

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：32630

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K00587

研究課題名（和文）言語理解における処理負荷の要因と抑制機能の役割の解明

研究課題名（英文）The cause of processing cost and the role of inhibitory control in language comprehension

研究代表者

新井 学（Manabu, Arai）

成城大学・経済学部・准教授

研究者番号：20568860

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：構造的曖昧性を含む文の理解において処理負荷が起こる理由として、「予測エラー」と「意味逸脱」という異なる要因を想定し、抑制機能が後者の意味逸脱に直接的に関係しているという仮説を立て検証した。結果として、意味逸脱を含む予測エラーでは、誤解釈における実現可能性を確率的に評価することができず、意味のある解釈を生み出そうと誤分析に固執し、結果として大きな処理困難が起こることを明らかにした。また、この処理困難の大きさと被験者（成人と子供）の実行機能の能力との間に有意な関係性が見られたことから、抑制制御の能力が高い人ほど、解釈が成立しない誤分析の処理が容易であったことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実行機能の一つである抑制機能は学習・発達、また言語の機能において重要な役割を担っている。言語の理解における抑制機能の役割を正確に把握することで、子供の言語能力の発達過程において弊害となる要因、また成人の言語理解において処理困難を引き起こす要因の解明に繋がるため、その知見は言語の習得・発達・学習全般の理解において非常に有益であると考えられる。本研究では、曖昧性を含む文の誤分析において解釈が成立しない意味逸脱が存在する場合、確率を正しく見積もることができず処理困難が生じ、その誤分析への固執を抑え正しい解釈を採択するためには抑制機能が必要とされることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We explored the cause of processing cost in language comprehension using the methodologies measuring eye-movements and event-related potentials. Specifically, we focused on two distinct factors for processing difficulty: prediction error and semantic anomaly. Our hypothesis is that the suppression function is directly related to the processing of semantic anomaly, not that of prediction error per se. Our results showed that processing difficulty associated with structural misanalysis persisted in trying to produce a meaningful interpretation when the misanalysis was semantically anomalous. We also observed a significant interaction between the magnitude of processing difficulty and the executive function ability of individual participants.

研究分野：心理言語学

キーワード：抑制制御 実行機能 眼球運動 事象関連電位 読み時間 解釈不成立

## 1. 研究開始当初の背景

最近の研究によって、思考と行動の制御を担う実行機能 (Executive Functions) が、言語処理においてどのような役割を担っているのか明らかになってきた。中でも、競合する情報の干渉を抑え、必要な情報にのみ注意を向ける抑制機能 (Inhibitory Control) が、学習、発達、また言語処理において重要な役割を担っていることが指摘されている。特に実行機能が十分発達していない子供においては、抑制機能の未熟さゆえ統語的に曖昧な文の理解などにおいて特有の処理困難が生じることが知られている。しかし、過去の研究においては、処理困難がどのような認知処理によって生じ、そのどの過程に抑制機能が関与しているのか、その詳細な関係については未だよくわかっていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、実行機能の一つである抑制機能の学習・発達、また言語の機能における役割を明らかにすることを目的とした。そこで過去の文処理研究において報告されてきた処理負荷の原因が複数存在する可能性を指摘し、抑制機能が直接的に関係する状況を検証した。具体的には、漸次的処理において次に現れる言語インプットに関する予測が間違っていた場合に観測される処理負荷 (「予測エラー負荷」) と、文解釈の破綻を引き起こす意味的逸脱による処理負荷 (「意味逸脱負荷」) は質的に異なる可能性を提案し、抑制機能は後者の意味逸脱に直接的に関係しているという仮説を立て、その検証を行った。調査対象者として、抑制機能が十分に発達した成人の被験者とまだ十分に発達していない子供の被験者を対象とした実験をそれぞれ行った。

## 3. 研究の方法

本研究では眼球運動測定 (読みおよび視覚世界パラダイムを利用) と事象関連電位測定を用いた調査を行った。言語理解において処理困難が起こる理由として「予測エラー」と「意味逸脱」という異なる要因を想定したが、眼球運動測定における指標は時間計測に基づく量的な指標であり、この結果のみでは処理負荷の性質の違いに対する主張の根拠として十分とは言えない。そこで、事象関連電位測定によるデータを詳細に検証することによって、処理困難を引き起こす要因の質的な違いを検証した。子どもは成人と比べて抑制機能が十分に発達していないと考えられ、また言語に関する経験が成人より少ないために、曖昧性処理に係るコストの個人差が大きく、抑制機能との影響がより観察されやすいと想定されるため、子どもを対象とした調査も含め多角的な仮説検証を行った。

