
目的格処理困難条件	0.27	0.26	742.74	1.06	0.29
主格処理困難条件	0.67	0.26	742.17	2.60	<0.001**
Go/No Go 課題	0.30	0.21	149.67	1.47	0.15
目的格処理困難条件×Go/No Go 課題	-0.59	0.26	754.88	-2.25	<0.05 *
主格処理困難条件×Go/No Go 課題	-0.12	0.26	754.72	-0.48	0.63

また、関係節動詞と関係節主要部との統合が行われると考えられる、関係節主要部のオンセットからスピーチオフセットまでの時間枠での注視率において、目的格処理困難条件と Go/No Go 課題の成績との間に有意な交互作用が見られ（表6）、Go/No Go 課題の成績が良いほど、目的格処理困難条件で女の子への注視量が少なくなり、処理困難なし条件の注視量により近かった。これは、抑制機能が高いほど、再分析における処理負荷が低く、統語的な逸脱を含む文の理解においては、予測の段階だけでなく構造的曖昧性が解消された後の統合の処理にも抑制機能が関係していることを示唆していると考えられる。

主格処理困難条件と抑制機能との関連について、主格処理困難条件では、Go/No Go 課題の成績で測定された抑制機能との関連がある証拠は観察できなかったが、内容理解課題の正答率が低かったことから、今回の実験で対象とした年齢の子どもにとって、この条件の文処理が他の条件と比べて難しかったことが影響していると考えられる。

目的格処理困難条件と主格処理困難条件では、関係節主要部の入力までには、意味の通る解釈が困難であるという点では同じであるが、これらの条件間では結果に違いが見られた。動詞にとって意味役割的に不可能な主語を持つ主格処理困難条件よりも、統語的な逸脱のある目的格処理困難条件では、先に入力された対格名詞句が、その名詞句の後に入力された動詞のとり得る格と一致していないという情報に基づいて、一時的に誤った解釈からの再分析がより容易に行われることが示唆された。意味役割的に不可能である主語を持つ主格処理困難条件での処理がより難しいことが示唆されたが、この要因について、「ジュースがゆっくりと歩いている」という、一度は構築され得る誤った主節の解釈を抑制することが難しいことにより処理が困難となっている可能性、最終的に正しい解釈を構築することが難しいことにより処理が困難となっている可能性、あるいはその両方である可能性が考えられる。今回の実験結果からは、その要因を一義的に決めることはできないが、今後、それらの可能性についてさらに検討していきたい。

また、抑制機能との関連について、言語獲得や処理における個人差の影響は先行研究でも指摘されてきたが (for review see Kidd et al., 2018)、今回の実験では、とりわけ統語的な逸脱がある場合に、抑制機能の個人差が処理負荷の大きさに影響していることが示唆された。意味の通る解釈が困難となった場合に、入力された統語的な情報をもとに再分析をする過程で、非言語的な認知的機能である抑制機能の高さが、一時的に構築された誤った解釈を抑制する能力と関連していると考えられる。動詞にとって意味役割的に不可能な主語を持つ主格処理困難条件に関しては、その条件での処理自体が難しいことが考えられるため、対象とする年齢の上限を引き上げることも視野に入れていきたい。

3. まとめ

本研究では、5歳から8歳までの子どもを対象に、オンラインでのガーデンパス文の理解における予測と再分析、及びそれらと認知機能の一つである抑制機能との関連について、視覚世界パラダイムを用いた眼球測定実験を行った。その結果、統語的な制約を含む逸脱した解釈の処理が求められる場合に、抑制機能の個人差が影響している可能性が示された。

参考文献

- Lorsbach, T.C., Katz, G. A., & Cupak, A. J. (1998). Developmental Differences in the Ability to Inhibit the Initial Misinterpretation of Garden Path Passages. *Journal of Experimental Child Psychology*, 71, 275–296.
- Kidd, E., Donnelly, S., & Christiansen, M. H. (2018). Individual Differences in Language Acquisition and Processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 22 (2), 154–169.
- Mazuka, R., Jincho, N., & Oishi, H. (2009). Development of Executive Control and Language Processing. *Language and Linguistics Compass*, 3 (1), 59–89.
- Novick, J. M., Hussey, E., Teubner-Rhodes, S., Harbison, J. I., & Bunting, M. F. (2014). Clearing the garden-path: improving sentence processing through cognitive control training. *Language, Cognition and Neuroscience*, 29, 186–217.
- Pickering, M. J. & Traxler, M. J. (1998) Plausibility and Recovery from Garden Paths: An Eye-Tracking Study. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 24, 940–961.