## 4. 研究成果

まず第一に構造的曖昧性により再分析を必要とする文の理解を2つの眼球運動読み実験によって調査した。その結果、誤分析において単に整合性が低い場合には、その解釈に対して実現可能性を正しく見積もることが可能であり処理困難が観測されなかったのに対し、解釈自体が不可能である場合には、その実現可能性を確率的に評価することができず、意味のある解釈を生み出そうと誤分析に固執してしまい結果として大きな処理困難が起こることが明らかになった。つまり、この二つの条件では、「予測エラー」という点では共通している (どちらも予想されないインプットが続いている) が、「意味逸脱」という点においては異なることから、意味逸脱を伴う予測エラーが起きた時に最も大きな処理困難が生じることがわかった。また、この処理困難を反映する読み時間の長さやストループ課題における各被験者の効果の大きさとの間に有意な関係性が見られたことから、実行機能の抑制制御の能力が高い人ほど、解釈が成立しない誤分析の処理が容易であったことが示された。下の図1は構造的曖昧性が解消される関係節主部リージョンにおける解釈不成立条件の Second pass 読み時間データと各被験者のストループ効果の関係を表わしている。

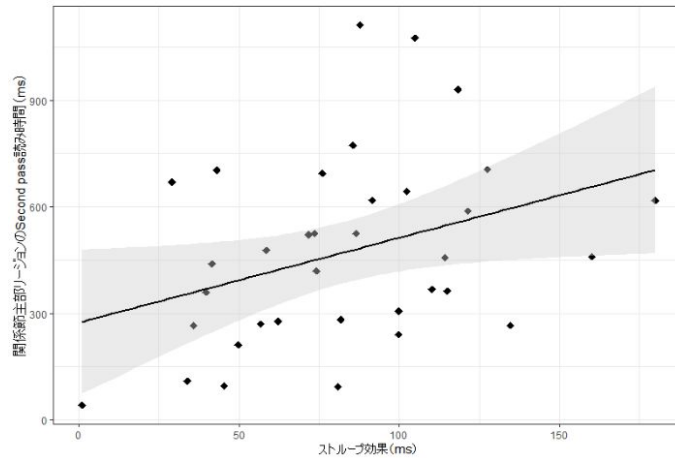


図1．関係節主部リージョンにおける解釈不成立条件の Second pass 読み時間データと各被験者のストロープ効果の散布図

子供を対象とした視覚世界パラダイムを使った眼球運動測定実験の結果では、抑制機能と処理困難の関係は構造的曖昧性を解消する言語情報を受け取る前の処理で観測されたが、受け取った後の処理では観測されなかったことが明らかになった。これは、誤った初分析が採用されて直ぐにその整合性を評価する際に抑制機能が影響したことを意味していて、再分析処理の遅い段階で影響すると主張する過去研究とは異なる結果となった。また、抑制機能との関係性は、同じ意味逸脱文であっても、初分析が動詞の下位範疇化情報を違反しているために解釈自体成り立たない文（解釈不成立条件：「ジュースを歩いていた女の子にこぼれた」）で見られたが、非現実であっても解釈が成り立つ文（解釈成立条件：「ジュースが歩いていた女の子にこぼれた」）では見られなかった。後者は内容理解問題の正答率も著しく低かったため、子供が非現実な解釈にコミットしてしまった結果抑制機能が使用されなかった可能性が示唆され、抑制機能の影響が意味逸脱文の種類に依存するという新しい知見が得られた。下の図2は、各条件におけるターゲットに対する予測的眼球運動の量（関係節主部の名詞句に対応する対象への視線の割合）を表わし、図3は抑制機能の低い被験者（Low control）と抑制機能の高い被験者（High control）に分けて、予測的眼球運動の量を表わしている。

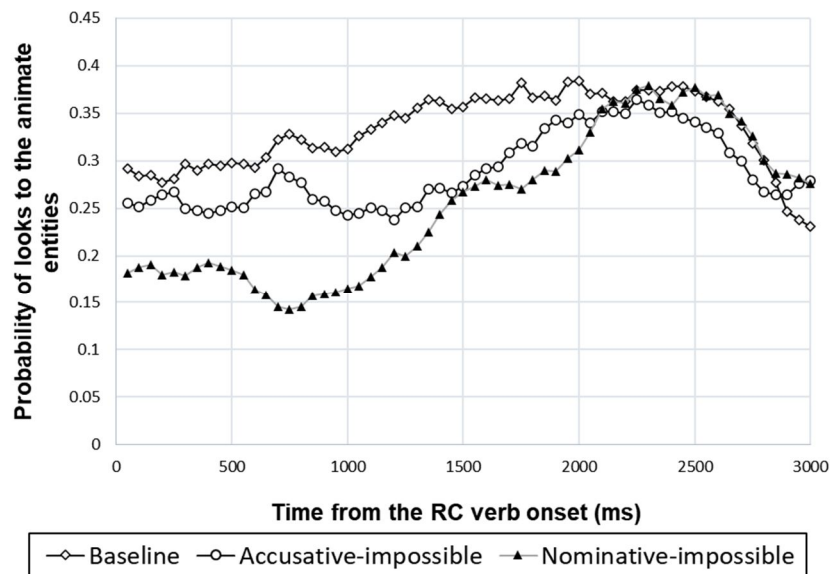


図2．各条件（Baseline=ベースライン条件、Accusative-impossible=解釈不成立条件、Nominative-impossible 解釈成立条件）におけるターゲットに対する予測的眼球運動の量（関係節主部の名詞句に対応する対象への視線の割合）

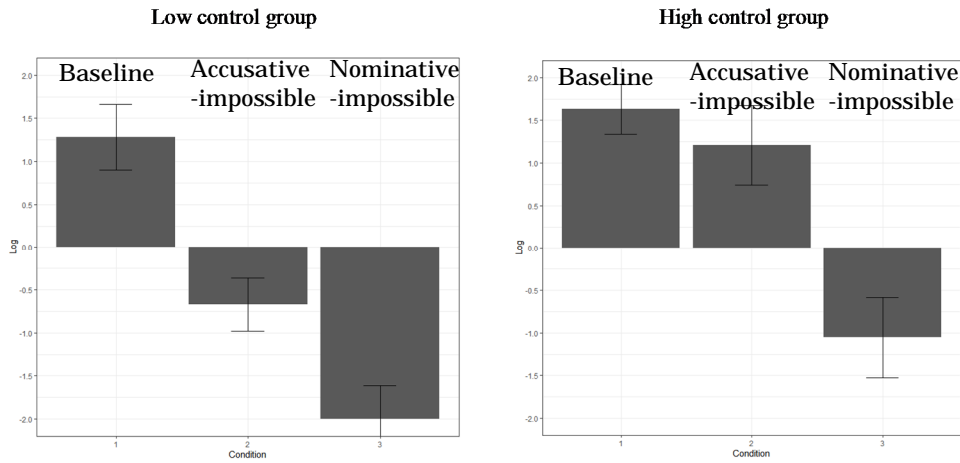


図3. 各条件 (Baseline=ベースライン条件、Accusative-impossible=解釈不成立条件、Nominative-impossible 解釈成立条件)における抑制機能の低い被験者グループ (Low control) と抑制機能の高い被験者グループ (High control) ごとのターゲットに対する予測的眼球運動の量

事象関連電位測定を用いた実験の結果として、動詞の下位範疇化情報に違反することで解釈が成立しない条件 (解釈不成立条件:「男性が最高級のワインを歩いてた」と、上記の違反はないが、意味的な選択制限に違反することで非整合的な解釈しか成り立たない条件 (非整合条件:「男性が最高級のワインをくすぐっていた」と比較して、意味的逸脱と統語的逸脱をそれぞれ反映すると考えられている二つの指標 (N400 と P600) が有意に観測された。図4は条件間の差が大きく見られた部位 (Pz) における波形を示している。

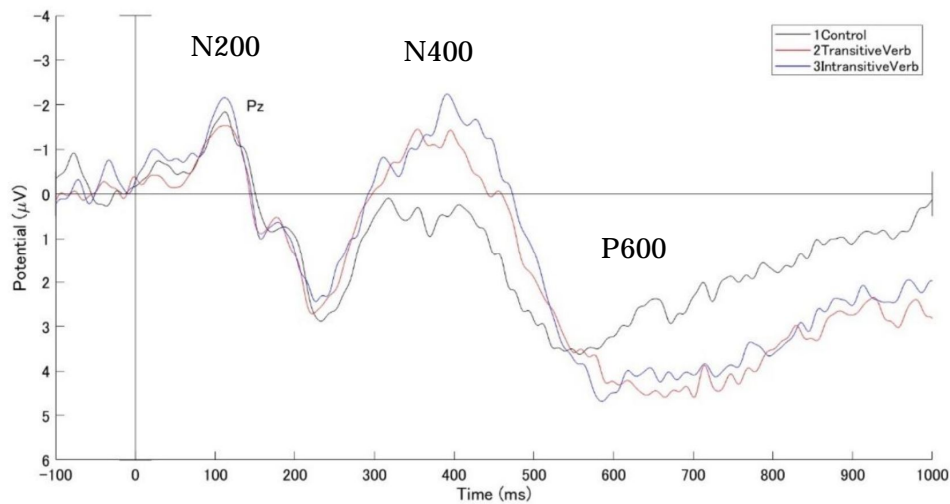


図4. Pzにおける各条件 (Control=ベースライン、Transitive Verb=非整合条件、Intransitive Verb=解釈不成立条件)の波形。黒線が統制条件、赤線が他動詞条件、青線が自動詞条件の波形。横軸は時間 (刺激呈示前100ミリ秒から呈示後1000ミリ秒まで)、縦軸の単位はマイクロボルト (µV)、陰性方向が上向き。

当初の予想に反してこの二つの指標において解釈不成立条件と非整合条件の間で差は見られなかった。しかし、興味深いことに後頭部 (O1, Oz, O2) において自動詞条件でのみ潜時200ms周辺で陰性電位が観測された。この反応は過去の研究では報告がなく、この成分が何を示しているのか正確にはわかっていないが、他動詞条件では観測されず、自動詞条件でのみ観測されたことから他動詞条件と自動詞条件の処理過程の質の違いを反映していると考えられる。この反応 (仮にN200と呼ぶ) の正確な性質については今後の調査で明らかにしたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Arai, M., & Van Gompel, R. P. G.                                      | 4. 巻<br>75              |
| 2. 論文標題<br>Lexically independent representation of the monotransitive structure | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>Quarterly Journal of Experimental Psychology                          | 6. 最初と最後の頁<br>1773-1789 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1177/17470218211061225                            | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する            |

|   |                    |
|---|--------------------|
| 1. 著者名<br>Nakamura, C., Arai, M., Hirose, Y., & Flynn, S.   | 4. 巻<br>10         |
| 2. 論文標題<br>An Extra Cue Is Beneficial for Native Speakers but Can Be Disruptive for Second Language Learners: Integration of Prosody and Visual Context in Syntactic Ambiguity Resolution | 5. 発行年<br>2020年    |
| 3. 雑誌名<br>Frontier in Psychology  | 6. 最初と最後の頁<br>2835 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3389/fpsyg.2019.02835   | 査読の有無<br>有         |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>該当する       |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Roger P. G. van Gompel, & Manabu Arai      | 4. 巻<br>21            |
| 2. 論文標題<br>Structural priming in bilinguals          | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>Bilingualism: Language and Cognition       | 6. 最初と最後の頁<br>448-455 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1017/S1366728917000542 | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難               | 国際共著<br>該当する          |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>新井 学   | 4. 巻<br>21           |
| 2. 論文標題<br>第二言語習得における予測エラーの役割                              | 5. 発行年<br>2022年      |
| 3. 雑誌名<br>Second Language                                  | 6. 最初と最後の頁<br>89-113 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.11431/secondlanguage.21.0_89 | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                     | 国際共著<br>-            |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>新井 学                            | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>構造的曖昧文の理解における意味的整合性と解釈成立可能性の影響 | 5. 発行年<br>2023年 |
| 3. 雑誌名<br>成城大学経済研究                        | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし            | 査読の有無<br>無      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難    | 国際共著<br>-       |

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>新井 学                                    |
| 2. 発表標題<br>第二言語習得における予測エラーの役割                      |
| 3. 学会等名<br>第20回日本第二言語習得学会国際年次大会 (J-SLA2021) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年                                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Manabu Arai, Saki Tsumura, and Reiko Mazuka  |
| 2. 発表標題<br>Development of children's ability to predict and revise during language comprehension and its relation to their inhibitory control |
| 3. 学会等名<br>THE 26TH ARCHITECTURES AND MECHANISMS FOR LANGUAGE PROCESSING CONFERENCE (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>津村早紀, 新井学, 馬塚れい子       |
| 2. 発表標題<br>子どもの言語理解能力の発達と抑制機能の関係性 |
| 3. 学会等名<br>日本言語学会第160回大会          |
| 4. 発表年<br>2020年                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Manabu Arai  |
| 2. 発表標題<br>Relationship between the Processing of Semantically Anomalous Interpretation and Suppression Mechanism |
| 3. 学会等名<br>Architectures and Mechanisms for Language Processing 2018 (国際学会)                                       |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Manabu Arai   |
| 2. 発表標題<br>How does suppression mechanism help language comprehension? |
| 3. 学会等名<br>思考と言語研究会 (TL)   |
| 4. 発表年<br>2018年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                  | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                                 | 備考 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 馬塚 れい子<br>(Mazuka Reiko)<br><br>(00392126) | 国立研究開発法人理化学研究所・脳科学総合研究センター・<br>チームリーダー<br><br>(82401) |    |
| 研究分担者 | 大石 衡聴<br>(Oishi Hiroaki)<br><br>(40469896) | 立命館大学・総合心理学部・准教授<br><br>(34315)                       |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|